

électronique

n°58

septembre 1993

23 FF/168 FB/8,20 FS

mensuel

EQ

mieux connaître et mieux utiliser
les interrupteurs

le calcul des
composants
(suite)

connaître et
utiliser l'oscilloscope
(suite)

construisez vous-même un mini
oscilloscope à LED

avec dessin de circuit imprimé

explorez l'électronique

M2510 - 58 - 23,00 F



Les multiplicateurs ou éleveurs de tension	6
Astuce : visser dans des endroits inaccessibles	12
Connaître et utiliser les interrupteurs	30
Le calcul des composants : suite	35
Monter soi-même un autoradio	37
Connaître et utiliser les circuits de temporisation	44
Mesures à l'oscilloscope : suite	54
« Alors, sagace ? »	59
Petites Annonces Gratuites	60

au sommaire d'alex 58, septembre 1993

- 8 un anioniseur
pour détendre l'atmosphère
avec dessin de circuit imprimé !
- 15 un oscilloscope "de poche"
à affichage sur matrice de LED
avec dessins de circuits imprimés !
- 20 un économiseur d'ampoules
à incandescence
avec dessin de circuit imprimé !
- 23 un robot photophile (il court après la lumière pas après l'argent)
avec dessin de circuit imprimé !
- 40 un œil magique
comme sur les anciens récepteurs radio
avec dessin de circuit imprimé !
- 45 un circuit d'allumage automatique des phares
- 48 un interrupteur temporisé
- 50 un interrupteur ^{caché} pour alarme automobile

Annonces:

B.H. ÉLECTRONIQUE p. 57 – COMPOSIUM p. 57 –
ÉLECTRON SHOP p. 43 – J.REBOUL p. 43 –
LAYO FRANCE p. 57 – MAGNÉTIQUE FRANCE p. 59 – MICROPROCESSOR p. 57 –
PUBLITRONIC pp. 5, 63 et 64 –
SÉLECTRONIC pp. 2, 61, 62, 63 et 64 –
TSME p. 43 – URS MEYER ELECTRONIC SA p. 43 –

Le propre du génie est de fournir des idées aux crétins quelques années plus tard (Louise Aragon).

^{PAS} ELEX, c'est fini!

Eh ! oui, le titre ci-dessus a beau être équivoque, c'est le dernier numéro d'ELEX que vous tenez entre vos mains. À partir du mois prochain, en effet, ELEX ne paraîtra plus sous sa forme habituelle de cahier autonome de 64 pages. Autrement dit : *ELEX, c'est bien fini !*

Tout revers a sa médaille, heureusement, et moi le goût du paradoxe : vous retrouverez donc "votre" ELEX tous les mois, dans les kiosques et, pour les abonnés, dans votre boîte à lettres, **sous la forme d'un supplément** au magazine d'électronique ELEKTOR. C'est pourquoi il n'est pas faux d'affirmer : *Elex, ce n'est pas fini !* Car ce ne sont ni les idées ni les projets qui nous font défaut, ni même l'énergie et l'enthousiasme. C'est plutôt d'un manque de lecteurs que nous aurions à nous plaindre... Un problème de fond(s) ! Après plusieurs mois d'analyse, d'étude et de réflexion, les responsables de la stratégie de notre entreprise jugent sans appel que ni la progression des ventes d'ELEX ni ses recettes publicitaires ne permettront de maintenir encore longtemps la publication autonome de cette revue d'initiation à l'électronique au niveau qui fut le sien depuis son apparition en langue française en 1988. Or une baisse de niveau nous précipiterait au cœur de la mêlée, là précisément où sévit une concurrence aussi fournie que peu embarrassée de scrupules de qualité.

C'est pourquoi il a été proposé à la rédaction d'**intégrer** ELEX dans ELEKTOR. Vous n'ignorez sans doute pas que ces deux titres sont issus d'une même équipe internationale et du même laboratoire indépendant, doté de l'appareillage de mesure moderne indispensable à la mise au point de schémas de la qualité que l'on sait. C'est de cette formule unique au monde qu'ELEX a bénéficié cinq ans durant sous sa forme actuelle, et dont il continuera de bénéficier, nous l'espérons et le souhaitons vivement, sous sa nouvelle forme intégrée. Dès octobre, les abonnés d'ELEX trouveront dans leur boîte à lettres un exemplaire du magazine... ELEKTOR, avec son nouveau supplément. En kiosque aussi on verra ELEKTOR faire le kangourou, avec une double page de couverture portant les deux logos, et à l'intérieur, bien sûr, votre supplément ELEX.

Que nos fidèles éléxéens ne se laissent pas effrayer par la réputation 'en béton' d'ELEKTOR. Car nous n'en sommes qu'à la première étape d'une évolution progressive de ce magazine de référence vers une formule renouvelée, encore plus riche, encore plus variée, adaptée aussi désormais aux besoins des lecteurs qu'ELEX satisfaisait jusqu'à présent. Après, il n'est pas impossible que l'esprit d'ELEX souffle à nouveau plus fort, et réapparaisse ici ou là sous la forme par exemple de numéros supplémentaires hors série que nous vous annoncerons à temps (dans les colonnes d'ELEKTOR) afin de vous permettre d'en réserver un exemplaire. Pour l'heure, nous vous laissons au plaisir de lire ce dernier numéro que nous ouvrons par un rappel de la loi d'or des arts et des sciences : **C'EST CELUI QUI DÉTIENT L'OR QUI FAIT LA LOI.**

DENIS MEYER

P.S. : Je remercie tous les lecteurs, souvent fidèles depuis le premier numéro, qui nous ont encouragés dans leurs lettres, par une critique constructive et des commentaires personnels - dont nous nous sommes efforcés de tenir compte dans la mesure de leur compatibilité avec nos propres idées et surtout nos moyens - mais auxquels je n'ai pas eu le loisir de répondre individuellement dans les formes qui eussent convenu. Qu'ils ne se privent pas de reprendre leur plume : nous nous laisserons volontiers inspirer par leurs conseils et leurs désirs.

Si l'on a besoin pour un montage d'une tension constante supérieure à celle que délivre le secondaire du transformateur dont on dispose, il n'est pas forcément nécessaire de changer de transformateur et encore moins conseillé de brancher son secondaire sur le secteur s'il n'est pas expressément prévu pour: même sous surveillance médicale, les secours ne le sauveraient pas. Une poignée de diodes et de condensateurs câblés en « détecteur de crête » et « translateur de potentiel » vous multiplieront la tension d'origine (alternative)... à vos risques et périls.

doubleur de tension Latour

La tension continue présente à la sortie d'un bloc secteur ordinaire constitué simplement d'un transformateur, d'un redresseur et d'un condensateur de lissage est supérieure à la tension nominale, efficace, du transformateur. Si l'on néglige les seuils des diodes elle est $\sqrt{2}$ fois plus élevée: c'est la tension de crête, appelons-la \hat{u} . Nous pouvons dire que ce dispositif, en l'absence de charge, est un détecteur de crête. Ne pourrions-nous pas disposer de la tension de crête à crête, soit $2 \cdot \hat{u}$? Ce n'est pas trop demander. Sur la **figure 1** le condensateur C1 se charge lors de l'alternance positive, l'autre, C2, profite de l'alternance négative. À chacun son alternance et les diodes évitent, quand un condensateur fait le plein, que l'autre en profite pour se vider. Comme les deux condensateurs sont en série, la charge R_L (si elle n'est pas excessive) a à ses bornes la tension désirée, amputée seulement des seuils des diodes. On appelle cette sorte de montage qui détecte deux fois la tension de crête: « doubleur Latour ».

doubleur de tension Schenkel

Nous avons, sur la **figure 2**, un autre type de doubleur de tension qui utilise le principe du détecteur de crête et celui dit du translateur de potentiel: c'est le doubleur

de tension Schenkel. Le translateur de potentiel est constitué par C1 et D1. Lorsque la diode est passante, pendant la première alternance négative, le condensateur se charge à la tension de crête du secondaire du transformateur. Pendant l'alternance suivante, D1 est bloquée et nous sommes en présence de deux générateurs en série: le condensateur et le secondaire du transformateur. La tension à la partie supérieure du bobinage du secondaire passe de 0 V à \hat{u} . Lorsqu'elle est égale à \hat{u} , la cathode de D1 est à $2\hat{u}$ par rapport à son anode. Elle décroît ensuite jusqu'à 0 V pour la raison que la partie supérieure du bobinage passe à $-\hat{u}$ qui s'ajoutent au $+\hat{u}$ que nous avons précédemment. Aux bornes de D1, la tension sinusoïdale, constamment positive, évolue entre 0 V et $+2\hat{u}$. La diode D2 associée à C2 constitue un détecteur de crête et, aux bornes de ce condensateur, la tension est constante et égale à $2\hat{u}$, si l'on néglige la chute de tension due aux diodes. Le résultat est cependant un peu différent de celui obtenu à l'aide du doubleur de tension Latour.

*Schenkel en cascade **

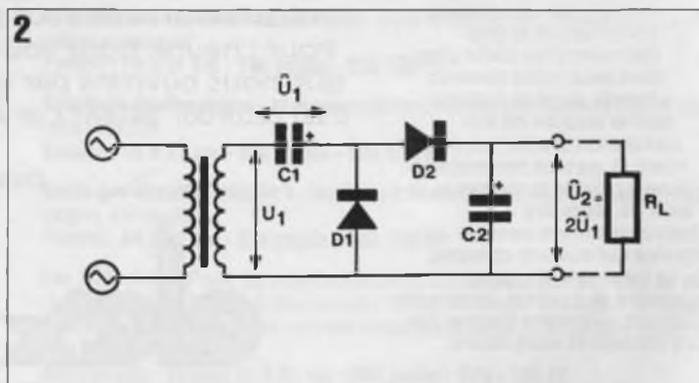
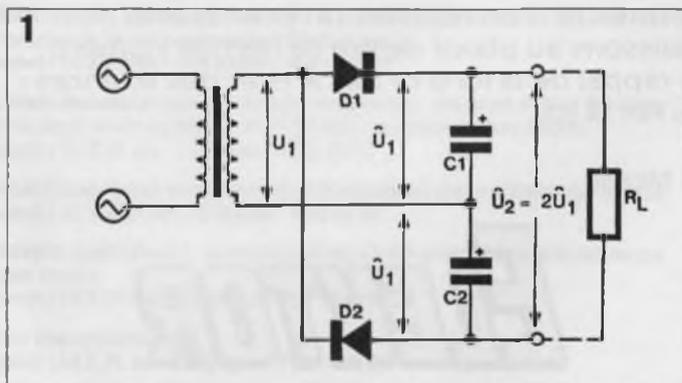
Le principe de Schenkel, appliqué en cascade, permet de faire monter plus haut la tension. C'est ainsi que sont fabriquées les hautes tensions nécessaires au fonctionnement de certains tubes cathodiques ou d'ioniseurs par exemple. La **figure 3**

compte trois doubleurs de tension. La tension de sortie est de l'ordre de six fois la tension de crête \hat{u} du secondaire du transformateur. Comme cette représentation n'est pas des plus lisibles, on lui préfère dans la littérature celle de la **figure 4**. Nous en étions restés avec le doubleur de tension à $2\hat{u}$ aux bornes de C2. Nous en aurons autant aux bornes de C3, qui se charge par l'intermédiaire de D3 sous la tension \hat{u} du transformateur, à laquelle s'ajoutent les $2\hat{u}$ aux bornes de C2, dont on retranche \hat{u} de C1: la différence de potentiel entre le point G et le point B du transformateur, choisi comme référence, est de $3\hat{u}$. Le générateur constitué par ce dernier condensateur et le secondaire du transformateur permet d'obtenir une tension de quatre fois la tension de crête au point D, cinq fois au point H: nous pourrions ainsi continuer longtemps. Arrêtons-nous là pour l'instant et voyons quels composants permettent d'y parvenir.

le choix des composants

De tels dispositifs redresseurs ne présenteraient aucun intérêt s'ils ne pouvaient débiter du courant, comme n'importe quelle alimentation. Le choix des condensateurs dépend de son intensité maximale pour laquelle la sortie ne doit pas se mettre à genoux. Il serait inutile de faire atteindre des sommets à la tension à vide si nous ne pouvions pas la conserver en charge. La capacité des condensateurs doit

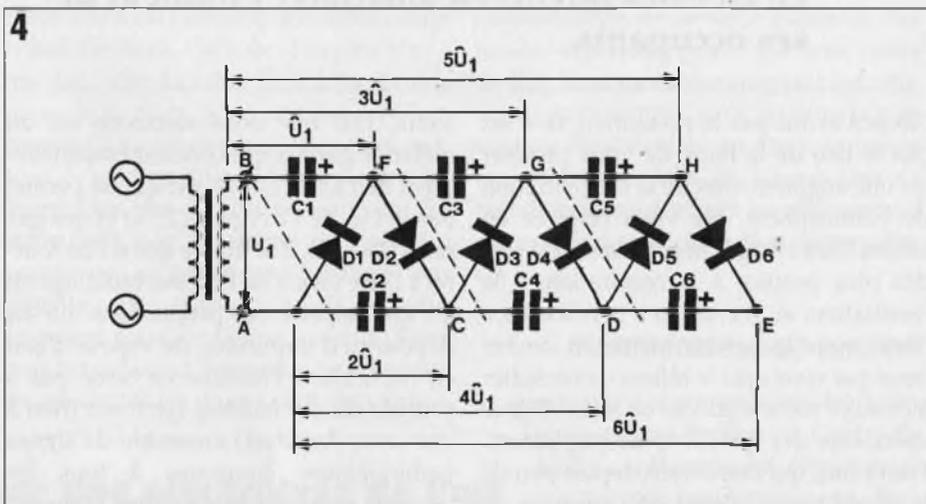
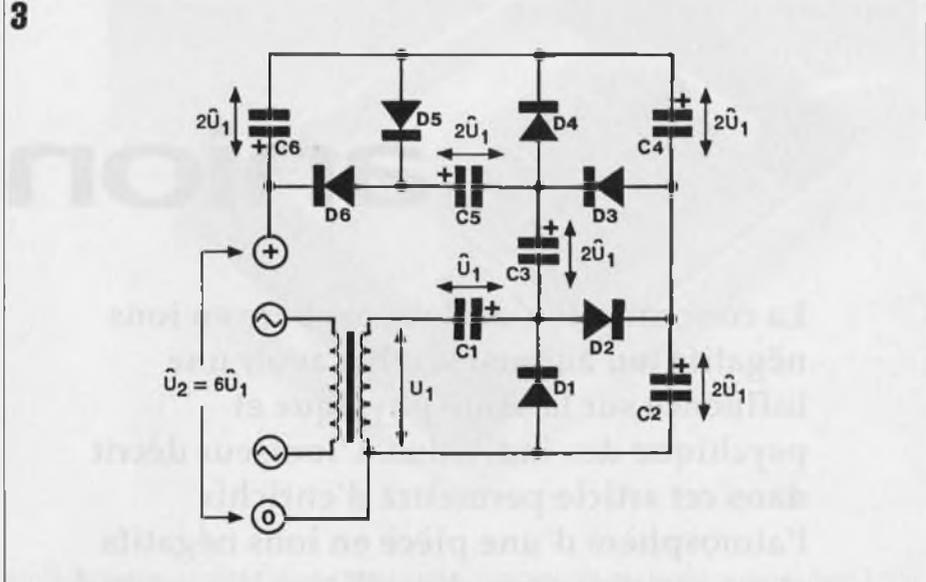
multiplieurs de tension



donc être suffisante pour maintenir la différence de potentiel constante aux bornes de la charge maximale. Dans le cas des doubleurs de tension, on applique une règle empirique qui prescrit une capacité de $4,7 \mu\text{F}$ par mA d'intensité. La capacité des condensateurs d'un doubleur de tension qui délivrerait 20 mA serait donc de $100 \mu\text{F}$ ($20 \cdot 4,7$). Pour un montage comme celui de la figure 4, la même règle devrait fonctionner, mais, même si l'on arrive à obtenir une tension efficace à peu près stable, l'ondulation résiduelle croît comme le cube du nombre de cellules. Les tensions de service seront en tout cas supérieures à deux fois la tension de crête \hat{u} . Quelles diodes choisir? Des diodes capables de supporter l'appel de courant à la mise sous tension... qu'il est préférable de limiter par une résistance en série avec le secondaire du transformateur. Elles auront aussi à subir deux fois la tension de crête \hat{u} , en inverse: les diodes de la série 1N400X ont des caractéristiques satisfaisantes si les applications ne dépassent pas le domaine des très basses puissances (de l'ordre de la dizaine de volts au secondaire pour moins d'un ampère de débit).

domaine d'utilisation et inconvénients

Pourquoi ne pas se passer tout simplement de transformateur pour fabriquer directement ces "hautes tensions" à partir du secteur, ou ne pas utiliser un transformateur élévateur de tension, ou... Pour de simples raisons de sécurité et de matériel. Un transformateur dont le rapport de transformation est de 22 permet d'obtenir, à partir de la tension du secteur une tension de $220/22 = 10 \text{ V}$. S'il n'est pas réversible et que l'on prenne le secondaire pour primaire, il y a des chances pour qu'il ne le supporte pas: les spires du secondaire sont 22 fois moins nombreuses que celles du primaire et leur résistance, beaucoup plus faible, laisse passer un courant beaucoup plus important. Si les fusibles de l'installation ne grillent pas, vous risquez gros. Ensuite, pour un transformateur de classe I par exemple, la tension d'isolement est de 2120 V au maximum, or la tension obtenue au secondaire est de 220×22 , soit 4840 V: l'isolant va claquer et les enroulements se mettre en court-circuit. Si vous n'y laissez pas la vie, celle du transformateur est fortement compromise. Il est heureux que dans ce cas ce soient



les fusibles de l'installation qui prennent, mais il n'est pas garanti que le transformateur n'ait pas le temps d'en souffrir. Il y a des décennies que les fabricants de téléviseurs n'utilisent plus la tension du secteur pour obtenir la très haute tension nécessaire à l'anode du tube cathodique. Cette haute tension (25 kV, 1 mA) leur est fournie par le secondaire d'un transformateur, au primaire duquel le retour du balayage ligne provoque une surtension à la fréquence de 15625 Hz. Les oscilloscopes en revanche utilisent des dispositifs semblables à ceux que nous avons décrits pour alimenter les anodes de leur tube cathodique. Ils les utilisent parce qu'ils ne mettent pas en œuvre des puissances élevées. Nos multiplicateurs de tension présentent en effet de graves défauts. En premier lieu, leur résistance inférieure est très élevée, raison pour laquelle la tension de sortie ploie rapidement sous la charge, même si les condensateurs sont surdimensionnés. L'ondulation, comme nous l'avons dit plus haut, augmente ensuite avec le nombre de modules à un niveau rapide-

ment intolérable pour certaines applications. Le plus intéressant des multiplicateurs de tension est sans conteste le doubleur, impeccable s'il ne doit pas débiter des courants d'intensité trop élevée. Il est conseillé, pour maintenir l'ondulation dans des limites tolérables, de le faire suivre de stabilisateurs de tension. Rappelons pour terminer que ces multiplicateurs de tension sont des circuits redresseurs qui ne peuvent être alimentés que sous tension alternative: câblez autant de multiplicateurs de tension aux bornes d'une pile ou d'une batterie que vous le désirez, votre élevage est voué à la faillite (et ça n'a rien à voir avec la PAC). Enfin, si vous n'aimez pas les châtaignes n'oubliez pas que si l'intensité tue, une différence de potentiel élevée peut fortement secouer... Ne montez pas trop haut sans prendre de précautions! Voyez-en l'application qui vous est proposée dans ce même numéro sous le titre « anioniseur ».

896053

* Dite de Villard (le plus souvent), Greinacher, Cocroft, Bouwers etc. suivant les auteurs.

anioniseur

La concentration de l'atmosphère en ions négatifs (ou anions) semble avoir une influence sur la santé physique et psychique des individus. L'ioniseur décrit dans cet article permettra d'enrichir l'atmosphère d'une pièce en ions négatifs et, en conséquence, d'améliorer l'humeur de ses occupants.

attention ! 4000 V !

Nous n'avons pas la prétention, ce n'est pas le lieu de le faire, de vous prouver qu'une augmentation de la concentration de l'atmosphère que vous respirez en anions (ions chargés négativement) la rendra plus propice à la respiration, à la méditation, au travail ou à la relaxation. Nous vous laisserons même en douter pour que vous ayez le réflexe de consulter à ce sujet votre médecin ou son collègue spécialiste des questions de respiration. Pour nous, qui disposons depuis peu de la climatisation, c'était une question de survie : les collègues partisans de l'anionisation exigeaient que nous fissions notre possible pour enrichir l'atmosphère en ions négatifs. Nous l'avons fait, pour avoir la paix, et vous fournirons les arguments invoqués par les demandeurs.

Voilà, l'air que nous respirons est un mélange gazeux qui contient essentiellement de l'azote (78%), gaz qui ne permet pas la vie, de l'oxygène (21%) et des gaz rares (1%). Or, il se trouve que si l'on fournit à l'être vivant de l'ère des buildings un air qui respecte ces proportions, un air dépourvu d'impuretés, de vapeur d'eau en particulier, l'homme ne tarde pas à souffrir du *sick building syndrome* (rien à voir avec Amritsar) ensemble de signes pathologiques communs à tous les ouvriers et employés du même bâtiment dont l'atmosphère est dépourvue d'un corps utile à leur santé : ils sont si malades qu'ils viennent à douter des bienfaits du travail et se font porter pâles. On améliore donc sa composition, celle de l'air, à l'aide d'humidificateurs et on constate la

cessation des malaises. La raison à ceci serait que l'air ayant barboté dans l'eau d'un humidificateur se serait enrichi en ions oxygène (O^{2-} , lire *O deux moins*), atomes d'oxygène ayant adhéré au parti des anions, ions chargés négativement, après avoir capturé deux électrons pour donner à leur couche électronique la plus externe la configuration de celle du gaz rare le plus proche dans la classification périodique des éléments, le néon. On dit même, (à Lannion peut-être), que l'air comprimé contenu depuis trop longtemps dans les bouteilles des plongeurs de la Royale ne leur permettrait pas de respirer correctement pour la raison que les anions d'oxygène auraient, au contact du métal de la bouteille, été oxydés (ils auraient perdu leurs électrons surnuméraires). On aurait même prouvé, dans un lointain laboratoire, que l'oxygène de l'air ne passait dans le sang qu'en présence d' O^{2-} en très petite proportion.

On peut lire aussi que le passage d' O^{2-} dans le sang élève son pH (on s'en serait douté puisque les chimistes considèrent cet anion comme l'une des bases les plus fortes), qu'il stimule la fabrication des globules rouges et – argument décisif, auquel tous les individus trop bien nourris de nos latitudes sont sensibles – qu'il fait baisser le taux de cholestérol. « Et sur le psychisme ? » Les anions oxygène auraient un rôle indiscutable dans le métabolisme d'un neuro-transmetteur, la sérotonine, ils toucheraient donc par son intermédiaire au système nerveux central, et, en provoquant une diminution de son taux dans l'organisme, amélioreraient l'humeur des individus.



Si vous êtes convaincu qu'un "anioniseur" vous est nécessaire, encore faut-il le bien réaliser. Ce qui veut dire, puisque l'atmosphère contient surtout de l'azote, qu'il n'en favorisera pas l'oxydation (les oxydes d'azote sont nocifs), ni la formation d'ozone (O_3), gaz oxydant dont l'odeur et les effets (irritation des voies respiratoires par exemple) indisposent. Sans utiliser la machine de Wimshurst (trop bruyante) ni de radioéléments (trop coûteux) nous vous proposons une machine électrostatique qui enrichira votre air en anions et le rendra, à la pollution près, aussi riche que celui de la montagne.

haute tension

Donnons au problème une allure scientifique : disons ce que nous désirons obtenir et supposons que la machine que nous allons fabriquer permette de l'obtenir. Pour réduire une molécule d'oxygène O_2 à l'état d'anions O^{2-} (une paire chaque fois), il faut d'abord la casser et ensuite lui fournir quatre électrons. Comment faire ? Casser la molécule, c'est possible, par effet de champ. Soumise à un champ électrique très intense, la molécule d'oxygène se casse en deux, c'est ce que l'on constate lors de la formation d'un arc électrique : les molécules d'oxygène se cassent et leurs atomes se recombinaient pour former de l'ozone, constitué de trois atomes d'oxygène (O_3). Nous ne voulons pas d'ozone et pouvons supposer n'en obtenir que si la réaction est visible, s'il y a formation d'un arc ou d'étincelles (décharge disruptive). Si la puissance du dispositif est faible et si la distance entre les électrodes est assez grande nous pouvons supposer que la formation de ces gaz sera réduite au minimum. Les atomes d'oxygène O ne sont pas ionisés, ce qui veut dire que les charges électriques (positives) de leur noyau sont équilibrées par celles (négatives) de leur nuage électronique. Ça n'est pas satisfaisant pour la configuration électronique de cet atome qui tend à prendre celle du gaz rare le plus proche dans la classification périodique des éléments (on la trouve éventuellement dans un dictionnaire illustré à l'article "éléments"). Le gaz rare le plus proche de l'oxygène est le néon dont le nuage électronique est constitué de dix électrons alors que celui de l'oxygène n'en a que huit. Ces électrons se disposent en couches et sous couches. Les couches les plus proches du noyau sont en principe complètes (saturées) et

seule la couche la plus externe nous intéresse. Elle n'est complète que si elle compte huit électrons. Celle de l'oxygène n'en a que six, celle du néon huit. L'oxygène a donc de la place pour une paire d'électrons qu'il ne refusera pas si nous les mettons à sa disposition. Nous ne les lui fournirons pas sur un plateau, qui les retiendrait trop fortement, mais sur des pointes qui les laisseront s'écouler si leur potentiel (par rapport au sol) est suffisamment élevé en valeur absolue. Vous pourrez constater l'existence au voisinage de ces électrodes d'un « vent électrique »

Pour une électrolyse de l'air dans le but d'enrichir l'atmosphère respirable en ions négatifs (anions)

si vous en approchez la flamme d'une bougie : les ions de même signe que les charges disponibles à l'extrémité d'une pointe sont repoussés et provoquent un courant d'air capable de coucher la flamme.

En conclusion, pour arriver à nos fins, il nous faut un générateur de faible puissance mais qui nous permette d'établir entre la terre et des pointes (négatives par rapport à elle) une grande différence de potentiel continue. Nous aurons ainsi un champ électrique élevé, capable de casser des molécules d'oxygène qu'il nous sera possible d'électriser négativement par "influence" si elles se trouvent au voisinage des pointes. Nous ne garantissons pas la stabilité des anions d'oxygène ainsi formés, nous savons cependant qu'ils auront tendance à ce déplacer vers l'ionosphère sous l'effet du champ électrique atmosphérique (l'ionosphère est positive

par rapport à la terre) ce qui évitera à leur concentration de devenir excessive. Ne répétez cependant pas ce que vous venez de lire, si vous êtes enseignant (ou étudiant) par exemple, sans prendre la précaution de consulter un électrochimiste (on en trouve dans les laboratoires de métallurgie qui étudient les phénomènes de corrosion et de protection contre celle-ci).

multiplicateur de tension

Le générateur que nous voulons fabriquer fournira une tension de l'ordre de 4000 V, suffisamment élevée pour nos objectifs, insuffisante pour effectuer la synthèse d'ozone ou d'oxydes d'azote, impropres à la consommation. Un autre article de ce même numéro vous explique comment procéder à l'aide d'un redresseur un peu particulier, constitué d'une cascade de doubleurs de tension Schenkel. Il est, comme nous le déconseillons dans ce même article, branché sans intermédiaire sur le secteur, ce qui nous amènera à reparler de sécurité. Voyez-le sur la figure 1. Comparé à celui que nous rappelons sur la figure 2 il apparaît un peu différent. Sans parler de la façon dont les diodes sont représentées, au garde-à-vous, ce qui ne change rien à leur façon de travailler, le premier condensateur C1 est branché entre un pôle du secteur et l'anode de D1 au lieu de la cathode. Il se chargera donc lors des alternances positives et fonctionnera en générateur en série avec le secteur, lors des alternances négatives. Le pôle moins de notre générateur sera donc à l'anode de la dernière diode, D14, au lieu de se trouver à l'entrée, au neutre ou à la phase du secteur, sur le bornier K1 puisqu'il n'y a pas de transformateur. Le nombre de compo-

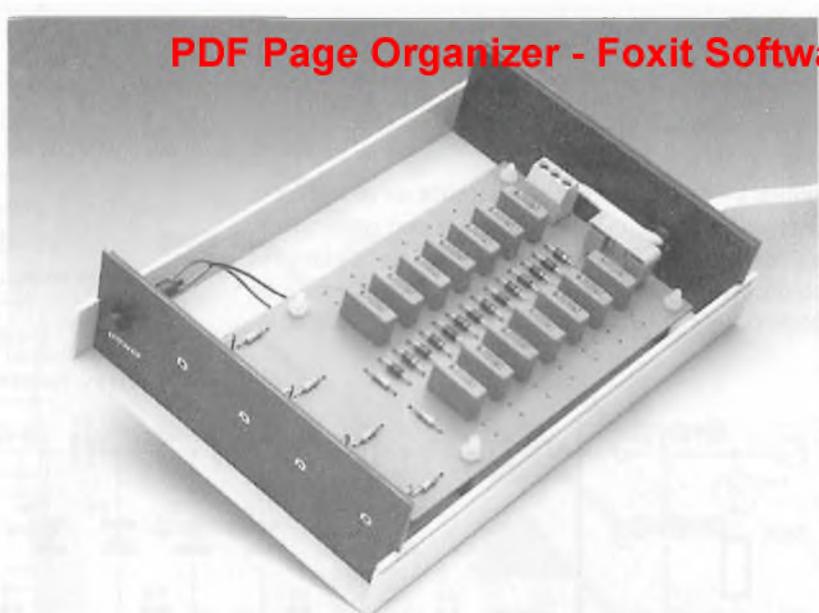
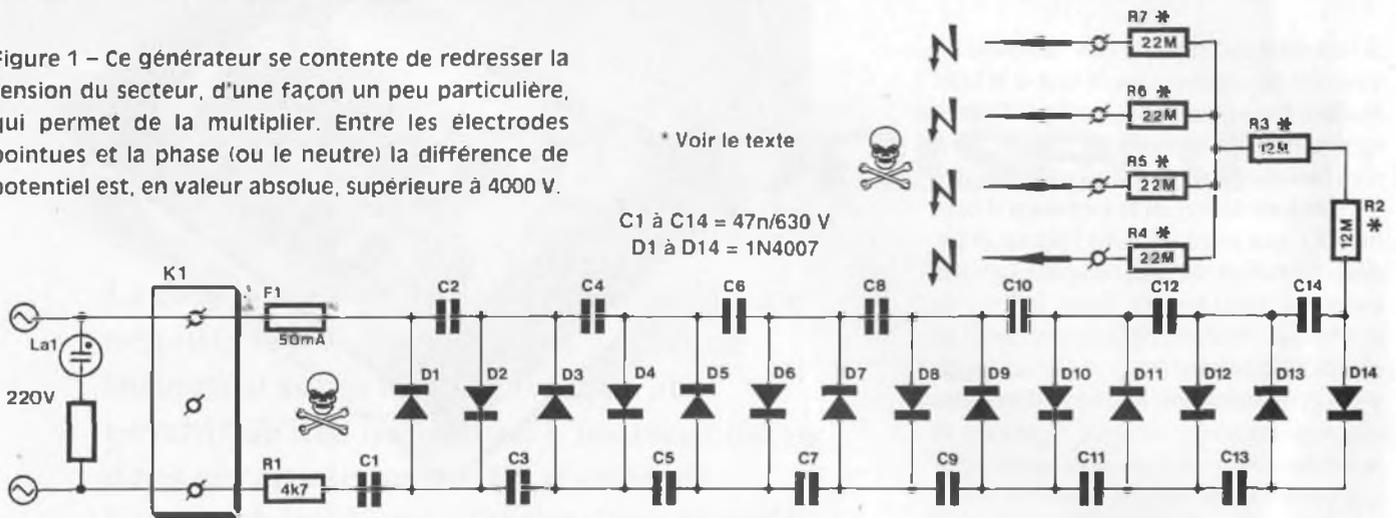


Figure 1 - Ce générateur se contente de redresser la tension du secteur, d'une façon un peu particulière, qui permet de la multiplier. Entre les électrodes pointues et la phase (ou le neutre) la différence de potentiel est, en valeur absolue, supérieure à 4000 V.



sants est aussi différent et la différence de potentiel plus importante. Nous savons (reportez-vous à l'article cité ou à la figure 2) que la différence de potentiel aux bornes de chaque condensateur est égale à deux fois la tension de crête, ou à la tension de crête à crête, ici du secteur. Cette tension est égale au double de la tension efficace ($220\sqrt{2}$ ou $230\sqrt{2}$) multipliée par la racine de 2 (les multiplications peuvent se faire dans le désordre). La tension de crête est de $220\sqrt{2} = 311$ V et la tension de crête à crête de deux fois la tension de crête, soit 622 V. En régime établi, c'est-à-dire une fois que tous les condensateurs sont chargés, la différence de potentiel entre l'armature de gauche du premier (C2) et l'armature de droite du dernier est de - il y a sept condensateurs sur cette branche - sept fois 622 V soit de 4350 V (rajoutez le signe "moins" si vous le désirez). Elle est en fait le plus souvent inférieure, ne serait-ce qu'à cause des seuils de diodes et d'une ondulation importante: imaginez le condensateur qu'il faudrait pour la lisser, un condensateur dont la tension de service soit au moins égale à cette différence de potentiel. Si on le réalisait avec une série de condensateurs de tension de service inférieure, la capacité résultante serait inférieure à celle du plus petit ou, s'ils étaient identiques, celle d'un seul divisée par leur nombre. Il ne faut pas songer à supprimer cette ondulation qui ne présente ici aucun inconvénient. Il existe une autre façon de compter pour évaluer la différence de potentiel disponible qui est aussi égale au nombre de diodes multiplié par la tension de crête de l'alimentation soit 14 fois $220\sqrt{2}$. Il va de soi que l'utilisation d'une pareille tension nécessite un minimum de précautions.

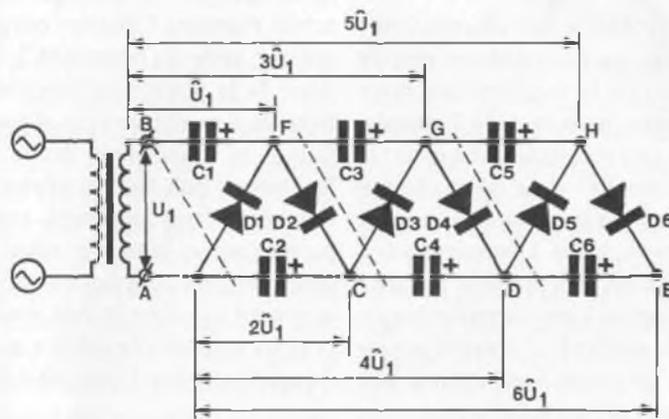


Figure 2 - Multiplicateur de tension tel qu'on le trouve représenté dans la littérature technique, le plus souvent sous le nom de « cascade de Villard ».

mesures de sécurité

Tel que nous l'avons décrit, le montage ne fonctionnera pas sans problème. Dès la mise sous tension, l'appel de courant, uniquement limité par la résistance des diodes, sera d'une telle intensité que tout sautera, à commencer, c'est souhaitable, par les fusibles de l'installation domestique. Il faut donc la limiter sérieusement, à un peu moins de 50 mA, à l'aide de R1. Le fusible est, malgré cette précaution, absolument et légalement nécessaire, mais puisque la législation laisse le choix entre un fusible rapide et un fusible lent, autant prendre ce dernier modèle. Voilà la survie du montage assurée, reste celle des personnes.

Supposons qu'au pire une personne établisse le contact entre une électrode et la terre. Sa résistance électrique, mesurée à l'ohmmètre, est très grande, il n'en est cependant plus de même sous 220 V où il faut compter 1 kΩ. Sous 4000 V, avec le courant qui circule, le choc est assuré et le danger mortel. Si personne ne touche les

électrodes la circulation du courant, infime, est inférieure à 200 μA. Nous pouvons donc, sans diminuer la tension disponible sur les électrodes, les faire précéder de résistances importantes. Celles-ci, R2 à R7, ne sont pas des "quart-de-watt" ordinaires, qu'on ne trouve d'ailleurs pas facilement, et vous devriez comprendre pourquoi si vous y réfléchissez, dans ces valeurs très élevées. Elles existent cependant, en fabrication spéciale, dite haute tension, sous la dénomination VR25, qui peuvent supporter 1600 V ou VR37 qui tiennent sans problème sous 3000 V. Si vous tenez à utiliser des résistances ordinaires, du type SFR25, qui sont prévues pour des tensions inférieures à 350 V, câblez-en une bonne dizaine en série... Vous en convenez, ce ne serait pas très malin et puisque les composants existent, à des prix dérisoires, autant les utiliser, d'autant que... Regardons encore une fois le schéma: si quelqu'un touche l'armature droite de C14, il est en contact avec la phase ou le neutre du secteur, au moins pendant une alternance sur deux, par

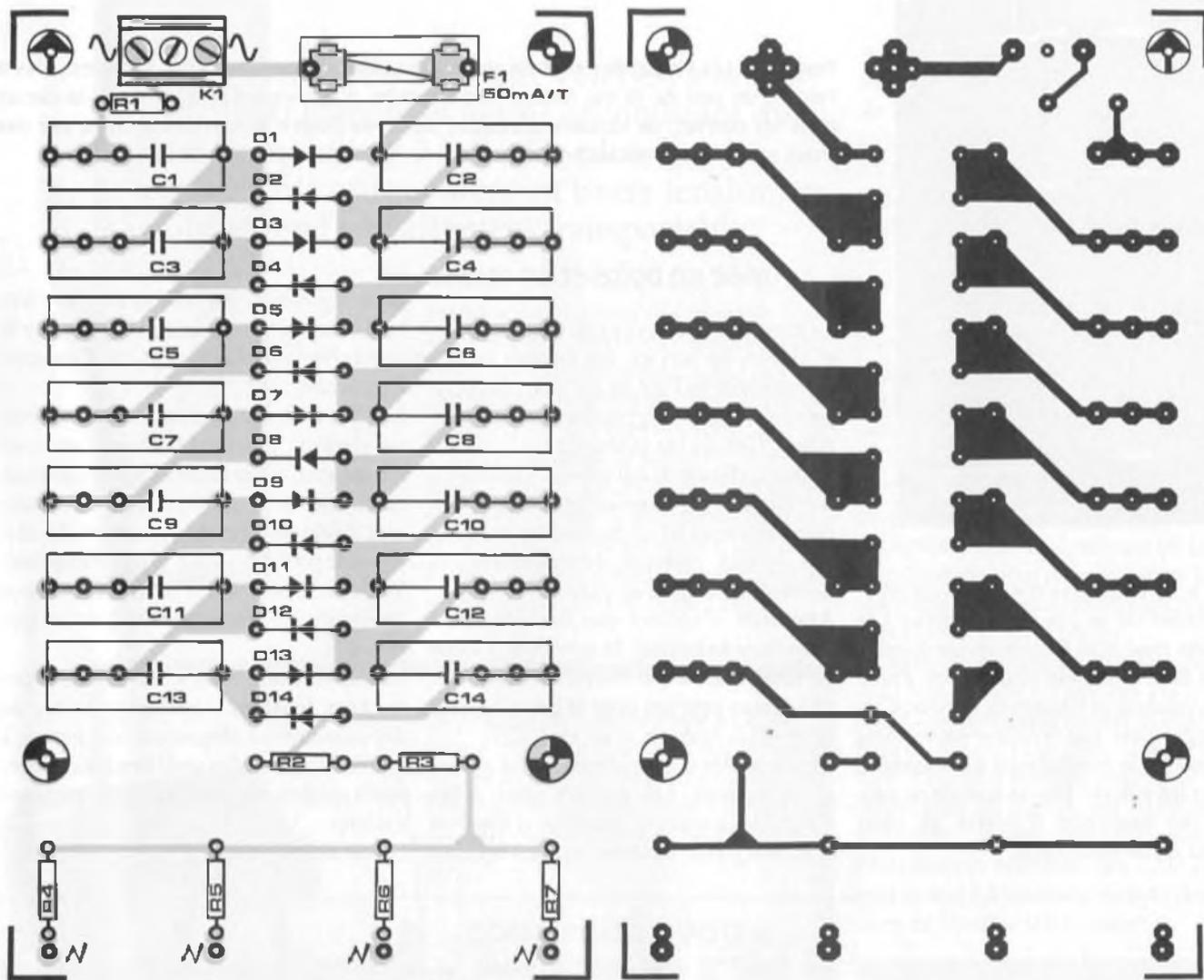


Figure 3 - Les condensateurs et les résistances à monter sur ce circuit imprimé seront des composants prévus pour la "haute tension".

liste des composants

R1 = 4,7 kΩ
 R2, R3 = 12 MΩ/type VR25 (1600 V DC)
 R4 à R7 = 22 MΩ/type VR25 (1600 V DC)

C1 à C14 = 47 nF/630 V

D1 à D14 = 1N4007

F1 = fusible 50 mA T

La1 = voyant néon 220 V avec résistance incorporée

K1 = bornier à trois contacts, au pas de 5,08 mm

Coffret plastique (Velleman D30 par exemple : 40 × 120 × 170 mm)

Figure 4 - Le prototype de l'anioniseur qui se câble en moins d'une demi-heure.

l'intermédiaire des diodes qui ne provoquent pas une chute de tension supérieure à quatorze seuils de diodes. Si vous tenez vraiment à vous sonner, mettez le doigt dans la prise mais abstenez-vous de nous lire... Nooooo! Ne les mettez pas, nous plaisantons!

Dernier point, La1, qui rappellera quelques souvenirs à ceux qui ont fréquenté les tubes. Un point dans le dessin de cette lampe signifie qu'elle contient du gaz, en principe du néon. Vous le verrez à la mise sous tension si sa lueur est rouge-orangée. Rien ne vous empêche de l'appeler « diode à gaz », nom qu'elle eut autrefois, bien qu'elle ne soit pas polari-

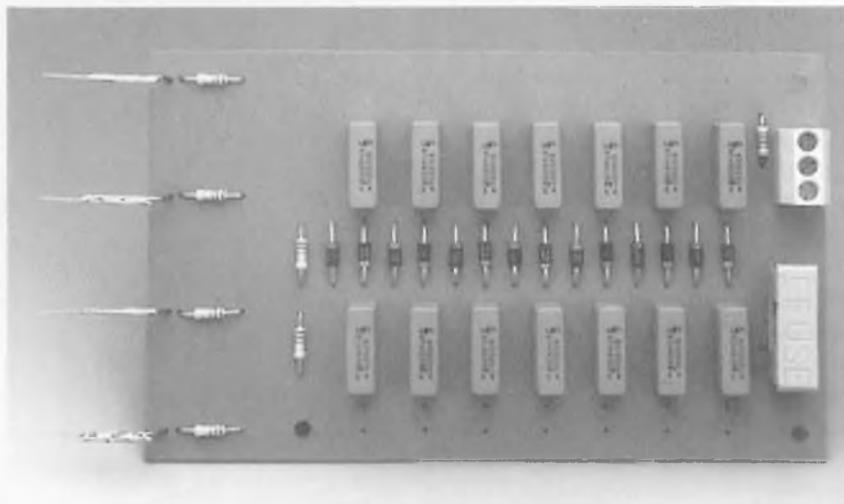


Figure 5 – Les électrodes sont de simples aiguilles (à coudre, ou des épingles) liées à l'aide d'un peu de fil qui facilite leur soudure. Il est impératif de monter le circuit dans un coffret, de matière plastique, dont les quatre électrodes sortent par des trous sans en toucher les bords.

mise en boîte et en service

La mise en boîte devra précéder les essais et la mise en service. Ne montez pas les composants en l'air, ni sur une plaquette pastillée, ni sur une platine d'expérimentation. Gravez ou faites graver le circuit imprimé (figure 3) qui est « aux normes ». Son plan de perçage est en outre prévu pour différents types de condensateurs, ce qui évitera certains désagréments au moment de la mise en place.

Attention, n'utilisez que des condensateurs dont la tension de service soit égale ou supérieure à 630 V (en continu) et des résistances prévues pour la haute tension (corps bleu horizon, pour les VR25).

Voyez sur les clichés comment les choses se présentent. Les pointes sont celles d'aiguilles à coudre, attachées et soudées avec une petite ligature, sur des broches

de composants par exemple. Ces électrodes ne doivent en aucun cas toucher le coffret (isolant) si l'on veut que l'appareil fonctionne.

Lorsque le circuit est installé dans son boîtier (isolant, répétons-le) fixez l'appareil sur un mur, à une hauteur suffisante pour que même les grandes personnes ne puissent l'atteindre (inutile pourtant de surélever le plafond si vous le jugez trop bas). Veillez à le pourvoir d'un cordon secteur qui résiste à la traction, moulé, autant que possible.

La maintenance, pour terminer, s'occupera, **hors tension**, faut-il le préciser, de dépoussiérer et dégraisser de temps à autres les électrodes qu'il faudra changer après quelques années car elles peuvent s'altérer.

Bonne atmosphère!

896116

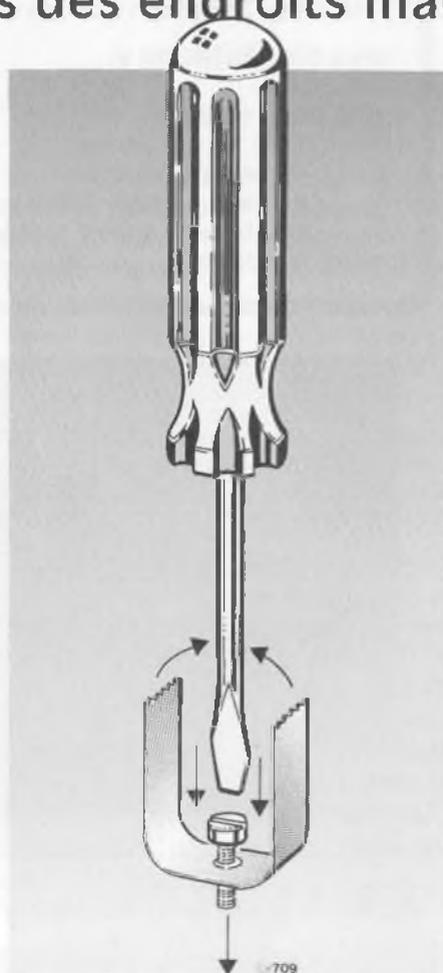
sée. L'acheter avec sa résistance incorporée, permet de ne pas la faire griller à la première mise sous tension en cas d'oubli, et c'est électriquement plus propre. Précisez au vendeur la tension de service. Cette lampe n'est pas indispensable mais avertira que le montage est sous tension. Qu'en plus elle stabilise la tension ne présente pas beaucoup d'intérêt ici, mais méritait d'être mentionné.

astuce

visser dans des endroits inaccessibles

Un bricoleur, débutant ou averti, se trouve un jour ou l'autre confronté au problème de remettre une vis à un endroit aussi inaccessible aux pinces d'Adam qu'à celles de Brucelles ou d'ailleurs. Rien à faire pour que la vis retrouve sa place. Ne parlons pas des rondelles qui l'accompagnent et qui tombent régulièrement chaque fois que l'on tente une approche – n'en parlons pas, puisque là, vous auriez dû les coller avec une goutte de vernis (à ongles) par exemple – La solution bien sûr, c'est le tournevis aimanté. Manque de chance, la vis ici est faite d'un matériau non magnétique. Il existe aussi des tournevis pourvus de griffes, encore faut-il en avoir un, encore faut-il que ses griffes serrent assez...

Continuons notre exploration car le domaine est vaste. Les bricoleurs avertis trouvent leur salut (faut-il qu'ils soient sveltes) dans une longueur de tuyau de plastique à l'extrémité duquel ils fixent la vis. Là, si vous en trouvez d'assez rigide, tant mieux pour vous. Un bon grippe-fil? Combien y on laissé leurs griffes? C'était



un peu rude pour eux. Ne gaspillez plus votre temps ni vos outils, vous allez user le soleil. La solution est dès aujourd'hui à portée de main. La solution? Elle tient dans un rouleau de ruban adhésif. Découpez-en une longueur d'environ 6 cm. Enfoncez la vis en son milieu, face collante tournée vers la tête (de vis) et pas (de vis) de l'autre côté. La vis est maintenant pourvue de deux ailes que vous repliez et collez sur la lame de l'outil. Vous pouvez encore consolider la fixation en enroulant du ruban adhésif autour de la lame et de la tête de la vis. Lorsque vous jugez que l'ensemble est suffisamment solide, vous pouvez y aller. Ne vissez pas complètement, arrêtez-vous à mi-chemin, lorsque la vis est assez engagée pour que vous puissiez, sans l'arracher, retirer le tournevis et le reste de ruban adhésif. Terminez sans forcer plus que nécessaire, il est possible que vous ayez un jour à dévisser. 87709

économiseur

La durée de vie d'un filament de lampe à incandescence est théoriquement de 2000 heures. En pratique, elle est inférieure pour plusieurs raisons. Le filament souffre des déformations mécaniques que lui imposent les allumages répétés. Le filament d'une lampe éteinte présente à froid une résistance pratiquement nulle. Au moment de l'allumage, le courant très intense qui le traverse provoque un choc thermique et une déformation sous l'effet de la dilatation. De plus, les fabricants s'ingénient à rendre le filament de plus en plus fin ; la limite a été atteinte quand les ampoules ne supportaient plus le transport entre l'usine et le rayon du magasin. Nous ne pouvons rien faire quant à la taille du filament, mais nous pouvons limiter les effets des allumages et extinctions répétés, soit en laissant la lampe allumée en permanence, ou en ne l'éteignant qu'une fois par jour, soit avec le démarreur progressif que voici.



Une lampe s'use davantage du fait des allumages que de la durée d'utilisation. Un point plus fin du filament s'usera plus vite que le reste, car un fil fin présente une résistance plus forte et le courant y produit une élévation de température plus importante. Ce « point chaud » deviendra de plus en plus fin avec le temps, car le métal s'évapore plus vite à cet endroit. Le filament devient plus fin et le point plus chaud, jusqu'à la rupture. Une ampoule qui est encore bonne à 99% passe à la poubelle, ce qui est regrettable autant du point de vue de la phynance que de celui de la pollution. Le gradateur, ou démarreur progressif, que voici vous permet de gagner sur ces deux tableaux.

simplicité d'abord

Il existe différents moyens de limiter l'intensité du courant à la mise sous tension. Le premier qui se présente à l'esprit est d'utiliser un gradateur à triac ou à thyristor. Les gradateurs effectuent habituel-

lement un découpage de phase comme le montre la figure 1a. Ces montages simples demandent malgré tout un certain nombre de composants, parmi lesquels un circuit intégré spécialisé pour la commande du triac. La solution que nous avons retenue est de ne permettre l'allumage qu'au passage par zéro de la tension du secteur, selon la figure 1b. De cette façon, le filament ne voit jamais la tension maximale à la mise en service. Le courant est certes un peu plus intense que dans le cas du gradateur, mais l'échauffement du filament est progressif. L'avantage du circuit est qu'il comporte très peu de composants, pas de réglage, et qu'il est facilement reproductible. De plus, les composants sont ordinaires et aucun n'est critique. Inutile d'ajouter que le montage est très petit et bon marché.

le fonctionnement

Comment fonctionne le circuit ? Un pont redresseur, constitué des quatre diodes D1

à D4, est inséré en série dans le circuit de la lampe (L1). La tension redressée se trouve, quand l'interrupteur est fermé, sur l'autre diagonale du pont. La figure 3a montre la tension du secteur, la figure 3b la tension redressée aux bornes du thyristor Th1. Quand la tension commence à croître aux bornes du redresseur, elle croît aussi sur le collecteur de T1. Elle est limitée par le diviseur R3/R4 à une fraction de la tension redressée (1/23), ce qui ne met pas en danger la vie du transistor. Le condensateur ne joue aucun rôle notable pour l'instant. Après un temps très court, la tension de collecteur de T1 est suffisante pour que le thyristor s'amorce. Comme le seuil d'amorçage du thyristor est de 0,7 V, la tension aux bornes du pont redresseur est alors de $0,7 \times 23 = 16$ V. Le transistor ne joue aucun rôle jusqu'ici car la tension sur sa base est de : $(2,2 / 102,2) \times 16 = 0,34$ V. Cette tension est inférieure au seuil caractéristique de la jonction base-émetteur et rien ne se produit. L'entrée en conduction du transistor ne se produit

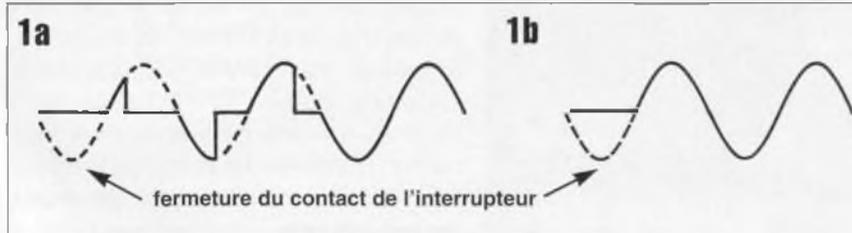


Figure 1a – Le moyen idéal de prolonger la vie du filament : un véritable gradateur. Figure 1b – Le moyen économique que nous avons retenu : l'allumage au premier passage à zéro qui suit la mise sous tension.

d'ampoules à incandescence

pour augmenter la durée de vie de vos lampes à incandescence, au risque d'aggraver le chômage dans l'industrie de la transformation des métaux

que quand la tension atteint $0,7 \times 102 / 2,2 = 32$ V. Cette valeur n'est jamais atteinte dans les conditions normales, puisque le thyristor s'amorce quand la tension atteint 16 V et qu'une fois amorcé il représente un court-circuit. La lampe est alimentée, à travers le pont redresseur et le thyristor jusqu'au prochain passage à zéro de la tension. À ce moment, le même phénomène recommence.

entre les passages à zéro

Le fonctionnement que nous venons de décrire suppose que la tension appliquée au montage démarre de zéro. Le filament voit une tension quasiment nulle qui croît progressivement jusqu'au maximum; l'échauffement est progressif. Le filament souffre, au contraire, quand il est soumis brutalement à une tension élevée qui produit une surintensité. C'est ce qui se passe dans un montage ordinaire quand l'interrupteur est fermé au moment où la tension de la sinusoïde est maximale.

L'économiseur d'ampoules permet de garantir la mise en service au zéro de tension. Quand la tension de la sinusoïde est maximale, celle du diviseur R3/R4 est largement suffisante pour amorcer le thyristor, mais celle du diviseur R1/R2 est suffisante, elle, pour mettre en conduction le transistor T1, qui vient court-circuiter R4 et interdire l'amorçage du thyristor. Comme l'entrée en conduction du transistor demande quelques micro-secondes, une pointe de tension indésirable apparaît sur son collecteur, comme le montre la figure 4. Cette pointe serait suffisante

pour amorcer le thyristor, si elle n'était pas court-circuitée par le condensateur C1. Le thyristor ne peut donc pas s'amorcer si la tension est supérieure à 32 V environ. Il ne pourra le faire que juste après le prochain passage par zéro, dès que la tension à ses bornes dépassera 16 V, avant qu'elle n'atteigne 32 V. Le courant à la mise sous tension dans ces conditions est fortement limité et l'espérance de vie du filament augmente.

La combinaison C2/R5/L1 bloque les pointes de tension que produit inévitablement la commutation du triac. La sécurité est assurée par un fusible rapide de calibre 1 A.

le circuit imprimé

L'ensemble du montage se loge sur le circuit imprimé de la figure 5. Les composants hauts, comme le porte-fusible, l'inductance, le bornier et le triac seront montés en dernier. Le montage doit être inséré en série avec la lampe. La platine équipée sera installée soit dans un coffret isolant séparé, soit dans la lampe elle-même.

2

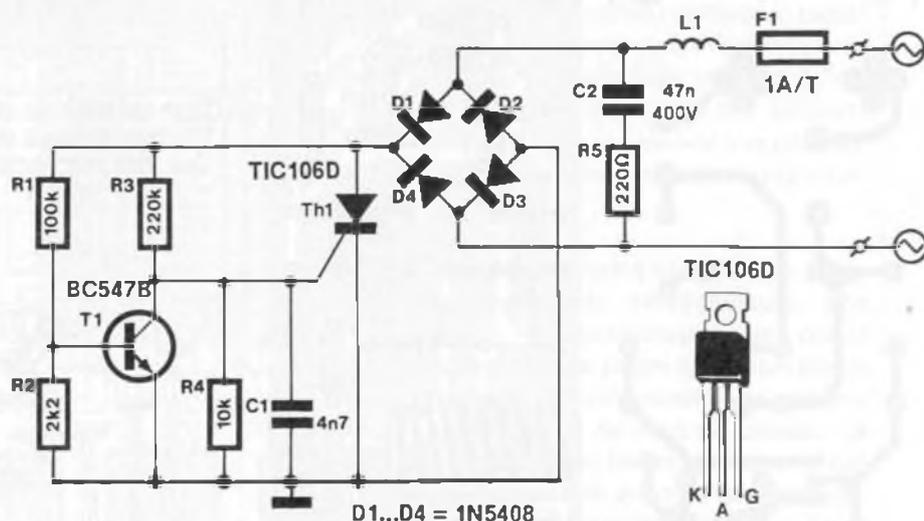
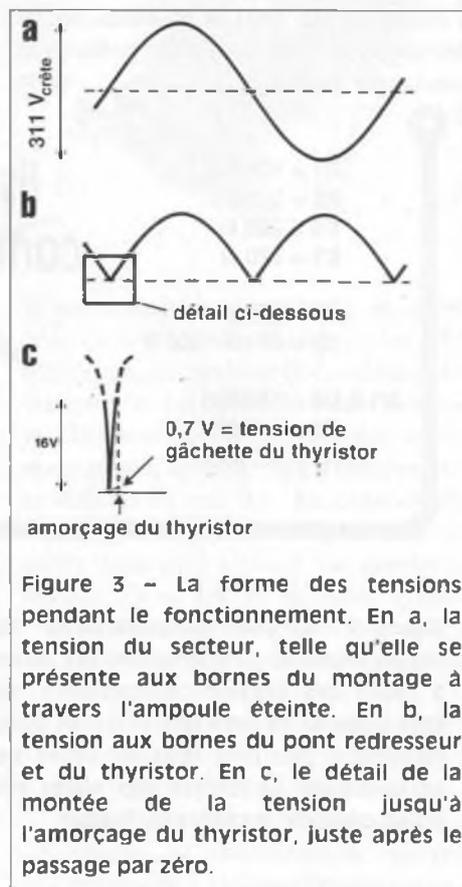


Figure 2 - Le schéma de l'économiseur d'ampoules ne comporte que quelques composants ordinaires.

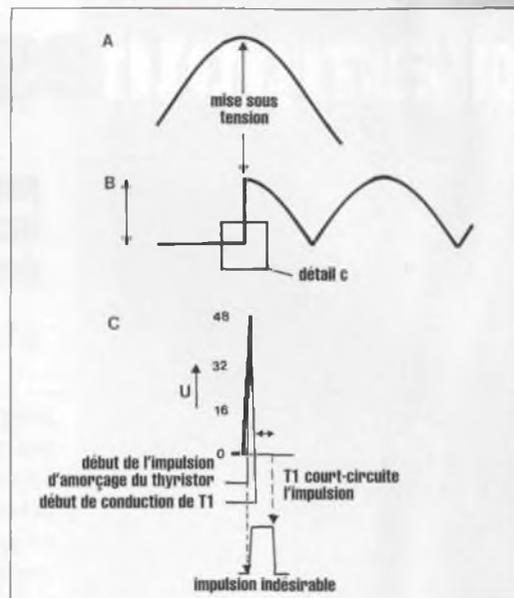


la sécurité

Attention ! Ce montage est relié directement au secteur. Il doit satisfaire à un certain nombre de conditions pour garantir votre sécurité. La distance entre les conducteurs qui véhiculent la tension du secteur et les autres composants doit être de 6 mm au moins. L'ensemble doit être installé dans un coffret isolant où aucune partie sous tension ne sera accessible de l'extérieur. Les tests et mesures sur ce montage en fonctionnement présentent un danger mortel.

906105

Figure 4 – Les formes de tension à la mise sous tension sont aléatoires. Le pire des cas, pour la longévité du filament, est l'allumage au maximum de tension représenté ici en a et b. En c, l'impulsion court-circuitée par le transistor, mais trop tard : le thyristor est déjà amorcé quand le transistor conduit. Le condensateur C1 est prévu pour absorber la pointe en attendant que le transistor fasse son office.



liste des composants

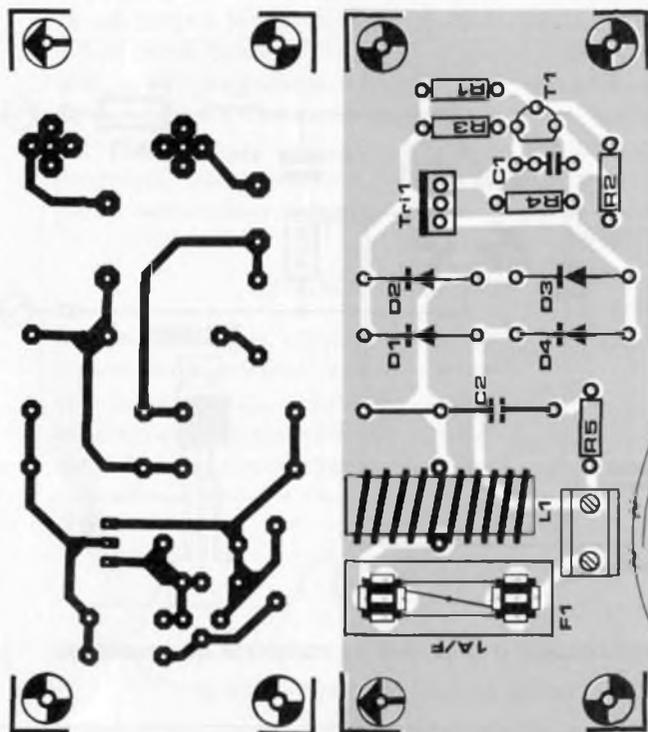
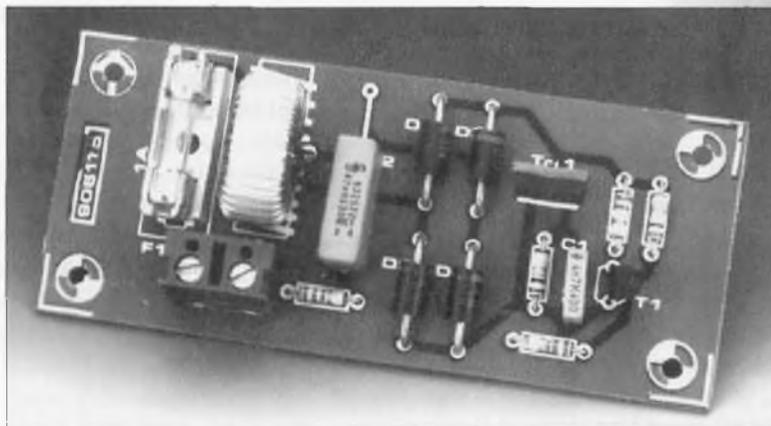
- R1 = 100 kΩ
- R2 = 2,2 kΩ
- R3 = 220 kΩ
- R5 = 220 Ω

- C1 = 4,7 nF
- C2 = 47 nF / 400 V

- D1 à D4 = 1N5408
- T1 = BC547B
- Tri1 = TIC106D

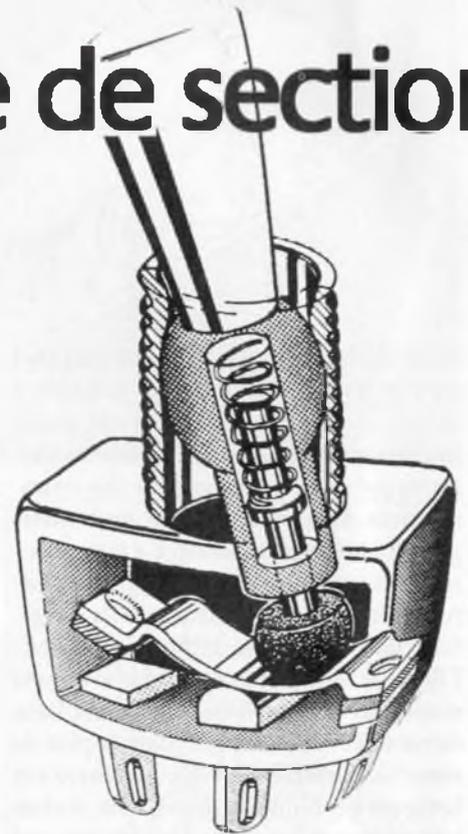
- L1 = bobine d'antiparasitage 3 A.
 - F1 = fusible rapide 1 A
- avec porte-fusible pour circuit imprimé

Figure 5 – Le côté composants (a) du circuit imprimé. La disposition est aérée à cause des tensions importantes. Le côté piste (b) montre que le circuit peut recevoir à peu près tous les types de porte-fusible. La largeur des pistes est en accord avec le calibre du fusible.



appareillage de section

La plupart des dispositifs qui fonctionnent à l'électricité, qu'ils soient "électroniques" ou non, contiennent un ou plusieurs interrupteurs, commutateurs, inverseurs... dont les catalogues des revendeurs proposent une grande diversité. Lequel convient à telle application? Le choix embarrasse celui qui manque des quelques notions de base dont nous allons parler.



couper, commander
plus vite que l'éclair

Peu d'amateurs traitent les interrupteurs et autres *switch* (voir plus loin) avec le soin qui leur revient. La plupart pensent à tort qu'un composant dont la fonction se réduit à l'ouverture et à la fermeture de contacts mérite peu de considération et qu'il faut être stupide ou niais pour traiter d'un pareil sujet. Grave erreur, dont on peut prendre conscience en parcourant les catalogues lorsqu'on a à faire le bon choix. Si les choses étaient aussi simples, les fabricants ne diversifieraient pas autant leur production, sans parler des grossistes et des détaillants qui, s'ils pouvaient ne tenir en stock qu'un seul type d'interrupteur ne s'en priveraient pas: ils n'ont rien à y gagner, s'ils le font, c'est parce que chaque composant répond à un type d'utilisation. Il est donc nécessaire de les connaître pour les employer au mieux. Prenons un exemple: si l'on a besoin d'un simple inverseur unipolaire, il n'est pas conseillé de jeter sa main au hasard dans le tiroir où sont rangés ces composants et de souder le premier venu sur le circuit. On commence par soumettre l'objet à une inspection minutieuse pour savoir si son **pouvoir de coupure** et son **pouvoir de fermeture** sont satisfaisants. Ensuite, s'il est marqué "250 V" par exemple, cela ne suffit pas pour dire qu'il est possible de mettre directement la tension du secteur à ses bornes: il faut qu'il satisfasse aussi aux normes de sécurité (**tension d'isolement**) qui n'ont pas été « inventées » pour faire suer l'utilisateur mais pour sauver biens et vies, sinon les siens, au moins ceux de ses proches et de quelques autres. Si le composant est sûr, en soi, encore faut-il le bien monter. Toutes ces raisons et d'autres encore font qu'il est bon de regarder la chose d'un peu plus près.

en courant

Pour commencer, rappelons (avec le professeur Einstern) que sans différence de potentiel électrique, il n'y a pas de courant. Nous sommes cependant obligés, pour être clair, de distinguer les deux grandeurs. Nous pouvons le faire si nous disons que la différence de potentiel qui donne lieu aux courants dont nous parlerons est peu élevée compte tenu des caractéristiques de l'appareillage utilisé. Un interrupteur, ou un membre de la famille (commutateur, inverseur etc.) ne peut remplir sa fonction dans un circuit déterminé que s'il est capable d'atteindre, sans avoir trop à en souffrir, les objectifs qui lui sont posés. Lors de la fermeture de lignes qui véhiculent des courants de forte intensité, il est important que les contacts s'établissent avec une grande rapidité. Les surfaces en contact doivent l'être aussi parfaitement que possible et simultanément sur toute leur étendue. À défaut, la **résistance de contact** ne serait plus négligeable et les portions conductrices s'échaufferaient d'autant plus vite qu'elles seraient plus réduites pour, progressivement, se détruire. Le ralentissement de la détérioration dans le temps de la qualité des surfaces (le nombre de manœuvres est toujours limité) n'est obtenu que si la commutation s'effectue de façon qu'aucune partie ne s'en échauffe, même très brièvement, plus vite que les autres. Ceci n'est possible que si la mise en contact des deux

surfaces s'effectue aussi rapidement que possible. Il n'est pas grave que l'interrupteur soit "dur à la détente" pourvu qu'une fois la détente activée, la gâchette lâche le "percuteur", contact mobile, qu'un ressort, le plus souvent, entraîne rapidement vers le contact fixe, à la fermeture (ou à une certaine distance du contact fixe, à l'ouverture). Le ressort n'a pas pour seul rôle d'emporter le contact mobile à grande vitesse vers le contact fixe, il les maintient fortement appliqués l'un contre l'autre une fois la liaison établie. Dans le cas d'une arme à feu, la rapidité de mouvement du percuteur a pour but de restituer en un minimum de temps un maximum d'énergie, dans celui d'un interrupteur, d'établir un contact aussi total et instantané que possible entre les pôles. Encore faut-il qu'au cours du temps les surfaces conductrices le restent. Elles nécessitent donc un certain entretien pour rester propres. Le dépoussiérage, élimination de la couche d'oxyde susceptible de se former en particulier, s'effectue lors de l'ouverture et de la fermeture des contacts par un mouvement de friction des surfaces l'une sur l'autre. Les catalogues parlent dans ce cas de « contacts autonettoyants ». C'est ainsi qu'à côté de la fréquence maximale de commutation (nombre de manœuvres par heure, fréquence de travail à charge maximale en cycles par minute ou en hertz) limitée par

nement et de commande

OU « PETIT PRÉCIS D'INTERRUPTEUROLOGIE » D'APRES ELEX

l'inertie mécanique du dispositif, certaines fabrications spéciales, de relais en particulier, mentionnent une fréquence minimale: « commuter une fois par semaine par exemple », pour que les contacts restent propres.

La destruction des contacts est favorisée par leur surchauffe, ou la composition chimique de l'atmosphère dans laquelle ils travaillent. Dans le premier cas, il suffit de choisir le composant dont les caractéristiques correspondent à la tâche à remplir. Dans le second, si l'atmosphère est corrosive (ou/et explosive), on utilise des composants spéciaux dont les contacts sont à l'abri dans un compartiment étanche. Les relais électromagnétiques ont alors la préférence. Ils sont plus faciles à enfermer dans une enceinte imperméable, dans laquelle on a fait le vide ou que l'on a remplie d'un gaz inerte (qui ne provoque aucune réaction chimique des corps avec lesquels il est en rapport). Les métaux et alliages utilisés pour les contacts jouent aussi un rôle primordial. L'argent par exemple, bien meilleur conducteur de l'électricité que le cuivre (et dont l'oxyde est encore plus conducteur), diminue considérablement la résistance de contact et donc l'échauffement des surfaces. À côté de lui on rencontre aussi l'or et d'autres métaux précieux, seuls ou alliés, tels que le rhodium ou le palladium. Même s'ils n'interviennent qu'en surface, leur épaisseur joue aussi son rôle. Les propriétés électriques et mécaniques de ces dépôts varient en effet beaucoup avec celle-ci, leur composition et les techniques de revêtements électrolytiques auxquelles ils sont dus. Ainsi la résistance de contacts revêtus d'une couche de métal ou d'alliage précieux peut dépendre de l'intensité du courant qui la traverse. Dans tous les cas, au-delà d'un certain seuil, les contacts se ramollissent, ce qui diminue leur résistance, mais à un niveau encore supérieur, ils fondent. Les températures de ramollissement (inférieures à 200°C pour l'or, l'argent et le cuivre) sont atteintes pour des chutes de tension, même très brèves, de l'ordre du 1/10 V, celles de fusion pour

moins de 5/10 V (la résistance est de l'ordre de la dizaine de milliohms). Qui dit fusion dit vaporisation et destruction de la surface: le respect des conditions d'utilisation indiquées par les fabricants est donc tout à fait conseillé si l'on veut conserver à l'objet ses propriétés dans le temps. Les valeurs données sont des maximum, qui n'apparaîtront en principe que dans les conditions extrêmes de la mise sous tension ou de la coupure.

En résumé, nous pouvons dire que tous les dispositifs ne permettent pas de commuter tous les courants. Trois facteurs caractérisent les contacts: le matériau qui les constitue, les surfaces en présence et la pression avec laquelle elles sont appliquées l'une contre l'autre.

**L'argent ne fait pas
le bonheur
(l'or non plus, d'ailleurs)
mais quels contacts !**

en tension

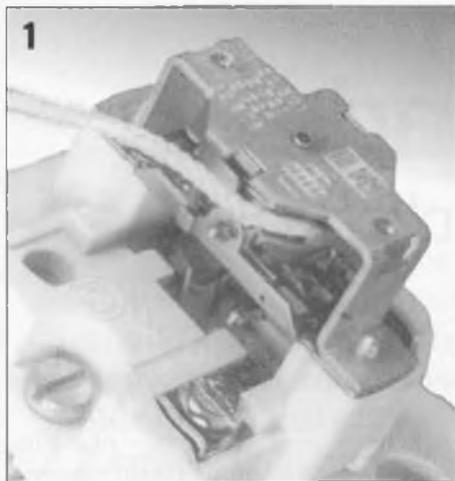
Considérons maintenant les différences de potentiel. Lorsque l'on met un circuit hors tension, il est important que les pôles entre lesquels règne la différence de potentiel soient assez éloignés pour qu'aucun courant ne circule entre eux. On ne considère pas seulement ici la différence de potentiel qui règne lorsque le circuit est ouvert mais celle, bien supérieure, présente à l'ouverture d'un circuit autoinductif (un circuit qui contient des bobines, qu'elles soient de relais, de transformateurs, de moteurs etc.) si rien n'est fait pour absorber l'énergie électromagnétique restituée sous forme électrocinétique. L'augmentation brutale de la résistance entre les deux contacts de l'interrupteur qui fermait le circuit (de presque zéro à une valeur très très grande en aussi peu

de temps que possible*) fait naître à ses bornes une force électromotrice très élevée. Dans le pire des cas, cette force électromotrice peut atteindre plusieurs milliers de volts dans un circuit alimenté sous quelques volts seulement. Elle se traduit par une différence de potentiel élevée entre les deux pôles de l'interrupteur. Un arc électrique de courte durée (ou que l'on souhaite tel) se forme alors, l'étincelle de rupture, qui détériore les contacts par transport de matière de l'un à l'autre. Le meilleur moyen d'éviter l'arc est d'ouvrir le circuit aussi rapidement que possible. De même que la fermeture, la vitesse de l'ouverture n'est pas celle de l'utilisateur ou de son doigt sur le levier de commande, mais celle que permet un mécanisme déclencheur, à ressort le plus souvent.

Condensateurs, résistances de décharge, diodes de roue libre etc. absorbent éventuellement l'énergie emmagasinée sous forme électromagnétique.

En haute tension, à la mise hors tension de circuits fortement inductifs, plusieurs techniques permettent de protéger les pôles de l'appareillage des effets de l'arc. Un bain d'huile ou un gaz sous pression peuvent lui éviter de se former: ce bain (réfrigérant) ou la pression du gaz limitent l'ionisation des molécules de l'air qui le transforme en conducteur de l'électricité. D'autres interrupteurs ou contacteurs-discontacteurs ont leurs pôles placés dans des boîtes en matière isolante incombustible. Ces pôles se séparent dans l'air mais sont pourvus d'un électro-aimant de soufflage magnétique dont la bobine excitatrice est traversée par le courant à couper. Puisque l'arc est constitué de charges électriques en mouvement, c'est un conducteur, il est donc susceptible d'être soumis aux effets d'un champ magnétique. L'électro-aimant de soufflage ne vise qu'à l'allonger, donc à allonger pour lui la distance qui sépare les deux pôles. Le refroidissement qu'il gagne à cette promenade l'essouffle, si vous permettez cette image, comme un courant d'air la flamme d'une bougie. Il est peu probable qu'un électronicien amateur ait un jour besoin de semblables dis-

* Ouvrir un circuit c'est introduire entre deux contacts une résistance que l'on souhaite infinie.



positifs. Il était bon cependant que nous les mentionnions puisque les notices des fabricants précisent dans certains cas le « pouvoir de coupure en circuit inductif » de leurs produits, bien inférieur, et vous comprendrez maintenant pourquoi, au pouvoir de coupure « en circuit résistif ». Ce « pouvoir de coupure » est une limite d'utilisation de l'interrupteur. Il est toujours supérieur en alternatif à ce qu'il est en continu pour les tensions. Un interrupteur donné est par exemple prévu pour couper 250 V en alternatif ou 30 V en continu. C'est parce qu'en alternatif, la tension indiquée est une valeur efficace (RMS ou *Root Mean Square* en anglais). Le passage périodique de la tension par 0 V, inconnu en continu, facilite évidemment la coupure.

** Le mot anglais *switch*, interrupteur est encore un mot emprunté, sans doute à des conducteurs de bœufs ou des cochers des Provinces Unies ou du Hanovre. Il désignait alors une sorte de baguette flexible.

Figure 1 - L'interrupteur à tirette, assez peu commun, est aussi un interrupteur à bascule. On pouvait le disposer assez loin de l'utilisateur et tout près de l'utilisation.

Figure 2 - Interrupteur miniature à levier. C'est plus précisément un inverseur unipolaire. La direction du levier indique toujours la broche avec laquelle la broche médiane est en court-circuit.

Figure 3 - Interrupteur à glissière bipolaire (deux rangées de contacts) à trois positions.

Figure 4 - Commutateur rotatif. S'il est à contacts court-circuitants, lors du passage d'un plot à l'autre, le circuit n'est pas ouvert et les deux plots sont en service en même temps.

Figure 5 - Le micro-rupteur est le plus souvent utilisé dans les circuits de détection.

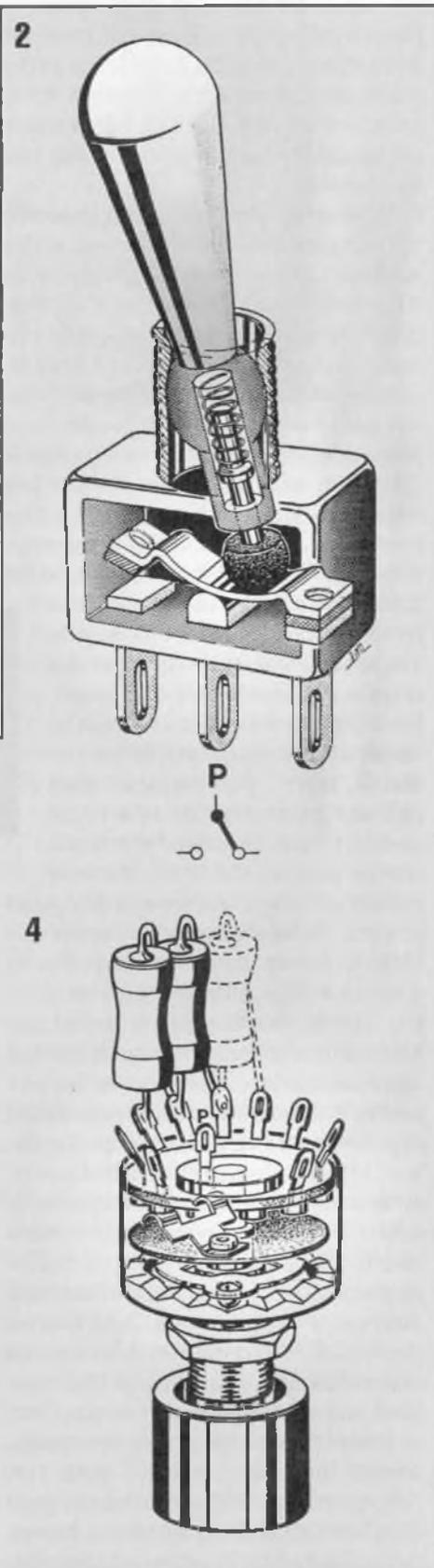
À côté de la tension pour laquelle est fait un dispositif de coupure, il faut parfois s'inquiéter de la distance qui sépare ses contacts ouverts (et d'autres contacts éventuellement) ainsi que des normes de sécurité auxquelles il satisfait. Dans ce dernier domaine, une tension élevée présente un risque plus immédiat qu'un fort courant. En cas d'erreur - compte tenu du fait que l'intensité du courant n'est pas négligeable, puisqu'on le sait, c'est l'intensité qui tue - l'utilisateur court le risque d'un choc électrique, éventuellement mortel. Si c'est l'intensité du courant qui est élevée, on doit plutôt s'attendre à l'incendie, qui laisse (dans le meilleur des cas) une plus grande marge d'action.

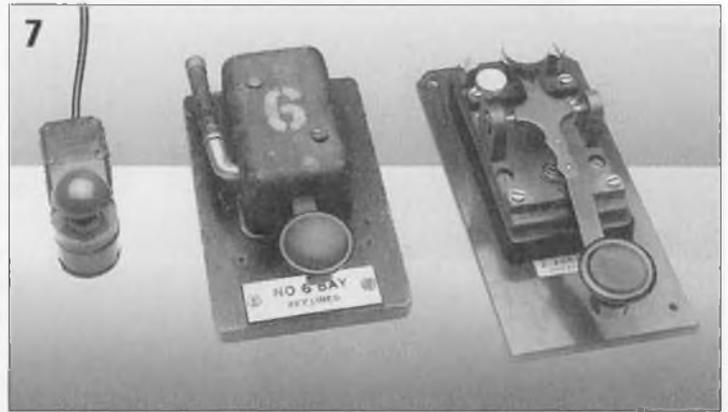
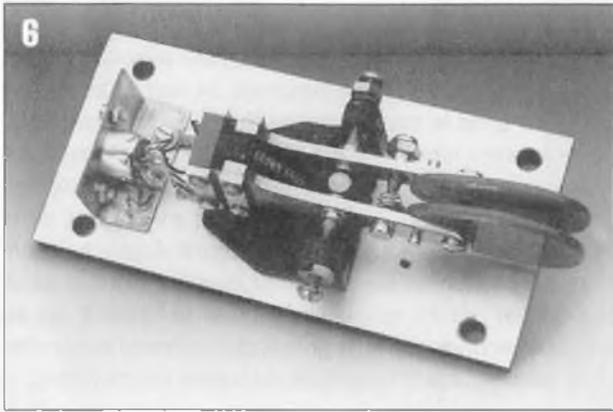
En résumé, la mise hors tension nécessite des dispositifs dont les pôles s'éloignent rapidement l'un de l'autre, à une distance suffisante et qui le reste. Ensuite, pour des raisons de sécurité, les parties normalement sous tension doivent être suffisamment éloignées des parties conductrices accessibles à l'utilisateur : pour ne citer qu'un exemple, éviter d'utiliser des interrupteurs à levier métallique pour intervenir sur le secteur.

interrupteurs mécaniques

On distingue en gros trois grands types d'interrupteurs. Le plus vieux et le plus

usuel est l'interrupteur manuel mécanique. C'est, dans la plupart des cas, un interrupteur à bascule (figure 1). On utilisait aussi, il n'y a pas si longtemps, des interrupteurs rotatifs. La rotation d'abord résistante de leur bouton tendait un ressort. À partir d'un certain seuil, le ressort entraînait une partie mécanique mobile qui fermait ou ouvrait alors rapidement





les contacts avec un petit claquement sec, comme un ordre ou un coup de *switch*** cinglant (badine). En électronique, le modèle à levier (figure 2), plutôt robuste, est aussi un interrupteur à bascule. Il ne faut en revanche pas trop demander à un commutateur à glissière miniature, bipolaire, à trois positions comme celui de la

figure 3 qui a l'avantage d'un faible encombrement. Le commutateur rotatif de la figure 4 est beaucoup mieux connu, mais son câblage mérite un minimum d'attention. Il en existe un certain nombre de modèles, à contacts court-circuitants (maintien du contact lors du passage d'une position à l'autre) ou non (ouverture du circuit entre deux positions, les plus utilisés) qui permettent de nombreuses combinaisons. Nous utilisons encore dans nos montages des micro-rupteurs à leviers comme celui de la figure 5, surtout comme capteurs (de position ou de passage : fin de course, ouverture de porte etc.) N'oublions pas dans cette énumération les manipulateurs morse des figures 6 et 7, les poussoirs à enclenchement des lampes de chevet (un coup j'pousse et ça s'allume, un coup encore et ça s'éteint). Vous en connaissez certainement d'autres...

Figure 6 - Un manipulateur morse moderne qui, associé à un peu d'électronique, produit automatiquement des traits ou des points suivant la touche que l'on appuie sur le contact médian. Il est cependant préférable, pour apprendre à émettre en morse, d'utiliser un manipulateur non automatique.

Figure 7 - C'est avec des manipulateurs de ce type antédiluvien qu'il faut apprendre le morse.

Figure 8 - Un petit relais industriel (environ 8 cm de haut) et un modèle un peu moins imposant.

qui permettent de commander l'allumage d'une lampe à partir de plusieurs points éloignés l'un de l'autre; les dispositifs de protection des installations électriques: relais des dispositifs différentiels à courant résiduel (DDR), relais magnétiques, thermiques ou magnétothermiques des disjoncteurs. Passons sur les contacteurs, relais dont les contacts principaux établissent et coupent l'alimentation de dispositifs très puissants, pour revenir aux relais un peu particuliers utilisés en (relativement) basse puissance comme ceux de très petite taille qui s'implantent directement sur les circuits imprimés, les relais ILS (ou relais à tiges), interrupteurs à lames

interrupteurs électromagnétiques

Dans un grand nombre de cas, il est indispensable d'établir une certaine distance entre l'interrupteur, en fait le bouton de l'interrupteur, et le circuit dans lequel il intervient. Bien qu'on puisse se servir alors d'un levier à rallonge, d'une ficelle, voire d'une commande pneumatique, l'électro-aimant offre des solutions plus élégantes ou plus accessibles. C'est ainsi qu'est né le relais (figure 8) imaginé à l'origine pour commander, avec une puissance très faible, des puissances électriques beaucoup plus grandes. Un relais est constitué d'une ou plusieurs paires de contacts dont l'ouverture ou la fermeture est imposée par les mouvements d'une armature métallique, soumise à la présence ou à l'absence d'un champ magnétique produit par la circulation d'un courant dans une bobine. Lorsque la circulation du courant est interrompue dans la bobine, un ressort rappelle l'armature à sa position de repos. On trouve des relais à usage domestique comme les télérupteurs

elex-abc

tension d'isolement
La tension d'isolement est la tension maximale que l'on peut appliquer entre les parties normalement sous tension et une référence métallique (enveloppe, support etc.) Elle est de 2120 V (tension crête) pour les appareils de classe I, normalement pourvus d'une prise de terre, ou de 4240 V pour ceux de classe II, qui en sont dépourvus.

résistance de contact
Deux surfaces solides en contact provi-voire ne se touchent qu'en un nombre de points limités qui dépend, entre autres choses, de leurs formes respectives (un contact à grille permet d'augmenter le nombre de ces points) des matériaux qui les constituent et des pressions auxquelles ils sont soumis. Le courant ne passe en principe que par ces points dont le nombre peut diminuer lorsqu'augmente celui des impuretés. Les résistances de contacts (neufs) rencontrées en électronique pour des interrupteurs ou des relais de bonne qualité est de l'ordre de 10 mΩ.

pouvoir de coupure
C'est, en principe, la possibilité de couper le courant de court-circuit présumé (en KA efficace).

pouvoir de fermeture
C'est la possibilité d'établir un courant dans un circuit sous une tension donnée.

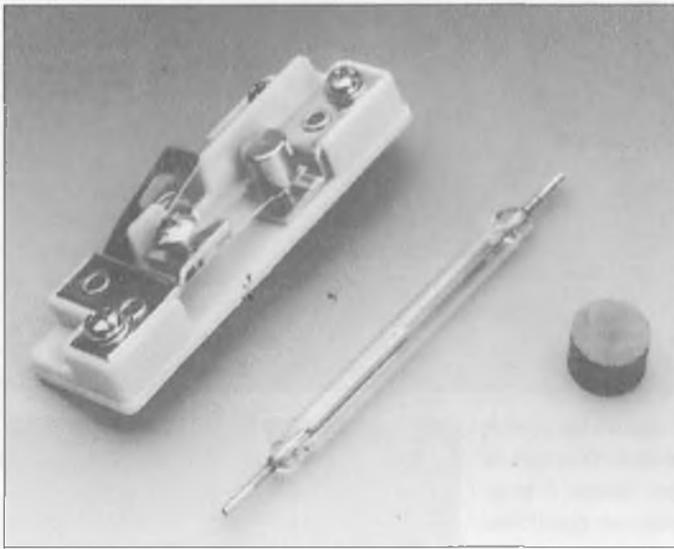


Figure 9 - Un relais à tiges (ou relais ILS) a ses contacts enfermés et protégés par une ampoule de verre. On en fait un relais *reed* si on le soumet au champ électromagnétique d'une bobine dans laquelle il est placé comme un noyau. La présence d'un champ magnétique fait plier les tiges flexibles qui portent ses contacts. D'autres modèles sont inclus dans un boîtier Dip semblable à un circuit intégré. À gauche nous avons ouvert pour vous un détecteur de choc dont le petit marteau, s'il est mis en branle, va frapper le contact qui lui fait face. Une seconde paire de contacts le protège contre les tentatives de sabotage : l'ouverture du boîtier les mobilise.

souples pourvues de contacts (enfermés dans une ampoule de verre) qui se ferment ou s'ouvrent en fonction d'un champ magnétique extérieur (figure 9). Dans certains relais, les contacts sont ouverts ou fermés par le déplacement du mercure en fonction de la position de l'ampoule qui le contient. Ne nous attardons sur les relais électromagnétiques, utilisés encore de nos jours dans certains centraux téléphoniques semi-électroniques, que pour préciser que ce sont surtout des relais *reed* c'est-à-dire des relais à tiges, ampoules de verre montées dans une bobine. Leurs contacts ont l'avantage d'être à l'abri de l'air et de ses pollutions. En téléphonie, cependant, l'avenir est au tout électronique, comme le paragraphe suivant.

commutation électronique

L'électronique dispose de relais et d'interrupteurs qui assurent des fonctions identiques à celles de leurs homologues mécaniques. Les relais électroniques présentent cependant sur les relais électromécaniques de nombreux avantages. Sans parler de leur petite taille, ils ne contiennent pas de partie en mouvement, raison pour laquelle on les appelle relais statiques (ou *solid state relay* avec l'accent anglais, *solid* indiquant ici "sans tube, ni gaz, ni vide, ni liquide"). On ne parle en principe de relais statique que s'il y a, comme pour les relais électromagnétiques, séparation galvanique entre le circuit de commande et le circuit de puissance. C'est ce que réalise par exemple un triac commandé par une photodiode. Un transistor ordinaire, à l'opposé, peut remplir une tâche semblable, mais sans séparation galvanique. Le courant de base commande l'ouverture ou la fermeture du transistor, donc la

circulation d'un courant maximum ou minimum dans son circuit de collecteur. Le transistor n'est pas le seul dispositif à semi-conducteur utilisé pour commuter, il en existe d'autres tels que le thyristor ou le triac qui remplissent plus spécifiquement cette fonction. Pour transformer ces composants en véritables relais statiques, avec séparation galvanique entre les circuits de commande et de puissance, on utilise un transformateur d'impulsions ou un photo-coupleur. Le rapport de transformation d'un transformateur d'impulsions est en principe unitaire. Le photo-coupleur réunit, éventuellement dans le même boîtier, une LED, placée dans le circuit de commande, et une photodiode ou un phototransistor, dans le circuit de puissance. L'isolement électrique entre les deux circuits est généralement dans ce cas de plusieurs kilovolts. Rien n'empêche cependant de séparer les deux composants par de très longues distances, couvertes par une fibre optique.

De même qu'à leurs collègues mécaniques se posent aux commutateurs et relais statiques des problèmes lorsqu'ils ont à couper le jus à des circuits inductifs. Il ne s'agit pas alors d'étincelles ou d'usure prématurée de contacts, mais de différences de potentiel importantes qui dépassent les maximums tolérés par les composants. Une diode de roue libre (dans le cas d'un fonctionnement en continu) ou un diac (composant qui ne s'ouvre, dans un sens ou dans l'autre, que si la différence de potentiel entre ses bornes vient à dépasser un certain niveau), câblé en parallèle aux bobines, évite à d. d. p. due à la force électromotrice d'induction d'atteindre des sommets dangereux. Dans d'autres cas, l'énergie électromagnétique du circuit inductif est absorbée par un condensateur ou une résistance de décharge. Une vari-

ance peut aussi éviter que la surtension ne dépasse ce que les composants tolèrent : nous avons rencontré plusieurs fois cette sorte de résistance variable, stabilisatrice de tension, qui se comporte (presque) en court-circuit quand la différence de potentiel à ses bornes s'élève par trop, et passe inaperçue le reste du temps.

combinaisons et fonctions

Il est parfois nécessaire d'associer plusieurs composants du même type pour répondre à certains problèmes. Il est possible par exemple de commuter en très haute tension avec plusieurs paires de contacts prévus pour des tensions beaucoup moins élevées, câblés en série, si la sécurité le permet. Il est de même possible de couper des courants très intenses avec plusieurs dispositifs qui en supportent chacun une fraction, câblés en parallèle cette fois.

Les interrupteurs ne se distinguent cependant pas uniquement par leurs caractéristiques courant/tension mais encore par leurs fonctions : contacts travail (T dans les catalogues) ou contacts repos (R). Un interrupteur ouvert au repos ou normalement ouvert (NO) est dit à contacts-travail, fermé au repos (NC), à contacts-repos. Ils peuvent être monostables, comme les boutons poussoirs à contacts momentanés, bistables, on parle alors plus volontiers d'inverseurs, du type bascules ou boutons poussoirs à enclenchement, ou encore multistables comme les commutateurs rotatifs. Il existe encore des fabrications spéciales comme les commutateurs à contacts court-circuitants dont nous avons parlé plus haut, dans lesquels les contacts suivants sont établis avant que les contacts précédents soient coupés. Le manque de précision de tous

ces dispositifs mécaniques ou électromagnétiques en rend parfois l'utilisation directe impossible en électronique. Voyons brièvement les dispositifs qui permettent d'adapter leur fonction.

rebonds

L'ouverture ou la fermeture mécanique de contacts n'est jamais instantanée (pas plus que le point en mathématiques, l'instant n'a de dimensions). La fermeture d'un tel mécanisme à l'échelle d'un opérateur électronique, dont le temps de réponse est très court, est interprétée comme une succession d'impulsions, très fâcheuses lorsqu'il n'en faut qu'une et une seule. Tout se passe pour l'électronique comme si le contact mobile ne venait pas s'appliquer franchement en une seule fois sur le contact fixe mais rebondissait plusieurs fois avant de se stabiliser. C'est pourquoi on parle de "rebonds". La parade est bien sûr apportée par l'électronique d'un dispositif anti-rebonds qui ne réagit qu'à la première impulsion, négligeant les autres, et produit en revanche (ou en sortie) l'impulsion unique en bonne et due forme qui permet au reste du circuit de fonctionner de façon satisfaisante. Puisqu'il s'agit en fait d'oscillations à fréquence élevée, un filtre RC peut éventuellement suffire à limiter leurs effets. Ce dispositif antiparasite ne laisse passer que la partie basse fréquence des oscillations, il n'est cependant pas toujours suffisant. Une bascule monostable offre une solution plus élégante puisqu'elle ne réagit qu'à la première impulsion, à partir de laquelle elle en fabrique une de durée déterminée avant de retrouver sa position de repos. Si le retour à la position de repos est interprété comme un ordre par le circuit aval, il faut trouver autre chose, une bascule bistable par exemple. Un autre article de ce même numéro vous indiquera comment mettre en œuvre ces dispositifs.

Ces quelques lignes sont loin d'épuiser un sujet aussi banal d'apparence. Il est conseillé à l'amateur, lorsque l'occasion s'en présente à lui, de jeter un œil à l'intérieur de ces petits appareils pour en tirer des enseignements quant à la façon dont ils fonctionnent et sont agencés. Les illustrations qui accompagnent cet article ne dévoilent que quelques uns des appareils les plus utilisés dans nos montages. Vous pourrez compléter vous-même par la consultation des catalogues des revendeurs ou des prospectus distribués par les fabricants qui sont parfois très bien faits.

896040

bases de calcul ou calculs de base

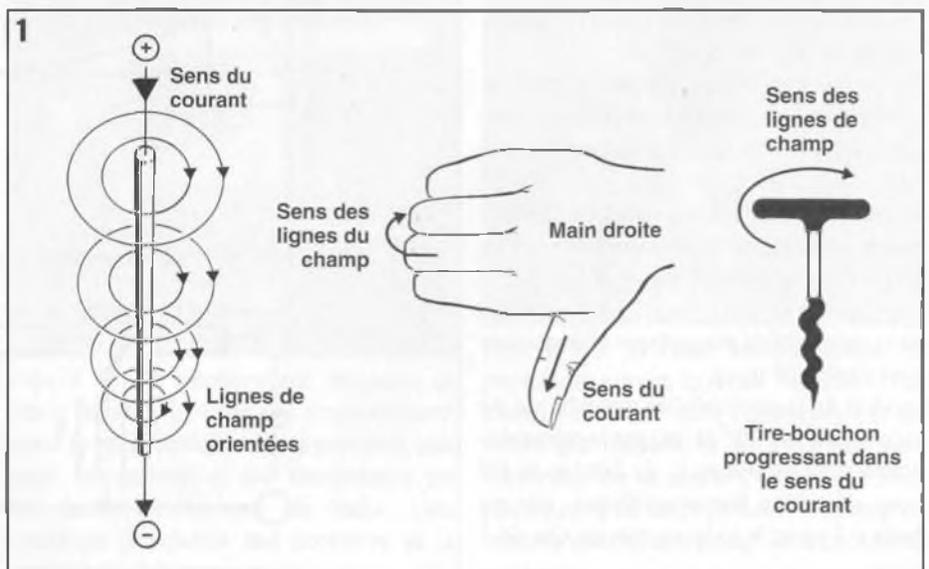
(espace-)champ magnétique

Les phénomènes électromagnétiques sont le lot quotidien des électroniciens. Deux charges électriques en présence exercent l'une sur l'autre une force électrique qui, comme celle de la gravitation, décroît comme l'inverse du carré de la distance qui les sépare (loi de Coulomb). Si les charges se déplacent l'une par rapport à l'autre, la loi de Coulomb n'est plus suffisante pour décrire la force à laquelle elles sont soumises. Cette partie de la force qui s'exerce sur des charges en mouvement est dite magnétique. Un phénomène magnétique est un aspect d'un effet électrique, c'est pourquoi on parle d'électromagnétisme.

On appelle champ magnétique une région de l'espace dans laquelle une charge en mouvement est soumise à une action magnétique. Qui dit charge en mouvement dit courant électrique. Or les aimants permanents semblent y faire exception. Ils sont pourtant le siège de courants (pivotement des électrons sur leur orbite, dans le cas du fer, ou mouvement des électrons sur les orbites atomiques, dans d'autres cas*) dont les effets, au lieu de s'équilibrer comme dans les autres corps, se renforcent. Un conducteur parcouru par un courant (constant) est

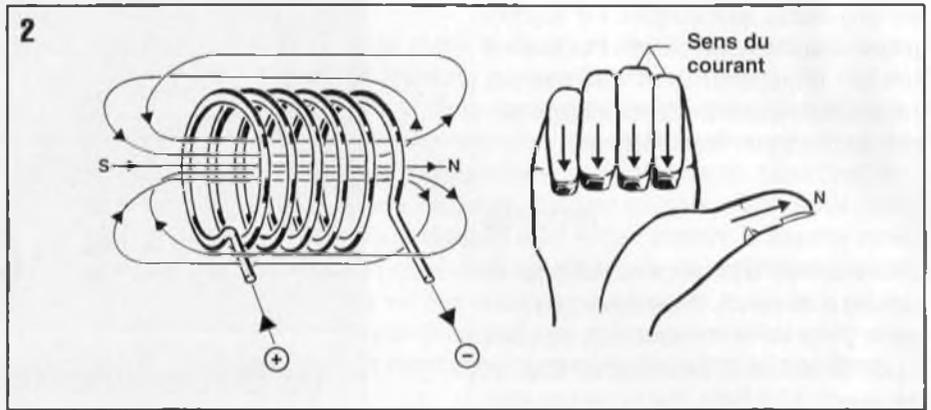
donc à l'origine d'un champ magnétique (constant). Autour d'un conducteur cylindrique rectiligne, les lignes de champ, qui en donnent une représentation (courbes tangentes au vecteur champ magnétique en chacun de ses points), sont concentriques, orientées, et centrées sur le conducteur. Les flèches qui orientent ces lignes sur la figure 1 sont l'image de petites aiguilles aimantées dont le pôle Nord serait la pointe. La règle du tire-bouchon pour droitier (dit de Maxwell) permet d'en déduire le sens: un tire-bouchon qui progresse dans le sens du courant, tourne dans le sens des lignes du champ. Cette direction est aussi indiquée

* Courants ampériens supposés, comme leur nom l'indique, par A. - M. Ampère dès 1820. Ceux qui ne sortent l'adjectif « génial » qu'un tout petit nombre de fois par siècle peuvent en faire usage ici. En fait toutes les substances sont sensibles aux champs magnétiques: elles sont diamagnétiques. Ce diamagnétisme, aimantation proportionnelle au champ magnétique auquel elles sont soumises mais de sens contraire, est très faible. Il est masqué dans les corps paramagnétiques ou ferromagnétiques dont l'aimantation est de même sens que celle du champ magnétique local: les substances ferromagnétiques, à la différence des substances paramagnétiques, peuvent rester fortement aimantées après la suppression du champ magnétisant.



par les quatre doigts de la main droite qui empoigne le conducteur et dont le pouce indique le sens du courant.

Lorsque le conducteur est roulé en hélice, la règle ne change pas, mais il est plus facile de faire représenter la bobine qu'il constitue aux doigts repliés de la main droite: le pouce indique alors le sens des lignes du champ comme sur la **figure 2**. La bobine est dans ce cas une sorte d'aimant à l'intérieur duquel les lignes du champ sont orientées du pôle Sud (racine du pouce) vers le pôle Nord (ongle du pouce).



circuit magnétique

Si les spires régulières de la figure 2 sont bobinées sur un anneau fermé qui canalise les lignes de champ magnétique (tore électromagnétique), cet anneau forme un circuit magnétique, pour lequel on définit, par analogie avec la force électromotrice, une force magnétomotrice \mathcal{E} , proportionnelle au nombre N de spires et à l'intensité du courant qui les parcourt: $\mathcal{E} = I \cdot N$ qu'on exprime en ampère-tour (l'unité légale de force magnétomotrice est cependant l'ampère).

On définit à partir de là une grandeur H , champ (d'excitation) magnétique, proportionnelle à la force magnétomotrice et inversement proportionnelle à la longueur (moyenne) ℓ de l'anneau:

$$H = \mathcal{E} / \ell = I \cdot N / \ell$$

On l'exprime en ampère par mètre (A/m) ou en œrsted (1 œrsted = 10^3 A/m).

Poursuivons l'analogie entre la force magnétomotrice et la force électromotrice. De même que la force électromotrice est proportionnelle à l'intensité du courant et à la résistance du circuit dans lequel elle le fait circuler, de même la force magnétomotrice est proportionnelle au flux magnétique Φ et à la réluctance \mathfrak{R} du circuit dans lequel elle fait circuler ce flux: $\mathcal{E} = \mathfrak{R} \cdot \Phi$

Si μ est la perméabilité du matériau dont est fait l'anneau, s sa section, sa réluctance est donnée par: $\mathfrak{R} = 1 / (\mu \cdot s)$ et s'exprime en (H^{-1}).

Nous définissons le flux à partir de l'induction magnétique B dite aussi densité de flux magnétique. Elle s'exprime en teslas:

$$B = H / \mu$$

où la perméabilité magnétique du matériau, μ est égale: $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ produit de la perméabilité magnétique du vide ($\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H/m) par la perméabilité relative du milieu μ_r , de l'ordre de 10^4 pour un milieu ferromagnétique, elle est égale à 1 pour le vide ou très proche de 1

pour les corps diamagnétiques et paramagnétiques (dont l'air).

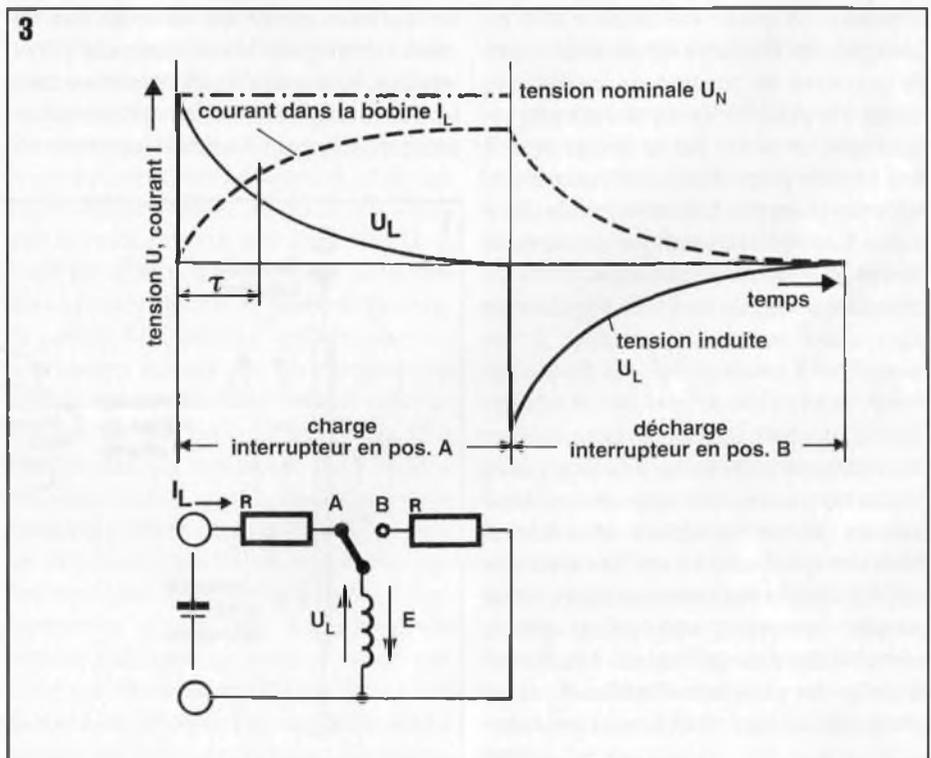
Le flux enfin, à travers la section s du matériau perpendiculaire aux lignes d'induction,

est égal à: $\Phi = B \cdot s$

il s'exprime en weber dans le système international (B en tesla et s en m^2). 926036

Figure 3 - À la fermeture de l'interrupteur le courant s'établit progressivement dans le circuit et la chute de tension U_L due à la bobine, d'abord maximale, diminue jusqu'à s'annuler, si on néglige la résistance de son fil: la bobine se comporte en récepteur. À l'ouverture de l'interrupteur, la bobine se transforme en générateur (elle ne donne plus lieu à une chute de tension) dont la force électromotrice E , proportionnelle à l'inductance de la bobine et à la vitesse de variation de l'intensité du courant, tend à maintenir la circulation de celui-ci (dans le même sens). Si on ferme le circuit sur la résistance de droite, l'intensité du courant décroît

progressivement, et la différence de potentiel aux bornes du générateur qu'est la bobine décroît de E à 0 V. Le sens des d.d.p. ne devrait plus vous poser de problème si vous considérez que dans un cas (récepteur) comme dans l'autre (générateur) le sens du courant qui traverse la bobine est le même. On constate d'autre part que le courant s'établit (ou disparaît) d'autant plus rapidement que l'inductance L est plus petite et que la résistance R est plus grande. On définit pour les circuits RL, comme pour les circuits RC, une constante de temps $\tau = L/R$ en secondes (L en henrys, R en ohms) temps que met l'intensité du courant pour atteindre 63% de son intensité définitive.



On repose son multimètre entre deux mesures et l'on oublie de le mettre hors tension. Si la seconde mesure a lieu le lendemain (ou le samedi suivant), parce que l'on a occupé à d'autres tâches le reste de la journée (ou de la semaine), il est fort probable que sa pile ne soit plus en état de la permettre. À moins que l'appareil ne soit doté d'une temporisation qui le mette automatiquement hors tension.

interrupteur automatique

fonctionnement

L'inconvénient des multimètres électroniques analogiques est qu'ils ressemblent beaucoup à ceux qui ne le sont pas – électroniques. La pile dont sont équipés les seconds ne sert qu'à leur ohmmètre, elle ne débite pas quand les appareils fonctionnent en ampèremètre ou en voltmètre. Il n'en va pas de même de celle des premiers qui alimente un amplificateur, en service quelle que soit la fonction. Qui a échangé son multimètre ordinaire contre un modèle électronique, oublie régulièrement de le mettre hors tension lorsqu'il le repose. De même, après une série de mesures, on abandonne un instant l'appareil pour effectuer un calcul que l'on prévoit simple, le calcul se prolonge et la pile en fait les frais inutiles. Si aucune LED témoin n'avertit de l'oubli, LED souvent absente pour éviter une dépense d'énergie supplémentaire, l'appareil reste allumé. Les caulettes, pratiquement toutes pourvues d'une mise hors tension automatique, la font souhaiter pour le multimètre. S'il est numérique, il est possible que la persistance de l'affichage prévienne l'utilisateur que les piles sont en service, à condition qu'il y fasse attention. Dans tous les cas, le petit accessoire que nous allons décrire a des chances d'être vite amorti.

le remède

De ce qui précède, nous pouvons conclure que le manque d'attention est consommateur d'énergie, d'énergie polluante et coûteuse, puisqu'il est difficile de recycler des piles, qui sont relativement chères. Nous n'avons pas la prétention d'intervenir

sur la cause première, le facteur humain, si proche et si inaccessible, mais nous avons la possibilité de modifier le multimètre, sans lui faire prendre de risques. Le circuit de la figure 1 a pour fonction de le mettre hors tension lorsqu'il n'est pas en service. Il n'est sous tension, pendant quelques bonnes dizaines de secondes, temps suffisant pour effectuer un certain nombre de mesures, qu'après la fermeture, brève, des contacts du bouton poussoir S1.

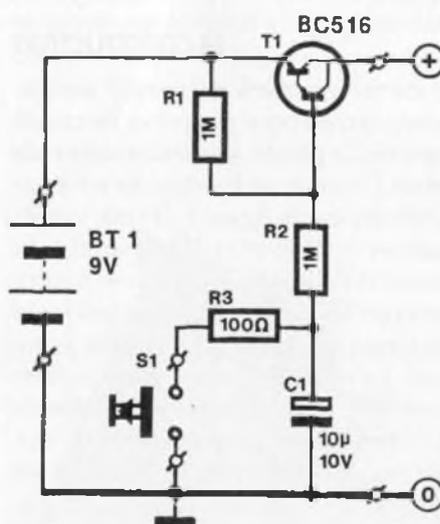


Figure 1 – Ce montage est d'une grande simplicité: le transistor sert ici d'interrupteur, commandé par la tension qui règne sur sa base. Tant que la différence de potentiel entre l'émetteur et la base n'est pas inférieure à 1,2 V le transistor ferme le circuit.

Le circuit de temporisation, d'une grande simplicité, se branche aux bornes de la pile, avant l'appareil de mesure, qui vient à droite sur la figure 1 entre les points repérés (+) et (0). L'interrupteur à proprement parler est un transistor qui fonctionne en commutation: saturé ou passant, il ferme le circuit, bloqué, il l'ouvre. Cet interrupteur électronique ouvre ou ferme le circuit sur la ligne plus de l'alimentation. Comme vous le remarquez, T1 contient en fait deux transistors, montés en darlington. L'intensité du courant de collecteur-émetteur dépend donc d'un courant de base relativement minuscule.

L'ouverture ou la fermeture de l'interrupteur dépend de la différence de potentiel entre la base et l'émetteur. Nous venons effectivement de dire qu'elle dépendait de l'intensité du courant de base, mais le courant de base ne circule que si la différence de potentiel est suffisante ou suffisamment négative: le transistor n'est saturé, puisque c'est un PNP et un darlington, que si la différence de potentiel entre la base et l'émetteur est de $-1,2\text{ V}$. La tension sur l'émetteur (la différence de potentiel entre l'émetteur et la référence) est celle du pôle plus de la pile, la tension sur la base dépend de celle qui règne aux bornes de C1, donc de la charge de ce condensateur qui s'effectue à travers les résistances R1 et R2. Dans la situation décrite par la figure 1 où S1 est ouvert, C1 peut se charger jusqu'à ce que la tension à ses bornes soit celle disponible aux bornes de la pile. Une fois qu'il est chargé, que le courant ne circule donc plus dans la dérivation R1 et R2, puisque la différence de

potentiel est nulle, la base est au même potentiel que l'émetteur, de sorte que T1 est bloqué (nous verrons en fait qu'il se bloque avant).

En d'autres termes, le transistor ouvre le circuit et le multimètre n'est plus alimenté: la pile ne débite plus qu'un courant, dit de fuite, tout à fait négligeable.

Appuyons maintenant sur S1. La durée de fermeture des contacts, brève à notre échelle mais longue à celle de la constante de temps $R3 \cdot C1$, est suffisante pour permettre la décharge du condensateur. En conséquence, la différence de potentiel entre les armatures de C1 est très proche de 0 V, celle qui règne entre la base et l'émetteur de T1 est négative. De combien la tension de base est-elle inférieure à la tension d'émetteur? Regardons le circuit de base pour le savoir.

Dès l'instant où le condensateur reprend sa charge à travers R1 et R2, le courant, même très petit, circule à nouveau. Gardons le doigt sur S1: tout au commencement de la charge, la différence de potentiel est de 9 V aux bornes de la dérivation R1/R2. Au point commun de ces deux résistances elle est de 4,5 V. L'est-elle vraiment? N'avons-nous rien oublié? Il en serait ainsi si nous n'avions pas connecté la base du transistor à ce point commun: les seuils de base des transistors limitent maintenant la chute de potentiel sur R1 aux environs de $2 \cdot 0,6$ V. La tension sur le point commun entre les résis-

PRÉVIENT LE GASPILLAGE DE LA PILE D'UN INSTRUMENT DE MESURE

tances et la base de T1 est donc de $9 - 1,2$ V, bien supérieure à ce que nous disions. L'intensité du courant de base est limitée par R2 à une valeur inoffensive. Le but fixé est cependant atteint: la tension de base de T1 (suffisamment inférieure à celle qui règne sur l'émetteur) permet la circulation d'un courant de base. L'interrupteur T1 est fermé et l'appareil de mesure, alimenté, est en service.

Avez-vous relâché S1? Dans sa position de repos, ce poussoir permet à C1 de ne pas se décharger. La tension monte au croisement R1/R2, sur la base de T1, jusqu'à un maximum à partir duquel le transistor se bloque. Le maximum de tension, à partir duquel la circulation du courant de base est compromise, est bien sûr de 7,8 V (tension d'alimentation amputée du double seuil de base du darlington).

installation et adaptation

Les composants, peu nombreux, n'occupent pas une grande surface. Servez-vous de l'implantation sur un bout de platine d'expérimentation de format 1 que nous proposons sur la figure 2 pour les câbler. Le brochage du BC516 est identique à celui du BC547 (boîtier TO92 avec base médiane). Pour augmenter la durée de

mise en service, augmentez la capacité de C1. Il n'est pas non plus interdit d'en mettre une plus petite pour la raccourcir.

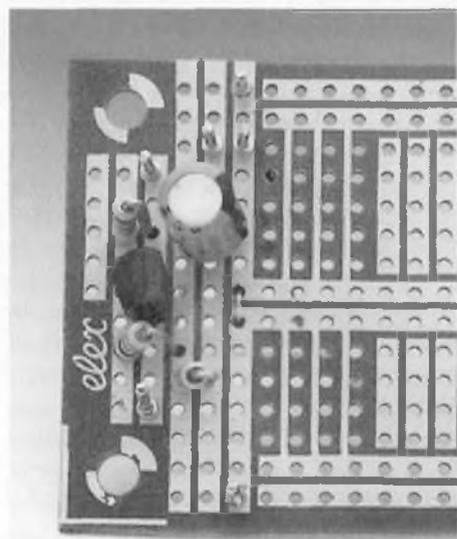
Voyons maintenant les caractéristiques du montage et l'influence qu'il peut avoir sur l'alimentation de l'appareil. La chute de tension émetteur-collecteur pour une alimentation de 9 V et une charge de 1 k Ω est (par hasard égale à un seuil de diode) de 0,6 V. Si la charge apportée par le multimètre est de 100 Ω , la chute de tension s'élève (l'élevage des chutes est-il contingenté?) à 2 V. Si le multimètre est encore plus gourmand, une augmentation de l'intensité du courant de base est indispensable pour que le transistor soit convenablement saturé. Diminuez alors R2 jusqu'à 100 k Ω par exemple. Ne pas perdre alors de vue qu'il faut compenser cette diminution par une augmentation de la capacité de C1 pour conserver une durée de conduction du transistor du même ordre. Dans tous les cas gardez cependant à R2 une valeur aussi élevée que possible. Vous limiterez ainsi la consommation du dispositif au minimum. Elle est de toute façon très petite.

Où installer le montage? Dans le boîtier du multimètre de préférence: la pile conserve alors son compartiment. La seule chose à faire est d'interrompre la ligne d'alimentation positive entre la pile et le circuit de l'appareil de façon à y placer T1 en série, sans oublier bien sûr de raccorder les masses.

Le montage, conçu pour la mise hors tension automatique d'un appareil de mesure, n'a pas que cette utilisation possible. Branchez par exemple en sortie une ampoule de feu arrière de bicyclette, alimentez le tout sous les 6 V d'un adaptateur secteur: si vous choisissez judicieusement la résistance de base et la capacité de C1, vous le transformerez en une minuterie de cage d'escalier des plus économiques.

896108

Figure 2 - Le montage occupe peu de place, d'autant moins que les résistances sont câblées « à la japonaise », verticalement.



liste des composants

R1, R2 = 1 M Ω
R3 = 100 Ω

C1 = 10 μ F/10 V

T1 = BC516
S1 = bouton poussoir à contacts travail

Les quelques expériences de la dernière livraison nous ont familiarisés avec l'appareil. Utilisons-le cette fois pour étudier le comportement en fréquence de circuits RC et à observer le résultat de la superposition de signaux. Nous terminerons par le mode d'emploi d'une extension double trace.



mesures à l'oscilloscope

troisième partie : mesurer et comparer

Différentes mesures, aux bornes du condensateur d'un circuit intégrateur (RC, dents de scie) ou de la résistance d'un circuit différentiateur (CR, impulsions), alimentés tous deux par un signal rectangulaire, nous ont familiarisé avec l'emploi de l'oscilloscope. Nous savons nous servir du générateur de balayage et même nous en passer pour dessiner des figures de Lissajous. Nous poursuivrons avec des mesures de fréquence. Nous verrons quelle influence celle-ci peut avoir sur le fonctionnement de filtres, comment un oscilloscope peut servir à vérifier la stabilité d'un générateur basse fréquence ou celle d'un magnétophone à cassette. Nous reparlerons du générateur de balayage, des différentes façons de déclencher et présenterons les procédés grâce auxquels il est possible d'afficher plus d'un signal à la fois.

mesure de fréquence

Pour la suite nous aurons besoin d'un générateur d'oscillations rectangulaires de basse fréquence variable. À défaut, on peut se fabriquer celui de la figure 1 dont le potentiomètre permet de faire varier la fréquence entre 30 Hz et 3 kHz. Utiliser pour l'alimenter l'adaptateur secteur décrit la dernière fois (figure 5 du n° 57), toujours pourvu de son générateur élémentaire de signaux rectangulaires à 50 Hz. On garde à portée de la main une poignée de résistances et quelques condensateurs. L'oscilloscope est sous tension (déclenchement *Auto* pour les réglages préliminaires), son zéro réglé au milieu de l'écran à l'aide du potentiomètre de cadrage vertical,

l'entrée Y est sur DC, 5 V/division de sensibilité verticale et 10 ms/div pour la base de temps. On branche maintenant la sortie du générateur de signaux rectangulaires (50 Hz) du bloc d'alimentation sur l'entrée Y de l'oscilloscope (figure 2). La trace devrait se créneler. Le mode de déclenchement (*Autodéclenché*) importe peu pourvu qu'il y ait synchronisation. Comment mesurer la fréquence du signal affiché? On commence par une mesure de longueur (dont l'unité est une division de l'écran), celle qu'occupe une période du phénomène sur l'écran (merlon + embrasure du créneau). Dans le cas présent, la période mesure deux carreaux (amener le cas échéant le début d'un créneau en coïncidence avec une ligne verticale à l'aide du potentiomètre de cadrage horizontal). Nous avons réglé la base de temps sur 10 ms/division. Une (grande) division (entre deux traits verticaux) correspond à 10 ms: la période du signal est donc de 20 ms et l'inverse, la fréquence, de $1000/20 = 50$ Hz (1/20 kHz). Reprendre la mesure, à titre d'exercice, pour différentes vitesses de balayage.

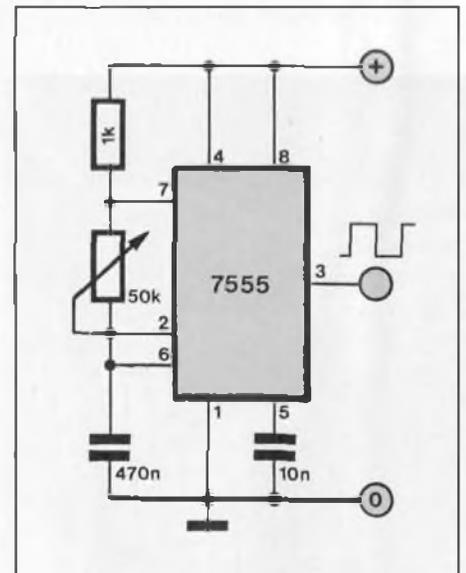
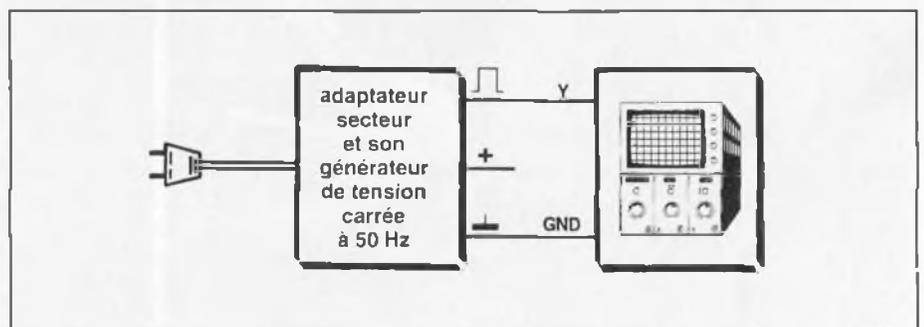


Figure 1 - Un générateur de signaux rectangulaires à fréquence téléphonique, vocale, basse, audio... entre 30 Hz et 3 kHz.

Figure 2 - La sortie du signal rectangulaire à l'entrée Y de l'oscilloscope.



*non déclenchement
(automatique)*

Revenons sur le mode dit normal. Nous avons vu dans la première partie que le balayage de l'écran ne se déclenchait pas sans relation avec l'une ou l'autre des caractéristiques du signal à mesurer (déclenchement interne) ou d'un signal injecté sur une autre entrée de l'appareil (déclenchement externe). En l'absence de cette synchronisation, plusieurs traces apparaissent simultanément sur l'écran. Elles correspondent à plusieurs images du signal à visualiser, décalées les unes par rapport aux autres. On n'obtient d'oscillogramme stable que si ces différentes images sont confondues. Techniquement, la caractéristique du signal – un niveau de tension – sur laquelle on veut déclencher le balayage, est détectée par un comparateur. En cas de détection, une impulsion à la sortie du comparateur parvient à un monostable qui déclenche le générateur de rampe. Ce terme de rampe est une image de la tension aux bornes d'un condensateur chargé à courant constant, qui croît linéairement en fonction du temps. Cette tension appliquée aux plaques (verticales) de déviation horizontale, provoque un déplacement du spot, tout aussi uniforme, de la gauche à la droite de l'écran. Arrivé là, le spot s'éteint et le condensateur déchargé rapidement (on parle de "retour du spot") permet au processus de se reproduire dès la prochaine impulsion. Ceci n'est possible que si le monostable n'est pas redéclenchable: une fois qu'il a déclenché la charge du condensateur, celle-ci se poursuit indépendamment de lui et les impulsions qui peuvent survenir pendant la montée en tension ne sont pas prises en compte. En l'absence d'impulsion, le spot reste éteint et l'écran vide: tout se passe comme si le spot, prêt à démarrer, stationnait tous feux éteints sur la gauche de l'écran. Absence d'impulsion ne veut pas forcément dire absence de signal: un signal qui ne présente pas la caractéristique reconnue par le comparateur n'est pas visualisé. Ce n'est pas toujours souhaitable. Les réglages préliminaires par exemple (position, épaisseur, luminosité de la trace...) ne seraient alors pas possibles. Tous les oscilloscopes sont donc dotés, nous y voilà, d'un balayage automatique. Dans ce mode, les plaques de déviation horizontale sont constamment soumises à une tension en dents de scie et le monostable est court-circuité. Le spot est allumé pendant l'aller (tension croissante) et éteint pendant le retour (tension rapidement décroissante) la trace horizontale,

ligne du "zéro", est visible en permanence par l'observateur (s'il n'a pas oublié de régler la luminosité et la position de la trace au moyen des potentiomètres de cadrage).

Nous avons vu cependant que, dans ce mode de (non-)déclenchement, il était possible d'obtenir des oscillogrammes tout à fait stables. Il suffit pour cela que la fréquence de balayage soit dans un rapport simple avec celle du signal observé, avec un petit inconvénient cependant, puisque la durée du retour n'est pas nulle: une petite partie du signal n'est pas affichée. S'il n'y avait que cela, ce ne serait pas très grave, il y a pire. La stabilité en fréquence des signaux étudiés est rarement parfaite, celle du balayage ne l'est pas non plus. À plus ou moins brève échéance, le manque de synchronisation sera tel que la trace finira par se déplacer ou se multiplier pour dessiner des frises inexploitable. Le remède consiste à fabriquer, une fois choisie la fréquence de balayage, à partir du signal à étudier, prélevé à un endroit judicieusement choisi de l'amplificateur vertical, des impulsions de synchronisation pour commander le retour du spot. Pour imager, nous pourrions dire que pour s'assurer que le spot partira du même pied que lui, le signal, un peu avant de s'annuler, en fin de période par exemple, lui lance un « Gauche! » Au dernier avertissement « gauche! » avant le bord droit de l'écran, le spot s'éteint et revient en courant au bord gauche.

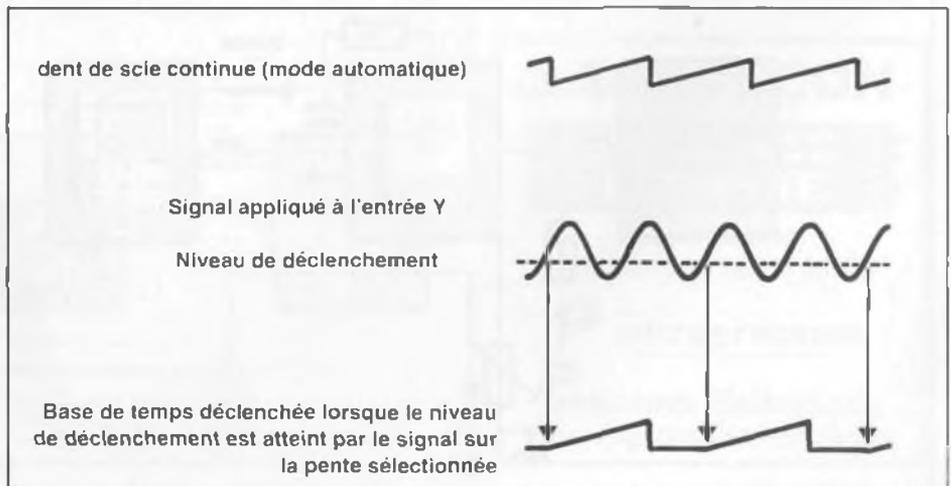
Ce mode dit non déclenché, automatique (sans intervention de l'utilisateur) ou relaxé est idéal pour observer des signaux de forme simple dont la fréquence n'est pas trop élevée. Il arrive cependant que, même dans ce cas, la synchronisation soit impossible: il faut un certain temps entre la production de l'impulsion qui commande le retour du spot et le retour du spot. Si le temps laissé est trop court (transition

trop brusque du signal) la coïncidence ne peut pas se faire. Il faut passer en mode normal ou déclenché. Notons enfin, avant de nous y intéresser, qu'on utilise le mode automatique pour débiter l'étude de problèmes difficiles, de signaux dont on n'a pratiquement aucune idée de la forme ou de la fréquence.

*déclenchement normal
(ou manuel)*

En mode automatique, le balayage est permanent, en mode normal (ou déclenché qu'on appelle aussi "manuel"), le spot ne s'allume pour tracer un oscillogramme de la gauche à la droite de l'écran, que si le signal atteint un certain seuil (dont le choix est réglé avec le potentiomètre marqué *Level* ou *niveau*, voir la figure 3) et si sa pente est alors croissante ou décroissante suivant la position d'un inverseur marqué *slope* (pente), ou (\pm) ou d'un créneau comme sur le *Torg*. Quel que soit le mode, il est possible de synchroniser le balayage sur une tension, synchrone avec, le signal de mesure, appliquée sur l'entrée *Trig-Ext*. Le choix s'effectue à l'aide de l'inverseur

Figure 3 – En haut, le générateur de balayage fonctionne en continu, ce qui ne se fait pas sans synchronisation avec le signal de mesure à partir duquel des impulsions sont fabriquées qui déclenchent, en temps opportun le retour (prématuré) du spot: le spot ne va pas au bout de sa course. C'est le mode automatique ou non déclenché (ou relaxé). En mode normal (manuel ou déclenché), le balayage est déclenché lorsque le signal atteint un certain niveau (réglable par l'utilisateur) sur une certaine pente. Le spot balaye tout l'écran puis s'éteint jusqu'à ce que le signal retrouve le niveau (et sa pente) de déclenchement.



Interne/Externe en position Externe. Laissons cela de côté et revenons en position Interne.

Avec certains oscillographes – nous abandonnons un instant le *Torg* – il est possible de synchroniser la base de temps sur certaines particularités du signal étudié à l'aide d'un ou plusieurs commutateurs marqués AC, DC, HF, LF, TV, Mains (alternatif, continu, haute fréquence, basse fréquence, télévision, secteur). Voyons-les brièvement.

En position AC, le déclenchement s'effectue sur la composante alternative du signal vertical, sans égard aux autres. C'est le mode de couplage le plus utilisé.

La position DC (ne pas l'utiliser en mode automatique) est préférable pour l'étude de phénomènes très lents ou impulsions. La position LF y est parfois mieux adaptée: un filtre passe-bas atténue considérablement les bruits de haute et moyenne fréquence. C'est la position à choisir pour l'étude de phénomènes de basse fréquence (domaines des fréquences vocales étendu aux infra- et aux ultrasons).

En position HF, un filtre passe-haut privilégie les composantes de haute fréquence du signal de déclenchement.

Inutile de chercher le programme si vous choisissez la position TV qui facilite l'étu-

de des signaux vidéo en séparant, au choix, les impulsions de synchronisation de ligne (H) de ceux de trame (V) pour commander le déclenchement du balayage dont la vitesse doit être réglée en conséquence.

Nous avons vu qu'il était possible de synchroniser le balayage sur le signal appliqué aux plaques Y (interne) ou sur un signal extérieur. Il existe une troisième possibilité: l'étude des caractéristiques des alimentations par exemple (ondulation à la sortie du redresseur ou après filtrage etc.) ou de perturbations et de signaux de même fréquence ou de fréquence multiple (ou sous-multiple) de celle du secteur.

Tous ces commutateurs mettent en circuit des filtres qui privilégient telle ou telle caractéristique du signal pour déclencher le balayage. Est-il utile d'ajouter que les possibilités d'un oscilloscope en la matière augmentent avec son prix...

influence de la fréquence

Une capacité et une résistance associées ne sont pas sans effet sur un signal. L'étude succincte, faite dans l'article précédent, des transformations apportées par un réseau différentiateur ou un réseau intégrateur sur un signal rectangulaire devrait vous en

avoir convaincu. Recommencez-en au besoin l'expérience avec le montage de la figure 4. Si l'on intercale entre la sortie du montage à étudier et l'entrée de l'oscilloscope un couple RC ou CR, le signal original est modifié, ceci d'autant plus que sa fréquence est plus élevée. Cela nous amène à parler des sondes (passives uniquement). Entre le montage et l'oscilloscope la liaison est établie par une sonde: une pointe de touche, enveloppée d'un manchon isolant, reliée à l'oscilloscope par un câble blindé. Le blindage, terminé du côté du montage par une pince crocodile, sert éventuellement de conducteur de masse: on mesure, c'est important, toutes les différences de potentiel par rapport à la masse si l'on ne veut pas avoir d'ennuis; on évite de les mesurer par rapport à un autre point « chaud » du circuit. L'oscilloscope ne permet cependant de mesurer que des tensions limitées en amplitude. Pour l'étude de tensions supérieures à quelques dizaines de volts, on fait usage d'une sonde atténuatrice, constituée le plus souvent d'un pont diviseur résistif. Si ce pont ne pose aucun problème en basse fréquence, il est insuffisant en haute fréquence pour des raisons qui tiennent à l'impédance d'entrée de l'oscillographe qui est aussi capacitive (40 pF sur le *Torg*) et aux capaci-

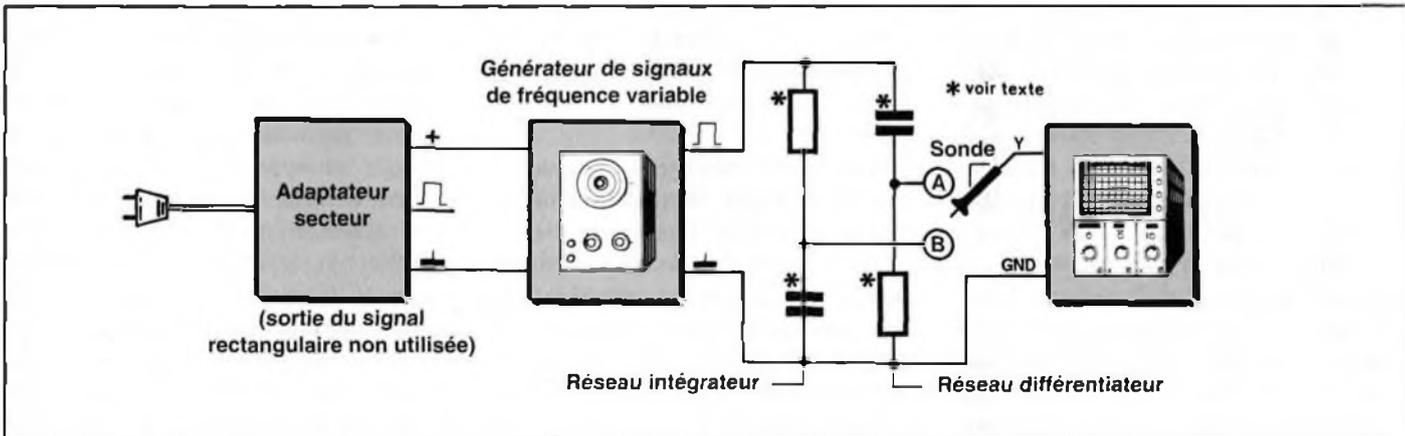


Figure 4 - Étude du comportement en fréquence de filtres RC.

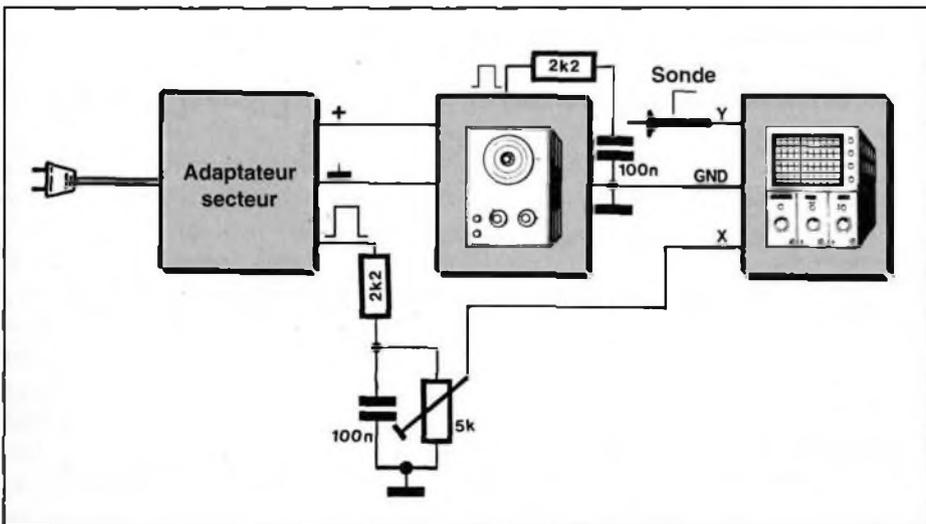


Figure 5 - Mesure en « XY » avec deux signaux rectangulaires dont des réseaux RC arrondissent un peu les angles. Un potentiomètre de 5 kΩ permet de modifier l'amplitude du signal appliqué aux plaques X de déviation horizontale.

Figure 6 - Appréciation de la stabilité du défilement de la bande d'un magnétophone.

les carrés d'adresses

A explorez l'électronique

tés parasites dues au câblage : l'amplitude du signal à la sortie de la sonde diminue lorsque la fréquence augmente alors que celle du signal mesuré reste stable. Pour stabiliser le rapport entre la tension d'entrée et la tension de sortie d'une sonde atténuatrice en haute fréquence, on y introduit, en parallèle à la résistance d'entrée du pont diviseur, une capacité ajustable dite de compensation en fréquence.

Revenons à la figure 4. Soudez les résistances et les condensateurs en l'air ou montez-les sur une plaque de connexion. Les résistances sont de 100 kΩ, les condensateurs de 100 nF. On étudie les signaux aux points A et B pour différentes fréquences du générateur. On constate que les effets d'un circuit RC intégrateur sont d'autant plus sensibles que la fréquence est plus élevée, alors que ceux d'un circuit différentiateur CR diminuent dans les mêmes conditions. Lorsque ces résultats ont été observés, on remplace les composants du circuit intégrateur par un condensateur de 1 μF et une résistance telle que l'amplitude de la tension en dents de scie soit de 1 V. Repérez les positions du potentiomètre de l'oscillateur pour lesquelles la fréquence mesurée est de 400 Hz et 1 kHz. Ces tensions en dents de scie nous seront utiles pour les mesures proposées plus loin.

mesures de stabilité en fréquence

L'oscilloscope est un excellent outil de vérification de la stabilité en fréquence d'un générateur. On utilise la fréquence du secteur comme référence (sa précision instantanée est supérieure à 0,1% et le nombre quotidien d'alternances est constant). Nous avons vu la dernière fois comment procéder pour cette comparaison : une tension de référence est appliquée aux plaques de déviation horizontale (entrée X), l'autre, par la voie normale aux plaques Y comme sur la figure 5. Il est absolument exclu

d'injecter directement la tension du secteur à l'oscilloscope. On se sert du générateur de tension en créneaux dont on adapte éventuellement l'amplitude à l'aide d'un potentiomètre de 5 kΩ. Comme des signaux rectangulaires ne sont pas très appropriés à ces mesures, on leur arrondit les angles à l'aide de filtres RC. L'inverseur externe interne de l'oscilloscope est en position externe. On obtient à l'écran l'image d'un rectangle mobile. Pour que la figure reste fixe il faut que le rapport entre les fréquences des deux signaux puisse se ramener à celui de deux nombres entiers. Lorsque cette condition est près d'être remplie, l'image se meut de plus en plus lentement et sa forme oscille, stationnaire entre celles d'un L et d'un S. Lorsque les fréquences sont presque doubles l'une de l'autre, ce sont deux rectangles plus ou moins superposés qui s'affichent. S'il n'est pas possible d'arriver à quelque chose d'à peu près constant, on peut l'attribuer à un défaut du générateur.

Au lieu du générateur de tension en créneaux à 50 Hz, utilisons maintenant comme signal de référence, appliqué aux plaques de déviation horizontale (ou verticale), la tension en dents de scie d'environ 1 V d'amplitude et de 400 Hz que nous avons préparée plus haut. Le même signal est enregistré aussi "fort" que possible au magnétophone et appliqué simultanément aux plaques de déviation verticale (ou horizontale) de façon à permettre le réglage de l'appareil de mesure. Ensuite, le signal original reste appliqué sur l'une des deux voies, tandis que l'autre reçoit sa version enregistrée (figure 6). La mobilité de l'oscillogramme obtenu peut s'interpréter de diverses manières :

- le mouvement est constant : la vitesse de déplacement de la bande s'est modifiée, ce que l'on peut aussi observer si l'enregistrement a été réalisé sur un autre magnétophone.



Composants électroniques
Dépositaire de grandes marques
Professionnel et grand public

RADIO - TÉLÉVISION - VIDÉO - INFORMATIQUE

B.H. ÉLECTRONIQUE

164 à 166, av. Ar. Briand - 92220 BAGNEUX
Tél. (1) 46 64 21 59 • Fax (1) 45 35 07 08

SPÉCIALISTE DES COMPOSANTS JAPONAIS
plus de 20 ans à votre service

COMPOSIUM

ELECTRONIC

CHOLET 6, rue Nantaise Tél. 41.58.63.64 Fax 41.58.21.14	MORLAIX 18, rue Gambette Tél. 98.88.60.53 Fax 98.63.84.55
VANNES 35, Rue De La Fontaine Tél. 97.47.48.35 Fax 97.47.55.46	QUIMPER 33, rue Régulière Tél. 98.95.23.48 Fax 98.95.91.29

4 SPÉCIALISTES PRETS A SE METTRE
EN 4 POUR VOUS SERVIR
GRAND PUBLIC AU PROFESSIONNEL.

Des milliers d'ingénieurs et de professeurs considèrent le tandem de FCAO logique et d'autourage

Schéma III - Layol

Comme étant le meilleur sur le marché.

Pour vous permettre de les maîtriser à cent pour cent nous vous proposons une K7 d'apprentissage pas à pas.

Prix : Layol E : 180 F, schéma III E : 255 F, K7 vidéo 275 F.

Toutes ces versions sont opérationnelles à 100 %.

Layo France, Château Garamache-Sauvebonne,
83400 Hyères
Tél. : 94 28 22 59, Fax : 94 48 22 16,
Minitel 3617 code LAYO

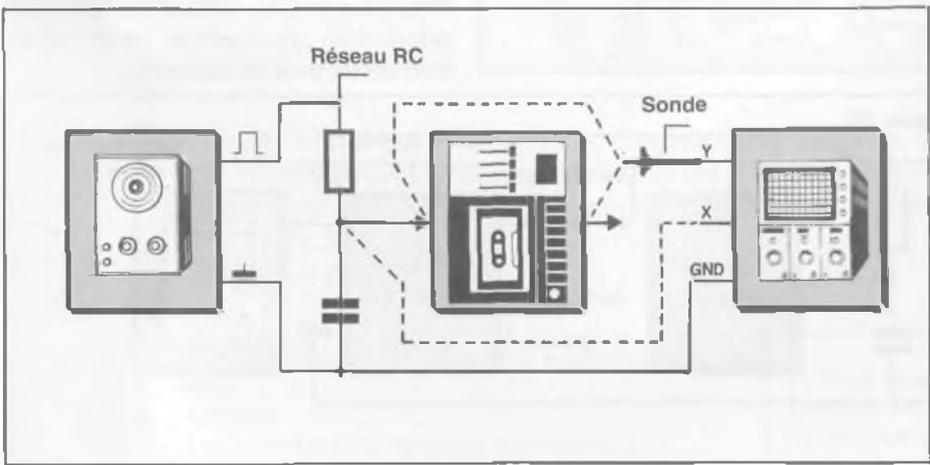
à BESANÇON

NOUVELLE ADRESSE

29, Bd J.F. Kennedy
Tél. : 81 80 72 13 - Fax : 81 80 72 24

P microprocessor

Composants Electroniques
Point traçage CIAO-LABOTEC - Perçage



- le mouvement est constant: c'est la fréquence du générateur qui s'est modifiée, suite éventuellement à une fausse manœuvre.

- légères modifications en cours de restitution: irrégularités du déplacement de la bande.

Dans les deux premiers cas, il est possible de stabiliser l'image en jouant sur la fréquence du générateur, ce qui peut donner lieu à une mesure immédiate, s'il est étalonné, ou différée (affichage du signal et mesure de sa fréquence à l'aide de la base de temps de l'oscilloscope). Dans le second cas, de légères fluctuations sont normales. Il est pratiquement impossible d'obtenir une image parfaitement stable, même avec un magnétophone de très haut de gamme. Si l'image est chaotique, il est vraisemblable que les irrégularités de défilement de la bande seront audibles. On peut ensuite recommencer les mesures à 1 kHz.

bicourbe

Pour les mesures décrites jusqu'ici, un oscilloscope monocourbe suffit. Il permet, comme nous l'avons vu, de comparer deux signaux, l'un appliqué sur les plaques de déviation horizontale, qui peut être produit par le générateur de balayage de l'appareil lui-même, l'autre sur les plaques Y de déviation verticale. Un oscilloscope à deux voies permet d'appliquer simultanément deux signaux sur les plaques de déviation verticale. Comment cela? Avec deux canons à électrons (*double beam*) si l'on a (eu: cette technique est progressivement abandonnée) les moyens d'une aussi coûteuse

artillerie; plus simplement avec un oscilloscope bicourbe, à deux traces ou multitrace ou à deux canaux suivant les auteurs. Ce dernier appareil ne contient qu'un canon à électrons mais son faisceau trace tantôt l'un tantôt l'autre des deux signaux injectés sur l'une et l'autre voie. On distingue deux modes principaux de représentation: découpé (*chopped* ou haché) ou alterné (*alternate*). Dans le premier mode, découpé, un commutateur électronique bascule, plusieurs fois par rampe de balayage, entre l'une et l'autre entrée; dans l'autre, alterné, la rampe est déclenchée tantôt sur le premier signal, tantôt sur le second, en alternance. En mode alterné, une alternance du signal de balayage concerne une voie, l'alternance suivante, l'autre voie. La plupart des oscilloscopes bicourbes disposent des deux techniques et si le vôtre est monocourbe, rien ne vous empêche de vous reporter au n° 13 d'ELEX pour le compléter d'une seconde trace (100 kHz). La figure 7 montre comment multiplier une entrée unique par deux à l'aide de l'extension double-trace (ou par 1,5 de façon à permettre aux heureux possesseurs d'un oscilloscope à deux voies d'afficher simultanément trois signaux). Voyons sur la figure 8 comment tester un appareil avec ce dispositif. Le générateur de tension de fréquence variable est utilisé en source de signaux, la tension en créneaux appliquée à l'entrée X sert de tension de déclenchement externe. Le signal de référence et de mesure est la tension en dents de scie de 1 V d'amplitude environ, prélevée aux bornes du condensateur. On l'applique, divisé par 10 (sonde 10X), à

l'entrée Y1 de l'extension et, tel quel, à l'entrée de l'appareil à tester dont la sortie alimente la voie Y2 par l'intermédiaire d'une sonde passive non atténuatrice. L'oscilloscope affichera ainsi, en même temps (pour l'observateur), le signal injecté au dispositif étudié et la transformation que celui-ci lui fait subir. On peut ainsi tester toutes sortes d'appareils tels que magnétophones ou générateurs d'effets musicaux pour guitares électriques... L'étude de la réponse en fréquence d'amplificateurs nécessite cependant un générateur de signaux un peu plus élaboré que celui décrit sur la figure 1. ELEX en a décrit un assez grand nombre pour que nous ne nous y étendions pas.

Dans un prochain article, la théorie reviendra au premier plan. Les rapports de l'électronicien avec son oscilloscope ne s'améliorent que s'ils sont suivis. Une fois les connaissances de base acquises, quelques tuyaux glanés ici ou là permettent d'étendre les possibilités d'utilisation de l'appareil et l'habitude, d'interpréter correctement les résultats obtenus, ce qui n'est pas toujours facile. Cet appareil se prête sans risque à toutes sortes de processus expérimentaux. Veillez cependant à ne pas en brûler l'écran: la luminosité du faisceau ne doit jamais être excessive. 906072

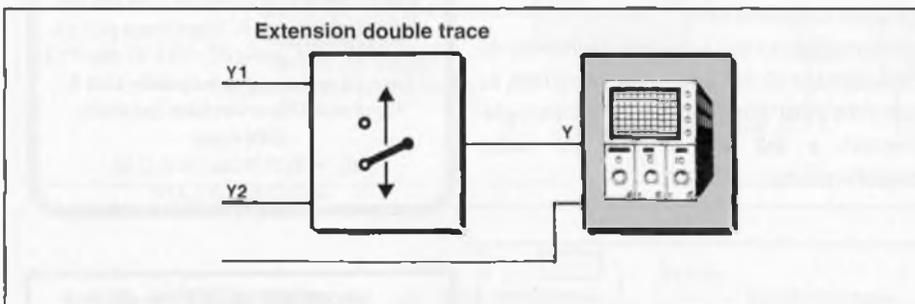
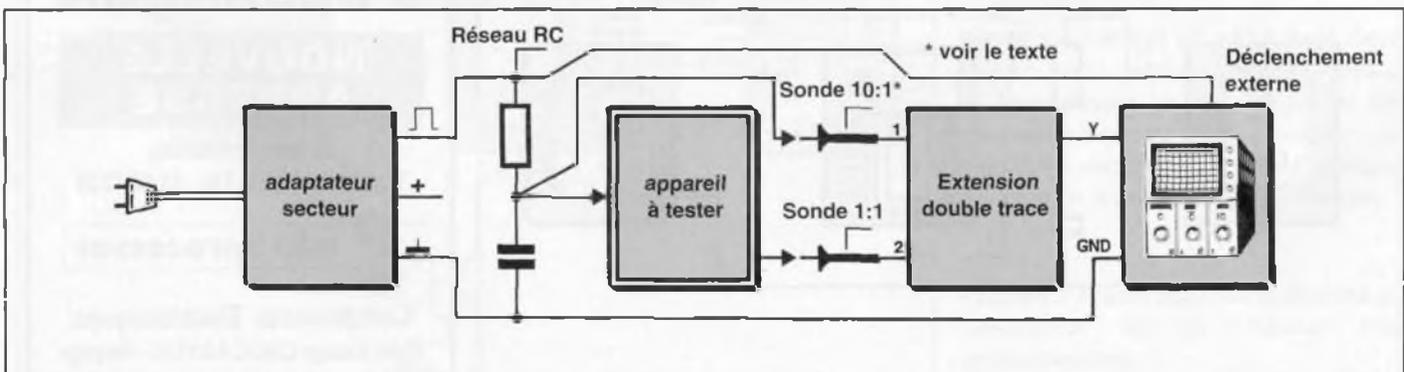


Figure 7 - Une extension "double trace", comme celle décrite dans un numéro déjà ancien, permet d'afficher en même temps deux traces correspondant à deux signaux sur l'écran d'un oscilloscope à une seule voie.

Figure 8 - Utilisation des deux voies (originales ou voie unique multipliée par deux) d'un oscilloscope pour l'étude d'un circuit ou d'un appareil.

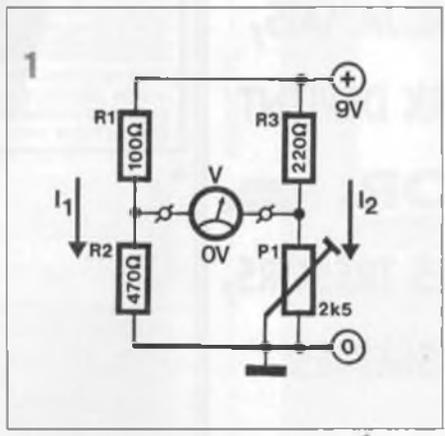


Les ponts, comme celui auquel s'applique la question posée la dernière fois (figure 1), paraissent souvent plus compliqués qu'ils ne le sont. Que cherchons-nous? La résistance R_x de $P1$ pour laquelle la différence de potentiel est nulle aux bornes du voltmètre. Ici, vous pouvez prendre n'importe quel voltmètre ou galvanomètre: si la différence de potentiel est nulle à ses bornes, aucun courant ne peut le traverser. Vous pouvez même remplacer l'instrument de mesure par toute résistance que vous avez sous la main: si le pont est équilibré, le courant ne passera ni plus ni moins. Ne mettons pas de tablier à ce pont pour l'instant: supprimons tout ce qui pourrait vous troubler et ne considérons que les deux branches verticales du circuit lorsque l'équilibre est réalisé. Dans tous les cas, la différence de potentiel aux bornes des deux grandes branches est la même, qu'elle soit de 9V ou plus ou moins n'a aucune importance. Ensuite, la différence de potentiel entre les bornes de $R2$ est égale à celle que nous avons entre celles de R_x . Puisqu'il en est ainsi, les d.d.p. entre les bornes de $R1$ et de $R3$ sont aussi égales:

$U_{R1} = U_{R3}$ et $U_{R2} = U_{Rx}$
 Les tensions U_{R1} et U_{R2} sont donc dans le même rapport que les tensions U_{R3} et U_{Rx} :
 $U_{R1}/U_{R2} = U_{R3}/U_{Rx}$
 Ensuite, le courant $I1$ qui traverse $R1$ est le même que celui qui traverse $R2$, et $I2$ qui traverse $R3$ traverse aussi R_x . Nous pouvons diviser U_{R1} et U_{R2} par $I1$ et faire de même avec $I2$ pour U_{R3} et U_{Rx} . Que reste-t-il? Une égalité entre deux rapports de résistances:
 $R1/R2 = R3/R_x$

Nous avons donc l'expression de R_x en fonction des autres résistances:
 $R_x = R2 \cdot R3/R1$
 Ce qui nous donne:
 $R_x = 470 \times 220/100$
 $= 1034 \Omega$
 En fait il est peu probable, compte tenu de la précision avec laquelle nous connaissons les autres résistances, que R_x mesure exactement 1034Ω . Des résistances de la série E12 sont connues à 10% près: le fabricant

» Alors, sagace ? «

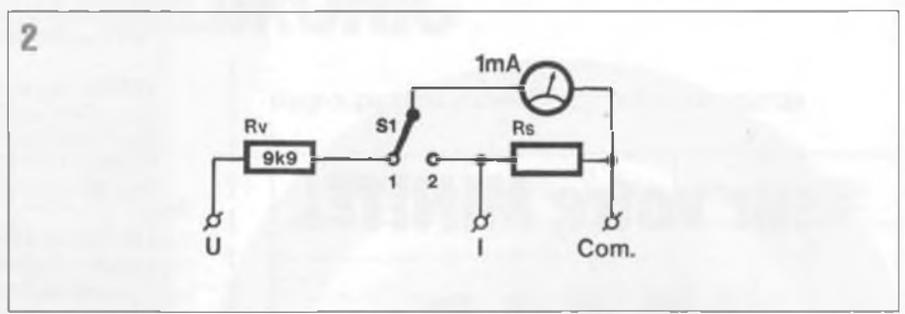


de $R1$ garantit que sa résistance est comprise entre 90 et 110 Ω , que $R2$ est de 470 Ω à 47 Ω près et $R3$ de 220 $\Omega \pm 22 \Omega$. La réponse C n'est pas excellente, mais c'est la plus proche de la vérité. Dans les faits, nous équilibrerons le pont avec un potentiomètre de 2,2 k Ω (série E3) réglé à peu près à mi-course... ou avec un potentiomètre en série avec un capteur dont la résistance varie en fonction de la température ou de tout autre facteur. Nous parlerons des utili-

sations de ce pont de mesure à l'occasion d'un montage. Passons à autre chose.
 Nous voulons doter un circuit d'un appareil de contrôle de l'intensité et de la tension. Nous disposons d'un galvanomètre à cadre mobile (figure 2) dont nous ne connaissons que le calibre: 1 mA (1 mA est l'intensité du courant pour laquelle la déviation de son aiguille est la plus grande). La résistance R_v à mettre en série avec lui pour le transformer en voltmètre de calibre 10 V a été déterminée expérimentalement: elle est de 9,9 k Ω ($S1$ dans la position où il est dessiné, la différence de potentiel de 10 V appliquée entre les bornes U et Com fait dévier l'aiguille au maximum). Nous cherchons le shunt (de l'anglais to shunt dériver, c'est la résistance R_s) qui nous permettra de transformer le galvanomètre en un ampèremètre de calibre 200 mA ($S1$ en position 2, R_s est insérée dans le circuit à mesurer, interrompu entre les points I et Com). La réponse est la suivante:

- A. - $R_s = 502,5 m\Omega$
- B. - $R_s = 0,199 \Omega$
- C. - $R_s = 9,999 \Omega$
- D. - $R_s = 50,25 \Omega$

N.B. : Nous ne disposons pas d'ohmmètre pour déterminer R_v mais de tonnes de résistances de précision et de patience ! Pour ceux qui nous reprocheraient de ne pas avoir mesuré directement la résistance intérieure du galvanomètre.



MAGNETIC-FRANCE

Circuits intégrés, Analogiques, Régulateurs intégrés, Interfaces, Micro-Processeurs, Mémoires RAM Dynamiques Statiques, EPROM et EEPROM, Quartz, Bobinage, Semi-Conducteurs Transforiques, Filtres, Ligne à retard, Leds, Supports de CI, Ponts, Opto-Electronique, etc.
 Et de nombreux KITS.

Bon à découper pour recevoir le catalogue général
 Nom
 Adresse
 Envoi : Franco 35 F - Vendu également au magasin

11, Place de la Nation, 75011 PARIS **43793988**
 Télèx 216 328 F - Ouvert de 9 h 30 à 12 h et de 14 h à 19 h
 Fermé le Lundi.