électronique n° 16

elex

explorez l'électronique

ALIMENTATION SYMÉTRIQUE VARIABLE de 5 V à 18 V

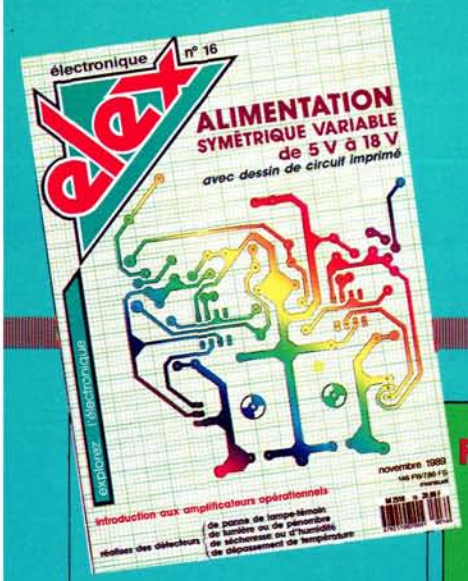
avec dessin de circuit imprimé

introduction aux amplificateurs opérationnels

réalisez des détecteurs
- de panne de lampe-témoin
- de lumière ou de pénombre
- de sécheresse ou d'humidité
- de dépassement de température

novembre 1989
146 FB/7,80 FS
mensuel

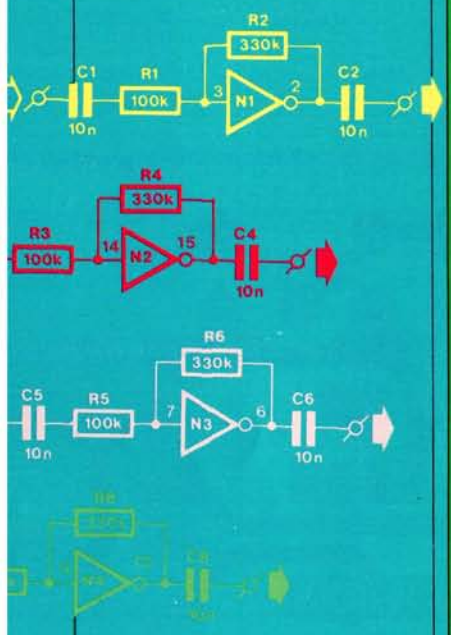
M 2510 - 16 - 20,00 F
3792510020001 00160



elex

E · L · E · X
BP 53
59270 BAILLEUL

SOMMAIRE ELEX N°16



R · U · B · R · I · Q · U · E · S

6 · elexprime

RÉSI&TRANSI :
ça va mieux ta jaunisse?

I · N · I · T · I · A · T · I · O · N

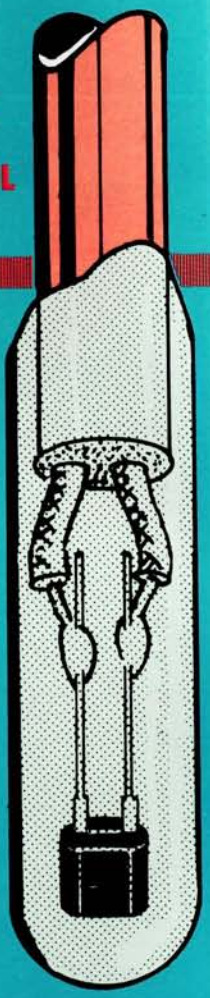
14 · ABC des amplificateurs opérationnels
37 · analogique anti-choc 11ème épisode
42 · Joseph Henry n'était pas charpentier
58 · la logique sans hic II

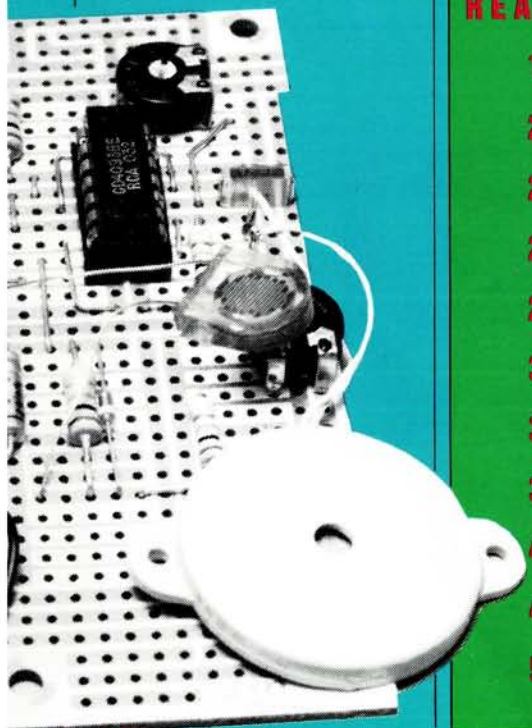
RÉSISTANCES DE TOUTES SORTES

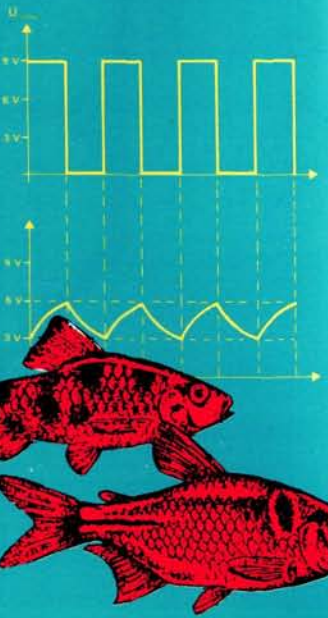
9 · résistances spéciales
12 · ampèremètre électro-mécanique
34 · scie à polystyrène

RÉALISATIONS DE TOUTES SORTES

18 · alimentation symétrique
22 · testeur de piles
24 · régulateur universel pour l'auto
26 · lampe-témoin de lampe-témoin
27 · indicateur de surchauffe
30 · détecteur de lunière
32 · fantôme électronique
35 · thermomètre pour la pêche à la ligne
44 · indicateur d'humidité
47 · interrupteur crépusculaire
54 · thermostat d'aquarium







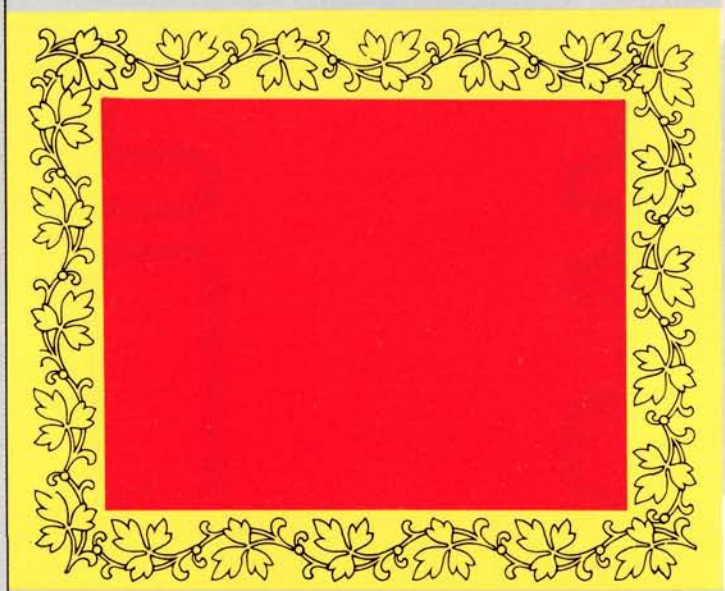
éditorial

Ce numéro voit la fin de la série *la logique sans hic*. Ce dernier article finit d'ailleurs en... analogique, admirez ! Voilà qui confirme la phrase du philosophe : « tout est dans tout, et réciproquement » (Pierre Dac). La série *analogique anti-choc* va continuer au-delà de ce onzième épisode, alors qu'il y en avait dix de prévus ; d'où une certaine grogne dans la caserne, mais le mirnistre a déjà réuni une table ronde et des propositions concrètes... gnagna... blabla.

Une autre série commence, à la demande générale : ABC des AOp (prononcez abécédézaopé) où AOp est l'abréviation courante pour *amplificateur opérationnel*. Comme l'expérimentation reste notre méthode favorite (j'allais dire notre religion, mais c'eût été malvenu en ces temps où le béret, qui s'était habitué tant bien que mal à la chéchia, part en guerre contre la foulard), nous vous proposons une alimentation symétrique pour les montages à amplificateurs opérationnels en général et pour le testeur universel d'amplificateurs opérationnels – que nous décrirons le mois prochain – en particulier. Il se peut que certaines notions soient utilisées dans l'une ou l'autre de ces descriptions avant d'avoir été exposées dans ABC des AOp ; ne vous laissez pas arrêter par ces détails et patientez jusqu'au numéro suivant.

Ces deux montages, l'alimentation et le testeur, sont proposés avec des dessins de circuit imprimé, ce qui répond à une autre demande générale. Lançons à tout hasard une idée en l'air et courons nous mettre à l'abri avant qu'elle retombe : des clubs, ou des classes, ou d'autres groupes d'amateurs pourraient proposer pour les montages d'*elex* des dessins de circuit imprimé, qui seraient publiés dans l'un des numéros suivants, selon les possibilités.

Avant d'attaquer la technique, nous vous offrons un petit détour par les arts, et la peinture en particulier : Monsieur Alphonse A., du Havre, ne verra aucun inconvénient à ce que nous publiions la reproduction d'une de ses magnifiques aquarelles :



La cueillette de la tomate par des cardinaux apoplectiques au bord de la Mer Rouge

Nous publierons à cette même place celles des oeuvres de nos lecteurs que nous en jugerons dignes. Tout à fait arbitrairement.

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	38,50 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.

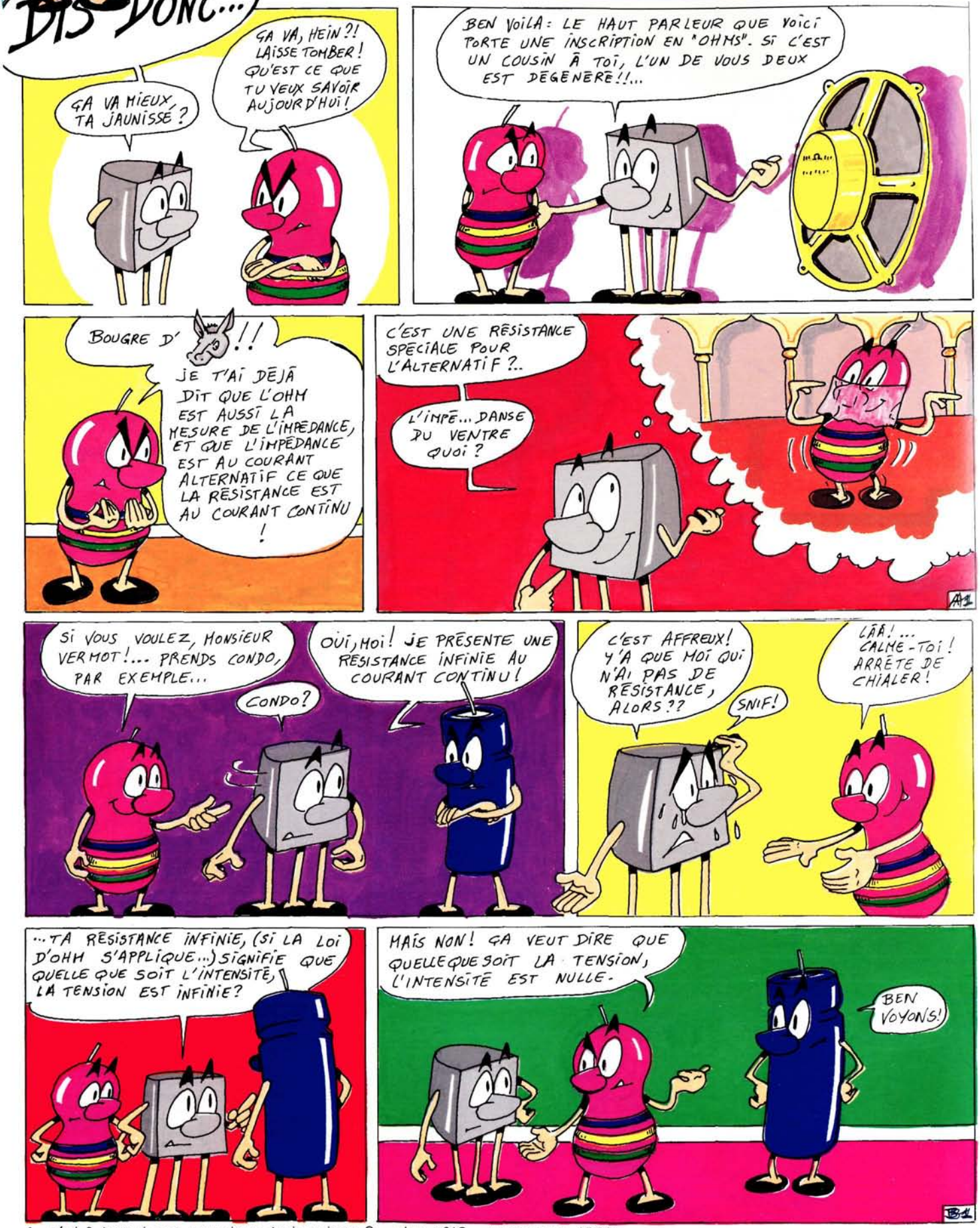
- Règlement en contre-remboursement : joindre environ 20 % d'acompte à la commande. Frais en sus selon taxes en vigueur.

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

Les prix indiqués sont TTC.

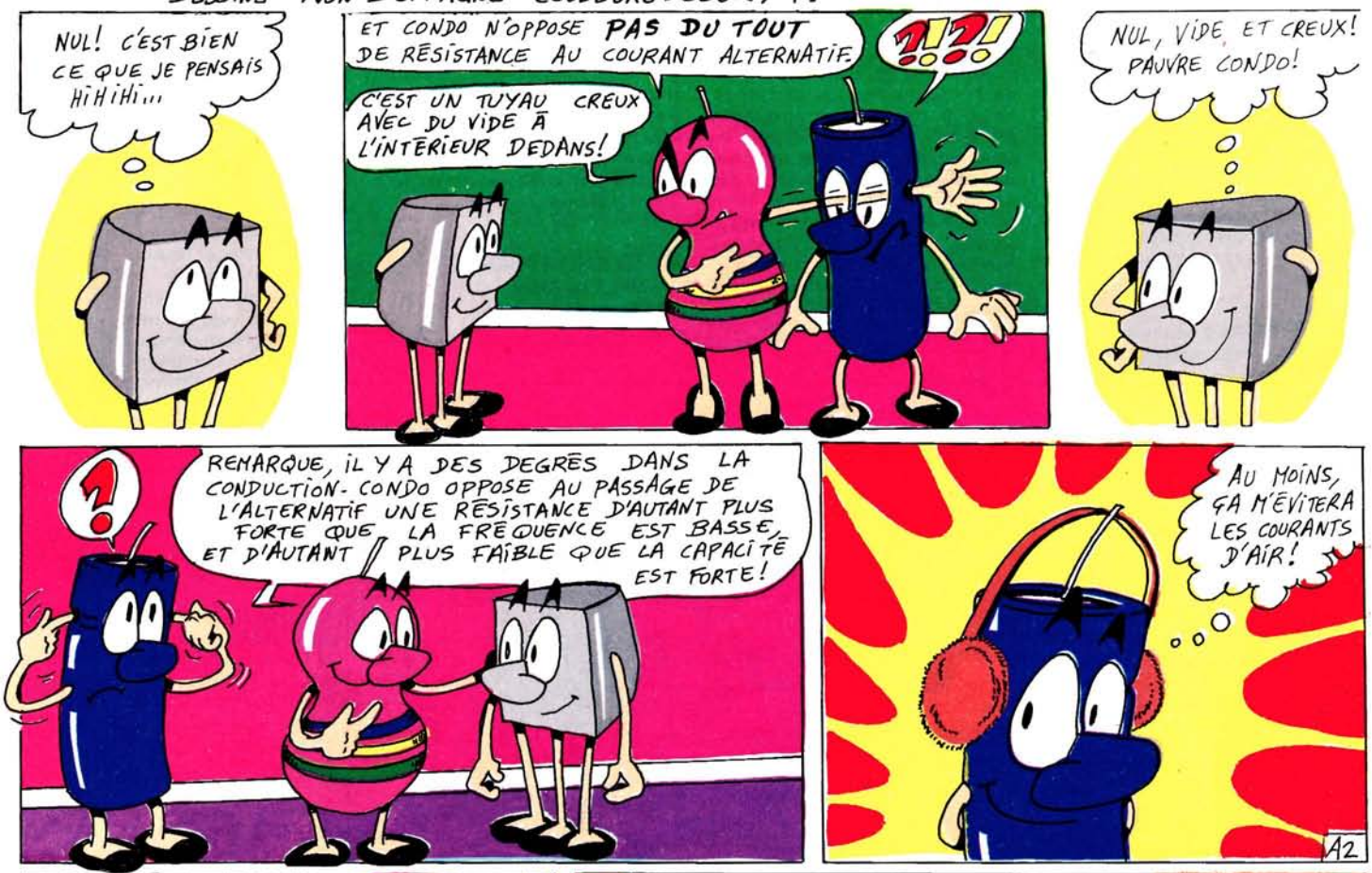
Pour faciliter le traitement de vos commandes, veuillez mentionner la REFERENCE COMPLETE des articles commandés

LES BIDOUILLES DE DIS DONC...



RESI & TRANSI®

DESSINS : YVON DOFFAGNE – COULEURS : COOKY F.



elexpression

Ce sacré Eugène trouve que la couleur du logo ELEX change souvent et nous demande « c'est quoi la couleur normal au juste ? ». Pense au caméléon, Eugène : le caméléon prend la couleur de la surface sur laquelle il est posé. Le logo ELEX prend la couleur des montages du mois. Pour connaître la couleur normale du caméléon, il suffit de le poser sur un autre caméléon. Il faut donc deux logos elex. Voilà tout.

A part les 12 lettres (il faut les compter) reçues d'Eugène ce mois-ci (sacré Eugène, merci), nous avons aussi reçu quelques lettres...

Les maux des mots...

A propos de votre éditorial du mois dernier et de cette réforme de l'orthographe, j'ai discuté le coup, à chaud, avec une amie professeur (et écrivain) qui se plaignait du fait qu'en français, tant de noms, notamment de métier, n'ont pas d'équivalent féminin. [...] Après l'avoir dûment tabassée, je lui ai proposé de ne pas confiner le débat aux gens de plume –l'ange est définitivement masculin– mais de l'élargir au genre des **bourreaux**, des **censeurs**, des **charlatans** et de toutes les sortes de **chefs**, de **despotes**, de **fats**, d'**imposteurs**, de **monstres**, d'**oppresseurs**, de **parjures** et de **tyrans**. Toutes des mâles ! Tous des salopes ! Une réforme s'impose ; les **voyous** par exemple, on en fera des voyelles [...]

Marthe IRSEY-POURIRE
1, petite Cité Dillot
02 VENGEANCE

Mon coup de chapeau : un très gros, à l'ensemble de votre revue (montages simples et utiles).

Mon coup de savate : Il n'y en aurait pas si vous ajoutiez sur vos schémas les tensions en divers points de chaque montage. Pourquoi ce coup de savate ? [...] Il y a la récupération et je peux vous dire que je ne suis pas le seul à en avoir partout et de toutes espèces (ma femme peut en témoigner). Si vos schémas avaient des tensions ''autour des CI et des transistors'', cela nous permettrait de savoir si notre ''récupe'' est bonne.
Pour terminer, je vous demanderais de continuer à nous fournir des petits montages et autres gadgets car je ne suis pas de l'avis du ''lecteur impatient'' en μ dans le n°14, il y a d'autres revues spécialisées en la matière. Il faut trop de schémas pour la micro, donc trop d'explications et de pages, il n'y aurait plus de place pour les petits montages.
J'ai réalisé le ''cheval de cirque'' du n°13 mais agrémenté d'une bascule (à transistors) pour les pattes. Et uniquement avec de la RÉCUPE.
À quand le RATON-LAVEUR ? et bravo pour le testeur d'ampoules.[...]

Gérard MASSON
58170 LUZY

Bravo pour votre cheval ***à bascule****. Il suffisait d'y penser. Espérons que nous n'avons pas trop de lecteurs abonnés aussi à Cheval-Magazine : dans ce milieu-là, les membres du cheval s'appellent les* ***jambes****. Messieurs les cavaliers, n'écrivez pas, acceptez nos excuses au nom de M. Masson.*

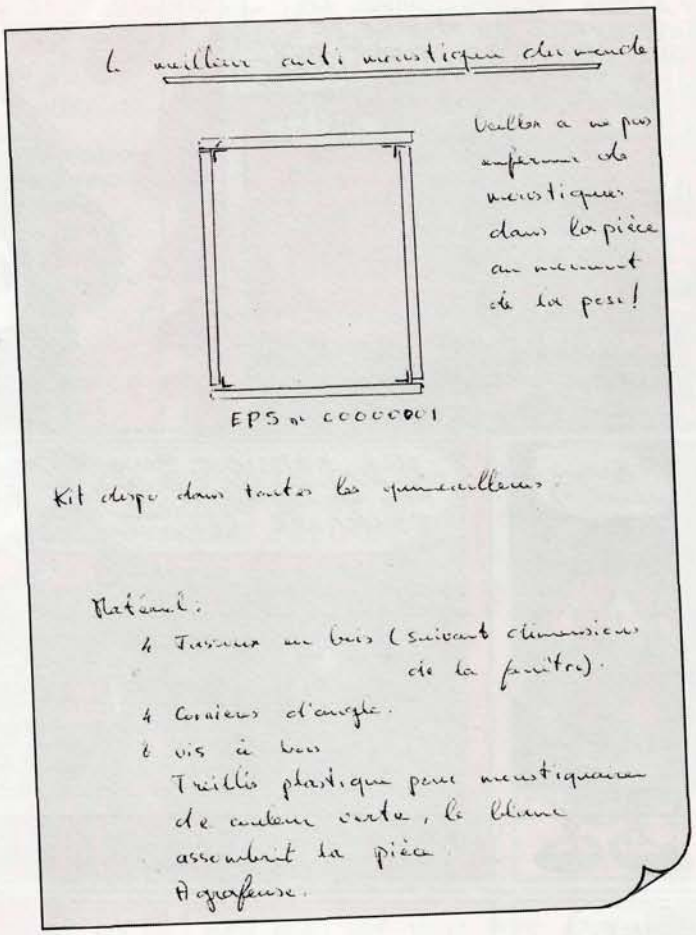
Il y a un raton-laveur dans le bazar de Rêsi, avec les petites annonces ; il ne vous plait pas ?

Votre façon de tester la « récupe » n'est pas des plus prudentes. Un composant défectueux peut en « tuer » d'autres dans le montage. Testez plutôt vos composants lors du démontage. Pour les transistors : le test du doigt mouillé, et une mesure émetteur-collecteur dans les deux sens à l'ohmmètre ; pour les circuits logiques : vérifier en fonction de la table de vérité, par exemple sur la platine digilex (ou un support) ; pour les amplificateurs opérationnels : patientez jusqu'au prochain numéro, qui vous présentera un testeur universel.

Ayant depuis maintenant dix années construit ou modifié des montages à l'aide de revues d'un niveau plus élevé (?) qu'ELEX, j'ai parcouru le premier numéro d'un air supérieur et plutôt par curiosité.
Erreur, car lorsqu'on apprend l'électronique en autodidacte, c'est mon cas, on a forcément des lacunes qu'on a pu surmonter à l'aide d'un circuit imprimé tout cuit ou/et un article bien pondu.
Ces lacunes sont toujours situées dans les bases simples de l'électronique, au point que j'en étais arrivé à connaître le brochage et les fonctions d'un 6502 sans avoir totalement assimilé celles d'alimentations symétriques, de diviseurs de tension, pour n'en citer que quelques-unes. En lisant ELEX (je n'ai encore réalisé aucun montage) je trouve le chaînon manquant. Bravo.
Elex n'aime pas les amplis op alimentés en symétrique, mais vous auriez pu profiter de l'article sur les potentiels pour en parler, et surtout mentionner que Vs+ peut être −3 V et Vs− −25 V. Déroutant pour un débutant ?
Coups de savate : les couleurs dans le sommaire des n°3, 7, 8, 9 et 12 : illisible ! La pub sur le magnétisme (celui des charlatans). A quand Danièle Gilbert nue présentant un épilateur à hyperfréquences ?
Coup de chapeau : tout en général et peu de pub. Continuez.

PS : Vends lot de composants provenant du démontage de circuits anti-moustique (voir schéma ci-joint)

Pierre PONTHUS
75 PARIS

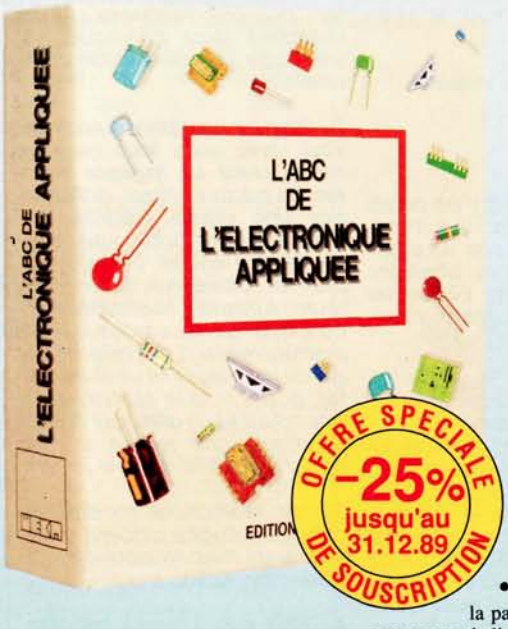


Vous avez non seulement l'intelligence de travailler en autodidacte, mais aussi celle de connaître les limites de cette méthode. C'est vrai que l'on peut parfaitement être à l'aise avec la mise en oeuvre d'un microprocesseur et ne rien piger aux amplificateurs haute-fidélité ou opérationnels. Et alors ? Ce déséquilibre est souvent le résultat d'une quête qui relève plus de la passion que de l'apprentissage scolaire. L'avantage de l'autodidactisme est le subjectif, feeling : on sent les ouvertures vers des versants encore inconnus de la discipline que l'on pratique. Il vient un point où le voile tombe, où l'on (re)découvre de l'intérieur les notions élémentaires.
Alim symétrique : voir le sommaire de ce numéro. Tout vient à point pour qui sait attendre. Quant aux histoires de tensions et de potentiels, il me semble que ça a déjà été dit brièvement dans ELEX. Encore un peu de patience, et on finira par tout dire, surtout si vous nous aidez.

NOUVEAU

APPRENDRE L'ÉLECTRONIQUE PAR PLAISIR ? DÉCOUVREZ...

L'ABC de l'Électronique Appliquée



■ **Pour apprendre facilement les notions vraiment fondamentales de l'électronique**

■ **Pour mettre immédiatement en pratique ce que vous apprenez**

■ **Pour découvrir des montages sélectionnés pour leur utilité et leur intérêt pédagogique**

VOTRE GARANTIE DE RÉUSSITE

Service d'assistance téléphonique personnalisé et gratuit

Réaliser des montages, c'est bien. Savoir *comment* ils fonctionnent, c'est mieux ! Ainsi, vous pourrez créer les vôtres à partir des connaissances acquises. 300 pages de notions fondamentales, triées par nos auteurs - avec notamment toutes les techniques d'utilisation optimale des instruments de mesure - pour passer directement à la pratique. Une exclusivité de *L'ABC de l'Électronique Appliquée*.

■ TROIS BONNES RAISONS POUR RÉUSSIR À COUP SÛR

- Vous voulez tout de suite souder ? Puisez dans la partie "montages". Pour chacun d'eux, des symboles vous donnent le degré de difficulté, le coût des composants, le temps que vous mettrez à le réaliser. Vous vous lancez à coup sûr.
- Vous avez soif d'apprendre ? Passez à la partie "cours", votre progression est soigneusement balisée.
- Vous souhaitez avant tout vous perfectionner ? Soudez tant que vous êtes en terrain connu, reportez-vous à la théorie dès que vous voulez approfondir vos connaissances. Grâce à un astucieux système de renvois, pratique et théorie se combinent instantanément.

■ SÉLECTIONNÉS POUR VOUS, DES MONTAGES PASSIONNANTS

Donnez de la "pêche" à votre auto-radio en construisant votre propre "booster" ! "Téléphonez" à votre chauffage pour être au chaud quand vous rentrerez chez vous ! *L'ABC de l'Électronique Appliquée* vous permet de réaliser immédiatement près de 30 montages, aussi passionnants qu'utiles pour votre maison, votre voiture, votre bureau... Vous découvrez pour chacun :

- le schéma de principe ***commenté*** pour en comprendre le fonctionnement exact
- le tracé du circuit imprimé
- le plan de câblage avec, ***en clair***, les valeurs de composants
- la marche à suivre ***détaillée*** jusqu'aux réglages et à la finition, ***photos à l'appui***
- un diagnostic des points à contrôler en cas de panne.

RÉALISEZ VOTRE CENTRALE DOMOTIQUE

Avec *L'ABC de l'Électronique Appliquée*, réalisez petit à petit un projet fascinant : chez vous, votre propre centrale domotique avec alarme antivol, protection incendie, surveillance à distance, télécommande de l'éclairage ou de votre magnétoscope (par téléphone !)... Vous réaliserez ce projet d'envergure facilement, grâce à notre service automatique de compléments/mises à jour. Une solution idéale pour être informé de toutes les nouveautés et vous constituer graduellement votre **encyclopédie évolutive** de l'électronique.

■ EXCLUSIF : UNE ASSISTANCE PERSONNALISÉE GRATUITE

Un problème ? Appelez à tout moment notre ***service d'assistance gratuit***. Vous serez immédiatement mis en relation avec l'auteur du montage et la communication sera à notre charge.

Comment hésiter ? Commandez tout de suite *L'ABC de l'Électronique Appliquée*. Il vous suffit de renvoyer le bon ci-dessous à : Éditions WEKA, 82, rue Curial, 75935 Paris cedex 19. Postez-le aujourd'hui même !

ENTHOUSIASMÉ OU REMBOURSÉ

Si, à réception de cet ouvrage, vous estimez qu'il ne correspond pas totalement à votre attente, vous aurez 15 jours pour le renvoyer aux Éditions WEKA. Vous serez alors immédiatement et intégralement remboursé. Cette offre d'essai est donc pour vous sans aucun risque.

Éditions WEKA - SARL au capital de 2 400 000 F
RC Paris B 316 224 617

BON DE COMMANDE

A retourner avec votre règlement sous enveloppe sans affranchir à : Éditions WEKA, Libre Réponse N°5, 75941 Paris cedex 19.

❒ OUI, envoyez-moi ***"L'ABC de l'Électronique Appliquée"***, (Réf. 31500),
un classeur de 300 pages grand format 21 x 29,7 cm, au prix spécial de **285 F TTC** (au lieu de 380 F) port et emballage compris. (Offre spéciale de souscription valable jusqu'au 31/12/89).

Pour vivre plus intensément ma passion de l'électronique, je recevrai tous les deux mois en principe un complément/mise à jour de 100 pages environ au prix de 1,50 F la page (service annulable sur simple demande). En commandant aujourd'hui, je bénéficie bien sûr de votre garantie "ENTHOUSIASMÉ OU REMBOURSÉ" (voir ci-contre).

❒ Envoi par avion : + 110 F.

Ci-joint : ❒ Chèque bancaire ❒ CCP de **285 F** à l'ordre des Éditions WEKA.

Nom : ..... Prénom : .....

N° et Rue : .....

Code Postal : ..... Ville : .....

Téléphone : .....

Date : ..... Signature :

EXL 954028

Ah ! que n'avez vous pas lancé votre revue Elex quelques années plus tôt ! Combien de fois ai-je cherché dans les rayons des Maisons de la Presse une revue plus simple, plus pédagogique que [...], [...] et autre [...] (quoique ce dernier ait fait quelques progrès ces derniers temps en matière d'initiation, mais ils ont encore des articles plus qu'ésotériques).

Faute de cette revue idéale, j'achetai quelques ouvrages dont quelques-uns fort bien faits, par exemple ceux de M. [...] (je ne parle pas de [...] de M. [...] dont je n'ai jamais réussi à faire fonctionner un seul). Mais l'ennui des livres, c'est qu'ils sont très vite dépassés par les progrès spectaculaires de l'électronique et on ne trouve plus les composants nécessaires à leurs montages. Ils vieillissent trop vite. Bref vous êtes arrivés et lorsque je suis tombé sur le premier numéro [vous ne vous êtes pas fait mal au moins ? NDLR] je fus inondé d'une joie profonde. J'avais enfin découvert la revue de mes rêves. J'avais l'impression que vous aviez édité cela spécialement pour moi !

Voilà pour le coup de chapeau. Des coups de savate, il n'y en aura pas car je suis trop heureux de vous avoir trouvé. Je vais simplement vous faire quelques suggestions d'articles. :

1 - À propos de l'interrupteur à claques de votre numéro 9. Il marche très bien, trop bien même car il marche souvent tout seul. Ne pourrait-on pas coder le signal par exemple avec 2 ou 3 claques consécutives pour qu'il ne se déclenche pas ou plutôt pour qu'il ne se déclenche pas au premier bruit parasite. Avec les bascules de la logique sans hic, cela devrait être possible non ? Je ne suis pas encore assez fort pour inventer le montage moi-même. J'aurais besoin de vos lumières. Tâchez de trouver quelque chose qui puisse s'adapter à l'appareil que vous avez proposé en mars. Merci d'y penser.

2 - Je lisais ce mois-ci [le 28 septembre, donc n°14. NDLR] votre article sur ce tachymètre de vélo. Est-ce qu'en simplifiant on ne pourrait pas faire un compte-tours simple, par exemple pour fabriquer des bobinages de récepteurs AM ou autres ? Je pense qu'avec des circuits intégrés logiques et un afficheur on devrait y arriver ? En tous cas je serais ravi que vous puissiez nous proposer prochainement un compte tours banal qui pourrait servir outre les bobinages à d'autres usages. Il suffit d'avoir l'appareil sous la main pour lui inventer d'autres fonctions.

3 - Tout à fait d'accord avec votre correspondant qui vous suggérait des réalisationns modulaires. Par exemple vous nous faites monter un appareil radio tout simple au départ et chaque mois vous proposez un module pour le perfectionner ou le compléter. Je pense que l'idée et intéressante.

4 - Une petite confidence. Surtout ne la publiez pas : je n'arrive pas à bien piger le fonctionnement d'un ampli op. J'ai pourtant vu des schémas où l'on expliquait la correspondance avec des transistors, dont certains en base commune... c'est pas limpide limpide...
Avec la clarté qui vous est coutumière, ne pouvez vous pas un de ces mois jeter un coup de projecteur dans cet imbroglio, et surtout avec des montages à réaliser pour bien saisir concrètement ce qui se passe.

Et bien voilà, si vous étiez à court d'idées (mais je ne le pense vraiment pas) vous avez là du pain sur la planche.
Félicitations pour votre revue continuez comme cela. N'hésitez pas à ''redonder'' même si cela agace quelques grincheux mais c'est comme cela que ça rentre l'électronique et tout le reste d'ailleurs.

Encore un coup de chapeau

F. QUINTON
14111 LOUVIGNY

Je ne crois pas qu'il y ait de revue idéale, mais nous sommes contents que la nôtre vous apporte ce que vous attendez. Comme vous avez classé les questions, je vais classer les réponses.

1 - À propos de l'interrupteur à claques. Le problème est vraisemblablement dû à une sensibilité excessive de votre capteur de son. Vous pouvez réduire celle du montage en donnant à la résistance de contre-réaction (voir ABC des AOp dans ce numéro) R3 une valeur inférieure. Il se peut aussi qu'un réfrigérateur ou un tube fluorescent émette des parasites sur le secteur. Doublez alors C6 par un condensateur à diélectrique plastique (MKT ou MKH) de 100 nF ou 220 nF.

Pour ce qui est du codage, ne faites pas le modeste : vous êtes capable de le mettre au point si vous avez suivi la ***Logique sans hic****. Quelques indications : le premier claquement devra déclencher un monostable d'une ou deux secondes. Pendant la durée du monostable, les impulsions feront avancer un compteur qui, arrivé à la valeur choisie par vous, actionnera la bascule RS de sortie. La fin de la phase active du monostable provoquera la remise à zéro du compteur. De cette façon, les impulsions parasites ne pourront pas être totalisées par le compteur pour provoquer un allumage ou une extinction indésirable.*

2 - Pour ce compteur universel, vous avez aussi tous les éléments dans ***La logique sans hic****. Un micro-contact, actionné par une came solidaire de l'axe de votre bobineuse, connecté à l'entrée horloge du premier compteur, les compteurs suivants connectés en cascade (sortie « retenue » du premier reliée à l'entrée horloge du deuxième et ainsi de suite), pour chaque compteur un décodeur et un afficheur à sept segments, une remise à zéro commune, et le tour est joué.*

3 - Les réalisations modulaires arrivent. Il s'agira d'abord d'appareils de mesure, peut-être de postes de radios ensuite.

4 - Vous allez devenir imbattable sur les « amplis op ». Ça commence aujourd'hui, sans transistor en base commune. Vous nous direz si vous trouvez ça limpide.

Et bien voilà, vous avez du pain sur la planche !

Novice en électronique mais enseignant de Sciences Physiques, c'est avec intérêt que je suis votre publication et particulièrement la rubrique ''logique''. À ce sujet, je vous propose un plan de montage permettant d'étudier les différentes fonctions avec un seul circuit, donc à moindres frais.

Je me permets de vous décerner par ailleurs deux coups de chapeau :
— L'un pour la ''vulgarisation'' du vocabulaire et pour le bon choix des représentations suivant les symboles dits américains. Rien ne sert en effet de pousser des cocoricos avec nos symboles européens que l'on ne retrouve nulle part (sauf dans nos manuels scolaires !) et que nos élèves, futurs utilisateurs, devront s'empresser d'oublier pour apprendre ceux figurant dans toutes les revues (même françaises !).

— L'autre pour la rubrique ''elexpérience''. L'une d'entre elles m'échappe quelque peu (le clou sauteur elexprime n°4) : autant que je sache, le fil bobiné se comporte comme un aimant dont les pôles dépendent du courant. Ainsi quand le clou touche la languette, autant il peut être rejeté qu'il peut être attiré. Dans ce cas, non seulement il ne saute pas, mais l'alimentation souffre ! (le clou garde inévitablement une certaine aimantation car il n'est pas en fer doux)

À ce sujet, je vous indique une bidouille personnelle pour le rangement des composants : les boîtes de diapositives possèdent trois cases et peuvent facilement être solidarisées, ainsi que leur couvercles, grâce à du solvant ou du trichloréthylène ce qui permet de se fabriquer des casiers de rangement à moindre prix.
Enfin, mon coup de savate (personne n'est parfait) surtout ne tombez pas dans le piège de l'informatique. Il y a suffisamment à faire en électronique sans aller chercher ailleurs ce que l'on a devant sa porte.

Bon courage pour la suite de votre publication et encore félicitations.

Michel ANDRÉ
Collège LA FOA
NOUVELLE CALÉDONIE

Le circuit d'essai que vous proposez permet d'expérimenter à moindres frais, mais sur un seul opérateur. Permettez-nous de préférer la platine digilex qui permet d'expérimenter un grand nombre de combinaisons de circuits logiques. Il vous faudra passer à des systèmes plus compliqués quand vos élèves auront bien compris les fonctions de base et, non-et, ou et non-ou.

Pour la question des symboles, nous n'avons rien à ajouter. Nous ne pouvons pas non plus demander au Ministre de l'Industrie de refaire les Normes Françaises. Quant à votre Ministre de l'Éducation Nationale, aux dernières nouvelles il était fort occupé par des questions de chapellerie...

Le clou sauteur conserve une certaine aimantation, vous avez raison, mais les intensités de deux ou trois ampères (dans la bidouille d'Yvon Doffagne) n'ont rien à voir avec les kiloampères nécessaires (et obtenus par la décharge de condensateurs) pour fabriquer les aimants de haut-parleurs ou autres. D'autre part, l'acier des clous est un acier ***doux*** *qui ne conserve que très peu d'aimantation. La meilleure façon de vous en convaincre est... de faire la bidouille ; utilisez une alimentation protégée contre les court-circuits (par exemple celle du n°5, page 16, avec le circuit L200, ou celle du n°9 page 10 avec le 723) et vous constaterez comme nous que ça marche sans que l'alimentation en souffre le moins du monde. En règle générale, nous commençons par expérimenter, puis, éventuellement, nous cherchons pourquoi ça ne marche pas. Faites comme nous !*

Le collage des matières plastiques au trichloréthylène est pratique, rapide et résistant. Bien. Mais il ne faut pas oublier de dire que tous ces solvants sont ***très toxiques****. C'est fait, merci pour le truc.*

Pour l'informatique, nous n'en abusons pas, comme vous pouvez le constater. Nous esquivons donc —adroitement— votre coup de savate. Hop !

896166

résistances spéciales

Quand on entend le mot résistance, on pense automatiquement aux petits boudins multicolores que l'on trouve partout. C'est le composant universel et bon marché par excellence.
La résistance est à la base de tout circuit électronique ; c'est grâce à elle que l'on fait circuler du courant entre deux points portés à des potentiels différents, c'est avec elle que l'on détermine l'intensité de ces courants, et c'est donc par elle que l'on fixe les valeurs de tension que l'on veut obtenir pour créer d'autres courants...

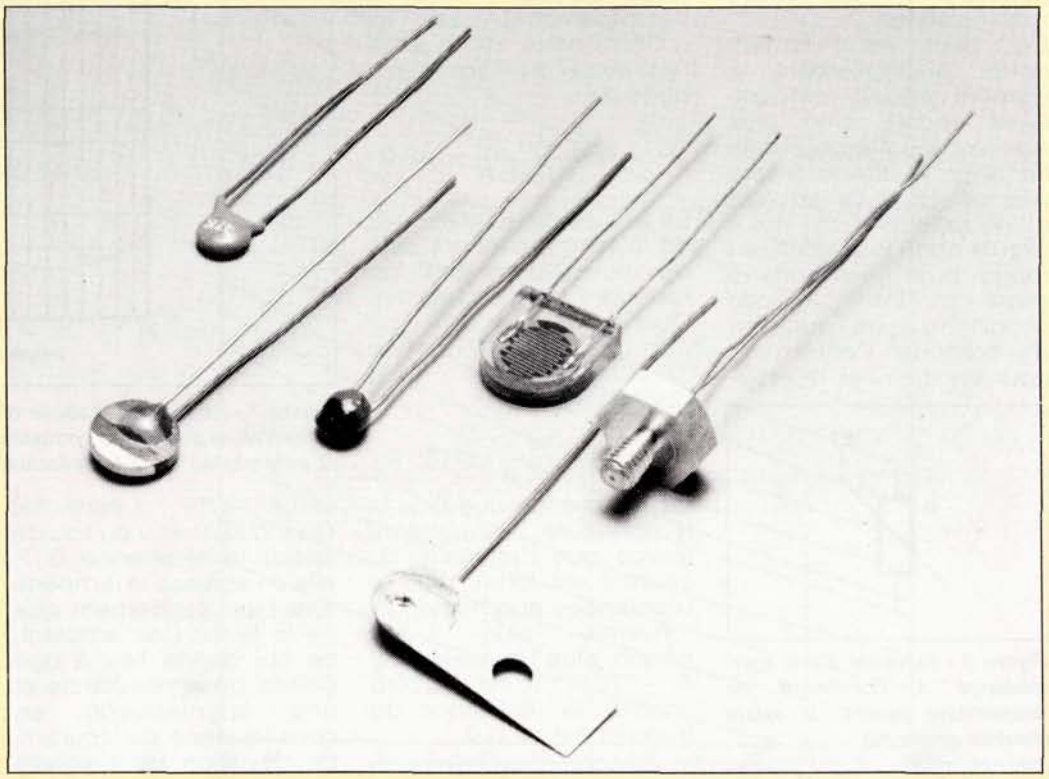


Figure 1 - Ces composants d'apparence différente ont en commun le fait que leur résistance varie en fonction d'un paramètre physique : pour les uns c'est le température (ce sont des thermistances), pour les autres c'est la lumière (ce sont des photorésistances que l'on reconnaît à leur enrobage translucide).

Ces composants familiers ont une réputation de robustesse justifiée. Une résistance ne casse que si on tape dessus avec un marteau. Le seul danger qu'elles courent est celui d'un échauffement excessif, et encore ! Quand une résistance chauffe anormalement, c'est qu'il y circule un courant de trop forte intensité, ce qui est moins dangereux pour la résistance elle-même que pour son environnement qui risque de fondre, voire de *prendre feu*.
En principe, les résistances ordinaires ne changent pas de valeur. Depuis le jour de leur naissance jusqu'au jour lointain de leur mise au rebut plus ou moins définitive, elles gardent la valeur tatouée en couleur sur leur corps bouliné. Il existe néanmoins d'autres sortes de résistances dont la raison d'être est au contraire de présenter une résistance qui varie selon des paramètres physiques comme la lumière, ce sont les photorésistances, la température, ce sont les thermistances, ou d'autres dont on parle moins comme les varistances, dont la résistance change selon la tension, ou encore les magnéto-résistances.

Les thermistances

Ces composants faits de matériaux semi-conducteurs se présentent le plus souvent sous la forme de disques, de perles ou de bâtonnets. Leur dissipation peut varier, selon les modèles, de quelques milliwatts à plusieurs watts. Une thermistance n'est pas polarisée : on peut la brancher sans tenir compte de la polarité de la tension. Elles peuvent donc être utilisées aussi bien en alternatif qu'en continu. Elles servent dans des circuits de mesure, de régulation, de surveillance ou de protection où la température ambiante ou celle de certains composants joue un rôle crucial (les transistors de sortie dans un amplificateur de puissance par exemple, ou le moteur d'une perceuse électrique).
On distingue les thermistances à **c**oefficient **t**hermique **p**ositif des thermistances à **c**oefficient **t**hermique **n**égatif. Ne vous laissez pas impressionner par les mots, c'est moins compliqué que la terminologie pourrait le laisser croire : quand le coefficient est positif, la progression de la résistance et celle de la température vont dans le même sens. Si la température augmente, la résistance augmente aussi, et inversement quand la température diminue, la résistance diminue aussi.
Le coefficient de température est la variation de la résistance par unité de résistance par degré d'augmentation de température.
L'exemple le plus familier d'une résistance à coefficient thermique positif est celui du filament d'une lampe à incandescence. Prenons une ampoule de lampe de poche, par exemple. Elle va nous permettre de vérifier ce coefficient par une petite manipulation. Il nous faut une lampe (3,5 V/0,2 A par exemple), un briquet (ou une bougie) et un ohmmètre en calibre 1 Ω. La résistance du filament est de l'ordre de 1,5 Ω. Chauffez l'ampoule en la plaçant dans la flamme du briquet ou de la bougie, tout en surveillant l'aiguille

Figure 2 - Pour vérifier le caractère positif du coefficient de température du filament d'une lampe électrique, il suffit de l'échauffer avec un briquet tout en mesurant la résistance du filament à l'ohmmètre. Quand le verre se ramollit, la pression atmosphérique écrase le bulbe.

de l'ohmmètre. Vous voyez comme elle avance ? Avec un peu de chance, vous arriverez jusqu'à 3 Ω à peu près ; le bulbe de verre se ramollit et s'affaisse. La photographie montre l'ampoule avec laquelle nous avons nous-même fait cette manipulation.

On peut naturellement porter artificiellement le filament à des températures encore bien plus élevées. Il suffit pour cela de relier la lampe à une pile de 4,5 V. Le courant d'une forte intensité qui y circule porte le filament au rouge puis le chauffe à blanc. Dans ces conditions, pas question d'y brancher l'ohmmètre pour en mesurer la résistance. C'est donc la loi d'Ohm qui va nous permettre de déterminer la valeur de résistance du filament. Si la pile fournit bel et bien 4,5 V (vérifiez au voltmètre svp !), le courant à travers l'ampoule aura une intensité de 0,25 A (vous pouvez vérifier à l'ampèremètre). La loi d'Ohm nous dit que la résistance du filament est donc de :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4{,}5\ V}{0{,}25\ A} = 18\ \Omega$$

En fait, les caractéristiques de la lampe auraient déjà dû nous permettre de répondre à cette question. Quand le fabricant de l'ampoule annonce 3,5 V/0,2 A, cela nous donne :

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3{,}5\ V}{0{,}2\ A} = 17{,}5\ \Omega$$

Ce qui montre que plus la température augmente (parce que l'intensité du courant est forte), plus la résistance augmente. À l'inverse, plus l'une baisse, plus l'autre la suit. À −273 °C (c'est le zéro absolu), la résistance du filament est de 0 Ω.

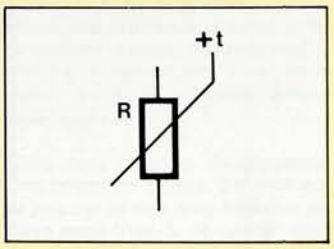


Figure 3 - Symbole d'une thermistance à coefficient de température positif. Il existe d'autres symboles.

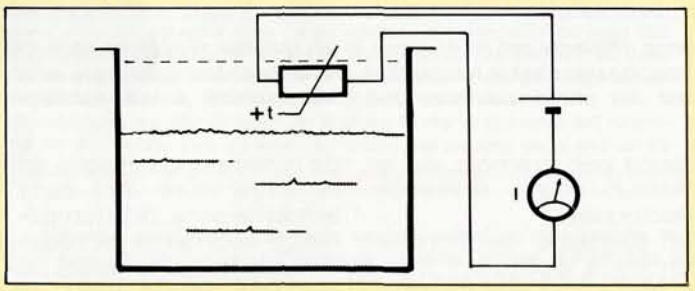


Figure 4 - Utilisation d'une thermistance à coefficient de température positif dans un détecteur de niveau : quand le niveau du liquide atteint la sonde, le refroidissement de la thermistance provoque une diminution de la résistance et une augmentation de l'intensité du courant.

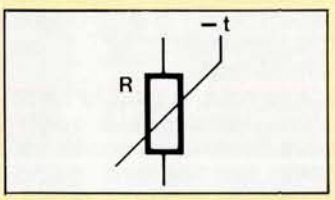


Figure 5 - Symbole d'une thermistance à coefficient de température négatif. Il existe d'autres symboles.

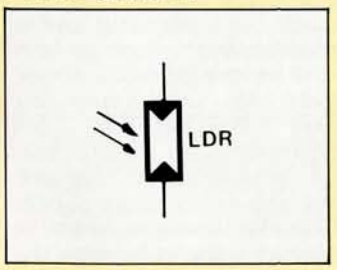


Figure 6 - Symbole courant de la photorésistance.

Les CTP sont des composants relativement rares en électronique. On les reconnaît dans les schémas à la forme particulière de leur symbole et à la présence de la mention "+ t" (par opposition à "− t").

Lors de la conception d'un circuit qui fait appel à une résistance CTP, il faut tenir compte du fait que le courant qui circule dans le composant en provoque l'échauffement et en modifie donc lui-même la résistance. Cet effet peut être mis à profit dans le circuit de surveillance, comme c'est le cas par exemple du détecteur de niveau de liquide de la **figure 4**. Le courant qui circule à travers la résistance CTP l'échauffe. Quand le niveau du liquide atteint la résistance CTP, elle en abaisse la température plus rapidement que ne le faisait l'air ambiant, ce qui donne lieu à une baisse de la résistance et une augmentation en conséquence du courant. La déviation de l'aiguille de l'ampèremètre indique par conséquent que le niveau de la sonde à résistance CTP a été atteint.

Les résistances à coefficient de température négatif fonctionnent à l'inverse des résistances CTP. Leur résistance baisse à mesure que la température augmente. Elles sont de loin les plus utilisées en électronique, pour mesurer et surveiller des variations de température bien sûr. Le symbole de la CTN est le même que celui de la CTP, à ceci près que la mention "+ t" est remplacée par la mention "− t".

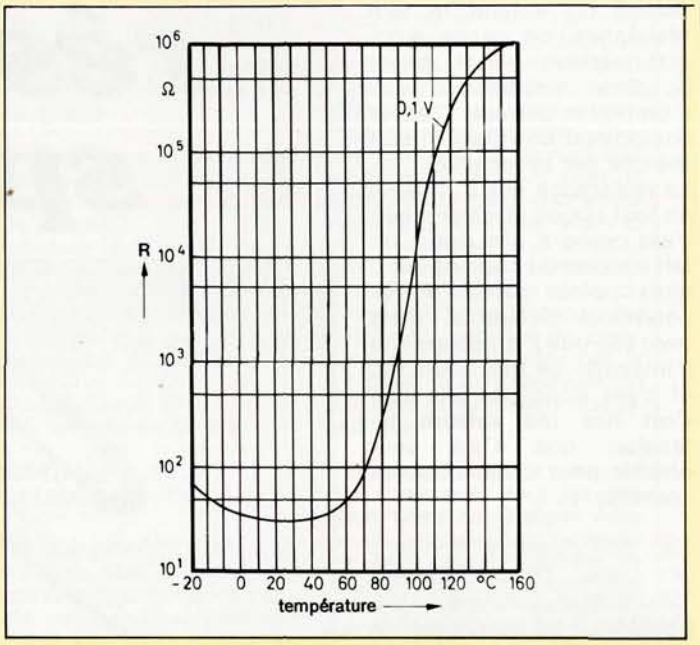


Figure 7 - Courbe de réponse d'une thermistance à coefficient de température positif. Ce composant répond assez irrégulièrement à la progression de la température.

Les photorésistances

On les appelle le plus souvent « LDR », de l'anglais *light dependant resistor*. Elles ont connu leur heure de gloire notamment dans les photomètres (cellules photoélectriques) où elles ont compté pendant longtemps comme le composant par excellence pour mesurer la lumière. Ensuite elles ont été détrônées par les photodiodes et les phototransistors (semiconducteurs photosensibles). Dans l'obscurité, la résistance d'une LDR est de l'ordre de plusieurs mégohms. Fortement éclairée, sa valeur peut chuter à quelques dizaines d'ohms.

Ces composants robustes, non polarisés et bon marché ont encore une large place dans les schémas que publie ELEX.

Les varistances

On les appelle aussi *varistor* ou VDR (pour *voltage dependant resistor*); ce sont des résistances dont la valeur dépend de la tension appliquée : quand la tension augmente, la résistance diminue. Elles se présentent sous forme de pastilles ou de disques enrobés dans une résine synthétique isolante et sont utilisées essentiellement pour protéger les contacts en supprimant les surtensions dans les circuits inductifs : la varistance bien choisie en fonction de la tension de service normale présente une très forte résistance à cette tension mais se comportera comme un court-circuit en cas de surtension.

Signalons d'une part que les thermistances et les varistances possèdent une capacité (quelques pF à quelques dizaines de pF) qui peut être gênante dans certaines applications et d'autre part qu'il existe des magnétorésistances qui

voient leur résistance varier en fonction du champ magnétique dans lequel ils sont placés, quel qu'en soit le sens. On les utilise notamment pour mesurer les champs magnétiques.

Caractéristiques

Ce qui intéresse le technicien, c'est de savoir comment la résistance spéciale se comporte quand le paramètre physique dont elle dépend varie lui-même. Le plus éloquent pour lui est le graphique qui donne la valeur de la résistance par rapport à la température s'il s'agit d'une thermistance, ou par rapport à la lumière s'il s'agit d'une photorésistance, sur une plage aussi large que possible afin qu'il puisse juger de la linéarité de la réponse. La caractéristique idéale est celle du composant dont la résistance varie exactement comme le paramètre physique dont elle dépend ; il importe que cette progression reste la même sur toute la plage de variation du paramètre physique.

Ces courbes qui tracent l'évolution du phénomène de dépendance de la grandeur « résistance » et de la grandeur « température » ou « lumière » sont bien nommées, puisqu'elles ne sont que rarement vraiment rectilignes.

Il est normal par exemple que les courbes de la plupart des composants s'infléchissent aux extrémités, indiquant par là qu'il est préférable de ne pas les utiliser dans ces zones-là. Si l'on examine par exemple la courbe de la figure 7, on peut déduire aisément de son tracé sinueux que le composant en question ne pourra pas être utilisé pour faire des mesures, du moins pas sur un large plage de températures. On voit en effet que la variation de la résistance ne suit pas de près celle de la température ; si c'était le cas au contraire, nous aurions une ligne qui progresserait tout droit du coin en bas à gauche au coin en haut à droite, un peu comme le font les courbes de la **figure 8**.

Là il s'agit de thermistances à coefficient de température négatif, ce qui explique que les courbes commencent à gauche, plus ou moins haut, pour finir à droite, plus ou moins bas, selon la valeur de la résistance à 25 °C. Entre 100 °C et 0 °C, la valeur d'une thermistance à CTN varie du simple au centuple.

Du temps où les thermistances étaient les seuls composants sensibles à la température, l'adjonction de résistances de linéarisation permettait qu'elles devinssent des composants fiables pour la mesure de températures.

[Ouf, j'ai placé mon imparfait du subjonctif.]

Le thermostat d'aquarium publié dans ce numéro montre que le relais a été pris par des composants plus modernes.

La caractéristique des photorésistances est d'une linéarité satisfaisante comme le montre la **figure 9**. N'allez pas en déduire que la résistance d'une LDR est directement proportionnelle à l'intensité de la lumière ; ce serait négliger le fait que les deux échelles de cette figure sont logarithmiques alors que, par exemple, seule l'échelle des résistances est logarithmique sur la figure 8.

84695

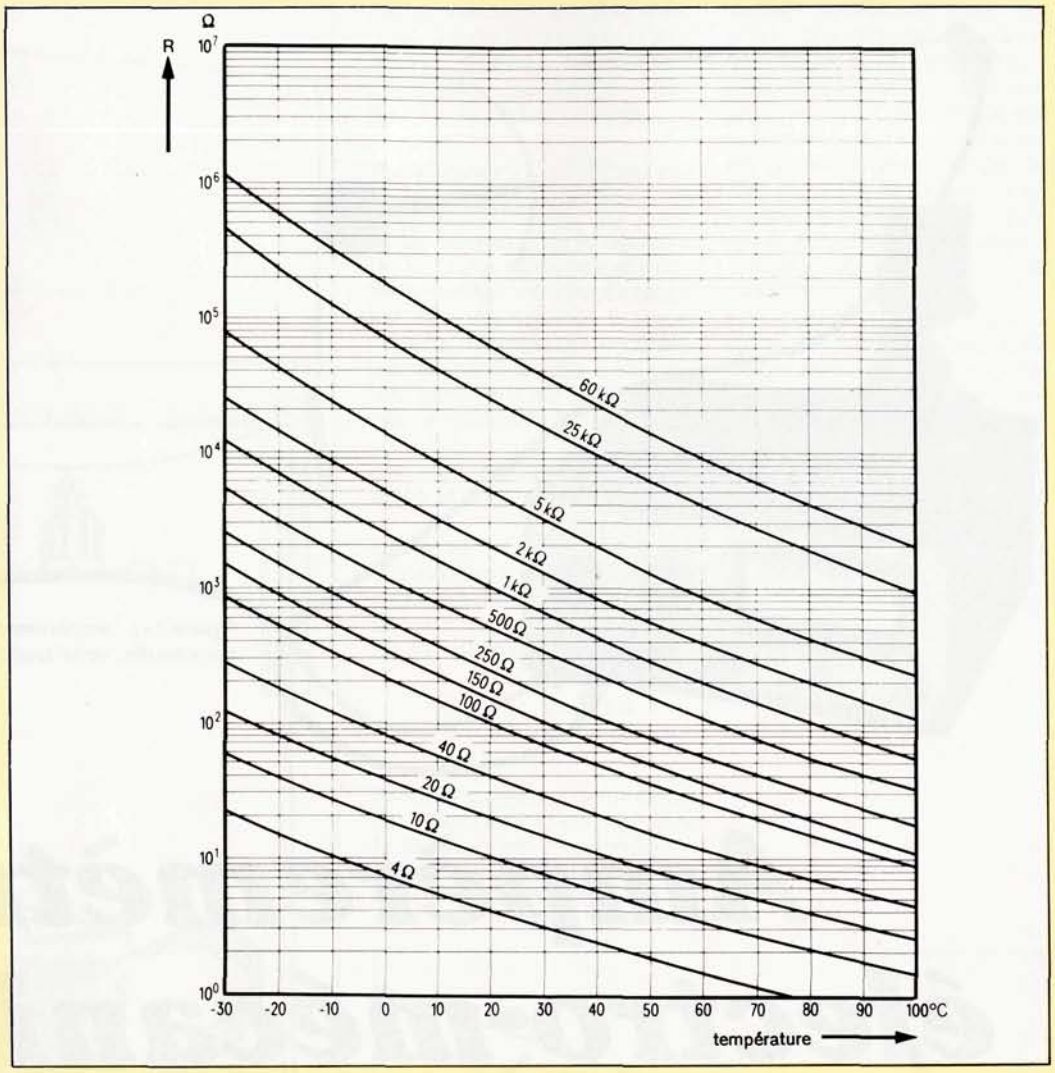


Figure 8 - La courbe caractéristique des thermistances à CTN est rectiligne, surtout comparée à celle des thermistances à CTP. L'échelle des résistances est logarithmique. Les valeurs de résistance mentionnées sur chacune des courbes indique la valeur de la CTN correspondante à une température de 25 °C. C'est également cette valeur qui est codée sur le corps du composant à l'aide des anneaux de couleur.

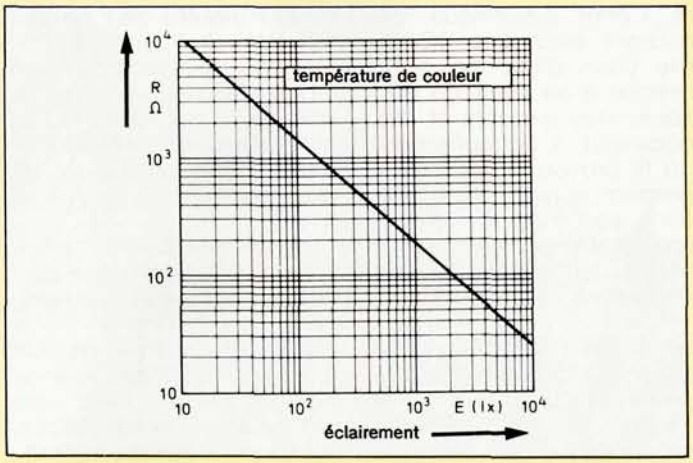


Figure 9 - On reproche souvent aux photorésistances leur lenteur, mais quand l'application envisagée supporte une certaine inertie du capteur de lumière, la linéarité de la réponse de la LDR en fait un composant parfaitement approprié pour la mesure de lumière. La mention « température de couleur » ci-contre devrait être suivie de la valeur « 2850 K » oubliée par le dessinateur (« non, ne me frappez pas ! »), ce qui indique que la courbe de sensibilité de la LDR n'est valable que pour une lumière donnée.

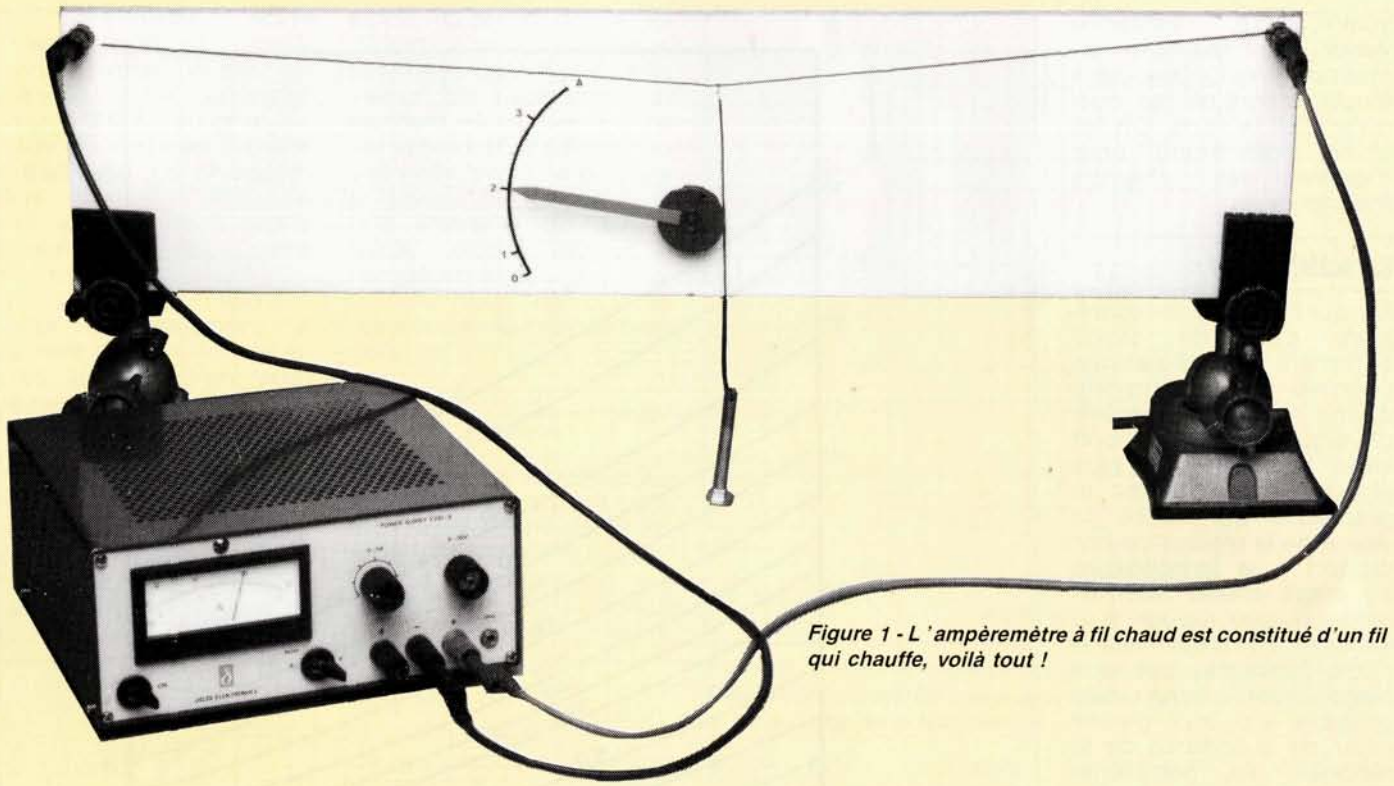


Figure 1 - L'ampèremètre à fil chaud est constitué d'un fil qui chauffe, voilà tout !

Ampèremètre électro-mécanique

Voici un montage électronique sans composant électronique. Faut le faire ! Les ampèremètres ordinaires, à galvanomètre, utilisent les effets magnétiques du courant électrique. Cet ampèremètre-ci qui exploite l'*effet calorifique* du courant électrique. [Comme vous dites, on commence à en avoir un peu assez des aimants et des bobines.] L'échauffement du fil provoque son allongement, le poids accroché dans son milieu le fait fléchir, et l'importance de la flèche est une image de l'intensité.

Le fil de l'ampèremètre aura environ 1 m de longueur et 0,2 mm de diamètre. Du fil émaillé récupéré sur un transformateur hors-d'usage fera fort bien l'affaire ; vous pouvez aussi dénuder un fil multiconducteur et en extraire un brin.

Une fois trouvé le fil, tendez-le horizontalement comme sur la **figure 1**. Notre prototype est installé sur une planche maintenue par deux petits étaux à ventouse, mais tous les moyens sont bons pour tenir la planche verticale. Au milieu de la planche, une poulie montée sur un axe porte l'aiguille de l'ampèremètre. Un fil souple attaché au fil électrique et tendu par un poids fait le tour de la poulie, et la fait tourner quand le fil électrique s'allonge et que sa flèche augmente.

L'expérimentation peut commencer avec une batterie de voiture et une lampe de phare. La consommation est de 3 à 4 ampères suivant le modèle de lampe. Avec une alimentation de laboratoire qui ne peut pas fournir cette intensité, utilisez une lampe de feu de position/clignotant 5W/21W.

Les intensités sont de 0,42 A et 1,75 A. Vous pouvez monter un autre ampèremètre en série pour établir une échelle graduée.

Voilà qui est bel et bon, mais que serait la manipulation pratique si elle n'était pas le prétexte à quelques calculs théoriques ?

La précision de l'ampèremètre à fil chaud n'est pas particulièrement bonne, vous l'aviez deviné. C'est plutôt le principe que nous voulions montrer ici. Le fil de cuivre présente une résistance comme tout conducteur ; une résistance faible, mais une résistance. Le passage du courant à travers le fil provoque une chute de tension, que vous calculerez selon la loi d'Ohm :

$$U = R \cdot I$$

La puissance dissipée par la résistance se calcule grâce à cette formule :

$$P = U \cdot I$$

Remplacez U par sa valeur telle que l'exprime la loi d'Ohm et vous obtenez cette expression de la puissance :

$$P = R \cdot I \cdot I = R \cdot I^2$$

Faut-il rappeler que les unités sont l'ampère pour l'intensité, l'ohm pour la résistance et le watt pour la puissance ? Non ? tant mieux. Faut-il dire pourquoi nous voici tout d'un coup plongés dans des calculs de puissance alors que nous parlions d'intensité ? Oui ? soit.

Nous calculons la puissance parce que c'est la puissance électrique qui se transforme en chaleur, et que c'est la chaleur qui provoque la dilatation du fil. Le fil s'allonge d'autant plus qu'il est chaud, il est d'autant plus chaud qu'il dissipe de la puissance, il dissipe d'autant plus de puissance que l'intensité est importante.

L'intérêt d'un ampèremètre de ce genre est qu'il fonctionne aussi bien en

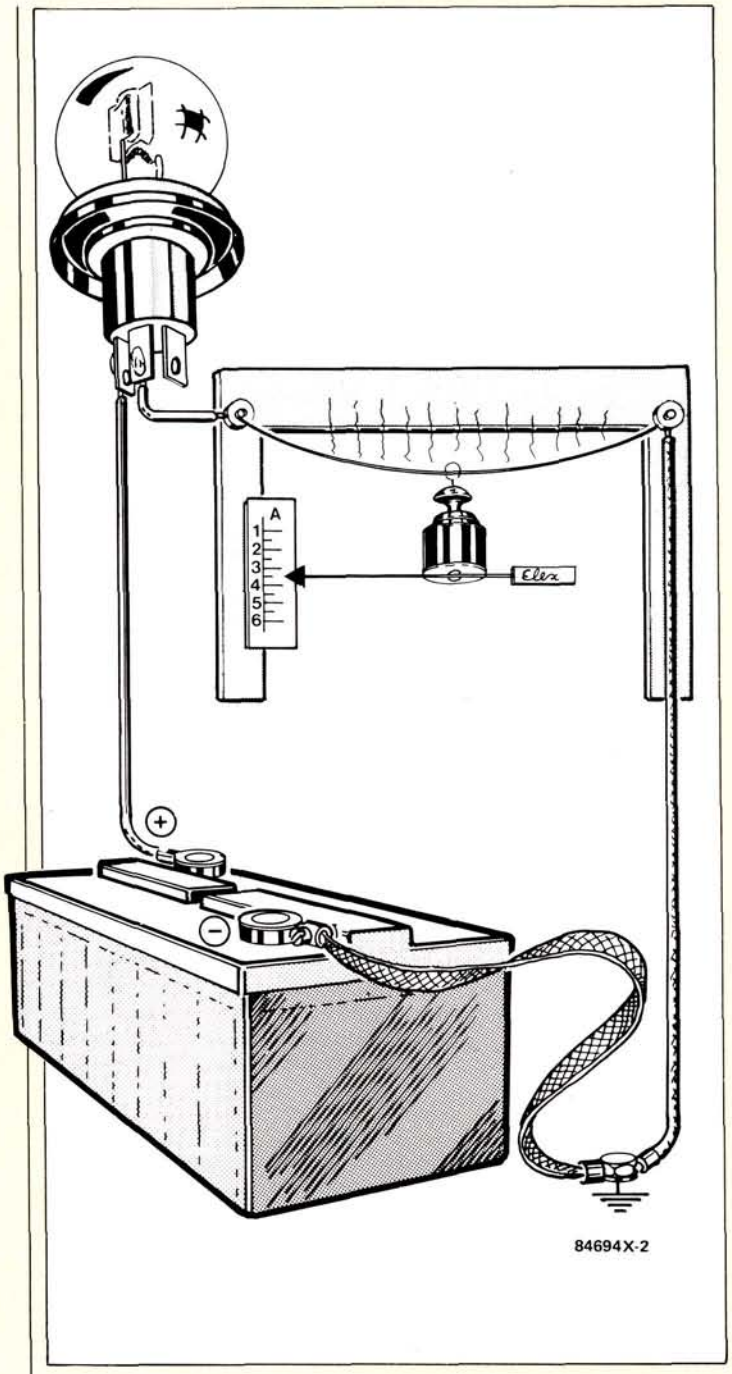


Figure 2 - Utilisez une batterie de voiture, des piles, une alimentation de laboratoire, ce que vous voudrez, mais jamais le secteur 220 V.

alternatif qu'en continu. C'est même un ampèremètre de ce type qui permet de donner de l'intensité efficace d'un courant alternatif sa définition habituelle : c'est l'intensité du courant continu qui provoquerait le même échauffement du même conducteur. La fréquence ne joue strictement aucun rôle ici : pour régler au maximum de puissance l'étage de sortie d'un émetteur de radiocommande, branchez entre la masse et la sortie "antenne" (antenne absente bien sûr) une simple ampoule de 12 V/100 mA. Le filament doit devenir rougeoyant (le voilà, le fil chaud), et d'autant plus que la puissance émise est importante. Ce réglage ne remplace pas celui de l'accord d'antenne au mesureur de champ, mais il doit le précéder.

Les modélistes peuvent rester, mais il n'y a plus rien de spécial pour eux.

Ce qui intéresse tout le monde, c'est la formule $P = R \cdot I^2$. Elle va servir pour calculer la puissance dissipée par une résistance. Supposons que vous ayez à installer dans un montage une résistance de 100 Ω qui sera traversée par un courant de 100 mA. Rien d'extraordinaire, n'importe quelle résistance convient, pense-t-il. Erreur ! calculons un peu :

$$P = R \cdot I^2 = 100\Omega \cdot \left(\frac{100}{1000}\right)^2 = 1W$$

Vous risquez donc de faire brûler une résistance ordinaire de 1/4 W. Si vous voulez être tranquille, il vous faudra monter un modèle pansu de 2 ou de 3 W, car les puissances indiquées par le fabricant le sont souvent pour des températures de surface de 180, voire 200°C.

Dans le cas où vous ne connaissez pas l'intensité mais seulement la tension, utilisez la forme suivante de la même formule :

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

Nous rappelons pour ceux qui viennent d'arriver que la tension est exprimée en volts, la résistance en ohms et la puissance en watts. Connaissant la tension d'alimentation d'un montage, vous pouvez calculer facilement si la puissance d'une résistance est suffisante ou non. Prenez en général une marge de 100% : 1/2 W pour des puissances à dissiper jusqu'à 125 mW, 1 W jusqu'à 500 mW et ainsi de suite.

Les composants électroniques ne font pas bon ménage avec la chaleur, car leurs caractéristiques varient fortement en fonction de la température.

Si vraiment vous avez trop chaud, ôtez votre foulard, mais fichez la paix aux autres.

84694

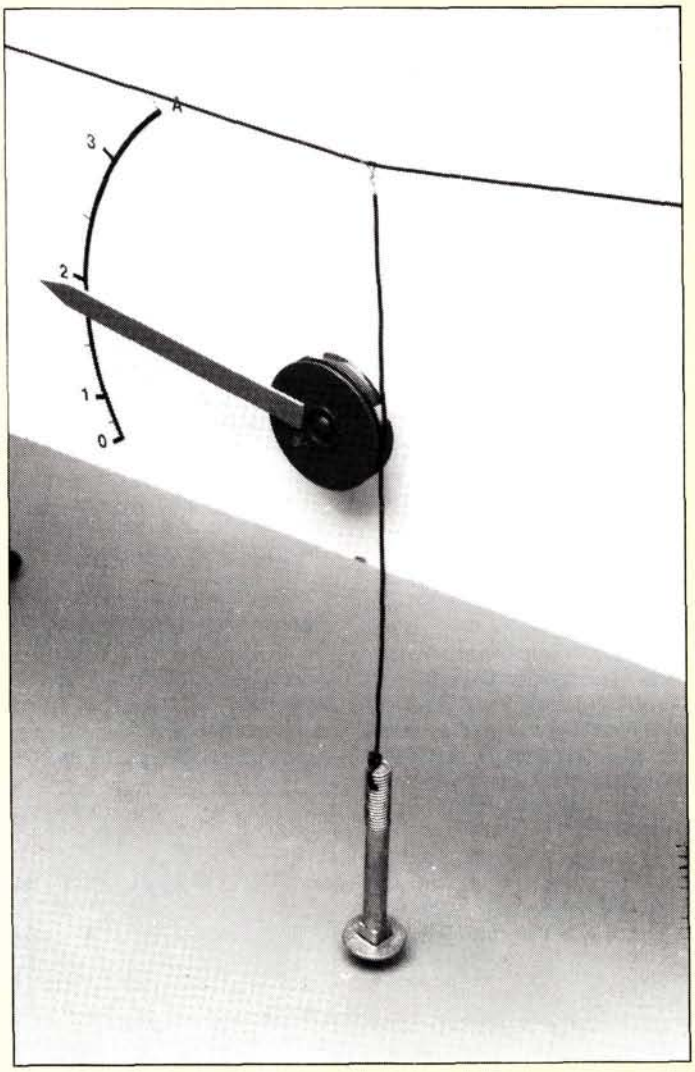


Figure 3 - La mécanique est réduite à sa plus simple expression.

ABC des AOP

première partie du petit abécédaire des amplificateurs opérationnels

Il était temps, semble-t-il, que nous entreprissions[1] une étude systématique –faute de la pouvoir faire exhaustive– de ces composants merveilleux que nous mettons à toutes les sauces. Nous considérons les amplificateurs opérationnels comme des composants tout simples, qui sont devenus aussi courants et aussi bon marché que les transistors. Il n'en a pas toujours été ainsi, et nous l'allons montrer tout à l'heure (écrivez-nous le nom de l'auteur, la phrase originale et le titre de la fable, vous avez gagné).

L'amplificateur opérationnel est connu sous forme de circuit **intégré**, mais c'est avant tout un circuit, et un circuit qui existait bien avant les circuits intégrés, avant même les semi-conducteurs. Toutes les fonctions remplies par nos semi-conducteurs modernes l'ont été dans le passé par les tubes électroniques, puis par les transistors. Le nom d'amplificateur opérationnel vient de ce qu'on leur confiait toutes les fonctions de calcul dans les équipements électroniques, jusqu'à ce que l'électronique numérique et les microprocesseurs viennent les détrôner. Dès que j'entends le mot calcul, je dégaine mon microproce. Ce remplacement de l'analogique par le numérique est justifié principalement par des considérations de coût : l'analogique n'a rien à envier au numérique en ce qui concerne la précision, au contraire.

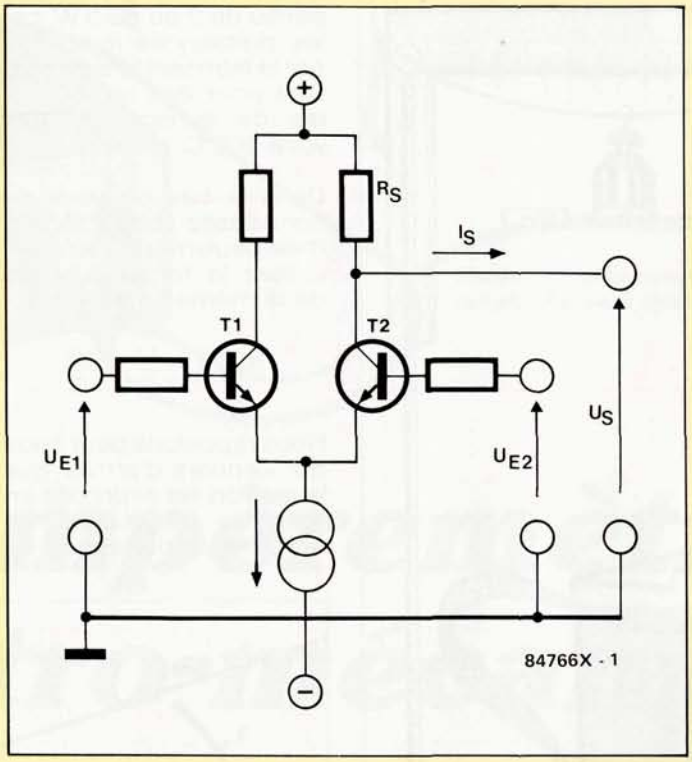


***Figure 1 - L'essentiel d'un amplificateur opérationnel tient dans son étage d'entrée : deux transistors dont les émetteurs sont raccordés à la même source de courant constant. Les anglo-saxons appellent ce montage long-tailed pair*, ou «paire à longue queue» et on dira encore que ce sont les Français qui ne pensent qu'à ça.**

Malheureusement, les bons circuits analogiques sont compliqués et chers car ils mettent en oeuvre un grand nombre de composants et ils ne peuvent pas se passer d'une intervention humaine de réglage et d'étalonnage.

L'électronique numérique permet de faire à moindre prix, aujourd'hui, des mesures et des calculs de précision acceptable dans la majorité des cas. Le disque compact est un exemple d'alliance du numérique, pour le stockage et le transport de l'information, et de l'analogique, pour la reproduction fidèle d'un phénomène. Le numérique est passé d'un domaine où il excelle : la transmission, le stockage, la manipulation d'**information**, à un domaine où son prix plutôt que ses performances l'ont rendu utilisable : la reproduction de **phénomènes physiques**. L'analogique reste réservé aux applications qui demandent soit une résolution soit une rapidité extrêmes.

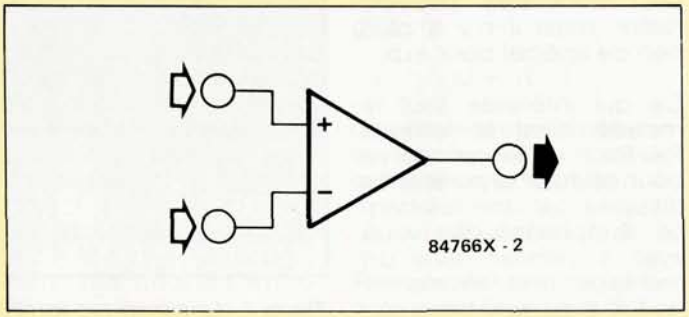
De la même façon la qualité lamentable des images électroniques de télévision ne peut pas rivaliser avec la qualité des images argentiques d'un film de 70 mm sur grand écran, mais ce sont pourtant, pour des raisons économiques, les caméras vidéo et les magnétoscopes qui se vendent. L'essentiel est que les spectateurs ne s'imaginent pas qu'ils ont vu le film alors qu'ils n'en ont vu que des approximations sous la forme d'alignements de points.

La comparaison peut sembler abusive entre la télévision et les calculateurs numériques. Pourtant l'analogie est frappante : la télévision représente par un nombre **fini** de points une réalité **continue**. De même le calculateur numérique se représente la réalité par un nombre fini de valeurs. L'important est de connaître le nombre de points, de savoir quel intervalle les sépare, et de ne pas s'imaginer que la valeur numérique est une valeur **exacte**.

Le principe

Les circuits intégrés modernes ont une structure interne trop complexe pour que nous en fassions une description détaillée.

L'élément de base est ce qu'on appelle un **amplificateur différentiel**. Le montage le plus simple est la paire différentielle (**figure 1**) : il s'agit de deux transistors aux caractéristiques aussi proches que possible, dont les émetteurs sont connectés ensemble à une source de courant. Les deux cercles sécants symbolisent la



[1] Me voilà débarrassé de mon imparfait du subjonctif. Chaque rédacteur doit en placer un par article. S'il s'en trouve quelque autre dans le même article, ce ne peut être qu'une erreur de ma part. Si vous trouvez un article sans imparfait du subjonctif, écrivez-nous, le rédacteur a perdu.

source de courant constant.

La source de courant fait en sorte que la somme des courants des émetteurs soit constante.

Quand la tension est **égale** sur la base des deux transistors, l'intensité dans les deux collecteurs est égale, égale à la moitié de l'intensité nominale de la source de courant constant. La valeur absolue de la tension, ou **tension de mode commun**, n'importe pas ici, seule compte l'égalité des tensions sur les deux bases. La tension de sortie prend alors une valeur déterminée. Vienne l'une des tensions d'entrée à prendre une valeur différente de l'autre, la répartition des courants de collecteur va changer, comme la répartition des courants d'émetteur, et comme la tension de sortie, mesurée sur la résistance de collecteur R_S.

Les **différences de tension** entre les entrées sont seules amplifiées et transmises à la sortie. Voilà pour le principe de l'amplificateur différentiel. Il ne s'agit que du principe, et tous les amplificateurs opérationnels intégrés, même le « simple » 741 ont une constitution interne beaucoup plus compliquée. Entre autres, il faut au moins un transistor en émetteur-suiveur pour découpler la sortie de la paire différentielle. En effet, il ne faut pas que la charge connectée en sortie vienne perturber la répartition des courants entre les transistors.

Les propriétés

La caractéristique principale des amplificateurs opérationnels découle du principe lui-même : ces amplificateurs, contrairement aux autres, ont **deux** entrées. C'est ce que représente le schéma, bien connu maintenant, de l'amplificateur opérationnel (**figure 2**). Nous reviendrons sur la dénomination des entrées.

L'autre caractéristique importante des amplificateurs opérationnels est un gain en tension, à basse fréquence et en continu,

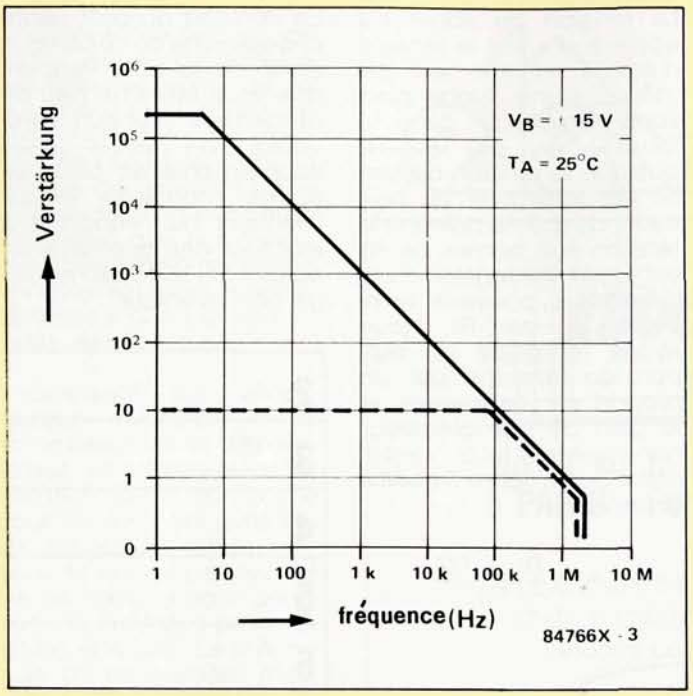


Figure 3 - Le gain en boucle ouverte du 741 en fonction de la fréquence. Le produit du nombre en abscisse par le nombre en ordonnée est constant et caractéristique d'un amplificateur donné ; on l'appelle produit* gain-bande passante*. La courbe en pointillés correspond au montage de la figure 5 (voir texte).

énorme. La **figure 3** montre à 1 Hz un gain supérieur à 100 000. Elle montre aussi que le gain diminue à mesure que la fréquence augmente; il n'est plus que de 1000 à 1 kHz, et devient inférieur à 1 quand la fréquence est de 1 MHz.

C'est-à-dire qu'à 1 MHz le signal n'est pas amplifié, mais atténué. Précisons que ces caractéristiques sont relevées en « boucle ouverte », sans réseau de contre-réaction entre la sortie et les entrées.

L'impédance d'entrée mérite aussi d'être examinée : elle a une valeur de plusieurs mégohms (10^6 ohms), ce qui permet de considérer comme nulle la charge imposée au circuit raccordé à l'entrée.

Général

Nous parlons jusqu'ici de l'amplificateur opérationnel en général. En l'absence d'indication, c'est le 741 qui est pris comme exemple. Il existe un grand nombre d'autres types, possédant des caractéristiques différentes sur tel ou tel point précis, comme le souffle minimal du 387, ou l'impédance d'entrée extrêmement élevée du 356, ou le produit gain-bande passante élevé du 351. Un amplificateur **idéal** doit avoir une impédance d'entrée infinie, un gain en boucle ouverte infini, une impédance de sortie nulle. . . Toutes ces caractéristiques idéales n'existent pas en pratique. Lors de la conception des circuits, on considère d'abord les amplificateurs comme parfaits, puis on apporte au schéma les corrections nécessaires. D'ailleurs il est fort rare de devoir utiliser un composant aux limites de ses possibilités.

Pour le zéro, vous voyez ce que je veux dire ; pour l'infini, rassurez-vous : ça fait tout de suite quinze volts ou mille mégohms, tout est relatif.
Absolument !

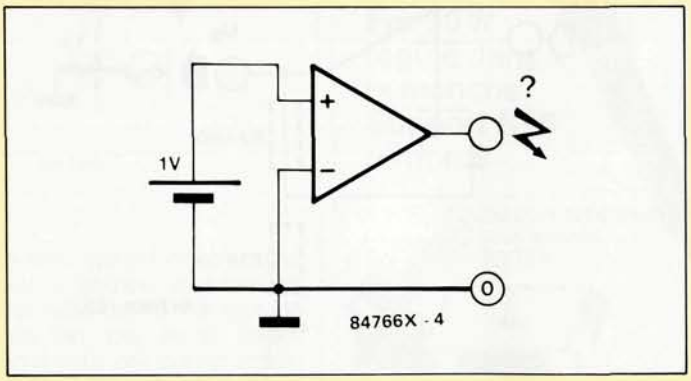


Figure 4 - Une différence de tension de 1 V entre les deux entrées de l'amplificateur opérationnel provoque une tension de sortie théoriquement infinie. En pratique, la tension de la sortie est limitée à celle de l'alimentation.

Les applications

Les montages fondamentaux de l'amplificateur opérationnel sont en nombre limité et nous les examinerons en leur temps.

Commençons par étudier l'amplification de tension sur l'exemple de la **figure 4**. L'entrée inverseuse (−) est reliée à la masse, potentiel nul, l'entrée non-inverseuse (+) est soumise à un potentiel positif de 1 V.

Voici les explications attendues sur la dénomination des entrées. Reportons-nous à la figure 1 et imaginons que la tension appliquée à la base de T2 augmente. Le courant de collecteur de T2 augmente, pendant que diminue celui de T1, puisque la somme des deux courants est constante, déterminée par la source de courant constant. Le courant qui traverse R_S augmente et la tension de collecteur de T2, ou tension de sortie, diminue.

Une variation de la tension de l'entrée T2 se traduit par une variation **inverse** de la tension de sortie. Imaginons maintenant que la tension appliquée à T1 augmente : le courant de collecteur de T1 augmente et celui de T2 diminue. Autrement dit la tension de sortie augmente, elle varie dans le **même sens** que la tension de l'entrée reliée à T1. L'entrée reliée à T2 est appelée entrée **inverseuse** (−), l'entrée reliée à T1 entrée **non-inverseuse** (+).

Monsieur de cent mille volts

Revenons à notre montage de la figure 4. La différence de tension de 1 V, multipliée par le gain de 100 000, doit nous donner une tension de sortie de 100 kV. D'où l'éclair et le

point d'interrogation du schéma. Il est évident que l'amplificateur ne peut pas délivrer de telles tensions. La tension de sortie est limitée à la tension des sources d'alimentation, ici 15 V. La tension de sortie plafonne donc à 15 V ; réduisons la tension d'entrée à 1 mV (0,001 V). La tension de sortie doit être maintenant de : 0,001 × 100 000 = 100 V.

C'est toujours impossible et la tension reste limitée à 15 V. Il va falloir trouver une astuce pour utiliser cet amplificateur qui **sature** avec un gain inférieur à son gain maximal.

Astuce

L'astuce s'appelle **contre-réaction**. Elle consiste à réinjecter à l'entrée **inverseuse** une fraction de la tension de sortie (c'est parce que la réaction est appliquée à l'entrée inverseuse qu'on l'appelle **contre**-réaction). Le montage pratique est celui de la **figure 5**. La fraction de tension est prélevée grâce à un diviseur à résistances, qui semble avoir été inventé spécialement pour cela.

Nous appliquons notre tension de 1 V à l'entrée non-inverseuse, la tension de sortie augmente aussi longtemps que subsiste une différence de tension entre l'entrée inverseuse et l'entrée non-inverseuse. Simultanément l'augmentation de la tension de la sortie provoque une augmentation de celle de l'entrée inverseuse. La tension de la sortie cesse d'augmenter dès que la différence de tension entre les deux entrées est nulle (rappelons que l'amplificateur différentiel amplifie les **différences** de tension). L'amplificateur opérationnel a trouvé son équilibre.

Équilibre

Puisque l'amplificateur est en équilibre, c'est que la tension est la même sur les deux entrées : $U_{E+} = U_{E-} = 1$ V. Le rapport du diviseur R2/R1 est de 9, donc la tension de sortie doit être de 10 V pour que $U_{R1} = 1$ V. Le rapport entre tension de sortie et tension d'entrée, U_S/U_E, s'appelle le gain, désigné par A. Dans notre cas,

$$A = \frac{U_S}{U_E} = \frac{10}{1} = 10$$

La tension de sortie est égale à dix fois la tension d'entrée et elle est de même signe. Nous pouvons remplacer dans la formule U_S par R2+R1 puisque la tension de sortie est appliquée au diviseur ; de même puisque la tension aux bornes de R1 est égale à la tension d'entrée, nous pouvons remplacer U_E par R1. Nous avons remplacé un rapport de tensions par un rapport de résistances, et le gain de l'amplificateur non-inverseur tel qu'il est illustré par la figure 5 obéit à la formule :

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

ou encore :

gain de l'amplificateur non-inverseur

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

Le contenu du petit cadre ci-dessus ne doit plus vous sortir de la tête. Pendant que vous faites un peu de rangement là-haut, prévoyez cinq petites cases supplémentaires pour les autres montages fondamentaux qui viendront à leur tour dès que nous en aurons fini avec ce montage non-inverseur.

2
3
4
5
6

Modèle des cases qu'il vous faut réserver dans votre mémoire, et qui seront remplies au fur et à mesure que progressera notre petit abécédaire, qui commence plutôt bien (autant faire soi-même les commentaires élogieux).

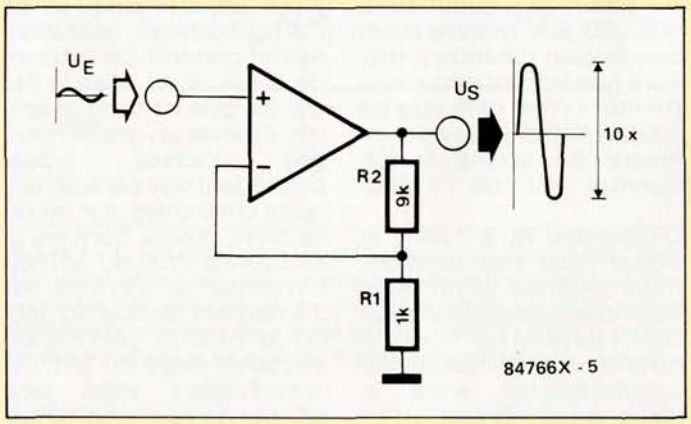


Figure 5 - Le premier des montages fondamentaux de l'amplificateur opérationnel : l'amplificateur non-inverseur. Grande impédance d'entrée, faible impédance de sortie, simplicité, faible consommation. C'est un article que nous avons au catalogue depuis très longtemps et qui est toujours très demandé. Il vous fera de l'usage, n'hésitez pas à en prendre plusieurs.

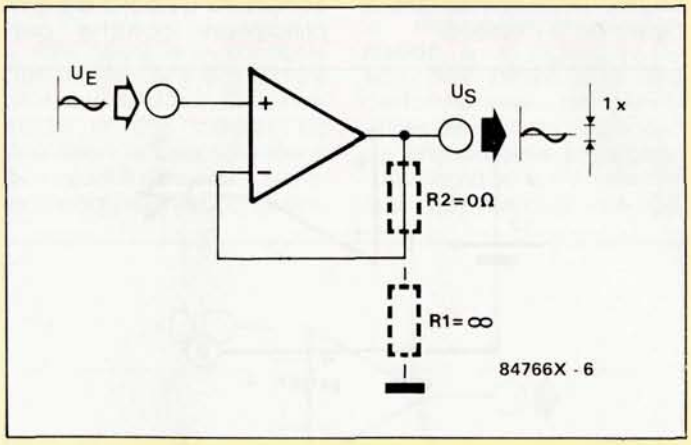


Figure 6 - Le modèle économique en composants : pas de résistance, gain unitaire garanti. Contrairement au transistor monté en suiveur, il présente une limitation de l'intensité en sortie, ce qui peut se révéler utile dans certains cas.

Nous voici en présence d'un composant dont nous pouvons faire varier le gain par l'adaptation toute simple du rapport de deux résistances. Renversant, non ? Mieux encore, la contre-réaction apporte aux caractéristiques de l'amplificateur opérationnel des améliorations non négligeables.

La **bande passante** du montage de la figure 5, amplificateur avec contre-réaction de gain 10, est représentée en pointillés sur la figure 3. Elle s'étend bravement de 0, soit le continu, jusqu'à 80 kHz. Au-delà le gain est limité par construction.

L'**impédance de sortie** de l'amplificateur est considérablement diminuée. Le 741 tout nu a une impédance de sortie voisine de 1 kΩ. Cette impédance de sortie est ramenée à une valeur négligeable (dans les limites de l'intensité que peut fournir le circuit intégré) du fait de la contre-réaction. Toute chute de tension due à l'impédance de sortie est prise en compte par le diviseur R2/R1 et transmise à l'entrée inverseuse. L'amplificateur réagit à cette différence de tension et corrige sa tension de sortie en conséquence. L'erreur introduite par la résistance interne est corrigée instantanément grâce à la **boucle** de contre-réaction ; la sortie est **asservie** à l'entrée. Et hop ! vous échappez encore aujourd'hui à la transformée de Laplace, au lieu de Black et au diagramme de Mortimer. Merci elex.

On la boucle

Les transistors de sortie du circuit intégré en boucle fermée ne sont jamais saturés, ce qui évite la distorsion.

Suivez-moi jeune ohm

Le transistor en émetteur suiveur nous était apparu comme un moyen commode de fournir une intensité importante à partir d'une source de signal d'impédance élevée. Nous considérions alors comme constant le décalage de 0,7 V entre la ten-

sion de la base et celle de l'émetteur. Gentils comme vous l'êtes tous, vous n'avez rien dit, tout en sachant bien que cette tension de seuil est tout sauf fixe, qu'elle varie entre 0,5 et 0,8 V, en fonction de la température, de l'intensité, de la vitesse du vent.

Supposons que nous ayons besoin d'un étage suiveur de tension **de précision**. Il devrait avoir une forte impédance d'entrée, une faible impédance de sortie et un gain positif rigoureusement unitaire. Le montage non-inverseur de l'amplificateur opérationnel que nous venons de voir possède toutes ces caractéristiques sauf une : le gain unitaire. Qu'est-ce qu'on peut faire, docteur ?

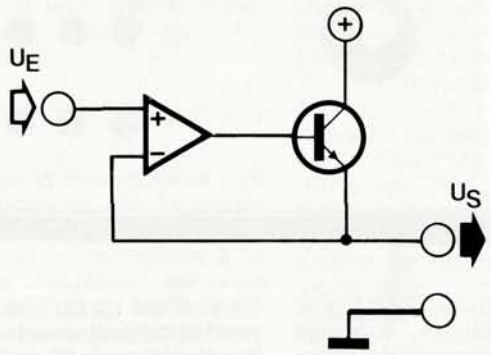
En rang par deux et retournons sans faire de bruit à l'encadré ci-dessus. Pour que A soit égal à 1, il faut et il suffit que R2 soit **nulle**.

Nous pouvons donc la remplacer ou la court-circuiter par un pont en fil. Comme R1 est devenue inutile dans un pont diviseur qui divise par 1, nous pouvons la supprimer (bourreau, fais ton office).

Nous venons d'inventer le suiveur de tension de la **figure 6**, cas particulier de l'amplificateur non-inverseur de la figure 5, alléluia ! Voyons comment il fonctionne. La tension de sortie de l'amplificateur opérationnel évolue de telle façon que la différence de tension entre les deux entrées soit nulle. Donc la tension de sortie du suiveur de tension évolue de telle façon que la différence de tension entre l'entrée non-inverseuse et la sortie (assimilée ici à l'entrée inverseuse) soit nulle.

Il nous reste à voir l'amplificateur inverseur, et le sommateur, et le différentiateur, et l'intégrateur et l'amplificateur d'intensité pour en avoir fini avec les six montages fondamentaux. Et le comparateur et les oscillateurs pour continuer. Et les filtres actifs. Et la tête, et le bec ! Le préambule de ce numéro étant passé, le rythme pourra s'accélérer un peu, ne pensez-vous pas ?

84766



84766-7

Si le suiveur de tension doit fournir une intensité relativement importante, supérieure à celle que peut fournir l'amplificateur opérationnel, un transistor apporte une solution simple : la tension prise en compte par l'entrée inverseuse est celle de l'émetteur. La tension de seuil base-émetteur est compensée automatiquement et nous avons un suiveur de puissance **précis**.

elex sera présent au salon

EDUCATEC 89

du 11 au 15 décembre 1989
à PARIS - Porte de Versailles

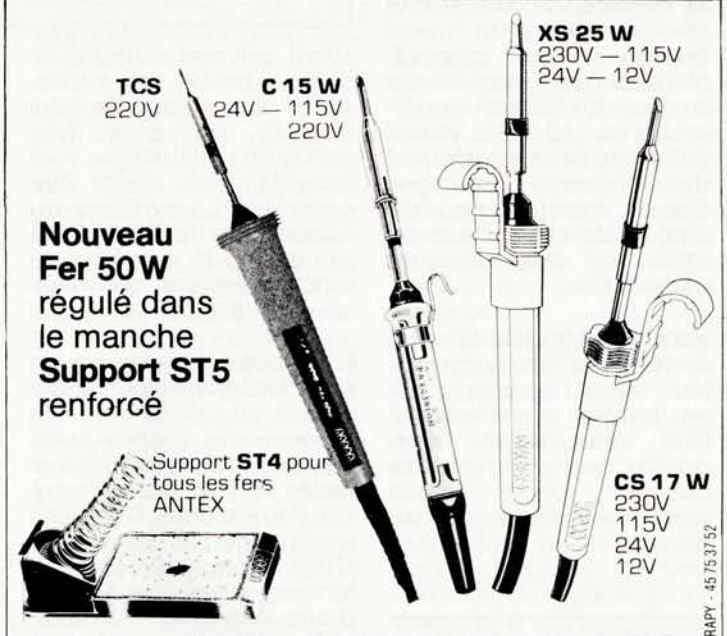
ELEX invite les éducateurs et les chefs d'établissements sur son

stand A 702

Pour recevoir votre carte d'entrée gratuite, envoyez une enveloppe timbrée, affranchie à votre nom avant le 06.12.89 à

ELEX - BP 53 - 59720 BAILLEUL

ÉLECTRONICIENS
POUR FAIRE DES SOUDURES PRECISES ET RAPIDES
ET PROTEGER VOS SEMICONDUCTEURS
OPTEZ pour les ANTEX
70 PAYS DONT LES U.S.A. ET LE JAPON LES UTILISENT

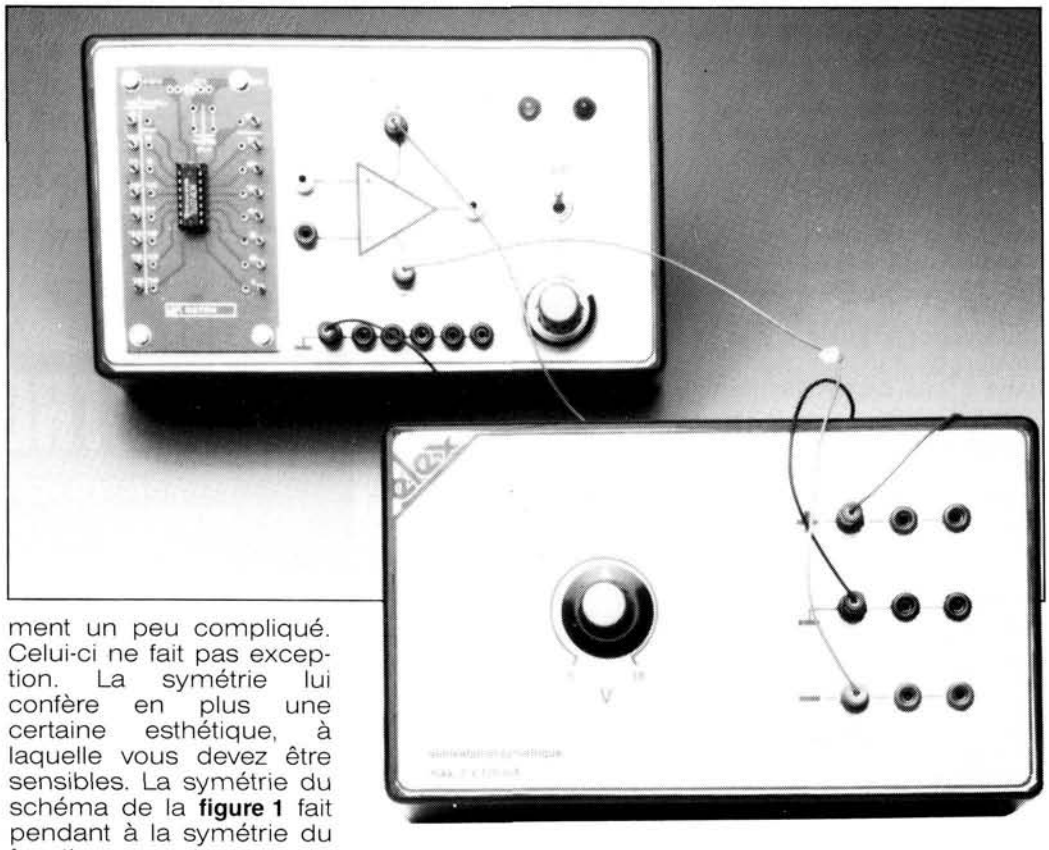


BRAY FRANCE
76, rue de Silly
92100 Boulogne-sur-Seine
Tél. : 46 04 38 06 Telex 201576

Alimentation symétrique réglable

Pour l'alimentation des montages à amplificateurs opérationnels et du testeur universel d'amplificateurs opérationnels

(qui sera décrit le mois prochain)



Les montages à amplificateurs opérationnels demandent le plus souvent une alimentation symétrique. Votre laboratoire comprend probablement déjà plusieurs alimentations, fixes ou réglables, mais vous risquez de trouver peu pratique la connexion de deux alimentations pour un seul montage et encore moins pratique le réglage des deux à la même tension. Cette alimentation permet d'obtenir deux tensions symétriques : une positive et une négative par rapport à une masse commune. L'intérêt principal est que le réglage se fait par la manoeuvre d'un seul bouton. Le petit inconvénient est que l'intensité est limitée à 100 mA (milliampères, 10^{-3} A), valeur suffisante pour le testeur et de nombreux montages d'essai, mais pas pour un amplificateur BF de puissance un tant soit peu confortable.

Vous dites ? Que si vous construisez un amplificateur, vous l'équiperez de sa propre alimentation ? Que vous saurez bien gonfler celle-ci en cas de besoin ? Alors nous sommes d'accord, au boulot.

Le schéma

Le schéma d'une alimentation variable est forcément un peu compliqué. Celui-ci ne fait pas exception. La symétrie lui confère en plus une certaine esthétique, à laquelle vous devez être sensibles. La symétrie du schéma de la **figure 1** fait pendant à la symétrie du fonctionnement, que nous allons examiner en détail.

L'histoire commence avec un transformateur, qui fournit à partir de la tension du secteur une basse tension alternative **isolée** de 18 V. Surviennent les deux diodes D1 et D2, et les deux condensateurs C1 et C2, qui redressent la tension alternative (*analogique anti-choc n°2*, elex n°7, et *cinq redresseurs* n°12 page 14). Les deux tensions continues filtrées sont stabilisées à plus 22,8 V et moins 22,8 V par les régulateurs tripodes IC1 et IC2. Il s'agit de régulateurs à tension de sortie fixe de 15 V dont la broche de référence est **décalée** du zéro par les diodes zener D3 et D4. C'est une façon classique d'utiliser un régulateur standard pour obtenir une tension de sortie non normalisée.

Nous voici donc en présence de tensions fixes alors qu'il nous faut des tensions de sortie variables. C'est ici qu'interviennent le potentiomètre P1 et les résistances R1 et R2. Le potentiomètre est monté en résistance variable et permet d'obtenir deux tensions, symétriques, réglables de 0 V à plus et moins 13 V par rapport à la masse. La valeur absolue des deux tensions est égale à la seule condition que R1 et R2 soient égales, ce qui nous dispense d'installer deux potentiomètres couplés mécaniquement.

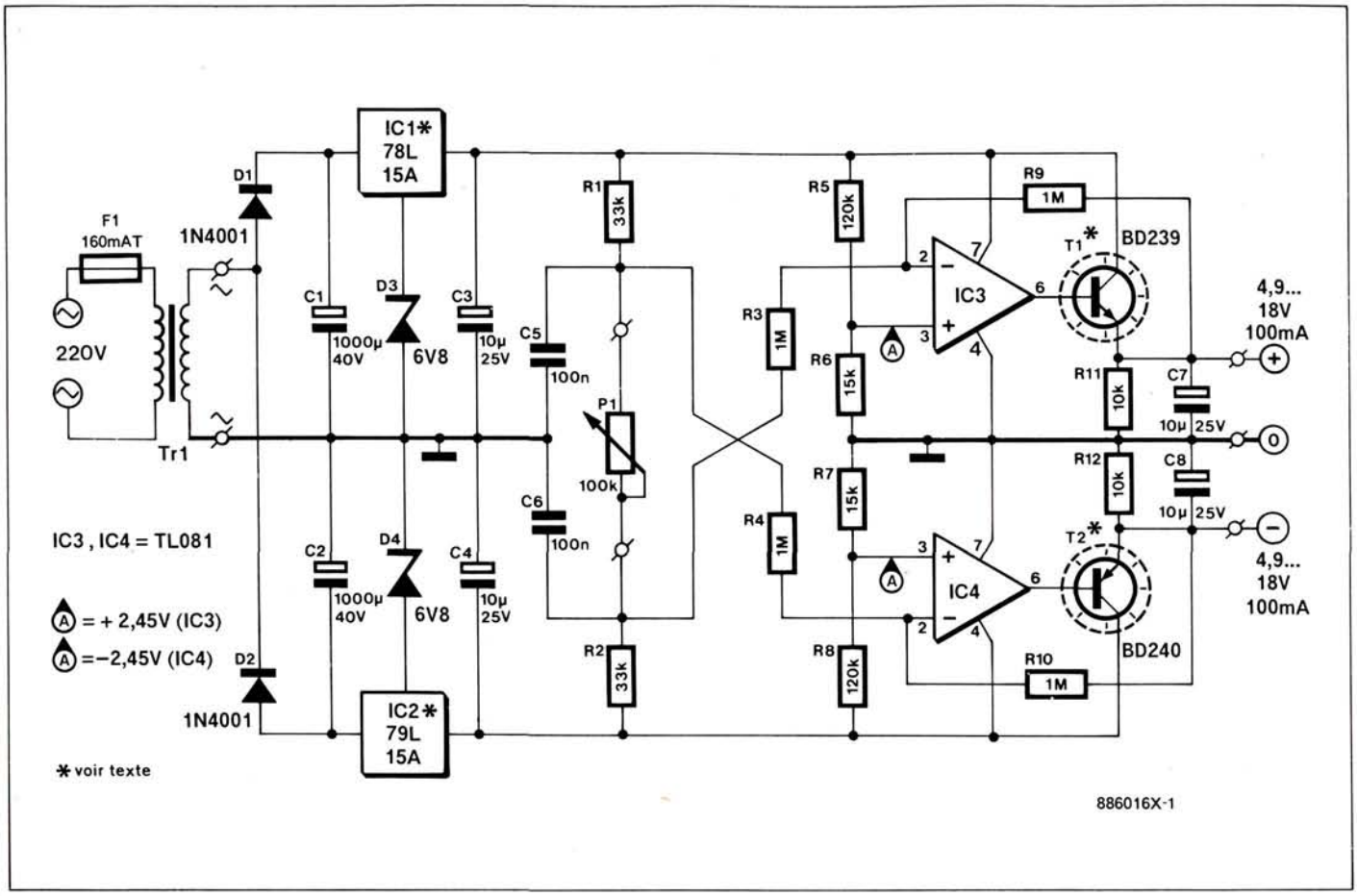


Figure 1 - Le schéma de l'alimentation symétrique est . . . symétrique, comme on pouvait s'y attendre. Les transistors de sortie ou* ballasts *sont de polarité opposée, de même que les régulateurs intégrés qui fournissent la référence de tension.

La tension positive est appliquée par R4 à IC4, qui régule la tension de sortie négative. La tension négative est appliquée par R3 à IC3 qui régule la tension positive. Les deux amplificateurs opérationnels sont complétés par les transistors T1 et T2, montés en suiveurs de tension. Ils amplifient la tension appliquée à leur entrée inverseuse selon la loi suivante :

$$U_S = (U_A - U_{R2}) \times (1 + \frac{R9}{R3})$$

Il s'agit là des repères des composants de la partie positive de l'alimentation, mais la transposition à la partie négative est des plus simples. La tension de sortie de l'amplificateur IC3 est le produit de la différence des tensions U_A et U_{R2} par le rapport R9/R3 + 1. Ce rapport est égal à 1, U_{R2} est négative, donc la tension de sortie d'IC3 est égale à deux fois la somme de U_A et de la valeur absolue de U_{R2}. Les valeurs du schéma donnent pour U_A une valeur de 2,45 V, donc pour la tension de sortie une valeur minimale (quand U_{R2} = 0) de 4,9 V.

Nous avons confondu jusqu'ici la tension de sortie de l'amplificateur opérationnel avec celle de l'alimentation. C'est parfaitement justifié car la tension appliquée à la résistance de contre-réaction R9 est bien celle la sortie de l'alimentation. Il n'y a entre la sortie d'IC3 et la sortie de l'alimentation qu'un décalage de 0,7 V, la tension de seuil (V_{BE}) de la jonction base-émetteur de T1. Le transistor T1 est monté en émetteur-suiveur (*analogique anti-choc*, elex n°9 page 50). Le transistor en émetteur-suiveur n'apporte pas de gain en tension, mais fournit le courant nécessaire, que l'amplificateur opérationnel ne peut pas débiter. Le transistor T1 fait partie de l'amplificateur opérationnel.

La commande de l'alimentation positive par une tension négative et vice-versa permet de répercuter sur une alimentation une limitation d'intensité de l'autre. Les régulateurs intégrés diminuent la tension de sortie si l'intensité consommée dépasse la limite prévue par construction. Une chute de la tension de sortie du régulateur positif entraînera une chute de la tension de référence négative puisque le courant qui traverse le pont diviseur est fonction de la somme des tensions de sortie des régulateurs. Ainsi quel que soit le régulateur surchargé, la tension des deux sorties diminuera.

Les composants qu'il nous reste à examiner nous sont déjà familiers. Les condensateurs C3 et C4 filtrent la tension de sortie des régulateurs (IC1 et IC2) et les empêchent d'osciller ; de même C5 et C6, C7 et C8 empêchent les amplificateurs opérationnels d'osciller. Ces derniers doivent pouvoir se décharger quand nous diminuons la tension de sortie. Ils ne peuvent le faire que dans une charge connectée à la sortie car les transistors ne peuvent pas conduire en sens inverse. C'est donc pour permettre cette décharge que les résistances R11 et R12 sont branchées en parallèle sur la sortie.

Le rôle de C5 et C6 est aussi de filtrer les perturbations éventuelles de la tension de commande des amplificateurs opérationnels. Ils sont particulièrement utiles si le potentiomètre est raccordé par des fils un peu longs.

La construction et l'installation

La construction est grandement simplifiée par le circuit imprimé visible en **figure 2**, avec l'implantation des composants. Toutes les méthodes de copie sont bonnes, seul le résultat compte. Implantez les composants dans l'ordre habituel : résistances, diodes, puis condensateurs et enfin transistors et circuits intégrés.
Les radiateurs des transistors doivent être isolés l'un de l'autre, car les languettes métalliques sont reliées aux collecteurs.

Le transformateur peut aussi être installé sur un circuit imprimé comme celui de la **figure 3**. Il correspond à un transformateur standard pour circuit imprimé, sur carcasse EI48, mais vous pouvez l'adapter au modèle que

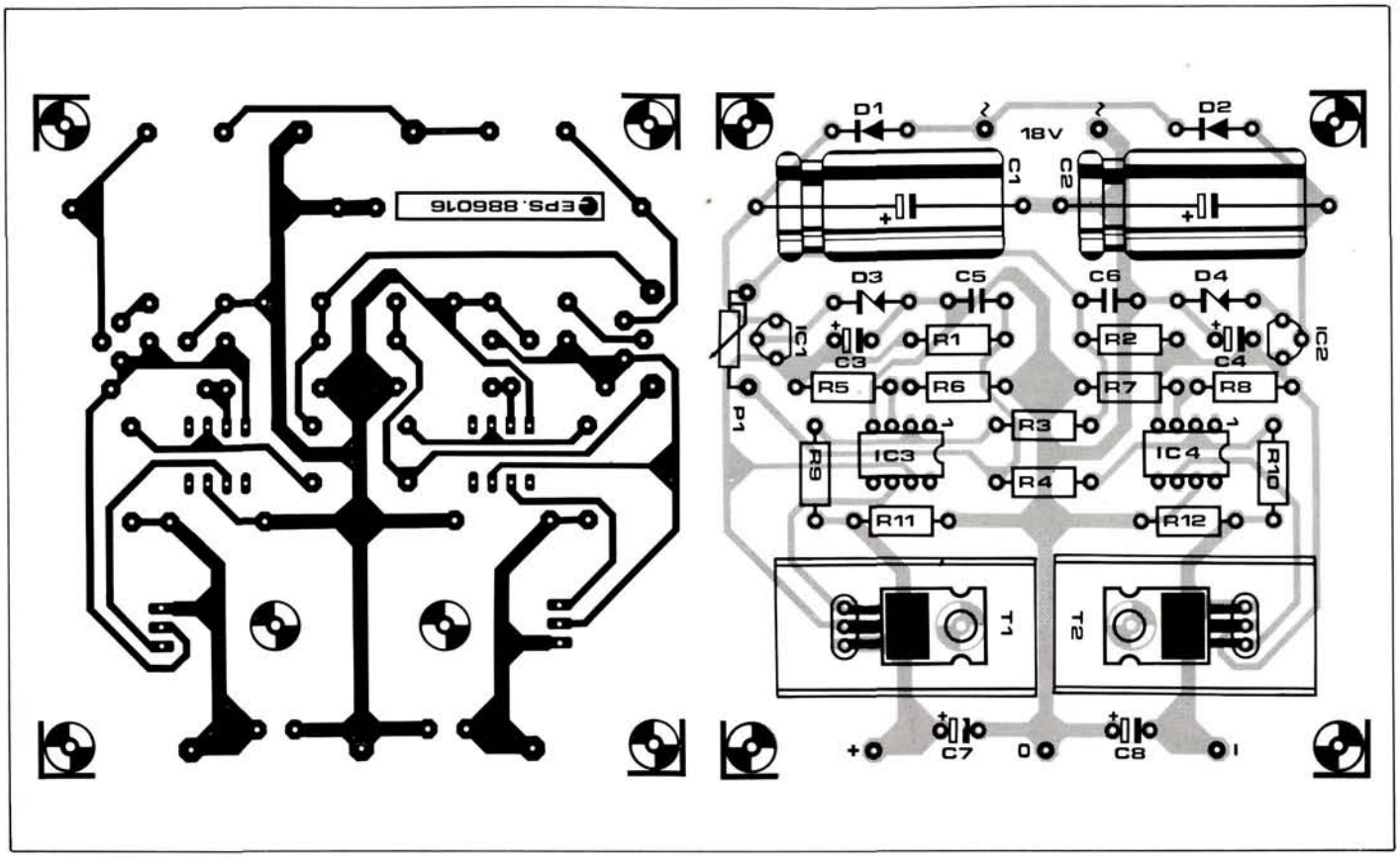


Figure 2 - Le circuit imprimé, vu côté cuivre, et l'implantation des composants. Seules les résistances ont un sens de montage indifférent ; donc attention à la polarité au moment de l'installation.

Liste des composants

R1,R2 = 33 kΩ
R3,R4,R9,R10 = 1 MΩ:1%
R5,R8 = 120 kΩ
R6,R7 = 15 kΩ
R11,R12 = 10 kΩ
P1 = 100 kΩ lin.
C1,C2 = 1000 µF/35 V
C3,C4,C7,C8 = 10 µF/ 25 V tantale
C5,C6 = 100 nF MKT ou MKH
D1,D2 = 1N4001 à 1N4007
D3,D4 = zener 6,8 V/ 400 mW
T1 = BD239 ou TIP29 ou TIP31
T2 = BD240 ou TIP30 ou TIP32
IC1 = 78L15(A)
IC2 = 79L15(A)
IC3,IC4 = TLO81

F1 = fusible 160 mA retardé
TR1 = transformateur 10 VA
18 V ou 2 x 9 V
2 radiateurs pour T1 et T2
prise secteur avec interrupteur et porte-fusible

vous utilisez. Veillez à maintenir une distance de 6 mm entre les bornes du secteur ; utilisez pour cela un bornier à trois points dont un reste libre.

Vos deux circuits imprimés une fois équipés, vous pouvez les installer dans le boîtier. Ce boîtier sera de préférence en matière plastique, pour simplifier les problèmes d'isolement. La sécurité et la commodité d'emploi seront améliorées par l'utilisation d'une prise secteur avec interrupteur et fusible incorporés ; l'avantage est double : vous n'avez pas besoin de prévoir de dispositif anti-traction et il n'y a qu'un trou à percer. Toutes les parties soumises à la tension du secteur doivent être isolées, par exemple avec de la gaine thermo-rétractile.

La face avant du coffret peut être habillée d'une photocopie de la **figure 5**, protégée par un film adhésif transparent.

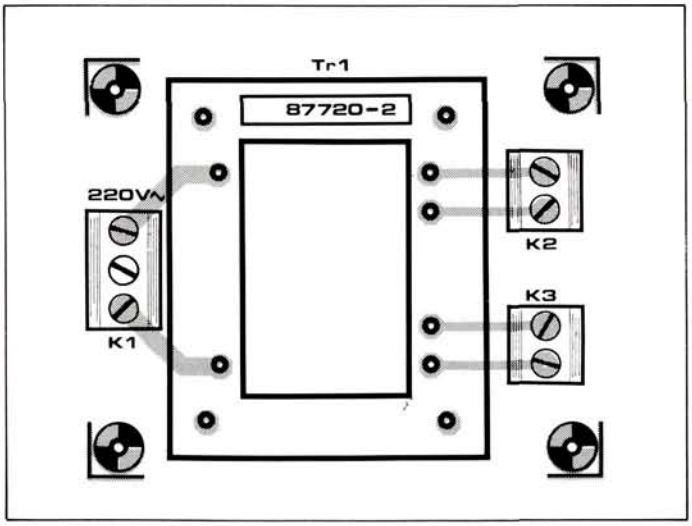


Figure 3 - Le transformateur doit aussi être installé sur un circuit imprimé. Cet exemple correspond à un transformateur de 10 VA sur carcasse EI48. Si vous devez l'adapter à un autre type, veiller à conserver la distance d'isolement entre les bornes du secteur.

Tolérance

Rassurez vous, braves gens, il ne s'agit pas d'un discours politique sur la tolérance et le port du voile, mais de considérations techniques sur les tolérances des composants. L'égalité des tensions de sortie dépend principalement du gain des amplificateurs opérationnels, donc de la valeur des résistances de contre-réaction qui le déterminent. Dans le pire des cas, une tolérance de 5% donnerait une différence de 20% entre les deux tensions de sortie. Le pire des cas serait qu'une résistance de contre-réaction (R9) dont la valeur se situe à une extrémité de la tolérance ait pour homologue (R10) une résistance dont la valeur se trouve à l'autre extrémité de la tolérance, et que cette déveine se répète pour R4 et R3. La liste des composants prévoit donc des résistances à tolérance de 1%.

Vous pouvez aussi, si vous possédez un multimètre numérique, trier des composants à 5% ; dans ce cas faites-le pour toutes les résistances du montage (sauf R11 et R12). La précision de l'appareil

n'est pas primordiale, puisque c'est surtout l'égalité des valeurs que nous recherchons.

Les régulateurs intégrés IC1 et IC2 ont aussi une tolérance. Utilisez plutôt des régulateurs 78Lxx**A** et 79Lxx**A** que des 78Lxx et 79Lxx. Les premiers ont une tolérance de 5%, les autres de 10%, et la différence est importante pour cette application.

Ne vous alarmez pas si votre alimentation n'est pas rigoureusement symétrique. La plupart des montages que nous vous proposons fonctionnent parfaitement avec une différence de 10% à 20% entre la tension positive et la tension négative.

Le transformateur

Le transformateur devra délivrer une tension de 18 V, peu courante. Ce qui est courant en revanche, c'est un modèle de transformateur à deux secondaires de 9 V que vous raccorderez en série. La puissance de 10 VA recommandée peut vous sembler importante en regard de la puissance disponible en sortie de l'alimentation. Ce surdimensionnement permet de limiter la chute de tension en charge, malgré le redressement monoalternance.

Les transistors

Comme vous pouvez le voir sur la liste des composants, nous indiquons trois types différents pour chacun des deux transistors. Leurs caractéristiques principales sont très proches et ils sont équivalents pour l'usage que nous en faisons ici.

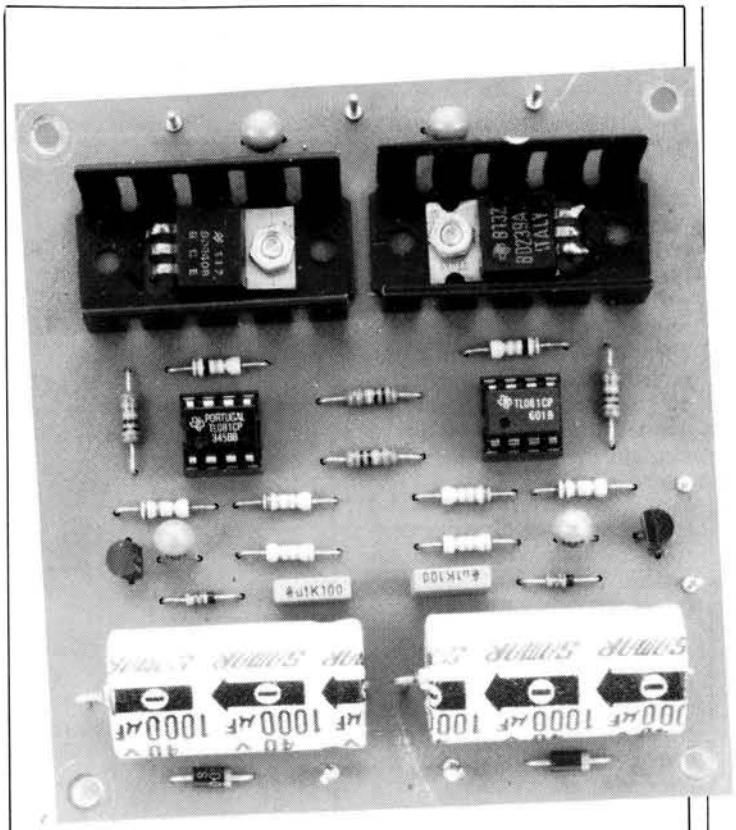
Intensité de sortie plus importante

Si vous voulez utiliser l'alimentation symétrique pour des montages gros consommateurs de courant, il faudra modifier certains composants. Tout d'abord le transformateur et le redresseur. Le transformateur aura une puissance de 50 ou 100 VA, avec deux secondaires de 9 V, le redressement sera effectué par un pont moulé, et le filtrage par des condensateurs de 4700 µF/35 V. Les deux tensions continues seront appliquées à l'entrée des régulateurs, après D1 et D2. Le point milieu du transformateur sera raccordé à la masse du circuit imprimé.

Les régulateurs seront des modèles 7815 et 7915, capables de fournir 1,25 A, montés eux aussi sur un radiateur, et isolés. Le reste du circuit est inchangé.

Rappelons, au risque de faire un peu rengaine, que les alimentations de type *série* dissipent de la puissance sous forme de chaleur et qu'il faut donc monter les régulateurs et les transistors *ballast* sur des radiateurs généreux.

886016



Réglage par plots

Vous pouvez préférer un réglage de tension par plots. Remplacez le potentiomètre P1 par un commutateur à 11 positions, avec 10 résistances de 10 kΩ. Vous obtiendrez une résistance variable de 100 kΩ, tout comme le potentiomètre, mais le passage d'une position à la suivante fera augmenter (ou diminuer) la tension de sortie de 1 V, entre 5 et 15 V. Ce mode de réglage dispense d'utiliser un voltmètre et vous libère de la crainte des surtensions accidentelles sur le circuit à l'essai. Le commutateur à 11 positions est un modèle à douze positions bloqué à 11.

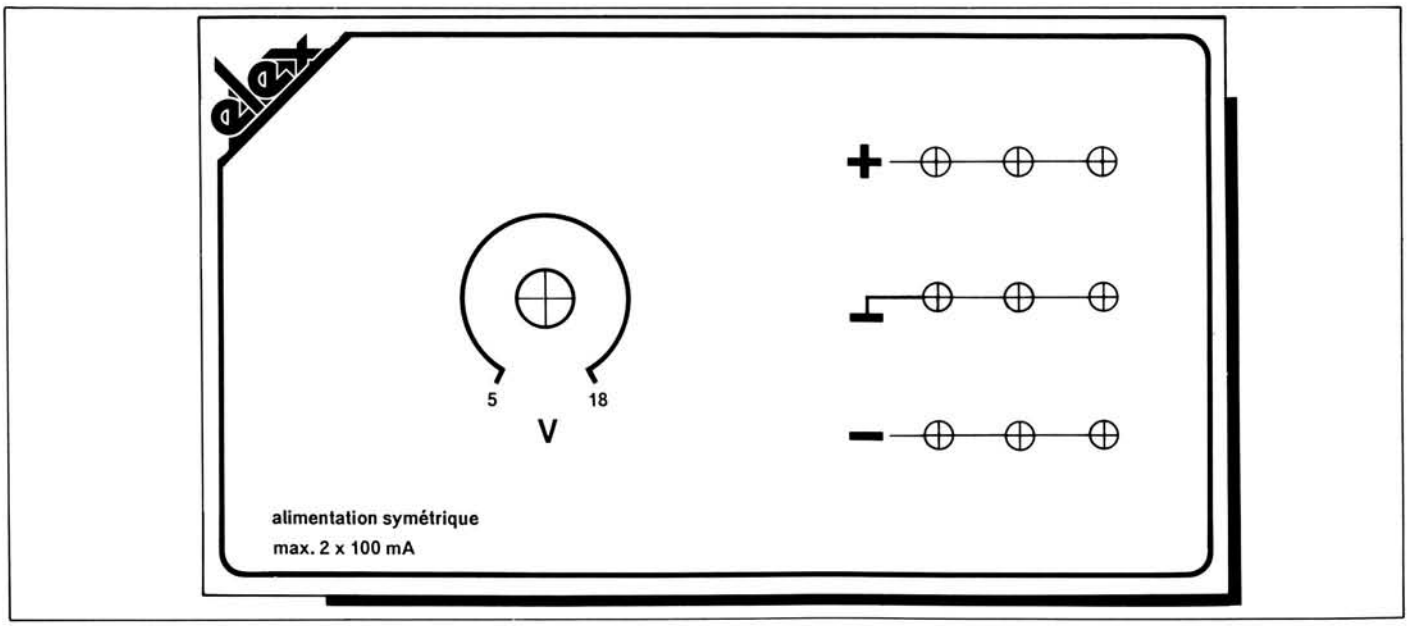
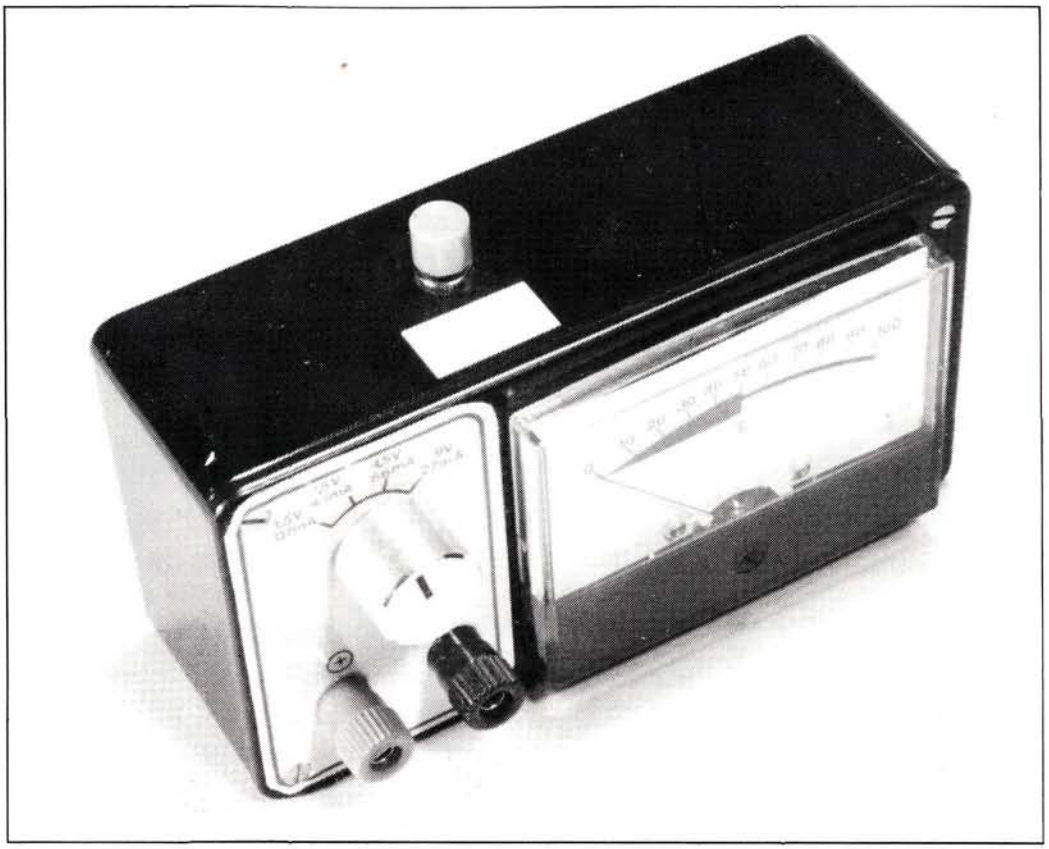


Figure 4 - Un exemple de face avant pour le coffret. Vous pouvez éventuellement l'agrandir au photocopieur, coller la photocopie, protégée par un film adhésif, sur votre coffret. Merci elex.

testeur de piles

Si nous l'avons placé au sommaire de ce numéro, c'est de toute évidence parce que ce testeur est un montage dont l'utilité n'échappera pas à un seul de nos lecteurs, mais c'est aussi parce qu'il ne comporte (presque) rien d'autre que des résistances, ce qui est quand même assez rare. pour qu'on le signale.



Les piles, c'est une belle invention. Seulement pourquoi ont-elles la fâcheuse tendance à être déchargées juste au moment où on a le plus besoin d'elles ? Le poste à transistors s'arrête en pleine retransmission du match de foot, le ronron de la caméra s'éteint juste au moment où la tante Mimi tombe de la gondole dans le Grand Canal à Venise et le walkman est à plat juste au moment où vous avez fini de lacer vos chaussures au bord la patinoire. Chite !

Faut-il donc un appareil spécial pour vérifier l'état d'une pile ? Un multimètre permet bien de mesurer la tension, non ?
C'est vrai qu'un relevé de tension nous indique si une pile est chargée ou déchargée. Mais lorsqu'elle est chargée, nous ne pourrons connaître l'état de cette charge qu'en l'éprouvant, c'est-à-dire en la mettant sous charge justement. Et pour chaque type de pile, il faut une charge spécifique, adaptée aux caractéristiques du modèle. Le multimètre ne suffit pas, il faut aussi avoir sous la main la résistance de la valeur qui convient, il faut brancher le tout en série et interpréter la position de l'aiguille. Pour des gens qui manipulent des piles régulièrement, ce n'est la méthode ni la plus simple ni la plus efficace. Il est beaucoup plus judicieux de fabriquer le petit testeur que nous vous proposons, équipé de son galvanomètre avec une échelle de 0 à 100%, et un commutateur à 4 positions pour choisir instantanément la résistance de valeur appropriée. Une fois l'appareil prêt, vite fait, bien fait, il suffit de le relier à la pile à tester, d'appuyer sur un bouton, et aussitôt l'aiguille du galvanomètre indique l'état de sa charge en termes de pourcentage de la charge encore disponible. Si la pile testée a perdu par exemple 30% de sa charge, l'aiguille indique 70%.

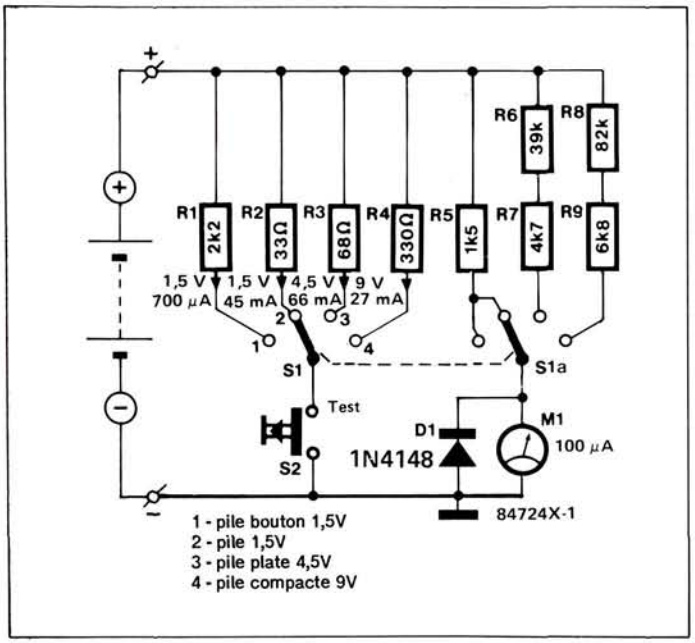


Figure 1 - On appréciera, dans un numéro centrée sur les résistances, la présence d'un montage fait (presque) exclusivement de résistances. Les grand consommateurs de piles apprécieront l'efficacité de ce testeur.

Le mois prochain, dans notre tableau récapitulatif des articles publiés dans ELEX en 1989, cet appareil devra-t-il être rangé plutôt parmi les appareils de mesure et de laboratoire ou plutôt parmi les appareils domestiques ? À en juger par le schéma de la **figure 1**, il s'agit d'un voltmètre, c'est-à-dire d'un appareil de mesure ; mais puisqu'on l'utilise essentiellement en dehors du labo d'électronique, c'est plutôt un appareil domestique.

Peu importe, l'essentiel est que vous puissiez en faire le meilleur usage possible. Laissons ces tergiversations et passons à l'examen du schéma. Le commutateur S1 a une double fonction : il choisit non seulement l'une des quatre résistances R1 à R4 pour la mettre en série avec la pile dont il faut tester la capacité, mais il change aussi de résistance de limitation de courant (R5 à R9), mise en série avec le galvanomètre.
Ainsi lorsque l'on teste une batterie de 9 V reliée aux pôles + et – du montage, le commutateur S1 doit être en position 4. Quand on appuie sur le poussoir S4, celui-ci se ferme et il circule un courant de 27 mA à travers R4 (vérifiez en appliquant la loi d'Ohm !). L'autre circuit de S1 met en service le montage en série de R8 et R9 comme

résistance de limitation du galvanomètre M1. La résistance totale, y compris la résistance interne du galvanomètre, est de 90 kΩ. Si l'on divise par 90 kΩ la tension de 9 V on trouve 100 µA : l'aiguille du galvanomètre dont la sensibilité est de 100 µA va donc en bout de course pour indiquer que la tension de la pile est de 9 V **en charge**.
Le rôle de la diode est de protéger le galvanomètre contre l'inversion de polarité éventuelle de la pile. Nos lecteurs sont si distraits . . .

Ce montage pourra être réalisé sans platine. Les résistances seront soudées à même les cosses du commutateur et la diode montée directement sur le galvanomètre. Si vous voulez faire l'économie de ce composant, vous pouvez bien entendu utiliser votre multimètre en calibre 100 µA. Et si vous préférez utiliser un autre calibre, ou si vous disposez d'un galvanomètre d'une autre sensibilité que celle que nous indiquons, qu'est-ce qui vous empêche de recalculer les valeurs de R5 à R9 pour les y adapter ? Rien, bien sûr !

La simplicité de ce montage ne lui permet d'indiquer l'état de charge que de piles au zinc-charbon ordinaires, à l'exclusion des piles au lithium ou au mercure et des accumulateurs (rechargeables) dont la caractéristique de décharge est différente.

La **figure 3** donne une échelle graduée en pourcentage que vous pouvez substituer à l'échelle originale de votre galvanomètre. Soulevez doucement le capot transparent avec un tournevis fin et collez la nouvelle échelle sur l'ancienne après avoir fait les échancrures nécessaires. Attention : ne touchez surtout pas à l'aiguille, elle est extrêmement fragile.

Quand vous testez une pile et que l'aiguille ne dépasse pas les 50%, vous pouvez la considérer comme déchargée. Mais n'allez pas la jeter illico dans la première poubelle venue. Faites l'effort de la déposer dans un bac de récupération de piles usagées, comme on devrait en trouver partout, chez les photographes et dans les grands magasins. 84724

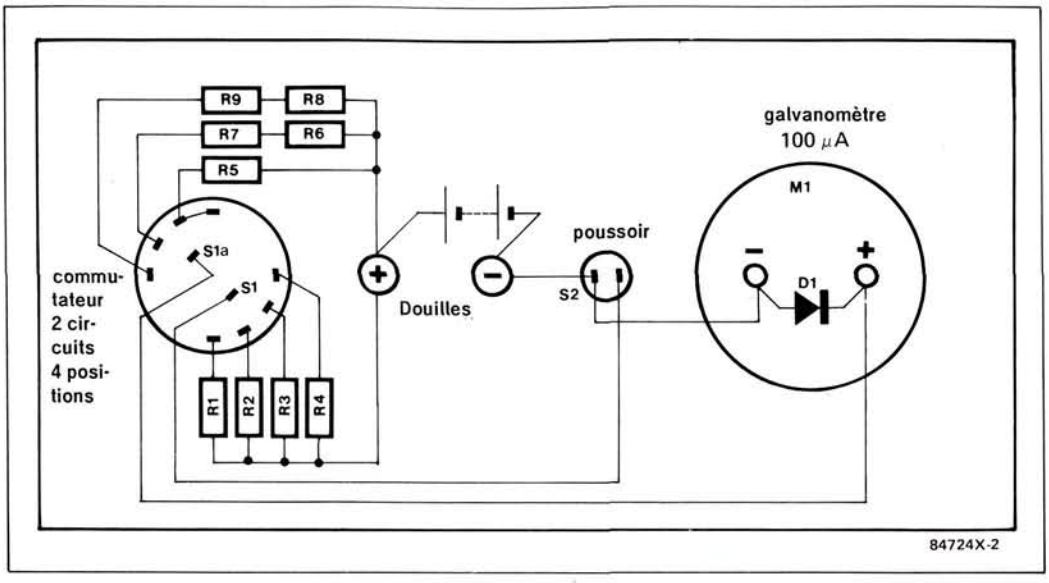


Figure 2 - Instructions de câblage du testeur de piles. On peut se passer de circuit imprimé.

LISTE DES COMPOSANTS

R1 = 2,2 kΩ
R2 = 33 Ω
R3 = 68 Ω
R4 = 330 Ω
R5 = 15 kΩ
R6 = 39 kΩ
R7 = 4,7 kΩ
R8 = 82 kΩ
R9 = 6,8 kΩ

D1 = 1N4148

S1 = commutateur rotatif 2 circuits, 4 positions
S2 = poussoir
M1 = galvanomètre 100 µA

coffret
8 cm x 15 cm x 5 cm environ
supports pour piles
(pas de platine)

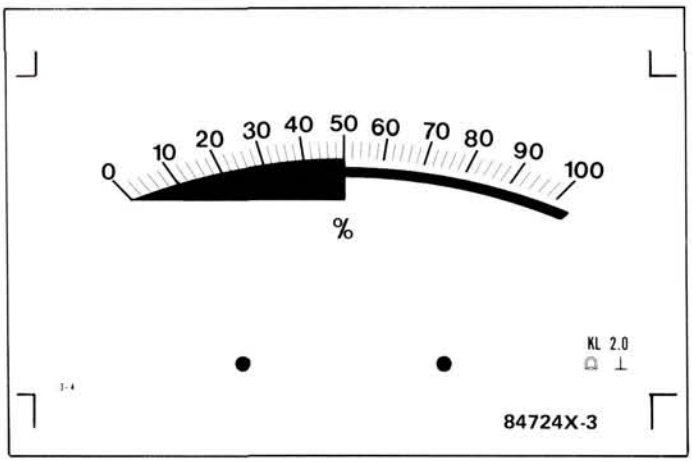


Figure 3 - Échelle graduée en pourcentages à substituer à l'échelle d'origine du galvanomètre.

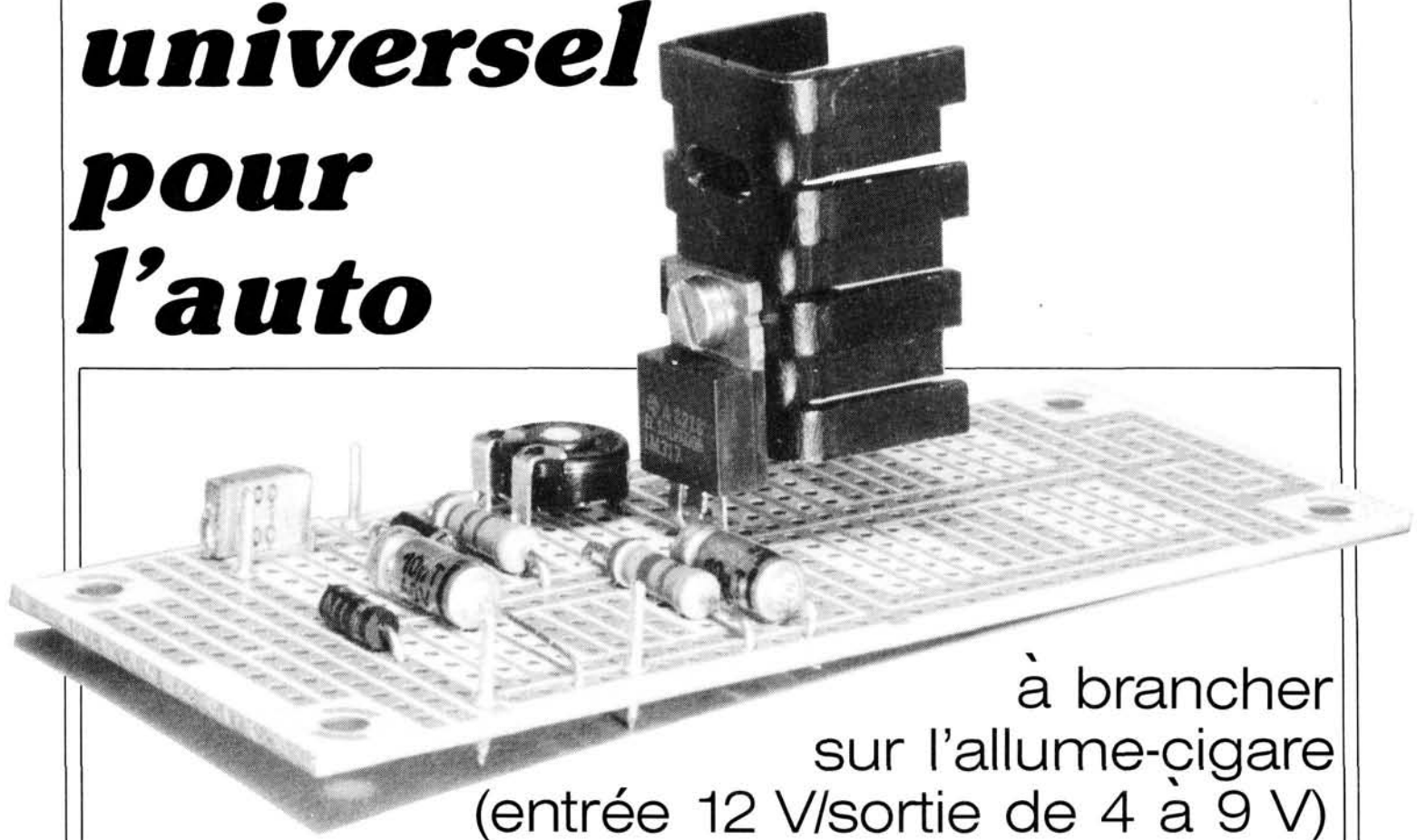
MAGNETIC-FRANCE

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

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

un régulateur universel pour l'auto



à brancher sur l'allume-cigare (entrée 12 V/sortie de 4 à 9 V)

Avertissement : Ne vous méprenez pas sur la fonction du circuit présenté ici. Il ne se substitue pas à ce que l'on appelle communément le régulateur de la tension de bord du véhicule. Il n'intervient pas par conséquent dans le circuit électrique de l'auto sous le capot ou derrière le tableau de bord. Il vient au contraire le compléter pour le plus grand confort des passagers dans l'habitacle.

J'ai un bon lecteur-enregistreur de cassettes alimenté sous 6 V. Que faire pour l'utiliser en voiture où la tension est de 12 V ?

Compte tenu du temps que nous passons dans nos autos, nous sommes de plus en plus enclins à y utiliser des appareils électriques qui ne sont pas forcément conçus pour ça. Lecteurs de cassettes, rasoir, mini-téléviseur, caméra, chargeur de piles, jeux électroniques, micro-ordinateur portable, etc. Certains fabricants proposent pour leurs appareils des modules adaptateurs, souvent chers et rarement universels. Voici une belle occasion de joindre l'utile à l'agréable, grâce au circuit de régulateur de tension que vous propose ELEX.

La solution de facilité, quand il s'agit par exemple de ramener, pour un lecteur de cassettes qui consomme une centaine de milliampères, la tension de service de 12 à 6 V, c'est de faire appel à une résistance de 60 Ω aux bornes de laquelle chuteront les 6 V excédentaires.

Dans ces conditions, attention les dégâts quand vous allez rembobiner une cassette ! La tension s'effondre car l'intensité du courant triple ou quadruple.

Soit. Alors nous stabiliserons, avec une diode zener par exemple. . .

Vous souvenez-vous du mode de fonctionnement d'une stabilisation de tension avec une diode zener ? Non ? Eh bien, nous vous recommandons de vous replonger sans tarder dans les premiers numéros d'ELEX; il a été question de cela dès le numéro 1 avec une alimentation à tension de sortie variable.

Ici nous allons faire appel à un procédé résolument moderne sous la forme d'un régulateur intégré. Ce genre de circuit n'est pas nouveau non plus dans ELEX, mais nous n'avons utilisé jusqu'ici que des régulateurs à tension **fixe**. Or il se trouve que dans la gamme de ces circuits intégrés régulateurs, il n'y en par exemple aucun qui fournisse 6 V, ni 4 V, ni 7 V.

Le régulateur auquel nous ferons appel est le LM317 qui ressemble d'ailleurs à s'y méprendre aux régulateurs fixes, puisqu'il est monté comme eux dans un boîtier de puissance à trois broches. Deux résistances suffisent pourtant à en faire un régulateur "programmable" pour tensions de sortie stabilisées à partir de 1,25 V, à condition bien entendu que la tension d'entrée appliquée au régulateur soit suffisante. Nous n'entrerons pas ici dans des explications détaillées du fonctionnement interne du circuit intégré.

Le schéma

A en juger par le schéma de la **figure 1**, le circuit n'est pas bien compliqué. Les deux résistances qui déterminent la valeur de la tension de sortie sont d'une part R1 et d'autre part l'ensemble formé par P1 et R2. C'est grâce à P1 que l'on adaptera la valeur de la tension de sortie à celle de l'appareil que l'on désire alimenter.

La protection du circuit intégré est assurée pour une bonne part par des dispositifs internes (température et courant), mais aussi par les deux diodes externes.

Les condensateurs sont là, comme dans toute alimentation, pour lisser la tension, c'est-à-dire résorber les chutes de tension parasitaires provoquées par de brusques appels de courant. L'intensité moyenne maximale du courant fourni par ce circuit de régulation est de 1 A, intensité qui suppose la présence d'un radiateur de taille convenable à défaut duquel le dispositif de protection thermique entre en fonction avant même que l'intensité ait pu atteindre la valeur souhaitée.

Voici à présent la formule qui sert à calculer la valeur de la tension de sortie :

$$U_{sortie} = 1{,}25\ V\ (1 + \frac{R2}{R1})$$

Pour commencer nous considérerons P1 comme court-circuité (son curseur est en fin de course du côté de R2). A R1 nous donnerons une valeur de 120 Ω pour que circule un courant de repos de 10 mA indispensable au bon fonctionnement du régulateur. Il ne reste plus à résoudre que l'équation :

$$R2 = R1\ (\frac{U_{sortie}}{1{,}25\ V} - 1)$$

Pour une tension de 6 V comme il en a été question ci-dessus, il faut une résistance de 456 Ω, valeur assez biscornue pour que nous ne la trouvions pas dans nos tiroirs. C'est pourquoi nous avons prévu la résistance variable P1 grâce à laquelle on obtient jusqu'à 770 Ω pour P1+R2. En théorie les limites de la plage de réglage balayée dans ces conditions avec P1 sont donc de 4,06 V et 9,27 V. En pratique ces valeurs seront éventuellement différentes en raison de la tolérance dont pourrait être affectée la valeur des composants concernés. Sur le prototype que nous avons construit nous avons par exemple relevé une limite inférieure de 4,05 V et une limite supérieure de 9,32 V. Avec ça on couvre vraiment tous les besoins courants.

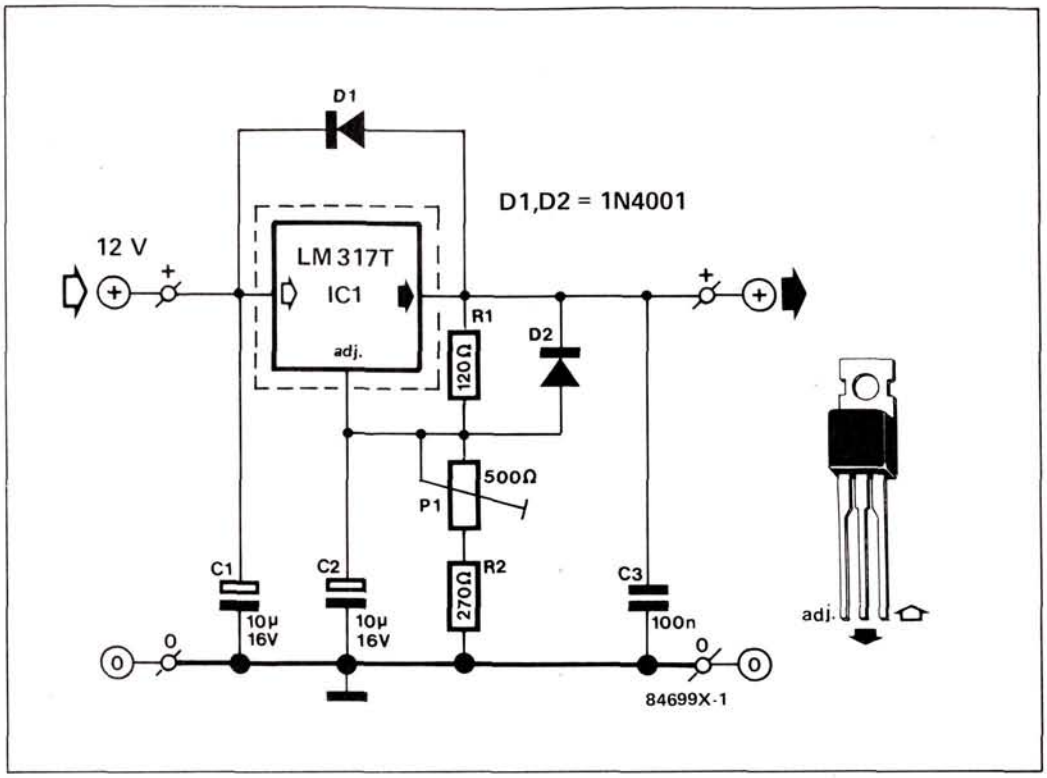


Figure 1 - Le régulateur intégré LM317T permet de réaliser rapidement et efficacement un régulateur de tension universel, présenté ici comme accessoire pour l'auto, mais utilisable en fait aussi bien à la maison.

Montage à demeure sous le tableau de bord

La réalisation de ce circuit ne devrait poser aucun problème particulier, même aux débutants, à condition de respecter les indications du plan d'implantation de la figure 2.

Selon le volume disponible, le radiateur du régulateur sera implanté au choix verticalement ou horizontalement.

Prévoyez des cosses d'un format convenable ainsi que des fils de liaison de section appropriée à l'intensité des courants. Il n'est pas nécessaire de mettre le circuit du régulateur en coffret; vous trouverez sans doute assez de place pour le loger sous le tableau de bord (méfiez-vous des liaisons flottantes et mal isolées : un court-circuit peut avoir des conséquences graves sur le circuit électrique d'une auto; ne négligez pas le risque d'incendie).
Vérifiez la polarité des diodes et celle des condensateurs électrolytiques. Même sur les circuits les plus simples on peut faire de grosses bêtises. . .

Avant de le monter à bord du véhicule, essayez le circuit «sur table». Ensuite la borne positive pourra être par exemple celle de l'allume-cigare si la voiture en a un (on trouve cet accessoire stupide, doublé d'un cendrier, en série sur des voitures qui par ailleurs n'ont pas même d'éclairage dans le coffre, ni de ceinture à l'arrière). Sinon c'est la borne 30 du circuit électrique. La borne négative est facile à trouver elle aussi (elle porte le numéro 31 dans les circuits normalisés).

Le fusible dans la ligne d'alimentation positive est indispensable; sans ce composant peu encombrant et bon marché, vous risquez de retrouver un jour la voiture calcinée suite à un court-circuit accidentel. . .

Pour le câblage de la tension de sortie du régulateur, donnez-vous le mal de faire une connexion à la fois robuste et pratique. Dans une voiture, les contraintes mécaniques exercées sur de telles liaisons sont plutôt fortes.

Montage amovible

En réfléchissant bien vous arriverez peut-être à la conclusion suivante : il est sans doute préférable de monter le circuit dans un solide petit coffret muni en aval d'un fil de liaison vers l'appareil à alimenter, et en amont d'un autre fil à l'extrémité duquel vous aurez soudé une fiche mâle pour l'allume-cigare. De cette manière votre régulateur garde une certaine autonomie; vous pourrez l'utiliser sur d'autres voitures, avec différents appareils, et surtout, vous n'aurez pas à intervenir sur le circuit électrique de l'auto.

84699

LISTE DES COMPOSANTS

R1 = 120 Ω
R2 = 270 Ω
P1 = 500 Ω var.
C1,C2 = 10 µF/16 V
C3 = 100 nF
D1,D2 = 1N4001
IC1 = LM317T
radiateur pour IC1
platine d'expérimentation de format 1

La tension de service indiquée sur les condensateurs chimiques sera égale ou supérieure à la valeur spécifiée dans la liste des composants.

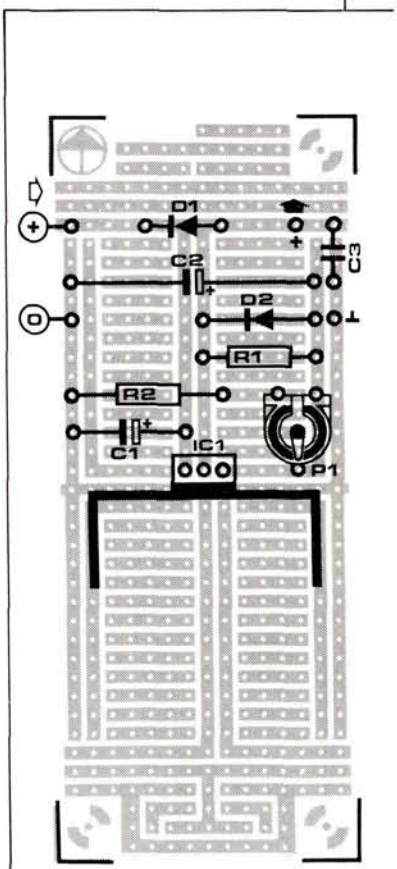


Figure 2 - Si le régulateur reste implanté verticalement comme c'est le cas ici, on pourra couper près de la moitié de la platine d'expérimentation ou y monter un deuxième circuit pour une autre tension de sortie.

lampe témoin de lampe témoin

surveillez vos voyants

Rien n'est éternel, tout passe, tout casse, même les composants électroniques. Certains d'entre eux cassent plus vite que d'autres. Pour les uns, les conséquences sont sans gravité, pour d'autres au contraire, elles peuvent être hénaurmes. Les lampes témoins et autres indicateurs ne sont généralement pas comptés au nombre des composants fragiles. Il est vrai qu'elles sont encore bien souvent en parfait état le jour où l'appareil qu'elles équipent finit sa carrière à la casse ou à l'équarrissage. Il est cependant des applications dans lesquelles le rôle joué par l'indicateur lumineux est important : lorsqu'il doit s'allumer pour signaler un défaut grave. Si au lieu de s'allumer la lampe reste éteinte, le défaut n'en sera pas moins grave, bien au contraire. C'est pourquoi on dédouble souvent les indicateurs sous la forme d'un dispositif optique (lampe, flash, gyrophare...) et d'un dispositif acoustique (ronfleur, sirène, sonnerie...).

L'idée que nous vous soumettons ici est de dédoubler l'indicateur optique par un autre indicateur. Tant que le voyant principal marche bien, l'autre reste éteint ; mais il s'allumera si le voyant reste éteint au lieu de s'allumer.

La probabilité que les deux lampes rendent leur filament en même temps est suffisamment faible pour que nous la négligions sans remords.

Le circuit de lampe témoin pour lampe témoin que nous vous proposons est très simple, mais il comporte néanmoins 2 transistors. Si c'est encore trop à votre goût, vous risquez de ne pas pouvoir satisfaire vos goûts spartiates très souvent dans ELEX, car quand bien même nous nous efforçons de publier avant tout des montages simples, nous ne rechignons jamais à rajouter un transistor ou un amplificateur opérationnel là où d'autres s'efforceraient de limiter les frais en vue d'une production en grandes quantités. Si nous pratiquons l'électronique comme loisir, c'est tout de même pour utiliser des composants, non, et pas pour les économiser !

Deux transistors donc, et trois résistances. Faut-il expliquer comment ça marche ? Allons, jetons un coup d'oeil au schéma de la **figure 1**. La1 est la lampe témoin d'origine, celle que nous voulons surveiller, celle qui s'allume tant qu'elle fonctionne, celle qui voit passer le courant qui provoquera une chute de tension sur R1. La valeur de R1, on ne la connaît pas, et pour cause : quelle est l'intensité du courant à travers La1, et la tension de service ? On sait pas pour l'instant, alors on continue. Ce qu'on veut, c'est créer, sans réduire notablement l'intensité du courant à travers LA1, une différence de potentiel entre la base et l'émetteur de T1.

Quand la chute de tension sur R1 dépasse le seuil de conduction de T1, celui-ci conduit, en conséquence de quoi il y circule un courant de collecteur. Cette fois c'est la chute de tension sur R3 qui est telle que la base de T2 est maintenue à un potentiel proche de la masse : T2 ne conduit pas (à droite, c'est, comme chacun sait, la place du mort).

La lampe La2 reste éteinte puisqu'il ne peut circuler aucun courant à travers T2.

Tout va bien, Madame la Marquise, le voyant marche.

Imaginons à présent que le filament de La1, affaibli par de nombreuses heures de bons et loyaux services, secoué parfois sans ménagements aux cours de nombreux déménagements, oui, supposons que ce pauvre filament casse. Il ne reste de la lampe que l'ampoule vide sur son culot.

Tara tara tatataaaa ! Voici le voyant de secours.

Le potentiel de base de T1 est ramené à presque rien par R1 et R2. Ce transistor se bloque. La polarisation de la base de T2 par R3 permet à ce transistor de conduire, car il y circule un courant de base. Il circule donc aussi un courant à travers le filament de La2 qui s'allume, indiquant par là que La1 aurait dû s'allumer, mais ne l'a pas fait.

Un montage comme celui-ci peut très bien être réalisé en montage volant. Il n'est pas nécessaire de monter les quelques composants sur un circuit imprimé, on peut les souder à même les douilles des lampes. Si vous préférez néanmoins implanter les composants sur un morceau de carte d'expérimentation, suivez le plan d'implantation de la figure 2.

Le tableau indique quelles valeurs donner à R1 et à R3 en fonction de la tension de service et de la puissance de La1 et de la tension d'alimentation Ua. Il n'est pas nécessaire au demeurant que La2 et La1 soient du même type ; il suffit de tenir compte de la valeur de U_a dans le choix de La2, en sachant que le courant qui traversera le transistor T2 ne doit pas être supérieur à 100 mA.

Que le montage soit réalisé en l'air ou sur une platine, il faut l'essayer avant de lui faire confiance. Rien de plus simple : faites-en sorte que le voyant d'origine La1 soit allumé, puis débranchez-le. Aussitôt La2 s'allume...

Tableau

lampe La1	R1	R3	U_a
6 V/0,05 A	22 Ω	820 Ω	6 V
6 V/0,45 A	2,7 Ω	220 Ω	6 V
12 V/0,1 A	10 Ω	820 Ω	12 V
12 V/0,25 A	3,9 Ω	330 Ω	12 V
24 V/0,05 A	22 Ω	820 Ω	24 V

si R2 = 10 Ω et T1,T2 = BC547B,BC550B

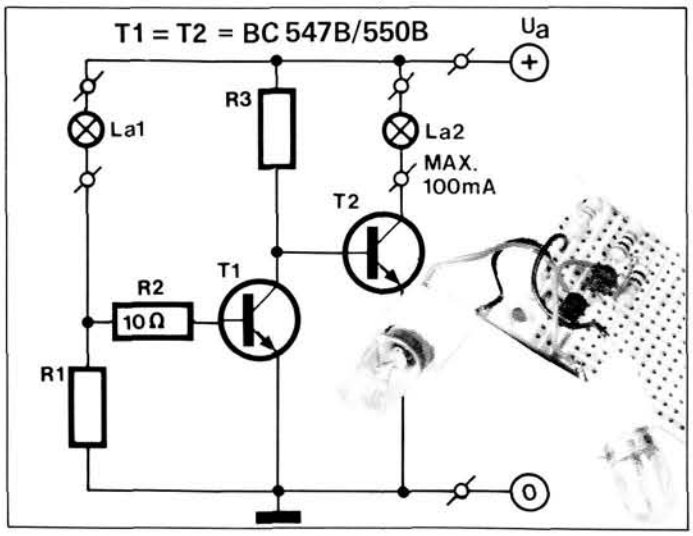


Figure 1 - La fonction de ce petit circuit monté autour d'une lampe témoin existante (La1) est de rajouter une lampe témoin de secours qui entre en service au cas où l'autre tombe en panne.

84654

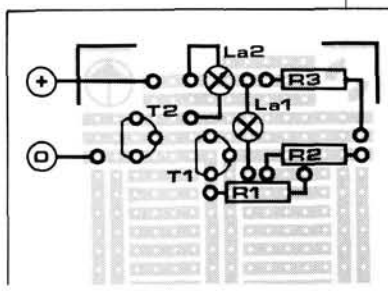
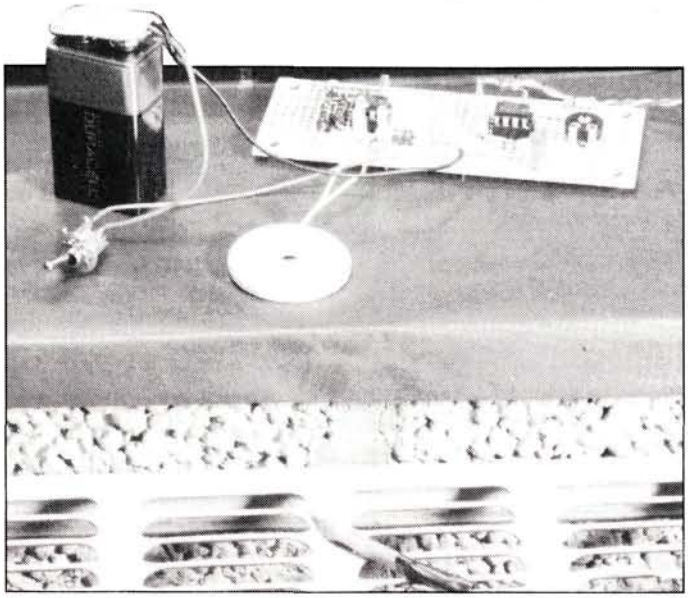


Figure 2 - L'implantation des composants du circuit de lampe témoin de secours peut se faire sur un morceau de circuit d'expérimentation, mais dans bien des cas on réalisera un montage volant.

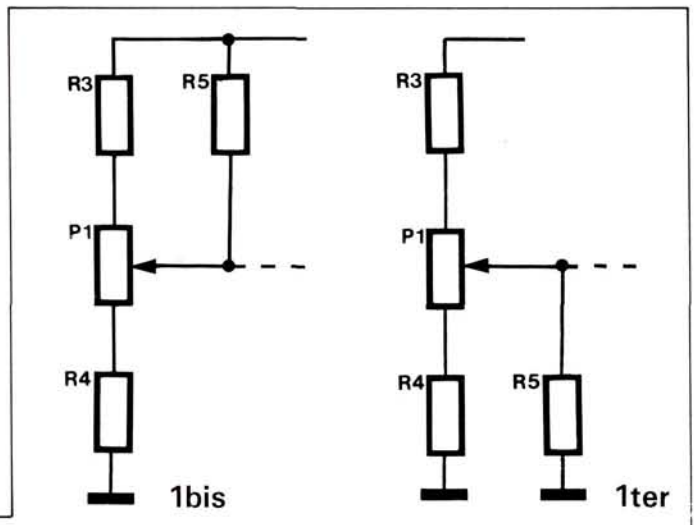
Indicateur de surchauffe

Depuis la surveillance d'un congélateur jusqu'à celle d'un bain (bain-marie de préférence) de perchlorure de fer pour la gravure de circuits imprimés, les applications de ce détecteur ne manquent pas. Il fait retentir un signal sonore et allume son voyant à LED dès que la température dépasse un seuil fixé une fois pour toutes.



Le capteur de température est une thermistance, ou résistance variable en fonction de la température. Il en existe de deux sortes, dites CTN (coefficient de température négatif) pour celles dont la résistance diminue quand la température augmente, ou CTP (coefficient de température positif) pour celles dont la résistance augmente avec la température.

Notre capteur est une CTN, c'est-à-dire que sa résistance diminue quand la température augmente. Elle est montée dans un pont diviseur de tension et la tension à ses bornes diminiue donc quand la température augmente. Le circuit qui exploite cette CTN est très simple du fait de l'utilisation de deux amplificateurs opérationnels intégrés.



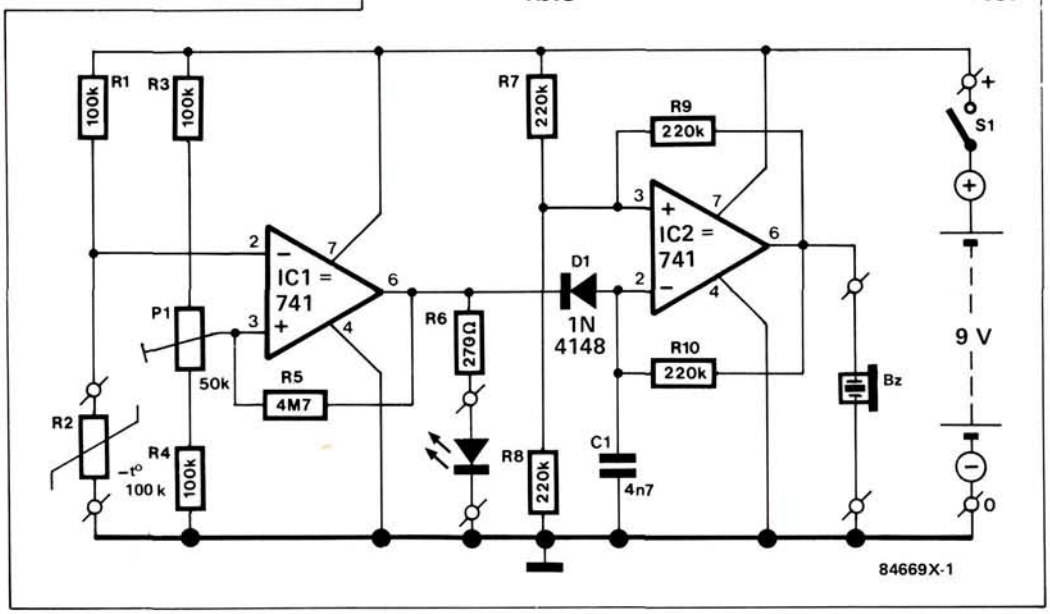


Figure 1 - Le schéma de l'alarme de température. Le tableau 1 vous permet de choisir pour R3 et R4 la valeur qui convient à votre application. Les deux amplificateurs opérationnels sont montés en comparateurs. L'un des comparateurs est monté en oscillateur. Si le 741 n'existait pas, il faudrait l'inventer.

Le circuit

Le schéma de la **figure 1** met en évidence les deux parties du montage : un détecteur de température et un oscillateur qui alimente un résonateur piézo-électrique.

Chaque partie est organisée autour d'un amplificateur opérationnel de type 741. Le premier, IC1, est monté en comparateur.

La résistance CTN constitue avec R1 un diviseur de tension ; la tension au noeud du diviseur est appliquée à l'entrée inverseuse (–, broche 2) du comparateur. Le diviseur de tension est constitué de deux résistances dont l'une est variable en fonction de la température. La tension du noeud, et donc celle de l'entrée non-inverseuse, variera aussi en fonction de la température.

L'entrée non-inverseuse (+, broche 3) d'IC1 voit une tension de référence fixée par le diviseur de tension R3/P1/R4. Le potentiomètre P1 sert à l'étalonnage du circuit, et son mode d'emploi sera examiné après la construction.

Lorsque l'entrée inverseuse voit une tension supérieure à celle de l'entrée non-inverseuse, la sortie prend sa valeur minimale, ici 0 V (pour simplifier, nous conviendrons de désigner par 0 V ou « état logique 0 » la valeur minimale de la tension de sortie de l'amplificateur).

Supposons que la température augmente. La résistance de notre CTN (R2) diminue, nous n'en attendions pas moins, et diminue aussi la tension

sur le noeud du diviseur R1/R2. La sortie du comparateur rend compte de cet état en passant brusquement à 9 V (pour simplifier, nous conviendrons de désigner par 9 V ou « état logique 1 » la valeur maximale de la tension de sortie de l'amplificateur).

Le rôle de R5 est précisément de rendre le basculement franc et d'éviter au comparateur d'« hésiter » entre deux états. Voyons comment.

Réaction positive

Le comparateur doit être dans l'un ou l'autre état, 0 ou 1, selon les conventions ci-dessus. La résistance R5, connectée à la sortie (broche 6) de l'amplificateur, se trouve donc connectée en parallèle avec la branche supérieure (figure 1bis)) ou la branche inférieure (figure 1ter) du diviseur.

Lorsque la sortie est à 1 (9 V) R5 ajoute son courant à celui de R3 et de la partie de P1 comprise entre R3 et le curseur. Il en résulte une réduction apparente de la résistance de la branche supérieure du pont, et une augmentation de la tension au noeud du diviseur.

Cette augmentation de la tension de l'entrée de référence (+) est à la fois une cause et une conséquence.

Une cause : c'est parce que la tension de l'entrée (+) est supérieure à celle de l'entrée (–) que la sortie prend la valeur 1.

Une conséquence : c'est parce que la sortie est à 1 que la tension de l'entrée (+) devient, plus qu'elle ne l'était, supérieure à celle de l'entrée –. C'est ce qu'on appelle une réaction positive, car un diviseur de tension permet d'ajouter à la tension de référence une fraction de la tension de sortie.

Ajouter doit être pris ici au sens algébrique, car l'addition d'une fraction de la tension de sortie basse revient à une diminution de la tension de référence.

Au cas où la tension de l'entrée inverseuse présenterait une ondulation, ou serait à peine à peine inférieure à la tension de référence, la sortie du comparateur aurait tendance, sans réaction, à « hésiter » et à osciller entre l'un et l'autre état (0 ou 1). La réaction augmente instantanément l'écart de tension qui a déterminé le changement d'état, elle « confirme » le déséquilibre en l'aggravant.

(«— *Il explique bien le monsieur, hein ?*»
«— *Psschhht ! Il a pas fini. . .* »).

Référence variable

Par définition, une référence devrait être fixe. Si la référence du comparateur avec réaction est variable, ou mobile, c'est précisément pour assurer la stabilité des états de la sortie. Ainsi sont déterminés deux seuils de basculement : un seuil de basculement pour le passage de la tension mesurée du domaine « inférieur » au domaine « supérieur », ce sera le seuil haut ; un seuil de basculement pour le passage de la tension mesurée du domaine « supérieur » au domaine « inférieur », ce sera le seuil bas. L'écart entre les deux seuils s'appelle une hystérésis ou hystérèse (Ho, hisse, Thérèse ! Ça vous fait rire aussi ?).

L'hystérésis confère une certaine stabilité à chacun des états de la sortie du comparateur. Le basculement de la sortie d'un état à l'autre suppose que l'entrée de mesure voie une variation de tension au moins égale à l'hystérésis.

La sortie d'IC1 (broche 6) passe à 1 (tout près de 9 V) dès que la tension atteint le seuil inférieur fixé par le potentiomètre P1. Elle reste à cette valeur tant que la tension n'a pas atteint le seuil supérieur, que le basculement de la sortie vient justement de fixer un peu plus haut. Les variations de la tension sur l'entrée inverseuse du comparateur sont provoquées par le variations de la température de la thermistance.Comme, rappelons-le, le coefficient de température est négatif, la tension diminue quand la température augmente. C'est donc quand la température sera supérieure à la consigne que la sortie prendra la valeur 1, allumera la LED D2 et déclenchera l'alarme.

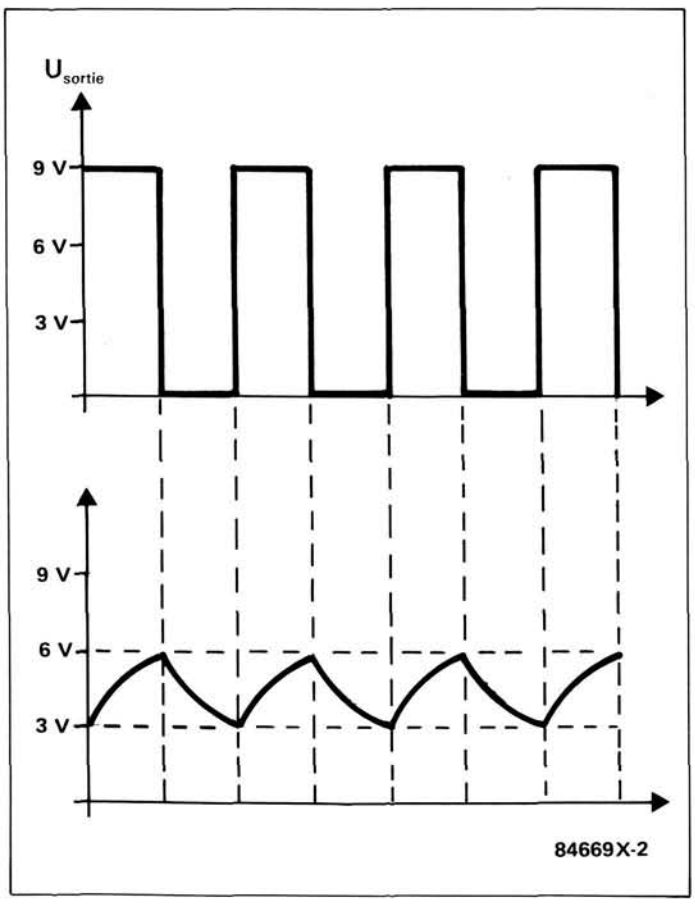


Figure 2 - Les formes d'onde les plus importantes de l'oscillateur. Elles illustrent en même temps le fonctionnement du comparateur. Rien d'étonnant puisque l'oscillateur est une race particulière de comparateur.

L'amplificateur opérationnel en multivibrateur

Le signal d'alarme est produit par un résonateur piézo-électrique, qui doit être attaqué par un signal alternatif. Nous allons voir d'abord par quel oscillateur ce signal est produit, et ensuite comment le signal « logique » marche/arrêt du comparateur interdit ou autorise le fonctionnement de l'oscillateur. Nous sautons donc à pieds joints par-dessus la diode D1 que nous ignorons momentanément, pour examiner de plus près l'organisation du montage autour d'IC2.

Il s'agit encore d'un comparateur. La réaction positive est exercée par R9 sur le diviseur de tension, fixe cette fois, constitué par R7/R8. Comparons ce deuxième comparateur au premier. La première constatation est que le valeur des résistances, et surtout le rapport entre elles, a fortement changé. La résistance de réaction a la même valeur que la branche du pont diviseur sur laquelle elle vient se connecter en parallèle. Le courant « ajouté » à l'autre branche, et la tension ajoutée à celle de l'autre branche, sont nettement plus importants que dans le cas précédent. L'hystérésis qui en résulte est de 3 V, **trois** volts.

La tension de la sortie d'IC2 passera donc à 0 V dès que celle de l'entrée inverseuse (–) atteint 6 V. Il faut ensuite que la tension de l'entrée inverseuse devienne inférieure devienne inférieure à 3 V pour que la sortie reprenne son niveau haut (9 V).

Et l'oscillation ?

A la mise sous tension, la sortie est au niveau 1, environ 9 V, la tension sur l'entrée non-inverseuse (+) de 6 V puisque R9 et R7 sont en parallèle. La sortie fait circuler à travers

R10 un courant qui s'en vient charger le condensateur C1. La tension sur C1 augmente jusqu'à atteindre 6 V. Le comparateur fait basculer sa sortie à ce moment (**figure 2**).
La sortie, au niveau bas (zéro volt), décharge C1 à travers R10. La décharge durera jusqu'à ce que la tension sur C1 atteigne celle de l'entrée non-inverseuse. Parlons-en, de celle-là : au moment où la sortie est passée à 0 V, la résistance de réaction s'est trouvée connectée en parallèle sur R8. La tension sur l'entrée inverseuse est donc passée à 3 V. C'est jusqu'à 3 V que le condensateur devra se décharger pour que la sortie change à nouveau d'état.

Voilà une période terminée, une autre commence. La tension de référence est à nouveau de 6 V, la sortie haute, le condensateur se charge . . . Et hop, le circuit **oscille** !

Les formes d'onde représentées par la figure 2 sont relevées à la sortie de l'amplificateur IC2, pour la courbe supérieure ; sur le condensateur pour la courbe inférieure.
La sortie présente une tension carrée d'amplitude 9 V que nous appliquons au résonateur piézo Bz.

La commande de l'oscillateur
Le niveau de tension de sortie d'IC1 est utilisé pour alimenter ou non la diode D2, et aussi comme signal marche/arrêt pour l'oscillateur. C'est la diode D1, que nous avions enjambée allègrement tout à l'heure qui transmet l'ordre. Quand la sortie d'IC1 est à zéro volt, la diode D1 dévie à la masse le courant de charge de C1 ; donc la tension de C1 reste bloquée à zéro plus le seuil de D1, soit pas grand'chose, et de toute façon bien moins que le seuil de basculement du comparateur. L'oscillateur est donc **bloqué**, et le résonateur muet, aussi longtemps que la température est inférieure à la valeur fixée par le réglage de P1.

La construction

Les composants seront implantés selon le plan de la **figure 3**. L'alimentation peut être confiée à une pile compacte de 9 V. Elle devra fournir 1 mA au repos et une vingtaine en cas de surchauffe, vibreur excité et LED éclairée.

Le capteur de température, la thermistance CTN, est reliée à la platine par deux fils souples torsadés. Les soudures sont d'abord isolées par de la gaine thermorétractile, puis l'ensemble est isolé dans on manchon de gaine du même métal ou emmaillotté dans du ruban adhésif d'électricien. Les fils de raccordement peuvent être torsadés et soudés à la platine.

L'interrupteur marche/arrêt S1 est inséré dans la ligne d'alimentation positive, comme le montre la photo du montage d'essai « sur la table ».

Le réglage
Le réglage se fait à l'aide d'un thermomètre de comparaison, dans un four ménager ouvert. Pas de four à micro-ondes naturellement. Le thermostat du four électrique sera réglé sur 100 à 150°, température qu'il n'atteindra pas puisqu'il reste ouvert. La montée lente de la température vous permet de régler P1 pour que la LED s'allume et que l'alarme retentisse à la température choisie.

Tableau

R3	R4	plage de température
180 kΩ	22 kΩ	– 15°C à 10°C
150 kΩ	47 kΩ	10°C à 25°C
100 kΩ	100 kΩ	16°C à 32°C
47 kΩ	150 kΩ	30°C à 45°C
22 kΩ	180 kΩ	43°C à 70°C

Tableau 1 - Le changement de valeur de R3 et R4 permet de choisir la température de consigne dans des plages différentes. Le choix de la température de consigne dans des plages différentes permet d'adapter le circuit à des utilisations diverses.

Modification de la limite de température

Les résistances R3 et R4, telles qu'elles sont déterminées sur le schéma, correspondent à une température de 27°. Pour adapter le détecteur à d'autres applications, il vous suffit de vous reporter au tableau 1. La thermistance, comme les autres résistances, a une tolérance sur la valeur nominale. Le réglage de P1 est indispensable dans tous les cas. Bien que la référence de tension appliquée à l'entrée non-inverseuse du premier comparateur ne soit pas stabilisée et dépende de la tension de la pile, les relevés de mesure ont donné des résultats plutôt bons.

La fidélité du montage tient à l'astuce qui consiste à monter la résistance dans un pont (oui c'est ça, un pont de Wheatstone !), et à en mesurer le déséquilibre. Au lieu de mesurer une valeur absolue de tension, variable dans le temps puisque liée à la tension de la pile, nous mesurons la différence entre deux tensions, dont la variation est la même en fonction de la tension de la pile. L'intensité qui traverse le pont R1/R2 varie comme celle qui traverse le pont R3/P1/R4. La différence de tension entre les deux points milieux est donc identique pour une grande plage de valeurs de la tension d'alimentation.

84669

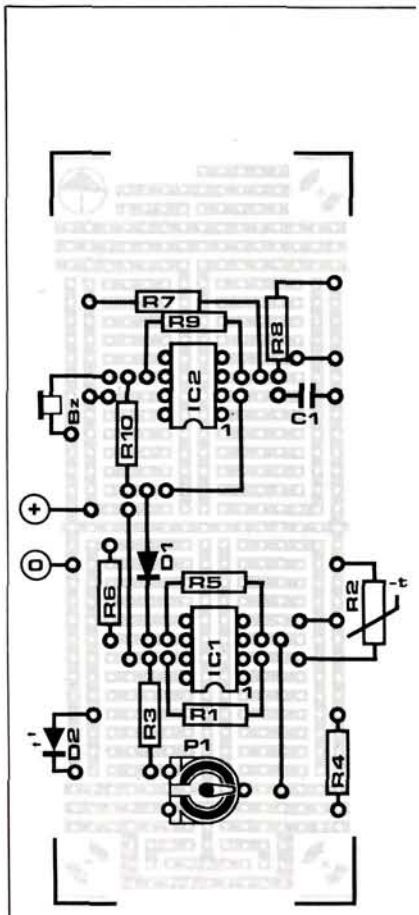
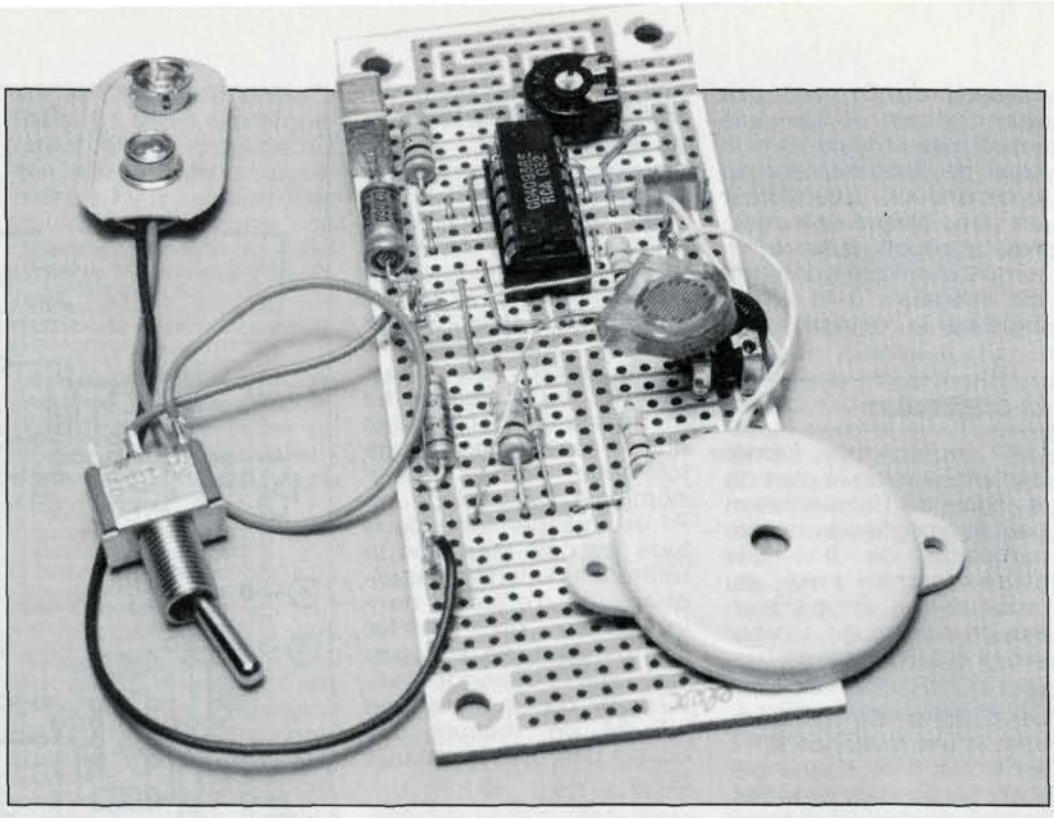


Figure 3 - L'implantation. Rien à dire.

LISTE DES COMPOSANTS

R1,R3,R4 = 100 kΩ
R2 = 100 kΩ thermistance CTN
R5 = 4,7 MΩ
R6 = 270 Ω
R7 à R10 = 220 kΩ
P1 = potentiomètre miniature 50 kΩ
C1 = 4,7 nF
D1 = 1N4148
D2 = LED couleur ad libitum
IC1,IC2 = 741

Divers
S1 = interrupteur simple
Bz = résonateur piézo PB2720 Toko
pile compacte de 9 V avec coupleur
platine d'expérimentation format 1
gaine isolante thermorétractile



DÉTECTEUR DE LUMIÈRE

Pour surveiller la porte du réfrigérateur

Vous est-il déjà arrivé de rentrer d'un long week-end, et de rester cloué sur le paillasson de l'entrée, le souffle coupé, le nez en l'air, cherchant à identifier l'origine de relents aussi nauséabonds qu'inattendus ? Quelques instants après, vous découvriez dans le bac à fromage du réfrigérateur un rogaton de maroilles envahi par une colonie de champignons. Quant au reste de cabillaud, n'en parlons pas. Admirez plutôt au passage les belles dimensions du glacier qui s'est formé dans le haut du frigo resté ouvert plusieurs jours... et réalisez sans tarder ce détecteur de lumière.

Tel qu'il a été conçu, ce circuit a pour fonction de signaler le fait que la porte du réfrigérateur est restée ouverte. Quand il n'est pas dans l'obscurité, il se met à rouspéter au bout de quelques secondes. Sa sensibilité, le délai de mise en service du signal d'alarme et sa fréquence sont réglables. Il est possible également de le modifier, en remplaçant par exemple la LDR par un micro-rupteur qui détectera l'ouverture ou la fermeture d'une porte ou d'un tiroir.

Dans le cas de la surveillance de la porte du réfrigérateur, on aurait pu s'attendre à voir utiliser ici un capteur sensible à la température. En fait, ici c'est une bien LDR qui détecte l'ouverture prolongée de la porte du réfrigérateur.

Elle est montée en diviseur de tension avec R1 et P1. Quand la photorésistance est éclairée, sa résistance diminue, ce qui permet à C4 de se charger à travers R3. Quand la tension aux bornes du condensateur atteint le seuil de basculement de l'opérateur NON-ET N1, celui-ci se met à osciller. Avant d'examiner cela de plus près, signalons que la sensibilité du montage pourra être réglée avec P1. Pour réduire le temps qui s'écoule entre le début de l'éclairement de la LDR et le moment où C1 est assez chargé pour faire basculer N1, il suffit de réduire la valeur de R3 ; elle peut descendre jusqu'à 2,2 MΩ sans inconvénient. Il va de soi qu'en augmentant la capacité de N1, on allongera ce temps.

NON ET NON ET NON ET NON ET...

Le circuit intégré 4093 comporte quatre opérateurs NON-ET qui ont comme caractéristique (par rapport aux opérateurs NON-ET d'un circuit comme le 4011) des entrées à trigger de Schmitt. Ceci est indiqué sur le symbole par le signe en forme de S stylisé, lequel représente en fait les deux courbes de commutation décalées, avec en ordonnées la tension de sortie et en abscisse la tension d'entrée. Un opérateur avec entrées à trigger de Schmitt reconnaît deux seuils de tension d'entrée différents selon qu'il s'agit d'un flanc ascendant ou d'un flanc descendant. La tension interprétée par l'entrée comme niveau logique haut est **plus élevée** que la tension d'entrée considérée comme niveau logique bas (voir **figure 2**).

Notre premier opérateur est monté en multivibrateur astable, une configuration désormais classique pour le lecteur d'ELEX. Tant que la broche 13 est au niveau bas, il ne se passe rien. La sortie de N1 est au niveau haut, celle de N2 au niveau bas, ce qui bloque aussi N3.

Quand le niveau d'entrée haut de N1 est atteint, cet opérateur produit un signal carré dont la fréquence est déterminée par R2 et C1. L'opérateur N2 inverse ces impulsions, ce qui ne sert d'ailleurs à rien. La fonction de N2 est uniquement de bloquer N3 quand N1 est lui-même bloqué. Au rythme des impulsions (assez lentes compte tenu de la valeur de R2 et C1) produites par N1, le deuxième multivibrateur astable construit autour de N3, va produire un signal d'alarme intermittent. La fréquence du signal d'alarme pourra être réglée à l'aide de P2 monté en résistance variable entre la résistance-talon R4 et le condensateur C2. L'idéal est de chercher la fréquence de résonance du résonateur piézo-électrique Bz, de sorte que l'on obtienne un signal de forte amplitude. Pour faire ce réglage, il suffit d'un petit tournevis et... d'un peu d'oreille : cherchez pour P2 la position dans laquelle le signal d'alarme sera le plus fort.

Vous remarquerez la configuration assez spéciale de N4 et du résonateur. L'opérateur NON-ET resté inutilisé dans le circuit intégré a été monté en inverseur (ses entrées sont court-circuitées) entre la sortie de N3 et l'un des pôles du résonateur (peu importe lequel, ce composant n'est pas polarisé).

De cette manière la tension du signal BF appliqué au résonateur est doublée par rapport à la tension de sortie de N3.
Si vous le souhaitez, vous pouvez remplacer la LDR par un autre capteur de votre choix, par exemple un micro-rupteur qui surveillera l'ouverture d'une porte, d'un tiroir, d'un couvercle . . .
S1 n'a d'autre fonction que de mettre le circuit sous tension. C'est l'interrupteur marche-arrêt. La consommation de courant au repos est de 0,5 mA. Quand le signal BF retentit, elle passe à 4 mA. Une bonne batterie compacte de 9 V tiendra longtemps, même si l'on supprime S1. Pour la mise en coffret, il faut tenir compte de la contrainte que constitue la présence de la photorésistance : celle-ci devra être placée de telle façon qu'elle soit éclairée directement, quelle que soit la position du coffret.

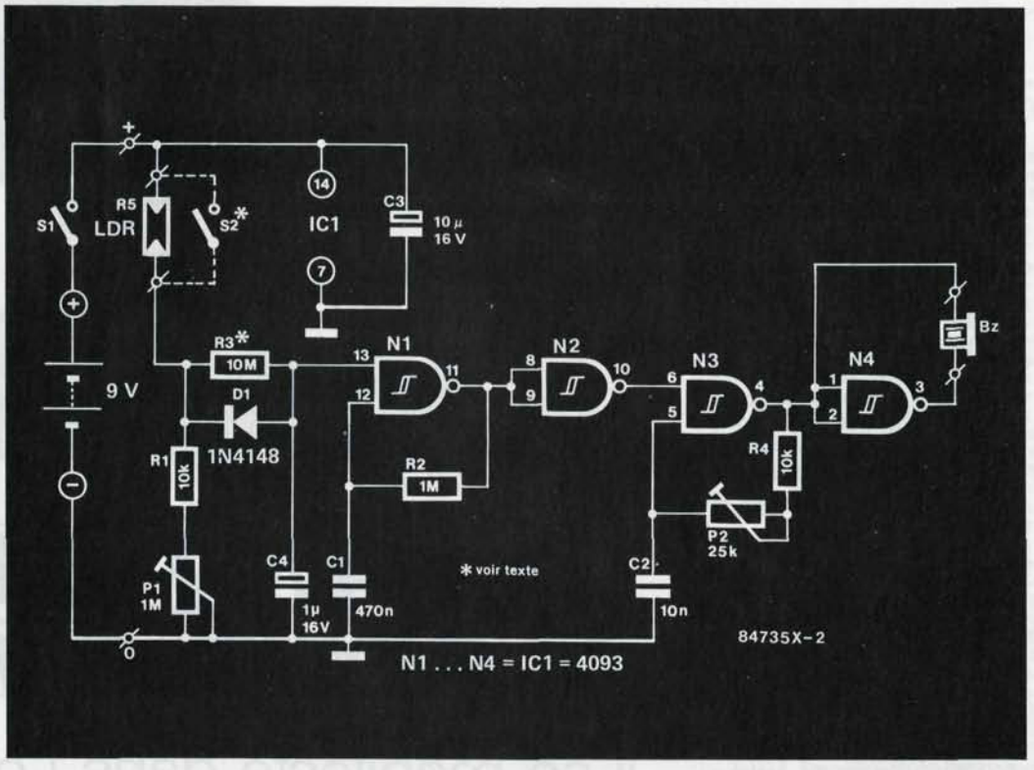


Figure 1 - Le schéma du circuit de surveillance est équipé ici d'une LDR. Si l'on souhaite modifier le circuit, on peut remplacer la photorésistance par un micro-interrupteur (S2).

Pourquoi un trigger de Schmitt ?

Vous vous êtes sans doute déjà demandé pourquoi on se compliquait la vie avec des circuits à trigger de Schmitt ? Voici quelques éléments de réponse.
On les utilise pour fabriquer des flancs de commutation francs à partir de signaux patatoïdes. Expliquons-nous. Souvent nous appliquons à l'entrée de circuits logiques des niveaux (pas très logiques) produits par exemple par la charge ou la décharge d'un condensateur : les transitions entre les niveaux haut et bas sont lentes, les flancs sont arrondis ou pentus comme sur la figure 2. Quand la tension d'entrée d'un opérateur est produite par une LDR, on relève même, superposée à la tension continue, une composante alternative de 50 Hz résultat du scintillement des ampoules électriques.

Or il se trouve qu'au moment où la tension d'entrée d'un opérateur dépasse son seuil de commutation, l'opérateur reconnaît un changement de niveau logique et commence aussitôt à y réagir. L'appel de courant qui résulte de cette réaction perturbe les références que sont les deux pôles de la tension d'alimentation. Le décalage qui en résulte ramène l'opérateur dans l'état qui était le sien juste avant qu'il ne commence à changer de niveau logique. La même chose se produit lorsque la tension d'entrée est instable et repasse elle-même sous le seuil de commutation juste après l'avoir dépassé, comme c'est le cas avec une composante alternative superposée à la tension continue.

Que ce soit pour l'une ou l'autre raison : la tension d'entrée après être repassée sous le seuil de commutation, le franchit à nouveau un peu plus tard. En conséquence de quoi l'opérateur se remet à changer de niveau, provoque un nouvel appel de courant, un nouveau décalage, et ainsi de suite. Bref ! Au lieu d'un changement de niveau logique franc, nous aurons une série de micro-oscillations autour du point de commutation, un tremblement appelé *jitter* en anglais.
C'est pour supprimer ce risque d'hésitation que l'on fait appel à des circuits avec entrées à trigger de Schmitt.

LISTE DES COMPOSANTS

R1,R4 = 10 kΩ
R2 = 1 MΩ
R3 = 10 MΩ
R5 = LDR (ou S2)

P1 = 1 MΩ var.
P2 = 25 kΩ var.

C1 = 470 nF
C2 = 10 nF
C3 = 10 µF/16 V
C4 = 1 µF/16 V
D1 = 1N4148
IC1 = 4093

S1 = interrupteur
(S2 = micro-rupteur)
Bz = résonateur piézo
pile compacte de 9 V
1 platine de format 1

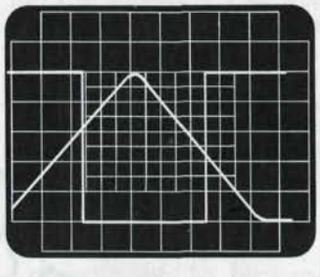


Figure 2 - Sorties d'un inverseur avec entrée à trigger de Schmitt. La valeur de tension de l'onde triangulaire (entrée) pour laquelle la sortie (carrée) passe à 0 est plus élevée que la valeur de cette tension d'entrée pour laquelle la sortie repasse à 1.

Il est intéressant de jeter un coup d'oeil en passant au schéma du *fantôme électronique* publié ailleurs dans ce numéro : on y trouve deux triggers de Schmitt fabriqués avec des opérateurs NON-ET ordinaires.

84735

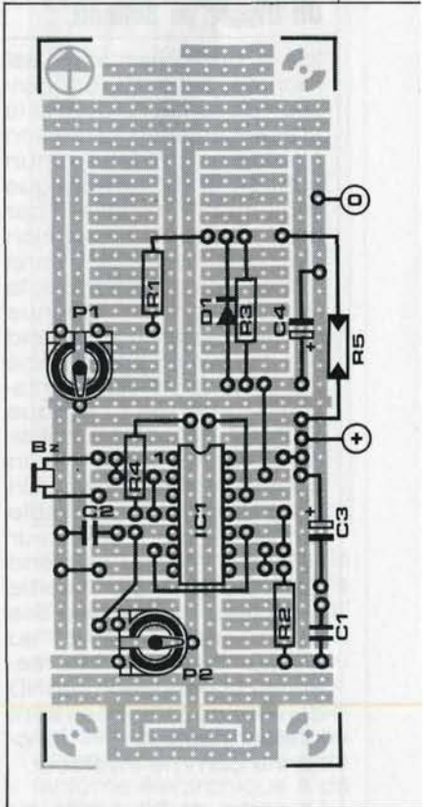
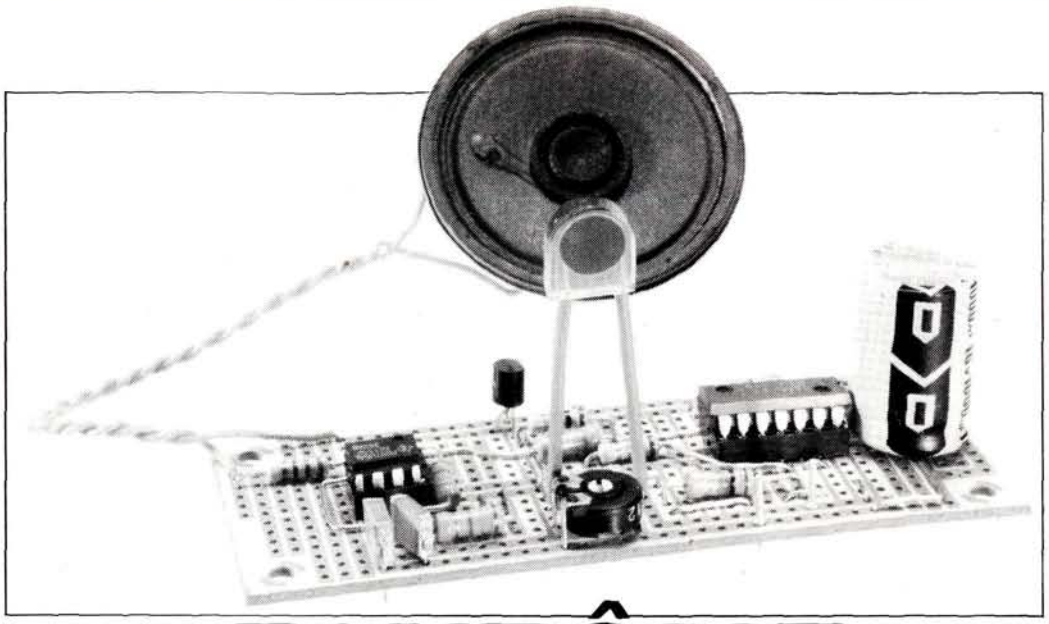


Figure 3 - Implantation des composants sur une platine de petit format.

Ce montage curieux produit un signal sonore assez irritant, mais dans le noir seulement. Dès qu'on allume la lumière, il se tait. Quand on éteint, il attend quelques secondes... puis il réapparaît. Ce n'est pas un esprit frappeur, puisqu'il ne frappe pas, mais il grésille, il gazouille, il siffle ou grince (selon les goûts).
L'idée du facétieux qui l'a inventé est d'abord de faire un peu peur, puis de faire beaucoup rire : cachez le montage dans la chambre à coucher d'une personne non initiée aux prodiges de l'électronique, et guettez le résultat...



FANTÔME ÉLECTRONIQUE

il se manifeste dans l'obscurité et disparaît dès qu'il y a de la lumière

L'oeil du montage, c'est cette photorésistance (une LDR pour faire court, de l'anglais *light dependant resistor*) que vous voyez sur la photo du prototype et sur le schéma (R11). Nous savons que c'est une résistance dont la valeur diminue d'autant plus qu'elle sera fortement éclairée, pour tomber jusqu'à quelques centaines d'ohms. Dans le noir, sa valeur est de quelques millions d'ohms. C'est donc un composant qui rend compte de l'intensité de la lumière qui le frappe.

Un trigger de Schmitt

Ici, la photorésistance est montée avec P1 en diviseur de tension. Quand la LDR est éclairée, la tension relevée au point commun entre P1 et R11 ne sera que faiblement réduite par rapport à la tension d'alimentation. Dans l'obscurité au contraire, la tension sur R1 diminue considérablement. Quand elle n'arrive plus à la moitié de la tension d'alimentation, l'opérateur logique NON-ET (NAND) N1 considère qu'il s'agit d'un niveau logique bas. Un coup d'oeil jeté sur la table de vérité d'un opérateur NON-ET nous apprend que celui-ci aura une sortie au niveau haut quand ses deux entrées sont au niveau bas, et inversement. L'opérateur NAND dont les deux entrées sont interconnectées fonctionne comme inverseur.

La sortie de N1 passe au niveau haut, et la sortie de N2 fait aussitôt l'inverse. Le niveau bas de la sortie de N2 est renvoyé sur l'entrée de N1 par l'intermédiaire de R2, ce qui vient pour ainsi dire confirmer le niveau d'entrée déjà bas. L'action de R2 est celle d'un lest : elle contribue à l'inertie du montage en ralentissant le mouvement à son origine puis en l'accentuant vers sa destination, nous allons voir comment.

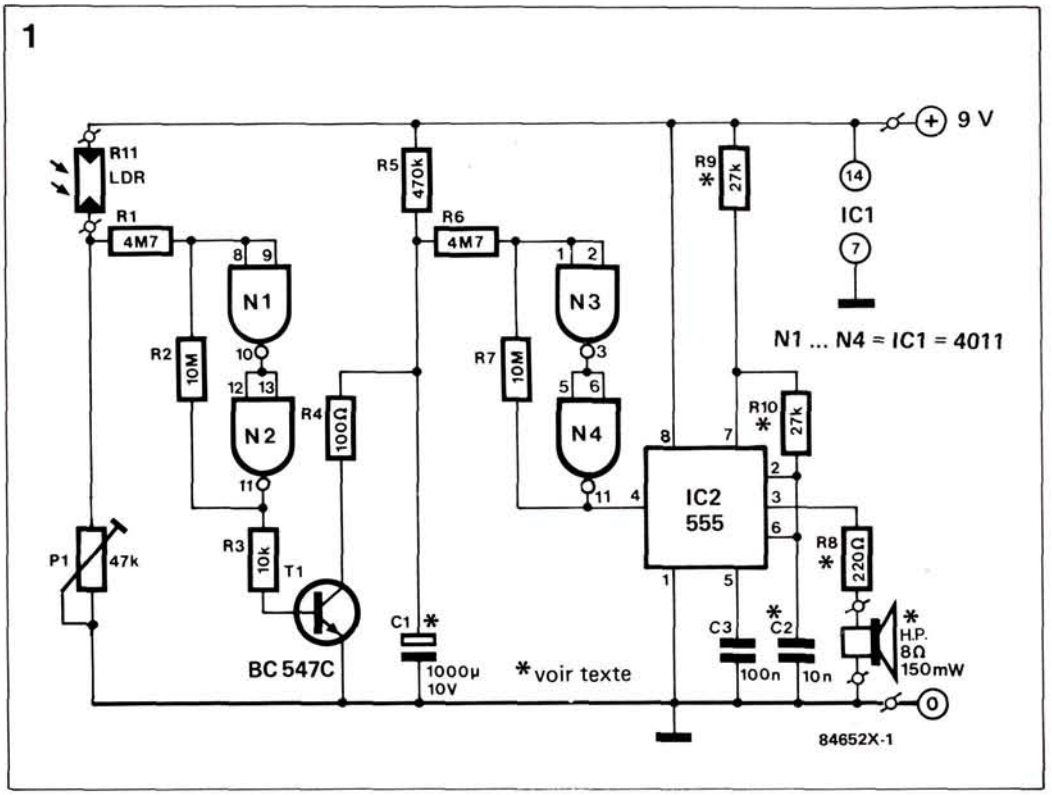
On s'attend a priori, à ce que l'opérateur NON-ET N1 bascule en sens inverse quand la tension d'entrée remonte et repasse par le seuil qui l'avait fait basculer auparavant ; mais compte tenu de l'effet de R2 qui réinjecte le niveau de sortie de N2 sur l'entrée de N1, l'opérateur basculera plus tard. Le « lest » imposé par la sortie de N2 pèse en quelque sorte sur l'entrée de N1 qui ne peut pas encore passer au niveau haut. La tension a du mal à monter parce que du courant circule à travers R2 vers la sortie de N2 alors basse.
Quand la tension du pont diviseur aura réussi à en compenser cet effet, elle aura largement dépassé le seuil à partir duquel le basculement était intervenu dans l'autre sens.
Si la tension du pont diviseur qui parvient à l'entrée de N1 par l'intermédiaire de R1 redescend, l'opérateur ne basculera pas aussitôt, car désormais la sortie de N2 est au niveau haut elle aussi. La tension ne s'effondre pas aussi vite, car la sortie de N2, alors haute, fournit à présent du courant à travers R2.

Vous aurez sans doute saisi que l'aménagement de cette zone morte entre les deux seuils de basculement est indispensable pour empêcher le circuit de réagir aux variations de luminosité de faible amplitude (et accessoirement de courte durée). Vous aurez peut-être compris aussi que ce circuit est ce que l'on appelle un trigger de Schmitt, avec son hystérésis caractéristique. Il est réalisé ici avec deux opérateurs NON-ET CMOS ordinaires (les circuits intégrés eux-mêmes n'ont pas d'entrée en trigger de Schmitt, comme c'est le cas sur le 4093).

Avant de continuer à étudier le fonctionnement de ce circuit, nous attirons votre attention sur le fait que les résistances R1 et R2 ont une valeur très forte par rapport à celles dont nous sommes coutumiers. C'est parce que les courants qui circulent dans les circuits CMOS sont d'une extrêmement faible intensité.

La charge de C1 retarde l'apparition du fantôme

En tous cas, quand la lumière est allumée, la résistance de la LDR est



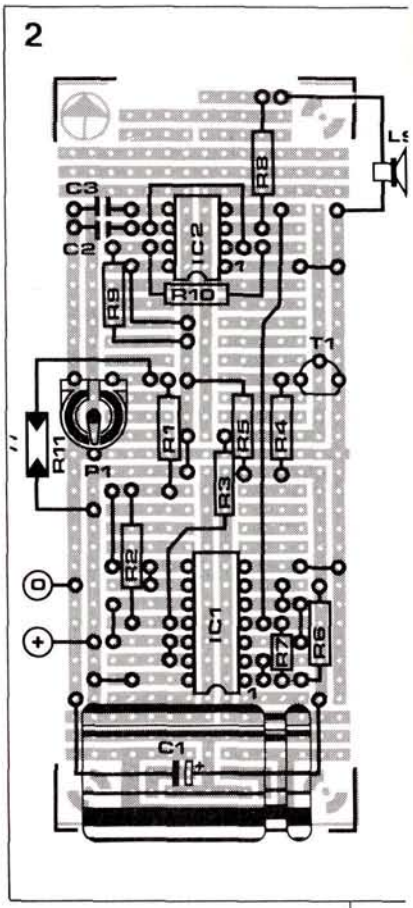


Figure 1 - Le schéma de ce circuit associe une photorésistance, composant analogique par excellence, à des opérateurs logiques CMOS montés en triggers de Schmitt. Le bruit, c'est évidemment le 555 qui le fait. Vous pouvez modifier la valeur des composants munis d'un astérisque et obtenir ainsi des effets particuliers.

faible, le niveau de sortie de N2 est haut et le transistor T1 conduit. Si C1 était chargé, il se déchargera rapidement à travers R4.
Éteignons la lumière à présent. Le transistor T1 se bloque et C1 peut se charger, assez lentement à travers R5. Les opérateurs N2 et N3 forment un trigger de Schmitt qui fonctionne comme N1 et N2 : quand la tension aux bornes de C1 arrive à faire comprendre à N3 que son entrée est au niveau haut, malgré ce que lui raconte R7 reliée à la sortie de N4 qui est encore au niveau bas à ce moment, notre trigger bascule et l'entrée broche 4 du 555 passe au niveau haut. Dès lors ce circuit que nous avons déjà décrit à plusieurs reprises dans ce magazine se met à osciller à qui mieux mieux.

C'est la capacité de C1 qui détermine le temps qui s'écoule entre l'instant où l'on éteint la lumière (C1 est encore déchargé) et l'instant où l'esprit frappeur (siffleur, gazouilleur ou grinceur) se manifeste. Il est important que ce temps soit assez long pour qu'il n'y ait pas de relation de cause à effet directe entre le passage de la lumière à l'obscurité et les manifestations de l'ESPRIT FRAPPEUR.
C'est la capacité de C2 qui donne au signal émis par le circuit une fréquence plutôt aiguë ou grave, tandis que le rapport entre R9 et R10 en modifie le timbre. Le volume sonore dépend en partie de la valeur de R8 que l'on pourra modifier à condition qu'elle reste d'au moins 100 Ω.

La réalisation

Ce circuit vous plaît. Vous avez bien envie d'essayer cette espièglerie sur l'un de vos proches... N'hésitez pas, ce ne sont pas les deux circuits intégrés, le transistor et la LDR qui vous feront des misères. Il y a assez de place sur une platine d'expérimentation de petit format comme le montre le plan d'implantation de la **figure 2**.

Si vous êtes un fana du cuivre gravé, vous pouvez dessiner un circuit imprimé à partir de la disposition de la figure 3. Vous en profiterez pour modifier l'emplacement de R7 de telle sorte qu'elle puisse être implantée horizontalement (normalement) et non verticalement comme c'est le cas sur la photo. On aimerait être parfait...
Selon la manière dont vous envisagez d'utiliser votre fantôme, vous pourrez envisager de relier la LDR au reste du circuit par l'intermédiaire d'un double fil de câblage torsadé (le blindage n'apporte rien) dont la longueur maximale devra être déterminée expérimentalement. Pour que le haut-parleur produise un son puissant, montez-le dans un résonateur quelconque (un pot de yaourt vide, par exemple).
Le seul réglage à faire est celui de P1. Éclairez la LDR comme elle le sera au moment où le fantôme doit apparaître. Reliez un voltmètre à la sortie de N2 et réglez la position du curseur de P1 de telle sorte que l'aiguille accuse une forte déviation (niveau de sortie haut).
Il suffit maintenant de ramener prudemment le curseur de P1 en sens inverse, juste assez pour que la tension de sortie de N2 redevienne basse, et de le laisser dans cette position.
Le fantôme électronique est prêt. Esprit, es-tu là ?
Si cette espièglerie vous paraît mériter quelque attention, donnez-vous la peine de bien cacher le montage. Dans un animal en peluche par exemple, en haut d'une armoire ou sous les lames du parquet, peu importe, l'essentiel est de retarder l'instant où il sera découvert. Et si votre fantôme électronique a de l'effet, méfiez-vous de la riposte de ceux ou celles que vous aurez eu tant de plaisir à enquiquiner. 84652

Figure 2 - Le plan d'implantation des composants occupe la quasi totalité d'une platine d'expérimentation de petit format. Il n'y a pas moins de quatorze ponts de câblage, n'en oubliez aucun !

LISTE DES COMPOSANTS
R1,R6 = 4,7 MΩ
R2,R7 = 10 MΩ
R3 = 10 kΩ
R4 = 100 Ω
R5 = 470 kΩ
R8 = 220 Ω
R9,R10 = 27 kΩ
R11 = LDR 07
P1 = 47 kΩ var.
C1 = 1000 µF/10 V
C2 = 10 nF
C3 = 100 nF
T1 = BC547C
IC1 = 4011
IC2 = 555

Divers :
1 platine de format 1
1 HP 8 Ω/150 mW
pile compacte 9 V

Scie à polystyrène

Il n'existe qu'une façon d'exécuter une coupe nette et franche de matériaux comme le styropor, styrodur, et autres mousses de polystyrène : le fil chaud. Rien de nouveau jusque-là. S'il n'est pas très difficile de tendre un fil résistant à la place de la lame d'une scie à déchiqueter, la difficulté est de trouver le fil adéquat et de le faire chauffer correctement.

Tout d'abord le fil : il doit être suffisamment gros pour résister à la tension mécanique, mais pas trop, pour qu'une résistance électrique trop faible ne le rende pas impossible à chauffer. Il est toujours possible de faire chauffer un conducteur, même de résistance très faible, mais il faut pour cela une intensité énorme. Le bon compromis est de 60 ohms par mètre. Si vous en voulez un rouleau de 100 mètres, vous le trouverez facilement dans le commerce. Vous aurez plus de mal à en trouver une ou deux dizaines de centimètres.

Nous avons beaucoup cherché puis nous nous sommes résolus à immoler sur l'autel de la science une résistance de 10 ohms, 5 watts. Vous pouvez en trouver chez tous les revendeurs de composants, pour une demi-thune ou peut-être même trente sous. L'opération elle-même est indolore : brisez une extrémité du corps en céramique avec une pince coupante solide, ou des tenailles de charpentier, ou des tricoises de maréchal-ferrant. Il suffit alors de tirer doucement sur le fil de connexion pour extraire environ 20 cm de fil résistant et solide. Il présente une résistance de 0,5 Ω par centimètre, ce qui correspond à nos besoins.

Le fil doit être tendu dans la scie à déchiqueter comme le serait une lame, sauf pour l'une des extrémités, qui doit être isolée. L'isolement peut être réalisé avec de la gaine plastique, mais le plus simple et le plus résistant à la chaleur est un morceau de carton.

Les connexions électriques ne pourront pas se faire par soudure car le matériau ne s'y prête pas. L'alimentation sera raccordée d'une part à la lame, par une cosse ou une pince crocodile isolée ; d'autre part au corps de la scie, par une cosse ronde sous la tête de la vis de fixation de la lame.

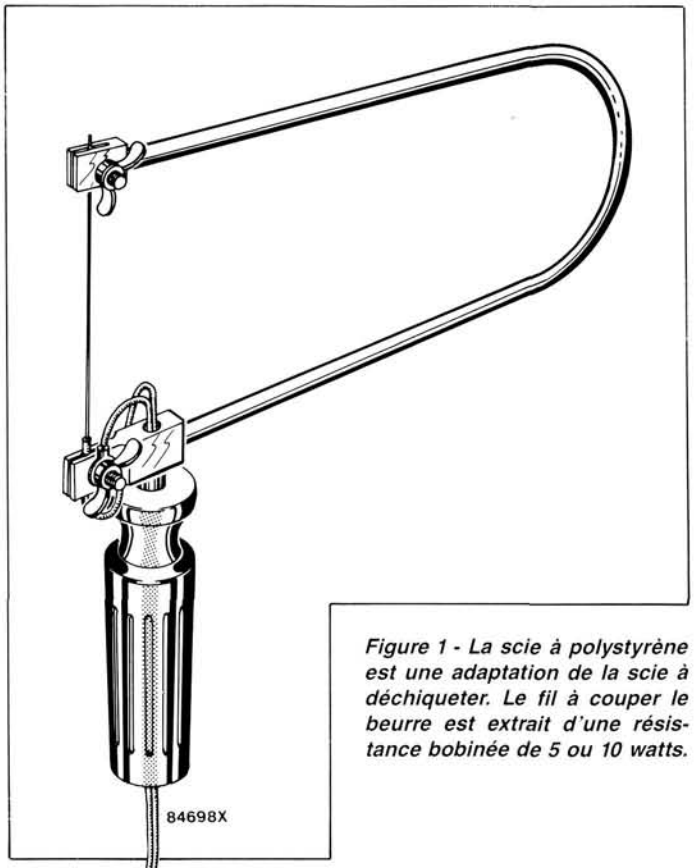
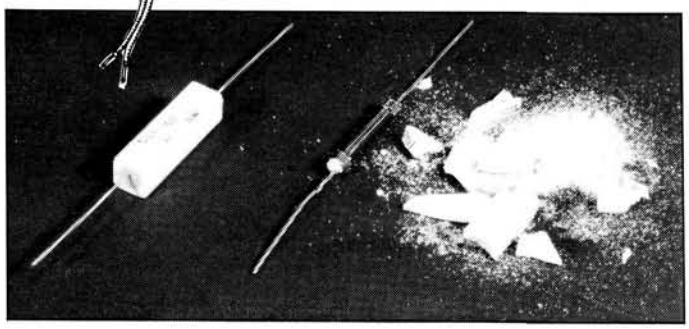


Figure 1 - La scie à polystyrène est une adaptation de la scie à déchiqueter. Le fil à couper le beurre est extrait d'une résistance bobinée de 5 ou 10 watts.



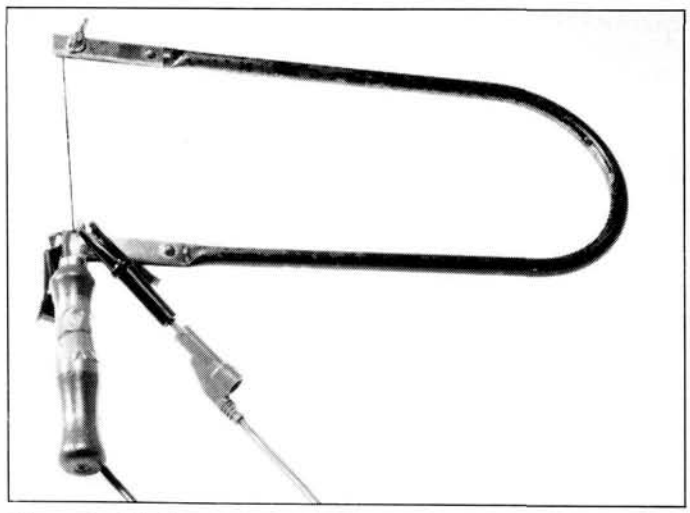


Figure 2 - L'alimentation se raccorde tout simplement par des cosses ou des pinces crocodile.

Chauffe, Marcel

Notre scie a une résistance de 5,7 Ω et fonctionne au mieux sous une intensité de 700 mA, et une tension d'environ 4 V.

Ces valeurs ont été relevées sur une alimentation de laboratoire réglable de 3 à 12 V et capable de 1 ampère. Comme il peut être difficile de trouver une alimentation de 4 V, il vaut mieux utiliser une alimentation standard et limiter l'intensité par une résistance connectée en série.

Une résistance de limitation de 10 Ω/5 W permet d'utiliser une alimentation de 12 V. Une valeur de 4,7 Ω convient pour 7 à 8 V.

Ça consomme, là dis-donc !

Vous pouvez tout aussi bien utiliser un simple transformateur, puisque le courant alternatif chauffe autant que le courant continu. Ce pourra être un transformateur de sonnette, s'il supporte au moins 800 mA, ou un transformateur de train électrique. Une pile plate de 4,5 V ne procure guère que quelques minutes d'autonomie, une charge d'accumulateurs cadmium-nickel de 450 mAh (trois éléments connectés en série ou quatre avec une diode 1N4001) est consommée en vingt minutes à une demi-heure. Ces deux sources ne conviennent que pour un usage épisodique.

Cette scie permet de découper précisément et facilement des étoiles, des sapins de Noël, ou tout ce que vous imaginerez en matière de décoration. Pour le modéliste, les ailes et empennages en styrodur entoilé sont étonnamment solides et légères. Prenez la peine de découper les gabarits en contreplaqué ou en tôle d'aluminium qui vous permettront de guider la scie pour copier exactement le profil.

Coupez 84698

thermomètre

pour la pêche à la ligne

Autant le dire d'emblée, je n'aime pas le poisson. Les pêcheurs non plus. Comme il y a peu de chances pour que nous ayons des poissons parmi nos lecteurs (voir cependant le thermostat d'aquarium que nous avons étudié pour eux) et comme il n'est pas impossible que quelques-uns d'entre vous manient la cane à pêche avec autant d'habileté que le fer à souder, nous vous présentons quand même ce montage assez sympathique (pour le pêcheur).

Un thermomètre électronique pour la pêche ? Quelle curieuse association, direz-vous ! Pas du tout : avez-vous déjà remarqué la concentration de pêcheurs à proximité de certaines usines bâties au bord de l'eau ? Les poissons pullulent dans les zones fluviales où les centrales thermiques et autres usines rejettent l'eau dont elles se servent pour refroidir et/ou actionner leurs machines, parce qu'il y fait plus chaud.

Bien sûr, la température n'est pas le seul agent du bien-être des poissons; il y a aussi la teneur en oxygène de l'eau, la pression atmosphérique, et accessoirement l'assaisonnement. Pour moi, ce sera un peu de jus de citron, du persil et un p'tit vin blanc. Le **tableau 1** donne (très sérieusement) les températures auxquelles les différentes espèces de poisson préfèrent lire leur journal.
La fonction du thermomètre est donc de permettre au pêcheur de rechercher la profondeur à laquelle règne la température qui convient le mieux au poisson qu'il veut pêcher. Ceci n'a évidemment de sens qu'en eaux calmes.

Dix comparateurs intégrés

Si vous n'êtes pas encore convaincu du sérieux de ce montage, examinez le schéma de la **figure 1**. Vous trouvez là un thermomètre tout ce qu'il y a de plus électronique, avec un circuit intégré que nous n'avons pas encore utilisé dans ELEX : le LM3914. Ce circuit comporte dix comparateurs reliés d'une part à la même entrée et d'autre part à une échelle de résistances qui leur donne à chacun une tension de référence propre à laquelle ils comparent la tension appliquée sur l'entrée commune. D'un bout à l'autre de la série de résistances, la tension de référence devient un peu plus basse à chaque comparateur.

Quand la tension d'entrée est plus faible que la tension de référence qu'il voit par ailleurs, la sortie d'un comparateur passe au niveau haut, et commande directement la LED correspondante. Le LM3914 connaît un mode de fonctionnement par barre lumineuse dans lequel sont allumées la LED correspondant à la valeur actuelle de la tension d'entrée ainsi que toutes les LED correspondant aux valeurs inférieures à la valeur instantanée. Les LED allumées forment alors une barre lumineuse dont la longueur rend compte de l'amplitude de la tension.

Il connaît aussi un mode de fonctionnement en point lumineux : seule s'allume dans ce cas la LED correspondant à la valeur réelle de la tension.

La périphérie

La tension d'entrée vient d'un diviseur de tension dans lequel est pris le capteur de température.

Ce capteur est une thermistance à coefficient thermique négatif (= sa résistance baisse à mesure que la température augmente).

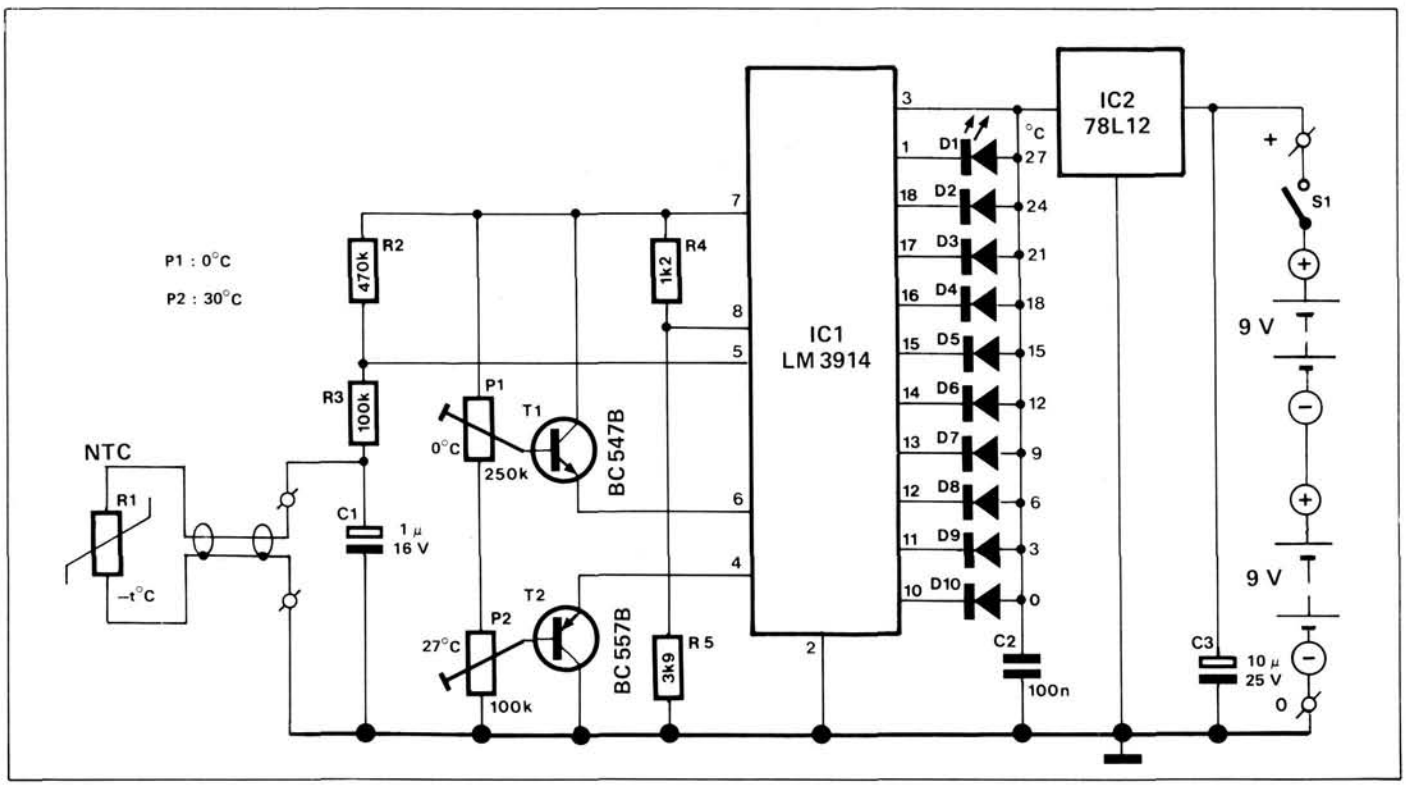


Figure 1 - Cet appareil n'est pas un gag, ni un gadget, même s'il est présenté comme un thermomètre pour pêcheur à la ligne. Il peut non seulement rendre de vrais services aux pêcheurs, ce qui ne plaîrâ pâs à toût le mônde (les pêcheurs ont toujours des parapluies), mais il peut aussi être utilisé en tant qu'indicateur thermique (plage de températures définie par l'utilisateur, divisée en 10 zones) dans d'autres domaines moins controversés que celui de la chasse et de la pêche.

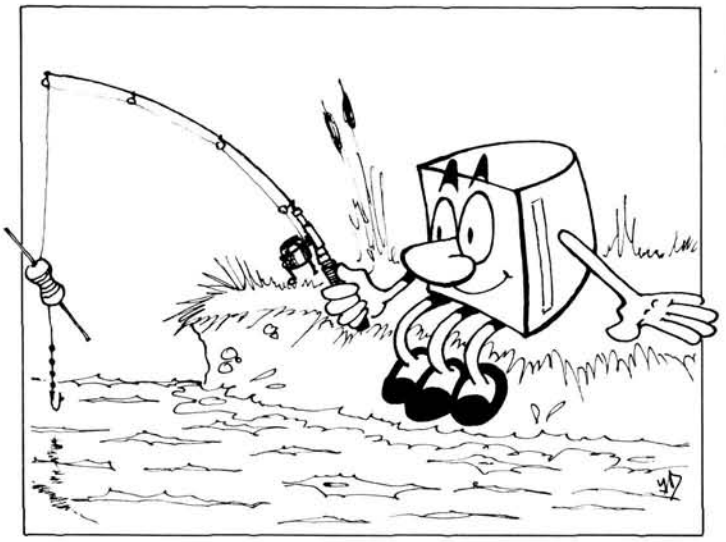
La tension de référence mise à notre disposition par le LM3914 sur la broche 7 est appliquée au diviseur de tension du capteur, mais aussi aux étages que forment P1 et R1 d'une part et P2 et T2 d'autre part. Ceux-ci permettent de déterminer l'amplitude de la plage de tension (et par conséquent de températures) couverte par l'indicateur thermométrique. Le couple P1 et R1 permet de fixer le seuil à partir duquel s'allume la LED du bas de l'échelle, tandis que P2 et T2 fixent le seuil à partir duquel s'allume la LED du haut de l'échelle. Ne vous faites pas de bile pour le réglage, il est très simple, vous verrez.

Le domaine utile s'étend ici de 0° à 30° à peu près. La première LED s'allume donc pour les températures de 0° à 3°C, la deuxième de 3 à 6°C, et caetera. Le rôle de C1 est d'opposer son inertie aux variations de tension trop brutales résultant de changements de température accidentels (mouvements, courant, courants d'air. . .).

Ça mord

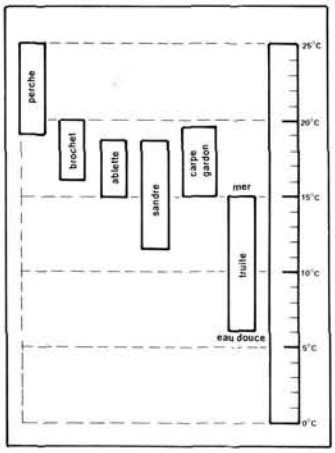
La réalisation d'un tel montage n'est peut-être pas tout à fait aussi facile qu'elle paraît. Les LED sont très proches les unes des autres, il s'agit de ne pas faire de pâtés d'étain en soudant leur cathode (les anodes sont interconnectées). Il faut aussi prendre soin de couler la thermistance R1 dans une matière qui la protège un peu et qui, surtout, l'isole électriquement. Nous avons l'habitude d'utiliser une grosse goutte de colle époxy à deux composantes pour ce genre de moulage, et ça marche bien. Il faut que les soudures des pattes de la thermistance et du fil (non blindé) soient étanches. A l'autre extrémité de la sonde, placez une mini fiche jack ou tulipe (cinch) qui vous permettra de dissocier au besoin la sonde et le coffret dans lequel est monté le thermomètre.

A propos de coffret, que diriez-vous d'un modèle en plastique translucide ? Ce serait du plus bel effet. Si l'investissement que représente le LM3914 (environ 50 FF) vous fait hésiter, ce qui est compréhensible, sachez que ce circuit fera l'objet d'une autre application que nous publierons dans un des prochains numéros d'ELEX : un sablier à affichage par barre de LED, pour les jeux, la cuisine, le téléphone. . . Ce sera pour vous l'occasion de réutiliser le circuit intégré.



Pour le réglage, versez-moi donc un whisky avec beaucoup de glaçons.

Merci. Je plonge le capteur dans le verre tout en remuant. Je règle P1 à présent pour que la LED D10 s'allume : à mon avis la température du liquide est entre 0° et 3°C. Attendez, je vais goûter. Mmm, parfait.



Maintenant je bois encore un coup pendant que vous allez me chercher un thermomètre ordinaire. Oui, un thermomètre à alcool bien sûr, pas de ceux qu'on se met . . .

Portez-un peu d'eau à une température d'environ 30° (vérifiez avec le thermomètre à alcool). Je plonge la thermistance dans l'eau chaude et je règle P2 pour que la dernière LED de l'échelle s'allume. Ensuite, si la température de la pièce est par exemple d'une vingtaine de degrés, c'est la LED D3 qui s'allume, etc.
Voilà, prosit !

Bon, je vous avais prévenu : je n'aime pas le poisson mais je n'ai rien contre les chauffeurs d'autobus. J'aimerais par conséquent vous demander de transmettre à votre poisson, de ma part, le message suivant, écrit sur une feuille de papier, en caractères cyrilliques d'au moins 8 cm de hauteur et à l'encre rouge : « les poissons sont des c. . . ». Tenez la feuille contre le verre de l'aquarium à sa hauteur et attendez un instant. Si votre poisson rouge lève le poing en criant « les rédacteurs aussi », vous saurez que vous pouvez l'emmener à la manif de Jeudi ; il est vraiment très combatif. S'il fait mine d'ignorer mon message, il peut s'agir soit d'un cardinal en robe, déguisé en guppy rouge, soit d'un agent de Moscou qui, se croyant démasqué, fait semblant de ne pas lire le russe. Dans les deux cas, la couleur rouge est garantie grand teint. Videz l'aquarium dans la machine à laver et mettez le programme Prélavage + Rinçage, avec un peu d'huile d'olive et de jus de citron à la place du chlore et de l'adoucissant. Quittez la pièce pour ne pas entendre les cris. Merci.

84720

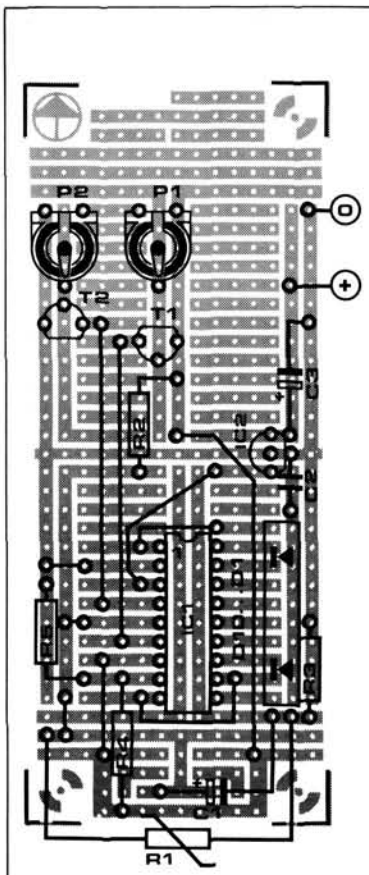


Figure 2 - Plan d'implantation des composants du thermomètre. Franchement, le gars qui a fait ça ne s'est vraiment pas foulé : il y a presqu'autant de ponts de câblage que de composants. Raison de plus de n'en oublier aucun.

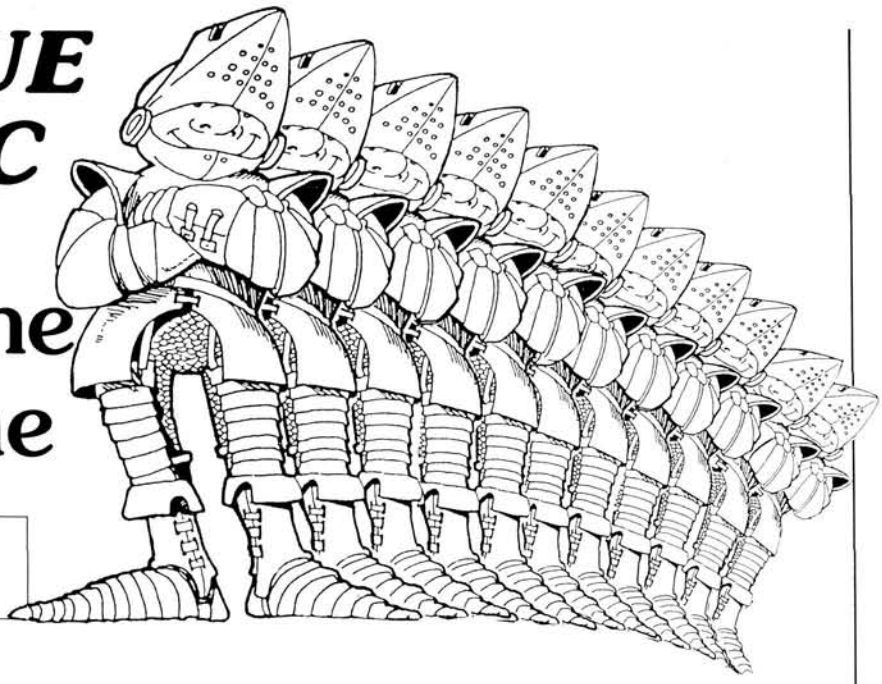
LISTE DES COMPOSANTS

R1 = CTN 100 kΩ
R2 = 470 kΩ
R3 = 100 kΩ
R4 = 1,2 kΩ
R5 = 3,9 kΩ
P1 = 250 kΩ var.
P2 = 100 kΩ var.

C1 = 1 µF/16 V
C2 = 100 nF
C3 = 100 µF/25 V

D1 à D10 = LED rouge rectangulaire
T1 = BC547B
T2 = BC557B
IC1 = LM3914
IC2 = 78L12
S1 = interrupteur marche-arrêt
2 piles compactes de 9 V avec coupleur à pression
1 platine d'expérimentation de format 1

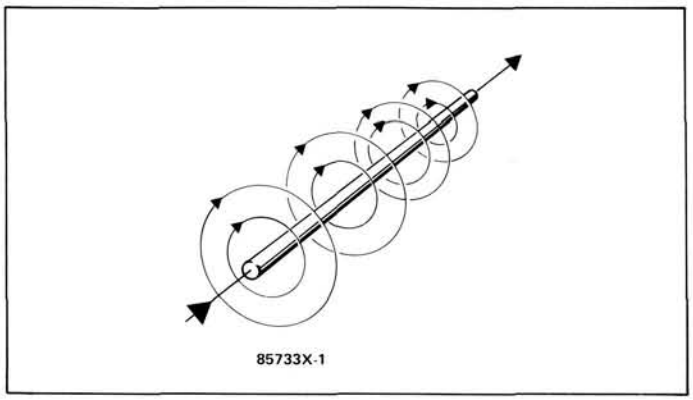
ANALOGIQUE ANTI-CHOC



Henry bobine ma gnétisme

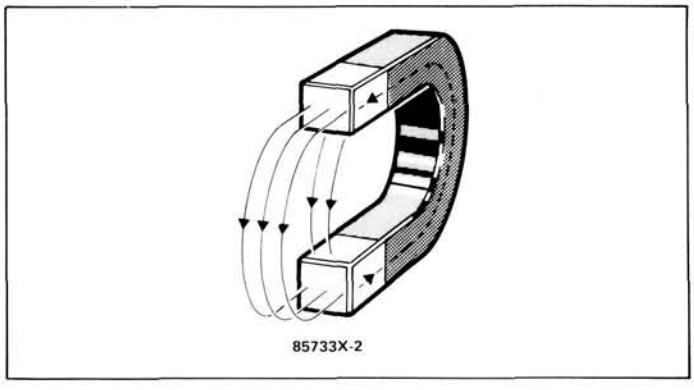
11ème épisode

Après les résistances et les condensateurs, il nous restait à examiner une nouvelle sorte de composants passifs : les inductances. Nous avons déjà glané çà et là quelques notions sur le magnétisme et l'induction. C'était le cas avec les transformateurs du n°12 et les aventures de Résí et Transi. Le passage d'un courant électrique dans un conducteur produit un champ magnétique. Le champ magnétique s'établit tout autour et tout au long du conducteur.



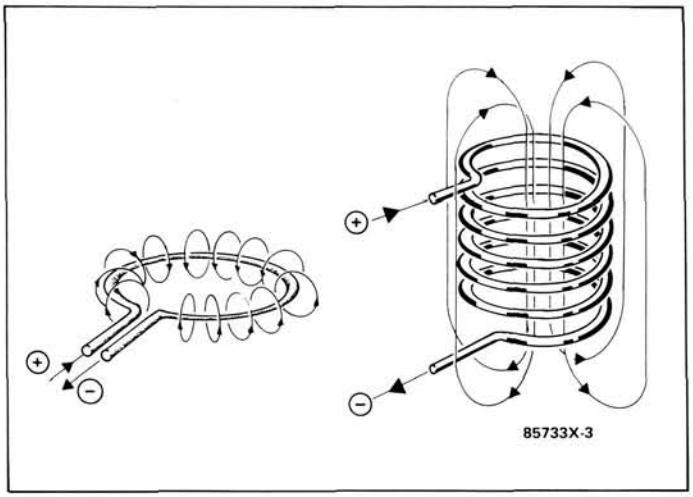
85733X-1

Bien que les inductances soient connues sous forme de bobines, le champ magnétique existe autour de tout conducteur, même rectiligne. Beaucoup de facteurs influent sur le champ magnétique : l'intensité du courant électrique, la forme du conducteur, le nombre de spires –car les inductances sont presque toujours des bobines–, la fréquence, la **perméabilité** du noyau... La perméabilité magnétique peut être rapprochée de la résistance électrique. Les lignes de champ représentées ci-dessus correspondent à un champ dirigé du pôle nord vers le pôle sud magnétiques, comme dans le cas de l'aimant ci-dessous.



85733X-2

Comme le champ élémentaire produit par un seul conducteur est rarement suffisant, le fil est enroulé en forme de bobine. Les lignes de champ se concentrent pour donner un champ plus intense à l'intérieur de la spire (à gauche). L'intensité du champ augmente comme le carré du nombre de spires.



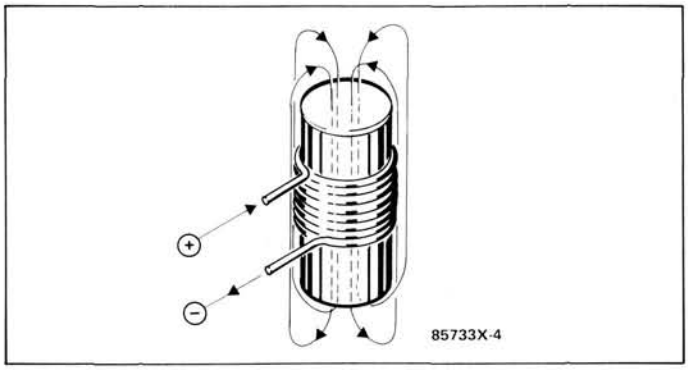
85733X-3

D'autre part nous savons que le champ magnétique, à son tour, induit un courant électrique dans le conducteur. Chaque spire de la bobine est à la fois active et passive : elle crée le champ magnétique et elle le subit. On parle de bobine d'**auto-induction** ou de *self*. Une bobine est caractérisée par son **inductance**, qui se mesure en henrys. Les sous-multiples les plus utilisés sont le millihenry (mH) et le microhenry (μH). Le calcul de l'inductance d'une bobine à air à une seule couche de spires et de longueur inférieure ou égale à son diamètre peut se faire grâce à la formule de Nagaoka :

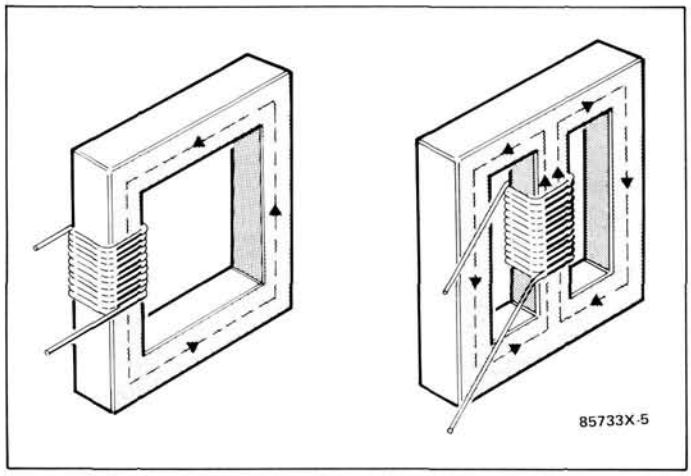
$$L = \frac{n^2 \cdot d^2}{4 \cdot d + 11 \cdot l}$$

L = inductance en microhenrys (μH)
n = nombre de spires
d = diamètre de la bobine en centimètres
l = longueur de la bobine en centimètres

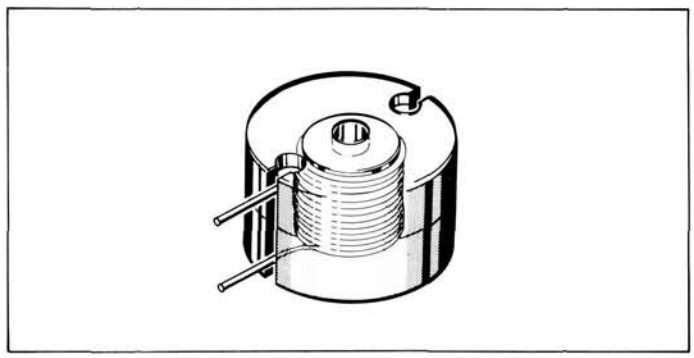
En plus du nombre de spires, qui intervient au carré, le diamètre de la bobine, sa longueur, la longueur du fil, ont une influence sur l'inductance. Plus le diamètre est grand et plus le champ créé est dispersé. De même, plus la bobine est longue et plus le volume embrassé est important. Au contraire, plus le fil est long et plus il y a de lignes de champ créées.



Comme les limites pratiques des dimensions et du nombre de spires sont vite atteintes, le moyen d'obtenir des inductances importantes est de jouer sur la perméabilité. De même que le courant électrique circule par le chemin qui présente la plus petite résistance, le champ magnétique se concentre dans le matériau qui présente la plus grande perméabilité. Les inductances importantes sont donc bobinées sur des noyaux en fer ou autre matériau magnétique. Un noyau simple à l'intérieur de la bobine concentre le champ mais ne l'empêche pas de se disperser dans l'air en dehors de la bobine. C'est pourquoi les noyaux sont le plus souvent fermés, et offrent au champ magnétique un chemin de retour. Les transformateurs usuels, construits sur des noyaux fermés, ne laissent « fuir » qu'une toute petite partie de leur énergie.



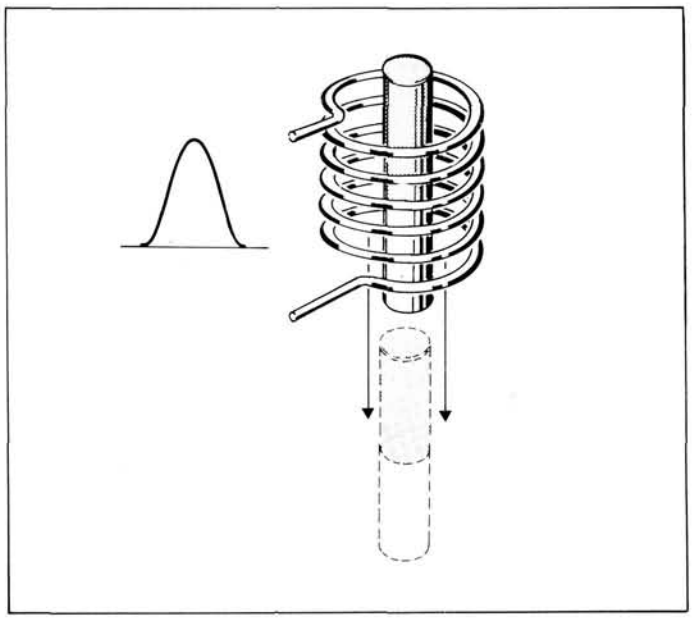
L'intérêt est double : l'**inductance mutuelle** est maximale. C'est l'inductance mutuelle entre primaire et secondaire qui détermine le rapport entre la quantité d'énergie consommée par le primaire et la quantité d'énergie délivrée par le secondaire, autrement dit le rendement du transformateur. Le deuxième avantage en découle : plus il y a d'énergie restituée par le secondaire et moins le transformateur en disperse sous forme de rayonnements parasites.



Les pots en ferrite permettent de contenir totalement le champ magnétique à l'intérieur de la bobine. De ce fait, les dimensions du bobinage n'ont plus aucune influence sur l'inductance. Chaque type de pot, en fonction de la nature du matériau et de la dimension de l'entrefer (l'espace qui sépare les deux parties à l'intérieur de la bobine) est caractérisé par un coefficicent appelé **inductance spécifique**. Ce coefficient (A_L) est exprimé le plus souvent en nH.sp^2 (nanohenrys par spire au carré), il permet de calculer facilement le nombre de spires nécessaires pour une inductance donnée.

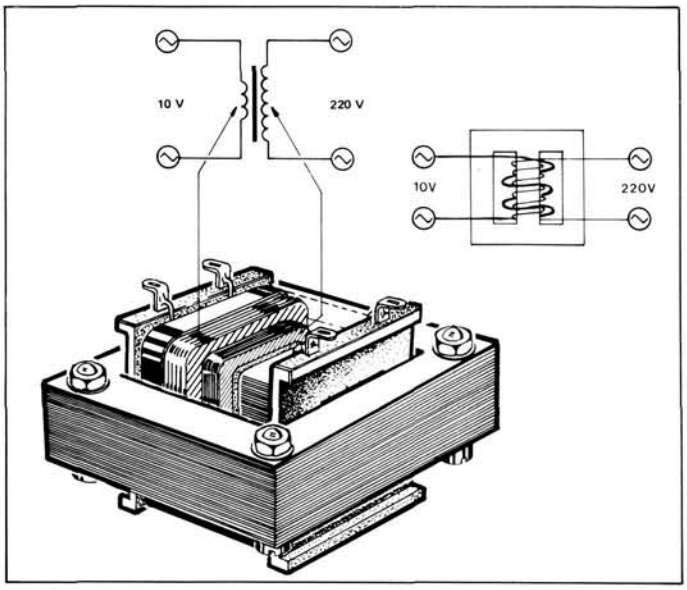
Le matériau est une ferrite, c'est-à-dire un oxyde ferrique, ou encore une sorte particulière de rouille, avec trois atomes d'oxygène pour deux atomes de fer (Fe_2O_3). La ferrite présente des qualités magnétiques dues au fer, mais –comme la plupart des oxydes métalliques– n'est pas conductrice. Un champ magnétique alternatif peut habiter un corps isolant sans y provoquer de courants de Foucault, donc sans pertes d'énergie. Les courants de Foucault sont des courants électriques induits par les variations de champ magnétique dans le matériau lui-même comme ils le seraient dans une spire de transformateur en court-circuit (voir le n°12 page 12). Ils sont gênants surtout à haute fréquence, c'est pourquoi les ferrites sont utilisées jusqu'à un ou deux mégahertz. Au-delà, les valeurs d'inductance nécessaires s'obtiennent aisément avec des bobines à air de quelques spires.
Nous voilà armés d'un peu de théorie sur les inductances, la façon de le calculer et de les fabriquer. Bien. Mais que peut-on en faire, et comment fonctionnent-elles ?

La première application des bobinages que nous avons rencontrée est celle des transformateurs. Les bobinages des transformateurs servent à transformer de l'énergie électrique en énergie magnétique et inversement. Une **variation** de l'intensité du champ magnétique induit une tension dans un bobinage (voir *La dynamo de ton vélo* dans le n°8 page 44). Les transformateurs ne fonctionnent qu'en courant alternatif ; ainsi un aimant puissant immobile dans une bobine n'y provoque ni courant ni tension. En revanche, un mouvement de l'aimant selon l'axe de la bobine y induit une tension.

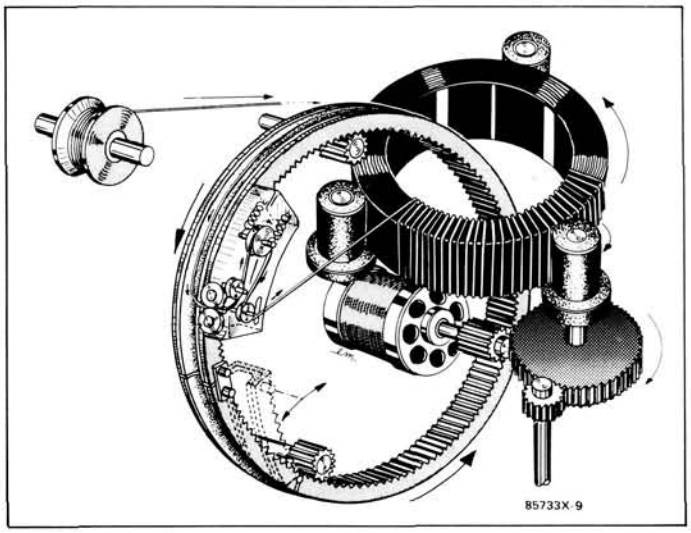


L'amplitude de l'impulsion de tension est proportionnelle d'une part à l'inductance de la bobine, d'autre part à l'amplitude et à la rapidité de la variation de l'intensité du champ magnétique (plus la dynamo tourne vite. . .). Que le champ magnétique soit produit par un aimant ou par une autre bobine, parcourue par un courant, n'a pas d'importance, l'effet est équivalent. Équivalents aussi, par leur effet, le déplacement d'un aimant dans une bobine, le déplacement d'une bobine dans un champ magnétique, ou la variation d'intensité dans une autre bobine.

Le champ magnétique qui traverse le noyau d'un transformateur est créé par le courant alternatif qui circule dans l'enroulement primaire. Ce champ magnétique variable induit une tension alternative dans l'enroulement secondaire.

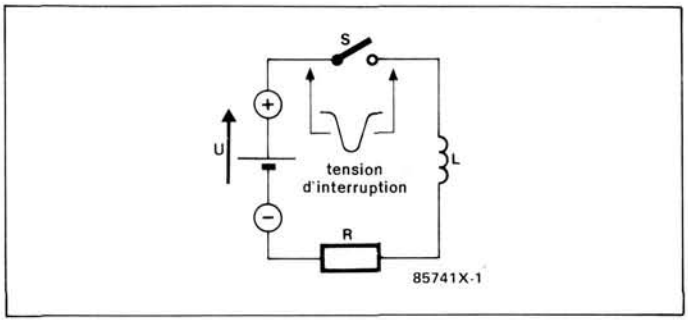


La tôle de fer qui constitue le noyau capte la quasi-totalité du champ magnétique. L'enroulement primaire, traversé par un courant alternatif, joue le rôle de l'aimant mobile de l'exemple précédent. Le secondaire, **couplé** magnétiquement au primaire, puisqu'il est bobiné sur le même noyau, est parcouru par le même champ magnétique, et donc par un courant induit. Le secret du rendement d'un transformateur réside dans son noyau magnétique. Les transformateurs toriques modernes exploitent non seulement la forme circulaire presque idéale du noyau, mais aussi des qualités de tôle spécialement adaptées à cet usage.



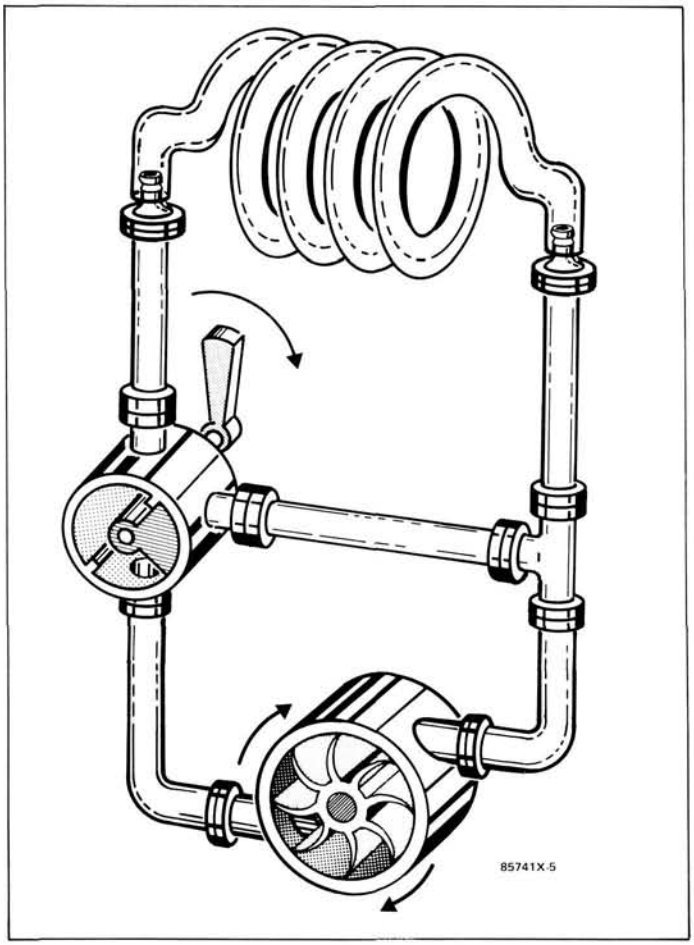
Le rapport de transformation est celui du nombre de spires. La tension sur une spire du primaire est la même que sur une spire du secondaire ; au lieu de la tension par spire, on considère le nombre de spires par volt, ce qui revient au même. Un transformateur dont le primaire 220 V comporte 2200 spires a des enroulements de 10 spires par volt. Vous pouvez déterminer facilement la caractéristique d'un transformateur en y bobinant quelques spires et en mesurant la tension à leurs bornes. Un peu d'arithmétique simple vous permettra de connaître le nombre de spires par volt et de savoir, par exemple, combien de spires retirer à un secondaire dont vous voudriez abaisser la tension.

Le terme **auto-induction** laisse entendre que la bobine peut exercer elle-même une induction. C'est le cas, et le champ magnétique produit par la bobine induit un courant dans la bobine. Vous pouvez le constater à l'ouverture d'un circuit inductif (ou *selfique*). Une étincelle se produit entre les contacts de l'interrupteur qui ouvre le circuit. A titre d'expérimentation pratique, connectez en série un interrupteur, une source de tension continue (12 V par exemple), une inductance assez importante (comme le secondaire d'un transformateur de quelques VA dont le primaire reste en l'air) et une résistance. La résistance, de 10 à 100 Ω, sert à limiter le courant car le secondaire présente une résistance très faible en continu.



Interrupteur fermé, un courant traverse le circuit et crée un champ magnétique dans la bobine. A l'ouverture du circuit, une étincelle apparaît entre les contacts. Si vous branchez un oscilloscope entre les contacts, vous verrez une impulsion de tension similaire à celle de la figure ci-dessus. La tension négative atteint plusieurs dizaines de volts alors que la tension de la source n'est que de 12 V. Assoyez-vous confortablement car l'explication va nous prendre une bonne demi-page.

L'inductance doit évacuer l'énergie stockée sous forme magnétique. Nous aurons recours cette fois encore à une analogie hydraulique.

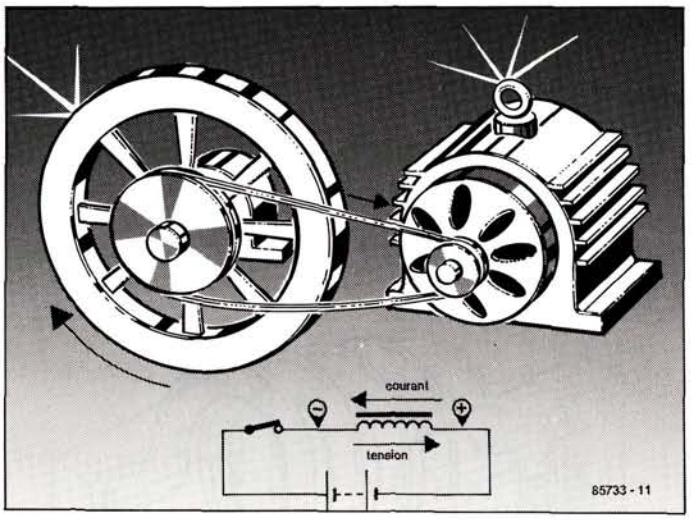


La pompe figure la source de tension ; c'est elle qui crée dans le circuit la différence de pression et le courant. L'eau est en mouvement : le courant traverse l'inductance. Au moment où le robinet change de position (quand l'interrupteur s'ouvre) la masse de l'eau en mouvement a tendance à continuer de circuler et elle traverse le tube de court-circuit puisque le chemin de retour par la pompe est fermé. L'inertie de la masse en mouvement figure l'opposition que l'inductance présente à toute **variation** de l'intensité : elle fait en sorte que le courant continue de circuler. Le courant continue de circuler jusqu'à épuisement de l'énergie stockée

dans le circuit magnétique (ou jusqu'à ce que les frottements dans le circuit hydraulique aient absorbé l'énergie de la masse d'eau).

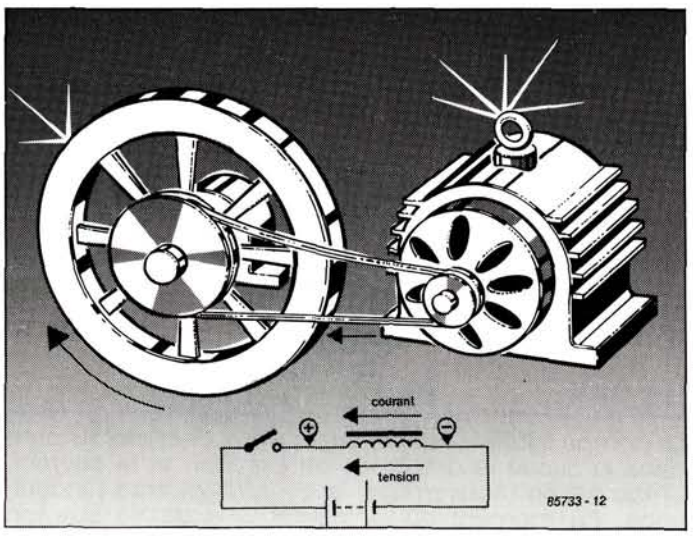
Le modèle hydraulique comporte une voie d'évacuation, ce qui n'est pas le cas de notre montage électrique. Le courant électrique s'invente donc un chemin : l'air qui sépare les deux contacts. Pour traverser l'air, normalement isolant, il faut plusieurs dizaines ou centaines de volts ; l'inductance produit la tension (exerce la pression) nécessaire pour maintenir, juste après l'ouverture, l'intensité égale à ce qu'elle était juste avant l'ouverture du circuit.

La polarité négative de la tension vous intrigue parce que le sens du mouvement de l'eau n'a pas changé ?
Alors voici une analogie mécanique qui vous parlera peut-être plus.

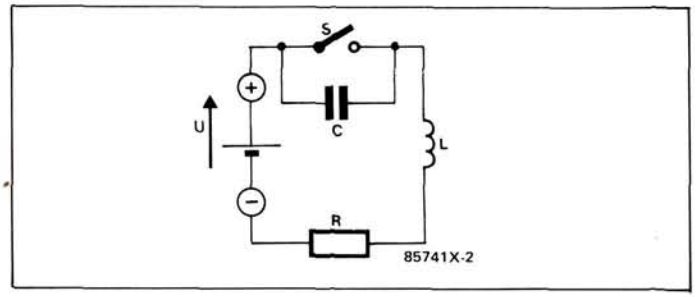


Le moteur met le volant en mouvement, en créant une tension sur la courroie. Le volant n'atteint pas immédiatement la vitesse maximale, de même l'inductance oppose une inertie à une variation de l'intensité (la vitesse).

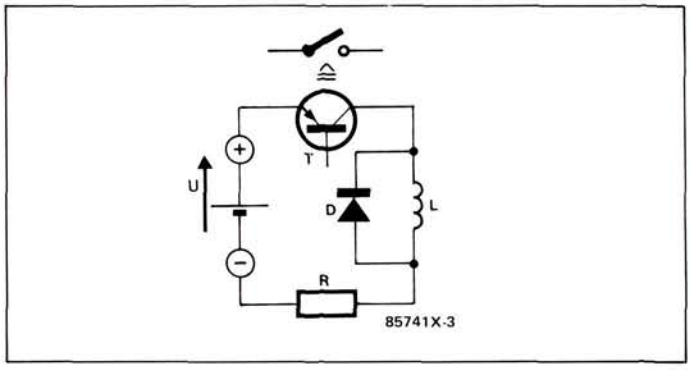
Lorsque le moteur ne demande plus d'accélération, et que le régime est établi, le volant cesse de résister. Il a accumulé de l'énergie et va la restituer quand le moteur ne sera plus alimenté.



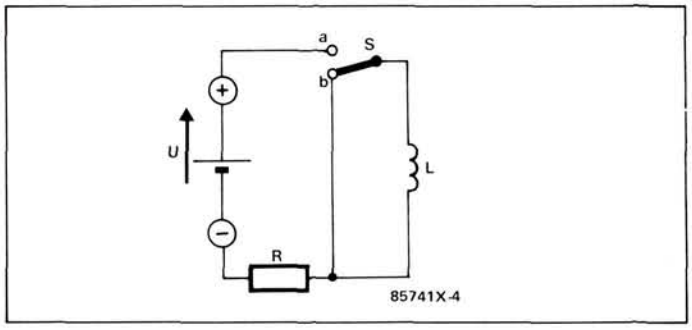
C'est maintenant le volant qui entraîne le moteur. La tension sur la courroie s'exerce sur le brin inférieur. La flèche indique le sens de la tension, comme dans le cas de la source électrique. Le sens de rotation figure le sens du courant. L'inductance, de récepteur qu'elle était, s'est changée en source : le courant circule dans le même sens, mais la polarité de la tension s'est inversée.



L'évacuation de l'énergie stockée par l'inductance peut avoir des effets néfastes : l'étincelle des contacts peut les détériorer. Vous voyez souvent des contacts de relais noircis par les étincelles répétées. La protection des contacts de relais ou d'interrupteurs est possible avec un condensateur connecté en parallèle. Déchargé, le condensateur représente un court-circuit au moment de l'ouverture du contact. Il offre un chemin au courant que l'inductance a tendance à faire circuler ; il évite donc la formation de l'étincelle indésirable.



Lorsque c'est un semi-conducteur qui commande la charge inductive, il risque sa vie : la source de tension normale et la source occasionnelle que constitue l'inductance sont connectées en série ; le transistor peut se mettre en court-circuit sous l'effet d'une forte surtension. La solution est fort simple en courant continu : une diode en **anti-parallèle** sur la bobine offre un chemin à l'**extra-courant de rupture** sans court-circuiter la bobine en fonctionnement normal. Le terme **diode de roue-libre** décrit bien le fonctionnement du circuit. La diode doit simplement être capable de conduire le courant qui traverse normalement la bobine. Les relais que nous utilisons couramment consomment environ 40 à 50 mA et une diode de type 1N4148 convient parfaitement. Le schéma précédent est équivalent à celui qui suit, en supposant que la manoeuvre de l'inverseur puisse être instantanée c'est-à-dire ne connaisse aucun état intermédiaire entre les deux positions.

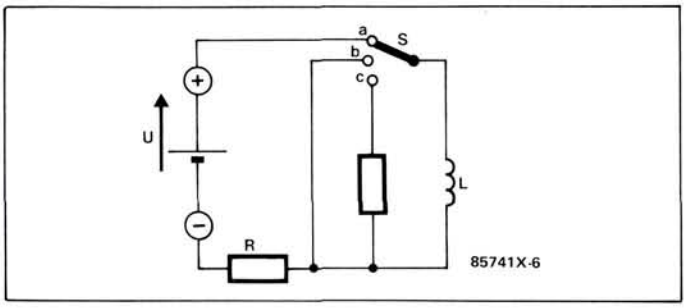


Le court-circuit est celui de la diode. La tension ajoutée à celle de la source se limite à celle du seuil de la diode, ce qui ne risque pas de nuire au transistor.

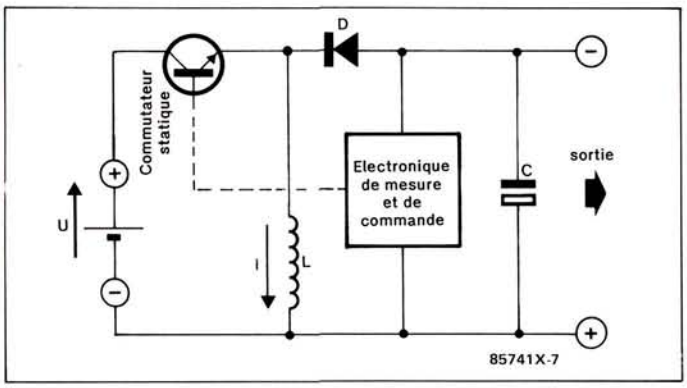
Nous savons maintenant nous protéger des effets néfastes de l'accumulation d'énergie dans les inductances ; or il existe plusieurs sortes d'applications où cette propriété est mise à profit. La plus courante, bien qu'un peu mystérieuse pour beaucoup d'électroniciens, même s'ils ne sont pas débutants, est celle des alimentations à découpage. Vous faites bien de bien lire elex, car

les lignes qui suivent vont vous donner un aperçu clair du fonctionnement de ces petites merveilles.

Imaginons le circuit précédent complété par une position du commutateur qui permette d'aiguiller le courant de l'inductance vers une charge.



Au moment de l'ouverture du circuit, l'intensité qui continue de traverser l'inductance traversera la charge. Le schéma de droite montre que la polarité de la tension est opposée à celle de la source. Un système de mesure et de régulation permet de maintenir sur la charge une tension négative d'amplitude moyenne constante ; le dispositif de régulation commande les commutateurs électroniques qui connectent la bobine à la source pour la « charger » d'énergie, et ensuite à la charge pour restituer l'énergie.



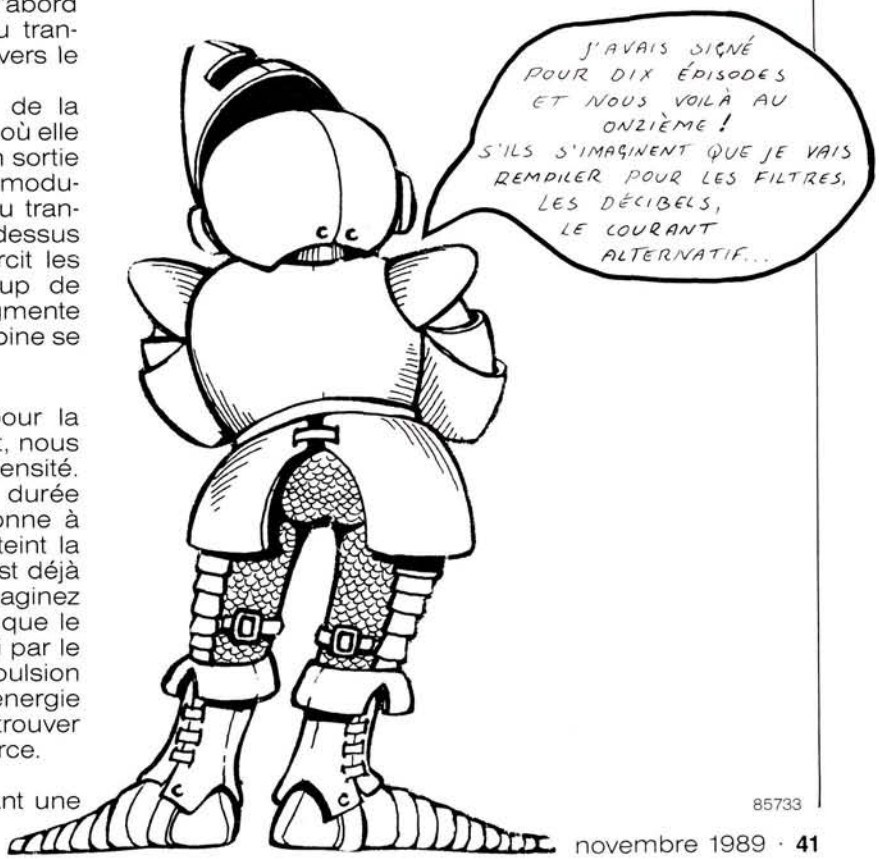
Le dispositif de commande rend le commutateur électronique, ici un transistor, alternativement conducteur et bloqué. Les impulsions se succèdent à une fréquence comprise entre 25 et 100 kHz. La diode est d'abord bloquée, pendant les phases de conduction du transistor, puis elle conduit le courant de la bobine vers le condensateur lorsque le transistor est bloqué.
L'énergie stockée dans le circuit magnétique de la bobine est donc transférée dans le condensateur, où elle se trouve disponible pour la charge connectée en sortie de l'alimentation. La régulation est possible par la modulation de la durée des phases de conduction du transistor. Si la tension du condensateur s'élève au-dessus de la valeur de consigne, le régulateur raccourcit les impulsions ; si la charge consomme beaucoup de courant et que la tension baisse, le régulateur augmente la durée des impulsions pendant lesquelles la bobine se charge d'énergie.

La bobine ne constitue pas un court-circuit pour la source, bien que sa résistance soit faible. En effet, nous avons vu que l'inductance freine la variation d'intensité. Comme d'autre part l'impulsion est de courte durée –ce n'est pas par hasard que le circuit fonctionne à haute fréquence–, l'intensité n'a pas encore atteint la valeur maximale, et dangereuse, que le circuit est déjà ouvert et le courant de la source interrompu. Imaginez que l'on coupe l'alimentation du moteur avant que le volant ne soit lancé à pleine vitesse. Il sera ralenti par le transfert de son énergie, puis relancé par l'impulsion suivante. De même la bobine donne toute son énergie au condensateur et à la charge avant de se trouver « rechargée » par le courant provenant de la source.

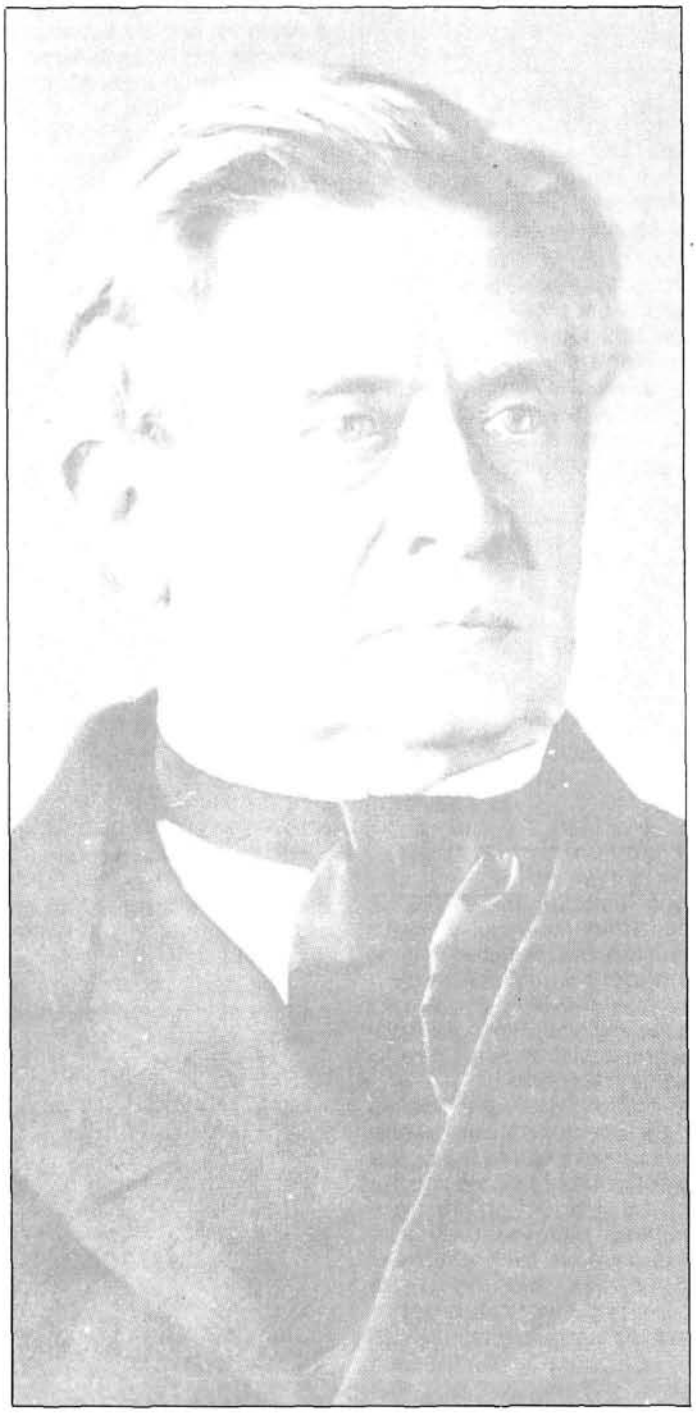
Cet exemple est celui d'une alimentation délivrant une tension de sortie négative, pour une tension d'entrée positive. Il s'agit là du schéma le plus simple à expliquer, mais il existe de nombreuses autres façons d'exploiter le stockage d'énergie par les inductances, et des dispositions différentes de la diode et du commutateur permettent d'obtenir, au choix, des tensions de sorties positives ou négatives, supérieures ou inférieures à la tension d'entrée, ou isolées si en plus on fait appel à un transformateur.
Le mode de régulation peut changer aussi. Nous avons envisagé la régulation dite en *modulation de largeur* d'impulsion (*Pulse Width Modulation*) ; l'autre méthode consiste à charger l'inductance par des impulsions de durée invariable et à faire varier leur fréquence. Le condensateur de sortie jouera son rôle d'intégrateur de la même façon. Pour augmenter la quantité d'énergie transmise à la sortie, il suffira d'augmenter la fréquence, c'est-à-dire le nombre des charges élémentaires transmises chaque seconde.
L'étude et le calcul de ce genre d'alimentation sortent du domaine de cette revue d'initiation ; nous nous en tiendrons donc à ces quelques notions.

Les alimentations à découpage sont économes en énergie, contrairement aux alimentations de type *série* que nous utilisons habituellement. Les régulateurs de tension classiques, comme les alimentations à transistors, **dissipent en chaleur** la quantité d'énergie correspondant à la différence entre la tension d'entrée et la tension de sortie. Les alimentations à découpage, au contraire, n'ont pas la dissipation de puissance comme principe de fonctionnement, elles ne connaissent en fait de pertes que celles qui résultent de la tension de déchet des transistors utilisés en commutateurs, du seuil de la diode et la chute de tension dans les conducteurs, qui est minime tant que le courant est modéré. Les bobines et les transformateurs utilisés, travaillant à haute fréquence, sont considérablement plus petits que les transformateurs habituels, calculés pour les 50 Hz du secteur.

Le prochain épisode nous ramènera dans le domaine des filtres, sans nous faire quitter celui des bobines. Il s'agira de filtres LC, constitués comme leur nom l'indique d'un condensateur et d'une inductance ; les exemples seront tirés de la pratique des filtres pour enceintes acoustiques. Accroche-toi, Jeannot, ça va faire du bruit !



Joseph Henry (1797-1875)



L'unité d'inductance a failli s'appeler le hendrie. C'est le nom écossais que portait le grand-père de Joseph Henry quand il est arrivé aux États-Unis d'Amérique le 16 juin 1775. Ce qui est connu avec moins de précision, c'est la date de naissance de Joseph Henry, ses biographes hésitent entre le 17 décembre 1797 et le 9 décembre 1799. L'histoire raconte que son goût des livres lui est venu par hasard. En poursuivant son lapin qui s'était échappé, il se serait introduit dans la bibliothèque du village où il ouvrit les yeux sur un monde de livres que ni l'école ni la maison ne lui avaient laissé imaginer. Découvert après plusieurs intrusions clandestines, il obtint un droit d'entrée officiel.

A la mort de son père, il commença un apprentissage d'horloger, consacrant ses loisirs au théâtre. Puis il décida de faire de ses loisirs une carrière et commença à jouer, écrire et produire des pièces pour un groupe de théâtre amateur. Un nouveau changement se produisit après la lecture d'un livre de vulgarisation sur les sciences naturelles, l'astronomie, la chimie. Curieux parallèle avec l'histoire de Michael Faraday, qui se tourna vers la science après avoir lu un ouvrage sur la chimie alors qu'il était apprenti relieur. Henry, ayant pris conscience de ses lacunes, s'inscrivit à des cours du soir de géométrie, de mécanique, et de grammaire anglaise à l'Académie d'Albany.

Après avoir obtenu un poste de professeur, il entreprit des études de médecine, puis devint bibliothécaire de l'Institut d'Albany et publia son premier article scientifique en 1824. Devenu ingénieur, il dirigea la construction d'une route entre l'Hudson et le lac Erie. Au printemps de 1826, il eut à choisir entre la direction d'une mine au Mexique, le percement d'un canal dans l'Ohio et un poste de professeur de mathématiques et de sciences naturelles à l'Académie d'Albany. C'est donc à vingt-huit ans qu'il choisit définitivement sa carrière, l'enseignement, après avoir écarté l'horlogerie, le théâtre, la médecine et les travaux publics.

Ses travaux sur l'électricité et le magnétisme commencèrent après qu'il eut pris connaissance de la découverte d'Oersted (les effets du courant électrique sur une aiguille aimantée, voir l'*ampèremètre de brousse* elex n°2 page 59). Il poursuivait ces recherches à titre privé, pendant ses vacances, et les finançait sur ses fonds propres. Sa première contribution fut la construction d'un électro-aimant inspiré de celui de l'Anglais William Sturgeon. Parmi les améliorations qu'il apporta, il faut citer l'utilisation de fil de cuivre isolé par du fil de soie (le fil émaillé n'existait pas). Son premier électro-aimant soulevait 28 livres, contre les neuf de celui de Sturgeon. Ses expérimentations portèrent sur la mise en série et en parallèle; il énonça à sa manière la loi d'Ohm (dont il n'avait pas encore entendu parler), et les règles de ce que nous appelons aujourd'hui adaptation d'impédance. Il s'était inventé une terminologie : « intensité » pour tension et « quantité » pour intensité, qui fut utilisée par d'autres chercheurs pendant une trentaine d'années.
La science peut aussi faire vivre : il vendit son premier électro-aimant aux Forges de Penfield, endroit qui fut rebaptisé par la suite Port Henry ; il vendit à l'Université de Yale un « monstre » de soixante livres capable de soulever une tonne.

Ses découvertes les plus importantes portèrent sur l'induction et l'auto-induction. Ces notions figuraient dans une communication publiée en 1832, et elles furent reprises par Faraday en 1834.

C'est en 1832 qu'il obtint une chaire de professeur de sciences physiques au Collège du New Jersey, connu aujourd'hui sous le nom d'Université de Princeton. Il étudia la propagation des ondes électro-magnétiques produites par la décharge de condensateurs dans des bobines et mit en évidence, sans appareils de mesure et par pure déduction, le caractère oscillatoire du phénomène.

Le magnétisme et l'électricité ne furent pas ses seuls domaines d'étude et d'activité : il publia des travaux estimables touchant l'astronomie, la géophysique, la météorologie, l'anthropologie et l'ethnologie. Son heure vint le 13 mai 1878 sans qu'il ait rien publié sur l'horlogerie.

Nota : Outre-Atlantique, aujourd'hui encore, on mesure avec ses pieds et ses pouces, on pèse en livres de 453 grammes ou en tonnes de 1026 ou 907,2 kilogrammes (suivant qu'il s'agit d'une tonne longue de 2240 livres oud'une tonne courte de 2000 livres), et un écrou d'un quart de pouce de diamètre peut avoir aussi bien vingt filets par pouce (UNC) que vingt-huit (UNF). Pour aller sur la Lune, il suffit de trouver la bonne vis. Nobody is perfect. 896165

Matériels pour l'enseignement technique : l'Europe des technologies est à EDUCATEC 89

EDUCATEC 89

7e Salon Européen
des matériels didactiques et des
formations pour les technologies nouvelles,
le technique, et les hautes technologies

A remplir et à retourner à :
EDIT EXPO INTERNATIONAL 12 r. VAUVENARGUES 75018 PARIS.

M. _____

Société : _____

Adresse : _____

_____

Veuillez m'adresser une documentation
☐ Exposant ☐ Visiteur (dès sa parution)

un indicateur d'humidité

pour horticulteur d'appartement

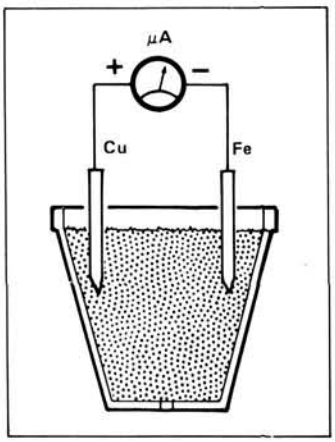


Figure 1 - Un curieux circuit pour un magazine où l'on trouve des schémas d'électronique ! Un galvanomètre d'une sensibilité de l'ordre de 50 µA, et deux sondes auxquelles on ne demande rien d'autre que d'être assez longues et de métaux différents. Planté dans un pot de terre humide, ce dispositif forme une espèce de pile électrique.

Drôle d'engin, n'est-ce pas, que l'espèce de pioche ci-contre ?

C'est sous cette forme originale que nous avons imaginé le prototype de l'indicateur d'humidité mis au point par un elexien jardinier pour ses propres besoins. L'automne est arrivé, et il a fallu rentrer les plantes laissées dehors, sur le balcon, nuit et jour depuis le printemps. Le problème, maintenant, c'est de les garder en bonne santé dans l'appartement durant l'hiver, avec une atmosphère plus sèche, à une température souvent élevée. Et il va falloir penser à les surveiller régulièrement ; chacun sait qu'en règle générale il est préférable d'arroser un peu mais assez souvent, plutôt que d'inonder les plantes à Noël, à Pâques et au 14 Juillet pour les abandonner les pieds dans l'eau entre-temps.

Phyto-phallocrate

Si vous êtes de ceux qui, victimes semble-t-il nombreuses de leur conjugale (sic !) virago, cherchent un alibi pour « faire quelque chose d'utile en électronique, et pas seulement pour les mecs », ce montage vous servira peut-être à amadouer le dragon. Si ça marche, ça lui fera plaisir, tant mieux. Si les plantes crèvent, ce sera bien fait pour elle ; vous pourrez toujours dire : « De toutes façons, les bonnes femmes et le (sic!) technique . . . »

Nous serions hors-sujet si nous utilisions l'adjectif électronique pour qualifier cet indicateur, car en examinant la **figure 1**, on n'y trouve ni condensateur, ni résistance, ni semi-conducteur. Il n'y a là guère que deux sondes et un galvanomètre. Ce dispositif est, avec le pot de fleurs et la terre dans laquelle il est fiché, un élément galvanique. Oui, une espèce de pile électrique si vous voulez.

Pour que ça marche, il faut que les deux électrodes soient d'un métal différent (voir encadré), que la terre soit humide et qu'il y ait des sels dilués dans l'eau. Cette dernière condition est toujours remplie, sauf si l'on arrose ses plantes avec de l'eau distillée. Plus le sol sera humide, plus il circulera de courant à travers le galvanomètre.
Si vous venez d'avoir l'idée de réduire le montant de vos factures d'EDF en utilisant des pots de fleur bien arrosés comme source de courant, il faut déchanter, car l'énergie ainsi obtenue ne suffirait pas même à faire rosir le filament d'une ampoule électrique. C'est pourquoi il nous faudra un galvanomètre extrêmement sensible : 50 µA ou 100 µA tout au plus. Rassurez-vous, ce n'est pas un composant rare du tout. Un galvanomètre récupéré sur un vieux lecteur de cassette ou acheté dans un lot de surplus fera parfaitement l'affaire.

Les sondes

Les matériaux que nous avons utilisés pour notre prototype sont faciles à trouver dans un labo d'électronique : un tournevis ordinaire et un bout de plaque cuivrée. Il n'y a pas de difficulté à souder le fil sur la plaque de cuivre, mais il n'en va pas du tout de même pour le tournevis en fer ; là il vaut mieux entortiller le fil dénudé et l'immobiliser à l'aide d'une bride métallique sur le fût de l'outil.

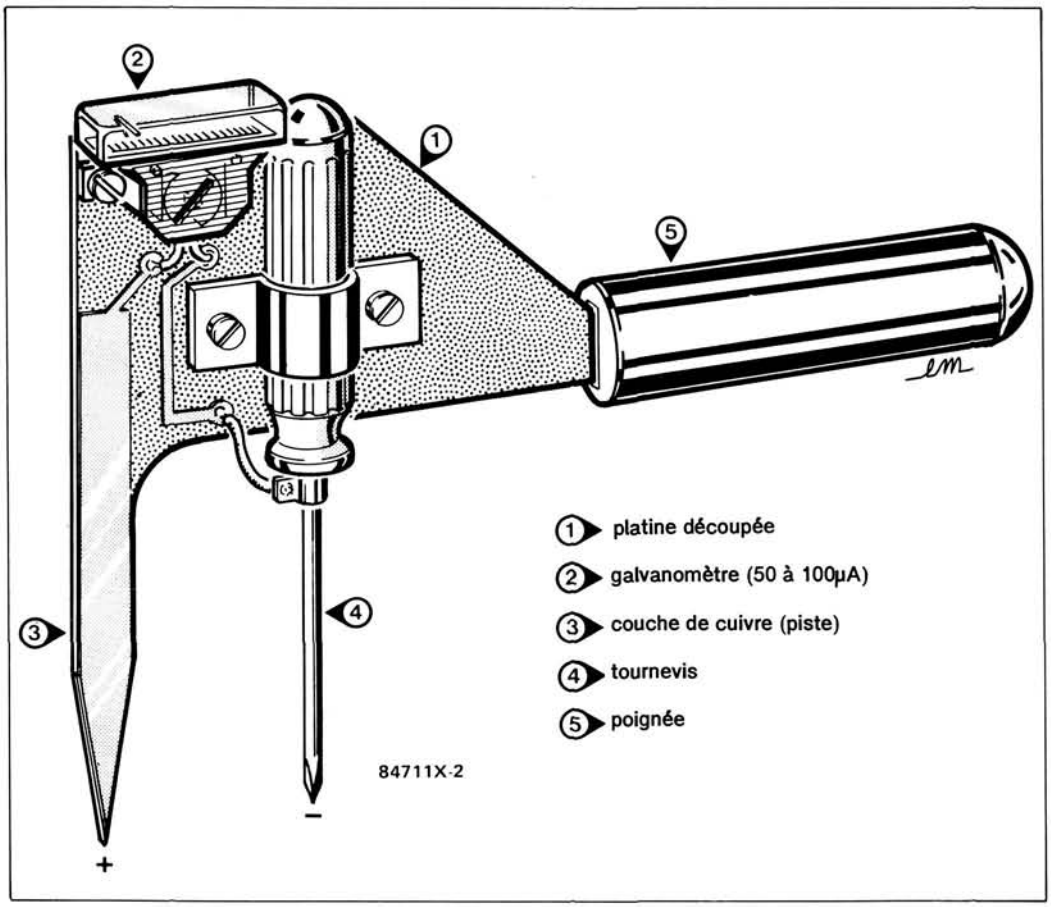


Figure 2 - Le modèle original de notre prototype est fait d'une plaque d'époxy cuivré, partiellement gravée et découpée à la scie sauteuse, sur laquelle est fixé un vieux tournevis dont le fût en fer tient lieu d'électrode négative.

Le croquis de la **figure 2** montre comment réaliser un appareil robuste et facile à utiliser. Il suffit de planter les sondes dans la terre comme s'il s'agissait d'un outil de jardinage. Leur longueur doit être telle qu'elles puissent être enfoncées jusqu'à la moitié de la profondeur du pot *sans que les fils de liaison avec le galvanomètre entrent en contact avec la surface de la terre.*

Pour éviter que la corrosion n'attaque les électrodes, il ne faut laisser l'indicateur dans la terre que le temps de vérifier le degré d'humidité. Il faut laver les électrodes à grande eau aussitôt après. Il reste à calibrer l'indicateur et à apprendre à s'en servir efficacement.

Le calibrage

Le mot est un peu fort, car en fait de calibrage, c'est quand même surtout de pifomètre qu'il va être question avec cet indicateur. . . La composition du sol, les tolérances du galvanomètre, la nature des sondes sont autant d'impondérables qui rendent impossible la spécification de valeurs absolues. Essayez, expérimentez, explorez, voilà le mot d'ordre. Commencez par prendre un pot de fleur rempli de terre que vous arrosez jusqu'à obtenir le degré d'humidité idéal pour vos plantes.

Plantez l'indicateur dans ce pot et observez l'aiguille de l'instrument : si elle part dans le faux sens, il suffit d'inverser la polarité du galvanomètre : le plus à la place du moins et inversement.

Si l'aiguille dévie à mi-course ou plus loin encore dans la moitié supérieure de l'échelle graduée, tant mieux : les indications fournies par l'aiguille dans d'autres conditions d'humidité seront faciles à interpréter.
Si au contraire l'aiguille, dans les conditions de référence, reste dans la moitié inférieure de l'échelle, il faut utiliser un galvanomètre plus sensible, ou changer de sonde.

84711

Certains d'entre vous aimeraient sans doute savoir pourquoi la piste de cuivre (3) de la figure 2 devient électrode positive et comment le fût du tournevis (4) devient électrode négative. Il nous faudrait un prof de physique-chimie pour nous expliquer ça. . . A nous, Arrhenius et Faraday !
Essayons quand même, sans entrer dans les arcanes de l'électrochimie. Un métal plongé dans une solution de chlorure de sodium (aussi connu sous le nom de sel de cuisine) émet des ions. Un ion est un atome ayant perdu ou gagné des électrons. S'il en a perdu, il est chargé positivement. S'il en a gagné, on a affaire à un ion négatif. Moins un métal est noble (plus il est altérable), plus l'émission d'ions est forte, plus l'excédent de charge électrique est fort. Entre chaque électrode et la solution dans laquelle elles sont plongées apparaît une différence de potentiel.
Entre les deux électrodes de **métaux différents**, par exemple le cuivre et le zinc) il y a une différence de potentiel qui est la somme des différences de potentiel entre électrodes et solution et compose la force électro-motrice de la pile. Si on les relie par un conducteur, un courant va circuler, cherchant à réduire cette différence.
L'énergie électrique est empruntée aux réactions chimiques qui se produisent dans la chaîne électrochimique formée par les deux électrodes, le conducteur qui les relie, et la solution électrolytique.
Pour que le mouvement des ions s'arrête, il faut que les métaux en présence se soient entièrement dissous. Certains sont capables d'émettre plus d'ions que d'autres. On les classe selon une liste dite *échelle des tensions* qui fournit une expression quantitative de la plus ou moins grande tendance d'un métal à passer à l'état d'ions. Les voici dans l'ordre : or, platine, argent, mercure, cuivre, plomb, étain, nickel, cobalt, cadmium, fer, zinc, aluminium, manganèse. . .

Bibliographie : *L'électrochimie, Jean Besson, Que sais-je ? n°437*

CHELLES ELECTRONIQUE

CHELLES ÉLECTRONIQUE déménage à CHELLES

s'agrandit pour mieux vous servir.

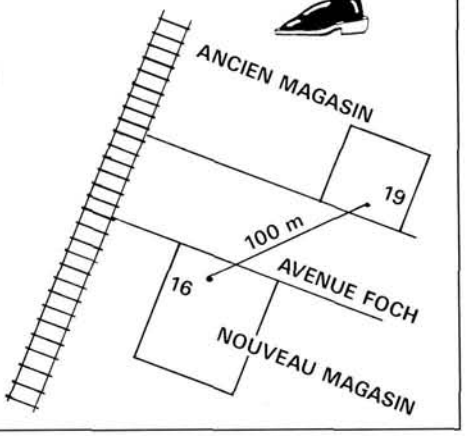
Nouvelle adresse:

16, Avenue Foch
77500 CHELLES

Encore plus près de la gare, à environ 100 m de l'ancien magasin dans la même rue.

Tél : 64.26.38.07
Fax : 60.08.00.23

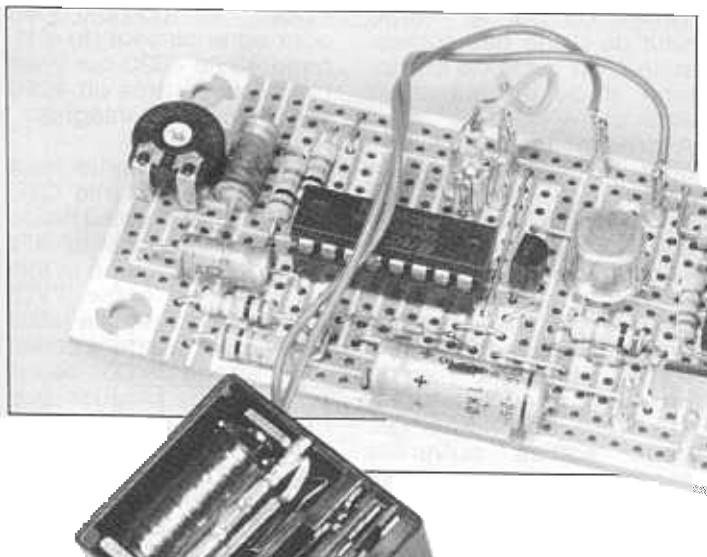
ouvert du mardi au samedi
9h30 à 12h15
14h30 à 19h00

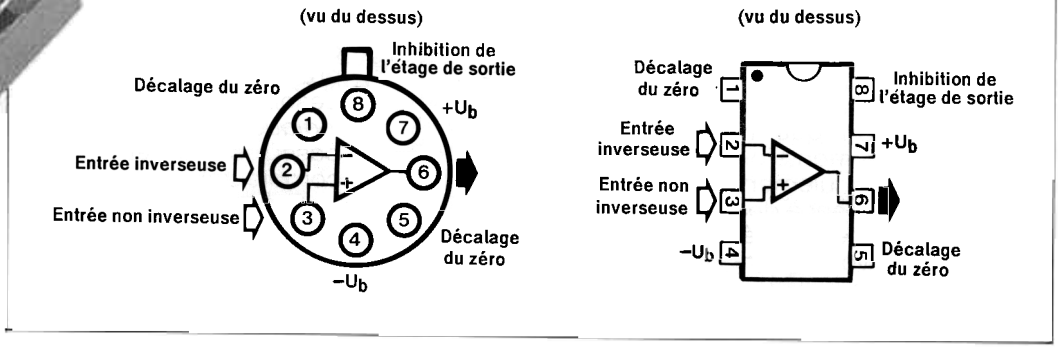


OFFRE Petites Annonces Gratuites à publier dans ELEX. Prière utiliser grille au dos de cette page. Adressez vos PA sans tarder à : ELEX-PAGE - BP53 - 59270 BAILLEUL

interrupteur crépusculaire temporisé

pour les vampires et les moins pires





Ce montage est comme les hiboux, les chats, les vampires, et les postiers du tri de nuit ; c'est quand il commence à faire sombre que commence sa journée. Comme eux il a un gros oeil rond qui lui permet de juger de la luminosité ambiante pour décider d'allumer une lampe et de se mettre à compter les secondes qui passent. Après un certain temps – le délai de temporisation est modifiable en fonction des besoins – la lumière s'éteint.

En fait, cet interrupteur crépusculaire peut commander d'autres appareils qu'une lampe. Il pourra servir, si vous êtes éleveur de porcs par exemple, à mettre la ventilation en service automatiquement le soir (j'ai souvent pu constater à la campagne que l'air est brutalement empuanti pendant quelques instants, juste au crépuscule, mais ça devaient être des OPNI = objets polluants non . . . Pas vous ?)

S'il arrive souvent qu'il n'y ait personne chez vous le soir, vous pourrez vous en servir pour simuler une présence (une lampe s'allume, la radio est mise en marche, comme si vous étiez-là). Si vous avez une vitrine à éclairer, ou un jardin, il vous fera un excellent allumeur de réverbères. . .

Nous avons, dans ce numéro d'ELEX, des montages qui détectent le dépassement de valeurs de consigne préétablies (température, lumière). En voici un qui détecte le passage sous un seuil préétabli ; en effet, la photorésistance voit sa résistance augmenter à mesure que la nuit tombe, à tel point que la tension d'entrée sur la broche 3 du comparateur A1 de la figure 2 finit par dépasser la tension d'entrée fixée sur sa broche 2 par le diviseur de tension R1/R2. Comme la valeur de ces deux résistances est égale, la tension de référence donnée sur l'entrée "–" est de la moitié de la tension d'alimentation.

La sortie de l'amplificateur (qui cherche à réduire la différence entre les deux entrées) passe du niveau bas où elle était au niveau haut proche de la tension d'alimentation.
Le circuit intégré CA3130 est monté en comparateur. La résistance de réaction R4 confirme sur l'entrée "+" le niveau de la sortie : quand la sortie est basse, c'est que le niveau de la tension d'entrée sur la broche 3 est inférieur à celui de la broche 2, et la rétroaction introduite par R4 consolide cet équilibre. Inversement, quand la sortie est haute, c'est parce que l'entrée "+" est déjà haute. Là encore R4 consolide l'équilibre établi. Quand je vous disais qu'elle est réac' cette résistance !

Comme dans les westerns

La présence de R4 retarde sensiblement le basculement de la sortie, mais en accentue la raideur du flanc. Cette précaution est indispensable pour que le comparateur "n'hésite" pas autour du seuil de basculement, quand il ne fait plus tout à fait jour mais pas encore tout à fait nuit. C'est comme pour une embuscade dans un western : le chef sait que les munitions sont comptées et qu'il n'a pas le droit à l'erreur. Il dit à ses

hommes : «Ne tirez pas avant mon signal !» et attend, avant de donner cet ordre, que l'ennemi (généralement des Peaux-Rouges) soit à bout-portant, de telle sorte qu'il n'y ait aucune marche arrière possible.

A défaut d'une analogie plus pacifique, celle-là vous permettra peut-être de comprendre en quoi **le retard du déclenchement** (« Feu !») de l'action est déterminant pour son succès. Retarder se dit *usterein* en grec (prononcer « hussetérè-hine »), déclencheur se dit *Schmitt* en anglais et *Marc-Antoine Trigger* est le général qui a défendu l'entrée de Fort Opamp contre l'assaut des Hell Day Hair. Il est par la même occasion l'inventeur de cette coiffure. Les mauvaises langues disent que Thérèse couche avec Monsieur Schmitt, que l'on entendait triquer hier au cri de : « Oh hisse, Thérèse ».
Zut, y a de l'eau dans le vase.

En tous cas on dit que le trigger de Schmitt est caractérisé par son hystérèse, et comme le montre la **figure 1**, selon que la tension d'entrée monte ou descende, le basculement de la sortie intervient à des seuils sensiblement différents. Merci de votre attention, on continue.

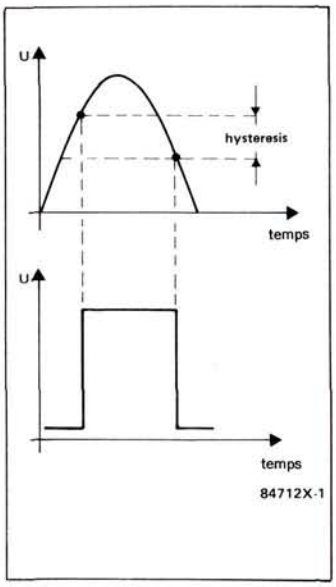


Figure 1 - Selon quelle monte ou qu'elle descend, une variation de tension lente à l'entrée d'un trigger de Schmitt provoque le basculement de la sortie pour deux seuils sensiblement différents qui délimitent une marge de sécurité contre les hésitations.

La haute impédance d'entrée du CA3130 le désigne comme le composant d'interfaçage idéal entre des étages analogiques et les circuits CMOS logiques comme le 4060.

Un compteur binaire à 14 étages

Le flanc ascendant de l'impulsion que l'on voit en bas de la figure 1 commande la broche 12 de IC2. Celle-ci est l'entrée de remise à zéro de ce compteur. Toutes les sorties sont forcées à zéro ; ainsi quel que soit le strap implanté en sortie d'IC2 (lignes pointillées), les transistors T1 et T2 sont conducteurs et le relais Re1 est excité.
C'est aussi la remise à zéro des sorties qui remet en service l'oscillateur du 4060 bloqué jusque là à travers D3 par le niveau haut de l'une des sorties, suite à un cycle de comptage et de temporisation antérieur.
A présent les impulsions dont la fréquence est déterminée par les composants discrets C2, C3, P2, R5 et R6, sont « comptées » par les bascules placées en série dans le 4060. Nous avons prévu de régler P2 de telle sorte que la sortie broche 1 du 4060 passe à ''1'' après une heure. Les deux sorties suivantes seront donc forcément actives l'une après deux heures et l'autre après trois heures, puisque chaque sortie divise par deux le signal de la sortie précédente (consultez au besoin l'épisode de *la logique sans hic* sur les bascules et les compteurs).

Pour régler P2, il est inutile d'attendre une heure avant que la première sortie devienne active. Un rapide calcul nous montre que si Q12 doit passer au niveau haut au bout d'une heure, Q4 changera de niveau toutes les 15 secondes environ. Le brochage de la **figure 4** montre que l'on pourra relever le niveau logique de la sortie Q4 du 4060 sur sa broche 7. Si vous voulez en savoir plus sur le comptage, reportez-vous aussi à la minuterie de cage d'escalier, elex n°12 page 38, et à ELEX-POSE, le compte-pose pour agrandisseur du n°11, page 49 (le 4020 qui y est utilisé est en gros un 4060 sans oscillateur intégré).

Le niveau de sortie haut apparu sur la sortie Q12, Q13 ou Q14 choisie à l'aide du strap (un seul strap à la fois !) est appliqué à la fois à l'étage de sortie T1/T2 (lequel se bloque : le relais décolle, la lampe s'éteint) et à l'anode de D3 ; ceci a pour effet de bloquer illico l'oscillateur intégré dans le 4060.

La réalisation de ce circuit n'est ni plus facile ni plus difficile que celle des circuits moyens dans ELEX, si ce n'est le traitement spécial du collecteur de T2 (voir le plan d'implantation). Elle comporte néanmoins une particularité : la forme du boîtier du CA3130 n'est pas forcément le DIL (*dual in line* = double rangée de broches) dont nous avons

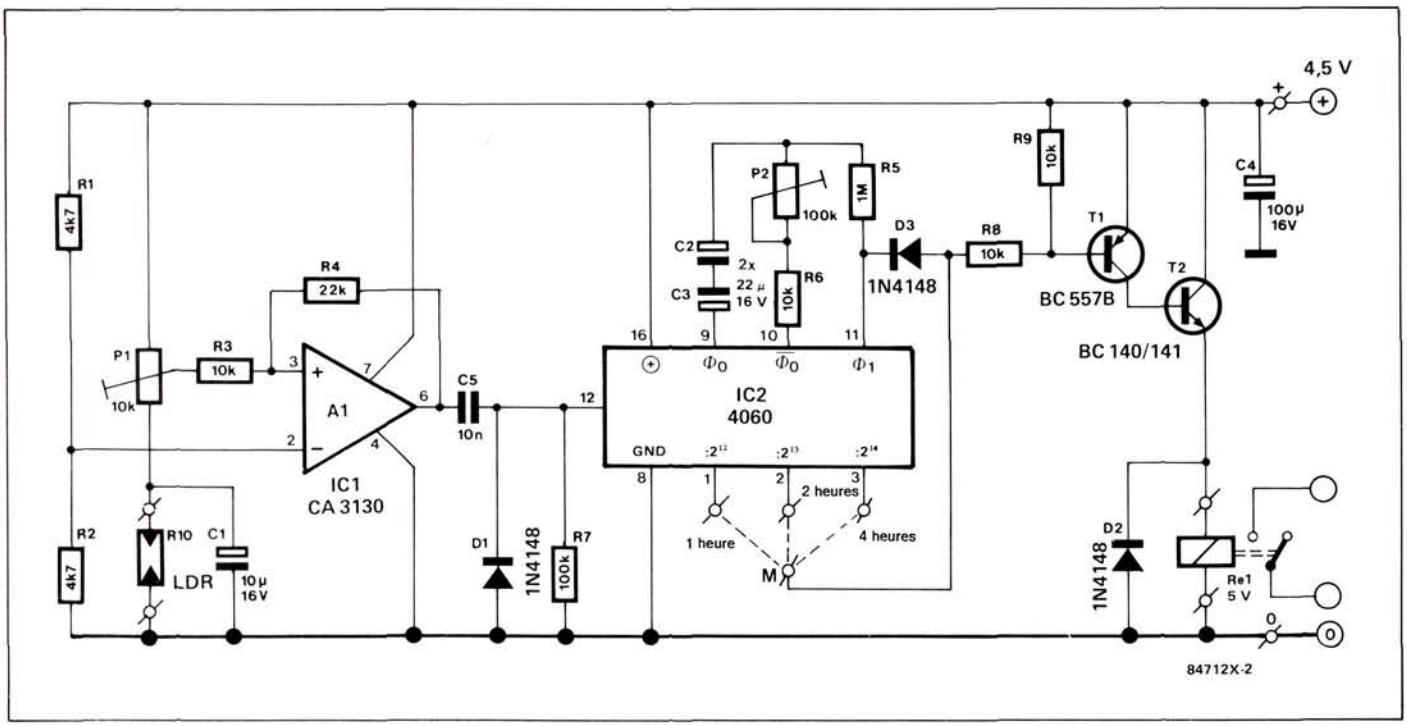


Figure 2 - Un interrupteur temporisé, c'est un capteur photosensible couplé à un compteur binaire qui commande un relais. Les condensateur C2 et C3 sont montés tête-bêche pour former astucieusement l'équivalent d'un condensateur de forte valeur bipolarisé peu encombré.

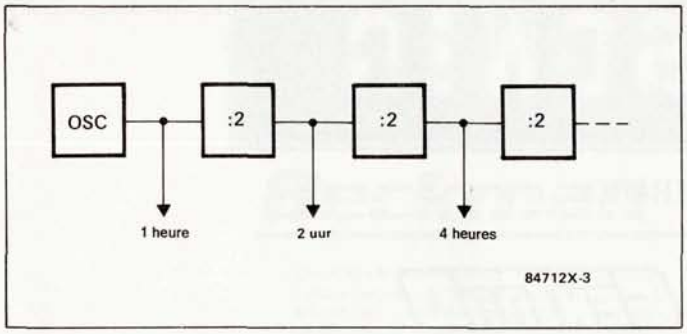


Figure 3 - Le principe de la temporisation avec un 4060 consiste à compter les impulsions fournies par l'oscillateur intégré et à les appliquer à une chaîne de bascules.

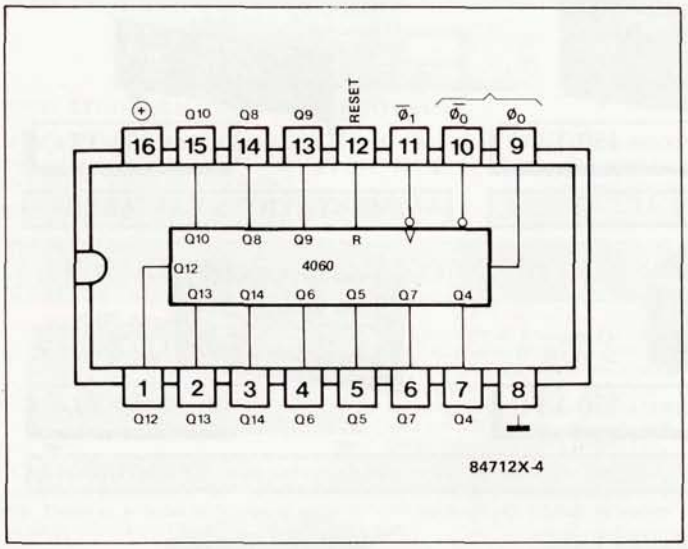
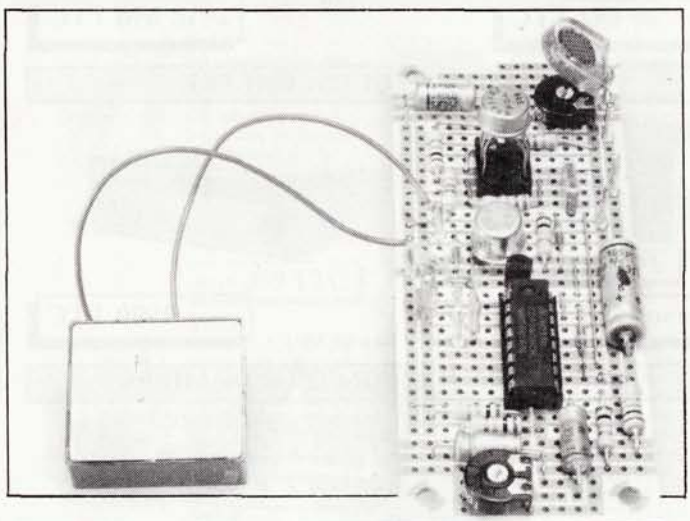


Figure 4 - Le 4060 dans son boîtier à 16 broches est un formidable outil de comptage et de temporisation. Par manque de broches, le fabricant a renoncé à « sortir » Q11, et les sorties inférieures à Q4.

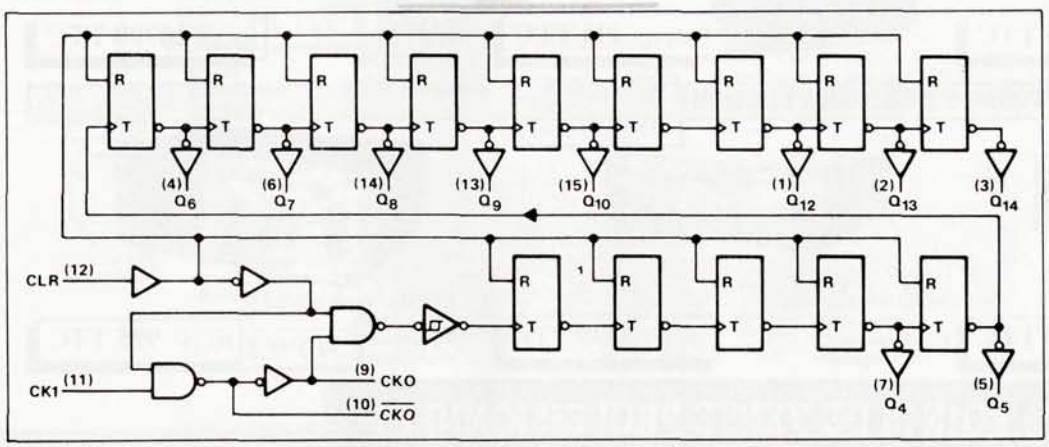


l'habitude. Il existe aussi sous forme de boîtier métallique rond, comme certains transistors, avec néanmoins 8 broches. Il n'y a aucune raison de s'en faire, puisque quelques coups de pince plate suffiront à préparer les broches disposées en cercle pour qu'elles rentrent dans un support DIL. Attention au brochage du boîtier rond : l'ergot à la base du boîtier métallique, comme celui qui repère l'émetteur sur les transistors, désigne ici la broche 8 du circuit intégré. Si, vu de haut, cet ergot est à 12 h, la broche 1 se trouve à 11 h et la broche 7 à 13 h. Les broches 8, 7, 6 et 5 sont donc dans la partie droite du support DIL, du côté de P1 et de la LDR. Les quatre autres broches sont de l'autre côté, on s'en doute.

Les ponts de câblage à côté de T1 doivent être mis en place avant ce transistor. Pour les straps en pointillés de la **figure 5**, il est bon de prévoir quatre picots : un pour le point commun M et un pour chacun des points "1 h", "2 h" ou "3 h". Selon le délai de temporisation, on reliera le picot M à l'un des picots 1, 2 ou 3 à l'aide d'un pont de câblage fait d'un bout de fil fin muni d'un picot femelle à chaque bout.
Lors du choix du boîtier, il ne faut pas perdre de vue le fait que ni le relais ni la pile ne peuvent être logés sur la platine. Quant à l'emplacement de la photorésistance, il est évident qu'il faut qu'on la voie pour qu'à son tour elle prenne en compte la lumière ambiante.

Le réglage de la sensibilité se fait avec P1 à la convenance de chacun.

84712



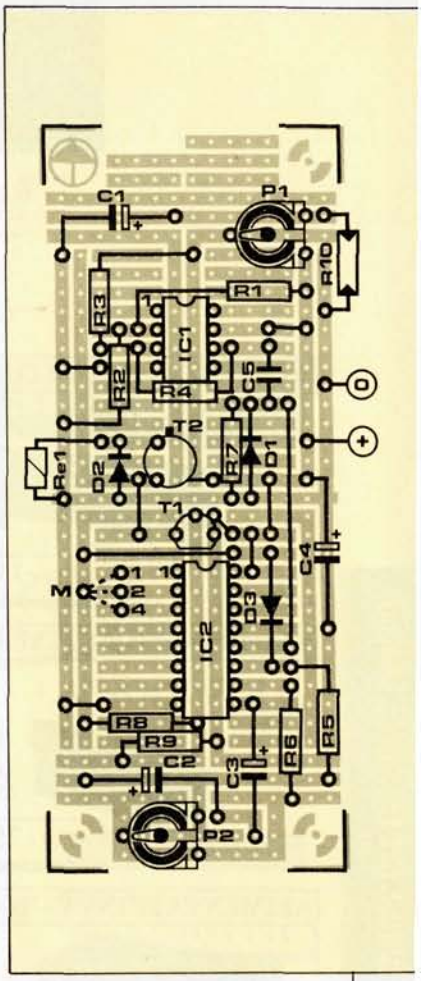
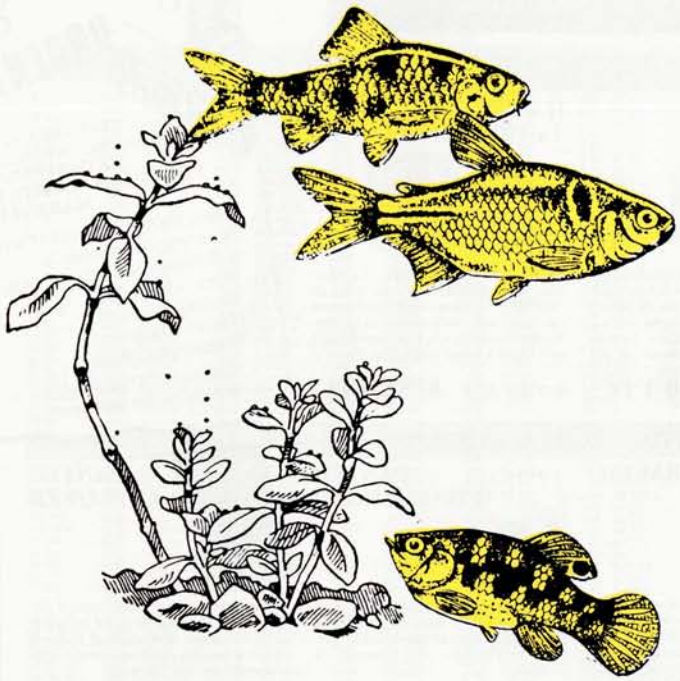


Figure 5 - Plan d'implantation. La platine d'expérimentation de petit format est bien remplie ; attention aux ponts de câblage !

LISTE DES COMPOSANTS

R1,R2 = 4k7
R3,R6,R8,R9 = 10 kΩ
R4 = 22 kΩ
R5 = 1 MΩ
R7 = 100 kΩ
R10 = LDR
P1 = 10 kΩ var.
P2 = 100 kΩ var.
C1 = 10 µF/16 V
C2,C3 = 22 µF/16 V
C4 = 100 µF/16 V
C5 = 10 nF
D1 à D3 = 1N4148
T1 = BC557B
T2 = BC140 ou BC141
IC1 = CA3130 (DIL de préférence)
IC2 = 4060

Re1 = relais encartable 5 V
par exemple Siemens V23027-A0001-A101
picots, fil de câblage
pile de 4,5 V
platine de format 1



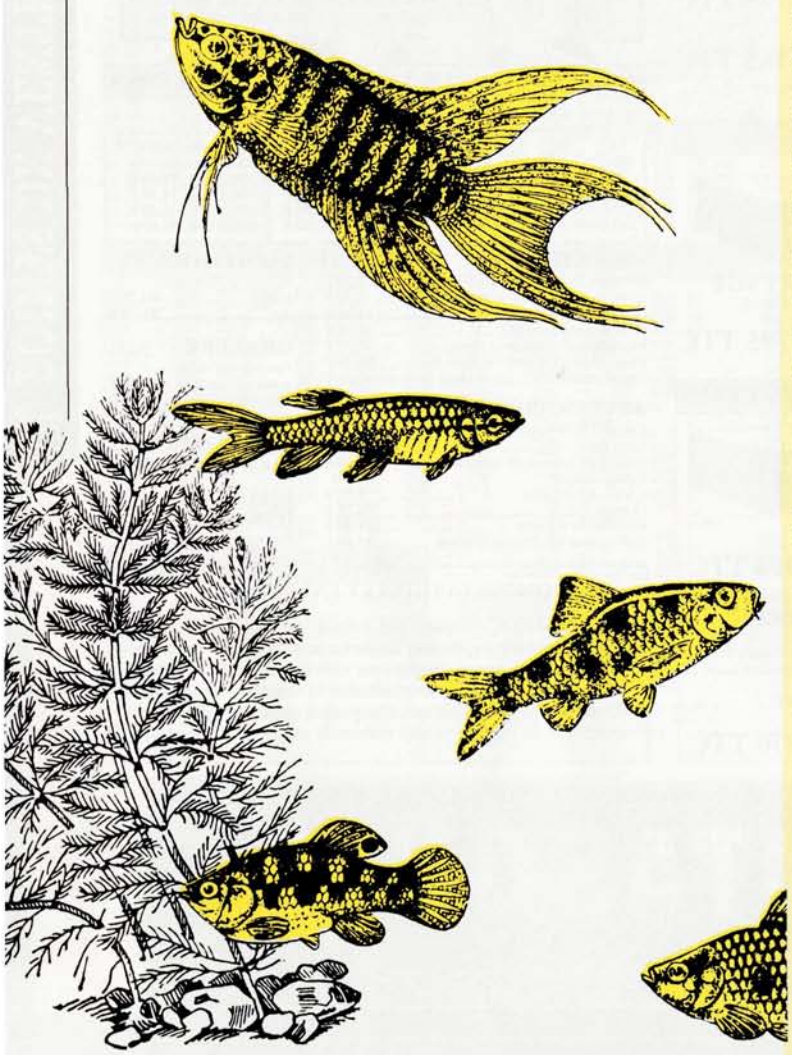
thermostat d'aquarium

il surveille les températures au demi-degré près

Un thermostat est un dispositif qui commande la mise en service d'un dispositif de chauffage en fonction d'une température de consigne.

S'il est présenté ici comme thermostat d'aquarium, cela ne signifie nullement que ce circuit est inutilisable ailleurs, bien au contraire. On peut imaginer de l'utiliser par exemple pour commander par intermittence le ventilateur d'une alimentation de puissance.

Ou comme circuit de protection thermique d'un moteur. . . Si vous trouvez des idées d'application originales, faites-le nous savoir. Cela nous fait toujours bien plaisir d'apprendre que les montages publiés vivent leur propre vie dans le vaste monde.



Pour le bien-être des poissons exotiques dans un aquarium, il faut un thermostat de bonne qualité, sensible à une variation de température d'un demi-degré ou tout au plus d'1°. Nos amis aquariophiles savent que le thermomètre et la résistance de chauffage doivent être immergés l'un et l'autre, et placés sur le passage du courant et non dans un coin tranquille de la cuve. Voilà pour les préliminaires, venons-en aux choses sérieuses.

Le schéma du thermostat tel que nous le donne la **figure 1** a de quoi inquiéter un débutant en électronique. Si vous êtes impressionné par l'amplificateur opérationnel, le capteur assez spécial (KTY10), les deux diodes zener et l'étage de sortie avec le relais, le condensateur C1 bizarrement monté entre le + et le base de T1, c'est compréhensible ; mais, foi de scalaire, il ne restera rien de tout cela quand vous aurez fini de lire cet article.

La tension de mesure

Commençons par les deux zener. Nous savons que ce type de composant conduit dans le sens où les diodes sont normalement bloquées, pour faire chuter la tension et la stabiliser à une valeur donnée. Pour limiter le courant qui circule à travers la zener, celle-ci est forcément associée à une résistance de limitation (ici R1 pour D1 et R1+R2 pour D2). Ces quatre composants stabilisent la tension de mesure à partir de la tension d'alimentation de 12 V. Désormais ni les variations de température ni les courants qui circuleront éventuellement à travers R3 et/ou R5 ne parviendront à déstabiliser la tension de mesure.

Cette partie du schéma est démystifiée : nous savons que nous disposons d'une tension de mesure stable appliquée à deux diviseurs de tension. L'un est formé par R3 et le capteur de température, l'autre par R4 et le couple R6/P1. La tension fournie par ce deuxième diviseur de tension est fixe (nous verrons plus loin que sa valeur définitive est déterminée à l'aide de P1) et on l'applique à l'entrée – de l'amplificateur opérationnel IC1. L'autre entrée de ce circuit intégré est reliée au diviseur dont la tension va dépendre de la température captée par R5.

Le capteur R5 n'est pas une résistance ordinaire, puisque c'est un semiconducteur, au même titre que les diodes et les transistors. Et pourtant le capteur KTY10 (c'est son nom) se comporte comme une résistance dont la valeur dépend de la température. C'est une thermistance, mais une thermistance au silicium ! La **figure 2** donne la courbe caractéristique de ce composant ; quand la température passe de −50° à 150 °C, sa résistance passe de 1 kΩ environ à 45 kΩ. Puisque la résistance augmente avec la température, on dira que le

coefficient thermique du KTY10 est positif (CTP).

Que l'ensemble de la caractéristique accuse un certain arrondi n'est pas critique dans le cadre de l'application que nous faisons du capteur KTY10, car dans le domaine utile pour un aquarium, la caractéristique est rectiligne. La résistance augmente d'environ 14 Ω par degré Celsius.

Le comparateur

L'eau chauffe, la température augmente. Nous avons vu que la tension relevée sur le capteur attaque l'entrée + de l'amplificateur opérationnel qui la compare à la tension de l'autre entrée : aussitôt qu'elle la dépasse, c'est-à-dire quand la température de consigne fixée avec P1 est atteinte, la tension de sortie de IC1 passe à (presque) 12 V. Le potentiel de la base et celui de l'émetteur de T1 sont alors identiques. Il ne peut pas circuler de courant de base, ce transistor est donc bloqué. Le relais n'est pas excité, la LED D4 est éteinte, ce qui signifie que le chauffage n'est pas en service.
Voyons ce qui se passe à présent quand l'eau refroidit. Au fur et à mesure que la température baisse, la tension sur le KTY10 baisse aussi. Quand vient le moment où, **si il n'y avait pas R10**, elle deviendrait inférieure à la tension sur l'entrée –, il ne se passe rien. L'entrée + profite encore du niveau de tension élevé de la sortie de IC1.
En d'autres termes : quand, en baissant, la température atteint la valeur de consigne, la tension relevée sur le capteur est la même que celle qui avait fait basculer IC1 lorsque la température, en montant, avait atteint et dépassé cette même valeur de consigne ; mais juste avant que la température de consigne ne soit atteinte en montant, **la tension de sortie de IC1 était encore basse** alors que maintenant elle est haute. La présence de R10 ne contribuait donc pas à maintenir la tension sur l'entrée + à un niveau plus élevé, comme elle le fait maintenant, mais elle la retenait au contraire à un niveau inférieur.

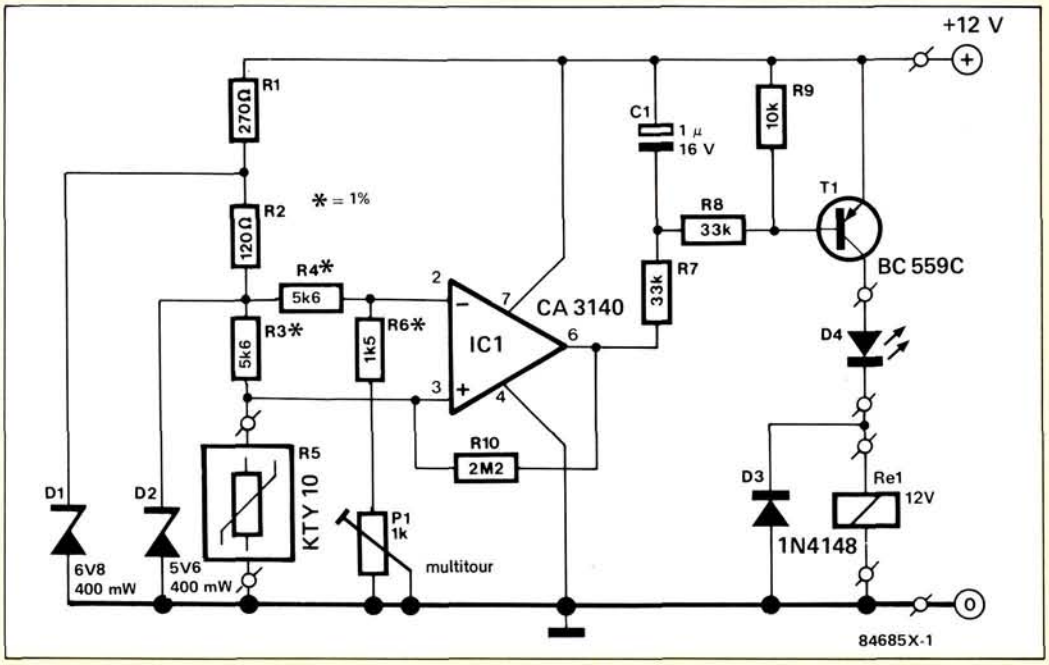


Figure 1 - Ce circuit de thermostat vous permettra de stabiliser la température de liquides quelconques avec une précision de l'ordre de 1 °C, voire 0,5 °C si vous modifiez la valeur de R10.

Résumons : à température égale, la tension à l'entrée + de l'amplificateur opérationnel est donc plus élevée quand la température est en train de baisser (la sortie de IC1 étant encore haute) que quand elle est en train d'augmenter (la sortie d'IC1 étant encore basse).

Avant que la sortie du circuit intégré IC1 bascule de nouveau et remette le chauffage en service, il faut que la température baisse assez pour que le déficit de tension sur le capteur compense l'excédent de tension introduit par R10. Inversement, pour que le circuit intégré IC1 bascule de nouveau et remette le chauffage hors service, il faut que la température augmente assez pour que l'excédent de tension sur le capteur compense le déficit de tension introduit par R10.

La symétrie de cette explication vous rend-elle hystérique ? Pas étonnant, puisque c'est de l'hystérèse qu'il s'agit. Encore elle, direz-vous non sans raisons si vous avez lu certains autres articles de ce numéro ! Signalons au passage que les mots hystérie et hystérèse n'ont pas du tout la même étymologie.
Entre les deux points de basculement de notre thermostat, il y a une hystérèse de 1 °C : la sortie de IC1 repasse à 0 V quand la température captée par R5 est descendue de 1 °C par rapport à la température de consigne fixée par P1 et pour laquelle le chauffage est mis hors service.

Dans l'explication ci-dessus, on a pu parler d'*excédent* car la température, en augmentant, doit dépasser la température de consigne de l'équivalent de la moitié de l'hystérèse, soit 0,5 °C. Et l'on a donc aussi pu parler de *déficit* puisque la température, en baissant, doit passer sous la température de consigne de l'équivalent de la moitié de l'hystérèse, soit 0,5 °C.

Bon, laissons là cette résistance R10.

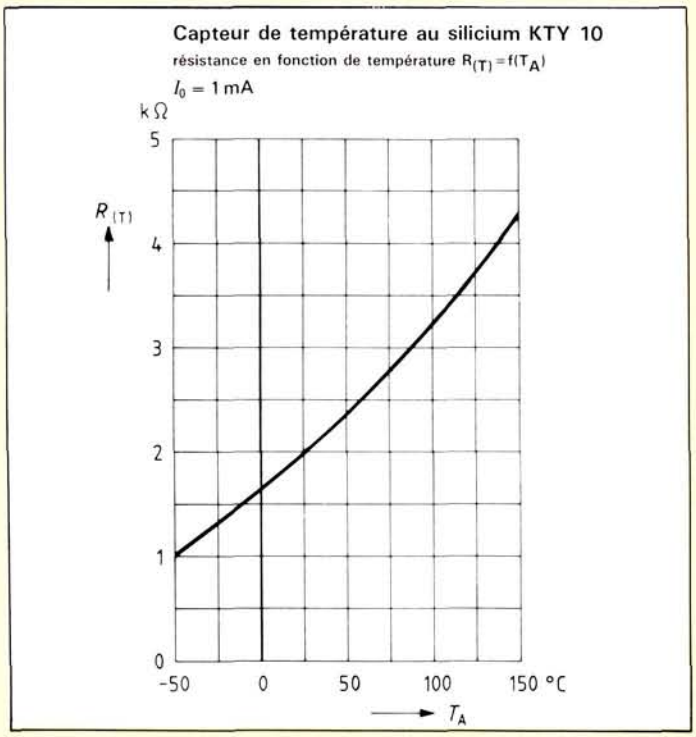


Figure 2 - Caractéristique de transfert du capteur de température au silicium KTY10.

L'étage de commutation

Quand la sortie d'IC1 est à 0 V, la différence de potentiel entre l'émetteur et la base de T1 permet à un courant de base de circuler. Vous avez remarqué que T1 est un transistor PNP, le courant de base circule donc dans le sens émetteur-base et non l'in-

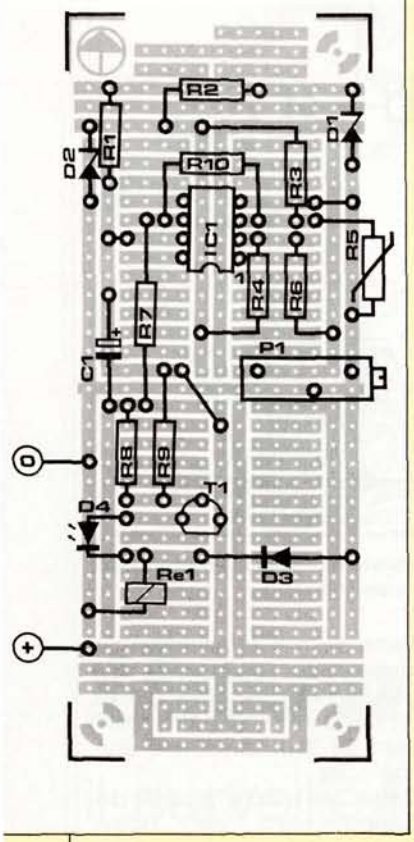


Figure 3 - Plan d'implantation des composants du thermostat sur une platine d'expérimentation de format 1.

LISTE DES COMPOSANTS

R1 = 270 Ω
R2 = 120 Ω
R3,R4 = 5,6 kΩ, 1 %
R5 = KTY10
R6 = 1,5 kΩ
R7,R8 = 33 kΩ
R9 = 10 kΩ
R10 = 2M2
P1 = 1 kΩ multitour
C1 = 1 µF/16 V
T1 = BC559 C
D1 = zener 6V8/400 mW
D2 = zener 5V6/400 mW
D3 = 1N4148
D4 = LED
IC1 = CA 3140

Re1 = relais 12 V/résistance de la bobine = 300 à 500 Ω
par exemple Siemens V23027-A0002-A101
platine de format 1

verse. L'étage de commutation formé par T1 et les composants associés est maintenant activé, la LED s'allume, le relais excité et le chauffage mis en service.

Si vous supprimez la résistance de réaction positive R10, le comparateur va hésiter entre les deux états et le relais fera un bruit de pic-vert qui ne sera pas forcément du meilleur effet sur la psychologie des scalaires ni sur la longévité des contacts ni sur celle de la résistance de chauffage. Si vous avez des poissons fragiles et que l'hystérèse de 1 °C vous paraît excessive, vous pouvez multiplier par deux la valeur de R10 de façon à réduire l'effet de la réaction sur l'entrée + de l'amplificateur opérationnel. Avec une valeur de 4,7 MΩ, l'hystérèse est de 0,5 °C environ.

Nous avons déjà vu que la LED D4 servait d'indicateur lumineux. La diode D3, vous le savez, est une diode de protection indispensable. Elle élimine le danger que représente la tension induite dans la bobine du relais au moment où le transistor se bloque (voir à ce sujet la spectaculaire explication qui est donnée de ce phénomène – avec un beau dessin d'un moteur qui entraîne un volant par l'intermédiaire d'une courroie; regardez bien, tout est dans la *tension* de cette courroie – dans l'épisode de la *rubrique analogique anti-choc* publié ailleurs dans ce numéro).

La fonction de R8 est de limiter le courant de base de T1. Celle de R9 est de forcer la base de T1 à un niveau haut, notamment lors de la mise sous tension. Cette résistance contribue aussi à raidir le flanc de commutation. Quant à R7 et C1, ils forment un réseau de filtrage qui empêche les parasites provoqués par la mise sous tension du relais de perturber le fonctionnement du comparateur.

La réalisation

La fabrication de ce thermostat ne pose de problème particulier que pour l'encapsulement du capteur dont les deux broches et les soudures sur les fils doivent être isolés de façon parfaitement étanche. On trouve dans les rayons spécialisés de certains grands magasins ou dans certaines librairies-papeteries spécialisées en accessoires de bricolage et en matériel éducatif, de la résine synthétique spéciale pour faire des inclusions. C'est ce produit que nous vous recommandons d'utiliser parce qu'il permet de réaliser un capteur à la fois étanche et translucide ; si vous n'en trouvez pas, vous pouvez aussi utiliser un banal mastic aux silicones comme ceux que l'on utilise précisément pour assembler les aquariums (joints en vitrerie).

La longueur des fils de liaison entre le thermostat et le capteur peut être grande. Un fil multibrin de 0,35 mm² de section fera l'affaire.
En cas de changement notable de longueur de fil de liaison intervenant **après** le réglage du thermostat, il est recommandé de reprendre le calibrage avec la nouvelle longueur.
L'alimentation du circuit pourra être assurée par n'importe quel circuit capable de fournir une bonne cinquantaine de milliampères sous 12 V. Parmi les circuits d'alimentation déjà présentés dans ELEX, il y en a qui font l'affaire (voir encadré). La consommation au repos est de 20 mA, quand le relais est excité, elle passe à 50 mA.

Le relais commandé par le thermostat doit vous inspirer la plus grande prudence. Manipulez-le avec circonspection car il doit commander, du moins dans le cas du chauffage d'un aquarium, une résistance chauffante alimentée sous 220 V. Attention aux excès de zèle : n'allez surtout pas mettre à la terre les masses métalliques qui font éventuellement partie de la superstructure de l'aquarium.

Que dire de plus ?
Ah, oui ! Il reste à décrire le réglage . . .

[Je ne sais pas si vous êtes comme moi, mais je considère le réglage comme le meilleur moment de toute réalisation : le montage

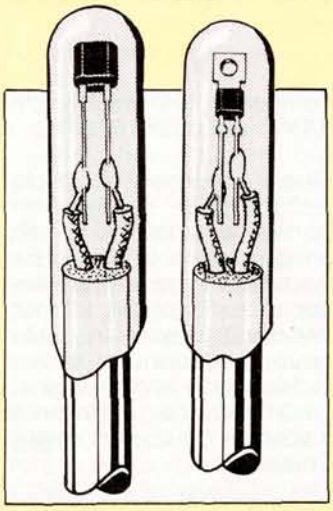


Figure 4 - Comme il est préférable qu'il n'y ait aucun plastique au contact de l'eau dans la cuve, on enrobera le boîtier du capteur ainsi qu'un morceau du fil de liaison dans la résine de silicones qu'il faut utiliser pour isoler les soudures de la sonde.

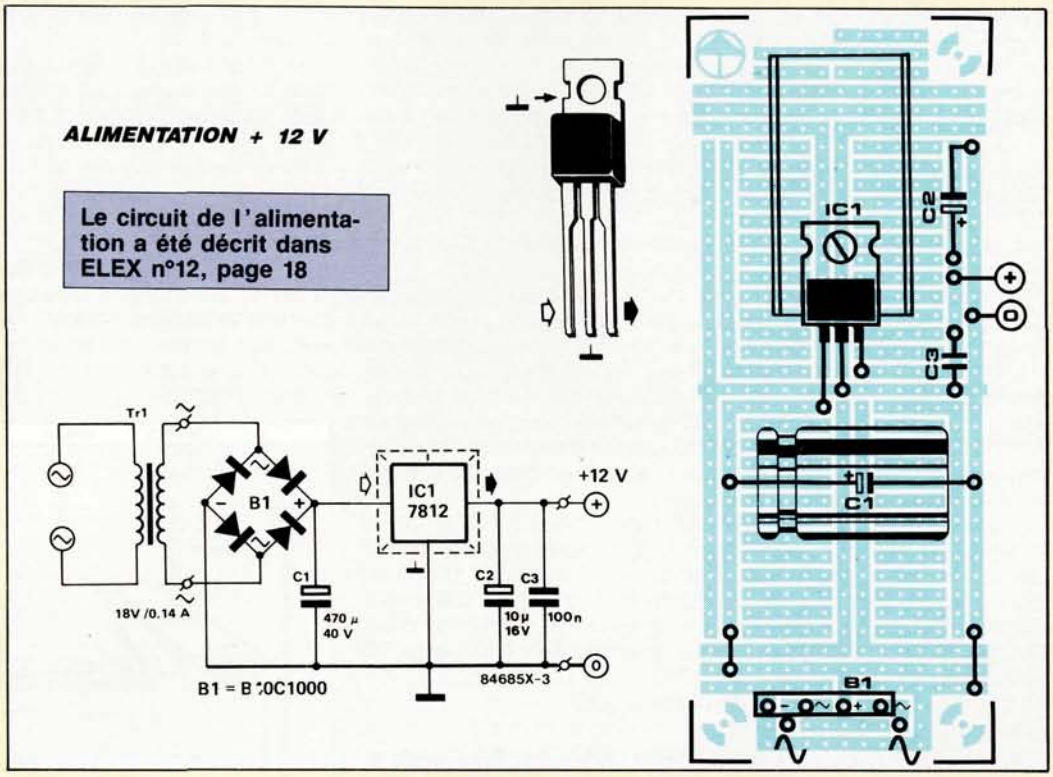
est déjà terminé, le circuit marche, mais il n'a pas encore quitté la table de travail pour disparaître prosaïquement derrière une face avant gris, dans un coffret obscur. Il est là, sous les feux de la rampe, et l'on s'affaire autour de lui, avec le multimètre, le tournevis et éventuellement un oscilloscope. C'est le moment privilégié où les efforts convergent au but. La patience est récompensée. Les notions jusqu'à présent abstraites se concrétisent en formes d'ondes, en sons, en valeurs de tension, en niveaux logiques. L'aiguille du multimètre bat sous vos yeux, les LED clignotent, l'électronique vit. D'un geste infime vous déplacez le curseur d'un potentiomètre, et tout s'accélère ou ralentit . . . l'électronique respire.
Et la satisfaction est d'autant plus grande que cette extase n'est pas toujours atteinte du premier coup, mais qu'il faut crapahuter de court-circuit en oubli de pont de câblage, puis d'inversion de polarité en erreur de valeur de résistance.
Ah, quel poète nous chantera les joies secrètes de l'électronique, quel peintre nous rendra les lumières subtiles et les jeux d'ombres que jettent les composants soigneusement implantés sur la platine ?]

Bon, et ce réglage ?
Le circuit a été conçu pour que sa plage de températures utiles soit comprise entre 18 ° et 28 °C. Si vous voulez une eau à 25 °C, le seuil inférieur sera situé à

24,5 °C et le seuil supérieur à 25,5 °C (avec une hystérèse de 1 °C).
Les seuls accessoires requis sont un bon thermomètre et une casserole d'eau que l'on fait chauffer, et quelques glaçons pour accélérer le refroidissement. Plongez le capteur et le thermomètre dans l'eau tout en remuant. Réduisez le feu au minimum et cherchez la position du curseur de P1 dans laquelle le relais colle quand la température retombe en-dessous de 24,5 °C. Dans cette même position du curseur de P1 vous constaterez que le relais décolle à partir de 25,5 °C.
Si vous optez pour une hystérèse réduite (0,5 °C) et/ou pour un autre domaine de températures, la procédure reste bien entendu la même, seules les valeurs changent.

La résistance variable P1 est un modèle spécial à 10 tours, ce qui facilite le réglage et permet d'obtenir (rapidement) une bonne précision.
Rien ne vous interdit de remplacer la résistance variable P1 par un commutateur rotatif en façade du coffret de votre thermostat ; cela vous permettra de passer instantanément à des températures de consigne différentes en fonction des besoins du moment. Dans ce cas, le commutateur mettra en service dans chaque position une des résistances variables que vous aurez réglées chacune soigneusement et une fois pour toutes afin d'obtenir les températures de consigne souhaitées.

PS : D'où viennent la plupart des poissons d'aquarium vendus dans nos régions ?
Réponse : Singapour. 84685



DECOCK électronique

des prix !
des promotions !
des nouveautés !
1500 produits !

Pourquoi vous en priver, il est gratuit.

Coupon à découper et à retourner sous enveloppe affranchie à
DECOCK ELECTRONIQUE - BP 78 - 59003 LILLE CEDEX

Ce mailing sera également disponible gratuitement dans quelques semaines en nos magasins de:

LILLE 4, Rue Colbert
PARIS 206, Rue du Faubourg St Antoine
TOULOUSE 16, Avenue des Minimes
GRENOBLE 15, Rue Gabriel Péri

Nom ..... Prénom .....
Adresse .....
Code postal ⌊⌊⌊⌊⌊ N° de client ⌊⌊⌊⌊⌊⌊⌊
Localité .....
Téléphone ..... En date du .....

* Si vous faites déjà partie de notre clientèle catalogue général 1989, ce document vous parviendra automatiquement.

la logique sans hic II

suite et fin

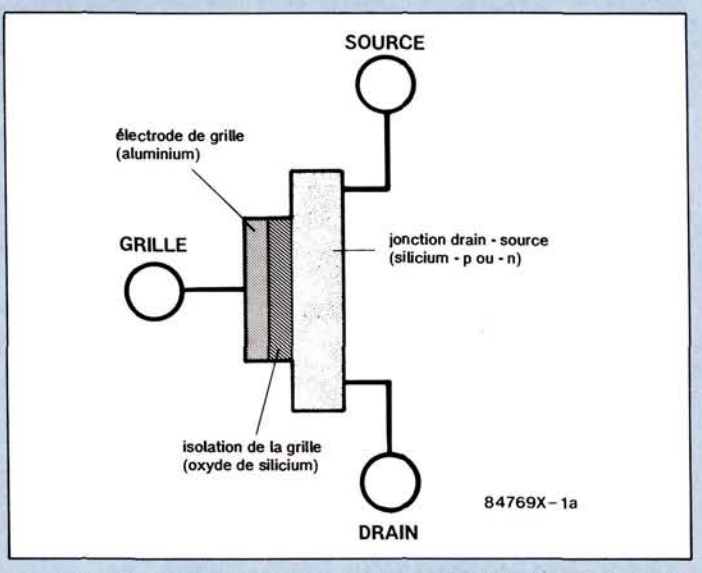
Avec cet épisode sur les circuits logiques CMOS déjà évoqués le mois dernier, et l'examen que nous allons faire notamment de leurs caractéristiques analogiques, prend fin la rubrique *la logique sans hic*. Cette fin, nous l'avons imaginée sous la forme d'un atterrissage en douceur dans l'analogique.

La *logique sans hic* va donc disparaître du sommaire d'ELEX où elle figurait en bonne place depuis le début. La logique elle même n'en sera pas moins présente dans les prochains numéros de ce magazine. Ce serait le comble. . .

Pour commencer, revenons sur ce en quoi les circuits CMOS sont si différents des autres circuits dont nous avons l'habitude. Ils sont entourés d'une aura de mystère : on entend dire qu'il faut éviter d'en toucher les broches avec les doigts ou avec le fer à souder. Comme les fleurs de miMOSa. . . Les initiés savent que ces circuits intégrés, au lieu de faire appel à des transistors bipolaires (deux jonctions) sont faits avec des transistors à effet de champ. Mais encore ?

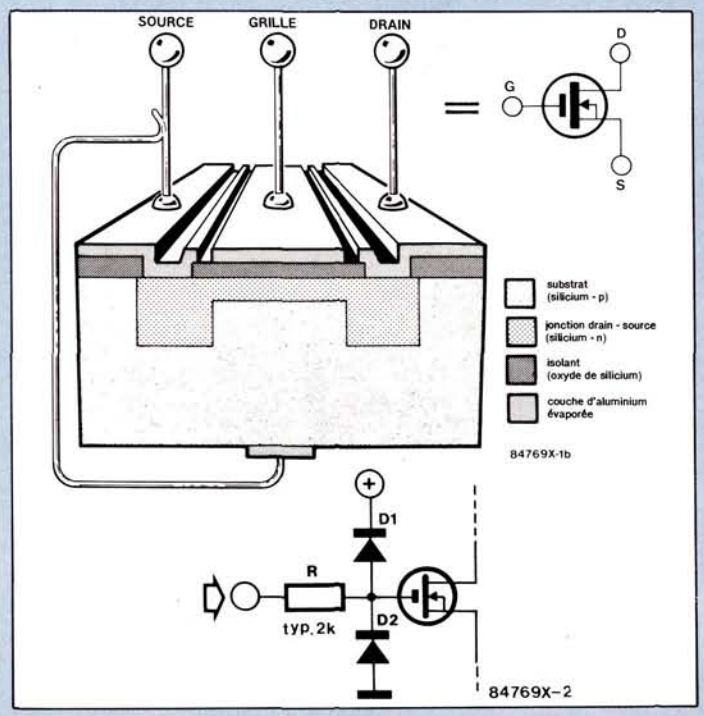
Nous n'avons pas encore parlé du transistor à effet de champ dans ELEX, si ce n'est furtivement, dans le cadre de l'une ou l'autre application où le choix d'un tel composant s'imposait. Dans le n°2 d'ELEX, page 47, l'étage d'entrée pour multimètre est réalisé autour d'un BF256. On ne retrouve de FET que dans le n°6 page 50 (circuit de bruitage), dans le n°10 page 18 (récepteur GO) et dans le n°15 page 26 (récepteur OC).

Nous consacrerons bientôt un numéro entier à ce transistor et ne nous y intéresserons donc ici que dans la mesure il faut le connaître un peu pour comprendre ce qui se passe dans nos circuits CMOS (tous les transistors à effet de champ ne sont pas à grille isolée).



La figure ci-dessus donne une idée schématique du transistor à effet de champ dont le canal drain-source (P ou N selon le type du transistor) est séparé de l'électrode de grille par un isolant (oxyde de silicium) extrêmement mince. On parle de transistor à effet de champ *à grille isolée*. Cette mince couche d'isolation n'évoque-t-elle pas quelque souvenir ? Ne trouvez-vous pas que çà ressemble à un condensateur ? Un isolant entre deux armatures conductrices, on appelle d'ailleurs ça un diélectrique, chez le condensateur. . . En tous cas, comme sur le condensateur, la tenue en tension de cette couche isolante n'est pas illimitée. Au delà d'un certain seuil, il y a *claquage*. En s'y forçant un passage, l'arc qui se forme entre les deux pôles brûle l'isolant et y laisse un trou. Le transistor, irrémédiablement mort, entraîne le circuit entier dans son trépas. (L'ambiance de cette rubrique est décidément funèbre aujourd'hui, trouvez-pas ?)

On notera que l'intensité du courant ne joue pas de rôle significatif dans cette situation. La résistance d'entrée des circuits CMOS est très élevée, ce qui n'est pas étonnant quand on sait que la grille est isolée et qu'il n'y circule pas de courant par conséquent. Déterminante est la tension, dont il faut savoir qu'elle peut atteindre plusieurs centaines, voire plusieurs milliers de volts en cas de charges statiques. Plus qu'il n'en faut en tous cas pour perforer les couches d'isolation microscopiques d'un circuit intégré. Microscopiques est bien le terme qui convient, car l'épaisseur de la couche n'est que de 0,1 µm, soit un dix-millième de millimètre. A y bien réfléchir, on finit par s'étonner du fait qu'on arrive, bon an, mal an, à faire marcher des montages à circuits CMOS !



C'est que les choses ne sont pas si graves que ça. Ouf ! Nous avons déjà vu, dans l'épisode précédent de cette rubrique, que les entrées de circuits intégrés MOS étaient montées en paratonnerre.

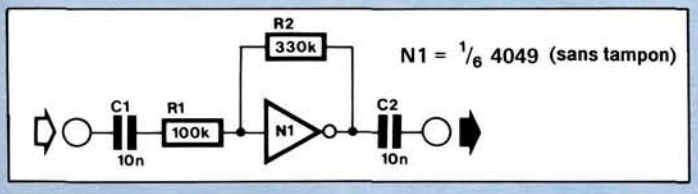
Une résistance d'entrée et deux diodes permettent d'évacuer toutes les tensions dangereuses, positives ou négatives, de sorte que la couche d'oxyde de silicium entre la grille et la jonction drain-source du transistor n'est jamais soumise à une différence de potentiel de plus de 1 V. Mais, direz-vous, le courant à travers les diodes, qui est-ce qui le surveille ?

La réponse est : personne. En pratique, ce courant n'est pas dangereux car son intensité reste microscopique ; n'oublions pas que nous n'avons à nous défendre que de charges statiques, dont la puissance est faible par définition.

Un fer à souder, en revanche, peut provoquer, s'il est mal isolé, des dommages irréversibles, car lui fournira (bien involontairement) des courants d'intensité dangereuse pour les diodes de protection.

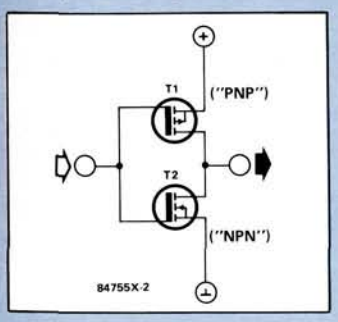
Quand le circuit intégré est sous tension, le dispositif de protection est efficace aussi. Tant que la tension d'alimentation est appliquée normalement, les deux diodes sont bloquées. Si la tension d'entrée vient à dépasser la tension d'alimentation, ce qui est en principe interdit, la diode D1 se met à conduire de telle sorte que la tension de grille ne dépassera finalement la tension

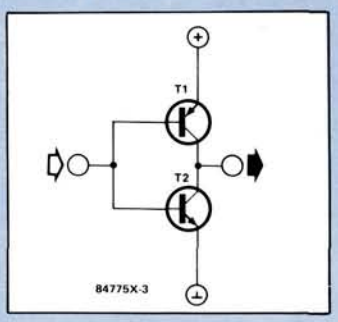
d'alimentation que de l'équivalent du seuil de conduction de D1. Et si la tension d'entrée devient accidentellement négative, c'est D2 qui conduit, ramenant la tension négative sur la grille à une valeur de moins d'un volt.
Comme on le voit, les circuits intégrés CMOS sont fragiles et néanmoins bien protégés. Si l'on prend les précautions que nous avons déjà énoncées plusieurs fois dans ELEX, on peut utiliser ces circuits sans risque de les détruire en les soumettant à des différences de potentiel abusivement grandes. Prenez soin de réduire les risques de décharge statique là où vous manipulez les circuits intégrés : plan de travail, mobilier et instruments (fer à souder notamment) reliés à une masse commune (attention aux moquettes !). Utilisez les mousses anti-statiques et, avant d'entrer en contact avec la mousse ou le circuit intégré lui-même, touchez une masse métallique pour que s'effondrent d'éventuelles charges statiques accumulées dans vos vêtements et votre corps.



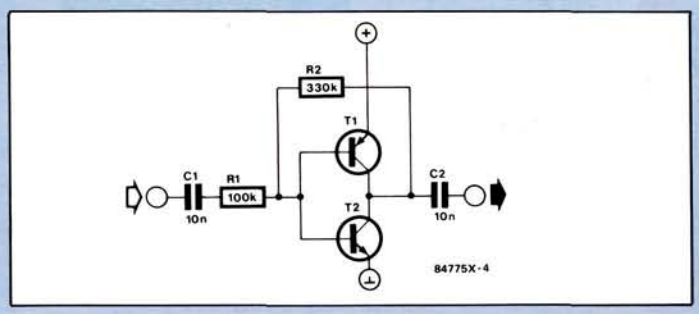
ANA-LOGIQUE

Les opérateurs CMOS nous sont familiers comme opérateurs logiques, mais il est intéressant d'en connaître aussi le mode de fonctionnement analogique : ils peuvent faire office d'amplificateurs comme le montre le schéma de la **figure 3**. Oui, N1 est bel et bien un amplificateur dont le gain est de 3 environ, et dont C1 et C2 sont les condensateurs de couplage en amont et en aval, puisqu'ils ne laissent passer que la composante alternative. Quant à R1 et R2, elles sont agencées comme le sont la résistance d'entrée et la résistance de contre-réaction d'un amplificateur opérationnel. Nous voilà bien avancés (si on jetait un coup d'oeil à l'article *ABC de l'AOP* qui honore le sommaire de ce numéro de sa présence !). . .
La **figure 4** donne une vue schématique de ce qui se cache sous le triangle N1 de la figure 3 ; si on fait abstraction des détails (comme la diode de protection à l'entrée), on obtient ce montage à deux transistors qui vous en dit autant, sauf votre respect, qu'un Minotaure de Picasso à un inconditionnel de scènes de sous-bois avec cerf bramant et troupeau de cervidées, ou guère plus qu'un assis de Henry Moore en dit à un spécialiste des poses à genoux de Bernadette Soubirous.

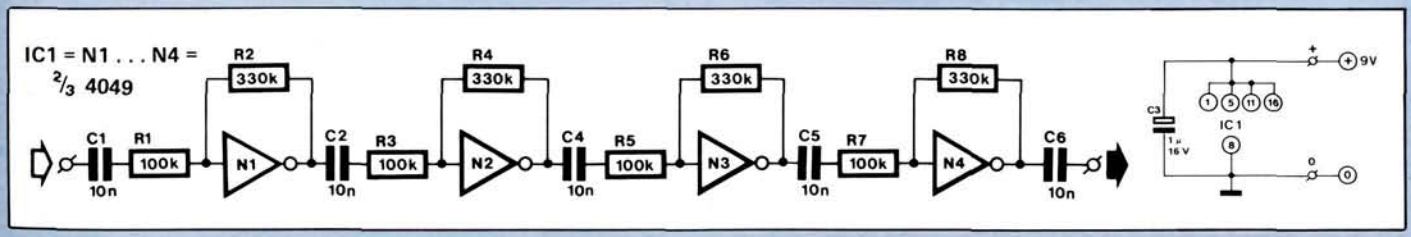




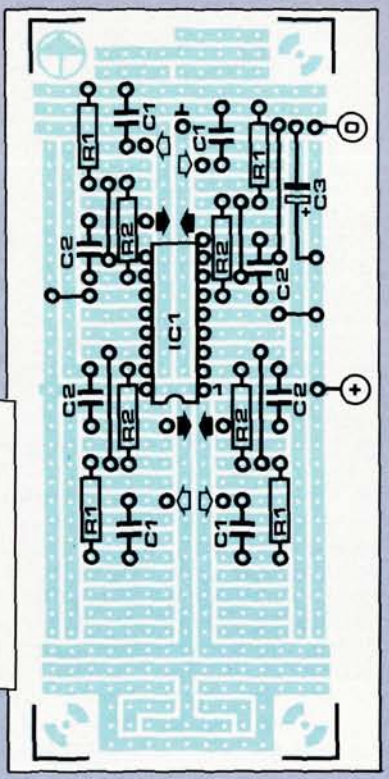
Ce ne sont pas des transistors ordinaires. Ces bêtes-là, on ne les a jamais vues passer dans la rubrique "composants" pourtant assez complète. Nous n'allons pas nous exciter là-dessus aujourd'hui, mais si vous aviez lu le début de cet article (vous voilà bien piégés, les resquilleurs) vous sauriez au moins qu'il s'agit de transistors à effet de champ, et qui plus est, à grille isolée. Fichtre, comme dirait un dessinateur de BD que je connais.
On ne va pas vous bassiner plus longtemps avec ces notions plutôt abstraites que nous laissons (éventuellement) pour plus tard. Pour l'instant, ramenons cela à des notions familières : on peut se représenter le transistor du haut comme transistor PNP, celui du bas comme NPN, et l'on obtient un schéma de substitution moins intimidant (**figure 5**).
Examinons-le d'abord sous l'angle de la logique. Quand l'entrée est à 0, seul T1 conduit, la sortie est donc haute (1). Quand l'entrée est haute, T1 se bloque et c'est T2 qui conduit. Cette fois la sortie est au niveau bas. C'est un inverseur, n'est-ce pas ?
Essayons maintenant de reconstituer le circuit de la figure 1 : cela nous donne l'étage à deux transistors, deux résistances et deux condensateurs de la **figure 6**. Un simple amplificateur à transistors complémentaires et contre-réaction (par R2). C'est bien de **contre**-réaction qu'il s'agit puisqu'on réinjecte à l'entrée un signal de sortie **inversé**. Quand la sortie cherche à évoluer vers une valeur extrême, la contre-réaction s'y oppose. La tension de sortie se stabilise à une valeur qui dépend donc de la tension d'entrée et du taux de contre-réaction.



Assez divagué, mettons le fer à chauffer. Avec la **figure 7** nous allons construire un amplificateur CMOS à plusieurs étages. Le gain de chacun des étages est d'environ 3, le gain total devrait donc être d'environ . . . non, pas 12, mais 80 (3 x 3 x 3 x 3).
En pratique, on n'arrive pas aussi loin. Notre prototype arrivait à multiplier le signal d'entrée par 46, ce qui n'est déjà pas si mal que ça, d'autant plus que ce gain a été tenu dans un vaste domaine de fréquences, de 120 Hz à 90 kHz, alors que nous n'aurions pas osé parier, avant d'avoir essayé, pour plus de 25 kHz.
La tension d'alimentation ne doit pas dépasser 10 V dans ce cas. La valeur idéale est de 9 V comme nous l'indiquons d'ailleurs.
Conditions :
En l'absence de tension d'entrée, la sortie se maintient à une tension d'environ la moitié de la tension d'alimentation. En plus de cela, on a une dissipation de puissance de 10 V x 7 mA par opérateur, soit 280 mW en tout. Or la dissipation maximale est de 500 mW. Prudence est mère de sécurité, et la tante bien-aimée des circuits intégrés, comme a oublié de le préciser le prophète, mais nous ne manquerons pas de le rappeler.
Il faut aussi s'assurer de l'absence de tampons de sortie sur le circuit intégré que l'on utilise. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle nous avons choisi le 4049 qui n'existe qu'en version UB.
Si vous voulez donner du fouet à ce montage, ne vous amusez pas à modifier la valeur des résistances, vous n'en tirerez pas grand chose. Rajoutez plutôt quelques opérateurs (sans oublier le condensateur de couplage). Tout ça, c'est pas du pipeau. La preuve : nous vous

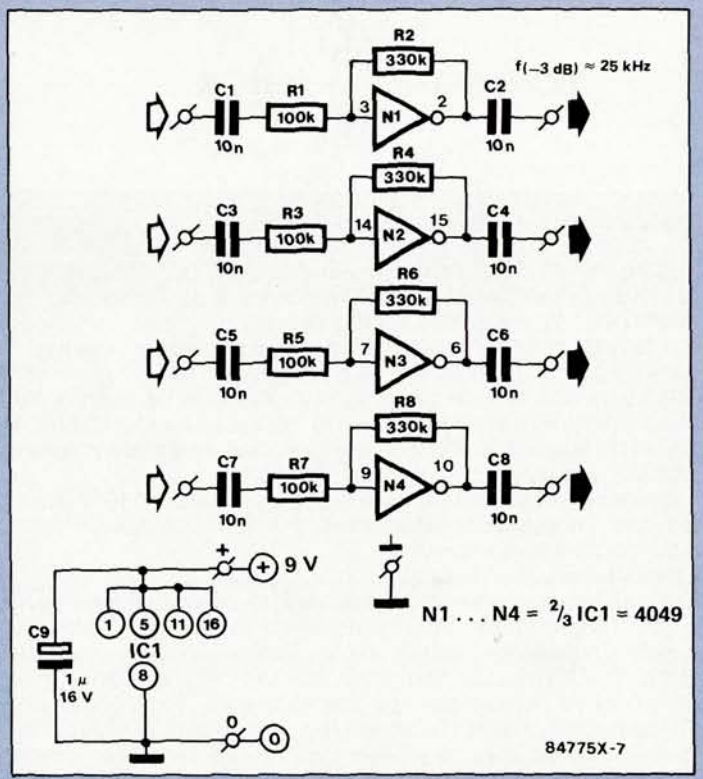


proposons un plan d'implantation sur la **figure 8** pour le schéma d'un quadruple amplificateur de la **figure 9**. Vous pourrez combiner les étages à loisir en les branchant en série (les deux condensateurs de couplage montés à chaque fois en série, cela n'a aucun inconvénient). Bien sûr, il ne s'agit pas de faire un ampli haute-fidélité . . .



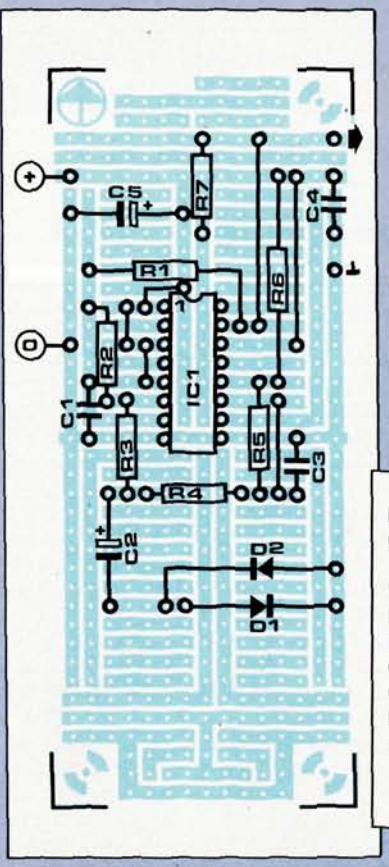
LISTE DES COMPOSANTS
pour l'amplificateur

R1,R3,R5,R7 = 100 kΩ
R2,R4,R6,R8 = 330 kΩ
C1 à C8 = 10 nF
C9 = 1 µF/16 V
IC1 = 4049



Un oscillateur sinusoïdal

Quoi ? Produire une onde sinusoïdale avec ces malléchés d'opérateurs (ana)logiques CMOS ? Vous en avez de bonnes . . .
Et pourtant, le circuit de la **figure 10** n'est rien d'autre qu'un oscillateur RC qui produit une sinusoïde. Le gain de chacun des étages est de 2,7 environ. Le déphasage de la chaîne complète a été étudié de telle sorte que le signal d'entrée et le signal de sortie soient en phase, c'est pourquoi elles peuvent être reliées l'une à l'autre . . . et le circuit oscille. L'insertion du réseau que forment R3, C2, D1 et D2 limite l'amplitude du signal de sortie du premier étage et empêche ainsi l'ensemble de saturer.



Avec les valeurs indiquées dans le schéma, et une tension d'alimentation de 9 V, la fréquence d'oscillation est d'environ 1 kHz avec une distorsion de 2 %. La moindre variation de la tension d'alimentation se traduit par une variation de fréquence. Ce circuit vaut la peine d'être réalisé ; c'est pourquoi nous vous en proposons un plan d'implantation sur une platine d'expérimentation de petit format.

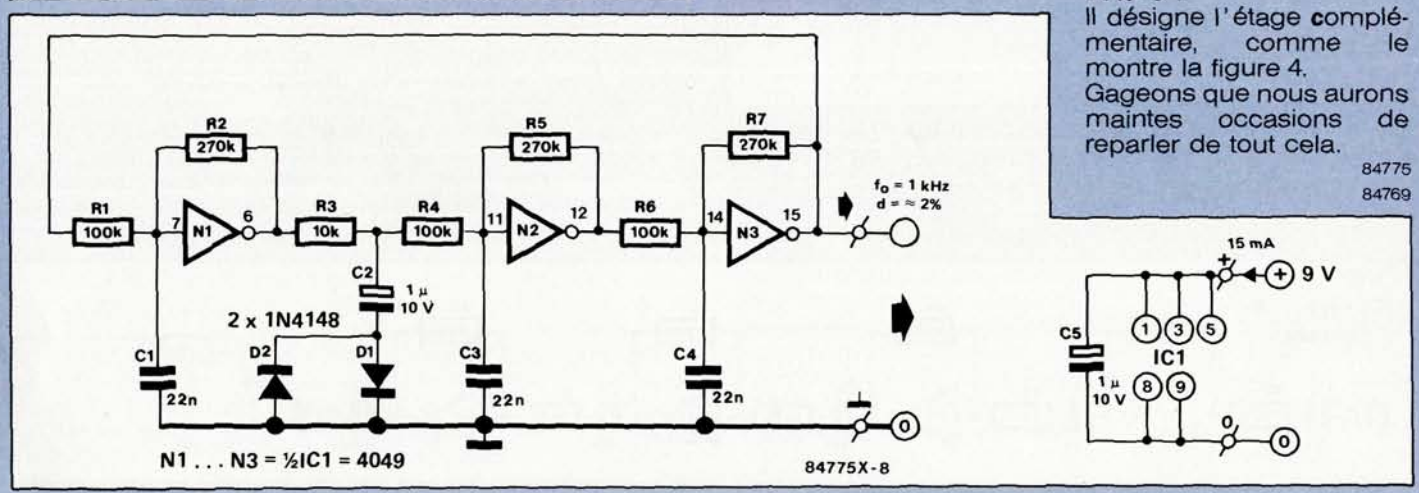
LISTE DES COMPOSANTS
pour l'oscillateur sinus

R1,R4,R6 = 100 kΩ
R2,R5,R7 = 270 kΩ
R3 = 10 kΩ
C1,C3,C4 = 22 nF
C2,C5 = 1 µF/10 V
D1,D2 = 1N4148
IC1 = 4049

Une remarque encore sur la broche 16 du 4049. Selon certains fabricants, cette broche est NC (c'est-à-dire non connectée), selon d'autres elle est reliée à la broche d'alimentation positive. L'expérience montre qu'on ne risque rien en la reliant d'office et directement aux autres broches alimentées par la tension de service.
Et si, pour finir, on répondait encore à la question que vous vous posez sans doute : que signifie MOS ?
Ce sont les initiales du sandwich formé par les couches d'aluminium, d'oxyde de silicium et de silicium : **métal-oxyde-semiconducteur**

Et le C ?
Il désigne l'étage **c**omplémentaire, comme le montre la figure 4.
Gageons que nous aurons maintes occasions de reparler de tout cela.

84775
84769



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

(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.

	prix	quant.	total
Livres			
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:		total net à payer:	25 F*

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).

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 boitier)
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

1350 F FRANCO DE PORT

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

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