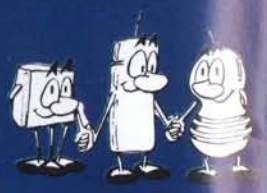
électronique
n° 17
elex
explorez l'électronique
testeur
d'amplificateurs opérationnels
guide-chant électronique
avec dessin de circuit imprimé
M 2510 - 17 - 20,00 F
3792510020001 00170
décembre 1989
146 FB/7,80 FS
mensuel

E · L · E · X
BP 53
59270 BAILLEUL



R · U · B · R · I · Q · U · E · S

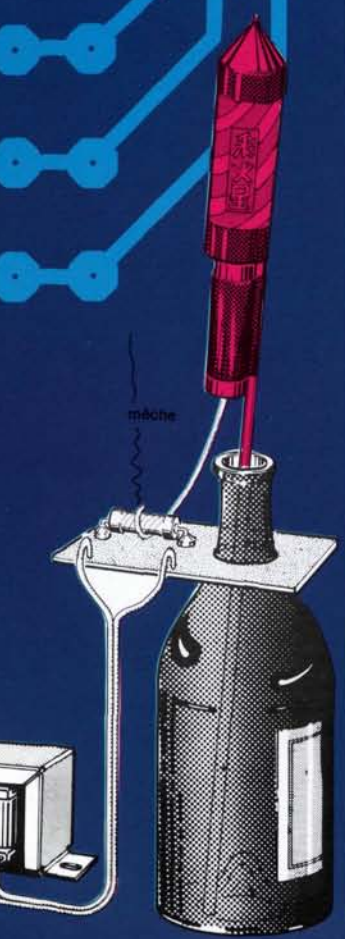
4 · RÉSI & TRANSI : dis donc, les tubes
31 · table des matières 1989
29 · bazar (petites annonces)
30 · périscope : matériel scolaire
58 · puzzle
59 · elextrace (circuits imprimés)

I · N · I · T · I · A · T · I · O · N

6 · ABC des amplificateurs opérationnels 2e partie
54 · analogique anti-choc 12e épisode
16 · passe-haut, passe-bas, c'est quoi ?
38 · le bruit
40 · la fréquence de coupure des filtres
50 · la contre-réaction

R · É · A · L · I · S · A · T · I · O · N · S

10 · testeur d'amplificateurs opérationnels
20 · trappe à bruit
24 · pile ou face
26 · briquet électronique
28 · bougie électronique
42 · mégaphone
45 · mini-clavier à touches sensitives
52 · amplificateur passe-partout

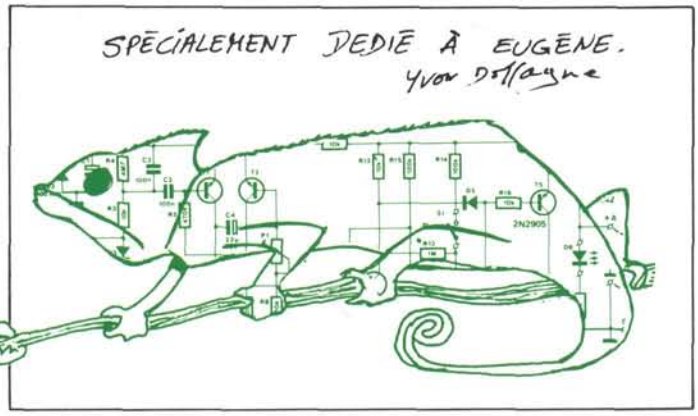


éditorial

Fermé pour cause d'inventaire

La présence encombrante, dans ce numéro, d'une extensive table des matières (3 pages) des onze numéros d'ELEX de l'année 89 a compromis la parution de la rubrique ELEXPRIME. Exit le courrier des lecteurs que nous avons sacrifié ce mois-ci non sans hésiter un peu, craignant que vous préférassiez que nous sucrassions la BD. Maintenant que le mâle est fait, il faut le boire jusqu'à l'hallali.

Ces mauvais mots verts font Vermot.
Le Comité International des Poêles et Masures[1] fait l'inventaire lui aussi et nous rappelle qu'à compter du 01/01/90 le VOLT connaîtra en France une hausse de 6,74 ppm (part par million) et l'OHM une hausse de 0,66 ppm ; les coefficients multiplicateurs à appliquer seront donc respectivement de 0,99999326 et 0,9999934. Les unités dérivées telles que l'AMPÈRE et le WATT suivront ces modifications. Vzavé zintéré Ahmed vote montaleur[2] !



A propos du célèbre *inventaire* de Jacques Prévert dont s'est échappé le raton-laveur que l'on voit traîner dans les allées d'ELEX, nous nous demandons si dans l'énumération finale « trois dimensions douze apôtres mille et une nuits *trente- deux positions* six parties du monde cinq point cardinaux dix ans de bons et loyaux services sept péchés capitaux deux doigts de la main dix gouttes avant chaque repas trente jours de prison dont quinze de cellule cinq minutes d'entr'acte et... plusieurs ratons-laveurs », les trente-deux positions font référence à un commutateur à 32 positions. Ce serait bien l'une des rares évocations de l'électronique dans le roman et la poésie. En connaissez-vous d'autres ? Écrivez-nous. Jusqu'à présent, nous n'avons pu trouver que la prémonition de *Zazie*[3] qui supputait déjà en 1959 que « l'électronique, et des trucs comme ça » lui serviraient sans doute un jour pour aller faire chez les martiens.

---

[1] Comité International des Poids et Mesures

[2] seulement si la précision de vos appareils est meilleure que 0,006% !

[3] *Zazie dans le métro* station R. Queneau sur la ligne *Livre de Poche*, page 21; sépatrist et ça se lit aussi bien au lit que dans l'autobus, pourvu que l'on sache rire en lisant

Selectronic

TEL. 20.52.98.52 - 86 rue de Cambrai BP 513 - 59022 Lille Cedex

LE LEADER DE L'ELECTRONIQUE PAR CORRESPONDANCE

Vous propose en kit les réalisations décrites dans ELEX !

***Nos kits ne comprennent que du matériel professionnel pour un fonctionnement sûr. Des supports de circuits intégrés sont fournis si nécessaires. Par contre, le circuit imprimé est à prévoir en sus, ainsi que le coffret éventuel** (Consulter notre catalogue général).*

	REFERENCE DU KIT	PRIX DU KIT	CIRCUIT IMPRIME A PREVOIR	COFFRET CONSEILLE (EN OPTION)
ELEX n° 1				
Testeur de continuité (avec H.P.)	101.8580	58,00 F	①	RG2
Sirène de vélo (avec H.P.)	101.8581	70,00 F	①	30M
Testeur de transistors	101.8582	50,50 F	①	RG2
Alimentation stabilisée 0 à 15 V (avec 2 galvas)	101.8583	345,00 F	②	EB16/08
Balance pour auto-radio	101.8584	51,00 F		RG1
Commande de plafonnier	101.8585	41,00 F	①	–
ELEX n° 2				
Gradateur pour lampe de poche	101.8586	20,00 F	①	–
Minuteur de bronzage (avec buzzer)	101.8587	85,00 F	②	RG3
Ressac électronique	101.8588	22,00 F	①	RG1
Ohmmètre linéaire (avec galva)	101.8589	143,00 F	①	RG3
Gyrophare de modèle réduit	101.8590	32,00 F	①	–
Etage d'entrée pour multimètre	101.8591	32,00 F	①	RG2
Chargeur d'accus universel	101.8592	174,00 F	①	EB16/08
Platine d'expérimentation DIGILEX	101.8593	186,00 F	④	RA2
ELEX n° 3				
Minuterie électronique (avec H.P.)	101.8594	54,00 F	①	RG2
Testeur de polarité	101.8595	22,00 F	①	RG1
Arrosage automatique	101.8596	53,00 F	①	RG2
Décade de résistance	101.8597	165,00 F		EB21/08
Thermomètre	101.8598	126,00 F	①	RG3
Décade de condensateurs	101.8599	142,00 F		EB21/08
ELEX n° 4				
Compte tours (avec galva)	101.8611	123,50 F	①	RG2
Mini amplificateur TDA 2003	101.8612	36,50 F	①	RG2
Régulateur de vitesse pour mini-perceuse	101.8613	216,00 F	②	RG4
ELEX n° 5				
Amplificateur de poche "CANARI"	101.8610	36,50 F	①	RG2
Variateur de vitesse pour caméra	101.8614	65,00 F	①	RG2
Alimentation universelle	101.8615	184,00 F	②	RG4
Traceur de courbes pour transistors	101.8616	25,00 F	⑤	20M
Relais temporisé	101.8617	68,00 F	①	–
Touche à effleurement	101.8618	52,50 F	②	RG3
Testeur de diodes Zener	101.8619	59,00 F	①	RG2
ELEX n° 6				
Corne de brume pour modélisme	101.8620	32,00 F	①	RG1
Photomètre électronique	101.8621	53,00 F	①	RG2
Feux de stationnement	101.8622	62,00 F	①	RG1
Mini-alarme	101.8623	29,00 F	①	RG1
Balisage automatique	101.8624	29,00 F	①	RG1
Bruiteur "DIESEL" pour modélisme	101.8625	26,00 F	①	RG1
ELEX n° 7				
Indicateur de gel	101.8626	28,00 F	①	RG1
Sirène (avec H.P.)	101.8627	75,00 F	①	RG4
Lampe de poche pour labo photo (avec boîtier HEILAND)	101.8608	58,00 F	①	
ELEX n° 8				
Ampli pour micro	101.8651	30,00 F	①	RG2
Régulation train électrique (avec coffret pupitre ESM)	101.8652	248,00 F	②	
Ampli "POUCHE-POULE" (avec H.P.)	101.8654	35,00 F	①	RG2
Métronome (avec H.P.)	101.8655	43,00 F	①	RG2
ELEX n° 9				
Alim. 12 V / 3A (avec radiateur)	101.8656	275,00 F	①	EB21/08
Inter à claques	101.8657	70,00 F	②	RG3
Circuit de pontages pour train (avec alim.)	101.8658	210,00 F	②	RG3
ELEX n°10				
Jeu d'adresse (avec alim.)	101.8659	138,00 F	②	–
Amplificateur d'antenne FM (avec alim.)	101.8660	152,00 F	②	RG3
Mesureur de champ	101.8661	79,00 F	①	RG2
Récepteur G.O.	101.8662	66,00 F	①	–
Adaptateur Fréquencemètre	101.8663	67,00 F	①	RG2
Gong à 3 notes	101.8664	85,00 F	①	RG2
ELEX n° 11				
Chenillard (avec 7 ampoules)	101.8744	187,00 F	②	RG4
Mémoire de sonnette	101.8745	26,00 F	①	RG1
Servo-flash	101.8746	53,00 F	①	RG1
Eclairage de modèle réduit	101.8747	119,00 F	①	RG1
Allumage de phares	101.8749	30,00 F	①	RG1
Extinction de phares	101.8754	27,00 F	①	RG1
ELEXPOSE	101.8764	87,00 F	①	RG4
ELEX n° 12				
Roulette électronique	101.8755	59,00 F	①	RG2
Rossignol électronique	101.8756	45,00 F	①	RG1
Afficheur 7 segments	101.8757	25,00 F	①	–
Dé électronique	101.8758	33,00 F	②	RG1
Minuterie d'escalier	101.8759	95,00 F	①	RG1
			①	RG3
"Mets ta ceinture"	101.8762	45,00 F	①	RG1
Testeur de continuité	101.8763	55,00 F	①	RG1

PRIX PAR QUANTITE : NOUS CONSULTER

CIRCUITS IMPRIMÉS ELEX	REF. SELECTRONIC	PRIX
① Platine n° 1 40 x 100 mm	101.8485	23,00 F
② Platine n° 2 80 x 100 mm	101.8486	38,00 F
③ Platine n° 3 160 x 100 mm	101.8487	60,00 F
④ Platine DIGILEX	101.8488	88,00 F
⑤ Platine EPS 886087	101.8489	47,60 F

COFFRETS EN OPTION : *Ces coffrets sont donnés à titre indicatif comme convenant au montage correspondant (voir notre CATALOGUE GENERAL)*

- RG1	103.7640	23,00 F
- RG2	103.7632	28,50 F
- RG3	103.7641	39,00 F
- RG4	103.7642	52,00 F
- RA2	103.2303	103,00 F
- 20M	103.2283	16,20 F
- 30M	103.2285	27,50 F
- EB21/08 FA	103.2215	77,40 F
- EB16/08 FA	103.2211	61,00 F

CONDITIONS GENERALES DE VENTE

Règlement à la commande : Commande inférieure à 700 F : ajouter 28,00 F forfaitaire pour frais de port et emballage.

Commande supérieure à 700 F : port et emballage gratuits.

- Règlement en contre-remboursement : joindre environ 20 % d'acompte à la commande. Frais en sus selon taxes en vigueur.

- Colis hors normes PTT : expédition en port dû par messageries.

Les prix indiqués sont TTC.

Pour faciliter le traitement de vos commandes, veuillez mentionner la REFERENCE COMPLETE des articles commandés

LES BIDOUILLES DE

DIS DONC...

T'ES DEVENU PLOMBIER ?

NON, JE VAIS ME CONSTRUIRE UN AMPLI À TUBES POUR MON LECTEUR C.D.

À TUBES ???

OUAIS !! Y DISENT, DANS LE "ZODIOPATE", QUE LE SON EST PLUS CHAUD !

T'AS RIEN COMPRIS ! IL S'AGIT DE TUBES ÉLECTRONIQUES !

COMME MOI ---

C'EST QUOI, CE VIEUX TRUC ?? IL Y A DES TRANSISTORS DEDANS ?

LES LAMPES MO'TES SE 'AMASSENT À LA PELLE ♫ ♪... LES SOUVENI'S ET LES 'EG'ETS AUSSI... ♪

CE SONT LES TUBES OU LAMPES, QUI ONT ÉTÉ REMPLACÉS PAR LES SEMI-CONDUCTEURS.

AU FOND, C'EST UNE TECHNOLOGIE QUASIMENT MORTE !

MAIS SI ELLE EST MORTE, COMMENT FAIT-ELLE POUR DONNER UN SON CHAUD ?

À MON TUBE

BOF... SANS DOUTE À CAUSE DE LA COULEUR ROUGE DU FILAMENT...

OU DE L'ENERGIE QUE CES TUBES DÉPENSAIENT !

?

BROUM BROUM BROUM

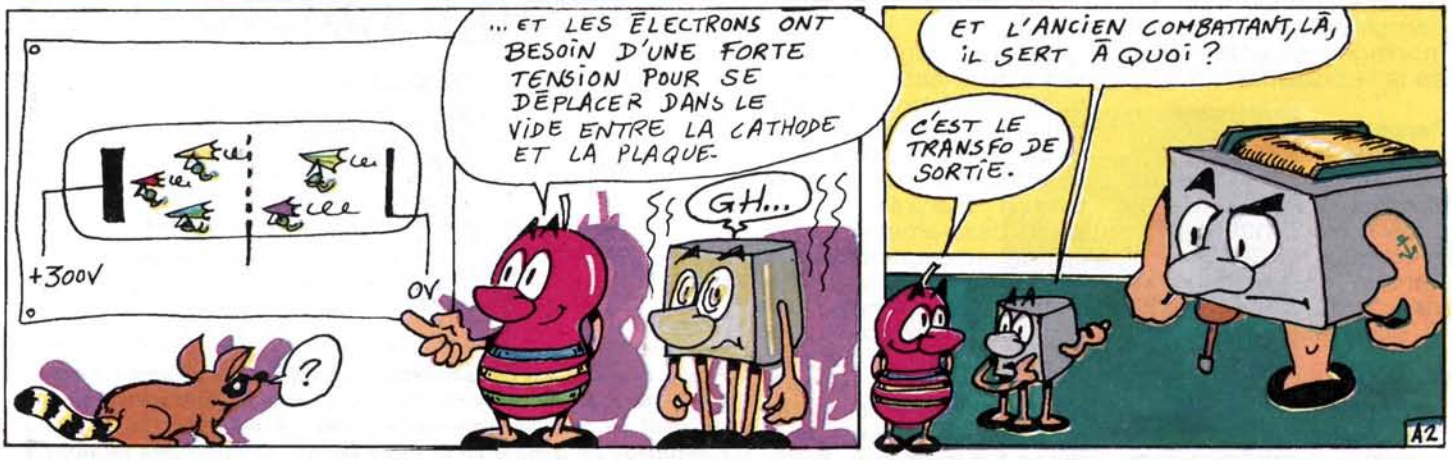
ARGH !... C'EST QUOI ÇA ? LES BLINDÉS SOVIÉTIQUES ??

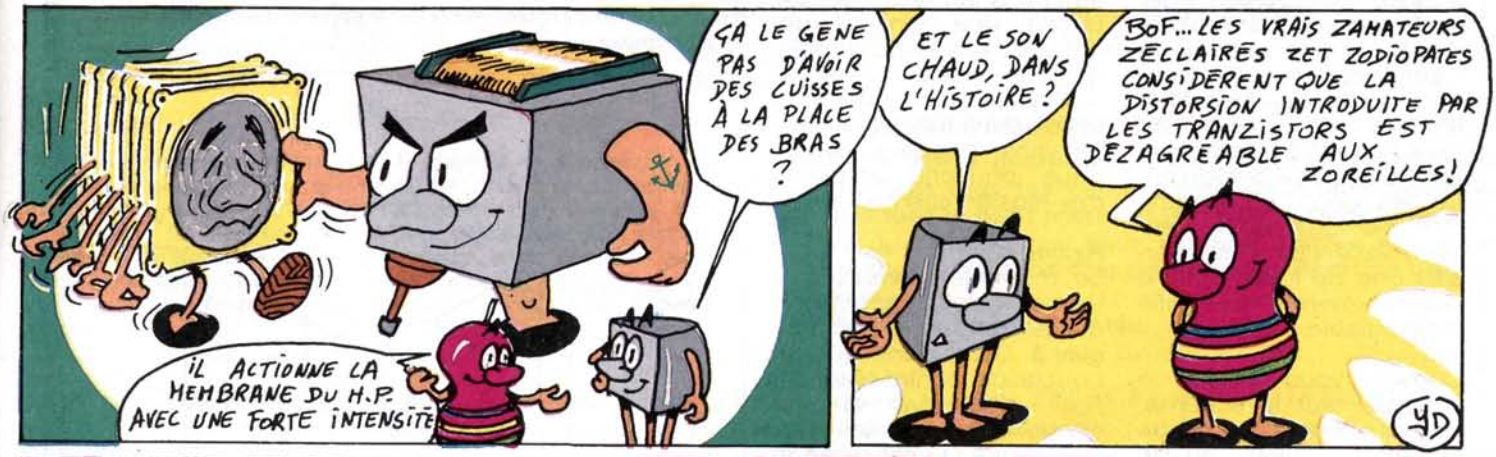
MAIS NON ! CE N'EST PLUS LA MODE ! CE SONT DE GROS TRANSFOS !

BROUM BROUM BROUM

RESI & TRANSI®

DESSINS : YVON DOFFAGNE – COULEURS : COOKY F.





ABC des AOP

Deuxième partie du petit abécédaire des amplificateurs opérationnels

La première partie nous a permis de faire connaissance avec l'histoire des amplificateurs opérationnels, et avec le principe de l'amplificateur différentiel. Le montage **non-inverseur** occupe la première des six cases de notre aide-mémoire (voir ELEX n°16, page 16), avec le suiveur de tension dans un coin. Le sujet d'aujourd'hui est l'amplificateur **inverseur**, montage le plus utilisé dans la pratique.

Rappel
La **figure 1** rappelle le principe de l'amplificateur différentiel. La base de T1 constitue l'entrée non-inverseuse, celle de T2 l'entrée inverseuse. La tension de sortie est celle du collecteur de T2.

Précision
La tension de sortie est mesurée par rapport à la masse, c'est-à-dire en **mode commun**. Dans la réalité, la cuisine interne de l'amplificateur opérationnel exploite la tension **différentielle** de sortie de l'étage d'entrée. Il s'agit de la différence de tension entre les deux collecteurs. Comme ces deux tensions varient en sens inverse l'une de l'autre, notre raisonnement simplifié reste valable.

Comme vous pouvez le constater sur le schéma, l'alimentation est devenue symétrique alors qu'elle était unique dans la première partie. Nous avons maintenant deux sources de tension, l'une positive, l'autre négative par rapport à la masse. Toutes les tensions sont référencées à la masse et non par rapport aux tensions d'alimentation. Un bon amplificateur opérationnel est insensible aux variations de la tension d'alimentation ; ce critère figure dans les feuilles de caractéristiques sous le nom de « taux de réjection des tensions d'alimentation ». La tension d'alimentation la plus courante est de ± 15 V.

Un bon amplificateur opérationnel est insensible aux variations de la tension d'alimentation

La **figure 2** reprend, avec des alimentations symétriques, le schéma de l'amplificateur non-inverseur de la première partie. Les limitations imposées à la tension d'entrée par le seuil base-émetteur des transistors disparaissent. Il était impossible, avec une alimentation simple, de traiter des tensions inférieures à 0,6 V. C'est possible maintenant, et nous pouvons même traiter des tensions négatives par rapport à la masse. Appliquons une tension de – 1 V à l'entrée du montage : la sortie passe à – 10 V. Le fonctionnement reste identique avec des tensions positives, donc nous pouvons amplifier des tension alternatives.

Retournement
Le montage **inverseur** de l'amplificateur opérationnel est représenté par la **figure 3**. Supposons que la boucle de contre-réaction R_e/R_c n'est pas encore connectée. L'entrée non-inverseuse (+) est reliée à la masse et nous appliquons une faible tension sur l'entrée inverseuse (–). La réponse de l'amplificateur est la même que dans la première partie, à l'inversion des polarités près : si la tension de l'entrée inverseuse est positive, la tension de la sortie, faute de pouvoir devenir infinie, prendra la valeur de la tension d'alimentation négative. Symétriquement, si la tension de l'entrée inverseuse est négative, la sor-

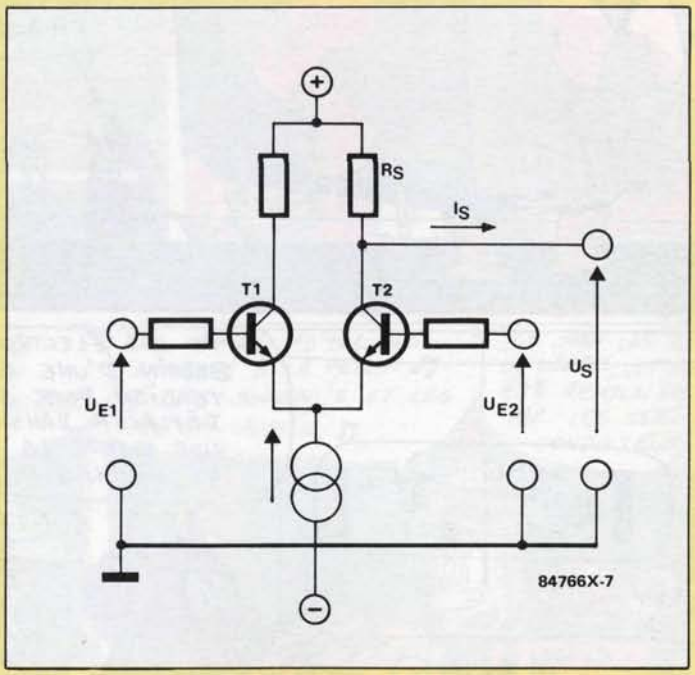


Figure 1 - Il ne s'agit pas exactement du schéma de la première partie. L'alimentation est symétrique : nous nous affranchissons ainsi du seuil de tension base-émetteur des transistors ; d'autre part l'excursion de tension de la sortie permet de traiter des tensions alternatives. Et c'est tant mieux car le continu peut devenir monotone à la longue.

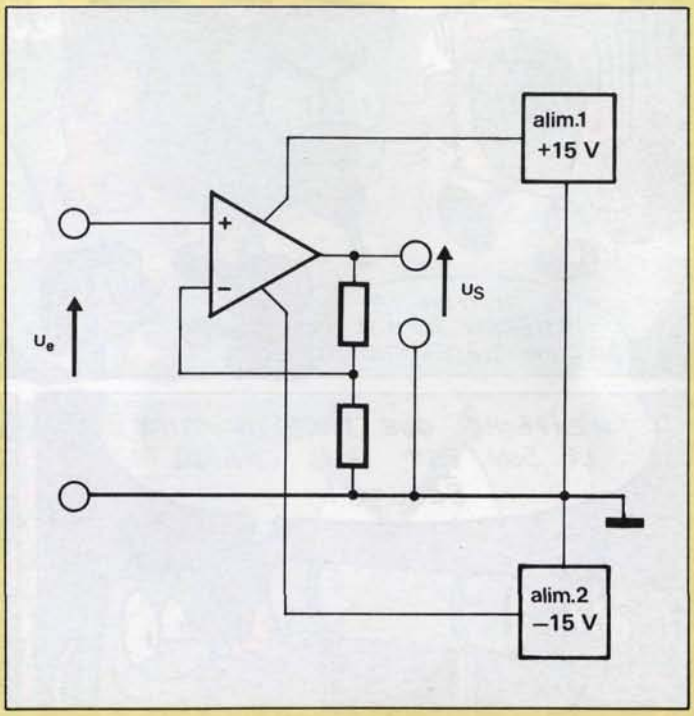


Figure 2 - L'amplificateur non-inverseur, alimenté en symétrique, permet d'amplifier des tensions positives, négatives, ou alternatives.

L'ELECTRONIQUE A L'ECOLE

Comment apprendre l'électronique aux enfants

Comment apprendre l'électronique aux enfants ?... Ne cherchez plus la réponse : la voici :
En effet, les Editions Radio ont conçu, et mettent à votre disposition l'outil indispensable, maniable et complet pour animer de façon pédagogique et progressive de vivantes séances d'apprentissage de l'électronique, même si vous êtes totalement profane en la matière.
Les auteurs en sont :

- André RODRIGUEZ, conseiller pédagogique et chargé de la formation électronique des instituteurs à l'Ecole Normale de Saint-Germain-en-Laye.
- Jean-Claude FANTOU, enseignant en électronique, auteur de nombreux livres de vulgarisation technique dans les domaines de l'informatique et de l'électronique.

LE LIVRE DU MAITRE

LA BOITE DES COMPOSANTS

LE LIVRE :

Destiné aux enseignants, il décrit 9 séances de cours avec leur déroulement détaillé : la structure du cours, les questions probables des élèves, les écueils à éviter, la réalisation détaillée des expériences pratiques d'électronique, des évaluations avec corrigés et des compléments techniques.
160 pages - Format 18 × 24 cm - Prix : 108 F port compris.

LA BOITE DES COMPOSANTS :

Cette boîte destinée à l'enseignant et aux élèves, contient tous les composants électroniques, ainsi que tout le petit matériel (fil, plaquettes, tournevis, etc.), nécessaires pour réaliser toutes les expériences pratiques d'apprentissage décrites dans le livre.
Prix : 73 F port compris.

BON DE COMMANDE à adresser à Editions Radio, 189, rue Saint-Jacques 75005 Paris **Tél. (1) 43.29.63 70.**
Je désire recevoir par la poste au prix indiqué ci-dessus l'ouvrage (ou les ouvrages) :

L'ELECTRONIQUE A L'ECOLE, par A. Rodriguez et J.-C. Fantou (Cocher la ou les cases) :

☐ 1 LE LIVRE DU MAITRE ☐ 2 LA BOITE DES COMPOSANTS

☐ LE CATALOGUE « ELECTRONIQUE » GRATUIT DES EDITIONS RADIO.

NOM _____ Prénom _____

Adresse _____

Code postal _____ VILLE _____

Ci-joint chèque postal 3 volets sans indication de N° de compte ☐ Chèque bancaire ☐ Mandat postal ☐
SOCIETES ET ADMINISTRATIONS : POUR RECEVOIR LE(S) LIVRE(S) RAPIDEMENT, JOIGNEZ VOTRE REGLEMENT A VOTRE COMMANDE.

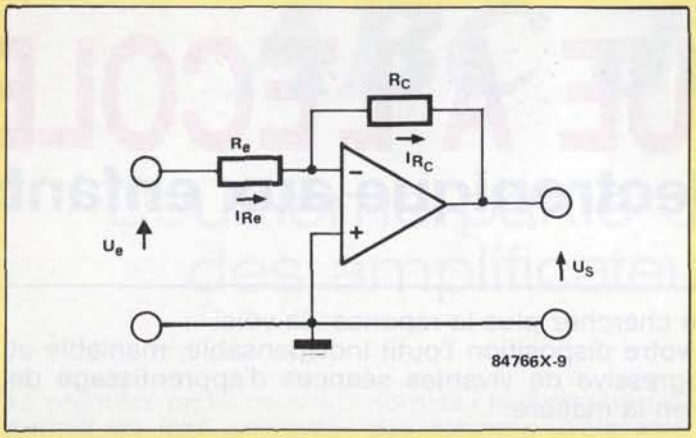


Figure 3 - L'amplificateur inverseur est le montage le plus utilisé. La tension de l'entrée non-inverseuse peut être fixée à un niveau différent de la masse, ce qui nous fait anticiper sur les montages sommateurs.

tie ira en « butée » à la tension d'alimentation positive. *Nous continuons de négliger les tensions de déchet des transistors qui constituent le circuit intégré : chaque fois qu'il est question de la tension d'alimentation sans autre précision, il s'agit de la tension d'alimentation diminuée de la tension collecteur-émetteur du transistor de sortie (environ 1 V).*

Ce fonctionnement inversé n'est pas étonnant, puisque l'amplificateur opérationnel réagit à des **différences** de tension entre les entrées. La différence est la même quand on applique – 1 V à l'entrée inverseuse que quand on applique + 1 V à l'entrée non-inverseuse. Nous n'avons pas parlé des courants consommés par les entrées : c'est parce qu'ils sont nuls en théorie et négligeables en pratique. Tous les courants circulent en sortie ou **autour** des entrées. L'étage de sortie des circuits intégrés, alimenté par deux tensions symétriques et construit avec des transistors complémentaires (voir le montage *pouche-poule*, elex n°8), est capable de débiter du courant et aussi d'en consommer.

Les courants consommés par les entrées sont nuls en théorie et négligeables en pratique

Revenons au montage de la figure 3. La tension de la sortie se stabilise à une valeur telle que la différence de tension entre les entrées soit nulle.

Comme aucun courant ne circule par les entrées elles-mêmes, tout le courant qui traverse la résistance d'entrée R_e traverse aussi la résistance de contre-réaction R_c. Nous pouvons donc calculer les tensions en fonction de la loi d'Ohm. Si R_e est de 1 kΩ, R_c de 10 kΩ, le rapport entre les tensions sera de 10. Comme la tension d'entrée U_e est de + 1 V, que la tension de l'entrée inverseuse est égale à celle de l'entrée non-inverseuse, donc nulle, la tension aux bornes de R_e est de + 1 V. La tension aux bornes de R_c est de signe opposé et de valeur dix fois plus grande. La tension de sortie est donc de – 10 V.

Vous pouvez relire le paragraphe ci-dessus pendant que je vais répondre au téléphone.

Me revoilà. C'était Yvon qui me demandait quel serait le sujet de la prochaine BD. J'en sais rien, moi. Il m'embête ! Vous avez peut-être des idées là-dessus, vous ?
Bon, passons. L'intérêt de ce montage est qu'il permet de calculer facilement le gain. Le rapport entre les tensions d'entrée et de sortie est égal au rapport entre les résistances d'entrée et de contre-réaction. C'est le moment de remplir la deuxième des petites cases que vous avez préparées la dernière fois :

Gain de l'amplificateur inverseur

$$A = -\frac{R}{R}$$

Le signe – exprime l'inversion de la tension de sortie par rapport à celle d'entrée. Le calcul de la valeur absolue du gain se résume au calcul du rapport entre les deux résistances de la boucle de contre-réaction.

L'impédance d'entrée de l'amplificateur non-inverseur est extrêmement élevée, et même infinie en théorie. Il n'en est pas de même pour l'amplificateur inverseur, dont l'impédance d'entrée est précisément égale à la valeur de la résistance d'entrée R_e. En effet, l'entrée inverseuse est considérée comme une **masse virtuelle**, puisque son potentiel est toujours nul. La source de signaux voit donc toujours R_e en parallèle entre l'entrée et la masse. Dans les montages où cette impédance d'entrée réduite est gênante, comme c'est le cas avec des sources de signaux de forte impédance interne, on peut fort bien faire précéder le montage inverseur d'un étage suiveur de tension à amplificateur opérationnel (cas particulier de l'amplificateur non-inverseur, voir premier article dans le n°16).

Continuons les comparaisons entre ces deux premiers montages, inverseur et non-inverseur : nous avons vu que le comportement du montage non-inverseur s'écarte beaucoup de l'idéal lorsque la fréquence du signal à amplifier augmente. Ce n'est pas le cas du montage inverseur, dont le gain reste constant sur une plus grande plage de fréquences.

La tension de décalage en entrée

Avant de poursuivre avec les autres montages fondamentaux de l'amplificateur opérationnel, nous ferons un petit détour par les circuits pratiques. Nous avons toujours considéré jusqu'ici des amplificateurs idéaux, d'impédance d'entrée infinie, de gain infini, d'impédance de sortie nulle... La réalité est tout autre, ma pauvre dame, et l'un des postulats de notre raisonnement est faux le plus souvent : « la tension de sortie est nulle quand la différence de tension entre les deux entrées est nulle ». Pour vous en convaincre, réalisez le montage de

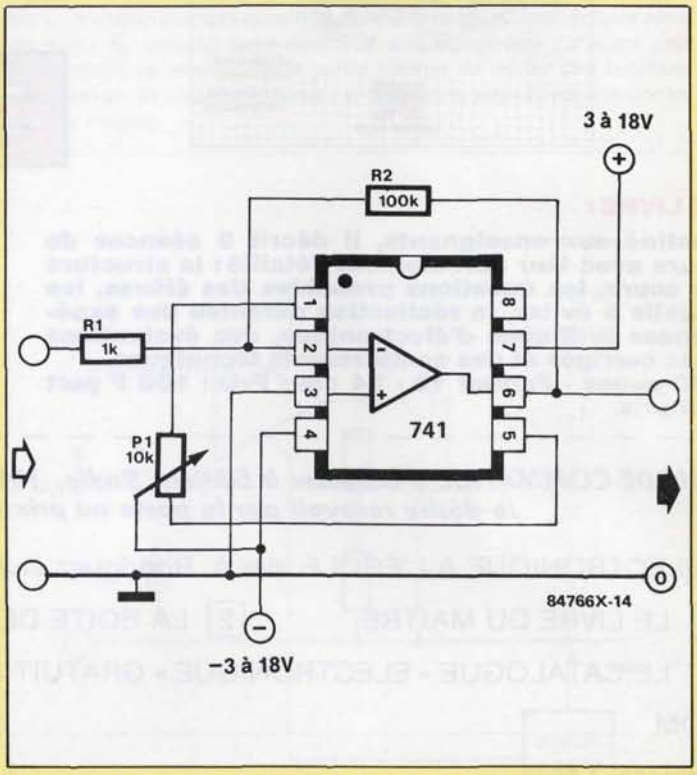


Figure 4 - Le montage pratique d'un 741. Parmi les qualités de ce circuit intégré, il faut citer la solidité. Il accepte à peu près tous les mauvais traitements, jusqu'à l'inversion des tensions d'alimentation. Pas longtemps, bien sûr, et il ne fonctionne pas dans ces conditions ; mais si l'épreuve est de courte durée, il refonctionne aussitôt refroidi. Une bénédiction pour les expérimentateurs distraits !

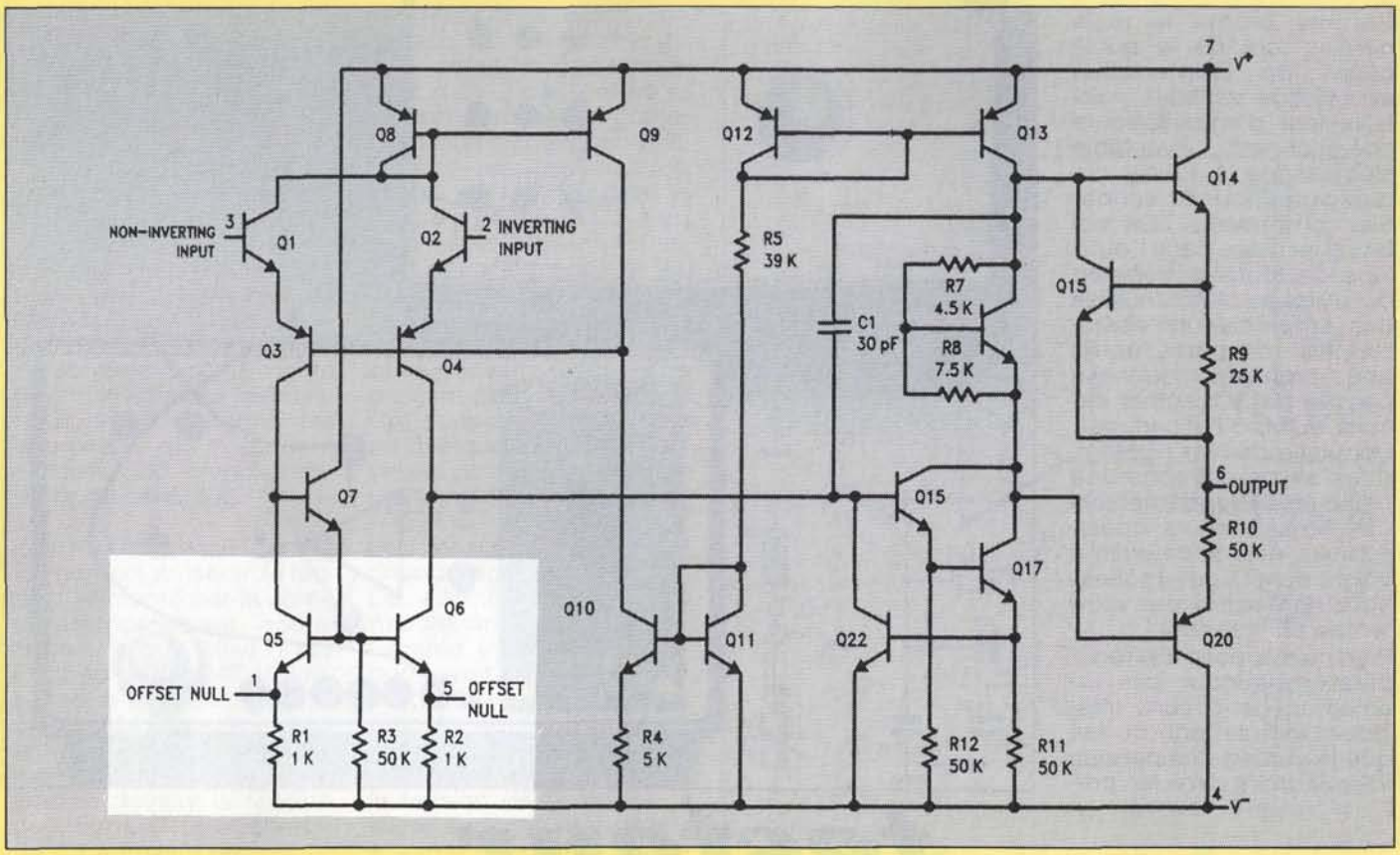


Figure 5 - Le schéma interne du 741. On y trouve des explications sur la cause du décalage de tension en entrée, mais aussi sur l'impédance de sortie et les tensions de déchet.

la **figure 4**. Vous pouvez utiliser pour cela l'alimentation symétrique du n°16 et le testeur d'amplificateurs opérationnels de ce numéro.

Le montage de la figure 4 est un amplificateur inverseur de gain 10, correspondant à l'exemple utilisé jusqu'ici. Ne montez pas le potentiomètre pour l'instant. Vous reliez l'entrée du montage à la masse et, armé de votre multimètre, vous constatez que... la tension en sortie n'est pas nulle. Pourtant elle devrait l'être en théorie. L'explication est simple : le circuit intégré est constitué de transistors qui ne sont pas rigoureusement identiques, entourés de résistances dont la tolérance n'est pas nulle. La tension que vous lisez en sortie est le résultat de la multiplication par 10 (le gain du montage) de la **tension de décalage en entrée** (*offset*). Ce décalage est inévitable et les fabricants ont prévu différentes façons de nous en affranchir, pour les applications où une précision extrême est recherchée.

La première est de faire un tri lors de la fabrication et de vendre sous des références différentes les meilleurs circuits intégrés, avec des caractéristiques garanties.
our le tout-venant, la solution consiste à compenser le décalage par un décalage des sources de courant internes du circuit intégré. Reportons-nous à la **figure 5**. Il s'agit du schéma interne de notre bon vieux 741. Les transistors Q5 et Q6 sont deux sources de courant constant qui constituent les charges des transistors d'entrée Q1 et Q2. Nous nous écartons ici du modèle d'étage différentiel du début : la source de courant constant est installée dans les collecteurs et la charge dans le circuit d'émetteur. Il ne faut pas en vouloir aux concepteurs du 741, qui n'avaient pas lu **elex** ; il ne faut pas nous en vouloir non plus, car le fonctionnement de notre modèle est plus facile à expliquer que celui du circuit intégré.

Si nous avions voulu faire varier, pour un même état des entrées, la tension de l'un des collecteurs de notre modèle de la figure 1, nous avions la ressource de modifier la valeur de l'une des résistances de collecteur. C'est ce que le fabricant du 741 a pensé aussi : les charges de Q1 et Q2 sont des sources de courant constant caractérisées par les résistances (intégrées) R1 et R2. Les bornes de ces résistances qui sont reliées aux émetteurs sont accessibles par les broches 1 et 5, les autres par la broche d'alimentation négative (4). Faute d'avoir les doigts assez fins et des outils assez précis pour remplacer les résistances par d'autres de valeur légèrement différente, nous pouvons brancher un potentiomètre entre les bornes 1, 5 et 4, comme sur la figure 4.

Ne nous en privons pas et nous constaterons qu'en manoeuvrant le curseur du potentiomètre, entrées toujours à la masse, nous faisons varier la tension de sortie de part et d'autre du zéro. En modifiant la valeur de la résistance en parallèle sur R1 et R2 (du circuit intégré), nous modifions l'équilibre des deux sources de courant, donc de la charge des transistors d'entrée. Ces modifications sont répercutées à la sortie par le reste du montage. Il suffit ainsi d'un simple potentiomètre pour obtenir un amplificateur parfait (ou presque) du point de vue de la tension de décalage en entrée. Dans les montages industriels qui requièrent une précision élevée, le potentiomètre est un modèle multitours, souvent encadré de résistances-talons qui augmentent encore la précision du réglage.

Et les autres ?
Les autres types d'amplificateurs opérationnels permettent aussi, pour la plupart, la compensation du décalage en entrée. Suivant la constitution interne du circuit intégré, le curseur du potentiomètre doit être relié à la broche d'alimentation positive ou négative, et sa valeur change en fonction de celle des résistances internes. Tous ces renseignements figurent dans le petit tableau qui accompagne la représentation des brochages courants à la fin de l'article sur le testeur universel d'amplificateurs opérationnels. Merci elex.

84766

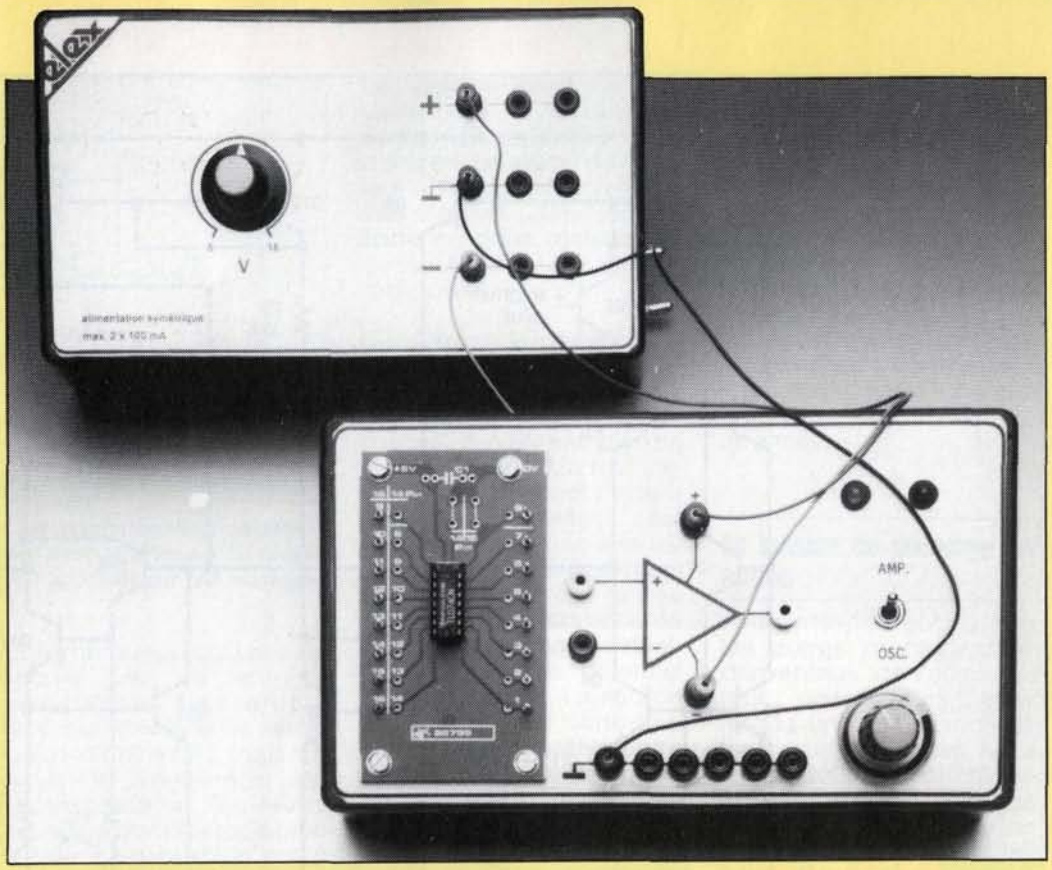
RAPPEL

gain de l'amplificateur non-inverseur

$$A = 1 + \frac{R2}{R1}$$

Comme promis le mois dernier, lors de la publication de l'alimentation symétrique variable, voici le testeur d'amplificateurs opérationnels, véritable stéthoscope à l'aide duquel vous pourrez sonder ces composants... Ce testeur a sa place dans l'outillage de tout électronicien qui utilise ou plutôt réutilise des amplificateurs opérationnels récupérés après une première jeunesse passée dans d'autres circuits, aujourd'hui caducs... Depuis le dernier numéro, nous avons entrepris une petite étude fondamentale des amplificateurs opérationnels, dont le deuxième volet paraît ce mois-ci. Vous ne perdrez pas votre temps en les lisant.

Rien ne s'oppose à la récupération, surtout par un amateur, de circuits intégrés. Compte tenu du fait que la plupart des pannes interviennent dans les pre-



testeur d'amplificateurs opérationnels

le composant testé est mis à l'épreuve dans un multivibrateur astable et un amplificateur inverseur

mières heures d'utilisation, on peut même aller jusqu'à affirmer que des composants d'occasion sont, par la force des choses, moins sujets à des pannes précoces que ne le sont des composants neufs.

Les composants d'occasion sont, par la force des choses, moins sujets à des pannes précoces que ne le sont des composants neufs

Néanmoins, avant de les remettre en circuit, il importe de tester les composants récupérés. C'est pourquoi nous avons déjà publié des schémas de testeurs et que nous continuerons de le faire, avec notamment ce testeur d'amplificateurs opérationnels.

Pour tester un composant quel qu'il soit, il convient de le mettre dans un circuit de référence, avec lequel il doit se comporter de telle manière qu'un certain nombre de résultats bien définis soient obtenus. Ici, l'amplificateur opérationnel à tester est monté tour à tour dans un circuit de multivibrateur astable et d'amplificateur inverseur. Ce sont d'ailleurs là deux des applications les plus courantes de ces composants. Ici, pour passer de l'une à l'autre, rien de plus à faire que d'inverser la position du levier d'un interrupteur.

Contrairement à ce que l'on pourrait craindre, le circuit du testeur est modeste, à en juger par le schéma de la **figure 1**. Ouf ! Le ***c***omposant ***à t***ester est affublé du sigle C.A.T. et c'est aux symboles en forme de cercle barré d'une ligne oblique utilisés pour ses broches d'alimentation, d'entrée et de sortie que l'on reconnaît qu'il s'agit d'un composant amovible. S'il n'y avait pas S1, on pourrait même affirmer qu'il s'agit d'un circuit très simple. C'est ce double interrupteur qui sert à changer de mode de fonctionnement : quand il est ouvert, le circuit fonctionne en multivibrateur astable, quand il est fermé, il devient amplificateur inverseur.

Commençons par examiner le premier mode.

Multivibrateur astable

Si l'on fait abstraction des oscillateurs à quartz, tous les circuits oscillants fonctionnent selon le même

principe qui consiste à charger et à décharger tour à tour un condensateur à travers une résistance, en bouclant le circuit sur lui-même. C'est ce que montre la **figure 2** où l'on ne retrouve du schéma de la figure 1 que ceux des composants du testeur d'amplificateurs opérationnels qui participent au fonctionnement du multivibrateur astable. En regard du schéma du CAT monté en multivibrateur astable, nous vous donnons les courbes qui rendent compte du fonctionnement de ce circuit.

Les résistances R1 et R2 forment un diviseur de tension, alimenté par la sortie de l'amplificateur opérationnel, qui fixe sur l'entrée + du CAT la tension que celui-ci va s'efforcer d'élaborer sur son entrée –, à l'aide précisément de sa sortie. Cette tension devient la tension de charge et de décharge de C2 à travers R4.

Ne nous affolons pas et partons de la situation dans laquelle est le circuit lors de la mise en service, en considérant que la tension d'alimentation est de ±15 V. Notre condensateur C2 est encore déchargé. Comme il ne règne aucune différence de potentiel entre ses armatures, la tension à l'entrée – du CAT est de 0 V. C'est le début de la courbe C de la figure 2b. S'il faut en croire cette même figure, la sortie de l'amplificateur opérationnel a adopté le potentiel positif de l'alimentation (courbe A de la figure 2b). Selon les caractéristiques particulières du circuit intégré, il se pourrait tout aussi bien que, lors de la mise sous tension du circuit, la sortie adopte le potentiel négatif de la tension d'alimentation. Laissons de côté pour l'instant les raisons qui font que la sortie part plutôt dans un sens que dans l'autre, et admettons sans discuter qu'elle est à +15 V.

La tension qui règne sur l'entrée + du CAT est par conséquent dès cet instant de

R1/(R1+R2) × 15 V

c'est-à-dire en gros 0,5 V.

Si nous en étions encore au début de la courbe C de la figure 2b, et que par conséquent le niveau de tension sur l'entrée – du CAT serait toujours inférieur à celui de l'entrée +, le comparateur chercherait à compenser cette différence et laisserait la sortie à +15 V. Mais le temps a passé, et C2 a pu se charger à travers R4 assez pour atteindre le niveau de 0,5 V présent sur l'entrée +. Il vient même de le dépasser de quelques millivolts, lesquels ne passent pas inaperçus du CAT : aussitôt celui-ci rabat en quelque sorte sa sortie vers le potentiel opposé de l'alimentation, à savoir –15 V

La tension au point B change aussitôt de signe. De +0,5 V, nous sommes maintenant à –0,5 V sur l'entrée + du CAT. Les rapports sont inversés. L'amplificateur opérationnel monté en comparateur voit que la tension de l'entrée – est supérieure à la tension de l'entrée +, il laisse sa sortie « rabattue » à –15 V pour tenter de réduire la différence entre les deux entrées. Ceci va effectivement permettre, mais pas instantanément, à C2 de se décharger à travers R4 jusqu'à ce que la tension entre ses armatures soit retombée à zéro, et même au-delà, à –0,5 V. Il suffit qu'elle devienne plus négative de quelques millivolts que l'entrée + pour que l'amplificateur opérationnel ramène sa sortie à +15 V et que le cycle recommence.

Allez, ne boudez pas, nous aussi on a de grandes oreilles !

La capacité de C2 et la valeur de R4 déterminent le temps que dure la charge du condensateur avant d'atteindre le seuil fixé par R1 et R2. Selon le type d'amplificateur opérationnel utilisé (lui aussi joue un rôle dans l'affaire, nous en reparlerons), la cadence de ce cycle de charge et de décharge est de trois cycles et demi à cinq cycles et demi par seconde : le multivibrateur bascule à une fréquence de 3,5 à 5,5 Hz.

La tension sur C2 passe de –0,5 V à +0,5 V et inversement. On dira que sur ce circuit, la tension d'entrée différentielle est de 1 V, du

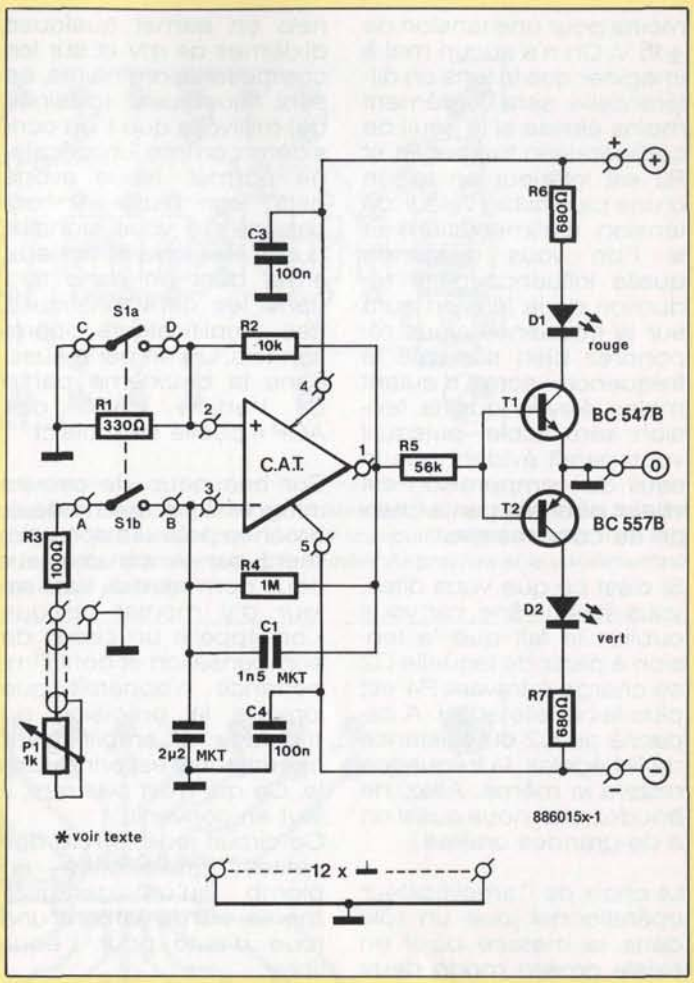


Figure 1 - Vous vous attendiez sans doute à un circuit plus imposant que cela : ce testeur d'amplificateur opérationnel, outre le composant à tester (CAT) ne comporte comme composant actif que deux transistors. Et pourtant ce circuit connaît deux modes de fonctionnement que les schéma des figures 2 et 3 vous donnent séparément.

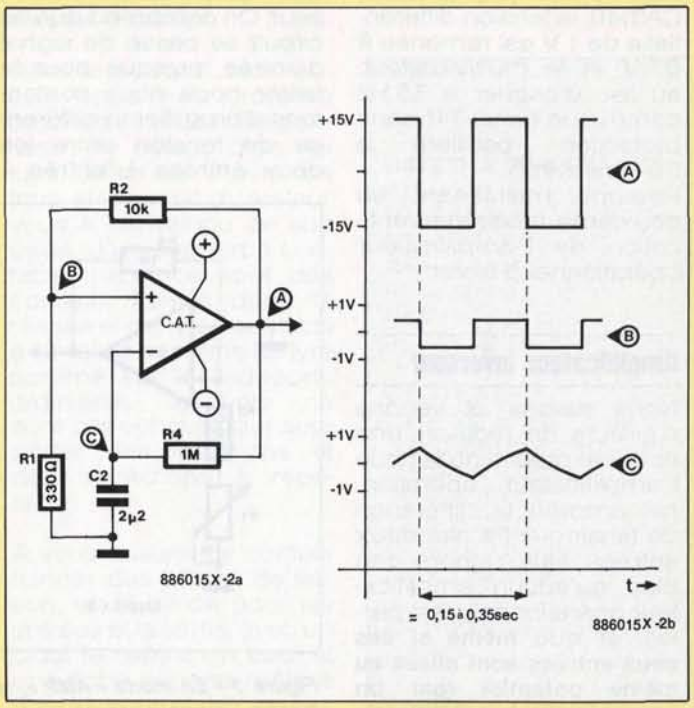


Figure 2 - En mode « OSC », le testeur d'amplificateur opérationnel est un **multivibrateur astable** *(à propos de MVA, ne dites surtout pas au Père Noël que je vous ai raconté que le puzzle qu'il vous propose ailleurs dans ce numéro, eh bien c'est un MVA à deux transistors ; il ne faut pas qu'il le sache, c'est une peau de vache !). Sa fréquence est comprise entre 3 et 5 Hz, et vous pourrez suivre le clignotement à l'oeil nu.*

moins pour une tension de ±15 V. On n'a aucun mal à imaginer que la tension différentielle sera forcément moins élevée si le seuil de comparaison fixé par R1 et R2 est inférieur en raison d'une plus faible valeur de tension d'alimentation. Et si l'on vous demande quelle influence cette réduction de la tension aura sur la fréquence, vous répondrez bien sûr que la fréquence sera d'autant moins élevée que la tension sera faible, puisqu'il vous paraît évident que le seuil de comparaison est atteint plus vite par la charge du condensateur.

Si c'est ce que vous dites, vous êtes un âne, car vous oubliez le fait que la tension à partir de laquelle C2 se charge à travers R4 est plus faible elle aussi. A capacité de C2 et résistance de R4 égales, la fréquence restera la même. Allez, ne boudez pas, nous aussi on a de grandes oreilles !

Le choix de l'amplificateur opérationnel joue un rôle dans la mesure où il en existe grosso modo deux catégories : les uns ont des entrées munies de diodes de protection contre les surtensions, les autres pas. Sur un exemplaire protégé, comme par exemple le CA3140, la tension différentielle de 1 V est ramenée à 0,7 V, et le multivibrateur, au lieu d'osciller à 3,5 Hz comme un banal 741 sans protection, oscillera à 5,5 Hz environ.
Passons maintenant au deuxième mode de vérification de l'amplificateur opérationnel à tester.

Amplificateur inverseur

Nous savons et venons d'ailleurs de recevoir une nouvelle preuve du fait que l'amplificateur opérationnel amplifie la différence de tension entre ses deux entrées. Nul n'ignore non plus qu'aucun amplificateur opérationnel n'est parfait, et que **même si ses deux entrées sont mises au même potentiel (par un court-circuit), le potentiel de la sortie de l'amplificateur opérationnel ne sera pas parfaitement nul**. Sur les meilleurs composants, ce décalage est de l'ordre de quelques µV, sur les bons amplificateurs opérationnels on admet quelques dixièmes de mV et sur les composants ordinaires, ce sont quelques (dizaines de) millivolts que l'on considère comme un décalage normal. Nous avons déjà eu plusieurs occasions de vous signaler que c'était cela le fameux *offset* dont on parle tant dans les caractéristiques des amplificateurs opérationnels. On en parle aussi dans la deuxième partie de l'article « ABC des AOP » publié ce mois-ci.

Sur beaucoup de circuits intégrés il y a même deux broches prévues spécialement par le constructeur pour permettre à l'utilisateur d'y monter ce que l'on appelle un circuit de compensation et dont l'importance n'apparaît que lorsque la précision du montage à amplificateur opérationnel est primordiale. Ce qui n'est pas rare, il faut en convenir.
Ce circuit joue le rôle des petites masselottes en plomb qu'un garagiste monte sur la jante d'une roue d'auto pour l'équilibrer.

La **figure 3** donne le schéma du testeur d'amplificateurs opérationnels simplifié dans son mode de fonctionnement comme amplificateur inverseur. On comprend que ce circuit se passe de signal d'entrée, puisque pour le tester nous nous contentons d'amplifier la différence de tension entre les deux entrées. L'entrée + est forcée directement au potentiel de masse équidistant des deux tensions d'alimentation : R1 a été court-circuitée et R2 quant à elle est négligeable puisqu'elle n'impose qu'une faible charge à la sortie. L'entrée – est reliée à la masse par l'intermédiaire de R3 et P1 et à la sortie de l'amplificateur opérationnel par R4. Ces trois composants forment un diviseur de tension qui détermine le gain (A) de l'amplificateur opérationnel, selon la formule

$$A = \frac{R4}{R3 + P1}$$

(pour plus de détails, veuillez vous reporter à l'article intitulé **ABC des Amplificateurs opérationnels 2e partie** dans ce numéro)

En mettant le curseur de P1 en fin de course pour obtenir la résistance la plus forte possible, le gain sera de
1 MΩ/1100 Ω = 910 ×
et quand le curseur de P1 sera à l'autre extrémité de la piste, nous aurons le gain le plus élevé :
1 MΩ/100 Ω = 10000 ×
Avec ces deux valeurs de gain extrêmes, nous obtiendrons une amplification de la tension de décalage telle que nous pourrons commander un indicateur à deux LED, tout comme nous allons le faire avec le multivibrateur astable d'ailleurs.
Mais avant d'en arriver là, il faut évoquer le rôle de C1 et son importance. Quand on donne à un circuit comme celui-ci un gain aussi élevé que 10000, il devient instable et sensible aux moindres parasites. C'est pourquoi on ajoute ce condensateur, lequel redevient une source de problème pour certains types d'amplificateurs opérationnels qui se mettent justement à osciller à cause de lui. C'est pourquoi il faudra, pour des composants comme le LF357 remplacer C1 par une résistance de 10 kΩ montée en série avec un condensateur de 150 nF.

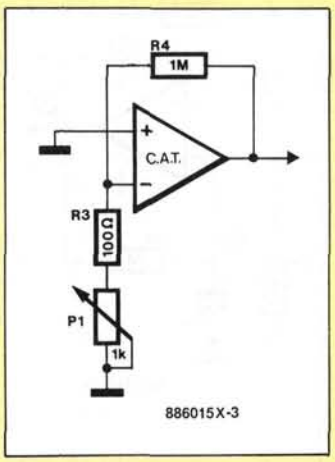


Figure 3 - En mode « AMP », le testeur d'amplificateur opérationnel amplifie sa propre tension de décalage. Le circuit ne fonctionne pas avec les très bons amplificateurs dont la tension de décalage est trop faible et les très mauvais exemplaires sur lesquels elle est trop forte.

L'indicateur

Pour rendre compte de l'état de l'amplificateur opérationnel testé, deux transistors sont mis en oeuvre pour commander chacun une LED. Le premier est un transistor NPN (BC547), le deuxième un transistor PNP (BC557). Ils forment donc une espèce d'étage complémentaire dans lequel ils réagiront de façon symétrique. Quand l'un commande l'allumage de D1, l'autre bloque le courant à travers D2 et inversement. Les résistances R6 et R7 limitent le courant qui circule à travers les LED.

Quand S1 est ouvert et que le testeur fonctionne en multivibrateur astable, la sortie de l'amplificateur opérationnel est soit haute (+15 V) soit basse (–15 V) sans état intermédiaire possible. Quand la sortie est haute, c'est T1 qui conduit et T2 qui est bloqué, ce qui permet au courant de circuler à travers R6, D1 et T1 de la ligne d'alimentation positive vers la masse. La LED rouge est allumée. Puis, quand la sortie de l'amplificateur opérationnel a basculé, T1 se bloque et c'est T2 qui conduit. Cette fois le courant circule de la ligne de masse à travers T2, D2 et R7 vers la ligne d'alimentation négative. La LED verte est allumée.
Le cycle se répète à raison de 3 à 5 alternances par seconde, indiquant que l'amplificateur opérationnel est en assez bon état pour faire un multivibrateur astable.

Quand le testeur fonctionne en multivibrateur astable, la sortie de l'amplificateur opérationnel est soit haute soit basse sans état intermédiaire possible

Quand l'interrupteur S1 est fermé, le testeur fonctionne en amplificateur. Imaginons que la tension de décalage du CAT soit par exemple de 0,1 mV, positive ou négative. Le réglage de gain effectué avec P1 permet de faire passer la tension de sortie de 0,091 V (valeur de la tension de décalage de 0,1 mV multipliée par le gain minimal de 910) à 1 V (tension de décalage fois gain maximal).
Selon la polarité de la tension de décalage et selon le réglage de gain, l'un des deux transistors sera plus ou moins ouvert. En d'autres termes, si l'amplificateur opérationnel est en

bon état et si sa tension de décalage est normale, il est possible de régler la luminosité de l'une des LED sans discontinuer.

Si la tension de décalage de votre exemplaire est supérieure à 1 mV, l'une des deux LED sera allumée en permanence, compte tenu de la polarité de la tension de décalage. Dans ce cas-là, il faut augmenter la valeur de P1 et la porter à 2,2 kΩ (2,5 kΩ). Si l'amplificateur opérationnel à tester est très bon (et partant très cher, comme par exemple un OP27), sa tension de décalage sera si faible que ce procédé de visualisation, somme toute assez simple, ne fonctionne plus de manière satisfaisante. Ce qui est rassurant dans ce cas c'est de pouvoir se dire qu'un amplificateur opérationnel qui a passé avec succès le test du multivibrateur astable a 99 chances sur 100 d'être en parfait état.

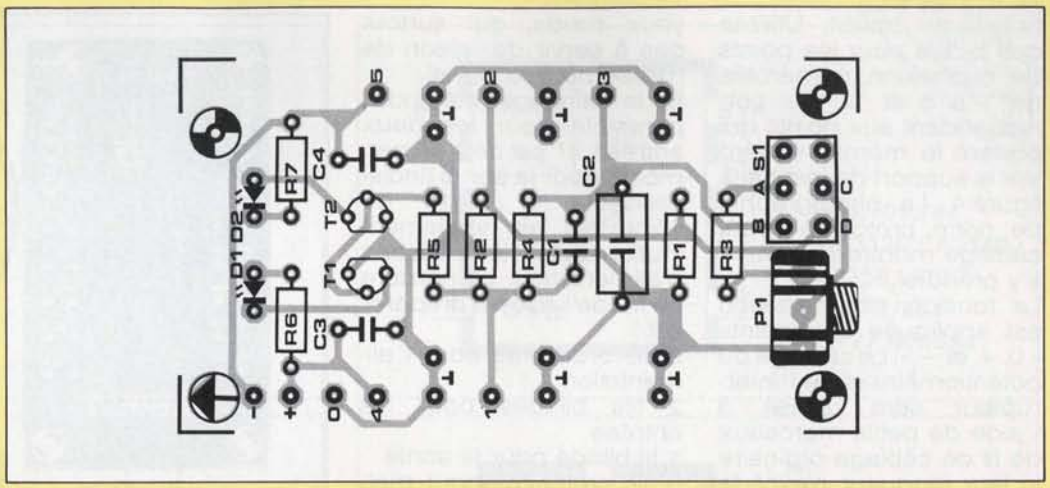


Figure 4 - Ce circuit universel peut recevoir un support à 14 ou 16 broches, toutes accessibles sur des picots de part et d'autre du support. Nous l'utilisons ici pour monter le circuit intégré à tester. Il ne sera pas tenu compte des indications sur la tension d'alimentation, le nombre de broches et le condensateur (destinées à une autre application de cette platine).

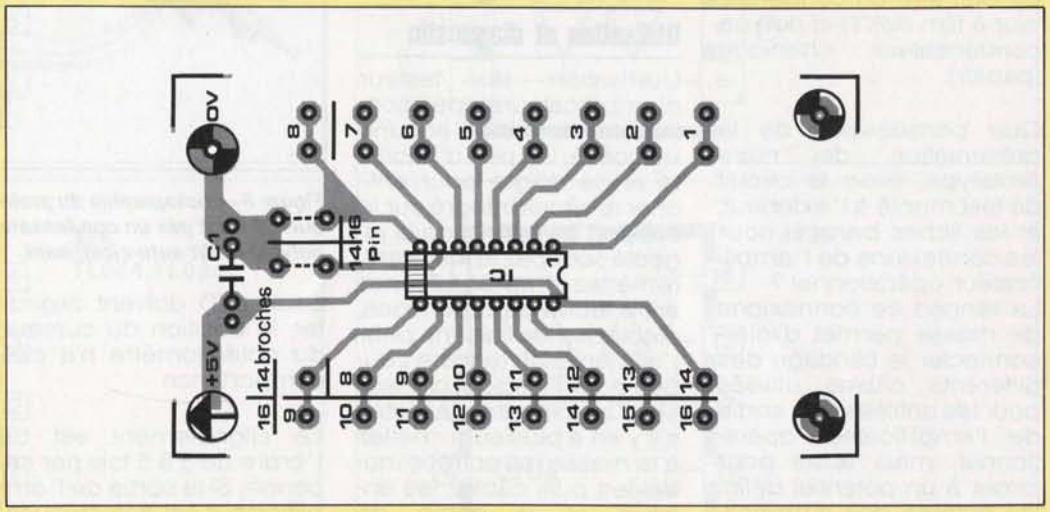


Figure 5 - Pour les composants du testeur d'amplificateur opérationnel, nous vous proposons un dessin de circuit imprimé. Utilisez des picots pour le câblage.

Réalisation

Le testeur d'amplificateurs opérationnels vous est présenté non pas sous la forme habituelle d'un plan d'implantation de composants sur une platine d'expérimentation, mais sous celle d'un vrai dessin de circuit imprimé. Mieux encore : ce sont deux platines que nous vous proposons sur les **figures 4 et 5**.

Beaucoup d'amplificateurs opérationnels sont présentés dans un petit boîtier DIL à 8 broches à raison d'un amplificateur par boîtier ; ceci n'est malheureusement pas le seul brochage possible. Il existe une grande variété de composants comme le montre la page de brochages que nous avons préparée pour vous. Il faut donc préparer le testeur à recevoir aussi bien un double amplificateur opérationnel dans un boîtier à 8 broches qu'un modèle quadruple dans un boîtier à 14 broches. Et comme il est impossible de mettre au point, avec des moyens simples, un circuit qui s'adapte automatiquement au boîtier, nous vous proposons un support de test universel que vous câblerez à la main en fonction des besoins, et que vous pourrez d'ailleurs utiliser aussi pour d'autres circuits que ce seul testeur.

Pour d'autres applications que ce testeur, vous remarquerez que la platine est dotée d'une liaison d'alimentation (avec les mentions +5 V et 0 V) par l'intermédiaire des deux trous de fixation, d'un condensateur de découplage et d'un pont de câblage qui donne le choix, pour le support, entre un modèle à 14 ou 16 broches. Pour l'application envisagée ici, cette partie de la platine reste inutilisée, et le support du CAT sera un modèle à 14 broches et non à 16 broches. Si vous en avez les moyens, vous pouvez vous offrir un support spécial à force d'insertion nulle (aussi appelés supports ZIF pour *zero insertion force*). Ils sont munis d'un petit levier qui permet de bloquer et de débloquer le circuit intégré dans le support sans aucun risque ni de tordre les broches, ni d'user les contacts. A défaut d'un tel luxe, faites au moins les frais, si le circuit du testeur vous a convaincu de son utilité, d'un support à contacts tulipe (ce sont des contacts fraisés dans la masse et non des contacts à lamelles en forme de lyre comme sur les supports ordinaires, lesquels ne sont pas conçus pour supporter des insertions et des extractions à répétition).

A vous ensuite de confectionner des câbles de liaison, en fil blindé pour les entrées et la sortie, avec un picot femelle à un bout et une fiche banane mâle à l'autre, pour établir les liaisons entre le support de test et le circuit du testeur lui-même.
Pour les composants de la platine principale du testeur, il y en a tout au plus pour une petite demi-

LISTE DES COMPOSANTS

R1 = 330 Ω
R2 = 10 kΩ
R3 = 100 Ω
R4 = 1 MΩ
R5 = 56 kΩ
R6,R7 = 680 Ω
P1 = 1 kΩ lin. *

C1 = 1,5 nF
C2 = 2,2 µF MKT (pas de condensateur chimique)
C3,C4 = 100 nF
T1 = BC547B
T2 = BC557B
D1 = LED rouge
D2 = LED verte

S1 = interrupteur bipolaire

picots ♂ (1 mm) et ♀
fiches banane ♂ et ♀

* cf. texte

heure de travail. Utilisez des picots pour les points de connexion numérotés de 1 à 5 et 12, qui correspondent aux points qui portent le même numéro sur le support de test de la figure 4. La photographie de notre prototype avant câblage montre comment s'y prendre.
La tension d'alimentation est appliquée aux points « 0, + et – ». Le câblage du potentiomètre et de l'interrupteur sera réalisé à l'aide de petits morceaux de fil de câblage ordinaire si leur longueur n'excède pas quelque trois ou quatre centimètres. Au-delà il faut avoir recours à du fil blindé.
C2 doit être un condensateur à film (MKT) et non un condensateur chimique (papier).

Que pensez-vous de la présentation de notre prototype, avec le circuit de test monté à l'extérieur, et les fiches banane pour les connexions de l'amplificateur opérationnel ?
La rangée de connexions de masse permet d'interconnecter le blindage des différents câbles utilisés pour les entrées et la sortie de l'amplificateur opérationnel, mais aussi pour forcer à un potentiel défini les entrées des amplificateurs opérationnels non testés dans le circuit intégré, lorsque celui-ci en contient deux ou quatre. Pour réussir, en électronique, il faut penser à tout, ne rien laisser au hasard...

Soulignons une dernière fois l'importance du blindage des fils de liaison pour les entrées et les sorties, surtout si le circuit à tester est doté d'entrées JFET à haute impédance (comme par exemple le CA3140). Pour confectionner un tel fil de liaison, vous reliez une extrémité de l'âme du fil blindé à un picot femelle (qui viendra s'enficher sur l'un des picots de la platine de test) et l'autre extrémité à une fiche banane, si tant est que vous adoptiez la même disposition que nous. Le blindage sera lui aussi relié à une fiche banane de ce côté-là. À l'autre extrémité, le blindage est coupé à ras de la gaine isolante, et n'est donc relié à rien. C'est le propre d'un blindage qui n'a pas, surtout pas dit-il en faisant des grands yeux ronds, oui surtout pas à servir de liaison de masse pour le signal.
Si le blindage est indispensable pour les deux entrées, il l'est déjà un peu moins pour la sortie (indispensable à partir de 10 cm), il est totalement inutile pour les liaisons d'alimentation. Le nombre de fils de liaison à préparer est :
2 fils ordinaires pour l'alimentation
2 fils blindés pour les entrées
1 fil blindé pour la sortie
6 fils ordinaires pour mettre à la masse les entrées des trois amplificateurs opérationnels non utilisés.

Utilisation et diagnostic

L'utilisation du testeur d'amplificateurs opérationnels ne demande aucune virtuosité. Un peu d'habileté et de doigté pour enficher le circuit intégré sur le support de test, et de la jugeote : coupez le jus avant, remettez-le après ! Prenez votre feuille de brochages, établissez les liaisons pour l'alimentation (encore coupée pour l'instant), choisissez l'amplificateur à tester, s'il y en a plusieurs, mettez à la masse les entrées inutilisées puis câblez les entrées et la sortie de l'amplificateur à tester. Vérifiez le câblage. Revérifiez...

Puis mettez le circuit sous tension (voir l'alimentation symétrique du mois dernier). En mode « OSC »les deux LED doivent clignoter, la position du curseur du potentiomètre n'a pas d'importance.

Le clignotement est de l'ordre de 3 à 5 fois par seconde. Si la sortie de l'amplificateur est défectueuse, il se peut que seule l'une des LED clignote, ou encore qu'elles restent allumées toutes les deux. Si c'est une entrée qui est défectueuse, il n'y aura pas d'oscillation du tout, ou alors à une fréquence qui ne sera pas la bonne.
En mode « AMP », le fonctionnement du testeur est encore plus simple à interpréter. Le potentiomètre doit permettre de commander la luminosité de l'une des deux LED, sauf si vous avez un amplificateur opérationnel de très bonne ou très mauvaise qualité.

886015

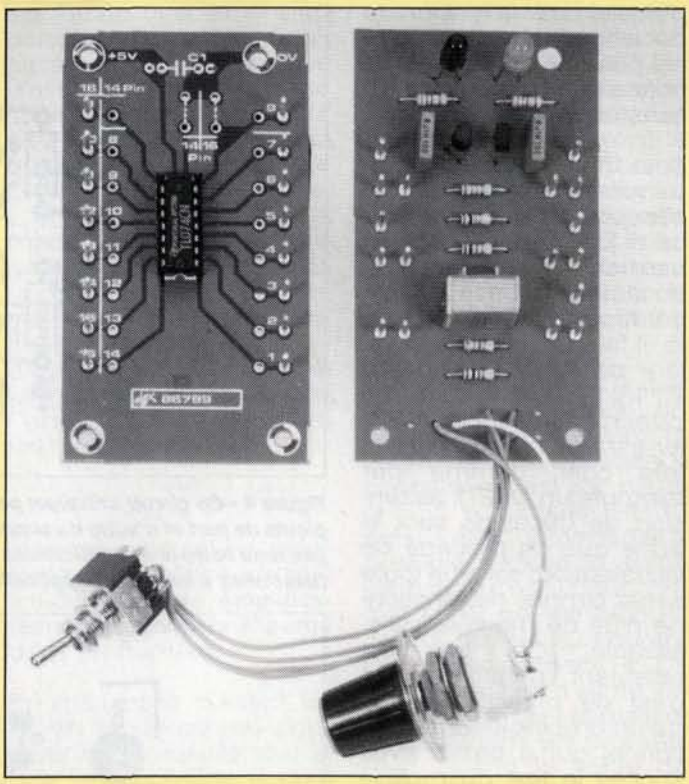


Figure 6 - Photographie du prototype avant assemblage. Remarquez que C2 n'est pas un condensateur chimique, mais un modèle à film polyester, dit auto-cicatrisant.

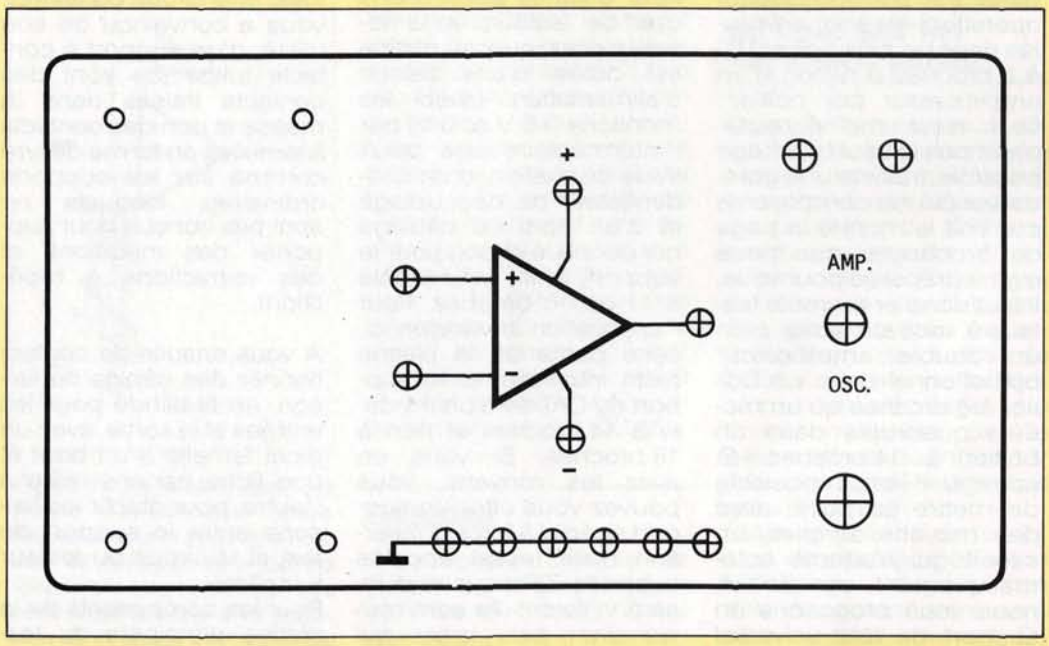
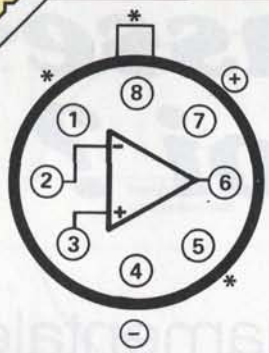
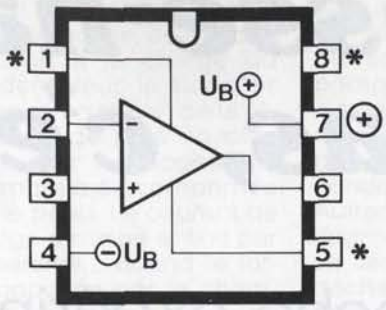
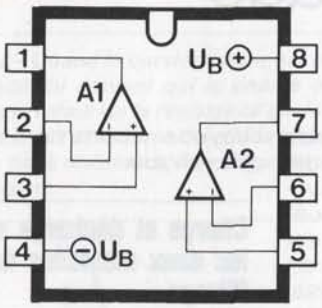
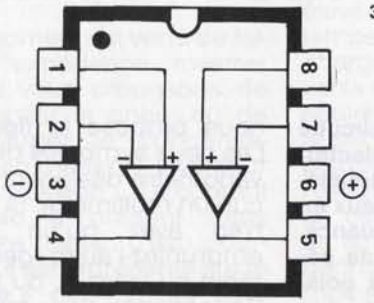


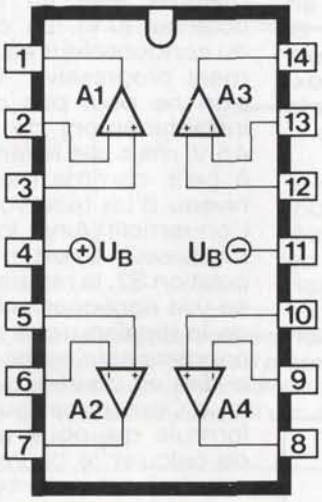
Figure 7 - Dessin de la face avant que nous avons utilisée pour confectionner notre prototype du testeur d'amplificateur opérationnel.

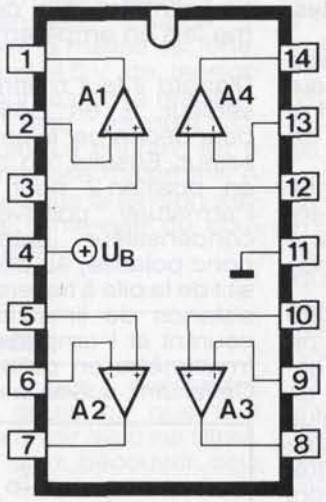


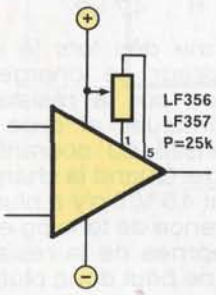


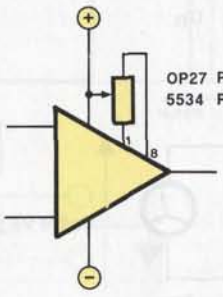


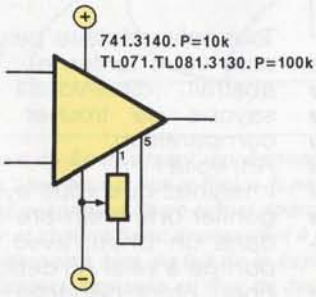












type	tension d'alimentation symétrique min. ±V	symétrique max. ±V	asymétrique min. +V	asymétrique max. +V	boîtier
301	2	18	4	36	I, II
324	1,5	16	3	32	V
387	-	-	9	30	IV
709	9	18	18	36	I, II
741	2	18	4	36	I, II
1458	2	18	4	36	III
4136	2	18	4	36	VI
CA3140	2,5	8	5	16	I, II
CA3140	2	18	4	36	I, II
LF356	3	18	6	36	I, II
LF357	3	18	6	36	I, II
TL071/TL081	5	18	10	36	II
TL072/TL082	5	18	10	36	III
TL074/TL084	5	10	10	36	V
OP27					II, I
NE5532					III
NE5534					II

passe-haut passe-bas, c'est quoi ?

approche expérimentale fondamentale des réseaux RC de filtrage

Les filtres sont des circuits fondamentaux de l'électronique ; leur fonction première est de trier les signaux en fonction de leur fréquence, tout comme un filet de pêche laisse passer les poissons plus fins que ses propres mailles, et retient ceux qui sont trop gros pour passer à travers ses mailles.

Le filtre **passe-haut** laisse passer les fréquences au-dessus d'une certaine fréquence dite fréquence de coupure.
Le filtre **passe-bas** laisse passer les fréquences en-dessous d'une certaine fréquence dite fréquence de coupure.
Les fréquences qu'un filtre « ne laisse pas passer » ne disparaissent pas par enchantement, mais sont atténuées de plus en plus fortement à mesure qu'elles sont éloignées de la fréquence de coupure, vers le haut pour les filtres passe-bas et vers le bas pour les filtres passe-haut. Plus un filtre atténue fortement les fréquences, plus sa pente (d'atténuation) est raide.

Le filtre le plus simple, nous avons déjà eu maintes occasion de le dire dans de précédents articles, est composé d'une résistance (R) et d'un condensateur (C) qui forment les fameux réseaux RC.

Travaux pratiques

Le but de cet article est d'asseoir la notion de filtrage passe-haut et passe-bas en reprenant l'explication du fonctionnement du réseau RC, avec une petite expérience de travaux pratiques comme celle que nous propose la **figure 1**. Les deux symboles de galvanomètre désignent chacun un multimètre. Si vous n'en avez qu'un seul, empruntez-l'autre gentillement ou volez-le, ou faites l'expérience deux fois, en utilisant celui dont vous disposez, la première fois en voltmètre et la deuxième fois en ampèremètre.

D'abord il faut mettre l'inverseur S en position 1 pour décharger le condensateur. Ensuite, on met S en position 2 pour relier l'armature positive du condensateur (chimique, donc polarisé) au pôle positif de la pile à travers la résistance de limitation de courant et l'ampèremètre (multimètre en calibre A). Ce faisant, suivez la déviation de l'aiguille : elle indique d'abord 1 mA, puis elle revient progressivement à zéro. Si le deuxième multimètre est branché (en voltmètre) en parallèle sur le condensateur, vous avez pu constater que la tension grimpait de 0 à 4,5 V, d'abord rapidement, puis de plus en plus plus lentement. Si vous n'avez qu'un seul multimètre, reprenez l'expérience avec cette fois le multimètre en voltmètre.

Les courbes de tension et de courant sont superposées sur la **figure 2**. Au début le courant I est de l'ordre de 1 mA puis son intensité décroît à mesure qu'augmente la tension entre les deux armatures du condensateur.

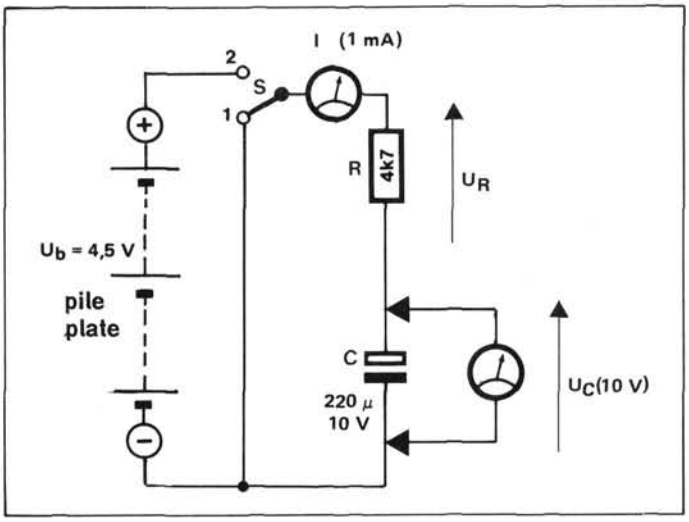


Figure 1 - Avec ELEX, le principe du filtrage passe-bas et passe-haut devient évident grâce à une petite manipulation que tout le monde peut faire. Il suffit de disposer d'une pile, d'un condensateur, d'une résistance et d'un multimètre. Il s'agit d'examiner l'évolution du courant de charge et de la tension et d'en tirer les conclusions qui s'imposent, à savoir que cette charge prend du temps, et que si charges et décharges se succèdent à un rythme accéléré, il viendra un moment où la charge ne sera pas encore achevée quand commencera la décharge.
La mention "(10 V)" à côté du symbole U_C indique qu'il faut un voltmètre en calibre 10 V.

Voyons comment cela s'explique.

Charge et décharge sont les deux mamelles du filtrage

Au début, le condensateur est déchargé. Ses deux armatures sont au même potentiel (0 V). La charge du condensateur est forcément progressive ; la tension ne peut pas passer instantanément de 0 V à 4,5 V, mais elle le fera petit à petit, comme monte le niveau d'un réservoir que l'on remplit. Ainsi, lorsque l'inverseur S est mis en position S2, la résistance R se voit appliquer la totalité de la tension de la pile (le condensateur est pour ainsi dire en court-circuit). La loi d'Ohm nous fournit la formule qui nous permet de calculer le courant qui circule à cet instant :

$$I = \frac{U_R}{R} = \frac{4{,}5\ V}{4{,}7\ k\Omega} \approx 1\ mA$$

Comme dès lors le condensateur se charge, la tension sur la résistance va diminuer, et avec elle l'intensité du courant de charge. Quand la charge a atteint 4,5 V, il n'y a plus de différence de tension entre les bornes de la résistance, il ne peut donc plus circuler de courant.

Tout cela n'éclaire pas encore votre lanterne... Trop abstrait, dites-vous ! Essayons de trouver une comparaison.
Ah, voilà !
Imaginez que vous ayez à gonfler une chambre à air dans un pneu, avec une pompe à vélo. Au début, le pneu étant dégonflé, l'effort à fournir est minime,

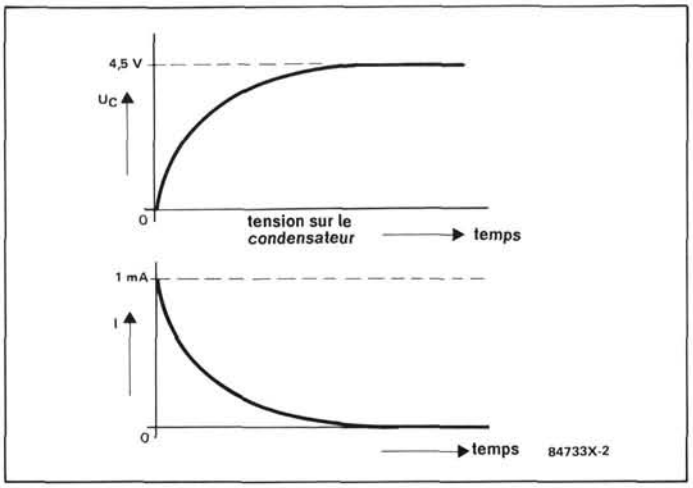


Figure 2 - Quand le condensateur est complètement déchargé (0 V) l'intensité du courant qui le charge est à son maximum (compte tenu de la valeur de la résistance qui le limite). À mesure que la tension entre les armatures du condensateur augmente, la tension aux bornes de la résistance de charge diminue et, avec elle, l'intensité du courant.

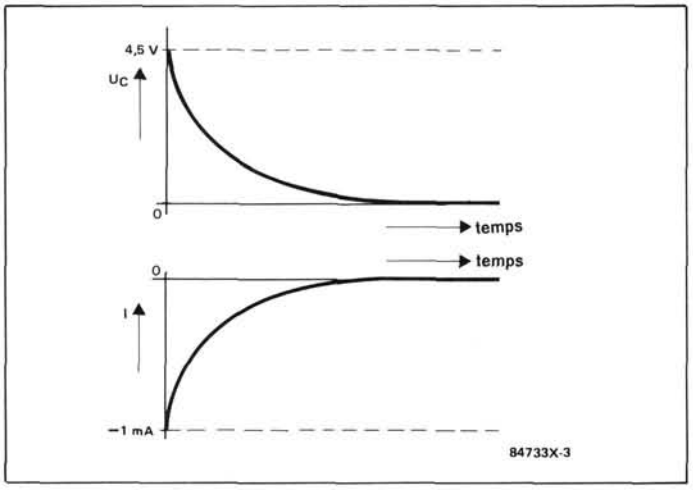


Figure 3 - La décharge du condensateur se déroule dans les mêmes conditions que sa charge, à ceci près que toutes les valeurs sont inversées. Même le courant est représenté ici comme grandeur négative, ce qui est normal puisqu'il circule en sens opposé à celui du courant de charge.

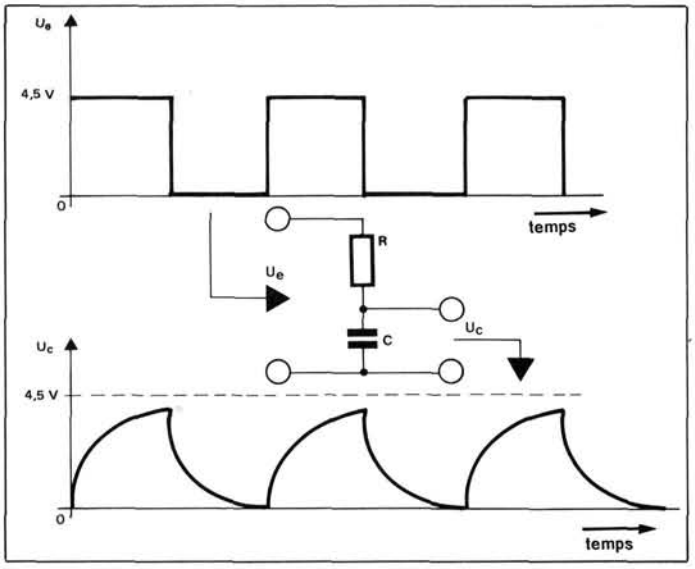


Figure 4 - En inversant rapidement et sans discontinuer la position de l'inverseur S sur la figure 1, on produit un signal carré. Chaque flanc ascendant de ce signal donne lieu à une charge du condensateur et chaque flanc descendant à une décharge. Les flancs sont arrondis parce que, du fait de la capacité du condensateur C et de la résistance opposée au flux de courant par la résistance R, le condensateur ne peut ni se charger ni se décharger instantanément.

car la résistance opposée au flux d'air est faible. Au fur et à mesure que le pneu se gonfle, ce qui correspond à la charge du condensateur, le flux d'air diminue en raison de la résistance de plus en plus forte que lui oppose la chambre à air comprimée par le pneu. Le courant de charge diminue et finit par disparaître... quand la force opposée par la chambre à air est devenue aussi grande que la force exercée sur le piston de la pompe.

Le moment est venu de faire l'expérience inverse, nous vous proposons de dégonfler le pneu, ou de décharger le condensateur en mettant l'inverseur S en position 1. Le courant circule à présent dans l'autre sens, c'est pourquoi il est représenté sur le **figure 3** comme un courant négatif. Au début, la différence de potentiel entre l'armature positive du condensateur chargé et celui de la masse est forte. Ce sont 4,5 V de tension aux bornes de la résistance R (voir formule ci-dessus). Le courant est à son intensité maximale. À mesure que la tension s'effondre, l'intensité du courant baisse.

Passe-bas

Vous vous demandez sans doute ce que tout ceci a à voir avec les filtres. Vous allez découvrir cela sans tarder avec la fonction passe-bas. On parle de signal carré quand une tension passe d'une valeur extrême à l'autre sans transition (apparente). La fermeture et l'ouverture d'un inverseur comme celui de la figure 1 produit un signal carré. Il ne nous est pas difficile de prédire ce qui advient d'un signal carré quand on l'applique à un réseau RC comme sur la **figure 4**.

Le signal résultant est une combinaison des courbes de charge et de décharge des figures 2 et 3. C'est maintenant qu'entre en scène la notion de fréquence. Le réseau RC est caractérisé par la vitesse à laquelle le condensateur se charge et se décharge. Cette vitesse est déterminée par la capacité du condensateur C (la contenance du réservoir, la taille du pneu) et par la valeur de la résistance R (le débit de remplissage du réservoir, la force de la pompe). La fréquence du signal carré fixe la cadence des charges et décharges imposées au condensateur.
Autrement dit, quand on augmente la fréquence, il va venir un moment où la décharge commencera déjà alors que la charge du condensateur ne sera pas encore achevée. Le signal dont la fréquence est élevée par rapport au temps de charge et de décharge du condensateur verra donc ses flancs non seulement arrondis, mais aussi raccourcis : son amplitude a été réduite par le réseau RC. Plus la fréquence est élevée par rapport au temps de charge et de décharge du réseau RC, moins la variation de tension sur le condensateur sera forte (par manque de temps, bien sûr), et plus l'amplitude du signal résultant sera atténuée.

Beaucoup de lecteurs ont franchi le gué que nous leur avons indiqué il y a quelques mois en achetant un oscilloscope bon marché de marque TORG. Ils ont bien fait. Tous ceux qui se sont dotés de cet outil incomparable, fût-il soviétique, qu'est l'oscilloscope, pourront donc refaire l'expérience suivante. Avec un générateur de signaux carrés à fréquence variable et à amplitude stable (il y a déjà eu assez de multivibrateurs de toutes sortes dans ELEX, parmi lesquels on en trouvera qui feront l'affaire à défaut de générateur de fonctions) ou un générateur de fonctions (il serait temps qu'on en présente un dans ELEX, n'est-ce pas ?), on attaque le réseau RC de la **figure 5**, pour examiner le signal de sortie sur l'oscilloscope.

Pour ceux qui n'ont pas d'oscilloscope, nous avons tracé les courbes résultantes sur la **figure 6**. La fréquence du signal est basse. Hormis le fait que les flancs sont arrondis, l'amplitude du signal à cette fréquence est restituée fidèlement. La tension a le temps de monter à 4,5 V et de redescendre à 0 V. Les flancs arrondis sont, nous l'avons déjà dit,

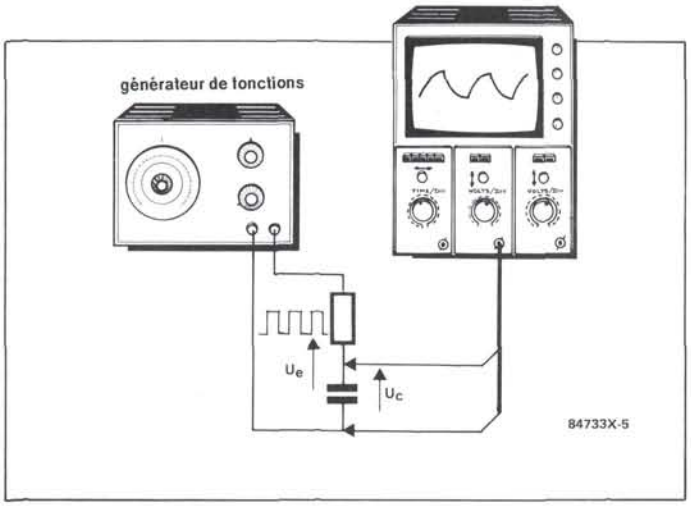


Figure 5 - Ici un générateur de fonctions électronique se substitue à l'inverseur de la figure 1. Le passage de 0 V à la tension d'alimentation est obtenu ici avec un signal carré à amplitude fixe et à fréquence variable produit par le générateur. Sur l'écran de l'oscilloscope apparaît la courbe de tension comme celle que représente la figure 4.

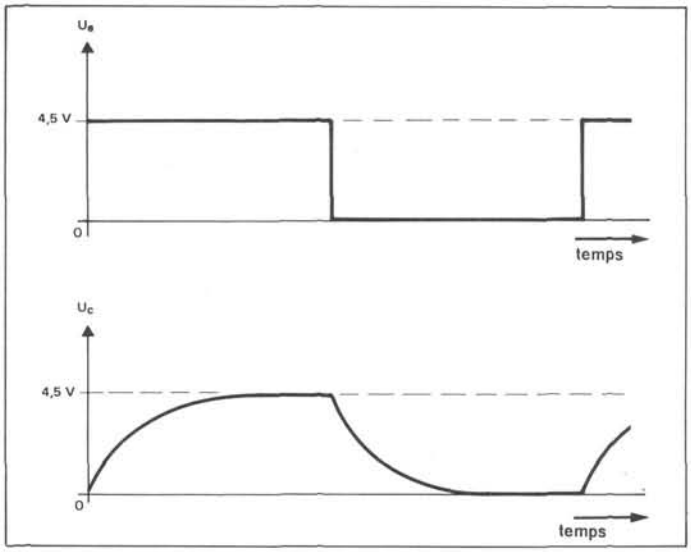


Figure 6 - Quand la fréquence du signal carré est basse, le condensateur a le temps de se charger et de se décharger entièrement. Hormis le fait qu'il arrondit les flancs d'un tel signal carré, le réseau RC n'a pas d'influence sur son amplitude aux fréquences basses.

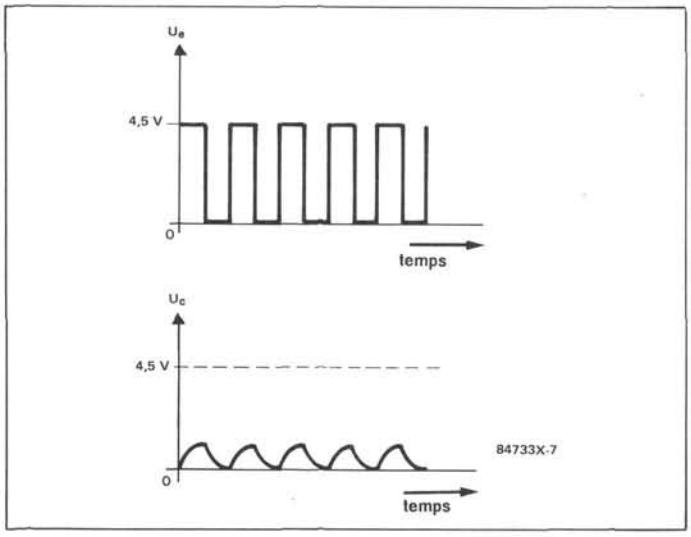


Figure 7 - Quand le réseau RC se voit appliquer des signaux carrés d'une fréquence élevée, le condensateur n'a plus le temps de se charger entièrement. L'amplitude du signal d'entrée ne peut plus être atteinte par le signal de sortie dont la fréquence reste néanmoins inchangée. Dans le cas de fréquences élevées, le condensateur fait l'effet d'une résistance de faible valeur et court-circuite le signal.

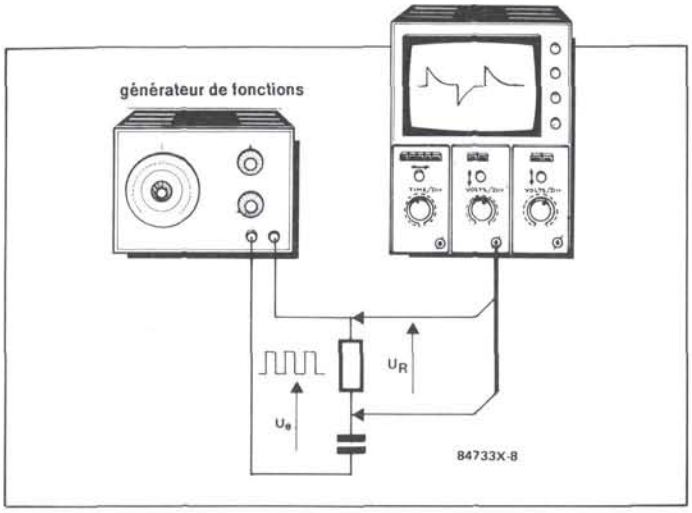


Figure 8 - L'oscilloscope nous avait permis jusqu'ici d'observer le signal aux bornes du condensateur. En le connectant sur la résistance, nous trouvons là la composante du signal qui fait défaut sur le condensateur à ce moment. N'oublions pas que la totalité de la tension ne règne sur la résistance que tout au début, quand le condensateur est encore entièrement déchargé.

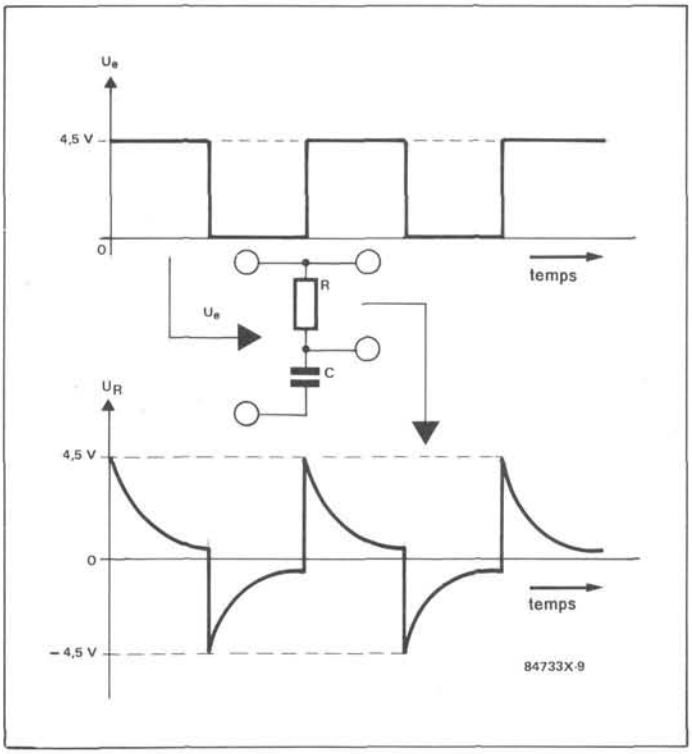


Figure 9 - La loi d'Ohm veut que la tension sur la résistance soit proportionnelle à l'intensité du courant qui la traverse. Nous retrouvons donc entre ses bornes un signal dont la courbe comporte à la fois la courbe du courant de charge du condensateur et celle de son courant de décharge. Il ne reste pas grand chose des fréquences graves sur la résistance d'un réseau RC.

à mettre au compte du fait que le condensateur ne peut pas être chargé instantanément.

Maintenant nous allons augmenter la fréquence du signal carré appliqué au réseau RC, sans rien changer à son amplitude. Que se passe-t-il sur la **figure 7** ? La fréquence du signal restitué est bien celle du signal appliqué au réseau RC, mais son amplitude s'est effondrée : la capacité du condensateur et la valeur de la résistance déterminent un temps de charge et de décharge beaucoup trop long par rapport à la cadence à laquelle se succèdent maintenant les flancs du signal carré. Le condensateur n'a pas le temps de se charger beaucoup, d'où il résulte une forte atténuation du signal. On dit d'un tel réseau RC qu'il filtre les fréquences au-dessus de celle qui permet à la charge du condensateur d'atteindre l'amplitude maximale du signal d'entrée. Comme

les fréquences en-dessous de ce seuil ne sont pas affectées, il s'agit en toute logique d'un filtre passe-bas.

Passe-haut

Les plus exigeants et les plus curieux d'entre nos lecteurs se demandent sans doute où sont restées ces fréquences trépassées. Dans la résistance ? Voyons cela à l'oscilloscope (**figure 8**) : la courbe de la tension U_R se présente exactement comme celle du courant I des figures 2 et 3, car sur la résistance R

$$U_R = I \cdot R$$

comme disait l'Ohm.
En superposant virtuellement les courbes des figures 4 et 9 on retrouve le signal sans réduction d'amplitude. Si l'on prend en compte les tensions sur U_R **et** U_C, on obtient le signal carré original (avec toutefois les flancs arrondis).

Les **figures 10 et 11** donnent les courbes du signal carré sur U_R. Quand la fréquence est basse, il ne subsiste sur la résistance que de bien maigres crêtes de signal. Les fréquences élevées passent sans subir d'outrage. D'où l'on déduit que pour ce qui concerne le signal sur la résistance R, le réseau RC est un filtre passe-haut.

Synthèse

L'interversion du condensateur et de la résistance sur le trajet du signal, comme le montre la **figure 12,** nous donne les deux configurations de base classiques des réseaux RC passe-bas et passe-haut.

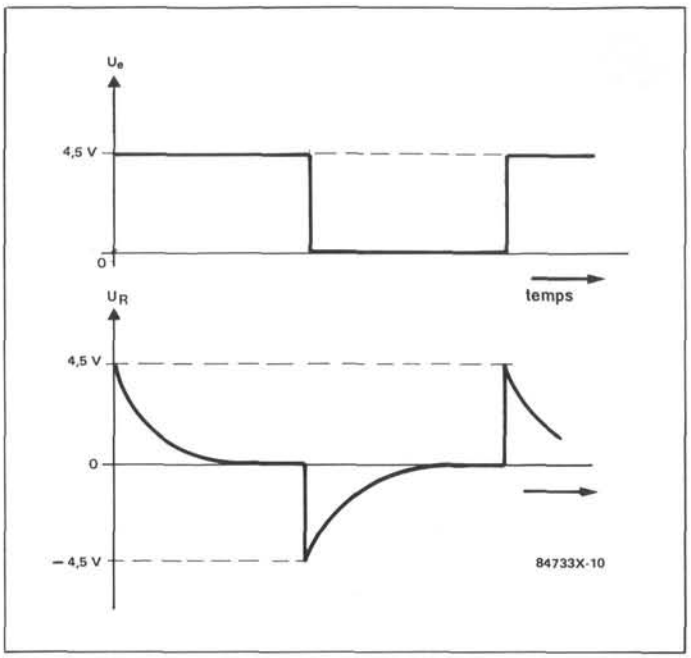


Figure 10 - La résistance ne voit passer du courant que pendant que le condensateur se charge et se décharge, c'est-à-dire immédiatement et pendant peu de temps après chaque flanc. Il n'y règne donc une tension que pendant ce laps de temps relativement court par rapport à la période du signal. Une fois le condensateur chargé ou déchargé, la différence de potentiel entre les broches de la résistance est nulle.

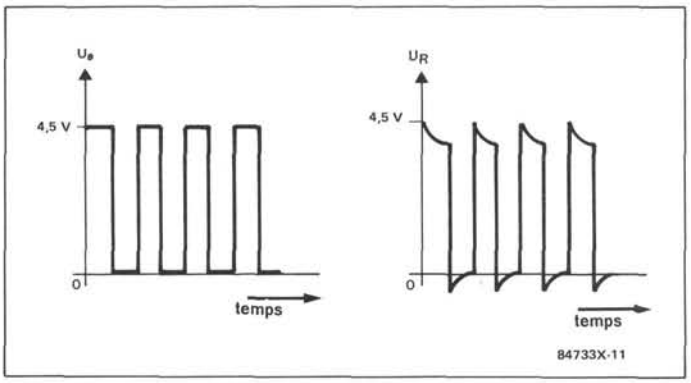


Figure 11 - Quand les charges et les décharges du condensateur sont très rapprochées, la tension sur la résistance n'a guère le temps de s'effondrer, puisque le condensateur n'arrive plus à se charger. L'amplitude du signal à fréquence élevée est restituée par la résistance sans atténuation significative.

Dans un cas, on relève le signal de sortie sur le condensateur (filtrage passe-bas), dans l'autre sur la résistance (filtrage passe-haut).

En résumé, on retiendra que le réseau RC sépare les signaux en fonction de leur fréquence. Les fréquences élevées sont extraites sur la résistance (et bloquées par le condensateur), tandis que les fréquences basses sont

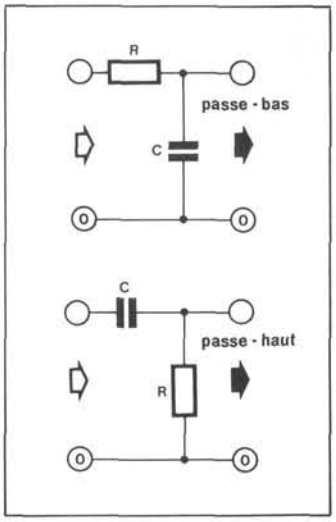


Figure 12 - Schématisation standard des réseaux RC passe-bas et passe-haut.

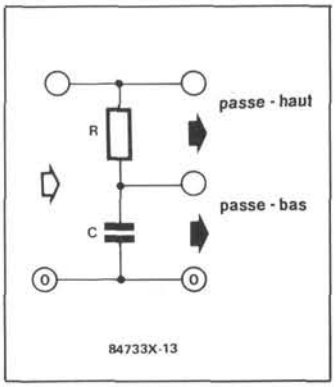


Figure 13 - Dans un réseau RC, les composantes du filtrage passe-haut sont relevées sur la résistance, tandis que les composantes du filtrage passe-bas apparaissent aux bornes du condensateur.

extraites sur le condensateur (et bloquées par la résistance). Le schéma de la **figure 13** donne une synthèse de ces deux réseaux. Si on y injecte un signal composite, fait de fréquences graves et de fréquences aiguës mélangées, on pourra relever les unes sur la sortie passe-bas et les autres sur la sortie passe-haut.

84733

elex-abc

Le condensateur en alternatif et en continu
Il n'est pas facile de comprendre, au début, pourquoi un condensateur semble se comporter si différemment en alternatif et en continu. Et pourquoi, en alternatif réagit-il si différemment selon que la fréquence du signal est élevée ou pas ? Pour essayer de comprendre les phénomènes "abstraits" de l'électricité et de l'électronique, il est bon de s'aider de comparaisons ou d'analogies "concrètes". Dans bien des cas, les explications de ces phénomènes données dans ELEX ont été étayées par des analogies hydrauliques. En voici une nouvelle, à la fois hydraulique et chaudement nostalgique en cette saison froide...
L'été dernier, au bord de la mer, je nageais vers le large en direction de l'une de ces grosses bouées de balisage des 300 m (sensées faire ralentir les bateaux mais qui servent essentiellement de poteaux de slalom aux scooters et aux véliplanchistes) tout en réfléchissant à cette délicate question. Pour me reposer, comme chaque jour, je passais quelques minutes accroché à la bouée, vitupérant le sans-gêne d'un c... dans son scooter sans cesser de penser aux condensateurs. La bouée sur laquelle je m'appuyais ne cèdait pas sous la pression **continue** de mon poids, et pourtant elle se soulevait et redescendait **alternativement** au gré des vagues. Vous me suivez ?

Cette analogie peut servir aussi à mieux comprendre pourquoi et comment la capacité des condensateurs les fait réagir différemment selon la fréquence du signal alternatif appliqué entre leurs armatures : les grosses bouées ne réagissent pas aux vaguelettes qui font pourtant danser les petites bouées. Ça baigne ?

886136

trappe à bruit

silencieux BF à seuil variable

Sous ce titre un peu intrigant de trappe à bruit se cache ce que l'on appelle habituellement et paresseusement un noise gate (prononcez *noazegate* si vous habitez dans un quartier chic, ou *noïze ghète* si vous avez l'intention de faire carrière aux Stèts). En français, on appelle ça **un silencieux**. Nous, on dira « trappe à bruit ». Pas par snobisme, ni par anti-snobisme, . ni par anglophobie, ni pour aucune autre raison que celles que nous dicte le bon sens.

Question de bon sens

Noise gate n'est pas un terme technique et encore moins un terme scientifique. C'est une expression du jargon des techniciens anglo-saxons-nippons, forgée, comme tant d'autres expressions du jargon anglo-saxon, par le bon sens, *leur* bon sens, sans recours à de nébuleuses étymologies gréco-latines pseudo-scientifiques. Pour un anglophone, *gate* = porte, *noise* = bruit, donc *noise gate* = porte à bruit, c'est tout.

En anglais, ce genre d'expressions sont souvent faites de mots de tous les jours que l'on utilise pour se faire comprendre au plus vite et par le plus grand nombre. On ne cherche nullement à jargonner et/ou à impressionner. Ces expressions sont même souvent assez triviales : **bootstrap** = lacet de chaussure, **handshake** = poignée de main; **flag** = drapeau etc. Voilà un choix de termes technologiques, désignant des notions souvent abstraites, qui est bien américain !

Quand ces beaux mots arrivent en Gaule, ils prennent une aura scientifique dans le jargon franco-francon. En disant par exemple *power* au lieu de « puissance », on a l'impression d'en dire plus, peut-être parce qu'on en a plein la bouche. À propos de ceux qui en ont plein la bouche, vous êtes peut-être de ces gens qui ne parlent pas de l'une ou l'autre *broche* d'un circuit intégré, mais de sa *pin*. Des exemples comme celui-là, vous en trouverez facilement d'autres dans votre propre bouche ou dans celle de vos collègues.

Quand vous entendez *noise gate*, et tant que vous ignorez de quoi il s'agit, vous n'avez aucune chance de deviner ce que c'est. Vous n'essayerez même pas. Quand vous entendez « trappe à bruit » en revanche, votre connaissance du vocabulaire français vous permet de deviner aussitôt de quoi il pourrait s'agir. C'est donc le même bon sens qui inspire aux techniciens américains de recourir à des mots de la langue de tous les jours qui doit nous inciter à utiliser à notre tour des mots qui parlent par eux-mêmes.

Quel bruit ?

Si ce qui vient d'être dit a un tant soit peu de fondements, vous devriez avoir deviné que la trappe à bruit est un circuit de suppression de bruit. Mais de quel bruit ?
Les systèmes de sonorisation font appel à des microphones et des amplificateurs. Les microphones captent non seulement les signaux utiles, mais aussi les bruits ambiants. Ils produisent eux-mêmes un bruit de fond sous forme de souffle, quand ils ne ramassent pas en plus des émissions de radio. Placées en amont des tables de mélange, des amplificateurs et autres intermédiaires divers, les sources microphoniques chargées de transformer en signal électrique des vibrations acoustiques (micro, guitare) introduisent chacune sa composante de bruits divers dans la chaîne de reproduction du son : ronflements, souffle, bruits de commutation. Quand cette chaîne n'est pas équipée d'un silencieux, on entend les crépitements, ronflements et gazouillis les plus variés pendant les pauses du signal utile (musique ou voix). C'est donc avant l'amplification qu'il faut supprimer ces bruits, comme le montre le croquis de la **figure 1**.

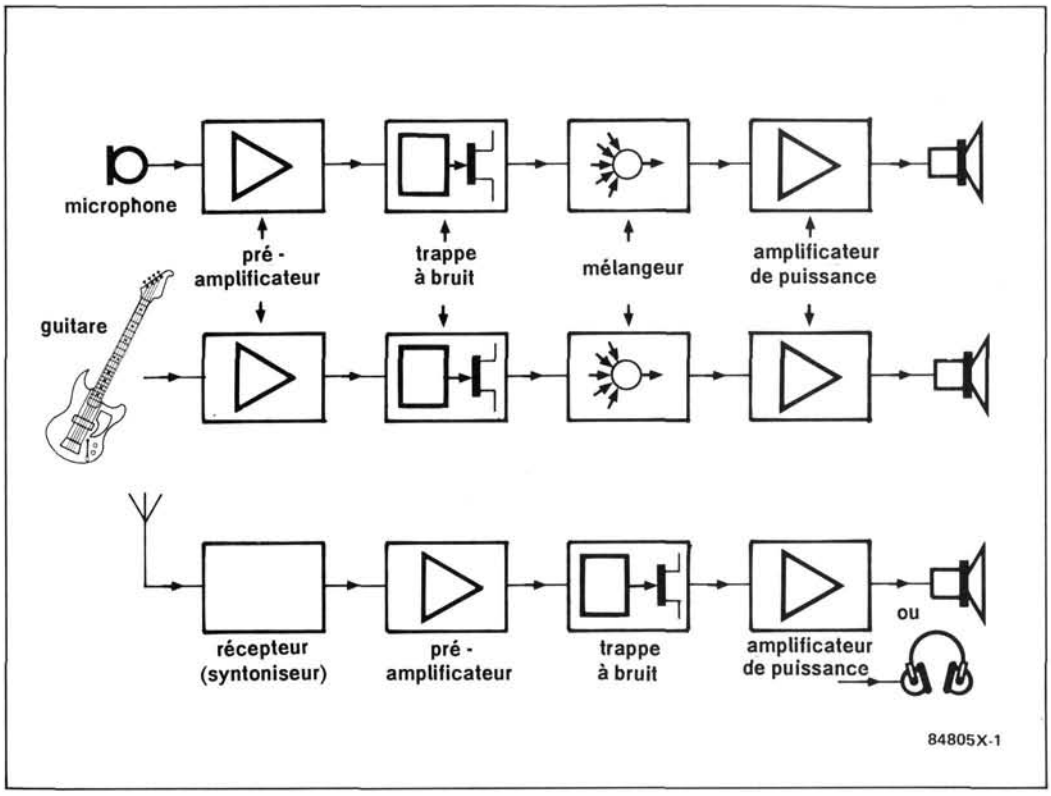


Figure 1 - Trois exemples typiques d'application de la trappe à bruit. Ce ne sont pas les seules possibles. Le principe est de supprimer les bruits de fond en l'absence de signal utile.

Principe

Le synoptique de la **figure 2** est plutôt impressionnant, ne trouvez-vous pas ? Il y a là un filtre (actif de surcroît), un comparateur et un interrupteur électronique, ça fait beaucoup pour une trappe ! Entre l'entrée et la sortie du circuit il y a aussi cette résistance R par laquelle le signal passe, légèrement atténué, quand l'interrupteur électronique est ouvert. Et que se passe-t-il quand l'interrupteur électronique est fermé ?

Il ne se passe plus rien, car la sortie est court-circuitée à la masse quand l'interrupteur électronique est fermé. Le silencieux, c'est lui. Quand le bruit doit disparaître, c'est-à-dire en l'absence de signal utile, l'interrupteur se ferme et c'est ainsi que passent à la trappe les ronflements, souffle et autres grésillements. Quand ? Oui, comment sait-on quand le signal utile en disparaissant ne laisse à découvert que des parasites ?
On fait passer le signal dans un circuit qui ne laisse pas passer les fréquences de moins de 400 Hz ni celles de plus de 1400 Hz sans en atténuer fortement l'amplitude. Ces deux fréquences délimitent la bande dans laquelle se trouvent l'essentiel des composantes d'un signal ordinaire de parole ou de musique. Personne ne s'étonnera du fait que le circuit en question est un **filtre passe-bande**.

Le signal de sortie du filtre passe-bande attaque un comparateur qui, comme son nom l'indique, en compare l'amplitude à un niveau de référence fixé par nous. Si l'amplitude du signal utile tombe sous ce niveau, on considère le signal comme inutile : le comparateur bascule et provoque la fermeture de l'interrupteur électronique, avec les conséquences que l'on connaît.

Au contraire, tant que l'amplitude du signal d'entrée reste au-dessus du seuil de suppression, la sortie du comparateur reste à un potentiel largement négatif, empêchant ainsi l'interrupteur électronique de court-circuiter le signal. Le seuil de suppression est réglable à deux niveaux différents selon que le signal à traiter est de la musique ou de la parole.

Une petite extension du circuit permet de bloquer passagèrement la trappe pour l'empêcher de supprimer, pendant des passages dont le volume sonore est réduit, des signaux utiles de faible amplitude.

Le circuit

Que dites-vous de tout cela ? Ça a l'air pas trop mal emmanché, non ?
Le circuit de la **figure 3** n'a rien pour inquiéter, si ce n'est cet espèce de transistor à angle droit, là en bas en droite. Hm, faudra voir ça de plus près. Mais commençons par ce qui tombe sous le sens.
On reconnaît immédiatement la résistance R de la figure 2. C'est R6, vous avez gagné. Ça fait plaisir, n'est-ce pas, de s'y retrouver un peu tout seul dans un schéma ?
Et à quoi sert-elle au juste, cette R6 ? Pas d'idée ?
Quand on ferme l'interrup-

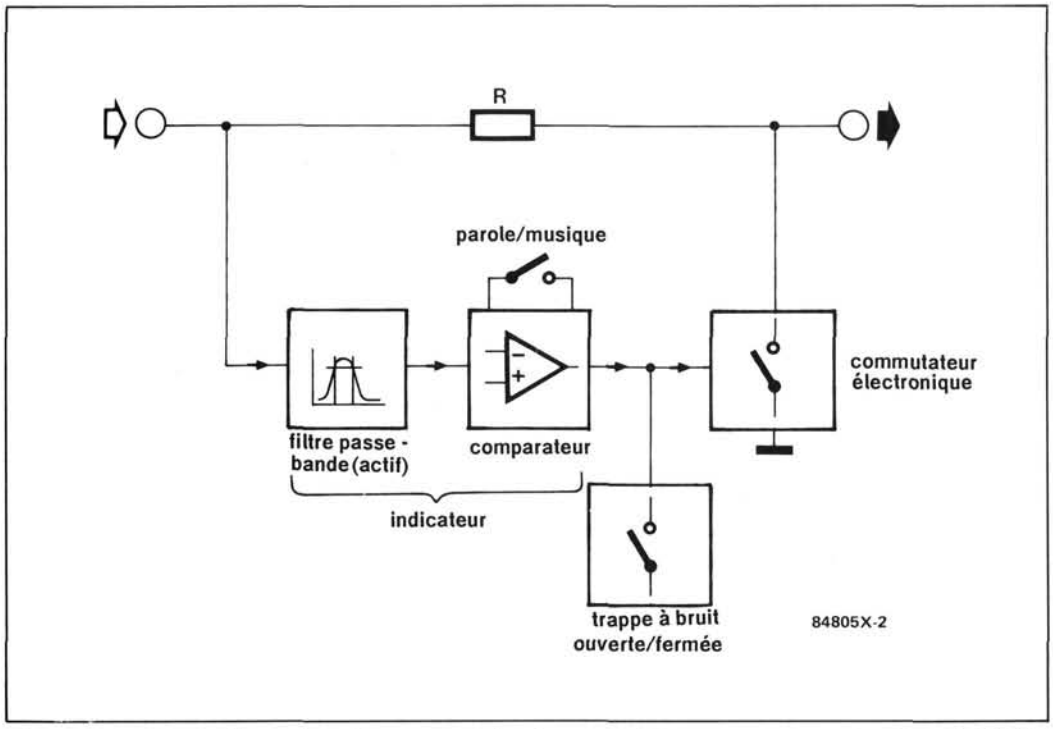


Figure 2 - Le signal utile subit un filtrage passe-bande avant d'attaquer un comparateur à seuil réglable qui commande un interrupteur : la sortie est court-circuitée par ce dernier chaque fois que l'amplitude du signal devenu trop faible trahit l'absence de signal utile et, par là même, la présence de bruit de fond.

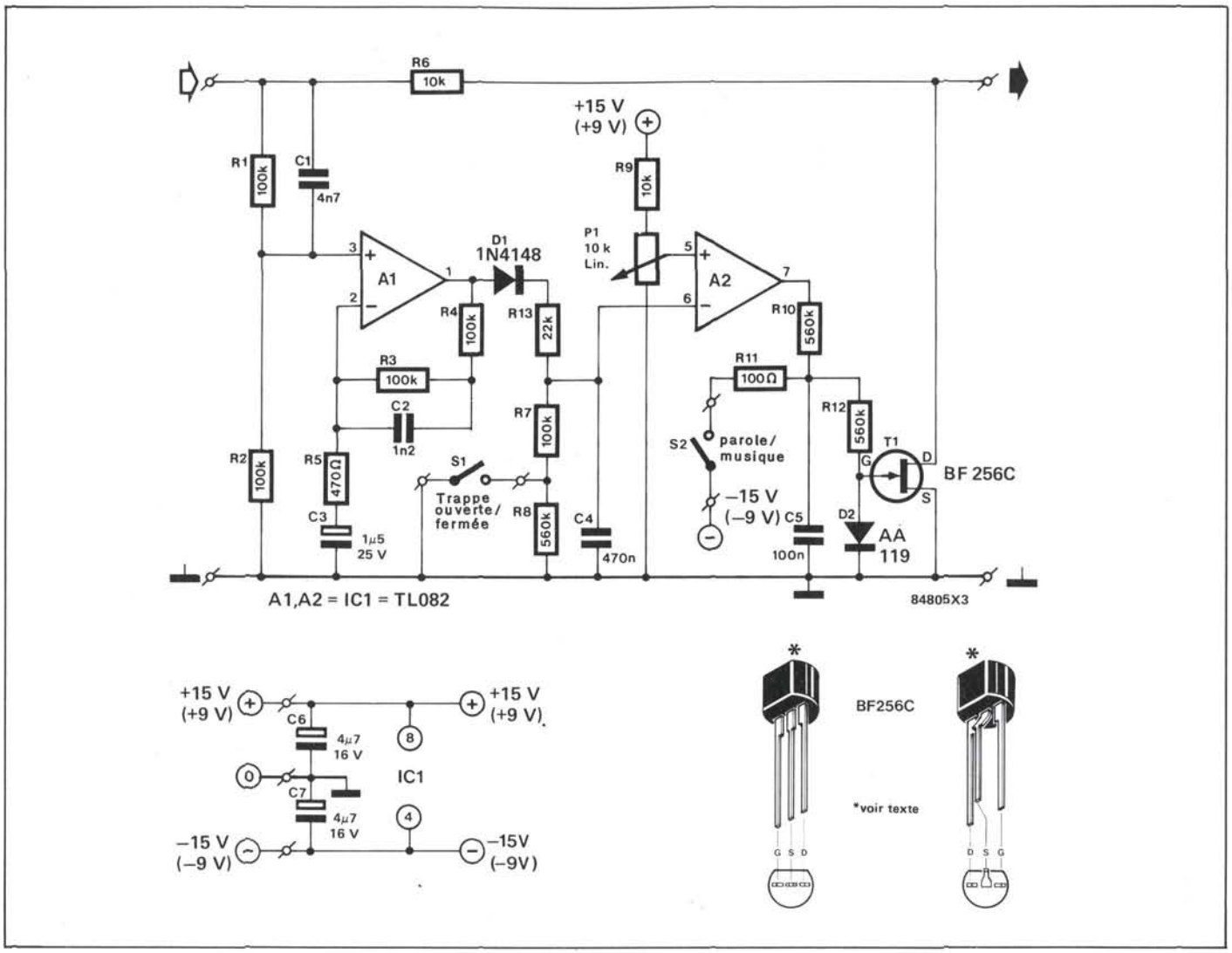


Figure 3 - Au schéma de la trappe à bruit s'applique l'adage : « de la complexité, pas plus qu'il n'en faut, de la simplicité, autant que possible ». Méfiez-vous du brochage des BF256. C'est la broche de source (S) qui permet de les distinguer.

teur, c'est pour court-circuiter le signal, mais pas la sortie du circuit qui nous le délivre. La fonction de R6 est donc de limiter le courant que doit fournir la source de signal connectée à l'entrée de la trappe.

Le filtre, maintenant. Sauriez-vous le trouver ? L'élément actif, c'est A1. Facile ! Et les composants atténuateurs, ce sont les résistances R1 à R5 et les condensateurs C1 à C3. Si vous supprimez les condensateurs, vous obtenez un amplificateur non inverseur. Le filtre passe-bande est un circuit qui combine les caractéristiques du filtre passe-bas (qui laisse passer sans les atténuer les fréquences inférieures à sa fréquence de coupure) et celles du filtre passe-haut (qui laisse passer sans les atténuer les fréquences supérieures à sa fréquence de coupure). En choisissant les composants de telle manière que la fréquence de coupure du filtre passe-haut (ici 400 Hz environ) soit inférieure à la fréquence de coupure de la fréquence de coupure du filtre passe-bas (ici 1400 Hz), on réalise une fonction passe-bande.

La diode D1 en sortie de A1 ne laisse passer que les alternances positives du signal. Celles-ci chargent le condensateur C4 relié à l'entrée − de l'amplificateur opérationnel A2. Les résistances R7 et R8 montées en parallèle sur le condensateur détournent une partie du courant de charge fourni par la diode. C'est à travers ces résistances que le condensateur peut se décharger durant les alternances négatives, c'est-à-dire quand la diode D1 est bloquée. Pour le signal musical, on court-circuite R8 à l'aide de l'interrupteur S1 de façon à atténuer le signal.

Le diviseur de tension formé par R9 et P1 polarise l'entrée + de l'amplificateur opérationnel. En fait, il s'agit là de fixer le seuil de suppression du signal. Quand l'amplitude du signal utile est devenue si faible qu'il ne reste plus que le bruit de fond, et la charge du condensateur n'atteint qu'un niveau bien modeste. Le seuil de tension fixé sur l'entrée + n'est plus atteint sur l'entrée −. La sortie de l'amplificateur opérationnel cherche à compenser ce déficit en poussant sa sortie à un potentiel proche de celui de la tension d'alimentation (entre 9 V et 15 V).

Dans ces conditions la base de T1 est polarisée suffisamment pour qu'il y circule un courant qui rende le transistor conducteur. Le signal en aval de R6 est court-circuité à la masse. À l'inverse, quand la sortie de l'amplificateur opérationnel A2 passe à un potentiel proche de celui de l'alimentation négative, il ne circule pas de courant qui puisse rendre T1 conducteur, et le signal utile poursuit son bonhomme de chemin en suivant la flèche noire.

Dites-donc, vous voyez ce que je vois ? T1 n'a pas de base, ni d'émetteur, ni de collecteur... C'est quoi au fait, cet animal ?
Un FET, précisément, c'est-à-dire un transistor à effet de champ, dont on pourrait dire que la base est une grille, le collecteur un drain et l'émetteur une source. Nous n'allons pas nous attarder là-dessus maintenant. Contentons-nous de retenir que la jonction drain-source est passante quand la grille est soumise à un courant de polarisation suffisant. À en juger par la valeur de la résistance de limitation du courant de grille R12, l'intensité de ce courant n'est pas bien élevée. Quant à D2, une diode au germanium polarisée en direct, elle empêche la tension sur la grille d'at-

teindre des valeurs positives dangereuses pour le transistor. Décidément, ces FET sont des gens bien étranges, il faudra qu'on en reparle.

Le réseau R10-C5 est un filtre passe-bas qui empêche les variations de tension très brèves en sortie de l'amplificateur opérationnel de parvenir jusqu'au transistor et le faire changer d'état. Ce réseau confère une certaine inertie à la trappe, l'empêchant de se fermer ou de s'ouvrir pour un oui ou pour non.

L'interrupteur S2 associé à R11 permet de commander la trappe à la main. En fermant S2, vous mettez la grille de T1 au potentiel de l'alimentation négative, de telle sorte qu'il restera bloqué quoi que fasse la sortie du comparateur.

Si nous avons opté pour un potentiomètre normal pour P1 à la place d'un modèle miniature, c'est pour que l'on puisse facilement adapter la sensibilité de la trappe aux niveaux des signaux à traiter.

Réalisation et mise en oeuvre

La **figure 4** donne le plan d'implantation des composants sur une platine d'expérimentation de petit format. Le brochage de T1 prête à confusion. Il existe des BF256 dont la grille est à gauche de la source, il en est d'autres sur lesquels elle est à droite. Pour les distinguer, on ne dispose d'autre moyen que le coude que fait la broche de la source sur l'un des deux types de boîtiers. Le moyen mnémotechnique le plus simple est de se dire que si la source n'est pas tordue, le brochage ne l'est pas non plus : la **g**rille est à **g**auche et le **d**rain est à **d**roite. Quand la source est tordue, le brochage est tordu aussi : grille et drain sont intervertis (voir figure 3).

La tension d'alimentation du montage pourra être comprise entre ±9 V et ±15 V selon le contexte dans lequel la trappe est utilisée. Elle sera alimentée soit par deux piles de 9 V, soit par une tension symétrique prélevée sur le circuit d'amplification ou de préamplification avec lequel elle est utilisée. La consommation reste inférieure à 5 mA en tout état de cause.

Pour la mise en boîte, c'est aussi le contexte qui sera déterminant. Nous recommandons, chaque fois que c'est possible, de monter la trappe dans le coffret de l'un des appareils avec lequel on l'utilise. 84805

LISTE DES COMPOSANTS

R1 à R4, R7 = 100 kΩ
R5 = 470 Ω
R6, R9 = 10 kΩ
R8,R10,R12 = 560 kΩ
R11 = 100 Ω
R13 = 22 kΩ
P1 = 10 kΩ lin.
C1 = 4,7 nF
C2 = 1,2 nF
C3 = 1,5 µF/25 V
C4 = 470 nF
C5 = 100 nF
C6,C7 = 4,7 µF/16 V
D1 = 1N4148
D2 = AA119
T1 = BF256C
IC1 = TL082
Divers :
S1,S2 = interrupteur
platine d'expérimentation de format 1

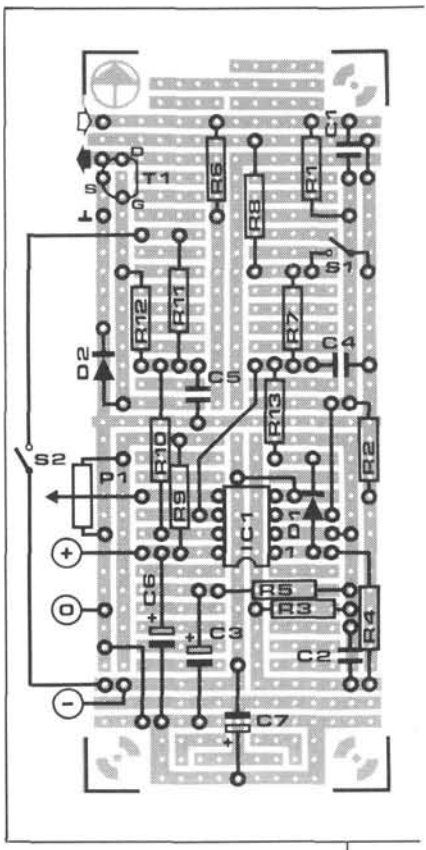


Figure 4 - Plan d'implantation des composants sur une platine d'expérimentation de petit format. Vérifiez le brochage de T1 avant de l'implanter.

SERVICE PLATINES PUBLITRONIC

Les platines d'expérimentation ELEX sont gravées, percées, étamées et sérigraphiées.

Format 1:	40 mm × 100 mm	23.00 FF
Format 2:	80 mm × 100 mm	38.00 FF
Format 3:	160 mm × 100 mm	60.00 FF

La platine DIGILEX est gravée, percée, étamée avec masque de soudure, sérigraphiée en deux couleurs.

EPS 83601 DIGILEX 88.00 FF

ELEX N° 5 Nov 88
EPS 886087 Traceur de courbes pour transistors 47.60 FF
EPS 34207 Testeur de thyristors et de triacs 28.50 FF

ELEX N°7 Jan 89
EPS 50389 Interphone à 2, 3 ou 4 postes 16,00 FF

ELEX N°17 Déc 89
EPS 86799 Testeur d'amplis op 30.45 FF
EPS 886077 Mini-clavier 120.60 FF

Disponibles auprès de certains revendeurs ou directement chez PUBLITRONIC (frais de port en sus).
Utilisez le bon en encart.

BERIC
43, rue Victor Hugo
92240 MALAKOFF
Tél. : 46.57.68.33
Métro : Porte de Vanves

ACTUALITÉS

CHRONOS LE COMPTE-HEURES

MAITRISEZ L'ENTRETIEN DES MOTEURS 2 TEMPS ET 4 TEMPS OU MULTICYLINDRES ET TOUT SYSTEME A ALIMENTATION A DECOUPAGE

AUCUN BRANCHEMENT GARANTI 5 ANS 8888 **100% ETANCHE AUTONOME**

LA PRECISION DU MICROPROCESSEUR

APPLICATIONS:
Motoculture
Motonautisme
Aviation Legère
Agriculture
Travaux Publics
Ordinateur
Minitel
T.V.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES:
AFFICHAGE: 4 chiffres à cristaux liquides (8,9mm)
PRÉCISION: 0,4%
AUTONOMIE: pile lithium (durée de vie sup. à 10 ans)
SENSIBILITÉ: 0 à 30 cm des fils de l'allumage
DIMENSIONS: 58 × 46 × 28 mm
POIDS: Env. 100g.
CHRONOS: est moulé en polymère souple antichocs et anti-vibrations garantissant l'étanchéité totale et la résistance à l'atmosphère marine, il est livré avec adhésif vis et patte de fixation en inox molybdène.

PRIX: 490,00 FF

MODULE MONTÉ, REGLÉ

Reglement à la commande • Port PTT et assurance : 30 F forfaitaires • Expeditions SNCF : facturées suivant port reel • Commande minimum : 100 F (+ port) • BP 4 MALAKOFF • Fermé dimanche et lundi - Heures d'ouverture : 9 h-12 h 30 - 14 h-19 h sauf samedi 8 h-12 h 30 - 14 h-17 h 30 • Tous nos prix s'entendent TTC mais port en sus. Expedition rapide. En C.R., majoration 20 F •CCP Paris 16578.99

pile ou face

tirage au sort électronique avec deux LED

Noël est la période de l'année où fleurissent les jeux de société dans lesquels le tirage au sort joue un rôle déterminant. Beaucoup moins nettement définissable est la période des disputes autour de certains sujets domestiques épineux. Comment fait-on chez vous pour désigner celui des honorables membres de la famille qui va pelleter la neige, sortir la poubelle, faire la vaisselle, ranger la cave, passer la tondeuse ?
Toutes les périodes de l'année sont idéales par conséquent pour se munir d'un accessoire électronique de tirage au sort. Rendons à César la pièce de sa monnaie, laissons-là les pailles longues et courtes, et oublions les comptines enfantines... Voici le pile ou face électronique.

Le principe de ce circuit consiste à commander alternativement deux LED de couleur différente. On s'arrange pour que quand l'une est éteinte, l'autre soit forcément allumée. Cette alternance est si rapide qu'il est impossible de la suivre à l'oeil nu. Tant que l'on appuie sur le bouton poussoir qui commande le circuit, les LED paraissent allumées toutes les deux, alors qu'en fait elles clignotent à très grande vitesse.

A l'instant où l'on relâche le bouton, le clignotement s'arrête et celle des deux LED qui était allumée reste allumée, l'autre qui était éteinte reste éteinte. Alea jacta est...

Vous vous doutez déjà du fait que pour réaliser un tel circuit il nous faut une bascule, c'est-à-dire un circuit qui change d'état en réponse à un signal d'entrée, et qui garde ensuite cet état jusqu'à l'apparition suivante du signal d'entrée. Il nous faut aussi un générateur d'impulsions pour commander la bascule à grande vitesse pendant que l'on appuie sur le bouton.

Le circuit de ce générateur d'impulsions se trouve sur la **figure 1**. Nos lecteurs fidèles auront reconnu le multivibrateur astable dont les transistors conduisent à tour de rôle tant que le poussoir S1 est fermé. Nous n'entrerons pas ici dans l'examen détaillé du fonctionnement d'un tel circuit, puisque cette analyse a été faite récemment et à plusieurs reprises dans ELEX. Rappelons en bref que si les transistors T3 et T4 conduisent à tour de rôle, c'est parce que les condensateurs C3 et C4 sont chargés et déchargés à tour de rôle ; ainsi les transistors se fournissent mutuellement, par l'intermédiaire des condensateurs, l'impulsion positive qui les fait conduire et l'impulsion négative qui les bloque.

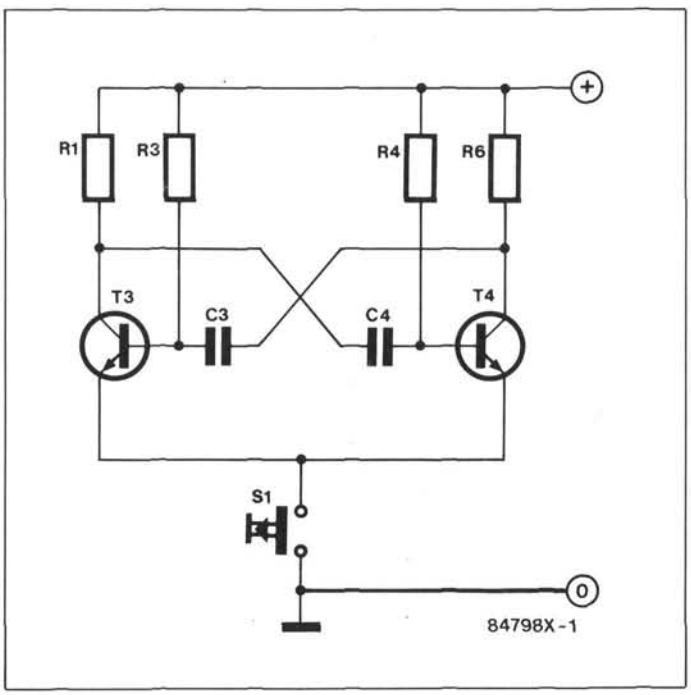


Figure 1 - Le schéma du multivibrateur astable se reconnaît aisément au croisement caractéristique des lignes de commande mutuelle de la base d'un transistor par le collecteur de l'autre, à travers un condensateur. C'est ce générateur d'impulsions, extrait du schéma complet de la figure 2, qui jette la pièce et la fait tourner tant que l'on appuie sur S1.

Cette disposition se traduit d'ailleurs par un tracé de schéma caractéristique : le croisement inhabituel des deux liaisons entre base d'un transistor et collecteur de l'autre. Il est évident que le circuit ne peut fonctionner que si le courant d'émetteur de ces transistors circule vers la masse, c'est-à-dire quand S1 est fermé. Pour plus de renseignements sur le multivibrateur astable, veuillez sortir votre n°15 d'ELEX. Passons à la bascule maintenant.

On appelle bascule la partie du circuit de la **figure 2** qui comprend T1, T2, D1, D2, R2, R5, R7 et R8. Quel beau schéma, n'est-ce pas ? Quelle élégante symétrie ?
Le haut du circuit ressemble au multivibrateur de la figure 1 que nous retrouvons en bas de la figure 2. Mais un coup d'oeil rapproché montre que si les transistors de la bascule sont capables de se commander mutuellement (liaison entre le collecteur de l'un et la base de l'autre), ils reçoivent leur signal de commande de l'extérieur, à travers C1 et C2. On dit que la bascule est **déclenchée** par une impulsion positive sur l'un des condensateurs C1 ou C2.

On sait que les impulsions qui commandent la bascule viennent du générateur tant qu'on appuie sur S1.

Elle se suivent à une cadence telle que les deux LED paraissent allumées en même temps. L'impulsion déterminante pour le **pile ou face**, c'est **celle qui est apparue en dernier, juste avant que l'on relâche S1**. Selon que c'est T3 ou T4 qui conduisait à cet instant précis, l'un des deux condensateurs se sera déchargé à travers lui. L'impulsion positive qui résulte de la décharge de C1 à travers T3, polarise la base de T1 et c'est donc lui qui conduit. Si c'est C2 qui s'est déchargé en dernier à travers T4, c'est la base de T2 qui est polarisée, et c'est ce transistor-là qui conduit.

Que ce soit T1 ou T2 qui conduise, cet état du circuit est stable (une fois que S1 est rouvert) tant que la base du transistor bloqué jusque là ne reçoit pas de nouvelle impulsion de déclenchement. Comme ce circuit a deux états stables possibles, on l'appelle aussi un bistable (ou bascule bistable, par opposition à bascule monostable, laquelle n'a qu'un seul état stable).

Imaginons que c'est T1 qui a reçu la dernière impulsion positive sur sa base. Ce transistor se met à conduire, son potentiel de collecteur s'effondre et avec lui disparaît le courant de base qui polarisait T2 : ce transistor se bloque. Aussitôt son collecteur passe à un potentiel qui permet à un courant de circuler dans la base de T1, lequel reste conducteur par conséquent, même si l'impulsion positive est finie et même s'il ne subsiste plus l'ombre d'une tension entre les armatures de C1.

Pour changer cet état du circuit, il faut une impulsion positive sur le condensateur C2, laquelle arrivera au plus tôt quand le générateur de signaux carrés sera remis en fonction par la fermeture de S1. C'est bien entendu le hasard qui détermine lequel des deux condensateurs recevra la dernière impulsion positive avant que l'on relâche la pression sur S1.

Voilà à peu près tout ce qu'il y avait à dire sur le fonctionnement de ce circuit. Pour les ceusse qui aiment bien tout savoir, on ajoutera peut-être encore que la fréquence des impulsions produites par le multivibrateur astable est de 60 Hz environ. A cette vitesse-là, aucune chance de tricher !

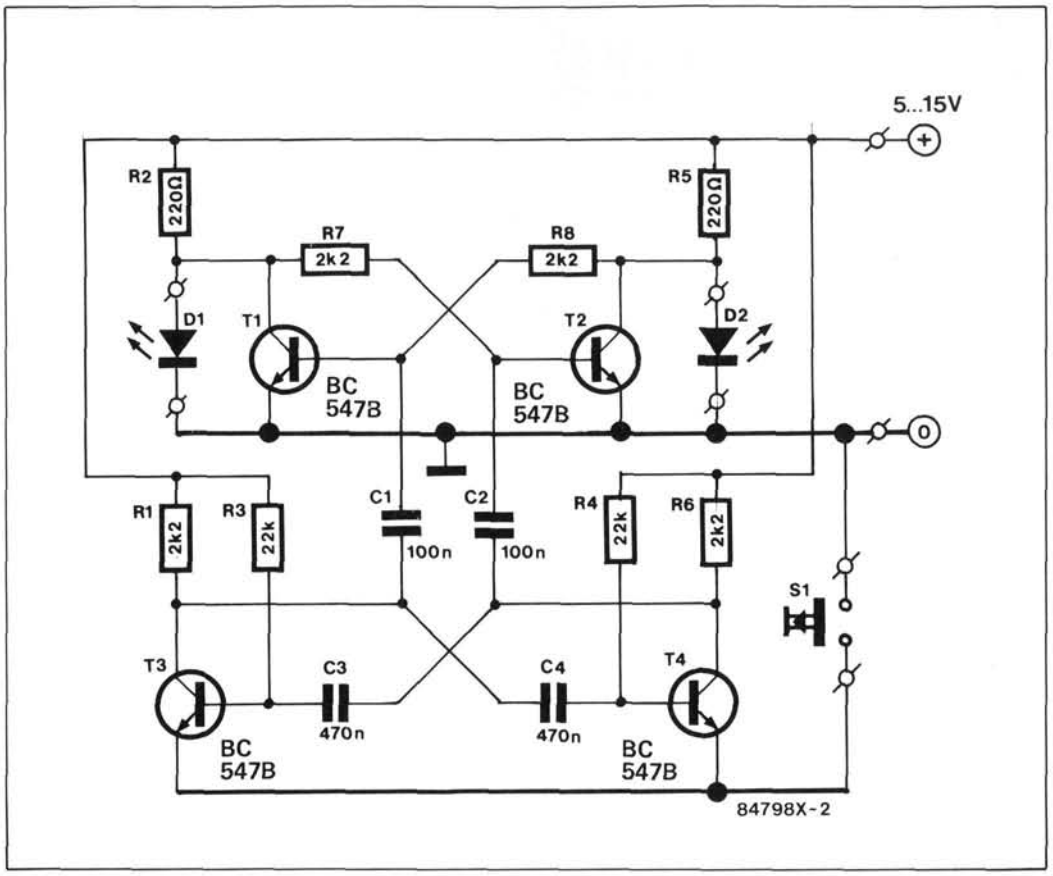


*Figure 2 - Schéma complet du circuit de **pile ou face** électronique. On reconnaît en bas le multivibrateur astable de la figure 1 qui commande la bascule formée par T1 et T2 à travers C1 et C2. Quand T4 devient conducteur, il met une des armatures de C2 au potentiel de la masse, C2 envoie sur la base de T2 une impulsion positive, ce transistor conduit à son tour (court-circuitant D2 qui s'étend) et bloque T1 : la diode D1 s'allume.*
Quand T3 se met à conduire c'est l'opération symétrique qui se déroule.

Réalisation

Le plan d'implantation des composants du circuit de **pile ou face** électronique sur une platine d'expérimentation a été conçu pour faciliter la tâche à ceux de nos lecteurs qui ne sont pas des virtuoses de la soudure : les composants sont éloignés les uns des autres, répartis sur la surface entière de la platine. Le résultat se laisse voir... c'est pourquoi nous vous suggérons de le monter dans un de ces superbes boîtiers miniature en plastique transparent, comme le montre la photographie. Attention au sens des transistors et des diodes électroluminescentes, et n'oubliez pas les ponts de câblage (il y en a trois) ! Utilisez des picots mâles sur lesquels vous souderez les fils de câblage. Le circuit pourra être alimenté par une tension comprise entre 5 et 15 V. Si vous utilisez une pile compacte de 9 V, elle fera largement l'affaire pendant des mois, mais intercalez un interrupteur marche-arrêt dans la ligne d'alimentation.

84798

LISTE DES COMPOSANTS
R1,R6 à R8 = 2,2 kΩ
R2,R5 = 220 Ω
R3,R4 = 22 kΩ
C1,C2 = 100 nF
C3,C4 = 470 nF
D1 = LED rouge
D2 = LED verte
T1 à T4 = BC547B

Divers :
S1 = bouton poussoir (interrupteur à contact fugitif)
1 platine d'expérimentation de format 1

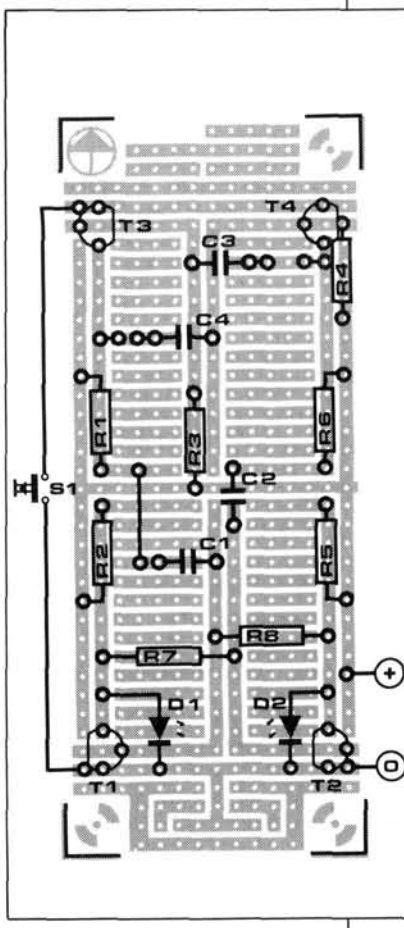


*Figure 3 - Le plan d'implantation de ce **pile ou face** électronique a été aéré délibérément pour des raisons d'ordre esthétique d'une part, et pour faciliter la tâche des débutants d'autre part. N'oubliez pas les ponts de câblage, notamment les deux petits !*

briquet électronique pour feux d'artifice

boutefeu pour boute-en-train avec les veilleurs meuh de la déraction d'EXEL

Voici un circuit que nous aurions pu publier aussi bien dans un numéro d'ELEX consacré aux résistances, que dans un numéro consacré à la puissance. Si nous l'avons gardé pour ce numéro-ci, c'est-à-dire pour la fine bouche, c'est de toute évidence en raison du caractère anecdotique de son champ d'application : les festivités bruyantes de la Saint-Sylvestre. Comme son nom l'indique, il s'agit d'une espèce de télécommande pour mettre le feu aux mèches d'engins pyrotechniques.

Les dernières années ont vu un développement spectaculaire (c'est le cas de la dire) de tout ce qui touche à l'art pyrotechnique. L'un des effets les plus saisissants est obtenu par la simultanéité de l'amorçage de plusieurs feux et fusées, identiques ou différents. Nous avons pensé qu'il serait agréable à nos lecteurs fêtards de disposer d'un accessoire électrique comme celui que nous présentons ici, qui leur permettra à la fois d'épater la galerie et de créer des conditions de sécurité renforcées autour de ces engins explosifs. Ainsi soit-il : voici donc le boutefeu électronique pour boute-en-train, un cir-

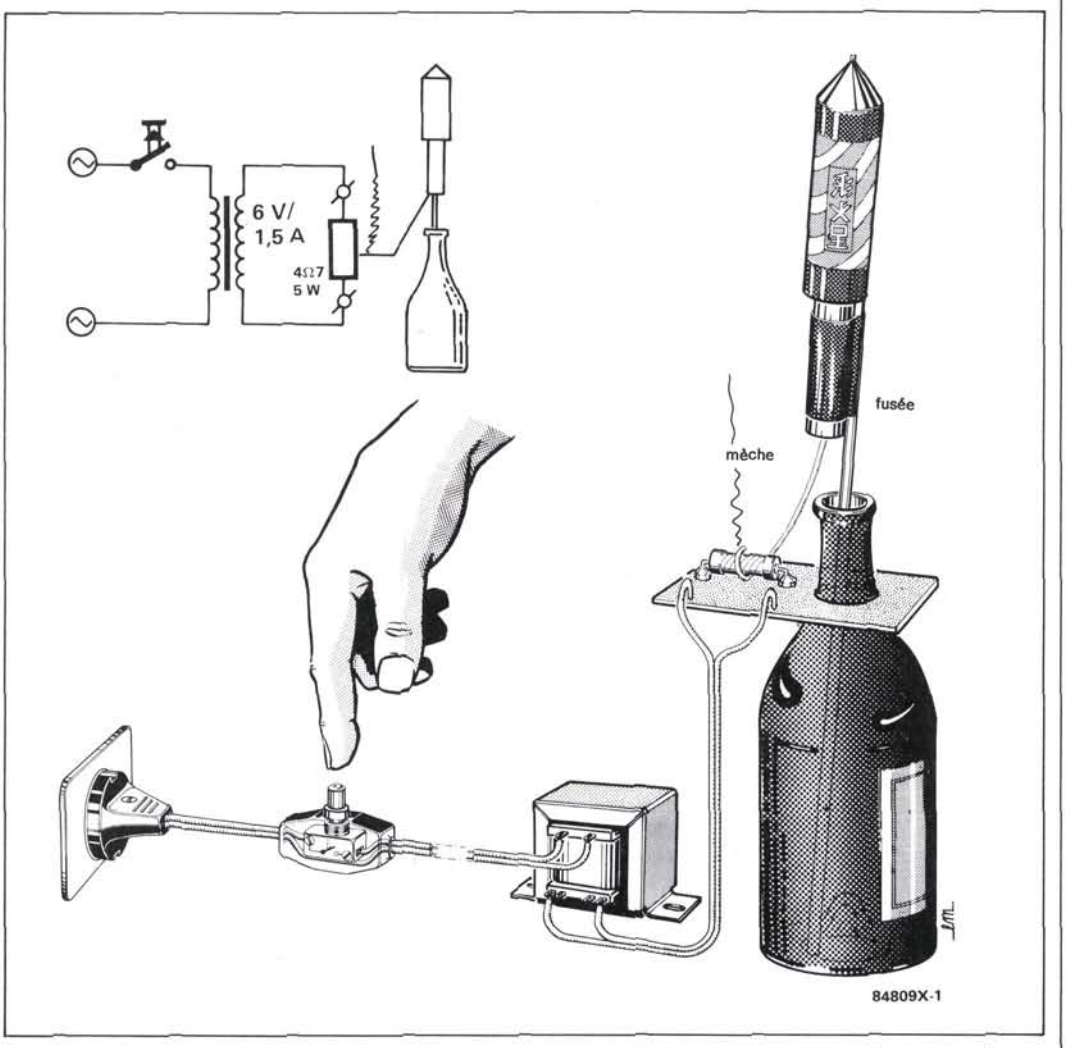


Figure 1 - Avertissement : ce briquet électronique n'est pas utilisable comme allume-cierge. Mais il fonctionne très bien, même si pour des raisons de sécurité, on remplace le transformateur par des piles ou quatre accumulateurs Cad-Ni de capacité respectable et bien chargés.
Amusez-vous bien !

cuit de mise à feu télécommandé pour les fusées de la Saint-Sylvestre.

Son principe est simple et consiste à faire chauffer un filament pour le porter au rouge. Le filament, ne vous faites pas de souci, on le récupère, sous la forme d'une résistance de puissance.
Le mois dernier, dans l'article sur la scie à polystyrène, nous vous avons déjà montré comment récupérer du fil résistif sur des résistances de puissance bobinées et enrobées dans de la céramique que vous trouverez chez votre marchand de composants ou dans les fonds de tiroir parmi les composants de récupération. Il suffit d'un bon coup de marteau ou d'un serrage vigoureux dans l'étau pour faire sauter la gangue de la résistance et faire apparaître une spirale de fil résistif.

On laisse le boudin de la résistance tel qu'il est et on le monte sur une platine en laissant assez de place pour pouvoir enrouler la mèche des fusées et des engins pyrotechniques divers.

Vous pouvez aussi bobiner cette résistance vous-même si vous disposez du fil adéquat.
Pour échauffer la résistance de notre boutefeu et porter le fil au rouge, il nous faut un courant de forte intensité que nous fournira soit un transformateur alimenté par le secteur (pas recommandé pour l'extérieur, ni en milieu humide) soit une batterie de voiture, soit un jeu d'accumulateurs Cad-Ni. Il suffit d'intercaler un bouton poussoir capable de supporter le courant, et c'est parti.

Tableau

fil ∅ mm	résistance à 20°C (courant continu) Ω/m	intensité (en A) pour obtenir une température de 100°C
0,1	62,4	0,237
0,2	15,6	0,56
0,3	6,93	0,94
0,4	3,90	1,34
0,6	1,73	2,21
0,8	0,975	3,19
1,0	0,624	4,22
1,2	0,433	5,3
1,5	0,277	7,0
2,0	0,156	10,0
3,0	0,069	16,6
4,0	0,039	23,9

Le fil de constantan est un alliage de nickel et de cuivre dont la résistance ne varie pas de façon significative avec la température. Ses caractéristiques nous permettent de dresser le tableau qui détermine la longueur à donner au fil en fonction de la température souhaitée, du courant maximal (100 °C) et de la section du fil.

Le schéma de la **figure 1** montre comment faire un boutefeu avec un transformateur de 6 V/1,5 A et une résistance de 4,7 Ω/5 W. Si vous utilisez plusieurs résistances ou si vous bobinez un fil résistif plus long, il faut augmenter la tension en proportion. Ainsi une batterie d'auto permet de faire chauffer une résistance de 15 à 18 Ω ou 2 résistances de 4,7 Ω, ou encore quatre résistances de 1,2 Ω montées en série.
Il faut dissiper environ 7,5 W par résistance. La formule qui permet de calculer la valeur de résistance convenable pour une source de tension donnée est la suivante :

$$R = \frac{U^2}{7{,}5}\ \Omega$$

la tension U est en volts sur la résistance.

Si vous désirez obtenir un amorçage décalé de plusieurs fusées les unes après les autres, il suffira de prévoir plusieurs circuits, avec un poussoir pour chacun. Faites attention de ne pas fermer plusieurs circuits à la fois, votre source de courant serait soumise à un court-circuit qu'elle ne supportera peut-être pas. Avant de fermer un circuit d'amorçage, vérifiez que le précédent est bien rouvert.

Pour ce qui est de la disposition de la platine, les plus perfectionnistes d'entre nos lecteurs boute-en-train s'inspireront de la figure 1 pour confectionner une platine qui se monte sur le goulot d'une bouteille (vide) de préférence. Les plus sérieux d'entre eux iront même jusqu'à tester le circuit au cours d'une répétition générale (sans champagne ni fusée) au cours de laquelle ils pourront chronométrer le temps que met le fil résistif à rougeoyer.

Avec ou sans boutefeu, la rédaction d'ELEX vous remercie pour la confiance que vous lui avez accordée cette année et vous recommande d'en faire autant l'année prochaine. Que vous soyez boute-en-train ou en train de bouder, l'année 1990, nous vous la souhaitons elexplosive !

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 egalement au magasin

11, Place de la Nation, 75011 Paris 43 79 39 88
Télex 216 328 F - Ouvert de 9 h 30 à 12 h et de 14 h à 19 h
Fermé le Lundi.

BOUGIE ÉLECTRONIQUE

Drôle d'idée que cette bougie électronique ! Une entorse au bon goût. Cucul la praline, ringard... Allez-y, ne vous gênez pas. Quand vous aurez fini, et que vous aurez encore un peu de patience pour lire la suite, on vous dira qu'il y a dans cette bougie électronique une idée assez originale pour qu'on ne la laisse pas passer : il s'agit en effet d'une bougie qu'on peut allumer avec une allumette et éteindre en soufflant dessus.

En regardant bien le croquis de la **figure 1**, vous découvrirez peut-être tout seul comment cela fonctionne. Que voyez-vous en haut, près de l'ampoule ? Une LDR, oui c'est une photorésistance au fond. Et à droite, ce disque hachuré, fixé à la LDR par une languette, le voyez-vous ?

Tout est dans cette disposition de l'ampoule, de la LDR et du disque obturateur. Quand vous présentez une source de lumière, une allumette allumée par exemple, la bougie s'allume parce que la LDR « voit » la lumière. Puis quand vous soufflez sur le disque en carton, celui-ci se rabat sur la LDR qui ne voit plus la lumière de la lampe : la bougie s'éteint. Étonnant, non ?

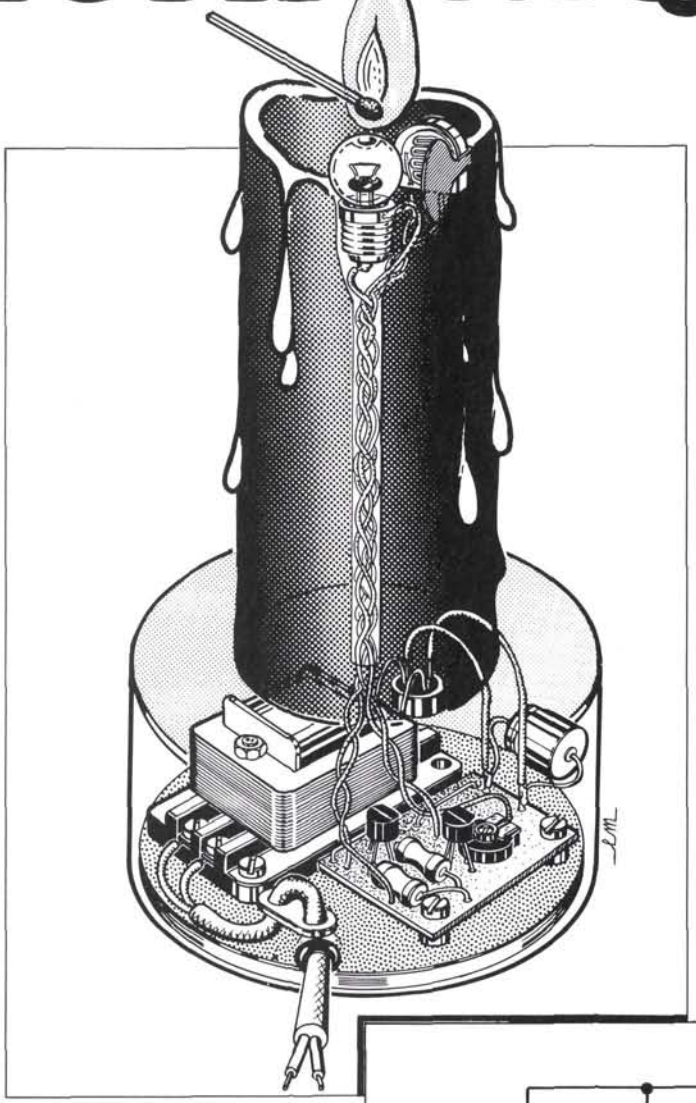


Figure 1 - Une ampoule électrique à la place de la flamme, une LDR pour détecter la lumière d'une allumette allumée et un disque en carton pour l'obturer quand on souffle dessus pour l'éteindre. Voilà le secret de la bougie électronique.

Le circuit

Vous retrouvez sur le schéma de la **figure 2** non seulement la photorésistance et la lampe de la figure 1, mais aussi, entre les deux, le disque obturateur au bout de sa languette.
La photorésistance est montée en diviseur de tension variable avec une résistance ajustable (P1) pour commander la base de T1, un transistor NPN commutateur qui commande à son tour la base de T2, le transistor PNP qui allume et éteint la lampe La1. La résistance R2 limite le courant à travers T1 tandis que R3 limite le courant de base de T2. Le courant à travers T2 est limité par la résistance du filament de la lampe elle-même.

Supposons que la bougie soit éteinte. La LDR est dans une relative obscurité, sa résistance est forte, il ne circule pas de courant de base dans T1 qui est bloqué. La base de T2 ne voit circuler aucun courant, la lampe est éteinte. Approchons la flamme d'une allumette de la photorésistance. Celle-ci réagit en abaissant considérablement sa résistance, à tel point que T1 devient conducteur et permet au courant de base de T2 de circuler. La lampe s'allume. Quand vous retirez l'allumette, la bougie reste allumée, parce que maintenant la photorésistance voit la lumière de la lampe.

LISTE DES COMPOSANTS

R1 = LDR03
R2 = 4k7
R3 = 1 kΩ
P1 = 1 kΩ
T1 = BC547
T2 = BC557
La1 = lampe 6 V/50 mA

éventuellement :
transfo de sonnette
redresseur B40C1500
condensateur chimique
220 µF/10 V

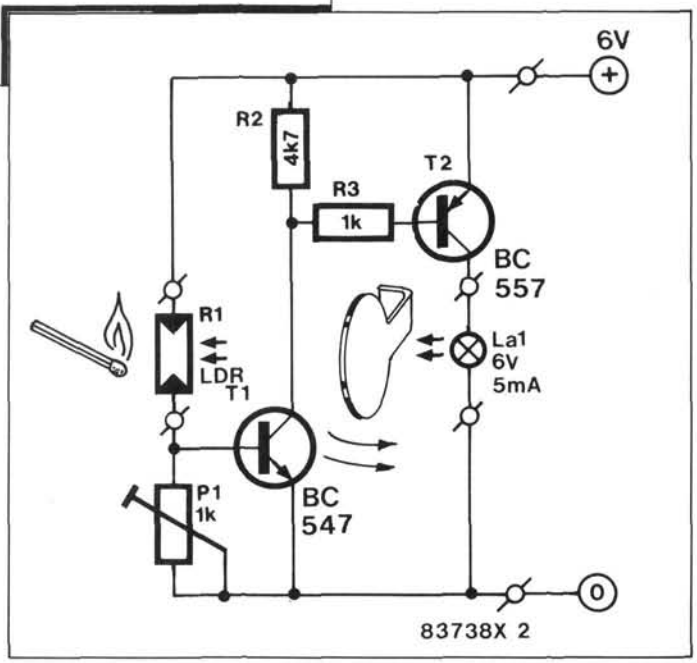


Figure 2 - Il faut cinq composants pour fabriquer cet interrupteur photosensible qui s'auto-entretient à l'état allumé aussi bien qu'à l'état éteint. Pour le faire changer d'état dans un sens, il faut l'illuminer et dans l'autre sens, il faut l'obscurcir. D'autres applications de ce principe sont imaginables. À vous de les trouver.

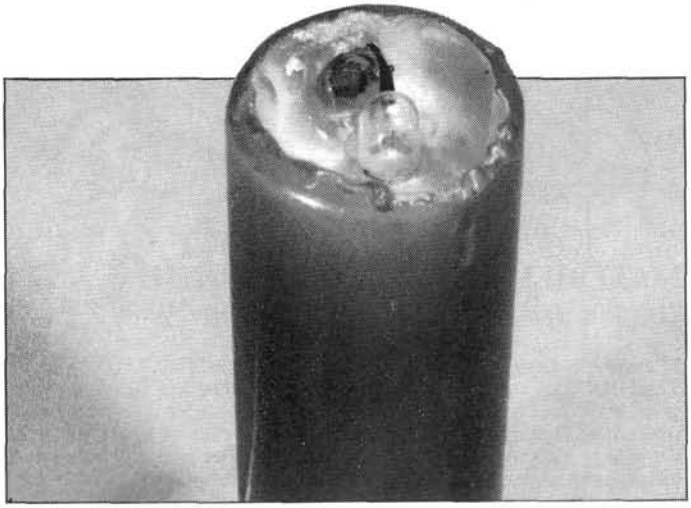


Figure 3 - Monté par Sylvestre, notre maître cirier, le prototype de la bougie électronique.

Il faut souffler sur le disque pour qu'il vienne se plaquer contre la surface de la LDR. La baisse de luminosité fait augmenter la résistance, T1 se bloque et avec lui T2 : la lampe s'éteint. Étonnant, non ? (La question méritait d'être reposée.)

La réalisation

Ceci n'est pas un gag, contrairement à ce que certains auront sans doute pensé. Il existe même un prototype de la bougie électronique d'ELEX, construit selon le croquis de la figure 1. Nous avons utilisé un quart de platine d'expérimentation de petit format pour loger les cinq composants implantés normalement. La lampe et la LDR sont câblées dans le corps de la bougie qu'il aura fallu évider au préalable.

Faites chauffer un peu de cire dans un récipient, puis laissez-la refroidir juste assez pour que la cire ramollie puisse vous servir à fixer la lampe et la LDR. Ne placez qu'ensuite le disque obturateur (découpé par exemple dans une carte de visite de l'agent d'assurances qui s'occupe de votre assurance contre l'incendie ; cette année vous n'en aurez pas besoin, puisque vous ne mettrez pas le feu à la maison avec les bougies de Noël).

L'alimentation par transformateur n'est pas nécessaire si on ne confectionne la bougie que pour s'amuser ou amuser quelqu'un l'espace d'un début de soirée. Dans ce cas, une bonne pile plate de lampe de poche fait très bien l'affaire.

Le bougeoir est un modèle spécial à transformateur de sonnette (plus redresseur et condensateur de lissage) que l'on ne trouve pas dans les grands magasins. Vous pouvez utiliser par exemple une boîte de camembert (vide) plutôt qu'une boîte de rillettes. L'une est en bois, alors que l'autre est métallique. Le choix n'est pas une affaire de goût, mais de sécurité.

Étonnant, non ?

83738

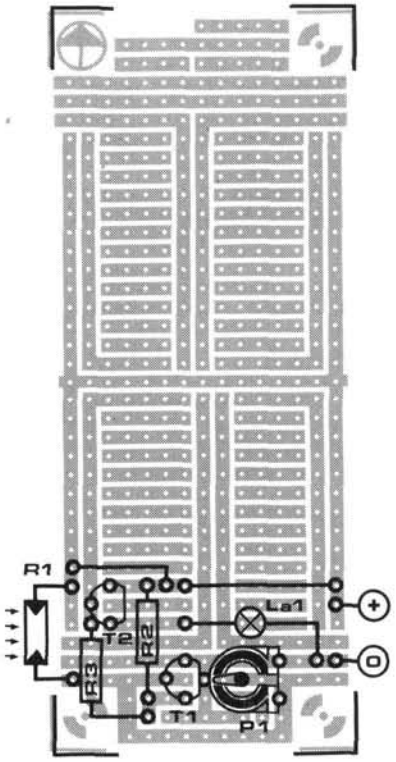


Figure 4 - Plan d'implantation des composants sur une chute de platine d'expérimentation. Les plus expérimentés parmi nos lecteurs n'hésiteront pas à assembler le montage en l'air plutôt que d'avoir recours à une platine. Risqué pour les débutants !

ELECTRON-SHOP
CLERMONT-FERRAND

20-23 Avenue de la République (63)

Tél : Composants : 73.92.73.11
Tél : HP Son, Lumière : 73.90.99.93

Nos points forts : **CHOIX CONSEIL**

COMPOSANTS : choix et qualité en actifs et passifs

KITS : une gamme pour tout faire avec des grandes marques : Welleman - TSM-Plus-Pack

SONO : Tout pour le son et la lumière, mais surtout un spécialiste du HP : Audax-Monacor-Davis-Visaton-Rcf etc

Une visite s'impose : à bientôt

ELEX BAZAR

RECHERCHE guide pratique : construction d'ensembles de radiocommande de Monsieur Francis Thobois. Merci - Faire offre à BOUR E. Résidence Du Stade 40100 DAX.

VENDS pour CPC 6128 : imprimante DMP 2160 + lecteur disc 5p 1/4. Patrick Tél : (1) 43.56.02.70. 75011 Paris de 19h à 20h uniquement ou W.E.

CHERCHE détecteur de métaux + acc. en panne + **VENDS** Commodore 64 + Floppy + disks + imp = 2500F - horl. Digit. 6CI = 150F. Tél : 47.53.37.94 TOURS.

VENDS log fr IBMPC Calculez vos transfo atténuateur ampli-T original : Prix : 40F. CAILLAUD 2, bis cité Debergue 75012 PARIS.

VENDS 40 ELEKTOR après n°33 : 20F le n° - Par 10 : 15F le n° ou 500F le lot (port compris). JACQUOT D Route D'Etouvans 25150 ECOT.

CHERCHE interface Centronics et lect. de disquettes pour Micro SHARP PC1500. Tél : 22.26.85.78.

VENDS oscillos double trace depuis 650F - composants transfos 1/4 du prix. COCU Roger 35, Av République 18110 ST MARTIN D'AUXIGNY.

VENDS CITIZEN de poche N/B : 400F. Interface Minitel - PC alimentée + logiciels. Tél (1) 43.72.53.97.

VENDS APPLE 2E 128k 2 lecteurs - imprimante - cartes RS232 - livres - disquettes - Tél : 29.31.41.39 JP SOUQUIÈRES BP 353 88009 ÉPINAL CEDEX.

VENDS casque SENHEISER - T.B état - peu servi : 350F. Tél 99.96.78.64.

VENDS ordinateur équipé pour manchot unijambiste + 3 jeux 100H107 +LHO + L100
S'adresser ELEX Le Sot à Pieds-Joints qui transmettra au Bourdax

CHERCHE mode d'emploi oscillo. et/ou schéma TELEQUIPMENT D66. CIMIER R 18, Chemin De Villesicard 49000 ANGERS. Merci.

CÈDE alimentation réglable de 2V à 25V - S'adresser à Michel 5, Rue Poste 44150 ST HERBLON.

CHERCHE en communication texte accompagnant les 40 Abaques radio de Gouvenain. Société Edit Radio. SINE 41220 ST LAURENT.

VENDS SAA1027 : 50F - 6264 : 45F - Quartz 19, 6608 MHz : 30F. Tél 81.52.22.07.

VENDS Ampli-Tuner DUAL, platine disques, magnétophone bande : 300F. Carte élect pour C.I. Appareil photo 24X36 + objectifs 42 AVIS. Tél : 56.87.10.07.

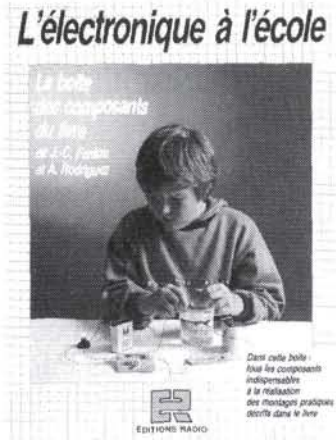
DEVENEZ ANIMATEUR TECHNICIEN en préparant le Brevet d'Etat d'Animateur Technicien de l'Education Populaire - Option : Activités scientifiques et techniques. Rens : Direction Régionale De La Jeunesse Et Des Sports 7, Av Général Leclerc 13331 MARSEILLE. Tél : 91.50.22.23 Postes 45 et 46.

ÉLECTRONICIENS AMATEURS, vous rêvez de faire de votre passion pour l'électronique un métier. Le C.E.F.R.E.P de Crolles (Isère) vous propose 6 mois de formation professionnelle (électronique, technologie, dessin, CAO, industrialisation, informatique). Pour en savoir plus, composez le 76.08.00.74 : ELEC'3.

L'ÉLECTRONIQUE À L'ÉCOLE

Comment Apprendre l'Électronique aux Enfants

Par J.C. FANTOU et A. RODRIGUEZ



Enseignants, vous voulez apprendre l'électronique aux enfants ?... Ne cherchez plus !... les ÉDITIONS RADIO mettent à votre disposition tout ce qu'il vous faut pour animer, de façon pédagogique et progressive, de vivantes séances d'électronique même si vous êtes profane en la matière.
Ce produit original se présente sous la forme d'un livre (le livre du maître), et d'une boîte de composants.

- 1°) LE LIVRE :
Destiné aux enseignants, il décrit 9 séances de cours avec leur déroulement détaillé : la structure du cours, les questions probables des élèves, les écueils à éviter, la réalisation détaillée des expériences pratiques d'électronique, des évaluations avec corrigés et des compléments techniques.

Broché, 160 pages – Format 18 × 24 cm – Prix : 98 F (108 F Port Compris)

- 2°) LA BOÎTE DES COMPOSANTS :
Cette boîte destinée à l'enseignant et aux élèves, contient tous les composants électroniques, ainsi que tout le petit matériel (fil, plaquettes, tournevis, etc...), nécessaires pour réaliser toutes les expériences pratiques d'apprentissage décrites dans le livre.
Prix : 63 F (73 F Port Compris).

LES AUTEURS :
André RODRIGUEZ est conseiller pédagogique et chargé de la formation électronique des instituteurs à l'École Normale de Saint-Germain-En-Laye. Jean-Claude FANTOU, enseignant en électronique est l'auteur de nombreux livres de vulgarisation technique dans les domaines de l'informatique et de l'électronique.

Petites Annonces Gratuites ELEX

- Les petites annonces sont gratuites pour les particuliers. Les annonces à caractère commercial sont payantes d'avance au prix de 41,51 FF par ligne (35 FF/HT).
- Les textes, lisiblement rédigés, ne seront acceptés *que sur la grille* ci-dessous (ou sa photocopie). N'oubliez pas d'inclure *dans votre texte* vos coordonnées ou n° de téléphone complet (avec préfixe "1" pour zone Paris).
- L'offre est limitée à une annonce par mois et par lecteur : joindre obligatoirement le *coin justificatif* valable jusqu'à la fin du mois indiqué.
- Indiquer *aussi en dehors* du texte votre nom et votre adresse complète : les envois anonymes seront refusés.
- ELEX se réserve le droit de refuser à sa discrétion les textes reçus, notamment en raison des limites de l'espace disponible ou d'un texte ne concernant pas l'électronique. En principe, les textes reçus avant le 15 du mois paraîtront le mois suivant.
- ELEX n'acceptera aucune responsabilité concernant les offres publiées ou les transactions qui en résulteraient.
- L'envoi d'une demande d'insertion implique l'acceptation de ce règlement.

ELEX - p.a.g.e. - B.P. 53 59270 Bailleul

Texte de l'annonce (inclure vos coordonnées) :

Compléter obligatoirement (hors annonce).

Nom _____

Adresse _____

Ne rien inscrire ici. Merci.

Justificatif : photocopier refusées janvier 1990

MATÉRIEL PÉDAGOGIQUE FIXFIL

Électricité, électronique et robotique

L'ensemble du matériel pour l'initiation à l'ÉLECTRICITÉ et l'ÉLECTRONIQUE est conçu autour d'un système de connexion sans soudure original, la plaque FIXFIL. Insérés dans une plaque en plastique haute densité (100 x 90 x 25 mm), 61 faisceaux indépendants de fils de laiton permettent l'enfichage aisé et rapide des divers éléments d'un circuit et assurent en même temps un excellent contact entre eux. Ces faisceaux peuvent recevoir directement les pattes de nombreux composants, ou un matériel spécifique FIXFIL (éléments de liaison ou composants montés sur plaquette avec picots adaptés). Ce système simple, robuste et peu coûteux, déjà utilisé avec succès par de nombreuses classes, permet la visualisation intégrale des circuits. Tous les éléments de liaison entre les divers composants des circuits sont visibles. La réalisation, la compréhension et la schématisation des montages s'en trouvent ainsi grandement facilitées pour les élèves et pour tous les utilisateurs, en général.

Le matériel FIXFIL est accompagné de différents livrets pédagogiques destinés aux enseignants et proposant une description des montages à réaliser, des informations pédagogiques et techniques et des exercices d'évaluation :
-- pour l'école primaire : livrets ÉLECTRICTÉ (cours élémentaire) et ÉLECTRONIQUE (cours moyen)
-- pour le collège : livrets "classe de 6e et classe de 5e conformes aux programmes officiels
-- livret ROBOTIQUE

Matériel FIXFIL pour le collège
Le matériel composant un ensemble FIXFIL-Collège est conçu pour permettre à l'élève de réaliser tous les montages relatifs aux programmes de 6e et 5e de Sciences Physiques (partie électricité--électronique). Les livrets pédagogiques 6e (60 pages) et 5e (56 pages) proposent aux enseignants une progression cohérente avec les programmes, ainsi que des exercices d'évaluation originaux.
Un module d'essai pour circuit intégré est vendu à part : il permet une étude simple et immédiate de fonctionnement des portes logiques (classe de 5e).

Ensemble FIXFIL-Collège
-- 1 plaque FIXFIL en plastique (100 x 90 x 25 mm) avec 61 plots de connexion
-- 1 lot de 15 cavaliers (1,2 et 4 intervalles) et 2 interrupteurs simplifiés en laiton
-- 1 lot de fils de raccordement
-- 1 lot de composants (6 lampes, 2 douilles, 2 interrupteurs sur plaquette, 1 transistor sur plaquette, 2 DEL, 1 porte-fusible, 1 lot de 9 résistors)

Matériel FIXFIL pour la ROBOTIQUE
Le matériel composant la boîte ROBOTIQUE est conçu pour permettre de visualiser tous les montages dans le livret robotique d'accompagnement. Son but est d'initier à cette technologie nouvelle par le biais de manipulations simples et de simulations de situations réelles. Il exclut la complexité (interface à 16 entrées/sorties ou utilisation de circuits intégrés). Cependant l'utilisateur devra préalablement avoir acquis des notions d'électronique de niveau 1 et posséder de bonnes notions de programmation dans un langage de son choix (BASIC, LOGO ou autre). Les activités proposées sont les plus "ouvertes" possibles, c'est-à-dire qu'à partir de ce qui est proposé la seule limite est l'imagination de l'utilisateur.
Principaux points abordés : notion de robot, notions théoriques, lire et écrire dans un octet, mémoire écran, création de caractères. Notion de commande entrées-sorties. Le relais. Le train Robot.

Ensemble FIXFIL-Robotique
-- 1 livret pédagogique est destiné à l'enseignant
-- 1 fiche canon mâle à 25 broches nappée de 9 fils avec 1 broche FIXFIL à 9 picots
-- 12 LED (3 couleurs)
-- 9 résistances ½ W
-- 1 transistor
-- 1 relais avec son support FIXFIL
-- 1 diodes 1N4004
-- 1 lot de 30 cavaliers et 3 interrupteurs simplifiés
-- 2 fils d'alimentation/cosse pour pile plate

Ce matériel est distribué par :

CICADIS
BP 3
LE PÉAGE
DRACY-LE-FORT
71640 GIVRY
Tél : 85 41 31 55
Tlx : 801 012 F
Tfx : 85 46 29 83

TABLE DES MATIÈRES 1989

RÉALISATIONS

Les réalisations sont faites sur des platines d'expérimentation pour lesquelles l'article correspondant donne un plan d'implantation des composants. La mention *** indique que la réalisation concernée est présentée non pas avec un plan d'implantation des composants sur une platine d'expérimentation, mais **avec un dessin de circuit imprimé** à partir desquels le lecteurs pourra fabriquer ses propres platines. Certaines d'entre elles sont disponibles dans le commerce spécialisé.

N = numéro **P = page**
M = mois **A = année**

MESURE & LABO	N	M	A	P
oscillateur RC	7	I	89	**18**
mini-testeur de polarité	8	II	89	**36**
alimentation de puissance 12 V/3 A	9	III	89	**10**
mesures de fréquences au multimètre	10	IV	89	**30**
alimentations standard	12	VI	89	**18**
ampèremètre sans shunt	12	VI	89	**20**
testeur de continuité	12	VI	89	**27**
afficheur à 7 segments	12	VI	89	**55**
testeur de fusibles et d'ampoules	13	VII	89	**44**
extension double trace pour oscilloscope ***	13	VII	89	**47**
adaptateur ohmmètre	14	IX	89	**13**
testeur de cordons DIN	14	IX	89	**16**
le multivibrateur astable	15	X	89	**14**
générateur sinusoïdal de laboratoire	15	X	89	**52**
alimentation symétrique	16	XI	89	**18**
testeur d'amplificateurs opérationnels ***	17	XII	89	**10**
amplificateur universel	52	XII	89	**16**

DOMESTIQUE	N	M	A	P
indicateur de gel	7	I	89	**8**
indicateur de gel (suite et fin)	15	X	89	**7**
interphone à 2, 3 ou 4 postes (KTE)	7	I	89	**33**
signal d'acquittement pour sonnette	8	II	89	**21**
interrupteur à claques	9	III	89	**34**
un gradateur simple	11	V	89	**16**
économiseur d'ampoules	11	V	89	**18**
chenillard	11	V	89	**22**
mémoire de sonnette	11	V	89	**26**
loupiophone	11	V	89	**34**
minuterie de cage d'escalier	12	VI	89	**37**
barrière lumineuse	13	VII	89	**19**
interrupteur électronique	13	VII	89	**24**
réveille-matin de campeur	13	VII	89	**26**
anti-moustique	13	VII	89	**34**
alarme anti-vol	13	VII	89	**36**
lampe clignotante	14	IX	89	**42**
détecteur de métaux	15	X	89	**42**
testeur de piles	16	XI	89	**22**
lampe témoin de lampe témoin	16	XI	89	**26**
indicateur de surchauffe	16	XI	89	**27**
détecteur de lumière	16	XI	89	**30**
thermomètre pour la pêche à la ligne	16	XI	89	**35**
interrupteur crépusculaire	16	XI	89	**47**
thermostat d'aquarium	16	XI	89	**54**
bougie électronique	17	XII	89	**28**

JEUX & BRUITAGE	N	M	A	P
sirène	7	I	89	**13**
arbitre électronique	7	I	89	**29**
jeu de réflexes	9	III	89	**28**
jeu d'adresse	10	IV	89	**38**
rossignol électronique	12	VI	89	**24**
dé électronique	12	VI	89	**34**
roulette électronique	12	VI	89	**44**
téléphone optique expérimental	13	VII	89	**29**
cheval de cirque	13	VII	89	**59**
boîte à musique ***	15	X	89	**9**
fantôme électronique	16	XI	89	**32**
pile ou face électronique	17	XII	89	**24**
briquet électronique pour feux d'artifice	17	XII	89	**26**

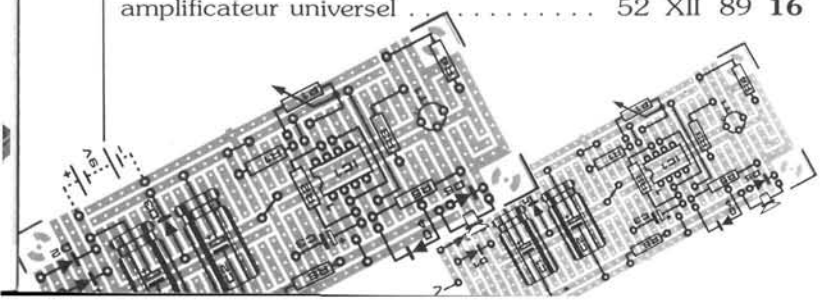
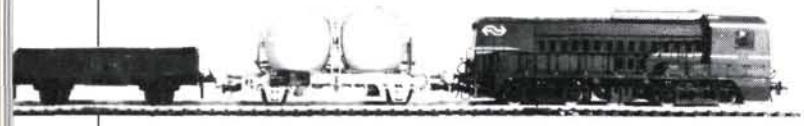


PHOTO	N	M	A	P
lampe de poche pour labo photo	7	I	89	**39**
flash esclave	10	IV	89	**41**
servo-flash multiple	11	V	89	**28**
compte-pose rationnel	11	V	89	**49**

AUDIO & MUSIQUE	N	M	A	P
amplificateur de micro avec compresseur	8	II	89	**8**
amplificateur pouche-poule	8	II	89	**13**
adaptation d'un amplificateur	8	II	89	**16**
mini-synthé	8	II	89	**23**
mini-amplificateur	8	II	89	**28**
métronome	8	II	89	**34**
gong à 3 notes	10	IV	89	**35**
leslie électronique simple	13	VII	89	**21**
millivoltmètre audio	14	IX	89	**34**
mélangeur à un seul transistor	14	IX	89	**52**
élargisseur d'image stéréophonique	14	IX	89	**58**
mini-clavier à touches sensitives	17	XII	89	**45**
trappe à bruit (silencieux BF)	17	XII	89	**20**
mégaphone	17	XII	89	**42**
générateur de bruit blanc	17	XII	89	**38**

AUTO & MOTO & VÉLO	N	M	A	P
éclairage permanent pour bicyclette	9	III	89	**33**
allume tes phares !	11	V	89	**38**
éteins tes feux !	11	V	89	**42**
mets ta ceinture !	12	VI	89	**30**
tachymètre de bicyclette	14	IX	89	**37**
régulateur universel pour l'auto	16	XI	89	**24**

MODÉLISME	N	M	A	P
régulateur de vitesse pour train CC	8	II	89	**31**
feux stop pour modèle réduit téléguidé	9	III	89	**38**
circuit de pontage de signal fermé	9	III	89	**40**
éclairage permanent pour train	11	V	89	**31**
feux tricolores	12	VI	89	**57**



HF	N	M	A	P
récepteur à réaction pour les GO	10	IV	89	**17**
mesureur de champ	10	IV	89	**14**
amplificateur d'antenne FM	10	IV	89	**20**
injecteur de signal (BF et HF)	15	XI	89	**12**
ATLANTIS : récepteur OC	15	XI	89	**26**

AUTRES RUBRIQUES

PÉRISCOPE	N	M	A	P
fers Antex	8	II	89	**48**
Freeze-Frame de Polaroïd	9	III	89	**14**
multimètres Fluke	10	IV	89	**48**
coffrets ESM-ELEX	10	IV	89	**56**
oscilloscopes VOLTCRAFT	12	VI	89	**40**
afficheurs à haut-rendement	13	VII	89	**28**
matériel scolaire FIXFIL	17	XII	89	**30**

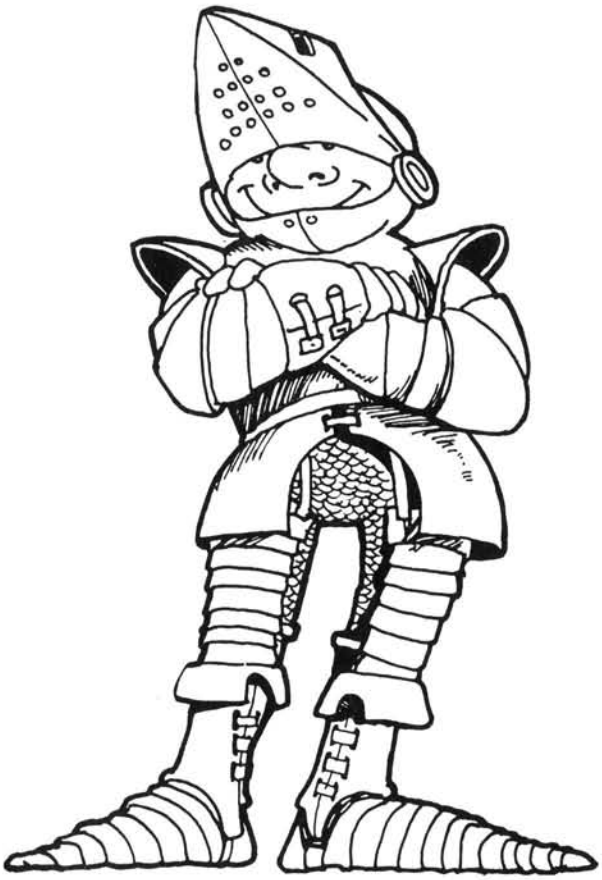
ELEXCUSE	N	M	A	P
testeur de transistors (n°1)	9	III	89	**56**
son de moteur diesel (n°6)	9	III	89	**56**
cadenceur d'essuie-glace (n°6)	9	III	89	**56**

ANALOGIQUE ANTI-CHOC	N	M	A	P
2e épisode : (la diode et le redresseur)	7	I	89	**42**
3e épisode : (le transistor)	8	II	89	**18**
4e épisode : (zener)	9	III	89	**50**
5e épisode : (récapitulation)	10	IV	89	**52**
6e épisode : collecteur commun	11	V	89	**53**
7e épisode : sinus, triangle, carré - condensateur	12	VI	89	**41**
8e épisode : intégrateurs	13	VII	89	**40**
9e épisode : constante de temps	14	IX	89	**48**
10e épisode : différentiateur - oscillateur	15	X	89	**36**
11e épisode : inductance	16	XI	89	**37**
12e épisode : inductance et filtrage	17	XII	89	**54**

LA LOGIQUE SANS HIC	N	M	A	P
la logique sans hic I (récapitulation)	7	I	89	**50**
la logique séquentielle sans hic II				
1er épisode : les bascules RS	8	II	89	**57**
2e épisode : les bascules RS	9	III	89	**54**
3e épisode : les bascules JK	10	IV	89	**46**
4e épisode : les bascules (division)	11	V	89	**58**
5e épisode : les compteurs binaires	12	VI	89	**52**
6e épisode : les registres à décalage	13	VII	89	**52**
7e épisode : les bascules monostables	14	IX	89	**54**
8e épisode : les familles logiques	15	X	89	**4**
9e épisode : les circuits CMOS (fin)	16	XI	89	**58**

Les BIDOUILLES DE RÉSI&TRANSI	N	M	A	P
les ondes radio & TV	7	I	89	**6**
les enceintes acoustiques	8	II	89	**6**
la puissance	9	III	89	**6**
révision	10	IV	89	**6**
le découpage de phase	11	V	89	**4**
les transformateurs	12	VI	89	**4**
les afficheurs à 7 segments	13	VII	89	**4**
les potentiels	14	IX	89	**4**
démontage de commutateur rotatif	15	X	89	**4**
l'impédance	16	XI	89	**4**
les tubes	17	XII	89	**4**

ABC des AOP	N	M	A	P
1er épisode : amplificateur différentiel	16	XI	89	**14**
2e épisode : amplificateur inverseur	17	XII	89	**6**

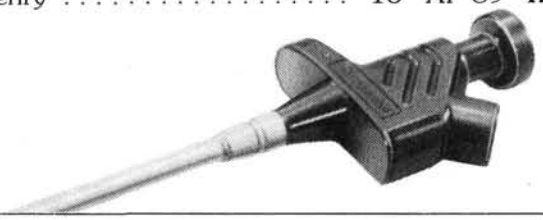


THÉORIE	N	M	A	P
ondes	7	I	89	**4**
diviseur de tension calculé en BASIC	7	I	89	**12**
charge et décharge : le circuit RC	7	I	89	**16**
le déphasage	7	I	89	**24**
analyse d'un étage BF	8	II	89	**10**
à bon entendeur, salut (enceintes acoustiques)	8	II	89	**41**
le couplage acoustique (Larsen)	8	II	89	**46**
la puissance en chiffres	9	III	89	**8**
les chaleurs de l'électronique	9	III	89	**16**
mesurer la puissance au multimètre	9	III	89	**23**
la réception HF	10	IV	89	**9**
la propagation des ondes HF	10	IV	89	**11**
la mise au point d'une bonne alimentation	10	IV	89	**57**
phases	11	V	89	**10**
le découpage de phase	11	V	89	**12**
cinq redresseurs	12	VI	89	**15**
les nuls : terre, masse, châssis	14	IX	89	**9**
précis de connexions audio	14	IX	89	**19**
électronique et progressions non uniformes	14	IX	89	**24**
le transistor est-il un potentiomètre électronique ?	14	IX	89	**26**
pourquoi et comment oscillent-ils ?	15	XI	89	**24**
la réaction en HF	15	XI	89	**32**
l'oscillateur Colpitts	15	XI	89	**46**
passe-haut, passe-bas c'est quoi ?	17	XII	89	**16**
fréquence de coupure	17	XII	89	**40**
la contre-réaction	17	XII	89	**50**

COMPOSANTS	N	M	A	P
les symboles illogiques d'ELEX (2e partie)	7	I	89	**11**
le condensateur de lissage	7	I	89	**31**
la dynamo de ton vélo	8	II	89	**44**
le refroidissement des transistors	9	III	89	**18**
les composants utilisés en HF	10	IV	89	**24**
quatre fois quatre (thyristors, triacs, diacs)	11	V	89	**14**
les transfos : 100 g de cuivre, 100 g de fer	12	VI	89	**10**
le transformateur inconnu	12	VI	89	**16**
photo-électronique : l'électronique et la lumière	13	VII	89	**8**
les afficheurs	13	VII	89	**10**
les cristaux liquides	13	VII	89	**12**
les diodes électro-luminescentes	13	VII	89	**15**
BC547 et compagnie	14	IX	89	**28**
le montage en base commune	14	IX	89	**50**
le 555	15	X	89	**17**
résistances spéciales	16	XI	89	**9**

EXPÉRIMENTATION	N	M	A	P
fabriquez un moteur électrique	7	I	89	**26**
construisez un microphone expérimental	8	II	89	**37**
magique (mystification électronique !)	8	II	89	**54**
la sensibilité des galvanomètres	9	III	89	**15**
un thyristor de fortune	11	V	89	**20**
secondaires en série ou en parallèle	12	VI	89	**13**
fabriquez une cellule photo-électrique	13	VII	89	**18**
voyants à LED sous 220 V	13	VII	89	**32**
les oscillateurs autour d'un opérateur logique	15	X	89	**49**
ampèremètre électro-mécanique	16	XI	89	**12**
indicateur d'humidité	16	XI	89	**44**

LES TUYAUX d'ELEX	N	M	A	P
gaine thermorétractile	7	I	89	**10**
faire ses circuits imprimés soi-même	7	I	89	**20**
le pied à coulisse	7	I	89	**28**
histoire de rire : le bal des composants	7	I	89	**30**
drôle d'étoile	7	I	89	**46**
Zénobe Gramme	8	II	89	**49**
problèmes de rangement	9	III	89	**44**
l'électronique et votre sécurité	9	III	89	**45**
brochages utiles	9	III	89	**60**
une bande antenne FM en 5 mn	10	IV	89	**16**
détrompeur pour piles	10	IV	89	**43**
les platines d'expérimentation d'ELEX	10	IV	89	**44**
adhésif double-face	11	V	89	**27**
un, deux, quatre	11	V	89	**48**
l'élastique Le Chinois	12	VI	89	**9**
un indicateur de mise sous tension	12	VI	89	**22**
la bande passante	12	VI	89	**29**
jeu d'orgue (coulisses d'une bande dessinée)	13	VII	89	**58**
le musée de la TSF et du phonographe à Lanobre	14	IX	89	**8**
pour réussir les montages d'ELEX	14	IX	89	**30**
le circuit imprimé photosensible	15	X	89	**33**
la radio, vous connaissez ?	15	X	89	**41**
la loi d'Ohm en courant continu	15	X	89	**48**
scie à polystyrène	16	XI	89	**34**
Joseph Henry	16	XI	89	**42**



la rubrique ELIXIR a paru cette année dans les n°9, 10 et 15
la rubrique COMPOSANTS a paru dans le n°14

répertoire thématique

janvier	**n°7**	**: les ondes**
février	**n°8**	**: les signaux alternatifs BF**
mars	**n°9**	**: la puissance**
avril	**n°10**	**: les hautes-fréquences**
mai	**n°11**	**: triac, thyristors, le découpage de phase**
juin	**n°12**	**: les transformateurs**
juillet	**n°13**	**: opto-électronique**
septembre	**n°14**	**: potentiels, potentiomètres**
octobre	**n°15**	**: les oscillateurs**
novembre	**n°16**	**: résistances - hystérésis - ampli op**
décembre	**n°17**	**: ampli op - filtres**

le bruit

construisez un générateur de bruit blanc

Pour les électroniciens novices que nous sommes, il est parfois difficile d'accepter certaines notions parce qu'elles nous paraissent bien abstraites. En fin de compte, les électrons, personne ne les a jamais vus. Vous pensez-bien, un billionième de millimètre...
Même les microscopes les plus puissants auraient bien du mal à les voir, puisque la lumière naît par définition du mouvement de ces électrons autour du noyau de l'atome. Les rayons lumineux ne sont pas assez fins, en quelque sorte, pour faire apparaître les électrons. Frustrés par cette limite imposée à notre curiosité, nous nous sommes proposés de les écouter, ces électrons, puisqu'il est impossible de les voir.

Écouter un électron ? Quel bruit ça peut bien faire d'après vous ?

Du bruit, tout simplement. Enfin, ce que l'on appelle le bruit en électronique, c'est-à-dire une espèce de souffle informe et continu, comme un vent qui souffflerait régulièrement. Posez ce magazine, formez deux conques avec vos mains en en creusant les paumes et en joignant vos doigts ; posez-les sur vos oreilles. Qu'entendez-vous ? Rien ? Appelez le SAMU...

Écouter un seul électron ? C'est impossible, il ne fait pas assez de bruit, lui tout seul. C'est plutôt le mouvement de tous les électrons dans un conducteur, que l'on entend, de la même manière que l'on n'entend pas le vent souffler sur une seule feuille d'un arbre, mais à travers le feuillage entier. Un autre bruit du même genre : celui de la mer sur le sable de la plage, ou encore celui du sang dans les vaisseaux (le SAMU n'est toujours pas arrivé...).

Ce qui est étonnant, avec le bruit, c'est que nous n'en entendons jamais qu'une toute petite partie. Il y a dans le bruit, selon sa source, toutes sortes de fréquences, depuis les plus basses au voisinage du continu jusqu'éventuellement dans les ondes ultra-courtes et au-delà, celles-là même que l'on utilise pour les émissions de radio. Le bruit dont nous parlons, on l'entend d'ailleurs à la radio, quand le poste n'est accordé sur aucune station.

Si quelqu'un dispose d'un amplificateur de très bonne qualité, très sensible, il lui suffirait de connecter une résistance à l'entrée, et si l'amplificateur est vraiment très sensible, il entendrait le bruit des électrons dans la résistance. La seule agitation moléculaire résultant de la température ambiante (en l'absence de tout signal) suffit donc à produire du bruit. Et comme cette agitation est désordonnée, toutes les fréquences sont en principe représentées sans que certaines d'entre elles soit dominantes ou dominées.

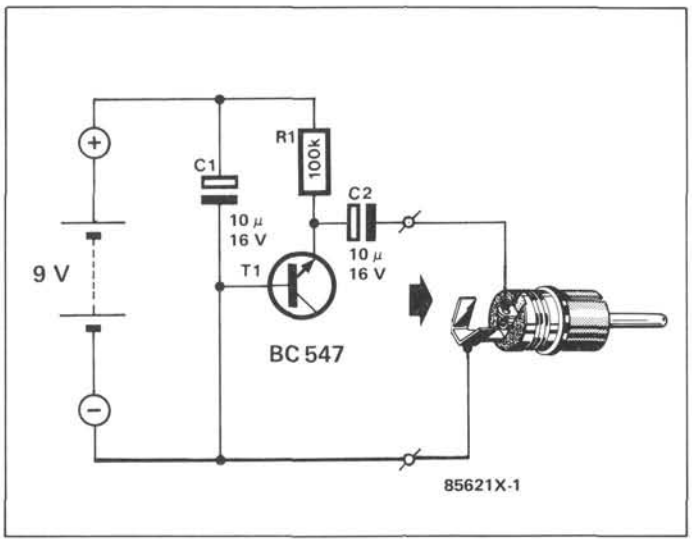


Figure 1 - Le schéma du générateur de bruit comporte un transistor monté de telle façon qu'il ne risque pas d'amplifier quoi que ce soit ! C'est le courant de fuite de la jonction base-émetteur polarisée en inverse qui est porteur de bruit. Ce bruit n'apparaît que si la jonction est polarisée, c'est-à-dire une fois que la pile est connectée.

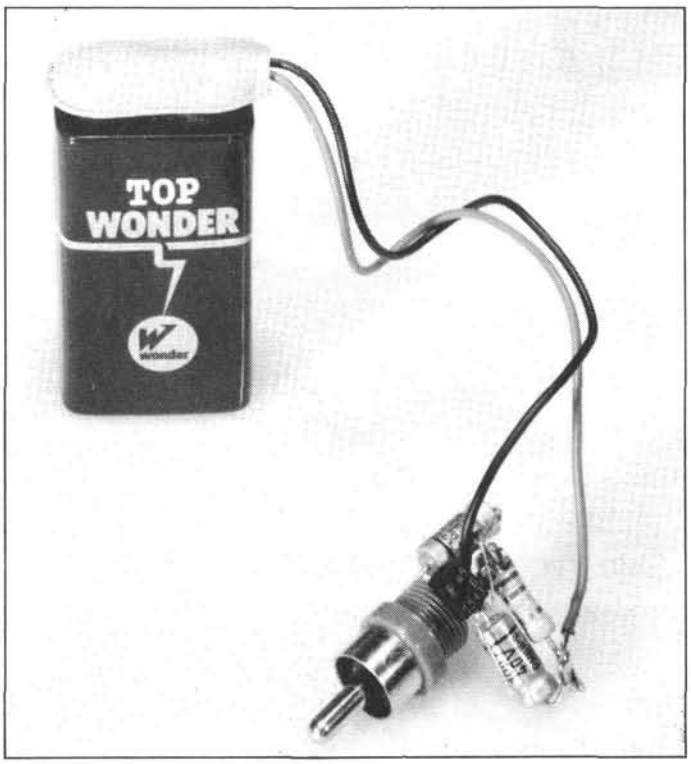


Figure 2 - Un générateur de bruit doit être assemblé avec des liaisons aussi courtes que possible afin de supprimer autant que possible les ronflements et les parasites.

Le générateur de bruit que vous propose ELEX sur la **figure 1** a une drôle d'allure, il faut bien le reconnaître. Mais connectez-le à une des entrées les plus sensibles de l'amplificateur de votre chaîne Hi-Fi (l'entrée Phono), et vous nous en direz des nouvelles.
Voyons ce qui se passe avec ce pauvre BC547. Son collecteur n'est pas connecté, et son émetteur est polarisé comme s'il s'agissait d'un transistor PNP, c'est-à-dire à l'envers. Il ne circule donc qu'un minuscule courant de fuite, lequel nous intéresse néanmoins, car c'est lui qui donne naissance au bruit que nous cherchons à obtenir. Laissons pour une autre fois l'occasion d'expliquer pourquoi cette manière de polariser le transistor fait du bruit.

Le signal de bruit est acheminé vers la sortie par le condensateur C1 qui bloque la composante continue. Le condensateur C1, monté en parallèle sur la source de tension d'alimentation, élimine de son côté le ronflement et les parasites qui risqueraient de perturber votre amplificateur.

Ce petit circuit, il faut le monter de préférence directement sur une fiche tulipe (cinch; RCA) en raccourcissant autant que possible la longueur des broches des composants comme nous l'avons fait pour le prototype de la **fi-**

gure 2. Quand le vôtre sera prêt, vous l'enficherez dans l'une des entrées PHONO de votre amplificateur. Tant que la pile n'est pas connectée, vous n'entendrez rien, mais dès que le générateur de bruit aura été mis sous tension, vous entendrez le souffle qui persiste d'ailleurs quand vous déconnectez la batterie, le temps que C1 se décharge.

Ce bruit que vous entendez, les techniciens avaient pris, notamment aux États-Unis, l'habitude de l'appeler l'herbe. Cela n'a rien à voir avec les aromates de Marie-Jeanne Cannabis, mais résulte de l'évocation bucolique d'un pré suggérée par l'oscillogramme de la **figure 3**. Il est vrai que cela ressemble à des brins d'herbe : des impulsions innombrables, irrégulières..., comme des brins d'herbe.

Le bruit né du mouvement des électrons, que ce soit par l'agitation moléculaire sous l'effet de la température ou pour d'autres raisons, est la somme de ces mouvements dont la fréquence, la périodicité et l'amplitude sont entièrement livrées au hasard. La température joue toujours un rôle déterminant dans la mesure où elle influe sur la vitesse à laquelle les électrons se déplacent. Maintenant vous n'aurez plus l'air surpris quand on vous racontera que certains récepteurs n'opèrent que dans le froid.
La faiblesse des signaux traités par les récepteurs des radiotéléscopes est telle que ces appareils doivent être soumis à un vigoureux refroidissement qui réduit autant que possible le bruit produit par le récepteur lui-même. Précaution indispensable si l'on veut que les signaux ne soient pas couverts par le bruit intrinsèque des composants... (voir aussi l'avis de Rési&Transi dans leur épisode de ce mois-ci sur l'effet du chaud et du froid sur le son).
Nous avons déjà indiqué que dans le bruit toutes les fréquences étaient représentées. La courbe de fréquence du bruit, c'est donc une ligne droite comme sur la **figure 4**. En théorie du moins, car le hasard est si bien fait qu'il ne produit pas de ligne droite. A

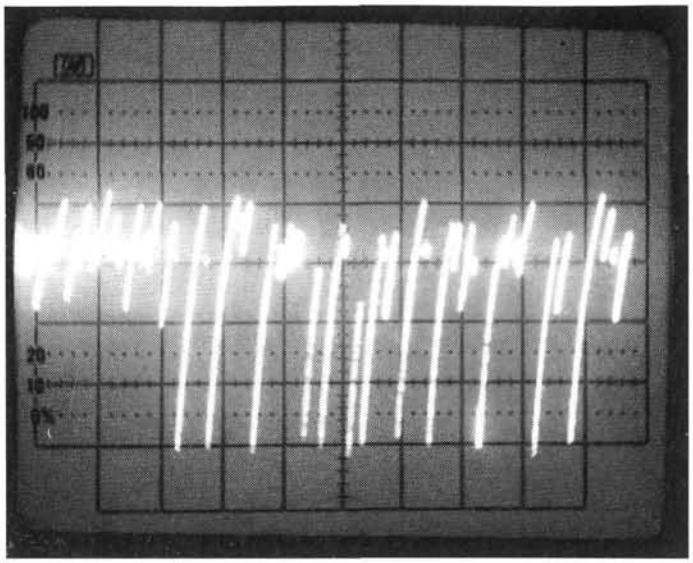


Figure 3 - On trouve de tout dans le signal de sortie d'un générateur de bruit. Les impulsions résultent du mouvement désordonné des électrons. La sensibilité de l'oscilloscope est de 5 mV par carreau, la base de temps était réglée sur 5 µs par division horizontale pour la photo.

cet égard, le bruit pourrait être comparé à la lumière blanche, celle qui ne favorise aucune de ses composantes chromatiques. C'est même cette comparaison qui a donné naissance à la notion de « bruit blanc », vocable sous lequel on désigne le bruit... blanc. Alors qu'on parle de « bruit coloré » ou « bruit rose » (sans blague) quand la source de bruit privilégie certaines fréquences, en oublie d'autres, ou encore quand le bruit a traversé un filtre qui en a extrait ou atténué certaines fréquences.
L'origine thermique n'est pas la seule. Dans le transistor de la figure 1, ce sont essentiellement des phénomènes spécifiques aux semi-conducteurs qui produisent le bruit. Sur les bandes magnétiques (essayez avec un aimant, vous obtiendrez du bruit), c'est encore autre chose.
A propos, faites donc chauffer le transistor de la figure 1. Vous saurez ainsi si la température joue un rôle perceptible à l'oreille.

Dans les circuits de traitement du son, c'est là où l'amplitude du signal utile est la plus faible qu'il faut chercher à supprimer le bruit. L'amplificateur d'antenne d'un récepteur par exemple. Une fois que le signal a de la gomme, le rapport signal/bruit est favorable et le bruit est soit absent, soit couvert par le signal utile (ce ne qui revient quand même pas tout à fait au même). En tous cas, ce n'est pas dans les étages de puissance qu'il faut s'attaquer au bruit, c'est dans les étages à haute sensibilité.

Le bruit n'est pas toujours synonyme de parasite.
Si nous vous avons proposé ce petit générateur de bruit universel, c'est pour qu'il vous aide à mieux comprendre ce que c'est le bruit, mais aussi pour qu'il serve comme outil de test, un peu comme un testeur de continuité, ou comme un injecteur de signal. D'ailleurs, dans les laboratoires d'électro-acoustique, pour tester les haut-parleurs, on utilise des générateurs de bruit.
Vous pouvez vous aussi faire des expériences originales et vous en servir pour comparer par exemple deux ou plusieurs haut-parleurs : si on lui donne l'occasion (à l'aide d'un commutateur) de passer souvent du signal de bruit initial au signal reproduit par un haut-parleur à tester, l'oreille distinguera très bien la coloration du bruit introduite par le(s) haut-parleur(s) à tester. On peut aussi tester de cette manière, et beaucoup plus efficacement qu'avec un signal musical, l'effet d'un réglage de tonalité ou d'autre types de filtres. De façon générale, un générateur de bruit est un accessoire intéressant dans la mesure où il constitue une source de signal qui ne privilégie aucune fréquence.

Pendant longtemps, les synthétiseurs de musique électronique produisaient un signal brut, apparenté à du bruit, comprenant par conséquent un nombre infini de fréquences superposées, puis filtraient ce signal brut pour en extraire les seules fréquences souhaitées pour composer un timbre connu. Le circuit qui imite le bruit de ressac publié par ELEX il y a déjà belle lurette (voir ELEX n°2, page 20 ; merci), n'est-il pas construit sur un générateur de bruit ?
Si on s'amuse à faire l'expérience de superposer à amplitude égale toutes sortes de fréquences BF, on arrive relativement rapidement à obtenir pour l'oreille humaine un signal qui ressemble à du bruit blanc.

Il faut savoir encore pour finir que même ce domaine un peu spécial de l'électronique, entouré pourtant d'une aura de mystère et de poésie, a été, comme tant d'autres, phagocyté par l'informatique. Pour bien des applications, le meilleur bruit, c'est avec un ordinateur qu'on le produit. Souvent ce n'est que du pseudo-bruit d'ailleurs, mais qu'importe, rien n'est plus prévisible que le hasard. 85621

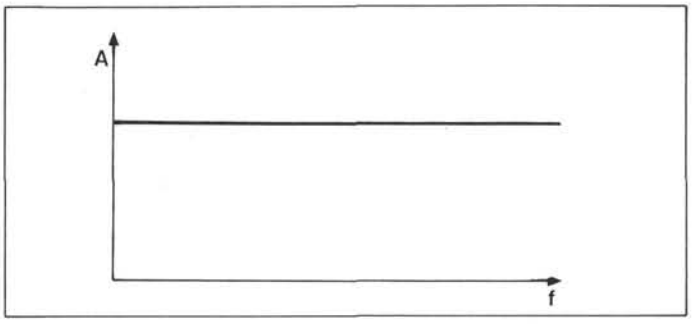


Figure 4 - Quand on examine le signal de bruit pendant un certain temps, on constate que toutes les fréquences y apparaissent sans que l'une d'entre elles domine ou soit dominée. La courbe de fréquence (théorique) d'un générateur de bruit blanc est donc parfaitement rectiligne.

la fréquence de coupure

des filtres passe-haut et passe-bas

Le principe des filtres passe-haut et passe-bas, après avoir été présenté à maintes reprises à propos de diverses réalisations proposées par ELEX, a de nouveau été énoncé en termes simples, sans référence à aucune notion abstraite, au fil d'un article que vous trouverez ailleurs dans ce numéro (« passe-haut, passe-bas, c'est quoi ? »). Dans cet article, le mot *fréquence* est utilisé... fréquemment, c'est le cas de le dire. On y parle beaucoup et vaguement de fréquences élevées et de fréquences basses.
Élevées ou basses par rapport à quoi ?
Une seule fois il y est question de fréquence de coupure. On n'y trouve aucune autre formule que la loi d'Ohm.

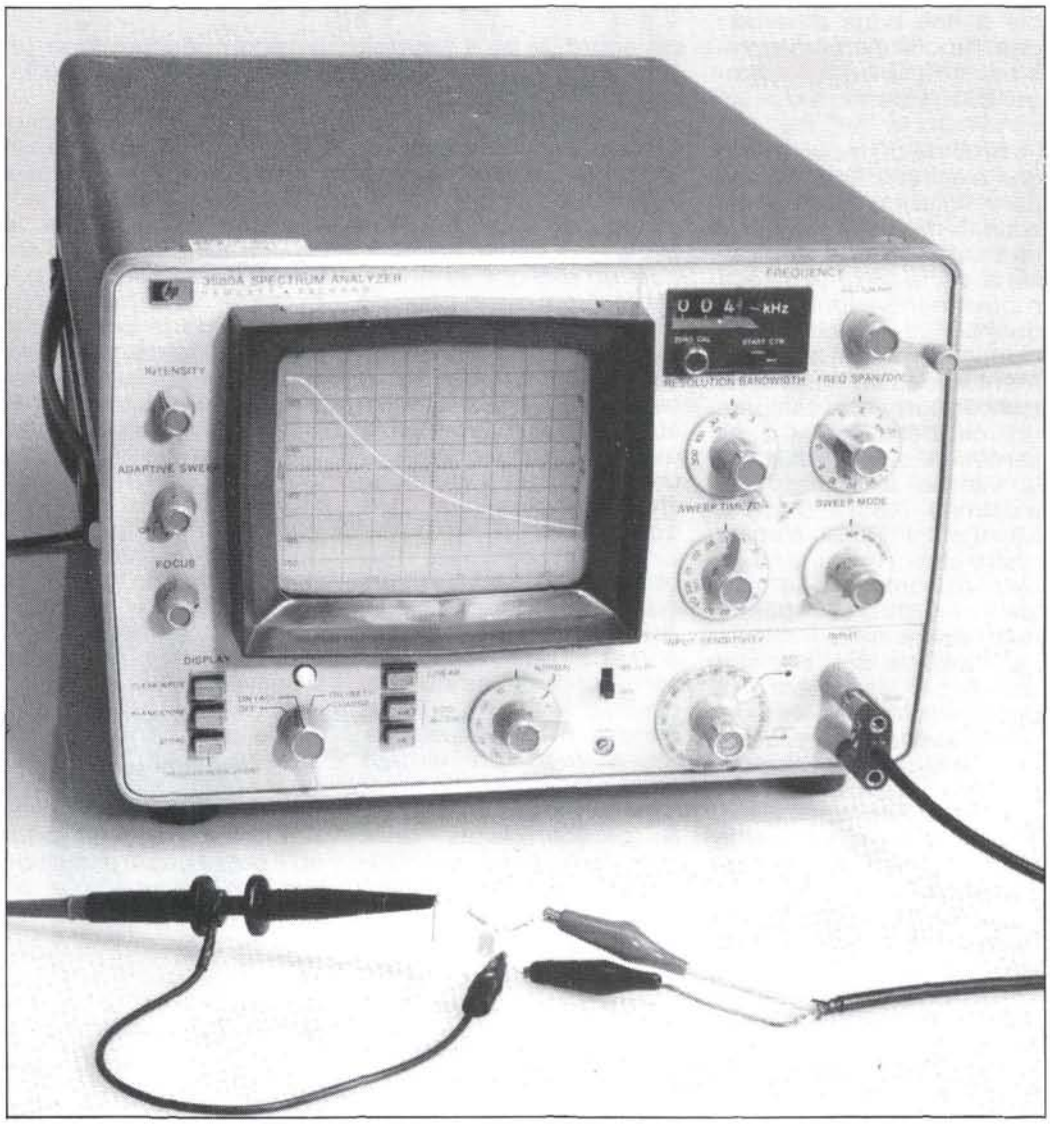
Nous allons nous efforcer de donner corps à cette notion de fréquence, ce qui n'ira pas sans au moins une formule, à savoir celle qui permet de calculer cette fameuse fréquence de coupure. Rassurez-vous, nous garderons les pieds bien sur terre !

Courbe de réponse en fréquence

Les courbes que nous avons tracées dans l'autre article pour l'étude de ces réseaux RC sont des courbes de tension et de courant. Pour rendre compte de façon précise du comportement d'un réseau de filtrage, il faut tracer **une courbe de réponse en fréquence**. Sur l'axe horizontal, on porte les fréquences (dont le symbole est un f minuscule), et sur l'axe vertical les amplitudes (U_s est la tension de sortie et U_e la tension d'entrée). Cela donne un diagramme comme celui de la **figure 1**.
Le signal est prélevé sur le condensateur, il s'agit donc d'un réseau passe-bas. C'est ce que confirme la courbe de réponse du filtre : pour les fréquences basses, l'amplitude du signal de sortie est sensiblement égale à la tension d'entrée. À la fréquence f_c, l'amplitude du signal de sortie U_s n'atteint plus que 70% (très exactement $1/\sqrt{2}$) de l'amplitude du signal d'entrée. C'est cette fréquence que l'on désigne comme fréquence de coupure.

Au-delà de cette limite, le ticket est encore valable, mais pas pour longtemps : le signal est atténué de plus en plus fortement, jusqu'à disparaître complètement pour les fréquences élevées.

En résumé, le filtre passe-bas laisse passer les fréquences en-dessous de sa fréquence de coupure mais bloque les fréquences au-dessus de cette limite ; la transition entre



Cet appareil à écran cathodique très impressionnant n'est pas un oscilloscope, mais un analyseur de spectre. De la même manière que l'oscilloscope rend compte de l'amplitude des signaux sur un plan tension–temps, l'analyseur de spectre rend compte de la composition du signal sur un plan tension–fréquence. On voit ici la courbe de réponse d'un filtre passe-bas à réseau RC (au premier plan) comme celui de la figure 1. Les fréquences les plus graves, à gauche, sont restituées avec leur amplitude d'origine. Puis, en partant vers la droite, l'amplitude des fréquences diminue jusqu'à la disparition totale des fréquences les plus élevées. On obtient cette courbe de réponse en injectant au filtre un signal dont la fréquence varie progressivement de l'extrême grave à l'extrême aigu de façon à balayer tout le domaine des fréquences dans lequel le filtre aura à opérer.

fréquences transmises et fréquences atténuées est progressive.
La fréquence de coupure est une des caractéristiques fondamentales d'un filtre. Elle est déterminée par la valeur des composants du réseau RC. La formule de calcul est la suivante :

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

où R est en Ω, C en farads et f_c en Hz. Quant à π, c'est 3,14...
Pour simplifier les choses, on peut faire appel à la formule suivante, plus pratique :

$$f_c\ (\text{kHz}) = \frac{159}{R\ (\text{k}\Omega) \cdot C\ (\text{nF})}$$

La formule est la même pour les réseaux RC passe-haut et passe-bas, ce qui ne vous surprendra pas si vous avez lu l'article mentionné ci-dessus.

La **figure 2** donne la courbe de réponse d'un réseau passe-haut. Maintenant ce sont les fréquences **en-dessous** de la fréquence de coupure qui sont atténuées. Leur amplitude diminue à mesure que la fréquence elle-même diminue, jusqu'à la suppression totale des fréquences les plus basses.

Pour éviter toute confusion, précisons que la fréquence de coupure n'est pas une grandeur naturelle, comme la tension, le courant... ou la fréquence, mais un point de fonctionnement à partir duquel le circuit concerné ne restitue plus le signal d'entrée avec une amplitude d'au moins 70% de l'amplitude d'origine. À la fréquence de coupure, la puissance de sortie du réseau RC est réduite de moitié. On aurait tout aussi bien pu choisir, pour définir la fréquence de coupure, un autre point de fonctionnement que celui-ci.

Deux exemples de calcul

Revenons à la pratique. Quelle est la fréquence de coupure d'un réseau passe-bas composé d'une résistance de 470 Ω et d'un condensateur de 10 nF ?
La formule connue nous donne :

$$f_c\ (\text{kHz}) = \frac{159}{R(\text{k}\Omega) \cdot C\ (\text{nF})}$$

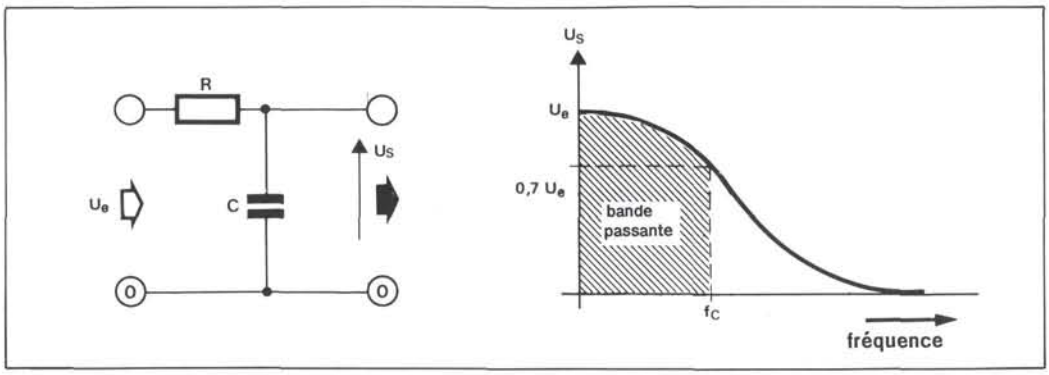


Figure 1 - Courbe de réponse d'un réseau passe-bas. On considère que la fréquence de coupure d'un filtre est celle que le filtre restitue encore à 70% de son amplitude d'entrée, et à partir de laquelle le signal est atténué si fortement que son amplitude de sortie n'atteint plus 70% de son amplitude initiale. Sur un filtre passe-bas, la bande passante se situe sous la fréquence de coupure et descend théoriquement jusqu'au continu (0 Hz). Le fonctionnement du réseau RC passe-bas est expliqué ailleurs dans ce numéro.

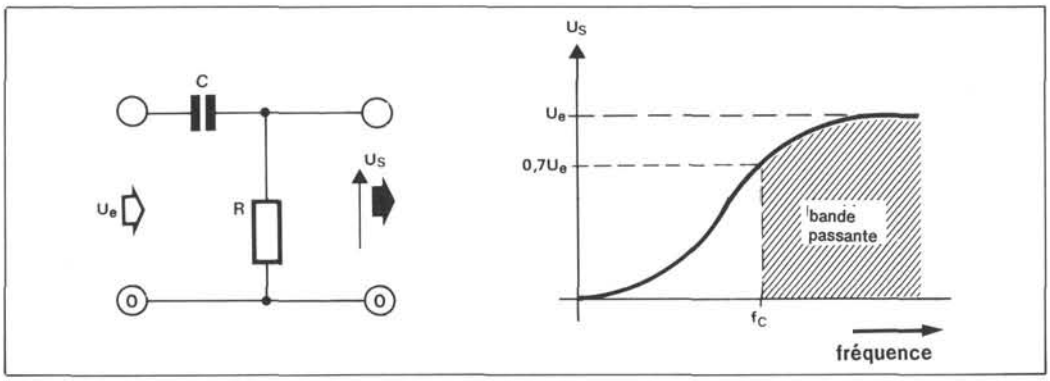


Figure 2 - Courbe de réponse d'un réseau passe-haut. On considère que la fréquence de coupure d'un filtre est celle que le filtre restitue encore à 70% de son amplitude d'entrée, et à partir de laquelle le signal est atténué si fortement que son amplitude de sortie n'atteint plus 70% de son amplitude initiale. Sur un filtre passe-haut, la bande passante se situe au-dessus de la fréquence de coupure et est théoriquement illimitée vers le haut. Le fonctionnement du réseau RC passe-haut est expliqué ailleurs dans ce numéro.

$$\frac{159}{0{,}47 \cdot 10} = \frac{159\ \text{kHz}}{4{,}7}$$

soit f_c = 34 kHz.

Et maintenant, prenons les choses à rebours : il nous faut un filtre dont la fréquence de coupure soit de 3 kHz. Quelle valeur donner à R et à C ?

Partant de la formule :

$$f_c\ (\text{kHz}) = \frac{159}{R(\text{k}\Omega) \cdot C\ (\text{nF})}$$

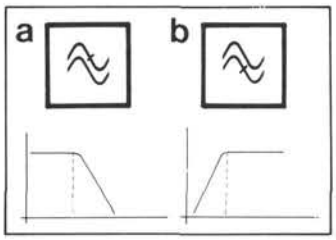
nous aurons :

$$\frac{159}{f_c\ (\text{kHz})} = \frac{159}{3} = 53$$

Il suffit de chercher deux valeurs courantes de composants dont le produit (kΩ par nF) donne 53. C'est le cas par exemple d'un condensateur de 47 nF et d'un résistance de 1,2 kΩ. D'autres combinaisons de valeurs de C et de R sont possibles, le résultat sera le même.

Il faut néanmoins choisir les valeurs en fonction de critères raisonnables, et tenir compte de l'effet des composants du réseau RC sur le circuit auquel ils sont connectés...
Une résistance de forte valeur associée à un condensateur de faible capacité a l'avantage de ne pas représenter une forte charge pour le circuit à la sortie duquel elle est reliée ; mais l'effet de cette valeur de résistance élevée se fait sentir dans le domaine des fréquences que le filtre est sensé laisser passer sans les atténuer. Une résistance plus faible ne présentera pas cet inconvénient puisqu'elle ne s'oppose pas au passage des fréquences inférieures à la fréquence de coupure ; les fréquences aiguës seront atténuées néanmoins avec beaucoup d'efficacité. On optera donc plutôt pour cette seconde solution, à condition que la source de signal soit capable de supporter cette charge.

Pour en finir avec cette contribution à l'étude des filtres, nous vous signalons que dans les schémas synoptiques, les filtres apparaissent souvent comme indiqué sur la **figure 3**. Deux ondes superposées symbolisent l'une les fréquences élevées, l'autre les fréquences basses, et l'une d'entre elles est barrée pour indiquer la nature du filtre. Si c'est l'onde du bas qui est barrée, c'est que le filtre est passe-haut et si c'est l'onde du haut qui est barrée, c'est que le filtre est passe-bas.



On rencontre souvent un autre symbole pour les filtres passe-haut et passe-bas ; il s'agit d'une schématisation de la courbe de réponse comme celles de la figure 1 et de la figure 2. Quand la courbe descend de gauche à droite, c'est que le filtre est passe-bas, quand elle monte de gauche à droite, c'est un filtre passe-haut. 84734

mégaphone

grande-gueule électronique

Un porte-voix est un tube ou cornet à pavillon évasé destiné à amplifier la voix. Le mégaphone est un porte-voix électrique ou électronique si on préfère. La distorsion et la bande passante ne sont pas de première importance dans le circuit d'un mégaphone. Ce qu'on veut, c'est de la puissance. Un son un peu « téléphonique » ou quelques crachotements rapeux ne gâchent rien, bien au contraire. Ce n'est pas de la Hi-Fi qu'on fait sur le bord des routes lors du passage du Tour de France, ni dans les tribunes du stade de football, ni a fortiori lors des sorties en groupe avec les collègues fonctionnaires du Ministère de l'Éducation, des Finances, de la Santé ou de la Fonction Publique (rayez les mentions inutiles).

Eh bien, avec le mégaphone d'ELEX, vous serez servi lors de la prochaine rencontre sportive ou lors de la prochaine manif à laquelle vous participerez. On vous entendra, c'est garanti, même si un premier coup d'oeil jeté au schéma a pu vous donner l'impression d'un circuit plutôt modeste !

Comment beugle-t-il ?

Le transistor T1 est le premier étage amplificateur. Il est monté en émetteur commun. Le courant qui le traverse vient de la borne positive de la batterie, passe par le haut-parleur, puis par R5 et par les deux diodes D1 et D2. C'est donc R5 qui est la résistance de collecteur de T1, et c'est elle qui, en fonction du courant de base de ce transistor, convertit en tension de collecteur le courant qui la traverse.

Cette tension de collecteur de T1 est appliquée à la base du transistor de sortie T3. La tension de base de T2 est décalée par rapport à celle de T3 par les deux diodes. Leur tension de seuil est de 0,7 V environ, ce qui nous donne pour T2 une tension de base supérieure de 1,4 V à celle de T3.
Pour que vous puissiez saisir l'utilité de ce décalage, il nous faut d'abord analyser ensemble le fonctionnement de cet étage de puissance formé par T2 et T3.

Au repos, les deux émetteurs sont portés à un potentiel qui est égal à la moitié de la tension d'alimentation environ, c'est-à-dire 5 V (pour simplifier). Cette tension de sortie continue correspond à une tension d'entrée nulle (0 V). Si à présent l'entrée devient positive, du fait par exemple de l'apparition de l'alternance positive d'une onde sinusoïdale, T2 devient conducteur, ce qui a pour effet d'augmenter le potentiel commun aux deux émetteurs. Ceci est dû au fait que la tension de collecteur de T1 augmente tandis que la jonction base-émetteur de T2 est passante.

Rien n'interdit de se représenter T2 comme un transistor monté en émetteur suiveur pour les alternances positives du signal d'entrée.

Pendant ce temps, son homologue T3 est resté bloqué puisque sa tension de base qui est aussi la tension de collecteur de T1 interdit à un courant de base de circuler. Vous avez remarqué que T3 est un transistor de type PNP, monté tête-bêche par rapport à T2 ; son collecteur est en bas, et à la masse. Pour qu'il conduise, sa tension de base doit être d'au moins 0,6 V inférieure à sa tension d'émetteur, ce qui n'était pas le cas jusqu'ici.

Mais si, d'aventure et en bonne logique, l'alternance positive du signal sinusoïdal d'entrée est suivie par une alternance négative, alors la condition énoncée à l'instant sera établie, et T3 deviendra conducteur. Il assurera l'amplification des alternances négatives en déplaçant vers le bas le potentiel commun aux deux émetteurs. L'émetteur suiveur, maintenant c'est celui de T3.

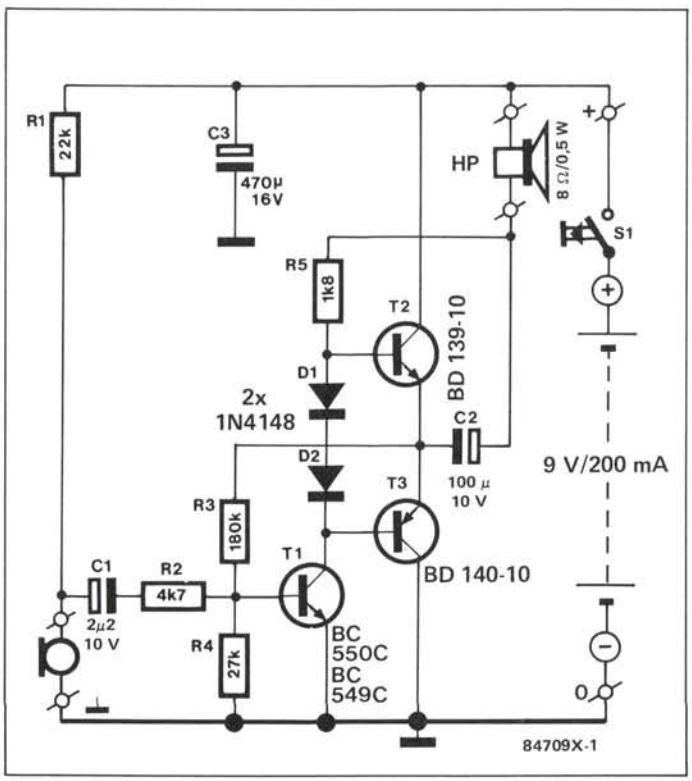


Figure 1 - A première vue, ce circuit ne paraît pas conçu pour « mettre la gomme ». Et pourtant...

Le condensateur C2 ne laisse passer que le courant alternatif. On ne relève donc sur le haut-parleur que les alternances positives et négatives que T2 et T3 amplifient à tour de rôle.

Cela devrait évoquer en vous quelques souvenirs de lecture... L'amplificateur pouche-poule décrit dans ELEX n°8 de février 1989, page 13, ça ne vous dit rien ? Souvenez-vous des deux bûcherons, avec leur scie passe-partout, aussi solides que les économistes sont distingués ! Cet article mérite que vous le relisiez. Vous en retiendrez, entre autres, que « l'on appelle amplificateur push-pull un circuit dans lequel deux transistors forment un étage complémentaire dans lequel l'un amplifie les alternances positives et l'autre les alternances négatives ». Ils sont donc actifs *à tour de*

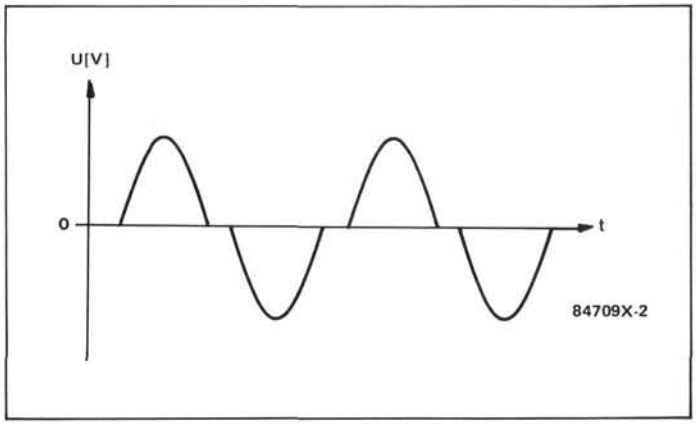


Figure 2 - La distorsion du signal sinusoïdal résulte du fait que les transistors de l'étage pouche-poule ne se mettent à travailler qu'après que leur seuil de conduction a été atteint. Les temps morts entre les alternances positives et négatives trahissent l'existence d'une zone morte qui correspond à une plage de ±0,7 V du signal d'entrée.

rôle. En anglais, *to push*, c'est pousser, et *to pull*, c'est tirer (un pull-over est un vêtement que l'on enfile en le *tirant* par-dessus la tête).

Un étage pouche-poule dont les bases sont interconnectées directement ne restitue qu'une partie des alternances, car d'une part le transistor NPN ne se met à conduire qu'une fois que la tension de base a dépassé de 0,7 V environ le potentiel d'émetteur, et d'autre part le transistor PNP ne se met à conduire que lorsque la tension de base est passée sous ce potentiel d'au moins 0,7 V. D'où il résulte la suppression pure et simple d'une plage de 1,4 V, comme le montre le graphique de la **figure 2**. Vous imaginez l'effet distordant de la brutalité de ce blocage intermittent sur la membrane du haut-parleur...

C'est le rôle de D1 et de D2 d'empêcher cette distorsion en décalant les deux bases l'une par rapport à l'autre et compenser la zone morte de 1,4 V. Grâce aux diodes, même en l'absence de signal, T2 et T3 sont sur le point de conduire. Puis, en présence d'un signal, T2 prend le service **aussitôt** que la tension d'entrée devient positive et le quitte aussitôt qu'elle devient négative, tandis que T3 prend le service **aussitôt** que la tension devient négative.
Ainsi le circuit reproduit non seulement les alternances entières, mais réagit aussi aux signaux alternatifs d'entrée les plus faibles, ceux précisément qui sans cette précaution ne parviendraient pas à faire conduire ni T2 ni T3.

Nous avons considéré jusqu'ici que le potentiel d'émetteur de nos deux transistors était égal à la moitié de la tension d'alimentation en l'absence de signal d'entrée. Ce résultat est obtenu avec les résistances R3 et R4. Voici comment...

La tension qui règne sur les deux émetteurs est divisée par R3 et R4 selon un rapport de 180 : 27, soit, en réduisant les valeurs, 4 : 0,6. La loi d'Ohm nous dit que la tension sur ces deux résistances est forcément soumise à ce rapport. Sur R4, nous avons la tension de seuil du transistor T1, c'est-à-dire 0,6 V. Sur R3 la tension est donc de 4 V, ce qui donne 4,6 V en tout, c'est-à-dire la moitié de la tension d'alimentation. Selon les tolérances qui affectent la valeur de l'un ou l'autre composant, la tension de sortie réellement mesurée sur un prototype pourra différer sensiblement de cette valeur théorique.
La fonction de T1 est de forcer cet équilibre. Si la tension d'émetteur de T2 et T3 à tendance à augmenter, le courant de base de T1 va augmenter en proportion, de sorte que T1 abaisse la tension de base de T2 et T3 pour ramener le potentiel de leur émetteur à la valeur prescrite.

Voilà pour ce qui est du rôle de D1 et D2 et du potentiel continu des émetteurs de T2 et T3. Revenons maintenant au haut-parleur. Là il ne règne que des tensions alternatives. La tension des émet-

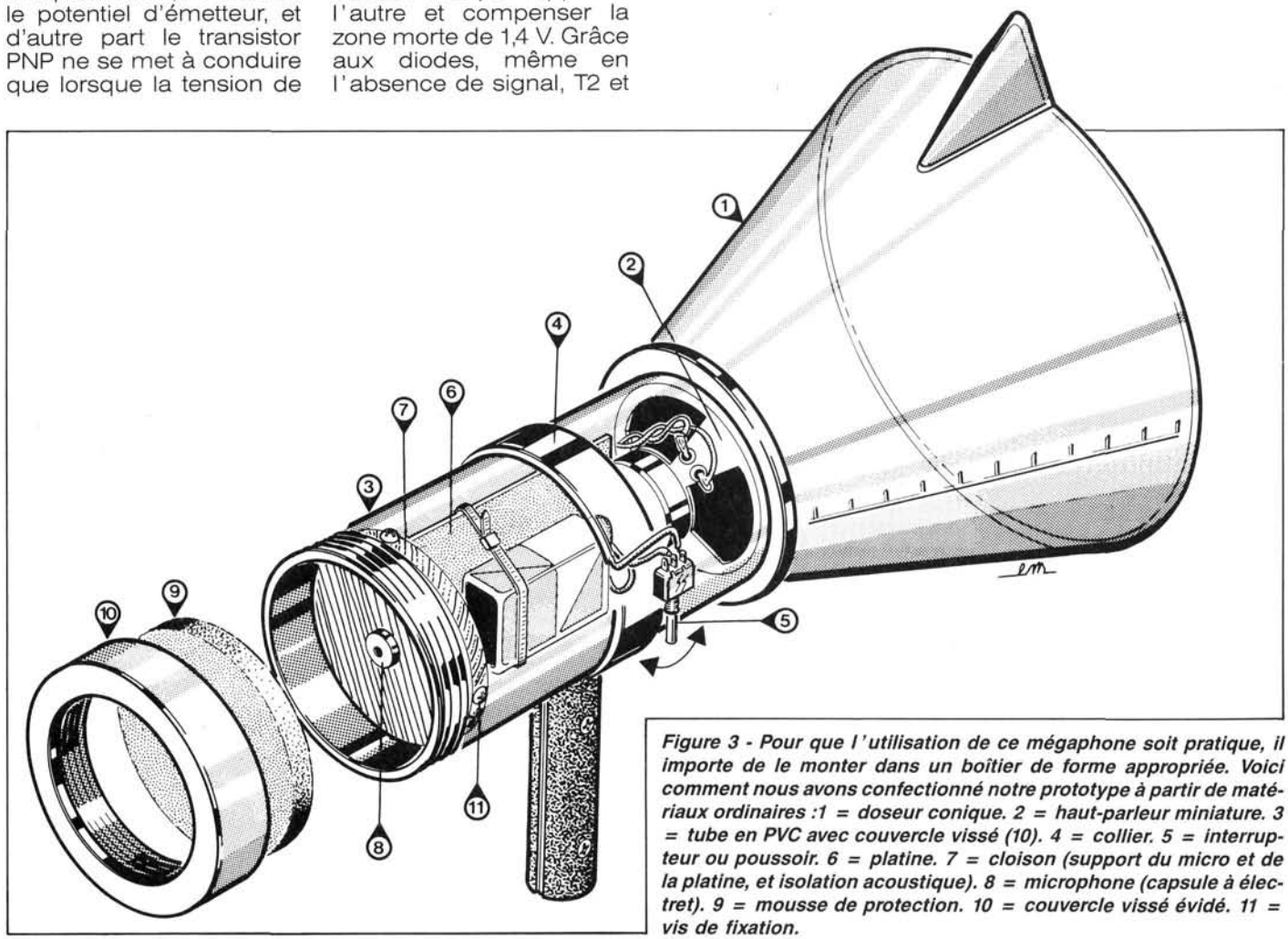


Figure 3 - Pour que l'utilisation de ce mégaphone soit pratique, il importe de le monter dans un boîtier de forme appropriée. Voici comment nous avons confectionné notre prototype à partir de matériaux ordinaires :1 = doseur conique. 2 = haut-parleur miniature. 3 = tube en PVC avec couvercle vissé (10). 4 = collier. 5 = interrupteur ou poussoir. 6 = platine. 7 = cloison (support du micro et de la platine, et isolation acoustique). 8 = microphone (capsule à électret). 9 = mousse de protection. 10 = couvercle vissé évidé. 11 = vis de fixation.

teurs varie entre un peu moins de 9 V et un peu plus de 0 V, selon que c'est T2 ou T3 qui conduit et selon l'amplitude du signal amplifié. La tension alternative sur le HP est formée par conséquent d'alternances de 4,5 V d'amplitude environ. Vous pouvez mesurer cette tension à l'aide d'un voltmètre en calibre CA (courant alternatif ou AC si c'est un appareil avec inscriptions en anglais) relié aux bornes du HP. Si vous connectez un oscilloscope (le multimètre est trop lent !) entre le HP et la masse, vous relèverez des tensions continues comprises entre 4,5 V et 13,5 V.

Ceci s'explique par le fait que le HP est relié à la borne positive de l'alimentation. C'est pour profiter de la présence de ces tensions supérieures à la tension d'alimentation que le concepteur de ce circuit a relié la résistance de collecteur de T1 au haut-parleur. La tension d'alimentation de l'étage formé par T1 varie par conséquent avec sa tension de collecteur, et l'on obtient ainsi avec T1 un gain élevé. C'est par cette astuce que le circuit par ailleurs modeste devient un amplificateur à haut rendement. Étonnant, non, tout ce qui peut se passer dans un circuit d'apparence si anodine ?

Le microphone utilisé pour le mégaphone est une capsule à électret, bon marché, à deux connexions (dans ce cas, la capsule comporte un transistor interne alimenté par R1). Les microphones à électret sont assez fragiles, ils ne supportent pas bien l'humidité. Si vous voulez essayer le mégaphone avec un microphone dynamique, il suffit de supprimer R1. Et si vous voulez essayer avec un microphone au carbone, comme ceux que l'on trouve sur les téléphones, il faut donner à R1 une valeur à peu près égale à celle de la résistance en continu de la capsule. En réduisant la valeur de R2, vous augmenterez le volume.

Méfiez-vous des excès, car une diminution de la valeur de R2 se traduit généralement par un écrêtage systématique du signal quand le micro est près de la bouche.

Ce qui importe, c'est de veiller, lorsque vous achèterez les transistors T2 et T3, à ce qu'ils portent la mention « –10 ». Les composants qui ne portent pas cette mention appartiennent à des catégories dont le gain en courant risque de varier trop fortement par rapport aux exigences de symétrie de ce circuit.

La réalisation

La figure 3 montre comment réaliser un superbe mégaphone à partir de trois fois rien. Le cornet acoustique dont il ne faut en aucun cas sous-estimer l'importance n'est rien d'autre qu'un doseur de cuisine tronqué à quelques centimètres de la pointe du cône. Qui l'eût cru ?

Tant que nous sommes à la cuisine, c'est peut-être là que nous trouverons le cylindre de 15 à 20 cm de long dans lequel nous allons monter le circuit du mégaphone. Tant mieux s'il y a un couvercle au bout que l'on évidera pour y monter le micro, derrière une éventuelle grille de protection. Si on ne le trouve pas à la cuisine, ce cylindre en plastique, on le trouve à coup sûr au rayon « tubes en PVC » de n'importe quel magasin de fournitures pour le sanitaire.

N'oubliez pas de monter entre le microphone et le haut-parleur un isolant acoustique (paroi de plastique ou de bois, hermétique, avec éventuellement de la mousse) qui empêchera le couplage acoustique entre microphone et haut-parleur. Cette paroi pourra servir par la même occasion de support pour la demi-platine d'expérimentation sur laquelle vous aurez monté les composants.

Pas de pont de câblage cette fois-ci sur le plan d'implantation des composants de la **figure 4**, mais attention à la polarité des diodes et à l'orientation des transistors.

Pour ceux qui ne sont pas coutumiers de constructions mécaniques comme celles-ci, voici encore un résumé des opérations à effectuer :

1. Chercher les ingrédients et ne commencer que lorsque tout est prêt.
2. Découper le disque (7) et fixer le micro (8), la pile et la platine (6). L'épaisseur de ce disque doit être de 5 mm au moins pour que l'on puisse l'immobiliser par des vis (11) engagées transversalement dans la paroi du cylindre (3). Le collage est à déconseiller dans la mesure où il interdit l'accès au circuit et surtout à la pile.
3. Percer le trou pour l'interrupteur marche/arrêt (5). Monter l'interrupteur et souder les fils de l'interrupteur. Prévoir les fils du HP (2) d'une longueur suffisante.
4. Immobiliser le disque (7) à l'aide des vis de fixation (11).
5. Coller le cône (1) tronqué du doseur sur l'extrémité du tube.
6. Souder les fils au HP (2) avant de le coller au fond du cône.
7. Confectionner une poignée à l'aide d'un collier de serrage et d'un morceau de bois.
8. Monter un disque de protection en mousse (9) et éventuellement une grille sur le microphone avant de visser le couvercle évidé (10).

Un dernier détail

Si vous avez beaucoup de choses à dire, vous utiliserez sans doute souvent votre mégaphone. Il vous faudra par conséquent de grosses piles ou des accumulateurs, que vous ne pourrez plus loger dans le corps du mégaphone lui-même en raison de leur poids et de leur encombrement. Vous porterez ces réservoirs d'énergie dans un sac en bandoulière, et vous aurez soin de les relier au mégaphone non pas par un fil ordinaire, mais par un boudin de fil spiralé comme ceux des combinés téléphoniques. Laissez votre imagination divaguer, elle vous inspirera une forme originale pour votre mégaphone. Il en vaut la peine.

84709

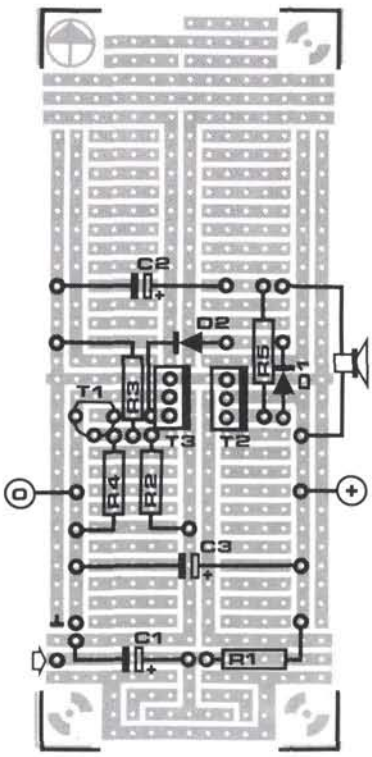


Figure 4 - Le circuit électronique du mégaphone est loin d'occuper la totalité de la surface d'une petite platine d'expérimentation.

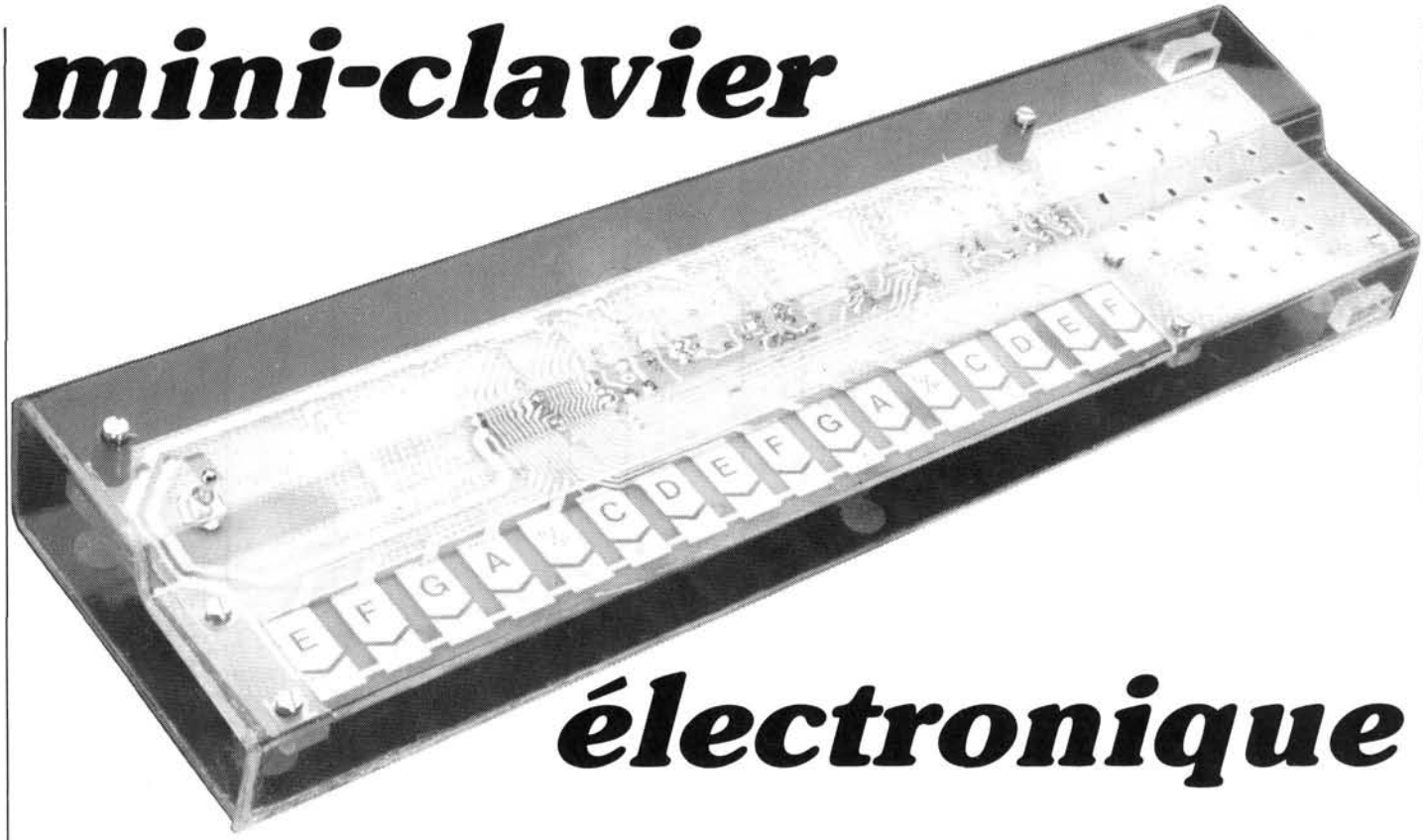
LISTE DES COMPOSANTS

R1 = 22 kΩ
R2 = 4,7 kΩ
R3 = 180 kΩ
R4 = 27 kΩ
R5 = 1,8 kΩ
C1 = 2,2 µF/10 V
C2 = 100 µF/10 V
C3 = 470 µF/10 V

D1,D2 = 1N4148
T1 = BC549C ou BC550C
T2 = BD139-**10**
T3 = BD140-**10**

Divers :
S1 = interrupteur ou poussoir
HP = haut-parleur miniature 8 Ω/0,5 W
1 platine d'expérimentation de petit format
capsule de microphone à électret
accessoires pour le boîtier

mini-clavier électronique



un clavier à touches sensitives

Il joue juste, ne se désaccorde jamais. Il est très facile à construire (aucun câblage, aucune mécanique, aucun réglage), il est robuste (une moitié de la platine sert de clavier), c'est l'instrument idéal à emporter sous le bras (il est alimenté par pile et a son haut-parleur incorporé) pour jouer et accompagner des mélodies simples, s'initier aux arcanes du solfège, soutenir les vocalises d'un chanteur. Tout simplement pour faire plaisir à quelqu'un que l'on aime bien... Soi-même par exemple !

Cinq circuits intégrés, voilà le nombre exact de composants actifs utilisés pour faire ce mini-orgue ou guide-chant à touches sensitives. Et comme ce sont des circuits qui ne consomment presque rien, l'appareil pourra être alimenté par une simple pile. Le clavier couvre deux octaves (16 touches) et l'appareil s'accorde automatiquement (il n'est pas nécessaire de régler soi-même la hauteur de chaque note). Les touches sensitives ne sont pas inusables, mais elles permettent de s'affranchir à bon compte des problèmes mécaniques et électriques que poserait la mise en oeuvre d'un vrai clavier (câblage, contacts, etc). Ici, la platine sur laquelle sont montés les composants de l'appareil, en est aussi le clavier. Solution bon marché et néanmoins élégante, car non seulement l'instrument avec le clavier gravé revient nettement moins cher qu'avec un clavier mécanique, mais il est aussi beaucoup moins encombrant.

L'instrument est monophonique (rien n'interdit cependant d'en construire deux, un pour chaque main), ceci signifie que même si l'on pose le doigt sur deux touches en même temps, on n'entendra qu'une seule note. C'est plus gratifiant pour ceux qui ont de gros doigts.
Pour réaliser un instrument polyphonique, lequel serait capable de jouer des accords, c'est-à-dire deux, trois, ou encore plus de notes en même temps, il aurait fallu, soit en utilisant les mêmes techniques que celle de notre guide-chant monophonique, un bon nombre de circuits intégrés en plus, soit en employant des techniques plus avancées, faire appel à un seul circuit intégré spécialisé, cher et difficile à trouver.

C'est aussi pour simplifier les choses que le concepteur de ce montage a renoncé aux demi-tons, ce que beaucoup d'électro-musiciens exigeants intéressés par cette réalisation ne manqueront pas de lui reprocher.

Ils n'auront pas tort. C'est bien dommage qu'un appareil comme celui-ci qui peut rendre des services réels (aux chanteurs, aux compositeurs, chaque fois qu'ils n'ont pas d'autre instrument sous la main) ne permette pas de jouer autre chose que la gamme majeure (DO RÉ MI FA SOL LA SI DO). Pas de blues, pas de mélodie en mineur, pas d'échelle chromatique, pas de modulation...

Même pas la Marseillaise, puisqu'on ne peut pas « faire muuuugir les férrrroces soldats » sans les demi-tons chromatiques.

Venez, on ne va pas aller se jeter dans le fleuve pour si peu. Si ce montage a quelque succès, nous pourrons envisager d'en publier bientôt une version améliorée, avec par exemple les demi-tons et peut-être d'autres fonctions (il paraît qu'on dit « fonctionnalités » maintenant).

Le circuit

Ne vous laissez pas impressionner par les deux « grands » circuits intégrés du schéma de la **figure 1**. Ce ne sont que des *commutateurs. Leur boulot*, c'est de gérer le clavier et les touches sensitives (ça fait mieux, vous avez remarqué, de dire « gérer », plutôt que « s'occuper de »). Le circuit qui produit le signal sonore, c'est IC5, le temporisateur de type 555, un habitué de la maison. Ce circuit, nous le trouvons tantôt monté en monostable, tantôt en astable. Ici il est monté en astable si bien qu'il multivibre (ah ?) au rythme que déterminent les composants du réseau RC monté entre ses broches 6 et 7. Le condensateur, c'est C3. La résistance, c'est celle que forment d'une part R11 et d'autre part l'échelle composée de R12 à R26.

Pour simplifier les choses, vous pouvez vous représenter l'échelle R12 à R26 comme la piste d'un potentiomètre dont les extrémités sont reliées l'une à R11 et l'autre au pôle négatif de l'alimentation (par R6). Et le curseur ?
Un instant nous y arri-

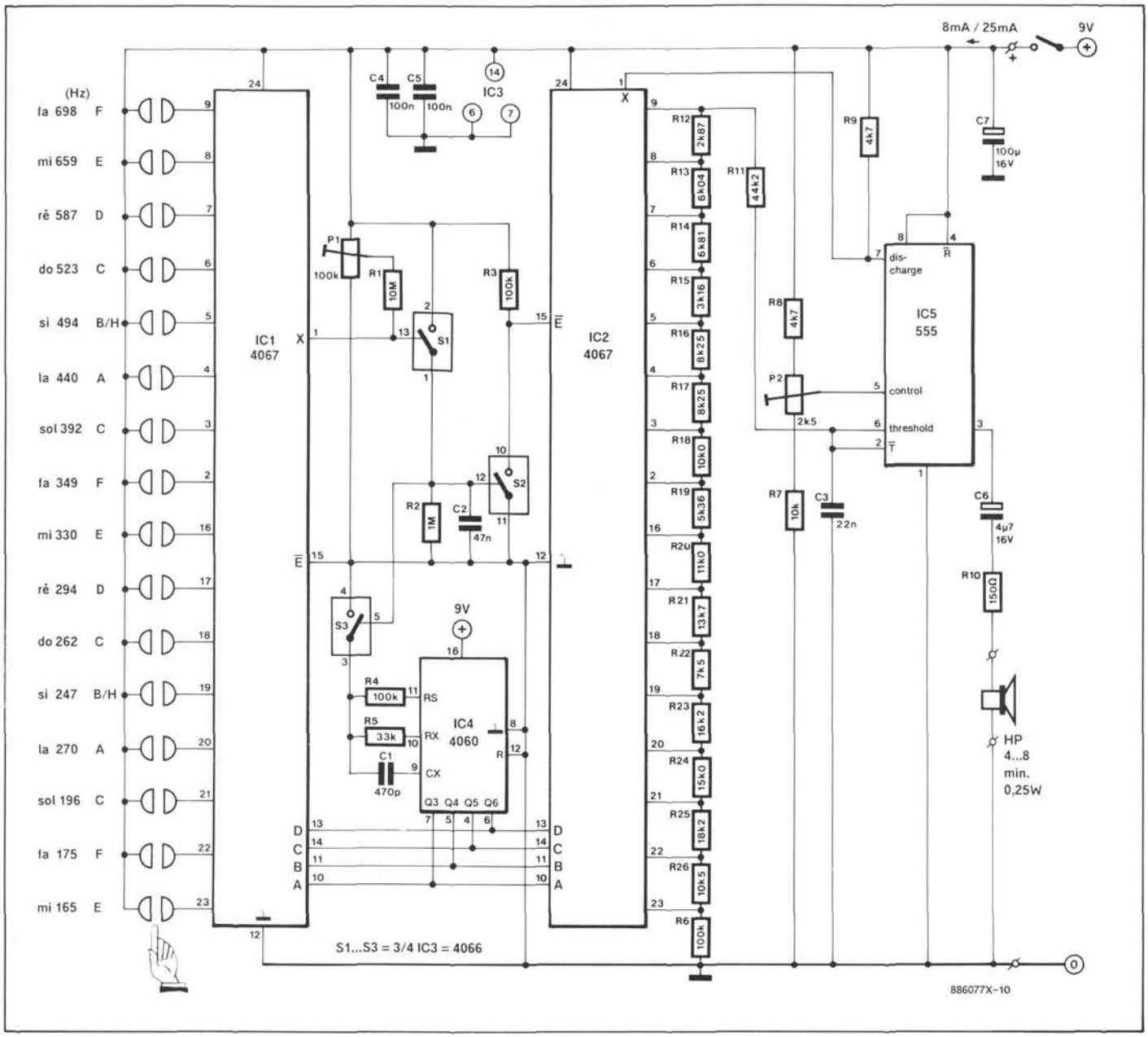


Figure 1 - Ce schéma de clavier à touches sensitives paraît assez hermétique à première vue. Les connaissances acquises avec ELEX jusqu'à présent ne vous permettront pas d'en analyser et d'en comprendre le fonctionnement sans une lecture préalable et attentive de l'article.

Une fois que ce sera chose faite, vous pourrez imaginer l'une ou l'autre amélioration, comme par exemple l'adjonction d'un modulateur de fréquence sur l'entrée de commande (broche 5) d'IC5 afin d'obtenir un vibrato. Essayez, l'effet est spectaculaire et agréable.

vons : le curseur de notre potentiomètre imaginaire, c'est IC2. Selon la position de ce « curseur », encore invisible pour l'instant, notre échelle de résistances fait office de diviseur de tension variable, voilà tout.

Selon le niveau de la tension appliquée sur R11, la charge de C3 sera plus ou moins rapide et la fréquence d'oscillation de notre multivibrateur plus ou moins élevée par conséquent. Les impulsions de sortie du 555 sont appliquées à la bobine d'un haut-parleur, ce qui a pour effet de mettre en mouvement sa membrane, laquelle agite l'air ambiant dont les variations de pression sont à leur tour enregistrées par vos tympans et converties en signaux électriques par votre oreille interne qui les transmet à votre cerveau par le nerf auditif. Si vous n'entendez rien, changez la pile.

Puisqu'il s'agit de produire un certain nombre de fréquences fixes, correspondant chacune à une note de la gamme majeure tempérée (do, ré, mi, etc), ce n'est pas un potentiomètre qu'il nous faut, mais plutôt un commutateur. Exit le potentiomètre, qu'on n'a d'ailleurs toujours pas vu.

Ce commutateur, c'est IC2 qui met l'échelle de résistances R12 à R26 en série avec la résistance R9, elle-même reliée au pôle positif de l'alimentation. IC2 fonctionne donc bel et bien comme le curseur du potentiomètre imaginaire (tiens le revoilà) dont l'échelle des résistances R12 à R26 formerait la piste, ou, pour être plus précis, on dira que IC2 fonctionne comme le contact commun d'un commutateur rotatif. Nous avions déjà un circuit du même genre dans la boîte à musique décrite dans le n°15 d'ELEX en octobre 1989. Il s'agissait alors de la commande d'un multivibrateur à l'aide d'un commutateur rotatif à 12 positions. Faut lire ELEX, mon vieux, y a des tas de trucs intéressants !

Deux commutateurs analogiques

Le circuit intégré 4067 est un commutateur analogique à 16 positions. La broche 1, baptisée X, est son « contact commun », ce qui correspond en quelque sorte au curseur du potentiomètre (encore lui). Les broches 2 à 9 et 16 à 23 sont comme les 16 contacts. Selon la position du commutateur, l'entrée X est reliée à l'un de ces 16 contacts. Comme il s'agit d'un circuit bidirectionnel, on peut aussi considérer que selon la

position du commutateur, la sortie X est reliée à l'une des 16 entrées. Cela revient au même. Ce qu'il faut retenir, c'est que le contact commun n'est jamais relié qu'à un seul des 16 autres contacts à la fois.

Reste à déterminer la position du commutateur... Ça c'est l'affaire des niveaux logiques appliqués aux lignes ABCD (broches 10, 11, 13 et 14). Nous avons vu il y a belle lurette dans la rubrique *la logique sans hic* de ce magazine qu'un code binaire à 4 bits permettait de compter jusqu'à... voyons, vous ne vous souvenez plus ?
Un bit permet de compter jusqu'à deux : 0 ou 1.
L'adjonction d'un bit supplémentaire multiplie cette capacité par deux, ce qui nous donne quatre combinaisons possibles :
0 0
0 1
1 0
1 1
Avec un bit de plus, on comptera donc jusqu'à 8 (de 000_2 = 0 à 111_2 = 7; le chiffre deux en indice rappelle qu'il s'agit de valeurs binaires, non pas de nombres décimaux), et avec quatre bits enfin, on comptera jusqu'à 16 (de 0000_2 = 0 à 1111_2 = à 15).
C'est donc avec les 16 configurations binaires possibles sur les lignes ABCD que l'on déplace le commutateur analogique IC2. Quand les lignes ABCD sont toutes les quatre à zéro, la broche 1 d'IC2 est reliée à la broche 9. Quand c'est le code binaire 0001_2 qui apparaît, la broche 1 est reliée à la broche 8. Puis c'est le tour de la broche 7, puis celui de la broche 6, et ainsi de suite jusqu'à la broche 23 qui est reliée à la broche 1 quand apparaît le code binaire 1111_2 sur les entrées de commande numérique ABCD.

Dites donc, vous ne trouvez pas que ça fait un curieux mélange de logique, de numérique et d'analogique, tout ça ?
On dit d'un circuit comme le 4067 qu'il est un multiplexeur/démultiplexeur analogique. Si l'on précise qu'il est « analogique », c'est parce que, bien que commandé par des niveaux logiques (1 ou 0) sur ses entrées de commande numérique (les grandeurs sont exprimées par des nombres), il traite des tensions analogiques sur les broches entre lesquelles il établit une liaison électrique au gré des codes binaires. Pendant longtemps, ce caractère hybride était assez rare sur les circuits intégrés qui étaient soit tout logique, soit tout analogique. Maintenant que tout est à commande numérique, ce genre de circuit n'a plus rien d'exceptionnel.

Les deux autres termes utilisés, multiplexeur et démultiplexeur, sont ronflants, mais recouvrent une réalité somme toute assez simple. Un multiplexeur est un dispositif capable d'acheminer par une seule voie de transmission des signaux issus de plusieurs sources différentes. Le démultiplexeur fait précisément l'inverse en redistribuant à plusieurs destinations différentes des signaux acheminés par une voie unique. Ici la voie unique, c'est la broche 1, les sources ou les destinations différentes, ce sont les broches reliées aux résistances de l'échelle R12 à R26.

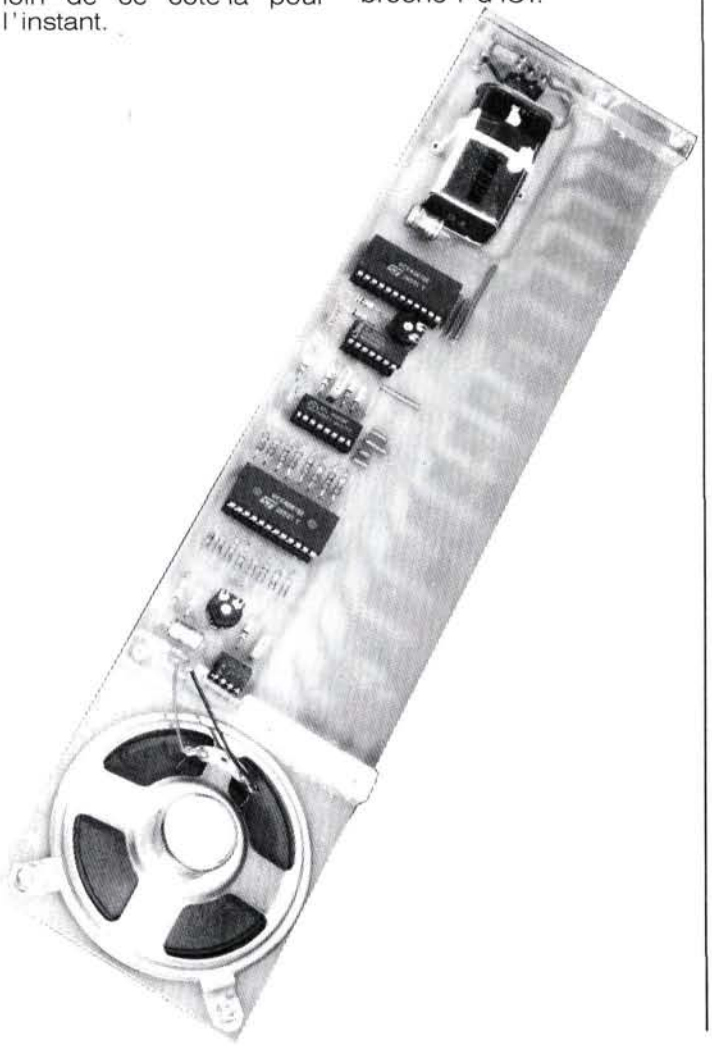
Un exemple. Pour obtenir l'avant-dernière note dans l'aigu de notre clavier, il nous faut une fréquence d'oscillation élevée obtenue avec pour C3 un temps de charge court. La résistance mise en série avec R9 sera donc la première de l'échelle : il faut que la broche 1 de IC2 soit reliée à sa broche 8. La broche 9 est reliée directement à R11 ; quand c'est elle qui est mise en contact interne avec la broche 1, c'est la note la plus aiguë du clavier que l'on entend. Dans ce dernier cas, le code binaire appliqué sur les entrées de commande est 0000_2 ; dans le cas précédent, c'est 0001_2. Pour la note la plus grave, c'est le code binaire 1111_2. Du coup, la broche 1 d'IC2 est reliée à la broche 23 : toutes les résistances de l'échelle sont maintenant en série, entre R9 et R11. Quand apparaît le code binaire 1000_2, c'est la broche 16 qui est mise en contact interne avec la broche 1, et nous aurons en série les résistances R12 à R19.
Vous avez sans doute déjà remarqué que les résistances de l'échelle R12 à R26 ne sont pas des résistances ordinaires. Elles appartiennent en effet à une catégorie de résistances de précision (E96) et leur valeur est indiquée à 1% près. Cette précaution est indispensable pour obtenir des notes bien accordées. Les valeurs ont été calculées de telle façon que la hauteur relative des notes corresponde aux degrés de la gamme majeure (touches blanches du piano).

Nous savons comment fonctionnent et à quoi servent IC2 et IC5, passons au clavier à présent. De toute évidence, c'est IC1 qui s'en charge puisqu'il est relié directement aux « touches ». Il s'agit d'ailleurs d'un circuit du même type que IC2, à savoir un multiplexeur/démultiplexeur (ou commutateur bidirectionnel) analogique. Là où l'autre avait ses 16 résistances, lui a ses 16 touches. Quant à sa sortie X (broche 1) nous voyons qu'elle commande un interrupteur électronique (S1). N'allons pas plus loin de ce côté-là pour l'instant.

Analyse du clavier

Les deux commutateurs IC1 et IC2 sont commandés par le code numérique à 4 bits que produit IC4, un compteur binaire (ici à 4 bits) de type 4060 que nous connaissons pour l'avoir utilisé plusieurs fois déjà dans des montages ELEX, et qui a ceci de particulier qu'il est équipé de sa propre horloge. La fréquence de cette horloge est déterminée par la valeur des composants R4 et R5, celle de C1, et accessoirement par la tension d'alimentation. Ici nous sommes à, tenez-vous bien, 60 kHz environ.

Oui, cette horloge fait 60000 fois tic-tac par seconde – en fait, c'est le multivibrateur qui charge et décharge C3 soixante mille fois par seconde. Et à chaque fois le compteur avance d'un cran. Il compte de 0 à 15 et revient à 0 pour recommencer aussitôt environ 375 fois par seconde. A chaque pas de comptage, c'est une autre touche du clavier qui est mise en contact avec la broche 1 d'IC1.



Si vous vous imaginez que pendant ce temps, à chaque pas de comptage, c'est aussi une autre résistance qui est mise en série du côté de IC2, vous avez de la suite dans les idées, mais vous n'avez pas bien regardé le schéma. Regardez la broche $\overline{E}$ de IC2. La lettre « $\overline{E}$ » surmontée d'une barre horizontale dite de négation indique sur les circuits logiques que la broche correspondante doit être au **niveau bas** pour que l'entrée en question soit active. Or quand on sait que le « E » est celui du mot anglais *enable*, ce qui correspond à validation en français, on comprend que si cette broche est au niveau haut, le circuit ne fait rien.

La broche 15 d'IC2 est forcée au niveau haut pour l'instant par la résistance R3. Autrement dit, les codes binaires appliqués sur les entrées de commande ABCD d'IC2, restent sans effet pour l'instant.

Oublions un instant que le compteur compte si vite, et faisons comme s'il comptait à une vitesse telle que nous puissions suivre. Quand le code binaire de comptage est 0000_2, c'est la touche reliée à la broche 9 d'IC1 qui est en contact avec la broche 1. Si vous n'avez pas le doigt posé sur cette touche, la sortie X est à un niveau bas et l'interrupteur électronique S1 reste ouvert. Au pas de comptage suivant apparaît le code 0001_2, c'est la broche 8 qui est reliée à la broche 1 maintenant. Posez votre doigt sur la deuxième touche, celle qui est reliée à la broche 8 d'IC1. La résistance relativement faible de votre peau établit une liaison entre les deux surfaces conductrices de la touche sensitive. Un courant, aussi faible soit-il, circule à travers la peau de votre doigt posé sur la touche et cette fois la broche 1 d'IC1 passe au niveau haut. L'interrupteur S1 se ferme et avec lui S2 et S3. Le circuit du clavier vous a vu appuyer sur la touche, il réagit.

En fermant S2, il force au niveau bas l'entrée *enable* de IC2. Le code binaire présent à cet instant sur les lignes de commande numérique ABCD rend active l'une des sorties d'IC2. Laquelle ?
Eh bien, la deuxième : puisque c'est la deuxième touche du clavier qui a été actionnée, c'est que le code binaire de comptage est 0001_2. Comme la fermeture de S1 a provoqué aussi la fermeture de S3, le multivibrateur intégré dans IC4 ne peut plus charger et décharger C1, lequel reste chargé et bloque le comptage : l'horloge est arrêtée, le code binaire ABCD ne changera pas tant que S3 restera fermé. Or S3 restera fermé tant que S1 reste fermé lui-même, c'est-à-dire tant que la sortie d'IC1 reste à un niveau haut, ce qui n'est le cas que tant que le doigt reste posé sur la touche. Si la sortie X de IC1 repasse au niveau bas, le comptage reprend. En revanche, IC2 se bloque et la liaison entre sa broche 6 et sa broche 7 est interrompue : IC5 n'oscille plus.

Si au fil de son comptage, le circuit rencontre une autre touche sur laquelle est posé un doigt, l'entrée correspondante d'IC1 passera au niveau haut, entraînant avec elle les entrées de commande de S1, S2 et S3. Le compteur se bloque, IC2 est mis en service, et le code de comptage binaire sur les lignes ABCD active la sortie correspondante d'IC2 de telle sorte que la portion adéquate de l'échelle de résistances est mise en série entre les broches 6 et 7 d'IC5.

Tout ceci se passe en fait très rapidement, puisque l'analyse du clavier par le commutateur électronique se fait à une cadence vertigineuse. Le fait de poser le doigt sur plusieurs touches à la fois n'a pas d'effet puisque le circuit n'analyse jamais qu'une seule touche à la fois.

Il reste quelques composants dont le rôle n'a pas encore été élucidé. (Ho hé, faudrait pas pousser, on peut pas tout faire à la fois, hein !).
A quoi peuvent bien servir par exemple R2 et C2 ? Cherchons ensemble. Visiblement, il doit s'agir de charger et de décharger le condensateur, ou quelque chose de ce genre... Quand S1 est ouvert, C2 est déchargé. Quand S1 est fermé, C2 est chargé et quand S1 se rouvre, C2 maintient le niveau haut à l'entrée de commande de S2 et de S3 pendant un certain temps pour qu'ils ne se rouvrent pas aussitôt. Il n'est pas exclu en effet que S1 ne se rouvre que brièvement sous l'effet d'un rebond ou d'un parasite quelconque, pour se refermer aussitôt. Il serait dommage que de tels parasites viennent interférer avec le signal sonore. Grâce à C2, le circuit ne subit pas l'effet des rebonds et des parasites.
Et R2, à quoi sert-elle ?
Le courant que C2 a à fournir à S2 et S3 pour les maintenir fermés est si faible que C2 ne se déchargerait pas assez vite en l'absence de cette résistance. Enlevez-la, vous verrez...
Le couple P1/R1 détermine la sensibilité des touches sensitives : plus la polarisation continue introduite par le diviseur de tension sur l'entrée de commande de S1 est forte, moins les touches auront de mal à fermer S1.

Alimentation

Nous l'avions annoncé dès le départ, le circuit ne consomme pas grand chose, et ce n'est pas la moindre de ses qualités, car cela permet de l'alimenter à l'aide d'une pile. Un courant de 8 mA au repos et 25 mA quand le doigt est posé sur une touche, c'est dans les cordes d'une batterie compacte de 9 V ou de deux piles plates.

La tension de service mentionnée dans le schéma est de 9 V, mais le circuit accepte de fonctionner sous des tensions bien plus faibles (jusqu'à 4 V). La perte de volume qui résultera de la baisse de la tension pourra être compensée par une réduction de la valeur de R10. Si le haut-parleur que vous utilisez présente une impédance élevée (150 Ω par exemple), vous pouvez purement et simplement court-circuiter R10.

Réalisation

Maintenant que tout a été dit sur ce circuit, il ne reste plus qu'à le monter. Vous disposez pour cela de la platine de la **figure 2**, exceptionnelle à plus d'un titre. D'abord, c'est une vraie platine, comme de nombreux lecteurs, déjà lassés par nos circuits d'expérimentation, les réclament dans leurs lettres, et comme nous nous efforçons d'en placer une de temps en temps pour leur faire plaisir. Ce mois-ci, il y en a même deux, c'est pas tous les jours Noël !
Ensuite, elle est étonnamment grande, mais cela s'explique par le fait que deux des circuits intégrés sont des circuits à 24 broches, par le fait que la platine est aussi le clavier et par la présence de la pile.
Vous n'êtes pas au bout de votre étonnement, car si vous la trouvez vraiment belle mais que vous n'osez pas vous jeter dans le perchlo pour la graver vous-même, vous pouvez aussi l'acheter toute faite chez les spécialistes (cf la photographie à la une de ce numéro).

LISTE DES COMPOSANTS

Résistances :
R1 = 10 MΩ
R2 = 1 MΩ
R3,R4,R6 = 100 kΩ
R5 = 33 kΩ
R7 = 10 kΩ
R8,R9 = 4,7 kΩ
R10 = 150 Ω
R11 = 44,2 kΩ (E96)
R12 = 2,87 kΩ (E96)
R13 = 6,04 kΩ (E96)
R14 = 6,81 kΩ (E96)
R15 = 3,16 kΩ (E96)
R16,R17 = 8,25 kΩ kΩ (E96)
R18 = 10,0 kΩ (E96)
R19 = 5,36 kΩ (E96)
R20 = 11,0 kΩ (E96)
R21 = 13,7 kΩ (E96)
R22 = 7,5 kΩ (E96)
R23 = 16,2 kΩ (E96)
R24 = 15,0 kΩ (E96)
R25 = 18,2 kΩ (E96)
R26 = 10,5 kΩ (E96)
P1 = 100 kΩ var.
P2 = 2,5 kΩ var.
C1 = 470 pF
C2 = 47 nF
C3 = 22 nF MKT
C4,C5 = 100 nF
C6 = 4,7 µF/16 V
C7 = 100 µF/16 V
IC1, IC2 = 4067
IC3 = 4066
IC4 = 4060
IC5 = 555
S1 = interrupteur
HP = haut-parleur 4 à 8 Ω/0,25 W

Pas de câblage ou si peu, pas de mécanique, pas de réglage, ce mini-clavier a vraiment tout pour plaire, vous ne trouvez-pas ? Le tracé des pistes qui mènent aux touches est assez contraignant. Ceci explique la présence de quelques ponts de câblage, huit pour être précis, par lesquels il faudra commencer l'implantation des composants. Ensuite viennent les résistances au nombre desquelles vous ne serez pas surpris d'en trouver seize qui au lieu d'avoir trois anneaux de couleur, plus un anneau pour la tolérance, en ont quatre plus un. Ce sont les résistances à tolérance de 1%, comme l'indique leur cinquième anneau marron. Ainsi marron, noir, vert et rouge, c'est pour une résistance de 10,5 kΩ et jaune, jaune, rouge, rouge, pour 44,2 kΩ. Ça ira ?
Allons ! Encore un petit effort : pour R15 on a 3,16 kΩ, soit orange pour le 3, marron pour le 1, bleu pour le 6 et marron pour 1 zéro (3160 Ω). Je vous laisse continuer à votre rythme...
Si vous gravez votre platine vous-même, étamez les touches pour éviter que les pistes de cuivre ne s'oxydent. Si vous achetez une platine toute faite (et non contre-faite), vous la trouverez étamée. Au fait, « étamer », cela signifie recouvrir d'une pellicule d'étain (je ne précise pas qu'elle est mince puisqu'une pellicule est mince par définition).

Quand l'appareil est en service, la platine est face à vous, les pistes de cuivre tournées vers le haut, les composants en-dessous.

Ce n'est donc pas pour rien que nous avons prévu deux orifices qui permettront d'enfiler la bride par laquelle vous retiendrez la pile. Ceci implique aussi qu'il faut implanter l'interrupteur marche/arrêt du côté des pistes, avec le haut-parleur. Cette disposition particulière demande aussi que l'on monte la platine non seulement sur des entretoises aux quatre coins, mais aussi sur un support qui la rigidifie sur toute sa longueur avant que la pression des doigts sur le clavier ne la fasse ployer et la déforme.

Le potentiomètre miniature P2 permet de transposer le clavier vers l'aigu ou le grave. Le réglage est affaire de goût. Il n'est peut-être pas inutile de remplacer ce composant par un potentiomètre accessible de l'extérieur, ce qui vous permettra, le cas échéant, de vous accorder facilement avec d'autres instruments.

Voici pour finir quelques conseils qui, parce qu'ils sortent du sujet, le rendent d'autant plus intéressant. Si vous avez un clavier mécanique, utilisez-le. Les punaises ordinaires non isolées ne font pas des contacts électriques de première classe, mais enfin, c'est une idée. Montez le HP dans un boîtier dans lequel vous laissez une ouverture que vous obturerez avec votre main gauche pendant qu'avec la droite vous jouerez sur le clavier. Avec la main gauche, vous pouvez créer un effet de battement (une espèce de vibrato ou de trémolo) très naturel, un peu comme font les joueurs d'harmonica qui ouvrent et referment la main dans laquelle ils tiennent leur instrument.

Et dites-vous bien qu'un circuit comme celui-ci, il y a toujours quelque chose à en faire. Quand il ne vous plaira plus comme clavier, il pourra toujours servir de jauge à 16 niveaux avec indication sonore, ou encore comme détecteur de niveaux de toutes sortes, ou encore comme indicateur de gîte. Imaginez, imaginez...

886077

C	D	E	F	G	A	H/B	C
do	**ré**	**mi**	**fa**	**sol**	**la**	**si**	**do**
1 ton	1 ton	½ ton	1 ton	1 ton	1 ton	½ ton	

Note : le B est le si bécarre de la notation anglaise
le H est le si bécarre de la notation allemande
(dans la notation allemande, B désigne le si bémol)

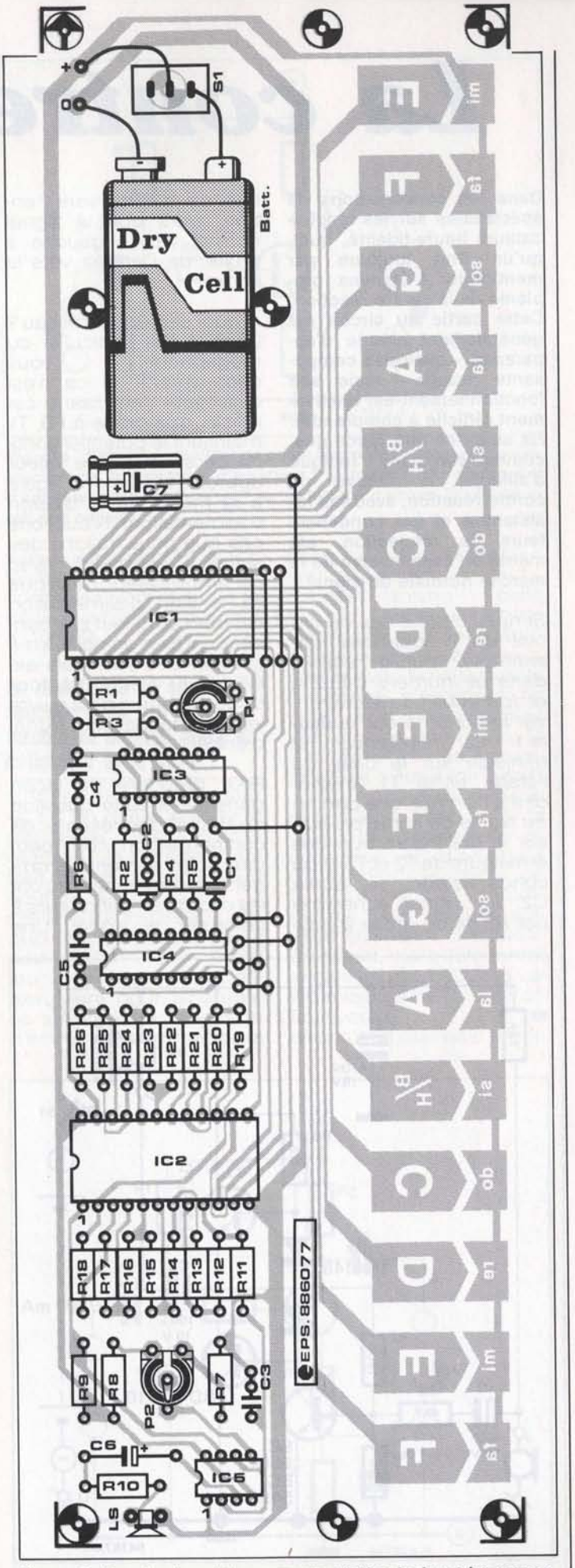


Figure 2 - Dessin des pistes pour une platine incluant les composants et les 16 touches du clavier électronique. Gravez-la vous-même, faites-la graver par un copain si vous n'aimez pas patauger dans le perchlo, ou, suprême délice, achetez-en une toute faite, gravée, percée, sérigraphiée et étamée.

La contre-réaction

Dans les conversations de spécialistes sur les amplificateurs haute-fidélité, quelqu'un finit toujours par mentionner l'épineux problème de la contre-réaction. Cette partie du circuit est généralement simple d'apparence –quelques composants passifs– mais son fonctionnement est relativement difficile à comprendre. Ne serait-ce que parce que, comme son nom l'indique d'ailleurs, le réseau de contre-réaction, avec ses résistances et ses condensateurs de réinjection, est monté en sens inverse de la marche normale du signal.

Simple, c'est le cas du circuit du mégaphone par exemple, publié ailleurs dans ce numéro d'ELEX, et dont vous pouvez retrouver le schéma sur la **figure 1**. La résistance R3 réinjecte sur la base de l'étage pilote T1, c'est-à-dire à l'entrée, une portion du signal de sortie prélevé sur le point commun des émetteurs de T2 et T3 et du condensateur de sortie C2. Le signal acheminé par R3 va de droite à gauche, de la sortie vers l'entrée, alors que le signal normal va de gauche à droite, de l'entrée vers la sortie.

A quoi sert un tel réseau ? Dans le cas particulier du mégaphone, vous découvrirez– si ce n'est déjà fait– en lisant cet article, que grâce à R3, T1 maintient le potentiel continu de sortie à une valeur approximativement égale à la moitié de la tension d'alimentation. N'oublions pas que nous traitons des signaux alternatifs avec cet amplificateur, mais que sa tension d'alimentation est positive. Il faut par conséquent fixer un point à mi-chemin des potentiels extrêmes (9 V et 0 V) autour duquel la sortie peut suivre les alternances du signal d'entrée.

Pour répondre de façon générale à cette question de l'utilité des réseaux de contre-réaction, on peut dire qu'ils servent à corriger les tendances qu'ont les circuits amplificateurs à déformer le signal. Une partie du signal de sortie est réinjectée sur l'entrée de telle manière qu'elle s'annule elle-même. Le mot contre-réaction dit bien ce qu'il veut dire : si on réagit contre un défaut, on le supprime.

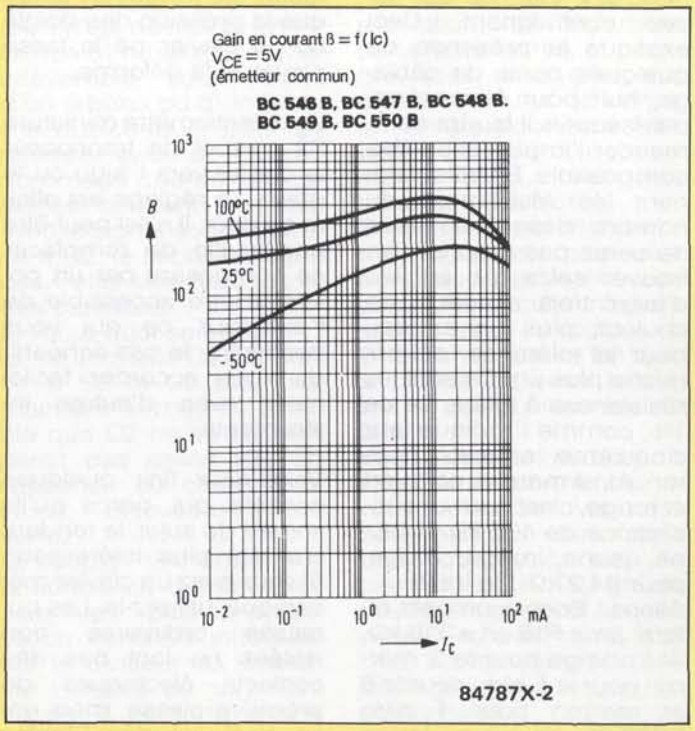


Figure 2 - La courbe du gain en courant d'un transistor BC547 met en évidence le rôle déterminant joué par l'intensité du courant de collecteur et la température du semi-conducteur.
C'est, entre autres raisons, pour compenser l'instabilité qui découle de ces caractéristiques que l'on fait appel à la contre-réaction.

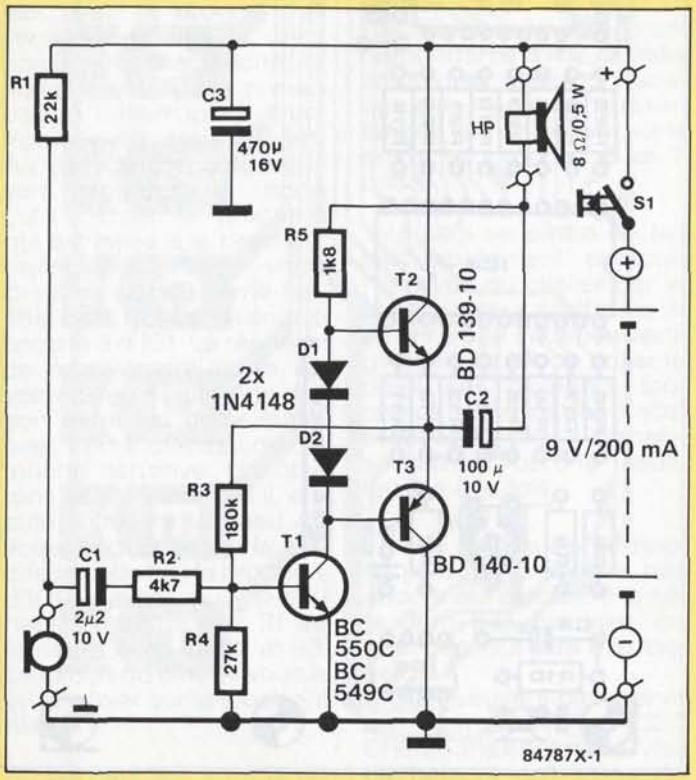


Figure 1 - Il n'est pas nécessaire d'aller bien loin pour trouver un exemple de circuit avec contre-réaction. La résistance R3 du mégaphone réinjecte une partie du signal de sortie sur l'entrée, c'est-à-dire la base de T1. La présence de cette résistance compense les tendances qu'aurait l'étage de sortie à distordre le signal.

Les courants de base de forte intensité sont amplifiés avec plus d'efficacité que les courants de base de faible intensité

Cette réinjection négative a pour inconvénient de limiter l'efficacité d'un étage, puisqu'il limite l'amplification du signal utile. Ce dernier aspect est néanmoins secondaire dans la mesure où tout étage d'amplification a, par définition, une certaine marge dans laquelle il est efficace. Nous verrons aussi comment certaines astuces permettent de dissocier le problème du gain en alternatif et de la stabilité en continu.

L'exemple de contre-réaction du mégaphone porte sur deux étages, mais on trouve aussi très fréquemment de la contre-réaction sur un étage unique (un seul transistor). On attend d'un transistor qu'il amplifie le courant de base selon un facteur déterminé. Nous vous proposons d'examiner la courbe de gain d'un transistor de type BC547 sur la **figure 2**. La courbe est non seulement courbe, mais elle est aussi inclinée, ce qui indique que le gain n'est pas invariable. Il dépend notamment du courant de collecteur. En gros, les courants de base de forte intensité sont amplifiés avec plus d'efficacité que les courants de base de faible intensité. Le point culminant est atteint avec des courants de collecteur de l'ordre de 10 mA.
Le diagramme montre aussi que ce gain subit l'influence considérable de la température. Ce que le diagramme ne montre pas, mais que nous n'oublierons pas de préciser, c'est qu'en plus les dispersions de ces caractéristiques sont très fortes d'un transistor à l'autre, fussent-ils du même fabricant.

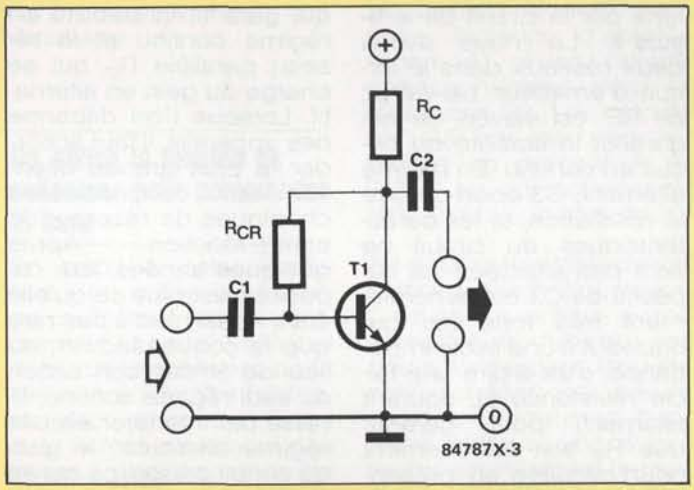


Figure 3 - La résistance de polarisation de la base, au lieu d'être reliée au pôle positif de l'alimentation, est connectée au collecteur du transistor. D'où il résulte une interaction de la tension de collecteur sur le courant de base.

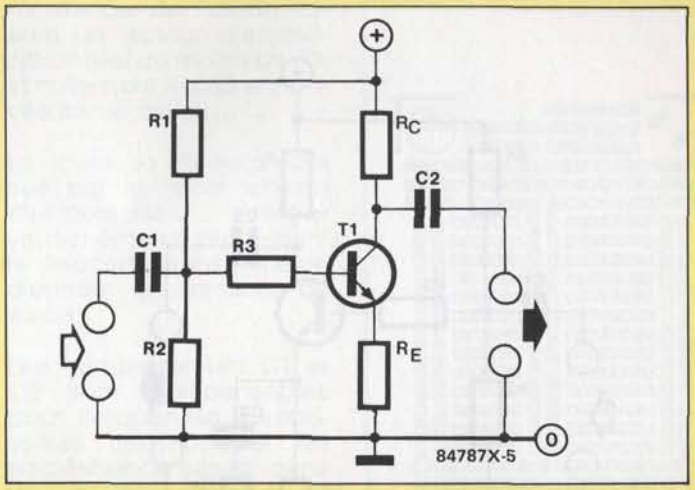


Figure 5 - Difficile à identifier de prime abord, la fonction de contre-réaction de la résistance d'émetteur ! La tension née du courant d'émetteur à travers R_E ré-agit sur la tension d'entrée (ici R3 pourrait être omise).

A la lecture de ce qui précède, vous imaginez sans doute plus facilement que si l'on veut qu'un circuit marche bien malgré tant d'incertitude, il faut prendre des mesures de précaution. L'une de ces précautions est la contre-réaction. Le circuit de la **figure 3** est un amplificateur de tension à un seul transistor monté en émetteur commun, et doté d'une contre-réaction en tension–courant. Le courant de base qui permet au transistor de conduire est acheminé par R_{CR}. Cette résistance de polarisation de la base n'est pas reliée à la borne positive de l'alimentation comme nous l'avons déjà vu souvent, mais au collecteur du transistor lui-même : le courant de base dépend donc directement de la tension de collecteur.

Supposons que le transistor s'échauffe, ce qui provoque une augmentation de l'intensité de son courant de collecteur. Sa tension de collecteur baisse par conséquent, puisque la chute de tension sur la résistance de collecteur est plus forte. Or une tension de collecteur réduite donne un courant de base affaibli, lequel réduit illico l'intensité du courant de collecteur, ce qui a pour effet de réduire la température.

L'adjonction de cette résistance R_{CR} a donc un effet stabilisateur sur la tension de collecteur du transistor.

Si l'on ne veut pas que la tension de collecteur varie, il suffit d'en injecter une partie sur la base. Accessoirement cette résistance gêne le fonctionnement de cet étage quand on y applique des tensions alternatives à travers C1, que l'on récupère amplifiées sur C2.

Vous avez sans doute déjà rencontré des circuits dans lesquels c'est un condensateur de faible capacité qui est monté entre le collecteur et la base d'un transistor, comme sur la **figure 4**. Quand il s'agit d'un condensateur de quelques centaines de picofarads ou moins, il est là pour opérer une contre-réaction sélective sur les fréquences élevées du signal, les seules qui passent par un condensateur d'aussi faible capacité. Pour elles, le condensateur fait office de résistance de contre-réaction stabilisatrice, ce qui empêche le circuit d'osciller.

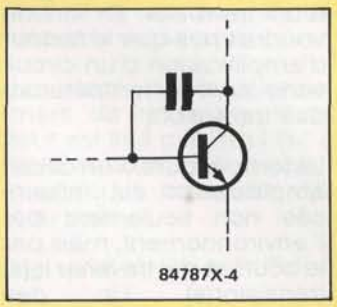


Figure 4 - Un condensateur de faible capacité monté entre le collecteur et la base d'un transistor fait l'effet d'une résistance de contre-réaction qui ne concernerait que les fréquences les plus élevées. Sa fonction : empêcher le circuit d'osciller.

Le circuit de la **figure 5** est un amplificateur de tensions alternatives dont la base est polarisée en continu par le diviseur de tension que forment R1 et R2. Visiblement il n'y a pas de contre-réaction puisque la sortie n'est reliée nulle part à l'entrée...

La résistance de contre-réaction n'est pas forcément montée entre le collecteur et la base

Ici la résistance d'émetteur R_E est en quelque sorte la résistance de contre-réaction ; la tension d'entrée donne naissance à un courant collecteur–émetteur, lequel donne naissance à une tension entre l'émetteur et la masse. Cette tension vient pour ainsi dire se soustraire à la tension d'entrée qui commande la base. Il y a donc bel et bien contre-réaction (courant–tension cette fois-ci). L'effet de cette contre-réaction est stabilisateur lui-aussi et il augmente avec la valeur de la résistance d'émetteur. Ici aussi, la stabilisation peut être d'ordre thermique. Si l'on emploie des transistors à gain élevé (de type B ou C), le gain ne dépend plus que du rapport de la valeur des résistances de collecteur et d'émetteur (R_C/R_E). Pour la valeur de R_E il faut chercher un compromis : les valeurs élevées favorisent la stabilité du circuit, mais détériorent le gain en alternatif. Les valeurs faibles de R_E ont l'effet inverse.

La solution optimale est of-

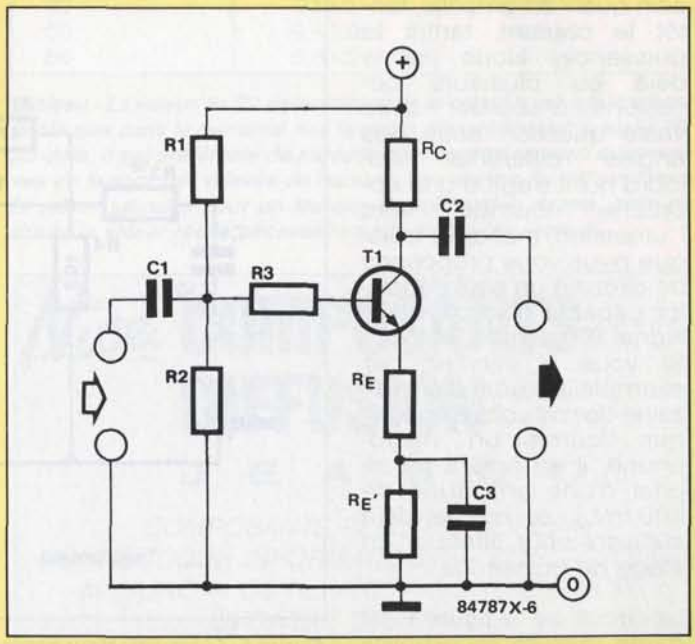


Figure 6 - Un réseau de contre-réaction à deux itinéraires, l'un pour le courant continu (par R_E et $R_{E'}$), et l'autre pour le régime alternatif (R_E et C3). Ceci permet d'obtenir à la fois une bonne stabilité thermique et un gain en tension élevé en alternatif.

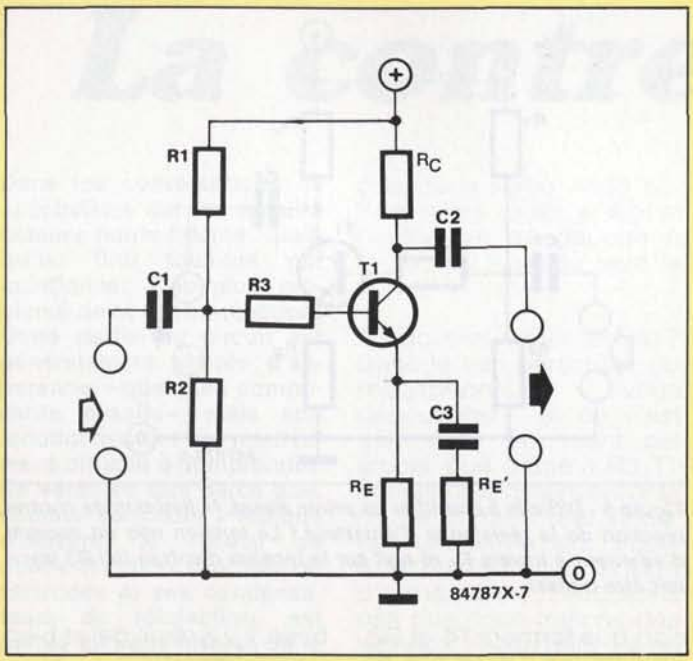


Figure 7 - Variante du circuit de la figure 6. Ici R_E agit seul sur le courant continu. En alternatif, R_E et $R_{E'}$ sont mises en parallèle.

ferte par le circuit de la **figure 6**. Là nous avons deux réseaux dans le circuit d'émetteur. La valeur de RE' est élevée, ce qui garantit la stabilité du circuit en continu. En régime alternatif, C3 court-circuite la résistance, et les caractéristiques du circuit ne sont pas affectées. La capacité de C3 est généralement très forte (ce qui équivaut à une faible impédance, c'est-à-dire une faible résistance au courant alternatif) pour garantir que $R_{E'}$ soit franchement court-circuitée en présence de tensions alternatives.
Quand la valeur de R_E est faible, le gain en tension alternative est élevé.

Avec la **figure 7**, nous abordons une variante de ce circuit avec cette fois R_E qui garantit la stabilité en régime continu et le réseau parallèle $R_{E'}$ qui se charge du gain en alternatif. Lorsque l'on dépanne des appareils, il faut accorder la plus grande attention aux condensateurs chimiques de réseaux de contre-réaction. Après quelques années, leur capacité n'est plus ce qu'elle était. Aussi n'est-il pas rare que la contre-réaction, au lieu de limiter son action au seul régime continu, finisse par interférer avec le régime alternatif : le gain du circuit baisse, ce qui se traduit par des pertes considérables, notamment dans le grave. Il faut alors changer de condensateur et le remplacer par un exemplaire de fabrication récente.

84787

amplificateur passe-partout

En électronique, on n'arrête pas d'amplifier des signaux pour les atténuer un peu plus loin, les réamplifier encore, et ainsi de suite. Tantôt, c'est la tension que l'on amplifie, tantôt le courant, tantôt la puissance. Nous avons déjà eu plusieurs occasions d'aborder cette vaste question sous des angles différents. Aujourd'hui il s'agit d'une approche tournée vers l'utilisation pratique, puisque nous vous proposons un circuit à un seul transistor capable d'amplifier un signal BF jusqu'à 80 fois.
Si vous y injectez par exemple le signal d'une dizaine de millivolts efficaces que fournit un microphone, il en sortira un signal d'une amplitude de 800 mV_{eff}, ce qui est déjà suffisant pour attaquer un étage de puissance.

Le circuit de la **figure 1** est d'une rassurante simplicité. S'il n'y avait cette bizarre résistance R1 (comment ça s'appelle déjà ?), on serait en présence d'un banal circuit en émetteur commun. Banal, certes, mais instable aussi ; influençable notamment par la température. Nous avons déjà indiqué à plusieurs reprises, lors de descriptions de schémas dans ELEX, que les caractéristiques des semiconducteurs étaient sujettes à des variations non négligeables en fonction de la température. C'est le cas notamment du gain d'un transistor. Or on ne voudrait pas que le facteur d'amplification d'un circuit varie avec la température des transistors.

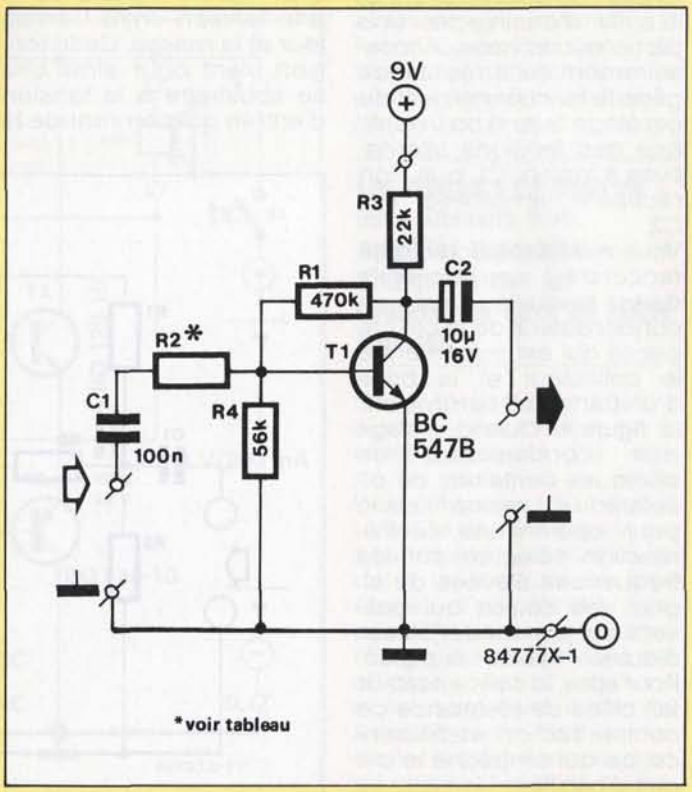


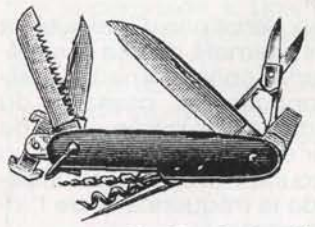
Figure 1 - L'amplificateur passe-partout est un étage à un transistor en émetteur commun à gain variable avec contre-réaction. Il pourra vous être utile à des fins expérimentales, mais aussi chaque fois que vous aurez besoin d'augmenter la sensibilité d'entrée d'un étage BF quelconque.

La température d'un circuit amplificateur est influencée non seulement par l'environnement, mais par le courant qui traverse le(s) transistor(s). Un des moyens de supprimer l'influence mutuelle des variations du courant et de la température et d'obtenir une stabilisation du gain, est de commander le point de fonctionnement du transistor, c'est-à-dire la polarisation de sa base, en te-

nant compte de ces variations.

On utilise la tension de collecteur pour commander la base

En pratique, cela signifie que l'on utilise la tension de collecteur pour commander la base. Voilà qui explique la présence de la résistance R1, dite résistance de... mais oui, vous avez le mot sur le bout des lèvres... une résistance de contre-réaction. Vous trouverez dans ce numéro d'ELEX, un petit article consacré à la contre-réaction. On y montre en détail comment l'augmentation de la température et du courant de collecteur se traduisent par une baisse de tension de collecteur et par conséquent du niveau de polarisation U_BE de la base déterminé par le diviseur de tension que constituent R1 et R4. Laquelle baisse entraîne à son tour une réduction du courant de collecteur et, partant, de la température.



1915. **Couteau** dit "**d'explorateur**", 11 pièces : 1 lame couteau, 1 canif, 1 paire ciseaux, 1 scie, 1 tournevis, 1 tire-cartouches, 1 vrille, 1 poinçon, 1 tire-bouchon, 1 cure-dents et 1 cure-oreilles, le tout en acier extra garanti, manche fibre rouge avec bélière pour l'accrocher à une chaîne-gourmette, long. fermé 9 c/m. *Modèle pour tous usages*. 8. »

La boucle est bouclée, mais il ne sera pas dit que le cercle est vicieux.

Le point de fonctionnement de notre amplificateur est fixé par R1 et R4 à un niveau de tension continue sur le collecteur d'à peu près

$U_C \approx 0{,}6\ V \cdot (1 + R1/R4)$

soit 5,6 V.
Ce qui autorise, en théorie, l'application à l'entrée de l'amplificateur –alimenté sous 9 V et réglé pour un gain unitaire– d'une tension alternative de 2 V_{eff} sans que cette tension soit déformée.

Le tableau donne quelques facteurs d'amplification (A) et les valeurs correspondantes pour la résistance R2. Les calculs ont été faits par approximation en prenant A = R1/R2, ce qui est acceptable jusqu'à un gain de 20.

Au-delà, cette méthode de calcul devient imprécise. C'est pourquoi nous avons complété le tableau par une colonne dans laquelle sont données les valeurs exactes. L'erreur est frappante surtout avec le facteur d'amplification le plus élevé : la différence entre la valeur approximative et la valeur réelle est de 92% pour le facteur d'amplification de 80. Une paille ! Si l'on implante pour R2 une résistance de 5,8 kΩ, on aura un facteur d'amplification réel de moins de 50, et nullement les 80 annoncés par le calcul.

LISTE DES COMPOSANTS

R1 = 470 kΩ
R2 = voir tableau
R3 = 22 kΩ
R4 = 56 kΩ
C1 = 100 nF
C2 = 10 µF/16 V
T1 = BC547B

La limite de 80 est imposée par la faible tension d'alimentation. Vérifiez vous-même en établissant le rapport entre tension d'entrée et tension de sortie.

Les condensateurs C1 et C2 sont indispensables pour bloquer les composantes continues et les empêcher de passer dans les circuits en amont ou en aval de l'amplificateur.

Celui-ci ne traite que des tensions alternatives et leur impose un déphasage de 180° ; le signal de sortie est en opposition de phase avec le signal d'entrée, c'est-à-dire qu'ils sont inversés l'un par rapport à l'autre.

Pour ce qui concerne le montage des quelques composants de l'amplificateur passe-partout sur un petit morceau de platine d'expérimentation, tout commentaire est superflu.

84777

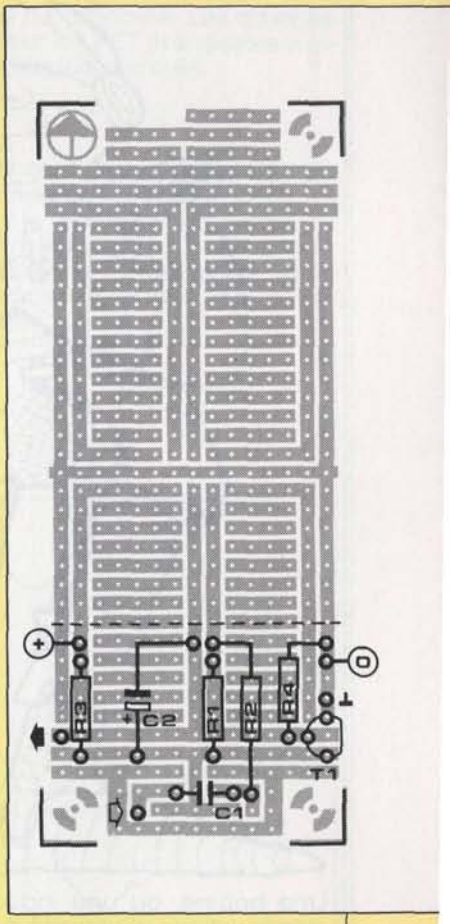
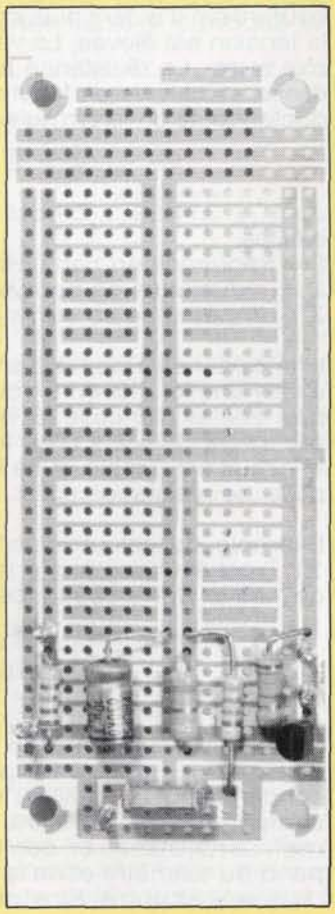


Figure 2 - Alimenté par une pile de 9 V, le circuit de l'amplificateur monté sur une chute de platine d'expérimentation pourra amplifier notamment des signaux BF d'amplitude trop faible pour une entrée ligne.



A \ R2	calcul R2 = R1/A	mesure A = U_s/U_e
1	470 kΩ	420 kΩ
5	94 kΩ	79 kΩ
10	47 kΩ	36 kΩ
20	23 kΩ	17,3 kΩ
50	9,4 kΩ	4,5 kΩ
80	5,8 kΩ	470 Ω

Tableau - La valeur de R2 déterminée par le calcul n'est relativement fiable que dans le domaine des facteurs d'amplification jusqu'à 20. Au-delà, il est préférable de procéder par approximations successives en faisant des relevés de mesure. La colonne du milieu donne la valeur calculée pour un facteur d'amplification donné, celle de droite la valeur réelle nécessaire pour obtenir ce facteur.

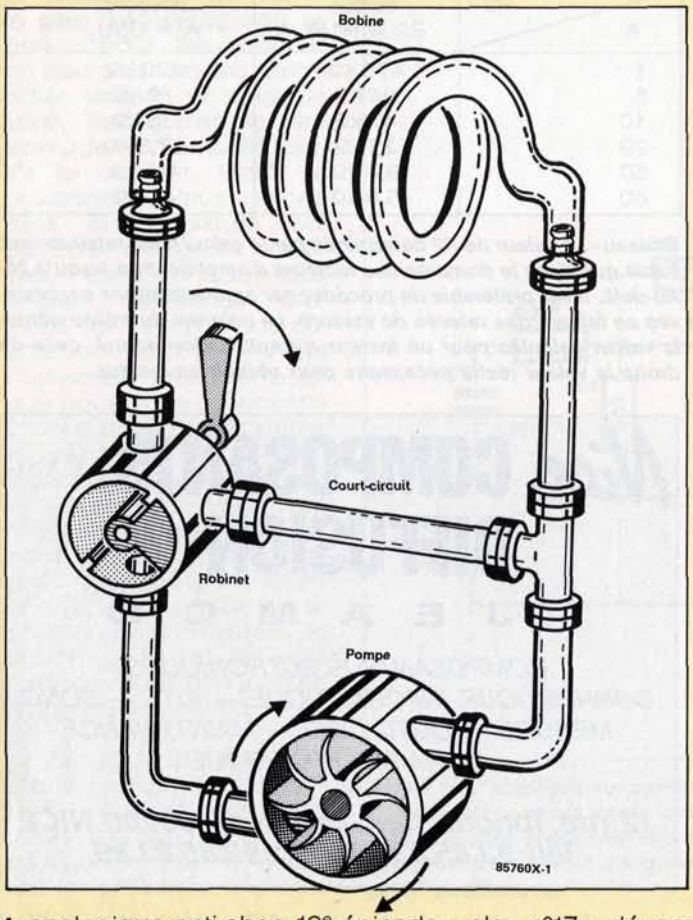
Nice COMPOSANTS DIFFUSION
JEAMCO
COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES
CONNECTIQUE INFORMATIQUE — KITS — SONO
MESURE — OUTILLAGE — MAINTENANCE
LIBRAIRIE TECHNIQUE
12 rue Tonduti de L'Escarène 06000 NICE
Tél: 93.85.83.78 Fax: 93.85.83.89

ANALOGIQUE ANTI-CHOC

Thom-sonne

Douzième épisode

Une bobine, ou une inductance en général, s'oppose aux variations d'intensité du courant qui la traverse. C'est vrai quand on applique une tension à ses bornes, qu'on ferme le circuit : l'intensité n'atteint que progressivement sa valeur maximale. C'est vrai aussi lorsqu'on ouvre le circuit : l'intensité ne décroît que progressivement jusqu'à zéro. La bobine est un composant conservateur. C'était la conclusion de l'épisode précédent, avec l'illustration mécanique du volant et l'illustration hydraulique ci-dessous.



L'eau continue de circuler dans le tube alors même que le robinet fermé ne permet plus à la pompe d'exercer une pression (tension). La masse d'eau oppose son inertie aux variations d'intensité du courant.

Inductances et courant alternatif

Un composant qui s'oppose aux variations d'intensité va avoir fort à faire avec un courant alternatif, dont la caractéristique est précisément de varier constamment. La résistance que l'inductance oppose au passage du courant est d'autant plus importante que la fréquence de la tension est élevée. La valeur de l'inductance joue un rôle aussi. La résistance au courant alternatif, ou **impédance**, se calcule en fonction de la fréquence et de l'inductance selon la formule ci-dessous :

$$Z = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

où π = 3,14159...., ce qui n'a pas changé depuis des siècles
f = fréquence en hertz (Hz)
L = inductance en henrys (H)
Z = impédance en ohms (Ω)

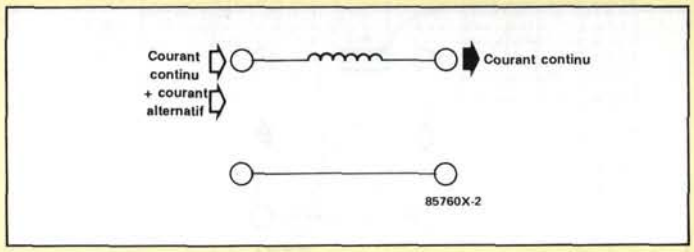
L'impédance s'exprime en ohms ! De là à supposer qu'il existe une loi d'Ohm en courant alternatif, il n'y a qu'un pas. Elle existe, cette loi d'Ohm en courant alternatif et elle s'écrit : $U = Z \cdot I$, C'est tout simple, au moins tant que le circuit est simple et ne comporte qu'une inductance pure, de résistance nulle.

Exemple de calcul : une bobine de 1 mH (millihenry, 10^{-3}) est soumise à une tension alternative de fréquence 1 MHz. Son impédance est de :

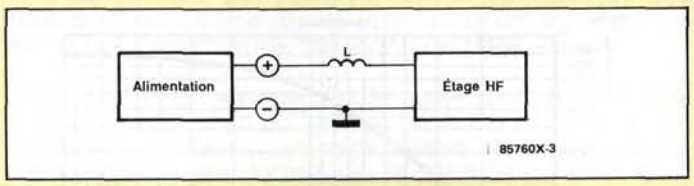
$$Z = 2 \cdot \pi \cdot 1000000 \text{ Hz} \cdot 0{,}001 \text{ H}$$
$$Z = 6{,}28 \cdot 1000$$
$$Z = 6280\ \Omega$$

Nous retrouvons, comme pour le condensateur, le produit $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, qu'on appelle **pulsation**. Comme pour le condensateur, il convient de faire la différence entre le comportement en continu et le comportement en alternatif. La résistance en continu d'une bobine de 1 mH dépend du diamètre et de la longueur du fil, elle peut être de quelques ohms. Ainsi notre bobine arrêtera le courant

alternatif par son impédance importante, mais laissera passer le courant continu par sa résistance minime.

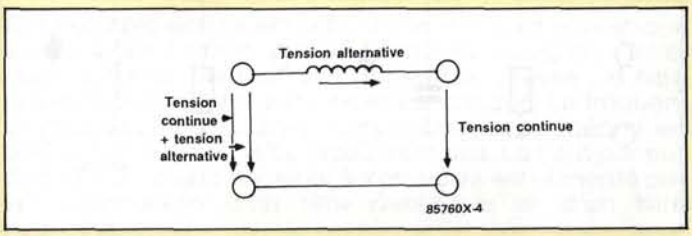


Les bobines sont utilisées pour l'alimentation en continu d'étages amplificateurs à haute fréquence. On les appelle des **bobines de choc**. Elles conduisent le courant continu nécessaire au fonctionnement, grâce à leur faible résistance, mais arrêtent le courant alternatif, grâce à leur forte impédance. Elles empêchent ainsi les signaux à haute fréquence d'aller perturber les autres étages et l'alimentation elle-même.

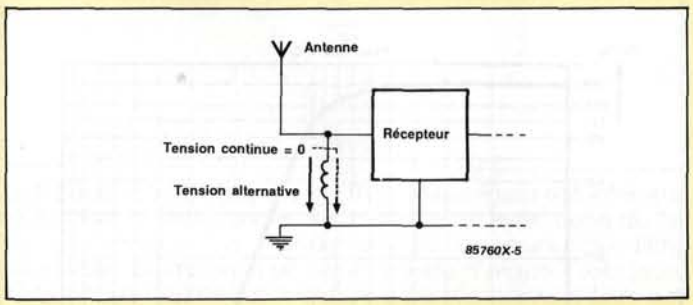


Comme l'impédance varie en fonction de la fréquence, des perturbations à basse fréquence seront moins atténuées que des perturbations à haute fréquence. Dans le cas des ronflements à 100 Hz induits par le secteur, la meilleure solution reste le condensateur électrochimique, moins volumineux et moins cher que les bobines qui seraient nécessaires.

La figure 2 comporte une inexactitude : comme aucun courant alternatif ne sort de la bobine, aucun courant alternatif ne peut y entrer. Il faut parler de tension alternative superposée à une tension continue. Selon la loi d'Ohm, une tension quelconque appliquée à une impédance infinie n'y crée aucun courant. Une tension alternative appliquée à une impédance importante y provoque un courant d'intensité minime. Une tension continue appliquée à une résistance faible y provoque un courant important.



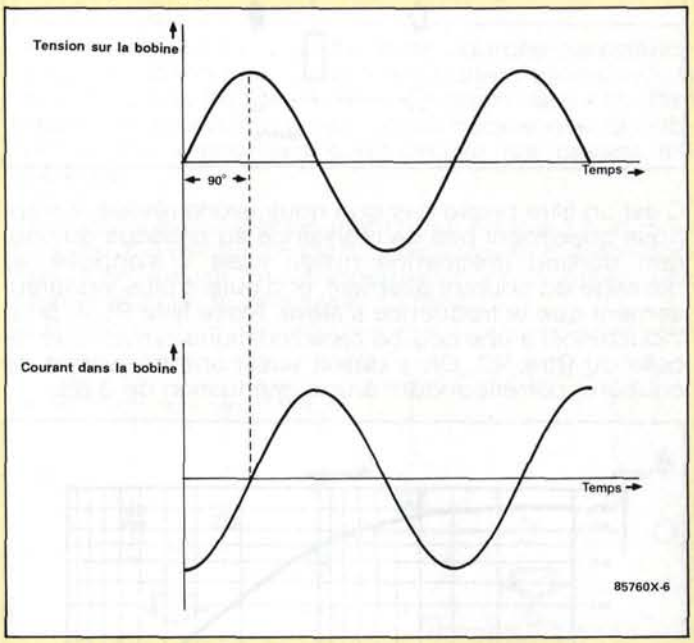
L'inductance n'oppose pas de résistance à la tension continue, qui se retrouve inchangée (ou presque) en sortie. Au contraire, l'impédance provoque une chute importante de la tension alternative, qui a disparu (ou presque) en sortie. Ce principe est exploité entre autres à l'entrée d'un récepteur de radio.



La tension alternative captée par l'antenne est présente aux bornes de la bobine, donc à l'entrée du récepteur. La bobine n'influe pas sur la tension alternative utile. Les tensions continues, au contraire, sont court-circuitées à la terre par la faible résistance de la bobine. Les charges statiques sont ainsi sans effet sur les FET (transistors à effet de champ) sensibles des étages d'entrée.

Inductance et capacité

Ces deux grandeurs caractérisent des composants au comportement particulier en alternatif. Tous les deux introduisent un **déphasage** entre la tension et le courant. Si on applique une tension alternative à une bobine, non seulement l'intensité est limitée par l'inductance, mais le courant produit est décalé dans le temps d'un quart de période par rapport à la tension.



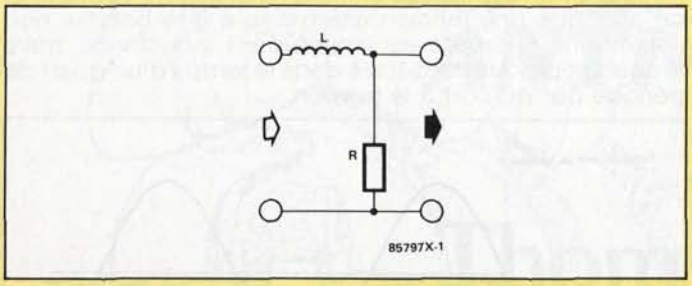
Le déphasage est noté ici par sa valeur angulaire, 90°, ce qui correspond à un quart des 360° de la période entière.La tension peut augmenter brutalement, mais pas l'intensité. Un quart de période plus tard, l'intensité établie ne peut pas s'annuler brutalement, elle décroît lentement, avec un retard par rapport à la tension. La tension provoquée par la circulation du courant se trouve de polarité opposée à celle de la tension appliquée, c'est ce qui produit la chute de la tension alternative aux bornes de l'inductance.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques comparées des inductances et des condensateurs.

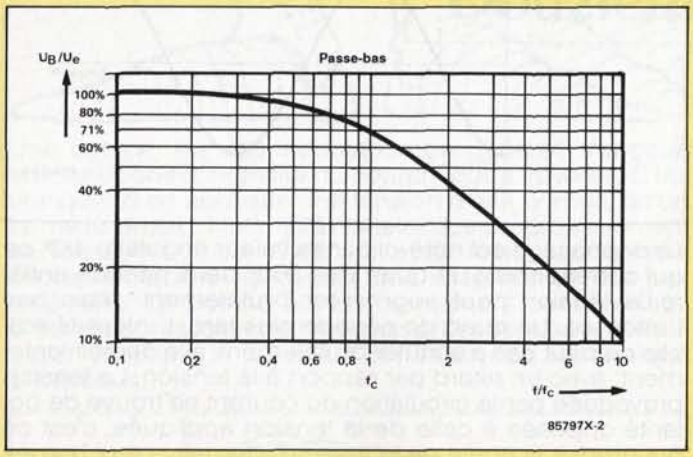
CONDENSATEUR	BOBINE
à la mise sous tension, c'est	
l'intensité qui augmente	la tension qui augmente
l'état « chargé » se maintient par	
un circuit ouvert	un court-circuit
des variations rapides de l'intensité sont	
possibles	impossibles
des variations rapides de la tension sont	
impossibles	possibles
l'impédance est	
faible	forte
avec la fréquence, l'impédance	
décroît	croît
le courant continu est	
bloqué	conduit
l'impédance se calcule par la formule	
$Z = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$	$Z = 2 \cdot \pi \cdot L$
le déphasage entre tension et courant est de	
90°	90°
par rapport à la tension, le courant est	
en avance	en retard

Ce tableau nous permettra de comprendre le fonctionnement des circuits qui comportent des inductances et des condensateurs.

Alors que l'impédance d'un condensateur diminue quand la fréquence augmente, celle d'une bobine augmente. Remplaçons, dans un filtre RC passe-haut, le condensateur par une inductance :



C'est un filtre passe-bas que nous avons réalisé. Il n'oppose quasiment pas de résistance au passage du courant continu (fréquence nulle), mais il s'oppose au passage du courant alternatif, et d'autant plus vigoureusement que la fréquence s'élève. Notre filtre RL (L pour inductance) a une courbe caractéristique symétrique de celle du filtre RC. On y définit aussi une fréquence de coupure, correspondant à une atténuation de 3 dB.



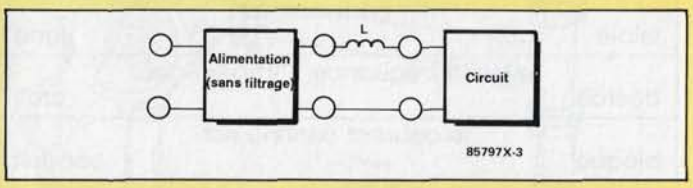
Le calcul de la fréquence de coupure f_c est possible grâce à la formule suivante :

$$f_c = \frac{R}{2 \cdot \pi \cdot L}$$

La fréquence est exprimée en hertz pour une résistance en ohms et une inductance en henrys. Une bobine de 1 henry et une résistance de 220 Ω forment un filtre RL dont la fréquence de coupure est :

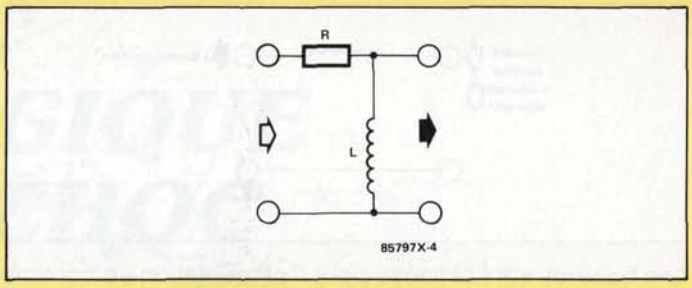
$$f_c = \frac{220}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 1} = 35{,}03 \text{ Hz}$$

Ce filtre convient pour supprimer les ronflements du secteur, à 50 Hz et 100 Hz.

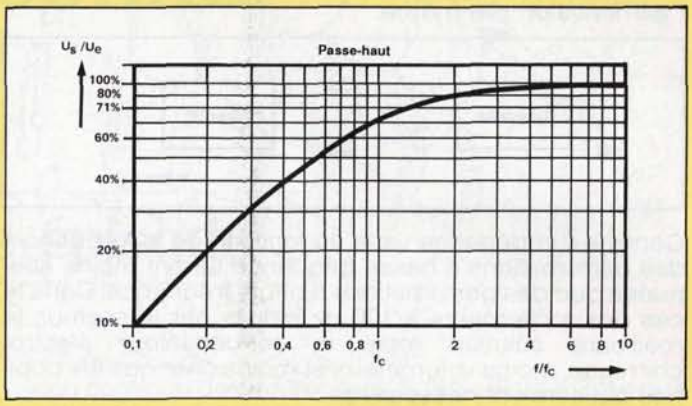


Il faudrait que le circuit utilisateur consomme autant de courant que la résistance de 220 Ω, ou que la résistance de 220 Ω soit montée en permanence, ce qui représenterait un gaspillage d'énergie. Comme d'autre part une bobine de 1 henry serait de taille imposante, ce système de filtrage n'est utilisé que rarement. On préfère construire des alimentations qui travaillent à fréquence élevée et autorisent l'emploi de bobines de taille raisonnable.

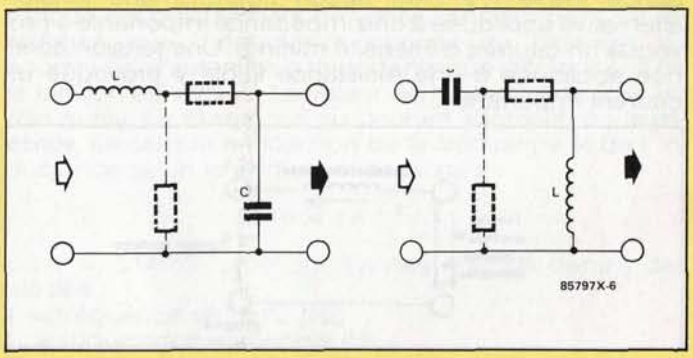
Il suffit d'intervertir la bobine et la résistance du filtre passe-bas pour obtenir un filtre RL passe-haut.



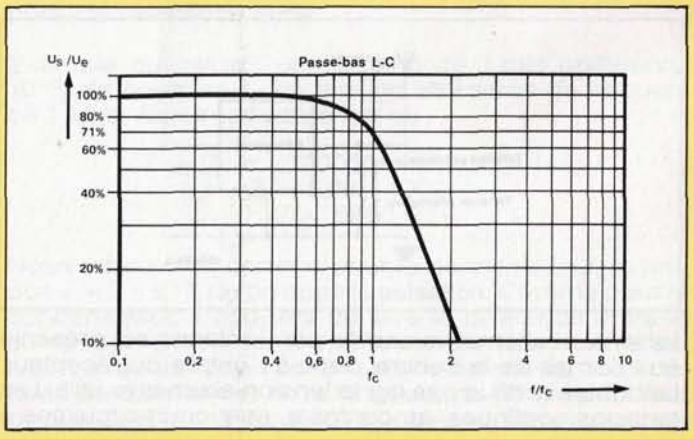
Le filtre RC correspondant avait une caractéristique passe-bas. Ici la bobine représente un court-circuit pour les fréquences basses et le continu alors qu'elle présente une impédance importante aux fréquences les plus hautes.

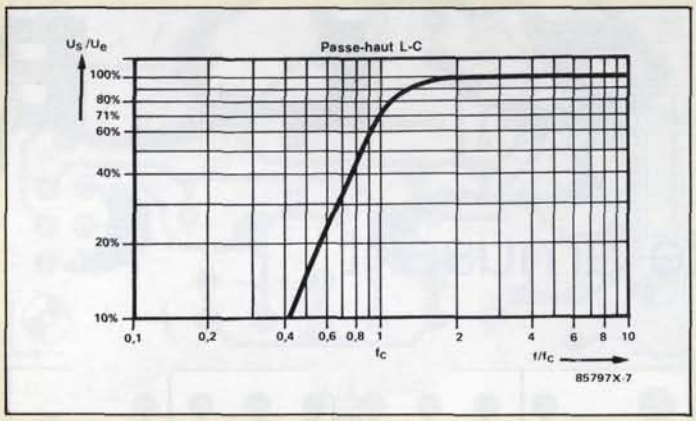


La fréquence de coupure se calcule avec la même formule que celle du filtre passe-bas. Les courbes, tout comme celles des filtres RC, montrent une pente plutôt douce après la fréquence de coupure. L'association d'une bobine et d'un condensateur à la place de la résistance permet d'obtenir une coupure plus franche.



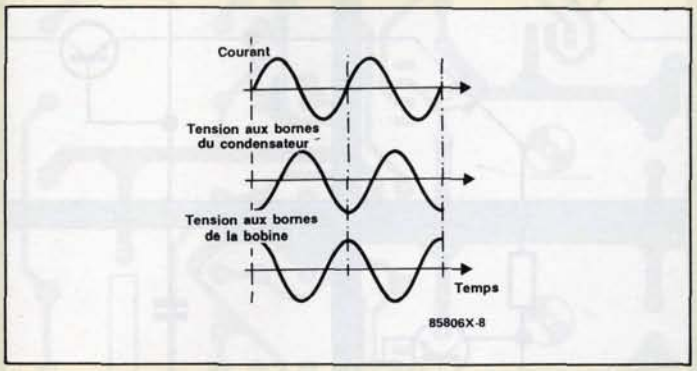
À gauche un filtre LC passe-bas, à droite un filtre LC passe-haut. Les résistances représentées en pointillé figurent les deux filtres RL ou RC que remplace chaque filtre LC. Les courbes caractéristiques présentent comme prévu une coupure plus franche, une pente plus accentuée.



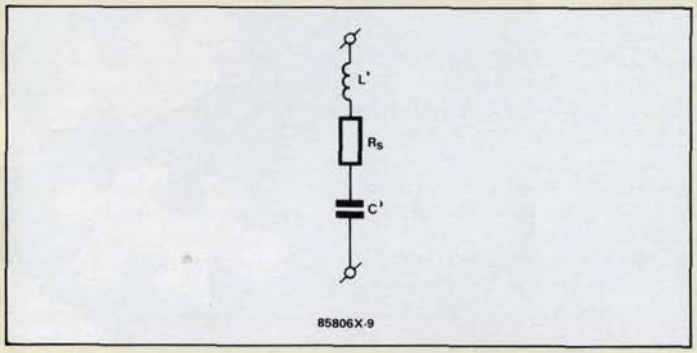


Les pentes sont maintenant de 12 dB/octave. Cela signifie que la tension de sortie est divisée par quatre pour chaque doublement de la fréquence, pour le filtre passe-bas ; pour chaque division par 2 de la fréquence pour le filtre passe-haut. Les filtres RL ou RC n'accusaient que 6 dB/octave, soit une division par deux de la tension de sortie pour les mêmes variations de fréquence.

Ces réseaux LC sont utilisés couramment pour aiguiller les signaux BF vers les différents haut-parleurs des enceintes acoustiques. Les caractéristiques physiques, dimensions, masse, forme, de la membrane d'un haut parleur font qu'il est incapable de restituer correctement tout le spectre audible. Cette tâche est donc répartie entre deux, trois, voire quatre haut-parleurs spécialisés chacun dans une bande de fréquence.

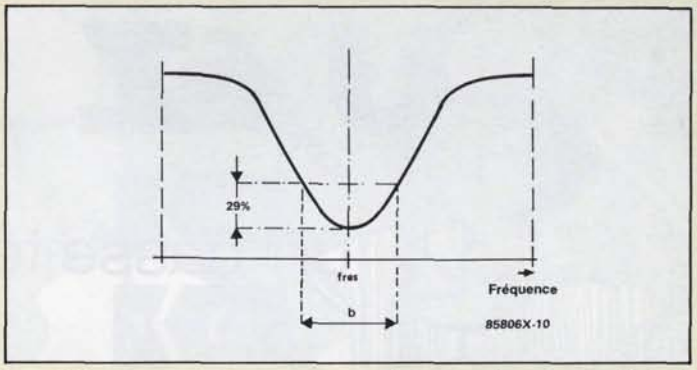


Cet exemple simple est celui d'une enceinte acoustique à deux voies. Le filtre passe-bas amène les signaux à fréquence basse vers le haut parleur de graves ; le filtre passe-haut alimente le haut-parleur d'aigus. La fréquence de coupure des filtres est la même, et en théorie les plages transmises ne se recouvrent pas. Le haut-parleur de médium d'une enceinte à trois voies est alimenté par la combinaison d'un filtre passe-bas et d'un filtre passe-haut.



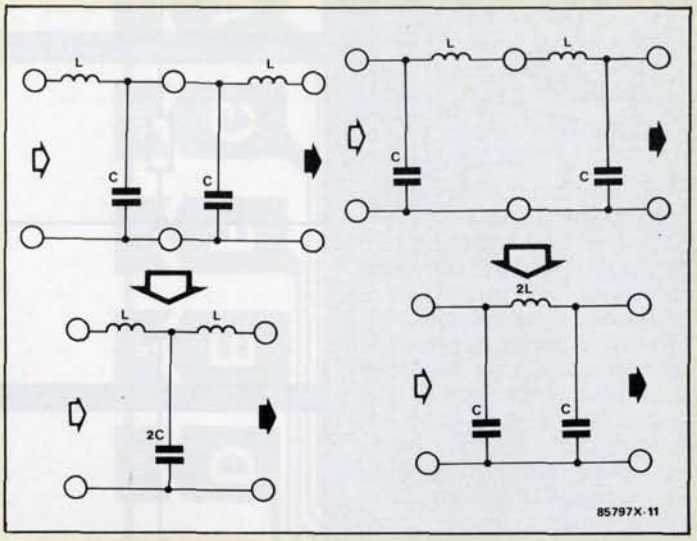
La fréquence de coupure du filtre passe-haut est inférieure à celle du filtre passe-bas et coïncide avec celle du filtre de graves. La fréquence de coupure du filtre passe-bas coïncide avec celle du filtre d'aigus. Ces deux fréquences délimitent la bande à transmettre. Le filtre est dit filtre passe-bande.

Les positions relatives de l'inductance et du condensateur peuvent être interverties.

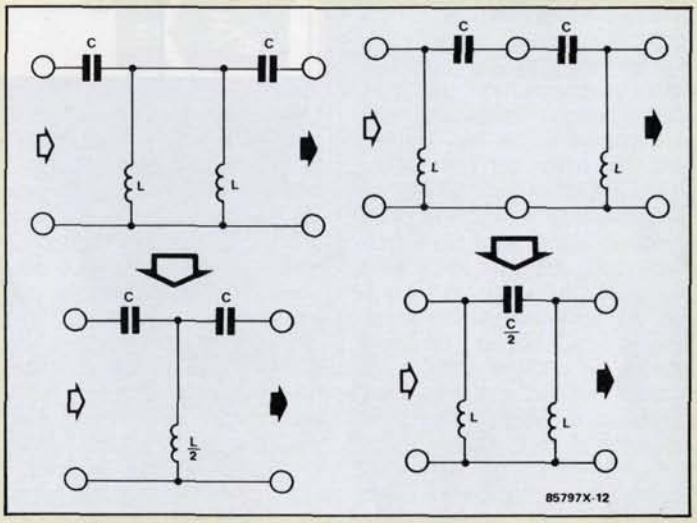


Les fréquences de coupure et les courbes caractéristiques sont identiques, mais le filtre charge fortement la source dans la bande rejetée : le condensateur du filtre passe-bas court-circuite les hautes fréquences, la bobine du filtre passe-haut court-circuite les basses fréquences.

La juxtaposition de filtres identiques équivaut à la mise en série d'impédances identiques à une fréquence donnée. Il en résulte une augmentation de la pente, une amélioration de la sélectivité du filtre.



Les composants homologues sont remplacés par un seul, de capacité ou d'inductance double. Les filtres obtenus sont appelés filtres en T ou filtres en π (pi). Ils peuvent être des passe-haut aussi bien que des passe-bas.



Leur fréquence de coupure se calcule selon la formule de Thomson :

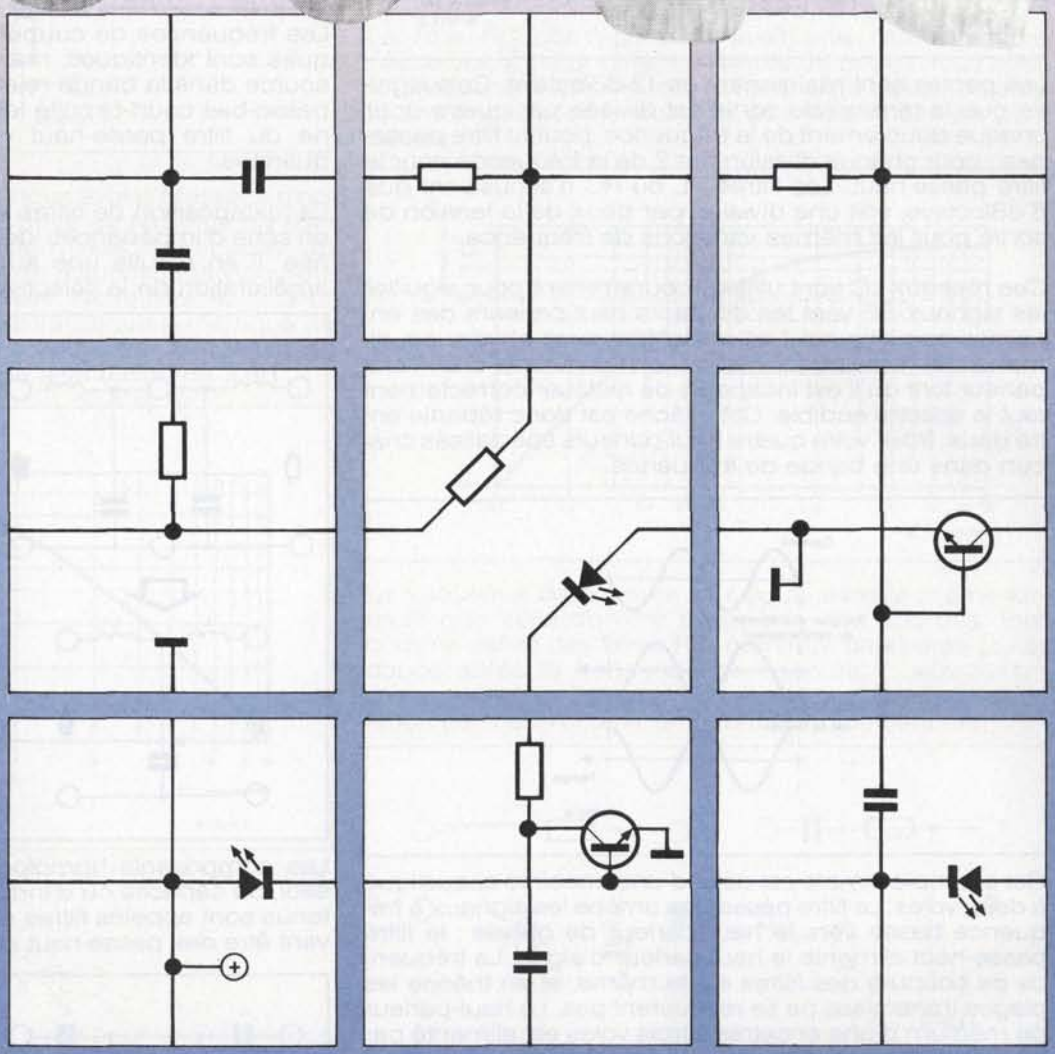
$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Ces filtres en T et en π sont utilisés surtout dans le domaine des hautes fréquences.

85760 85797

PUZZLE

un casse-tête amusant



Voici un bien curieux schéma, n'est-ce-pas ?
Comme le dit le titre de cette page, il s'agit d'un puzzle que vous vous proposons de résoudre... pour rien, pour le plaisir !
Sur chacun des 9 carrés différents, disposés ici dans le désordre, sont représentés un ou deux symboles de composants familiers (résistances, condensateurs, diodes, transistors), reliés par des lignes qui se croisent avec ou sans contact.

Sur quatre de ces carrés il y a aussi une indication de polarité de la tension. A vous de trouver maintenant la disposition des carrés dans laquelle les composants et les lignes qui les relient formeront un circuit cohérent. Mais attention, pas n'importe quel circuit ! Il ne faut pas, par exemple, court-circuiter la ligne d'alimentation positive et la ligne reliée à la masse. Comme chaque carré à quatre côtés, et pour corser un peu les choses, il nous a fallu rajouter des composants qui finalement ne servent pas dans le montage final, mais n'en contrarient pas le fonctionnement.

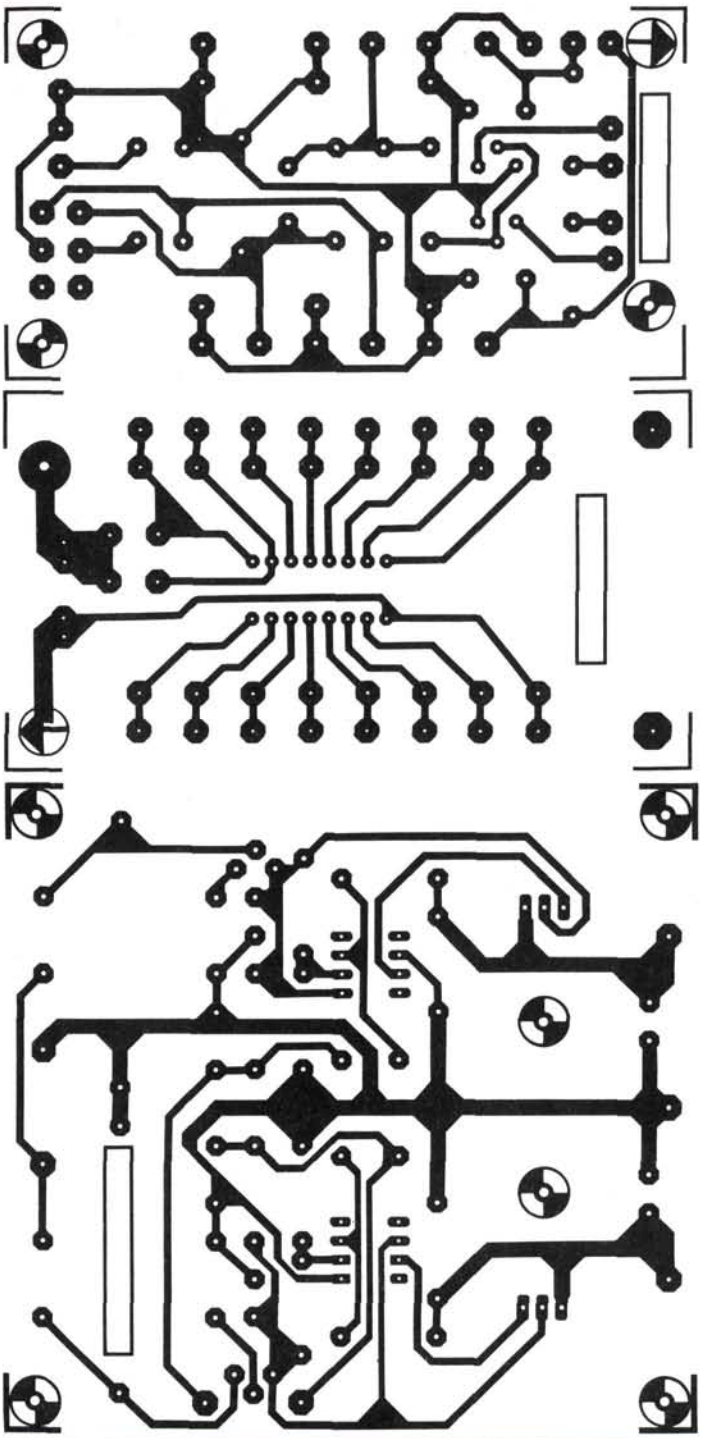
Le circuit que vous devez chercher à reconstituer est un classique des montages fondamentaux présentés et utilisés dans ELEX, mais vous ne le reconnaîtrez pas à sa disposition habituelle laquelle n'a pas été retenue ici parce que trop facile à identifier et se prêtant mal à un découpage de puzzle... voilà qui devrait vous mettre la puce à l'oreille.

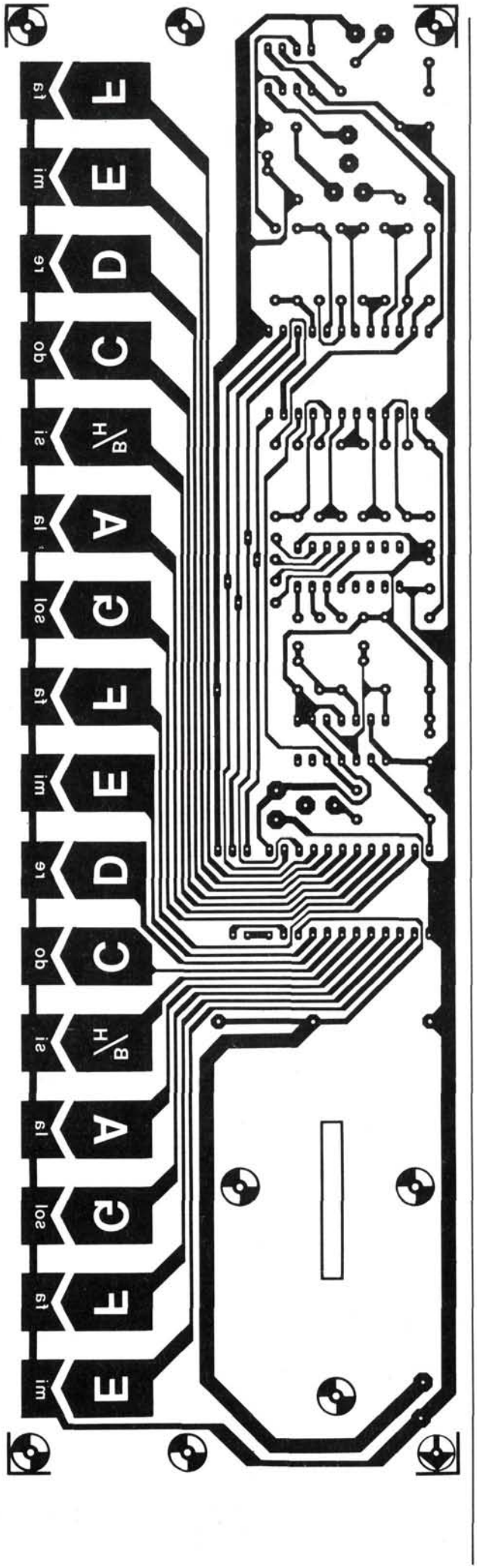
Il nous est facile d'imaginer que même si vous êtes tenté de cherché à résoudre ce puzzle, vous n'avez toutefois aucune envie de découper la présente page de votre exemplaire d'ELEX. Et comme il est vraisemblable que vous n'avez pas de photocopieuse sous la main, prenez donc une feuille de papier vierge et décalquez rapidement mais soigneusement les 9 cases en éclairant cette page par transparence, puis découpez-les.
Prenez votre temps, c'est beaucoup plus difficile que ce que vous imaginez.

Question subsidiaire pour passer le temps (elle ne sert vraiment à rien puisqu'il n'y a rien à gagner) : combien y a-t-il de dispositions possibles pour ces 9 carrés ?
4 x 9 x 3 ou 3 x 16 x 9, ou peut-être 4 x 16 x 6 x 3, ou peut-être même plus...?

La réponse à ces questions dans le prochain numéro.

84826





elextrace

Pour graver vous-même des platines à partir des dessins de cette page, il vous faut un produit spécial pour rendre le papier diaphane (par exemple l'aérosol Transpage de Jelt), une photocopie parfaite de cette page ou éventuellement la page elle-même, une lampe à insoler, un support cuivré photosensibilisé, un bain de révélateur (solution de soude caustique) et enfin le bain de gravure au perchlorure.

Enduisez abondamment la face photosensible de la plaque de produit pour rendre diaphane le papier ; appliquez la feuille de papier sur la plaque, la face encrée tournée vers le cuivre, et pressez pour obtenir une adhérence uniforme ; insolez en tenant compte des temps d'exposition que vous aurez établis au préalable par approximations successives à l'aide d'échantillons.

Récupérez éventuellement le papier (il peut resservir) puis rincez la platine à grande eau avant de la tremper successivement dans le révélateur (solution de 9 g de soude caustique par litre d'eau) et dans le perchlorure (500 g de $FeCl_3$ par litre d'eau). Vérifiez à l'ohmmètre piste par piste les circuits imprimés gravés de cette manière, afin de détecter à coup sûr d'éventuelles micro-coupures.

« Ah tiens, il a beaucoup neigé cette nuit ! »
Si cette page est restée partiellement vierge, c'est pour permettre la reproduction par transparence des dessins de circuits imprimés imprimés au recto.

ELEX Le Seau BP 53 - 59 270 BAILLEUL
tél: 20 48 68 04 télécopie: 20 48 69 64
télex: 132 167 MINITEL: 3615 code ELEX
8h30 à 12h30 et de 13h15 à 16h15
Banque : Crédit Lyonnais -
Armentières n° 6631-61840Z
CCP PARIS 190200V
libellé à "ELEX"

2e année n°17 décembre 1989

ABONNEMENTS : voir encart avant-dernière page
PUBLICITE : Brigitte Henneron et Nathalie Defrance
ADMINISTRATION : Jeanine Debuyser et Marie-Noëlle Grare
DIRECTEUR DELEGUE DE LA PUBLICATION : Robert Safie

ont participé à la réalisation de ce numéro:
Jean-Paul Brodier · Yvon Doffagne · Denis Meyer · Guy Raedersdorf · NN ·

Société éditrice : Editions Casteilla
SA au capital de 50 000 000 F
siège social : 25, rue Monge 75005 PARIS
RC-PARIS B : 562 115 493 SIRET : 00057 APE : 5112
principal associé: Sté KLUWER
Directeur général et directeur de la publication: Marinus Visser

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans la présente publication faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et d'autre part, les analyses et courtes citations *justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'oeuvre dans laquelle elles sont incorporées* (Loi du 11 mars 1957 - art. 40 et 41 et Code pénal art. 245).

Dépôt légal : décembre 1989
N° ISSN : 0990-736X
N° : CPPAP : 70184
© ELEKTOR/CASTEILLA 1989

Maquette, composition et photogravure par GBS - BEEK (NL)
imprimé aux Pays-Bas par NDB - Leiden

Tous droits réservés pour tous pays

Selectronic

NOUVEAUX KITS ELEX!

TEL. 20.52.98.52 - 86 rue de Cambrai BP 513 - 59022 Lille Cedex
LE LEADER DE L'ELECTRONIQUE PAR CORRESPONDANCE
Vous propose en kit les réalisations parues dans ELEX!

	REFERENCE DU KIT	PRIX DU KIT	PLATINE ELEX A PREVOIR
ELEX n° 13			
Barrière lumineuse	101.9124	**70,00 F**	1
LESLIE électronique	101.9125	**65,00 F**	1
Coq électronique (avec coffret HEILAND et photopile SOLEMS)	101.9127	**135,00 F**	
PHOTOPHONE (avec LED I.R. et pile 9 V)	101.9128	**130,00 F**	1
Anti-moustiques (avec coffret HEILAND)	101.9129	**65,00 F**	1
ALARME anti-vol complète	101.9130	**122,00 F**	1
Testeur d'ampoules et fusibles (avec pile)	101.9131	**54,00 F**	1
ELEX n° 14			
OHMMÈTRE amélioré	101.9132	**85,00 F**	2
Mélangeur stéréo (avec coffret et pile)	101.9133	**224,00 F**	2
TACHYMÈTRE pour vélo (avec galva)	101.9134	**220,00 F**	1
Milli-voltmètre audio (avec galva)	101.9135	**180,00 F**	1
ELEX n° 15			
Injecteur de Signal (avec pile)	101.9171	**56,50 F**	1
ATLANTIS (Avec pile - sans casque)	101.9172	**153,00 F**	2
Détecteur de métaux (Avec galva spécial - Pile et fil 3/10)	101.9173	**285,00 F**	2
GÉNÉRATEUR SINUS (Avec alim. secteur et face avant autocollante)	101.9174	**310,00 F**	3
ELEX n° 16			
ALIMENTATION SYMÉTRIQUE (avec circuit imprimé spécial)	101.9176	**220,00 F**	
"ESPRIT FRAPPEUR" (avec pile)	101.9177	**79,00 F**	1
Détecteur de lumière (avec pile)	101.9178	**89,00 F**	1
Interrupteur crépusculaire	101.9179	**82,00 F**	1
Indicateur de dépassement de température	101.9184	**72,00 F**	1
Thermostat d'aquarium	101.9185	**83,00 F**	1
ELEX n° 17			
Testeur D'AMPLI-OP	101.9235	**N.C.**	
MÉGAPHONE (Avec micro et HP)	101.9237	**35,00 F**	1
Silencieux BF	101.9238	**45,00 F**	1
"PILE ou FACE" (avec coffret HEILAND)	101.9239	**54,00 F**	1
MINI-ORGUE (avec HP et EPS)	101.9240	**250.00 F**	

(Conditions générales de vente: Voir notre publicité page 3)

PUBLICITE

BON DE COMMANDE — PUBLITRONIC

Livres et circuits imprimés

Veuillez consulter la liste des titres disponibles ELEX dans les publicités en pages intérieures de la revue.

Livres	prix	quant.	total
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....
platines expérimentales ELEX			
1 - 40 × 100 mm	23 F	.....	.....
2 - 80 × 100 mm	38 F	.....	.....
3 - 160 × 100 mm	60 F	.....	.....
platine DIGILEX	88 F	.....	.....
Autre référence: nous consulter		.....	.....
.....		.....	.....
.....		.....	.....
*Forfait port et emballage: 25 F par commande d'un ou plusieurs livres ou de livre(s) + platine(s). Pour les commandes de 1 à 5 platines seules, comptez 5 F par pièce, (soit le forfait de 25 F à partir de 5 platines).		25 F*	
total net à payer:		.....	.....

Veuillez compléter soigneusement le verso de cette carte

PUBLICITE

Selectronic

BP 513 59022 LILLE Tél. : 20.52.98.52

OSCILLOSCOPE CI 94 TORG

COMPLEMENT INDISPENSABLE :
pour rendre votre oscillo bicourbe :
kit d'extension 2 traces
(alimentation 2 x 9 v)
le kit complet (sans boîtier)
101.8774 135,00 F

Un véritable oscilloscope 10 MHz à un tout petit prix !

Caractéristiques techniques :

- 10 MHz/1 voie
- Base de temps déclenchée ou relaxée
- Ampli vertical : 9 calibres 10 mV/div. à 5 V/ div.
- Base de temps : 18 calibres 0,1 us/div. à 50 ms/div.
- Ecran : 40 x 60 mm (8 x 10 divisions)
- Dimensions : 19 x 10 x 30 cm
- Poids : 3,4 kg
- Livré avec 1 sonde 1/1 et 1/10
- Garantie : 1 an

L'oscilloscope CI-94 101.8760 **1350 F**

1350 F FRANCO DE PORT

LIVRE AVEC 1 SONDE (1/1 ET 1/10)

POUR BIEN UTILISER VOTRE OSCILLOSCOPE :
2 ouvrages leur sont consacrés :
— PRATIQUE DES OSCILLOSCOPE : 368 pages d'explications, de manipulations et d'applications par REGHINOT et BECKER (Ed. RADIO).
Pratique des oscilloscopes 101.8094 **175,00 F**
— LES OSCILLOSCOPES : structure, fonctionnement et utilisation pratique par R. RATEAU (ETSF)
Les oscilloscopes 101.8080 **160,00 F**
— Pour commander, utilisez notre bon de commande au dos — Conditions générales de vente : voir notre publicité en annexe.

PUBLICITÉ

ABONNEMENT: L'année compte 11 parutions (chaque mois sauf août).

Le paiement de votre abonnement reçu avant le 10, vous permettra d'être servi le même mois.

Les abonnements sont payables à la commande. Pour les administrations et établissements scolaires, veuillez nous adresser un bon de commande administratif.

France (métropolitaine)	étranger (et O.M.)	Suisse *	par avion	Belgique en FB
190 FF	270 FF	85 FS	370 FF	1460 FB

* Pour la Suisse, veuillez adresser à URS-MEYER — CH2052 FONTAINEMELON

ANCIENS NUMÉROS: Les envois d'anciens numéros sont groupés une fois par mois (en milieu de mois).

Tarif: 25 FF pour le premier ou seul exemplaire puis 20 FF pour chacun des numéros suivants. Attention! le numéro 4* est épuisé, vous recevrez un tiré à part - noir et blanc de la partie rédactionelle: 20 F

Indiquez les n°s voulus _____

Si vous souhaitez plus d'un exemplaire par numéro indiquez-le ici _____

* Si vous avez obtenu des photocopies d'articles du n° 4 par l'intermédiaire de notre COPIE-SERVICE, nous vous proposons un exemplaire du tiré à part contre 3,70 F en timbres-poste.
Veuillez nous indiquer la date de votre commande précédente de COPIE-SERVICE ici _____

CASSETTE DE RANGEMENT: 46 F + 25 F forfait port/emballage (surface)

— Complétez au verso — SVP —

COMMANDEZ AUSSI PAR MINITEL
3615 + ELEX