

électronique

n°44

mai 1992

22 F/160 FB/7,80 FS

mensuel



onduleur 12 V → 220 V

p. 15

testeur de thyristors

p. 58

régulateur de vitesse

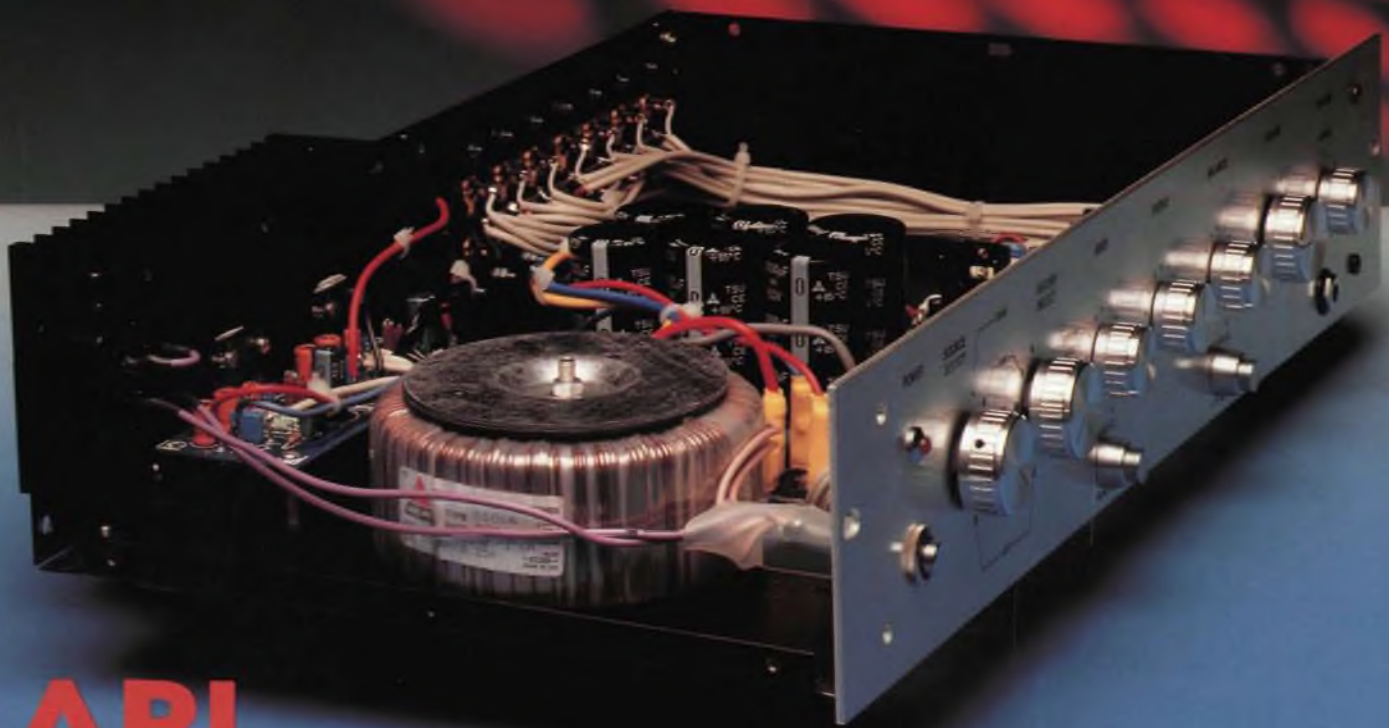
pour petits moteurs

p. 43

les ondes électro-magnétiques

p. 12

explorez l'électronique



API

ampli-préampli stéréo intégré

2x40W avec circuits imprimés

p. 49

M2510 - 44 - 22,00 F



SOMMAIRE ELEX N°44

- 8 ➤ Elexprime
- 27 ➤ mots croisés
- 56 ➤ petites annonces gratuites

I.N.I.T.I.A.T.I.O.N

- 4 ➤ Rési & Transi : bande dessinée
- 37 ➤ système K : le transistor commutateur
- 12 ➤ les ondes électro-magnétiques
- 31 ➤ piles au menu
- 46 ➤ la doc ad hoc : fiche de caractéristiques du L165
- 55 ➤ mini-circuit : générateur à un seul transistor

R.É.A.L.I.S.A.T.I.O.N.S

- 12 ➤ antenne active pour les PO
- 15 ➤ onduleur de puissance
- 19 ➤ posemètre
- 28 ➤ sonnerie auxiliaire pour le téléphone
- 34 ➤ indicateur optique de surcharge
pour enceintes Hi-Fi
- 43 ➤ régulateur de vitesse

49 ➤ **api** ampli-préampli intégré stéréo
2 x 40 W avec dessins de circuits imprimés

- 58 ➤ testeur de thyristors

Je vous écris pour vous signaler une petite erreur parue dans ELEX n°41, page 34. Vous indiquez que la formule permettant de calculer la capacité équivalente de deux condensateurs en série est

$$C_{\text{équ}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

En réalité il faut écrire :

$$\frac{1}{C_{\text{équ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

En réduisant au même dénominateur, on obtient

$$\frac{1}{C_{\text{équ}}} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 \times C_2}$$

et d'après les propriétés des proportions, en inversant les rapports, on a finalement

$$C_{\text{équ}} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

Avec plusieurs condensateurs en série, la formule est donc

$$\frac{1}{C_{\text{équ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \text{ etc}$$

Didier DRUGMANNE
27000 EVREUX



Mais oui, bien sûr, le groupement de condensateurs en série se traite exactement de la même manière que celui de résistances (ou d'inductances) en parallèle. Cette mise en série est intéressante surtout quand vous n'avez pas sous la main le composant de la valeur requise pour finir ou tester un montage. On a recours au groupement également pour répartir une tension trop élevée par rapport à la tension de service nominale des condensateurs. Ainsi, de deux condensateurs de même capacité, donnés pour une tension de service maximale de 30 V, et connectés en série sous une tension de 50 V, chacun ne verra-t-il régner entre ses armatures qu'une tension de 25 V.

Nous vous remercions de votre vigilance et de la peine que vous prenez de nous écrire pour nous signaler ces coquilles enquinantes que notre propre vigilance peine à éliminer.

Rien à dire sur la présentation. Pour le contenu, j'aurais deux remarques. Sans négliger les montages classiques assez sophistiqués, mais pas trop, ayez de nombreux articles et montages pour débutants, comme vous l'annoncez pour "l'année prochaine". C'est ce qui fait votre originalité par rapport à des revues concurrentes, très bien faites, mais destinées presque à des professionnels ou à de très bons amateurs. La deuxième remarque concerne la présentation aux plaisanteries laborieuses de certains articles (un paragraphe ou parfois même une colonne). Alors que l'on accepte avec plaisir un mot d'esprit à l'occasion, comme le font quelques uns de vos rédacteurs, d'autres se veulent drôles et sont seulement pénibles. "Les plaisanteries les plus courtes sont les meilleures". On préférerait des conseils supplémentaires de montage. En vous assurant que ces remarques sont faites dans un esprit constructif, je vous prie d'agréer mes sincères salutations.

R. GOGUELET
37270 ATHÉE SUR CHER



Planifier l'astuce ? Allons ! Rire est le propre de l'ohm ! Comment résisterions-nous ?

Nous sommes des élèves de 4^e et en cours de technologie nous avons pour projet la fabrication d'un spot puis d'un gradateur. Nous vous serions très reconnaissants de bien vouloir nous faire parvenir la liste des publications traitant

- de la norme à appliquer sur les luminaires
- des consignes de sécurité à respecter lors de la

réalisation de montages électriques alimentés par la tension du réseau 220 V.

Mme NIBOUREL
pour les élèves de 4e
Collège Bienvenu Martin
89015 AUXERRE



Un périodique comme ELEX est une des sources possibles pour obtenir l'information que vous recherchez, mais pas la meilleure. Il convient de s'adresser en priorité aux organisations professionnelles comme par exemple la Fédération des Industries Électriques et Électroniques - 11, rue Hamelin 75016 PARIS ou le Centre Technique des Industries Mécaniques - 52, Av. Félix Louat - BP67 - 60304 SENLIS Cedex (bibliothèque et documentation : 44.58.31.35). Ou encore, pour les normes, l'Union Technique de l'Électricité - 4, place des Vosges - 92400 COURBEVOIE - 46.91.11.21. Nous pouvons néanmoins vous recommander l'ouvrage Mémo-tech - électrotechnique de R. Bourgeois et D. Cogniel et même l'ouvrage Mémo-tech - équipements et installations électriques de R. Bourgeois, D. Cogniel et B. Lehalle, publiés l'une et l'autre par les éditions Casteilla. Et donnez-nous des nouvelles de votre projet de spot !

Animateur bénévole du club météo, je suis toujours à la recherche d'activités liées à ce sujet : utilisation d'appareils de mesure, sondage d'opinion (sic !), confection de panneaux relatifs aux phénomènes, réalisations d'exposition etc. Il me semblait opportun ces derniers temps de pratiquer des montages électroniques (très) simples relatifs aux capteurs utiles : températures, humidité, direction d'une girouette, force du vent etc. Les problèmes qui se posent à moi sont les suivants : quoi ? comment ? combien ? où ? Il faut noter que les jeunes qui participent à ces activités sont trop souvent de secteur tertiaire, il faut comprendre

sans cours de sciences, et fort peu de culture scientifique ; pour ma part, et c'est aussi le cas de mes deux collègues qui participent à cette animation, l'électronique est un étrange animal. Si vous pensez pouvoir faire quelque chose pour nous, ce sera avec grand plaisir que je recevrai votre réponse.

A. LABEADAYS
Club Météo du Foyer socio-éducatif du Lycée polyvalent A. Bourdelle
3, place Herriot Cedex 82017 MONTAUBAN



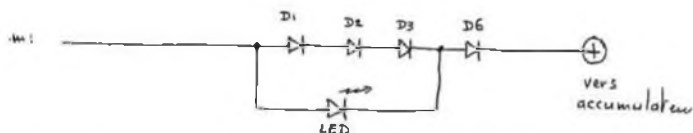
Pour commencer, nous relayons ici votre demande en incitant nos lecteurs intéressés à prendre contact avec vous afin de partager expérience, idées et projets. Par ailleurs, nous allons mettre en route l'un ou l'autre projet de publication, d'applications de l'électronique à la météorologie. Ce sera dans Elex d'ici quelques numéros... Quant à l'électronique, tertiaires ou pas, nous la domptons ensemble.

PS : Que viennent faire les sondages d'opinion au club météo ?

Je viens de découvrir votre revue, et en tant que débutant, je dois vous dire que si j'arrive un jour à comprendre un peu d'électronique, vous n'y serez pas étrangers ! Donc je m'abonne. Je voudrais aussi revenir sur l'un de vos montages que j'ai réalisé, et si un jour vous avez prévu de reparler de la diode électroluminescente, vous pourrez peut-être y inclure le complément d'information qui me manque. Il s'agit du chargeur d'accumulateurs au cadmium-nickel paru dans votre n° 2. Après l'avoir réalisé, j'ai souhaité y apporter une petite amélioration qui m'a posé de gros problèmes. Je voulais pouvoir visualiser le bon passage du courant dans les accus (en cas de mauvais contact par exemple). Comme la LED du montage ne signale que le fonctionnement de ce qui se trouve en amont (alimentation, redressement, filtrage) il ne me restait que la solution d'inclure en série un milli-ampèremètre sur la sortie du circuit. Or c'est un élé-



ment relativement cher, alors que je n'avais besoin que d'un signal de bon fonctionnement. C'est là qu'un ami m'a apporté la solution car j'ai eu beau triturer la loi d'Ohm dans tous les sens, rien n'y fait. Voici ce qu'il m'a proposé :



Voici donc ce que je n'arrive pas à m'expliquer : Il m'a fallu trois diodes pour obtenir la chute de tension nécessaire à l'illumination de la LED (jusque là je comprends), et tout fonctionne à merveille, alors que j'aurais pensé que la LED, une fois amorcée, dériverait le courant, qui en la traversant, la détruirait, car il n'y a pas de résistance en série pour limiter ce courant. En un mot qu'est-ce qui empêche la LED de se comporter comme un court-circuit et d'être détruite, si le chargeur laisse circuler 400 mA par exemple ? C'est beaucoup d'explications pour une question qui vous paraîtra sans doute naïve, mais à l'occasion, glissez un petit mot d'explication, j'en serai ravi.

JACQUES MAZILIE
16120 CHATEAUNEUF SUR
CHARENTE



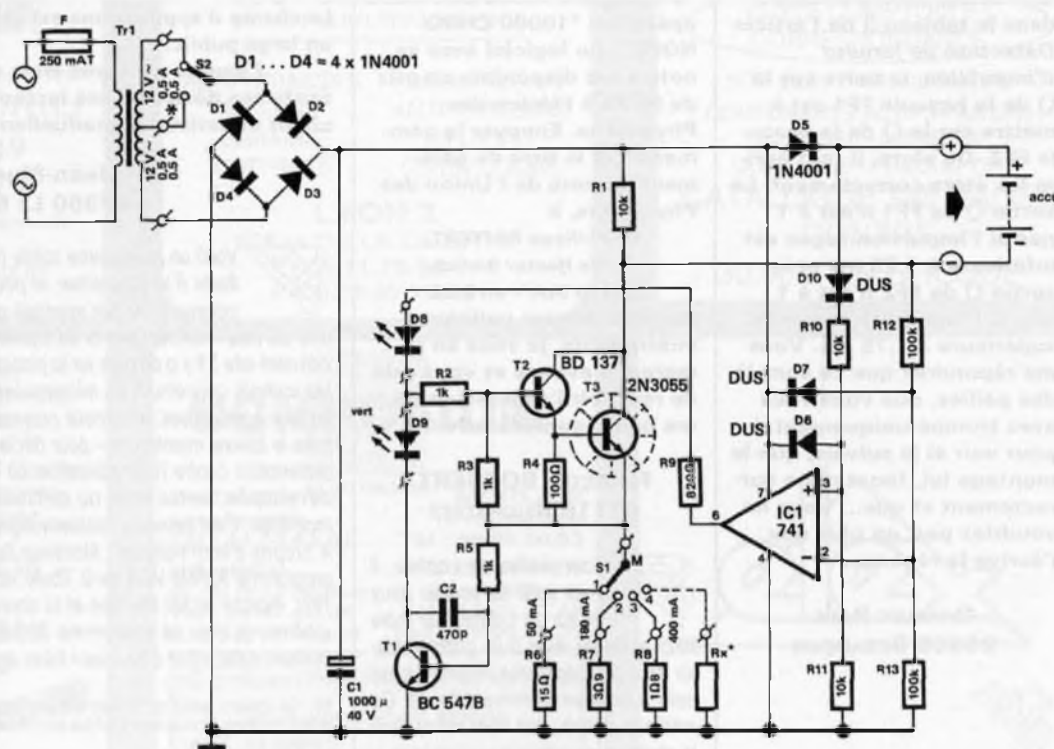
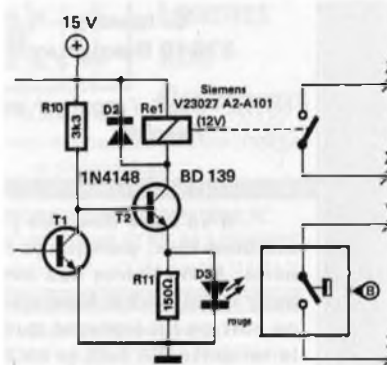
Il est vrai que notre chargeur date un peu. Il serait temps d'en publier un nouveau, avec un plus grand confort d'utilisation (connaissez-vous d'ailleurs celui du n°20 d'Eléx ? Et celui du n°24, du n°25, du n°34 ?). Nous allons nous y mettre pour un prochain numéro. En attendant, vous soulevez un problème classique de la signalisation du courant de service réel. Sur les chargeurs bon marché de fabrication industrielle, on trouve, en série avec l'accumulateur à charger, une diode montée en parallèle sur une des résistances de limitation du courant ; celle-ci a une valeur calculée de telle sorte qu'avec le courant de charge maximal, la chute de tension corresponde en gros à la tension de service de la LED ; mais ces circuits-là n'ont pas de source de courant constant, or nous répugnons à maltraiter ces pauvres accumulateurs. Vous retrouvez ce principe appliqué à D2 et D3 du chargeur du n°24 d'Eléx. Passons. On rencontre assez souvent des témoins de fonctionnement comme le vôtre, montés en série avec la charge, mais pas tellement dans les revues d'électronique. Vous trouverez ci-dessus à droite un exemple que nous avons déniché pour vous dans un circuit de comman-

de de chauffage central. En matière de chargeurs, la meilleure solution est en fait d'incorporer la LED à la source de courant constant. Nous vous donnons ci-dessous l'exemple d'un schéma convenable, avec en prime un circuit de détection d'inversion de polarité des accus (la source de courant constant T1-T2-T3 est bloquée par l'amplificateur opérationnel primo quand il n'y a pas d'accu, secundo quand la tension de service de l'accu est tombée à moins de 1 V (ce qui est néfaste pour la longévité de l'accu) et enfin tertio quand l'accu est monté à l'envers (nota bene : les accus se chargent toujours en série et jamais en parallèle). Pour revenir à votre question (pas du tout naïve, mais vous pouviez y répondre vous-même, en partie au moins) sur la dérivation du courant par la LED, vous êtes-vous donné la peine d'étudier le circuit, multimètre à la main ? Les travaux pratiques, rien de tel... Quel est l'effet de l'adjonction de la LED sur l'intensité du courant global dans votre circuit ? Celle-ci augmente-t-elle ou pas ? Et la tension sur les trois diodes change-t-elle quand vous ajoutez la LED ? Essayez donc avec un multimètre, ou deux si

possible (l'un en voltmètre et l'autre en ampèremètre) : vous verrez qu'un semi-conducteur, quand il conduit, n'est pas assimilable à un court-circuit, tout comme — nous l'avons déjà montré dans Eléx n°14 — un transistor n'est pas assimilable à un potentiomètre. Insérez donc votre multimètre en mode ampèremètre dans le circuit de la LED, puis entre deux des trois diodes et vous vérifierez que si le courant à travers la LED vient se soustraire du courant global, son intensité ne dépassera néanmoins pas la trentaine ou la quarantaine de milliampères tandis que la tension sur la LED reste stable (3 x 0,7 V). Même quand le courant de charge des accus est de 400 mA. C'est là une caractéristique de la LED : à tension stable courant stable. Vous constaterez aussi que lorsque le courant de charge vient à passer sous le seuil des 20 mA, il se répartit équitablement entre les trois diodes d'une part et la LED d'autre part.

Inutile de triturer la loi d'Ohm avant de l'appliquer : nous sommes en présence ici d'un semi-conducteur qui ne se comporte pas comme une résistance ! Il reste alors à comprendre pourquoi l'intensité du courant reste stable sur la LED quand la tension y est stable, alors que dans les diodes ordinaires, aux bornes desquelles règne pourtant une tension tout aussi stable, le courant augmente allègrement... Ouvrez brièvement le circuit des trois diodes tout en mesurant la tension aux bornes de votre LED. L'intensité du courant (disons 400 mA) est commandée par la source de courant, elle ne change pas : et alors que fait la tension ? Vite, refermez le circuit des trois diodes sinon la LED va y rester !

Regardez page 38 de ce numéro, vous y trouverez la caractéristique d'une diode comme celle de D1 à D3 de votre circuit : à partir du seuil de conduction le courant augmente rapidement mais la tension reste quasiment invariable : même quand l'intensité est d'1 A, la tension est encore de 0,6 V. Avec les LED, il en va de même, à ceci près que l'intensité maximale est limitée à une cinquantaine de milliampères, et leur seuil de conduction est plus élevé. Cette fameuse caractéristique des diodes est mise à profit dans les sources de courant constant comme il y en a déjà eu bon nombre dans ELEX (c'est par exemple le rôle de D8 dans le circuit de l'alimentation du n°38). On y reviendra... forcément.



Lecteur inconditionnel depuis le n°1, je désespère de trouver où acheter par correspondance des condensateurs variables de 500 pF ainsi que des réducteurs 1/5 ou 1/6. Ils semblent tous les deux absents de tous les et tarifs que j'ai pu recevoir des annonceurs d'ELEX. Pouvez-vous leur passer un appel ou donner des adresses ? D'autre part, pourriez-vous (comme le bas page 9 n°20 mars 90) publier un quadrillage au pas de 2,54 mm (1/10" de pouce) que nous pourrions photocopier pour établir nos propres CI ? Pour le reste c'est bien, continuez.

C. ISNARD
37510 BERTHENAY



Voilà, l'appel est lancé.
Patientons.

Il va sans dire que j'aime bien Elex, puisque je lui écris. Je ne l'aime pas assez pour le lui écrire, bien que ce soit en lui écrivant que je le lui écris. En fait, je ne lui écris pas pour lui dire que je l'aime, je ne lui écris pas non plus pour lui dire que je ne l'aime pas, je lui écris pour lui dire qu'il s'est fichu le doigt dans l'œil. Dans le numéro d'avril, en plus des âneries habituelles, qui m'ont amusé (elles étaient sûrement là pour ça) j'en ai trouvé une que vous n'avez pas remarquée, sinon vous l'auriez effacée. Une énamure et pas drôle, voire même un nombre pair d'erreurs : dans le tableau 3 de l'article *Détection de largeur d'impulsion*, la barre sur le Q de la bascule FF1 est à mettre sur le Q de la bascule FF2. Ou alors, il faut écrire les états correctement. La sortie Q de FF1 n'est à 1 que si l'impulsion reçue est inférieure à 1,25 ms et la sortie Q de FF2 n'est à 1 que si l'impulsion reçue est supérieure à 1,75 ms. Vous me répondrez que ce sont là des pailles, que vous vous avez trompé uniquement pour voir si je suivais, que le montage lui, fonctionne correctement et que... Vous ne voudriez pas, en plus que j'écrive la réponse.

CHARLES RARE
25000 BESANCON



Monsieur le Rédacteur en Chef,

L'Union des Physiciens lance une opération nationale intitulée : "10000 CHRONOPC" destinée à promouvoir l'utilisation de l'outil informatique auprès de nos collègues de Sciences Physiques et de Mécanique. Pour cela quatre collègues ont mis au point un petit montage et un logiciel très performant, le tout pour moins de 200 FF :

- MESURES DE TEMPS AU 10000^{ème} DE SECONDE SUR COMPATIBLES IBM® PC ET PS.
- CHUTE LIBRE : PROGRAMME PRET À L'EMPLOI AFFICHANT TEMPS, ESPACE, VITESSE ET GRAPHES X(T) Y(T), SAUVEGARDE DES MESURES ET CONVERSION AU FORMAT REGRESSI. FOURNI AVEC SA NOTICE DE 12 PAGES (50 FF).
- Le capteur optique CHRONO PC (disponible tout monté pour 100 FF qui se branche sur la prise imprimante parallèle d'un compatible IBM® PC ou PS).
- Également pour les collègues spécialistes de Turbo Pascal®, l'unité CHRONOPC pour développer soi-même des applications de chronométrage (fournie sur la même disquette, avec des exemples).

J'ai le plaisir de vous envoyer un spécimen de notre logiciel "CHRONOPC CHUTE LIBRE" et sa notice. Je souhaiterais que votre revue se fasse l'écho de notre opération "10000 CHRONOPC". Ce logiciel avec sa notice est disponible au prix de 50 FF à l'Union des Physiciens. Envoyer la commande et le titre de paiement au nom de l'Union des Physiciens, à

M. Philippe BAFFERT,
3, rue Hector Berlioz
94370 SUCY en BRIE

Au nom de mes collègues enseignants, je vous en remercie d'avance et vous prie de recevoir l'expression de ma haute considération.

FRANÇOIS BOSSERT
67116 REICHSTETT



Pour réaliser le capteur, il vous suffit de souder deux fils sur un connecteur mâle DB25 et de les relier à un phototransistor en intercalant une résistance (la notice indique comment faire). Ça mérite le détour, que vous soyez dans la physique ou pas !



A l'occasion de mon réabonnement, je vous écris quelques mots pour vous dire ce que je trouve de bien dans la revue et aussi ce que j'aimerais voir y figurer à l'avenir (opinion personnelle). Les points forts et intéressants de la revue : la BD Rési&Transi, capable en deux ou trois pages de donner une explication qualitative satisfaisante des phénomènes électriques. Analogique anti-choc, système K, les réalisations permettant de mettre en œuvre des composants d'approvisionnement facile, de coût abordable et remplissant des fonctions assez universelles (555, 741, 567 etc). Ce que j'aimerais voir dans la revue à l'avenir : le développement de la rubrique analogique anti-choc – un peu plus de théorie pour quantifier les phénomènes observés. Pour les circuits intégrés utilisés, une mini-fiche descriptive (alimentation, brochage, caractéristiques, utilisations typiques, valeurs des éléments à ajouter pour obtenir un fonctionnement particulier). Commencer à envisager l'utilisation d'appareils de mesure pour visualiser les signaux en différents points d'un montage. Expliquer comment utiliser les appareils. Dans le domaine de la micro-informatique ne serait-il pas possible de commencer une initiation en créant des réalisations utilisant des mémoires (EPROM), des réalisations permettant de lire (en les visualisant) le contenu d'une mémoire préalablement écrite, d'expliquer comment programmer une EPROM de mettre au point un petit automate programmable ? Ne serait-il pas possible de commencer à développer une console pour apprendre à utiliser un microprocesseur 8 bits dans des applications diverses (système de développement d'applications) ? Les revues traitant de ces domaines ne sont pas nombreuses et quand elles existent, le niveau est tel que le débutant est dépassé. Alors pourquoi ne pas essayer de combler ce fossé pour permettre au débutant d'accéder à la connaissance des microprocesseurs (fonctionnement interne). Le champ d'applications est si vaste que cela peut concerner un large public.

J'espère qu'après trois ans d'existence ELEX saura sentir les désirs de ses lecteurs et deviner ce qu'ils recherchent et satisfaire graduellement leur curiosité.

Jean-Marie APATOLIE
77350 LE MEE SUR SEINE



Voilà un programme solide (vous feriez un bon directeur de rédaction) ! Reste à le concrétiser, et pour ça il nous faut plutôt de bons rédacteurs, comme ceux par exemple qui ont déjà mis en chantier la rubrique « la doc ad hoc » en réponse à un besoin souvent exprimé par nos lecteurs. Vous convient-elle ? Il y a du pain sur la planche.

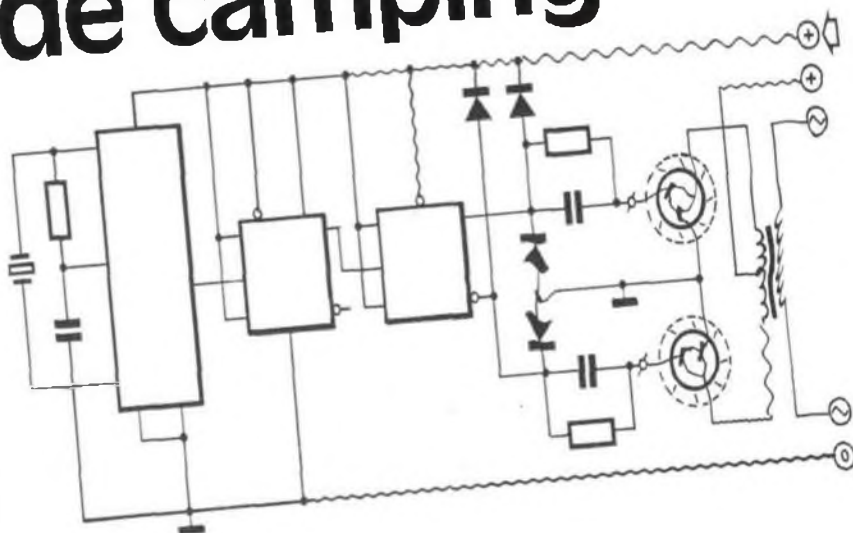
Les souhaits concernant les microprocesseurs apparaissent dans des lettres de plus en plus nombreuses, mais nous croyons savoir qu'il suffit d'en parler ici – comme nous le faisons maintenant – pour déclencher aussitôt un déferlement de lettres de protestation contre l'informatisation. La consommation de micro-informatique s'est développée, certes, mais au détriment de la curiosité pour l'anatomie de ces machines ; c'est devenu « l'infoinformatique ».

A propos d'informatique : Monsieur ROGER RITOUET d'Angers nous signale que le programme SCHEM-VGA de D. Tibule, dont il avait été question dans le n°34 de juin 1991, marche en fait très bien et lui donne entière satisfaction : il ne dessine plus ses schémas qu'avec ce programme. D'après lui, c'est un produit simple, pas cher et qui donnera satisfaction à tous ses « frères en électronique ». Pourquoi pas vous ?

P.S. : Les opinions, surtout quand elles sont personnelles, doivent être partagées. ELEXPRIME est là pour cela. A propos d'opinion, ne vous semble-t-il pas que l'on écrit « ce que j'aimerais y voir figurer » plutôt que « ce que j'aimerais voir y figurer » ?

onduleur de camping

Est-il bien utile d'essayer de vous convaincre de l'(in)utilité d'emporter le 220 V alternatif avec vous en vacances ? La question n'est pas là. Les convertisseurs continu-alternatif occupent une place importante en électronique et le meilleur moyen d'en comprendre le fonctionnement est, comme à l'accoutumée, d'en étudier un et de le fabriquer.



où est la prise ?

tension alternative et diviseur de fréquence

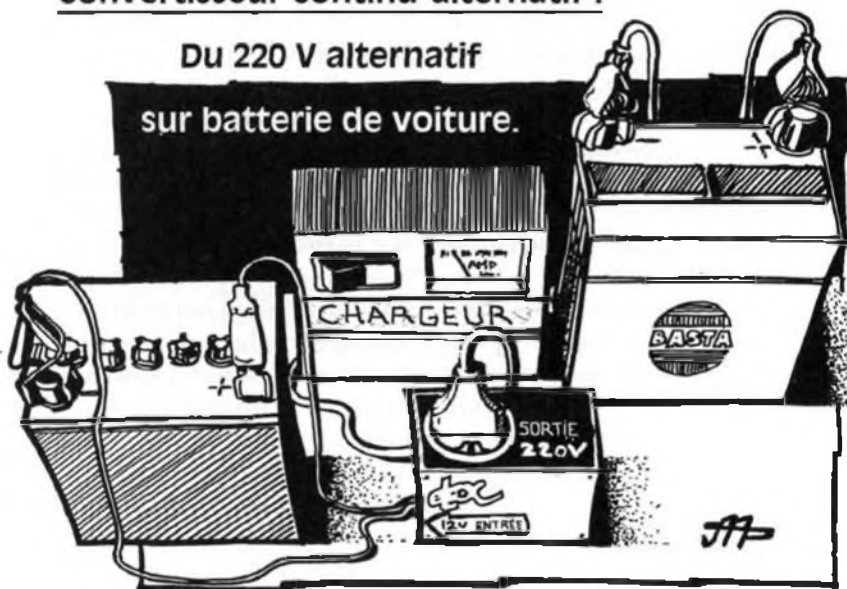
La plupart des campeurs se déplacent en voiture ou à moto (les piétons courageux, de l'espèce randonneur ou trappeur, n'ont pas grand chose à faire du circuit proposé). Ils disposent donc, en règle générale, d'une batterie d'accumulateurs (les piétons qui emportent avec eux une cuisinière électrique aussi : nous ne les excluons donc pas tous). Doivent-ils se passer de leurs appareils ménagers ? En principe oui, puisque ceux-ci fonctionnent sur le 220 V. « Et si on élevait la tension de la batterie, à l'aide d'un transformateur par exemple ? – L'ennui est que le transformateur auquel vous pensez nécessite une tension alternative : en continu, il fournira juste une impulsion à la mise sous tension et se transformera rapidement en résistance de grille-pain à durée de vie très limitée. – Et si nous transformons la tension continue en tension alternative, ce n'est jamais que ce que fait un oscillateur ? – Cela s'appelle une conversion, dans ce cas l'utilisation d'un transformateur est possible et nous appellerons l'ensemble "convertisseur continu alternatif" pour éviter les confusions. »

Au rayon des tensions alternatives, il y a du choix : tensions sinusoïdales (comme celle du secteur), carrées, rectangulaires, triangulaires, c'que-vous-avez-pourvu-qu'ça-marche... La tension idéale est assurément celle qui est "comme chez nous", sinusoïdale et périodique. Malheureusement, sa production électronique ne va pas de soi. En plus de ça, "chez

nous", il n'y a pas que de la tension, il y a aussi du courant : ça débite, et le compteur en sait quelque chose. Voilà quelques problèmes à résoudre. Le mieux est de les traiter un par un. Commençons par produire une tension alternative, même carrée, puisque nous savons le faire, même si elle est de faible énergie : les amplificateurs n'existent pas pour rien.

Convertisseur continu-alternatif :

Du 220 V alternatif
sur batterie de voiture.



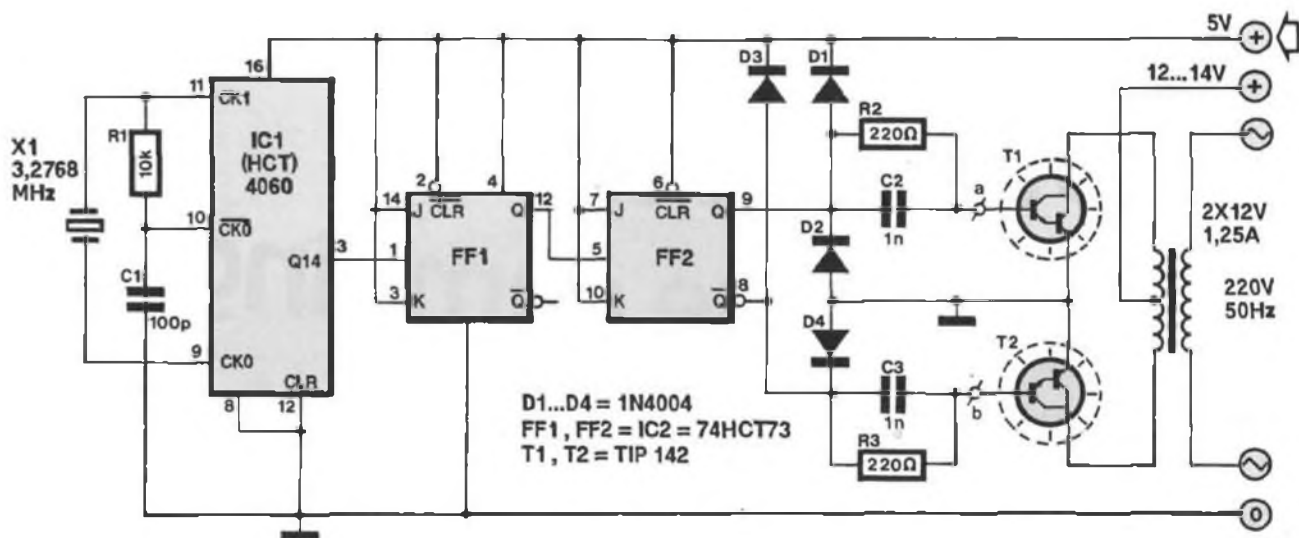


Figure 1 - Les circuits intégrés se contentent de 5 V, encore faut-il pouvoir les leur fournir. Vous trouvez donc, en complément sur la figure, un "convertisseur continu-continu" qui délivre régulièrement ses 5 V à partir des 12 à 14 V de la batterie. Les bascules J-K, FF1 et FF2 sont câblées en bascules T (J et K, même combat !) : leurs sorties changent d'état à chaque front montant appliqué sur leur entrée (J-K). Elles divisent donc par deux, deux fois.

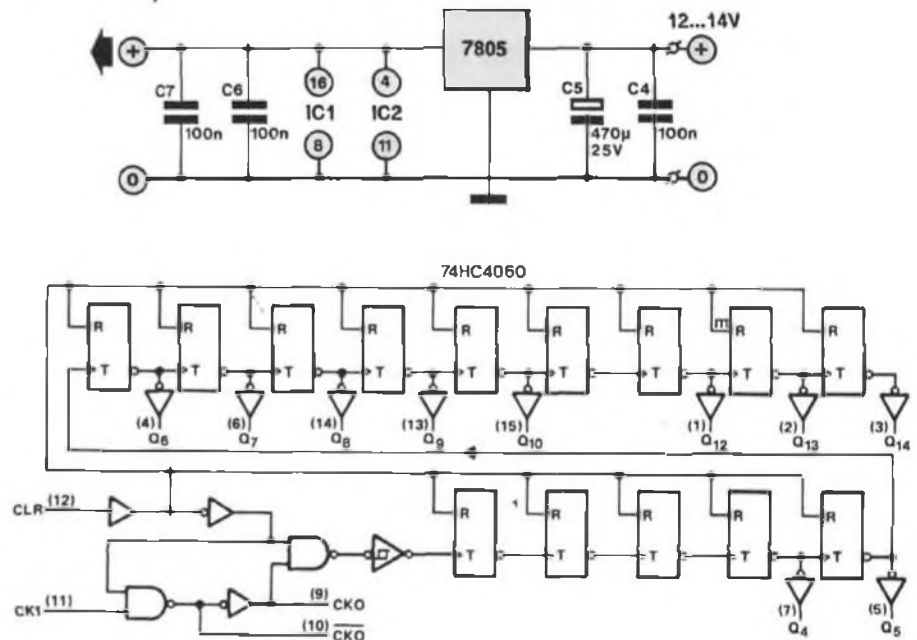


Figure 2 - Les entrailles du 4060 permettent d'en mieux comprendre le fonctionnement. Il est constitué de bascules T câblées en cascade, dont les sorties changent d'état lorsque leurs entrées voient un front montant.

De quels composants disposons-nous pour produire cette tension carrée alternative et périodique de 50 Hz, puisque c'est la fréquence en usage dans nos régions. Prenez la figure 1 et coupez-la en deux par le milieu. Les composants en cause sont sur sa moitié gauche : X1, R1, C1, IC1, FF1 et FF2.

Le composant chargé de battre la mesure, c'est X1, un quartz. Sa fréquence de résonance est de 3,2768 MHz, et pas moins. Il ne peut pas entrer tout seul en résonance, il nous faut l'introduire dans un circuit : IC1 le contient si nous lui adjoignons un condensateur et une résistance.

Voyons IC1, le diviseur par deux à 14 étages, un 4060, plus en détail

(figure 2). Les opérateurs ET-NON et l'inverseur accessibles sur les broches 9, 10 et 11 constituent, avec X1, R1 et C1, l'oscillateur. Sa tension de sortie attaque, à travers un *trigger* de Schmitt, une cascade de diviseurs par deux (simple remarque en passant, toutes les sorties ne sont pas accessibles). À la quatorzième sortie, sur la broche 3 d'IC1, nous récupérons l'oscillation, mais sa fréquence a été divisée quatorze fois par deux (que les matheux nous pardonnent ce qui suit) : diviser quatre fois par deux, c'est diviser par 16 ; diviser huit fois par deux, c'est diviser par 256 ; diviser 14 fois par deux, c'est diviser par 16384. La fréquence du signal sur Q14 est donc de $3276800 / 16384 = 200$ Hz. Sur les

autres sorties : elle est divisée par 2^4 (= 16) sur Q4, ou par 2^{10} (= 1024) sur Q10. Nous n'en avons rien à faire aujourd'hui, pas plus que des 200 Hz de Q14. C'est 50 Hz qu'il nous faut et les deux bascules FF1 et FF2 vont compléter le travail d'IC1 en divisant encore deux fois par deux la fréquence du signal de 200 Hz. Divisons par deux pour commencer : la sortie Q de la bascule FF1 change d'état chaque fois que le niveau sur son entrée d'horloge passe de 0 à 1, donc deux fois moins souvent que celui-ci ; la bascule FF2 fonctionne de la même façon, et nous avons divisé par quatre. Le signal présent sur la sortie Q de FF2 est de 50 Hz, de même d'ailleurs que celui de la sortie $\bar{Q}$, qui lui est direc-

tement opposé : lorsque Q est à + 5 V, $\bar{Q}$ est à 0 V et réciproquement. On dit des signaux présents aux sorties Q et $\bar{Q}$ qu'ils sont en opposition de phase. La première partie du problème est ainsi résolue, carrément résolue pourrions-nous dire, vu la forme de notre signal alternatif. Ajoutons que les diodes D1 à D4 protègent IC2 (et indirectement IC1) du claquage possible des transistors de sortie (T1 et T2).

Le second problème est, comme nous l'avons dit, d'amplification. La dernière bascule, FF2 n'est pas en mesure de délivrer plus de 0,1 mA,

elex-abc quartz

Un cristal de quartz convenablement taillé est piézoélectrique c'est-à-dire que soumis à un champ électrique, il se déforme mécaniquement. Si le champ électrique est variable, les déformations du cristal sont périodiques et, dans certains cas, il se met à osciller à sa fréquence de résonance qui devient celle du circuit dans lequel il est placé. La stabilité en fréquence des oscillations obtenues est très grande.

de 12 V/50 Hz à
220 V/50 Hz

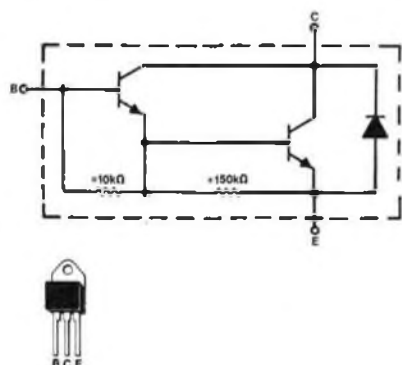
Le transformateur utilisé est bobiné sur un tore⁽²⁾, moins volumineux qu'un transformateur conventionnel et de meilleur rendement. C'est intéressant, ici plus qu'ailleurs, puisque, rappelons-le, c'est une batterie qui fournit la sauce : il faut éviter le gaspillage. C'est aussi la raison qui nous a fait choisir une ondulation rectangulaire. Elle ne fait connaître aux transistors T1 et T2 que deux états : saturé (la tension à leurs bornes est alors minimale et le courant qui les traverse maximal) ; bloqué (courant très faible et tension maximale). Dans les deux cas, la puissance consommée en pure perte est minimale. Comme elle est malheureusement loin d'être nulle, des radiateurs permettront aux transistors de la dissiper sans dommage pour leurs jonctions (qui craignent le chaud : les jonctions au silicium ne doivent pas dépasser 150°C).

N'allez pas croire maintenant que T1 et T2 conduisent les deux en même temps (les quatre, si vous préférez) : ils auraient de la peine, puisque, comme nous l'avons vu plus haut, ils sont commandés à tour de rôle. Les deux transistors conduisent donc alternativement de sorte que le courant constamment variable qui circule dans le primaire du transformateur engendre dans le secondaire, par suite du phénomène d'induction électromagnétique, une force électromotrice alternative de même période. Il n'y a plus qu'à brancher une

pour amplifier, à deux c'est mieux !

alors qu'une charge de 10 à 15 W nécessite un courant de l'ordre de 1 A. Il faut donc amplifier 10000 fois. Le gain d'un transistor ordinaire oscille entre 200 et 500 et celui d'un transistor de puissance n'excède pas 100. La solution vous vient immédiatement : si nous amplifions deux fois d'un facteur 100 par exemple, nous obtiendrons le gain désiré de 10000 (nous multiplions deux fois par cent, ce qui n'est pas la même chose que multiplier par deux fois cent). Un premier transistor, commandé par un petit courant, tient les rênes (on l'appelle *driver*, que nous traduirons librement par "cocher") d'un second, qui est un transistor de puissance (on ne l'appelle pas pour autant "le cheval"). On peut appeler l'ensemble *Darlington* ("tout le monde peut pas s'appeler Cornes d'Aurochs"). Les transistors que

nous utilisons permettent cette multiplication des gains sous un seul emballage, puisque chacun contient deux transistors câblés en Darlington. La figure 3 vous en présente l'architecture. La diode et les résistances incluses (sans supplément) sont destinées à les protéger contre toutes sortes d'ennuis⁽¹⁾. Le fonctionnement de l'ensemble est très simple : le courant attaque en B le premier transistor, qui l'amplifie et le passe au second qui l'amplifie à son tour. Le gain de nos transistors Darlington NPN monolithiques (d'une seule pièce ; on dit aussi "composites") est compris entre 1000 et 10000, variable en fonction de l'intensité du courant de collecteur. C'est tout à fait satisfaisant pour résoudre notre problème de courant. Il nous reste à élever la tension, à la transformer.

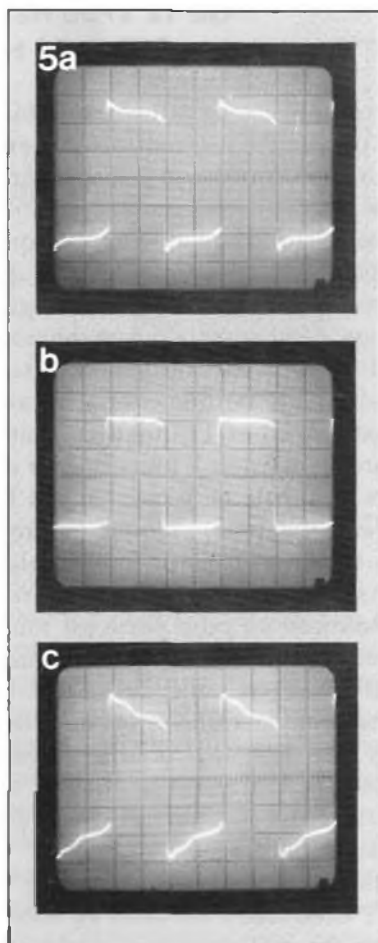


(1) La diode de roue libre permet de travailler sur charge inductive et les résistances évacuent les charges stockées (aux jonctions) pour que le fonctionnement en commutation s'effectue correctement.

(2) Sans aucune parenté avec Transi, ce tore. Il doit son nom à sa forme annulaire, que les géomètres disent "torique", en leur langage.

Tableau 1 - Les quelques valeurs rassemblées ici permettent une comparaison (objective, comme disent les vendeurs) entre un transformateur ordinaire et un transformateur torique. Le transformateur torique en sort à son avantage et la différence de prix se justifie.

	charge	tension de sortie (V _{eff})	courant de sortie au secondaire (mA _{eff})	courant au primaire (mA _{eff})
transformateur "ordinaire" 2 × 12 V/1,25 A tension d'alim. 13,33 Vcc	—	220	0	272
	résistive 5 kΩ	197,5	37,8	840
	résistive 5 kΩ + rasoir (10 W)	193,5	70,5	1215
	rasoir (10 W)	224	56,2	850
transformateur torique 2 × 12 V/1,25 A tension d'alim. 14,59 Vcc	—	220	0	58,4
	résistive 5 kΩ	202,5	38,8	647
	résistive 5 kΩ + rasoir (10 W)	195,5	72	1000
	rasoir (10 W)	224	56,2	520



liste des composants

$R1 = 10 \text{ k}\Omega$
 $R2, R3 = 220 \Omega$

$C1 = 100 \text{ pF}$
 $C2, C3 = 1 \text{ nF}$
 $C4, C6, C7 = 100 \text{ nF}$
 $C5 = 470 \mu\text{F}/25 \text{ V}$

$D1 \text{ à } D4 = 1 \text{ N } 4004$

$T1, T2 = \text{TIP } 142$

$IC1 = 74 \text{ HC(T) } 4060$

(compteur binaire
à 14 étages et oscillateur)

$IC2 = 74 \text{ HC(T) } 73$

(double bascule J-K
avec entrée de remise à zéro)

$IC3 = 7805$

(régulateur de tension positive)

$X1 = \text{quartz } 3,2768 \text{ MHz}$

transformateur torique

$2 \times 12 \text{ V} / 30 \text{ VA}$ (par ex. ILP 11012)

platine d'expérimentation de format 1

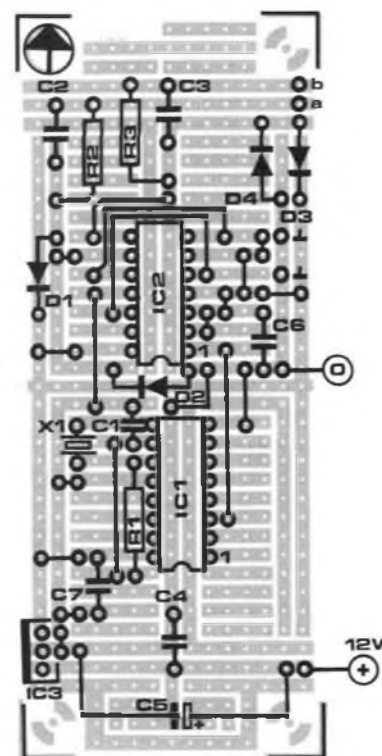


Figure 4 - Les transistors de sortie ne sont pas montés sur la platine : leurs radiateurs ne le permettent pas.

Figure 5 - Les oscillogrammes donnent l'image de la tension de sortie pour diverses charges : a - à vide (blaireau et coupe-choux !) ; b - lampe à incandescence ; c - rasoir électrique.

charge et à observer le comportement du générateur.

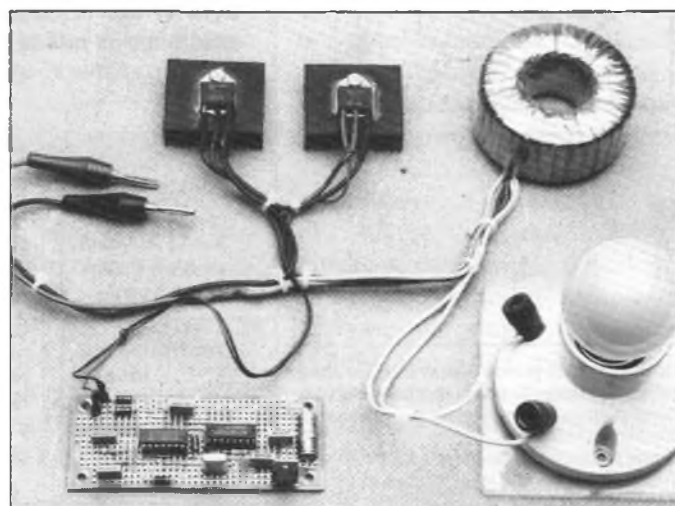
la bête à l'œuvre

Pour tester notre générateur nous l'avons fait débiter sur différentes charges et en utilisant deux types de transformateur. Les résultats de ces quelques mesures sont rassemblés dans le tableau 1. Elles permettent de constater que le transformateur torique est moins gourmand que son homologue classique : le courant qui circule à vide dans le circuit primaire donne une idée des pertes. Les tensions d'alimentation annoncées sont celles qui permettent au prototype de fournir, en l'absence de charge, les 220 V précisément pour lesquels nous l'avons fabriqué. En utilisation courante, il en va évidemment différemment : une batterie de 12 V suffit, même si, fraîchement chargée, elle affiche 14 V. Si vous procédez vous-même aux mesures, méfiez-vous des indications de vos multimètres, analogiques en particulier. Ces appareils sont étalonnés pour donner la valeur efficace de tensions alterna-

tives sinusoïdales. En divisant votre lecture par 1,11, vous aurez une idée plus juste de la réalité.

Les photos de la figure 5 démontrent une autre propriété du générateur : la charge influence non seulement l'amplitude de la tension mais aussi sa forme. Le cliché 5b illustre, si cela était nécessaire, que la charge qui déforme le moins le signal de sortie est une charge purement résistive, celle d'une lampe à incandescence par exemple.

La nature carrée du signal alternatif produit par notre générateur en limite les usages. La plupart des appareils électroniques ne se sentiront pas très bien à ses bornes. Si, en revanche, vous ne pouvez pas vous passer de mixer, rasoir électrique ou brosse à dents du même poil, aucun problème. Il faut seulement veiller à ce que les appareils ne consomment pas plus de 10 à 15 W. La perceuse à percussion et le peigne soufflant, par exemple, vous attendront sagement à la maison : n'ont-ils pas eux aussi droit à des vacances ? 87657



Quoi de plus simple qu'une pile et pourtant, depuis 1800, des hommes de laboratoire les étudient et les perfectionnent. Nous vous proposons de vous pencher un très bref instant (compte tenu du sujet) sur leur fonctionnement. Après quoi vous pourrez en fabriquer une, sans risquer de vous salir et avec des moyens dont on disposait aux âges du bronze et du fer réunis : vous nous en direz des nouvelles !

En entrée, piles parthes et sassanides

(au vinaigre), puis pile de Volta et

Galvani (spécialité italienne)

accompagnant la noblesse des métaux et,

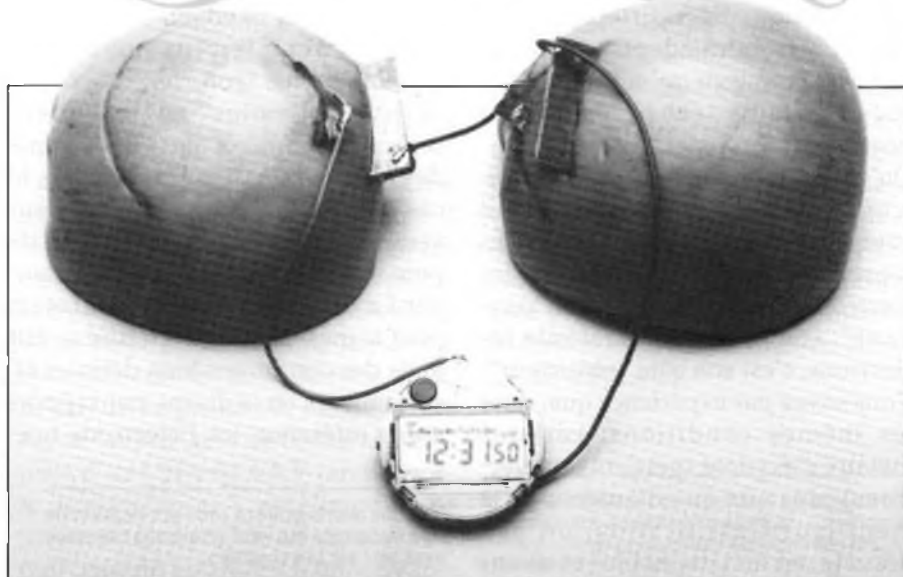
pour finir, pile montée façon Tatin

Des fouilles, aux environs de Bagdad, ont mis à jour un curieux pot de terre. Celui-ci contient un cylindre de cuivre qui entoure (sans la toucher) une tige de fer fixée sur son couvercle. Des objets semblables, mais beaucoup moins bien conservés, ne sont pas rares dans les fouilles concernant l'ancienne civilisation parthe (deux siècles avant notre ère) et plus tard, la dynastie Sassanide (226-641 après Jésus-Christ) aux environs de Ctésiphon. Le pot découvert à Bagdad, encore en bon état, permet de conclure : il ne peut s'agir que d'un élément de pile électrique. La tension mesurée à ses bornes, si on le remplit de vinaigre (acide acétique), électrolyte connu à l'époque, est de 0,5 V. Des spécialistes laissent penser que cette source de courant électrique était utilisée pour le dorage ou l'argentage des bijoux dont cette région, actuelle Irak, était grande exportatrice au temps de Jules César. Nous ne sommes pas en mesure, aujourd'hui à ELEX, de discuter cette information dont font état, non sans précautions, des spécialistes reconnus du revêtement électrolytique des métaux.

Plus près de nous, à la fin du dix-huitième siècle, des grenouilles (sans doute pour le remercier de ses soins attentifs) permettaient à Galvani, médecin de son état, d'étudier ce qu'il croyait être l'électricité animale⁽¹⁾. Son grand mérite est d'avoir voulu comprendre et expliquer un phénomène dont Volta lui fournit la bonne interprétation. En renouvelant l'expérience de Galvani, à la lumière de connaissances précédemment acquises, Volta ébaucha sa classification électrique des métaux. Ses recherches aboutirent à l'invention de la pile qui porte son nom⁽²⁾.

La pile de Volta est un empilement, d'où son nom, d'éléments galvaniques. Les éléments sont câblés en série et/ou en parallèle. Ainsi, la pile de 9 V que vous achetez dans le commerce est composée de six éléments galvaniques de 1,5 V et la pile de 1,5 V, d'un seul élément. L'élément de Volta était constitué de deux disques de métal, l'un de cuivre et l'autre de zinc, séparés par une rondelle de drap ou de carton imbibé d'une solution d'acide sulfurique, l'électrolyte (figure 1). Les éléments, empilés les uns sur les autres, étaient donc en série et permettaient d'obte-

Piles au Menu



⁽¹⁾ Il ne sera à nouveau question d'électricité animale qu'au siècle suivant, dans les recherches du physiologiste allemand Du Bois-Reymond.

⁽²⁾ L'étude de Volta dura de 1792 (date à laquelle il prend connaissance des travaux de Galvani) à 1800 (date de "sortie" de la pile) : les choses se font moins vite qu'elles ne se disent.

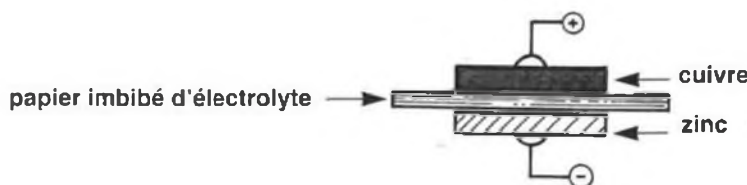


Figure 1 - « L'organe électrique artificiel » (à l'époque, l'électricité était surtout naturelle et produite par le poisson torpille) de Volta était composé d'éléments de ce genre. Deux métaux différents, séparés par une rondelle de drap ou de papier imbibé d'acide, suffisent à engendrer une tension.

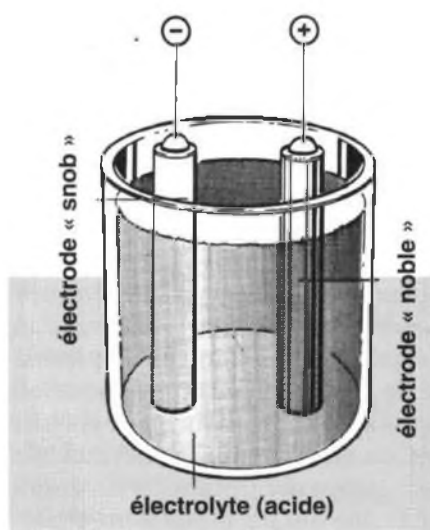


Figure 2 - Vous avez peut-être plus l'habitude de vous représenter une pile de cette façon ?

nir une tension plus élevée, mais diminuant rapidement par suite de la polarisation des électrodes dont nous parlons plus loin.

la noblesse des métaux

D'où vient la différence de tension entre les deux électrodes ? Elle est due à un phénomène d'oxydo-réduction, c'est-à-dire à un échange d'électrons. D'une façon un peu "réductrice", on peut dire : un réducteur (métal, par exemple) cède des électrons à un oxydant (un acide, par exemple) qui devient de ce fait réducteur pour un autre oxydant, auquel il cède des électrons. Autrement dit : un oxydant capte des électrons à un réducteur, l'oxydant prend alors une forme réduite, il devient réducteur pour un autre oxydant qui lui prend, s'il le peut, ses électrons. C'est dire qu'un oxydant, ou une forme oxydée, est une molécule ou un ion susceptible de capter un ou plusieurs électrons, et qu'un réducteur, ou une forme réduite, est une molécule ou un ion susceptible de céder un ou plusieurs électrons. On peut essayer de dire les choses plus simplement : un métal (anode) est oxydé par un acide, qui lui-même subit une oxydation d'un autre métal (cathode). Les choses peuvent se passer dans deux bacs différents avec deux électrolytes adaptés à chaque électrode, pourvu qu'entre les deux bacs certains échanges soient possibles.

Qu'est-ce maintenant qu'un générateur ? Une "pompe" qui cède d'un côté des électrons et de l'autre les reprend. Son pôle plus absorbe les électrons, c'est donc son côté "oxydant", son pôle moins refoule les électrons, c'est son côté "réducteur". Vous savez par expérience que, dans les mêmes conditions, certains métaux s'oxydent (perdent des électrons) plus vite que d'autres : de là vient leur classification, un peu désuète, en métaux nobles et moins

nobles. Ils sont classés, plus scientifiquement, du moins réducteur (le plus oxydant et le moins oxydable), l'or, au plus réducteur (le moins oxydant et le plus oxydable), le lithium. L'or est donc le plus noble et le lithium le plus "roturier"⁽³⁾.

"Plus" ou "moins" ne présentent cependant d'intérêt que s'il n'y a que deux valeurs à distinguer. Dans le cas présent, "plus" ou "moins" peuvent se ramener à des différences de potentiel : on parle du potentiel standard d'un corps (métal ou non) et on peut le mesurer. Cette mesure se fait dans des conditions bien définies et, ça va mieux en le disant, par rapport à une référence, ici, l'électrode nor-

⁽³⁾ Nous avons préféré *snob* abréviation de *sine nobilitate* qui veut dire "sans noblesse", mais ne l'est pas toujours.

Tableau 1 - Potentiels standards d'électrode (référence : électrode normale à hydrogène) du plus « snob » au plus « noble ».

électrode	potentiel normal
potassium	-2,92
baryum	-2,90
calcium	-2,87
sodium	-2,72
magnésium	-2,34
aluminium	-1,65
manganèse	-1,18
zinc	-0,76
chrome	-0,74
fer	-0,44
étain	-0,14
plomb	-0,13
référence	0,00
cuivre	+0,34
argent	+0,80
mercure	+0,86
or	+1,50

elex-abc

tension à vide

La tension à vide est la tension mesurée aux bornes d'un générateur qui ne débite pas de courant, un générateur sans charge.

male à hydrogène (il n'y a pas que des métaux dans cette classification !). Le résultat de la mesure du potentiel standard de quelques métaux est donné dans le **tableau 1**. À partir de là, il semble que rien ne soit plus simple que de fabriquer un élément de pile de tension connue. C'est aller un peu vite en besogne : qu'en est-il de l'électrolyte ? Nous vous en dirons peu, non pas que nous voulions conserver le secret de nos sauces, mais parce que le sujet réclame plus de place que nous ne pouvons lui en consacrer. Sachez seulement qu'un électrolyte contient des ions, c'est-à-dire des charges électriques. Les métaux de leur côté ne sont pas toujours dans l'état souhaitable. L'aluminium, par exemple, se protège dès son premier contact avec l'oxygène de l'air, par une

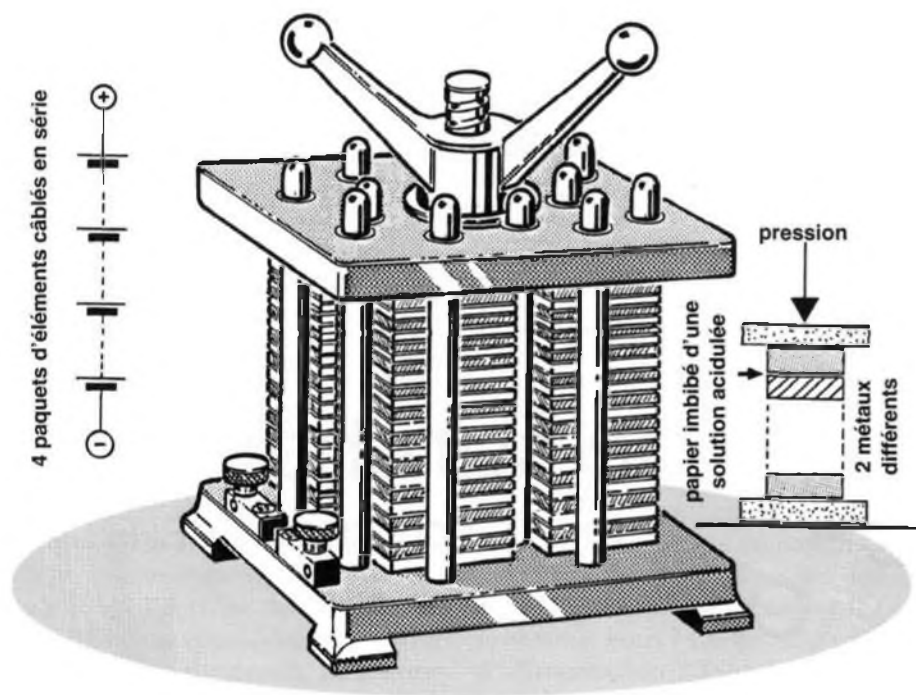


Figure 3 - Voilà une pile que n'aurait pas reniée Volta, faite d'un grand nombre d'éléments galvaniques en série.

couche d'oxyde (alumine) qui en modifie considérablement les qualités d'électrode. Le potassium n'a pas cette chance, son oxyde ne fait pas barrage à l'oxydation qui est foudroyante. Prenons plutôt le plomb, et un métal moins noble que lui dans cette classification, le zinc. Nous devrions obtenir, avec un électrolyte adéquat, une pile (son pôle plus est le plomb) aux bornes de laquelle nous pourrions mesurer une tension de $0,76 - 0,13 = 0,63$ V. Nous mesurerons éventuellement cette tension si la pile ne débite pas. Si nous lui laissons débiter du courant dans un circuit, la chute de tension provoquée par sa résistance intérieure risque d'être grande. Cette résistance intérieure est due en (faible) partie à la forme des électrodes, leur surface et leur éloignement l'une de l'autre sont tout aussi déterminants. Nous ne vous parlons pas des réactions chimiques, dont les vitesses sont limitées, et qui ne se développent pas toutes dans le sens désiré par l'utilisateur : elles augmentent d'autant plus la chute de tension que la demande en courant est importante et cette chute de tension augmente avec l'âge de la pile dont les électrodes se polarisent. Cette polarisation, nous l'expliquerons simplement en disant que le fonctionnement de la pile modifie les

électrodes de telle façon qu'une seconde pile est créée à l'intérieur de la première, en opposition avec elle : on parle alors de force contre-électromotrice. Pour une fois, on ne mettra pas tout sur le compte d'Ohm. Enfin, les réactions chimiques se poursuivent lorsque la pile ne débite pas. Un peu de repos lui profite parfois et vous avez sans doute déjà constaté qu'une pile retrouvait un second (quoique bref) souffle après un abandon temporaire. À l'opposé, un abandon prolongé lui est rarement bénéfique : une vieille pile, neuve ou considérée comme morte, peut exploser et laisser échapper un liquide plus ou moins corrosif : en reprendrez-vous ou pouvons-nous passer au dessert ?

pile montée

La préparation de ce dessert ne nécessite que peu d'ingrédients. Il faut, pour commencer, en choisir les électrodes. La combinaison éprouvée par Volta s'impose. Le pôle positif de votre pile sera donc fait d'une chute de cuivre : bout de tube, reste de circuit imprimé ou, même si elle est en laiton, lame de contact provenant d'une pile de 4,5 V (archi-morte de préférence). L'enveloppe d'une pile (cuite) de 1,5 V en zinc, ou un morceau de gouttière bien galvani-

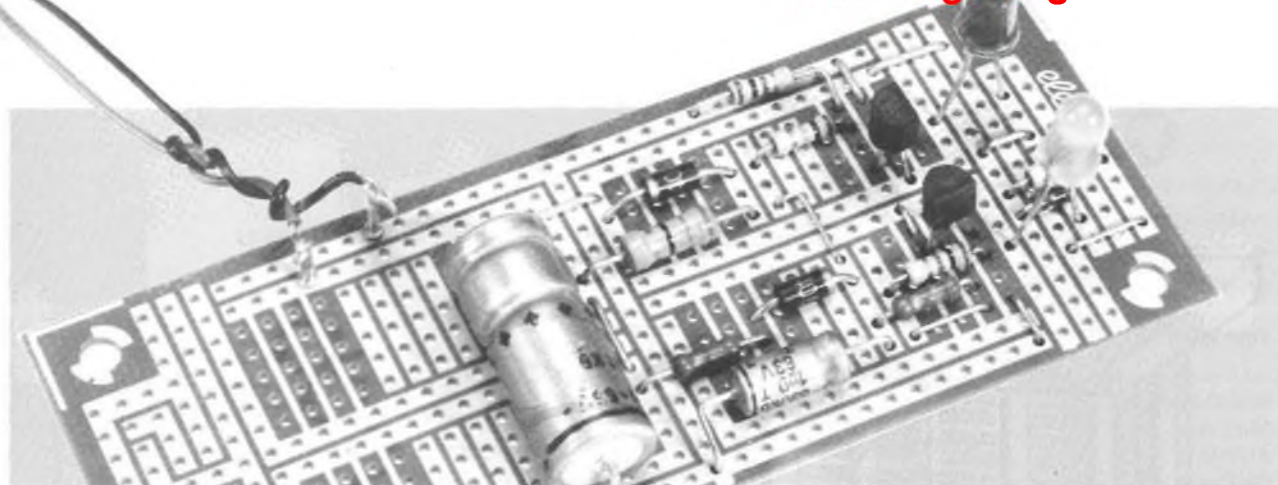
sée (tôle recouverte de zinc fondu) si elle n'est pas de zinc pur, prendra la place du pôle négatif. L'électrolyte, ensuite : il sera solide ou liquide et, selon la saison, pomme, poire, orange, citron ou jus (non sucré) de ces fruits. Si vous préférez le vinaigre, libre à vous, c'est aussi un électrolyte qui a fait ses preuves. Ensuite, tout n'est plus qu'une question de présentation. Compte tenu de ce que nous avons dit, la distance entre les électrodes et leur surface en contact avec l'électrolyte permet, dans certains cas, de diminuer (peu) la résistance intérieure de la pile. Avec les électrodes que nous avons prises (cuivre/zinc) la **tension à vide** avoisinait 1 V mais le débit n'excédait pas quelques milliampères.

l'heure aux pommes

Il est possible que nos lecteurs normands appliquent les connaissances rapportées ici à la protection de leurs vergers⁽⁴⁾... Plus proches de la Suisse, nous en sommes restés à l'horlogerie. Notre pile à la Tatin nous a permis d'alimenter une montre à quartz à affichage à cristaux liquides, vous savez, du genre de celles qu'on gagne dans les loteries et dont les piles de rechange sont introuvables. Nous avons câblé deux pommes en série, chacune munie d'une électrode de cuivre et d'une électrode de zinc. Nous avons ainsi eu l'heure exacte (celle de l'observatoire chronométrique de Neuchâtel) pendant près d'un mois. L'heure d'hiver, parce que pour l'heure d'été, à moins de conserver le plat au frais, il faut compter avec les bactéries qui dévorent plus d'énergie que les montres (même si elles produisent en échange du méthane).

87656

⁽⁴⁾Pour diminuer la résistance intérieure d'un générateur à l'échelle du verger, il est fortement conseillé de câbler les pommes en parallèle !



indicateur optique

de surcharge

pour enceintes Hi-Fi

Un "instrument de musique" comme une chaîne Hi-Fi ne sonne vraiment bien que si le volume en est raisonnablement élevé : si elle joue en sourdine, adieu les graves et les aigus ! Ils sortent, mais nous ne les sentons pas. Ce phénomène est une conséquence du fait que nos oreilles sont, de nature, beaucoup moins sensibles aux sons de fréquences élevées ou basses. Lorsque le volume global diminue, elles entendent mal les sons qui avoisinent les limites du spectre audible. Le son semble perdre en couleurs lorsqu'il perd en volume : il pâlit autant qu'il s'amaigrit — seules les fréquences médianes ont assez d'énergie pour être perçues nettement. Pour élargir le spectre perçu, et compenser cette surdité sélective, il faut mettre la sauce. Malheureusement, la musique à volume élevé provoque des surdités précoces, détériore les rapports avec le voisinage et, ce qui est pire encore, les enceintes. Les deux premiers points ne sont pas de notre ressort, mais un magazine d'électronique comme ELEX, se doit d'aborder le troisième. Sans cachet, sans injection, un exercice de tout repos.

What is watt (Watt ? Qu'est-ce ?)

La question des watts, à propos des enceintes acoustiques, est une source d'embrouilles. La croyance répandue qu'une enceinte de 50 W donne plus qu'une enceinte de 25 W n'est pas des plus exactes. Cette quantité de watts gravée sur les enceintes, ou indiquée par leur notice, ne concerne qu'une de leurs caractéristiques : ce qu'elles peuvent encaisser sans dommage. Il est facile d'en déduire que le meilleur moyen de les bousiller(*)

est de les raccorder à un amplificateur susceptible de leur fournir une puissance supérieure à celle pour laquelle elles ont été prévues. Les détériorations sont alors d'ordre électrique ou mécanique, ou les deux à la fois. Électriquement, un courant d'intensité trop élevée risque de transformer le bobinage du haut-parleur en résistance de grille-pain ; mécaniquement, la membrane agitée trop énergiquement d'avant en arrière, finit par se déformer définitivement, et de telle façon que la bobine reste coincée. Pour éviter qu'un haut-parleur ne rende l'âme des suites d'un tel surmenage, une surveillance attentive de la puissance que lui délivre l'amplificateur est donc nécessaire. Un circuit nous informant des surcharges dont les enceintes ont à souffrir, nous permettra de l'exercer.

La puissance délivrée est, ici comme ailleurs, proportionnelle au carré de la tension (efficace) et inversement proportionnelle à l'impédance de la charge. Connaissant la charge, le haut-parleur, nous pouvons accéder à la puissance en mesurant la tension à ses bornes. Notre "wattmètre" (c'est à proprement parler un VU-mètre à LED) opère selon ce principe.

(*) Le verbe "bousiller" s'écrivait déjà comme ça en 1554, sous Henri II, vous savez, celui auquel Montgomery tapa dans l'œil.

(**) Et non l'Édit de Villers-Cotterêts (1539), puisque ce n'est pas un édit mais une ordonnance qui obligea Elex, au lieu du latin, d'utiliser le français.

Tableau 1 - Quand la tension aux bornes des haut-parleurs et leur impédance sont connues, ces quelques formules permettent de calculer la puissance de l'amplificateur à un moment donné. Comme les utilisateurs d'oscilloscope préfèrent les valeurs de tension crête à crête, qui leur sont plus accessibles, nous leur rappelons à quoi elles correspondent (la tension crête à crête d'un signal sinusoïdal est $\sqrt{2}$ fois la tension efficace). Les plus paresseux sont évidemment restés au rez-de-chaussée de ce tableau destiné à leur éviter de fastidieux calculs : le "cc" en indice est là pour crête à crête (tt pour *top-top* chez Philips où l'on ne distingue plus vraiment le néerlandais de l'anglais ; ss pour *Spitze-Spitze* chez Siemens où l'on a les abréviations que l'on mérite).

indicateur à LED passif

Non seulement la tension prise en sortie d'amplificateur commande l'indicateur, mais en plus, elle l'alimente : voilà pourquoi nous qualifions celui-ci de passif, bien que ses composants, diodes et transistors, soient, heureusement, actifs (fig.1). Qu'elle est l'activité de ces composants ? Si nous considérons ceux qui sont à l'entrée du circuit, ils redressent les alternances de la tension fournie généreusement par l'amplificateur. La diode D1 redresse les

semi-alternances négatives, puis injecte à la base des transistors de mesure (nous avons ainsi (presque) tout dit de l'action des autres composants) le courant continu obtenu ; la diode D2 alimente en continu les dits(**) transistors à partir des demi-alternances positives. Vous voyez un problème, vous ? Où ça ? La tension d'alimentation ? Trop faible ? Les transistors s'en soucient comme d'une guigne. Soit : son amplitude affectera la clarté de l'indication,

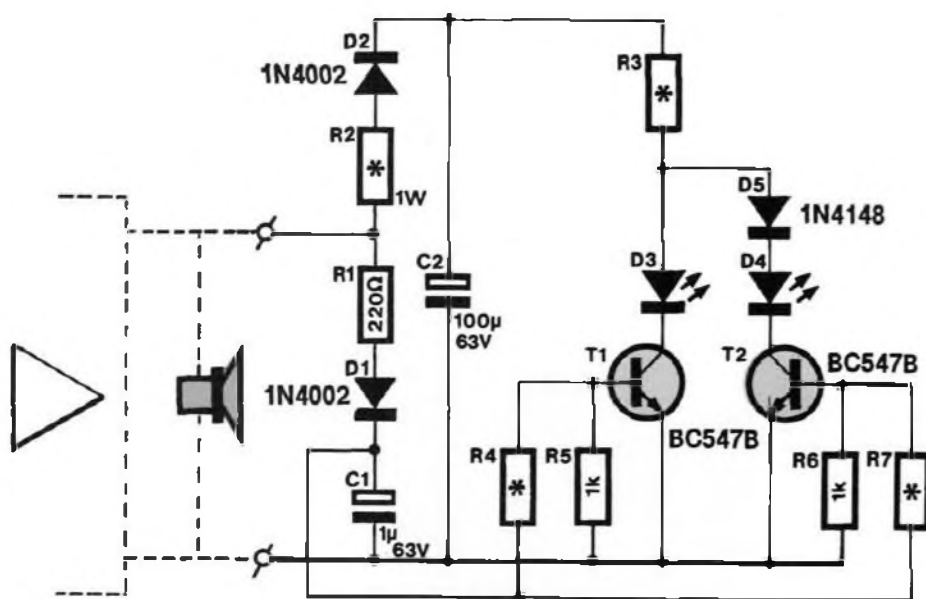


Figure 1 - Le signal fourni aux haut-parleurs commande ce circuit et en plus l'alimente : ce qui lui vaut le qualificatif de "passif". La composition des diviseurs résistifs, alimentant les bases des deux transistors, détermine la tension (et donc la puissance), en sortie d'amplificateur, à partir de laquelle le seuil de conduction de leur jonction base/émetteur est franchi. Lorsque la LED D4 commence à briller, la moitié de la puissance maximale est atteinte.

mais non son exactitude. La sensibilité du circuit dépend uniquement de la valeur de la tension disponible à la base des transistors. Dès que celle-ci dépasse de 0,6 V la tension régnant sur l'émetteur, le transistor conduit, indépendamment de la tension qui règne sur son collecteur (évidemment, il n'est pas à la mas-

se). Le fonctionnement du circuit n'est pas pour autant élucidé, puisque nous ne savons pas encore pourquoi un dépassement du seuil de 0,6 V est obtenu à partir d'une certaine puissance. Combien de watts ? À partir de la tension mesurée aux bornes du haut-parleur, connaissant son impé-

Tableau 1.

$$P = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{Z}$$

d'où il découle :

$$P_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}^2}{Z} \quad \text{où } Z \text{ est l'impédance des HP (} Z = 8 \Omega \text{ ou } 4 \Omega \text{)}$$

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{4 \cdot P} \quad (Z = 4 \Omega)$$

ou

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{8 \cdot P} \quad (Z = 8 \Omega)$$

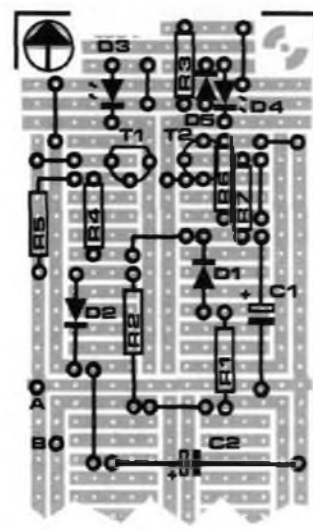
Conversion en valeurs crête-à-crête :

$$U_{\text{cc}} = 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{4 \cdot P} \quad (Z = 4 \Omega)$$

ou

$$U_{\text{cc}} = 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{8 \cdot P} \quad (Z = 8 \Omega)$$

P [W]	$U_{\text{eff}} 4 \Omega$ [V]	$U_{\text{cc}} 8 \Omega$ [V]
1	4	5,7
2	5,7	8
4	8	11,3
10	12,5	17,9
20	17,9	25,3
40	25,3	35,8



liste des composants

R1 = 220 Ω
R2, R3, R4, R7 : cf. tableau 2
R5, R6 = 1 k Ω

C1 = 1 μ F/63 V
C2 = 100 μ F/63 V

T1, T2 = BC 547B
D1, D2 = 1N4002
D3 = LED (rouge)
D4 = LED (jaune)
D5 = 1N4148

platine d'expérimentation
de format 1

dance, ça n'est pas difficile à calculer. Nous n'avons pas reculé devant la facilité : voici le mode de calcul et les résultats en deux tableaux. Le rapport entre les résistances R4 et R5 (respectivement R6 et R7) détermine à quelle tension (et donc à quelle puissance) l'indicateur correspond. La limite à fixer dépend essentiellement des enceintes. Grâce aux deux tableaux, vous ne devriez avoir aucune difficulté à déterminer vous-même les seuils correspondants.

Il va de soi qu'une seule LED et un seul transistor auraient suffi. En utiliser deux n'est cependant pas un luxe inutile puisque la seconde LED avertit de l'approche du seuil. Elle s'éclaire pour une puissance inférieure à la puissance critique et s'éteint lorsque la LED d'avertissement à proprement parler (D3) entre en action. Pratiquement, il suffisait de donner à la résistance R7 une valeur inférieure à celle de R4, de sorte que le seuil de conduction de T2 soit atteint plus tôt que celui de T1. Ceci n'explique cependant pas pourquoi D4 (la LED jaune) s'éteint au moment où D3 s'éclaire. Un simple coup d'œil sur la figure 1 vous le fait comprendre. Vous y remarquez bien sûr la diode D5. Lorsque les deux transistors conduisent, D3 est pratiquement en parallèle avec la combinaison D4/D5. La tension aux bornes de D3, lorsqu'elle éclaire (en rouge ordinaire) est de 1,5 V. Cette tension ne permettrait même pas à la diode D4 de conduire (son seuil est de 2,3 V vu qu'elle est jaune) et comme elle doit en plus partager avec D5 : il faudrait, aux bornes de l'ensemble une tension supérieure à 3 V. La jaune s'éteint donc, quand la rouge s'allume, ce qui est excellent pour la circulation, comme n'eût pas manqué de le faire remarquer le major Mauve(***).

où placer le circuit ?

Si vous avez fabriqué vous-même vos enceintes ou si vous voulez les fabriquer, vous n'aurez pas à chercher très loin : le montage y trouvera parfaitement de quoi se loger. Si les enceintes vous ont été livrées

toutes tricotées, ne vous fatiguez pas à essayer de les ouvrir : c'est souvent impossible et lorsque c'est possible, ça ne va pas sans peine. Dans ce cas, montez la platine dans un coffret séparé, son fonctionnement n'aura pas à en souffrir. Si de plus ce cof-

fret est pourvu d'une élégante face avant, en aluminium anodisé par exemple, vous pourrez le disposer sur un baffle ou à proximité de l'amplificateur : ça ne détonnera pas plus que ça ne détonnera, même si ça en jette et si ça étonne.

86796

Tableau 2

	rouge	jaune	R2 *	R3	R4	R7
4 Ω	2 W	1 W	39 Ω	180 Ω	5,6 kΩ	3,9 kΩ
8 Ω			56 Ω	330 Ω	10 kΩ	5,6 kΩ
4 Ω	4 W	2 W	56 Ω	330 Ω	10 kΩ	5,6 kΩ
8 Ω			82 Ω	560 Ω	15 kΩ	10 kΩ
4 Ω	10 W	5 W	82 Ω	560 Ω	15 kΩ	10 kΩ
8 Ω			120 Ω	1 kΩ	22 kΩ	15 kΩ
4 Ω	20 W	10 W	120 Ω	1 kΩ	22 kΩ	15 kΩ
8 Ω			180 Ω	1,5 kΩ	33 kΩ	22 kΩ
4 Ω	40 W	20 W	180 Ω	1,5 kΩ	33 kΩ	22 kΩ
8 Ω			220 Ω	2,2 kΩ	47 kΩ	33 kΩ

* R2 = 1 W

Tableau 2 - Il ne vous reste plus qu'à choisir vos résistances de mesure (R2, R3, R4 et R7). Dans la colonne "rouge" (correspondant à la LED rouge) sont affichées diverses puissances maximales d'enceintes (ce qu'elles peuvent encaisser sans dommage et qui vous est indiqué par le fabricant) et à droite les valeurs des résistances : les valeurs du haut correspondent à des haut-parleurs de 4 Ω, celles du bas, à des haut-parleurs de 8 Ω. La résistance R2 devra dans tous les cas (?) pouvoir dissiper une puissance de 1 W.

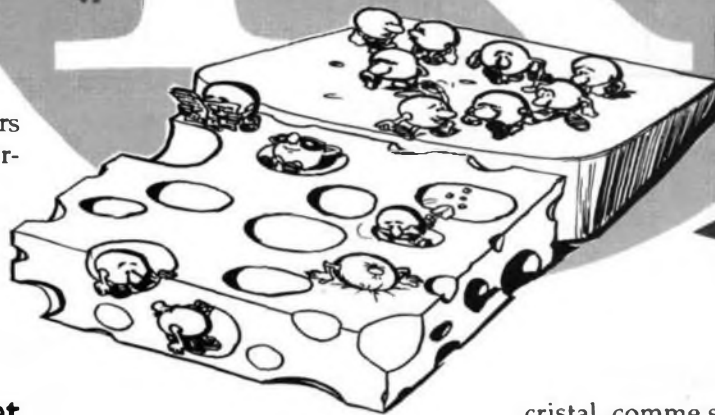


*** Exerçait ses talents à Saint-Rémy-sur-Deule à la fin du siècle dernier. Serait-il devenu général si ses parents l'avaient prénommé Guy ?

K

système

les avatars du transistor : le commutateur



Après les résistances, les condensateurs et les diviseurs de tension, nous abordons un domaine propre à l'électronique : les semi-conducteurs. Ce sont les composants les plus intéressants, peut-être les plus compliqués. Les plus répandus sont les diodes et les transistors.

des trous baladeurs et autres curiosités

Les diodes et les transistors sont constitués de silicium, un métal dit **semi-conducteur**. Du silicium pur ne conduit pas, parce qu'il n'existe pas d'électrons libres entre les atomes. Cette présence d'électrons libres est une condition indispensable pour qu'un courant puisse circuler. Le mot important est **libre**, car il est évident que les atomes de silicium, comme les autres, comportent un certain nombre d'électrons, sur des orbites fixes. Il existe cependant un artifice, et même deux, pour rendre le silicium conducteur. L'une ou l'autre de ces deux méthodes permet de fabriquer des diodes ou des transistors. Toutes les deux consistent à introduire des atomes étrangers dans la structure du cristal de silicium. Ces atomes étrangers, dits *impuretés*, possèdent soit un électron de plus, soit un électron de moins que le silicium. Ils

ont tendance à s'intégrer à la structure des atomes de silicium ; comme les « mailles » qui leur restent sont trop étroites, l'électron surnuméraire se trouve lié encore plus fortement à son noyau. Les électrons portent une charge négative, on dira donc du matériau qu'il est de type N. Si on applique une tension au silicium ainsi « dopé », un courant circule puisqu'il y a des électrons prêts à quitter leur orbite.

Si les atomes étrangers ont un électron de moins que le silicium, ils essaient de se « camoufler » entre les atomes de silicium. Pour ce faire, ils « chipent » volontiers un électron à l'atome de silicium voisin. L'atome de silicium dépouillé reste, sans dommage, près de son voisin devenu presque silicium. Si on applique une tension à un cristal de silicium dopé de cette façon, là aussi un courant circule. Le manque d'électrons se propage dans tout le

cristal, comme si le trou se « promenait ». Prenons un exemple concret pour rendre la chose évidente. Un professeur généreux distribue des pommes à ses élèves pour le cours de *biologie végétale*. Malheureusement, il n'a pu cueillir dans son verger que 19 pommes, alors qu'il a 20 élèves. L'élève qui n'en a pas prend la pomme de son voisin de table. Ce dernier ne veut pas laisser les choses dans l'état et pique celle de son voisin de derrière, pendant qu'il regarde ailleurs. Comme ce dernier craint les coups de son voisin de devant, il trouve plus simple de prendre la pomme de son voisin de table. C'est ainsi que le « trou », le manque de pomme, se promène dans toute la classe. Le trou ne peut se promener que si les pommes se promènent, cela signifie qu'un courant de pommes circule à travers la classe, comme un courant électrique à travers le silicium. Le cristal de silicium appauvri est dit de type P.

la jonction P-N

Pour comprendre ce qui se passe à la jonction P-N entre deux cristaux, reportons-nous d'abord à la figure 1, qui représente une diode. La zone de contact entre le cristal P et le cristal N, telle qu'elle est schématisée, joue un rôle particulier. C'est là que les électrons surnuméraires de la partie N remplissent les trous de la partie P, si bien que la zone ne comporte plus ni trous ni électrons libres, qu'elle est isolante.

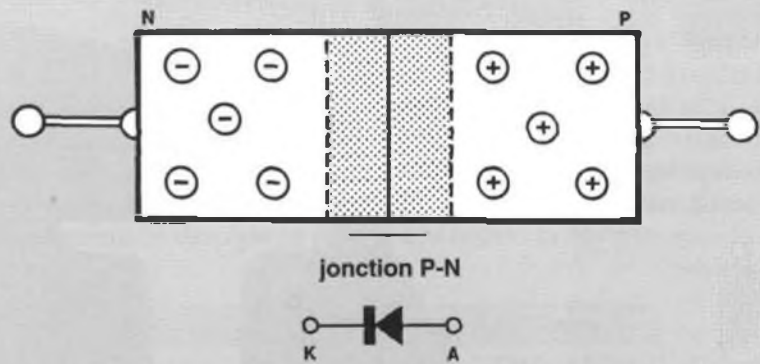


Figure 1 - Une diode semi-conductrice est constituée de deux cristaux de silicium ou de germanium dopés différemment, possédant une surface commune. À proximité de cette frontière, il se crée une zone isolante (la jonction P-N) dans laquelle les électrons supplémentaires du cristal N combient les trous du cristal P. Le symbole de la diode est représenté en dessous.

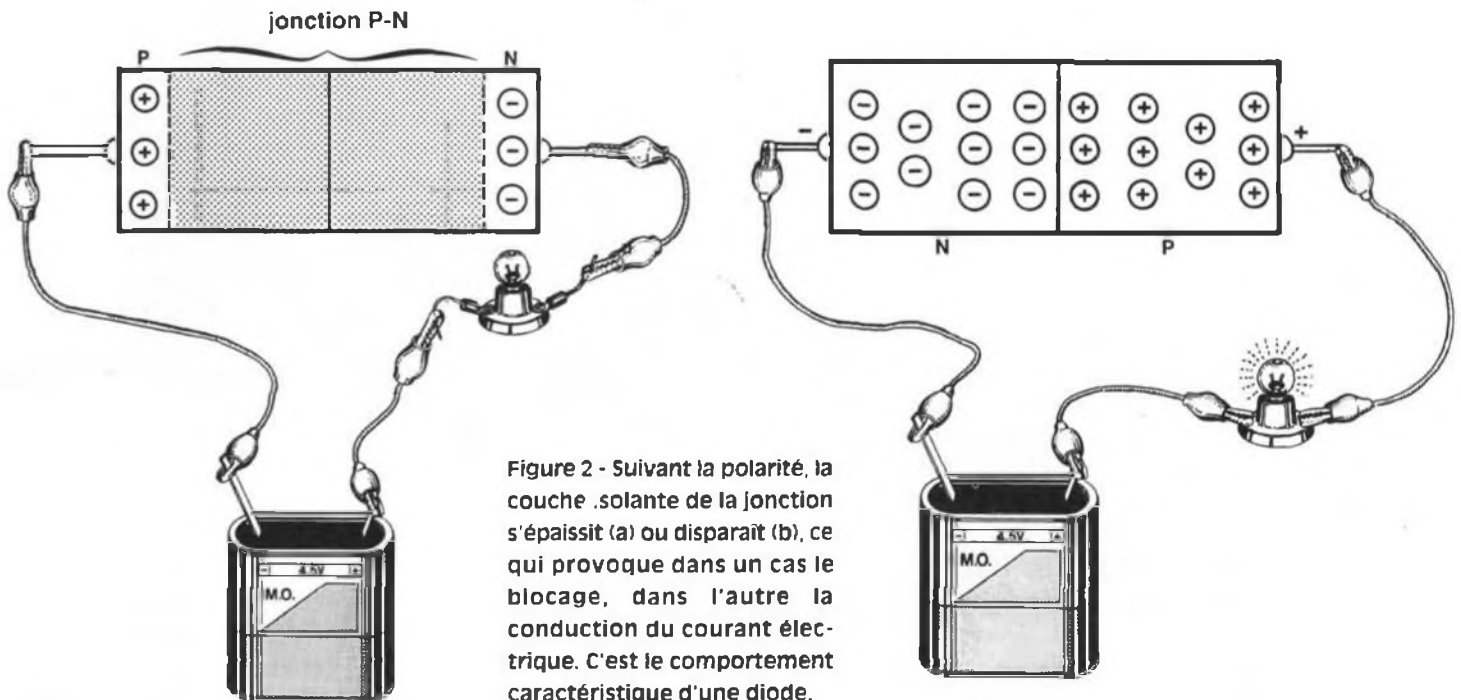


Figure 2 - Suivant la polarité, la couche isolante de la jonction s'épaissit (a) ou disparaît (b), ce qui provoque dans un cas le blocage, dans l'autre la conduction du courant électrique. C'est le comportement caractéristique d'une diode.

Que se passe-t-il maintenant si nous appliquons une tension à la diode ? Nous savons par la pratique que la diode se bloque quand elle voit une tension inverse, mais comment cela se produit-il en fait ? Simplement parce que la couche isolante s'épaissit quand le pôle négatif de la source de tension est relié à la couche P de la diode. Les trous sont remplis par les électrons de la source, ce qui rend le cristal neutre électriquement (figure 2a). Si on inverse la polarité, la couche isolante est approvisionnée en électrons supplémentaires, ce qui la rend conductrice (figure 2b).

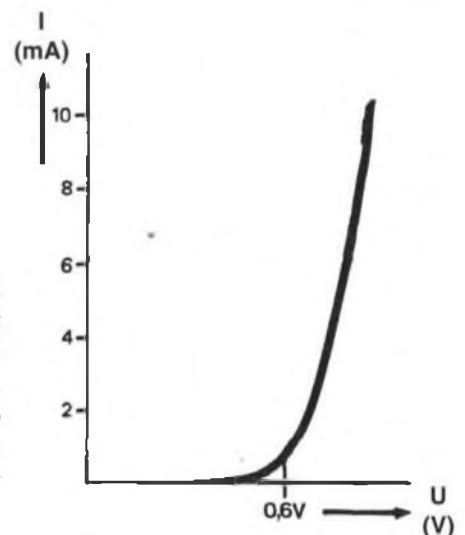


Figure 3 - La caractéristique de la diode. Elle montre la relation entre le courant à travers la diode (dans le sens passant) et la valeur de la tension à ses bornes. Ce n'est qu'à partir de 0,6 V qu'un faible courant commence à circuler ; ce courant augmente ensuite rapidement pour un faible accroissement de la tension.

le seuil de tension

Une diode peut être comparée à un clapet qui ne laisserait passer l'air ou l'eau, ou un autre fluide, que dans un sens. S'il est arrivé à quelqu'un d'entre vous de gonfler un pneu de vélo, il a pu se rendre compte qu'il faut exercer une certaine force pour que la valve s'ouvre et laisse passer de l'air. Il en va de même avec une diode, qui demande une tension minimale avant

de commencer à conduire dans le sens passant. La valeur de cette tension minimale est de 0,6 V. Ce n'est qu'à partir de 0,6 V que le courant circule. Le rapport entre la tension aux bornes d'une diode et le courant qui la traverse est représenté sur la **figure 3** par une courbe dite *caractéristique de la diode*.

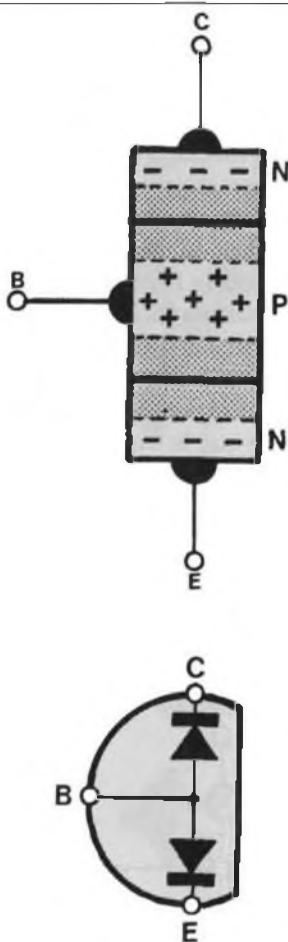
la construction d'un transistor

La **figure 4** montre schématiquement la construction d'un transistor. Au lieu de deux cristaux dopés différemment, il comporte trois zones. Elles peuvent se présenter indifféremment dans l'ordre P-N-P ou N-P-N. Nous nous en tiendrons, pour la suite, à cette dernière race de transistors, la plus répandue. Les trois zones déterminent deux jonctions, ce qui permettrait de représenter le transistor comme un assemblage de deux diodes (**figure 5**). Cette assimilation est toute théorique, et il

est impossible de fabriquer un transistor avec deux diodes.

Chacune des trois zones du cristal est reliée au monde extérieur par une broche repérée sur le symbole par un dessin particulier (**figure 6**) ; chacune porte aussi un nom particulier : BASE, ÉMETTEUR, COLLECTEUR. Le symbole permet de deviner qu'un courant circule à travers la jonction base-émetteur, quand la tension atteint le seuil de 0,6 V (la jonction base-émetteur se comporte comme une diode, telle que nous l'avons décrite plus haut). Si aucun courant ne circule dans la jonction base-émetteur, l'espace collecteur-émetteur se comporte comme un isolant.

Un courant de base supprime l'effet isolant de l'espace collecteur-émetteur : un courant circule du collecteur vers l'émetteur. Par construction, le transistor garantit que le courant de collecteur est un certain nombre de fois plus intense que le courant de base qui lui a donné naissance. Le courant



Figures 4 et 5 - Un transistor comporte deux jonctions P-N. Chaque jonction, prise individuellement, se comporte comme une diode. Toutefois, on ne peut pas considérer le transistor comme une diode double : dès qu'un courant circule dans la jonction base-émetteur, et à condition qu'une tension soit appliquée entre collecteur et émetteur, un courant circule à travers l'autre jonction, normalement bloquée. Ce courant collecteur-émetteur est beaucoup plus important que le courant base-émetteur.

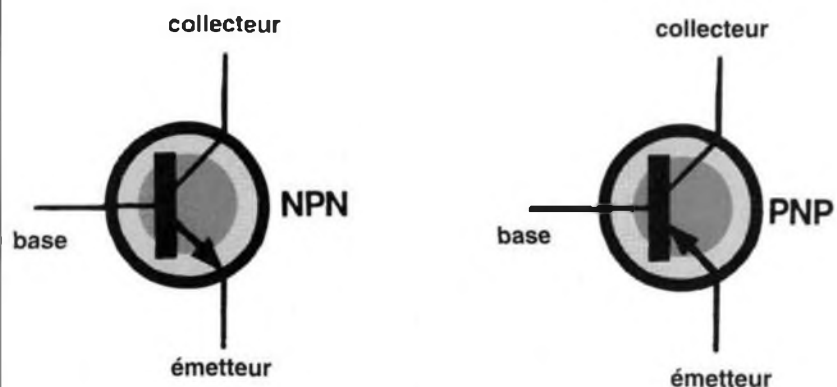
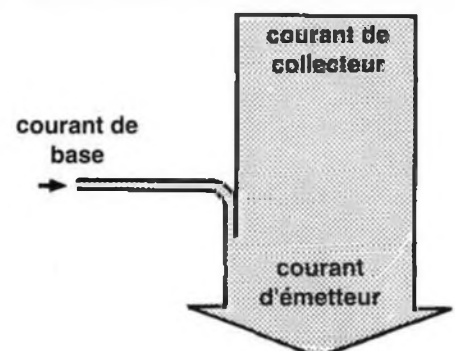


Figure 6 - Le symbole du transistor. La flèche repère l'émetteur et indique s'il s'agit d'un type PNP ou NPN : elle est orientée dans le sens du courant (du + vers le -).

Figure 7 - L'émetteur rassemble le courant de la base et celui du collecteur. Comme le courant de base est minime, le courant d'émetteur est considéré dans la pratique comme égal au courant de collecteur.



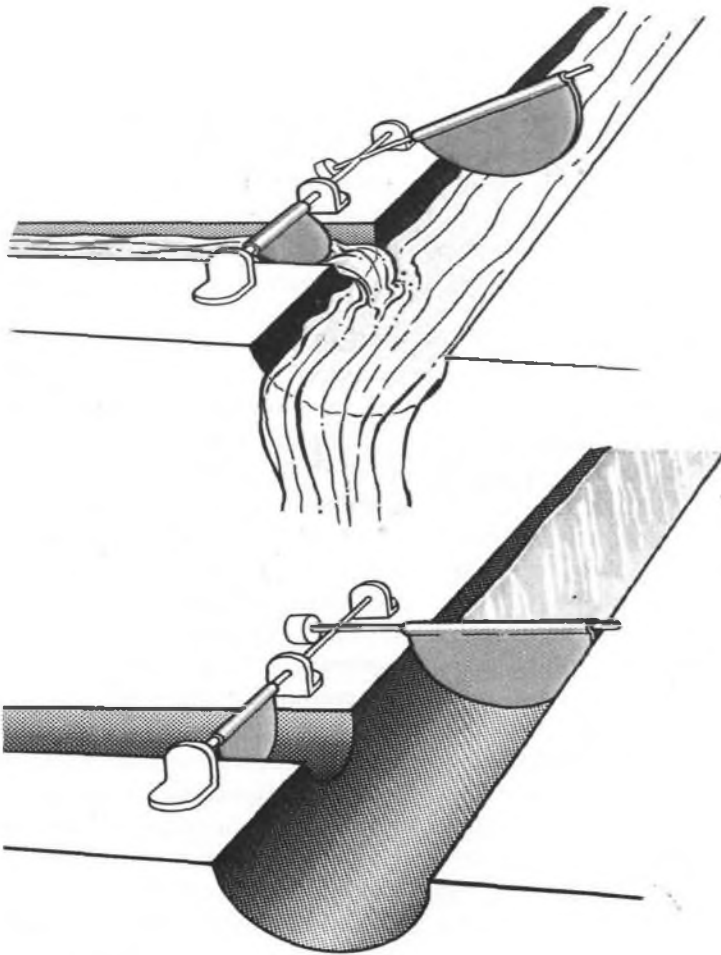


Figure 8 - Le transistor hydraulique, comme nous en réclamons certains nostalgiques. Les deux courants s'écoulent par des canaux de gabarit différent. Le faible flux qui arrive du petit canal actionne un petit clapet qui, par son axe et un levier, en actionne un plus grand. Ce grand clapet ouvre le passage à un flux de liquide plus important dans le canal à grand gabarit.

d'émetteur est égal à la somme du courant de base et du courant de collecteur. Comme le courant de base est minime, en comparaison du courant de collecteur, il ne représente qu'une petite fraction du courant d'émetteur et il peut donc être négligé (figure 7). Avant de mettre en pratique ces connaissances toutes neuves, nous allons encore décrire un modèle hydraulico-mécanique du transistor, comme on en trouve un peu partout dans la littérature spécialisée. Il s'agit le plus souvent de transistors « à eau », dans lesquels le flux d'électrons est remplacé par un flux d'eau ou d'un autre liquide. La figure 8 montre un exemple facile à comprendre, tiré d'une boîte d'expérimentation presque aussi vieille que le transistor.

composants

liste des

R1 = 1 k Ω
R2* = 10 k Ω

T1 = BC547B
(ou BC550B ou BC546B)

L1, L2* = ampoule 15 V 200 mA

2 douilles à souder

4 fiches banane

1 platine

17 picots à souder

3 ponts en fil

alimentation K $\pm$ 15 V

*voir texte

Nota : Les ampoules de 15, 16 ou 18 V ne se trouvent pas au rayon bricolage de votre super-marché, mais elles sont courantes dans l'industrie pour équiper des voyants alimentés en 12 V et leur assurer une durée de vie raisonnable.

Figure 9 - Le câblage de la platine « transistor en commutation ». Les quelques ponts en fil permettent de la configurer pour différentes expériences et mesures.

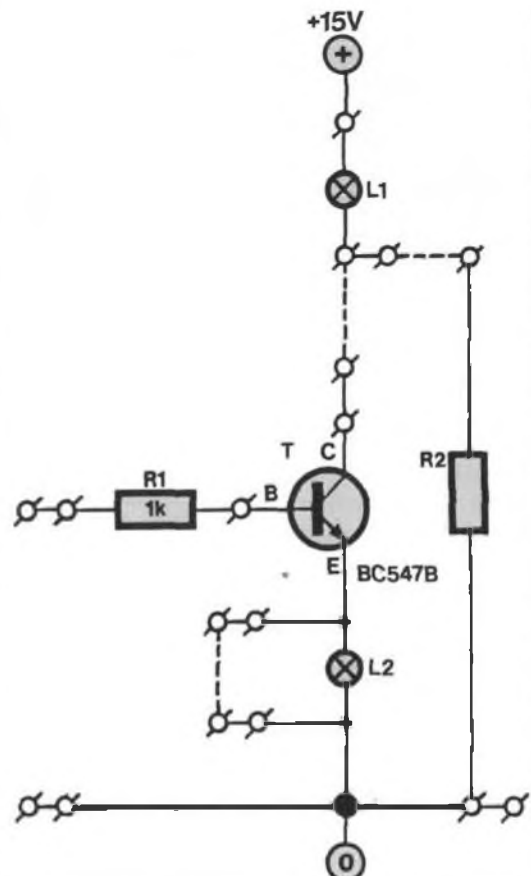
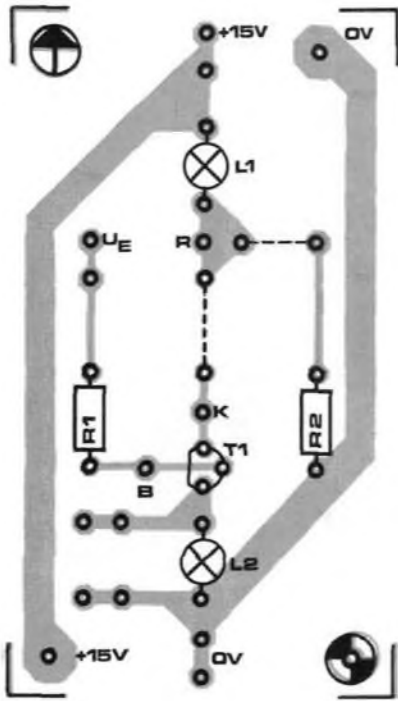


Figure 9 - Le câblage de la platine « transistor en commutation ». Les quelques ponts en fil permettent de la configurer pour différentes expériences et mesures.



expérimentons, enfin

Après toute cette théorie, nous allons examiner un transistor, au moyen de la platine « transistor en commutation » du système K. (Vous pouvez vous la procurer toute faite ou en faire le prétexte à un exercice de dessin et de gravure de circuit imprimé.) Elle comporte trois ponts en fil qui permettent de la configurer pour différents essais et mesures. La figure 12 montre la première version d'expérimentation. Elle ne comporte qu'une seule ampoule, la douille du bas est court-circuitée. Si vous ne trouvez pas d'ampoule de 15 V, vous pouvez en utiliser une de 12 V, à condition de ne pas faire durer les essais trop longtemps, ou d'insérer une résistance de $15\ \Omega$ en série à la place du pont dans la ligne de collecteur. Placez la platine dans la platine de base, avec l'alimentation $\pm 15\text{ V}$: il ne se passe rien. Le transistor n'a aucune raison de

conduire, puisque les deux diodes qui le constituent sont orientées en sens opposé et qu'il y en a au moins une de bloquée. Rien ne change si on relie l'entrée au point 0 V par un pont en fil (a). La jonction base-collecteur est certes sous tension, mais dans le sens bloqué : le moins au P de la base, le plus au N du collecteur. La tension de collecteur, mesurée au multimètre par rapport à la masse, est de 15 V. Comme aucun courant ne circule, l'ampoule reste éteinte, et la tension à ses deux bornes est de 15 V par rapport à la masse.

Passons le pont de l'entrée du côté de la tension + 15 V (b) : l'ampoule s'allume. Rien de miraculeux : un courant circule (du pôle positif) par la résistance d'entrée et la jonction base-émetteur (vers la masse). Cette jonction laisse passer le courant puisqu'elle est polarisée dans le sens passant. Le cou-

Figure 12 - Un transistor, une résistance, une ampoule, c'est à cela que se résume le circuit d'essai.

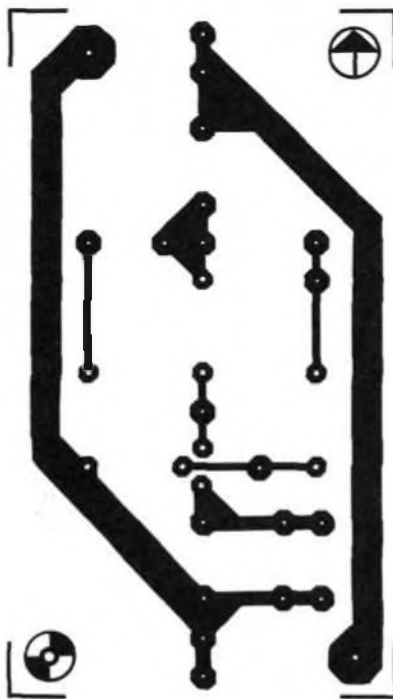


Figure 11 - Le dessin des pistes de la platine. Les accros du perchlorure peuvent la graver eux-mêmes, les autres l'acheter toute prête.

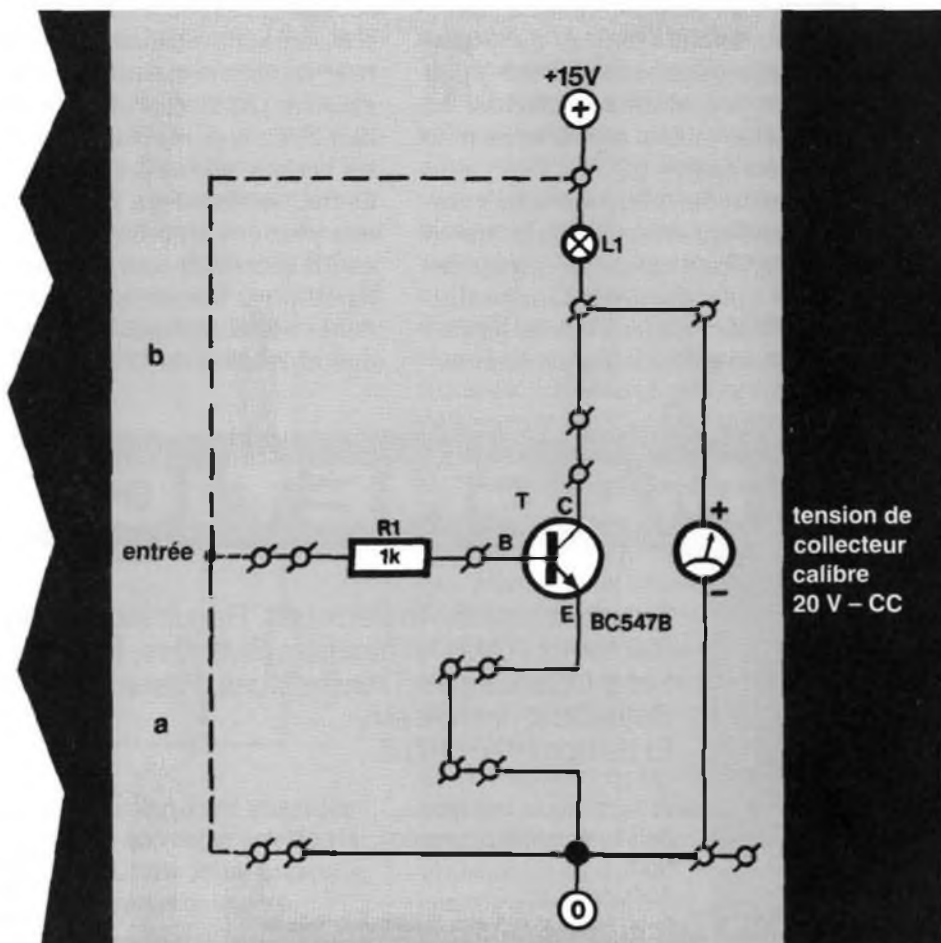
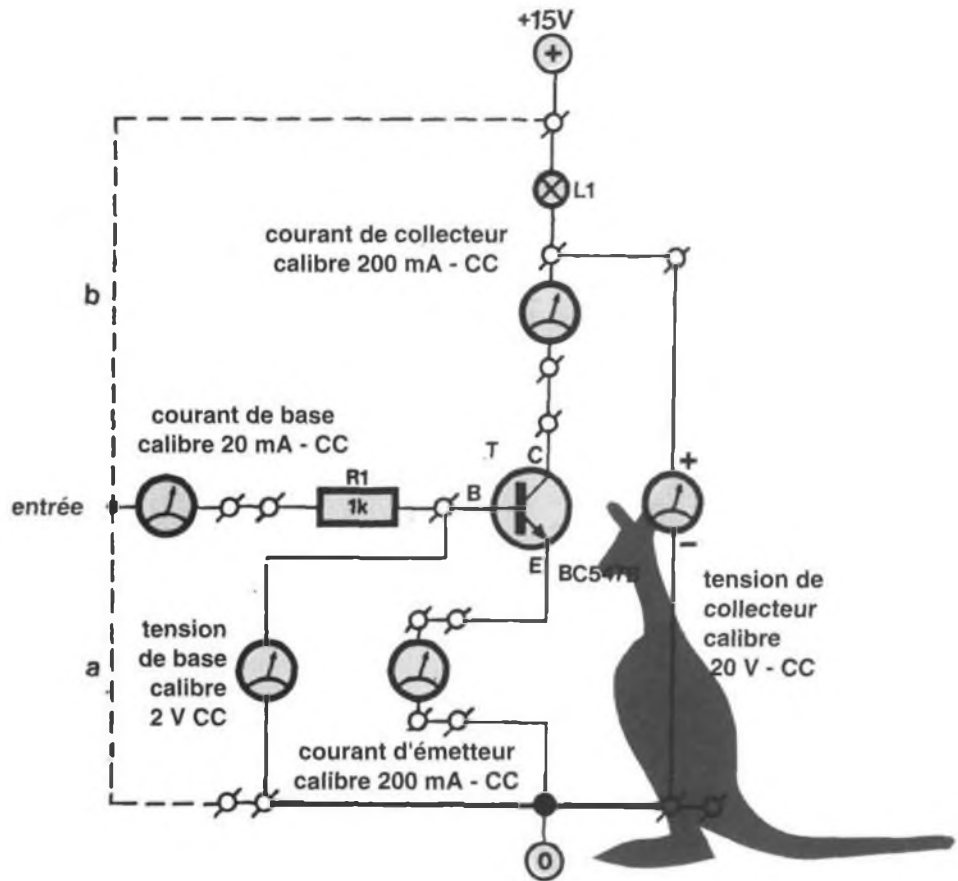


Figure 13 - Ce schéma résume toutes les mesures à effectuer. Les indications entre parenthèses sont celles des calibres à utiliser (au minimum) pour les différents appareils de mesure ou pour le multimètre qui les remplacera successivement.

rant de base provoque le passage d'un courant collecteur-émetteur, comme expliqué plus haut. C'est ce courant de collecteur qui allume l'ampoule. La tension de collecteur est quasiment nulle, si bien que l'ampoule voit la totalité de la tension d'alimentation. Avant : sans courant à travers le transistor, la tension à ses bornes est égale à la tension d'alimentation. Après : courant maximal et tension minimale. Tout se passe exactement comme si le transistor était un interrupteur, ouvert dans un cas, fermé dans l'autre. D'où le titre de cet article. Comme le transistor fonctionne en commutation, il n'est plus question de la multiplication de l'intensité du courant de base, du gain du transistor. Le transistor est soit saturé, courant maximal et tension nulle, soit bloqué, tension maximale et courant nul. Pour ce faire, on injecte dans la base un courant tel que le courant de collecteur soit maximal. La tension minimale du collecteur s'appelle tension de saturation ; elle peut tomber à 0,3 V, ou moins si le courant de collecteur est faible, alors même que la tension de base reste égale à 0,7 V.

La tension de collecteur a un comportement opposé à celui de la tension d'entrée : forte tension d'entrée, tension de collecteur basse (lampe allumée) ; faible tension d'entrée, tension de collecteur élevée (lampe éteinte).



Encore un mot sur R1 : il faut tenir compte du fait que la jonction base-émetteur est passante et que sa tension ne peut pas dépasser 0,7 V. Si on lui applique la tension de 15 V, le courant sera suffisamment intense pour détruire le transistor immédiatement. La résistance R1 limite l'intensité du courant de base, par la chute de tension à ses bornes ; elle ne doit donc pas être de trop faible valeur. Elle ne doit pas non plus être trop importante, sans quoi le courant de base ne sera pas suffisant pour saturer le transistor. Si vous voulez expérimenter, connectez une résistance de 470 kΩ à la place

d'un pont entre le + 15 V et l'entrée du montage. Dans ce cas, la lampe s'allume faiblement et le transistor chauffe. La figure 13 montre comment mesurer les courants et les tensions du circuit expérimental. Tous les appareils ne doivent pas forcément être montés en même temps, les mesures peuvent être faites l'une après l'autre. Les ampèremètres absents doivent être remplacés par des ponts en fil (figure 12) pour que le montage fonctionne. Les résultats des mesures correspondent aux indications de la figure 7, à un chenal près.

86734

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**
Télex 216 328 F - Ouvert de 9 h 30 à 12 h et de 14 h à 19 h
Fermé le Lundi.

vitesse constante à charge variable



régulateur de vitesse malin

La régulation de vitesse d'un moteur à courant continu est particulièrement simple : il suffit de faire varier la tension pour que la vitesse de rotation change elle aussi. En principe une source de tension variable devrait donc être suffisante ; en pratique, cela se passe différemment...

N'importe quelle source de tension réglable convient pour alimenter un moteur à courant continu. Tant que la charge reste inférieure au couple maximal du moteur, tout se passe bien : la vitesse de rotation reste à peu près constante. Malheureusement, si la charge augmente, la vitesse diminue, ce qui peut être fort gênant. Vous êtes en train de percer avec une de ces perceuses miniatures. Tant que vous percez de l'air, autrement dit tant que la perceuse tourne à vide, la vitesse de rotation est constante, mais aussitôt que le foret attaque l'époxy ou la bakélite, elle diminue notablement, parfois même au point de ralentir fortement le perçage. Avec notre régulateur de vitesse, vous ne constaterez plus aucune différence entre la vitesse à vide et la vitesse en charge.

la technique

La plupart des petits moteurs à courant continu ont un aimant permanent qui crée le champ magnétique nécessaire. Le stator, l'organe qui crée le champ magnétique, peut être constitué par un aimant permanent, comme dans les petits moteurs qui nous intéressent ici, ou bien par un électro-aimant, comme dans les moteurs de forte puissance, où le

champ nécessaire ne peut plus être créé par des aimants permanents. L'enroulement du stator peut être connecté en série ou en parallèle avec le rotor (l'organe mobile qui entraîne l'arbre) ; il peut aussi être alimenté par une source séparée, indépendante de celle qui alimente le rotor. On parle alors de moteurs à excitation séparée. C'est à ce genre de moteur qu'on peut comparer les petits moteurs à aimant permanent. Si on suppose que ces moteurs sont parfaits, avec une résistance infiniment petite, la vitesse de rotation est exactement proportionnelle à la tension appliquée et indépendante de la charge.

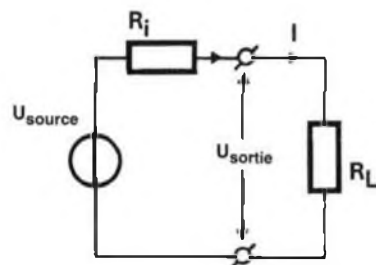


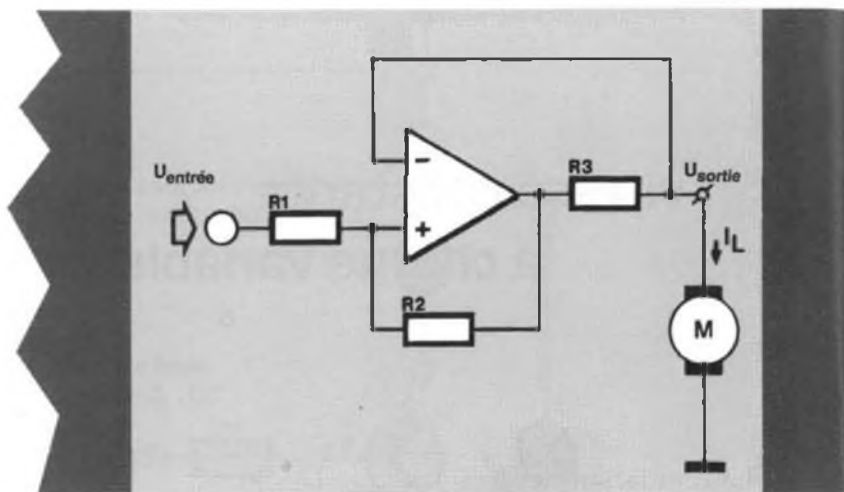
Figure 1 - La tension d'une source normale diminue quand l'intensité débitée augmente. Cette chute de tension est due à la résistance interne.

$$U_{\text{sortie}} = U_{\text{source}} - R_i \cdot I$$

Toujours en supposant que la résistance interne est nulle, on peut supposer que l'intensité consommée est infiniment grande. Heureusement, ce n'est pas le cas. Le rotor est une bobine qui se déplace dans un champ magnétique quand le moteur tourne. Nous avons vu à plusieurs reprises qu'une tension naît aux bornes d'une bobine soumise à un champ magnétique variable. Cette tension, de polarité opposée à celle qui alimente le moteur, s'appelle *force contre-électromotrice* ($f_{\text{cém}}$) ; elle est proportionnelle à l'intensité du champ magnétique et à la vitesse de rotation. L'intensité du champ magnétique est constante, puisqu'elle est déterminée par l'aimant permanent, de ce fait, la force contre-électromotrice augmente avec la vitesse de rotation, jusqu'au moment où elle est égale à la force électromotrice ($f_{\text{ém}}$) qui alimente le moteur. Lorsque l'équilibre entre les deux tensions est atteint, la vitesse est stable. Une tension d'alimentation constante détermine donc en théorie une vitesse constante.

La diminution de la vitesse de rotation qui se produit dans la réalité est imputable à la résistance interne du moteur, celle du rotor. L'intensité consommée augmente avec la charge, d'où une chute de tension qui

Figure 2 - La régulation proprement dite. L'essentiel est un amplificateur opérationnel dont la tension de sortie augmente quand l'intensité augmente. C'est cette caractéristique qui la rend comparable à une source de tension à résistance interne négative.



diminue la tension d'alimentation effective du moteur. Il est possible d'annuler les effets de cette chute de tension par la technique dite de *compensation de la résistance interne*. Elle consiste à mesurer en permanence le courant consommé par le moteur et à en déduire, pour un type de moteur donné, la valeur de la chute de tension dans la résistance interne. Nous savons que si l'intensité augmente, la chute de tension dans R_i augmente ; si nous pouvons faire augmenter d'autant la tension d'alimentation, la tension effective restera constante, comme la vitesse de rotation. En pratique, on construit une alimentation dont la résistance interne est négative. Intéressons-nous d'abord à la résistance interne. Une source de tension ordinaire, une pile par exemple, voit sa tension de sortie diminuer lorsque la charge

augmente. Cette chute de tension, ici aussi, est due à la résistance interne (voir la figure 1). La tension disponible se calcule suivant la formule :

$$U_{\text{sortie}} = U_{\text{source}} - R_i \times I$$

Si la résistance interne est négative, le signe *moins* de la formule se transforme en signe *plus*, avec pour conséquence l'augmentation de la tension de sortie quand l'intensité débitée augmente elle-même.

La figure 2 montre le schéma d'une source de tension à résistance interne négative. La résistance R_3 permet de mesurer l'intensité du courant de sortie. La fonction de transfert de ce montage s'écrit :

$$U_{\text{sortie}} = U_{\text{entrée}} + I_L \cdot \frac{R_3 \cdot R_2}{R_1}$$

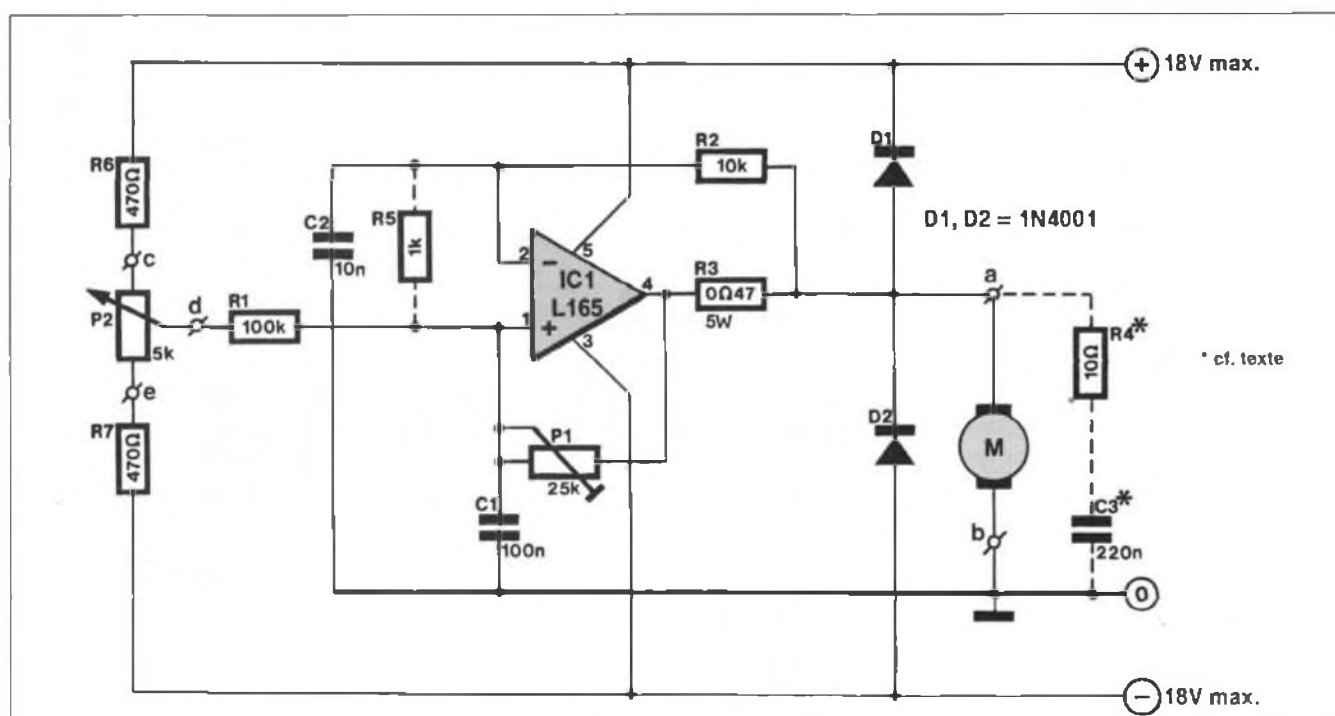
De cette formule et de la précédente

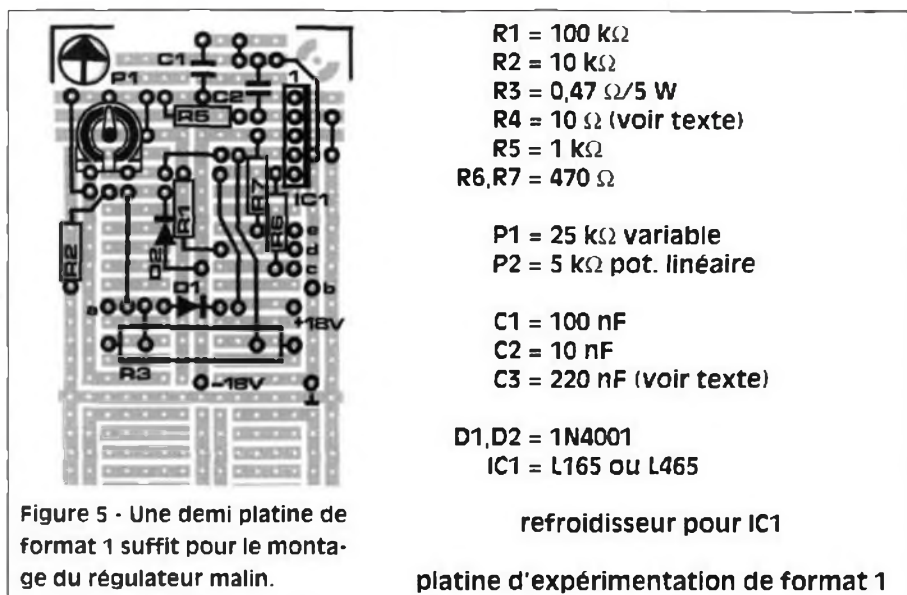
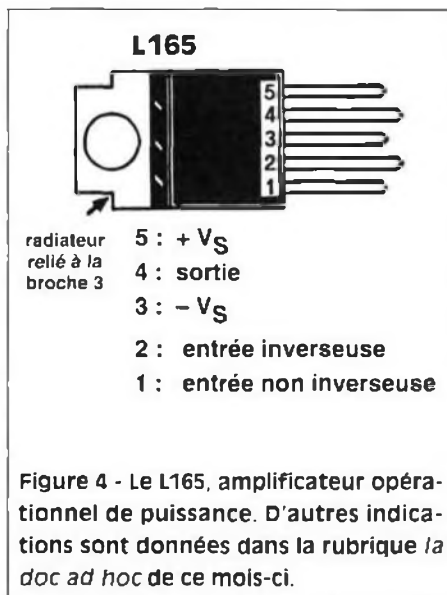
il résulte que l'impédance de sortie de la source est égale à :

$$Z_{\text{sortie}} = - \frac{R_3 \cdot R_2}{R_1}$$

Si nous choisissons pour la résistance interne une valeur absolue égale à celle du moteur, l'augmentation de la tension de sortie de la source compensera exactement la chute de tension due à la résistance interne du moteur. Ne nous soucions pas, pour l'instant, de la mesure de la résistance interne, elle se fera automatiquement au moment du réglage du circuit.

La figure 3 montre la réalisation pratique, qui fait appel à un amplificateur opérationnel de puissance, monté en comparateur. Ce composant, le L165 de SGS-THOMSON, supporte 3 ampères (et mène) en fonctionnement normal, sous une





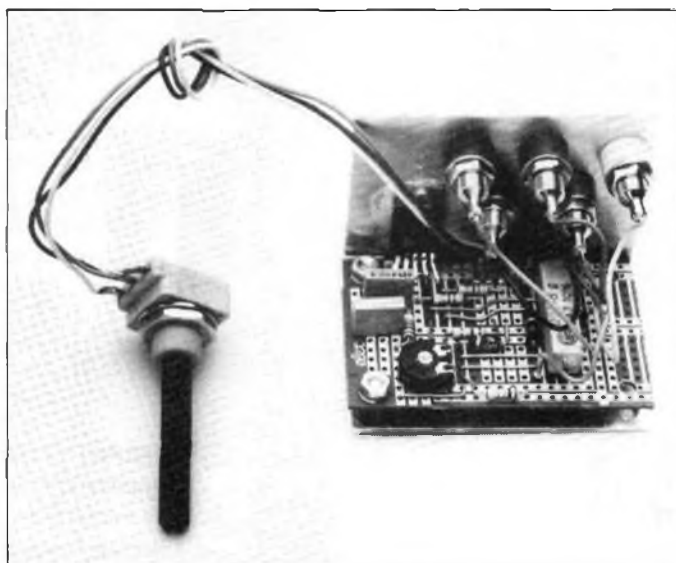
un amplificateur opérationnel de puissance utilisé comme régulateur

tension totale de 36 V. C'était le candidat idéal pour le poste de régulateur de vitesse de moteur : il ne demande pas beaucoup de composants extérieurs puisque même les transistors de puissance sont intégrés. Le problème qui mérite quelque attention est celui du collecteur et des balais du moteur : cet ensemble permet à la polarité de la tension appliquée au rotor de s'inverser au fur et à mesure que les enroulements changent de position par rapport aux pôles du stator. La liaison par les balais, ou charbons, n'est pas idéale, car elle engendre des étincelles à chaque commutation, ce qui superpose des tensions parasites à la force contre-électromotrice. Ces impulsions risquent de perturber la régulation et de faire varier la tension de sortie de façon anarchique. C'est la raison de la présence de C1 et C2. Le réseau C3/R4 a une fonction similaire, mais il est facultatif car il risque de nuire à la stabilité du circuit. Le moteur lui-même représente une charge complexe : le rotor est une inductance alors que la rotation du moteur lui confère l'équivalent d'une forte capacité. Le réseau R4/C3 constitue une deuxième charge complexe en parallèle avec la première, sans parler de la résistance ohmique du rotor. Si la régulation est instable, le moteur manifeste des tendances à accélérer puis à ralentir, des changements rapides de la charge sont compensés lentement ou pas compensés du tout, enfin le circuit inté-

gré, ou R4, ou les deux, s'échauffent du fait d'oscillations à haute fréquence. Il faut procéder à des essais suivant le type de moteur utilisé. La perceuse essayée avec le prototype donnait de bons résultats sans C3/R4, mais avec C2. Si le réseau C3/R4 est utilisé, il faut supprimer C2 et ajouter la résistance R5 pour limiter la tension différentielle d'entrée. Les diodes D1 et D2 limitent les surtensions de la sortie à la valeur de la tension d'alimentation, à la manière de diodes de roue-libre. L'adaptation du montage à la résistance interne d'un type de moteur donné se fait grâce au potentiomètre P1. C'est lui qui détermine la fraction de la tension aux bornes du shunt (R3) qui sera ajoutée à la tension de consigne. Si cette fraction est excessive, on dit que le montage est *sur-compensé* : le moteur accélère et

ralentit brutalement. Il faut régler P1 jusqu'au moment où la vitesse est juste stable, quitte à tolérer un léger ralentissement sous de fortes charges. Le réglage n'a de sens que sur un moteur encore froid : si sa vitesse est stable à chaud, avec une résistance interne plus élevée que la normale, elle ne le sera plus à froid. Une alimentation symétrique (maximum ± 18 V) permet de faire tourner le moteur dans les deux sens, comme pour un modèle réduit de train. Si P2 est exactement au milieu de sa course, le moteur s'arrête. Pour une perceuse miniature, un seul sens de rotation est nécessaire ; dans ce cas, le pôle négatif de l'alimentation et la masse peuvent être un seul et même point, sous une tension maximale de 36 V. La tension disponible pour le moteur est supérieure et il devient possible de commander des moteurs

Figure 6 - Le régulateur prêt à l'emploi. La photo montre clairement la position du circuit intégré.



de 24 V par exemple, mais pas depuis l'arrêt.

la construction

L'amplificateur opérationnel utilisé n'est pas logé dans un boîtier habituel à deux rangées de broches. Si c'était le cas, il ne pourrait pas dissiper la puissance correspondant aux 3 ampères de courant de sortie. Le boîtier utilisé ressemble à un TO220, comme ceux des régulateurs des séries 78 ou 79, mais avec cinq broches au lieu de trois, à un pas inférieur aux 2,54 mm habituels. Il porte le nom de *pentawatt* ; faute d'indication dans la documentation du constructeur, nous ne saurons pas si c'est parce qu'il a cinq broches ou parce qu'il peut dissiper 5 W. Quoiqu'il en soit, la disposition des 5 broches est représentée sur la **figure 4**. Notez que la languette de refroidissement est reliée à la broche d'alimentation négative.

La construction du régulateur se fera conformément à la **figure 5**. Le pont en fil entre la broche 4 du circuit intégré et R3 sera d'assez forte section, du fait de l'importance des courants mis en oeuvre. De même pour le pont entre R3 et le point *a*. Tous ces fils véhiculent le courant de sortie, ils doivent donc être calibrés pour supporter 3 ampères (pépère). La résistance R3 comme le circuit intégré peuvent s'échauffer assez fortement, il faut en tenir compte au moment de les installer sur la platine. Pour la résistance R3, cela signi-

fie qu'il ne faut pas la placer au contact de la platine, mais qu'il convient de ménager entre elles un espace par où l'air pourra circuler. Pour le circuit intégré, il faut tordre délicatement les broches jusqu'à les ramener sur une même ligne, et amener la languette de refroidissement au bord de la platine. Il est possible alors de visser la languette contre le radiateur que vous aurez choisi. Le radiateur peut être une plaque d'aluminium de 6 cm par 10 cm ou la paroi du coffret. Vous prendrez soin, comme la languette est reliée à la tension d'alimentation négative, de l'isoler par une plaquette de mica et un canon isolant. Le mica rend moins facile le transfert de chaleur du circuit intégré vers le radiateur, il faudra compenser cette perte par une couche de graisse thermconductrice entre la languette et le mica, et entre le mica et le radiateur. L'alimentation peut être double, au maximum ± 18 V, ou simple, au maximum 36 V. Si le moteur à alimenter est prévu pour 12 V, une alimentation de 14 V suffit, double si le moteur doit tourner dans les deux sens, simple s'il ne tourne que dans un sens. Ainsi la tension de sortie ne risque pas de devenir trop importante, ni le moteur d'en faire les frais. L'intensité que devra délivrer l'alimentation est fonction du moteur connecté au régulateur, mais elle ne dépassera en aucun cas 3 A. C'est l'intensité maximale que peut fournir le circuit intégré. L'idéal est que l'alimentation soit stabilisée, pour

éviter les perturbations de la régulation. Un dispositif simplifié, avec un pont redresseur et un gros condensateur, peut convenir aussi, à condition de connecter un condensateur de 100 μ F entre le curseur de P2 et la masse (qui sera aussi le pôle négatif). Vérifiez que dans ce cas la tension à vide ne dépasse pas les 36 V fatidiques pour le circuit intégré.

87632

Figure 7 - Le régulateur trouve une application idéale avec une perceuse miniature, mais il existe une foule d'autres applications possibles.

la doc ad hoc

L'amplificateur opérationnel de puissance, s'il n'est pas une nouveauté, est un nouveau venu dans nos colonnes. C'est pourquoi il fera l'objet de la doc ad hoc de ce mois. Pour savoir de quoi il s'agit, rien ne vaut la documentation du fabricant. Comme de juste elle est en anglais. Rassurez-vous, il n'est pas nécessaire de lire Shakespeare dans le texte pour s'y retrouver : les documentations techniques sont rédigées dans une langue qui se veut compréhensible par le maximum de clients potentiels. Les auteurs des documentations sont soit américains, soit chinois variété Taiwan, soit encore français (si, si, chez Thomson aussi, on écrit les docs en anglais), rarement anglais. Dans tous les cas, cela signifie que l'anglais n'est pas leur langue maternelle et que l'anglais technique, comme l'anglais d'aéroport, est compréhensible pour quiconque connaît environ deux cents mots, approximativement les ressources d'un enfant de deux ans dans sa langue maternelle.

ce que dit la notice

- Courant de sortie jusqu'à 3 A
- Gamme de tension étendue en mode commun et en différentiel
- SOA protection
- Protection contre les échauffements excessifs
- Alimentation ± 18 V

"Le L165 est un circuit intégré monolithique en boîtier Pentawatt, conçu pour être utilisé comme un amplificateur de puissance dans une grande variété d'applications, dont les amplificateurs d'asservissement et les alimentations. Son gain élevé et ses grandes possibilités en matière de puissance de sortie lui permettent des prestations exceptionnelles chaque fois que l'application réclame un amplificateur opérationnel suivi par un étage de puissance."

L'amplificateur opérationnel de puissance L165

Tableau 1

V_S	Tension d'alimentation	± 18 V
$V_5 V_4$	V_{CE} du transistor supérieur	36 V
$V_4 V_3$	V_{CE} du transistor inférieur	36 V
V_i	tension d'entrée	V_S
V_i	tension différentielle d'entrée	± 15 V
I_O	intensité maximale de sortie (limitation interne)	3,5 A
P_{tot}	dissipation de puissance ($T_{boîtier} = 90^\circ\text{C}$)	20 W
T_j	température de jonction	40 à 150 $^\circ\text{C}$

Ce tableau se passe de commentaires, il confirme simplement que le L165 est un circuit intégré de puissance. Dans l'énoncé des caractéristiques, vous aurez noté la ligne "SOA protection", et vous vous demandez de quoi il peut s'agir. Si l'expression n'est pas traduite, c'est parce qu'elle justifie un paragraphe à elle seule ; le voici : limitation permanente du produit courant-tension des transistors de sortie à une valeur compatible avec leurs possibilités de dissipation instantanée (SOA protection)

Un transistor qui fonctionne en régime linéaire dissipe, comme une résistance, une puissance égale au produit de la ten-

sion collecteur-émetteur par l'intensité de collecteur. Tout comme une résistance peut brunir ou brûler si la puissance dissipée est excessive, le transistor peut souffrir d'une intensité ou d'une tension excessive. La figure ci-dessous présente en abscisse la tension collecteur-émetteur, en ordonnée l'intensité de collecteur des transistors de sortie. La plage comprise entre les axes et le trait gras représente la zone (area) de sécurité (safe). Tant que le fonctionnement de l'étage de sortie se situe dans cette zone, la « puce » est capable de dissiper la chaleur produite. Au-delà, c'est la mort assurée pour un transistor au moins, pour les

deux le plus souvent. La particularité la plus intéressante du L165 est la présence d'un dispositif intégré pour la surveillance de ces conditions de fonctionnement. Il est assez simple de faire suivre une amplificateur opérationnel par une paire de transistors de puissance, nous le faisons couramment. Il est moins simple de calculer ses conditions de fonctionnement en régime linéaire, moins encore d'équiper l'étage d'un circuit de protection. Celui du L165 est combiné avec une limitation de l'intensité en cas d'échauffement excessif. Toutes ces fonctions, qui demanderaient une platine relativement peuplée, sont incorporées dans le boîtier Pentawatt.

les applications suggérées par le fabricant

La régulation de vitesse de moteur à courant continu présenté ici même est une application caractéristique du L165. Vous noterez que le circuit ne comporte aucun organe de protection ou de limitation d'intensité : ils sont inutiles puisque le circuit intégré se protège lui-même. Il s'agit là d'un fonctionnement en régime linéaire, avec une tension d'alimentation symétrique. D'autres applications sont possibles, comme celle-ci, qui permet une commande de moteur dans les deux sens avec une alimentation simple. L'inversion de polarité est obtenue par les signaux de commande des entrées non-inverseuses. Chaque amplificateur est monté en comparateur, avec son entrée inverseuse maintenue à un potentiel égal à la moitié de la tension d'alimentation des circuits logiques de commande. La logique se charge de donner aux entrées E1 et E2 des valeurs complémentaires ; si les entrées sont toutes les deux à 0 ou toutes les deux à 1, le moteur est arrêté. Ce montage est comparable aux amplificateurs en « H » utilisés en basse fréquence quand la tension d'alimentation disponible est trop faible (boosters d'autoradio par exemple). La différence ici est que le fonctionnement se fait en tout ou rien : les transistors de sortie sont conducteurs ou bloqués, la dissipation de puissance est minimale. Le fabricant suggère des applications particulières, comme cette alimentation symétrique (split) à partir d'une alimentation simple. C'est la version de puissance de la « masse artificielle » que nous utilisons souvent.

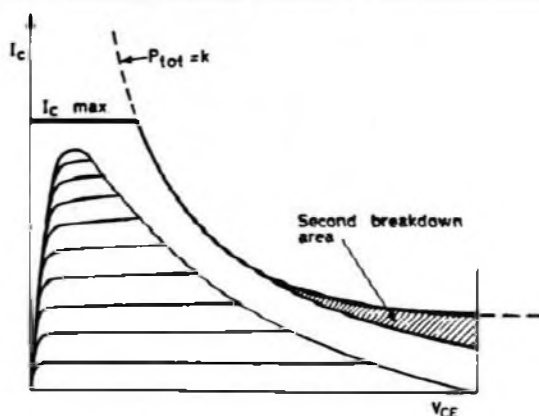
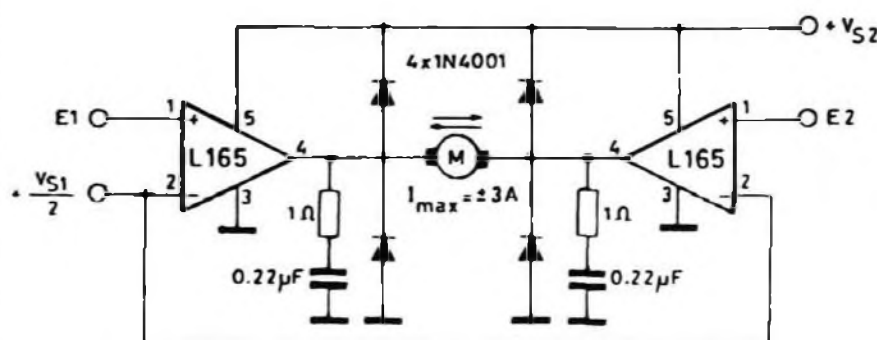


Figure 7 : Safe operating area and collector characteristics of the protected power transistor.

Figure 9 : Bidirectional DC motor control with TTL/CMOS/ μP compatible inputs



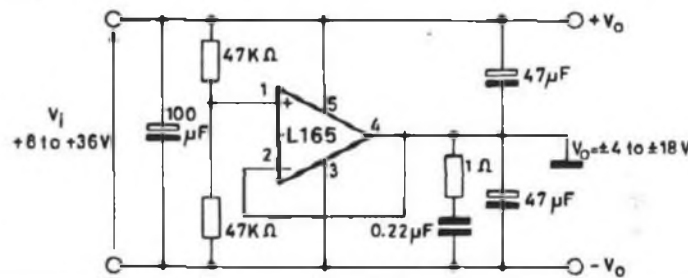
Must be $V_{S2} \geq V_{S1}$ E1, E2 = logic inputs
 V_{S1} = logic supply voltage

ce que la notice ne dit pas

Les applications classiques sont celles de tout amplificateur opérationnel, excepté l'intensité de sortie. Les montages peuvent être inverseurs ou non-inverseurs, le gain peut être égal ou supérieur à 1. La figure 1 est banale, vous remarquerez les deux diodes de roue-libre, utiles surtout si la charge est inductive, comme c'est le cas pour les moteurs en général. La figure 2 peut sembler curieuse : pourquoi cette résistance de 1 k Ω entre deux entrées qui sont en principe au potentiel de la masse ? Parce que le circuit est particulièrement instable dans les montages à gain unitaire, surtout si la charge est capacitive. Malheureusement, les moteurs, par leur inertie, se comportent comme des charges capacitatives. C'est pourquoi le régulateur de vitesse déjà cité,

dont le gain est unitaire, comporte des bizarreries : le condensateur C2, monté entre l'entrée inverseuse et la masse, transformerait n'importe quel autre amplificateur en oscillateur ; ici il peut être nécessaire à la stabilité du montage. Le tableau de caractéristiques donné au début pourrait laisser espérer que le circuit travaille correctement avec des tensions d'entrée qui atteignent la tension d'alimentation. Il n'en est rien : si le circuit supporte ces tensions d'entrées, il ne fonctionne normalement qu'avec un écart de 2 V environ entre la tension d'entrée et la tension d'alimentation.

Un dernier point important à extraire du tableau des caractéristiques électriques : l'amplitude de la tension de sortie, ou swing. Vous constatez que la tension de saturation des transistors de sortie est de 3 V pour le courant de sortie maximal à 1 kHz, de 3,5 V à 10 kHz. Ce renseignement est très utile pour calculer la tension d'alimentation en fonction de la tension nécessaire à la charge. D'autre part, il permet de calculer la dissipation de puissance et de dimensionner le radiateur en conséquence. Si le radiateur est insuffisant, le circuit intégré ne risque pas la destruction, mais le montage ne fonctionnera pas dans les conditions prévues.



	vocabulaire
input	entrée
output	sortie
SOA	zone de sécurité
split	symétrique
supply	alimentation
swing	excursion
transistor	transistor

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15$ V, $T_J = 25$ °C unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage		± 6		± 18	V
I_d	Quiescent Drain Current	$V_S = \pm 18$ V		40	60	mA
I_b	Input Bias Current			0.2	1	μ A
V_{os}	Input Offset Voltage			± 2	± 10	mV
I_{os}	Input Offset Current			± 20	± 200	nA
SR	Slew-rate	$G_v = 10$		8		V/ μ s
		$G_v = 1$ (°)		6		
V_o	Output Voltage Swing	$f = 1$ kHz $I_P = 0.3$ A $I_P = 3$ A		27 24		V_{pp}
		$f = 10$ kHz $I_P = 0.3$ A $I_P = 3$ A		27 23		V_{pp}
R	Input Resistance (pin 1)		100	500		k Ω

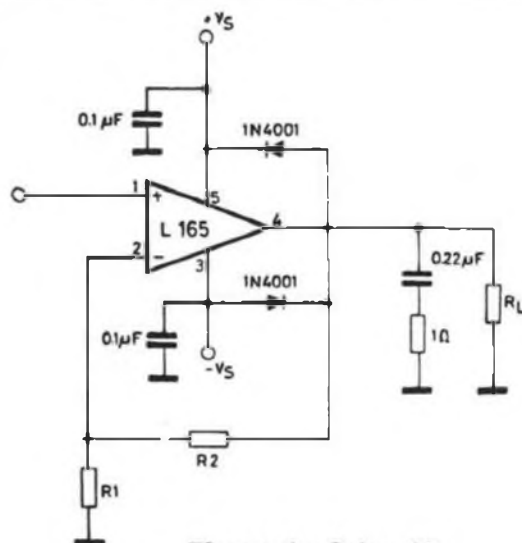


Figure 1 : Gain > 10

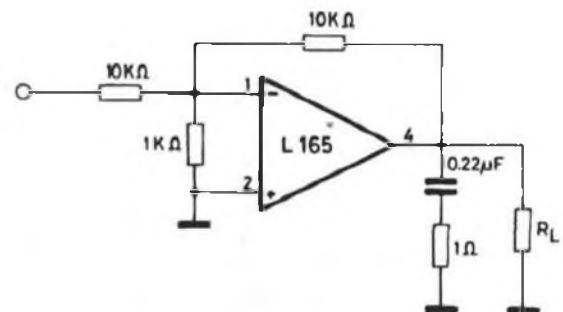
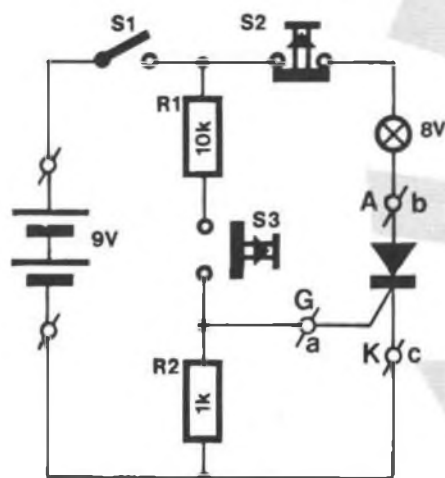


Figure 2 : Unity gain configuration

La boîte à composants divers de récupération de tout électronicien amateur qui se respecte contient au moins un thyristor : est-il en état de marche et quel est son brochage ? Il est bon de le savoir le jour où il faut le placer. Avant de le soumettre à la tension du secteur, une ultime vérification s'impose : c'est ce que ce montage va vous permettre.

vérification du fonctionnement et du brochage de thyristors inconnus



testeur de thyristors

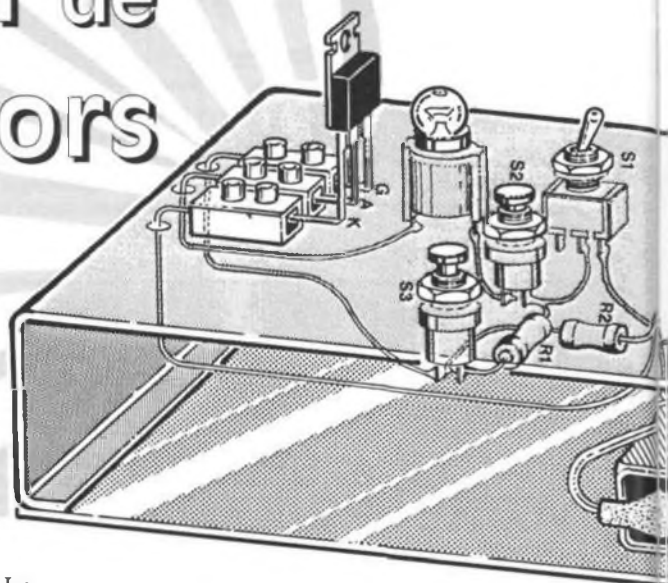


Figure 1 - Non, ce schéma n'a pas été conçu pour participer au concours du circuit le plus simple de la décennie ! Si vous savez comment un thyristor fonctionne (et vous ne pourrez plus l'ignorer après avoir lu l'article) vous comprenez pourquoi si peu de composants sont nécessaires pour le tester.

R1 = 10 k Ω
R2 = 1 k Ω
S1 = interrupteur
S2 = bouton poussoir fermé au repos
S3 = bouton poussoir ouvert au repos

1 support de culot de lampe
1 lampe à incandescence de 8 V

principe

Pour tester un thyristor, rien de plus facile. Il suffit de lui proposer les deux exercices pour lesquels il est le plus apte : conduire un courant de son anode vers sa cathode, lorsqu'une impulsion lui chatouille la gâchette ; se bloquer, jusqu'à la prochaine impulsion de gâchette, si le courant est coupé dans le circuit qu'il ferme. Il reste donc à fabriquer le circuit qui lui permettra de s'exprimer. Le courant de

test peut être continu et l'inoffensive tension d'une simple pile suffira. Le résultat n'en sera pas moins fiable. Le circuit n'est pas des plus compliqués et le tour en est vite fait. Voyez la figure 1. Est-ce que ça fonctionne ? Pour le savoir, il nous faut le tester. Pour tester un testeur, il faut un composant connu. Supposons pour commencer que le candidat à examiner est bien disposé (c'est un maître thyristor en ordre de marche et son brochage ne laisse aucun doute) : ses broches sont là où elles doivent se trouver. Fermez S1 : en principe, la lampe reste éteinte, puisque le courant ne peut pas passer de A vers K⁽¹⁾. Poussez S3, la bête reçoit alors une impulsion sur sa gâchette et consent à laisser passer le courant : la lampe s'allume et reste allumée, lorsque le poussoir S3, ouvert au repos, est relâché. Pour l'éteindre, on ouvre le circuit à l'aide de S2 : elle ne se rallume que si, S2 ayant retrouvé sa position initiale, S3 est à nouveau momentanément fermé. Les choses se passeront de la sorte pour tout thyris-

tor en état de marche et bien câblé. Un thyristor fichu et branché à l'envers ne permet pas, ici du moins, que la lampe s'allume. C'est là tout l'intérêt du dispositif. Le tri s'effectue sans discussion possible.

Le programme à suivre pour opérer est donné sur l'organigramme de la figure 2. Ceux qui possèdent un ordinateur et qui ont déjà programmé, sont familiarisés avec ce genre d'outil graphique. Il est à lire de haut en bas, en exécutant les instructions contenues dans les rectangles, les unes à la suite des autres, et en s'arrêtant aux losanges qui posent une question et indiquent, en fonction de la réponse, la voie sur laquelle se trouve l'instruction suivante : les losanges contiennent des instructions conditionnelles. Par exemple : la première case, arrondie, marque le "début" du processus, l'instruction suivante, dans un rectangle, ordonne de "disposer le thyristor sur son support", une fois cette opération réalisée, l'instruction contenue dans le rectangle qui suit

(1) Le thyristor, sous ses airs de diode, cache une sorte de passage à niveau. Dans l'Ouest lointain, on l'a d'ailleurs surnommé S.C.R. c'est-à-dire Silicon Controlled Rectifier, en bon français : diode (redresseur) au silicium commandée.

Figure 3 - Inutile de graver un circuit imprimé ! Les deux résistances sont soudées directement aux bornes des boutons poussoir et à des cosses fixées sous la plaquette. La pile est maintenue par une petite lame d'aluminium coupée et pliée à ses dimensions. Le reste va de soi. Les "sucres" (ils étaient autrefois en céramique blanche) en barrette sont disponibles chez tous les revendeurs de matériel électrique, et garantissent des contacts sans bavures. Vous pouvez éventuellement les laisser flotter au bout de leurs fils après les avoir repérés : ça facilite la recherche du brochage.

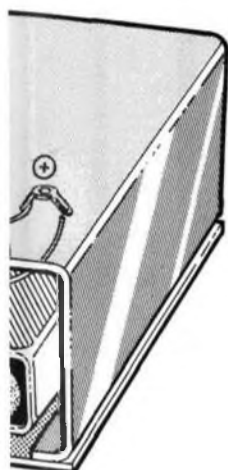
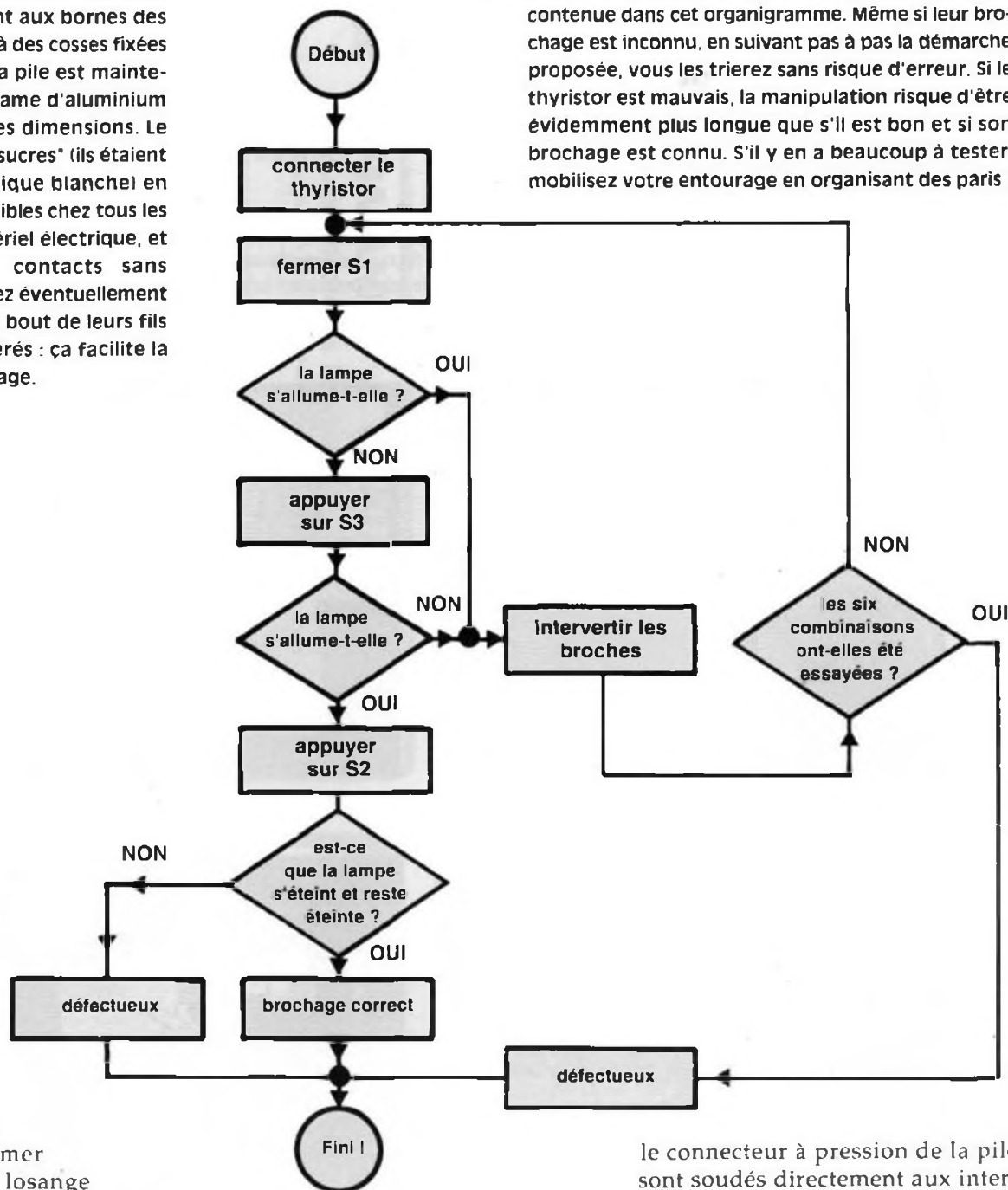


Figure 2 - La série complète des épreuves, à laquelle le soumettre les thyristors de récupération, est contenue dans cet organigramme. Même si leur brochage est inconnu, en suivant pas à pas la démarche proposée, vous les trierez sans risque d'erreur. Si le thyristor est mauvais, la manipulation risque d'être évidemment plus longue que s'il est bon et si son brochage est connu. S'il y en a beaucoup à tester, mobilisez votre entourage en organisant des paris !



immédiatement est à son tour exécutée : "fermer S1". Ensuite, un losange dont le contenu impose une condition et un choix : si la lampe n'éclaire pas, "enfoncer S3" ; ou, si la lampe éclaire, "modifier la position des broches du thyristor sur son support" etc. Suivez les flèches, en fonction des événements rencontrés dans les losanges, jusqu'à parvenir, par un chemin ou par un autre, à la case "fin", qui est arrondie. Si l'organigramme est mal conçu, ça arrive quelques fois, on se plante dans une boucle : on répète indéfiniment les mêmes instructions sans jamais arriver à la fin du programme. Dans le cas présent, si un plaisantin avait écrit : « persévérer » au lieu de « les

six possibilités <<ont-elles été testées ? », la machine chargée de l'opération n'aurait pas pu, dans certains cas, la terminer. Ici, la machine, c'est vous et bien sûr, pour vous "planter dans une boucle", le programmeur (personne qui rédige le programme) aurait quelques difficultés. Il n'y a vraiment pas de quoi occuper une platine ! Disposez les interrupteurs et la douille de la lampe, comme le montre la figure 3, sur une plaque rigide (un morceau d'époxy par exemple) ; les deux résistances et

le connecteur à pression de la pile sont soudés directement aux interrupteurs et à une paire de cosses. Comme support de test, pourquoi ne pas utiliser des barrettes ? Le thyristor ne risque pas de se tirer, si les vis sont serrées, et vous aurez au moins la certitude que les contacts sont bien établis sans risques de courts-circuits. Bon nombre d'erreurs sont ainsi éliminées. Un point pour terminer et vous faciliter les contrôles : la languette de refroidissement de la plupart des thyristors (qui en possèdent une) est reliée à l'anode (jamais à la gâchette, à notre connaissance). Bonne pêche !

86803