Initiation à la pratique de l'électronique

Les premiers circuits

DANS le précédent article, nous avions donné les premières notions d'électricité en présentant la loi d'Ohm. Ce mois-ci, nous allons plus loin en parlant de circuits électriques un peu plus compliqués. Le débutant ne doit pas oublier que la théorie doit aller de pair avec la pratique, et qu'il est très profitable que tous les calculs soient vérifiés expérimentalement.

Nous ne voulons pas effrayer le lecteur en lui parlant de « théorèmes », mais certaines lois – peu nombreuses et assez simples – doivent être connues pour comprendre et calculer les circuits.

C'est ainsi que nous allons voir les points suivants :

1° Un circuit complexe peut se simplifier et ne comporter que trois éléments : source équivalente de tension, résistance interne équivalente et résistance d'utilisation.

2° L'action simultanée des différentes sources dans un circuit est égale à la somme des actions partielles de chaque source agissant isolément.

3° La puissance transmise par un générateur à un récepteur est maximale lorsque la résistance d'utilisation est égale à celle de la source.

4° La puissance dissipée dans une résistance est perdue et transformée en chaleur.

Simplification des circuits

En ce qui concerne les circuits électriques, il est souvent difficile de calculer une tension ou un courant en un point précis du montage.

Prenons le schéma de la figure 1 dans lequel il faut connaître la tension aux bornes de R_4.

Plusieurs moyens peuvent être employés. Une méthode consiste à calculer d'abord la tension aux bornes de R_3. La résistance R_1, d'une part, et l'ensemble de R_3 en parallèle sur les résistances série R_2 et R_4, d'autre part, constituent un pont diviseur. Connaissant alors la tension aux bornes de R_3, on considère ensuite le pont diviseur formé par R_2 et R_4 pour connaître la tension recherchée (fig. 2a).

Ainsi pour savoir quelle est la tension aux bornes de R_4, on calcule d'abord l'ensemble constitué par R_3, R_2 et R_4. Celui-ci est égal à :

$$\frac{1\,\mathrm{k\Omega} \times (1\,\mathrm{k\Omega} + 1\,\mathrm{k\Omega})}{1\,\mathrm{k\Omega} + 1\,\mathrm{k\Omega} + 1\,\mathrm{k\Omega}} = \frac{2}{3}\mathrm{k\Omega}$$

soit 0,67 kΩ (fig. 2b).

La tension aux bornes de cet ensemble de résistances est égale à :

$$4{,}5\ \mathrm{V} \times \frac{0{,}67\ \mathrm{k\Omega}}{1\ \mathrm{k\Omega} + 0{,}67\ \mathrm{k\Omega}}$$

soit 1,8 V. Il reste à rechercher la tension aux bornes de R_4. Les valeurs de R_2 et R_4 étant égales, la tension aux bornes de cette dernière est égale à la moitié de la tension se trouvant aux bornes des deux résistances, soit 0,9 V (fig. 2c).

Une autre méthode consiste à raisonner avec les courants du circuit, le but est de calculer le courant I traversant R_4, puis de faire le produit $R_4 \times I$. Pour cela, il est nécessaire, en premier lieu, de chercher la valeur ohmique de l'ensemble des quatre résistances et de calculer le courant débité par la pile. D'après nos précédents calculs, nous savons que cette résistance équivalente est de 1,67 kΩ, d'où un courant de :

$$\frac{4{,}5\ \mathrm{V}}{1{,}67\ \mathrm{k\Omega}} = 2{,}69\ \mathrm{mA}$$

Ce courant traverse la résistance R_1, puis se divise en deux parties non égales dans la résistance R_3 (1 kΩ), d'une

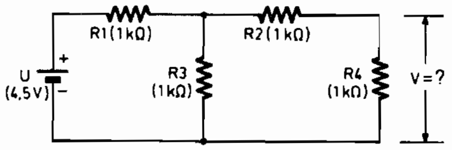


Fig. 1. – Pour trouver rapidement la tension V, le théorème de Thévenin sera appliqué.

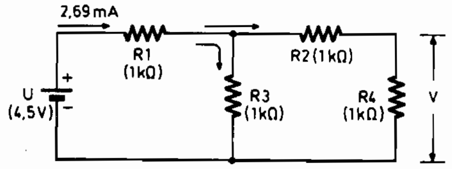


Fig. 3. – Autre méthode de calcul pour connaître V.

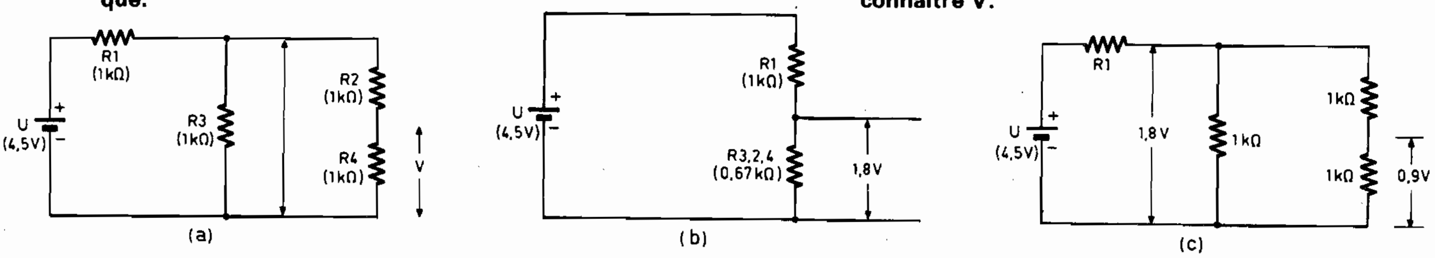


Fig. 2. – Méthode classique pour connaître la tension V.

part, et dans les résistances R_2 et R_4, d'autre part (2 kΩ) (fig. 3). Le tout constitue un diviseur de courant (voir encadré).

Le courant dans la branche R_2 et R_4 est :

$$2{,}69 \text{ mA} \times \frac{1 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega}$$
$$= 0{,}9 \text{ mA}$$

Le même courant traversant R_2 et R_4, la tension recherchée est alors égale à 0,9 mA × 1 kΩ = 0,9 V.

La troisième méthode que nous présentons est la plus simple et la plus couramment utilisée ; elle consiste à simplifier au maximum le circuit pour n'avoir en fait que trois éléments :
– une source de tension équivalente ;
– une résistance interne équivalente ;
– une résistance d'utilisation.

Revenons à notre schéma exemple. Nous voulions calculer la tension aux bornes de la résistance R_4 de 1 kΩ. Détachons du circuit cette résistance que nous considérons comme la résistance d'utilisation (fig. 4a).

Quelle sera la valeur de la source de tension équivalente ? Cette valeur est celle vue entre les bornes A et B, la résistance d'utilisation étant toujours déconnectée (fig. 4b).

Puisqu'il n'y a pas de chute de tension dans R_2, la tension vue entre A et B est celle existant aux bornes de R_3, soit :

$$\frac{R_3}{R_1 + R_3} \cdot U$$

ou :

$$\frac{1}{2} \times 4{,}5 \text{ V} = 2{,}25 \text{ V}$$

Quant à la résistance interne équivalente, c'est aussi la résistance qui est vue des points A et B, à la seule différence que la source U est supprimée et remplacée par un court-circuit (fig. 4b). Nous voyons que cette résistance interne est égale à 1,5 kΩ.

Ainsi, très rapidement, nous obtenons le schéma équivalent du circuit (fig. 4c) et nous pouvons calculer la tension aux bornes de R_4 :

$$\frac{1 \text{ k}\Omega}{1{,}5 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} \times 2{,}25 \text{ V}$$
$$= 0{,}9 \text{ V}$$

Nous retrouvons bien les valeurs trouvées par les autres méthodes. Nous pouvons également vérifier expérimentalement le résultat en fixant sur notre plaque de connexion les quatre résistances de 1 kΩ, 1/4 W, alimentées par une pile standard de 4,5 V. Le voltmètre utilisé doit posséder une résistance interne suffisante.

Nous constatons que cette méthode est ultra simple, et si jamais nous remplaçons la résistance d'utilisation de 1 kΩ par une autre valeur, 4,7 kΩ par exemple, il est inutile de refaire de longs calculs pour trouver la valeur de la nouvelle tension aux bornes.

Cette méthode est l'application du théorème de Thévenin, bien connu des ingénieurs électriciens et électroniciens. Elle peut se définir comme ceci : « Un réseau complexe, comprenant une ou plusieurs sources de tension, peut être remplacé par un circuit équivalent comprenant une **source à tension constante** et une **résistance en série.** La source à tension constante donne une tension égale à la tension en circuit ouvert du réseau complexe. La résistance série a une valeur égale à celle vue de la sortie du circuit complexe, quand les sources internes sont en court-circuit. »

Remarquons que toute source de tension (pile, accumulateur, photopile...) possède une résistance interne dont il faut tenir compte. Cette résistance interne réduit la tension d'utilisation si un courant fort est demandé par le circuit extérieur. C'est pour cette raison qu'on a coutume d'utiliser une ampoule 3,5 V quand elle est alimentée par une pile standard de 4,5 V.

En guise d'application de la méthode donnée plus haut, nous vous proposons de calculer la tension aux bornes de R_3. (La résistance interne et la tension de la source équivalente sont respectivement 0,67 kΩ et 3 V. La tension à trouver est de 1,79 V.)

Circuits avec deux sources

Le problème n'est guère plus compliqué si le circuit comporte plusieurs sources. Dans l'article précédent nous vous avions donné à mesurer la tension aux bornes d'une résistance traversée par des courants provenant de deux sources différentes (fig. 5).

Beaucoup de lecteurs ont pu connaître sa valeur en réalisant le circuit et en mesurant la tension entre A et B.

Le calcul est simple si on applique un autre théorème (nous nous limiterons à ces deux théorèmes), appelé « théorème de superposition », et qui se définit comme suit : « Dans un circuit complexe comportant plusieurs sources, la tension aux bornes de deux points (A et B), due à l'action simultanée de plusieurs sources (U_1 et U_2), est égale à la somme des différences de potentiels partielles créées par les sources individuelles agissant isolément. »

Pour appliquer ce théorème au schéma, on s'occupe d'abord du circuit alimenté par la source U_1, la source U_2 étant déconnectée et remplacée par un court-circuit. Le schéma se simplifie (fig. 6a),

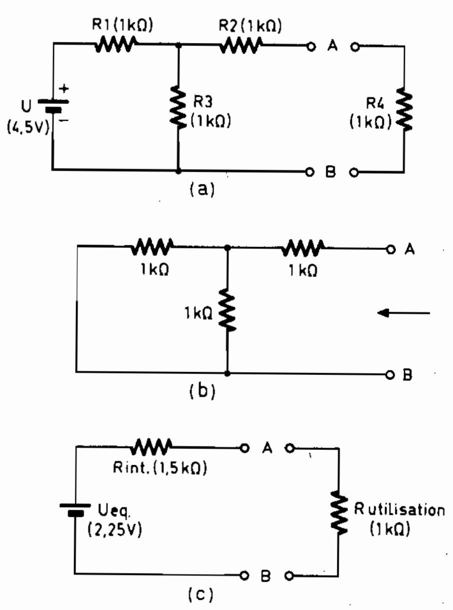


Fig. 4. – Application du théorème de Thévenin.

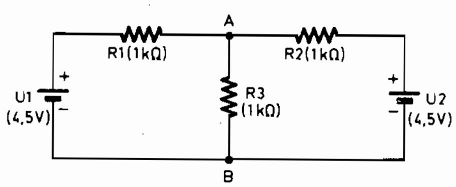


Fig. 5. – Quelle est la valeur de la tension aux bornes de R_3 ?

et la tension entre A et B se trouve être égale à :

$$4{,}5\text{ V} \times \frac{0{,}5\text{ k}\Omega}{1\text{ k}\Omega + 0{,}5\text{ k}\Omega}$$

$$= \frac{2{,}25}{1{,}5} = 1{,}5\text{ V}$$

(première d.d.p. partielle)

Le raisonnement est le même pour l'effet dû à la source U_2, celle-ci apporte également une tension égale à 1,5 V (deuxième d.d.p. partielle) (fig. 6b).

Il en résulte une tension de + 3 V entre A et B (fig. 6c), ce qui sera vérifié expérimentalement.

En inversant la source U_2, que devient cette tension entre A et B ? La tension due à U_1 est toujours + 1,5 V, tandis que celle due à U_2 voit sa polarité inversée. Cette d.d.p. partielle est égale à « – 1,5 V », ce qui fait que la tension entre les points A et B est nulle (fig. 7).

Montage en pont

Sur la figure 8 est schématisé un montage en pont comportant quatre résistances, une source et un appareil de mesure. Un tel pont, destiné à la mesure des résistances, est appelé « pont de Wheatstone ».

Le courant venant de la source se divise en deux parties, et si la chute de tension aux bornes de R_1 et de R_3 est la même, les points A et B sont au même potentiel, donc aucun courant ne traverse l'appareil de mesure. On dit alors que le pont est équilibré. La relation entre les résistances est donnée par la formule :

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4}$$

Si R_1 est la résistance inconnue, on peut trouver sa valeur en faisant le calcul :

$$R_1 = \frac{R_2}{R_4} \times R_3$$

Il peut paraître difficile d'appliquer à un montage en pont ce que nous avons appris dans les paragraphes précédents. Il n'en est rien, comme nous allons le montrer maintenant. L'application proposée porte sur un montage en pont non équilibré. Les valeurs des résistances sont données sur la figure 9, et la tension d'alimentation est de 4,5 V. Quant à la résistance interne de l'appareil de mesure (un milliampèremètre), elle est de 100 Ω.

Le but de la manipulation est de rechercher quelle est la valeur du courant traversant le milliampèremètre, étant donné le déséquilibre des résistances.

Le théorème de Thévenin sera utilisé, et la première chose à faire est de déconnecter la charge, en l'occurrence l'appareil de mesure, et de rechercher quelle est la résistance équivalente du circuit. Il suffit de remplacer la source par un court-circuit et de rechercher quelle est alors la résistance entre A et B. Pour plus de clarté, la disposition des résistances peut être modifiée (fig. 10) et la résistance équivalente du pont déséquilibré est égale à : 1,42 kΩ + 0,9 kΩ, soit 2,32 kΩ.

Il reste à trouver la tension équivalente du circuit. On remarque que les points A et B se trouvent chacun sur des diviseurs de tension constitués respectivement par R_2, R_1 et R_4, R_3. Par rapport au point commun M (fig. 9), la tension en A est égale à :

$$+ 4{,}5\text{ V} \times \frac{5\text{ k}\Omega}{2\text{ k}\Omega + 5\text{ k}\Omega}$$

$$= + 3{,}21\text{ V}$$

La tension en B, quant à elle, est :

$$+ 4{,}5\text{ V} \times \frac{10\text{ k}\Omega}{10\text{ k}\Omega + 1\text{ k}\Omega}$$

$$= + 4{,}09\text{ V}$$

La tension en B est supérieure à celle en A, la tension équivalente du circuit est égale à

$$4{,}09 - 3{,}21 = 0{,}88\text{ V}$$

et le schéma équivalent est donné sur la figure 11. Le courant traversant le milliampèremètre est donné par une simple opération :

$$\frac{0{,}88\text{ V}}{2{,}32\text{ k}\Omega + 0{,}1\text{ k}\Omega} = 0{,}36\text{ mA}$$

La vérification pourra se faire expérimentalement en remplaçant éventuellement le

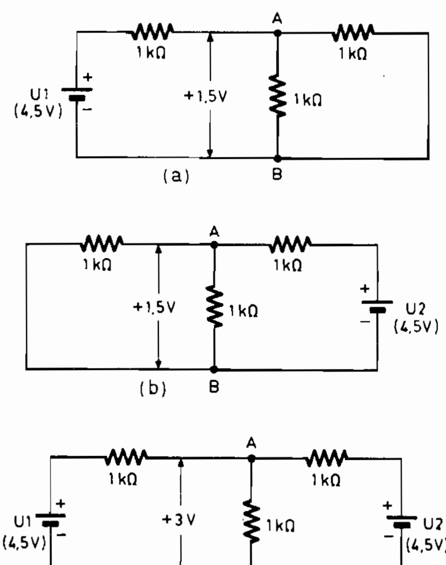


Fig. 6. – Application du théorème de superposition.

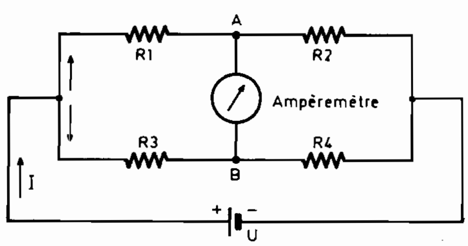


Fig. 8. – Schéma du pont de Wheatstone.

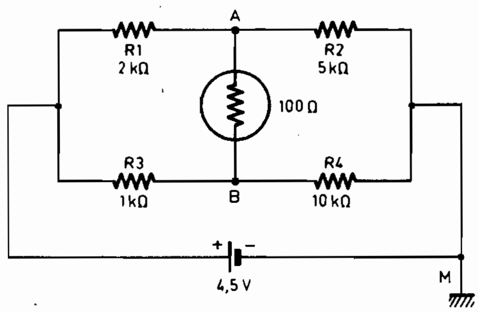


Fig. 9. – Quelle est la valeur du courant dans la résistance de 100 Ω ?

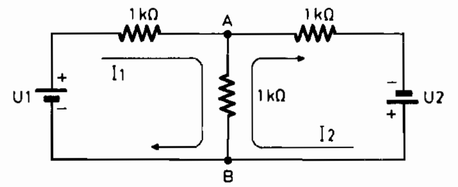


Fig. 7. – Les courants I_1 et I_2 sont égaux et en opposition dans la résistance commune.

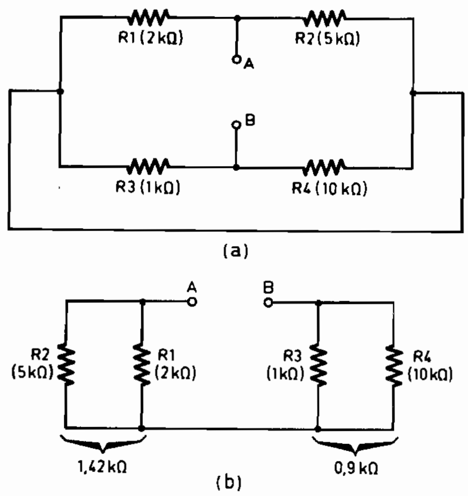


Fig. 10. – Calcul de la résistance équivalente.

milliampèremètre par une résistance de 100 Ω dont on mesurera la tension aux bornes.

Propos sur la puissance électrique

Les chaînes fonctionnelles électroniques sont souvent terminées par un étage dont le rôle est d'actionner un dispositif demandant une certaine puissance (relais, membrane d'un haut-parleur...), une tension élevée seule ou un courant fort seulement ne suffit pas, mais les deux sont nécessaires. La puissance pourrait s'exprimer en volt-ampère ; en fait, son unité est le watt : 1 W = 1 V × 1 A.

Dans les circuits électroniques, le milliwatt (égal à un millième de watt), dont l'abréviation est « mW », est aussi couramment employé.

La puissance P est égale à U × I, mais, en remplaçant U ou I par une des formes de la loi d'Ohm :

$$U = RI, \quad I = \frac{U}{R}$$

cette puissance P peut se présenter de différentes façons, P étant exprimé en W, si U, I et R le sont respectivement en volts, ampères et ohms : $P = RI^2$ ou

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Cette puissance est transmise d'un étage au suivant, d'un générateur à un récepteur. Le générateur possède une résistance interne R_i et le circuit d'utilisation une certaine valeur ohmique R_u. Il faut se souvenir que, lorsqu'une source de tension constante U alimente une résistance R_u à travers une résistance R_S, pouvant inclure la résistance interne de la source, la puissance est maximale dans R_u, si $R_u = R_S$. On dit alors que le circuit est « adapté ».

En reprenant notre schéma équivalent de la figure 4, dont la résistance interne est de 1 500 Ω, la puissance transmise à la charge serait maximale si la résistance d'utilisation R_u était égale à 1,5 kΩ et non à 1 kΩ. Avec une résistance R_u plus faible, le courant dans le circuit est, certes, plus élevé, mais, en revanche, la tension aux bornes de R_u est plus réduite, ce qui fait que le produit « courant × tension » dans la charge est moins élevé. Et, si on augmentait la valeur de R_u dans le but d'obtenir une tension plus forte aux bornes de cette charge, le courant diminuerait et la puissance dans celle-ci ne serait pas plus grande non plus.

On ne recherche pas toujours à transmettre la puissance maximale. Une pile de 4,5 V, de 4 Ω de résistance interne, alimentant une ampoule électrique (3,5 V – 0,3 A), donne une puissance électrique de l'ordre de 1 W. Il serait possible d'imaginer une ampoule dont le filament aurait une résistance de 4 Ω égale à la résistance interne de la pile – en supposant que celle-ci reste à cette valeur –, la puissance serait maximale, mais la pile serait rapidement épuisée.

On se rappellera également que les conducteurs doivent avoir une section telle que leur résistance présentée au courant soit la plus faible possible, car la puissance électrique consommée par un conducteur due à sa résistance est perdue et transformée en chaleur (loi de Joule).

J.-B. P.

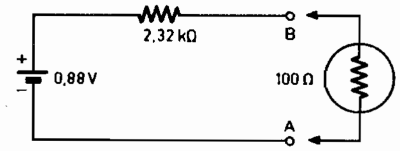
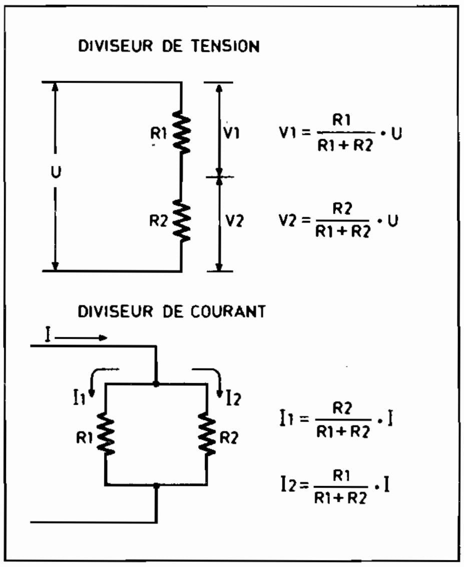
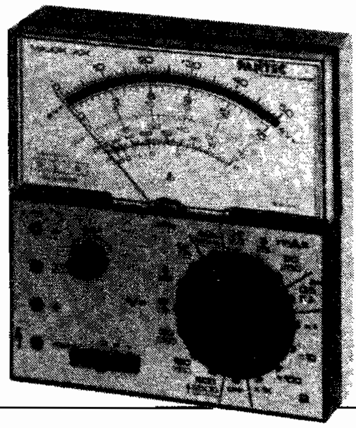


Fig. 11. – Schéma équivalent du pont déséquilibré.



Bloc-notes

Le nouveau multimètre analogique Pantec : Major 20 K



Pantec, le fabricant bien connu de contrôleurs universels, vient de mettre sur le marché une nouvelle version de son multimètre Minor de 20 kΩ/V type Major 20 K.

Ce multimètre est équipé d'un galvanomètre de classe 1,5/ 40 μA/ 3 000 Ω.

Il est pleinement protégé contre les surcharges par un fusible ainsi qu'un varistor et un circuit à diodes.

Ce contrôleur est équipé d'un nouveau commutateur rotatif et rectiligne dont les contacts dorés garantissent une longue durée de vie.

L'intérêt de ce multimètre est la quantité de calibres (45) et pouvant aussi permettre la mesure des courants continus jusqu'à 12,5 A avec une précision continue de + ou – 2 %.

En outre, comparé avec le Minor, le Major 20 K a 4 gammes de résistance, des fiches de 4 mm et la graduation Volt-Ampère continu se trouve sur la partie supérieure du cadran.

Le Major 20 K est disponible dans sa version nouvelle et est équipé d'un boîtier plastique antichoc, d'une paire de cordons, d'un fusible rapide ainsi que d'une béquille de positionnement.