

# Importance musicale des VCOs

## Chapitre 4

Les VCOs sont le coeur de tout synthétiseur. De leurs performances dépend la qualité musicale de l'instrument; c'est pourquoi le principe de fonctionnement et l'importance musicale des VCOs sont expliqués en détail.

questions abordées ici valent d'ailleurs pour tout instrument de musique. Par exemple, un guitariste se plaindra du fait que sa guitare se désaccorde petit à petit (les hauteurs des notes ne sont pas assez stables), ou que le manche s'est courbé, et que la guitare ne sonne plus bien (la relation entre les hauteurs des notes n'est plus bonne). Ces deux problèmes se présentent de la même façon pour les VCOs d'un synthétiseur. Le désaccord et l'instabilité des notes provoque pour un synthétiseur, autant que pour les instruments traditionnels, des battements trop rapides qui sont ressentis par l'oreille comme des dissonances désagréables.

La version de base du FORMANT comprend plusieurs VCOs qui produisent entre eux de nombreux battements ou effets de phasing. Il n'existe aucun instrument de musique traditionnel capable de donner naissance à un phasing aussi important. Le phasing dépend étroitement des exigences musicales demandées aux VCOs; le paragraphe suivant montre brièvement comment le phasing prend naissance dans le FORMANT.

### Origine du phasing

Le phasing prend naissance dans le FORMANT de manière 'naturelle' à cause du désaccord minime des VCOs par rapport aux autres. Dans le cas le plus simple, les formes d'onde des deux VCOs s'ajoutent alors qu'ils oscillent à des fréquences très voisines. Le déphasage changeant entre les deux signaux fait apparaître une modulation périodique de la forme d'onde telle qu'elle est représentée à la figure 1.

L'analyse du spectre du signal montre que l'amplitude des harmoniques isolées présente des maxima et des minima. Ceux-ci se déplacent continuellement sur tout le spectre, ce qui détermine l'aspect en 'peigne' du contenu d'harmoniques caractéristique du phasing.

La modification des timbres pendant le déroulement d'une période donne au son initial (issu par exemple d'un VCO) un caractère doux et animé assez difficile à décrire qui provoque de plus une sensation d'espace.

Voilà pour le côté positif du phasing. Cependant, on n'obtient celui-ci que si les battements sont relativement *lents*; c'est pourquoi l'on demande aux VCOs de présenter d'excellentes caractéristiques de stabilité et de précision.

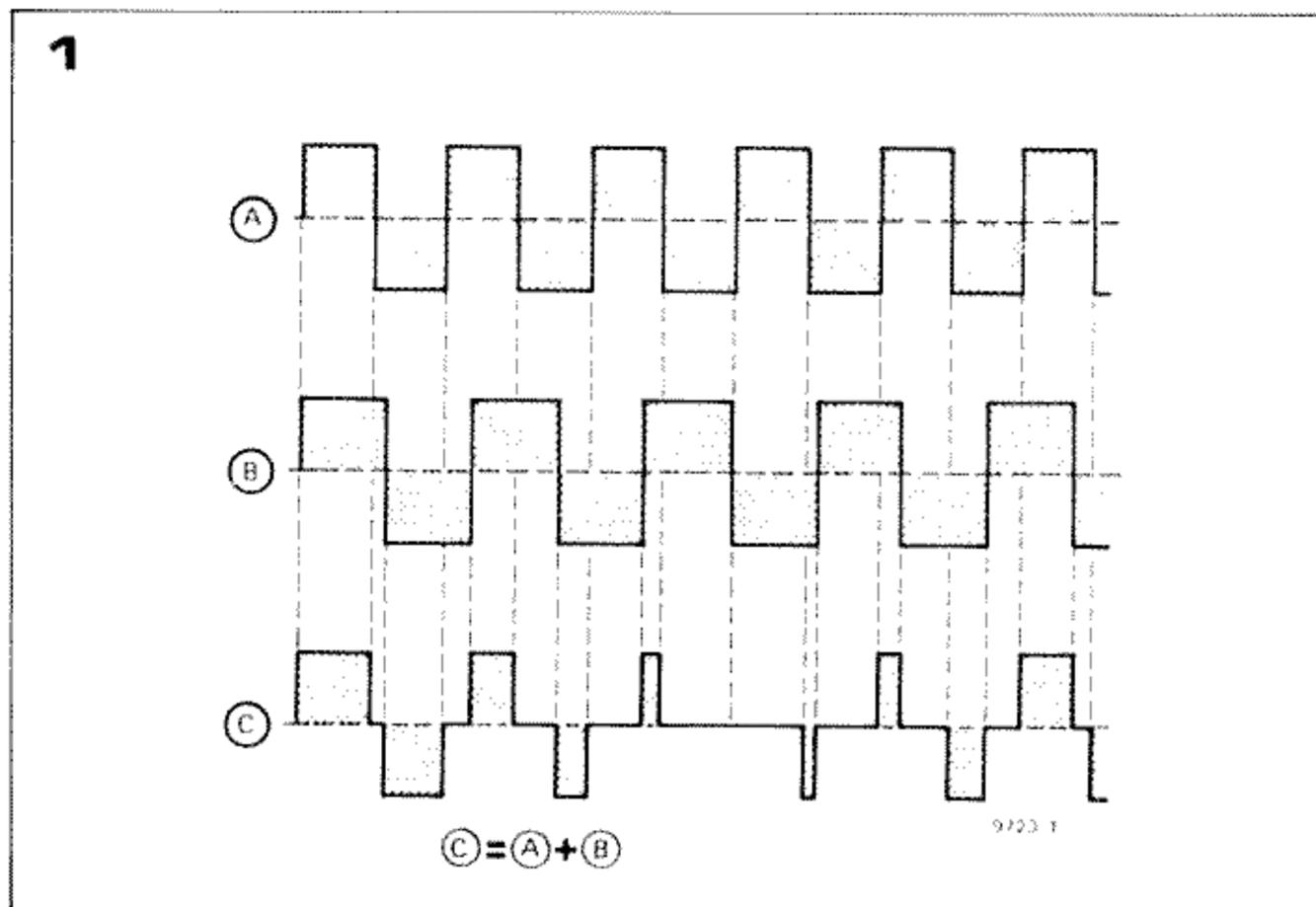
Les VCOs du FORMANT doivent être suffisamment stables et capables d'être accordés avec justesse pour qu'ils ne donnent naissance à l'accord qu'à des battements *lents*. Si ce n'était pas le cas, on obtiendrait des battements trop rapides et finalement des dissonances. Un désaccord *léger* des VCOs est presque toujours souhaitable musicalement pour éviter le caractère 'stérile' des sons à déphasage constant obtenus par exemple avec un orgue de conception digitale. La fiabilité du réglage de ces battements de faible fréquence doit être excellente, afin que le musicien ne soit pas obligé de mener un combat continu (et sans issue!) en corrigeant sans arrêt les notes fluctuantes délivrées par un mauvais VCO.

Un critère pratique de la valeur des VCOs est leur comportement lors de la transposition d'accord. Si les battements restent suffisamment lents lors de la transposition (effectuée par exemple grâce au réglage d'accord global), on parle d'un bon 'tracking' des VCOs. On ne peut évidemment pas vérifier avec certitude qu'un VCO *unique* est apte à être utilisé dans un synthétiseur: il peut arriver qu'on puisse jouer des morceaux impeccablement avec un seul VCO de mauvaise qualité. Un VCO de bonne qualité musicale doit présenter une justesse et une stabilité durables, pour qu'il ait avec ses homologues un tracking convenable pendant un laps de temps important. Cela signifie en termes d'électronique qu'il faut accorder toute son attention à la linéarité de l'oscillateur, à la précision de la fonction de transfert exponentielle et à la stabilité en température de l'ensemble du circuit.

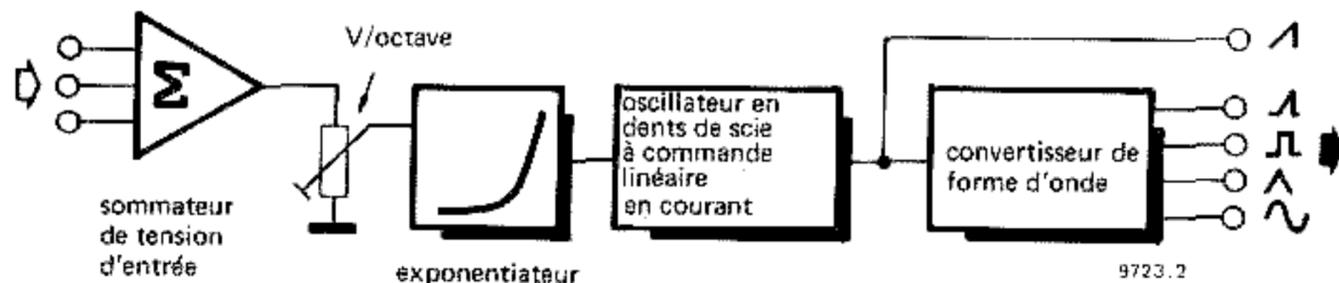
### Caractéristiques musicales des VCOs

Les deux principales exigences demandées aux VCOs du FORMANT sont la stabilité et la précision. Les

Figure 1. Les battements sont dus au recouvrement de deux signaux de fréquences très voisines. Sur l'illustration, il s'agit de deux signaux rectangulaires de même amplitude (A et B); le signal de battement résultant (C) se différencie nettement des deux signaux qui lui donnent naissance. Il en résulte une modulation périodique de fréquence égale à la différence entre les deux fréquences des signaux d'entrée; la modification de la forme d'onde du 'signal de battement' correspond musicalement à une variation périodique du timbre.



2



## Schéma synoptique du module VCO

Le module VCO (figure 2) est conforme à la structure imaginée par MOOG et qui a déjà été abordée dans la première partie. La partie essentielle du VCO est un oscillateur en dents de scie commandé linéairement en courant; le flanc arrière de la dent de scie est raide. Quatre autres formes d'onde sont obtenues à partir du signal en dents de scie au moyen du convertisseur de forme d'onde. Un exponentiateur précède l'oscillateur à réponse linéaire; son courant de sortie double chaque fois que la tension d'entrée augmente de 1 V. L'ensemble est donc ainsi caractérisé par une réponse exponentielle de 1 V/octave. Le circuit d'entrée de l'exponentiateur se compose d'un additionneur qui délivre la somme des tensions de commande appliquées à ses entrées. Les différentes parties du schéma synoptique sont rassemblées en deux groupes sur le circuit imprimé: la section 'oscillateur' comprend l'additionneur d'entrée, l'exponentiateur et l'oscillateur proprement dit; la partie de circuit relativement importante correspondant au convertisseur de forme d'onde occupe le reste (environ les 2/3) du circuit imprimé. Cette division s'est révélée ingénieuse et sera conservée pour la description du circuit.

## Éléments constitutifs de la partie oscillateur

### Oscillateur en dents de scie commandé en courant

La figure 3 montre le schéma de l'oscillateur en dents de scie, qui se caractérise par une bonne linéarité et une montée très brève du signal. La commande en courant linéaire est obtenue en chargeant le condensateur d'intégration C2 avec une source de courant variable (l'exponentiateur). La tension du condensateur au cours du temps varie selon une fonction *linéaire* du courant de charge:

$$u = \frac{I \cdot t}{C}$$

La source de courant variable est en réalité une charge de courant dans laquelle s'écoule le courant de charge du condensateur. La tension à la grille du drain commun atteint au début de la charge environ + 5 V et tombe ensuite linéairement. Le signal est prélevé sur

le condensateur à l'aide d'un FET monté en drain commun. Le très petit courant de fuite à l'entrée de cet étage assure la linéarité de l'oscillateur pour les notes basses, et la 'rapidité' des FETs (comparée à celle des amplis op bon marché) agit positivement sur la linéarité des notes hautes.

Dès que la valeur de la tension délivrée par le drain commun atteint le seuil de déclenchement du trigger de Schmitt (IC1 = 7413), sa sortie devient positive et amène le transistor T1 à saturation; le condensateur C2 se décharge très rapidement. La charge de C2 se termine lorsque le seuil de déclenchement supérieur du trigger est atteint, la sortie du trigger passe à '0' et bloque T1, puis un nouveau cycle recommence. Le comportement de la dent de scie entre les seuils de déclenchement du 7413 est décrit à la figure 4.

Le diviseur de tension R18/P10

(ajustable de 'départ') assure que le seuil de déclenchement inférieur (typiquement 0,85 V) est atteint malgré la 'tension d'offset' positive (environ 1 V) provoquée par le drain commun T2.

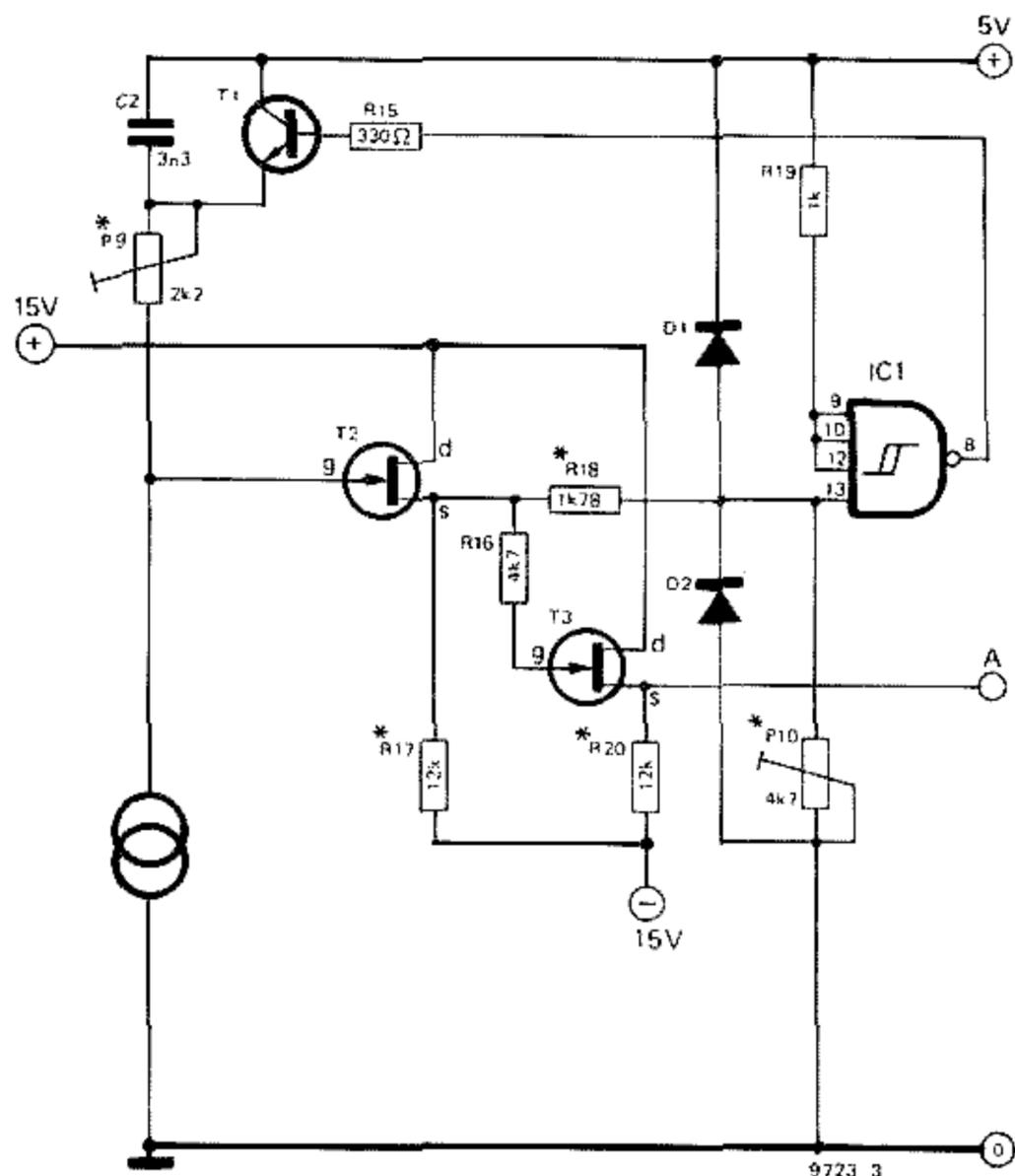
Le potentiomètre ajustable P9 sert à améliorer la linéarité de la dent de scie aux fréquences élevées; son réglage influe sur le tracking à ces fréquences.

Un deuxième drain commun (T3) est monté en adaptateur d'impédance à la sortie de l'oscillateur. Le signal en dents de scie est disponible à la sortie A pour le traitement ultérieur dans le convertisseur de forme d'onde.

### L'exponentiateur

L'exponentiateur délivre le courant de commande destiné à l'oscillateur en dents de scie linéaire. Sa fonction de transfert donne la relation 1 V/octave nécessaire entre la tension de commande

3



\* voir texte

Figure 2. Schéma synoptique du VCO. Cette disposition a été présentée dans la première partie comme structure MOOG. L'oscillateur proprement dit est suivi par un convertisseur de forme d'onde.

Figure 3. L'oscillateur en dents de scie à commande linéaire en courant est le 'cœur' du VCO. Il fonctionne sur le principe d'un oscillateur à trigger de Schmitt amélioré.

Figure 4. Comportement de l'oscillation en dents de scie entre les deux seuils de commutation du trigger de Schmitt (le temps de montée a été considérablement allongé pour les besoins de l'illustration; sa durée réelle est en fait inférieure à 1  $\mu$ s).

Figure 5. La relation entre la tension base-émetteur  $U_{BE}$  et le courant collecteur  $I_c$  d'un transistor est exponentielle sur plusieurs puissances de 10. La plupart des exponentiateurs font usage de cette partie des courbes caractéristiques d'un transistor.

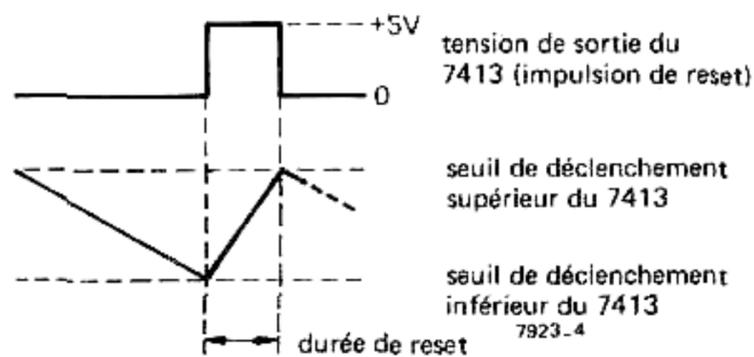
Figure 6. Schéma de l'exponentiateur. Pour améliorer la stabilité en température, on emploie deux transistors 'intégrés'; le circuit intégré comprend un circuit de régulation qui maintient constante la température du chip. Le courant de sortie du circuit (broche 4 d'IC3) charge le condensateur C2, qui détermine la fréquence de l'oscillateur.

et la fréquence de l'oscillateur. Comme la majorité des circuits analogues, cet exponentiateur utilise la relation exponentielle existant entre la tension base-émetteur et le courant collecteur d'un transistor (figure 5).

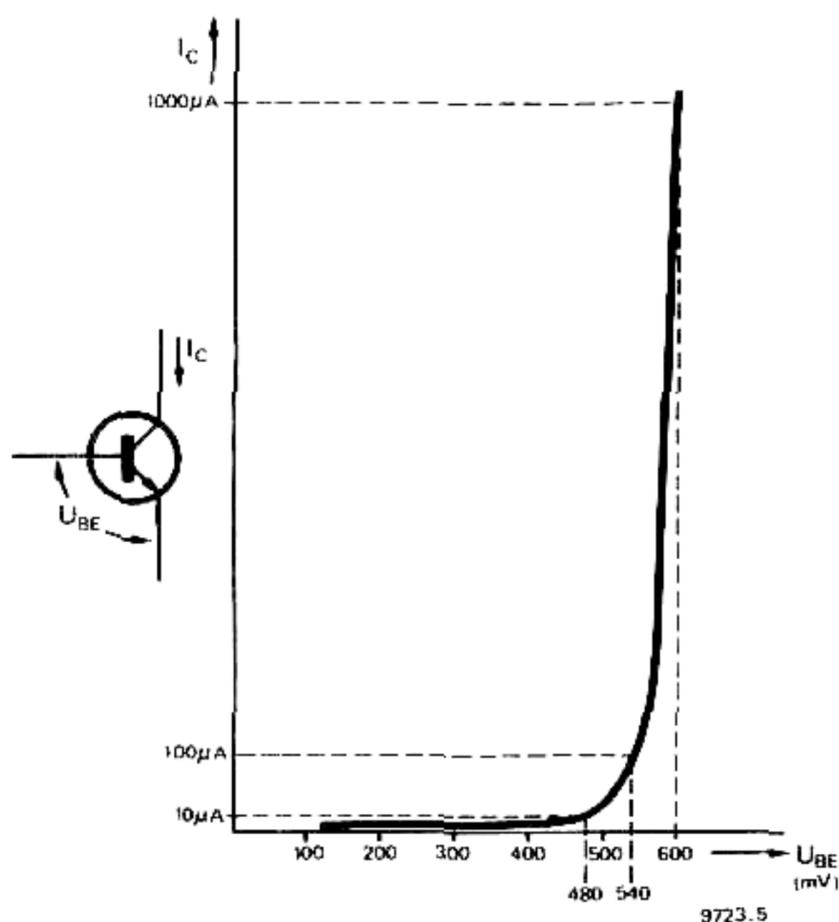
Alors que cette non-linéarité cause des difficultés dans bien des cas (par exemple dans les circuits d'amplificateurs), elle donne une solution utilisable pour un VCO de synthétiseur. Chaque transistor est caractérisé par la relation exponentielle  $U_{BE}/I_c$  sur une plage relativement étendue de courant collecteur (quelques puissances de 10). On ne peut cependant utiliser n'importe quel transistor, car les courants de fuite et la résistance extrinsèque de base provoquent l'apparition de défauts. Il existe pour cet usage des transistors spéciaux qui sont pratiquement exempts de ces défauts essentiels. Même avec ces types spéciaux, une difficulté limite leur champ d'application: la dépendance du courant collecteur par rapport à la température.

À température ambiante, le courant collecteur d'un transistor double chaque fois que la tension  $U_{BE}$  augmente de 17 mV. Une élévation de température de 10° C fait également doubler le courant collecteur! Par conséquent, sans compensation efficace de l'influence de la température, un transistor ne peut servir d'exponentiateur pour un synthétiseur. Sinon, des changements de température d'une fraction de

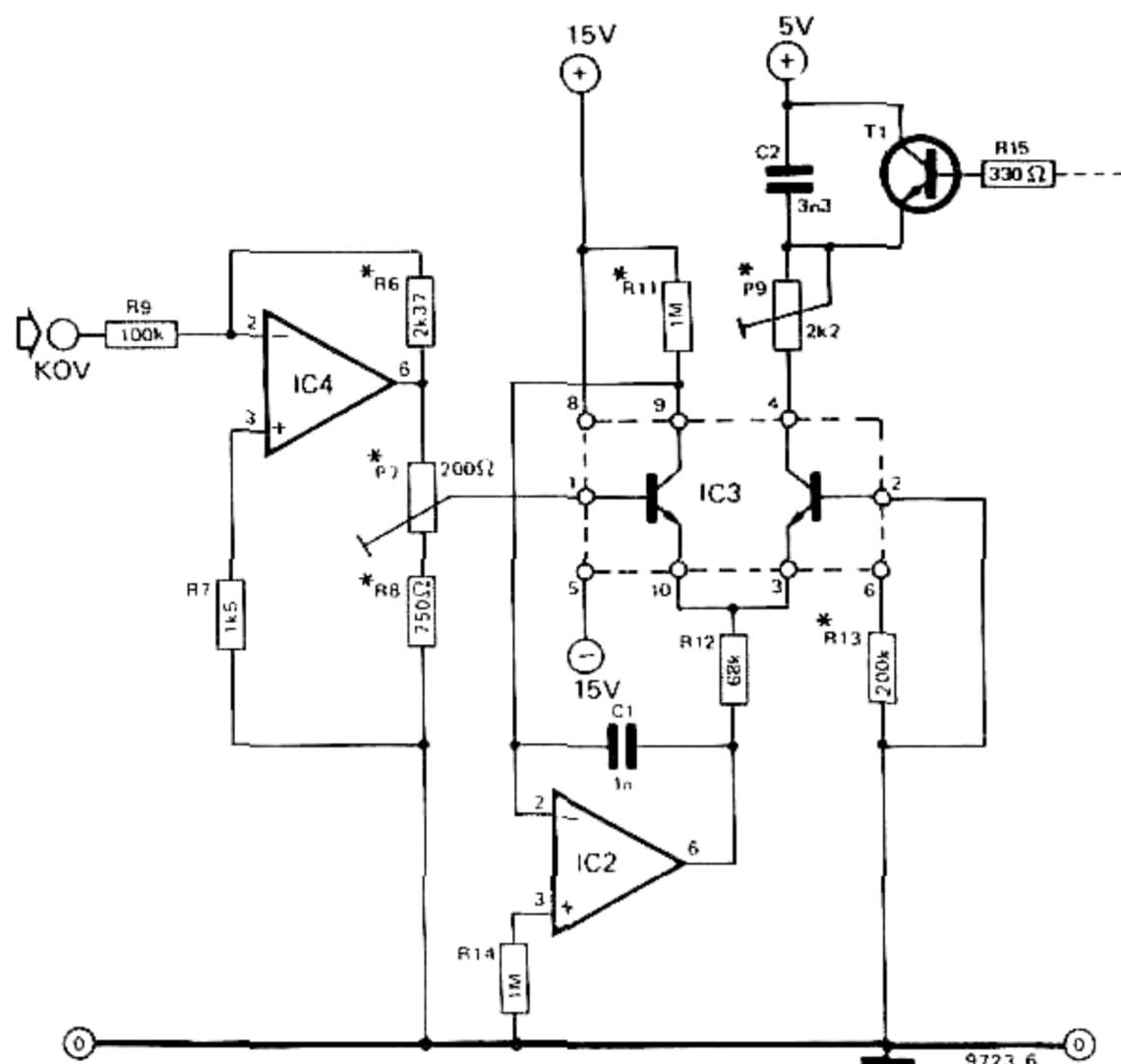
4



5



6



degré provoquerait des variations de la hauteur des notes nettement perceptibles.

La solution la plus simple consiste à maintenir constante la température du chip du (ou des) transistors. C'est le moyen qui a été choisi lors de la mise au point du FORMANT. Par chance, il existe un circuit intégré spécial qui contient, outre une paire de transistors de caractéristiques parfaitement similaires, un 'chauffage' réglé qui maintient la température du chip constante. Le fait que le circuit intégré comprenne deux transistors appariés constitue déjà un avantage. En effet, un exponentiateur sans compensation thermique équipé de deux transistors appariés est déjà suffisamment stable en température. La stabilité thermique du chip du circuit intégré 726 constitue alors une sécurité supplémentaire pour la faible dérive de l'exponentiateur. Le schéma de l'exponentiateur du VCO est représenté à la figure 6; il se compose principalement d'IC3 ( $\mu A726$ ) et de deux amplis op. IC4 fait en réalité partie du sommateur d'entrée, mais sert en même temps de circuit de commande pour l'exponentiateur. Nous avons déjà vu que le courant de sortie d'un exponentiateur à transistor à température ambiante double (= saut d'une octave) lorsqu'on augmente la tension d'entrée de 17 mV; avec le 726, il faudra de 19 à 23 mV par octave en raison de la température plus élevée du chip. Il faut donc amener à cette valeur la tension KOV de 1 V/octave pour attaquer l'exponentiateur. Cette opération est assurée par IC4, qui réduit grâce au réglage de 'gain' R6/R9 une tension d'entrée de 1 V à une tension d'environ 24 mV. Le potentiomètre ajustable 10 tours P7 placé à la sortie du circuit intégré assure le réglage fin de la caractéristique 1 V/octave.

L'ampli op IC2 est monté en source de courant constant; il fournit le courant collecteur de la branche gauche de l'exponentiateur. Le courant d'alimentation de la régulation en température du 726 traverse la résistance R 13; sa valeur détermine la température du chip.

Le courant collecteur du transistor de droite constitue simultanément le courant de sortie de l'exponentiateur; celui-ci charge le condensateur C2, déterminant ainsi la fréquence de l'oscillateur en dents de scie.

#### Sommateur d'entrée

Le schéma de l'additionneur d'entrée (figure 7) rappelle le circuit du sommateur de l'interface. Le VCO reçoit par l'intermédiaire du sommateur d'entrée les tensions de commande et de modulation, auxquelles s'ajoutent encore les tensions continues réglables d'accord et d'offset.

Les deux entrées de tension de commande du sommateur peuvent être sélectionnées au moyen de S1. L'entrée KOV est reliée en permanence à la sortie

KOV du récepteur d'interface, tandis que l'entrée ECV (External Control Voltage = tension de commande externe) n'est rien d'autre qu'une prise jack montée sur la face avant permettant de commander le VCO à partir de tensions externes quelconques (par exemple un deuxième clavier). Il est possible comme pour l'interface d'y appliquer une tension de commande assurant la modulation de fréquence. P3 sert à adapter les niveaux et à régler la profondeur de modulation (excursion de fréquence, intensité du vibrato). La sensibilité maximale de l'entrée FM est d'environ 0,5 V/octave. La fréquence de chaque VCO peut être décalée (transposée) indépendamment de l'accord global obtenu avec l'interface sur  $\pm 5$  octaves à l'aide de P1. En plus de cet accord 'grossier', le potentiomètre d'accord fin P2 permet une correction de  $\pm$  un demi-ton. Le potentiomètre ajustable P8 fixe la fréquence de travail minimum de l'oscillateur (généralement 15 Hz). IC4 ramène la tension du sommateur à la valeur nécessaire pour l'attaque de l'exponentiateur (voir également la figure 6).

#### Formes d'onde du VCO

Les exigences musicales concernant les VCOs posées au début de cette partie se rapportaient surtout à l'oscillateur proprement dit qui correspond à la section 'oscillateur' du circuit VCO. Ce sont surtout la stabilité et la

linéarité de cette partie qui permettent d'utiliser musicalement le module VCO; le meilleur convertisseur de forme d'onde n'a aucun intérêt si l'oscillateur qui le précède n'est pas suffisamment stable.

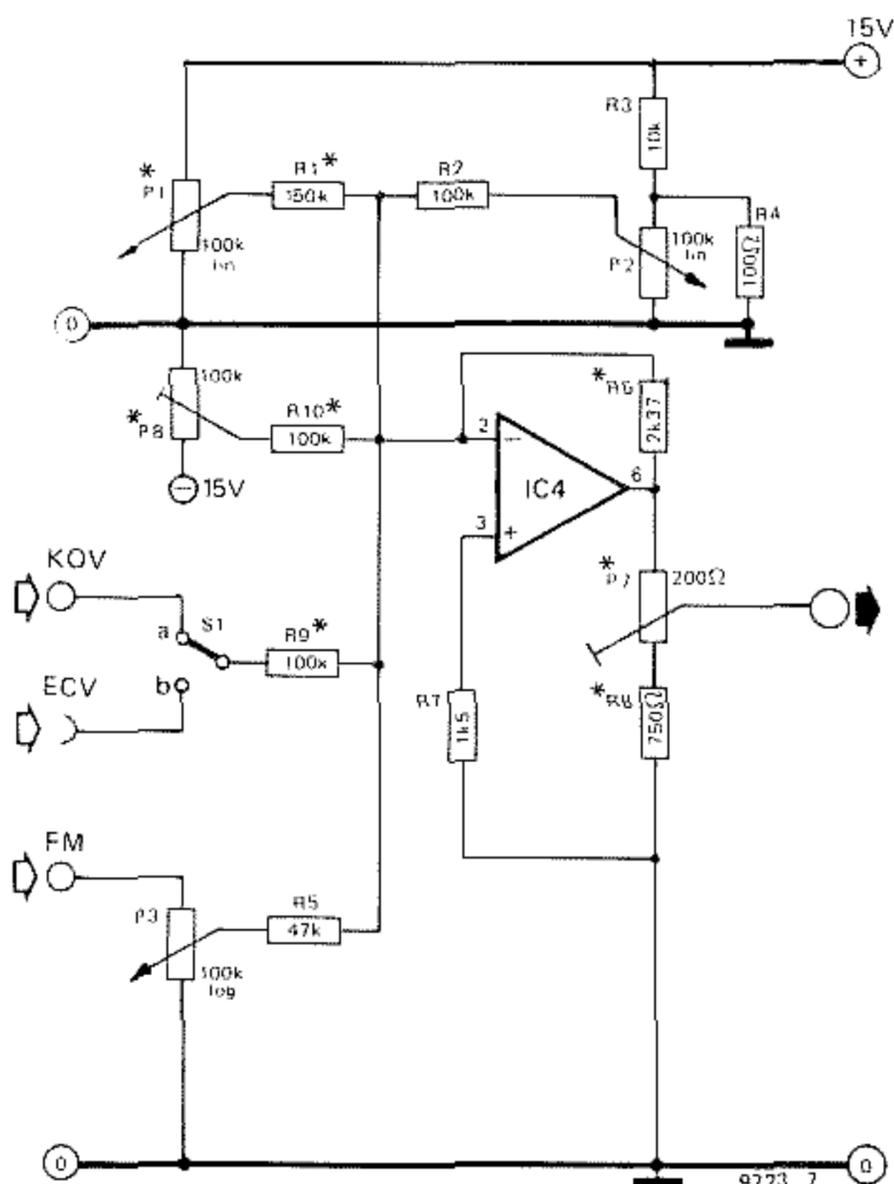
Maintenant que la stabilité de la section oscillateur du VCO est assurée par toutes les précautions précitées, il convient de discuter des qualités demandées au convertisseur de forme d'onde.

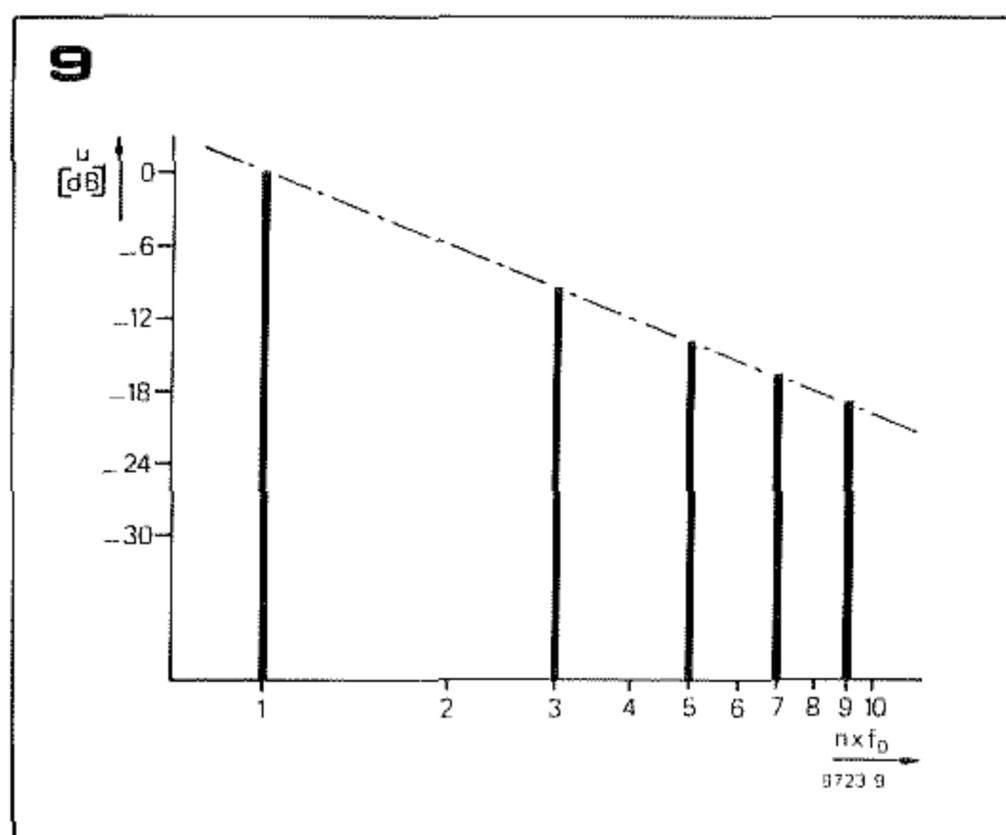
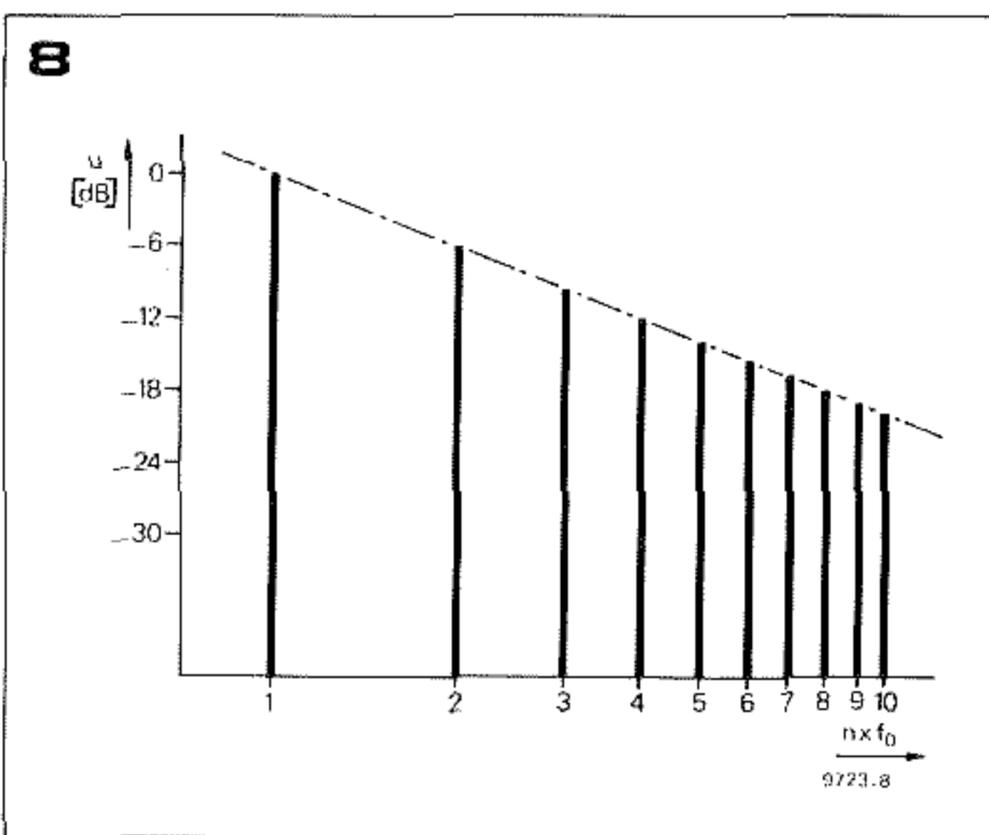
La synthèse d'un son découle principalement du filtrage d'un spectre riche en harmoniques à l'aide du VCF. Comme le VCF assez complexe du Formant ne peut modifier que dans certaines limites un spectre déterminé (signal de sortie du VCO), il est intéressant de pouvoir disposer à partir de la source de plusieurs formes d'onde de composition spectrale différente. Le VCO du FORMANT comprend à cet effet un convertisseur de forme d'onde qui fournit à partir de la dent de scie les formes d'ondes suivantes:

- Dent de scie 'espacée' (dent de scie avec de longs intervalles, à impulsions très pointues).
- Signal rectangulaire de rapport cyclique variable (modulation de largeur d'impulsion ou PWM).
- Signal triangulaire.
- Signal sinusoïdal.

L'importance musicale des différents spectres (formes d'onde) a déterminé conjointement avec leur facilité d'obtention le choix des différentes formes d'onde.

7





### Importance musicale des diverses formes d'onde

La caractéristique d'un son est déterminée par le genre et l'amplitude relative des différentes harmoniques. Les harmoniques *paires* et *impaires* n'ont pas le même effet. Des harmoniques paires possèdent une sonorité agréable et chantante, alors que les harmoniques impaires correspondent à une sonorité creuse et voilée. Ceci est dû au fait que les harmoniques paires donnent naissance à des intervalles musicalement intéressants avec la fondamentale (et entre eux) beaucoup plus souvent que les harmoniques impaires. Ces dernières ont plutôt un comportement dissonant par rapport à la fondamentale. Lorsque le nombre et l'amplitude des harmoniques impaires augmentent, le son

devient de plus en plus métallique et agressif. Cette sonorité correspond à celle d'un amplificateur à transistor saturé, ce qui explique pourquoi tant de musiciens regrettent leur vieil amplificateur à lampes: la prépondérance d'harmoniques paires peut contribuer à un élargissement agréable et à un éclaircissement du son initial, et les distorsions des amplificateurs à lampes à saturation contiennent un mélange significatif d'harmoniques paires. Les conséquences générales du contenu en harmoniques paires et impaires présagent déjà des différences sonores importantes entre les différentes formes d'onde. Les explications suivantes donnent une impression un peu plus exacte des différents spectres:

La *dent de scie* possède un spectre complet qui comprend des harmoniques paires aussi bien qu'impaires. Les amplitudes des harmoniques ont des comportements simples: une harmonique de  $n$  fois la fréquence de la fondamentale a une amplitude égale à  $1/n$  fois l'amplitude de la fondamentale. Cela correspond avec une échelle en dB/octave à une chute de l'amplitude des harmoniques de 6 dB/octave (voir figure 8). Le spectre de la dent de scie est donc riche de toutes les harmoniques. Il permet d'imiter les instruments à vent (cuivres et bois), ainsi que les instruments à cordes. La *dent de scie espacée* est intéressante dans le cas des sons où la chute de l'amplitude des harmoniques de 6 dB/octaves est encore trop importante. C'est le cas pour toute une gamme de sons musicaux, par exemple lorsque les cuivres doivent être encore plus clairs et transparents, ou lorsqu'il s'agit de produire des sonorités de violon ou de violoncelle. L'utilisation de la dent de scie espacée est une particularité du FORMANT.

Le *signal rectangulaire symétrique* est caractérisé par un spectre où toutes les harmoniques paires font défaut. De ce point de vue, la sonorité du signal rectangulaire se situe à l'opposé de celle de la dent de scie. Les amplitudes des harmoniques chutent de 6 dB/octave comme pour la dent de scie (figure 9). La sonorité désagréable du rectangle symétrique a déjà été décrite comme métallique et creuse. Il est cependant important de disposer de cette forme d'onde, car sa sonorité se modifie de façon positive lorsque des battements entrent en jeu; d'autre part, on peut s'approcher de la sonorité de la clarinette et de la flûte (de nombreux 'bois' en général) en effectuant un filtrage du signal rectangulaire. Les signaux triangulaire et sinusoïdal sont

décrits simultanément en raison de la ressemblance de leur sonorité. Dans le cas du triangle, les harmoniques paires sont absentes, et les harmoniques impaires ne sont que très faiblement représentées. Pour une sinusoïde parfaite, toutes les harmoniques sont absentes. La sonorité du signal triangulaire est très douce et s'apparente à celle de la flûte. Les différences par rapport à la sinusoïde sont faibles, la sonorité de cette dernière forme d'onde est juste un peu plus sourde. Il est important de disposer des signaux triangulaires et de la sinusoïde lorsqu'on ne dispose que d'un VCF pour effectuer la synthèse de sons complexes.

Il n'est pas nécessaire pour les applications musicales que la sinusoïde ait un facteur de bruit particulièrement faible; c'est pourquoi on utilise un convertisseur très simple dans le cas du FORMANT. Il est surtout important de pouvoir disposer d'un son sourd contrastant avec celui du signal triangulaire. La *modulation de largeur d'impulsion* aurait pu être décrite conjointement avec le signal rectangulaire, car elle n'est possible qu'avec cette forme d'onde. Elle est cependant décrite ici comme 'forme d'onde' en raison de ses caractéristiques sonores particulières. Comme nous l'avons déjà vu auparavant, un signal rectangulaire symétrique n'est pas particulièrement agréable à entendre. Cependant, si l'on modifie le rapport cyclique de façon à obtenir de faibles largeurs d'impulsions, on obtient un spectre de fréquences beaucoup plus intéressant pour la musique, qui contient des harmoniques paires aussi bien qu'impaires, et qui se rapproche de plus en plus à l'écoute de la sonorité de la dent de scie. D'autre part, un seul signal rectangulaire de rapport cyclique variable périodiquement (Pulse Width Modulation PWM = modulation de largeur d'impulsion) donne à l'écoute pratiquement la même sonorité que le signal de battement obtenu à l'aide de deux VCOs travaillant en mode rectangulaire l'phasing' de la figure 1). Le convertisseur de forme d'onde du VCO comprend un modulateur de largeur d'impulsion commandé en tension qui produit l'effet décrit lorsqu'il est attaqué par un signal de modulation de très basse fréquence issu d'un LFO. Le modulateur de largeur d'impulsion est ainsi un genre de 'phaser' pour les signaux triangulaires; il permet d'obtenir à partir d'un seul VCO le même genre de sonorité qui nécessiterait sinon l'utilisation de deux VCOs délivrant des signaux triangulaires. Ceci amène d'ailleurs le premier conseil pour les lecteurs qui

Figure 7. L'additionneur d'entrée appliqué à l'oscillateur la tension de commande de hauteur des notes. Cette tension de commande est la somme de KOV (ou ECV), du signal FM ainsi que des tensions des potentiomètres P1 (accord global), P2 (accord fin), et P8 (offset).

Figure 8. Spectre des harmoniques d'un signal en dents de scie. Il contient autant d'harmoniques paires qu'impaires, dont les amplitudes chutent avec une pente de 6 dB par octave.

Figure 9. Spectre d'un signal rectangulaire symétrique. De 'cas particulier' du signal rectangulaire ne comprend que des harmoniques impaires, dont les amplitudes chutent avec 6dB/octave.

désirent compléter à leur idée la version de base pour construire leur 'propre' FORMANT. Il est intéressant d'équiper un ou plusieurs VCOs du FORMANT d'un modulateur de largeur d'impulsion et de les commander indépendamment à partir de plusieurs LFOs. On obtient ainsi des sons de 'phasing' très complexes qui possèdent une ressemblance assez frappante avec ceux d'un orchestre. L'importance des effets de phasing complexes pour la synthèse des orchestres de cordes a déjà été soulignée dans le premier chapitre.

Indépendamment de ces utilisations, l'équipement des VCOs du FORMANT avec des modulateurs de largeur d'impulsion est d'un apport extraordinaire pour la synthèse des sons de piano et de clavecin, ainsi que la création de sons originaux.

### Les circuits du convertisseur de forme d'onde

Le schéma synoptique de la figure 10 donne un aperçu des circuits du convertisseur de forme d'onde. Chaque forme d'onde est délivrée à partir de son propre convertisseur; tous les convertisseurs sont montés en parallèle et reçoivent à leurs entrées la dent de scie de l'oscillateur. Les formes d'onde obtenues à partir de cette dent de scie sont appliquées par l'intermédiaire de commutateurs à un sommateur de sortie muni d'un réglage pour le signal somme (Volume VCO).

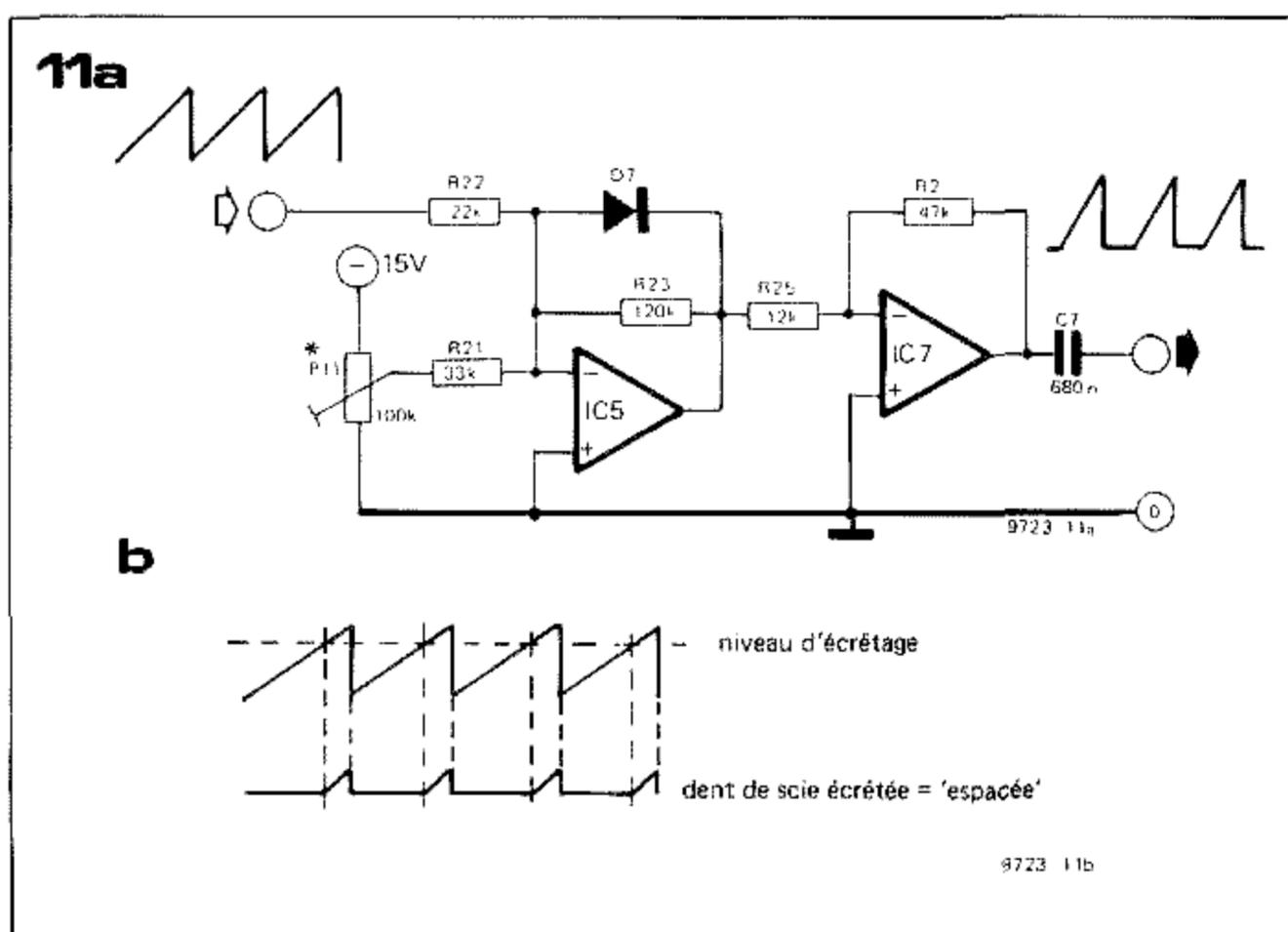
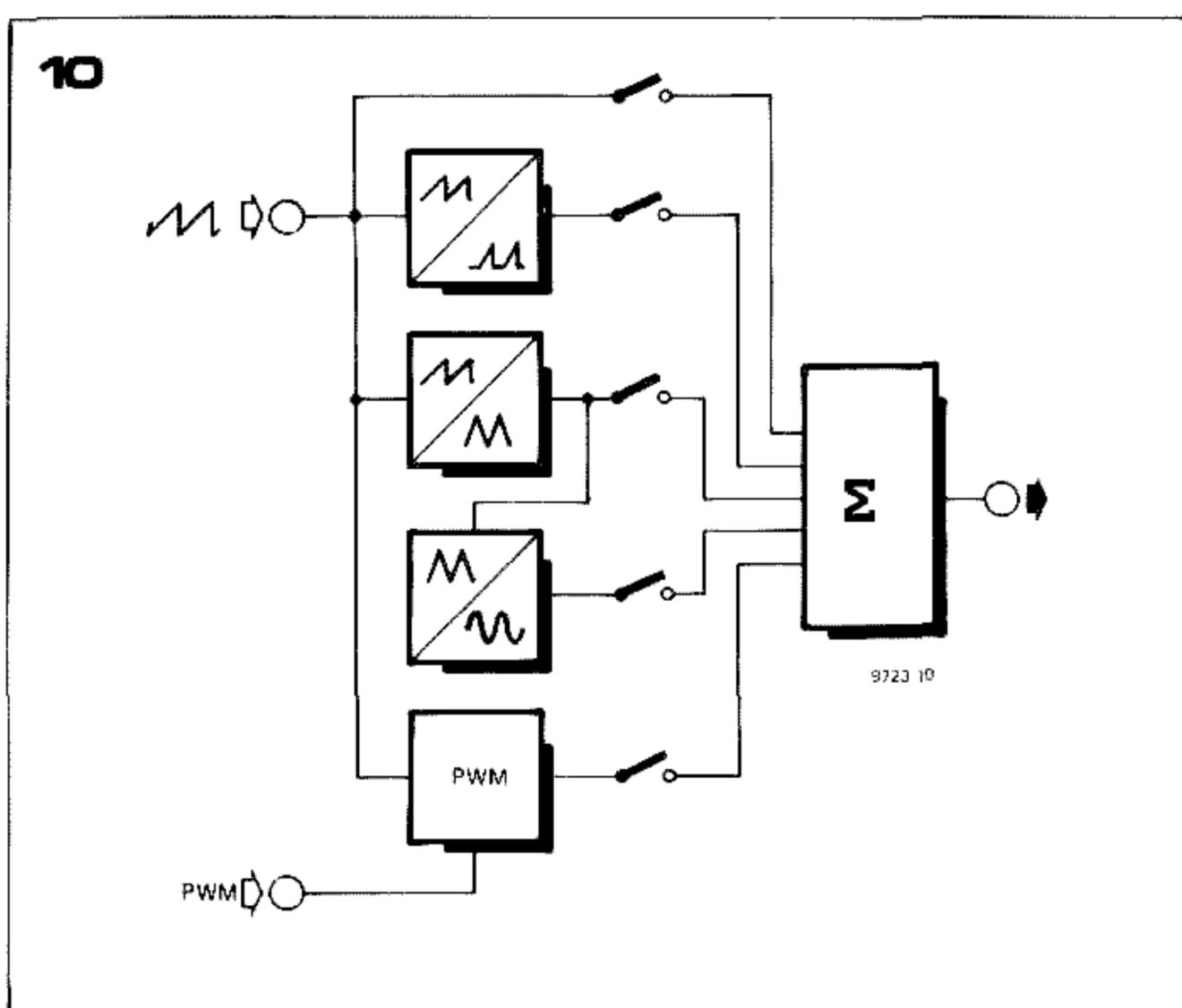
L'utilisation de plusieurs étages convertisseurs 'spécialisés' présente l'avantage, par rapport à un seul étage 'multi-fonctions', de disposer simultanément de toutes les formes d'ondes et de pouvoir ainsi les sélectionner et les mélanger à volonté.

#### Convertisseur dent de scie 'espacée'

Le schéma du circuit et l'aspect du signal sont décrits à la figure 11. Les pointes de la dent de scie sont 'coupées' (écrêtées) par IC5; les pointes 'coupées' sont ramenées au niveau initial (2,5 V crête à crête) par l'amplificateur IC7. Le potentiomètre ajustable P11 permet d'ajuster le niveau d'écrêtage.

#### Convertisseur signal triangulaire

Le schéma et l'aspect du signal sont ici également décrits ensemble à la figure 12. Les transistors T4 et T5 constituent un amplificateur différentiel. Deux diodes germanium triées ou appairées divisent la dent de scie symétrique par rapport au potentiel de masse en deux demi-ondes après le condensateur chimique, puis les appliquent aux deux entrées de l'amplificateur différentiel. La différence entre les deux demi-ondes donne la forme d'onde triangulaire. Il est impossible d'éviter lors de la transformation d'une dent de scie en signal triangulaire la formation d'une impulsion pointue due au passage d'une demi-onde à l'autre. Cette pointe d'impulsion fait une légère entaille dans la pointe du triangle et conduit à une modification plus ou moins importante du timbre doux qui caractérise le signal triangulaire parfait. Ce défaut est considérablement réduit par l'emploi



d'un amplificateur différentiel relativement 'rapide' à composants discrets. L'adjonction de C13 procure une amélioration supplémentaire, mais ce filtrage a pour conséquence une diminution de l'amplitude aux fréquences élevées. La valeur de 1 n donnée sur le schéma constitue un compromis utilisable mais le choix définitif est laissé au libre choix du lecteur.

Le suiveur de tension équipé d'IC8 constitue l'inévitable étage abaisseur d'impédance.

#### Convertisseur sinusoïdal

Comme le montre la figure 13, le 'mini-circuit' de convertisseur sinusoïdal n'est ni compliqué ni caractérisé par un facteur de bruit excellent, mais cependant parfaitement utilisable. D5 et D6 sont des diodes appairées qui

affaiblissent exponentiellement les pointes du signal triangulaire symétrique par rapport au potentiel de masse. On obtient ainsi un signal triangulaire 'arrondi', dont la ressemblance avec une sinusoïde suffit pour le but recherché. Le réglage de l'arrondi se fait au moyen de P13; le niveau du signal est amplifié par l'amplificateur de sortie équipé d'IC11.

#### Modulateur de largeur d'impulsion

Cet étage du convertisseur de forme d'onde délivre à partir de la dent de scie un signal rectangulaire de rapport cyclique réglable et modulable. Le circuit de la figure 14a se compose principalement d'un comparateur équipé des transistors T6, T7 et T8. En faisant varier la tension de comparaison, on obtient en sortie un signal rectangulaire de rapport cyclique

Figure 10. Schéma synoptique du convertisseur de forme d'onde du module VCO. Le convertisseur comprend des parties de circuit qui délivrent à partir du signal en dents de scie de l'oscillateur des signaux triangulaire, sinusoïdal et rectangulaire de rapport cyclique variable (PWM). Il y a en tout cinq formes d'onde; les commutateurs permettent de les sélectionner et de les mélanger à volonté.

Figure 11. Schéma du circuit du convertisseur 'dents de scie espacées'. La figure 11b montre comment cette forme d'onde prend naissance à partir du 'rabortage' (écrêtage) des pointes de la dent de scie.

Figure 12. Circuit du convertisseur pour le signal triangulaire. Les signaux relevés aux différents points montrent la constitution du signal triangulaire à partir de parties du signal en dents de scie.

Figure 13. A partir du signal triangulaire, ce circuit simple permet d'obtenir par 'arrondissement' des pointes un signal en forme de sinusoïde suffisant pour l'utiliser musicalement.

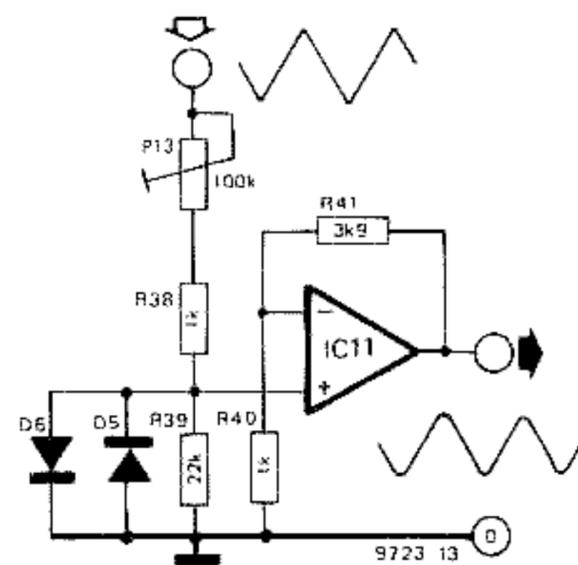
variable, ce qui est montré à la figure 14b avec une tension de comparaison triangulaire. La tension de comparaison est délivrée par un des sommateurs d'entrée (IC6), qui relie la tension de modulation externe (le signal PWM) aux deux potentiomètres P5 et P4. P5 permet de régler manuellement la largeur des impulsions, et P4 sert à atténuer le signal de modulation. Les potentiomètres ajustables P14 et P15 fixent la gamme de modulation (0 à 100%). La sortie d'IC9 commande la LED D8; celle-ci indique le fonctionnement de l'oscillateur, et sa luminosité renseigne sur le pourcentage de modulation du PWM.

#### Sommateur de sortie

Le schéma (figure 15) ne mérite pratiquement pas d'explications. Suivant la position des commutateurs de forme d'onde S2 à S6, le montage transmet la forme d'onde ou le mélange des formes d'ondes choisies à une sortie extérieure (EOS = sortie de signal externe = prise jack sur la face avant) et au point de connexion IOS (signal de sortie interne) relié en permanence à l'entrée du VCF. Les résistances du sommateur portent un astérisque 'voir texte', car elles doivent être choisies de façon à obtenir la même amplitude pour chaque forme d'onde.

Encore un conseil pour ceux qui désirent améliorer le FORMANT: en remplaçant les commutateurs et les résistances du sommateur par des potentiomètres, on obtient une véritable 'table de mixage' des formes d'ondes avec réglage individuel et commun (P6) en sortie du module VCO.

13



#### Récapitulation

Après avoir lu tous les détails de la description du VCO, le lecteur peut avoir perdu de vue l'aspect global de ce module; c'est pourquoi deux aspects importants de la fonction musicale des VCOs sont récapitulés ici. Dans le FORMANT, les VCOs ont pour rôle de délivrer des sons bruts (ou fondamentaux) que l'on transforme à l'aide de(s) VCF(s) et VCA(s) en sons musicalement intéressants. Deux aspects de la structure du VCO sont importants pour cette fonction:

#### Obtention de la hauteur des notes

La commande en tension des VCOs permet avec la tension KOV (provenant de l'interface) de jouer sur le clavier et d'utiliser les possibilités de l'interface (glissando, vibrato, accord global). Les hauteurs des notes délivrées par les VCOs suivent l'information de tension issue de l'interface.

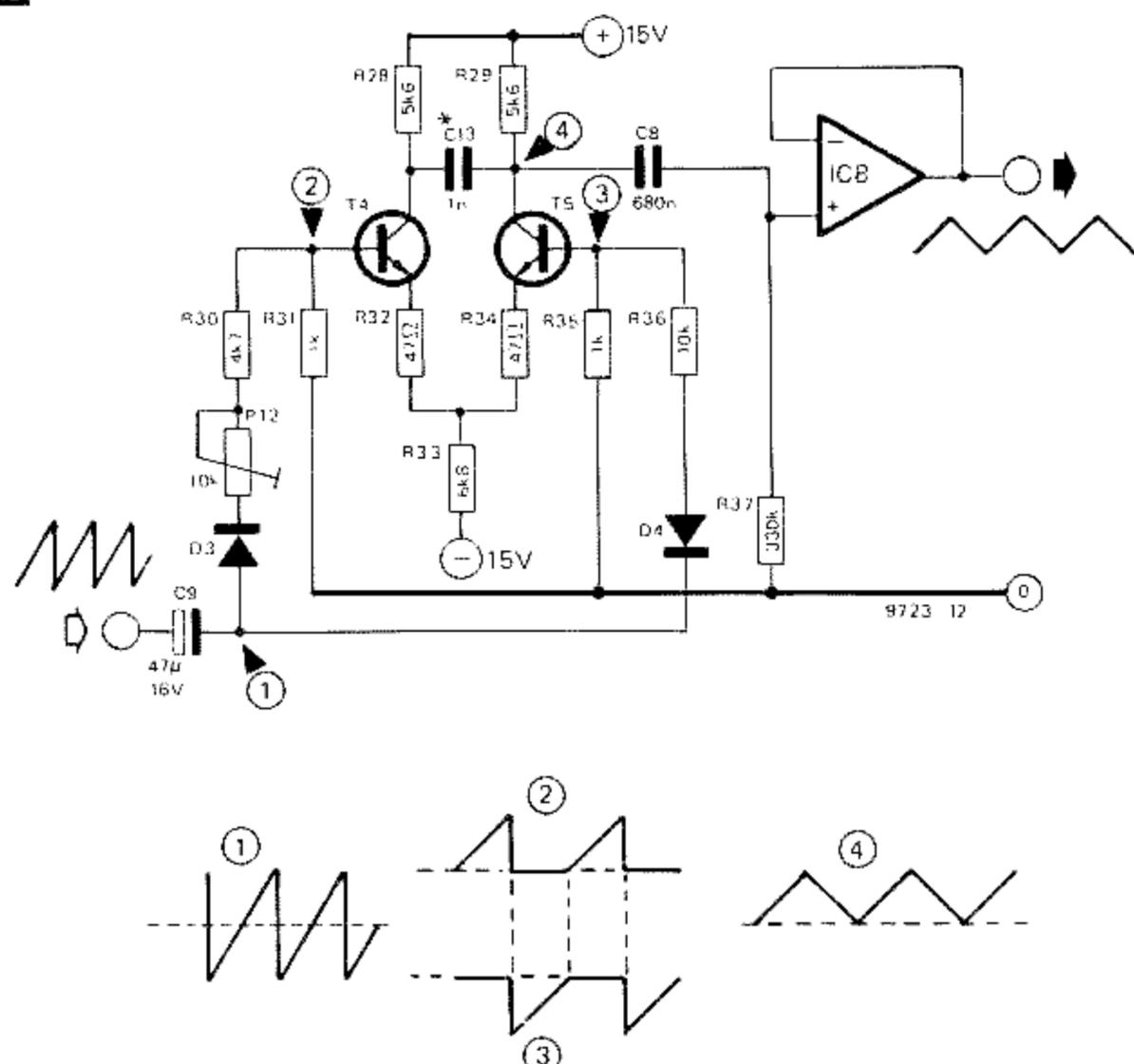
Les VCOs accordés soigneusement à la caractéristique 1 V/octave permettent de jouer dans la *gamme tempérée* (intervalles entre demi-tons égaux). Pour ce faire, ils doivent être très stables et très précis.

La structure MOOG des modules permet de modifier à volonté l'accord des VCOs entre eux par addition de tensions de commande. Les VCOs du FORMANT peuvent être réglés à n'importe quel accord à l'aide de leur réglage de hauteur des notes ('Octaves'), et les accords joués sur le clavier dans la *gamme tempérée*.

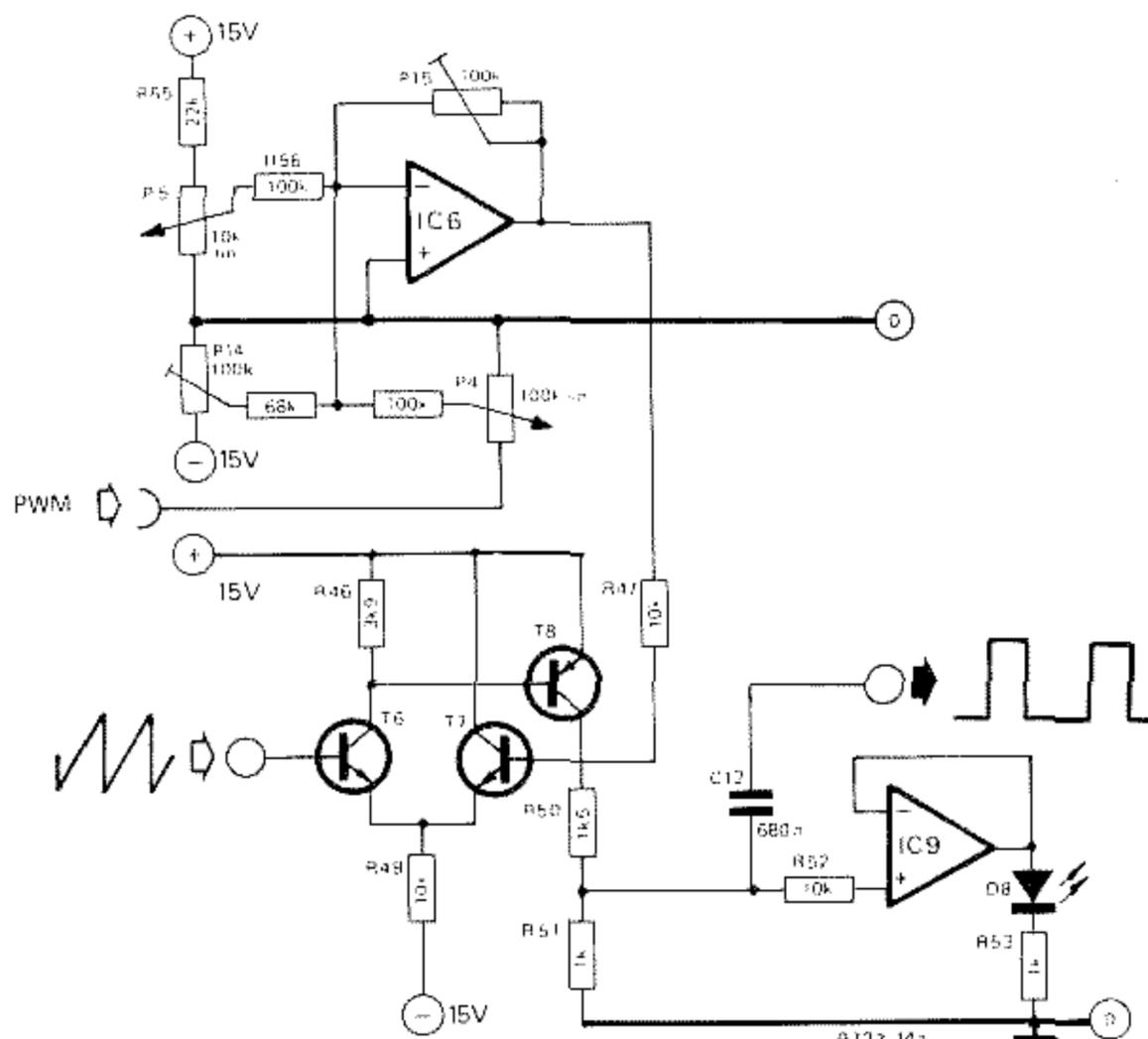
La commande en tension des VCOs autorise également comme nous l'avons déjà vu de déplacer l'étendue de la hauteur des notes du clavier au moyen du réglage d'accord global.

A part le réglage à l'accord 'classique' des VCOs, l'accord à l'*unisson* (sur une même note) est également intéressant du point de vue musical, car il donne naissance à un phasing ressemblant à celui d'un chœur; il produit une composante essentielle des sons de synthétiseur plus complexes. Bien que le FORMANT ne soit 'que' monodique (comme tous les synthétiseurs commandés en tension, à l'exception du tout nouveau Polymoog), il peut

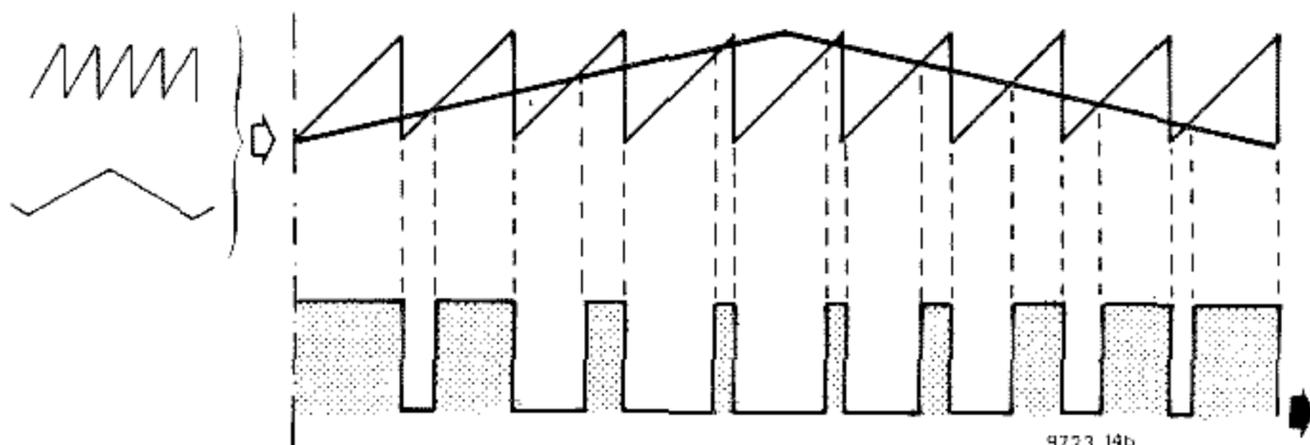
12



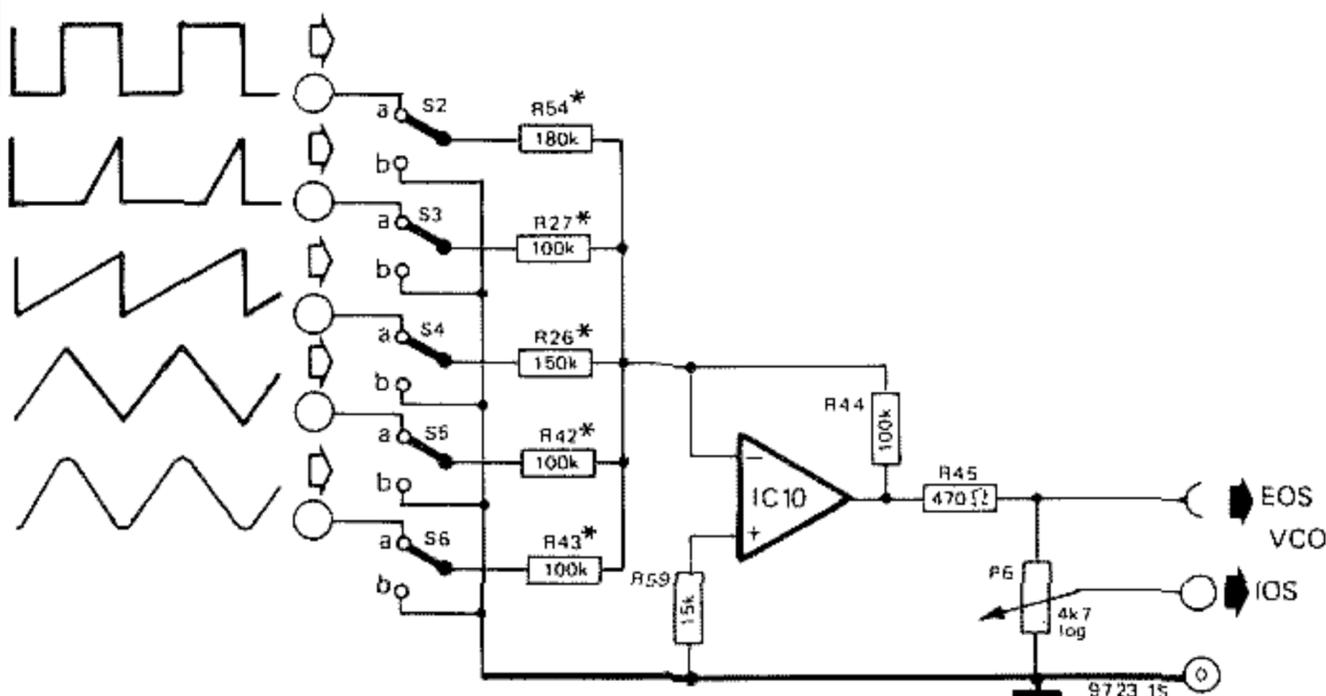
## 14a



## 14b



## 15



synthétiser des sons d'orchestre (à plusieurs voix) en utilisant plusieurs VCOs indépendants.

## Timbres des VCOs

Cinq formes d'onde dont les contenus en harmoniques différents sont disponibles à la sortie de chaque VCO. Avec un nombre plus restreint de formes d'onde, les sons résultants auraient malgré de 'bons' VCFs et VCAs un caractère uniforme et monotone. Les cinq formes d'onde des VCOs du FORMANT, offrant également la possibilité d'une modulation de largeur d'impulsion, couvrent une gamme étendue de timbres fondamentaux; ceux-ci contribuent pour une bonne part à la multiplicité des sons que peut synthétiser le FORMANT.

## BIBLIOGRAPHIE

Clayton, G.B.: 'Experiments with operational amplifiers. 7. Using transistors for logarithmic conversion'. *Wireless World*, Jan. 1973

Sheingold, D.H. (Herausg.): *Nonlinear Circuits Handbook*. Analog Devices, Norwood, Mass. (USA) 1974

Schaefer, R.A.: 'New techniques for electronic organ tone generation'. *JAES (Journal of the Audio Engineering Society)*, July/Aug. 1971

Hamm, R.D.: 'Tubes versus transistors - is there an audible difference?'. *JAES* May 1973

Hamm, R.D.: 'Tubes versus transistors - is there an audible difference?'. *JAES* May 1973

Figure 14. Le modulateur de largeur d'impulsion (PWM) délivre un signal rectangulaire, dont le rapport cyclique est modulable par une tension appliquée à l'entrée PWM. A la figure 14b, on voit comment résulte la modulation lorsqu'on utilise un signal triangulaire 'lent' comme tension de modulation.

Figure 15. Ce circuit sommateur constitue la sortie du convertisseur de forme d'onde.