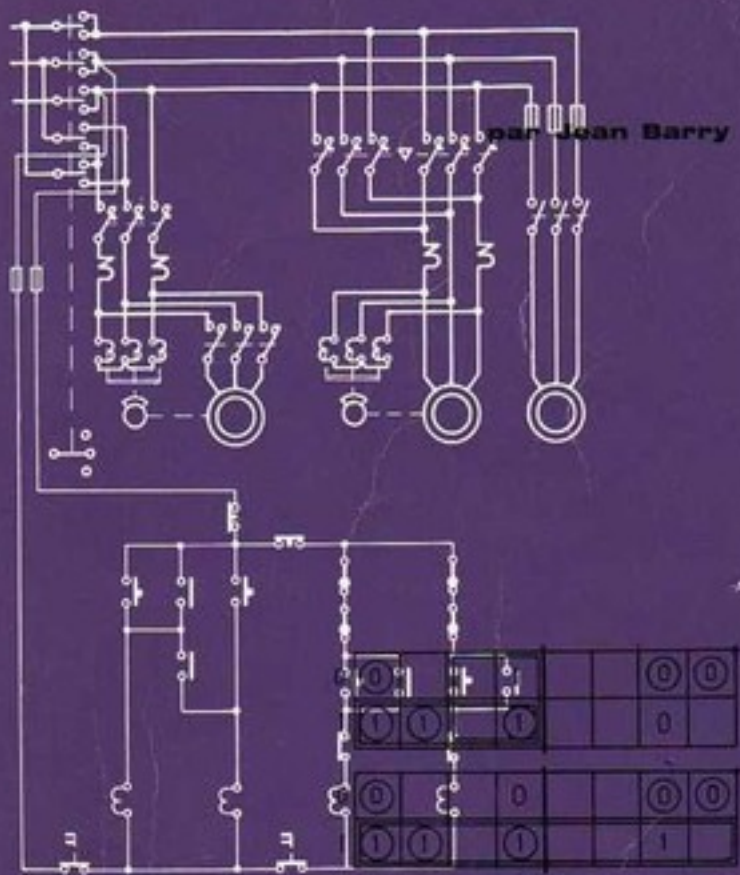


SCHEMAS D'ELECTRICITE

par Jean Barry



Eyrolles

EDITEUR-PARIS

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | | 0 | | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | | 0 | | |

SCHÉMAS D'ÉLECTRICITÉ

par

Jean BARRY et Jean-Yves KERSULEC

Professeurs de l'Enseignement technique

TREIZIÈME ÉDITION
entièrement revue et corrigée


EYROLLES

61, boulevard Saint-Germain - 75005 PARIS

1980

AVANT-PROPOS

Cet ouvrage est à la fois un cours et un recueil.

— Un cours car il correspond aux programmes de l'enseignement du schéma dans les établissements techniques.

— Un recueil car il comporte de nombreux exemples de schémas de montages utilisés couramment dans l'industrie.

Une partie importante est constituée par de très nombreux extraits des Normes Françaises actuellement en vigueur. Tous ces extraits de normes sont groupés sous les titres « Généralités » et « Symboles ».

Son format a été réduit pour en rendre son emploi plus commode, et un index alphabétique à la fin du livre permet de retrouver facilement le symbole recherché.

Nous pensons que tel quel il sera utile à l'élève pendant sa scolarité et lui servira d'aide-mémoire par la suite.

Pour cet ouvrage les Normes Françaises de l'Union Technique de l'Électricité auxquelles il est fait référence sont :

Pour les symboles :

N. F. C 03-101 ... 102 ... 103 ... 104 ... 105 ... 106 ... 108 et 117-3 C. E. I. (commission électrotechnique internationale).

Pour l'établissement des schémas :

N. F. C 151 ... 152 ... 153 ... 154 ... 155.

Pour la protection des installations, le marquage de bornes, l'équipement électrique des machines-outils :

N. F. C 15-100 N. F. C 63-050 N. F. C 79-100 ... 79-110.

En matière de normalisation seule fait foi l'édition la plus récente de la norme U. T. E. concernée.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

| | |
|---|---------|
| Généralités. Définitions générales. Classification des schémas | 13 à 17 |
| Symboles pour canalisations - appareillage de commande et de protection (interrupteurs, disjoncteurs, contacteurs, sectionneurs, relais) - organes électriques et électromécaniques - signalisation sonore et lumineuse | 18 à 26 |
| Protection commande et sectionnement des installations électriques. | 27 à 29 |
| Principaux montages lumière | 30 à 33 |
| Commande par télérupteur - par minuterie | 34 à 36 |
| Montage de tubes fluorescent et luminescent | 37 |
| Généralités sur les relais | 38 |
| Montages sonnerie - Distribution de l'heure | 39 à 41 |
| Montages tableaux à voyants | 42 à 44 |
| Signalisation lumineuse | 45, 46 |

DEUXIÈME PARTIE

| | |
|--|-----------|
| Symboles pour appareils de mesure, transformateurs de mesure, shunts, relais de mesure, machines tournantes à courant continu et courant alternatif, transformateurs | 49 à 59 |
| Montage des contacteurs et discontacteurs | 60 à 64 |
| Compléments sur l'utilisation des relais | 65, 66 |
| Montage des appareils de mesure (voltmètres, ampèremètres compteurs) | 67 à 69 |
| Généralités sur les moteurs à courant continu | 70 |
| Moteurs à courant continu : commande manuelle | 71 à 76 |
| Moteurs à courant continu : commande par contacteurs | 77 à 81 |
| Généralités sur les moteurs asynchrones triphasés | 82, 83 |
| Moteurs asynchrones triphasés : commande manuelle | 84, 85 |
| Moteurs asynchrones triphasés : commande par contacteurs | 86 à 94 |
| Moteurs asynchrones triphasés à 2 vitesses | 95 à 97 |
| Moteur asynchrone triphasé à haute tension | 98 |
| Moteurs asynchrones diphasés | 99, 100 |
| Moteurs asynchrones monophasés | 101, 104 |
| Moteurs synchrones | 105 à 107 |
| Génératrices à courant continu | 108, 109 |
| Alternateurs | 110 à 112 |
| Freinage électrique des moteurs à courant continu | 113 à 117 |
| Freinage électrique des moteurs asynchrones triphasés | 118 à 123 |
| Transformateurs et postes de transformation : Repérage des conducteurs - Couplage des enroulements | 124 à 127 |
| Régime du neutre en basse tension | 128, 129 |
| Exemples de postes de transformation | 130 à 132 |

TROISIÈME PARTIE

| | |
|--|-----------|
| Symboles pour semi-conducteurs et principaux symboles pour tubes électroniques | 134, 135 |
| Diodes, redressement, ensembles redresseurs | 136, 137 |
| Diodes : Applications particulières | 138, 139 |
| Transistors : Utilisation en commutation, en amplification, bascules | 140, 141 |
| Transistors : Régulation de tension et d'intensité | 142, 143 |
| Régulateurs intégrés | 143 |
| Amplificateur à circuit intégré linéaire ou amplificateur opérationnel | 144, 145 |
| Commande des thyristors | 146 à 149 |

| | |
|--|----------|
| Transistor unijonction et commande de thyristor par transistor unijonction | 150, 151 |
| Diac et Triac | 152 |

QUATRIÈME PARTIE

| | |
|--|-----------|
| Règles pour l'établissement des schémas industrielles - Repérage, marquage des bornes etc... | 155 à 161 |
| Exemples d'équipements électriques : Tour - Fraisuse - Rectifieuse - Compresseur - Station de pompage - Monte-charge - Rectifieuse cylindrique | 162 à 176 |

CINQUIÈME PARTIE

| | |
|---|-----------|
| Algèbre logique - Principes et conventions | 178, 179 |
| Fonctions logiques de base | 180 à 182 |
| Théorèmes de de Morgan | 183, 184 |
| Rectangles de Karnaugh. Généralités. Utilisation | 185 à 191 |
| Opérateurs logiques binaires. Généralités. Symboles | 192 à 196 |
| Etablissement des schémas avec opérateurs logiques binaires | 197 à 199 |
| Opérateurs logiques : Bascules | 200 à 203 |
| Opérateurs logiques : Applications au comptage | 204, 205 |
| Opérateurs logiques : Logique câblée | 206 à 208 |
| Utilisation des rectangles de Karnaugh : Problèmes de logique combinatoire : Solution avec fonctions logiques de base et multiplexeur | 209 à 217 |
| Problèmes de logique séquentielle : solution avec fonctions logiques | 218 à 220 |
| Problèmes de logique séquentielle : solution par méthode matricielle | 221 à 241 |
| Le Grafset | 242 à 246 |
| Séquenceurs - Généralités | |
| Utilisation des séquenceurs | 254 à 256 |
| Automates programmables - Généralités | 257 à 259 |
| Automates programmables - Applications | 260 à 267 |
| Simplification du Grafset | 268 à 270 |

PREMIÈRE PARTIE

Groupe 1 A 01 à 1 A 05

Généralités
Définitions générales
Classification des schémas.

Groupe 1 B 01 à 1 B 12

Symboles pour canalisations - appareillage de commande et de protection
(interrupteurs - sectionneurs - disjoncteurs - contacteurs - relais).
Symboles pour organes électriques et électromécaniques.
Symboles pour signalisation sonore et lumineuse.
Protection, commande et sectionnement des installations électriques.

Groupe 1 C 01 à 1 C 08

Principaux montages lumière.
Commande par télérupteur - par minuterie.
Montage de tubes fluorescents et luminescents.

Groupe 1 D 01 à 1 D 09.

Généralités sur les relais.
Montages sonnerie. Distribution de l'heure.
Montages tableaux à voyants.
Signalisation lumineuse.

GÉNÉRALITÉS

(D'après norme N. F. C03-151)

1 A 01

DÉFINITIONS**SCHÉMA**

Un schéma montre comment les différentes parties d'un réseau, d'une installation, d'un ensemble d'appareils ou d'un appareil sont fonctionnellement reliées et connectées.

(Il utilise à cet effet des symboles, des traits, des repères.)

DIAGRAMME

Un diagramme montre les relations entre :

- différentes actions,
- des actions et le temps,
- des actions et des grandeurs physiques,
- les états de plusieurs éléments.

TABLEAU

Un tableau remplace ou complète un schéma ou un diagramme.

CLASSIFICATION SELON LE BUT ENVISAGÉ**I - Schémas explicatifs**

Ils sont destinés à faciliter l'étude et la compréhension du fonctionnement d'une installation ou partie d'installation.

SCHEMA FONCTIONNEL

Destiné à faire comprendre le fonctionnement. Il représente par des symboles ou des figures simples une installation ou partie d'installation avec ses interdépendances fonctionnelles, mais sans que toutes les liaisons soient représentées.

SCHÉMA DES CIRCUITS (SCHÉMA DE PRINCIPE)

Destiné à faire comprendre le fonctionnement. Il représente par des symboles une installation ou partie d'installation avec les connexions électriques et autres liaisons qui interviennent dans son fonctionnement.

SCHÉMA D'ÉQUIVALENCE

Pour l'analyse et le calcul des caractéristiques d'un élément de circuit ou d'un circuit.

II - Diagrammes ou tableaux explicatifs**DIAGRAMME OU TABLEAU DE SÉQUENCE**

Pour l'analyse des actions se succédant dans un ordre déterminé.

DIAGRAMME OU TABLEAU DE SÉQUENCE - TEMPS

Tient compte en plus de la valeur des intervalles de temps entre les actions successives.

GÉNÉRALITÉS

(D'après norme NF-C 03-151 ET C 03-153)

1 A 02

III - Schémas de réalisation ou tableau des connexions

Les schémas de réalisation sont destinés à guider la réalisation d'une installation ou d'un équipement. Pour un équipement ils concernent les connexions intérieures ou extérieures ou les deux.

Leur tracé peut tenir compte de la disposition matérielle des différents éléments.

SCHÉMA DES CONNEXIONS INTÉRIEURES

Représente les connexions à l'intérieur d'une partie d'installation

SCHÉMA DES CONNEXIONS EXTÉRIEURES

Représente les connexions entre les différentes parties d'une installation.

SCHÉMA DES BORNES

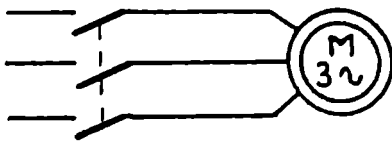
Représente les bornes et les conducteurs intérieurs et extérieurs qui y sont raccordés.

IV - Plans ou tableaux de disposition

Il donne des indications précises sur l'emplacement des parties d'une installation par exemple les rangées de bornes, les sous-ensembles, etc. Ils ne sont pas nécessairement à l'échelle.

CLASSIFICATION SELON LE MODE DE REPRÉSENTATION**Nombre de conducteurs****REPRÉSENTATION MULTIFILAIRE**

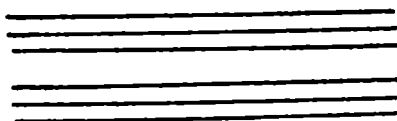
Chaque conducteur est représenté par un trait.



Exemple : moteur triphasé commandé par interrupteur tripolaire.

Lorsqu'un schéma comporte de nombreux traits parallèles ceux-ci doivent être disposés en faisceaux.

Chaque faisceau doit s'accorder si possible avec la fonction des conducteurs qui le constitue, sinon il faut disposer les traits en faisceaux arbitraires ne comportant pas plus de 3 traits.



Exemple : 6 conducteurs disposés en 2 faisceaux de 3 traits.

GÉNÉRALITÉS

(D'après normes N. F. C 03-151, C 03-153, C 03-154)

1 A 03

REPRÉSENTATION UNIFILAIRE

Elle a pour but essentiel d'éviter la multiplicité des lignes parallèles. Cette représentation amène parfois de grosses simplifications. Elle ne doit toutefois laisser apparaître aucune ambiguïté.

Un trait unique représente plusieurs conducteurs soit par exemple.

Trait unique pour : des circuits d'un système multiphasé, des circuits qui assurent des fonctions électriques équivalentes, des circuits ou conducteurs appartenant à la même transmission de signaux, des circuits qui suivent matériellement le même trajet, des conducteurs dont le tracé suivrait le même tracé sur le schéma.

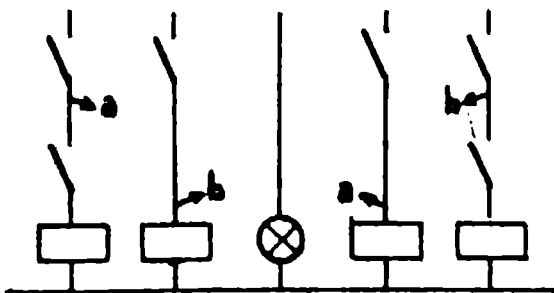
En conséquence plusieurs éléments ou appareils semblables peuvent être représentés par un seul symbole.



Exemple : moteur triphasé commandé par interrupteur tripolaire.

| <i>multifilaire</i> | <i>unifilaire</i> | |
|---------------------|-------------------|--|
| | | <i>Autres exemples</i> : L'ordre des conducteurs reste le même. |
| | | L'ordre des conducteurs est différent. |
| | | 1. Interrupteur tripolaire à commande manuelle. |
| | | 2. Trois interrupteurs unipolaires ayant chacun leur commande manuelle propre. La différence entre les 2 schémas unifilaires est minime. On voit que l'établissement et la lecture de ces schémas demande beaucoup de précision et d'attention. |

OMMISSION POSSIBLE DE CERTAINS TRACÉS



Partie d'un schéma développé dans lequel 2 conducteurs risquent de couper tous les autres.

On peut dans ce cas préférer indiquer les liaisons par des références de rappel.

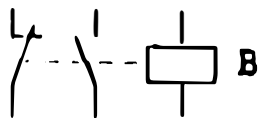
GÉNÉRALITÉS

(D'après normes N.F. C03-151, C03-153, C03-154)

1 A 04

Emplacement des symboles

REPRÉSENTATION ASSEMBLÉE



Les symboles des différents éléments d'un même appareil (ou d'un même équipement) sont représentés juxtaposés sur le schéma.

Exemple : La bobine B commande les 2 contacts qui lui font vis-à-vis.

REPRÉSENTATION RANGÉE

Les symboles des différents éléments d'un même appareil ou d'une même installation sont séparés et disposés de façon que l'on puisse tracer facilement les symboles des liaisons mécaniques entre différents éléments qui manœuvrent ensemble.

Les liaisons mécaniques sont rectilignes. Toutefois si cela conduit à couder et croiser les circuits, on peut pour clarifier le schéma couder et ramifier les tracés de liaisons mécaniques.

REPRÉSENTATION DÉVELOPPÉE

Les symboles des différents éléments d'un même appareil ou d'une même installation sont séparés et disposés de manière que le tracé de chaque circuit puisse être facilement suivi. Chaque symbole d'élément doit être repéré afin que :

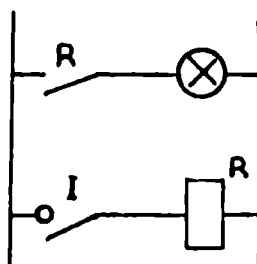
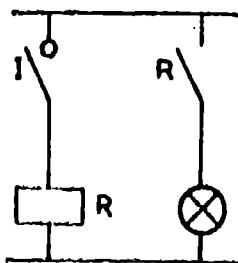
- l'appartenance à un appareil donné de tous ses éléments apparaisse sans ambiguïté,
- l'emplacement d'un symbole sur le schéma puisse être aisément trouvé.

Les schémas peuvent être tracés :

En courant continu et courant alternatif monophasé

- entre 2 lignes horizontales ou verticales symbolisant les alimentations,
- ou à partir de symboles +, -, ~, etc.,
- ou une combinaison des 2.

En courant alternatif polyphasé ; les circuits d'alimentation sont groupés sur un seul côté des circuits.



I : Interrupteur.

R : Relais.

Il n'y a pas de liaison mécanique apparente. L'appartenance au relais R est indiquée par le même repère (R) pour la bobine et le contact qu'elle commande.

Représentation topographique

La disposition des symboles sur le schéma rappelle pour tout ou partie la disposition topographique des matériels correspondants.

Elle peut être utilisée pour : les schémas de réalisation, les schémas architecturaux, les schémas de réseaux.

GÉNÉRALITÉS

(D après normes N F. C03-151, C03-153, C03-154)

1 A 05

Règles générales de représentation

Un schéma des circuits doit expliquer le fonctionnement de l'équipement, fournir les bases d'établissement des schémas de réalisation, faciliter le dépannage.

L'essentiel à considérer pour l'établissement d'un schéma des circuits est la **présentation la plus claire, pour la compréhension et la réalisation** de l'équipement.

Le tracé des conducteurs sera rectiligne avec le moins possible de croisements et de changements de direction.

Emploi des symboles graphiques

Les normes NFC 03 101 à NFC 03 108 présentent des symboles ou des éléments de symboles pour les matériels et appareillage.

Parfois plusieurs formes de symboles — forme complète — préférée — ou forme simplifiée — sont indiquées.

Dans ce cas la règle à appliquer est la suivante :

- Utiliser le symbole le plus simple suffisant pour le besoin particulier.
- Utiliser autant que possible la forme préférée.
- Choisir les symboles de façon que tous les éléments d'un même dossier technique soient cohérents entre eux.

TAILLE DU SYMBOLE : LARGEUR DU TRAIT

La taille du symbole et la largeur du trait n'ont en règle générale aucune influence sur la signification de ce symbole.

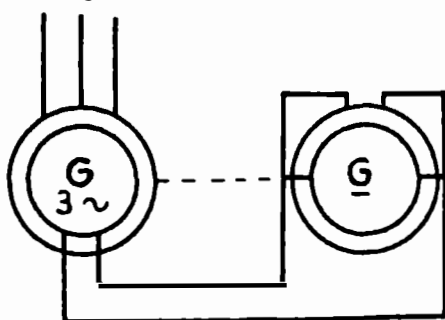
Il peut toutefois être souhaitable d'utiliser différentes tailles de symbole.

De même pour distinguer ou faire ressortir certains circuits, différentes largeurs de traits peuvent être utilisées (dans ce cas, pour que la différence de largeur apparaisse bien, il est conseillé de prendre au moins la valeur 2 comme rapport d'épaisseur des traits).

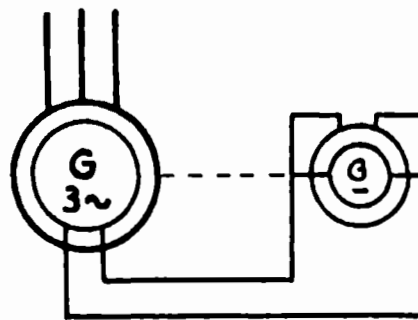
Exemple : alternateur avec son excitatrice.

Pas de différenciation de taille des symboles.



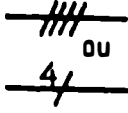
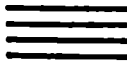
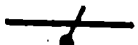
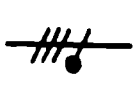
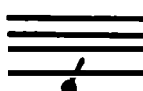
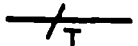
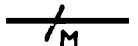






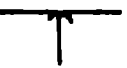
Même largeur de trait.









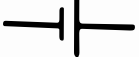










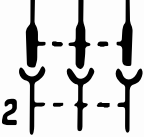























Différenciation de taille des symboles. Largeur des traits différente.

ORIENTATION DES SYMBOLES.


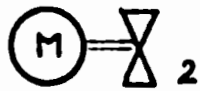
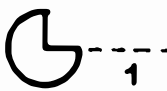
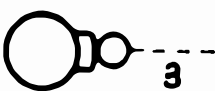
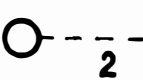
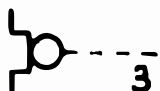
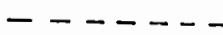

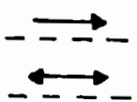
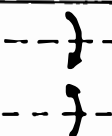
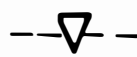
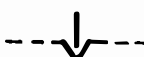
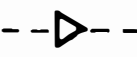


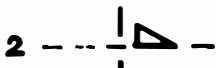







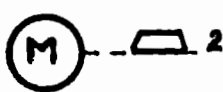
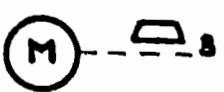
L'orientation de la plupart des symboles tels qu'ils figurent dans les normes n'est pas impérative. Sauf indication contraire les symboles peuvent être transposés par rotation ou symétrie pour éviter de couder ou croiser les tracés de circuits.

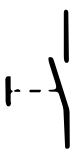
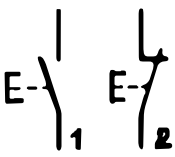
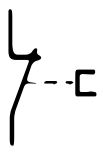
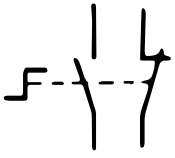
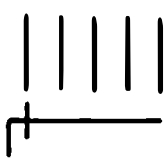
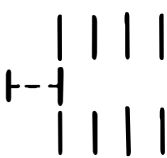
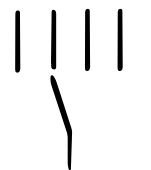
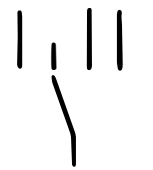
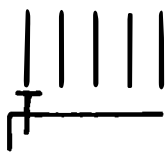
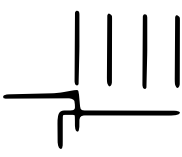

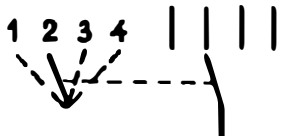

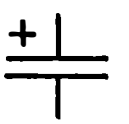

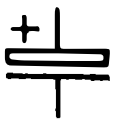


| SYMBOLES CIRCUITS ÉLECTRIQUES - CONNEXIONS | | 1 B 01 |
|---|---|--|
| SYMBOLE | | DÉSIGNATION |
|  | | Conducteur ou faisceau ou canalisation électrique, ou ligne électrique. Lorsque dans un même schéma on veut distinguer les circuits par des traits de largeur différente <i>le rapport de 2 largeurs ne devra pas être inférieur à 2.</i> |
|  | | Conducteur ou faisceau flexible |
| Unifilaire | Multifilaire | Canalisation à 4 conducteurs. |
|  |  | |
|  | | Conducteur neutre. |
|  |  | Canalisation triphasée à quatre conducteurs dont un conducteur neutre. |
|  | | Conducteur de terre. |
|  | | Conducteur relié à la masse. |
|  | | Terre (3 traits). |
|  | | Masse (2 variantes). |
|  | | Borne, connexion de conducteur (2 variantes). |
|  | | Croisement de 2 conducteurs sans connexion électrique. |
|  | | Croisement de 2 conducteurs avec connexion électrique (2 variantes). |
|  | | Dérivation (3 variantes). |
|  | | Contact glissant. |

| SYMBOLES | | 4 A 01 |
|---|--|--------|
| SYMBOLE | DÉSIGNATION | |
| Nature des courants et polarités | | |
|  | Courant continu (2 variantes) | |
|  | Courant alternatif (symbole général) | |
|  | Courant ondulé ou redressé | |
|  | Symbole pour appareils et machines utilisées indifféremment en courant continu ou alternatif | |
|  | Courant monophasé | |
|  | Courant polyphasé à m phases et à m conducteurs | |
|  | Polarité positive | |
|  | Polarité négative | |
| Piles et accumulateurs | | |
|  | Élément de pile ou d'accumulateur - Trait court pôle négatif - Trait long pôle positif | |
|  | Batterie d'accumulateurs ou de piles (2 variantes) | |
| Fiches, prises et connecteurs | | |
|   | Fiche de prise de courant (partie mâle) | |
|   | Socle de prise de courant (partie femelle) | |
|    | Socle et prise associés • Les formes I et II peuvent être combinées | |
|  | Connecteur mâle-mâle par ex. cavalier | |
|   | Fiche et prise tripolaire 1. Représentation unifilaire 2. Représentation multifilaire | |
|   | Barette de connexion 1. ouverte 2. fermée | |

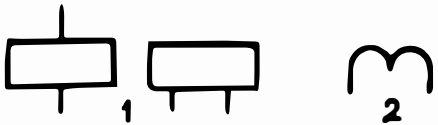
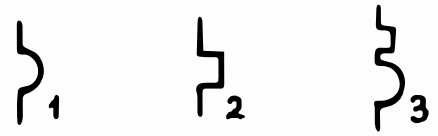
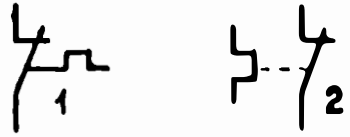



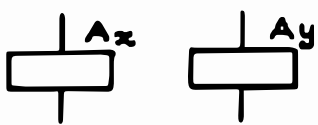

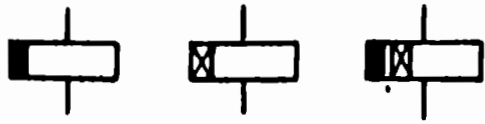


| SYMBOLES | | 1 B 03 | |
|--|---|--|---|
| Contacts : Symboles distinctifs | | | |
|  | Fonction contacteur |  | Fonction position maintenue (interrupteur). |
|  | Fonction disjoncteur |  | Fonction retour automatique |
|  | Fonction sectionneur |  | Fonction interrupteur-sectionneur |
|  | Fonction ouverture automatique |  | Mouvement retardé. Le retard se fait dans le sens de l'arc vers son centre (penser-au-freinage par parachute). <i>Note</i> : ce symbole est relié par un trait double à l'organe temporisé. |
|  | Fonction contact de position. Ce symbole est utilisé pour un interrupteur de position lorsqu'il n'est pas nécessaire de préciser son mode de commande. |  | |
| | |  | |
| Appareillage mécanique de connexion | | | |
| <p><i>Note 1</i> : Un petit cercle rempli ou non ajouté à la partie inférieure des symboles n'a pas de signification particulière. Il peut n'être utilisé que lorsque son absence ris que de créer une confusion (NF C03 103).</p> | | | |
|  | | <p style="text-align: center;"><i>Interrupteur</i></p> <p><i>Note 2</i> : Le cercle du haut peut être supprimé s'il n'en résulte aucune ambiguïté (forme 2) (NF C03 103). Les formes 3 peuvent également être utilisées (voir note 1 ci-dessus).</p> | |
|  | | <p style="text-align: center;">Interrupteur tripolaire</p> <p>Les 3 pôles sont reliés entre eux par une liaison mécanique.</p> | |
| <i>Les exemples qui suivent ne représentent qu'un pôle d'appareil</i> | | | |
|  | Contacteur |  | Discontacteur |
|  | Disjoncteur |  | Rupteur |
|  | Sectionneur |  | Interrupteur-Sectionneur |

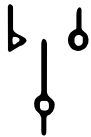


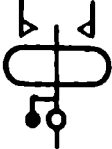


















| SYMBOLES | | 1 B 04 | |
|---|---|--------|---|
| Interrupteurs de position et contacts de passage | | | |
| | Interrupteur de position. 1. A contact à fermeture. 2. A contact à ouverture. 3. A contact à ouverture actionné mécaniquement dans les 2 sens. | | |
| | Contact de passage fermant momentanément : 1. à l'action ; 2. au relâchement ; 3. à l'action et au relâchement. | | |
| Contacts à fonctionnement hâtif, tardif et retardé | | | |
| | Contact opérant plus tôt ou plus tard que les autres contacts d'un même ensemble. 1. Fermeture avancée. 2. Fermeture retardée. 3. Ouverture avancée. 4. Ouverture retardée. | | |
| | Contacts retardés soit à l'ouverture soit à la fermeture (contacts temporisés). 1. Retard à la fermeture. 2. Retard à l'ouverture. 3. Retard dans les deux sens. | | |
| Contacts à deux ou trois positions | | | |
| | Contact à fermeture (contact de travail) | | Contact à ouverture (contact de repos) |
| | Contact à deux directions sans chevauchement (ouverture avant fermeture). | | Contact à deux fermetures |
| | Contact à deux directions avec chevauchement. | | Contact à deux directions avec position médiane d'ouverture. |
| Dispositifs de commande | | | |
| | Commande mécanique manuelle | | Commande par tirette |
| | Commande par poussoir | | Commande rotative |
| | Bouton-poussoir « coup de poing » | | Commande par volant |
| | Commande par levier | | Commande par clé |
| | Commande par pédale | | Commande par moteur électrique |

| SYMBOLES | | 1 B 05 | | |
|---|--|---|---|--|
| Dispositifs de commande (suite) | | | | |
|  1 |  2 | Vanne ou robinet. 1. Symbole 2. Vanne motorisée. | | |
|  1 |  2 | Commande par came et galet. 1. Came 2. Galet 3. Came et galet. Dans certains cas on peut préférer le développement de ce profil (en-dessous). | | |
|  3 |  4 | | | |
| Liaison et dispositifs mécaniques | | | | |
|  1 |  2 | Liaison mécanique. Le double trait est réservé aux tracés dont la faible longueur interdit le trait interrompu. | | |
|  1 | Liaison mécanique avec indication de l'effort transmis. |  2 | Liaison mécanique avec indication du sens de rotation. | |
|  1 | Verrouillage mécanique. |  2 | Dispositif de maintien dans une position donnée. | |
|  1 | Retour automatique. |  2 | Retour non automatique. | |
|  1 |  2  3 | Dispositif d'accrochage. 1. Symbole général. 2. Unidirectionnel en prise. 3. Unidirectionnel libéré. | | |
|  1 | |  2  3  4 | Dispositif d'accrochage bidirectionnel. 1. En prise. 2. Libéré. 3. Mouvement vers la gauche bloqué. 4. Mouvement vers la droite bloqué. | |
|  1 | | | Dispositif d'accrochage automatique. 1. A dégageement manuel. 2. A dégageement électromagnétique. | |
|  1 |  2 |  3 | Frein. 1. Symbole général. 2. Moteur électrique avec frein serré. 3. Moteur électrique avec frein desserré. | |

| SYMBOLES | | 1 8 06 | |
|---|--|--|---|
| Appareils unipolaires | | | |
|  | Commande manuelle appliquée à un contact à fermeture. Symbole général. |  | Bouton poussoir (à retour automatique). 1. à fermeture. 2. à ouverture. |
|  | Tirette d'ouverture (à retour automatique). |  | Bouton rotatif à deux contacts, un à fermeture l'autre à ouverture. (sans retour automatique) |
| Commutateurs à plusieurs directions | | | |
|  | Commutateur unipolaire à grand nombre de directions (ici 5). |  | Commutateur à 4 circuits indépendants à commande manuelle. |
|  | Commutateur unipolaire à 4 directions. |  | Commutateur unipolaire à 4 directions (aucun circuit ne peut être raccordé pour la deuxième direction). |
|  | Commutateur unipolaire à 5 directions avec chevauchement pendant le passage d'une direction à la suivante. |  | Commutateur unipolaire multidirectionnel de mise en parallèle (effet cumulatif). |
|  |  | 1. Diagramme de position pour commutateur. 2. Commutateur unipolaire à 4 directions avec diagramme de position. | |
| Symboles pour condensateurs | | | |
|  | Capacité Condensateur. |  | Condensateur polarisé - Symbole général. |
|  | Condensateur variable - Symbole général. |  | Condensateur électrolytique polarisé. |
|  | Condensateur à ajustabilité prédéterminée. |  | Condensateur électrolytique non polarisé. |

| SYMBOLES | | 1 B 07 | |
|---------------------------------|--|--|---|
| Coupe-circuit à fusibles | | | |
| | | <p>1 - Fusible : symbole général. 2 - L'extrémité du fusible qui après fusion reste sous tension peut être indiquée par un renforcement du trait. 3 - Fusible à percuteur. 4 - Fusible à percuteur avec circuit de signalisation. 5 - Fusible sectionneur. 6 - Interrupteur triphasé à ouverture automatique par fusible à percuteur.</p> | |
| Appareils d'éclairage | | | |
| | | <p>1 - Lampe d'éclairage. Symbole général. Si l'on désire préciser le type de la lampe on place au voisinage du symbole l'une des indications suivantes. IN incandescence Ne néon FL fluorescence Hg mercure etc... 1 - Voyant lumineux de signalisation (id). 2 - Dispositif lumineux clignotant. 3 - Point d'attente pour un appareil d'éclairage. 4 - Tube à gaz avec bilame (starter). 5 - Voyant mécanique.</p> | |
| Organes électriques | | | |
| | | <p>— Symboles de variabilité. 1 - Variabilité extrinsèque. Symbole général. 2 - Variabilité extrinsèque non linéaire. 3 - Ajustabilité prédéterminée. 4 - Variabilité intrinsèque linéaire. 5 - Variabilité intrinsèque non linéaire. 6 - Variabilité dépendant de x.</p> | |
| | Résistance : symbole général. | | Enroulement de machine ou d'appareil. |
| | Résistance à variabilité extrinsèque. Symbole général. | | Résistance potentiométrique à contact mobile. |
| | Résistance à variabilité intrinsèque non linéaire dépendant de la tension. | | Résistance à coefficient de température négatif (ther- mistance). |
| | Inductance (2 variantes). | | Inductance avec noyau ferro-magnétique (2 va- riantes). |
| | | | |

| SYMBOLES | | 1 B 08 |
|---|---|--------|
| Organes électromécaniques | | |
|  | <p>Commande électromécanique : symbole général (2 variantes) La forme 1 sera utilisée pour représenter les bobines des relais et contacteurs.</p> | |
|  | <p>Détection des surintensités : 1. Effet électromagnétique 2. Effet thermique 3. Effet magnétique et thermique (magnéto-thermique).</p> | |
|  | <p>Contact à ouverture agissant par effet thermique : 1. Direct 2. Indirect.</p> | |
|  | Aimant permanent. | |
| Organes de commande des relais électriques | | |
|  | <p>Organe de commande d'un relais. 1. Avec un seul enroulement 2. Avec indication de la résistance.</p> | |
|  | <p>Organe de commande d'un relais avec 2 enroulements (2 variantes).</p> | |
|  | <p>Organe de commande d'un relais bistable. Note : La lettre repère commune (par ex. A) est complétée par des lettres minuscules placées en indice qui correspondent respectivement aux positions prises par les contacts lorsque l'enroulement correspondant est alimenté.</p> | |
|  | <p>Relais polarisé 1. Organe de commande 2. Quand la borne de l'enroulement identifiée par un point est positive le contact se déplace vers la position marquée d'un point.</p> | |
|  | <p>Organe de commande d'un relais retardé. 1. Relâchement (mise au repos) retardé 2. Action (mise au travail) retardée. 3. Relâchement et action retardés.</p> | |
|  | <p>Organe de commande d'un relais 1. Insensible au courant alternatif 2. Fonctionnant en courant alternatif 3. A verrouillage mécanique.</p> | |
|  | <p>Organe de commande d'un relais thermique. 1. Unipolaire 2. Tripolaire.</p> | |

| SYMBOLES | | 1 B 09 |
|---|---|--|
| Appareils de type particulier | | |
|  | Contact à 3 positions et 2 directions, à retour automatique pour la direction de gauche et à position maintenue à droite. |  |
|  | Contact à mercure à 3 positions et 2 directions (à retour automatique). |  |
| Prises, fiches, jacks | | |
|  | Fiche coaxiale |  |
|  | Douille de jack |  |
|  | Fiche et jack bipolaire. Trait long : pointe de la fiche. Trait court : corps de la fiche. |  |
| Signalisation sonore | | |
|  | Avertisseur sonore Klaxon |  |
|  | Sonnerie |  |
|  | Sonnerie à un coup. |  |
| Horloges | | |
|  | Horloge : symbole général. |  |
|  | Horloge à contacts |  |
|  |  | 1. Horloge à dispositif de remontage par moteur électrique. 2. Interrupteur tripolaire fermé de 18 h à 23 h avec horloge de commande à dispositif de remontage par moteur électrique. |

PROTECTION, COMMANDE ET SECTIONNEMENT

1 B 10

EXTRAIT DE LA NORME N. F. C 15-100

Tableau de la disposition des appareils suivant la nature des circuits.

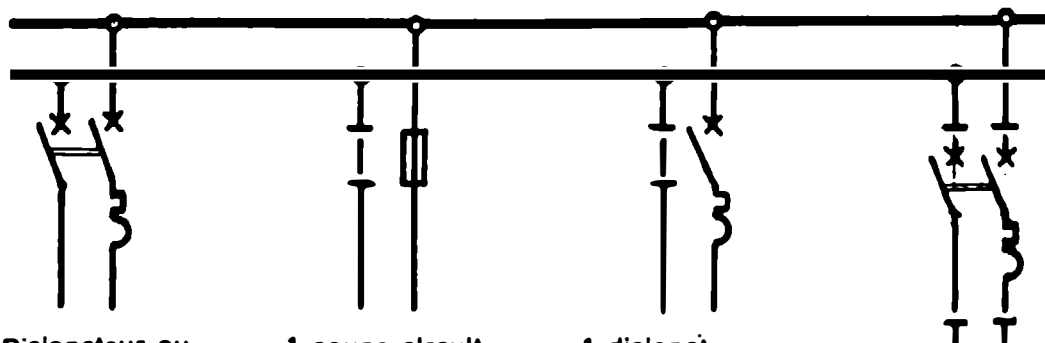
| Circuits (<u>neutre relié directement à la terre</u>) | Protection électrique | | Commande | | Section- nement |
|--|-----------------------------------|--------------------------|--|---|--------------------|
| | Détection des surintensités | Coupure du circuit | Circuits Appareils de puissance $P \leq 1000$ W | Appareils de puissance supérieure à 1000 W | |
| <u>Monophasés entre phase et neutre</u> | 1 Ph | 1 Ph | 1 Ph | 1 Ph + N | 1 Ph + N |
| <u>Monophasés entre phases avec disjoncteur différentiel</u> <u>sans disjoncteur différentiel</u> | 1 Ph | 1 Ph | 1 Ph | 2 Ph | 2 Ph |
| | 2 Ph | 2 Ph | 1 Ph | 2 Ph | 2 Ph |
| <u>Triphasés avec neutre</u> Section du neutre égale à la section des conducteurs de phase | 3 Ph | 3 Ph | 3 Ph | 3 Ph + N | 3 Ph + N |
| <u>Section du neutre inférieure</u> <u>Triphasés sans neutre</u> | 3 Ph + N | 3 Ph | 3 Ph | 3 Ph + N | 3 Ph + N |
| | 3 Ph | 3 Ph | 3 Ph | 3 Ph | 3 Ph |

Règle générale : Commande et protection sur les fils de phase sectionnement sur les fils de phase et le neutre.

Si le neutre est protégé le dispositif de protection doit provoquer automatiquement la coupure sur les autres conducteurs.

Exemples :

Circuits monophasés entre phase et neutre ou entre phases avec disjoncteur différentiel en amont.



Disjoncteur ou discontacteur bipolaire (1 pôle protégé, 2 pôles coupés).

1 coupe-circuit à fusibles sur le conducteur de phase. 1 dispositif de sectionnement sur le neutre.

1 disjoncteur ou discontacteur unipolaire sur le conducteur de phase. 1 dispositif de sectionnement sur le neutre.

Disjoncteur ou discontacteur bipolaire débrochable.

PROTECTION, COMMANDE ET SECTIONNEMENT

1 B 11

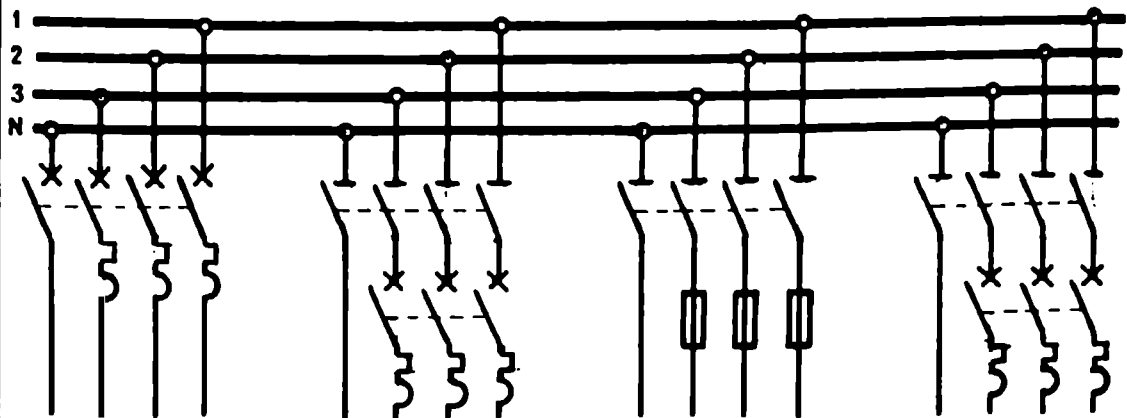
Circuits monophasés entre phase sans disjoncteur différentiel en amont (peu courant)

Protection électrique sur les 2 phases.

Commande par coupure sur une phase pour les circuits et les appareils de puissance inférieure à 1 000 W.

Coupure sur les 2 phases pour puissance supérieure à 1 000 W.

Circuits triphasés avec neutre de même section que les conducteurs de phase



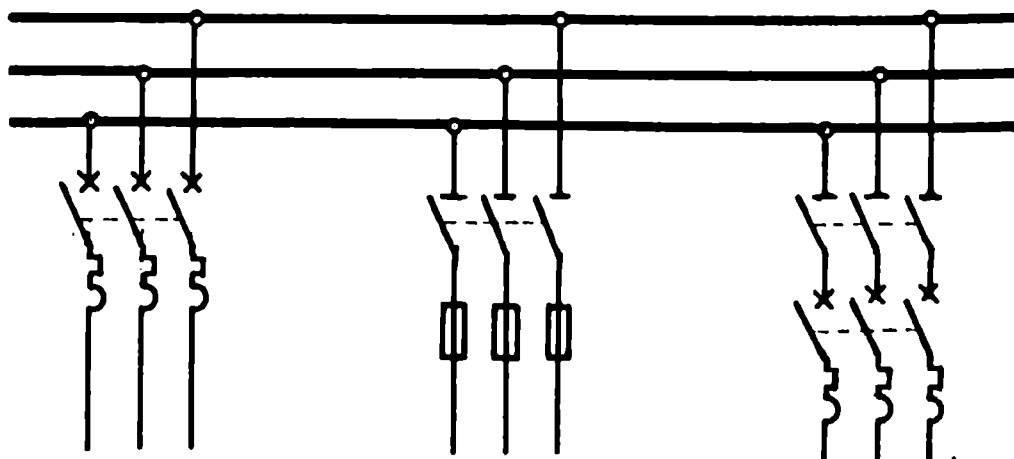
Disjoncteur ou discontacteur tétrapolaire à 3 pôles protégés.

Disjoncteur ou discontacteur tripolaire sectionneur (ou interrupteur) tétrapolaire.

3 coupe-circuits à fusibles sur les phases sectionneur (ou interrupteur) tétrapolaire.

3 disjoncteurs (ou discontacteurs) unipolaires sur les phases. Sectionneur (ou interrupteur) tétrapolaire.

Circuits triphasés sans neutre.



Disjoncteur ou discontacteur tripolaire.

3 coupe-circuits à fusibles sectionneur (ou interrupteur) tripolaire.

3 disjoncteurs unipolaires sectionneur (ou interrupteur) tripolaire.

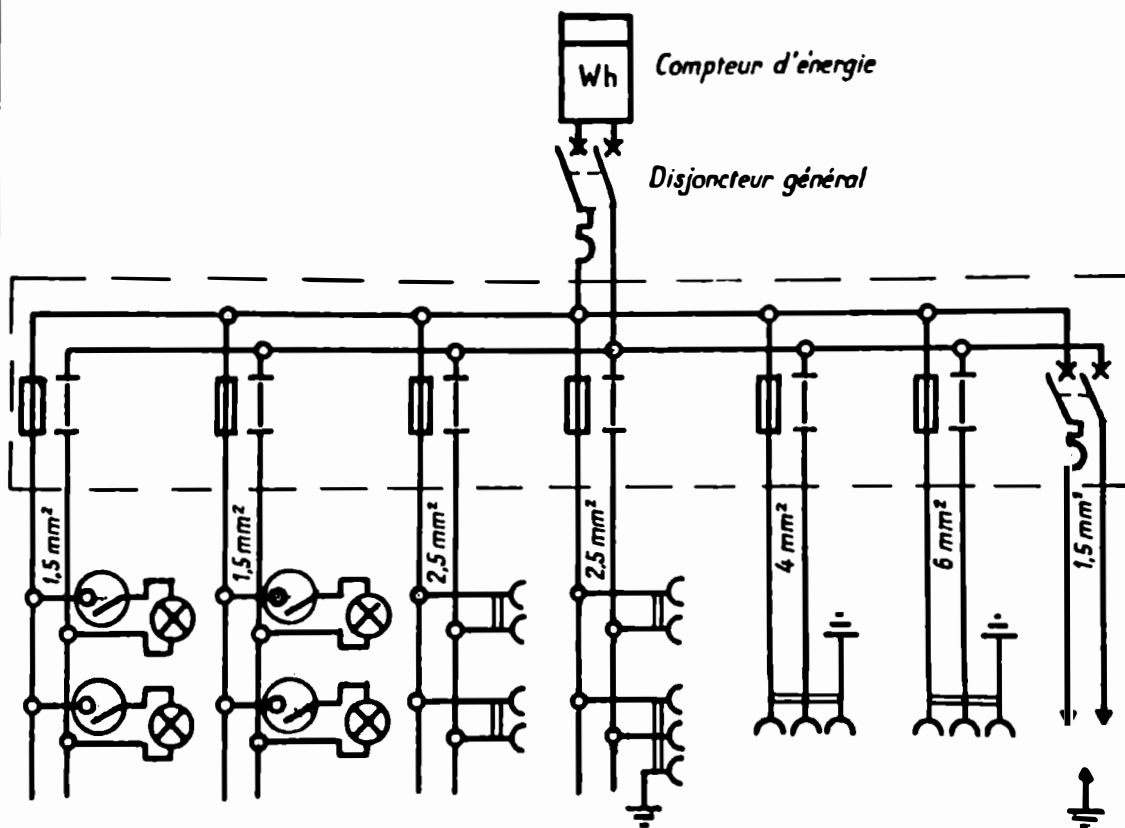
RÉALISATION DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES DOMESTIQUES

1 B 12

Les logements édiés par l'État ou avec le bénéfice de l'aide de l'État sont soumis à une réglementation concernant leur installation électrique.

Ainsi en plus du respect des règlements techniques de pose (norme U. T. E. C 15-100) l'installation des logements doit en ce qui concerne la puissance installée et la répartition des circuits répondre à des valeurs minimales.

Exemple de distribution :



Circuits lumière
section des conducteurs
 $1,5 \text{ mm}^2$.
(Voir les autres
montages lumière,
pages suivantes.)

Circuits prises
de courant confort
section $2,5 \text{ mm}^2$.
Prise de terre dans
cuisine, salle d'eau
et pièces dont le sol
est conducteur.

Socle de prise de courant
pour machine à laver.

Socle de prise de courant
pour cuisinière.

Circuit chauffage central.
(Lorsque la chaufferie a
une puissance supérieure
à 60 th/h .)

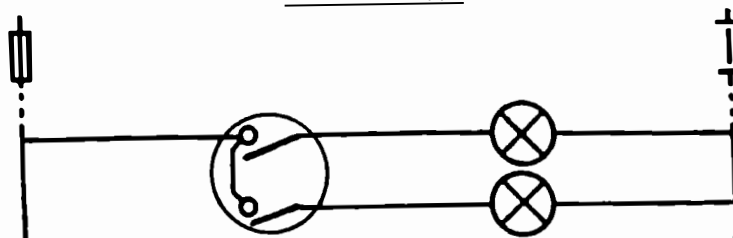
Protection et coupure sur fil de phase.
Nombre maximal de points desservis
par chaque circuit : 8.

MONTAGES LUMIÈRE : DOUBLE ALLUMAGE

1 C 01

But : Etablir ou interrompre 2 circuits différents d'un seul endroit.

Schéma développé



Appareil utilisé : Commutateur à 2 directions pour simple et double allumage appelé « commutateur double allumage ».

Autres représentations possibles du commutateur "double allumage" :

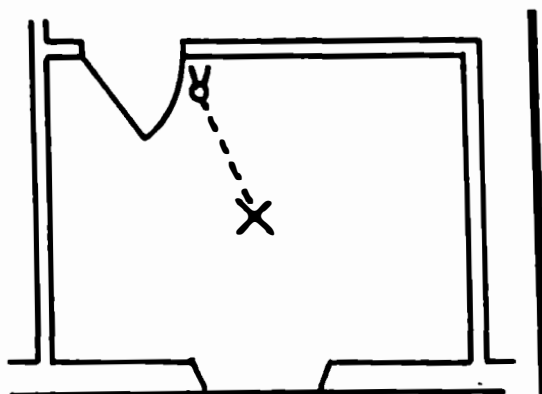


A bascule comme ci-dessus.
Revoir pl. 1 B 03 pour les symboles.

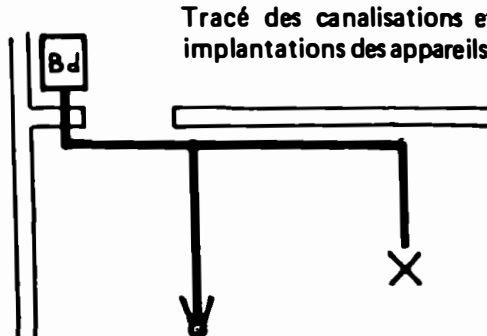


Type rotatif.
Chaque 1/4 de tour de la partie centrale donne une nouvelle position.

Schéma architectural

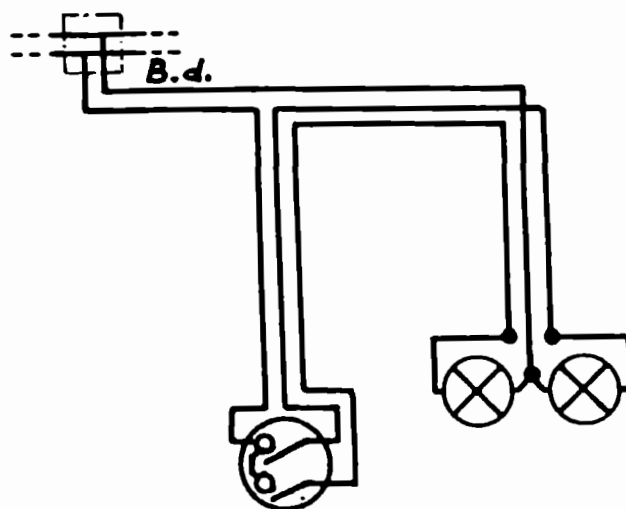


Tracé des canalisations et implantations des appareils.



Remarque : Le conduit qui descend du commutateur est représenté dans le même plan que celui qui va à la lampe.

Schéma général des connexions



B. d. : Boîte de dérivation permettant le raccordement sur le circuit lumière.

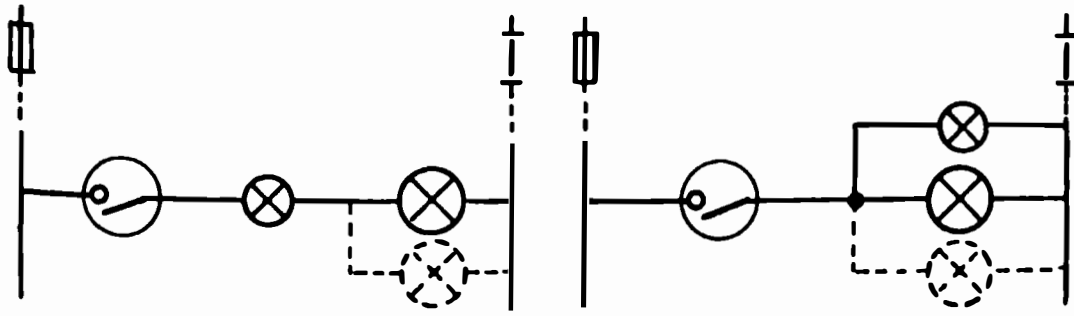
A l'origine de ce circuit, on trouve :

- 1 coupe-circuit à fusible sur le fil de phase
- 1 dispositif de sectionnement sur le fil neutre (schéma développé ci-dessus).

MONTAGES LUMIÈRE : LAMPE TÉMOIN

1 C 02

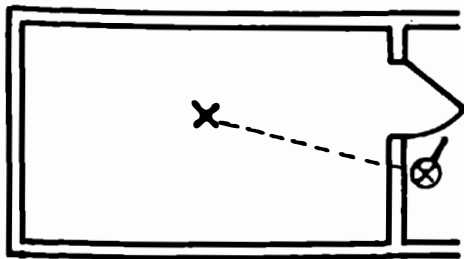
But : La lampe témoin est montée à l'intérieur ou à proximité de l'interrupteur qui commande une lampe située dans un autre local. Elle s'allume et s'éteint en même temps que celle-ci.

Schéma développé

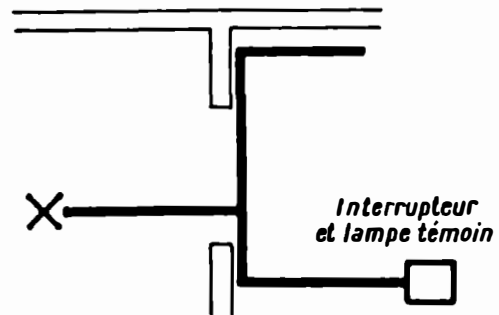
Lampe témoin montée en série

Lampe témoin montée en parallèle

Appareil utilisé : Interrupteur ordinaire ou interrupteur à lampe témoin. En pointillé, branchement d'une 2ème lampe principale dans le cas de commande de 2 lampes principales.

Schéma architectural

Tracé des canalisations et implantations des appareils.

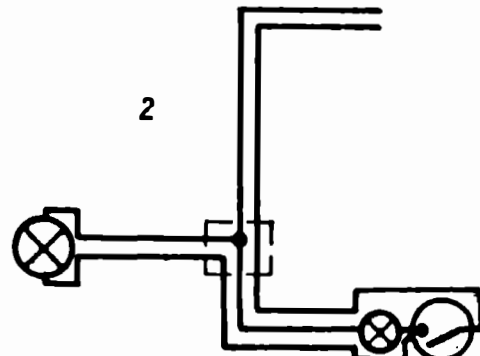
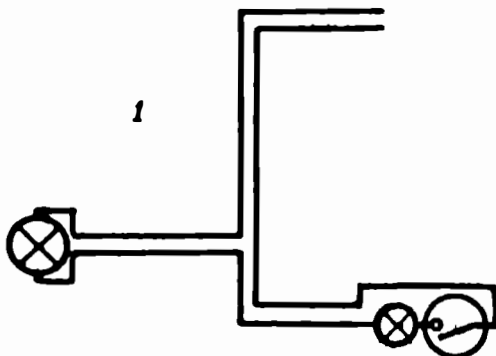


Interrupteur
et lampe témoin

Schéma général des connexions

1 - Lampe témoin montée en série

2 - Lampe témoin montée en parallèle

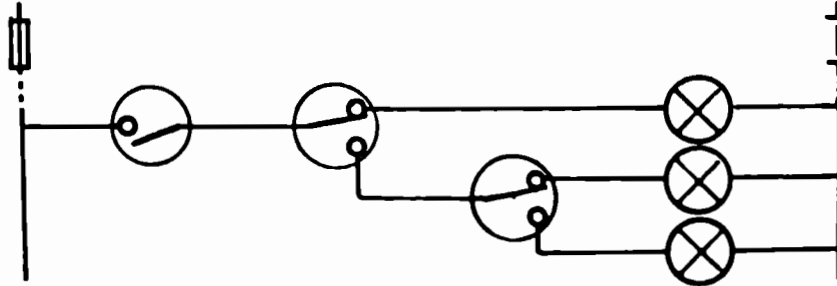


MONTAGES LUMIÈRE : ALLUMAGE EN CASCADE

1 C 03

But : Interrompre un circuit et en établir un autre à l'aide d'un même appareil.

Schéma développé



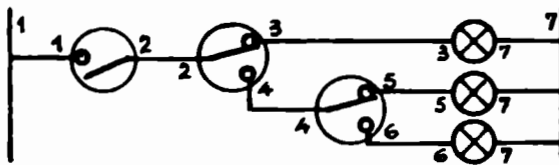
Appareils utilisés : 1 interrupteur et autant de commutateurs « va et vient » (voir page suivante) qu'il y a de lampes moins une.

Fonctionnement : Avec l'interrupteur on allume la 1ère lampe ; puis en manœuvrant le commutateur suivant on éteint la 1ère lampe et on allume la suivante... et ainsi de suite.

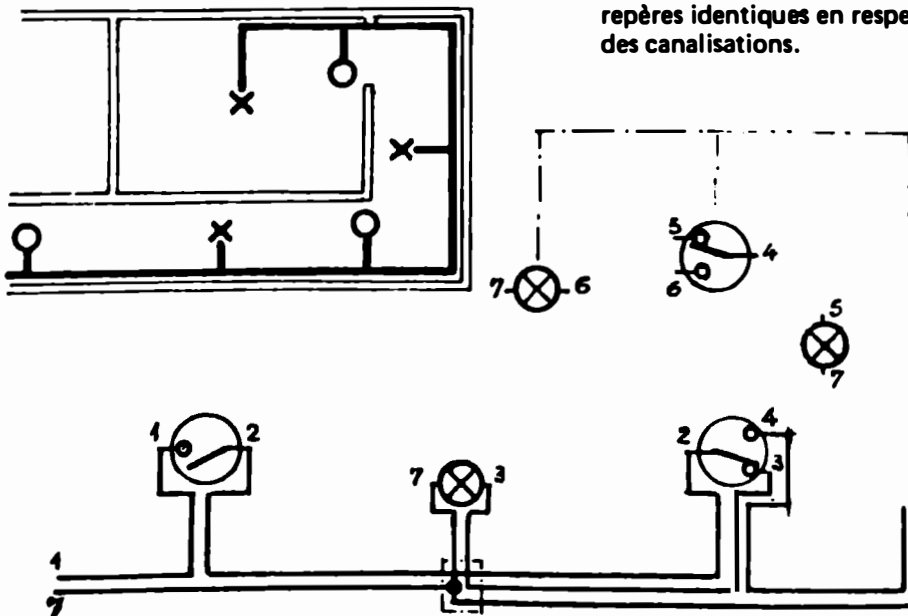
Pour revenir au point de départ on effectue les opérations en sens inverse.

Note : Ce montage est souvent utilisé avec 2 lampes dans les laboratoires photo.

Remarques pour l'établissement du schéma général des connexions



Ci-dessous, tracé des canalisations et implantation des appareils.



Si l'établissement du schéma général des connexions paraît compliqué, on procède comme ci-après.

1°) sur le schéma développé on affecte chaque borne d'un repère se trouvant aux extrémités d'un conducteur non coupé.

2°) On dessine ces appareils à leur emplacement réel avec les repères du schéma développé.

3°) On joint par un conducteur tous les repères identiques en respectant le tracé des canalisations.

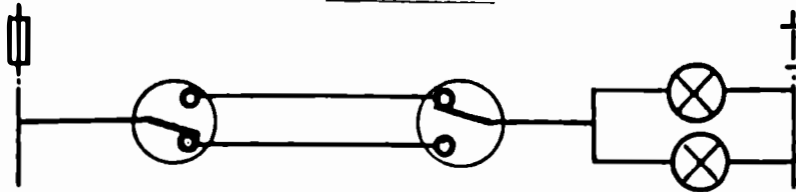
Ci-contre
début du
schéma
général
des
connexions

MONTAGES LUMIÈRE : VA-ET-VIENT : PERMUTATEUR

1 C 04

But : Etablir ou interrompre un circuit de 2 endroits différents.

Schéma développé



Appareils utilisés : 2 commutateurs « va et vient » (2 directions - 2 positions).

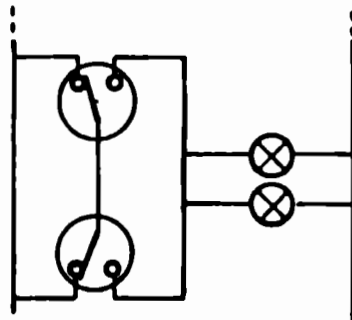
Autres représentations possibles du commutateur « va et vient »



A bascule comme ci-dessus.
Revoir pl. 1 B 03 pour les symboles.



Type rotatif.
Chaque 1/4 de tour de la partie centrale donne la 2ème position.



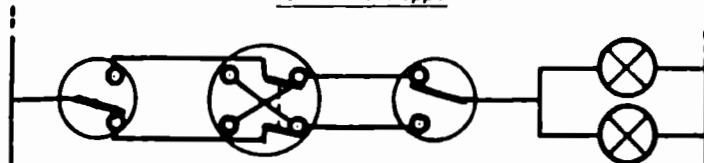
Ci-contre, autre schéma développé pour montage « va et vient »

Montage assez peu utilisé mais qui peut présenter un intérêt du fait que le fil de phase est raccordé à chaque commutateur.

Montage permutateur ou « cage d'escalier »

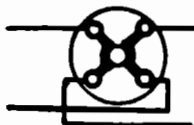
But : Etablir un circuit de 3 endroits différents (ou plus).

Schéma développé



Appareils utilisés : 2 commutateurs « va et vient » et 1 commutateur inverseur (permutateur).

Autre représentation possible du commutateur inverseur ou permutateur



Type rotatif.
Remarquer le branchement des fils. L'inversion se fait à chaque 1/4 de tour.

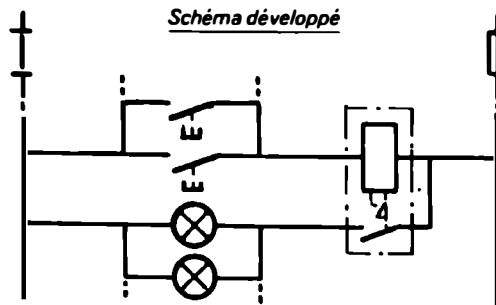
Ce type de montage permet théoriquement un commandement d'un très grand nombre de points. En fait il est très peu fiable au-delà de 3 appareils (multiplicité des contacts en série) et n'est plus guère utilisé actuellement. On le remplace par la commande par télérupteur beaucoup plus fiable et souvent plus économique (voir page suivante).

MONTAGES LUMIÈRE : TÉLÉRUPTEUR

1 C 05

Le télérupteur est un appareil commandé à distance par des impulsions électriques. Une impulsion ouvre ou ferme un contact ; l'impulsion suivante joue le rôle inverse et ainsi de suite (vocabulaire électrotechnique).

1°) BOBINE DU TÉLÉRUPTEUR ET LAMPES FONCTIONNENT
SOUS LA MÊME TENSION

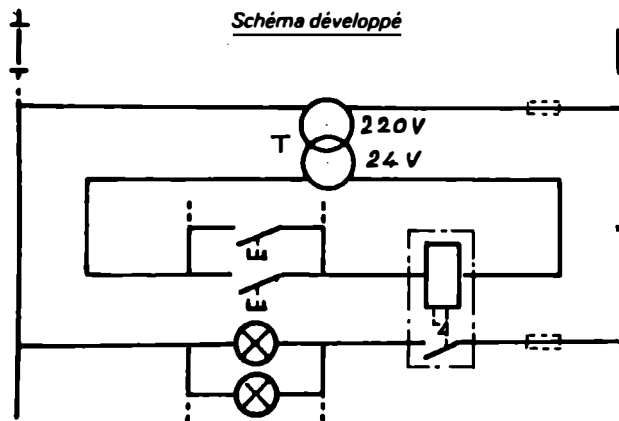


Appareils utilisés : 1 télérupteur et des boutons-poussoirs (voir pl. 1 B 05, 08, pour les symboles).

Remarque : Les télérupteurs actuels ont 4 bornes. On peut les raccorder comme ci-contre (avec point commun sur le télérupteur).

On peut aussi disposer les boutons-poussoirs entre bobine et fil de phase (montage préconisé par consuel, pour les locaux d'habitation).

2°) BOBINE DU TÉLÉRUPTEUR ET LAMPES FONCTIONNENT
SOUS DES TENSIONS DIFFÉRENTES



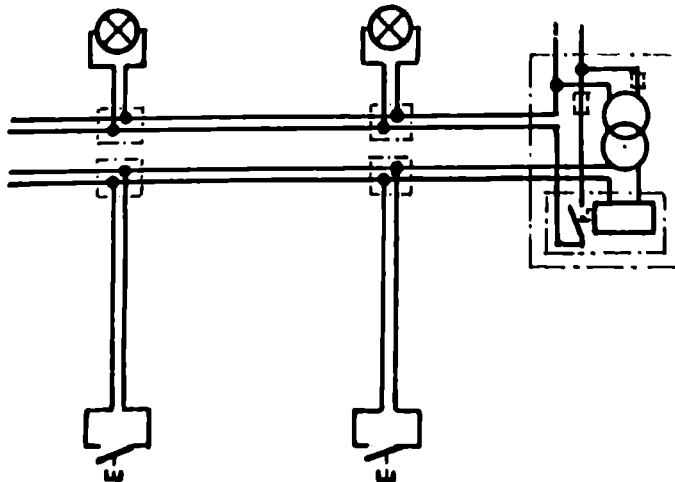
Appareils utilisés :
1 télérupteur (bobine 24 V)
1 transformateur (repère T)
220 V - 24 V

Des boutons poussoirs

Remarque : Le circuit bobine et le circuit lampes sont différents (aucun point commun).

Protection : On peut protéger séparément le primaire du transformateur et le circuit des lampes (en pointillé).

Exemple de schéma général des connexions



Les canalisations qui correspondent aux 2 circuits cités ci-dessus sont totalement différentes :
(un conduit - ou un câble - par circuit).

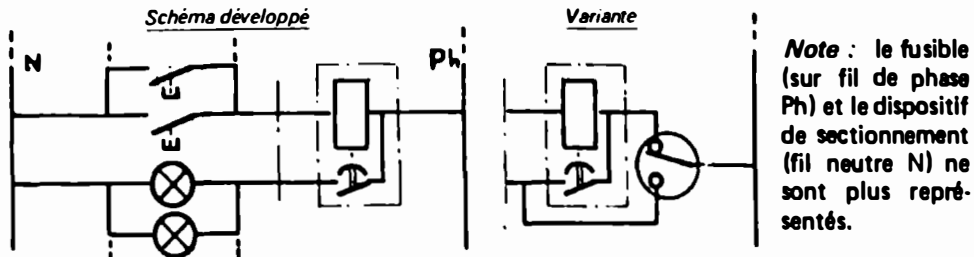
MONTAGES LUMIÈRE : MINUTERIE

1 C 06

La minuterie est un appareil commandé à distance qui ayant reçu une impulsion ferme un contact. Ce contact s'ouvrira ensuite de lui-même au bout d'un temps déterminé.

1°) Minuterle à balancier (type AS)

A - MONTAGE A RÉARMEMENT TOUJOURS POSSIBLE



Appareils utilisés : 1 minuterie à balancier type A.S. commandée par boutons poussoirs (pour symboles voir pl. 1 B 03, .. 04, .. 08).

Fonctionnement : Une pression sur un bouton poussoir excite la minuterie que les lampes soient allumées ou éteintes. La durée de la temporisation (temps qui s'écoule entre la fin de l'excitation de la bobine et l'extinction des lampes) compte à partir de la dernière impulsion donnée par un bouton poussoir.

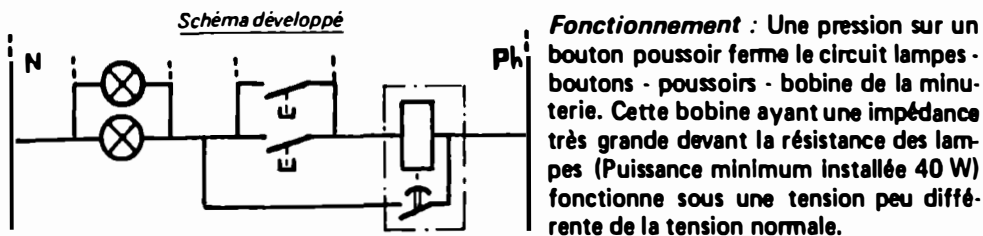
Ce montage est également appelé *montage avec effet*.

Remarques : 1. Le point commun circuit bobine, circuit lampes est réalisé à l'intérieur de la minuterie.

Il n'y a pas de 2ème montage possible comme pour le télérupteur.

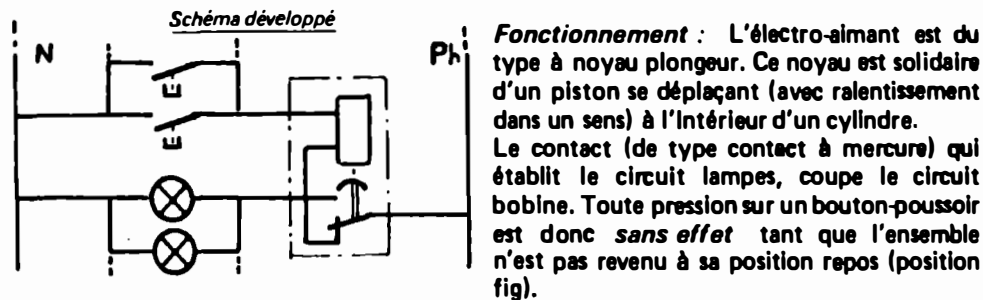
2. La variante du schéma développé permet d'avoir fonctionnement en minuterie ou lampes allumées en permanence (selon position du commutateur).

B - MONTAGE A RÉARMEMENT POSSIBLE LES LAMPES ÉTEINTES SEULEMENT



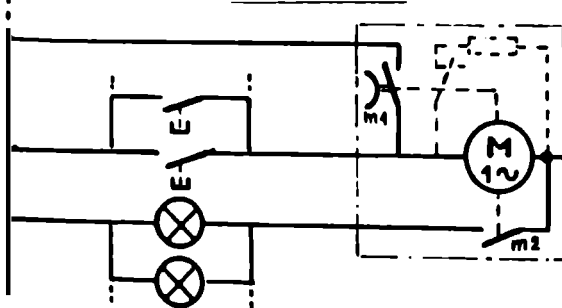
Le contact de la minuterie une fois fermé, toute pression sur un bouton poussoir est *sans effet* (d'où un 2ème nom de montage) tant que ce contact ne s'est pas ouvert.

2°) Minuterle à ralentisseur à piston



3°) Minuterie à moteur

Schéma développé



Fonctionnement : Une pression sur un bouton poussoir met en marche le moteur qui par l'intermédiaire d'engrenages et de cames établit instantanément les contacts m1 et m2.

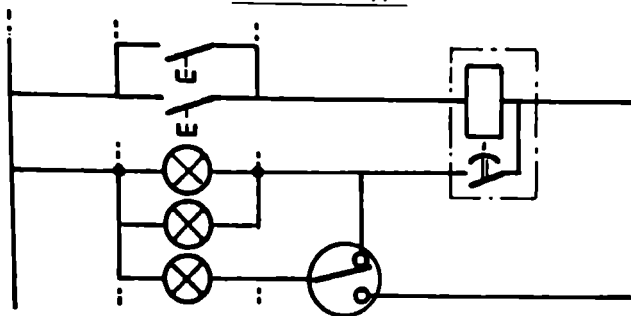
L'alimentation du moteur se continue grâce au contact m1 (l'action sur un bouton-poussoir est alors sans effet).

Au bout d'un temps prédéterminé (réglage des cames), les contacts s'ouvrent.

4°) Montages particuliers pour minuterie

A - MONTAGE MINUTERIE PLUS COMMANDE SÉPARÉE D'UNE LAMPE

Schéma développé

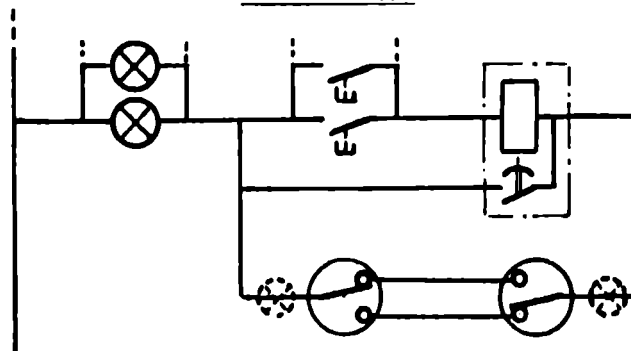


Fonctionnement : Selon la position du commutateur va et vient on a :

1. Fonctionnement de toutes les lampes en minuterie.
2. Fonctionnement d'une partie des lampes en minuterie, les autres lampes restant allumées en permanence (Hall d'hôtel - avec position jour-nuit par ex).

B - MONTAGE MINUTERIE PLUS ALLUMAGE PERMANENT
OBTENU DE 2 POINTS DIFFÉRENTS

Schéma développé



Fonctionnement : Les lampes fonctionnent en minuterie (montage à réarmement possible les lampes éteintes seulement - ci-contre - ou autre montage). Mais on peut obtenir l'allumage permanent de 2 endroits différents grâce au montage va et vient ajouté comme ci-contre.

Remarque : On peut contrôler, à chaque commutateur, la position allumage permanent par 2 lampes-témoin montées en série (en pointillé).

Autres types de minuterles

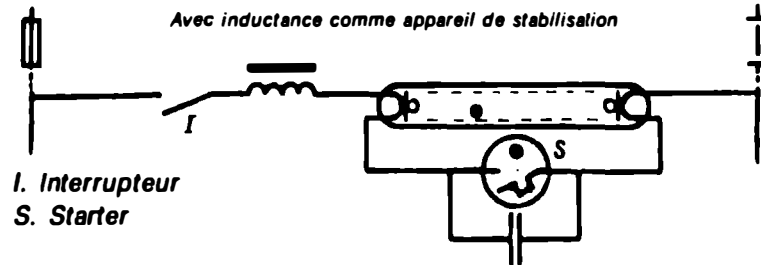
Il existe d'autres types de minuterie notamment des minuterles électroniques. Leur raccordement se fait comme l'un des raccordements étudiés ci-dessus.

MONTAGES DE TUBES FLUORESCENTS ET DES TUBES LUMINESCENTS

1 C 08

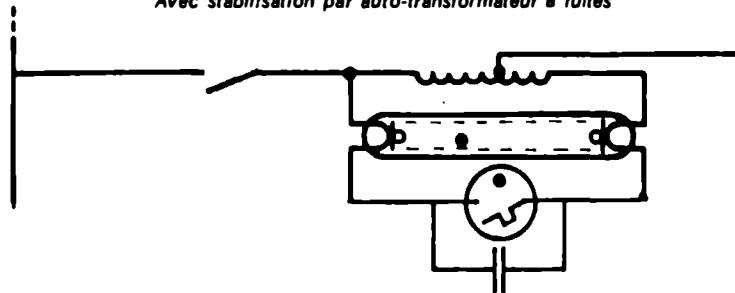
TUBES FLUORESCENTS

Avec inductance comme appareil de stabilisation

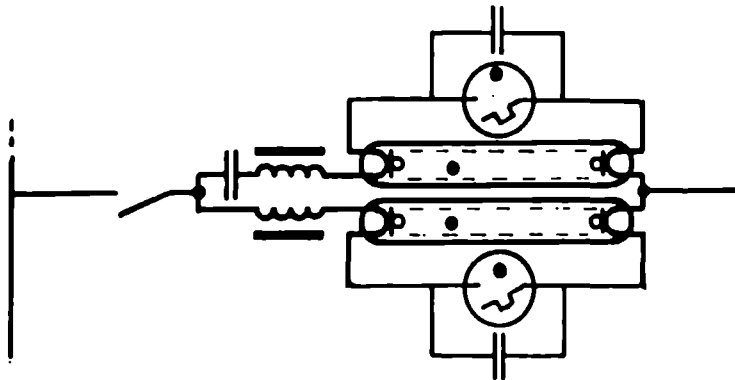


*I. Interrupteur
S. Starter*

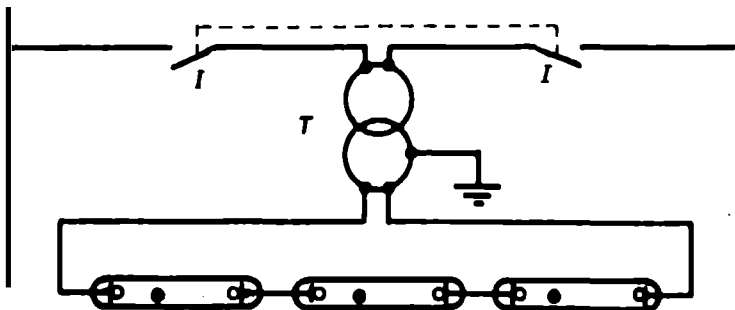
Avec stabilisation par auto-transformateur à fuites



2 tubes fluorescents : montage duo



TUBES LUMINESCENTS



T : transformateur à fuites mis à la terre

GÉNÉRALITÉS SUR LES RELAIS

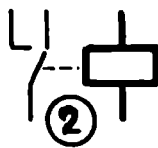
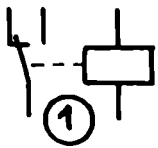
1 D 01

Relais électromagnétique : (voir symboles pl 1 B 08). C'est un appareil composé d'une bobine (électro-aimant) qui lorsqu'elle est parcourue par du courant électrique agit sur un ou plusieurs contacts.

Note 1 : Les exemples ci-dessous qui concernent les types de relais les plus utilisés sont représentés avec un contact double (à ouverture et fermeture). Commercialement on trouve des relais qui peuvent avoir jusqu'à 4 contacts doubles.

Remarque : Ci-dessous en trait fort, bobine parcourue par du courant.

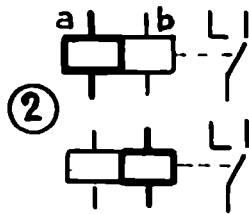
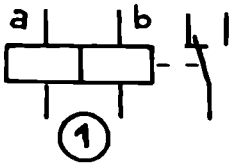
Relais à simple enroulement (type monostable)



Lorsque le courant passe dans la bobine les contacts changent immédiatement d'état. Lorsque le courant cesse, les contacts reviennent immédiatement à leur position initiale (pos. 1).

Ce type de relais existe en courant alternatif et en courant continu.

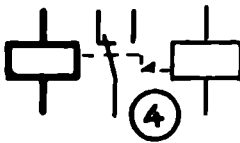
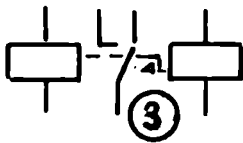
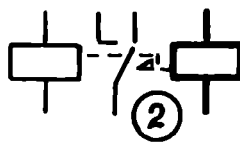
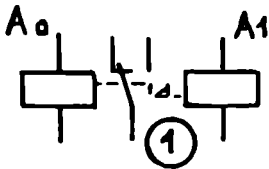
Relais à double enroulement (type monostable)



Le relais fonctionne (changement d'état des contacts) lorsque le courant passe dans la bobine «a» du relais ou dans la bobine «b» ou à la fois dans la bobine «a» et dans la bobine «b».

Ce type de relais existe en courant alternatif et en courant continu.

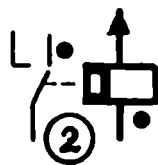
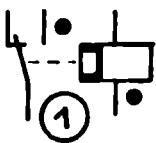
Relais bistable



Les contacts se trouvent en position fig. 1. Si le courant passe dans la bobine A_1 , les contacts changent d'état (position fig. 2) mais contrairement au relais monostable, ils restent dans cet état lorsque le courant ne passe plus dans la bobine A_1 (position fig. 3). Si on fait passer un courant dans la bobine A_0 , les contacts reviennent en position initiale.

Ce type de relais existe en courant alternatif et en courant continu.

Relais polarisé



Le relais fonctionne si un courant continu passe dans le sens tel que la borne repérée par un point noir soit positive (sens de la flèche : fig. 2).

Il ne fonctionne pas si le sens du courant est différent (sens de la flèche : fig. 3).

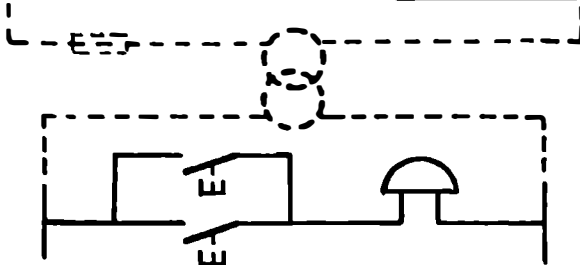
Note 2 : Les contacts des relais monostables sont représentés en position repos et ceux des relais bistables en position 0 (repères 1 ci-dessus).

Note 3 : On dispose les contacts indifféremment à droite ou à gauche de la bobine.

MONTAGES SONNERIE

1 D 02

COMMANDE DE SONNERIE

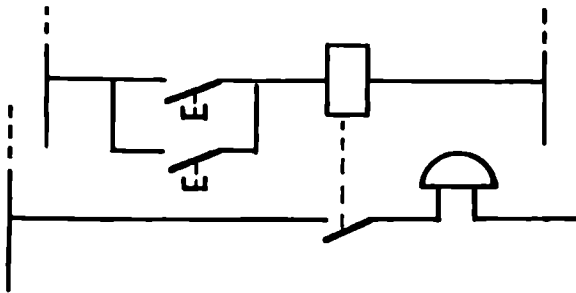
Schéma développé

Fonctionnement: soit sous tension du réseau, soit sous tension réduite (pour des raisons de sécurité).

1 - En courant alternatif : tension réduite obtenue par transformateur (représentation en pointillé).

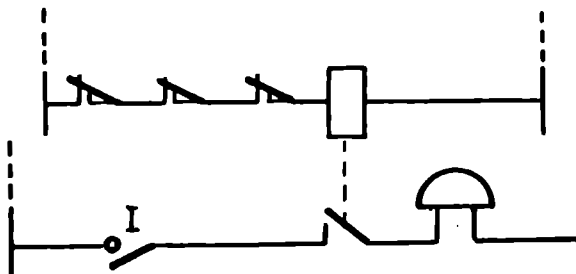
2 - En courant continu.

SONNERIE COMMANDÉE PAR RELAIS

Schéma développé avec boutons-poussoirs à fermeture

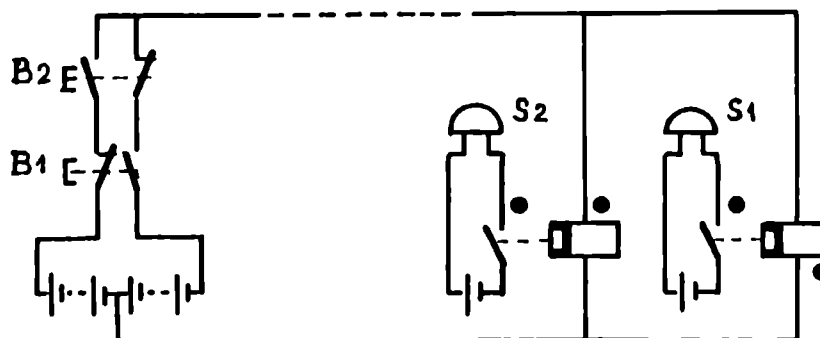
L'avantage de ce montage est de pouvoir faire fonctionner le relais d'une part et la sonnerie d'autre part sous 2 tensions différentes (raison de sécurité par exemple).

Mais on peut également faire fonctionner les 2 circuits sous la même tension.

Schéma développé avec contacts de position à ouverture

Ce montage peut convenir pour réaliser un dispositif d'alarme élémentaire. Les contacts à ouverture montés en série sont disposés dans des feuillures de portes ou fenêtres. L'ouverture de ceux-ci coupe l'alimentation du relais et met la sonnerie sous tension. L'interrupteur « I » coupe le circuit de la sonnerie.

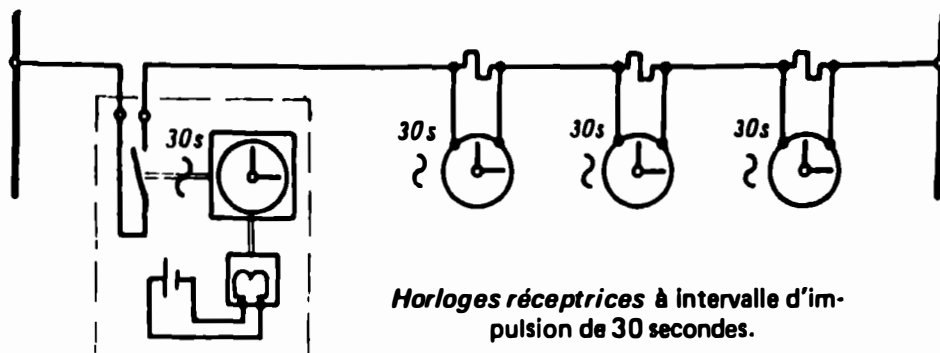
Note : Le contact du relais est exceptionnellement représenté en position travail.

Exemple de simplification obtenue avec relais polarisés

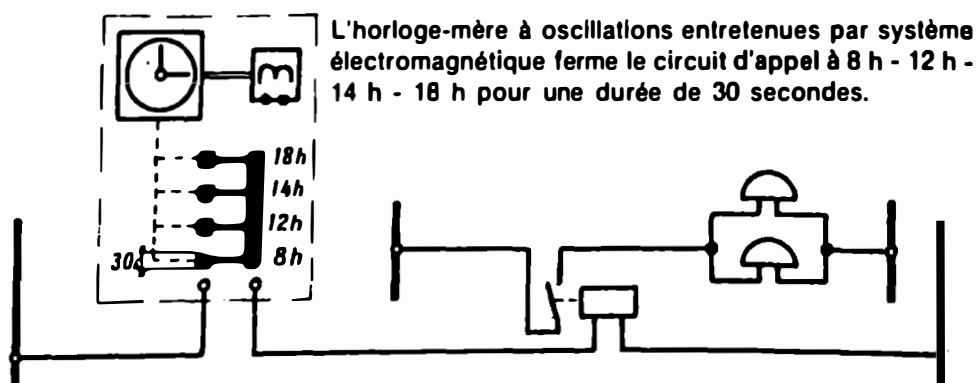
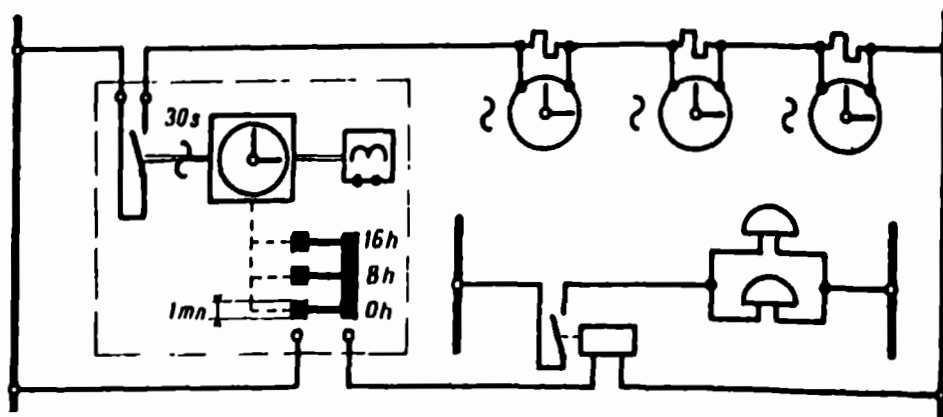
B₁ commande S₁
B₂ commande S₂

DISTRIBUTION DE L'HEURE

1 0 03

HORLOGE-MÈRE COMMANDANT DES HORLOGES RÉCEPTRICES

Horloge-mère à oscillations entretenues par système électromagnétique envoyant des impulsions de courant toutes les 30 secondes.

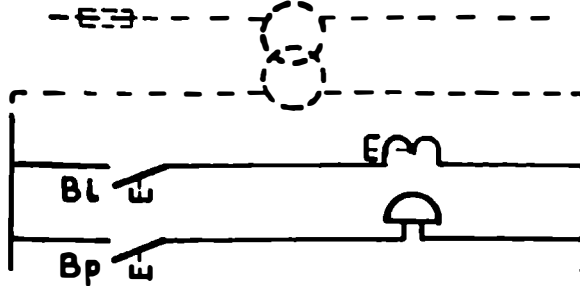
HORLOGE-MÈRE COMMANDANT DES APPAREILS AVERTISSEURS A HEURE FIXEHORLOGE-MÈRE COMMANDANT DES HORLOGES RÉCEPTRICES ET DES APPAREILS AVERTISSEURS A HEURE FIXE

MONTAGE GACHE ET SONNERIE

1 D 04

But : La gâche électrique permet l'ouverture à distance d'une porte.

Schéma développé pour gâche et sonnerie d'appel

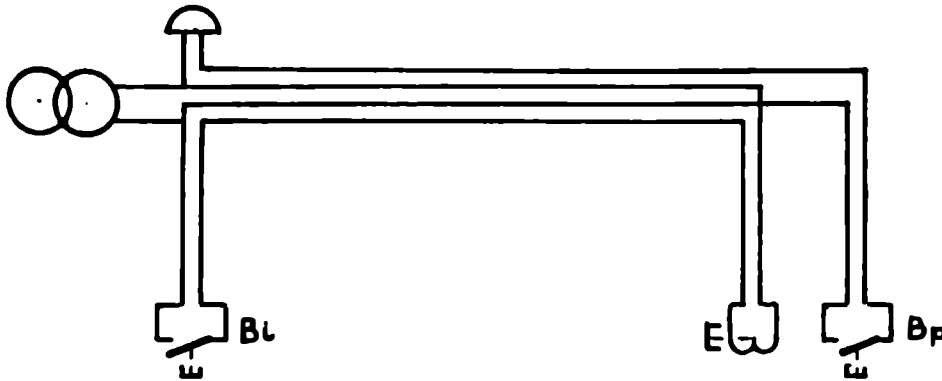


Fonctionnement : Bi (bouton Intérieur) commande la gâche électrique.

Bp (bouton porte) commande la sonnerie d'appel.

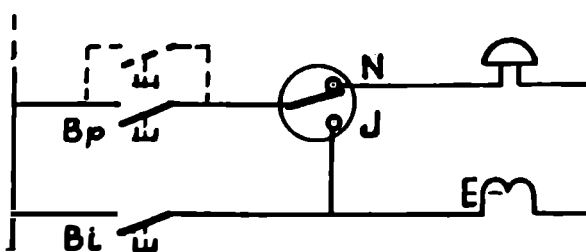
Ce fonctionnement a lieu en général sous tension réduite.

Exemple de schéma général des connexions



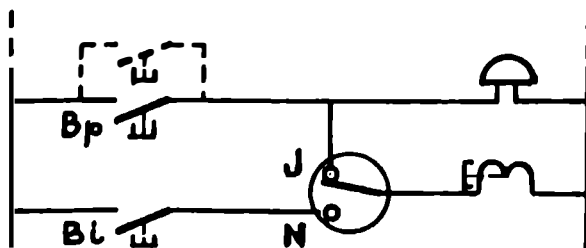
MONTAGE AVEC COMMUTATEURS JOUR-NUIT

Schéma développé : variante 1



Le bouton poussoir Bi, situé chez le concierge commande la gâche seulement lorsque le commutateur est en position nuit. Le ou les boutons Bp placés à la porte d'entrée commandent la sonnerie la nuit et la sonnerie plus la gâche le jour.

Schéma développé : variante 2



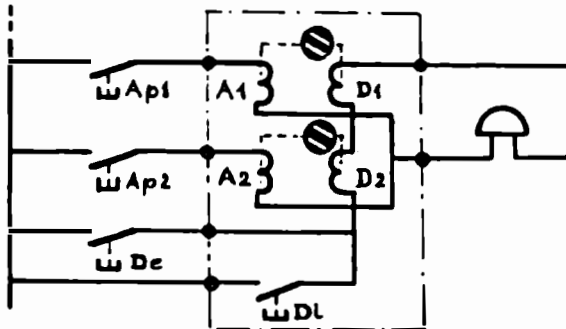
Le bouton poussoir Bi situé chez le concierge commande la gâche aussi bien le jour que la nuit. Le ou les boutons Bp placés à la porte d'entrée commandent la gâche le jour et la sonnerie la nuit selon la position du commutateur.

TABLEAUX A VOYANTS DE SIGNALISATION

1 D 05

But : Repérer l'endroit d'où provient un appel.

Schéma développé : tableau à 2 voyants



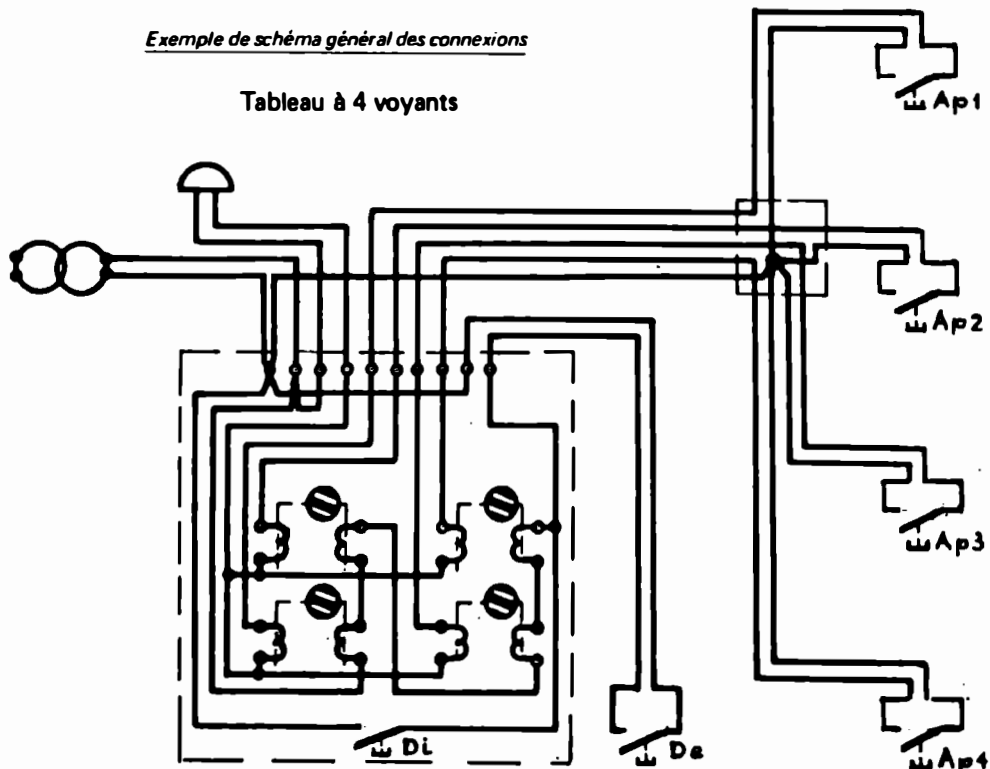
Fonctionnement : Le voyant qui peut occuper 2 positions stables se trouve sous un capot percé de fenêtres. Lorsque l'on appuie sur un bouton-poussoir Ap (Appel) la sonnerie retentit et le voyant apparaît dans une fenêtre. Il reste dans cette position lorsque l'on n'appuie plus sur le bouton Ap. Lorsque l'on appuie sur un des boutons De ou DI le voyant disparaît.

Remarque : 1. Chaque bobine « Appel » est montée en série avec la sonnerie.
2. Les bobines « Disparition » sont montées également en série mais pour des raisons technologiques (tension de fonctionnement identique à celle des bobines « Appel »).

Note importante : Le tableau à voyants est un des rares exemples dans lequel les appareils d'utilisation (ici sonnerie et bobine d'Appel) se montent en série. Cette exception ne doit pas faire oublier que dans la très grande majorité des cas le montage normal des appareils d'utilisation est le montage en parallèle.

Exemple de schéma général des connexions

Tableau à 4 voyants



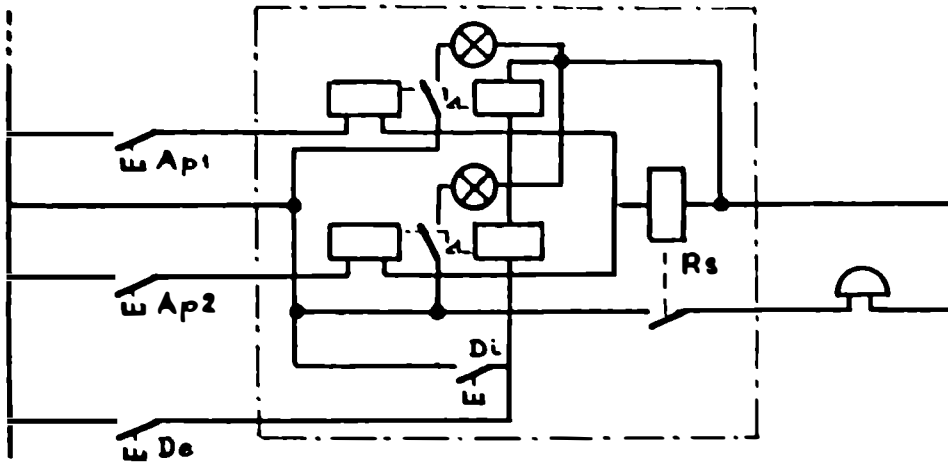
Le tableau à voyants de signalisation est assez peu utilisé actuellement, mais son principe est repris dans les tableaux à voyants lumineux pages suivantes.

TABLEAUX A VOYANTS LUMINEUX

1 D 06

UTILISATION DES RELAIS BISTABLES

Schéma développé : tableau à 2 voyants

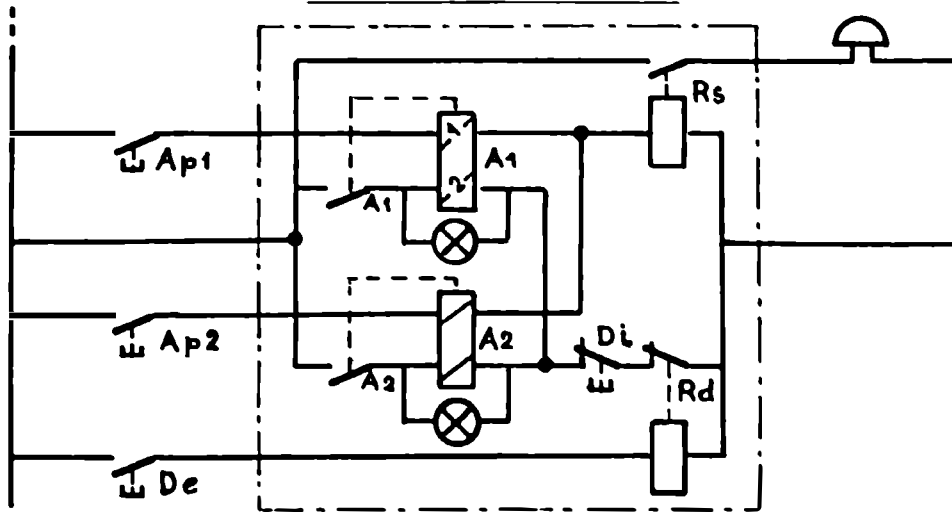


Fonctionnement : On a remplacé les 2 équipages mécaniques du tableau à voyants de signalisation par 2 relais bistables (revoir pl. 1 D 01). La sonnerie est commandée par un relais pour avoir un fonctionnement plus fiable. Le voyant qui apparaissait est remplacé par une lampe qui s'allume. On retrouve les bobines montées en série pour les mêmes raisons que celles vues page précédente.

Remarque : Le tableau des connexions extérieures est le même que page précédente.

UTILISATION DES RELAIS A DOUBLE ENROULEMENT

Schéma développé : tableau à 2 voyants



Fonctionnement : Chaque relais bistable est remplacé par un relais à double enroulement. Quand on appuie sur le bouton Ap₁, le bobinage 1 du relais A₁ monté en série avec R_s (relais sonnerie) est parcouru par du courant. Le contact A₁ se ferme. Le bobinage 2 du relais A₁ reste alimenté par ce contact A₁, quand on n'appuie plus sur le bouton Ap₁. La disparition s'obtient quand on coupe le circuit de la bobine 2 de A₁ grâce à Di ou Rd.

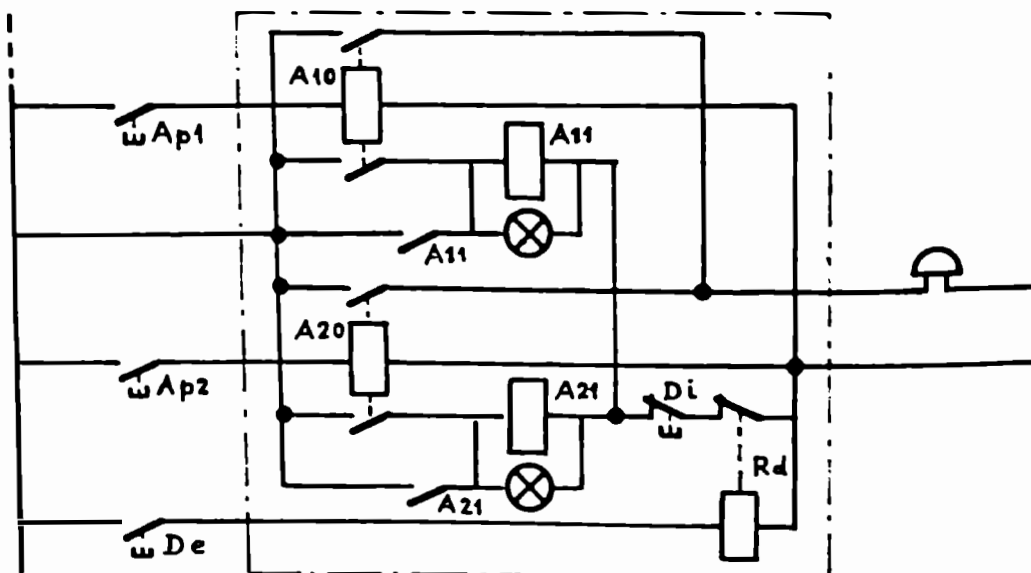
Pour des raisons de fabrication les bobinages 1 et 2 ont les mêmes caractéristiques électriques. R_s devra avoir une impédance faible devant ces bobinages.

TABLEAUX A VOYANTS LUMINEUX

1 D 07

UTILISATION DE RELAIS MONOSTABLES A SIMPLE ENROULEMENT

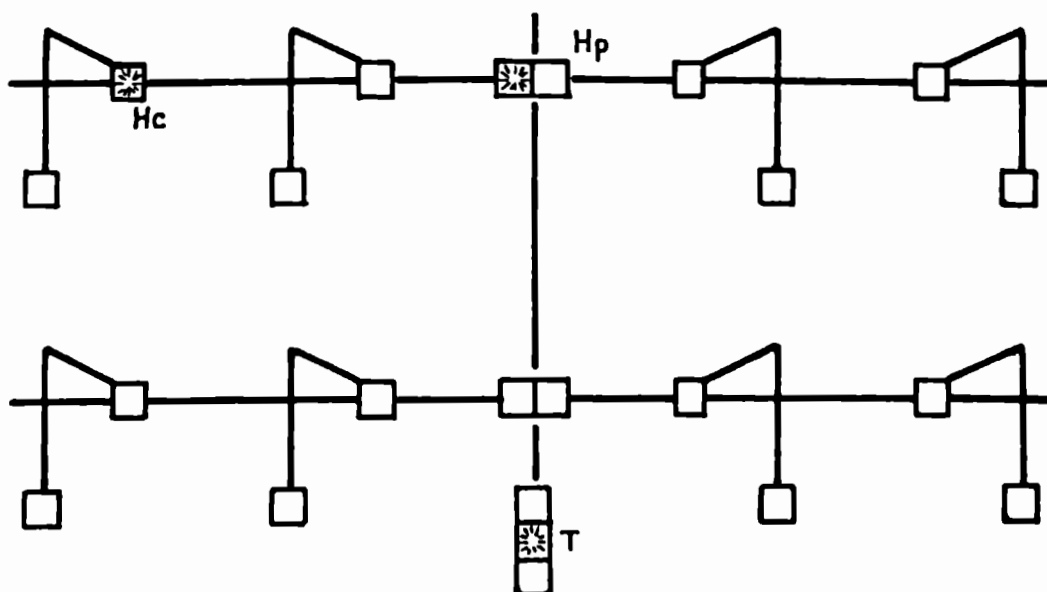
Schéma développé : tableau à 2 voyants



Fonctionnement : Chaque relais à double enroulement (du schéma précédent) a été remplacé par 2 relais à simple enroulement. Le fonctionnement est le même. Mais en ajoutant un 2e contact au relais A_{10} , on a supprimé le relais R_S . Il n'y a plus de montage en série.

PILOTAGE PAR SIGNAUX LUMINEUX

Une personne située dans une chambre appuie sur un bouton d'appel «A». A ce moment, dans le service de garde une sonnerie retentit et un voyant indique la direction à prendre alors que dans les couloirs des voyants s'allument qui permettent de piloter la personne de service jusqu'à la chambre.

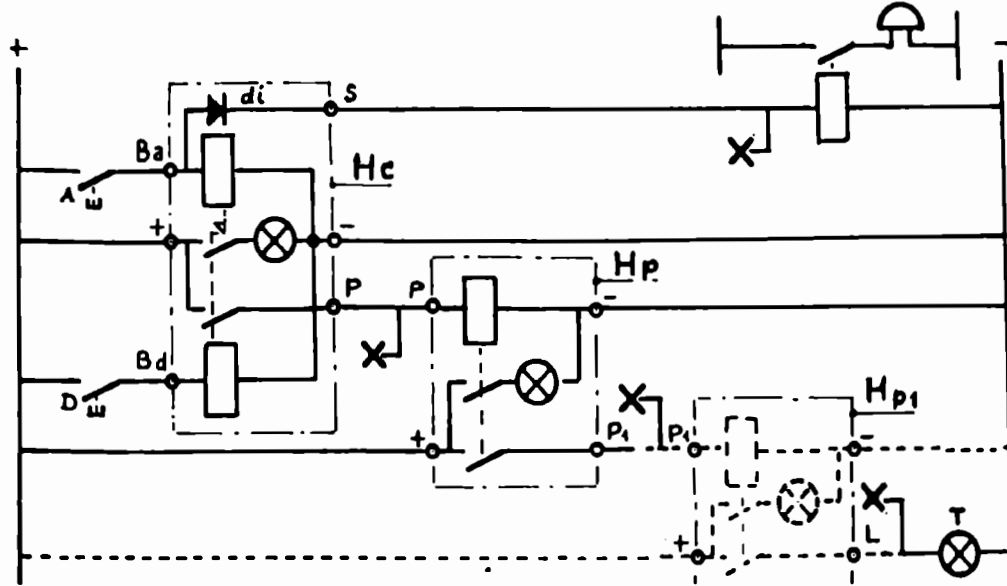


Hc : Hublot placé à la porte de la chambre **Hp :** Hublot pilote

SIGNALISATION LUMINEUSE

1 D 08

Exemple de schéma développé avec relais bistables



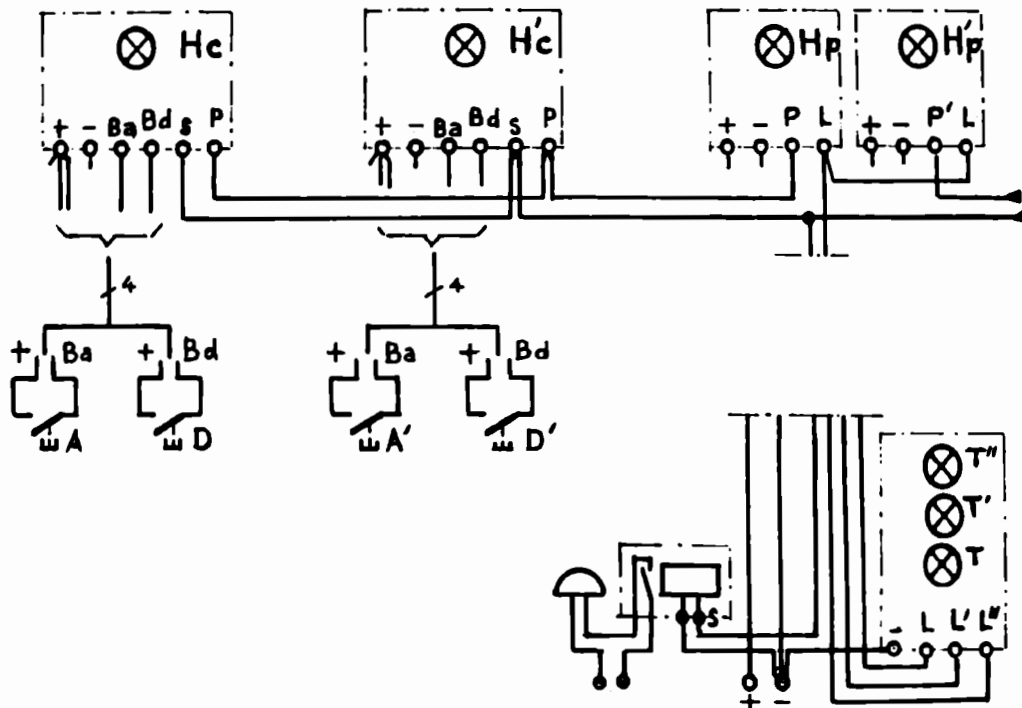
Remarque 1 : Le bouton disparition «D» est placé à l'intérieur de la chambre.

Remarque 2 : Si d'autres hublots-pilote sont nécessaires pour assurer un bon guidage on les raccorde comme indiqué en pointillé.

Remarque 3 : Les croix indiquent les raccordements provenant d'autres hublots.

Remarque 4 : L'alimentation se fait ici en courant continu. Ce type de courant permet l'utilisation de diodes (di) qui évitent les courants de retour et autorisent des simplifications (Ex. Pas de montage en série des relais). La sonnerie peut fonctionner en courant alternatif.

Exemple d'implantation partielle des hublots et schéma des connexions extérieures

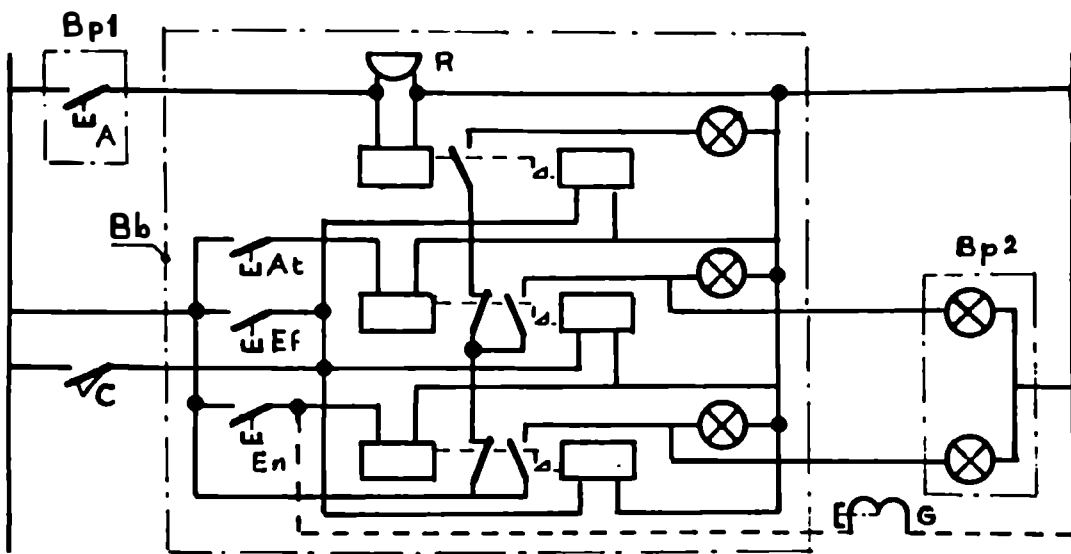


SIGNALISATION LUMINEUSE

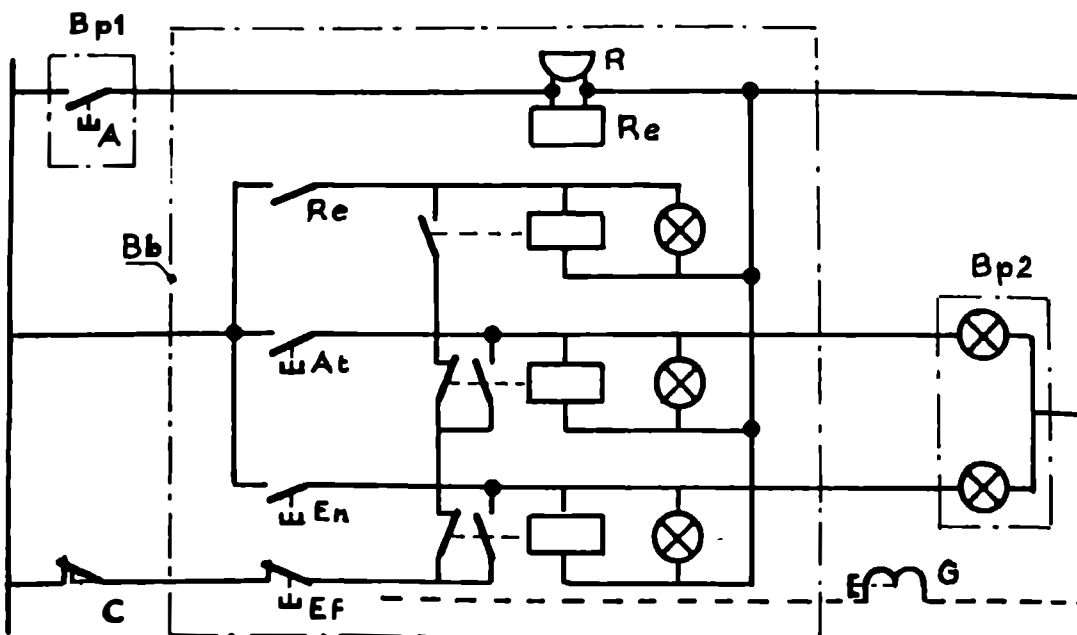
1 D 09.

SIGNALISATION LUMINEUSE DE BUREAU

Exemple de fonctionnement très simple : Le visiteur qui désire pénétrer dans le bureau appuie sur un bouton-poussoir «A». A ce moment à l'intérieur un ronfleur produit l'appel sonore, un voyant s'allume et reste allumé lorsque l'on n'appuie plus sur le bouton «A». De l'intérieur la personne que l'on désire voir appuie sur un bouton-poussoir «At» (Attendez) ou «En» (Entrez) et fait apparaître à la porte et sur le bloc bureau le signal lumineux correspondant. Le bouton «Entrez» peut commander une gâche électrique. L'action sur le bouton «Ef» produit l'effacement des signaux. Un contact porté «C» joue le même rôle.

Exemple de schéma développé avec relais bistables

Bb : bloc de bureau ; $Bp1$ et $Bp2$: bloc porte (1 seul) ; G : gâche électrique

Exemple de schéma développé avec relais monostables

DEUXIÈME PARTIE

Groupe 2 A 01 à 2 A 11

**Symboles pour appareils de mesure, transformateurs de mesure, shunts.
Symboles pour relais de mesure et auxiliaires automatique de commande.
Symboles pour machines tournantes (moteurs à courant continu - moteurs à courant alternatif - génératrices à courant continu - génératrices à courant alternatif - etc...)
Symboles pour transformateurs.**

Groupe 2 B 01 à 2 B 10

**Montage des contacteurs et discontacteurs.
Compléments sur l'utilisation des relais.
Montage des appareils de mesure (voltmètres - ampèremètres - compteurs).**

Groupe 2 C 01 à 2 C 38

**Généralités sur les moteurs à courant continu et à courant alternatif.
Montage des moteurs à courant continu (commande manuelle et commande par contacteurs).
Montage des moteurs à courants alternatif : moteurs asynchrones triphasés - monophasés - diphasés - moteurs synchrones (commande manuelle et commande par contacteurs).**

Groupe 2 D 01 à 2 D 05

**Montage des génératrices à courant continu.
Montage des génératrices à courant alternatif (alternateurs).**

Groupe 2 E 01 à 2 E 11

Freinage électrique.

Freinage des moteurs à courant continu.

Exemples de réalisation.

Freinage des moteurs à courant alternatif.

Exemple de réalisation.

Groupe 3 F 01 à 2 F 09.

Transformateurs et postes de transformation.

Couplage des enroulements - Repérage des conducteurs.

Régime du neutre.

Montage des postes de transformations.

SYMBOLES POUR APPAREILS DE MESURE

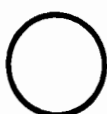
2 A 01

Le symbole d'un appareil de mesure comprend un symbole général complété par un symbole littéral placé à l'intérieur.

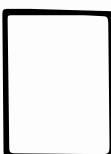
Dans le cas de schémas multifilaires le symbole d'un appareil de mesure peut être complété par l'indication des bornes avec leurs repères ; les bornes sont placées suivant les besoins du schéma. Lorsque cela est nécessaire, on peut représenter les organes internes en utilisant les symboles correspondants : enroulement, moteur, etc.

SYMBOLES GÉNÉRAUX

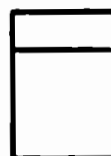
Appareil indicateur



Appareil enregistreur











Compteur

SYMBOLES LITTÉRAUX

A Ampère
 V Volt
 W Watt
 VA Voltampère
 Var Var
 Ω Ohm
 \overleftarrow{Y} Indicateur d'ordre des phases.

Wh Wattheure
 varh Varheure
 Hz Hertz
 θ Température
 $\cos \varphi$ Facteur de puissance
 h Heure
 \pm Indicateur de sens de courant.

Exemples d'application et symboles particuliers

| | | | |
|---|--|--|--|
|  | Voltmètre indicateur. |  | Synchroscope (2 variantes). |
|  | Ampèremètre indicateur. |  | Oscilloscope (2 variantes). |
|  | Wattmètre indicateur. |  | Compteur d'énergie active (Watt-heuremètre). |
|  | Ampèremètre indicateur à courant alternatif. |  | Compteur d'impulsion, symbole général. |

SYMBOLES POUR TRANSFORMATEURS DE MESURE ET SHUNTS

2 A 02

Les symboles des transformateurs de mesure peuvent revêtir 2 formes différentes. Dans les symboles de la forme / chaque enroulement est représenté par un cercle. Dans les symboles de la forme // les enroulements sont représentés par le symbole d'un enroulement d'appareil. Chaque forme peut se faire en représentation unifilaire ou multifilaire. Le rapport de transformation peut être inscrit à côté du symbole du transformateur.

| | | |
|--|--|---|
| | | <u>TRANSFORMATEUR DE COURANT</u> |
| | | Transformateur de courant à 2 circuits magnétiques |
| | | Transformateur de courant à 2 enroulements secondaires sur un circuit magnétique. |
| | | Transformateur de courant à courant résiduel. |
| | | <u>TRANSFORMATEUR DE TENSION</u> |
| | | Deux transformateurs de tension dont les enroulements primaires et secondaires sont montés en V sur 1 réseau triphasé, la phase J étant la phase commune. |
| | | Trois transformateurs de tension dont les enroulements primaires et secondaires sont montés en étoile entre phase et terre sur un réseau triphasé. |
| | | SHUNT |

SYMBOLES POUR RELAIS DE MESURE ET AUXILIAIRES AUTOMATIQUES DE COMMANDE

2 A 03





Symbole général







A l'intérieur de ce rectangle on met une ou plusieurs lettres et un ou plusieurs symboles précisant :

- La grandeur caractéristique ou le moyen de détection d'une surintensité.
- Les symboles distinctifs précisant le fonctionnement du dispositif.
- Le sens de transit de l'énergie pour lequel un relais de mesure fonctionne.
- Le retard à l'action et la valeur de la temporisation.

Grandeurs caractéristiques électriques

| | | | |
|---|-------------------------------|--------|--------------------|
| U | Tension | P | Puissance active |
| U  | Tension de défaut à la masse | Q | Puissance réactive |
| U  | Tension de défaut à la terre | f | Fréquence |
| I | Courant | ϕ | Déphasage |
| I  | Courant de retour | Z | Impédance |
| I  | Courant de défaut à la terre | X | Réactance |
| I Δ | Courant différentiel résiduel | R | Résistance |




Grandeurs caractéristiques non électriques

| | | | |
|--|-----------------------|---|------------------------------|
| θ  | Température | a | Accélération |
| p | Pression |  | Variation brusque de vitesse |
| n | Fréquence de rotation |  | Niveau d'un fluide |
| v | Vitesse linéaire |  | Présence d'un débit |

Moyens de détection d'une surintensité

| | | | |
|---|-----------------|---|-------------------------|
|  | Effet thermique |  | Effet électromagnétique |
|---|-----------------|---|-------------------------|

Fonctionnement par rapport à la grandeur caractéristique

| | | | |
|---|--|---|--|
|  | Fonctionnement pour une grandeur supérieure à la valeur d'ajustement |  | Fonctionnement pour une grandeur supérieure à la valeur d'ajustement haute ou inférieure à la valeur d'ajustement basse. |
|  | Fonctionnement pour une grandeur inférieure à la valeur d'ajustement | = 0 | Fonctionnement lorsque la grandeur atteint pratiquement zéro |

**SYMBOLES POUR RELAIS DE MESURE
ET AUXILIAIRES AUTOMATIQUES DE COMMANDE**

2 A 04

**Sens de transit de l'énergie pour lequel le relais de mesure fonctionne
Temporisation**

| | | | |
|--|---------------------------------------|--|---|
| | Transit de l'énergie issue des barres | | Temporisation |
| | Transit de l'énergie vers les barres | | Caractéristique de retard à temps inverse |

Exemples de relais électriques de mesure

| | | | |
|--|--|--|--|
| | Relais à maximum de courant | | Relais à maximum de courant à action retardée |
| | Relais à minimum de tension | | Relais à maximum de courant avec domaine d'ajustement de 4 à 8A |
| | Relais à manque de tension | | Relais à maximum et à minimum de courant. Valeur d'ajustement supérieure à 5A et inférieure à 3A |
| | Relais à retour de courant | | Relais à maximum de puissance réactive — transit de l'énergie vers les barres — Valeur d'ajustement 1M var — Retard ajustable de 5s à 10s |
| | Relais de tension de défaut à la masse | | |

**Exemples d'auxiliaires automatiques de commande
(avec liaison mécanique vers d'éventuels contacts)**

| | | | |
|--|--|--|--|
| | Dispositif actionné par la température | | Dispositif actionné par le niveau d'un fluide |
| | Dispositif actionné par la pression | | Dispositif actionné par la présence d'un débit |
| | Dispositif actionné par la fréquence de rotation | | Relais Buchholz |
| | Dispositif actionné par la vitesse linéaire | | |

SYMBOLES POUR MACHINES TOURNANTES

2 A 05

Les symboles des machines tournantes peuvent revêtir 2 formes différentes. Dans les 2 formes l'induct (ou le secondaire pour les moteurs asynchrones à induction) est représenté par un cercle.

FORME I

L'inducteur avec son enroulement est représenté par un **second cercle extérieur au premier** pour les machines à courant continu, intérieur au premier pour les machines synchrones.

Le stator ou primaire des machines asynchrones à induction est également représenté par un **second cercle extérieur au premier**.

FORME II








Les enroulements des inducteurs ou des primaires sont représentés par le symbole d'un enroulement de machine.

Les bornes ou les balais sont représentés ou non suivant les nécessités du schéma.



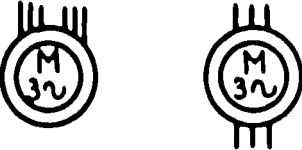


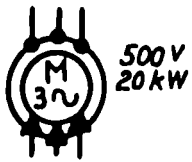

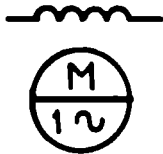



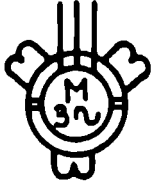
INDICATIONS A PORTER SUR LES SYMBOLES DES MACHINES

A l'intérieur du cercle : les lettres G (génératrice), M (moteur) GS (génératrice synchrone), MS (moteur synchrone).

A l'extérieur, et à droite du symbole : la tension nominale, la puissance nominale, la tension d'excitation, la vitesse de rotation, la fréquence.

| | |
|---|---|
|  | Enroulement de machine Le nombre de demi-cercles est quelconque sauf si on désire différencier les enroulements d'une même machine. |
|  | Enroulement de commutation ou de compensation. |
|  | Enroulement série. |
|  | Enroulement d'excitation en dérivation ou indépendante. |
|  | Borne, connexion de conducteurs (2 variantes). |
|  | Balai sur bague. |
|  | Balai sur collecteur à lames. |

| SYMBOLES POUR MACHINES TOURNANTES | | 2 A 06 |
|---|--|---|
| Machines à courant continu | | |
| | | Génératrice (G) ou moteur (M) à courant continu à aimant permanent à deux conducteurs. |
| | | Génératrice (G) ou moteur (M) à courant continu à excitation en série à deux conducteurs. |
| | | Génératrice (G) ou moteur (M) à courant continu à excitation en dérivation à deux conducteurs. |
| | | Génératrice (G) ou moteur (M) à courant continu à excitation composée à courte dérivation à deux conducteurs. |
| | | Génératrice (G) ou moteur (M) à courant continu à excitation composée à longue dérivation à deux conducteurs. |
| | | Indication sur un symbole de machine à courant continu des bornes des balais et des données numériques. |
| | | |
| Machines asynchrones (à Induction) | | |
| | | Moteur asynchrone monophasé à rotor en court-circuit sans bornes sorties pour phase auxiliaire. |
| | | Moteur asynchrone monophasé à rotor en court-circuit avec bornes sorties pour phase auxiliaire. |

| SYMBOLES POUR MACHINES TOURNANTES | | 2 A 07 |
|---|---|--|
|  | | Moteur asynchrone monophasé à rotor à bagues, sans bornes sorties pour phase auxiliaire. |
|  | | Moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit et stator en triangle. |
|  | | Moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit avec 6 bornes sorties du stator. |
|  | | Moteur asynchrone triphasé à rotor à bagues. |
|  | | Moteur asynchrone triphasé avec démarreur automatique dans le rotor. |
|  | | Indication sur un symbole de machine asynchrone des bornes, des balais et de données numériques. |
| Machines à courant alternatif et collecteur | | |
|  |  | Moteur à collecteur monophasé à répulsion. |
|  |  | Moteur à collecteur triphasé série. |
|  |  | Moteur à collecteur triphasé shunt à alimentation par le rotor à double rangée de balais (moteur Schrage). |

SYMBOLES POUR MACHINES TOURNANTES

2 A 08

Machines synchrones

| | | |
|--|--|--|
| | | Alternateur synchrone (GS) ou moteur synchrone (MS) triphasé à aimant permanent. |
| | | Alternateur synchrone (GS) ou moteur synchrone (MS) triphasé à induit monté en étoile, neutre non sorti. |
| | | Alternateur synchrone (GS) ou moteur synchrone (MS) triphasé à induit monté en étoile, neutre sorti. |
| | | Alternateur synchrone (GS) ou moteur synchrone (MS) triphasé à 6 bornes sorties. |
| | | Indication sur un symbole, de machine synchrone des bornes, des balais et de données mécaniques. |

Commutatrices

| | | |
|--|--|--|
| | | Commutatrice triphasé-continu, à excitation en dérivation. |
| | | Indication sur un symbole de commutatrice des bornes, des balais et de données numériques. |

SYMBOLES POUR TRANSFORMATEURS

2 A 09

Dispositions générales

Les symboles des transformateurs peuvent revêtir deux formes différentes : forme I, forme II.

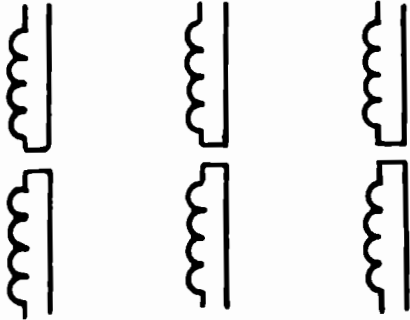
Dans les symboles de la forme I, chaque enroulement est représenté par un seul cercle quel que soit le nombre de phases.

Dans les symboles de la forme II, les enroulements sont représentés par le symbole d'un enroulement d'appareil.



Groupe de transformation composé de trois unités monophasées.

Le symbole d'un groupe de transformation polyphasé constitué par des unités monophasées s'obtient en plaçant côte à côte les symboles des unités monophasées de manière que tous les enroulements primaires soient alignés ainsi que tous les enroulements secondaires...



Transformateur triphasé à 6 bornes sorties.

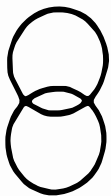
Alors que le symbole d'un transformateur polyphasé s'obtient en plaçant sur une ligne les enroulements primaires et secondaires d'une même phase.

Indications à porter sur les symboles de transformateurs

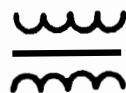
Les symboles de transformateurs peuvent être complétés par l'inscription des indications suivantes :

— Symbole du mode de connexion des enroulements — Tension nominale — Fréquence nominale — Puissance nominale — Indice du couplage — Tension de court-circuit.

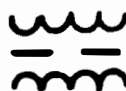
Symboles généraux



Transformateur à 2 enroulements
Symbole général



Transformateur à 2 enroulements avec noyau ferromagnétique.

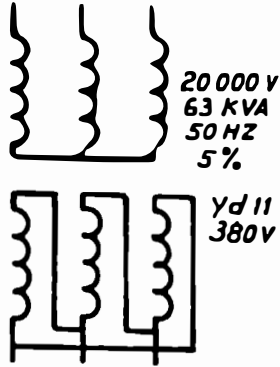
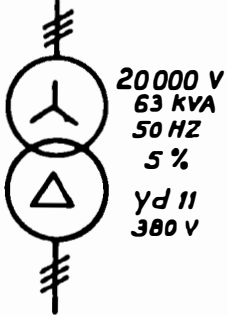


Transformateur à 2 enroulements avec noyau ferromagnétique présentant un entrefer.

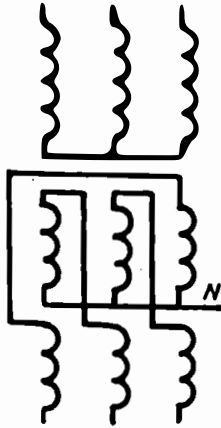
SYMBOLES POUR TRANSFORMATEURS

2 A 10

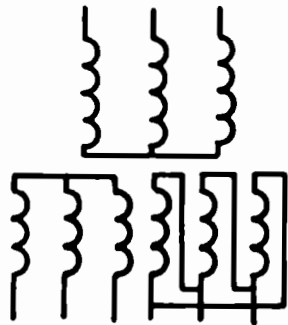
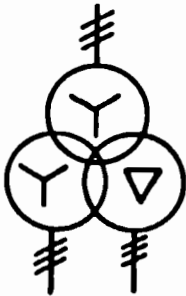
Transformateurs



Transformateur triphasé à deux enroulements : 20000/380 V, 63 KVA 50 Hz.
Couplage Yd 11.
Tension de court-circuit 5 %.



Transformateur triphasé à deux enroulements.
Couplage étoile zigzag à neutre sorti.

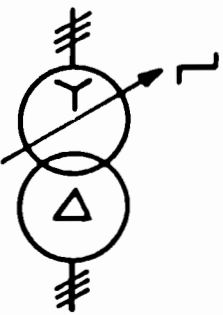
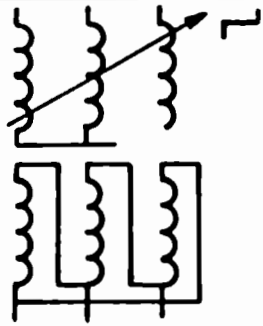
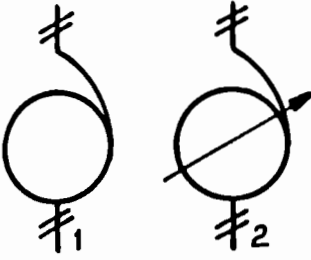
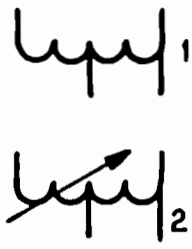

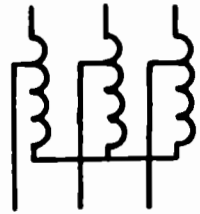
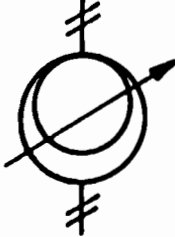
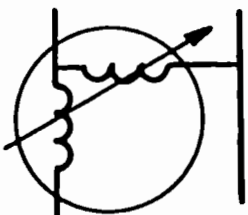
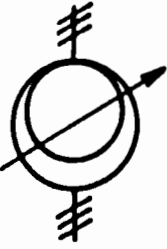
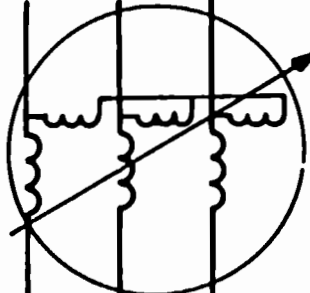


Transformateur triphasé à trois enroulements.
Couplage étoile — Étoile — Triangle.

Transformateurs à réglage de tension



Transformateur monophasé à réglage progressif de la tension.

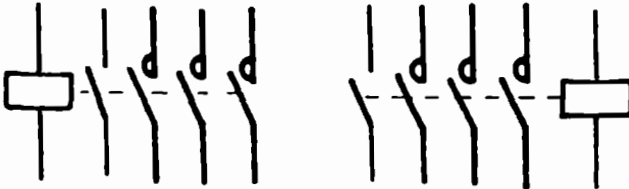
| SYMBOLES POUR TRANSFORMATEURS | | 2 A 11 |
|---|---|---|
|  |  | Transformateur triphasé à prises multiples avec commutateur de prises pour manœuvre en charge — Couplage étoile — Triangle. |
| Auto-transformateurs | | |
|  |  | Autotransformateur monophasé. 1. Symbole général. 2. A réglage progressif de la tension. |
|  |  | Autotransformateur triphasé. |
| Régulateur à induction | | |
|  |  | Régulateur à induction monophasé. |
|  |  | Régulateur à induction triphasé. |

MONTAGE DES CONTACTEURS

2 B 01

Contacteur ; Définition : Appareil destiné à déterminer l'ouverture ou la fermeture d'un ou plusieurs circuits et dont les éléments mobiles n'ont qu'une position de repos correspondant à l'ouverture des circuits principaux (vocabulaire électrotechnique).

CONTACTEUR TRIPOLAIRE



Note 1 : Chaque contacteur représenté comporte 1 bobine plus 3 contacts principaux et 1 contact auxiliaire.

Note 2 : L'organe de commande peut être placé à droite ou à gauche par rapport aux contacts.

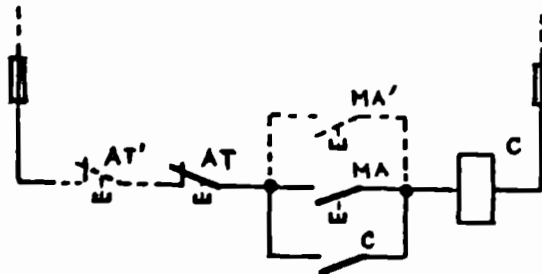
Remarque : On est souvent amené à considérer dans les équipements à contacteurs, 2 circuits différents :
Le circuit de puissance
Le circuit de commande.

Pour la compréhension ces 2 circuits sont souvent étudiés séparément dans ce cours, mais lorsque l'on veut établir un schéma d'équipement, ils sont évidemment groupés (voir 4e partie).

A - Commande en courant alternatif

CONTACTEUR : COMMANDE PAR BOUTONS-POUSOIRS : MARCHÉ ; ARRÊT

Schéma développé du circuit de commande

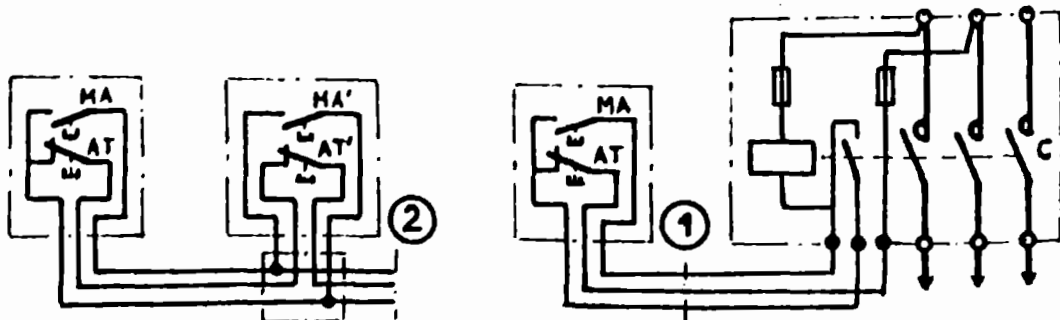


Note : La lettre C désigne d'une part la bobine du contacteur et d'autre part le contact auxiliaire qu'elle commande appelé aussi contact d'auto-alimentation, d'auto-maintien, etc...

En pointillé un 2e bouton marche (en dérivation) et un 2e bouton arrêt (en série).

Exemple de schéma général des connexions

En (1) une seule boîte à boutons MA-AT ; En (2), 2 boîtes à boutons MA-AT et MA' - AT'. Le raccordement au contacteur est le même dans les 2 cas.

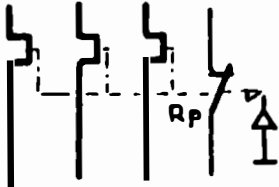


MONTAGE DES CONTACTEURS ET DISCONTACTEURS

2 B 02

DISCONTACTEUR

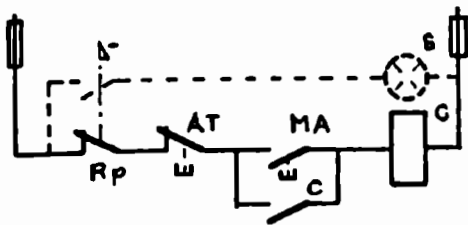
Définition : Contacteur électromagnétique muni de relais provoquant l'ouverture automatique du contacteur dans des conditions prédéterminées (vocabulaire électrotechnique).



Le relais de protection comprend un dispositif de déclenchement placé dans le circuit de puissance, qui en cas de surintensité ouvre un contact placé dans le circuit de commande. Ce contact reste ouvert jusqu'à ce que l'on appuie sur un bouton appelé réarmement (dispositif d'accrochage).

Ci-contre système de déclenchement de type thermique.

Exemple de schéma développé



Le contact du relais de protection se monte en série.

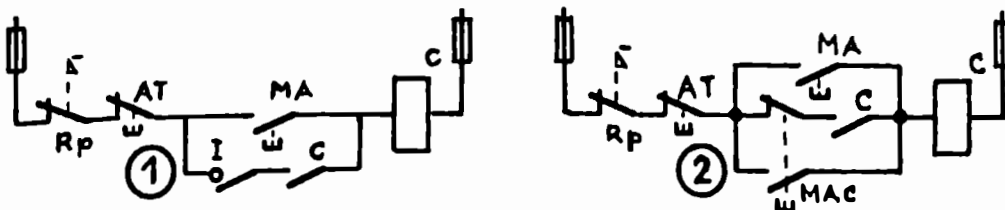
En pointillé contact Rp avec indication de surcharge. Quand il y a eu disjonction le voyant S s'allume et reste allumé (accrochage).

Noter la représentation simplifiée du dispositif d'accrochage.

DISCONTACTEUR : COMMANDE PAR BOUTONS : MARCHÉ ; MARCHÉ PAR A COUPS ; ARRÊT

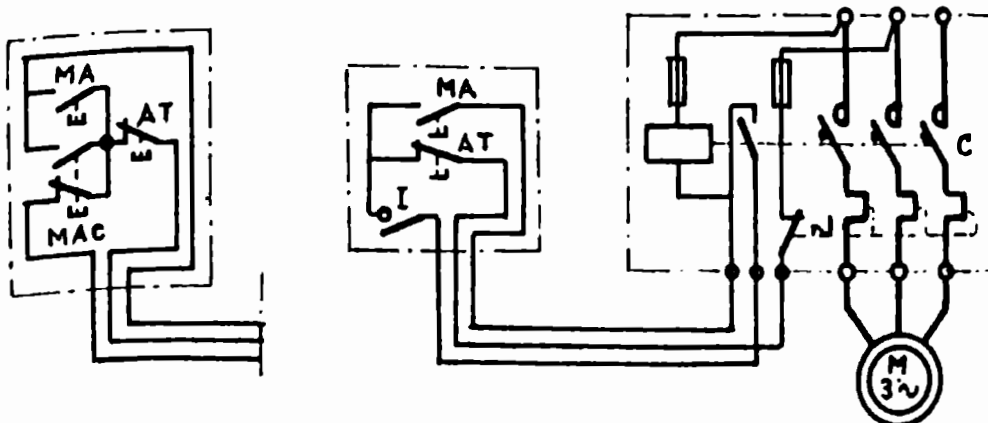
Pour la commande de certaines machines le moteur d'entraînement nécessite parfois une marche par à coups (MAC) pour les réglages.

Exemple de schémas développés pour circuit de commande



Fonctionnement : (1) MAC obtenue quand interruptuer I ouvert et action sur MA
(2) bouton MAC spécial. L'ouverture du circuit de C doit se faire bien avant la fermeture de MAC. De même l'ouverture de MAC doit précéder nettement la fermeture du circuit de C.

EXEMPLE DE SCHÉMA GÉNÉRAL DES CONNEXIONS

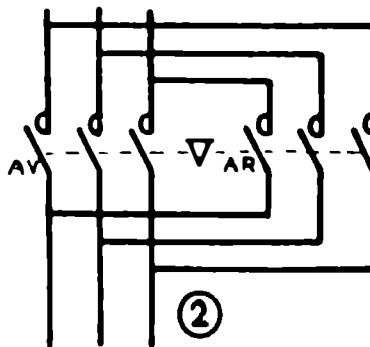
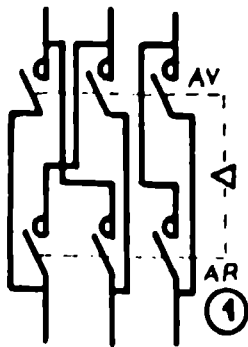


MONTAGE DES CONTACTEURS ET DISCONTACTEURS

2 B 03

DISCONTACTEUR INVERSEUR TRIPHASÉ

Schéma du circuit de puissance des contacteurs

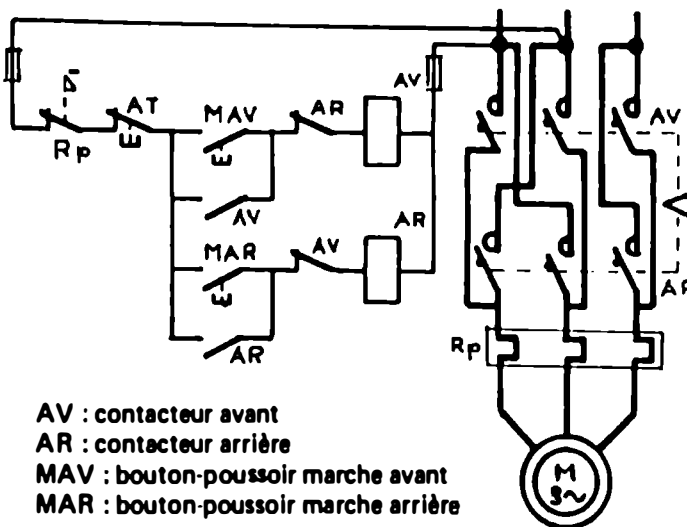


Note 1 : En courant alternatif triphasé, l'inversion se fait sur 2 phases.

Note 2 : Les contacteurs AV et AR ne doivent pas pouvoir se fermer en même temps (court-circuit). D'où la nécessité d'un verrouillage mécanique (symbole : triangle).

Remarque concernant la représentation : Les 2 contacteurs sont disposés l'un au-dessus, ou l'un à côté de l'autre. La forme 2 est la plus utilisée (la seule pour les équipements importants : voir 4e partie).

Exemple de schéma développé : circuits de puissance et de commande



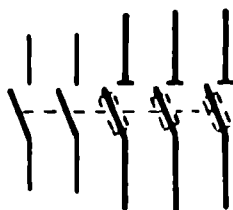
AV : contacteur avant
 AR : contacteur arrière
 MAV : bouton-poussoir marche avant
 MAR : bouton-poussoir marche arrière

Remarque : Les contacts AV et AR fermés au repos servent au verrouillage électrique (lorsque un contacteur se ferme, il ouvre le circuit de la bobine de l'autre).

Le verrouillage électrique empêche la mise sous tension et le passage d'une intensité importante dans la bobine AR, lorsque AV est fermé, et vice-versa.

MONTAGE AVEC SECTIONNEUR

Rappel : Un sectionneur ne doit pas couper de circuit en charge. Il comporte en plus des contacts principaux 2 contacts auxiliaires qui vont couper le circuit de commande du discontacteur avant que les contacts principaux ne s'ouvrent. Le sectionneur se monte à l'origine de l'équipement (armoire).



Note importante : Le sectionneur ouvert il ne doit y avoir aucune pièce sous tension dans l'armoire contenant l'équipement.

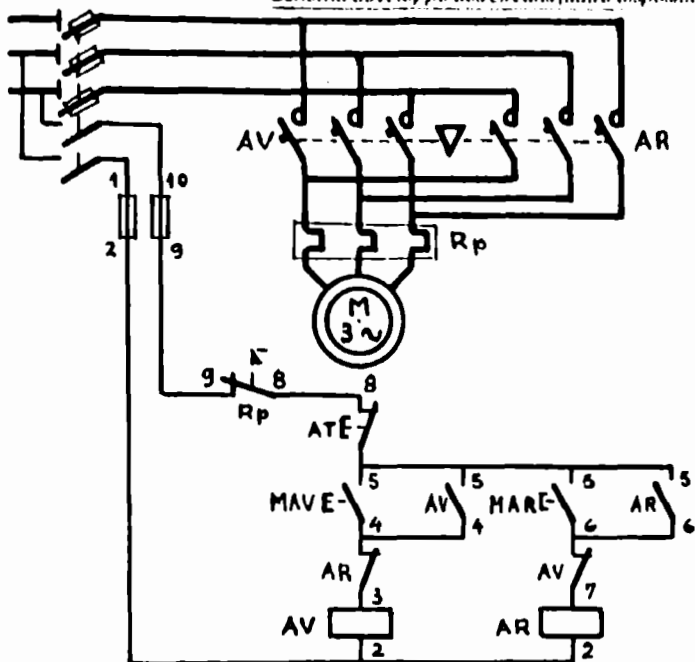
Remarque : On peut monter des coupe-circuit à fusible (de type AM) sur les pôles principaux du sectionneur (en pointillé sur le schéma).

MONTAGE DES CONTACTEURS ET DISCONTACTEURS

2 B 04

DISCONTACTEUR INVERSEUR ET SECTIONNEUR

Schéma développé des circuits (autre disposition)

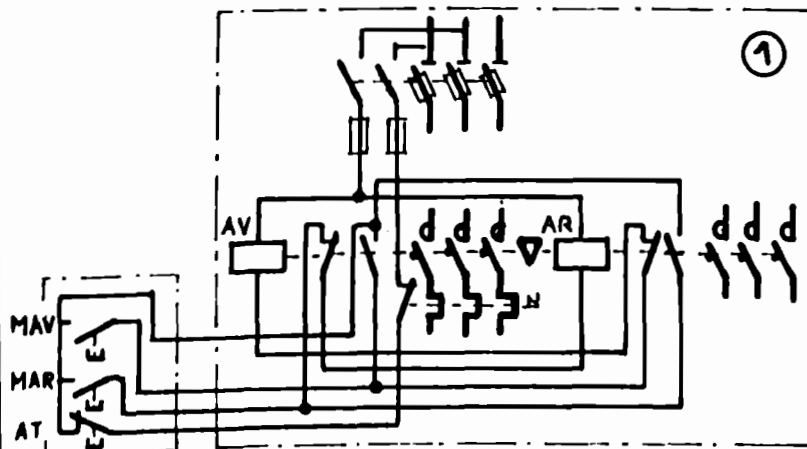


Remarques :

Le circuit de commande est en dessous du circuit de puissance, chaque bobine de contacteur se trouvant si possible sur la même ligne verticale que les pôles principaux qu'elle commande.

Les bornes des contacts et des bobines du circuit de commande sont repérées (voir explications ci-dessous).

Remarques concernant le schéma général des connexions

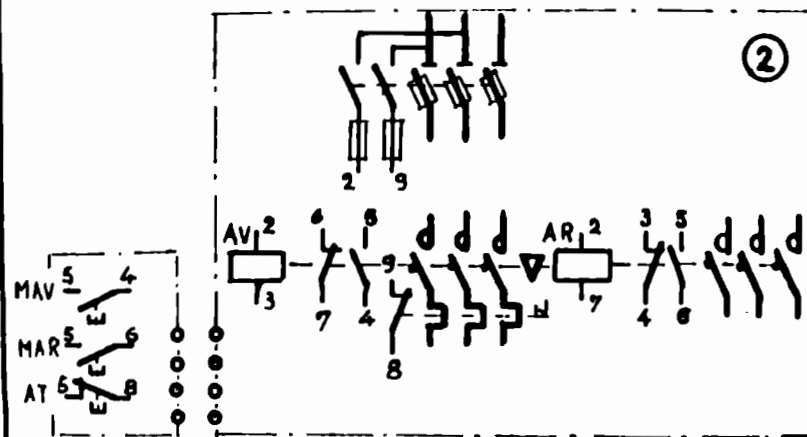


①

En (1) représentation partielle du schéma général des connexions (partie commande seule).

On constate la complexité du schéma pourtant très simple. C'est pour cela que cette forme de représentation est remplacée par un repérage des bornes (Ex. 2). La même borne a exactement le même repère sur le schéma développé et sur le dessin d'implantation des appareils. Ici le repérage utilisé est très simple.

Voilà en 4^e partie la méthode industrielle de repérage des bornes pour les équipements importants.



②

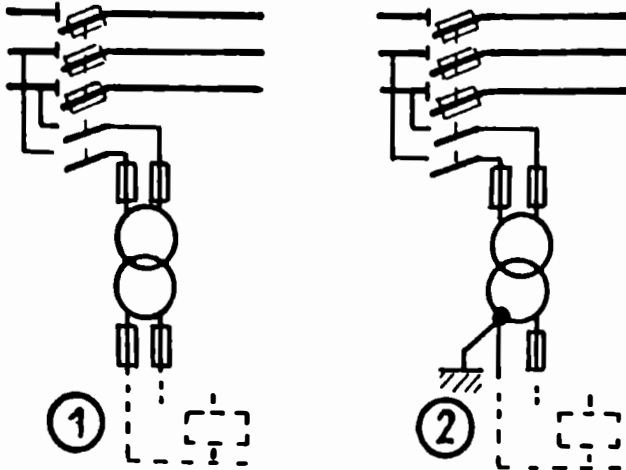
MONTAGE DES CONTACTEURS ET DISCONTACTEURS

2 B 05

B - Commande en courant alternatif sous tension réduite

On peut alimenter la commande sous une tension réduite obtenue par transformateur.

Exemple d'emploi des transformateurs



Remarques :

Dans l'exemple (1) la protection du circuit de commande est obtenue par 2 coupe-circuit à fusible (1 sur chaque sortie du transformateur).

Dans l'exemple (2) la sortie du transformateur raccorder au point commun des bobines est mise à la masse de l'armoire. La protection par coupe-circuit à fusible se fait sur l'autre sortie.

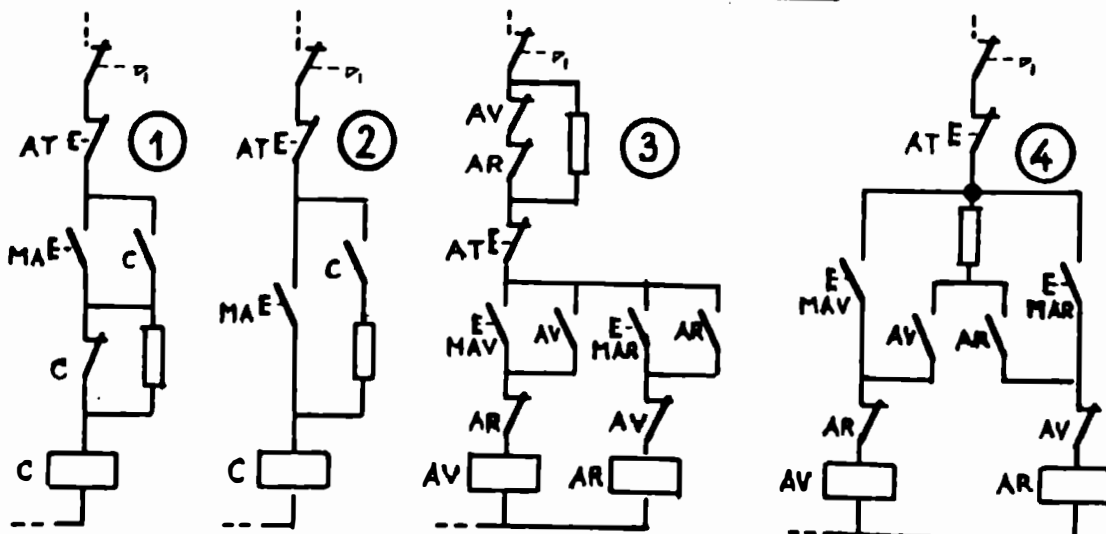
C - Commande en courant continu

En courant alternatif, lorsque l'armature du circuit magnétique est attirée, l'entrefer diminue, l'impédance de la bobine augmente et l'intensité absorbée diminue.

En courant continu, si l'on désire limiter l'intensité du courant il faut insérer une résistance en série avec la bobine lorsque l'armature est attirée. Cette résistance (que l'on appelle résistance de réduction de consommation ou d'économie) permet d'utiliser des contacteurs conçus pour supporter une intensité inférieure à l'intensité d'appel, donc des contacteurs moins volumineux et moins coûteux.

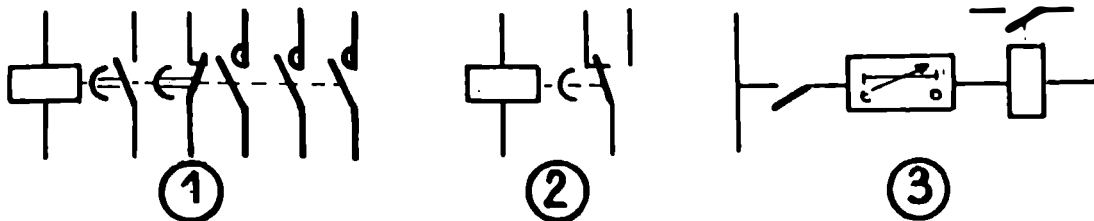
Leur utilisation ne présente d'intérêt que pour des contacteurs de grosse puissance.

Exemples de schémas développés de circuits de commande



Ci-dessus quelques exemples permettant la mise en série de résistances d'économie pour discontacteur et discontacteur-inverseur. Remarquer que pour les montages 2 et 4, la résistance d'économie ne joue pas son rôle en cas d'action maintenue sur «MA». D'autres solutions sont possibles.

Contacts temporisés

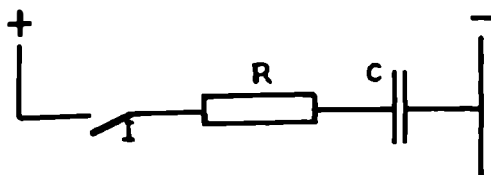


(1) : Contacteur tripolaire avec 2 contacts temporisés, un à ouverture l'autre à fermeture (obtenus par adjonction d'un bloc temporisé).

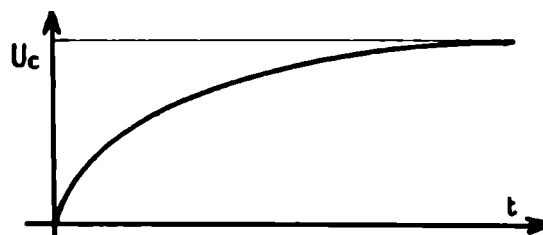
(2) : Relais temporisé avec contact à ouverture fermeture.

(3) : Relais monté en série avec un bloc de temporisation électronique (le relais et le bloc doivent être compatibles). Ce montage permet d'obtenir des temporisations très longues (jusqu'à 1 h).

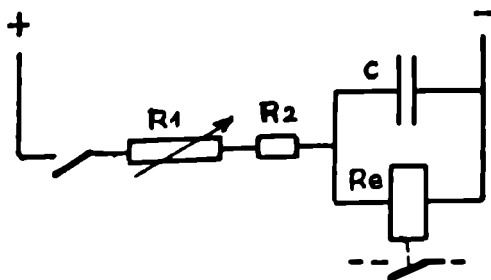
Temporisation des relais

Principe

Le circuit de base est le circuit «RC».



Quand on ferme le circuit grâce à l'interrupteur «1» la tension aux bornes du condensateur augmente en fonction du temps suivant la courbe ci-dessus. Le temps de charge dépend de la caractéristique «RC» du circuit.

Temporisation à l'ouverture et à la fermeture

Fonctionnement : La résistance « R_1 » est variable pour avoir (après fermeture de «1») un temps de charge du condensateur «C» donc une tension « U_c » nécessaire à la fermeture de « R_e » plus ou moins grande.

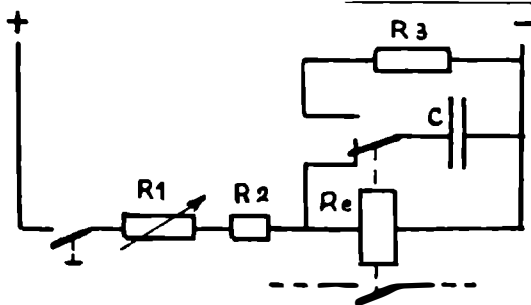
Le temps de décharge après ouverture de «1» dépend de la résistance propre du relais « R_e ».

Note 1 : Les résistances « R_1 », « R_2 », « R_e » forment un pont diviseur. En conséquence pour une même tension d'alimentation la tension aux bornes de « R_e » varie en fonction de la valeur de « R_1 ». Le relais doit pouvoir fonctionner normalement avec des différences de tension importantes (ce qui est en général le cas pour la plupart des relais).

Note 2 : La tension de fermeture (ou de collage) des relais est toujours de beaucoup supérieure à la tension d'ouverture (ou de décollage).

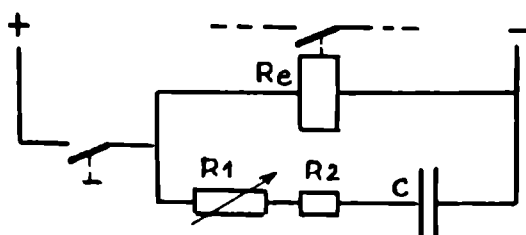
TEMPORISATION DES RELAIS

2 B 07

Temporisation à la fermeture seulement

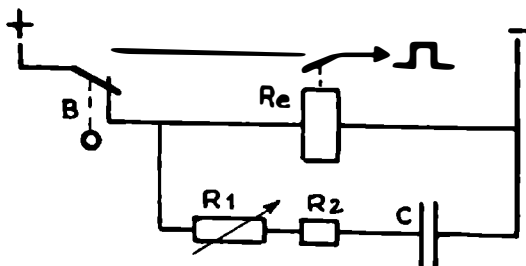
Fonctionnement : Pour la fermeture on retrouve le schéma précédent avec le réglage de la temporisation par « R₁ » et les mêmes remarques concernant la tension aux bornes de « Re ».

Dès que le relais se ferme le condensateur se décharge dans « R₃ » qui sert seulement à limiter le courant.

Temporisation à l'ouverture seulement

Fonctionnement : A la fermeture du circuit « Re » est tout de suite excité et le condensateur « C » se charge.

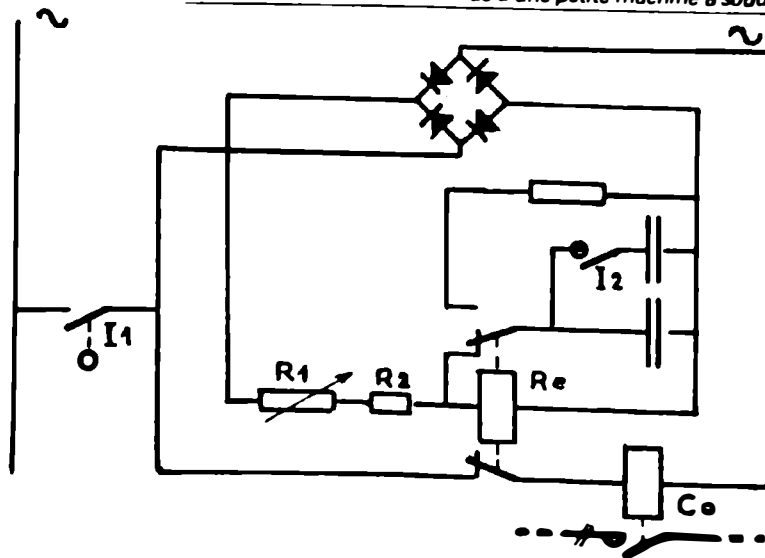
A l'ouverture « C » se décharge dans « Re ». Le temps de décharge dépend des résistances « R₁ », « R₂ », « Re ».

Montage permettant l'envoi d'une impulsion dans un circuit

Fonctionnement : Dès que « Re » est sous tension son contact est fermé mais aucun courant ne passe dans le circuit d'utilisation.

En cas d'action maintenue sur le bouton « B » un courant passe dans le circuit d'utilisation, le temps que dure la décharge de « C » dans « Re ».

EXEMPLE D'APPLICATION DE TEMPORISATEUR

Schéma du circuit de commande d'une petite machine à souder par points

« I₁ » : Contact de pince fermé quand les électrodes appuient sur les pièces à souder.

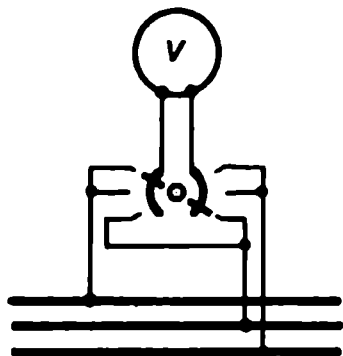
« I₂ » : Interrupteur, temps longs, temps courts.

« C₀ » : Contacteur commandant le transformateur alimentant les électrodes.

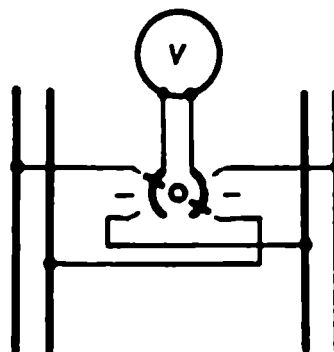
MONTAGE DES APPAREILS DE MESURE VOLTÈMÈTRES-AMPÈREMÈTRES

2 B 08

VOLTÈMÈTRE ET COMMUTATEUR DE VOLTÈMÈTRE

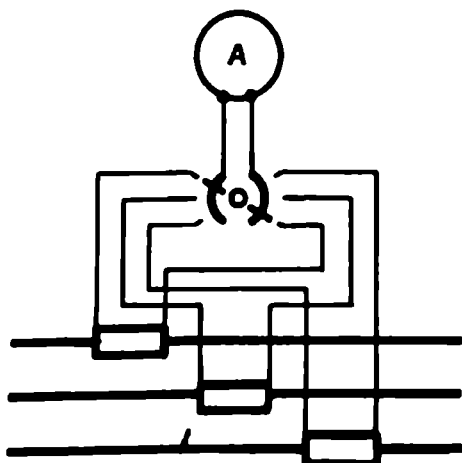


Montage sur ligne triphasée



Montage sur 2 lignes monophasées

AMPÈREMÈTRE UTILISÉ AVEC SHUNTS



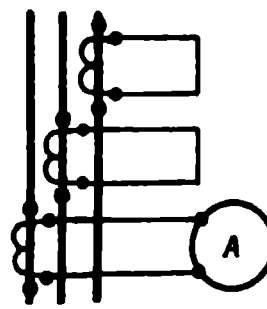
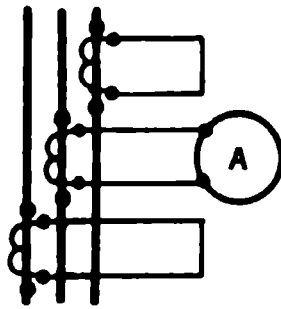
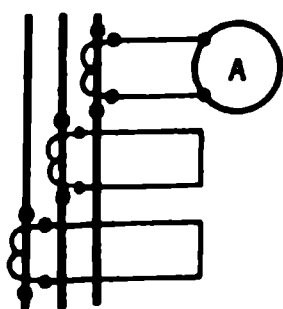
On peut n'utiliser qu'un seul ampèremètre pour mesurer l'intensité qui passe dans plusieurs fils de ligne.

Si on utilise autant de shunts qu'il y a de lignes ou emploie un commutateur de voltmètre comme ci-contre.

AMPÈREMÈTRE UTILISÉ AVEC TRANSFORMATEUR D'INTENSITÉ

Un transformateur d'intensité (T.I.) ne doit jamais avoir son circuit secondaire ouvert quand le primaire est sous tension.

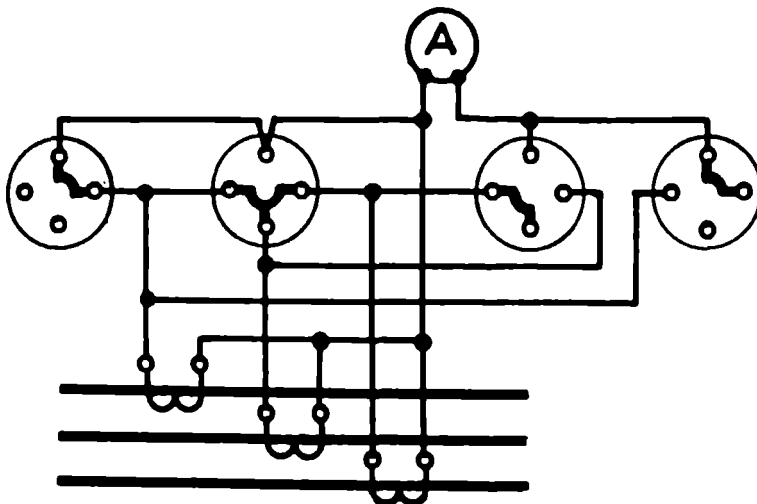
Le commutateur d'ampèremètre devra donc permettre de réaliser les couplages suivants.



MONTAGE DES APPAREILS DE MESURE AMPÈREMÈTRES-COMPTEURS

2 B 09

Branchement d'un commutateur
d'ampèremètre

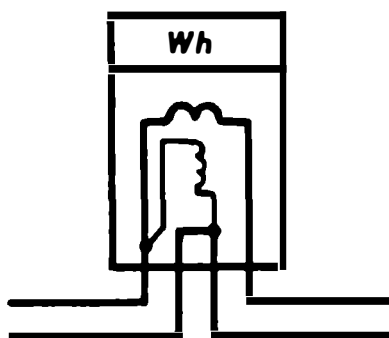


Les secondaires des T.I. qui ne sont pas reliés à l'ampèremètre sont court-circuités et réunis entre eux.

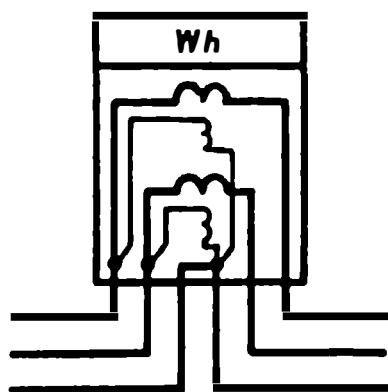
BRANCHEMENT DES COMPTEURS

Remarque : Wattmètres et compteurs d'énergie active d'une part, varmètres et compteurs d'énergie réactive d'autre part ont leurs enroulements semblables et sont raccordés de façon identique. Seule la forme extérieure du symbole diffère.

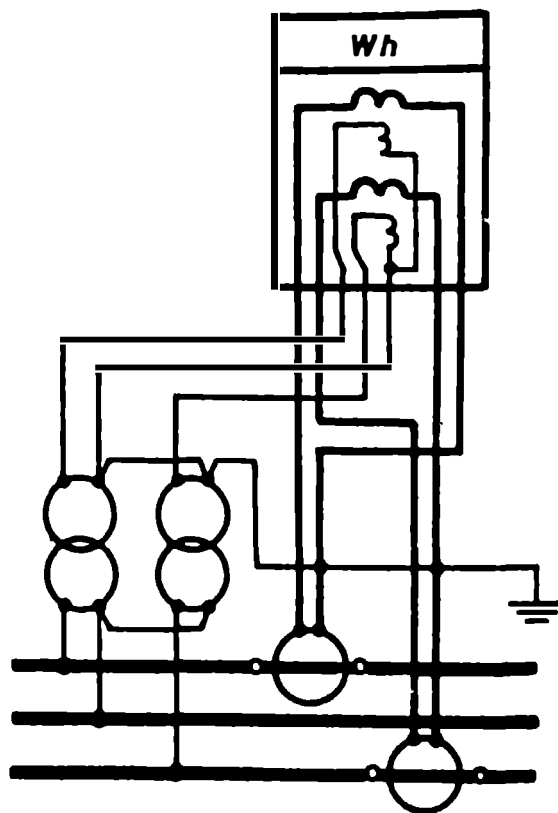
COMPTEURS D'ÉNERGIE ACTIVE



Compteur monophasé



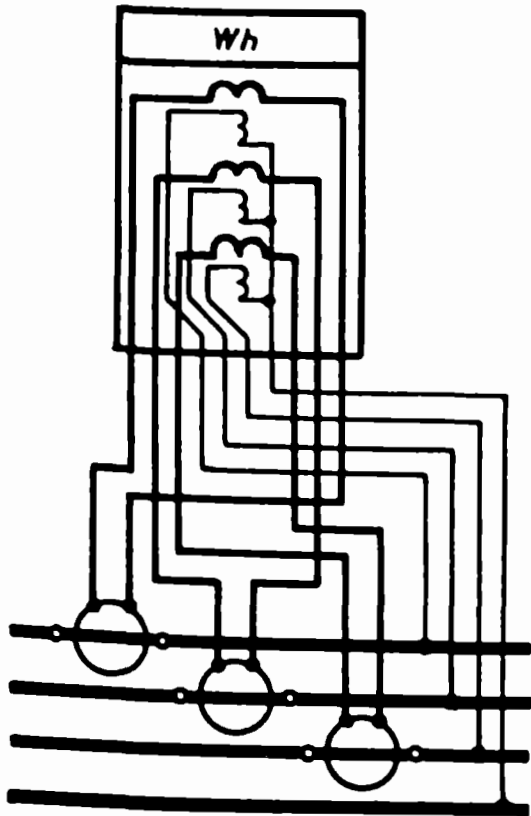
Compteur triphasé 3 fils



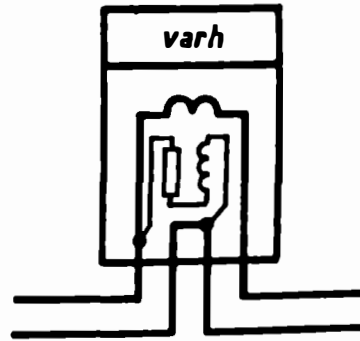
Compteur triphasé 3 fils haute tension.
Montage avec transformateur d'intensité (T.I.) et transformateur de potentiel (T.P.).

MONTAGE DES APPAREILS DE MESURE : COMPTEURS

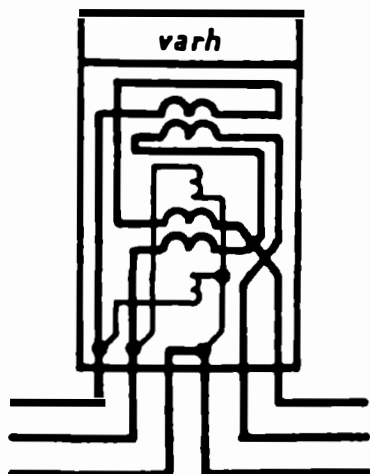
2 B 10



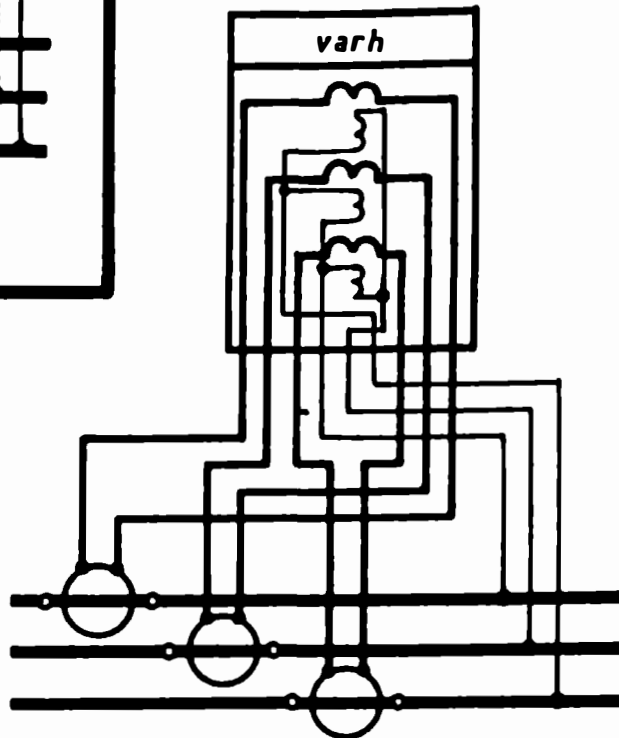
Compteur triphasé 4 fils basse tension montage avec T.I.



COMPTEURS D'ÉNERGIE RÉACTIVE
Compteur d'énergie réactive
monophasé avec
élément sinus.



Compteur réactif triphasé 3 fils.
Compteur constitué par 2 éléments
wattmétriques avec fractionnement
des enroulements.



Compteur d'énergie réactive triphasé 3 fils.
Montage avec transformateurs d'intensité.
Compteur constitué par 3 éléments wattmé-
triques avec modification de couplage.

GÉNÉRALITÉS SUR LES MOTEURS A COURANT CONTINU

2 C 01

Les moteurs à courant continu sont constitués de 2 parties distinctes :

- L'Inducteur qui crée un flux dans l'entrefer.
- L'Induit supportant les conducteurs actifs.

Lorsque ces conducteurs sont parcourus par un courant continu et pour un sens bien défini du flux, ils entraînent l'induit en rotation.

Les différents types de moteurs à courant continu diffèrent par le mode de couplage de l'enroulement inducteur par rapport à l'induit.

On trouve ainsi :

- Les moteurs à excitation en dérivation.
- Les moteurs à excitation en série.
- Les moteurs à excitation composée.

Les principales grandeurs qui déterminent le fonctionnement d'un moteur à courant continu sont :

- U tension d'alimentation de l'induit
- I intensité du courant dans l'induit
- r résistance interne de l'induit
- E' force contre électromotrice de l'induit
- Φ flux dans l'entrefer.

En première hypothèse, le fonctionnement est défini par les relations fondamentales suivantes :

$$E' = U - rI = k n \Phi \text{ avec } k = \frac{p}{a} N$$

(p/a caractéristiques du bobinage, N nombre de brins actif de l'induit)

qui permettent de tirer les conclusions ci-après.

1° Démarrage - E' étant nulle au démarrage seule la résistance de l'induit r très faible limite le courant I. Nécessité d'un rhéostat de démarrage pour maintenir I à une valeur convenable.

$$2^\circ \text{ Vitesse } n = \frac{U - rI}{k\Phi}$$

Le réglage de la vitesse peut se faire soit par action sur U, soit par action sur Φ .

3° Couple

$$P = E' I = 2 \pi C n$$

$$k n \Phi I = 2 \pi C n$$

$$C = 2 \frac{k}{\pi} \Phi I$$

$$C = k' \Phi I$$

MOTEUR A COURANT CONTINU : COMMANDE MANUELLE

2 C 02

Les conséquences pratiques des observations générales vues planche précédente sont pour tous les types de moteurs à courant continu (excitation en dérivation, excitation série - excitation composée - excitation indépendante)

DÉMARRAGE

Il faut : Insérer des résistances en série avec l'induit (pour limiter l'intensité),
Il faut : Avoir un flux maximum donc une intensité maximum dans les inducteurs pour avoir un bon couple.

VARIATION DE LA VITESSE

Le réglage de la vitesse (n) se fait soit par action sur le flux, soit par action sur la tension d'induit.

On réglera n de 0 à vitesse nominale en maintenant le flux constant et en agissant sur la tension d'induit U . Le couple est constant, la puissance augmente avec n .

On réglera n au-delà de la vitesse nominale en agissant sur le flux et en maintenant la tension d'induit constante. La puissance est constante, le couple diminue avec n .

Remarque : On agit sur le flux en agissant sur le courant d'excitation.

STABILITÉ DU FONCTIONNEMENT

Lorsque le flux tend vers 0, la vitesse tend vers l'infini.

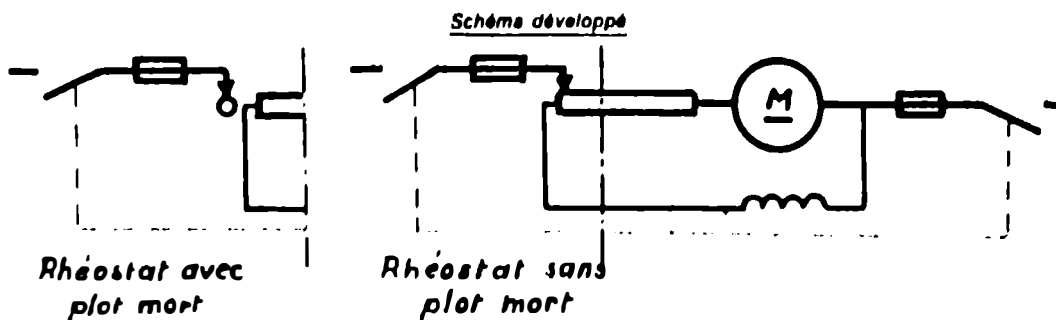
Conséquence : Le moteur série s'emballé à vide. Tous les autres types de moteurs s'emballent si on coupe leur circuit d'excitation.

INVERSION DU SENS DE ROTATION

Le sens de rotation de l'induit dépend du sens du courant dans les conducteurs d'induit et du sens du champ magnétique.

Pour inverser le sens de rotation du moteur il faut soit inverser le sens du flux (c'est-à-dire du courant d'excitation), soit le sens du courant dans l'induit.

Moteur à excitation en dérivation



MOTEUR A COURANT CONTINU : COMMANDE MANUELLE

2 C 03

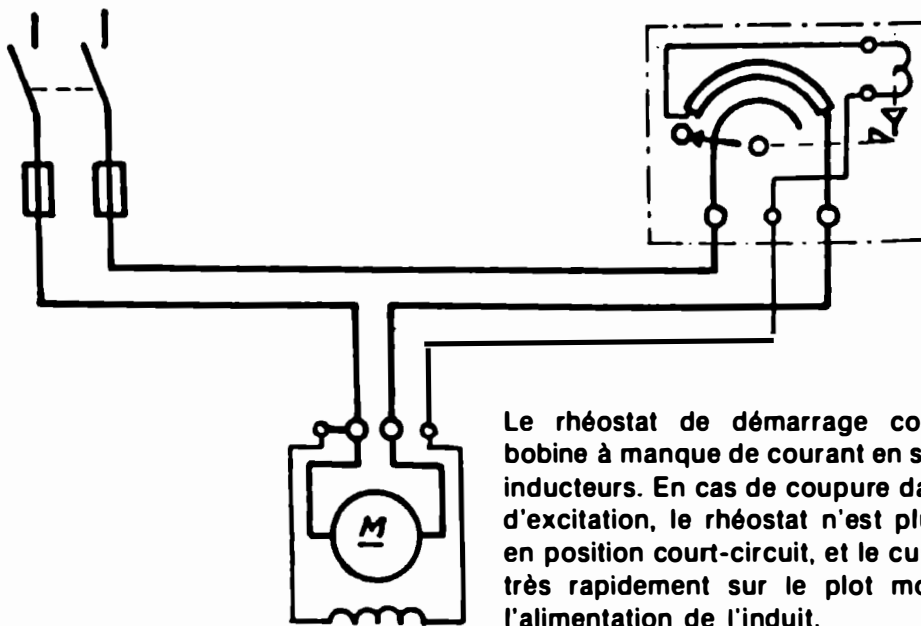
Remarquer que l'induit, le rhéostat de démarrage et les inducteurs forment un circuit fermé.

Conséquences : Le risque de coupure accidentelle du circuit d'excitation est très réduit.

La coupure de l'alimentation du moteur ne provoque pas d'arc, l'énergie emmagasinée dans les inducteurs s'écoulant dans l'induit et le rhéostat.

Ce montage est dit anti-inductif.

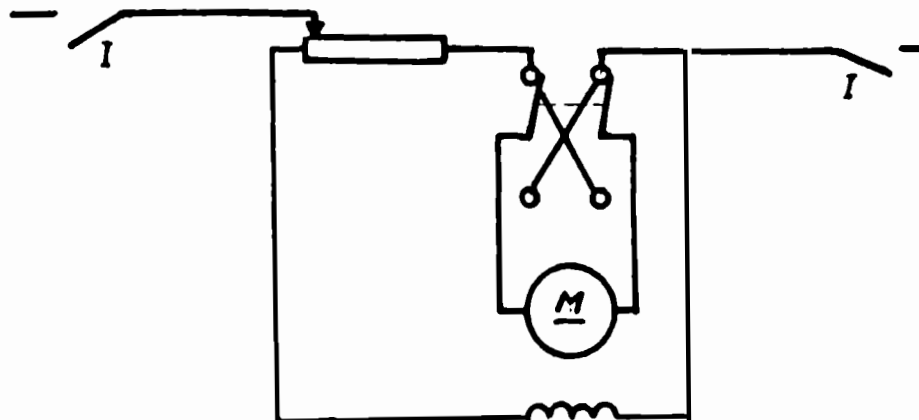
Schéma général des connexions



INVERSION DU SENS DE ROTATION

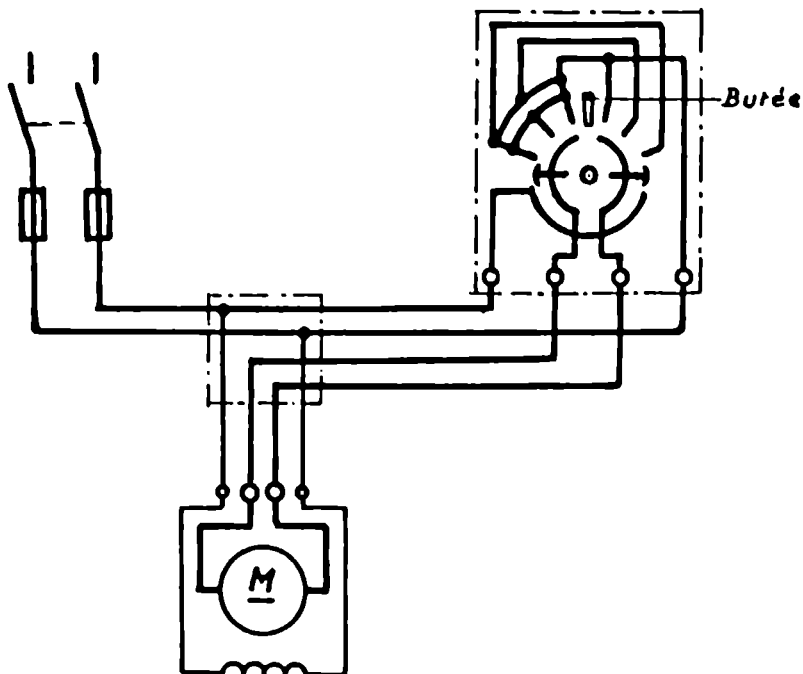
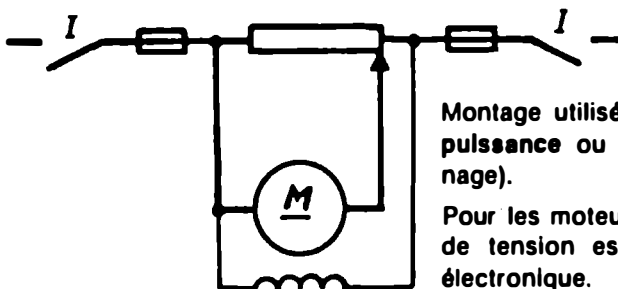
Principe

On inverse le sens du courant dans l'induit.



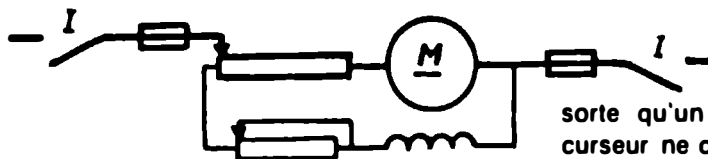
MOTEUR A COURANT CONTINU : COMMANDE MANUELLE

2 C 04

Inversion à l'aide d'un démarreur-inverseurRÉGLAGE DE LA VITESSEPar variation de la tension d'induit

Montage utilisé pour des moteurs de petite puissance ou dans des cas spéciaux (freinage).

Pour les moteurs plus puissants, la variation de tension est obtenue par un dispositif électronique.

Par variation du courant d'excitation

Le rhéostat est monté de telle sorte qu'un contact défectueux au curseur ne coupe pas le circuit d'excitation.

MOTEUR A COURANT CONTINU : COMMANDE MANUELLE

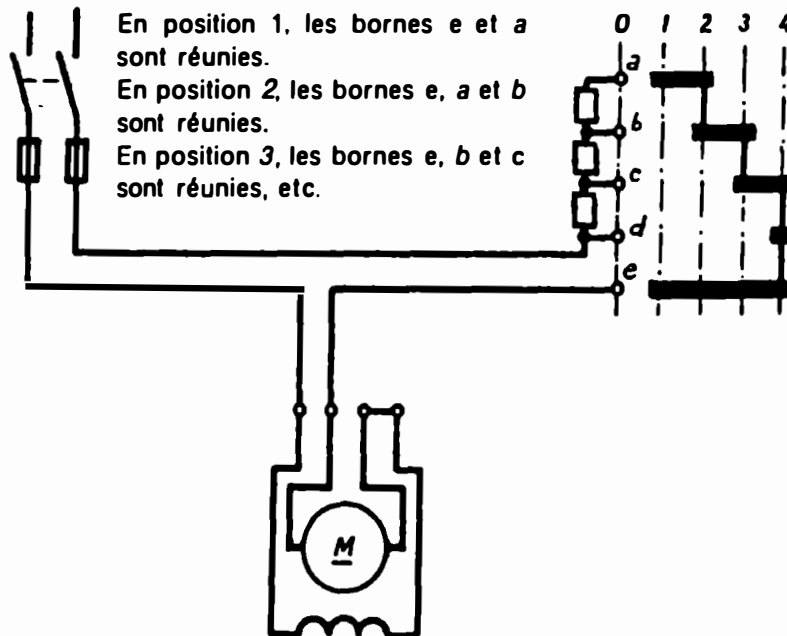
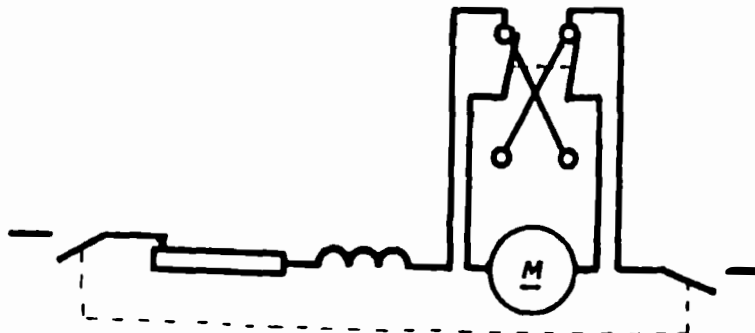
2 C 05

Moteur à excitation série

Schéma développéSchéma général des connexions

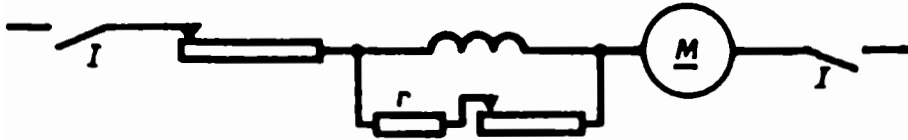
Démarrage par élimination de résistances à l'aide d'un combinateur.

Fonctionnement du combinateur.

INVERSION DU SENS DE ROTATION

RÉGLAGE DE LA VITESSE

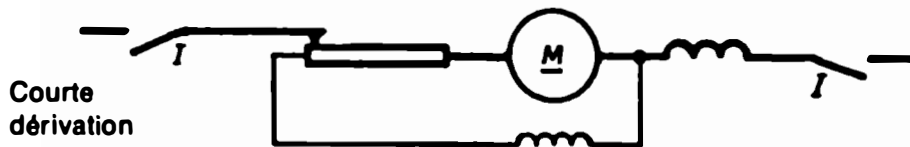
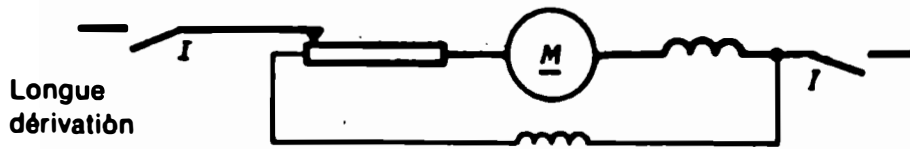
Le réglage de la vitesse s'obtient en diminuant le courant inducteur par montage en parallèle sur les enroulements d'un rhéostat que l'on court-circuite progressivement, dérivant ainsi une partie du courant principal.



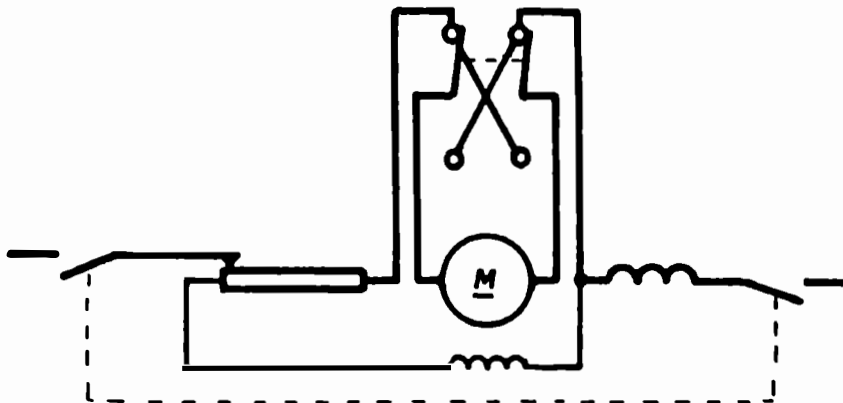
La résistance r évite le court-circuitage total des enroulements inducteurs.

Moteur à excitation composée

Schéma développé

INVERSION DU SENS DE ROTATION

On inverse le sens du courant dans l'induit.



MOTEURS A COURANT CONTINU : COMMANDE MANUELLE

2 C 07

RÉGLAGE DE LA VITESSE

Le réglage de la vitesse se fait par variation du courant d'excitation dans les inducteurs en dérivation.

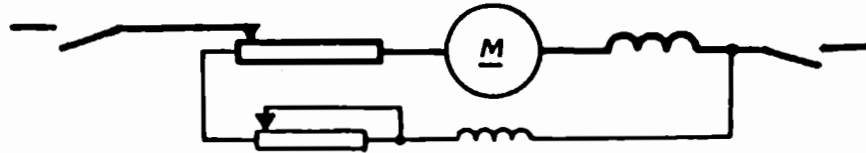
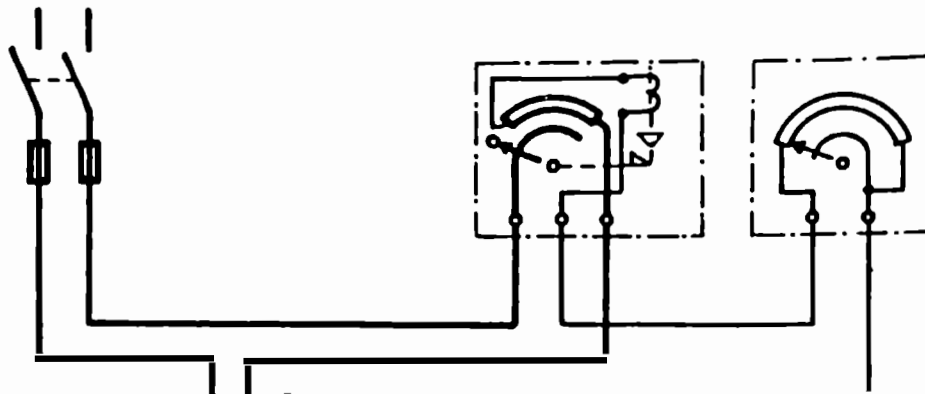
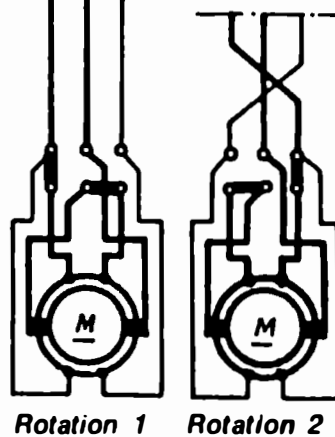


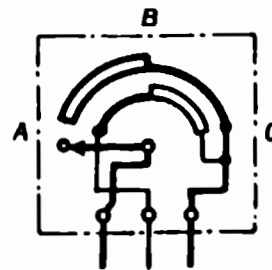
Schéma général des connexions d'un moteur à excitation composée avec rhéostat de démarrage et rhéostat d'excitation



Remarque 1 : Ces 2 rhéostats peuvent être remplacés par un rhéostat unique comme ci-dessous.



Rotation 1 Rotation 2



De A à B le moteur démarre
De B à C le moteur accélère

Remarque 2 : Ce rhéostat démarreur accélérateur peut également être utilisé avec le moteur à excitation en dérivation.

Remarque 3 : De même le démarreur inverseur déjà vu pour les moteurs à excitation en dérivation et à excitation série, s'emploie avec le moteur à excitation composée.

MOTEURS A COURANT CONTINU : COMMANDE PAR CONTACTEURS

2 C 08

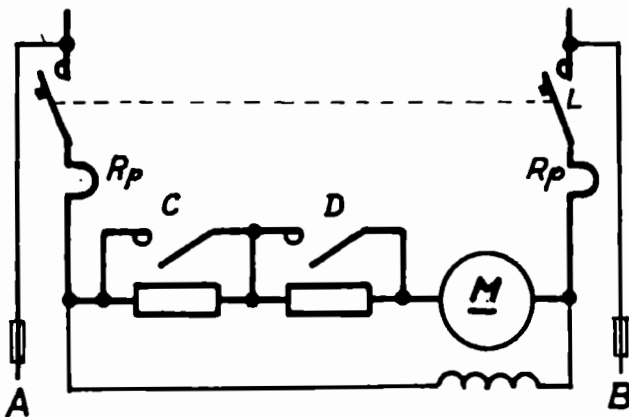
Pour l'établissement des schémas de commande des moteurs à courant continu par contacteur, procéder comme pour tous les ensembles à contacteurs, c'est-à-dire :

1. Etablir d'abord le circuit de puissance, afin de déterminer le nombre de contacteurs nécessaires.
2. Connaissant le nombre de contacteurs, réaliser le schéma de circuit de commande.

Remarque : Le schéma du circuit de puissance s'obtient d'après le schéma développé de la commande par interrupteur. On remplace simplement les interrupteurs par des éléments de contacteurs et le rhéostat de démarrage par un ensemble de résistances montées en série et court-circuitées automatiquement les unes après les autres par des contacteurs.

Moteur à excitation en dérivation

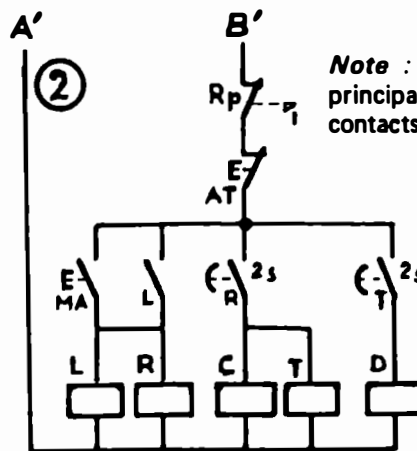
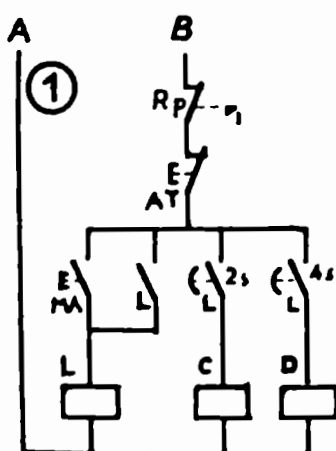
1° Schéma développé du circuit de puissance



Il faudra 3 contacteurs, 1 bipolaire et 2 unipolaires ces 2 derniers se fermant avec un certain retard sur le contacteur principal. Ce montage est anti-inductif.

Note : La protection se fait par relais à détecteur magnétique sur les 2 fils d'alimentation.

Exemples de schémas développés du circuit de commande



Note : En (1) le contacteur principal admet un bloc de contacts temporisés.

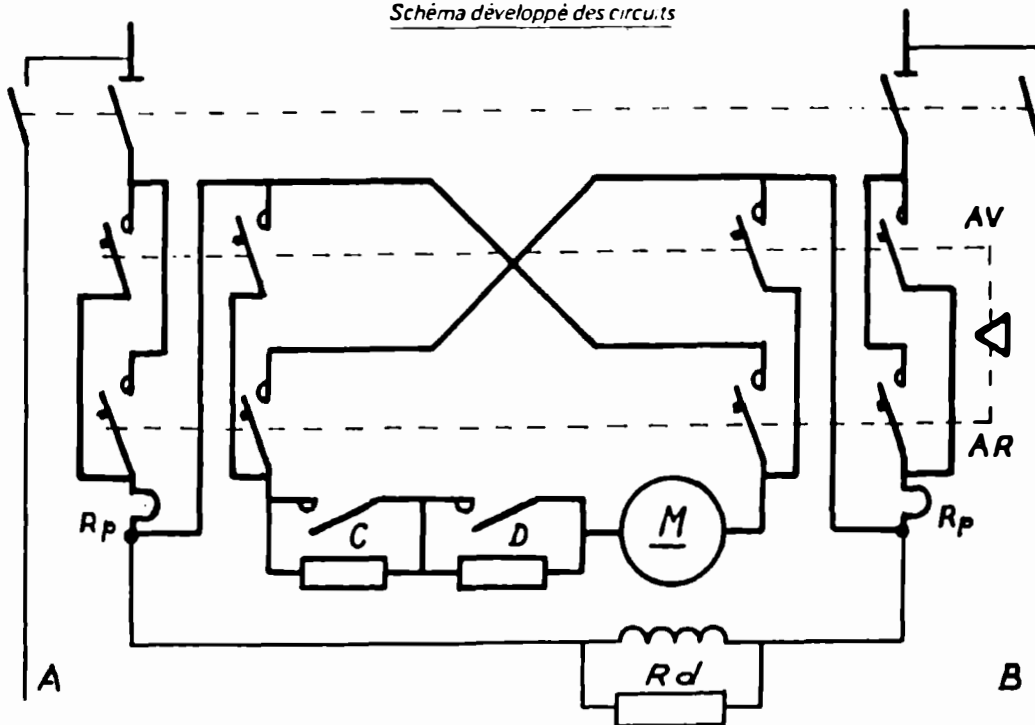
En (2) la temporisation est obtenue par des relais séparés.

MOTEURS A COURANT CONTINU : COMMANDE PAR CONTACTEURS

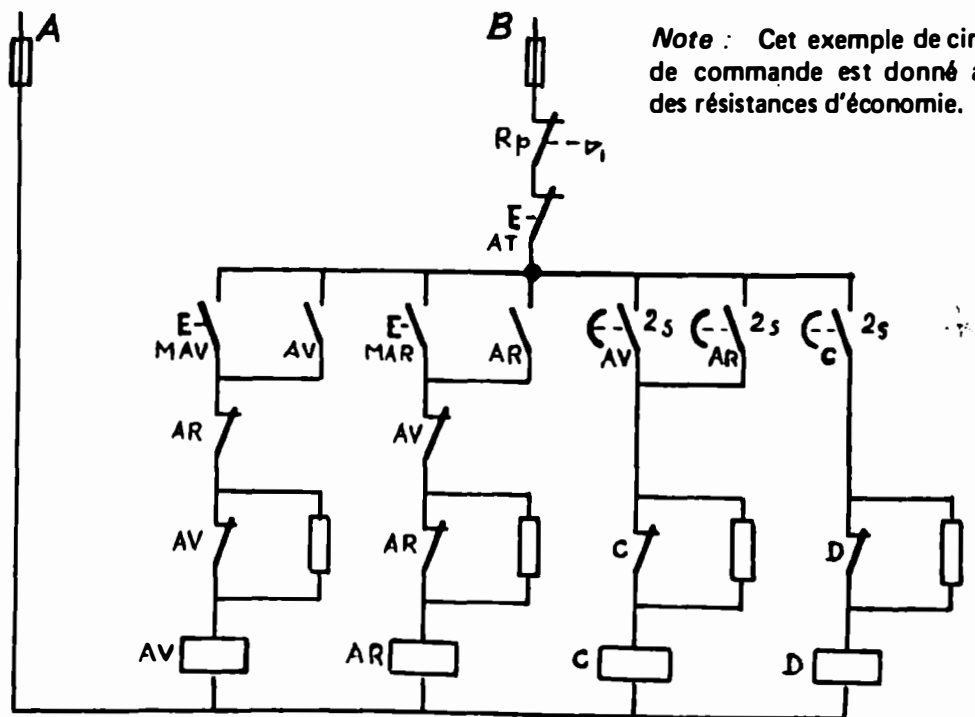
2 C 09

INVERSION DU SENS DE ROTATION

Schéma développé des circuits



Remarque : «Rd» : Résistance de décharge des inducteurs montée en parallèle sur ceux-ci. A la coupure du circuit inducteur l'énergie d'auto-induction des enroulements se «décharge» dans celle-ci rendant le montage anti-inductif. La valeur ohmique de «Rd» doit être du même ordre de grandeur que la résistance des inducteurs.



Note : Cet exemple de circuit de commande est donné avec des résistances d'économie.

MOTEURS A COURANT CONTINU : COMMANDE PAR CONTACTEURS

2 C 10

VARIANTE

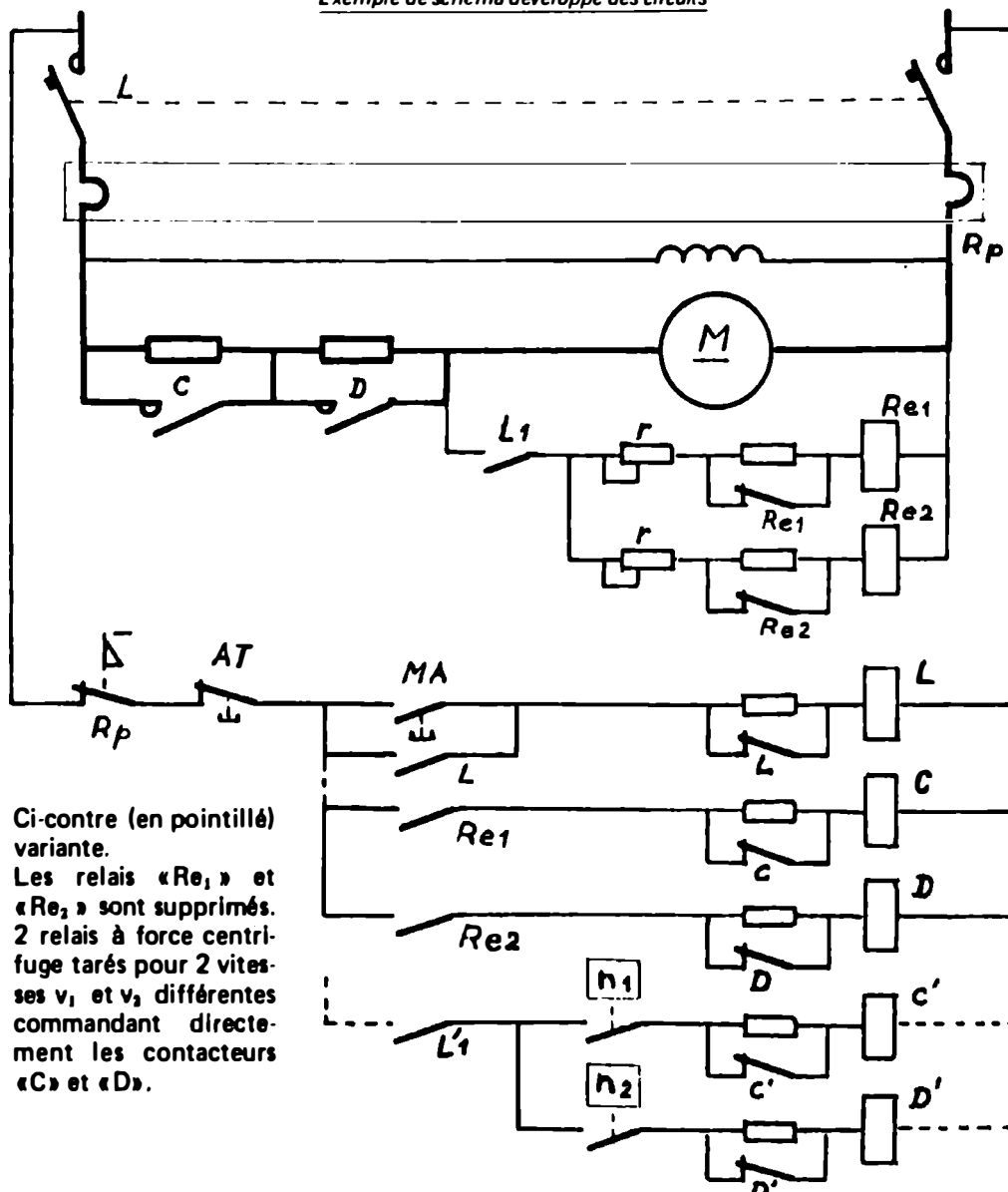
Lorsque le moteur démarre, sa vitesse augmente, et en même temps et de la même façon la tension aux bornes de l'induit augmente. On peut se servir de cette propriété pour commander le court-circuitage des résistances de démarrage par les contacteurs «C» et «D».

Les relais «Re₁» et «Re₂» placés aux bornes de l'induit se ferment pour des tensions différentes, le réglage étant obtenu par action sur des résistances «r».

Ce montage permet au moteur de démarrer dans de bonnes conditions quelle que soit la charge (démarrage rapide ou lent).

Le contact «L₁» est nécessaire, car la tension de décollage des relais (ouverture) est inférieure à la tension collage (fermeture). Sans ce contact une remise en marche du moteur avant l'arrêt complet, peut trouver un ou les 2 contacteurs «C» ou «D» fermés même à vitesse réduite.

Exemple de schéma développé des circuits



Ci-contre (en pointillé)
variante.

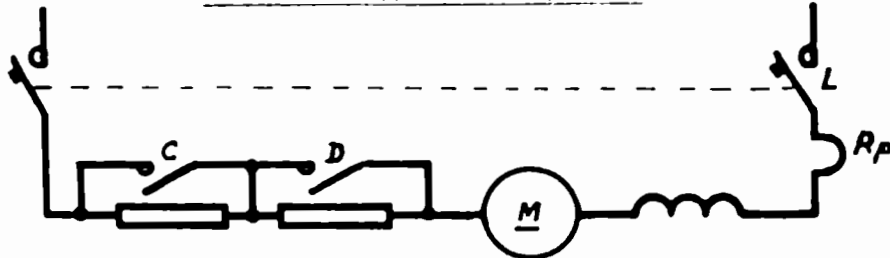
Les relais «Re₁» et
«Re₂» sont supprimés.
2 relais à force centri-
fuge tarés pour 2 vites-
ses v_1 et v_2 différen-
tes commandant directe-
ment les contacteurs
«C» et «D».

MOTEURS A COURANT CONTINU : COMMANDE PAR CONTACTEURS

2 C 11

Moteur à excitation série

1°) Schéma développé du circuit de puissance



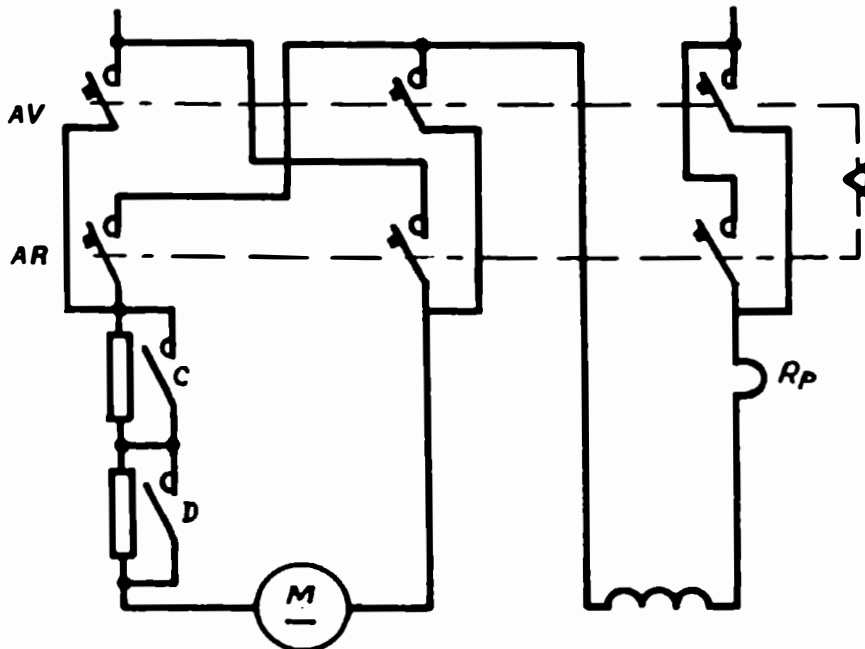
Remarque : La protection (par relais de protection à détecteur de type magnétique) se fait ici sur un seul fil.

2°) Schéma développé du circuit de commande

Le schéma développé du circuit de commande est le même que celui pour moteur à excitation en dérivation (avec ou sans résistances d'économie selon la puissance du moteur donc selon le calibre des contacteurs).

INVERSION DU SENS DE ROTATION

1°) Schéma du circuit de puissance



2°) Schéma développé du circuit de commande

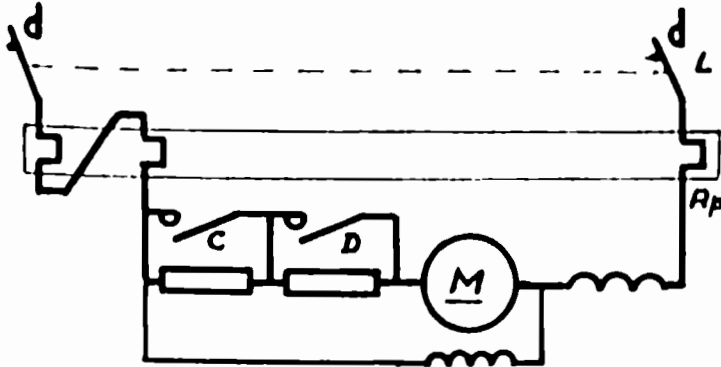
Le schéma développé du circuit de commande est le même que celui pour moteur à excitation en dérivation (avec ou sans résistances d'économie selon la puissance du moteur, donc selon le calibre des contacteurs).

MOTEURS A COURANT CONTINU : COMMANDE PAR CONTACTEURS

2 C 12

Moteur à excitation composée

1°) Schéma développé du circuit de puissance



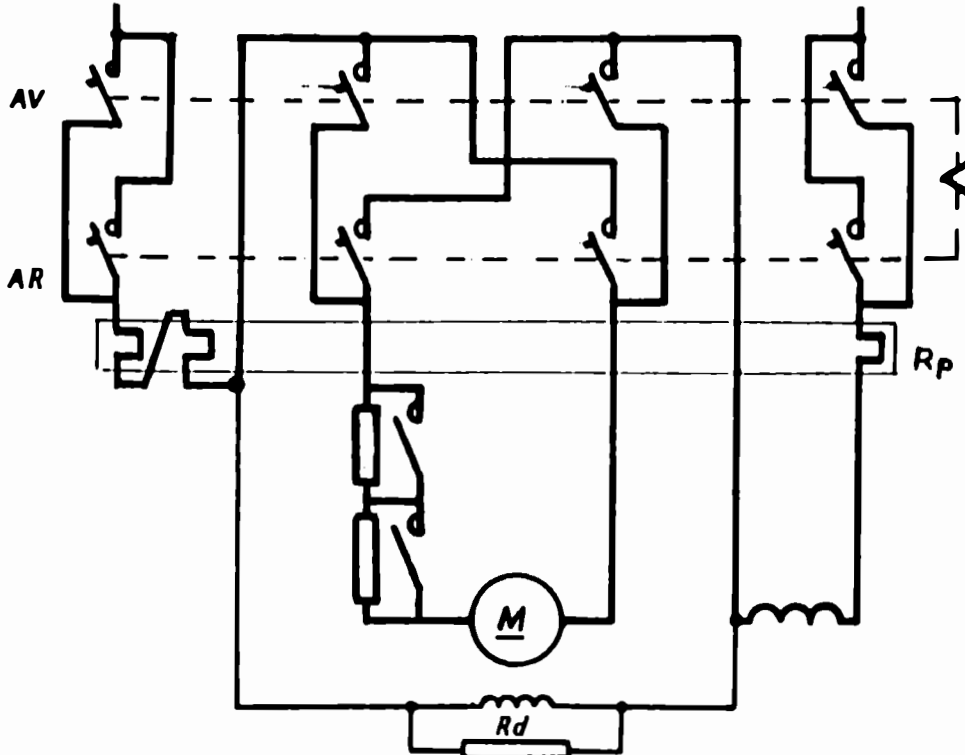
Remarquer ci-contre le montage particulier des détecteurs thermiques dans le cas d'utilisation de relais triphasé différentiel (ce type de relais est le plus utilisé actuellement).

2°) Schéma développé du circuit de commande

Le schéma développé du circuit de commande est le même que celui pour moteur à excitation en dérivation (avec ou sans résistances d'économie selon la puissance du moteur donc selon le calibre des contacteurs).

INVERSION DU SENS DE ROTATION

1°) Schéma du circuit de puissance



2°) Schéma développé du circuit de commande

Le schéma développé du circuit de commande est le même que celui du moteur à excitation en dérivation (avec ou sans résistances d'économie selon la puissance du moteur donc selon le calibre des contacteurs).

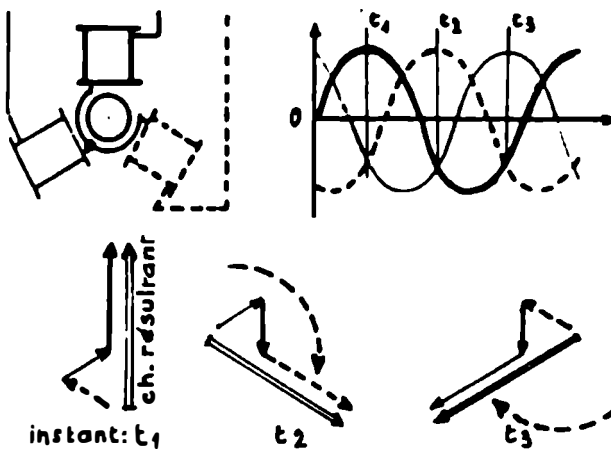
MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES : GÉNÉRALITÉS

2013

Le moteur asynchrone triphasé est constitué de 2 parties

- Le **stator**. Il supporte les bobines inductrices au nombre de 3 ou multiple de 3 qui créent le champ tournant.
- Le **rotor**. Il supporte un bobinage qui peut être
 - Constitué de barres non isolées en général en aluminium, réunies entre elles pour former une cage. D'où le nom de rotor en court-circuit ou moteur à cage
 - Constitué par un bobinage isolé raccordé à des résistances (dans la plupart des cas situées en dehors du moteur) par un contact glissant bague-balai

CONSTITUTION DU CHAMP TOURNANT



Imaginons 3 bobines disposées comme ci-contre, et raccordées aux 3 phases d'une distribution triphasée.

Le champ total au centre de ces 3 bobines est obtenu en réalisant une construction vectorielle avec chacun des 3 champs élémentaires créés par chacune des 3 bobines.

Prenons 3 instants $t_1-t_2-t_3$. Nous constatons qu'il y a rotation du vecteur résultant : 1 tour en 1 période.

Doublons le nombre de bobines en les disposant dans l'ordre I-II-III-I-II-III et en les alimentant par l'extérieur. La même construction nous indique que le vecteur fait seulement 1/2 tour en 1 période.

D'autre part si on croise 2 phases pour l'alimentation de 2 bobines, le sens de rotation du vecteur change.

Conséquences : La vitesse de rotation du champ tournant ne dépend que de la fréquence et du nombre de pôles créés par les bobines.

- Le sens de rotation s'inverse en inversant seulement 2 phases.

FONCTIONNEMENT DU MOTEUR

Le champ tournant induit des courants dans le rotor. Ces courants créent à leur tour un champ. Le bobinage rotorique peut donc s'assimiler à un électro-aimant dont les pôles vont « s'accrocher » à ceux du champ tournant. Le rotor tourne.

Si la vitesse du rotor devient égale à celle du champ tournant, les courants rotoriques s'annulent, le champ créé par ces courants disparaît, le couple moteur s'annule aussi.

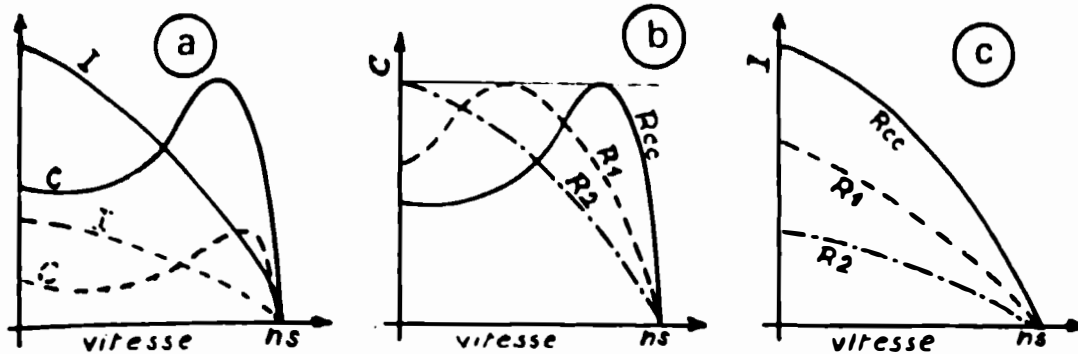
Conséquence : Ce type de moteur tourne à une vitesse légèrement inférieure au synchronisme, d'où le nom de moteur asynchrone.

MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS : GÉNÉRALITÉS

2 C 14

Les propriétés les plus importantes concernant le démarrage et le fonctionnement du moteur asynchrone sont :

1. Le couple maximum est sensiblement proportionnel au carré de la tension d'alimentation.
2. Le maximum du couple est indépendant de la résistance du rotor, mais se produit à des vitesses différentes suivant la valeur de cette résistance.



a) Variation du couple et de l'intensité en fonction de la vitesse pour 2 tensions - U (en pointillé) $U \times \sqrt{3}$ (en trait plein).

b) et c) Variation du couple et de l'intensité en fonction de la vitesse pour des résistances rotoriques R court-circuit $< R_1 < R_2$.

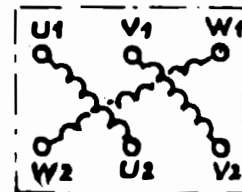
Conséquence :

1. Tous les procédés limitant l'intensité au démarrage en réduisant la tension d'alimentation réduisent aussi le couple.
2. Seule l'augmentation de la résistance du circuit rotorique permet d'obtenir un bon couple et une intensité réduite au démarrage.

COUPLAGE DES BOBINES DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS

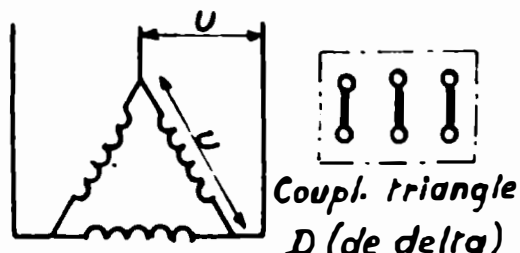
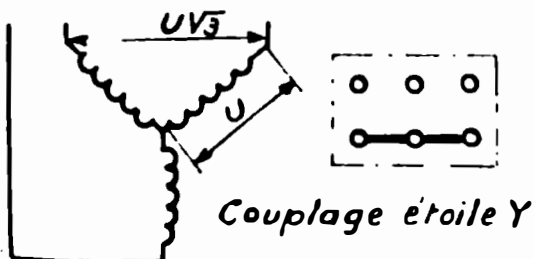
Les moteurs asynchrones triphasés ont 6 bornes correspondant à leurs 3 enroulements et placés comme ci-contre.

Les lettres « $u_1 - v_1 - w_1$ » correspondent à une extrémité de chaque bobine. Les lettres « $u_2 - v_2 - w_2$ » correspondent à l'autre extrémité de chaque bobine.



Cette disposition permet de réaliser facilement les couplages étoile ou triangle qui s'emploient :

- Le couplage étoile quand la tension du réseau correspond à la plus grande tension indiquée sur la plaque signalétique du moteur.
- Le couple triangle quand la tension du réseau correspond à la plus petite tension indiquée sur la plaque signalétique du moteur.

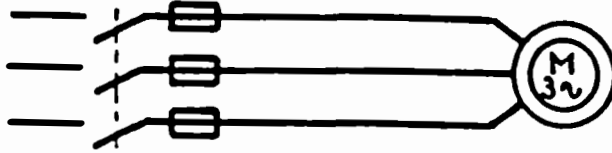


**MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS :
COMMANDE MANUELLE**

2 C 15

Moteurs asynchrones triphasés à rotor en court-circuit

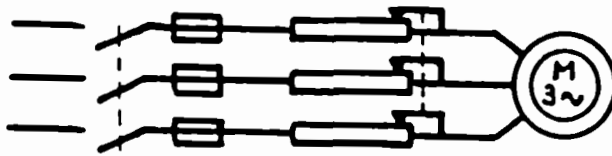
I - DÉMARRAGE DIRECT



Surintensité au démarrage mais couple important.

Pour moteur de puissance réduite (moins de 3 Kw) entraînant une machine de peu d'inertie.

II - DÉMARRAGE PAR ÉLIMINATION DE RÉISTANCES STATORIQUES



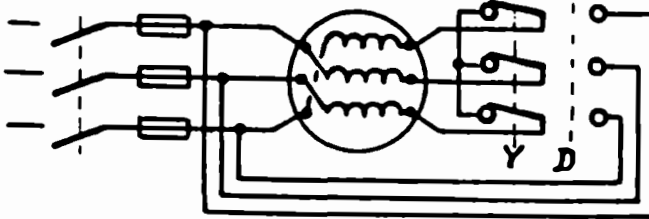
Tension réduite - Intensité réduite - Mais couple faible au démarrage.

III - DÉMARRAGE PAR COUPLAGE ÉTOILE - TRIANGLE

La tension est appliquée au moteur dont les enroulements sont couplés d'abord en étoile, puis en triangle. Il faut donc que le couplage triangle corresponde à la tension normale de fonctionnement : c'est-à-dire que la tension du réseau soit égale à la plus

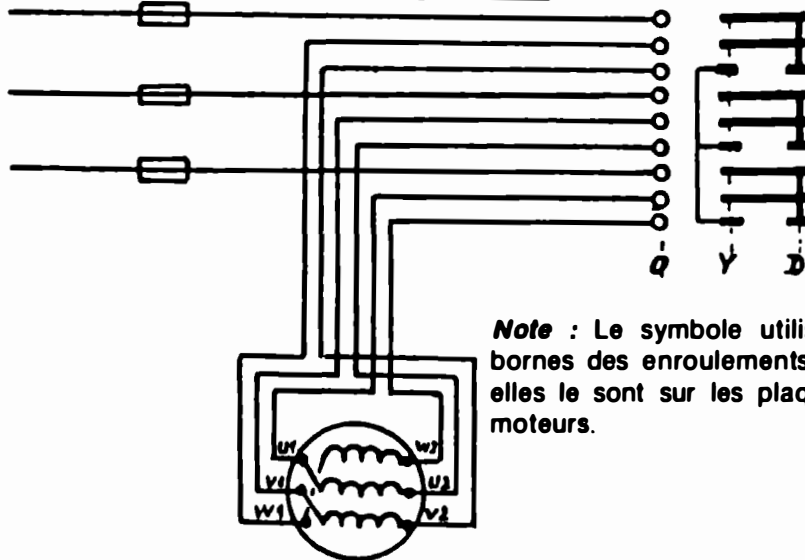
petite des tensions indiquées sur la plaque signalétique du moteur.

A - Couplage par interrupteur et inverseur



Au démarrage (couplage Y) on applique donc seulement une tension $U/\sqrt{3}$ au stator.

B - Couplage par combinateur



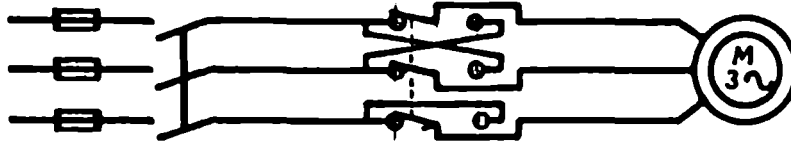
Note : Le symbole utilisé représente les bornes des enroulements disposés comme elles le sont sur les plaques à bornes des moteurs.

MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS : COMMANDE MANUELLE

2 C 16

IV - INVERSION DU SENS DE ROTATION

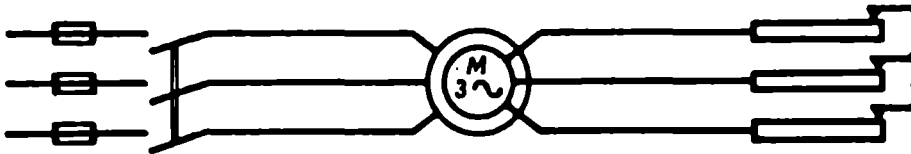
On inverse la polarité de 2 phases.



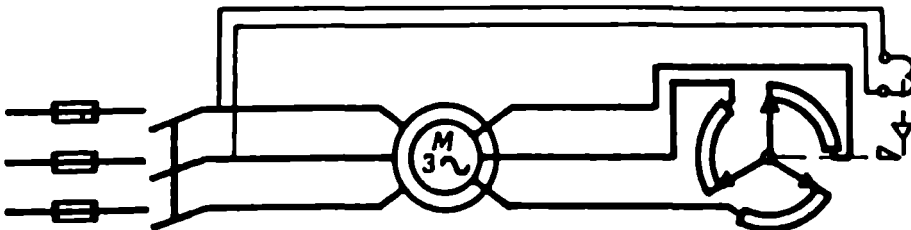
Moteurs asynchrones triphasés à rotor bobiné

Les enroulements rotoriques sont reliés à un rhéostat qui est progressivement mis en court-circuit.

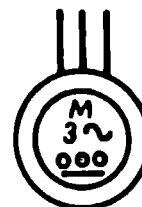
Ce mode de démarrage permet à la fois de limiter le courant de démarrage et d'obtenir un couple important au démarrage.



Montage avec rhéostat de démarrage comportant un système d'accrochage de l'équipage mobile et déclenchement par bobine à manque de tension



Lorsqu'un moteur à rotor bobiné possède un coupleur centrifuge qui élimine automatiquement les résistances montées sur le rotor, la représentation normalisée d'un tel moteur sera comme ci-contre.



MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS : COMMANDE PAR CONTACTEURS

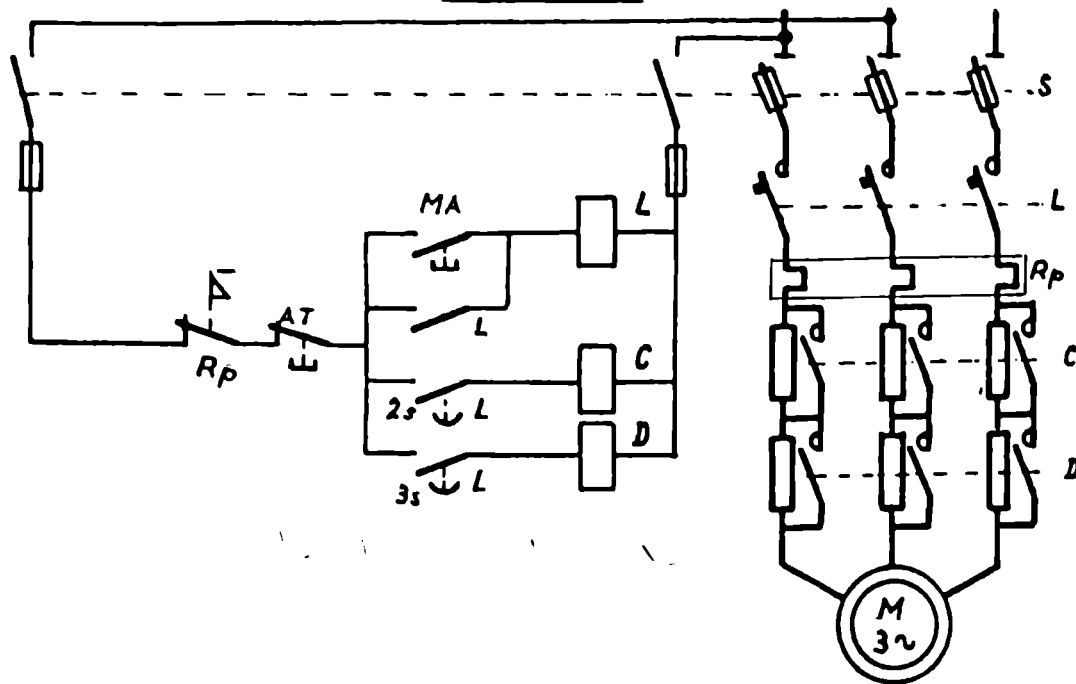
2 C 17

Moteurs asynchrones triphasés à rotor en court-circuit

I DÉMARRAGE DIRECT : voir pl. 2 B 01 à 2 B 02

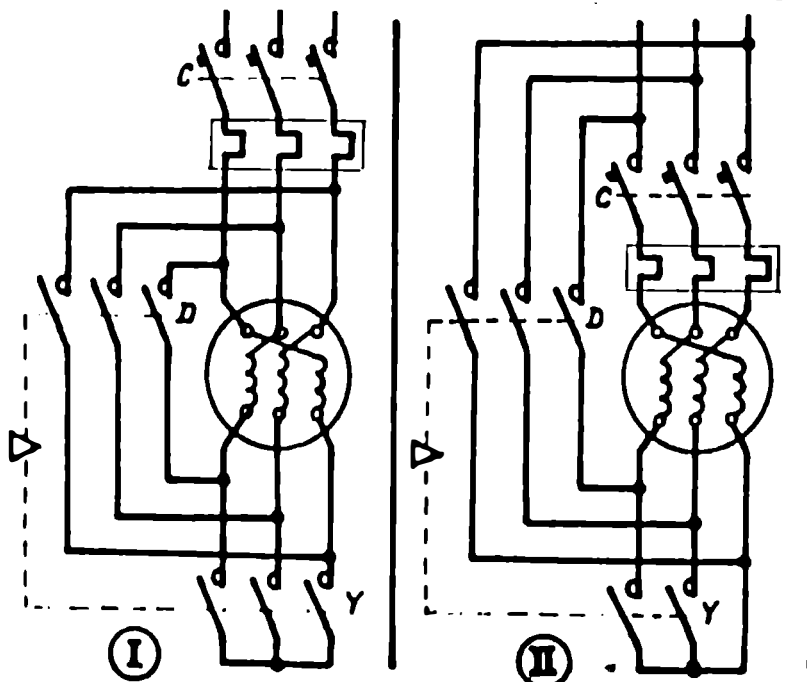
II DÉMARRAGE PAR ÉLIMINATION DE RÉISTANCES STATORIQUES

Schéma des circuits



III DÉMARRAGE PAR COUPLAGE ÉTOILE-TRIANGLE

Schéma développé du circuit de puissance



Fonctionnement

- Fermeture de Y et de C
- ou
- Fermeture de Y puis de C
- Temporisation
- Ouverture de Y et fermeture de D

Remarque

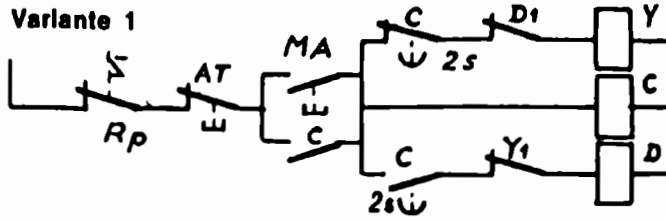
Variante II : Relais de protection réglé pour $I_{max}/\sqrt{3}$

$$= 0,58 I_{max}$$

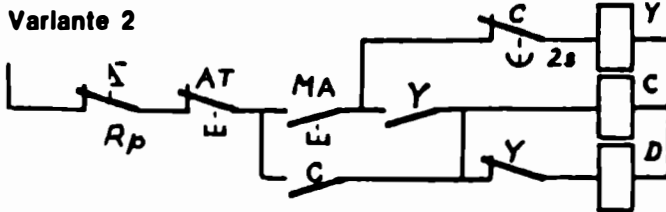
MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS : COMMANDE PAR CONTACTEURS

2 C 10

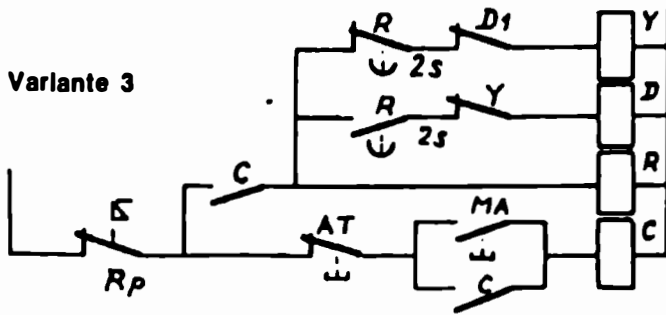
2^e Schémas développés du circuit de commande



Montage avec 2 contacts auxiliaires temporisés 1 à ouverture, l'autre à fermeture ayant la même temporisation.
Y, D₁ : contacts de verrouillage.



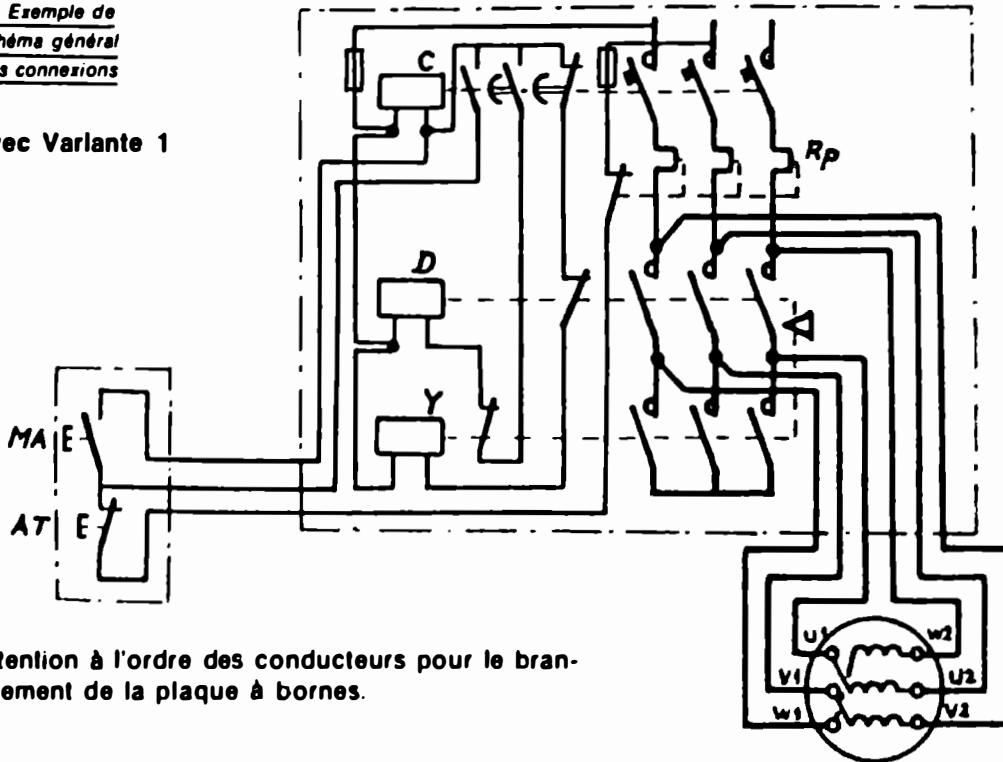
Montage avec 1 contact auxiliaire temporisé à ouverture.



Montage avec 1 relais auxiliaire à 2 contacts temporisés (montage dérivé de la variante 1). Le contact de verrouillage D, n'est pas indispensable. Il se monte quand on dispose de suffisamment de contacts auxiliaires.

3^e Exemple de schéma général des connexions

avec Variante 1



Attention à l'ordre des conducteurs pour le branchement de la plaque à bornes.

**MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS :
COMMANDE PAR CONTACTEURS**

2 C 19

IV DÉMARRAGE PAR COUPLAGE ÉTOILE - TRIANGLE RÉSISTANCE - TRIANGLE

Ce mode de couplage comporte une position intermédiaire (triangle résistance) qui réduit la surintensité se produisant au passage de la position étoile à la position triangle.

Le couplage des enroulements est alors le suivant.

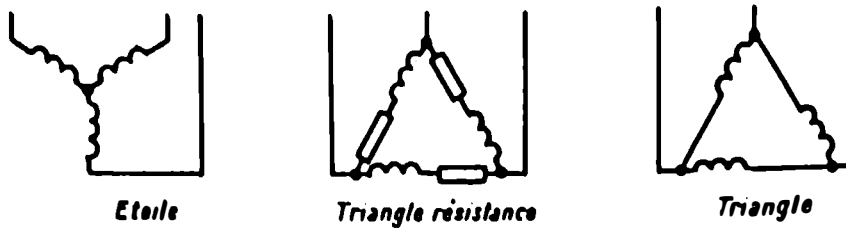
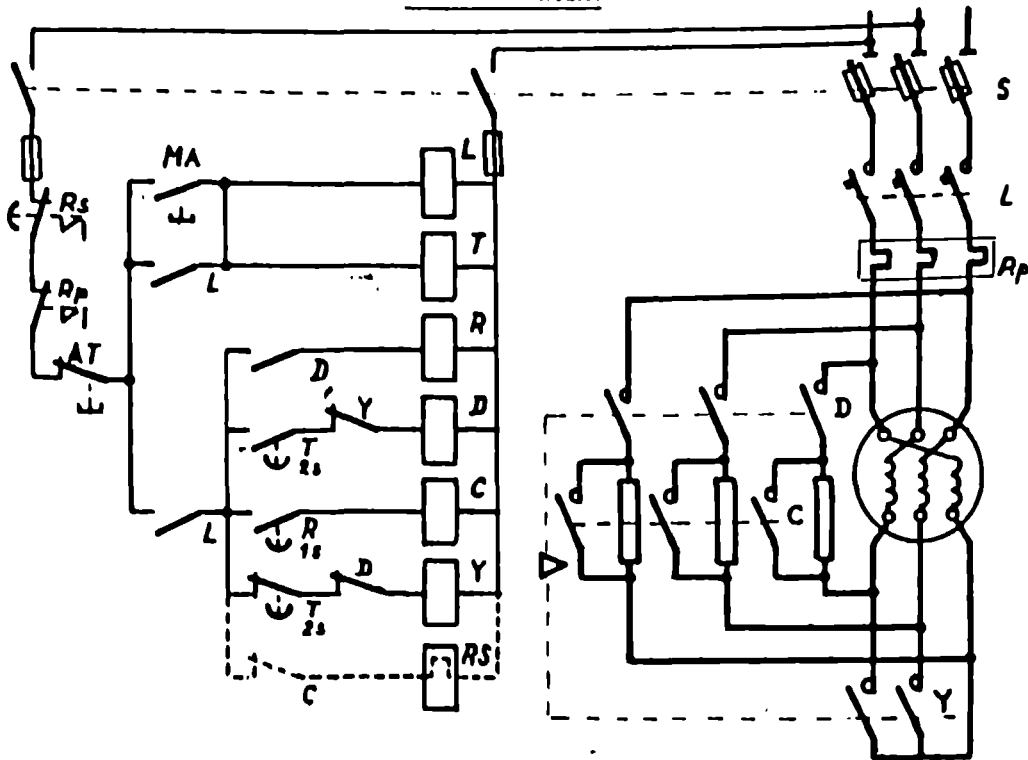


Schéma des circuits



Fonctionnement : Fermeture de Y et de L et T
 Temporisation, puis ouverture de Y et fermeture de D et R
 Temporisation ; puis fermeture de C.

Rôle du relais thermique temporisé RS : Dans le cas où le démarrage est soit trop long, soit incomplet, le relais RS coupe le circuit de commande protégeant ainsi les résistances de démarrage qui ne peuvent supporter une intensité importante qu'un court instant.

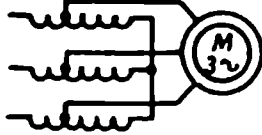
Si le démarrage est normal, le relais RS est mis hors tension avant d'avoir agi.

MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS : COMMANDE PAR CONTACTEURS

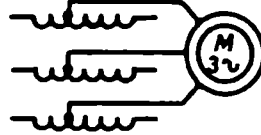
2 C 20

V DÉMARRAGE PAR AUTO-TRANSFORMATEUR

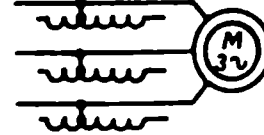
Le démarrage du moteur d'effectue avec les couplages suivants



1 - Alimentation par auto transformateur

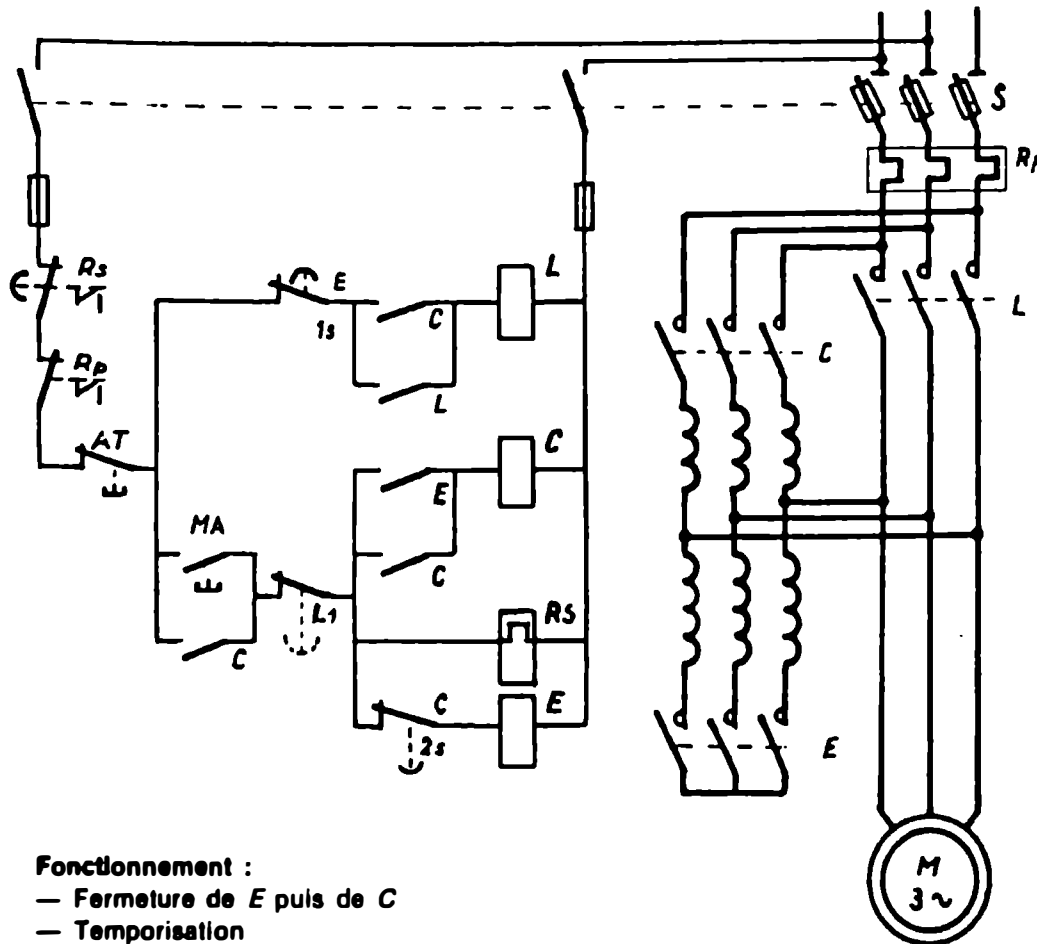


2 - Inductances en série



3 - Alimentation directe.

Schéma des circuits



Fonctionnement :

- Fermeture de *E* puis de *C*
- Temporisation
- Ouverture de *E*
- Temporisation
- Fermeture de *L* puis ouverture de *C*.

- Le contact «*L*₁» peut être très légèrement temporisé (0,5 s par ex.).

MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS : COMMANDE PAR CONTACTEURS

2 C 21

VI INVERSION DU SENS DE ROTATION POUR MOTEUR A DÉMARRAGE DIRECT

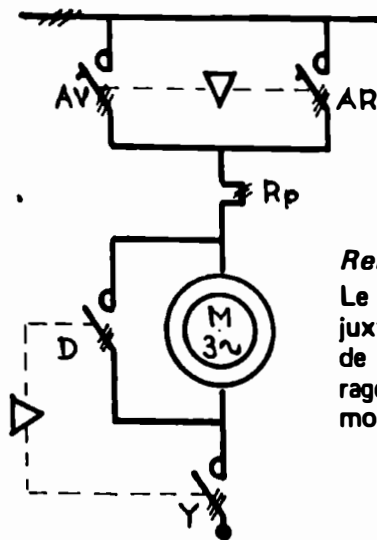
Voir exemple pl. 2 B 03 et 2 B 04.

VII INVERSION DU SENS DE ROTATION POUR AUTRES TYPES DE DÉMARRAGE

Tous les modes de démarrage déjà vus pour les moteurs asynchrones triphasés peuvent s'obtenir avec les 2 sens de rotation.

1^{er} exemple : démarrage (étoile-triangle et inversion du sens de rotation)

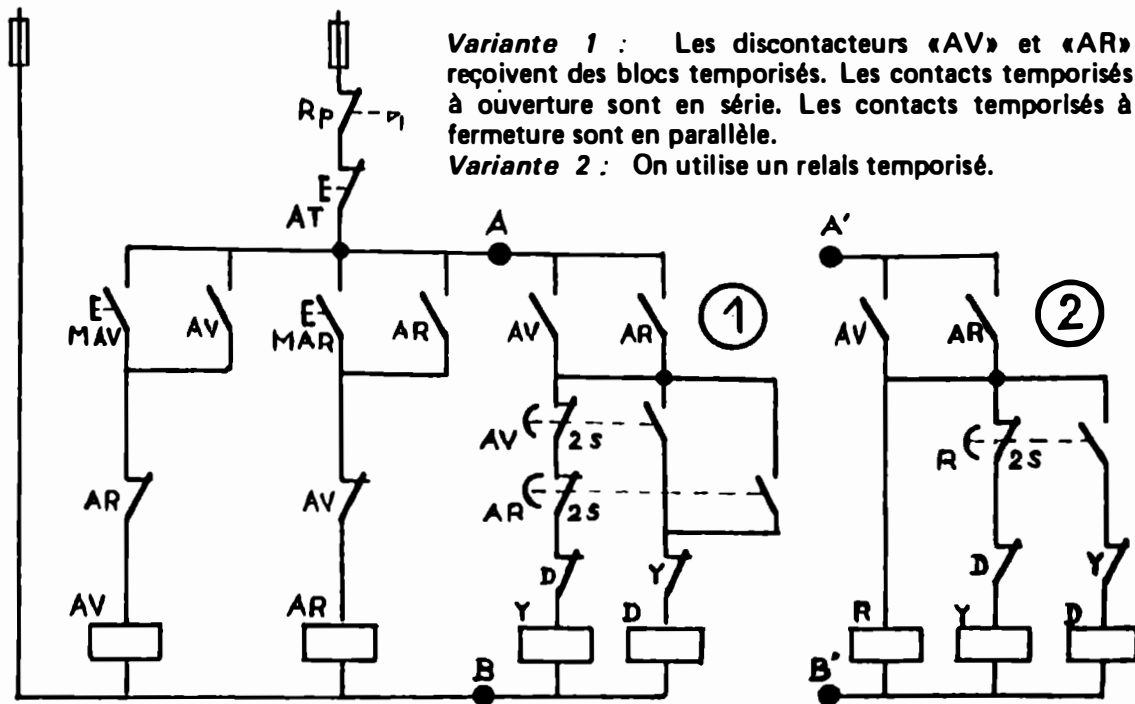
Schéma du circuit de puissance



Remarque concernant le circuit de puissance :
Le schéma du circuit de puissance est obtenu dans ce cas en remplaçant le discontacteur principal par un discontacteur-inverseur.

Remarque concernant le circuit de commande :
Le schéma du circuit de commande (ci-dessous) résulte de la juxtaposition des circuits de commande (inversion du sens de rotation et démarrage étoile-triangle). La partie démarrage est mise sous tension par 2 contacts «AV» et «AR» montés en parallèle.

Schéma du circuit de commande

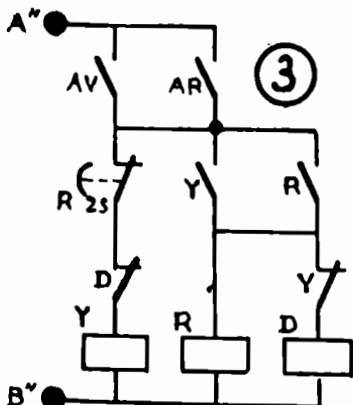


Variante 1 : Les discontacteurs «AV» et «AR» reçoivent des blocs temporisés. Les contacts temporisés à ouverture sont en série. Les contacts temporisés à fermeture sont en parallèle.

Variante 2 : On utilise un relais temporisé.

**MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS :
COMMANDE PAR CONTACTEURS**

2 C 22

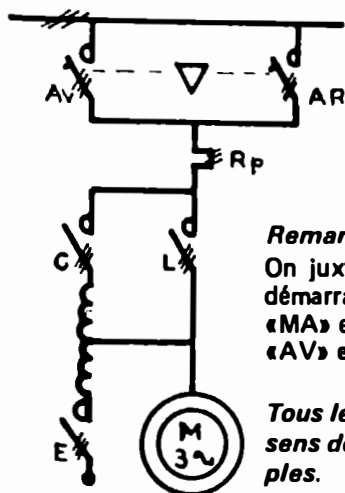


Note : Dans les montages vus page précédente, on peut si l'on dispose de contacts temporisés réglables séparément décaler de 0,5 secondes par exemple l'ouverture de «Y» et la fermeture de «D» (cas de gros moteurs dont la coupure se fait avec un arc important).

Dans la variante (3) ci-contre avec un seul contact temporisé (dérivé de la variante 2 vue pl 2 C 18) on ne peut faire ce réglage.

2^e exemple : démarrage (auto-transformateur) et immersion du sens de rotation

Schéma du circuit de puissance



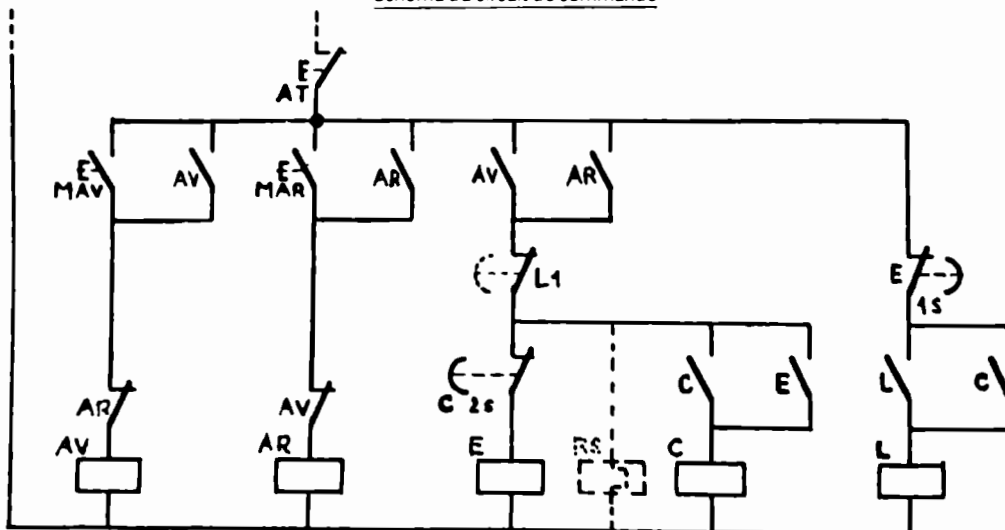
Remarque concernant le circuit de puissance :
Dans ce 2^e exemple on ajoute un discontacteur inverseur au circuit de démarrage par auto-transformateur.

Remarque concernant le circuit de commande :

On juxtapose les 2 schémas inversion du sens de rotation et démarrage par auto-transformateur en remplaçant le bouton «MA» et son auto-alimentation «C» (pl. 2 C 20) par 2 contacts «AV» et «AR» montés en parallèle.

Tous les autres procédés de démarrage avec inversion du sens de rotation peuvent se rattacher à un de ces 2 exemples.

Schéma du circuit de commande



**MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS :
COMMANDE PAR CONTACTEURS**

2 C 23

Moteurs asynchrones triphasés à rotor bobiné

I COMMANDE PAR CONTACTEUR ET RHÉOSTAT DE DÉMARRAGE

Le rhéostat de démarrage comporte un contact auxiliaire fermé quand le rhéostat est en position de démarrage (toutes les résistances en circuit).

Ce contact monté en série avec le bouton marche évite le démarrage si le rhéostat n'est pas en position correcte.

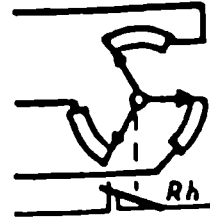
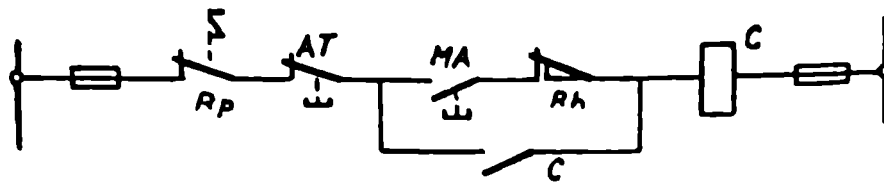


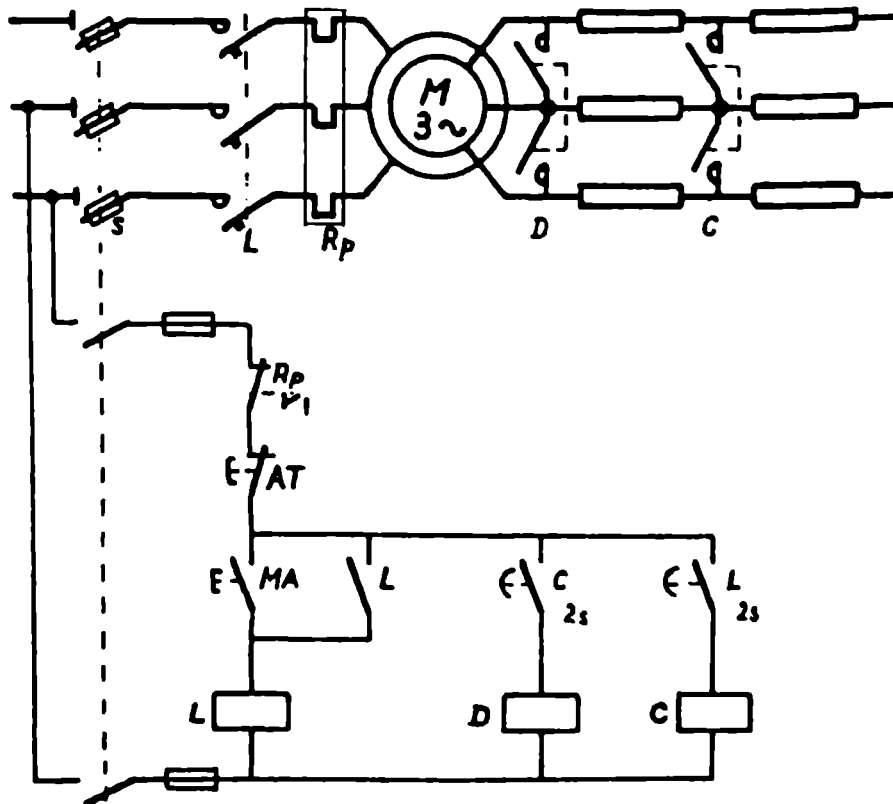
Schéma développé du circuit de commande



Le contacteur C ne peut être mis sous tension si le contact Rh n'est pas fermé. Une fois C fermé l'ouverture de Rh est sans effet.

II DÉMARRAGE PAR COURT-CIRCUITAGE AUTOMATIQUE DE RÉSISTANCES ROTORIQUES

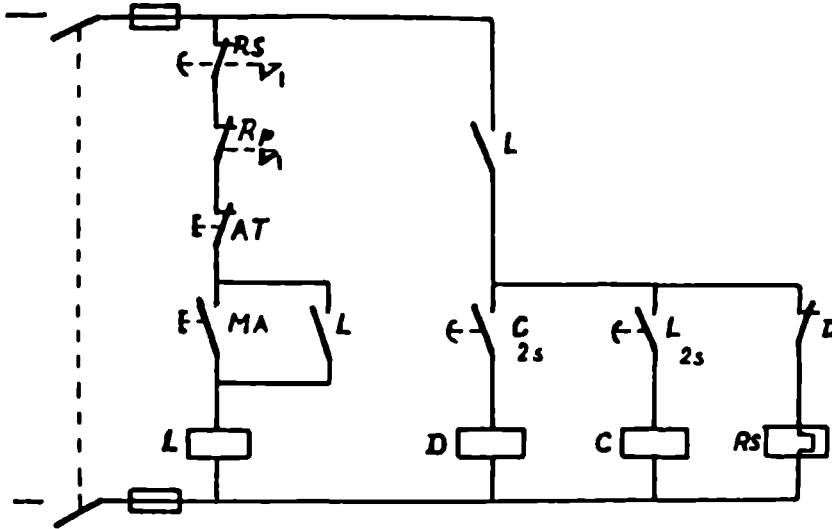
Schéma des circuits



**MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS :
COMMANDE PAR CONTACTEURS**

2 C 24

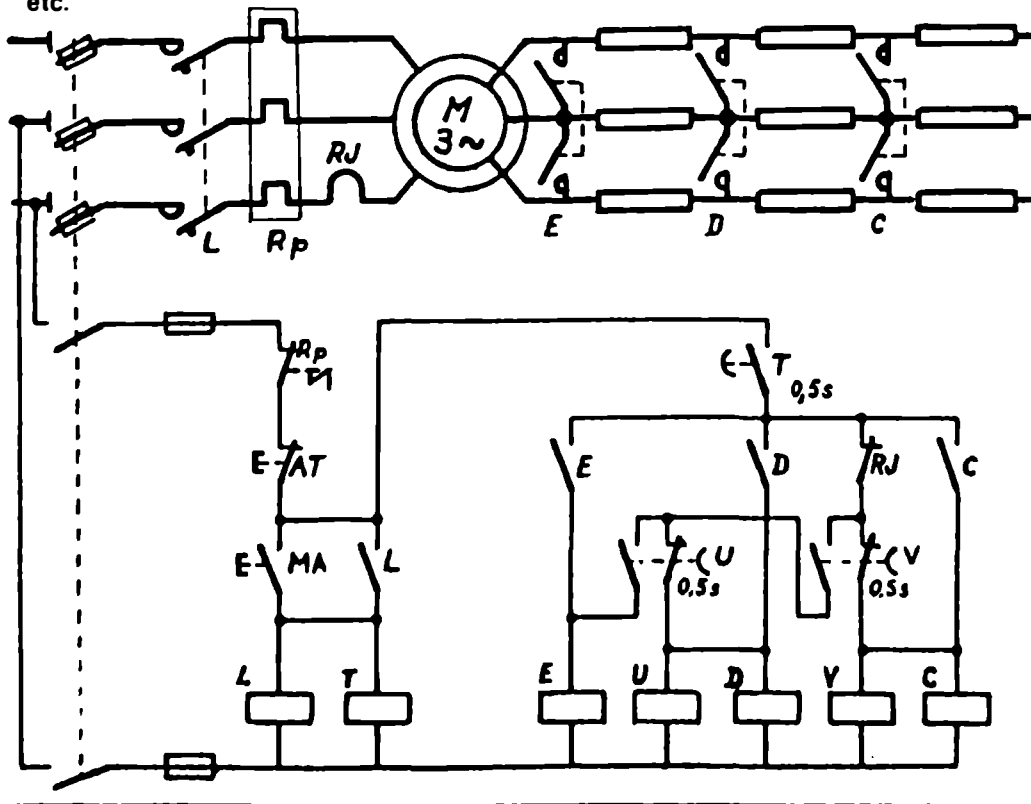
Variante 2 : Circuit de commande avec relais thermique temporisé RS



Variante 3 : Démarrage ampérométrique avec relais RJ

RJ : Relais à minimum d'intensité.

A la mise sous tension la pointe d'intensité due au démarrage provoque l'enclenchement du relais RJ. Dès la fin de cette surintensité le relais déclenche : son contact se ferme et autorise la mise sous tension de C. Il y a de nouveau surintensité, etc.

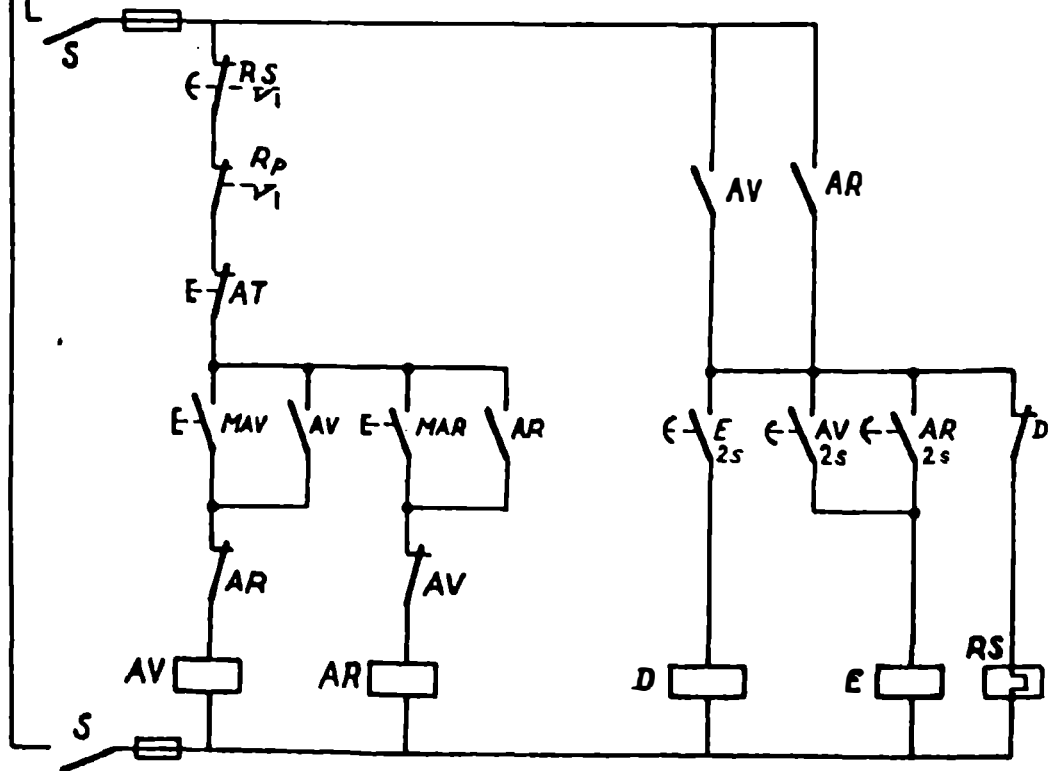
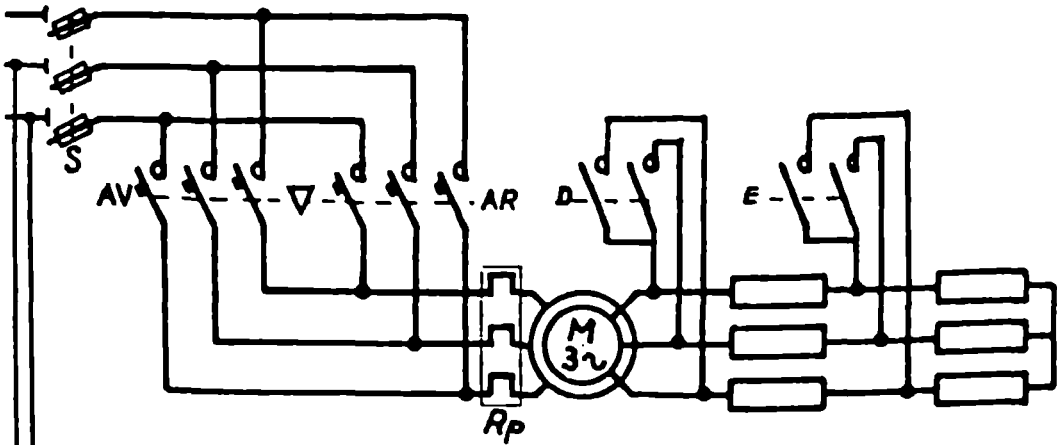


**MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS :
COMMANDE PAR CONTACTEURS**

2 C 25

**III DÉMARRAGE PAR COURT-CIRCUITAGE AUTOMATIQUE DE RÉSIDENCES
ROTORIQUES : 2 SENS DE ROTATION**

Schéma développé des circuits



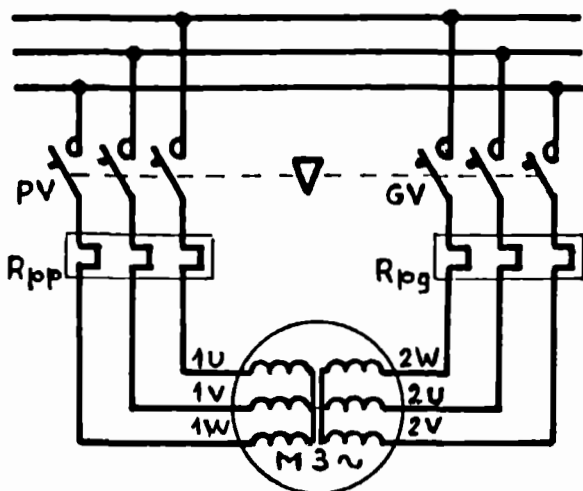
MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS A 2 VITESSES (A ROTOR EN COURT-CIRCUIT)

2 C 26

DEUX VITESSES OBTENUES PAR 2 ENROULEMENTS SÉPARÉS

Les 2 vitesses obtenues sont dans un rapport quelconque (1 à 2 ; 1 à 4... etc...).

Schéma du circuit de commande



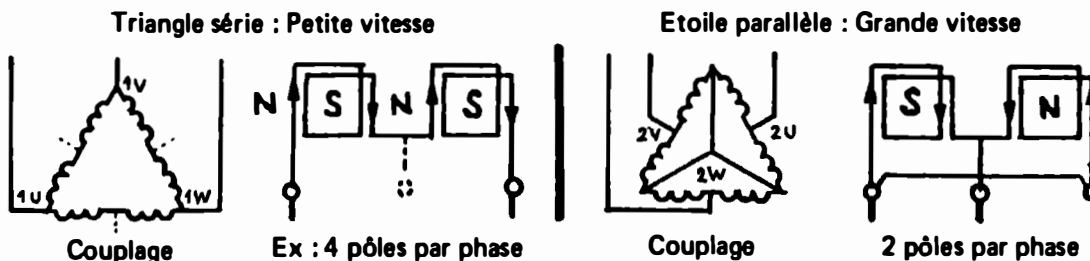
Rappel : Le repère et l'ordre des extrémités d'un bobinage de moteur sont « u_1, v_1, w_1 » d'une part, « w_2, u_2, v_2 » d'autre part (revoir pl. 2 C 14).

Remarque : Les repères à la plaque à bornes d'un moteur à 2 vitesses sont « $1u, 1v, 1w$ » (petite vitesse) d'une part, « $2w, 2u, 2v$ » (grande vitesse) d'autre part. Le sens de rotation est le même si on respecte l'ordre des phases : « L_1 » à « $1u$ » ou à « $2w$ » - « L_2 » à « $1v$ » ou à « $2u$ » etc... (norme NFC 51-118 et document Leroy-Somer).

DEUX VITESSES OBTENUES PAR COUPLAGE DE L'ENROULEMENT

On peut doubler la vitesse d'un moteur asynchrone triphasé en diminuant de moitié le nombre de ses pôles (dans ce cas le rapport des vitesses est toujours de 1 à 2). Différents modes de couplage (dont le couplage triangle-série ; étoile-parallèle ou Dahlander ci-dessous) sont utilisés.

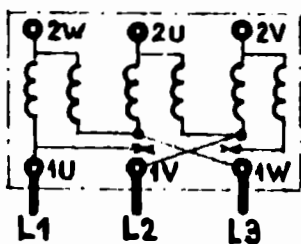
Couplages



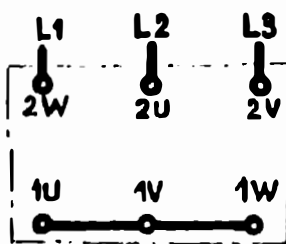
Remarque importante : Si on raccorde un tel type de moteur avec le même ordre des phases, le sens de rotation est Inversé. Il faut donc Inverser cet ordre des phases. A cet effet 2 fils sont croisés sous la plaque à bornes du moteur.

Le raccordement extérieur se fait donc, pour avoir le même sens de rotation, en amenant la même phase, sur l'une des 2 bornes qui se font face.

Couplage P.V.



Couplage G.V.



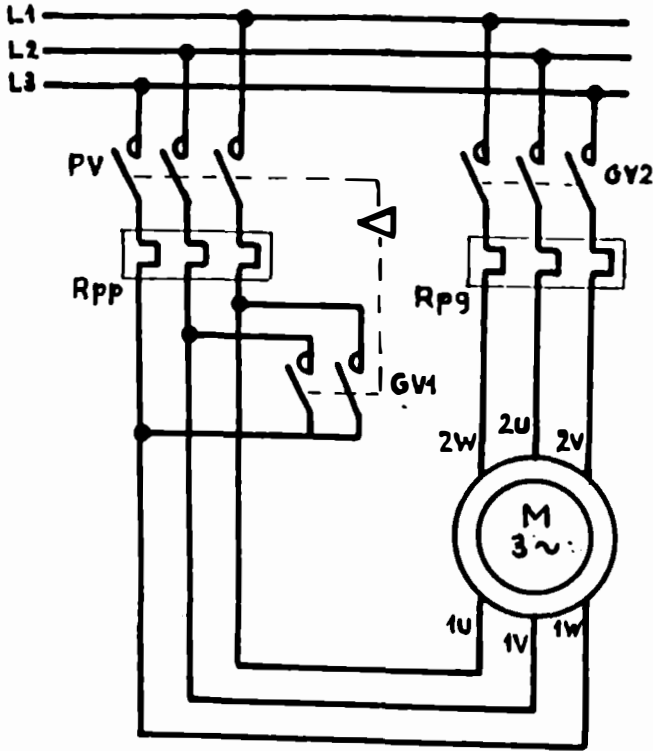
Remarque : Ci-contre le raccordement à la plaque à bornes pour avoir le même sens de rotation dans les 2 vitesses.

On retrouve les mêmes repères que ceux indiqués ci-dessus « $1u, 1v, 1w$ » (petite vitesse) « $2w, 2u, 2v$ » (grande vitesse) (document constructeur).

MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS A 2 VITESSES (A ROTOR EN COURT-CIRCUIT)

2 C 27

Schéma du circuit de puissance



Note : «P.V.» contacteur petite vitesse.

«G.V.1 et G.V.2» : contacteurs grande vitesse. Pour les gros moteurs on a un contacteur unique (pôles montés sur barre).

Remarque : Les bornes ont été repérées dans le même ordre que celui de la plaque à bornes du moteur. Le raccordement à réaliser est ainsi le plus facile à se rappeler (c'est celui préconisé par le constructeur).

Mais il faut se souvenir que dans le cas de décalage des 3 fils en triphasé le sens de rotation reste le même (même sens donc avec «L₁ à 2U», «L₂ à 2V», «L₃ à 2W»).

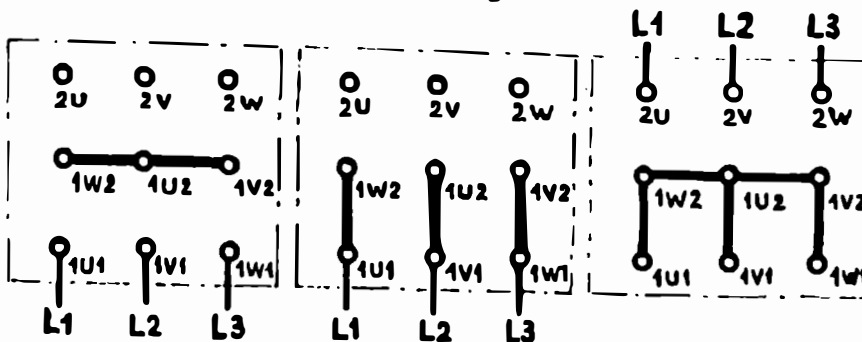
Autre couplage possible

Il existe d'autres types de bobinages pour moteurs à 2 vitesses.
Exemple ci-dessous : moteur à 2 vitesses, 1 tension, 1 bobinage (9 bornes).
Démarrage étoile-triangle en petite vitesse.

P. V. (étoile)

P. V. (triangle)

G. V.



Mêmes sens de rotation avec ces couplages et raccordement. (document Leroy-Somer).

Notes : Il existe également des moteurs à 2 vitesses pouvant fonctionner sous 2 tensions différentes. On trouve aussi des moteurs à 3 vitesses.
Le nombre de bornes de ces moteurs est d'autant plus grand qu'ils offrent plus de combinaisons possibles (Ex. 12 bornes pour un moteur 2 vitesses bi-tension). Les différents couplages sont indiqués par le fabricant.

MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS A 2 VITESSES (A ROTOR EN COURT-CIRCUIT)

2 C 28

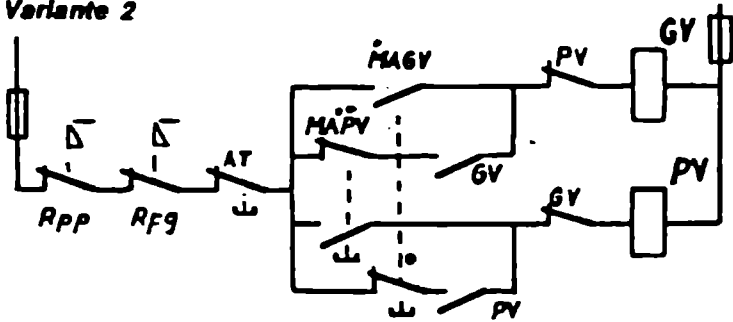
Schémas développés du circuit de commande

Ces schémas sont valables pour les 2 types de moteurs à 2 vitesses.

Variante 1 : On ne peut pas passer directement de PV en GV ou inversement. On est obligé de revenir à la position arrêt.

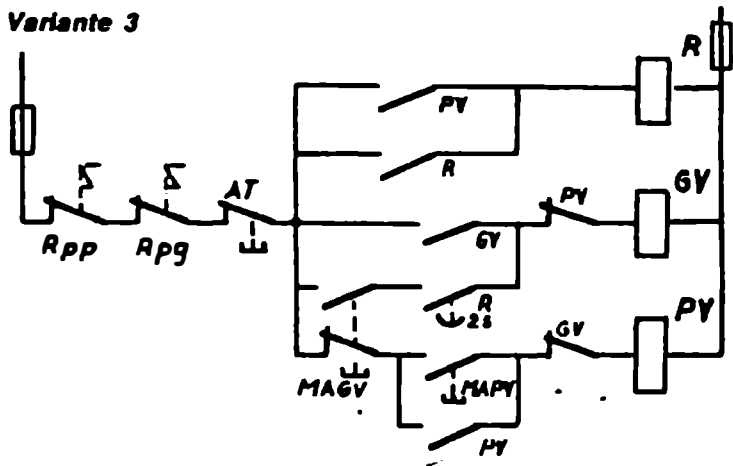
Le schéma est celui du moteur à 2 sens de rotation.

Variante 2



Le passage de PV en GV ou inversement se fait sans passer par arrêt.

Variante 3

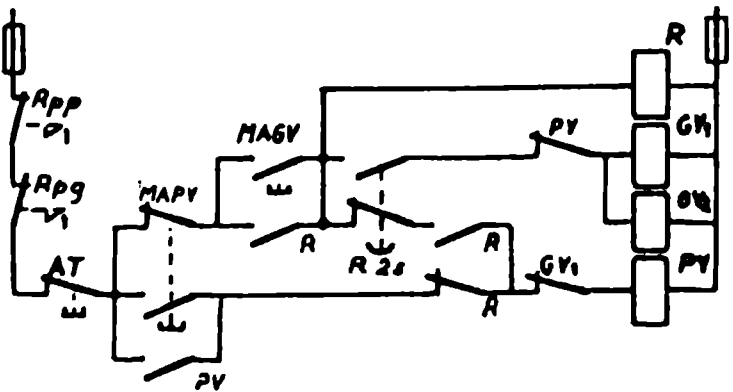


Démarrage toujours en PV.

Passage en GV à la demande (après 2s).

Le retour en PV ne peut se faire qu'en passant par arrêt.

Variante 4



Commande directe PV ou GV avec démarrage toujours en PV.

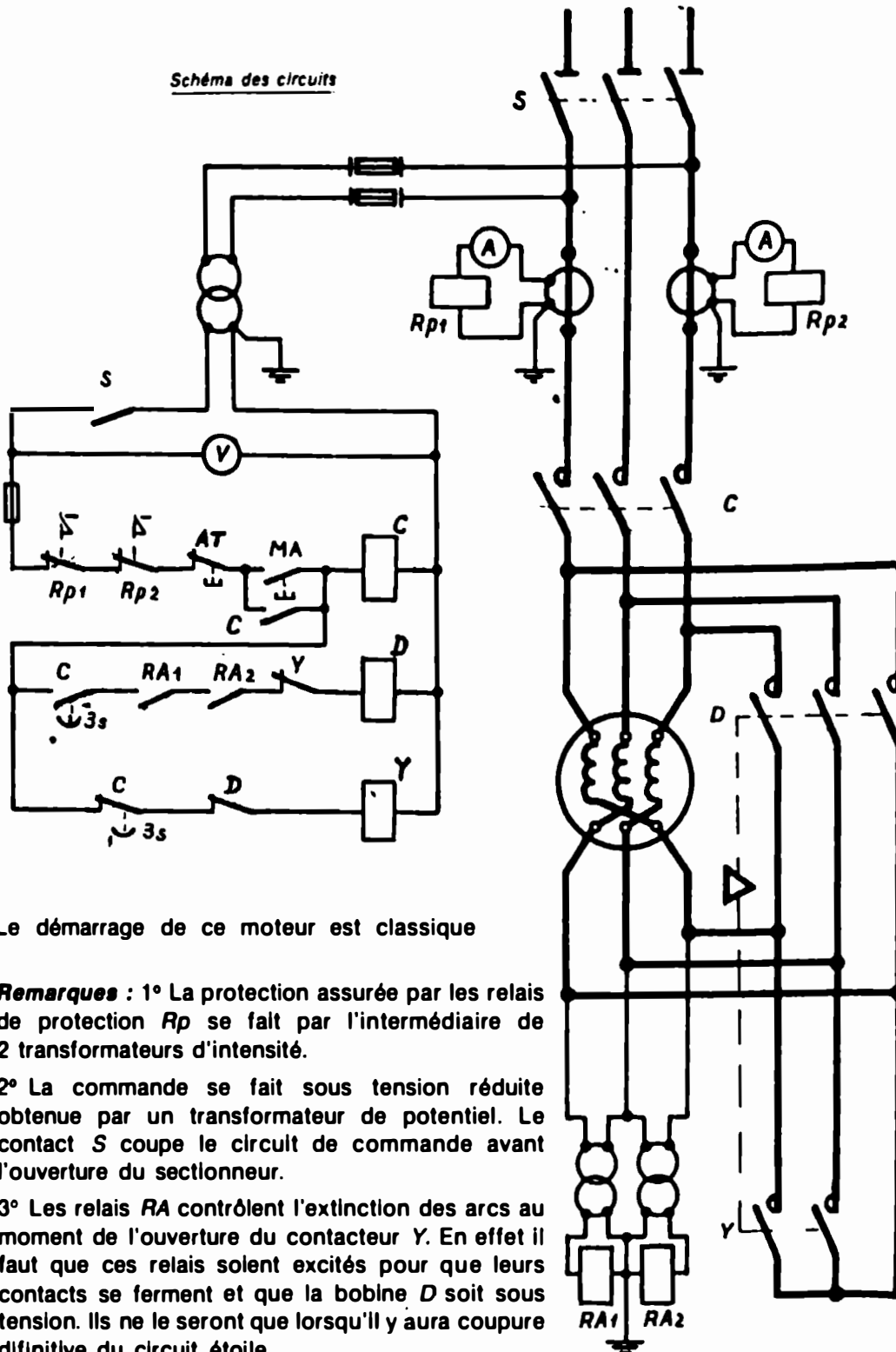
Le passage de GV en PV se fait sans passer par arrêt.

ÉQUIPEMENT POUR MOTEUR ASYNCHRONE TRIPHASÉ HAUTE TENSION

2 C 29

DÉMARRAGE PAR COUPLAGE ÉTOILE-TRIANGLE

Schéma des circuits



Le démarrage de ce moteur est classique

Remarques : 1° La protection assurée par les relais de protection *Rp* se fait par l'intermédiaire de 2 transformateurs d'intensité.

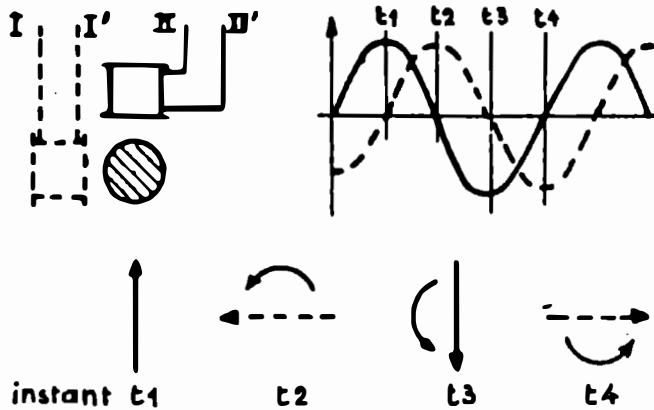
2° La commande se fait sous tension réduite obtenue par un transformateur de potentiel. Le contact *S* coupe le circuit de commande avant l'ouverture du sectionneur.

3° Les relais *RA* contrôlent l'extinction des arcs au moment de l'ouverture du contacteur *Y*. En effet il faut que ces relais soient excités pour que leurs contacts se ferment et que la bobine *D* soit sous tension. Ils ne le seront que lorsqu'il y aura coupure définitive du circuit étoile.

MOTEURS-ASYNCHRONES DIPHASÉS

2 C 30

Bien que la distribution diphasée soit en voie de disparition pour être remplacée par la distribution triphasée, il en existe encore des réseaux.

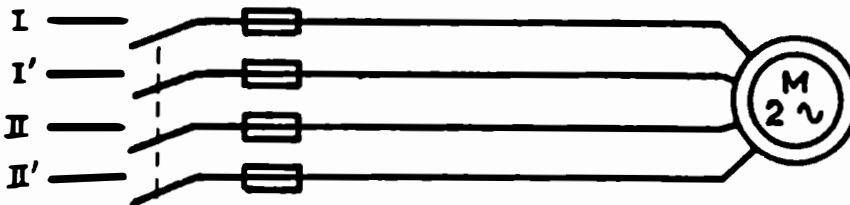
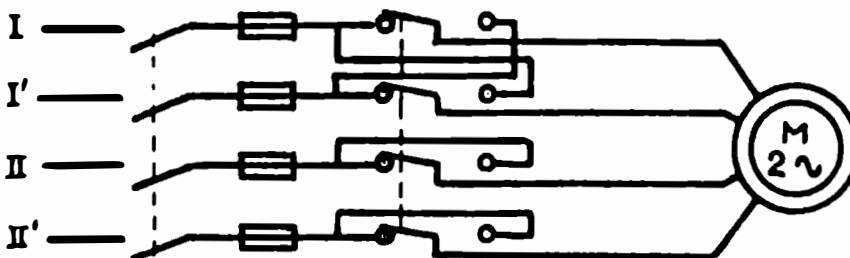
Principe de fonctionnement des moteurs diphasés

Les 2 tensions sont déphasées de 90° .

Elles sont appliquées aux bornes de 2 bobines décalées de 90° .

Le champ tournant obtenu tourne de 1 tour en 1 période.

Remarque : Pour les moteurs monophasés avec courant déphasé de 90° , le raisonnement est identique.

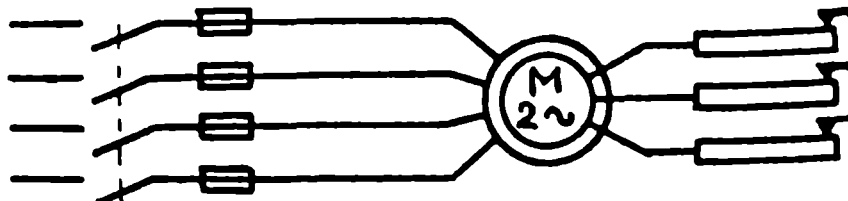
MOTEUR ASYNCHRONE DIPHASÉ A ROTOR EN COURT-CIRCUITCommande par interrupteur tétrapolaireMOTEUR ASYNCHRONE DIPHASÉ A ROTOR EN COURT-CIRCUITInversion du sens de rotation

Pour inverser le sens de rotation d'un moteur asynchrone diphasé, on inverse le sens du courant dans une phase.

MOTEURS ASYNCHRONES DIPHASÉS

2 C 31

MOTEUR ASYNCHRONE DIPHASÉ A ROTOR BOBINE



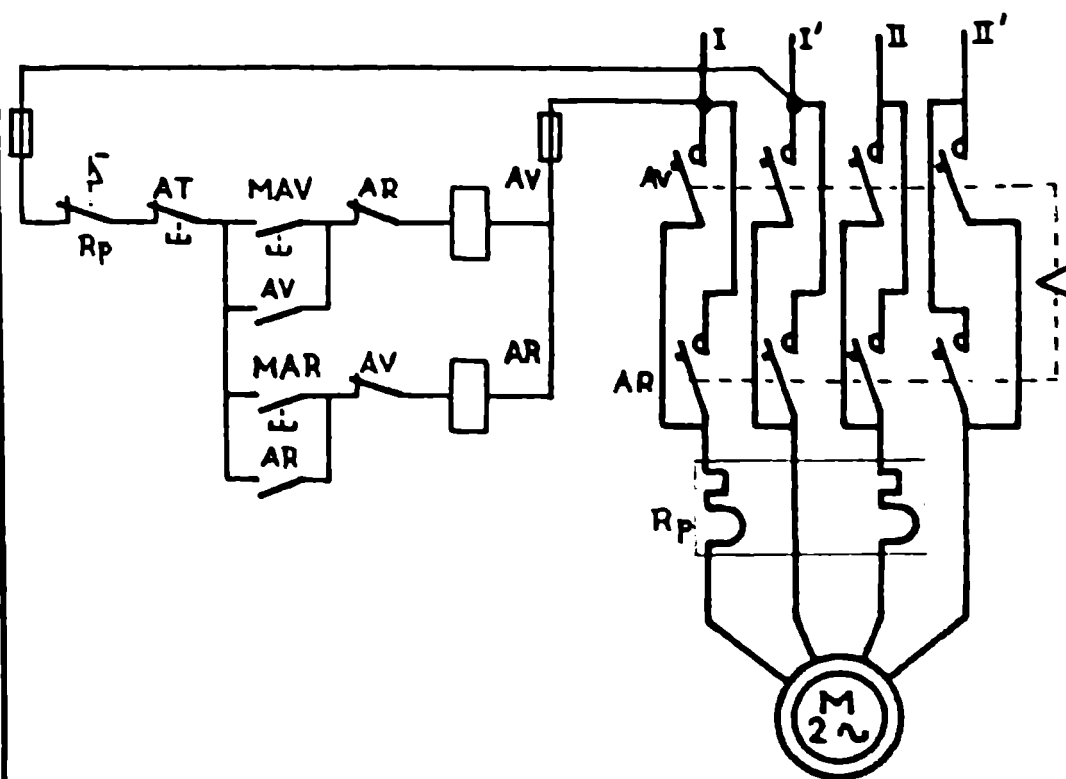
Remarque : Le nombre de phase de l'enroulement du rotor n'est pas nécessairement le même que celui de l'enroulement du stator.

Seul le nombre de pôles créés par ces deux enroulements doit être identique.

Le rotor est ainsi en général bobiné en triphasé car cet enroulement est plus facile à réaliser.

MOTEUR ASYNCHRONE DIPHASÉ : COMMANDE PAR CONTACTEURS

Schéma des circuits pour moteur à 2 sens de rotation.



MOTEURS ASYNCHRONES MONOPHASÉS

2 C 32

Le moteur asynchrone monophasé ne démarre pas seul. Il faut pour arriver à ce résultat provoquer un déséquilibre dans le champ, soit en lançant le moteur à la main, soit à l'aide d'une phase auxiliaire.

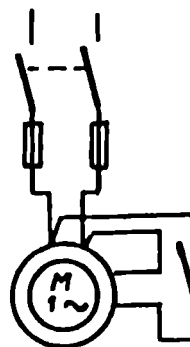
Dans ce dernier cas, le courant passant dans la phase auxiliaire devra être déphasé par rapport au courant principal. Ce déphasage est obtenu en montant en série avec la phase auxiliaire une self ou une capacité.

I DÉMARRAGE PAR SELF

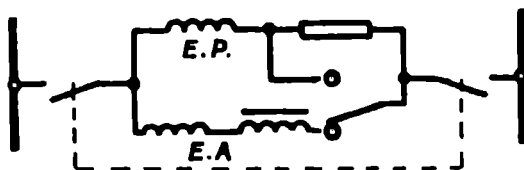
A. Petits moteurs monophasés n'ayant à produire qu'un couple de démarrage très faible

L'enroulement de la phase auxiliaire est constitué par un fil très fin, donc très résistant.

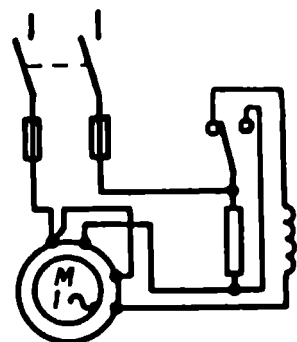
Le déphasage obtenu entre le courant de la phase principale et celui de la phase auxiliaire est suffisant pour permettre le démarrage.



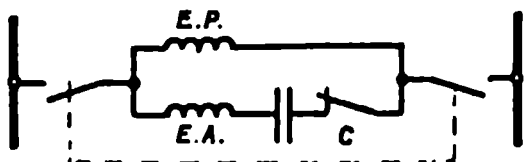
B. Emploi d'une self et d'une résistance.



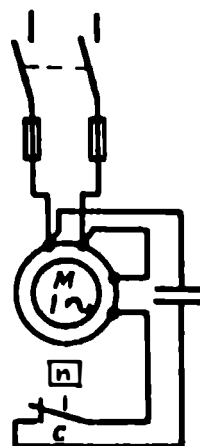
E.P. Enroulement principal
E.A. Enroulement auxiliaire
Inverseur position 1: démarrage
2: marche normale



II. DÉMARRAGE PAR CAPACITÉ



c : Contact s'ouvrant dès que la vitesse du moteur atteint une certaine valeur.

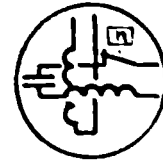


MOTEURS ASYNCHRONES MONOPHASÉS

2 C 33

Remarque : Le condensateur peut se trouver à l'intérieur ou à l'extérieur de la carcasse du moteur.

Lorsqu'il se trouve à l'intérieur, la représentation schématique peut être comme ci-contre.

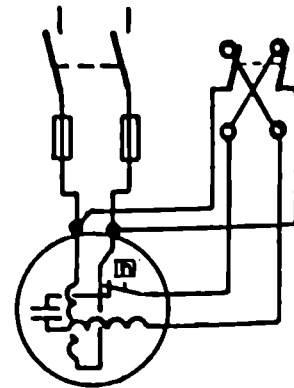


III. INVERSION DU SENS DE ROTATION

On inverse le courant dans une phase, la phase auxiliaire par exemple.

Exemple :

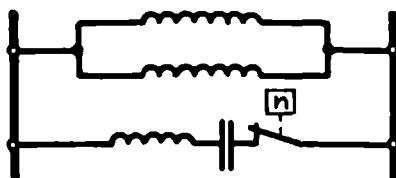
Inversion du sens de rotation d'un moteur asynchrone monophasé à démarrage par capacité.



IV. COUPLAGE DES MOTEURS MONOPHASÉS PERMETTANT LE FONCTIONNEMENT SOUS 2 TENSIONS U ET 2U

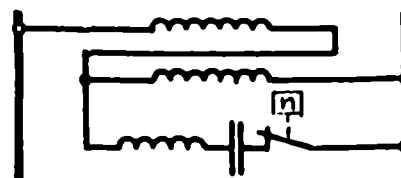
Les moteurs monophasés sont surtout utilisés dans les appareils électro-ménagers. En général ils peuvent fonctionner sous 2 tensions et avec 2 sens de rotation.

Fonctionnement sous tension U.



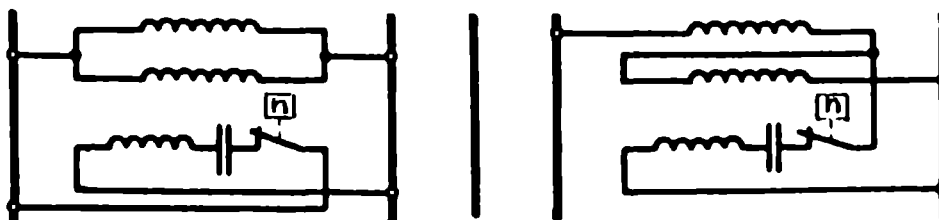
Les 2 moitiés de la phase principale sont montées en parallèle ainsi que la phase auxiliaire.

Fonctionnement sous tension 2U



Les 2 moitiés de la phase principale sont montées en série. La phase auxiliaire fonctionne toujours sous tension U.

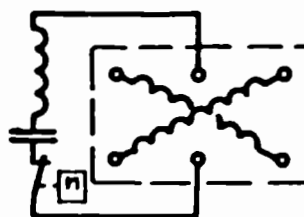
Le 2^e sens de rotation s'obtient comme ci-dessous.



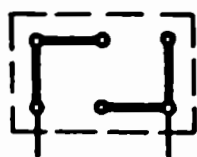
MOTEURS ASYNCHRONES MONOPHASÉS

2 C 34

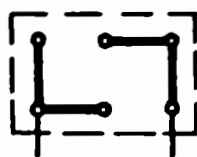
Les 6 fils de sortie (4 pour la phase principale. 2 pour la phase auxiliaire) sont parfois réunis à une plaque à bornes comme ci-contre.



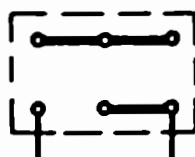
Les différents couplages sont alors les suivants :



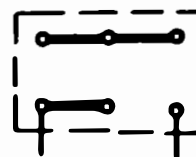
Tension U
Rotation 1



Tension U
Rotation 2

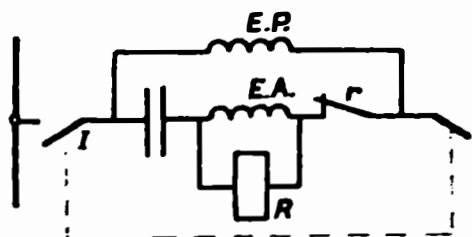


Tension 2U
Rotation 1



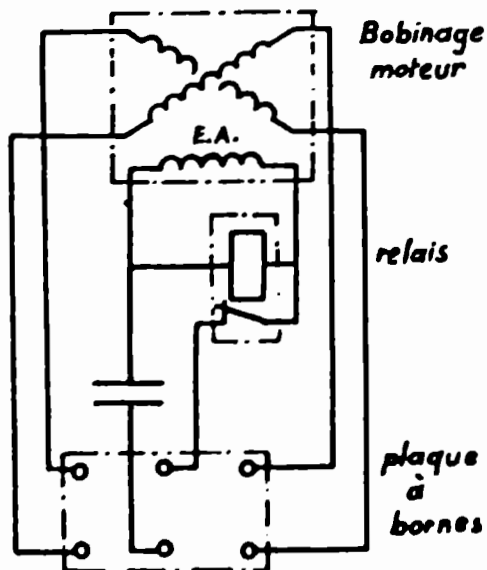
Tension 2U
Rotation 2

V. FONCTIONNEMENT AVEC RELAIS TYPE MA (BREVET LEROY-SOMER)



Le contact à force centrifuge est supprimé. Le fonctionnement du relais *R* est le suivant.

Au démarrage le contact (*r*) du relais est fermé. La f.c.e.m. aux bornes de l'enroulement auxiliaire (E.A.) est nulle. La presque totalité du courant qui traverse la capacité parcourt également l'enroulement auxiliaire (impédance de la bobine du relais très grande).



La vitesse augmentant, la f.c.e.m. due au champ tournant augmente aux bornes de l'enroulement auxiliaire et atteint la valeur de fonctionnement du relais. Le contact (*r*) s'ouvre et reste ouvert tant que le moteur est sous tension, la bobine du relais restant alimentée par l'enroulement E.A. qui se comporte comme un secondaire de transformateur dont le primaire serait E.P.

Ci-contre raccordement à la plaque à bornes. Relais et condensateur sont sur le moteur. Les différents couplages pour tension U et 2U et rotation 1 et 2 sont les mêmes.

MOTEURS ASYNCHRONES MONOPHASÉS

2 C 35

VI - FONCTIONNEMENT AVEC CONDENSATEUR EN PERMANENCE SOUS TENSION

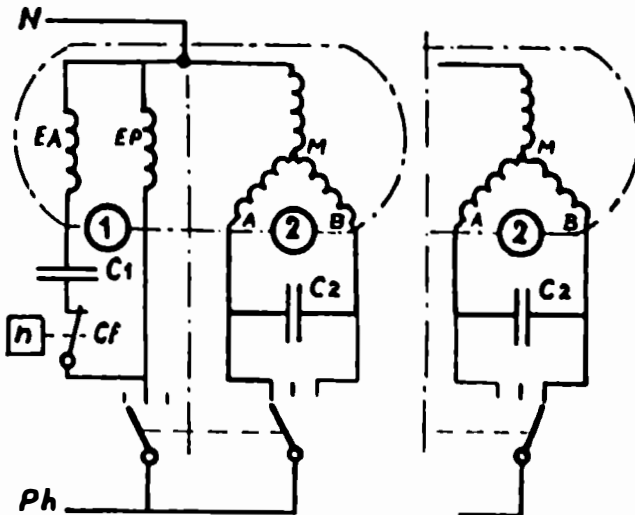
L'enroulement auxiliaire et son condensateur en série restent sous tension quand le moteur tourne.

Dans ce cas bien que la valeur de sa capacité reste identique, le condensateur doit être prévu pour supporter en permanence l'intensité qui le traverse.

Exemple : moteur à 2 vitesses

Petite vitesse : Condensateur en permanence sous tension : 2 sens de rotation.

Grande vitesse : Circuit condensateur coupé par contact à force centrifuge CF.



Le moteur possède 2 enroulements différents

1. Partie grande vitesse

EP : enroulement principal.

EA : enroulement auxiliaire.

2. Partie petite vitesse

Figure de gauche, commutateur position rotation 1.

MB sert de phase auxiliaire.

Figure de droite, commutateur position rotation 2.

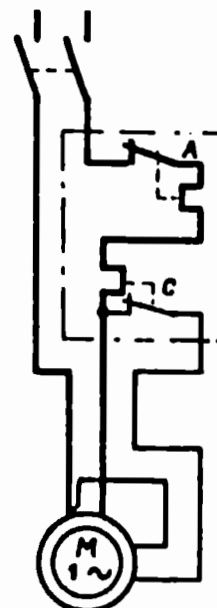
MA sert de phase auxiliaire.

Les 2 enroulements GV et PV ne doivent pas pouvoir être mis sous tension en même temps.

VII - DÉMARRAGE ET PROTECTION AUTOMATIQUES POUR MOTEUR MONOPHASÉ À ENROULEMENT FORTEMENT RÉSISTANTDémarrage par relais magnétique

La bobine B est parcourue dès la mise sous tension par un courant important et le contact b se ferme. Quand le moteur est lancé l'intensité diminue et b s'ouvre.

La protection est assurée par A.

Démarrage par relais thermique

La bilame C ouvre le contact du même nom un certain temps après la mise sous tension.

La protection est assurée par la bilame et le contact A.

MOTEURS SYNCHRONES

2 C 36

Les moteurs synchrones démarrent de 2 façons différentes :

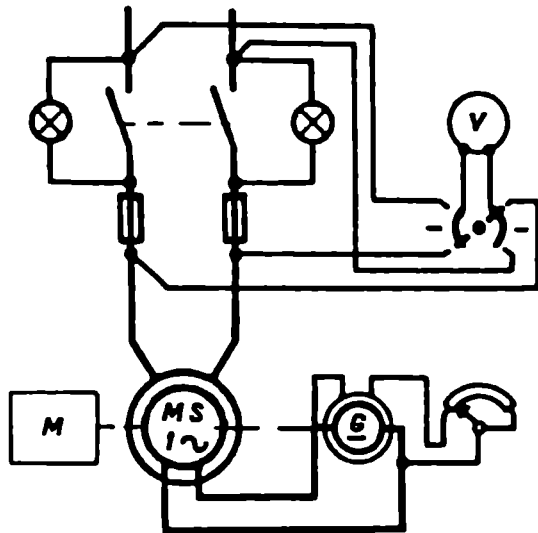
- A. Soit sous tension réduite, en moteur asynchrone.
- B. Soit à l'aide d'un moteur auxiliaire de lancement.

Dans ce dernier cas le moteur est raccordé au réseau comme un alternateur. Il faut donc réaliser :

1. La concordance des phases.
2. L'égalité des fréquences.
3. L'égalité des tensions côté moteur et côté réseau.

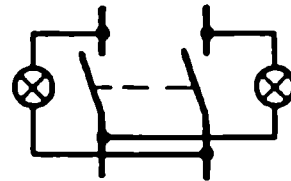
I. MOTEUR SYNCHRONE MONOPHASÉ

A. Démarrage par moteur auxiliaire de lancement

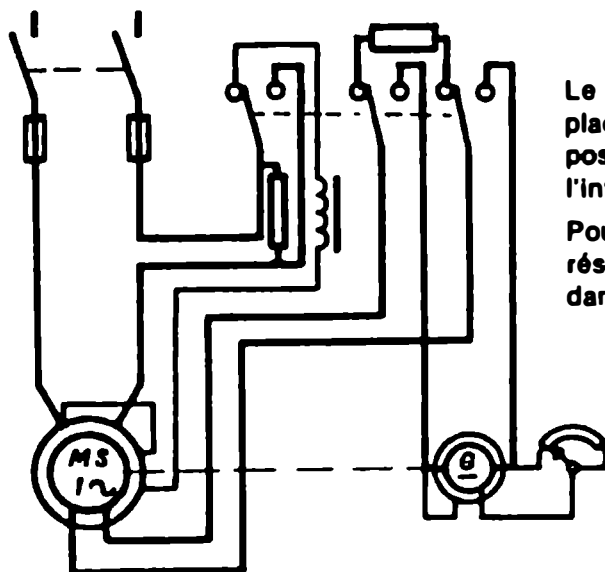


Le couplage s'effectue lorsque les lampes sont à l'extinction.

Le couplage peut également se faire lorsque les lampes sont sous tension maximum (couplage à l'allumage).



B. Démarrage en moteur asynchrone



Le démarrage s'obtient en plaçant l'inverseur dans la position figure, et en fermant l'interrupteur.

Pour accrocher le moteur au réseau, placer l'inverseur dans la position à droite.

MOTEURS SYNCHRONES

2 C 37

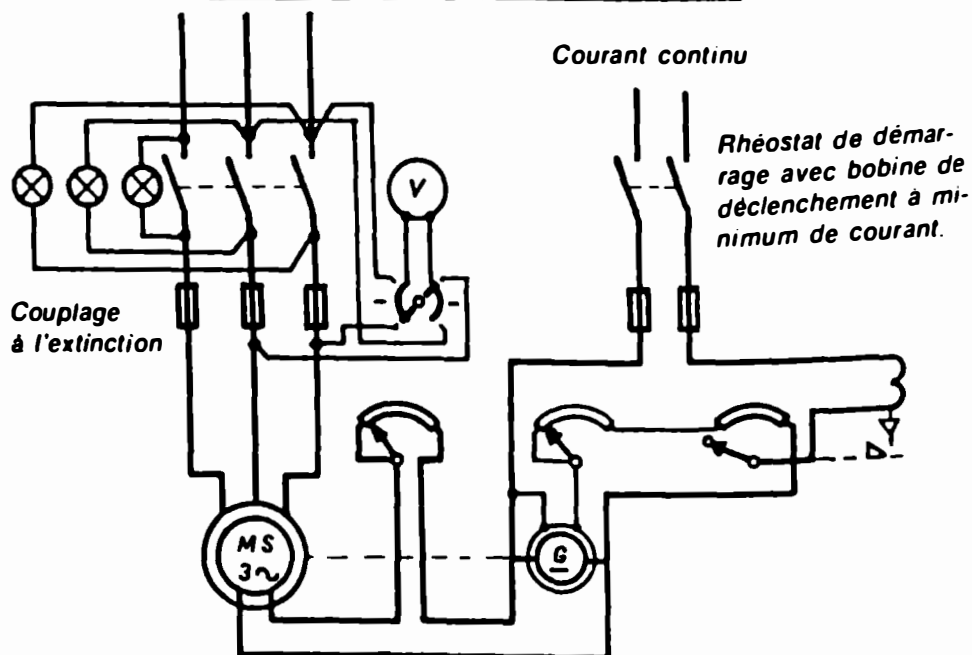
II. MOTEUR SYNCHRONE TRIPHASÉ

A. Démarrage par moteur auxiliaire de lancement.

Le moteur auxiliaire de lancement peut être

- soit un moteur asynchrone triphasé.
- soit un moteur à courant continu,
- soit l'excitatrice elle-même dans le cas de moteur démarrant à vide.

Exemple de démarrage l'excitatrice fonctionnant en moteur



Remarque : Le couplage peut également se faire par synchronoscope. Le synchronoscope est constitué comme un petit moteur asynchrone monophasé. Le rotor porte 2 enroulements décalés de 90° électriques, parcelle du moteur à coupler. Le stator porte un enroulement relié au réseau. Quand les 2 fréquences sont égales le rotor s'immobilise et l'on couple à ce moment.

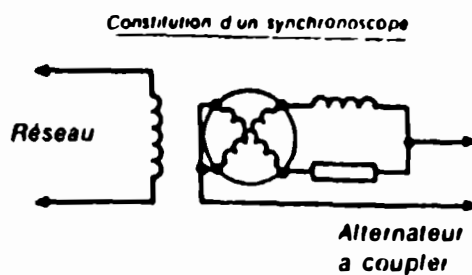
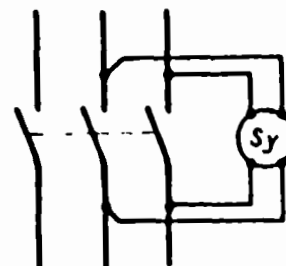
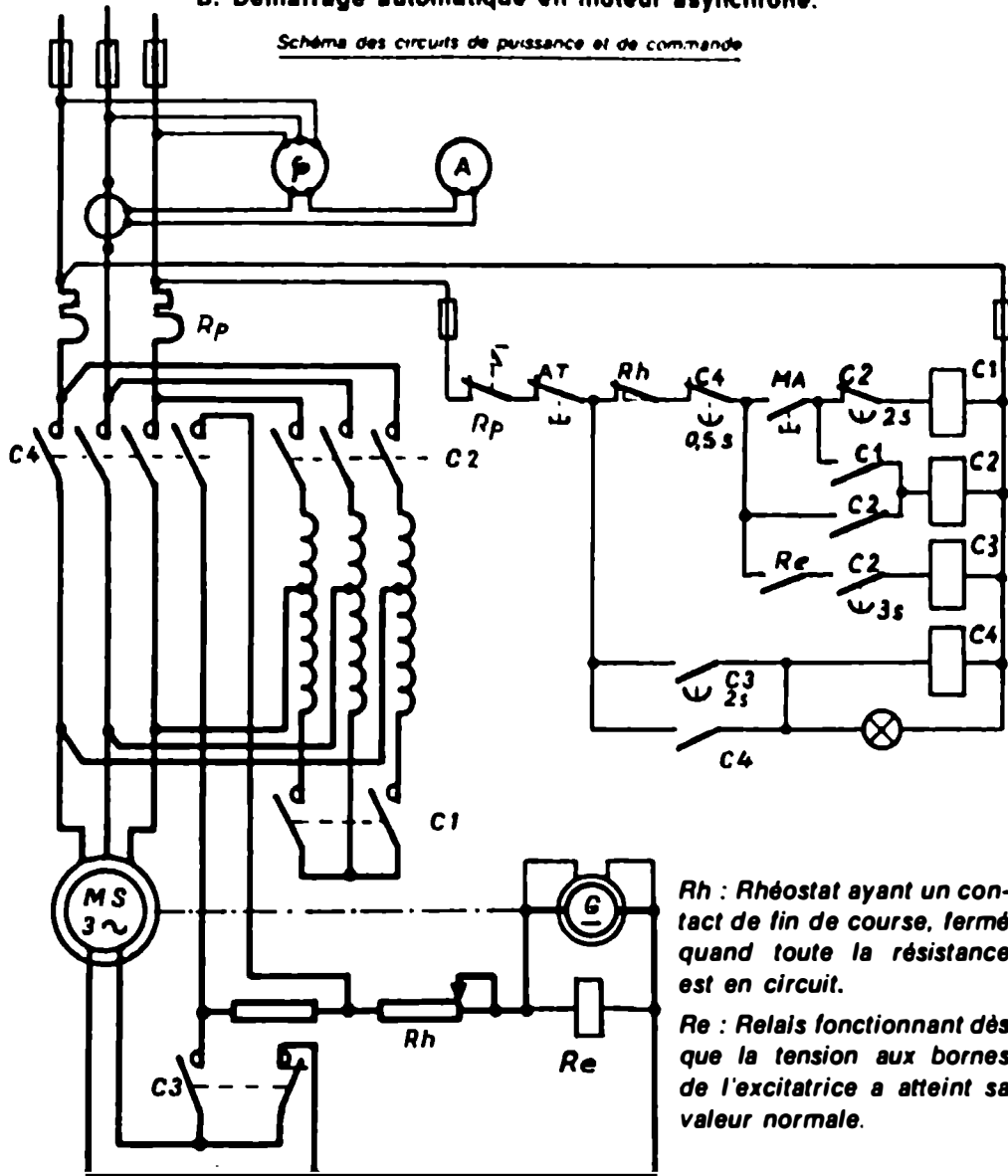


Schéma de branchement d'un synchronoscope



B. Démarrage automatique en moteur asynchrone.

Schéma des circuits de puissance et de commande



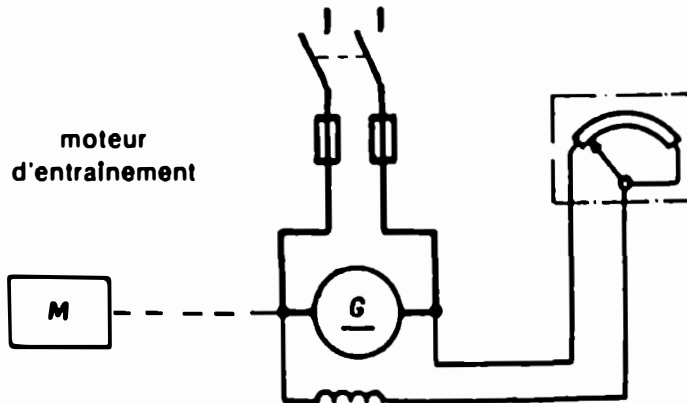
Le début du démarrage s'effectue comme déjà vu pl. 2D26 à savoir - Fermeture de C1 et C2 - Temporisation - Ouverture de C1 - Temporisation.

A ce moment si la tension est suffisante Re est fermé et C3 peut se fermer à son tour. Le moteur est alors excité au travers d'une résistance qui est court-circuitée au bout d'un certain temps par C4 qui met le moteur sous pleine tension.

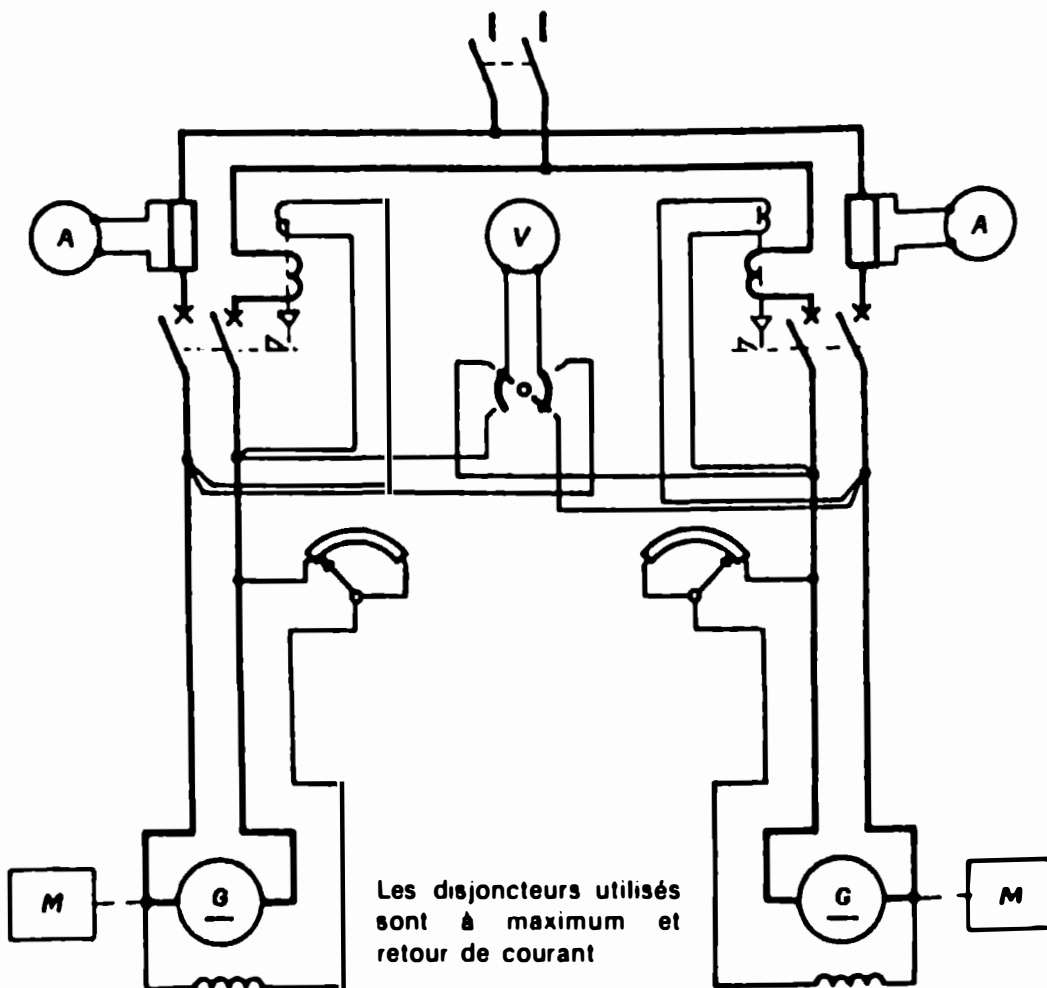
GÉNÉRATRICES A COURANT CONTINU (DYNAMOS)

2 D 01

I. MONTAGE D'UNE DYNAMO A EXCITATION EN DÉRIVATION

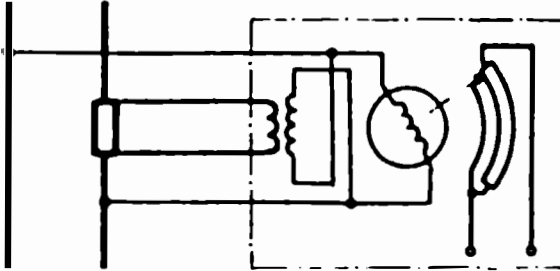


II. MONTAGE EN PARALLÈLE DE 2 DYNAMOS A EXCITATION EN DÉRIVATION



GÉNÉRATRICES A COURANT CONTINU (DYNAMOS)

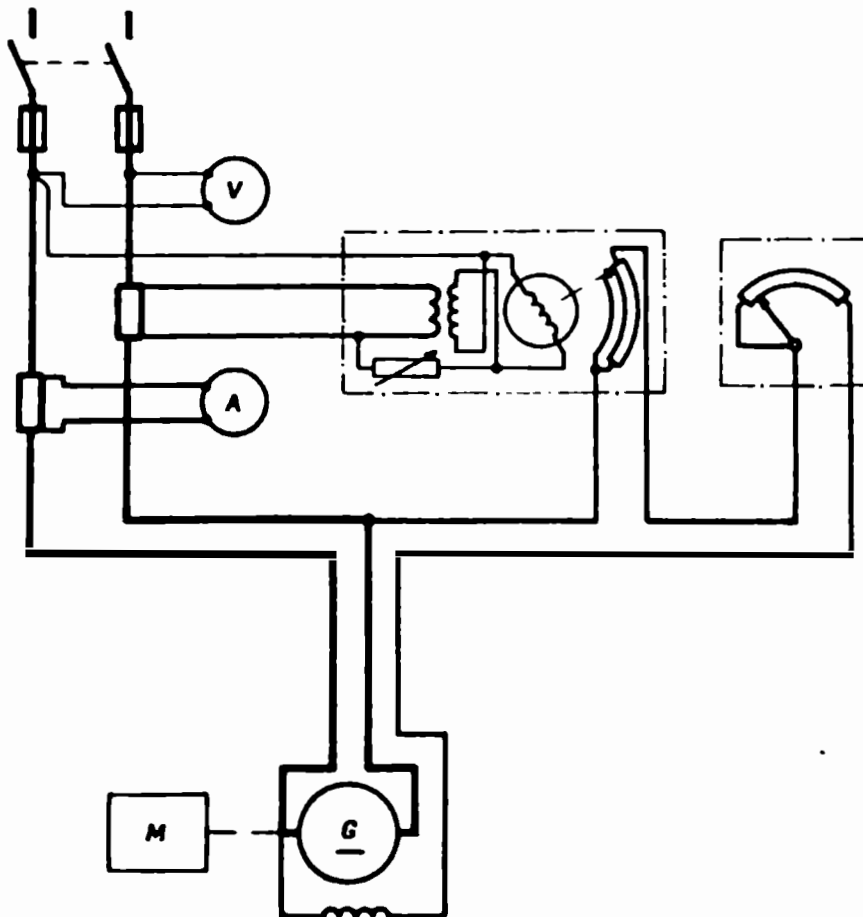
2 D 02

DYNAMO A EXCITATION EN DÉRIVATION. MONTÉE AVEC UN RÉGULATEUR DE TENSIONA Schéma du regulateur de tension

Le régulateur est constitué par un rotor (souvent un simple cadre) soumis à l'action du champ créé par 2 enroulements.

Ce rotor entraîne le curseur d'un rhéostat. Un ressort produit le couple antagoniste.

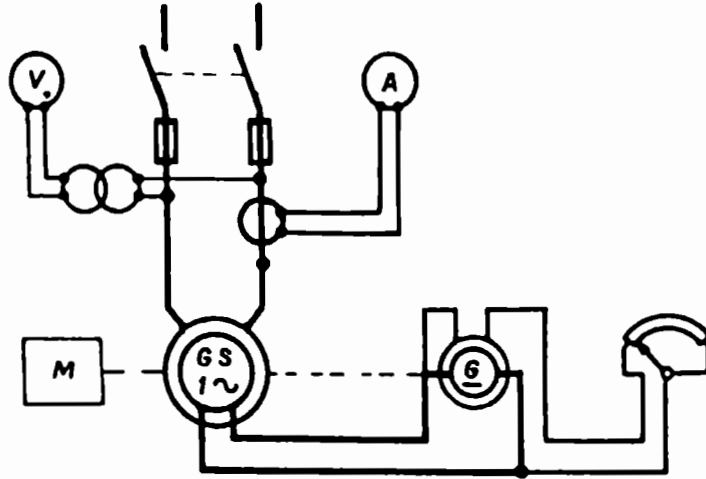
Les deux enroulements sont raccordés de façon que le rotor tourne et diminue la valeur du rhéostat quand la tension diminue ou quand l'intensité augmente.

B Montage d'une dynamo avec son regulateur de tension

GÉNÉRATRICES A COURANT ALTERNATIF (ALTERNATEURS)

2 D 03

ALTERNATEUR MONOPHASÉ

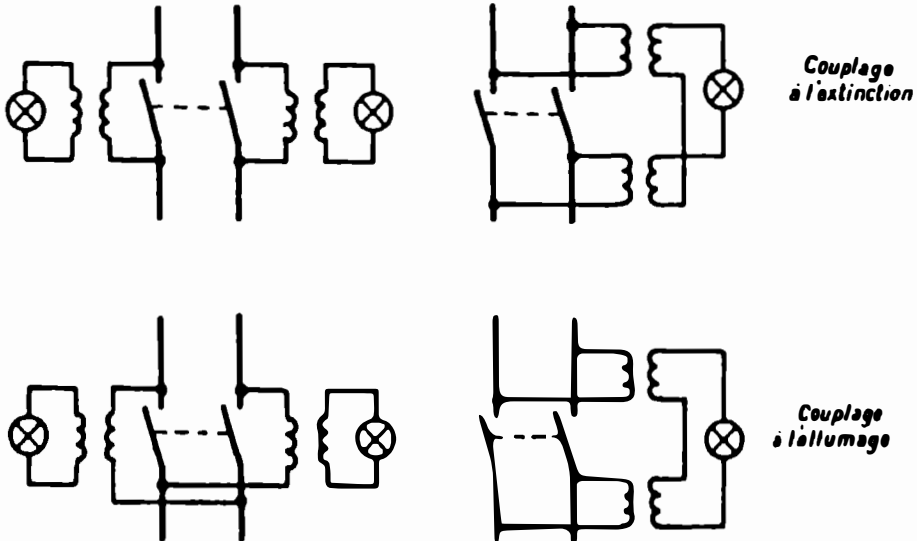


Lorsque l'on désire coupler un alternateur au réseau on procède comme pour un moteur synchrone, c'est-à-dire que l'on réalise :

1. La concordance des phases.
2. L'égalité des fréquences.
3. L'égalité des tensions.

En haute tension les lampes sont branchées par l'intermédiaire de transformateurs.

Exemples : Couplages d'un alternateur monophasé.

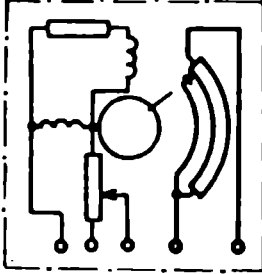


GÉNÉRATRICES A COURANT ALTERNATIF (ALTERNATEURS)

2 D 04

ALTERNATEUR TRIPHASÉ MONTÉ AVEC SON RÉGULATEUR DE TENSION

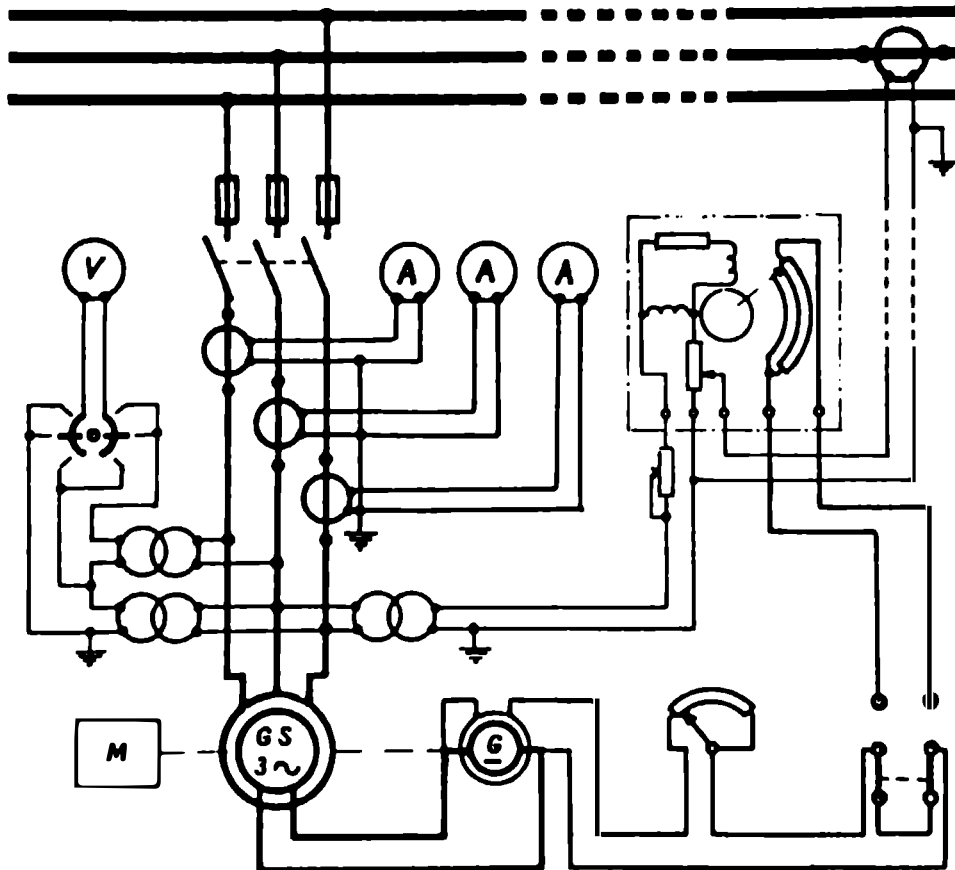
A Description du régulateur de tension - Brown-Bovéri -



Ce régulateur est constitué comme un petit moteur asynchrone monophasé.

Le rotor dont le déplacement est limité est freiné par un couple antagoniste. Il est soumis à l'action de 2 séries de bobines décalées de 90° électriques, et parcourues par des courants déphasés de $1/4$ de période (une étant en série avec une résistance). Le champ tournant ainsi obtenu est d'autant plus important que le courant est plus important dans les bobines, et le rotor en pivotant court-circuite plus ou moins une résistance placée dans le circuit d'excitation.

B. Montage d'un alternateur triphasé avec son régulateur

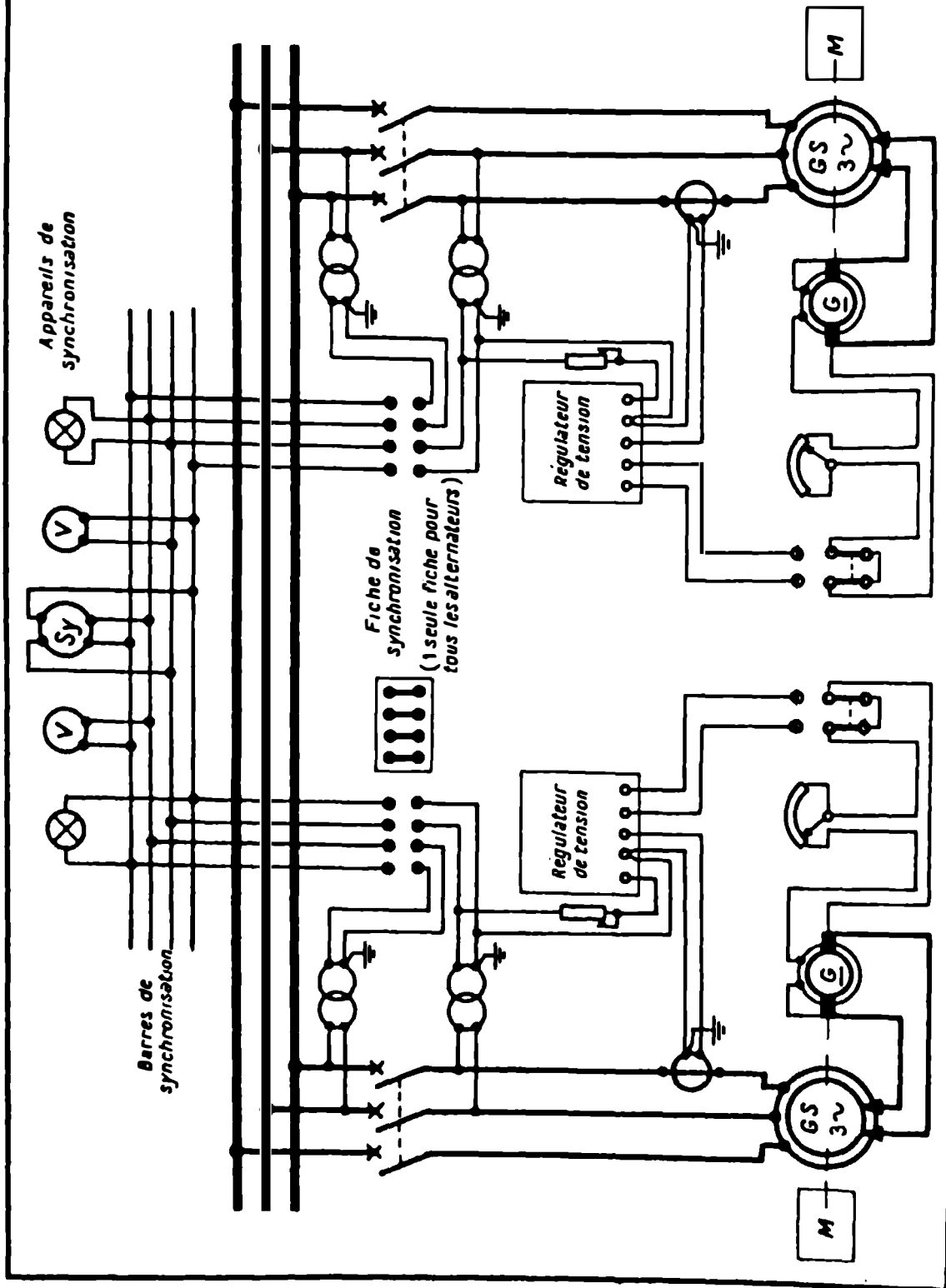


Remarque : L'action du régulateur dépend ici à la fois de la tension aux bornes de l'alternateur, et de l'intensité absorbée en un point de la distribution. On peut ainsi compenser la chute de tension en ligne si l'intensité absorbée est importante, le régulateur augmentant automatiquement dans ce cas, la tension aux bornes de l'alternateur.

GÉNÉRATRICES A COURANT ALTERNATIF (ALTERNATEURS)

2 D 05

COUPLAGE SUR LE RÉSEAU DE 2 ALTERNATEURS TRIPHASÉS



Lorsqu'on coupe l'alimentation d'un moteur à courant continu, celui-ci se comporte comme une génératrice.

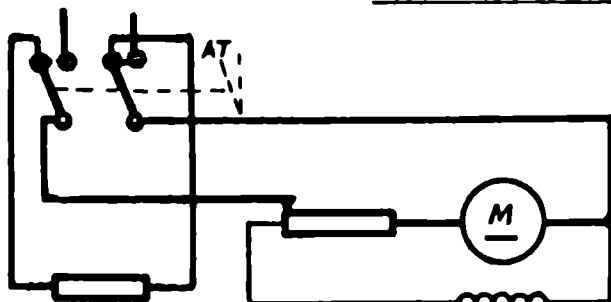
En faisant débiter cette génératrice dans un circuit plus ou moins résistant on obtient un arrêt plus ou moins rapide.

Il faut toutefois :

- que les connexions soient correctes pour qu'il n'y ait pas risque de désamorçage,
- que l'excitation soit suffisante.

I. MOTEUR A EXCITATION EN DÉRIVATION

Freinage par débit sur résistance



Remarque : Le freinage est plus énergique si on laisse les inducteurs sous la tension d'alimentation (excitation séparée) pendant la durée du freinage.

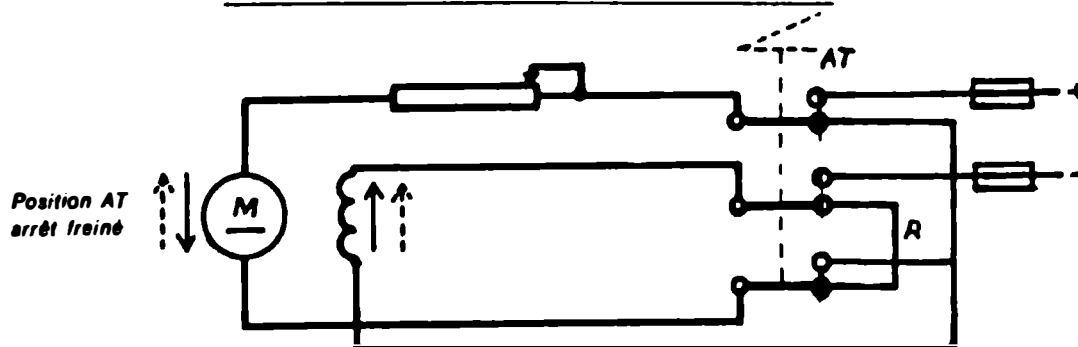
Freinage potentiométrique

Le moteur à excitation en dérivation alimenté par un potentiomètre (voir pl. 2 D 08) a une vitesse qui varie de 0 à N.

Inversement on se sert de cette propriété pour ralentir.

II. MOTEUR A EXCITATION SÉRIE

Freinage par débit sur résistance commande par inverseur

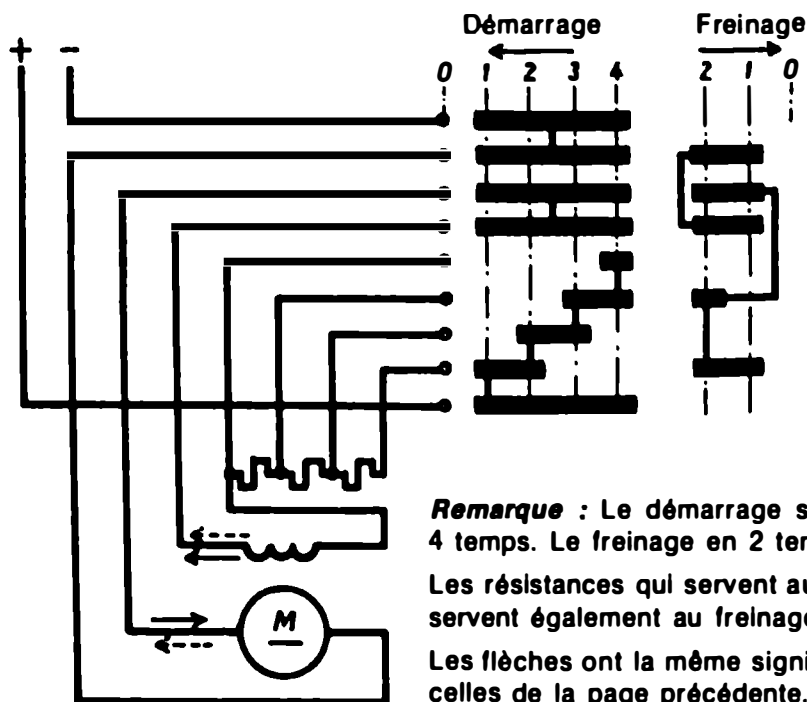


Remarques : 1. Au freinage il faut inverser le couplage pour que les inducteurs ne se désamorcent pas. Les flèches en trait plein indiquent le sens du courant en marche normale. Les flèches en pointillé indiquent le sens du courant pendant le freinage.

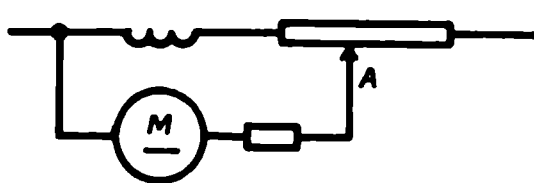
2. La résistance du rhéostat, si celui-ci possède un déclenchement qui agit dès que l'on coupe l'alimentation, sert de résistance de débit. Sinon on en intercale une dans la branche marquée R.

FREINAGE ÉLECTRIQUE : MOTEURS A COURANT CONTINU

2 E 02

Freinage par débit sur résistance : commande par combinateurFreinage potentiométrique

Pour l'obtenir on réalise le couplage suivant.



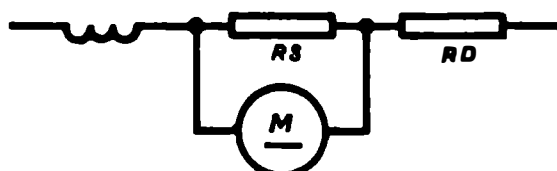
L'excitation est sensiblement constante quelle que soit la position du point A.

La vitesse du moteur dépend donc de la tension appliquée aux bornes de l'induit.

Le moteur présente les caractéristiques d'un moteur à excitation en dérivation.

Freinage par shuntage d'induit

On monte en parallèle une résistance sur l'induit.



RD. Résistance de démarrage
RS. Résistance de shuntage d'induit

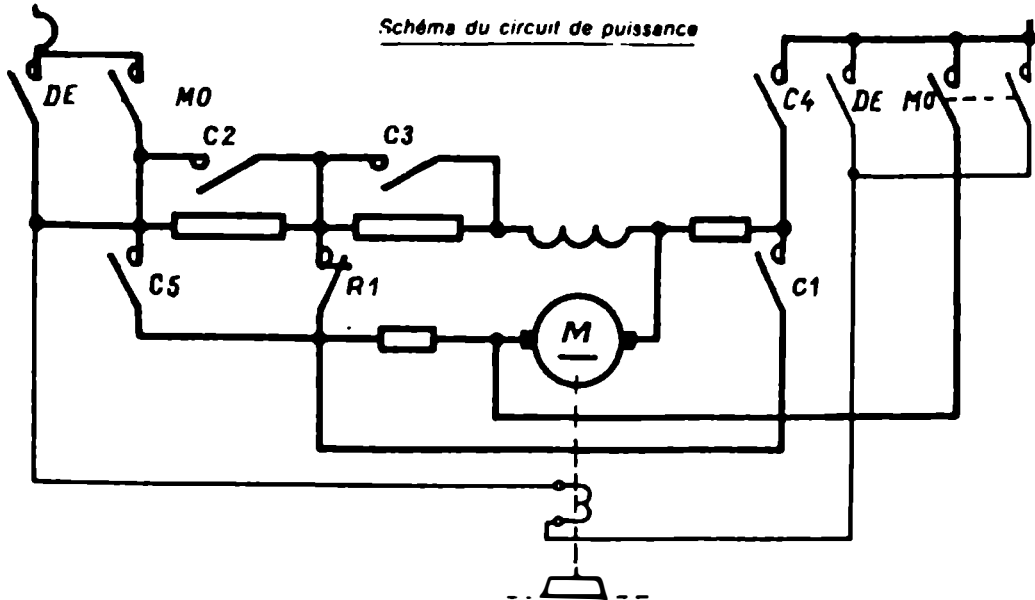
Ce montage est utilisé lorsque l'on veut ralentir le moteur série.

On réalise ce couplage lorsque l'on veut obtenir une vitesse réduite soit au démarrage du moteur, soit avant l'arrêt (ponts roulants, appareils de levage, etc.).

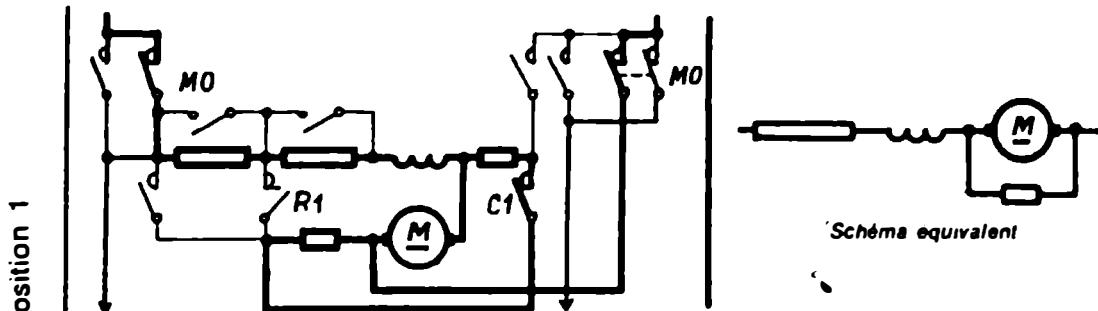
FREINAGE ÉLECTRIQUE : MOTEURS A COURANT CONTINU

2 E 03

III. APPLICATION : ÉQUIPEMENT DE LEVAGE COMMANDÉ PAR MOTEUR SÉRIE

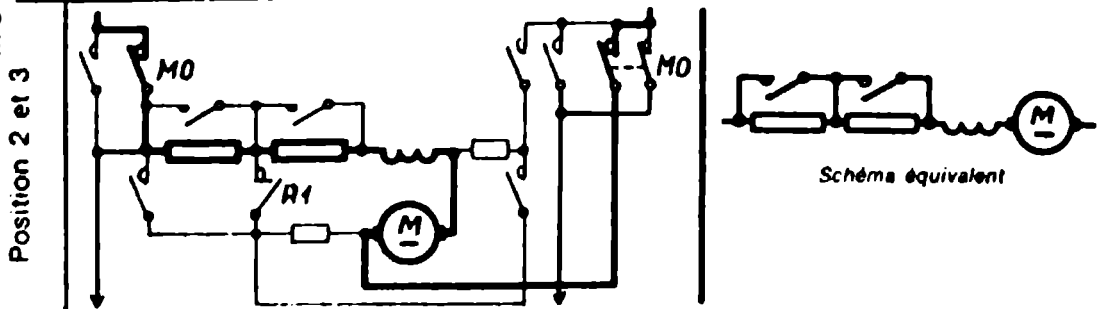


Fonctionnement



Sont sous tension : les contacteurs *C1* et *M0* (fermés) et le rupteur *R1* (ouvert). L'électro-frein (branché aux extrémités des flèches) est sous tension, et également ouvert. Les résistances de démarrage sont en série et l'induit est shunté. Cette position donne une vitesse réduite qui permet un arrêt précis.

MONTÉE



Sont sous tension : le contacteur *M0* (fermé) et le rupteur *R1* (ouvert). L'électro-frein est ouvert. Le shuntage d'induit est supprimé : la vitesse augmente. La position 3 sera obtenue en court-circuitant une résistance de démarrage par *C2* qui commandera *C3* au bout d'un certain temps.

FREINAGE ÉLECTRIQUE : MOTEURS A COURANT CONTINU

2 E 04

ARRÊT

Aucun contacteur ni rupteur n'est sous-tension.
L'électro-frein est fermé.

Position 1

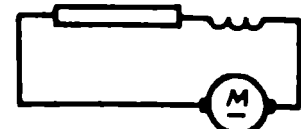
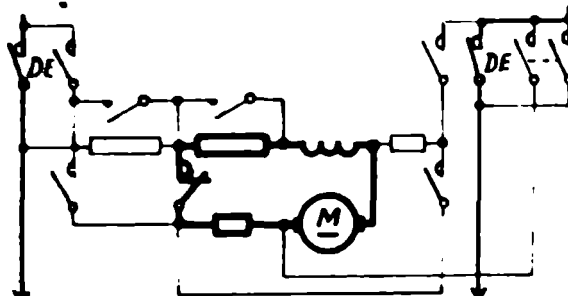
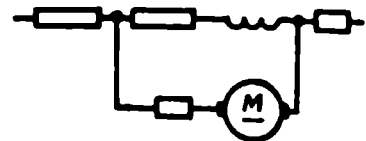
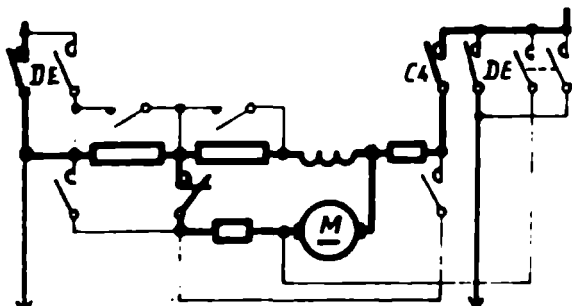


Schéma équivalent

Le contacteur *DE* est sous-tension. Il sert uniquement à alimenter l'électro-frein qui est ouvert. Le moteur série entraîné par sa charge débite dans une résistance de faible valeur (remarquer que le couplage est tel qu'il n'y a pas de désamorçage). La charge descend lentement quand on passe de la position Arrêt à cette position, ou est freinée énergiquement quand on passe de la position 2 à cette position.

DESCENTE
Position 2

- Sont sous-tension les contacteurs *DE* et *C4*.
- L'électro-frein est ouvert.
- Le couplage est potentiométrique.
- Cette position permet en cas de faible charge une descente plus rapide que la position 1 et permet également le freinage par rapport à la position 3.

Position 3

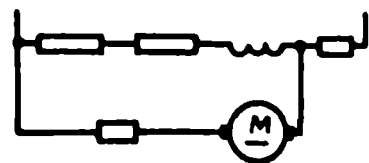
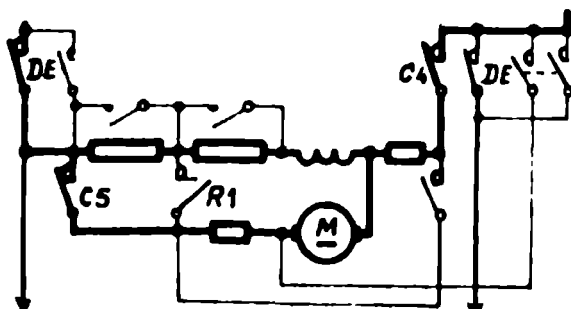


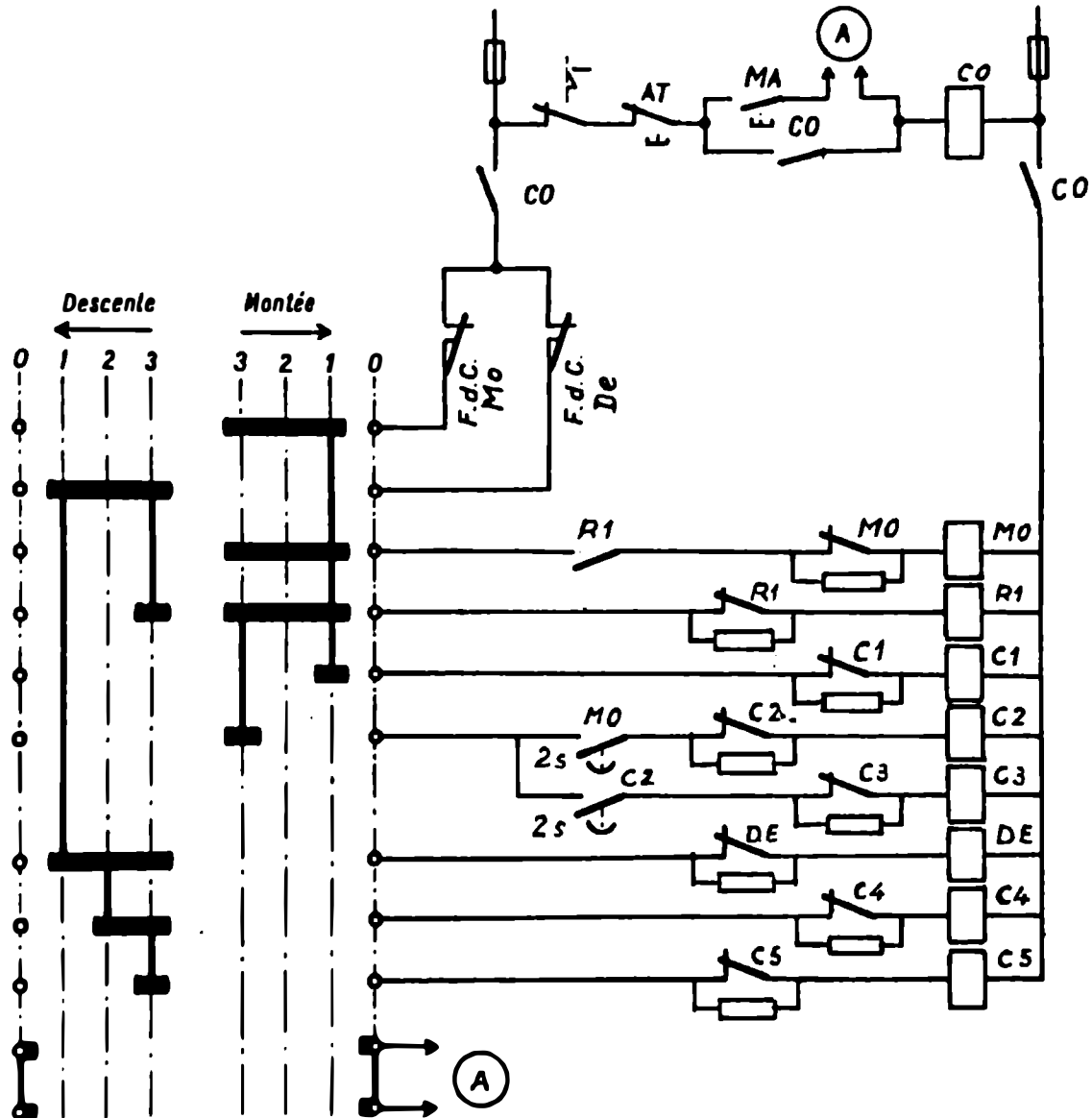
Schéma équivalent

- Sont sous-tension les contacteurs *DE*, *C4*, *C5* et le rupteur *R1*.
- L'électro-frein est ouvert. Cette position correspond à une descente lancée pour charge nulle ou très faible. Le moteur est branché comme un moteur à excitation en parallèle et ne risque pas de s'emballer.

FREINAGE ÉLECTRIQUE : MOTEURS A COURANT CONTINU

2 E 05

Schéma développé du circuit de commande



LEGENDE

F. d. C. MO Fin de course montée
 F. d. C. DE Fin de course descente.

Remarques : 1. Le contacteur CO qui commande l'alimentation du combinateur ne peut être fermé que si celui-ci est en position zéro (pour éviter toute fausse manœuvre).

2. En montée : En position 1, la fermeture de MO est précédée de l'ouverture de R1.

En position 3 le contacteur C2 ne peut se fermer que si le moteur est déjà lancé (temporisation par M0) afin d'éviter les fausses manœuvres (passage trop rapide sur la position 3 par exemple).

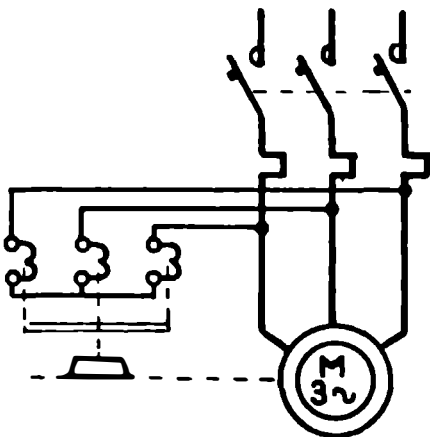
FREINAGE ÉLECTRIQUE : MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS

2 E 06

Le freinage est obtenu :

1. A l'aide d'un électro-frein incorporé ou non dans le moteur lui-même. Il s'agit d'un freinage mécanique.
2. En alimentant le stator en courant continu. Le champ tournant est remplacé alors par un champ fixe et les courants induits dans le rotor tendent à immobiliser celui-ci. Ce courant continu peut être fourni par le moteur lui-même si le rotor est bobiné (freinage en autoexcitation). A rattacher à ce système le freinage par courants de Foucault sur disque accouplé au moteur.
3. En alimentant le stator de façon à avoir un champ tournant inverse. Il faut que ce champ inverse cesse dès que le rotor arrive à la vitesse zéro sinon le moteur redémarre à l'envers.
4. En opposant une tension inverse à la tension rotorique.
5. En alimentant le stator avec une fréquence très inférieure à 50 Hz.

FREINAGE PAR ÉLECTRO-FREIN

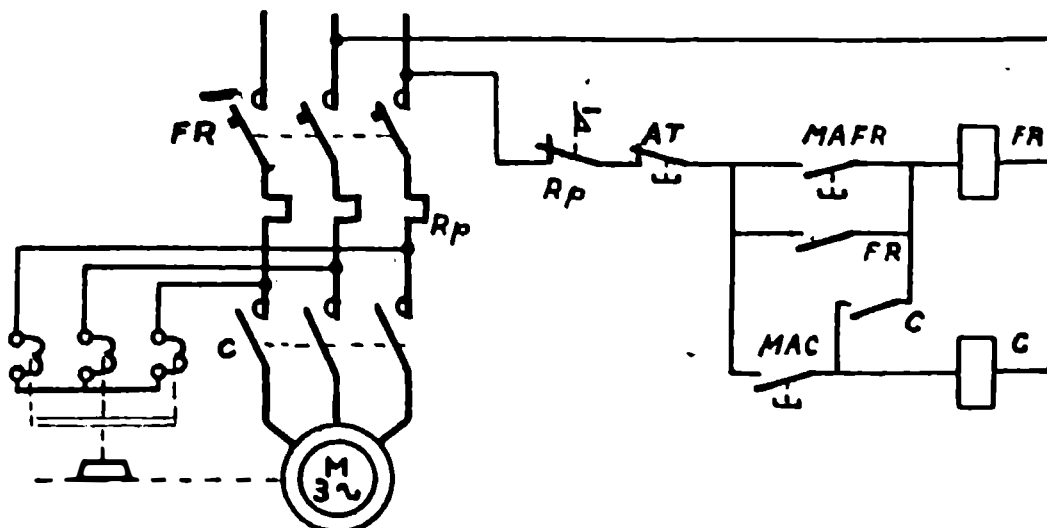


Ce freinage est valable pour les 2 sens de rotation.

Le moteur reste bloqué à l'arrêt sauf si l'on modifie l'équipement et si l'on utilise 2 contacteurs.

VARIANTE PERMETTANT LE DÉBLOCAGE DU FREIN A L'ARRÊT DU MOTEUR

Schéma développé des circuits

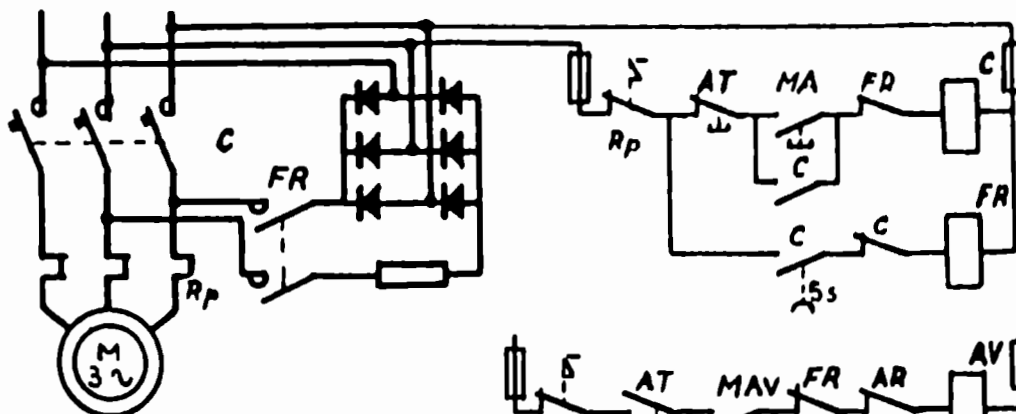


FREINAGE ÉLECTRIQUE : MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS

2 E 07

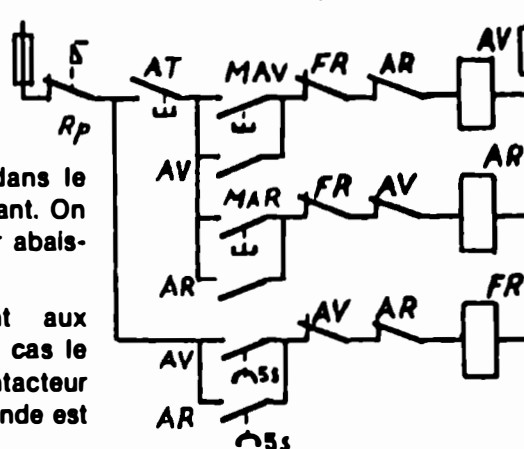
FREINAGE PAR INJECTION DE COURANT CONTINU

Courant continu obtenu par redresseur schéma développé des circuits



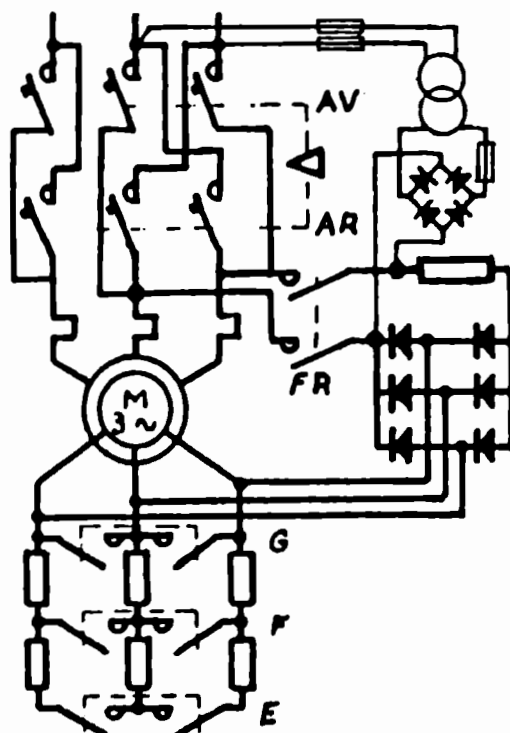
Remarques : 1. La résistance placée dans le circuit de freinage sert à limiter le courant. On peut la remplacer par un transformateur abaisseur placé avant les redresseurs.

2. Ce principe s'applique également aux moteurs à 2 sens de rotation. Dans ce cas le contacteur C est remplacé par un contacteur inverseur (AV-AR) et le circuit de commande est comme ci-contre.



VARIANTE : FREINAGE EN AUTO-EXCITATION

Schéma du circuit de puissance



Le moteur est à rotor bobiné.

Exemple de fonctionnement :

- Fermeture de AV et de E.
- Temporisation.
- Fermeture de F.
- Temporisation.
- Fermeture de G.

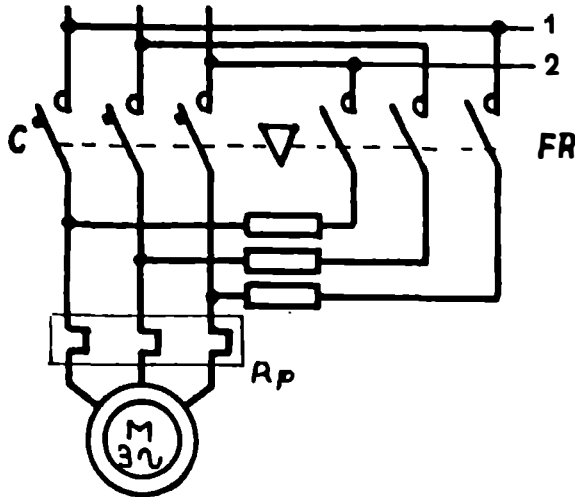
Pour obtenir l'arrêt :

- Coupure des circuits des contacteurs ci-dessus et mise sous tension de FR (voir schéma du circuit de commande ci-dessus pour moteur à 2 sens de rotation).

Le circuit en trait fin permet l'amorçage du moteur qui peut alors fonctionner en générateur. Le freinage sera d'autant plus énergique que la vitesse sera plus grande (cas des appareils de levage dans la position descente avec charge).

FREINAGE A CONTRE COURANT

Schéma du circuit de puissance

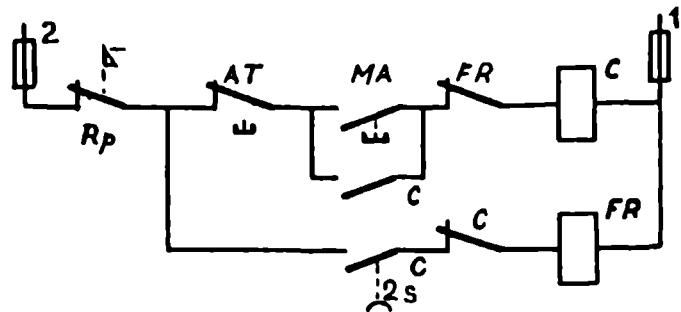


On inverse le sens de rotation du champ tournant qui tend alors à entraîner le rotor en sens inverse, produisant un freinage énergique.

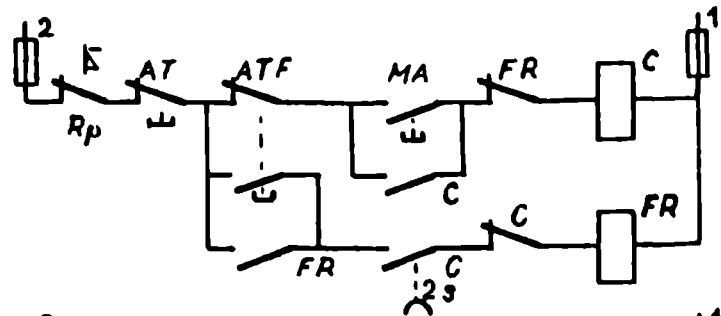
Remarque : les résistances servent à limiter l'intensité du courant. Elles ne sont pas nécessaires dans le cas de moteur de faible puissance entraînant une machine à inertie réduite.

Schéma développé du circuit de commande

Variante 1 : une pression sur le bouton AT provoque l'arrêt freiné. La temporisation doit être déterminée avec précision sinon le moteur risque de repartir en marche arrière.

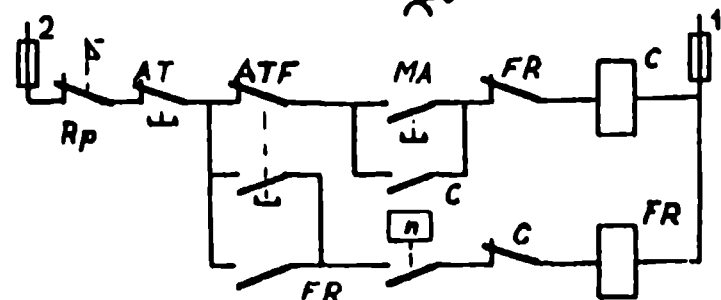


Variante 2 : une pression sur le bouton AT provoque l'arrêt non freiné. Une pression sur le bouton ATF provoque l'arrêt freiné.



Variante 3 : le contact temporisé est remplacé par un contact à commande par force centrifuge.

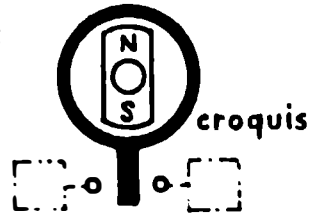
Il n'y a aucun risque de voir le moteur repartir en marche arrière.



Remarque : le dispositif à force centrifuge peut être remplacé par un relais dit Alnico (voir pl. ci-après).

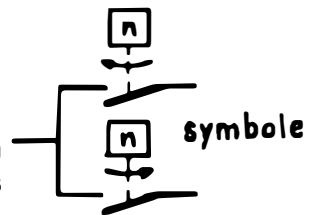
**FREINAGE A CONTRE COURANT : ARRÊT CONTROLÉ PAR RELAIS A INDUCTION
FONCTIONNEMENT SUIVANT LE SENS DE ROTATION DU MOTEUR**

-Alsthom- fabrique un relais dit -Alnico- se fixant à l'extrémité de l'arbre du moteur à contrôler. Ce relais comprend un aimant permanent en alliage d'aluminium, nickel et cobalt (d'où le nom d'Alnico). Cet aimant tourne à l'intérieur d'une cage qui lui est concentrique et entraîne cette dernière en rotation. 2 butées limitent le déplacement à droite si l'aimant tourne à droite ou à gauche si l'aimant tourne à gauche.

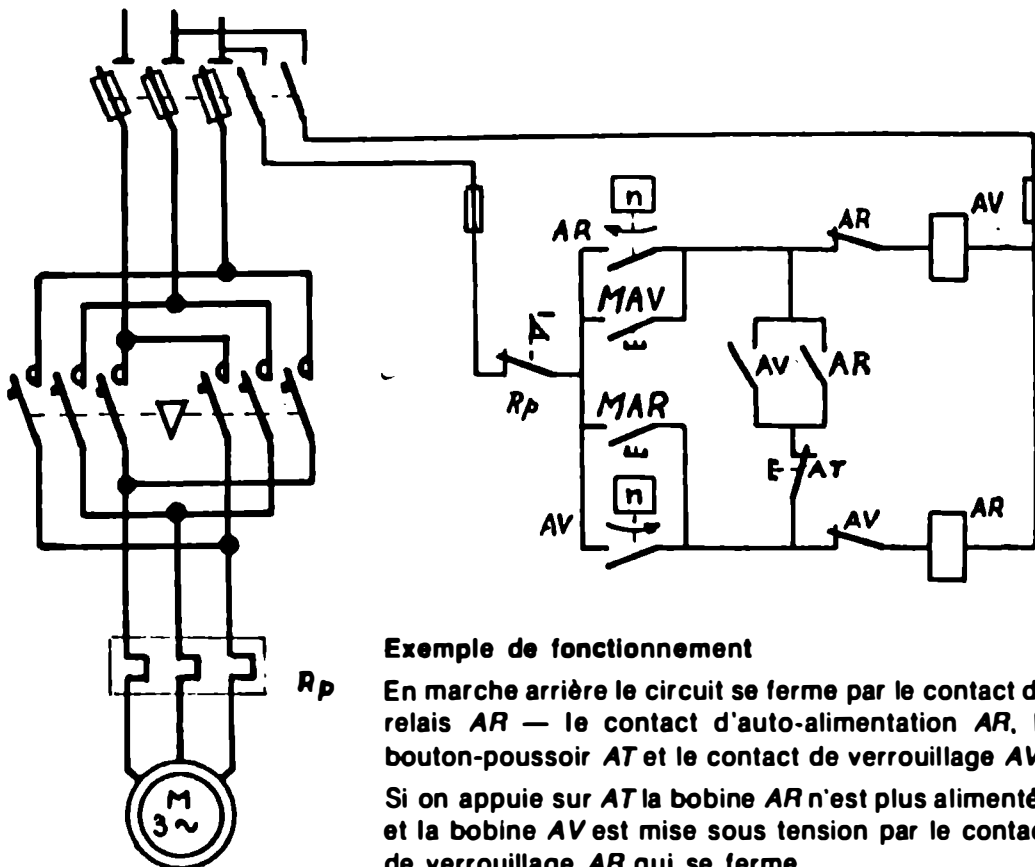


Ce relais présente comme avantages :

- une grande simplicité de conception,
- aucun frottement mécanique,
- la possibilité de sélectionner le sens de rotation ce qui donne un montage original pour le freinage du moteur à 2 sens de rotation (voir ci-dessous).



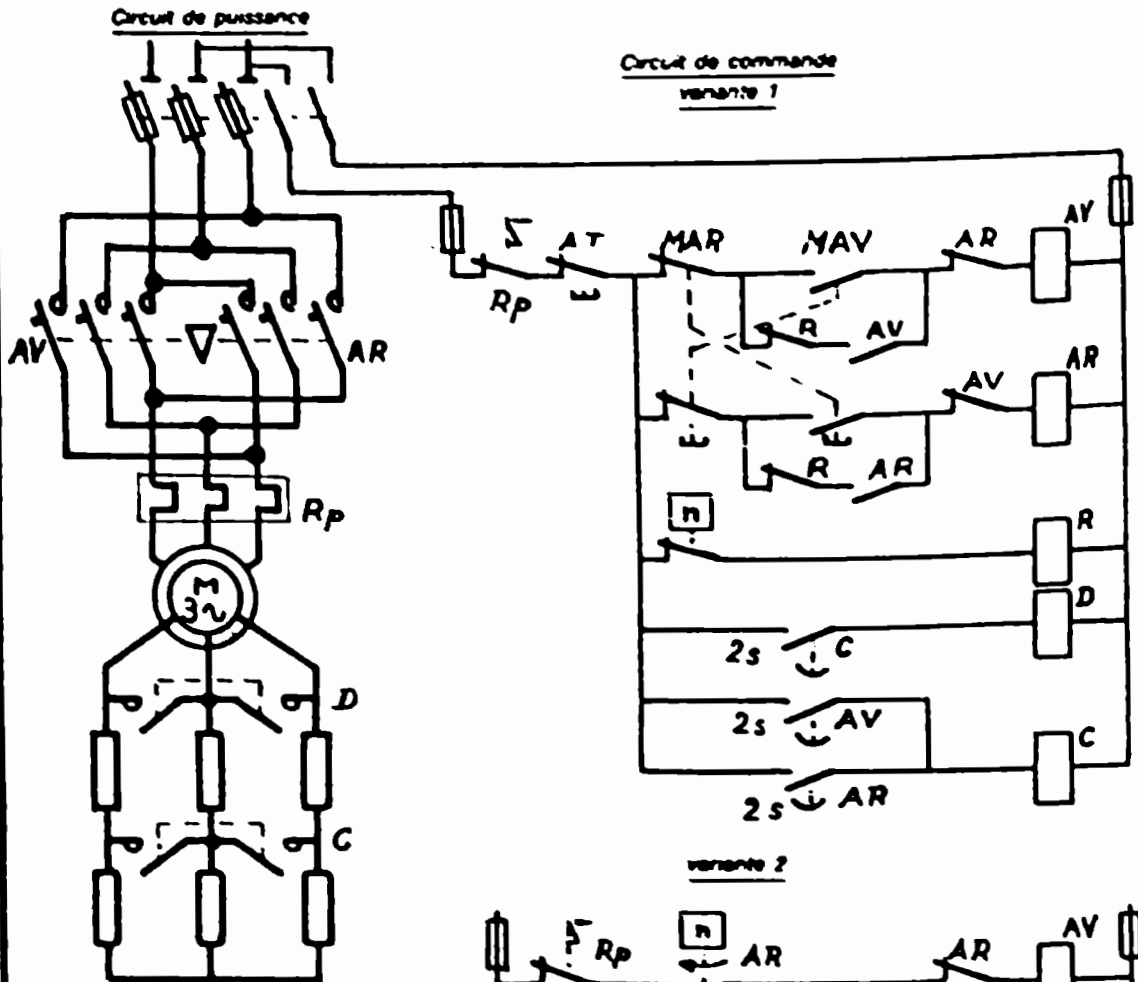
*Moteur à 2 sens de rotation : freinage par contre-courant
Schéma des circuits*



FREINAGE ÉLECTRIQUE : MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS

2 E 10

FREINAGE A CONTRE COURANT : MOTEURS A ROTOR BOBINÉ - 2 SENS DE ROTATION

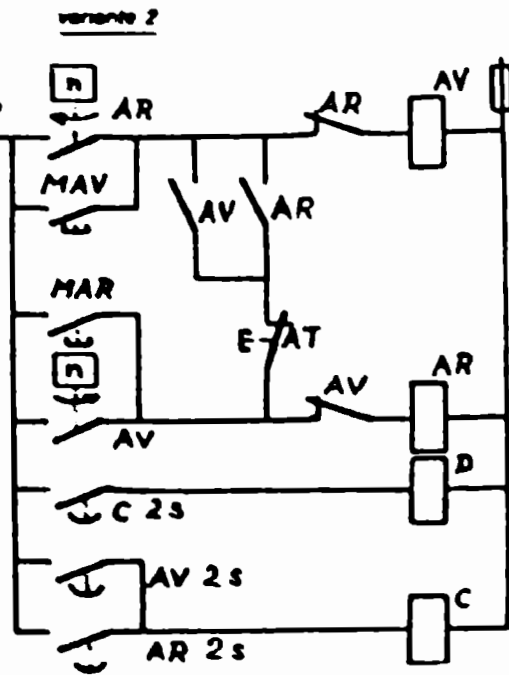


Variante 1 : une pression sur AT provoque l'arrêt non freiné.

Une impulsion sur MAR lorsque le moteur tourne en marche avant provoque l'arrêt freiné. Cette impulsion doit être brève sinon le moteur repart en marche arrière.

Variante 2 : une pression sur AT provoque l'arrêt freiné. Il n'y a aucun risque de voir le moteur repartir dans l'autre sens de rotation.

Remarque : dans les deux cas le temporisation des contacts AV et AR doit être supérieure au temps d'arrêt du moteur.



FREINAGE PAR OPPOSITION DE TENSION*d'après - Télémechanique électrique -*

Le principe de ce mode de freinage repose sur 2 propriétés du moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné.

- Le couple est proportionnel à l'intensité dans le rotor.
- La tension aux bornes du rotor est proportionnelle au glissement

Exemple de fonctionnement

- Fermeture de *MO* et de *C*.

— Une tension *UR* apparaît aux bornes du rotor. Elle est supérieure à la tension aux bornes de l'auto transformateur *UT*. Le rotor débite dans les résistances. Les courants rotoriques produisent un couple important. Le moteur accélère. Remarquons que la tension *UR* étant supérieure à la tension *UT*, l'auto-transformateur ne débite aucun courant.

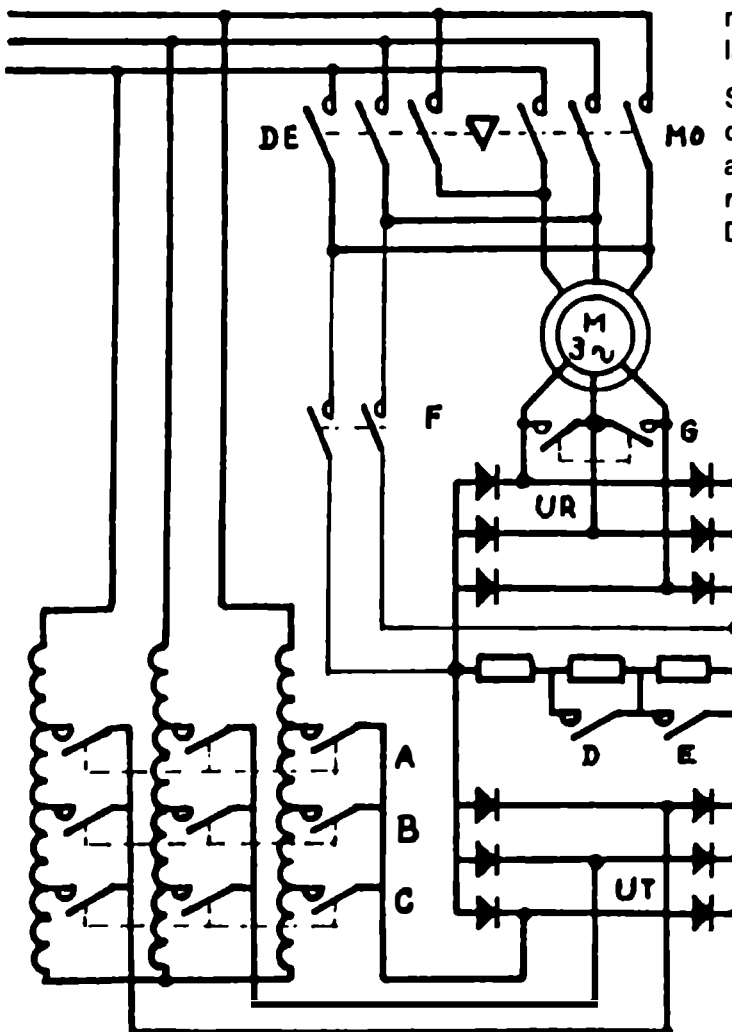
- Lorsque les 2 tensions *UR* et *UT* sont égales, la vitesse se stabilise. En effet

supposons que la vitesse ait augmenté : la tension *UR* est plus petite que *UT*. Les courants rotoriques s'annulent. Le couple aussi. Donc la vitesse diminue.

Supposons que la vitesse ait diminué : la tension *UR* augmente. De même les courants rotoriques et le couple. Donc la vitesse augmente.

Remarque : l'intensité dans les résistances est fournie tantôt par le rotor, tantôt par l'auto-transformateur.

Ce mode d'alimentation utilisé pour les appareils de levage permet soit le fonctionnement normal par fermeture des contacteurs *MO* et *DE*, soit le freinage par fermeture de *F*, *A*, *B* ou *C*, soit une montée à vitesse lente et particulièrement stable par fermeture de *MO* et *A*, *B* ou *C*.



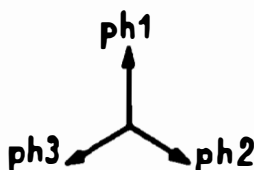
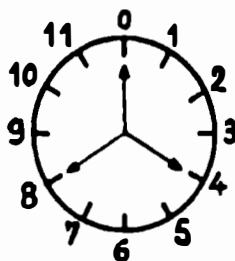
TRANSFORMATEURS ET POSTES DE TRANSFORMATION

SYMBOLES POUR LE REPÉRAGE DES CONDUCTEURS

2 F 01

La norme NFC04200 traite du repérage des conducteurs et notamment :

- du repérage par couleurs des conducteurs isolés et des conducteurs nus,
- du repérage par indices horaires des conducteurs des réseaux triphasés.



INDICE NUMÉRIQUE OU INDICE HORAIRE

Considérons le cadran d'une horloge.

Nous voyons que les heures divisent celui-ci en 12 parties égales, chaque partie correspondant à un angle de 30° . Appliquons sur ce cadran 3 vecteurs décalés de 120° , représentant les 3 phases d'une tension triphasée.

Si l'extrémité du vecteur phase 1 se trouve sur 0 heure, l'extrémité du vecteur phase 2 sera en face de 4 heures et l'extrémité du vecteur phase 3 en face de 8 heures.

Cette désignation symbolique permet le repérage des phases.

Exemple d'indice horaire pour les 3 phases d'une distribution triphasée : 0-4-8; 1-5-9; 2-6-10; etc.

Ce repérage des conducteurs tient compte des déphasages fixes qui peuvent être introduits par l'interposition de transformateurs. Le même indice horaire accompagne un conducteur sur toute sa longueur. En plus du repérage il permet de prédéterminer les possibilités de couplage. Seuls peuvent être raccordés entre eux les conducteurs possédant le même indice.

REPÉRAGE PAR COULEUR

Usage de la combinaison bicolore vert et jaune : sert uniquement pour le conducteur de protection. Pour les conducteurs nus ou les barres on doit peindre des bandes vertes et jaunes d'égale largeur.

Usage de la couleur bleu clair : sert uniquement pour le conducteur neutre en distribution alternative ou le conducteur médian en courant continu.

| Désignation des conducteurs | | Identification | |
|---|---------|----------------|---------------|
| Système d'alimentation alternatif | Phase 1 | L_1 | bleu clair |
| | Phase 2 | L_2 | |
| | Phase 3 | L_3 | |
| | Neutre | N | |
| Appareil pour système alternatif | Phase 1 | U | |
| | Phase 2 | V | |
| | Phase 3 | W | |
| Système continu | Positif | L_+ | bleu clair |
| | Négatif | L_- | |
| | Médian | M | |
| Conducteur de protection Terre Terre sans bruit | | PE | vert et jaune |
| | | E | |
| | | TE | |

COUPLAGE DES TRANSFORMATEURS

2 F 02

Le couplage d'un transformateur est désigné par un symbole formé d'une succession de lettres associées à des indices numériques.

1. **Lettres.** Elles sont majuscules pour l'enroulement Haute Tension.
 minuscules Basse Tension.

| | | | | | |
|-----------------------------------|-------|-------|----------------------------------|-------|-------|
| Monophasé | I | i | Triphasé étoile neutre sorti | Y_n | y_n |
| Monophasé à point milieu sorti | I_n | i_n | Triphasé triangle | D | d |
| Triphasé étoile | Y | y | Triphasé zig-zag neutre sorti | Z_n | z_n |

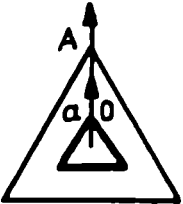
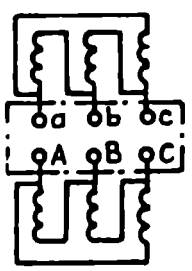
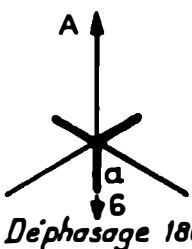
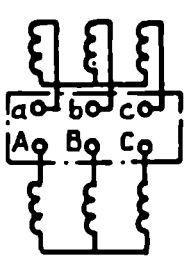
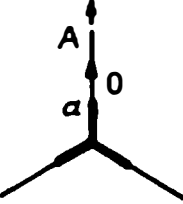
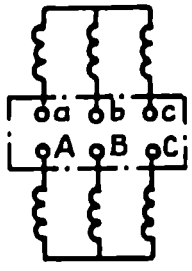
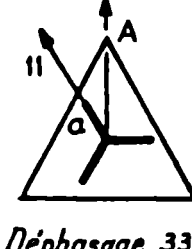
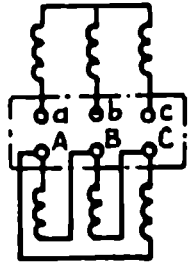
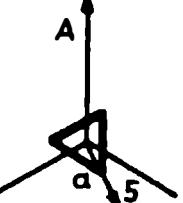
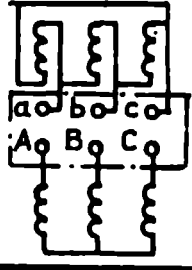
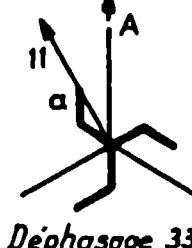
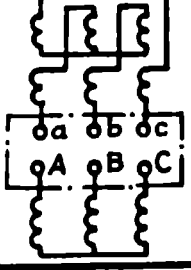
2. **Indice numérique**

Caractérise dans ce cas le déphasage des f. e. m. entre point neutre et phase d'un enroulement B.T. et point neutre et phase de l'enroulement homologue H.T. pris comme référence.

Quand l'enroulement ne présente pas de point neutre, celui-ci est fictif.

EXEMPLES

Le diagramme vectoriel de l'enroulement H. T. est en trait fin, celui de l'enroulement B.T. en trait fort.

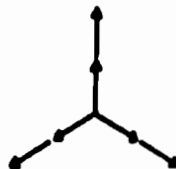
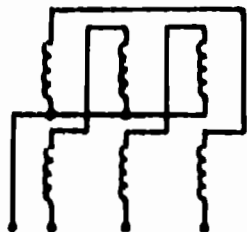
| Symbole | Diagramme vectoriel | Schéma des connexions | Symbole | Diagramme vectoriel | Schéma des connexions |
|---------|--|---|---------|---|---|
| Dd0 |  <i>Déphasage 0°</i> |  | Yy6 |  <i>Déphasage 180°</i> |  |
| Yy0 |  <i>Déphasage 0°</i> |  | Dy11 |  <i>Déphasage 330°</i> |  |
| Yd5 |  <i>Déphasage 150°</i> |  | Yz11 |  <i>Déphasage 330°</i> |  |

COUPLAGE DES TRANSFORMATEURS

2 F 03

COUPLAGE ZIG-ZAG

Le couplage zig-zag s'obtient en fractionnant en 2 parties égales les enroulements et en les couplant comme ci-après.



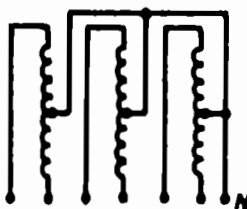
Représentation vectorielle des tensions obtenues

couplage étoile

couplage zig-zag

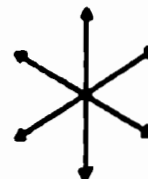
Nous constatons que les tensions dans le couplage zig-zag ne sont pas en phase avec les tensions primaires. Si le primaire est couplé en étoile et si l'indice des phases est respectivement H.0 - H.4 - H.8, le couplage zig-zag donnera au secondaire H.11 - H.13 - H.7.

TRANSFORMATION DE COURANT TRIPHASÉ EN HEXAPHASE OU INVERSEMENT



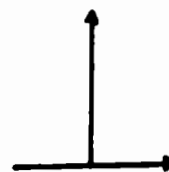
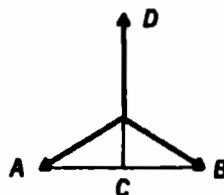
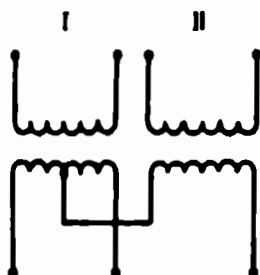
Les enroulements secondaires du transformateur comportent une prise médiane.

On réunit toutes ces prises médianes et on obtient un point neutre.



TRANSFORMATION DE COURANT TRIPHASÉ EN DIPHASÉ OU INVERSEMENT

Montage Scott

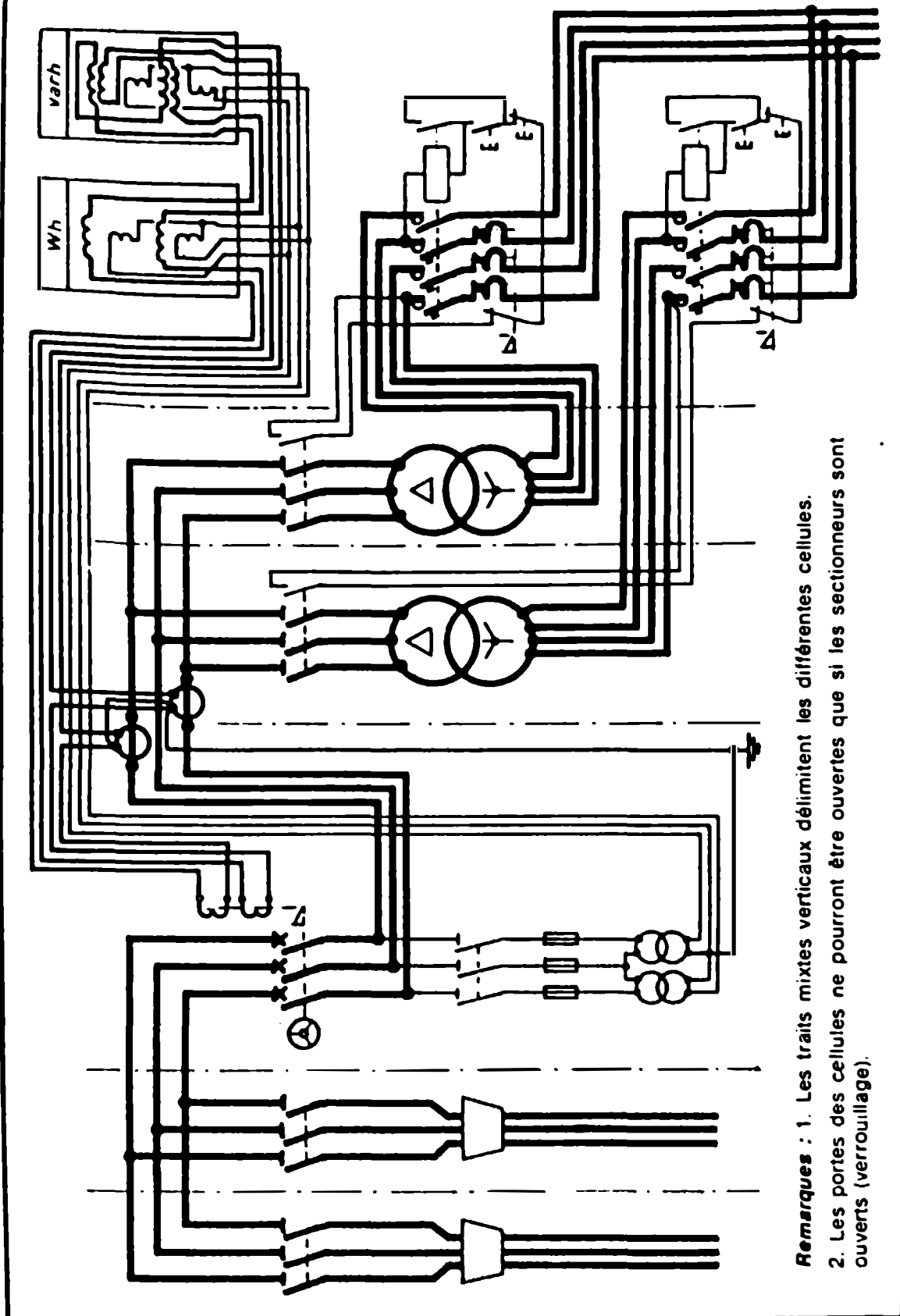


Représentation vectorielle des tensions triphasées

Nous voyons que l'on applique aux bornes des groupes monophasés, respectivement une tension AB égale à U et une tension CD égale à $U \frac{\sqrt{3}}{2}$. Pour obtenir 2 tensions déphasées égales les 2 groupes monophasés devront avoir des rapports de transformation différents. (Par exemple 1 pour le groupe I et $\frac{2}{\sqrt{3}}$ pour le groupe 2).

POSTES DE TRANSFORMATION

2 F 04



Remarques : 1. Les traits mixtes verticaux délimitent les différentes cellules.

2. Les portes des cellules ne pourront être ouvertes que si les sectionneurs sont ouverts (verrouillage).

POSTES DE TRANSFORMATION RÉGIMES DU NEUTRE

2 F 05

Le régime du neutre définit la position du point neutre par rapport à la terre dans une distribution basse tension (B.T.) obtenue par un transformateur Moyenne tension - Basse tension.

On distingue essentiellement 3 régimes de neutre
(d'après décret du 14 novembre 1962 et norme NFC 15-100).

Appellation du régime du neutre

On le désigne par 2 lettres

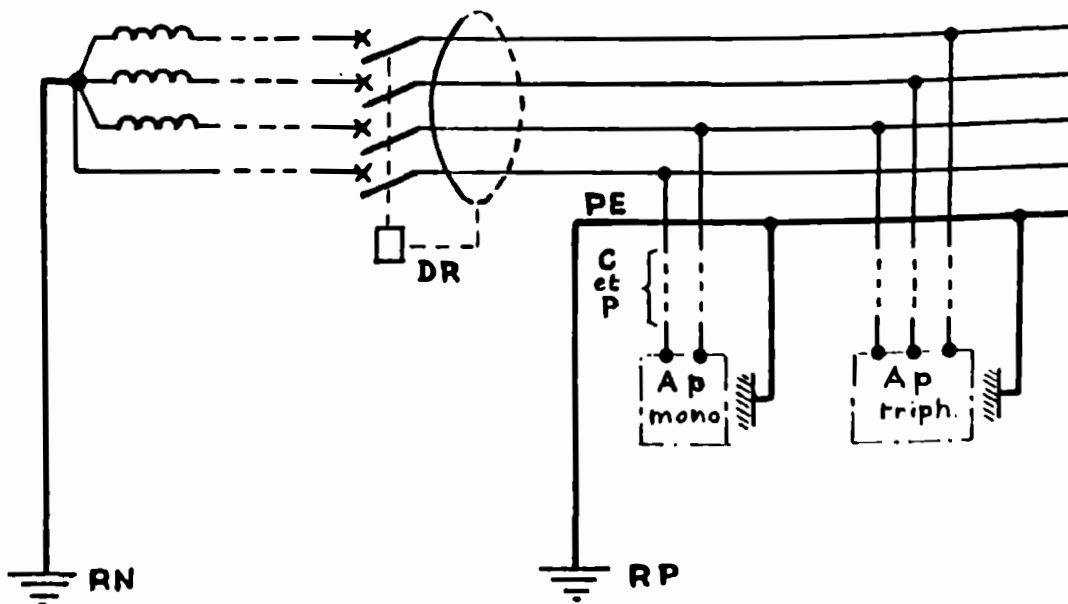
- 1^o lettre** : Elle situe le neutre par rapport à la terre
T : neutre relié directement à la terre
I : neutre isolé de la terre ou relié par une impédance
- 2^o lettre** : Elle situe les masses
T : Masses reliées à une prise de terre
N : Masses reliées au neutre

1^o) Neutre à la terre : T.T.

C'est ce régime qui est utilisé par E.D.F. pour la distribution Basse tension alimentant les installations particulières.

Le neutre est relié à la terre (Résistance R_N , fig. ci-dessous).

Les masses sont reliées à une prise de terre différente de résistance R_p très faible par un conducteur de protection (ou de terre) PE.



Ap. mono. et Ap. triph. : Appareils d'utilisation monophasé et triphasé.
 C et P : Commande et protection des appareils d'utilisation (non définies).

Le défaut d'isolement est dangereux pour l'utilisateur.

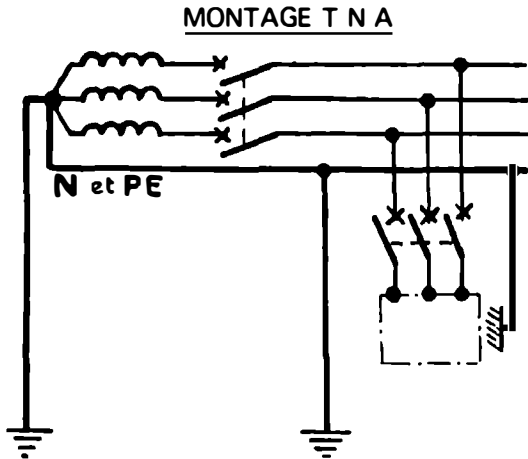
La coupure se fait au premier défaut, grâce au disjoncteur différentiel DR qui s'ouvre dès qu'un courant de défaut supérieur au seuil fixé (et Indiqué sur l'appareil) apparaît.

POSTES DE TRANSFORMATION RÉGIMES DU NEUTRE

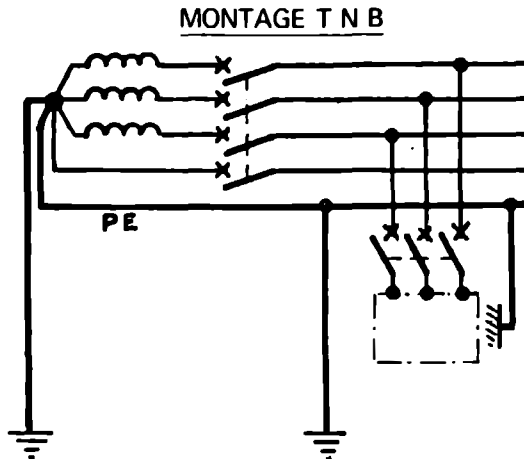
2 F 06

2°) Mise au neutre : T.N.

Le neutre est mis à la terre et les masses des récepteurs sont reliées au neutre.
Le conducteur PE (ou N et PE) est mis à la terre en différents points de l'installation.



Le neutre et le conducteur de protection sont confondus. L'appareillage utilisé est tripolaire.

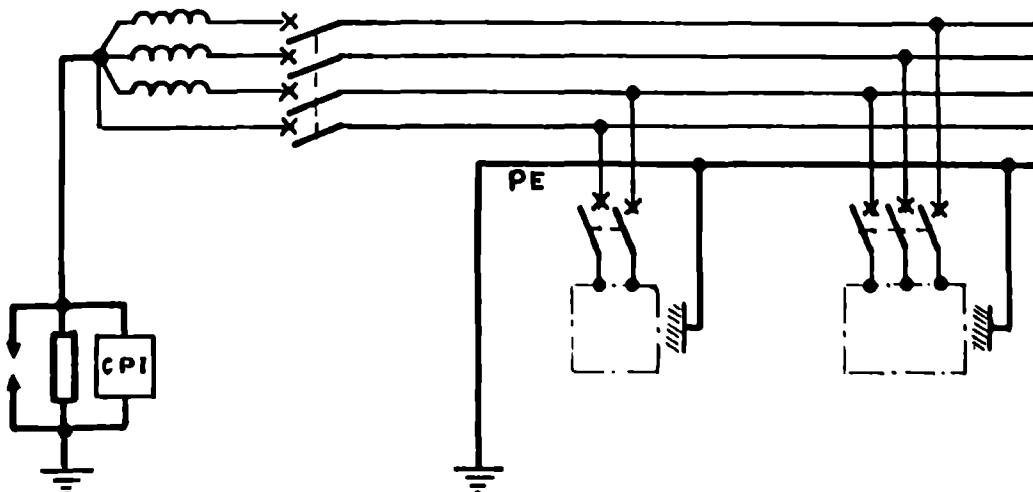


Le neutre et le conducteur de protection sont réunis ensemble au transformateur, mais sont distincts. L'appareillage utilisé peut être tétrapolaire.

Le défaut d'isolement est dangereux pour l'utilisation. *La coupure se fait au premier défaut* (court-circuit phase neutre et déclenchement des dispositifs de protection – disjoncteur, discontacteur, fusibles – qui protègent chaque appareil d'utilisation.

3°) Neutre isolé ou impédant : I T

Cas où l'exploitant est propriétaire de son transformateur B.T.
Le neutre est isolé de la terre ou relié à celle-ci par une impédance de valeur élevée (plusieurs $k\Omega$). Les masses sont reliées à la terre.



Le premier défaut n'est pas dangereux mais est signalé par le contrôleur permanent d'isolement (C.P.I.) : tension importante à ses bornes.

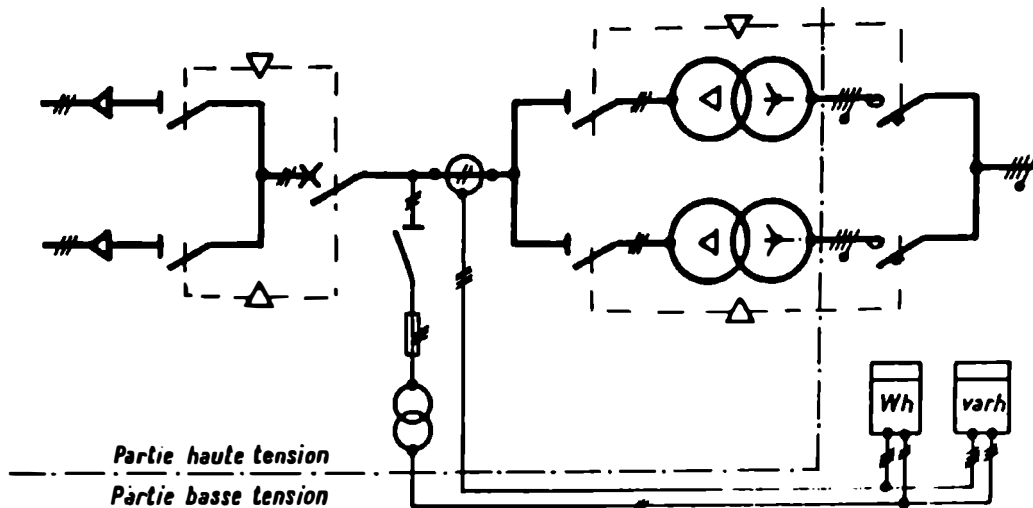
La coupure se fait au 2^{ème} défaut : surintensité et déclenchement des systèmes de protection propres à chaque appareil d'utilisation.

POSTES DE TRANSFORMATION

2 F 07

POSTE DE TRANSFORMATION DE PUISSANCE RÉDUITE ALIMENTÉ PAR 2 CABLES SOUTERRAINS ET COMPRENANT 2 TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE

A - Schéma type



Ce poste de transformation (destiné à l'alimentation d'une usine par exemple) comprend :

Côté haute tension : 2 arrivées haute tension par câbles souterrains,
 2 sectionneurs,
 1 disjoncteur ou un interrupteur avec coupe-circuit à fusibles,
 1 dérivation alimentant les T. P. (Transformateurs de Potentiel) par l'intermédiaire d'un sectionneur et de coupe-circuit à fusibles,
 2 T. I. (Transformateurs d'Intensité),
 1 dérivation permettant l'alimentation de 2 transformateurs par l'intermédiaire de 2 sectionneurs.

Côté basse tension : 2 contacteurs disjoncteurs verrouillés électriquement et mécaniquement avec les sectionneurs correspondant.

Remarque : les appareils qui risquent le plus des dérangements (câbles et transformateurs) sont doublés pour éviter toute interruption dans le fonctionnement de l'usine.

B - Schéma général des connexions

La planche suivante est dessinée en représentation multifilaire.

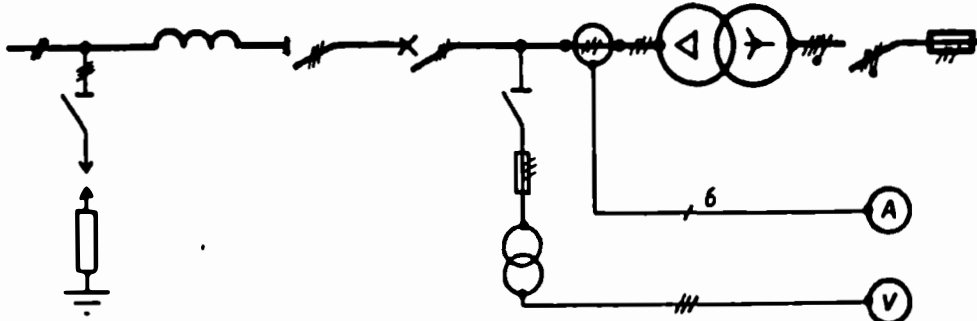
En général on utilise une représentation mixte unifilaire-multifilaire, certaines parties du schéma pouvant se représenter en unifilaire sans aucun risque de confusion.

De même le schéma intérieur des compteurs ne se représente pas.

Remarquer que les connexions extérieures sont les mêmes pour le compteur d'énergie active et le compteur l'énergie réactive

POSTE DE TRANSFORMATION DE PUISSANCE RÉDUITE ALIMENTÉ PAR LIGNE AÉRIENNE

A - Schéma type



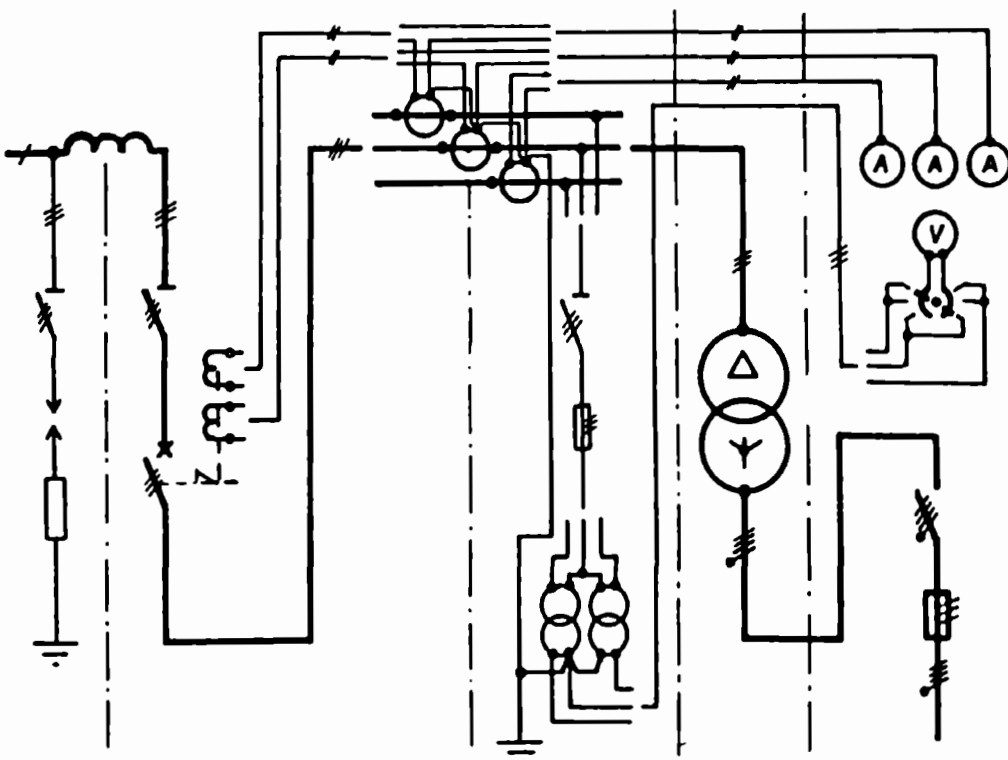
Ce poste de transformation comprend en plus des appareils déjà vus :

- un parafoudre alimenté par l'intermédiaire d'un sectionneur,
- une bobine de self.

Il n'y a qu'un seul transformateur de puissance.

B - Schéma général des connexions

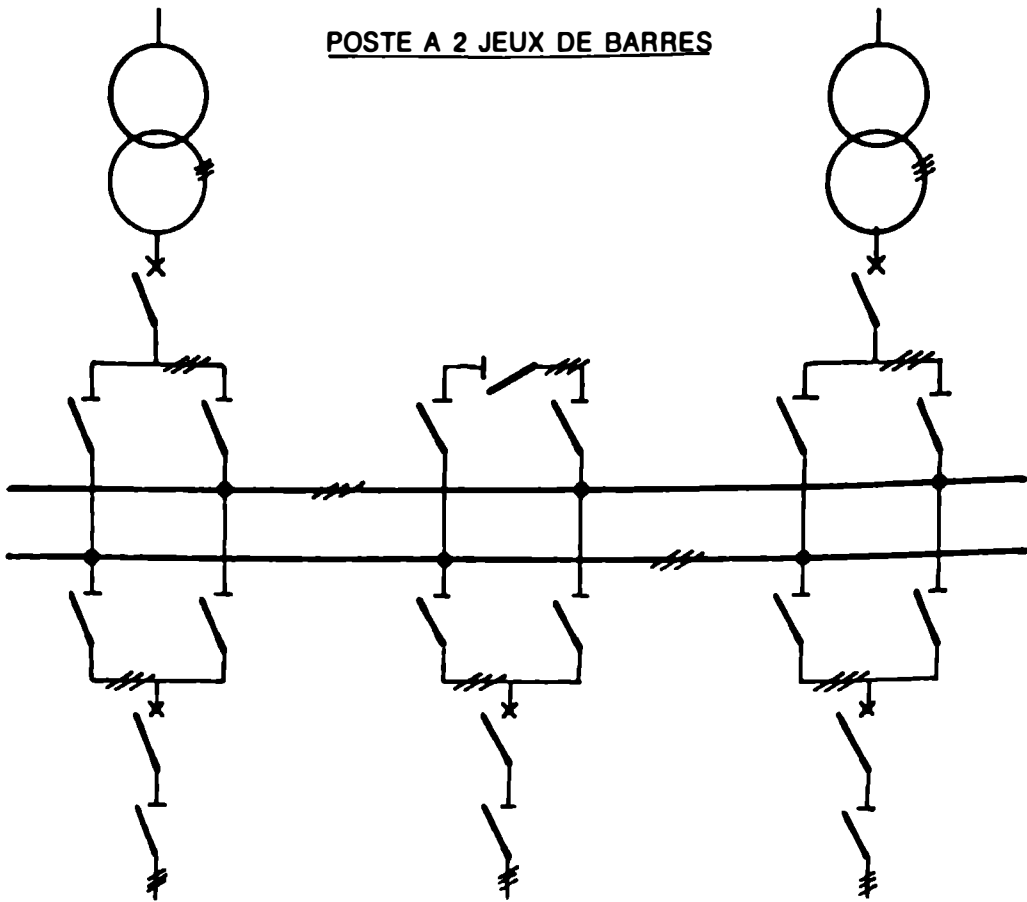
Représentation mixte unifilaire multifilaire.



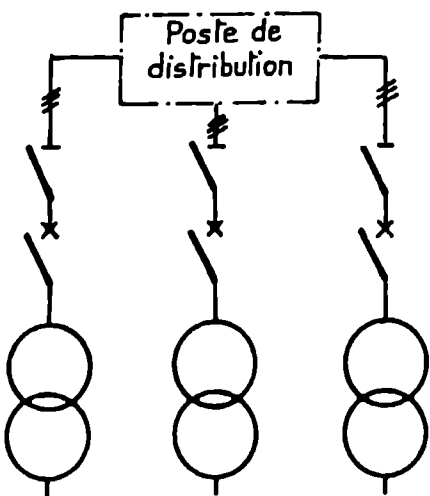
POSTES DE TRANSFORMATION

2 F 09

POSTE A 2 JEUX DE BARRES

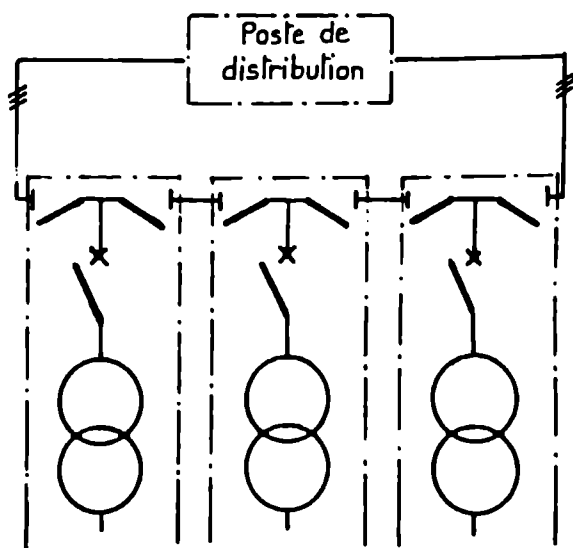


ALIMENTATION DE 3 POSTES EN SIMPLE DÉRIVATION OU EN ANTENNE



Une coupure sur une ligne de distribution isole le poste.

ALIMENTATION DE 3 POSTES EN BOUCLE OU COUPURE D'ARTÈRE



Une coupure sur l'artère de distribution n'isole pas le poste de transformation.

TROISIÈME PARTIE

Groupe 3 A 01 et 3 A 02

Symboles pour semi-conducteurs.

Principaux symboles pour tubes électroniques.

Groupe 3 B 01 à 3 B

Diodes et redressement.

Exemple d'ensemble redresseurs.

Utilisations particulières des diodes.

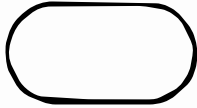
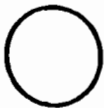
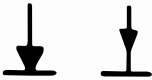



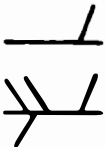








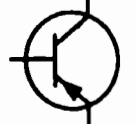




Montage des transistors.

Amplificateur à circuit intégré linéaire ou amplificateur opérationnel.

Commande des thyristors.

Transistor unijonction et commande de thyristor par transistor unijonction.


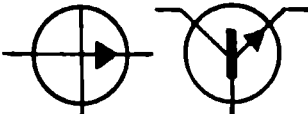
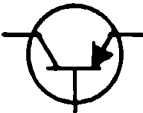
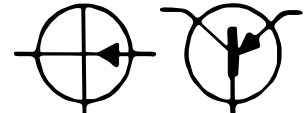

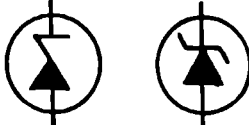




Diac et Triac.

| SYMBOLES POUR SEMI-CONDUCTEURS | | 3 A 01 | |
|---|---|--|---|
| Symboles élémentaires | | | |
|  |  | Enveloppe : symbole général. | |
|  | Jonction d'une région <i>P</i> sur une région <i>N</i> — 2 variantes. |  | Jonction d'une région <i>N</i> sur une région <i>P</i> — 2 variantes. |
|  | Émetteur. 1. Émetteur <i>P</i> sur région <i>N</i> . 2. Émetteur <i>N</i> sur région <i>P</i> . |  | Plusieurs émetteurs <i>P</i> sur région <i>N</i> . |
|  | Collecteur. Plusieurs collecteurs. |  | Effet tunnel. Effet de claquage. |
| Exemples d'application | | | |
|  | Diode à semi-conducteur. |  | Diode tunnel. |
|  | Diode à semi-conducteur régulatrice de courant (diode Zener). |  | Thyristor bidirectionnel. |
|  | Thyristor bloqué en inverse — <i>NPNP</i> (thyristor <i>N</i>). |  | Thyristor bloqué en inverse — <i>PNPN</i> (thyristor <i>P</i>). |
|  | Transistor <i>NPN</i> . |  | Transistor <i>PNP</i> . |
|  | Transistor unijonction avec base du type <i>P</i> . |  | Cellule photoconductrice à conductibilité symétrique. |
|  | Cellule photovoltaïque. |  | Cellule photoconductrice à conductibilité asymétrique. |







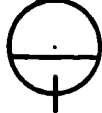



**SYMBOLES POUR SEMI-CONDUCTEURS
SYMBOLES POUR TUBES ÉLECTRONIQUES**

3 A 02

Autres symboles utilisés pour semi-conducteurs

| <u>Symboles N.F.</u> | <u>Autres symboles</u> | |
|---|---|---|
|  |  | Transistor NPN Le trait supportant la petite flèche symbolise toujours l'émetteur. La base est toujours située entre l'émetteur et le collecteur. |
|  |  | Transistor PNP Repérage de l'émetteur, de la base et du collecteur comme ci-dessus. |
|  |  | Diode Zener. |
|  |  | Diac. |
|  |  | Triac (Thyristor bidirectionnel). |

Principaux symboles pour tubes électroniques

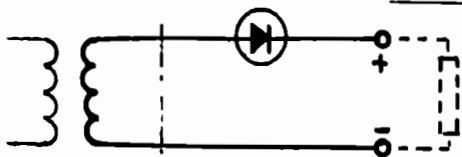
| | | | |
|---|--|---|--|
|  | Cathode chaude. |  | Cathode froide ou cathode chauffée ioniquement. |
|  | Cathode à chauffage direct ou filament chauffant de cathode. |  | Cathode froide à amorçage par chauffage direct. |
|  | Cathode à chauffage indirect avec filament chauffant. |  | Electrode servant indifféremment d'anode ou de cathode froide. |
|  | Cathode liquide non isolée de l'enveloppe. |  | Cathode liquide isolée de l'enveloppe. |
|  | Anode. |  | Grille. |

DIODES : REDRESSEMENT

3 B 01

ALIMENTATION EN COURANT ALTERNATIF MONOPHASÉ

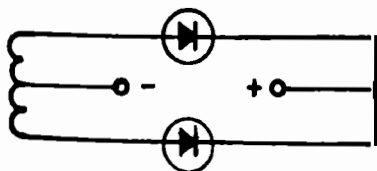
Redressement simple alternance



La diode ne laisse passer que les alternances positives.

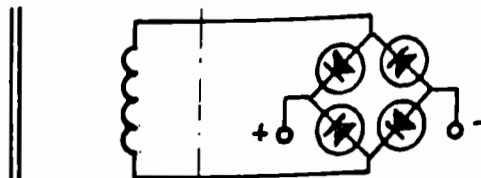
Redressement double alternance

Montage avec transformateur à point milieu.



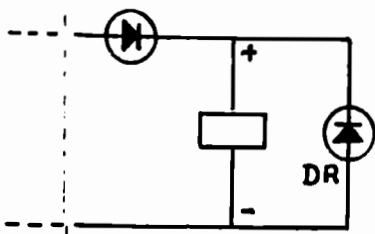
Chaque diode supporte une tension inverse égale à $2U_{max}$.

Montage en pont de Graëtz.



Les diodes ne conduisent qu'une alternance sur deux.

Redressement simple alternance : Montage dit «roue libre»

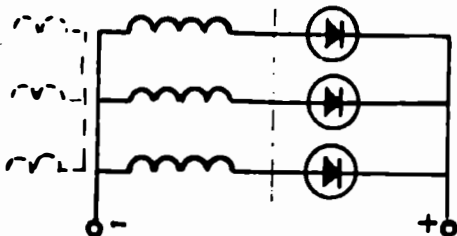


Ce montage s'utilise avec des récepteurs selfiques (ici bobine de relais).

Le courant dans cette bobine se continue dans la diode «roue libre» à chaque fin d'alternance positive (pas de coupure totale du courant, donc pas de vibration dans le circuit magnétique).

ALIMENTATION EN COURANT ALTERNATIF TRIPHASÉ

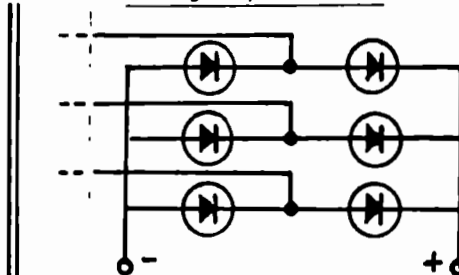
Redressement simple alternance



Le secondaire du transformateur est couplé en étoile avec point neutre accessible.

Redressement double alternance

Montage en pont de Graëtz



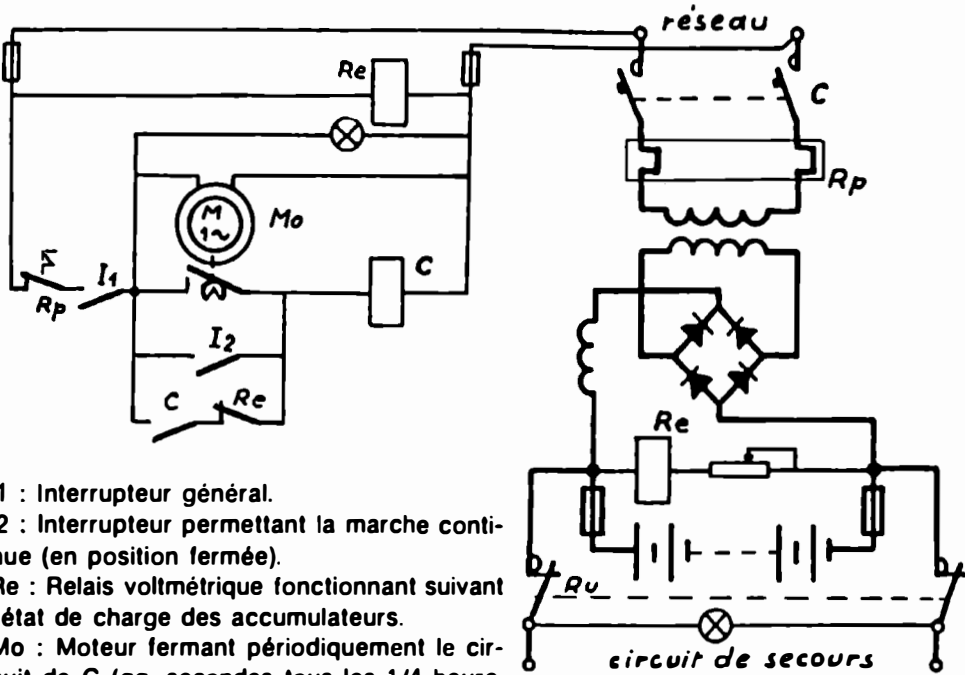
Utilisation d'un transformateur sans nécessité de point neutre.

Le taux d'ondulation est plus faible dans le montage en pont.

EXEMPLES D'ENSEMBLES REDRESSEURS

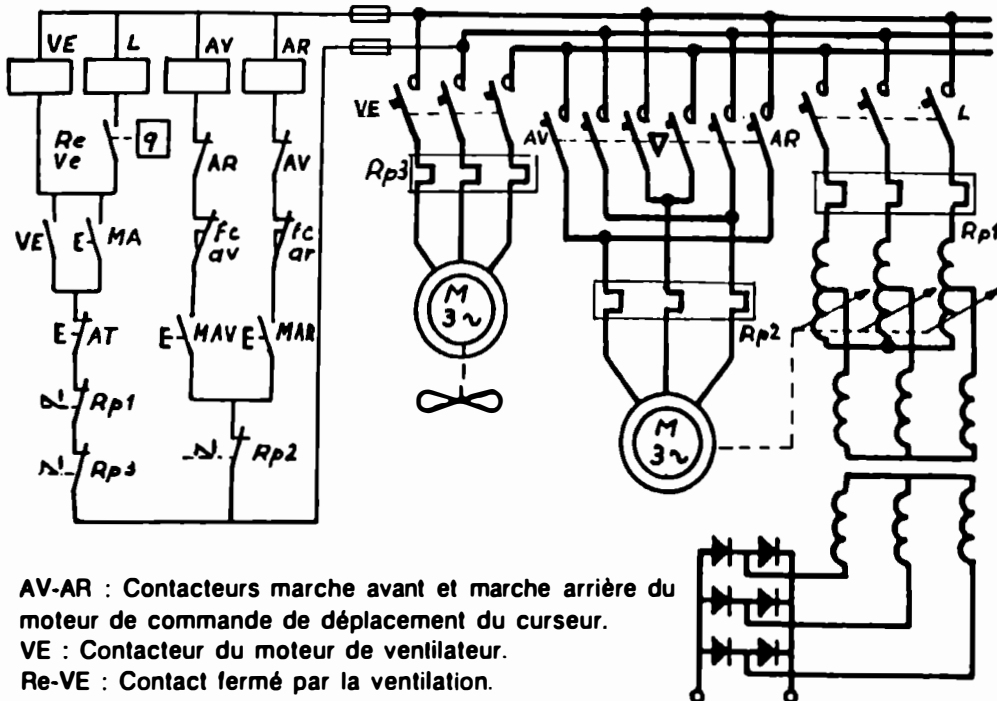
3 B 02

CHARGEUR POUR BATTERIE D'ACCUMULATEURS DE SECOURS



I1 : Interrupteur général.
 I2 : Interrupteur permettant la marche continue (en position fermée).
 Re : Relais voltométrique fonctionnant suivant l'état de charge des accumulateurs.
 Mo : Moteur fermant périodiquement le circuit de C (qq. secondes tous les 1/4 heure, par ex.).

REDRESSEUR POUR ALIMENTATION EN COURANT CONTINU VARIABLE



AV-AR : Contacteurs marche avant et marche arrière du moteur de commande de déplacement du curseur.
 VE : Contacteur du moteur de ventilateur.
 Re-VE : Contact fermé par la ventilation.

DIODES : APPLICATIONS PARTICULIÈRES

3 B 03

Caractéristique courant tension d'une diode

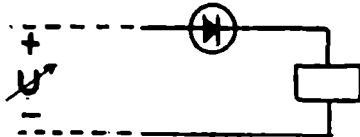


La caractéristique réelle d'une diode est comme ci-contre.

« V_s » tension de seuil (environ 0,4 V). Au-dessous de cette valeur aucun courant ne passe dans la diode.

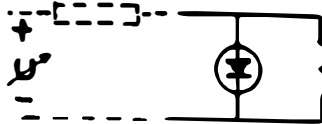
« V_o » chute de tension aux bornes de la diode en fonctionnement normal (environ 0,8 V).

Fonctionnement à partir d'un certain seuil



Aucun courant ne passe dans la charge (Ici un relais) si la tension variable U n'est pas supérieure à la tension de seuil (soit environ 0,4 V).

Protection des bobines, composants divers etc.

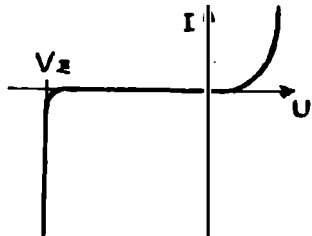


Avec ce montage la tension aux bornes du bobinage ne peut en aucun cas dépasser « V_o » (0,8 V) même si U augmente dans de grandes proportions.

Remarque : On peut mettre 2 ou 3 diodes en série pour augmenter la valeur de seuil, ou la tension limite de fonctionnement.

Diodes Zener

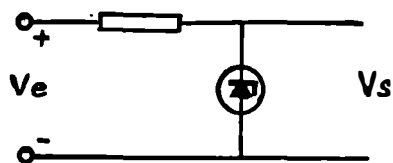
Caractéristiques courant tension d'une diode Zener



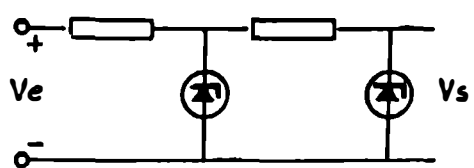
La tension de Zener « V_z » dépend de la caractéristique de la diode (de environ 2,5 V à environ 25 V). Cette tension reste sensiblement constante quand I augmente.

La diode Zener se monte en caractéristique inverse. Elle stabilise lorsque la tension d'entrée « V_e » varie (stabilisation amont) ou lorsque le débit de « V_s » (tension de sortie) augmente (stabilisation aval) : $V_s = V_z \cong$ constante.

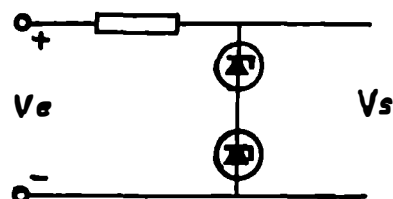
Montage de base



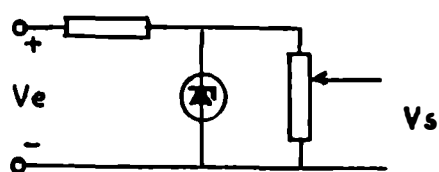
Stabilisation à 2 étages



Augmentation de la valeur de tension stabilisée



Tension de sortie stabilisée ajustable

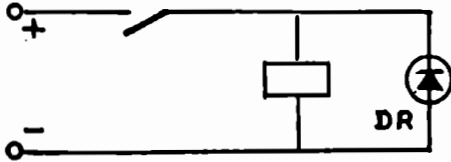


DIODES : APPLICATIONS PARTICULIÈRES

3 B 04

Montage anti-séquence

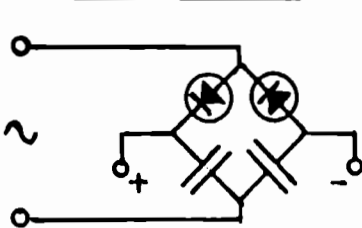
Utilisation en courant continu : Attention aux polarités.



Variante du montage «roue libre». A l'ouverture du circuit l'extra courant de coupure se ferme par la diode «DR». Il n'y a pas de surtension aux bornes de l'interrupteur (ou de tout autre dispositif de coupure).

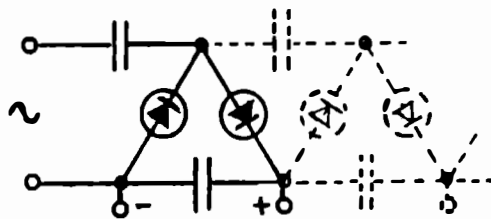
Montages doubleurs de tension

Doubleur en pont : Latour



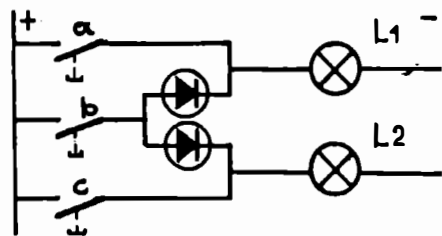
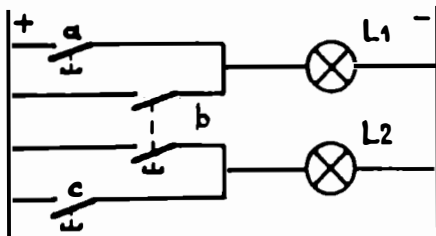
Sans débit, la tension de sortie est égale à $2 U_{max}$.

Doubleur Schenkel



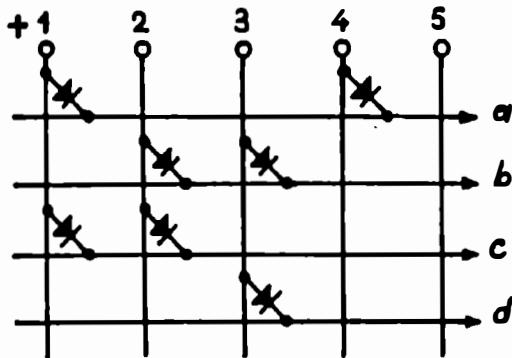
En trait plein montage pour avoir (sans débit) une tension égale à $2 U_{max}$. En pointillé montage multiplicateur de tension.

Diodes d'aiguillage pour simplification des schémas



Le fonctionnement des montages ci-dessus est identique. La présence de diodes permet d'avoir une variable «b» de type unipolaire (économie de contacts et plus grande fiabilité du montage).

Matrices à diodes et barres croisées



Des informations positives apparaissent en 1, 2, 3, 4 etc... Elles sont dirigées vers les utilisations raccordées en «a, b, c, d» etc...

Sur la figure un signal appliqué en 1 se retrouve en «a» et «c».

La présence de diodes pour réaliser les connexions empêche que ce signal soit également dirigé vers «b» et vers «d».

MONTAGE DES TRANSISTORS

3 B 05

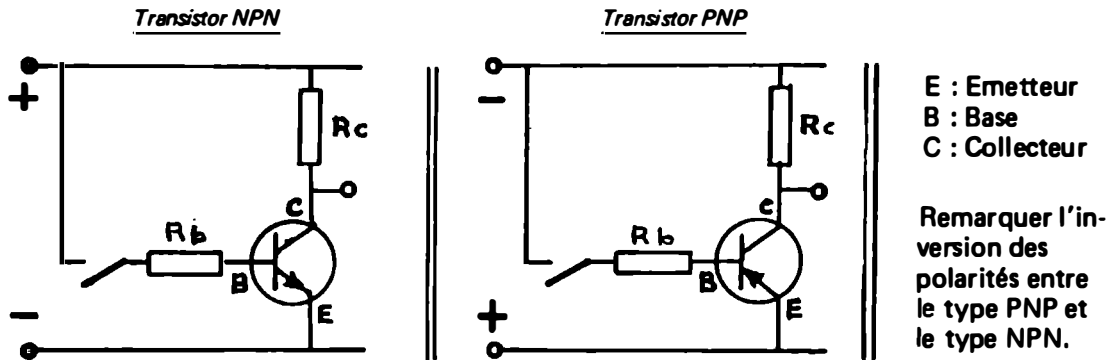
Le sens des polarités à appliquer au transistor est :

- Jonction émetteur base : sens passage.
- Jonction collecteur base : sens blocage.

Lorsqu'il n'y a aucune d.d.p. entre émetteur et base ou une d.d.p. inverse (donc aucun courant base) le transistor est bloqué. Il se comporte comme un interrupteur ouvert : courant collecteur nul.

Lorsqu'on applique une d.d.p. entre émetteur et base un courant base prend naissance. Le transistor est débloqué et si ce courant base est suffisant, il y a saturation. Le transistor se comporte alors comme un interrupteur fermé : d.d.p. entre émetteur et collecteur presque nulle.

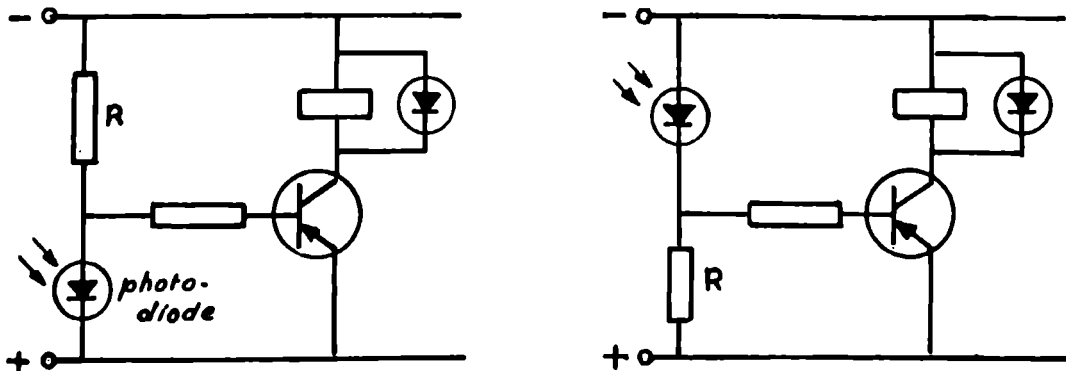
Transistors utilisés en commutation



Interrupteur ouvert, $I_b = 0$ et $I_c = 0$.

Interrupteur fermé, si I_b suffisant (calcul correct de R_b) on a I_c max.

APPLICATION : TRANSISTOR COMMANDANT UN RELAIS



Fonctionnement : Schéma de gauche : Une photodiode est montée en tension inverse en série avec une résistance R . Cette photo-diode a dans l'obscurité une résistance très grande (ordre du mégohm) devant R . Le courant I_b crée un courant I_c important et le relais se ferme. Quand la photo-diode est éclairée sa résistance peut devenir très faible (jusqu'à $1\text{ k}\Omega$) devant R . I_b est voisin de 0 ; de même I_c . Le relais s'ouvre.

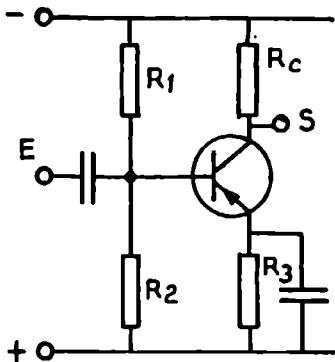
Schéma de droite : Le fonctionnement est inversé.

Remarquer la présence d'une diode rouge libre aux bornes du relais pour protéger le transistor à la coupure du circuit collecteur.

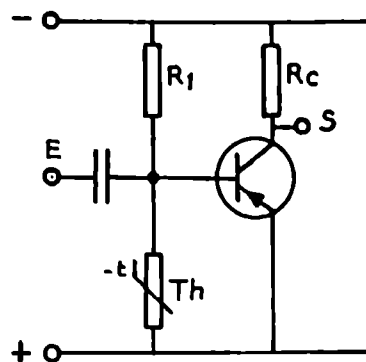
MONTAGE DES TRANSISTORS

3 B 06

Etage amplificateur à transistor



« R_1 R_2 » : Pont diviseur permettant la polarisation de la base.
 « R_3 » : Résistance permettant la stabilisation en température.

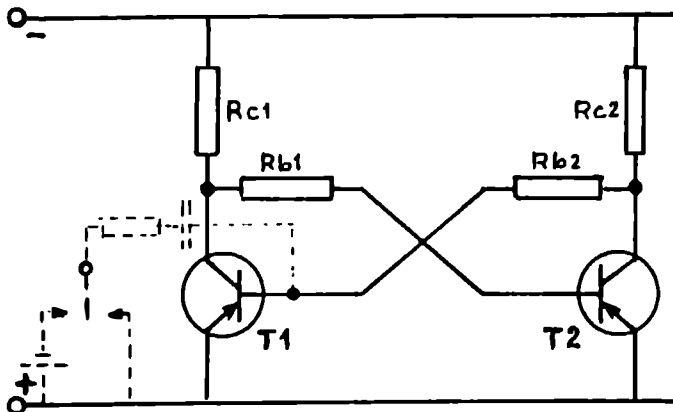


« Th » : Thermistance permettant la stabilisation en température. Celle-ci est placée en général sur le radiateur du transistor.

Signal d'entrée appliqué en «E» ; Sortie après amplification en «S».

Bascules

Bascule bi-stable : schéma de base



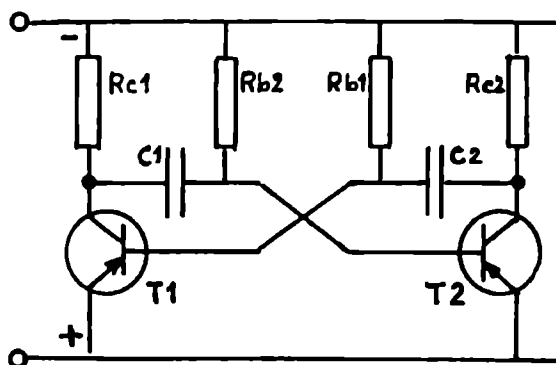
Avec des valeurs de résistances convenables un tel montage n'a que 2 positions d'équilibre possibles.

1°) « T_1 » saturé, « T_2 » bloqué.

2°) « T_1 » bloqué, « T_2 » saturé.

En pointillé, exemple de commande permettant le changement d'état.

Bascule astable



Cette bascule change d'état spontanément. On obtient un clignotant en remplaçant les résistances R_c par des voyants. On peut obtenir des signaux rectangulaires aux bornes des résistances R_c .

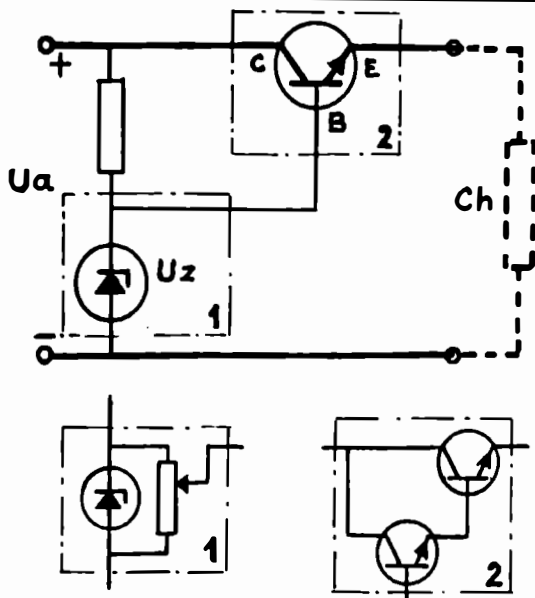
La fréquence dépend du produit $R_b \times C$.

MONTAGE DES TRANSISTORS

3 B 07

Remarque préalable : La tension entre la base et l'émetteur (U_{be}) d'un transistor passant est toujours très faible (0,5 V environ) et sensiblement constante.

MONTAGE STABILISATEUR DE TENSION



Fonctionnement : Aux bornes de la charge «Ch» on a :

$$U_{ch} = U_z - U_{be}$$

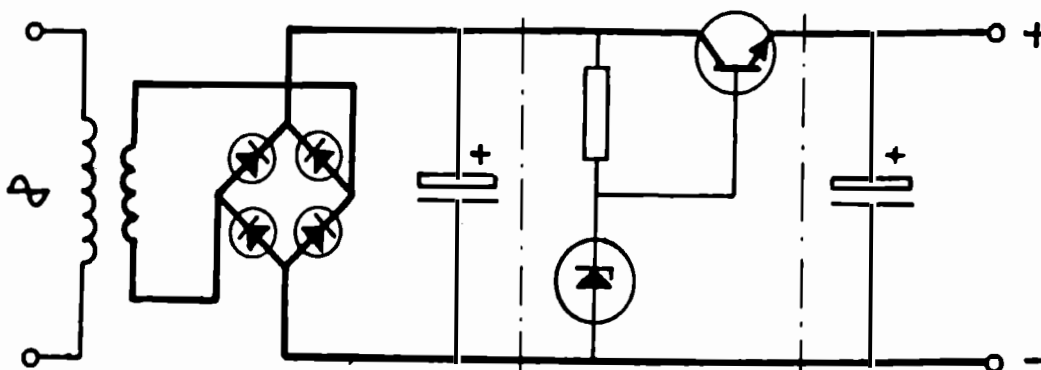
« U_z » et « U_{be} » étant sensiblement constants on aura « U_{ch} » constant quelle que soit la valeur de «Ch».

Limites de fonctionnement fixées par « U_a », « I_e max» et Puissance max. dissipable par le transistor.

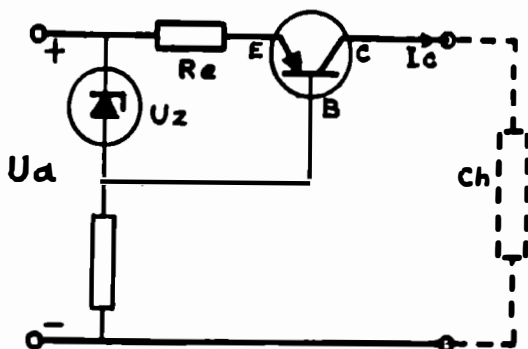
Variante 1 : Permettant d'avoir une tension de sortie réglable.

Variante 2 : Montage *Darlington* permettant d'associer un transistor de forte puissance et de coef. d'amplification réduit et un transistor de faible puissance mais de coef. d'amplification élevé.

APPLICATION TRÈS SIMPLE : ALIMENTATION STABILISÉE ET FILTRÉE



GÉNÉRATEUR DE COURANT CONSTANT



Fonctionnement : Si on considère la boucle : Résistance « R_e », Emetteur, Base, diode Zener on a :

$$U_z = U_{Re} + U_{eb}$$

Donc $U_{Re} = U_z - U_{eb}$

U_{Re} est constante et « I_e » (donc « I_c ») est constant.

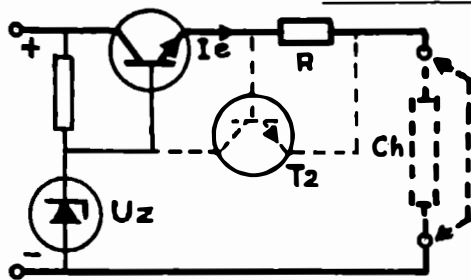
On peut faire varier « I_c » en agissant sur la valeur R_e .

Limites fixées par « U_a », « I_e max» « P max et « R_{ch} » max.

MONTAGE DES TRANSISTORS

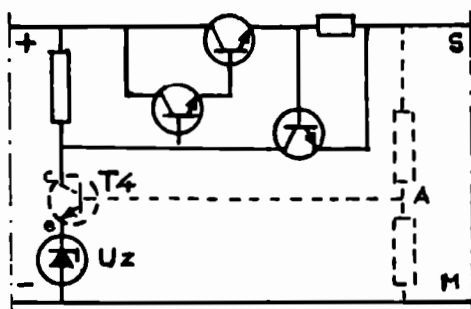
3 B 08

MONTAGE LIMITEUR D'INTENSITÉ



Fonctionnement : En fonctionnement normal la tension aux bornes de «R» ($R \times I_e$) doit être très faible et inférieure à la tension U_{be} qui permet le débloccage de T2. Si « I_e » augmente (« R_{ch} » en court-circuit par ex.) « $R I_e$ » augmente, T2 débite et la diode Zener est mise en court-circuit. U_z tend vers zéro ; la tension de sortie aussi.

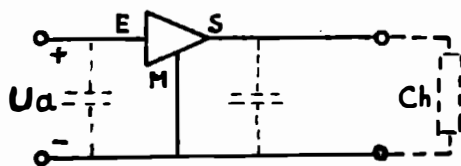
DEUXIÈME EXEMPLE D'ALIMENTATION STABILISÉE



Ci-contre amélioration du montage précédent, et dans lequel on trouve un montage Darlington et un limiteur d'intensité. En plus et en pointillé un dispositif amplificateur d'erreur. La tension de référence est dans ce cas égale à « $U_z + U_{ce}$ » (de T4). Si la tension de sortie «SM» a tendance à augmenter le transistor T4 débite davantage et U_{ce} diminue ce qui diminue la tension de référence et va diminuer « U_{SM} ».

Régulateurs Intégrés

Circuit intégré : C'est un circuit dont les éléments (transistors, diodes, résistances) sont fabriqués ensemble par dopages différents sur un même substrat de semi-conducteur, logé dans un boîtier unique.

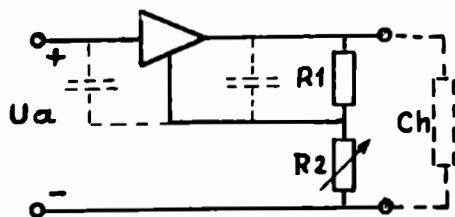


Ci-contre schéma de base.

Repères : «E» : entrée ; «M» : masse ; «S» : sortie.

Limites : « U_a » $_{max.}$, « I » $_{max.}$, «P» dissipable max. Chaque régulateur a une tension de sortie bien définie (5V, 6V, 6V, etc...).

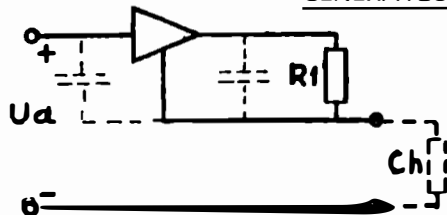
PLUSIEURS TENSIONS STABILISÉES DIFFÉRENTES



La tension aux bornes de «R1» est toujours égale à la valeur nominale du circuit régulateur « U_n ». Donc si « $R_2 = 0$ », « $U_{ch} = U_n$ » ; Si « $R_2 = R_1$ », « $U_{ch} = 2 U_n$ » ; ...etc ...

Remarque concernant les condensateurs
En pointillé capacités de faible valeur (100 nF environ) que l'on ajoute pour avoir un fonctionnement stable (risque d'oscillation).

GÉNÉRATEUR DE COURANT CONSTANT



La tension aux bornes de «R1» est toujours égale à la valeur nominale du circuit régulateur « U_n ». Si «R1» est constante, l'intensité à la sortie du régulateur l'est aussi quelle que soit la valeur de « R_{ch} » (en-dessous de la limite $R_{ch \max.}$).

AMPLIFICATEUR A CIRCUIT INTÉGRÉ LINÉAIRE OU AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL

3 B 09

L'amplificateur à circuit intégré linéaire ou amplificateur opérationnel est un ensemble complexe de plusieurs composants électroniques réalisé sur un support de semi-conducteur unique logé dans un boîtier.

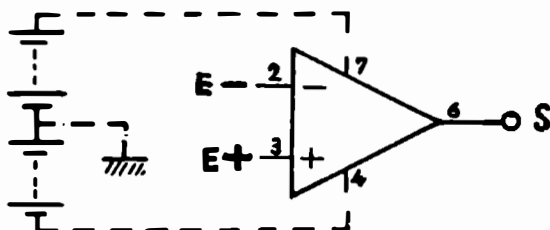
Les principales propriétés des amplificateurs opérationnels sont :

1) La résistance d'entrée aux bornes E+ et E- peuvent être considérées comme infiniment grandes. En conséquence :

– Les intensités $i+$ et $i-$ des courants qui pénètrent dans l'amplificateur opérationnel sont négligeables devant les autres intensités.

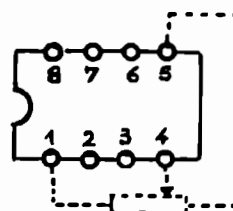
– La résistance de sortie peut être considérée comme nulle. L'amplificateur opérationnel peut être considéré comme une source de tension constante sans résistance interne (L'amplificateur opérationnel ne peut débiter toutefois que quelques mA).

Schéma de base



Brochage pour type 741

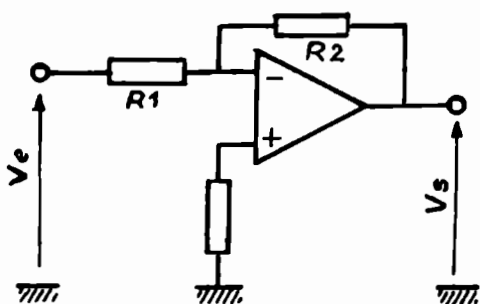
(vue de dessus)



Remarques : L'alimentation (en trait interrompu sur le schéma de gauche) ne se représente pas dans les schémas de montage. Elle est symétrique, Valeur max E+ : + 15 V ; E- : - 15 V.

Dans certains montages particulièrement sensibles on peut être amené à ajouter le potentiomètre représenté en pointillé (schéma de droite) : compensation.

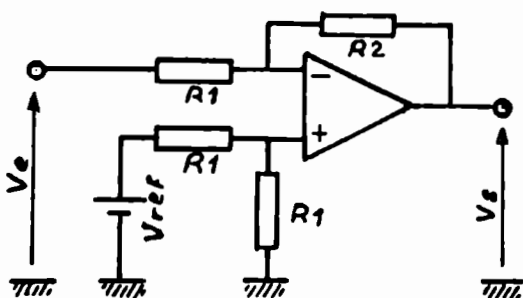
MONTAGE INVERSEUR



On démontre que l'on a $V_s = -V_e \frac{R_2}{R_1}$

Remarque importante : La tension de sortie est toujours légèrement inférieure à la tension d'alimentation (Entre + et masse) Si V_e augmente trop, l'amplificateur opérationnel se sature dès que l'on atteint cette valeur.

MONTAGE COMPAREUR



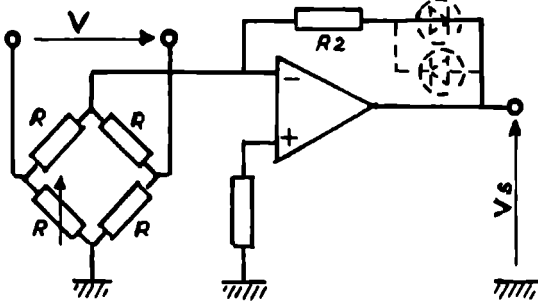
R2 est très grand devant R1.

Si V_e est plus petit que V_{ref} (tension de référence) V_s est positif saturé. Si V_e est plus grand que V_{ref} , V_s est négatif saturé. La différence de tension pour le basculement peut être très petite, d'autant plus que R2 est plus grand devant R1. ($V_s = 0$ quand $V_e = V_{ref}$.)

AMPLIFICATEUR A CIRCUIT INTÉGRÉ LINÉAIRE OU AMPLIFICATEUR OPÉRATIONNEL

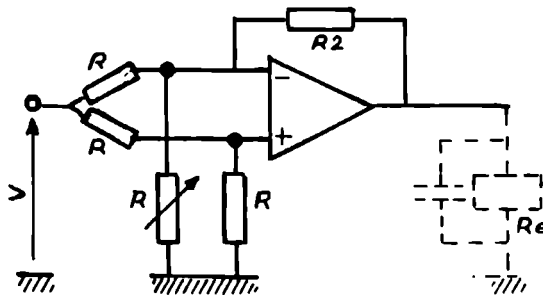
3 B 10

INDICATEUR D'ÉQUILIBRE POUR PONT



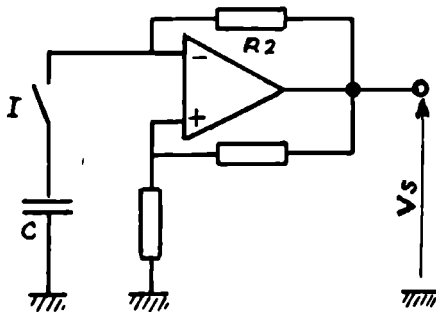
Le montage ci-contre est dérivé du montage inverseur. Si les 4 résistances «R» montées en pont de Wheatstone sont égales $V_S = 0$. Si une résistance varie le pont est déséquilibré et une tension apparaît en V_S .

Les diodes représentées en trait interrompu permettent (à cause de leur non linéarité) une indication précise de l'équilibre.



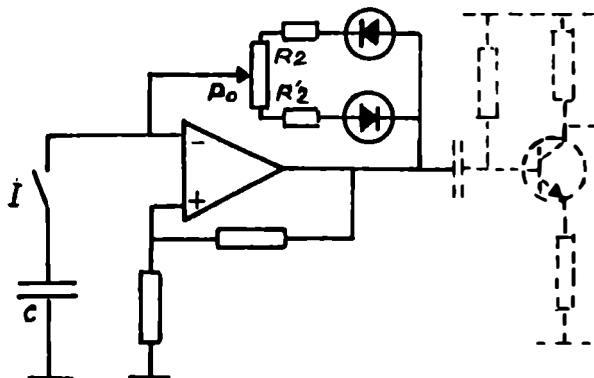
Le montage ci-contre est dérivé du montage comparateur. Si les 4 résistances sont égales $V_S = 0$. Si la résistance variable R varie, V_S prend immédiatement sa valeur max., si R_2 est très grand devant R . En trait interrompu, commande directe d'un petit relais.

MULTIVIBRATEUR ASTABLE



Quand on ferme l'interrupteur I le montage génère des signaux rectangulaires. (V_S saturé positif charge C au travers de R_2 . Lorsque la tension de basculement est atteinte, il y a inversion de V_S , de $V+$, et décharge de C au travers de R_2 etc... La fréquence du signal de sortie dépend des valeurs de C et de R .

MULTIVIBRATEUR À RAPPORT CYCLIQUE VARIABLE



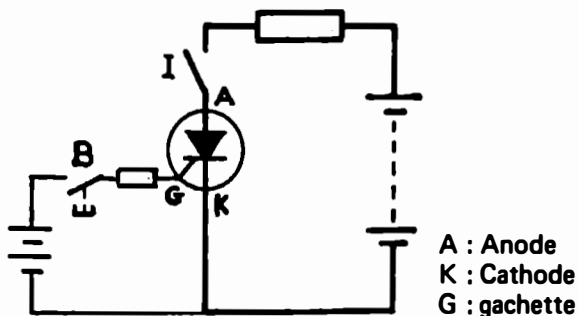
Montage dérivé du précédent, mais la charge de C se fait par la résistance R_2 de P_o , et la décharge par la résistance R_2 de P_o . Le temps de charge et de décharge de C , donc la durée de chaque alternance dépend de la position du curseur de P_o . En trait interrompu une amplification par transistor.

COMMANDE DES THYRISTORS

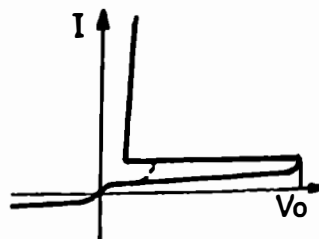
3 B 11

Le thyristor est un dispositif à semi-conducteur se comportant comme une diode qui peut être rendue passante par une faible impulsion de courant traversant une électrode de commande (G : gachette).

Schéma de base



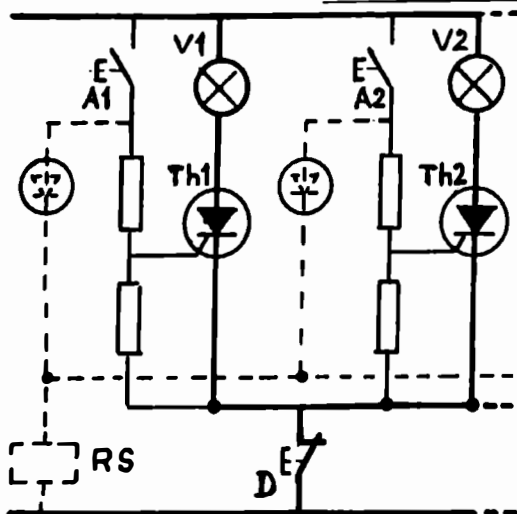
Caractéristique courant-tension d'un thyristor



Interrupteur I fermé et tension «UAK» inférieure à V_0 : Thyristor bloqué. En cas de courant gachette (impulsion sur B) le thyristor conduit (tracé en pointillé). Il faut ouvrir l'interrupteur I pour bloquer à nouveau le thyristor.

Exemples simples de fonctionnement en courant continu

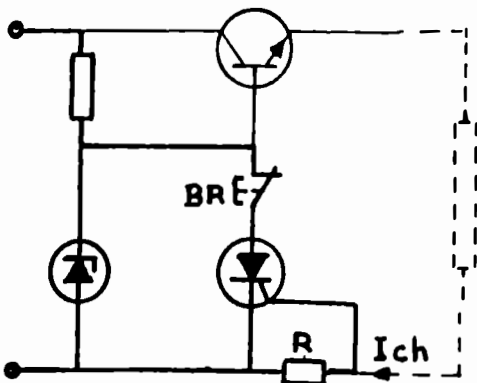
FUNCTIONNEMENT EN RELAIS



Application aux tableaux à voyants lumineux.

Chaque thyristor remplace un relais commandant un voyant de petite puissance. Une pression sur un bouton poussoir «A» amorce le thyristor. L'extinction du voyant par blocage du thyristor se fait en appuyant sur le bouton «D» (qui peut être remplacé par le contact à ouverture d'un relais disparition). En pointillé commande de la sonnerie grâce au relais «RS» lui-même commandé grâce aux diodes d'aiguillage.

LIMITEUR D'INTENSITÉ POUR ALIMENTATION STABILISÉE



On peut remplacer le dispositif limiteur d'intensité par transistor déjà vu par le dispositif ci-contre. Le thyristor s'amorce dès que la tension aux bornes de «R» crée un courant de gachette suffisant.

Le thyristor amorcé court-circuite la diode Zener qui reste court-circuitée même si la charge redevient normale. Il faut appuyer sur «BR» (bouton réarmement) pour que le système fonctionne à nouveau.

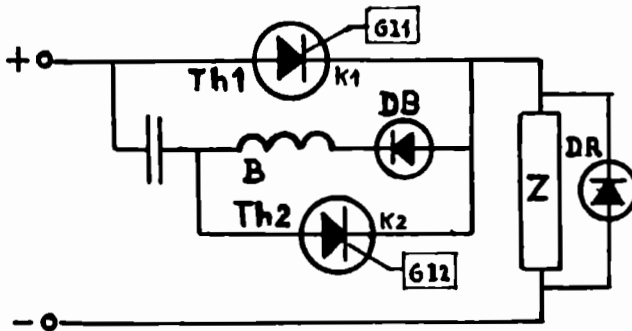
COMMANDE DES THYRISTORS

3 B 12

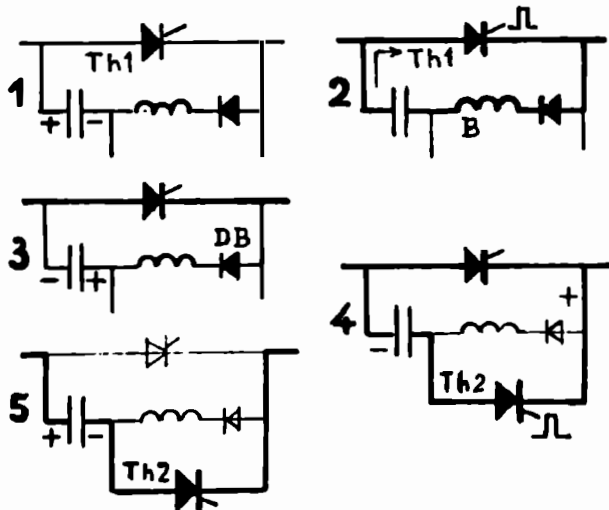
Fonctionnement en courant continu pour puissance élevée

Pour les thyristors de grosse puissance ou lorsque l'on désire avoir des coupures rapprochées (blocage rapide du thyristor) on éteint celui-ci en appliquant une tension inverse UAK entre anode et cathode, supérieure à la tension directe UAK pendant un temps suffisant pour que le thyristor s'éteigne.

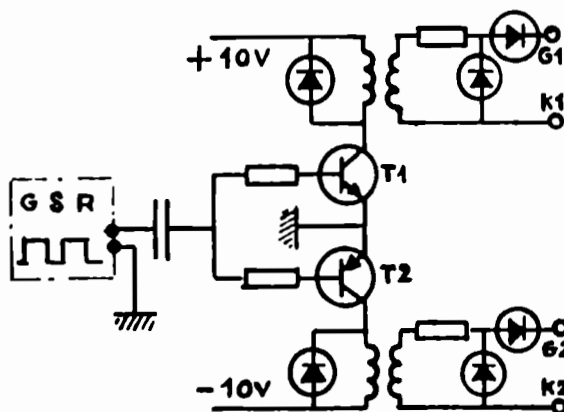
EXEMPLE DE SCHÉMA DE MONTAGE



FONCTIONNEMENT



FONCTIONNEMENT EN HACHEUR



Th1 : Thyristor principal.
Th2 : Thyristor de blocage.
B : Bobine dite d'inversion.
Z : Charge quelconque avec self et f.e.m. (moteur par ex.)
DR : Diode roue libre.
G11, G12 : Générateurs d'impulsions.

La commande par impulsion est la plus fiable pour l'allumage des thyristors.

1. Arrêt : Th1 éteint ; condensateur chargé.
2. Th1 amorcé par impulsion. Le thyristor débite dans la charge. Le condensateur se décharge dans la bobine B pour se recharger en sens contraire (effet de self de la bobine B).
3. La diode DB empêche le retour du courant. Le condensateur reste chargé. Th1 débite toujours.
4. Une impulsion amorce Th2. Le condensateur se décharge et porte la cathode de Th1 à un potentiel positif. Th1 s'éteint.
5. Le condensateur se recharge au travers de Th2. Lorsque la charge est terminée le courant s'annule. Th2 s'éteint.

Hacheur : Dispositif qui découpe un courant continu. Si on peut faire varier la fréquence de découpage ou la largeur des signaux on change la valeur moyenne du courant continu.

Ci-contre commande des thyristors ci-dessus pour obtenir un hacheur. G.S.R. : Générateur de signaux rectangulaires à rapport cyclique variable. Selon la polarité de son signal, c'est T1 qui débite avec impulsion de commande entre G1 et K1 ou T2 (impulsion entre G2 et K2).

COMMANDE DES THYRISTORS

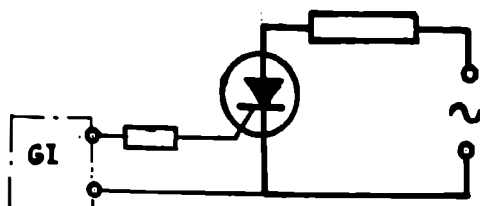
3 B 13

Fonctionnement en courant alternatif monophasé

En courant alternatif le thyristor se bloque de lui-même dès que le courant anode cathode est voisin de 0.

REDRESSEMENT COMMANDÉ SIMPLE ALTERNANCE

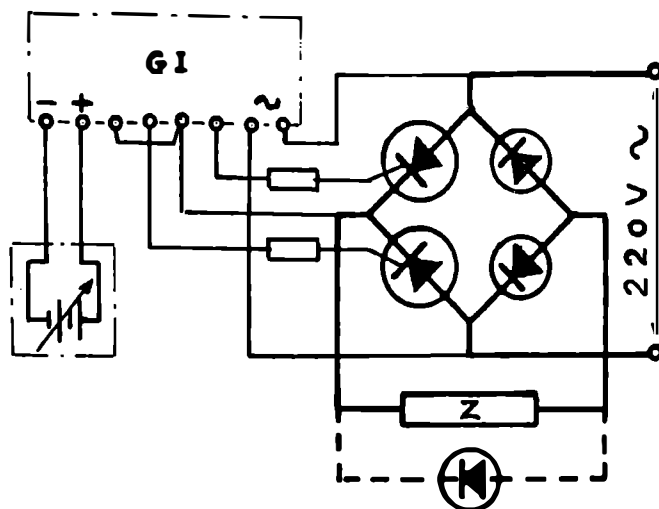
Schéma de base



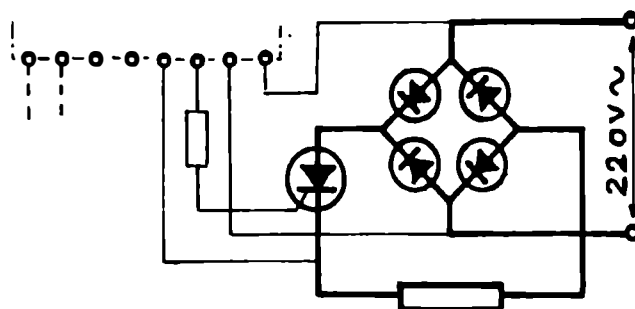
G.I. : Générateur d'impulsions. Ces impulsions sont synchronisées sur le secteur. Elles se produisent à chaque alternance. Lorsque dans une alternance plusieurs impulsions se suivent, seule la première sert à amorcer le thyristor.

Note 1 : On peut régler le retard de la première impulsion par rapport à « t_0 », afin de choisir le début de conduction du thyristor.

Note 2 : Les thyristors ordinaires supportent suivant leur type des tensions importantes et peuvent fonctionner directement sur le réseau (220 V – 380 V).

REDRESSEMENT COMMANDÉ DOUBLE ALTERNANCE

Remarque 1 : G.I. déclencheur de type industriel alimenté sous 220 V et piloté (pour déphasage de l'impulsion de commande) par une source à courant continu variable jusqu'à 5 V max.
Remarque 2 : Le pont redresseur est mixte avec 2 thyristors plus 2 diodes.

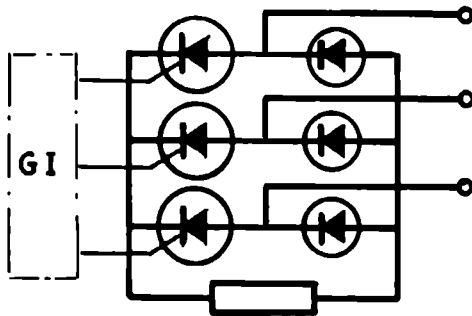
Variante et remarque pour montage avec un seul thyristor

Ce montage est légèrement plus économique : 1 seul thyristor et générateur d'impulsion simplifiée. Mais on ne peut l'utiliser que si la charge est résistive. Dans le cas de charge selfique le thyristor peut ne pas s'éteindre (temps insuffisant entre extinction et réalumage du thyristor).

COMMANDE DES THYRISTORS

3 B 14

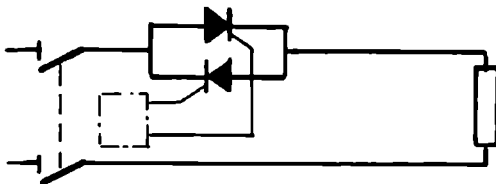
Redressement commandé en courant alternatif triphasé



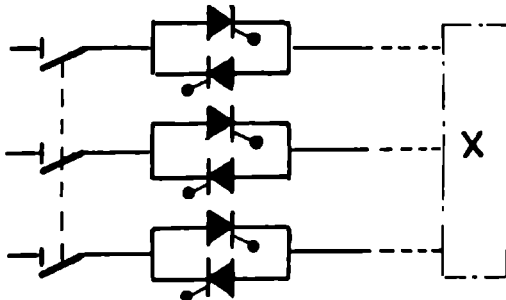
Ci-contre pont triphasé mixte avec 3 thyristors et 3 diodes.

Obtention de tensions alternatives variables

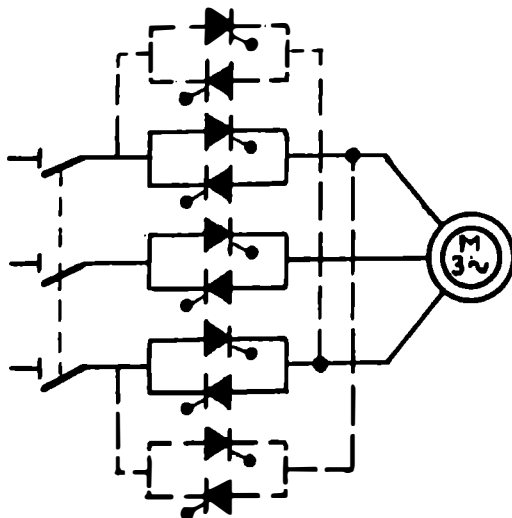
Montage en monophasé



Montage en triphasé



Triphasé avec inversion sur 2 phases



Montage anti-parallèle (ou tête bêche de 2 thyristors).

Ce montage constitue un *contacteur statique*. (ouverture ou fermeture du circuit principal). Le *contacteur statique s'accompagne d'un sectionneur*.

Note : Alors que dans la commande en courant continu, les impulsions sont dans le même sens, elles doivent être dans ce cas tantôt positive (pour la première alternance) tantôt négative (pour l'alternance qui suit). Selon le retard de ces impulsions on peut obtenir un courant variant de 0 à l'ef. nominal. En dehors de la valeur max., le courant obtenu est alternatif mais non sinusoïdal (fraction de sinusoïde seulement).

En courant alternatif triphasé, ce dispositif peut être utilisé pour l'alimentation d'un récepteur X quelconque, mais aussi pour le *démarrage sous tension réduite d'un moteur asynchrone triphasé*. On peut même en changeant l'ordre d'allumage grâce aux déclencheurs obtenir l'inversion du sens de rotation.

Exemple : En trait plein rotation 1. En trait interrompu croisement de 2 phases.

Ci-contre : Représentation des seuls circuits de puissance.

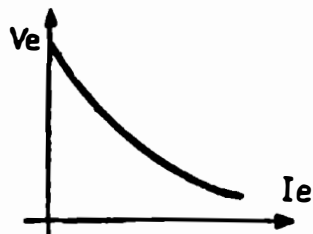
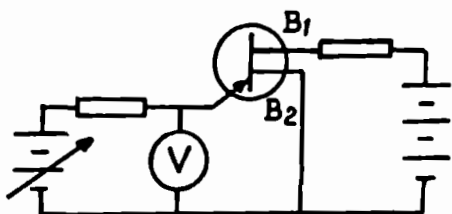
TRANSISTOR UNIJONCTION

3 B 15

Transistor unijonction

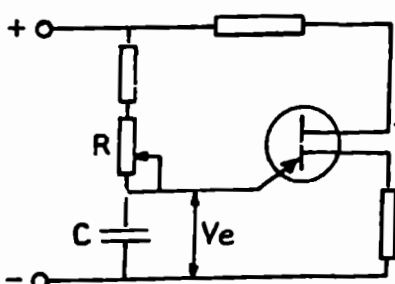
Il comporte 2 bases B_1 , B_2 et un seul émetteur.

Si on réalise le montage ci-dessous, on obtient la caractéristique suivante $V_e = f(I_e)$ pour une tension constante entre les bases.



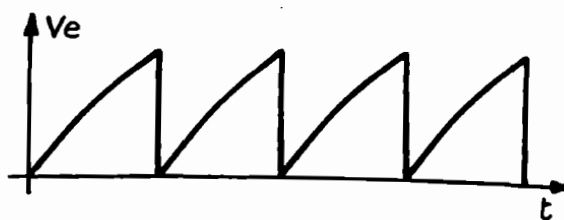
Nous constatons que lorsque V_e atteint une certaine valeur, la résistance entre émetteur et base B_1 devient négative. La tension baisse et l'intensité augmente.

MONTAGE EN OSCILLATEUR DE RELAXATION



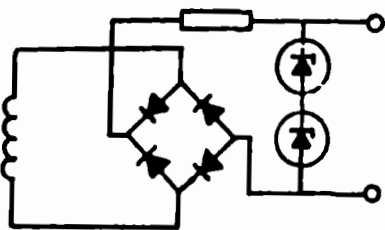
Si on réalise le montage ci-dessus, la tension aux bornes de V_e , et le courant dans la base B_1 , ont l'allure ci-contre.

La fréquence des oscillations dépend de la constante de temps du circuit RC .

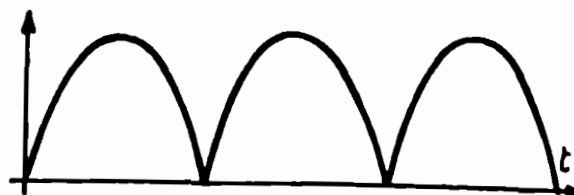


RELAXATEUR SYNCHRONISÉ PAR LE SECTEUR

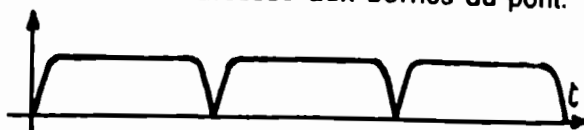
Soit le montage redresseur ci-dessous.



Le pont produit un redressement double alternance.



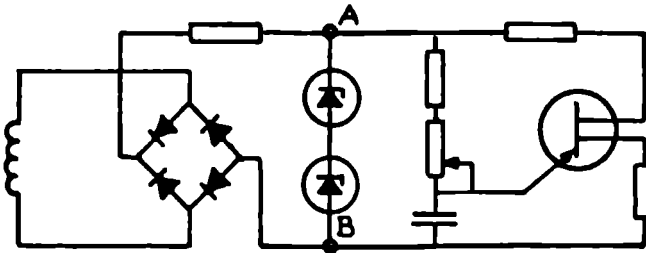
Tension redressée aux bornes du pont.



Tension aux bornes des diodes zéner.

COMMANDE DE THYRISTOR PAR TRANSISTOR UNIJONCTION

3 B 16

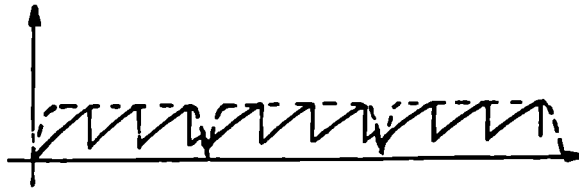


Alimentons un transistor unijonction par ce montage redresseur.

La tension aux bornes de C à l'allure ci-dessous.

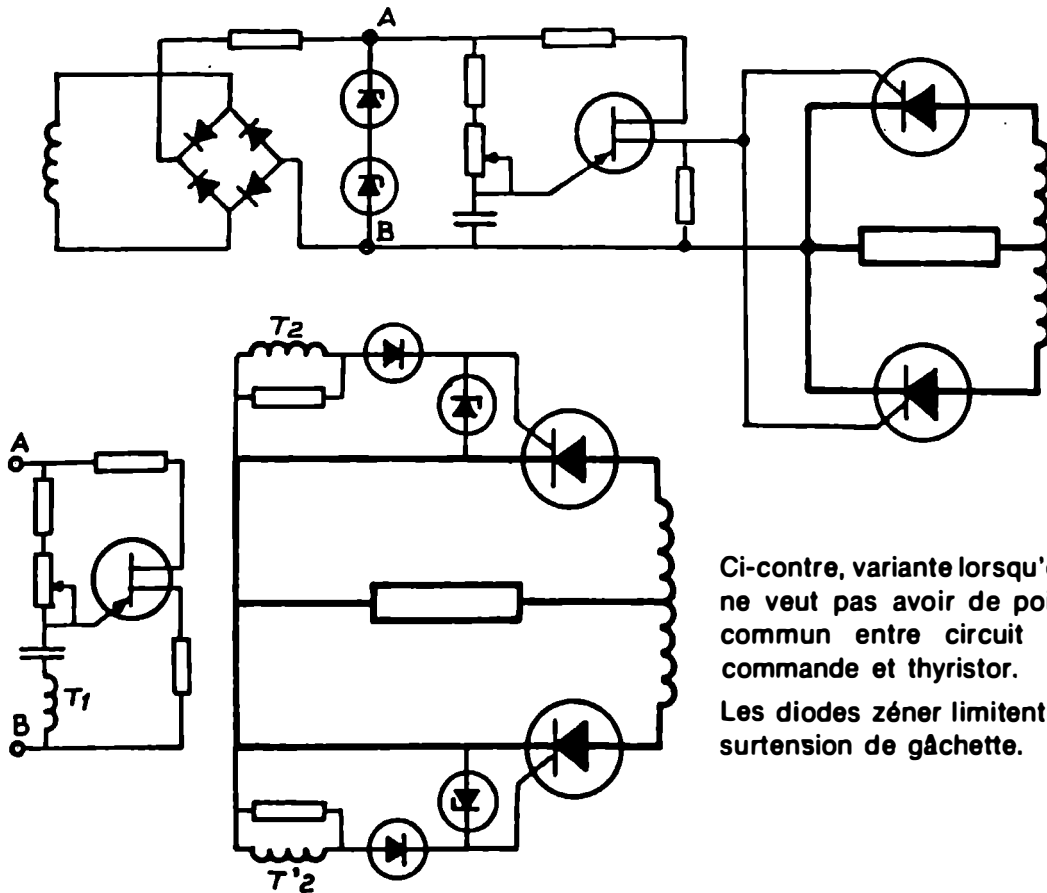
A chaque passage par 0 les oscillations s'arrêtent.

Il y a donc un début de la charge du condensateur donc des oscillations de relaxation tous les $1/100^{\circ}$ de seconde.



Commande de thyristor par transistor unijonction

REDRESSEMENT DOUBLE ALTERNANCE



Ci-contre, variante lorsqu'on ne veut pas avoir de point commun entre circuit de commande et thyristor.

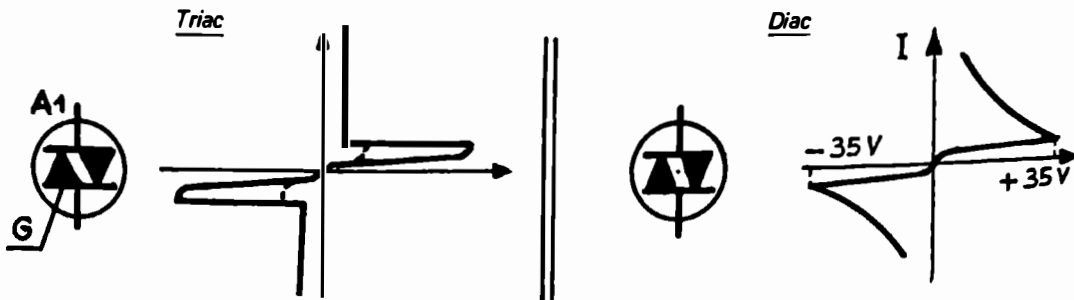
Les diodes zener limitent la surtension de gâchette.

DIAC ET TRIAC

3 B 17

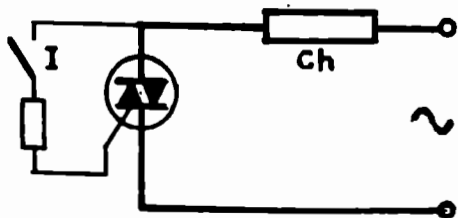
PROPRIÉTÉS DU DIAC ET DU TRIAC

Caractéristiques courant tension et symboles

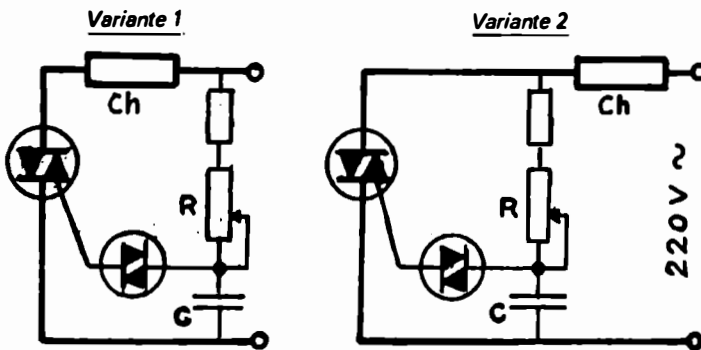


Remarque : Bien que son fonctionnement soit symétrique le triac ne peut s'amorcer qu'avec une anode bien définie (courant A1G ou GA1).

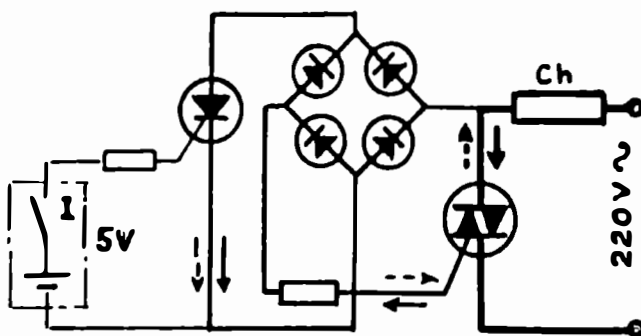
FONCTIONNEMENT D'UN TRIAC EN CONTACTEUR STATIQUE



Interrupteur I ouvert : Triac bloqué.
Interrupteur fermé : Dès que l'alternance commence un courant passe dans la gachette et dès que ce courant est suffisant le triac s'amorce. On a donc ; I fermé : Triac passant. Pas de régulation possible.

RÉGULATEUR PAR TRIAC COMMANDÉ PAR DIAC
(EXEMPLES TRÈS SIMPLES)

A chaque alternance « C » se charge jusqu'à ce que la tension de déclenchement du diac (34 V environ) soit atteinte. C se décharge alors au travers de la gachette provoquant la conduction du triac. Le temps de charge de « C » (suivant la valeur de R) règle le retard à l'amorçage.

TRIAC COMMANDÉ PAR THYRISTOR
FONCTIONNEMENT EN RELAIS STATIQUE

Le triac est amorcé à chaque alternance par le courant de gachette qui provient du circuit pont de diodes plus thyristor. Le thyristor est lui-même commandé par un courant continu sous tension très faible (qui peut-être un dispositif électronique).
On a donc ; I fermé : Triac passant.
I ouvert : Triac bloqué.
Le système fonctionne comme un relais. Pas de régulation possible.

QUATRIÈME PARTIE

Groupe 4 A 01 à 4 A 07

**Règles permettant l'établissement des schémas.
industriels dans le cas d'équipements.
importants et complexes.**

Généralités.

Repérage d'identification des éléments.

Marquage des bornes.

Présentation des symboles sur les schémas.

Groupe 4 B 01 à 4 B 15

Exemples de réalisation d'équipements électriques.

REPÉRAGE D'IDENTIFICATION DES ÉLÉMENTS

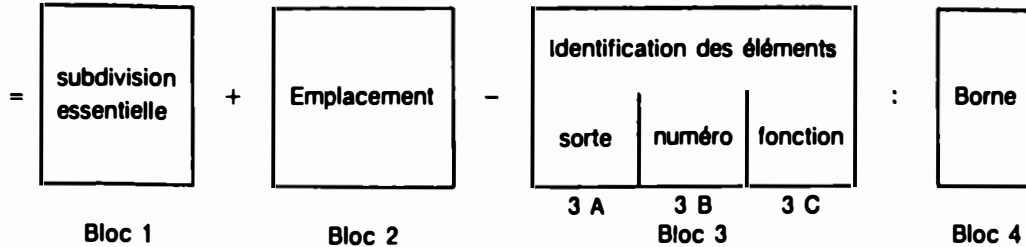
(d'après norme NF C 03-152)

4 A 01

L'usage d'un repère d'identification peut avoir une portée générale ou plus particulière en fonction de l'information nécessaire.

Ce repère est placé près du symbole graphique de l'élément désigné.

Quand il est complet ce repère est formé d'une suite alphanumérique qui est divisée en 4 blocs, chacun étant précédé d'un symbole distinctif (= ; + ; - ; :).



Sur de nombreux schémas une partie des informations peut être suffisante. Le choix des informations utilisées dépend du genre de schéma.

Lorsque la place manque sur le schéma ou qu'une partie seulement des blocs est nécessaire, leur présence ou leur présentation peut être modifiée.

IDENTIFICATION DES ÉLÉMENTS

Pour ce repérage, la partie 3 B est obligatoire (sauf cas très simples ne présentant aucune ambiguïté et où il n'y a aucun repère du bloc 3).

Cette partie 3 B peut être complétée par les parties 3 A et 3 C. La partie 3 A relative à la sorte de l'élément est formée d'une lettre.

Exemple de lettres repères pour composition du bloc 3 A

| Lettre repère | Sorte d'élément | Exemples |
|---------------|---|--|
| A | Ensembles, sous-ensembles fonctionnels. | Amplificateur à tubes ou à transistors. |
| B | Transducteurs d'une grandeur non électrique en grandeur électrique ou vice-versa. | Couple thermo-électrique, cellule photo-électrique, microphone, etc. |
| C | Condensateurs | |
| D | Opérateurs binaires, dispositifs de temporisation, etc. | Opérateur combinatoire, bascule bi-stable, etc. |
| E | Matériel divers. | Eclairage, chauffage. |
| F | Dispositif de protection. | Coupe-circuit à fusible, etc. |
| G | Générateurs. | Génératrice, alternateur, etc. |
| H | Dispositifs de signalisation. | Avertisseurs lumineux et sonores. |
| K | Relais et contacteurs. | |

REPÉRAGE D'IDENTIFICATION DES ÉLÉMENTS

(d'après norme NF C 03-152)

4 A 02

Exemples de lettres repères pour composition du bloc 3 A (suite)

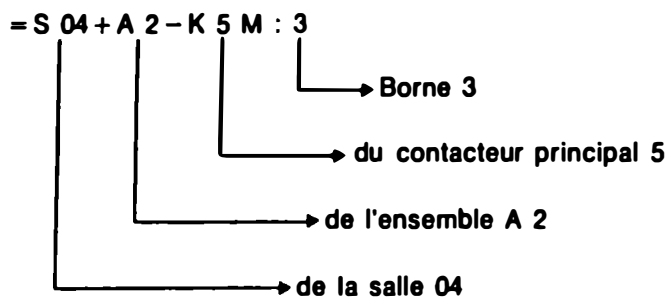
| | | |
|---|--|--|
| L | Inductances. | |
| M | Moteurs. | |
| P | Instruments de mesures, dispositif d'essai. | Appareil indicateur, appareil enregistreur, compteur, etc. |
| Q | Appareils mécaniques de connexion par circuits de puissance. | Disjoncteur Sectionneur |
| R | Résistances. | Résistances, thermistance etc. |
| S | Appareils mécaniques de connexion pour circuits de conduite. | Auxiliaire manuel de commande : bouton poussoir, interrupteur fin de course. |
| T | Transformateurs. | |
| X | Bornes, fiches, socles. | |
| Y | Appareils mécaniques actionnés électriquement | Frein, embrayage, etc. |

La partie 3 C est relative à la fonction de l'élément concerné.

Exemple de lettre repère pour composition du bloc 3 C.

| Lettre | Fonction | Lettre | Fonction |
|--------|------------------------|--------|------------------------|
| A | Auxiliaire | K | Approche |
| B | Direction de mouvement | M | Principal |
| C | Comptage numérique | N | Mesure |
| D | Différentiel | Q | Démarrage, d'arrêt... |
| F | Protection | R | Réarmement |
| G | Essai | T | Temporisation |
| H | Signalisation | V | Vitesse (accélération) |

EXEMPLE DE REPÈRE D'IDENTIFICATION COMPLET



MARQUAGE DES BORNES DES BOBINES ET CONTACTS

(d'après norme N.F. C 63-030)

4 A 03

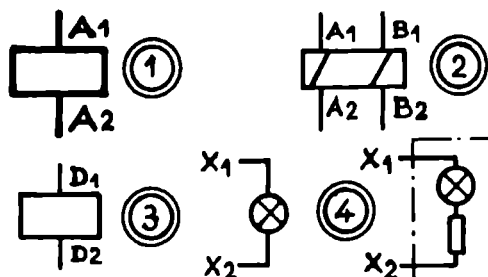
GÉNÉRALITÉS

- Les marques des bornes apposées sur un appareil doivent être distinctives, c'est-à-dire que chaque marque ne doit apparaître qu'une seule fois.
- Les marques des bornes d'une impédance (par ex. bobine) sont toujours alphanumériques (lettre majuscule suivie d'un chiffre).
- Les marques des bornes d'un élément de contact sont toujours numériques. Une des bornes est marquée par un nombre impair, l'autre borne du même élément de contact est marquée par le nombre pair immédiatement supérieur.

MARQUAGE DES BORNES DES IMPÉDANCES

Exemples

1. Bobine de contacteur.
2. Variante pour bobine à deux enroulements.
3. Déclencheur à manque de courant.
4. Voyants lumineux.



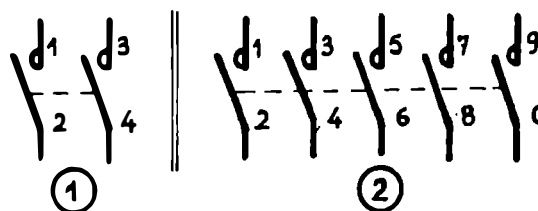
MARQUAGE DES BORNES DES CONTACTS DES APPAREILS

Contacts des circuits principaux

Ils sont marqués par des nombres de 1 chiffre:

Ex. 1 : Contacteur à deux contacts principaux.

Ex. 2 : Contacteur à cinq contacts principaux.



Contacts des circuits auxiliaires

Ils sont marqués par des nombres de deux chiffres.

Chiffre des unités : Fonction

- 1 et 2 contact à ouverture
- 3 et 4 contact à fermeture

Fonctions spéciales

Par exemple contacts temporisés ou contacts d'un relais de protection

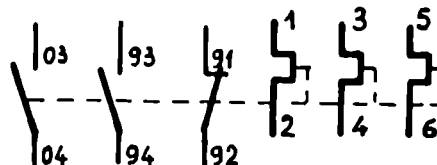
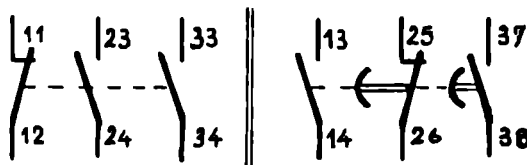
- 5 et 6 contact à ouverture
- 7 et 8 contact à fermeture.

Chiffres des dizaines : n° d'ordre.

Les bornes appartenant à un même contact ont le même n° d'ordre.

Les bornes du contact du relais de protection sont marqués avec le n° 9.

Si plus de 2 contacts sont nécessaires on utilise le chiffre 0.



PRÉSENTATION DES SYMBOLES SUR LES SCHÉMAS

(d'après norme N.F. C 03-154)

4 A 04

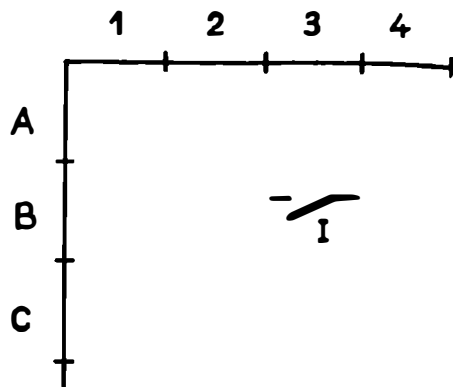
Méthodes de repérage d'emplacement des symboles

MÉTHODE DE GRILLE

Chaque feuille est divisée en zones rectangulaires repérées par des lettres et des chiffres.

— Dans certains cas, un seul repère, ϵ de colonne soit de rang peut être suffisant.

Ci-contre, exemple : Interrupteur *I*; emplacement *B3*.



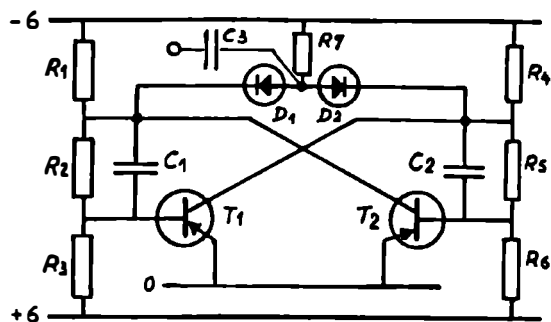
MÉTHODE TABULAIRE

| | | | |
|----------------------|---------------|-------|---------------|
| <i>condensateurs</i> | C_1 | C_3 | C_2 |
| <i>résistances</i> | $R_1 R_2 R_3$ | R_7 | $R_4 R_5 R_6$ |
| <i>diodes</i> | | D_1 | D_2 |
| <i>transistors</i> | T_1 | | T_2 |

Les repères d'identification des symboles sont reportés dans une marge horizontale soit en haut, soit en bas du schéma.

Une représentation verticale similaire est aussi admise.

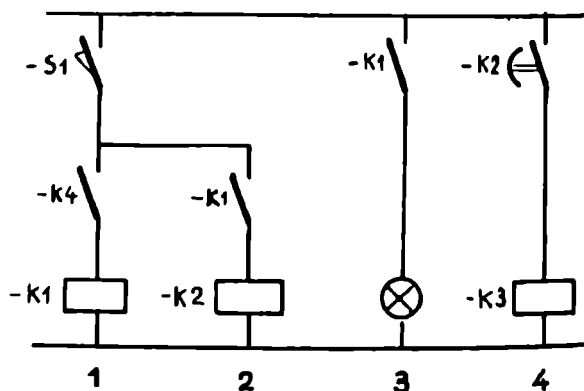
Dans les schémas complexes on retrouve facilement le composant cherché.



MÉTHODE DE REPÉRAGE DES CIRCUITS

Les circuits sont identifiés en numérotant chacun d'eux.

Exemple : Contacteur K_3 se trouve circuit 4.



PRÉSENTATION DES SYMBOLES SUR LES SCHÉMAS

(d'après norme N.F. C 03-154)

4 A 05

Méthodes de repérage dans la représentation développée

Sur un schéma développé chaque symbole d'élément doit être repéré afin que : l'appartenance à un appareil d'un élément apparaisse sans ambiguïté.

L'emplacement du symbole sur le schéma puisse être aisément trouvé.

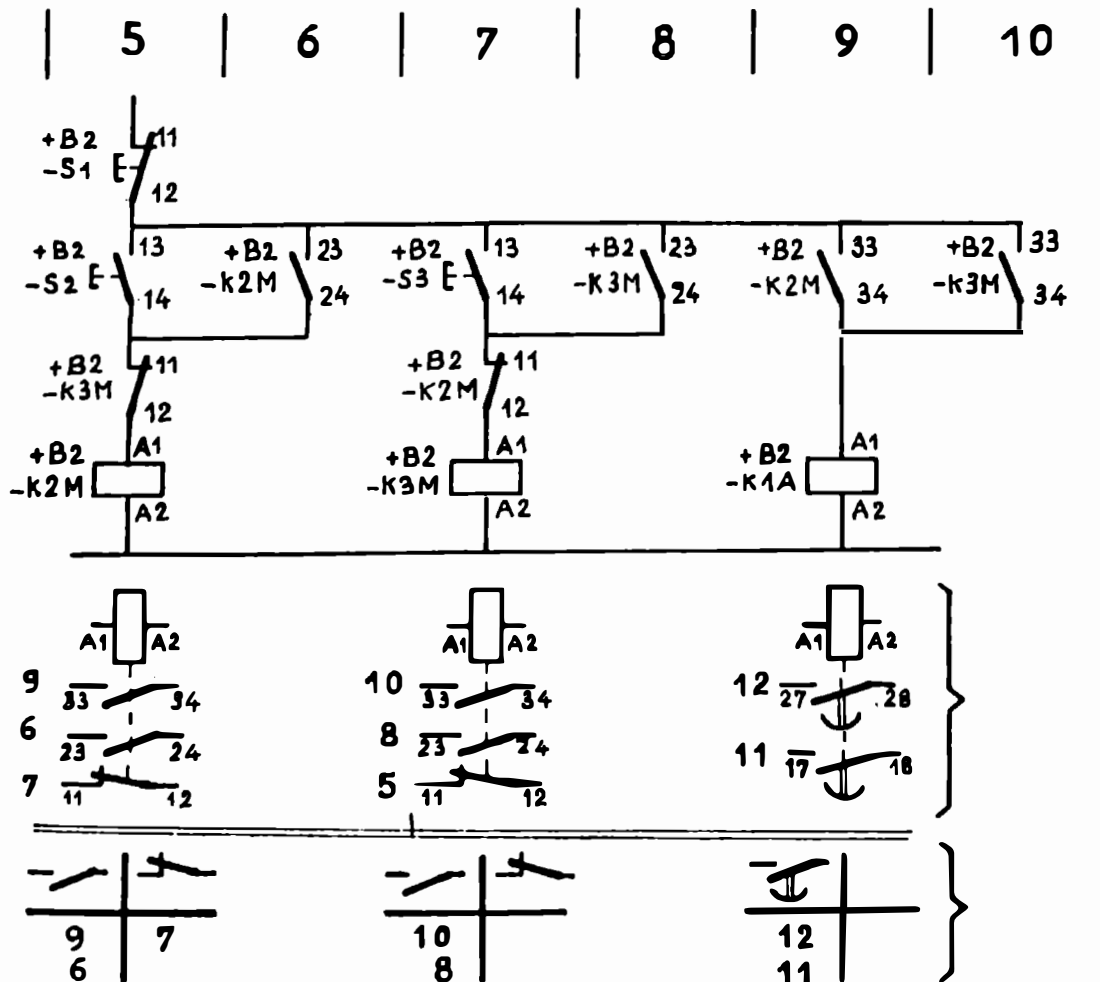
Ces informations peuvent être fournies.

Par des schémas annexes : (Pour chaque contacteur ou relais, le schéma annexe situé au-dessous du symbole de la bobine représente ce même contacteur ou relais avec tous ses contacts ; La référence à gauche de chaque symbole de contact indique la colonne du schéma ou ce contact est placé dans le circuit.

Par des tableaux de composition.

Remarque : De tels repérages ne sont pas nécessaires dans certains cas simples. Parfois l'adjonction de liaison mécanique est suffisante.

EXEMPLE : PARTIE DE SCHÉMA COMPRENANT UNE INVERSION DE SENS DE ROTATION ET APPARTENANT A UN ENSEMBLE B2



ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DES MACHINES OUTILS

(d'après N.F. C 79-100 et N.F. C 79-110)

4 A 06

La norme N.F. C 79-100 traite de l'équipement électrique des machines-outils d'usage général (tours, fraiseuses, machines à bois, etc.).

La norme N.F. C 79-110 traite de l'équipement électrique des machines-outils à usage intensif (machine-transfert par exemple).

Un grand nombre de recommandations identiques se retrouvent dans chacune de ces normes. Le bref résumé ci-dessous concerne directement les schémas d'équipement.

DISPOSITIF DE SECTIONNEMENT DE L'ALIMENTATION

Il doit être manœuvrable à la main, et permettre d'**isoler l'ensemble de l'équipement électrique de la machine**. (Les circuits d'éclairage peuvent ne pas être coupés par ce dispositif mais dans ce cas ils doivent comporter leur propre dispositif de sectionnement.)

PROTECTION CONTRE LES COURTS-CIRCUITS

(CIRCUITS DE PUISSANCE)

Lorsqu'un équipement comporte plus d'un moteur ou circuit de puissance, chaque circuit doit former à l'intérieur de l'équipement une dérivation dont chaque conducteur doit être protégé contre les courts-circuits, en particulier lorsque la dérivation présente un changement de section des conducteurs.

Des circuits alimentant plusieurs moteurs peuvent être groupés en une seule dérivation comportant une protection commune contre les courts-circuits si le courant nominal total de la dérivation n'est pas supérieur à 100 A et si les conditions suivantes sont remplies.

- Chaque moteur est protégé individuellement contre les surcharges.
- Les conducteurs de raccordement des moteurs peuvent admettre un courant égal à celui des conducteurs alimentant la dérivation.

Dans le cas de *protection par coupe-circuit* à fusibles, les courants nominaux de ceux-ci devront être choisis de façon à permettre les surintensités provoquées par le démarrage des moteurs.

Dans le cas de *protection par disjoncteur* ceux-ci seront dimensionnés et réglés de façon à assurer une protection similaire à celle que l'on obtient avec les coupe-circuit à fusibles.

PROTECTION CONTRE LES SURCHARGES

(CIRCUITS DE PUISSANCE)

Tous les moteurs d'une puissance supérieure à 1 KW doivent être protégés contre les surcharges.

Chaque fois que cela est économiquement possible la protection contre les surcharges est fortement recommandée pour tous les autres moteurs.

Les moteurs monophasés doivent être protégés par un relais thermique au moins. En principe les moteurs polyphasés doivent être protégés par des relais thermiques sur chacune des phases.

ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE DES MACHINES OUTILS

(d'après N. F. C 79-100 et N. F. C 79-110)

4 A 07**ALIMENTATION DES CIRCUITS DE COMMANDE**

Lorsqu'une machine-outil comporte plus de 5 bobines électromagnétiques (contacteurs, relais, etc.) il est recommandé d'alimenter les circuits de commande par l'intermédiaire d'un transformateur monophasé; cette recommandation devient obligation pour les machines-outils à usage intensif (N. F. C 79-110).

En courant alternatif les tensions recommandées pour les circuits de commande lorsque l'on utilise un transformateur sont :

110 V pour les machines-outils à usage intensif,

48 V-110 V pour les machines-outils à usage général.

En courant continu les tensions recommandées sont (24)-48-110-220.

PROTECTION DES CIRCUITS DE COMMANDE CONTRE LES SURINTENSITÉS

Si leur section est inférieure à celle des conducteurs des circuits de puissance, les conducteurs d'alimentation des circuits de commande (ou d'alimentation des transformateurs des circuits de commande) doivent être munis de coupe-circuit à fusibles ou dispositifs équivalents.

Une telle protection n'est pas nécessaire si les conducteurs d'alimentation des circuits de commande peuvent supporter un courant au moins égal au tiers de celui des conducteurs du circuit de puissance et si leur longueur totale ne dépasse pas 8 m.

Lorsque l'on utilise un transformateur — sans aucun point du secondaire réuni à la masse : il faut une protection contre les courts-circuits sur chacune des 2 sorties — avec une des 2 extrémités du secondaire réunie à la masse, il faut une protection seulement sur le conducteur non relié à la masse.

MONTAGE RELATIF DES BOBINES ET DES CONTACTS

Dans le circuit de commande, toutes les bobines doivent avoir une de leurs bornes reliée directement à un même conducteur actif, et tous les contacts de commande doivent être placés entre les bobines et l'autre conducteur actif.

Dans le cas d'alimentation par transformateur avec mise à la masse d'une sortie secondaire, c'est à cette sortie que doit être relié le point commun des bobines.

Des exceptions sont admises dans certains cas particuliers.

ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UN TOUR

4 B 01

Cette première application très simple des principes vus dans les pages précédentes donne un exemple de schéma développé avec : **repérage d'identification des appareils**. Ce repère est placé à gauche de ceux-ci. Il est le même pour la bobine et les conduits d'un même contacteur.

marquage des bornes. Ce marquage est placé à droite de celles-ci.

Ce schéma développé des circuits de puissance et commande s'accompagne d'un **schéma annexe** placé en bas et représentant les divers contacteurs avec tous leurs contacts. Les zones qui divisent le schéma développé sont indiquées en haut dans un tableau horizontal. L'emplacement des différents contacts dans le schéma développé est donné par un chiffre placé à gauche de ces mêmes contacts dans le schéma annexe.

LÉGENDE

- K1M : Contacteur broche marche avant.
- K2M : Contacteur broche marche arrière.
- S1 : Arrêt broche.
- S2 : Marche avant.
- S3 : Marche arrière.
- S4 : Arrêt pompe.
- S5 : Marche pompe.
- F1 : Relais de protection moteur broche.
- F2 : Relais de protection moteur pompe.

REMARQUES CONCERNANT LES EXEMPLES SUIVANTS

Lorsque la bobine du contacteur est placée en face ou en-dessous des contacts principaux, on peut se dispenser de représenter ceux-ci dans le schéma annexe et représenter seulement les contacts auxiliaires.

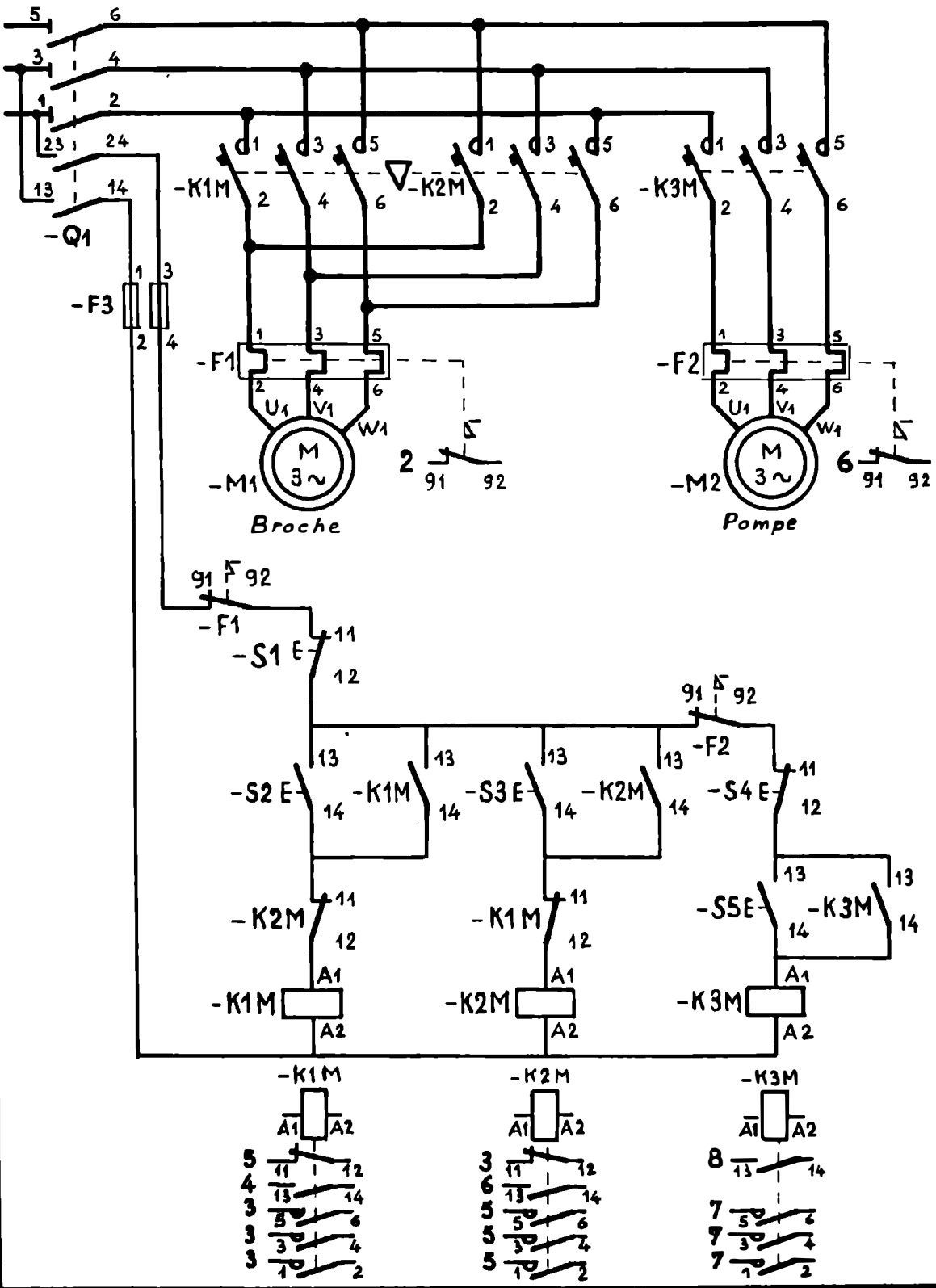
Dans la plupart des schémas d'équipement qui suivent, le marquage des bornes n'a pas été fait pour ne pas trop alourdir ceux-ci.

Un schéma industriel comporterait ce marquage. Le lecteur pourra l'obtenir très facilement en s'inspirant des 2 premiers exemples.

ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UN TOUR

4 B 02

- | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|



ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE FRAISEUSE

4 B 03

Ce deuxième exemple comporte également **repérage d'identification des appareils, et marquage des bornes**. La disposition choisie permet de ne représenter dans le **schéma annexe** que les seuls contacts auxiliaires.

Cette fraiseuse comprend 3 moteurs.

- Moteur broche : 1 sens de rotation ; arrêt freiné par électro-frein.
- Moteur table : 2 sens de rotation ; arrêt freiné par électro-frein.
- Moteur pompe : 1 sens de rotation.

LÉGENDE

- *K1M* : Contacteur frein de broche.
- *K3M* : Contacteur broche.
- *K3M* : Contacteur table (marche à droite et en arrière).
- *K4M* : Contacteur table (marche à gauche et en avant).
- *S1* : Arrêt général.
- *S2* : Déblocage frein de broche.
- *S3* : Marche broche.
- *S4* : Arrêt table.
- *S5* : Fin de course arrière.
- *S6* : Fin de course droite.
- *S7* : Marche à droite et en arrière.
- *S8* : Fin de course avant.
- *S9* : Fin de course gauche.
- *S10* : Marche à gauche et en avant.

FONCTIONNEMENT

La table est mise en déplacement soit à droite, soit à gauche par action sur le bouton-poussoir correspondant (le fonctionnement arrière ou avant s'obtenant par un dispositif mécanique à manœuvre manuelle).

Elle est arrêtée par action sur le bouton-poussoir arrêt table (– *S4*).

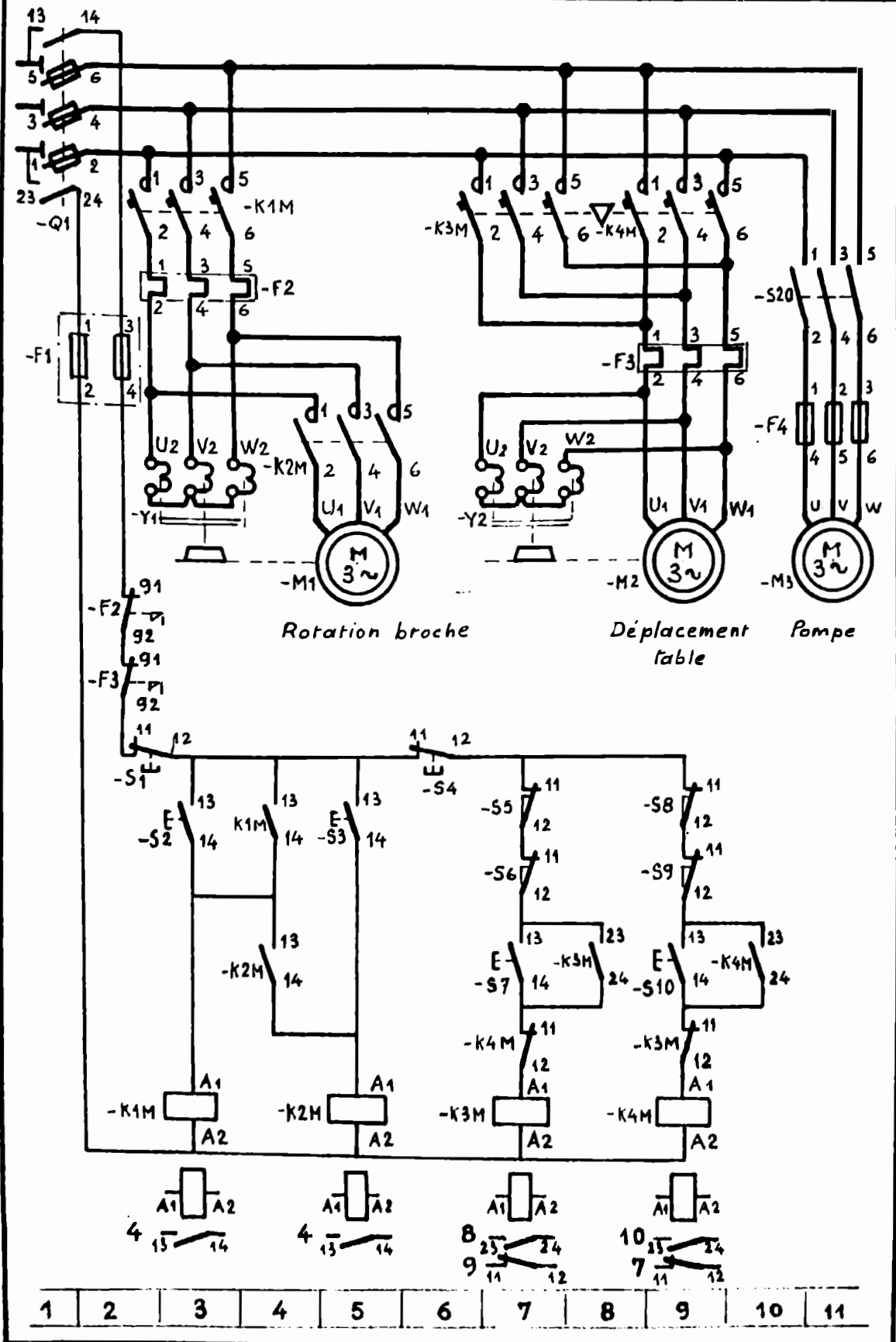
Des interrupteurs de fin de course arrêtent le déplacement de la table en cas de fausse manœuvre.

La broche est mise en marche par action sur le bouton-poussoir marche broche (– *S3*) et arrêtée par action sur le bouton-poussoir arrêt général (– *S1*). L'électro-frein de la broche peut être débloqué à l'arrêt par action sur le bouton-poussoir déblocage frein de broche (– *S2*).

La pompe est mise en marche et arrêtée grâce à un interrupteur tripolaire (– *S20*).

ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE FRAISEUSE

4 B 04



ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE RECTIFIEUSE

4 B 05

Cette rectifieuse comprend 3 moteurs.

- Le moteur de la broche : 1 sens de rotation.
- Le moteur de la table : 2 sens de rotation.
- Le moteur de la pompe : 1 sens de rotation.

LEGENDE

- *K1M* : Contacteur table (marche à gauche).
- *K2M* : Contacteur table (marche à droite).
- *K3M* : Contacteur broche.
- *K4M* : Contacteur pompe.
- *S1* : Arrêt table.
- *S2* : Marche à gauche de la table.
- *S3* : Marche à droite de la table.
- *S4* : Butée d'inversion gauche.
- *S5* : Butée d'inversion droite.
- *S6* : Arrêt broche.
- *S7* : Marche broche.
- *S8* : Arrêt pompe.
- *S9* : Marche pompe.
- *S10* : Interrupteur de commande de la lampe d'éclairage.
- *F1* : Relais de protection table.
- *F2* : Relais de protection broche.
- *F3* : Relais de protection pompe.

FONCTIONNEMENT

La broche est mise en marche par action sur le bouton-poussoir – *S7* (marche broche) et arrêtée par action sur le bouton-poussoir – *S6* (arrêt broche).

La table est mise en déplacement soit à gauche par action sur le bouton-poussoir – *S2* (marche à gauche, soit à droite par action sur le bouton-poussoir – *S3* (marche à droite).

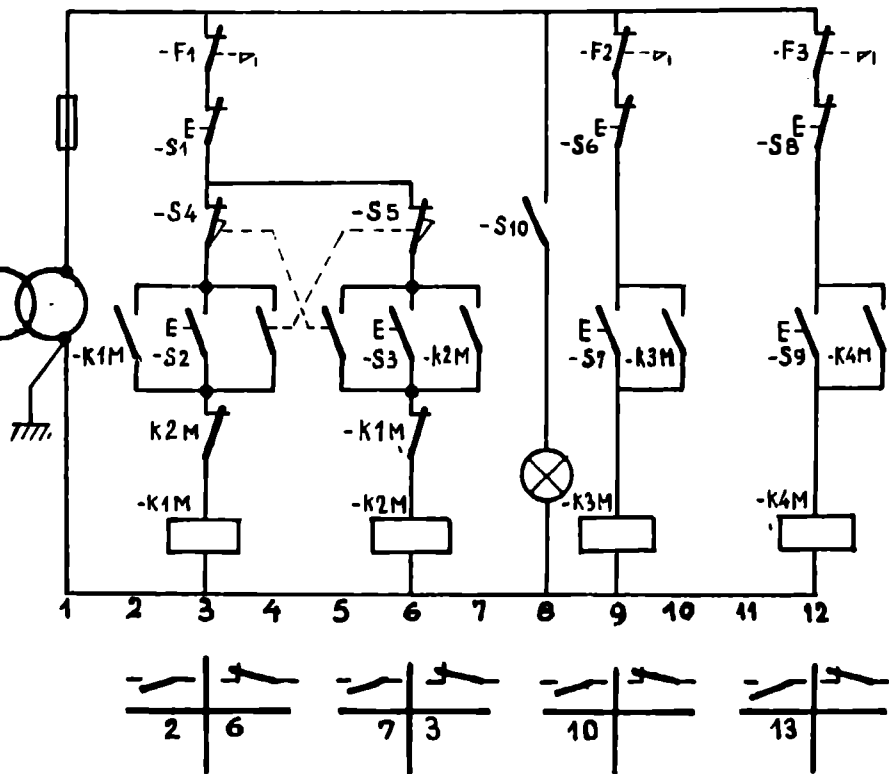
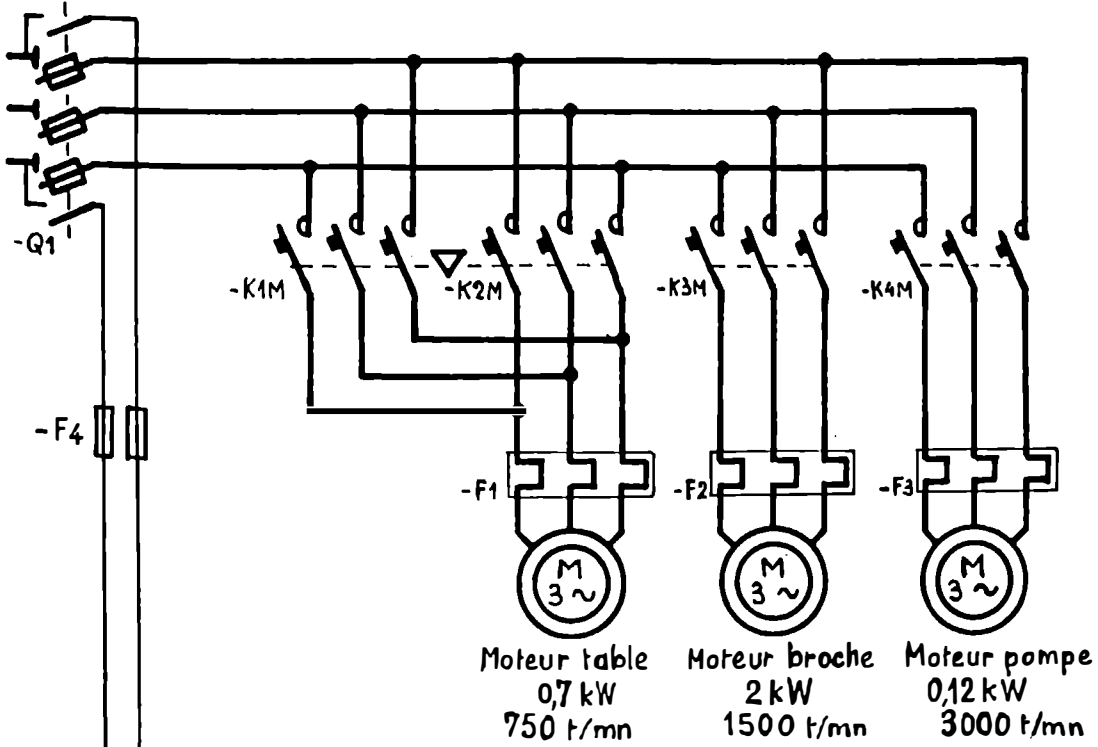
Arrivée en fin de course gauche la butée d'inversion gauche – *S4* coupe l'alimentation du contacteur – *K1M* (marche à gauche) et met sous tension le contacteur – *K2M* (marche à droite). En fin de course droite c'est la butée d'inversion droite – *S5* qui coupe le contacteur – *K2M* (marche à droite) et met sous tension le contacteur – *K1M* (marche à gauche).

On arrête ce mouvement d'aller et retour par action sur le bouton-poussoir – *S1* (arrêt table).

La pompe est mise en marche par action sur le bouton-poussoir – *S9* (marche pompe) et arrêtée par action sur le bouton-poussoir – *S8* (arrêt pompe).

ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE RECTIFIEUSE

4 B 06



ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UN COMPRESSEUR

4 B 07

LÉGENDE

- **K1M** : Contacteur principal.
- **K2M** et - **K3M** : Contacteurs de court-circuitage des résistances rotoriques.
- **F1** : Relais de protection du moteur.
- **F2** : Relais thermique temporisé.
- **Y1** : Électro-valve sur conduite d'air : Quand - **Y1** n'est pas sous tension, le compresseur rejette l'air dans l'atmosphère et fonctionne donc à vide. Quand - **Y1** est sous tension le compresseur alimente la cuve où se trouve l'air comprimé et fonctionne donc en charge.
- **Y2** : Électro-valve sur circuit d'eau de refroidissement du cylindre du compresseur. A l'arrêt (sauf si celui-ci est provoqué par surcharge ou défaut) l'écoulement de l'eau continue pendant 8 secondes.
- **Y3** : Déclencheur à réarmement manuel.
- **B1** : Manostat sur la cuve d'air comprimé. Permet le fonctionnement de l'ensemble entre une valeur maximale de pression (ouverture de - **B1**) et une valeur minimale (fermeture de - **B1**).
- **B2** : Contact de contrôle de circulation d'eau. Quand - **Y2** est sous tension l'eau coule et - **B2** se ferme.
- **B3** : Manostat de pression d'huile. Dès la mise en marche du moteur la pression d'huile apparaît et le contact de - **B3** s'ouvre. En cas de non apparition ou de disparition accidentelle de cette pression le contact de - **B3** se ferme et - **Y3** est sous tension.
- **S1** : Commutateur général permettant le fonctionnement en marche manuelle, marche automatique ou arrêt.

FONCTIONNEMENT

Le démarrage du moteur est classique (3 contacteurs dont 2 court-circuitant les résistances rotoriques avec 3 secondes de retard chacun. Si le démarrage ne s'effectue pas correctement le relais thermique temporisé n'est pas mis hors tension assez tôt et coupe l'alimentation de l'ensemble.

— En position marche automatique, le manostat - **B1** commande la mise en marche du moteur qui s'opère comme ci-après : commande d'arrivée d'eau.

Fermeture du contacteur principal puis des

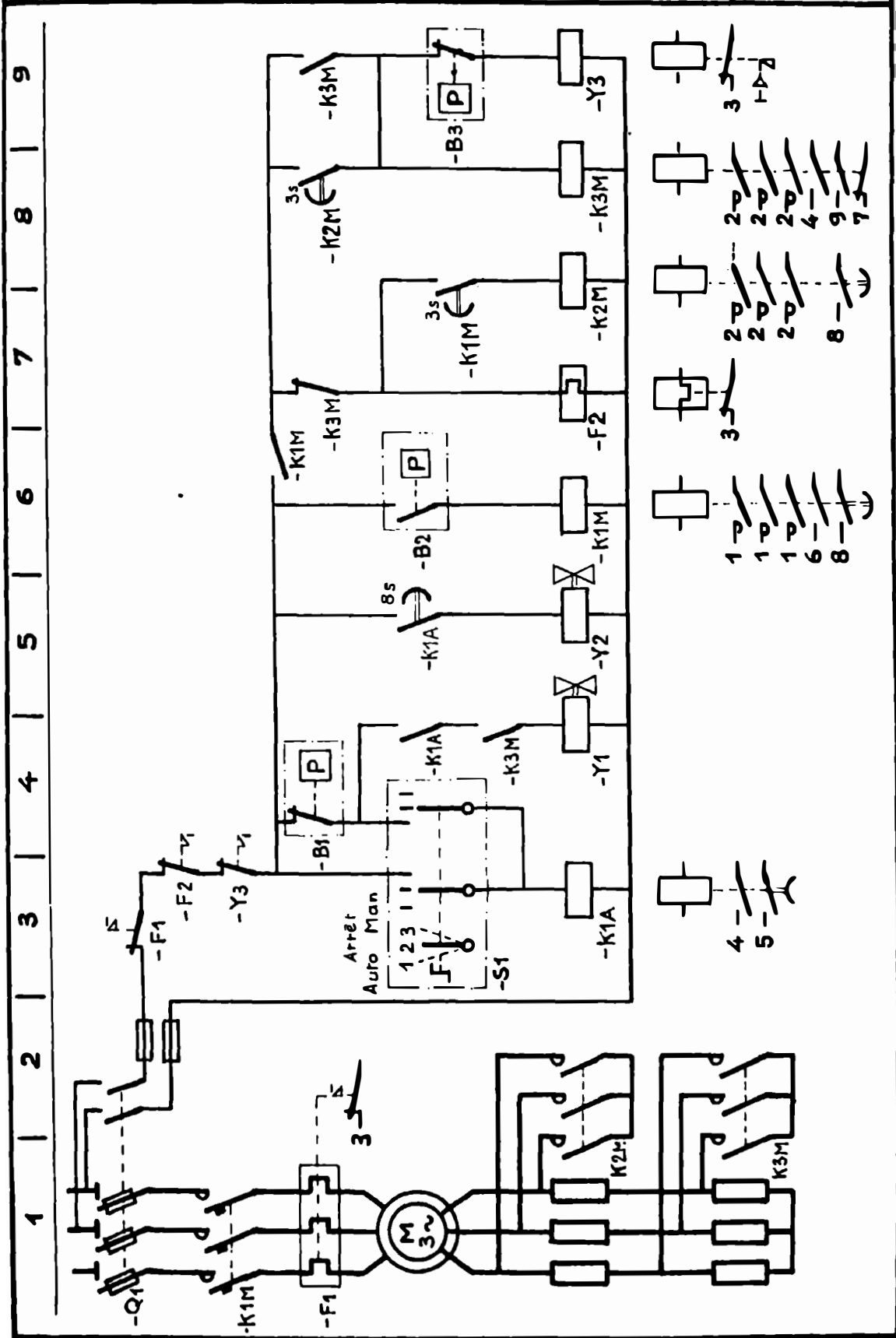
2 autres contacteurs : La fermeture de - **K3M** (le dernier) commande la mise en charge du compresseur par mise sous tension de l'électro-valve - **Y1**.

L'arrêt s'obtient pour coupure de - **Y1** et décompression du cylindre : 8 secondes après, arrêt de l'eau (coupure de - **Y2**) ouverture de - **B2** et mise hors tension de - **K1M** (contacteur principal).

— En position marche manuelle, le démarrage s'effectue de la même façon, mais quand la pression de l'air est suffisante la mise sous tension de - **Y1** met seulement le cylindre en décompression, le moteur continuant à tourner à vide.

ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UN COMPRESSEUR

4 B 08



ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE STATION DE POMPAGE

4 B 09

Cette station comprend 2 pompes entraînées par 2 moteurs à rotor en court-circuit
– M1 et – M2.

LÉGENDE

- K1M : Contacteur moteur – M1.
- K2M : Contacteur moteur – M2.
- F1 : Relais ampèremétrique. Quand un moteur entraîne sa pompe en charge, il absorbe une intensité I_{ch} . Cette intensité I_{ch} provoque l'ouverture du contact du relais – F1.
- Quand un moteur entraîne sa pompe à vide (désamorçage) il absorbe une intensité I_0 . Cette intensité est insuffisante pour que le relais reste ouvert et son contact – F1 se ferme.
- F2 : – F3 : Relais de protection.
- F4 : Relais thermique temporisé.
- B1 : Contrôle de niveau par flotteur.
- S1 : Commutateur 3 positions : 1 marche manuelle,
2 arrêt,
3 marche automatique.
- S2 : Commutateur 2 positions.

FONCTIONNEMENT

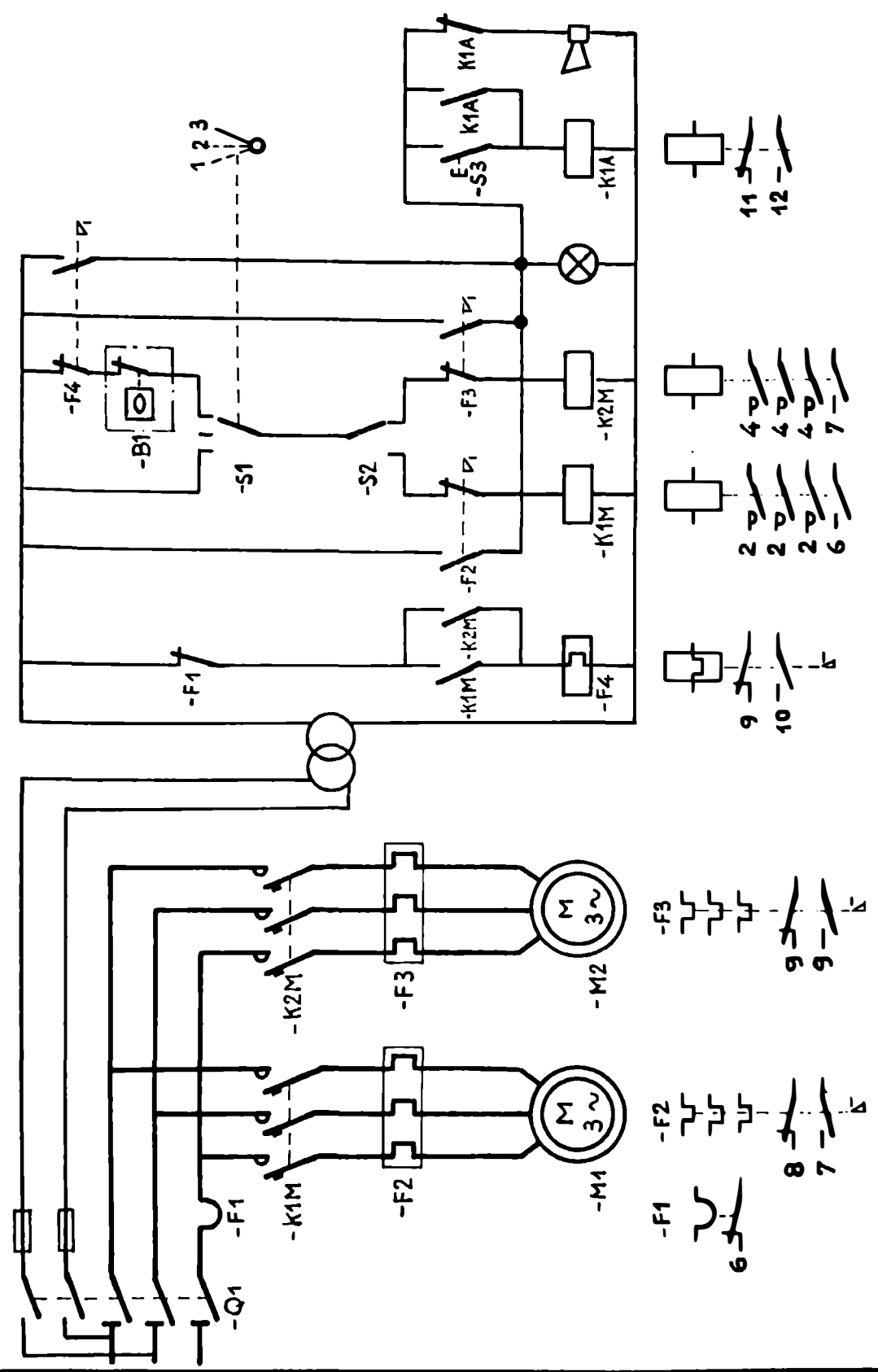
- Les 2 moteurs ne peuvent fonctionner ensemble.
- On sélectionne le moteur qui doit fonctionner grâce au commutateur – S2.
- Le groupe sélectionné peut fonctionner en marche manuelle ou automatique grâce au commutateur – S1.
- En marche automatique les ordres de démarrage et d'arrêt sont obtenus par contact commandé par flotteur (coupure à partir d'une certaine hauteur).
- Une signalisation lumineuse et sonore fonctionne :
 - En cas de surintensité grâce aux relais de protection – F2 ou – F3.
 - En cas de désamorçage grâce aux relais ampèremétrique – F1.

Remarquer le montage particulier de cette signalisation. Une impulsion sur le bouton-poussoir – S3 arrête le klaxon, mais la signalisation lumineuse subsiste tant que l'on n'a pas réarmé le relais de protection qui a fonctionné.

ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE STATION DE POMPAGE

4 B 10

1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12



ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UN MONTE-CHARGE

4 B 11

Ce monte-charge dessert 4 niveaux. L'entraînement est assuré par un moteur asynchrone triphasé bloqué à l'arrêt par électro-frein incorporé.

LÉGENDE

- *K1M* : Contacteur descente.
 - *K2M* : Contacteur montée.
 - *K1A*; - *K2A*; - *K3A*; - *K4A* : Relais auxiliaires.
 - *S1* : Bouton appel, ou envoi niveau 1.
 - *S2* : Bouton appel ou envoi niveau 2.
 - *S3* : Bouton appel ou envoi niveau 3.
 - *S4* : Bouton appel ou envoi niveau 4.
- (En pointillé, le début de la représentation des autres boutons-poussoirs).
- *S11*; - *S12*; - *S13*; - *S14* : Boutons arrêt placés respectivement au niveau 1, 2, 3 et 4.
 - *S21*; - *S22*; - *S23*; - *S24* : Contacts de porte placés respectivement au niveau 1, 2, 3 et 4.
 - *S5* : Distributeur d'étage commandé par la cage. Les 4 positions qu'il peut occuper sont indiquées par des traits interrompus horizontaux.

Sur le schéma, la position du distributeur d'étage indique que le monte-charge se trouve au niveau 3.

FONCTIONNEMENT

Le monte-charge est au niveau 3.

Appuyons sur le bouton-poussoir - *S2* (envoi au niveau 2). Le relais - *K2A* est mis sous tension. Son contact alimente le contacteur - *K2M* (descente) par l'intermédiaire du distributeur d'étage.

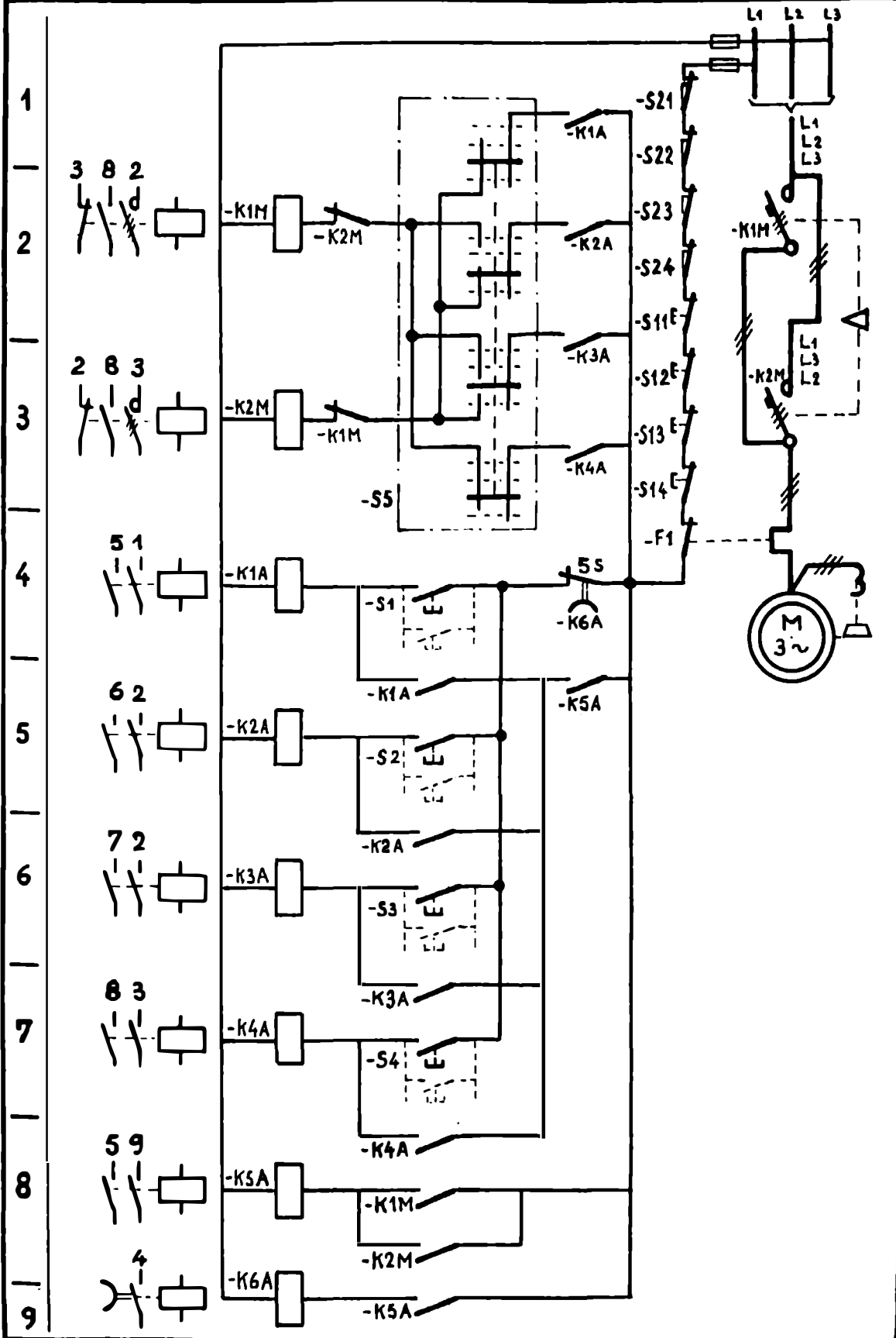
Le contact - *K2M* (emplacement 8) du contacteur descente alimente le relais - *K5A* qui auto-alimente le relais - *K2A*.

Le contact - *K6A* s'ouvre et désormais un appui sur l'un quelconque des boutons-poussoirs - *S1*, - *S2*, - *S3*, - *S4* est sans effet tant que le monte-charge n'est pas arrêté.

Quand le monte-charge s'arrête au niveau 2, il faut attendre 5 secondes (fermeture du contact temporisé - *K6A*) pour qu'un autre appel puisse avoir lieu, à condition bien sûr que tous les contacts des portes soient en position circuit fermé.

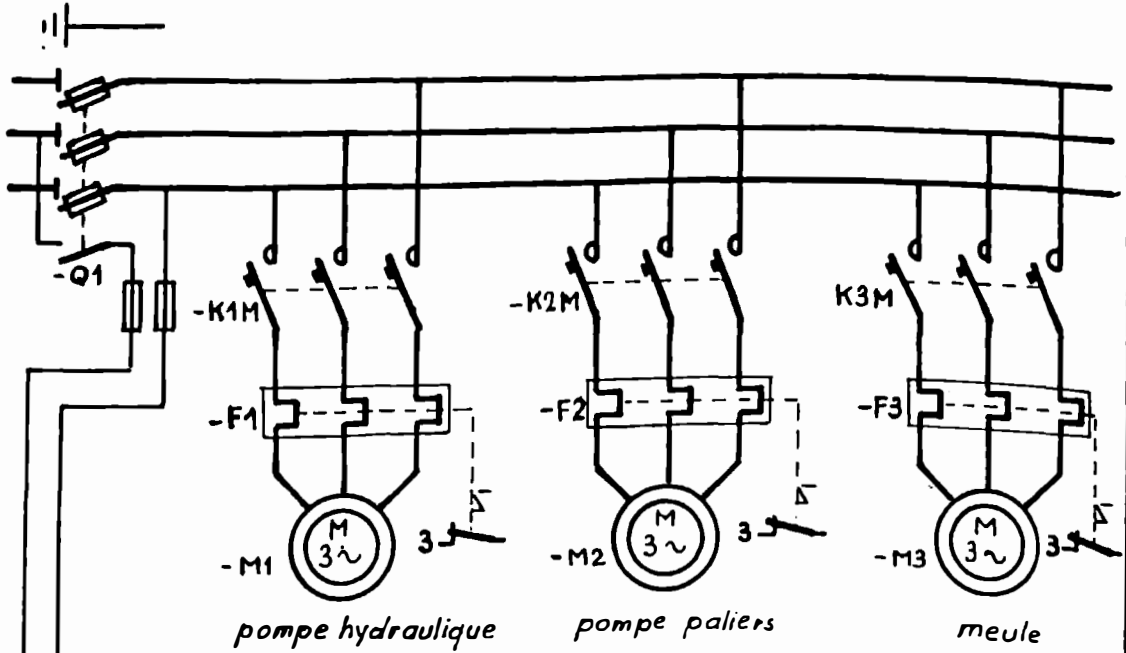
ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UN MONTE-CHARGE

4 B 12

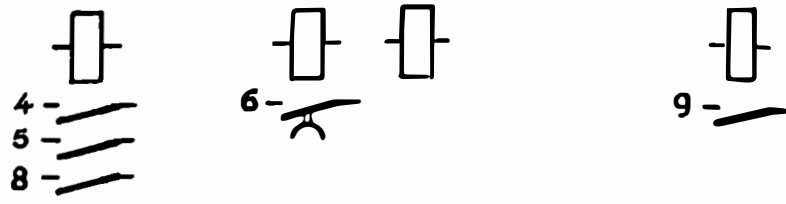
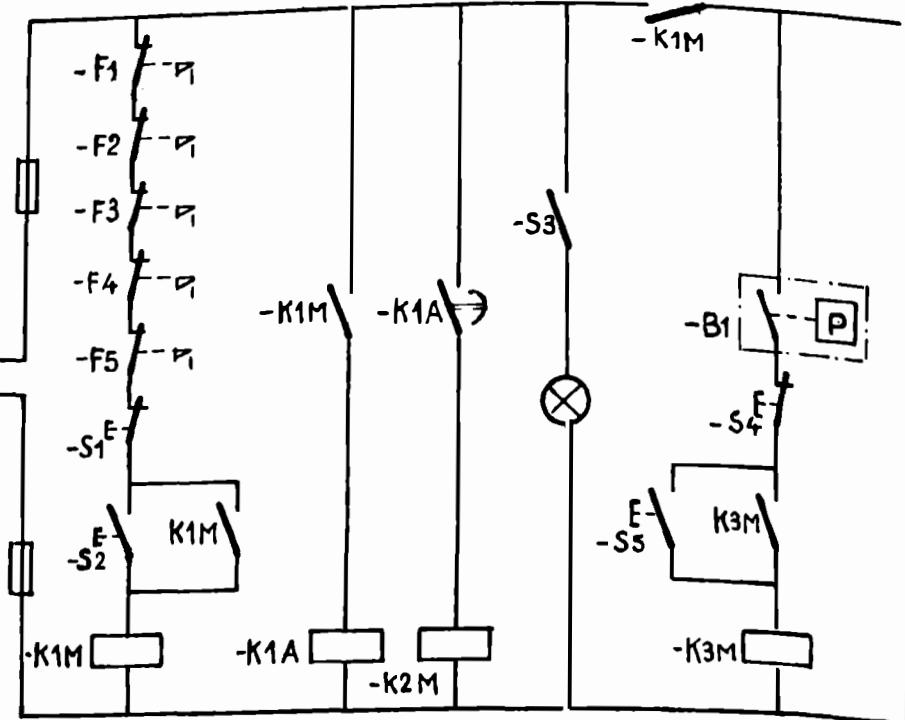


ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE RECTIFIEUSE CYLINDRIQUE

4 B 13

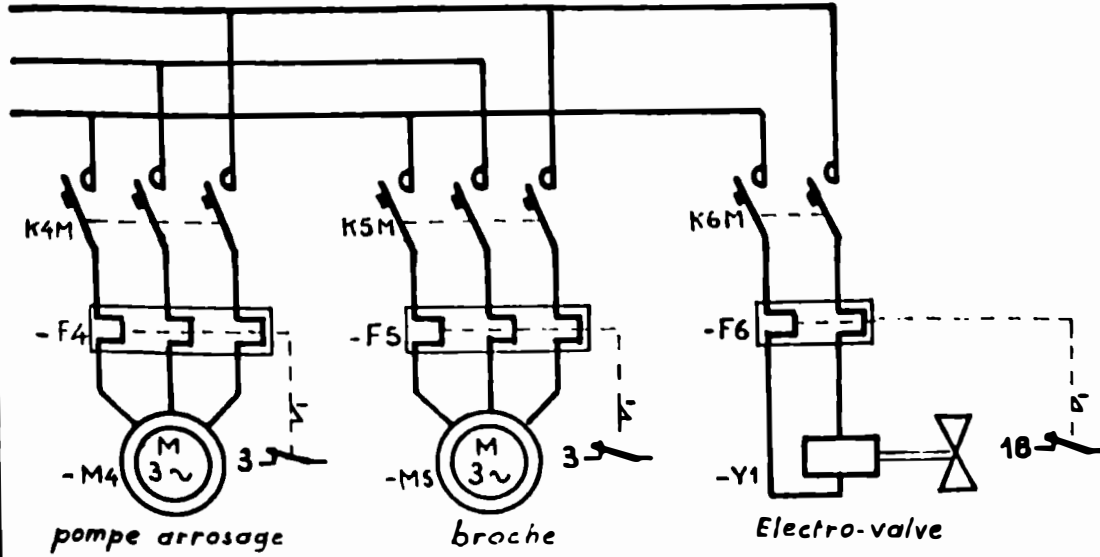


| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|

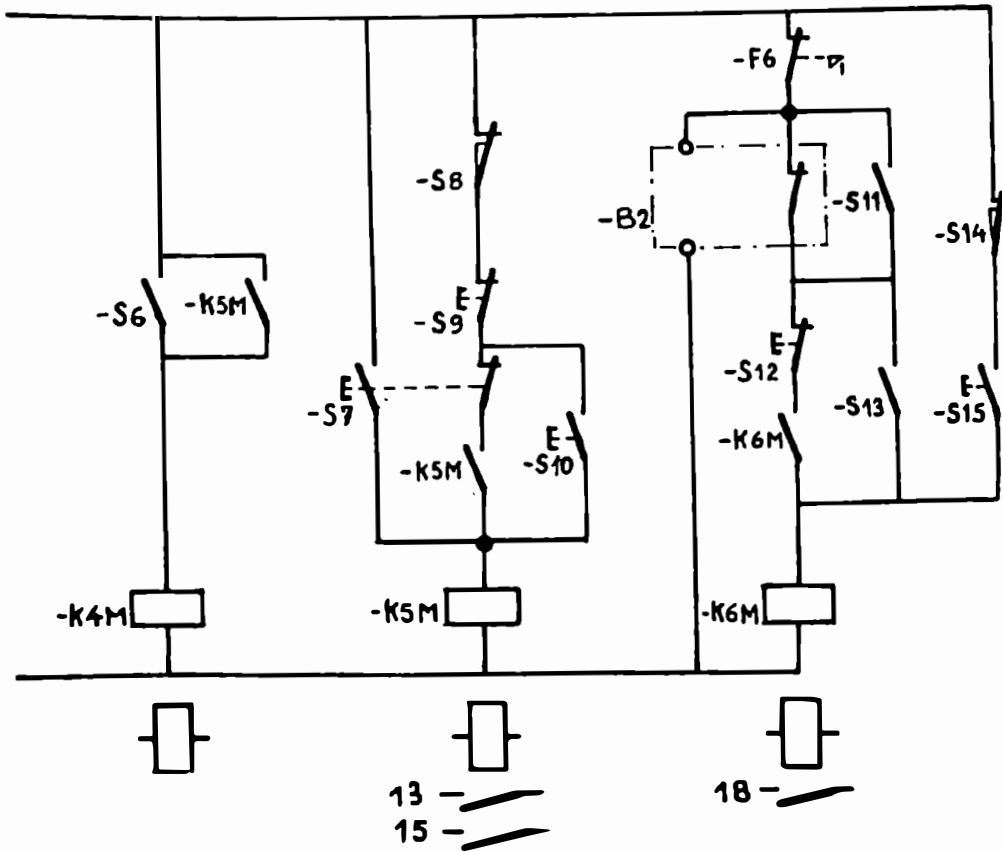


ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE RECTIFIEUSE CYLINDRIQUE

4 B 14



| | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|



ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE RECTIFIEUSE CYLINDRIQUE

4 B 15

Cette rectifieuse cylindrique comprend 5 moteurs à 1 sens de rotation chacun et une électro-valve.

- M1 : Moteur pompe hydraulique.
- M2 : Moteur pompe paliers.
- M3 : Moteur meule.
- M4 : Moteur pompe d'arrosage.
- M5 : Moteur broche pour entraînement des pièces.
- Y1 : Électro-valve commandant l'avance de la meule.

LÉGENDE DES CONTACTEURS ET AUXILIAIRES DE COMMANDE

- K1M : Contacteur pompe hydraulique.
- K1A : Relais temporisé.
- K2M : Contacteur pompe paliers.
- K3M : Contacteur meule.
- K4M : Contacteur arrosage.
- K5M : Contacteur broche.
- K6M : Contacteur électro-valve.

- S1 : Arrêt général.
- S2 : Marche générale.
- S4 : Arrêt meule.
- S5 : Marche meule.
- S12 : Recul meule.
- S15 : Avance meule.
- S7 : Commande rotation broche par à coups.
- S10 : Commande rotation broche marche normale.
- S9 : Arrêt rotation broche marche normale.

- S6 : Commande arrosage.
- S11 : fermé, réglage auto-calibrage, ouvert, fonctionnement avec auto-calibrage.
- S13 : fermé pour rectification interne, ouvert pour rectification externe.
- S8 : Contact arrière contrôlant le recul de la tête porte-meule.
- S14 : Contact de sécurité sur plongée de meule.
- P1 : Manostat contrôlant la pression d'huile.
- P2 : Appareil d'auto-calibrage.

FONCTIONNEMENT

À la mise sous tension, la pompe hydraulique se met en marche, ainsi que le moteur pompe des paliers.

Dès que la pression est suffisante, le moteur meule peut être mis en marche et arrêté.

Le moteur hydraulique est arrêté par action sur - S1 (arrêt général). Toute la commande est alors mise hors tension sauf le moteur pompe des paliers qui continue à tourner pendant plusieurs secondes (temporisation suffisamment longue pour que la meule ait le temps de s'arrêter).

CINQUIÈME PARTIE

Groupe 5 A 01 à 5 A 07

**Algèbre logique - Principes et conventions.
Fonctions logiques de base.
Théorèmes de Morgan.**

Groupe 5 B 01 à 5 B 07

Rectangles de Karnaugh - Généralités, utilisation.

Groupe 5 C 01 à 5 C 17

**Opérateurs logiques binaires - Généralités - Symboles.
Etablissement des schémas avec opérateurs logiques binaires.
Opérateurs logiques : Bascules.
Opérateurs logiques : Application au comptage
Opérateurs logiques : Logique câblée.**

Groupe 5 D 01 à 5 D 12

**Utilisation des rectangles de Karnaugh.
Problèmes de logique combinatoire : solutions avec fonctions logiques de
base et multiplexeurs.
Problème de logique séquentielle : solution avec fonctions logiques.**

Groupe 5 E 01 à 5 E 21

Problèmes de logique séquentielle : solution.

Groupe 5 F 01 à 5 F 29

**Le Grafcet.
Les séquenceurs : généralités.
Utilisation des séquenceurs.
Automates programmables : généralités.
Automates programmables : applications.
Simplification du Grafcet.**

ALGÈBRE LOGIQUE OU ALGÈBRE DE BOOLE

PRINCIPES ET CONVENTIONS

5 A 01

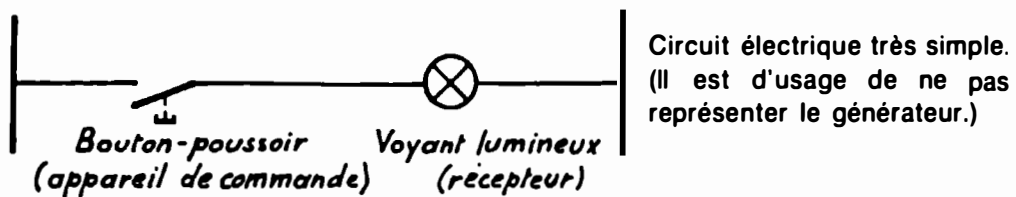
En algèbre logique ou algèbre de Boole, le raisonnement se fait uniquement sous forme binaire. Une chose est ou n'est pas.

Cette forme de raisonnement s'applique parfaitement à l'étude des automatismes où les appareils et les circuits ne peuvent prendre que deux états.

Exemples : Interrupteur ouvert Interrupteur fermé
Lampe éteinte Lampe allumée
Moteur au repos Moteur au travail, etc.

Dans l'étude qui suit nous serons amenés à considérer

1 - État électrique d'un circuit



CONVENTION CONCERNANT LES ORGANES D'UN CIRCUIT

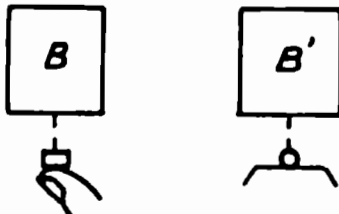
| Appareil de commande | | Appareil d'utilisation | |
|------------------------------------|--------|--|--------|
| Position passage du courant | État 1 | Parcouru par le courant électrique | État 1 |
| Position pas de passage du courant | État 0 | Non parcouru par le courant électrique | État 0 |

Remarque : A une variable \bar{v} on associera la négation de celle-ci soit \bar{v} (v barre). En conséquence si $v = 0$, $\bar{v} = 1$ et inversement.

2 - Action physique s'exerçant sur un capteur

Cette action physique la plupart du temps mécanique est extérieure au circuit.

Exemples :



— Doigt appuyant ou non sur un bouton-poussoir.

— Came actionnant ou non un capteur.

— Les boîtiers B et B' peuvent contenir un ou plusieurs contacts établissant ou coupant un ou plusieurs circuits.

ALGÈBRE LOGIQUE OU ALGÈBRE DE BOOLE PRINCIPES ET CONVENTIONS

5 A 02

CONVENTION CONCERNANT L'ACTION PHYSIQUE

| | |
|-------------------|-------------------------|
| Existant : État 1 | N'existant pas : État 0 |
|-------------------|-------------------------|

Dans les schémas, les organes d'appareils, boutons-poussoirs etc. sont normalement représentés au repos (action physique = 0).

3 - État technologique d'un contact



Un contact électrique est commercialisé sous deux formes.

Exemples : 1. Bouton-poussoir fermé au repos (en l'absence de toute action physique).



2. Bouton-poussoir ouvert au repos.

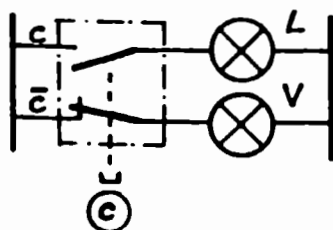
CONVENTION CONCERNANT L'ÉTAT TECHNOLOGIQUE DES CONTACTS

Soit un contact c .

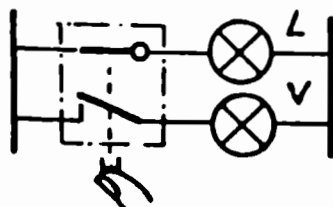
On écrira : c si ce contact est ouvert au repos.

\bar{c} si ce contact est fermé au repos.

4 - Récapitulation



| | | |
|------------------------------|----------------------------------|---|
| <i>Action physique sur c</i> | <i>Etat électrique de c et L</i> | <i>Etat électrique de \bar{c} et V</i> |
| 0 | 0 | 1 |



| | | |
|------------------------------|----------------------------------|---|
| <i>Action physique sur c</i> | <i>Etat électrique de c et L</i> | <i>Etat électrique de \bar{c} et V</i> |
| 1 | 1 | 0 |

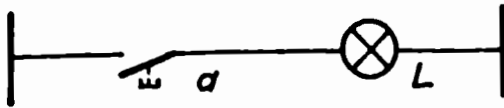
Nous remarquons ainsi que pour un contact ouvert au repos tel que c , il y a concordance entre l'action physique et l'état électrique du circuit; alors que pour un contact fermé au repos tel que \bar{c} , il y a discordance entre l'action physique et l'état électrique du circuit.

Les contacts qui sont en discordance par rapport à l'action physique qui les commande comportent le repère barre.

ALGÈBRE LOGIQUE : LOGIQUE A RELAIS
ÉLECTROMAGNÉTIQUE : FONCTIONS LOGIQUES DE BASE

5 A 03

I. FONCTION ÉGALITÉ (OUI)



Au repos $a = 0$ $L = 0$

Si on donne la valeur 1 à a (action physique sur $a = 1$) L prend la valeur 1.

Table de vérité

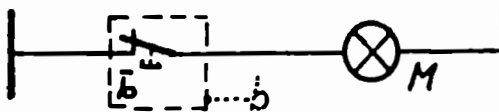
| action physique sur a | état électrique de a | état électrique de L |
|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Ce raisonnement s'inscrit dans un tableau appelé table de vérité.

L'équation est : $a = L$.

Le schéma, la table de vérité et l'équation sont 3 expressions de la même fonction.

II. FONCTION COMPLÉMENT (PAS-NON)



Au repos le contact \bar{b} vaut 1.

La lampe M est allumée, donc M vaut 1.

Table de vérité

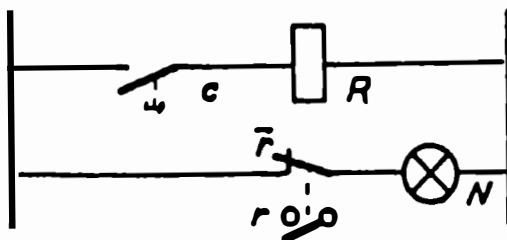
| action physique sur b | état électrique de \bar{b} | état électrique de M |
|-------------------------|------------------------------|------------------------|
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 |

Une action physique sur ce contact \bar{b} amène celui-ci à l'état électrique 0 et la lampe s'éteint.

L'équation est : $\bar{b} = M$.

Remarque : L'état électrique d'un contact tel que a , b et l'action physique sur ce contact ayant toujours même valeur on se contentera d'indiquer l'état électrique de cette variable.

FONCTION COMPLÉMENT AVEC RELAIS



Note : Le contact r a été représenté bien que ne jouant aucun rôle, pour faciliter la compréhension.

Nous avons deux circuits dont les équations sont :

$$c = R \quad \bar{r} = N$$

ALGÈBRE LOGIQUE : LOGIQUE A RELAIS
ÉLECTROMAGNÉTIQUE : FONCTIONS LOGIQUES DE BASE

5 A 04

Table de vérité

| c | R | r | \bar{r} | N |
|-----|-----|-----|-----------|-----|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Or $R = r$, ce qui implique

$$c = r$$

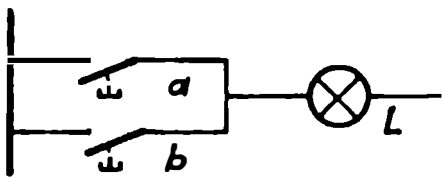
et

$$\bar{c} = \bar{r}$$

L'équation équivalente est donc

$$\bar{c} = N.$$

III. FONCTION OU : SOMME LOGIQUE



L vaut 1, si a vaut 1 ou si b vaut 1, ou si les deux valent 1.

L'équation de ce circuit est

$$L = a + b.$$

Table de vérité

| a | b | L |
|-----|-----|-----|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

On lit L égale a ou b .

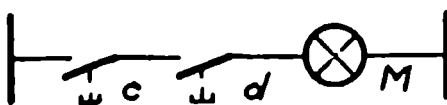
Remarque : A la dernière ligne de la table de vérité nous avons $1 + 1 = 1$.

Une simplification donnerait $1 = 0$, ce qui est absurde.

La soustraction n'existe pas en algèbre logique.

On aura donc $a + a = a$.

IV. FONCTION ET : PRODUIT LOGIQUE



M vaut 1, si c et d valent chacun 1.

L'équation de ce circuit est

$$M = c \cdot d.$$

Table de vérité

| c | d | M |
|-----|-----|-----|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

On lit M égale c et d .

Remarque : On peut trouver dans une expression logique la valeur $c \cdot c$ (deux contacts solidaires en série).

La table de vérité indique alors

$$c \cdot c = c.$$

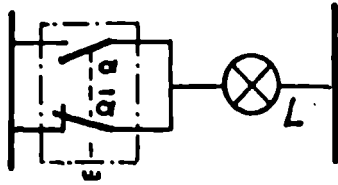
Une simplification donnerait $c = 1$ ce qui est faux.

La division n'existe pas en algèbre logique.

ALGÈBRE LOGIQUE : CAS PARTICULIERS

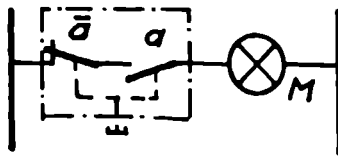
SIMPLIFICATIONS DE CERTAINES EXPRESSIONS

5 A 05

Expression $L = \bar{a} + a$

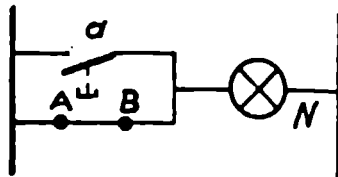
| a | \bar{a} | L |
|-----|-----------|-----|
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |

L vaut toujours 1
 $\bar{a} + a = 1$.

Expression $M = \bar{a} \cdot a$

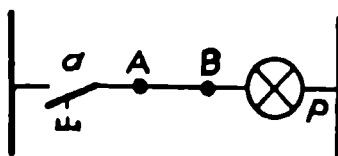
| a | \bar{a} | M |
|-----|-----------|-----|
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |

M vaut toujours 0
 $\bar{a} \cdot a = 0$.

Expression $N = a + 1$

| liaison AB | a | N |
|------------|-----|-----|
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 |

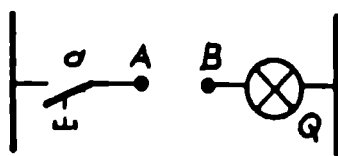
N vaut toujours 1
 $a + 1 = 1$.
 On aurait de même
 $a + 0 = a$.

Expression $P = a \cdot 1$

| liaison AB | a | P |
|------------|-----|-----|
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Nous voyons que
 $a = P$.

$a \cdot 1 = a$.

Expression $Q = a \cdot 0$

| liaison AB | a | Q |
|------------|-----|-----|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |

Q vaut toujours 0
 $a \cdot 0 = 0$.

ALGÈBRE LOGIQUE THÉORÈMES DE DE MORGAN

5 A 06

1^{er} THÉORÈME

Le complément d'une somme logique est égal au produit logique des compléments des termes de la somme

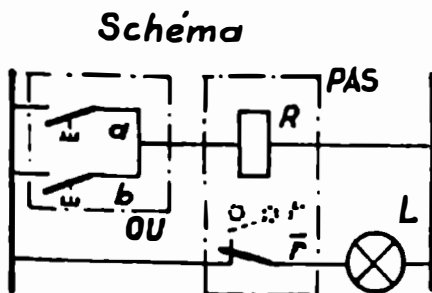
$$\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}.$$

Nous allons justifier ce théorème en faisant apparaître dans une table de vérité, le premier membre de cette expression. Puis dans une deuxième table, le second membre de cette expression. Ensuite nous comparerons.

Expression L = $\overline{a + b}$

Association de la fonction OU et de la fonction complément.

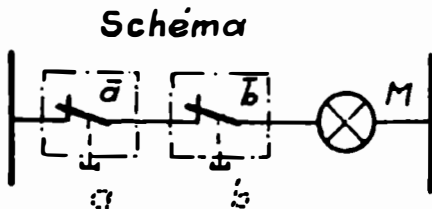
Table de vérité



| a | b | $R = a + b = r$ | $\overline{a + b} = \bar{r}$ | L |
|-----|-----|-----------------|------------------------------|-----|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Expression M = $\bar{a} \cdot \bar{b}$

Table de vérité



| a | b | \bar{a} | \bar{b} | $\bar{a} \cdot \bar{b}$ | M |
|-----|-----|-----------|-----------|-------------------------|-----|
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Nous constatons que pour le même état des variables d'entrée a et b , on obtient la même valeur pour les sorties M et L .

Conclusion : $M = L = \overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}$

2^o THÉORÈME

Le complément d'un produit logique est égal à la somme logique des compléments des termes du produit

$$\overline{\bar{a} \cdot \bar{b}} = a + b.$$

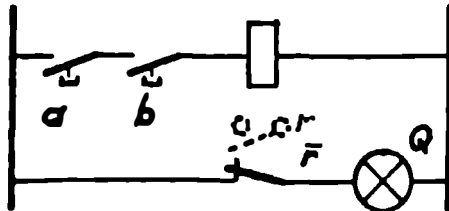
Nous allons procéder comme pour le premier théorème en inscrivant dans 2 tables de vérité l'équivalent des deux membres de cette expression.

ALGÈBRE LOGIQUE THÉORÈMES DE DE MORGAN

5 A 07

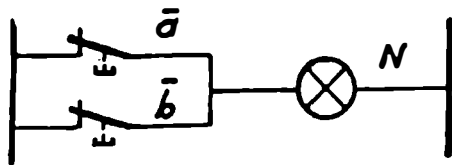
Expression $Q = \overline{a \cdot b}$

Association de la fonction ET et de la fonction complément.



| a | b | $R = a \cdot b = r$ | $\overline{a \cdot b} = \bar{r}$ | Q |
|-----|-----|---------------------|----------------------------------|-----|
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Expression $N = \overline{a + b}$



| a | b | \bar{a} | \bar{b} | $\overline{a + b}$ | N |
|-----|-----|-----------|-----------|--------------------|-----|
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Nous constatons que pour le même état des variables d'entrée a et b , on obtient la même valeur pour les sorties N et Q .

Conclusion : $Q = N \quad \overline{a \cdot b} = \overline{a + b}$.

Remarque : Pour appliquer de façon pratique les théorèmes de De Morgan, il suffit de changer les signes qui relient entre elles les variables et de prendre le complément de ces variables.

RÉCAPITULATION DES PRINCIPALES PROPRIÉTÉS DES EXPRESSIONS LOGIQUES

| | | |
|-------------|-----------------|--|
| $a + a = a$ | $a \cdot a = a$ | $a + \bar{a} = 1$ |
| $a + 1 = 1$ | $a \cdot 1 = a$ | $a \cdot \bar{a} = 0$ |
| $1 + 1 = 1$ | $1 \cdot 1 = 1$ | $\overline{\bar{a}} = a$ |
| $a + 0 = a$ | $a \cdot 0 = 0$ | $\overline{a \cdot b} = \bar{a} + \bar{b}$ |
| $1 + 0 = 1$ | $1 \cdot 0 = 0$ | $\overline{\bar{a} + \bar{b}} = a \cdot b$ |

OPÉRATIONS SUR LES ÉQUATIONS LOGIQUES MÉTHODE ALGÈBRE

5 B 01

Les fonctions logiques et les diverses opérations que l'on peut effectuer sur elles, peuvent se traiter d'une façon purement algébrique.

Pour cela considérons comme axiome les principales propriétés des expressions logiques déjà vues, ainsi que quelques autres également évidentes.

(Axiome : proposition acceptée comme vraie sans démonstration.)

Propriétés de la somme logique et du produit logique

| | | |
|--------------------|-----------------------------|---|
| IDEMPOTENCE : | $a + a = a$ | $a \cdot a = a$ |
| ÉLÉMENTS NEUTRES : | $a + 0 = a$ | $a \cdot 1 = a$ |
| COMPLÉMENTATION : | $a + \bar{a} = 1$ | $a \cdot \bar{a} = 0$ |
| COMMUTATIVITÉ : | $a + b = b + a$ | $a \cdot b = b \cdot a$ |
| ASSOCIATIVITÉ : | $(a + b) + c = a + (b + c)$ | $(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c)$ |

Autres propriétés

DISTRIBUTIVITÉ

Produit logique : $a(b + c) = a \cdot b + a \cdot c$.

Somme logique : $a + (b \cdot c) = (a + b)(a + c)$.

Démonstration de la distributivité de la somme logique :

$a + (b \cdot c) = (a + b)(a + c)$ à démontrer.

Développons le 2^e membre :

$$\begin{aligned} (a + b)(a + c) &= aa + ac + ab + bc \\ a \cdot a = a & \qquad \qquad \qquad = a + ac + ab + bc. \\ \text{Mettons en facteurs :} & \qquad \qquad \qquad = a(1 + c + b) + bc. \end{aligned}$$

La somme entre parenthèses possède le chiffre 1. Quelles que soient les valeurs de b et c . Cette somme sera toujours égale à 1.

$$(a + b)(a + c) = a + bc \quad \text{c. q. f. d.}$$

THÉORÈME DE DE MORGAN

Le complément d'une somme logique est égal au produit logique des compléments de chaque terme de cette somme :

$$\overline{a + b} = \bar{a} \cdot \bar{b}.$$

Démonstration : Soit $(a + b)$ la somme logique (a, b , appartenant à une fonction F). Si $(\bar{a} \cdot \bar{b})$ est le complément de $(a + b)$, on doit avoir : somme logique de ces 2 membres égale 1.

$$(a + b) + \bar{a} \bar{b} = ?$$

$$\begin{aligned} \text{Distributivité de la somme logique} & \qquad \qquad \qquad = (a + b + \bar{a})(a + b + \bar{b}) \\ a + \bar{a} = 1; \quad b + \bar{b} = 1 & \qquad \qquad \qquad = (1 + b)(1 + a) \\ (a + b) + \bar{a} \bar{b} &= 1 \quad \text{c. q. f. d.} \end{aligned}$$

Simplification de certaines expressions

Soit l'expression $(a + b)a$.

Développons : $(a + b)a = aa + ab$.

$aa = a$ $= a + ab$.

$(1 + b) = 1$ $= a(1 + b)$.

$(a + b)a = a$.

OPÉRATIONS SUR LES ÉQUATIONS LOGIQUES MÉTHODE ALGÈBRIQUE

5 B 02

Simplification de certaines expressions (suite)

Soit l'expression : $a + \bar{a}b$.

Développons

$$\begin{aligned} a + \bar{a}b &= (a + \bar{a})(a + b) \\ &= (1)(a + b) \\ a + \bar{a}b &= a + b. \end{aligned}$$

Soit l'expression : $ab + bc + a\bar{c}$.

Multiplions le 1^{er} membre de cette expression par $(c + \bar{c})$ qui vaut toujours 1. Cela nous permettra une mise en facteur commun.

$$\begin{aligned} ab + bc + a\bar{c} &= ab(c + \bar{c}) + bc + a\bar{c} \\ &= abc + ab\bar{c} + bc + a\bar{c} \\ &= bc(a + 1) + a\bar{c}(b + 1) \\ ab + bc + a\bar{c} &= bc + a\bar{c}. \end{aligned}$$

Différentes formes d'écriture des expressions logiques

Définition :

Minterme : On appelle minterme (contraction des mots anglais « minimal term ») l'une quelconque des 2^n intersections des n parties ou de leur complémentaire d'un ensemble référentiel.

Exemple : Référentiel E , et a, b, c parties de E .

Il y aura $2^3 = 8$ mintermes tels que $\bar{a}\bar{b}\bar{c}$, $\bar{a}bc$, $a\bar{b}\bar{c}$, etc.

Écriture, Forme I : Fonction $F = \bar{a}\bar{b}\bar{c} + \bar{a}bc + abc$.

Cette fonction vaut 1 pour chacun des mintermes définis ci-dessus. Si cette expression est sans ambiguïté, il y a toutefois risque d'erreur par oubli d'une barre.

Écriture, Forme II : même fonction $F = \bar{a}\bar{b}\bar{c} + \bar{a}bc + abc$.

On écrit $F = f(a, b, c) = 000 + 011 + 111$
 $= \Sigma(000, 011, 111)$.

On a affecté chaque variable du minterme de la valeur 1 pour a et 0 pour \bar{a} . De même pour b et \bar{b} , c et \bar{c} .

Attention : L'ordre des variables est le même pour tous les mintermes. Il doit être connu avec précision.

Écriture, Forme III : même fonction $F = \bar{a}\bar{b}\bar{c} + \bar{a}bc + abc$.

| a | b | c | F | Ordre des mintermes |
|---|---|---|---|---------------------|
| 0 | 0 | 0 | 1 | m_0 ← |
| 0 | 0 | 1 | 0 | m_1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | m_2 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | m_3 ← |
| 1 | 0 | 0 | 0 | m_4 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | m_5 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | m_6 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | m_7 ← |

On écrit $F = m_0 + m_3 + m_7$
 $F = m(0, 3, 7)$.

Dans une table de vérité utilisant le code binaire pur pour indiquer le changement d'état des variables, on fait apparaître les mintermes qui donnent la valeur 1 à la fonction.

Attention : L'ordre des variables et le code doivent être connus avec précision.

RECTANGLES DE KARNAUGH : GÉNÉRALITÉS APPLICATIONS AUX CIRCUITS

5 B 03

La simplification des expressions logiques peut donc se faire en utilisant les règles de l'algèbre de Boole vues précédemment. Toutefois ces méthodes algébriques ne sont pas toujours évidentes.

La méthode des tableaux de Karnaugh qui permet de représenter une fonction sous forme géométrique est d'un emploi plus commode lorsque le nombre des variables n'est pas trop important.

PRINCIPE DE LA MÉTHODE

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 0 | a | 1 |
| 0 | 1 | 2 | |
| 1 | 3 | 4 | |

Les variables sont placées dans un tableau de 2^n cases (n étant le nombre de variables), de façon à ce que chaque case représente une des 2^n combinaisons possibles de ces variables.

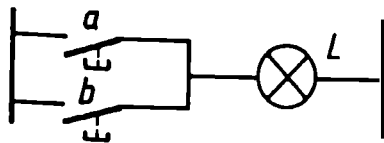
Exemple : 2 variables $\rightarrow 2^2$ cases soit 4 cases.

Avec deux variables on a donc 4 combinaisons possibles qui sont toutes représentées dans le tableau.

Case 1 = $\bar{a}\bar{b}$ ($a = 0, b = 0$) etc.

JONCTION (OU CIRCUIT) A DEUX VARIABLES

Représentation d'une fonction OU



Soit l'équation $L = a + b$,
(schéma ci-contre).

Nous allons tracer le référentiel et marquer :

1 : Dans les cases qui ferment le circuit, c'est-à-dire qui donnent la valeur 1 à L .

0 : Dans les cases pour lesquelles L vaut 0.

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|-----------|---|---|---|-----------|---|---|-------------|
| | 0 | a | 1 | | 0 | a | 1 | | 0 | a | 1 |
| 0 | 0 | 1 | | affichage | 0 | 0 | | affichage | 0 | 1 | |
| 1 | 0 | 1 | | de a | 1 | 1 | | de b | 1 | 1 | |
| | | | | | | | | | | | fonction |
| | | | | | | | | | | | $L = a + b$ |

Conclusion : Le schéma, l'équation et le diagramme figuratif repéré L , expriment la même relation logique.

Recherche d'une fonction d'après un diagramme figuratif

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 0 | a | 1 |
| 0 | 1 | 1 | |
| 1 | 1 | 0 | |

Soit le diagramme de gauche dont on cherche l'équation.

Nous allons grouper les cases repérées 1 par deux de façon à obtenir la figure de droite.

Le résultat est immédiat : $N = a + b$.

Nous avons utilisé 2 fois la première case, mais nous savons que $1 + 1 = 1$.

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 0 | a | 1 |
| 0 | 1 | 1 | |
| 1 | 1 | 0 | |

APPLICATION DES RECTANGLES DE KARNAUGH AUX CIRCUITS

5 B 04

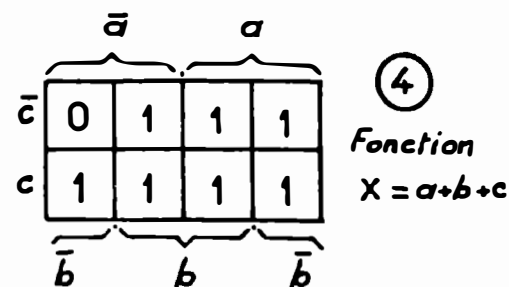
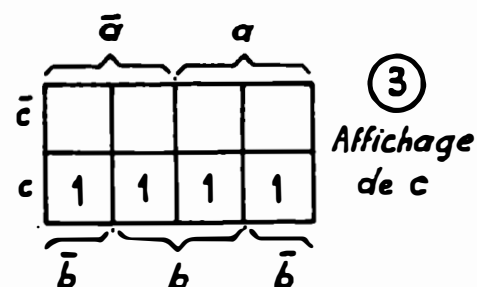
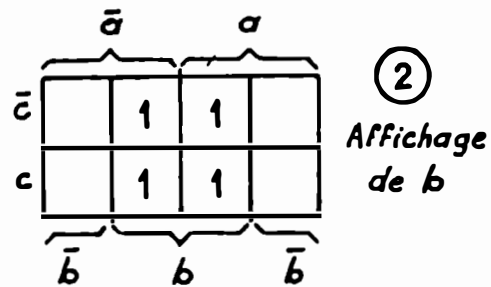
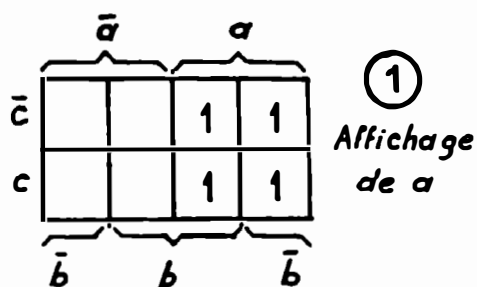
FONCTION (OU CIRCUIT) A 3 VARIABLES

Représentation de la fonction $X = a + b + c$

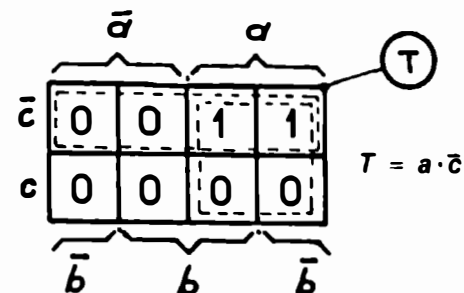
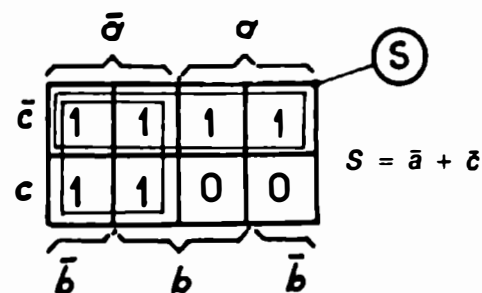
Le nombre de combinaisons possibles, donné dans le tableau ci-contre, est de 8.

Il nous faut donc tracer un tableau à 8 cases.

| | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| b | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| c | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |



Recherche d'une fonction d'après un diagramme à 3 variables



Nous constatons que nous avons l'union de 2 groupements (\bar{a} , \bar{c}).

Nous constatons que nous avons l'intersection de 2 groupements (a , \bar{c}).

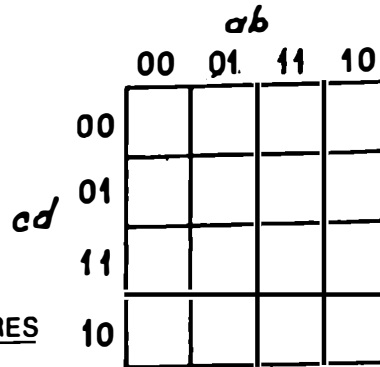
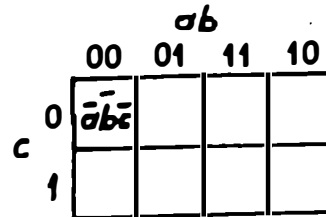
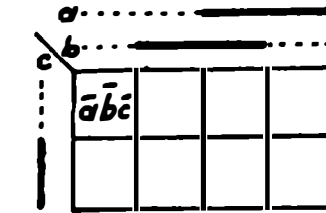
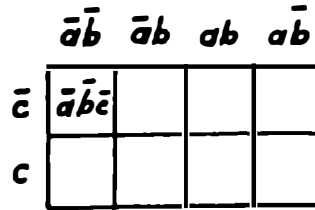
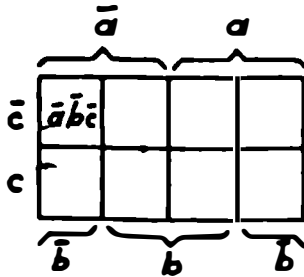
Remarque : Pour avoir des solutions simples, il faut grouper 2, 4 ou 8 cases adjacentes.

Les cases adjacentes sont celles qui ne diffèrent que par le changement d'état d'une seule variable.

RECTANGLES DE KARNAUGH REPRÉSENTATION DES RÉFÉRENTIELS

5 B 05

On adopte une des dispositions ci-dessous.



Remarque : Dans tous les exemples donnés, les cases qui occupent la même place ont évidemment la même valeur.

Dans les exemples ci-contre la suite des nombres affichés respecte le code binaire réfléchi.

Pour passer d'une case à la case adjacente une seule variable change.

TABLEAU DES VALEURS DÉCIMALES ET BINAIRES
CORRESPONDANTES

Dans le code binaire réfléchi on remarquera que les mêmes valeurs apparaissent périodiquement avec symétrie (se reporter aux deux colonnes de droite).

Lorsque l'on utilise le code binaire réfléchi et que l'on considère 2 nombres qui se suivent on constate que pour passer de l'un à l'autre il n'y a changement que d'un seul chiffre.

Alors que dans le code binaire normal, il y a parfois changement de plusieurs chiffres entre deux nombres binaires qui se suivent.

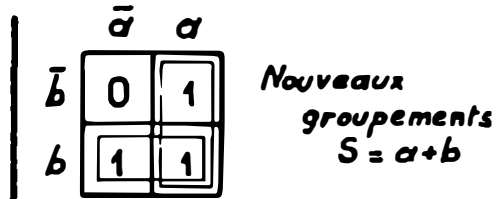
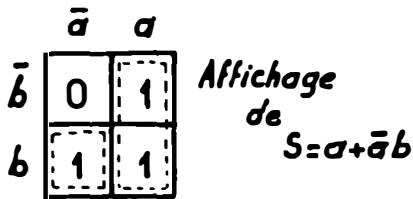
| <i>binaire réfléchi</i> | <i>binaire</i> | <i>décimal</i> |
|-------------------------|----------------|----------------|
| 0 0 0 0 | 0 0 0 0 | 0 |
| 0 0 0 1 | 0 0 0 1 | 1 |
| 0 0 1 1 | 0 0 1 0 | 2 |
| 0 0 1 0 | 0 0 1 1 | 3 |
| 0 1 1 0 | 0 1 0 0 | 4 |
| 0 1 1 1 | 0 1 0 1 | 5 |
| 0 1 0 1 | 0 1 1 0 | 6 |
| 0 1 0 0 | 0 1 1 1 | 7 |
| 1 1 0 0 | 1 0 0 0 | 8 |
| 1 1 0 1 | 1 0 0 1 | 9 |
| 1 1 1 1 | 1 0 1 0 | 10 |
| 1 1 1 0 | 1 0 1 1 | 11 |
| 1 0 1 0 | 1 1 0 0 | 12 |
| 1 0 1 1 | 1 1 0 1 | 13 |
| 1 0 0 1 | 1 1 1 0 | 14 |
| 1 0 0 0 | 1 1 1 1 | 15 |

UTILISATION DES RECTANGLES DE KARNAUGH
OPÉRATIONS SUR LES ÉQUATIONS LOGIQUES

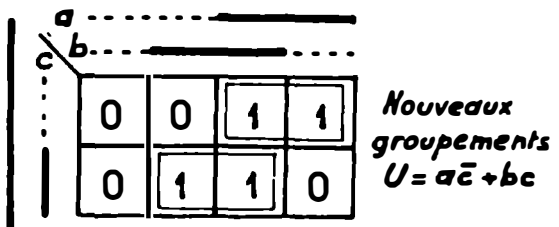
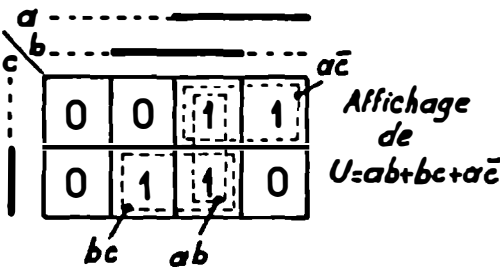
5 B 06

SIMPLIFICATION DE CERTAINES EXPRESSIONS

Expression $S = a + \bar{a}b$



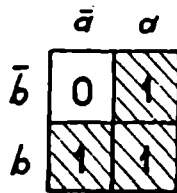
Expression $U = ab + bc + a\bar{c}$



DÉMONSTRATION DES THÉORÈMES DE DE MORGAN

Dans un rectangle de Karnaugh tout ce qui réalise la fonction est affiché 1. Tout ce qui ne réalise pas la fonction c'est-à-dire le complément est alors représenté par les autres cases (ou on affiche 0 dans les exemples qui suivent).

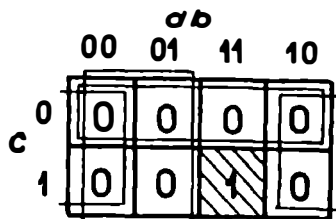
Soit l'expression $V = a + b$



Nous affichons cette expression dans un tableau à 4 cases : $V = a + b$ (partie hachurée).

La partie non hachurée est \bar{V}
 $\bar{V} = \bar{a}\bar{b}$.

Soit l'expression $W = a \cdot b \cdot c$



$W = abc$ (partie hachurée).

\bar{W} est donné par le groupement des 0 (partie non hachurée)

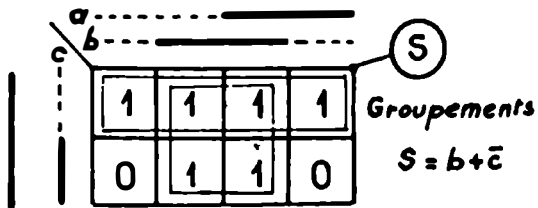
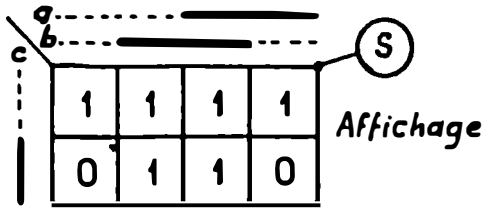
$\bar{W} = \bar{a} + \bar{b} + \bar{c}$.

Remarquer dans ce cas le groupement \bar{b} qui occupe également 4 cases adjacentes.

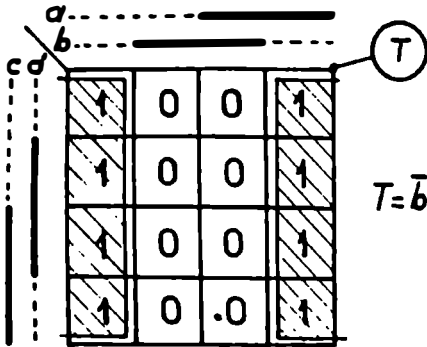
UTILISATION DES RECTANGLES DE KARNAUGH
RECHERCHE D'ÉQUATION LOGIQUE D'APRÈS UN DIAGRAMME

5 B 07

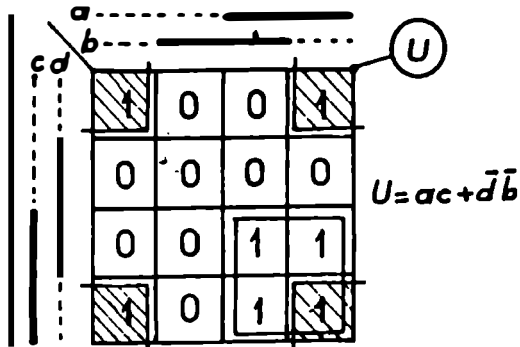
1^{er} exemple



2^e exemple



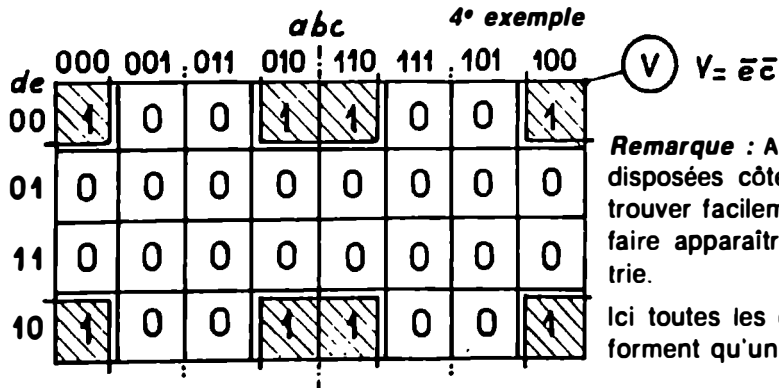
3^e exemple



Les cases groupées (hachurées pour faciliter la compréhension) sont également des cases « adjacentes » (la figure se refermant sur elle-même).

Entre 2 de ces cases « adjacentes » une seule variable change d'état.

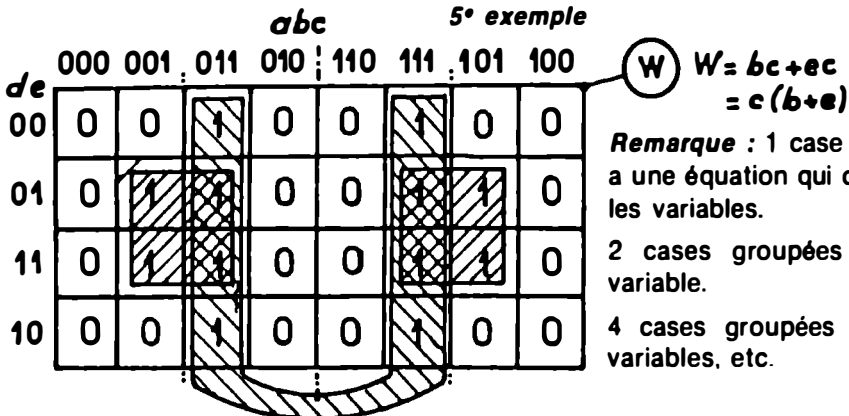
4^e exemple



Remarque : A partir de 3 variables disposées côte à côte il faut pour trouver facilement les groupements faire apparaître les axes de symétrie.

Ici toutes les cases marquées 1 ne forment qu'un groupement.

5^e exemple



Remarque : 1 case prise isolément a une équation qui comporte toutes les variables.

2 cases groupées éliminent une variable.

4 cases groupées éliminent deux variables, etc.

OPÉRATEURS LOGIQUES BINAIRES GÉNÉRALITÉS - SYMBOLES

5 C 01

Les opérateurs logiques binaires sont des blocs d'éléments statiques électriques réalisés à l'aide.

1. De composants discrets, c'est-à-dire d'éléments isolés (transistors - diodes - résistances). Ce type de technologie disparaît actuellement.

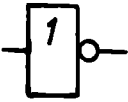
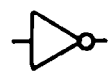
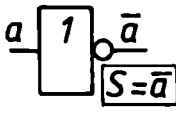
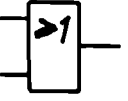
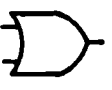
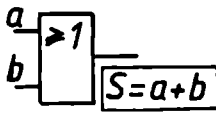
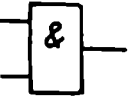
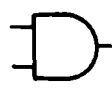
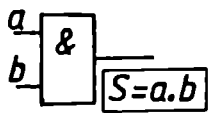
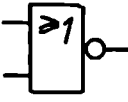
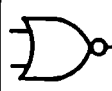
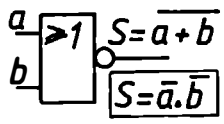
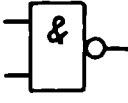
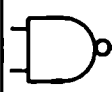
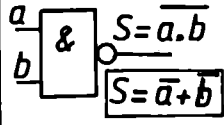
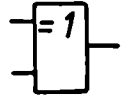

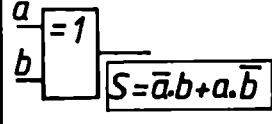
2. De circuits intégrés, c'est-à-dire de blocs compacts, qui réalisent par modification partielle de leur structure interne (substrat) directement les différentes fonctions. Cette technologie actuelle de plus en plus performante, se caractérise notamment par des tensions de fonctionnement très basses (environ 5 V courant continu).

Les énergies mises en jeu dans ces circuits sont très faibles. On doit donc nécessairement amplifier la sortie pour l'utilisation.

Rappel : Les variables binaires ne peuvent prendre que 2 états logiques : 0 à 1.

Symboles pour opérateurs logiques binaires : D'après norme NF C03212

| SYMBOLES | DÉSIGNATION |
|----------|--|
| | <i>Opérateur logique</i> : Symbole général. |
| | <i>Logique positive</i> : L'état logique 1 correspond au niveau le plus positif. Aucune annotation ; aucun symbole complémentaire. |
| | <i>Logique négative</i> : L'état logique 1 correspond au niveau le moins positif. On peut utiliser le symbole suivant : 1. Entrée opérateur. 2. Sortie opérateur. |
| | <i>Négation logique</i> : 1. Sur entrée. 2. Sur sortie. |
| | <i>Entrée inhibition</i> : L'état 1 à l'entrée inhibition impose l'état 0 à la sortie de l'opérateur quel que soit l'état des autres entrées. L'état 0 à l'entrée inhibition laisse l'opérateur sous la dépendance des autres entrées. |
| | <i>Entrée de validation</i> : L'état 0 à l'entrée de validation impose l'état 0 à la sortie de l'opérateur quel que soit l'état des autres entrées. L'état 1 à l'entrée de validation laisse l'opérateur sous la dépendance des autres entrées. |
| | <i>Entrée statique</i> : C'est une entrée pour laquelle l'état 1 est défini par la présence d'un des 2 niveaux, l'état 0 par la présence de l'autre niveau. Aucun symbole complémentaire n'est nécessaire. |
| | <i>Entrée dynamique</i> : C'est une entrée pour laquelle l'état 1 est défini par la transition d'un des 2 niveaux vers l'autre et non par la présence de l'un quelconque de ces niveaux. 1. L'état 1 est défini par la transition de l'état 0 vers l'état 1. 2. L'état 1 est défini par la transition de l'état 1 vers l'état 0. Les entrées dynamiques sont surtout utilisées pour les bascules. |

| OPÉRATEURS LOGIQUES BINAIRES GÉNÉRALITÉS - SYMBOLES | | | 5 C 02 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|--|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Principaux opérateurs logiques | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SYMBOLES FRANÇAIS | AMÉRICAINS | UTILISATION | DÉSIGNATION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | <i>Fonction NON (PAS)</i> |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | <i>Fonction OU</i> |  <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <thead> <tr><th>a</th><th>b</th><th>S</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> | a | b | S | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | |
| a | b | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | <i>Fonction ET</i> |  <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <thead> <tr><th>a</th><th>b</th><th>S</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> | a | b | S | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | | | | | |
| a | b | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | <i>Fonction NON OU (OU NON) appelée également NOR (contraction des mots anglais NO OR)</i> |  <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <thead> <tr><th>a</th><th>b</th><th>a + b</th><th>S</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> | a | b | a + b | S | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| a | b | a + b | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | <i>Fonction NON ET (ET NON) appelée également NAND (contraction des mots anglais : NO AND).</i> |  <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <thead> <tr><th>a</th><th>b</th><th>a . b</th><th>S</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> | a | b | a . b | S | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| a | b | a . b | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  |  | <i>Fonction OU exclusif</i> La fonction est à l'état 1, si une et seulement une entrée est à l'état 1. |  <table border="1" style="float: right; margin-top: 10px;"> <thead> <tr><th>a</th><th>b</th><th>S</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table> | a | b | S | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | | | |
| a | b | S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

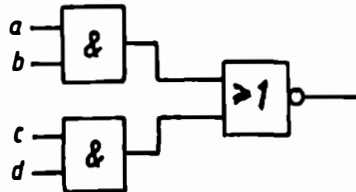
Remarque : Toutes ces fonctions ont été représentées avec deux entrées raccordées chacune à une variable active.
Il existe aussi des opérateurs à 3 ou 4 entrées.

OPÉRATEURS LOGIQUES BINAIRES GÉNÉRALITÉS - SYMBOLES

5 C 03

Certains circuits intégrés proposés par les constructeurs réalisent des associations de plusieurs fonctions. Ceci permet d'obtenir des opérations plus complexes avec un nombre de boîtiers plus faible.

Exemple : circuit 7451

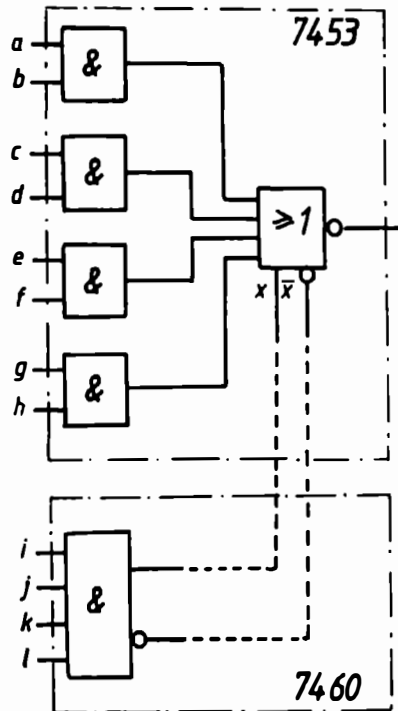


Équation :

$$Y = \overline{ab + cd}$$

D'autres circuits sont prévus pour être associés et reliés par des connexions spéciales dites d'extension.

Exemple : On peut associer un boîtier 7453 avec un boîtier 7460.



Équation :

$$Y = \overline{a.b + c.d + e.f + g.h + X}$$

Avec X sortie éventuelle d'un circuit 7460.

Si le circuit 7460 est relié au boîtier 7453, X vaut alors $i.j.k.l$ donc :

$$Y = \overline{a.b + c.d + e.f + g.h + i.j.k.l}$$

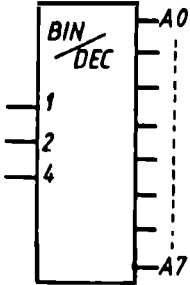
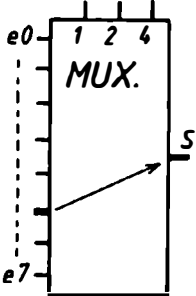
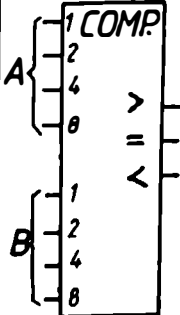
Ces circuits bien qu'assez peu utilisés permettent d'établir des équations avec un grand nombre de variables.

Les exemples ci-dessus sont donnés en technologie T.T.L., on se trouverait des circuits identiques dans d'autres technologies. Ces opérateurs n'ont pas de symbole logique particulier ils sont représentés par leur schéma logique équivalent.

OPÉRATEURS LOGIQUES BINAIRES GÉNÉRALITÉS - SYMBOLES

5 C 04

Opérateurs logiques complexes :

| SYMBOLE (NF CO3 212) | DÉSIGNATION | TABLES DE VÉRITÉ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|------------|----|----|------------|----|----|----|------|----|----|----|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | <p>Décodeurs :</p> <p>Permet de transcrire un code binaire en décimal. La sortie $A(i)$ correspondante à la valeur décimale est à 1, les autres à 0. Il existe de nombreux autres décodeurs.</p> | <table border="1" style="border-collapse: collapse; font-family: monospace;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">4</th> <th style="padding: 2px;">2</th> <th style="padding: 2px;">1</th> <th style="padding: 2px;">A0</th> <th style="padding: 2px;">A1</th> <th style="padding: 2px;">A2</th> <th style="padding: 2px;">A3</th> <th style="padding: 2px;">A4</th> <th style="padding: 2px;">A5</th> <th style="padding: 2px;">A6</th> <th style="padding: 2px;">A7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> | 4 | 2 | 1 | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 4 | 2 | 1 | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | <p>Multiplexeurs :</p> <p>Permet de transférer le signal $e(i)$ sur la sortie S. $e(i)$ est définie par le code binaire appliqué sur les entrées 1, 2, 4.</p> <p><u>Ex :</u> Ici multiplexeur 8 vers 1 soit 1 = 1 ; 2 = 0 ; 4 = 1 $\Rightarrow i = 5$ si $e5 = 1$ $S = 1$ si $e5 = 0$ $S = 0$.</p> | <table border="1" style="border-collapse: collapse; font-family: monospace;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">4</th> <th style="padding: 2px;">2</th> <th style="padding: 2px;">1</th> <th style="padding: 2px;">$S = e(i)$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>$e0$</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>$e1$</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>$e2$</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>$e3$</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>$e4$</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>$e5$</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>$e6$</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>$e7$</td></tr> </tbody> </table> | 4 | 2 | 1 | $S = e(i)$ | 0 | 0 | 0 | $e0$ | 0 | 0 | 1 | $e1$ | 0 | 1 | 0 | $e2$ | 0 | 1 | 1 | $e3$ | 1 | 0 | 0 | $e4$ | 1 | 0 | 1 | $e5$ | 1 | 1 | 0 | $e6$ | 1 | 1 | 1 | $e7$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 2 | 1 | $S = e(i)$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | $e0$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 1 | $e1$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 0 | $e2$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 1 | $e3$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | $e4$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 1 | $e5$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 0 | $e6$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 1 | $e7$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | <p>Comparateur :</p> <p>La sortie $>$ est à 1 si $A > B$ La sortie $<$ est à 1 si $A < B$ La sortie $=$ est à 1 si $A = B$.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Seuls quelques circuits sont ici représentés, il en existe beaucoup d'autres tels que Encodeurs, Démultiplexeurs, Mémoires etc...

Remarques : Les circuits représentés ci-dessus ne sont pas forcément complets, ils peuvent avoir des entrées supplémentaires de verrouillage (notamment sur les multiplexeurs) et de liaison (sur les comparateurs). Le lecteur se reportera aux documents constructeur pour l'utilisation de ces circuits.

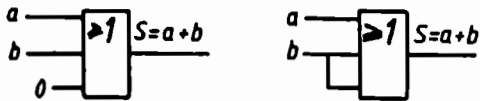
OPÉRATEURS LOGIQUES BINAIRES PROPRIÉTÉS PARTICULIÈRES A CERTAINS OPÉRATEURS

5 C 05

Opérateurs logiques à plus de 2 entrées : Cas particuliers

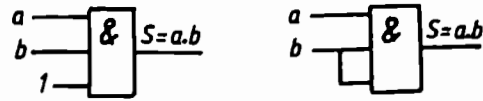
Si un opérateur logique binaire a plus d'entrées qu'il ne reçoit de variables actives, on réalise les couplages ci-dessous.

POUR OPÉRATEURS OU (et \overline{OU})



La, ou les variables inoccupées sont mises à l'état logique 0 ou réunies à une variable active.

POUR OPÉRATEURS ET (et \overline{ET})

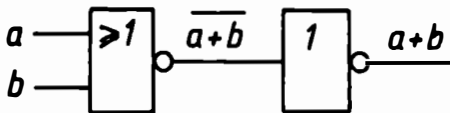


La ou les variables inoccupées sont mises à l'état logique 1 ou réunies à une variable active.

Propriétés particulières à certaines opérations logiques

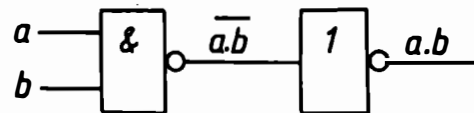
TRANSFORMATION D'UN \overline{OU} EN OU

Soient a et b les entrées.
A la sortie l'opérateur \overline{OU} donne $S = \overline{a + b}$.
Pour avoir $a + b$, il suffit donc de prendre le complément de la sortie.



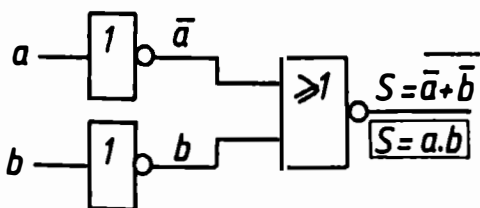
TRANSFORMATION D'UN \overline{ET} EN ET

Soient a et b les entrées.
A la sortie l'opérateur \overline{ET} donne $S = \overline{a \cdot b}$.
Pour avoir $a \cdot b$, il suffit donc de prendre le complément de la sortie.



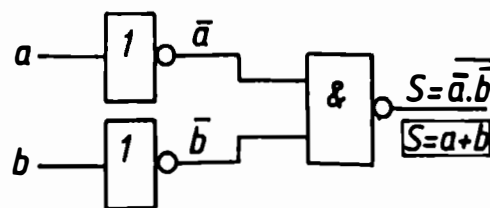
TRANSFORMATION D'UN \overline{OU} EN ET

Soient a et b les entrées.
A la sortie l'opérateur \overline{OU} donne $S = \overline{a + b}$
qui vaut également (th. de de Morgan)
 $S = \overline{a + b} = \overline{a} \cdot \overline{b}$.
Soient \overline{a} et \overline{b} les entrées.
Il vient $S = \overline{a} \cdot \overline{b} = a + b$.



TRANSFORMATION D'UN \overline{ET} EN OU

Soient a et b les entrées.
A la sortie l'opérateur \overline{ET} donne
 $S = \overline{a \cdot b}$
qui vaut également (th de de Morgan)
 $S = \overline{a \cdot b} = \overline{a} + \overline{b}$.
Soient \overline{a} et \overline{b} les entrées.
Il vient $S = \overline{a} + \overline{b} = a + b$.



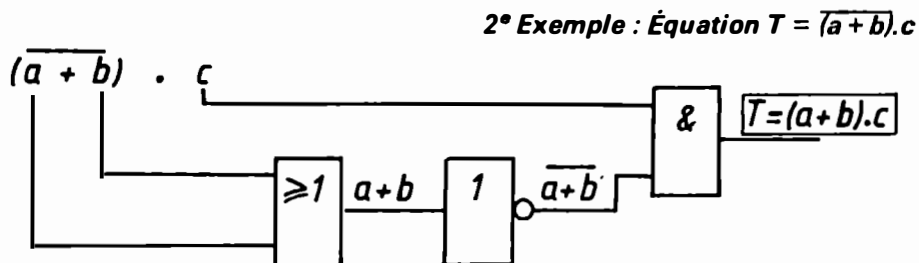
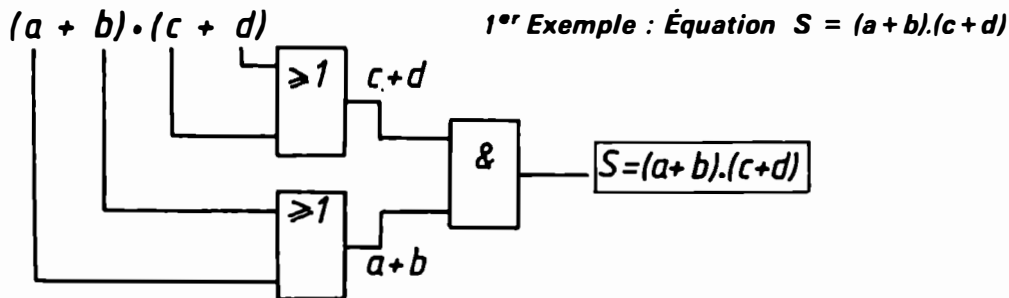
OPÉRATEURS LOGIQUES : ÉTABLISSEMENT DES SCHÉMAS AVEC UN OU PLUSIEURS TYPES D'OPÉRATEURS LOGIQUES

5 C 06

Utilisation de plusieurs types d'opérateurs logiques

UTILISATION D'OPÉRATEURS ET, OU, PAS

On part de l'équation. Chaque fonction nécessite un opérateur logique.



Utilisation d'un seul type d'opérateur logique

Les opérateurs logiques binaires $\overline{\text{ET}}$ et $\overline{\text{OU}}$ qui peuvent réaliser toutes les fonctions de base sont dits universels.

On peut réaliser un schéma complet en utilisant un seul type de ces opérateurs.

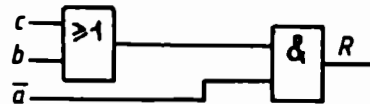
Remarque : Pour réaliser une fonction PAS on utilise la solution ci-contre.



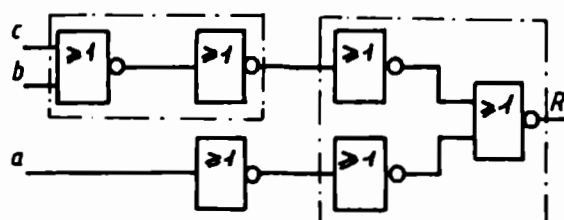
Première méthode

ÉTABLISSEMENT D'UN SCHÉMA AVEC DES $\overline{\text{OU}}$: Exemple : Equation $R = \overline{a} (b + c)$

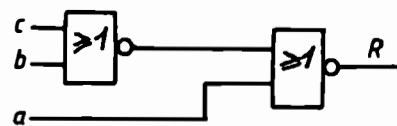
1. On trace le schéma avec des opérateurs ET, OU, PAS.



2. On remplace les fonctions ET, OU par leur équivalent.



3. On simplifie : en se rappelant que $\overline{\overline{a}} = a$



Remarque : On procéderait de la même façon avec des $\overline{\text{ET}}$.

OPÉRATEURS LOGIQUES : ÉTABLISSEMENT DES SCHÉMAS AVEC UN TYPE UNIQUE D'OPÉRATEUR LOGIQUE

5 C 07

Deuxième méthode

ÉTABLISSEMENT D'UN SCHÉMA AVEC DES FONCTIONS NAND

On part de l'équation exprimée sous forme de produit logique lorsqu'il s'agit de réalisation avec des NOR.

On part de l'équation exprimée sous forme de somme logique lorsqu'il s'agit de réalisation avec des NAND.

1^{er} EXEMPLE : AVEC DES NAND

Équation : $S = \bar{a}(m + b)$

Transformer l'équation en une somme logique.

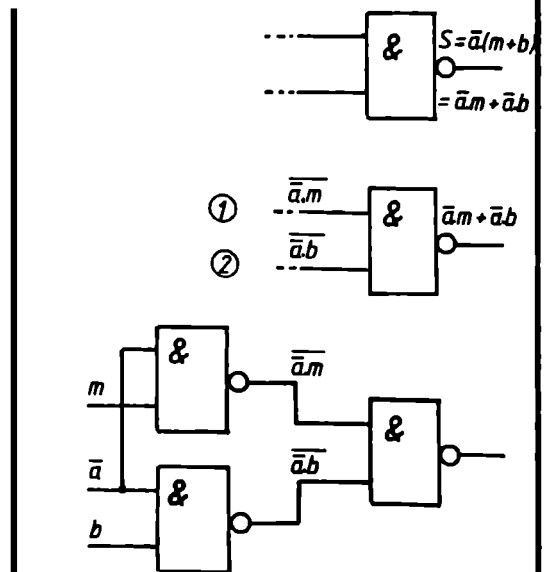
$$\bar{S} = \overline{\bar{a}.m} + \overline{\bar{a}.b}$$

Complémenter la sortie.

$$S = \bar{a}.m \cdot \bar{a}.b$$

⇒ entrées 1 2

$\bar{a}.m$ et $\bar{a}.b$ sont des produits complémentés réalisés directement avec des NAND.



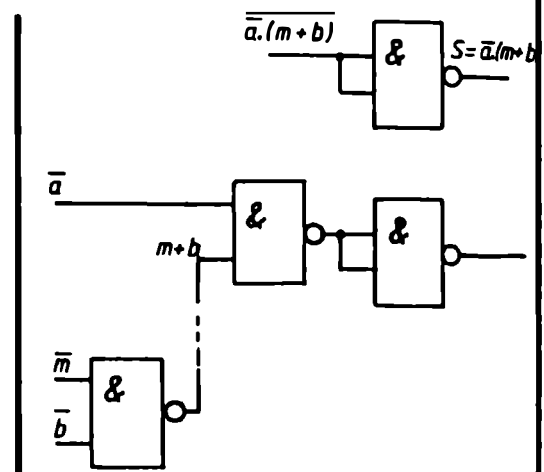
Autre solution

Laisser l'expression sous forme de produit et compléter pour obtenir une somme logique. Le schéma se termine par une fonction PAS.

Complémenter $m + b$

$$\overline{m + b} = \bar{m} \cdot \bar{b}$$

⇒ entrées \bar{m} et \bar{b} .



Exercice : A titre d'exercice le lecteur pourra traiter le même exemple avec des fonctions NOR.

OPÉRATEURS LOGIQUES : ÉTABLISSEMENT DES SCHÉMAS AVEC UN TYPE UNIQUE D'OPÉRATEUR LOGIQUE

5 C 08

Troisième méthode

— On exprime les équations sous forme telles qu'elles soient exprimées uniquement avec des \overline{OU} lorsque l'on veut utiliser les \overline{OU} — ou avec des \overline{ET} lorsque l'on veut utiliser des \overline{ET} .

— Pour cela on applique systématiquement les théorèmes de de Morgan.

— Cette méthode permet de déterminer (en comptant le nombre total de barres) le nombre d'opérateurs logiques binaires nécessaires à la réalisation du schéma sans avoir à dessiner ce dernier.

1^{er} exemple avec seuls \overline{OU} : Équation $R = \bar{a}(m + r)$

$R = \bar{a}(m + r)$ On complémente 2 fois pour ne pas changer la valeur de R .

$R = \overline{\overline{\bar{a}(m + r)}}$ On applique le théorème de de Morgan : une barre disparaît.

$R = \overline{a + (\overline{m + r})}$ On laisse sous cette forme, puisque dans l'expression trouvée on n'a plus que des \overline{OU} (il n'y a dans l'expression que des + couverts par des barres).

2^e exemple avec seuls \overline{OU} : Équation $X = ab + \bar{c}x$

$X = ab + \bar{c}x$ On complémente 2 fois pour ne pas changer la valeur de X .

$X = \overline{\overline{ab + \bar{c}x}}$ On complémente ensuite 2 fois les termes ab et $\bar{c}x$.

$X = \overline{\overline{ab} + \overline{\bar{c}x}}$ On applique le théorème de de Morgan pour avoir une somme logique.

$X = \overline{(\bar{a} + \bar{b}) + (c + \bar{x})}$

Exemple avec opérateurs \overline{ET} . Équation $X = ab + \bar{c}x$

$X = ab + \bar{c}x$ On complémente 2 fois pour ne pas changer la valeur de X .

$X = \overline{\overline{ab + \bar{c}x}}$ On applique le théorème de de Morgan pour changer la somme en produit.

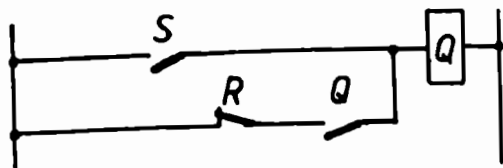
$X = \overline{\overline{ab} \cdot \overline{\bar{c}x}}$ On laisse sous cette forme puisque dans l'expression trouvée on n'a plus que des \overline{ET} .

Le schéma se réalise ensuite à partir des variables et avec les opérateurs choisis. Ainsi pour ce dernier exemple a et b seront les 2 entrées d'un \overline{ET} , \bar{c} et x d'un autre \overline{ET} , etc.

OPÉRATEURS LOGIQUES : INTRODUCTION AUX BASCULES

5 C 09

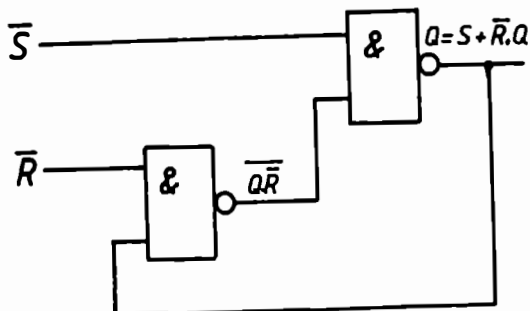
Transformation d'un schéma à contacts en schéma avec opérateurs logiques



$$Q = S + \bar{R}.Q$$

Le schéma développé ci-contre est le schéma d'une mémoire (auto-alimentation) avec priorité à la marche.

On écrit l'équation

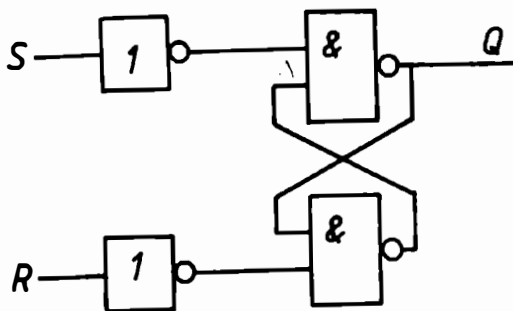


En procédant comme on l'a vu planche 4 C 08, on obtient le schéma ci-contre.

Bascule dite $\bar{R}.\bar{S}$

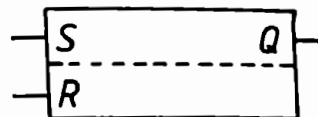
S = Set (Mise à 1)

R = Reset (Mise à 0).

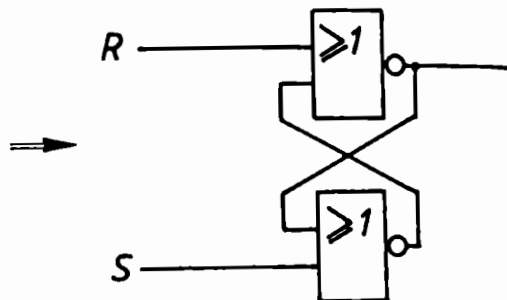
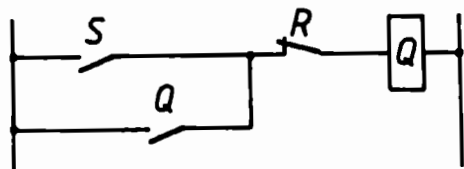


En complétant les entrées on obtient une **Bascule RS** dont la représentation traditionnelle est donnée ci-contre.

Représentation normalisée



Exercice : Suivre le même raisonnement pour réaliser le schéma ci-dessous avec des portes NOR.



OPÉRATEURS LOGIQUES : BASCULE RS

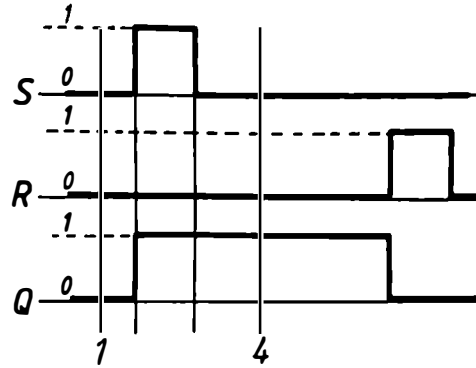
5 C 10

Diagramme, table de vérité

Supposons $R = 1, S = 0$
 $\Rightarrow Q = 0$

Lorsque R revient à 0, la bascule conserve son état.

Le fonctionnement peut être décrit par le *diagramme* ci-contre.



On voit que :

à la phase 1 $R = S = 0$ avec $Q = 0$

à la phase 2 $R = S = 0$ avec $Q = 1$

L'état de sortie ne dépend pas que de l'état des entrées mais aussi de l'état précédent de la sortie.

L'analyse n'est plus combinatoire mais *séquentielle*.

| S | R | Q_n |
|---|---|-----------|
| 0 | 0 | Q_{n-1} |
| 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | X |

Le fonctionnement peut aussi être décrit par la table de vérité ci-dessus où :

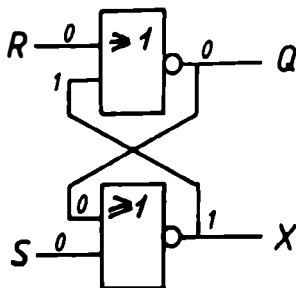
Q_{n-1} représente l'état antérieur de la sortie

Q_n représente l'état de la sortie après application des signaux R ou S .

La configuration d'entrée $R = S = 1$ est à éviter.

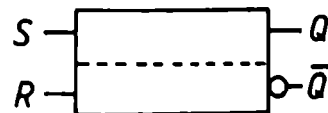
ÉTUDE DE LA BASCULE RS RÉALISÉE AVEC DES PORTES NOR

Si $R = S = 0$ avec $Q = 0 \Rightarrow X = 1$



Si $R = S = 0$ avec $Q = 1 \Rightarrow X = 0$.

X est donc le complément de Q on écrira \bar{Q} .



Si $R = S = 1$, on obtient $Q = \bar{Q} = 0$ ce qui condamne l'utilisation de cette configuration.

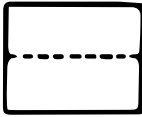
Remarque : On peut faire le même raisonnement avec une bascule RS ou $\bar{R}\bar{S}$ réalisée avec des fonctions NAND.

OPÉRATEURS LOGIQUES : DIFFÉRENTS TYPES DE BASCULES

5 C 11

Bascules bistables

SYMBOLE



DÉSIGNATION

Une bascule bistable est un opérateur binaire qui à 2 états stables : C'est-à-dire que sans action extérieure nouvelle la bascule bistable reste dans l'état ou on l'a amenée conservant ainsi une information en mémoire.

Les sorties de la bascule sont situées à droite du symbole, l'une en dessus, l'autre en dessous de la ligne interrompue.

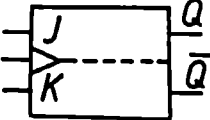
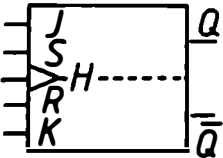
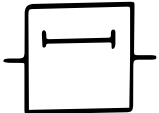
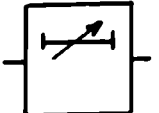
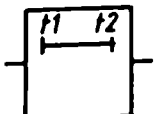
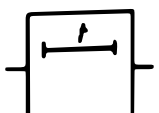
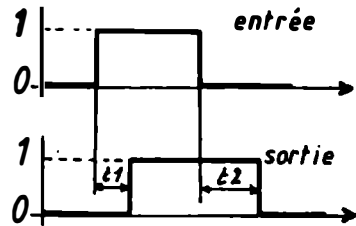
Ces 2 sorties sont en général complémentaires.

Exemples de bascules

| SYMBOLE | DÉSIGNATION | FONCTIONNEMENT | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|---|--|---|---|---|-------------------|---|-----------|---|---|---|---|---|-----------|---|---|---|
| | <p>Bascule bistable D</p> <p>Les 2 sorties sont dans des états complémentaires. Par exemple : Au repos $Q = 0$. Si $D = 1$ et qu'une impulsion d'horloge apparaisse $Q = 1$. Pour que Q revienne à 0, il faut que $D = 0$, et une nouvelle impulsion d'horloge.</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>H</th> <th>D</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>↑</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>↑</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td>Q_{n-1}</td> </tr> </tbody> </table> | H | D | Q | ↑ | 1 | 1 | ↑ | 0 | 0 | 0 | | Q_{n-1} | | | |
| H | D | Q | | | | | | | | | | | | | | | |
| ↑ | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| ↑ | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | | Q_{n-1} | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <p>Bascule bistable RS</p> <p>Quand les 2 entrées sont à l'état 0, les 2 sorties sont dans des états complémentaires. Quand une entrée passe à l'état 1, la sortie qui lui fait face passe à l'état 1, et y reste quand cette même entrée revient à l'état 0. Quand les 2 entrées passent simultanément à l'état 1, le fonctionnement de la bascule n'est pas déterminé.</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>S</th> <th>R</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>Q_{n-1}</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>×</td> </tr> </tbody> </table> | S | R | Q | 0 | 0 | Q_{n-1} | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | × |
| S | R | Q | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | Q_{n-1} | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | × | | | | | | | | | | | | | | | |
| | <p>Bascule bistable à 1 entrée H (ou T)</p> <p>Les sorties sont toujours dans des états complémentaires. Quand l'entrée passe à l'état dynamique 1, les sorties changent d'état. Quand l'entrée revient à 0, les sorties restent dans leur état.</p> <p>Remarque : Cette bascule est très peu utilisée sous cette forme.</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>H</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>↑</td> <td>Changement d'état</td> </tr> </tbody> </table> | H | Q | ↑ | Changement d'état | | | | | | | | | | | |
| H | Q | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ↑ | Changement d'état | | | | | | | | | | | | | | | | |

OPÉRATEURS LOGIQUES - BASCULES - OPÉRATEURS A RETARD

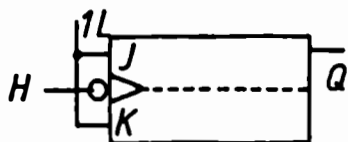
5 C 12

| SYMBOLES | DÉSIGNATION | FONCTIONNEMENT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|-----|-----|-----|-----|---|---|---|-----|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|  | <p>Bascule bistable JK</p> <p>Les sorties sont toujours dans des états complémentaires. Pour qu'une sortie (Q par ex.) passe à l'état 1, il faut que l'entrée qui lui fait face (J dans ce cas) soit à l'état 1 et que le signal d'horloge passe de l'état 0 à l'état 1 (front montant de l'impulsion d'horloge) ou de l'état 1 à l'état 0 (front descendant de l'impulsion). Cette sortie reste dans cet état lorsque le signal d'horloge a disparu et que l'entrée est revenue à 0. Lorsque les 2 entrées J et K sont à l'état 1, les sorties Q et \bar{Q} changent d'état à chaque impulsion d'horloge. Lorsque les 2 entrées J et K sont à l'état 0, les impulsions d'horloge sont sans effet sur les sorties Q et \bar{Q}.</p> | <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>H</th> <th>J</th> <th>K</th> <th>Q</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>Q</td> </tr> <tr> <td>↑</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Q</td> </tr> <tr> <td>↑</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>↑</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>↑</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>*</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">* changement d'état</p> | H | J | K | Q | 0 | X | X | Q | ↑ | 0 | 0 | Q | ↑ | 0 | 1 | 0 | ↑ | 1 | 0 | 1 | ↑ | 1 | 1 | * |
| H | J | K | Q | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | X | X | Q | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ↑ | 0 | 0 | Q | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ↑ | 0 | 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ↑ | 1 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ↑ | 1 | 1 | * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | <p>Bascule JKRS</p> <p>Lorsque les entrées R et S sont à 0, elle fonctionne exactement comme la bascule JK. Quand l'une des entrées R ou S passe à l'état 1, la sortie qui lui fait face passe à 1. Quel que soit l'état des autres entrées.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Opérateurs à retard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SYMBOLES | DÉSIGNATION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | Opérateur à retard : Symbole général. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | Opérateur à <i>retard variable</i> . | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|   | <p>Opérateur à retard avec indication des valeurs de retard. t_1 au passage de 0 à 1 de l'entrée t_2 au passage de 1 à 0 de l'entrée. Lorsque $t_1 = t_2$ on utilise le symbole 2.</p> |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

OPÉRATEURS LOGIQUES APPLICATION AU COMPTAGE

5 C 13

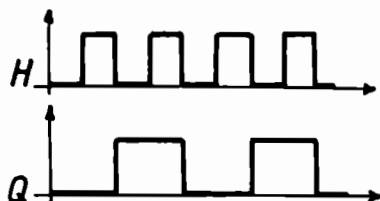
Principe de comptage



Une bascule *J.K* câblée comme ci-contre peut être considérée comme un *diviseur par 2*.

Chaque impulsion envoyée sur *H* provoque le changement d'état de la bascule, l'information de sortie passe donc à 1 toute les 2 informations de l'entrée.

Remarque : Sur cet exemple c'est le front descendant du signal d'horloge qui provoque le changement d'état.



Réalisation d'un compteur

L'association de plusieurs bascules en cascade permet d'obtenir un compteur.

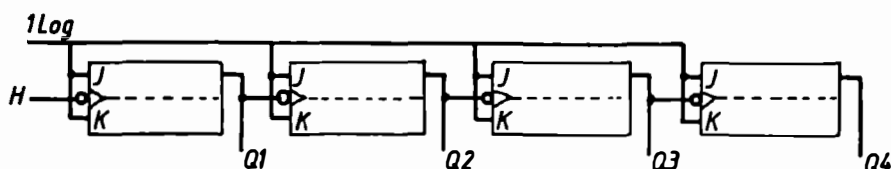
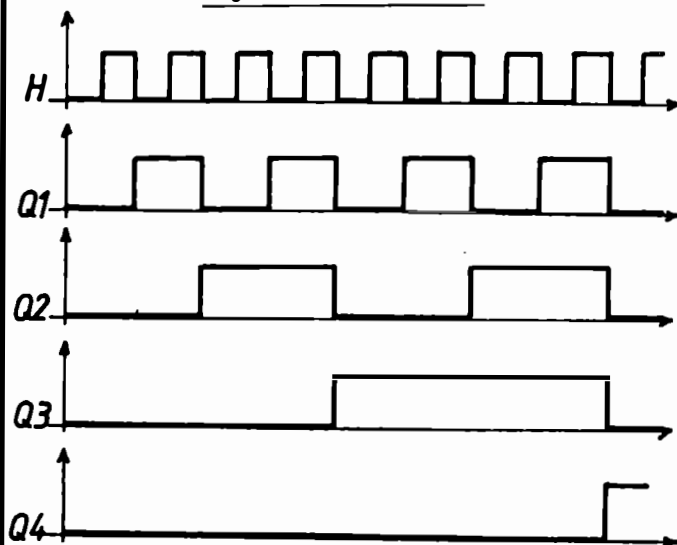


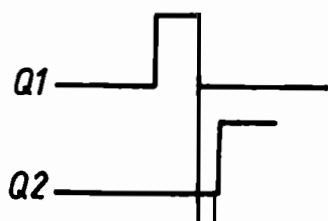
Diagramme de fonctionnement



On peut écrire le tableau des variables de sortie après chaque impulsion :

| | <i>Q1</i> | <i>Q2</i> | <i>Q3</i> | <i>Q4</i> |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| avant 1ère imp. | 0 | 0 | 0 | 0 |
| après 1e imp. | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2e | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3e | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4e | 0 | 1 | 0 | 0 |
| etc. | | | | .. |

On voit que l'on obtient le code binaire naturel, on a donc réalisé un compteur dont les sorties sont codées en binaire.



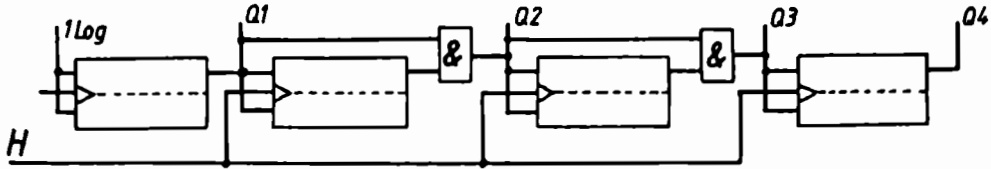
En fait, chaque bascule change d'état avec un certain retard dû au temps de propagation du signal (temps de réponse) des circuits électroniques composants la bascule.

Ce compteur est dit *asynchrone*.

OPÉRATEURS LOGIQUES BINAIRES APPLICATION AU COMPTAGE

5 C 14

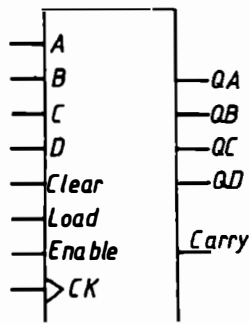
Compteur synchrone



Le résultat est le même que pour le compteur synchrone mais cette fois, les quatre bascules changent d'état en même temps ce qui évite les aléas rencontrés dans les compteurs asynchrones.

Ici le compteur représenté permet un comptage jusqu'à 15. Il existe de nombreux compteurs réalisés en *décade*, c'est-à-dire pour compter jusqu'à 9 ce qui permet de travailler facilement en décimal en associant le compteur à un décodeur.

Décade synchrone avec préselection



Une décade synchrone de comptage est souvent réalisée comme la figure ci-contre.

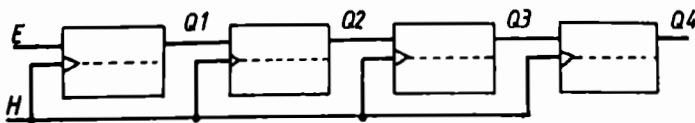
L'entrée *Clear* permet la remise à 0 de toutes les bascules du compteur.

L'entrée *Load* permet de recopier les entrées *A, B, C, D* respectivement sur les sorties *QA, QB, QC, QD* permettant au compteur de commencer à une valeur prédéterminée c'est la *préselection*

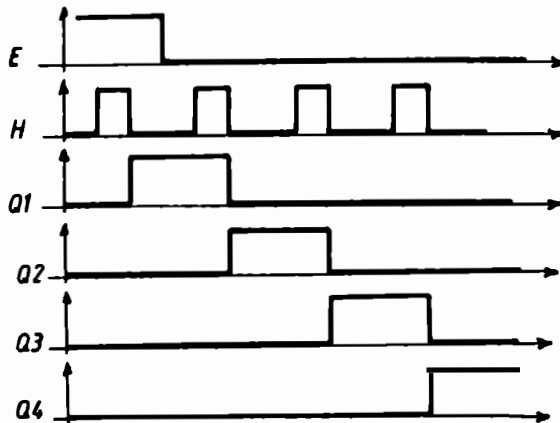
Le signal à compter est appliqué sur *CK*.

Registres :

On appelle registre une mémoire de petite capacité dans laquelle un élément binaire est provisoirement stocké.



Ci-contre : Registre à 4 bascules de type *D* pour mot de 4 informations binaires (4 bits).



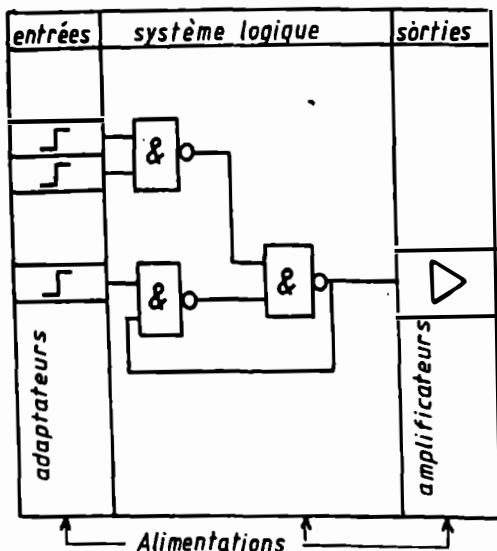
A chaque impulsion d'horloge l'information *E* se déplace dans une mémoire (d'où la qualité d'écriture série).

L'information qui est apparue en *E* est lue au bout de la 4e impulsion (d'où la qualité de lecture série).

APPLICATIONS DES OPÉRATEURS LOGIQUES : LOGIQUE CÂBLÉE

5 C 15

Conception générale d'un circuit logique



La puissance délivrée par les circuits logique est généralement insuffisante pour permettre l'alimentation des opérateurs de sortie.

Il faudra utiliser des *amplificateurs* dont le branchement dépendra de la configuration des circuits utilisés.

Les signaux d'entrée, issus de capteurs ne sont pas toujours compatibles avec le fonctionnement des circuits logiques.

Il faudra utiliser des *adaptateurs d'entrée*, appelés aussi *conformateurs*.

Remarque : Les interfaces d'entrée ou de sortie peuvent nécessiter des alimentations différentes de celle des circuits logiques.

Exemples : systèmes utilisant des circuits TTL

Les circuits *TTL* sont des circuits à logique positive et extraction de courant. Les constructeurs précisent qu'une entrée « en l'air » (non raccordée) équivaut à un 1 Logique, mais il est préférable d'éviter les entrées en l'air.

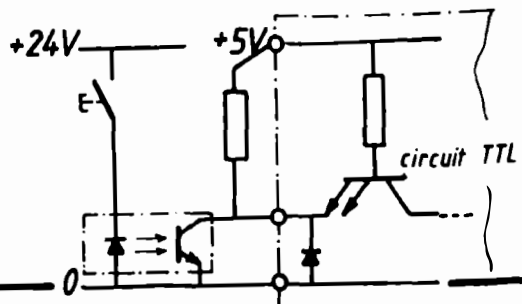
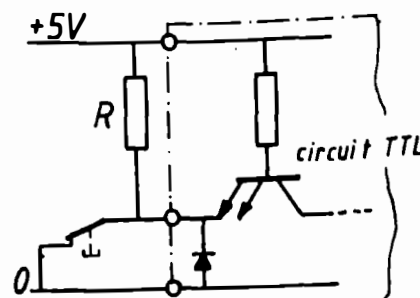
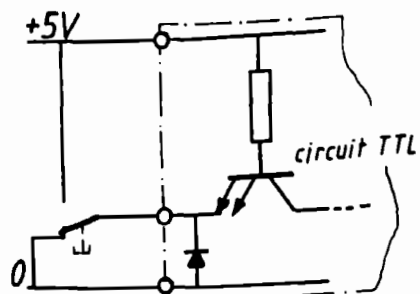
ADAPTATEUR D'ENTRÉE :

On désire que le signal d'entrée vaille 1 lorsque le capteur est actionné. Ci-contre 3 possibilités de raccordement d'un capteur.

Solution 1 : Le capteur est raccordé au 0 logique lorsqu'il n'est pas actionné, au 1 logique lorsqu'il est actionné.

Solution 2 : Le capteur est raccordé au 0 logique quand il n'est pas actionné. Lorsque le capteur est actionné, le 1 logique est transmis par la résistance *R*. Cette solution supprime un conducteur.

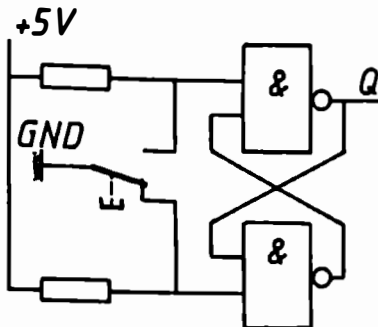
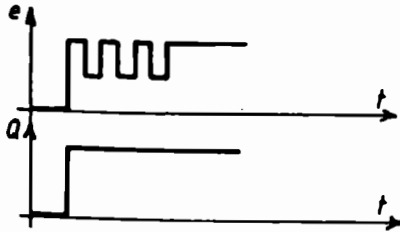
Solution 3 : Utilisation d'un optocoupleur. Cette solution isole le capteur des circuits logiques.



APPLICATIONS DES OPÉRATEURS LOGIQUES : LOGIQUE CÂBLÉE

5 C 16

Dispositif Anti-Rebonds



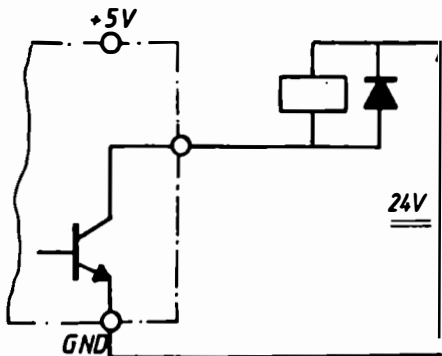
Ci-contre mise sous tension d'un circuit par un contact mécanique. Les micro-coupures qui se produisent sont sans importance dans les circuits à temps de réponse très grand (Relais, contacteurs etc...). Elles sont inacceptables dans les circuits électronique. Dans ce dernier cas il faut prendre en mémoire la 1^{ère} information.

La solution est obtenue avec le montage ci-contre, utilisant 2 fonctions \overline{ET} . Dans ce cas, il n'y a pas de micro-coupure à la sortie Q qui prend et garde la valeur 1 quand on appuie sur le bouton-poussoir.

Bien noter que le rebondissement coupe le circuit entre 0 et \overline{S} , mais en rétablit jamais le circuit entre 0 et \overline{A} .

Remarque : + 5 V état logique 1
0 V état logique 0

Amplificateur de sortie



On utilise généralement des circuits intégrés à collecteur ouvert (ou Buffers) dont la puissance est plus élevée.

Ces circuits permettent en outre d'utiliser des tensions supérieures au 5 V de la logique T.T.L.

Exemple : CI 7406

$I_{C\max} = 40 \text{ mA}$

$V_{CE\max} = 30 \text{ V}$.

Remarque : Pour tous ces montages, il n'est pas tenu compte de l'anti-parasitage (ou immunité).

Exemples : systèmes utilisant de la logique TST 2

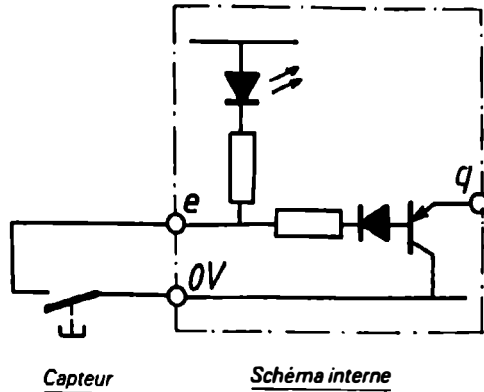
Il s'agit de blocs logiques de la Télémécanique utilisant la convention de logique négative avec émission de courant.

Ici le constructeur prévoit dans sa gamme de produit des adaptateurs d'entrée et de sortie correspondant aux différents types de configurations.

APPLICATIONS DES OPÉRATEURS LOGIQUES : LOGIQUE CÂBLÉE

5 C 17

Adaptateur d'entrée SE2 AD11



FONCTIONNEMENT

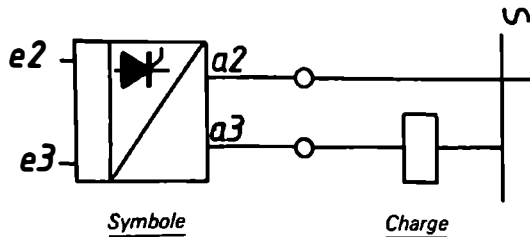
Chacun de ces adaptateurs reproduit intégralement en sortie, le signal d'entrée et permet d'augmenter le débit dans la sortie du capteur qui le commande.

On voit que lorsque le capteur n'est pas actionné, le transistor T est saturé. q est alors au potentiel 0 V = 1 Logique.

Lorsque le capteur est actionné, T est bloqué et q est au potentiel de l'alimentation soit 0 Logique.

La logique est dite à émission de courant car un courant dans le capteur correspond à la mise à 1 Logique de l'information de sortie de l'adaptateur.

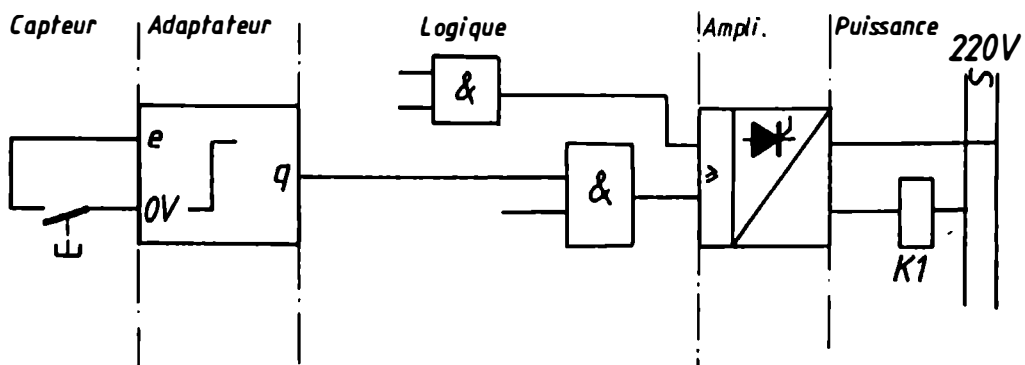
Amplificateur de sortie :



Le bloc de sortie reçoit les signaux de la logique par les entrées $e2$ et $e3$ et le raccordement se fait sur les bornes $a2$ $a3$. La charge est alimentée par une source de tension indépendante.

Exemple :

Raccordement d'un capteur et d'un amplificateur sur un système en logique câblée.



UTILISATION DES RECTANGLES DE KARNAUGH RÉSOLUTION DES PROBLÈMES DE LOGIQUE COMBINATOIRE

5 D 01

Logique combinatoire

On dira d'un automatisme qu'il est de pure combinaison ou de logique combinatoire, lorsqu'il se résoudra avec les seules variables connues c'est-à-dire citées dans l'énoncé du problème.

Exemples

PROBLÈME I

Une perceuse peut fonctionner (c'est-à-dire que l'on peut mettre son moteur sous tension) dans les seuls cas suivants :

1. s'il y a une pièce dans un étau (contrôle par contact a) et si cet étau est serré (contrôle par contact b);
2. s'il n'y a pas de pièces, étau serré ou non.

Solution

| | | | |
|-----|---|-----|---|
| | | a | |
| | | 0 | 1 |
| b | 0 | 1 | 0 |
| | 1 | 1 | 1 |

Nous avons 2 variables connues a et b . Nous allons tracer un tableau de Karnaugh à 4 cases et remplir ces cases d'après le fonctionnement indiqué. (Nous affichons 1, quand pour la case intéressée le système fonctionne.)

Ainsi; Fonctionnement : 1^{re} condition — Action physique sur a et sur b .

2^e condition — Pas d'action physique sur a quel que soit l'état de b .

Pas de fonctionnement : autre case.

Nous réunissons alors les cases affichées 1 pour obtenir les groupements les plus simples qui donnent comme équation logique du fonctionnement

$$P = \bar{a} + b.$$

| | | | |
|-----|---|-----|---|
| | | a | |
| | | 0 | 1 |
| b | 0 | 1 | 0 |
| | 1 | 1 | 1 |

$P = \bar{a} + b$

Remarque : Nous avons affiché les états physiques qui agissent sur chaque variable. Quand nous obtenons pour l'équation finale une valeur telle que b , cela signifie qu'il y a concordance entre l'action physique et l'état électrique de la variable. Il s'agira donc d'un contact ouvert au repos.

Quand on obtient une valeur telle que \bar{a} , cela signifie qu'il y a discordance entre l'action physique et l'état électrique de la variable. Il s'agira donc d'un contact fermé au repos.

Ces règles déjà connues expliquent que, bien que l'on affiche des actions physiques, on obtienne l'équation de l'état électrique d'un circuit.

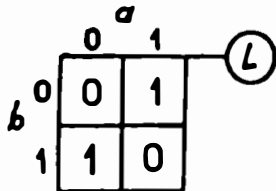
UTILISATION DES RECTANGLES DE KARNAUGH RÉSOLUTION DES PROBLÈMES DE LOGIQUE COMBINATOIRE

5 D 02

PROBLÈME II

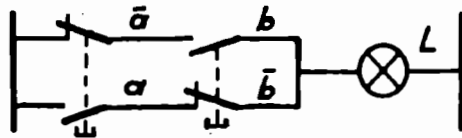
Une lampe éclaire si on agit sur un bouton a ou si on agit sur un bouton b . Elle n'éclaire pas s'il n'y a pas d'action ni sur a ni sur b , ou s'il y a action à la fois sur a et sur b .

Solution

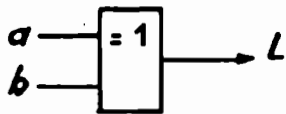


Nous avons deux variables a et b . Nous allons tracer un tableau de Karnaugh à 4 cases et remplir ces cases d'après le fonctionnement indiqué.

Nous constatons qu'il n'y a pas de groupement permettant les simplifications.



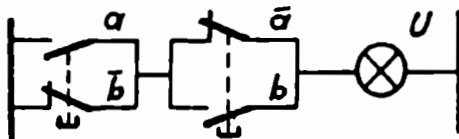
Donc $L = \bar{a}b + a\bar{b}$.
(Schéma ci-contre.)



1^{re} remarque : le fonctionnement que nous venons d'étudier connu sous le nom de montage « va et vient » correspond au **OU exclusif**.

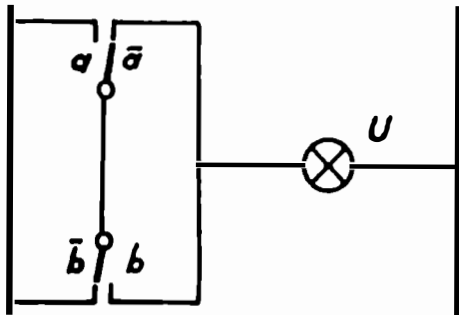
Il existe des opérateurs logiques binaires qui réalisent directement cette fonction (schéma ci-contre).

2^e remarque : un fonctionnement analogue serait obtenu si on posait le problème de la façon suivante : une lampe n'éclaire pas si on agit sur un bouton poussoir a , ou si on agit sur un bouton poussoir b . Elle éclaire s'il n'y a pas d'action ni sur a ni sur b ou s'il y a action à la fois sur a et sur b .



La solution est donnée par le complément de l'équation trouvée ci-dessus.

$$U = \bar{L} = \overline{\bar{a}b + a\bar{b}} = (a + \bar{b})(\bar{a} + b).$$



Nous laissons l'expression sous cette forme et nous traçons le schéma correspondant représenté de deux façons différentes.

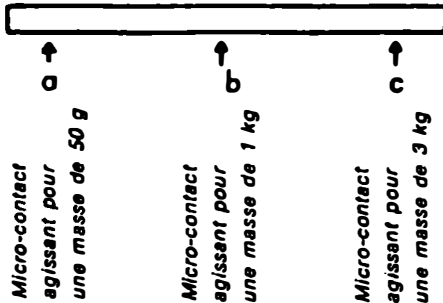
Nous retrouvons (et ceci est beaucoup plus visible sur la 2^e forme de représentation) la 2^e commande pour montage « va et vient ».

UTILISATION DES RECTANGLES DE KARNAUGH PROBLÈMES DE LOGIQUE COMBINATOIRE

5 D 03

PROBLÈME III

Un dispositif élémentaire permettant de trier par pesage les paquets de masse comprise entre 1 et 3 kg comprend un plateau qui agit sur trois micro-contacts.



En l'absence de tout paquet sur le plateau une lampe éclaire.

Dès que l'on pose un paquet, trois cas peuvent se produire :

1. Paquet trop léger : lampe éteinte.
2. Paquet normal : lampe allumée.
3. Paquet trop lourd : lampe éteinte.

Conditions de fonctionnement

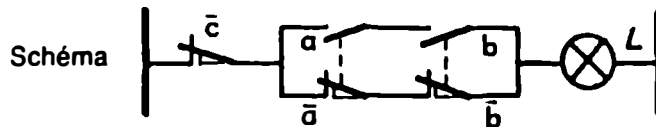
Lampe éclaire : à vide : $\bar{a} \times \bar{b} \times \bar{c} = 1$ (pas d'action sur a , pas d'action sur b , pas d'action sur c).

Lampe éclaire : si la masse est comprise entre 1 et 3 kg : $a \times b \times \bar{c} = 1$ (action sur a , action sur b , pas d'action sur c).

L'examen rapide du problème donne comme solution.

| | | a b | | | |
|---|---|-----|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| c | 0 | 1 | | 1 | |
| | 1 | | | | |

$$\begin{aligned} \text{Équation : } L &= \bar{a}\bar{b}\bar{c} + ab\bar{c} \\ L &= \bar{c}(\bar{a}\bar{b} + ab). \end{aligned}$$



Or si nous étudions les conditions de non fonctionnement nous avons :

Lampe n'éclaire pas : si la masse est comprise entre 50 g et 1 kg

$$a \times \bar{b} \times \bar{c} = 0 \text{ (action sur } a, \text{ pas d'action sur } b, \text{ pas d'action sur } c).$$

Lampe n'éclaire pas : si la masse est supérieure à 3 kg

$$a \times b \times c = 0 \text{ (action sur } a, \text{ sur } b, \text{ et sur } c).$$

Portons ces conditions dans le diagramme.

| | | a b | | | |
|---|---|-----|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| c | 0 | 1 | | 1 | 0 |
| | 1 | | | 0 | |

Nous constatons que nous avons toute une série de cases vides pour lesquelles il n'y a ni condition de fonctionnement, ni condition de non fonctionnement possible.

Elles correspondent à des impossibilités technologiques.

Exemple : case $\bar{a}b\bar{c}$. Il est impossible qu'il ait action sur b sans qu'il y ait action sur a ... et ainsi de suite pour toutes les cases vides.

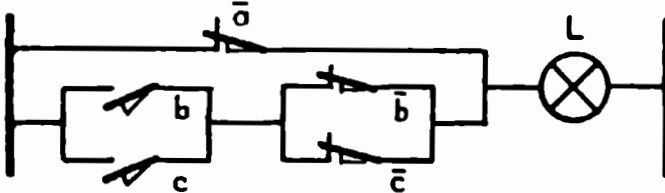
UTILISATION DES RECTANGLES DE KARNAUGH PROBLÈMES DE LOGIQUE COMBINATOIRE

5 D 04

Cherchons la solution en raisonnant sur les 0 et en prenant le complément. Nous avons :

$$\bar{L} = a\bar{b}\bar{c} + abc = a(\bar{b}\bar{c} + bc)$$

$$L = \bar{a} + (b + c) \times (\bar{b} + \bar{c}).$$



Cette solution est différente mais correspond également aux conditions du problème. Elle est toutefois compliquée.

Remarque : en cherchant la solution par les groupements de 1 nous admettons que toutes les autres cases valent 0, même les cases qui correspondent à des impossibilités technologiques.

En cherchant la solution par les groupements des 0 nous admettons que toutes les autres cases valent 1, même les cases qui correspondent à des impossibilités technologiques.

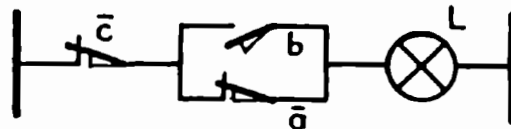
Conclusion : on peut affecter indifféremment les cases qui correspondent aux impossibilités technologiques de la valeur 1 ou de la valeur 0.

Solutions valables

1^{er} groupement

| | | | |
|---|-----|----|----|
| | a b | | |
| | 00 | 01 | 11 |
| c | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |

$$L = \bar{c}\bar{a} + \bar{c}b = \bar{c}(\bar{a} + b)$$

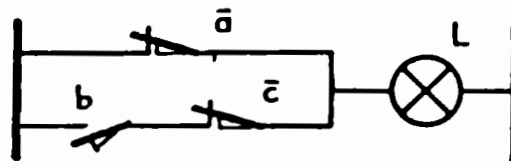


On hachure les cases qui correspondent à des impossibilités technologiques.

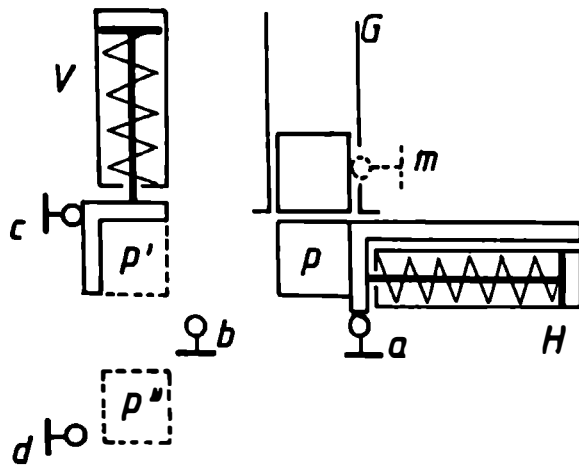
2^e groupement

| | | | |
|---|-----|----|----|
| | a b | | |
| | 00 | 01 | 11 |
| c | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |

$$L = \bar{a} + b\bar{c}$$



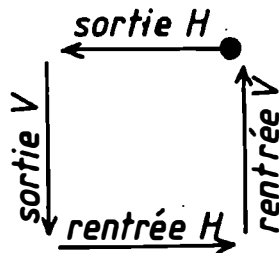
PROBLÈME IV

**Dispositif de transfert des pièces**

- Ce dispositif est constitué comme indiqué ci-contre.
- Les pièces descendent par gravité dans une goulotte G .
- Lorsque la tige du vérin H rentre, une pièce vient en P .
- A la fin de la rentrée de la tige de H , il y a action sur le contact a .
- L'action sur a donne à V la valeur 0 ; sa tige rentre.
- A la fin de la rentrée de la tige de V , il y a action sur le contact c .

- L'action sur c donne à H la valeur 1 ; sa tige sort. La pièce vient en P' .
 - A la fin de la sortie de la tige de H , il y a action sur le contact b .
 - L'action sur b donne à V la valeur 1, sa tige sort. La pièce vient en P'' d'où elle s'évacue par gravité.
 - A la fin de la sortie de la tige de V , il y a action sur le contact d .
 - L'action sur d donne à H la valeur 0. Sa tige rentre.
- Et le cycle recommence.

Trouver les équations et les schémas de la commande des deux vérins V et H .

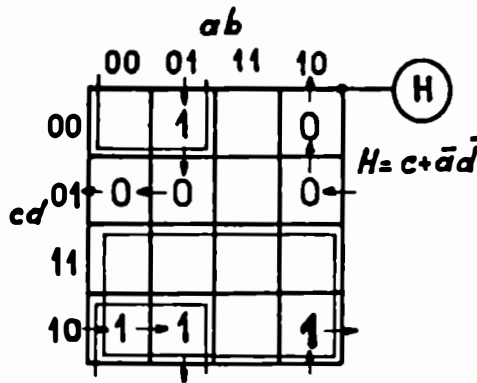
1^{ère} solution

Résumons le fonctionnement dans un graphique qui reproduit le mouvement.

Nous constatons que ce cycle a la forme d'un carré d'où son nom de cycle carré.

UTILISATION DES RECTANGLES DE KARNAUGH
PROBLÈMES DE LOGIQUE COMBINATOIRE

5 D 06



Nous allons afficher le déroulement de ce cycle dans un rectangle de Karnaugh intéressant le vérin H .

Le point de départ est la position figure ($a=1; b=0; c=1; d=0$).

Dans la case correspondant à l'état de ces variables on affiche 1 (en trait épais) puisque H vaut 1.

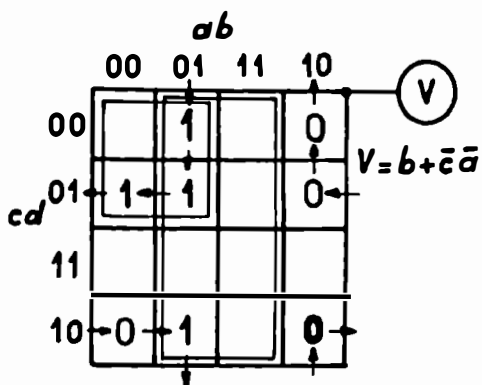
Nous passons ensuite dans la case suivante ($a=0; b=0; c=1; d=0$) pour laquelle H vaut encore 1, et ainsi de suite jusqu'au retour au point de départ.

On procède de la même façon pour V (ci-contre).

On effectue les groupements pour obtenir les équations.

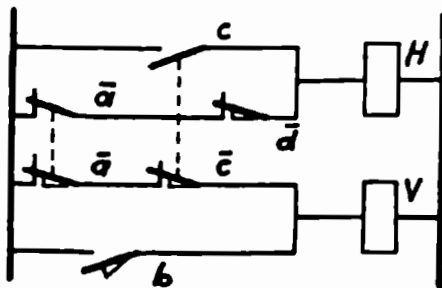
Remarques : on s'est aidé pour l'affichage de lignes de transfert d'état.

On passe toujours d'une case à une case « adjacente » c'est-à-dire ne différant de la précédente que par le changement d'état d'une seule variable.



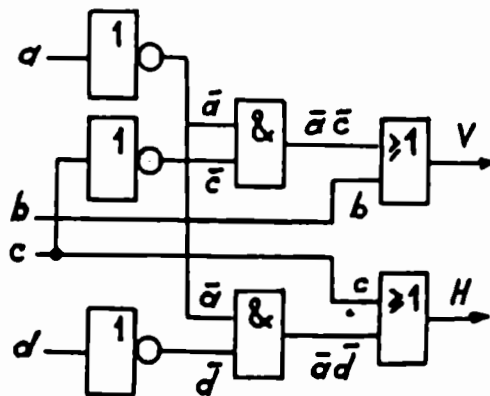
Schémas

Avec contacts multipolaires



H et V : électro-valves de commande des vérins correspondants.

Avec contact unipolaire et opérateurs logiques binaires.



Note : le cycle ainsi étudié est continu. Si les pièces viennent à manquer, il s'arrête grâce à un contact m placé dans la goulotte.

Nous laissons au lecteur le soin de placer ce contact dans le schéma pour obtenir l'arrêt quand les pièces cessent d'arriver.

**PROBLÈMES DE LOGIQUE COMBINATOIRE
UTILISATION DE CIRCUITS LOGIQUES EXISTANTS**

5 D 07

2^e solution*Utilisation de circuits logiques existants*

On peut écrire l'expression de H sous la forme d'une somme de minitermes (voir 4B02) : $H = f(a, b, c, d)$.

| d | c | b | a | H | V |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 0 | 0 | 0 | 1 | | |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | |
| 0 | 0 | 1 | 1 | | |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | |
| 0 | 1 | 1 | 1 | | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | | |
| 1 | 0 | 0 | 1 | | |
| 1 | 0 | 1 | 0 | | |
| 1 | 0 | 1 | 1 | | |
| 1 | 1 | 0 | 0 | | |
| 1 | 1 | 0 | 1 | | |
| 1 | 1 | 1 | 0 | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | | |

Soit l'écriture ci-dessous pour H .

$$H = \bar{a}.\bar{b}.c.\bar{d} + \bar{a}.b.c.\bar{d} + \bar{a}.b.\bar{c}.\bar{d} + a.\bar{b}.c.\bar{d}$$

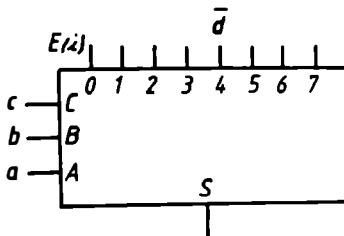
Le lecteur pourra compléter le tableau et établir de la même façon l'équation de V .

$V =$

Cette forme d'expression est semblable à l'équation d'un multiplexeur à 3 entrées d'adresse et 2³ entrées.

$$S = f(a, b, c, E(i))$$

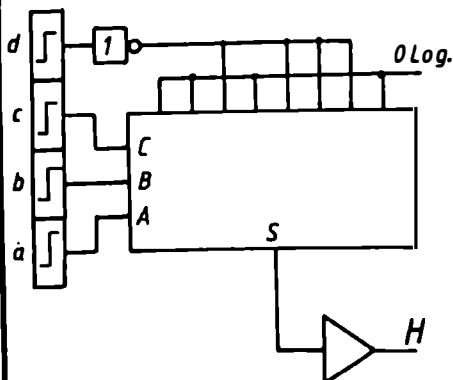
avec $i = f(a, b, c)$



Soit le 1er terme de l'expression de H : $\bar{a} \bar{b} c \bar{d}$.

Si les entrées a, b, c sont appliquées sur les entrées d'adresse A, B, C , lorsque $a = 0, b = 0, c = 1$, (a, b, c) on a : $S = E(4)$.

Pour avoir l'expression correcte il faut donc câbler \bar{d} sur $E(4)$ (soit $d = 0$).



En tenant le même raisonnement pour les autres termes de l'équation, on obtient le schéma ci-contre pour l'expression de H . Toutes les sorties non utilisées sont reliées au 0 logique.

Exercice : Rechercher de la même façon le schéma de V .

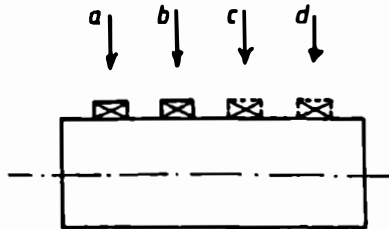
Remarque : Les adaptateurs d'entrée et de sortie seront adaptés à la logique utilisée.

PROBLÈMES DE LOGIQUE COMBINATOIRE

UTILISATION DE CIRCUITS LOGIQUES EXISTANTS

5 D 08

PROBLÈME V

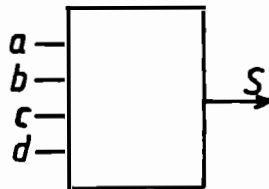


Sur un convoyeur, on doit détecter parmi des groupes d'objets, ceux comprenant 1 ou 3 objets parmi 4.

Selon le résultat, ces objets seront ensuite triés différemment (Hors Pb).

On cherche à réaliser le circuit permettant de faire cette détection 1 ou 3 parmi 4.

1^{ère} Solution :



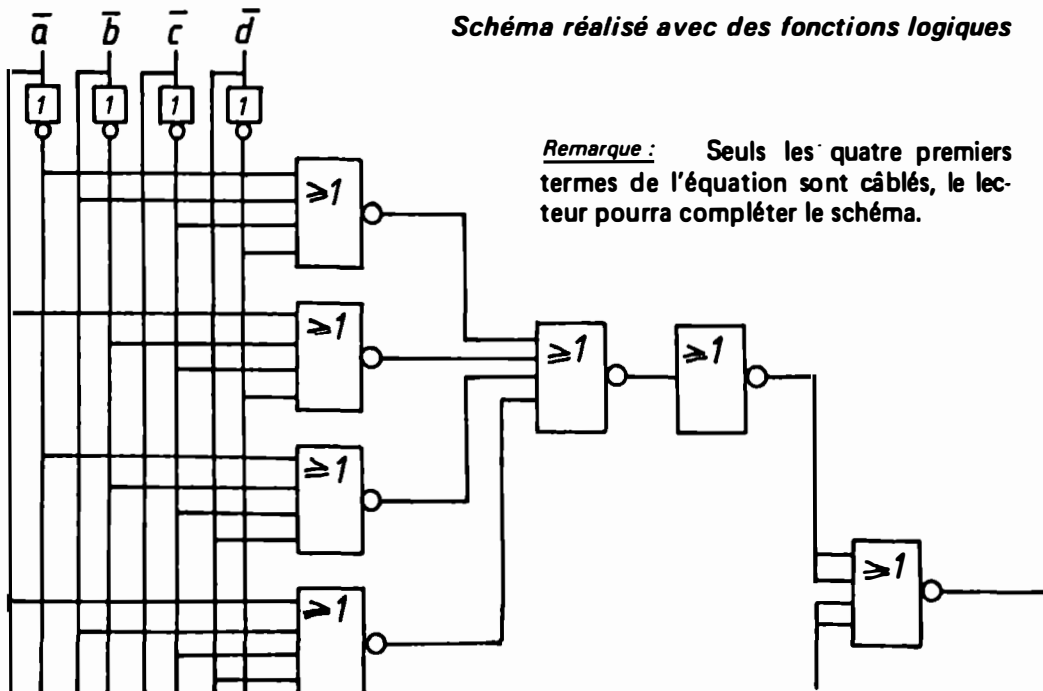
On aura $S = 1$ pour 1 ou 3 objets, $S = 0$ dans le cas contraire.

Tableau d'analyse

| | | ab | | | |
|----|----|----|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| cd | 00 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 01 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | 11 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 10 | 1 | 0 | 1 | 0 |

$$S = \bar{a}.b.\bar{c}.\bar{d} + a.\bar{b}.\bar{c}.\bar{d} + \bar{a}.\bar{b}.\bar{c}.d + a.b.\bar{c}.d \\ + \bar{a}.b.c.d + a.\bar{b}.c.d + \bar{a}.\bar{b}.c.\bar{d} + a.b.c.\bar{d}$$

Schéma réalisé avec des fonctions logiques



Remarque : Seuls les quatre premiers termes de l'équation sont câblés, le lecteur pourra compléter le schéma.

**PROBLÈMES DE LOGIQUE COMBINATOIRE
UTILISATION DE CIRCUITS LOGIQUES EXISTANTS**

5 D 09

2^e Solution :

| | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|
| | | ab | | | |
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| cd | 00 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 01 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| | 11 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| | 10 | 1 | 0 | 1 | 0 |

On peut écrire le bloc 1 sous la forme : $\bar{a}.c.$

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | b | |
| | | 0 | 1 |
| d | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |

Ce qui conduit à : $\bar{a}.c.(b.\bar{d} + \bar{b}.d)$
soit $\bar{a}.c.(b \oplus d)$

En faisant de même pour les 4 autres groupements, on obtient :

$$S = \bar{a}.c.(b \oplus d) + a.c.(b \oplus d) + \bar{a}.\bar{c}.(b \oplus d) + \bar{a}.\bar{c}.(b \oplus d)$$

$$= (b \oplus d) . (\bar{a}.c + a.c) + (\bar{b} \oplus d) . (a.\bar{c} + \bar{a}.\bar{c})$$

$$= (b \oplus d)(\bar{a} \oplus c) + (\bar{b} \oplus d) . (a \oplus c)$$

Soit $(b \oplus d) = m$; $(a \oplus c) = n$

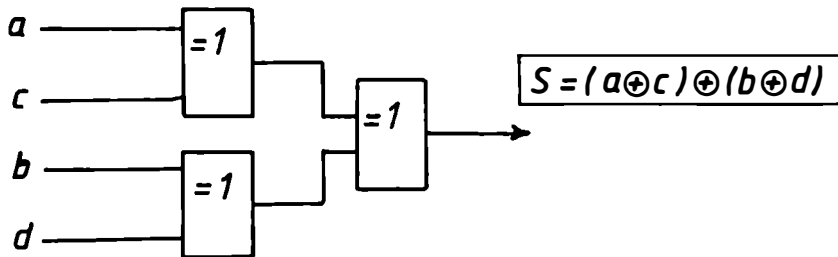
On montre que $(\bar{b} \oplus d) = \bar{m}$ et $(\bar{a} \oplus c) = \bar{n}$ (tableaux ci-contre)

$$S = m.\bar{n} + \bar{m}.n$$

$$= (a \oplus c) \oplus (b \oplus d)$$

| | | | |
|---|---|-----------|---|
| | | a | |
| | | 0 | 1 |
| c | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| | | \bar{n} | |

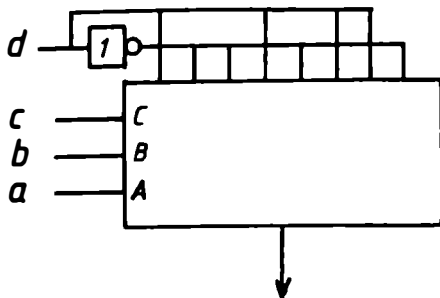
| | | | |
|---|---|-----|---|
| | | a | |
| | | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |
| | | n | |



3^e Solution :

L'écriture vue pl. 4 D 08 correspond à l'équation d'un multiplexeur.

Si on câble les variables a, b, c respectivement sur les entrées A, B, C du multiplexeur, on peut écrire l'équation sous la forme suivante :



$$S = \bar{a}.b.\bar{c}.\bar{d} + \dots$$

0 1 0 E(2)
⇒ 2

En poursuivant cette écriture, on voit que l'on doit câbler :

\bar{d} sur $E(1), E(2), E(4), E(7)$

d sur $E(0), E(3), E(5), E(6)$.

Analyse séquentielle

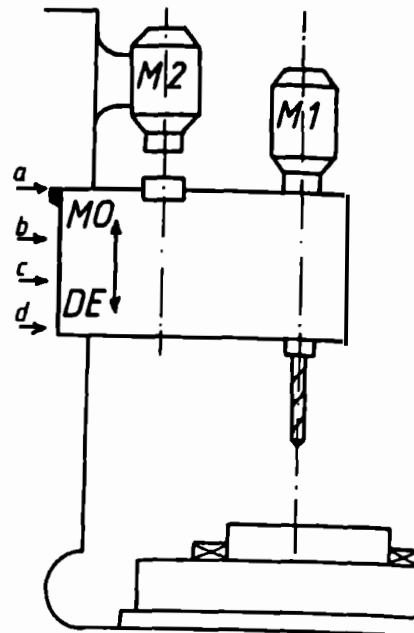
L'état des sorties dépend de la valeur des variables d'entrée et de l'état antérieur des sorties.

EXERCICE D'APPLICATION

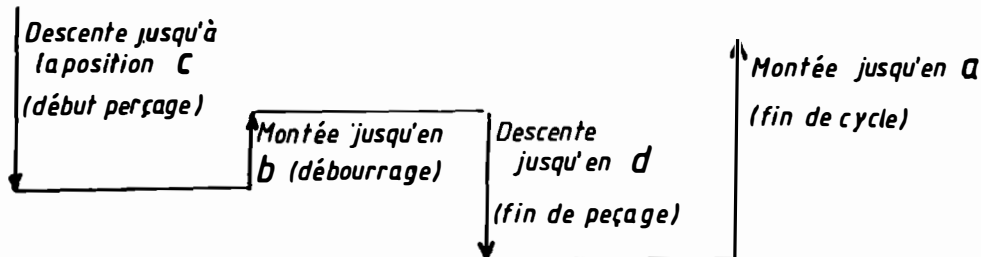
Cycle automatique de perçage

La perceuse représentée ci-contre est destinée à percer des pièces en série, (perçage avec déburrage).

Le cycle de fonctionnement est représenté ci-dessous. L'arrivée des pièces et leur serrage ne sont pas pris en compte dans cette étude.

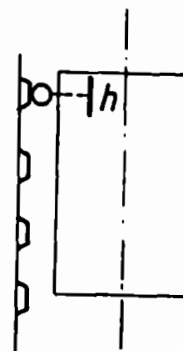


Cycle de perçage



Au lieu de placer 4 capteurs a, b, c, d on en met 1 seul, solidaire de la tête de perçage, qui se déplace devant 4 cames a, b, c, d et on compte les impulsions reçues par ce capteur.

On résoudra alors le problème par une méthode dite « intuitive » qui tiendra directement compte des caractéristiques des circuits utilisés.



PROBLÈMES DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE

5 D 11

Analyse du problème :

Les impulsions reçues par le capteur *H* seront comptées, et suivant l'état du compteur, on effectuera les différents mouvements.

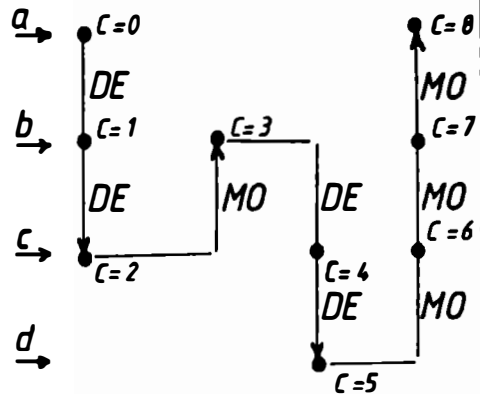


Description des actions en fonction des états du compteur

Au départ $C = 0$, on provoquera la descente si les autres conditions de départ cycle sont requises.

Au passage sur la came *b*, le compteur passe à 1, et on provoque toujours la descente.

L'analyse complète est décrite par le graphique ci-contre.



Etude du mouvement DE

Le mouvement de descente est donc sollicité quand $C = 0$ avec la condition *Dcy*, et arrêté lorsque le compteur passe à 2 (arrivée sur *C*).

Le mouvement de descente est à nouveau sollicité lorsque le compteur passe à 3 (arrivée sur *b*), pour être arrêté quand le compteur passe à 5 (arrivée sur *c*).

Donc conditions de mise en marche :

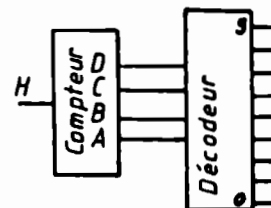
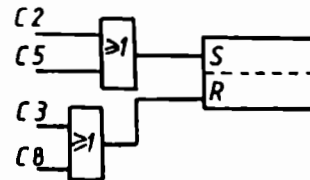
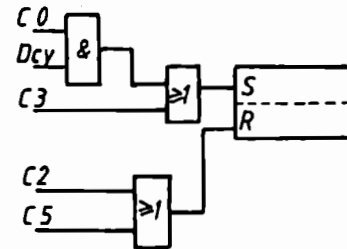
$$C(0) \cdot Dcy + C(3)$$

et conditions d'arrêt

$$C(2) + C(5)$$

Le lecteur pourra étudier de la même façon le mouvement de montée, ce qui conduit au schéma ci-contre.

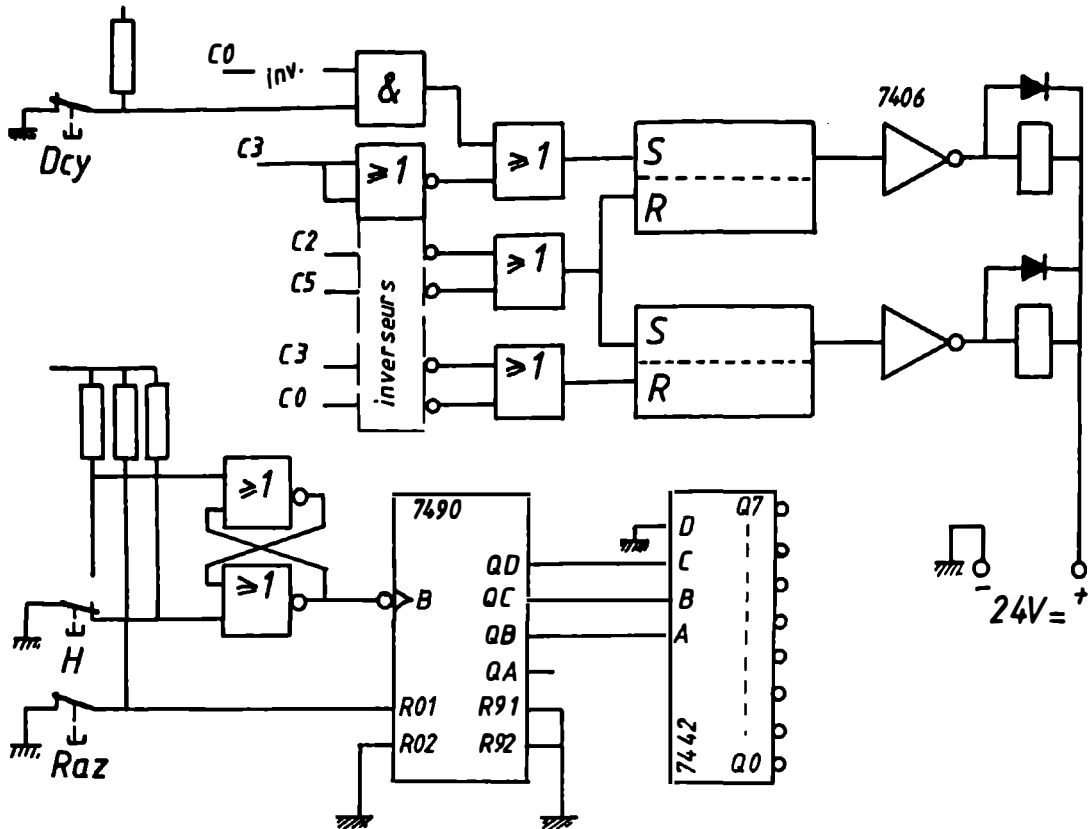
Les compteurs intégrés ont généralement des sorties sur 4 bits et comptent en binaire naturel. Il faudra donc décoder ce compteur pour avoir les 8 états décimaux dont on a besoin.



PROBLÈMES DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE

5 D 12

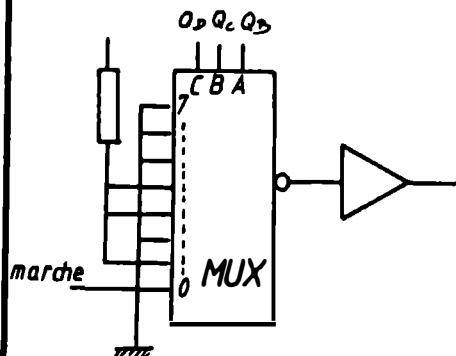
Schéma général



Remarques :

- Ce schéma ne traite pas l'immunité aux parasites.
- Les bornes des circuits simples (OU - ET - RS), ne sont pas repérées, le lecteur pourra compléter le repérage en fonction des circuits utilisés.
- Le compteur et le décodeur sont raccordés en entier.
- L'alimentation 5 V (TTL) n'est généralement pas représentée pour faciliter la lecture du schéma.
- L'alimentation des amplificateurs de sortie est précisée pour la compréhension mais pourrait être omise.

Autre câblage



La sortie DE pourrait être câblée comme sur le schéma ci-contre. Le décodeur devient alors inutile.

La sortie MO peut être réalisée de la même façon nous laissons au lecteur cette autre solution.

PROBLÈMES DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE - GÉNÉRALITÉS ÉTATS STABLES ET ÉTATS TRANSITOIRES

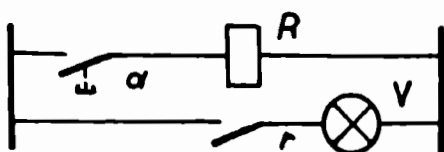
5 E 01

En logique séquentielle les opérations s'enchaînent, une phase ne pouvant s'effectuer que lorsque la précédente est finie.

Du point de vue schéma nous aurons en plus des variables primaires d'entrée (contacts de mise en marche, d'arrêt, ou de contrôle des divers mouvements) des variables secondaires (contacts de relais) que nous ignorons au départ.

États stables et états transitoires

Les équations de logique séquentielle faisant appel à des relais, quel que soit le type de technologie utilisé, il est intéressant d'analyser le comportement de ceux-ci quand ils reçoivent une information.



Quand on appuie sur a le courant passe dans R .

Mais d'une part le courant ne s'établit pas instantanément à sa valeur définitive, d'autre part à cause de l'inertie mécanique le contact r met un certain temps pour se fermer.

| a | R | r | V | états |
|-----|-----|-----|-----|-------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | stable |
| 1 | 1 | 0 | 0 | transitoire |
| 1 | 1 | 1 | 1 | stable |
| 0 | 0 | 1 | 1 | transitoire |
| 0 | 0 | 0 | 0 | stable |

De même à l'ouverture lorsque le courant ne passe plus dans R , le relâchement se fait avec un très léger retard (rémanent-inertie).

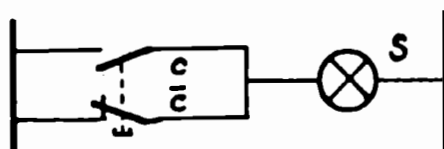
De l'examen du tableau ci-contre montrant les valeurs relatives des variables, on tire la conclusion suivante :

Pour les états stables le relais R et son contact r ont la même valeur.

Pour les états transitoires R prend immédiatement la valeur de l'état stable qui suit.

Aléas technologiques

Un aléa est un incident de fonctionnement.



Soit le schéma ci-contre.

L'équation est $S = c + \bar{c}$
 $S = 1.$

Cette valeur 1 est en effet obtenue lorsque les contacts sont en position repos ou en position travail. Il y a toutefois un instant très court pendant lequel l'alimentation est coupée, lorsqu'on exerce une action physique extérieure. (Ouverture de \bar{c} avant fermeture de c .)

**PROBLÈMES DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE - GÉNÉRALITÉS
ALÉAS TECHNOLOGIQUES**

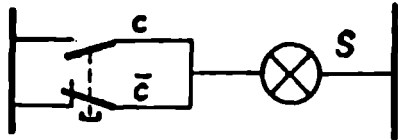
5 E 02

Ce temps dépend de la technologie du matériel utilisé.

Ainsi les contacts électriques à rupture brusque donnent des interruptions inférieures à un dixième de seconde.

CAS DES PROBLÈMES DE LOGIQUE COMBINATOIRE

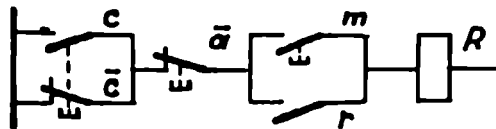
En logique combinatoire les sorties, après cette interruption, reprennent les mêmes



valeurs. Ainsi lorsqu'on appuie sur c , S passe de la valeur 1 à la valeur 1 après un passage très bref par 0. Cette coupure très rapide peut ne pas être gênante.

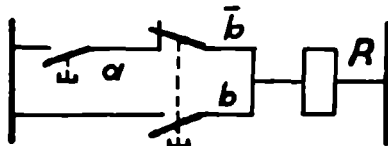
CAS DE PROBLÈMES DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE

En logique séquentielle, cette coupure aussi brève soit-elle provoque en général le dérèglement du cycle normal.



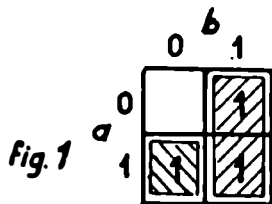
Ainsi dans l'exemple ci-contre si on appuie sur c , le temps de coupure peut être suffisamment grand pour que la mémoire préalablement portée à l'état 1 ($R=1$) reprenne l'état 0.

SUPPRESSION DES ALÉAS TECHNOLOGIQUES



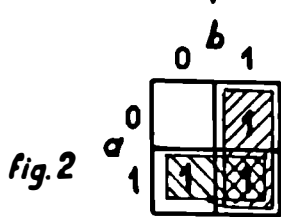
Soit le schéma ci-contre.

Une action physique sur b provoquera une brève coupure dans R .



Traçons le tableau de Karnaugh correspondant à ce schéma : équation $R = a\bar{b} + b$.

Nous constatons au niveau de la flèche (fig. 1) qu'il n'y a pas de chevauchement des groupes de fermeture. Il y a une coupure quand b passe de l'état 0 à l'état 1.



Par contre si nous choisissons les groupements de la figure 2, nous avons $R = \bar{a} + b$ et le montage ne présentera pas d'aléa de fonctionnement.

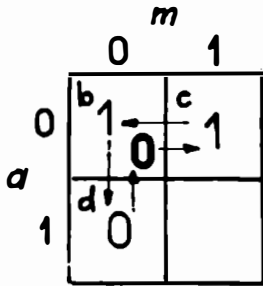
Conclusion : pour éviter les aléas technologiques il faut toujours choisir des groupements qui se recouvrent.

PROBLÈMES DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE - GÉNÉRALITÉS
ANALYSE D'UN PROBLÈME

5 E 03

EXEMPLE DE PROBLÈME DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE : FONCTION MÉMOIRE

La commande d'un appareil S est obtenue à partir de deux boutons poussoirs m et a . Une impulsion sur m permet d'obtenir la marche. Une impulsion sur a permet d'obtenir l'arrêt.

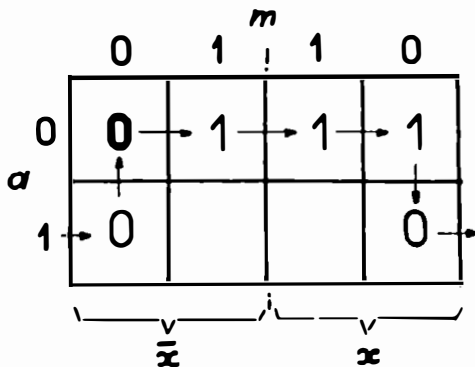


Nous allons afficher dans un rectangle de Karnaugh, les valeurs de S en suivant le déroulement du cycle.

- Au repos $m=0$; $a=0$; $S=0$ (case b) départ du cycle — zéro épais.
- Ensuite $m=1$; $a=0$; $S=1$ (case c).
- Puis $m=0$; $a=0$; $S=1$ (retour dans la case b).

— Enfin $m=0$; $a=1$; $S=0$ (case d) et $m=0$; $a=0$; $S=0$ (fin de cycle).

Nous constatons dans la case b la présence de deux valeurs pour S (0-1). Le fonctionnement est impossible avec les deux seules variables connues. Il ne s'agit plus de logique combinatoire. Il faudra donc une 3^e variable qui sera obtenue par l'intermédiaire d'un relais.



A ce moment et avec cette nouvelle variable que nous appellerons par exemple x , le tableau de Karnaugh ci-dessus devient comme ci-contre et permet de trouver une solution pour S .

Nous allons étudier trois méthodes permettant de trouver l'équation ou les équations des relais tels que X , qu'il faudra ajouter chaque fois que l'on se trouvera devant un cas semblable.

**PROBLÈMES DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE
MÉTHODE DITE MATRICIELLE - PRINCIPES**

5 E 04

PROBLÈME I - FONCTION MÉMOIRE

La commande d'un appareil S est obtenue à partir de deux boutons-poussoirs m et a . Une impulsion sur m permet d'obtenir la marche. Une impulsion sur « a » permet d'obtenir l'arrêt.

Nous avons deux variables d'entrée m et a . Avec ces deux variables nous pouvons avoir 4 états binaires différents. Nous traçons alors un tableau avec 4 colonnes verticales, chacune de ces colonnes correspondant à un de ces quatre états binaires.

Chaque phase du fonctionnement est affichée dans la colonne correspondant à l'état des variables d'entrée. Ces différentes phases étant des états stables, on les inscrit dans un cercle. D'autre part à chaque passage d'un état stable à un autre état stable on affiche un état transitoire.

En face de chaque état stable on inscrit la valeur de la sortie S .

Établissement de ce tableau appelé « matrice primitive des états »

| | | ma | | | | S | |
|--|---|------|----|----|----|-----|---|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | | |
| | ① | | | | 2 | 0 | Pas d'action ni sur m ni sur a . État stable ①. |
| | 3 | | | | ② | 1 | Pression sur m — État stable ② obtenu après passage par transitoire 2. |
| | ③ | | 4 | | | 1 | Relâchement de m — État stable ③ obtenu après passage par transitoire 3. |
| | 1 | ④ | | | | 0 | Pression sur a — État stable ④ obtenu après passage par transitoire 4. |

Puis retour de stable ④ à stable ① en passant par transitoire 1.

Réduction de cette matrice : matrice contractée

Nous allons ensuite réduire cette matrice en groupant le maximum de lignes. Pour ceci on superpose les cases qui ont le même numéro (qu'il s'agisse d'états stables ou d'états transitoires) ou une case ayant un numéro avec une case vide.

| | | ma | | | |
|---|---|------|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| ① | ④ | | | | 2 |
| ③ | 4 | | | | ② |

Lorsque les cases ont même numéro la priorité est donnée aux états stables.

Nous obtenons un tableau à 8 cases, c'est-à-dire un tableau pour trois variables.

PROBLÈMES DE LOGIQUE SÉQUENTIELLE MÉTHODE DITE MATRICIELLE - PRINCIPES

5 E 05

Nous allons donc faire apparaître une variable secondaire d'entrée appelée x et appartenant à un relais auxiliaire X .

Nous prendrons $x=0$ pour la ligne du haut et $x=1$ pour celle du bas.

Remarque : la disposition choisie à savoir : ligne du haut stable 1, stable 4 et transitoire 2 — Ligne du bas stable 3, stable 2, transitoire 4 — aurait pu être inversée. La solution trouvée aurait été différente mais également valable.

Équation du relais X

Nous allons reproduire la matrice contractée en mettant dans les cases, un cercle où il y a un état stable, et un point où se trouve l'état transitoire (fig. 1).

Nous remplissons ensuite ces cases en respectant la règle déjà vue.

— Pour les états stables X et son contact x ont la même valeur.

— Pour les états transitoires X prend immédiatement la valeur de l'état stable qui suit.

Il faut bien comprendre que les valeurs affichées dans le tableau concernent l'état de la bobine du relais X .

| | | $m a$ | | | | |
|-----|---|-------|----|----|----|-------|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | |
| x | 0 | ○ | ○ | | | fig 1 |
| | 1 | ○ | | | ○ | |

| | | $m a$ | | | | |
|-----|---|-------|----|----|----|------|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | |
| x | 0 | ⊙ | ⊙ | | 1. | fig2 |
| | 1 | ⊙ | 0. | | ⊙ | |

Les groupements choisis (fig. 2) donnent l'équation de X

$$X = m\bar{a} + x\bar{a} = \bar{a}(m + x).$$

Équation de la sortie S

Nous traçons un nouveau tableau avec des cercles pour les états stables et un point pour les états transitoires.

La matrice primitive des états nous donne pour chaque état stable et pour chaque état transitoire la valeur de la sortie S .

Nous portons ces valeurs dans le tableau.

| | | $m a$ | | | | |
|-----|---|-------|----|----|----|---|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | |
| x | 0 | ⊙ | ⊙ | | 0. | ⊙ |
| | 1 | ⊙ | 1. | | ⊙ | |

Le groupement donne

$$S = x.$$

LOGIQUE SÉQUENTIELLE - MÉTHODE MATRICIELLE
POLYGONE DES LIAISONS

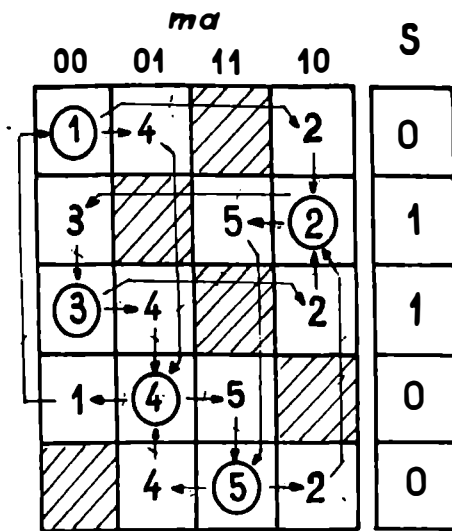
5 E 08

COMPLÉMENTS SUR LE PREMIER PROBLÈME

— Les tableaux correspondant à S et à X comportent des cases vides. Il s'agit d'impossibilités technologiques. En effet d'après l'énoncé du problème certains cas n'ont pas été envisagés, car nous admettons qu'ils ne pouvaient pas se produire.

— Traitons le même problème avec tous les cas envisagés notamment celui de l'action simultanée sur a et m , la sortie prenant dans ce cas la valeur 0 (priorité au bouton a).

— Le raisonnement suivi pour aboutir à la matrice primitive des états déjà trouvée reste évidemment le même que précédemment avec en plus l'étude des possibilités qui n'ont pas été envisagées.



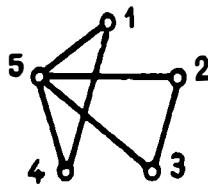
Les différentes lignes de transfert d'état indiquent le déroulement du cycle, et les différentes possibilités d'action sur les 2 variables a, m .

Remarque très importante : Il est technologiquement impossible que 2 variables puissent agir en même temps. Même en cas de pression simultanée sur m et sur a , il y aura toujours un des 2 contacts qui agira avant l'autre.

Conclusion : le cycle de fonctionnement s'établit toujours en passant d'une case à une autre case adjacente (c'est-à-dire

qui ne diffère de la précédente que par le changement d'état d'une seule variable). Les cases à impossibilité technologique sont hachurées.

Polygone des liaisons



On trace une figure ayant autant de sommets qu'il y a de lignes, et on relie entre eux tous les sommets qui appartiennent à des lignes pouvant se superposer.

On constate l'existence de 2 solutions possibles. (1-4-5) (2-3) d'une part, (1-4) (2-3-5) d'autre part.

Tableaux pour la première solution

| | | ma | | | | matrice contractée |
|--|---|------|----|----|----|--------------------|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | |
| | 0 | ① | ④ | ⑤ | 2 | |
| | 1 | ③ | 4 | 5 | ② | |

| | | ma | | | | X |
|-----|---|------|----|----|----|-----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | |
| x | 0 | ① | ① | ① | 1 | ⊗ |
| | 1 | ① | 0 | 0 | ① | |

LOGIQUE SÉQUENTIELLE - MÉTHODE MATRICIELLE
VALEUR DES ÉTATS TRANSITOIRES POUR LES SORTIES

5 E 07

| | | ma | | | | S | $S = x$ | $X = \bar{a}m + \bar{a}x$ $X = \bar{a}(m+x)$ |
|-----|---|------|----|----|----|--|---------|--|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | | | |
| x | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> $\textcircled{3}$ </div> | | |
| | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |

Les états transitoires 4 et 5 proviennent de la contraction des lignes $\textcircled{3}$ et $\textcircled{2}$. Ces sont ces 2 lignes qu'il faut considérer.

Or la sortie donne pour ces 2 lignes $S=1$ dans les 2 cas, et c'est cette valeur que l'on affiche dans le tableau relatif à S .

Tableau pour la 2^e solution

| | | ma | | | | matrice contractée | S | $S = \bar{a}x$ | $X = m + \bar{a}x$ |
|-----|---|------|----|----|----|--|---|----------------|--------------------|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | | | | |
| x | 0 | 1 | 4 | 5 | 2 | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> \textcircled{X} </div> | | | |
| | 1 | 3 | 4 | 5 | 2 | | | | |

| | | ma | | | | S | $S = \bar{a}x$ | $X = m + \bar{a}x$ |
|-----|---|------|----|----|----|--|----------------|--------------------|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | | | |
| x | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> $\textcircled{3}$ </div> | | |
| | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | | | |

L'état transitoire 4 provient de la contraction des lignes $\textcircled{2}$ $\textcircled{3}$ $\textcircled{5}$: or pour la ligne $\textcircled{3}$ il vaut 1, alors que pour la ligne 5 il vaut 0.

Étudions ce qui se passe à la ligne $\textcircled{3}$. Pour cet état stable la sortie vaut 1. Mais le transitoire 4 conduit à stable $\textcircled{4}$ pour lequel la sortie vaut 0.

Si on donnait à transitoire 4 la valeur 0, cela signifierait que la sortie prend la valeur 0 quelques fractions de seconde avant ce qui est affiché dans la matrice primitive et cela est sans aucune importance sur le déroulement du cycle.

Conclusion : dans les matrices de sortie un état transitoire qui relie 2 états stables ayant des valeurs différentes peut prendre la valeur 0 ou 1.

Pour revenir au transitoire 4 de la matrice contractée, il vaut dans un cas 0 et dans l'autre cas il peut prendre la valeur 0 ou 1.

On affiche donc obligatoirement la valeur 0.

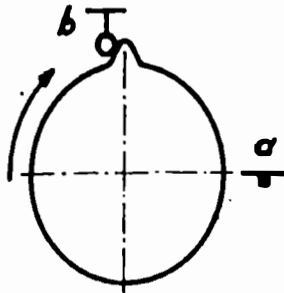
Remarque concernant les 2 solutions trouvées : la 2^e solution est plus compliquée. En effet S vaut x dans le 1^{er} cas.

Nous sommes arrivés à ce résultat parce que nous avons groupé les lignes pour lesquelles la sortie a même valeur $\textcircled{2}$ et $\textcircled{3}$ pour $S=1$; $\textcircled{1}$, $\textcircled{4}$, $\textcircled{5}$ pour $S=0$.

Conclusion : quand on peut choisir entre plusieurs groupements on adopte, si cela est possible, celui qui assemble sur une même ligne horizontale tous les états stables pour lesquels la sortie a même valeur.

LOGIQUE SÉQUENTIELLE : MÉTHODE MATRICIELLE
 PROBLÈME A 1 VARIABLE AUXILIAIRE

5 E 08



PROBLÈME D'APPLICATION II

Soit une presse : lorsque l'on donne une impulsion sur un bouton-poussoir a l'embrayage E est excité, et la broché fait un tour complet.

En fin de tour une came agit sur un contact a, et la fin de l'action sur b provoque la fin de la rotation (E = Q).

Solution

matrice primitive des états

| | ab | | | | E |
|---|----|----|----|----|---|
| | 00 | 01 | 11 | 10 | |
| 1 | | | | 2 | 0 |
| 3 | | | | 2 | 1 |
| 3 | | 4 | | | 1 |
| 1 | 4 | | | | 1 |

matrice contractée

| | | | |
|---|---|--|---|
| 1 | 4 | | 2 |
| 3 | 4 | | 2 |

Tableau pour X

| | ab | | | | X |
|---|----|----|----|----|---|
| | 00 | 01 | 11 | 10 | |
| 0 | 0 | 0 | | 1 | |
| 1 | 1 | 0 | | 1 | |

$$X = a\bar{b} + x\bar{b}$$

$$X = \bar{b}(a+x)$$

Tableau pour E

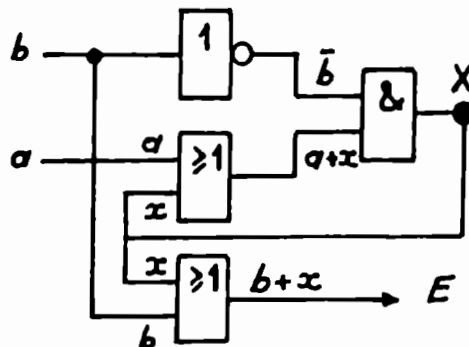
| | ab | | | | E |
|---|----|----|----|----|---|
| | 00 | 01 | 11 | 10 | |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |

$$E = x + b$$

Schéma

Le schéma ci-contre est réalisé avec opérateurs logiques binaires ET-OU-PAS.

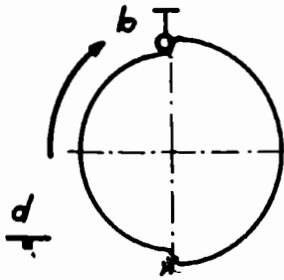
On remarquera que le relais auxiliaire X n'est rien d'autre qu'une borne dont l'état électrique vaut $\bar{b}(a+x)$.



LOGIQUE SÉQUENTIELLE : MÉTHODE MATRICIELLE
PROBLÈME A 1 VARIABLE AUXILIAIRE

5 E 09

PROBLÈME D'APPLICATION III



Soit un découpoir : pour que l'embrayage *E* soit excité, on doit appuyer sur un bouton-poussoir *d*.

Si on cesse d'appuyer alors que la broche n'a pas fait demi-tour, il y a arrêt. En appuyant à nouveau *E* reprend la valeur 1.

Dès que le découpoir remonte il y a action sur *b*. On peut cesser d'appuyer sur *d*, le mouvement continue et s'arrête quand il n'y a plus d'action sur *b* (point mort haut).

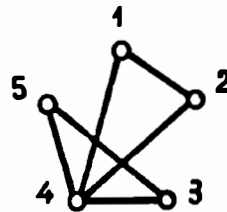
Si, on n'a pas cessé d'appuyer sur *d* le découpoir s'arrête néanmoins au point mort haut, c'est-à-dire dès la fin de l'action sur *b*.

Solution

matrice primitive des états

| | | <i>db</i> | | | | <i>E</i> |
|----------|---|-----------|-----|-----|-----|----------|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | |
| <i>x</i> | 0 | ① | | | → 2 | 0 |
| | 1 | ↓ 1 | | 3 ← | ② | 1 |
| | 0 | | 4 ← | ③ | → 5 | 1 |
| | 1 | 1 ← | ④ | → 3 | | 1 |
| | 0 | 1 ← | | | ⑤ | 0 |

Polygone des liaisons



Il y a 2 possibilités de groupement :

(1-2-4) (3-5)

ou (1-2) (3-4-5).

C'est le 2^e groupement qui a été choisi.

matrice contractée

| | | | |
|---|---|---|---|
| ① | | 3 | ② |
| 1 | ④ | ③ | ⑤ |

| | | <i>db</i> | | | | |
|----------|---|-----------|----|----|----|---|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | ⊗ |
| <i>x</i> | 0 | ① | | 1 | ① | |
| | 1 | 0 | ① | ① | ① | |

$X = b + d\bar{x}$

| | | <i>db</i> | | | | <i>E</i> |
|----------|---|-----------|----|----|----|----------|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | |
| <i>x</i> | 0 | ① | | 1 | ① | |
| | 1 | 0 | ① | ① | ① | |

$E = b + d\bar{x}$

Remarque : l'état transitoire 1 provient de la contraction des lignes ④ et ⑤.

Sur la ligne ④ il peut prendre la valeur 0 ou 1 (règle déjà vue).

Sur la ligne ⑤ il vaut 0.

On affiche donc 0 dans le tableau *E*.

LOGIQUE SÉQUENTIELLE : MÉTHODE MATRICIELLE - PROBLÈME A 2 VARIABLES AUXILIAIRES - ALÉA DE SÉQUENCE

5 E 10

COMPLÈMENT SUR LE PROBLÈME DE LA PRESSE

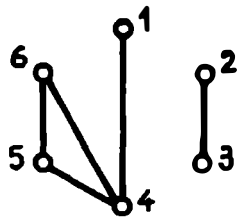
Reprenons le problème II de la presse traité pl 4 E 08, avec la variante suivante pour le fonctionnement.

En cas d'action maintenue sur a la presse s'arrête néanmoins au bout d'un tour complet. Il faut relâcher a et appuyer de nouveau pour un nouveau cycle.

Solution

matrice primitive des états

| | | ab | | | | E |
|---|---|----|----|----|----|---|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | |
| ① | | | | | 2 | 0 |
| 3 | | | | 5 | ② | 1 |
| ③ | 4 | | | | 2 | 1 |
| 1 | ④ | | | | | 1 |
| | | | | ⑤ | 6 | 1 |
| 1 | | | | | ⑥ | 0 |



La matrice primitive des états et le polygone des liaisons (ci-contre) nous permettent de constater qu'il n'est pas possible de contracter en deux lignes.

Il nous faut donc deux variables auxiliaires.

Il y a un grand nombre de groupements possibles dont voici quelques exemples :

- (1) (2-3) (4-5) (6)
- ou (1) (2-3) (4-5-6) (rien)
- ou (1-4) (2-3) (5-6) (rien) etc.

Nous avons choisi le premier de ces groupements.

matrice contractée

| ① | | | | 2 |
|---|---|---|--|---|
| ③ | 4 | 5 | | ② |
| 1 | ④ | ⑤ | | 6 |
| 1 | | | | ⑥ |

Appliquons la règle : Pour les états stables le relais X et son contact x ont la même valeur. Pour les états transitoires X prend immédiatement la valeur de l'état stable qui suit.

Pour Y le raisonnement est identique.

Les groupements nous donnent les 2 équations des relais.

Cette solution n'est toutefois pas satisfaisante.

Tableau pour E

| | | ab | | | |
|----|---|----|----|----|----|
| xy | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| 00 | ① | | | | 0 |
| 01 | ① | 1 | 1 | ① | |
| 11 | 1 | ① | ① | 1 | |
| 10 | 0 | | | | ① |

$E = y$

Tableau pour X

| | | ab | | | |
|----|---|----|----|----|----|
| xy | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| 00 | ① | | | | 0 |
| 01 | ① | | 1 | 1 | ① |
| 11 | 0 | ① | ① | 1 | |
| 10 | 0 | | | | ① |

$X = b + ax$

Tableau pour Y

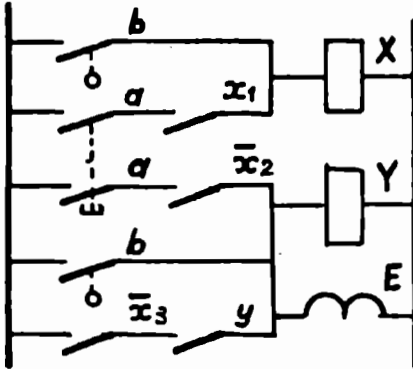
| | | ab | | | |
|----|---|----|----|----|----|
| xy | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| 00 | ① | | | | 1 |
| 01 | ① | 1 | 1 | ① | |
| 11 | 0 | ① | ① | | |
| 10 | 0 | | | | ① |

$Y = b + \bar{x}y + \bar{x}a$

LOGIQUE SÉQUENTIELLE : MÉTHODE MATRICIELLE - PROBLÈME A 2 VARIABLES AUXILIAIRES - ALÉA DE SÉQUENCE

5 E 11

- Étudions le schéma obtenu en logique à relais électromagnétiques.
- Analyse du fonctionnement de ce montage :



Action sur a ($a = 1$) $Y = 1$.

Plus d'action sur a ($a = 0$) $Y = 1$ (par $\bar{x}_3 y$)

Action sur b ($b = 1$) $X = 1$ $Y = 1$

Quand on relâche b ($b = 0$) X et Y reprennent en même temps la valeur 0.

Or si X répond plus vite que Y , x_3 peut être fermé avant que y se soit ouvert.

Y est à nouveau sous tension alors que l'on devrait avoir $Y = 0$.

Cet accident de fonctionnement s'appelle aléa de séquence.

ALÉA DE SÉQUENCE

Étudions la matrice contractée : La partie du fonctionnement que nous venons de décrire concerne le passage de stable ④ à stable ① par l'intermédiaire de transitoire 1.

| | | ab | | | |
|------------------|---|------|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| aléa de séquence | ① | | | | 2 |
| | ③ | 4 | 5 | | ② |
| | 1 | ④ | ⑤ | | 6 |
| | 1 | | | | ⑥ |

Dans la matrice contractée transitoire 1 et stable ① se trouvent sur 2 lignes séparées.

Le passage de l'un à l'autre se fait donc par commutation simultanée des 2 variables auxiliaires, ce qui est technologiquement impossible, le changement d'état de l'une quelconque de ces 2 variables se faisant toujours avant changement d'état de l'autre.

Le passage de transitoire 1 à stable 1 peut donc nous conduire et nous laisser à stable ③.

Conclusion : Lorsque l'on utilise 2 variables auxiliaires d'entrée, un aléa de séquence se produit si un état transitoire ne se trouve pas dans une case adjacente à l'état stable vers lequel il conduit, s'il y a un autre état stable dans la colonne verticale intéressée et si on applique dans précaution la règle relative aux états transitoires pour l'établissement des équations des variables auxiliaires.

RÈGLE POUR ÉVITER L'ALÉA DE SÉQUENCE

| | | ab | | | |
|------|----|------|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| xy | 00 | ① | | | 2 |
| | 01 | ③ | 4 | | ② |
| | 11 | 1 | ④ | ⑤ | 6 |
| | 10 | 1 | | | ⑥ |

Pour éviter l'aléa de séquence il faudra donc obtenir que le fonctionnement pour passer de stable 4 à stable 1 soit celui indiqué par les lignes fléchées de transfert d'état.

La commutation devra donc se faire en 2 temps : Y prend la valeur 0, X conserve la valeur 1. Puis X prend la valeur 0.

Établissons à nouveau les matrices pour X et Y . Un trait renforcé indiquera le changement d'état du relais intéressé.

**LOGIQUE SÉQUENTIELLE : MÉTHODE MATRICIELLE - PROBLÈME
A 2 VARIABLES AUXILIAIRES - ALÉA DE SÉQUENCE**

5 E 12

| | | ab | | | |
|-----|-----|----|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| x y | 0 0 | ① | | | 2 |
| | 0 1 | ③ | 4 | 5 | ② |
| | 1 1 | 1 | ④ | ⑤ | |
| | 1 0 | 1 | | | ⑥ |

| | | ab | | | | |
|-----|-----|----|----|----|----|---|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | Y |
| x y | 0 0 | ① | | | 1 | |
| | 0 1 | ① | 1 | 1 | ① | |
| | 1 1 | 0 | ① | ① | 0 | |
| | 1 0 | 0 | | | ① | |

$Y = b + a\bar{x} + \bar{x}y$

Cas du relais Y : Le transitoire gênant que nous appellerons transitoire séparé se trouve adjacent à la ligne de changement d'état du relais. Il prend immédiatement la valeur de l'état stable qui suit.

Cas du relais X : Le transitoire séparé ne se trouve pas adjacent à la ligne de changement d'état du relais. Il conserve la valeur de l'état stable précédent.

Le transitoire normal se trouve adjacent à la ligne de changement d'état. Il prend la valeur du stable qui suit.

| | | ab | | | | |
|-----|-----|----|----|----|----|---|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | X |
| x y | 0 0 | ① | | | 0 | |
| | 0 1 | ① | 1 | 1 | ① | |
| | 1 1 | 1 | ① | ① | 1 | |
| | 1 0 | 0 | | | ① | |

$X = b + ax + xy$

Règle : Lorsque l'on a plusieurs variables auxiliaires et pour l'équation des relais, l'état transitoire prend immédiatement la valeur de l'état stable qui suit lorsqu'il se trouve soit adjacent à cet état stable, soit adjacent à la ligne de changement d'état du relais pour le sens souhaité.

Application pratique de cette règle : On part du stable terminal. On donne au transitoire adjacent la même valeur obtenue par une flèche oblique. Une 2^e flèche oblique parallèle à la 1^{re} donne la valeur du 2^e transitoire.

GROUPEMENTS PERMETTANT D'ÉVITER L'ALÉA DE SÉQUENCE

| | | ab | | | |
|-----------------------------|-----|----|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| Etats transitoire à ajouter | 0 0 | ① | ④ | ⑤ | 2 |
| | 0 1 | ③ | 4 | 5 | ② |
| | 1 1 | | | ⑤ | |
| | 1 0 | 1 | | ⑤ | ⑥ |

Lorsque dans une même colonne verticale il n'y a qu'un seul état stable il ne peut y avoir d'aléa de séquence si on prend la précaution d'ajouter 2 états transitoires comme ci-contre.

Dans ce cas on peut appliquer soit la règle générale, soit la règle ci-dessus, cette dernière conduisant souvent à des solutions plus simples.

LOGIQUE SÉQUENTIELLE

RÉSUMÉ CONCERNANT LA MÉTHODE MATRICIELLE

5 E 13

- La matrice primitive s'établit en fonction de tous les états possibles des variables connues.
- Nous aurons donc :
 - 4 colonnes verticales pour 2 variables
 - 8 colonnes verticales pour 3 variables
 - 16 colonnes verticales pour 4 variables
- Le passage d'une phase de fonctionnement à une autre ne peut se faire que par changement d'état d'une seule variable à la fois.
- Les états stables et les états transitoires qui y conduisent (donc même repères) se trouvent toujours dans la même colonne verticale.
- Chaque ligne horizontale est réservée à un seul état stable mais peut comporter un ou plusieurs états transitoires.
- La matrice contractée s'obtient en superposant les lignes horizontales. On ne peut ainsi superposer que les lignes qui ont le même repère (qu'il s'agisse d'état stable ou d'état transitoire, en donnant la priorité aux états stables) et évidemment les cases vides.
- Pour les problèmes nécessitant un relais auxiliaire tel que X , la règle pour obtenir l'équation est la suivante :
 - Pour les états stables, X et son contact x ont même valeur.
 - Pour les états transitoires, X prend immédiatement la valeur de l'état stable qui suit.
- Pour les problèmes nécessitant plusieurs relais auxiliaires, la règle pour obtenir l'équation de ces relais est la suivante :
 - Pour les états stables un relais tel X et son contact x ont même valeur.
 - Pour les états transitoires adjacents aux états stables vers lesquels ils conduisent, X prend immédiatement la valeur de l'état stable qui suit.
 - Pour les états transitoires séparés des états stables vers lesquels ils conduisent, on se fixe un sens de fonctionnement que l'on indique par des lignes fléchées. Les états transitoires adjacents aux lignes de changement d'état du relais prennent immédiatement la valeur de l'état stable qui suit.
- Dans les tableaux des sorties un état transitoire qui relie 2 états stables ayant des valeurs différentes peut prendre indifféremment les valeurs 0 ou 1.

LOGIQUE SÉQUENTIELLE MÉTHODE DIRECTE SUR RECTANGLE DE KARNAUGH

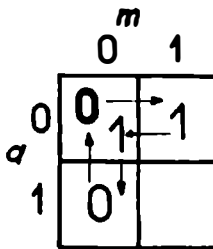
5 E 14

Cette méthode a été adaptée aux circuits électriques par l'auteur, à partir de celle utilisée couramment dans l'industrie pour l'étude des circuits pneumatiques.

PREMIER PROBLÈME : FONCTION MÉMOIRE

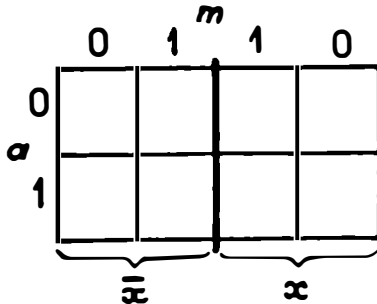
La commande d'un appareil S est obtenue à partir de 2 boutons-poussoirs m et a . Une impulsion sur m permet d'obtenir la marche. Une impulsion sur a permet d'obtenir l'arrêt.

Affichons les valeurs de S dans un rectangle de Karnaugh. (Les lignes droites avec une flèche dites **lignes de transfert d'état** nous indiquent le déroulement du cycle.)



La présence dans la case définie par $m = 0$, $a = 0$ de 1 et de 0 signifie qu'il ne s'agit pas de logique combinatoire, que le problème ne peut être résolu avec les seules variables connues et qu'en conséquence il faudra ajouter un relais.

Nous allons construire un 2^e rectangle de Karnaugh, de surface double (pour la variable secondaire) en procédant comme ci-dessous.

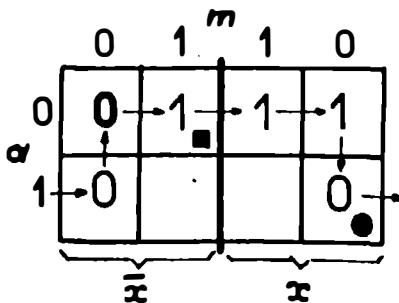


Les 2 parties de ce nouveau rectangle correspondent aux 2 états possibles d'un relais (par exemple X) que nous venons d'ajouter.

Les différents contacts de ce relais seront par exemple à l'état \bar{x} pour la partie de gauche et x pour la partie de droite.

Un trait épais divise la figure en 2 parties symétriques.

Le fonctionnement correspondant au problème posé est alors affiché à nouveau en passant toujours d'une case à une case adjacente.



1^{re} remarque : Nous constatons que lorsque l'action sur la variable m nous conduit à la case marquée ■, le relais change d'état et passe de la valeur 0 à la valeur 1. Cette case correspond donc à un état transitoire de très courte durée (quelques fractions de seconde).

Nous avons affiché dans cette case la valeur 1. Or S peut différer d'une fraction de seconde pour prendre la valeur 1. Le fonctionnement sera donc aussi satisfaisant si on affiche pour cette case la valeur 0.

LOGIQUE SÉQUENTIELLE

MÉTHODE DIRECTE SUR RECTANGLE DE KARNAUGH

5 E 15

2^e remarque : lorsque l'action sur la variable « a » nous conduit à la case marquée ● le relais change d'état et passe de la valeur 1 à la valeur 0. Il s'agit d'un état transitoire, et pour les mêmes raisons qu'en 1^{re} remarque — puisque S change aussi d'état — on peut afficher dans cette case les valeurs 0 ou 1.

Conclusion : lorsqu'un état transitoire se trouve à cheval sur 2 états stables de valeur différente, il peut prendre indifféremment les valeurs 0 ou 1 (règle déjà connue).

Nous reconnaitrons une case à état transitoire au fait qu'elle se trouve adjacente à une ligne épaisse (changement d'état du relais) et que la flèche indiquant le cycle de fonctionnement part de cette case et traverse la ligne épaisse.

RÉSOLUTION DU PROBLÈME : ÉQUATIONS

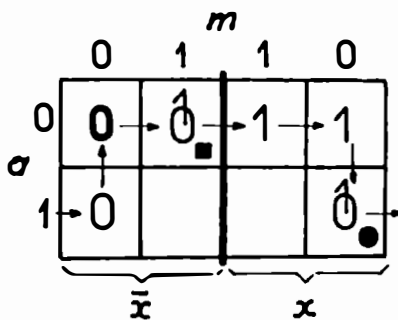
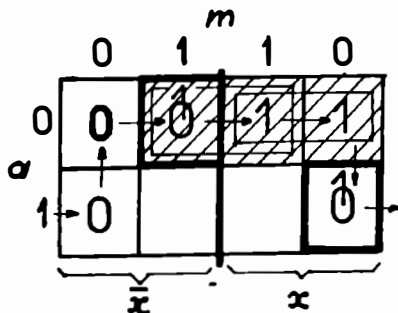


Tableau de fonctionnement

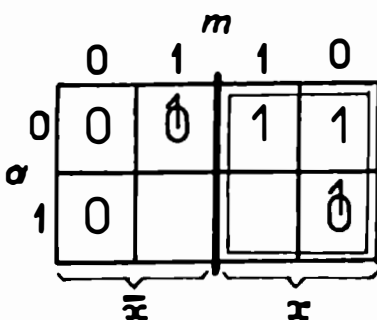
Le relais X passe à l'état 1 lorsque le cycle de fonctionnement conduit à la case marquée ■. Il vaut donc 1 pour cette case et pour toutes les autres cases de droite à l'exception de la case marquée ● ou X repasse à la valeur 0.



Équation de X

Nous hachurons les cases pour lesquelles X vaut 1 et nous faisons le **groupement des cases hachurées quel que soit leur contenu**, en utilisant ou non les cases vides. Les cases qui commandent le passage du relais de 0 à 1, puis de 1 à 0 sont repérées par des traits plus épais

$$X = \bar{a}m + \bar{a}x = \bar{a}(m + x).$$



Équation de S

Pour S on prend les cases marquées 1 en groupant ou non avec les cases marquées 0 et les cases vides.

$$S = x.$$

LOGIQUE SÉQUENTIELLE

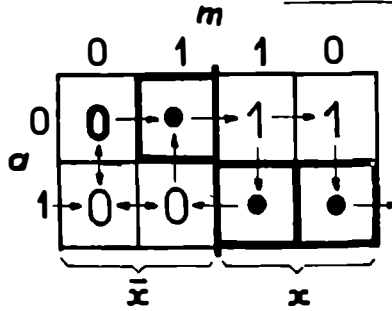
MÉTHODE DIRECTE SUR RECTANGLE DE KARNAUGH

5 E 16

COMPLÉMENTS SUR LE PREMIER PROBLÈME

Nous allons envisager le cas de pression simultanée sur m et sur a , l'appareil S prenant la valeur 0 dans ce cas (priorité au bouton a).

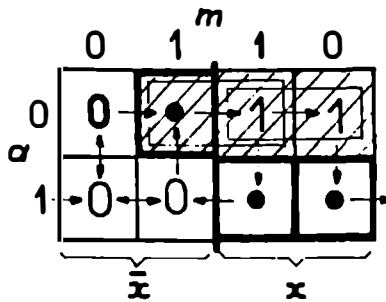
Tableau de fonctionnement pour la 1^{re} solution



1^{re} remarque : pour les cases où on peut afficher indifféremment 0 ou 1, nous ferons désormais un point, symbole plus facile à représenter.

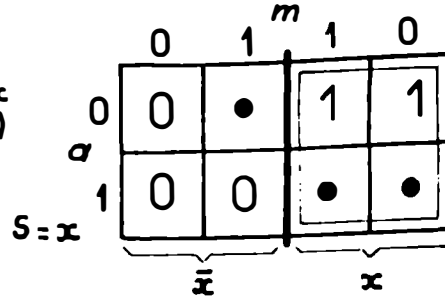
2^e remarque : une ligne avec 2 flèches (une à chaque extrémité) indique que l'on peut revenir à l'état précédent.

Équation de X



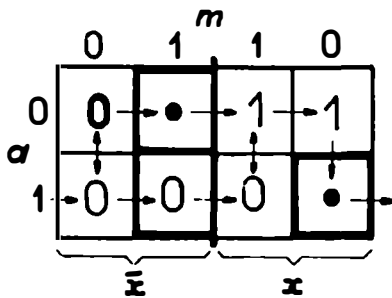
$$X = \bar{a}m + ax \\ = \bar{a}(m+x)$$

Équation de S



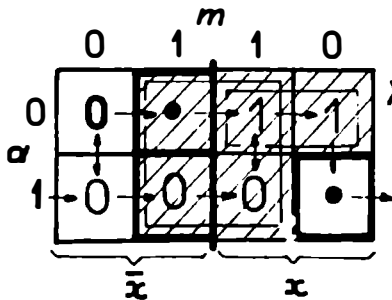
$$S = x$$

Tableau de fonctionnement pour la 2^e solution



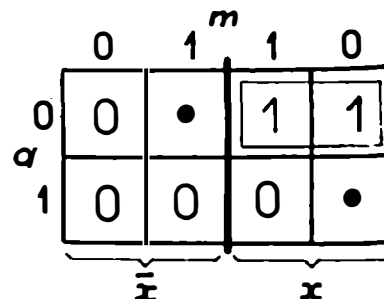
Comme pour la première solution (ci-dessus) on indique le retour à un état précédent par une ligne de transfert d'état avec 2 flèches.

Équation de X



$$X = m + ax$$

Équation de S

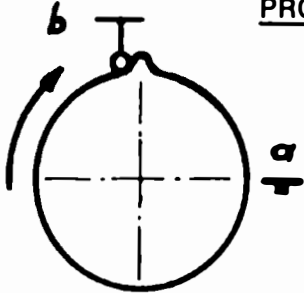


$$S = \bar{a}x$$

LOGIQUE SÉQUENTIELLE
MÉTHODE DIRECTE SUR RECTANGLE DE KARNAUGH

5 E 17

PROBLÈME II : PRESSE



Soit une presse : lorsque l'on donne une impulsion sur un bouton-poussoir *a* l'embrayage *E* est excité et la broche fait un tour complet.

En fin de tour une came agit sur un contact *b* et la fin de l'action sur *b* provoque la fin de la rotation ($E = 0$).

| | | | |
|----------|---|----------|---|
| | | <i>a</i> | |
| | | 0 | 1 |
| <i>b</i> | 0 | 0 | 1 |
| | 1 | 1 | |

Solution

Nous constatons qu'une case comporte 2 valeurs différentes. Il faudra donc un relais.

Tableau de fonctionnement

| | | | | | |
|----------|---|-----------|---|-----|---|
| | | <i>a</i> | | | |
| | | 0 | 1 | 1 | 0 |
| <i>b</i> | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | 1 | 1 | | | 1 |
| | | \bar{x} | | x | |

Remarque : dans ce cas nous avons un seul des 2 états transitoires à cheval sur 2 valeurs différentes de la sortie.

Équation de X

Il est inutile de reproduire 2 fois le tableau de fonctionnement. On détermine la valeur de *X* après avoir hachuré les cases convenables, en groupant celles-ci avec éventuellement les cases vides.

$$X = a\bar{b} + x\bar{b} = \bar{b} (a + x).$$

Équation pour E

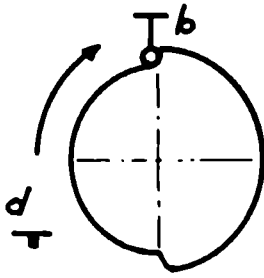
| | | | | | |
|----------|---|-----------|---|-----|---|
| | | <i>a</i> | | | |
| | | 0 | 1 | 1 | 0 |
| <i>b</i> | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | 1 | 1 | | | 1 |
| | | \bar{x} | | x | |

$$E = b + x.$$

LOGIQUE SÉQUENTIELLE

MÉTHODE DIRECTE SUR RECTANGLE DE KARNAUGH

5 E 18

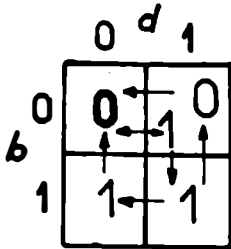


PROBLÈME III : DÉCOUPOIR

Soit un découpoir : pour que l'embrayage E soit excité on doit appuyer sur un bouton-poussoir d . Si on cesse d'appuyer alors que la broche n'a pas fait un demi-tour, il y a arrêt. En appuyant à nouveau, E reprend la valeur 1.

Dès que le découpoir remonte il y a action sur b . On peut cesser d'appuyer sur d , le mouvement continue et s'arrête quand il n'y a plus d'action sur b (point mort haut).

Si on n'a pas cessé d'appuyer sur d le découpoir s'arrête néanmoins au point mort haut, c'est-à-dire dès la fin de l'action sur b .

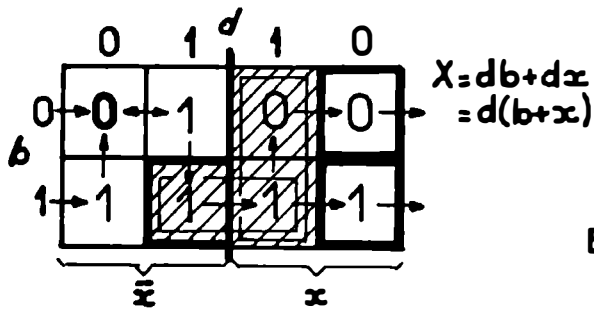


Solutions

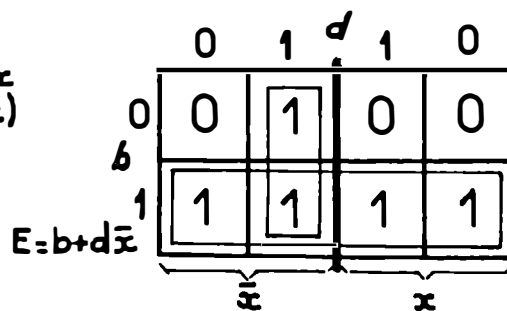
Nous constatons la nécessité d'un relais puisqu'il y a une case avec 2 valeurs différentes pour E .

Première solution

Tableau de fonctionnement
et équation de X

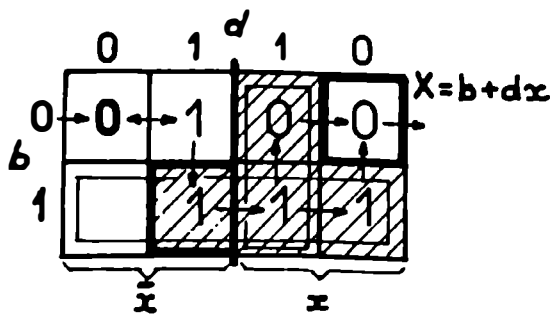


Équation de la sortie E

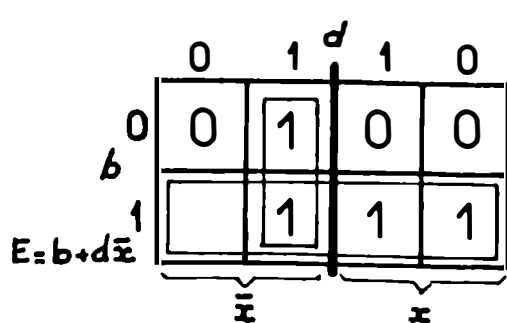


Deuxième solution

Tableau de fonctionnement
et équation de X



Équation de la sortie E



LOGIQUE SÉQUENTIELLE MÉTHODE DIRECTE SUR RECTANGLE DE KARNAUGH

5 E 19

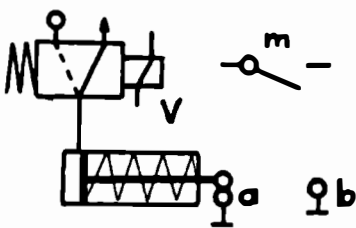
Remarque : en pratique on ne fait pas le premier affichage.

Quel que soit le problème posé, on commence par établir un rectangle de Karnaugh, avec les variables connues. Ensuite en partant de la case départ on trace les lignes de transfert d'état.

Si une de ces lignes nous ramène à une case déjà occupée et que l'on soit obligé d'afficher une autre valeur, ou que la suite du cycle suppose un fonctionnement différent, on en conclut qu'il faut un relais et on double le premier tableau.

... Et ainsi de suite si un seul relais ne suffit pas.

PROBLÈME IV



Soit le vérin et son distributeur ci-contre, alimenté par une électro-valve V.

Au repos $a = 1$; $b = 0$; $m = 0$; $V = 0$.

La fermeture de m porte V à l'état 1, la tige du vérin sort ($a = 0$) puis en fin de course agit sur b . L'action sur b porte V à l'état 0, la tige du vérin rentre. L'action sur a remet V à l'état 1... Et ainsi de suite.

Lorsque l'on ouvre m le fonctionnement continue jusqu'à ce que la tige du vérin rentrant agit sur a . Le cycle s'arrête.

| | | | | | |
|-----------|-----|------|----|----|----|
| | | ab | | | |
| | m | 00 | 01 | 11 | 10 |
| \bar{x} | 0 | | | | 0 |
| | 1 | 0 | 0 | | • |
| x | 1 | 1 | • | | 1 |
| | 0 | | | | |

Solution

Nous avons fractionné la solution pour que la compréhension en soit facilitée. En réalité on ne fait qu'une seule matrice.

| | | | | | | |
|-----------|---|------|----|----|----|-----|
| | | ab | | | | |
| | | 00 | 01 | 11 | 10 | m |
| \bar{x} | 0 | 0 | 0 | | 0 | 0 |
| | 1 | 0 | 0 | | • | 1 |
| x | 1 | 1 | • | | 1 | 1 |
| | 0 | 1 | • | | 1 | 0 |

Dans la figure de gauche nous avons affiché le fonctionnement de l'ensemble lorsque l'on ferme l'interrupteur m .

Dans la figure de droite nous complétons en faisant apparaître l'ouverture de m , soit quand la tige sort, soit quand elle rentre.

| | | | | | |
|-----------|-----|------|----|----|----|
| | | ab | | | |
| | m | 00 | 01 | 11 | 10 |
| \bar{x} | 0 | 0 | 0 | | 0 |
| | 1 | 0 | 0 | | • |
| x | 1 | 1 | • | | 1 |
| | 0 | 1 | • | | 1 |

Tableau pour V
 $V = x$

La valeur de X est déterminée d'après le tableau de fonctionnement complet (figure de droite)

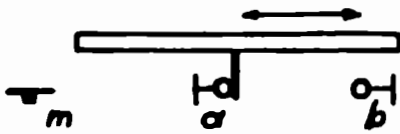
$$X = am + x\bar{b}$$

LOGIQUE SÉQUENTIELLE

MÉTHODE DIRECTE DU RECTANGLE DE KARNAUGH

5 E 20

PROBLÈME V



Une table peut se déplacer soit à droite (grâce à un contacteur D) soit à gauche (grâce à un contacteur G).

A l'arrêt $m = 0$; $a = 1$; $b = 0$.

Si on donne une impulsion sur m , la table se déplace à droite ($D = 1$) et en fin de course droite l'action sur b coupe D et met G à l'état 1.

La table se déplace alors à gauche et en fin de course gauche l'action sur a coupe l'alimentation de G . Le cycle est terminé.

Remarque : nous n'envisageons que le cas m « m » reçoit une impulsion qui peut durer moins que ne dure le relâchement de a ou plus que dure le relâchement de a .

Solution

Nous avons 2 sorties D et G . Nous allons établir 2 tableaux de fonctionnement : un pour D , un pour G .

Tableau de fonction^r pour D

| | | ab | | | |
|-----------|-----|------|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| \bar{x} | m | 0 | 0 | | 0 |
| | 1 | | | | 1 |
| x | 1 | 1 | | | 1 |
| | 0 | 1 | 1 | | 1 |

Du tableau de fonctionnement pour D , on détermine la valeur de X :
 $X = m + \bar{b}x$.

| | | ab | | | |
|-----------|-----|------|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| \bar{x} | m | 0 | 0 | | 0 |
| | 1 | | | | 1 |
| x | 1 | 1 | | | 1 |
| | 0 | 1 | 1 | | 1 |

Tableau pour D
 $D = x$

Tableau de fonction^r pour G

| | | ab | | | |
|-----------|-----|------|----|----|----|
| | | 00 | 01 | 11 | 10 |
| \bar{x} | m | 1 | 1 | | 0 |
| | 1 | | | | 0 |
| x | 1 | 0 | | | 0 |
| | 0 | 0 | 1 | | 0 |

Les lignes de transfert d'état sont évidemment les mêmes dans les 2 tableaux.

Le fonctionnement du relais est aussi le même.

Seul diffère le contenu des cases.

Comme on a déjà déterminé l'équation du relais, ce tableau va nous servir à déterminer l'équation de G

$$G = \bar{a}\bar{x}$$

**LOGIQUE SÉQUENTIELLE - RÉSUMÉ CONCERNANT LA
MÉTHODE DIRECTE SUR RECTANGLE DE KARNAUGH**

5 E 21

On établit un rectangle de Karnaugh avec les seules variables connues en représentant le cycle de fonctionnement à l'aide de lignes fléchées.

On affiche dans les cases les valeurs de la sortie.

L'affichage s'effectue en passant toujours d'une case à une case adjacente.

Si le fonctionnement nous conduit à nouveau à une case occupée par une variable de sortie différente de celle que nous nous apprêtons à y mettre, on double le rectangle primitif, et on continue l'affichage dans une case symétrique.

En doublant le rectangle primitif on fait apparaître un relais auxiliaire tel que X . Les variables secondaires d'entrée que l'on ajoute alors soit x et \bar{x} sont indiquées sur le nouveau rectangle.

Équation de X .

X vaut 1 pour toutes les cases occupées correspondant à x avec en plus les cases qui commandent le basculement du relais de 0 à 1 et en moins les cases qui commandent le basculement du relais de 1 à 0.

Ces cases commandant le basculement et qui se trouvent nécessairement adjacentes à la ligne de symétrie du diagramme complet seront repérées par des traits forts, ou de couleur.

Toutes les cases pour lesquelles X vaut 1 sont hachurées.

Pour avoir l'équation de X on groupe les cases hachurées sans s'occuper de leur contenu.

Équation de la sortie.

Remarque concernant les valeurs de la sortie qui sont dans les cases commandant le basculement du relais (cases repérées par des traits forts et qui correspondent à des états transitoires). Lorsque ces cases se trouvent comprises entre 2 valeurs différentes de la sortie, on peut afficher indifféremment à l'intérieur 0 ou 1 ce que l'on indique par un point.

L'équation de la sortie s'obtient en groupant les cases marquées 1 et si cela permet un groupement plus facile, les cases avec un point et les cases vides.

Note

Cette partie est réalisée d'après les recommandations établies par l'ADEPA (Agence nationale pour le Développement de la Production Automatisée).

De nombreuses entreprises industrielles telles Télémécanique Électrique; Climax; Crouzet, suivent ces recommandations ce qui laisse supposer une généralisation rapide de l'utilisation du Grafcet.

Le Grafcet (GRAphe de Commande Étape Transition) est un diagramme fonctionnel permettant de décrire, de représenter et d'interpréter facilement un système automatisé.

Le Grafcet est donc un nouveau langage graphique d'étude et de description du fonctionnement d'un système automatisé.

Analyse d'un système automatisé

Tous les systèmes automatisés comprennent 2 parties.

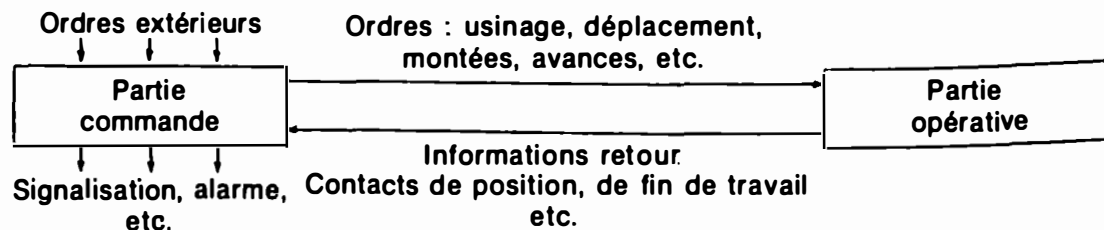
La partie commande :

Elle élabore les ordres nécessaires à l'exécution du processus en fonction d'informations qu'elle reçoit.

Ces informations sont : soit adressées par une personne extérieure au système (action sur boutons-poussoirs; programme de fonctionnement; ordres divers),
soit des informations retour de la partie opérative (capteurs de position, de dimensions, etc.).

La partie opérative :

ou partie puissance qui effectue les opérations en fonction des ordres qui sont donnés par la partie commande. Elle est constituée par différents moteurs, vérins actionnant des outils, assurant des blocages, déplaçant des pièces, etc.



Grafcet 1^{er} niveau

Le premier niveau du grafcet décrit le comportement de la partie commande vis-à-vis de la partie opérative en précisant le fonctionnement seul et sans indiquer la technologie qui sera retenue.

Par exemple pour une partie opérative on écrira : « déplacement de la pièce de A vers B ». Mais on ne précisera pas comment se fera ce déplacement (par vérin ou moteur).

Grafcet 2^e niveau

Dans ce grafcet, le choix technologique est fait. Les capteurs sont connus. Les organes de puissance aussi.

Sur ce grafcet de niveau 2 on peut indiquer également les conditions d'environnement de l'automatisme. Tension d'alimentation, pression, température, etc.

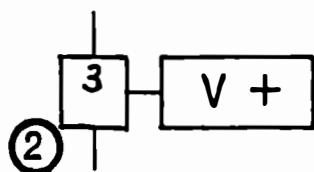
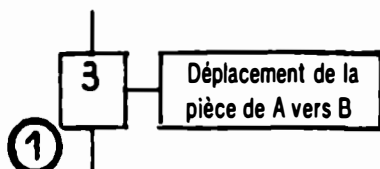
LE GRAFCET : PRINCIPES

5 F 02

Représentation du Grafcet

Étape :

Une étape correspond à une période de fonctionnement de la partie commande. Pendant toute la durée de l'étape le comportement de la partie commande est invariable. Exemple : Rotation d'un moteur ; mise sous pression de la chambre d'un vérin, etc.



Une étape se représente par un carré repéré numériquement. A côté de ce carré on inscrit l'action associée à l'étape, à l'intérieur d'un rectangle. Ces actions qui peuvent être de nature fort diverses sont décrites de façon soit littérale soit symbolique.

Ci-contre, exemple de représentation d'une étape, avec l'action qui lui est associée.

1 - Pour grafcet de niveau 1 ; forme littérale : Écriture.

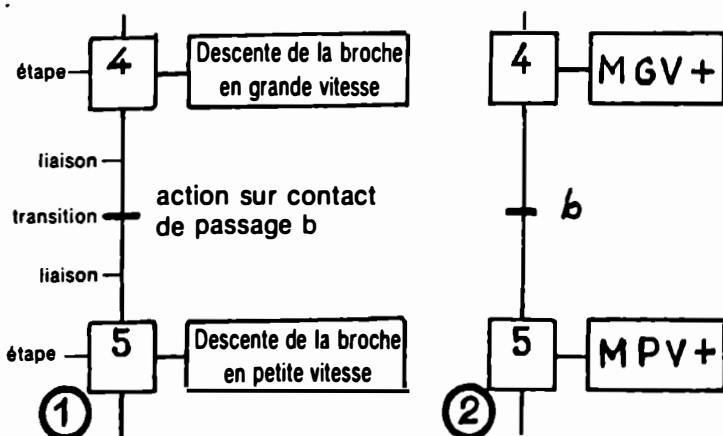
2 - Pour grafcet de niveau 2 ; le déplacement se fait par vérin : représentation symbolique de la mise sous pression de la chambre qui fait sortir la tige du vérin.

Transition :

La transition indique la possibilité d'évolution entre 2 étapes qui se suivent. A chaque transition est associée une condition logique appelée réceptivité. Cette condition logique est fournie par l'état d'une ou plusieurs variables (variables d'entrée ; fin de course ; temporisation ; etc.).

Liaison orientée : (arc)

Elle est constituée par un trait horizontal ou vertical qui relie une étape à une transition, ou une transition à une étape. Cette liaison comporte une flèche pour indiquer le sens de la lecture. Cette flèche peut être supprimée si la lecture se fait de haut en bas.



Partie de Grafcet comprenant 2 étapes reliées par liaisons orientées comportant une transition.

1 : Grafcet de niveau 1.

2 : le même Grafcet mais de niveau 2 (la descente se fait par moteur MGV, puis par moteur MPV).

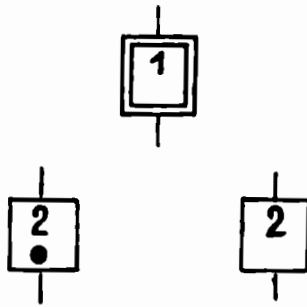
Remarques importantes :

- 2 étapes qui se suivent sont toujours séparées par une transition.
- Le grafcet se referme toujours sur lui-même par une liaison orientée, et une transition reliant la dernière étape à l'étape n° 1.

LE GRAFCET : SYMBOLES UTILISÉS

5 F 03

Étapes

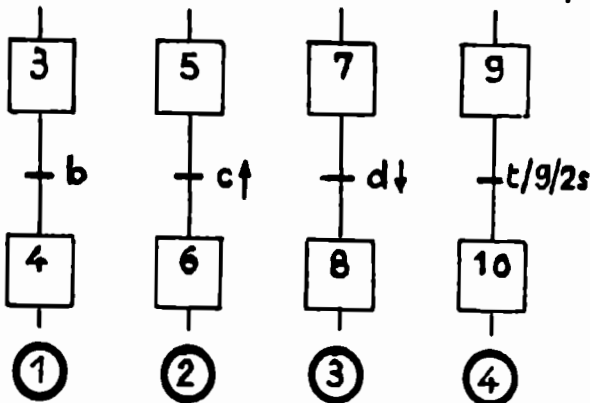


Étape initiale : Point de départ du cycle. On dessine un 2^e carré à l'intérieur du premier.

Étape active : Symbole de gauche, étape active, c'est-à-dire que l'action associée à l'étape est en train de s'effectuer. Le fait d'indiquer qu'une étape est active précise le fonctionnement du système à un instant « t » bien défini. On ajoute un point au symbole habituel.

Symbole de droite : la même étape, non active.

Transitions - Réceptivités



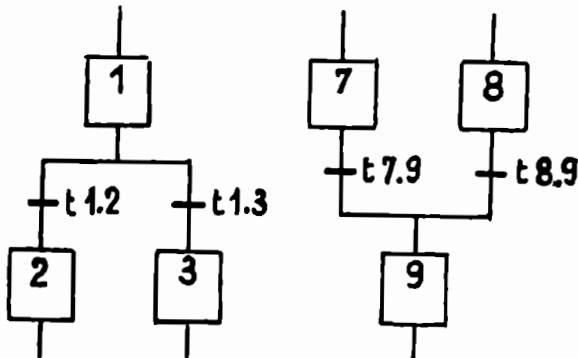
1 - La transition entre les étapes 3 et 4 s'effectue quand il y a action sur la variable « b ».

2 - La transition entre les étapes 5 et 6 s'effectue sur le front montant de la variable « c » (c'est-à-dire lorsqu'il y a action sur « c »).

3 - La transition entre les étapes 7 et 8 s'effectue sur le front descendant de la variable « d » (c'est-à-dire au relâchement de « d »).

4 - La notation t/9/2s indique que 2 secondes devront s'être écoulées depuis la dernière activation de l'étape 9 pour passer à l'étape 10.

Aiguillages



Il s'agit d'un choix conditionnel entre plusieurs séquences (ou exclusif).

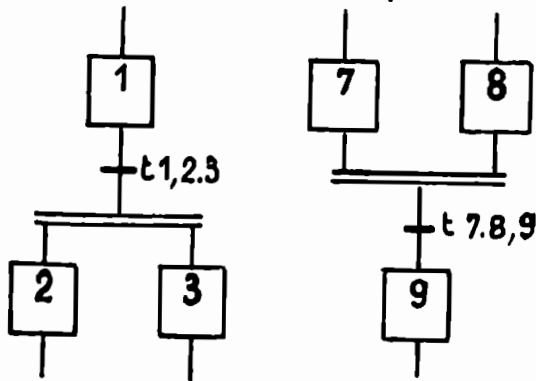
Le cycle se continue par l'une ou l'autre branche exclusivement.

Ainsi : l'étape 2 devient active si l'étape 1 est active et si la réceptivité t 1.2 est satisfaite.

L'étape 3 devient active si l'étape 1 est active et si la réceptivité t 1.3 est satisfaite.

L'étape 9 devient active si l'étape 7 est active et si la réceptivité t 7.9 est satisfaite, etc.

Séquences simultanées



Il s'agit de plusieurs séquences qui s'effectuent simultanément mais de manière indépendante.

Pour que le cycle continue, il faut que chaque branche ait rempli son rôle (fonction ET).

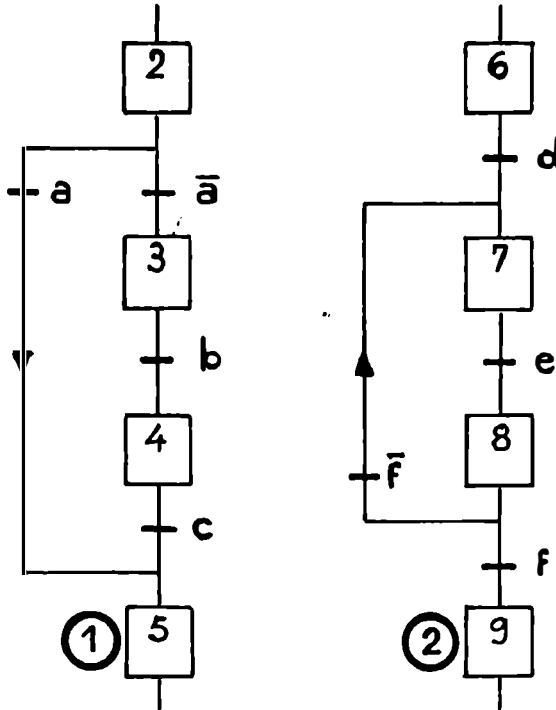
Ainsi : si l'étape 1 est active, si la réceptivité t 1. 2. 3 est satisfaite, les étapes 2 et 3 deviennent actives simultanément.

D'autre part, pour que l'étape 9 devienne active, il faut : que les étapes 7 et 8 soient actives; que la réceptivité t 7. 8. 9 soit satisfaite.

LE GRAFCET : SYMBOLES UTILISÉS

5 F 04

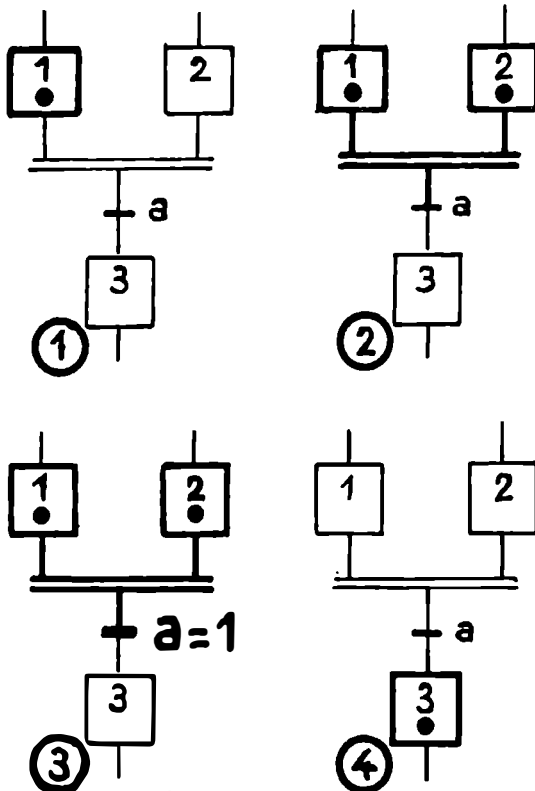
Saut d'étape - Reprise de séquence



1 - Saut d'étape : Il s'agit d'un aiguillage particulier permettant de sauter une ou plusieurs étapes lorsque les actions à réaliser deviennent inutiles. Ainsi, si la condition a est remplie on passe directement de l'étape 2 à l'étape 5. Si la condition a n'est pas remplie (condition \bar{a} , lire absence de a) on passe de l'étape 2 à l'étape 3, puis 3 à 4, etc.

2 - Reprise de séquence : Elle permet de reprendre une séquence, si la condition fixée n'est pas obtenue. Ainsi à l'étape 8 si absence de f (condition \bar{f}) retour en 7. Si présence de f (condition f) passage de l'étape 8 à l'étape 9.

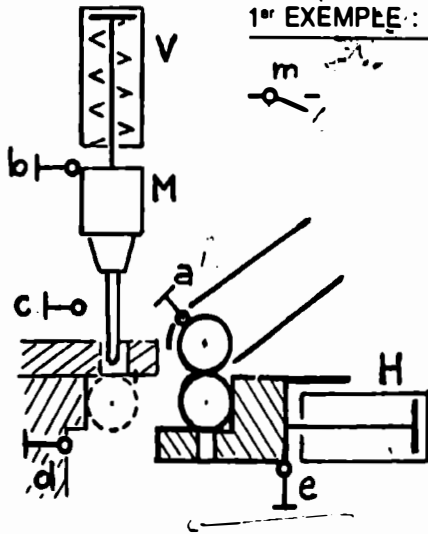
Règle d'évolution d'une transition
Transition validée - Transition franchie



Règles : Une transition est soit non validée (fig. 1), soit validée (fig. 2). Elle est validée lorsque toutes les étapes immédiatement précédentes sont actives. Une transition ne peut être franchie que lorsqu'elle est validée et que la réceptivité associée à la transition est vraie (fig. 3). Quand les conditions ci-dessus sont remplies, la transition est obligatoirement franchie (fig. 4). Le franchissement d'une transition entraîne l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes. Plusieurs transitions simultanément franchissables sont simultanément franchies.

LE GRAFCET : EXEMPLES

5 F 05

1^{er} EXEMPLE : PERCEUSE AUTOMATISÉE

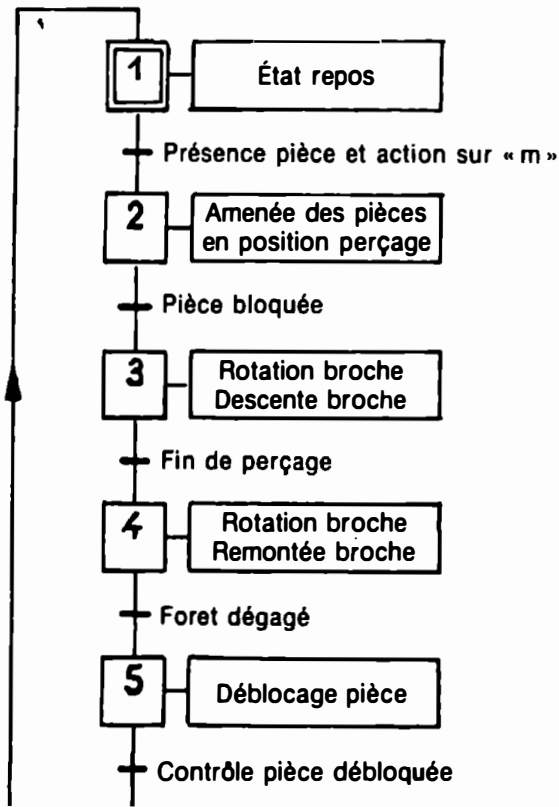
Les pièces arrivent par une goulotte et sont contrôlées par actions sur un capteur « a ». Le cycle démarre lorsqu'il y a action sur « m » et s'il y a action sur « a ». A ce moment la tige du vérin H sort et bloque la pièce à percer en agissant sur « d ». Le moteur M se met en route et la broche descend grâce au vérin V. En fin de perçage il y a action sur « b », la tige du vérin H rentre, pendant que la pièce percée, empêchée de suivre le mouvement retour par une petite lamelle s'évacue par gravité. Le cycle est terminé. Il redémarre s'il y a à nouveau action sur « a » et sur « m ».

Remarques : 1 - Le Grafcet de niveau 1 résume ce fonctionnement.

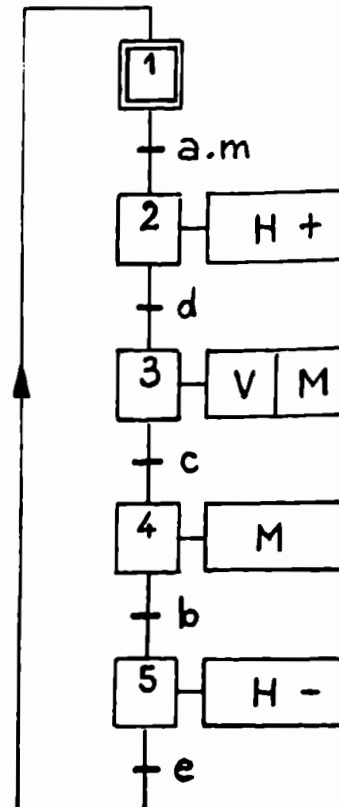
2 - Pour la réalisation le choix technologique est le suivant. Les 2 vérins sont commandés par électrovannes. Le vérin H est à double effet. Sa tige sort si on porte H₁ à l'état 1 et reste sortie quand H₁ reprend la valeur 0.

Sa tige rentre si on porte H₀ à l'état 1 et reste rentrée quand H₀ reprend la valeur 0. Le vérin V est à simple effet. Sa tige sort si V = 1 et rentre si V = 0. Cette différence apparaît dans le grafcet de niveau 2 (voir explications pl. 2 F 07).

Grafcet de niveau 1



Grafcet de niveau 2

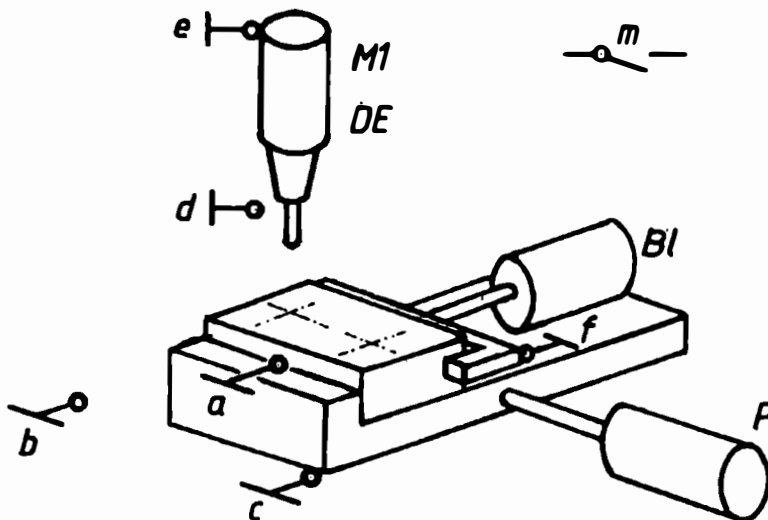


LE GRAFCET : EXEMPLES

5 F 06

2^e EXEMPLE : ÉQUIPEMENT POUR PERÇAGE DE 2 TROUS

Croquis simplifié de l'équipement mécanique.

**Équipement :**

BI : Vérin de blocage du type à double effet commandé par électro-vanne BI + et BI -. Quand BI + = 1 la tige du vérin sort et reste sortie même si BI + a repris la valeur 0. Quand BI - = 1 la tige du vérin rentre et reste rentrée même si BI - a repris la valeur 0.

M1: Moteur de perçage.

DE : Vérin de descente du type à simple effet commandé par électro-vanne DE (DE = 1 la tige sort; De = 0 la tige rentre).

P : Vérin de positionnement du type à double effet commandé par 2 électrovannes P + et P - (fonctionnement comme BI).

Remarque : Il a été choisi volontairement 2 types de vérins, même si ce choix est discutable pour varier les exemples.

Cycle :

Les pièces sont posées manuellement. Le cycle démarre par action sur un bouton-poussoir « m ». Le vérin de blocage bloque la pièce (contrôle par « a »). Le moteur M se met en marche, et le vérin D fait descendre la broche. En fin de perçage il y a action sur « d ». Une temporisation de 0,5 s s'écoule puis la broche remonte. Il y a action sur « e ». Le vérin P pousse la pièce bloquée. Il y a action sur « b ». La broche descend. En fin de perçage il y a de nouveau temporisation, puis la broche remonte (action sur « e »). Le moteur s'arrête et le vérin P reprend sa position initiale (action sur « c »). Le vérin de blocage BI rentre (action sur « f »). Le cycle est terminé.

Grafcet de niveau 1 :

Nous laissons au lecteur le soin d'établir le grafcet de niveau 1.

Grafcet de niveau 2 :

Voir page suivante.

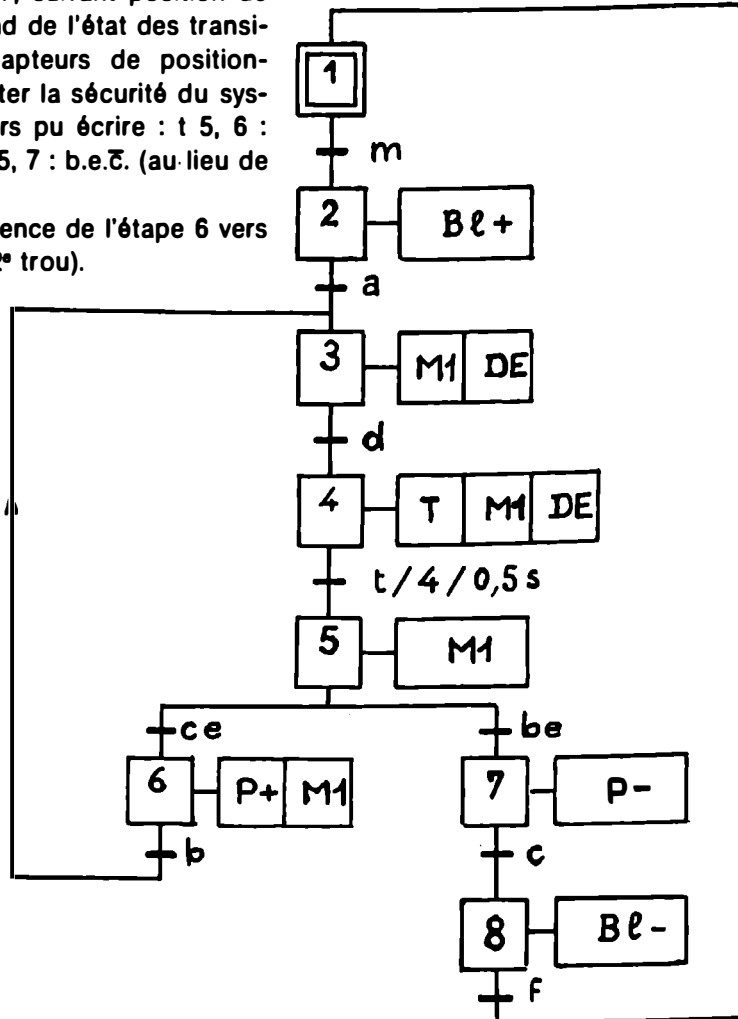
LE GRAFCET : EXEMPLES

5 F 07

Sur le *Grafcet de niveau 2* (ci-dessous) on remarque :

1 - La présence d'un aiguillage : Étape 5 vers étape 6 ou vers étape 7, suivant position de P. Cet aiguillage dépend de l'état des transitions « b » et « c » (capteurs de positionnement). Pour augmenter la sécurité du système on aurait d'ailleurs pu écrire : t 5, 6 : c.e. \bar{b} (au lieu de c.e.) t 5, 7 : b.e. \bar{c} . (au lieu de be).

2- Une reprise de séquence de l'étape 6 vers l'étape 3 (perçage du 2^e trou).



Symboles concernant les actions associées aux étapes

En l'absence de normalisation et pour se rapprocher le plus de ce qui est utilisé actuellement la symbolisation suivie est la suivante.

Lorsque ces actions concernent le fonctionnement de vérins à double effet ou autres dispositifs bistables (au sens très large).

| | | | |
|---|------|--|------|
| Sortie de la tige du vérin V (la chambre V+ est portée à l'état logique 1). | $V+$ | Rentrée de la tige du vérin V (la chambre V- est portée à l'état logique 1). | $V-$ |
|---|------|--|------|

Lorsque ces actions concernent le fonctionnement de Moteurs, vérins à simple effet ou autres dispositifs monostables (au sens très large).

| | | | |
|---|-----|--|------|
| Mise en marche du moteur (moteur mis à l'état logique 1). | M | Arrêt du moteur (moteur mis à l'état logique 0). | rien |
|---|-----|--|------|

LE GRAFCET : EXEMPLES

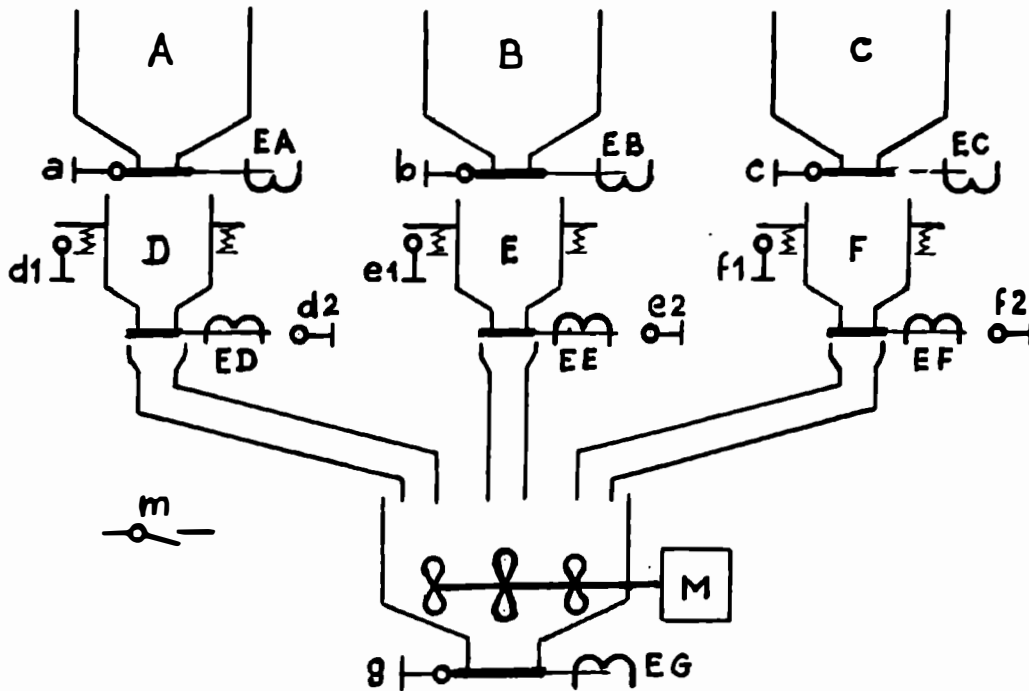
5 F 08

3^e EXEMPLE : DISPOSITIF DE DOSAGE AUTOMATIQUE

Croquis simplifié de l'équipement.

A, B, C : Trémies de stockage contenant 3 poudres différentes.

D, E, F : Trémies peseuses. Lorsque le poids que l'on a choisi est atteint, il y a action respectivement sur d_1 , e_1 , f_1 .

**Équipement :**

EA, EB, EC : Électro-vannes permettant l'ouverture des trémies A, B, C.

ED, EE, EF : Électro-vannes permettant l'ouverture des trémies peseuses D, E, F.
 d_1 , e_1 , f_1 : capteurs contrôlant le poids de poudre contenu par les trémies D, E, F.

M : Moteur du malaxeur.

EG : Électro-vannes permettant l'évacuation du produit après dosage et malaxage.

Cycle :

Le cycle démarre par la fermeture de « m ». A ce moment il y a ouverture simultanément des 3 électro-vannes EA, EB, EC. Les trémies peseuses se remplissent.

Supposons que le poids choisi pour D soit atteint (action sur d_1). Il y a fermeture de l'électrovanne EA (contrôle par « a »). L'électrovanne ED s'ouvre.

— La même chose se produit pour la trémie E.

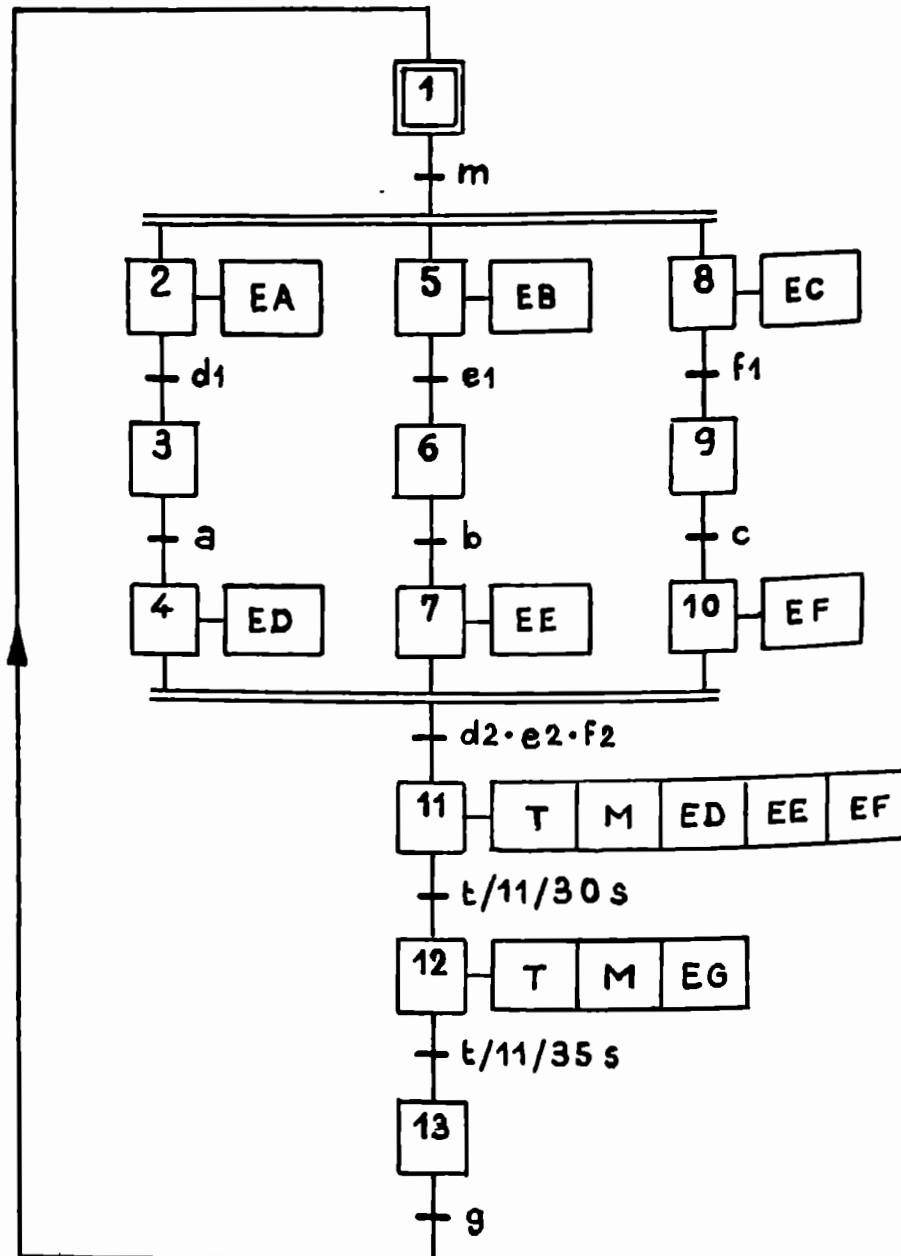
— La même chose se produit pour la trémie F.

Dès que les 3 électrovannes ED, EE et EF sont ouvertes (action sur « d_2 » et sur « e_2 » et sur « f_2 ») le moteur M se met en marche. Après 30 s de temporisation EG s'ouvre et les 3 électrovannes ED, EE, EF, se ferment. Le moteur continue à tourner pendant 5 s puis s'arrête en même temps que EG se referme. Il y a action sur « g ». Le cycle est terminé.

LE GRAFCET : EXEMPLES

5 F 09

Grafcet de niveau 2



Remarques : 1. Il y a 3 séquences simultanées dans ce grafcet. Elles sont identiques dans leur fonctionnement mais ont des durées différentes (en fonction du poids choisi notamment).

2. Le fait de n'avoir rien inscrit en face de certaines étapes signifie que les actions associées viennent de cesser.

Ainsi étape 2 : EA est à la valeur logique 1 (inscription EA).

étape 3 : EA est à la valeur logique 0 (inscription : rien).

LES SÉQUENCEURS : GÉNÉRALITÉS

5 F 10

Réalisés depuis quelques années les séquenceurs apportent une solution originale et relativement simple à tous les problèmes d'automatismes. Leur exploitation est plus aisée. Ils nécessitent toutefois un matériel en général plus conséquent que dans les réalisations traditionnelles.

Principe du séquenceur

— Le séquenceur est un équipement composé d'un certain nombre de modules dits modules de phase. L'enclenchement de chaque module de phase (qui commande une sortie) est le résultat de l'enclenchement du module précédent et de la présence d'un signal de commande.

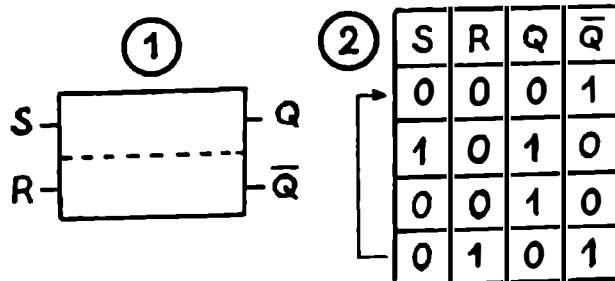
— Ces modules de phase sont constitués par des mémoires.

— Les solutions technologiques actuelles pour les séquenceurs sont :

Séquenceurs pneumatiques.

Séquenceurs électriques (mémoire constituée par un relais bistable).

Séquenceurs électroniques (mémoire constituée par une bascule bistable).

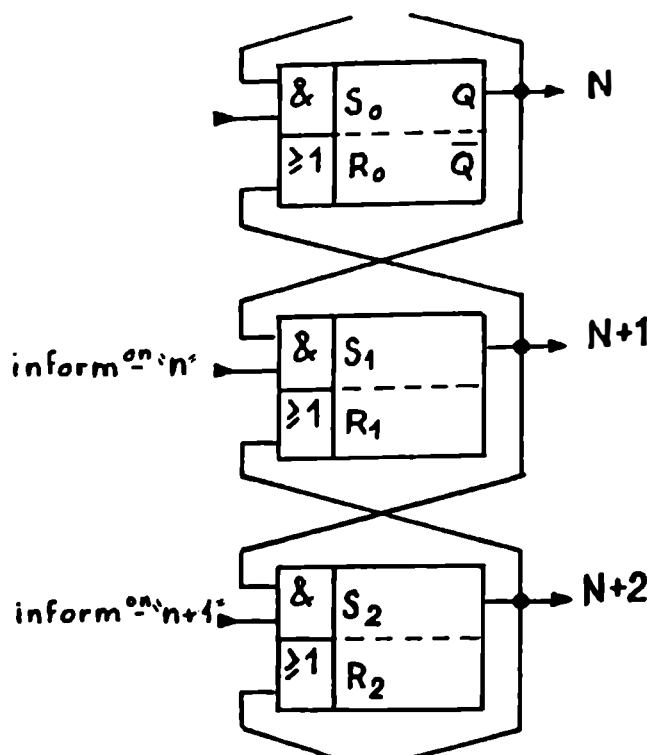


*Ci-contre : rappel :
Fonctionnement d'une bascule
bistable*

1 : Symbole.

2 : Table de vérité.

EXEMPLE : REPRÉSENTATION PARTIELLE D'UN SÉQUENCEUR ÉLECTRONIQUE



Il y a 3 modules de phase de représentés. Donc 3 bascules. (Dans cet exemple seule la sortie Q des bascules est utilisée.)

Une fonction ET est raccordée à l'entrée S.

Une fonction OU est raccordée à l'entrée R.

Supposons que l'étape N soit à l'état 1 (par exemple commande d'un déplacement à droite). En fin de course droite il va y avoir action sur un capteur « n ». A ce moment l'entrée S₁ de la deuxième bascule est portée à l'état 1. « N + 1 » prend cette valeur 1 et ramène la sortie N à 0 (R₀ porté à l'état 1).

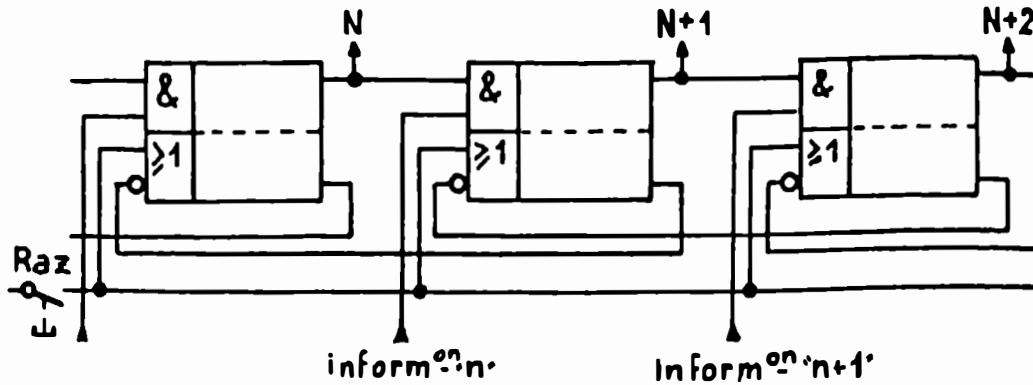
Le mouvement « N + 1 » s'effectue et à la fin fournit une information « n + 1 ». S₂ est porté à l'état 1. « N + 2 » prend l'état 1. R₁ prend l'état 1. « N + 1 » revient à la valeur 0, etc.

Remarque : les repères R, S, Q, \bar{Q} ne sont indiqués ici que pour aider aux explications.

LES SÉQUENCEURS : GÉNÉRALITÉS

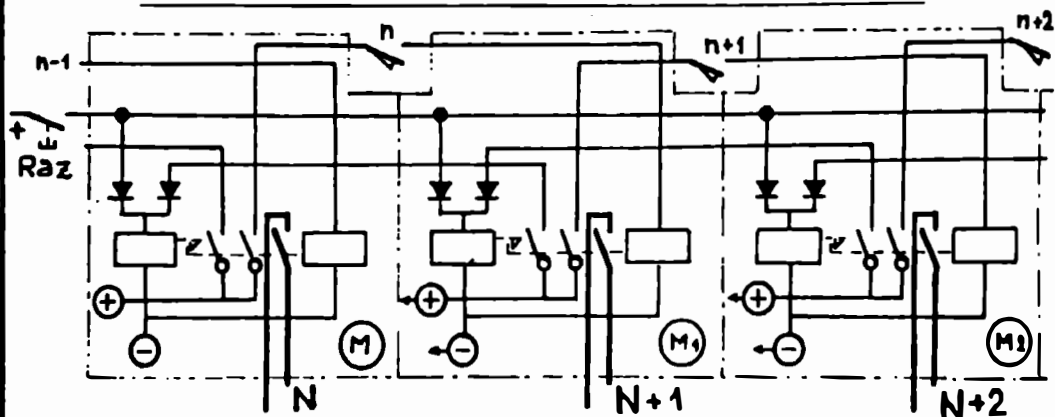
5 F 11

AUTRE REPRÉSENTATION PARTIELLE D'UN SÉQUENCEUR ÉLECTRONIQUE



- Remarques :** 1 - Les mémoires sont dans ce cas alignées horizontalement.
 2 - Les sorties \bar{Q} des bascules sont utilisées dans ce cas. Comme il y a inversion sur l'entrée du OU qui est relié à R, l'effet est le même que si on raccordait Q au OU sans inversion.
 3 - La deuxième entrée du OU est ici reliée à un bouton poussoir Raz (remise à zéro). Il permet — comme son nom l'indique — de ramener à zéro toutes les sorties Q des bascules.

REPRÉSENTATION PARTIELLE D'UN SÉQUENCEUR ÉLECTRIQUE



Cette partie de séquenceur comporte 3 modules délimités par les traits mixtes. En position figure, les 3 sorties N, N + 1, N + 2, sont à l'état 0.

Si une information apparaît en « n - 1 », la bobine de droite du premier module M_1 prend l'état 1. N prendra l'état 1 et « n » sera « validé » c'est-à-dire que sa borne est réunie au +.

En fin de mouvement N, il y a action sur « n ». La bobine de droite du deuxième module (M_2) est alimentée. A ce moment et en même temps : N + 1 prend l'état 1 ; la bobine de gauche du premier module est alimentée et ramène la sortie N à 0 ; le contact « n + 1 » est « validé », etc.

Remarques : 1 - Les modules de ce type de séquenceur sont livrés assemblés. Seules les liaisons représentées ci-dessus hors du cadre en trait mixte sont à réaliser par l'utilisateur.

2 - Les sorties N ; N + 1 ; N + 2 ; sont indépendantes du circuit du séquenceur. Elles peuvent être utilisées directement pour faire fonctionner des contacteurs sous tension et nature du courant différentes de celles du séquenceur.

Remarque préliminaire

Nous avons vu que l'analyse d'un problème et sa transcription graphique sous forme de Grafcet utilisait des étapes séparées par des transitions.

Or le séquenceur utilise des modules de phase et le passage d'un module de phase au module suivant se fait par l'action d'une variable extérieure.

La réalisation d'un automatisme par séquenceur apparaît donc comme immédiate à partir d'un problème d'automatisme représenté sous forme de Grafcet.

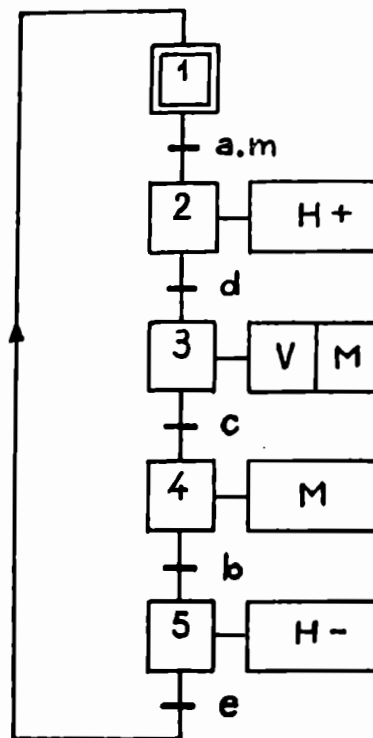
La méthode la plus simple consistera à associer à chaque étape un module de phase et à chaque transition, une ou plusieurs variables extérieures.

Le lecteur trouvera dans les pages qui suivent quelques solutions de problèmes obtenues avec des séquenceurs électroniques (dans la plupart des cas).

Exemples de problèmes traités par séquenceurs

PREMIER EXEMPLE : PERÇEUSE AUTOMATISÉE ; VOIR PL. 4 F 05

L'énoncé de ce problème est donné pl. 4 F 05. Nous reproduisons ci-dessous le grafcet de niveau 2 correspondant à cet énoncé.



Grafcet de niveau 2

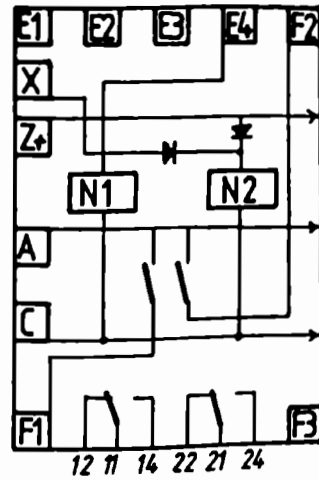
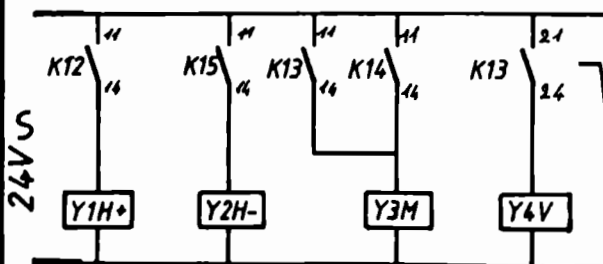
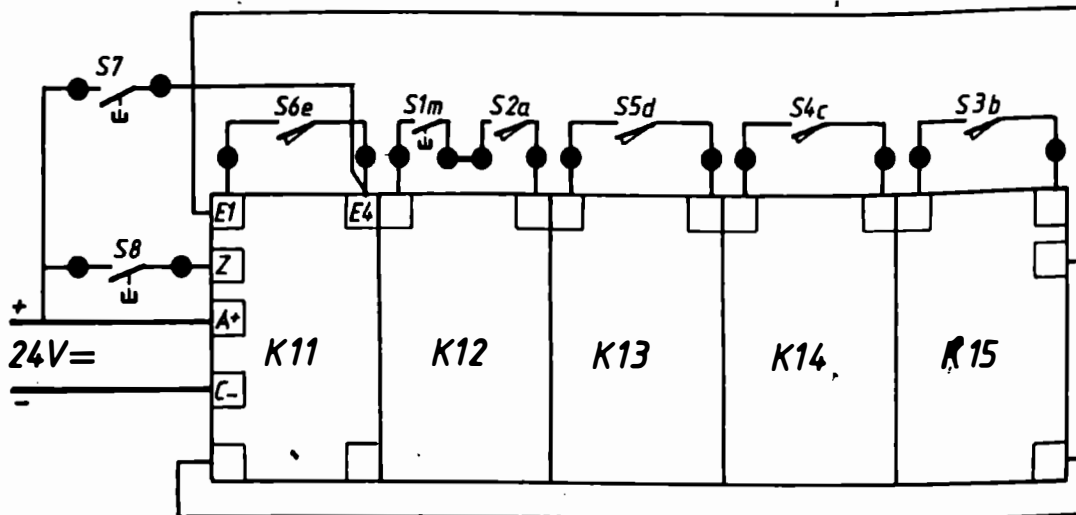
UTILISATION DES SÉQUENCEURS

5 F 13

PREMIER EXEMPLE : (SUITE)SOLUTION AVEC SÉQUENCEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE*Schéma d'un module de phase Télémécanique :*

Lorsque les embases de modules sont associées, les liaisons suivantes sont réalisées : F2-E4 ; F1-F3, et les connexions Z+, A+, C sont propagées d'un module à l'autre.

Les contacts 11-12, 11-14 et 21-22, 21-24, sont disponibles.

*Schéma développé de l'exemple 1 :**Remarques :*

1. Dans ce schéma, seules les liaisons extérieures sont représentées.

Les contacts de commande des variables de sortie sont désignés par le repérage du module concerné et le N° des bornes du contact utilisé.

Ex : contact 21-24 du module K13.

2. La partie séquenceur fonctionne en courant continu. La partie puissance fonctionne sous une tension et une nature de courant qui dépend des organes de sortie (H+, H-, V, M). Les relais bistables possédant un ou deux contacts supplémentaires affectés au circuit de puissance, et qui sont électriquement indépendants des autres contacts, il n'est pas nécessaire d'avoir un interface de sortie séparé comme pour les séquenceurs électroniques.

3. Remarquer que lorsqu'il y a plusieurs variables d'entrée qui doivent réaliser une fonction ET, ces variables sont montées en série.

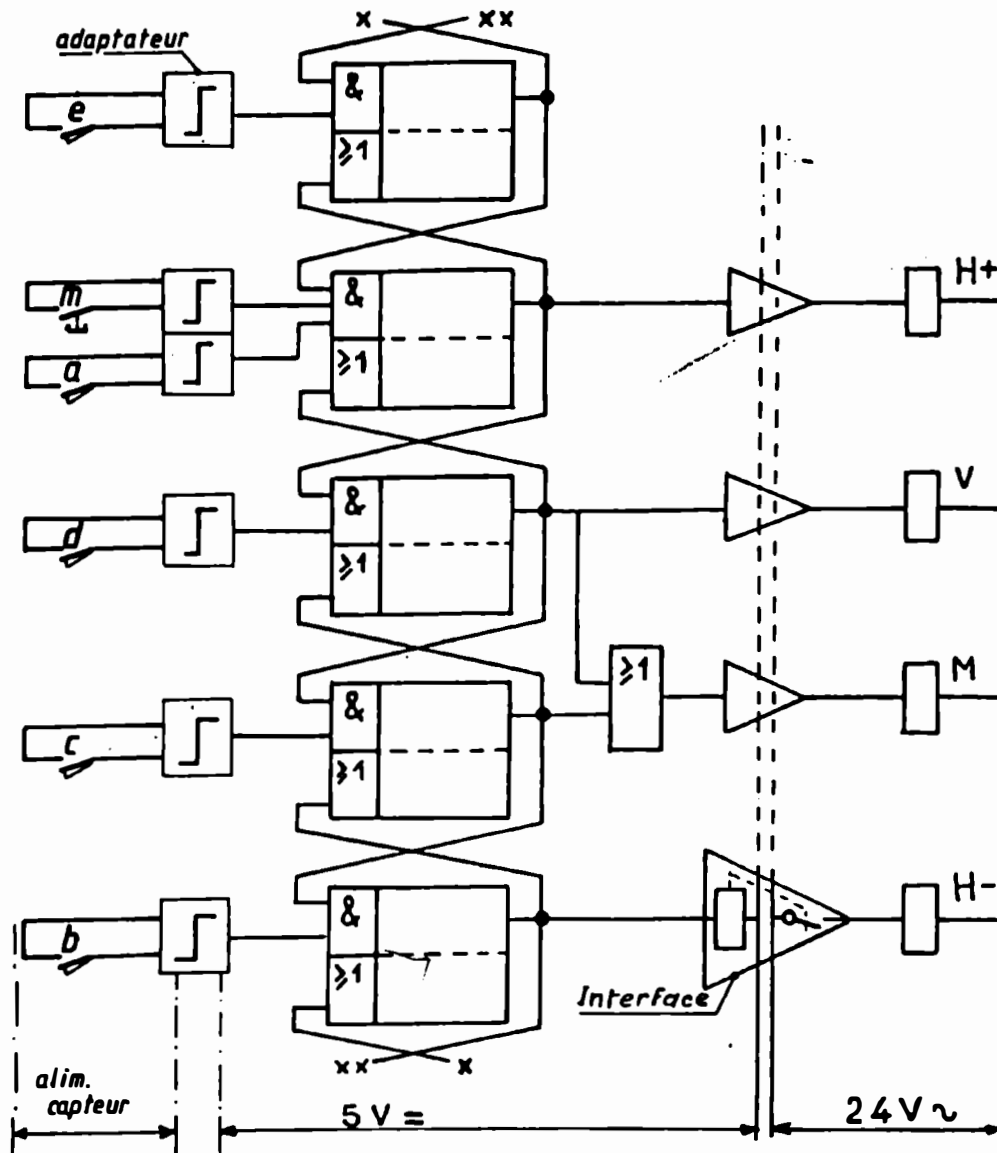
UTILISATION DES SÉQUENCEURS

5 F 14

PREMIER EXEMPLE : (SUITE).

SOLUTION AVEC SÉQUENCEUR ÉLECTRONIQUE

SCHÉMA DE BASE

**Remarque :**

La partie séquenceur et la partie puissance de ce schéma sont alimentés comme dans la très grande majorité des cas sous des tensions différentes. Ici 5 V courant continu pour la partie séquenceur (technologie T. T. L.) et 24 V courant-alternatif pour la partie puissance. L'adaptation entre ces 2 parties se fait par un interface de sortie (dans le cas ci-dessus il s'agit d'un relais).

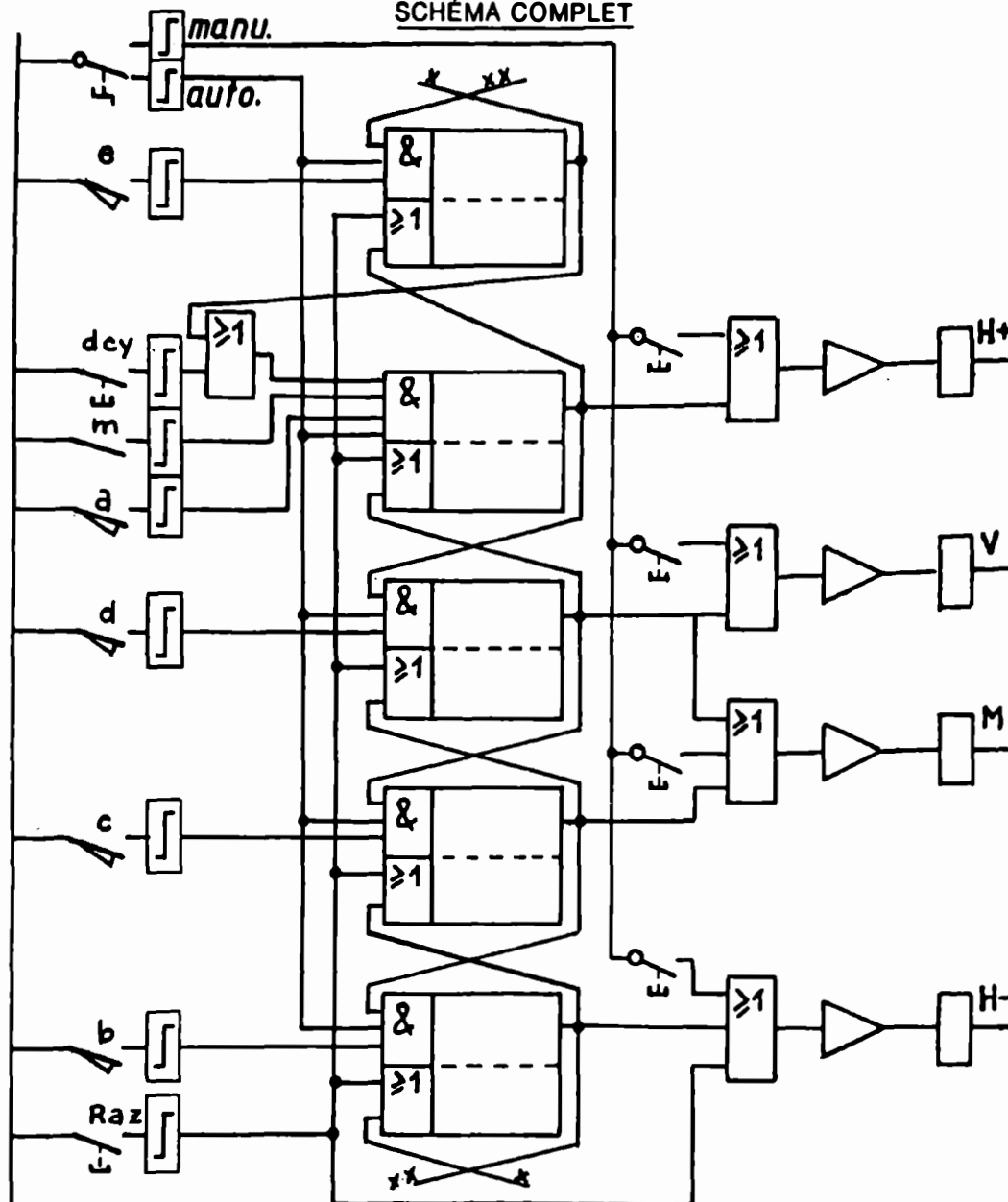
Dans les schémas suivants le détail des interfaces ne sera pas représenté à l'intérieur des triangles de sortie.

UTILISATION DES SÉQUENCEURS

5 F 15

PREMIER EXEMPLE : (SUITE) SOLUTION AVEC SÉQUENCEUR ÉLECTRONIQUE.

SCHÉMA COMPLET

**Remarque :**

On trouve en plus dans ce schéma :

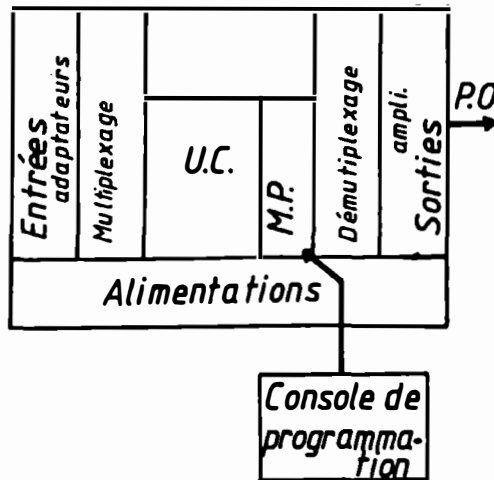
- Un commutateur marche manuelle, marche automatique. La marche automatique est réunie à la fonction ET qui commande l'entrée S des bascules. La marche manuelle permet la commande en marche par à-coups de toutes les sorties.
- Un bouton poussoir « dcy » (départ cycle). Après action sur le bouton-poussoir « Raz » (ou en cas de coupure de l'alimentation) toutes les bascules se trouvent à l'état $Q = 0$. Il faut donc pour démarrer le cycle fermer « m » et appuyer sur « dcy ».
- Par la suite et tant que l'on ne réappuie pas sur « Raz » l'ouverture de « m » arrête le cycle et sa fermeture le fait démarrer sans qu'il soit besoin d'agir sur « dcy ».
- D'autre part, l'action sur le bouton-poussoir « Raz » agit également sur H-, ce qui dans tous les cas ramène le vérin H en position figure (pl. 4 F 05).

AUTOMATES PROGRAMMABLES : GÉNÉRALITÉS

5 F 18

Conception générale :

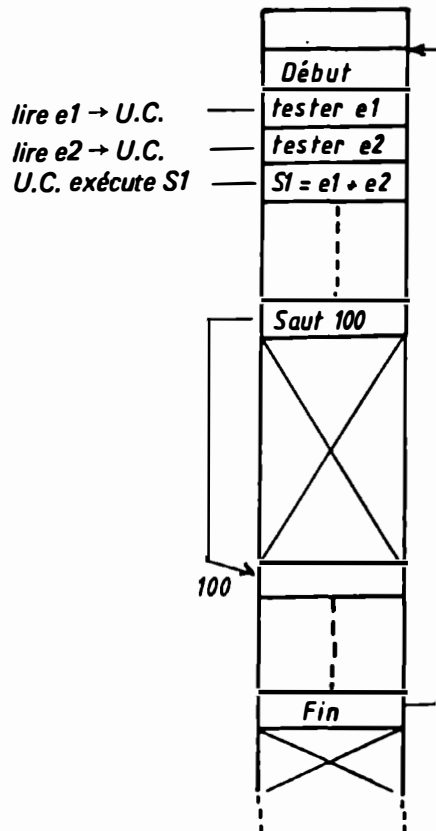
Dans leur structure générale, les automates-programmables ou *A.P* sont assez semblables aux systèmes à logique câblés.



Ils sont de conception électronique et nécessitent des interfaces d'entrée et de sortie.

Le fonctionnement par contre est complètement différent.

Dans un système à logique câblée, toute évolution d'une entrée est prise en compte et traitée immédiatement, les sorties évoluent en conséquence. Ce traitement est dit *parallèle*. Dans un AP, le câblage de la logique est remplacé par un programme, introduit dans la mémoire programme pour la console de programmation.

lecture du programme

En cours de fonctionnement, le programme est lu *ligne par ligne*, et les instructions sont donc exécutées les unes après les autres. *en série*.

Exemple : Pour effectuer une fonction OU avec 2 entrées, il faut :

- tester l'entrée e1
- tester l'entrée e2
- exécuter la fonction et ranger le résultat dans la sortie S1.

Lorsque l'automate lit une instruction de SAUT, (SAUT 100), il « ignore » toute la partie du programme comprise entre cette instruction et la ligne où doit s'effectuer le saut.

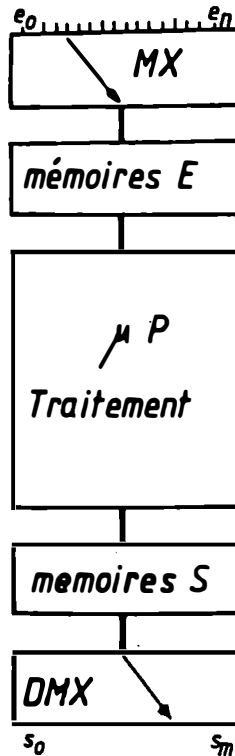
Lorsque l'instruction FIN est lue, l'AP reprend la lecture du programme au début et ainsi de suite.

Remarques : - Une lecture de programme du début à la fin dure quelques milli-secondes.

- Les instructions citées dans l'exemple ne correspondent pas à celles d'un AP du commerce, elles sont à titre explicatif.

Déroulement type d'un programme

La plupart des automates programmables actuels réalisent la lecture d'un programme de la façon suivante :



Dans un 1er temps, l'AP teste (réactualise) toutes les entrées les unes après les autres par multiplexage, et recopie leurs valeurs dans les mémoires d'entrée. Ces valeurs resteront figées pendant 1 cycle de lecture.

Dans un 2ème temps, l'AP lit le programme et exécute une à une les différentes instructions, calcule les différentes sorties et range les résultats dans des mémoires de sortie.

Dans un 3ème temps, l'AP recopie les mémoires de sortie dans les différents amplis de sortie par démultiplexage.

Et le cycle recommence.

Codage des instructions

Comme toute machine informatique, l'AP ne travaille qu'en binaire et une instruction est donc codée sous forme de *mot binaire* de n éléments binaires ou bits (binary digit).

0 1 1 0 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 1 0

un bit

La plupart des AP ont des mots de 16 bits et une ligne de la mémoire programme étant codée par une instruction on peut différencier 2^{16} mots différents soit 65536. On dit aussi 64 K mots
 $1 \text{ K mot} = 2^{10} = 1024.$

| Binaire | Hexa |
|---------|------|
| 0 0 0 0 | 0 |
| 0 0 0 1 | 1 |
| 0 0 1 0 | 2 |
| 0 0 1 1 | 3 |
| 0 1 0 0 | 4 |
| 0 1 0 1 | 5 |
| 0 1 1 0 | 6 |
| 0 1 1 1 | 7 |
| 1 0 0 0 | 8 |
| 1 0 0 1 | 9 |
| 1 0 1 0 | A |
| 1 0 1 1 | B |
| 1 1 0 0 | C |
| 1 1 0 1 | D |
| 1 1 1 0 | E |
| 1 1 1 1 | F |

Langage : Il serait fastidieux de programmer un AP en écrivant une suite de 0 et de 1 comme l'instruction binaire représentée ci-dessus ; (seul langage que comprenne la machine). On a été amené à trouver des écritures (langages) plus faciles à manipuler.

Le 1er que l'on rencontre est l'hexadécimal,

Table de conversion binaire Hexa ci-contre

AUTOMATES PROGRAMMABLES : GÉNÉRALITÉS

5 F 18

*Hexadécimal :**mot binaire 16 bits*

1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0

découpe en 4x4 bits

1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 0

A 0 1 E

Mnémonique

Les mnémoniques sont des langages très utilisés, en fait ce langage est toujours de l'hexadécimal mais une partie de l'instruction est remplacée par une abréviation d'un mot plus facile à mémoriser.

SI | 0 | 1 | E

7 | 0 | 1 | E

Exemple : L'exemple ci-contre est une instruction d'un automate Merlin Gerin. Le code SI signifie tester la variable 01E. En fait, lorsque l'on tape l'instruction SI

on appuie sur la touche 7 et l'automate lit en fait un langage hexadécimal. L'instruction SI 01E (701E) est immédiatement traduite en binaire (seules informations que l'AP reconnaisse).

Valeur binaire de l'instruction SI 01E = 0111.0000.0001 1110.

Il reste nécessaire de connaître la signification de 01E. Dans l'exemple, il s'agit de l'adresse d'une variable d'entrée.

Langage évolué

Ce type de langage se rapproche plus de celui des ordinateurs. Le programmeur ignore alors les différentes adresses du programme il peut numéroter les lignes et souvent certaines variables avec des numéros de son choix. L'AP numérote alors lui-même ses lignes et utilise la mémoire «à sa façon».

```

** '1'
* '1' ! S1,0
      ! P0,3 T #

```

Automate TSX80 Télématique
 **'1' branche 1 d'un grafcet
 le 1 est choisi arbitrairement.

Automate PB15 MERLIN GERIN :

Nous ne donnons pas ici la manipulation de la console de programmation. Le lecteur se reportera aux documents du constructeur pour l'introduction d'un programme.

Entrées - Sorties

Sur le PB15 les E/S sont figées par le constructeur. Sur le modèle 40 E/S il y a 24 entrées repérées de 000 à 00F et de 010 à 017 (Notation Hexadécimale), et 16 sorties repérées de 020 à 02F.

En outre une partie de la mémoire est réservée pour des variables internes et elles sont repérées de A00 à A3F.

Programmation : Liste des codes opérations.

liste des codes opérations

● Opérations de logiques combinatoire et séquentielle

| | |
|------------|--|
| SI | test |
| SI/ | test du complément |
| ET | range le résultat du ET au repère indiqué |
| OU | range le résultat du OU au repère indiqué |
| MU (1) | mise à un |
| MZ (1) | mise à zéro |
| TP (1) (2) | temporisation |
| AV (1) | avance d'un pas de pas à pas |
| EANT | étape antérieure (description d'un grafcet) |
| RCEP | réceptivité (description d'un grafcet) |
| EPOS | étape postérieure (description d'un grafcet) |
| FORU (1) | forçage à 1 d'une étape (description d'un grafcet) |
| FORZ (1) | forçage à 0 d'une étape (description d'un grafcet) |

● Codes d'organisation

SAUT (absolu) en fin de programme indique l'adresse de retour en début de traitement permanent.

SAUT (relatif) déroutement du traitement d'un nombre décimal de lignes (≤ 99) à sauter en avant

PRED
prédétermination
initialisation des bits d'étapes du grafcet
des bits internes
des mots de données 0800 à 080B.

(1) : opérations conditionnelles (ET implicite) ou inconditionnelles.

(2) : trois bases de temps sont disponibles : 1s, 1/10⁰s, 1/100⁰s.

Remarques : Pour écrire un programme il faut en outre numéroter les lignes et le programme sera introduit à partir de l'adresse 0C30.

Exemple :

Programmation de l'équation ci-dessous :

$$X = a + b \cdot \bar{c}$$

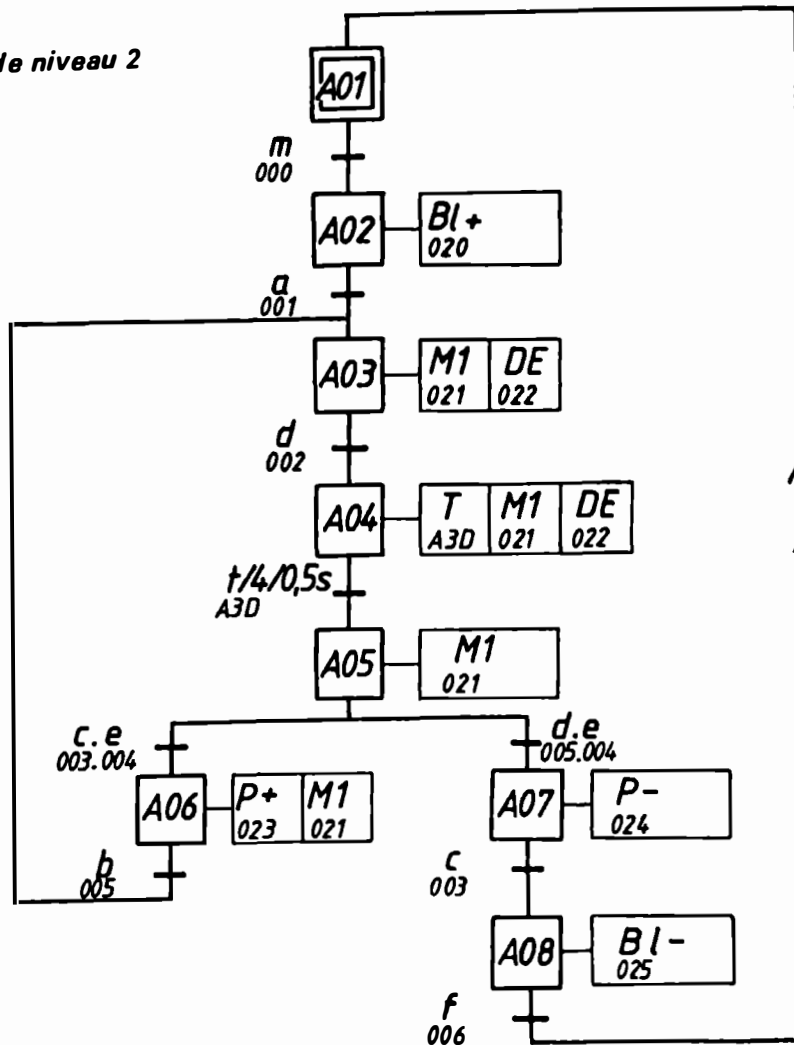
020 000 001 002

| | | |
|------|------|-----|
| 0C30 | SI | 001 |
| 1 | SI/ | 002 |
| 2 | ET | A00 |
| 3 | SI | A00 |
| 4 | SI | 000 |
| 5 | OU | 020 |
| 6 | SAUT | C30 |

ÉQUIPEMENT POUR PERÇAGE DE DEUX TROUS : VOIR PL 5F06

L'énoncé de ce problème est donné pl.5F06. Nous reproduisons ci-dessous le grafcet de niveau 2 correspondant à cet énoncé.

Grafcet de niveau 2

**Remarques**

Le Grafcet est représenté avec les codes correspondant aux variables de l'automate utilisé (PB15 MERLIN-GERIN). Les variables A01 à A08 sont les variables internes associées aux étapes. Les variables 000 à 006 sont les codes des variables d'entrée et les variables 020 à 025 sont les codes des variables de sortie.

Le câblage de ces variables d'entrées et de sortie se fera en respectant les caractéristiques données par le constructeur.

Les sorties sont des contacts dont le pouvoir de coupure est limité à 2A sous 250 V.

Les entrées ne nécessitent pas d'alimentation complémentaire.

AUTOMATES PROGRAMMABLES : APPLICATIONS

5 F 21

| Programme | | | | |
|-----------|-------------|-------|---|---|
| LIGNE | INSTRUCTION | | | COMMENTAIRES |
| 0 C 3 0 | PRED | | | <u>1 - PROGRAMME DU SÉQUENCEUR</u> |
| 1 | EANT | A 0 1 | } <p>Programme des étapes 1 à 5. Chaque transition est définie par l'étape qui la précède EANT et l'étape qui la suit. EPOS.</p> <p><i>Remarque :</i> A la ligne 0C30, l'instruction PRED sert à réinitialiser l'automate lors d'une coupure secteur ou d'une 1ère mise en service. Cette initialisation se fera en fonction de la configuration des variables entrées manuellement dans l'automate A01 = 1, A02 à A08 = 0.</p> <p><i>Transition 5-6 :</i> Lorsqu'une transition est formée de plusieurs variables, il faut d'abord calculer la réceptivité et introduire le résultat dans une variable interne (A3F). C'est cette variable qui sera la réceptivité.</p> <p><i>Transition 6-3</i></p> <p><i>Transition 7-8</i></p> <p><i>Transition 8-1</i></p> | |
| 2 | RCEP | 0 0 0 | | |
| 3 | EPOS | A 0 2 | | |
| 4 | EANT | A 0 2 | | |
| 5 | RCEP | 0 0 1 | | |
| 6 | EPOS | A 0 3 | | |
| 7 | EANT | A 0 3 | | |
| 8 | RCEP | 0 0 2 | | |
| 9 | EPOS | A 0 4 | | |
| A | EANT | A 0 4 | | |
| B | RCEP | A 3 D | | |
| C | EPOS | A 0 5 | | |
| D | EANT | A 0 5 | | |
| E | SI | 0 0 3 | | |
| F | SI | 0 0 4 | | |
| 0 C 4 0 | ET | A 3 F | | |
| 1 | RCEP | A 3 F | | |
| 2 | EPOS | A 0 6 | | |
| 3 | EANT | A 0 6 | | |
| 4 | RCEP | 0 0 5 | | |
| 5 | EPOS | A 0 3 | | |
| 6 | SI | 0 0 4 | | |
| 7 | SI | 0 0 5 | | |
| 8 | ET | A 3 E | | |
| 9 | RCEP | A 3 E | | |
| A | EPOS | A 0 7 | | |
| B | EANT | A 0 7 | | |
| C | RCEP | 0 0 3 | | |
| D | EPOS | A 0 8 | | |
| E | EANT | A 0 8 | | |
| F | RCEP | 0 0 6 | | |
| 0 C 5 0 | EPOS | A 0 1 | | <u>2 - PROGRAMME DES SORTIES</u> |
| 1 | SI | A 0 2 | | Commande du distributeur BI+ |
| 2 | OU | 0 2 0 | | Commande du moteur M1 |
| 3 | SI | A 0 3 | | <i>Remarque :</i> on pourrait aussi écrire de cette façon → |
| 4 | SI | A 0 4 | | SI A03 |
| 5 | SI | A 0 5 | | MU 021 |
| 6 | SI | A 0 6 | | SI A01 |
| 7 | OU | 0 2 0 | | MZ 021 |
| 8 | SI | A 0 3 | | SI A07 |
| 9 | SI | A 0 4 | | MZ 021 |
| A | OU | 0 2 2 | | Commande de la descente DE. |

AUTOMATES PROGRAMMABLES : APPLICATIONS

5 F 22

| | | |
|------|------|-----|
| 0C5B | SI | A04 |
| C | TP | A3D |
| D | BT | D |
| E | 0800 | |
| F | 08E0 | |
| 0C60 | SI | A06 |
| 1 | OU | 023 |
| 2 | SI | A07 |
| 3 | OU | 024 |
| 4 | SI | A08 |
| 5 | OU | 025 |
| 0C66 | SAUT | C31 |

Temporisation

A3D est la variable temporisée.

D est la base de temps.

800 est la ligne mémoire contenant la consigne.

8E0 est le compteur de temps.

Commande de sortie du vérin P

Commande de rentrée du vérin P

Commande du distributeur BI-

Indication de fin de programme donnant l'ordre à l'automate de reprendre la lecture au début.

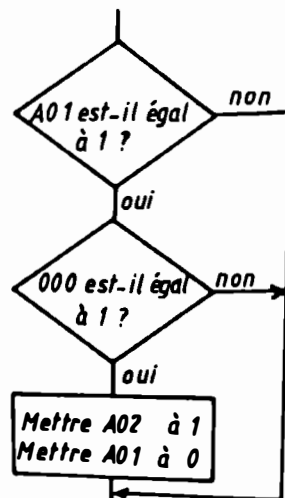
Remarques : Avant de « lancer » le programme ; il faut avoir prévu l'initialisation du Grafset c'est-à-dire la mise à 1 de la (ou des) étape(s) initiale(s) et la mise à 0 des autres variables.

Il faut ici que A01 = 1 et que les variables A02 à A08 = 0.

On rentre manuellement, à l'aide du clavier ces valeurs puis on mémorise cette configuration en appuyant sur la touche MEM.

Ceci a pour but de mettre en mémoire sauvegardée la configuration initiale du Grafset.

De cette façon, après un arrêt, ou une coupure secteur, l'automate se replacera automatiquement dans les conditions de départ.

AUTRE POSSIBILITÉ D'ECRIRE LE PROGRAMME*Organigramme du code AV*

L'organigramme ci-contre représente une transition entre 2 étapes successives A01 et A02.

On teste la variable A01, si elle est à 0, il n'y a rien à changer, on va donc lire la suite du programme. Si elle est à 1 il faut tester la variable 000 (réceptivité).

Si cette dernière est à 0, il faut lire la suite du programme. Si elle est à 1, on a A01 = 1 et 000 = 1 il faut donc changer la valeur des étapes.

Si les variables se suivent l'automate exécute automatiquement toutes ces opérations en écrivant :

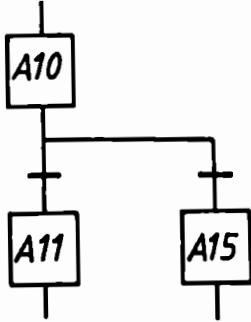
SI 000
AV A02.

AUTOMATES PROGRAMMABLES : APPLICATIONS

5 F 23

Si les variables ne se suivent pas, il faut alors programmer l'organigramme vu précédemment.

Exemple : Etape 10 → 15
Variable A10 A15



```

SI 00E }
AV A11 }
SI/ A10 )
SAUTA05 )
SI/ 00F )
SAUTA03 )
MU A15 )
MZ A10 )
  
```

A10 et A11 se suivent, on peut utiliser le code AV.

Si A10 = 0, aller à la suite du programme, si A10 = 1 lire 00F.

Si 00F = 0 aller à la suite du programme, sinon A15 = 1, A10 = 0.

Remarque : SAUT A05 signifie saut avant de 5 lignes et en aucun cas représente une variable interne.

Suite du programme

La programmation du séquenceur peut alors s'écrire de la façon suivante :

```

SI 000 }
AV A02 } Etapes A01 à A06.
SI 001 }
AV A03 }
SI 002 }
AV A04 }
SI A3D }
AV A05 }
SI 003 } La fonction ET est
SI 004 } implicite devant AV
AV A06 }
SI/ A06 } Transition 6 → 1
SAUTA05 }
SI/ 005 }
SAUTA03 }
MZ A06 }
MU A03 }
SI/ A05 } Transition 5 → 7
SAUTA07 }
SI/ 005 }
SAUTA05 }
SI/ 004 }
SAUTA03 }
MZ A05 }
MU A07 }
  
```

```

SI 003 } Transition 7 → 8
AV A08 }
SI/ A08 }
SAUTA05 } Transition 8 → 1
SI/ 006 }
SAUTA03 }
MZ A08 }
MU A01 }
  
```

La suite du programme est la même que lorsqu'on utilise le code Grafcet.

Remarque : Cette méthode est facilement applicable sur d'autres automates pourvus qu'ils aient la fonction AV et la fonction SAUT.

Automate TSX80 TÉLÉMÉCANIQUE

Nous ne donnons pas ici toutes les instructions de cet automate, ni toutes les possibilités de programmation. Seules sont données les instructions de base nécessaires à la programmation à partir du Grafcet de l'exemple suivant (pl. 5F24).

Entrées-Sorties

Les entrées-sorties sont définies par des cartes de 16 bits donc des blocs de 16 entrées ou sorties.

Soit la carte 0 carte d'entrée, les entrées auront les N° 0,0 à 0,F.

Si la carte de sortie est la carte 1, les sorties auront les N° 1,0 à 1,F.

Programmation

Echanges E/S : Il faut, en début de programme, préciser les cartes d'entrées-sorties avec lesquelles on veut les échanges afin que l'automate puisse effectuer le transfert des états des entrées vers la mémoire, et les transferts de la mémoire vers les sorties.

L'instruction d'échange avec les cartes 0 et 1, utilisées dans l'exemple qui suit, sera X [0,1] (échange avec les mots 0 à 1).

Instructions principales :

**** `i`** Branche : Définit la branche i ($1 < i < 127$). Une seule branche si l'on a un seul programme ou 1 Grafcet n'ayant pas de divergence en ET.

*** `j`** Etape : Définit l'étape j lorsque l'on programme un Grafcet. ($1 < j < 255$).

! Ligne : Ligne d'écriture (elles peuvent être numérotées ou non.).

Autres instructions

P 0,E Teste la *Présence* du bit E du mot 0 (entrée)

N 0,1 Teste la *Non-présence* du bit 1 du mot 0 (entrée).

T *Then* Alors, exécuter les instructions qui suivent.

S 1,1 *Set* Mettre à 1 le bit 1 du mot 1 (sortie).

R 1,A *Reset* Mettre à 0 le bit A du mot 1 (sortie).

= 4,1 Range le résultat de l'équation qui précède le signe = dans le bit 1 du mot 4.

Remarque : Le bit 4,1 est une variable interne le mot 4 n'étant pas dans les échanges E/S.

**** `0`**

! X[0,1]

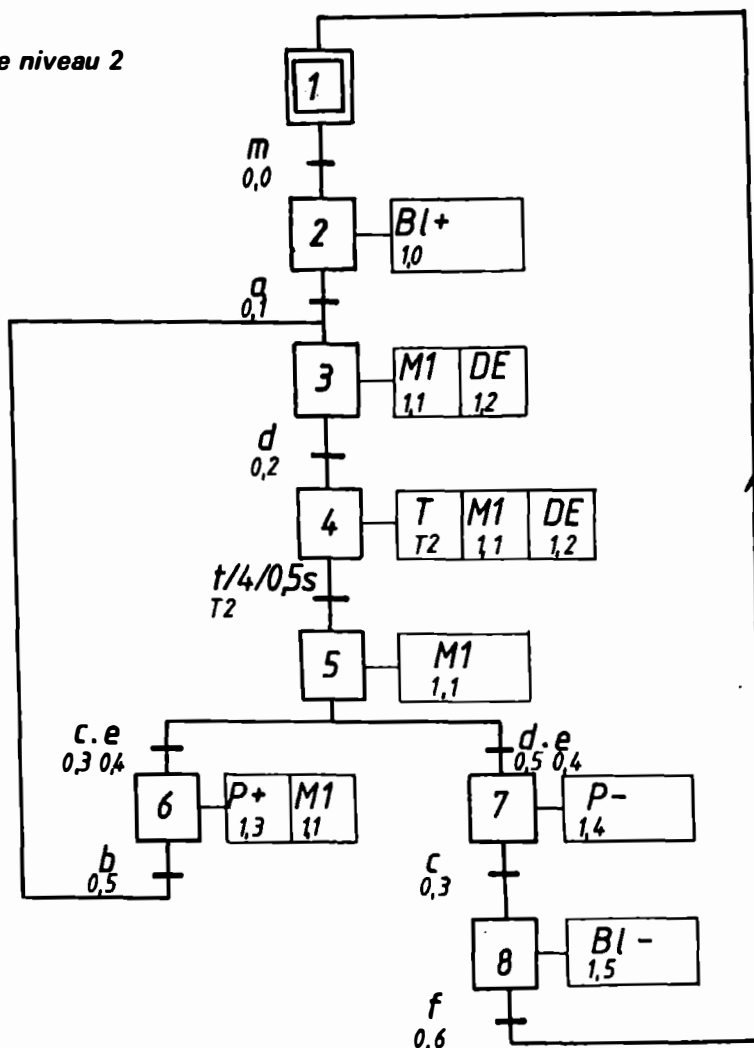
! P 0,2 P 0,3 + P 0,1 = 1,0

Exemple : Ci-contre programmation
de la fonction $X = a + b \cdot \bar{c}$
1,0 0,1 0,2 0,3

ÉQUIPEMENT POUR PERÇAGE DE DEUX TROUS :

Même problème que précédemment traité avec un automate TSX80 de TELEMECANIQUE.

Grafset de niveau 2



Remarques :

Comme pour l'exemple précédent, les variables d'entrée et de sortie sont repérées avec le numéros correspondant aux cartes utilisées sur l'automate.

Ici carte d'entrée, 0 variables 0,0 à 0,F. Possède 16 entrées d'où les numéros de variables.

Dans l'exemple suivant il n'est pas tenu compte des différents modes de marche. En cas de coupure secteur l'automate reprend automatiquement la configuration initiale.

AUTOMATES PROGRAMMABLES : APPLICATIONS

5 F 26

Programmation

L'identification des E/S est faite sur le Grafcet, il n'est donc pas utile de faire un tableau permettant l'identification des variables.

Pour simplifier les commentaires, on ne décrira que quelques actions, le lecteur comprendra les autres par identité.

Commentaires

| | | |
|--------|---|--|
| ** '0' | ! X [0,3] EB '1' | La branche 0 est indispensable, elle demande les échanges de la mémoire avec les cartes d'E/S (X [0,3]) et arme la branche 1 qui contient le programme. |
| * F | | |
| ** '1' | | L'instruction "0" = [1] copie 0 dans le mot 1 c'est la remise à 0 de toutes les sorties 1,0 à 1,F. |
| * '1' | ! "0" = [1] ! P 0,0 # | |
| * '2' | ! S 1,0 ! P 0,1 TR 1,0 # | * '2' étape 2 S 1,0 Mise à 1 de la sortie 1,0 P 0,1 C'est de la variable 0,1 T R 1,0 (then) Alors mise à 0 de la variable 1,0 # Passer à l'étape suivante. |
| * '3' | ! S 1,1 S 1,2 ! P 0,2 # | |
| * | ! "60" = [T2] # | <u>Cas particulier</u> : temporisation. |
| * '4' | ! PT2 TR 1,2 # | * Cette étape sert à armer la temporisation. Ici mettre la valeur 60 dans le décompteur T2. |
| * '5' | ! P 0,4 P 0,5 TR 1,1 # '7' ! P 0,3 P 0,4 T # | Le décompteur sera décrémenté tout les 1/10 de S (tempo de 6 s). |
| * '6' | ! S 1,3 ! P 0,5 TR 1,3 R 1,1 # '3' | * '4' ! PT2 à l'étape 4 on teste T2 si T2 = 0 les 6 s sont écoulées T R 1,2. Alors remettre à 0 la variable 1,2. |
| * '7' | ! S 1,4 ! P 0,3 TR 1,4 # | |
| * '8' | ! S 1,5 ! P 0,6 TR 1,5 # '1' | # '1' on précise le numéro de l'étape si il n'est pas la suivante. |

Remarques

Contrairement à la programmation du PB 15, ici il n'est pas nécessaire de connaître le numéro des lignes du programme. D'autre part, les instructions ne sont pas limitées à 4 caractères hexadécimaux mais une ligne de programme peut contenir jusqu'à 256 caractères.

Le programme est plus compact et on ne sépare pas la programmation du Grafcet de celle des sorties.

UTILISATION DES SÉQUENCEURS : MÉTHODE PERMETTANT DE RÉDUIRE LE NOMBRE DE MODULES

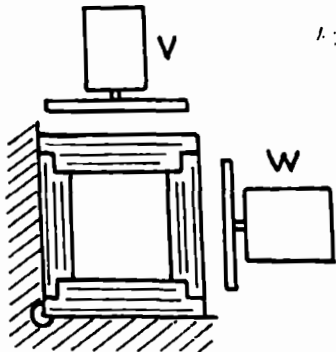
5 F 27

Les exemples traités jusqu'ici l'ont été par une méthode dite pas à pas (à chaque étape, était associé un module de phase).

Or, lorsque l'on utilise comme sorties des dispositifs bistables (comme les vérins à double effet qui sont les plus employés en pneumatique), on peut obtenir des solutions simplifiées.

La méthode utilisée s'apparente à la méthode dite en cascade qui sert en pneumatique pour la recherche de schémas utilisant les vérins à double effet.

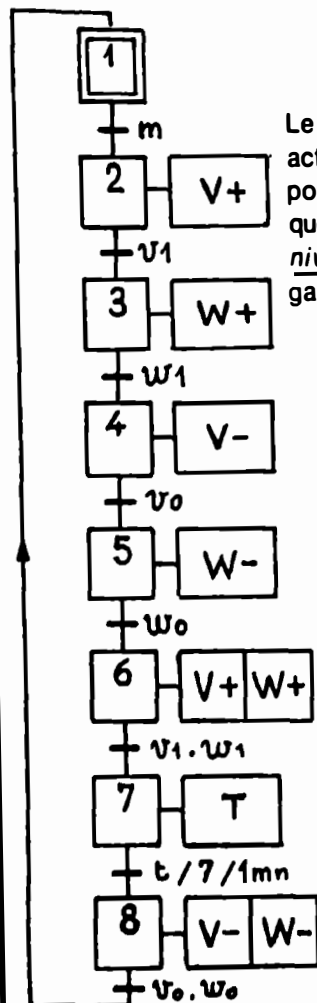
EXEMPLE DE RECHERCHE DE SOLUTION SIMPLIFIÉE



Problème : dispositif de collage de boîtes

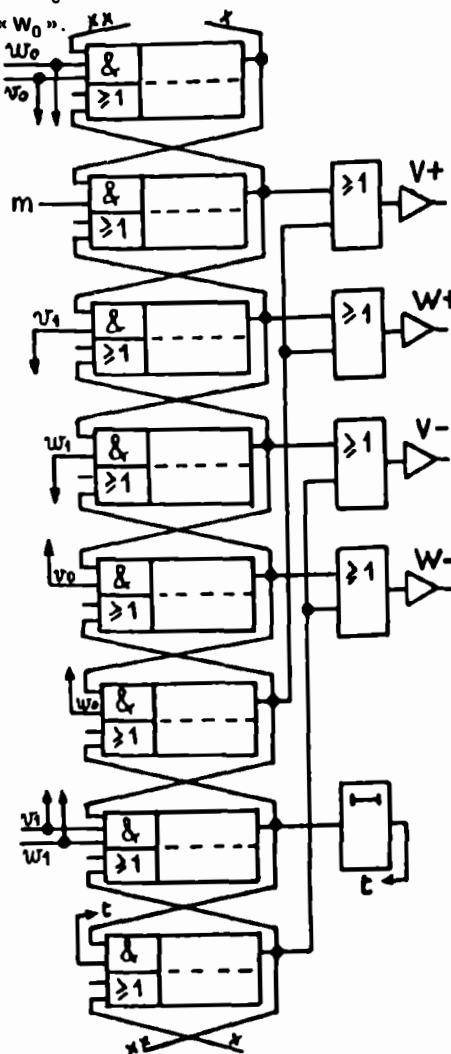
Un dispositif permet d'assembler et de maintenir pressés, les 4 côtés en bois d'une boîte préalablement enduits de colle grâce à 2 vérins V et W disposés comme ci-contre.

Les morceaux de bois sont mis en place à la main. Chaque fin de mouvement est contrôlé par un contact, non représenté sur la fig. : pour V+ contact « v_1 » ; pour V- contact « v_0 ». Pour W+ contact « w_1 » ; pour W- contact « w_0 ».



Le cycle qui démarre par action sur un bouton-poussoir « m » est indiqué par le grafcet de niveau 2 (ci-contre à gauche).

Le schéma de base en solution pas à pas est indiqué sur la fig. de droite.



UTILISATION DES SÉQUENCEURS : MÉTHODE PERMETTANT DE RÉDUIRE LE NOMBRE DE MODULES

5 F 28

Problème : dispositif de collage de boîtes simplification par la méthode cascade

On écrit tous les mouvements dans leur suite logique
 $V+$, $W+$, $V-$, $W-$, $V+W+$, T , $V-W-$.

Puis on les groupe en partie de telle sorte que dans chaque partie et pour chaque vérin (ou dispositif bistable) il n'y ait qu'un mouvement.

$V+$, $W+$ | $V-$, $W-$ | $V+W+$, T | $V-W-$

Dans cet exemple nous avons trouvé 4 parties (la variable de sortie T peut être au choix dans le 3^e ou 4^e groupe).

Nouveau Grafcet obtenu

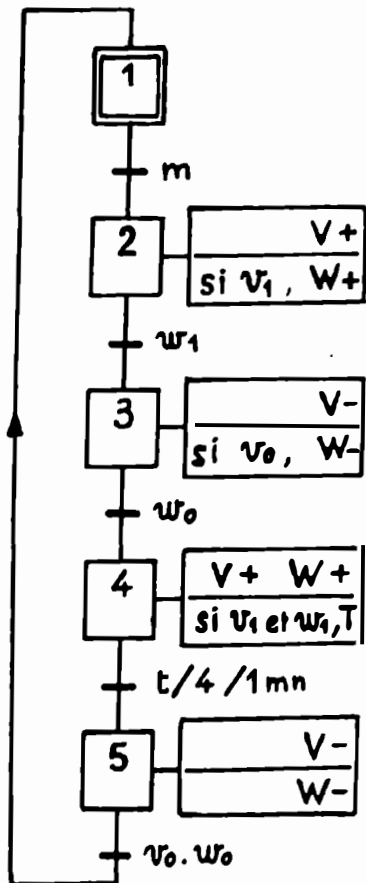
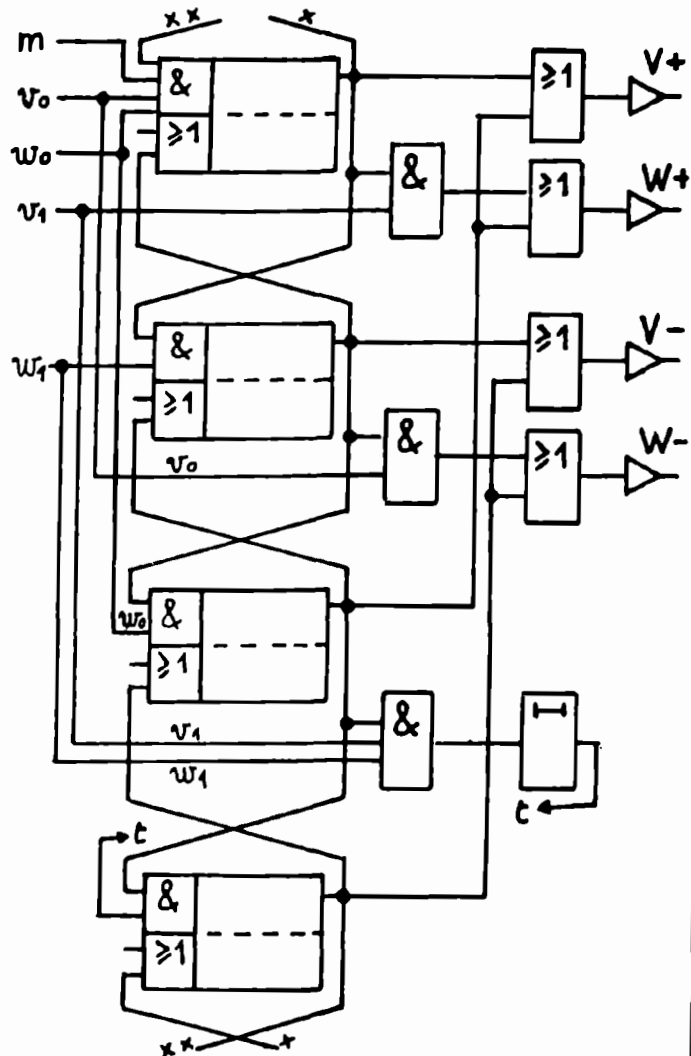


Schéma de base simplifié pour séquenceur



Remarques :

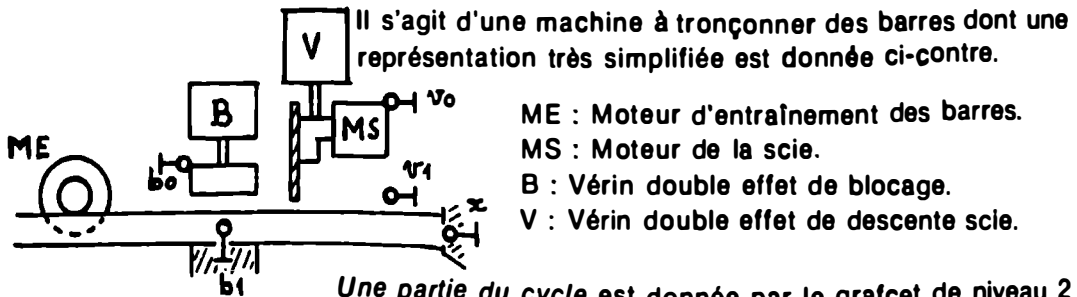
1 - L'étape initiale ne comporte pas de module propre. Cette simplification pourrait s'appliquer aux exemples déjà vus et pour lesquels l'étape 1 correspond à l'état repos de toutes les variables de sortie.

2 - Compte tenu de la première remarque, le schéma se réduit de 3 modules de phase mais comporte en plus 3 fonctions ET. Il est légèrement plus économique mais également légèrement plus compliqué.

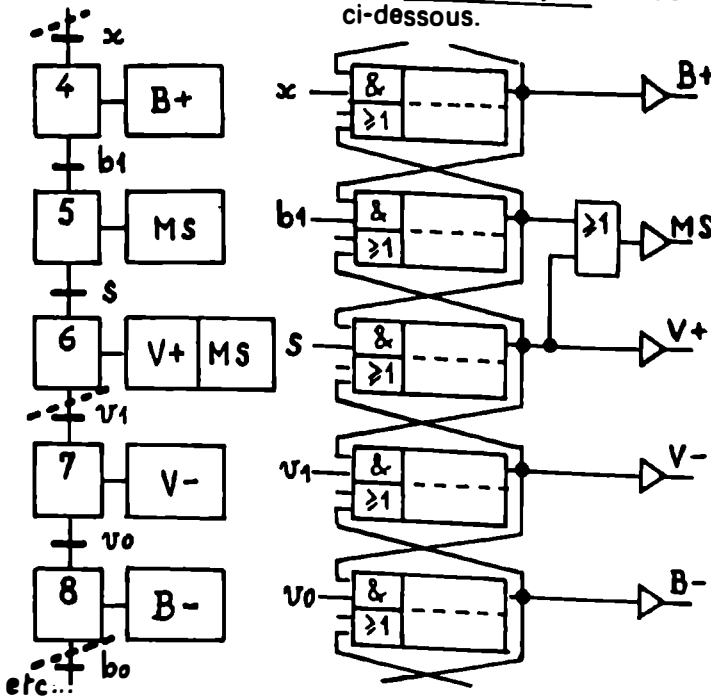
UTILISATION DES SÉQUENCEURS : MÉTHODE PERMETTANT DE RÉDUIRE LE NOMBRE DE MODULES

5 F 29

RECHERCHE D'UNE SOLUTION SIMPLIFIÉE (DEUXIÈME EXEMPLE)



Une partie du cycle est donnée par le grafcet de niveau 2 ci-dessous.



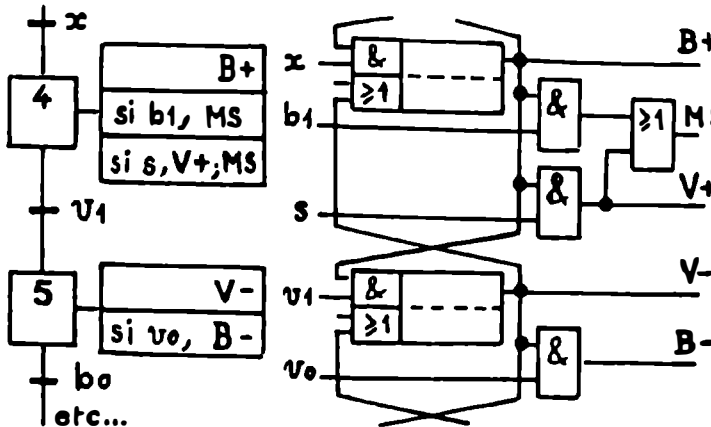
Ci-contre, exemple de solution en pas à pas.

On associe un module de phase à chaque étape.

Chaque transition sert à activer le module de phase associé à l'étape qui suit.

Pour une solution simplifiée par la méthode cascade, le découpage du cycle a été fait sur le grafcet de niveau 2 (traits obliques en pointillé). Il faut bien remarquer qu'il ne doit y avoir dans chaque partie obtenue que un seul déplacement de chaque vérin. On établit un nouveau grafcet.

Quand on réalise le schéma par séquenceur on ajoute à chaque module de phase une fonction ET pour chaque nouvelle variable de commande en respectant bien l'ordre.



Le schéma ci-contre a été réalisé en appliquant les principes étudiés.

On peut toutefois remarquer que dans le cas présent on aurait pu supprimer la fonction OU de commande de MS.

Index alphabétique des symboles utilisés

| A | |
|----------------------|----|
| Accumulateurs | 19 |
| Aimant permanent | 25 |
| Alternateur | 56 |
| Ampèremètre | 49 |
| Appareil d'éclairage | 24 |
| Appareil de mesure | 49 |
| Auto-transformateur | 59 |

| B | |
|---------------------------------|----|
| Balai sur bague, sur collecteur | 53 |
| Borne | 18 |
| Bouton-poussoir | 21 |

| C | |
|-----------------------------------|---------|
| Capacité-condensateur | 23 |
| Commande électromécanique | 25 |
| Commande mécanique | 21 - 22 |
| Compteur | 49 |
| Conducteur neutre | 18 |
| Conducteur relié à la masse | 18 |
| Conducteur de terre | 18 |
| Contacteur | 20 - 25 |
| Contact glissant | 18 |
| Contact pour relais et contacteur | 21 |
| Contact temporisé | 20 - 21 |
| Coupe-circuit à fusible | 24 |
| Courant (nature) | 19 |

| D | |
|---------------------------------------|-----------|
| Diode à semi-conducteur | 134 |
| Diode Zéner | 134 - 135 |
| Discontacteur | 20 |
| Dispositif de déclenchement thermique | 25 |
| Dispositif de commande | 25 |
| Disjoncteur | 20 |
| Diac | 134 - 135 |

| E | |
|--------------------------------------|---------|
| Enroulement de machine ou d'appareil | 24 - 53 |
| Éléments pour tubes électroniques | 135 |

| F | |
|----------|----|
| Frein | 22 |

| G | |
|----------------------------------|-----|
| Génératrice à courant continu | 54 |
| Génératrice à courant alternatif | 55 |
| Grafcet | 244 |

| H | |
|----------|----|
| Horloge | 26 |

| I | |
|--------------------|-----|
| Indices numériques | 125 |
| Inductance | 24 |
| Interrupteur | 20 |

| J | |
|----------|----|
| Jack | 26 |

| L | |
|-------------------|----|
| Lampe | 24 |
| Liaison mécanique | 22 |

| M | |
|------------------------------|---------|
| Machine à courant alternatif | 55 - 56 |
| Machine à courant continu | 54 |
| Masse (mise à la) | 18 |

| O | |
|------------------------------|-----|
| Oscilloscope | 49 |
| Opérateurs logiques binaires | 193 |

| P | |
|------------------|----|
| Pile | 19 |
| Prise de courant | 19 |

| R | |
|--------------------------|---------|
| Régulateur à induction | 59 |
| Relais électromagnétique | 25 |
| Relais de mesure | 51 - 52 |
| Résistance | 24 |
| Ronfleur | 26 |

| S | |
|----------------|----|
| Sectionneur | 20 |
| Shunt | 50 |
| Sirène | 26 |
| Sonnerie | 26 |
| Synchronoscope | 49 |

| T | |
|--------------------------|-----------|
| Thyristor | 134 |
| Transformateur | 57 - 58 |
| Transformateur de mesure | 50 |
| Transistor | 134 - 135 |
| Triac | 135 |
| Terre (mise à la) | 18 |

| V | |
|-----------------------|----|
| Variabilité (symbole) | 24 |
| Voltmètre | 49 |
| Voyant lumineux | 24 |

| W | |
|-----------|----|
| Wattmètre | 49 |