

Pratique de la mesure

Exemples DE MESURE DE TENSIONS

D ISPOSANT maintenant d'un bon voltmètre, grâce au montage que vous avez réalisé en suivant les indications de l'article du mois dernier, nous allons pouvoir envisager quelques exemples pratiques de mesure de tensions, ceci sans nous préoccuper de la perturbation apportée par le voltmètre lui-même, puisque l'adaptateur voltmètre prétend justement les supprimer.

Il n'est pas possible, évidemment, de passer en revue tous les montages possibles dans lesquels on est amené à faire des mesures de tensions, ces montages étant innombrables. Il n'est pas possible non plus, comme nous l'ont demandé quelques lecteurs de choisir LE montage les intéressant plus particulièrement, mais qui laisse indifférents tous les autres. Nous ne pouvons donc, dans le cadre d'un article général, que prendre quelques montages types, très classiques en nous en servant pour étayer notre raisonnement.

Il faut aussi savoir que, quel que soit le circuit sous test, toutes les tensions mesurées ne sont pas significatives. N'oublions pas, en effet, que si certains points dits « froids » sont à des potentiels continus et fixes, donc mesurables avec profit, par contre, de nombreux autres dits « chauds » sont soumis à

des tensions essentiellement variables dont la mesure n'apporte généralement qu'un renseignement discutable, voire absolument sans intérêt. Là encore, une bonne connaissance des conditions de fonctionnement permet de faire la part des choses.

A noter enfin que certaines mesures sont très perturbantes pour le montage lui-même. L'effet de shunt apporté par un voltmètre à résistance interne trop faible fait par exemple chuter les impédances de fonctionnement et peut faire « dérailler » le système. Dans ce cas, la mesure ne veut strictement rien dire. Dans d'autres cas, c'est l'effet de capacité parasite de la pointe de touche qui perturbe. Il en sera ainsi dans les circuits HF, par exemple. Un oscillateur peut ainsi « décrocher » tandis qu'un amplificateur lui, « accrochera », c'est-à-dire entrera en oscillations parasites. Notons que la ré-

sistance de 10 k Ω intercalée à l'extrémité de la sonde de mesure de notre adaptateur est justement destinée à réduire au maximum ces types de perturbation. La prudence reste cependant de rigueur. Il faudra surveiller le fonctionnement au moment de la mesure, pour voir si la pointe de touche le modifie. Dans un tel cas, la mesure n'est pas possible.

Mais nous allons passer maintenant à l'analyse de quelques exemples concrets, afin d'essayer d'apporter un peu plus de lumière sur un problème difficile, très vaste et souvent très mal connu des débutants.

EXEMPLE I :

Etage amplificateur BF à transistors

Quoi de plus simple et de plus classique que le banal schéma de la figure 1. Il s'agit du montage amplificateur à transistor monté en « émetteur commun ». C'est de loin le plus répandu. Le transistor choisi est au silicium, de type NPN, par exemple BC107, BC549, 2N2926...

Il existe des centaines de références sensiblement équivalentes pour un tel montage !

Rappelons brièvement le fonctionnement. Le pont diviseur de base, R_1 , R_2 fixe le courant de repos de la base du transistor. Il détermine ainsi le point de fonctionnement. Ce courant de base, par le gain en courant du transistor (β) provoque un courant collecteur tel que la tension collecteur est à peu près le demi-potentiel de l'alimentation. Ainsi les signaux BF injectés sur la base, en modifiant le point instantané de fonctionnement, modifieront le courant de collecteur ce qui, loi d'Ohm aidant, modifiera la tension de collecteur, donnant les signaux BF de sortie. La résistance R_4 d'émetteur est destinée à stabiliser le point de fonctionnement en température. En effet, le courant de base dépend de la différence de potentiel existant entre B et E. Si le courant de collecteur, donc d'émetteur, a tendance à augmenter, par exemple par emballement thermique, alors la tension d'émetteur augmente et, de ce fait, réduit la différence de potentiel entre B et E et du même coup tend

à réduire le courant de base, donc celui de collecteur. A noter que la résistance R_2 formant pont diviseur avec R_1 , comme déjà dit, tend à stabiliser le potentiel de B et partant à faciliter l'action précédente.

Pour faire une approche très concrète, nous vous conseillons vivement de monter provisoirement cet étage avec les composants indiqués, par exemple sur une boîte à connexions rapides, genre N-DEC ou sur une plaquette genre Veroboard. L'alimentation peut se faire avec une pile de 9 V, ou deux piles standard de 4,5 V.

Les points A et E du montage sont des points « froids ». Les tensions y sont continues et fixes, mesurables sans aucune difficulté. Par contre, en fonctionnement réel, les points B et C sont « chauds ». L'entrée e reçoit le signal à amplifier et la sortie s délivre le résultat de l'amplification. Ne prétendant pas analyser le fonctionnement dynamique, il ne sera pas nécessaire de monter les condensateurs d'entrée et de sortie, destinés à couper la composante continue de B et de C.

En principe, la mesure des potentiels de B et C soulève donc une difficulté. Pourtant, ici, cette difficulté est très relative. D'abord parce que les impédances d'entrée et de sortie sont

faibles, de l'ordre de quelques milliers d'ohms, donc très en dessous de la résistance d'entrée de notre adaptateur. Par ailleurs parce que le montage est à Basse Fréquence (BF) donc que les capacités parasites ne sont pas un problème, même en fonctionnement réel. Enfin parce que les tensions variables apparaissant en B et E sont toujours globalement symétriques par rapport aux potentiels de repos, du moins si le fonctionnement est normal. Par conséquent l'aiguille du voltmètre continu qui ne peut pas suivre les fluctuations de la modulation indique simplement le potentiel moyen, donc en principe le potentiel de repos. Les mesures en B et C sont donc tout à fait possibles avec un bon voltmètre, tel celui que vous possédez maintenant.

Dans tous les montages à transistors, une règle sacrée : il doit exister entre base (B) et émetteur (E) une tension égale à la tension typique de jonction, si le transistor est bon et en régime normal. Cette tension est très voisine de 0,6 V pour un transistor au silicium et de 0,1 V pour un transistor au germanium (ces derniers se faisant de plus en plus rares dans les montages récents). La mesure de la tension entre B et E est donc la première à faire quand il y a doute sur

le fonctionnement du transistor ou de l'étage correspondant. La tension U_{BE} peut se mesurer directement entre B et E, mais on peut également la déterminer par différence en mesurant la différence de potentiel entre E et masse, puis celle entre B et masse et en faisant une soustraction. Ce procédé peut paraître curieux à certains, mais il faut savoir que la plupart des voltmètres électroniques, tels les multimètres numériques ou simplement... l'adaptateur décrit sont utilisés en reliant masse à masse et que dans ce cas, c'est bien la seconde méthode qui est la plus pratique.

Rappelons que si le point de fonctionnement du transistor est correctement calé, la tension collecteur est moitié de celle de l'alimentation : Par exemple 4,5 V si l'alimentation se fait sous 9 V.

Un mot encore au sujet de la cellule R_5, C_4 dite de « découplage ». Cette cellule est destinée à réduire les interférences des divers étages d'un ensemble électronique les uns sur les autres. En effet, tout appel brutal de courant d'un étage tend à faire chuter la tension d'alimentation, ce qui modifie un peu les performances des autres étages, modifications qui peuvent être cumulatives avec l'effet initial, entraî-

nant par exemple, les fameux accrochages dont nous parlons plus haut. Le condensateur C_4 doit donc être considéré comme un « réservoir » de courant destiné à atténuer fortement sinon à éliminer totalement les variations de la tension d'alimentation de l'étage, par les autres étages. La résistance R_5 assure la charge de C_4 .

Voyons maintenant quelques exemples d'incidents pouvant survenir dans le montage de la figure 1. Ces incidents peuvent être parfaitement simulés sur le montage expérimental, ce qui est très instructif.

a) U_A et toutes les autres tensions sont nulles

C'est la panne la plus simple. Vérifier d'abord la tension d'alimentation à l'entrée du montage. Si elle est nulle aussi, voir l'alimentation. Si la tension y est normale, vérifier d'abord à l'ohmmètre la continuité de R_5 . Si cette résistance n'est pas coupée, il y a fort à parier que le coupable est C_4 , probablement claqué, c'est-à-dire en court-circuit.

b) $U_B = 0,7$ V. $U_E = 0,1$ V. $U_C = U_A = 9$ V.

Le courant de base existe, mais le courant d'émetteur est très faible. La chute de tension dans R_3 est nulle confirmant que le courant de collecteur fait défaut. On peut supposer que le transistor a son collecteur claqué ou déconnecté,

c) $U_B = 0,7$ V. $U_E = 0,1$ V. $U_C = 0,1$ V. $U_A = 9$ V.

Le courant de base existe encore, le courant collecteur égal au courant d'émetteur fait par contre défaut puisque U_E est très faible.

Cette fois, c'est la résistance R_3 qui est coupée ou déconnectée.

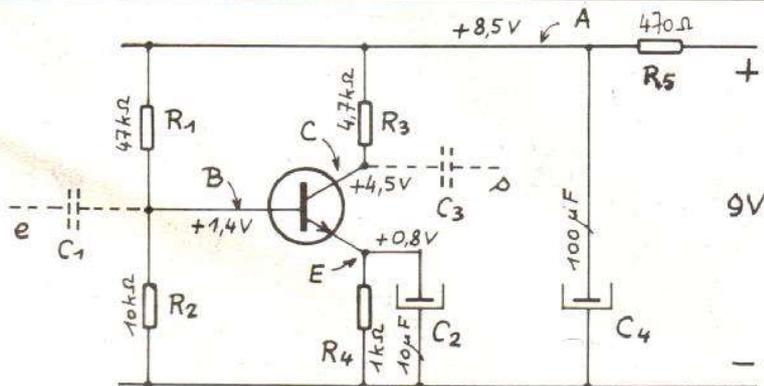


Fig. 1. — Etage BF type RC.

d) $U_B = 0\text{ V}$. $U_E = 0\text{ V}$
 $U_A = 9\text{ V}$.

Le courant de base est nul. Il faut supposer que la résistance R_1 est coupée.

e) $U_B = 1,5\text{ V}$. $U_E = 0\text{ V}$
 $U_C = 9\text{ V}$.

La tension entre B et C est égale à 1,5 V. Elle est donc bien trop grande. Il est presque certain que la jonction de base de T est claquée.

f) $U_B = 0,6\text{ V}$. $U_E = 0\text{ V}$
 $U_C = 0\text{ V}$. $U_A = 8\text{ V}$.

Il y a courant de base et différence normale de 0,6 V entre B et E. Par contre, la tension de collecteur est nulle ou presque et celle du point A est plus basse que normalement. Il faut en déduire que le courant de collecteur est très excessif avec passage du transistor à la saturation. Comme la tension d'émetteur est nulle, c'est sans doute le condensateur de découplage de l'émetteur, C_2 , qui est claqué.

g) $U_B = 2,2\text{ V}$. $U_E = 1,6\text{ V}$
 $U_C = 1,5\text{ V}$. $U_A = 8,3\text{ V}$.

Le transistor est apparemment normal puisque la tension entre B et E fait bien 0,6 V. Pourtant la tension émetteur est trop forte ce qui suppose un courant émetteur trop intense, hypothèse confirmée par une tension collecteur très basse, donc tendance à la saturation du transistor. Notons aussi la tension de A un peu faible, ce qui va bien dans le sens d'un débit de l'étage trop élevé. Il faut alors penser au point de fonctionnement et se tourner vers R_1 et R_2 , en mesurant leur valeur réelle pour voir si celle de R_1 n'est pas trop basse ou celle de R_2 trop forte, voire cette résistance coupée.

h) $U_B = 1,5\text{ V}$. $U_E = 1,2\text{ V}$
 $U_C = 9\text{ V}$.

Pas de courant collecteur et tension U_{BE} trop faible (0,3 V). Penser à une coupure de la résistance R_4 .

EXEMPLE II :

Etage d'amplification HF à transistor

Il y a une grande ressemblance avec le schéma précédent (voir figure 2). La différence essentielle vient du fait que la charge de l'étage est inductive. Il s'agit généralement d'un enroulement accordé placé dans le collecteur du transistor. Le couplage à l'étage suivant peut se faire comme en figure 2, à l'aide d'un secondaire bobiné sur l'enroulement précédent, mais il se fait aussi souvent par capacité, comme dans la figure 1. L'attaque de l'étage peut être purement capacitive, comme en figure 1. Par contre, dans le cas du couplage par secondaire de la figure 2, dans lequel la polarisation de base est appliquée au pied du secondaire constituant un point froid. L'émetteur du transistor est monté comme en figure 1. Les points B et E sont des points froids et la mesure de leur tension ne pose aucun problème. Par contre, les points B' et C sont chauds : les mesures y seront presque toujours perturbantes car elles provoquent presque inévitablement des désaccords des enroulements par les capa-

cités parasites apportées. Bien entendu, la difficulté des mesures sera d'autant plus grande que la fréquence est élevée. Les enroulements insérés dans la base et le collecteur sont au plus de quelques dizaines de tours, donc de résistance pure très faible. Les chutes de tensions créées par ces enroulements sont donc très faibles, elles aussi. On aura donc $U_B \approx U_{B'}$ et $U_C \approx U_A$. Pour la simulation des défauts, sur la boîte à connexions rapides, les enroulements de collecteur et de base pourront être remplacés par de simples conducteurs.

Indiquons quelques anomalies possibles :

a) $U_B = U_{B'} = 1,7\text{ V}$
 $U_E = 0,1\text{ V}$. $U_C = 0,1\text{ V}$
 $U_A = 9\text{ V}$.

Le courant de base passe normalement donnant une très faible tension d'émetteur. Par contre, la tension de collecteur très faible indique que ce dernier n'est pas claqué mais qu'il n'est pas alimenté. C'est donc probablement le primaire de l'enroulement de sortie qui est coupé.

b) $U_{B'} = 0\text{ V}$, $U_E = 0\text{ V}$.

Le pont de polarisation de base est correct mais l'enroulement alimentant cette base est coupé.

c) $U_B = U_{B'} = U_E = 0\text{ V}$
 $U_C = 9\text{ V}$.

Cette fois, c'est la résistance de base R_1 qui est coupée à moins que ce ne soit le condensateur de découplage C_1 qui soit claqué.

d) $U_B = U_{B'} = 0,6\text{ V}$
 $U_E = 0\text{ V}$. $U_C = U_A = 4,6\text{ V}$.

Le courant collecteur est très élevé donnant une chute de tension anormalement élevée dans R_5 . Par contre, la tension d'émetteur est nulle. C'est donc par cet émetteur qui est à la masse par court-circuit : certainement C_2 claqué.

EXEMPLE III :

Circuits logiques

Les deux exemples précédents étaient des systèmes analogiques dans lesquels les tensions aux points chauds pouvaient prendre n'importe quelle valeur instantanée entre le minimum et le maximum fixés par l'alimentation. Par contre, en logique, les tensions dynamiques passent brutalement du niveau 0 au niveau 1, ou inversement. Ces niveaux étant proches des potentiels limites de l'alimentation. Si le fonctionnement est à cadence très lente, de l'ordre du hertz ou moins, l'aiguille du contrôleur arrive à suivre les variations de niveaux et les mesures des tensions sont possibles sinon faciles. Par contre, dès que la vitesse augmente, l'aiguille

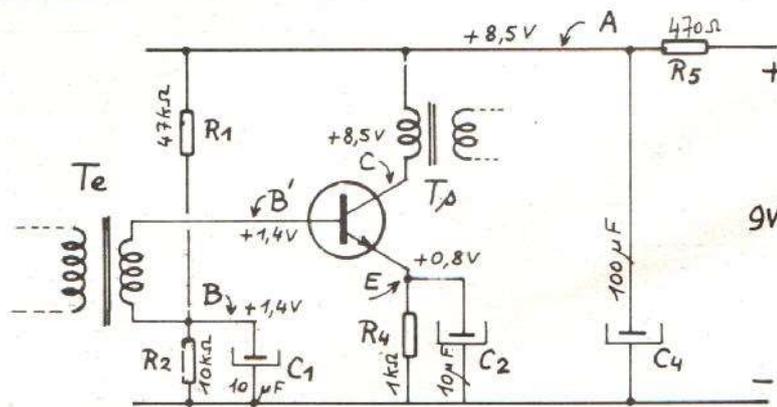


Fig. 2. - Etage BF ou HF à transfos.

n'arrive plus à suivre et indique une valeur « moyenne » compromis entre les états hauts et bas.

Nous nous proposons d'expérimenter un montage très simple construit avec une quadruple porte NAND, type C.MOS : la 4011 bien connue. Voir figure 3.

Les circuits C.MOS ont l'avantage de donner en sortie des niveaux 0 et 1 pratiquement égaux aux potentiels de l'alimentation. Ainsi, si le circuit de la figure 3 est alimenté en 9 V, alors « 0 » vaudra 0 V et « 1 » vaudra +9 V. Ces potentiels étant mesurés par rapport au pôle - de l'alimentation.

Le circuit expérimenté est simplement celui d'un oscillateur RC. Ce sont les portes N_1 et N_2 qui assurent cette fonction. Les signaux rectangulaires obtenus ne font ensuite que traverser les portes N_3 et N_4 . La fréquence de l'oscillation est déterminée par la constante de temps des composants associés aux portes N_1 et N_2 . Plus exactement on a $T \approx 2,4 R_1 C$, formule qui permet de prévoir approximativement la période en secondes, connaissant les composants en ohms et farads. Pour avoir la fréquence, il suffit de calculer l'inverse de T , $F = 1/T$. Le résultat est en hertz.

Nous commencerons par monter $C = 1 \mu\text{F}$ et $R_1 = 2,2 \text{ M}\Omega$ donc $R_2 = 4,7 \text{ M}\Omega$. Dans ces conditions la période de l'oscillation est de l'ordre de 5 secondes et la fréquence voisine de 0,2 Hz. L'oscillateur fonctionne ainsi très lentement.

Mesurons la tension entre les points B, C, D et masse puis entre S et masse le contact Int étant ouvert. Nous allons constater que, dans chaque cas, l'aiguille du voltmètre suit parfaitement la cadence de l'oscillateur : environ 2,5 s à +9 V et 2,5 s à 0 V. On peut remarquer que le niveau haut correspond bien au potentiel de l'alimentation. Les mesures ne sont pas perturbantes car elles se font sur les sorties des portes NAND qui ont une impédance, ou résistance très faible aussi bien côté + que côté -, selon qu'elles se trouvent à 1 ou à 0. Par contre, si vous mesurez entre A et masse, avec un voltmètre ordinaire, l'oscillateur se bloquera. Avec l'adaptateur la perturbation existera aussi mais sera très légère, sans arrêt de l'oscillation.

Si vous pouvez disposer de deux voltmètres, vous pourrez les connecter l'un entre C et masse, l'autre entre D et masse et ainsi visualiser le fonctionnement en inverseur de

l'étage N_3 , la sortie passant à 1 lorsque l'entrée est à 0 et réciproquement. Tant que le contact Int est ouvert, le signal sort en S, mais dès qu'il est fermé, la porte N_4 se bloque avec sa sortie à 1, donc +9 V, en permanence. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle on appelle ce type de circuit PORTE, car il laisse ou ne laisse pas passer le signal, suivant le niveau appliqué à l'entrée de contrôle. La table de vérité ci-dessous donne d'ailleurs le mode de fonctionnement de la NAND, en général :

e_1	e_2	S
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

En mode inverseur (comme N_3) les entrées e_1 et e_2 sont réunies et la porte fonctionne uniquement soit en ligne 1, soit en ligne 4.

En mode PORTE, l'une des entrées est affectée à la commande, par exemple e_2 . L'autre reçoit le signal logique à transmettre ou pas. Si l'entrée de commande e_2 est à 0 (lignes 1 et 3) la sortie est bloquée à 1. Si l'entrée e_2 est à 1, la sortie donne le « complémentaire » de l'entrée e_1 , soit 1 pour 0 (ligne 2) et 0 pour 1 (ligne 4).

Notons que cette expérimentation ayant trait à la mesure, vous permettra peut-être ainsi de faire vos premières armes logiques !

Mais passons maintenant la valeur de C, de $1 \mu\text{F}$ à 10 nF, soit 100 fois moins. L'oscillateur va fonctionner 100 fois plus rapidement : la période sera de 50 ms, environ et la fréquence voisine de 20 Hz. C'est encore faible mais... mesurons les mêmes tensions entre B, C, D, S et masse !

Surprise ! Le voltmètre n'indique plus les battements de l'oscillateur, mais une tension apparemment très stable de 4,5 V environ. Que se passe-t-il donc ? Eh bien, tout simplement que l'aiguille du voltmètre ne peut pas suivre la cadence de 20 battements par seconde ! Elle se fixe alors par inertie sur une valeur « moyenne » entre le haut et le bas, d'où cette indication moyenne de 4,5 V, qui ne veut pas dire grand-chose puisque les potentiels instantanés des points sous mesure sont toujours de +9 V ou 0 V et qu'ils ne sont jamais à +4,5 V.

Voilà donc un type de mesure qui ne sert à rien... ou presque ! Tout au plus peut-on savoir que l'oscillateur... oscille, ce qui n'est déjà pas si mal ! Pourtant en allant un peu plus loin dans la réflexion, nous pouvons tirer des renseignements complémentaires sur la NATURE de l'oscillation rectangulaire.

En effet, si nous mesurons soigneusement les niveaux moyens, d'abord en B, puis en C, nous allons trouver deux valeurs légèrement différentes. Par exemple +4,2 V et +4,8 V. Pourquoi cette légère différence ? Parce que les paliers haut et bas du signal n'ont pas exacte-

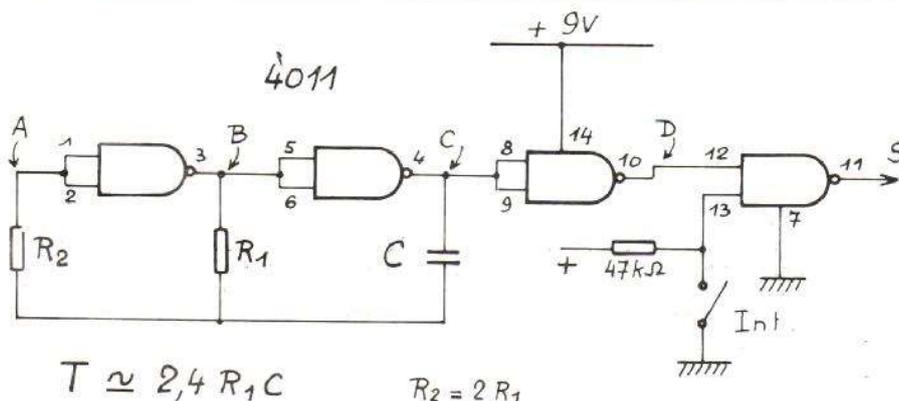


Fig. 3. — Montage logique C.MOS.

ment la même durée. Mais reportons-nous à la figure 4 dans laquelle nous observons une période du signal rectangulaire, soit un palier haut, durant t_1 et un palier bas durant t_2 . La période complète est la somme de ces deux durées :
 $T = t_1 + t_2$.

Dès que la cadence de l'oscillation dépasse l'inertie du voltmètre, l'indication de l'aiguille correspond à u telle que l'aire du rectangle ABCD soit égale à celle du rectangle DEFG.

On a donc :

$$(U - u) \times t_1 = u \times t_2$$

$$Ut_1 - ut_1 = ut_2$$

$$Ut_1 = ut_1 + ut_2$$

$$Ut_1 = u(t_1 + t_2)$$

d'où

$$u = U \times t_1 / t_1 + t_2$$

– Si $t_1 = t_2$, on dit que le rapport cyclique (c'est t_1/t_2) est égal à 1.

Dans ce cas, le facteur de forme $t_1/t_1 + t_2$ (duty cycle, en anglais) vaut $1/2 = 0,5$, et on lit $u = 1/2$ de la tension d'alimentation U . Dans notre cas, ce serait $4,5$ V, aussi bien en B qu'en C.

– Si $t_1 > t_2$, le rapport cyclique est plus grand que 1, le facteur de forme plus grand que 0,5 et $u = U/2$.

– Si $t_1 < t_2$, c'est l'inverse.

En faisant, sur le montage d'essai, des mesures exactes de durées, à l'aide d'un impulsimètre, nous avons obtenu (avec $C = 10$ nF).

$t_1 = 22,5$ ms et $t_2 = 26$ ms. U valant 9 V.

En mesurant u au voltmètre, on doit obtenir

$$9 \times \frac{22,5}{22,5 + 26} \simeq 4,17$$

(la mesure réelle a donné 4,2 V).

Si le signal est inversé, t_1 est remplacé par t_2

$$u' = 9 \times \frac{26}{26 + 22,5}$$

calcul qui donne 4,82 V. La mesure réelle a donné 4,8 V.

A noter que, tant que l'oscillateur fonctionne dans le domaine de la BF, ces résultats sont parfaitement vérifiés par la pratique. Ainsi, en faisant $R_2 = 4\,700 \Omega$ donc $R_1 = 2\,200 \Omega$, $C = 10$ nF, la fréquence de l'oscillateur passe à 20 kHz environ.

Nous avons mesuré
 $t_1 = 28,7 \mu s$
 $t_2 = 24,7 \mu s$.

Le calcul donne

$$u = 9 \times \frac{28,7}{28,7 + 24,7}$$

soit 4,83 V. La mesure donne 4,8 V.

Au-delà de 20 kHz, les effets des capacités parasites tendent à fausser quelque peu le résultat mesuré.

Pour terminer l'article de ce mois, nous vous proposons les deux exercices suivants.

1. Un signal rectangulaire de tension crête à crête $U = 10$ V a une fréquence F de 2 500 Hz. Son rapport cyclique est de 0,25. Calculer la tension u mesurée par un voltmètre continu alimenté par ce signal et ne le perturbant pas.

2. La mesure au voltmètre continu d'une tension rectangulaire de 5 V crête à crête (U) a donné 3,5 V. Calculer le rapport cyclique et le facteur de forme.

F. THOBOIS

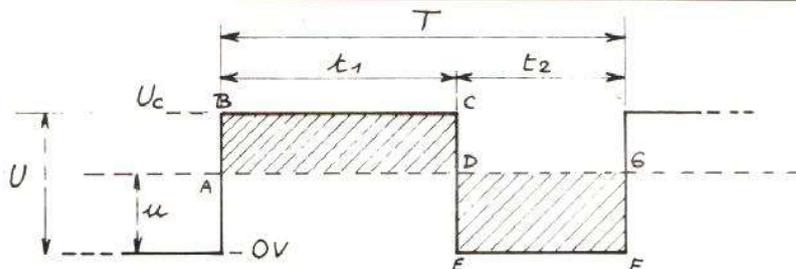


Fig. 4. – Le voltmètre continu indique « u » tel que $A_{ABCD} = A_{DEFG}$.

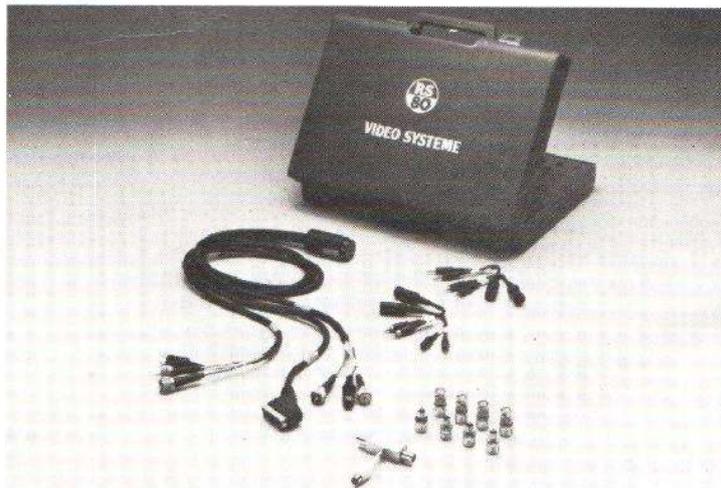
Bloc-notes

CORDONS DE LIAISONS VIDEO 3M

La gamme de kits de liaisons et d'accessoires vidéo 3M s'enrichit d'un kit universel de péricopie RS80, qui est à la fois un kit universel de raccordement inter-magnétoscopes et une liaison péritélévision universelle.

Ce kit permet, lorsque l'on dispose de deux magnétoscopes et d'un téléviseur :

- de réaliser les liaisons entre ces différents matériels quelles que soient leurs caractéristiques.
- D'enregistrer sur les deux magnétoscopes deux émissions différentes diffusées par



deux chaînes de télévision, et de regarder une troisième chaîne.

– De contrôler à tout moment l'enregistrement qu'effectuent les deux magnétoscopes sans interrompre pour autant ces enregistrements.

– De transférer un enregistrement d'un magnétoscope à l'autre sans avoir à modifier les branchements, grâce à la présence d'un interrupteur inverseur.

Le kit universel de péricopie RS 80 est proposé à un prix de vente public de 950 à 1 000 F environ.