

LA MUSIQUE ÉLECTRONIQUE

SYNTHÉTISEURS POUR COMPOSITEURS

par F. JUSTER



Introduction



Amplificateur à gain commandé



Filtres commandés par des tensions



Filtre résonnant



Générateurs de tension de commande



Exemple de générateur de tensions de commande



Dans le précédent article (voir « Radio-Plans » de mai 1973) on a commencé l'analyse des schémas de principe des circuits proposés par Robert A. Moog. Précisons que cet exposé n'est pas une « réalisation » avec valeur des éléments et indication du fournisseur des composants. Il s'agit, pour le moment, d'initier nos lecteurs aux principes de fonctionnement des dispositifs électroniques permettant d'aider les compositeurs, les arrangeurs et les chefs d'orchestre, à effectuer leurs travaux, plus rapidement et avec une augmentation de leur efficacité due aux moyens nouveaux mis à leur disposition. Cela précisé, passons à la suite de l'analyse des circuits. Celui du générateur a été étudié ainsi que le début de l'analyse des amplificateurs commandés par des tensions (v c a).



Le schéma du v c a a été donné à la figure II-3 de notre précédent article (article II de cette série paru en mai). Le lecteur voudra bien s'y reporter.

La commande d'amplification (ou de gain) d'un amplificateur, dans un appareil musical, est presque aussi importante que celle de fréquence, c'est-à-dire du choix des notes musicales.

On voit sur la figure II-3 que l'amplificateur proprement dit, dont le gain est commandé (c'est-à-dire réglé) par une tension, se compose de la paire Q_1 - Q_2 de configuration différentielle avec émetteurs reliés ensemble. Les deux transistors sont appariés (on dit aussi appariés). Avant Q_1 se trouve un montage adaptateur à impédance de sortie très faible.

L'emploi des transistors à jonction, des NPN, par exemple, dans le cas présent, permet d'obtenir le résultat suivant : pour une variation donnée de la tension V_{be} entre base et émetteur, il y a un pourcentage fixe de variation du courant de collecteur.

De ce fait, si un courant fixe de transistor est, par exemple, augmenté, la valeur absolue du courant de collecteur varie, pour une variation donnée de V_{be} , d'une manière proportionnelle.

Dans le montage de la figure II-3, la tension constante V_{be} est obtenue grâce à la faible impédance de sortie de l'adaptateur d'entrée. Le courant combiné de Q_1 et Q_2 est I_o . Les variations de courant des collecteurs créent sur R_1 et R_2 des variations de tensions et ces variations sont amplifiées par l'adaptateur de sortie.

On obtient aux deux sorties S_m et S_{os} les deux signaux amplifiés.

De ce fait, le gain entre le signal d'entrée et celui de sortie est proportionnel à I_o . Ce courant, à son tour, est proportionnel à l'exponentielle de la somme des tensions d'entrée de commande.

Pour augmenter le gain de l'amplificateur dans un certain rapport, il faudra augmenter la tension de commande d'entrée. D'une manière très claire, on voit que la relation entre le gain et la tension de commande est telle que, par exemple, s'il y a une augmentation de 1 V de la somme des tensions de commande, le gain de l'amplificateur augmente de 12 dB. Avec des tensions convenables, appliquées à des circuits bien dimensionnés pour cette application, on pourra commander, avec des tensions, des gains variant de 80 dB, 80 dB.

La partie du v c a traversée par le signal à amplifier doit être entièrement équilibrée de façon à ce que des modifications rapides du gain puissent être effectuées sans qu'à la sortie apparaissent des variations de niveau dues au fonctionnement de l'amplificateur en mode commun.

Cette propriété est importante dans le cas de la transmission de signaux correspondant à des sons percutés ou entre sons où il y a une variation rapide de niveau.

On remarquera que le montage du v c a est entièrement réalisé avec des liaisons directes entre étages afin qu'il y ait aussi une excellente transmission des signaux à variation lente de niveau, aussi bien en ce qui concerne les signaux de notes (E_{01} E_{02} à S_{01} S_{02}) que les tensions de commande E_{c1} E_{c2} E_{c3} . Celles-ci sont appliquées à un amplificateur opérationnel AOP1 servant d'additionneur (ou sommateur) des tensions de commande choisies pour obtenir le gain désiré. A la suite de l'additionneur on trouve le circuit disposé à droite du pointillé. Il s'agit d'un amplificateur opérationnel AOP2 soumis à une contre-réaction non linéaire, conférant à un circuit son caractère de transmission exponentielle comme on l'a indiqué plus haut.

Il existe parmi les montages des amplificateurs opérationnels, de nombreux exemples pratiques de circuits à amplification exponentielle. De même des additionneurs à amplificateurs opérationnels sont également proposés par les spécialistes.

Passons à la partie « filtres ».



On les désignera par v c f (voltage controlled filters). On peut constituer un filtre commandé par une tension en combinant le montage de la figure II-3 du v c a (voir paragraphe précédent) avec le circuit de filtre actif de la figure III-1 du présent exposé.

En confrontant les deux figures on retrouve sur la seconde les deux transistors Q_1 et Q_2 de la première, avec leur courant I_0 de commande. La différence réside dans le fait que les collecteurs de Q_1 et Q_2 ne sont pas reliés à la sortie, mais aux émetteurs des transistors Q_3 et Q_4 .

La suite, montante (sur la figure) des paires de transistors, Q_3 - Q_4 , Q_5 - Q_6 , Q_7 - Q_8 et Q_9 - Q_{10} constitue un filtre passe-bas lorsque la résistance R_F de contre-réaction est **enlevée**.

Les résistances successives du filtre passe-bas sont les espaces collecteur-émetteur des transistors et les capacités shunt sont celles désignées par C . Elles shuntent les résistances existant entre les deux émetteurs d'une paire et des deux collecteurs de la paire précédente.

La réactance d'un condensateur matériel X_c dépend de la fréquence, sa valeur étant $X_c = 1/(2\pi f C)$ comme tout le monde (ou presque) le sait. Elle est inversement proportionnelle à la fréquence et à la capacité et se mesure en ohms comme une résistance (C en farads et f en hertz).

Aux fréquences basses la résistance X_c est élevée. Pour un choix convenable de C , cette réactance sera très élevée par rapport à la résistance R_{EE} entre les émetteurs, qu'elle shunte. De ce fait, le signal passera à la cellule suivante sans atténuation appréciable car le bras « résistance » se compose principalement de R_{EE} qui ne dépend pas de la fréquence (mais de I_0 supposé fixe pour le moment).

Aux fréquences élevées X_c devient faible devant R_{EE} et la résultante de X_c et R_{EE} atténue fortement le signal.

Il y a une fréquence de coupure qui se définit comme la fréquence f_c pour laquelle R_{EE} et X_c sont égales.

C est fixe dans ce montage. On fait varier R_{EE} à l'aide du courant de commande I_0 , comme on l'a fait dans les montages v_{co} et v_{ca} .

La variation de I_0 , obtenue à l'aide de tensions de commande E_{c1} , E_{c2} ,... (voir figure II-3), agissant sur la valeur de R_{EE} , a pour effet de modifier f_c car si I_{EE} est différente, la valeur de X_c qui lui est égale est celle correspondant à la nouvelle valeur f_2 de f_c . Ainsi,

$$\text{soit par exemple } X_c = \frac{1}{2\pi f_1 C} R_{EE1} = \text{une valeur de } R_{EE}.$$

La fréquence f_c est égale à f_1 donc :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{EE1} C} = f_1$$

Supposons que R_{EE1} soit doublée, devenant $2R_{EE1}$. Dans ce cas il est clair que f_c sera deux fois plus faible.

$$f_c = f_2 = f_1/2.$$

De même, si, en général, R_{EE} augmente de n fois, f_c diminue de la même valeur.

Avec un filtre comme celui proposé il est possible de faire varier f_c de 1 000 fois, c'est-à-dire sur les trois « décades » : 1 à 10, 10 à 100 et 100 à 1 000 fois.

Comme I_0 varie exponentiellement, une augmentation de 1 V de la tension de commande

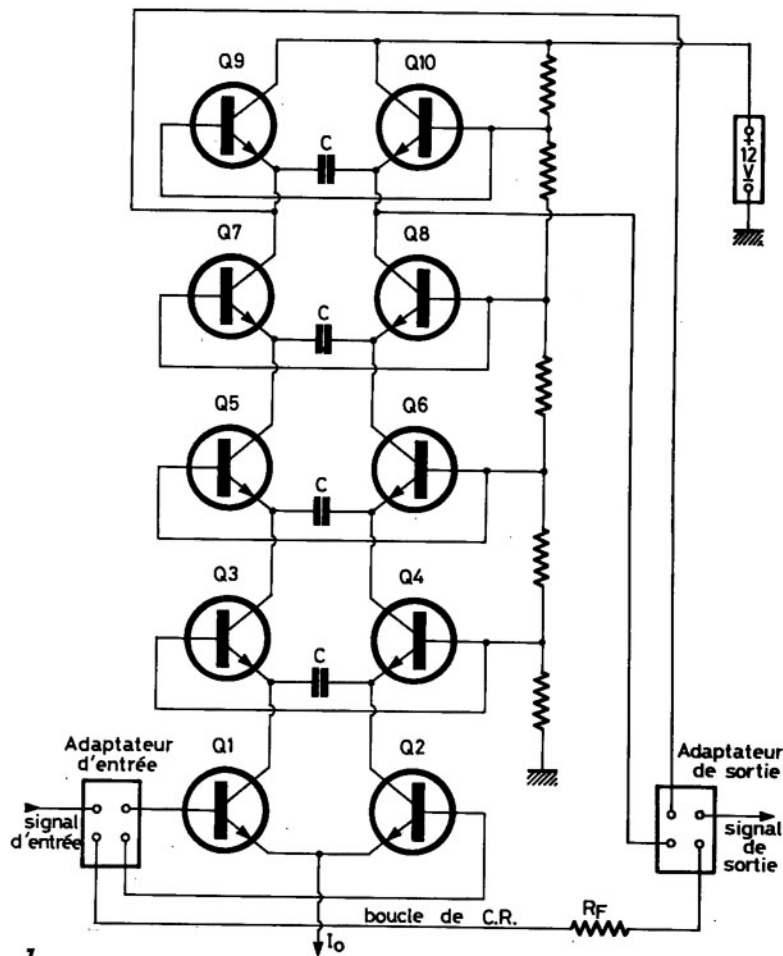


Figure 1

d'entrée (voir figure II-3) donne lieu à une augmentation de f_c de deux fois ; une augmentation de $1 + 1 \text{ V} = 2 \text{ V}$ augmente f_c de quatre fois, une augmentation de $1 + 1 + 1 = 3 \text{ V}$ augmente f_c de huit fois, etc.

L'adaptateur de sortie que l'on a reproduit sur les deux figures a un gain de zéro décibel.

En établissant une contre-réaction à l'aide de la résistance R_F indiquée sur la figure III-1, le filtre passe-bas se transforme en un filtre actif résonnant. En effet, à la fréquence de coupure, la tension de sortie du filtre obtenue à la sortie de signal est très faible. De ce fait, la contre-réaction est la moins intense donc la diminution de gain due à cette contre-réaction est minimum, ce qui crée une résonance à $f = f_c$. Cette résonance est peu pointue.

Il ne faut pas confondre ces générateurs avec ceux commandés par une tension, leur action étant totalement différente.

Pour commander des dispositifs tels que générateurs (ou oscillateurs), amplificateurs et filtres, il faut disposer de tensions de commande comme celles mentionnées précédemment : E_{c1} , E_{c2} , etc.

De cette façon on a pu concevoir des cir-

cuits v_{co} , v_{ca} , v_{cf} dont le fonctionnement a été analysé plus haut.

Les générateurs de tension de commande que nous désignerons par v_{cg} permettront de faire fonctionner ces circuits.

Il en existe une infinité de v_{cg} selon le genre de tensions E_c nécessaires, par exemple des tensions fixes, de toutes valeurs, et des tensions E_c variables d'une infinité de manières... Dans un appareillage de compositeur de musique électronique il faut disposer d'un certain choix de générateurs v_{cg} différents. Les plus simples sont faciles à imaginer.

Parmi les plus importants, citons les générateurs v_{cg} de transitoires.

Ces générateurs (ou sources) de tension produisent des tensions qui augmentent rapidement jusqu'à un certain niveau, prévu selon une constante de temps donnée et, ensuite, retombe selon une autre constante de temps (voir figure III-2 A).

Les générateurs de transitoires sont particulièrement efficaces dans des applications comme par exemple la reconstitution du son de trombone. Ainsi, avec cet instrument, le son commence avec un pourcentage faible d'harmoniques. Pour obtenir cet effet, on applique, pour débiter, au v_{cf} (filtre commandé par une tension) une tension v_{cg} « de transitoires », définie plus haut, de façon à ce que le filtre ne donne au début que la fondamentale de la note désirée.

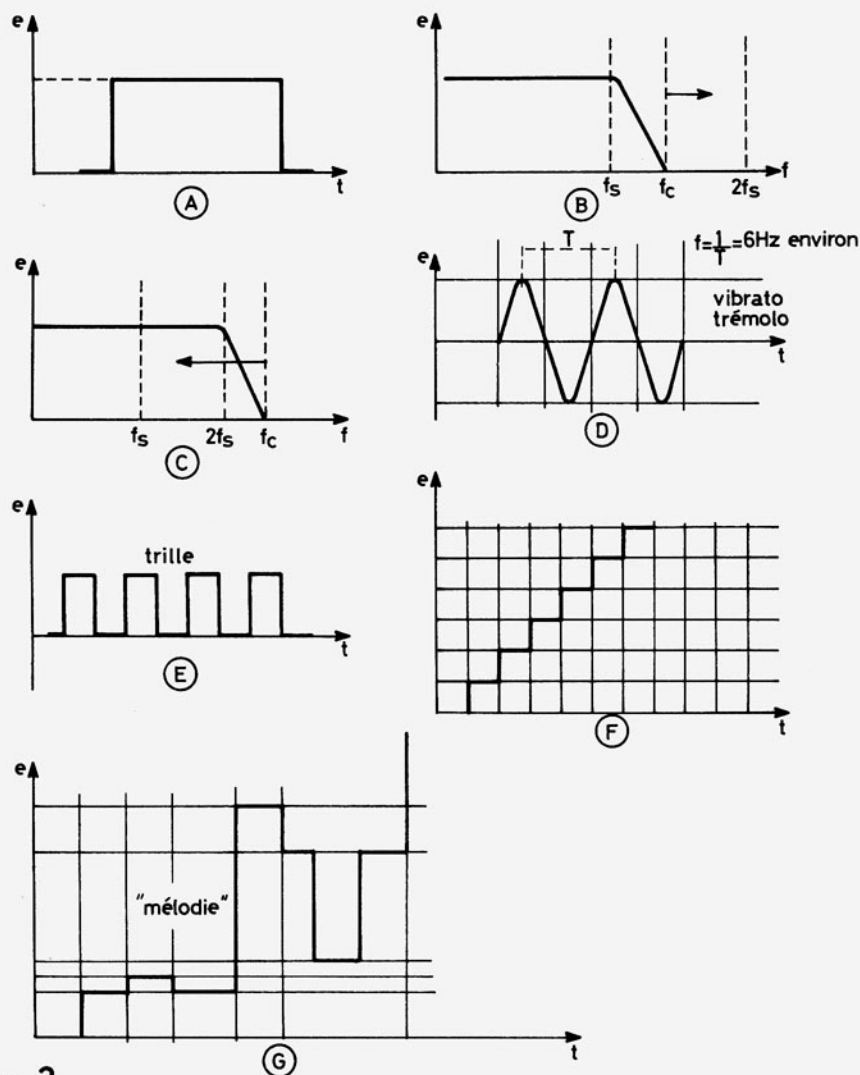


Figure 2

Les harmoniques indésirables au moment considéré seront éliminées par le filtre grâce à la tension de commande qui correspondra à une valeur de f_c telle que celle-ci soit à peine supérieure à la fondamentale f_s du signal à transmettre tandis que les signaux harmoniques de f_s , $3f_s$, etc., seront au-delà de f_c donc éliminés (fig. III-2-B).

Par la suite, la tension fournie par le v.c.g. variera de façon à ce que f_c augmente, ce qui permettra alors la transmission des signaux harmoniques.

Dans le cas de sons **pincés** comme ceux de la guitare ou d'autres instruments analogues (et aussi du **pizzicato** du violon et instruments de la même famille), la reconstitution de ces sons est réalisable en procédant d'une manière contraire à celle indiquée plus haut : le v.c.g. est tel qu'au début le son contienne un grand pourcentage d'harmoniques (donc $f_c \gg f_s$) puis f_c diminuant, les amplitudes des sons harmoniques diminueront (figure III-2-C).

Cet effet est obtenu avec une tension de v.c.g. tombante. Voici d'autres effets. Le vibrato, par exemple, qui est une modulation de fréquence du signal de note peut s'obtenir en faisant varier, à la très basse fréquence

convenable (de l'ordre de 6 Hz) la tension de commande de l'oscillateur (v.c.o.) qui fera varier la fréquence du signal de notre correspondant à une note sur laquelle il a été réglé (fig. III-2-D).

Pour le trémolo, il faudrait créer une modulation d'amplitude, donc il suffira d'appliquer à l'amplificateur une tension de commande v.c.a. variant à la fréquence de trémolo (de l'ordre de quelques hertz comme celle de vibrato).

Le trille s'obtient d'une manière analogue à celle du vibrato en appliquant une tension de commande à l'oscillateur v.c.o. ayant la forme rectangulaire et dont l'amplitude soit telle que la variation de la note nominale soit de 1 ou 1/2 ton vers le haut ou vers le bas.

Une tension de commande en escalier, appliquée au v.c.o., donnera, par exemple, une gamme chromatique ou diatonique selon la valeur de la montée (ou de la descente) de tension correspondant à chaque « échelon » de l'escalier.

Notons, en passant, l'intérêt de la variation exponentielle de la fréquence de v.c.o. lorsque la tension de commande varie linéairement.

En effet, si chaque échelon donne lieu à une variation linéaire de tension de commande, la variation de la fréquence de note musicale sera en progression géométrique. Il suffira que la **raison** de cette progression de fréquence soit égale à la racine d'ordre douze de 2 (1,06 environ) pour que la note varie d'un demi-ton, ou à la racine d'ordre six de 2 pour une variation d'un ton entier.

Mieux encore, avec des tensions de commande ayant des montées et des descentes de valeurs convenablement choisies appliquées au v.c.o., on obtiendra une succession de notes différentes constituant, si l'on a du talent, une mélodie originale. Evidemment, si l'on manque d'inspiration on peut préparer, de la même manière, une mélodie connue (figure III-2-G).

Rappelons que les œuvres ayant une certaine ancienneté sont dans le domaine public et à la disposition des arrangeurs.

Indiquons aussi qu'il y a, et il y a eu, des arrangeurs illustres parmi les plus grands compositeurs tels que Rimski-Korsakov, Stravinski, Liszt, et des compositeurs de nos temps comme Rachmaninoff.

Actuellement, J.-S. Bach et d'autres classiques sont mis à contribution par les auteurs de chansons, comme nos lecteurs ont bien pu s'en rendre compte en « écoutant » la radio et la T.V.

En même temps que les tensions de commande v.c.g., agiront sur la fréquence v.c.o., d'autres tensions de commande agiront sur les v.c.a. (amplificateurs) pour faire varier la puissance des sons.

On peut donc voir, avec les quelques exemples donnés ici, le très grand nombre des possibilités offertes par les v.c.o., v.c.a., v.c.f. et v.c.g. préconisés par Robert A. Moog et d'autres spécialistes de la musique électronique.

Voici à la figure III-3 un schéma théorique (nous n'avons pas pour le moment un schéma pratique) de générateur v.c.g.

Celui-ci comprend un transistor Q_1 , PNP par exemple. La base est polarisée par le diviseur de tension R_1 - R_2 . L'émetteur est polarisé par R_3 et le collecteur comprend un circuit composé de résistances R égales ou non, selon l'application recherchée.

L'alimentation est assurée par une batterie de 12 V par exemple.

Ce montage produit un courant de collecteur I_c passant par les résistances R_n . La tension entre masse et le collecteur peut être divisée en valeurs égales ou inégales ; un ensemble de contacteurs K peut donc être utilisé pour prélever la tension des points 1, 2... n.

Un relais agit de façon à ce qu'il soit en position « contact » chaque fois qu'il y a un contact, avec un des contacteurs 1 à n (un seul à la fois).

Désigner les tensions entre masse et contacts par $E_1, E_2, \dots, E_{n-1}, E_n$. Soit le cas, par exemple, où l'on effectue ce contact au point $n-2$. La tension en ce point est E_{n-2} (une fraction de 12 V évidemment). Comme ce relais

établit également le contact, le condensateur C se charge à la tension E_{n-2} . Coupons le contact $n-2$. La tension E_{n-2} n'alimente plus la charge de C et ce condensateur se décharge dans le circuit à transistors situé à sa droite sur ce schéma.

Ce circuit se compose d'un transistor à effet de champ Q_2 canal P (donc alimenté comme un PNP), suivi d'un transistor NPN Q_3 .

Le FET Q_2 est monté en source commune, avec la source S polarisée par R_5 reliée au + d'une batterie B_3 de 12 V pouvant être le même que B_1 . Le drain D est polarisé négativement par R_4 reliée à une batterie B_2 de 8 V, distincte de B_1 et B_3 . La grille G du FET reçoit la tension négative par rapport à la masse provenant de la décharge de C comme expliqué plus haut.

Il y a liaison directe entre le drain D de Q_2 et la base de Q_3 . Remarquons que la masse est le point commun des pôles — de B_1 et B_3 et du pôle + de B_2 de 8 V.

Finalement on voit que l'on peut obtenir une tension E_c à la sortie du montage.

Cette tension a une valeur positive maximum, par rapport à la masse au moment où l'on actionne le contacteur K_{n-2} . Dès qu'on lâche, le contacteur C se décharge et, par conséquent, E_c diminue depuis sa valeur maximum déterminée par E_{n-2} jusqu'à zéro, si on lui laisse le temps en n'actionnant pas un autre contacteur.

En actionnant un autre contacteur, par exemple celui marqué K_n , la tension E_n étant plus grande que E_{n-2} , la tension de sortie E_c

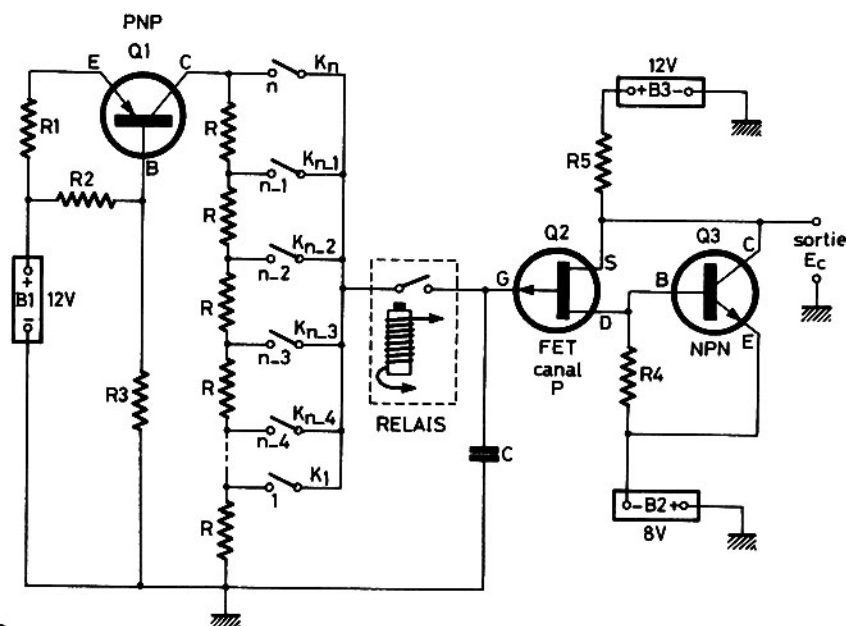


Figure 3

atteindra une valeur proportionnellement supérieure. Si ces résistances R sont égales, E_c aura des valeurs consécutives en progression arithmétique (figure III-2-F).

L'ensemble des contacteurs k_1 à k_n peut être réalisé avec un clavier de 61 touches par exemple ayant la présentation d'un clavier de piano ou tout autre présentation.

Cet amplificateur à transistors Q_2 - Q_3 est de gain égal à 1 et son impédance d'entrée, sur G, est très élevée.

Le système à contacteurs peut être remplacé par une résistance variable unique réglable par curseur.

Cette variante nécessite une action manuelle de la part du compositeur.