

les uns par rapport aux autres, ce qui équivaut à ce que les hauteurs de son de chaque instrument 'orbitent' autour de l'accord 'juste' sous forme de 'mouvements vibratoires'. Il en résulte un phasing multiple, non périodique et extraordinairement complexe pour la reproduction duquel il existe depuis peu un 'String Synthesiser' spécialement mis au point.

La plupart des sons 'naturels' sont affectés d'effets de phasing simples que l'on retrouve lors des réglages effectués sur le synthétiseur. D'une certaine manière, le phasing est un 'pont' jeté entre l'univers 'statique' des sons électroniques figés et l'animation que projettent les sonorités des instruments de musique traditionnels.

BIBLIOGRAPHIE

R.A. Moog: 'Voltage controlled electronic music modules', *JAES* 13, 3, July 1965.

'A voltage-controlled low-pass high-pass filter for audio signal processing', *AES Prepring* 413, 1965.

Burhans, R.: 'Simplified educational music synthesiser', *JAES*, 19, 2, Feb. 1971.

T. Orr & D.W. Thomas: 'Electronic sound synthesiser', *Wireless World*, August-October 1973.

J. Simonton: 'Build a modular electronic music synthesiser', *Radio Electronics*, May-Oct. 1973.

G. Shaw: 'P.E. sound synthesiser', *Practical Electronics*, Febr. 1973-Febr. 1974.

Tünker, H.: 'Electronic-Pianos und Synthesizer'. *Franzis-Verlag*, 1975. Nr. 302 (RPB-Serie).

Le clavier et son équipement électronique

Chapitre 2

C'est la description du clavier qui va servir d'introduction aux modalités pratiques de la réalisation du synthétiseur FORMANT. Cependant, avant d'entrer dans les détails techniques, il est opportun de donner quelques indications sur les conditions préliminaires à la réussite de l'entreprise.

D'emblée, il faut dire nettement que le FORMANT n'est pas une réalisation pour débutant. Une certaine expérience dans la réalisation de dispositifs électroniques est indispensable et cela concerne aussi bien l'exécution de soudures parfaites que le maniement et l'exploitation du contrôleur universel et de l'oscilloscope. A cet égard, le lecteur qui déciderait d'entreprendre la construction du synthétiseur devrait s'assurer l'accès aux deux appareils précités, et dans le cas du multimètre un modèle digital devrait retenir sa préférence. En outre, il faudra avoir une certaine connaissance des circuits analogiques, et particulièrement des principales configurations utilisant les ampli-ops. L'utilisation de composants d'excellente qualité est une condition impérative sur laquelle il sera insisté tout au long de cet ouvrage. En clair, cela signifie l'adoption de résistances à couche métallique à 1%, de potentiomètres et trimmers Cermet chaque fois que la liste des composants les mentionne, de résistances à couche de carbone à tolérance maximale de 5% de fabrication connue, de condensateurs à faibles pertes et faibles courants de fuite de modèle récent, et (extrêmement important) de semi-conducteurs de 1er choix portant la marque estampillée du fabricant ainsi que l'indication originale des caractéristiques.

L'achat de composants de qualité et d'origine douteuses, dont les spécifications sont insuffisantes, est une 'mauvaise affaire' (quels que soient les prix) qui se révélera coûteuse lorsque les performances seront décevantes. C'est ainsi qu'un synthétiseur dont les oscillateurs sont instables est un instrument sans valeur sur le plan musical.

Il arrive parfois que certains commerçants proposent des lots de matériel pour 'bricoleurs', dans lesquels se trouve de la soudure dont la composition flux/métal la rend impropre à l'utilisation en électronique et ne peut réserver que de mauvaises surprises. Sa couleur gris-mate est l'indice d'une forte teneur en plomb et à l'emploi le flux se vaporise en provoquant de petites explosions qui projettent de fines gouttelettes de métal à l'entour du point de soudure. En électronique, une bonne soudure contient 60% d'étain.

Toutes ces précisions étant apportées, il importe de bien insister sur le fait que la réalisation du FORMANT ne présente pas de difficultés particulières, l'essentiel étant d'appliquer les recommandations relatives au montage et au choix des composants qui seront assemblés avec soin.

En réalité, en dépit de l'utilisation de composants de première qualité, les circuits du FORMANT restent extrêmement économiques ainsi que le révèle la comparaison avec des instruments de même type de fabrication industrielle. La réalisation personnelle conduit à un prix de revient sensiblement plus faible tout en garantissant la construction d'un appareil dont les performances acoustiques et musicales sont tout aussi intéressantes que les caractéristiques techniques.

Dans sa présentation définitive, le synthétiseur se compose extérieurement de deux coffrets, l'un abritant les modules et l'autre recevant le clavier. Ces deux éléments sont agencables ou transportables séparément; lors de l'utilisation, ils sont reliés par un câble à cinq conducteurs équipé de fiches robustes.

Le paragraphe qui suit expose la construction du clavier et de son équipement électronique.

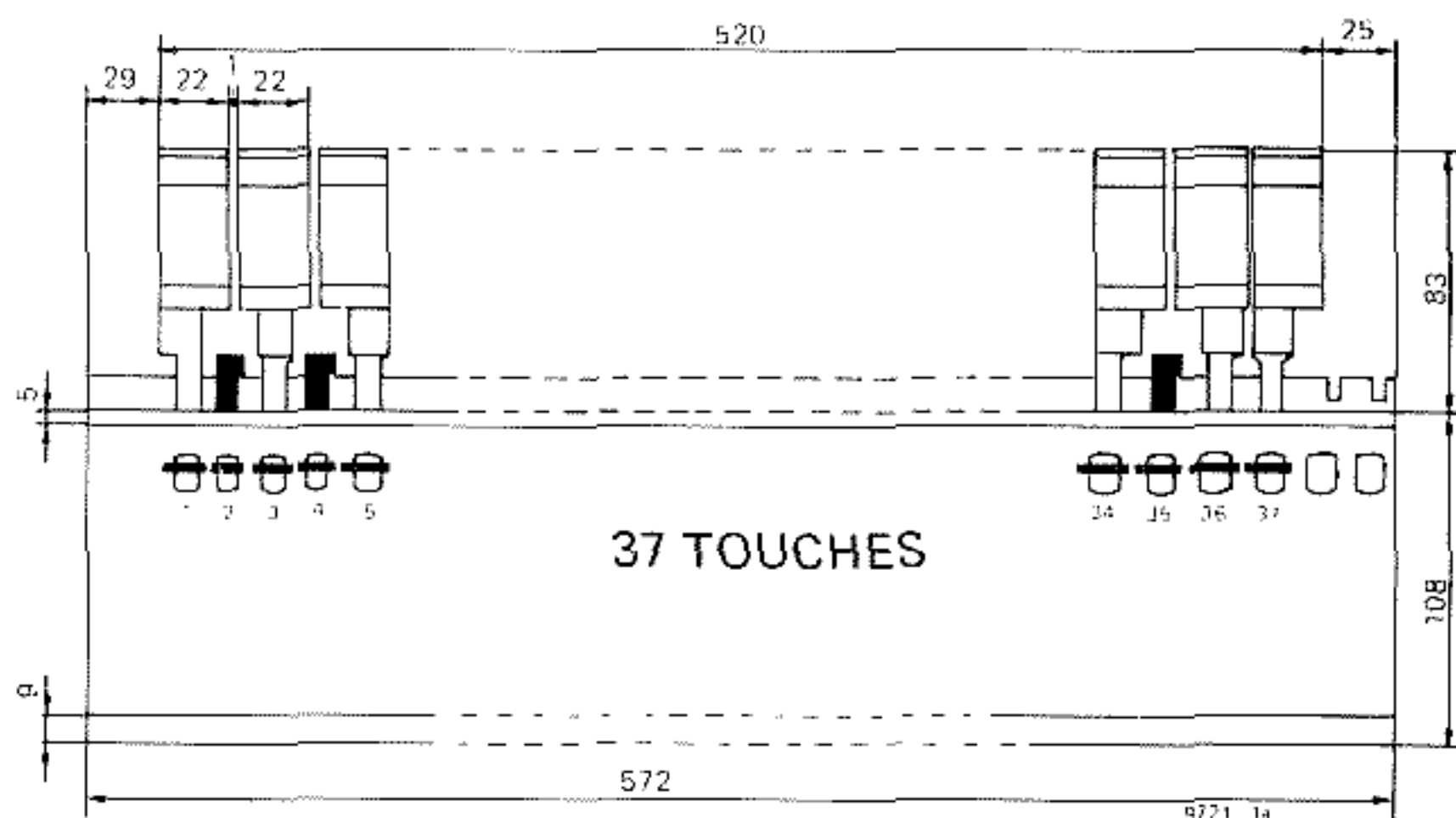
Clavier

Bien qu'il ressemble à celui d'un orgue électronique, le clavier du FORMANT s'est vu imposer des spécifications quelque peu différentes dont la plus importante est qu'il comporte des contacts doubles à ouverture et fermeture aussi concordantes que possible. C'est une exigence à laquelle ne satisfont pas de nombreux claviers d'orgues, par ailleurs tout à fait exploitables.

Les tests réalisés lors de la mise au point du prototype du FORMANT ont confirmé la supériorité d'un clavier SKA d'une étendue de trois octaves, équipé de contacts par tiges auréfiées de Kimber-Allen. Lors de l'achat d'un clavier, il est très fortement recommandé de choisir de préférence ce modèle dont le prix est très intéressant.

Le clavier, monté sur un châssis aluminium dont la figure 1 donne les

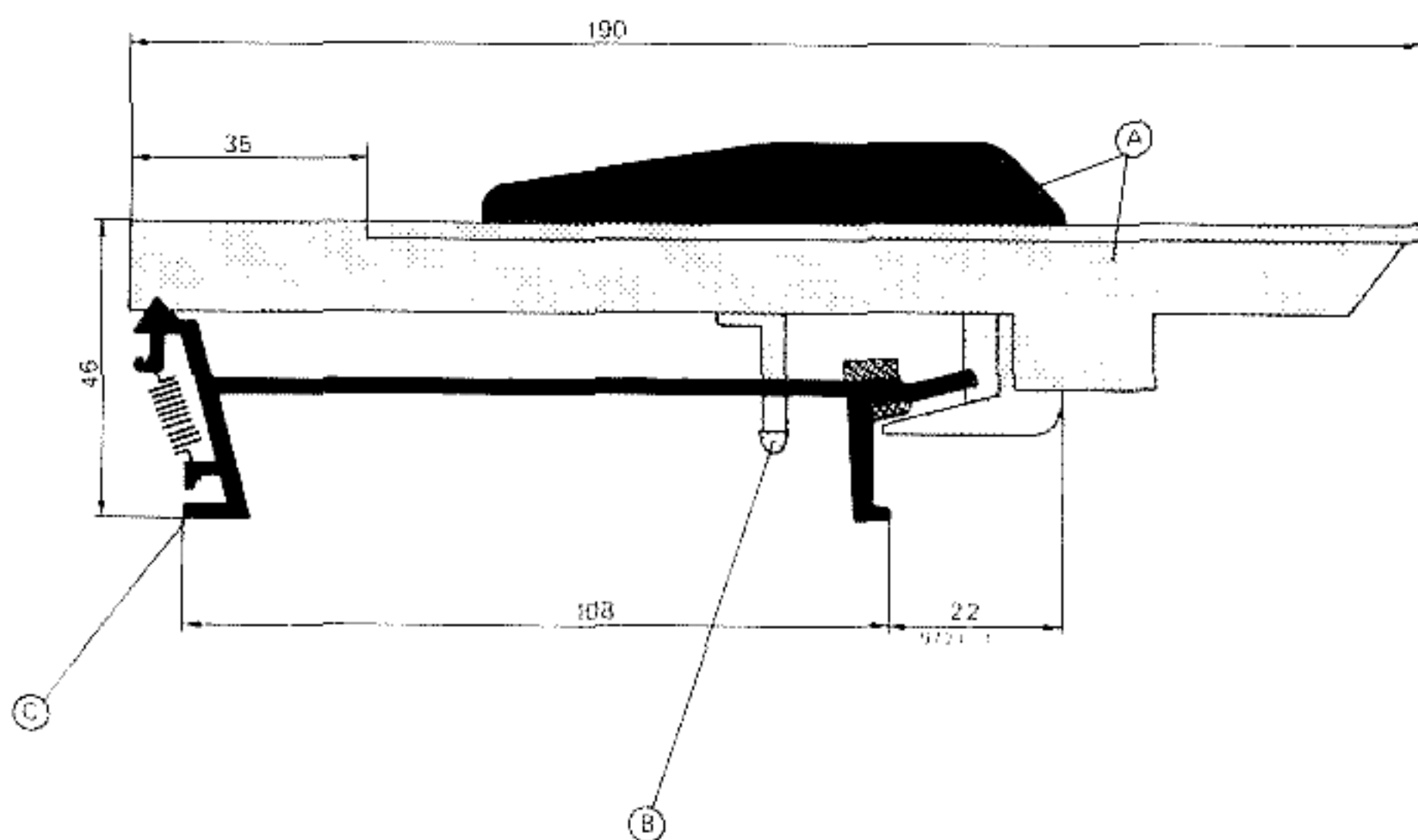
1a



1b



1c



dimensions, et les contacteurs sont livrés non-assemblés.

Le montage débute par la fixation des contacteurs sur la face inférieure du châssis de clavier. A chaque touche correspond un bloc comportant deux contacts. Ceux-ci vont être actionnés par un levier de plastique solidaire de

la touche. L'alignement parfait des contacteurs par rapport au levier de commande est d'extrême importance. Les croquis cotés des figures 2a et 2b, ainsi que les clichés, illustrent cette phase de l'assemblage. La tolérance de ± 3 mm indiquée en figure 2a permet d'ajuster la course de la touche à

l'enfoncement jusqu'à fermeture des contacts, à la convenance personnelle en fonction des habitudes de jeu du constructeur. La fixation commence par le collage d'une plaquette plastique bien isolante sur le châssis à une distance suffisante des leviers de commande, et elle est suivie du collage des contacteurs sur la plaquette. Une colle époxy à prise rapide convient parfaitement; la plaquette sera faite d'une section (ou de plusieurs sections mises bout à bout) de verre acrylique. Les surfaces seront dépolies avant enduction. L'épaisseur de la plaquette fixe l'écartement des contacteurs par rapport à la face inférieure du châssis, afin que, lorsque la touche est au repos, l'extrémité inférieure du levier de plastique vienne tout juste effleurer la partie rectiligne mobile du contact.

Circuits d'interface

a. Circuit de clavier

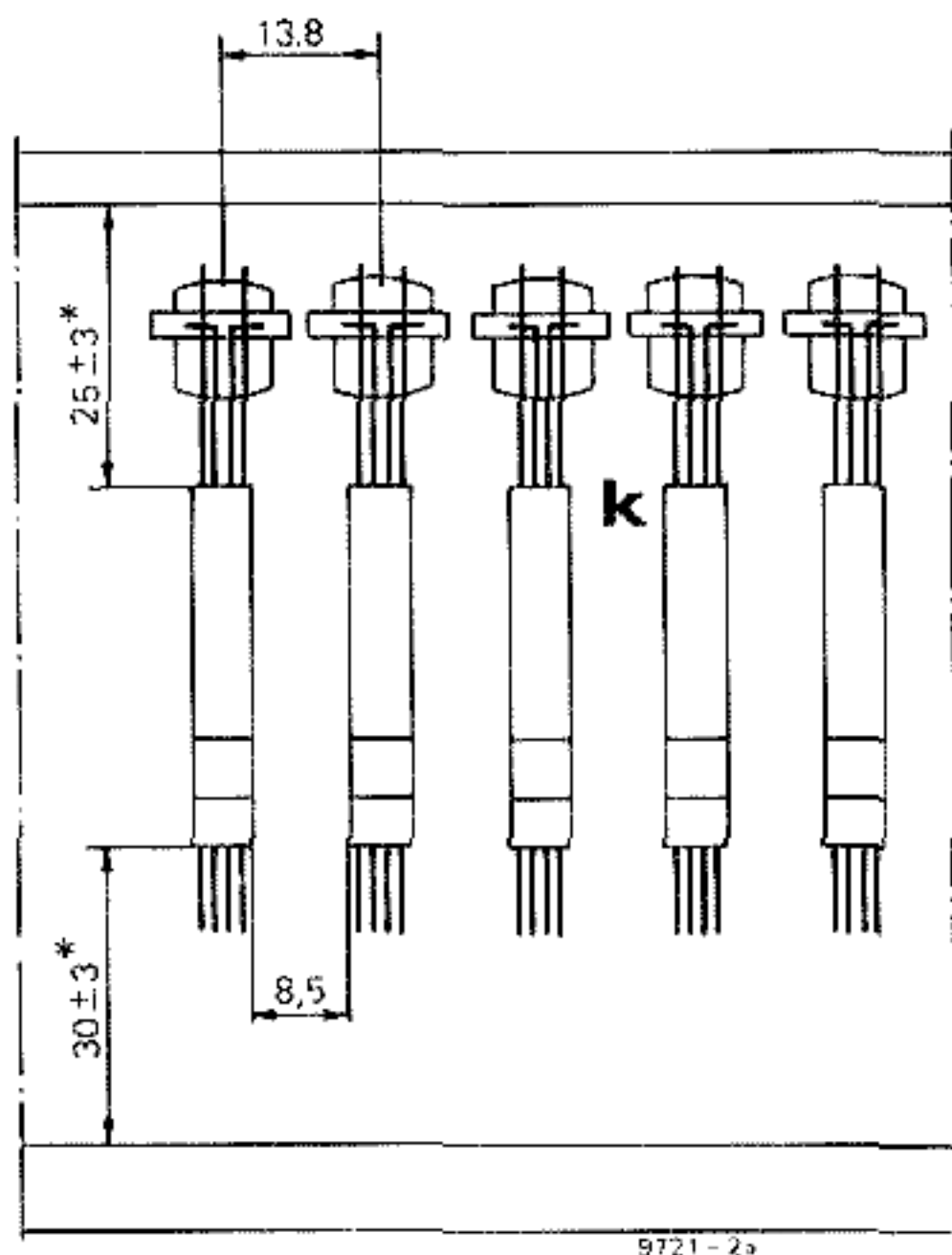
Le principe du circuit de clavier a déjà été brièvement évoqué dans la première partie.

Le rôle essentiel du clavier est de délivrer une tension de commande correspondant à la hauteur d'un son, afin d'activer les modules du synthétiseur commandés en tension. Compte tenu de la caractéristique 1 V/octave, à chaque intervalle d'un demi-ton correspond une variation de tension d'un douzième de volt ($1/2$ ton = $1/12$ V = $1/12$ d'octave). Cette variation constante de tension est obtenue dans le clavier au moyen du montage en série (chaîne de résistances) de résistances de même valeur à 1% près. La chaîne de résistances est alimentée en courant constant par une source de courant constituée par un ampli-op et réglée de manière à ce que la tension chute de $1/12$ V aux bornes de chaque résistance.

La figure 3 présente le circuit générateur de la tension de commande. Le circuit formant source de courant fonctionne en 'charge flottante'. Dans ce circuit, la résistance de charge (constituée par la chaîne de résistances) est insérée dans le circuit de contre-réaction de l'ampli-op. La chute de tension aux extrémités de la résistance de charge doit donc être ramenée à un point de masse 'virtuel' à l'entrée inverseuse. L'ampli-op ajuste sa tension de sortie (par contre-réaction) pour que la différence de potentiel aux entrées soit toujours nulle. Comme l'entrée non-inverseuse est mise à la masse par la résistance R_{24} (3,3 k), un potentiel nul s'établit également à l'entrée inverseuse ce qui crée une masse 'virtuelle'. Les courants d'entrées de l'ampli-op sont négligeables et cela implique par rapport à l'entrée inverseuse qu'un courant de même intensité circule au travers des résistances de 100Ω qu'au travers de R_{ref} ($= R_{23} + P_6$). Ce courant est ajustable au moyen de R_{ref} :

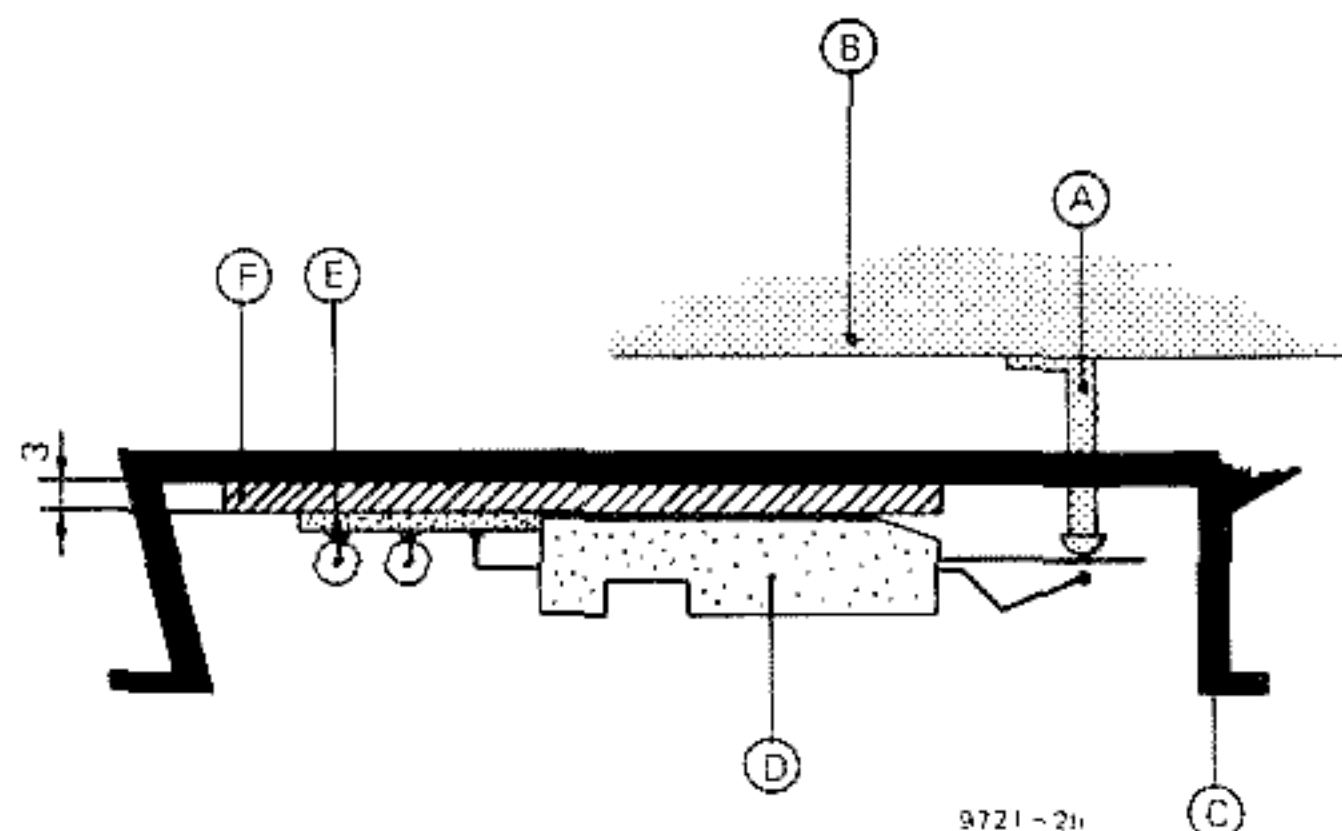
$$I_{ref} = I_K = \frac{U_{ref}}{R_{ref}} = \frac{-15 \text{ V}}{R_{23} + P_6}$$

2a



* voir texte

2b



Le diviseur de tension du clavier sera formé de résistances 100Ω à couche métallique (1%); la chute de tension nominale aux bornes de chaque résistance sera de $1/12 \text{ V}$, soit $83,3 \text{ mV}$. Les tensions partielles prélevées par l'intermédiaire des contacts de touches vont être 'traitées' par d'autres circuits de l'interface qui constituent l'équipement électronique associé au clavier. Comme le gain en tension des circuits de l'interface est inférieur à l'unité, il faut que la chute de tension

effective soit légèrement supérieure pour compenser les pertes dans d'autres parties du circuit, comme par exemple la résistance du clavier, et elle doit être réglable (pour compenser les tolérances de gain). C'est le rôle de P6, potentiomètre ajustable de $4,7 \text{ k}$, qui permet de faire varier l'intensité du courant constant de $0,81$ à $1,1 \text{ mA}$, ce qui se traduit par une chute de tension de 81 à 110 mV aux bornes de chaque résistance de 100Ω . En raison du caractère monodique du

Figure 1. Plan du clavier SKA 3 octaves:

a. Vue du dessous

b. Vue de dessus

c. vue en élévation

Nomenclature des pièces:

A Touches

B Leviers de commande des contacts

C Châssis aluminium

Figure 2. Disposition des blocs de contacts KA sur le dessous du châssis.

a. Vue de dessus. Les tolérances de 3 mm déterminent la course de la touche avant fermeture du contact. En déplaçant les blocs de contacts vers l'avant, on réduit la course et inversement. La disposition décrite correspond à une course moyenne, les points de contact des fils dorés se trouvent alors à l'aplomb des leviers de commande.

b. Vue en élévation du clavier après montage des contacts et du circuit imprimé.

Nomenclature des pièces:

A Levier de commande

B Touche

C Châssis

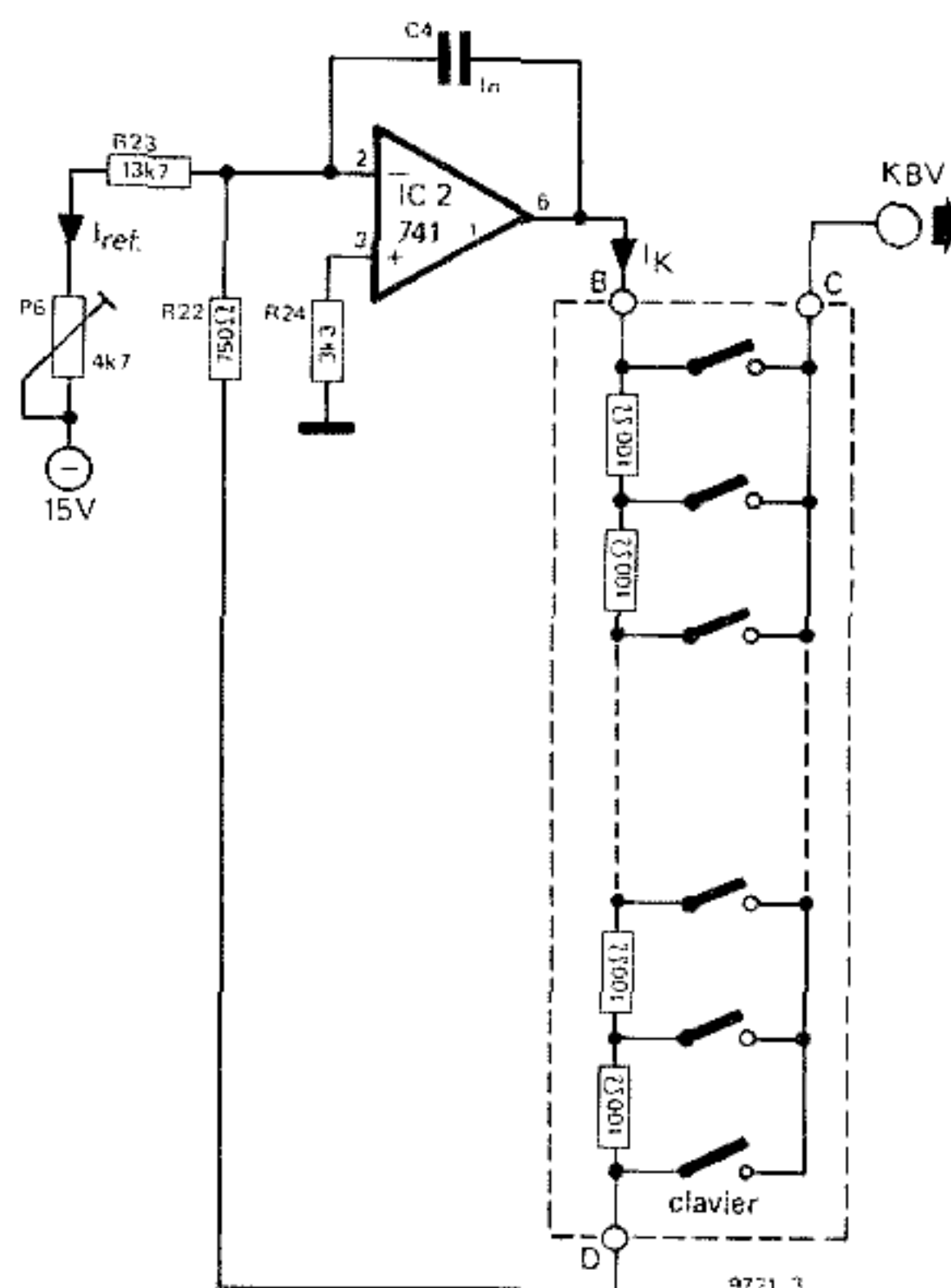
D Bloc de contacts KA

E Circuit imprimé du clavier équipé de ses résistances

F Réglette de montage en plastique servant de support aux blocs de contacts et au circuit imprimé du clavier.

Figure 3. Schéma partiel de la source de courant du clavier équipant l'interface.

3

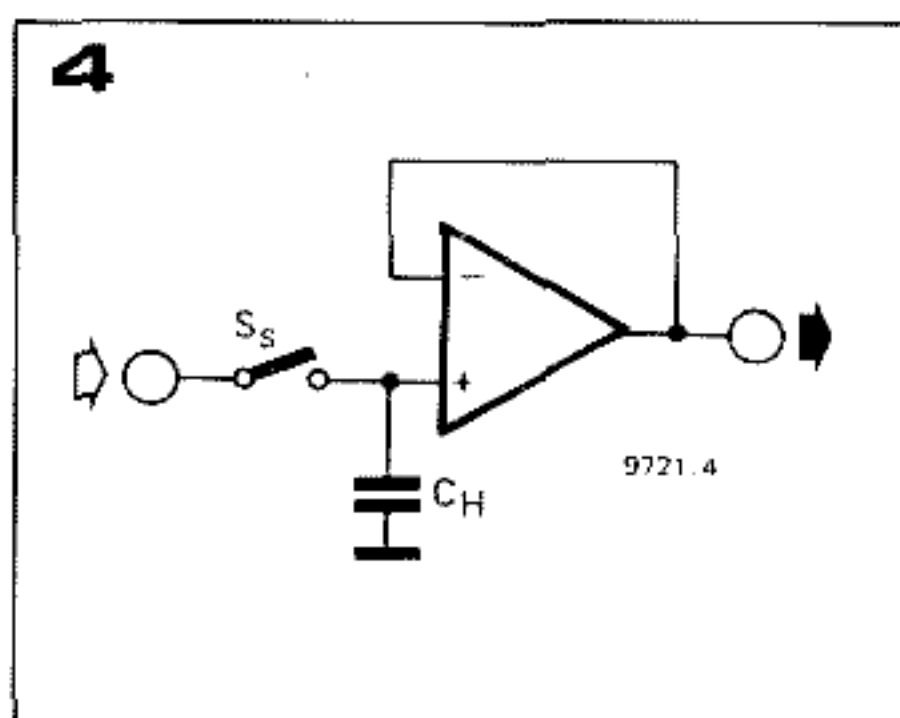


synthétiseur, il est important que, lorsque plusieurs touches sont pressées simultanément, une seule hauteur de son soit nettement définie (ce qui implique une tension de commande unique et précise). C'est donc la raison fondamentale du choix de l'utilisation d'une source de courant et non d'une source de tension constante, pour l'alimentation de la chaîne de diviseurs. Comme l'intensité du courant circulant dans le diviseur est constante, le nombre de résistances court-circuitées par l'enfoncement simultané, accidentel ou délibéré, de plusieurs touches, ne joue aucun rôle en la circonstance. La tension de sortie de la barre collectrice (KBV = Keyboard Voltage = tension de sortie du diviseur de clavier) est toujours identique à la différence de potentiel entre les extrémités de la partie non court-circuitée de la chaîne de résistances.

D'un point de vue musical cela signifie que du groupe de touches pressées seule la note la plus grave sera émise.

b. Échantillonneur-bloqueur

Dans ce qui précède, il a déjà été dit que la tension de sortie du clavier n'alimente pas directement les modules du synthétiseur mais qu'elle est appliquée préalablement à d'autres circuits. Il n'est pas possible d'utiliser telle quelle cette tension parce que, après que la pression ait cessé de s'exercer sur une touche, le clavier ne délivre plus de signal et aucun son n'est plus émis. De ce fait, certains effets comme le sustain seraient irréalisables. Afin de remédier à cette insuffisance, une 'mémoire analogique' simple du circuit d'interface 'maintient' la dernière valeur de la tension de sortie du clavier. Il faut que cette mémoire puisse maintenir



très précisément la valeur de la tension qui lui a été appliquée, pendant un temps suffisamment long, car, autrement, toute modification de tension se traduirait immédiatement par une variation gênante de la hauteur de son.

La mémoire analogique est appelée, en raison de ses deux fonctions, échantillonneur-bloqueur (en anglais Sample and Hold, abrégé S & H). Un circuit échantillonneur-bloqueur S & H se compose généralement d'un commutateur électronique qui peut être un FET, un condensateur de stockage et un suiveur de tension (à très haute impédance d'entrée) tel qu'un ampli op à FET. Le schéma de principe d'un échantillonneur-bloqueur est donné à la figure 4. Les propriétés de ce montage et en particulier la durée maximale de stockage et la stabilité dépendent des courants de fuite absorbés par les trois constituants (commutateur, condensateur, suiveur de tension). En fait, plus les courants de fuite sont faibles, plus le temps de stockage utilisable est long. Pour atteindre la plus faible dérive possible du KBV, l'interface utilise un S & H

double: le pré-S & H et le S & H principal (Figure 5). Dans le pré-S & H, les contacts des touches fonctionnent en commutateurs d'échantillonnage. Le courant de fuite des contacts ouverts est faible, de sorte que l'on recueille à la sortie du pré-S & H (source de T1) une tension de commande 'mémosée' déjà relativement stable. Cependant, si l'air ambiant est très humide, le courant de fuite des contacts de touches peut augmenter et devenir inacceptable; c'est pourquoi un commutateur à FET (T2) fait suite au pré-S & H afin d'isoler le S & H principal des contacts du clavier. L'impulsion de porte commande, via la diode D1, la grille du FET de commutation. Au repos, une tension d'environ -14 V est appliquée à cette diode; cette tension assure un rétrécissement pratiquement complet du canal drain-source: le commutateur à FET est ouvert. Dès qu'une touche est enfoncée, une impulsion de porte positive d'environ +14 V parvient à la diode. Celle-ci se bloque, et la résistance drain-source du FET prend en raison de l'absence de tension négative grille-source ($U_{GS} = 0$) une valeur très faible de l'ordre de quelques centaines d'ohms. Dans ces conditions, le commutateur à FET est fermé et transmet la tension du clavier KBV au condensateur de stockage du S & H principal (T3). La transmission en temps utile de la tension de commande est assurée par la concordance entre le moment de commutation et l'impulsion de porte qui déclenche tous les circuits concernés du synthétiseur. Le courant de fuite du commutateur à FET est très faible, car la tension de source est maintenue pratiquement identique à la tension de drain dans le

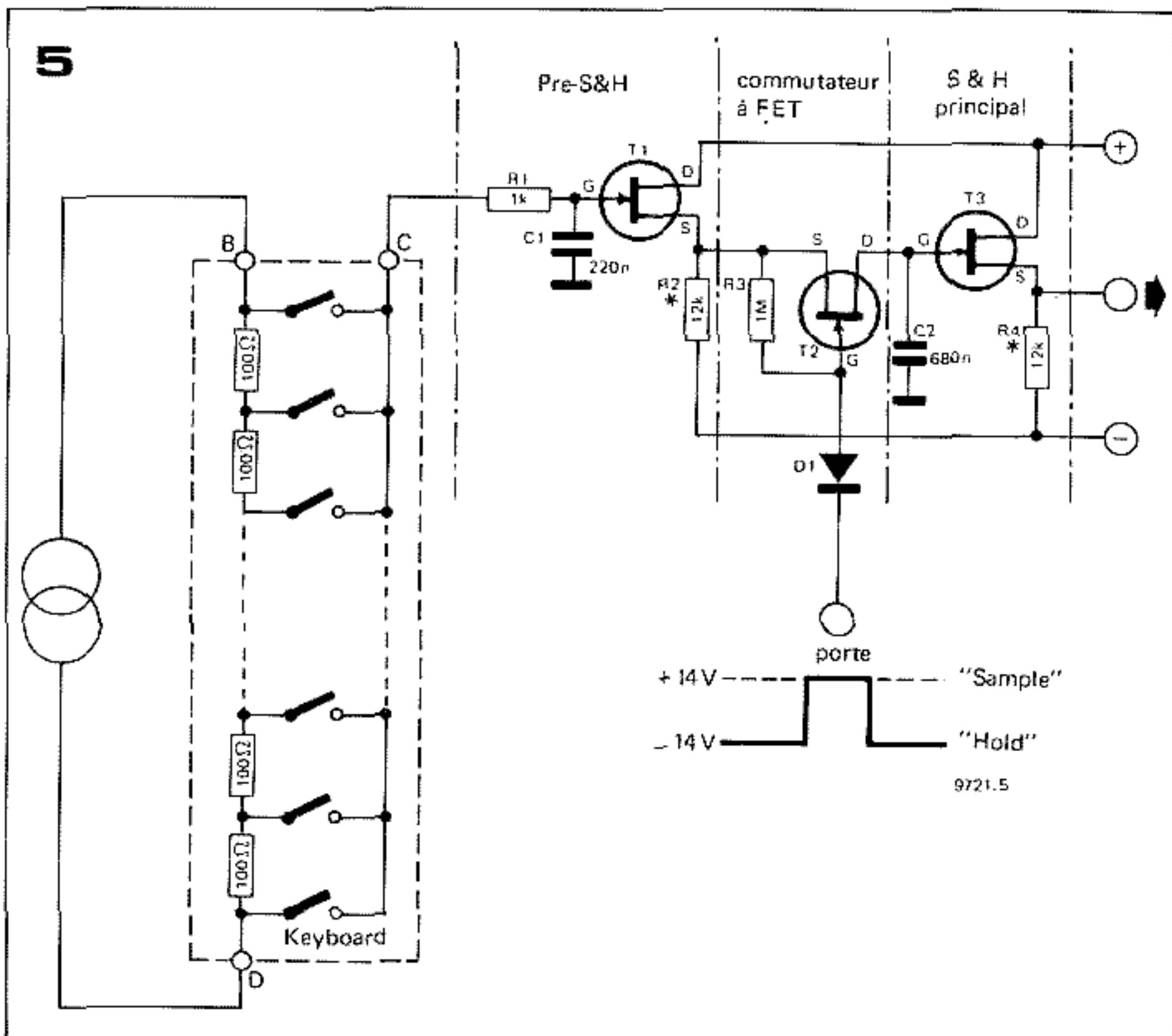


Figure 4. Principe d'un circuit échantillonneur-bloqueur.

Figure 5. Circuit de la partie échantillonneur-bloqueur de l'interface.

Figure 6.

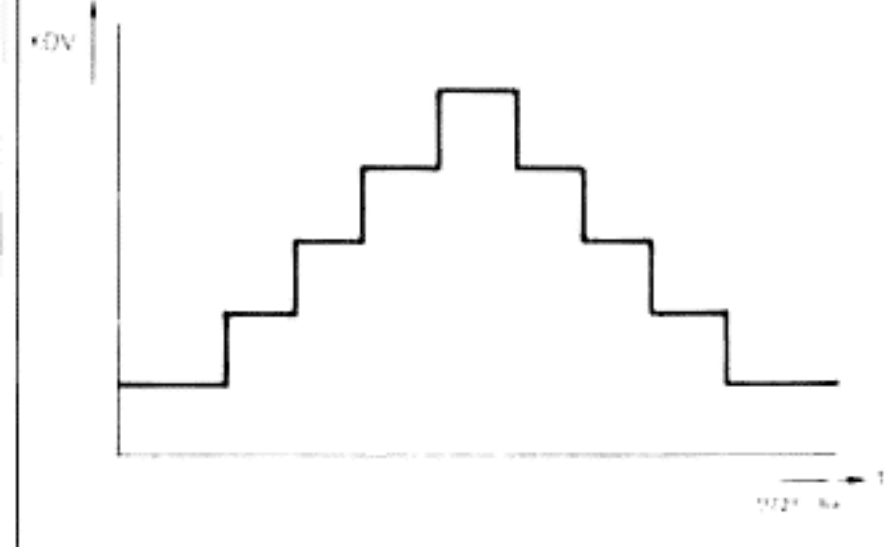
- Aspect de la tension de clavier sans 'portamento'.
- Même tension, avec 'portamento'.

Figure 7. Schéma de l'étage de 'portamento'.

Figure 8. Etage sommateur non-inverseur en sortie de l'interface. Cette partie du circuit comprend la compensation d'offset', l'accord global commutable (P2), l'accord fin (P5) et une entrée modulation de fréquence dotée d'un atténuateur (P3).

Photo 1. Contacteur double à contacts dorés KA.

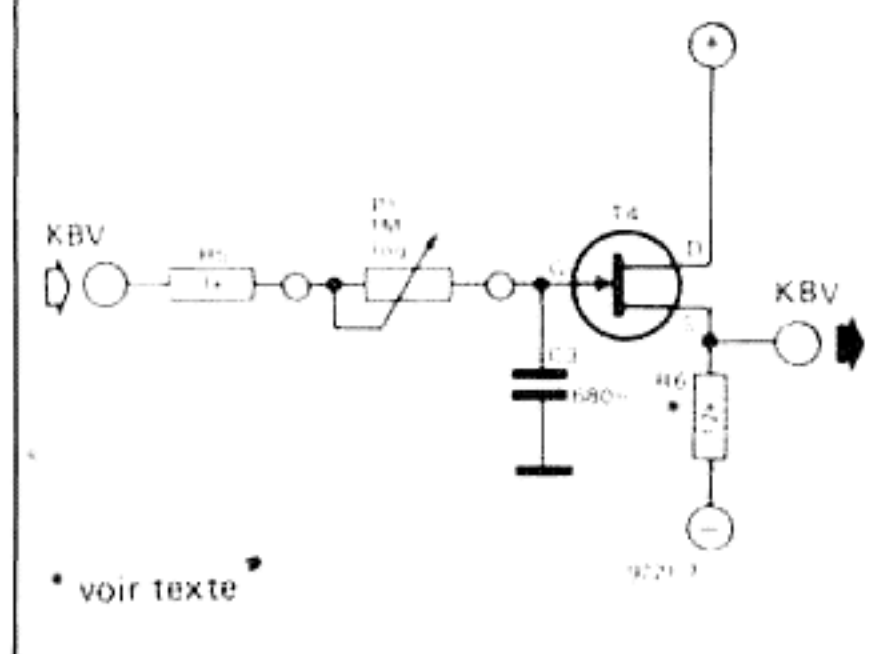
6a



6b



7



pré-S & H.

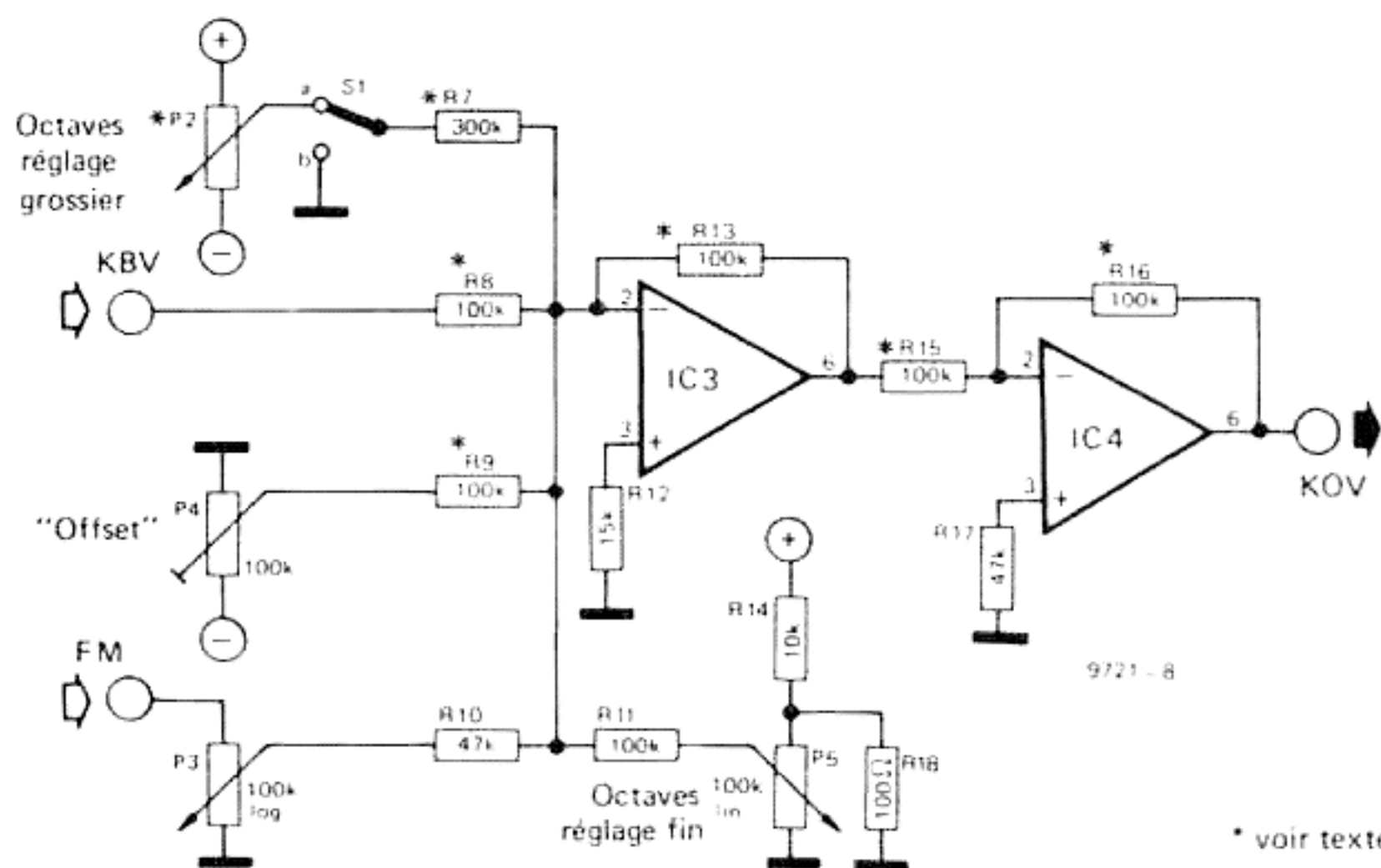
L'utilisation de suiveurs de tension équipés de FETs canal N au lieu d'amplis op à FET se justifie par sa simplicité et par l'absence de défauts gênants.

c) Portamento

Lorsqu'on joue, la tension de sortie du clavier progresse par bonds. En montant puis en descendant une gamme, on obtient sur l'écran d'un oscilloscope une tension de commande en escalier comme le montre la figure 6a. A cette tension en escalier correspond une modification identique de la hauteur des notes, comme dans le cas d'un orgue électronique. Cependant, un bon nombre d'instruments de musique permettent de faire varier la hauteur des notes de façon continue (comme par exemple le trombone à coulisse); cette façon de jouer est appelée 'portamento'. Avec les synthétiseurs commandés en tension, le portamento s'obtient très aisément en intégrant les variations de la tension de commande à l'aide d'un réseau RC. La forme anguleuse de la tension de commande prend alors l'aspect arrondi et 'adouci' de la figure 6b à la sortie du circuit de portamento.

Le circuit de portamento de l'interface est représenté à la figure 7. Le potentiomètre P1 permet de régler la constante

8



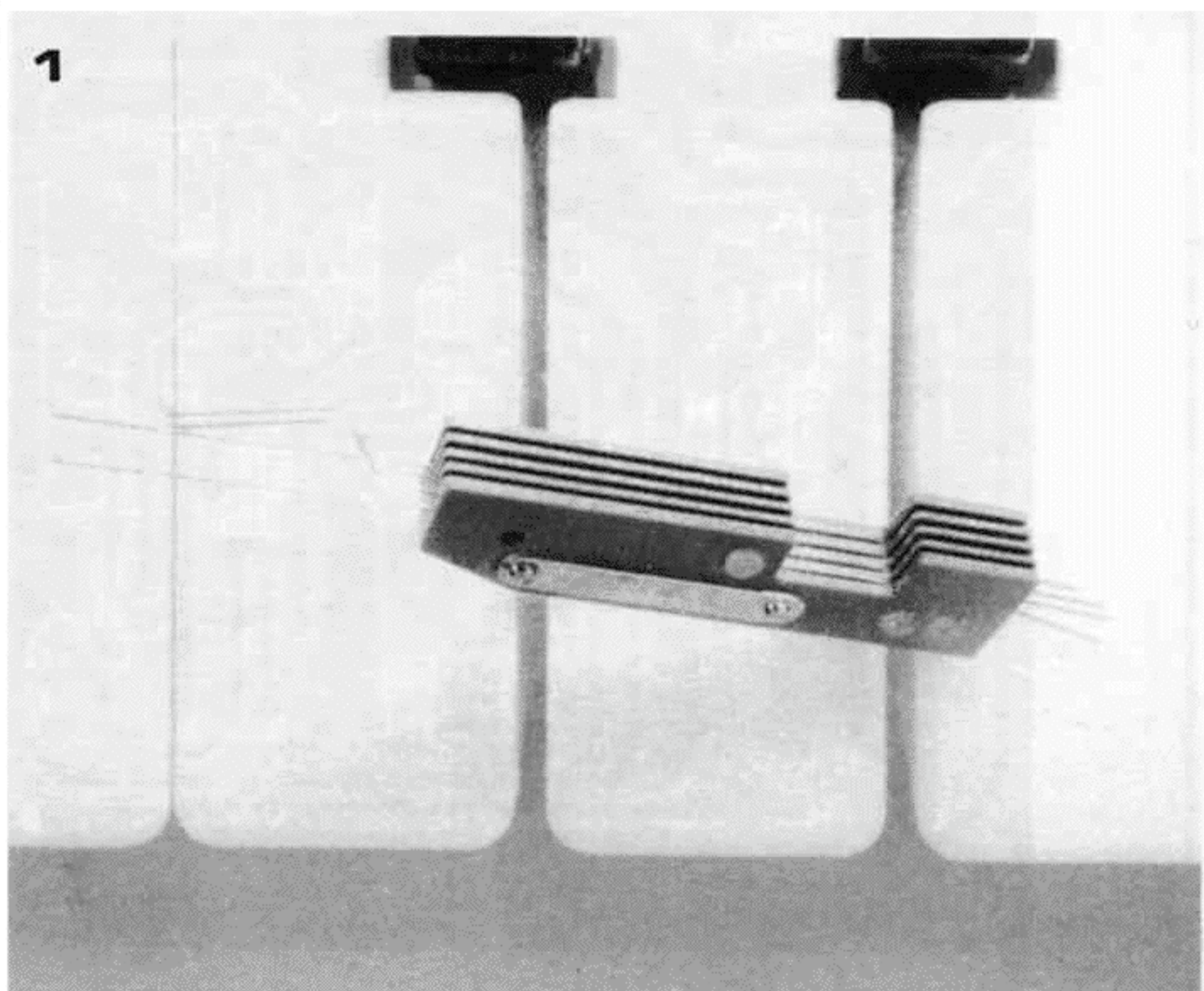
de temps du réseau RC et détermine ainsi la vitesse de passage d'une note à une autre. Un FET monté en drain commun sert encore une fois d'étage abaisseur d'impédance pour la tension de sortie.

d) Accord global; modulation de fréquence et réglage de l'offset

Les FETs montés en drain commun diffèrent en deux points essentiels du suiveur de tension 'idéal': tout d'abord, il y a toujours entre la grille (entrée) et la source (sortie), et ce quel que soit le point de fonctionnement, l'indispensable tension U_{GS} qui se traduit par une indésirable 'tension d'offset' positive. Comme la tension KBV issue du clavier traverse en tout trois étages à FET successifs, les tensions d'offset s'ajoutent. D'autre part, le gain en tension de ces étages est toujours inférieur à l'unité, ce qui revient à dire que la variation de la

tension de sortie est toujours inférieure à celle de la tension d'entrée. C'est pourquoi deux possibilités de compensation ont été prévues dans le circuit d'interface. Comme nous l'avons déjà vu, les pertes de tension des drains communs sont compensées par le réglage du courant traversant le diviseur de tension du clavier. La chute de tension occasionnée par chaque résistance du diviseur est augmentée jusqu'à obtenir à la sortie de tension de commande de l'interface (KOV = Keyboard Output Voltage) la relation exacte 1 V/octave. Les 'tensions d'offset' sont annulées dans le circuit de glissando par un circuit de compensation qui ajoute à la tension de commande la somme des 'tensions d'offset', mais avec la polarité inverse. Cette correction s'effectue dans un sommateur non inverseur (figure 8), la tension de compensation est réglable au moyen de P4. Cet étage

1



9

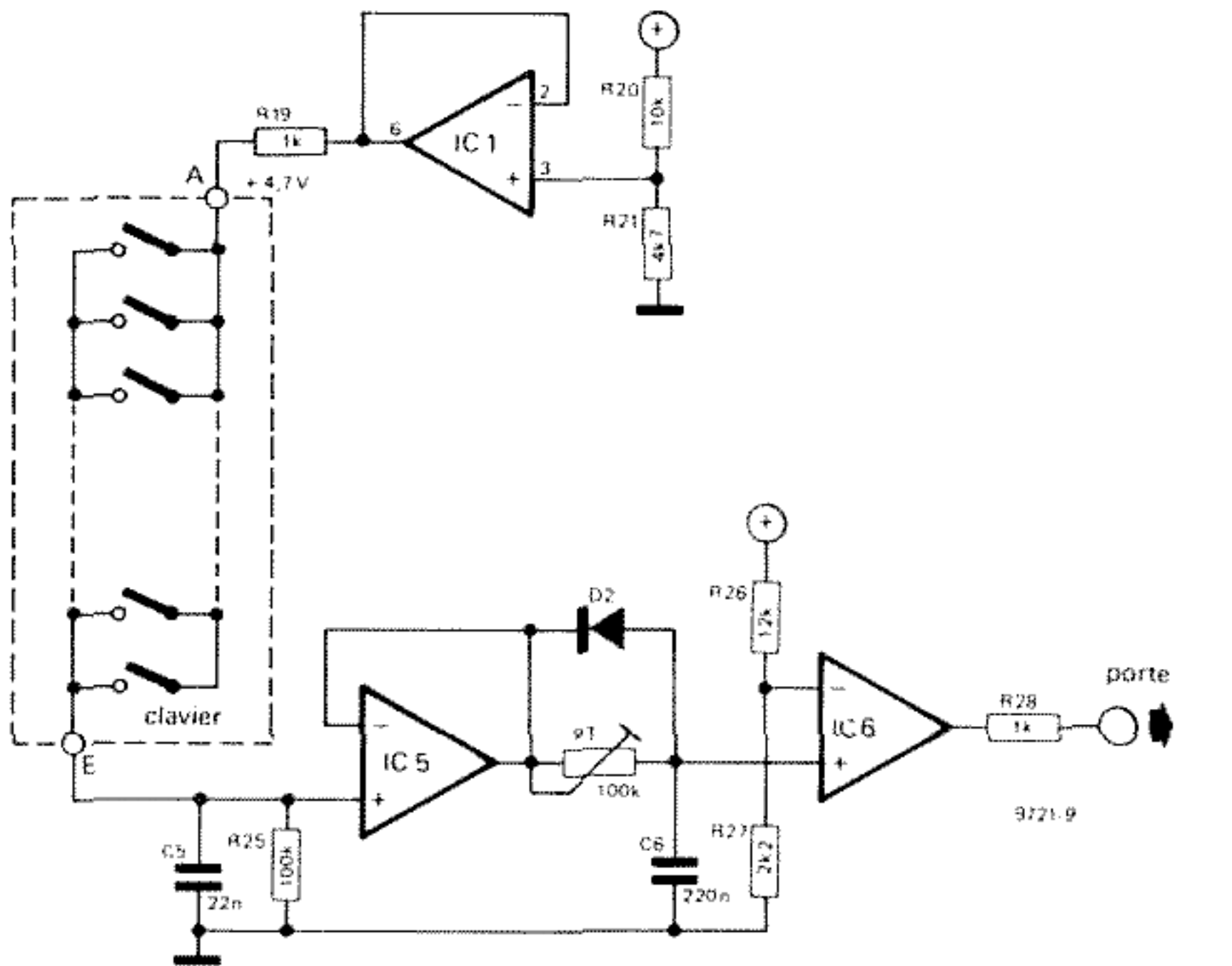
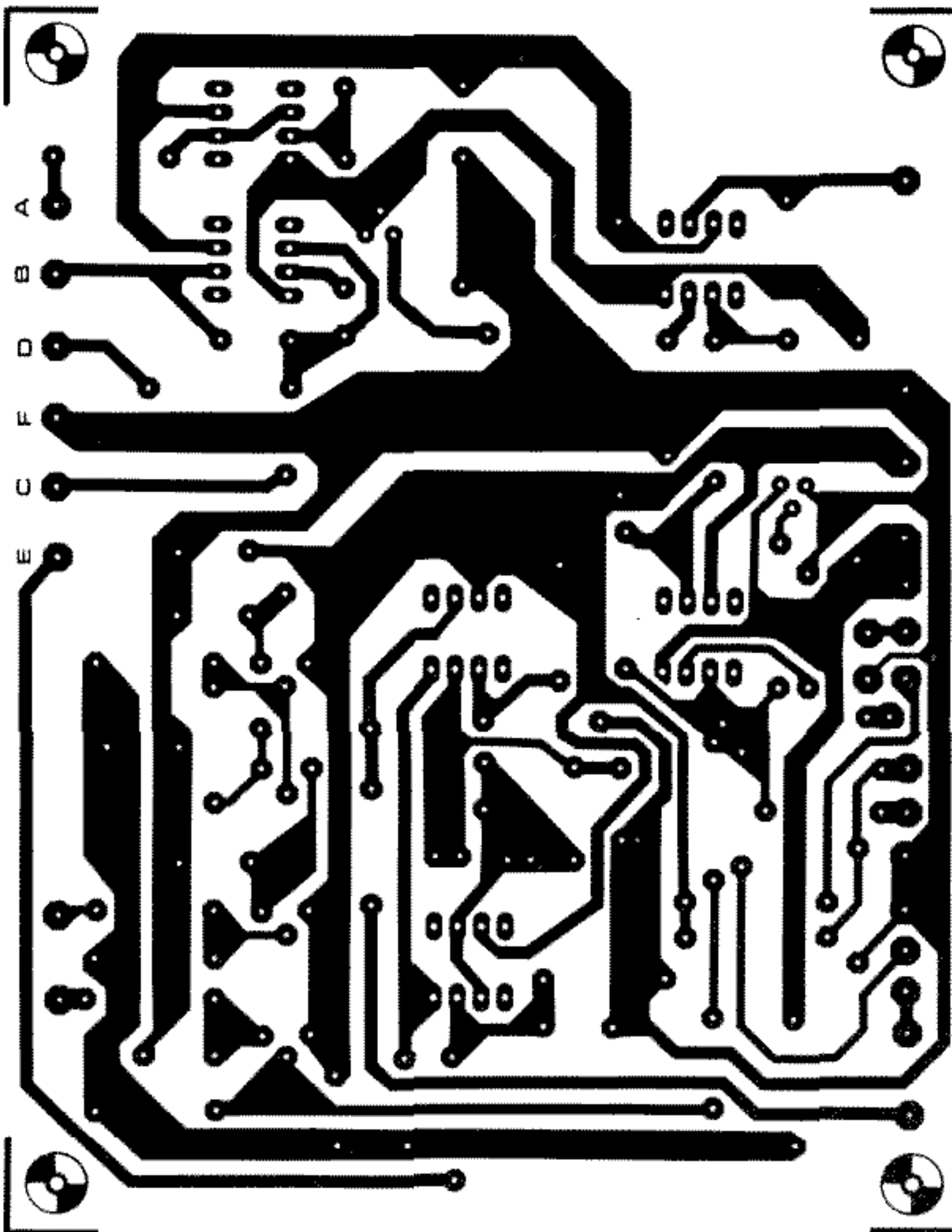


Figure 9. Le circuit de porte. L'information d'entrée est délivrée par les deuxièmes contacts des contacteurs doubles.

Figure 10. Schéma complet du circuit d'interface. Il faut utiliser pour les résistances, les potentiomètres et les ajustables repérés par un astérisque des composants à couche métallique et Cermet. Les seules exceptions sont les résistances de source des FETs (R2, R4, R6) qui sont de modèles normaux à couche de carbone à 5% dont les valeurs sont déterminées à l'aide d'un montage d'essai simple en raison des tolérances des FETs (la description suivra dans la 3ème partie).

Figure 11. Circuit imprimé, implantation et liste des composants de l'interface.

11



Liste des composants des figures 10 et 11.

Résistances:

- R1, R5, R19, R28 = 1 k
- R2, R4, R6 = 12 k (valeur approchée, voir le texte)
- R3 = 1 M
- R7 = 300 k (à couche métallique 1%)
- R8, R9, R13, R15, R16 = 100 k (à couche métallique 1%)
- R10, R17 = 47 k
- R11, R25 = 100 k
- R12 = 15 k
- R14, R20 = 10 k
- R18 = 100 M
- R21 = 4k7
- R22 = 750 Ω (à couche métallique 1%)
- R23 = 13k7 (à couche métallique 1%)
- R24 = 3k3
- R26 = 12 k
- R27 = 2k2

Potentiomètres ajustables:

- P4 = 100 k (Cermet)
- P6 = 4k7 (5k, Cermet)
- P7 = 100 k

possède deux autres fonctions: l'accord global du synthétiseur et la modulation de fréquence. Il est possible en ajoutant une tension continue variable à la tension de commande de déplacer l'accord global du synthétiseur sur tout le spectre audible. Le réglage s'effectue avec P2 sur une étendue de ± 5 octaves. Un potentiomètre supplémentaire (P5) assure le réglage fin de l'accord sur un domaine d'environ \pm un demi-ton, ce qui permet d'accorder le synthétiseur sur d'autres instruments.

Une entrée sommateur est prévue pour permettre la modulation en fréquence de KOV. Pour ce faire, on applique à cette entrée une tension de modulation (obtenue par exemple dans un LFO) qui s'ajoute à la tension de commande de hauteur (KOV). Il en résulte un effet de vibrato commun pour tous les VCOs. La profondeur de modulation est réglable sur une gamme assez large au moyen de P3; elle atteint pour le réglage maximum une caractéristique tension/fréquence d'environ 0,5 V/octave.

e) Circuit de porte

Le comportement de la tension de commande ne permet pas de savoir quand et combien de temps une touche reste enfoncée, car le S & H maintient la tension de commande après que la touche ait été relâchée. Cette information est donnée par le deuxième ensemble de contacts du clavier. Deux barres collectrices retiennent les connexions de ces contacts. La première barre conduit en permanence une tension d'environ + 5 V qui est appliquée à la deuxième barre collectrice par les contacts de 'porte' du clavier pendant qu'une touche est enfoncée. L'impulsion disponible à la sortie des barres collectrices commande après traitement le commutateur FET du S & H et déclenche le générateur d'enveloppe du synthétiseur. Le circuit

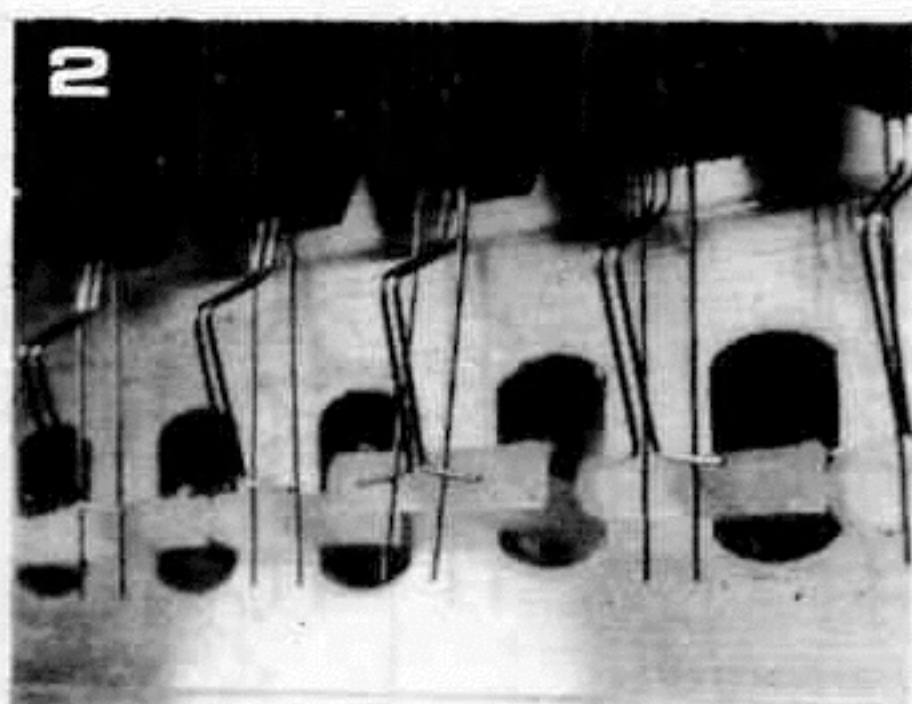
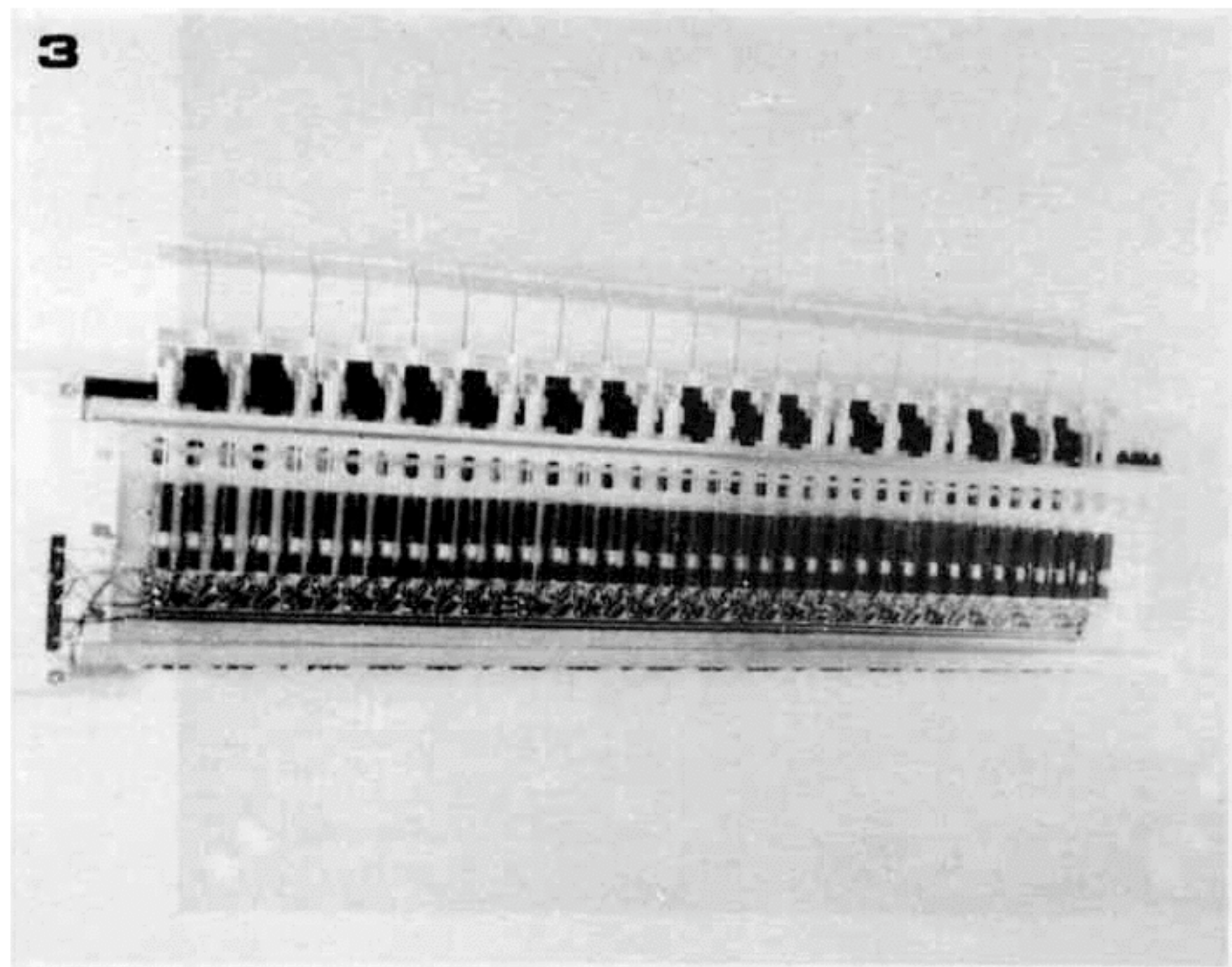


Photo 2. Les contacts sont actionnés par un levier de plastique fixé aux touches qui appuie sur les tiges de contact.

Photo 3. Vue d'ensemble du clavier monté. Les touches SKA sont livrées prêtes à l'usage. Il n'est donc pas nécessaire de procéder soi-même au montage des touches, ressorts de rappel, etc... La seule opération à effectuer est le collage des contacteurs KA sur le châssis du clavier.



de porte de l'interface est décrit à la figure 9. Les barres collectrices sont alimentées par une tension de 5 V délivrée par un suiveur de tension équipé d'un ampli op, qui transmet sous faible impédance la tension prélevée sur le diviseur de tension R 20/R 21 aux barres collectrices. La barre collectrice des contacts de porte précède un suiveur de tension à ampli op (IC5); le réseau RC placé à son entrée sert à éliminer les rebondissements des contacts. Un étage retardateur fait suite au suiveur de tension; il comprend la constante de temps réglable P7/C6 et le comparateur IC6. Le retard n'agit que sur le flanc montant de l'impulsion de porte; D2 sert à décharger rapidement le condensateur C6 lors du flanc descendant.

Cet étage retardateur annule les écarts de fermeture des contacts doubles et donne le temps nécessaire à la charge du condensateur de stockage dans le pré-S & H. Sans ce retard, il ne serait pas exclu que la 'nouvelle note' soit émise avant que les VCOs aient atteint la hauteur de note prévue, ce qui serait très gênant du point de vue musical. Tous les sous-ensembles sont rassemblés sur le circuit imprimé de l'interface (figure 11).

La figure 10 présente l'ensemble du circuit implanté sur cette plaquette.