

électronique n° 19

février 1990

146 FB/7,80 FS
mensuel

elet

FET

transistors à effet de champ

explorez l'électronique

préamplificateur audio à FET
testeur de FET

- émetteur expérimental
- sonde HF
- adaptateur d'impédance pour antenne

M 2510 - 19 - 20,00 F



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 I

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
ELEX n° 1		
Testeur de continuité (avec H.P.)	101.8580	58,00 F ①
Sirène de vélo (avec H.P.)	101.8581	70,00 F ①
Testeur de transistors	101.8582	50,50 F ①
Alimentation stabilisée 0 à 15V (avec 2 galvanis)	101.8583	345,00 F ②
Balaise pour auto-radio	101.8584	51,00 F ①
Commande de pianonier	101.8585	41,00 F ①
ELEX n° 2		
Gradateur pour lampe de poche	101.8586	20,00 F ①
Ménuisier de bronzage (avec buzzer)	101.8587	85,00 F ②
Ressac électronique	101.8588	22,00 F ①
Ohmmètre linéaire (avec galva)	101.8589	143,00 F ①
Gyrophare de modèle réduit	101.8590	32,00 F ①
Etage d'entrée pour multimètre	101.8591	32,00 F ①
Chargeur d'accus universel	101.8592	174,00 F ①
Platine d'expérimentation DIGILEX	101.8593	186,00 F ④
ELEX n° 3		
Minuterie électronique (avec H.P.)	101.8594	54,00 F ①
Testeur de polarité	101.8595	22,00 F ①
Arosage automatique	101.8596	53,00 F ①
Décade de résistance	101.8597	165,00 F ①
Thermomètre	101.8598	126,00 F ①
Décade de condensateurs	101.8599	142,00 F ①
ELEX n° 4		
Compte tours (avec galva)	101.8611	123,50 F ①
Mini amplificateur TDA 2003	101.8612	38,50 F ①
Regulateur de vitesse pour mini-perceuse	101.8613	216,00 F ②
ELEX n° 5		
Amplificateur de poche "CANARI"	101.8610	36,50 F ①
Variateur de vitesse pour caméra	101.8614	65,00 F ①
Alimentation universelle	101.8615	184,00 F ②
Traceur de courbes pour transistors	101.8616	25,00 F ⑤
Relais temporisé	101.8617	68,00 F ①
Touche à effleurément	101.8618	52,50 F ②
Testeur de diodes Zener	101.8619	59,00 F ①
ELEX n° 6		
Corne de brume pour modélisme	101.8620	32,00 F ①
Photomètre électronique	101.8621	53,00 F ①
Feux de stationnement	101.8622	62,00 F ①
Mini-alarme	101.8623	29,00 F ①
Barisage automatique	101.8624	29,00 F ①
Brûleur "DIESEL" pour modélisme	101.8625	26,00 F ①
ELEX n° 7		
Indicateur de gel	101.8626	28,00 F ①
Sirène (avec H.P.)	101.8627	75,00 F ①
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
Régulation train électrique (avec coffret pupitre ESM)	101.8652	248,00 F ④
Ampli "POUCHE-POULE" (avec H.P.)	101.8654	35,00 F ①
Métronome (avec HP)	101.8655	43,00 F ①
ELEX n° 9		
Alim. 12V / 3A (avec radiateur)	101.8656	275,00 F ①
Inter à cliques	101.8657	70,00 F ②
Circuit de pontages pour train (avec alim.)	101.8658	210,00 F ②
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
Mesureur de champ	101.8661	79,00 F ①
Récepteur G.O	101.8662	66,00 F ①
Adaptateur Fréquence-mètre	101.8663	57,00 F ①
Gong à 3 notes	101.8664	85,00 F ①
ELEX n° 11		
Chenillard (avec 7 ampoules)	101.8744	187,00 F ②
Mémoire de sonnette	101.8745	26,00 F ①
Servo-Flash	101.8746	53,00 F ①
Eclairage de modèle réduit	101.8747	119,00 F ①
Allumage de phares	101.8749	30,00 F ①
Extinction de phares	101.8754	27,00 F ①
ELEXPOSE	101.8764	87,00 F ①
ELEX n° 12		
Roulette électronique	101.8755	59,00 F ①
Rosignoi électronique	101.8756	45,00 F ①
Afficheur 7 segments	101.8757	25,00 F ①
Dé électronique	101.8758	33,00 F ②
Minuterie d'escalier	101.8759	95,00 F ①
"Mets ta ceinture"	101.8762	45,00 F ①
Testeur de continuité	101.8763	55,00 F ①

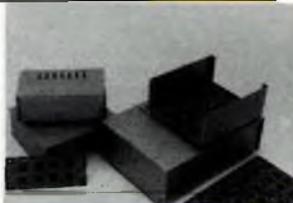
REFERENCE DU KIT	PRIX DU KIT	PLATINE ELEX A PREVOIR
ELEX n° 13		
Barrière lumineuse	101.9124	70,00 F ①
LESUE électronique	101.9125	65,00 F ①
Coq électronique (avec coffret HEILAND et photophone SOLEMS)	101.9127	135,00 F ①
PHOTOPHONE (avec LED I.R. et pile 9 V)	101.9128	130,00 F ①
Anti-mousiques (avec 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	58,50 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 ③
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 ①
"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
Thermistat d'aquarium	101.9185	83,00 F ①
ELEX n° 17		
MÉGAPHONE (Avec micro et HP)	101.9237	35,00 F ①
Silencieux BF	101.9238	45,00 F ①
"PILE ou FACE" (avec coffret HEILAND)	101.9239	54,00 F ①
MINI-ORGUE (avec HP et EPS)	101.9240	250,00 F ①
ELEX n° 18		
SONDE LOGIQUE (avec circuit imprimé spécial)	101.9271	59,00 F ①
Adaptation CAPACIMÈTRE (avec pile - sans galva)	101.9272	72,00 F ①
Testeur de gain (avec pile et galva)	101.9273	199,00 F ②
MINI-ALARME (avec ILS)	101.9274	57,00 F ①
Détecteur de tension alternative (avec pile et coffret HEILAND)	101.9275	84,00 F ①
PRIX PAR QUANTITÉ - NDUS CONSULTER		
CIRCUITS IMPRIMÉS ELEX	RÉT 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 ELEX pour montages ELEX

Entièrement en aluminium anodisé, ces coffrets comportent des ouïes d'aération à l'arrière. Le châssis complet pouvant servir de refroidissement, selon la taille. Adaptés aux cartes "Europe", chaque modèle est équipé de fixations (inserts) pour le circuit imprimé et livré avec visserie.

Modèle	Dimensions L x H x P	Ref à commander	PRIX
EN 4010	110 x 40 x 60	101.2147	54,60 F
EN 5010	110 x 45 x 100	101.2148	66,50 F
EN 8010	172 x 55 x 120	101.2149	91,40 F

Ces coffrets sont particulièrement adaptés aux montages "ELEX"



TOUT LE RESTE VOUS ATTEND DANS LE NOUVEAU CATALOGUE

Selectronic 1990



Expédition FRANCO contre 22 F en timbres-poste

CONDITIONS GÉNÉRALES DE VENTE

Règlement à la commande: Commande initiale à 700 F; ajouter 28 F forfaitaire pour frais de port et d'emballage.
Commande supérieure à 700 F: port et emballage gratuits.
- Règlement en contre-remboursement: rendre environ 20% d'acompte à la commande.
Frais en sus selon taxes en vigueur.
- Colis hors normes PTT: expédition en port par messageries.
Les prix indiqués sont TTC.

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

Selectronic

Adresse Postale:

BP 513 - 59022 LILLE Cedex

Au magasin:

86, rue de Cambrai - LILLE

Tél: 20.52.98.52

(Tarif au 1.09.89)

PROMOTION OUTILLAGE

Pour bien démarrer dans votre nouvelle passion, SELECTRONIC vous donne l'occasion d'acquérir, à des conditions exceptionnelles, l'outillage de base indispensable. Il s'agit de matériel professionnel offrant toute garantie de qualité et de solidité. Un investissement rentable puisqu'il vous durera des années!

OFFRE N° 1: Lot de base comprenant:

- 1 fer à souder JBC 30 Watts
- 1 "TIP-KLEEN" MULTICOLORE
- 1 bobine 50 g soudure 60%
- 1 pompe à dessouder
- 1 pince à dénuder automatique
- 1 brucelle SAFICO N° 108



Weidmüller



(voir notre catalogue général)

OFFRE N° 2: Lot de luxe comprenant:

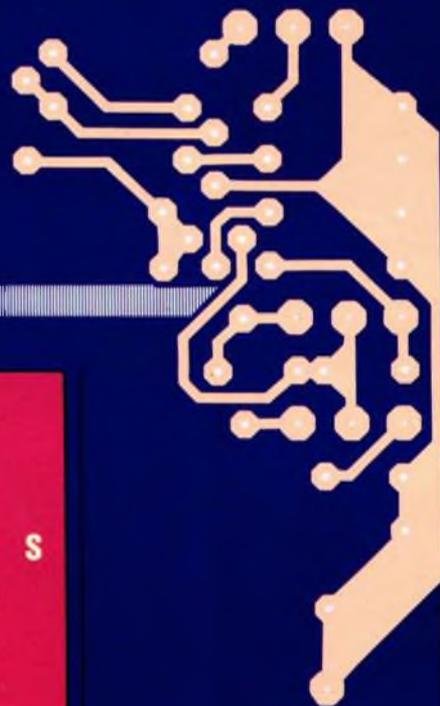
- le lot n° 1 ci-dessus
- plus: - 1 lot de 4 tournevis SAFICO
- 1 pince coupante WEIDMULLER TR 20 SM
- 1 pince plate WEIDMULLER PN 2002

Le lot de base n° 1 Ref. 102.8101 310 F 249,50 F

Le lot de luxe n° 2 Ref. 102.8102 485 F 399,50 F



elex



SOMMAIRE ELEX N°19

R · U · B · R · I · Q · U · E · S

- 4 · RÉSİ & TRANSI :
dis donc, ça câble
- 7 · elexprime
- 38 · périscope : boîtiers DIPTAL
- 45 · elixir
- 54 · pionniers : J.J. Berzelius

I · N · I · T · I · A · T · I · O · N

- 9 · le transistor à effet de champ
- 11 · la famille fet
- 14 · circuits à tout FET-re
- 23 · BS170 FET à grille isolée
- 27 · ABC des amplificateurs
opérationnels n°4
- 36 · la gravure des circuits imprimés

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

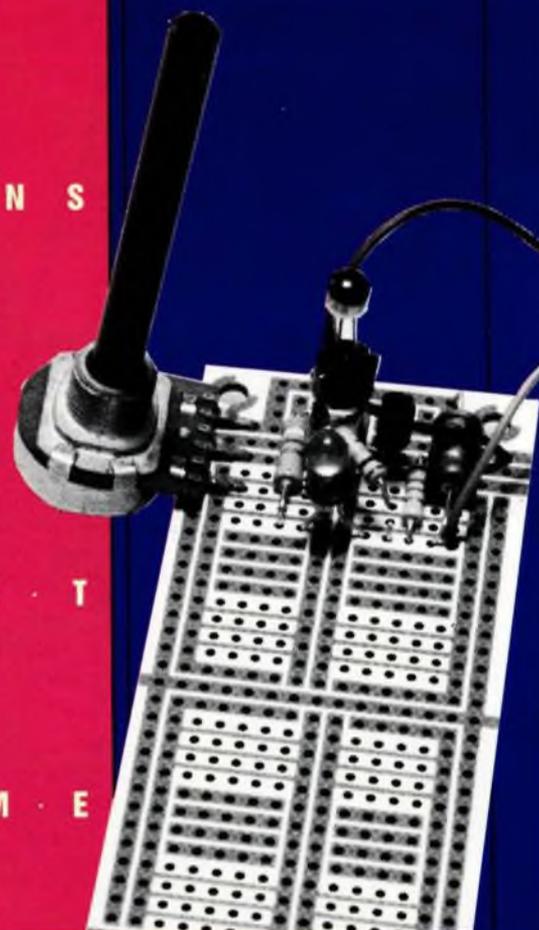
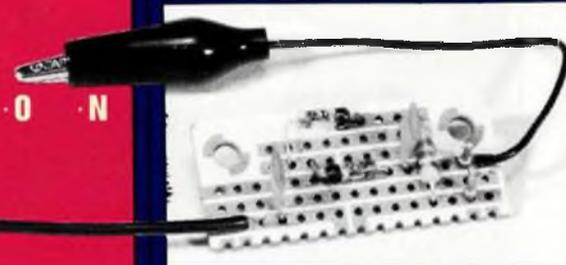
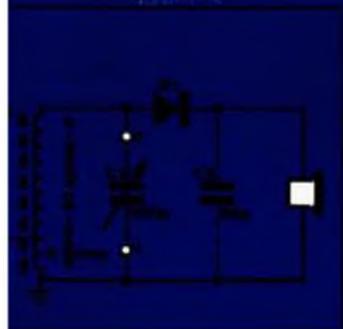
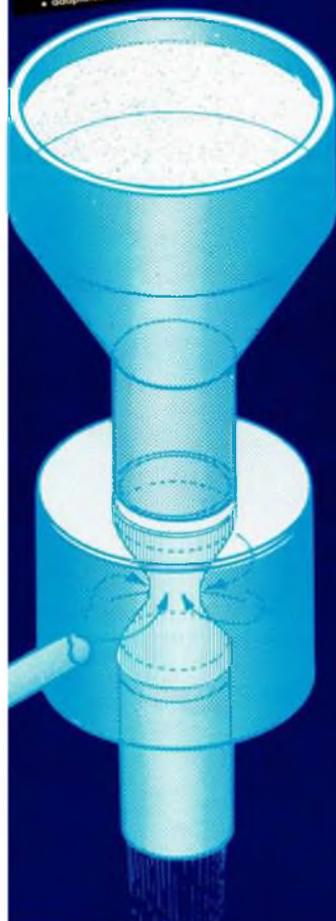
- 18 · émetteur FM expérimental
- 29 · testeur de FET
- 31 · sonde hf
- 32 · récepteur à FET grille-grille
- 39 · émetteur télégraphique
- 49 · détecteur de pannes d'électricité
- 52 · antenne radio active

H · I · F · I · en · F · E · T

- le FET des voix célestes
- préamplificateur EFFET

M · O · D · É · L · I · S · M · E

- 21 · la rame est-elle bien aiguillée ?



LES BIDOUILLES DE

DIS DONC...

"IL A COMMENCÉ UN MONTAGE! ON VA VOIR COMMENT IL S'EN SORT?"

SI T'AS PAS PEUR DE T'AVENTURER SUR LE CHAMP DE BATAILLE, ALLONS-Y!

PLANQUE-TOI!

AAAAHH...

JOLI, TON ROULÉ-BOULÉ! T'AS APPRIS ÇA CHEZ LES PARAS?

CAUSE TOUJOURS! T'AS FAÏS UN ATERRISSAGE EN DOUCEUR, TOI!

TU PARLES! IL N'A MÊME PAS MOULÉ L'ÉPONGE DE SON FER À SOUDER!

T'AS VU LES SOUDURES QUE FAÏT CE SAGOÏN!??

OUAÏS! IL N'A PAS LU LE N° 1 d'ELEX!

ÇA VA JAMAÏS MARCHER AVEC DES PÂTES PAREÏLS!
IL YA TELLEMENT DE SOUDURE QU'IL FAÏT DES COURTS-CIRCUITS AUX PISTES!

TENSION! C'EST REPARTÏ POUR UN TOUR!

HEUREUSEMENT QU'IL NE COUPE PAS LES PÂTES AU FUR ET À MESURE!

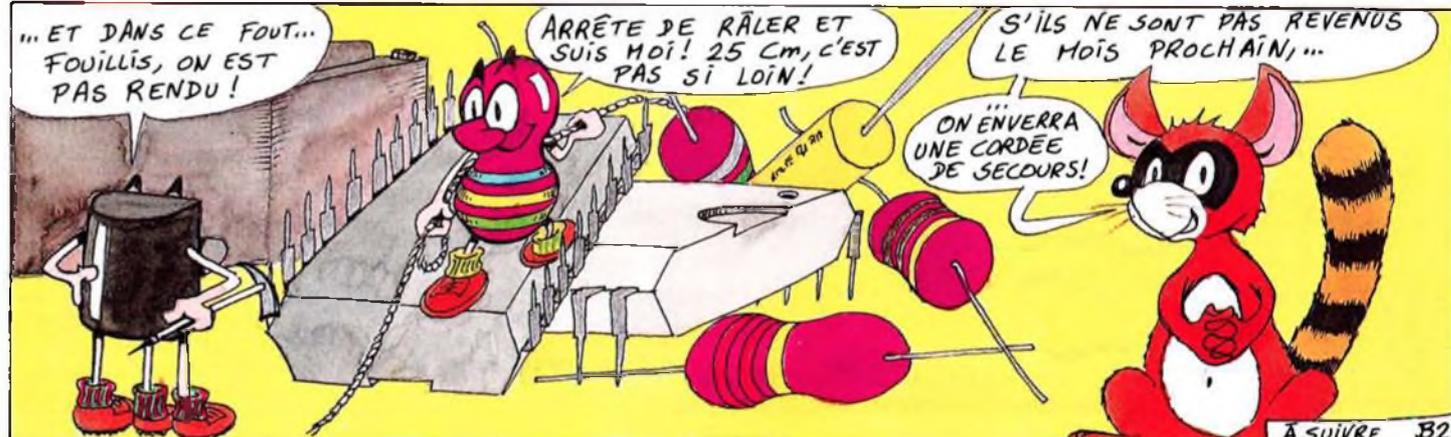
INCROYABLE, CE FOULLÏS!

OUAÏS! S'ÏL FALLÂÏT FAÏRE L'INVENTAÏRE DE CE SOUK, ON POURRAÏT MÊME Y TROUVER DES...

RESI & TRANSI[®]



DESSINS : YVON DOFFAGNE - COULEURS : COOKY F.



À SUIVRE 32



Défense et illustration de l'effet de champ

Ce numéro parle de FET. Tout commentaire supplémentaire serait superfétatoire.

La rubrique « élixir » a été refaite, corrigée et enrichie, notamment d'une table d'abréviations. Encore imparfaite, celle-ci sera remise à jour au fil des besoins.

Parfait. Commençons tout de suite, puisque dans ce numéro d'ELEX, vous trouverez, pour la première fois, une nouvelle unité de mesure de notre invention : le « pp ».

Il se trouve que la répétition incessante de la très approximative mention « environ » laissait la rédaction insatisfaite. Avouez que "environ 15 V" par exemple, ça ne fait pas très scientifique ! Il fallait intervenir, c'est chose faite.

Prenons un exemple : Une phrase comme « la tension de sortie de A1 est d'environ 4,5 V », qui fait négligé, deviendra désormais « la tension de sortie de A1 est de 4,5 V (1 pp) ». Ce « pp » vous ne le trouverez dans aucun recueil d'abréviations. Il ne faut pas le confondre avec les « ppm » (= parties par million, dont il avait été question dans l'édito du mois de décembre – à propos, la hausse du volt et de l'ohm, ce n'était pas du bidon).

Ce « 1 pp » signifie¹ simplement « à un poil près ».

¹ non homologuée par le Comité International des Poids et Mesures



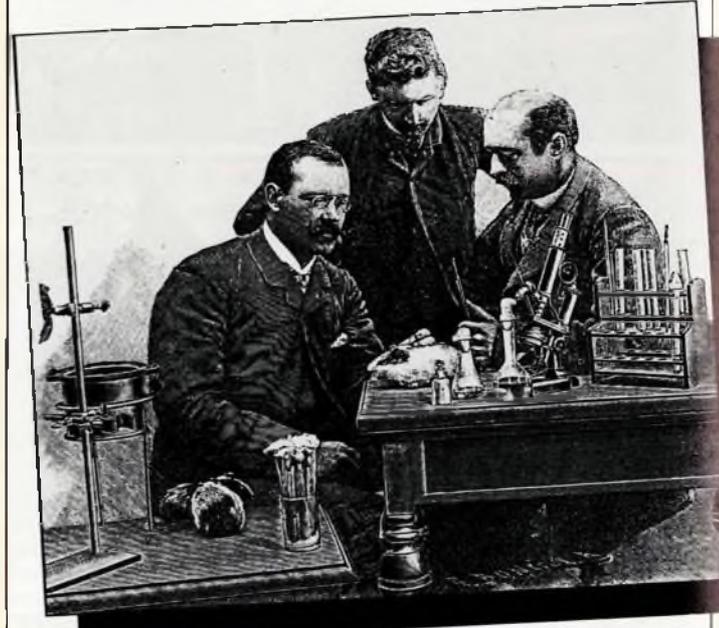
elexprime

... Je tiens à vous féliciter pour cette merveilleuse revue, autant pour ses couvertures que pour les titres et les introductions de chaque article, et que pour la pincée d'humour qui détend l'atmosphère et qui d'après moi, permet de présenter l'électronique d'une façon sérieuse mais non rébarbative (contrairement à ce que pensent certains lecteurs)... De plus vous nommez souvent des personnes de la rédaction, mais nous ne les connaissons pas, c'est pourquoi vous pourriez

éditer une photo avec l'équipe au complet, et les prénoms se rapportants à chaque tête...

Jérôme TORONTINO
90200 GROS MAGNY

Merci, merci. Voici donc la photo; pour l'humour, nous n'en avons plus en stock. De gauche à droite: Guy, Denis, et Jean-Paul qui se laisse pousser le front. La pierre kersmaker (nouvelle pierre philosophale) devrait transformer le cobaye en raton-laveur.



Selectronic

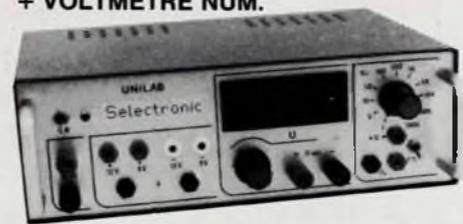
BP 513 59022 LILLE - Tél : 20.52.98.52

NOUVEAUTÉS 80
ALIM DE LABO
+ 5 ALIM FIXES
+ GÉNÉ BF
+ VOLTMÈTRE NUM.

UNILAB
EXCLUSIVITÉ
SELECTRONIC

MINI LABO INTEGRE ECONOMIQUE

Ce petit appareil rendra les plus grands services de par sa polyvalence à tous les amateurs, dépanneurs, étudiants, etc. Il intègre : - une alimentation régulée variable de 0 à 30 V/1,5 A. - 5 sources de tension fixe : + 5V/3A, +12V/1,5A, +15V/1,5A, -12V/1,5A, -15V/1,5A. - 1 générateur de signaux carrés à 11 fréquences fixes - Sortie : Niveau TTL ajustable programmable. Le tout présenté dans un coffret ESM EC 24/08 avec face avant percée et sérigraphiée. Le kit complet 101.9003 ... 950,00 F seulement



FREQUENCEMETRE MINIATURE DE TABLEAU 20 MHz A CHANGEMENT DE GAMME AUTOMATIQUE



Une exclusivité SELECTRONIC (décrit dans EP n°121) Mini-féquencemètre en kit, de hautes performances prévu pour s'intégrer facilement dans un appareil existant ou dans un boîtier de petites dimensions. - Entrée : signaux logiques - 5 gammes 2 kHz, 20 kHz, 2 MHz, 20 MHz - changement de gammes automatique - base de temps pilotée par quartz - 3 1/2 digits hauteur 13mm - indication : kHz et MHz - encombrement : 97 x 38 x 40 - alimentation à prévoir : 5V/170 mA Le kit complet avec enjoliveur pour face avant, circuits imprimés à trous métallisés, etc. (sans tôle) 101.8230 ... 450,00 F

BAROMETRE ANALOGIQUE



Ce kit est un module électronique de précision qui donne la pression atmosphérique sur un galvanomètre. Fourni avec échelle illustrée. Alimentation : Pile 9 V Le kit complet : 101.8260 ... 399,00 F

Dans la rubrique « c'est vous qui le dites » Et victor fait des vers | ... A lire certaines publications soi-disant de vulgarisation, le lecteur est plutôt sous tension au lieu d'être au courant. Ainsi en dépit de sa tension relativement élevée, son générateur ne débite pas grand-chose car d'une part l'impédance d'entrée des charges proposées est élevée (réalisations complexes et parfois difficiles à mettre en oeuvre)

d'autre part le déphasage important qui existe entre les thèmes et les textes écrits dans un style clos Elex c'est l'ampli passe-partout Avec sa contre-réaction Et c'est là son atout Elex se surveille (pas de dérive) En plus ses sorties filtrées Pas de distorsion Elex fait des merveilles ...

Victor Brunaire
93320 Pavillons sous Bois

Sur le 3615 ELEX : « DANS LE N°12 TESTEUR DE CONTINUITÉ IL MANQUE LE 4093 DANS LA LISTE DES COMPOSANTS »

Anonyme
Vous avez rectifié de vous-même. Excuses. Bravo.

Une tripotée de lecteurs attentifs
Dans le compte-pose elexpose du n°11, page 51, les portes NOR de référence xx4001

sont bien des NOR de référence xx4001, même si le dessinateur les a représentés comme des NAND. Pour une fois, le schéma a tort contre la liste des composants. Excuses



elexprime

Pour notre rubrique « pouët pouët », nous vous proposons de nous signaler, il y a quelques semaines, à la fin de l'éditorial du n°17 d'ELEX, des exemples d'évocation de l'électronique dans la poésie et la littérature. Nous avons trouvé deux passages, l'un chez Pierre Dac, l'autre chez Maurice Maeterlinck (au moins, on a des lectures variées). Avant de reproduire ces deux morceaux d'anthologie, signalons aussi qu'à l'inverse on trouve parfois des textes sur des circuits électroniques, qui confinent à la mystique (cf page 44 de ce numéro).

Le texte de P.Dac est une recette de soupe aux poissons rouges, extraite de l'Os à Moëlle (Ed. Juillard, 1963).

« Pour faire la soupe aux poissons rouges, il est indispensable d'avoir un bocal dans lequel s'ébattent des poissons rouges dont le nombre est proportionnel à la quantité de soupe que l'on désire. Ne pas toucher aux poissons. Faire, à part, une soupe quelconque, légère autant que possible, aux poireaux et aux pommes de terre cuites ; laisser mitonner pendant une bonne heure au feu continu et alternatif, suivant la nature du gaz ou du charbon de bois que vous utilisez. Laissez tiédir et versez, louche par louche,

la soupe ainsi obtenue, aux poissons rouges qui, n'en doutez-pas, l'apprécieront à sa juste valeur. »

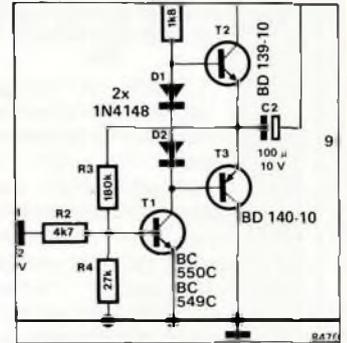
Le texte de Maeterlinck est plus ancien, puisqu'il date de 1907. Il est moins drôle aussi. Encore que...

« Il ne serait pas, j'imagine, très téméraire de soutenir qu'il n'y a pas d'êtres plus ou moins intelligents, mais une intelligence éparse, générale, une sorte de fluide universel qui pénètre diversement, selon qu'ils sont bons ou mauvais conducteurs de l'esprit, les organismes qu'il rencontre. L'homme serait jusqu'ici sur cette terre le mode de vie qui offrirait la moindre résistance à ce fluide que les religions appellent divin. Nos nerfs seraient des fils où se répandrait cette **électricité** plus subtile. Les circonvolutions de notre cerveau formeraient en quelque sorte la bobine d'induction où se multiplierait la force du courant, mais ce courant ne serait pas d'une autre nature, ne proviendrait pas d'une autre source que celle qui passe dans la pierre, dans l'astre, dans la fleur ou l'animal. »

Maurice Maeterlinck, L'intelligence des fleurs, Fasquelle, 1907

Comme disait un autre poète, la f.é.m. est l'avenir de l'ohm !

En parcourant ELEX n°17, page 42, mégaphone. Je ne suis qu'un autodidacte. Je remarque « si l'entrée devient positive... T2 devient conducteur ». Or si je ne fais pas erreur, si l'entrée sur base de T1 devient plus positive avec l'alternance du signal, T1 conduit et sa tension de collecteur baisse. ce qui implique la conduction de T3 et non de T2. Si je fais erreur, mettez ma lettre au panier....



Fernand BRUSSEAU
95270 SAINT MARTIN DU TERTRE

L'entrée dont nous parlons est celle de l'étage de puissance T2/T3, vous parlez de celle du montage. Votre description du fonctionnement est parfaite-

ment correcte, mais elle se rapporte à l'alternance positive sur la base de T1, donc à l'alternance négative sur son collecteur, qui est l'entrée de l'étage de puissance. Vous avez raison et nous avons eu tort de ne pas préciser davantage.

...ancienne photocopieuse 3M ... pour faire de l'insolation aussi bien pour circuits que pour Dynamark 8005. Sinon puis-je faire une modification et laquelle ? Je trouve votre publication formidable, à la portée d'un mécanicien en retraite ce qui est mon cas, pas besoin de suivre les cours universitaires du 3^e âge pour pouvoir réaliser des petits montages qui ne servent à rien et qui vous laissent cependant l'impression d'être toujours soi même utile.

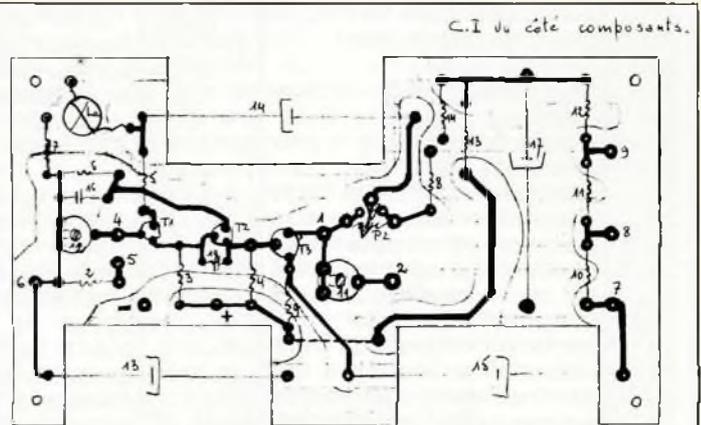
Je suis un passionné des boîtes à musique, tirelires, automates, production de bruits divers. Ils font toujours plaisir aux petits enfants....

C. GIROD
68470 FELLERING

Pour insoler les circuits et les feuilles d'aluminium photosensible pour faces avant que vous citez, il faut impérativement deux choses : une pression forte et régulière sur le typon (film) et une source de lumière ultra-violet.

Nous ne connaissons pas la photocopieuse dont vous parlez, mais si elle permet l'insolation à plat, qu'elle comporte un couvercle avec de la mousse, elle peut convenir pour ce qui est de la pression entre le typon et la surface sensible. Si la source de lumière est un tube à ultra-violet en serpentin dans le fond d'un bac, parfait. Sinon, vous pouvez remplacer la source de lumière existante (lampes à incandescence) par des tubes spéciaux avec leurs ballasts. Le nombre et les dimensions des tubes dépendent de la surface que vous voulez couvrir. En général, vous obtiendrez une répartition de lumière satisfaisante si l'espace entre les tubes est égal à la distance entre les tubes et la vitre, elle-même égale au diamètre des tubes. Il ne s'agit pas de règles, mais de trucs qui marchent et qu'on se repasse entre bidouilleurs.

Vivement la retraite, qu'on puisse bricoler !



Composants placés à l'Extérieur du Circuit Imprimé :

S1a S1b - C1 à C10 - R1 - P1a et P1b
Tr4 (2N2068) avec R15 et R14... P3 et C18 avec R16

Dans votre n°15 d'octobre que je viens seulement de me procurer lettre du 11-12-89. NDLR, vous décrivez un oscillateur à pont de Wien.

Bravo : schéma simple et efficace. Vous n'avez pas peur de mettre des condos de forte valeur, ce qui manque souvent ailleurs ! Les gros condos, c'est un peu un point faible, mais ça marche mieux quand c'est neuf !

Pour illustrer votre schéma je vous envoie un projet de circuit imprimé, un peu comme vous le demandez. Qu'il puisse être utile.

G. GODFRIN
91170 VIRY CHATILLON

Comme il ne s'agit que d'un

projet, nous publions votre circuit légèrement réduit. Nous vous en laissons la responsabilité, car nous n'avons pas vérifié la conformité au schéma. Comme votre travail est soigné et semble raisonné, nous avons un préjugé favorable. D'autres lecteurs nous envoient des dessins, mais d'une qualité inférieure à celle des brouillons de notre bureau de dessin ; nous ne les publions pas. Votre idée d'encaster les condensateurs électrochimiques est plaisante, mais l'usinage de la carte va être coton. Dans les appareils de fabrication industrielle les condensateurs un peu lourds sont animés à la carte par un collier en nylon, ce qui leur évite de tirer sur leurs connexions.

Réponses en vrac à quelques-unes des trente-six mille questions d'Eugène, qui continue de nous envoyer au moins une lettre par semaine :

* LASER est l'acronyme de *light amplification by stimulated emission of radiation*. Il s'agit d'amplification de l'émission de lumière par l'entrée en résonance des particules d'un cristal ou d'un gaz.

* Nous ne vendons pas de posters elex.

* Si ton CPC 6128 annonce "syntax erore" à la ligne 140 du programme de calcul de diviseurs de tension de la page 12 du n°7, c'est que tu as oublié une parenthèse ou bien la ligne 130. Ces machines idiotes sont bien plus à cheval que nous sur l'orthographe et la ponctuation.

* Un système de lecture optique pour éviter d'avoir à taper tout le programme, bien sûr c'est possible. Le matériel comporte un « scanner » (ou balayeur) et un ordinateur quelconque genre tacot PC ou compatible ; le logiciel doit être suffisamment perfectionné pour pouvoir reconnaître le même caractère dans différentes polices ; il faut ensuite passer par un traitement de texte pour remettre le fichier dans une forme intelligible par l'interpréteur ou l'assembleur.

* Le numéro 4 qui nous a fait défaut un long moment a été réimprimé en noir et blanc. Merci pour ta proposition de donner le tien gratuitement, mais maintenant il y en a pour tout le monde.

* Nous ne vendons pas de CANARI tout fait.

* Oui, il y avait dans les quatre premiers numéros des renseignements comme le code des couleurs, les caractéristiques des composants. Non, nous ne pouvons pas redonner ces pages dans chaque numéro.

* Personne ici ne se rappelle avoir parlé d'un écureuil après la description du petit cheval en LED et résistances. Tu ne confonds pas avec la Caisse d'Épargne ?

* Le magnétisme n'est pas un conducteur au sens propre. On peut le considérer comme un vecteur ; c'est-à-dire qu'il peut transporter de l'énergie, comme il le fait entre deux enroulements d'un transformateur. Il transporte de l'énergie, il ne la conduit pas.

* Nous ne faisons pas et ne ferons pas d'« encyclopedi d'elex », mais la page bibliographie que nous publions de temps en temps en dernière ou avant-dernière page de couverture est pleine de bouquins intéressants.

* Non, nous ne vendons pas de CANARI tout fait. Oui, les ondes radio traversent les matières plastiques. Non, les infra-rouges ne traversent pas tous les plastiques. Oui, les infra-rouges traversent certains plastiques.

* Vumètre à LED mono ou stéréo : le thermomètre pour pêche à la ligne du n°16, page 35, comporte un circuit intégré (LM3914) qui commande une rangée de LED. Le jour où nous nous serons décidés à expliquer ce que sont les logarithmes et à faire un voltmètre à réponse logarithmique, le Vumètre sera fait.

* Nous ne vendons pas de posters elex.

* Les « walkmans » avec égaliseur existent. Personnellement, je n'ai besoin ni de walkman ni d'égaliseur, vu la puissance des casques des gens qui m'entourent.

* Elexprime n'est pas supprimé. La preuve !

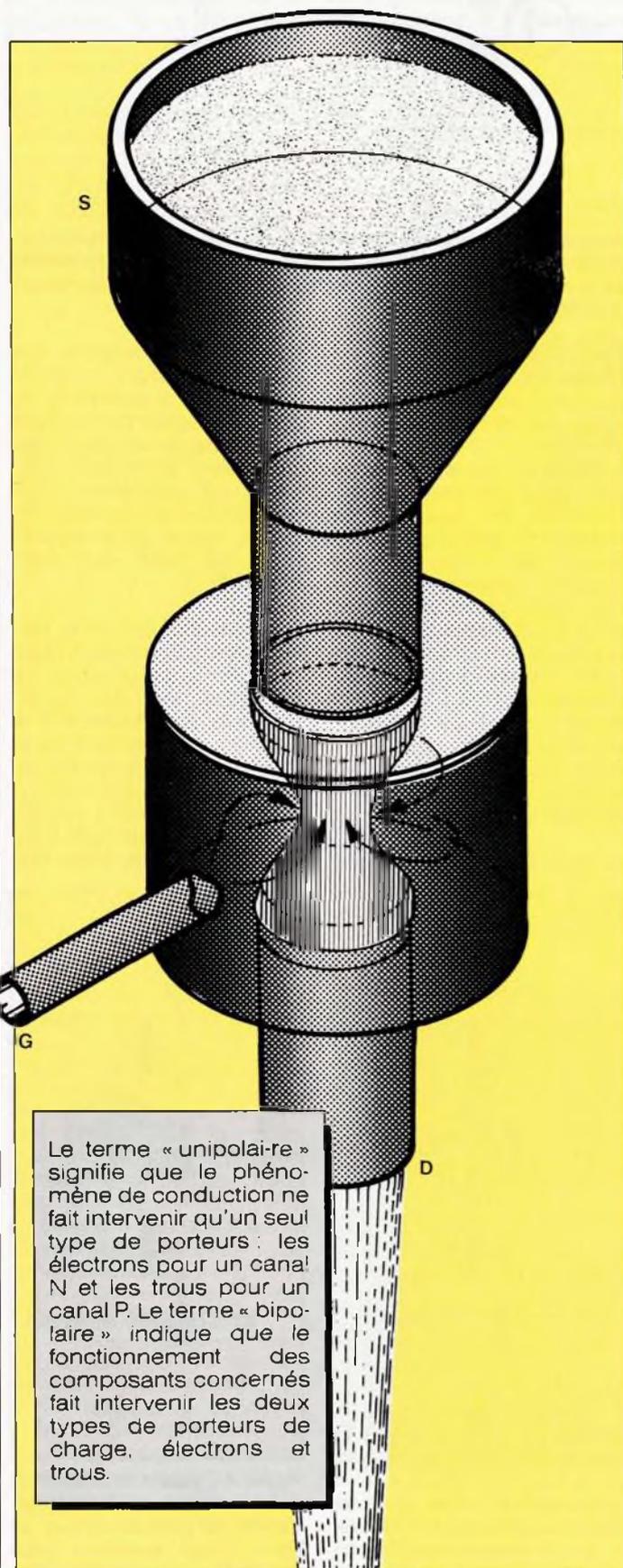
* Tu n'entends plus parler du CANARI parce que nous avons proposé d'autres amplificateurs depuis.

* C'est vrai que plus on se rapproche de l'an 2000, plus elex devient compliqué. Note que c'est vrai aussi que nous reprenons chaque fois que c'est possible les explications que nous avons données dans les numéros précédents.

* Non, elex n'est pas fait spécialement pour les « jeunots ». Il y a des débutants de tous âges.

* Remplacer la cassette d'un walkman par une disquette ? C'est déjà fait avec le baladeur à disque compact. Le disque compact est un support de données informatiques, tout comme les disquettes de ton CPC 6128.

le transistor à effet de champ



Le terme « unipolaire » signifie que le phénomène de conduction ne fait intervenir qu'un seul type de porteurs : les électrons pour un canal N et les trous pour un canal P. Le terme « bipolaire » indique que le fonctionnement des composants concernés fait intervenir les deux types de porteurs de charge, électrons et trous.

On l'appelle FET parce que le nom anglais de ce composant est *field effect transistor*. En français, il faudrait parler de TEC, et certains auteurs le font. Bravo !

Le transistor à effet de champ est aussi appelé transistor unipolaire. Il est fondé sur un effet découvert en 1928 mais qui n'a trouvé son application pratique qu'une cinquantaine d'années après. C'est W. Shockley qui le premier a décrit son fonctionnement il y a quarante ans, mais il a fallu attendre le dernier quart du siècle pour que le transistor à effet de champ devienne aussi un composant de puissance. Aujourd'hui ce composant occupe une place de choix dans l'électronique : on le trouve aussi bien sous une forme subminiaturisée dans les circuits de micro-électronique que comme composant de puissance discret.

Pour donner une idée imagée du principe de fonctionnement du transistor à effet de champ, on le compare souvent à un tuyau d'arrosage en caoutchouc qu'il suffit de comprimer en le pinçant pour en réduire le débit. Cette analogie hydraulique a inspiré à notre illustrateur une espèce de FET à eau (figure 1), comme un entonnoir à goulot variable.

On peut se demander quel est l'avantage d'un transistor à effet de champ par rapport à un transistor « normal », puisqu'il se contente comme lui, apparemment du moins, de commander un débit de courant.

Une résistance commandée en tension ?

Regardez bien l'entonnoir de la figure 1, et comparez-le au transistor hydraulique tel que vous pouvez le trouver dans le n°8 d'ELEX, page 19. Dans le

transistor à injection *npn* ou *pnp*, il circule un courant de base symbolisé par l'eau qui s'écoule de la base vers l'émetteur. Rien de tel sur le croquis ci-contre : l'eau qui commande le rétrécissement du goulot ne circule pas dans l'entonnoir. La dissipation de puissance est forcément moindre, et les circuits simplifiés, puisqu'il n'y a plus à fournir de courant de base aux transistors.

Le transistor à effet de champ se présente lui aussi sous la forme d'un boîtier à 3 broches = la grille (ou goulot) est désignée par la lettre G (comme **gate** = porte, grille en anglais). La source (ou anode) est désignée par la lettre S (comme **source** en anglais) et enfin le drain (ou cathode) est désigné par la lettre D (comme **drain** en anglais = tuyau d'évacuation).

Nous avons déjà tenté de considérer le transistor bipolaire comme s'il était un potentiomètre électronique. Souvenez-vous-en, c'était dans ELEX n°14 (septembre 1989) page 26. Le transistor à effet de champ évoque lui aussi l'idée d'une résistance variable. Dans certaines conditions il fonctionne d'ailleurs comme une résistance à commande électronique.

Essayez vous-même en prenant un FET de type BF247B, un potentiomètre de 1 kΩ et une pile plate de 4,5 V, que vous montez comme indiqué sur la figure 2 entre l'entrée Ω et l'entrée COM de votre ohmmètre. Le circuit à réaliser est si simple que vous pourrez en faire un montage volant. Attention : le pôle positif de la pile incorporée dans les multimètres, se trouve généralement sur la borne COM quand l'appareil de mesure est en mode « ohmmètre ».

C'est la résistance de la jonction drain-source que

Figure 1 - Modèle hydraulique de transistor à effet de champ.

l'on mesure. Modifiez la tension de grille en déplaçant le curseur du potentiomètre et suivez les variations de la résistance. La tension de grille (sur le curseur du potentiomètre monté en diviseur de tension) est soit négative soit nulle par rapport à la source puisque la borne positive de la pile de 4,5 V est reliée à la source. Plus cette tension est négative, plus la résistance entre drain et source est forte.

Une tension positive appliquée entre drain et source provoque la circulation d'un courant d'électrons dans le canal drain-source. Une tension négative appliquée entre la grille et la source crée une zone de déplétion (= appauvrissement) qui module la conductivité du canal.

Vie Intérieure

Essayons à présent de comprendre ce qui se passe dans le FET. La **figure 2** montre qu'entre drain et source nous avons un matériau de type **N** à la surface duquel est disposée une couche de matériau de type **P**, la grille. La jonction NP constitue une diode dont l'existence est d'ailleurs vérifiable à l'aide du multimètre. Ne s'est-elle pas bloquée, lors de l'expérience que nous venons de faire, quand la grille était portée à un potentiel négatif ? De part et d'autre de la jonction existe, par définition, une région isolante, c'est-à-dire une zone appauvrie en porteurs de charge ou **zone de déplétion**, d'autant plus étendue que la tension bloquant la jonction (tension de grille) est plus grande.

En faisant varier la tension de grille (ou de goulot), on fera varier l'épaisseur de la zone isolante et par suite celle du canal drain-source (**figure 4**). Quand la tension est assez forte, la conductance entre drain et source devient nulle, on dit que le canal est pincé (comme le tuyau d'arrosage). C'est ce qui s'est passé quand, avec le circuit de la figure 1, l'aiguille de

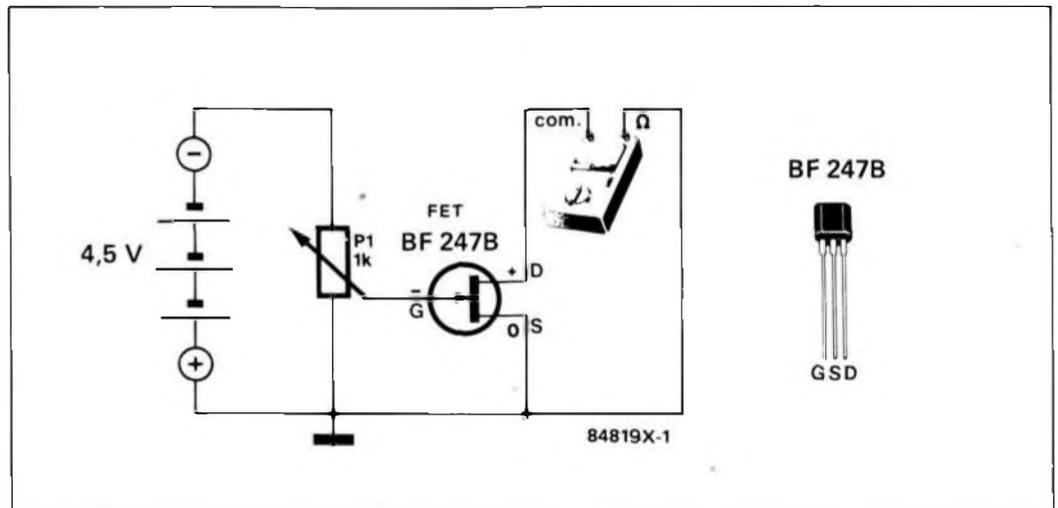


Figure 2 - Grâce à ce montage expérimental chacun pourra se familiariser avec les caractéristiques fondamentales du transistor à effet de champ. Le canal drain-source se comporte ici comme une résistance commandée en tension. La valeur de la résistance est mesurée à l'aide de l'ohmmètre. Elle dépend de la valeur de la tension négative appliquée à la grille.

l'ohmmètre s'est mise en position ∞.

Ce qui est remarquable, c'est que tout ceci se passe sans qu'il circule de courant dans la grille du FET. Au risque de vous décevoir, il faut bien ajouter que nul n'est parfait, même pas les transistors à effet de champ. Ils sont fragiles du fait de l'isolation de la grille et de la faible capacité grille-source (une couche d'isolation, ça claque).

Par ailleurs, du fait de la modestie de la source de tension de l'ohmmètre, la tension drain-source était faible sur le circuit expé-

riental de la figure 1. Si en revanche on teste un FET avec des tensions plus élevées, les choses se compliquent ; il ne se comporte plus comme une brave résistance commandée en tension ; la tension de grille agit maintenant sur l'intensité du courant source-drain. Il faut alors considérer que pour 1 V de tension de grille circule un nombre déterminé de milliampères de courant de drain. On parle de la courbe de conductance d'un FET, qui n'est autre que le rapport du courant de drain à la tension de grille I_D/U_G .

La tension entre grille et

source est plus faible que la tension entre grille et drain, car le potentiel du drain est positif par rapport à celui de la source. C'est pourquoi l'extension de la zone de déplétion n'est pas uniforme le long du canal, mais plus accentuée du côté du drain (**figure 5**).

L'augmentation de la tension de drain a beau entraîner une augmentation de la résistance du canal, puisque la résistance et la tension augmentent dans les mêmes proportions, l'intensité du courant ne change pas. Est-il nécessaire de préciser que augmentation de la résistance

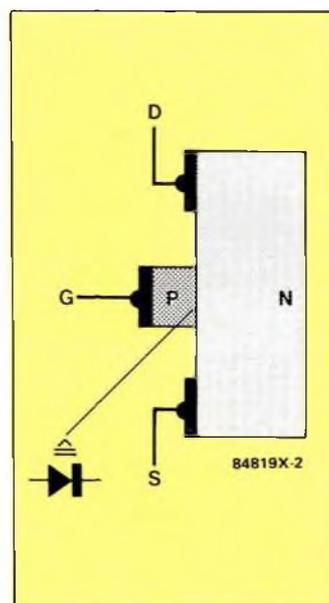


Figure 3 - Schématisation de la structure du transistor à effet de champ. Le canal N entre drain et source est isolé de la grille en matériau P. La jonction de l'un à l'autre forme l'équivalent d'une diode.

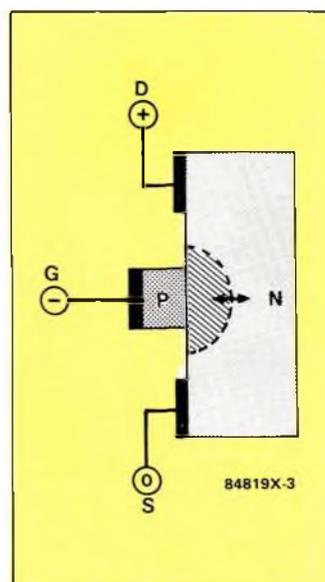


Figure 4 - L'étendue de la zone isolante (hachurée) au voisinage de la jonction PN varie selon la tension de grille. Le canal drain-source se rétrécit à mesure que la tension de grille devient négative par rapport au potentiel de source.

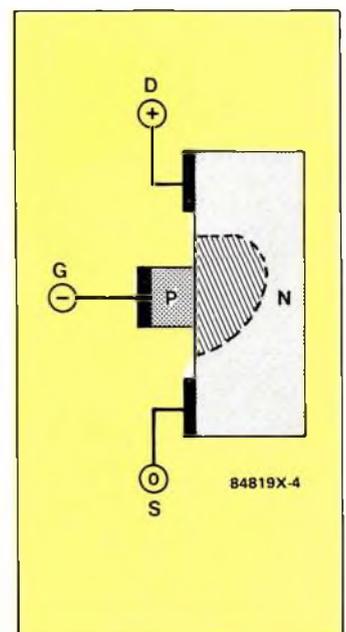


Figure 5 - Quand la tension de drain s'élève, la région isolante s'étend du côté du contact de drain. Cette extension peut aboutir à un blocage complet du canal.

= diminution de la conductance ?

Quand la tension grille-source est nulle, on constate que le courant croît avec la tension drain-source jusqu'à une valeur limite, appelée tension de pincement. Pince-Mi et Pince-Moi sont dans un bateau. Pince-Mi tombe à l'eau, qui reste-t-il dans le bateau ?

Tout cela est sans doute bien difficile à saisir du premier coup. Patience ! Nous n'entrerons pas plus dans les détails, mais repren-

drons le sujet en douceur dans l'article sur la famille FET, présentée ci-dessous.

D'ailleurs, jusqu'ici nous n'avons considéré en fait qu'un seul type de FET, le transistor à effet de champ à jonction (ou JFET), la jonction entre le matériau de la grille et celui du canal drain-source. Il existe également le transistor à effet de champ à grille isolée MOS-FET, avec ses variantes VMOS, CMOS, COSMOS, MNOS, SOS... On en reparlera...

84819

On retiendra que le transistor à effet de champ à jonction (par opposition au transistor à effet de champ à grille isolée) est un composant commandé en **tension**, à **haute** impédance d'entrée (celle d'une jonction polarisée en sens inverse), alors que le transistor bipolaire (nos BC547 habituels, par exemple) est un composant commandé en **courant**, à **faible** impédance d'entrée (celle d'une jonction polarisée en sens direct). Son faible bruit propre rend le transistor à effet de champ bien adapté à l'amplification des faibles signaux sous forte impédance. En commutation, il présente l'avantage non seulement d'un gain en puissance élevé mais aussi d'une impédance d'entrée élevée aux faibles fréquences, ce qui permet de réaliser notamment des constantes de temps (monostables ou astables) avec des condensateurs de faible capacité.

la famille FET

ou la palette des FET

La présentation du transistor à effet de champ à jonction (ou J-FET) a été faite ci-dessous. Elle ne sera donc pas refaite ici. Dans ce premier article de présentation, il est question brièvement de **la courbe de conductance** de ces transistors. C'est sur ce point que nous vous proposons de revenir.

Courbe de conductance

Du rapport entre le courant de drain I_D et la tension de commande de grille U_G résulte l'augmentation du courant de drain à mesure que la tension de grille (négative) devient plus positive. C'est ce que montre la courbe de la **figure 1**. La progression de l'intensité du courant I_D n'est pas li-

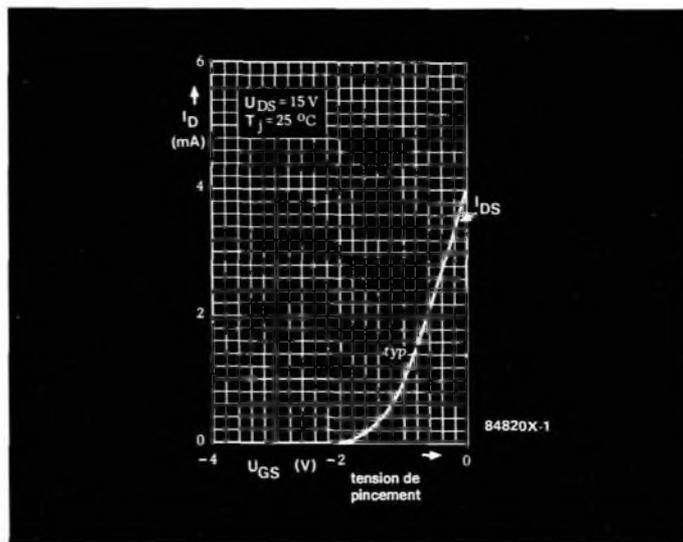


Figure 1 - La courbe de courant drain-source d'un transistor BF245B montre comment l'intensité baisse avec la tension de grille (qui est négative par rapport au potentiel de source). Quand la tension de pincement est atteinte, le transistor est entièrement bloqué.

néaire sur toute la plage de progression de la tension de grille. On peut néanmoins considérer la partie rectiligne de la courbe comme caractéristique du FET. La pente typique pour un transistor à effet de champ pour petits signaux est comprise entre 2 à 20 mA/V. C'est-à-dire que par volt de progression de la tension de grille, le courant de drain gagne 2 à 20 mA. Comme toute grandeur électrique, cette conductance a son unité : le « siemens » (prononcer « cimèn's » ou « zimèn's » ou encore « ciémens »), qui est l'inverse de l'ohm, l'unité de résistance. Ainsi nous pourrions écrire que la conductance typique d'un FET pour petits signaux est de 2 à 20 mS (lire millisiemens).

Pour caractériser le FET, il nous faut aussi considérer les deux points d'intersection de la courbe de conductance avec les axes horizontaux et verticaux du diagramme de la **figure 1**. Le sommet de la courbe de courant de drain pour une tension de grille de 0 V (court-circuit entre grille et source), c'est-à-dire l'intensité maximale du courant de drain ($I_{DS(s)}$), est compris entre 1 et 50 mA. Théoriquement, il est possible de poursuivre la courbe avec des valeurs de U_G positives. À partir de +0,6 V de tension de grille, la jonction grille-canal (cf la diode représentée sur la figure 1 de l'article sur les FET au début de ce numéro) devient passante, mais il n'est plus possible de commander le transistor (saturation).

L'intersection de la courbe et de l'axe horizontal indique la valeur de la tension de grille pour laquelle le courant de drain est nul, c'est-à-dire la tension de

comprise entre 0,5 V et 10 V selon les composants. Au fait, Pince-Mi s'est noyé, le saviez-vous ? Qui reste-t-il dans le bateau ?

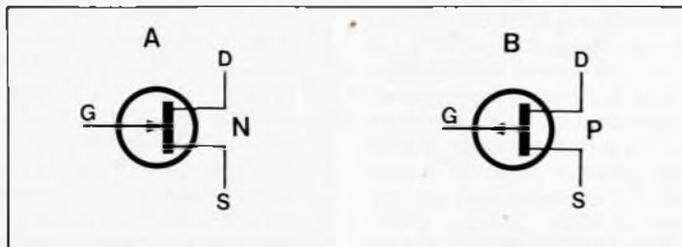


Figure 2 - Le symbole du FET à jonction à canal N (figure 2A) est reconnaissable au sens de la flèche de la grille (qui est le même que celui du transistor bipolaire NPN). Le symbole de la figure 2B est celui d'un FET à canal P, que l'on ne rencontre que rarement.

grille pour laquelle le transistor est bloqué. Il s'agit de la fameuse tension de pincement (dans les recueils de caractéristiques anglais, c'est le *pinch off voltage*) dont la valeur est

Vous avez peut-être été frappé à la lecture de ce qui précède par l'étendue des plages de valeurs admissibles : 2 à 20, 1 à 50, 0,5 à 10... Ceci est une indication de l'étendue de la

palette des FET. Même pour un type de transistor particulier, les caractéristiques peuvent varier très fortement. C'est pourquoi on les classe en trois catégories A, B et C, comme le montre le tableau, avec les valeurs limites et les caractéristiques du FET standard BF245.

Ce transistor appartient au clan N de la famille des FET. Comme son nom l'indique, le canal drain source est fait de matériau N, tandis que la grille est en matériau P. Le clan opposé est le clan P (tous des clampins !) dont la grille N devra par conséquent être commandée par une tension positive (par rapport à la source). L'indispensable isolation entre grille et canal est assurée dans l'un et l'autre clan par la solution de continuité, c'est-à-dire la jonction bloquée, entre les deux matériaux, exactement comme sur une diode bloquée. Tous les transistors de ces deux clans N et P appartiennent à la grande famille des transistors J-FET, avec un J comme jonction.

Fiche signalétique du transistor JFET BF245A, B ou C. Les valeurs limites ne doivent pas être dépassées, les caractéristiques sont des valeurs typiques.

Le courant de fuite de grille est le courant microscopique qui circule dans la grille bloquée. Pour le courant de court-circuit drain-source on retient l'intensité atteinte quand la courbe I_{DS} coupe l'axe vertical du diagramme de la figure 1. Les tensions grille-source sont données pour un courant de drain de seulement 200 μ A. Ce sont des valeurs qui se confondent en partie avec l'axe horizontal du diagramme de la figure 1.

Valeurs limites

tension drain-source	$\pm U_{DS}$	30 V
tension drain-grille ($I_S = 0$)	$+U_{DG}$	30 V
tension grille-source ($I_D = 0$)	$-U_{GS}$	30 V
courant de drain	I_D	25 mA
courant de grille	I_G	10 mA
température de la jonction	T_J	150 °C
dissipation totale (température ambiante = 25 °C)	P_{tot}	300 mW

Caractéristiques ($T_J = 25$ °C)

courant de grille résiduel ($-U_{GS} = 20$ V, $U_{DS} = 0$)	$-I_{GS}$	5 nA
--	-----------	------

courant de court-circuit drain-source

($U_{DS} = 15$ V, $U_{GS} = 0$)	BF245A :	$I_{DS(s)}$	2,0 à 6,5 mA
	BF245B :	$I_{DS(s)}$	6 à 15 mA
	BF245C :	$I_{DS(s)}$	12 à 25 mA

tension de seuil grille-source

($U_{DS} = 15$ V, $I_D = 200$ μ A)	BF245A :	$-U_{GS}$	0,4 à 2,2 V
	BF245B :	$-U_{GS}$	0,4 à 2,2 V
	BF245C :	$-U_{GS}$	3,2 à 7,2 V

tension de pincement

($U_{DS} = 15$ V, $I_D = 10$ nA)	$-U_p$	0,5 à 8,0 V
-----------------------------------	--------	-------------

conductance (1 kHz)

	g	3,0 à 6,5 mS
--	---	--------------

fréquence de coupure

(70% de la conductance)	f	700 MHz
-------------------------	---	---------

Transistors à effet de champ à grille isolée

Les familles MOSFET, plus récentes, sont caractérisées entre autres par la présence d'une mince couche isolante à base d'oxyde de silicium. Ce sont les transistors à effet de champ à grille isolée. Même bloqué, le semi-conducteur à jonction laisse passer un courant de fuite de quelques nA (nano-ampère = milliardième d'ampère). En revanche, la couche d'oxyde SiO_2 des transistors à effet de champ MOS (rappelons que les lettres M et O sont celles de *metal oxide*) est réputée étanche à 100% ou presque. Leur résistance de transfert est au moins de l'ordre de $10^{10} \Omega$, soit un minimum de dix mille mégohms...

La **figure 4** donne une vue en coupe (simplifiée) d'un transistor MOSFET à canal N à enrichissement. Ce qui est déroutant ici, c'est que le canal drain-source, représenté si distinctement pour les FET à jonction, n'apparaît pas en tant que tel sur la figure 4. C'est

parce que ce canal drain-source peut soit exister en l'absence de polarisation de grille (on parle de canal diffusé), soit n'être induit que par action électro-statique dès que la tension grille-source dépasse un certain seuil.

Si le canal existe déjà en l'absence de polarisation de la grille, on parle de MOSFET à appauvrissement, car la polarisation de la grille aura pour effet de rétrécir le canal (figure 3 A et B).

Quand le canal est induit par la polarisation et n'existe pas sans elle, on parle de MOSFET à enrichissement (figure 3 C et D).

En effet, si dans le cas d'un substrat de type P (figure 4) une tension de grille positive est appliquée, les électrons sont attirés vers l'interface entre le silicium et l'isolant et au-delà d'une certaine valeur (seuil), apparaît un canal N qui permet à un courant de circuler du drain à la source. Le canal est créé par enrichissement de la couche superficielle.

Sur un transistor à appauvrissement, le canal existant en l'absence de polarisation de la grille pourra être enrichi ou appauvri selon la polarité de la tension de grille.

Le MOSFET à appauvrissement à canal N ressemble au JFET à canal N, c'est-à-dire que sa grille est commandée par une tension négative. En plus, comme l'oxyde de silicium de la couche isolante n'est pas polarisé, on peut commander ce transistor avec une tension de grille positive, laquelle permet d'augmenter la conductance du canal.

Le transistor MOS à appauvrissement à canal P est à son homologe MOS à canal N, ce que le JFET P est au JFET N. Lui se bloque quand la tension de grille est positive, et sa conductance augmente à mesure qu'elle diminue. Il est possible de le commander avec une tension de grille négative.

Le MOSFET à enrichissement fonctionne comme les transistors bipolaires ; sur un transistor à canal N,

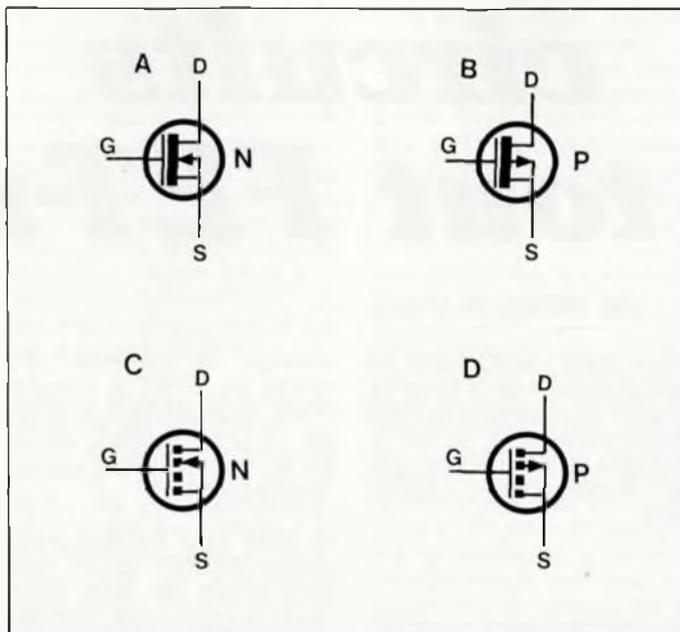


Figure 3 - Le symbole du FET à grille isolée montre bien que la grille ne touche pas le canal. Ici c'est le sens de la flèche de la source qui indique s'il s'agit d'un transistor à canal N (figure 3A) ou P (figure 3B).

Quand le trait gras qui symbolise le canal drain-source est discontinu (figures 3C et 3D), nous sommes en présence d'un MOSFET à enrichissement (bloqué en l'absence de polarisation de la grille).

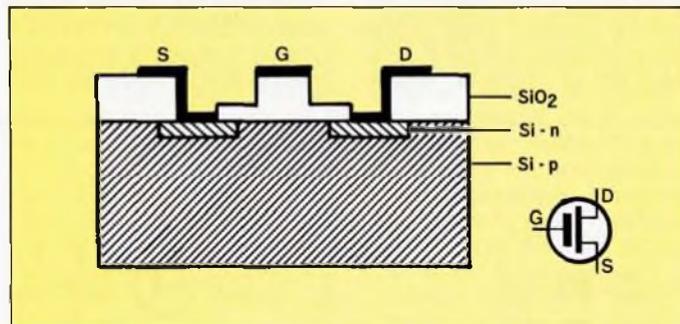


Figure 4 - Schématisation de la structure d'un MOSFET à canal N. Un substrat de silicium (Si-p) est recouvert d'oxyde isolant (SiO₂) à travers lequel on fait diffuser deux régions du substrat une impureté donneuse (Si-n) qui crée la source et le drain sur lesquels on dépose des contacts en aluminium (trait noir). Entre S et D se trouve en face de la grille G un « canal » N, dopé plus ou moins en impureté donneuse. Si le canal est peu dopé, on obtient un FET à enrichissement où la tension de pincement est positive. Si le canal est plus dopé, on obtient un FET à déplétion (ou appauvrissement) à tension de pincement négative (l'explication des termes enrichissement et appauvrissement est donnée ci-contre dans le corps de l'article).

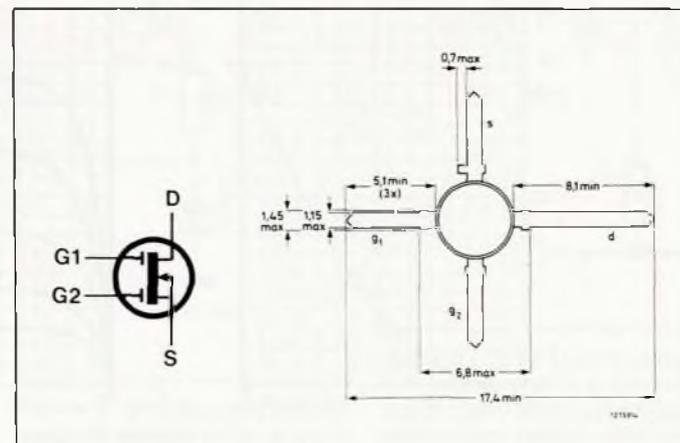


Figure 5 - Il existe des transistors à effet de champ à double grille, très prisés en HF. Vous trouverez cet animal attelé dans le récepteur radio présenté ailleurs dans ce numéro. Ce transistor se présente sous la forme d'un boîtier à quatre broches.

quand la tension de grille augmente, le courant de drain augmente aussi. Sur le transistor à enrichissement à canal P, c'est précisément l'inverse : il conduit quand la tension de grille est négative, et sa conductance diminue à mesure qu'augmente la tension de grille (à partir de 0 V).

La figure 5 montre un transistor à effet de champ à double grille comme on en trouve souvent dans les circuits HF modernes. Attention ! Si nous avons représenté schématiquement les FET par un canal S-D sur lequel la grille est montée d'un seul côté, c'est pour rester fidèle à la silhouette du composant à trois broches. En réalité, la grille est disposée de façon symétrique de part et d'autre du canal. Dans certains ouvrages on trouve d'ailleurs la structure du transistor à effet de champ représentée avec une double grille dont les deux composantes sont disposées de part et d'autre du canal, mais néanmoins toujours au même potentiel.

La représentation de la double grille est satisfaisante pour l'esprit, dans la mesure où elle est plus propice à la représentation de la notion de pincement. Ne vous laissez pas dérouter par l'existence de transistors à effet de champ à deux grilles. Celles-là sont bien sûr des grilles distinctes, que l'on peut porter, le cas échéant, à des potentiels différents.

En raison de leurs très petites dimensions, de leur faible consommation et de leur facilité d'emploi, les transistors à effet de champ MOS ont été utilisés massivement dans les circuits intégrés. Des progrès spectaculaires ont été faits, et si tous les inconvénients n'ont pas encore pu être supprimés, les performances en matière de dissipation, de vitesse, de fiabilité et de densité d'intégration ont atteint des sommets inimaginables il y a à peine dix ans.

Évoquons pour finir le transistor V-MOS, avec sa grille en forme de V, grâce auquel on est arrivé à des applications de puissance avec des transistors à effet de champ.

circuits à tout FET-re

Pour bien des électroniciens, le FET garde une aura de mystère qui en limite l'emploi. À première vue, l'habitué des transistors bipolaires trouve engageante leur simplicité, puis il renonce, dérouté par les différences fondamentales entre transistors à effet de champ et ceux qu'il connaît. Le problème vient donc de ce que l'on ne sait pas trop bien comment dimensionner les circuits. Ce n'est pourtant pas plus difficile que ce que nous allons montrer ici en quelques pages. Avant de les lire, veuillez parcourir les deux articles de présentation des transistors à effet de champ publiés ail-

leurs dans ce numéro, ne serait-ce que pour vous rafraîchir la mémoire et vous familiariser avec la terminologie (drain, source, grille, conductance, canal, etc).

source la cathode. S'il s'agit d'un FET à canal P, c'est exactement l'inverse : la grille devient anode et le couple drain-source forme cathode.

diode d'excellente qualité, idéale par exemple pour protéger l'entrée à haute impédance d'un voltmètre numérique ou d'un millivoltmètre. Une diode ordinaire employée à cette fin présenterait sans doute l'inconvénient d'être une trop forte charge pour l'entrée.

Diode

Le plus simple des circuits à FET est celui de la figure 1. Ce n'est pas un gag mais... une diode. En effet, avec le drain et la source interconnectés comme ils le sont ici, le transistor à canal N devient une diode dont la grille forme l'anode, et le couple drain-

À quoi bon ce détournement de FET pour faire une diode de luxe, alors qu'il existe des diodes meilleur marché? Bonne question! Si vous avez lu les deux articles mentionnés ci-dessus, vous savez que le courant de fuite de la grille d'un transistor à effet de champ est extrêmement faible, puisqu'elle n'est que de l'ordre d'une dizaine de nanoampères à une température ambiante normale. Ça nous fait une

Les grandeurs U_{Rmax} et I_{Fmax} sont deux des caractéristiques principales d'une diode : la tension inverse maximale (R pour *reverse voltage*) et l'intensité maximale du courant direct, c'est-à-dire du courant dans le sens passant (F pour *forward current*).

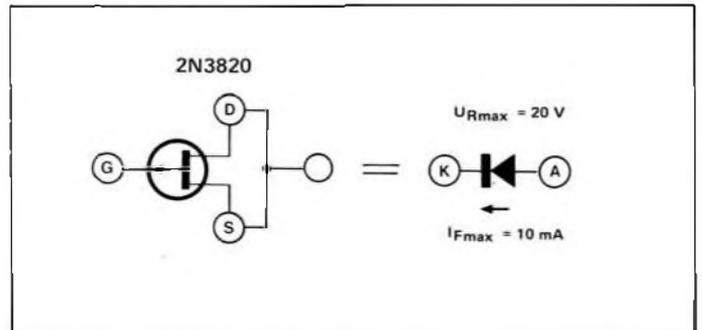
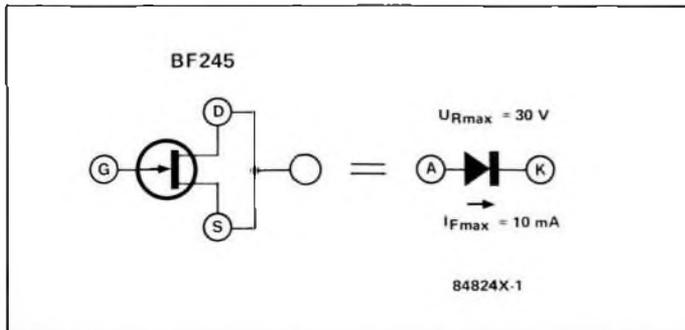


Figure 1 - Le FET dont on court-circuite drain et source fait une diode d'excellente qualité, caractérisée par un courant de fuite extrêmement faible. Selon que le transistor est à canal N (BF245) ou P (2N3820), la diode sera tournée dans un sens ou dans l'autre.

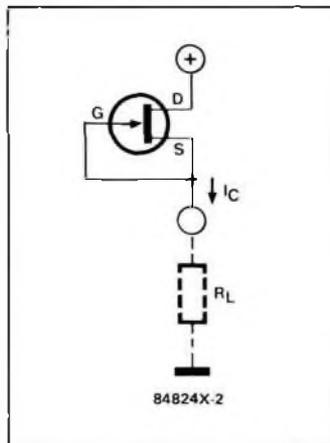


Figure 2 - Le FET monté en source de courant constant, une position dans laquelle vous le trouverez suivant, accroché à son drain, et la source sur la grille. Le courant I_C est constant, c'est pour ça qu'on l'appelle I_C quelle que soit la valeur de R_C et la tension $+$.

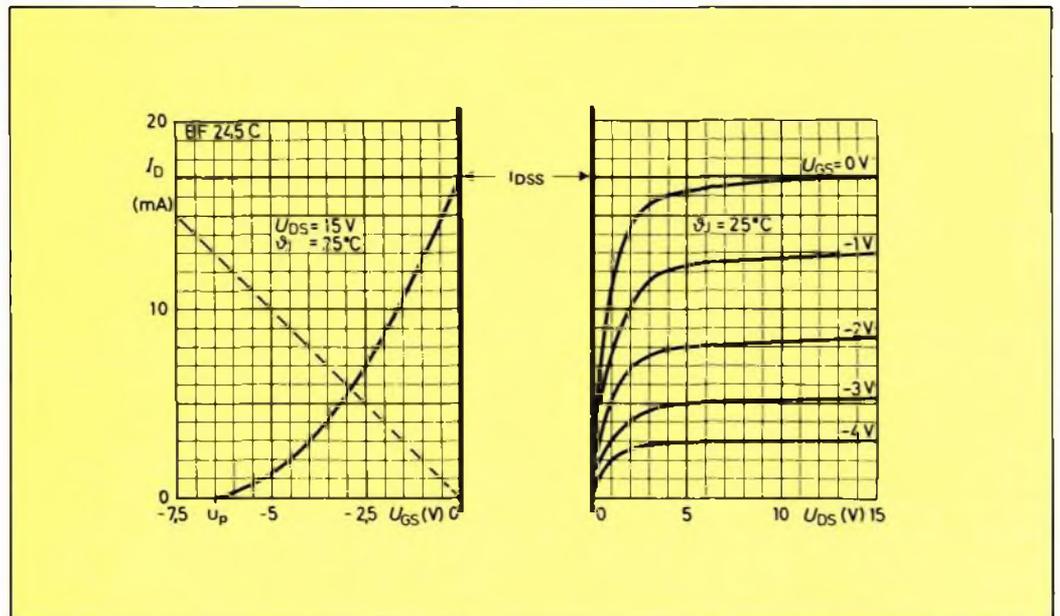


Figure 3 - Etudiez bien ces deux graphiques. Prenez votre temps, revenez-y souvent, l'essentiel du BF245C tient dans ces diagrammes.

Source de courant constant

Le circuit de la **figure 2** est extrêmement simple lui aussi. Là encore, deux des broches du FET sont court-circuitées. Cette fois la grille est au même potentiel que la source. S'agit-il encore d'une diode? Non, ici le transistor fait fonction de source de courant constant, une espèce de robinet à courant qui se commande lui-même.

Remettons-nous en mémoire les caractéristiques du FET (**figure 3a**). Quand la tension grille-source U_{GS} atteint 0 V au bord droit du diagramme, la courbe s'arrête. Sur un transistor à enrichissement la grille ne doit pas devenir positive par rapport à la source. Or ici nous avons une différence de potentiel nulle entre grille et source, donc $U_{GS} = 0$ V. À ce point de la courbe, le courant drain-source I_{DS} s'appelle I_{DSS} : ce deuxième S est celui du mot saturation. C'est l'intensité maximale du courant qui peut circuler dans le drain : le robinet est ouvert à fond. Que la tension entre drain et source augmente n'a pas d'effet sur le courant de drain, puisque la grille est couplée à la source.

Comme sur une source de courant constant réalisée

avec un transistor ordinaire, il y a un seuil de tension en-dessous duquel la source fonctionne, mais sans que le courant soit constant. L'intensité de saturation n'est pas atteinte, comme le montre le diagramme de la **figure 3b**. Il faut que la tension U_{DS} atteigne la valeur de la tension de pincement U_p pour que le courant de saturation soit atteint.

Pour connaître la valeur du courant de saturation I_{DSS} d'un transistor à effet de champ, il faut consulter sa fiche de caractéristiques, et prendre les valeurs indiquées avec des précautions, car les tolérances sont assez fortes. Pour un BF245B, on donne une plage de courant de saturation qui s'étend de 6 à 15 mA, c'est-à-dire du simple au double et même au-delà. Pour le BF245C, elle va de 12 à 25 mA, ce qui convient fort bien pour alimenter une LED comme le montre la **figure 4**.

Pas de résistance de limitation, et le circuit fonctionne avec des tensions de 5 à 15 V, ça c'est de la technique, madame ! On pourrait même aller au-delà de 15 V (jusqu'à 30 V), mais le FET pourrait se mettre à chauffer dangereusement. Faudrait qu'il enlève sa fourrure...

Savez-vous qu'il existe d'ailleurs des LED à FET,

c'est-à-dire des diodes électro-luminescentes dans le boîtier desquelles est incorporé un transistor à effet de champ ? Ce sont des LED que l'on trouve montées sans résistance de limitation de courant.

Source de courant (b/s)

Pour obtenir une source de courant constant variable il suffit d'insérer un mini-potentiomètre monté en résistance variable dans le circuit de source comme indiqué sur la **figure 5**. Quand le curseur est en butée du côté de la source, nous sommes en présence du circuit de la **figure 4**. À mesure que l'on ramène le curseur vers l'extrémité de la piste reliée à la LED et à la grille, on augmente la résistance, ce qui réduit l'intensité du courant constant.

Le courant de drain qui circule dans le transistor et la résistance provoque une chute de tension, de sorte que la grille, connectée à une extrémité de la piste, et la source, reliée à l'autre extrémité, ne sont plus au même potentiel. Mesurée par rapport à la masse, la tension de source est supérieure à la tension de grille, la différence étant la chute de tension dans la résistance variable. On peut dire aussi que, mesu-

rée par rapport à la masse, la tension de grille est inférieure à la tension de source, la différence étant la chute de tension dans la résistance variable. Mesurée par rapport à la source, la tension de commande de la grille est négative à présent. Or nous savons qu'une tension de grille négative rétrécit le canal drain-source.

Selon la valeur de la résistance variable, l'intensité du courant s'établit à une valeur inférieure à I_{DSS} et reste constante. Si elle reste constante, c'est parce qu'il y a réaction de la « sortie » sur l'« entrée ». Imaginons un instant que la tension de drain vienne à augmenter, ce qui aurait tendance à augmenter le courant, il y aura aussi une augmentation de la chute de tension dans la résistance variable. Vous suivez ?

Si la différence de potentiel en source et grille s'accroît, le potentiel de la grille devient négatif, ce qui réduit la conductance du FET et compense ainsi la tendance à l'augmentation du courant. D'où il résulte que l'intensité du courant reste constante grâce à cette mise en balance des grandeurs d'entrée (tension de grille) et grandeurs de sortie (courant drain-source)... certains observateurs fêrus d'astro-

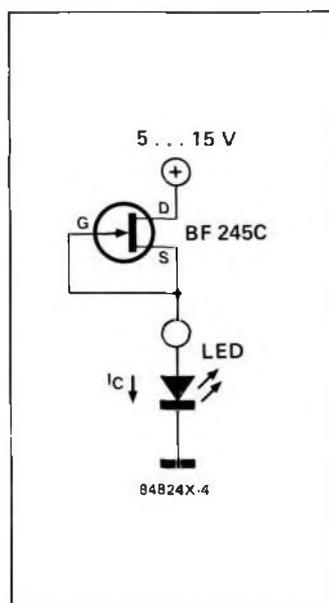


Figure 4 - Le FET utilisé en source de courant constant ne se contente pas de remplacer la résistance de limitation de la LED, il permet aussi d'alimenter le circuit quelle que soit la tension (entre 5 et 15 V).

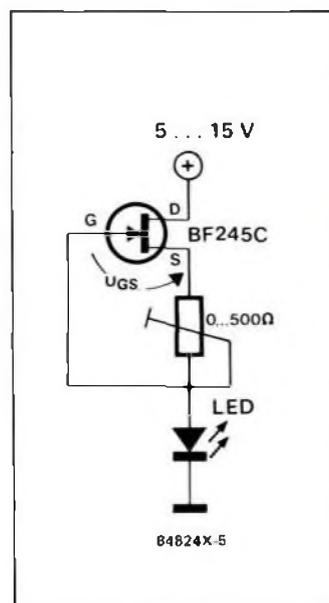


Figure 5 - En intercalant une résistance variable entre la grille et la source, il est possible de jouer sur leur différence de potentiel et réaliser de la sorte une source de courant constant réglable.

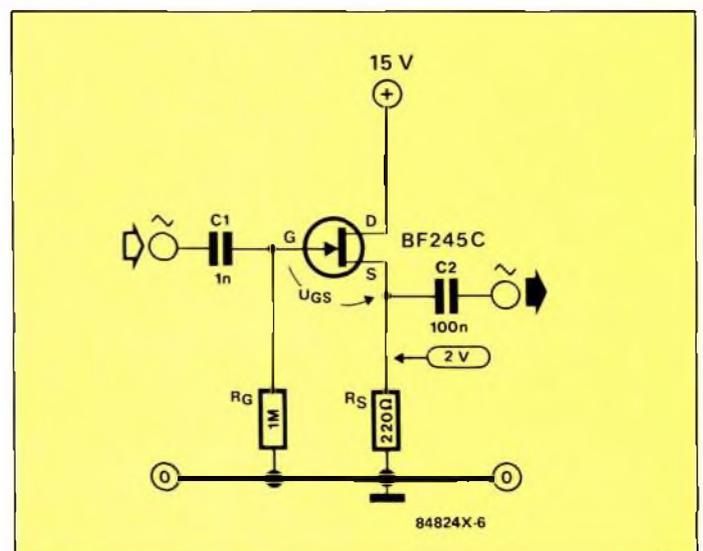


Figure 6 - Ce FET monté dans un circuit à collecteur commun, pardon, à drain commun, fournit sur la source un signal alternatif qui suit le signal alternatif appliqué à C1, le condensateur d'entrée qui bloque toute tension continue. Comme la tension continue de grille est de 0 V, le potentiel de cette grille est négatif (-2 V) par rapport à celui de la source. Quand la crête positive du signal d'entrée est à 2 V, le transistor sera saturé : l'amplitude crête à crête de la tension d'entrée alternative ne devra donc pas dépasser 4 V (de -2 V à +2 V).

logie ont même été jusqu'à en conclure que le FET est du signe de la Balance. Nous ne disposons pas d'éléments suffisants pour réfuter cette assertion, mais ne négligerons pas de mentionner que d'après son thème astral il est ascendant fox à poil dur (aussi appelé Drahtahr). A propos... Non, on n'a pas le temps aujourd'hui, ce sera pour une autre fois.

L'exemple pratique de la figure 5 montre une configuration particulière avec une LED et une résistance de 500Ω , mais rien de vous empêche d'adopter une autre valeur. Quand le curseur est du côté de la source, vous aurez toujours le courant de saturation I_{DSS} . L'intensité du courant obtenue pour une résistance donnée pourra être lue sur la figure 3. Il faut pour cela tracer une « droite de résistance » qui commence à 0 V (quand la tension est nulle aux bornes d'une résistance, c'est qu'il ne circule pas de courant) et aboutit à hauteur de 15 mA pour une tension de 7,5 V (en effet, $7,5 \text{ V} \div 500 \Omega = 15 \text{ mA}$). Le point d'intersection entre la droite de résistance et la courbe caractéristique du courant à travers le FET nous donne un courant de 6 mA pour une chute de tension (U_{GS}) de 3 V. L'intensité du courant quand le curseur est à l'autre bout de la piste du potentiomètre de 500Ω est donc de 6 mA.

Pour calculer la valeur de la résistance de source en fonction d'une valeur donnée pour l'intensité du courant, prenons un exemple. Imaginons qu'il nous faille un courant d'une intensité minimale de 10 mA. La caractéristique de la figure 3a nous indique que pour $I_D = 10 \text{ mA}$, il faut que U_{GS} soit de $-1,5 \text{ V}$ à peu près. La loi d'Ohm nous dit que pour calculer la résistance il faut diviser la tension par le courant : $1,5 \text{ V} \div 10 \text{ mA} = 150 \Omega$.

Source suiveuse

Si vous redoutiez que les choses se compliquassent, vous n'avez pas trop souffert jusqu'à présent.

Espérons que la bonne impression que vous a FET le début de ce texte ne sera pas défaits par ce qui suit.

Parenthèse : ici, *faite*, le participe présent du verbe *faire*, est accordé à la féminine « bonne impression », conformément à la règle qui veut que le participe passé s'accorde avec l'objet direct du verbe *avoir* quand cet objet le précède. Cette règle est paraît-il artificielle (Grévisse), beaucoup de Français instruits ne font pas l'accord, d'autres le font irrégulièrement (Cohen). Pourtant ils ne parlent généralement que le français à l'exclusion de tout autre langue et ne bénéficient donc pas des mêmes circonstances atténuantes que les Belges, les Suisses, les Luxembourgeois, les Canadiens et les Alsaciens, tous influencés par les langues anglo-saxonnes qu'ils pratiquent activement ou passivement à des degrés divers. Et eux le font ! Ce qui n'est peut-être d'ailleurs que l'indice de « la désuétude où est réellement tombé l'accord des participes » (A. Thérive). D'après Grévisse, la vraie règle eût dû être de laisser le participe invariable ou de l'accorder avec le sujet du verbe. Souffrez que dans ELEX, pour l'instant du moins, nous persistions dans l'ancienne manière, surtout quand elle fournit des alliterations trouble-fête.

Pour dimensionner le circuit suivant, celui de la figure 6, nous allons nous appuyer sur l'expérience acquise. Le drain est relié directement à la ligne d'alimentation positive. La source est dotée d'une résistance et la grille reliée à la masse par une résistance — ça c'est nouveau, mais ne change rien aux calculs. Comme il ne circu-

le pas de courant dans la grille, il n'y a pas de différence de potentiel entre grille et masse. La tension de grille est de 0 V. La tension de source est positive en revanche, puisqu'il circule du courant à travers la résistance de 220Ω . Le potentiel de la source est positif par rapport à celui de la grille. Pour un courant de drain donné, le calcul sera le même que pour la source de courant constant.

L'intensité du courant de drain, nous la trouvons dans le diagramme de la figure 3. Comme le transistor est attaqué à travers un condensateur (C1), la tension de commande de la grille ne pourra être qu'alternative, de sorte que nous retiendrons une valeur moyenne dans le milieu de la partie rectiligne de la courbe d'intensité de la figure 3. Prenons 9 mA, ce qui correspond à une tension de grille U_{GS} de -2 V environ. D'où l'on déduit que $R_S = 220 \Omega$ et la tension de source de 2 V. Fin du problème.

Et à quoi ça sert ?

On sait que la résistance interne de la grille est très élevée. Pour ne pas compromettre l'impédance d'entrée de cet étage à FET en source suiveuse, la

résistance R1 a une valeur élevée elle aussi, soit $1 \text{ M}\Omega$ par exemple. Ce qui nous donne un étage à haute impédance d'entrée, faible impédance de sortie, et un gain en tension à peu près unitaire. Exactement comme un circuit à émetteur suiveur, vous vous souvenez (clin d'oeil complice aux lecteurs fidèles) ?

Notre circuit de la figure 6 admet une tension alternative d'une amplitude jusqu'à 4 V crête à crête. La saturation est atteinte avec la crête de la demi-alternance positive, quand la tension d'entrée atteint environ 2 V, qui superposés aux -2 V de tension de grille U_{GS} donnent précisément 0 V sur la grille du transistor. Nec plus ultra.

Amplificateur à FET

Si nous voulons que notre FET ne se contente pas de suivre la tension d'entrée, mais l'amplifie, il faut rajouter une résistance de drain, de valeur supérieure à celle de la résistance de source. C'est ce que montre la figure 7. Voici trois des considérations fondamentales à prendre en compte pour une tel circuit. Le gain du circuit dépend de la valeur de la résistance de drain qui ne devra donc pas être trop faible. Le courant de drain ne doit pas être trop faible, de sorte que la plage de fonctionnement du circuit se situe autant que possible dans la partie rectiligne de la courbe de courant (figure 3). La tension drain-source doit rester supérieure à la tension de pincement.

La tension de pincement U_p du BF245C de notre exemple est assez élevée ($-6,5 \text{ V}$) et l'intensité de son courant de saturation n'est pas faible, comme le montre la figure 3. Si l'on tient compte des trois considérations énoncées ci-dessus, il faut adopter une valeur de tension d'alimentation assez élevée. Nous avons retenu 25 V. Le courant de drain a été limité à 6,5 mA, un peu moins que pour le circuit en drain commun (source suiveuse), afin que la valeur de la résistance de drain ne soit pas trop faible. Pour le calcul de la résistance de source, on procède exac-

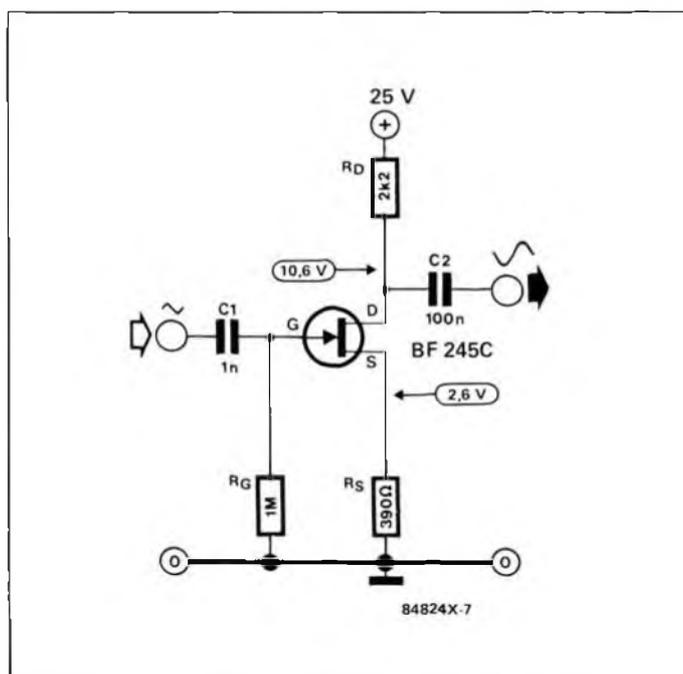


Figure 7 - Avec sa résistance de drain, notre circuit est devenu un amplificateur de tension alternative. Comparées aux performances d'un circuit équivalent à transistor bipolaire, les performances en matière de gain de ce genre de circuit ne sont pas stupéfiantes. Son gain est déterminé par le rapport entre résistance de drain et résistance de source.

tement comme pour le circuit précédent : $U_{GS} \div I_D = R_S$.

La courbe de la figure 3 nous donne pour $I_D = 6,5 \text{ mA}$ une tension U_{GS} de $-2,6 \text{ V}$. D'où l'on obtient la valeur approchée de 390Ω pour la résistance R_S .

Avant de déterminer la valeur de R_D , il nous faut fixer la tension drain-source. Sachant que la tension de pincement U_p est de $-6,5 \text{ V}$, et pour conserver une marge, nous retiendrons 8 V pour U_{DS} , de façon à rester à distance du point d'inflexion de la courbe de courant.

Nous savons maintenant quelle doit être la chute de tension sur R_D : $U_{DS} - U_{GS}$ soit $25 \text{ V} - 8 \text{ V} - 2,6 \text{ V} = 14,4 \text{ V}$

Connaissant la tension et le courant, il ne reste plus qu'à loidomer la valeur de la résistance R_D . Loidomons-la :

$$R_D = \frac{14,4 \text{ V}}{6,5 \text{ mA}} = 2,2 \text{ k}\Omega$$

Fin du problème.

Le gain en tension est à l'image du rapport entre les résistances de source et de drain qui voient d'ailleurs circuler un courant d'intensité égale (en saturation). Divisons pour voir : $2,2 \text{ k}\Omega \div 390 \Omega = 5,6$. L'amplitude du signal de sortie (drain) peut atteindre 6 V (crête à crête). Ce signal est déphasé de 180° par rapport au signal d'entrée.

Si l'on veut obtenir un gain plus élevé, il faut court-circuiter les tensions alternatives sur la résistance de source à l'aide d'un condensateur électrochimique comme le montre la figure 8. Dès lors R_S n'agit plus que sur la polarisation en continu de la source du transistor... Le gain ne dépend plus maintenant que du produit de la pente de conductance comme elle apparaît sur la figure 3 et de l'impédance de charge R_L (avec le L de load). Celle-ci est le résultat de la mise en parallèle de la résistance R_D et de la résistance de la charge L. La pente de conductance exprimée en *siemens* (mA/V) peut être évaluée à partir de la courbe de la figure 3,

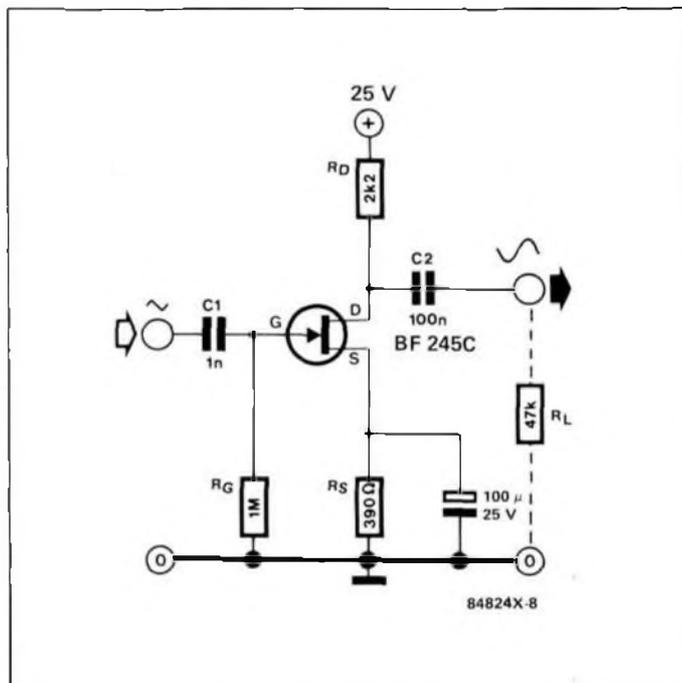


Figure 8 - Le condensateur en parallèle sur la résistance de source agit sur le rapport entre les résistances de drain et de source (dont on sait qu'il détermine le gain). Pour les tensions alternatives, ce condensateur représente un court-circuit.

soit 4 mS (millisiemens et non millisecondes) si l'on considère que par progression de 1 V de la tension de commande U_{GS} , l'intensité du courant I_D progresse de 4 mA .

Vous êtes toujours là ? Bravo... et merci ! Comme sur la figure 8 la résistance R_L est beaucoup plus élevée avec ses $47 \text{ k}\Omega$ que R_D , nous la négligerons pour considérer que R_L est égale à R_D . Et puisque le gain est égal au produit de la conductance par la résistance de charge, nous aurons $4 \text{ mS} \times 2,2 \text{ k}\Omega$, soit un gain de $8,8$. Vous rendez-vous compte de l'étendue du chemin que nous venons de parcourir ensemble ?

Caractéristiques de l'amplificateur

Le dernier calcul montre que sans contre-réaction (voir à ce sujet différents articles dans les deux derniers numéros d'ELEX), c'est-à-dire sans découplage de R_S par le condensateur, le gain reste modeste, en tous cas bien inférieur à celui d'un transistor ordinaire. Le circuit de la figure 8 introduit une distorsion non négligeable, du fait de l'inflexion de la courbe de courant (figure 3), ce qui le rend impropre à la réalisation

sont réputés aux oreilles de certains électroniciens audiophiles pour leur son chaud. Il est vrai qu'en distordant le signal, les FET, comme les tubes, introduisent des harmoniques que les transistors bipolaires ne produisent pas, mais qui existent dans les signaux d'origine acoustique.

Une autre caractéristique intéressante de ce circuit est sa bande passante étendue (avec un bruit extrêmement faible). Selon sa fiche de caractéristiques, la conductance du BF245C n'est réduite à 700 MHz que de 30% par rapport à ce qu'elle est à 1 kHz . Ces composants sont donc parfaitement adaptés à l'utilisation en hautes fréquences, même si en pratique, les circuits dans lesquels on les trouve habituellement, voient leur gain considérablement réduit pour d'autres raisons, bien avant d'atteindre ces hautes sphères.

On les trouve en tous cas jusque dans les UHF chaque fois qu'il y a lieu de ménager une impédance élevée aux hautes fréquences : par exemple dans les étages d'entrée des fréquencesmètres, ou dans les circuits d'antenne comme celui que nous vous proposons ailleurs dans ce numéro.

Au fait, ne dites pas à ma mère que j'écris dans Elex, elle me croit professeur de musique à Fénétrange.

84824

STEL COMPOSANTS SERVICE

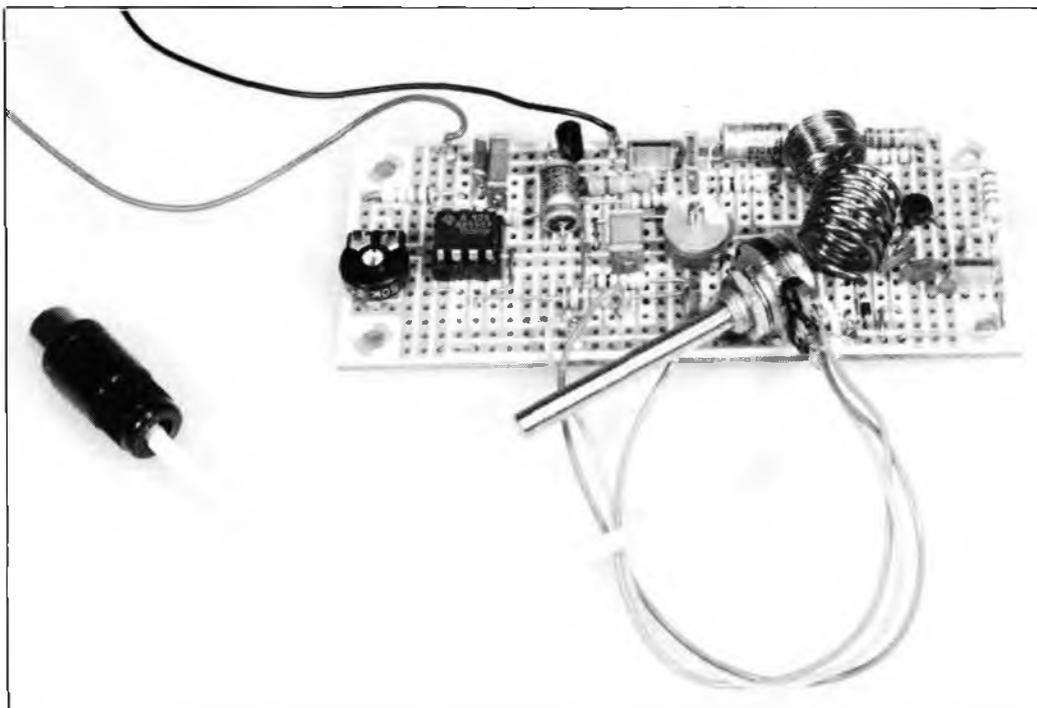
155, bd de la Madeleine
06000 NICE

Tél : 93.44.41.44
Fax : 93.97.12.50

COMPOSANTS ELECTRONIQUES - MESURE
OUTILLAGE - LIVRES TECHNIQUES -
ACCESSOIRES

CATALOGUE COLLEGE SUR DEMANDE
ENVOI DANS TOUTE LA FRANCE

émetteur expérimental



pour la modulation de fréquence et les VHF

Quel que soit le montage que vous réalisez, vous devez en passer par le test. C'est facile lorsqu'il s'agit d'un préamplificateur ou d'un amplificateur BF ; vous avez sous la main au moins un générateur sinusoïdal, ou un oscillateur quelconque à 555 ou une source de signaux comme un poste de radio ou un magnétophone à cassette. Il en va autrement lorsqu'on s'attaque à des montages à haute fréquence, comme les récepteurs que nous décrivons ici et là, ou celui d'une chaîne HiFi ou d'un poste de télévision. Pour combler cette lacune de votre équipement, nous décrivons ici un émetteur expérimental simple, capable malgré cela de se faire passer pour un émetteur stéréophonique et d'allumer le voyant « stéréo » du récepteur à tester.

Le condensateur marqué D1 sur le schéma de la figure 2 est bien une diode, ou plutôt la diode marquée D1 sur le schéma est bien un condensateur.

Ça commence mal, dites-vous ? Et pourtant, le symbole de D1 est un hybride de condensateur et de diode. Toutes les diodes polarisées en inverse (sens « bloqué ») présentent une capacité entre

anode et cathode ; la particularité de la diode **varicap** D1 est d'avoir une forte capacité (voir la **figure 1**), comparée à celle de diodes ordinaires ; la particularité du condensateur variable D1 est d'être com-

mandé par une tension continue et non par la rotation d'un axe. En d'autres termes, on utilise la propriété de diodes spéciales, dites varicap — pour **capacité variable** — pour leur faire jouer le rôle de condensateurs variables. L'accord d'un circuit oscillant est obtenu par une variation de la tension continue inverse appliquée aux bornes de la diode.

La figure 1 montre que plus la tension est élevée, plus la capacité est faible. La capacité maximale varie, suivant le type de diode, de 5 à 300 pF. Le rapport entre la capacité maximale et la capacité minimale est de 1 à 5. Les diodes varicap sont des condensateurs variables de faible encombrement, solides mécaniquement puisque aucune pièce n'est en mouvement.

Nous ne pourrions émettre une onde qu'après que nous l'aurons fabriquée (futur antérieur, Caro). Comme nous venons de parler de circuit oscillant,

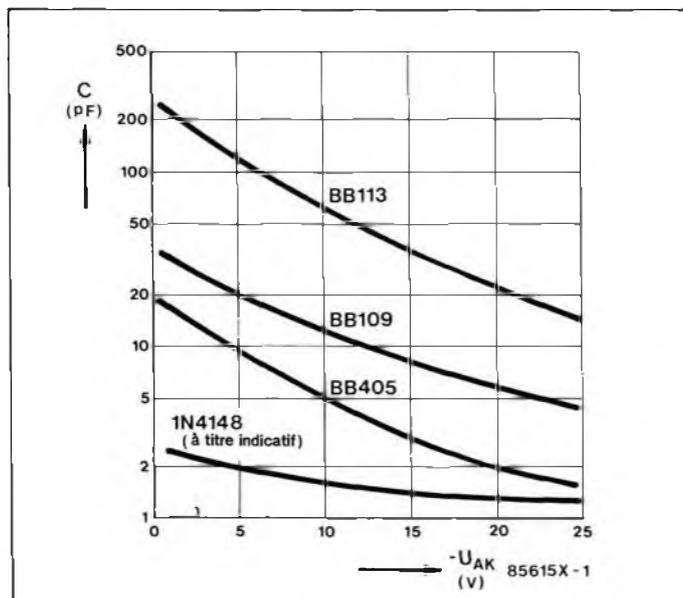


Figure 1 - Le rapport entre la tension inverse (U_{AK}) et la capacité des diodes ordinaires au silicium et des diodes varicap. L'échelle des capacités est logarithmique. La diode varicap que nous utilisons dans l'émetteur expérimental est de type BB405.

et d'accord de circuit oscillant, vous avez deviné que le montage comporte un oscillateur. Finement déduit, Docteur !

L'oscillateur

Le schéma de la figure 2 n'est torturé qu'en apparence. Faisons abstraction pour l'instant, si vous le voulez bien, du 555, qui n'a rien à voir avec la haute fréquence ; éliminons aussi le BC550 C (T2). Que restait-il ? Le transistor T1, les deux bobines L1 et L2, et surtout les condensateurs C4, C5, C6, C8, C9 et D1. Le condensateur variable D1 n'est autre que la diode à capacité variable. Si vous ne l'avez pas compris, c'est que vous avez eu tort de sauter un paragraphe. L'ensemble constitue un circuit oscillant de type *Vackar*. L'oscillateur *Vackar* est dérivé de l'oscillateur Colpitts ; comme lui, il

comporte un diviseur capacitif de la tension appliquée à la base et un circuit oscillant parallèle.

Continu

Considérons d'abord le fonctionnement en continu du transistor. Le diviseur de tension R6/R7 détermine la tension de base de T1, donc celle de son émetteur, décalée d'un seuil de 0,7 V. Le courant qui traverse l'espace collecteur-émetteur est déterminé par la valeur de R8 et la tension à ses bornes. Ce point de fonctionnement en continu n'est pas décalé par les courants alternatifs qui traversent le transistor. En effet, ces courants ne traversent pas la résistance de contre-réaction R8, déviés qu'ils sont par le condensateur C10. La capacité de ce condensateur de **découplage** (1 nF) est énorme en regard de la fréquence ; c'est-à-dire que son impédance à 100 MHz est négligeable et qu'il représente un court-circuit pour l'alternatif.

Alternatif

L'inductance L1 transmet la tension alternative du collecteur au diviseur capacitif C6/C5. Une fraction de cette tension est appliquée à la base de T1, ce qui constitue la réaction **positive** nécessaire dans tout oscillateur. N'avons-nous pas déjà vu à plusieurs reprises que la tension de collecteur est déphasée de 180° par rapport à celle de la base ? De ce fait l'amplitude de la tension réinjectée est déterminée par le rapport :

$$\frac{C8 + C9 \text{ (en parallèle)}}{C6 \cdot C5 \text{ (en série)}}$$

C'est cette tension, prélevée sur la base de T1, qui sera appliquée à l'antenne par l'intermédiaire du condensateur C11.

Autre caractéristique im-

portante d'une tension alternative : sa fréquence. Celle de notre émetteur, avec les valeurs de composants indiquées est de 45 à 55 MHz. Voilà qui correspond bien à la bande de télévision VHF, mais qui semble un peu bas pour la bande *modulation de fréquence*. Faudra-t-il remplacer les bobines et quatre condensateurs ? Non, car notre oscillateur produit aussi, en plus de la fréquence fondamentale de 50 MHz, la première fréquence harmonique — soit le double — de 100 MHz. La fréquence fondamentale peut être réglée par le condensateur variable (*trimmer*) C9. L'excursion est suffisante pour couvrir la plage de 90 à 110 MHz.

Revenons à la diode varicap : sa capacité influe sur la fréquence de résonance du circuit oscillant. C'est là qu'interviennent les composants que nous avons écartés tout à l'heure. Rassemblement !

La modulation de fréquence

Le 555, C1 et C2, R1 à R3... repos ! On vous appellera. Le transistor T2 est monté tout simplement en amplificateur de tension, avec émetteur commun. Inutile de s'appesantir sur ce montage. La tension BF appliquée à l'entrée et divisée par R4/P2 est disponible, amplifiée, sur le collecteur où elle est prélevée par R5. Le collecteur de T2 voit son potentiel varier au rythme de la tension d'entrée : une tension alternative est superposée à la tension continue.

Il se trouve que la tension de collecteur de T2 est appliquée par R5 à la diode varicap. Nous avons assez insisté sur le fait qu'une variation de tension aux bornes de la diode provoque une variation de sa capacité. Revenons sur le fait qu'une variation de la capacité de D1 provoque une variation de la fréquence de résonance du circuit oscillant. La fréquence de l'oscillateur va donc varier légèrement autour de la fréquence fondamentale, en fonction de la tension du collecteur de T2, c'est-à-dire au rythme du signal BF appliqué à l'entrée. C'est ce qu'on appelle la modulation de fréquence.

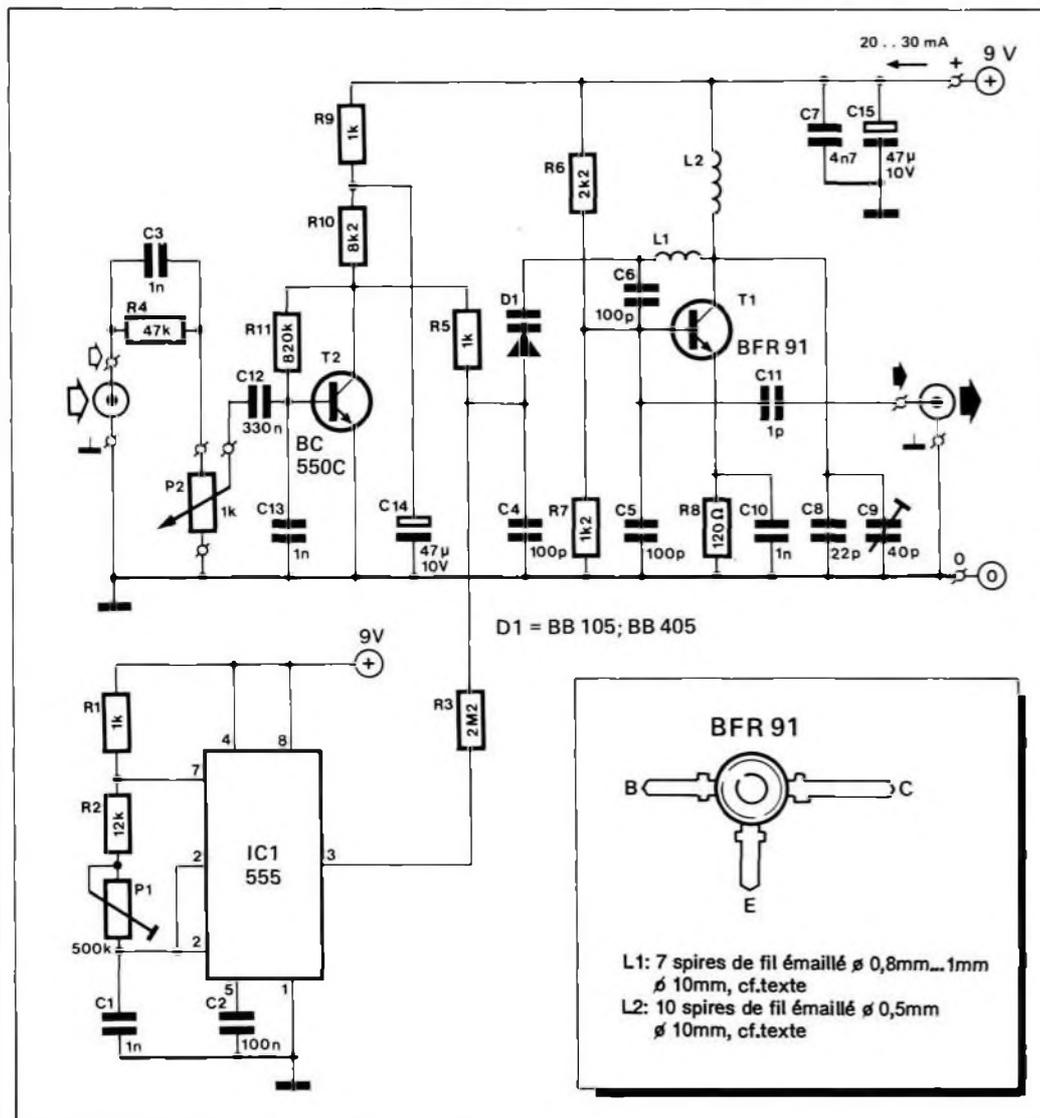


Figure 2 - Les fonctions de chaque partie du schéma sont évidentes. La fréquence de l'oscillateur T1 est modulée à la fois par l'amplificateur audio T2 et par l'oscillateur à 19 kHz IC1.

Le modulateur à 19 kHz

Le 555 au rapport, et que ça saute ! C'est le multivibrateur astable construit autour du 555 qui produit la **fréquence-pilote** de 19 kHz qui nous permet de simuler une émission stéréophonique. Le signal stéréophonique émis en modulation de fréquence n'utilise qu'une fréquence porteuse, une seule « voie » hertzienne. Pourtant le signal stéréophonique est transmis comme il le serait par les deux paires de fils des haut-parleurs ou les deux câbles de deux micros. Voilà un mystère que nous allons essayer d'éclaircir brièvement.

Le signal stéréophonique émis par les stations de radio-diffusion est un signal complexe. Il comporte, sans changement, la somme des signaux gauche + droite, audible directement sur un récepteur monophonique. Il comporte aussi la somme algébrique : gauche - droite + 19 kHz (en fait selon un codage un peu plus compliqué). Le travail du décodeur stéréophonique consiste à opérer les additions et soustractions nécessaires, à partir des signaux **somme, différence et fréquence pilote** (19 kHz), pour obtenir un signal **gauche** et un signal **droite** séparés et distincts l'un de l'autre. La fréquence de 19 kHz est en dehors de la plage audible sur un récepteur à modulation de fréquence, dont la bande passante s'arrête à 16 kHz, aussi bien à gauche qu'à droite.

Ainsi peut-on émettre sur le même « fil » deux signaux distincts. Nous ne voulons pas transformer notre émetteur expérimental en émetteur stéréophonique, mais nous voulons pouvoir tester le décodeur stéréo d'un récepteur. Comme le décodeur réagit simplement à la présence de la sous-porteuse à 19 kHz, abusons-le en modulant l'onde émise avec un signal à 19 kHz.

Multivibrateur astable sinusoïdal

Rassoyez-vous, c'est pour rire ! Le multivibrateur est constitué par un 555 bien connu et il fournit toujours un signal rectangulaire, comme l'année dernière.

Nous eussions préféré un sinus pour attaquer proprement l'émetteur, mais comme le réseau R3/C4 forme un filtre passe-bas qui arrondit les arêtes du signal rectangulaire, que le décodeur stéréo n'est pas un analyseur de spectre et qu'il se contente de détecter la fondamentale à 19 kHz... nous nous en tiendrons à ce circuit simple qui donne toute satisfaction.

Le signal à 19 kHz du multivibrateur vient s'ajouter par R3 à celui de l'amplificateur BF pour moduler la fréquence de l'émetteur. Nous émettons donc un signal monophonique capable de faire commuter le décodeur stéréo du récepteur que nous devons tester.

La construction

Un coup d'oeil au schéma et au plan d'implantation de la **figure 3** vous aura déjà fait voir qu'il y a deux inductances à bobiner et que le transistor T1 n'est pas du type habituel. C'est un transistor spécial pour les hautes fréquences ; son brochage est rappelé sous le schéma de principe. Le marquage sera illisible une fois le transistor soudé sur la platine.

Les deux inductances, L1 et L2, doivent respecter aussi exactement que possible les prescriptions ci-dessous.

L1 est constituée de 7 spires de fil de cuivre émaillé de 0,8 à 1 mm de diamètre. Les 7 spires sont bobinées sur une queue de foret de 10 mm ; elles ne sont pas jointives, mais un espace d'une épaisseur de fil environ est ménagé entre elles.

Et l'autre, L2, comporte des spires jointives, au nombre de 10, en fil de 0,5 mm de diamètre, bobinées sur la queue du même foret de 10 mm.

Conformez-vous au plan d'implantation de la **figure 3**. Il n'y a rien de particulier à signaler pour les composants habituels.

L'utilisation

La platine câblée, il reste à raccorder le coupleur de

pile, le potentiomètre P2 et les douilles d'entrée et de sortie. Pour l'entrée, un « jack » de 3,5 mm convient, pour la sortie une prise CINCH ou BNC.

Il reste un petit réglage à faire, au moyen d'un récepteur stéréophonique et d'un peu de doigté. Raccordez par un câble coaxial de 50 Ω ou de 75 Ω la sortie de l'émetteur à l'entrée antenne de votre récepteur. L'émetteur alimenté et la fréquence du récepteur accordée à celle de l'émetteur, le voyant stéréo doit s'allumer et vous devez entendre un souffle dans le haut-parleur. Si la manoeuvre de la commande de fréquence du récepteur ne vous permet pas de trouver la fréquence de l'émetteur, changez-la au moyen de C9. Attention, les variations de position des spires de L1 provoquent aussi une variation de la fréquence émise. L'accord réalisé, il reste à tourner P1 pour faire osciller le 555 à 19 kHz et allumer le voyant du décodeur stéréo.

Le modulateur BF sera testé au moyen d'un source de signal audio à niveau relativement élevé. Ce peut être un générateur BF ou la sortie d'un magnétophone à cassette. Vous devez maintenant entendre la source choisie dans le haut-parleur du récepteur. Le potentiomètre P1 sert à établir le taux de modulation à son niveau maximal sans distorsion. L'audition n'a pas la qualité « Hi-Fi », elle se fait en mono, bien que le voyant stéréo s'allume.

Avertissement

Vous n'avez pas construit votre station de radio locale. Votre émetteur doit être enfermé dans un boîtier métallique et sa sortie doit être raccordée par un câble blindé à l'entrée antenne d'un récepteur. Il ne s'agit que de **simuler** une émission, et pas d'émettre réellement, en plantant un fil quelconque comme antenne dans la prise de sortie, et en reliant la masse du montage à la terre. L'émetteur expérimental est un appareil de test qui ne doit en aucun cas perturber la réception de la radio et de la télévision par vos voisins.

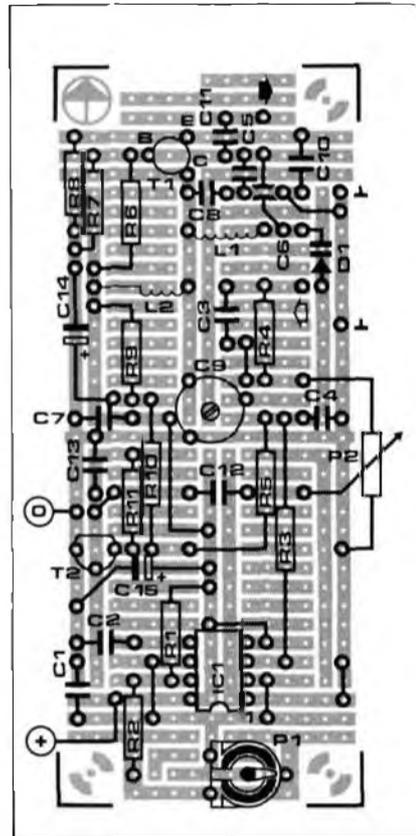
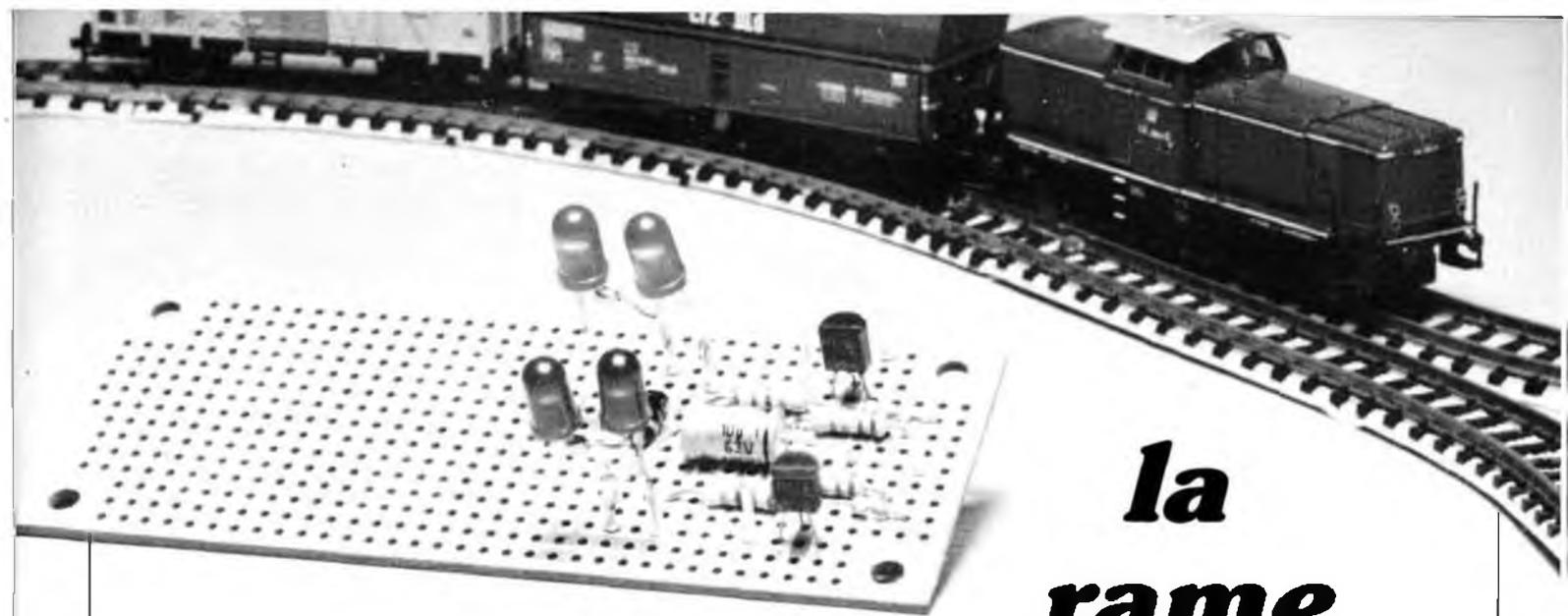


Figure 3 - La construction se fait sur une platine de format 1. Attention à la fabrication des deux inductances et à leur raccordement.

Liste des composants de l'émetteur FM

- R1, R5, R9 = 1 kΩ
- R2 = 12 kΩ
- R3 = 2,2 MΩ
- R4 = 47 kΩ
- R6 = 2,2 kΩ
- R7 = 1,2 kΩ
- R8 = 120 Ω
- R10 = 8,2 kΩ
- R11 = 820 kΩ
- P1 = 500 kΩ potentiomètre miniature
- P2 = 1 kΩ potentiomètre linéaire
- C1, C3, C10, C13 = 1 nF MKT
- C2 = 100 nF MKT
- C4, C5, C6 = 100 pF céramique
- C7 = 4,7 nF MKT
- C8 = 22 pF céramique
- C9 = 40 pF ajustable (gris)
- C11 = 1 pF céramique
- C12 = 330 nF MKT
- C14, C15 = 47 μF/10 V
- L1, L2 voir texte
- D1 = BB 405
- T1 = BFR 91
- T2 = BC 550C
- IC1 = 555
- prise d'entrée
- prise de sortie
- pile de 9 V avec son coupleur
- platine d'expérimentation de format 1



la rame est-elle bien aiguillée ?

témoin d'aiguille de bifurcation pour modèle réduit ferroviaire

Depuis quelques mois, Elex présente dans chacun de ses numéros au moins un montage spécial pour les modélistes. Si vous ne l'aviez pas remarqué, c'est que vous n'avez pas le coup d'oeil...

Or, du coup d'oeil, il en faut pour repérer la position d'une aiguille, surtout de loin. La richesse éventuelle du décor n'arrange d'ailleurs rien, surtout quand il s'agit d'un changement de voie placé dans un coin éloigné, difficile d'accès.

Pour que le modéliste même le plus modeste n'ait plus à se poser la question de la position des aiguilles de son réseau, nous proposons ici un circuit très simple, très efficace (à quatre LED par bifurcation, dont deux placées éventuellement sur le pupitre de commande), et surtout très bon marché. Et ça, ça compte !

L'aiguillage

La figure 1 donne le schéma électrique d'un aiguillage de bifurcation. Il se compose pour l'essentiel de deux bobines L1 et L2

avec la prise intermédiaire commune, et de deux interrupteurs E1 et E2 (qui sont les capteurs de fin de course). Pour commander les mouvements de l'aiguille, il suffit d'inverser la position de S, après avoir, bien entendu, appliqué la tension d'alimentation. L'inverseur peut être remplacé par deux boutons poussoirs, comme nous allons d'ailleurs le faire ici.

L'aiguille est attirée par un électro-aimant. Cet électro-

aimant est alimenté à travers un interrupteur (E1 ou E2) quand l'aiguilleur actionne le levier de commande S. Actionnons l'inverseur S pour le mettre en contact avec E1 (qui est fermé). Il va circuler du courant à travers L1 : l'aiguille, qui se trouve en ce moment du côté de L2 par qui elle a été attirée lors de la dernière inversion de S, va basculer vers L1 et ouvrir au passage l'interrupteur E1 de sorte qu'il ne circule plus de courant à

travers L1. L'aiguille s'immobilise, non sans avoir fermé l'interrupteur E2.

Selon la position dans laquelle se trouve l'inverseur S représenté sur la figure 1, la dernière commande de S avait activé L2. L'aiguille, en se déplaçant pour répondre à cette commande, avait d'une part ouvert en fin de course le contact E2, ce qui a eu pour conséquence d'interrompre le circuit d'alimentation de L2, et avait d'autre part fermé le contact E1. C'est donc la bobine L1 qui était alimentée, lorsqu'on a actionné S pour renvoyer l'aiguille comme nous l'avons fait ci-dessus.

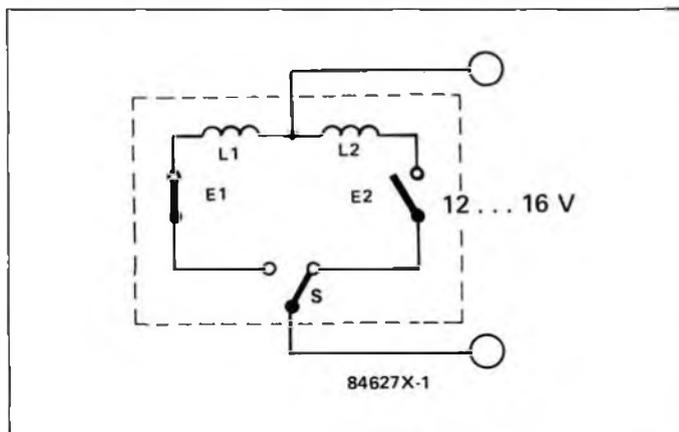


Figure 1 - Principe de la commande électro-mécanique d'un aiguillage. Le mouvement de l'aiguille interrompt le contact à travers lequel circulait le courant de commande, et provoque en même temps la fermeture du contact qui permettra de rappeler l'aiguille dans sa position initiale. E1 et E2 sont les contacts de fin de course et S le « levier » de commande.

L'aiguille commandée par L1 ouvre, en arrivant en fin de course, le contact E1 et ferme le contact E2, pour préparer une nouvelle commande d'inversion.

Ce va-et-vient électromécanique peut être mis à profit pour produire un signal lumineux qui rende

compte de la position de l'aiguille. C'est ce que nous allons faire avec le circuit de la **figure 2**. Il nous faut deux transistors comme interrupteurs électroniques, des LED bien sûrs, et quelques composants annexes.

Quand l'aiguille est dans la position représentée sur le schéma, il circule à travers R2, D2, la base de T2 et son émetteur un petit courant. Ce transistor conduit et les diodes électroluminescentes D6 et D7 s'allument.

Pour manoeuvrer l'aiguillage, il faut appuyer sur S2. Le potentiel de la base de T2 s'effondre et ce transistor se bloque. Les LED D6 et D7 s'éteignent. En même temps l'aiguille change de position, ce qui a pour effet d'ouvrir le contact E1 et de fermer l'autre à travers lequel circule maintenant un courant de base pour T1 : celui-ci conduit et les LED D4 et D5 s'allument.

Vous n'aurez aucune difficulté à imaginer ce qui se passera lorsque vous appuierez sur S1...

Si deux LED ont été prévues par voie de bifurcation, c'est pour que l'on puisse en monter une à proximité de la voie elle-même et l'autre sur le pupitre de commande à proximité des boutons S1 et S2 ou, le cas échéant, de l'inverseur S. Si vous trouvez que c'est trop, il suffit de remplacer par exemple D4 et D6, par un pont de câblage.

La tension d'alimentation pourra être comprise en gros entre 12 et 16 V. Peu importe qu'il s'agisse d'une tension continue ou alternative. Si la tension disponible est alternative, D3 se charge d'en bloquer les demi-alternances négatives, tandis que le condensateur de lissage C1 s'efforce de combler le fossé entre les demi-alternances positives pulsées.

Grâce au plan d'implantation des composants de la **figure 3**, il ne sera pas difficile de réaliser le circuit en quelques dizaines de minutes tout au plus. Si vous respectez la polarité du condensateur et celle des

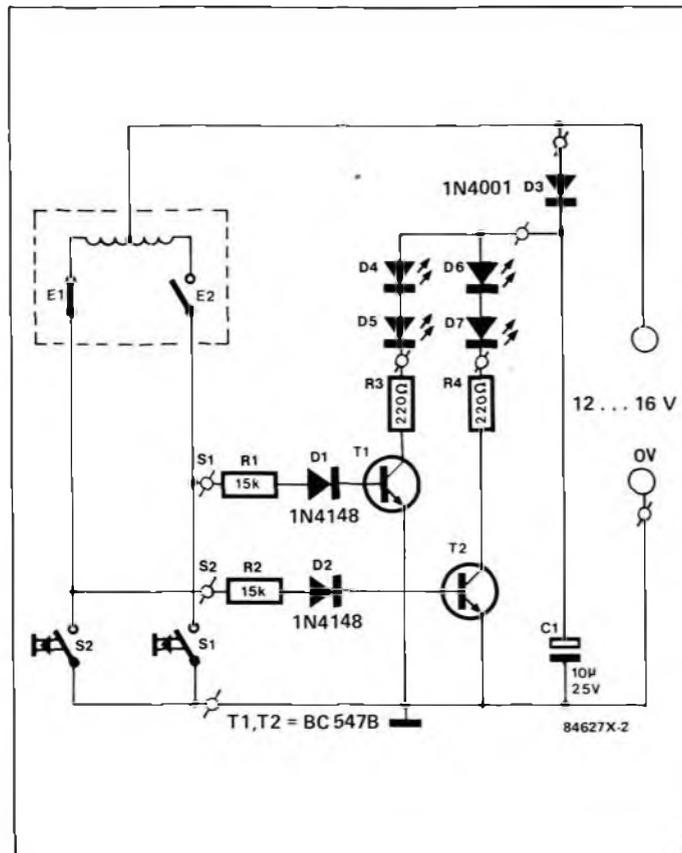


Figure 2 - Schéma complet de l'indicateur de position d'aiguillage de bifurcation, avec les deux bobines et les interrupteurs de fin de course de l'aiguillage lui-même. L'inverseur S de la figure 1 est remplacé ici par deux boutons poussoirs distincts, S1 et S2. Si vous n'en voyez pas l'utilité, vous pouvez supprimer deux des quatre LED, à condition de les remplacer par un pont de câblage.

diodes, en prenant soin de mettre les transistors dans le sens indiqué, tout ira bien. Pour vérifier le fonctionnement du circuit, vous pouvez, pour commencer, essayer avec une pile de 9 V comme source de tension. Le pôle négatif de la pile sera relié en bonne logique à la masse du circuit (0 V). La borne positive pourra être reliée à l'anode de D3. L'aiguillage n'est pas encore monté. Reliez le point S1 à la borne positive de la pile : les LED D4 et D5 doivent s'allumer. Si vous mettez le point S2 au +, ce sont D6 et D7 qui doivent s'allumer.

Si vous n'obtenez pas le résultat escompté, vérifiez vos soudures, le câblage, et surtout la polarité des diodes et des LED (le méplat au bord du boîtier indique que l'électrode qui se trouve de ce côté-là est la cathode). Une fois que le fonctionnement aura été dûment vérifié, il ne reste plus qu'à monter l'indicateur, éventuellement en plusieurs exemplaires, là où vous en avez besoin.

LISTE DES COMPOSANTS

R1, R2 = 15 kΩ
 R3, R4 = 220 Ω
 C1 = 10 µF/25 V
 D1, D2 = 1N4148
 D3 = 1N4001
 D4, D5 = LED rouge
 D6, D7 = LED verte
 T1, T2 = BC547A (B)

Divers :
 S1, S2 = poussoir
 1 platine d'expérimentation de petit format
 8 picots Ø1,2 mm

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

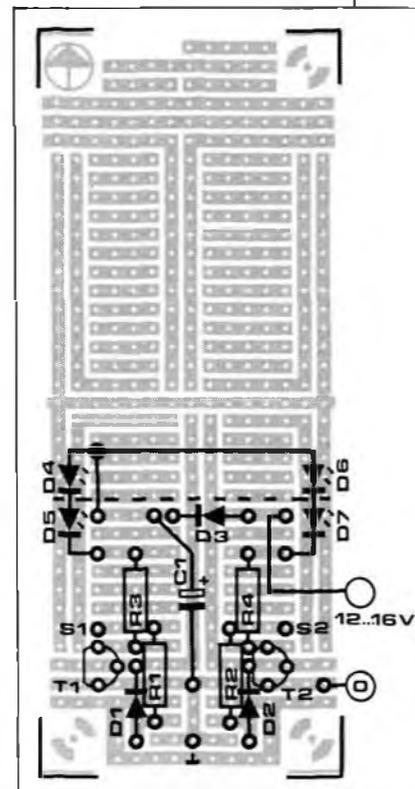


Figure 3 - Plan d'implantation des composants sur un morceau de platine d'expérimentation de petit format. Il reste largement assez de place pour en monter un deuxième exemplaire sur la même platine.

BS170

un transistor à effet de champ à grille isolée en forme de V

Rappelons brièvement que le transistor à effet de champ à grille isolée est caractérisé par la présence d'une couche d'oxyde de silicium (SiO_2) entre le substrat et la grille, comme le montre la **figure 1a**. Si vous avez bien lu l'article sur la famille FET de ce numéro, vous remarquerez qu'ici le canal drain-source est matérialisé (à tort; comparer à la figure 4 de l'article mentionné). La **figure 1b** montre comment est fait un transistor à effet de champ à grille isolée en forme de V. Non seulement la grille est en forme de V, mais les électrodes de source et de drain sont sur un plan vertical, et non plus horizontal comme sur les transistors MOS ordinaires.

Le BS170 est, toutes proportions gardées, aux transistors à effet de champ à grille isolée ce que le 1N4148 est aux diodes au silicium ou le 2N3055 aux transistors NPN de puissance.

Cette technique a été conçue au départ pour obtenir des transistors à effet de champ capables de fournir une puissance plus forte. Quand on s'est aperçu que les caractéristiques obtenues étaient remarquables, notamment la faible résistance du canal drain-source à l'état pas-

sant et l'excellente réponse aux hautes fréquences, on a appliqué le procédé à des transistors pour petits signaux. Le BS170 est un modèle du genre comme en rend compte le tableau 1, où apparaissent aussi les caractéristiques du BS250 qui est son équivalent à canal P.

Nous n'allons pas entrer plus en détail dans les arcanes du transistor à grille en V, pour nous tourner vers ses applications pratiques, ce qui sera sans doute plus du goût de nos lecteurs (oh! allons, un moment de honte si vite passé). Comme il s'agit d'un transistor courant et à moins de 10 francs, rien ne s'oppose à sa mise en oeuvre à des fins expérimentales.

Le BS170 est un transistor à effet de champ bloqué tant que sa grille n'est pas polarisée

Commençons par connecter le drain et la source comme indiqué sur la fi-

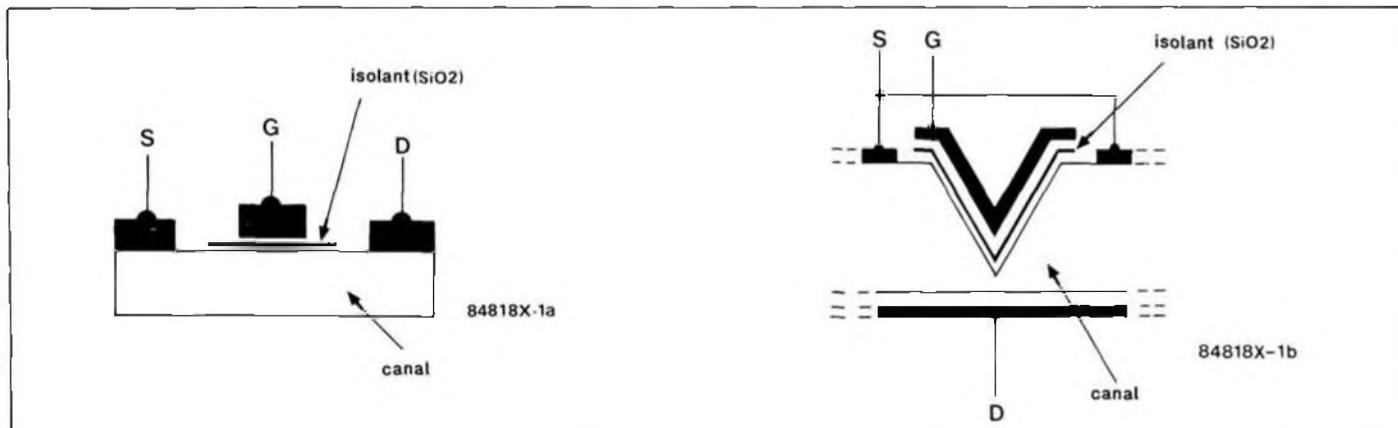


Figure 1 - À gauche, schématisation de la coupe d'un transistor MOSFET de la variété vulgaire. La grille est isolée du canal par une couche d'oxyde de silicium. La source et le drain sont disposées de part et d'autre de la grille. À droite, schématisation du transistor MOSFET à grille isolée en forme de V. Non seulement la grille est incrustée dans le substrat (dont elle est néanmoins isolée), mais les électrodes de drain et de source sont disposées de part et d'autre du canal, l'une du côté de la grille, l'autre en face. Ceci a permis de réduire l'encombrement des transistors MOSFET et d'en augmenter la puissance.

Fiche signalétique des transistors V-MOSFET BS170 et BS250.

Les valeurs limites ne doivent pas être dépassées, les caractéristiques sont des valeurs typiques.

Le courant de fuite de grille est le courant microscopique qui circule dans la grille bloquée. Les valeurs indiquées entre parenthèses sont celles du fabricant Ferranti. Les autres valeurs sont communes à ITT et Ferranti

Valeurs limites		BS170 canal N	BS250 canal P	
tension drain - source	U_{DS}	60	-45	V
tension drain - grille ($I_G = 0$)	U_{DG}	60	-45	V
tension grille - source	U_{GS}	± 25	± 25	V
courant de drain	I_D	0,3 (0,27)	-0,18	A
dissipation totale	P_{tot}	0,83 (0,63)	0,83	W
Caractéristiques				
courant de grille résiduel ($U_{GS} = 15$ V, $U_{DS} = 0$)	I_{GS}	10	20	nA
tension de seuil grille - source	$U_{GS(th)}$	0,8 à 3	1 à 3,5	V
courant de blocage de drain ($U_{DS} = 25$ V, $U_{GS} = 0$)	I_{Doff}	0,5	0,5	μ A
résistance de transfert ($U_{GS} = 10$ V, $I_D = 0,2$ A)	R_{DS}	3,5 [5]	9 [<14]	Ω
conductance ($I_D = 0,2$ A, $f = 1$ MHz)	g_m	200	150	mS

transistor. Or nous savons qu'il ne circule dans la grille d'un transistor à effet de champ que des courants de fuite microscopique (le tableau 1 indique 10 nA pour le BS170). La résistance de transfert grille-source est de l'ordre de 10^9 à $10^{11} \Omega$ (sur la figure 4 nous l'avons également représentée en pointillés sous la forme d'une résistance discrète). De sorte que quelque faible que soit la capacité du condensateur parasite grille-source, elle ne saurait être négligée puisqu'elle donne une constante de temps qui prolonge sensiblement la polarisation positive de la grille, entretenant la conductance du FET et la circulation d'un courant de drain.

La résistance grille-source du BS170 est de l'ordre de 10^9 à $10^{11} \Omega$

Il suffit de poser le doigt humide entre la grille et la source pour que la lampe s'éteigne immédiatement.

Figure 3, en laissant la grille en l'air. En l'absence de polarisation de la grille, le transistor reste bloqué. Mouillez votre index et posez-le sur la grille pour établir une liaison avec le pôle positif de la pile : la lampe s'allume puisque la grille est polarisée à présent par une tension positive. Les connaissances acquises lors de la lecture des deux articles de présentation du FET et de sa famille dans ce numéro, nous permettent d'affirmer que le BS170 est un transistor à effet de champ à enrichissement, puisqu'il est

bloqué tant que sa grille n'est pas polarisée... Enlevez votre doigt et observez la lampe : elle ne s'éteint pas aussitôt. Pourquoi ? Et pourquoi d'ailleurs s'éteint-elle progressivement ?

Creusez-vous les méninges ! Cherchez... Bzzz tac tac tucu tucu ding toco toco ding capa capa dong !

Alors ? Vous avez-dit « capa » ? Mais oui, mais oui ! Il y a de la capacité dans l'air, c'est évident. La grille en V forme avec la source un petit condensateur que nous avons représenté sur la figure 4 sous la forme d'un composant discret. Ce condensateur s'est chargé par le courant qui a circulé à travers votre épiderme humide pendant que vous aviez le doigt posé sur la grille. Et ensuite il n'a pu se décharger que dans le

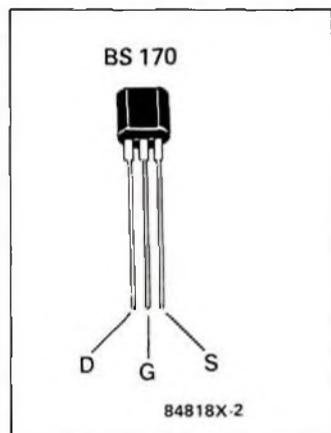


Figure 2 - Brochage des transistors à effet de champ à grille isolée en forme de V BS170 et BS250.

Attention aux brochages
Sur la figure 2 apparaît un brochage valable seulement pour les BS170 et BS250 du fabricant ITT. Les transistors de Ferranti ont la source et le drain intervertis par rapport à ce qui est indiqué là !

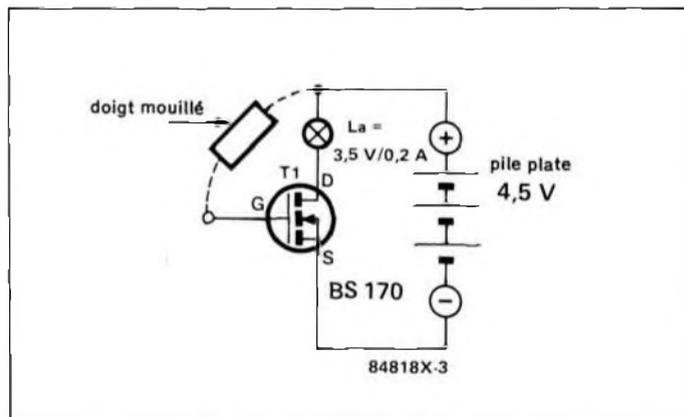


Figure 3 - En l'absence de polarisation de sa grille, le BS170 est bloqué. Pour polariser la grille, il suffit de poser un doigt mouillé entre grille et drain, après avoir pris soin de décharger l'électricité statique accumulée dans le corps en effleurant brièvement la ligne de masse.

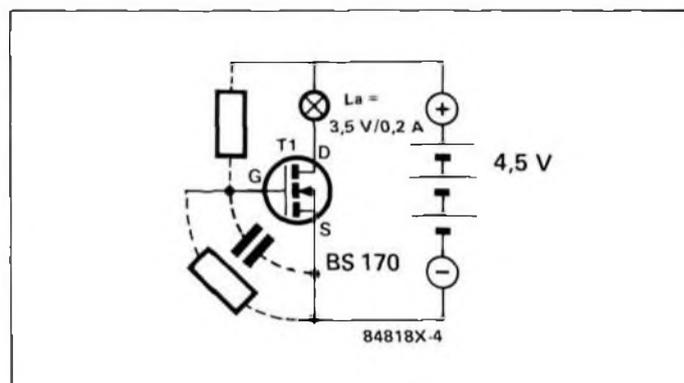


Figure 4 - La capacité parasite grille-source est extrêmement faible, mais son effet est loin d'être négligeable du fait de la très haute résistance interne du FET. Les pointillés indiquent qu'il ne s'agit là que de composants virtuels.

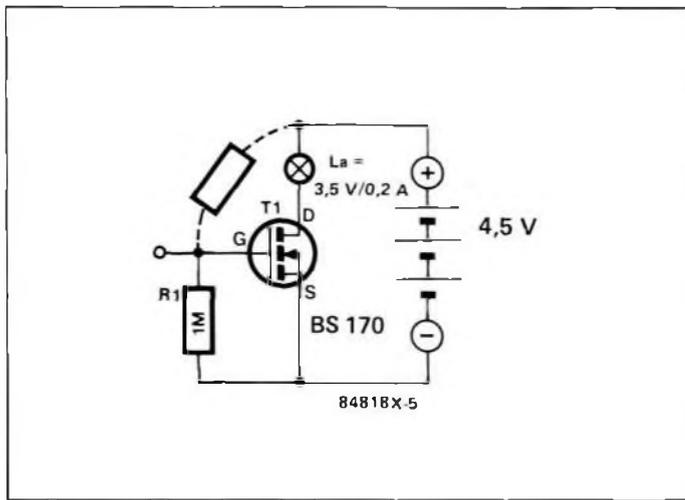


Figure 5 - La résistance de 1 MΩ rajoutée entre la grille et la source permet à la capacité parasite de se décharger rapidement dès que l'on retire le doigt posé entre la grille et le drain (pointillés).

Si l'on veut que cette fonction d'extinction soit automatique, il suffit de rajouter une résistance (de polarisation) de 1 MΩ entre la grille et la source, comme nous l'indiquons sur la figure 5. Tant que le doigt mouillé est posé sur la grille, celle-ci est polarisée par la tension positive. Aussitôt le doigt enlevé, la grille est forcée au potentiel de la source par R1 et la capacité parasite grille-source se décharge.

Et si on remplace R1 par un condensateur, que se passe-t-il quand on retire le doigt mouillé après l'avoir posé entre grille et drain ? Bzzz tac tac tucu tucu ding toco toco ding capa capa dong ! Alors ? (Ça fait un drôle de bruit quand je réfléchis, vous ne trouvez pas ?) Essayez donc, vous verrez qu'avec un condensateur de 1 nF pour C1 comme indiqué sur la figure 6, la lampe sera encore allumée au bout d'une heure. Il en faut du temps pour que le courant de fuite qui circule de la grille vers la source soit parvenu à décharger un condensateur de 1 nF !

Les composants MOS sont sensibles aux décharges d'électricité statique. Touchez la ligne de masse ou la ligne d'alimentation positive avant de toucher la grille

Avez-vous remarqué qu'au passage nous venons de confectionner un interrupteur à touches sensibles ?

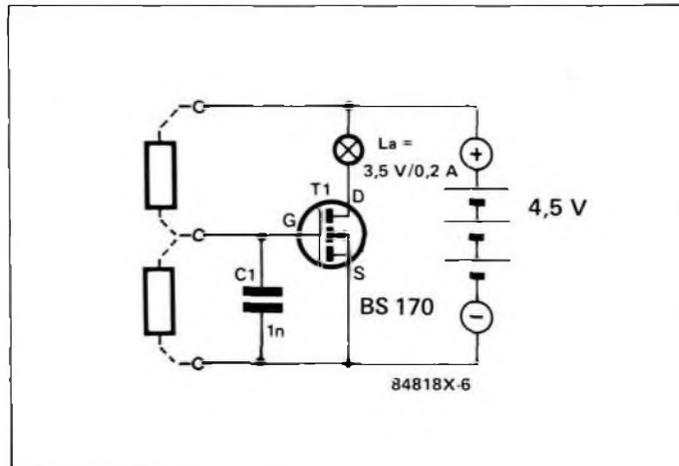


Figure 6 - Rajoutons un condensateur de 1 nF entre grille et source, et nous aurons un véritable interrupteur temporisé, à commande par effleurement (touches sensibles).

Posez le doigt d'un côté (résistance du haut sur la figure 6), la lampe s'allume, et de l'autre elle s'éteint (résistance du bas).

Les composants réalisés à partir de techniques MOS sont sensibles aux décharges d'électricité statique. La différence de potentiel entre la grille (isolée) d'un FET et le circuit dont elle est isolée, peut atteindre des valeurs très élevées ; or la minceur de la couche isolante est telle qu'il se produit une étincelle à travers elle : c'est le claquage. Au cours des expériences que nous vous proposons (et en règle générale chaque fois que vous manipulez des composants MOS), touchez la ligne de masse ou la ligne d'alimentation positive avec votre doigt mouillé avant de toucher la grille, de façon à mettre votre corps et celui du FET au même potentiel. Sinon c'est la défaite du FET...

Le transistor V-MOSFET BS170 ne supporte pas plus de 0,5 A de courant de drain. Pour l'employer dans des applications de puissance, il suffit de l'associer à une bête de somme comme le 2N3055 ou un autre cheval de ce type. Le schéma de la figure 7 montre comment faire pour accoupler le FET et la bête. Il s'agit en fait d'un circuit darlington : le courant drain-source du FET devient courant de base du 2N3055 qui l'amplifie à son tour, ce qui donne des intensités de 1 A et plus.

Nous avons utilisé ce circuit expérimental de FET de puissance pour com-

mander un moteur électrique alimenté sous 12 V. La fonction de la diode montée en parallèle sur le moteur est la suppression de l'inversion de tension lorsque le moteur s'arrête. Le même circuit peut commander d'autres charges, comme par exemple un relais. Sur la figure 8, nous vous proposons un interrupteur commandé par la lumière ; la polarisation de la grille est assurée par une résistance de rappel variable (P1) opposée à une photorésistance (LDR). Quand celle-ci est éclairée, sa résistance baisse et avec elle la tension de polarisation de la grille : le FET se bloque, le moteur s'arrête, et ne se rallumera que lorsque l'obscurité sera rétablie. Il suffit, pour obtenir la fonction inverse, d'intervertir P1 et la LDR.

Le BS170 ne supporte pas plus de 0,5 A de courant de drain. Pour l'employer dans des applications de puissance, il suffit de l'associer à une transistor bipolaire de puissance pour former un étage darlington

Le caractère pratique de l'application de la figure 9 apparaît d'emblée : il s'agit

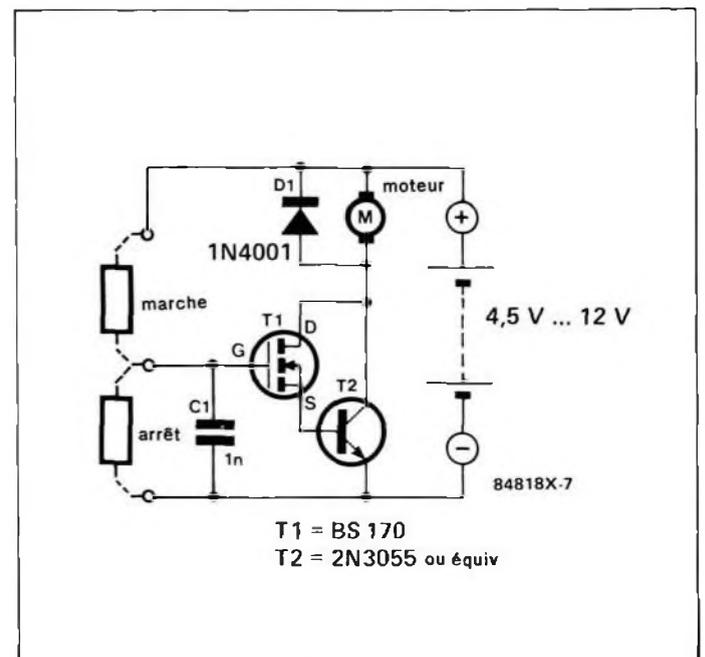
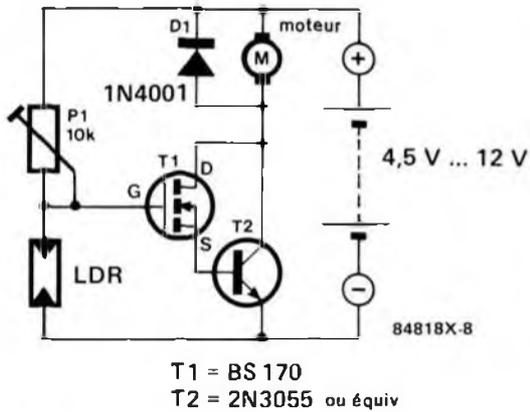


Figure 7 - Pour commander des charges « lourdes » comme par exemple un moteur électrique, il faut associer le FET à un transistor de puissance avec lequel il formera un étage darlington. La diode de roue libre D1 est indispensable pour protéger le circuit contre l'inversion de potentiel qui intervient lorsque le moteur s'arrête : l'enroulement du stator cherche alors à restituer l'énergie que représente le champ élaboré juste avant l'arrêt du moteur.



L'interruption du trait gras qui représente le canal drain-source du BS170 indique qu'il s'agit d'un transistor à enrichissement. Attention au sens de la flèche de la source : sur les transistors à canal N, la flèche est tournée vers le composant, sur les transistors à canal P, elle est tournée vers l'extérieur.

Figure 8 - Le circuit est le même que celui de la figure 7, mais commandé maintenant par la lumière. Quand l'obscurité se fait, le moteur s'allume. Ne demandez pas à quoi ça pourrait bien servir...

d'un circuit de détection de niveau de liquide. Ici encore la grille est prise dans un diviseur de tension dont la résistance du bas n'est autre que celle du liquide à surveiller (une dizaine de kΩ). Aussitôt que le niveau atteint les deux sondes, le courant qui circule à travers R2 s'écoule vers la masse ; la grille est portée à un potentiel à peu près nul et T1 se bloque. Quand la marée redescend, le courant ne peut plus circuler et la grille repasse au potentiel du drain : la LED s'allume. La résistance R1 est là pour limiter l'intensité du courant qui traverse la LED. Si la valeur de la tension est ici de 12 V, ce n'est pas un hasard : ce circuit a été prévu pour surveiller le niveau du liquide dans le réservoir du lave-glace d'une auto. Si vous décidez de le réaliser, nous vous recomman-

çons d'employer un métal inoxydable pour confectionner les sondes (ni cuivre ni aluminium).

Ce circuit montre bien à quel point il est avantageux que le transistor à effet de champ soit commandé par une tension et non par un courant. Un transistor bipolaire ne fonctionnerait pas car le courant à travers R2 serait insuffisant pour le faire conduire. Et comme il est impossible de réduire la valeur de R2 compte tenu de la valeur élevée de la résistance du liquide... Pour en finir avec cette série d'applications, nous vous proposons sur la figure 10 un circuit qui ne manquera pas d'intéresser ceux qui habitent au bord d'un fleuve : la période des crues approche !

84818

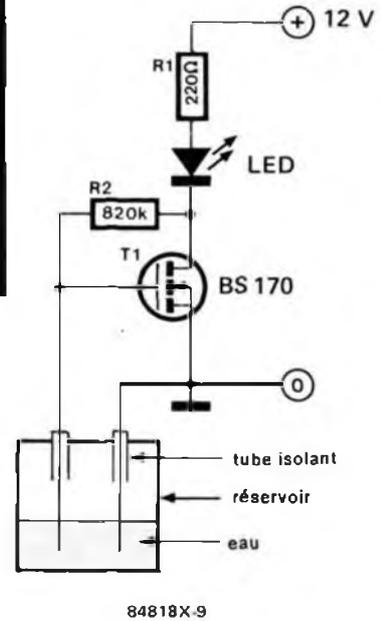


Figure 9 - La LED de ce circuit s'allume quand le niveau de l'eau n'atteint plus les deux sondes.

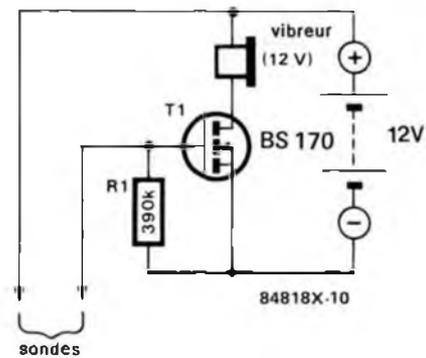


Figure 10 - La fonction de ce circuit est l'inverse de celle du détecteur de baisse de niveau de la figure 9. Ici le signal sonore retentit quand le niveau de l'eau atteint les deux sondes.

MAGNETIC-FRANCE

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

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

11, Place de la Nation, 75011 Paris **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.

ABC des AOP

quatrième partie du petit abécédaire des amplificateurs opérationnels

Le montage sommateur

Le sommateur ou additionneur est représenté à la figure 1. Il comporte deux entrées, auxquelles sont appliquées les deux tensions à additionner, V_1 et V_2 . L'amplificateur opérationnel abaisse sa tension de sortie jusqu'à ce que la tension de l'entrée inverseuse (-) soit égale à celle de l'entrée non-inverseuse (+). Le point de sommation, correspondant à l'entrée inverseuse, est au même potentiel que l'entrée non-inverseuse, c'est une masse virtuelle (figure 2). Dans ces conditions, les résistances R_1 et R_2 sont traversées chacune par un courant. Comme les entrées de l'amplificateur opérationnel ne consomment aucun courant, les courants qui traversent R_1 et R_2 ne vont pas à la masse, mais traversent la résistance de contre-réaction R_{CR} .

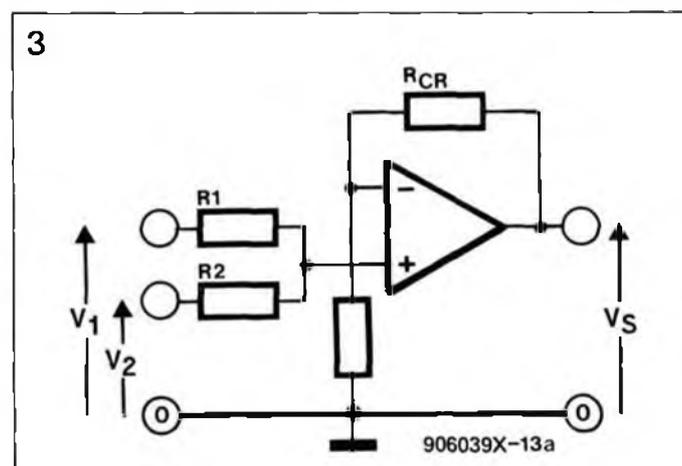
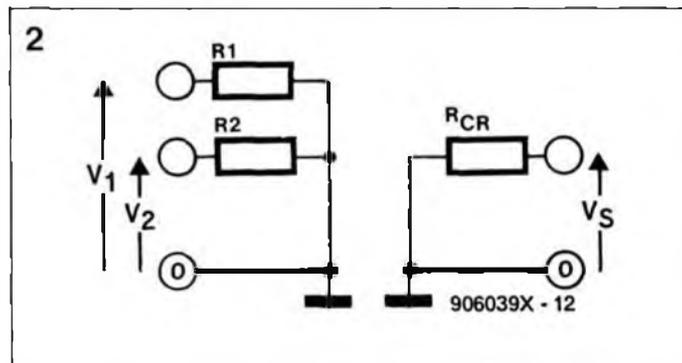
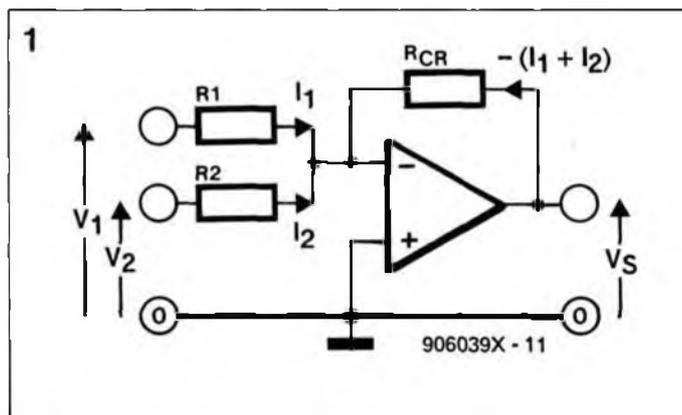
Si les tensions d'entrée sont positives, la tension de sortie doit être négative pour faire naître dans R_{CR} un courant de même sens que I_1 et I_2 . La tension de sortie se calcule, encore une fois, grâce à la loi d'Ohm :

$$-V_S = R_{CR} \times (I_1 + I_2)$$

ou, en remplaçant les courants par le rapport entre tension et résistance (nous avons l'intention de déposer le verbe *loidomer*):

$$-V_S = R_{CR} \times \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$

Donnons la même valeur à R_1 , R_2 et R_{CR} . Nous pouvons diviser les deux membres du rapport par le même nombre, autrement dit simplifier par $R = R_1 = R_2 = R_{CR}$.



La tension de sortie du montage sommateur est égale à :

$$-V_S = V_1 + V_2$$

Nous avons supposé jusqu'ici que les deux tensions étaient positives. C'était commode pour le raisonnement, mais ce

n'est nullement obligatoire. Les tensions d'entrée peuvent être toutes les deux négatives, ou l'une positive et l'autre négative. C'est l'amplificateur opérationnel qui fera la somme algébrique, en tenant compte des signes, et déterminera le signe de la tension de sortie.

Reprenons les formules ci-dessus et calculons ce que serait la tension de sortie si R_{CR} était égale à n fois R_1 :

$$V_S = -n \times (V_1 + V_2)$$

L'amplificateur opérationnel peut donc effectuer la somme de deux tensions ainsi que le produit de la somme par un facteur constant déterminé par le rapport entre la résistance d'entrée et la résistance de contre-réaction. Voilà qui nous rappelle la formule du gain de l'amplificateur inverseur.

Le montage de la figure 1 présente quelques inconvénients : d'une part la tension de sortie est de polarité opposée à celle d'entrée, d'autre part l'impédance d'entrée du montage est faible. Ces deux inconvénients sont liés à l'utilisation de l'entrée inverseuse. Le montage de la figure 3 est un additionneur non inverseur qui donne en sortie une tension égale à la somme des tensions d'entrée, sans inversion de signe. L'impédance d'entrée reste déterminée par la valeur des résistances R_1 et R_2 , donc relativement faible.

Il est possible, comme presque toujours, de faire précéder les résistances de sommation par des étages suiveurs pour élever l'impédance des entrées, ou bien de faire suivre la sortie par un étage inverseur à gain unitaire pour rétablir la polarité initiale.

Le nombre des entrées n'est pas limité à deux : si vous ajoutez des résistances, vous obtiendrez en sortie la moyenne des tensions d'entrée, à condition, là encore, que les résistances R_{CR} , R_1 à R_n soient égales.

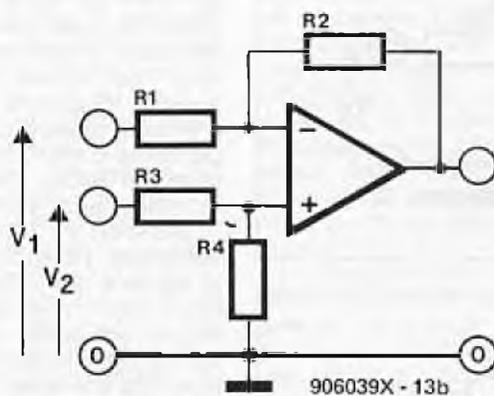
Le montage soustracteur

L'addition de deux tensions, par l'additionneur inverseur de la figure 1 ou par l'additionneur non inverseur de la figure 3, se fait toujours sur une seule des entrées de l'amplificateur. Le montage de la figure 4 est un amplificateur différentiel ou montage soustracteur. Il utilise les deux entrées de l'amplificateur opérationnel, contrairement aux exemples précédents.

Assoyez-vous confortablement. Jetez un coup d'œil un peu plus loin, constatez que ça redevient simple et admirez ci-dessous la formule qui définit la tension de sortie du montage :

$$V_S = -\frac{R_2}{R_1} V_1 + \frac{R_4}{R_3} \times \left(\frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_4}{R_3}} \right) \times V_2$$

4



Joli, mais un peu compliqué. Donnons à R2 la même valeur que R1, à R4 la même valeur que R3. Le rapport R2/R1 devient égal à 1, tout comme le rapport R4/R3. La formule devient quelque chose comme ça :

$$V_S = -V_1 + V_2$$

Ce qui est beaucoup plus sympathique et valait bien qu'on patiente jusque là. La tension de sortie est égale à la différence entre les deux tensions d'entrée. Ou encore la tension différentielle d'entrée est transposée en une tension de sortie référencée à la masse.

La somme de différences ou la soustraction de sommes

Prenez le circuit de la figure 4, ajoutez celui de la figure 3, puis celui de la figure 1, agitez, coupez ce qui dépasse, et vous obtenez le circuit de la figure 5.

Ce schéma est celui d'un montage soustracteur à entrées doubles. La tension de sortie est égale à :

Là encore, nous nous facilitons la tâche en considérant le cas particulier où $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_{CR}$. La formule générale de calcul de la tension de sortie est :

$$V_S = -(V_1 + V_2) + (V_3 + V_4)$$

$$V_S = (K_3V_3 + K_4V_4) - (K_1V_1 + K_2V_2)$$

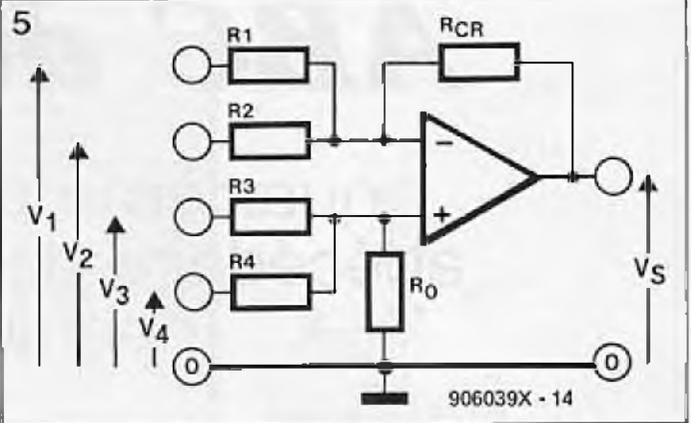
où $K_n = R_n / R_{CR}$, ou R_n / R_0 selon le cas.

Les entrées doubles pourraient tout aussi bien être multiples. Comme dans le cas du sommateur, la résistance de contre-réaction peut avoir une valeur n fois plus grande que les résistances d'entrée pour donner par exemple :

$$V_S = n(V_3 + V_4) - (V_2 + V_1)$$

Pour le cinquième acte, nous verrons l'entrée en scène de l'amplificateur opérationnel dans le rôle de l'amplificateur de courant et dans celui du convertisseur tension-courant, qu'il interprète à la façon du tube à vide. La location est ouverte.

906039



5

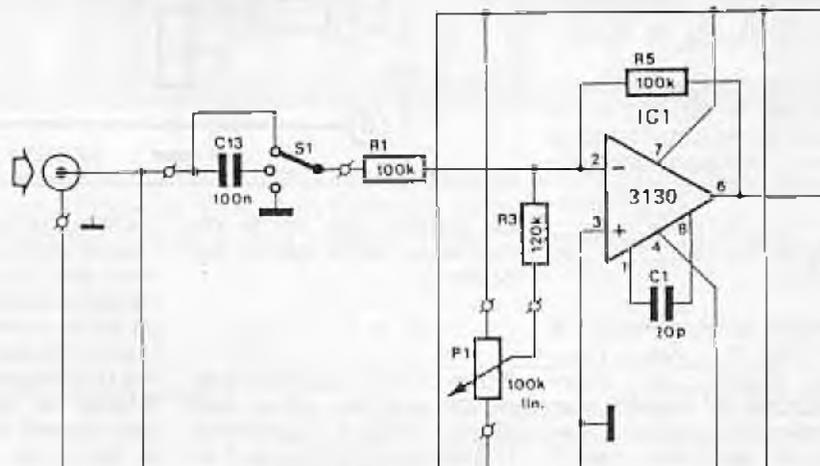
où $K_n = R_n / R_{CR}$, ou R_n / R_0 selon le cas.

Les entrées doubles pourraient tout aussi bien être multiples. Comme dans le cas du sommateur, la résistance de contre-réaction peut avoir une valeur n fois plus grande que les résistances d'entrée pour donner par exemple :

Exemple d'application pratique

Les plus observateurs auront reconnu un extrait d'un schéma publié dans le n°13, page 49. Il s'agit de l'étage d'entrée de l'extension double trace pour oscilloscope monovoie.

Le potentiomètre P1 est relié aux deux sources d'alimentation, +9 V et -9 V. L'amplificateur opérationnel effectue une somme : celle du signal d'entrée et de la tension du curseur du potentiomètre P1. Une rotation de P1 modifie la tension de sortie, c'est elle qui permet de décaler verticalement la trace laissée sur l'écran par le signal d'entrée. Le signal n'est pas modifié, mais un décalage positif ou négatif lui est ajouté, déplaçant ainsi la trace au-dessus ou en-dessous du milieu de l'écran.



Dans ce numéro, nous nous sommes déjà étendus largement sur ce que l'on appelle les transistors à effet de champ, en les désignant par l'acronyme anglais FET au lieu du plus gaulois TEC. C'est là une des rares exceptions à notre règle de francisation des termes techniques.

Comme son nom l'indique, le circuit décrit ici permet de vérifier le bon fonctionnement d'un transistor à effet de champ à canal N après en avoir déterminé le brochage, du moins facilité la recherche de la broche de grille. On pourra aussi évaluer la tension de pincement par un contrôle visuel de la luminosité de la LED, voire la mesurer précisément à l'aide d'un voltmètre.

Examinons le schéma tel qu'il apparaît sur la **figure 1**. La diode zener et le transistor T1 forment un régulateur de tension qui fournit, à partir de la tension d'alimentation de 18 V, une tension stabilisée à 10,6 V. Le supplément de 0,6 V ajouté aux 10 V de tension zener correspond à la tension de seuil du BC557.

Cette tension est appliquée à la source du transistor à tester, à laquelle est reliée également l'une des extrémités de la piste du potentiomètre P1. Le curseur de ce potentiomètre est relié à la grille du FET. Si vous avez lu les articles sur les transistors à effet de champ dans ce numéro, vous reconnaîtrez une configuration normale pour un FET.

En principe, un transistor à effet de champ à canal N conduit « de lui-même », et ne se bloque que si la grille est polarisée négativement par rapport à la source. Dès lors la zone P (à déplétion) s'élargit dans le canal N jusqu'à l'occuper entièrement et empêcher le passage du courant drain-source : sur la grille, la tension de pincement est atteinte.

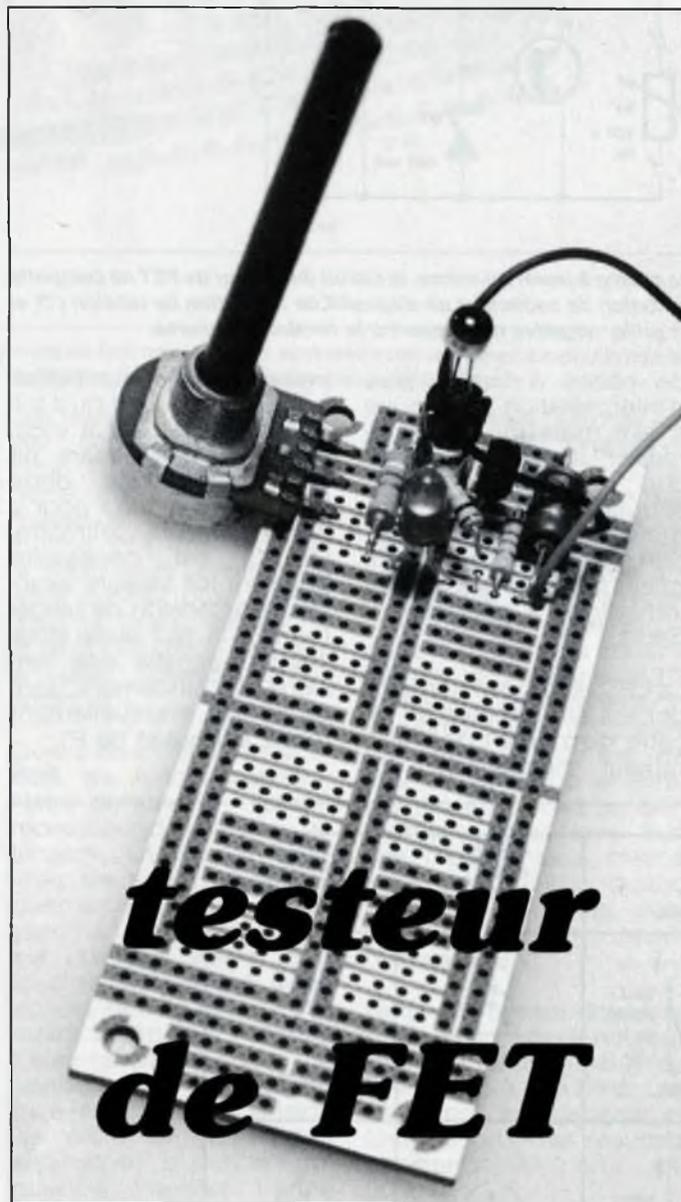
Comment la polarisation de la grille pourrait-elle être négative, puisque nous ne disposons que d'une tension d'alimentation positive ? Il vous sera facile de répondre à cette question si vous avez lu les articles

de présentation du FET dans ce numéro, ou tout simplement si vous êtes à l'aise avec les notions de potentiel et de référence. On demande que la polarisation de la grille soit négative, non pas par rapport à la masse (ce qui demanderait en effet une tension de signe - par rapport au 0V), mais par rapport au potentiel auquel est portée la source !

Vous avons vu que sur la

est de 0 V, c'est-à-dire quand le curseur est du côté de la source, la LED D2 s'allume, à condition que le FET soit en bon état et branché comme il faut. Si l'on modifie à présent la position du curseur de P1, la tension de grille devient négative par rapport à la tension de source : la luminosité de la LED décroît progressivement jusqu'à l'extinction totale.

Quand la LED s'éteint, la



source régnait une tension de 10,6 V. Selon la position du curseur de P1, la tension de grille sera au plus de 10,6 V, c'est-à-dire nulle si on la mesure par rapport à la source, et au minimum de 0 V, c'est-à-dire de -10,6 V mesurés par rapport à la source. Quand le curseur de P1 est à mi-course, nous aurons $U_{GS} = 5,3 \text{ V} - 10,6 \text{ V} = -5,3 \text{ V}$.

Quand la différence de potentiel entre grille et source

tension de pincement est atteinte. Si le bouton monté sur le potentiomètre est muni d'une échelle graduée, on pourra y lire la valeur approximative de cette tension de pincement. Pour obtenir une plus grande précision, il suffit de monter un voltmètre entre grille et source (la borne positive à la source et la borne négative à la grille).

Si le FET à tester n'est pas

bien monté, il ne se passe rien. Pour chercher le brochage convenable, c'est-à-dire pour déterminer la position de la grille, il faut suivre les indications du **tableau**.

Il se trouve qu'il existe 3 brochages différents. Soit vous ne munissez votre testeur que d'un seul support, pour le brochage de la ligne supérieure du tableau, et vous déduisez le brochage des transistors des variations de la luminosité de la LED en fonction de la tension de grille, comme indiqué dans les deux autres lignes, soit vous munissez votre testeur de trois supports, avec pour chacun un brochage différent en fonction des trois positions possibles de la grille.

Supposons que c'est un BF256 que nous testons après l'avoir monté dans le support dont le brochage est conforme à la première ligne du tableau !. Sa grille est à un potentiel de 10,6 V et la LED est allumée quand le curseur est en butée du côté de la source. Tournez le curseur de P1 ; la luminosité de la LED décroît. Si vous continuez de tourner après que la LED se soit éteinte, celle-ci se rallumera un peu plus loin (colonne de gauche du tableau, deuxième ligne).

Si vous avez placé le transistor à l'envers (rotation de 180°), la grille est à la place du drain, et se voit appliquer la tension de 18 V à travers D2 et R2. La LED ne s'éteint pas, quelle que soit la position du curseur de P1, car maintenant le FET fonctionne comme une diode polarisée en sens direct.

Dans un cas comme dans l'autre, l'indication est « fausse ». On en déduit que la broche centrale ne peut pas être la grille. C'est donc l'une des deux broches extérieures. Une fois la grille identifiée, on vérifie que le transistor répond comme indiqué dans la première ligne du tableau aux variations de P1. On en profite pour mesurer au passage la tension de pincement.

Ces histoires de brochage sont assez embêtantes, d'autant qu'elles se cor-

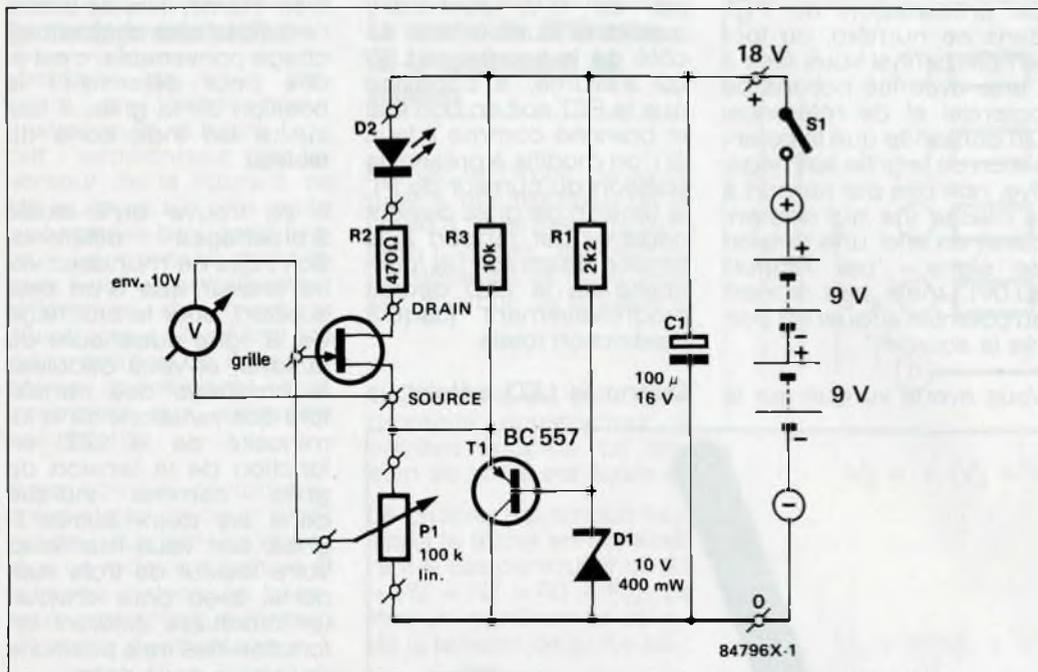


Figure 1 - Outre le transistor à effet de champ à tester lui-même, le circuit du testeur de FET ne comporte qu'une LED avec sa résistance de limitation de courant et un dispositif de régulation de tension (T1 et D1). C'est P1 qui règle la tension de grille, négative par rapport à la tension de source.

sent quand le brochage est donné tantôt vu de dessus (support) tantôt vu de dessous (composant). C'est pourquoi nous ne saurions vous recommander assez chaudement de prévoir, lors de la mise en coffret du testeur, trois supports au lieu d'un seul. Le premier sera câblé conformément au brochage avec grille au milieu, le deuxième avec la grille à gauche, le troisième avec la grille à droite. Ainsi, plus

de pattes à tordre, plus d'interprétation nébuleuse à faire, mais une lecture directe. Placez à côté de chacun des supports une étiquette portant clairement le brochage du support, et éventuellement quelques références de transistors correspondants.

La LED et le potentiomètre doivent être montés en façade, de même que l'interrupteur marche-arrêt. Ne

prenez donc pas un boîtier trop petit, d'autant qu'il y a deux piles de 9 V à y caser. Il est intéressant de prévoir d'emblée deux douilles « banane » pour y connecter un voltmètre. Celui-ci est nécessaire pour lire les valeurs exactes de la tension de pincement. Il le faut aussi pour établir l'échelle des tensions de pincement dont on pourra éventuellement munir le bouton de P1.

84796

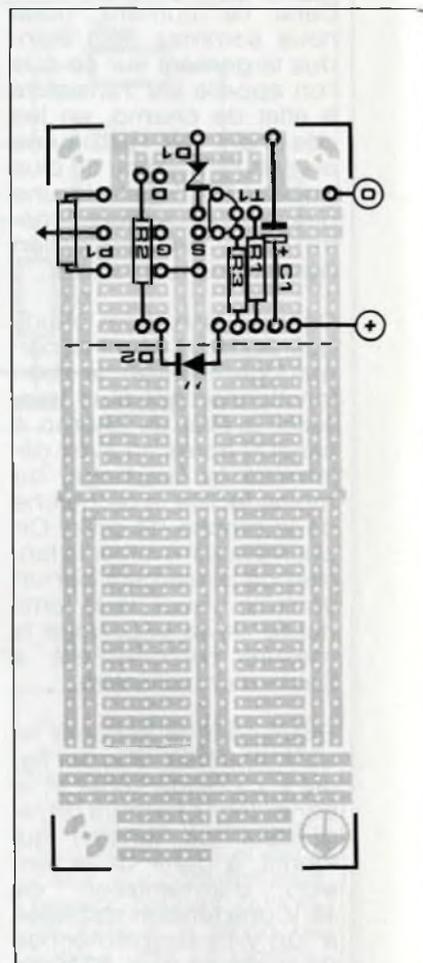


Figure 2 - Plan d'implantation des composants du testeur de FET sur une petite platine d'expérimentation dont la plus grande partie servira à immobiliser les deux piles. N'optez pas pour un coffret de trop petite taille, car malgré le faible encombrement de la platine elle-même, il faut loger, outre les deux piles, plusieurs organes de commande en façade.

luminosité de la LED en fonction de la tension de grille	support vu de dessus	brochage (vu de dessous)
		 2N3819/BF 244
		 BF 245/256/ J 300/J 310
		 E 300/E 310

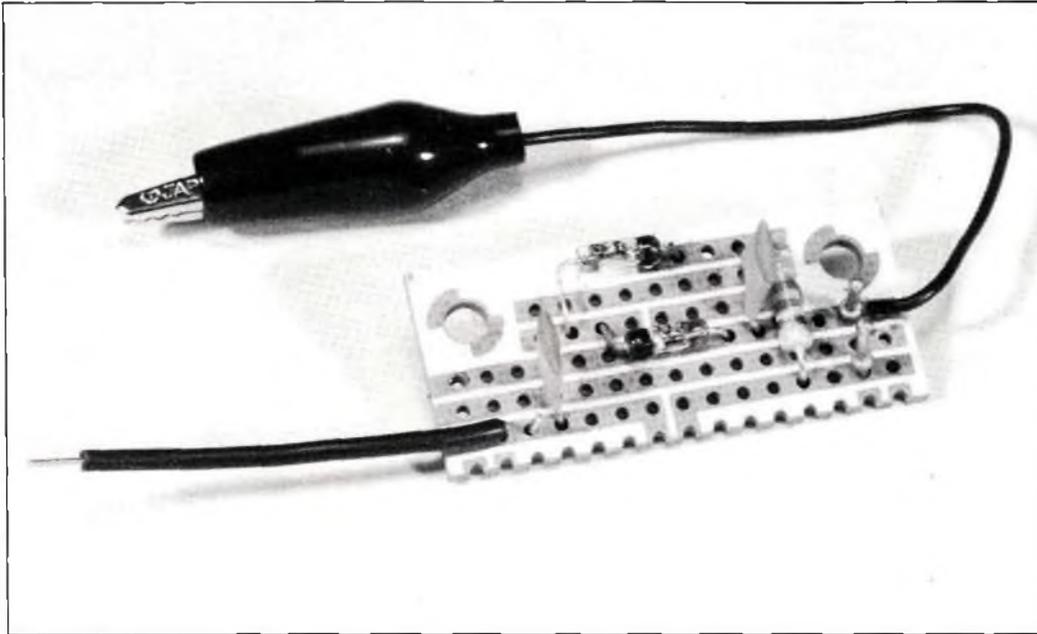
Tableau - Il existe plusieurs brochages de FET, avec des positions de grille différentes. Si vous testez par exemple un BF245 ou un E310 sur un support de test unique, conforme au brochage de la ligne supérieure du tableau (2N3819, BF244), la deuxième et la troisième lignes de ce tableau vous indiquent les observations que vous ferez en fonction du brochage particulier de ces composants.

LISTE DES COMPOSANTS

- R1 = 2,2 kΩ
- R2 = 470 Ω
- R3 = 10 kΩ
- P1 = 100 kΩ lin.
- C1 = 100 µF/25 V
- D1 = zener 10 V/400 mW
- D2 = LED rouge
- T1 = BC557
- support(s) pour transistor
- 2 piles compactes de 9 V avec coupleurs à pression
- S1 = interrupteur
- platine d'expérimentation de format 1

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

sonde H.F.



Un fil rigide isolé convient comme pointe de touche. La masse sera reliée par une pince crocodile miniature et un fil souple. Si vous avez les doigts trop gros, essayez avec un taille-crayon.

Cet accessoire simple est indispensable si l'on veut mesurer par exemple la tension de sortie d'un oscillateur H.F. Un multimètre en fonction voltmètre alternatif ne convient pas, pas plus qu'un millivoltmètre audio. Ces appareils ont une limite de fréquence trop basse pour cet usage ; s'ils permettent de constater la présence d'un signal à haute fréquence, ils ne permettent pas de le mesurer.

S'agit-il, par exemple, de mesurer la tension de sortie d'un émetteur de CiBi ? La tension de sortie est amplement suffisante pour attaquer un multimètre ordinaire, mais l'appareil n'est pas sensible à une fréquence de 27 MHz. La sonde H.F. transforme la tension à haute fréquence en une tension continue, modulée éventuellement par une tension alternative à basse fréquence, si l'émetteur est à modulation d'amplitude.

Le circuit représenté en figure 1 est construit sur une chute de platine d'expérimentation : il ne comporte que deux diodes au germanium, deux condensateurs céramique et une résistance (figure 2). Vous pouvez aussi bien faire un câblage « en l'air » ou installer le montage, sans platine, dans un corps de stylo à bille.

Les raccordements à prévoir sont : deux picots pour le multimètre, une pince crocodile pour la masse et une pointe de touche. Si l'exécution de la photo vous convient, ne vous donnez pas plus de mal : le circuit fonctionne et sa présentation convient à une utilisation épisodique.

Quelques mots sur le principe de fonctionnement. Notre sonde H.F. est un redresseur-doubleur de tension. La tension délivrée en sortie peut attaquer un multimètre sur sa gamme 1V. Le doubleur est du type Villard. Son fonctionnement est aussi simple que le laisse supposer le schéma. Pendant l'alternance négative, le condensateur C1 se charge à travers D1 à la tension de crête de la tension alternative à haute fréquence. Pendant l'alternance positive qui suit le plus souvent -pour ne pas dire toujours- l'alternance négative, la diode D1 est bloquée et la tension de C1 s'ajoute à celle du signal d'entrée pour charger C2 à travers D2. La tension de C1, égale à la tension crête du signal d'entrée, se trouve en série avec le signal d'entrée. C'est donc à une tension de deux fois la valeur crête du signal d'entrée que se charge le condensateur C2.

Comme c'est souvent le cas en alternatif, une période est suivie par une autre. Si bien que le condensateur C2, chargé périodiquement, présente une tension continue. Voilà qui fait l'affaire de notre multimètre. La décharge de C2 dans le multimètre est limitée par la présence de R1 en série. Avec une tension de sortie de 1V, le courant qui traverse R1 est de 21 μ A, pas de quoi endommager les diodes au germanium. Rappelons que ces diodes, sans même avoir été malades quand elles étaient petites, sont de constitution plutôt chétive.

Notre redresseur doubleur de tension convient pour des fréquences égales ou inférieures à 150 MHz. Les mesures en laboratoire font ressortir des résultats constants à partir de 50 kHz.

84756

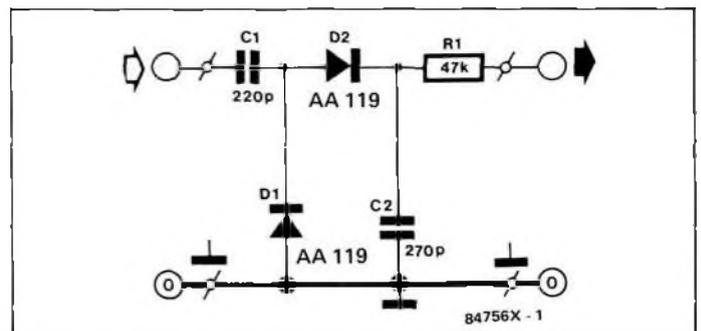


Figure 1 - Le schéma ne fait appel ni à des composants actifs ni à une quelconque source d'alimentation. E pur, si muove.

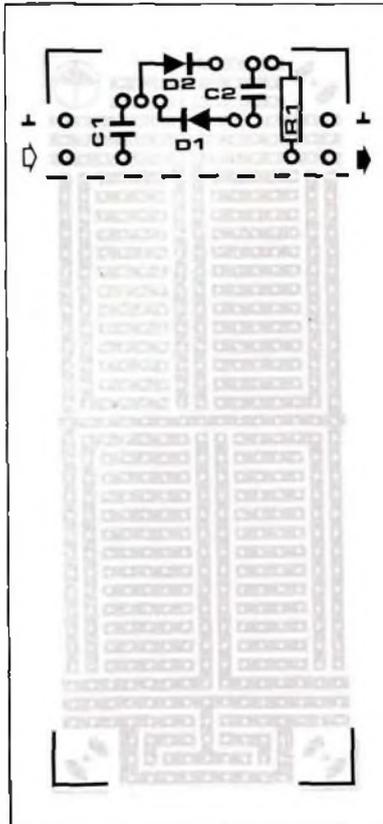


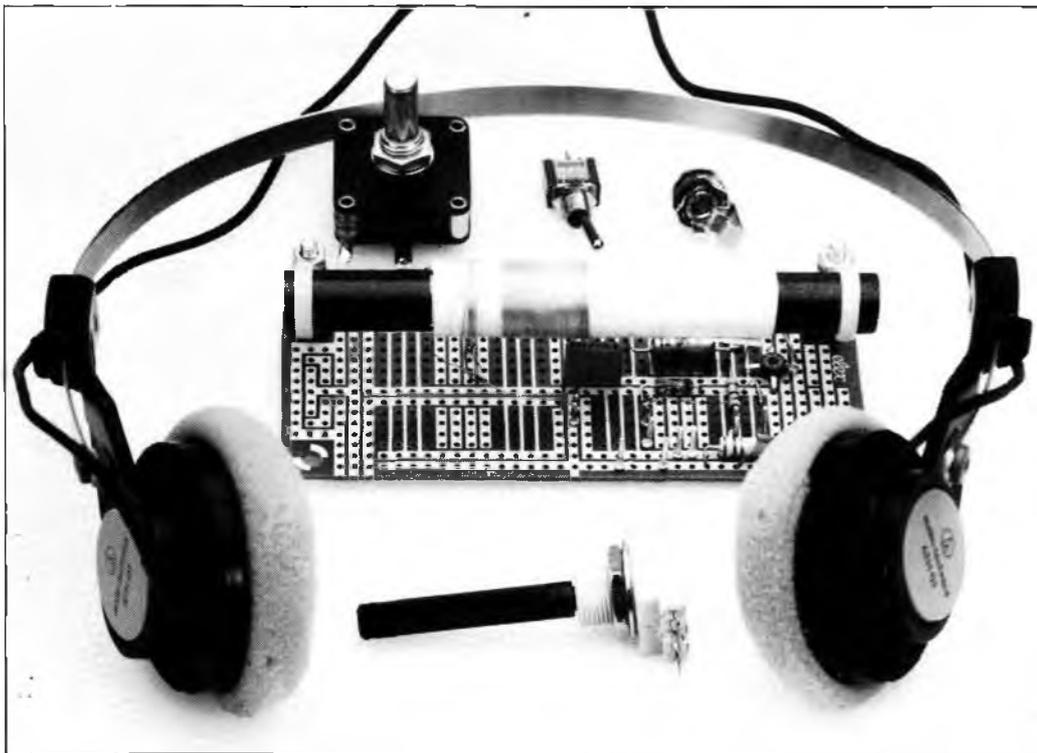
Figure 2 - Nous avons fait ce circuit simple, simple, simple, pour détecter les fréquences hautes, hautes et mesurer les tensions petites, petites, petites.

[Nous citerons dans eleprime d'un mois prochain, avec une mention élogieuse, les noms de ceux qui, ayant reconnu le poisson qui prendra la suite du raton-laveur, auront pris la peine de nous écrire]

Liste des composants parce que c'est l'habitude

- C1 = 220 pF céramique
- C2 = 270 pF céramique
- D1 = D2 = AA119 ou autre diode au germanium
- R1 = 47 k Ω
- pince crocodile, chute de platine

récepteur



à cristal de luxe

Nous avons déjà décrit bon nombre de récepteurs de radio. Celui de ce mois-ci est un récepteur à cristal tout simple, mais orné d'un amplificateur BF à FET double grille.

Le principe du récepteur à cristal est très ancien, mais ce n'est pas la plus ancienne méthode de réception des ondes radio. Le détecteur le plus ancien, qui a marqué les vrais débuts de la radio, est le **cohéreur** de Branly. Il n'est plus utilisé aujourd'hui, mais on peut encore en voir dans les musées.

Le cohéreur

Le cohéreur de Branly est un tube isolant, du verre en l'occurrence, rempli presque complètement de limaille métallique. Le contact entre les particules de limaille est mauvais du fait du remplissage partiel. La couche d'oxyde qui recou-

vre les particules métalliques rend la conduction encore plus mauvaise. Les deux causes cumulées donnent à l'ensemble une résistance de plusieurs centaines de kilohms. Lorsque le cohéreur est soumis à un champ électro-magnétique, à ce que nous appelons une onde, les particules métalliques subissent des déplacements microscopiques et se placent dans une disposition telle que la résistance électrique diminue fortement. Ce changement de résistance peut être détecté par un relais très sensible. L'inconvénient principal du cohéreur est qu'il reste dans son état conducteur après la réception et la mise en évidence d'un signal radio, même après la disparition du dit signal. La solution était un petit marteau actionné électriquement qui venait frapper le tube pour remettre la limaille dans son désordre initial. Le cohéreur n'était capable de

distinguer qu'entre la présence et l'absence de signal radio, ce qui lui permettait tout de même de recevoir des émissions en Morse. La transmission sans fil de parole ou de musique n'était même pas envisagée à l'époque.

Le détecteur à cristal

La réception avec un cohéreur n'avait rien d'idéal, d'où les recherches incessantes de nouveaux procédés. De la foule de détecteurs qui furent inventés, l'un est encore utilisé de nos jours dans les récepteurs à modulation d'amplitude : le récepteur à cristal. Au début de ce siècle, plusieurs chercheurs découvrirent des cristaux qui avaient la propriété de rendre audibles les ondes radio modulées en amplitude. Il suffisait que ces cristaux fussent connectés en série avec un écouteur entre une an-

tenne et la terre. L'exemple le plus connu est celui de la galène ou sulfure de plomb. La capacité de détecter propre aux cristaux est restée assez longtemps mystérieuse. La science moderne a mis en évidence les jonctions PN (des diodes) qui s'y trouvent à l'état naturel et expliquent leur fonctionnement comme détecteurs.

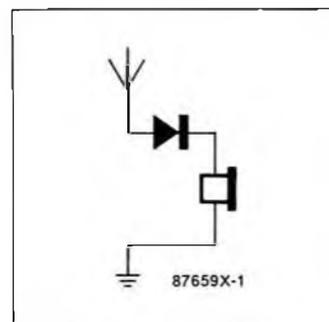


Figure 1 - Ce circuit on ne peut plus simple permet - essayez donc - de recevoir la radio. Faute d'organe d'accord, vous n'avez pas le choix et vous recevez en vrac tout ce qui arrive.

La représentation du récepteur à cristal au moyen de nos symboles modernes serait celle de la **figure 1**. Étonnement de votre part ! Et pourtant ce circuit fonctionne. Prenez une diode au germanium (AA119 par exemple) car c'est ce qui se rapproche le plus du cristal de galène ; connectez-y un écouteur à cristal, reliez la diode à une antenne (un simple fil) de quelques mètres, l'écouteur à une prise de terre autre que la broche de terre des prises de courant, votre récepteur est en état de marche. C'est le soir que vos chances de réception sont les plus grandes. Vous allez recevoir en même temps toutes les stations proches et puissantes, du fait que votre récepteur ne comporte aucun organe d'accord. La solution à ce problème passe par l'adjonction d'un filtre qui pourra extraire de cette cacophonie le signal de l'émetteur choisi. Le schéma de la **figure 2** représente la première amélioration au récepteur minimal : un circuit oscillant parallèle. Il est constitué d'une bobine et d'un condensateur. L'impédance (ou résistance au courant alternatif) de l'ensemble varie en fonction de la fréquence. Elle est maximale à la fré-

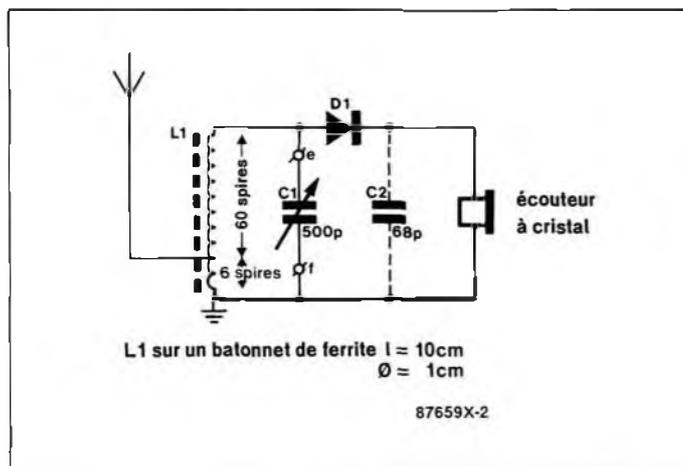


Figure 2 - Le circuit oscillant parallèle permet d'accorder le récepteur sur une fréquence donnée. Vous avez le choix, mais il reste limité aux émetteurs les plus proches.

ce de résonance et théoriquement nulle à toutes les autres fréquences. Ce phénomène résulte de l'impédance faible de la bobine aux fréquences basses, de l'impédance faible du condensateur aux fréquences élevées, et surtout des déphasages entre courant et tension. À la fréquence de résonance, le courant dans la bobine est en opposition de phase avec le courant dans le condensateur, si bien qu'ils s'annulent l'un l'autre et qu'aucune perte d'énergie ne se produit dans le circuit oscillant. Cette dernière affirmation mériterait d'être tempérée

par quelques remarques fort doctes sur le facteur de qualité d'un filtre, l'angle de pertes du condensateur et toute cette sorte de choses, mais ces épanchements de théorie n'ont pas leur place dans une revue d'amateurs débutants, n'est-il pas ? Le fait à retenir est que la tension aux bornes du circuit est maximale à la fréquence de résonance.

Transformateur élévateur

La bobine L1 a une deuxième fonction : celle d'un transformateur ou plus

précisément d'un auto-transformateur (voir éventuellement n°12). La portion de bobinage comprise entre la connexion d'antenne et la terre joue le rôle de primaire, la totalité du bobinage joue le rôle de secondaire. La tension captée par l'antenne et appliquée au primaire est transformée en une tension plus élevée avant d'être appliquée au détecteur. Il s'agit pour l'instant d'une tension alternative à haute fréquence modulée en amplitude, pas encore d'un signal audible.

La démodulation

Les variations d'amplitude de la tension représentée par la **figure 3a** correspondent à la **modulation d'amplitude**. La diode opère le redressement du signal : les alternances négatives sont bloquées et il ne subsiste que les alternances positives de la **figure 3b**. Cette tension continue puisée et ondulée est appliquée à l'écouteur à cristal qui reproduit les ondes sonores conformément à l'**enveloppe** du signal HF.

L'écouteur à cristal présente une haute impédance, ce qui est rendu

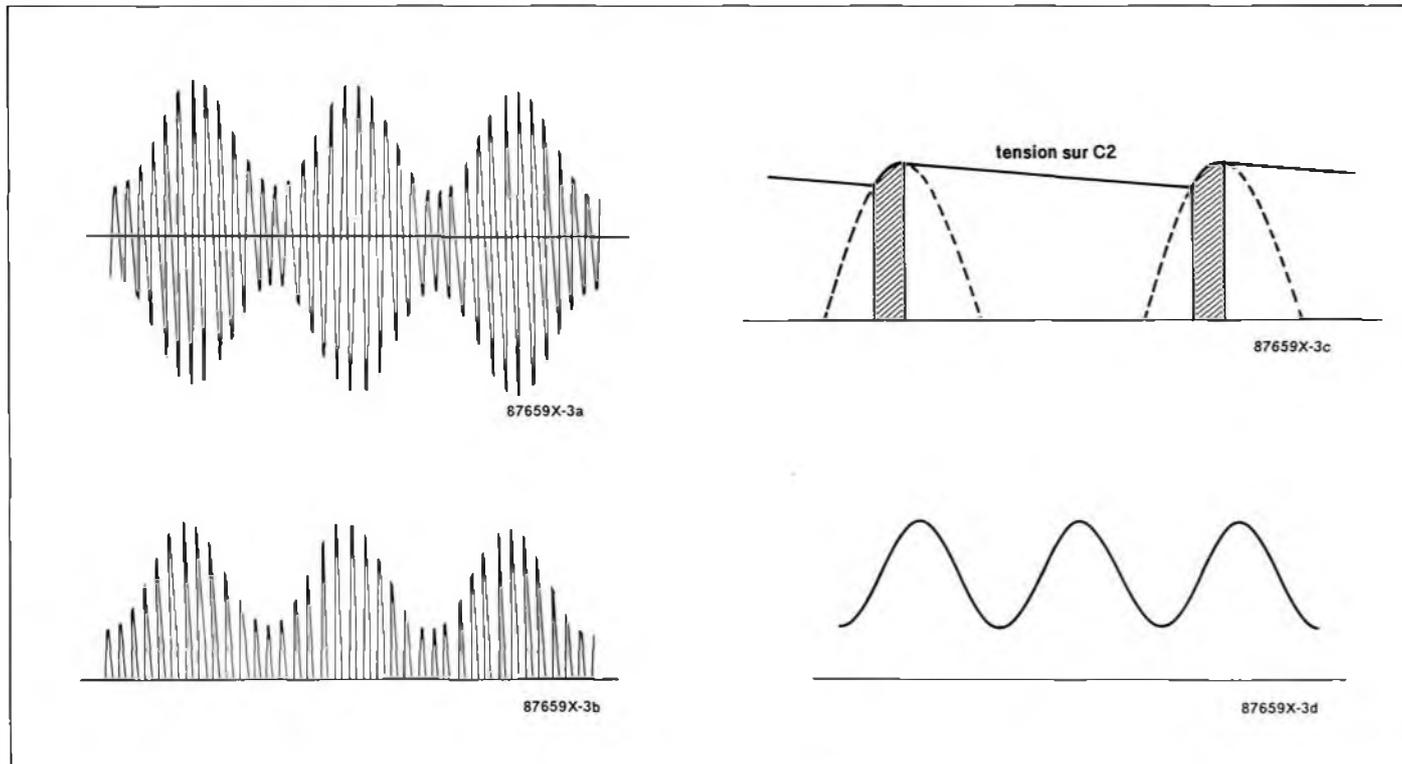


Figure 3 - L'amplitude de l'onde à haute fréquence est variable : elle est modulée par le signal audio à transmettre (a). Le fonctionnement du détecteur repose sur la propriété de la diode de redresser le courant alternatif, c'est-à-dire de ne le laisser passer que dans un seul sens (b). Le condensateur C2 joue le rôle du réservoir des alimentations : il bouche les trous (fortement exagérés ici) entre les impulsions (c). L'écouteur ou le casque voit une tension continue ondulée : l'enveloppe du signal HF ou signal modulant (d).

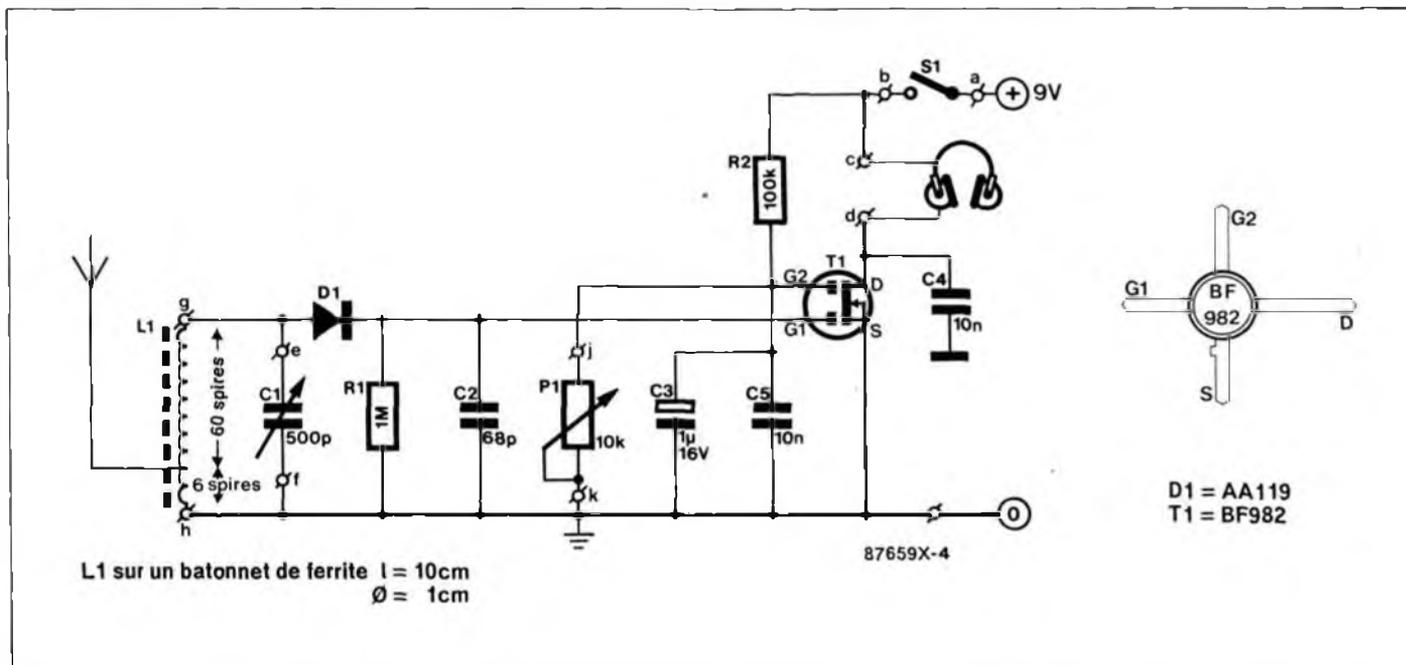


Figure 4 - Le récepteur complet est à peine plus compliqué que celui de la figure 2. Le FET à double grille ne sert qu'à amplifier le signal détecté par la diode au germanium.

nécessaire par la très faible puissance aux bornes du circuit oscillant. Cet écouteur présente en plus une capacité non négligeable, qui se révèle utile aussi dans le fonctionnement du montage. La capacité de l'écouteur contribue à faire de la tension continue pulsée une tension véritablement continue. Le condensateur se charge lors des impulsions de tension ; entre les impulsions, il reste chargé à la tension qu'il avait atteinte. La fonction de ce condensateur, ou de C2 représenté en pointillés, est la même que celle du condensateur « réservoir » des alimentations : il comble les « trous » entre les impulsions.

Vue sous un autre angle, la fonction du condensateur — que ce soit C2 ou le condensateur que contient l'écouteur — est de court-circuiter la composante alternative que comporte le signal redressé et de laisser subsister la composante continue.

La composante continue (figure 3d) est modulée en amplitude par le signal audio à transmettre.

L'écouteur transforme cette tension en un signal acoustique.

Auto-alimentation

Ce récepteur ne fournit au-

cune amplification au signal et ne demande donc pas d'alimentation. Toute l'énergie appliquée à l'écouteur provient de l'antenne, qui la reçoit des ondes radio. Il est évident qu'il n'y a pas de quoi réveiller tout le dortoir. Il est même à craindre que les habitués du baladeur n'entendent rien et croient que leur récepteur ne fonctionne pas. Pour ne rien gaspiller du peu d'énergie disponible, il faut utiliser une diode au germanium, dont le seuil de conduction est de 0,2 à 0,3 V, au lieu des 0,6 à 0,7 V de nos diodes modernes au silicium.

Si vous ne disposez pas d'un écouteur ou d'un casque à cristal, ne vous précipitez pas chez votre revendeur, vous pouvez compenser le manque de sensibilité d'un casque de baladeur par un petit amplificateur adaptateur d'impédance.

Des composants modernes pour un récepteur antique

Notre récepteur complet est représenté par le schéma de la figure 4. La partie réception proprement dite est inchangée. Les changements commencent après la diode, d'abord avec le condensateur C2, obligatoire puisque l'écouteur à cristal n'est plus là pour jouer son rôle. Le transistor à effet de champ

n'a pas une capacité suffisante pour filtrer les résidus de haute fréquence de la tension redressée. C'est une autre caractéristique du FET qui justifie la présence de la résistance R1. L'impédance d'entrée est énorme : il ne circule aucun courant par la grille (G1). En l'absence de résistance, le condensateur se chargerait à la valeur de crête de la tension redressée et aucun signal ne serait transmis. Le rôle de R1 est donc de décharger C2, pour que la tension suive effectivement les variations du signal audio original.

Le schéma montre une deuxième grille (G2), à laquelle nous ne sommes pas habitués. Nous savons que l'intensité du courant entre drain et source est déterminée par la tension sur la grille. C'est vrai aussi pour le FET à double grille, dans lequel l'intensité est déterminée à la fois par la tension de G1 et par celle de G2. Autrement dit nous disposons de deux moyens de faire varier le courant de drain de T1. Nous appliquerons à G1 la tension démodulée et à G2 une tension variable réglée par le potentiomètre P1. La rotation de P1 permet de faire varier le potentiel de G2 et par là le courant de drain du transistor. Le gain de T1 est en quelque sorte « pincé », si bien que nous disposons d'un réglage de volume

original. Les réglages de volume habituels prélevés par un potentiomètre une fraction de la tension disponible, celui-ci au contraire fait varier le gain de l'amplificateur. Ce qui est beaucoup plus élégant, disons-le puisque nous sommes libres maintenant.

Le FET à grille-grille n'est pas plus destiné à la réception de la stéréophonie qu'à la protection des sorciers africains contre les esprits malins.

Les condensateurs C3 et C5 mettent la grille G2 à la masse pour ce qui est des tensions alternatives. Il peut sembler curieux de mettre en parallèle un condensateur de 1 μ F et un autre de 0,01 μ F. La capacité résultante est de 1,01 μ F. Peut-on espérer une telle précision quand on sait que chacun est affecté d'une tolérance de 10% ?

Non, et la raison de cette mise en parallèle est autre : les condensateurs sont de types différents et présentent des caractéristiques particulières. Les condensateurs électrochimiques sont constitués de deux feuilles d'aluminium isolées par oxydation et enroulées pour limiter

l'encombrement. Cette disposition confère au condensateur une inductance importante qui se trouve connectée en série. L'impédance de cette inductance est négligeable à basse fréquence mais à haute fréquence, elle devient supérieure à celle du condensateur. Si le condensateur électrochimique C2 était seul, la grille G2 ne serait plus reliée à la masse vis-à-vis des tensions alternatives. Le circuit pourrait osciller à une fréquence assez haute, comme il a tendance à le faire.

Un condensateur de 10 nF a une inductance beaucoup plus faible que le condensateur chimique de 1 μ F. Du fait de sa faible capacité d'abord, du fait de son mode de fabrication ensuite ; il s'agit ici de feuilles de polyester métallisé empilées à plat. Ce condensateur est parfaitement à même de court-circuiter à la masse les hautes fréquences qui parviendraient à G2. Le montage des deux condensateurs en parallèle permet d'interdire toute oscillation du FET, par un découplage parfait de la deuxième grille, aussi bien en basse qu'en haute fréquence. Le rôle de C4 est aussi d'interdire les oscillations. Comme il ne s'agit de court-circuiter que les hautes fréquences, le condensateur de 10 nF est seul.

La construction

Un circuit aussi simple n'est pas bien difficile à construire. Respectez la disposition du plan d'implantation de la figure 5. Commencez par la fabrication de la bobine L1. Vous utiliserez un barreau de ferrite de 10 cm de long et de 10 mm de diamètre. Inspirez-vous de la photo (figure 6) pour bobiner 60 spires de fil de cuivre émaillé de 0,2 à 0,5 mm de diamètre. C'est pour faciliter le travail du photographe et rendre la photo plus parlante que le bobinage a été réalisé sur un manchon de papier. Ce n'est nullement nécessaire au fonctionnement, et vous pouvez bobiner à même la ferrite.

Les 60 premières spires

bobinées, réservez une grande boucle de fil et continuez avec les 6 spires restantes. Attention : les deux enroulements sont à faire dans le même sens. Ces 6 spires seront bobinées contre les 60 premières, l'intervalle visible sur la photo ne sert qu'à montrer qu'il y a deux enroulements.

Vous immobiliserez le fil par une couche de vernis ou de colle. La fixation du barreau sur la platine doit se faire par des colliers en matière plastique, car un cercle métallique fermé constituerait un court-circuit qui absorberait toute l'énergie captée par l'antenne.

Le condensateur variable C1 peut être récupéré sur un vieux poste de radio. Ceux qu'on trouve couramment comportent deux cages, l'une pour l'accord, l'autre pour l'oscillateur local (dans les superhétérodynes) ; c'est la plus volumineuse des deux qu'il faut utiliser, sa capacité maximale est de 400 à 500 pF. Le bâtonnet de ferrite, lui aussi, peut être une pièce de récupération.

La plupart des casques de baladeur sont utilisables. Comme il est probable que vous avez un modèle stéréo, vous câblerez l'embase jack de façon à mettre les deux écouteurs en série. Il suffit pour cela de laisser en l'air la connexion de masse qui leur est commune et de connecter les extrêmes aux points c et d du schéma.

L'antenne et la prise de terre

L'antenne et la prise de terre déterminent la qualité de la réception et le nombre de stations que vous pourrez capter. La prise de terre sera reliée à une conduite d'eau ou de chauffage central. Elles sont reliées à la terre par une prise distincte de celle de l'installation électrique, ce qui est indispensable pour votre sécurité.

L'antenne sera un simple fil isolé de quelques mètres (voire une dizaine) tendu si possible dehors.

87659

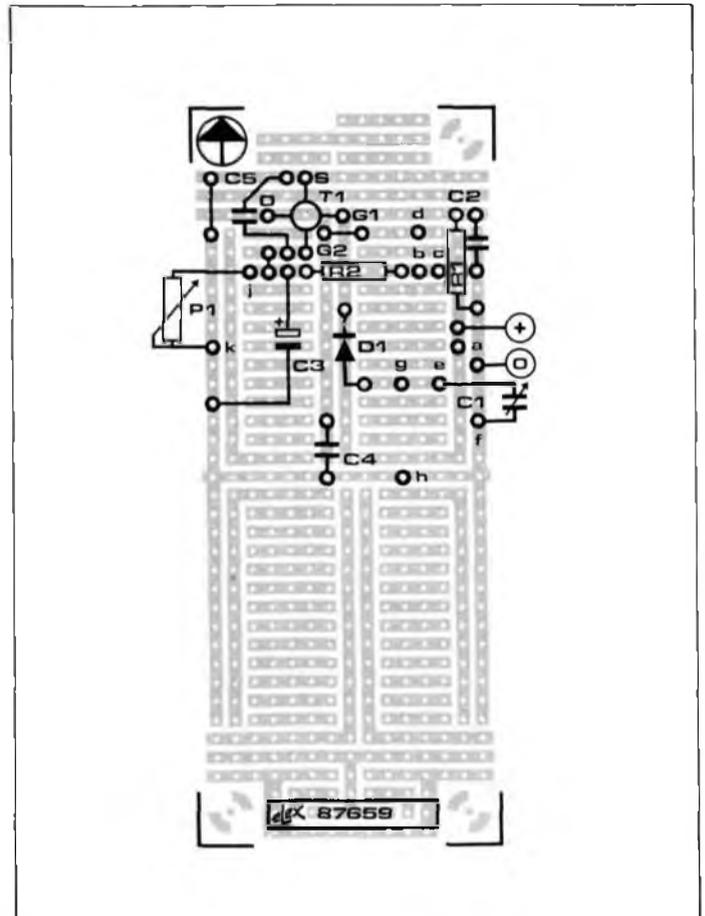


Figure 5 - Le plan d'implantation du récepteur est aussi simple que le schéma. Attention à l'implantation du transistor, un peu inhabituel.

Liste des composants du récepteur à cristal

R1 = 1 M Ω
R2 = 100 k Ω
P1 = 10 k Ω linéaire
C1 = 500 pF condensateur variable
C2 = 68 pF
C3 = 1 μ F/16 V
C4, C5 = 10 nF MKT ou MKH (polyester)

L1 = bobinage de 60 + 6 spires sur barreau de ferrite
D1 = AA119
T1 = BF982
S1 = interrupteur simple
2,5 m de fil de cuivre émaillé \varnothing 0,2 à 0,5 mm
casque ou écouteur
1 platine d'expérimentation de format 1
fil pour l'antenne
pile de 9 V et son coupleur

Nice **COMPOSANTS** 
DIFFUSION
J E A M C O
COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES
CONNECTIQUE INFORMATIQUE — KITS — SONO
MESURE — OUTILLAGE — MAINTENANCE
LIBRAIRIE TECHNIQUE
12 rue Tonduti de L'Escarène 06000 NICE
Tél: 93.85.83.78 Fax: 93.85.83.89

L'article du mois dernier nous a laissés sur notre faim. Nous en étions à la fin du report du dessin des pistes sur l'isolant cuivré. Les méthodes utilisables donnent des résultats dont la qualité est proportionnelle à la complexité du procédé. L'opération de gravure a pour but de débarrasser l'isolant de tout le cuivre qui ne sert pas au circuit. Il s'agit de le dissoudre dans un produit chimique, généralement un acide, qui n'attaquera pas les parties « réservées », c'est-à-dire protégées par la résine, l'encre ou les rubans adhésifs.

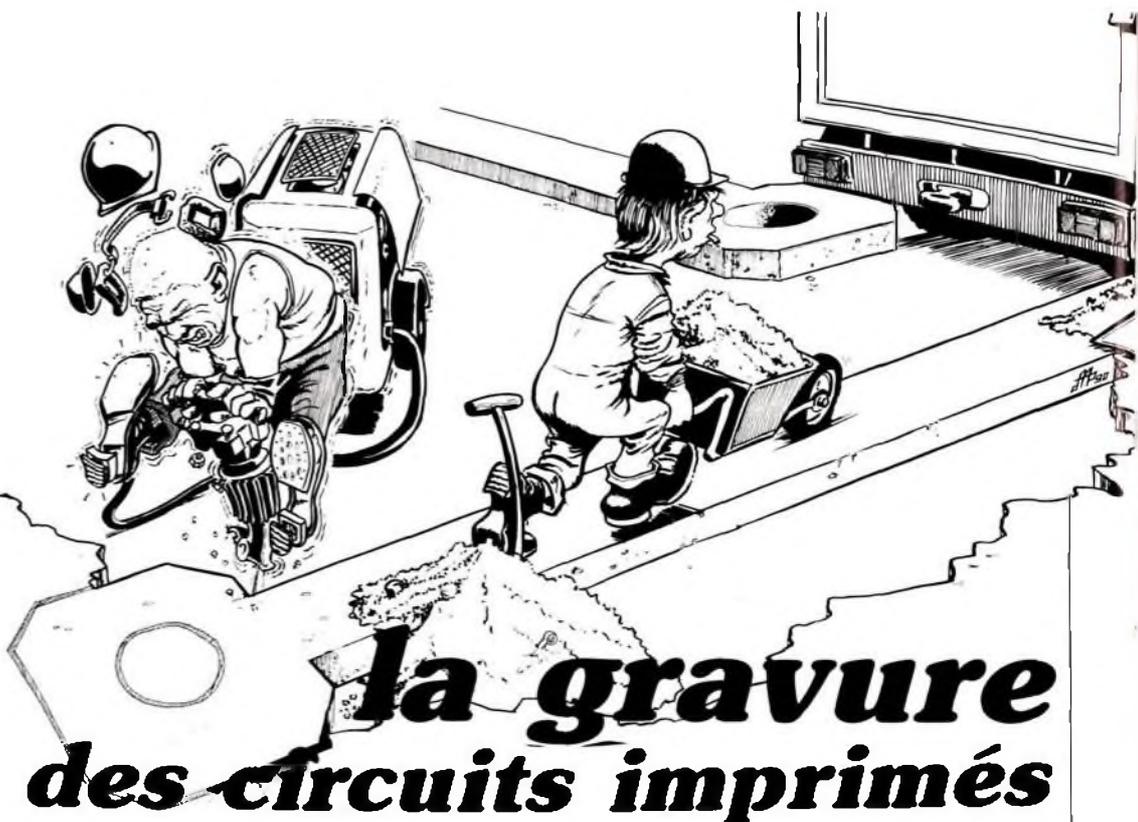
Les agents de gravure

Les agents de gravure courants sont le perchlorure de fer et le persulfate d'ammonium. Ils sont relativement inoffensifs en cas de contact avec la peau, mais tous fortement toxiques en cas d'ingestion. Des deux, c'est le perchlorure de fer (FeCl_3) qui est le plus utilisé, commençons donc par lui.

Le perchlorure de fer

Le gros avantage du perchlorure de fer est son prix. Il se présente sous forme de granulés ou de paillettes, que vous trouverez dans le commerce d'électronique, ou chez les droguistes. Les pharmaciens peuvent aussi vous en fournir, mais il s'agira d'un produit d'une pureté presque parfaite. Cette pureté n'a aucune influence sur la qualité du travail mais beaucoup sur le prix ; voyez donc plutôt chez votre revendeur de composants.

Il faut dissoudre 900 grammes de pastilles ou de paillettes dans un litre d'eau pour avoir une solution prête à l'emploi. Attention, le gros inconvénient de ce produit est qu'il laisse sur les vêtements et les ustensiles des taches de couleur rouille quasiment impossibles à enlever. Si vous êtes maladroît — et tout le monde l'est un peu au début — vous pouvez essayer de détacher vos vêtements avec une solution d'acide oxalique (dit aussi sel d'oseille) ; vous avez vos chances si la tache n'est pas trop vieille.



la gravure des circuits imprimés

La solution de perchlorure de fer est opaque et il faut ressortir la plaque pour suivre l'avancement de la gravure. La durée dépend surtout de la température, qui cependant ne doit jamais dépasser 60°C . Bien avant d'avoir atteint cette température, le produit se transforme en une vapeur désagréable et surtout toxique. De plus elle attaque tous les métaux qui se trouvent à proximité. Pour votre sécurité et celle de vos outils, limitez donc la température à 40°C .

Vous pouvez diminuer le temps de gravure en ajoutant à votre bain une petite quantité d'acide chlorhydrique concentré. Ce produit est à manipuler avec précaution, car il est beaucoup plus agressif que le perchlorure. L'agitation est nécessaire pour renouveler le produit en contact avec le cuivre : vous éloignez la solution déjà chargée en cuivre pour la remplacer par de la solution moins proche de la saturation.

Une bonne solution consiste à confier l'agitation à une pompe d'aquarium qui aura un effet supplémentaire et bienvenu : l'apport d'air dans le bain provoque une oxydation qui compense la réduction (l'oxydation et la réduction désignent des mouvements d'électrons dans une solution chimique). Le bain s'en trouve en quelque sorte régénéré et son activité prolongée.

Le persulfate d'ammonium

Ce produit présente l'avantage de donner une solution claire qui permet de suivre visuellement le processus de gravure.

L'inconvénient le plus important, par rapport au perchlorure de fer, est qu'il ne se conserve pas après avoir servi. Il ne convient que pour les traitements « à bain perdu », comme pour certains procédés photographiques.

D'autre part, si la concentration est trop forte, il cristallise et il est impossible de redissoudre les cristaux, même à température élevée.

Le plus grave des inconvénients du persulfate d'ammonium est sa toxicité élevée, qui nous le fait déconseiller.

La gravure

Une fois l'agent de gravure choisi, il faut le verser dans une cuvette en matière plastique. La cuvette doit pouvoir supporter les températures relativement élevées (40°) auxquelles vous allez porter votre bain (qu'il s'agisse de perchlorure de fer ou de persulfate d'ammonium). Évitez les récipients métalliques, même émaillés. Un éclat de l'émail permettrait à l'agent de gravure d'attaquer le métal et les conséquences d'une fuite sont toujours désagréables. Posez la cuvette sur une feuille de plastique (les sacs de

supermarché sont parfaits) pour protéger la table des éclaboussures éventuelles. Nettoyez immédiatement à grande eau toutes les traces car les taches sèches sont très difficiles à enlever. Versez dans la cuvette la quantité d'eau nécessaire et dissolvez-y le produit en granulés ou en paillettes. La quantité d'eau nécessaire est celle qui suffit à recouvrir complètement la plaque de circuit imprimé. La plaque une fois plongée dans le bain, soulevez et reposez doucement une extrémité de la cuvette pour assurer un renouvellement du produit en contact avec le cuivre. Le temps de gravure s'en trouvera réduit et la morsure sera régulière.

Vous pouvez utiliser une cuvette profonde comme bac à graver, une pompe à air et une résistance d'aquarium pour chauffer et agiter le bain. L'ennui est que la quantité de bain nécessaire est énorme.

Savoir s'arrêter

La réserve (l'image photographique ou les rubans) ne protège que la surface du cuivre. Le bord des pistes et des pastilles n'est pas protégé et reste exposé à l'agent de gravure. De ce fait, si vous prolongez le séjour de la plaque dans le bain, il se produit ce qu'on appelle une « sous-gravure » : le cuivre est dissous sous la réserve et les pistes sont rétrécies, voire coupées. Vous devrez

donc ressortir votre plaque souvent et arrêter la gravure aussitôt que le dessin des pistes sera complètement dégagé. Comme l'épaisseur de cuivre est constante, vous connaîtrez vite le temps nécessaire, à une température donnée, pour graver une plaque complètement avec un minimum de sous-gravure.

Nettoyer

La gravure finie, il faut laver soigneusement la plaque à l'eau courante, pour éviter que des restes d'agent de gravure continuent à attaquer le cuivre. La résine photosensible se dissout facilement avec un chiffon ou un coton imbibé d'acétone ou de dissolvant de vernis à ongles.

La sécurité

Quel qu'il soit, votre bain finira par être épuisé, saturé de cuivre. Faute de service public pour l'enlèvement de ces déchets toxiques, il faut les neutraliser avant de les rejeter. Ce sera fait en mélangeant les révélateurs usagés et les agents de gravure épuisés. Vous vérifierez la neutralité du mélange avec un « papier pH », et vous ajouterez de la soude au besoin.

Rangez toujours les produits hors de portée des enfants ; ne travaillez pas sur une surface sans protection : le perchlore attaque même l'acier inoxydable.

Comme pour le développement des plaques, ne travaillez pas à mains nues, mais utilisez des gants de ménage en caoutchouc : les produits sont corrosifs et colorants.

En cas de projection dans les yeux, lavez abondamment à l'eau fraîche.

La finition

Le cuivre nu, après la gravure, est exposé à l'air libre et risque de s'oxyder. Il faut le protéger par une couche de vernis spécial car un métal oxydé se prête mal à la soudure. De la laque à cheveux convient, mais elle ne permet pas la soudure ; il faut donc équiper la platine aussitôt après la gravure et la laquer ensuite.

Avant d'implanter les composants, il faut –si ce n'était déjà fait– « détourner » la platine, c'est-à-dire lui donner ses dimensions définitives, et percer les trous par où passeront les broches des composants. La scie à métaux à denture fine et la lime demi-ronde conviennent pour le détournage. Rappelons qu'une lime plate donne une arête courbe et qu'il faut une lime bâtarde ou demi-ronde pour obtenir une arête droite.

Pour le perçage, l'idéal est une perceuse miniature à grande vitesse (15000 tours par minute) montée sur un support et équipée de forets au tungstène. À défaut, évitez de percer à main levée avec une perceuse miniature. Il vaut mieux utiliser une perceuse normale (sans percussion, siouplé) sur une colonne stable, avec des forets HSS (acier rapide). Des forets au tungstène utilisés à vitesse trop faible durent encore moins longtemps que des forets ordinaires. Le foret est bon pour la poubelle ou l'affûtage dès qu'il commence à provoquer un bourrelet de cuivre autour du trou. Le support est indispensable pour que les trous soient centrés dans la pastille et perpendiculaires à la platine.

Le révélateur des plaques présensibilisées et l'agent de gravure sont, d'un point de vue chimique, l'opposé l'un de l'autre. Le révélateur, **basique**, neutralise l'**acide** de l'agent de gravure. Vous avez tout intérêt à bien rincer votre plaque après le développement.

Le diamètre des trous doit permettre le passage des broches avec le minimum de jeu. La soudure n'en sera que plus facile. La plupart des composants s'accommodent de trous de 0,8 mm de diamètre. Les exceptions principales sont les diodes 1N4001 sq, les ponts redresseurs, les régulateurs de tension (1 mm), les transformateurs (1,2 mm). Des forets de 1mm, 1,2mm et 1,4mm permettent de percer tous les trous nécessaires. Les trous de fixation de la platine auront un diamètre de 3,2 mm pour les vis M3.

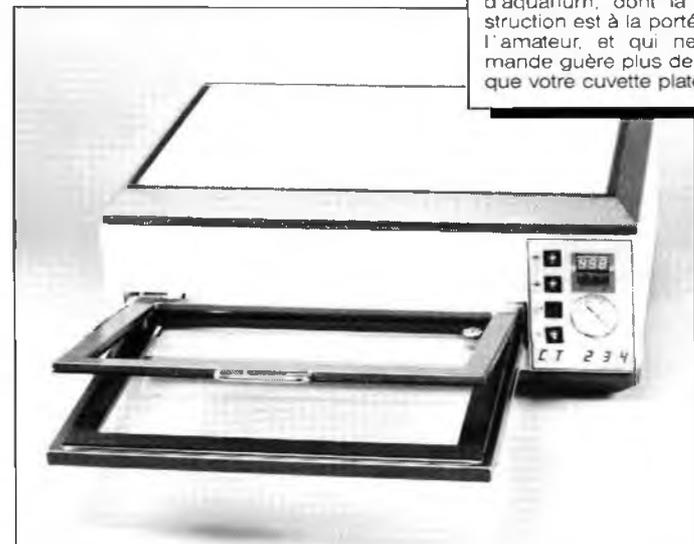
86633



Si le développement ne s'est pas passé dans les conditions optimales et que certaines pistes sont interrompues, de petites retouches sont possibles avec un feutre spécial, ou un feutre inactinique comme on en utilise pour la retouche de films photographiques, ou encore avec un vernis à ongles. Tous trois résistent très bien à la gravure.



Nous décrivons dans un prochain numéro une « machine à graver » utilisant des accessoires d'aquarium, dont la construction est à la portée de l'amateur, et qui ne demande guère plus de bain que votre cuvette plate.



boîtiers DIPTAL

Quand un boîtier est agréable à voir et à manipuler, facile à percer, robuste, bien fini et tout et tout, c'est un boîtier réussi. Alors, puisque cette rubrique est faite pour vanter les mérites de produits réussis, allons-y !

Ces boîtiers réussis, conçus spécialement pour l'électronique à l'école et l'initiation à l'électronique, nous les avons trouvés chez un fabricant français, spécialiste des moules et de l'injection de matières plastiques : Diptal. Les modèles qui nous ont séduits sont des boîtiers à **couvercle clipsé** (sans vis) avec supports pour pile 9 V et circuits imprimés. Les trois plus petits de la série sont si minces (environ 57 x 44 x 16 mm pour le P641, 57 x 44 x 20 mm pour le P642 et 57 x 44 x 24 mm pour le P643) qu'ils ne contiennent même pas une pile de 9 V. Ceci ne les empêche pas d'être attrayants et parfaitement utilisables pour des applications sans pile, ou à pile bouton. On arrive, mine de rien, à y loger, à plat et à condition d'en limer le bord sur 1 mm, une demi-platine d'expérimentation d'ELEX.

Le modèle P644 est à peine plus encombrant que les trois premiers : longueur et largeur ne changent pas, seule l'épaisseur passe à 3 cm, ce qui permet d'y loger une pile de 9 V et une ou deux petites platines (par exemple un quart de platine d'expérimentation). Ce même modèle pourrait aussi servir de « boîte à piles » puisqu'on y fait tenir côte à côte deux piles de 9 V.

Avec les modèles P961 et surtout P962 (87 x 58 x 30 mm) on retrouve les dimensions « normales » des coffrets pour l'électronique, c'est-à-dire que le volume suffit théoriquement pour une pile de 9 V et une platine d'expérimentation de petit format. En réalité il n'est possible d'y loger une telle platine que coupée en deux morceaux montés en sandwich, ce qui n'est pas toujours très pratique.

Les coloris noir, ivoire, rouge et bleu leur confèrent une belle allure. Certains modèles existent en version opto à couvercle translucide, incolore, ou teinté en rouge. Pour les photographier, nous nous sommes amusés à panacher les couleurs des boîtiers



pour les rendre bicolores, ce que l'on distingue même sur une photo en noir et blanc.

Les boîtiers de très petite taille se prêtent bien à la réalisation d'accessoires divers comme des « convertisseurs », pour transformer par exemple une fiche mini-jack en fiche cinch, ou inversement, mais aussi des circuits « classiques » comme les micro-espions, télécommandes ou tout autre circuit à composants montés en surface (CMS).

Le même fabricant propose des coffrets à couvercle vissé de 100 x 700 x 30 mm pour platines de 96 x 66 (ou moins) en coloris « classiques » (noir, ivoire, blanc, gris, bleu, orange et rouge) mais aussi en **couleurs fluorescentes** (jaune, vert ou rose), ainsi qu'une version « opto » translucide, incolore ou teintée

rouge ou jaune, et même une version en **vert phosphorescent**. Si vous achetez un coffret noir et un coffret jaune et que vous panachez les couleurs (les couvercles sont interchangeables), vous obtenez un bel effet. Pour les coffrets 1073, il existe un ingénieux système de fixation rapide et **sans perçage** pour circuits imprimés et kits. Il s'agit d'une espèce de châssis amovible composé de rails dans les rainures desquelles coulisent les vis de fixation de la platine quelles que soient ses dimensions.

906514

N'hésitez pas à demander à votre revendeur habituel de s'adresser à :

DIPTAL
01410 CHEZERY-FORENS
tél: 50 56 94 97
fax: 50 56 95 17

en précisant que vous venez de la part d'ELEX.



émetteur télégraphique expérimental

Le circuit oscillant parallèle, constitué d'un condensateur et d'une bobine, commence à être bien connu comme filtre dans les récepteurs radio. Il est utilisable aussi dans les émetteurs, et nous l'allons montrer tout à l'heure.

Dans l'émetteur expérimental FM, le circuit oscillant est monté dans un oscillateur, qui crée l'onde à émettre. Ici le circuit se contente de résonner.

Rappelons brièvement que l'impédance du circuit oscillant parallèle est variable en fonction de la fréquence du signal appliqué à ses bornes. La figure 2 (a et b) représente la variation de l'impédance du circuit oscillant en fonction de la fréquence. Si la tension est continue (fréquence nulle), aucun courant ne traverse le condensateur, mais l'inductance n'oppose aucune résistance. Si la fréquence est infinie, aucun courant ne traverse l'inductance, mais le condensateur n'oppose aucune résistance. Dans ces deux cas extrêmes, le montage est un court-circuit, comme le montre la figure 2c. Entre les deux tout est permis, surtout depuis que le mur est tombé. C'est un cas particulier qui nous intéresse : la résonance.

Attaqué à sa fréquence de résonance, le circuit oscillant parallèle oppose l'impédance maximale au courant alternatif. Impédance maximale veut dire tension maximale aux bornes. Vous vous reporterez avec profit à la page 45 du n°18, dans feu la rubrique *analogique anti-choc*. Le sous-titre d'un goût douteux provenait de la formule de Thomson :

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

À toute association de valeurs de L et de C correspond une fréquence de résonance, pour laquelle l'impédance du circuit est maximale. C'est cette propriété qui est exploitée dans les circuits accordés des récepteurs : la tension aux bornes est maximale pour la fréquence que l'on veut recevoir et d'autant plus faible que la fréquence est éloignée de la fréquence d'accord.

Dans le cas de notre émetteur rudimentaire aussi, nous allons utiliser la propriété du circuit oscillant de court-circuiter les fréquences différentes de sa fréquence d'accord.

Un émetteur digne de ce nom ne doit propager ses ondes porteuses des nouvelles du vaste monde, des chefs-d'oeuvre de la musique, du savoir et de la liberté d'entreprendre que sur une seule fréquence. Sans quoi vous seriez incapable d'accorder votre poste récepteur sur votre hit-parade favori et Mao couvrirait la *voix* de l'oncle Sam.

Notre circuit oscillant parallèle ne fait que filtrer les fréquences, il va donc nous falloir une source de signaux. Elle est toute trouvée puisque vous avez remplacé l'antique sonnette à timbre, marteau et électro-aimant de l'entrée par un magnifique carillon moderne à deux tons en promotion. Allez donc récupérer cette sonnette, et prenez une pile plate de 4,5 V en même temps. Pendant que vous faites votre marché, rapportez aussi un condensateur variable (500 pF) de poste de radio petites ou gran-

des ondes, du fil de cuivre émaillé et un tube en carton de papier de toilette (nous voulons un émetteur propre).

Avant de commencer la réalisation proprement dite, vous allez vous convaincre —s'il le fallait— que la sonnette est une source de signaux radio-électriques. Mettez en marche un poste de radio sur petites ou grandes ondes, réglez l'accord (on dit aussi la syntonisation) entre deux stations et faites fonctionner la sonnette ; vous entendez nettement, si vous avez pris la précaution de bloquer le marteau avec un morceau de papier et que donc vous n'êtes pas gêné par la sonnerie, vous entendez des grésillements qu'en d'autres circonstances nous appellerions des parasites.

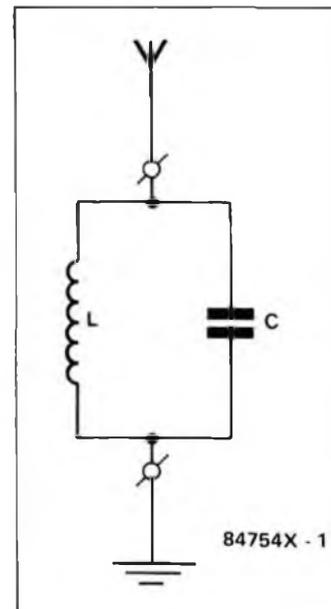


Figure 1 - Le circuit d'entrée d'un récepteur radio peut être représenté comme un filtre branché entre l'antenne et la terre.

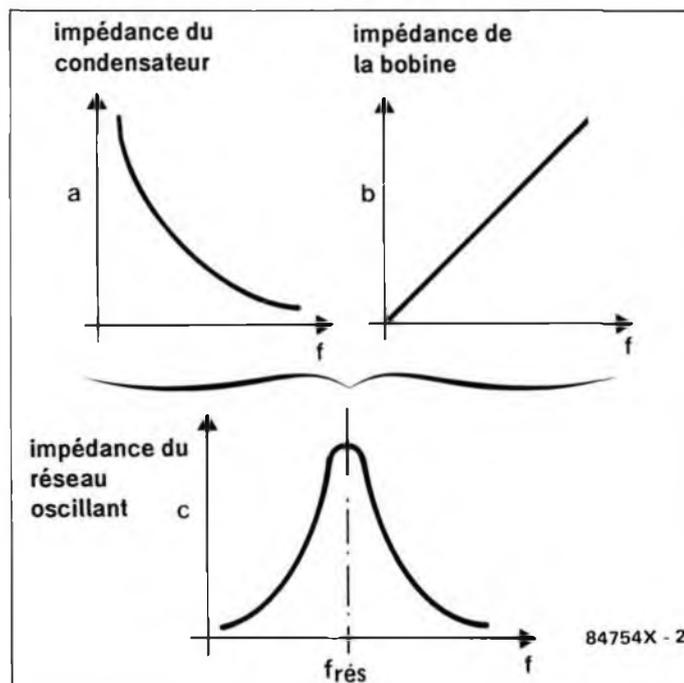


Figure 2 - Le comportement de la bobine et celui du condensateur en fonction de la fréquence sont opposés (a et b). Leur association constitue un filtre dont l'impédance, à la fréquence de résonance, est beaucoup plus forte que celle de chacun des deux composants (c).

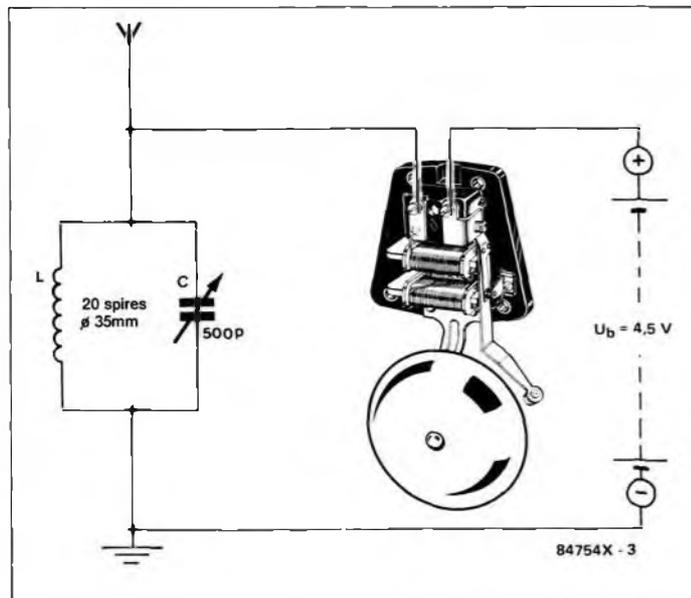


Figure 3 - Voici, d'un seul coup d'un seul, le schéma de principe et le plan de câblage de l'émetteur expérimental. Ce sont les oscillations à fréquence basse - mais riches en harmoniques- de la bobine de la sonnette qui font entrer en résonance le circuit oscillant.

Dans le numéro 4, page 34, nous indiquions un moyen d'antiparasiter une sonnette ordinaire avec une simple diode.

Reportez-vous à cet article pour quelques détails sur la naissance des étincelles et des parasites, mais gardez-vous bien d'antiparasiter votre "émetteur".

Si vous promenez l'aiguille du récepteur tout au long du cadran, vous constaterez que les perturbations sont à peu près les mêmes, aussi bien en grandes ondes qu'en petites ondes. Conclusion un peu pédante : le spectre émis par les extracourants de rupture de la bobine s'étend entre 150 kilohertz et quelques mégahertz. Conclusion toute simple : si vous émettez avec cet engin, vous perturberez presque toutes les émissions en modulation d'amplitude.

L'utilité du filtre est évidente maintenant : il va court-circuiter toutes les fréquences inférieures et supérieures à sa fréquence d'accord. L'émission se fera sur une fréquence seulement. La bobine du filtre est constituée de 20 spires de fil de cuivre isolé, bobinées sur un mandrin de carton dont la proéminence présente peu d'intérêt. Le condensateur est variable et une seule des deux cages suffit pour la gamme petites ondes.

Raccordez la terre et une antenne comme sur la figure 3. C'est suffisant pour étendre la portée de votre émetteur au moins jusqu'à la pièce voisine. Vous pouvez maintenant chercher votre émission en tournant le bouton d'accord du récepteur ou bien l'axe du condensateur variable de l'émetteur. L'émission, à défaut d'être limitée strictement à une fréquence, est contenue dans une plage relativement étroite. Le fonctionnement de notre circuit n'est pas des plus ordinaires. Le circuit oscillant n'est pas alimenté en permanence, mais il re-

çoit en fait une « pichenette » de temps en temps et continue d'osciller. Comme un pendule ou une balançoire qu'il suffit de lancer ou de relancer pour qu'il continue son mouvement à la même cadence.

Résultat :

Escarpolette bat Lançoire

La sonnette fonctionne suivant un principe très simple : le marteau est attiré par l'électro-aimant, il vient frapper le timbre mais en même temps il coupe l'alimentation de la bobine. Comme le champ magnétique de l'électro-aimant disparaît quand le courant cesse de circuler, le marteau peut revenir à sa position de repos et rétablir le circuit électrique. C'est reparti pour un tour. L'énergie électrique emmagasinée par le condensateur est transmise à la bobine qui la transforme en énergie magnétique. Le condensateur est déchargé, voilà pour une alternance.

Pendant l'alternance suivante, la décroissance du champ magnétique provoque la naissance d'un courant dans la bobine. Ce courant s'en vient charger le condensateur et nous revoici au point de départ. L'oscillation est née et en théorie elle ne devrait pas s'arrêter. En théorie seulement, car en pratique le condensateur a un courant de fuite, le champ magnétique se disperse en dehors de la bobine, la bobine elle-

même a une résistance non nulle, et surtout une partie de l'énergie est émise sous forme d'onde radio. L'amplitude des oscillations décroît jusqu'à s'annuler. De la même façon, les oscillations du pendule deviennent de moins en moins grandes, du fait des frottements de l'axe ou des torsions du fil.

Nous voyons donc qu'un circuit oscillant peut être amorti, et que les oscillations dureront d'autant moins longtemps que l'amortissement est important. Ce qui nous intéresse, c'est que, comme pour le pendule, la fréquence des oscillations est indépendante de leur amplitude.

Ce que nous entendons dans le haut-parleur, c'est la suite d'impulsions - de pichenettes électriques- que reçoit le circuit oscillant. Il s'agit d'une modulation de type tout-ou-rien.

84754

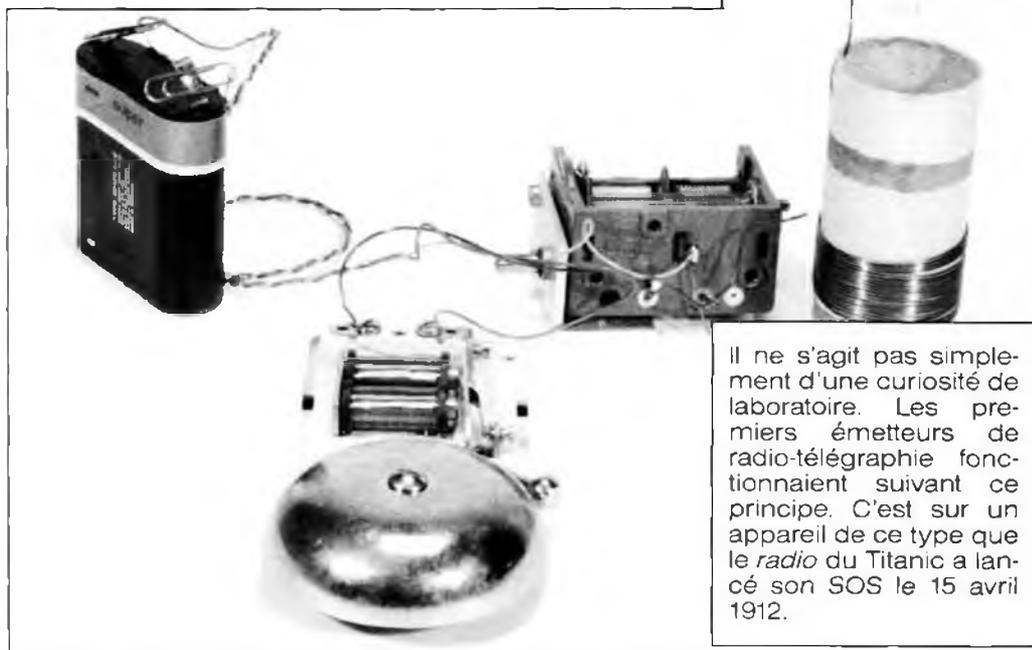


Figure 4 - Nous voilà plus près des montages à tubes du début du siècle que des circuits intégrés modernes avec leurs dizaines de milliers de transistors. Inutile de prendre une loupe pour lire la référence et un énorme recueil de caractéristiques pour comprendre le fonctionnement du circuit.

PENTASONIC

PARIS - LYON - MARSEILLE - NANTES - MONTPELLIER - COLMAR

Beckman Industrial™

BECKMAN INDUSTRIAL est une société américaine filiale de EMERSON ELECTRIC COMPANY. Cette entreprise, qui fabrique depuis sa création du matériel de mesure, a longtemps été considérée comme fournisseur exclusif des laboratoires et autres utilisateurs exigeants. Aujourd'hui, grâce à un effort industriel (production de masse) vous retrouvez le même esprit de qualité mais plus accessible financièrement et distribué par **PENTASONIC**, le professionnel de la mesure.

MULTIMETRE DM73



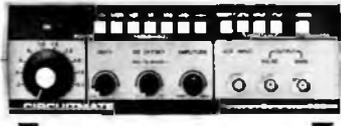
UN MULTIMETRE MALIN POUR LA MAINTENANCE

CARACTERISTIQUES : Commutation d'échelle automatique. Beeper de continuité. Mémoire d'affichage. Mesure des tensions continues. Mesure des tensions alternatives. Mesure des résistances.

MD DM 73

559 TTC

GENERATEUR DE FONCTIONS



Le générateur de fonctions FG2 avec ses 7 échelles de fréquences (0,02 à 2 MHz) est particulièrement convivial et est destiné à toutes applications concernant les systèmes audio, les ultra-sons et circuits utilisant des fréquences inférieures à 2 MHz.

CARACTERISTIQUES : Sortie signal carré, sinusoïdal, triangulaire et par impulsion. 7 échelles de fréquences de 0,02 à 2 MHz. Précision de 0,5 %. Distorsion meilleure que 30 dB. Entrée de modulation. Niveau de sortie 20 V/PP (open circuit). Réglage de tension d'offset - 10 V à + 10 V.

MG FG2

2090 TTC

MULTIMETRES



DM 10
Un compact de très grande qualité. 5 gammes de tensions CC 200 mV à 1000 V. 2 gammes de tension CA 200 V et 500 V. 4 gammes de courant CC 200 µA à 200 mA. 5 gammes de résistance 200 Ω à 2 MΩ. Test de diodes.

MD 10 **359 TTC**



DM15
Grand frère du DM10, il offre 27 gammes de mesure ainsi qu'un bip sonore pour le test de continuité. Indication automatique de la polarité. Protégé comme le DM10 par diode et fusible.

MD 15 **479 TTC**



DM20
Pour vérifier le gain des transistors et faire des mesures de conductance, le DM20 c'est le meilleur choix. Il dispose en outre de 30 gammes de mesure et surtout d'un calibre 2A. Autre caractéristique intéressante il mesure les résistances sous 2 niveaux de tension.

MD 20 **539 TTC**



DM25
En plus des fonctions proposées par le DM20 ce multimètre se caractérise par une gamme de mesure de capacité pouvant aller jusqu'à 20 µF en calibres. Il dispose également d'un test sonore de continuité.

MD 25 **719 TTC**



DM800 et DM850
Affichent les mesures sur 4 1/2 digits. Ils disposent d'une fonction mémorisation de l'affichage, d'un petit fréquencemètre intégré (200 kHz) et toutes les fonctions de la famille DM...
Le DM800 mesure la tension en valeur moyenne.
Le DM850 mesure la tension efficace vraie.

MD 800 **1395 TTC**

MD 850 **1695 TTC**

OSCILLOSCOPES SERIE 9000

5 NOUVEAUX OSCILLOSCOPES POUR UNE RENTREE SANS PROBLEMES

LA NOUVELLE GAMME BECKMAN 9000

Cette nouvelle génération d'oscilloscope, outre les caractéristiques particulières à chacun des appareils, comporte en standard l'éclairage du graticule, une sensibilité de 1 mV, un "Hold-off" variable et une garantie de 3 ANS.



20 MHz - 2 VOIES

9102 : double base de temps
MO 9102 ... **5195 TTC**

9202 : avec curseurs et affichage numérique des informations

MO 9202 ... **6195 TTC**

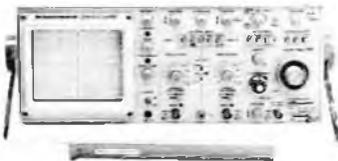


40 MHz - 2 VOIES

9104 : double base de temps
MO 9104 ... **6750 TTC**

9204 : avec curseurs et affichage numérique des informations

MO 9204 ... **7750 TTC**



60 MHz - 3 VOIES

9106 : double trace de temps, 8 traces
MO 9106 ... **9190 TTC**

ET BIEN SUR LE 9020 : LE PILIER DE LA GAMME

Ligne à retard comprise. Equipé d'un déclenchement du signal et son maintien, le déclenchement coup à coup, le retard de balayage et un testeur de composants, le **CIRCUITMATE 9020** vous apporte l'efficacité d'un appareil très soigné et d'emploi très simple. Garanti 1 an.

CARACTERISTIQUES : 2 x 20 MHz. Sensibilité verticale : 1 mV/div ; horizontale : 50 nS/div. Retard de balayage 10 S à 0,1 µS. Exp. par x 1 et x 10. Trigger à 30 MHz. Imp. d'entrée 1 MΩ et 25 pF. Entrée max. 400 V/CC. Temps de montée 17,5 nS.

MO 9020 ... **3990 TTC**

COMMANDER CHEZ PENTA : C'EST SIMPLE !

- SUR PLACE DANS L'UN DES 9 POINTS DE VENTE PENTA.
- PAR TELEPHONE, COURRIER, TELEX, FAX (voir adresses).
- PAR BON DE COMMANDE ADMINISTRATIONS, SOCIETES, ETC.
- LES LIVRAISONS PENTA : C'EST EFFICACE !
- DEPART MAGASINS SOUS 48 HEURES (selon disponibilité).
- PORT GRATUIT A PARTIR DE 1000 F DE COMMANDE EN FRANCE METROPOLITAINE.
- LA GARANTIE PENTA : C'EST SERIEUX !
- LA MISE EN SERVICE PERSONNALISEE DE NOS APPAREILS EST FAITE DANS NOS MAGASINS.
- NOTRE MATERIEL EST GARANTI 1 AN PIECES ET MAIN D'OEUVRE
- CONTRAT DE MAINTENANCE SUR SITE, NOUS CONSULTER



ATTENTION : LE SERVICE CORRESPONDANCE EST FERME LE SAMEDI

TOUS NOS PRIX S'ENTENDENT TTC



Les voix de la Hi-Fi : le miracle des FET-MOS

Il existe une catégorie de FET qui tient le haut du pavé depuis quelques années. Ce sont les FET-MOS de puissance, utilisés dans de nombreux amplificateurs audio haut de gamme (attention : risque de lévitation). Nous n'avons pas voulu, pour l'instant, vous encombrer la comprenette avec ce genre de composants hexotiques.

Mais puisque ce numéro parle de FET, et puisqu'il a été question récemment d'évocations de l'électronique dans des textes à caractère littéraire ou même poétique, voici un témoignage de la situation inverse. Quand la mystique fait sa descente dans l'électronique...

« [...] grâce à une transcription d'une extrême clarté, mais qui sait rester « chantante » en permanence grâce à un sens du « tempo » hors du commun. C'est un amplificateur qui donne envie d'écouter de la musique, car tout se passe avec une harmonieuse relation entre dynamique uniformément répartie, timbre très riche, et sens du détail qui n'est pas imposé mais se fond admirablement avec l'ensemble des informations musicales. Bien des amplificateurs à transistors donnent l'impression de dissocier les informations les unes des autres sans jamais pouvoir trouver le lien entre elles. On tombe ainsi dans le « haché » au

lieu de trouver une fluidité naturelle. Or [bip bip] excelle sur ce point avec ce côté « liquide » jusque dans l'extrême aigu, avec une absence totale de bruit parasite, ou effet de grain qui noie les informations dans un léger brouillard. [bip bip] par sa transcription se rapproche d'une large baie ouverte sur un champ sonore lumineux où rien n'est laissé dans l'ombre sans pour autant devenir crispant sur les pointes de modulation. Serait-ce la très complexe alimentation qu'il faut féliciter, en tous cas la stabilité des plans sonore est incroyable, bien localisée entre les deux enceintes, avec une superbe cohérence de l'image qui n'est jamais remise en question même sur les performances de grande formation orchestrales. [...]

De même disque après disque, certaines toniques apparaissent et disparaissent, ce qui nous conforte dans notre idée d'impartialité de [bip bip] qui est l'exemple à suivre. Il ne faut pas oublier un médium extrêmement riche, toujours empreint d'une réelle générosité. Les réverbérations naturelles ressortent avec une facilité évidente ce qui donne un aspect chantant et expressif à cet appareil.

L'aigu nous est apparu très légèrement relevé dans les fréquences extrêmes, sur certains test de

bruits de vagues, mais sans caractère scintillant, la qualité des harmoniques supérieures est superbe apportant aussi à la richesse d'ensemble de la restitution.

[...]
D'un côté nous considérons les avantages théoriques flagrants d'une alimentation entièrement régulée, et de l'autre, le souvenir à l'écoute des innombrables échecs liés à ces circuits. De même, comment allaient se comporter les Mosfets d'origine et de conception autre que nos vénérés Hitachi ?

Deux transformateurs toroïdaux de très forte valeur assurent l'interface avec le secteur.

Mais poussant la perfection jusqu'au bout... »

(Fin de citation)

Non, nous n'irons pas jusqu'au bout, tant de perfection nous aveugle.

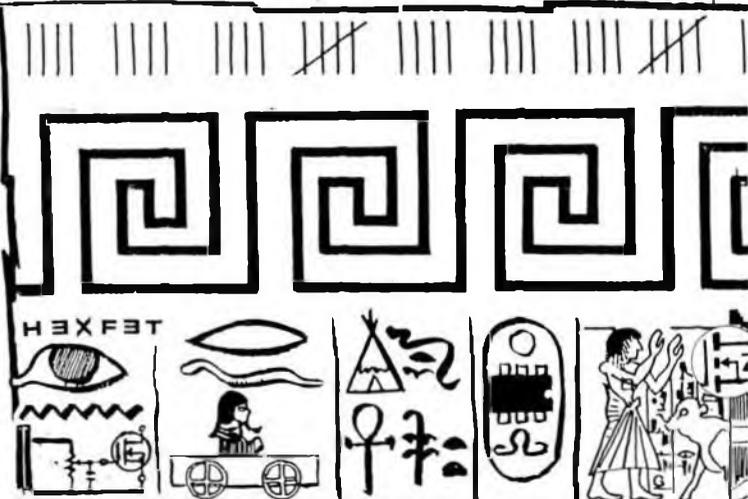
Toute ressemblance avec un extrait de banc d'essai d'amplificateur à FET-MOS publié récemment dans un magazine spécialisé n'est pas fortuite. Lecture critique d'une écoute critique.

Nous n'avons cependant aucune raison de penser que l'engin en question, produit au demeurant d'une maison sérieuse, n'atteint pas réellement des sommets. Un rédacteur, même chevronné, ne devrait aborder ce nirvana que chaussé de solides crampons. Ça dérape...

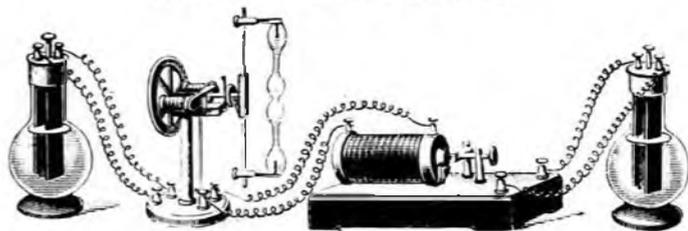
Si vous collez votre oreille sur la grille d'un FET-MOS comme on fait pour les coquillages, vous entendrez peut-être vous aussi les suaves murmures de Jeanne d'Arc et Bernadette Soubiniou, saintes patronnes des rédacteurs de bancs d'essai passe-tout. Dur labeur, l'art du beurre !

904046

PS: molle sithyrembe, tu nous brailles l'écoute !



élixir

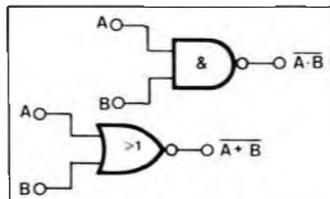


Si le propre d'un magazine d'initiation est d'évoluer, tout en incitant ses lecteurs à faire des progrès, que deviennent les lecteurs qui prennent le train en marche ? Ils doivent pouvoir disposer d'un condensé de ce qui est déjà familier aux lecteurs fidèles. C'est pourquoi nous vous offrons ces pages, comme un élixir magique, qui permettent d'ingurgiter en l'espace de quelques minutes ce qu'on met des semaines, des mois, voire des années à assimiler.

S · C · H · É · M · A · S

Symboles

Dans les schémas, nous utilisons des symboles dont certains, notamment ceux que nous utilisons pour les opérateurs logiques, ne sont pas conformes aux normes les plus récentes. Ce choix est délibéré et suffisamment bien fondé pour que nous y restions fidèles.



Dans la rubrique « composants » déjà publiée dans ELEX, vous trouverez chaque symbole et le composant auquel il correspond.

Valeurs

Nous n'utilisons pas de virgule lorsque nous indiquons la valeur de résistance ou de capacité dans les schémas, mais le symbole lui-même (pour 5,6 Ω nous écrivons 5Ω6), afin d'éviter tout risque de confusion entre un point ou une virgule et... une poussière ou une chiure de mouche (5Ω6 ne pourra jamais être confondu avec 56 Ω, mais cela risque d'arriver si l'on écrit 5,6 Ω).

Les lettres utilisées sont les suivantes :

p (pico)	= 10 ⁻¹²
n (nano)	= 10 ⁻⁹
μ (micro)	= 10 ⁻⁶
m (milli)	= 10 ⁻³
k (kilo)	= 10 ³
M (méga)	= 10 ⁶
G (giga)	= 10 ⁹

1 p	= 0,000 000 000 001
1 n	= 0,000 000 001 = 1000 p
1 μ	= 0,000 001 = 1000 n
1 m	= 0,001 = 1000 μ
1	= 1000 m
1 k	= 1 000
1 M	= 1 000 000 = 1000 k
1 G	= 1 000 000 000 = 1000 M

Note : Le **k** majuscule est réservé aux KILO-OCTETS de l'informatique. Dans ce cas, la lettre **K** désigne non pas 1000 unités, mais 1024 !

Voici quelques exemples de la manière dont les valeurs sont codées dans les schémas d'ELEX :

3k9	pour 3,9 kΩ = 3900 Ω
0Ω33	pour 0,33 Ω
4p7	pour 4,7 pF
5n6	pour 5,6 nF
4μ7	pour 4,7 μF

1 kV	= 1000 V
1 mV	= 0,001 V
1 μV	= 0,000 001 V

Mesure

Dans certains schémas apparaissent des relevés de mesure, donnés à titre indicatif. Les valeurs réellement mesurées peuvent différer de ±10% sans que cela indique forcément un défaut du montage. Toutes les mesures sont effectuées, sauf mention spéciale, avec un multimètre ordinaire dont la résistance interne est d'au moins 20 kΩ/V (10 kΩ/V en alternatif). En l'absence d'indication de ce genre, on peut calculer facilement la sensibilité d'un multimètre en prenant l'inverse du plus petit calibre de mesure de courant continu, qui s'étendra par exemple de 0 à 50 μA. On aura dans ce cas 1/50 μA, soit 20000 (Ω/V).

Le **volt (V)** est l'unité de mesure de la tension, c'est-à-dire de la différence de potentiel (d'énergie) entre deux points, ou **force électro-motrice** (f.é.m.). Une tension n'est pas forcément mesurée par rapport au 0 V ou à la masse. Il peut régner une tension entre deux points sans qu'il circule de courant, mais le courant ne peut circuler d'un point à un autre que s'il existe une différence de tension entre eux. Le composant utilisé le plus souvent pour créer une telle différence de tension est la résistance, aux bornes de laquelle se produit une chute de tension proportionnelle à l'intensité du courant. La mesure de tension a un caractère statique puisqu'il s'agit de la cons-

tatation d'une différence. Selon la polarité du circuit de mesure par rapport à celle de la tension mesurée, le résultat d'une mesure de tension pourra être positif ou négatif. Les valeurs de tension usuelles en électronique vont du microvolt à la dizaine de volts.

L'**ampère (A)** est l'unité de mesure de l'intensité du courant. Il s'agit d'une mesure à caractère dynamique, puisqu'elle porte sur un débit, c'est-à-dire le déplacement d'une certaine quantité d'électricité (charge en coulombs) pendant un temps donné (flux électronique). Quand l'intensité du courant est mesurée par rapport à une source, sa polarité est positive. Mesurée par rapport à un drain de courant, sa polarité est négative. Les valeurs d'intensité courantes en électronique vont du microampère à la dizaine d'ampères.

La quantité d'électricité (charge **Q**) est le produit de l'intensité du courant par le temps pendant lequel il circule.

L'**ohm (Ω)** est l'unité de mesure de la résistance, c'est-à-dire du rapport de la puissance perdue dans un circuit (sous forme de chaleur ou de rayonnement) au carré de l'intensité instantanée du courant. Le résultat d'une mesure de résistance est toujours positif (1 Ω = 1 V/1 A). La **conductance (S)** est l'inverse de la résistance.

Les valeurs de résistance courantes en électronique vont du milliohm à la dizaine de mégohms.

Le **farad (F)** est l'unité de mesure de la capacité (condensateurs), c'est-à-dire de la valeur constante du rapport de la charge d'un conducteur isolé à son potentiel. Le résultat d'une mesure de capacité est toujours positif. Les valeurs de capacité courantes

en électronique vont du picofarad au millier ou à la dizaine de milliers de microfarads.

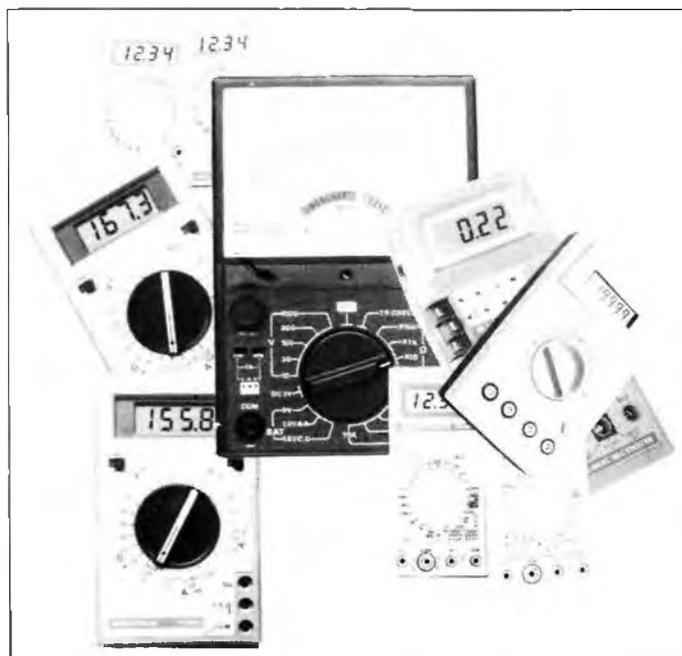
Le **henry (H)** est l'unité de mesure de l'inductance (bobines), c'est-à-dire du coefficient de self-induction. Dans un circuit fermé, il s'agit du quotient du flux que crée à travers ce circuit le courant qui le parcourt, par l'intensité de ce courant. Le résultat d'une mesure d'inductance est toujours positif. Les valeurs d'inductance courantes en électronique vont du microhenry au henry.

Le **watt (W)** est l'unité de mesure de la puissance, c'est-à-dire le produit de l'intensité du courant (en ampères) par la force électro-motrice (tension en volts). Puisqu'il s'agit de la mesure d'une quantité de travail fourni par unité de temps, elle est dynamique.

Le résultat d'une mesure de puissance est toujours positif (1 W = 1 V × 1 A). Les valeurs de puissance courantes en électronique vont du mW à la dizaine ou à la centaine de watts.

Le **hertz (Hz)** est l'unité de mesure de la fréquence d'un signal périodique, c'est-à-dire le nombre de répétitions par seconde d'un cycle complet d'oscillation ($f = 1/T$). Une période par seconde = 1 Hz. Dix mille périodes par seconde = 10 000 Hz ou 10 kHz. La mesure de fréquence donne toujours un résultat positif, même quand le nombre de répétitions par seconde est inférieur à zéro. Exemple : une période toutes les dix secondes = 0,1 Hz. Les valeurs de fréquence usuelles en électronique vont du dixième de Hz (0,1) au mégahertz (million de Hz) et au gigahertz (milliard de Hz).

La durée **T** de la période d'un signal de fréquence **f** est égale à 1/f.

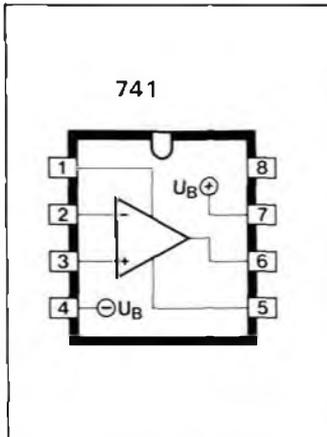


COMPOSANTS

Les réalisations publiées par ELEX ne font appel qu'à des composants courants, disponibles en principe chez tous les revendeurs de composants sérieux. Il est préférable d'éviter d'utiliser des composants de récupération avant d'avoir pu scrupuleusement en vérifier le bon état. La puissance des résistances utilisées est, sauf mention spéciale, de 1/4 W, leur tolérance de 5%.

La tenue en tension des condensateurs à film doit être supérieure de 20% au moins à la tension de service du circuit. Pour les condensateurs électro-chimiques, le schéma comporte une indication chiffrée de la tenue en tension (minimale); par exemple 47 μ F/16 V.

Lorsqu'un composant n'est pas disponible sous la référence indiquée, il arrive que l'on puisse utiliser un équivalent. Un même circuit intégré est souvent disponible sous plusieurs références différentes, variant selon le fabricant. Dans les schémas nous n'indiquons que la partie de la référence du composant qui est déterminante, et nous omettons les suffixes et les préfixes.



Par exemple 741 est l'indication fournie pour les circuits intégrés μ A741, LM741, MC741, RM741, SN72741, etc. Pour les circuits intégrés, l'usage de supports de très bonne qualité est souhaitable.



SOUDER

Voici résumée en quelques lignes la technique du soudage, décrite notamment dans le premier numéro d'ELEX.

Fer et soudure

■ La puissance idéale pour un fer à souder se situe entre 15 et 30 W. La pointe dont l'épaisseur ne dépassera pas 2 mm est recouverte d'une couche de protection qu'il ne faut ni limer, ni gratter. Nettoyez-la à chaud sur une éponge (naturelle) mouillée et évitez tout contact avec des matières plastiques.

■ N'utilisez que de la soudure à l'étain (60%) et au plomb (40%) de bonne qualité. L'âme de la soudure contient une substance décapante non oxydante. On recommande l'usage, pour la plupart des applications, de fil de soudure d'une section d'1 mm.

■ N'utilisez aucun adjuvant (pâte, liquide, etc)

■ Avant de souder un composant, il faut impérativement l'immobiliser pour l'empêcher de bouger pendant que la soudure refroidit.

■ Il faut toujours chauffer ensemble les deux parties à souder (la piste de cuivre et la patte du composant) pour les porter simultanément à une température telle que l'étain fonde lorsqu'il entre en contact avec elles.

■ Appliquez l'étain sur les parties à souder (et non sur le fer à souder).

■ Retirez le fer à souder une ou deux secondes après avoir appliqué l'étain en évitant tout mouvement au point de soudure, à défaut de quoi l'étain se fissure en refroidissant.

■ N'échauffez excessivement ni les composants ni les pistes de cuivre. Faites attention notamment aux LED qui sont fragiles à cet égard!

■ On reconnaît une soudure réussie à ses flancs concaves alors qu'une soudure ratée ressemble à une boule.

Finitions

■ L'excédent de longueur des pattes de composants soudés sera coupé à ras de la soudure à l'aide d'une pince coupante spéciale. Certains électroniciens préfèrent couper les pattes des composants avant de les souder.

■ Pour ménager la panne du fer à souder, il est préférable de la nettoyer fréquemment et de couper le fer lorsqu'il ne sert pas pendant plus d'un quart d'heure.

■ Pour supprimer la soudure, on utilisera la tresse à des-souder.

■ Faites des essais sur des composants sans valeur ou des chutes de fil avant de vous lancer pour de bon dans des « vraies » réalisations.

SÉCURITÉ

Voici un ensemble de règles à respecter lors de la réalisation de montages électroniques alimentés par la tension du réseau 220 V.

1 - A la construction

■ Les liaisons qui véhiculent la tension secteur doivent être isolées de telle manière qu'il soit impossible d'entrer en contact avec elles, même avec un tournevis par exemple.

■ Toutes les pièces métalliques accessibles de l'extérieur doivent être mises à la terre (si elles ne sont pas isolées à l'intérieur du coffret de l'appareil). Un interrupteur marche/arrêt à levier métallique doit également être mis à la terre même s'il est monté sur un coffret en plastique. Utilisez donc de préférence des interrupteurs marche/arrêt entièrement en matière plastique.

■ Si l'appareil n'est pas muni d'un cordon d'alimentation avec une fiche spéciale pour embase "CEE" ou "euro", le cordon d'alimentation doit nécessairement traverser la paroi métallique du coffret de l'appareil en passant par un passe-fil à la fois anti-traction et isolant.

■ Les trois fils du cordon d'alimentation doivent être fixés solidement dans le coffret pour en éviter l'arrachement par traction. Il est exclu de se contenter de les souder au transformateur sans autre fixation mécanique. De façon générale, la soudure ne doit jamais servir de fixation mécanique.

■ La ligne de mise à la terre (de couleur vert-jaune) doit être plus longue que les deux autres lignes (la phase et le neutre), de sorte qu'en cas d'arrachement, elle soit la dernière à lâcher.

■ Entre deux composants non-isolés reliés à des tensions dangereuses et tout autre conducteur non-isolé, il doit y avoir un espace de 3 mm au minimum.

2 - Lors des essais

■ Tous les travaux (soudures, modifications, montage, etc) effectués à l'intérieur du coffret d'un appareil alimenté par le secteur ne doivent être entrepris qu'après que la prise secteur a été débranchée. Il ne suffit pas de mettre le montage hors-tension à l'aide de son interrupteur marche/arrêt.

■ Avant de procéder à la mise sous tension de l'appareil, vérifiez la parfaite immobilisation de toutes les pièces qui véhiculent les tensions dangereuses. Utilisez

un ohmmètre ou un testeur de continuité pour rechercher selon le cas, l'absence de conduction et/ou la présence de courts-circuits involontaire(s).

■ Lors d'essais à effectuer sur des composants susceptibles de véhiculer une tension dangereuse, commencez par connecter les pointes de touche isolées de l'instrument de mesure aux points concernés **avant d'enficher** le cordon d'alimentation dans la prise. Ne retirez les pointes de touche qu'après avoir **entièrement** débranché l'appareil!

■ Lors de mesures effectuées dans la partie du montage véhiculant la tension secondaire d'un montage, il faut impérativement isoler toutes les parties qui se trouvent en liaison avec les tensions dangereuses, afin d'éviter tout contact accidentel avec l'une d'entre elles.

DÉPANNAGE

Qu'il aime cela ou pas, l'électronicien passe beaucoup de temps à chercher des erreurs, des défauts, voire des pannes.

Qu'un montage ne marche pas du premier coup, n'est ni une honte, ni un scandale. La plupart des défauts sont faciles à déceler; voici quelques conseils pour procéder le plus efficacement possible.

Il faut partir du principe que ce sont les erreurs que l'on a commises soi-même que l'on repérera le plus difficilement. Il est donc souvent efficace de faire appel à une autre personne pour examiner le montage.

■ Vérifiez toujours très soigneusement les composants, leur valeur, leur emplacement, leur polarité. Cochez-les au fur et à mesure dans la liste des composants. ■ Vérifiez les soudures à la loupe pour détecter soit un court-circuit, soit une micro-coupure.

Dans certains cas, il est recommandé de mettre le schéma de côté et de le redessiner en partant du circuit que l'on a monté. Cette méthode d'investigation permet de mettre en évidence des divergences assez subtiles pour passer inaperçues lors d'un examen superficiel.

Vérifiez la tension d'alimentation, et les relevés de mesure donnés le cas échéant dans le schéma. Une pile dont la tension à vide est de 9 V ne fournira peut-être plus que 7 V une fois qu'elle sera chargée par le circuit qu'elle est censée alimenter.

Les outils

Le multimètre

Voltmètre, ohmmètre et ampèremètre sont trois appareils souvent réunis en un seul, le multimètre. Sur les modèles récents de ces appareils, on trouve de plus en plus couramment des fonctions complémentaires telles que capacimètre, testeur de transistors ou fréquencemètre.

Les calibres des instruments de mesure :

Pour concilier l'étendue de la plage de mesure (que l'on souhaite grande) et la précision des indications fournies sur l'afficheur (que l'on souhaite élevée), il est nécessaire de couper cette plage en plusieurs régions appelées calibres de mesure. Le circuit de mesure est conçu de telle sorte que l'indication fournie soit aussi précise que possible dans chacune de ces régions. Au cours de la mesure, il faut toujours chercher à utiliser le calibre dans lequel la grandeur mesurée sera affichée avec la plus grande résolution, c'est-à-dire la plus forte déviation possible de l'aiguille, ou le plus de chiffres significatifs sur l'afficheur numérique. Il faut que la valeur indiquée, soit plus proche de la valeur limite dans le calibre choisi que de celle du calibre supérieur. Un exemple : sur un voltmètre à 5 calibres de tension continue (200 mV, 2 V, 20 V, 200 V, et 500 V), il faut utiliser le calibre 20 V pour les tensions de l'ordre de 2 V à 20 V, mais passer au calibre 2 V dès que les tensions mesurées sont inférieures à 2 V. Une tension de l'ordre de 750 mV sera affichée sous la forme « 0,75 V » dans le calibre 20 V (résolution de 10 mV) et « 0,750 V » avec le calibre 2 V (résolution de 1 mV), c'est-à-dire avec une précision dix fois supérieure. Ce principe est valable pour toutes les autres fonctions d'un multimètre. Quand la grandeur (tension, courant, résistance) n'est pas connue avant de mesurer, commencer par le calibre supérieur.

Voltmètre

En fonction voltmètre, l'appareil de mesure est placé **en parallèle** avec la ligne sur laquelle est effectué le relevé de tension. La résistance interne du voltmètre est en principe très élevée ; il faut tenir compte du fait que sa mise en parallèle représente néanmoins une charge (il y circule un certain courant) pour le circuit, et peut donc éventuellement en perturber le fonctionnement. Plus la sensibilité du multimètre est élevée (voir au paragraphe "mesure" ci-dessus les indications sur la sensibilité exprimée et calculée en Ω/V), moins il perturbe le circuit. On distingue les modes continu (souvent indiqué par VCC ou VDC ou DCV) et alternatif (souvent indiqué par

VCA ou VAC ou ACV). La bande de fréquences des signaux alternatifs dont la tension est mesurable avec un voltmètre est limitée. Sur les voltmètres à aiguille, il importe, en mode continu, de ne pas inverser la polarité de la tension, à défaut de quoi l'aiguille se met en butée à gauche du galvanomètre. Les voltmètres à affichage numérique indiquent par le signe - que la polarité est inversée. En mode alternatif, la polarité des cordons de mesure est sans importance.

En l'absence d'oscilloscope, le voltmètre à aiguille permet de suivre *de visu* le déroulement des impulsions et des oscillations, dont les mouvements analogiques de l'aiguille peuvent rendre compte jusqu'à une fréquence de quelques Hz. La tension efficace d'un signal alternatif sinusoïdal :

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{crête à crête}}}{2\sqrt{2}}$$

885125

Ampèremètre

En mode ampèremètre, l'appareil de mesure n'est pas monté en parallèle avec le circuit, mais en série, ce qui implique par définition l'interruption du circuit électrique. Pour qu'on puisse en mesurer l'intensité, il faut en effet que le courant traverse le circuit de mesure lui-même. L'ampèremètre referme le circuit, sa borne positive (l'entrée A) reliée en principe au point où le potentiel est le plus positif, et sa borne commune (COM) reliée au point où le potentiel est le plus négatif. Les petits calibres ampéremétriques de la plupart des multimètres sont protégés par un fusible (qu'il faut vérifier avant d'incriminer le circuit testé !). Le calibre pour les fortes intensités (10 ou 20 A) n'est pas protégés (la mention *untused* figure souvent près de la borne spécifique à ce calibre). Quand l'intensité des courants à mesurer dépasse le maximum admis par le calibre le plus élevé, il reste la possibilité de mesurer la chute de tension du courant aux bornes d'une résistance de dérivation shunt. Voir à ce sujet ELEX n°9 page 15 et ELEX n°12 page 20.

Ohmmètre

En mode ohmmètre, le multimètre devient source de tension, c'est pourquoi les multimètres à aiguille, qui n'ont pourtant pas de circuit numérique à alimenter, sont équipés eux aussi d'une pile. Un ohmmètre ne fonctionne que s'il est capable d'injecter un courant de très faible intensité dans la résistance à mesurer, ce qui en exclut l'usage dans un circuit sous tension contrairement au voltmètre et à l'ampèremètre qui ne sont utilisés que sur des circuits en marche. La tension fournie par un ohmmètre est très fai-

ble et sa polarité est généralement inversée par rapport à celle des autres bornes du multimètre : la borne Ω est négative et la borne COM positive. Sur un multimètre analogique, l'échelle graduée en ohms du galvanomètre est inversée par rapport à l'échelle du même instrument de mesure graduée en ampères ; c'est en effet quand circule un courant de forte intensité que la résistance mesurée est faible ; la position ∞ correspond au contraire à un courant nul.

Quelques outils utiles

Pince plate, coupante, à épiler, cutter, tresse à dessouder, lime, tournevis isolé, loupe, testeur de continuité, colle, étai, perceuse, ciseaux, crayon et gomme, feutre indélébile, règle graduée ou pied à coulisse, ...

Quelques abréviations usuelles

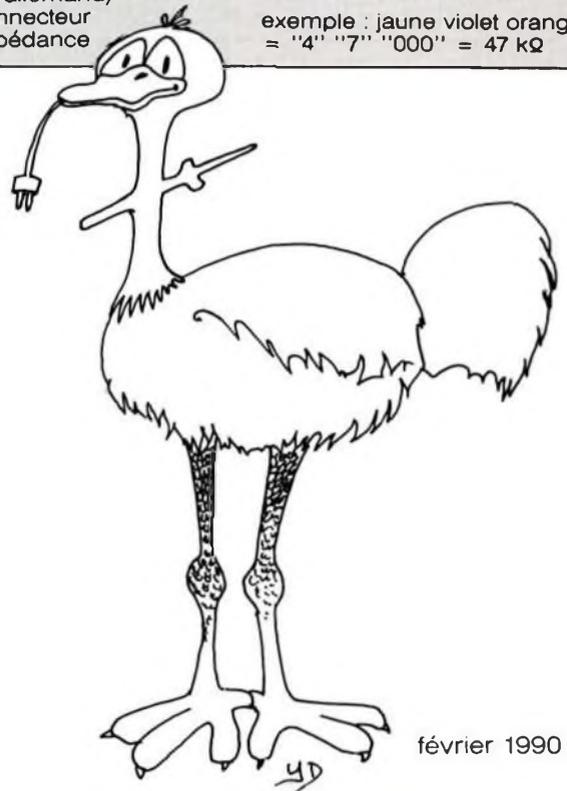
- A = anode
- b = base
- B = redresseur (*bridge*)
- BF = basses fréquences
- BT = basse tension
- c = collecteur
- cér. = céramique
- C = capacité
- C = polycarbonate (MKC = MKM)
- d = drain
- dB = décibel
- D = diode
- e = émetteur
- f = fréquence
- F = farad
- g = conductance
- G = grille ou gâchette
- HF = hautes fréquences
- HP = haut-parleur
- HT = haute tension
- I = intensité
- K = cathode
- K = plastique (*Kunststoff* en allemand)
- K = connecteur
- L = impédance

La troisième lettre désigne le diélectrique (isolant)

- LS = *loudspeaker*
- M = métal
- M = contact coMmun
- MA = modulation d'amplitude
- métal = couche métallique
- MF = modulation de fréquence
- MMV = multivibrateur monostable (ou MVM)
- MVA = multivibrateur astable
- P = polypropylène (MKP)
- P = puissance
- Q = charge (ou facteur de qualité)
- R = résistance
- S = polystyrène (MKS = MKY)
- S = interrupteur, inverseur, commutateur (*switch*)
- T = transistor
- T = polyester (MKT = MKH)
- TBF = très basses fréquences
- Th = thyristor
- Tr = transformateur
- Tri = triac
- U = tension (aussi V)
- U = acétate de cellulose (MKU = MKL)
- U_b = tension de la batterie (alimentation)
- UHF = fréquences ultra hautes
- VHF = très hautes fréquences
- W = watt
- Z = impédance

Le code des couleurs en bref (et en noir et blanc):

- noir = "0"
 - marron = "1" (+ "0") ($\pm 1\%$)
 - rouge = "2" (+ "00") ($\pm 2\%$)
 - orange = "3" (+ "000")
 - jaune = "4" (+ "0000")
 - vert = "5" (+ "00000")
 - bleu = "6" (+ "000000")
 - violet = "7"
 - gris = "8"
 - blanc = "9"
 - or = $\times 0,1$ ($\pm 5\%$)
 - argent = $\times 0,01$ ($\pm 10\%$)
- exemple : jaune violet orange = "4" "7" "000" = 47 k Ω



détecteur de pannes d'électricité

Avertissement : ce circuit peut mettre en danger des vies humaines s'il n'est pas réalisé avec le plus grand soin, en conformité avec les normes d'isolation et s'il ne fait pas appel exclusivement à des composants adaptés à cette application.

Un indicateur de panne d'électricité est un appareil associé à quelque chose de plutôt désagréable : les coupures de courant. Celles-ci ne sont pas rares en France, beaucoup plus fréquentes en tous cas que chez certains de nos voisins européens qui n'ont pourtant ni barrages, ni centrales nucléaires.

Plus désagréables encore que les pannes elles-mêmes sont leurs conséquences sur ceux de nos appareils alimentés en permanence par le secteur, et commandés par une horloge électromécanique. Vous savez sans doute ce que ça donne quand la chaudière se met en marche en pleine nuit parce que son horloge est dérégulée, ou encore quand le radio-réveil ne sonne qu'à 7h42 au lieu de 7h pile...

Vous savez peut-être aussi ce que c'est que d'avoir à liquider illico tout le contenu de l'aquarium parce que la température a baissé ou parce que le filtre s'est arrêté de fonctionner pendant trop longtemps...

Détails de taille

Notre détecteur ne vous sert pas à vous affranchir des inconvénients que re-



présentent les pannes d'électricité ; la seule chose qu'il puisse faire, c'est contribuer à réduire les risques de catastrophe en vous informant instantanément. Il vaut mieux être réveillé au beau milieu de la nuit par le détecteur de panne que de se réveiller en retard le lendemain matin parce que le réveil électrique est désynchronisé ?

Le circuit de la **figure 1** ne paye pas de mine, mais si vous nous faites le plaisir de lire la description qui suit, vous ne perdrez pas votre temps. Un montage comme celui-ci recèle quelques détails de conception intéressants. Ainsi, par exemple, la mise en

service automatique de la batterie aussitôt que la tension du réseau domestique disparaît. Il est normal que le circuit soit alimenté par le secteur tant que tout est normal. La pile est réservée aux situations d'urgence. Le circuit a été conçu de telle sorte que, même en cas de panne, il ne représente pour la pile qu'une faible charge.

Un autre détail intéressant de ce circuit est sa mémoire. Quand le courant est rétabli après la panne, le détecteur n'oublie pas pour autant la panne qu'il avait détectée et il continue d'émettre son signal d'alarme jusqu'à ce qu'on lui demande de se taire.

Ainsi, une fois que vous serez équipé de ce chien de garde et que vous l'entendrez aboyer quand vous rentrerez chez vous après une rude journée de labeur, vous saurez qu'il faut immédiatement transvaser le contenu de l'aquarium dans le congélateur et jeter le radio-réveil dans la chaudière. Si tout cela ne vous concerne pas, soit parce que vous n'avez pas d'aquarium, soit parce que vous êtes sourd et que par conséquent vous n'avez aucune chance d'entendre le signal sonore, lisez quand même ce qui suit, d'abord parce que si vous avez payé ce numéro, il faut que vous en ayez pour votre argent et ensuite même si vous ne l'avez pas payé, un circuit d'ELEX avec une tête de mort vaut bien qu'on s'y arrête. D'ailleurs la surdité n'est pas définitivement gênante ici, puisque le signal sonore pourra être remplacé ou doublé facilement par un signal lumineux.

Le calme avant la tempête

Tout tourne autour de la prise de courant où règne une tension de 220 V comme le calme printanier règne à Fessenheim, Golfech et Atchoumbyl. Les condensateurs C1 et C2, associés aux résistances R1 et R2 forment un diviseur de tension qui réduit la tension à 20 V environ. La charge que représente le circuit en aval fait encore chuter cette tension de quelques volts. Le redressement assuré par D1 permet à la diode zener D2 associée à la résistance de limitation de courant R3 de stabiliser la tension con-

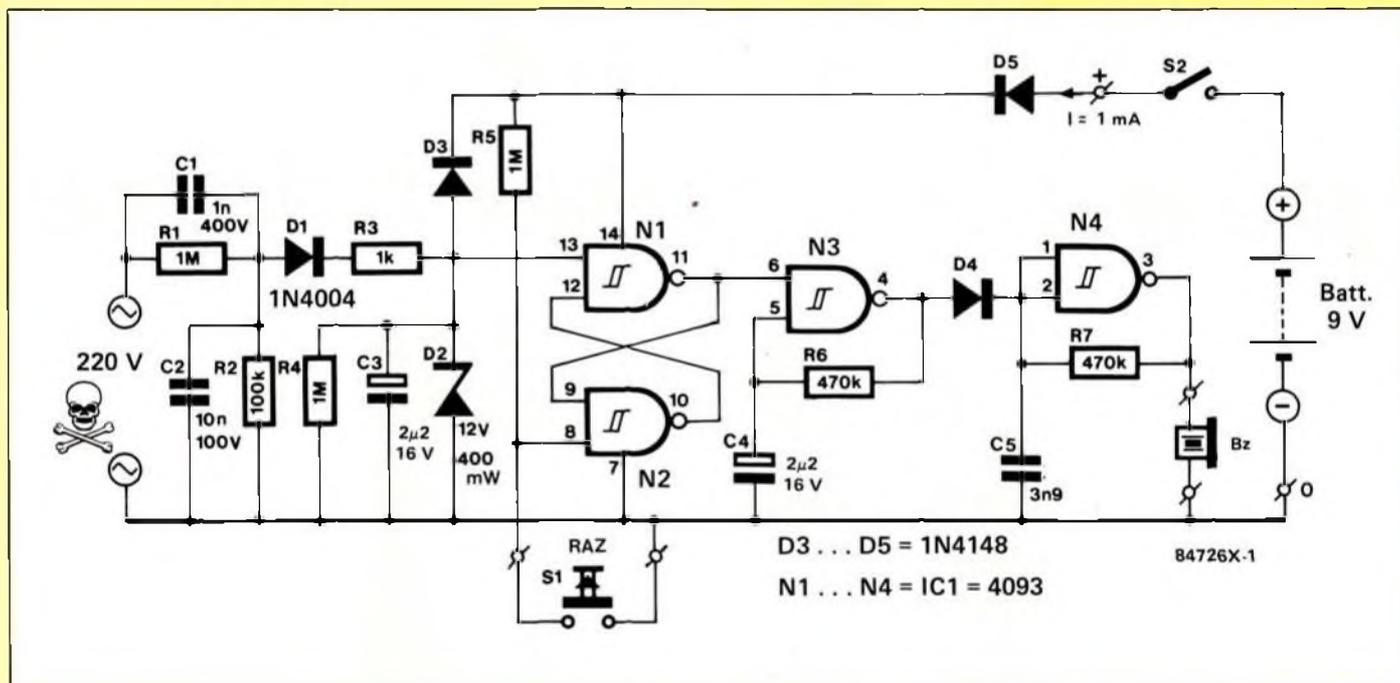


Figure 1 - Les opérateurs N3 et N4 forment un double multivibrateur commandé par la bascule N1/N2. Ce circuit apparemment inoffensif est en fait très dangereux parce qu'il est relié au réseau électrique sans transformateur !

tinue à 12 V environ. Le condensateur C3 achève de lisser la tension redressée et stabilisée. Tant que tout va bien, le circuit du détecteur est alimenté à travers D3, une diode ordinaire polarisée en direct. La diode D5 est bloquée en revanche, car sa polarisation est inverse : la tension fournie par le circuit relié au réseau électrique est plus élevée que celle de la pile. Il ne peut donc pas circuler de courant de l'anode à la cathode de D5.

Le temps passe... Soudain, c'est la tempête. Le massacre du printemps, les mutations golgolire ! Les pylônes ploient, les isolateurs explosent, ce ne sont que tonnerres de flexe et bonzards de bubine momolle qui s'abattent sur les lignes électriques. Rupture chanceticot, c'est la panne... et c'est D5 qui conduit maintenant. Le circuit d'alarme construit autour de N1 à N4 est alimenté par la pile, et D3 est bloquée, interdisant notamment à la broche 13 de N1 de « voir » la tension d'alimentation. Ce détail vous aurait échappé si on ne vous l'avait pas signalé, et pourtant son importance est primordiale. Sans cela le circuit ne fonctionnerait pas.

Jusqu'ici, cette entrée (broche 13) de N1 était forcée à

un niveau de tension de 12 V, ce qui donne un niveau logique haut. Et comme cette entrée de la bascule N1 et N2 est l'entrée S (comme *set*, c'est-à-dire l'entrée qui en passant elle-même à "1"), la broche 11 de N1 est donc... quoi, vous n'avez donc pas encore compris ce que c'est que cette bascule RS ?

Soit, mais on ne peut pas reprendre cela dans le détail ici, qu'est-ce que vous croyez ? Alors vous ferez bien de relire les articles consacrés à cette bascule dans le n°8 d'ELEX, page 57. Vous y verrez comment N1 et N2 forment un circuit à une sortie et deux entrées. Quand l'une des entrées passe au niveau bas, la sortie en fait autant ; on dit que c'est l'entrée R (*reset*). Quand l'autre entrée passe au niveau bas, la sortie passe au niveau haut ; on dit que c'est l'entrée S (*set*). Assez, dit la baleine, et ne m'interrompez plus maintenant !

La sortie de la bascule remise à zéro bloque les deux multivibrateurs

Tant que l'entrée broche 13 de N1 était au niveau haut, la sortie de N1

interdit au multivibrateur astable construit autour de N3 d'osciller. Sa sortie est forcée au niveau logique haut. À travers D4 elle interdit à son tour à N4 de charger et de décharger le condensateur C5. Le multivibrateur construit autour de N4 n'oscille pas non plus et il est normal que le résonateur piézo-électrique Bz ne résonne pas.

Reprenons notre raisonnement au moment de la disparition de la tension du secteur. Aussitôt la sortie de N1 passe au niveau haut, ce qui va permettre à N3 de charger puis de décharger le condensateur chimique C4 environ 3 fois par seconde. C'est au rythme de ces impulsions fournies par N3 que retentit le signal sonore. Quand la sortie de N3 est au niveau haut, N4 charge et décharge C5 à une fréquence de 3 kHz. Quand la sortie de N3 repasse au niveau bas, N4 est bloqué. Le signal sonore intermittent présente le double avantage d'être plus frappant qu'un signal continu et de réduire la consommation de courant : en effet, quand les oscillations de N4 sont bloquées, la consommation est réduite de moitié.

Le temps peut passer... Le courant que la pile a à fournir est de l'ordre de 1 mA. Le temps passe donc, la

panne aussi... Bientôt le soleil paraît, exberflouze. Le courant est rétabli. Les spontex palponaques sont rendus à la nature des chachasses. Merci.

Ne soyez pas surpris : sur le circuit du détecteur de panne, il ne se passe rien, ce qui est un signe de son bon fonctionnement. Si vous avez étudié la description de la bascule RS que nous vous avons recommandée, vous savez que sa sortie ne repassera à zéro que si l'on active l'entrée de remise à zéro (R) en la forçant elle-même à zéro. C'est ce que l'on obtient en appuyant sur le bitonio S1 (RAZ).

Quand la sortie de N1 tombe au niveau bas, le spectacle s'achève.

Rideau. Iquemuche, m'iquemuche Mais tout ceci n'est donc qu'un rêve.

Et si vous appuyez sur S1 alors que la tension du secteur n'a pas été rétablie ? Tant que l'entrée S n'est pas repassée au niveau haut, la commande de remise à zéro ne fonctionne pas. Faut le laisser chouiner jusqu'à ce que le jus revienne, ou alors lui couper le sifflet en ouvrant S2, l'interrupteur de mise sous tension.

Et si le jus ne revient pas ?

Pas d'angoisse : 400 heures, elle peut tenir la pile, quatre cents-z-heures j'vous dis, avec un courant de 1 mA ! Bon, vous trouvez que j'étagère ? Soit : 200 heures garanties. Et si vous avez l'intention de partir en Casamance pour 6 semaines (dites, il y aurait peut-être une petite place pour moi, je suis pas gros) et que vous tenez à ce que le détecteur soit capable de garder la mémoire pendant tout ce temps sur la même pile, il faut pendre le taureau par les cornes et multiplier par 10 la valeur de C1 (10 nF au lieu de 1 nF) et C2 (100 nF au lieu de 10 nF).

Montez aussi un condensateur de 10 μ F/16 V entre les broches d'alimentation du circuit intégré (broches 7 = - et 14 = +) de sorte que la pile sera encore moins sollicitée et tiendra des mois durant.

La réalisation

Comptez les ponts de câblage que vous aurez montés sur la platine d'expérimentation conformément au plan d'implantation de la figure 2. Il y en a huit ? C'est qu'il en manque un. La densité d'implantation des composants est assez forte ; il n'est donc pas vain d'avoir recours à du fil de câblage isolé pour réaliser certains de ces ponts. La polarité des diodes et des condensateurs a-t-elle été respectée ? Vérifiez-la une fois, deux fois, trois fois... Le circuit intégré est-il monté correctement sur son support ?

Une fois que le montage vous paraît prêt à l'utilisation, vous pouvez monter la pile (NE PAS RELIER LE CIRCUIT AU RÉSEAU ÉLECTRIQUE POUR L'INSTANT !) et voir ce que ça donne... Le circuit émet-il son signal sonore intermittent ? Oui, alors bravo. Sinon il faut tout revérifier avec soin. Un défaut vous a sans doute échappé malgré votre vigilance. Pour vérifier le fonctionnement du bouton de RAZ il faut d'abord court-circuiter D3 à l'aide d'une résistance de 1 k Ω afin de forcer

l'entrée broche 13 de NI au niveau haut. Maintenant le circuit doit réagir comme si la tension du secteur était rétablie, c'est-à-dire que si vous appuyez sur S1, le signal sonore devra s'arrêter. Pour l'instant, la tension de 220 V n'a toujours pas été appliquée au détecteur.

Il reste ensuite à mettre le circuit dans un coffret en plastique, robuste et parfaitement isolé. Nous vous recommandons d'utiliser un de ces coffrets avec fiche moulée. Les composants du détecteur sont presque tous en contact direct avec l'une des lignes du réseau électrique. La présence de la tête de mort à l'entrée du schéma en dit plus long que tous nos discours. Ce qui ne nous empêchera pas d'ajouter que le choix d'organes de commande (poussoir et interrupteur) en plastique est préférable à celui de modèles métalliques, dangereux notamment en cas de court-circuit (un fil qui lâche et crac...).

L'interrupteur S2 est monté en série entre le pôle + de la pile et le point + de la platine de la figure 2. Avant de mettre le circuit sous tension, revérifiez tout. Il faut que toutes les parties du circuit soient inaccessibles de l'extérieur une fois que le boîtier est refermé, le résonateur piézo-électrique aussi.

Quand vient le grand moment de la mise sous tension, il ne doit rien se passer. Vous n'avez pas la conscience tranquille ? Alors revérifiez encore... Pour tester le fonctionnement, il faut une panne d'électricité. Inutile d'attendre la prochaine grève.

64726

* Les excroissances langagières qui prolifèrent dans cet article sont le fait d'une incoercible contamination de certains membres de la rédaction par le *Poème Mérovingien*, de Messieurs Roger Pierre (alias Ruggiero Pietri) et Jean-Marc Thibault (alias Giovanni Marco Tibaldi) gravé sur un disque Ducretet-Thomson (tiens, encore lui !) d'avant le déluge de Tchernobyl.

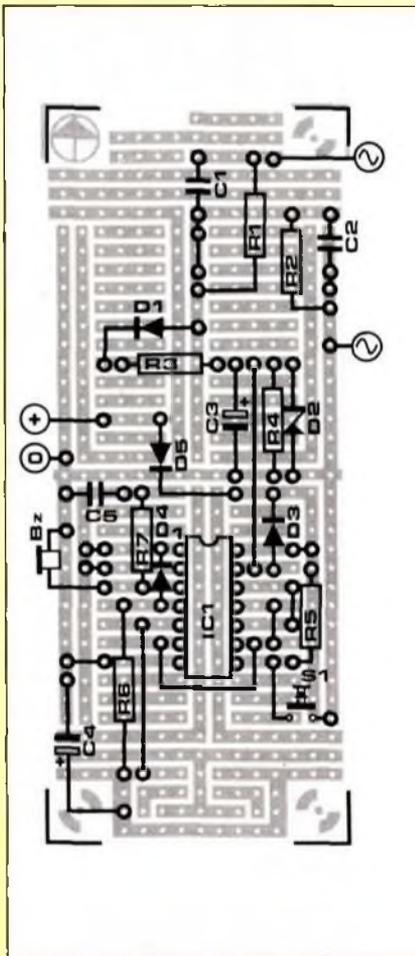
LISTE DES COMPOSANTS du détecteur de pannes d'électricité

R1, R4, R5 = 1 M Ω
R2 = 100 k Ω
R3 = 1 k Ω
R6, R7 = 470 k Ω

C1 = 1 nF/400 V
C2 = 10 nF/400 V
C3, C4 = 2,2 μ F/16 V
C5 = 3,9 nF

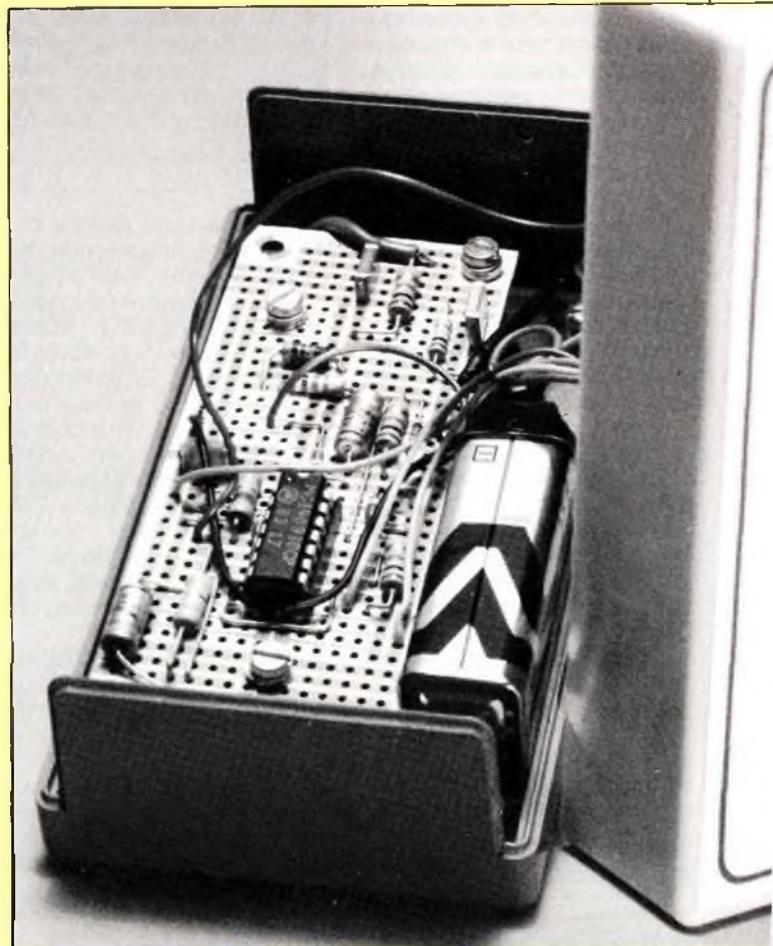
D1 = 1N4004
D2 = zener 12 V/400 mW
D3, D4, D5 = 1N4148
IC1 = 4093

Divers :
S1 = bouton poussoir
S2 = interrupteur support pour circuit intégré à 14 broches
Bz = résonateur piézo-électrique
1 pile de 9 V avec coupleur de pile à pression platine d'expérimentation de format 1
accessoires de décollage et d'isolation coffret en plastique (avec prise mâle moulée)
1 bitchpops



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

Figure 2 - Plan d'implantation des composants sur une platine d'expérimentation de petit format.



Adaptateur d'antenne radio actif

Ne craignez rien ! Puisqu'il n'y a pas de trait d'union entre les mots « radio » et « actif » du titre de cet article, le circuit qui y est décrit est parfaitement inoffensif.

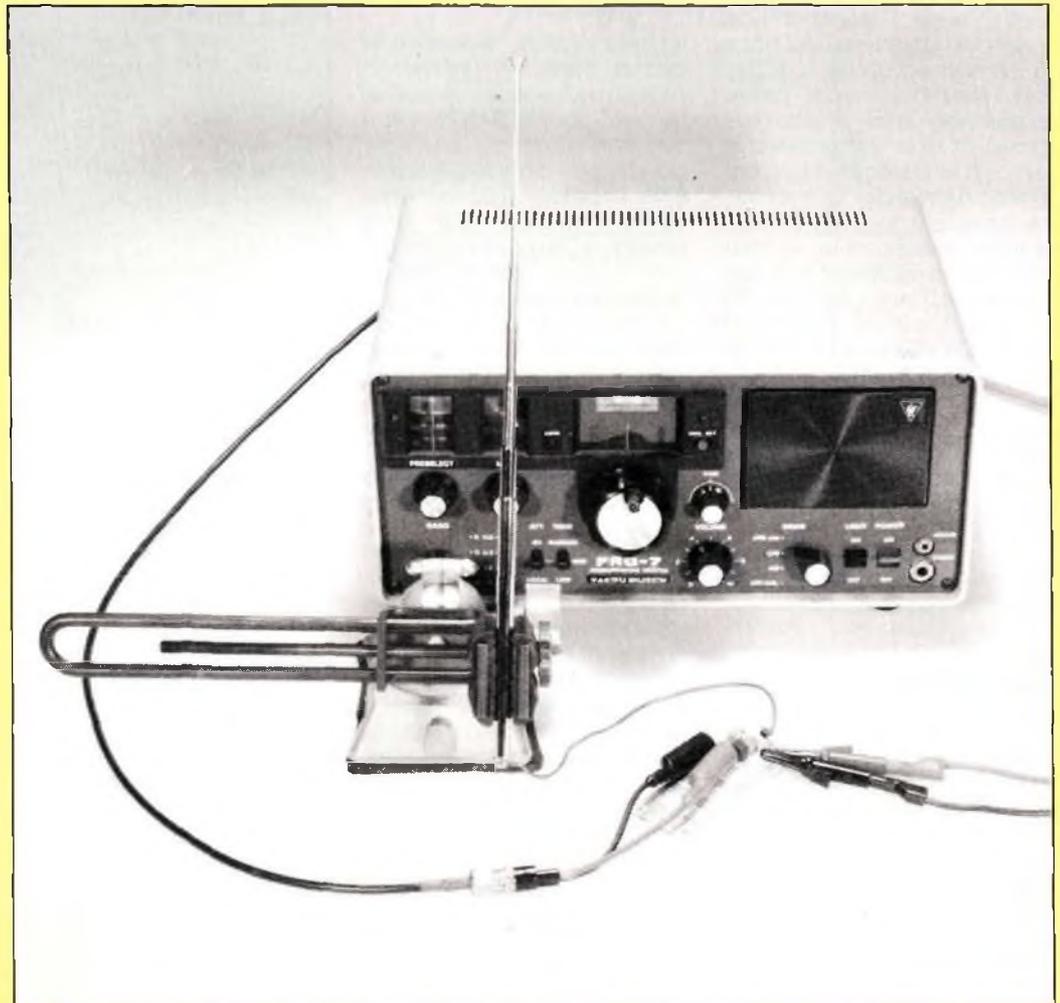
Vous souriez ? Pas convaincu ?

L'argument du trait d'union est-il donc moins rassurant que d'autres ? N'associe-t-on pas par exemple la sécurité des centrales atomiques nucléaires à la présence de l'eau qui les refroidit ? Pourtant l'eau et le sodium, ça fait deux. Et du sodium, dans les centrales thermiques, il y en a, paraît-il...

Enfin, revenons à notre antenne. En fait d'activité, son circuit n'est en fait qu'un adaptateur d'impédance à FET. Mais commençons par le début. L'antenne, c'est pour les amateurs d'ondes courtes et d'écoute DX (distance inconnue) une espèce d'indispensable prothèse auditive. Certains membres de l'équipe d'ELEX sont des habitués des ondes courtes. Le plus fanatique d'entre nous, Paul, qui se charge de toute notre documentation et de la prospection des nouveaux composants (une encyclopédie ambulante et barbue) s'est littéralement spécialisé dans l'écoute des stations radio pour la navigation côtière du monde entier. Il n'émet pas lui-même, mais se passionne pour les émissions les plus lointaines et les plus variées. Les soirs où les bulletins de météo marine annoncent un coup de vent sur l'Atlantique ou en Mer du Nord, il passe des nuits blanches, l'index sur le bouton de son récepteur OC, pour lequel il utilise une grande antenne-fouet télescopique.

Raccourcir

Si l'on souhaite, par exemple, recevoir les émissions



de *La Voix des Andes* sur 17790 kHz, il faut un dipôle (une antenne composée de deux éléments symétriques formant un T) accordé de 8,5 m ! En effet, la longueur de l'antenne doit être adaptée à la longueur d'onde λ (le L minuscule en grec, prononcer "lambda"). Celle-ci est calculée à partir de la vitesse de propagation des ondes, proche de celle de la lumière, 300 000 km/s, que l'on divise par la fréquence, soit $300\,000 \div 17790 = 16,86$ m dans l'exemple qui nous occupe. On aura donc $\lambda/2 = 8,5$ m.

Et comment fait-on pour recevoir ce genre de stations sur des postes dont l'antenne fouet dépasse à peine le mètre (sur le poste de Paul, elle mesure 1,5 m) ?

Le raccourcissement d'une antenne par rapport à sa longueur optimale déterminée en fonction de la longueur d'onde des signaux à capter, ne modifie pas son rapport signal/bruit, puisque la perte de signal utile est compensée par une réduction proportionnelle du bruit et des parasites captés. Ceci est vrai jusqu'à une certaine longueur, à partir de laquelle le niveau du bruit propre de l'antenne et surtout celui du récepteur dépassent le niveau du bruit extérieur.

Tout cela paraît contradictoire. Sachez d'emblée que nous n'arriverons pas à

élucider complètement le mystère en une demi-page, et certaines notions introduites dans les explications qui suivent mériteraient que l'on s'y attarde bien plus longuement que nous ne pouvons le faire. Acceptez-les telles qu'elles sont. En attendant d'autres articles sur le même sujet...

Ce qui est important, en matière de réception et d'antenne, c'est le bruit environnant, composé de parasites d'origine atmosphérique et industrielle, dont le niveau, pour une antenne à dipôle comme celle que nous venons d'évoquer, est beaucoup plus élevé que celui du bruit qui affecte les (bons) circuits de réception modernes. Bref, la qualité de la réception dépend non seulement de la puissance

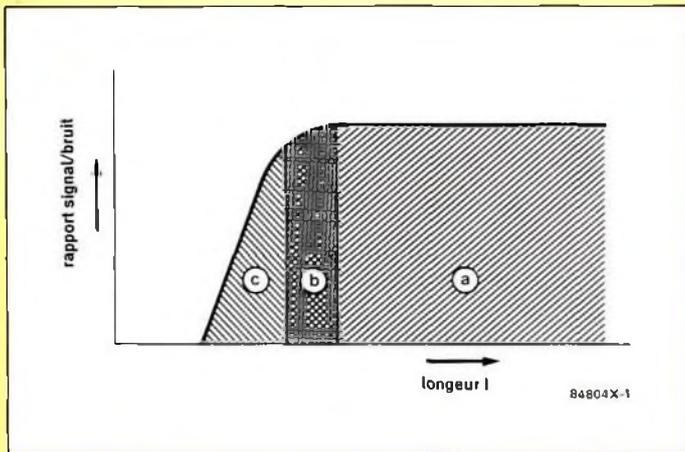


Figure 1 - Évolution du rapport signal/bruit d'une antenne en fonction de la longueur réelle de l'antenne, à une fréquence donnée. Dans la région a, le niveau de bruit extérieur est supérieur à celui du bruit intrinsèque. Dans la région b, les deux niveaux sont équivalents. Dans la région c, le bruit intrinsèque est plus fort que le bruit extérieur, l'antenne perd son efficacité.

du signal utile, mais aussi du niveau des bruits captés en même temps.

Quand on raccourcit l'antenne, le rapport signal/bruit ne change pas, puisque la perte de signal utile est compensée par une réduction proportionnelle du bruit. En-deçà d'une certaine longueur, le bruit intrinsèque de l'antenne et surtout celui du récepteur lui-même prennent néanmoins le pas sur le bruit extérieur. Dès lors, le raccourcissement de l'antenne se traduit par un effondrement du signal et l'antenne ne sert plus à rien.

Le diagramme de la figure 1 donne une idée du rapport entre longueur de l'antenne et rapport signal/bruit. Dans la région b du diagramme, il est possible de réduire considérablement la longueur de l'antenne par rapport à la longueur théorique du dipôle. **Le bruit capté est pour ainsi dire masqué par le bruit intrinsèque.** On peut utiliser des antennes « raccourcies » de la sorte pour les fréquences de 10 kHz à 30 MHz.

Adapter

Il reste à savoir pourquoi il n'est pas possible de connecter une telle antenne directement au récepteur. Non seulement il ne faut pas perdre de vue le rapport des grandeurs mises en présence sur la figure 1 en fonction de la longueur de l'antenne, mais il faut

aussi assurer un couplage convenable de l'antenne et de l'étage d'entrée du récepteur afin que le signal soit acheminé dans les meilleures conditions possibles. La figure 2 montre de quoi il retourne : l'antenne est représentée sous forme d'un générateur de tension alternative (le cercle avec les trois sinusoides superposées). Cette représentation est parfaitement conforme à la réalité. La résistance R_A est la résistance de rayonnement, et X_A la réactance de l'antenne. La résistance de rayonnement équivaut à la résistance (fictive) qui dissiperait une énergie électrique égale à l'énergie

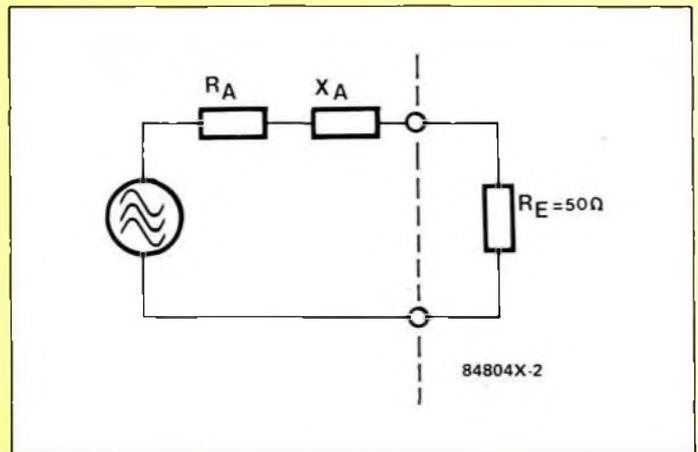


Figure 2 - Le problème que pose à l'entrée du récepteur l'adaptation du générateur de tensions alternatives formé par l'antenne. La résistance de rayonnement R_A et la réactance X_A de l'antenne s'opposent au courant qu'y induit le rayonnement électro-magnétique capté. Leur somme devrait être égale à la résistance d'entrée R_E de la charge.

rayonnée. La réactance, contrairement à la résistance, varie en fonction de la fréquence. Elle donne naissance à un déphasage entre courant et tension.

Attention au virage, accrochez-vous. En bref, plus l'antenne est courte, plus la réactance est faible... En termes plus mathématiques, à une fréquence donnée, la résistance de rayonnement est proportionnelle au carré de la longueur de l'antenne. Et la réactance est inversement proportionnelle à cette longueur. Avec une antenne-fouet, elle est donc facilement de

quelques k Ω , ce qui est beaucoup trop élevé : pour une bonne adaptation de puissance, il faudrait que la somme de R_A et X_A soit égale à la résistance d'entrée du récepteur, soit 50 Ω . À défaut de cette adaptation, une partie de la puissance reçue est compromise par le piètre couplage. Pour qu'un générateur débite sa puissance maximum, il importe que la résistance du circuit dans lequel il débite soit égale à la résistance interne du générateur. Même sans comprendre pourquoi la somme de R_A et X_A est si élevée, vous pouvez comprendre qu'aucune manipulation ne nous permettra de réconcilier la résistance de l'antenne et celle du récepteur.

La tension s'effondre en cas de mauvaise adaptation à une impédance faible, et le rapport du diviseur de tension devient défavorable avec l'augmentation de la réactance.

D'où l'on déduira que l'affirmation faite ci-dessus selon laquelle la réduction de la longueur resterait sans effet grave sur les performances de puissance, est un peu... courte ! En tous cas, pas de quoi faire la fête.

Est-ce la défaite ? Non, car sur ces entrefaites entre en scène, véritable *deus ex machina*, le prophète attendu qui nous épargnera la défaite, le FET, notre transistor à effet de champ à l'aide duquel nous vous proposons de bricoler un adaptateur d'impédance

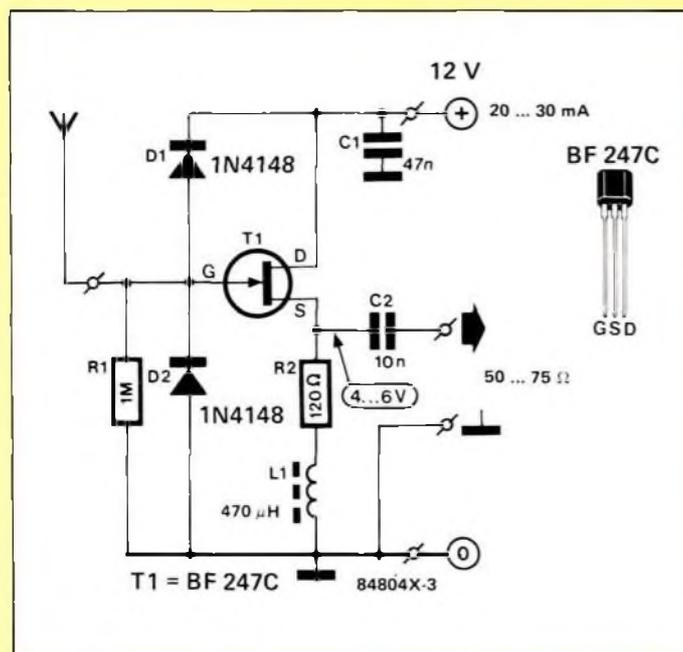
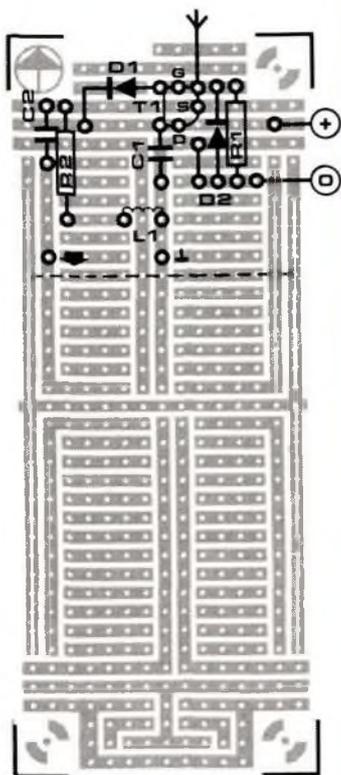


Figure 3 - Schéma de l'adaptateur d'antenne à insérer entre une antenne-fouet et l'entrée d'un récepteur. La résistance d'entrée d'un tel adaptateur est par définition élevée, tandis que sa résistance de sortie est faible. Ceci garantit une bonne adaptation entre l'antenne et le récepteur.

pionniers:

Figure 4 - Il suffit d'un petit bout de platine d'expérimentation de petit format pour monter l'adaptateur d'impédance. Il faut monter le fouet directement sur la grille du FET et utiliser du câble coaxial pour la sortie.



LISTE DES COMPOSANTS

R1 = 1 MΩ
 R2 = 120 Ω
 L1 = 470 μH
 C1 = 47 nF
 C2 = 10 nF
 D1, D2 = 1N4148
 T1 = BF247C
 antenne-fouet de 50 cm à 1 m
 platine d'expérimentation de petit format

La résistance de rayonnement d'une antenne ; on désigne par ce vocable la résistance (fictive) qui, alimentée par la même énergie que celle que rayonne l'antenne, serait traversée par un courant de même intensité.

pour résoudre notre problème de couplage.

Tournons-nous vers la **figure 3**. Le circuit est un classique du genre : le drain est relié directement à la ligne d'alimentation positive, et la source **suit** les variations du signal appliqué à la grille.

Avec tout ce qui a été écrit sur le FET, ailleurs dans ce numéro, vous n'avez aucun mal à comprendre qu'un tel circuit est caractérisé par une impédance d'entrée aussi élevée que sa capacité d'entrée et sa résistance de sortie sont faibles. La résistance d'entrée, c'est R1 qui la fixe à 1 MΩ. La résistance de sortie dépend de la valeur de R2, mais aussi de la conductance du transistor. L'inductance L1 est là pour réduire aux fréquences élevées la charge que représente R2 pour T1. Les diodes D1 et D2 limitent l'amplitude du signal d'entrée entre un maximum de +12,6V et -0,6 V.

La longueur du fouet pourra être comprise entre 50 cm et 1 m. La réception se fait entre 10 kHz et 100 MHz, bien plus qu'il n'en faut pour les ondes courtes. La consommation n'est pas négligeable : 20 à 30 mA de courant, c'est

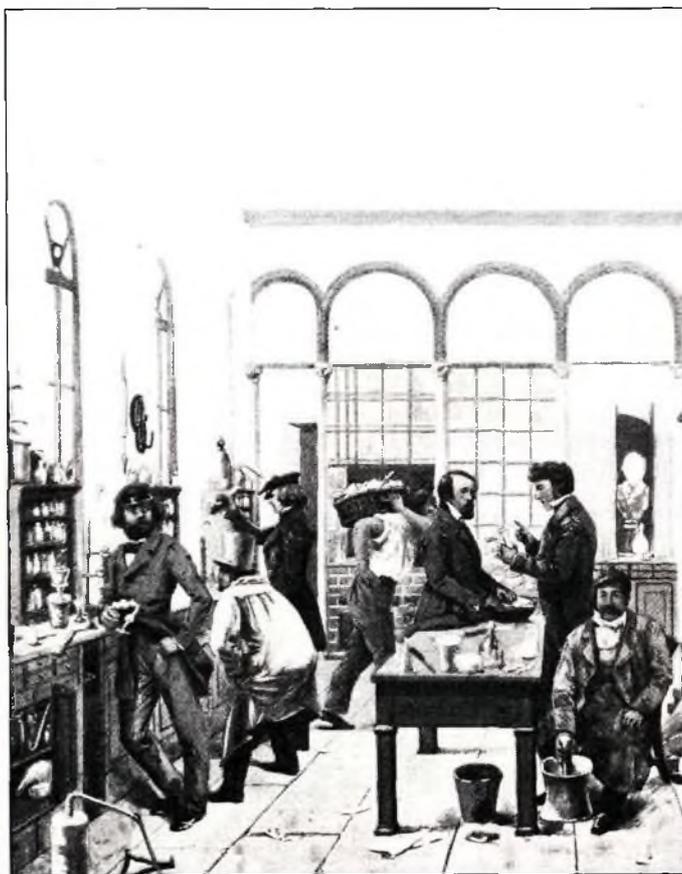
l'affaire d'une petite alimentation, plus que d'une pile. L'idéal est bien entendu de pouvoir alimenter le circuit à partir du récepteur avec lequel il est utilisé, à condition que celui-ci ne soit pas lui-même... alimenté par piles. Dans ce cas, réalisez une bonne alimentation stabilisée comme celles qu'ELEX vous a déjà proposées sous plusieurs formes, et profitez-en pour alimenter l'antenne et son récepteur avec !

La liaison entre le fouet et la grille du transistor sera aussi courte que possible. La longueur du câble coaxial de 50 à 75 Ω que vous utiliserez entre C2 et l'entrée du récepteur, est moins critique.

100

La longueur d'onde est celle du chemin parcouru pendant la durée d'une oscillation. Au cours d'une oscillation sinusoïdale, le courant connaît deux demi-périodes symétriques, mais de polarité opposée, elles-mêmes composées de quatre quarts de période où l'intensité du courant est alternativement croissante et décroissante.

84804



Le mois dernier, nous vous proposons une petite expérience de chimie que nous prolongerons ici par l'évocation d'un des fondateurs de la chimie moderne.

Certes, l'unité d'inductance a bien failli s'appeler le *hendrie* (voir ELEX n°16, page 42)... mais le silicium aurait bien pu s'appeler le *berzélium* !

La chimie est l'une de ces disciplines scientifiques qui « explosent » au cours des décennies centrales du XIX^e siècle. Non seulement les différentes branches existantes de cette science déjà riche se développent considérablement, mais il apparaît des domaines prometteurs, à commencer par celui de la synthèse organique dont notre Berzelius est le créateur.

Si nous évoquons ici cette période, c'est parce que son flamboiement aura des retombées incalculables sur toutes les disciplines scientifiques, techniques et industrielles, notamment l'électronique.

Que les théories fondamentales aient été élaborées dès le début du siècle ne suffisait pas pour que fussent trouvées aussitôt les applications fructueuses. Il fallait encore que viennent les hommes, audacieux, idéalistes, désintéressés et infatigables pour systématiser, expérimenter et analyser, pour en somme mener à bien l'ensemencement des terres nouvelles. Les échanges, notamment épistolaires, n'étaient pas rares entre ces précurseurs de la science moderne que trop souvent l'on imagine, à tort, isolés et renfermés sur eux-mêmes. Les progrès d'un chercheur, aujourd'hui comme en ce temps-là, sont d'autant plus rapides qu'ils n'ignorent rien des recherches d'autrui. L'homme que nous vous présentons aujourd'hui a laissé l'empreinte de son génie en engageant par ses conceptions et ses formulations, la chimie dans un système de représentations encore utilisable aujourd'hui. Son rayonnement s'étend de la Suède, son pays, à toute

J.J. BERZELIUS

(1779 - 1848)

l'Europe. De nombreux chimistes importants, quand ils n'étaient pas ses disciples, connaissaient pour le moins ses travaux dans lesquels ils trouvaient une part de leur inspiration, et réciproquement.

Jöns Jacob Berzelius est né le 20 août 1779 près de Linköping en Suède, où son père était instituteur. Il entre à l'université d'Upsala en 1796 pour y entreprendre des études de chimie. Les cours de ses maîtres Afzelius et Ekeberg l'ennuyaient à tel point qu'il décide rapidement de ne plus les suivre et en profite pour se consacrer désormais à la médecine... C'est dans ses connaissances médicales et son expérience de praticien que plongent les racines de ses travaux ultérieurs de cette chimie qu'il ne répugnait pas à appeler « animale ».

C'est en 1799 qu'il publie ses premiers travaux de chimiste : une analyse d'eaux minérales. Non seulement il n'abandonnait pas la chimie, mais il redoublait d'efforts dans la fonction, créée pour lui à l'École de Médecine de Stockholm, d'adjoint pour la chimie, la botanique et la pharmacie.

Si ce poste lui donnait accès aux indispensables laboratoires, il ne procurait pas à Berzelius des revenus suffisants pour vivre. Aussi se tourna-t-il vers des activités de conférencier, de recherche et d'analyse des eaux minérales, avant de créer un institut pour eaux minérales artificielles. Jusqu'à ce qu'il devienne, en 1806, professeur de chimie à l'académie militaire de Carlsberg, et à l'École de Médecine de Stockholm.

La fascination qu'exerçaient à la fin du XVIII^e siècle les phénomènes électriques, est à l'origine de plusieurs tentatives d'interprétation de l'affinité chimique. Il médite les travaux de ses prédécesseurs allemands, anglais et français, puis formalise et systématise leurs vues. Dès 1802, Berzelius avait



C'est lui qui a isolé le silicium !

travaillé sur l'effet de courants galvaniques dans des solutions salines. Ses expériences lui permettront de formuler les lois selon lesquelles la séparation des métaux de solutions métalliques se fait sur le pôle négatif et celle des acides sur le pôle positif.

Dès 1804, Humphry Davy (1778-1829), autre figure fascinante de l'histoire des sciences et autre pionnier

de l'électrochimie, prépare le potassium en électrolysant directement la potasse en plaque avant d'isoler d'autres métaux avec une électrode en mercure, selon une technique peut-être indiquée par Berzelius. Celui-ci l'utilise en tous cas pour isoler les métaux alcalino-terreux comme le silicium et le tantale, dont le rôle est si important en électronique. Le strontium, le baryum, le calcium, le va-

nadium, le zirconium, c'est lui. Le sélénium et le thorium, c'est encore lui.

C'est Berzelius qui, réunissant les conceptions électrochimiques de ses contemporains, a établi avec clarté la théorie de la pile de Volta en montrant que l'énergie électrique était le fruit de phénomènes chimiques. Ses théories sur l'électrochimie furent longtemps érigées au rang de dogme et enseignées comme telles, avant de connaître une certaine disgrâce, à laquelle leur fondateur n'est d'ailleurs pas étranger. Plus tard, elles seront remises à jour et développées par Michael Faraday qui fondera l'électrochimie moderne.

Avec Berzelius, la chimie analytique (classification) sort de l'empirisme et prend une voie qui produira dès le milieu du siècle, le système atomique moderne ; la chimie organique devient scientifique. Ses travaux de chimie biologique portent sur la composition des êtres vivants et sur les processus chimiques de la vie. Dès 1814, il montre, par l'analyse et après de patientes purifications, que les corps organiques obéissent à des lois de composition identiques à celles des combinaisons minérales.

Plus tard, après s'être tour à tour opposé puis rallié non sans réticences aux vues de ses grands contemporains Gay-Lussac, Thénard, Liebig, Wöhler, Davy, Dumas et Laurent, il expose le concept d'*isomérisie* (à ne pas confondre avec *isométrie*) qui admet l'existence d'espèces chimiques ayant même composition et des propriétés différentes.

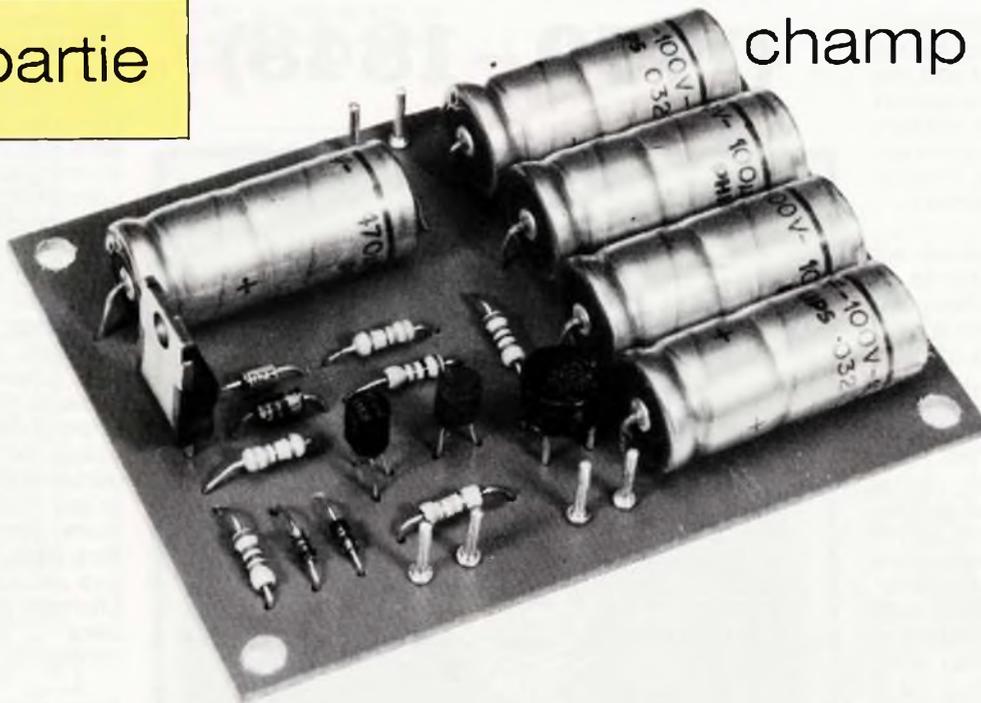
Il est difficile d'imaginer aujourd'hui le travail titanesque de Berzelius pour analyser les quelque 2000 corps sur lesquels il a travaillé dans un laboratoire du type de celui de la gravure ci-contre (il s'agit en fait de celui de Justus Liebig vers 1840 à Giessen en Allemagne).

906037

EFFET

1^e partie

préamplificateur à transistors à effet de champ



affettuoso é molto espressivo

Qu'est-ce qu'un bon préamplificateur ? Qu'en attend-on ?

À en juger par l'impression que laissent les appareils vendus par les marchands de Hi-Fi, il y a en gros deux tendances. L'une évoque irrésistiblement une poussée d'acné juvénile, avec ses boutons fulgurants, l'autre respire la componction glabre d'un employé modèle des pompes funèbres, imprégné de naphthaline. De l'austère, oui, mais de l'ostentatoire !

Dans l'ensemble, les appareils de haut de gamme se distinguent par leur sobriété, les autres par une éruption de petites lumières, de commutateurs et autres manettes pour amuser les doigts et que l'on qualifiera donc de « digitales ».

Bref, il y a deux écoles. Celle des puristes et celle des moins puristes. Commentons par ceux-là. Compte tenu du fait que ce que l'on appelle la haute-fidélité n'est qu'un moyen comme un autre de reproduire des sons, on comprend celui qui, se sentant devant sa chère chaîne stéréo comme aux commandes d'un avion, éprouve le besoin légitime

de trafiquer quelque chose, à défaut de faire de la musique lui-même. Les aigus, le grave, le médium, les égaliseurs graphiques, la balance, le volume, le *loudness* (correction physiologique) et autres gadgets sont des succédanés, mais ils ont un damné succès ! Ils donnent à l'auditeur l'illusion de mettre le pied à l'étrier pour participer dans l'intimité de son paddock à la grande fête hifi que.

Changeons d'école. Compte tenu du fait que tout le monde tire à qui mieux mieux sur la chaîne haute-fidélité pour restituer le moins infidèlement possible le signal musical, il est préférable que le consommateur ne vienne pas rajouter son grain de sel

dans la grande soupe de manipulations que le signal a subies depuis qu'il a été enregistré sur bande, cassette, disque vinyle ou audio-numérique, et éventuellement envoyé dans l'éther par une radio.

Et si on faisait l'école buissonnière ?

Mi fugue, mi rag-time, la solution envisagée par ELEX pour la réalisation d'un préamplificateur audio emprunte un chemin de traverse, qui aboutit à un produit de qualité, facile à réaliser par des amateurs éclairés par notre lanterne, et à portée de quiconque pratique l'électronique de loisirs avec l'intention de dépasser le stade de la sirène de police et de d'indicateur de gel...

Pas de falbalas, mais des faits. Voilà le slogan qui a présidé à la conception de cet appareil. La fiche de caractéristiques se laisse voir, jugez-en par vous même.

La **figure 1** donne une vue d'ensemble du préamplificateur baptisé EFFET parce qu'il fait appel aux transistors à effet de champ. Il s'agit d'une présentation stéréophonique (voies gauche = G ; voie droite = D). L'alimentation est commune. Les entrées attaquent un sélecteur sur lequel vous êtes libre d'ajouter ou de supprimer des positions. Ici nous avons un commutateur rotatif à deux fois six positions. Il pourrait tout aussi bien n'en avoir que deux ou trois, ou, au contraire, sept, neuf ou douze. Encore que, dans ce dernier cas, il vous faudrait mettre la main sur des modèles de commutateurs pas très courants. Pour nommer les entrées et l'unique sortie du préamplificateur EFFET, nous avons utilisé les termes en usage sur les appareils de fabrication industrielle. PHONO, c'est le phonographe ou piqueu-pe ou tourne-disque. À propos, vous qui souriez avec dédain quand on

Tableau - Caractéristiques techniques

Impédance d'entrée	47 k Ω
Impédance de sortie	47 k Ω
gain en tension	33 dB (43 x)
tension d'entrée nominale	23 mV _{RMS}
tension de sortie nominale	1 V _{RMS}
distorsion (U_{sortie})	0,005%
domaine de fréquences	20 Hz à 20 kHz ($\pm 0,5$ dB)
correcteur de tonalité :	
fréquence de coupure	1 kHz
graves	-12 dB à +12 dB à 20 Hz
aigus	-12 dB à +12 dB à 20 kHz
rapport signal/bruit	80 dB (pour $U_{\text{sortie}} = 1$ V _{RMS})

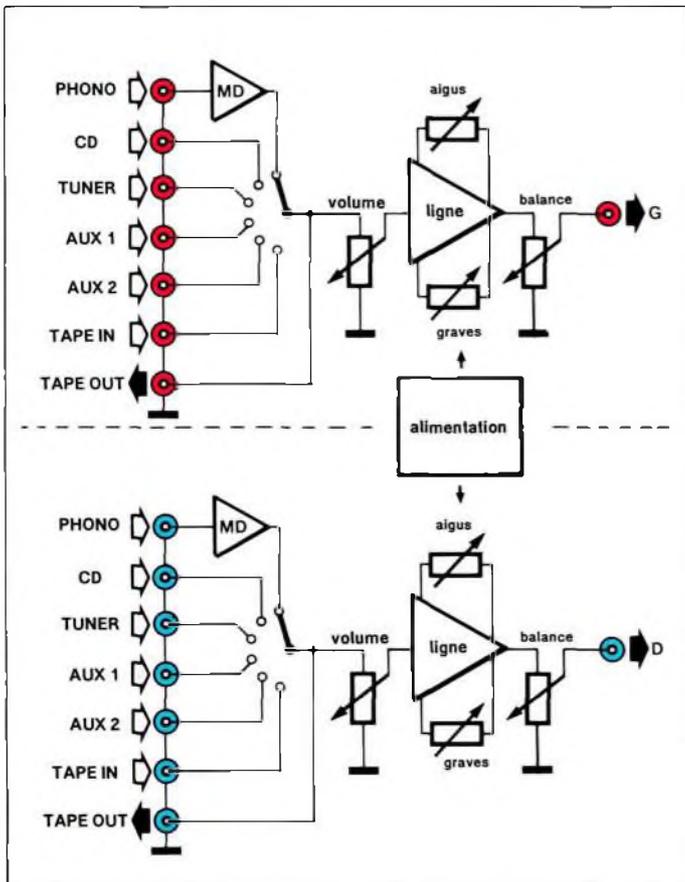


Figure 1 - Un préamplificateur stéréophonique à six entrées (dont une avec correcteur RIAA pour cellule magnéto-dynamique) et une sortie pour l'enregistrement, un correcteur de tonalité (graves et aigus) et un réglage de balance.

vous parle de disques analogiques, ne jetez pas vos vieux 33 tours ; dans quarante ans et peut-être bien avant, vos CD seront rouillés (la couche d'aluminium s'oxyde, hé hé!) et vous serez bien content de constater que le vinyle est encore vert à cet âge. Vert ? Enfin je veux dire noir, quoi... Il n'aura pas un seul poil gris, à condition toutefois de ne pas trop l'écouter d'ici là.

CD c'est le disque audio-numérique. TUNER ? Du nerf, tu n'es pas sans savoir que c'est la radio ! AUX1 et 2 sont des entrées de réserve dites auxiliaires. TAPE IN... mais non, ce n'est pas l'entrée des électro-péripatéticiennes, mais celle du signal de reproduction (ah, je vous disais bien qu'il était cochon, ce truc !) du magnétophone à bandes ou du lecteur de cassettes (PB OUT pour *play-back*). TAPE OUT, la sortie vers le magnétophone, celle qui permet d'enregistrer celui des signaux d'entrée choisis par le sélecteur. Remarquez que le signal d'enregistrement TAPE OUT est prélevé immédia-

tement sur le contact commun du sélecteur.

L'entrée PHONO a son antichambre particulière. Sur la porte on peut lire « MD », ce qui renvoie, implicitement, il faut bien l'avouer, à « cellule phonocaptrice magnéto-dynamique ».

C'est en gros ce que nos ancêtres appelaient encore le saphir. On en reparlera dans un prochain numéro d'ELEX. Pour l'instant, contentons-nous de savoir que cet amplificateur relève le signal extrêmement faible fourni par la tête de lecture pour le porter au même niveau que celui des autres sources. Au passage, il en profite pour opérer ce que l'on appelle la correction RIAA... On vous anesthésiera avant de commencer, tout ira bien. Pardonnez-nous, car nous savons ce que nous faisons.

Dans le prochain numéro d'ELEX, nous vous montrerons aussi comment utiliser cet amplificateur MD pour créer sur votre préamplificateur EFFET une entrée pour un ou plusieurs microphones dynamiques.

Nous n'avons pas prévu d'organes de réglage de niveau pour les différentes entrées. Les trois raisons de ce choix draconien sont les suivantes : la plupart des sources fournissent le même niveau, à savoir 200 mV (± 1 pp) ; sur un certain nombre d'appareils figure un réglage du niveau de sortie, et enfin, utiles ou pas, les potentiomètres d'atténuation produisent du bruit.

Il n'y a donc qu'un seul réglage de volume commun à toutes les entrées, et monté immédiatement derrière le sélecteur d'entrée. Les deux potentiomètres de volume, celui de la voie gauche et de la voie droite sont solidaires en fait, actionnés par le même axe, de même que les deux commutateurs. L'amplificateur de ligne et le correcteur de tonalité forment un seul bloc. Derrière, on trouve le potentiomètre de balance. Là encore il s'agit d'un potentiomètre double (un axe commande deux curseurs sur deux pistes différentes) dit stéréophonique.

Le niveau de sortie est amplement suffisant pour attaquer tout amplificateur de puissance, même le moins sensible.

Le préamplificateur entier comportera donc deux préamplificateurs MD (patience, nous y reviendrons le mois prochain), deux platines d'amplificateur de ligne et une alimentation. Compte tenu de sa conception modulaire, la configuration du préamplificateur EFFET pourra néanmoins être modifiée pour répondre à ces exigences particulières.

Préamplificateur et correcteur de tonalité

L'amplificateur de la figure 2 ne se contente pas d'amplifier, comme nous allons le voir. On distingue, outre et entre le potentiomètre de volume P1 et le potentiomètre de balance P4, trois sections différentes. L'étage d'entrée, avec T1 et T2, l'étage de correction de tonalité, avec P2 et P3, et enfin ce qui compose l'amplificateur de ligne proprement dit, c'est-à-dire l'étage que forment T3/T4 associés à T5 et T6.

Quand ils sauront que

l'étage d'entrée avec T1 et T2 n'est là que pour compenser les pertes de signal que vont occasionner les réseaux de filtrage pour la correction de tonalité, les puristes pourront décider d'omettre toute cette partie du circuit : il suffit de relier le curseur de P1 directement à la grille de T3. Ceci a pour avantage d'améliorer encore les performances pourtant déjà remarquables de ce circuit (cf. tableau de caractéristiques).

Le réseau de correction de tonalité monté autour de P2 et de P3 est un classique du genre, avec des réseaux RC passe-bas et passe-haut comme nous avons eu l'occasion d'en expliquer le fonctionnement récemment, notamment dans la rubrique *analogique anti-choc* ainsi que dans divers autres articles. Un tel réseau placé sur le trajet du signal agit comme filtre : certaines fréquences sont atténuées ou accentuées, tandis que d'autres passent sans subir de modification. Nous ne nous étendrons pas plus longtemps sur cet aspect du circuit.

L'étage de sortie est composé d'un transistor darlington monté en émetteur suiveur (le collecteur est relié directement à la ligne d'alimentation positive, le signal prélevé sur l'émetteur). Dans le circuit d'émetteur de T6, nous trouvons un circuit qui a été décrit ailleurs dans ce numéro, sous une forme un peu différente : le transistor à effet de champ dont la grille est portée à un potentiel fixe, un peu inférieur à celui de sa source, se comporte en source de courant constant. Ici il s'agit en fait d'un drain de courant, puisque ce n'est pas le FET mais le transistor bipolaire qui fournit le courant.

Ceux de nos lecteurs qui ont déjà un peu d'expérience dans le domaine des circuits audio, seront frappés par l'absence de boucle de contre-réaction dans l'étage d'entrée composé par T1, T2, T3 et T4. C'est à cette partie du circuit que nous consacrerons quelques explications approfondies.

Quel que soit le composant actif utilisé pour le réa-

liser, un étage d'amplification n'est jamais parfait. Tube, transistor bipolaire, transistor à effet de champ, ils déforment tous le signal dans une certaine mesure, car ils n'arrivent pas, en sortie, à reproduire avec toute la fidélité souhaitée, les variations du signal d'entrée. La boucle de contre-réaction est là habituellement pour réinjecter à l'entrée une partie du signal de sortie, de façon à ce que le composant en vienne les « fautes » qu'il aurait tendance à commettre. Un des inconvénients de cette boucle est le décalage entre l'entrée et la sortie. Quelle que soit la manière dont on s'y prendra, il subsistera un retard de la correction sur le défaut.

Un autre moyen de s'affranchir des défauts de non-linéarité de la réponse d'un composant est de les compenser avant qu'ils ne se produisent. Le procédé est vieux, on l'utilisait déjà dans les circuits à tube. Ce n'est d'ailleurs pas un hasard si on le retrouve dans un circuit à FET ; le transistor à effet de champ est un composant qui ressemble en bien des points à certains tubes. Mais c'est là un autre sujet. Revenons à la compensation.

Il s'agit de quelque chose d'assez simple. Le point de départ est le fait que la résistance interne d'un composant varie en fonction de la tension qui y est appliquée. C'est la distorsion qui résulte de cette augmentation de la résistance interne qu'il faut précisément supprimer. On obtient ce résultat en imposant au composant concerné (le FET en l'occurrence) une charge dont le comportement soit justement à l'inverse du sien. C'est ainsi que l'on monte le transistor à effet de champ en série avec un autre transistor à effet de champ, pour prélever le signal de sortie au point commun entre les deux.

La figure 3 illustre ce principe en simplifiant le schéma. Pour que le circuit donne satisfaction, il faut d'une part une tension d'alimentation assez élevée, et d'autre part une parfaite symétrie du point commun (drain de T1 et

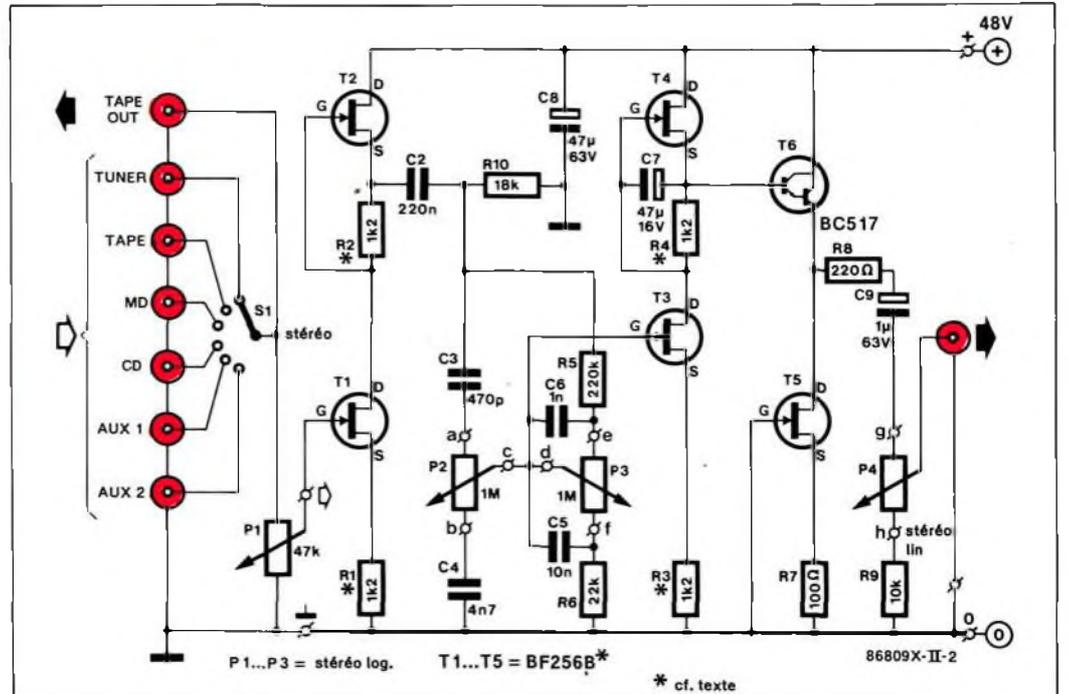


Figure 2 - Schéma du préamplificateur EFFET sans le correcteur pour cellule MD. Dans la suite du présent article qui paraîtra le mois suivant, les géomètres de la hi-fi trouveront des atténuateurs d'entrée qui leur permettront d'aligner tous les sources. Nous publierons aussi un plan de câblage détaillé, plus éloquent qu'une interminable description.

source de T2) par rapport à la tension d'alimentation. Cette dernière condition ne pourra être remplie que si nous consentons à rajouter quelques composants passifs. Les schémas des figures 3b et 3c donnent deux configurations pratiques utilisables. La version avec condensateur chimique donne les meilleurs résultats eu égard à la distorsion, mais c'est l'étage de la figure 3c qui est le moins bruyant, nonobstant son gain élevé. Si vous essayez de retrouver ces configurations sur la figure 2, vous reconnaîtrez à l'entrée l'étage à moindre bruit, tandis que l'étage à moindre distorsion de la figure 3b se re-

trouve à la sortie. Attention ! Le condensateur C1 ne sera monté entre la grille (pôle négatif) et la source de T2 (pôle positif) comme indiqué sur le dessin de circuit imprimé de la figure 5 mais pas sur le schéma, que si le gain de cet étage est trop élevé. Les astérisques apposés aux résistances R1 à R4 indiquent qu'il convient éventuellement d'en corriger la valeur de manière à obtenir une symétrie aussi parfaite que possible (24 V \pm 1 pp) de la tension de drain de T1 et celle de T3.

L'alimentation

Pourquoi le circuit de l'alimentation de la figure 4 a-t-

il été réalisé à l'aide de composants discrets et non pas avec un circuit intégré ? La question est justifiée, quand on sait qu'il existe tant de régulateurs aux performances plus remarquables les uns que les autres. Les exigences du préamplificateur sont-elles à ce point sévères qu'un circuit intégré ne fait pas l'affaire ? L'intensité du courant est-elle si élevée ?

Ce n'est certainement pas le courant qui est en cause, puisqu'il n'est, en tout et pour tout, que de 5 à 30 mA. Une broutille ! Est-ce la stabilité de la tension qui est en cause ? Rien en tous cas qui soit hors de portée d'un régulateur intégré moderne.

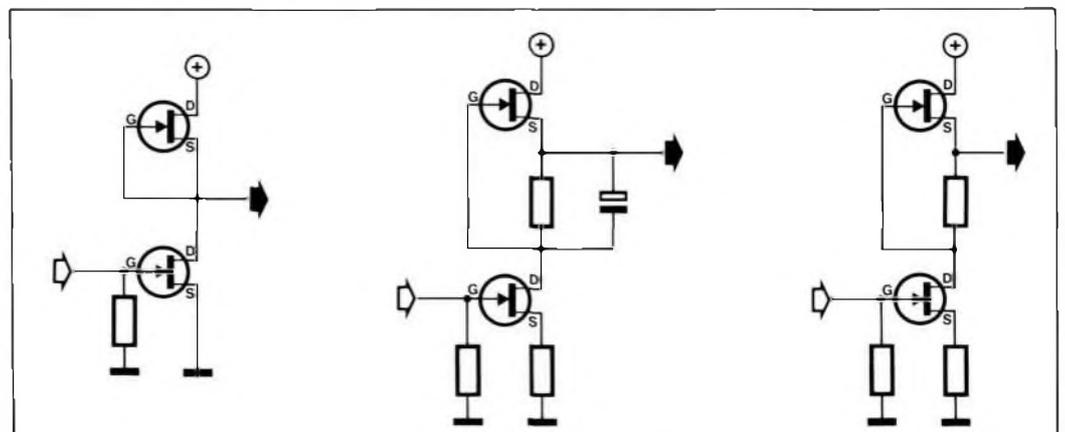


Figure 3 - En l'absence de boucle de contre-réaction, c'est une charge en miroir (un deuxième FET) qui se charge de compenser les défauts de linéarité des composants actifs. Les versions b et c donnent les deux configurations de compensation telles qu'elles sont mises en oeuvre dans le schéma de la figure 2.

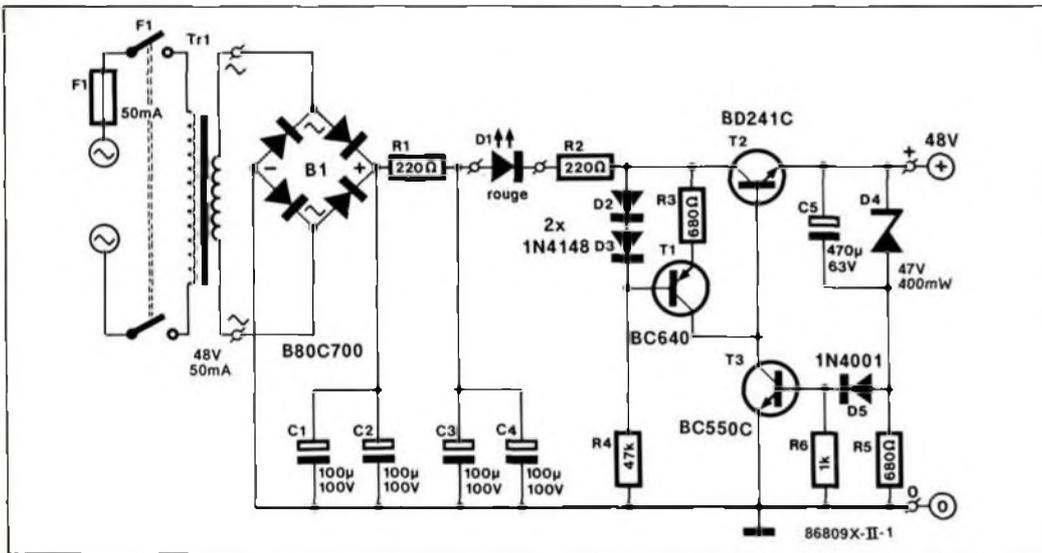


Figure 4 - L'alimentation du préamplificateur EFFET n'est pas réalisée à partir d'un régulateur Intégré parce que nous avons voulu la doter d'un dispositif de montée en tension progressive. La fonction d'un tel dispositif est d'éviter les bruits de commutation lors de la mise sous tension. Le composant principal de ce dispositif est C5.

Non, ce qui nous fait opter pour un circuit discret, c'est la nécessité d'une *montée en tension progressive*. Avec une tension de 48 V, il faut prendre ses précautions si l'on veut éviter les bruits de commutation lors de la mise sous tension.

L'ouverture est interprétée fortissimo par les instruments habituels : l'interrupteur bipolaire, le transformateur, le redresseur et les condensateurs de lissage C1 et C2. Les fréquences basses (ronflement) sont atténuées par le trio R1-C3-C4. Écoutez le joli coup de triangle que nous donne la LED D1, montée comme fringant témoin de mise sous tension, en série avec la tension d'alimentation. Ce montage peu orthodoxe n'est possible ici qu'en raison de la faible intensité du courant d'alimentation du préamplificateur.

Allegro ma non troppo, c'est le mouvement que nous jouent les composants en aval de R2. Le soliste, c'est T2 qui se charge de la régulation-série, accompagné par deux autres transistors et soutenu par le spécialiste en crescendo qu'est le condensateur C5. Les lecteurs familiers d'ELEX auront sans doute reconnu dans la configuration particulière de D2, D3 et T1 une source de courant constant. Après la mise sous tension, quand C5 est encore déchargé, cette source de courant entre en service aussitôt. C'est elle qui va charger C5 à travers la jonction base-émetteur de T2. Petit à petit, T2 devient conducteur, tandis que du courant de charge de C5 résulte une chute de tension suffisante aux bornes de R5 pour que le transistor T3 se mette à conduire à son tour. Dès

lors, l'essentiel du courant qui circule à travers T1 est détourné par T3 vers la masse. Ceci ne contribue pas à accélérer l'entrée en saturation de T2, au contraire.

Il faut attendre que le niveau de tension aux bornes de C5 ait atteint le seuil de la tension de zener de la diode D4 pour qu'il ne circule plus à travers R5 un courant suffisant à entretenir la polarisation de la base de T3. Celui-ci conduit de moins en moins, à tel enseigne que T2 peut maintenant fournir les quelques dizaines de milliampères qui lui sont demandés. La tension de sortie atteint à présent sa valeur de croisière, soit 48 V environ. Musique !

Attention. Ne croyez pas que T3 se soit endormi sur son pupitre. Il continue de battre la mesure. Aussitôt

qu'une variation de la tension de sortie a tendance à se produire, la diode zener évacue le surplus, ce qui fait augmenter le courant à travers R5. Aussitôt la polarisation de la base de T3 redevient suffisante pour que ce transistor détourne une partie du courant de base de T2, et contribue ainsi à stabiliser la tension de sortie. C'est sur cet air de régulation que nous vous invitons à passer à l'action. Ah ! ça ira, ça ira !

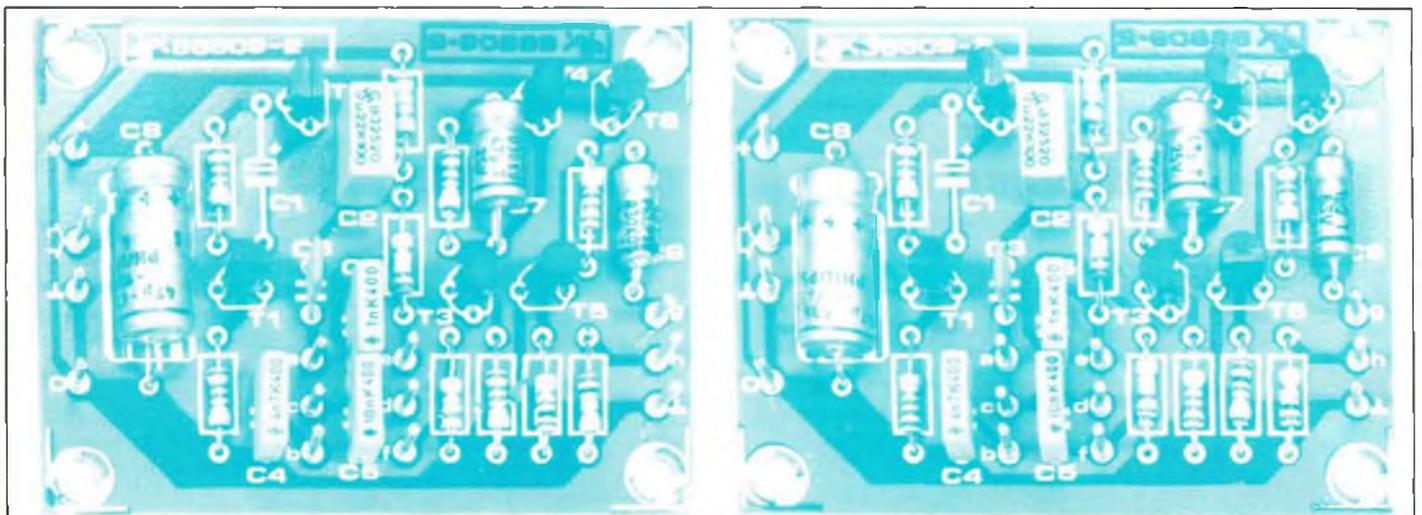
La réalisation

Une fois n'est pas coutume, nous vous proposons un « vrai » dessin de circuit imprimé pour monter le préamplificateur, et un autre non moins « vrai » dessin pour l'alimentation. Pour ce qui est de la fabrication des platines correspondantes, nous vous renvoyons aux articles idoines publiés récemment dans ELEX. La figure 5 donne le dessin du préamplificateur et la figure 6 celui de l'alimentation.

Est-il besoin de préciser que pour une version stéréophonique, il faut réaliser le préamplificateur en double exemplaire ?

Nous avons déjà indiqué aux puristes qu'ils pourraient omettre le correcteur de tonalité. C'est bien le curseur de P1 que l'on relie à la grille de T3 en laissant de côté tout ce qui est entre sur le schéma de la figure 2, à l'exception toutefois de C8, l'indispensable condensateur de filtrage de la tension d'alimentation.

Les potentiomètres P1 à P4



**LISTE DES COMPOSANTS
du préamplificateur en
version monophonique**
(pour la stéréophonie,
doubler tous les compo-
sants, à l'exception de
P1 à P4 et S1)

R1, R2, R3, R4 = 1,2 k Ω
R5 = 220 k Ω
R6 = 22 k Ω
R7 = 100 Ω
R8 = 220 Ω
R9 = 10 k Ω
R10 = 18 k Ω

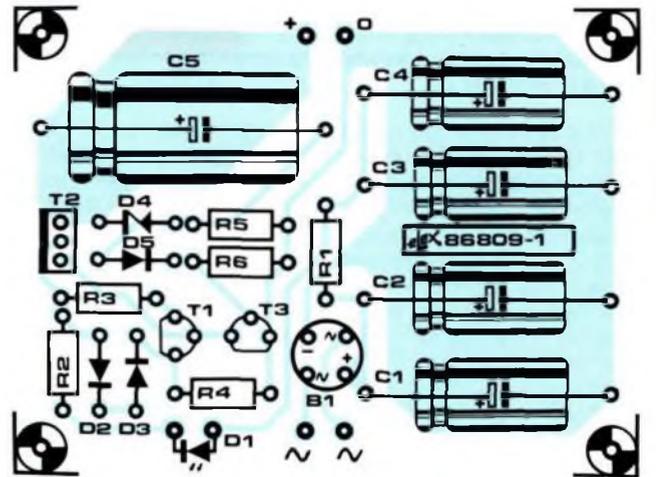
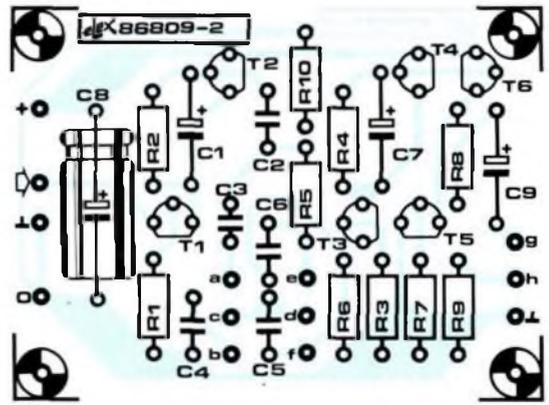
C1*, C7 = 47 μ F/16 V
C2 = 220 nF
C3 = 470 pF
C4 = 4,7 nF
C5 = 10 nF
C6 = 1 nF
C8 = 47 μ F/63 V
C9 = 1 μ F/63 V

T1 à T5 = BF256B
T6 = BC517
P1 = 47 k Ω log. stéréo
P2, P3 = 1 M Ω log.
stéréo
P4 = 22 k Ω lin. stéréo
S1 = commutateur 2 cir-
cuits/6 positions

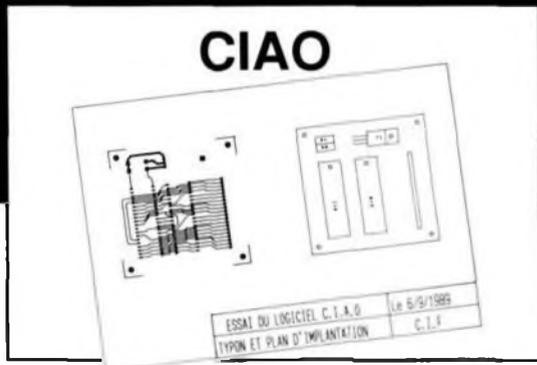
**LISTE DES COMPOSANTS
de l'alimentation**

R1, R2 = 220 Ω
R3, R5 = 680 Ω
R4 = 47 k Ω
R6 = 1 k Ω
C1 à C4 = 100 μ F/100 V
C5 = 470 μ F/63 V
T1 = BC640
T2 = BD241C
T3 = BC550C
D1 = LED rouge
D2, D3 = 1N4148
D4 = zener 47 V/400 mW
D5 = 1N4001
B1 = redresseur
B80C700C1000
Tr1 = transformateur
d'alimentation
48 V/50 mA
F1 = fusible 50 mA
rapide

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

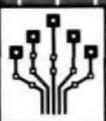


**LOGICIEL DE DESSIN DE
CIRCUITS IMPRIMES**



Pour PC XT, AT et compatibles équipés de
cartes vidéo HERCULES ou EGA. Sortie
sur imprimante et table traçante.
Prise en main instantanée. Mylar et plan
d'implantation.

783 F/TTC (812 F/franco)



C.I.F.

11, rue Charles-Michels
92220 BAGNEUX
Télex : 631 446 F
Fax : 16 (1) 45 47 16 14
Tél. : 16 (1) 45 47 48 (0)

ne sont pas montés sur les
platinés, mais sur la face
avant du coffret du préam-
plificateur. Les points aux-
quels raccorder les fils
sont identifiés sur la platine
par les lettres "a" à "h".
Pour P1, deux des fils vont
à la platine, à l'entrée et à
la masse, et l'autre direct-
ement au contact commun
de S1. Nous vous donne-
rons le mois prochain un
plan de câblage complet
et détaillé. D'ici là, vous
pourrez concentrer tous
vos efforts sur la prépa-
ration du montage et une
exécution soignée.

Après avoir mis sous ten-
sion le circuit de l'alimen-
tation, vérifiez que la
tension de sortie est bien
de 48 V, avant de mettre
sous tension le préampli-
ficateur lui-même. Puis rele-
vez la tension entre le drain
de T1 et la masse, ainsi
que la tension entre T3 et la
masse. Nous avons déjà
attiré votre attention sur le
fait qu'il importait que ces
deux tensions soient éga-
les, et aussi symétriques

que possible par rapport à
la tension d'alimentation.
On veut que ces deux
points du circuit soient à
un potentiel d'exactement
24 V. Si la tension est plus
élevée sur l'un des drains,
il faut réduire un peu la
valeur de la résistance cor-
respondante (R1 ou R3). Si
au contraire la tension sur
le drain de T1 ou celui de
T3 est inférieure à 24 V, il
faut diminuer un peu la
valeur de la résistance de
source correspondante
(R2 ou R4). Pour abaisser
la valeur, il suffit de monter
en parallèle sur la résistan-
ce concernée, une autre
résistance. On commence
par essayer avec une
valeur de 10 k Ω , puis on dimi-
nue cette valeur jusqu'à ce
que la tension atteigne le
niveau souhaité. Il est judi-
cieux de monter en paral-
lèle sur la résistance dont il
s'agit de réduire la valeur,
une résistance variable
pour la durée des essais,
pour la remplacer ensuite
par une résistance fixe.

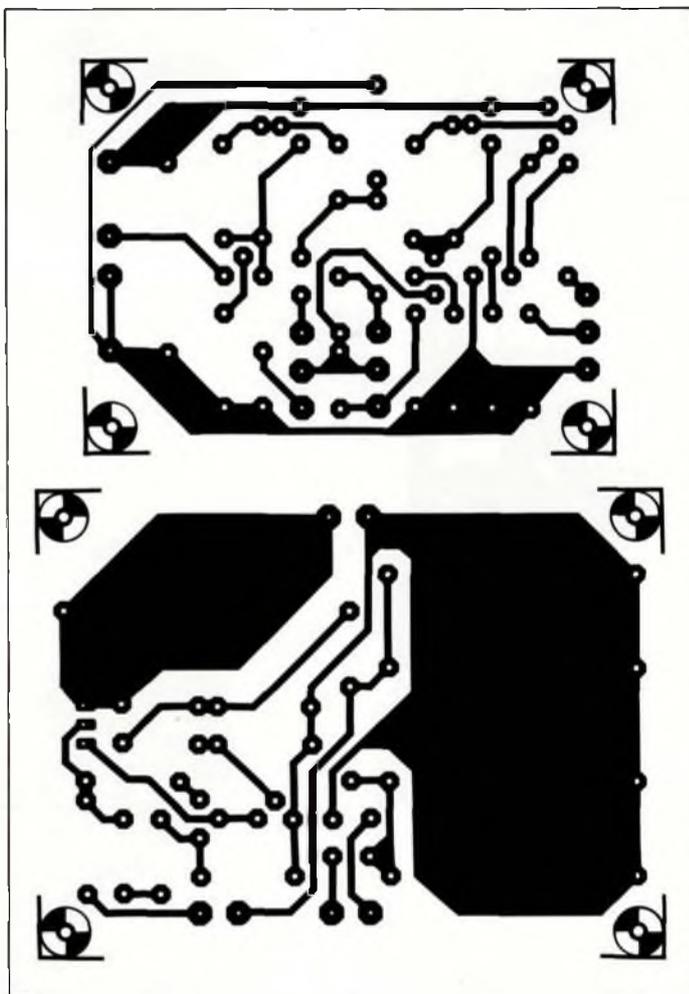
BON DE COMMANDE — PUBLITRONIC

Livres et circuits imprimés

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

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

PUBLICITE



PUBLICITE

PUBLICITE

Selectronic

BP 513 59022 LILLE Tél.: 20.52.98.52

OSCILLOSCOPE CI 94 TORG



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

Un véritable oscilloscope 10 MHz à un tout petit prix!

Caractéristiques techniques:

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

L'oscilloscope CI-94 101.8760 1350 F

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.

1350 F FRANCO DE PORT

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

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 rédactionnelle: 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