

Le nombre d'or du solfège de l'électronique musicale (synthèse analogique), c'est la caractéristique 1 V/octave, généralisée au point d'être devenue un standard industriel au fil des années. Comme on le sait, il s'agit d'une corrélation établie entre une grandeur musicale (l'octave: intervalle entre deux fréquences dont l'une est le double de l'autre) et une grandeur électrique (le volt). Puisque l'octave se décompose en douze demis-tons égaux, on a aussi saucissonné le volt en 12 fractions égales; et c'est ainsi que sont "accordés" (au sens musical du terme) les modules de synthétiseur commandés en tension (VCO et VCF notamment): la variation de la tension de commande se fait par pas (ou multiples) de 83,33 mV. Et le quantificateur est un appareil qui permet d'obtenir des signaux de commande répondant à cette caractéristique, à partir d'autres signaux, d'origine quelconque, non subdivisés en degrés de 83,33 mV. Voilà qui laisse entr'apercevoir des horizons sonores infiniment variés!

# quantificateur



convertisseur analogique-numérique +  
transcodeur + convertisseur numérique-analogique =  
manipulation des échelles musicales

D'emblée, il faut dissiper toute équivoque: le quantificateur n'est pas un générateur, c'est un module de liaison entre deux autres modules de synthétiseur; il s'agit d'une interface ou, mieux, d'un convertisseur ou transcodeur. C'est à dire qu'on lui fournit un signal, et qu'il en délivre un autre. Il existe, bien entendu, un rapport entre l'un et l'autre, le second étant une copie quantifiée du premier; ce qui signifie qu'il a été "moulé" selon la fameuse caractéristique V/octave de telle sorte qu'il produise les différents degrés d'une échelle musicale définie par l'utilisateur.

C'est ce qui apparaît sur le graphique de la figure 2. On y voit d'une part la courbe du signal d'entrée (dans cet exemple, il s'agit d'une enveloppe, mais ce signal peut pro-

venir d'un LFO, d'un séquenceur, d'un générateur aléatoire, du percutron, d'une pédale, etc . . .) et d'autre part deux exemples de tension de sortie du quantificateur (QOV = *quantisizer output voltage*): l'une comporte tous les degrés ( $12 \times \frac{1}{2}$ ton) de l'échelle chromatique – elle suit de près de signal d'entrée – et l'autre ne comporte que les trois notes de l'accord majeur.

## Quantifier! Qu'est-ce à dire?

La quantification est une fragmentation d'une grandeur physique en valeurs discrètes, multiples d'un quantum ou unité irréductible. Dans notre cas, le quantum est le demi-ton musical ou le douzième de volt (83,33 mV). Notre appareil présente fondamentalement deux modes de fonctionne-

Figure 1. Le quantificateur consiste en une chaîne de traitement de signaux de commande pour synthétiseurs. Son intérêt ne réside pas seulement dans la rigueur de sa caractéristique V/oct mais aussi dans sa capacité de générer des tensions de commande calibrées d'après des échelles musicales ou des arpèges. Pour l'oreille, il se présente comme une espèce de séquenceur-arpégiateur. Le convertisseur A/N est utilisable indépendamment, de même que le convertisseur N/A.

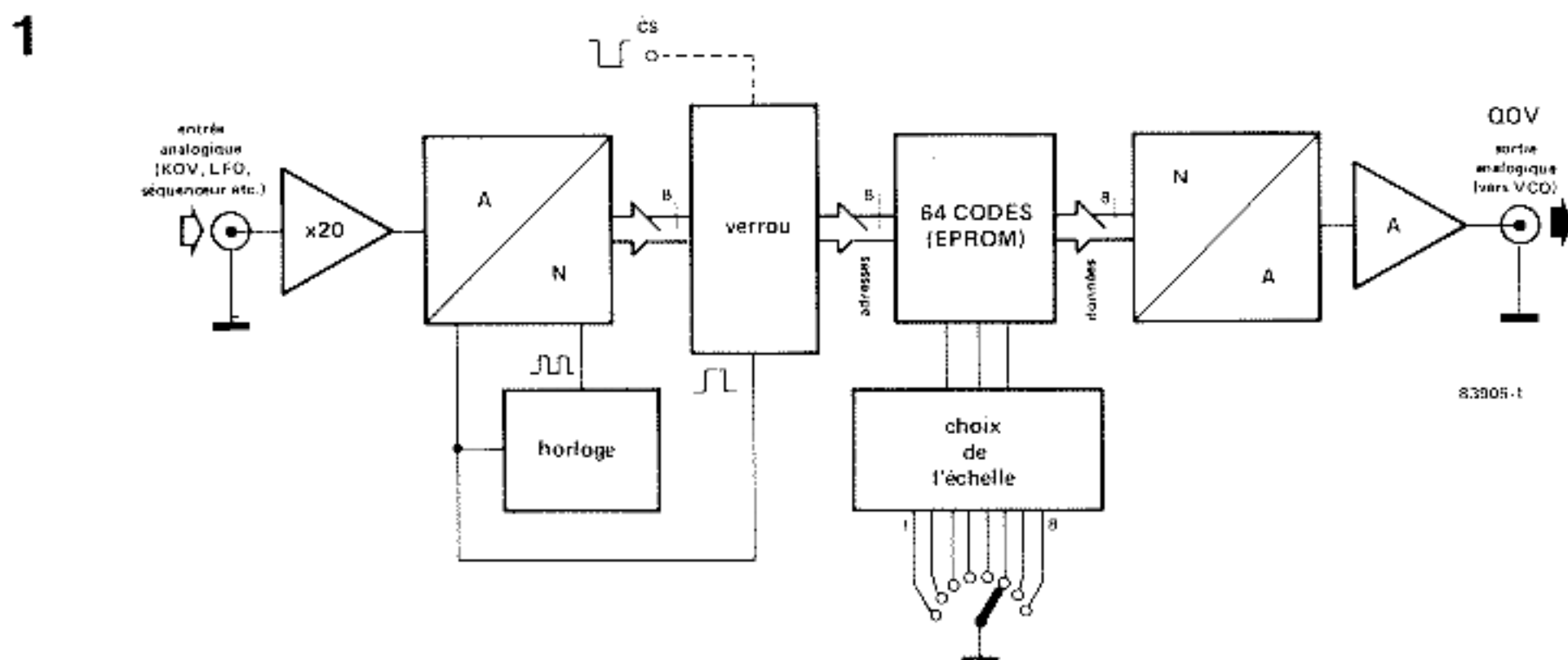


Figure 2. Pour une tension d'entrée donnée (d'origine quelconque) le quantificateur peut délivrer huit courbes de sortie différentes, organisées chacune suivant une autre échelle musicale. Dans l'exemple ci-contre, la tension QOV en pointillés fins suit l'échelle chromatique, et la tension QOV en pointillés grossiers ne donne que les notes de l'accord majeur.

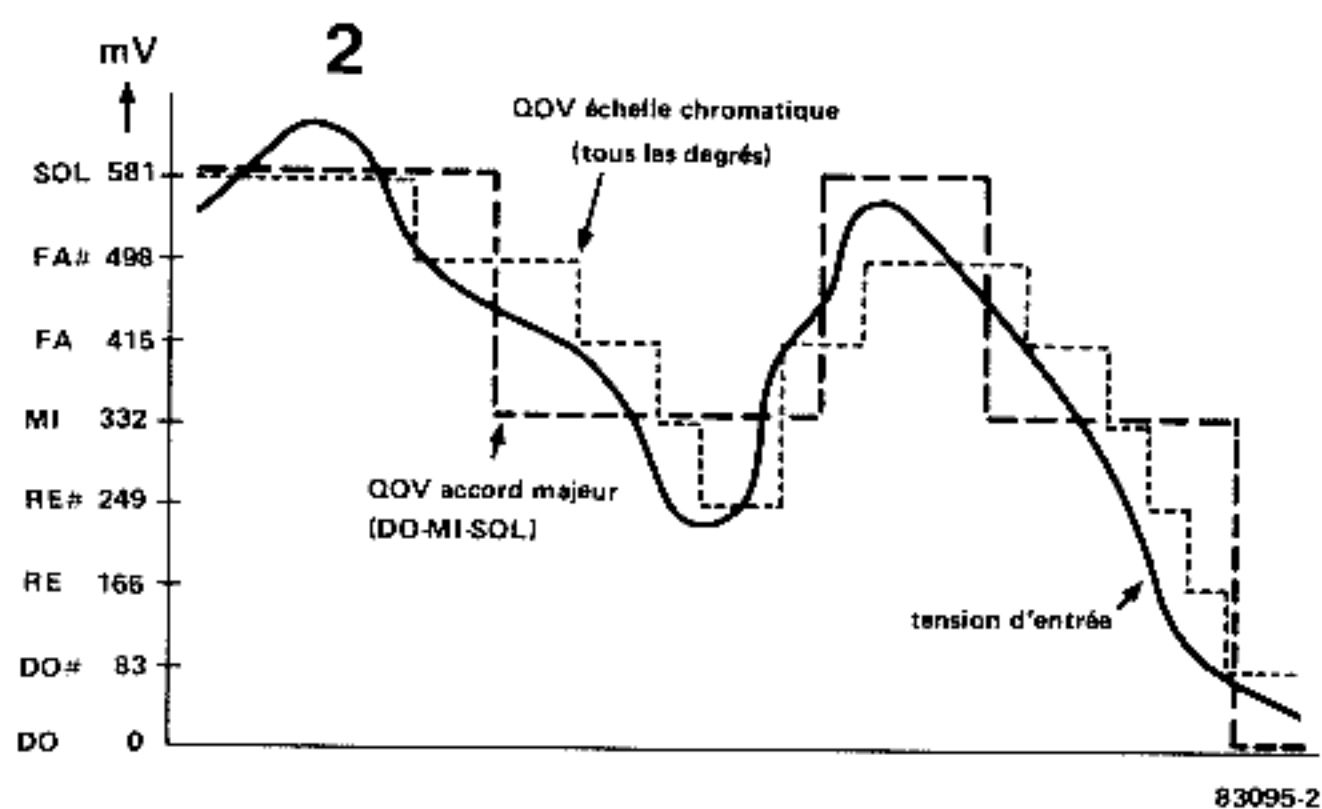


Figure 3a. Structure interne simplifiée du convertisseur analogique-numérique intégré ZN427-E8 de Ferranti. Les deux étages essentiels sont le convertisseur numérique-analogique commandé par une horloge externe, et le comparateur rapide auquel est appliquée d'une part la tension de sortie du convertisseur N/A et d'autre part la tension à convertir  $V_{in}$ .

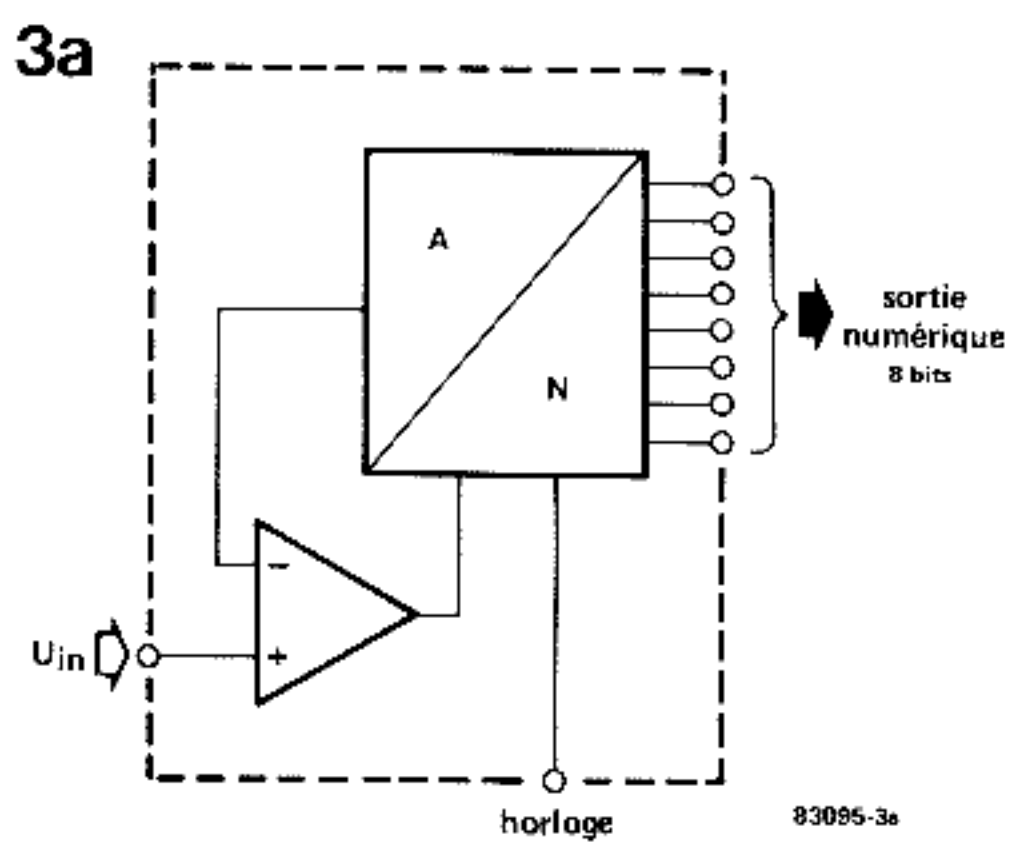
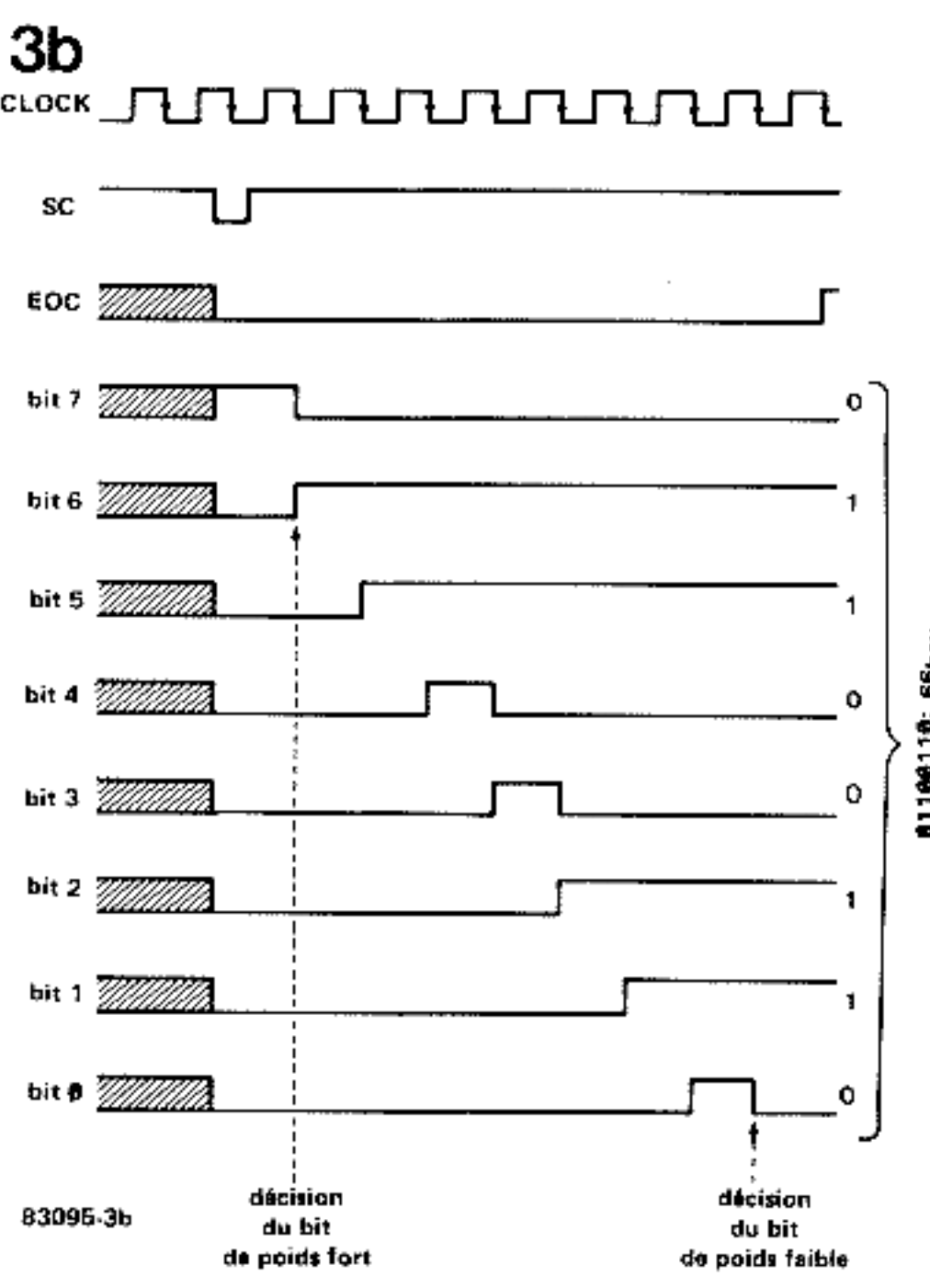


Figure 3b. Diagramme des signaux au cours d'un cycle de conversion du ZN427. La durée de conversion est toujours la même (9 impulsions d'horloge) quelle que soit la valeur de la tension à convertir. Dans notre application, l'impulsion de fin de conversion émise par le convertisseur lui-même sert à produire la nouvelle impulsion de début de conversion.



ment (aux nombreuses variantes qu'il ne sera pas possible d'examiner ici): l'une avec transcodage ou modification de l'échantillonnage, et l'autre sans. Dans ce dernier cas, le quantificateur n'est ni plus ni moins qu'un convertisseur analogique-analogique de précision: une tension appliquée à l'entrée est convertie en une valeur numérique, elle-même aussitôt et directement reconvertie en une grandeur analogique. Ce procédé permet de redresser une courbe à la caractéristique V/octave incertaine; ou encore de passer d'une caractéristique  $Y \times 1$  V/octave au standard 1 V/octave, à condition toutefois que la précision du signal d'entrée soit correcte ( $\pm \frac{1}{2}$  LSB). Non moins intéressante

pour les possesseurs de  $\mu P$ , le quantificateur sans transcodage leur offre deux convertisseurs de qualité, réunis sur le même circuit et adressables séparément comme on le verra plus loin.

L'autre mode de fonctionnement est de loin le plus spectaculaire, dans la mesure où il permet d'introduire une organisation musicale dans des signaux de commande qui en sont dépourvus. C'est à la suite de cet article qu'il appartiendra d'en démontrer l'intérêt.

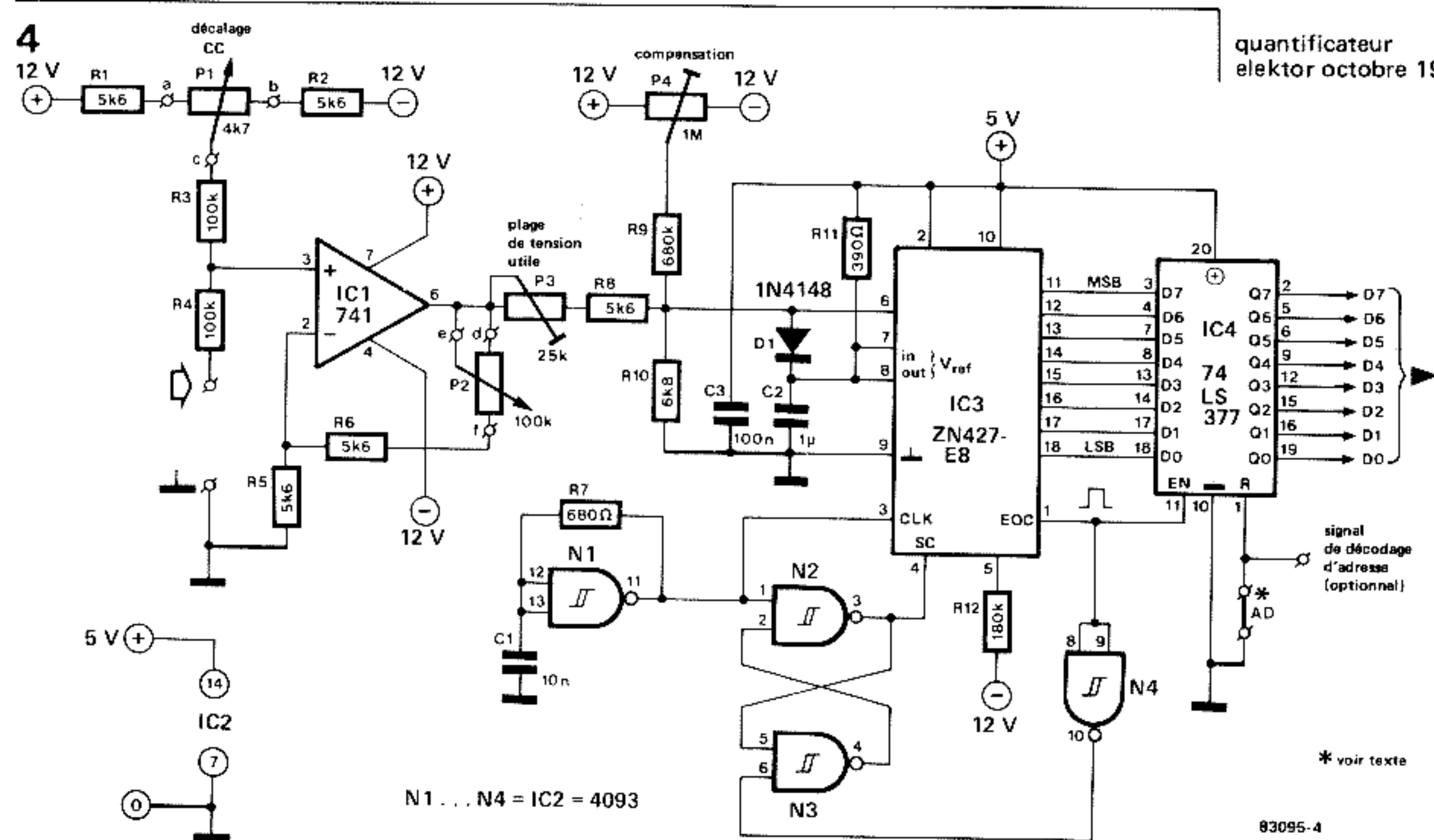
Après en avoir décrit les principes, voyons à présent comment est construit l'appareil. La figure 1 schématise la chaîne de traitement du signal en six blocs successifs. Un amplificateur d'entrée pour faibles signaux assure également une compensation du décalage pour les signaux alternatifs. On trouve ensuite le convertisseur analogique-numérique (A/N) avec son horloge: celui-ci délivre toutes les  $63 \mu s$  un code numérique de 8 bits, de magnitude proportionnelle à l'amplitude du signal d'entrée. Ces données sont ensuite mémorisées dans un verrou (éventuellement adressable, ce qui permet d'utiliser le convertisseur avec un micro-ordinateur, indépendamment du reste du circuit du quantificateur). Le même code de huit bits est appliqué à une mémoire morte programmable sous forme d'adresse de poids faible. A chaque adresse figure une donnée que l'on applique au convertisseur numérique-analogique (N/A), en sortie duquel apparaît une tension proportionnelle à la magnitude du code numérique. Toute l'originalité du quantificateur réside dans le choix de ces codes.

Les bits de poids fort pour l'adressage de la mémoire morte sont fournis par un circuit de sélection de l'échelle musicale accessible à l'utilisateur. La mémoire morte est subdivisée en 8 zones différentes autorisant le transcodage en huit échelles musicales.

### La mise en forme numérique

Après quelques tours et détours, nous voici arrivés enfin au schéma de la figure 4. On y trouve l'amplificateur d'entrée IC1, le convertisseur A/N IC3, le verrou IC4 et l'horloge IC2. Le signal d'entrée est appliqué sur R4 et parvient à l'entrée non inverseuse d'IC1, superposé à une tension de décalage prélevée sur le curseur de P1. Il se trouve, en effet, que le convertisseur A/N ne peut traiter que des tensions positives; or, bon nombre de signaux de commande délivrés par un synthétiseur sont alternatifs (LFO par exemple). Le gain de cet amplificateur est déterminé par la position du curseur de P2, et varie entre vingt et l'unité. De sorte que l'on peut affirmer qu'avec ce circuit d'entrée, le quantificateur est universel.

La résistance ajustable P3 permet de limiter l'amplitude du signal avant que le ZN427 n'en effectue la conversion (la structure interne simplifiée de ce circuit apparaît sur la figure 3a). Comme la tension de référence interne d'IC3 est de 2,5 V (broches 7 et 8), la tension d'entrée maximale convertible (broche 6) aura la même valeur. Pour mener à bien la conversion A/N, le ZN427 requiert un signal d'horloge (broche 3) et un impulsion de début de conversion SC



N1...N4 = IC2 = 4093

\* voir texte

83095-4

(broche 4). Le circuit d'horloge (N1) délivre un signal de 140 kHz environ. L'impulsion de début de conversion est une combinaison du signal d'horloge et du signal de fin de conversion EOC (broche 1) délivrée par le ZN 427 lui-même, et inversée par N4 avant d'être appliquée à la bascule N2/N3. Avec cette configuration, chaque fin de conversion en déclenche une nouvelle, comme on le voit sur le diagramme de la figure 3b.

Au début de la conversion, le bit de sortie de poids le plus fort (bit 7; attention! contrairement à notre habitude, le fabricant du ZN 427 l'appelle bit 1...) est mis au niveau logique haut, et tous les autres bits au niveau logique bas. En sortie de l'étage N/A du ZN 427 apparaît une tension égale à  $\frac{1}{2}V_{REF}$  que l'on compare à la tension à convertir  $V_{IN}$ . Au moment du premier flanc descendant suivant dans le signal d'horloge, le niveau logique du bit 7 est établi définitivement: haut si  $\frac{1}{2}V_{REF} < V_{IN}$ , et bas si  $\frac{1}{2}V_{REF} > V_{IN}$ ; simultanément, le bit suivant (bit 6) est mis au niveau logique haut: son niveau logique définitif est établi dès le flanc descendant suivant en fonction du résultat de la comparaison entre la sortie de l'étage N/A et la tension à convertir. Cette procédure est réitérée jusqu'à épuisement des 8 bits. Aussitôt après l'établissement du bit de poids le plus faible, la sortie EOC du convertisseur passe au niveau logique haut, et la donnée numérique apparaît en sortie des tampons du convertisseur, où elle reste verrouillée jusqu'à l'apparition de la nouvelle impulsion de début de conversion. La procédure entière requiert neuf impulsions d'horloge. A raison de  $7,1 \mu s$  de cycle d'horloge (la fréquence est de 140 kHz disions-nous), la durée totale d'une conversion est de  $63 \mu s$ ; ce qui donne une fréquence d'échantillonnage du signal de 15 kHz. C'est plus qu'assez pour la conversion de signaux TBF et aperiodiques. Mais...

### Digression

... c'est un peu juste pour l'échantillonnage de signaux audio (la fréquence d'échantillonnage doit être au moins égale au double de la plus haute fréquence du signal à convertir, ne l'oublions pas!). Cependant, avec la durée de conversion minimale garantie par le fabricant du ZN 427, à savoir  $15 \mu s$  (horloge à 600 kHz), la fréquence d'échantillonnage passe à environ 60 kHz! C'est une porte ouverte à l'expérimentation. Nous sortons, certes, du cadre strict du quantificateur, mais les qualités de ce circuit valent bien que nous attirions sur elles l'attention de nos lecteurs.

C'est d'ailleurs la raison pour laquelle nous avons choisi pour IC4 un verrou adressable avec sorties à haute impédance. La broche 1 d'un 74LS374, lorsqu'elle est au niveau logique haut, rend les sorties invisibles pour le bus du  $\mu P$  auquel elles peuvent être reliées. Il a également été prévu une entrée pour un signal de décodage d'adresse (AD). De sorte que cette première partie du quantificateur devient autonome et pourra éventuellement être reliée telle quelle à un bus d'ordinateur (il faut, dans ce cas, supprimer le strap marqué d'un '\*').

### Le transcodage

Maintenant que nous disposons d'un code numérique, les choses se musicalisent un tantinet... et se compliquent peut-être pour le non-initié. A ce niveau, le numérique et le musical s'imbriquent étroitement. Ce que nous appelons le transcodage a lieu dans une EPROM 2716, dont nous avons déjà indiqué que les bits d'adresse de poids faible (bits 0...8) sont ceux de la donnée numérique fournie par le circuit de la figure 4. Les bits d'adresse de poids fort sont, comme on le voit sur le schéma de la figure 5, fournis par le circuit de sélection de l'échelle musicale. L'adressage des huit zones de l'EPROM est fait par l'utilisateur à l'aide de S1 et S3 (ou S2). L'une des lignes d'entrée du verrou IC7 est mise au

Figure 4. Partie analogique-numérique du circuit du quantificateur. Bien que réuni sur le même circuit imprimé avec la partie numérique-analogique de la figure 5, ce convertisseur est autonome. Un signal de validation du verrou IC4 peut remplacer le strap marqué d'un astérisque. Si les sorties D0...D7 doivent être reliées à un bus de micro-ordinateur, il est impératif que ce circuit intégré (IC4) soit un 74LS374 dont les sorties sont à haute impédance lorsque sa broche 1 est au niveau logique haut.



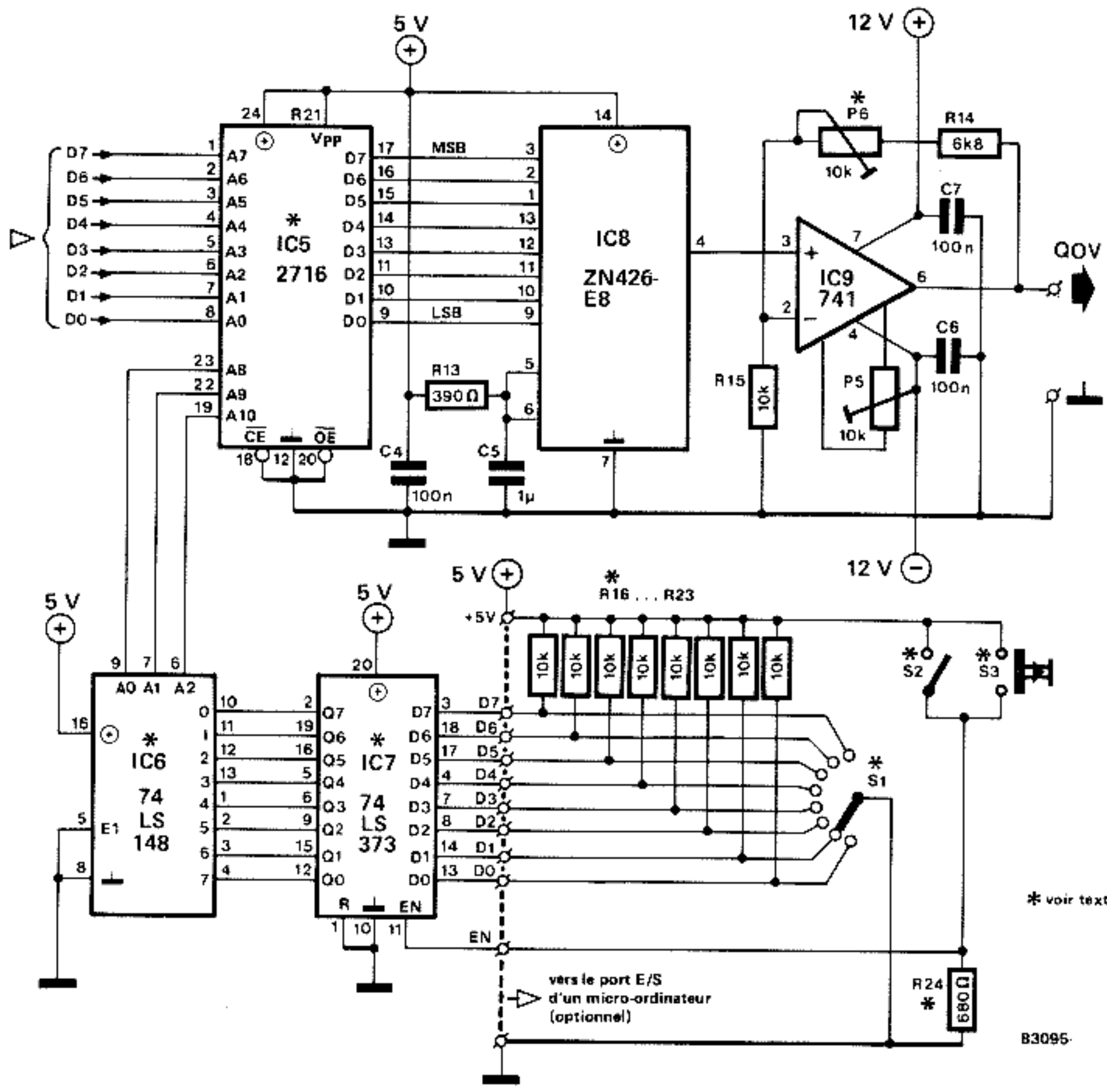
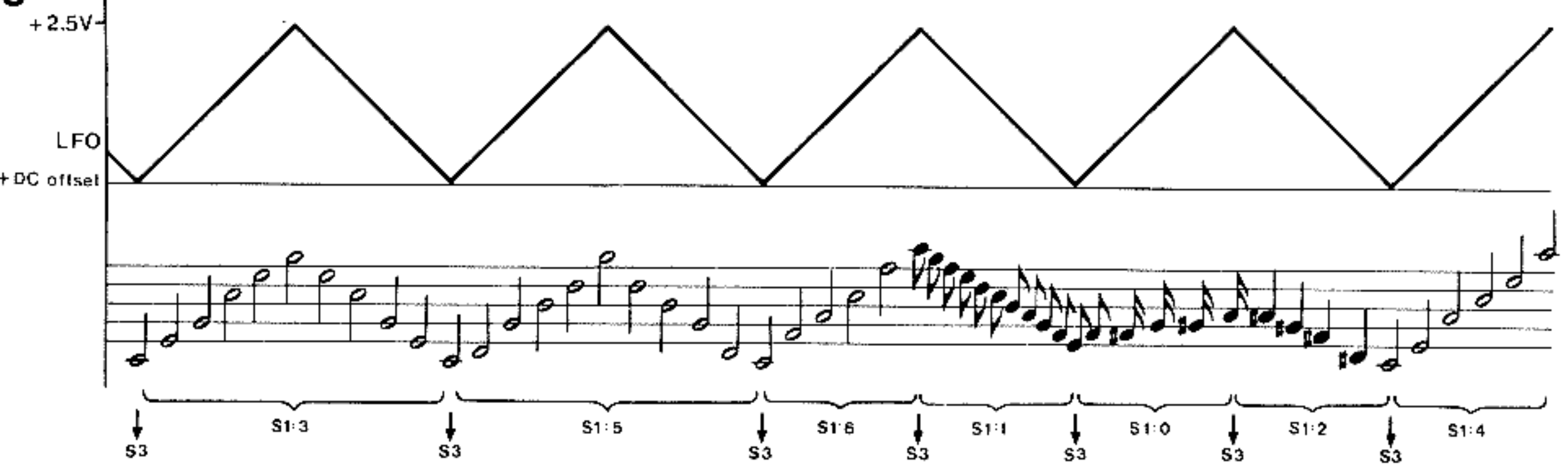


Figure 5. Partie numérique-analogique du circuit du quantificateur. L'EPROM IC5 contient les codes numériques sous forme de données permettant d'obtenir diverses échelles musicales après conversion en une tension QOV par IC8 et IC9. Le choix entre les huit échelles et accords disponibles est effectué par l'utilisateur à l'aide de S1...S3. Ces organes de commande ainsi que les résistances associées peuvent être remplacés par un port de sortie de micro-ordinateur.

niveau logique bas par le point commun du commutateur rotatif S1. Les autres lignes sont forcées au niveau logique haut par les résistances de polarisation R16...R23. Lorsque l'utilisateur actionne fugitivement S3 ou ferme S2, le niveau logique bas appliqué ainsi sur la broche 11 du 74LS373, assure le transfert de ces niveaux logiques en sortie du verrou. De là, ils sont appliqués à IC6 qui en fait un code binaire à trois bits. Ceux-ci correspondent aux lignes d'adresse A8...A10 d'IC5. Le verrou IC7 n'étant pas validé en permanence, l'utilisateur peut sauter d'un code à l'autre sans que l'on "entende" les codes intermédiaires: le nouveau décodage d'adresse de l'EPROM n'est validé que lorsque le poussoir S3 est actionné (ou S2 fermé). C'est à ce moment seulement que l'on change de zone. A l'intérieur de chacune de ces zones, une même donnée peut figurer à plusieurs

adresses successives, comme on peut le voir sur le tableau 1. Ce qui signifie que pour différents codes A/N, on aura le même code N/A, et par conséquent la même tension de sortie QOV. Ainsi, dans le tableau 1a, toutes les quatre adresses, la donnée change de telle sorte que, après conversion N/A, GOV croisse de 83,33 mV. Avec ce code, tous les degrés de l'échelle chromatique sont présents. Nous sommes dans la première zone de l'EPROM, le commutateur S1 est en position 0. Si nous le mettons en position 1, nous accédons à une autre zone, dans laquelle tous les degrés de l'échelle chromatique n'apparaissent plus. Il s'agit par contre de la gamme majeure (tableau 1b), ou si l'on préfère, les touches blanches seulement d'un clavier de piano. La tension QOV n'évolue plus par pas de 83,33 mV, mais par multiples de cette valeur: il y a d'abord deux tons entiers, puis un demi-ton, etc. On notera aussi qu'il y a un ordre de présé-

Figure 6. En actionnant S3 au creux de la courbe du signal de commande (sortie triangulaire d'un LFO) et en manipulant S1 entre-temps, on passe sans heurt d'une échelle ou d'un accord à l'autre. On voit nettement que la phrase musicale épouse les contours du signal de commande, mais que les degrés de chaque échelle sont différents et plus ou moins nombreux. Ceci n'est pas sans influence sur le déroulement rythmique qui est d'autant plus lent qu'il y a moins de degrés valides.



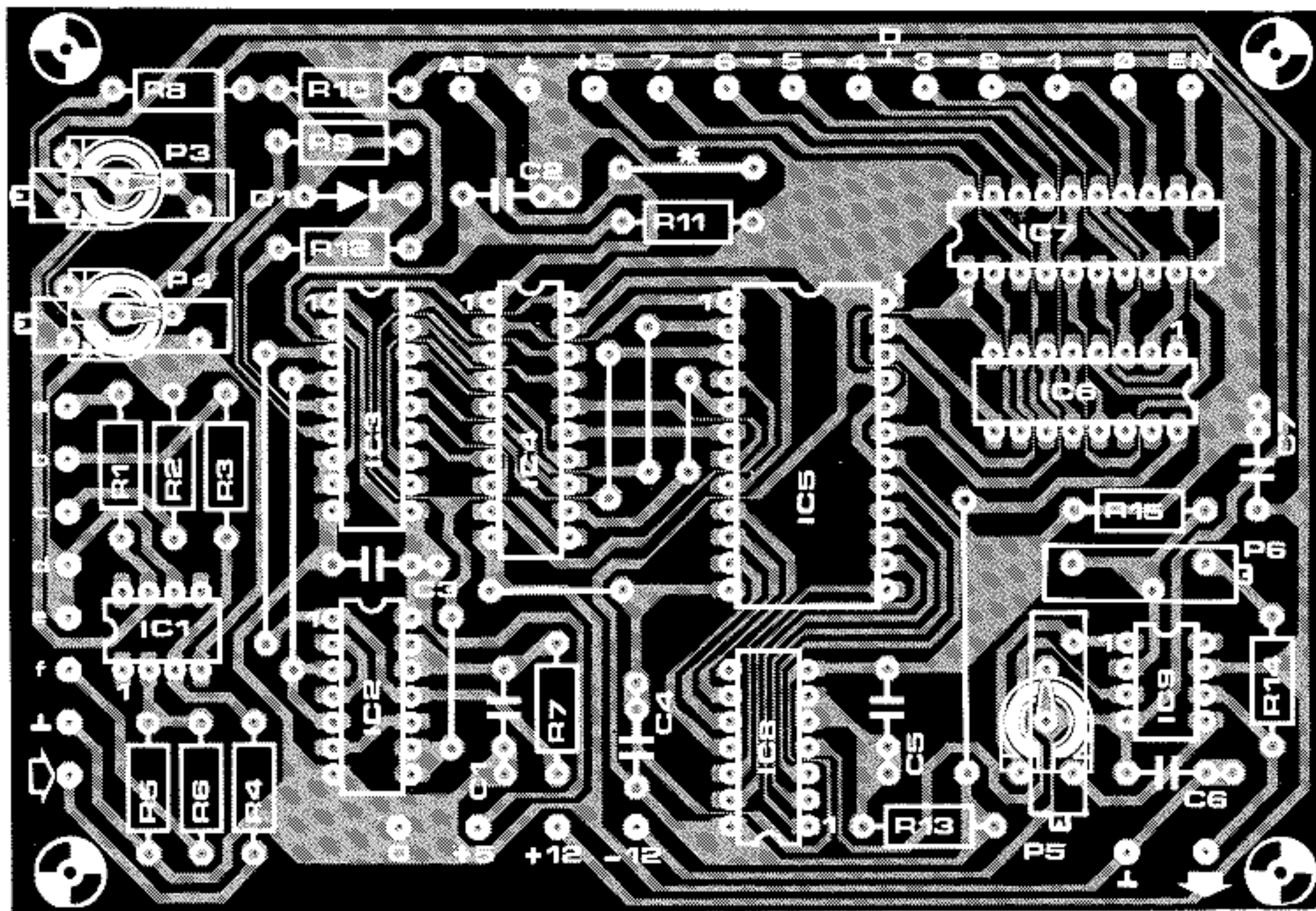


Figure 7. Dessin des pistes cuivrées du circuit imprimé conçu pour le quantificateur. Tous les composants des figures 4 et 5 y trouvent leur place, à l'exception des résistances R16 . . . 24 et de S1 . . . S3 que l'on câblera soit sur la face avant de l'appareil, soit sur un petit morceau de circuit imprimé d'expérimentation.

#### Liste des composants

##### Résistances:

R1, R2, R5, R6, R8 = 5k6  
R3, R4 = 100 k  
R7, R24 = 680 Ω  
R9 = 680 k  
R10, R14 = 6k8  
R11, R13 = 390 Ω  
R12 = 180 k  
R15 . . . R23 = 10 k  
P1 = 4k7 lin.  
P2 = 100 k lin.  
P3 = 25 k aj. (10 tours\*)  
P4 = 1 M aj. (10 tours\*)  
P5 = 10 k aj. (10 tours\*)  
P6 = 10 k aj. 10 tours  
\*éventuellement

##### Condensateurs:

C1 = 10 n  
C2, C5 = 1 μ (MKT)  
C3, C4, C6, C7 = 100 n

##### Semiconducteurs:

D1 = 1N4148  
IC1, IC9 = 741  
IC2 = 4093  
IC3 = ZN427-E8  
(Ferranti)  
IC4 = 74LS377  
(74LS374; voir texte)  
IC5 = 2716 (programmée,  
voir texte)  
IC6 = 74LS148  
IC7 = 74LS373  
IC8 = ZN426-E8 (Ferranti)

##### Divers:

S1 = commutateur rotatif  
1 circuit, 8 positions  
S2 = contacteur unipolaire  
S3 = bouton poussoir  
(contact travail)

ance entre les divers degrés. Dans l'exemple du tableau 1a (gamme chromatique), il y avait quatre adresses par note, alors que dans le tableau 1b la note RE (2ème degré) n'est disponible qu'à 6 adresses, tandis que la note FA (4ème degré) en a sept et les notes DO et MI (1er et 3ème degrés) en ont huit chacune. Ce qui implique que les tensions produisant ces deux dernières notes auront statistiquement plus de chances d'apparaître en sortie QOV que celles qui produisent les deux premières.

Si l'on place le commutateur S1 en position 2 (et que l'on actionne S3), on n'obtient, en sortie QOV, que les tensions correspondant à l'échelle pentatonique, ou, si l'on préfère, les touches noires seulement d'un clavier de piano. Le tableau 1c résume l'organisation des zones de l'EPROM; on s'y référera pour les autres échelles et accords musicaux disponibles.

Sur la figure 6, on peut découvrir les différentes phrases musicales générées par le quantificateur à partir d'un même signal triangulaire de LFO, en fonction des différentes positions de S1: l'accord majeur de tonique (S1 = 3), l'accord de dominante (S1 = 5), l'accord de sous-dominante (S1 = 6), la gamme majeure complète (S1 = 1), la gamme chromatique (S1 = 0), l'échelle pentatonique (S1 = 2), et pour clore cet exemple, l'accord de tonique du relatif mineur (S1 = 4). On voit qu'il suffit d'actionner S3 au bon moment entre deux manipulations du commutateur S1.

Les données apparaissant en sortie de l'EPROM sont appliquées directement à un convertisseur N/A (IC8) dont le fonctionnement ne mérite aucun commentaire particulier. L'étage de sortie est un tampon avec compensation du décalage du zéro (P5) et réglage de la caractéristique 1 V/octave à l'aide d'une résistance ajustable multitours.

#### Options

Il a déjà été fait mention de la possibilité de ne pas utiliser le transcodeur, ce qui

revient à supprimer l'EPROM IC5: si c'est dans le but de réaliser un convertisseur A/N-N/A de précision, on relie les 8 entrées d'adresses aux 8 sorties de données et l'on n'implante pas, outre IC5, les composants du circuit de sélection de l'échelle (tous marqués d'un astérisque sur le schéma de la figure 5). Si c'est pour n'utiliser que les convertisseurs séparément, on omet également les composants mentionnés ci-dessus, ainsi que le strap marqué d'un astérisque sur la figure 4: les données A/N pourront être prélevées sur les huit premières broches d'adresses d'IC5 (non implanté!), tandis que les données N/A pourront être appliquées sur les huit broches de données d'IC5 (non implanté!). Ne pas omettre d'appliquer un signal de validation au point AD (figure 4, broche 1 d'IC4 = 74LS374!).

Il existe encore une autre option: supprimer S1 . . . S3 et R16 . . . 24, et commander le circuit de sélection d'échelle musicale à l'aide d'un port de sortie de micro-ordinateur!

#### Mise au point

Comme nous proposons un dessin de circuit imprimé, la réalisation du quantificateur ne posera aucun problème particulier, si ce n'est que les résistances R16 . . . R24 devront être montées à même les broches du commutateur rotatif, ou encore sur un petit morceau de circuit d'expérimentation percé au préalable de façon à pouvoir y monter le commutateur S1 lui-même. L'EPROM 2716 programmée devrait être disponible chez les (bons) marchands de composants.

La mise au point proprement dite commence par le réglage du tampon de sortie (après les vérifications de routine, bien sûr!). On retire IC5 de son support, et l'on relie les broches 1 . . . 3 et 9 . . . 13 d'IC8 à la masse. La tension de sortie de ce circuit intégré (broche 4) sera nulle. Il faut actionner P5

zones	notes	nombre d'adresses	Adresses: zone 0	Données	notes (hex)
1	gamme majeure		00		
	do	- C 8	01	do	- C 00
	ré	- D 6	02		
	mi	- E 8	03		
	fa	- F 7	04	do #	- C # 04
	sol	- G 6	05		
	la	- A 6	06		
2	penta-gamme tonique		07		
	do #	- C # 10	08	ré	- D 08
	ré #	- D # 9	09		
	fa #	- F # 10	0A		
	sol #	- G # 9	0B	ré	- D 0C
	la #	- A # 10	0C		
	3	do majeur		0D	
do		- C 16	0E	mi	- E 10
mi		- E 16	0F		
4	la mineur		10		
	do	- C 16	11	fa	- F 14
	mi	- E 16	12		
5	sol majeur		13		
	ré	- D 16	14	fa #	- F # 18
	sol	- G 16	15		
6	fa majeur		16		
	do	- C 16	17	sol	- G 1C
	fa	- F 16	18		
7	ré majeur		19		
	ré	- D 16	1A	la	- A 24
	fa #	- F # 16	1B		
			1C	la #	- A # 28
	la	- A 16	1D		
			1E	si	- B ou H 2C
		1F			
		20			
		21			
		22			
		23			
		24			
		25			
		26			
		27			
		28			
		29			
		2A			
		2B			
		2C			
		2D			
		2E			
		2F			

1ère octave

4 octaves

pour les 4 octaves suivantes, ajouter 30 hex par octave + 04 / 1/2 ton

rique à 3 chiffres!). On remet ensuite la broche 13 d'IC8 à la masse, et l'on relie la broche 2 au + 5 V (de même que la broche 1) et l'on vérifie la tension de sortie d'IC9 qui devrait être de 2,00 V. Une éventuelle dérive pourra être corrigée à l'aide de P6. Après ce réglage, la caractéristique 1 V/octave de la tension QOV est (en principe) garantie. La tension de sortie d'IC9 devra être de 3,00 V lorsque la broche 3 et la broche 13 d'IC8 sont reliées au + 5 V, et que les broches 1, 2 et 9... 12 sont à la masse.

Avant d'insérer l'EPROM, on pourra vérifier la présence des bits d'adresse de poids fort sur les broches 19, 22 et 23 du support d'IC5, ainsi que leur conformité à la position de S1 (ne pas omettre d'actionner S3 entre deux manipulations!).

Il reste à effectuer la même compensation sur le circuit de conversion A/N. On retire IC1 de son support et l'on relie sa broche 6 (ou le curseur de P3) à la masse. Ajuster ensuite P4 de sorte que les broches 11... 18 d'IC3 soient au niveau logique bas. Le réglage de P3 pourra être fait à l'oreille en fonction du signal de commande appliqué au quantificateur. Il suffit de faire en sorte que la phrase musicale générée par le VCO auquel on applique la tension QOV épouse les contours du signal de commande appliqué à l'entrée sans "écrêtage".

Ainsi fait, le quantificateur est prêt à l'emploi; il ne reste qu'à lui trouver une alimentation définitive que l'on prélèvera soit sur le synthétiseur "hôte", soit sur une alimentation à régulateurs intégrés réalisée spécialement pour ce circuit. La consommation est de 120 mA en 5 V et bien moindre en ± 12 V.

Dans ce même numéro, nous publions un article sur la connexion de l'éprogrammeur d'Elektor à la carte principale du Junior Computer. Avis aux amateurs qui souhaitent réaliser leurs propres EPROM de transcodage!

Tableau 1a. Extrait du contenu de la zone 0 de l'EPROM. Tous les degrés de l'échelle chromatique sont valides et l'adressage est également réparti entre eux (4 adresses par note). La probabilité est par conséquent la même pour chacun des douze degrés.

Tableau 1b. Extrait du contenu de la zone 1 de l'EPROM. Seuls les sept degrés de la gamme majeure sont valides. L'adressage n'est pas réparti également entre eux, du fait que certains ont un "poids musical" plus fort que d'autres. De sorte que certaines notes apparaîtront plus souvent et dureront plus longtemps que d'autres.

Tableau 1c. Vue d'ensemble sur les huit zones de l'EPROM avec les échelles et les accords obtenus dans chacune d'entre elles. Quelque soit le nombre de notes valides par octave, l'étendue du QOV produit par chaque zone est de 5 octaves.

de telle sorte qu'en sortie d'IC9 (broche 6) elle soit nulle aussi. On relie ensuite les broches 13 et 1 d'IC8 au + 5 V et l'on ajuste P6 de telle sorte qu'en sortie d'IC9 la tension soit de 1,00 V (multimètre numé-

tableau 1a

EPROM (zone 0)			N/A
Adresses	hex	Données	QOV
0000	00	000000000000	0 mV
0001	00	000000000000	
0002	00	000000000000	
0003	00	000000000000	
0004	04	000000010000	83 mV
0005	04	000000010000	
0006	04	000000010000	
0007	04	000000010000	
0008	08	000000100000	167 mV
0009	08	000000100000	
000A	08	000000100000	
000B	08	000000100000	
000C	0C	000000110000	250 mV
000D	0C	000000110000	
000E	0C	000000110000	
000F	0C	000000110000	
0010	10	000010000000	333 mV
0011	10	000010000000	
0012	10	000010000000	
0013	10	000010000000	
0014	14	000010100000	417 mV
0015	14	000010100000	
0016	14	000010100000	
0017	14	000010100000	
0018	18	000011000000	500 mV
0019	18	000011000000	
001A	18	000011000000	
001B	18	000011000000	
001C	1C	000011100000	

tableau 1b

A/N	EPROM (zone 1)			N/A
Adresses	hex	Données	QOV	
0100	00	000000000000	0 mV	
0101	00	000000000000		
0102	00	000000000000		
0103	00	000000000000		
0104	00	000000000000	1 ton	
0105	00	000000000000		
0106	00	000000000000		
0107	00	000000000000		
0108	08	000000100000	167 mV	
0109	08	000000100000		
010A	08	000000100000		
010B	08	000000100000		
010C	08	000000100000	1 ton	
010D	08	000000100000		
010E	10	000010000000		
010F	10	000010000000		
0110	10	000010000000	333 mV	
0111	10	000010000000		
0112	10	000010000000		
0113	10	000010000000		
0114	10	000010000000	1/2 ton	
0115	10	000010000000		
0116	14	000010100000		
0117	14	000010100000		
0118	14	000010100000	417 mV	
0119	14	000010100000		
011A	14	000010100000		
011B	14	000010100000		
011C	14	000010100000		

tableau 1c

ADRESSES	ECHELLES +
0000... 00FF	échelle chromatique
0100... 01FF	gamme majeure
0200... 02FF	échelle pentatonique
0300... 03FF	accord majeur DO-MI-SOL
0400... 04FF	accord mineur LA-DO-MI
0500... 05FF	accord majeur SOL-SI-RE
0600... 06FF	accord majeur FA-LA-DO
0700... 07FF	accord majeur RE-FA #LA

+ chaque échelle couvre 5 octaves!