

référence (de 400 à 500 Hz) sont écoutés soit avec deux amplificateurs munis de haut-parleurs, soit par l'intermédiaire d'un étage sommateur (comme IC10 dans le VCO). Le VCO en essai est connecté à la tension KOV provenant du clavier, dont le réglage d'accord global est mis hors service. On appuie alors sur la touche correspondant à la note la plus haute du clavier, puis on accorde le VCO sur la hauteur du signal de référence à l'aide des réglages d'accord grossier et fin. Les hauteurs des deux notes concordent exactement lorsque les battements résultants sont de plus en plus lents et finalement 'restent immobiles' (battement zéro). Après avoir obtenu le battement zéro, on appuie sur la touche située une octave en-dessous. On entendra alors probablement une dissonance ou un battement très rapide. La touche restant enfoncée, on recherche alors avec l'ajustable 10 tours P7 le battement zéro, *cette fois une octave plus bas*. Si on appuie à nouveau sur la touche correspondant à la note la plus haute, on s'apercevra que le VCO s'est légèrement désaccordé par rapport à la fréquence de référence lors du réglage de P7. On corrige alors à nouveau avec les réglages d'accord grossier et fin. En appuyant ensuite sur la touche située une octave plus bas, on effectue à nouveau une correction avec P7. Ce processus doit être répété plusieurs fois, jusqu'à ce que le battement zéro obtenu avec la touche supérieure le soit également (sans correction!) avec la touche située une octave en-dessous.

On doit alors également avoir le battement zéro pour la touche située deux octaves en-dessous. Après avoir mené à bien cette mise au point, on est certain que la caractéristique 1V/octave est tenue avec suffisamment de précision pour les fréquences situées au-dessous du kHz. Pour les fréquences supérieures, il est nécessaire de régler P9. La méthode de réglage est la même que pour P7, mais il faut alors choisir une fréquence de référence (délivrée par exemple par un deuxième VCO) d'environ 2 kHz. On appuie alors sur le clavier sur le 'do' le plus bas, et on règle le VCO jusqu'à l'obtention du battement zéro. Ensuite, on appuie sur le do situé une ou deux octaves

plus haut, et on règle P9 pour obtenir les battements les plus lents possibles. En appuyant à nouveau sur le do le plus bas, on recherche le battement zéro avec le réglage grossier et fin, etc. (voir le réglage de P7). Pour dégrossir le réglage, on placera le curseur de P9 en position médiane le bon réglage se trouve au voisinage de cette position. Ceux qui préfèrent une méthode de réglage moins empirique pourront mettre au point les VCOs de la façon suivante: la liaison entre le curseur de P1 et R1 sera interrompue pendant la mise au point. On reliera ensuite R1 à la masse, puis le curseur de P1 à l'entrée KOV. Les curseurs des potentiomètres P2 et P3 doivent se trouver du côté 'masse'. On mesure la tension au curseur de P1 à l'aide d'un voltmètre digital aussi précis que possible. Pour une tension de OV au curseur, un fréquencemètre relié à la sortie du VCO doit indiquer une fréquence de 15 Hz (en raison du réglage d'offset effectué auparavant avec P8). P9 est mis en position médiane. On fait ensuite monter la tension au curseur de P1 par bonds de 1V. Le fréquencemètre doit indiquer pour chaque augmentation de 1V un doublement de la fréquence de l'oscillateur (0V = 15 Hz, 1V = 30 Hz, 2V = 60 Hz, 3V = 120 Hz, etc...). On règle ensuite P7 par essais successifs de façon à ce que la caractéristique V/octave soit respectée avec la meilleure précision possible sur la plage la plus étendue. On pourra compenser avec P9 toute chute de la caractéristique lorsque la fréquence s'élève (à partir d'environ 3 kHz).

VCF

Chapitre 6

Nous abordons avec cette partie la description des modules du FORMANT qui servent réellement à 'former' le son, ceux-ci permettent d'obtenir à partir des signaux délivrés par les oscillateurs des sons et des notes isolés, caractérisés par des timbres et une dynamique de l'intensité bien déterminés. Le 'façonnage' des sons est réalisé dans le synthétiseur par le(s) VCF(s) et le(s) VCA(s) à l'aide de leurs 'propres' générateurs d'enveloppe ADSR. Le premier module décrit ici est le 'State Variable' VCF (= VCF à état variable). Il est muni à ses sorties d'inverseurs qui permettent de choisir entre quatre modes de filtrage:

- passe-haut 12 dB
- passe-bas 12 dB
- passe-bande 6 dB
- coupe-bande (notch-filter)

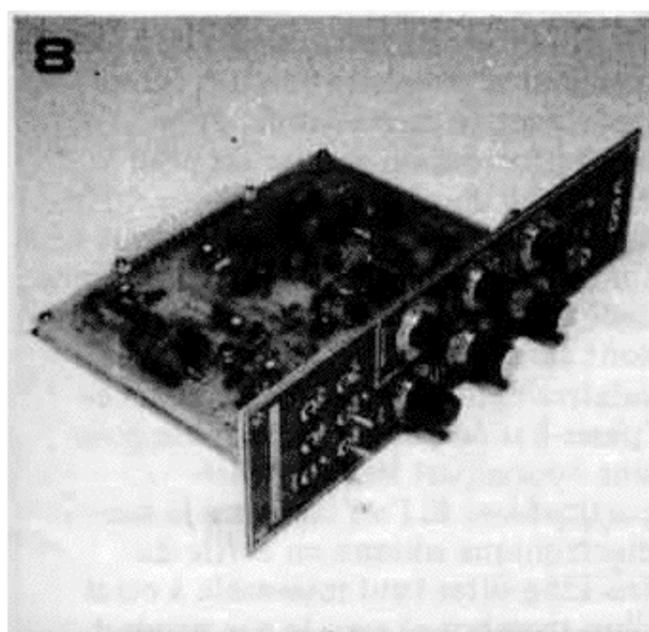
La fréquence de fonctionnement du filtre est *identique* pour les quatre fonctions. Elle est commandée en tension de façon continue de moins de 15 Hz jusqu'à la limite supérieure du spectre audible, et ce avec une caractéristique 1 V/octave.

Indépendamment des quatre types de filtre, un autre paramètre est réglable: la 'résonance' du filtre ('facteur de qualité' ou 'Q'). Une résonance élevée conduit - suivant la forme de la courbe enveloppe qui la commande - à des sons 'parlants' (un peu comme l'effet WA-WA), à des sons de sitar (instrument de musique indien), ou à des sons 'fantastiques', que beaucoup reconnaissent comme des sons typiques de synthétiseur. Le State Variable VCF décrit ici est donc un genre de quadruple filtre, capable d'exercer en relation avec la 'résonance' du filtre toute une gamme d'influences sur le timbre. Ce VCF est de construction très simple, de sorte qu'il peut le cas échéant être réalisé en double exemplaire sans difficulté et sans dépense excessive. L'intérêt de construire le VCF en double exemplaire sera décrit en détail dans le paragraphe suivant.

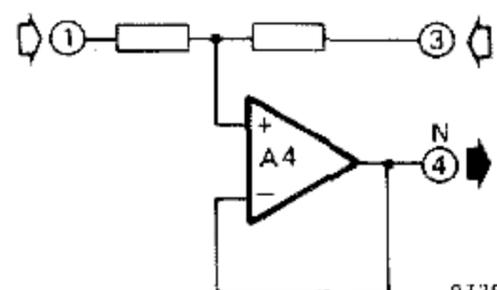
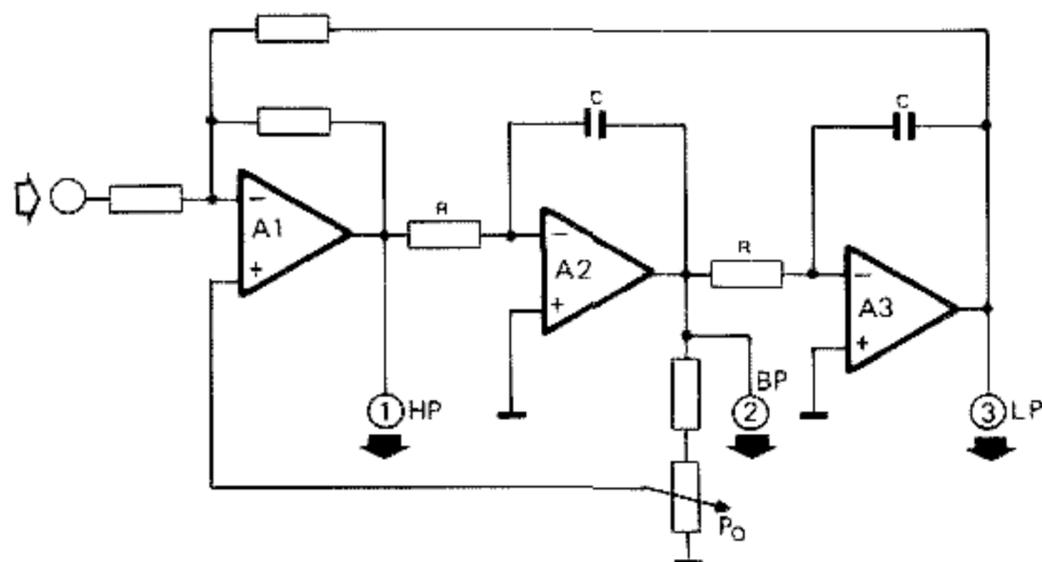
Rôle des filtres dans le synthétiseur

Plus que n'importe quel autre module, le genre des filtres utilisés influence les possibilités musicales d'un synthétiseur. Le type des filtres détermine quelles sonorités instrumentales bien différenciées peut produire le synthétiseur. Le State Variable VCF, doté de sa fonction 12 dB passe-bas (le mode passe-bas est le type de filtrage le plus important pour un synthétiseur) est particulièrement bien adapté pour synthétiser des sons clairs, transparents, riches en harmoniques, alors que l'on obtient plus facilement des sons sourds, puissants, 'symphoniques', caractérisés par une dynamique du timbre plus importante avec un VCF de pente 24 dB (passe-bas).

Ces deux VCFs se complètent à merveille et offrent ensemble à l'utilisateur averti du FORMANT pratiquement toutes les possibilités de timbre, dont on ne peut disposer ordinairement qu'avec les synthétiseurs de studio de prix très élevé. La plupart des synthétiseurs du commerce (mis à part bien entendu les modèles de studio mentionnés ci-dessus) ne possèdent qu'un seul filtre, presque toujours un passe-bas de pente 12 à 24 dB/octave (seuls les synthétiseurs MOOG comprennent toujours un filtre de pente 24 dB). Comme on le verra bientôt, un seul filtre suffit rarement pour le façonnage des timbres. De même que la bonne sonorité d'une guitare acoustique d'un violon dépend du soin mis à fabriquer leur caisse de résonance, la disposition des filtres d'un synthétiseur est responsable de la



1



9725 1

qualité des sons fondamentaux qu'il fournit. L'importance des formes d'ondes délivrées par les VCOs et les diverses pentes des filtres passe-bas du VCF a déjà été abordée. Un autre aspect déterminant pour le façonnage des timbres est le nombre et l'utilisation des filtres.

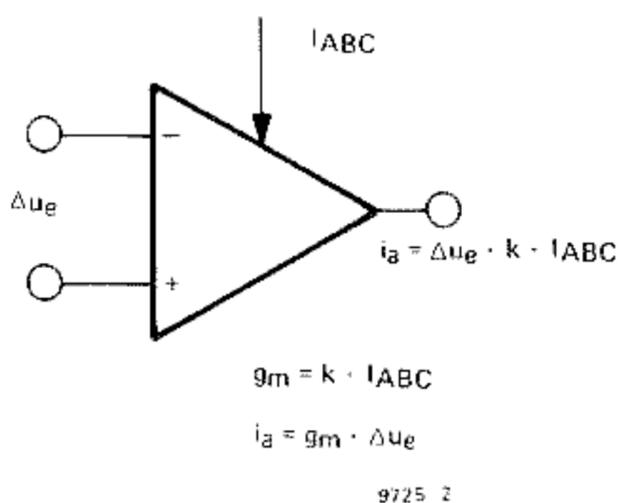
a) Tracking-filter (= filtre de poursuite) commandé par ADSR:

La fonction du tracking-filter a déjà été décrite succinctement dans la première partie du livre: il est commandé par KOV, sa fréquence de coupure (passe-bas) suit parallèlement les fréquences des VCOs et, de plus, sa fréquence de coupure est décalée à chaque fois que l'on appuie sur une touche par l'enveloppe de la tension du générateur ADSR avec une évolution réglable. Ceci devrait être rendu plus clair par un exemple: pour synthétiser un son de trombone, il faut choisir pour le(s) VCO(s) le spectre 'complet' de la dent de scie ou de la dent de scie 'espacée'. Le mode de filtrage approprié est le passe-bas. On choisit alors à l'aide du réglage 'octaves' du VCF une fréquence de coupure suffisamment basse pour que le VCF reste fermé et ne laisse passer aucun des signaux du (des) VCO(s). Le VCF reste initialement fermé pour toutes les notes que l'on peut jouer au clavier, car la fréquence de coupure chute dans la même mesure que la hauteur des notes grâce à la tension KOV. Si l'on appuie sur une touche, l'impulsion de porte délivrée par l'interface déclenche le générateur ADSR appartenant au VCF; celui-ci génère une courbe de tension qui ouvre le VCF puis évolue de manière bien déterminée.

Les sons du trombone sont avant tout caractérisés pour chaque note par un temps d'entrée en oscillation relativement lent (cette phase d'entrée en oscillation est appelée ici ATTACK); simultanément, les harmoniques augmentent de plus en plus: le son devient donc de plus en plus clair alors qu'il prend naissance, pour s'éteindre ensuite en s'assourissant.

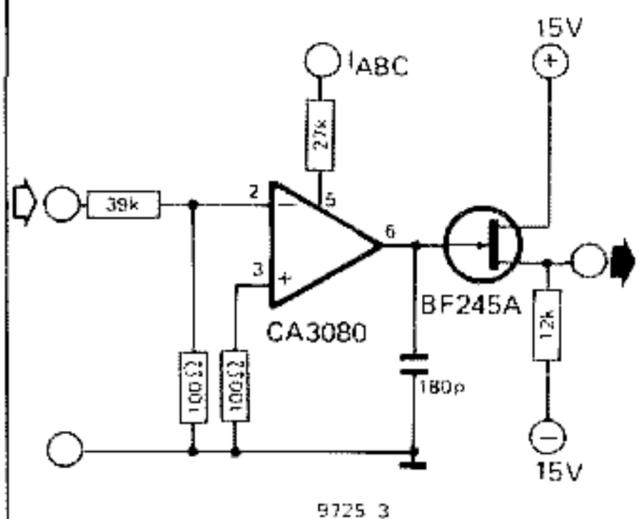
Le générateur ADSR peut être réglé de façon à délivrer une courbe de tension

2



9725 2

3



9725 3

augmentant relativement lentement qui déclenche progressivement le passe-bas (auparavant fermé) du VCF lorsqu'on appuiera sur une touche. Ainsi, seule la fondamentale, puis les harmoniques de rang peu élevé, et enfin les harmoniques élevées deviennent audibles. C'est de cette façon que le VCF permet de synthétiser un son de trombone.

Si l'on modifie les paramètres de l'enveloppe de commande (ce qui sera décrit en détail dans la partie suivante), on peut synthétiser toute une gamme de dynamiques de tonalités avec le passe-bas utilisé comme filtre de poursuite. Cela constitue d'ailleurs l'utilisation classique du VCF; c'est pourquoi tous les synthétiseurs sont munis d'un

filtre passe-bas à commande en tension. Le filtre de poursuite fournit différentes dynamiques du timbre commandées par le générateur ADSR et répétées à chaque fois que l'on appuie sur une touche du clavier. Comme pour les instruments de musique 'ordinaires', la dynamique du timbre est identique quelle que soit la hauteur de la note. Par exemple, un trombone est caractérisé, pour les notes basses comme pour les notes hautes par un déroulement de la note pratiquement identique. Le déroulement de chaque note isolée est un signe distinctif important de chaque instrument de musique.

b) Filtre de résonance

L'affirmation ci-dessus se doit d'être immédiatement limitée ou plus exactement complétée: pour un instrument de musique ordinaire, une note basse et une note aiguë 'sonnent' le plus souvent de manière différente. La cause principale est que le corps de chaque instrument apporte des résonances qui 'colorent' la dynamique du timbre dont il a été question auparavant. Si l'on prend l'exemple d'un violoncelle, la dynamique du timbre est fondamentalement la même pour une note basse et pour une note aiguë car elles résultent toutes deux du frottement de l'archet sur les cordes; cependant, la note la plus basse est plus sèche et 'âpre', car la note aiguë se situe dans le domaine des résonances principales du corps du violoncelle: elle acquiert alors un caractère plus doux car la caisse de résonance entre en vibration.

Presque tous les instruments de musique 'ordinaires' possèdent de tels filtres travaillant en *passé-bande*, et la coloration qui en résulte est pour beaucoup d'entre eux aussi caractéristique que leur dynamique de timbre proprement dite (au sens donné ci-dessus). Par exemple, tous les cuivres sont caractérisés par un nombre relativement restreint de résonances 'passé-bande', ce qui détermine pour une bonne part leur sonorité particulière. Si l'on compare le son électronique obtenu en sortie du tracking-filter (qui ressemble à celui d'un trombone) avec le son produit

Figure 1. Schéma de principe d'un state variable filter. Ce filtre universel est particulièrement intéressant, car les modes passe-bande, passe-haut, passe-bas et coupe-bande sont disponibles simultanément aux sorties 1...4; d'autre part, le facteur de qualité (Q) est réglable avec P_Q indépendamment de la fréquence de travail du filtre.

Figure 2. Rapports entre les grandeurs d'entrée, de commande et de sortie d'un OTA. Le courant de sortie i_a n'est pas seulement proportionnel à la tension différentielle d'entrée, mais également au courant de commande IABC.

Figure 3. Schéma pratique d'un intégrateur à OTA. L'OTA forme avec le condensateur de 180 p un réseau d'intégration à commande linéaire en courant. L'utilisation d'intégrateurs à OTA pour le VCF autorise la commande en courant de la fréquence du filtre.

Figure 4. Schéma du VCF. Selon la structure MOOG, le filtre à commande linéaire en courant est précédé d'un convertisseur exponentiel muni d'un sommateur de tensions de commande qui assure la commande en tension exponentielle (1 V/octave) de la fréquence d'action du filtre.

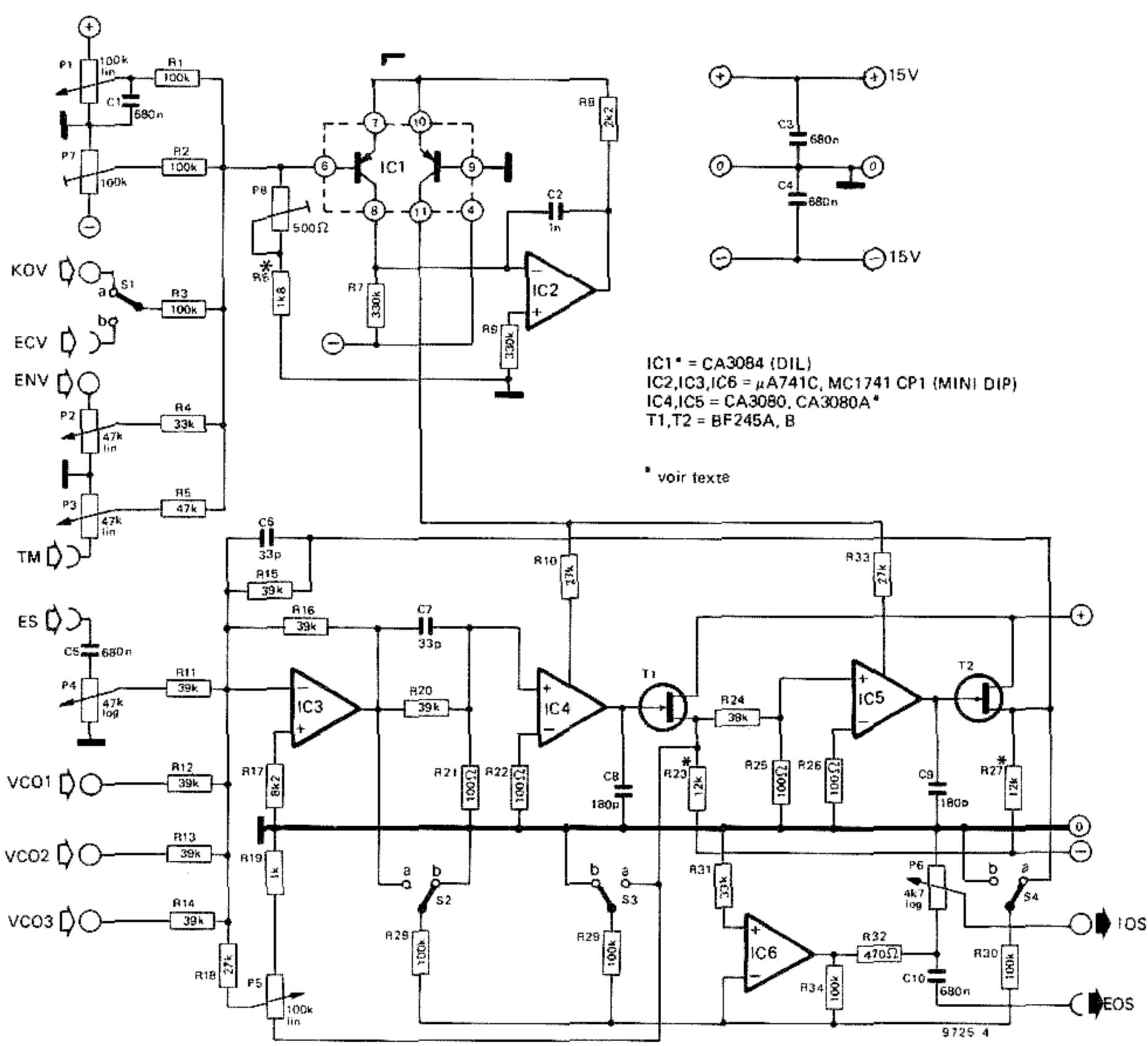
par un véritable trombone, on constate une différence importante: si sa sonorité est extrêmement claire pendant l'attaque, le trombone n'est pas désagréable à entendre, alors que le trombone 'synthétique', lui, produit des sons perçants et 'électroniques'. Si l'on applique le signal de trombone synthétique à un filtre passe-bande convenablement réglé simulant un système résonnant, le son résultant gagne alors en 'chaleur' et en 'naturel'.

Le state variable VCF décrit ici comprend un filtre passe-bande de largeur (résonance du filtre) variable, qui simule un système résonnant simple de fréquence centrale fixe (KOV hors service). Celui-ci ajoute aux timbres dynamiques obtenus à l'aide du tracking-filter la chaleur et le naturel qui leur font défaut. Techniquement parlant, ce dispositif constitue une première approche des éléments résonnants de l'instrument. C'est d'ailleurs la deuxième utilité des filtres du synthétiseur; c'est pourquoi il est fortement recommandé de construire par la suite deux filtres indépendants que l'on montera en série. Il est

conseillé d'utiliser comme tracking-filter le VCF 24 dB (dans la mesure où, comme la plupart des musiciens, on préfère les dynamiques du timbre puissantes, symphoniques), suivi par le state variable VCF décrit dans cette partie, monté soit en filtre de résonance, soit en deuxième tracking filter pour obtenir une dynamique du timbre plus complexe. On pourra trouver d'autres suggestions dans l'article VCF 24 dB.

c) le VCF en WA-WA commandé par pédale
 Cette utilisation sera brièvement décrite; elle permet 'd'animer' le jeu individuel avec le FORMANT. Pour ce faire, on utilise la fonction passe-bas ou passe-bande du state-variable-VCF (suivant son propre goût), avec une 'résonance de filtre' relativement importante, et l'on commande le VCF seulement à partir d'une tension comprise entre 0 et 5 V délivrée par une pédale de fabrication 'maison'. La pédale pourra être réalisée à partir d'une pile de 4,5 V et d'un potentiomètre. Le VCF est équipé pour cet usage d'une entrée de tension de commande externe ('TM').

4



d) Autres modes de filtrage

Le passe-haut et le coupe-bande n'ont pas encore été abordés, tout au moins pour ce qui concerne leur utilité musicale. Le passe-haut peut servir par exemple à 'éclaircir' les sons en tant que second filtre, notamment pour les sonorités de clavecin ou d'épinière, ainsi que pour les sons des cuivres. Commandé par une enveloppe, le passe-haut peut produire des tonalités 'fantastiques' qui peuvent avoir un caractère 'électronique' ou 'éthéré'. Lorsqu'on déplace la fréquence de coupure au-dessus du spectre audible, le coupe-bande donne naissance à des sons de phasing particulièrement marquants si les sons appliqués à l'entrée sont très clairs. Par exemple, lorsqu'on injecte du bruit blanc à l'entrée, on obtient un bruit de 'jet', comme si des avions à réaction passaient devant l'auditeur.

Construction du state-variable VCF

Il y a peu de temps encore, il était extraordinairement difficile de réaliser un VCF utilisable pour un synthétiseur. R.A. MOOG avait déjà inventé en 1965 un VCF passe-haut passe-bas de 24 dB qui a été souvent copié par ses 'successeurs' malgré le dépôt d'un brevet. En tout cas, personne n'a été capable jusqu'au début des années 70 de proposer une alternative satisfaisante à la célèbre 'cascade' MOOG.

Seule l'utilisation du procédé de filtrage 'state variable' en conjonction avec des intégrateurs à OTAs (= Operational Transconductance Amplifiers) a facilité dans une certaine mesure la réalisation d'une commande électronique (linéaire ou exponentielle) de filtres quelconques sur une plage de réglage importante. Actuellement, cette technique est relativement peu répandue; une courte introduction semble donc nécessaire:

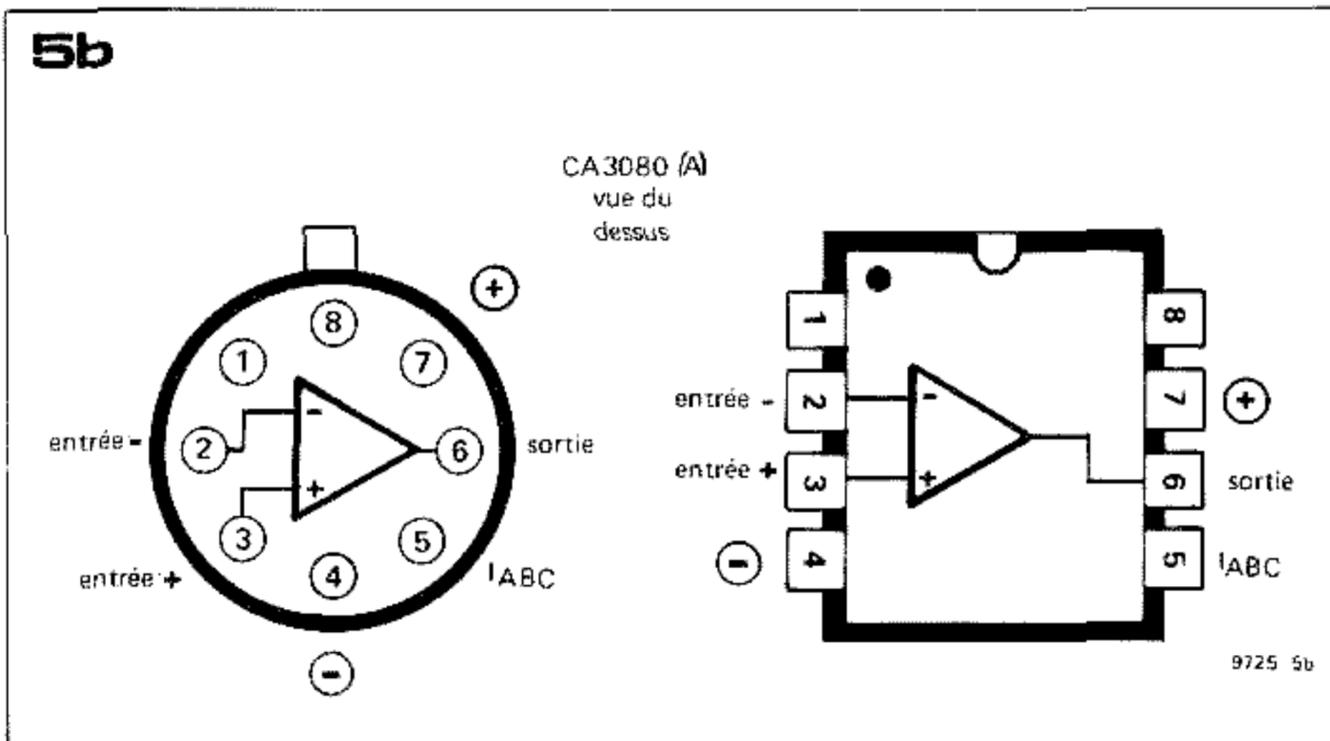
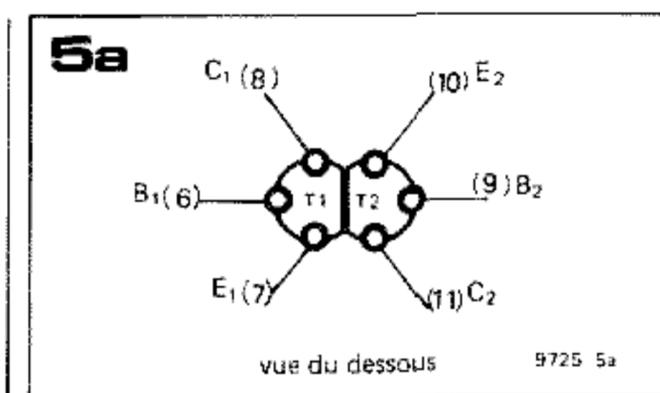
Le schéma-solution pour le VCF est le state variable filter, dont le prototype diffère beaucoup de celui des autres filtres actifs; de plus, il possède quelques avantages dignes d'intérêt. La figure 1 montre son schéma de principe.

Le state variable filter n'est ni un filtre passif, ni un filtre actif (au sens strict du terme), mais un circuit d'ordinateur analogique destiné à la représentation ou la 'programmation' d'une équation différentielle du second degré correspondant à une oscillation. On y parvient avec les intégrateurs A2 et A3 et l'inverseur A1; l'amortissement des oscillations est réalisé à l'entrée non-inverseuse de A1.

La discussion des équations servant au calcul des caractéristiques du filtre sortirait du cadre de ce livre; c'est pourquoi elle n'est pas abordée ici. La caractéristique la plus intéressante de ce circuit est que différentes fonctions de filtrage sont disponibles

Figure 5a. Brochage d'un transistor double 'maison'. Si les transistors sont bien appariés, celui-ci pourra remplacer le circuit intégré CA 3084 dans l'exponentiateur du VCF.

Figure 5b. Brochage de l'OTA CA 3080 en boîtier TO 5 et Mini-DIP.



simultanément aux sorties 1, 2 et 3. A la sortie 1 correspond le filtre passe-haut 12 dB, à la sortie 2 le filtre passe-bande 6 dB et à la sortie 3 la fonction passe-bas 12 dB. Pour la fréquence centrale (ou de coupure) il existe entre ces sorties un déphasage de 90° par étage, et par conséquent 180° entre les sorties 1 et 3. L'addition de ces deux sorties par l'ampli op A4 conduit à la quatrième fonction (coupe-bande) à la sortie 4.

Lors du calcul des caractéristiques du filtre, on s'aperçoit que la fréquence du filtre, le facteur de qualité et l'amplification peuvent être réglées indépendamment les uns des autres. La fréquence du filtre est déterminée exclusivement par le produit RC des intégrateurs A2 et A3.

Le potentiomètre PQ permet de régler le facteur de qualité sans influencer les autres paramètres du filtre. Le réglage de la fréquence de filtrage est possible en modifiant parallèlement les valeurs de deux composants déterminant la fréquence (que ce soit R ou C appartenant aux intégrateurs); la modification de fréquence est linéaire par rapport à la variation de R ou de C. Le state variable filter est un schéma de départ fort intéressant pour le VCF du FORMANT. Ce schéma de départ doit encore être complété par un système adéquat de commande en tension ou en courant de la fréquence de filtrage. Il existe à cet effet une quantité de solutions bien connues pour divers types de filtres.

Généralement, on remplace une résistance fixe (servant à déterminer la fréquence de filtrage) par une résistance commandée en tension: soit un ensemble LED-LDR, soit un FET. Ce procédé comporte malheureusement

plusieurs défauts: reproductibilité insuffisante, plage d'action réduite, linéarité médiocre ou réjection insuffisante du signal de commande. La mise au point de VCFs utilisant des OTAs apporte une solution élégante. Les OTAs (amplis op à transconductance) se distinguent en premier lieu des amplis op ordinaires par le fait que la grandeur de sortie n'est pas une tension, mais un courant i_a ; d'autre part, leur courant de sortie n'est pas seulement proportionnel à la différence de tension à l'entrée, mais aussi à un courant de commande I_{ABC} . La figure 2 montre la représentation schématique d'un OTA et les relations entre les grandeurs d'entrée, de commande et de sortie. Comme le signal de sortie d'un OTA est un courant, on peut lire dans les feuilles de caractéristiques (à la place du gain en boucle ouverte pour un ampli op) la valeur de la transconductance g_m . Il s'agit du rapport entre la variation du courant de sortie et la variation de la tension d'entrée

$$(g_m = \frac{\Delta i_a}{\Delta u_e})$$

A la figure 2, on trouve dans les égalités correspondant à g_m et i_a un facteur k, déterminé par la constitution de l'OTA et par la température ambiante. Pour l'OTA CA 3080, ce facteur est de 19,2 à une température de 25°C; comme g_m est donné en mS (millisiemens = mA/V), I_{ABC} ainsi que i_a doivent être mis en mA dans les équations. L'OTA CA 3080 est caractérisé par une bonne linéarité sur trois puissances de dix (1000 : 1), et par une tolérance relativement serrée sur g_m (2 : 1) pour le 3080 et 1,6 : 1 pour le 3080 A). Cette bonne linéarité n'est cependant obtenue que pour des signaux d'entrée

de faible amplitude; pour pouvoir utiliser le 3080 dans le VCF, il faut atténuer à ± 10 mV la tension d'entrée. La figure 3 montre le montage pratique de l'intégrateur à OTA; ce montage remplace les intégrateurs à ampli op A2 et A3 décrits sur le schéma de principe du state variable VCF.

On trouve à l'entrée de l'OTA un diviseur de tension qui ramène le signal provenant des VCOs (environ 8 V crête-à-crête lorsqu'on utilise 3 VCOs) à 20 mV.

Le condensateur C placé en sortie de l'OTA sert à intégrer le courant de sortie. Avec cette disposition, le circuit forme un réseau d'intégration à *commande linéaire en courant* (grâce à la variation de la transconductance de l'OTA en relation avec I_{ABC}). Le FET drain commun assure à l'intégrateur une sortie sous basse impédance, sans influencer pour autant la constante de temps du réseau intégrateur.

Circuit du VCF

Le circuit du VCF (figure 4) suit la structure modulaire de MOOG et comprend deux parties indépendantes: d'une part le *sommateur de tension d'entrée* et l'*exponentiateur* (en haut sur le schéma), et d'autre part le *state variable filter à commande linéaire en courant*. Ce dernier est muni d'un sommateur de signal à l'entrée, des commutateurs servant à choisir le mode d'action du filtre, et d'un sommateur de sortie (partie inférieure du schéma). La seule connexion existant entre les deux parties du circuit est la liaison de courant de commande entre l'exponentiateur et les intégrateurs à OTA. A l'entrée de l'exponentiateur, le *sommateur (passif) de tension de commande* relie les sources de tension de commande aux réglages de 'fréquence du filtre' (P1) et 'd'offset' (P7). L'entrée KOV/ECV est déjà connue depuis la description du VCO. Par contre, la modulation de timbre commandée par le générateur d'enveloppe attaquant l'entrée ENV ainsi que l'entrée TM constitue une nouveauté (il y a cependant analogie avec l'entrée FM du VCO). La somme de toutes les tensions appliquées aux entrées du sommateur commande la fréquence du filtre par l'intermédiaire de l'exponentiateur.

L'*exponentiateur* fonctionne selon le même principe que l'exponentiateur du VCO. P8 et R6 forment avec les résistances du sommateur un diviseur de tension qui atténue le signal de commande dans le rapport nécessaire pour la commande de l'exponentiateur (environ 50). A la différence de l'exponentiateur du VCO, celui du VCF ne fonctionne pas comme charge de courant commandée en tension, mais comme source de courant. Ceci explique l'emploi de transistors PNP. Comme les exigences de stabilité sont moindres pour le VCF, il n'est pas nécessaire d'employer une paire de

transistors stabilisée en température; l'exponentiateur est suffisamment compensé grâce aux caractéristiques identiques de la paire de transistors. Le schéma du *state variable filter* équipé d'IC3, IC4 et IC5 correspond assez largement à la description donnée au paragraphe précédent. La seule différence est que les intégrateurs sont non-inverseurs, ce qui a pour avantage d'obtenir en sortie du filtre des signaux sans inversion; de même, à la différence de la figure 1, l'amortissement du filtre s'effectue sur l'entrée inverseuse du premier ampli op IC3. L'amortissement (qualité du filtre, facteur Q) est réglable avec le potentiomètre P5; la qualité maximale est déterminée par la résistance R19. On pourrait encore augmenter la qualité en diminuant la valeur de R19, mais il y a alors risque de saturation rapide du filtre à la 'résonance' si l'on n'injecte pas un signal d'entrée très faible. Les condensateurs C6 et C7 évitent toute tendance à l'auto-oscillation pour les facteurs Q élevés. A l'entrée du filtre, le sommateur est conçu pour être relié à 3 VCOs et à un signal externe ES. Des inverseurs à levier se trouvent placés aux trois sorties du filtre; ils permettent avec le sommateur de sortie IC6 de choisir entre les quatre modes de filtrage.

Dans le mode 'passant' (sans augmentation due à la résonance), l'amplification du VCF est de 1 (0 dB).

Choix des composants

Les conseils déjà donnés au cours des pages précédentes s'appliquent également pour le VCF, en particulier pour les semi-conducteurs. Lors de la conception du VCF, on a choisi pour la paire de transistors PNP de l'exponentiateur le circuit intégré CA 3084 qui contient une paire de transistors convenables. Cette solution mise à part, il existe encore d'autres possibilités au cas où le circuit intégré CA 3084 serait difficile à se procurer ou de prix par trop prohibitif. En principe, presque tous les transistors PNP doubles sont utilisables, comme par exemple les types AD 820 . . . 822 (Analog Devices), 2N 3808 . . . 3811 (Motorola), BFX 11, BFX 36 (SGS-Ates); on peut également coupler thermiquement (par ex. coller) deux transistors PNP ordinaires soigneusement appairés et les utiliser comme 'transistor double': les types BC 179 B, BC 159 B, BC 557 B conviennent. Si les transistors sont dotés d'un boîtier métallique, il ne faudra pas oublier lors du 'couplage' d'intercaler un petit morceau de mica afin d'isoler les boîtiers entre eux. Le brochage d'un tel transistor 'maison' est décrit à la figure 5; les chiffres entre parenthèses indiquent les broches correspondantes du CA 3084. Le transistor double 'maison' sera implanté sur le circuit imprimé (prévu pour le 3084) en

respectant ce brochage. Une valeur de 1k8 pour R6 est optimale lorsqu'on utilise le circuit intégré CA 3084. Si on emploie un transistor double, il est préférable de choisir une valeur de 1k5.

Le brochage du CA 3080 (A) est donné à la figure 5 pour les boîtiers T0 et mini-DIP. Le circuit imprimé correspond à la version DIP. Il existe également une version DIL-CAN du 3080, qui est un boîtier T0 muni de pattes courbées selon la forme DIL. Il n'est pas bien difficile de rendre compatible DIL un boîtier ou un support T0 en courbant convenablement les pattes; ainsi, tous les modèles de boîtiers qui équipent le CA 3080 peuvent être utilisés. La version 'A' du CA 3080 est caractérisée par une gamme de température plus étendue et des caractéristiques plus serrées (ainsi, bien entendu, que par son prix conséquent! . . .); cependant, la version 'ordinaire' CA 3080 suffit pour le VCF. On peut bien entendu utiliser les deux versions. Le choix des FETs et des résistances de source R23 et 27 s'effectue de la même manière que pour le VCO.

Circuit imprimé et face avant

Le circuit imprimé et la liste des composants du VCF sont donnés à la figure 6. Le circuit complet tient 'à l'aise' sur un circuit imprimé au format européen 100 x 160 mm. La conception du circuit imprimé et de la face avant est identique à celle des autres modules. Toutes les liaisons situées du côté boîtier s'effectuent à l'aide d'un connecteur, et celles du côté face avant se trouvent sur la partie du circuit imprimé en regard. La dénomination des connexions utilise la terminologie utilisée jusqu'à présent; la liste suivante résume toutes les indications portées sur le circuit imprimé et la face avant.

a) entrées internes

KOV = keyboard output voltage (venant du récepteur d'interface)
 ENV = tension de commande enveloppe (venant du générateur d'enveloppe ADSR)
 VCO1,2,3 = signaux du VCO (venant des sorties VCO/IOS des trois modules VCO)

b) entrées externes

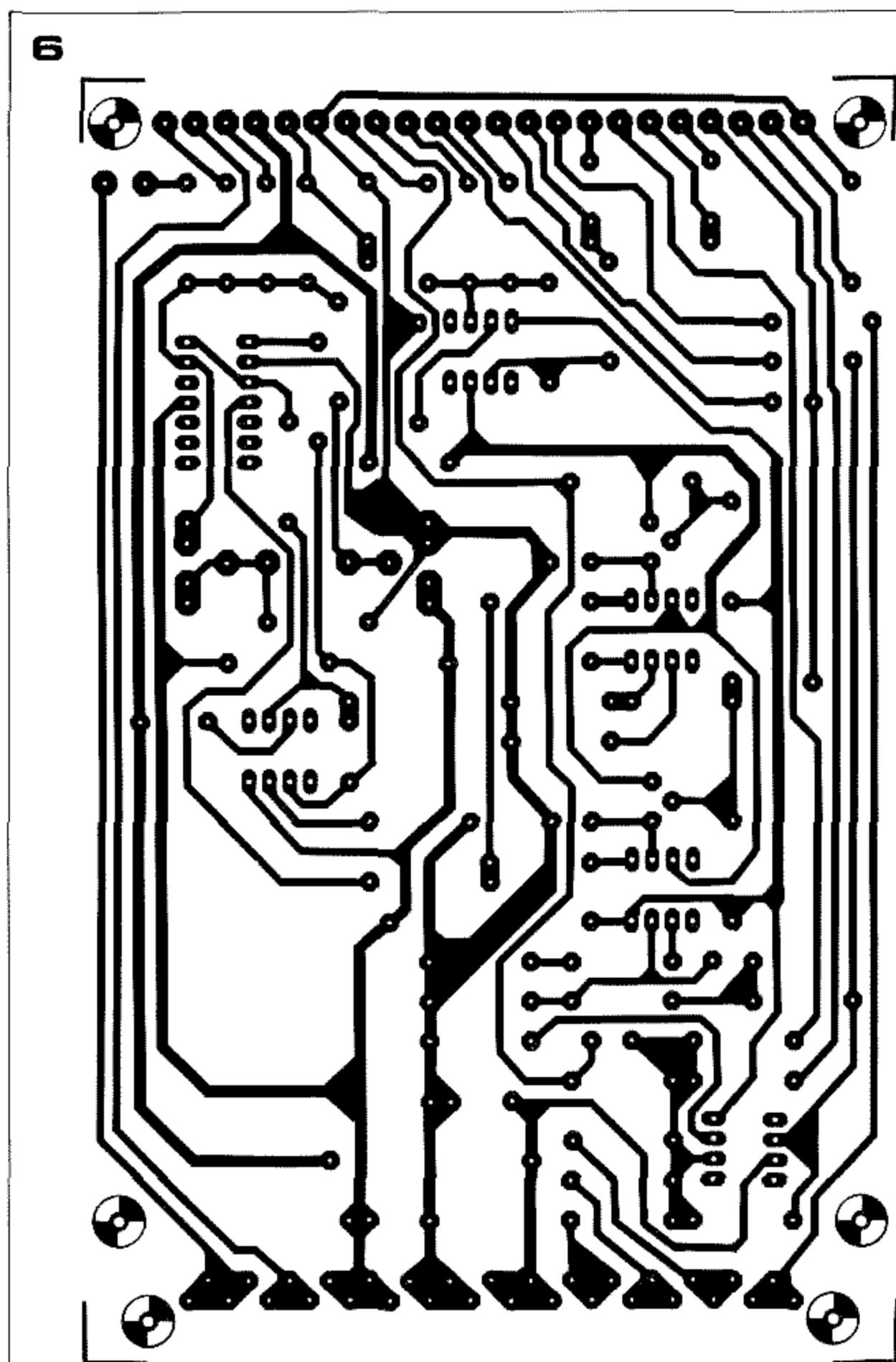
ECV = external control voltage (tension de commande externe appliquée par l'intermédiaire de la prise jack placée sur la face avant)
 TM = timbre modulation (entrée pour la tension de modulation du timbre)
 ES = external signal (signal d'entrée externe, provenant par ex. du module de bruit, appliqué à la prise jack de la face avant)

- c) sorties
 VCF/IOS = internal output signal (signal de sortie interne du VCF, transmis au VCA)
 EOS = external output signal (sortie externe, prise jack OUT sur la face avant)
- d) potentiomètres
 TM = P3, réglage de TM
 ES = P4, réglage de l'amplitude pour le signal externe
 ENV = P2, réglage pour la commande de l'enveloppe du VCF
- OC-TAVES = P1, réglage de la fréquence du filtre
 Q = P5, réglage de la 'résonance' du filtre (facteur de qualité)
 OUT = P6, réglage de l'amplitude de l'IOS
- e) commutateur
 ECV/KOV = S1, sélecteur de la tension de commande
 HP = S2, sélecteur fonction passe-haut
 BP = S3, sélecteur fonction passe-bande
 LP = S4, (low-pass), sélecteur filtre passe-bas
 N = S2 et S4 (notch) sélecteur fonction coupe-bande

Réalisation et essai

La partie exponentiateur et la partie filtre peuvent être montées l'une après l'autre et testées indépendamment. Il vaut mieux commencer par la partie filtre; l'utilisation de supports de circuits intégrés permet en cas de besoin de mettre l'une ou l'autre partie hors service et de tester celle restant en fonction.

Lorsque le state variable filter est terminé, on l'attaque avec le courant de commande obtenu avec un potentiomètre logarithmique de 100 k relié 'à l'envers' entre la masse et le -15 V. La mesure s'effectue avec un contrôleur universel, calibre 100 μ A, monté en série dans les fils conduisant le courant de commande (du curseur du potentiomètre au point commun des résistances R10 et R33). Le signal d'entrée du filtre est fourni par un VCO (ou bien par un générateur BF sinusoïdal), le facteur Q du filtre étant réglé au maximum (curseur du côté R19). On observe alors à l'oscilloscope le signal sortant du filtre à la sortie BP. Pour un courant de commande de 50 μ A (réglé au moyen du potentiomètre 'auxiliaire' de 100k log) la fréquence du filtre se situe aux alentours de 800 Hz; elle se caractérise par un maximum sensible du signal de sortie lorsque la fréquence du VCO (ou du générateur varie). En raison des tolérances de l'OTA déjà mentionnées, la fréquence du filtre peut se trouver entre 300 et 1500 Hz pour un courant de commande de 50 μ A. La fréquence de filtrage exacte importe peu; il est bien plus important d'avoir une relation



Liste des composants correspondant à la figure 4.

Résistances:

R1, R2, R28, R29, R30, R34 = 100 k
 R3 = 100 k (à couche métallique 1%)
 R4 = 33 k
 R5 = 47 k
 R6 = 1k8
 R7, R9 = 330 k
 R8 = 2k2
 R10, R33 = 27 k
 R11, R12, R13, R14, R15, R16, R20, R24 = 39 k

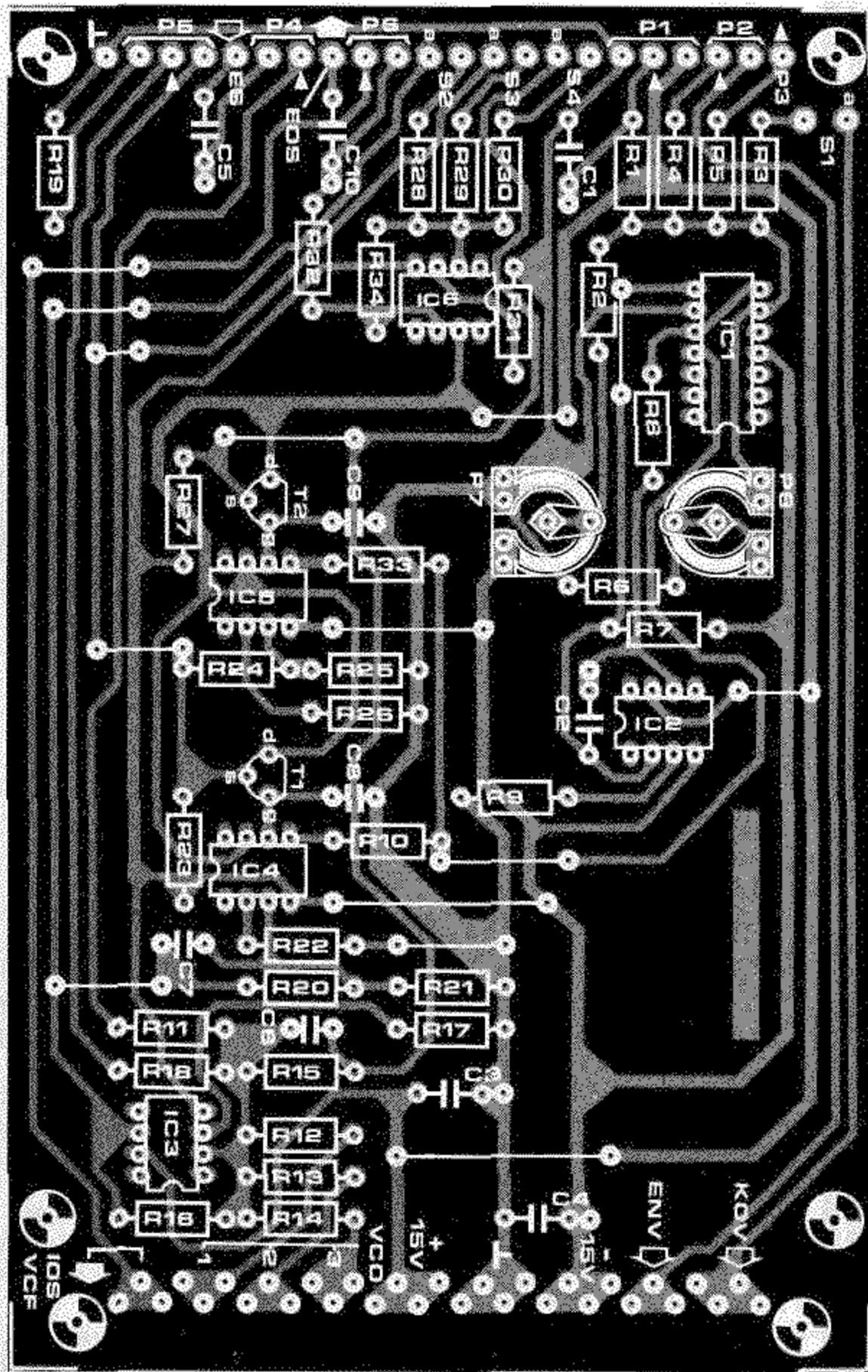
R17 = 8k2
 R18 = 27 k
 R19 = 1 k
 R21, R22, R25, R26 = 100 Ω
 R23, R27 = 12 k (valeur approximative)
 R31 = 33 k
 R32 = 470 Ω

Condensateurs:

C1, C3, C4, C5, C10 = 680 n
 C2 = 1 n
 C6, C7 = 33 p
 C8, C9 = 180 p

aussi linéaire que possible entre le courant de commande et la fréquence du filtre: si l'on double le courant de commande (100 μ A), la fréquence du filtre doit se situer une octave plus haut. Pour vérifier la plage de fréquence où agit le filtre, on choisit d'abord une fréquence d'environ 50 Hz, puis 15 kHz pour le générateur; dans les deux cas, il doit être possible d'obtenir avec le potentiomètre 'auxiliaire' l'amplitude

Figure 6. Circuit imprimé, implantation et liste des composants du VCF.



Semi-conducteurs:

IC1 = CA 3084 (DIL), voir texte
 IC2, IC3, IC6 = μ A 741 C, MC 1741 CP1
 (Mini DIP)

IC4, IC5 = CA 3080 (A)
 T1, T2 = BF 245

Potentiomètres:

P1, P5 = 100 k lin
 P2, P3 = 47 k (50 k) lin
 P4 = 47 k (50 k) log
 P6 = 4k7 (5 k) log

Potentiomètres ajustables:

P7 = 100 k
 P8 = 500 Ω (470 Ω)

Divers:

Connecteur 31 broches (DIN 41617) ou picots à souder
 S1... S4 = inverseurs unipolaires miniatures à levier
 4 prises jack 3,5 mm
 6 boutons flèche (pour axe de 6 mm, diamètre 13... 15 mm) ou avec collerette transparente (26 mm \varnothing)
 Face avant VCF

de sortie maximale. Pour essayer la partie exponentiateur, on enlève les deux OTAs de leurs supports, puis on relie l'une des deux résistances de 27 k (R10 ou R33) au -15 V par l'intermédiaire d'un contrôleur universel (calibre 100 μ A). Un deuxième appareil de mesure permet de vérifier la tension au curseur de P1 (initialement réglé à 0 V, P8 en position médiane). Le courant traversant le contrôleur

universel est réglé à 50 μ A avec P7. Si l'on augmente alors la tension de P1 à 1 V, le courant de sortie doit prendre une valeur double, soit 100 μ A. Si ce n'est pas le cas, il faut corriger le réglage de P8. Si l'augmentation du courant est trop faible, le curseur doit être déplacé en direction de R6 (vers la droite en direction du connecteur), et inversement. Il est important d'obtenir un doublement aussi précis que possible

du courant pour une variation de 1 V de la tension de commande.

Si l'essai est concluant, le circuit du VCF est prêt à être monté. La figure 8 montre un plan de câblage schématisé des composants de la face avant facilitant la réalisation finale du module VCF.

Mise au point

La mise au point définitive s'effectue à l'aide d'un VCO et de la tension KOV obtenue au clavier, via le récepteur d'interface. Les réglages concernent le potentiomètre ajustable P7, et la caractéristique V/octave de la commande de fréquence du filtre.

1. Réglage de l'offset

La tension KOV du récepteur d'interface n'est pas encore reliée, ou bien déconnectée. On applique au moyen du VCO un signal rectangulaire symétrique de fréquence avoisinant 500 Hz. P1 (octaves) est réglé de façon à obtenir une tension de +15 V au curseur (tourné à fond), et P7 à 0 V. On observe alors à l'oscilloscope l'aspect du signal de sortie LP. Le signal rectangulaire doit traverser le VCF sans modification (sans arrondissement des angles).

Si l'on tourne alors lentement le curseur de P7 vers le -15 V, on verra (et entendra) que le filtre passe-bas amortit petit à petit les harmoniques; la forme d'onde rectangulaire en sortie est de plus en plus arrondie.

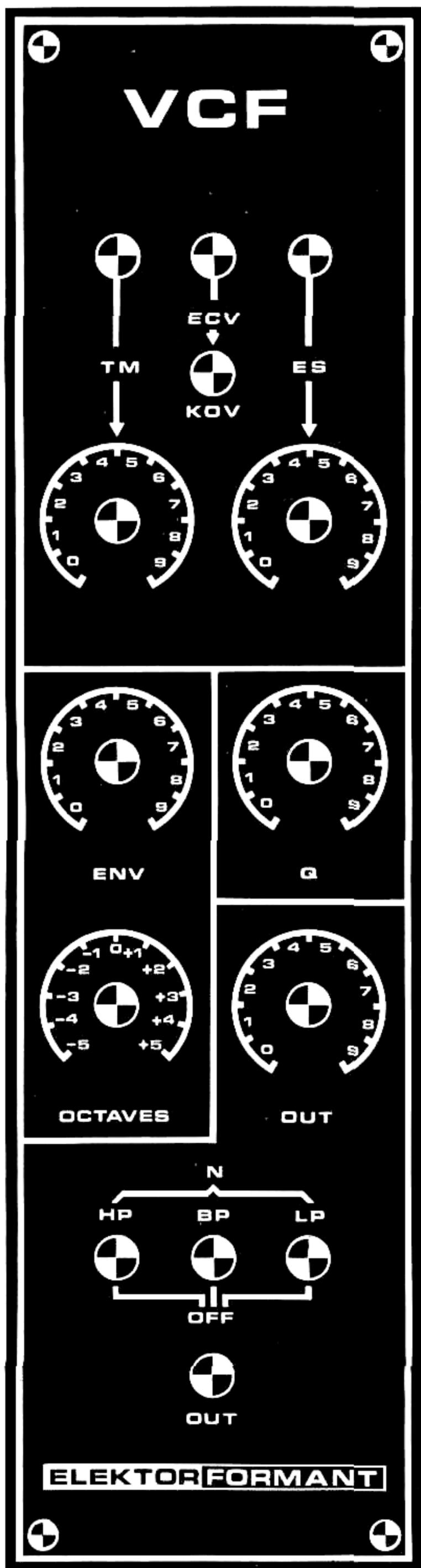
On règle alors P7 jusqu'à ce que l'on constate un amortissement audible des harmoniques; la position convenable se situe alors légèrement en arrière. Ce réglage est peu critique et n'a pas besoin d'être réalisé avec une précision exagérée.

2. Réglage de la caractéristique V/octave

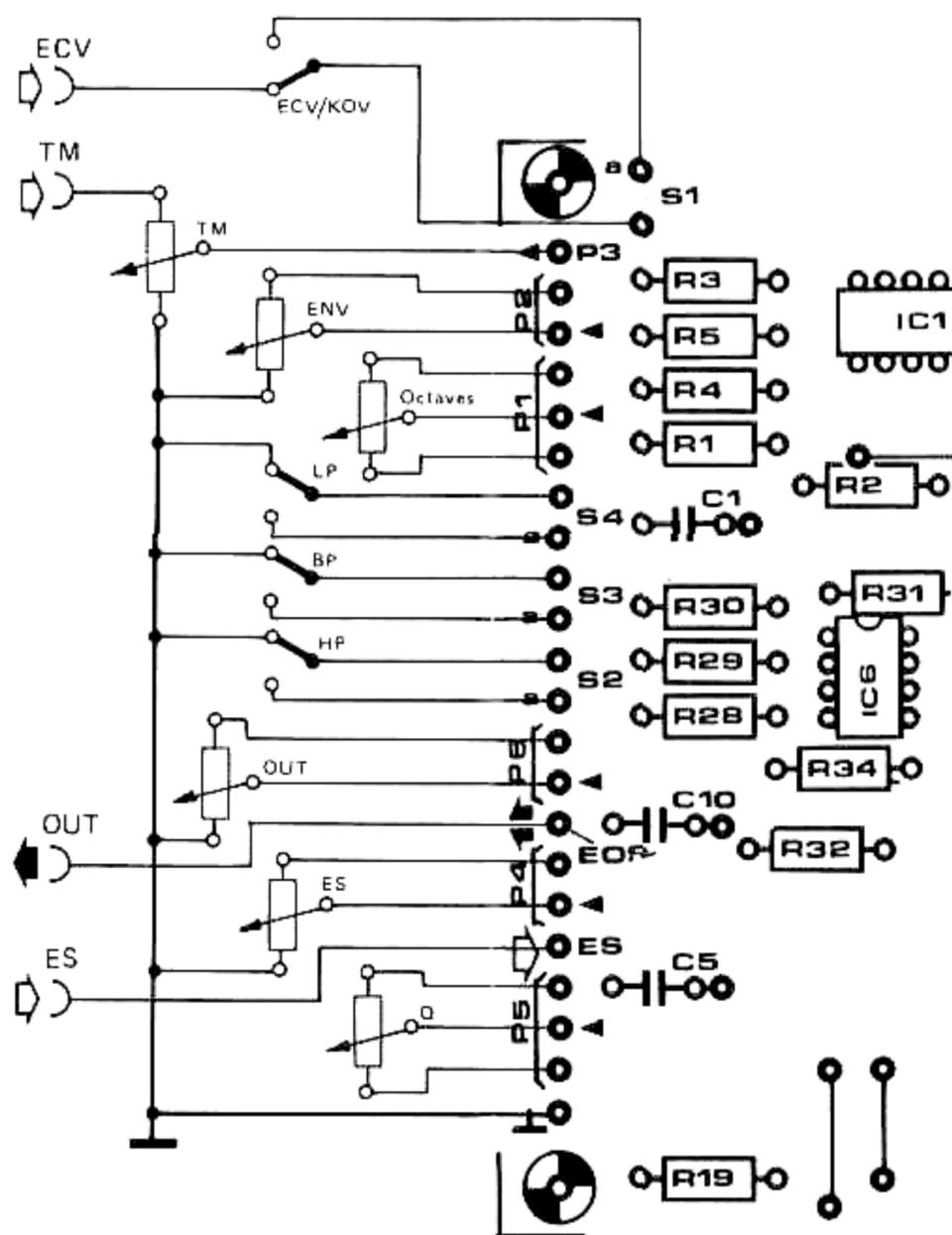
On utilise la forme d'onde sinusoïdale délivrée par le VCO et la fonction passe-bande du VCF avec une 'résonance du filtre' relativement élevée; dans ces conditions, la bande passante du VCF est très étroite. La caractéristique V/octave du filtre est réglée avec suffisamment de précision lorsque la bande passante du filtre suit parallèlement sur le plus grand nombre d'octaves possible la hauteur de la note du VCO; autrement dit, la sinusoïde ne 'sort' pas de la bande passante très étroite du filtre. Le VCO comme le VCF sont commandés par la tension KOV 'jouée' sur le clavier, le réglage d'accord global du clavier mis hors service, et le VCO réglé à l'aide du potentiomètre 'octaves' sur une fréquence d'environ 500 Hz lorsqu'on appuie sur la touche la plus aiguë du clavier.

On 'accorde' alors le VCF avec son potentiomètre P1 pour obtenir l'amplitude maximale à la sortie BP; en cas de saturation, il faudra diminuer l'amplitude du signal du VCO.

7



8



9725 8

La méthode de réglage est semblable à celle du VCO:

- appuyer sur la touche située deux octaves plus bas, et chercher à obtenir l'amplitude maximale en sortie avec P8.
- appuyer à nouveau sur la touche supérieure, puis rechercher à nouveau l'amplitude de sortie maximale avec P1.
- appuyer une deuxième fois sur la touche située deux octaves plus bas, et corriger le réglage de P8 comme auparavant.
- appuyer une troisième fois sur la touche supérieure . . . etc, jusqu'à ce que le VCF délivre la *même* amplitude en sortie pour un intervalle de deux octaves.

On vérifie alors à nouveau le réglage d'offset qui peut avoir été modifié par le réglage V/octave. Pour conclure, encore un conseil permettant une utilisation intéressante des VCFs: des impulsions isolées appliquées à l'entrée du VCF se transforment sous l'influence d'une 'résonance du filtre' élevée en sons percussifs pratiquement sinusoïdaux, semblables à ceux d'une batterie électronique. La qualité de la percussion (temps d'entrée en oscillation de l'oscillation amortie) est facilement réglable au moyen du potentiomètre Q. La hauteur des notes des 'caisses' peut être accordée en continu avec 'octaves' ou KOV; en ajoutant le signal produit par un module ADSR, on parvient à imiter le

Figure 7.
Face avant du VCF.

Figure 8.
Plan de câblage
des potentiomètres,
commutateurs et
prises de la face avant.