

# formant

musik-synthesizer



Beschreibung  
Bau- und Spielanleitung  
mit zahlreichem  
Einstellbeispielen  
C. Chapman

# **FORMANT**

# **Musik-Synthesizer**

Beschreibung,  
Bau- und Spielanleitung  
mit zahlreichen  
Einstellbeispielen

C. Chapman

© 1978 Elektor Verlag GmbH, 5133 Gangelst 1

Die in diesem Buch veröffentlichten Beiträge, insbesondere alle Aufsätze und Artikel sowie alle Entwürfe, Pläne, Zeichnungen und Illustrationen einschließlich der Printplatinen sind urheberrechtlich geschützt. Ihre auch teilweise Vervielfältigung und Verbreitung ist grundsätzlich nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung des Herausgebers gestattet.  
Alleiniges Nachdruckrecht für das holländische Sprachgebiet:  
Elektuur B.V., Beek (L), Holland; für Publikationen in englischer Sprache: Elektor Publishers Ltd., Canterbury, England.  
Der Nachbau der veröffentlichten Schaltungen geschieht außerhalb der Verantwortlichkeit des Herausgebers.

# Vorwort

Schon während der Konzeption der Baubeschreibung des FORMANT-Synthesizers für die Veröffentlichung in der Fachzeitschrift für Elektronik "Elektor" wurde der Gedanke gefaßt, die Artikelserie (Elektor Dezember 1976 bis Oktober 1977) durch ein musikalisch-klangliches Handbuch zu ergänzen, das dem FORMANT-Besitzer mit zahlreichen Beispielen die vielfältige Klangwelt seines FORMANTs erschließt.

Als aber die FORMANT-Serie ihrem Abschluß entgegenging und sich eine lebhaftere Leserresonanz abzeichnete, wurde von interessierter Seite häufig der Wunsch geäußert, die vollständige FORMANT-Serie in einem Buch oder Sonderheft zusammengefaßt als FORMANT-Bauanleitung zur Verfügung zu haben.

Der Elektor-Verlag hat sich dann kurzfristig entschlossen, diesem vielfachen Wunsch zu entsprechen und Beschreibung, Bau- und Spielanleitung in einem FORMANT-Buch herauszugeben.

Dem musikalisch interessierten Elektroniker wie dem in der Elektronik versierten Musiker liegt hiermit ein Synthesizer-Handbuch vor, das in seinem speziellen "Approach", der engen Verknüpfung elektronischer und musikalischer Gesichtspunkte, selten zu finden ist.

Geradezu zwingend ist bei diesem Buch die Ergänzung durch eine Demonstrationsskassette, die zu den beschriebenen Einstellbeispielen einen genauen Höreindruck vermittelt. So lassen sich die Einstellbeispiele in der Praxis durch den unmittelbaren Vergleich mit den Klangbeispielen auf der Kassette in idealer Weise nachvollziehen.

Autor, Redaktion und Verlag wünschen Freude bei der Lektüre, Erfolg beim Nachbau und viel Spaß und reiche Ausbeute bei den klanglichen Experimenten mit dem FORMANT.

# Inhalt

Vorwort .....	3
<b>FORMANT</b>	
<b>Beschreibung und Bauanleitung</b>	
<b>Teil 1</b> .....	7
Über Synthesizer ist im allgemeinen so wenig bekannt, daß eine Einführung wünschenswert ist. Deshalb stellt der erste Beitrag den Synthesizer als elektronisches Musikinstrument vor und erläutert die Aufgaben und das Zusammenspiel der einzelnen Synthesizer-Module.	
<b>Teil 2</b> .....	13
Tastatur und Tastaturelektronik.	
<b>Teil 3</b> .....	20
Neben der Interface- und Netzteilbeschreibung enthält dieser Teil mit der Beschreibung eines mechanischen Konzepts genügend Vorschläge, um ein Modulgehäuse vorbereiten zu können.	
<b>Teil 4</b> .....	32
Die musikalische Bedeutung der VCOs. Die Qualität der VCOs entscheidet über den musikalischen Wert des Instruments.	
<b>Teil 5</b> .....	40
Die Bauanleitung der VCOs. Die VCOs erzeugen fünf verschiedene Kurvenformen, die Spannungssteuerung der Tonhöhe (Frequenz) ist exponentiell. Einer Steuerspannungsänderung um 1 V entspricht eine Frequenzänderung von einer Oktav.	
<b>Teil 6</b> .....	46
VCF. Das VCF bestimmt die Klangfarbe, d.h., das VCF filtert aus dem Eingangssignal die gewünschte Obertonstruktur. Besonderheiten des VCFs sind: Einstellbare Filtercharakteristik (Hochpaß, Bandpaß, Tiefpaß, Bandsperre), einstellbarer Q-Faktor (Güte).	
<b>Teil 7</b> .....	54
ADSR. Der ADSR ist ein Hüllkurvengenerator und dient in erster Linie zur Steuerung des VCAs (Amplitudenverlauf) und des VCFs (Klangfarbendynamik).	
<b>Teil 8</b> .....	59
VCA. Der VCA bestimmt den Lautstärke-(Amplituden-)Verlauf des Signals. Das VCA-Modul enthält einen DUAL-VCA, einen exponentiellen und einen linearen VCA.	
<b>Teil 9</b> .....	67
LFOs und NOISE. Die LFOs liefern eine Modulationsspannung für alle spannungsgesteuerten Module. Das Rauschmodul erzeugt weißes und rosa Rauschen sowie eine zufallsabhängige Steuerspannung.	
<b>Teil 10</b> .....	74
COM und Gesamtverdrahtung. Das COM-Modul enthält einen Vorverstärker mit dreifacher Klangeinstellung, der den Anschluß hochohmiger Kopfhörer sowie die Ansteuerung von Leistungsendstufen ermöglicht.	

## MUSIK MIT DEM SYNTHESIZER

Einstellbeispiele und musikalische Tips zum Spielen mit dem FORMANT

Einleitung . . . . .	80
1. Nützliche Hilfen beim Spielen mit dem FORMANT . . . . .	81
2. Einstellungen der einzelnen FORMANT-Module . . . . .	81
VCOs . . . . .	81
Haupteigenschaften der VCOs • Stimmen der VCOs • Pulsweitenmodulation (PWM) • Ringmodulation mit Hilfe der PWM • Die Kurvenformen der VCOs • Frequenz- modulation • ECV/KOV und Überprüfung der Oktavschritte • Interface •	
Die VCFs . . . . .	87
Haupteigenschaften • Einstellung des VCFs als Tracking Filter • Einstellung des VCFs als Resonanzfilter • Weitere Filteranwendungen • Pedalgesteuertes WAWA •	
DUAL-VCA . . . . .	91
Haupteigenschaften • Klangfarben bzw. Lautstärke-Dynamik • Lineare Amplituden- Modulation • Pedalsteuerung der Lautstärke und lineare Lautstärkekontur •	
ADSR-Hüllkurven-Generatoren . . . . .	92
Haupteigenschaften • AR-Dynamik • AD-Dynamik • Mischformen AD/AR •	
LFOs . . . . .	93
NOISE-Modul . . . . .	93
COM-Modul . . . . .	94
3. Einstellung einzelner Instrumentalklänge . . . . .	94
Musikalische Relevanz der Synthesizer-Größe • Einfacher Flötenklang • Einfacher Blechinstrumenten-Klang • Realistische Klangfarben durch Resonanzfilterung • Ver- besserte Blechinstrumenten-Klänge • Mehrstimmige Blechinstrumenten-Klänge • Einige typische Synthesizerklänge ohne konkretes klingliches Vorbild • Oboe, Fagott und Klarinette • Streichinstrumenten-Klänge • Verbesserte Flötenklänge • Orgelartige Klänge • Klavierartige und -verwandte Klänge • Gong-, glocken- und schellenartige Klänge • Weitere Klangvariationen • Der FORMANT als Kombina- tionsinstrument •	
Elektor-Dekoder . . . . .	104

# FORMANT

# der Elektor Musik-Synthesizer

Teil 1

FORMANT ist ein für ernsthafte musikalische Zwecke geeignetes Gerät, das den Vergleich mit vielen industriell gefertigten Synthesizern nicht zu scheuen braucht. Über Synthesizer ist im allgemeinen so wenig bekannt, daß eine Einführung wünschenswert ist. Deshalb stellt der erste Beitrag den Synthesizer als elektronisches Musikinstrument vor und erläutert die Aufgaben und das "Zusammenspiel" der einzelnen Synthesizer-Module.

Bild 1. Beispiel eines großen, kommerziellen Synthesizers: Das Modell Sample System 4. Auf den ersten Blick sieht es mehr nach "Computer" als nach Musikinstrument aus. Diese Assoziation ist nicht einmal so abwegig. Bei der Entwicklung der ersten Synthesizer-Schaltungen stand die Analogrechner-technik Pate.

Als Synthesizer werden manchmal alle elektronischen Geräuscherzeuger bezeichnet, also auch einfache Schaltungen, die z.B. das Rauschen der Meereswellen imitieren. Synthesizer im eigentlichen Sinn sind Musikinstrumente, die eine präzise Kontrolle über die elektronische Erzeugung musikalischer Klänge ermöglichen.

## Der Synthesizer als Musikinstrument

Daß der Synthesizer ein ungewöhnliches Musikinstrument ist, kann man ihm unmittelbar ansehen (Bild 1).

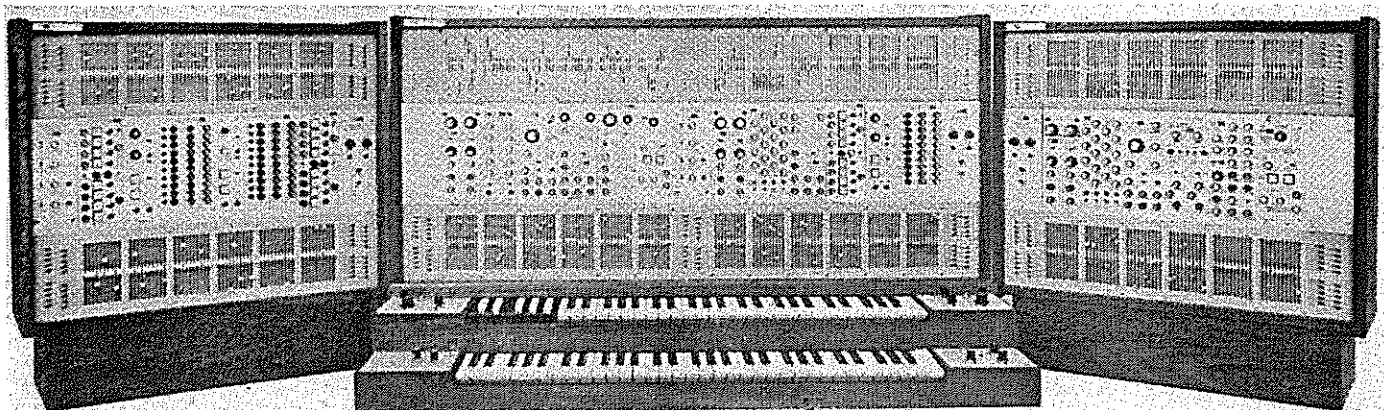
Vor allem ein "großer" Synthesizer sieht oft – und dies nicht unbedingt zur Freude jedes Musikers – wie ein technisches Gerät aus einem Science-Fiction-Film aus; oft genug muß ein Synthesizer dazu herhalten, die stereotype Musik für solche Filme in Form "elektronischer Klänge" zu erzeugen. Eine ähnlich belanglose musikalische Anwendung hat der Synthesizer häufig in der "Schlagermusik" und bei den Werbespots im Fernsehen.

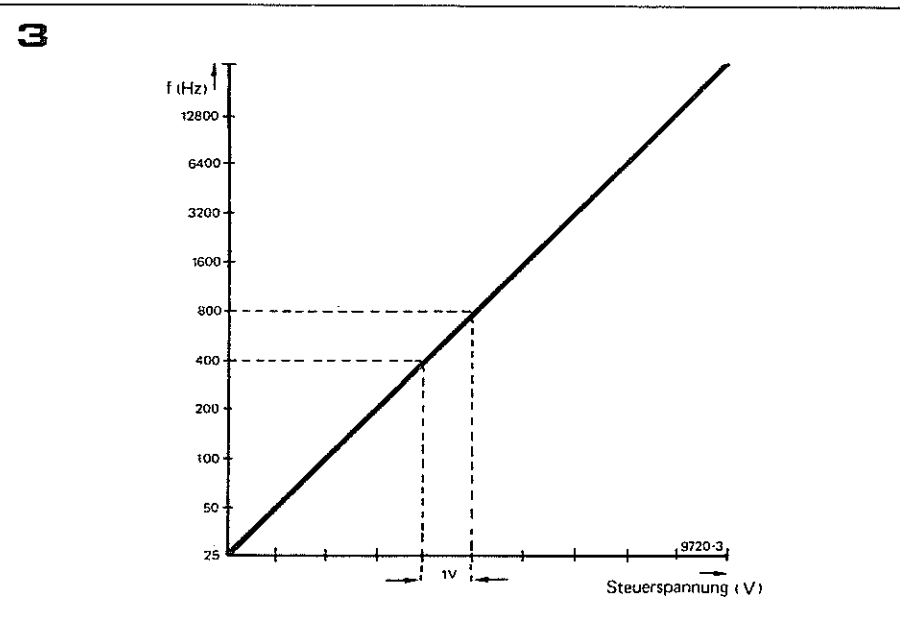
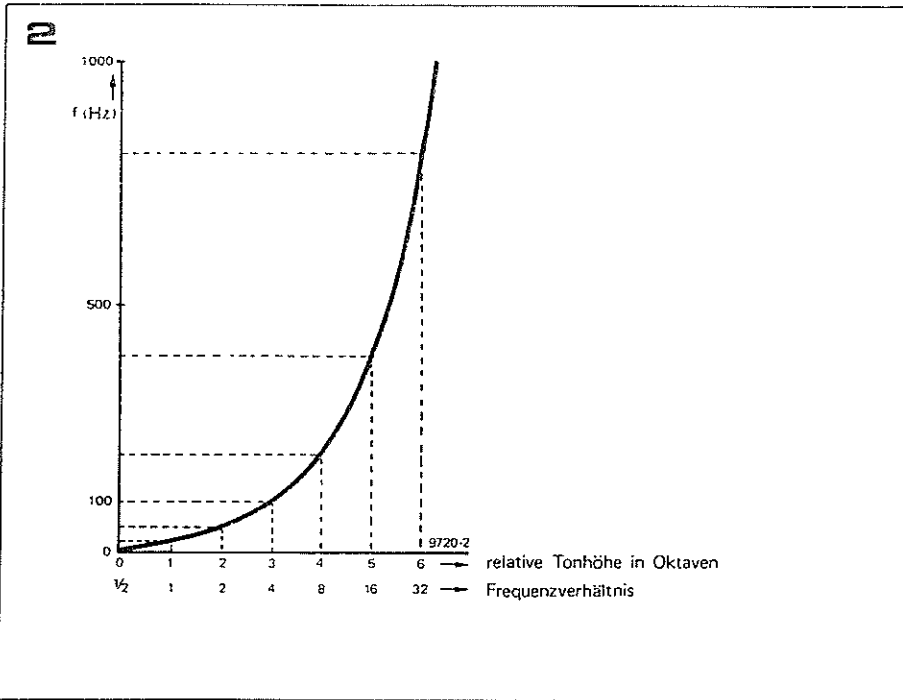
Umgekehrt steht der Synthesizer bei vielen Musikern in hohem Ansehen wegen der Fülle seiner Ausdrucksmöglichkeiten und wegen seiner "gewaltigen" Klänge. Diese klanglichen Möglichkeiten haben Musiker wie *W. Carlos*, *K. Emerson*, *P. Moraz* und andere in beeindruckender Weise erschlossen.

Der Synthesizer unterscheidet sich von anderen Musikinstrumenten dadurch, daß er keinen festgelegten klanglichen Charakter aufweist wie etwa die Flöte, die Gitarre oder jedes andere "natürliche" Musikinstrument. Insofern hat er Ähnlichkeit mit der elektronischen Orgel, die verschiedene Klangregister, z.B. "Flöte" oder "Trompete", besitzt.

## Der Synthesizer und die elektronische Orgel

Der erste Unterschied zwischen der elektronischen Orgel und dem Synthesizer: Der Synthesizer ist monophon, d.h., man kann nicht zwei oder mehr Töne gleichzeitig spielen. Diese Eigenart ergibt sich aus dem anderen elektronischen Aufbau des Synthesizers. In jüngster Zeit wird an der Entwicklung polyphoner Synthesizer gearbeitet. Im Gegensatz zur elektronischen Orgel hat der Synthesizer keine festen Klangregister. Er besteht vielmehr aus einer Anzahl relativ unabhängiger Schaltungen, die meist als Module ausgeführt sind. Diese Module sind für den Musiker eine Art Klangbaukasten, mit dem er in weiten Grenzen den Charakter der Klänge selbständig formt (wie dies grundsätzlich geschieht, wird später noch ausführlich besprochen). Sowohl elektronische Orgel als auch Synthesizer verfügen über die Möglichkeit, imitative Klänge zu erzeugen. Bei der Orgel tragen die meisten Register den Namen eines



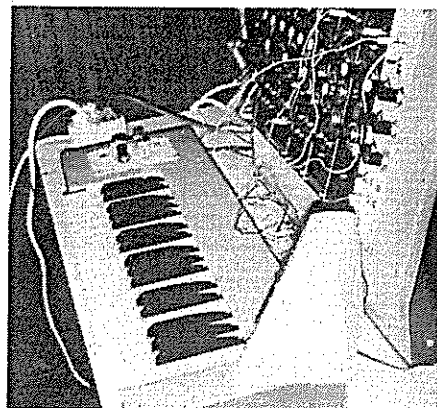


„natürlichen“ Musikinstruments. Der Synthesizer kann z.B. Blechbläserklänge recht gut imitieren, orchestrale Streicherklänge dagegen schlecht (dafür gibt es einen speziellen, den String-Synthesizer). Auch wenn der Synthesizer anfangs durch seine ausgeprägten imitativen Fähigkeiten bekannt geworden ist, so liegt sein musikalischer Reiz nur zum Teil in dieser „Fähigkeit“ begründet. Musikalisch wichtiger ist, daß seine Klänge differenzierter sind als z.B. die der elektronischen Orgel, sie sind in dieser Hinsicht oft mit natürlichen Klängen vergleichbar.

### „Grundphilosophie“ der spannungsgesteuerten Synthesizer

Das Konzept spannungsgesteuerter Synthesizer und viele damit verbundene Schaltungserfindungen gehen auf Robert A. Moog zurück. Bei genauerer Analyse läßt sich jeder Klang durch nur

drei Parameter und ihre zeitliche Veränderung charakterisieren. Diese drei Parameter — oder Hauptkennzeichen — eines Klanges sind: Tonhöhe, Klangfarbe und Lautstärke. Der Techniker würde von Frequenz, Kurvenform oder



Oberwellengehalt und Amplitudenverlauf sprechen. Auf der kontrollierten Verfügung über diese drei Hauptkennzeichen eines Klages beruht der Synthesizer.

Moog ordnete als erster diesen Parametern elektronische Module im Synthesizer zu und entwickelte auch die erforderlichen Schaltungstechniken. Sind diese Module im Synthesizer so beschaffen, daß die Parameter während der Dauer eines Klages präzise kontrolliert werden können, so ist der Synthesizer theoretisch in der Lage, jeden beliebigen Klang zu erzeugen.

Synthesizer enthalten deshalb spannungsgesteuerte Module, und zwar: VCO's (Voltage Controlled Oscillators) für die TONHÖHEN, VCF's (Voltage Controlled Filters) für die KLANGFARBEN und VCAs (Voltage Controlled Amplifiers) für die LAUTSTÄRKE. Die Spannungssteuerung ermöglicht eine leichte Vorherbestimmung der zeitlichen Abläufe der einzelnen Parameter, die Verkopplung der Module untereinander und eine schnelle Aussteuerbarkeit.

Weitere Vorteile der Spannungssteuerung werden später noch aufgeführt. Auch bei Synthesizern sieht die Praxis leider etwas anders aus als die Theorie. Synthesizer sind daher auch nicht die „Wunderinstrumente“ aus den Werbeprospekten einiger Hersteller, in denen von den „uneingeschränkten klanglichen Möglichkeiten“ der Geräte die Rede ist.

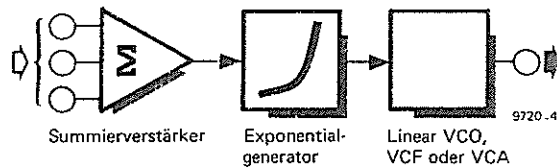
In der Praxis sind die klanglichen Möglichkeiten nicht so unbegrenzt, wie es das theoretische Konzept nahelegt. Technische Grenzen und Unzulänglichkeiten der Module und Steuerspannungsquellen führen dazu, daß der Synthesizer bestimmte Klänge „besser“ erzeugt als andere. Die Beispiele „Blechbläserklänge“ und „orchestrale Streicherklänge“ wurden bereits erwähnt. Die Haupttonquellen im Synthesizer sind die spannungsgesteuerten Oszillatoren (VCOs). Die Steuerspannung stellt die Oszillatorfrequenz und damit die Tonhöhe ein. Mit der Frequenz des VCOs (bzw. der Tonhöhe) ist die Kennzeichnung eines Grundtons gemeint. Von der Sinusschwingung abgesehen enthalten alle anderen Schwingungen ein Frequenzgemisch, bestehend aus der Grundwelle und den ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz, den Obertönen.

Die Frequenz der Grundwelle bestimmt die wahrgenommene Tonhöhe, die Zusammensetzung des Obertonspektrums die wahrgenommene Klangfarbe. Folglich läßt sich die Klangfarbe mit Filtern beeinflussen, welche nur einen Teil des Obertonspektrums durchlassen. Die dynamische Klangfarbenänderung während der Dauer eines Tons ist für viele „natürliche“ Instrumentalklänge typisch und wird im Synthesizer durch VCFs verwirklicht.

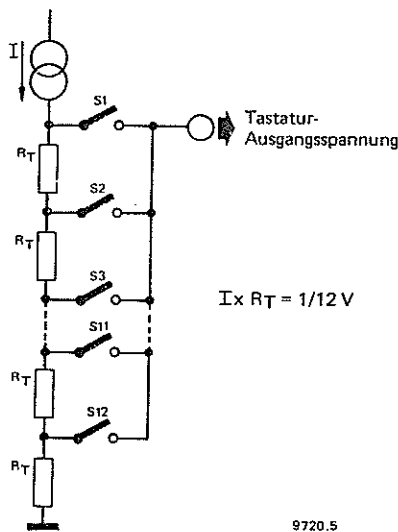
Zur Lautstärkekonturierung dienen die spannungsgesteuerten Verstärker (VCAs).



4



5



### Exponentielle Spannungssteuerung

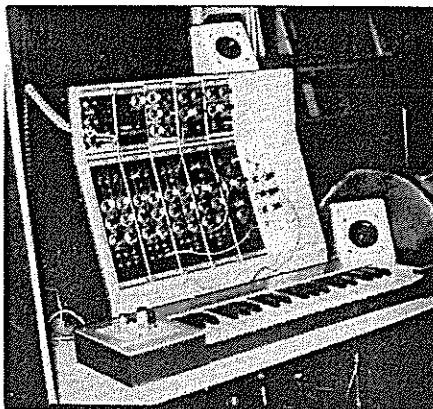
In unserem Erleben (und auch in praktisch allen bekannten Kulturen der Erde) werden die Tonhöhen in Oktaven gegliedert. Wenn die akustisch wiedergegebene Schwingung eines Oszillators z.B. von 50 Hz auf 100 Hz ansteigt, so ist dies gehörmäßig ebenso eine Oktave, wie wenn sich die Frequenz von 100 Hz auf 200 Hz ändert, usw. In allen Fällen bleibt das Verhältnis der Frequenzen (2:1) erhalten, nicht aber die Differenz der Frequenzen.

Je höher eine Oktave liegt, desto größer muß der absolute Frequenzzuwachs in Hz sein, der eine Oktave ergibt.

Dies zeigt Bild 2, es stellt den exponentiellen Zusammenhang zwischen den Oktaven und der Frequenz dar.

Für den Synthesizer ist somit eine lineare Steuerung der VCOs (und VCFs) in V/Hz nicht sinnvoll. Musikalisch einleuchtend dagegen ist die exponentielle Aussteuerung in V/Oktave. Hierbei beeinflusst die Steuerspannung die Tonhöhe in der Weise, die unserem musikalischen Erleben entspricht. Bild 3 zeigt diese "musikalisch lineare" Steuerung mit dem Zusammenhang 1 V/Oktave. Im Synthesizer ist diese 1 V/Oktave-Charakteristik in der Weise realisiert, daß man der gewöhnlichen linearen Schaltung, z.B. einem linear stromgesteuerten Oszillator, einen Exponentialgenerator vorschaltet, dessen Ausgangsstrom sich verdoppelt, wenn die Eingangsspannung um 1 V erhöht wird.

Schaltet man zusätzlich vor den Exponentialgenerator einen Steuerspannungsaddierer, der die Summe der Steuerspannungen an seinen Eingängen bildet, so erhält man die klassische Struktur eines spannungsgesteuerten Moduls, wie Moog sie für den Synthesizer eingeführt hat (Bild 4).



**Bild 2.** Zwischen den gehörmäßig wahrgenommenen Tonhöhen (ausgedrückt in Oktaven) und der Frequenz der Töne besteht ein exponentieller Zusammenhang.

**Bild 3.** Aussteuerungscharakteristik der FORMANT-Module von 1V/Oktave. Wegen des logarithmischen Frequenzempfindens des menschlichen Ohres (das im Diagramm durch den logarithmischen Frequenzmaßstab zum Ausdruck kommt) ergibt sich gehörmäßig (oder musikalisch) ein linearer Zusammenhang zwischen Steuerspannung und Tonhöhe.

**Bild 4.** Prinzipieller Aufbau eines spannungsgesteuerten Synthesizer-Moduls nach MOOG. Von diesem Konzept wird auch im FORMANT Gebrauch gemacht.

**Bild 5.** Prinzip der Tastaturschaltung.

Im Folgenden werden die Vorteile dieser Schaltungstechnik deutlich, gleichzeitig erhält man einen ersten Einblick in die Funktionsweise des Synthesizers.

**Vorteile der Spannungssteuerung**  
a) der VCOs:

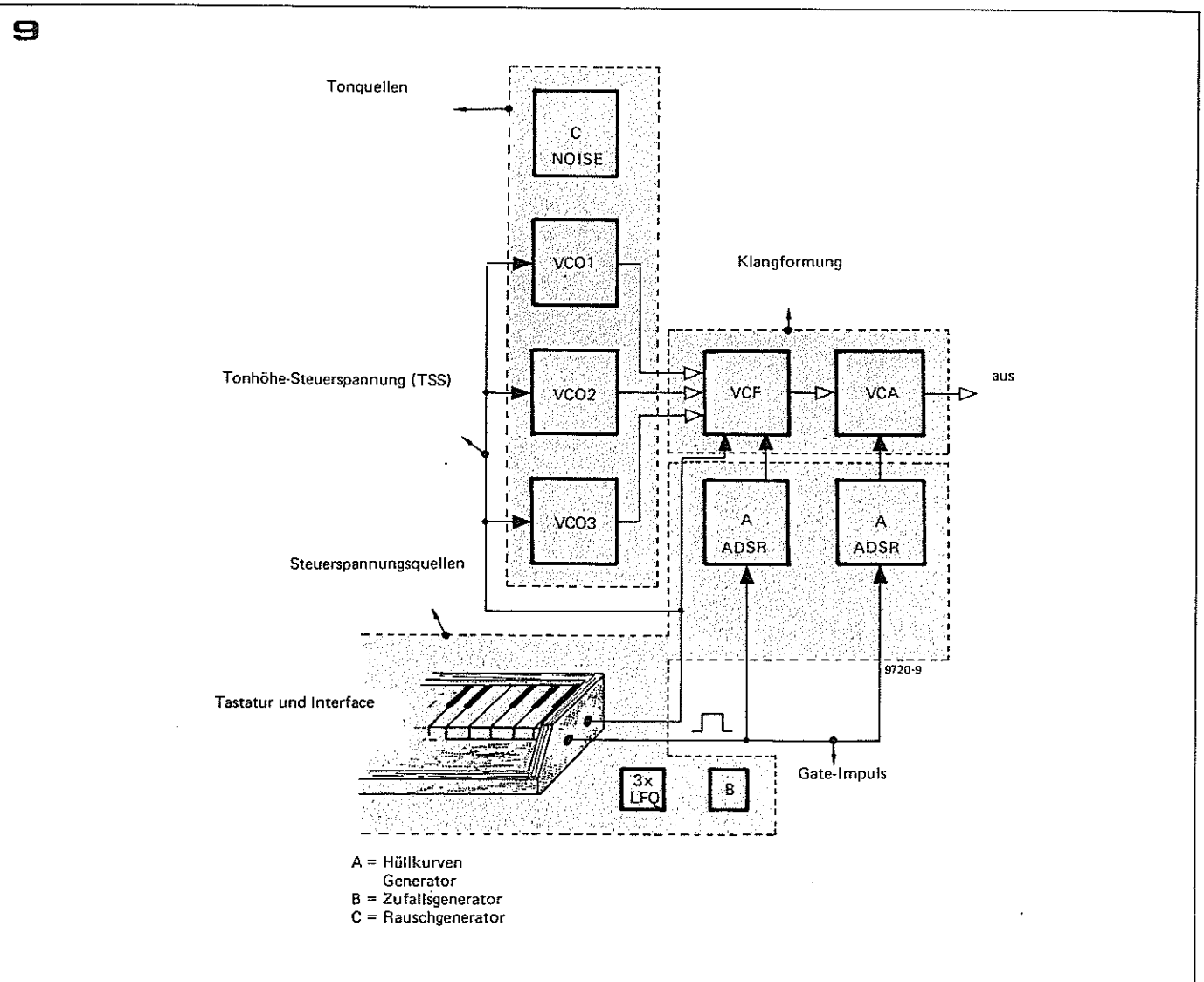
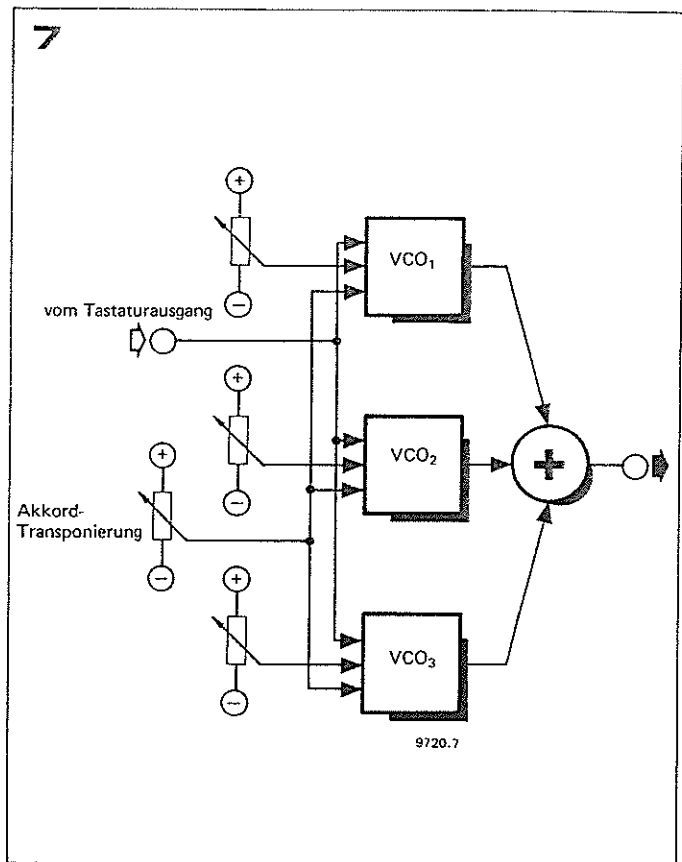
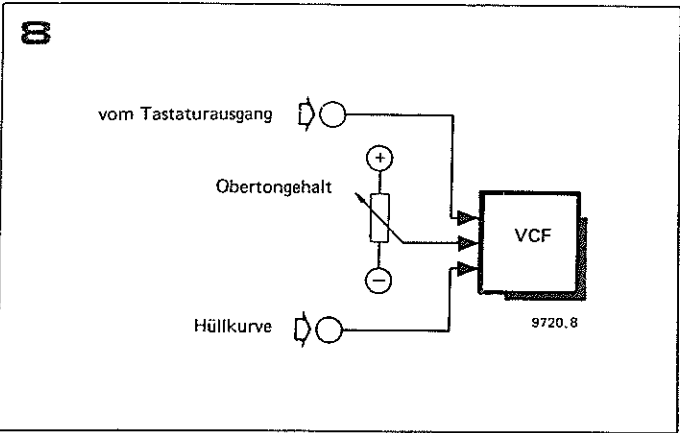
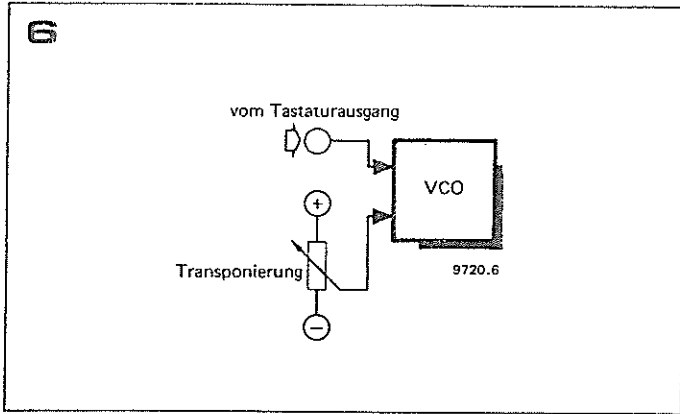
Der Synthesizer hat, wie das Klavier, das Spinett, die Orgel usw. eine Tastatur (engl. "keyboard"). Genauso wie beim Klavier ist jeder Taste eine bestimmte Tonhöhe zugeordnet. Da die Tonhöhe der VCOs von einer Gleichspannung gesteuert wird, muß die Synthesizer-Tastatur beim Betätigen einer Taste eine der Tonhöhe entsprechende Steuerspannung liefern. Bei der Aussteuerungscharakteristik der VCOs von 1 V/Oktave ist es ausgesprochen einfach, geeignete Spannungen für die Tonhöhensteuerung zu erzeugen: Jedem Halbtonschritt (= 1/12 Oktav) entspricht ein konstanter Spannungsschritt von 1/12 V.

Diese abgestuften Steuerspannungen kann man z.B. mit einer Widerstandsleiter erzeugen, durch die ein konstanter Strom fließt; der Stromwert wird so gewählt, daß an jedem der gleichgroßen Widerstände genau 1/12 V abfällt. Die Spannungen greift man mit den Kontakten der Tastatur ab (Bild 5). Die Ausgangsspannung der Tastatur führt man auf einen der Steuerspannungseingänge des Addierers im VCO-Modul, das entsprechend Bild 4 aufgebaut ist. Man kann nun auf der Tastatur Melodien spielen.

Die weiteren Eingänge des Steuerspannungsaddierers können u.a. zum Transponieren benutzt werden. Dieser Begriff bezeichnet die Veränderung der Gesamtonhöhe eines Instrumentes oder eines Musikstückes.

Eine variable Gleichspannung am zweiten Eingang des Addierers verschiebt die Stimmung der Melodie mit der Charakteristik von 1 V/Oktave. So läßt sich z.B. die Stimmung der gespielten Melodie um zwei Oktaven nach oben (oder nach unten) transponieren, indem an den zweiten Eingang (des Addierers) eine Gleichspannung von genau +2V (oder -2V) angelegt wird. Ein Potentiometer erlaubt die Transponierung über den ganzen Hörbereich (Bild 7). Meist enthält ein Synthesizer mehrere VCOs. An die zweiten Eingänge der Addierer in den VCO-Modulen legt man unterschiedliche Gleichspannungen und mischt die Oszillatorsignale. Aufgrund der unterschiedlichen, frei wählbaren Tonhöhen der VCOs entstehen beliebige Akkorde. Die Melodien werden nun nicht mehr mit Einzeltönen, sondern mit beliebig stimbaren Akkorden gespielt.

Eine weitere Transponierungsmöglichkeit eröffnet sich über die dritten Eingänge der Addierer. Eine dritte, gemeinsame Steuerspannung an diesen Eingängen transponiert die über die zweiten Eingänge eingestellten Akkorde. Diese Transponierungsart bezeichnet man als "Akkordtransponierung" (Bild 6). Steuert man den VCA mit einem eige-



nen Hüllkurvengenerator aus, so erhalten die bereits gefilterten Klänge zusätzlich eine bestimmte Lautstärkekontur, die ähnlich klangtypisch sein kann wie der Klangfarbenverlauf, der beim VCF mit Hilfe "seines" Hüllkurvengenerators realisiert wurde.

Die in Bild 4 wiedergegebene Modulstruktur mit exponentiell spannungsgesteuerten VCOs ist die Voraussetzung für die beschriebenen Möglichkeiten: die Tonhöhen mit gleichgroßen  $1/12$  V-Schritten auszusteuern, mit verschiedenen Gleichspannungen Akkorde einzustellen und die Gesamtstimmung mit einer weiteren, gemeinsamen Gleichspannung zu transponieren.

#### b) der VCFs (Bild 8).

Die spannungsgesteuerten Filter (VCFs) sind in der Regel Tiefpässe, deren Frequenz sich mit der Steuerspannung einstellen läßt. Das VCF erhält die gleiche Tonhöhensteuerspannung wie die VCOs, gemeint ist damit die Spannung des Tastaturausgangs. Es "folgt" so mit seiner Filterfrequenz den wechselnden Frequenzen der VCOs und filtert ein konstantes "Timbre" (Klangfarbe) aus dem Obertonspektrum. Ein tiefer Ton hat deshalb den gleichen klanglichen Charakter wie ein hoher Ton, mit anderen Worten: Die Kurvenform des Signals am Ausgang des VCFs ist bei allen Frequenzen gleich. Dies im Gegensatz zu der Filterung in der E-Orgel, in der die ursprünglichen Klänge mit unterschiedlichen Tonhöhen (z.B. 1 Oktave Umfang) durch ein festeingestelltes Filter relativ "grob" geformt werden. Die Filterung im Synthesizer ist also viel

"feiner".

Wie beschrieben, folgt die Filterfrequenz der Tonfrequenz; das setzt aber voraus, daß die von der Tastatur kommende Tonhöhensteuerspannung, wie bei den VCOs, zunächst im VCF auf einen Exponentialgenerator geführt wird. Die Modulstruktur Bild 4 gilt somit auch für die VCFs.

Eine Gleichspannung am zweiten Addierereingang des exponentiellen VCFs verschiebt die Filterfrequenz mit der Charakteristik von  $1$  V/Oktave. Der Tiefpaß wird dabei mehr oder weniger "aufgedreht", er läßt mehr oder weniger Obertöne passieren. Da aber am ersten Eingang des Addierers gleichzeitig die Tonhöhensteuerspannung anliegt, läßt das Filter bei hohen und bei tiefen Tönen immer den relativ gleichen Anteil an Obertönen passieren ("konstantes Timbre").

Die Gleichspannung am zweiten Addierereingang des VCFs verändert also die resultierende Kurvenform am Ausgang des Filters. Ist sie einmal eingestellt, so bleibt sie bei allen Tonhöhen konstant.

Die Klänge "natürlicher" Musikinstrumente sind häufig durch eine "dynamische" Veränderung der Klangfarbe während der Dauer des einzelnen Tons gekennzeichnet. So klingt z.B. eine hart angeschlagene Saite metallisch hell an und langsam dunkel aus. Um eine solche dynamische Klangfarbenänderung während der Dauer eines Tons zu erreichen, steuert man den dritten Addierereingang des VCFs mit einer Spannung aus, die einen geeigneten zeitlichen Verlauf aufweist. Zur Erzeugung einer solchen Spannungskontur dient der Hüllkurvengenerator ADSR, der eine in ihrer Form und in ihrem zeitlichen Ablauf in weiten Grenzen einstellbare Spannungskontur liefert, die die Filterfrequenz während der Dauer des einzelnen Tons verschiebt.

Auf diese Weise erzeugt das VCF eine realistische Klangfarbendynamik, die bei der Filterung in üblichen Orgelschaltungen fehlt.

Entsprechend zu den VCOs ist der Moogsche Modulaufbau nach Bild 4 Voraussetzung für die beschriebenen Steuermöglichkeiten des VCFs im Synthesizer.

#### c) der VCAs:

Ähnlich wie bei den Tonhöhen ordnen sich die Lautstärken im Erleben logarithmisch an. Damit ein Ton deutlich lauter wird, muß er bei großer Grundlautstärke stärker anwachsen als bei kleiner Anfangslautstärke. Dies drückt sich auch im logarithmischen Phon- oder dB-Maß aus.

Das VCA-Modul besteht deshalb aus einem linearen VCA mit vorgeschaltetem Exponentialgenerator, der dem VCA eine Aussteuerungscharakteristik von z.B.  $12$  dB pro Volt verleiht. Auf diese Weise entsteht eine "gleichmäßige" Variation der Lautstärken in Abhängigkeit von der Steuerspannung.

## Zusammenwirken der Module im Synthesizer

Das bisher Gesagte wird unter dem Gesichtspunkt des Zusammenwirkens der Module nochmals kurz zusammengefaßt:

Die VCOs sind die Haupt-Tonquellen im Synthesizer. Das VCF und der VCA modifizieren diese "Rohklänge" und formen aus ihnen die gewünschten und musikalisch interessanten Klangstrukturen.

Das VCF filtert, meist als Tiefpaß, begrenzte Spektren aus den "Basisklängen" aus, wobei ein zugeordneter Hüllkurvengenerator für einen bestimmten, einstellbaren "dynamischen" Klangfarbenverlauf sorgt. Diese Aussteuerungsfunktion des VCFs trägt maßgeblich zu den oft beeindruckenden imitativen Fähigkeiten des Synthesizers hinsichtlich "natürlicher" Instrumental Klänge bei.

Unabhängig von dieser Klangfarbendynamik kann dem musikalischen Klang eine vergleichbare Lautstärkedynamik mit dem VCA gegeben werden, den ein weiterer, ihm zugeordneter Hüllkurvengenerator aussteuert.

Die wichtigste Steuerspannungsquelle ist die Tastaturschaltung. Sie liefert grundsätzlich die Tonhöhensteuerspannung. In der blockschematischen Darstellung des FORMANT-Synthesizers (Bild 9) finden sich neben den bisher schon beschriebenen Modulen bzw. Baugruppen noch weitere Funktionseinheiten, die im Nachfolgenden kurz beschrieben werden.

Zusätzliche Schaltungen im FORMANT-Blockschaltbild.

In dem mit "Tonquellen" bezeichneten Block (Bild 9) ist außer den drei Oszillatoren VCO1 . . . VCO3 ein Rauschgenerator eingezeichnet. Er dient als weitere Tonquelle, aus der mit dem VCF und dem VCA eine Reihe von Geräuschen ohne feste Tonhöhe abgeleitet werden, z.B. Naturgeräusche wie Wind, Wasser, Regen, Donner usw..

Die Ausgangsspannung der Tastatur als Steuerspannungsquelle gelangt nicht unmittelbar an die VCOs und das VCF. Sie wird zunächst im "Interface" aufbereitet. Mit dem Interface ist die Möglichkeit gegeben, die Gesamtstimmung des Synthesizers über den ganzen Hörbereich kontinuierlich zu verschieben. Deswegen ist es möglich, eine kleinere Tastatur als bei der elektronischen-Orgel zu verwenden, indem man einfach einen beliebigen Sektor aus dem Hörbereich "auf die Tastatur legt".

Das Interface dient auch zur Einstellung der "Gleitgeschwindigkeit" von einer Tonhöhe zur nächsten (Portamento). Schließlich liefert das Interface einen Gate-Impuls, der anzeigt, wann und wie lange eine Taste niedergedrückt ist. Diese Information wird an die Hüllkurvengeneratoren weitergeleitet und bestimmt den Beginn und die Dauer der Hüllkurve.

Die am Ausgang des Interface anliegende, "aufbereitete" Tastaturspannung

Bild 6. Prinzip der "Akkordtransponierung" mehrerer unabhängiger exp. VCOs.

Bild 7. Transponierung der Frequenzlage bei einem exponentiellen VCO.

Bild 8. Aussteuerung des exponentiellen VCFs.

Bild 9. Gesamt-Blockschaltbild des FORMANT-Musiksynthesizers. Steuerspannungswege sind durch schwarze Pfeile gekennzeichnet, Signalwege durch offene (nicht ausgefüllte) Pfeile.

für die Tonhöhensteuerung der VCOs und VCFs wird als Tonhöhensteuerspannung TSS bezeichnet.

Eine weitere Spannungsquelle sind die LFOs (Low Frequency Oscillator = langsam schwingender Spannungsoszillator). Die LFOs erlauben eine periodische Modulation der Tonhöhen, des Obertongehaltes und der Lautstärken. Für unperiodische Modulationen, die es bei natürlichen Klängen oft gibt, steht eine Zufallsspannungsquelle zur Verfügung, die eine von einem Rauschspektrum abgeleitete Spannungsquelle liefert.

Das Blockbild zeigt die genannten Module, außerdem sind die im FORMANT festverdrahteten Signal- und Spannungswege eingezeichnet. Alle übrigen Verbindungen werden "vor den Frontplatten" durch "patchcords" (Steckverbindungen) hergestellt.

### Phasing

Die technische Beschreibung des Zusammenwirkens der einzelnen Module im Synthesizer gibt kaum ein Bild von den klanglichen Resultaten, die hierbei entstehen. Synthesizer-Klänge haben "etwas an sich", das viele Musiker und Zuhörer sehr reizvoll finden. Viele Synthesizer-Klänge erinnern an natürliche Musikinstrumente. Woran liegt das? Neben anderen Ursachen vor allem am Phasing.

Der Synthesizer ist durch die Verwendung einer Anzahl unabhängiger Oszillatoren – anders als eine elektronische Orgel und ähnlich wie viele "natürliche" Musikinstrumente – klanglich durch starke Phasing-Muster gekennzeichnet. Ein tiefer Klavierton z.B. hat nicht den starren, statischen Klang wie etwa die elektronische Orgel, sondern einen Klang, der sich dauernd auf "subtile" Weise verändert. So spricht man etwa von den "rollenden" Bässen beim Klavier. Immer, wenn Musik durch mehrere "Tonquellen" entsteht, die nur in den Grenzen des menschlichen Ohres aufeinander gestimmt sind, entstehen infolge der geringen physikalischen Verstimmung der Tonquellen zueinander Schwebungen oder Phasing, die den ursprünglichen Klängen "Leben" verleihen. Die klangprägende Bedeutung des Phasings zeigt ein weiteres Beispiel, das gleichzeitig erklärt, mit welchen Schwierigkeiten die Erzeugung "orchestraler" Streicherklänge durch Synthesizer verbunden ist:

Die Synthese von orchestralen Streicherklängen war bis vor kurzem mit den üblichen Schaltkreisen wenig erfolgversprechend.

Die besondere Klangfarbe eines Geigenorchesters, das "Schwirren" der Geigen, schien sich der Imitation durch die Elektronik zu entziehen. Tatsächlich kommt dieser Klang dadurch zustande, daß ein Geigenorchester aus vielen einzelnen, minimal gegeneinander "verstimmten" Geigen besteht, wobei die Tonhöhen der einzelnen Geigen die "korrekte" Stim-

10

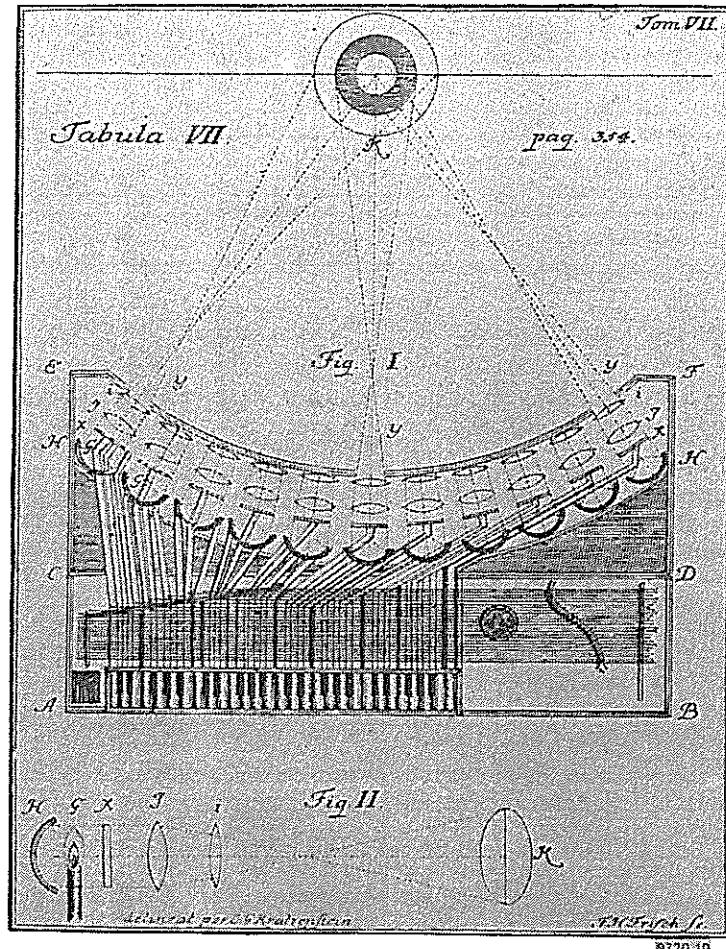


Bild 10. Dieser alte Stich zeigt eine Art "Lichtklavier". Dabei handelt es sich zwar nicht um einen direkten Vorläufer des modernen Musiksynthesizers, beide Instrumente haben aber etwas gemeinsam: Die "künstliche" Erzeugung an sich "natürlicher" Phänomene, die einen ästhetischen Reiz beinhalten.

mung in Form von "Zitterbewegungen" umkreisen. Es entsteht so ein außerordentlich komplexes, unperiodisches vielfaches Phasing, zu dessen Nachbildung speziell entwickelte STRING-Synthesizer neuerdings existieren. Die meisten "natürlichen" Klänge weisen einfachere Phasingmuster auf. An diese große Zahl von Klängen erinnern oft die Einstellungen des Synthesizer. Das Phasing ist gewissermaßen eine Brücke zwischen der "toten" Welt starrer elektronischer Klänge und der Lebendigkeit der Klänge "natürlicher" Musikinstrumente.

### LITERATUR

R.A. MOOG: "Voltage controlled electronic music modules", JAES 13,3, July 1965.

"A voltage-controlled low-pass highpass filter for audio signal processing", AES Preprint 413, 1965.

Nachbausaltungen:

BURHANS, R.: "Simplified educational music synthesizer", JAES, 19,2, Febr. 1971.

T. ORR & D.W. THOMAS: "Electronic sound synthesizer", Wireless World, August-October 1973.

J. SIMONTON: "Build a modular electronic music synthesizer", Radio Electronics, May-Oct. 1973.

G. SHAW: "P.E. sound synthesizer", Practical Electronics, Febr. 1973-Febr. 1974.

TÜNKER, H.: "Electronic-Pianos und Synthesizer".

Franzis-Verlag, 1975. Nr. 302 (RPB-Serie).

# Tastatur und Tastaturelektronik

## Teil 2

Der "Einstieg" in die Nachbaupraxis beginnt mit der Beschreibung der Tastatur des FORMANT-Synthesizers. Bevor aber technische Details besprochen werden, sind einige Hinweise auf die zum erfolgreichen Nachbau erforderlichen Voraussetzungen angebracht. Grundsätzlich ist der FORMANT-Synthesizer kein geeignetes Gerät für den wirklich "blutigen" Anfänger. Einige Erfahrung im Selbstbau elektronischer Geräte sind Voraussetzung, dies betrifft sowohl "Sicherheit" beim Löten als auch im Umgang mit Vielfachmeßgerät und Oszilloskop. Darüber hinaus wären einige Kenntnisse der analogen Schaltungstechnik, insbesondere der OpAmp-Grundschaltungen, sehr von Vorteil. Am Ende des Artikels finden sich einige Literaturtips hierzu.

An Meßgeräten sind ein Oszilloskop und ein zuverlässiges Vielfachinstrument erforderlich, es wäre darüberhinaus hilfreich, gelegentlich ein digitales Multimeter zur Verfügung zu haben.

Eine weitere, sehr wichtige Voraussetzung ist die Verwendung von Bauelementen hoher Qualität. Das bedeutet: 1% Metallfilmwiderstände, Cermet-Trimmer und Potentiometer dort wo erforderlich und in der Stückliste angegeben, Kohleschichtwiderstände mit maximal 5% Toleranz von bekannten Herstellern, verlustarme und leckstromfreie Folienkondensatoren moderner Bauformen und (besonders wichtig) vom Hersteller typengekennzeichnete (gestempelte) Halbleiter 1. Wahl.

Die Verwendung "billiger" Bauteile mit schlechteren oder nicht ausreichend spezifizierten Eigenschaften ist mit Sicherheit keine preiswerte, sondern eine teure Lösung, da Schaltungsfunktionen nur mangelhaft und unter Umständen garnicht erreicht werden. So ist z. B. ein Synthesizer mit instabilen Oszillatoren musikalisch wertlos. Auch ungeeignetes Lötzinn kann fatale Folgen haben. In vielen Warenhäusern findet man sogenanntes "Bastlerlot", das wegen der Zusammensetzung von Lot und Flußmittel für Anwendungen in der Elektronik völlig unbrauchbar ist. Man erkennt es an der mattgrauen Farbe (hoher Bleigehalt!). Beim Löten verdampft das Flußmittel "explosionsartig" und verteilt feine Löttröpfchen (Spritzer) rund um die Lötstelle. Gut geeignetes Lötzinn hat einen Zinngehalt von 60% (Bezeichnung: 60% Sn oder SN 60 Pb) und entspricht den Anforderungen von DIN 1707 (Lot) und DIN 8511/8516 (Flußmittelseele). Andererseits ist es nicht sonderlich schwierig, den FORMANT erfolgreich nachzubauen, wenn man die Hinweise zum Nachbau und zu den Bauelementen

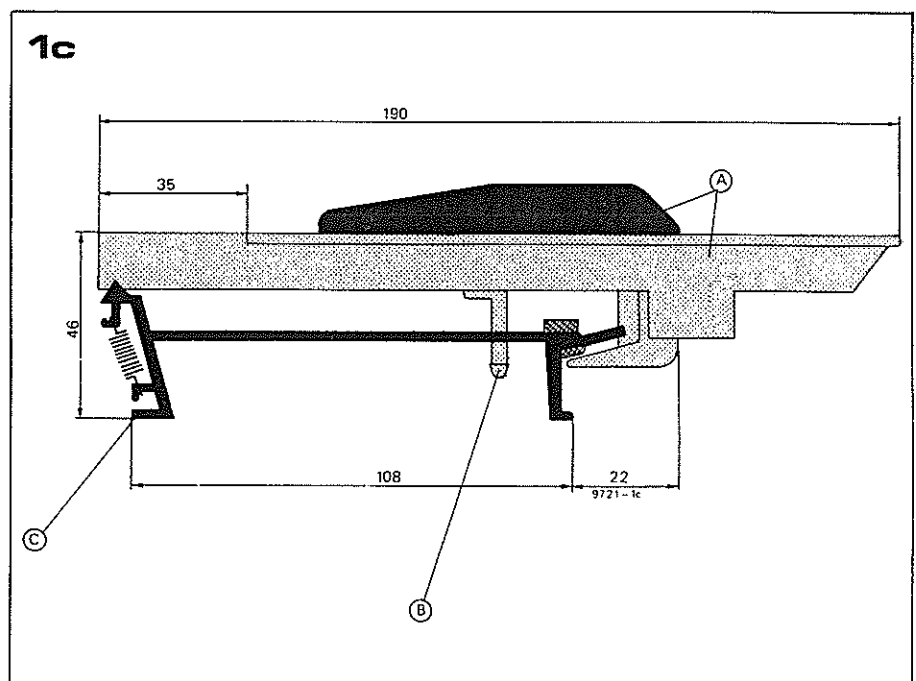
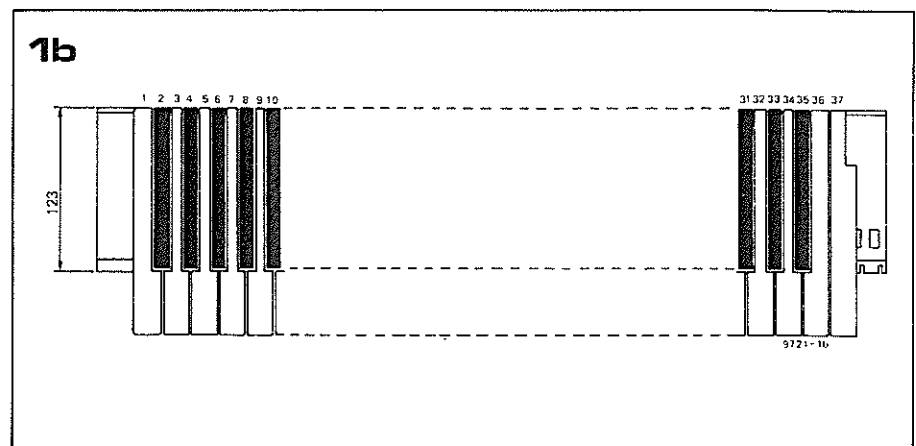
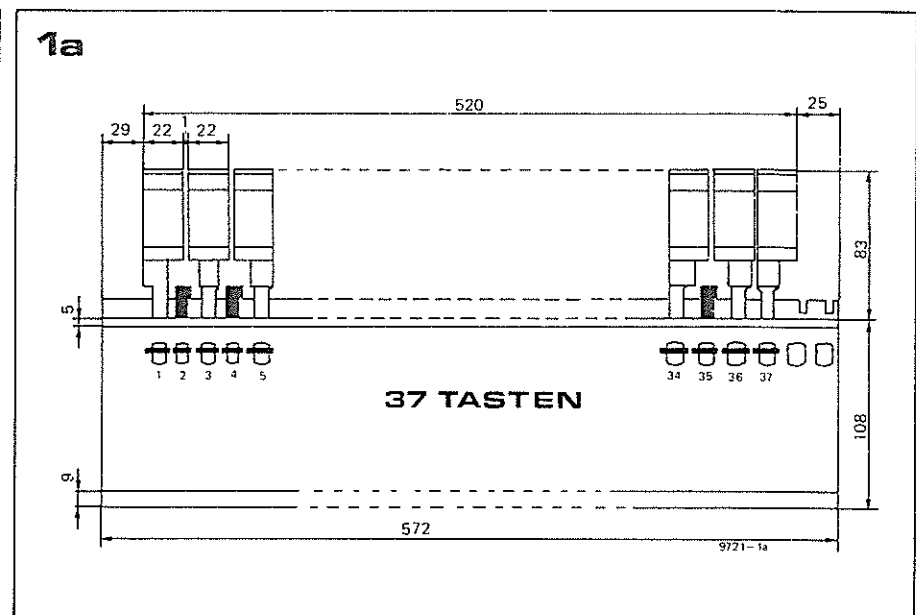


Bild 1. Maßzeichnung der 3-oktavigen SKA-Tastatur:

- a. Ansicht von unten
- b. Draufsicht
- c. Seitenansicht. Bezeichnung der Teile:
  - Ⓐ – Tasten
  - Ⓑ – Betätigungshebel für Kontakte
  - Ⓒ – Aluchassis

beachtet und beim Aufbau die nötige Sorgfalt walten läßt.

Trotz der Verwendung hochwertiger Bauelemente sind die FORMANT-Schaltungen ausgesprochen "ökonomisch", wie der Vergleich der Materialkosten mit den Preisen gleichwertiger, industriell gefertigter Synthesizer zeigt.

Durch den Selbstbau vom FORMANT kommt man für vergleichsweise wenig Geld zu einem Gerät, dessen musikalisch-klanglichen Seiten ebenso interessant sind wie die technisch-elektronischen Aspekte.

Der vollständige Synthesizer besteht aus zwei "Kästen", dem Modulgehäuse und dem Manualkasten. Beide Teile können getrennt transportiert oder aufbewahrt werden, zum Spielen verbindet man sie durch ein fünfadriges Kabel mit robusten Steckverbindungen.

Das folgende Kapitel beschreibt den Aufbau der Tastatur und den "elektronischen Inhalt" des Manualkastens.

### Tastatur

Beim FORMANT-Synthesizer wird eine Tastatur verwendet, die in ihrem Aufbau den Tastaturen von E-Orgeln ähnlich ist. Allerdings werden Anforderungen an die Tastatur gestellt, die nicht jede Orgeltastatur erfüllt. Die wichtigste Anforderung an die Tastatur ist, daß sie Doppelkontakte enthält, die so gleichzeitig wie möglich öffnen und schließen. Diese Forderung wird von vielen ansonsten durchaus brauchbaren Orgeltastaturen nicht erfüllt.

Bewährt hat sich bei der Entwicklung des FORMANT-Synthesizers eine 3-oktavige SKA-Tastatur mit Kimber-Allen-Golddrahtkontakten. Bei Anschaffung einer Tastatur für den Synthesizer wird dringend empfohlen, dieser Ausführung den Vorzug zu geben, zumal sie auch preislich durchaus interessant ist.

Die genannte Tastatur wird sowohl von einer englischen Firma wie auch von einigen deutschen Firmen vertrieben.

Sollte es dennoch Beschaffungsschwierigkeiten geben, so ist die Elektor-Redaktion gerne bereit, Adressen und Lieferbedingungen von Bezugsquellen auf Anfrage mitzuteilen.

Tastatur und Kontaktsätze werden unmontiert geliefert. Die Tastatur ist auf einem Alu-Chassis aufgebaut, die Abmessungen zeigt Bild 1.

Die erste Montageaufgabe ist die Befestigung der Kontaktblöcke auf der Unterseite der Tastatur. Jeder Taste ist ein Kontaktblock mit je zwei Kontakten zugeordnet. Die Kontakte werden durch Kunststoffhebel von den Tasten betätigt. Wichtig ist nun die richtige Anordnung der Kontaktblöcke auf dem Metallchassis der Tastatur in Bezug auf die Kunststoffhebel der Tasten. Dies wird durch die Maßzeichnungen in Bild 2 und durch die Fotos illustriert. Die Toleranz von  $\pm 3$  mm im Abstandsmaß bestimmt den Tastenweg bis zum Schließen des Kontakts, die genaue Plazierung der Kontakte ist "Geschmackssache" und hängt von den Spielgewohnheiten ab. Zuerst klebt man einen gut isolierenden Kunststoffstreifen im richtigen Abstand von den Betätigungshebeln der Tasten auf das Chassis und danach die Kontakte auf den Kunststoffstreifen.

Als Kleber eignet sich z.B. Stabilil oder UHU-Plus, die Kunststoffstreifen sind Acrylglaszuschnitte, man kann auch mehrere Kunststofflineale hintereinander verwenden. Nicht vergessen sollte man das Aufräumen der Oberflächen vor der Klebung. Die Stärke (Dicke) des Montagestreifens bestimmt den Abstand der Kontaktblöcke (Montagehöhe) vom Chassis. Der Abstand ist richtig, wenn die Betäti-

gungshebel der Tasten die geraden (unteren) Kontaktdrähte der Kontaktblöcke gerade eben berühren.

### Teilschaltungen des "Interface"

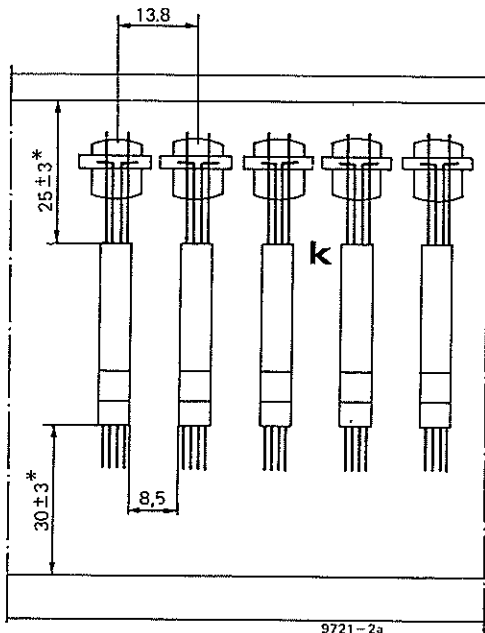
#### a. Tastaturschaltung

Das Prinzip der Tastaturschaltung wurde bereits im ersten Teil dieser Serie kurz erläutert.

Wichtigste Aufgabe der Tastatur ist es, eine tonhöhenbestimmende Steuerungsspannung zur Aussteuerung der spannungsgesteuerten Synthesizermodule zu liefern. Bei einer Aussteuerungscharakteristik von 1 V/Oktave ergibt sich für jeden Halbtonschritt ein konstanter Spannungsschritt von  $1/12$  V (1 Halbton =  $1/12$  Oktave). Diesen Spannungsschritt erzeugt in der Tastatur eine Reihenschaltung ("Widerstandsleiter") von gleichgroßen 1%-Widerständen. Der Widerstandsleiter erhält von einer OpAmp-Stromquelle einen konstanten Strom, der so eingestellt wird, daß an jedem Widerstand eine Spannung von  $1/12$  V abfällt.

Bild 3 zeigt die Schaltung der Steuerungsspannungserzeugung. Die Stromquellschaltung arbeitet mit "schwebender Last". Der Lastwiderstand (Widerstandsleiter) liegt bei dieser Schaltung im Gegenkopplungsweig des OpAmps. Der Spannungsabfall am Lastwiderstand muß daher auf einen "virtuellen" Massepunkt am invertierenden Eingang bezogen werden. Der OpAmp stellt seine Ausgangsspannung (bei Gegenkopplung) immer so ein, daß die Spannungsdifferenz an den Eingängen Null wird. Da der nichtinvertierende Eingang über  $3k3$  an Masse liegt, stellt sich am invertierenden Eingang ebenfalls O-Potential und damit "virtuell" Masse

2a



\* siehe Text

2b

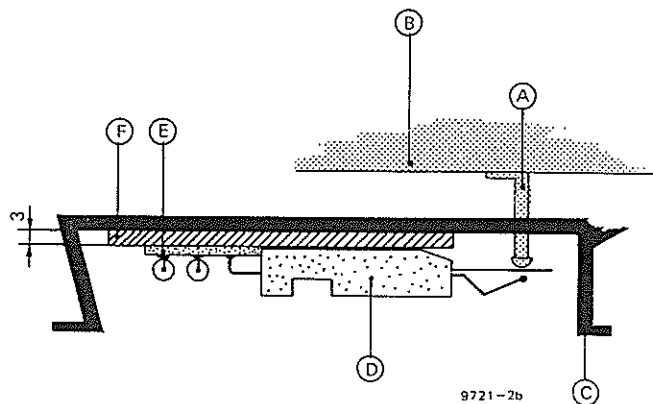


Bild 2. Anordnung der KA-Golddraht-Kontaktblöcke auf der Unterseite des Tastaturchassis.

a. Draufsicht. Die eingetragenen "Toleranzen" von ± 3 mm bestimmen den Tastenweg bis zum Schließen der Kontakte. Setzt man die Kontaktblöcke weiter nach vorne, so verkürzt sich der Tastenweg, bei größerem Abstand von den Betätigungshebeln wird auch der Tastenweg länger. Gezeichnet wurde die Anordnung der Kontaktblöcke für "mittleren" Tastenweg, die Kontaktpunkte der Golddrähte liegen genau über den Betätigungshebeln der Tasten.

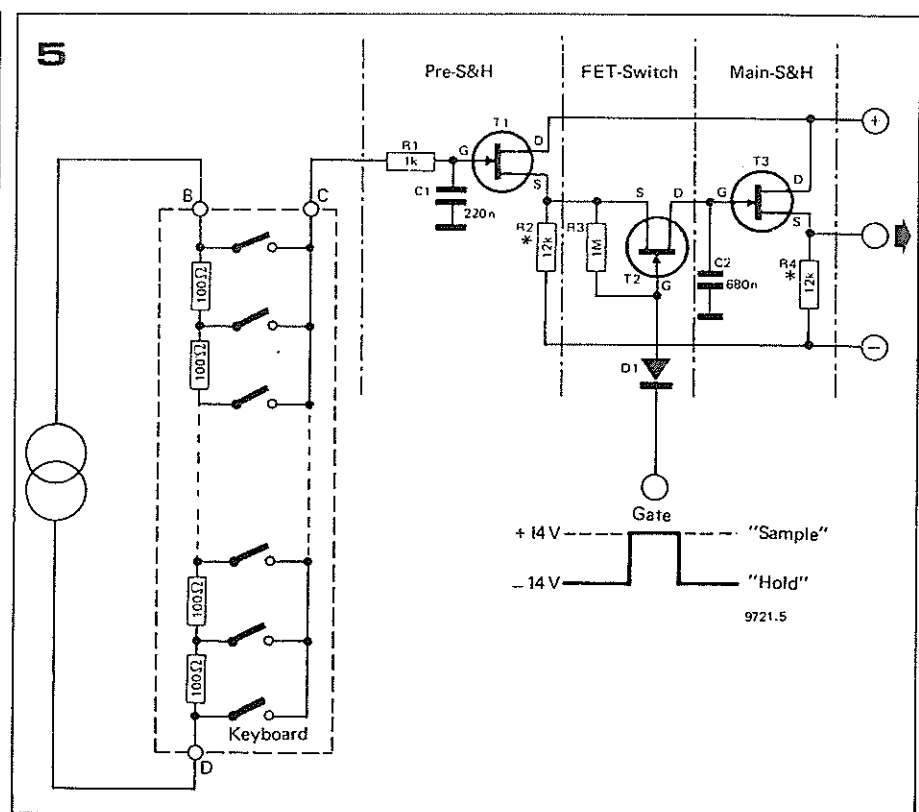
b. Seitenansicht der Tastatur mit montierten Kontaktblöcken und Tastaturplatine. Bezeichnung der Teile:

- Ⓐ - Betätigungshebel
- Ⓑ - Taste
- Ⓒ - Tastaturchassis
- Ⓓ - KA-Kontaktblock
- Ⓔ - Tastaturplatine mit Widerständen
- Ⓕ - Kunststoff-Montagestreifen, dient als Unterlage für Kontaktblöcke und Tastaturplatine

Bild 3. Teilschaltbild der Tastaturstromquelle im Interface.

Bild 4. Prinzip einer "Sample and Hold"-Schaltung.

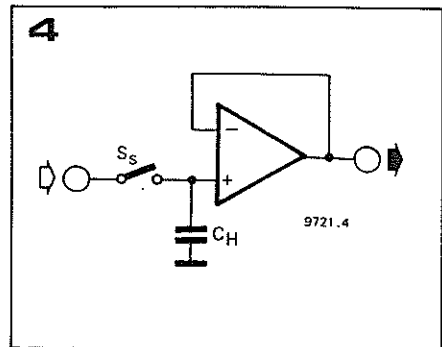
Bild 5. Schaltung des Sample & Hold-Teils der Interfaceplatine.



ein. Die Eingangsströme des OpAmps sind vernachlässigbar klein, bezogen auf den invertierenden Eingang bedeutet dies, daß durch die 100 Ω-Widerstände und  $R_{ref} (= R_{23} + P_6)$  der gleiche Strom fließt. Dieser Strom ist durch  $R_{ref}$  einstellbar:

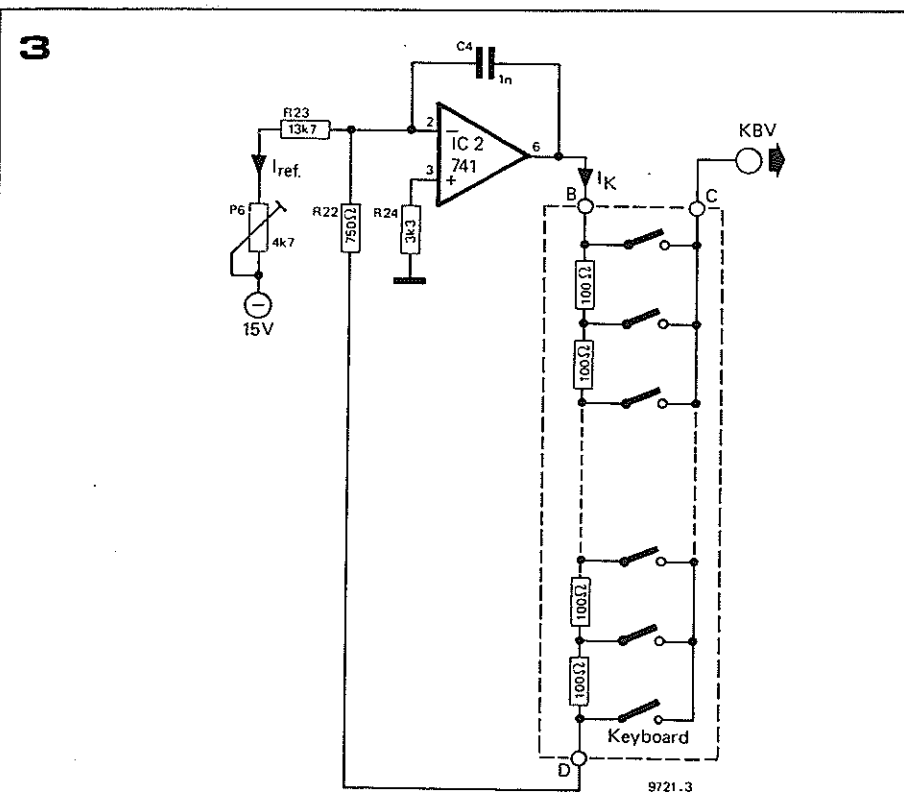
$$I_{ref} = I_K = \frac{U_{ref}}{R_{ref}} = \frac{-15 V}{R_{23} + P_6}$$

Als Teilerwiderstände der Tastatur kommen 1% Metallfilmwiderstände 100 Ω zum Einsatz, der "Nennspan-



nungsabfall" an jedem Widerstand beträgt 83,3 mV. Die von den Tastaturkontakten abgegriffenen Teilspannungen werden von weiteren Schaltungsgruppen im Interface (Tastaturelektronik) "verarbeitet". Da diese eine Spannungsverstärkung kleiner eins haben, muß der tatsächliche Spannungsabfall je Tastaturwiderstand etwas höher und (zum Ausgleich von Verstärkungstoleranzen) einstellbar sein. Dazu dient der Trimmer 4k7, der eine Einstellung des Konstantstromes im Bereich von 0,81 bis 1,1 mA ermöglicht, was einem Spannungsabfall von 81 bis 110 mV je 100-Ω-Widerstand entspricht.

Bei der monofonen Struktur des Synthesizers ist es wichtig, daß beim gleichzeitigen "Drücken" mehrerer Tasten nur eine, definierte Tonhöhe bzw. Steuerspannung erzeugt wird. Das ist der "eigentliche" Grund für die Verwendung einer Stromquelle (anstelle einer Präzisionsspannungsquelle) zur Speisung der Teilerkette. Da der Strom durch den Teiler konstant ist, spielt es keine Rolle, wieviel Widerstände durch das gleichzeitige Schließen mehrerer Tastaturkontakte kurzgeschlossen werden. Die Ausgangsspannung der



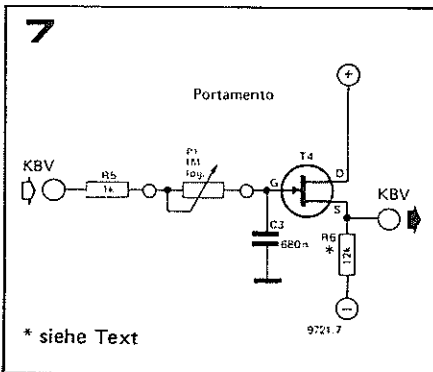
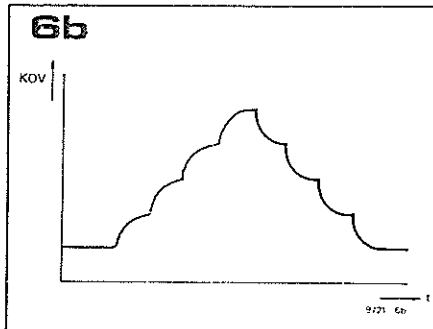
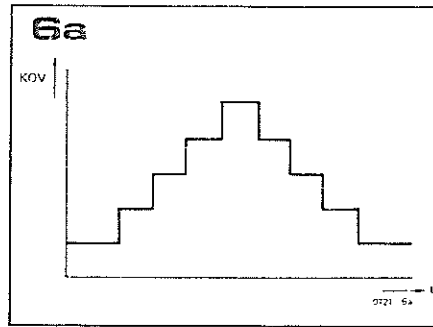
Sammelschiene (KBV = Keyboard Voltage) ist immer gleich der Spannung am nicht kurzgeschlossenen Teil der Widerstandskette. Das bedeutet musikalisch, daß immer der tiefste Ton der gleichzeitig gedrückten Tasten entsteht.

**b. Sample and Hold**

Im Vorstehenden wurde bereits erwähnt, daß die Ausgangsspannung der Tastatur den Synthesizer nicht direkt steuert, sondern erst andere Schaltungen durchläuft. Eine direkte Verwendung der Tastaturspannung ist nicht möglich, weil die Tastatur nach dem Loslassen einer Taste keine Spannung mehr liefert. Die Töne könnten also nicht weiter- oder ausklingen.

Ein einfacher "Analogspeicher" im Interface hält den Spannungswert fest, der zuletzt am Tastaturausgang anlag. Dieser Speicher muß in der Lage sein, die einmal angelegte Spannung sehr genau über einen längeren Zeitraum festzuhalten, da sich jede Spannungsänderung sofort als Tonhöhenchwankung bemerkbar macht.

Den im Interface enthaltenen Analogspeicher bezeichnet man wegen seiner beiden Funktionszustände als Sample and Hold (S&H), frei übersetzt: Stichprobe entnehmen und festhalten. Eine S&H-Schaltung besteht in der Regel aus einem elektronischen Schalter, z.B. in Form eines FETs, einem Speicherkondensator und einem (sehr hochohmigen) Spannungsfollower, z.B. einem FET-OpAmp. Bild 4 zeigt das Prinzipschaltbild eines S&H. Die Eigenschaften dieser Schaltung, insbesondere die max. Speicherzeit und die Stabilität, werden durch die Leckströme der drei Schaltungsbestandteile (Schalter, Kondensator, Spannungsfollower) bestimmt. Grundsätzlich gilt: je niedriger die Leckströme, desto länger ist die "brauchbare" Speicherzeit. Das Interface verwendet für eine möglichst geringe Drift der KBV ein "doppeltes" S&H: ein Vor-S&H und ein Haupt-S&H (Bild 5). Im Vor-S&H fungieren die Tastenkontakte als Sampleschalter. Der Leck-



strom der geöffneten Tastenkontakte ist niedrig, so daß am Ausgang des Vor-S&H (Source von T1) schon eine relativ driftarme "gespeicherte" Steuerspannung anliegt. Bei hoher Luftfeuchtigkeit kann der Leckstrom der Tastenkontakte dennoch zu groß werden, aus diesem Grund folgt dem Vor-S&H ein FET-Schalter (T2), der das Haupt-S&H von den Tastaturkontakten trennt. Der Gate-Impuls steuert über die Diode D1

Bild 6.

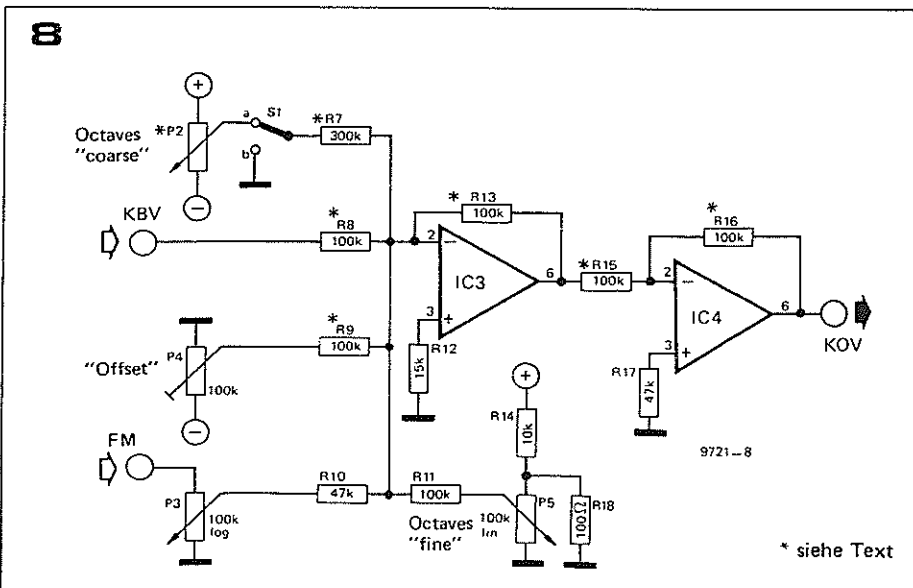
- a – Verlauf der Tastaturspannung ohne "Portamento".
- b – Gleicher Spannungsverlauf mit "Portamento".

Bild 7. Schaltbild der Portamentostufe.

Bild 8. Nichtinvertierende Addierstufe am Ausgang des Interface. Dieser Schaltungsteil enthält eine "Offset"-Korrektur, eine abschaltbare Hauptstimmung (P2), eine Feinstimmung (P5) und einen FM-Eingang mit Abschwächer (P3).

Bild 9. Gate-Schaltung zur Ableitung des Gate-Signals aus der Tastatur. Die "Eingangsinformation" liefern die "zweiten" Kontakte der Doppelkontaktblöcke.

Bild 10. Gesamtschaltung der Interface-Platine. Für die mit einem "siehe Text-Sternchen" bezeichneten Widerstände, Trimmer und Potentiometer sind Metallfilm- bzw. Cermet-Bauelemente zu verwenden. Eine Ausnahme bilden nur die Sourcewiderstände der FETs (R2, R4, R6), bei denen es sich um "normale" Kohleschicht-5%-Widerstände handelt, deren Werte wegen der FET-Toleranzen in einer einfachen Testschaltung ermittelt werden (Beschreibung folgt in Teil 3).



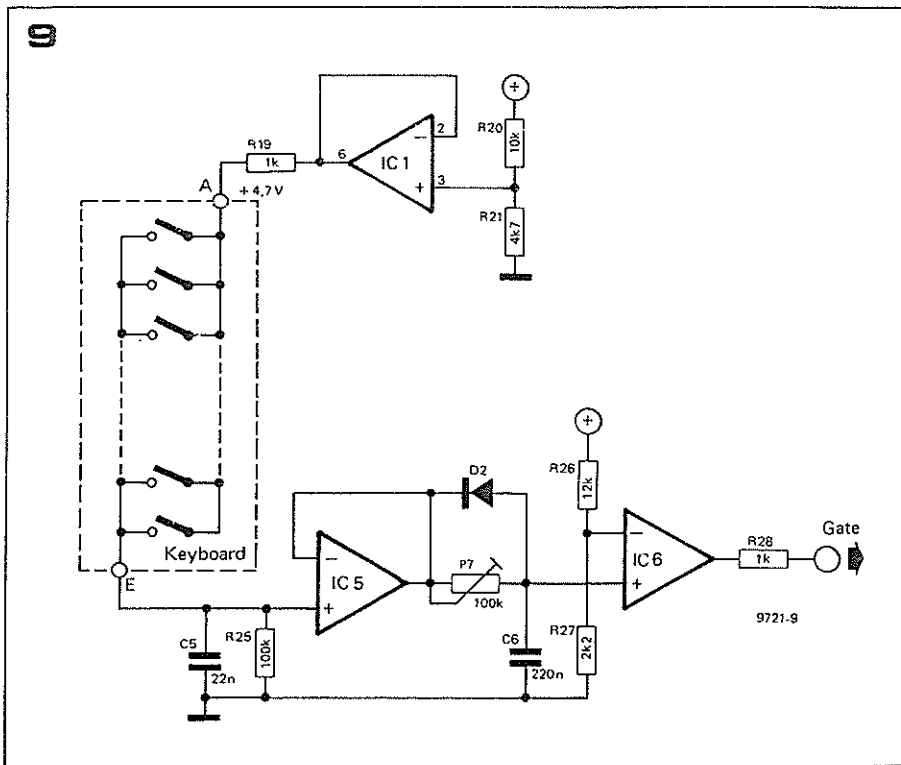
das Gate des Schalt-FETs. Im "Ruhezustand" liegt an dieser Diode eine Spannung von ca. -14 V, diese negative Gate-Spannung sorgt für eine fast vollständige Abschneidung des DS-Kanals, der FET-Schalter ist geöffnet. Sobald eine Taste betätigt wird, gelangt ein positiver Gateimpuls von ca. +14 V an die Diode. Die Diode sperrt, der Drain-Sourcewiderstand des FETs nimmt nun wegen der fehlenden negativen Gate-Source-Spannung ( $U_{GS} = 0$ ) einen sehr niedrigen Wert in der Größenordnung von einigen hundert Ohm an. Das bedeutet: Der FET-Schalter ist geschlossen und gibt die Tastaturspannung KBV an den Speicherkondensator des Haupt-S&H (T3) weiter.

Durch die Koppelung des Schaltzeitpunkts an den Gateimpuls, der als Triggerkriterium alle Zeitabläufe im Synthesizer steuert, ist auch die zeitlich richtige Weitergabe der Steuerspannung sichergestellt.

Der Leckstrom des FET-Schalters ist sehr gering, da durch das Vor-S&H die Sourcespannung des FETs auf ungefähr gleichem Niveau gehalten wird wie die Drainspannung.

Für die Verwendung von N-Kanal-FET-OpAmps spricht die Einfachheit der Lösung, zumal auch keine wesentlichen Nachteile in Kauf zu nehmen sind.





**c. Portamento**

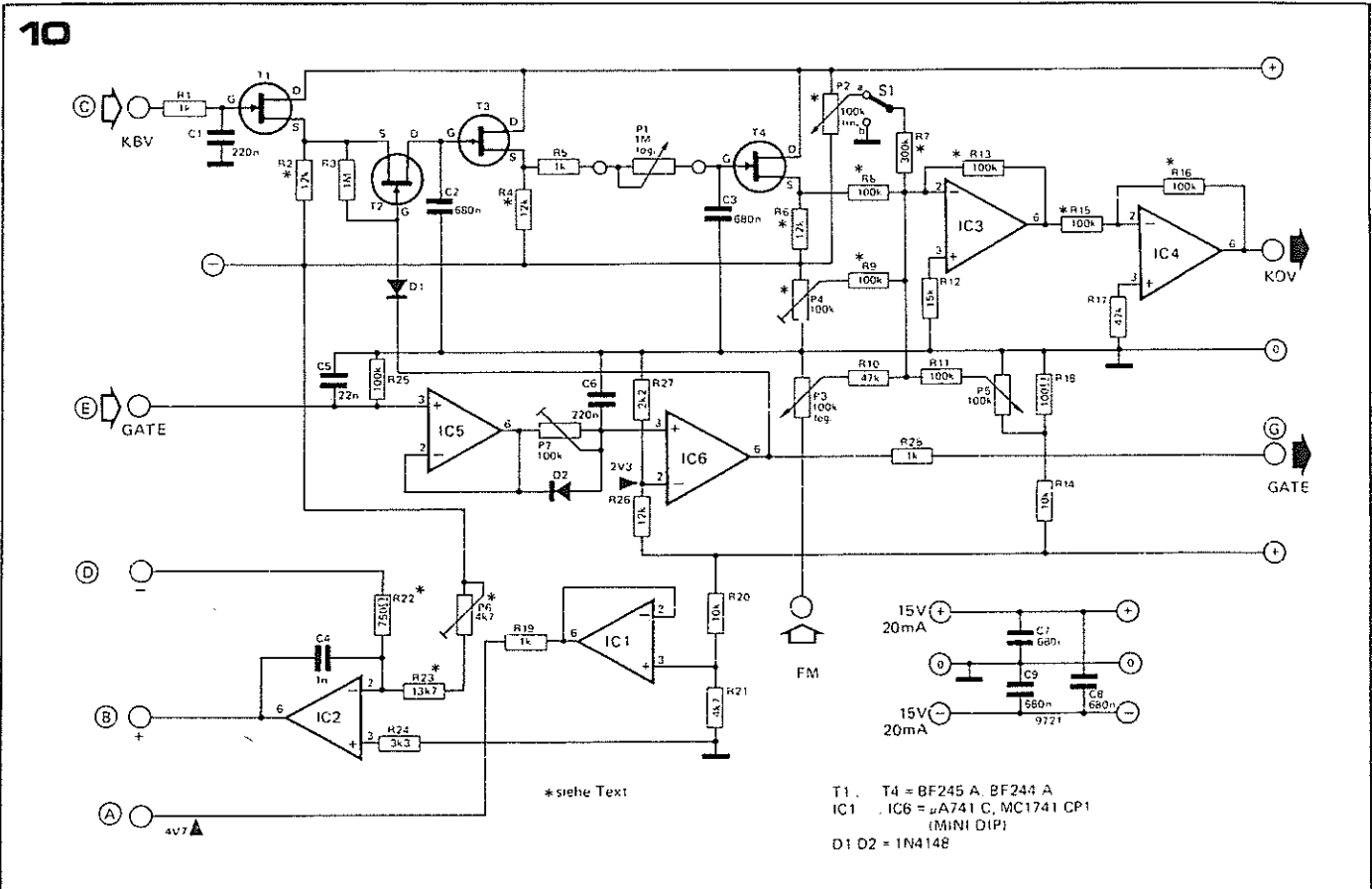
Beim Spielen auf der Tastatur ändert sich ihre Ausgangsspannung sprunghaft. Beim Auf- und Abwärtsspielen von Tonleitern würde z.B. auf dem Bildschirm eines Speicheroszillografen ein treppenförmiger Verlauf der Steuerspannung wie in Bild 6a entstehen. Diesem Spannungsverlauf entspricht eine ebenso sprunghafte Änderung der Tonhöhe ähnlich wie etwa bei einer E-Orgel. Eine

ganze Reihe von Musikinstrumenten sind aber durch kontinuierliche Änderungen der Tonhöhe gekennzeichnet, man denke nur z.B. an die Zugposaune; in der Musik bezeichnet man das als "Portamento". Beim spannungsgesteuerten Synthesizer läßt sich das Portamentenspiel ganz einfach durch Integration der Steuerspannungsänderungen mit Hilfe eines RC-Gliedes realisieren. Die "rechteckige" Kurve der Steuer-

spannung erhält so am Ausgang der Portamentostufe einen gleitenden, "weichen" Verlauf entsprechend Bild 6b. Die Portamentostufe des Interface ist in Bild 7 dargestellt. Das Potentiometer P1 ermöglicht die Einstellung der Zeitkonstante des RC-Gliedes und damit der Gleitgeschwindigkeit von einer Tonhöhe zur nächsten. Als Ausgangspufferstufe dient wiederum ein FET-Sourcefolger.

**d. Gesamtstimmung, Frequenzmodulation und Offsetabgleich**

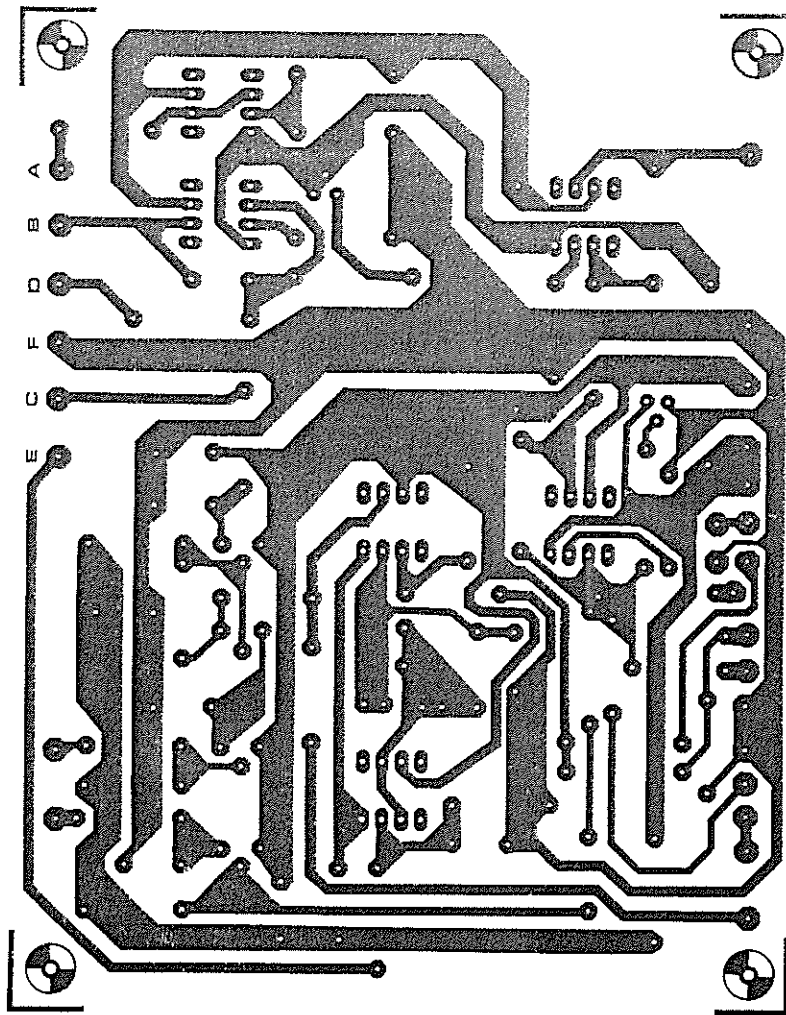
FETs als Sourcefolger weichen in ihren Eigenschaften in zwei wesentlichen Punkten vom "idealen" Spannungsfolger ab: Zwischen Eingang (Gate) und Ausgang (Source) tritt die für den jeweiligen Arbeitspunkt erforderliche  $U_{GS}$  als unerwünschte positive "Offsetspannung" auf, außerdem ist die Spannungsverstärkung etwas kleiner als 1, d.h., die Änderung der Ausgangsspannung ist immer etwas kleiner als die Eingangsspannungsänderung. Die von der Tastatur erzeugte Steuerspannung KBV durchläuft im Interface insgesamt drei Sourcefolgerstufen, deren nichtideale Eigenschaften sich natürlich summieren. In der Interfaceschaltung wurden daher zwei Korrekturmöglichkeiten vorgesehen. Die Spannungsverluste der Source-Folger werden durch die bereits besprochene Einstellung des Tastaturteilerstroms kompensiert. Der Spannungsabfall pro Tastaturwiderstand wird so weit erhöht, bis man am Steuerspannungsausgang des Interface (KOV = Keyboard Output Voltage) die exakte Charakteristik von 1 V/Oktave erhält.



\* siehe Text

T1, T4 = BF245 A, BF244 A  
 IC1, IC6 =  $\mu$ A741 C, MC1741 CP1 (MINI DIP)  
 D1 D2 = 1N4148

11



## Stückliste zu Bild 10.

## Widerstände:

R1,R5,R19,R28 = 1 k  
 R2,R4,R6 = 12 k (Richtwert,  
 siehe Text)

R3 = 1 M  
 R7 = 300 k (Metallfilm, 1%)  
 R8,R9,R13,R15,  
 R16 = 100 k (Metallfilm, 1%)  
 R10,R17 = 47 k  
 R11,R25 = 100 k  
 R12 = 15 k  
 R14,R20 = 10 k  
 R18 = 100  $\Omega$   
 R21 = 4k7  
 R22 = 750  $\Omega$  (Metallfilm, 1%)  
 R23 = 13k7 (Metallfilm, 1%)  
 R24 = 3k3  
 R26 = 12 k  
 R27 = 2k2

## Trimpotentiometer:

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

## Potentiometer:

P1 = 1 M log.  
 P2 = 100 k lin. (Cermet)  
 P3 = 100 k log.  
 P5 = 100 k lin.

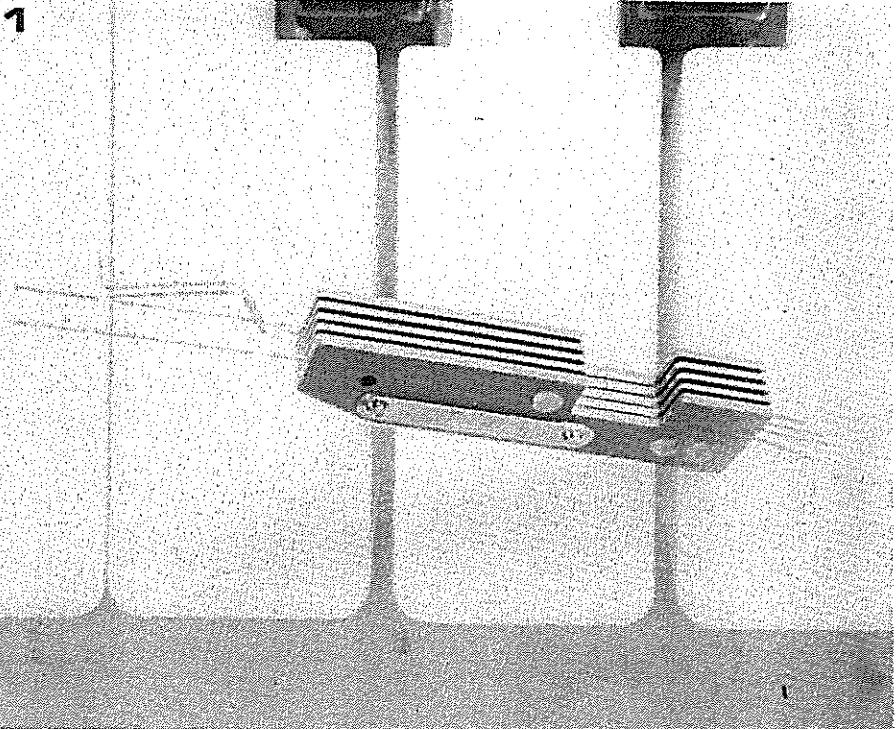


Bild 11. Layout, Bestückungsplan und Stückliste der Interface-Platine.

Foto 1. KA-Golddraht-Doppelkontaktblock.

Foto 2. Die Betätigung der Kontakte erfolgt durch Druck der mit den Tasten verbundenen Kunststoffhebel auf die Kontaktdrähte.

Foto 3. Gesamtansicht der fertig montierten Tastatur. Die SKA-Tastatur wird bereits fertig montiert geliefert. Man braucht sich also nicht mit Einzelteilen wie Tasten, Zugfedern und Splinten abzumühen. Die einzige Montagearbeit besteht darin, die KA-Doppelkontaktblöcke (wie beschrieben) auf dem Tastaturchassis festzukleben.

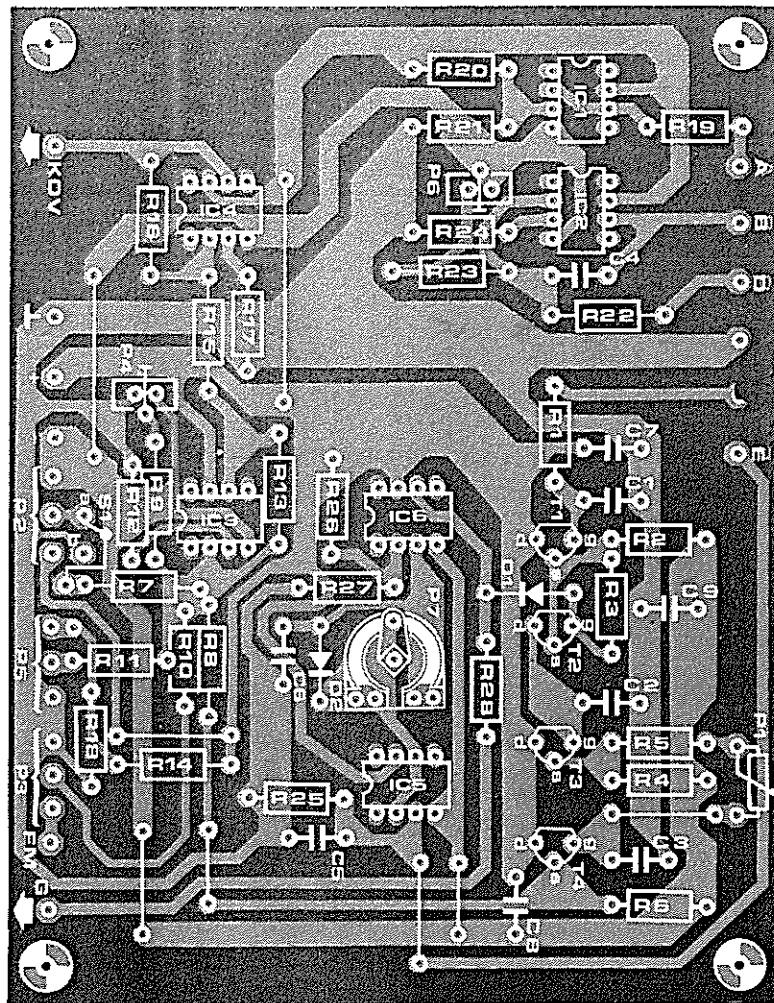
11

Kondensatoren:  
 C1, C6 = 220 n  
 C2, C3, C7, C8, C9 = 680 n  
 C4 = 1 n  
 C5 = 22 n

leckstromfrei und  
 verlustarm, z.B.  
 Siemens MKM,  
 Wima FKS

Halbleiter:  
 T1 ... T4 = BF245A, BF244A  
 IC1 ... IC6 =  $\mu$ A 741 C, MC 1741CP1  
 (Mini-Dip)  
 D1 = 1N4148

Bauelementehinweis:  
 Alle Kohleschichtwiderstände max. 5%  
 Toleranz; Trimmer bevorzugt gekapselt.  
 Alle Metallfilmwiderstände max.  
 1% Toleranz; TK max. 100 ppm.  
 Cermet-Trimmer: Miniaturausführung,  
 1 Umdrehung,  $\phi$  ca. 7 mm, Einstellung  
 von oben.



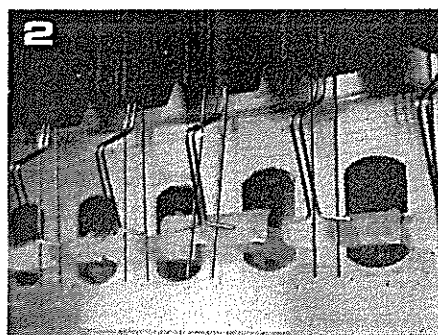
Zur Kompensation der "Offsetspannungen" folgt auf die Portamentstufe eine Korrekturschaltung, die die Summe der "Offsetspannungen" mit umgekehrtem Vorzeichen zur Steuerspannung hinzuaddiert. Diese Korrektur erfolgt in einem nichtinvertierenden Addierer (Bild 8), die "Kompensationsspannung" ist mit P4 einstellbar. Diese Stufe hat außerdem noch zwei andere Aufgaben: Die Gesamtstimmung des Synthesizers und die zentrale Frequenzmodulation. Addiert man zur Steuerspannung eine variable Gleichspannung, so läßt sich die Gesamtstimmung des Synthesizers über den Hörbereich verschieben. Diese Gleichspannung liefert P2, der Einstellbereich umfaßt  $\pm 5$  Oktaven. Zusätzlich läßt sich mit einem weiteren Potentiometer (P5) als "Feinstimmung" in einem eingegengten Bereich von ca.  $\pm$  einem Halbton die Gesamtstimmung einstellen. Dies erleichtert die genaue Stimmung des Synthesizers auf andere Instrumente.

Ein weiterer Addierereingang wird zur zentralen Frequenzmodulation der KOV benutzt, eine an diesem Eingang

anliegende Modulationsspannung (z.B. ein LFO-Signal) addiert sich zur Tonhöhen-spannung (KOV) wodurch ein gemeinsames Vibrato aller VCOs entsteht. Die Modulationstiefe (Hub) ist mit P3 über einen weiten Bereich einstellbar, bei voll "aufgedrehtem" Eingang beträgt die Spannungs-/Frequenzcharakteristik etwa 0,5 V/Oktave.

#### e. Gate-Schaltung

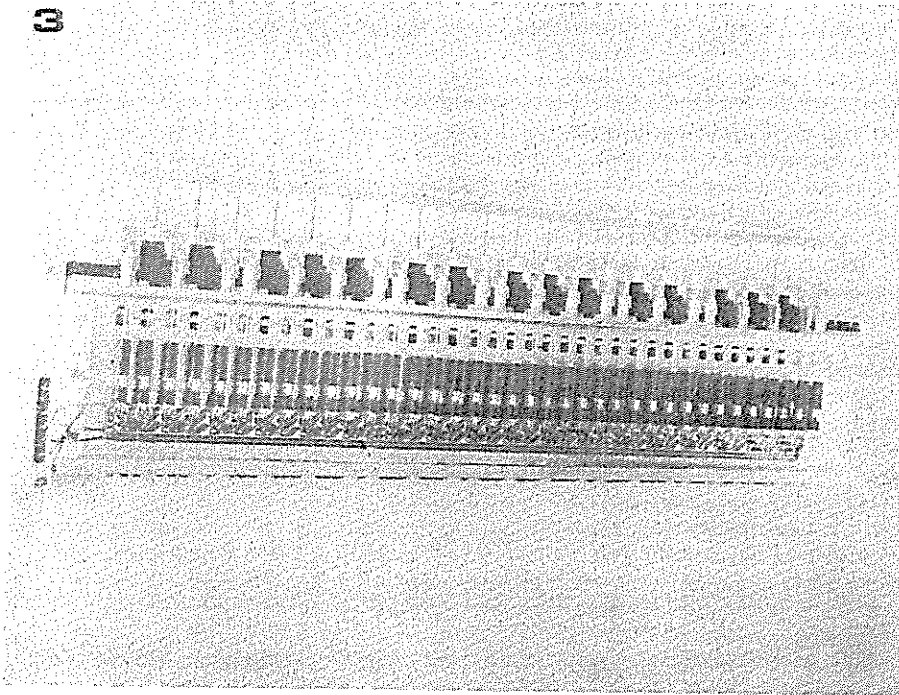
Der Verlauf der Steuerspannung am Ausgang des S&H läßt nicht erkennen, wann und wie lange eine Taste gedrückt



ist, weil das S&H die Steuerspannung nach dem Loslassen einer Taste speichert. Diese Information liefert der zweite Kontaktsatz der Tastatur. Zwei Sammelschienen verbinden die Anschlüsse dieser Kontakte. Die eine Schiene führt ständig eine Spannung von ca. +5 V, die für die Dauer der Betätigung einer Taste durch die "Gate"-Kontakte der Tastatur an die zweite Sammelschiene durchgeschaltet wird. Der am Ausgang der Sammelschiene anliegende Impuls steuert nach entsprechender "Aufbereitung" den FET-Schalter im S&H und triggert die Hüllkurvengeneratoren des Synthesizers. Bild 9 zeigt die Gate-Schaltung im Interface.

Zur Versorgung der 5 V-Sammelschiene dient eine Spannungsquelle, bestehend aus einem OpAmp-Spannungsfollower, der die am Spannungsteiler R20/R21 abgegriffene Spannung niederohmig an die Sammelschiene weitergibt. Auf die Ausgangssammelschiene der Gatekontakte folgt ebenfalls ein OpAmp-Spannungsfollower (IC5), das RC-Glied an seinem Eingang dient zur Unterdrückung des

3



Kontaktprellens. Auf den Spannungsfolger folgt eine Verzögerungsstufe, bestehend aus der einstellbaren Zeitkonstante P7/C6 und dem Komparator IC6. Die Verzögerung wird nur für die ansteigende Flanke des Gate-Impulses wirksam, bei der Rückflanke sorgt D2 für eine schnelle Entladung des Kondensators C6.

Diese Verzögerungsstufe gleicht zeitliche Unterschiede beim Schließen der Doppelkontakte und die für die Umladung des Speicherkondensators im Vor-S&H erforderliche Zeit aus. Ohne diese Verzögerung wäre nicht auszuschließen, daß der "neue Ton" bereits anklingt, bevor die VCOs die vorgesehene Tonhöhe erreicht haben, was musikalisch sehr stören würde.

Alle besprochenen Teilschaltungen des Interface sind auf der Interfaceplatine (Bild 11) untergebracht. Bild 10 zeigt die Gesamtschaltung dieser Platine.

#### Literatur:

Hansjürgen Vahldiek: *Operationsverstärker*  
Aus der Reihe "Telekosmos Monographien zur Automation"  
Telekosmos-Verlag  
Franckh'sche Verlagshandlung Stuttgart

Fritz Bergtold: *Umgang mit Operationsverstärkern*  
*Schaltungen mit Operationsverstärkern*  
Band I und Band II  
R. Oldenbourg Verlag München Wien

M. Zirpel: *Operationsverstärker* Aus der Reihe "Das kleine Praktikum" Franzis Verlag München

Foto 3. Gesamtansicht der fertig montierten Tastatur.

## Interface und Netzteil

### Teil 3

Der Elektor-Musiksynthesizer nimmt langsam Gestalt an: der Manuskasten wird "fertig", das Netzteil kann gebaut werden, die Beschreibung des "mechanischen Konzepts" enthält genügend Vorschläge, um ein Modulgehäuse vorbereiten zu können.

### Interface-Empfänger

Die Schaltung des Interface-Empfängers (Bild 1) beinhaltet einen Spannungsfolger für die Tastaturspannung und eine zweite Verzögerung der Gate-Leitung (die erste befindet sich auf der Interface-Platine) mit Anzeige-LED für den Gateimpuls. Die Notwendigkeit dieser kleinen Empfängerplatine im Synthesizer ergab sich im Laufe der Entwicklung. Bei längeren Zuleitungen zum Manuskasten hätte der durch die impuls-

artige Stromaufnahme der GATE-Anzeige verursachte Spannungsabfall an den Versorgungsleitungen zu einer "Modulation" der Tastaturspannung führen können. Durch die getrennte Unterbringung dieses Schaltungsteils auf der Empfänger-Platine entfällt dieses Problem. Der Spannungsfolger IC7 auf dieser Platine sorgt dafür, daß auch längere Zuleitungen zum Manuskasten die Genauigkeit der Tonhöhen-spannung nicht beeinflussen.

Am Ausgang der Gate-Verzögerung befindet sich ein Spannungsteiler, dessen variable Komponente P9 eine Einstellung der Amplitude des GATE-Impulses auf fünf Volt ermöglicht. Die Diode D5 "klemmt" die negative Ausgangsspannung des Opamps auf Massepotential.

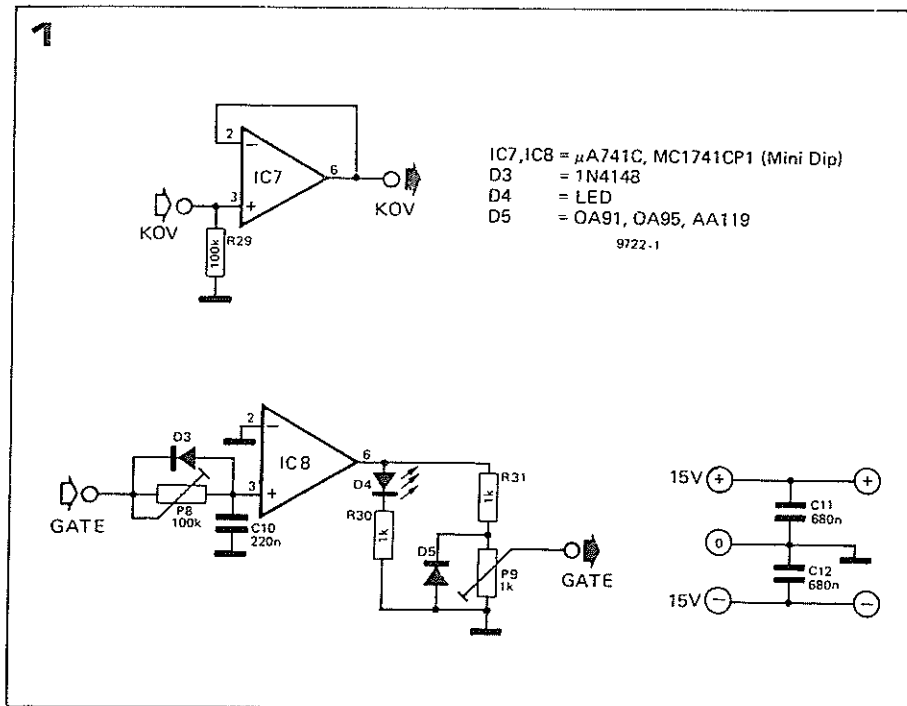
Die beiden Ausgänge der Empfängerplatine (Bild 2) sind großflächig als Sternpunkte zur Verdrahtung mit den GATE- und KOV-Eingängen der Synthesizer-Module ausgeführt.

Es sei bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß man die LED D4 nicht auf die Interfaceplatine lötet, sondern als Gate-Anzeige auf die COM-Frontplatte montiert (Teil 10). Die notwendige Änderung ist leicht durchzuführen: Der Widerstand R30 der Interfaceplatine wird nicht entsprechend dem Platineaufdruck, sondern anstelle von D4 eingelötet. Der dann "freigewordene" Anschluß von R30 (neben dem Gate-Ausgang) ist der "neue" Ausgang Gate-LED und wird entsprechend dem Gesamtverdrahtungsplan mit dem Gate-Eingang der COM-Platine verbunden.

### Tastaturplatine

Wie bereits im Kapitel "Tastatur-schaltung" beschrieben wurde, besteht die eigentliche Tastaturschaltung aus einer Widerstandskette, einer der Anzahl der Tasten entsprechenden Zahl von Doppelkontakten sowie aus Sammelschienen für Tastaturspannung und "Gate"-Impuls. Diese "Schaltung" (Bild 3) ist getrennt von der Interfaceplatine auf den Tastaturplatinen untergebracht, um die Verdrahtung der Kontaktanschlüsse so einfach wie möglich zu gestalten.

Da die Platinenlänge aus herstellungstechnischen Gründen begrenzt ist, wurde die Tastaturplatine (Bild 4) für eine Oktave der Tastatur konzipiert. Eine Platine verbindet 12 Kontaktsätze mit den zugehörigen Teilerwiderständen und Sammelschienen. Die Bestückung der Platine mit den Teilerwiderständen erfolgt auf der Kupferseite, um die Platine einfach durch Aufkleben auf dem SKA-Chassis montieren zu können. Wie die Fotos 1 und 2 zeigen, liegen Platinenanschlüsse und Kontaktsätze genau gegenüber, so daß man die Kontaktanschlüsse direkt mit der Tastaturplatine verlöten kann. Die Anordnung der seitlichen Platinenanschlüsse erlaubt es, eine dem Oktav-



umfang der Tastatur entsprechende Anzahl von Tastaturplatinen aneinanderreihen. Der so entstehende "Tastaturstrip" wird am einen Ende durch kurze Drahtstücke mit den Tastaturanschlüssen der Interface-Platine verbunden, das andere Ende mit einer Drahtbrücke aus isoliertem Schaltdraht abgeschlossen (im Platinaufdruck bei R12 eingezeichnet).

**Bauelementeauswahl und Platinaufbau**

Grundsätzlich gilt das bereits in der Einleitung zum Teil 2 Gesagte für alle im Synthesizer verwendeten Bauelemente. Es muß nochmals nachdrücklich gesagt werden, daß die in den Stücklisten angegebenen Metallfilmwiderstände, Cermet-Trimmer und -Potentiometer unter *keinen Umständen* durch Kohleschichtbauelemente ersetzt

werden können. Besondere Aufmerksamkeit gilt auch den verwendeten Halbleitern. Bei integrierten Schaltungen sollten Herkunft (Hersteller) und Typenbezeichnung aus dem Aufdruck zweifelsfrei zu erkennen sein, bei fast allen ICs bekannter Hersteller ist das der Fall. Als Beispiele werden in den Stücklisten für den Operationsverstärker 741 die "genauen" Typenbezeichnungen zweier bekannter Hersteller (Fairchild und Motorola) angegeben. Eine Überprüfung in einer kleinen Testschaltung ist nur bei den FETs T1, T2 und T3 erforderlich. Zwar sind alle Exemplare des Typs BF245A bzw. BF244A für das Interface geeignet, trotzdem ist innerhalb des vom Hersteller angegebenen  $I_{DSS}$  und  $U_p$ -Toleranzfeldes noch eine Anpassung des Sourcewiderstands auf das jeweilige Exemplar erforderlich. In der Praxis

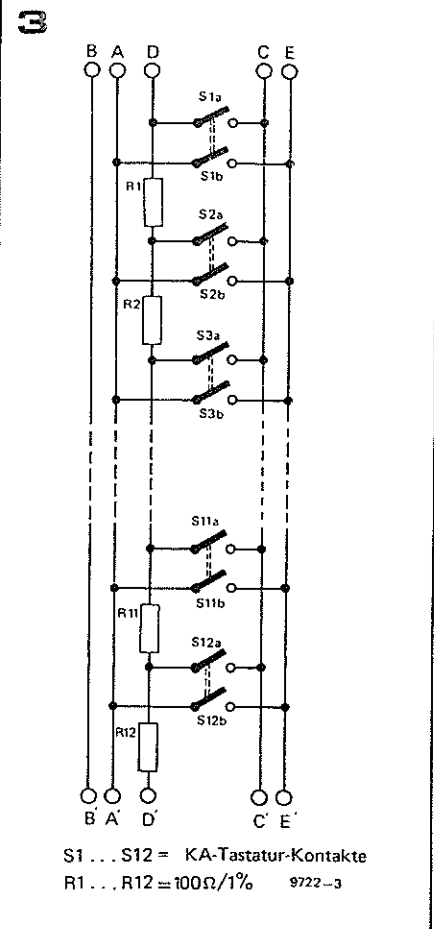
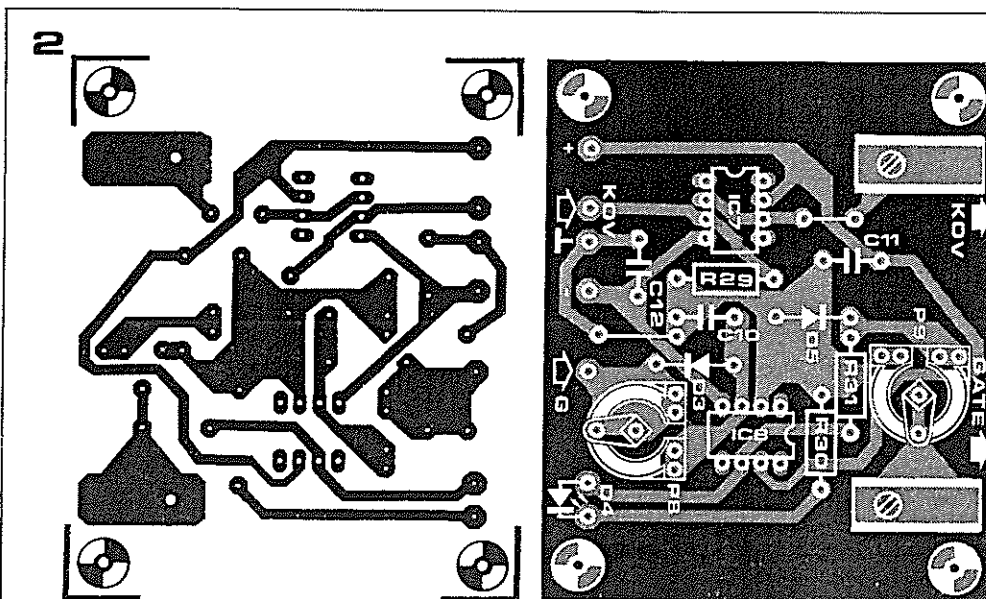


Bild 1. Schaltung der Interface-Empfängerplatine

Bild 2. Layout, Bestückungsplan und Stückliste der Empfänger-Platine.

Bild 3. "Schaltplan" und "Stückliste" der Tastaturplatine.



**Stückliste zu Bild 1**

Widerstände:  
R29 = 100 k  
R30, R31 = 1 k

Trimpotentiometer:  
P8 = 100 k  
P9 = 1 k

Kondensatoren:  
C10 = 220 n  
C11, C12 = 680 n

Halbleiter:  
IC7, IC8 = μA 741 C, MC 1741 CP1 (Mini DIP)  
D3 = 1N4148  
D4 = LED  
D5 = OA 91, OA 95, AA 119

ist das recht einfach. Eine Testschaltung mit Transistorfassung entsprechend Bild 5a ist schnell aufgebaut. Nach Einsetzen des "Prüflings" mißt man die Sourcespannung und ermittelt aus Tabelle I den entsprechenden Wert für den Sourcewiderstand. Mit diesem Sourcewiderstand wird der geprüfte FET als T1, T3 oder T4 in die Interfaceplatine eingesetzt.

Da jeder FET diesen Test über sich ergehen lassen muß, kann man bei dieser Gelegenheit (sicherheitshalber) auch gleich den Gateleckstrom "checken". Die Testschaltung erhält zu diesem Zweck zusätzlich den strichliert eingezeichneten Kondensator  $C_G$ , (leckstromarmer Folienkondensator z.B. WIMA FKJ). Die Sourcespannung verfolgt man mit Multimeter oder Oszilloskop. Zuerst wird der Kondensator durch kurzes "Antippen" des Gateanschlusses mit einer Meßleitung gegen Masse entladen. Die Sourcespannung wird nun unter 1,5 V liegen und danach langsam ansteigen. Diesen Anstieg verursacht der Gateleckstrom, der den Kondensator langsam auflädt; die Anstiegsgeschwindigkeit der Sourcespannung ist daher ein Maß für den Gateleckstrom. "Driftet" die Ausgangsspannung nach dem Entladen des Kondensators nicht auffallend schnell (z.B. 1 V pro Sekunde oder schneller), ist der Leckstrom ausreichend klein. Typisch ist eine Spannungsänderung von weniger als 1 V in 10 Sekunden.

Bei dieser Leckstromprüfung ist darauf zu achten, daß keine zusätzlichen Leckströme durch unsauberen Aufbau der Testschaltung sowie Brummspannungen (durch in der Nähe befindliche Trafos oder zu lange Leitungsverbindungen) das Meßergebnis verfälschen.

Die Testschaltung sollte man aufbewahren, da sie im Laufe der FORMANT-Serie noch gebraucht wird. Für T2 kommen sowohl BF244/245A, B und C als auch 2N3819 in Frage, wenn es sich um Markenprodukte handelt ist ein Test nicht erforderlich. Die Anschlußbezeichnung des Platinenaufdrucks gilt nur für BF245. BF244 und 2N3819 haben eine abweichende Anschlußbelegung, wie Bild 5b zeigt. Das angegebene Anschlußbild für

2N3819 gilt z.B. für Valvo- und Texas-Exemplare, es sind aber auch "Abweichler" auf dem Markt! Auch bei den Kohleschicht-Widerständen, Trimmern und Potentiometern sollte man auf Qualität achten und Markenfabrikate verwenden, gekapselte Trimmer und robuste Potentiometer sind im Interesse der Zuverlässigkeit der Interfaceschaltung zu empfehlen.

Die Bestückung der Platinen erfordert Ruhe, Sorgfalt und Sauberkeit. Beim Interface ist insbesondere dem S&H-Teil wegen der Hochohmigkeit der Schaltung besondere Aufmerksamkeit zu widmen, bei den Tastaturplatinen ist wegen der geringen Abstände der einzelnen Lötunkte voneinander präzises Löten vonnöten, auch wenn diese Problematik durch die Lötmaske der Platinen weitgehend entschärft wird.

Für Drahtbrücken auf den Platinen verwendet man am besten versilberten Kupferdraht mit 0,6 oder 0,8 mm Durchmesser. Platinenanschlüsse sollten mit Lötstiften versehen werden, die Tastaturanschlüsse A...F der Interfaceplatine erhalten auf der Kupferseite Lötstifte, da auch die Verdrahtung "von unten" erfolgt. Die Kupferseiten der bestückten Platinen werden mit Alkohol (Spiritus) gereinigt und mit lötfähigem Schutzlack "versiegelt".

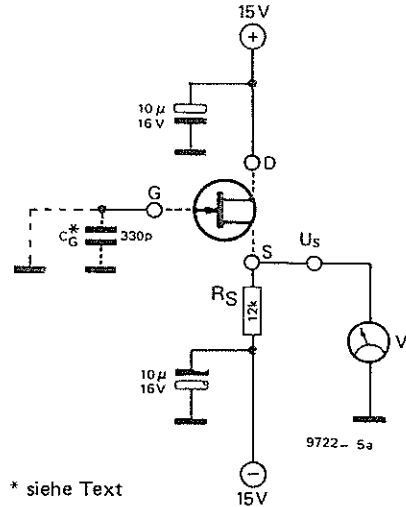
**Platinentest**

Zum Testen der Interface- und Empfängerplatine wurde eine Checkliste zusammengestellt. Der endgültige Abgleich der Tastaturelektronik erfolgt zwar erst nach dem Zusammenbau des vollständigen Manualkastens, durch das "Checken" der Platinen vor dem Einbau kann man aber erfahrungsgemäß eine Menge Arbeit sparen.

**Checkliste Interface:**

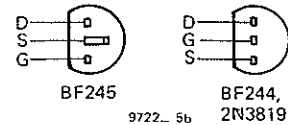
- 1) Stromaufnahme  
Versorgungsspannungen anschließen, Stromaufnahme in positiver und negativer Versorgungsleitung messen. Beide Ströme sollten zwischen 18 und 25 mA liegen.
- 2) Tastaturstromquelle  
a) Multimeter an die Punkte B (+) und D (-) anschließen, Meßbereich 1 mA oder 5 mA. Einstellbereich von P6 kontrollieren. Der Strom muß sich zwischen 0,8 mA und 1 mA einstellen lassen.

5a



\* siehe Text

5b



b) Falls das Multimeter keinen geeigneten Meßbereich hat, Widerstand 1 k an Punkte B und D anschließen. Spannungsabfall am Widerstand mit P6 variieren und messen. Muß sich zwischen 0,8 V und 1 V einstellen lassen.

c) Kontrolle "Virtueller Massepunkt". Spannung zwischen Anschluß 4 und IC2 und Masse messen. Muß kleiner als 5 mV sein (bei 1 k-Widerstand zwischen B und D)

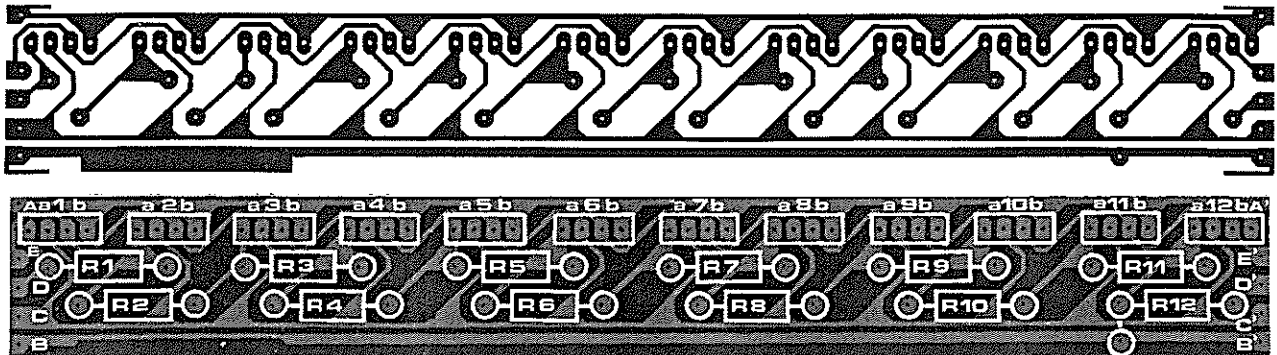
**3) GATE-Schaltung**

Anschluß E der Platine über einen Schalter mit Anschluß A verbinden. Spannung am Ausgang G der Platine messen. Muß bei geöffnetem Schalter -12...-15 V, bei geschlossenem Schalter +12...+15 V betragen.

**4) S & H**

a) Platinenanschluß C über Umschalter mit Masse und Anschluß A verbinden ("Gate-" Schalter zwischen A und E bleibt geschlossen). Anschluß C mit Umschalter auf Masse legen, P1 auf minimalen Widerstand stellen, Gate-Schalter schließen. Source-

4



spannung T4 messen, muß kleiner als 4 V sein und darf sich nach Öffnen des "Gate-" Schalter nicht ändern.

b) "Gate-Schalter" offen lassen, Anschluß C über Umschalter auf A durchschalten. Source-spannung T4 muß noch auf dem vorher gemessenen Wert liegen. Gate-Schalter schließen, Sourcespannung muß jetzt um etwa 3,6 . . . 4,6 V höher liegen.

Nach dem Öffnen des Gateschalters muß die Spannung wieder erhalten bleiben.

c) P1 auf max. Widerstandswert einstellen, Umschalter auf Masse stellen, "Gateschalter" schließen. Die Sourcespannung von T4 muß nun langsam auf den niedrigen Spannungswert absinken und diesen nach etwa 2 . . . 3 Sekunden erreichen.

5) Addierer

a) Offsetkorrektur

Einstellung von Check 4c beibehalten. P2 abschalten (S1 "auf Masse"), Schleifer von P3 und P5 gegen Masse drehen. Spannung am KOV-Ausgang mit P4 (Offsetkorrektur) auf 0 V (Massepotential) einstellen.

b) Hauptstimmung

P2 mit S1 "einschalten" und auf oberen und unteren Anschlag stellen. Die KOV-Ausgangsspannung muß im ersten Fall +5 Volt, im zweitem Fall -5 Volt betragen.

c) Feinstimmung

P2 wieder abschalten. P5 auf oberen Anschlag stellen (Schleifer gegen R14). Die KOV-Ausgangsspannung beträgt nun ca. 0,15 V.

d) FM

P5 wieder "auf Masse" stellen. FM-Eingang mit Anschluß A der Platine verbinden. KOV-Ausgangsspannung mit P3 variieren, sie sollte sich zwischen 0 und ca. 10 V einstellen lassen. (Für ganz Genaue: die max. Ausgangsspannung beträgt das 2,13fache der Spannung am FM-Eingang  $\pm 5\%$  Toleranz durch R10).

6) Interface-Empfänger

Empfänger-Platine mit Interface-Platine verbinden (KOV- und Gate-Leitungen). Check 5b wiederholen, aber am KOV-Sternpunkt (Ausgang) der Empfängerplatine messen. Ebenso Gate-Check 3 wiederholen, bei geschlossenem Gateschalter muß die Anzeige-LED leuchten, in dieser Stellung Spannung am Gate-Sternpunkt mit P9 auf 5 V einstellen.

## Montage von Platinen und Tastatur

Wie die Fotos zeigen, bilden Platinen und SKA-Tastatur eine mechanische und funktionelle Einheit. Die Montage dieser Einheit beginnt zweckmäßig mit dem Einbau der Tastaturplatinen. Zuerst verbindet man eine dem Oktavumfang der Tastatur entsprechende Anzahl von bestückten Tastaturplatinen durch kurze Drahtbrücken zu einem "Tastaturstrip". Es werden jeweils die Anschlußpunkte A' bis E' der einen Tastaturplatine mit den Anschlüssen A . . . E der folgenden Platine verbunden (siehe Foto 1). Zwischen den Platinen darf kein Zwischenraum entstehen, da sonst die Abstände der Anschlußpunkte für die Kontaktblöcke nicht mehr stimmen.

Als nächstes wird ein Kunststoffstreifen (Acrylglas) als Montageunterlage für den "Tastaturstrip" angefertigt. Man kann natürlich auch den für die Montage der Kontaktsätze verwendeten Streifen so breit wählen, daß genügend Platz zum Aufkleben der Tastaturplatinen vorhanden ist. Beim Aufkleben ist zu

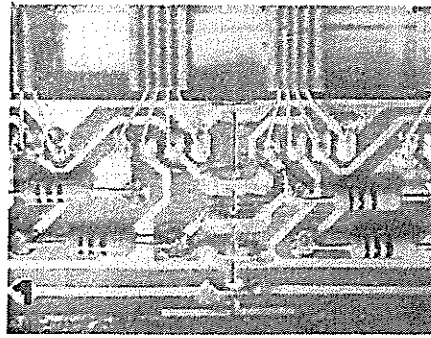
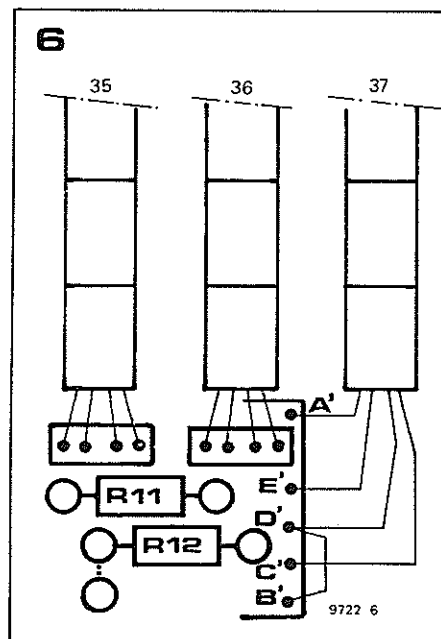


Bild 4. Layout und Bestückungsplan der Tastaturplatine. Die Bestückung erfolgt auf der Kupferseite. Für die dreiocktavige FORMANT-Tastatur sind drei Tastaturplatinen erforderlich (eine Platine pro Oktave der Tastatur).

Bild 5. Die Ermittlung des optimalen Wertes des Sourcewiderstands der FET-Spannungsfollower erfolgt mit Hilfe dieser einfachen Testschaltung, die man am besten rund um eine Transistorfassung aufbaut. Bild 5b zeigt die Anschlußbelegung der in Frage kommenden Transistortypen.

Bild 6. Verdrahtung des "letzten" (37-sten) Tastaturkontaktblocks der SKA-Tastatur. Verzichtet man auf die Verwendung der 37. Taste, so wird die Platine einfach mit der (bei R12) strichliert eingezeichnete Drahtbrücke abgeschlossen, R12 entfällt dann ebenso wie der Kontaktblock 37.

Foto 1. Dieser Ausschnitt der Tastaturunterseite zeigt die "Schnittstelle" zweier Tastaturplatinen. Es ist deutlich zu sehen, daß die Kontaktanschlüsse direkt mit den Anschlußpunkten der Tastaturplatinen verlötet sind.



beachten, daß die Vorderkante des Platinenstreifens die Kontaktblöcke berührt und Platinenanschlüsse und Kontaktblöcke auf einer Linie liegen. Nur dann reicht die Länge der Kontaktanschlußdrähte zum Verlöten mit den Anschlußpunkten der Tastaturplatinen aus (Foto 1).

Zum Aufkleben des "Platinenstrips" verwendet man am besten Vielzweckkleber oder, noch besser, doppelseitig beschichtetes Klebeband, damit die Tastaturplatinen zu einem späteren Zeitpunkt, falls erforderlich, noch demontiert werden können. Bei Verwendung eines Zweikomponentenklebers ist dies in der Regel nicht mehr möglich. Doppelseitiges Klebeband ist in Farb-Tapeten- und Teppichgeschäften als sogenanntes "Teppichband" erhältlich.

Die Kontaktanschlußdrähte müssen vor dem Verlöten etwas auseinandergebogen werden (siehe Foto 1). Die Lötarbeit erfordert trotz Lötmaske etwas Sorgfalt und eine punktförmige Lötspitze. Wie bereits beschrieben, erfolgt der Abschluß der "letzten" Tastaturplatine (rechtes Platinenende) durch eine Drahtbrücke, in diesem Fall entfällt der Widerstand R12 auf der "letzten" Platine. Dies gilt nur dann, wenn die Tastenanzahl ein Vielfaches von 12 beträgt. Bei der SKA-Tastatur gibt es aber eine Taste mehr (Tastenzahl = Oktavumfang  $\times 12 + 1$ ). Will man auch diese "letzte Taste" mitverwenden, so ist die in Bild 6 gezeigte Verdrahtung des Platinenendes zutreffend.

Die Montage der Interfaceplatine erfolgt auf einem Platinenhalter aus Aluminiumblech, der am einen Ende mit dem Tastaturchassis verschraubt wird. Bild 7 ist eine Maßzeichnung des Platinenhalters. Der rechteckige Ausschnitt sorgt für die Zugänglichkeit der Platinenanschlüsse A . . . F von der Unterseite her. Durch diese Maßnahme ergeben sich sehr kurze Verbindungen zu den korrespondierenden Anschlüssen des Tastaturplatinenstreifen. Der Masseanschluß F der Interfaceplatine wird mit dem Aluminiumchassis der Tastatur verbunden, einen geeigneten Massepunkt erhält man, indem man eine der Befestigungsschrauben des Platinenhalters mit einer Lötöse versieht. Die montierte Interfaceplatine und die Verdrahtung mit der Tastaturplatine zeigen die Fotos 2 und 3.

## Frontplatte, Gehäuse und Einbau

Die bisher beschriebene Tastatureinheit, bestehend aus SKA-Tastatur mit Kontakten, Interface- und Tastaturplatine bedarf zu ihrer Vollendung zum "Manualkasten" noch eines Gehäuses mit Interface-Frontplatte und fünfpoliger Steckbuchse.

Die Interface-Frontplatte ist in Bild 8 zu sehen, auf ihr sind alle Bedienelemente des Interface übersichtlich angeordnet: FM-(Hub-)Einsteller, Portamento-Geschwindigkeitseinsteller, sowie Grob- (COARSE) und Feinein-

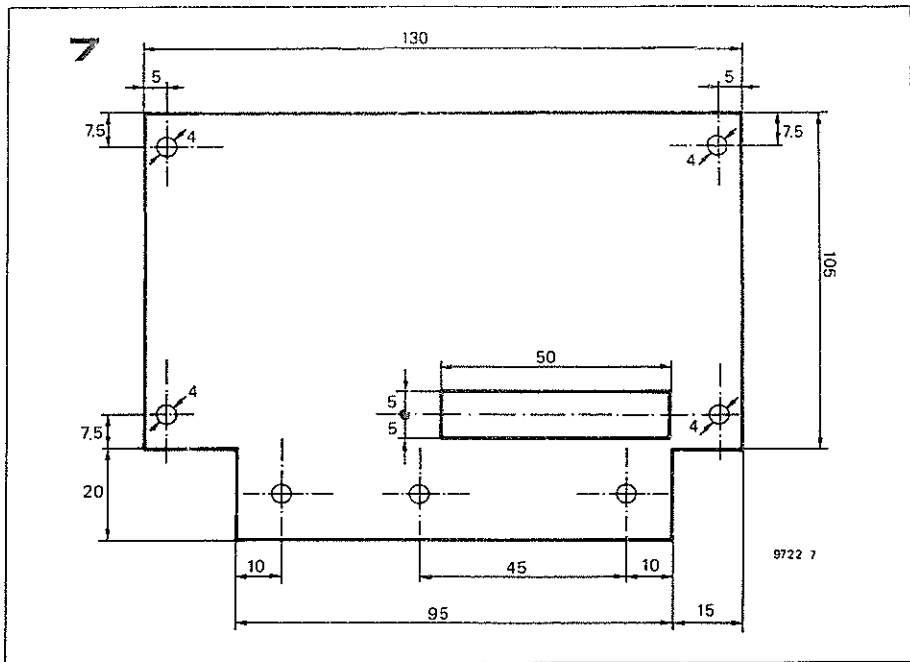
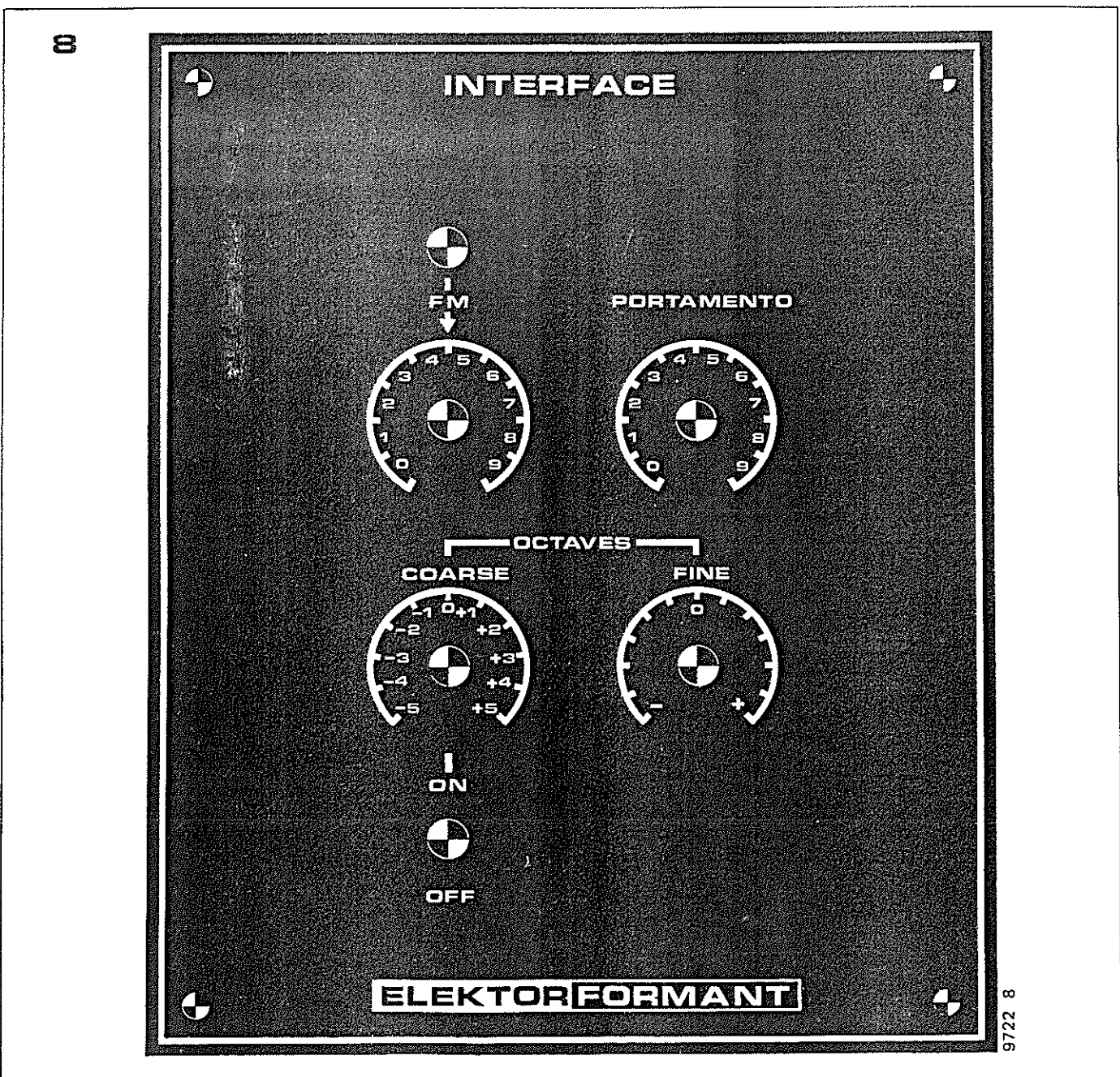


Bild 7. Maßzeichnung des Interface-Platinenträgers.

Bild 8. Interface-Frontplatte.

Bild 9. Gehäusevorschlag für den Manualkasten. Dieser Vorschlag bezieht sich auf die Verwendung einer 3-oktavigen SKA-Tastatur. Die eingeklammerten Werte gelten für eine 4-oktavige Tastatur.

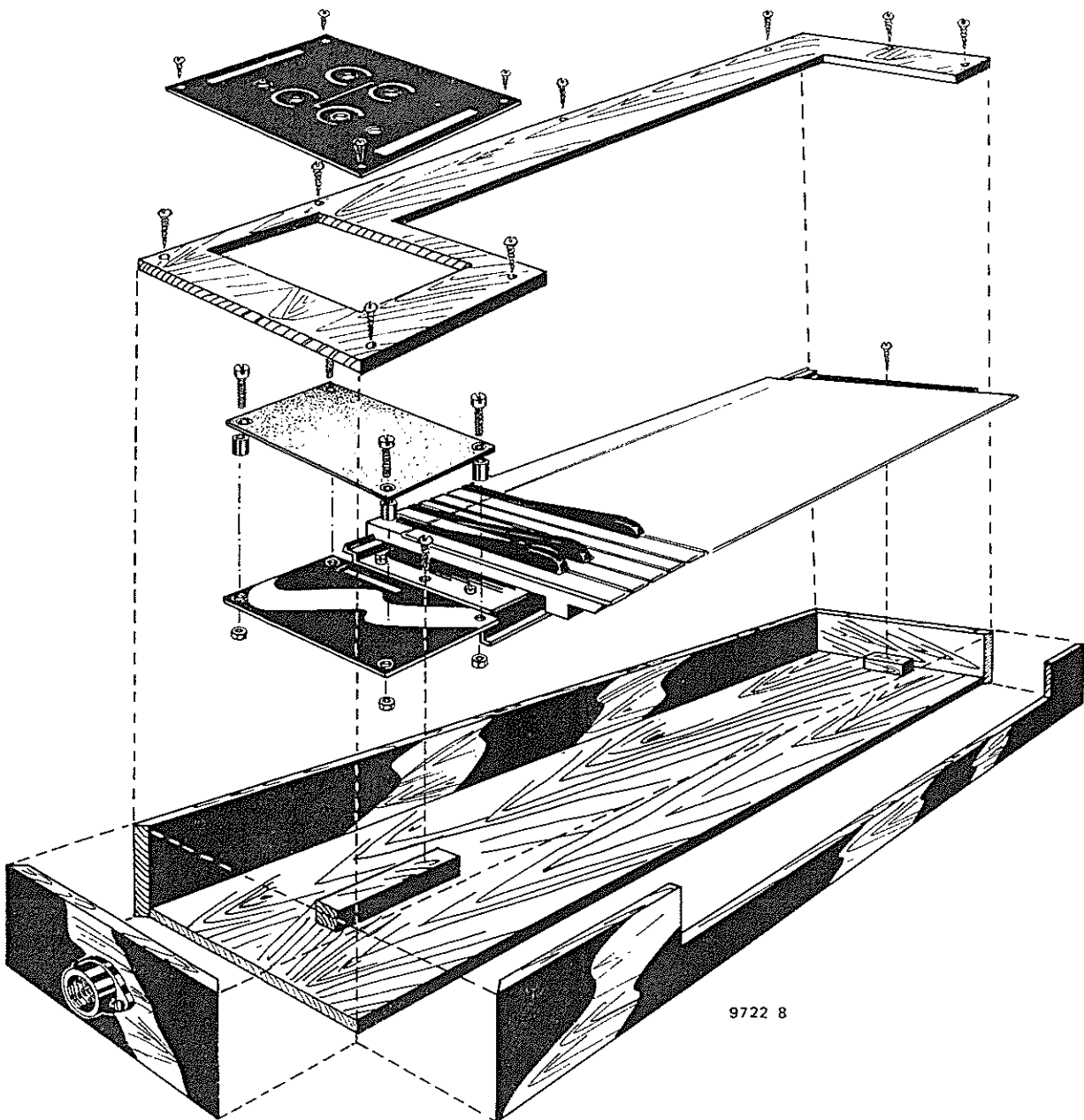
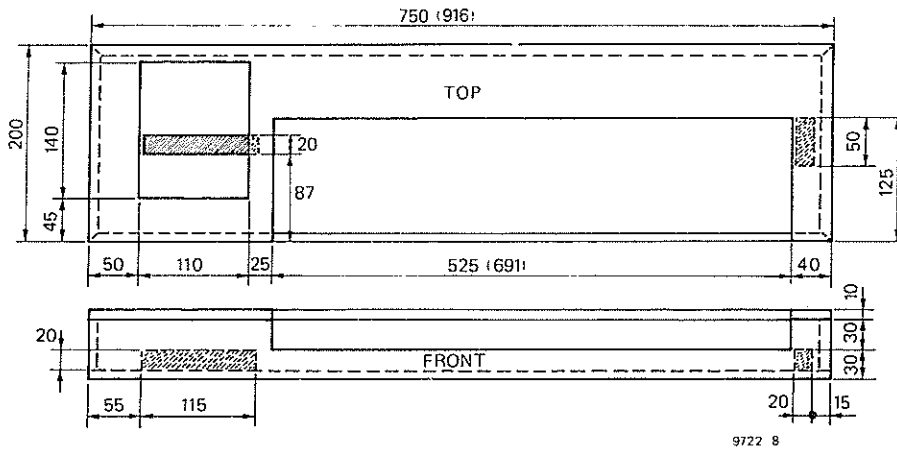


8

9722 8



0



stellung für die Hauptstimmung. Dem FM-Einsteller ist eine Eingangsbuchse für das Modulationssignal zugeordnet. Hier findet (wie für alle anderen externen Eingänge der FORMANT-Module auch) eine 3,5 mm Klinkenbuchse Verwendung.

Wie auch der Frontplattenaufdruck verdeutlicht, ist die Grobstimmung abschaltbar, vorgesehen ist dafür der Einbau eines Miniatur-Kippschalters. Für alle vier Potentiometer sind auf der Frontplatte, linear geteilte Skalen aufgedruckt. Passende Drehknöpfe findet man in den Programmen mehrerer Hersteller, z.B. ELMA oder Mentor. Man kann wahlweise Drehknöpfe mit Pfeilring oder mit glasklarer Scheibe (26 mm Durchmesser) verwenden. Diese Scheiben gibt es mit und ohne Strich, letztere sind meist preiswerter. Dazu ein Tip: mit einem wasserfesten Faserstift (z.B. Markana 33) kann man den Skalenstrich auf der transparenten Scheibe leicht selbst aufbringen. Das hat neben der Kostenersparnis den Vorteil,

Tabelle 1 (zum FET-Test)

U <sub>S</sub> [V]	R <sub>S</sub> [k Ω]
0,2	22
0,25	18
0,3 ... 0,4	15
0,4 ... 0,5	12
0,6 ... 0,8	10
0,9 ... 1,1	8,2
1,2 ... 1,6	6,8

Bild 10. Schaltplan des FORMANT-Netzteils.

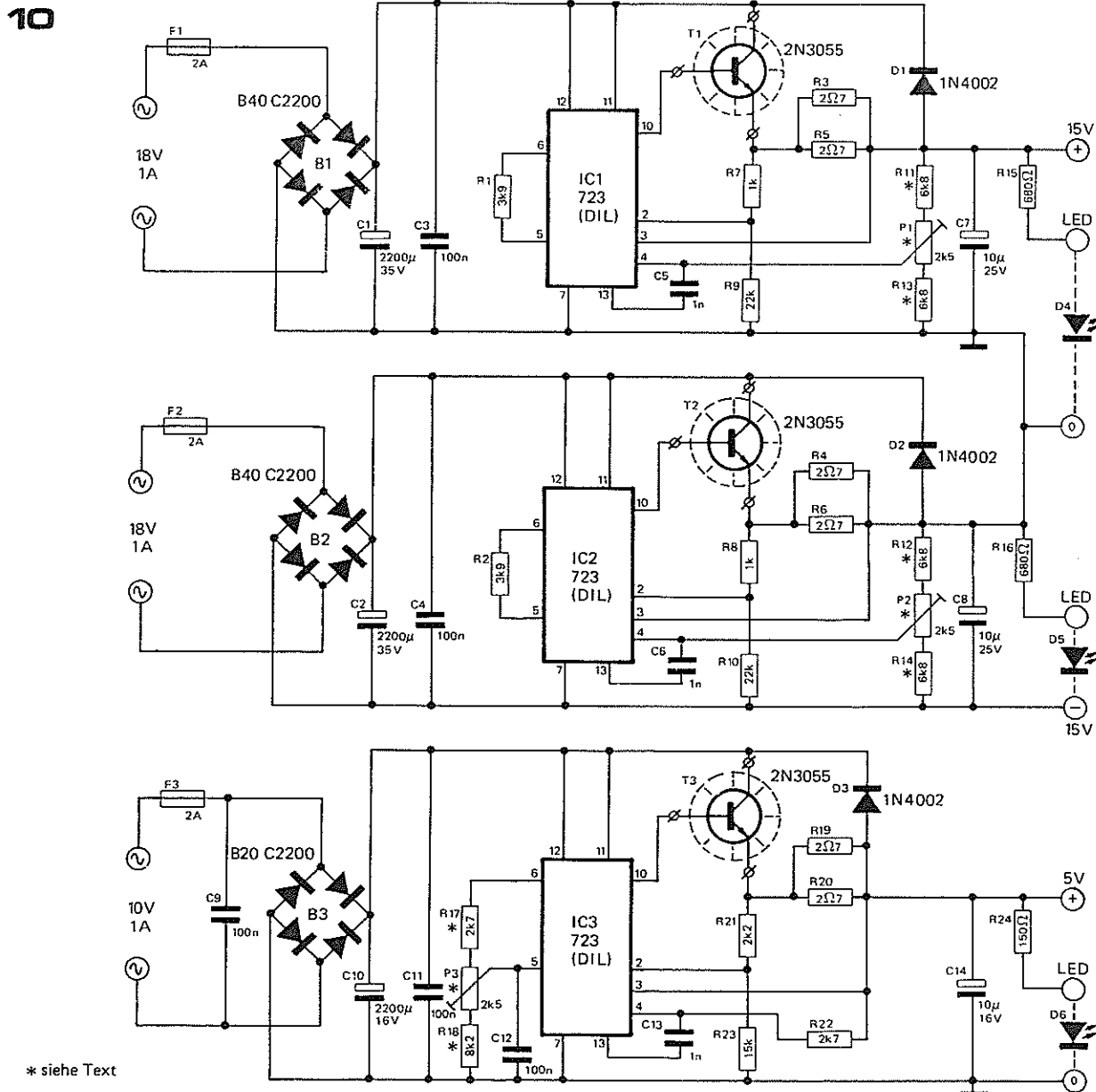
Bild 11. Platine, Bestückungsplan und Stückliste des FORMANT-Netzteils.

daß man die Farbe frei wählen kann. Die Drehknöpfe sollten einen Durchmesser von 13 ... 15 mm haben (Achsbuchung 6 mm).

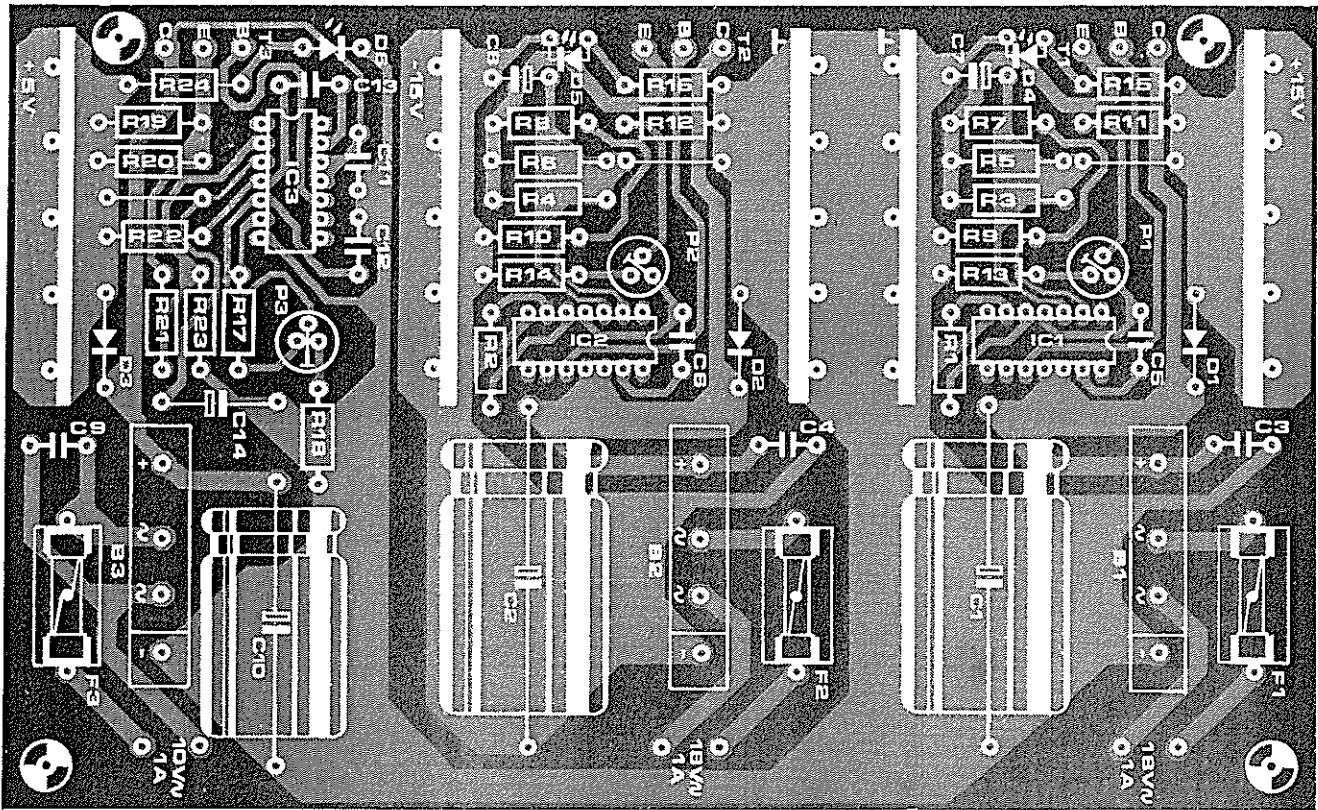
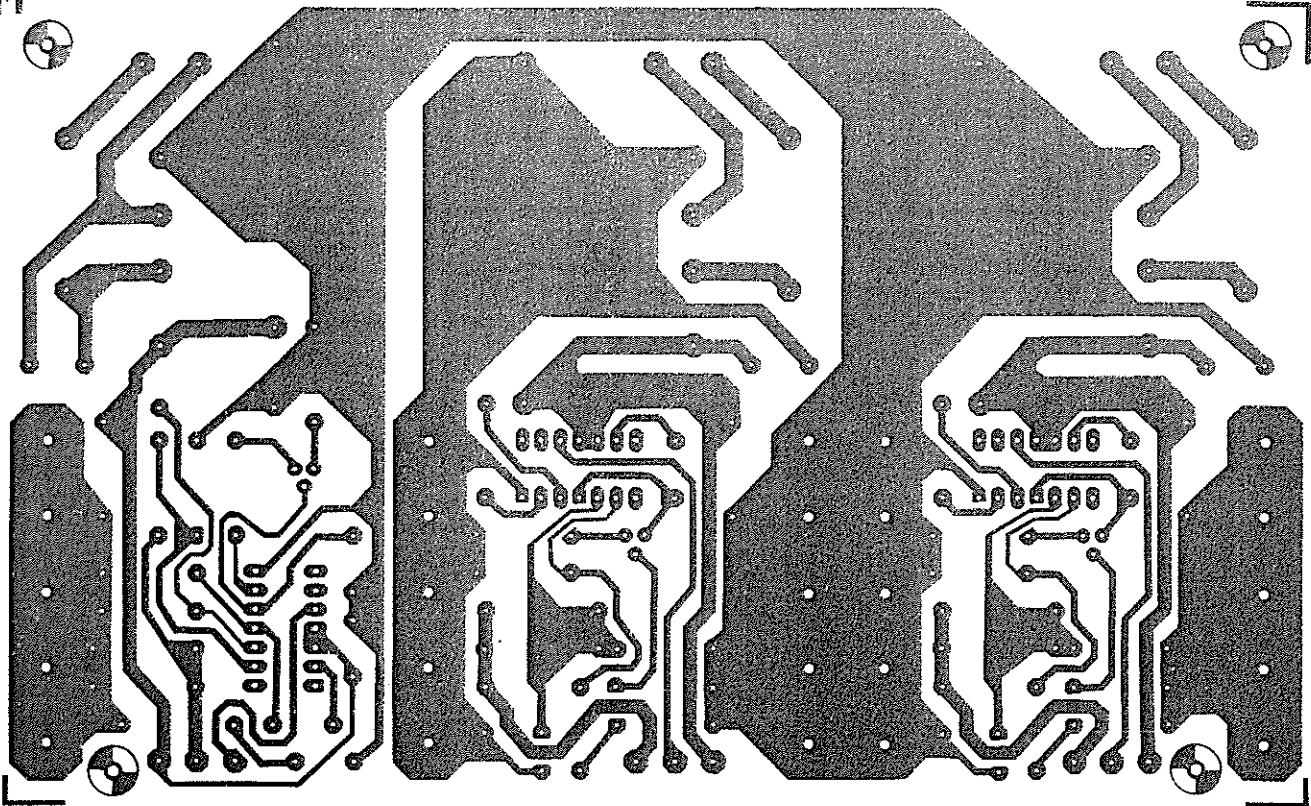
Bild 9 zeigt einen Gehäusevorschlag für die dreiocktige Tastatur. Eine gute Abschirmung der gesamten Tastatur erhält man bei Verwendung eines Metall- oder Metallprofilgehäuses. Ein Holzgehäuse sollte zur Abschirmung mit Aluminiumfolie ausgeklebt werden. Für eine servicefreundliche Gestaltung des Manualkastens ist zumindest eine leichte Demontage des Gehäuseoberteils erforderlich. Der Einbau der Tastatur ist dann auch kein Problem.

Vorher wird noch die 5- oder 6-polige Steckbuchse in die linke Seitenwand eingebaut. Bei der Auswahl der Steckverbindung ist Sparsamkeit fehl am Platz. Robuste und kontaktsichere Steckverbinder mit Bajonett- oder Schraubverriegelung sind in diesem Fall ihr Geld wert.

Danach setzt man die fertig montierte Tastatur von oben in den Kasten und



11



**Stückliste zu Bild 10**

**Widerstände:**

- R1, R2 = 3k9
- R3, R4, R5, R6, R19, R20 = 2,7 Ω/0,5 W
- R7, R8 = 1 k
- R9, R10 = 22 k
- R11, R12, R13, R14 = 6k8 (Metallfilm, 2%)
- R15, R16 = 680 Ω
- R17 = 2k7 (Metallfilm, 2%)
- R18 = 8k2 (Metallfilm, 2%)
- R21 = 2k2

- R22 = 2k7
- R23 = 15 k
- R24 = 150 Ω

- Trimmpotentiometer:**  
 P1, P2, P3 = 2k5 (Cermet-Miniatur, ca. 7 mm φ)

- Kondensatoren:**  
 C1, C2 = 2200 μF/35 V  
 C3, C4, C9, C11, C12 = 100 n  
 C5, C6, C13 = 1 n  
 C7, C8 = 10 μF/25 V (Tantal)

- C10 = 2200 μF/16 V
- C14 = 10 μF/16 V

**Halbleiter:**

- D1, D2, D3 = 1N4002
- D4, D5, D6 = LED
- T1, T2, T3 = 2N3055
- IC1, IC2, IC3 = 723 (DIL)
- B1, B2 = Brückengleichrichter B40/C2200
- B3 = B20/C2200

**Verschiedenes:**

- F1, F2, F3 = Sicherung 2A mtr.
- Netztransformator 18V/18V/10V/1A sek.
- Rippenkühlkörper 3 Stk., ca. 100x50x30 mm od. äquiv.

befestigt das Tastaturchassis mit 2... 4 Schrauben auf der Bodenplatte des Gehäuses. Ein Metallgehäuse ist durch die Schrauben gleichzeitig geerdet, beim Holzgehäuse muß noch eine leitende Verbindung zwischen dem Massepunkt auf dem Tastaturchassis und der Abschirmfolie des Gehäuses sowie der Frontplatte hergestellt werden.

Als nächstes erfolgt die Verdrahtung zwischen der Steckbuchse und den Anschlüssen auf der linken Seite der Interface-Platine (+15 V, -15 V, Masse, KOV und Gate). Am besten lötet man vor dem Zusammenbau des Gehäuses auch Verbindungsdrähte für die Frontplatte an die Anschlußpunkte der Interface-Platine (P2, P3, P5, S1 und FM). Diese Verbindungsdrähte sollten so lang sein, daß die Frontplatte abgenommen werden kann, ohne die Verbindung zu lösen.

Nun kann das Gehäuse geschlossen werden. Nach Verdrahtung der Frontplattenelemente mit den vorbereiteten Verbindungsdrähten und Befestigung der Frontplatte ist der Manualkasten auch schon fertig. Bleibt noch zu erwähnen, daß der große Frontplattenausschnitt eine gute Zugänglichkeit der Interfaceplatine bei abgenommener Frontplatte ermöglicht. Versieht man die Frontplatte auf der linken Seite mit einem Scharnier so ist die Frontplatte nach dem Lösen der zwei verbleibenden Befestigungsschrauben aufklappbar.

### Ableich des Interface

Voraussetzung für die endgültige Einstellung des Interface ist, daß das FORMANT-Netzteil bereits zur Verfügung steht.

Im Interface sind drei Einstellungen nötig:

#### 1) Offsetkompensation

Gesamtstimmung abschalten (S1 in Stellung OFF). Die unterste Taste des Manuals drücken und festhalten. Cermet-Trimmer P4 so einstellen, daß die KOV 0 V beträgt;

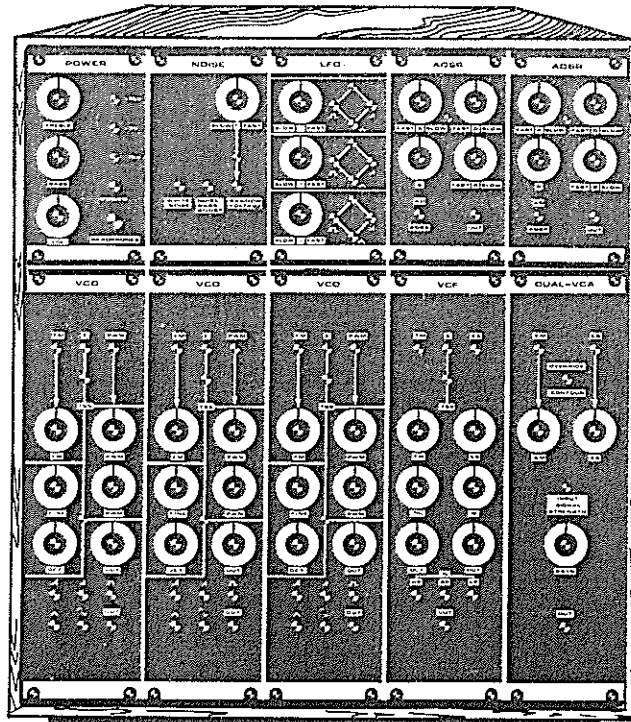
#### 2) V/Oktave-Charakteristik

Diese Einstellung muß so genau wie möglich erfolgen, mindestens aber mit 1% Genauigkeit. Das erfordert kurzzeitig ein 3 1/2-stelliges DMM, das auch zur Einstellung der Betriebsspannungen im Netzteil benötigt wird.

Die Gesamtstimmung bleibt abgeschaltet. Zum Ableich mißt man die KOV und drückt nacheinander Tasten im Oktavabstand. Cermet-Trimmer P6 wird nun so eingestellt, daß sich beim Tastenwechsel im Oktavabstand die KOV um genau 1 V ändert. Die Genauigkeit dieser Einstellung sorgt später für eine problemlose Stimmung der VCOs, außerdem wird dadurch das FORMANT-Manual kompatibel mit anderen Synthesizern, sofern sie die (verbreitete) 1 V/Oktave-Charakteristik aufweisen.

Im Anschluß an diese Einstellung muß der Offset-Ableich nochmals überprüft

12



9722 12

und gegebenenfalls etwas korrigiert werden.

Noch ein Tip: da für den Manualabgleich ein DVM vorhanden sein muß, wäre es keine schlechte Idee, bei dieser Gelegenheit das zum FORMANT-Bau verwendete Zeiger-Vielfachinstrument mit dem DVM zu vergleichen und für die wichtigsten Meßbereiche eine Fehlerkorrekturabelle anzulegen.

#### 3) Gate-Verzögerung

Die genaue Einstellung der Gateimpuls-Verzögerung kann erst gegen Ende des FORMANT-Aufbaus durchgeführt werden, wenn u.a. die Hüllkurvengeneratoren (ADSR) fertiggestellt sind. Bis dahin reicht eine vorläufige Einstellung aus.

P7 (100 k) wird auf etwa ein Viertel des maximalen Widerstandes (ca. 25 k), P8 (auf der Empfängerplatine) auf minimalen Wert eingestellt.

In der Regel braucht diese Einstellung bei Verwendung der vorgeschlagenen Tastatur nicht mehr korrigiert zu werden.

### Das FORMANT-Netzteil

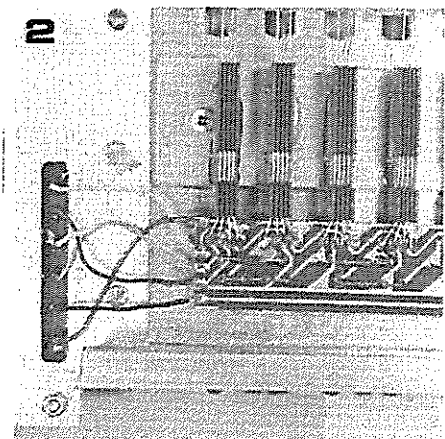
Der FORMANT-Musiksynthesizer benötigt drei Betriebsspannungen: +15V, -15V und +5V. Diese Spannungen müssen genau einstellbar und sehr stabil sein. In Hinblick auf das "erweiterungsfreundliche" modulare Konzept des Synthesizers wurde die Nennstromaufnahme für alle drei Spannungen recht großzügig mit 0,8 A angenommen.

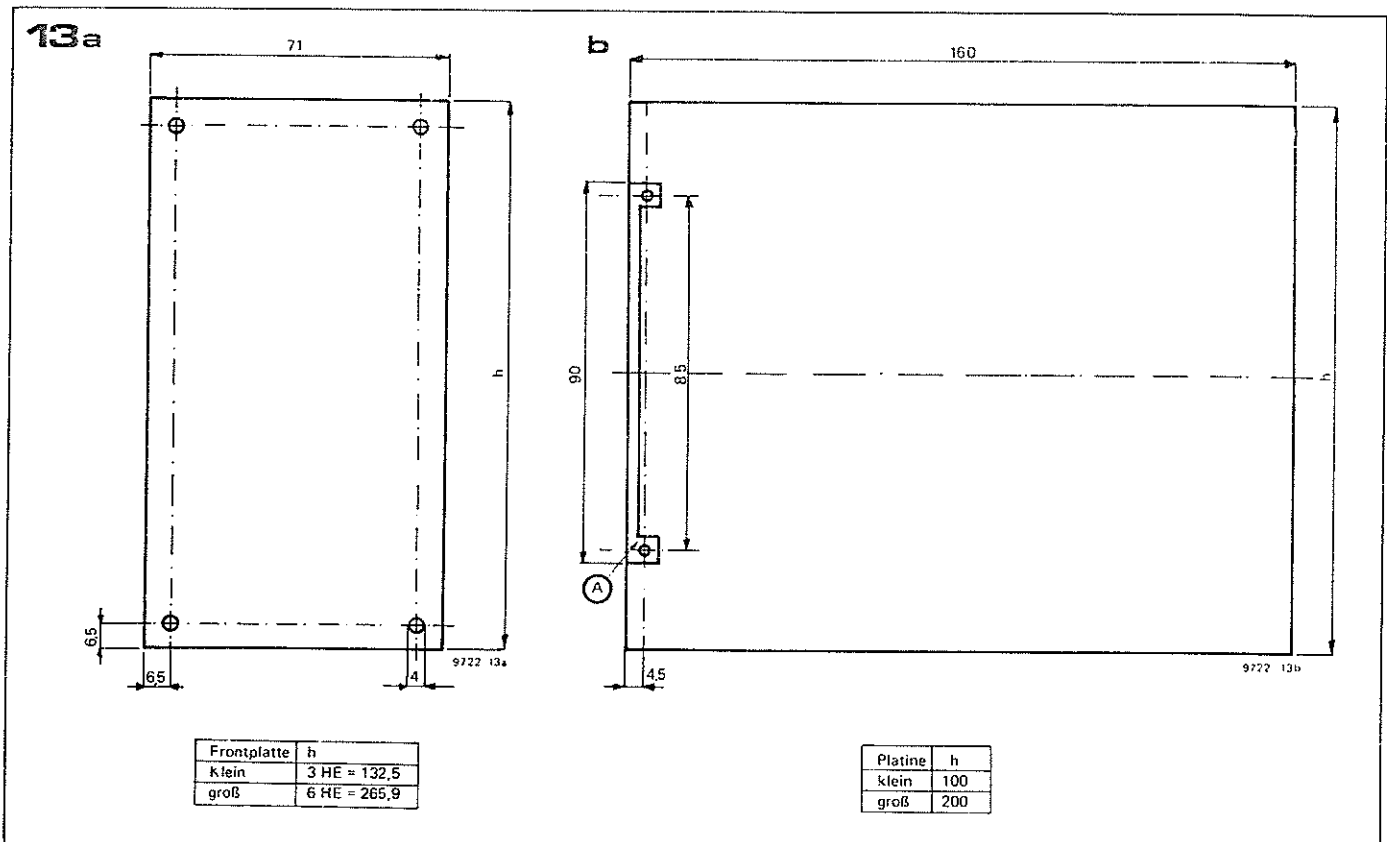
Diese Anforderungen, verbunden mit dem Wunsch nach einem möglichst einfachen Netzteilkonzept, legten die Verwendung eines integrierten

Bild 12. Vorschlag zur Anordnung der FORMANT-Module im Gehäuse. Die Modulanzahl entspricht einem "Basis-FORMANT".

Bild 13. Frontplatten- und Platinenabmessungen der "großen" und "kleinen" FORMANT-Module. Das Bild zeigt auch die Anordnung der Steckerleisten (A) auf den Platinen.

Foto 2. Verdrahtung zwischen Interfaceplatinen und Tastaturplatinen-Strip.





Spannungsreglers nahe, die Wahl fiel auf den altbewährten  $\mu A$  723. Dieses IC ist preiswert, gut erhältlich und verfügt außerdem über ausreichend spezifizierte Daten für die Ausregelung von Eingangsspannungs- und Lastschwankungen. Bei der Schaltungskonzeption konnte auf erprobte Standardschaltungen zurückgegriffen werden.

Bild 10 zeigt die Schaltung des Netzteils. Der Ausgangsstrom der ICs wird auf bekannte Weise durch externe Leistungstransistoren des Typs 3055 "gestreckt". Die Ausgangsspannungen sind mit Trimpotentiometern einstellbar, alle drei Ausgänge sind kurzschlußfest. Die Beschaltung der internen Strombegrenzungstristoren (Anschlüsse 2 und 3 der ICs) in "Foldback-Konfiguration" sorgt für eine Begrenzung der Kurzschlußströme auf 0,5 A. Bei Überschreiten des Foldback-Einsatzpunktes (= max. Ausgangsstrom) von 1,2 A sinkt die Ausgangsspannung so weit ab, daß die Anzeige-LEDs an den Ausgängen nicht mehr leuchten. Falls der FORMANT einmal zu "spinnen" beginnt, zeigt ein Blick auf die LEDs, ob ein durch Überlast hervorgerufener Versorgungsspannungsausfall vorliegt.

Die Anzeige-LEDs werden, ebenso wie die GATE-LED der Interface-Empfängerplatine, auf der Frontplatte des COM-Moduls untergebracht. Weiter weist die Netzteilerschaltung keine Besonderheiten auf, abgesehen von der Tatsache, daß die Beschaltung der Regelverstärkereingänge der ICs (Anschlüsse 4 und 5) für optimale Temperaturstabilität dimensioniert wurde.

#### Bauelemente, Aufbau und Einstellung des Netzteils

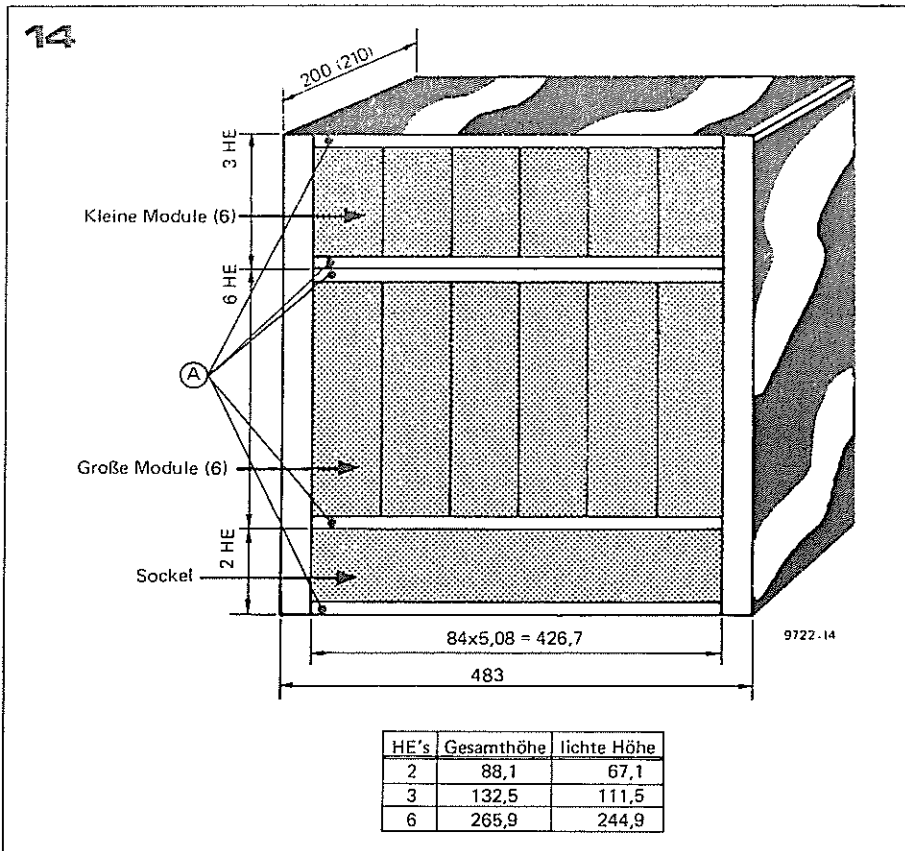
Die Bauelementehinweise bekommen zwar langsam den Charakter von Wiederholungen, der Autor ist aber der Meinung, daß man auf den Einfluß der Bauelementequalität gar nicht oft genug hinweisen kann. Nun denn: Halbleiter 1. Wahl bekannter Hersteller (auch und gerade beim 3055!) verwenden, ausreichend große Kühlbleche vorsehen (Rippenkühlkörper, ca. 100x50x30 mm od. größer), Spannungsteiler zur Einstellung der Ausgangsspannungen mit Metallfilmwiderständen und Cermet-Trimmern bestücken (siehe Stückliste). Bei der Dimensionierung des Trafos und der Ladeelkos sollte man ruhig großzügig sein, die angegebenen Werte sind eher Minimalwerte. Ein Trafo, der 1,5 oder 2 A liefern kann, verursacht keine gravierenden Mehrkosten, das gilt auch für ein "Mehr" an Elko-Kapazität. Zum Platinenaufbau: Die Ausgänge der Platine (Bild 11) werden mit senkrecht stehenden Anschlußfahnen aus Kupferblech oder Platinenmaterial versehen (siehe Foto 4), das erleichtert später die sternpunktartige Verdrahtung zu den einzelnen Modulen (jedem Modul seine eigenen Zuleitungen!). Beim Anschließen der Leistungstristoren ist zu beachten, daß die Reihenfolge der Anschlüsse beim 5 V-Teil von den beiden anderen Teilen abweicht (B-E-C statt C-B-E). Die Drahtbrücken sind mit versilbertem Schmelzdraht 0,8 od. 1 mm  $\phi$  auszuführen.

Zur Einstellung: Die -15V-Ausgangsspannung beeinflusst unmittelbar die V/Oktav-Charakteristik der KOV und muß daher auf mindestens 1% genau eingestellt werden. Da dafür ohnedies

ein entsprechend genaues Meßgerät vorhanden sein muß, kann es nicht schaden, die beiden anderen Spannungen ebenso genau einzustellen (es ist aber nicht unbedingt erforderlich, 3% Genauigkeit reicht aus). Die Einstellbereiche der Trimpotentiometer betragen etwa 12,5 ... 17 V bei den 15 V-Teilen, 4,3 ... 5,7 V beim 5V-Teil. In Verbindung mit Cermet-Trimmern bereitet die genaue Einstellung auch bei maximal zulässiger Abweichung der internen Referenzspannung (Anschluß 6 der ICs, Toleranzfeld 6,8 ... 7,5 V) keine Schwierigkeiten.

#### Aufbaukonzept

Als Aufbauprinzip des FORMANT-Synthesizers wurde die Form einzelner, unabhängiger Module gewählt, die als Einschübe mit "standardisierten" Frontplatten- und Platinenabmessungen in einem Rahmengestell befestigt werden. Die "feste" Verdrahtung der Module untereinander erfolgt wahlweise durch Lötstützpunkte oder Steckerleisten an den Rückseiten der Modulplatinen. Ein solches Aufbaukonzept hat viele Vorteile: Es ist leicht möglich, ein relativ komplexes Gerät wie den FORMANT in "Raten" aufzubauen, wobei der Aufbau eines einzelnen Moduls "für sich" nicht besonders schwierig ist. Auch kann jedes Modul jederzeit schnell ausgebaut und überprüft werden. Der wichtigste Vorteil ist vielleicht, daß ein modular aufgebauter Synthesizer dem "Erbauer" die Möglichkeit bietet, den Umfang des Ausbaus selbst zu bestimmen. Das Gerät kann zu einem späteren Zeitpunkt beliebig erweitert werden, umgekehrt kann man bereits mit einem "unvoll-



ständigen" Synthesizer, der erst aus ein oder zwei Grundmodulen besteht, anfangen zu spielen.

Das Aufbaukonzept geht von einem bestimmten Grundausbau des FORMANT-Synthesizers aus. Dieser Grundausbau sollte keineswegs als verbindlich angesehen werden, es handelt sich vielmehr um einen Ausbauvorschlag für diejenigen Leser, die im Laufe der FORMANT-Serie noch keine endgültige Vorstellung von der Struktur ihres Synthesizers entwickeln. Dieser Ausbauvorschlag (Bild 12) umfaßt drei VCOs, ein VCF, einen DUAL-VCA, zwei Hüllkurvengeneratoren, ein NOISE-Modul und ein Ausgangsmodul (COM) und entspricht mit diesem Umfang ungefähr einem Synthesizer der "gehobenen Mittelklasse".

Jedes FORMANT-Modul besteht aus einer Frontplatte und einer Platine. An der Vorderseite der Platine befinden sich die Anschlüsse für die auf der Frontplatte montierten Buchsen und Bedienorgane (Schalter und Potentiometer), die Platinenrückseite ist mit den Anschlüssen für die "fest" verdrahteten Verbindungen versehen. Die Anschlüsse an der Platinen- bzw. Modulrückseite sind so angeordnet, daß wahlweise auch eine 31-polige Steckerleiste nach DIN 41617 (wie beim Elektorskop) eingelötet werden kann. Die Verbindung der Modulplatine mit den Elementen der Frontplatte erfolgt durch kurze Schaltdrahtstücke.

Zu einer Moduleinheit werden Platine und Frontplatte mit Hilfe eines Aluwinkels verschraubt. Eine andere Möglichkeit der mechanischen

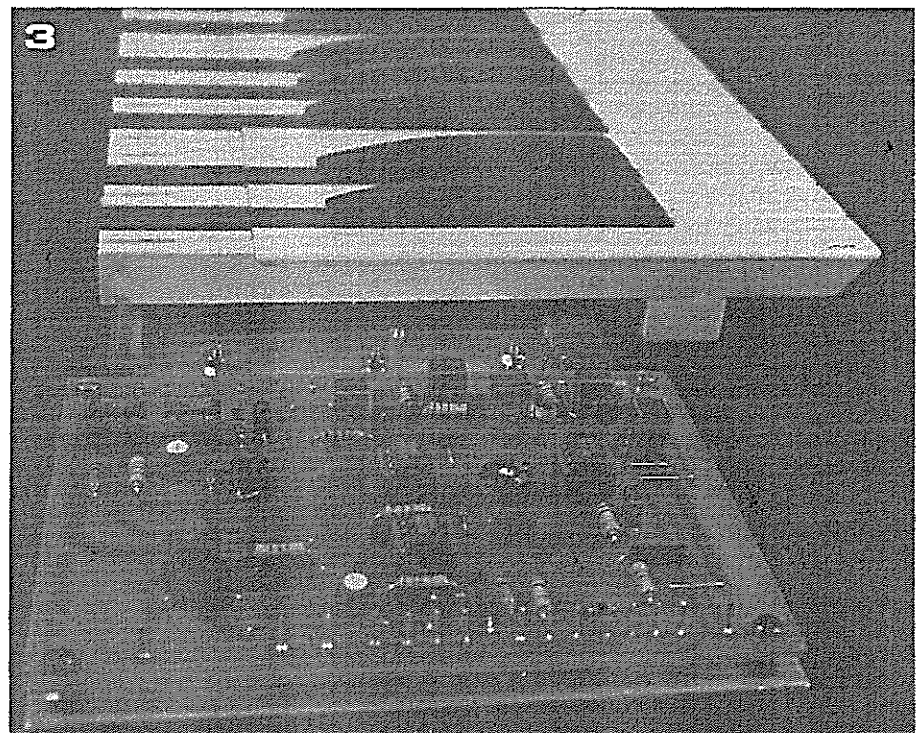
Verbindung zwischen Platine und Frontplatte ist die Verwendung eines Alubleches als Platinenträger, das im rechten Winkel mit der Frontplatte verschraubt wird. Die Platine befestigt man dann auf gewohnte Weise mit Schrauben und Abstandsröllchen auf diesem Platinenträger. Die zuletzt genannte Möglichkeit ist empfehlenswert, da die Platinen durch den Platinenträger mechanisch entlastet und gleichzeitig voneinander abgeschirmt werden. Für diese Module sind zwei unterschiedliche Frontplatten- und Platinenabmes-

Bild 14. FORMANT-Modulgehäuse mit 19"-Normbreite. Die Querträger  $\otimes$  sind mit einer Nut versehen, in welche Schiebemuttern eingesetzt werden, um die Modulfrontplatten zu befestigen. Der Sockel von 2 HE (Höhen-einheiten) reicht zum Einbau des Netzteils und evtl. eines Leistungsverstärkers aus, für den Einbau umfangreicher "Zusatzelektronik" sollte der Sockel auf 3 HE vergrößert werden.

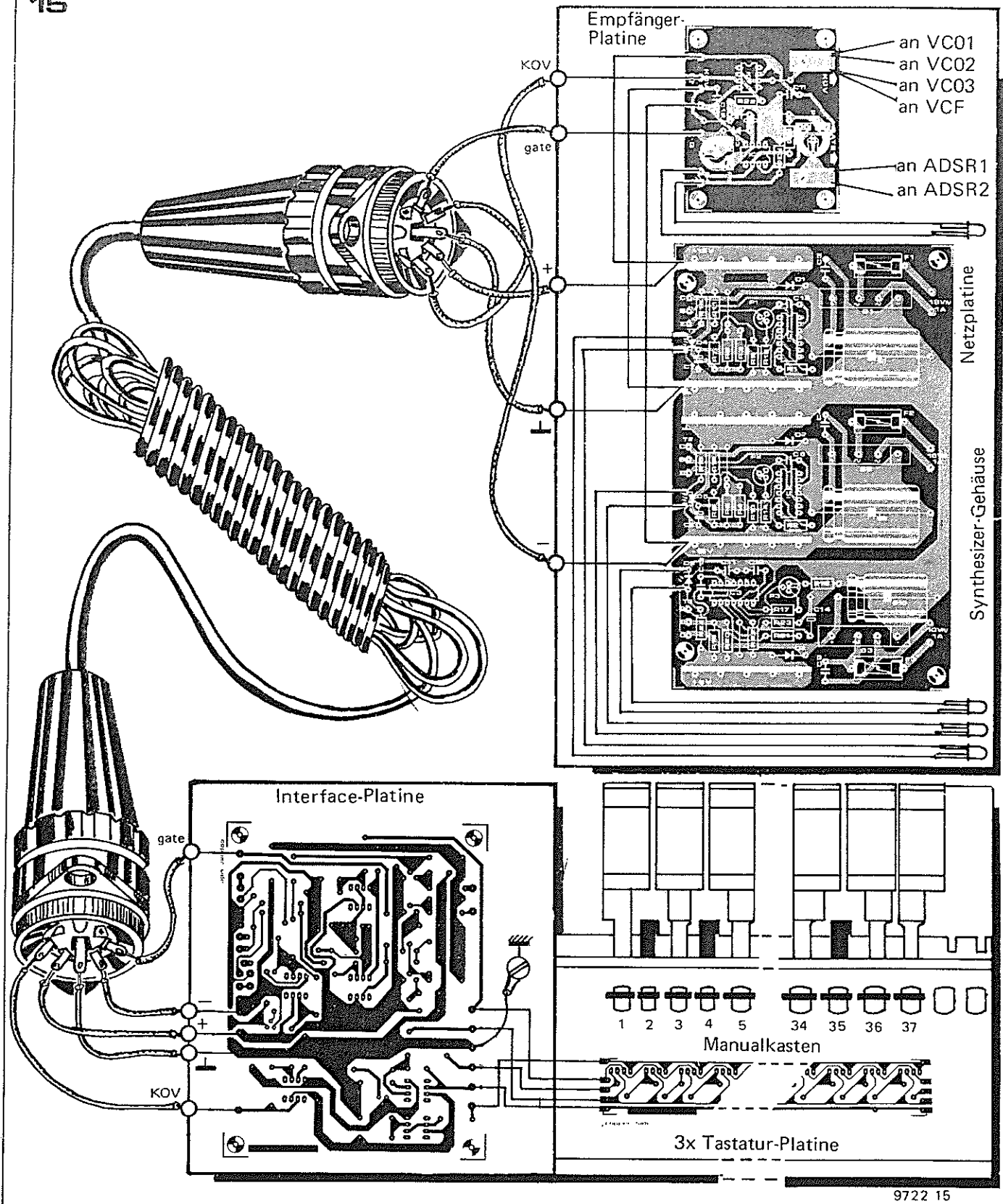
Bild 15. Übersichtsplan zur Verdrahtung der bisher besprochenen FORMANT-Baugruppen.

Foto 3. Die Interfaceplatine wird mit Hilfe eines Platinenträgers seitlich am Tastaturchassis befestigt.

sungen vorgesehen. Die "großen" Module beinhalten Funktionsgruppen zur Signalerzeugung und Verarbeitung (VCO, VCF, VCA), während die "kleinen" Module (LFO, ADSR, NOISE, COM) im wesentlichen Steuer-spannungsmodule oder Hilfsmodule sind. Die Frontplatten- und Platinenabmessungen der "großen" und "kleinen" Module zeigt Bild 13. Die Festlegung dieser Abmessungen erfolgte unter weitgehender Berücksichtigung vorhandener Normabmessungen um Kompatibilität mit dem 19"-Eurocardsystem zu



15



erreichen. Für dieses System sind Kartenträger und Gehäuse erhältlich, die ein gutes mechanisches "Gerüst" für den Synthesizer abgeben.

Das 19"-Eurocardsystem verwendet genormte Platinenabmessungen und einheitliche Grundabmessungen der Kartenträger und Gehäuse. Die Modulplatinen des FORMANT haben Standard- und Doppel-Eurokartenformat. Bei einigen der "großen" Platinen wird das Doppel-Format nicht voll ausgenützt, die

Höhe dieser Platinen ist daher kleiner als 233,4 mm. Wohl aber ist die Länge bzw. "Tiefe" der Platinen einheitlich 160 mm, so daß bei Verwendung eines Normgehäuses keine Schwierigkeiten entstehen. Die Grundabmessungen der Kartenträger und Gehäuse sind gekennzeichnet durch sogenannte Höheneinheiten (HE) und durch genormte Teilung in der Breite 5,08 mm. Die in Bild 13 gezeigten Abmessungen der Frontplatten stellen daher ganzzahlige Vielfache dieses "Grundrasters" dar. Die Höhe der "kleinen"

Modulfrontplatten beträgt 3 HE, die der "großen" Frontplatten 6 HE. Die Modulbreite ist einheitlich 71 mm (7x2x5,08 mm). Diese Abmessungen erlauben eine übersichtliche Anordnung der Bedienorgane auf den Frontplatte.

Die Gesamtbreite eines 19"-Gehäuses beträgt 483 mm (19x25,4 mm), die nutzbare ("lichte") Breite 426,7 mm (84x5,08 mm). In einem 19"-Normgehäuse können daher maximal sechs FORMANT-Module nebeneinander untergebracht werden. Der

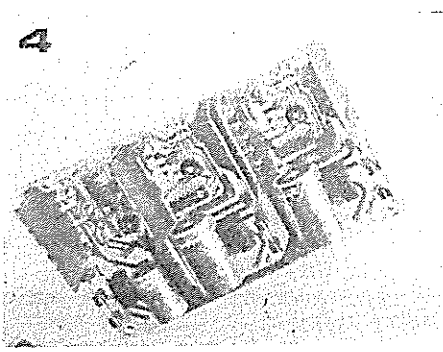


Foto 4. FORMANT-Netzteilplatine. Die senkrecht auf der Platine montierten Kupferflächen dienen als Verdrahtungsterminals. Von diesen "Terminals" aus führen die Versorgungsspannungsleitungen zu jedem einzelnen FORMANT-Modul. Auf dem Foto sind noch "Kohletrimmer" zu sehen, die inzwischen aber durch Cermet-Trimmer ersetzt wurden.

vorgeschlagene Grundausbau des FORMANT umfaßt fünf große und fünf kleine Module, in einem 19"-Gehäuse mit 9 HE Höhe (3 HE + 6 HE) bleibt daher noch Platz für ein kleines und ein großes Modul frei. Bei späteren Erweiterungen muß nicht gleich ein neues Gehäuse angeschafft werden.

Bild 14 zeigt die Abmessungen des vorgeschlagenen 19"-Gehäuses. Der Sockel von 2 HE ist zur Unterbringung des Netzteils und eventuell eingebauter Zusatzelektronik (z.B. Federnachhall, Leistungsstufen) gedacht. Außerdem sorgt der Sockel dafür, daß beim Spielen der untere Teil der großen Module nicht durch den davorstehenden Manualkasten verdeckt wird.

Einen Vorschlag zur Anordnung der Module im Gehäuse zeigt Bild 12. Die Befestigung der Module im Gehäuse erfolgt an der Vorderseite durch die Frontplatten, die mit vier Schrauben mit den Querträgern (Holmen) des Gehäuses verschraubt werden. Zur Befestigung der Modulrückseiten dienen die 31-poligen Steckerleisten, die über die zugehörigen Buchsenleisten an der Gehäuserückwand gleichzeitig alle erforderlichen elektrischen Verbindungen herstellen.

Ein FORMANT-Ausbau ganz nach eigenen Vorstellungen läßt sich am einfachsten durch Verwendung eines Profilmontagegehäuses "nach Maß" realisieren. Geeignete Profile und auch Fertiggehäuse sind in der Regel gut erhältlich. Bei einem mit diesen Profilen aufgebauten Gehäuse ist man in der Gehäusebreite unabhängig vom 19"-Normmaß und kann so beliebig viele (oder wenige) Module nebeneinander anordnen.

Eine weitere, sehr einfache, preiswerte und flexible Lösung stellt ein Holzgehäuse dar. Gerade in der Musikelektronik erfreuen sich Holzgehäuse nach wie vor großer Beliebtheit. Für den FORMANT-Synthesizer sieht der "Holzweg" folgendermaßen aus:

Tragendes Element ist ein Rahmengestell aus 4x2 cm Zimmermannslatten (gehobelt). Die Abmessungen dieses Rahmens hängen von der vorgesehenen Modulanzahl ab. Der Holzrahmen wird durch Außenwände aus 6 mm-Sperrholz zum Gehäuse ergänzt. Die Befestigung der Module im Gehäuse erfolgt einfach durch das Verschrauben der Frontplatten mit dem Rahmengestell. Um Baukosten zu sparen, kann man auch auf Steckerleisten und Buchsen verzichten und die Modulanschlüsse "fest" verdrahten.

Die Verbindung zwischen Gehäuse und Manualkasten erfolgt durch ein 5-adriges Kabel mit 5- oder 6-poligen Kabelsteckern an beiden Enden. Sowohl Steckverbindungen als auch Verbindungskabel sollten im Interesse der mechanischen Belastbarkeit möglichst robust sein, für das Kabel ist ein Aderquerschnitt von 0,75 mm<sup>2</sup> oder mehr anzuraten.

Eine Abschirmung ist nicht erforderlich. Zum Abschluß und zur Verdeutlichung zeigt Bild 15 einen Verdrahtungsplan der bisher besprochenen FORMANT-Baugruppen.

## Die musikalische Bedeutung der VCOs

### Teil 4

**Die VCOs sind das Herz jedes Synthesizers. Ihre Qualität entscheidet über den musikalischen Wert oder Unwert des Instruments. Aus diesem Grund werden Technik und musikalische Bedeutung der VCO-Module ausführlich beschrieben.**

### Musikalische Anforderungen an die VCOs.

Die erste Frage gilt der Stabilität und Genauigkeit der FORMANT-VCOs. Die hier gestellten Anforderungen gelten im Grunde genommen für alle Musikinstrumente. So klagt z.B. so mancher Gitarrist, daß sich seine Gitarre im Laufe der Zeit verstimmt (die Tönhöhen sind nicht stabil genug) oder daß sich der Hals des Instruments verzogen hat und die Gitarre dadurch nicht mehr "bundrein" klingt (die Relation der Tönhöhen stimmt nicht mehr). Beide Probleme äußern sich bei den VCOs eines Synthesizers in ähnlicher Weise. Sowohl beim Synthesizer als auch bei den "natürlichen" Musikinstrumenten führt die Verstimmung und Instabilität der Tönhöhen zu unangenehm "schnellen" Schwebungen, die schließlich als Dissonanzen erlebt werden.

Der Grundausbau des FORMANT enthält VCOs, die untereinander bereits reichlich Schwebungen oder "Phasingmuster" erzeugen. Es gibt kein natürliches Musikinstrument, das mit ähnlich starken Phasingmustern aufwarten kann. Da das "Phasing" eng mit den musikalischen Anforderungen an die VCOs zusammenhängt, wird im folgenden Unterkapitel das Zustandekommen des "Phasings" im FORMANT kurz beschrieben.

### Zustandekommen des "Phasings"

Das "Phasing" entsteht im FORMANT auf "natürliche" Weise durch geringfügige Verstimmung der VCOs gegeneinander. Im einfachsten Fall addieren sich die Kurvenformen zweier VCOs, die mit fast gleicher Frequenz schwingen. Die wechselnde Phasenlage der beiden Schwingungen zueinander läßt eine periodische "Kurvenformmodulation" entsprechend Bild 1 entstehen.

Eine Spektralanalyse des Signals zeigt, daß der Amplitudenverlauf der einzelnen Obertöne "Peaks" (Maxima) und "Notches" (Minima) aufweist. Diese "Peaks" und "Notches" verschieben sich ständig über den gesamten Bereich des Spektrums, es entsteht so die für das Phasing typische "Kammstruktur" des Obertongehalts (vergl. Phasing, Elektor 69 Sept. 1976, S. 9-56).

Die Veränderung der Klangfarben während des Verlaufs einer Schwebungsperiode verleiht dem Ursprungsklang (z.B. aus einem VCO) einen schwer zu beschreibenden "weichen, lebendigen" Charakter, der zudem oft räumliche Vorstellungen auslöst.

Wegen der musikalisch angenehmen Eigenschaft des Phasings wurde auch die Schaltung "Phasing" (Elektor 69) entwickelt, die einem Klang nachträglich zu jenem "schwebenden" Charakter verhilft, der beim FORMANT (durch Verwendung mehrerer VCOs) von vorneherein entsteht. Soweit gewissermaßen die "positive" Seite des Phasings. Sie ist aber daran gebunden, daß die Schwebungen relativ langsam ablaufen, hieraus ergibt sich dann die enge Beziehung zu den Stabilitäts- und Genauigkeitsanforderungen an die FORMANT-VCOs.

Die FORMANT-VCOs müssen so stabil und genau stimmbar sein, daß sie im "Zusammenklang" (Akkorde) nur langsame Schwebungen erzeugen. Wäre das nicht der Fall, würden "schnelle" Schwebungen und schließlich Dissonanzen entstehen.

Eine geringe Verstimmung der VCOs ist musikalisch fast immer wünschenswert, um den "sterilen" Charakter phasenstarr gekoppelter Töne, wie z.B. bei einer digital konzipierten Orgel, zu vermeiden. Wünschenswert ist auch, daß der Musiker diese langsamen Schwebungen zuverlässig einstellen kann und nicht durch "weglaufende" Tönhöhen "schlechter" VCOs gezwungen ist, mit ständigen Korrekturen einen aussichtslosen Kampf gegen "Dissonanzen" zu führen.

Ein praktisches Kriterium für die Brauchbarkeit von VCOs ist daher das Verhalten bei der Transponierung eingestellter Akkorde. Bleiben die Schwebungen bei der Transponierung (z.B. durch die Hauptstimmung im Interface) langsam genug, spricht man





Die Eingangsbeschaltung des Exponentiators besteht aus einem Addierer, welcher die Summe der Steuerungsspannungen an seinen Eingängen bildet. Die einzelnen Teile des Blockschaubildes sind auf der Platine zu zwei Schaltungsgruppen zusammengefaßt: Die "Oszillatorsektion" besteht aus Eingangsdaddierer, Exponentiator und linearem Oszillator, die relativ umfangreichen Teilschaltungen des Kurvenformkonverters nehmen den Rest der Platine (etwa 2/3) in Anspruch. Diese Aufteilung hat sich als sinnvoll erwiesen und wird daher auch für die Schaltungsbeschreibung beibehalten.

### Teilschaltungen der Oszillatorsektion

**Linear stromgesteuerter Sägezahnoszillator**  
 Bild 3 zeigt die Schaltung des Sägezahnoszillators, der sich durch kurze Reset-Zeit und gute Linearität auszeichnet. Die lineare Stromsteuerung wird erreicht, indem eine steuerbare Stromquelle (der Exponentiator) den Integrationskondensator C2 auflädt. Die Spannung am Kondensator in Abhängigkeit von der Zeit ist eine *lineare* Funktion des Ladestroms.

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

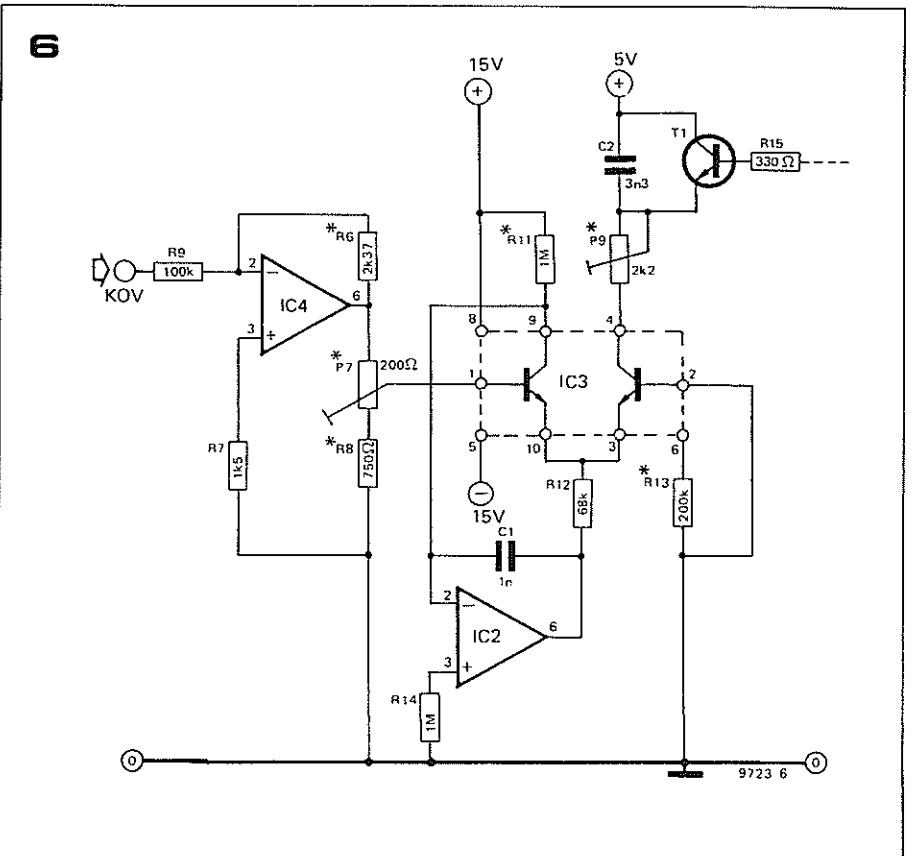
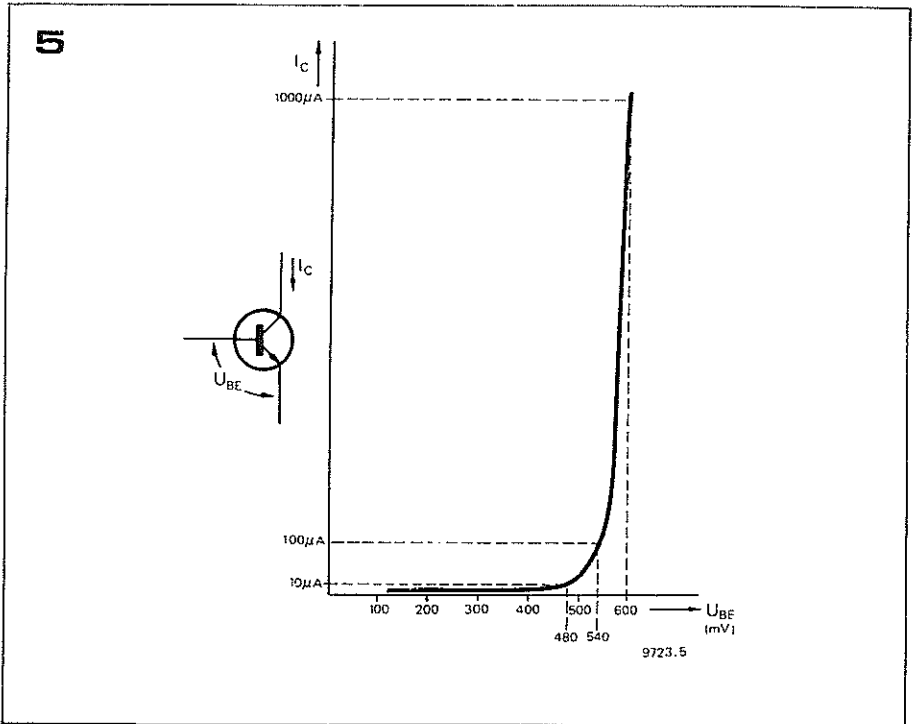
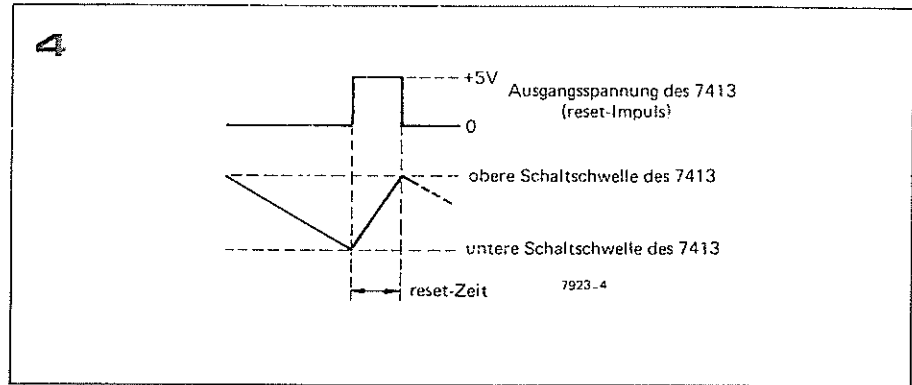
Die steuerbare Stromquelle ist genau genommen eine Stromsenke (Current Sink), in die der Ladestrom des Kondensators hineinfließt. Die Spannung am Auskoppelpunkt (Gate des Sourcefolgers) beträgt zum Ladebeginn daher ca. +5 V und fällt danach linear ab. Die Auskoppelung des Spannungsverlaufs am Kondensator erfolgt durch einen FET-Sourcefolger.

Der sehr kleine Eingangsleckstrom dieser Stufe kommt der Linearität des Oszillators bei tiefen Tönen zugute, auf die Linearität bei hohen Tönen wirkt sich die (im Vergleich zu preiswerten Opamps hohe) "Schnelligkeit" des FETs positiv aus.

Sobald die vom Sourcefolger ausgekoppelte Spannung den Wert der unteren Schaltschwelle des Schmitt-Triggers (IC1 = 7413) erreicht, geht dessen Ausgang auf positives Potential und steuert den Transistor T1 in die Sättigung, so daß der Kondensator C2 sehr schnell entladen wird. Das Erreichen der oberen Schaltschwelle des Triggers beendet die Entladung, der Trigger-Ausgang geht auf "0" und sperrt T1, ein neuer Ladezyklus beginnt. Den Verlauf der entstehenden Sägezahn-schwingung innerhalb der Schaltschwellen des 7413 zeigt Bild 4.

Der Spannungsteiler R18/P10 ("Start-trimmer") sorgt dafür, daß trotz der positiven "Offsetspannung" des Sourcefolgers T2 (ca. 1 V) die untere Schaltschwelle (typisch 0,85 V) sicher erreicht wird.

Aufgabe des einstellbaren Widerstands P9 ist die Verbesserung der Linearität bei hohen Frequenzen. Mit seiner Hilfe



erfolgt die Einstellung des "High Frequency Trackings".

Als Impedanzwandler am Oszillatorausgang dient ein zweiter Sourcefolger mit T3. Am Ausgang A steht des Sägezahnsignal zur "Weiterverarbeitung" im Kurvenkonverterteil zur Verfügung.

#### Der Exponentiator

Der Exponentiator liefert den Steuerstrom für den linearen Sägezahnoszillator. Seine Übertragungsfunktion ermöglicht den 1 V/Oktave – Zusammenhang zwischen Steuerspannung und Oszillatorfrequenz.

Dieser Exponentiator basiert, wie die meisten derartigen Schaltungen, auf dem exponentiellen Zusammenhang zwischen Basis-Emitterspannung und Kollektorstrom eines Transistors (Bild 5).

Während diese Nichtlinearität in vielen Fällen nur Schwierigkeiten bereitet (z.B. in Verstärkerschaltungen), bedeutet sie im Synthesizer eine brauchbare Lösung.

Der exponentielle Zusammenhang  $U_{BE}/I_C$  charakterisiert "jeden" Transistor über einen relativ weiten Bereich von mehreren Dekaden. Trotzdem ist nicht jeder Transistor geeignet, da Leckströme und der Basis-Bahnwiderstand (Bulk Resistance) Fehler verursachen. Es gibt spezielle Log-Transistoren, die praktisch frei von diesen beiden "Hauptfehlern" sind.

Aber auch bei diesen Spezialtypen ergibt sich ein Problem, das die Verwendbarkeit einschränkt: die Temperaturabhängigkeit des Kollektorstroms.

Bei Raumtemperatur verdoppelt sich der Kollektorstrom, wenn die  $U_{BE}$  um gut 17 mV erhöht wird. Eine Temperaturerhöhung um etwa  $10^\circ\text{C}$  bewirkt ebenfalls eine Verdoppelung des Kollektorstroms! Man sieht:

Ohne eine sorgfältige Kompensation dieses Temperatureinflusses ist ein Transistor als Exponentiator im Synthesizer nicht brauchbar. Temperaturänderungen um Bruchteile eines Grads würden schon hörbare Tonhöhen-schwankungen zur Folge haben.

Die einfachste Lösung dieser Problematik besteht darin, die Chip-Temperatur des Transistors (oder der Transistoren) konstant zu halten. Dieser Weg wurde bei der FORMANT-Entwicklung beschritten. "Zum Glück" gibt es ein spezielles IC, das neben einem Transistorpaar mit gut übereinstimmenden Parametern eine geregelte "Heizung" enthält, die für eine recht konstante Chiptemperatur sorgt. Daß das IC ein Transistorpaar enthält, ist nur von Vorteil. Ein Exponentiator mit zwei datengleichen Transistoren ist auch ohne thermische Stabilisierung des Chips ausreichend temperaturkompensiert. Die zusätzliche thermische Stabilität des 726-Chips bedeutet daher doppelte Sicherheit, was die Driftarmut des Exponentiators angeht. Bild 6 zeigt die Schaltung des Exponentiators im FORMANT-VCO,

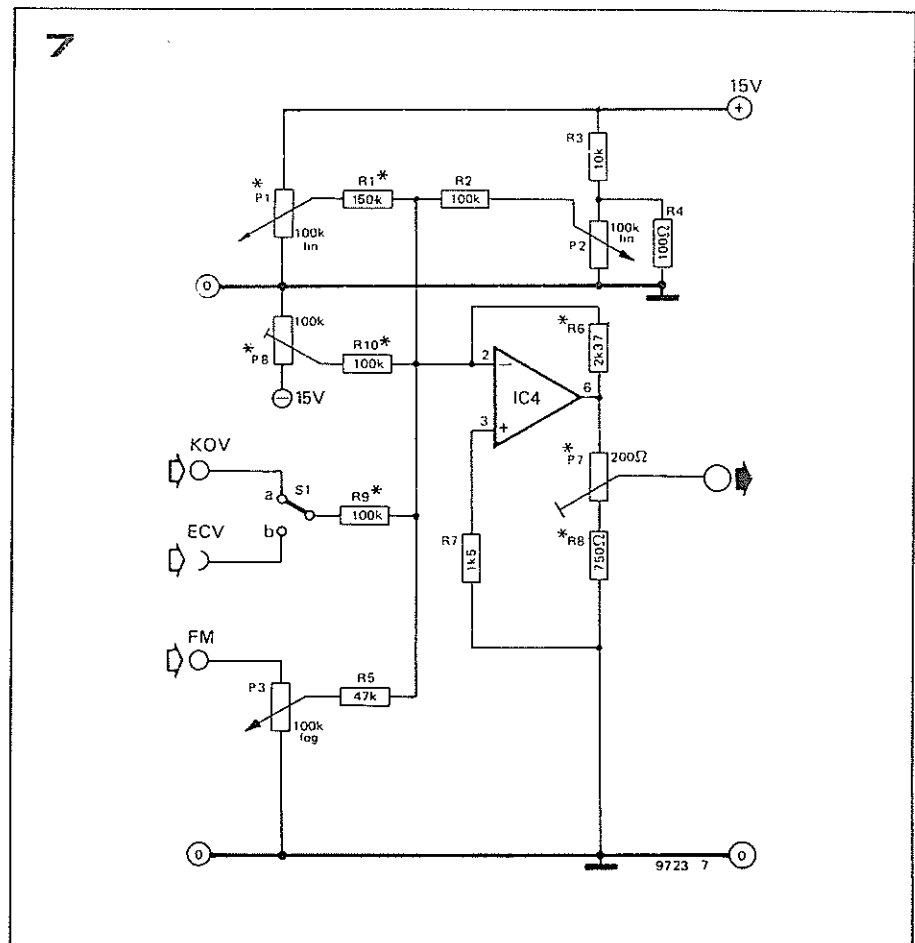


Bild 4. Der Verlauf der Sägezahn-schwingung innerhalb der beiden Schaltschwellen des Schmitt-Triggers (Die Reset-Zeit wurde in der Zeichnung zur Verdeutlichung stark "verlängert", sie beträgt tatsächlich weniger als 1  $\mu\text{s}$ ).

Bild 5. Der Zusammenhang zwischen der Basis-Emitterspannung  $U_{BE}$  und dem Kollektorstrom  $I_C$  eines Transistors verläuft über mehrere Dekaden exponentiell. Die meisten Exponentiatoren nutzen diesen Teil einer Transistorkennlinie.

Bild 6. Schaltung des Exponentiators. Zur Verbesserung der Temperaturstabilität werden zwei integrierte Transistoren verwendet, eine in diesem IC enthaltene Regelschaltung hält außerdem die Chiptemperatur konstant. Der Ausgangsstrom der Schaltung (Pin 4 von IC3) lädt den frequenzbestimmenden Kondensator C2 im Oszillator.

Bild 7. Der Eingangsaddierer versorgt den Oszillator mit der Tonhöhen-Steuerspannung. Diese Steuerspannung ist gleich der Summe von KOV (bzw. ECV), FM-Signal sowie den Spannungen der Einsteller P1 (Hauptstimmung), P2 (Feinstimmung) sowie P8 (Offset).

die im wesentlichen aus dem IC3 ( $\mu\text{A}$  726) und zwei Opamps besteht. IC4 ist eigentlich Bestandteil des Eingangs-addierers, es dient aber gleichzeitig als Steuerschaltung für den Exponentiator. Es ist bereits erwähnt worden, daß sich der Ausgangsstrom eines Transistor-Exponentiators bei Raumtemperatur verdoppelt ("um eine Oktave ändert"), wenn man die Eingangsspannung um ca. 17 mV erhöht, beim 726 sind wegen der höheren Chiptemperatur etwa 19 ... 23 mV/Oktave erforderlich. Die Steuerspannung KOV muß daher von 1V/Oktave auf diesen Betrag abgeschwächt werden, um den Exponentiator auszusteuern. Dafür sorgt IC4, das durch die "Verstärkungseinstellung"  $R_6/R_9$  eine Eingangsspannung von 1 V auf etwa 24 mV abschwächt. Zur Feineinstellung der V/Oktave-Charakteristik dient der Wendeltrimmer P7 am Ausgang des ICs. Der Opamp IC2 ist als Konstantstromquelle für den Kollektorstrom des linken Zweigs im Exponentiator geschaltet. Über den Widerstand R13 fließt der Steuerstrom der Temperaturregelung im 726, sein Wert bestimmt die Chiptemperatur. Der Kollektorstrom des "rechten" Transistors ist der Ausgangsstrom des Exponentiators und gleichzeitig der frequenzbestimmende Ladestrom des Kondensators C2 im Sägezahnoszillator.

#### Eingangsaddierer

Die Struktur des Eingangsaddierers (Bild 7) ähnelt der Addiererschaltung im

Interface. Über den Eingangsaddierer erhält der VCO Steuer- und Modulationsspannungen, zu denen noch einstellbare Gleichspannungen für "Stimmung" und "Offset" hinzuaddiert werden.

Der Eingangsaddierer enthält zwei mit S1 wählbare Steuerspannungseingänge. Eingang KOV ist fest mit dem KOV-"Sternpunkt" der Interface-Empfängerplatine verdrahtet, Eingang ECV (External Control Voltage) ist nichts anderes als eine Klinkenbuchse auf der Frontplatte, über die der VCO mit beliebigen "externen" Steuer- spannungen (z.B. von einem zweiten Keyboard) "gespielt" werden kann. Ebenso wie beim Interface ist auch beim VCO der Anschluß einer FM-Spannungsquelle möglich. Zur Pegelanpassung bzw. Einstellung der Modulationstiefe (Frequenzhub, Intensität des Vibratos) dient P3. Die maximale Modulationsempfindlichkeit des FM-Eingangs beträgt ca. 0,5 V/Oktave.

Unabhängig von der Gesamtstimmung des Synthesizers im Interface kann der einzelne VCO mit Hilfe von P1 um  $\pm 5$  Oktaven in seiner Frequenz "verschoben" (transponiert) werden, neben dieser Grobstimmung ermöglicht die Feinstimmung mit P2 eine Korrektur von  $\pm 1$  Halbton.

Der Trimmer P8 legt die niedrigste Frequenz des Oszillators fest (in der Regel etwa 15 Hz). IC4 schwächt die Summenspannung des Addierers auf den zur Aussteuerung des Exponentiators erforderlichen Wert ab (siehe auch Bild 6).

### Kurvenformen des VCOs

Die am Anfang dieses Beitrags aufgestellten musikalischen Anforderungen an die VCOs betrafen in erster Linie den "eigentlichen" Oszillator, also die Oszillatorsektion der VCO-Platine. In diesem Teil des VCOs werden durch Stabilität und Linearität überhaupt erst die Voraussetzungen für die musikalische Brauchbarkeit des VCO-Moduls geschaffen. Um die Prioritäten nochmals aufzuzeigen: Auch der schönste Kurven-

formkonverter ist wertlos, wenn der Oszillator nicht ausreichend stabil ist.

Nachdem aber im Oszillorteil des FORMANT-VCOs durch eine Reihe von Maßnahmen die Stabilitätsforderungen erfüllt sind, hat es durchaus Sinn, die musikalischen Forderungen an den Kurvenkonverter zu diskutieren.

Grundsätzlich erfolgt die "Synthese" eines Klangs im Synthesizer durch Filterung eines obertonreichen Spektrums mit Hilfe des VCFs. Da auch das recht vielseitige FORMANT-VCF ein bestimmtes Spektrum (Ausgangssignal des VCOs) nur in Grenzen verändern kann, ist es von Vorteil, wenn die Signalquelle verschiedene Kurvenformen mit möglichst unterschiedlicher spektraler Zusammensetzung liefert. Der FORMANT-VCO enthält daher einen Kurvenformkonverter, der aus dem Sägezahnsignal des Oszillators die folgenden Kurvenformen ableitet:

- "Spaced" Sägezahn (Sägezahn mit Zwischenraum, nadelimpulsförmiger Charakter)
- Rechteck mit variabler Impulsbreite (Pulsweitenmodulation PWM)
- Dreieck
- Sinus

Für die Wahl gerade dieser Kurvenformen war neben ihrer relativ leichten Ableitbarkeit die musikalische Bedeutung der einzelnen Spektren ausschlaggebend.

#### Musikalische Bedeutung verschiedener Kurvenformen:

Das charakteristische eines Klangs wird durch Art und Ausprägung (Amplitudenanteil) der einzelnen Obertöne bestimmt. Hierbei wirken sich die *geradzahigen* und die *ungeradzahigen* Obertöne sehr verschieden aus. Starke geradzahige Obertöne führen zu einem angenehmen, singenden, "chorushaften" Klang, während ungeradzahige Obertöne zu einem "hohlen", "verdeckten" Klang führen. Dies hängt damit zusammen, daß geradzahige Obertöne häufiger musikalisch sinnvolle Intervalle zum Grundton und untereinander bilden als ungeradzahige Obertöne.

Letztere stehen eher in einem dissonanten Verhältnis zum Grundton. Bei zunehmender Anzahl und Amplitude der ungeradzahigen

Bild 8. Oberwellenspektrum eines Sägezahnsignals. Es enthält sowohl geradzahige als auch ungeradzahige Oberwellen, deren Amplituden mit 6 dB pro Oktave abnehmen.

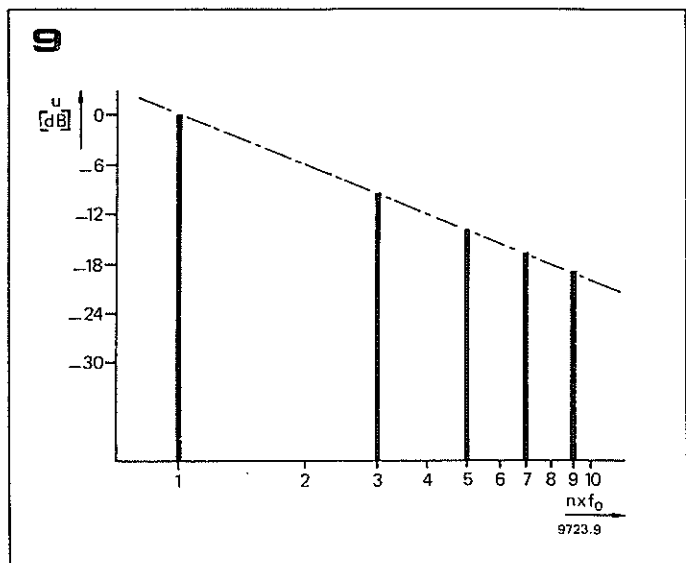
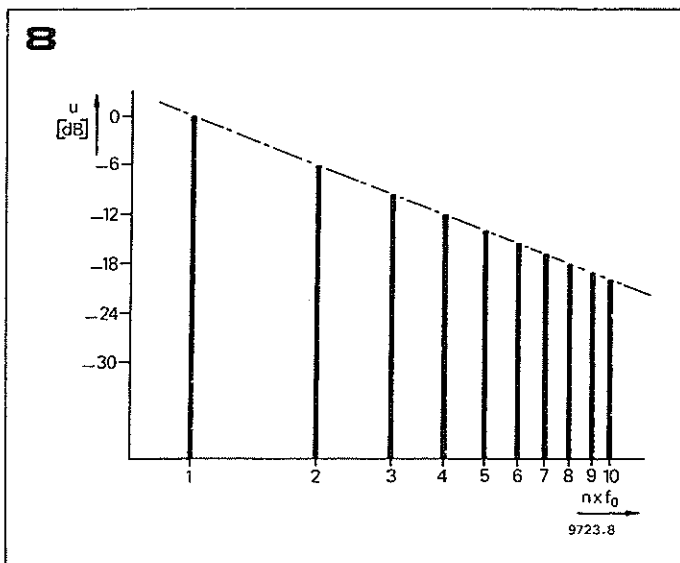
Bild 9. Spektrum eines symmetrischen Rechtecksignals. Dieser "Sonderfall" des Rechtecks enthält nur ungeradzahige Oberwellen, deren Amplituden mit 6 dB/Oktave abfallen.

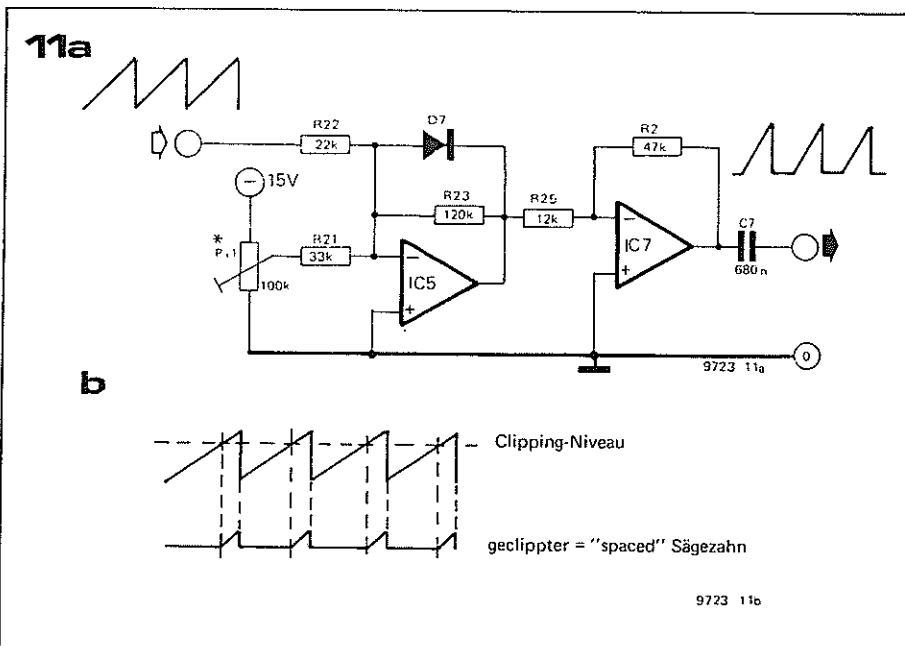
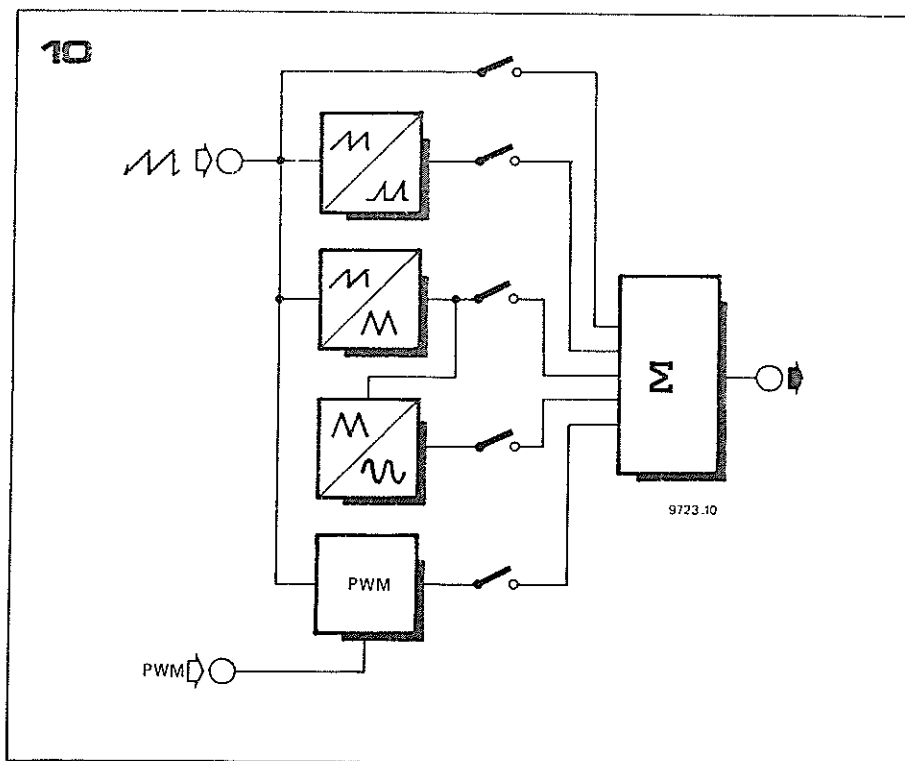
Bild 10. Blockschaltbild des Kurvenformkonverters im VCO-Modul. Der Konverter enthält Teilschaltungen, die aus dem Sägezahnsignal des Oszillators die Kurvenformen "Spaced Sägezahn", Dreieck, Sinus und Rechteck mit variablem Puls/Pausen-Verhältnis (PWM) ableiten. Am Ausgang des Kurvenformkonverters stehen insgesamt fünf verschiedene Kurvenformen zur Verfügung, die über Schalter beliebig ausgewählt und gemischt werden können.

Bild 11. Schaltung des Konverters "Spaced Sägezahn". Bild 11b zeigt, daß diese Kurvenform durch "Abschneiden" (Clipping) der Sägezahnspitzen entsteht.

Obertöne wird der Klang zunehmend klirrend, unangenehm metallisch und "beißend". Dieser Klang ist u.a. als "Rechteckklang" übersteuerter Transistorverstärker bekannt und erklärt, warum so mancher Musiker seinem alten Röhrenverstärker nachtrauert: Ein Überwiegen geradzahiger Obertöne kann zu einer angenehmen "Verbreiterung" und "Aufhellung" des Originalklanges beitragen, die Übersteuerungsverzerrungen von Röhrenverstärkern enthalten eine deutliche Beimischung geradzahiger Obertöne. Diese allgemeinen Auswirkungen geradzahiger und ungeradzahiger Oberwellen-gehalte verdeutlichen schon die wesentlichen klanglichen Unterschiede zwischen den einzelnen Kurvenformen. Ein etwas genauerer Blick auf die einzelnen Spektren gibt folgendes Bild:

Der *Sägezahn* hat ein vollständiges Spektrum, das geradzahige wie ungeradzahige Oberwellen enthält. Die Amplitudenverhältnisse der Obertöne sind einfach: ein





Obertone mit der n-fachen Frequenz des Grundtons hat eine Amplitude, die 1/n der Amplitude des Grundtons beträgt. Im dB/Oktav-Maßstab ergibt sich ein Abfall der Obertonamplituden von 6 dB/Oktave (siehe Bild 8). Das Spektrum des Sägezahns ist somit reich an allen Obertönen. Es eignet sich zur Imitation der Klänge von Blechbläsern, vielen Saiteninstrumenten und Holzbläsern.

Der "spaced" Sägezahn ist für Klänge interessant, für die der 6 dB-Abfall der Sägezahn-Obertöne noch zu steil wäre. Das ist bei einer Reihe musikalisch interessanter Klänge der Fall, z.B., wenn Blechbläser noch "heller" und "durchsichtiger" klingen sollen, oder wenn es geigen- und celloartige Klänge zu verwirklichen gilt. Die Verwendung des "spaced" Sägezahn ist eine Besonderheit des FORMANT-Synthesizers.

Das *symmetrische Rechteck* hat ein Spektrum, in dem alle geradzahigen Obertöne fehlen. So gesehen, ist das Rechteck der klangliche

Gegenpol zum Sägezahn. Die Amplituden der Obertöne fallen wie beim Sägezahn mit 6 dB/Oktave (Bild 9). Das Unangenehme am Klang des symmetrischen Rechtecks wurde bereits mit "klirrend" und "hohl" umschrieben. Daß er im Synthesizer dennoch wichtig ist, liegt an den "positiven" Veränderungen des Rechteckklangs, sobald Schwebungen auftreten, außerdem lassen sich manche Holzbläser wie Klarinette und Flöte mit gefilterten Rechteckklängen annähern.

*Dreieck* und *Sinus* werden hier wegen ihrer klanglichen Verwandtschaft zusammen genannt. Beim Dreieck fehlen wie beim Rechteck die geradzahigen Obertöne, die ungeradzahigen Obertöne sind nur sehr schwach ausgebildet. Beim idealen Sinus fehlen bekanntlich alle Obertöne. Das Dreieck klingt sehr weich, "flötenhaft", und dunkel. Die klanglichen Unterschiede zum Sinus sind gering, letzterer klingt noch etwas "dunkler". Die "dunklen" Klänge des Dreiecks und des Sinus sind bei der Synthese komplexer Klänge

vor allem dann wichtig, wenn man nur über ein einziges VCF verfügt. Für die meisten musikalischen Anwendungen kommt es beim Sinus nicht auf einen sehr niedrigen Klirrfaktor an, weshalb im FORMANT sehr einfache Sinuskonverter Verwendung finden. Wichtig ist nur, einen zusätzlichen, klanglich "dunklen" Kontrast zum bereits "weichen" Dreiecksklang zur Verfügung zu haben.

Die *Pulsbreitenmodulation* hätte eigentlich beim Rechteck besprochen werden müssen, da sie nur bei dieser Kurvenform möglich ist. Wegen der klanglichen Bedeutung wird sie hier als gesonderte "Kurvenform" behandelt. Eine symmetrische Rechteckschwingung klingt, wie bereits erwähnt, nicht sonderlich angenehm. Verschiebt man aber das Puls/Pausen-Verhältnis in Richtung kleiner Impulsbreiten, so ergibt sich ein musikalisch durchaus interessantes Frequenzspektrum, das sowohl geradzahige als auch ungeradzahige Obertöne enthält, also zunehmend "sägezahn-ähnlicher" klingt. Außerdem ist ein Rechtecksignal mit periodisch wechselndem Tastverhältnis (= Pulsweiten- oder Pulsbreitenmodulation PWM) klanglich praktisch identisch mit dem Signal, das als resutierende Schwebung zweier Rechteck-VCOs entsteht (vergl. Bild 1 "Phasing").

Im Kurvenformkonverter des FORMANT-VCOs ist ein spannungsgesteuerter Pulsweitenmodulator enthalten, der, angesteuert mit einem sehr niederfrequenten Modulations-signal aus einem der LFOs, den beschriebenen Effekt erzeugt. Der Pulsweitenmodulator ist somit eine Art "Phaser" für Rechtecksignale, der bereits mit *einem* VCO jene schwebungsartigen Klänge erzielt, für die sonst *zwei* VCOs benötigt würden. Hier ergibt sich der erste "Tip" für diejenigen Leser, die vorhaben, den Elektor-FORMANT nach eigenen Vorstellungen zu ihrem "eigenen" Formant zu erweitern. Es ist eine gute Idee, nach Belieben einen oder mehrere FORMANT-VCOs mit mehreren PW-Modularen auszustatten und sie durch einzelne LFOs unabhängig auszusteuern. Man erhält so sehr komplexe Phasingklänge, die eine größere Verwandtschaft mit orchestralen Klängen besitzen. Auf die Bedeutung komplexer Phasingklänge für die Synthese von z.B. orchestralen Streicherklängen ist bereits in Teil 1 der Serie hingewiesen worden.

Unabhängig von diesen Anwendungen ist die Ausstattung der FORMANT-VCOs mit Pulsbreiten-Einsteller- und-Modulator außerordentlich hilfreich bei der Synthese von z.B. cembalo- und klavierartigen Klängen sowie bei der kreativen "Klangschöpfung".

### Die Schaltungen des Kurvenkonverterteils

Eine Übersicht über die Schaltungen des Kurvenformkonverters gibt das Block-schaltbild (Bild 10).

Für jede Kurvenform ist ein eigener Konverter zuständig, diese Konverter sind parallel geschaltet und erhalten an ihren Eingängen das Sägezahnsignal des Oszillators. Die von diesem Sägezahn abgeleiteten Kurvenformen gelangen über Schalter zu einem Ausgangs-addierer, der einen Einsteller für das Summensignal (= VCO-Lautstärke) enthält.

Das Konzept einzelner, kurvenformbezogener Konverterstufen hat gegenüber einem einzigen, umschaltbaren

„Multi-Mode“-Konverter den Vorteil, daß alle Kurvenformen gleichzeitig zur Verfügung stehen und so beliebig ausgewählt und gemischt werden kann.

**Konverter für "Spaced Sägezahn"**

Bild 11 zeigt Schaltung und Signalverlauf. Vom Sägezahn werden mit IC5 die Spitzen "abgeschnitten" (geclippt), das "Abgeschnittene" bringt dann der Verstärker IC7 wieder auf Nennpegel (2,5 V Spitze zu Spitze) und stellt die ursprüngliche Phasenlage wieder her. Das Clippingniveau ist mit Trimmer P11 einstellbar.

**Der Dreieck-Konverter**

Auch hier sind Schaltung und Signalverlauf zusammen in Bild 12 dargestellt. Die Transistoren T4 und T5 bilden einen Differenzverstärker. Mit Hilfe zweier gepaarter oder "ausgesuchter" Germaniumdioden wird die nullsymmetrische Sägezahnschwingung nach dem Elko in zwei Halbwellen aufgeteilt und an die beiden Differenzverstärker-Eingänge geführt. Die Differenz der beiden Halbwellen ergibt die Dreieckschwingung. Bei jeder Ableitung eines Dreieckssignals aus einem Sägezahn entsteht während des Übergangs von einer Halbwellen zur anderen im Differenzverstärker ein Nadelimpuls, der die Spitze des Dreiecks "fein" einkerbt und zu einer mehr oder weniger starken Verfremdung des ursprünglich weichen, dunklen Timbres des Dreiecks führt. Dieser "Fehler" wird durch Verwendung eines relativ "schnellen" diskreten Differenzverstärkers auf ein erträgliches Maß reduziert. Eine weitere Verminderung kann durch C13 erzielt werden,

allerdings fällt als Folge dieser Filterung die Amplitude des Dreiecks bei hohen Tönen. Die angegebene Dimensionierung mit 1n stellt einen brauchbaren, aber keineswegs verbindlichen Kompromiß dar.

Der OpAmp-Spannungsfolger IC8 dient als "obligater" Ausgangspuffer.

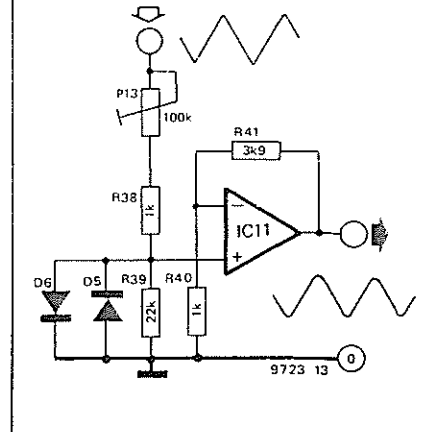
**Der Sinuskonverter**

Wie das "Schaltbildchen" (Bild 13) zeigt, ist der Sinuskonverter weder aufwendig noch besonders klirrfaktorarm, dafür aber schlicht (und) brauchbar. Die auf Datengleichheit ausgesuchten Dioden D5 und D6 schwächen die Spitzen des nullsymmetrischen Dreiecks exponentiell ab. Es entsteht ein "abgerundetes" Dreieck, die Annäherung an die Sinusfunktion reicht für musikalische Zwecke aus. Zum Abgleich der "Abrundung" dient P13, IC11 sorgt als Ausgangsverstärker für Pegelanhebung.

**Der Pulsweitenmodulator**

Dieser Teil des Kurvenformkonverters leitet aus dem Sägezahnsignal eine Rechteckschwingung mit einstellbarem und modulierbarem Puls/Pausen-Verhältnis ab. Die Schaltung Bild 14a besteht im wesentlichen aus einem Komparator mit den Transistoren T6, T7 und T8. Durch Änderung der Vergleichsspannung entsteht am Ausgang ein Rechtecksignal mit variablem Puls/Pausen-Verhältnis. Bild 14b zeigt dies anhand einer dreieckförmig verlaufenden Vergleichsspannung. Die Vergleichsspannung liefert einer der bekannten Eingangssaddierer (IC6), der eine externe Modulationsspannung

13



(PWM-Eingangssignal) mit zwei einstellbaren Komponenten (P5 und P14) verknüpft. P5 dient zur manuellen Einstellung des Pulsbreite, P4 zur Abschwächung des Modulationssignals. Die Trimmer P14 und P15 legen den Modulationsbereich (0...100%) fest. IC9 fungiert als LED-Treiber. Die LED zeigt durch ihr Leuchten die Funktion des Oszillators an, während ihre Helligkeit Aufschluß über den Modulationsgrad der PWM gibt.

**Der Ausgangssaddierer**

Seine Schaltung (Bild 15) bedarf kaum einer Erklärung. Je nach Stellung der Kurvenformschalter S2...S6 gibt er die gewählte Kurvenform oder das Gemisch der gewählten Kurvenformen an einen externen Ausgang (EOS = externes Ausgangssignal = Klinkenbuchse auf der Frontplatte) und an den intern mit dem VCF-Eingang verdraht-

12

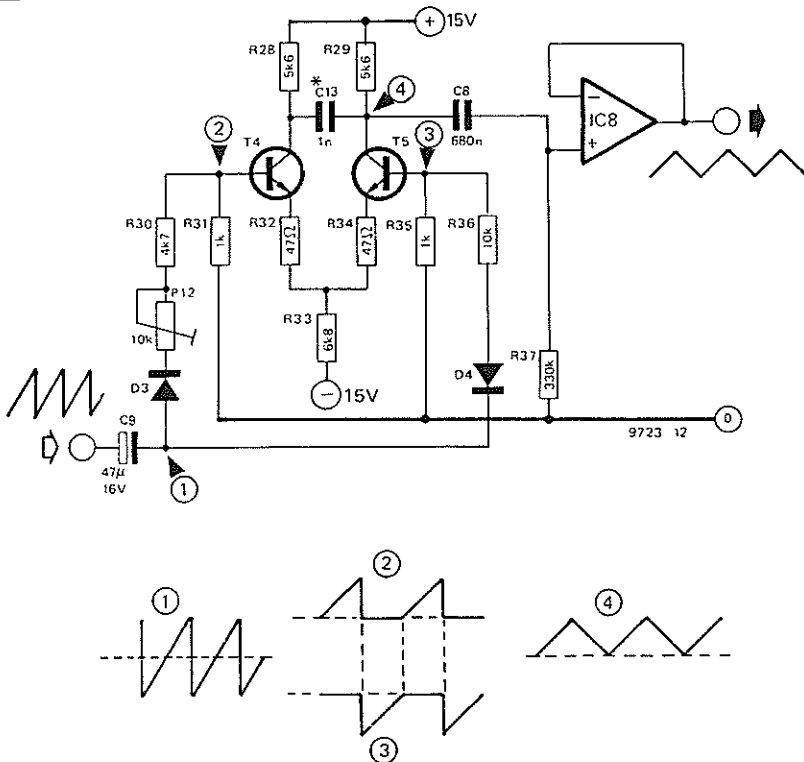


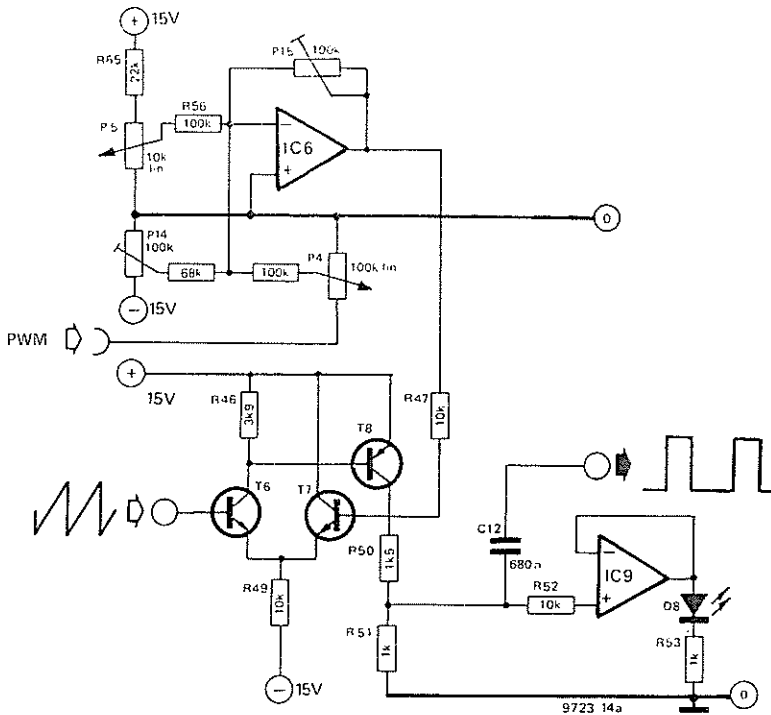
Bild 12. Konverterschaltung für Dreieck. Die Signale an verschiedenen Punkten zeigen die Zusammensetzung des Dreieckssignals aus Teilen des Sägezahns.

Bild 13. Aus dem Dreieck leitet diese einfache Schaltung durch "Verrundung" der Spitzen ein für musikalische Zwecke ausreichend sinusförmiges Signal ab.

Bild 14. Der Pulsweitenmodulator (PWM) erzeugt ein Rechtecksignal, dessen Puls/Pausen-Verhältnis durch eine Spannung am PWM-Eingang moduliert werden kann. Bild 14b zeigt das Entstehen der Modulation bei Verwendung eines "langsamen" Dreiecks als Modulationsspannung.

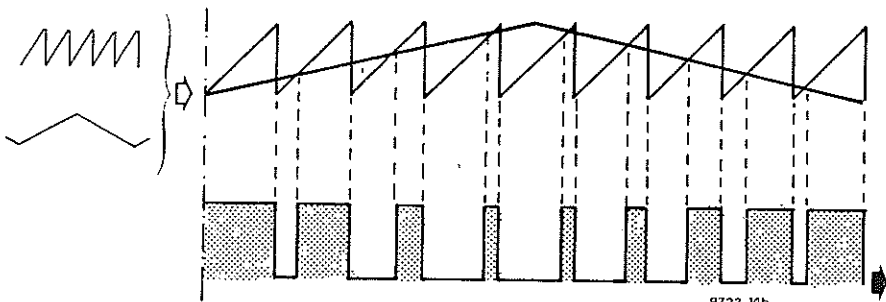
Bild 15. Diese Addierschaltung bildet den Ausgang des Kurvenformkonverters.

14a



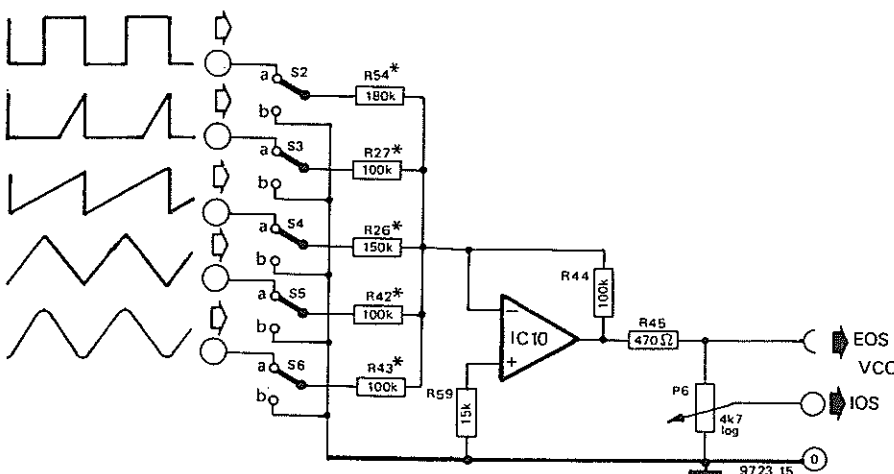
9723 14a

14b



9723 14b

15



9723 15

teten Platinenanschlußpunkt IOS (internes Ausgangssignal) weiter. Die Addierwiderstände tragen ein "siehe Text-Sternchen", weil sie auf gleiche Ausgangsamplitude der einzelnen Kurvenformen "eingemessen" werden (sollen).  
Ein weiterer Hinweis für "FORMANT-Weiterentwickler": Ersetzt man Schalter und Addierwiderstände durch Potentiometer, so erhält man ein "richtiges Kurvenformmischpult" mit Einzel- und Summeneinstellung (P6) am Ausgang des VCO-Moduls.

**Zusammenfassung**

Da nach den vielen Details der VCO-Beschreibung der Blick fürs Ganze verlorengegangen sein könnte, faßt der Schluß dieses Beitrags nochmals zwei wichtige Aspekte der musikalischen Funktion der VCOs zusammen. Die Aufgabe der VCOs im FORMANT ist die Erzeugung der wichtigsten Roh- oder Basis-Klänge, aus denen mit VCF(s) und VCA(s) musikalisch interessante Klänge geformt werden. Für diese Funktion sind zwei strukturelle Aspekte der VCOs von Bedeutung:

**Tonhöhengestaltung**

Die Spannungssteuerung der VCOs ermöglicht es, mit Hilfe der KOV (vom Interface) auf der Tastatur zu spielen und dabei die Funktionen des Interface (Portamento, Vibrato, Hauptstimmung) zu nutzen. Die Tonhöhen der VCOs folgen der Spannungsinformation aus dem Interface.

Die sorgfältig auf die 1 V/Oktave-Charakteristik gestimmten VCOs lassen sich auf der Tastatur in *temperierter Stimmung* (gleiche Halbtonintervalle) spielen. Hierzu müssen die VCOs sehr stabil und genau sein.

Die MOOG'sche Modulstruktur erlaubt es, durch Addition von Steuerungsspannungen die Stimmung der einzelnen VCOs zueinander beliebig zu verändern. Die FORMANT-VCOs können mit ihren Tonhöheneinstellern ("Octaves") zu beliebigen Akkorden gestimmt und diese auf der Tastatur in temperierter Stimmung gespielt werden.

Ebenfalls durch die Spannungssteuerung der VCOs ergibt sich die bereits in den vorhergegangenen Beiträgen beschriebene Möglichkeit, der Tastatur mit Hilfe der Hauptstimmungseinstellung einen beliebigen Tonhöhenbereich zuzuordnen.

Neben der Akkordstimmung der VCOs ist auch die *Unisono-Stimmung* (auf eine gemeinsame Tonhöhe) musikalisch interessant, da ein chorusartiges Phasing entsteht, das eine wesentliche Komponente komplexerer Synthesizer-Klänge darstellt. Obgleich der FORMANT "nur" monophon spielbar ist (wie alle spannungsgesteuerten Synthesizer mit Ausnahme des neuentwickelten Polymoog), können seine Klänge vielstimmig und orchestral sein -

durch Verwendung mehrerer, unabhängiger VCOs.

#### Klangfarben des VCOs

Am Ausgang jedes VCOs stehen fünf verschiedene Kurvenformen mit unterschiedlicher Obertonstruktur zur Verfügung. Bei einer geringeren Anzahl unterschiedlicher Kurvenformen würden die resultierenden Klänge trotz "guter" VCFs und VCAs einen einseitigen und monotonen Charakter haben. Mit den fünf Kurvenformen der FORMANT-VCOs, die auch die Möglichkeit einer Pulsweitenmodulation des Ausgangssignals mit variablem Obertonspektrum beinhalten, ergibt sich eine "breite Palette" von Grundklängen, die nicht zuletzt zur klanglichen Vielfalt des FORMANT-Musiksynthesizers beitragen.

#### Literatur:

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.O.: "Tubes versus transistors – is there an audible difference?". *JAES* May 1973

## Die Bauanleitung der VCOs

### Teil 5

#### Bauelementeauswahl

Um Wiederholungen zu vermeiden, muß auf die bereits gegebenen Bauteilhinweise erinnert werden. Darüber hinaus ergeben sich für den VCO folgende Forderungen: Für C2 MKM-Kondensator oder gleichwertigen Folienkondensator verwenden.

Transistoren T1 und T2 vor Einbau "testen".

Dioden D3 und D4 sollten möglichst gepaart sein.

Gepaarte Germaniumdioden sind teilweise im Fachhandel erhältlich, man kann auch ein "altes" Ratiofilter aus-schlachten, es enthält fast immer ein Ge-Diodenpaar. Notfalls lassen sich auch "ungepaarte" Dioden des gleichen Typs verwenden, die Eignung zeigt sich nach Einbau in die VCO-Schaltung. Die Auswahl der Feldeffekttransistoren T2 und T3 erfolgt auf die gleiche Weise

wie bei den FET-Sourcefolgern im Interface mit Hilfe der in Teil 3 veröffentlichten Testschaltung. Zum Unterschied von den FETs im Interface sind aber Exemplare, die in der Testschaltung eine Sourcespannung  $U_S$  unter 0,5 V aufweisen, nicht geeignet.

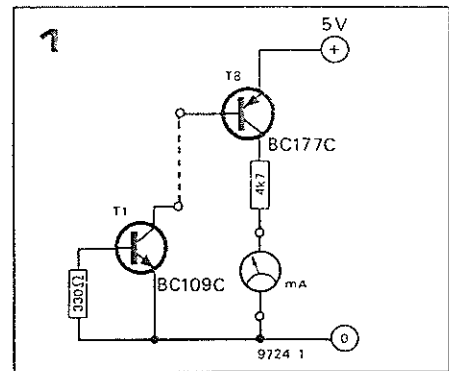
Andererseits können im VCO auch FET's verwendet werden, deren  $U_S$  in der Testschaltung zwischen 1,6 und 2 V beträgt (BF 245b). Diese FET's werden mit Sourcewiderständen von 4k7 (R17,R20) in der VCO-Schaltung eingesetzt. Alle anderen FETs ( $U_S$  in der Testschaltung 0,5 ... 1,5 V) erhalten im VCO Sourcewiderstände entsprechend Tabelle 1 in Teil 3.

Ebenfalls getestet werden sollte der "Reset"-Transistor T1 (BC 109C od. Äquivalent) des VCOs. Ein zu großer Reststrom im gesperrten Zustand kann nämlich zu merkwürdigem Fehlverhalten des VCOs führen. Bild 1 zeigt eine einfache Testschaltung, die neben dem zu testenden npn-Transistor T1 noch einen pnp-Transistor als "Meßverstärker" enthält. Für den pnp-Transistor verwendet man zweckmäßigerweise den Transistor T8, der nach dem Test im PMW-Teil der VCO-Platine zum Einsatz kommt. Den Kollektorstrom des npn-Transistors mißt das mA-Meter (Vielfachinstrument, 1 mA-Meßbereich), der 4k7-Widerstand verhindert eine Überlastung des Meßgeräts. Nach dem Anlegen der 5V-Versorgungsspannung bleibt die Basis von T8 zunächst offen. Wenn T8 einwandfrei ist, darf das Meßinstrument keinen Strom anzeigen. Als nächstes wird die Basis von T8 über einen 100 k $\Omega$ -Widerstand oder die angefeuchtete Fingerkuppe an Masse gelegt, das Meßinstrument muß Vollausschlag zeigen. Damit ist die Funktion von T8 so weit überprüft, daß der Kollektor von T1 angeschlossen werden kann.

Auch danach darf das Meßinstrument noch keinen Strom anzeigen, nur dann ist der Leckstrom des Transistors für eine Verwendung im VCO klein genug. Der Vollständigkeit halber kann man abschließend die Basis von T1 über einen Widerstand von 2k2 mit +5 V verbinden, ein Vollausschlag des Meßinstruments zeigt nun an, daß T1 auch eine Stromverstärkung aufweist.

#### Die Platine

Bild 3 zeigt die Platine von beiden Seiten und enthält auch die vollständige Stückliste. Der obere Teil der Platine dient zum Aufbau der Oszillatorsektion, (Steuerspannungsdierer, Exponential-generator, Sägezahnoszillator), im unteren Platinenteil ist der Kurvenformkonverter untergebracht. Diese beiden Schaltungsgruppen der VCO-Platine verfügen über getrennte Versorgungs- und Massebahnen mit getrennten Platinenanschlüssen. Die einzige Verbindung besteht in einer Drahtbrücke (am Sourceanschluß von



T3), die das Oszillatorsignal an den Konverter weitergibt. Im Gesamtschaltbild (Oszillatorsektion in Bild 2a, Kurvenformkonverter in Bild 2b) ist diese "Schnittstelle" mit dem Schaltungspunkt  $\otimes$  bezeichnet.

Eine Besonderheit des Platinaufdrucks stellt die Bezeichnung von Eingängen und Ausgängen dar. Alle Eingänge sind mit einem "offenen" Pfeil versehen, der auf den Anschlußpunkt zeigt, bei den Ausgängen zeigt ein geschlossener (mit Farbe ausgefüllter) Pfeil von dem Anschlußpunkt weg.

Eine Erläuterung der Anschlußbezeichnung:

- KOV = Keyboard Output Voltage (vom Interface-Empfänger)
- VCO/IOS = Internal Output Signal (Internes VCO-Ausgangssignal, wird zum VCF weitergeführt)
- EOS = External Output Signal (Klinkenbuchse auf der Frontplatte)
- ECV = External Control Voltage (externe Steuerspannung über Klinkenbuchse der Frontplatte)
- PWM = Pulse Width Modulation (Modulationsspannungseingang für Pulsbreitenmodulation.)
- FM = Frequency Modulation (Eingang für FM-Modulationsspannung)

#### Aufbau, Abgleich und Test

Diese drei Arbeitsgänge werden nacheinander entsprechend der Aufteilung der Schaltungsbeschreibung in Teil 4 durchgeführt. Lediglich der V/Oktave-Abgleich (Stimmung) erfolgt nach Fertigstellung des VCO-Moduls und wird wegen seiner Wichtigkeit am Ende dieses Beitrags gesondert beschrieben. Bei der Bestückung der Platine sollte man die bereits für die Interface-Platine gegebenen Hinweise beachten. Falls man eine VCO-Platine aus "eigener Fertigung" verwendet, sind zumindest die Versorgungsspannungs- und die Masseleiterbahnen zu verzinnen.

#### Oszillatorsektion

Als erstes wird der Sägezahnoszillator bestückt (Bild 3 in Teil 4), dabei sollte man die für Versorgungsspannungs- und Massezuführung erforderlichen Draht-



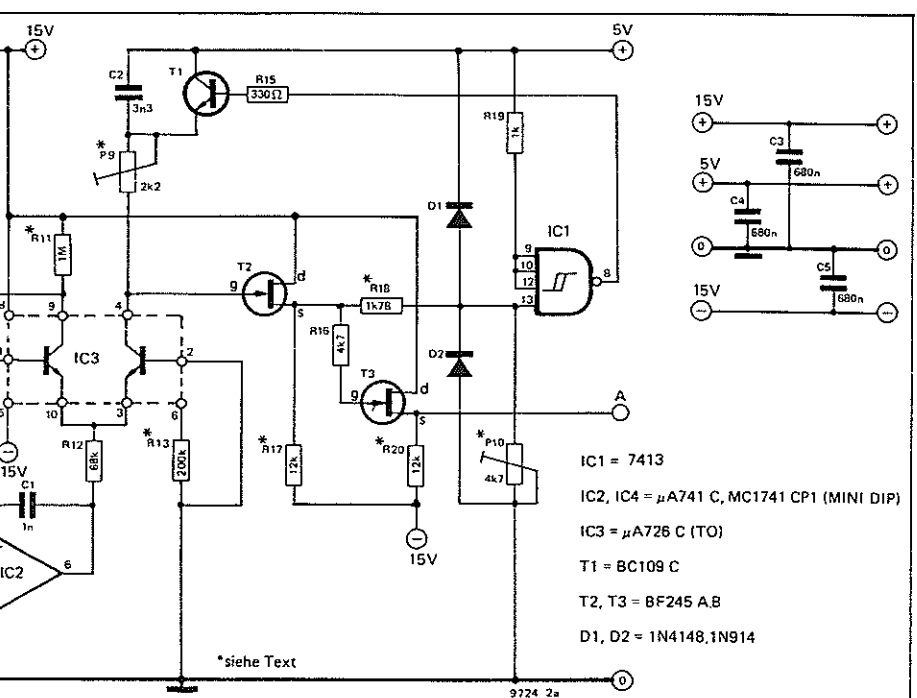
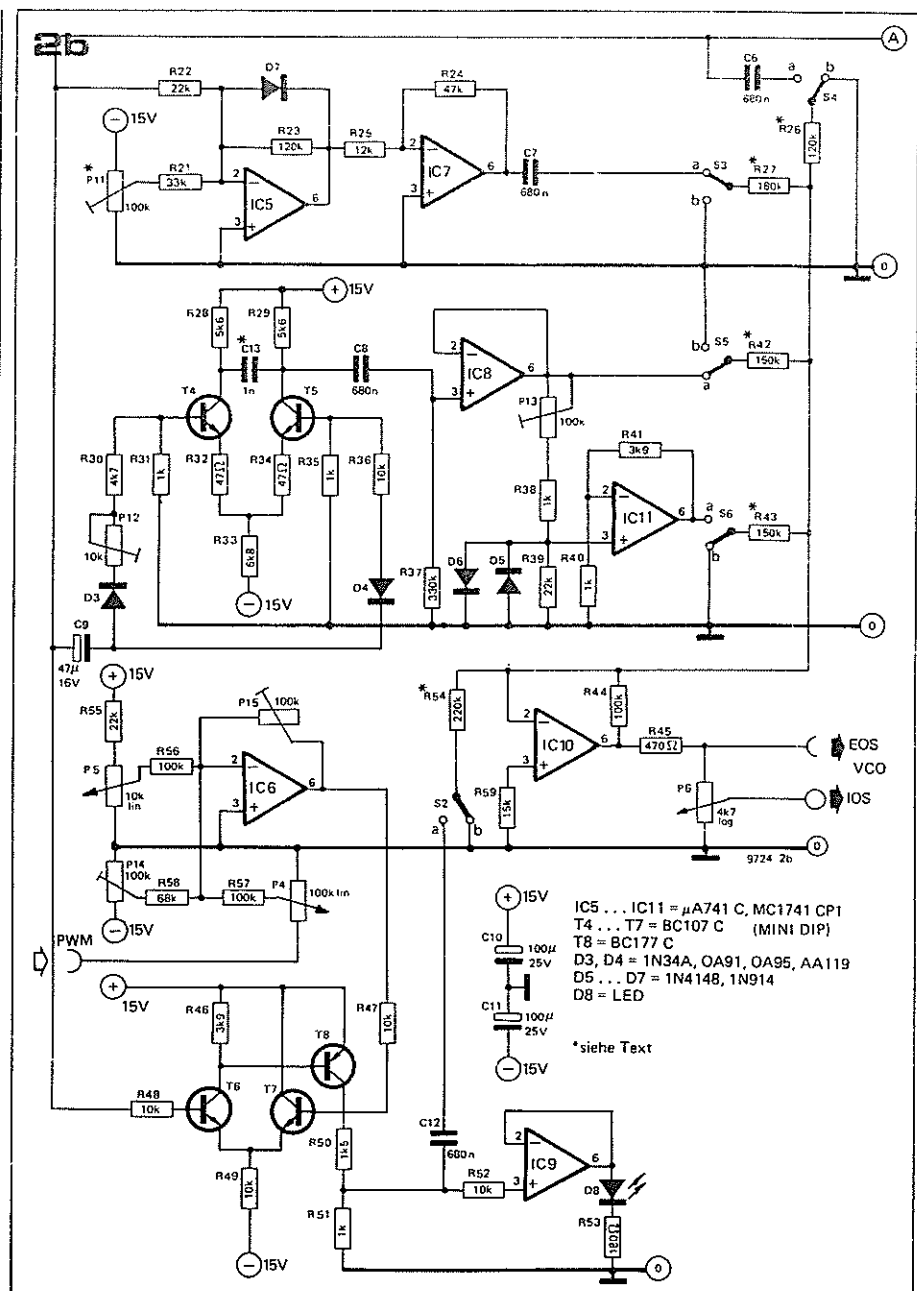
Bild 1. Einfache Testschaltung für die Transistoren T1 und T8 der VCO-Platine.

Bild 2. Gesamtschaltbild des FORMANT-VCOs. Aufgabe und Funktion der einzelnen Teilschaltungen wurden bereits in Teil 4 der Serie (Elektor März 77) besprochen. Bild 2a zeigt die "Oszillatorsektion", Bild 2b den Kurvenformkonverter.

Die Gesamtstromaufnahme beträgt bei maximaler Helligkeit von D8:

- + 5V/ca. 20 mA
- + 15V/ca. 50 mA
- 15V/ca. 35 mA

Die Schaltung des VCOs ist nicht nur für Synthesizer interessant. Sie kann auch als Grundlage für die Entwicklung eines außerordentlich vielseitigen und genauen Funktionsgenerators dienen.



brücken nicht vergessen. Zur Inbetriebnahme des Oszillatorteils ersetzt man den Exponentiator durch einen 1MΩ-Widerstand, der von P9 (Drahtbrückenanschlußpunkt bei R16/R17 benutzen) nach -15 V führt.

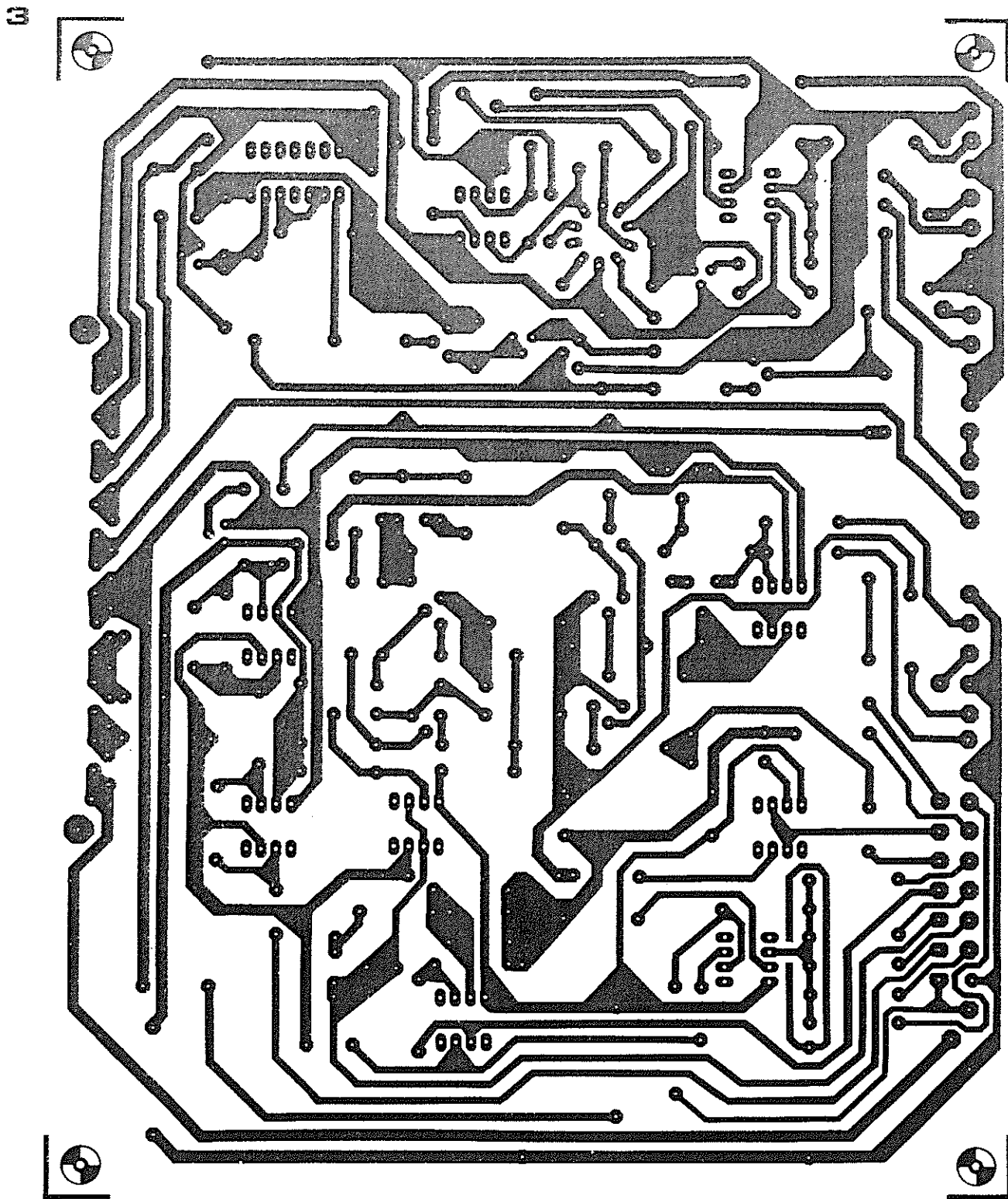
Der 1 MΩ-Widerstand dient als "Stromsenke" zur Aufladung des Kondensators C2. Das Oszilloskop mißt das Ausgangssignal des Oszillators am Schaltungspunkt A (Sourceanschluß T3 bzw. Drahtbrückenanschluß). Falls der Oszillator nach dem Einschalten der Versorgungsspannung noch nicht schwingt, kann er mit Cermet-Trimmer P10 "gestartet" werden. Dabei wird man feststellen, daß der Oszillator im Bereich der Endstellungen des Trimmers aussetzt. P10 sollte daher in die Mitte des "Arbeitsbereiches" gestellt werden. Die Frequenz des Oszillatorsignals beträgt etwa 1 kHz, die Amplitude ca. 3 V (Spitze zu Spitze). Da nun das

- IC5 ... IC11 =  $\mu$ A741 C, MC1741 CP1
- T4 ... T7 = BC107 C (MINI DIP)
- T8 = BC177 C
- D3, D4 = 1N34A, OA91, OA95, AA119
- D5 ... D7 = 1N4148, 1N914
- D8 = LED

\*siehe Text

- IC1 = 7413
- IC2, IC4 =  $\mu$ A741 C, MC1741 CP1 (MINI DIP)
- IC3 =  $\mu$ A726 C (TO)
- T1 = BC109 C
- T2, T3 = BF245 AB
- D1, D2 = 1N4148, 1N914

\*siehe Text



## Stückliste zu Bild 2.

## Widerstände:

## a) Metallfilm, 1% Toleranz

R1 = 150 k  
 R6 = 2k37  
 R8 = 750 Ω  
 R9, R10 = 100 k  
 R11 = 1 M  
 R13 = 200 k  
 R18 = 1k78

## b) Kohleschicht, 5% Toleranz

R2, R44, R56, R57 = 100 k  
 R3, R36, R47, R48,  
 R49, R52 = 10 k

R4 = 100 Ω  
 R5, R24 = 47 k  
 R7, R50 = 1k5  
 R12, R58 = 68 k  
 R14 = 1 M  
 R15 = 330 Ω  
 R16, R30 = 4k7  
 R17, R20 = 12 k (Richtwert)  
 R19, R31, R35, R38,  
 R40, R51 = 1 k  
 R21 = 33 k  
 R22, R39, R55 = 22 k  
 R23 = 120 k  
 R25 = 12 k  
 R26 = 120 k (Richtwert)  
 R27 = 180 k (Richtwert)

R28, R29 = 5k6  
 R32, R34 = 47 Ω  
 R33 = 6k8  
 R37 = 330 k  
 R41, R46 = 3k9  
 R42, R43 = 150 k (Richtwert)  
 R45 = 470 Ω  
 R53 = 180 Ω  
 R54 = 220 k (Richtwert)  
 R59 = 15 k

## Trimmpotentiometer:

## a) Cermet

P7 = 200 (220, 250) Ω, Wendel-  
 trimmer  
 P8, P11 = 100 k  
 P9 = 2k2  
 P10 = 4k7

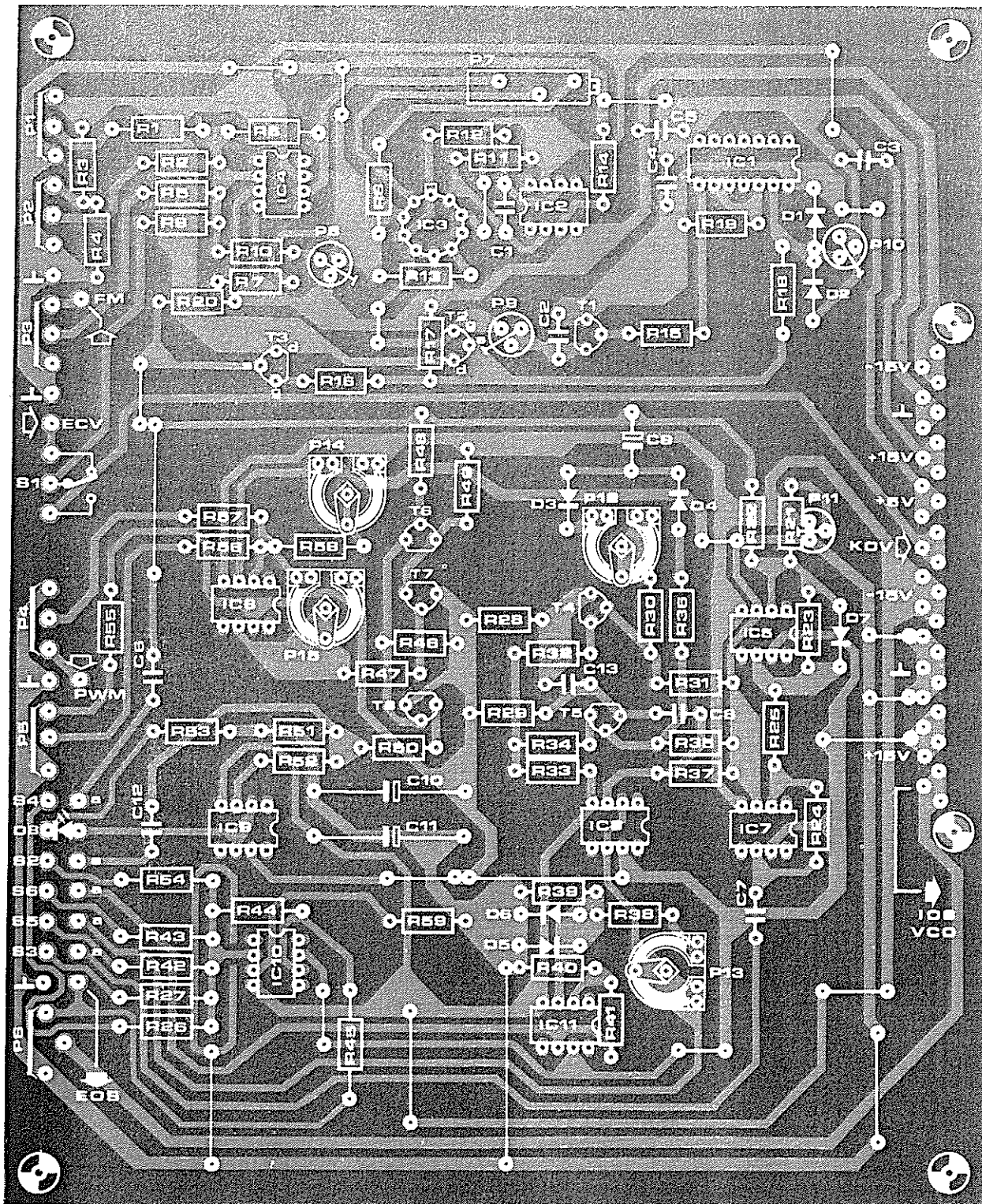
## b) Kohleschicht

P12 = 10 k  
 P13, P14, P15 = 100 k

## Potentiometer:

## a) Cermet

P1 = 100 k lin.



#### b) Kohleschicht

P2,P4 = 100 k lin.  
 P3 = 50 k log.  
 P5 = 10 k lin.  
 P6 = 4k7 (5 k) log.

#### Kondensatoren:

C1 = 1 n  
 C2 = 3n3 (MKM)  
 C3,C4,C5,C6,C7,  
 C8,C12 = 680 n  
 C9 = 47  $\mu$ /16 V  
 C10,C11 = 100  $\mu$ /25 V  
 C13 = 1 n (siehe Text)

#### Halbleiter:

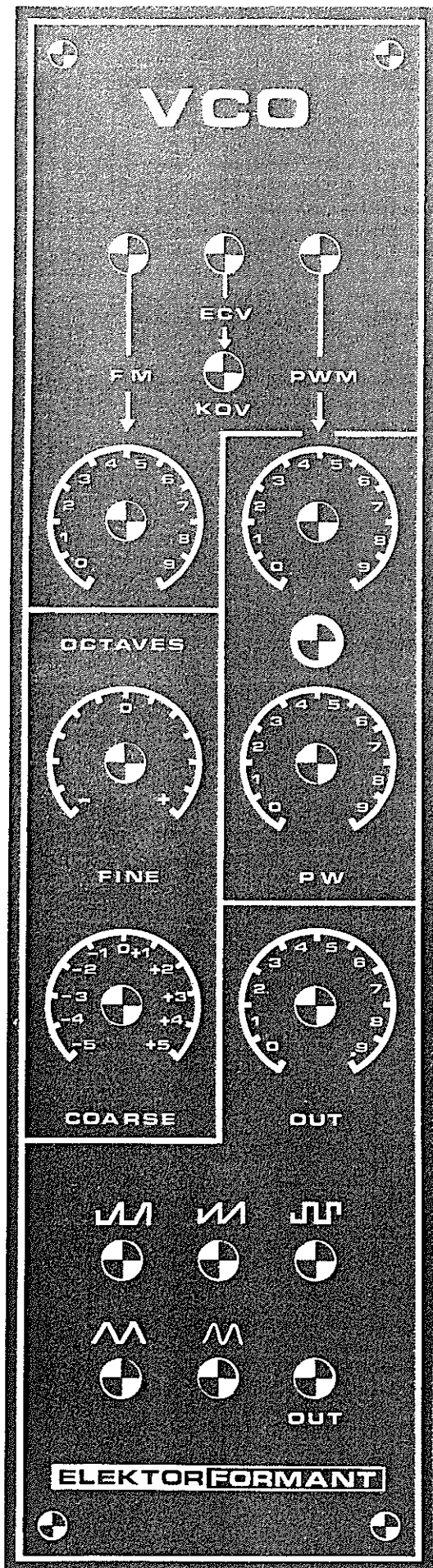
T1 = BC 109 C  
 T2,T3 = BF 245 A, B  
 T4 ... T7 = BC 107 C  
 T8 = BC 177 C  
 D3,D4 = OA 91, OA 95, AA 118,  
 AA 119, 1N34 A  
 D1,D2,D5,  
 D6,D7 = 1N4148, 1N914  
 D8 = LED  
 IC1 = 7413  
 IC2,IC4,IC5,IC6,IC7,IC8,  
 IC9,IC10,IC11 =  $\mu$ A 741C  
 MC1741 CP1 (MINI DIP)  
 IC3 =  $\mu$ A 726 C (TO, Fairchild)

#### Verschiedenes:

31-polige Steckerleiste  
 (DIN 41617) oder Lötningel  
 S1 ... S6 = Miniatur-Kipp-  
 schalter 1 x Um  
 4 x Klinkenbuchse 3,5 mm  
 6 x Drehknopf (Achsbohrung  
 6 mm, 13 ... 15 mm Durch-  
 messer) mit Pfeilring oder glas-  
 klarer Scheibe (26 mm  $\phi$ )  
 Frontplatte VCO

Bild 3. Platine mit Layout, Bestückungsplan  
 und Stückliste des FORMANT-VCOs.

4



„Herz“ des VCOs zu schlagen begonnen hat, kann die Oszillatorsektion (entsprechend Bild 2a) vollständig aufgebaut werden, als Einstellelement reicht P1 aus, die anderen Eingänge des Eingangsaddierers (Schleifer von P2 und P3, Mutterkontakt von S1) legt man auf Masse. Nach dem Einschalten zeigt sich die grundsätzliche Funktion der exponentiellen Steuerung, wenn der Schleifer von P1 langsam von masseseitigen Ende nach „oben“ gedreht wird. Die Frequenz des VCOs muß schnell ansteigen. Hat der VCO bei sehr niedrigen Frequenzen „Startschwierigkeiten“, so muß die Einstellung des Starttrimmers so korrigiert werden, daß der VCO auch bei niedrigen Frequenzen sicher anschwingt.

Ein weiteres Indiz für die „ordnungsgemäße“ Funktion des Exponentiators ist die Kurvenform des Ausgangssignals: War beim ersten Versuch mit dem 1 M $\Omega$ -Widerstand die Rampe des Sägezahns noch exponentiell „verformt“, so muß sie jetzt linear sein (siehe Foto 1).

Als nächstes folgt der Abgleich des Offset-Trimmers auf eine Oszillatorfrequenz an der unteren Hörgrenze (ca. 15 Hz), wenn alle anderen Addierereingänge auf Masse liegen. Es kommt hier nicht auf eine überaus genaue Einstellung an.

#### Kurvenformkonverter

Der Aufbau des Konverterteils beginnt mit der „Spaced Sägezahn“-Schaltung (Bild 11a in Teil 4). Das Ausgangssignal steht am Anschlußpunkt S5a zu Meßzwecken zur Verfügung. Mit dem Cermettrimmer P11 ist es möglich, die „Qualität“ der Kurvenform (wie hell sie klingt) einzustellen. Das ist eine Frage des „Geschmacks“, als Anhaltspunkt möge eine Einstellung dienen, die am Ausgang eine Signalamplitude von ca. 3 V (Spitze zu Spitze) ergibt (vergleiche auch Foto 2).

Als nächstes kommen die Dreieck- und Sinuskonverterstufen „an die Reihe“. C13 im Dreieckkonverter wird zunächst nicht bestückt. Die „Eignung“ der Germaniumdioden D3 und D4 zeigt der resultierende „Dreieck“ am Ausgang (S5a): In Mittelstellung von P12 ist die Unsymmetrie des Signals ein „Maß“ für die „Ungleichheit“ der Dioden.

Diese Unsymmetrie kann mit P12 bis zu einem bestimmten Grad ausgeglichen werden. Reicht der Einstellbereich des Trimmers nicht aus, um eine symmetrische Kurvenform einzustellen, bleibt nichts anderes übrig, als nach besser übereinstimmenden Germaniumdioden zu suchen.

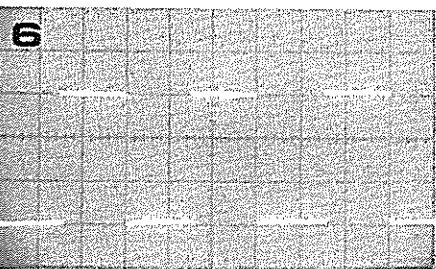
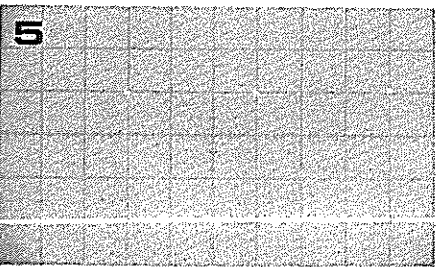
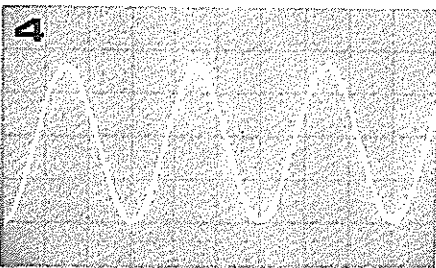
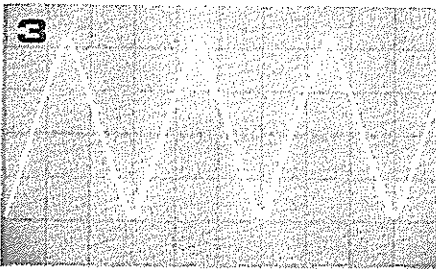
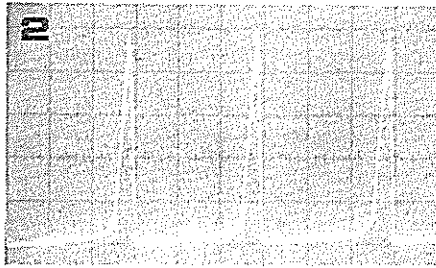
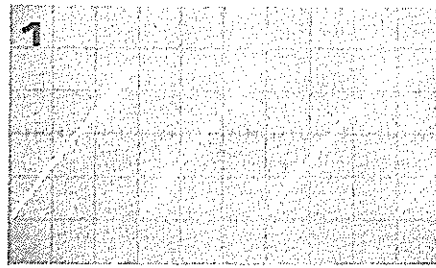
Foto 3 zeigt die richtige Einstellung der Dreieck-Kurvenform. Eine eventuell noch vorhandene „Einkerbung“ der Spitze durch einen Nadelimpuls kann durch den Kondensator C13 beseitigt werden, in der Regel ist dieser Kondensator nicht erforderlich.

Die Diodenproblematik gilt in ähnlicher Form auch für den Sinuskonverter. Die

Bild 4. VCO-Frontplatte

Foto 1 . . . Foto 7. Kurvenformen des VCOs:

1. Sägezahn
2. "Spaced Sägezahn"
3. Dreieck
4. Sinus
5. Rechteck mit ca. 1% Pulsbreite
6. Symmetrisches Rechteck
7. Rechteck mit ca. 99% Pulsbreite



Gleichheit der Dioden bestimmt die Symmetrie des Ausgangssignals am Anschluß S6a, die Annäherung der Sinuskurve (Abrundung der Dreieckspitzen) stellt der Trimmer P13 ein. Das Sinussignal zeigt Foto 4.

Als letzte Konverterschaltung wird der PWM-Modulator aufgebaut. Für Abgleich und Test wird das Potentiometer P5 angeschlossen und der Schleiferanschluß von P4 mit Masse verbunden.

Der Abgleich des Modulatorteils soll mit Hilfe der beiden Trimmer so erfolgen, daß das Potentiometer P5 den gesamten Pulsbreiten-Einstellbereich von 1% bis 99% Pulsdauer überstreicht. Eine Einstellung der beiden Trimmer nach der Methode von "Versuch und Irrtum" kann u. U. länger dauern, schneller zum Ziel führt folgendes Verfahren:

- 1) P14 auf eine Spannung von 5,5 V am Schleifer einstellen, P15 auf maximalen Wert drehen.
- 2) Voltmeter an den Ausgang von IC6 anschließen
- 3) PW Ausgangssignal mit Oszilloskop am Anschluß S2a beobachten.
- 4) Mit P5 maximale und minimale Impulsbreite des Ausgangssignals einstellen und die Spannungswerte in den beiden Stellungen am Ausgang von IC6 messen und notieren (Der höhere Spannungswert bei minimaler Pulsbreite ist im folgenden mit  $U_{max}$ , der niedrigere Wert für maximale Pulsbreite mit  $U_{min}$  bezeichnet).

5) P14 auf "Masse drehen", P5 auf max. Schleiferspannung einstellen. Mit P15 die Ausgangsspannung von IC6 nun so einstellen, daß diese Spannung gleich der Differenz der Spannungen  $U_{max}$  und  $U_{min}$  ( $U_{max}-U_{min}$ ) ist. Wegen der Invertierung durch IC6 ist die Ausgangsspannung negativ!

6) P5 bleibt unverändert, P14 nun auf maximale Impulsbreite des Ausgangssignals einstellen. Der PW-Abgleich ist damit beendet, zur abschließenden Kontrolle P5 "auf Masse drehen", das Ausgangssignal muß nun minimale Pulsbreite aufweisen.

Der Ausgangsaddierer wird zunächst ohne die Addierwiderstände R26, R27,

R42, R43, und R54 aufgebaut. Anstelle dieser Widerstände setzt man der Reihe nach ein 250 k-Potentiometer ein und stellt damit die Amplitude der jeweiligen Kurvenform am EOS-Ausgang auf ca. 2,5 V Spitze zu Spitze ein. Nach dem "Ausmessen" des Potentiometerwiderstands wird ein entsprechender Festwiderstand eingelötet. Es ist ausreichend genau, wenn man die Addierwiderstände so auswählt, daß die Amplitude der Kurvenform am Ausgang EOS zwischen 2 und 3 V (Spitze zu Spitze) liegt.

### Die Frontplatte

Bild 4 zeigt einen Frontplattenvorschlag für das VCO-Modul. Die Anordnung der Bedienelemente erfolgt nach funktionalen Gesichtspunkten. Alle Eingänge (3,5 mm Klinkenbuchsen) befinden sich ganz oben: FM, ECV und PWM. Den FM- und PWM-Eingängen sind die Abschwächer (P3 und P4) zugeordnet, die Pfeilrichtung veranschaulicht den Signalweg. Unter dem ECV-Eingang befindet sich der Kippschalter S1, der die Wahl der Steuerspannung (ECV oder KOV) ermöglicht. Die Frontplattenelemente des PWM-Teils werden durch eine Umrandung zusammengefaßt, das gleiche ist auch bei den Einstellern für die Stimmung (Octaves Coarse und Fine) der Fall. Im PWM-Block befinden sich neben dem bereits erwähnten PWM-Abschwächer der Einsteller PW für die Pulsbreite des Rechtecksignals (=P5) und zwischen den beiden Einstellern die PW-Anzeige-LED (D8).

Der untere Teil der Frontplatte enthält alle dem VCO-Ausgang zugeordneten Elemente:

Den Amplituden (Lautstärke) -Einsteller OUT (= P6), die Kippschalter S2 . . . S6 für die Kurvenformwahl und die Klinkenbuchse OUT für das externe Ausgangssignal EOS.

### Aufbau des VCO-Moduls

Der VCO-Modul entsteht durch die Verbindung von Frontplatte und Platine zu einer mechanischen und elektronischen Einheit. Für die mechanische Verbindung reichen im Grunde zwei Metallwinkel, die mit der Vorderseite der Platine verschraubt und mit der Frontplatte verklebt (oder auch verschraubt) werden. Aus Gründen der mechanischen Stabilität und der elektrischen Abschirmung der Module ist es aber sehr zu empfehlen, die Frontplatte durch einen "Platinenhalter" aus Alublech (ähnlich wie bei der Interfaceplatine) zu ergänzen und die Platine auf diesem Platinenhalter mit vier Schrauben und Abstandsröllchen zu befestigen (siehe Foto 8).

Die Verdrahtung zwischen Platine und Frontplatte kann übersichtlich ausfallen, da man mit relativ kurzen Anschlußdrähten auskommt. Für die Klinkenbuchsen ist eine einzige Masseverbindung ausreichend, über diese Buchse wird gleichzeitig die Frontplatte

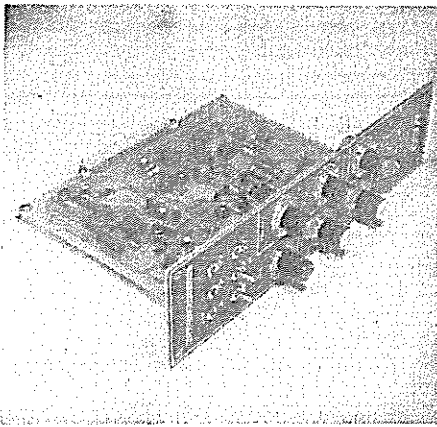


Foto 8. VCO-Modul. Die Platine ist auf einem Platinenträger aus Aluminiumblech befestigt, der mit der Frontplatte eine mechanische Einheit bildet. Der Anschluß im Gehäuse erfolgt über eine 31-polige Steckerleiste an der Platinenrückseite.

(und der Platinenträger) geerdet. Bei den Kippschaltern S2 . . . S6 darf man keinesfalls vergessen, die mit b bezeichneten Kontakte auf Masse zu legen, um Brummeinstreuungen auf die sonst offenen Eingänge des Ausgangs-addiereres zu vermeiden.

### Abgleich der V/Oktave-Charakteristik

Die "kritischste" Abgleichaufgabe im FORMANT-Synthesizer ist der V/Oktave-Abgleich der VCOs. Sie sollte so sorgfältig wie möglich durchgeführt und von Zeit zu Zeit erneut überprüft werden. Vor dem Abgleich sollte der VCO einige Zeit "warmlaufen". Für den Abgleich benötigt man das genau auf 1 V/Oktave abgegliche Keyboard und eine stabile Bezugsfrequenz, z.B. von einem zweiten VCO, einer Quarzzeitbasis mit 500 Hz-Ausgang oder einer ähnlich stabilen Signalquelle. Das Sägezahnsignal von dem abzugleichenden VCO und das Referenzsignal (ca. 400 . . . 500 Hz) werden entweder über zwei Verstärker mit Lautsprechern oder über eine Addierstufe (wie IC10 im VCO) abgehört. Der VCO wird an die KOV vom Keyboard angeschlossen und die Hauptstimmung des Keyboards abgeschaltet. Nun drückt man die oberste Taste der Tastatur und stimmt den VCO, während die Taste gedrückt bleibt, mit Hilfe von Grob- und Feinstimmung auf die Tonhöhe des Referenzsignals. Beide Tonhöhen stimmen genau überein, wenn die entstehenden Schwebungen immer langsamer werden und schließlich "stehen bleiben" (*Schwebungsnull*). Nachdem Schwebungsnull erreicht ist, drückt man die Taste eine Oktave tiefer. Wahrscheinlich tritt jetzt eine Dissonanz oder eine sehr schnelle Schwebung auf. Während die Taste gedrückt bleibt, wird mit dem Wendeltrimmer P7 auf Schwebungsnull, *dieses Mal eine Oktave tiefer*, eingestellt. Drückt man jetzt ein zweites Mal die obere Taste, so stellt man fest, daß sich der VCO durch die Einstellung von P7 gegenüber der Referenzfrequenz wieder etwas verstimmt hat. Die Korrektur

erfolgt über Grob- und Feinstimmung. Beim anschließenden Drücken der Taste "eine Oktave tiefer" wird wiederum mit Wendeltrimmer P7 korrigiert. Dieses Verfahren muß noch einige Male wiederholt werden, bis nach dem Einstellen von Schwebungsnull auf der obersten Taste ebenfalls Schwebungsnull eine Oktave tiefer (ohne Korrektur!) erreicht wird. Dann muß auch zwei Oktaven tiefer Schwebungsnull erreicht sein. Nach erfolgreichem Abschluß dieser Abgleichprozedur ist eine ausreichend genaue Einhaltung der V/Oktave Charakteristik bis in den unteren kHz-Bereich garantiert. Für die Genauigkeit bei höheren Frequenzen ist ein Abgleich von P9 erforderlich. Das geht ähnlich wie vorhin bei P7 vor sich, nur wählt man jetzt eine Referenzfrequenz (z.B. von einem zweiten VCO) von ca. 2 kHz. Auf der Tastatur drückt man das tiefste "C" und stimmt den angeschlossenen VCO mit seiner Grob- und Feinstimmung auf Schwebungsnull. Nun wird das "C" eine oder zwei Oktaven höher gedrückt und P9 so eingestellt, daß sich möglichst langsame Schwebungen ergeben. Beim anschließenden tiefsten "C" muß wieder mit Grob- und Feinstimmung Schwebungsnull eingestellt werden usw., siehe Abgleich von P7. Als Faustregel kann gelten: Bei richtiger Einstellung steht der Schleifer von P9 ungefähr in der Mitte seines Einstellbereichs.

Wer an einer meßtechnischen Überprüfung der VCOs interessiert ist, kann dabei nach folgender Anleitung vorgehen: Zum Abgleich muß die Verbindung zwischen Schleifer von P1 und R1 getrennt werden. Danach legt man R1 auf Masse und verbindet den Schleifer von P1 mit dem KOV-Eingang. Die Schleifer der Potentiometer P2/P3 müssen auf Masse gedreht sein. Die Schleiferspannung von P1 wird mit einem möglichst genauen DVM gemessen. Bei einer Schleiferspannung von 0 V zeigt der am VCO-Ausgang angeschlossene Frequenzähler wegen des bereits durchgeführten "Offsetabgleich" (mit P8) eine Frequenz von 15 Hz. P9 wird in Mittelstellung gebracht. Danach "fährt" man die Spannung an P1 in 1V-Schritten "hoch". Der Frequenzähler muß bei jeder

Erhöhung der Steuerspannung (von P1) um 1 V eine Verdopplung der Oszillatorfrequenz anzeigen (0V = 15 Hz, 1V = 30 Hz, 2V = 60 Hz, 3V = 120 Hz usw.) P7 wird nun in wiederholten Versuchen so eingestellt, daß die V/Oktavecharakteristik über einen möglichst großen Bereich möglichst genau eingehalten wird. Ein Frequenzabfall bei den höheren Frequenzen (über etwa 3 kHz) kann mit P9 weitgehend kompensiert werden.

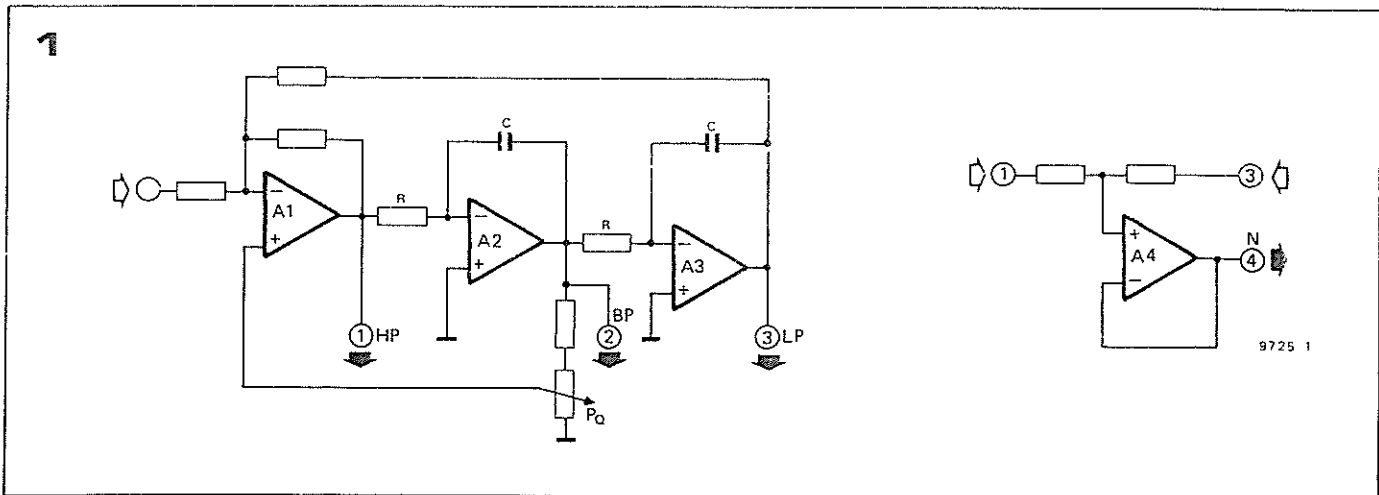
## VCF

### Teil 6

Mit diesem Beitrag beginnt die Beschreibung der *klangformenden* FORMANT-Module, welche aus den Oszillatorklängen einzelne Töne und Klänge mit Beginn, Dauer und Ende formen, die durch eine bestimmte Klangfarben- und Lautstärkedynamik gekennzeichnet sind. Diese Klangformung geschieht im Synthesizer durch das (die) VCF(s) und den (die) VCA(s) und mit Hilfe "Ihrer" ADSR-Hüllkurvengeneratoren. Als erstes klangformendes FORMANT-Modul wird in diesem Beitrag das State Variable-VCF beschrieben. An seinen Ausgängen können vier Filterfunktionen mit Hilfe von Kippschaltern angewählt werden:

- 12 dB Hochpaß
- 12 dB Tiefpaß
- 6 dB Bandpaß
- Sperrpaß (Notchfilter)

Die Filterfrequenz ist bei allen 4 Funktionen *identisch*. Sie ist mit 1 V/Oktave von kleiner 15 Hz bis zur oberen Hörgrenze kontinuierlich spannungsgesteuert. Eine von den 4 Filtertypen unabhängige, weitere klangliche Dimension ist die einstellbare "Filterresonanz" (Q-Faktor oder "Güte"). Eine hohe "Filterresonanz" führt — je nach Form der aussteuernden Hüllkurve — zu "sprechenden" WAWA-artigen Klängen, zu Sitar-ähnlichen Klängen (Sitar = indisches Saiteninstrument) oder zu "phantastischen" Klängen, die von vielen Zuhörern als "typische Synthesizerklänge" identifiziert werden. Das in diesem Beitrag beschriebene State Variable-VCF ist somit eine Art *Vierfach-Filter*, das zusammen mit der "Filterresonanz" ein weites Spektrum der Klangfarbenbeeinflussung zuläßt. Hierbei ist dieses VCF sehr einfach aufgebaut, so daß es gegebenenfalls ein zweites Mal leicht und ohne viel Kosten aufgebaut werden kann. Wieso dies sinnvoll sein kann, wird im nächsten Abschnitt ausführlicher geschildert.



### Aufgaben der Filter im Synthesizer

Die Art der Filter im Synthesizer bestimmt stärker als jedes andere Modul die klanglich-musikalischen Möglichkeiten des Synthesizers. Die Art der Filter legt fest, welche instrumentalen Klangfarben der Synthesizer besonders differenziert verwirklichen kann. Das State Variable-VCF mit seinem 12 dB-Tiefpaß (der Tiefpaß ist die wichtigste Filterfunktion im Synthesizer) ist besonders gut für die Verwirklichung "heller, durchsichtiger", obertonreicher Klänge geeignet, während sich "dunkle", "mächtige", "symphonische" Klangfarben mit starker Klangfarbendynamik besser mit einem steilen 24 dB VCF (Tiefpaß) realisieren lassen.\*

Diese beiden VCFs ergänzen sich vorzüglich und zusammen eröffnen sie dem ernsthaften FORMANT-Spieler praktisch alle Klangfarbendimensionen, über die man sonst nur bei sehr teuren Studio-Synthesizern verfügen kann. Die meisten kommerziellen Synthesizer (sieht man von den erwähnten Studio-Synthesizern ab) enthalten nur ein einziges Filter, praktisch immer in Form eines Tiefpasses mit einer Steilheit von 12 bis 24 dB/Oktave (nur MOOGs enthalten durchgängig VCFs mit 24 dB Steilheit). Daß ein einziges Filter für die Klangfarbengestaltung oft nicht reicht, wird bald deutlich werden.

So wie bei einer akustischen Gitarre oder einer Geige ihr kunstvoll gefertigter Holzkörper für ihren "guten Klang" verantwortlich ist, so ist die Filterstruktur des Synthesizers für seine musikalischen Grundklänge verantwortlich. Die Bedeutung der Kurvenformen der VCOs und die unterschiedliche Steilheit der Tiefpaß-VCFs sind bereits in diesem Zusammenhang erwähnt worden. Ein weiterer Aspekt, der für die differenzierte Gestaltung der

**Bild 1.** Grundschaubild eines State Variable Filters. Das interessanteste an diesem Universalfilter ist, daß an den Ausgängen 1...4 gleichzeitig die Filterfunktionen Bandpaß, Hochpaß, Tiefpaß und Sperrpaß zur Verfügung stehen, außerdem ist die Güte (Q-Faktor) unabhängig von der Filterfrequenz mit dem Potentiometer P<sub>Q</sub> einstellbar.

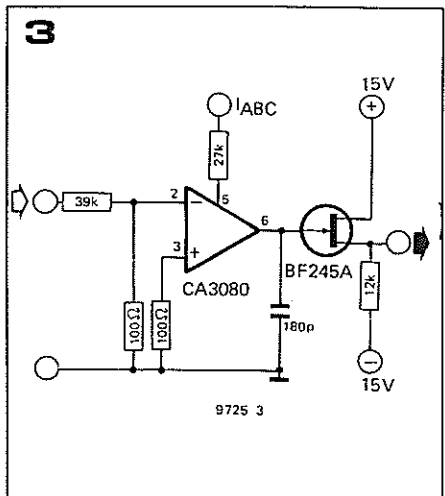
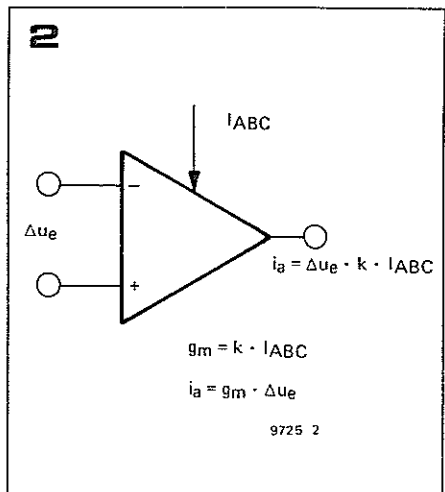
**Bild 2.** Darstellung der Zusammenhänge zwischen den Eingangs-Steuer- und Ausgangsgrößen eines OTAs. Der Ausgangsstrom i<sub>a</sub> ist nicht nur proportional der Differenz-Eingangsspannung, sondern auch dem Steuerstrom I<sub>ABC</sub>.

**Bild 3.** Praktische Ausführung eines OTA-Integrators. Der OTA bildet zusammen mit dem 180 p-Kondensator an seinem Ausgang ein linear stromgesteuertes Integrierglied. Der Einsatz solcher OTA-Integratoren im VCF ermöglicht die Stromsteuerung der Filterfrequenz.

Klangfarben verantwortlich ist, ist die Anzahl und Anwendung der Filter.

**a) Tracking-Filter mit ADSR-Aussteuerung:** In FORMANT Teil 1 ist bereits im Überblick die Funktion des Tracking-Filters beschrieben worden, wie es von der KOV so angesteuert wird, daß seine Eckfrequenz (Tiefpaß) parallel den Frequenzen der VCOs folgt und die Eckfrequenz zusätzlich von der Spannungskontur des ADSR-Generators bei jedem Tastendruck mit einem einstellbaren Verlauf verschoben wird. Dies soll an einem Beispiel etwas veranschaulicht werden:

Um einen posaunenartigen Klang zu verwirklichen, wählt man beim (bei den) VCO(s) das "volle" Spektrum des Sägezahns oder "spaced" Sägezahns. Als Filterfunktion wird der Tiefpaß benutzt. Mit dem "OCTAVES"-Regler des VCFs stellt man die Eckfrequenz des Tiefpaß so niedrig ein, daß der Tiefpaß geschlossen ist und keine VCO-Signale passieren läßt. Das VCF bleibt für alle Tönhöhen, die man auf der Tastatur spielen kann, ursprünglich geschlossen, da sich die Eckfrequenz durch die aussteuernde KOV z.B. in dem Maße erniedrigt wie die Tönhöhen fallen. Drückt man eine Taste, so löst der GATE-Impuls aus dem Interface den



zum VCF zugehörigen ADSR-Generator aus, der eine Steuerspannungskontur erzeugt, die nun das anfangs geschlossene VCF mit bestimmtem Verlauf öffnet.

Für posaunenartige Klänge ist vor allem eine relativ langsame "Einschwingzeit" jedes einzelnen Tons kennzeichnend (man bezeichnet die Einschwingphase als ATTACK), wobei während dieses ATTACKs die Obertöne immer mehr zunehmen: der Klang wird also, während er relativ langsam entsteht, immer "heller", um später dunkel auszuklingen. Der ADSR-Generator kann so eingestellt werden, daß er eine relativ langsam ansteigende Steuerspannungskontur

\* Bei Drucklegung des Buches war das ELEKTOR-Labor mit der Entwicklung eines solchen steilen VCFs beschäftigt. Der entsprechende Beitrag ist für eine Veröffentlichung Frühjahr 78 in der monatlich erscheinenden Zeitschrift ELEKTOR vorgesehen.

erzeugt, die, wenn man eine Taste drückt, den vorher geschlossenen Tiefpaß des VCFs nun langsam aufsteuert, so daß zuerst der Grundton, dann die unteren Obertöne und schließlich die oberen Obertöne hörbar werden. Auf diese Weise erzeugt das VCF einen posaunenartigen Blechbläserklang.

Verändert man die Parameter der aussteuernden Hüllkurve (das wird im nächsten Beitrag ausführlich beschrieben), kann man eine Fülle von instrumentalen Klangfarben-Dynamiken mit dem Tiefpaß als *Tracking Filter verwirklichen*. Dies ist die klassische Anwendung des VCFs im Synthesizer und deswegen enthalten alle Synthesizer ein spannungsgesteuertes Tiefpaßfilter.

Das Tracking-Filter erzeugt Klangfarbendynamiken, die vom ADSR-Generator gesteuert werden und die jedesmal neu ablaufen, wenn man eine Taste des Keyboards drückt. Diese Klangfarbendynamik ist also bei verschiedenen Tonhöhen immer ähnlich wie dies auch für "natürliche" Musikinstrumente kennzeichnend ist. Eine Posaune etwa ist bei tiefen wie bei hohen Tönen durch einen ähnlichen tonalen Verlauf

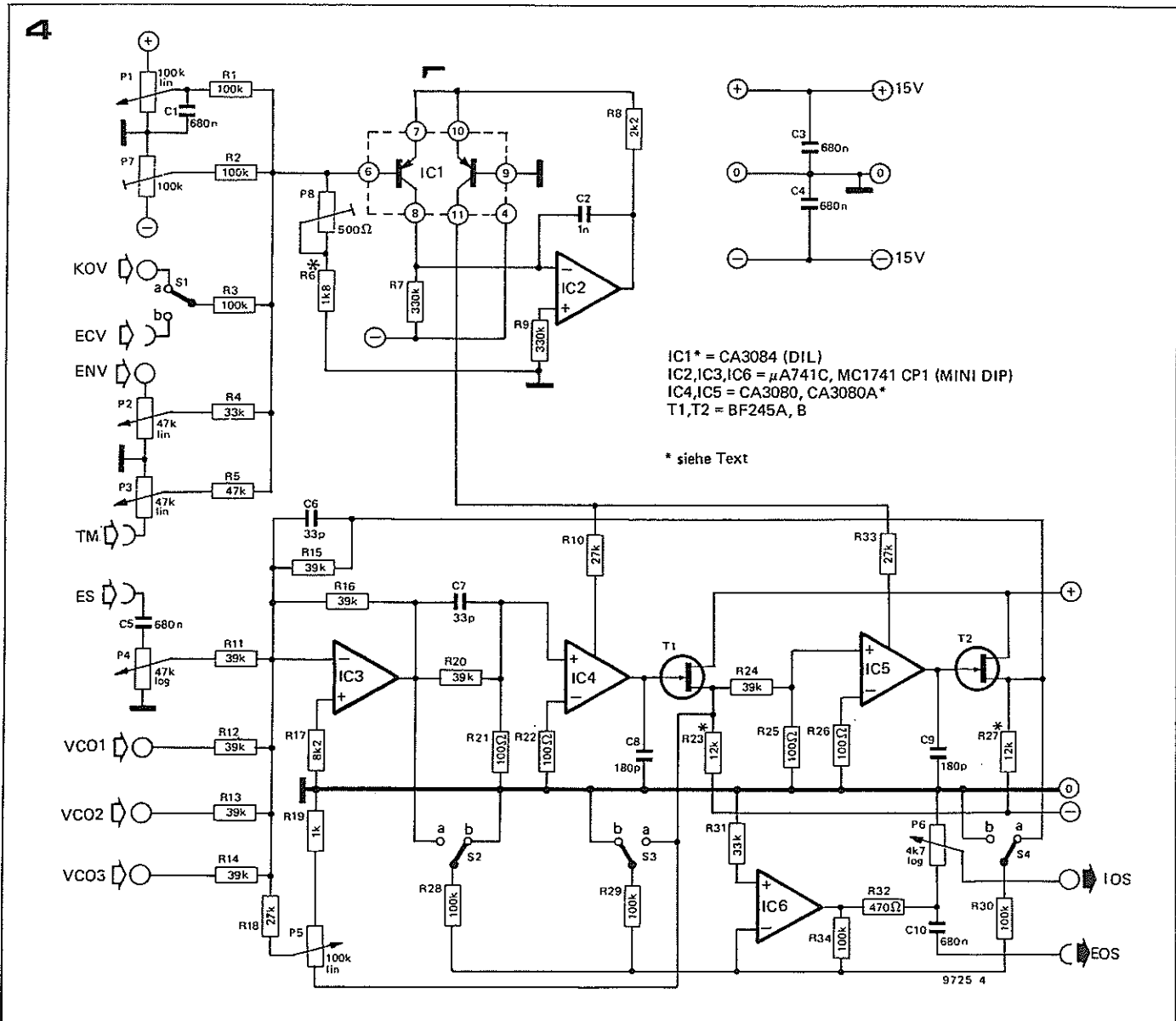
gekennzeichnet. Der Verlauf jedes einzelnen Tons, was die Klangfarben betrifft, ist ein wichtiges Erkennungsmerkmal von Musikinstrumenten.

b) Resonanzfilter:

Die Aussage oben sollte sofort eingeschränkt oder genauer zusätzlich beschrieben werden: bei einem "natürlichen" Musikinstrument klingt sehr häufig ein tiefer Ton anders als ein hoher Ton. Der Hauptgrund ist daß der jeweilige "Instrumentenkörper" Resonanzen schafft, welche die oben beschriebene Klangfarbendynamik "kolorieren". So ist zwar die Klangfarbendynamik eines tiefen oder eines höheren Tons z.B. beim Cello grundsätzlich ähnlich und bedingt durch das Anstreichen der Saite, trotzdem klingt der tiefere Ton vielleicht rauher und hohler als der höhere Ton, weil letzterer bereits in den Bereich der Hauptresonanzen des Cello-Körpers fällt und durch Mitschwingungen des Resonanzkörpers einen weicheren Charakter erhält.

Praktisch jedes "natürliche" Musikinstrument verfügt über solche zusätzlichen *Bandpaß-artigen* "Filter-

Bild 4. Schaltung des FORMANT-VCFs. Dem linear stromgesteuerten Filter (unterer Teil des Schaltbilds) ist entsprechend der Moog'schen Modulstruktur ein Exponentialkonverter mit Steuerspannungsaddierer vorgeschaltet, der für die exponentielle Spannungssteuerung der Filterfrequenz (1 V/Oktave) sorgt.





bedingungen" und die hiervon ausgehende "kolorierende" Wirkung ist bei vielen Musikinstrumenten ebenso typisch wie ihre "reine" Klangfarbendynamik im oben beschriebenen Sinn. So sind alle Blechbläser durch eine relativ kleine Anzahl von bandpaßartigen Resonanzen gekennzeichnet, die stark für ihren spezifischen Klang verantwortlich sind. Vergleicht man den posaunenartigen Klang des Tracking-Filters mit einem wirklichen Posaunen Klang, so fallen einem viele Abweichungen auf. Die wichtigste ist, daß die Posaune trotz ihrer extrem hellen Klänge während des ATTACKs nicht unangenehm hell klingt, sondern insgesamt noch relativ weich, während die synthetische Posaune aufdringlich hell und "elektronisch" klingt.

Führt man diese synthetischen Posaunenklänge auf einen sorgfältig eingestellten Bandpaß, der ein einfaches Resonanzsystem simuliert, so gewinnt dieser synthetische Posaunenklang an "Wärme" und "Natürlichkeit".

Das State Variable-VCF dieses Beitrags enthält einen Bandpaß mit variabler Durchlaßbreite (Filterresonanz) und eignet sich mit *feststehender* Mittenfrequenz (KOV abgeschaltet) vorzüglich als einfaches Resonanzsystem, das den mit dem Tracking Filter verwirklichten dynamischen Klangfarben eine zusätzliche "Wärme" und "Natürlichkeit" verleiht, — oder, technisch ausgedrückt — eine erste Annäherung an die Resonanzfaktoren des Instruments ermöglicht. Dies ist die zweite Aufgabe eines Filters im Synthesizer und vor allem deswegen wurde bereits empfohlen, im Laufe der Zeit zwei unabhängige Filter aufzubauen, die in Serie geschaltet werden. Hierbei empfiehlt es sich, als Tracking-Filter das 24 dB-VCF vorzusehen, (sofern man — wie die meisten Musiker — eine Vorliebe für mächtige, symphonische Klangfarbendynamiken hat) und das in diesem Beitrag geschilderte State Variable-VCF wahlweise als dem Tracking-Filter folgendes Resonanzfilter zu benutzen oder als zweites unabhängiges Tracking-Filter, um die Klangfarbendynamik komplexer gestalten zu können. Hierzu werden im 24 dB-VCF-Artikel weitere Anregungen gegeben.

#### c) VCF als pedalgesteuertes WAWA:

Diese Anwendung ist einfach beschrieben und ermöglicht ein "lebhaftes" individuelles Spiel mit dem FORMANT. Man benutzt die Tiefpaß- oder Bandpaß-Funktion des State-Variable-VCFs (je nach persönlichen klanglichen Vorlieben), stellt eine relativ starke "Filterresonanz" ein und steuert das VCF *nur* mit einer Spannung zwischen 0 V und ca. 5 V aus, die ein entsprechend (selbst) gebautes Pedal z.B. mit Hilfe eines Potis und einer 4.5 V-Batterie, abgibt. Hierzu steht ein externer Steuerspannungseingang beim VCF zur Verfügung ("TM").

#### d) übrige Filterfunktionen:

Der Hochpaß und das Sperrfilter sind bis jetzt nicht zur Sprache gekommen, was ihre musikalischen Funktionen betrifft. Der Hochpaß kann z.B. als "Zweitfilter" Klänge weiter aufhellen, nützlich für Cembalo- und Spinett-artige Klänge oder auch für Blechbläserklänge. Mit Hüllkurven angesteuert erzeugt der Hochpaß "phantastische" Klangfarbendynamiken, die einen "ätherischen" oder "elektronischen" Charakter haben können.

Der Sperrpaß erzeugt, wenn man die Sperrfrequenz über den Hörbereich verschiebt, Phaser-ähnliche Klänge, die besonders eindrucksvoll bei sehr hellen Klängen an seinem Eingang sind, zum Beispiel, wenn man weißes Rauschen auf seinen Eingang gibt: Es entsteht ein "jet-sound" wie von vorbeifliegenden Strahlflugzeugen.

#### Konstruktion des State-Variable-VCFs:

Bis vor kurzem war es ausgesprochen schwierig, ein brauchbares VCF für Synthesizer zu entwickeln. R.A. MOOG hatte bereits 1965 ein steiles 24 dB-Hochpaß-Tiefpaß-VCF erfunden, das im Laufe der nächsten Jahre von seinen "Nachfolgern" trotz Patentschutz öfters "nachempfunden" worden ist, während es bis Anfang der 70-iger Jahre niemandem gelang, zur berühmten MOOG-Kaskade eine ähnliche befriedigende, alternative Lösung zu finden.

Erst durch Einführung des "State Variable" Filterkonzepts in Verbindung mit OTA-Integratoren ist es relativ einfach geworden, *beliebige* Filterfunktionen über einen weiten Bereich elektronisch linear oder exponentiell auszusteuern. Diese Schaltungstechnik ist noch nicht sonderlich bekannt und auch in ELEKTOR noch nicht beschrieben worden, so daß eine kurze Einführung wünschenswert ist:

Das Lösungsschema für das VCF ist das State Variable Filter, dessen "Erscheinungsbild" sich stark von anderen aktiven Filtern unterscheidet und einige bemerkenswerte Vorzüge aufweist. Bild 1 zeigt sein prinzipielles Schaltbild.

Das State Variable Filter ist weder ein passives noch ein aktives Filter (im engen, üblichen Sinn), sondern die Schaltung eines Analogkomputerkreises für die Darstellung oder

"Programmierung" einer Schwingungsdifferentialgleichung 2. Ordnung. Das geschieht mit Hilfe der beiden Integratoren A2 und A3 und des Inverters A1. Am nichtinvertierenden Eingang von A1 erfolgt die Dämpfung der Schwingung.

Eine Aufstellung der Gleichungen zur Berechnung der Filterdaten würde über den Rahmen dieses Beitrags hinausgehen.

Das Interessanteste an der Schaltung ist, daß an den einzelnen Ausgängen ①, ② und ③ gleichzeitig verschiedene Filter-

funktionen zur Verfügung stehen. Am Ausgang ① erhält man die 12 dB-Hochpaßfunktion, am Ausgang ② die 6 dB-Bandpaß- und am Ausgang ③ die 12 dB-Tiefpaßfunktion. Zwischen diesen Ausgängen besteht bei der Filtermitten- bzw. Eckfrequenz eine Phasenverschiebung von 90° pro Stufe, zwischen Ausgang ① und ③ daher 180°. Eine Addition dieser Ausgänge durch den Opamp A4 führt zur vierten Filterfunktion Sperrpaß (Notch) am Ausgang ④.

Aus der Berechnung der Filterdaten ergibt sich, daß sich die Filterfrequenz, die Güte ("Q-Faktor") und die Verstärkung *unabhängig voneinander* einstellen lassen. Die Filterfrequenz wird ausschließlich durch das R.C-Produkt der beiden Integratoren A2 und A3 bestimmt.

Die Einstellung der Güte erfolgt ohne Beeinflussung der anderen Filterparameter mit dem Potentiometer PQ, die Einstellung der Filterfrequenz ist durch übereinstimmendes, gleichsinniges Ändern zweier frequenzbestimmender Elemente (entweder R oder C der Integratoren) möglich, die Frequenzänderung ist *linear* proportional der R- bzw. C-Änderung. Mit dem State Variable Filter ist ein interessantes Filterkonzept als Grundschema des FORMANT-VCFs gefunden worden. Dieses Grundkonzept muß noch durch eine geeignete Methode der Spannungs- bzw. Stromsteuerung der Filterfrequenz ergänzt werden.

Hierfür gibt es eine Anzahl von bekannten Lösungen für verschiedene Filtertypen. Meist wird ein frequenzbestimmender Widerstand durch einen spannungsgesteuerten Widerstand, sei es in Form einer LED/LDR-Kombination oder eines FETs ersetzt. Die häufigsten Mängel dieser Methode sind eine nicht ausreichende Reproduzierbarkeit, ein zu kleiner Aussteuerbereich, nicht ausreichende Linearität oder mangelhafte Unterdrückung des Steuersignals. Ein "moderner" Lösungsweg wurde bei der Entwicklung des VCFs mit der Verwendung von OTAs besprochen. OTAs unterscheiden sich von "normalen" Opamps in erster Linie dadurch, daß zum einen die Ausgangsgröße des Verstärkers keine Spannung  $u_a$ , sondern ein Strom  $i_a$  ist und zum anderen dieser Ausgangsstrom nicht nur der Differenz der Eingangsspannung, sondern auch einem Steuerstrom  $I_{ABC}$  proportional ist. Bild 2 zeigt die schaltungsmäßige Darstellung und die Zusammenhänge der Eingangs- Steuer- und Ausgangsgrößen eines OTAs. Weil das Ausgangssignal eines OTAs durch einen Strom dargestellt wird, findet man im Datenblatt (anstelle der Angabe der Leerlaufverstärkung bei einem Opamp) die Angabe der Transkonduktanz  $g_m$ . Hierbei handelt es sich um das Verhältnis der Ausgangsstromänderung zur Änderung der

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

Bild 2 findet man in den Gleichungen für  $g_m$  und  $i_a$  einen Faktor  $k$ , der vom "Innenleben" des OTAs und von der Umgebungstemperatur bestimmt wird. Für den OTA CA 3080 beträgt dieser Faktor 19,2 bei Raumtemperatur ( $25^\circ\text{C}$ ), wobei  $g_m$  in mS (Millisiemens = mA/V) und  $I_{ABC}$  sowie  $i_a$  in mA in die Gleichungen eingesetzt werden müssen.

Der OTA CA 3080 zeichnet sich durch eine gute Linearität über 3 Dekaden (1000:1) und durch eine relativ kleine  $g_m$ -Toleranz (2:1 bei 3080, 1,6:1 bei 3080 A) aus. Allerdings wird eine gute Linearität nur bei kleinen Eingangssignalen erreicht. Für die Anwendung des 3080 im VCF ist es daher erforderlich, die Eingangsspannung auf  $\pm 10$  mV abzuschwächen.

Bild 3 zeigt die praktische Ausführung des OTA-Integrators, der die Opamp-Integratoren A2 und A3 der Prinzipschaltung des State Variable Filters (Bild 1) ersetzt.

Am Eingang des OTAs befindet sich ein Spannungsteiler, der die von den VCOs kommende Signalspannung (ca. 8 V Spitze zu Spitze bei Verwendung von 3 VCOs) auf 20 mV Eingangsspannung des OTAs anschwächt.

Am OTA-Ausgang liegt der Integrationskondensator C, der den Ausgangsstrom des OTAs integriert. Durch die Änderung der Transkonduktanz des OTAs in Abhängigkeit von  $I_{ABC}$  bildet diese Anordnung ein *linear stromgesteuertes* Integrierglied. Der FET-Sourcefolger sorgt für einen niederohmigen Ausgang des Integrators, ohne die Zeitkonstante des Integrierglieds zu beeinflussen.

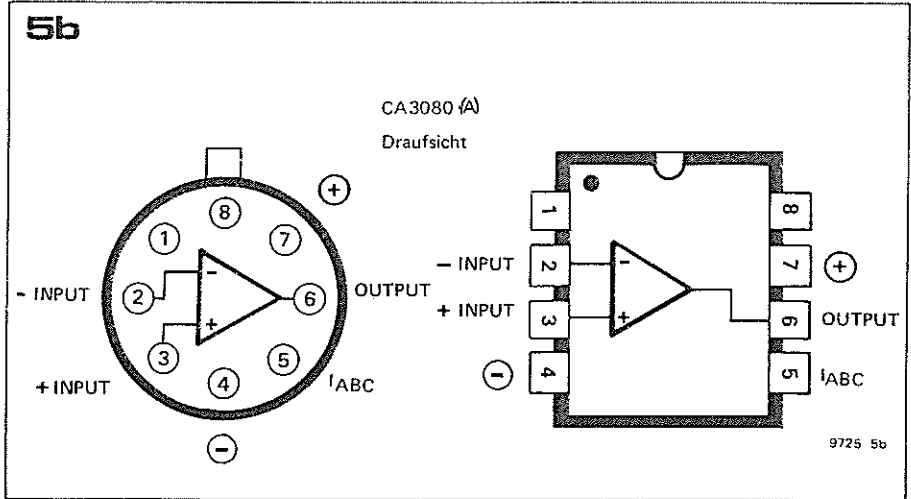
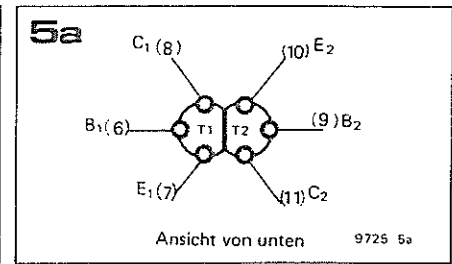
### Schaltung des VCFs

Die Schaltung des FORMANT-VCFs (Bild 4) besteht entsprechend der Modulstruktur nach Moog aus zwei voneinander weitgehend unabhängigen Schaltungsgruppen:

*Steuerspannungsaddierer* und *Exponentiator* (im Schaltbild oben), sowie das *linear stromgesteuerte State Variable Filter* mit Signalspannungsaddierer am Eingang und Filterfunktionswahlschaltern und Ausgangsaddierer (im unteren Teil des Schaltbilds). Die einzige Verbindung der beiden Schaltungsgruppen besteht in der Steuerstromleitung zwischen Exponentiator und OTA-Integratoren. Der passive *Steuerspannungsaddierer* am Eingang des Exponentiators verknüpft die Steuerspannungsquellen mit den Einstellern für "Filterfrequenz" (P1) und "Offset", (P7). Der KOV/ECV-Eingang ist bereits vom VCO her bekannt. Neu ist hingegen die Aussteuerung durch den Hüllkurvengenerator über den ENV-Eingang und Einsteller P2 sowie der TM-Eingang zur Klangfarben-Modulation analog zur FM bei den VCOs. Die Summe aller Spannungen an den Addierereingängen steuert über den Exponentiator die Filterfrequenz.

Bild 5a. Anschlußbelegung eines "Selbstbau-Dualtransistors", der bei guter Übereinstimmung der beiden Transistoren anstelle des ICs CA 3084 im VCF-Exponentiator verwendet werden kann.

Bild 5b. Anschlußbelegung des OTAs CA 3080 im TO 5 und Mini-DIP-Gehäuse.



Der *Exponentiator* arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie der des VCOs. P8 und R6 bilden zusammen mit den Addierwiderständen des Addierers einen Spannungsteiler, der die Steuerspannung in dem zur Aussteuerung des Exponentiators erforderlichem Maße (ca. 50-fach) abschwächt. Zum Unterschied vom Exponentiator des VCOs arbeitet der VCF-Exponentiator nicht als spannungsgesteuerte Stromsenke, sondern als Stromquelle. Das erklärt die Verwendung von pnp-Transistoren. Wegen der geringeren Anforderungen im VCF wurde auf die Verwendung eines temperaturstabilisierten Transistorpaars verzichtet, wohl ist der Exponentiator durch das daten-gleiche Transistorpaar temperaturkompensiert.

Das *State Variable Filter* mit IC3, IC4 und IC5 entspricht in seinem Aufbau weitgehend der im vorangegangenen Kapitel "Filterkonstruktion" gegebenen Beschreibung. Einziger Unterschied: Die OTA-Integratoren sind nichtinvertierend. Das hat den Vorteil, daß keine Invertierung der Filter-Ausgangssignale auftritt. In Abweichung von Bild 1 erfolgt die Dämpfung des Filters daher über den invertierenden Eingang des ersten Opamps IC3. Die Dämpfung bzw. Filtergüte (Q-Faktor) ist mit P5 einstellbar, die maximale Güte wird durch den Widerstand R19 bestimmt. Eine weitere Erhöhung des Q-Faktors ist durch Verringern des Wertes von R19 möglich, allerdings besteht dann die Gefahr, daß das Filter bei "Resonanz" sehr schnell übersteuert wird, wenn man das Eingangssignal nicht sehr klein macht. Eine Schwingneigung des Filters tritt dank der Kondensatoren C6 und C7 auch bei hohen Q-Faktoren nicht auf. Der Signalspannungsaddierer am

Eingang des Filters ist für den Anschluß von 3 VCOs und eines externen Signals ES ausgelegt.

An den drei Ausgängen des Filters befinden sich Kippschalter, die zusammen mit dem Ausgangsaddierer IC6 die Wahl der vier Filterfunktionen ermöglichen.

Die Verstärkung des VCFs ist im Durchlaßbereich (ohne Resonanzüberhöhung) 1 (0 dB).

### Bauelementeauswahl

Den in den bisher veröffentlichten FORMANT-Beiträgen gegebenen Hinweisen zur Bauelementeauswahl sollte man auch beim VCF möglichst Beachtung schenken. Besondere Gesichtspunkte ergeben sich bei der Auswahl der Halbleiter fürs VCF. Im Exponentiator wird ein pnp-Transistorpaar gebraucht. Ein solches Paar ist im Transistor-Array CA 3084 enthalten, das bei der Konzeption des VCFs gewählt wurde. Neben dieser Lösung bestehen noch "Ausweichmöglichkeiten", falls das IC CA 3084 schlecht erhältlich oder vom Preis her nicht vertretbar sein sollte. Prinzipiell ist fast jeder pnp-Dualtransistor, wie z.B. AD 820 ... AD 822 (Analog Devices), 2N3808 ... 3811 (Motorola), BFX 11, BFX 36 (SGS-Ates) verwendbar, man kann aber auch zwei gut übereinstimmende pnp-Transistoren thermisch koppeln (z.B. kleben) und als "Dualtransistor" im Exponentiator verwenden. In Frage kommen z.B. BC179 b, BC159 b, BC557 b. Bei Transistoren im Metallgehäuse darf man ein Glimmerscheibchen zur elektrischen Isolation der Gehäuse beim "Koppeln" nicht vergessen. Bild 5 zeigt die Anschlußbelegung eines solchen "Selbstbau-Dualtransistors", in

Klammern sind die äquivalenten Anschlußpunkte des CA 3084 angegeben. Der "Selbstbau-Dualtransistor" wird mit diesen Anschlußpunkten der für 3084 vorgesehenen Platine verbunden. R6 ist mit 1k8 bei Verwendung eines ICs CA3084 optimal dimensioniert. Bei Verwendung eines Dualtransistors anstelle von CA3084 ist ein Wert von 1k5 für R6 günstiger.

Bild 5 zeigt auch die Anschlußbelegung des CA 3080 (A) in der TO- und Mini-DIP-Gehäuseversion. Die Platine ist für DIP ausgelegt. Es gibt auch eine sogenannte "DIL-CAN"-Version des 3080, das ist ein TO-Gehäuse mit DIL-gebogenen Anschlußbeinen. Es ist keine Kunst, ein TO-Gehäuse oder eine TO-Fassung durch Ausrichten der "Beinchen" DIL-kompatibel zu machen, somit sind alle Gehäuseversionen des CA 3080 verwendbar.

Die "A" Version des CA 3080 zeichnet sich durch erweiterten Temperaturbereich und enger tolerierte Parameter (und entsprechend höheren Preis) aus, für das VCF reicht aber die "einfache" Ausführung CA 3080 aus. Verwendbar sind natürlich beide Versionen. Für die Auswahl der Feldeffekttransistoren und der Sourcewiderstände R23 und R27 gelten die gleichen Kriterien wie beim VCO.

### Platine und Frontplatte

Bild 6 zeigt Platine und Stückliste des FORMANT-VCFs. Die gesamte Schaltung konnte "bequem" auf einer Platine im Eurocard-Format 100 x 160 mm untergebracht werden.

Konzeption von Platine und Frontplatte sind identisch mit den anderen Modulen: Alle gehäuseseitigen Anschlüsse erfolgen über eine Steckerleiste, alle frontplattenseitigen Anschlüsse befinden sich auf der gegenüberliegenden Platinenseite. Die Anschlußbezeichnung der Platine folgt der bisher gebrauchten Terminologie; der besseren Übersicht dient die nachfolgende Erläuterung aller auf Platine und Frontplatte (Bild 7) verwendeten Bezeichnungen:

#### a) Interne Eingänge

- KOV = Keyboard Output Voltage (vom Interface-Empfänger)  
 ENV = Envelope-Steuerspannung (vom Hüllkurvengenerator ADSR)  
 VCO1,2,3 = VCO-Signale (von den VCO/IOS-Ausgängen der drei VCO-Module)

#### b) Externe Eingänge

- ECV = External Control Voltage (externe Steuerspannung über Klinkenbuchse der Frontplatte)  
 TM = Timbre Modulation (Eingang für Klangfarbenmodulationsspannung)  
 ES = External Signal (externes Eingangssignal, z.B. vom Rauschmodul, über

Klinkenbuchse der Frontplatte)

#### c) Ausgänge

- VCF/IOS = Internal Output Signal (Internes VCF-Ausgangssignal, wird zum VCA weitergeführt)  
 EOS = External Output Signal (Externer Ausgang, Klinkenbuchse OUT der Frontplatte)  
 d) Potentiometer  
 TM = P3, Einsteller für TM  
 ES = P4, Amplitudeneinsteller für externes Signal  
 ENV = P2, Einsteller für die Hüllkurvenaussteuerung des VCF

#### OC-

- TAVES = P1, Einsteller für die Filterfrequenz  
 Q = P5, Einsteller für "Filterresonanz" (Güte, Q-Faktor)  
 OUT = P6, Einsteller für die Amplitude des IOS

#### e) Schalter

- ECV/  
 KOV = S1, Wahlschalter für die Steuerspannung  
 HP = S2, Wahlschalter Hochpaßfunktion  
 BP = S3, Wahlschalter Bandpaßfunktion  
 LP = S4 (Low Pass) Wahlschalter Tiefpaßfunktion  
 N = S2 und S4, Wahl der Sperrpaßfunktion

### Aufbau und Test

Exponentiatorteil und Filterteil der Platine können nacheinander aufgebaut und unabhängig voneinander getestet werden. Zweckmäßigerweise beginnt man mit dem Filterteil und verwendet für die ICs Fassungen, so daß bei Bedarf schnell der eine oder andere Schaltungsteil außer Betrieb gesetzt und der verbleibende unabhängig vom anderen getestet werden kann.

Das aufgebaute State Variable Filter versorgt man über ein 100 k log-Poti, das "umgekehrt" zwischen Masse und -15 V angeschlossen wird, mit Steuerstrom. In die Steuerstromleitung (vom Schleifer des Potis zum Verbindungspunkt der Widerstände R10 und R33) schaltet man zur Kontrolle des Steuerstromes ein Vielfachinstrument, Meßbereich 100  $\mu$ A.

Das Eingangssignal des Filters liefert ein VCO (oder, im "Labor", ein Sinusgenerator), Q-Faktor des Filters wird auf Maximum (Schleifer P5 an R19) eingestellt. Das Ausgangssignal des Filters am BP-Ausgang mißt ein Oszilloskop.

Bei einem Steuerstrom von 50  $\mu$ A (eingestellt mit dem "Hilfspoti" 100 k log) liegt die Filterfrequenz bei ca. 800 Hz, sie zeigt sich beim Durchstimmen des VCOs (Generators) durch ein deutliches Amplitudenmaximum des Ausgangssignals. Wegen der besprochenen Toleranzen der OTAs kann die Filterfrequenz bei 50  $\mu$ A

Steuerstrom im Bereich von ca. 300 bis 1500 Hz liegen. Wichtig ist nicht der absolute Betrag der Frequenz, sondern ein möglichst linearer Zusammenhang zwischen Steuerstrom und Filterfrequenz. Verdoppelt man den Steuerstrom auf 100  $\mu$ A, so muß auch die Filterfrequenz um eine Oktave höher liegen.

Zur Überprüfung des Einstellbereichs wird der Generator auf ca. 50 Hz und anschließend auf ca. 15 kHz eingestellt, in beiden Fällen muß es möglich sein, mit dem "Hilfspoti" maximale Ausgangsamplitude zu bekommen. Zum Test des anschließend aufgebauten Exponentiatorteils entfernt man die beiden OTAs und legt einen der beiden 27 k-Widerstände (R10 oder R33) über das Vielfachinstrument (Meßbereich 100  $\mu$ A) an -15 V. Ein zweites Meßgerät zeigt die Spannung am Schleifer von P1 (anfangs auf 0 V eingestellt, P8 in Mittelstellung). Der Strom durch das Vielfachinstrument wird mit P7 auf 50  $\mu$ A eingestellt. Erhöht man nun die Spannung an P1 auf 1 V, so soll der Ausgangsstrom den doppelten Wert, also 100  $\mu$ A, annehmen. Ist das nicht der Fall, ist die Einstellung von P8 zu korrigieren. War die Stromzunahme zu klein, erfolgt die Korrektur der Schleiferstellung in Richtung R6 (nach rechts zur Steckerleiste hin), war der Zuwachs zu groß, eben umgekehrt. Wichtig ist, daß man eine möglichst genaue Verdopplung des Stromes bei 1 V Änderung der Steuerspannung erhält.

Nach erfolgreichem Test ist die VCF-Platine einbaufertig. Zur leichteren Verdrahtung des VCF-Moduls zeigt Bild 8 einen schematischen Verdrahtungsplan der Frontplattenelemente.

### Abgleich

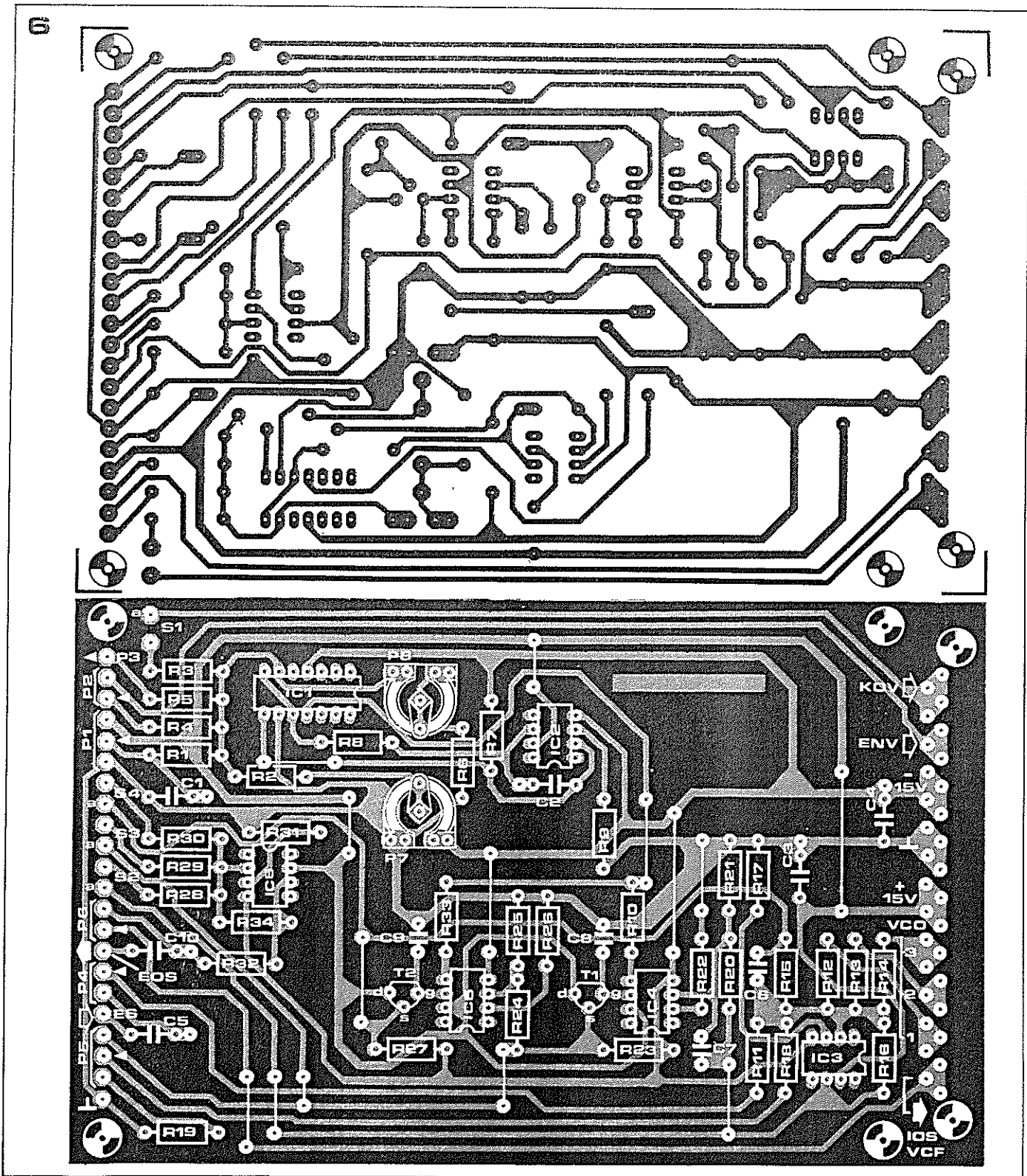
Für den endgültigen Abgleich benötigt man einen VCO und die KOV von der Tastatur via Interface-Empfänger. Abzugleichen sind der "Offsettrimmer" P7 sowie die V/Oktave-Charakteristik der Filterfrequenzsteuerung.

#### 1. Offset-Abgleich

Die KOV vom Interface-Empfänger wird noch nicht angeschlossen bzw. abgeschaltet. Vom VCO her wird ein symmetrisches Rechtecksignal mit einer Frequenz von etwa 500 Hz angeschlossen. P1 (OCTAVES) stellt man auf eine Schleiferspannung von +15 V (ganz aufdrehen), P7 auf 0 V und beobachtet mit Hilfe des Oszilloskops das TP-Ausgangssignal. Das Rechtecksignal muß das VCF ohne Veränderung (Abrundung) passieren.

Dreht man den Schleifer von P7 nun langsam gegen -15 V, so wird man sehen (und hören), daß das Tiefpaßfilter langsam anfängt, die Obertöne zu bedämpfen, die Rechteckkurvenform am Ausgang wird allmählich abgerundet ("anintegriert").

Der Offsetabgleich mit P7 erfolgt



## Stückliste zu Bild 4.

## Widerstände:

R1,R2,R28,R29,  
R30,R34 = 100 k  
R3 = 100 k (Metallfilm, 1%)  
R4 = 33 k  
R5 = 47 k  
R6 = 1k8  
R7,R9 = 330 k  
R8 = 2k2  
R10,R33 = 27 k  
R11,R12,R13,R14,  
R15,R16,R20,R24 = 39 k  
R17 = 8k2

R18 = 27 k  
R19 = 1 k  
R21,R22,R25,R26 = 100 Ω  
R23,R27 = 12 k (Richtwert)  
R31 = 33 k  
R32 = 470 Ω

## Kondensatoren:

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

## Halbleiter:

IC1 = CA 3084 (DIL)

## siehe Text

IC2,IC3,IC6 =  $\mu$ A 741 C,  
MC 1741 CP1 (Mini DIP)  
IC4,IC5 = CA 3080 (A)  
T1,T2 = BF 245 a, b

## Potentiometer:

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

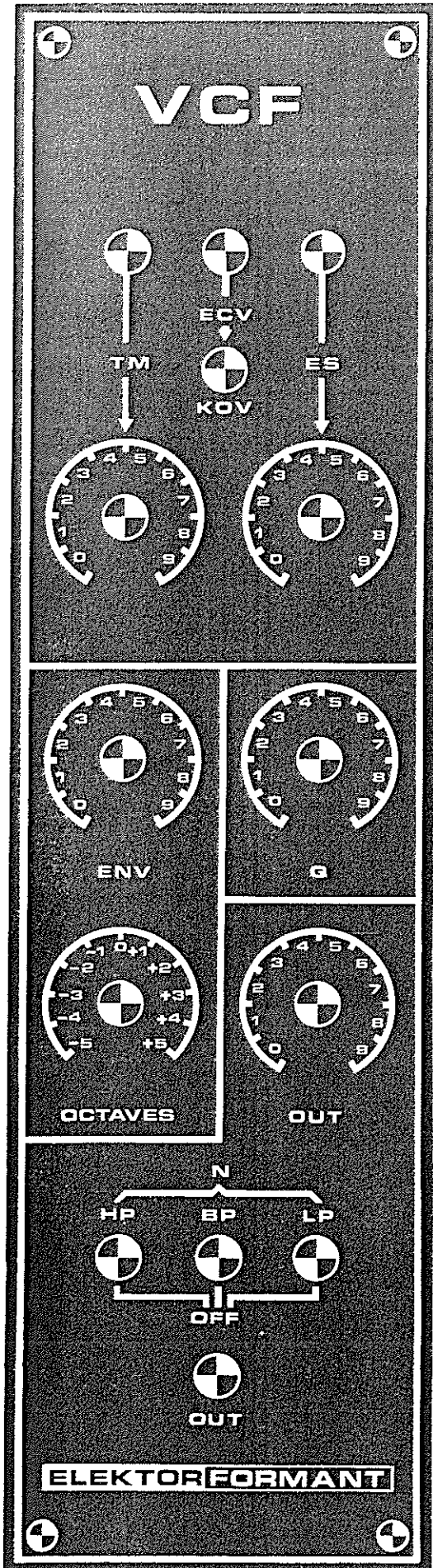
## Trimpotentiometer:

P7 = 100 k  
P8 = 500 Ω (470 Ω)

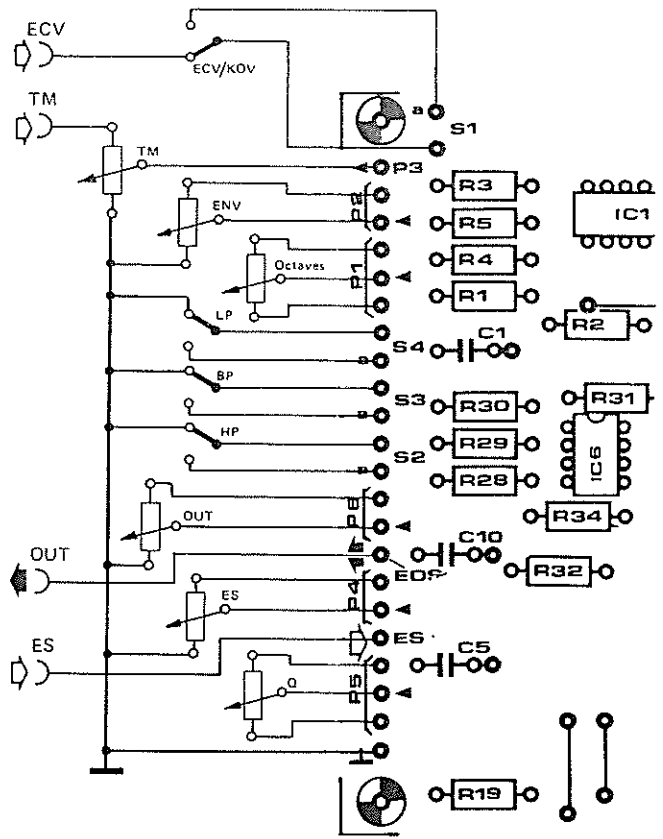
## Verschiedenes:

31-polige Steckerleiste  
(DIN 41617) oder Lötngel  
S1 ... S4 = Miniatur-Kipp-  
schalter 1 x Um  
4 Stk. Klinkenbuchse 3,5 mm  
6 Stk. Drehknopf (Achs-  
bohrung 6 mm, 13 ... 15 mm  
Durchmesser) mit Pfeil  
(Pfeilring) oder glasklarer  
Scheibe (26 mm φ)  
Frontplatte VCF

7



8



9725 8

Bild 6. Platine mit Layout, Bestückungsplan und Stückliste des FORMANT-VCFs.

Bild 7. VCF-Frontplatte.

Bild 8. Verdrahtungsschema für die Potentiometer, Schalter und Buchsen der Frontplatte.

dermaßen, daß "soeben noch" keine hörbare Dämpfung der Obertöne einsetzt. Diese Einstellung ist unkritisch und braucht nicht mit übertriebener Präzision vorgenommen zu werden.

### 2. V/Oktave-Abgleich

Man benutzt die Sinuskurvenform des VCOs und die Bandpaßfunktion des VCFs mit relativ hoher "Filterresonanz" (Q-Faktor), das VCF hat dabei einen sehr schmalen Durchlaßbereich.

Die V/Oktave-Charakteristik des VCFs ist dann genügend genau eingestellt, wenn das "Filterfenster" über möglichst viele Oktaven mit der Tonhöhe des VCOs parallel läuft, der "Sinus" also nicht aus dem schmalen Durchlaßbereich des Filters "herausfällt".

Sowohl VCO als auch VCF werden von der KOV gesteuert (übers Keyboard "gespielt"), die Hauptstimmung der Tastatur abgeschaltet und der VCO mit dem "Octaves"-Poti auf ca. 500 Hz gestimmt, wenn die oberste Tastaturtaste gedrückt ist.

Mit P1 des VCFs erfolgt nun die "Stimmung" des Filters auf maximale Amplitude am BP-Ausgang, bei Übersteuerung ist die VCO-Amplitude zu verringern.

Die folgende Abgleichmethode ist grundsätzlich bereits vom VCO her bekannt:

Taste zwei Oktaven tiefer drücken und mit Trimmer P8 maximale Ausgangsamplituden einstellen.

Wieder oberste Taste drücken und mit

P1 auf max. Ausgangsamplitude korrigieren.

Ein zweites Mal die Taste zwei Oktaven tiefer drücken und mit P8 wie zuvor korrigieren.

Ein drittes Mal obere Taste drücken und mit P1 korrigieren . . . usw., bis das VCF beim Tasten-(Tonhöhen-)wechsel von zwei Oktaven die gleiche Ausgangsamplitude liefert.

Danach überprüft man nochmals den Offsetabgleich, er könnte sich durch den V/Oktave-Abgleich verändert haben.

Abschließend noch ein Hinweis auf eine interessante Anwendung des VCFs. Einzelne Impulse am VCF-Eingang verwandeln sich unter dem Einfluß einer hohen "Filterresonanz" in perkussive, sinusförmige Klänge, wie man sie von elektronischen Schlagzeugen her kennt. Die perkussive Qualität (Ausschwingzeit der gedämpften Schwingung) läßt sich mit dem Q-Poti leicht einstellen. Die Tonhöhe der "Trommel" kann über "Octaves" oder KOV kontinuierlich gestimmt werden, wobei eine zusätzliche Aussteuerung durch einen ADSR die Tonhöhenverschiebung beim Anschlag einer Trommel (deutlich etwa bei einer Tabla) nachbildet.

#### Literatur:

Franco, S.: "Use transconductance amplifiers to make programmable active Filters . . ."

*Electronic Design*, Sept. 13, 1976

Orr, T.: "Voltage/current controlled filter"

*Circuit Ideas. Wireless World*, Nov. 1976

Good, E.F.; Girling, F.E.J.: "Active filters. 8. The two integrator loop, continued"

*Wireless World*, March, 1970

Colin, D.P.: "Electrical Design and musical application of an unconditionally stable combined voltage controlled filter resonator"

*JAES*, 19, Dec. 1971

Clayton, G.B.: "Experiments with operational amplifiers. 4. Operational integrators"

*Wireless World*, Aug. 1972

Wittlinger, H.A.: "Anwendung der Operations-Transconductance-Verstärker CA 3080 und CA 3080 A" *RCA-Applikationsschrift ICAN-6668*, 1973

U. Tietze, Ch. Schenk: "Einstellbares Universal-Filter"

*Halbleiter Schaltungstechnik*, S. 350 ff. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York 1976

## ADSR

### Teil 7

Für die im Vergleich zur elektronischen Orgel größere Lebendigkeit und Natürlichkeit der FORMANT-Klänge sind wesentlich die ADSR-Hüllkurvengeneratoren verantwortlich. Ihre Ausgangssignale steuern die klangformenden Module VCF und VCA und lassen so tonale Verläufe und Dynamiken entstehen, die von konventionellen Musikinstrumenten her bekannt sind. Auch dieser Teil der FORMANT-Reihe befaßt sich sowohl mit der musikalischen Bedeutung als auch mit der elektronischen Realisierung des vorgestellten Synthesizer-Moduls.

Wie sehr die tonale Dynamik (Klangfarben- und Lautstärkeverlauf) den spezifischen Charakter eines Instrumentenklangs prägen, wird einem erst dann bewußt, wenn man sich intensiv mit der Analyse und Synthese instrumentaler Klänge beschäftigt.

Ein einfaches technisches Hilfsmittel kann das sehr deutlich machen. Spielt man z.B. einen Klavierton "rückwärts" ab (geht nur mit Halbspurgeräten), so klingt der Klavierton ähnlich wie eine langsam anschwellende Orgel.

In gleicher Weise (durch Veränderung der Hüllkurve) verwandeln sich im FORMANT die dunklen Klänge eines "Dreiecks" auf dem Weg durch VCF und VCA (je nach Hüllkurvenaussteuerung dieser Module) in einen "sakralen" Orgelklang, in einen weichen Flötenklang oder in den perkussiven Klang eines Vibraphons oder Xylophons. Die hellen Klänge des Sägezahns oder Spaced-Sägezahns können eine Reihe blechbläser- und saiteninstrumentartiger Klangcharaktere annehmen.

Eine hüllkurvenartige Aussteuerung der klangformenden Module von Hand würde menschliche Schnelligkeit und Geschicklichkeit bei weitem überfordern. Es ist daher erforderlich, eine automatische Hüllkurvenaussteuerung vorzusehen, die bei jedem Tastenanschlag ausgelöst wird. Dies sind die Hüllkurvengeneratoren. Der erwünschte Hüllkurvenverlauf kann mit wenigen Potentiometern voreingestellt werden und moduliert bei jedem Tastendruck das VCF und VCA entsprechend dem eingestellten Verlauf.

#### Hüllkurventypen

In der Musik spielen relativ wenige, verschiedene Hüllkurventypen eine wichtige Rolle. Diese Hüllkurventypen sollte der Hüllkurvengenerator mit guter

Annäherung erzeugen. Die Beschreibung der relevanten Hüllkurvenverläufe gibt gleichzeitig Anregungen für die musikalische Anwendung der ADSR-Generatoren im FORMANT.

#### 1) Attack-Decay-Dynamik

Die Attack-Decay-Hüllkurve wurde bereits im Beitrag "VCA" kurz vorgestellt (vergl. *Elektor* 78, Juni 77, S. 6-58). Sie erzeugt, je nachdem, ob sie das VCF oder den VCA aussteuert, einen metallisch hellen Anschlag oder einen weichen Anschlag (ähnlich wie beim Klavier). In beiden Fällen ist der Attack sehr kurz und das Decay relativ lang. Es könnte auch umgekehrt sein, dann ergeben sich bei der VCF-Steuerung Klänge ähnlich einem staccato-artig angeblasenen Blechinstrument, bei der Steuerung des VCAs "phantastische" Klänge ähnlich wie bei einer "rückwärts" ablaufenden Tonbandaufnahme. Allen Attack-Decay-Hüllkurven ist gemeinsam: *Die Spannungskontur fällt sofort, nachdem sie ihren höchsten Wert erreicht hat.*

Die Hauptanwendung dieses Hüllkurventyps liegt in der Verwirklichung *perkussiver Klänge mit kurzem Attack und variablem Decay*, ähnlich dem Klang von Vibraphon, Gong, Becken, Glocken oder auch angeschlagenen oder gezupften Saiten (Gitarre, Banjo, Harfe, Cembalo, Klavier).

Bei verlängertem Attack und verkürztem Decay entstehen die bereits erwähnten Klänge kurz angeblasener Blechinstrumente und "phantastische" Klänge, die durchaus interessant sein können.

#### 2) Attack-Release-Dynamik

Wenn man versucht, sich den Dynamikverlauf einiger Musikinstrumente durch genaues Hinhören bewußt zu machen, wird man schnell feststellen, daß die Attack-Decay-Charakterisierung auf eine ganze Reihe von Instrumenten nicht zutrifft. So bleibt z.B. bei einer Pfeifenorgel der Ton mit vollem Volumen "stehen", solange der Organist die betreffende Taste gedrückt hält. Das ist offensichtlich eine andere Hüllkurvencharakteristik:

Dem Attack folgt *nicht* automatisch ein Decay, sondern der Ton *hält an*, solange eine Taste gedrückt ist und klingt erst aus, wenn man die Taste losgelassen hat.

Bild 2 zeigt den Verlauf einer solchen *Attack-Release-Hüllkurve*.

Sie könnte das Einklingen und Ausschwingen eines Orgeltons beschreiben: Nach dem Drücken einer Taste baut sich die Pfeifenresonanz mit einem relativ kurzen Attack auf, der Ton wird hörbar und bleibt dann mit maximaler Amplitude stehen, nach dem Loslassen der Taste fällt die Luftsäule in der Orgelpfeife sehr schnell in sich zusammen, der Ton klingt mit kurzem Release aus.

Nicht immer bleibt der anhaltende Ton (Steady State) so "gleichmäßig" wie bei

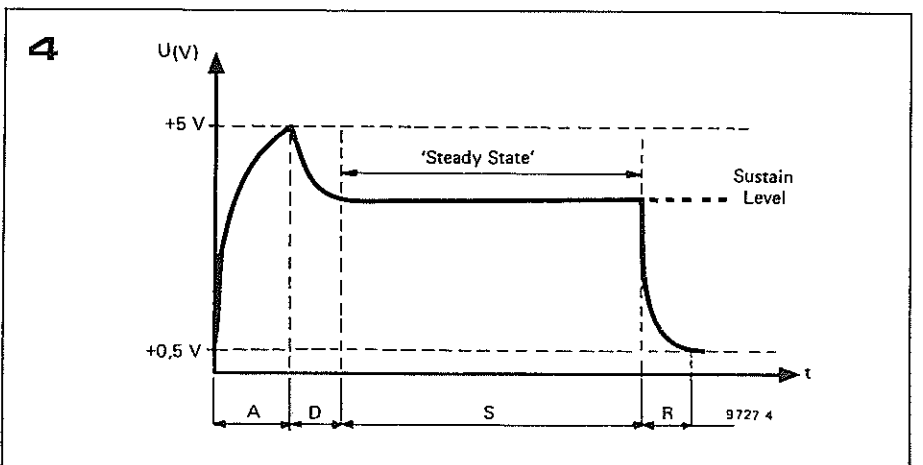
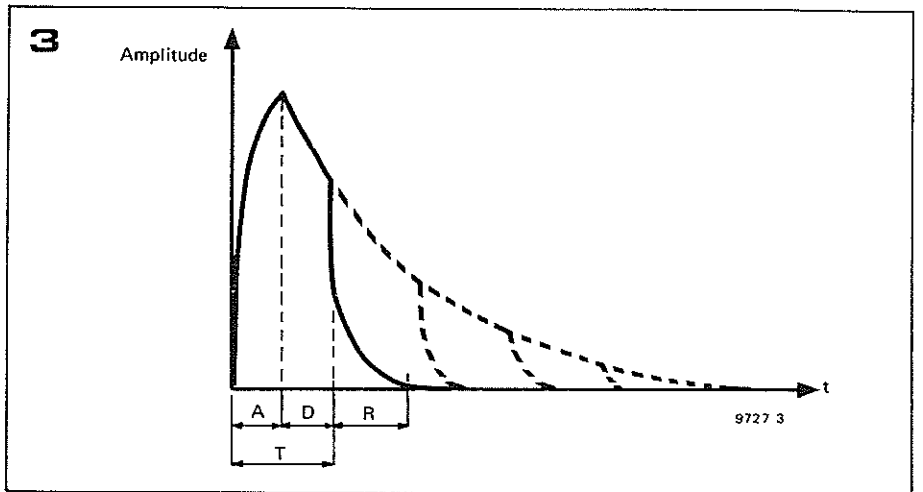
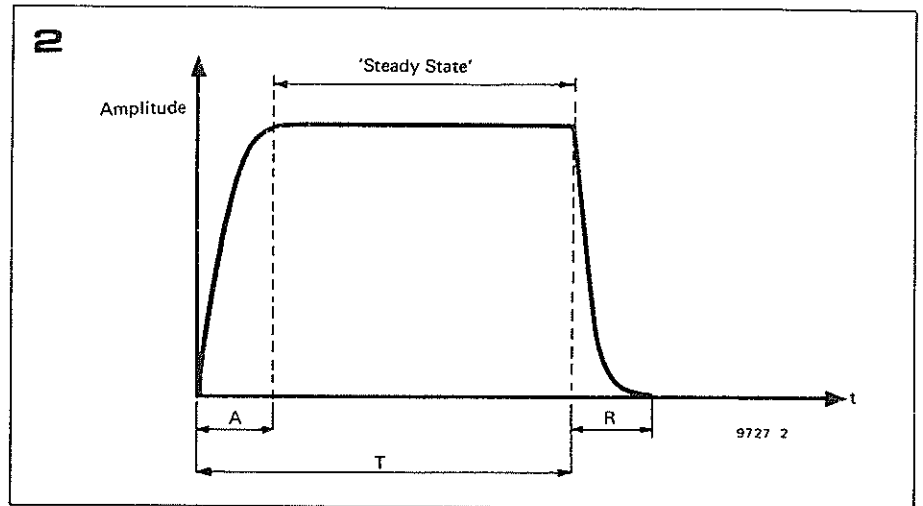
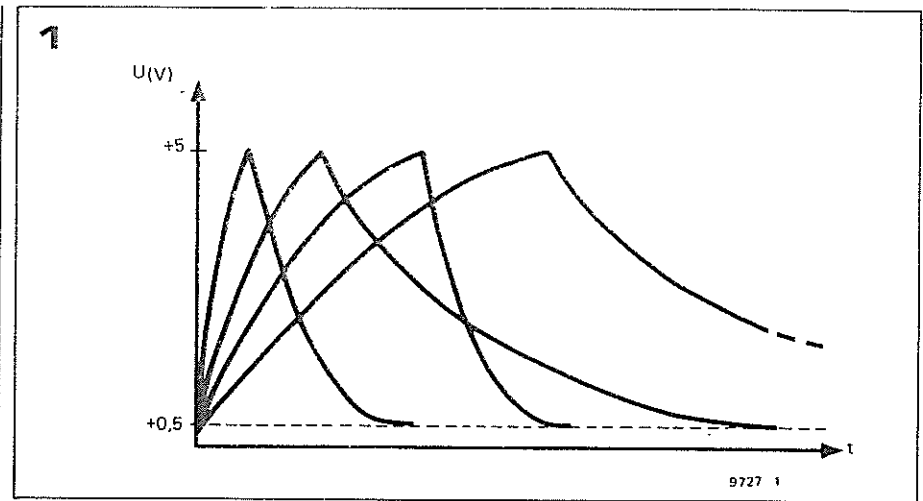
Bild 1. Attack-Decay-Hüllkurven mit unterschiedlich langen Attack- und Decay-Zeiten. Allen Hüllkurven dieses Typs ist gemeinsam, daß die Spannungskontur sofort fällt, nachdem sie am Ende der Attack-Phase ihren höchsten Wert erreicht hat.

Bild 2. Beispiel einer Hüllkurve des Attack-Release-Typs. Dem Attack (A) folgt nicht automatisch ein Decay, sondern der Ton hält an, solange eine Taste (T) gedrückt ist und klingt erst aus, wenn man die Taste losläßt. Die Phase des anhaltenden Tons bezeichnet man als "Steady State" oder auch als Sustain-Zeit, den Ausklang nach dem Loslassen der Taste als Release (R). Die Dauer des Tastendrucks ist im Bild mit T bezeichnet. Die gezeigte Hüllkurve entspricht ungefähr dem Amplitudenverlauf eines Orgeltons.

Bild 3. Attack-Decay-Release-Lautstärkekonturen eines Klaviertons bei unterschiedlicher Tastendruckdauer. Der Klavierton hat zwei verschiedene Ausklingzeiten: eine relativ langsame Decay-Zeit, solange die Taste gedrückt ist, und eine kurze Release-Zeit, nachdem die Taste losgelassen wurde.

Bild 4. Verlauf einer "vollständigen" ADSR-Hüllkurve. In dieser Spannungskontur sind alle Abschnitte einer Hüllkurve erhalten, die beim ADSR-Hüllkurvengenerator des FORMANT in weiten Grenzen einstellbar sind:

Attack-Zeit (A)	10 ms ... 20 s
Decay-Zeit (D)	10 ms ... 20 s
Sustain-Level	0 V ... 5 V
Release-Zeit (R)	10 ms ... 20 s



der Orgel. Bei einer Querflöte oder einem Saxophon verleiht der Musiker dem Ton während des "Steady State" eine ausdrucksvolle Modulation, bei Streichinstrumenten entsteht durch das Hin- und Herführen des Bogens über der Saite ein sehr differenzierter Dynamikverlauf, um nur einige Beispiele zu nennen. Viele Musikinstrumente besitzen somit *grundsätzlich* eine *Attack-Release-Dynamik*, "nur" sind die Feinheiten im Steady-State oft ebenso wichtig. Bei Synthesizern kann man diese Feinheiten eigentlich nur recht unzulänglich durch zusätzliche Modulation der AR-Lautstärkekontur realisieren, z.B. mit Hilfe von Modulationsspannungen der LFOs oder der Zufallsspannung aus dem NOISE-Modul. Nebenbei kann man mit dem FORMANT-Synthesizer ein differenziertes Spektrum orgelartiger Klänge realisieren. Hierzu stimmt man in der Regel die drei VCOs im Oktavabstand und wählt für die beiden unteren Oktaven die Kurvenformen Dreieck oder Sinus. Über diese beiden "dunklen" Oktaven legt man mit dem auf die obere Oktave gestimmten VCO wechselnde Klangfarben, z.B. eine symmetrische Rechteckschwingung für einen typischen "sakralen" Orgelklang, Sägezahn oder "Spaced Sägezahn" für einen anders registrierten Pfeifenorgelklang, oder Sinus für einen Klang ähnlich wie bei den ersten Hammond-Organen. Wichtig

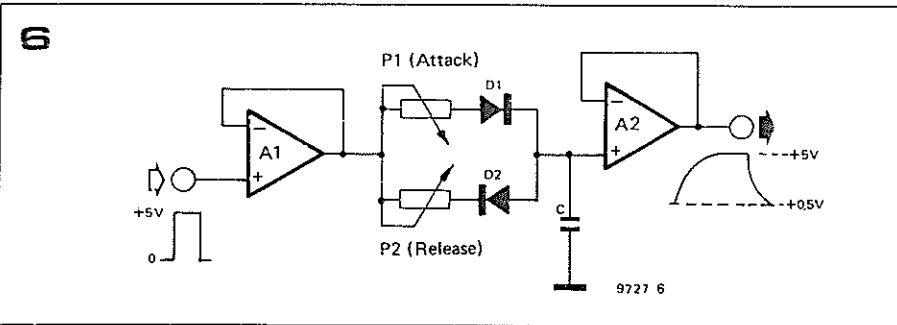
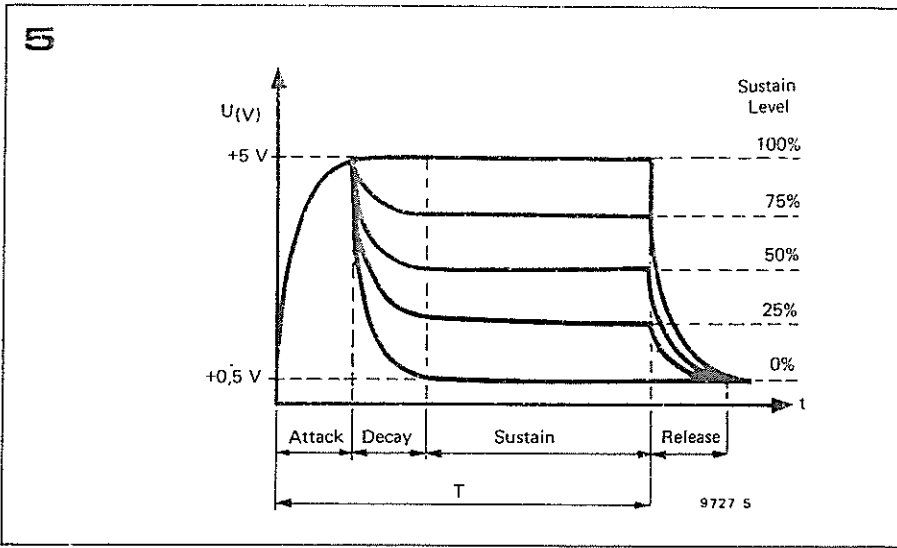


Bild 5. ADSR-Hüllkurven mit verschiedenen Sustain-Niveaus. Als "Sonderfälle" der ADSR-Hüllkurve entstehen bei 0% Sustain-Level AD-Hüllkurven und bei 100% AR-Hüllkurven.

Bild 6. Schaltungsprinzip eines einfachen AR-Hüllkurvengenerators. Bei gedrückter Taste wird der Kondensator C über P1/D1 geladen (Attack), nach dem Loslassen der Taste erfolgt die Entladung des Kondensators über P2/D2. Der Spannungsverlauf am Kondensator ergibt die gewünschte Spannungscontur.

Bild 7. Vollständiger Schaltplan des FORMANT-ADSR-Moduls. Die Prinzipschaltung in Bild 6 ist in veränderter Form wiederzuerkennen: Kondensator C2 wird über den Attack-Einsteller (A) geladen und über das Release-Potentiometer (R) entladen. Ein zweiter Entladeweg für Decay (D) ermöglicht die Entladung des Kondensators auf die mit P4 eingestellte Sustainspannung (S). Die "übrige" Elektronik dient zum größten Teil zur Steuerung der Lade- und Entladevorgänge in Abhängigkeit vom Gate-Impuls, der anzeigt, ob und wie lange eine Taste des Manuals gedrückt ist.

Bild 8. Platine mit Layout, Bestückungsplan und Stückliste des ADSR-Moduls.

ist, daß zur Dynamikformung der VCA benutzt wird, den man in der oben beschriebenen Weise mit einer AR-Hüllkurve aussteuert. Etwas Hall macht diese Klänge noch realistischer.

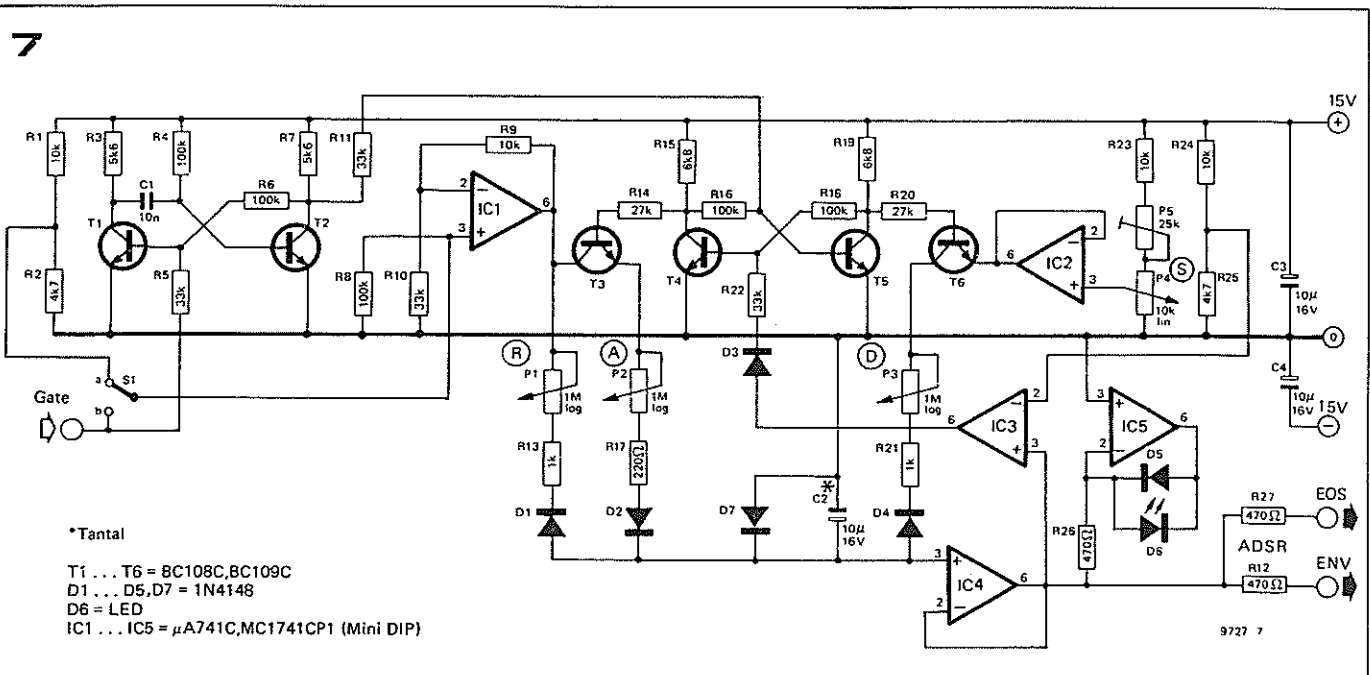
### 3) ADSR-Dynamik

Die Dynamik mancher Musikinstrumente läßt sich durch die bisher besprochenen Hüllkurventypen nicht charakterisieren, sie entspricht einer Kombination beider Typen. Beim Klavierklang wurde bereits erwähnt, daß seine Attack-Decay-Charakteristik durch die Dämpfung des Tones verändert wird:

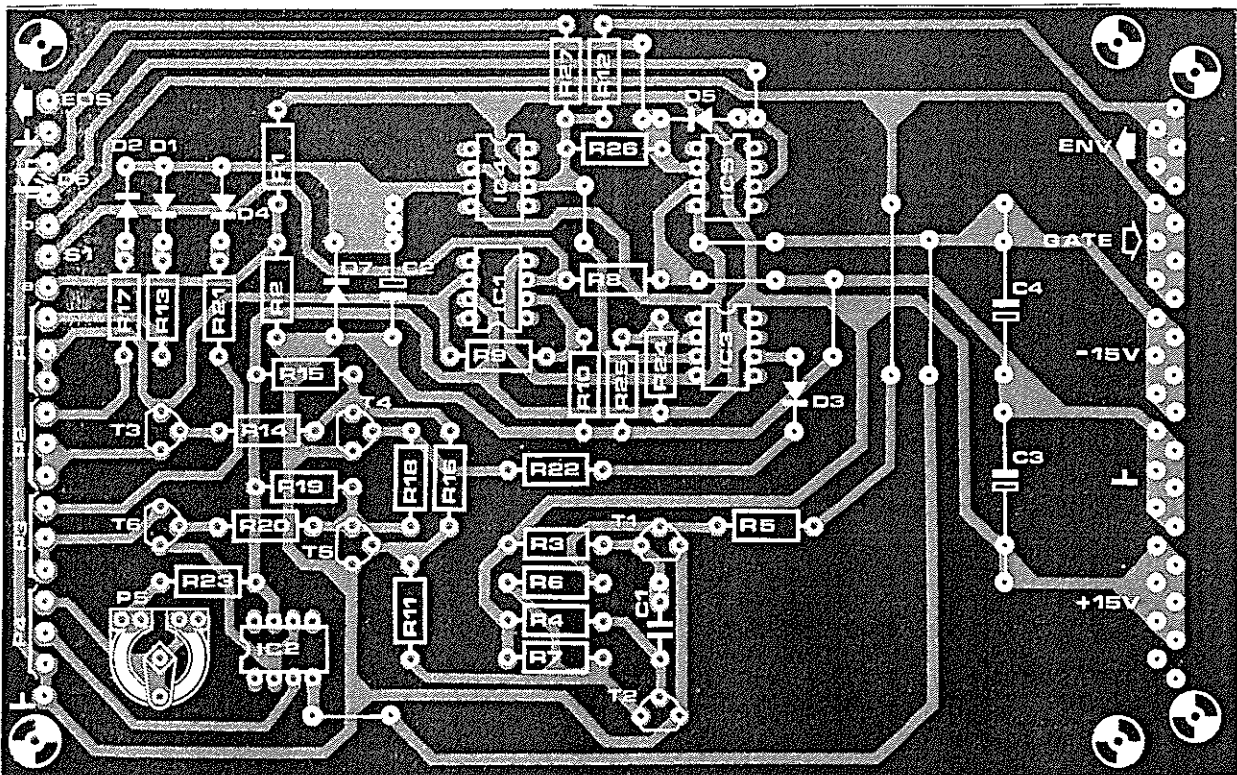
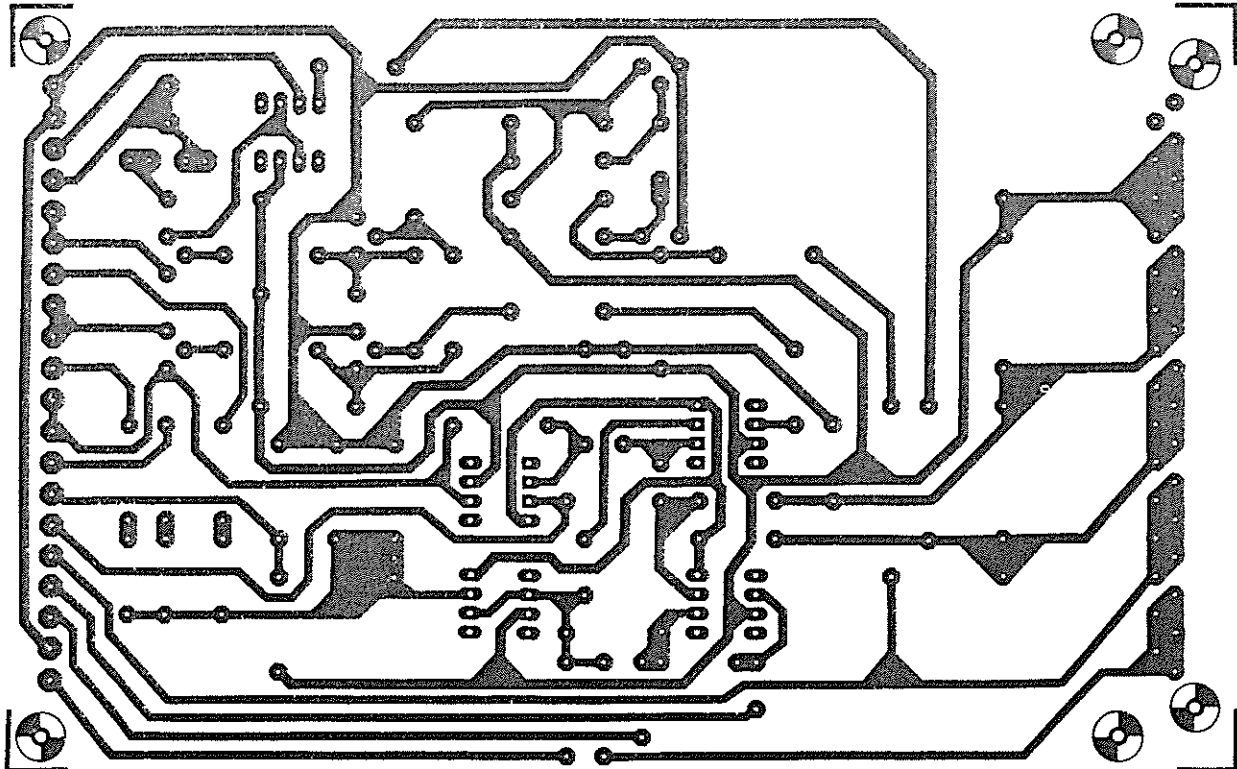
Schlägt man einen Ton auf dem Klavier an, so klingt er mit einer relativ langsamen Decay-Zeit aus, bis die Saite nach dem Loslassen der Taste vom Hammer gedämpft wird. Die Dämpfung bewirkt das Ausklingen des Tones mit einer Release-Zeit, die sehr viel kürzer ist als die Decay-Zeit. Den resultierenden Verlauf der Hüllkurve zeigt Bild 3. Ein Beispiel für die Kombination von AD und AR-Verlauf im Bereich der Klangfarbendynamik ist etwa ein Trompetenton, der einige Zeit angehalten wird. Während des Attacks nehmen die Obertöne sehr stark zu. Nach dieser eigentlichen Anblaszeit (bei Darstellung des Signals auf dem Oszilloskop durch nadelimpulsartige Kurvenform gekennzeichnet) geht der Trompetenton in einen weicheren Steady State über, um schließlich sehr schnell auszuklingen. Bild 4 zeigt, wie eine Spannungscontur zur Aussteuerung des VCFs ungefähr aussehen müßte, um einen trompetenähnlichen Klang zu erzeugen.

Kennzeichnend ist, daß die Spannungscontur nach dem relativ langsamen Attack mit einer kurzen Decay-Zeit auf das Sustain-Niveau abfällt und am Schluß des Tons mit einer sehr kurzen Release-Zeit ausläuft.

In diesem Verlauf (Bild 4) sind bereits







### Stückliste AD5R

#### Widerstände:

R1,R9,R23,R24 = 10 k  
 R2,R25 = 4k7  
 R3 ,R7 = 5k6  
 R4,R6,R8,R16,R18 = 100 k  
 R5,R10,R11,R22 = 33 k  
 R12,R26,R27 = 470 Ω  
 R13,R21 = 1 k  
 R14,R20 = 27 k  
 R15,R19 = 6k8  
 R17 = 220 Ω

#### Potentiometer:

P1,P2,P3 = 1 M log.  
 P4 = 10 k lin.  
 P5 = 25 k Trimpot.

#### Halbleiter:

T1 ... T6 = BC108C,BC109C,  
 BC547C,BC549C od. Äquivalent  
 D1 ... D5,D7 = 1N4148,1N914  
 D6 = LED  
 IC1 ... IC5 = μA741C, MC1741 CP1  
 (MINI DIP)

#### Kondensatoren:

C1 = 10 n  
 C2 = 10 μ/16 V (Tantal-elko)  
 C3,C4 = 10 μF/16 V

#### Verschiedenes:

31-polige Steckerleiste (DIN41617)  
 oder Lötningel  
 S1 = Miniatur-Kippschalter 1 x Um  
 1 x Klinkenbuchse 3,5 mm  
 4 x Drehknopf (Achsbohrung 6 mm,  
 13 ... 15 mm Durchmesser) mit Pfeil  
 (Pfeilring) oder glasklarer Scheibe  
 (26 mm φ)  
 Frontplatte AD5R

alle vier Abschnitte der Hüllkurve enthalten, die beim FORMANT-ADSR in weiten Grenzen kontinuierlich einstellbar sind.

- ATTACK-Zeit (A)
- DECAY-Zeit (D)
- SUSTAIN-Niveau (S)
- RELEASE-Zeit (R)

Den drei Zeitvariablen A, D und R sowie der Spannungsvariablen S sind beim ADSR-Modul Potentiometer zugeordnet, mit deren Hilfe sich alle *Grundverläufe* musikalischer Töne verwirklichen lassen. Im ersten Beitrag der FORMANT-Reihe wurde bereits darauf hingewiesen, wie sehr solche Hüllkurvenmodulationen des VCFs und des VCAs für die zum Teil verblüffend "musikalischen" Synthesizerklänge verantwortlich sind.

In Bild 5 sind ADSR-Hüllkurven mit unterschiedlichen Sustain-Niveaus zu sehen. Es wird deutlich, daß die Attack-Decay- und die Attack-Release-Hüllkurven "Sonderfälle" der allgemeineren ADSR-Charakteristik mit einem Sustain-Niveau von 0% (Attack-Decay) bzw. 100% (Attack-Release) sind.

### Konzeption des ADSR-Hüllkurvengenerators

Das Schaltungskonzept des ADSR-Generators ist im Vergleich zu anderen FORMANT-Schaltungen recht einfach. Der von der Hüllkurvenspannung verlangte exponentielle Spannungsanstieg und Abfall läßt sich durch Aufladen und Entladen eines Kondensators über Widerstände erreichen. Bild 6 zeigt das Prinzipschaltbild.

Solange eine Taste des Manuals gedrückt ist, liegt am Eingang der Pufferstufe IC1 der +5 V-Gateimpuls, die gleiche Spannung liegt dann auch am Ausgang des ICs. Der Kondensator C lädt sich nun über P1 und D1 auf, wobei mit P1 die Anstiegszeit der Spannung am Kondensator eingestellt werden kann. Über P2 kann kein Strom fließen, da die Diode D2 gesperrt ist. Läßt man die Manual-taste los, so gehen Gateimpuls und IC1-Ausgang auf 0 V, der Kondensator entlädt sich über D2 und P2, wobei die Entladezeit mit P2 einstellbar ist. Da die Diode D2 bei etwa 0,7 V vom leitenden in den gesperrten Zustand übergeht, kann der Kondensator nicht vollständig bis auf 0 V entladen werden, es bleibt eine kleine Restspannung von ca. 0,5 V am Kondensator "stehen", die sich nur sehr langsam über den Eingangsstrom des Ausgangspuffers abbauen kann. Diese Restspannung ist aber für die praktische Brauchbarkeit des Hüllkurvengenerators ohne Bedeutung, da bei VCF und VCA der Aussteuerbereich dem Verlauf der Hüllkurvenspannung durch Einstellung bzw. Abgleich angepaßt wird. Um eine ADSR-Charakteristik zu verwirklichen, ist ein zweiter Entladeweg erforderlich, der vom Kondensator C über eine Diode und ein Potentiometer auf eine einstellbare Spannungsreferenz führt. Der zweite Entladeweg wird auto-

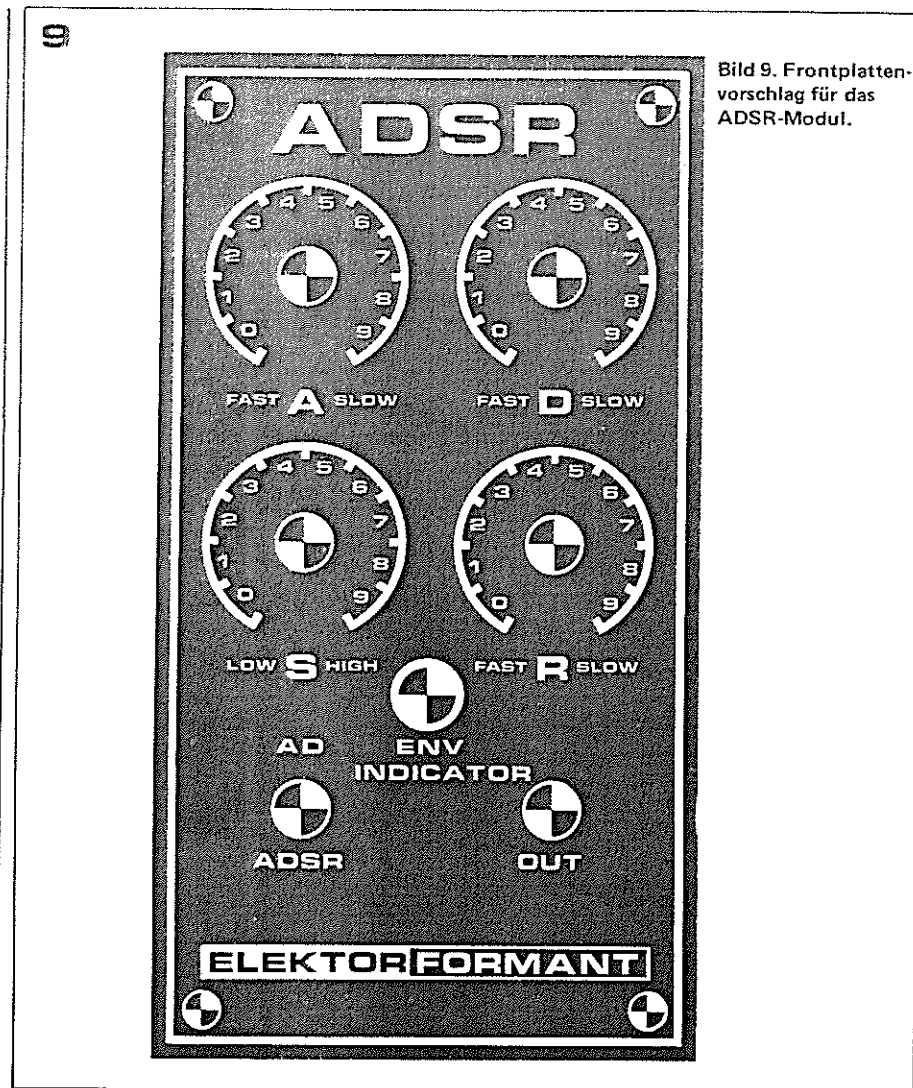


Bild 9. Frontplatten-vorschlag für das ADSR-Modul.

matisch geöffnet, sobald die Spannung am Kondensator +5 V erreicht hat, dadurch entlädt sich der Kondensator unmittelbar nach dem Ende der Attack-Phase bis auf die Höhe der Referenzspannung, die das *Sustain-Niveau* darstellt. Das Potentiometer im zweiten Entladeweg bestimmt die *Decay-Zeit*.

### Schaltung des Hüllkurvengenerators

Das Gesamtbild des ADSR-Moduls ist in Bild 7 zu sehen.

Am einzigen Eingang der Schaltung liegt der Gate-Impuls vom Interface, der Anfang und z.T. auch Dauer der Hüllkurven steuert. Wenn keine Taste der Tastatur gedrückt ist, liegt am Gate-Eingang eine Spannung von ca. 0 V, solange eine Taste gedrückt ist, beträgt die Spannung ca. +5 V.

Für die Erklärung der Schaltungsfunktion wird davon ausgegangen, daß sich der Schalter S1 in der Stellung b (ADSR) befindet. Die Gate-Spannung gelangt dann an den Opamp IC1, der die +5 V Eingangsspannung geringfügig auf etwa +6 V verstärkt. Gleichzeitig triggert das Gatesignal mit der positiven Flanke das mit T1, T2 aufgebaute Monoflop, das seinerseits einen Setzimpuls an das Flipflop (T4, T5) liefert. Das Flipflop wird gesetzt, T5 leitet und

sperrt T4 und T6. Da T4 gesperrt ist, beträgt sein Kollektorpotential +15 V, T3 leitet und gibt den Attack-Ladeweg frei. Kondensator C2 lädt sich mit einer durch P2 einstellbaren Zeitkonstanten (Attack-Zeit) auf. Die Spannung an C2 koppelt ein Opamp-Spannungsfollower (IC4) aus, von seinem Ausgang gelangt sie auf den Eingang des mit IC3 aufgebauten Komparators. Sobald die Kondensatorspannung die Schaltschwelle des Komparators (ca. +5 V) erreicht, springt der Komparatorausgang von ca. -15 V auf ca. +15 V, wodurch das Flipflop T4, T5 über D3 und R22 zurückgesetzt wird. In der Folge sperrt T3 und beendet die Attack-Phase, gleichzeitig wird T6 leitend und öffnet den Decay-Weg. C2 entlädt sich, wobei P3 die Decay-Zeit bestimmt. Die Entladung endet, wenn sich die Kondensatorspannung an die am Ausgang von IC2 anliegende Spannung angeglichen hat.

Diese Spannung ist mit P4 einstellbar und definiert das Sustain-Niveau, das bis zum Loslassen der Manual-taste von C2 gespeichert wird.

Mit dem Loslassen der Taste fällt die Gatespannung und damit auch die Ausgangsspannung von IC1 auf 0 V, die an C2 verbliebene Spannung kann sich nun über den Release-Weg D1,

R13 und P1 abbauen, P1 bestimmt die Release-Zeit. Soweit die Schaltungsfunktion zur Erzeugung von ADSR-Hüllkurven. Der Verlauf der Hüllkurvenspannung am Ausgang wird durch eine "linearisierte" LED-Anzeige mit IC5 sichtbar gemacht. ADSR-Hüllkurven entstehen nur dann, wenn die Dauer des Tastendrucks länger ist als die eingestellten Attack- und Decay-Zeiten und wenn Sustain-Niveau über 0% liegt.

Ist die Tastendruckdauer kürzer als die Attack- und Decay-Zeiten, wird die Hüllkurve "vorzeitig" beendet, weil beim Loslassen der Taste unabhängig vom erreichten Hüllkurvenabschnitt sofort der Release-Weg wirksam wird. Das kann je nach Attack- und Decay-Zeiten und Tastendruckdauer zur Erzeugung von AR oder ADR-Hüllkurven führen.

Bei einem Sustain-Niveau von 0% entstehen je nach Tastendruckdauer "vollständige" oder "unterbrochene" AD-Hüllkurven.

Alternativ zu den vom Gate-Signal getriggerten und beendeten Hüllkurven der ADSR-Betriebsart (Schalter S1 in Stellung b) kann man in der Stellung a von S1 (und bei 0%-Sustainniveau) getriggerte AD-Hüllkurven erzeugen, die nicht vom Gate-Signal beendet werden, sondern unabhängig von der Tastendruckdauer automatisch ablaufen.

Bei dieser AD-Betriebsart liegt der Eingang von IC1 nicht mehr am Gate-Eingang, sondern an einem 5 V-Spannungsteiler, wodurch der Release-Weg gesperrt wird.

Die Wahlmöglichkeit zwischen unterbrechbaren und automatisch ablaufenden AD-Hüllkurven stellt eine Besonderheit des FORMANT-Synthesizers dar.

### Bauelementeauswahl

Verwendet man Halbleiter erster Qualität bekannter Hersteller sowie einen Tantal-Elko für C2, so dürfte bei dieser relativ unkomplizierten Schaltung eigentlich nichts "schiefgehen". Es sind alle Transistortypen verwendbar, die im Elektor-Dekoder (am Ende des Buches) als TUN-Beispiele angegeben sind, allerdings nur, wenn Sie der Stromverstärkungsgruppe "C" angehören, also z.B. BC 549C usw.

Es ist bestimmt nicht falsch, die für T3 und T6 vorgesehenen Transistoren vor dem Einlöten mit der beim VCO angegebenen Testschaltung (Teil 5, S. 40) auf Reststrom in gesperrtem Zustand zu überprüfen.

### Platine, Frontplatte und Verdrahtung

Bild 8 zeigt die Platine mit vollständiger Stückliste, Bild 9 einen Frontplatten-vorschlag des ADSR-Moduls. Die Platine im Eurocard-Format läßt sich mit einer 31-poligen Steckerleiste versehen, für die gehäuseseitigen Anschlüsse haben sich Lötnägel bewährt. Die Frontplatte trägt die vier Potentiometer zur Einstellung der Hüllkurven-

parameter ADSR (A = P2, D = P3, S = P4, R = P1), den Betriebsartenumschalter AD/ADSR (= S1, AD = S1a, ADSR = S1b), die Anzeige-LED ENVELOPE INDICATOR (= D6) und eine Klinkenbuchse OUT für den externen Ausgang des Moduls (= EOS). Die Verdrahtung zwischen Platine und Frontplatte ist recht einfach, die Bezeichnung der zugehörigen Platinenausgänge wurde bei vorstehender Aufzählung der Frontplattenelemente in Klammern angegeben.

Die gehäuseseitige Verdrahtung der Platine beschränkt sich auf die Versorgungsspannungsanschlüsse und den internen Hüllkurvenausgang ENV, der mit dem ENV-Eingang des dem ADSR-Modul fest zugeordneten VCFs oder VCAs verbunden wird.

Es muß in diesem Zusammenhang nochmals an die sternpunktartige Verdrahtung erinnert werden. Das bedeutet:

Jeder Versorgungsspannungsanschluß einer FORMANT-Modulplatine wird mit einer eigenen Leitung auf kürzestem Wege mit dem entsprechenden Ausgang der Netzteilplatine verbunden. An diesen Ausgängen laufen alle Versorgungsspannungsleitungen sternpunktartig zusammen. Nur die strikte Einhaltung dieser Verdrahtungsregel verhindert Verkopplungen zwischen den einzelnen Modulen.

Das gilt auch für die Verteilung der Gate- und KOV-Signale. Die Sternpunkte befinden sich in diesem Fall auf der Interface-Empfängerplatine.

### Überprüfung und Abgleich

Neben den Versorgungsspannungen muß auch der Gateimpuls vom Interface vorhanden sein. Zur Überprüfung der Schaltung bringt man zuerst S1 in Stellung "AD" und stellt kurze Attack- und Decay-Zeiten ein. Sustain muß auf 0 stehen, Release-Einstellung spielt bei Betriebsart "AD" keine Rolle.

Die Beobachtung des Hüllkurvenverlaufs am Ausgang erfolgt mit dem Oszilloskop bei einer relativ niedrigen Ablenkfrequenz (Timebase etwa 10 ms/Div.). Drückt man nun in kurzen Abständen eine Tastaturtaste, so sieht man auf dem Skop eine kurze AD-Hüllkurve, die zwischen ca. 0,5 und 5 V verläuft. Stehen A- und D-Potentiometer beide am linken Anschlag, so betragen die Attack- und Decay-Zeiten etwa 10 ms. Als nächstes schließt man das Skop an den Ausgang von IC3 an. Jedesmal wenn die Hüllkurvenspannung ihren Maximalwert erreicht, muß die Ausgangsspannung für sehr kurze Zeit von ca. -15 V auf +15 V gehen. Dieser positiven Triggerimpuls ist sehr kurz, um ihn sichtbar zu machen, ist ein wiederholtes Auslösen von Hüllkurven erforderlich.

Bei der Betriebsart ADSR ist der Abgleich des maximalen Sustainniveaus mit P5 wichtig. Das maximale Sustainniveau (Spannung am Ausgang von IC2) muß gleich groß sein wie die Spannung an C2 am Ende der Aufladung (Attack-

Phase).

Zum Abgleich stellt man mittlere Attack- und Decay-Zeiten und maximalen Sustain-Level (Potentiometer S auf rechten Anschlag) ein. Trimmer P5 wird nun so eingestellt, daß decayartige Absenkungen des Hüllkurvenverlaufs am Ende des Decays (beim Übergang in die Sustain- oder Steady-State-Phase) gerade eben verschwinden.

Diese Einstellung läßt sich überprüfen, indem man den Sustain-Level etwas zurücknimmt (Schleifer von P4 etwas in Richtung "Masse" drehen). Der Größe des Drehwinkels entsprechend sollte jetzt ein Decay bis zu dem eingestellten Sustain-Niveau sichtbar werden. Bei Sustain-Niveau 0 (Schleifer von P4 an Masse) muß eine "reine" AD-Hüllkurve entstehen.

Nach diesen Überprüfungen und dem Abgleich von P5 ist der ADSR-Hüllkurvengenerator einbaufertig.

## VCA Teil 8

Mit dem DUAL-VCA und dem bereits vorgestellten VCF steht dem Leser nun das Grundwerkzeug der Klangformung zur Verfügung. Neben der Schaltungstechnik ist auch die musikalische Anwendung dieser Module angemessen berücksichtigt.

Der DUAL-VCA enthält zwei unabhängig voneinander steuerbare Verstärker (gain blocks), die hintereinander im Signalweg liegen. Der erste "Block" verfügt über eine exponentielle Aussteuerungscharakteristik und dient zur Hüllkurvenmodulation (Lautstärkekontur), der zweite hingegen wird linear angesteuert und für periodische Amplitudenmodulation (Tremolo) bzw. Pedalaussteuerung benutzt. Eine Aussteuerungsanzeige erleichtert den Umgang mit dem VCA.

### Aufgabe und Anwendung des DUAL-VCA im Vergleich zum VCF

Die Stellung dieser beiden klangformenden Module innerhalb des Synthesizers verdeutlicht am besten ein Auszug aus dem Blockschaltbild (Bild 1), das bereits im ersten FORMANT-Beitrag veröffentlicht wurde. Der Signalweg: Die VCO-Ausgangssignale (und/oder das

externe Signal) durchlaufen zunächst das VCF, das u. a. vom Hüllkurvengenerator ADSR angesteuert wird. Vom VCF führt der Signalweg zum VCA, dessen Verstärkung der zweite Hüllkurvengenerator ADSR 2 steuert. Im Gegensatz zum VCF arbeitet der VCA unabhängig von der KOV, da kein Zusammenhang zwischen Lautstärke und Tonhöhe besteht. Dieser Signalweg ist intern fest verdrahtet.

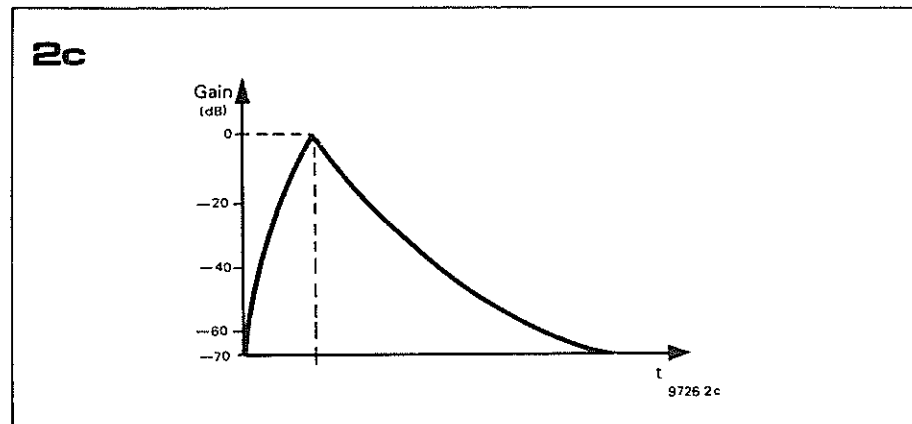
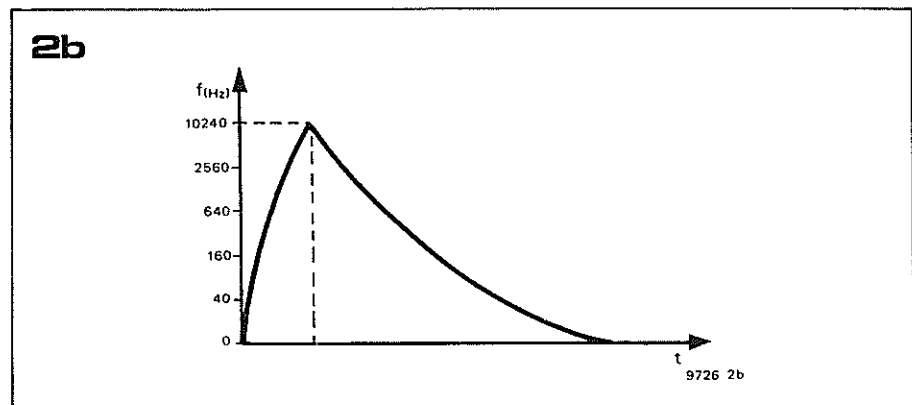
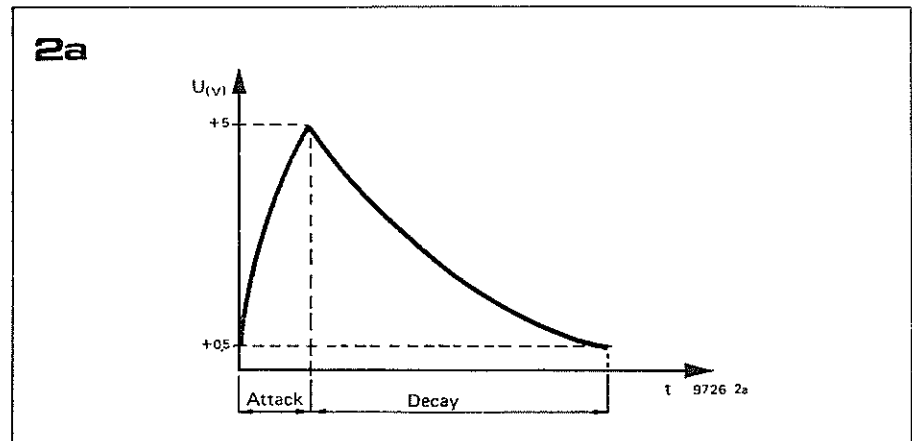
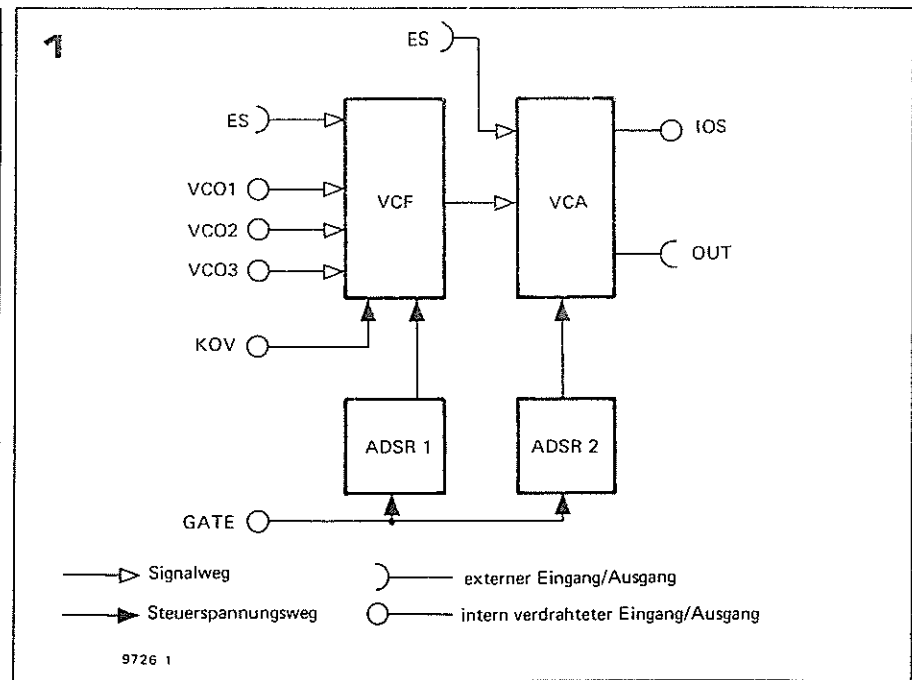
**Timbrekontur und Lautstärkekontur:**

Die Hüllkurvenaussteuerung des VCFs als Tiefpaßfilter scheint beim flüchtigen "Hinhören" ähnliche Resultate zu bewirken wie beim VCA. In beiden Fällen "öffnet" die Hüllkurve den Signalweg und schafft eine "ähnliche" Dynamik. Den Verlauf einer einfachen Hüllkurve illustriert Bild 2a. Der gezeigte Verlauf ist typisch für den perkussiven Klang etwa eines Klaviers oder eines Xylophons, wo eine Saite bzw. Holzplatte angeschlagen wird und der entstehende Ton anschließend langsam ausklingt.

Bei der Aussteuerung des VCFs (als Tiefpaß) ändert die Spannungskontur dieser Hüllkurve die Eckfrequenz des Tiefpaßfilters während der Dauer des Tones (Bild 2b). Zu Beginn der Hüllkurve ist die Eckfrequenz so niedrig eingestellt, daß das Oszillatorsignal (z.B. ein Sägezahn mit einer Frequenz von 440 Hz) vom VCF nicht durchgelassen wird. In der Attack-Phase steuert die Hüllkurve die Eckfrequenz sehr schnell hoch, so daß in rascher Folge zuerst der Grundton, dann die einzelnen Obertöne und schließlich das gesamte hörbare Spektrum des Sägezahnsignals zum VCF-Ausgang gelangen. Der Klang beginnt also "weich" (sinusförmig) und wird während der ATTACK-Phase sehr schnell obertonreicher. Die Gesamtamplitude nimmt mit zunehmender Durchlässigkeit des Filters natürlich ebenfalls zu. In der DECAY-Phase der Hüllkurve läuft dieser Vorgang umgekehrt und langsamer ab: Der Ton klingt langsam aus, die Klangfarbe wird dabei zunehmend "dunkler".

Der resultierende Klang ist ähnlich wie bei einem Klavier, auf dessen Anschlaghämmer Heftzwecken gesteckt wurden: der Ton beginnt mit einem hellen, metallischen Anschlag und klingt langsam dunkel aus.

Steuert man den VCA mit der gleichen Hüllkurve aus, so folgt die Verstärkung und damit die Ausgangsamplitude dem Verlauf der Hüllkurve (Bild 2c). Im Gegensatz zum VCF bleibt die Klangfarbe (Kurvenform) des Signals dabei unverändert. Es gibt kaum natürliche Klänge, die eine "reine" Lautstärkedynamik ohne begleitende Klangfarbenänderung aufweisen. Insofern klingt die bloße Lautstärkekontur, mit VCA und Hüllkurvengenerator (ohne Filterung) realisiert, oft "starr" und "elektronisch". Andererseits gibt es Klänge, bei denen



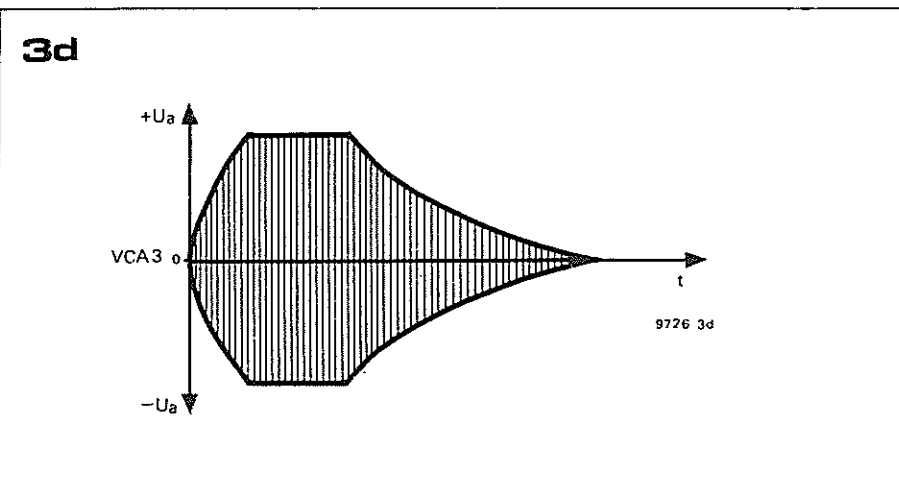
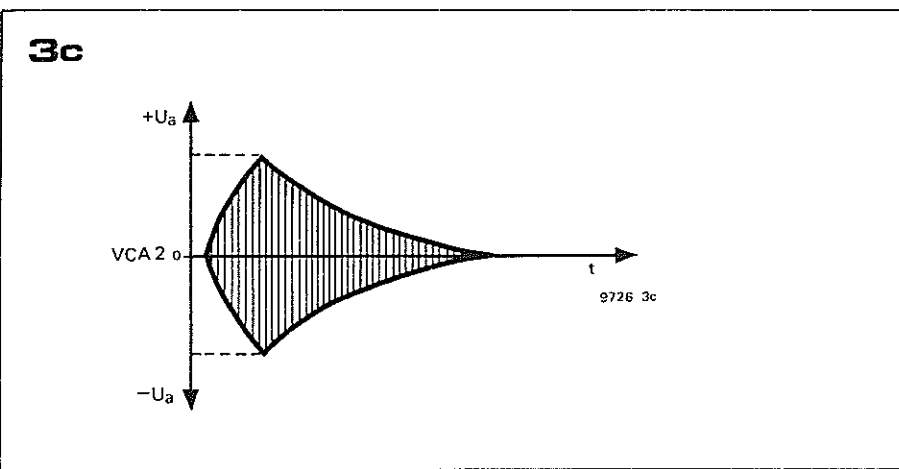
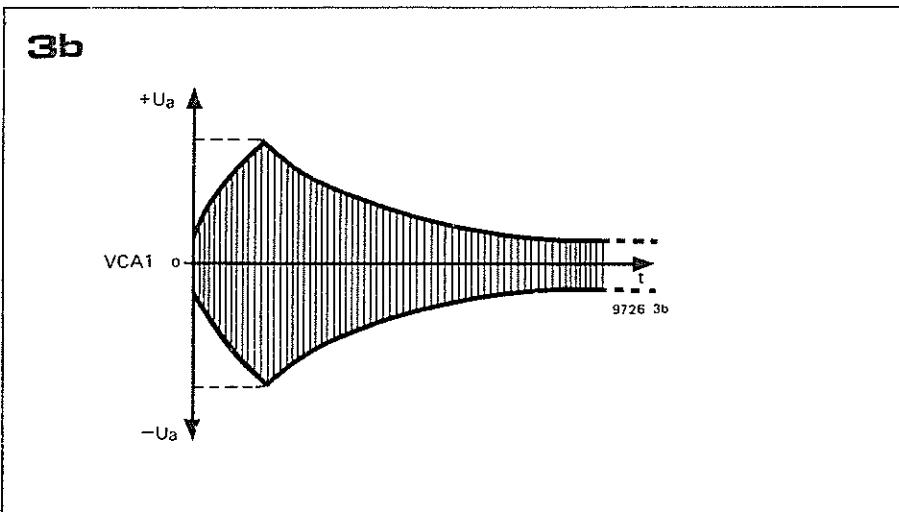
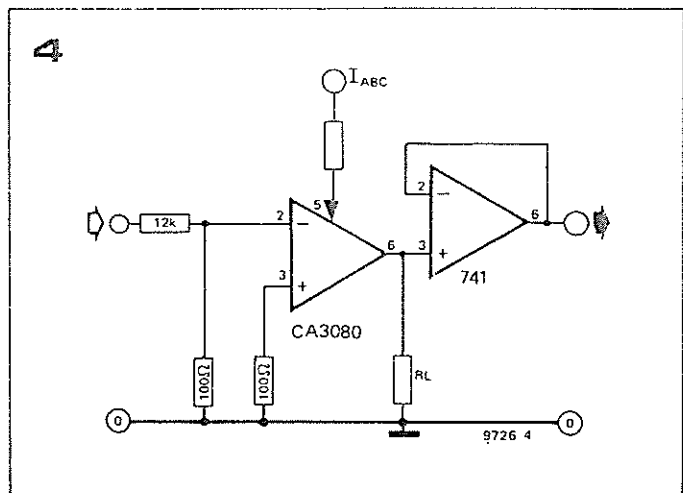
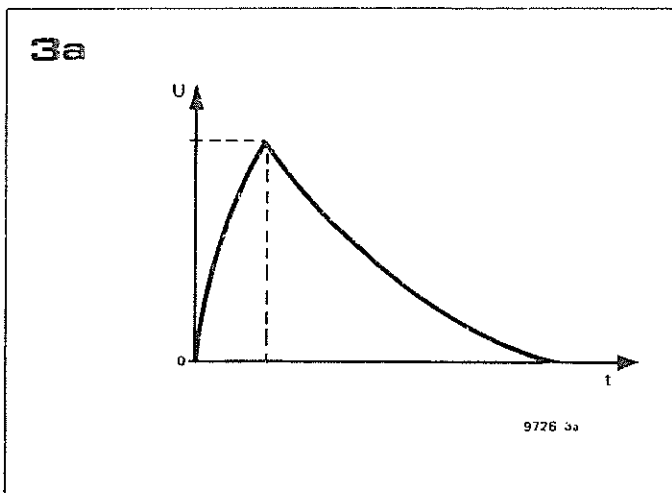


Bild 1. Dieser Auszug aus dem Blockschaltbild des FORMANT verdeutlicht die Stellung der beiden klangformenden Module VCF und VCA innerhalb des Synthesizers.

Bild 2. Hüllkurvenaussteuerung von VCF und VCA. Bild 2a zeigt als Beispiel den Verlauf einer einfachen ATTACK/DECAY-Hüllkurvenspannung am ADSR-Ausgang. Bei der Aussteuerung des VCFs mit dieser Hüllkurve entsteht eine Timbrekontur, wie in Bild 2b zu sehen, verschiebt die Spannungskontur die Eckfrequenz des Tiefpaßfilters während der Dauer eines Tones. Beim VCA bewirkt die Hüllkurvensteuerung eine Änderung der Verstärkung proportional zum Hüllkurvenverlauf, dies ist in Bild 2c dargestellt.

Bild 3. Typische Fehlermerkmale schlecht eingestellter oder falsch dimensionierter VCAs.

Der steuernde Hüllkurvenverlauf ist im Bild oben dargestellt. Das Signal VCA 1 zeigt ein deutliches "Feedthrough", der VCA bleibt auch nach Ablauf der Hüllkurve "durchlässig". Beim Signal VCA 2 ist das Gegenteil der Fall, dieser VCA "öffnet" zu spät und "schließt" zu früh, der Hüllkurvenverlauf wird verkürzt und die Dynamik verringert. Beim dritten Beispiel VCA 3 entsteht durch zu geringe Aussteuerbarkeit ein "Lautstärkeplateau".

Bild 4. Prinzipschaltbild eines OTAs als linear stromgesteuerter Verstärker. Die Spannungsverstärkung wird durch die Größe von  $I_{ABC}$  und durch den Wert von  $R_L$  bestimmt. Der Spannungsteiler am Eingang ( $12\text{ k}/100\ \Omega$ ) ist erforderlich, um den linearen Bereich der Eingangsstufe des OTAs nicht zu überschreiten.

die Lautstärkedynamik im Vordergrund steht und die Klangfarbendynamik weniger ausgeprägt ist. Für die Synthese solcher Klänge ist der VCA sehr nützlich. Beim Klavier etwa ist der Anschlag des Tones relativ "weich", die Dynamik eines normal angeschlagenen Klaviertons läßt sich - wie bei den "elektronischen Klavieren" - recht gut durch eine bloße Lautstärkekontur nachbilden. So kann bei entsprechender Kurvenform des VCA-Eingangssignals der resultierende Klang einem Klavierton nahekommen. Benutzt man andere Hüllkurvenformen als im Beispiel von Bild 2 angegeben, so fallen die klanglichen Unterschiede zwischen der VCF- und der VCA-Hüllkurvensteuerung sehr viel deutlicher aus.

Ein langsamer ATTACK führt beim VCF dazu, daß man die Änderung der Klangfarbe des Signals (die langsame Zunahme der Obertöne) deutlich hören kann. Dies klingt oft wie das Anblasen eines Blech Instruments. Der gleiche ATTACK resultiert bei der VCA-Aussteuerung in einem Anschwellen der Lautstärke (Crescendo), wie z.B. bei Streicherklängen.

### Konzeption des FORMANT-VCA

Art und Umfang der Dynamik natürlicher Musik bestimmen die Anforderungen an einen Synthesizer-VCA. Die natürlichen Dynamikbedingungen sollten durch den VCA so weit wie möglich nachgebildet werden. Für die technische Konzeption spielen

zwei Aspekte eine vorrangige Rolle: Die logarithmische Lautstärkeempfindung des Ohres und der große Dynamikumfang natürlicher Musik. Dem logarithmischen Lautstärkeempfinden des Ohres trägt man durch eine *exponentielle* Aussteuerungscharakteristik des VCAs Rechnung. Dies gilt für die Hüllkurvenaussteuerung des VCAs. Hiervon unabhängig ist das Tremolo, eine periodische Amplitudenmodulation des Musiksignals. Damit das Tremolo angenehm "weich" klingt, ist ein VCA mit linearer Steuerung erforderlich.

Der FORMANT VCA verfügt als DUAL-VCA über beide Möglichkeiten, auf diese Weise wird der exponentiell geformten Lautstärkekontur ein "lineares" Tremolo aufgeprägt.

Dem großen Dynamikumfang natürlicher Musik kann man mit elektronischen Mitteln nur schwer gerecht werden. Eine realisierbare Forderung für den Dynamikbereich des VCAs ist ein Wert von etwa 70 dB, das entspricht ungefähr dem technologischen Grenzwert für Schallplattenaufnahmen und ist deutlich besser als die Dynamik von Magnetbandaufzeichnungen.

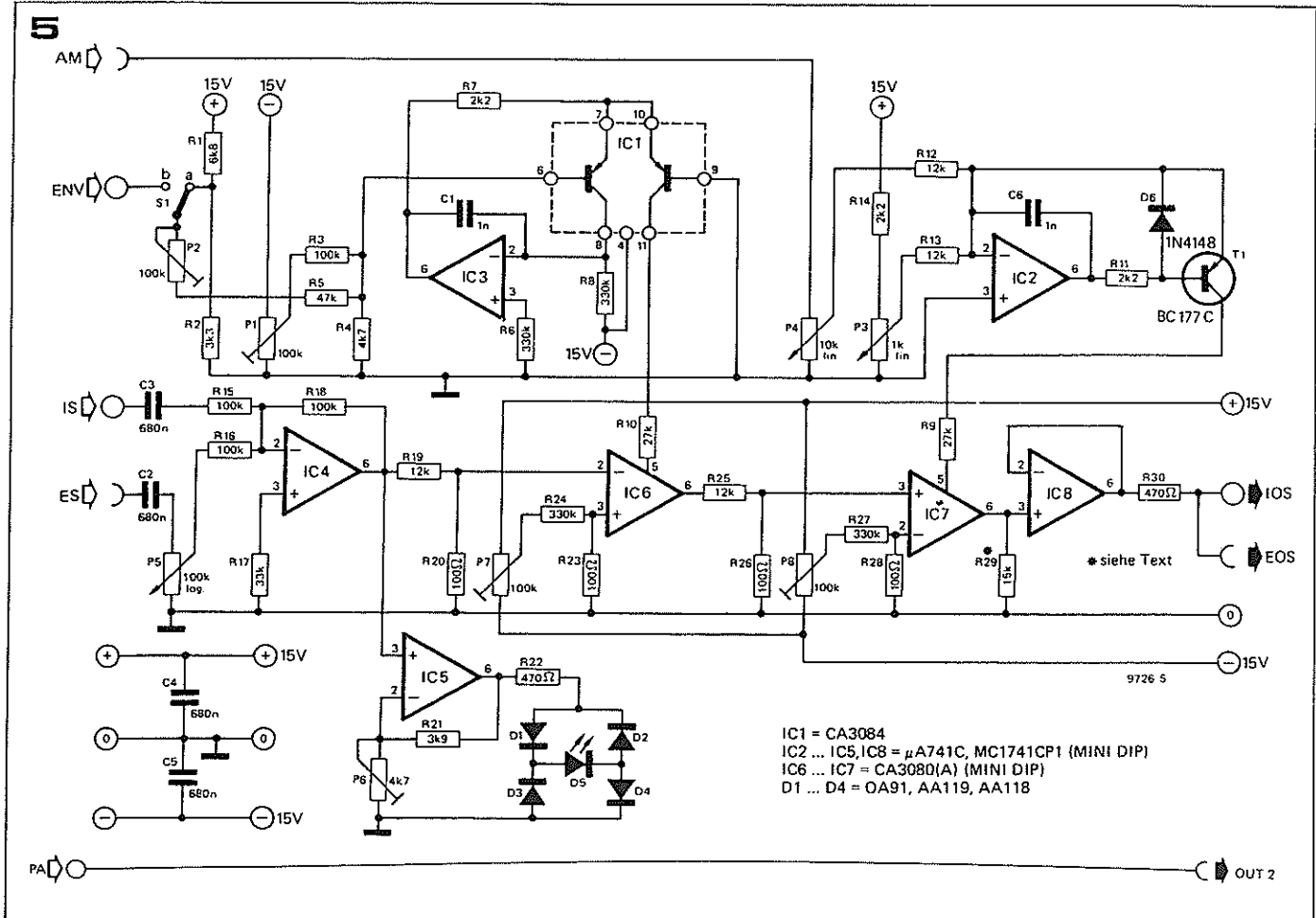
Neben Aussteuerungscharakteristik und Dynamikumfang ist auch die Anpassung des Steuerbereiches an die Spannungskontur der steuernden Hüllkurve bei der Konzeption des VCAs von Bedeutung.

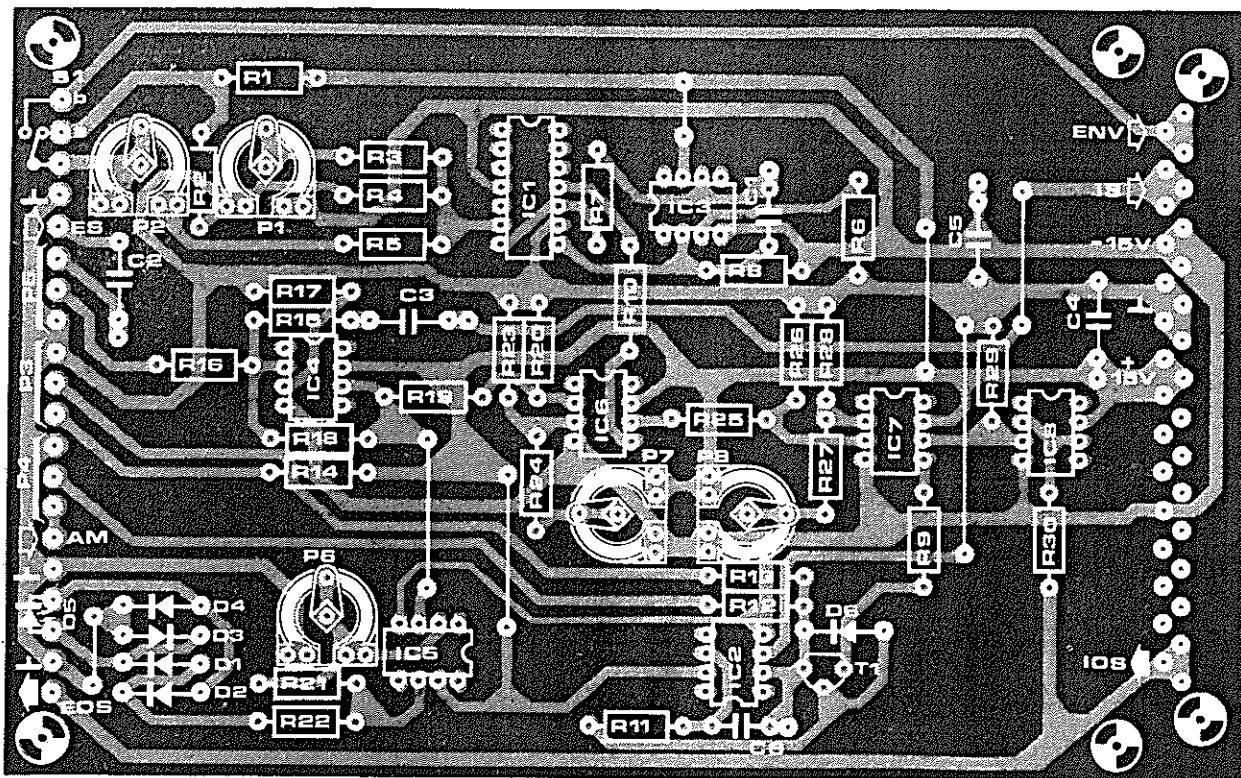
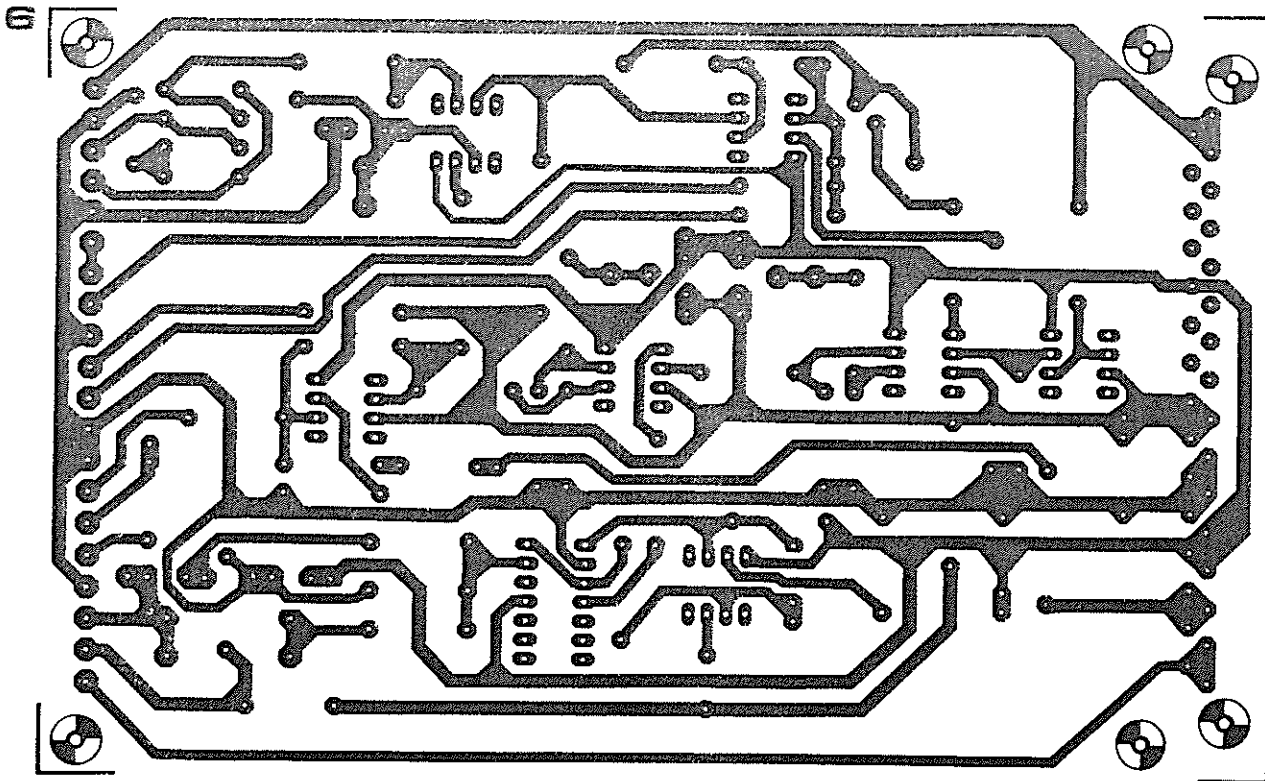
Bild 3 zeigt typische "Fehlersymptome", die es durch Abgleichmaßnahmen zu

Bild 5. Schaltbild des DUAL-VCAs. Im Signalweg liegen zwei voneinander unabhängige OTA-Verstärker. Eine exponentielle Stromquellenschaltung bildet zusammen mit dem OTA IC6 den exponentiellen "gain-block" des VCAs, der lineare "gain-block" mit IC7 wird von einer linearen Stromquelle gesteuert und ermöglicht eine von der exponentiellen Hüllkurvenaussteuerung des ersten OTAs unabhängige Tremolomodulation und Verstärkungseinstellung.

Bild 6. Platine mit Layout, Bestückungsplan und Stückliste des DUAL-VCAs.

Bild 7. Frontplattenvorschlag für den DUAL-VCA.





## Stückliste zu Bild 5 (VCA)

## Widerstände:

R1 = 6k8  
 R2 = 3k3  
 R3, R15, R16, R18 = 100 k  
 R4 = 4k7  
 R5 = 47 k  
 R6, R8, R24, R27 = 330 Ω  
 R7, R11, R14 = 2k2

R9, R10 = 27 k  
 R12, R13, R19, R25 = 12 k  
 R17 = 33 k  
 R20, R23, R26, R28 = 100 Ω  
 R21 = 3k9  
 R22, R30 = 470 Ω  
 R29 = 15 k (Richtwert)

## Potentiometer:

P1, P2, P7, P8 = 100 k Trimm-

## potentiometer

P3 = 1 k lin.  
 P4 = 10 k lin.  
 P5 = 100 k log.  
 P6 = 4k7 (5 k) Trimpotentiometer

## Kondensatoren:

C1, C6 = 1 n  
 C2, C3, C4, C5 = 680 n

vermeiden gilt. Die aussteuernde Hüllkurve ist im Bild oben dargestellt. Das Ausgangssignal VCA1 zeigt ein deutliches "Feedthrough", das heißt, der VCA bleibt trotz abgelaufener Hüllkurve "durchlässig".

Das Signal VCA2 ist ein Beispiel für das andere Extrem, der VCA sperrt vorzeitig und kann dadurch den langsamen Ausklang der steuernden Spannungskontur nicht auf den Amplitudenverlauf des Musiksignals "übertragen".

Beim dritten Beispiel (VCA3) verursacht der VCA ein Lautstärkeplateau, da er der steuernden Hüllkurve wegen mangelnder Aussteuerbarkeit nicht bis zum Maximum folgen kann.

Wie bereits beim VCF macht man auch beim VCA Gebrauch von OTAs.

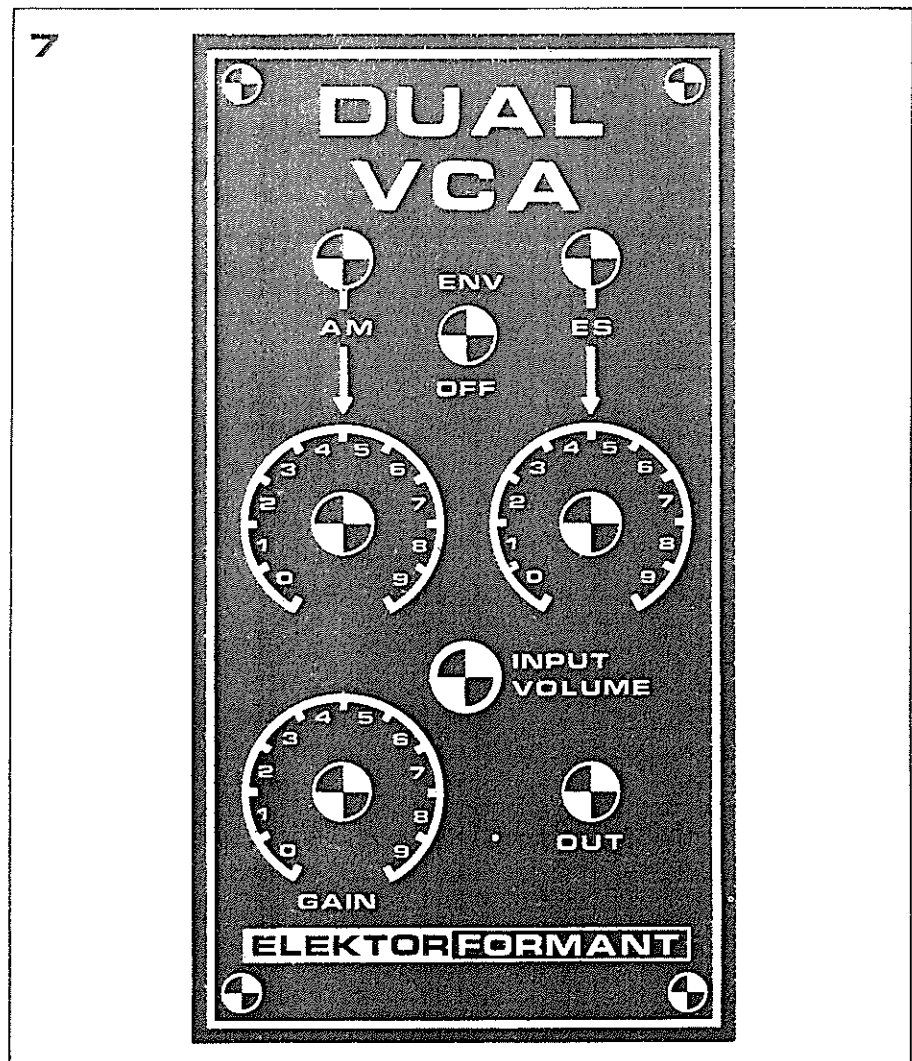
Der OTA CA 3080 (A) ist ein "fast vollständiger" linear stromgesteuerter Verstärker in integrierter Form. Lediglich der Ausgangstrom  $i_a$  muß noch in eine Ausgangsspannung "umgewandelt" werden, was recht einfach mit einem gegen Masse geschalteten Lastwiderstand möglich ist.

Bild 4 zeigt das prinzipielle Schaltbild eines linear stromgesteuerten Verstärkers mit dem OTA CA 3080 (A). Die Spannungsverstärkung ist gleich  $g_m \cdot R_L$ , (vergl. Teil 6, S. 47 u. 49). Ein wesentlicher Nachteil des CA 3080 soll hier nicht verschwiegen werden:

Die Nichtlinearität der Eingangsstufe, die eine Abschwächung des Eingangssignals auf  $\pm 10$  mV erforderlich macht. Bei dieser Lösung entsteht leicht ein unzureichender Rauschabstand, der musikalisch vor allem bei der Lautstärkeformung dunkler Klänge stört. Da die Eingangsspannung des DUAL-VCAs (in Abhängigkeit von VCF-Charakteristik und Aussteuerung sowie VCO-Amplitude und Kurvenform) stark variiert, wurde ein LED-Aussteuerungsindikator vorgesehen, der die Einstellung der Eingangsamplitude auf den jeweils besten Kompromiß zwischen Rauschen (bei zu kleinen Amplituden) und Verzerrungen (bei zu großen Amplituden) erleichtert. Bei Übersteuerungsanzeige des Indikators nehmen die Verzerrungen allmählich zu, erst bei einem um den Faktor 10 (20 dB) zu hohen Eingangssignal (im Sinne der LED-Anzeige) wird das Signal rechteckförmig begrenzt. Musikalisch können die kontinuierlich zunehmenden Verzerrungen bei "gezielter" Übersteuerung durchaus angenehm sein, z.B., um "dunkle" Klänge mit Obertönen "anzureichern".

### Schaltung des VCAs

Die Schaltbilder (Bild 5 zeigt den Schaltplan des VCAs) der FORMANT-Module VCF und VCA zeigen eine deutliche Verwandtschaft, die sich aus der Moogschen Modulstruktur "zwangsläufig" ergibt: sie bestehen aus zwei voneinander unabhängigen



### Stückliste VCA (Fortsetzung)

#### Halbleiter:

IC1 = CA3084 (DIL)  
 IC2, IC3, IC4, IC5,  
 IC8 =  $\mu$ A 741C, MC1741, CP1  
 (Mini DIP)  
 IC6, IC7 = CA3080 (A)  
 T1 = BC177 (BC178, BC179)C,  
 BC557 (BC558, BC559)C  
 D1 ... D4 = OA91, AA119,  
 AA118, (DUG)  
 D5 = LED  
 D6 = 1N4148

#### Verschiedenes:

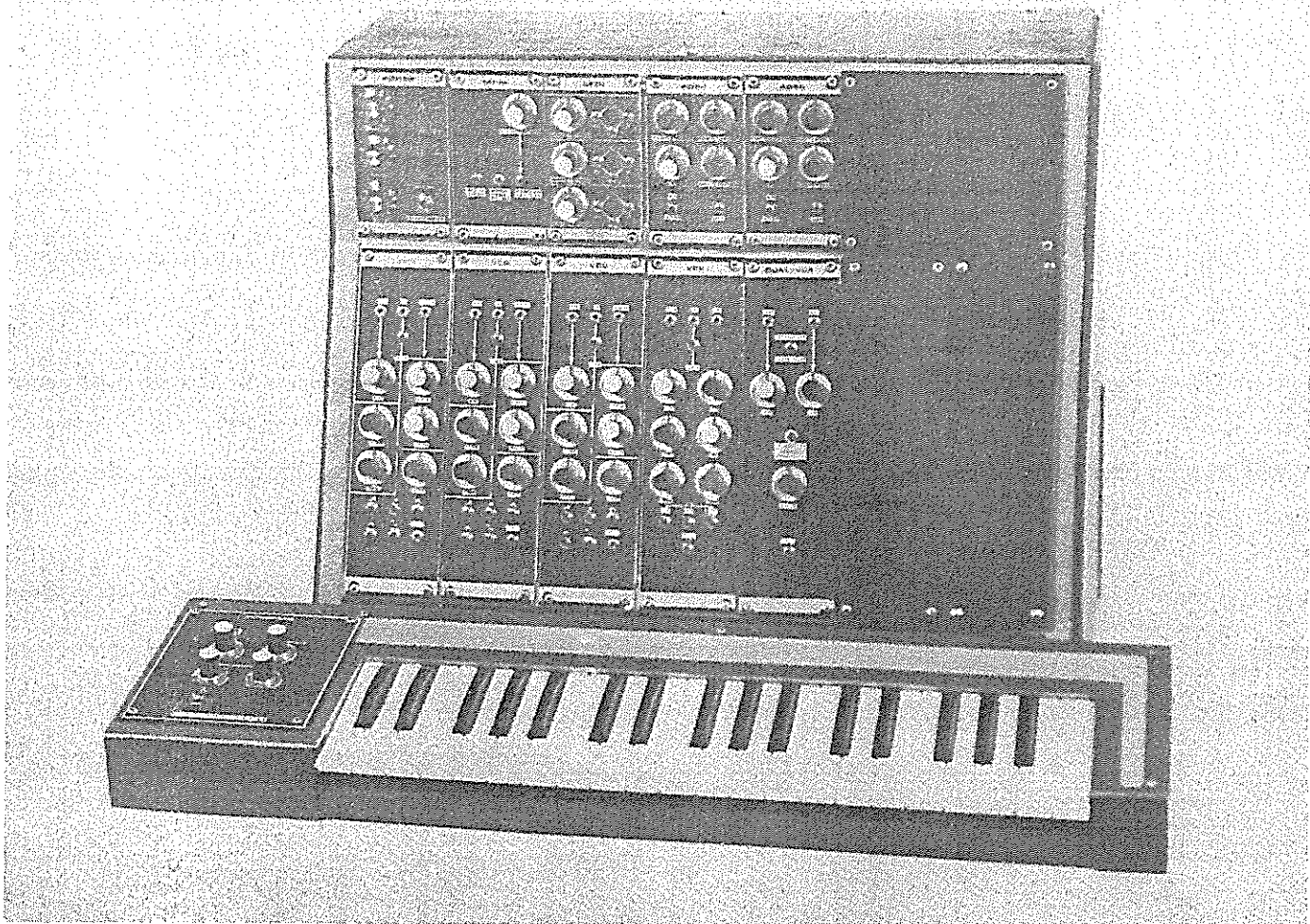
31-polige Steckerleiste (DIN 41617) oder Löt Nägel  
 S1 = Miniatur-Kippschalter  
 1 x Um  
 3 Stk. Klinkenbuchse 3,5 mm  
 3 Stk. Drehknopf (Achsbohrung  
 6 mm, 13 ... 15 mm Durch-  
 messer) mit Pfeil (Pfeilring)  
 oder glaskläarer Scheibe (26 mm  
 $\phi$ )  
 Frontplatte DUAL-VCA

Schaltungsgruppen, einem *Steuerteil* (in Bild 5 oben) und einem *Signalverarbeitungsteil*.

Der *Steuerteil* der VCA-Schaltung besteht aus einer exponentiell spannungsgesteuerten Stromquelle (Exponentiator mit IC1) und einer linear spannungsgesteuerten Stromquelle mit IC2. Die exponentielle Stromquelle steuert den ersten "gain-block" mit dem OTA IC6, die lineare Stromquelle ist für die Steuerung des zweiten OTAs IC7 zuständig.

Schaltungsmäßig ist der *Exponentiator* mit dem des VCFs identisch, lediglich der passive Steuerspannungssaddierer ist der unterschiedlichen Steuerspannungsstruktur des VCAs angepaßt. Der V/Oktave-Charakteristik bei VCO und VCF entspricht beim exponentiell gesteuerten "gain-block" des VCAs eine Charakteristik von etwa 12 dB Verstärkungsänderung pro 1 Volt Änderung der Steuerspannung am ENV-Eingang. Das "etwa" bei der 12 dB-Angabe deutet schon an, daß die Einhaltung dieser Charakteristik keine so wesentliche Rolle spielt wie die Einhaltung der V/Oktave-Charakteristik, schließlich kann das Ohr Lautstärkeänderungen erst ab etwa 3 dB deutlich wahrnehmen. Zur Einstellung der exponentiellen Steuerung dient P2, P1 legt als "Offset-trimmer" den Anfang des Steuer-





bereiches fest.

Mit dem Umschalter S1 erfolgt die Wahl zwischen Hüllkurvensteuerung (vom ENvelope-Eingang) oder festeingestellter Verstärkung (durch Spannungsteiler R1, R2) des OTAs IC6.

Die linear spannungsgesteuerte Stromquelle ist als Opampstromquelle (IC2, T1) mit Eingangssaddierer (R12, R13) ausgeführt. Ihr Ausgangsstrom bestimmt die Verstärkung des OTAs IC7, er ist mit P3 (Gain-Poti) "von Hand" einstellbar und über den AM-Eingang modulierbar. Die Modulationstiefe der Amplitudenmodulation (Tremolo) hängt von der Amplitude des AM-Signals ab, eine Einstellmöglichkeit hierfür ist mit P4 gegeben.

Der *Signalverarbeitungsteil* der VCA-Schaltung besteht im wesentlichen aus den beiden hintereinander geschalteten "gain-blocks" IC6 und IC7.

Am Eingang des Signalteils liegt ein Signalspannungssaddierer (IC4) mit den Eingängen IS (internes Signal vom VCF) und ES (externes Signal). Am Ausgang von IC4 liegt der Abschwächer des ersten OTAs sowie der LED-Aussteuerungsindikator, dessen Ansprechschwelle mit P6 einstellbar ist. Zwischen den beiden OTAs liegt der Abschwächer für den zweiten OTA IC7, die beiden Trimpotentiometer P7 und P8 sind für den Offsetabgleich der

OTAs vorgesehen. Ein Opamp-Spannungsfolger (IC8) sorgt für einen niederohmigen und kurzschlußfesten Ausgang des DUAL-VCA.

### Bauelementeauswahl

Für die Bauelementeauswahl ergeben sich beim VCA keine neuen Gesichtspunkte, da insbesondere die verwendeten Halbleiter bereits beim VCF (Teil 6, S. 50) ausführlich besprochen wurden.

### Platine und Frontplatte

Bild 6 zeigt Platine und Stückliste des FORMANT-DUAL-VCA. Die Platine hat Eurocard-Format und ist wie alle FORMANT-Modulplatinen für die Verwendung einer Steckerleiste ausgelegt. In Abweichung vom ursprünglichen mechanischen Konzept (vergl. FORMANT Teil 3, S. 28) erhält der DUAL-VCA aus Kosten- und Platzgründen eine "kleine" Frontplatte (Bild 7). Die Verdrahtung zwischen Platine und Frontplatte erleichtert die nachfolgende Übersicht über die auf Platine und Frontplatte verwendeten Bezeichnungen:

a) Interne Eingänge

ENV = Envelope, Hüllkurvensteuerung (vom Ausgang des ADSR-Moduls)

IS = Internes Signal (vom VCF-Ausgang VCF/IOS)

b) Externe Eingänge

AM = Amplituden-Modulation, Tremolo (Eingang für Amplitudenmodulationsspannung, z.B. vom LFO, über Klinkenbuchse der Frontplatte)

ES = External Signal (externes Eingangssignal, z.B. von einem Gitarrenverstärker, über Klinkenbuchse der Frontplatte)

c) Ausgänge

VCA/IOS = Internal Output Signal (internes VCA-Ausgangssignal, wird zum POWER-Modul weitergeführt)

EOS = External Output Signal (externer Ausgang, Klinkenbuchse OUT der Frontplatte)

d) Potentiometer

AM = P4, Einsteller für AM

ES = P5, Amplitudeneinsteller für ES

GAIN = P3, Einsteller für die Verstärkung

e) Sonstiges

ENV/OFF = S1, Ein/Aus-Schalter für die Hüllkurvensteuerung des VCA

Input Volume = D5, Aussteuerungsindikator-LED auf der Frontplatte

## Aufbau und Abgleich

Gleichzeitig mit dem DUAL-VCA sollte auch ein Hüllkurvengenerator ADSR aufgebaut werden, da ohne Hüllkurvengenerator der endgültige Abgleich nicht möglich ist. Dieser Hüllkurvengenerator und der VCA werden aufeinander abgeglichen und sollten einander zugeordnet bleiben (beim VCF ist eine derartige Abstimmung auf einen bestimmten Hüllkurvengenerator nicht erforderlich).

Für den Abgleich benötigt man den bisher aufgebauten FORMANT (3 VCOs, VCF, Tastatur mit Interface-Empfänger), steht dieser noch nicht zur Verfügung, kann man sich auch mit einem Sinus- oder Funktionsgenerator als Signalquelle und einem an den GATE-Eingang des Interfaceempfängers angeschlossenen Taster als "Tastatur-Ersatz" (zur Triggerung des ADSR) behelfen.

Zum Abgleich wird der IS-Eingang des VCAs mit IOS/VCF verbunden, das VCF auf "Durchlässigkeit" eingestellt ("Octaves" und "OUT" auf Maximum, "Q" auf Minimum stellen, KOV abschalten und Tiefpaßfunktion wählen). Das Sägezahnsignal von einem VCO muß jetzt unverändert an IOS/VCF mit einer Amplitude von etwa 2,5 V (Spitze zu Spitze) zu messen sein (OUT-Einsteller des VCOs auf Maximum), am Ausgang von IC4 des VCAs ebenfalls, aber invertiert.

Am Ausgang von IC6 liegt die Sägezahn-Schwingung in nicht-invertierter Form, die Amplitude muß sich mit P1 einstellen lassen (Schalter S1 in Stellung "OFF", P7 und P8 in Mittelstellung). Das Ausgangssignal des VCAs (IOS) hat die gleiche Phasenlage wie das Eingangssignal, die Amplitude hängt sowohl von der Einstellung von P1 als auch von P3 ab.

Nach diesem kurzen Test steht die prinzipielle Funktion des VCAs fest. Es folgt nun der Abgleich:

### 1) Abgleich der LED-Anzeige

Trimpot. P6 so einstellen, daß bei einer Signalamplitude von 2,5 V<sub>SS</sub> am Ausgang von IC4 die Indikator-LED D5 schwach leuchtet. Die Signalamplitude erhöhen (VCO2 und 3 einschalten und Einsteller "OUT" der VCOs "aufdrehen"), die LED muß nun deutlich stärker leuchten. Abschließend VCO2 und 3 wieder abschalten.

### 2) Abgleich der Steuerspannungsunterdrückung

Schalter S1 des ADSR-Moduls auf "AD" stellen, "S" und "R"-Einsteller sowie "A"- und "D"-Einsteller auf 0 stellen (kürzestmöglicher ATTACK und DECAY). IS-Eingang des VCAs kurzschließen (mit Masse verbinden), Schleifer von P5 auf Masse stellen, S1 des VCAs in Stellung ENV bringen, Ausgangsspannung von IC6 mit Oszilloskop überwachen.

Beim Auslösen einer Hüllkurve durch

Drücken einer Tastaturtaste entsteht am Ausgang von IC6 ein Spannungssprung. P7 nun sorgfältig so einstellen, daß dieser Spannungssprung möglichst klein wird, zur Feineinstellung Empfindlichkeit des Skops auf 10 mV/Teil einstellen. Je sorgfältiger dieser Abgleich erfolgt, desto weniger schlagen Hüllkurven mit abrupten Konturverläufen in Form von "Knacken" oder "Ploppen" durch.

Beim linearen "gain-block" kann ohne Abgleich von P8 eine schnelle Änderung der AM-Spannung auf den Ausgang "durchschlagen". Der Abgleich erfolgt genauso wie bei P7, nur wird vorher S1 in Stellung "OFF" gebracht, P3 "auf Masse" gestellt, P4 ganz "aufgedreht" und der AM-Eingang mit dem ENV-Ausgang des ADSR verbunden. Selbstverständlich ist das Oszilloskop jetzt an den VCA-Ausgang (IOS) anzuschließen.

### 3) Abgleich der exponentiellen Verstärkungssteuerung

Die exponentielle Steuerung des ersten OTAs (IC6) ist so abzugleichen, daß die Amplitude seines Ausgangssignals der steuernden Hüllkurvenspannung möglichst genau folgt. Alle vom ADSR-Modul erzeugten Hüllkurven verlaufen zwischen ca. +5 V und 0,5 V (der positive "Offset" von ca. 0,5 V ist konstruktionsbedingt, diese Restspannung fällt erst nach dem Ausklingen der eigentlichen Hüllkurve ganz auf Null). Der VCA wird so eingestellt, daß die Lautstärkekontur bei einer ENV-Spannung von 0,5 V beginnt bzw. endet:

Am ADSR A/D-Funktion und relativ kurze ATTACK- und DECAY-Zeiten einstellen, IS-Kurzschluß aufheben und P2 in Mittelstellung bringen. Mit Keyboardtaste wiederholt A/D-Hüllkurven auslösen, am Ausgang von IC6 mit Oszilloskop messen.

P1 nun auf minimales "Feedthrough" einstellen, unmittelbar nach Ablauf der Hüllkurve sollte die Signalamplitude auf einen "Rest" (= Feedthrough) von 1...2 mV od. kleiner zurückgehen.

Anschließend Oszilloskop auf geringere Empfindlichkeit stellen und überprüfen, ob der Verlauf des Signals eine klar ausgezeichnete ATTACK-DECAY-Spitze hat. Tritt ein Plateau (wie beim Signal VCA3 in Bild 3 dargestellt) auf, so ist P2 so nachzustellen, daß sein Widerstand zunimmt, das "Plateau" wird dann zunehmend kürzer, bis schließlich die dem Hüllkurvenverlauf entsprechende Spitze entsteht.

Ist diese Spitze schon vorhanden, ist zur Kontrolle des Aussteuerbereiches P1 in umgekehrter Richtung zu verstellen, bis die Spitze durch Begrenzung zu einem "Plateau" deformiert wird, danach P2 wieder so weit zurückdrehen, bis das Plateau verschwindet.

Abschließend ist die Einstellung von P1 nochmals zu kontrollieren, eine Korrektur dieser Einstellung macht auch ein

nochmaliges, geringfügiges Nachstellen von P2 erforderlich.

### 4) Abgleich der Gesamtverstärkung

Bei maximaler Aussteuerung der beiden "gain-blocks" soll der DUAL-VCA eine Verstärkung von 1 (0 dB) aufweisen. "GAIN"-Einsteller (P3) ganz "aufdrehen", ES-Einsteller (P4) mit Schleifer auf Masse stellen, am ADSR-Modul Schalter in Stellung "ADSR" bringen und "SUSTAIN"-Einsteller bis zum Anschlag nach rechts drehen, Keyboard-Taste drücken und festhalten. Die Ausgangsamplitude (am IOS oder EOS-Ausgang) soll nun gleich der Eingangsamplitude sein (am IS-Eingang). Ist das nicht der Fall, so muß R29 entsprechend "eingemessen" werden. Bei Erhöhung des Widerstandswertes von R29 nimmt auch die Ausgangsamplitude zu (und umgekehrt). Abweichungen um weniger als 3 dB (Faktor 0,707 bzw. 1,414) können toleriert werden.

## Praktische Hinweise zum DUAL-VCA

Die Eingangsamplitude des VCAs wird mit dem "OUT"-Einsteller des VCFs eingestellt. Bei dem "nominalen" Eingangspegel von 2,5 V<sub>SS</sub> leuchtet die Input Volume-LED schwach auf. Wird dieser Pegel so weit überschritten, daß Verzerrungen auftreten, leuchtet die LED hell auf und warnt so vor Übersteuerung. Leuchtet die LED nicht auf, so ist der Eingangspegel zu klein, man erhält dann einen verschlechterten Rauschabstand.

Der nominale Eingangspegel für den ES-Eingang beträgt ebenfalls 2,5 V<sub>SS</sub> (900 mV<sub>eff</sub>). Das Mischverhältnis zwischen externem (ES) und internem Signal (IS = VCF/IOS) ist mit dem Einsteller ES und VCF-OUT einstellbar. An die Modulationsbuchse AM kann z.B. ein LFO angeschlossen werden. Da die Ausgangssignale der FORMANT-LFOs zwischen +2,5 V und -2,5 V verlaufen, wird das "GAIN"-Potentiometer (P3) in diesem Fall in Mittelstellung gebracht. Je nach Stellung des AM-Einstellers P4 ist dann Amplitudenmodulation von 0 bis 100% Modulationsgrad möglich.

An die Buchse AM kann ebenso ein Lautstärkepedal (möglichst mit logarithmischem Potentiometer) angeschlossen werden, dessen Ausgangsspannung zwischen 0 und +5 V liegen sollte. Dabei ist "GAIN" (P3) auf Null (Schleifer an Masse) zu stellen. Die Einwirkung des LFOs (beim Tremolo) oder des Fußpedals ist unabhängig von der exponentiellen Hüllkurvenaussteuerung, so daß bei letzterer keine Fehler entstehen können, die bei Verwendung eines einzigen "gain-blocks" unvermeidlich wären.

Der Schalter ENV/OFF ist insbesondere beim Stimmen nützlich, in der Stellung "OFF" passiert das Eingangssignal den VCA unverändert.

Mit der Buchse "OUT" steht ein Ausgang mit ca. 500  $\Omega$  Ausgangsimpedanz zur Verfügung, an den z.B. Tonbandgeräte oder hochohmige Kopfhörer angeschlossen werden können. Das interne Ausgangssignal IOS gelangt "fest verdrahtet" zum COM-Modul, das Klangeinsteller, Lautstärkeeinsteller und einen kleinen Monitorverstärker enthält. Dieses "eigentliche" Ausgangsmodul des FORMANT-Synthesizers erlaubt auch den Anschluß niederohmiger Kopfhörer, Lautsprecher, Treiberspulen von Hallspiralen und anderer "externer" Signalempfänger.

## LFOs und NOISE

### Teil 9

Mit den bisher beschriebenen FORMANT-Modulen ist der Basisaufbau eines Synthesizers abgeschlossen, mit den VCOs, dem VCF, dem VCA und den Hüllkurvengeneratoren steht das Grundwerkzeug zur Klang-erzeugung und Klangformung zur Verfügung. Der vorletzte Teil der FORMANT-Reihe beschreibt zwei Module, die der weiteren "Verfeinerung" und Differenzierung der klanglichen Möglichkeiten des FORMANT-Synthesizers dienen: Das LFO-Modul liefert niederfrequente Modulationsspannungen für Tremolo, Vibrato und Timbre-modulation, das NOISE-Modul stellt eine vielseitig verwendbare Signal- und Spannungsquelle dar, die "weißes" (ungefiltertes), und "farbiges" (gefiltertes) Rauschen sowie eine in der Fluktuationsrate einstellbare Zufallsspannung abgibt.

Im vorletzten FORMANT-Beitrag war die Rede von Modulationen und "Unregelmäßigkeiten" vieler Instrumentenklänge, die durch die einfache ADSR-Hüllkurvencharakteristik nicht beschrieben werden. Als Beispiele wurden u.a. das starke Amplitudentremolo der Querflöte und das beim Spielen von Streichinstrumenten entstehende Tremolo und Vibrato genannt.

Aus diesen Beispielen läßt sich erkennen, daß Modulationsspannungen den relativ

"starren" Spannungsverläufen der Tastatur und der Hüllkurvengeneratoren mehr "Leben" und "Natürlichkeit" verleihen können.

Zu diesem Zweck enthält der FORMANT-Synthesizer ein LFO-Modul mit drei langsam schwingenden Oszillatoren und eine Zufallsspannungsquelle (im Noise-Modul). Steuert man die FM-Eingänge der VCOs mit einem LFO-Signal, so entsteht ein Vibrato, bei starker FM (große Modulationstiefe) entstehen "elektronische" Klänge, die keine klare Tonhöhe mehr besitzen. Die Aussteuerung der FM-Eingänge mit der Zufallsspannung erzeugt bei geringer Modulationstiefe eine kaum hörbare, fluktuierende Verstimmung des VCOs, welche im Zusammenklang mit anderen VCOs interessante Phasingeffekte ergibt. Eine wichtige Anwendung der LFOs ist die periodische Aussteuerung der Pulsweitenmodulatoren der VCOs, in der Regel mit langsamer Dreieckschwingung.

Zur Klangfarbenmodulation verbindet man LFO-Ausgänge oder den Zufallsspannungsausgang des NOISE-Moduls mit dem TM (Timbre Modulation)-Eingang des VCFs, zur Erzeugung eines Tremolos mit dem AM- (Amplitudenmodulation) Eingang des VCAs. Das Rauschen bildet das Rohmaterial, aus dem sich mit VCF und VCA eine Vielzahl von Geräuscheffekten formen lassen.

Das "weiße Rauschen" bildet die Grundlage für "helle" Geräusche, wie z.B. Wind, Sturm, Regen, Wasserfall und Meeresrauschen.

Für dunkle Geräusche benötigt man ein Rauschspektrum mit starken Anteilen in den Bässen. Eine Filterschaltung im Noise-Modul sorgt für eine wirksame Baßanhebung, die aus dem "weißen Rauschen" ein "farbiges (oder gefärbtes) Rauschen" erzeugt. Das "farbige" Rauschen kann für alle "dunklen" Geräuscheffekte, wie z.B. "mächtige" rumpelnde oder donnerartige Geräusche verwendet werden.

Die Überlagerung der VCO-Signale mit einem Rauschanteil ermöglicht die Realisierung von Klängen, die Rauschanteile enthalten, wie z.B. das menschliche Pfeifen oder die Klänge

verschiedener Blasinstrumente, bei denen der Luftstrom durch das Mundstück ein Rauschen erzeugt.

### Das LFO-Modul

Technisch gesehen sind die FORMANT-LFOs Funktionsgeneratoren, die drei verschiedene Kurvenformen mit Frequenzen unter 20 Hz liefern.

Das LFO-Modul enthält drei voneinander unabhängige LFO-Schaltungen auf einer Platine, von denen zwei (LFO1 und LFO2) identisch aufgebaut sind. Diese beiden LFOs liefern die Kurvenformen Dreieck, symmetrisches Rechteck und Sägezahn mit ansteigender Flanke. LFO 3 weist eine etwas abweichende Schaltung auf und erzeugt neben der Dreieckschwingung zwei unterschiedliche "Sägezähne": Einen mit ansteigender und einen mit abfallender Flanke.

Die Frequenz der Ausgangssignale ist bei allen drei LFOs zwischen etwa 5 mHz (5 Millihertz = 1 Schwingung in 3 min. 20 s.) und 20 Hz einstellbar. Alle Ausgangssignale verlaufen zwischen +2,5 V und -2,5 V, eine Anzeige-LED macht bei jedem LFO den Verlauf der Dreiecks-Ausgangsspannung sichtbar.

### Schaltung der LFOs.

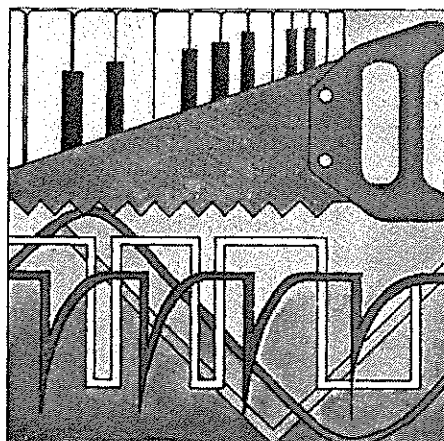
Bild 1a zeigt den Schaltplan der identischen LFOs 1 und 2.

Der eigentliche Oszillator besteht aus einem Integrator mit IC1 und einem Opamp-Schmitt-Trigger mit A3. Die Dreieckschwingung des Oszillators entsteht durch die Rückkopplung vom Trigger-Ausgang auf den Eingang des Integrators.

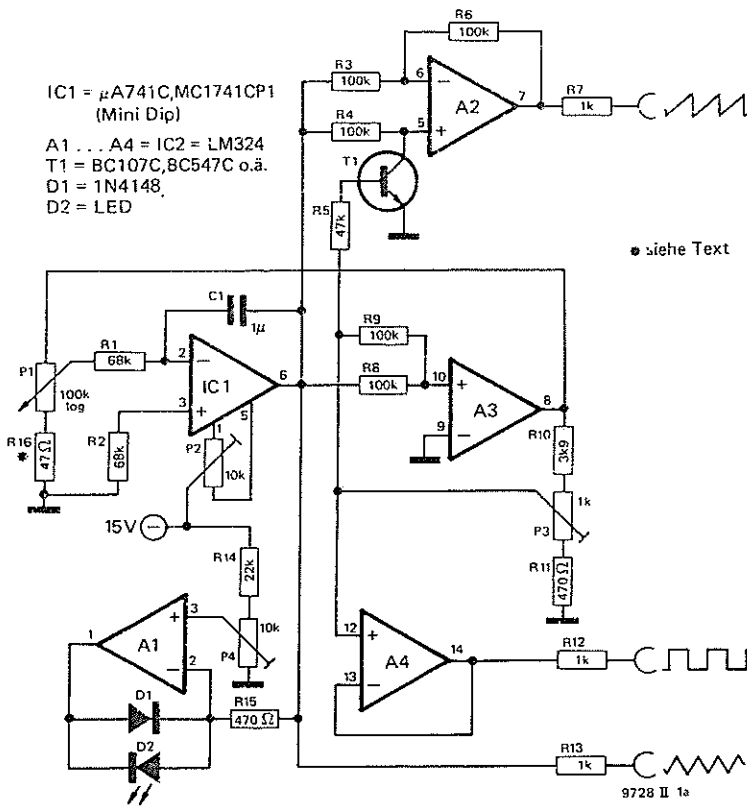
Der Spannungsteiler R10, P3, R11 teilt die zwischen ca. +15 V und ca. -15 V wechselnde Ausgangsspannung von A3 auf +2,5 V bzw. -2,5 V am Schleifer von P3 herunter. Die Widerstände R8 und R9 bilden einen Spannungsteiler für die zwischen dem Ausgang von IC1 und dem Schleifer von P3 liegende Spannung, am nichtinvertierenden Eingang von A3 liegt daher immer die Hälfte dieser Spannung ( $R8 = R9 = 100 \text{ k}$ ). Opamp A3 arbeitet eigentlich als Komparator, sein Ausgang geht auf +15 V, sobald der nichtinvertierende Eingang positiv gegenüber dem invertierenden, auf Masse liegenden Eingang wird, und auf -15 V, sobald der nichtinvertierende Eingang negativ wird. Wegen der Rückführung der auf 2,5 V herunterteilten Ausgangsspannung auf den Spannungsteiler R8/R9 geht der Ausgang von A3 auf +15 V, wenn die Ausgangsspannung von IC1 auf +2,5 V angestiegen ist (obere Schaltschwelle des Triggers) und auf -15 V, wenn die Ausgangsspannung von IC1 -2,5 V erreicht (untere Schaltschwelle).

Über P1 gelangt die Ausgangsspannung von A3 auf den Eingang des invertierenden Integrators, so daß sich die Richtung der Spannungsänderung am Integrator-Ausgang beim Erreichen der Schaltschwellen des Triggers umkehrt.

Am Integrator-Ausgang entsteht eine Dreieckschwingung, deren Amplitude mit der Hysterese des Schmitt-Triggers identisch ist. Die Eingangsspannung des Integrators bestimmt die Anstiegs- und



1a



2

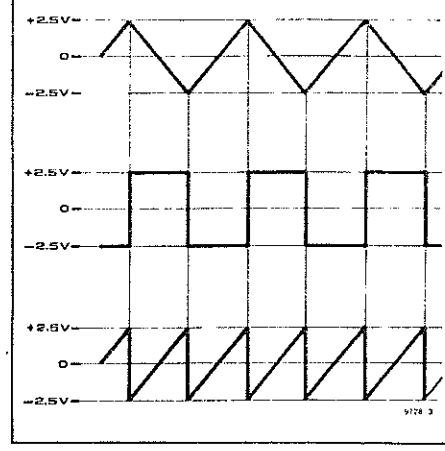


Bild 1. Schaltplan des LFO-Moduls. Das Modul enthält drei unabhängige Modulationsoszillatoren.

Bild 1a zeigt die Schaltung der zwei identischen LFOs, die Dreieck- Rechteck- und Sägezahnkurvenform erzeugen. Die davon abweichende Schaltung des dritten LFOs (Bild 1b) liefert neben der Dreiecksspannung Sägezahnspannung mit ansteigender und abfallender Flanke.

Bild 2. Verlauf der Ausgangssignale eines FORMANT-LFOs. Bedingt durch die Konzeption des verwendeten Dreieck/Sägezahnkonverters weist die Sägezahnspannung die doppelte Frequenz der Dreieck- und Rechteckspannung auf.

1b

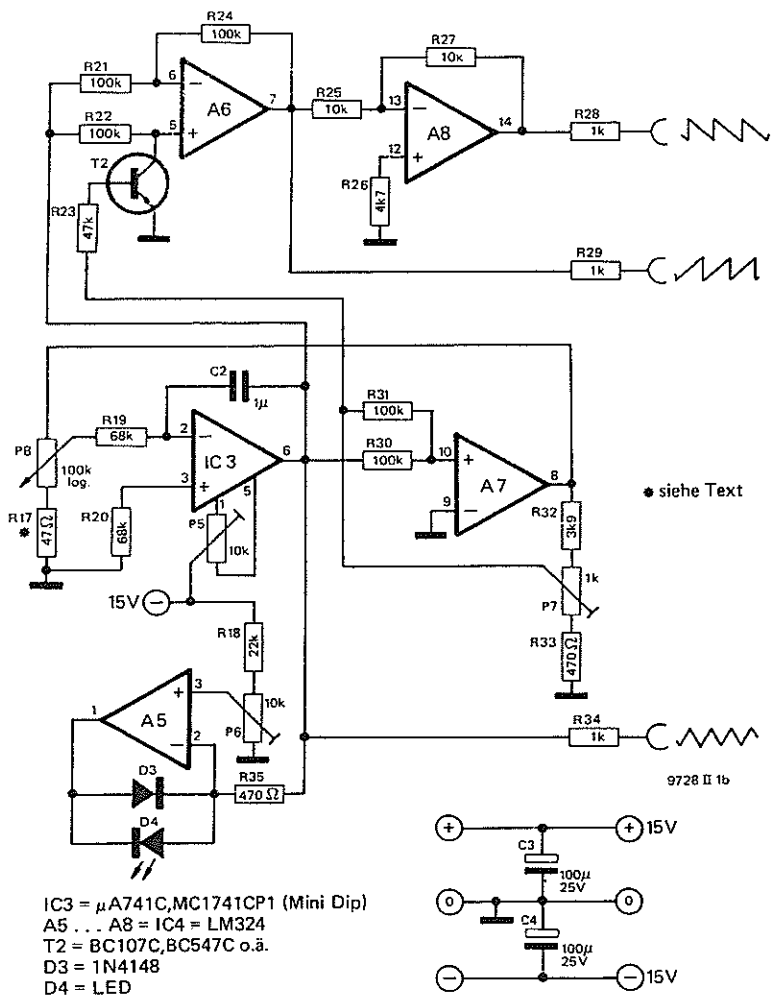
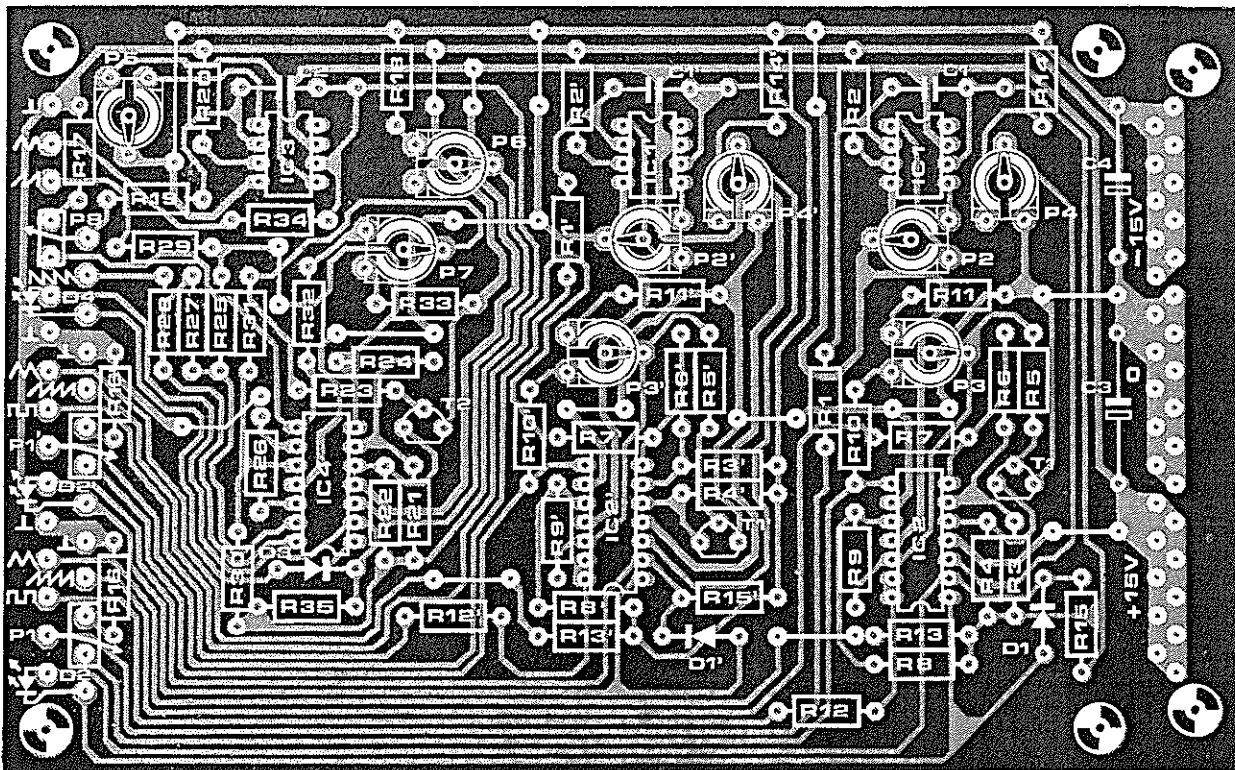
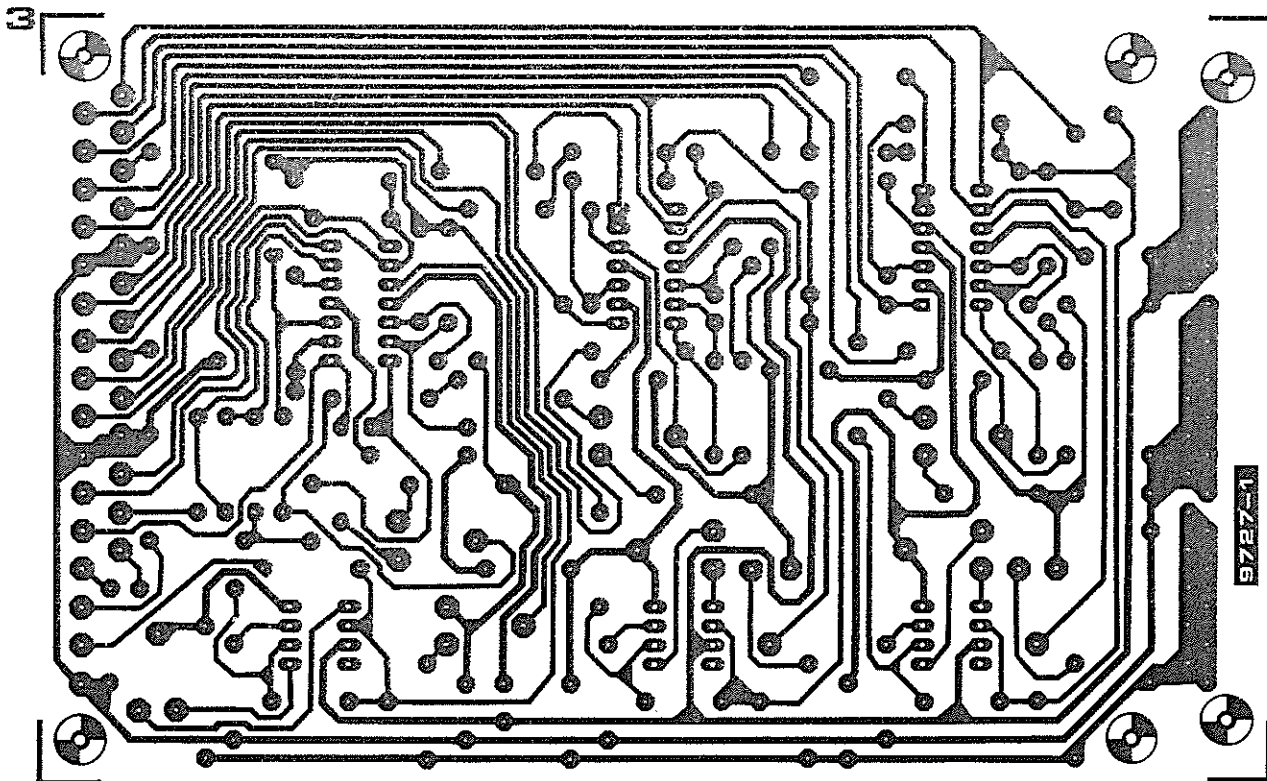


Bild 3. Layout, Bestückungsplan und Stückliste der Platine des LFO-Moduls. Durch Verwendung von 4-fach-Opamp-ICs und mit etwas gedrängtem Aufbau konnten alle drei LFOs auf einer Platine im Eurocard-Format untergebracht werden.



#### Stückliste LFOs:

##### Widerstände:

R1,R1',R2,R2',R19,R20 = 68 k  
 R3,R3',R4,R4',R6,R6',R8,R8',R9,R9',  
 R21,R22,R24,R30,R31 = 100 k  
 R5,R5',R23 = 47 k  
 R7,R7',R12,R12',R13,R13',R28,  
 R29,R34 = 1 k  
 R10,R10',R32 = 3k9  
 R11,R11',R15,R15',R33,R35 = 470 Ω  
 R14,R14',R18 = 22 k  
 R16,R16',R17 = 47 Ω (Richtwert)  
 R25,R27 = 10 k  
 R26 = 4k7

##### Potentiometer:

P1,P1',P8 = 100 k log  
 P2,P2',P4,P4',P5,P6 = 10 k Trimpot.  
 P3,P3',P7 = 1 k Trimpot.

##### Halbleiter:

IC1,IC1',IC3 =  $\mu$ A 741C, MC 1741 CP1  
 (Mini DIP)  
 IC2,IC2',IC4 = LM 324 (DIL)  
 T1,T1',T2 = BC 107C, BC 547C  
 D1,D1',D3 = 1N4148  
 D2,D2',D4 = LED

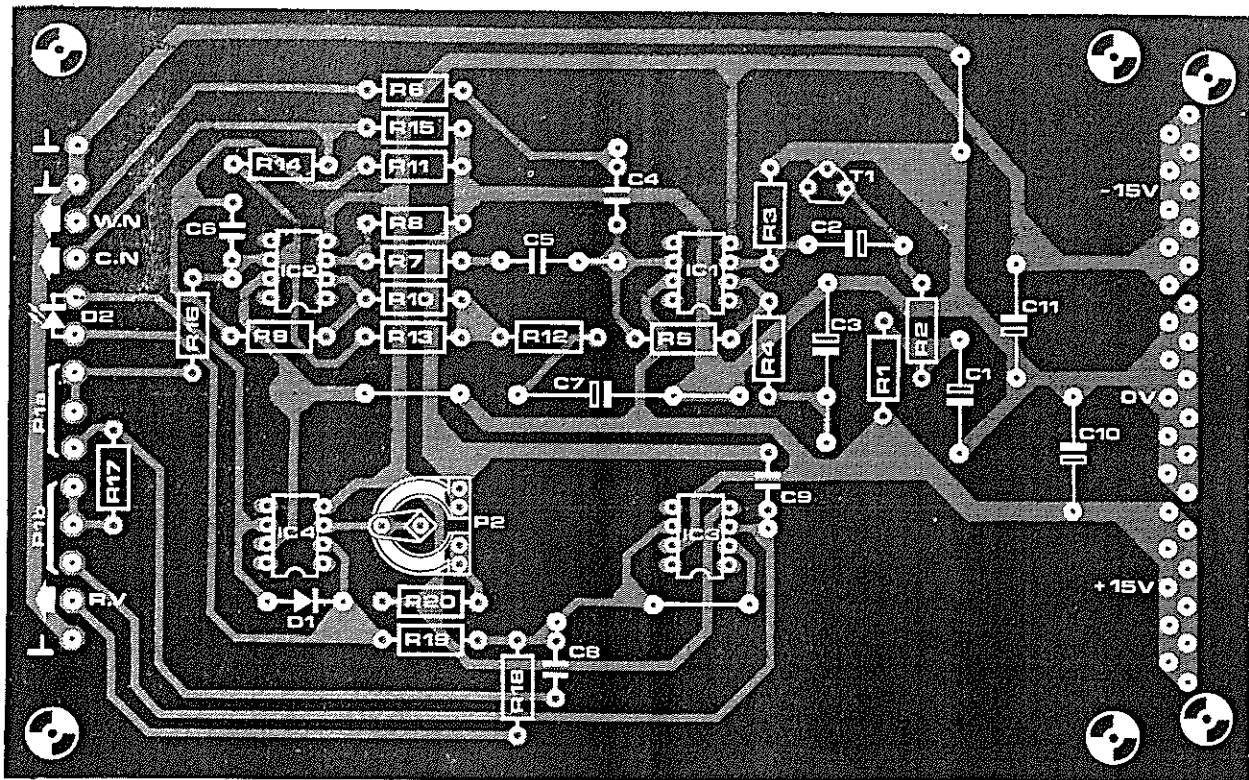
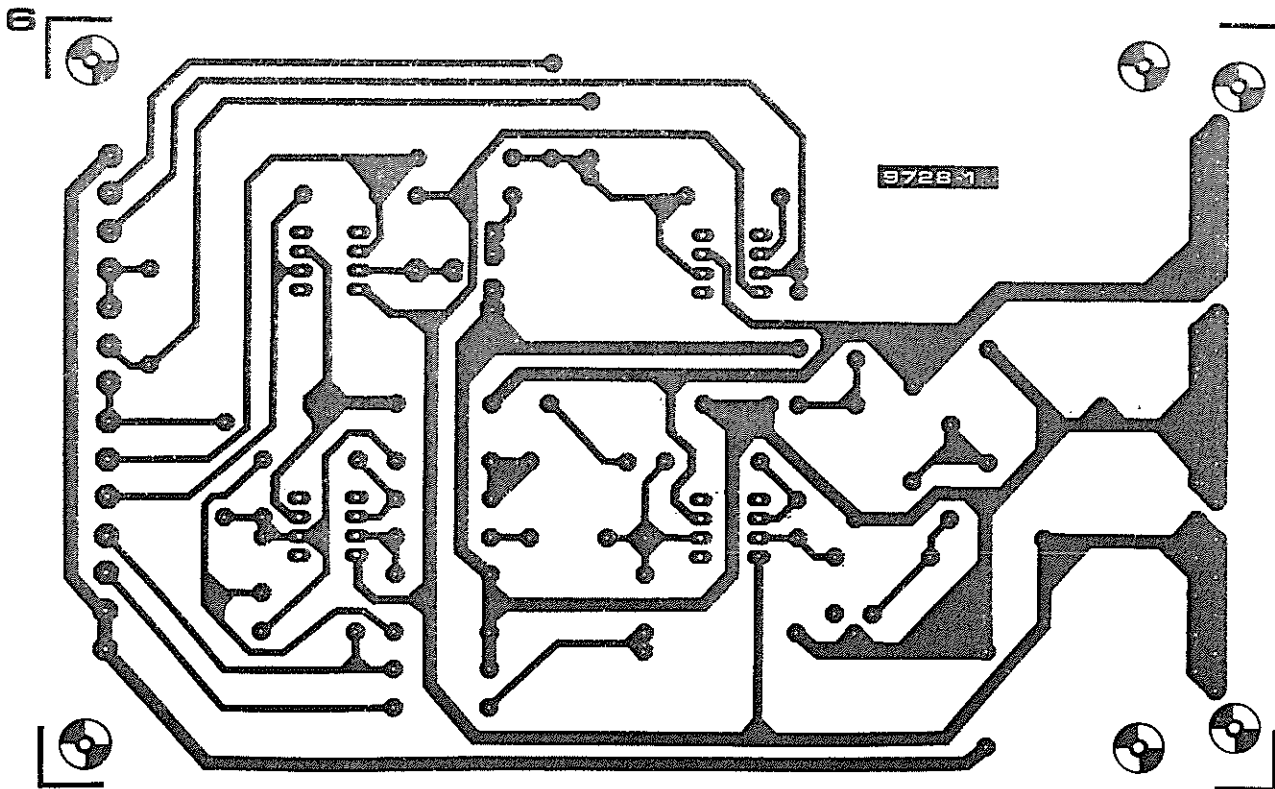
##### Kondensatoren:

C1,C1',C2 = 1  $\mu$  (MKM od. FKC)  
 C3,C4 = 100  $\mu$ /25 V

##### Verschiedenes:

31-polige Steckerleiste (DIN 41617)  
 oder Lötnägel  
 9 Stk. Klinkenbuchse 3,5 mm  
 3 Stk. Drehknopf (Achsbohrung 6 mm,  
 13 ... 15 mm Durchmesser) mit Pfeil  
 (Pfeilring) oder glasklarer Scheibe  
 (26 mm  $\phi$ )  
 Frontplatte LFO-Modul





### Stückliste NOISE-Modul

#### Widerstände:

R1, R9, R10, R13 = 47 k  
 R2 = 100 k (Richtwert)  
 R3, R7, R8 = 470 k  
 R4 = 10 k  
 R5 = 2M2 (Richtwert)  
 R6, R11, R18, R19 = 470 Ω  
 R12 = 4k7  
 R14, R15, R16, R17 = 1 k  
 R20 = 22 k

#### Kondensatoren:

C1 = 22 μ/25 V  
 C2 = 1 μ/16 V  
 C3 = 47 μ/35 V  
 C4 = 680 n  
 C5 = 1 μ (Folienkondensator)  
 C6 = 330 n  
 C7 = 100 μ/35 V  
 C8, C9 = 220 n  
 C10, C11 = 10 μ/25 V

#### Halbleiter:

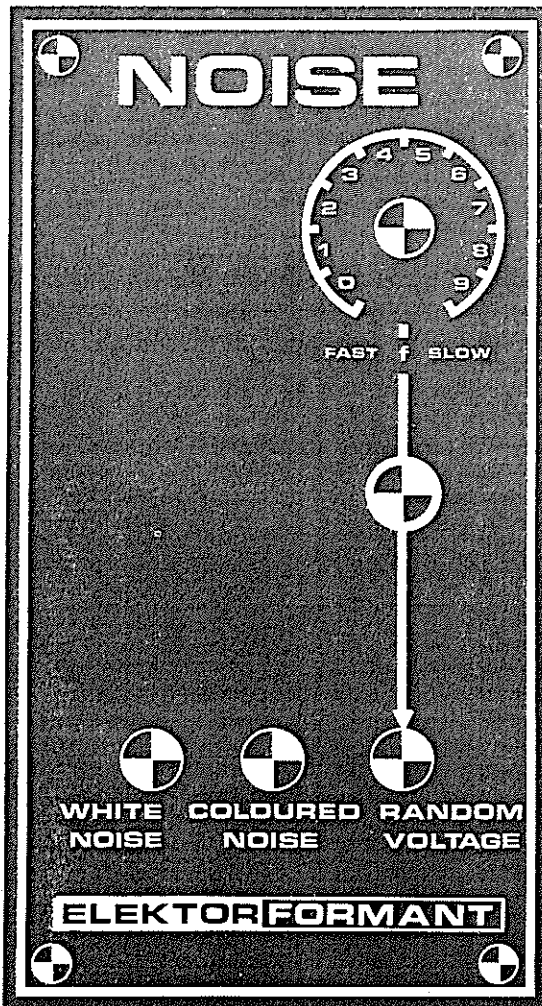
IC1, IC2, IC3, IC4 = μA 741C,  
 MC1741 CP1  
 Mini DIP)  
 T1 = TUN ("ausgesucht")  
 D1 = 1N4148  
 D2 = LED

#### Potentiometer:

P1 = 2 x 100 k Tandempotentiometer  
 P2 = 10 k Trimpotentiometer

#### Verschiedenes:

1 Stk. Transistorfassung  
 1 Stk. 31-polige Steckerleiste  
 (DIN 41617) oder Lötnägel  
 3vStk. Klinkenbuchse 3,5 mm  
 1 Stk. Drehknopf (Achsbohrung 6 mm,  
 13...15 mm Durchmesser) mit Pfeil  
 (Pfeilring) oder glasklarer Scheibe  
 (26 mm φ)  
 Frontplatte NOISE-Modul



Abfallgeschwindigkeit des Spannungsverlaufs am Ausgang, mit P1 ist somit die Frequenz einstellbar. Die vom Schmitt-Trigger erzeugte Rechteckschwingung wird über den Puffer-Opamp A4 ausgekoppelt.

Eine einfache Konverterschaltung (mit A2) leitet aus der Dreieckschwingung die Sägezahn-Schwingung ab.

Solange die Spannung am Schleifer von P3 negativ ist (während des ansteigenden Verlaufs des Dreiecks), ist T1 gesperrt, der Opamp A2 arbeitet dann als nichtinvertierender Verstärker mit einer Verstärkung von 1. Seine Ausgangsspannung ist während dieser Zeit identisch mit der Dreiecksspannung. Mit der positiven Flanke des Rechtecksignals (das "Dreieck" hat die obere Schaltschwelle des Schmitt-Triggers erreicht) wird T1 leitend und schaltet A2 in die invertierende Betriebsart um, was eine negative Flanke (Rückflanke des Sägezahns) an seinem Ausgang zur Folge hat. Da A2 nun invertiert, entsteht während des nun folgenden abfallenden Verlaufs der Dreiecksspannung ein ansteigender Spannungsverlauf am Sägezahnausgang.

Bild 7. Frontplattenvorschlag für das NOISE-Modul.

Bild 2 zeigt den Spannungsverlauf und die Phasenlage der LFO-Ausgangssignale. Es wird deutlich, daß die Sägezahn-Schwingung gegenüber der Dreieck- und Rechteckschwingung die doppelte Frequenz aufweist, ein Umstand, der durch die Art der Dreieck/Sägezahn-Umwandlung bedingt ist, in der vorliegenden Anwendung aber nicht weiter stört.

Die Schaltung des LFO 3 zeigt Bild 1b. Der einzige Unterschied zu den beiden anderen LFOs besteht in der Anwendung eines der vier Opamps des ICs LM 324. Bei LFO 1 und LFO 2 diente ein Opamp A4 zum Auskoppeln des Rechtecksignals. Beim LFO 3 wurde darauf verzichtet, der so "freigewordene" Verstärker (A8) wird anstelle dessen zur Invertierung des Sägezahnsignals benutzt, so daß LFO 3 neben Dreieck und "ansteigendem" Sägezahn auch einen Sägezahn mit abfallender Rampe liefert.

### Aufbau und Abgleich der LFOs

Wegen des recht gedrängten Aufbaus der LFO-Schaltungen auf der Modulplatine sollte man beim Einlöten der Bauelemente Sorgfalt walten lassen.

Jede LFO-Schaltung enthält vier Abgleichpunkte:

Einstellung der Signalamplitude (P3, P3', P7)

Offsetabgleich des Integrators (P2, P2', P5)

Einmessen von R16 (R16', R17) für maximale Periodendauer und Abgleich der LED-Anzeige.

Der Abgleich dieser Punkte wird nachfolgend für den LFO 1 beschrieben und erfolgt in gleicher Weise bei den anderen beiden LFOs:

#### Amplitudenabgleich

Vor dem Abgleich Trimmer P2 in Mittelstellung bringen und mit P1 maximale Frequenz einstellen (Schleifer "liegt" am Ausgang von A3). Danach Messung der Dreieck-Ausgangsspannung mit dem Oszilloskop, Amplitude mit P3 auf  $\pm 2,5$  V einstellen. Amplitude und Kurvenform der beiden anderen Ausgangssignale überprüfen.

#### Offsetabgleich

Schleiferanschluß von P1 auftrennen, R1 mit Masse verbinden (beide Eingänge von IC1 liegen nun über Widerstände an Masse). Vielfachinstrument an den Dreiecksausgang anschließen, Gleichspannungsbereich 50 V wählen. Die Spannung am Dreiecksausgang wird jetzt zwischen +15 V und -15 V liegen und in positive oder negative Richtung driften. Sollte die Spannung auf +15 V oder -15 V "festhängen", Kondensator C1 über einen Widerstand 1 k (oder über zwei Finger) entladen. P2 nun so einstellen, daß die Spannungsänderung (möglichst in der Nähe von 0 V) zum Stillstand kommt. Nun einen kleineren Meßbereich wählen, C1 wieder entladen und die Einstellung von P2 auf minimale Spannungsänderung korrigieren. Diesen Vorgang wiederholen, bis man im kleinsten DC-Meßbereich (z.B. 200 mV) angelangt ist und die Spannung am Dreieck-



Ausgang nur noch um wenige mV um den Nullpunkt driftet. Ein sorgfältiger Offsetabgleich ist wichtig für die maximal zu erzielende Periodendauer (niedrigste Frequenz) und die Symmetrie der Kurvenformen bei sehr langsamen Schwingungen.

#### Einmessen von R16

Wenn die maximale Periodendauer (Schleifer von P1 an R16) mit einem Wert von  $47 \Omega$  für R16 nicht zufriedenstellt (kürzer als etwa 3 min ist), kann man kleinere Widerstandswerte einsetzen. Im Interesse der sicheren Schaltungsfunktion sollte man R16 nicht kleiner als  $10 \Omega$  wählen (bei noch kleineren Werten wird der Steuerstrom des Integrators zu klein im Verhältnis zu den Eingangsströmen des Opamps, so daß die Oszillatorschwingungen aussetzen. Hat man einen "schlechten" 741 mit hohen Eingangsströmen oder einen schadhafte Kondensator C1 mit Leckstrom, tritt das Aussetzen des Oszillators schon bei größeren Werten für R16 bzw. höheren Oszillatorfrequenzen auf). In Labormustern der Schaltung wurde für R16 ein Wert von  $18 \Omega$  eingesetzt, das ergab eine maximale Periodendauer der Dreieckschwingung von ca. 5 Minuten.

#### Abgleich der LED-Anzeige

Trimmer P4 so einstellen, daß die Anzeige-LED den Verlauf der Dreiecksschwingung möglichst "linear" anzeigt, d.h., daß keine Hellpausen (zu große Helligkeit, die LED ist schon vor Erreichen der "oberen" Spitze des Dreiecks voll ausgesteuert) oder Dunkelpausen (zu geringe Helligkeit, die LED geht "vorzeitig" aus) entstehen.

#### Schaltung des NOISE-Moduls

Bild 5 zeigt die vollständige Schaltung des Rauschmoduls.

Als Quelle allen Rauschens dient ein NPN-Transistor, (T1) dessen Basis-Emitterdiode in Sperrichtung betrieben wird. Der folgende Verstärker mit IC1 sorgt für eine Anhebung der durchschnittlichen Rauschamplitude auf ca. 2,5 V Spitze zu Spitze. Diese Verstärkerstufe ist breitbandig dimensioniert, so daß an ihrem Ausgang das als "White Noise" bezeichnete breitbandige Rauschspektrum anliegt.

Das "weiße" Rauschen durchläuft weiter einen selektiven Verstärker mit IC2. Der Hochpaß C6/R11 im Gegenkopplungsweig des Opamps läßt die Verstärkung bei abnehmender Frequenz von der Eckfrequenz 1 kHz an um 6 dB/Oktave ansteigen, bis die durch den zweiten Gegenkopplungszweig R13/R12 auf etwa 21 dB festgelegte maximale Verstärkung (bei etwa 90 Hz) erreicht wird. Mit anderen Worten: Es findet eine Baßanhebung statt, durch die aus dem "weißen" ein "gefärbtes" Rauschen entsteht.

Die beiden Spannungsteiler R7/R8 und R14/R15 dienen der Pegelanpassung, so daß beide Rausch-Ausgänge ungefähr gleiche Pegel aufweisen.

Das nicht abgeschwächte "farbige" Rauschen gelangt auf einen 12 dB-Tiefpaß mit IC3, der die sehr niederfrequenten Anteile ausfiltert. So gelangt man auf einfache Weise zu einer niederfrequenten Zufallsspannung, deren Fluktuationsrate über die Eckfrequenz

des Tiefpaßfilters (mit P1) einstellbar ist. Ein weiterer Opamp IC4 macht in einer "linearisierten LED-Anzeige" die Fluktuation der Zufallsspannung deutlich sichtbar.

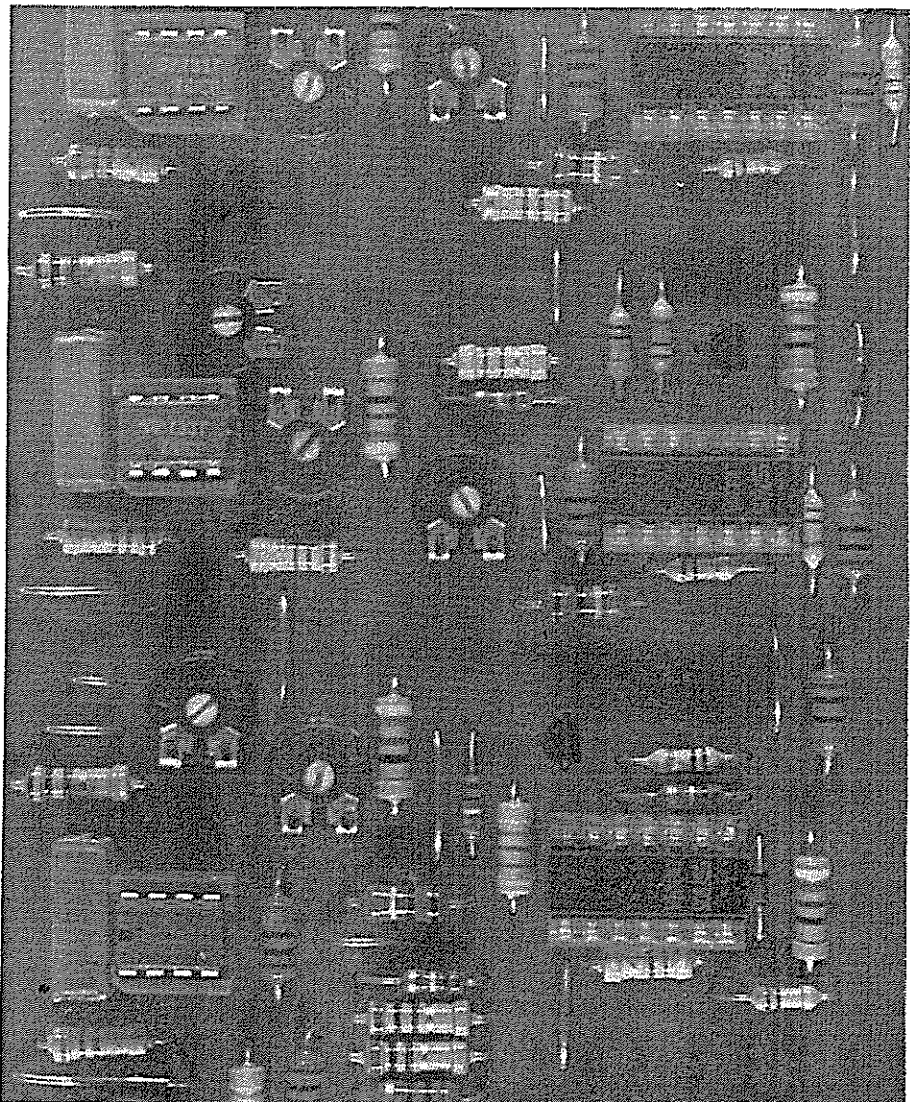
#### Aufbau und Abgleich des Noise-Moduls

Auf der Noise-Platine ist ein Sockel für T1 vorzusehen, ansonsten gibt es zum Aufbau des NOISE-Moduls keine Besonderheiten zu vermeiden.

Der Abgleich beschränkt sich auf das Ausschuchen eines geeigneten "Rauschtransistoren", die Einstellung der LED-Anzeige und, falls erforderlich, das Einmessen von R7. Grundsätzlich "rauschen" alle im Durchbruch betriebenen BE-Strecken von Siliziumtransistoren. Allerdings kann es auch bei Transistoren desselben Typs erhebliche Unterschiede in der Amplitude und spektralen Zusammensetzung des Rauschens geben. Die Auslese eines geeigneten Exemplars aus einer größeren Anzahl (preiswerter) npn-Transistoren (siehe TUN-Spezifikationen im Elektor-Dekoder) erfolgt mit Hilfe der Transistorfassung in der Schaltung. Die Amplitude der Rauschspannung mißt man wegen der

integrierenden Anzeige am besten mit einem Vielfachinstrument (Wechselspannungsbereich 2 V) am W.N.-Ausgang. Ein geeigneter Rauschtransistor soll an diesem Ausgang eine Spannung im Bereich 0,5 ... 0,8 V liefern (gemessen mit Multimeter, mit Oszilloskop ca. 2 ... 2,8 V<sub>SS</sub>). Liefert ein Transistor mehr Rauschpegel als gefordert, verringert man die Verstärkung von IC1, indem man für R5 einen kleineren Widerstandswert wählt. Liefert keiner der getesteten Transistoren einen ausreichenden Rauschpegel, kann ein Anpassen von R2 weiterhelfen, je nach Transistor liegt der günstigste Wert zwischen 30 k und 150 k.

Die Amplitude des "gefärbten" Rauschens sollte im gleichen Bereich wie die Amplitude am W.N.-Ausgang liegen. Eine Einstellung ist gegebenenfalls durch Ändern von R7 möglich. Bei Verwendung eines geeigneten Rauschtransistors und richtigem C.N.-Pegel sollte die Zufallsspannung am R.V.-Ausgang um etwa  $\pm 2,5$  V "fluktuieren" (P1 in Stellung "fast"). Trimmer P2 wird dann so eingestellt, daß die LED die Schwankung der Zufallsspannung deutlich anzeigt. Nach dieser letzten Einstellung ist auch das NOISE-Modul einbaufertig.



# COM und Gesamtverdrahtung

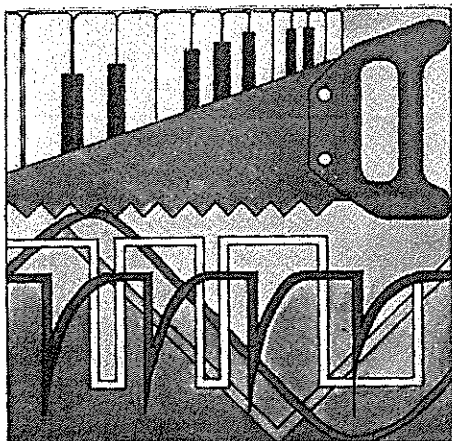
## Teil 10

Dieser Teil der FORMANT-Serie schließt die Beschreibung des Synthesizers mit dem COM-Modul (Control and Output Modul) und einem Gesamt-Verdrahtungsplan ab. Das Schlußkapitel gibt auch einen Überblick über Erweiterungsmöglichkeiten und Zusatzschaltungen.

Das COM-Modul enthält einen Vorverstärker mit dreifacher Klangeinstellung, der den Anschluß hochohmiger Kopfhörer sowie die Ansteuerung von Leistungsendstufen ermöglicht. Vier Anzeige-LEDs auf der Frontplatte dienen der Überwachung der Versorgungsspannungen und des Gate-Signals.

Der Verdrahtungsplan zeigt den Anschluß aller "internen", fest verdrahteten Signal- und Steuerungspannungsleitungen.

Dem Nachbau des vollständigen FORMANT-Synthesizers steht nun nichts mehr im Wege!



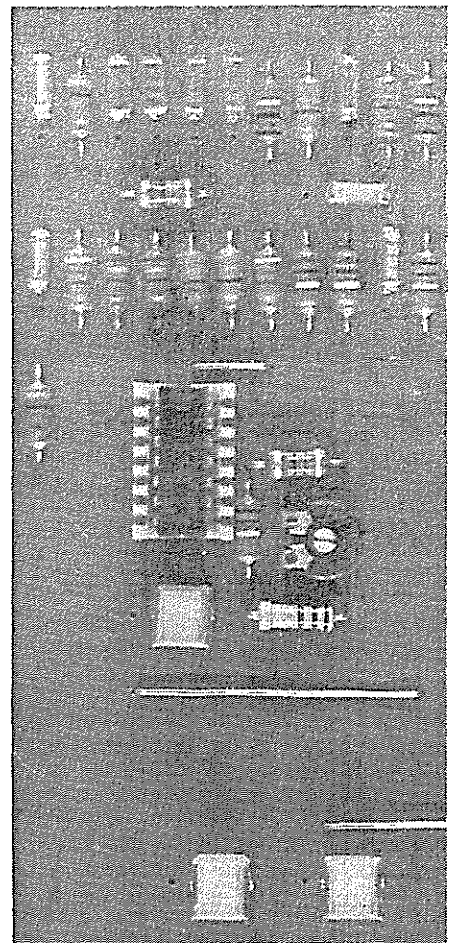
Das COM-Modul ist die Schnittstelle des FORMANT zur Außenwelt. Ein Kopfhörer mit einer Impedanz gleich oder größer als  $600 \Omega$  am Ausgang des COMs erschließt unmittelbar die Klangwelt des FORMANT-Synthesizers. Für die Wiedergabe über Lautsprecher hat man die Wahl zwischen einem beliebigen, externen Verstärker, angeschlossen an die COM-Ausgangsbuchse und einem fest eingebauten Leistungsverstärker, für den das COM-Modul einen "internen" Ausgang bereithält.

Die Anzeige-LEDs auf der Modul-Frontplatte sind mehr als nur eine Spielerei oder "optische" Aufbesserung des Frontplattendesigns, dies hat die Praxis mit dem Elektor-Prototyp bewiesen. Eine "unzuverlässige" Versorgungsspannung als Ursache eines seltsamen FORMANT-Verhaltens ist durch die LED-Anzeige schnell ausgemacht, ebenso liefert eine ausgefallene GATE-Anzeige Rückschlüsse auf den Zustand der "Nabelschnur" zwischen Keyboard und Modulgehäuse.

### Schaltung des COMs

Das COM enthält im wesentlichen einen NF-Vorverstärker (Bild 1a), der etwas umfangreicher als üblich ausgefallen ist. Er verfügt über Einstellmöglichkeiten für Baß, Mitten und Höhen, ein "Anti-Plopp-Filter" und eine Ausgangsstufe mit fest einstellbarer Verstärkung. Im Schaltplan fällt auf, daß das Lautstärkepotentiometer P1a eine Hälfte eines Tandempotentiometers ist, obwohl es sich ja um einen "Monoverstärker" handelt.

Das zweite Potentiometer P1b befindet sich am Eingang des Ausgangsverstärkers A4. Diese doppelte Lautstärkeeinstellung hat den Vorteil, daß einerseits durch die Abschwächung am Eingang Übersteuerung des Klangeinstellers vermieden wird und andererseits bei kleiner Lautstärke (kleiner Ausgangspegel) der Signalpegel im Klangeinsteller hoch genug bleibt, um ein befriedigendes Signal/Rausch-Verhältnis zu erreichen. Die "doppelt" logarithmische Charakteristik stört in der Praxis nicht. Auf die erste Lautstärkeeinstellung folgt das erwähnte "Anti-Plopp-Filter", dem eine ähnliche Aufgabe zukommt wie dem Rumpelfilter in Hi-Fi-Anlagen. Es ist nichts anderes als ein 12-dB-Hochpaß mit einer Eckfrequenz von etwa 20 Hz und wurde aus Rücksicht auf die von der "elektronischen Musik", insbesondere bei voller Baßanhebung stark strapazierten Tieftöner einer angeschlossenen Lautsprecheranlage vorgesehen. Falls es die verwendeten Lautsprecher ratsam erscheinen lassen, kann man auch eine Eckfrequenz von 40 Hz für diese Filter wählen, indem man für R1 und R2 39 k-Widerstände verwendet. Die Klangeinsteller für Höhen/Tiefen und Mitte sind mit getrennten Verstärkern ausgeführt (A2 und A3), um eine Belastung des Baxandall-Netzwerks (Höhen/Tiefen) durch das



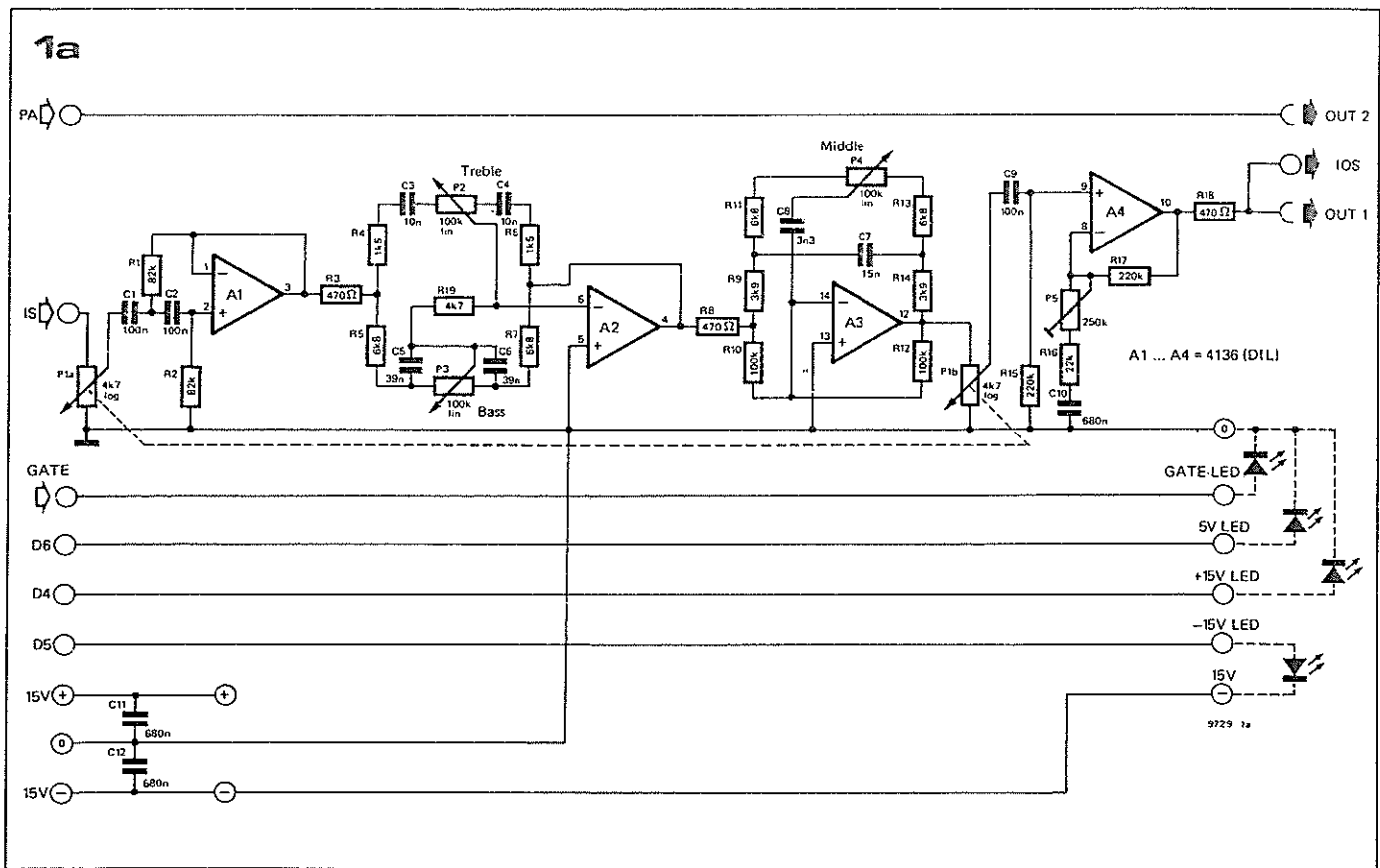
"Mitten"-Netzwerk zu vermeiden.

Auf die zweite Lautstärkeeinstellung P1b folgt die Ausgangsstufe mit A4, deren Verstärkung mit Trimmer P4 zwischen 1,8-fach und 11-fach einstellbar ist. Eingangs- und Gegenkopplungswiderstände wurden relativ hochohmig gewählt, um große Kapazitätswerte (Elkos!) für C9 und C10 zu vermeiden. Die Ausgangsimpedanz der Stufe beträgt etwa  $500 \Omega$ , was ohne weiteres den Anschluß handelsüblicher Kopfhörer mit Impedanzen von 600 bis  $2000 \Omega$  ermöglicht.

Neben dem "eentlichen" Schaltplan findet man im Schaltbild auch fünf durchgehende Verbindungen zwischen Eingangsseite (Steckerleiste der Platine) und Ausgangsseite (Frontplattenanschlüsse) für den Anschluß der Anzeige-LEDs und das Einschleifen eines externen Verstärkers. Auf die Unterbringung einer kleinen Monitorendstufe auf der COM-Platine wurde aus Gründen der thermischen Belastung des FORMANT-Innenlebens durch die Verlustleistung der Endstufe verzichtet ("Kalt-Philosophie").

### Aufbau und Abgleich des COM-Moduls

Die Platine (Bild 2) im Eurocard-Format ist durch die Verwendung eines Vierfach-Opamp-ICs mehr als groß genug, bei der Bestückung dürften daher kaum Schwierigkeiten auftreten. Das IC 4136 wurde wegen seines im



Vergleich zu 741 niedrigen Rauschbeitrags gewählt.

Bild 4 zeigt den Verdrahtungsplan für die Verbindungen zwischen Platine und Frontplatte. In der Zeichnung wurden die auf der Frontplatte montierten Bauteile mit der zutreffenden Beschriftung der Frontplatte bezeichnet.

Zur Erläuterung:

VOL. = Volume (Lautstärkeeinstellung)

B = Bass

M = Middle (Mitteneinsteller)

T = Treble (Höheneinsteller)

Für den Anschluß der Potentiometer B, M und T sind abgeschirmte Leitungen erforderlich.

Die Buchse OUT 1 (3,5 mm Klinkenbuchse) ist der Ausgang der COMs zum Anschluß von Kopfhörern, Verstärkern, Tonbandgeräten etc.

Buchse OUT 2 (6,3 mm Klinkenbuchse) ist nicht direkt mit dem Ausgang verbunden, sondern mit dem Eingang PA der Platine (Steckerleiste). Die damit verfolgte Absicht wird durch einen Blick in den Gesamtverdrahtungsplan Bild 5 deutlich. Eingang PA (Power Amplifier) ist mit dem Ausgang einer beliebigen Leistungsstufe verbunden, die vom internen Ausgang IOS des COMs gesteuert wird. Der Verstärker sollte möglichst so untergebracht werden, daß seine "Abwärme" nicht zur Aufheizung des FORMANT-Gehäuses beiträgt.

Geeignete Endverstärker wurden in Elektor bereits in größerer Anzahl veröffentlicht. Wegen der großen Stromaufnahme von Endstufen ist es nicht empfehlenswert, das FORMANT-Netzteil zur Stromversorgung des Leistungsverstärkers heranzuziehen.

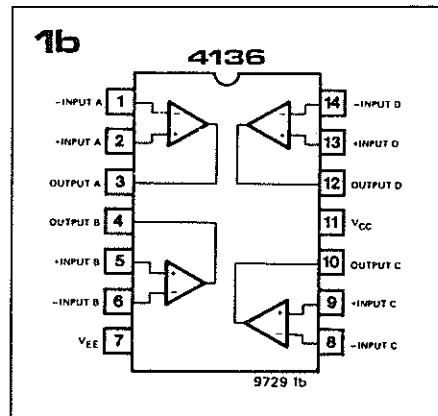


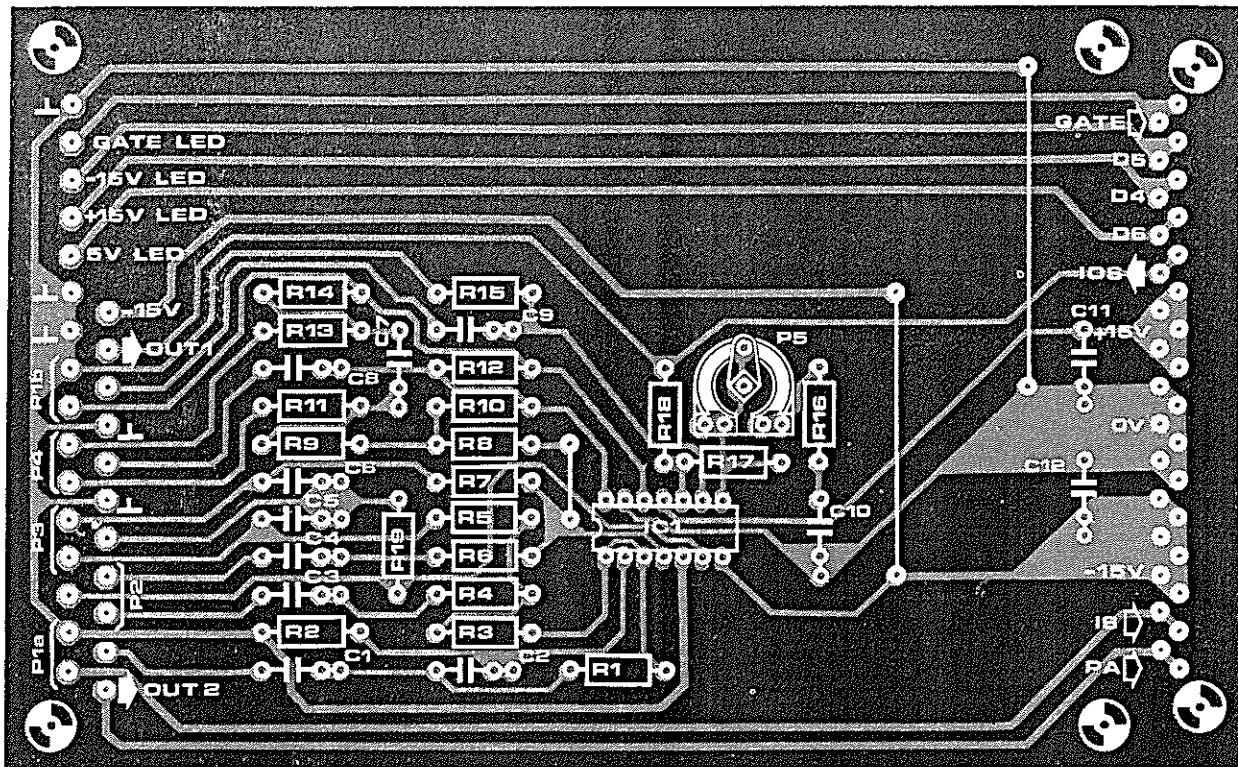
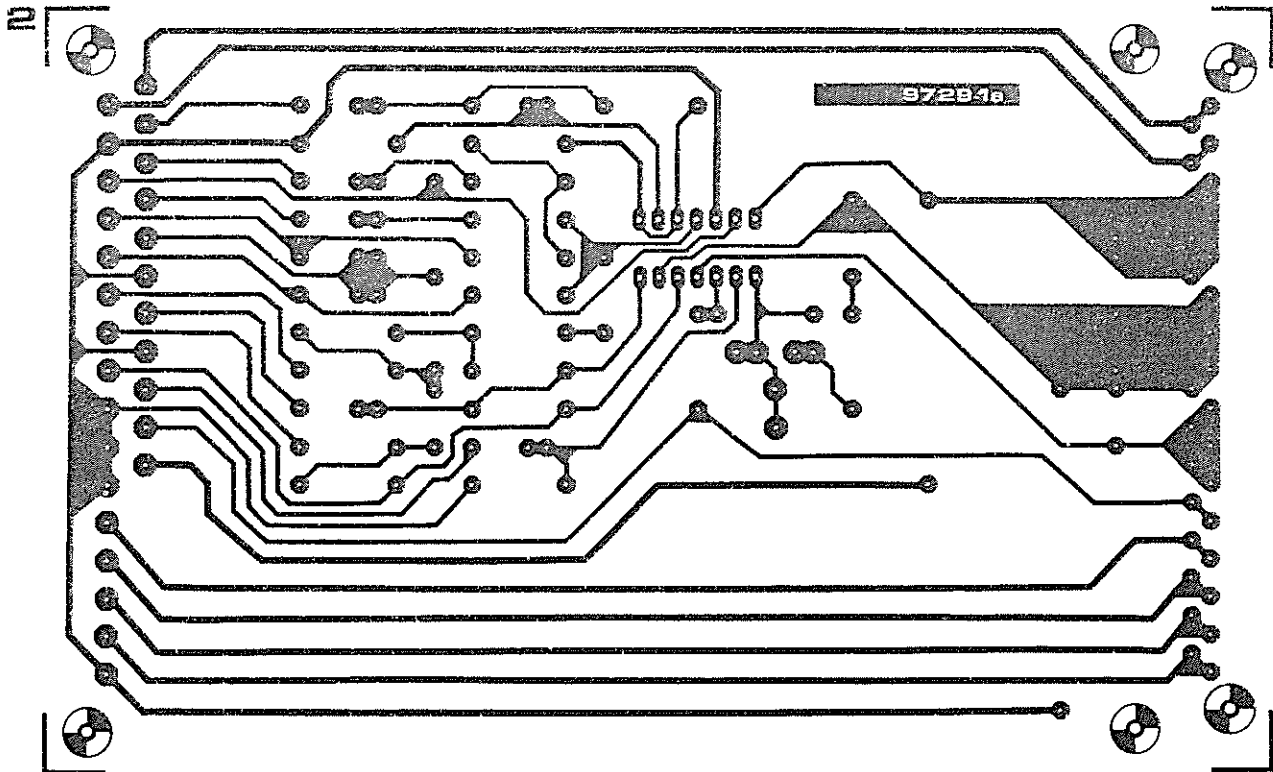
Bild 1. Schaltplan des COM-Moduls. Es enthält einen Vorverstärker mit drei Klangeinstellern und "doppelter" Lautstärkeeinstellung. Neben den Verbindungsleitungen zum Anschluß der Anzeige-LEDs der Frontplatte sind auch Anschlußpunkte (IOS und PA) für eine "externe" Leistungsstufe vorgesehen. Die Schaltung des Vorverstärkers kommt mit einem IC des Typs 4136 aus, Bild 1b zeigt die Anschlußbelegung des ICs.

Möchte man auf das "Einschleifen" einer Endstufe verzichten, schaltet man OUT 2 am besten parallel zu OUT 1 und hat dann zwei verschiedene Ausgangsbuchsen zur Verfügung, man könnte auch eine Buchse mit dem COM-Eingang IS verbinden, dann erhält man einen von Lautstärke- und Klangeinstellung unbeeinflussten Ausgang. Die Verdrahtung der übrigen Anschlüsse der Steckerleiste geht ebenfalls aus dem Gesamtverdrahtungsplan Bild 5 hervor. Als einziger "Ableich" bleibt auf der COM-Platine die Einstellung der Verstärkung mit P5. Diesen Trimmer stellt man am zweckmäßigsten so ein, daß bei voll aufgedrehtem Lautstärkeinsteller die gewünschte maximale Ausgangsspannung (maximale Kopfhörerlautstärke bzw. Vollaussteuerung des angeschlossenen Endverstärkers) erreicht wird.

### Gesamtverdrahtung des FORMANTs

Der in Bild 5 gezeigte Gesamtverdrahtungsplan bezieht sich auf den in Teil 3 vorgeschlagenen "Grundaufbau", auch "Basis-FORMANT" genannt. Auf die Darstellung der Versorgungsspannungsverdrahtung wurde aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit verzichtet, auf die Notwendigkeit einer "sternpunkt-förmigen" Verdrahtung dieser Leitungen wurde schon mehrfach hingewiesen, das Wichtigste trotzdem noch einmal in Kürze:

Jeder Versorgungsspannungsanschluß eines Moduls erhält eine eigene Verbindungsleitung zu dem betreffenden



**Stückliste**

**Widerstände:**

- R1, R2 = 82 k
- R3, R8, R18 = 470 Ω
- R4, R6 = 1k5
- R5, R7, R11, R13 = 6k8
- R9, R14 = 3k9
- R10, R12 = 100 k
- R15, R17 = 220 k
- R16 = 22 k
- R19 = 4k7

**Potentiometer:**

- P1a, P1b = 2 x 4k7 (5 k) log. Tandempot.
- P2, P3, P4 = 100 k lin.
- P5 = 250 k (270 k) Trimpot.

**Kondensatoren:**

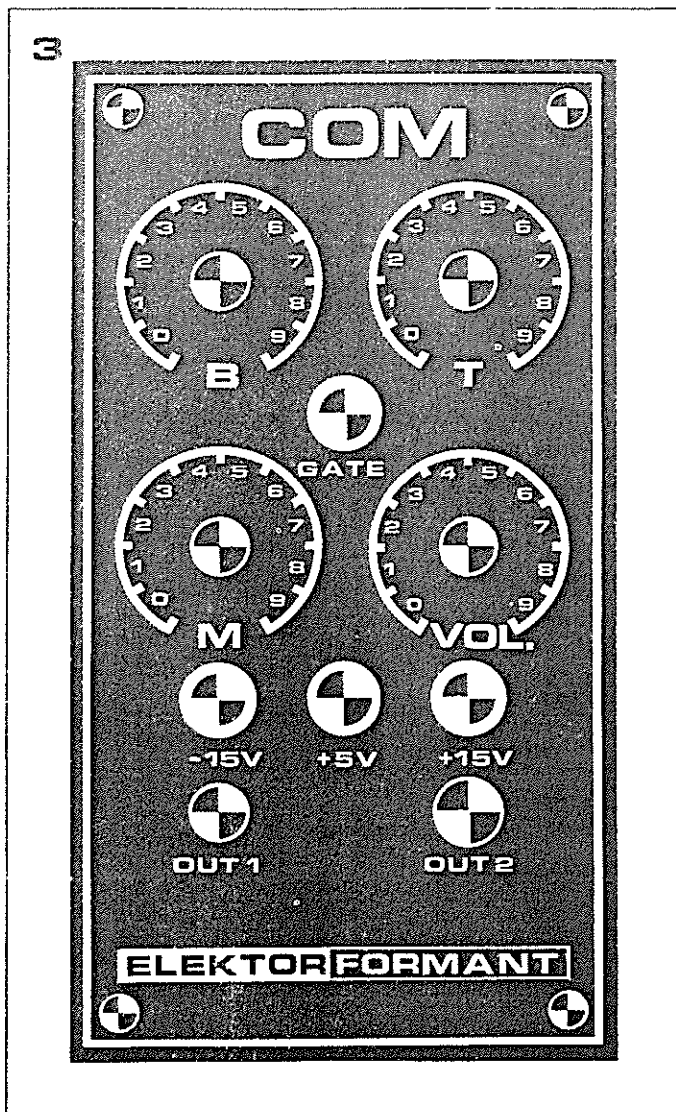
- C1, C2, C9 = 100 n
- C3, C4 = 10 n
- C5, C6 = 39 n
- C7 = 15 n
- C8 = 3n3
- C10, C11, C12 = 680 n

**Halbleiter:**

- IC1 = 4136 (DIL) Hersteller: EXAR, Fairchild, Raytheon, Texas Instr.

**Verschiedenes:**

- 1 Stck. 31-polige Steckerleiste (DIN 41617) oder Lötträger
- 1 Stck. Klinkenbuchse 3,5 mm
- 1 Stck. Klinkenbuchse 6,3 mm
- 4 Stck. Drehknopf (Achsbohrung 6mm, 13... 15 mm Durchmesser) mit Pfeil (Pfeilring) oder glasklarer Scheibe (26 mm φ)
- Frontplatte COM-Modul



Ausgang der Netzteilplatine. Diese Leitungen laufen an den großflächig ausgeführten Netzteilanschlüssen sternpunktartig zusammen.

Die Module LFOs und NOISE fehlen im Gesamtverdrahtungsplan, weil diese Module außer der Spannungsversorgung keiner weiteren Verdrahtung bedürfen. Die Steckerleisten der Module sind im Verdrahtungsplan stark vereinfacht dargestellt, enthalten aber alle Anschlüsse in der "richtigen" Reihenfolge, so daß der Verdrahtungsplan unmittelbar als "Vorlage" bei der Verdrahtungsarbeit dienen kann.

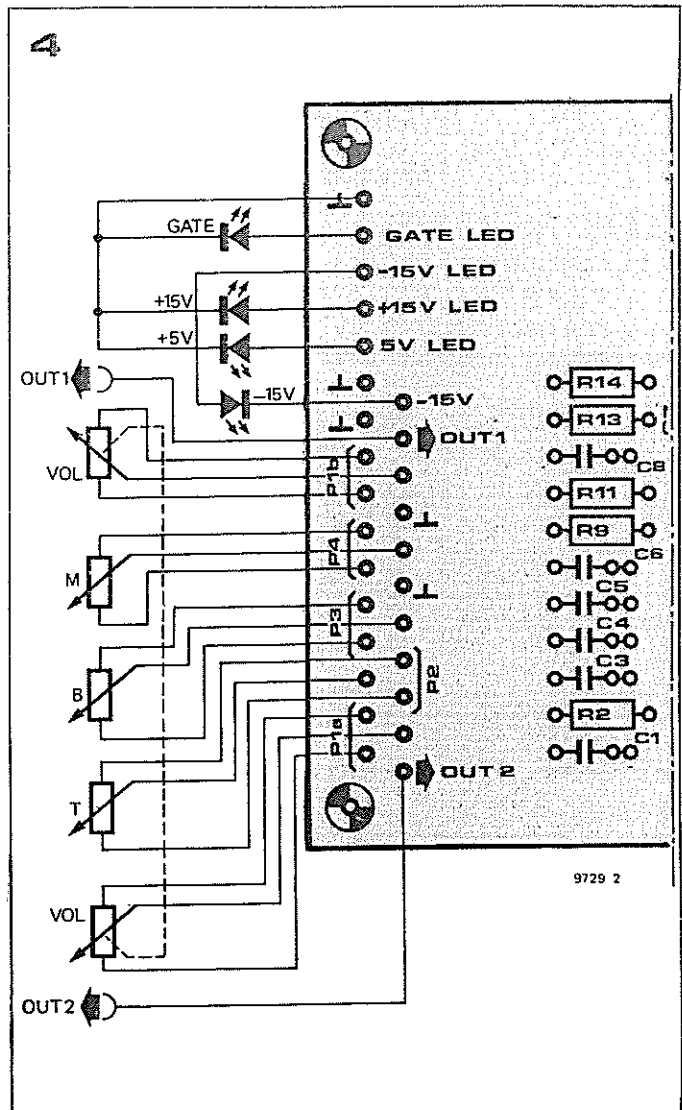
Eine Ausnahme bildet der Anschluß "Gate-LED" der Interface-Platine. Dieser Ausgang existiert auf der in Teil 3 beschriebenen Platine noch nicht. Man kann ihn aber leicht nachträglich herstellen:

Der Widerstand R30 der Interfaceplatine wird nicht entsprechend dem Platinenaufdruck, sondern anstelle von D4 eingelötet. Der dann "freigewordene" Anschluß von R30 (neben dem Gate-Ausgang) ist der "neue" Ausgang Gate-LED und wird entsprechend dem Gesamtverdrahtungsplan mit dem Gate-Eingang der COM-Platine verbunden. Abgeschirmte Leitungen sind nicht erforderlich, außerdem hält sich die Anzahl der "intern" fest verdrahteten Signal- und Spannungsverbindungen in Grenzen, so daß die Verdrahtung keine nennenswerten Schwierigkeiten

Bild 2. Layout, Bestückungsplan und Stückliste der COM-Platine.

Bild 3. COM-Frontplatte.

Bild 4. Verdrahtungsschema für die auf der Frontplatte angeordneten Bauteile.



bereiten dürfte. Trotz der relativ wenigen festen Verdrahtungen ist auch ohne eine einzige externe Verbindung ein vielseitiges FORMANT-Spiel möglich. Viel mehr Möglichkeiten erschließt natürlich die flexible externe Programmierung.

### Patchcords

Unter dem "Patchen" versteht man die individuelle Verbindung der Eingänge und Ausgänge auf den Modulfrontplatten eines Synthesizers mit Hilfe der "Patchcords". Diese Begriffe sind ins Deutsche sinngemäß mit "Stöpseln" oder "Stecken" zu übersetzen und stammen aus der Steinzeit des Telefons, als Verbindungen noch von Hand "gestöpselt" wurden. Will man beim FORMANT z.B. die Frequenzmodulation eines VCOs "programmieren", so legt man einen "Patch" von einem LFO-Ausgang zum FM-Eingang des betreffenden VCOs.

Bei der Wahl der Patches hat man absolut freie Hand, da alle Frontplattenanschlüsse des FORMANT kurzschlußfest und übersteuerungssicher sind. Die Patchcords selbst sind sehr einfach herzustellen. Ein etwa 20 . . . 30 cm langes flexibles Litzenkabel (einadrig) erhält an jedem Ende einen 3,5 mm

Klinkenstecker. Das Kabel wird mit den Mittenkontakten (Kugel) der Stecker gut verlötet, der zweite (Masse-)Kontakt bleibt frei. Im Interesse der Zuverlässigkeit der Patchcords sollte man den Kabelquerschnitt nicht zu klein wählen und auf die Zugentlastung der Stecker achten. In den meisten Fällen reicht ein Dutzend dieser Kabel aus, um auch ausgefallene "Programmierungen" zu realisieren. In der Praxis hat es sich als vorteilhaft erwiesen, die Patchcords in zwei oder drei verschiedenen Längen anzufertigen und die gleiche Anzahl verschiedener Kabelfarben zu verwenden. Die Zuordnung der Farben für die verschiedenen Verbindungen (Signalwege, Steuerspannungswege, Modulationsspannungen) hält das Kabelgewirr auch bei größerer Patchanzahl noch übersichtlich. Da alle FORMANT-Ausgänge recht niederohmig (470 Ohm) ausgeführt sind, kann auf die Verwendung von abgeschirmtem Kabel für die Patchcords verzichtet werden.

### Erweiterungen und Anwendungshinweise zum FORMANT

Schon der Grundausbau des FORMANTs ist relativ umfangreich. Ein Vergleich mit dem schier unüberschaubaren Angebot an Synthesizermodulen und zusätzlicher Elektronik für die professionelle "Elektronische Musik" zeigt aber schnell, daß es sich bei dem Grundausbau des FORMANTs tatsächlich um einen "Basis-Synthesizer" handelt. Daran ändert auch die Tatsache wenig, daß viele der zu erschwinglichen Preisen im Handel erhältlichen Synthesizer wesentlich einfacher konzipiert sind.

Wer an experimenteller, kreativer Beschäftigung mit elektronischen Klängen interessiert ist, findet im folgenden eine kurze Übersicht über Erweiterungsmöglichkeiten und zusätzliche, neue Elektronikbausteine für den FORMANT (und andere Synthesizer). Der FORMANT kann mit einer größeren Anzahl der bereits beschriebenen Module beliebig erweitert werden. So kann man z.B. die Anzahl der VCOs erhöhen, ein zweites Manual einführen und mit weiteren VCFs und VCAs zusätzliche Patchways (Signalwege) aufbauen. Über ein zweites Keyboard und einen zweiten VCF/VCA-Signalweg ist es z.B. möglich, zwei verschiedene Instrumentalklänge gleichzeitig zu spielen.

Für diese Art der Erweiterung sind die FORMANT-Module gut geeignet, da sie auch ohne feste, "interne" Verdrahtung mit Hilfe von Patchcords dem jeweiligen Anwendungsfall entsprechend eingesetzt werden können.

Die Erweiterung des FORMANTs mit neuen, zusätzlichen Modulen erschließt weitere Möglichkeiten, die mit dem bereits veröffentlichten "Modulsatz" nicht oder nur auf Umwegen realisierbar sind.

Dazu zählt das im VCF-Artikel bereits angesprochene *24-dB-VCF-Modul*, das

eine deutliche Verbesserung der klanglichen Möglichkeiten, besonders im Bereich instrumenteller Klangfarbendynamiken, bewirkt.

Ebenso wichtig ist eine differenzierte Resonanzfilterung für überzeugend klingende Vokalklangfarben. Im VCF-Kapitel wurde bereits auf die Anwendung des VCFs als einfaches Resonanzfiltersystem hingewiesen.

Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung des *Elektor Equalizers* (siehe Elektor Juni 1977), dessen Platine bereits für die Verwendung im FORMANT ausgelegt wurde. Zu beachten ist lediglich, daß der maximale Eingangspegel des Equalizers nicht überschritten wird.

Für "Experten" auf dem Gebiet der Vokalklangfarben ist eine *Resonanzfilterbank* sehr zu empfehlen. Bei den Filtern eines solchen Moduls lassen sich sowohl Resonanzfrequenz als auch Resonanzüberhöhung (Güte) unabhängig voneinander einstellen. Diese Eigenschaften deuten bereits auf die praktische Ausführung hin: Man verwendet State Variable-Filter (ähnlich wie im VCF), anstelle der OTA-Integratoren im VCF können "normale" Opamp-Integratoren mit Tandempotentiometern zur Frequenzeinstellung eingesetzt werden.

In Verbindung mit dem FORMANT ist auch die Schaltung "*Phasing*" (Elektor September 1976) interessant. Besonders "*Mehrfach-Phaser*" nach dem gleichen Prinzip können Streicherklänge realistischer werden lassen, solche Phaser sind mittlerweile auch als "*String-Module*" bekannt geworden.

Noch ein Blick auf einige "üblichere" Synthesizerschaltungen.

Viele Keyboard-Spieler vermissen die melodischen Möglichkeiten, die etwa dem Gitarristen z.B. durch "Ziehen" der Saiten zur Verfügung stehen. Das Portamento des FORMANTs ist eine vergleichsweise undifferenzierte Art der Tonhöhenformung. Abhilfe kann ein *Pitch Bender* schaffen, der es mit Hilfe eines "*Joysticks*" (Steuerknüppel) oder ähnlicher Einrichtungen ermöglicht, die Tonhöhe während des Spielens gezielt von Hand zu verstimmen, z.B. um  $\pm$  eine Quinte. Wichtig ist dabei, daß die mechanische Konstruktion für eine selbsttätige Rückführung in die Mittelage sorgt. Von Modellfernsteuerungen und Quadroanlagen her bekannte "Steuerknüppel" sind für Synthesizeranwendungen nicht geeignet.

Der *Ringmodulator* ist ein besonderer Mischer, der die Summe und die Differenz der Eingangsfrequenzen bildet, die Eingangssignale selbst werden dabei am Ausgang weitgehend unterdrückt (auch Quadraturmodulation oder DSSC-Modulation genannt). Es entstehen Klangstrukturen, mit nichtharmonischen Obertonverhältnissen, die musikalisch meist nicht sonderlich angenehm klingen. Der Ringmodulator gehört daher eher zu den "Spezialeffekt-Modulen", kann aber auch Klänge mit

großer Ähnlichkeit zu Schellen, Glocken, Cymbalen und Gongs erzeugen.

Ein als "*Sample and Hold*" bekanntes Modul entnimmt z.B. einer Sägezahn-schwingung Stichproben und speichert sie jeweils bis zum nächsten "Sample".

Es entsteht so eine Art Treppenspannung mit zufälligem Verlauf.

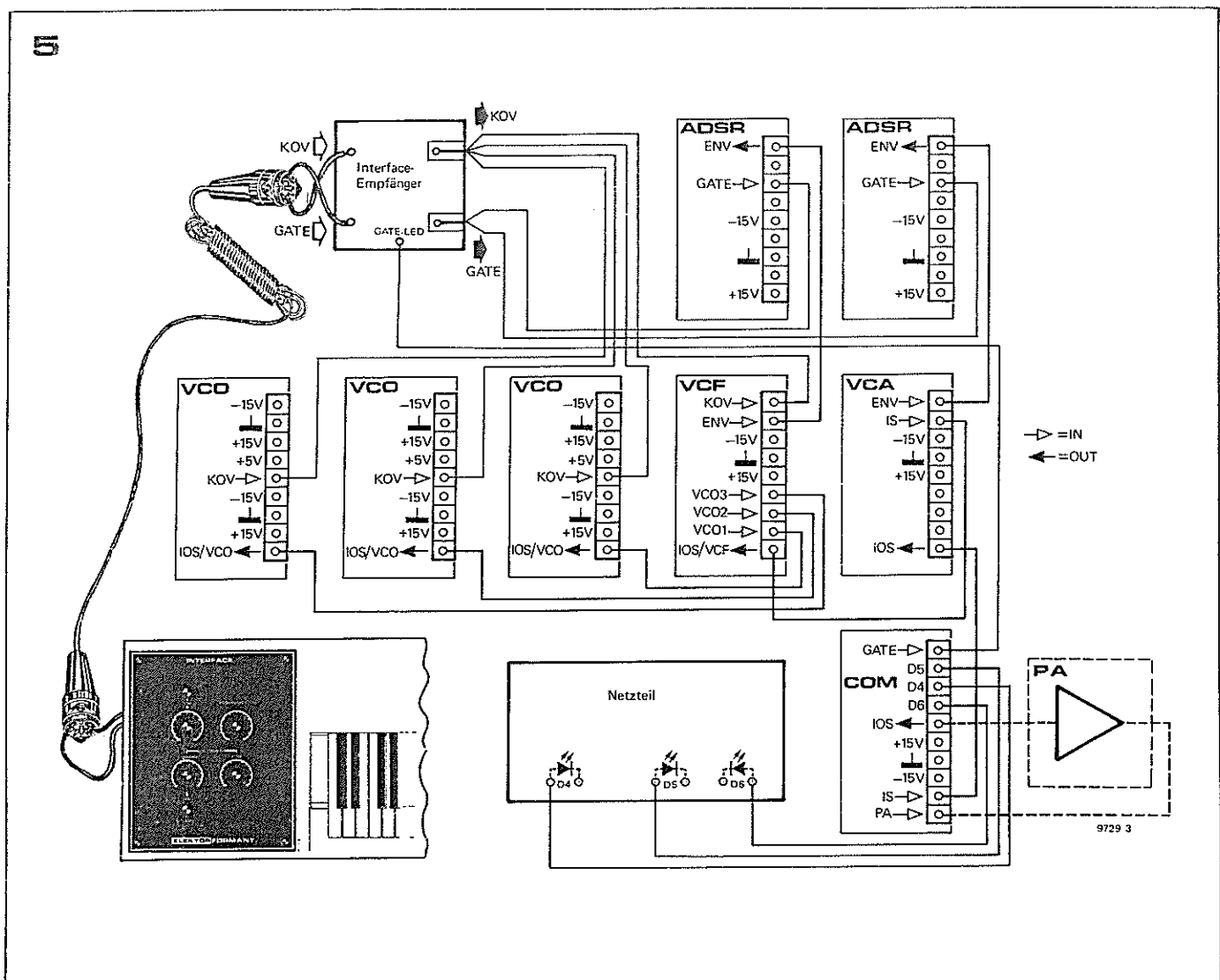
Steuert man mit dieser Spannung VCOs aus, so spielen sie "automatisch"

Kaskaden von "zufälligen" Melodien, die sich nach einiger Zeit wiederholen. Durch Änderung einer Einstellung, z.B. der Sägezahnfrequenz, lassen sich immer neue Tonfolgen abrufen. Die Resultate haben manchmal Ähnlichkeit mit denen eines Sequencers.

Der *Sequencer* ermöglicht die Programmierung von Melodien, die der Synthesizer anschließend "selbsttätig" (ab-) spielt. Im einfachsten Fall besteht ein Sequencer aus einem "langen" Schieberegister, das der Reihe nach Potentiometer "abfragt", an denen der Musiker zuvor die einzelnen Tonhöhen eingestellt hat. Ein guter Sequencer erlaubt neben der Speicherung der Tonhöhenwerte auch die Einstellung der Dauer jedes einzelnen Tons. Häufig läßt man den Sequencer rundlaufen, so daß sich die eingestellte Melodie ständig wiederholt und damit ein Riff-artiger Rhythmus-Hintergrund für freie Improvisationen entsteht.

Eine besondere Gruppe von Synthesizerschaltungen sind *analytische Module*.

Bei jedem spannungsgesteuerten Synthesizer stellt die Tastatur als einzige "Schnittstelle" zur "Außenwelt" im Grunde genommen schon erhebliche Einschränkung für den ambitionierten Musiker dar. Mit analytischen Modulen ist es möglich, eine ganze Reihe von Informationen der "Außenwelt", wie z.B. Tonhöhe und Dynamik eines Gitarrensigs, für den Synthesizer zu erschließen und in geeignete Steuerspannungen umzusetzen. Wichtigstes analytisches Modul ist der *Pitch to Voltage-Konverter*, eine Schaltung, die aus einem Signal, z.B. vom Gitarrentonabnehmer oder von einem Mikrofon, den Grundton extrahiert und so aufbereitet, daß er von einem Frequenz/ Spannungswandler sehr genau in eine Steuerspannung umgesetzt werden kann. Steuert man mit dieser Spannung nun die VCOs des FORMANT, so folgen sie in ihrer Tonhöhe der Tonhöhe des analysierten Signals. Somit ist gewissermaßen die Tastatur "übersprungen", man spielt den Synthesizer z.B. direkt von der Gitarre aus und erhält einen "*Gitarren-Synthesizer*". Zusätzlich eröffnen sich natürlich alle Transformationsmöglichkeiten des FORMANT, wie Portamento und Transponierung. Ergänzt man den Pitch to Voltage-Konverter durch eine Schaltung, die als "*Hüllkurvenfolger*" bekannt ist, so läßt sich auch der Dynamikverlauf des analysierten Signals über eine Steuerspannung und den VCA auf das Synthesizersignal übertragen und modifizieren. Das zweifellos vielseitigste Analyse-



Modul wäre ein *Kanal-Vocoder*, der in der Lage ist, mit eigenen Synthesefiltern den Synthesizer buchstäblich zum Sprechen zu bringen. Die Beschreibung dieser in der Musikelektronik relativ neuen Technik würde im Rahmen dieses Beitrags zu weit führen, ein ausführlicher Artikel über diese Vocoder ist in der *Elektor*-Ausgabe Januar 1978 zu finden.

Bleibt abschließend noch der Hinweis auf weniger spektakuläre, aber für Synthesizer doch wichtige Ergänzungen: *Nachhall*, *Echo* und *Wiedergabeanlagen*. Nachhall tut not in Hinblick auf die monofone Struktur des Synthesizers. Wenn man eine neue Taste drückt, wird der vorherige Ton zwangsläufig beendet. Ein Hallgerät kann die einzelnen Töne etwas "verlängern", was bei vielen Einstellungen des FORMANT besser klingt als der typische "trockene", "überprägnante" Elektronik-Sound, gute Hallspiralen erfüllen den Zweck, die z.B. von einer Hammond-Feder durch zahlreiche Resonanzen hervorgerufene "Kolorierung" des verhallten Signals ist in den meisten Anwendungsfällen durchaus angenehm.

Verwandt mit dem Hallgerät ist ein *Echogerät*, das die Klangwelt des Synthesizers ebenfalls eindrucksvoll erweitert. Das Echo stellt einen

Bild 5. Gesamtverdrahtungsplan aller intern fest verdrahteten Signal- und Steuerungspannungswege des FORMANT-Grundausbaus. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf die Darstellung der Versorgungsspannungsleitungen verzichtet. Die Module LFOs und NOISE "fehlen" im Verdrahtungsplan, weil sie lediglich Versorgungsspannungsanschlüsse aufweisen.

"Zwischenspeicher" dar, der die Klänge verzögert und wiederholt. Der Musiker hat dadurch z.B. die Möglichkeit, aus einzelnen sukzessiven Tönen komplexe, mehrstimmige Akkordstrukturen aufzubauen, indem er quasi im "Playback" das zuvor Gespielte erweitert.

Den Einfluß der *Wiedergabeanlage* auf die klanglichen Resultate des Synthesizers sollte man nicht unterschätzen. So bleiben die "mächtigen Bässe" des Synthesizers ohne eine ebenso "mächtige" Baßbox weitgehend unhörbar. Zwei Gesichtspunkte sollte man bei der Lautsprecherwiedergabe des Synthesizersignals berücksichtigen: Die Klänge sollten von der Lautsprecheranlage möglichst ohne starke

Einschränkung von Dynamik und spektraler Zusammensetzung wiedergegeben werden und (vor allem) die Lautsprecher müssen mit einer von "natürlicher" Musik oft sehr abweichenden spektralen Verteilung der Signalenergie fertig werden.

Unter beiden Gesichtspunkten sind übliche Hi-Fi-Boxen weniger geeignet. Läßt man z.B. bei einem bestimmten Klang einen VCO ein Signal mit einer Frequenz im kHz-Bereich mit maximaler Amplitude erzeugen, so erhalten die Hochtöner einer Zwei- oder Dreiweg-Hi-Fi-Box bei "normal" eingestellter Lautstärke eine Signalamplitude, die in sehr kurzer Zeit ihre Zerstörung zur Folge haben kann. Bei Verwendung einer HiFi-Installation zur Wiedergabe des Synthesizersignals ist es sehr zu empfehlen, die Lautstärke auf einem ungewöhnlich niedrigen Pegel zu halten. Es könnte sonst schon vor einem deutlich hörbaren Begrenzungseinsatz zu spät sein.

Besser geeignet sind Instrumentalboxen mit Hochtonhörnern und großzügig dimensionierten Baßlautsprechern. Am besten harmoniert der Synthesizer mit Hornsystemen, insbesondere Baßhörner sind gute "Futterverwerter", was die Umsetzung der zugeführten elektrischen Leistung in Schalldruck anbelangt.

# Musik mit dem Synthesizer

**Einstellbeispiele  
und  
musikalische  
Tips  
zum Spielen  
mit dem  
FORMANT**

## EINLEITUNG:

Die FORMANT-Serie in ELEKTOR (Heft 72 bis 82) unterschied sich von anderen Veröffentlichungen zum Nachbau eines Musik-Synthesizers u.a. auch dadurch, daß dem Anwendungsaspekt, der musikalischen Seite dieses Gerätes in der Serie selbst bereits relativ viel Platz eingeräumt wurde.

Trotzdem reichen diese Hinweise wahrscheinlich noch nicht aus, um dem FORMANT-Besitzer die vielseitigen musikalischen Möglichkeiten genügend zu verdeutlichen. Der Synthesizer ist selbst für viele erfahrene Musiker ein schwieriges Instrument, dessen musikalische Dimensionen im Gegensatz zu den konventionellen Musikinstrumenten häufig nicht ohne weiteres zu erkennen sind. Daß sich eine intensive Beschäftigung mit diesem ungewöhnlichen Musikinstrument lohnt, braucht für den Leser der FORMANT-Serie kaum noch herausgestellt zu werden. Nach den positiven Reaktionen auf den FORMANT durch die Leser und auch durch die Musik-Fachpresse runden die folgenden Einstellbeispiele und musikalischen Hinweise die FORMANT-Serie zu einer Einheit ab. Nebenbei lassen sich die meisten Tips für die Synthese realistischer Instrumentalklänge in entsprechender Form auch zum Spielen anderer Synthesizer nutzen. Speziell die sehr detailliert beschriebenen Einstellungen des **Resonanzfilters**, die eine zentrale Rolle bei der Erzeugung glaubwürdiger Klangfarben übernehmen, lassen sich **grundsätzlich für jedes elektronische Musikinstrument sehr zum Vorteil der erzeugten Klänge heranziehen**. Die Einstellbeispiele gliedern sich in zwei Hauptteile: Zunächst ist es wichtig zu erfahren, wie man die einzelnen FORMANT-Module richtig bedient und

ihre Möglichkeiten ausschöpft. Dies erspart dem weniger erfahrenen FORMANT-Besitzer, die ersten Spielversuche allein zu bestehen. Die gegebenen Orientierungshilfen versetzen den Spieler innerhalb relativ kurzer Zeit in die Lage, über die klanglichen Möglichkeiten seines Gerätes selbständig zu verfügen.

Der zweite Hauptteil beschreibt Kombinationen von Grundeinstellungen, die es ermöglichen, mit dem FORMANT differenzierte Instrumentalklänge zu erzeugen. So werden z.B. die Einstellungen für die Klangerzeugung einer Holzflöte, einer Trompete, einer Posaune, einer Tuba, eines Vibraphons, von Streichinstrumenten, einer Klarinette, eines Fagotts, einer Oboe, einer Querflöte, eines Klaviers usw. ausführlich beschrieben und durch Einstellskizzen erläutert. **Eine wesentliche Rolle spielt hierbei die Resonanzfilterung oder Formantenbildung, die eine wichtige und "hörbare" Verbesserung der Klangformung beinhaltet. Die zahlreichen Tips, die hier gegeben werden, lassen sich leicht auch für andere Synthesizer und überhaupt alle elektronischen Musikinstrumente nutzen.** Abschließend wird noch kurz erläutert, welche Vorteile z.B. ein MINIFORMANT und polyphones Spielen mitsichbringen. Mit Hilfe der Bedienungsanleitung lernt man den FORMANT besser kennen. Die beschriebenen Einstellungen tragen natürlich auch die "Handschrift des Verfassers". Sie sind deshalb auch nicht als die einzig Wahren anzusehen, sondern sollen zu kreativem Tun

anregen. Über eigene Klangentdeckungen ist die Freude größer als über vorgegebene Einstellungen. Noch ein Tip: Ab und zu sollte man die Beschäftigung mit dem FORMANT unterbrechen und aufmerksam die Klangstrukturen **anderer** Synthesizer-Spieler (z.B. auf Schallplatten) studieren. Empfohlen sei insbesondere die Musik von WALTER CARLOS, KEITH EMERSON, BO HANSSON und den TANGERINE DREAM. Viel Spaß bei der musikalischen Entdeckungsreise mit dem FORMANT!



## Nützliche Hilfen beim Spielen mit dem FORMANT

Bevor die Einstellungen der einzelnen FORMANT-Module ausführlich beschrieben werden, sollen einige Hinweise das Spiel mit dem FORMANT interessanter machen oder erleichtern. Synthesizerklänge bedürfen einer bestimmten Grundlautstärke, damit sie sich akustisch voll entfalten können. Deswegen sollte die Wiedergabeeinrichtung nicht zu gering dimensioniert sein. Ideal ist es, wenn die verwendeten Lautsprecher die manchmal ungewöhnlichen Ein- und Ausschwingeneigenschaften und spektralen Zusammensetzungen der FORMANT-Klänge nicht nur ohne Beschädigung "überstehen", sondern sie auch realistisch wiedergeben. Insbesondere eignen sich verschiedene *Hornlautsprecher* (im Eigenbau). Bei solchen Lautsprechern kommt man infolge ihres ungewohnt hohen Wirkungsgrades mit relativ niedrigen Verstärkerleistungen aus. Ein 40-Watt-EDWIN ist bei Hornlautsprechern, wenn man zuhause spielt, schon fast zu "groß".

Speziell drei Zusätze, die nicht nur für den Synthesizer gedacht sind, kommen den FORMANT-Klängen sehr zugute: ein *Hallgerät* nimmt den synthetisch erzeugten Klängen ihren ursprünglich trockenen unnatürlichen Charakter. Ein guter *Phaser* oder *Flanger* am Ausgang des FORMANT empfiehlt sich insbesondere bei "*orchestralen Klängen*". Ein mechanisches oder elektronisches *Echogerät* gibt dem an sich monofonen Klang des FORMANT eine reizvolle "Mehrstimmigkeit". Die klangformenden Module des FORMANT, VCF und VCA können von einem (selbst gebauten) Pedal angesteuert werden, das eine Spannung zwischen 0 V und ca. plus 5 V abgibt. Ebenso läßt sich z.B. die PWM (Pulsweitenmodulation) bei dem einzelnen VCO durch das Pedal steuern. Man erhält so eine Art Phaser-Klang. Wichtig ist auch, daß genügend verschiedenfarbige *PATCHCOARDS* unterschiedlicher Längen zur Verfügung stehen. Ganz nützlich ist auch ein einfacher Ständer, auf dem man die unbenutzten *PATCHCOARDS* ablegt. Sind einige *Verteiler-PATCHCOARDS*, die an einem Ende mehrere Stecker haben, vorhanden, lassen sich z.B. die PWM bei mehreren VCOs mit einem LFO aussteuern. Ein weiteres nützliches Hilfsmittel ist ein *hochohmiger Kopfhörer*, mit dem man einzelne Modulausgänge abhören kann, ohne die Wiedergabeeinrichtung zu benutzen. Steht ein Oszilloskop zur Verfügung, läßt sich z.B. die Signalformung im FORMANT von Modul zu Modul leicht verfolgen, die Größe der Signalamplituden feststellen uva. Vor allem aber sind die optischen

Informationen außerordentlich interessant, z.B. lassen sich Schwebungen, Resonanzen, Hüllkurvenverläufe usw. gut erkennen. Verfügt man über ein Meßkabel mit Klinkenstecker, sind alle Ausgänge der einzelnen FORMANT-Module für das Oszilloskop schnell erreichbar.

Wie archiviert man eine gefundene, interessante FORMANT-Einstellung? Eine Frage, die sich für manchen FORMANT-Spieler zum Problem ausgeweitet hat. Dazu ein Vorschlag: Am Buchende ist auf Seite 103 eine Schemazeichnung des FORMANT zu finden, die man entsprechend der benötigten Anzahl fotokopieren läßt. Auf den Fotokopien können nun die für ein Klangbild relevanten Einstellungen eingetragen werden.

## Einstellungen der einzelnen FORMANT-Module

2

### VCOs

#### Haupteigenschaften der VCOs

Die FORMANT-VCOs sind Tonquellen, deren Grundtonhöhen über den Hörbereich veränderbar sind\*. Hat man die VCOs beim Nachbau *sorgfältig* eingestellt ("*V/Oktave*" und "*high frequ. tracking*"), so ist ihre Stimmung und ihr gemeinsames Tracking über viele Oktaven vorzüglich. Die Temperaturdrift der VCOs ist so gering, daß sie nicht störend in Erscheinung tritt. Allerdings muß man den FORMANT vor plötzlichen und starken Temperaturschwankungen schützen. Einige überlegt angebrachte Entlüftungslöcher im Modulgäuse helfen zusätzlich, die Drift niedrig zu halten. Die Tonhöhe des jeweiligen FORMANT-VCOs läßt sich schnell (über einen weiten Bereich) mit dem COARSE-Einsteller einstellen; für einen genauen Abgleich sorgt der jeweilige FINE-Einsteller. Die Palette der Grundklangfarben für die anschließende Synthese ist mit 5 verschiedenen Kurvenformen sehr differenziert. Die Kurven des VCOs sind: Sägezahn, "Spaced-Sägezahn", Dreieck, Sinus und pulsweitenmoduliertes Rechteck. Mit Hilfe von Kippschaltern kann man schnell über sie verfügen. Die Ausgangseinsteller OUT erlauben zusammen mit dem (internen) Mischer des nachfolgenden VCFs ein kontinuierliches Mischen der Ausgangs-

\* Bei der VCO-Beschreibung (Teil 5) ist in Bild 2a der Widerstand R12 mit 68 k angegeben. Dadurch ist die maximale Frequenz auf 10 kHz festgelegt. Möchte man die obere Hörgrenze von 15 ... 18 kHz sicher erreichen, muß für R12 ein Widerstandswert von 47 k gewählt werden.

signale der VCOs.

Die vielseitigen Eigenschaften der FORMANT-VCOs werden durch einen Eingang für VIBRATO, (Frequenzmodulation) und PWM, die man zusätzlich von Hand aus einstellen kann, erweitert.

### Stimmen der VCOs

Dieser Abschnitt beschreibt exakt den Stimmvorgang der Formant-VCOs. Jede auch noch so geringe Einzelheit ist genauestens zu beachten. Nicht genau gestimmte VCOs klingen "rauh" oder dissonant, mit ihnen kann man musikalisch nichts anfangen. Klingen trotz sorgfältiger Beachtung der Stimmvorschrift die VCOs nicht befriedigend, so sollte man unbedingt die beiden Trimmer "*V/Oktave*" und "*high frequ. tracking*" bei jedem der VCOs noch einmal sehr exakt nachstimmen.

Aus dem folgenden läßt sich auch entnehmen, wie man schnell überprüfen kann, ob die Oktavschritte bei den einzelnen VCOs genügend genau gestimmt sind.

Zum Stimmen eignet sich insbesondere eine "helle" Kurvenform z.B. der Sägezahn; dabei treten die Schwebungen deutlich hervor.

Vor Beginn des Stimmens muß der FORMANT so eingestellt sein, daß er die gemischten VCO-Signale unverändert passieren läßt (Bild 1): Zunächst die OUT-Einsteller ganz aufdrehen (1) und die Kurvenform wählen z.B. Sägezahn (2). Die KOV ist bei allen VCOs angeschaltet (3). Damit die VCO-Signale das VCF passieren, muß der ENV-Einsteller des VCFs auf "Null" stehen (4); das gilt auch für den Q-Einsteller (5). Beim VCF ist das Tiefpaßfilter (LP) (6) eingeschaltet und der OKTAVES-Einsteller (7) wie der OUT-Einsteller (8) ganz aufgedreht (Stellung "Neun"). Die gemischten VCO-Signale können nun unverändert das VCF passieren.

Damit der VCA ebenfalls durchlässig wird, muß der Kippschalter auf OFF (9) geschaltet sein. Die Verstärkung wird mit dem GAIN-Einsteller (10) auf Maximum eingestellt. An den Einstellern des COM-Moduls (11) ist mit Hilfe des Baß-, Mitten- und Höheneinstellers der Gesamtklang sowie die Ausgangslautstärke einzustellen.

Soweit die Vorkehrungen zum Stimmen der VCOs. Vor dem Stimmen ist es günstig, den COARSE-Einsteller auf der INTERFACE-Frontplatte mit Hilfe des zugehörigen Kippschalters am besten abzuschalten (12).

Nun eine sehr wichtige Regel: *Zum Stimmen der VCOs sollte man immer die äußerste rechte Taste des Keyboards benutzen (13)*. Auf diese Weise ist ein gutes Tracking der VCOs möglich. Während die oberste Taste gedrückt ist, werden an den einzelnen COARSE- und FINE-Einstellern der VCOs die Tonhöhen eingestellt (14).

Bei den UNISONO- oder Akkordklängen

1

**COM**

B T  
DATE  
VOL  
-15V +5V +15V  
OUT1 OUT2

ELEKTORFORMANT

**VCO**

FM ECV PWM  
KDV KDV  
OCTAVES  
FINE  
PW  
COARSE  
OUT

ELEKTORFORMANT

**VCO**

FM ECV PWM  
KDV KDV  
OCTAVES  
FINE  
PW  
COARSE  
OUT

ELEKTORFORMANT

**VCO**

FM ECV PWM  
KDV KDV  
OCTAVES  
FINE  
PW  
COARSE  
OUT

ELEKTORFORMANT

**VCF**

TM ECV ES  
KDV KDV  
OCTAVES  
ENV  
G  
OUT

ELEKTORFORMANT

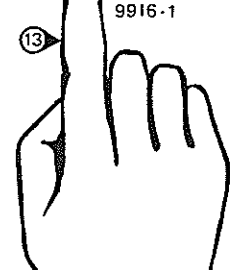
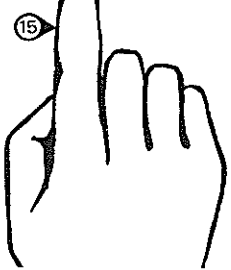
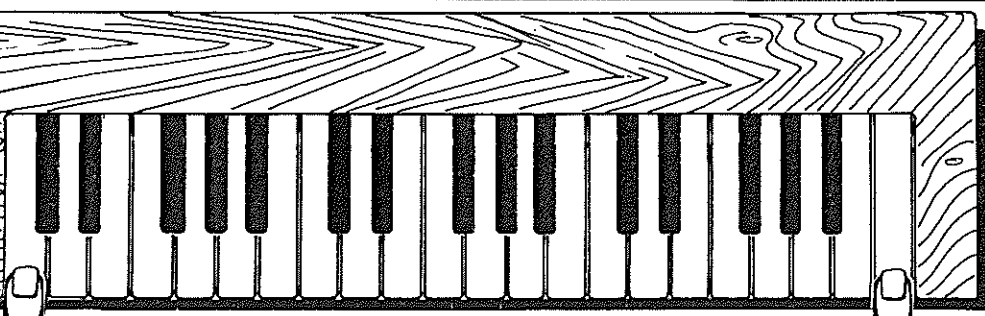
**DUAL VCA**

AM ENV ES  
OFF  
GAIN INPUT LEVEL  
OUT

ELEKTORFORMANT

**INTERFACE**

PORTAMENTO  
COARSE FINE  
ON OFF



9916-1

Bild 1. Stimmen der VCOs

Bild 2. Manuelle Einstellung der Pulsweite

sollen die Schwebungen genügend langsam werden bzw. die Akkorde genügend "stimmrein" klingen. Natürlich kann man umgekehrt die VCOs auch gegeneinander so verstimmen, daß z.B. ein "schwirrender" HONKY-TONKY-Klang entsteht. Das Stimmen der VCOs schließt damit ab, daß man beim tiefsten Ton die Schwebungen daraufhin überprüft, ob sie genügend langsam sind (15).

Das Stimmen von drei oder mehreren VCOs auf komplexere Akkorde bereitet manchem Spieler Schwierigkeiten. Hier hilft folgende Methode: Zuerst wird der tiefste Ton des Akkords mit dem VCO eingestellt (die beiden anderen sind dabei abgeschaltet). Bei einem einfachen Dur-Dreiklang kann dies z.B. "C" sein. Der vollständige Akkord sei "C"- "E"- "G". Nachdem die "C"-Taste eingestellt ist, drückt man die "E"-Taste und merkt sich die Tonhöhe für das Stimmen des zweiten VCOs. Um ihn zu stimmen, schaltet man den ersten ab und den zweiten an. Die Taste "C" wird nun nach dem Gedächtnis auf die zuletzt gehörte Tonhöhe des ersten VCOs (Ton "E") abgestimmt. Den Ton "G" stellt man nach der gleichen Methode ein; dabei ist der zweite VCO außer Betrieb. Vom ersten VCO merkt man sich die Tonhöhe der Taste "G". Nach Umschalten auf VCO 3 stellt man diesen Ton beim Drücken der Taste "C" ein. Der dritte VCO ist also auf den Ton "G" eingestellt.

Diese Methode ist anfangs etwas zeitraubend und man muß sie vielleicht einige Male wiederholen, bis die VCOs genügend genau eingestellt sind. Mit den FINE-Einstellern sind abschließend die VCOs gemeinsam oder paarweise auf die erwünschte Schwebungsarmut und Stimmreinheit abzugleichen.

Eine andere sehr empfehlenswerte Hilfe beim Stimmen von Akkorden ist ein Frequenznormal oder eine elektronische Stimmgabel. Mit den abgeleiteten Tonhöhen für die temperierte Stimmung stellt man jeden einzelnen VCO der Reihe nach ein. Im ELEKTOR-Halbleiterheft 1976 (Schaltung 26) ist eine Schaltung abgedruckt, die als eigenes Stimm-Modul dienen kann (Nachtrag in Heft 73 beachten). Das externe Stimmsignal kann dem VCO-Signal über den jeweiligen externen Eingang "ES" des VCFs oder VCAs zugemischt werden.

Selbstverständlich lassen sich die Akkorde nicht nach einer bestimmten Notation stimmen, sondern auch so, wie sie dem Spieler am besten persönlich gefallen.

Noch einige Hinweise zu den Akkorden: Bei UNISONO-Klängen sind die VCOs auf die gleiche Tonhöhe gestimmt. Es entsteht so ein vielfaches Phasing, das

zu einem schillernden Klang führt, der sich dauernd verändert. Filtert man mit dem Tiefpaß die Obertöne weitgehend weg, entstehen bei tiefen Tönen z.B. "rollende" Bässe, ähnlich wie bei einer Kirchenorgel, einem Flügel oder einem Klavier. Läßt man die Obertöne passieren und wählt zum Spielen hohe Tonhöhen, entstehen *geigenartige* oder "metallisch" schwirrende Klänge. Stimmt man die VCOs in Oktaven, verschmelzen die einzelnen Tonhöhen zu einem farbigen Gesamtklang, der sehr voluminös klingt, da er sich aus sehr vielen Frequenzen bildet. Interessant sind bei Oktavstimmungen auch Experimente mit weit auseinanderliegenden Oktaven, mit verschiedenen Mischverhältnissen der VCO-Signale und mit verschiedenen Kurvenformen in den einzelnen Oktavlagen. Auf diese Weise vergrößert sich die Palette von Grundklangfarben für die weitere Synthese. Bei schwebungsarmen VCO-Klängen ist es ratsam, die einmal eingestellte Tonhöhe mit dem COARSE-Einsteller des INTERFACE nicht mehr zu erhöhen, sondern nur herabzusetzen. Einfache DUR-Akkorde können sehr schön klingen, z.B. wenn man bei *Blechbläser*-Synthesen fanfarenartige Klänge spielt. Im umgekehrten Fall klingen einfache DUR-Akkorde beim FORMANT monoton und süßlich, da

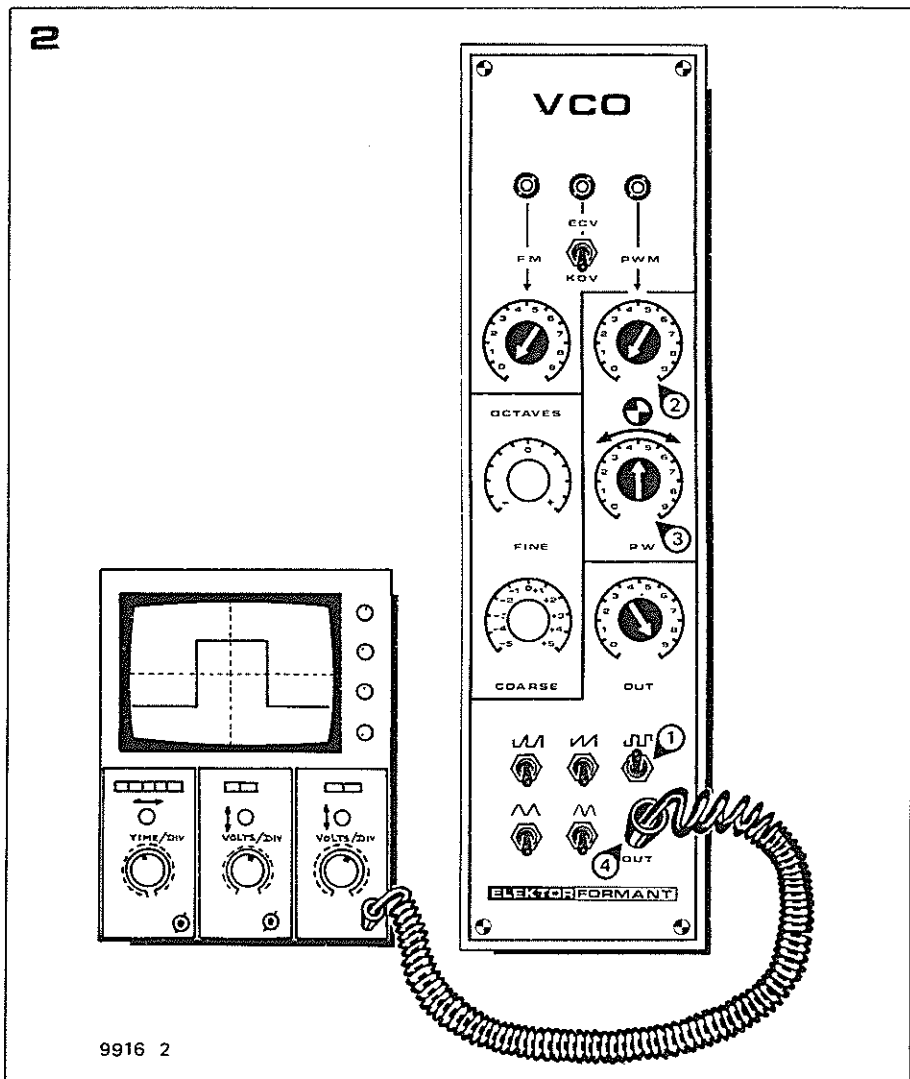
die monofone Spielweise keinen Akkordwechsel von einer Taste zur nächsten zuläßt, welcher die DUR-Stimmung ablöst.

MOLL-Akkorde hingegen klingen mit dem FORMANT sehr gut, da sich beim Synthesizer (ähnlich wie bei der Gitarre oder dem Klavier) die Phasing-Muster sehr kräftig entfalten. Oft ist hierbei eine Dämpfung der Obertöne durch das Tiefpaß-Filter musikalisch vorteilhaft.

Abschließend soll noch einmal die Grundschwierigkeit beim Spielen mit VCO-Akkorden herausgestellt werden. Die monofone Spielweise beim Formant erlaubt keinen Akkordwechsel von einem Ton zum nächsten, so daß alle Akkorde, die einen deutlichen Ausdruckscharakter haben, schnell monoton klingen können. Abhilfe schafft hier eine zweite unabhängige Stimme, z.B. in Form eines MINI-FORMANT.

### Pulsweitenmodulation (PWM)

Bei den FORMANT-VCOs kann die Pulsweite sowohl von Hand mit dem PW-Einsteller, als auch über den Steuerungseingang "PWM" elektronisch angesteuert werden. Im letzteren Fall läßt sich der Modulationsgrad an dem Einsteller direkt unter der "PWM"-Buchse einstellen.



Um die PWM kennenzulernen (Bild 2), läßt man nur einen VCO in Betrieb und wählt bei diesem das Rechteck als Kurvenform (1). Hierbei steht der Einsteller unter der PWM-Buchse auf Null (2). Nun dreht man den PW-Einsteller (3) vom linken Anschlag ausgehend langsam nach rechts. Dabei verändert sich der Rechteck-Klang von hell und dünn bis zu einem Punkt, der auffallend hohl und klarinettenhaft klingt. In dieser Stellung ist das Rechtecksignal symmetrisch, d.h. die Pulsweitenmodulation beträgt 50%. Dreht man den PW-Einsteller weiter nach rechts, wird der Ton zunehmend wieder heller und dünner. Schließt man am VCO-Ausgang (4) ein Oszilloskop an, läßt sich die Änderung der Rechteckkurve optisch darstellen.

Das spiegelbildliche Spektrum der Pulsweiten enthält neben dem klarinettenartigen Klang einige charakteristische Grundklangfarben; z.B. für klavierartige Klänge oder für verschiedene Holzblasinstrumente.

Die Dreieckskurvenform eignet sich bestens zur langsamen PWM. Die resultierenden Klänge sind dem Schwebungsklang zweier UNISONO-gestimmten VCOs ähnlich. Bevor weiter auf die LFO-Aussteuerung der PWM eingegangen wird, sind zunächst noch einige elektronische Aussteuerungsmöglichkeiten interessant.

Verbindet man den Ausgang eines ADSR-Hüllkurven-Generators mit der PWM-Eingangs-Buchse, so entsteht eine "dynamische" Pulsweitenmodulation, die sich im Verlauf des einzelnen Tones ändert. Je nach eingestellter Hüllkurve bilden sich z.B. sehr merkwürdige, scheinbar verzerrte Klänge, jedoch auch solche, die mit einem langsamen Phasing sehr schön ausklingen. Hierbei stellt man am oberen Einsteller, direkt unter der PWM-Buchse, die Hüllkurven-einwirkung ein und mit dem PW-Einsteller den "Offset" der Rechteck-Klänge, d.h. mit welchem Rechteck-Grundklang die dynamische PWM beginnt und endet. Eine ähnliche Modulationsmöglichkeit ergibt sich durch Verwendung des bereits erwähnten (selbstgebauten) *Pedals*, das je nach Fußstellung eine Spannung zwischen 0 und ca. 5 V abgibt. Diese Steuerspannung vom Pedal wird genau wie der Ausgang des ADSR-Hüllkurven-Generators mit dem PWM-Eingang verbunden. Für den "Offset" ist wiederum der PW-Einsteller zuständig, während der Einsteller direkt unter der PWM-Buchse die Stärke der Pedal-Modulation reguliert. Auf diese Weise kann man das Pedal als eine Art *Pedal-Phaser* benutzen. Mit Hilfe des bereits erwähnten "Verteiler-PATCHCORDS" kann das Pedal die PWM mehrerer VCOs gleichzeitig aussteuern.

Nun zur Aussteuerung der PWM durch einen LFO (Bild 3). Damit das Phasing der PWM – beeinflusst durch die modulierte Dreiecksspannung des LFO – über den gesamten Bereich

abläuft, muß der VCO folgendermaßen eingestellt sein. Zunächst wird ein Dreiecksausgang eines LFO mit der PWM-Eingangsbuchse (1) verbunden. Der Modulationseinsteller (2) ist auf Null gedreht; der PW-Einsteller (3) steht in Mittelstellung. Bei dieser Einstellung muß der bereits erwähnte hohle und klarinettenhafte Klang des symmetrischen Rechtecks zu hören sein. Eventuell ist eine leichte Korrektur des PW-Einstellers notwendig. Die Frequenz des LFO soll relativ hoch sein z.B. ca. 1 Hz. Dreht man nun den Modulationseinsteller (1) bis fast zum rechten Anschlag, begrenzt die obere und untere Spitze des Dreiecks den Rechteck-Klang. Eine leichte Korrektur am Modulationseinsteller hebt die Begrenzung auf; der Klang reißt also nicht mehr periodisch ab. Die PWM ist nun über den vollen Bereich wirksam, so daß man die Frequenz des modulierenden LFO nach den individuellen Wünschen einstellen kann. Die Schwebungsklänge der PWM klingen vor allem dann akzeptabel, wenn die PWM genügend langsam stattfindet. Das entspricht den durch mehrere VCOs entstandenen Schwebungen.

Bei der LFO-Aussteuerung liegt es nahe, für die PWM von drei VCOs je einen eigenen LFO zu benutzen. Durch die etwas unterschiedlich eingestellten Frequenzen der drei LFOs entstehen beim Zusammenmischen der drei Rechteck-Klänge sehr *komplexe Phasing-Muster*. Zu den natürlichen Schwebungen der drei VCOs kommen die drei unabhängigen Pulsweitenmodulationen hinzu, so daß diese Rechteck-Klänge sich anhören, *als wären deutlich mehr als drei VCOs im Spiel!*

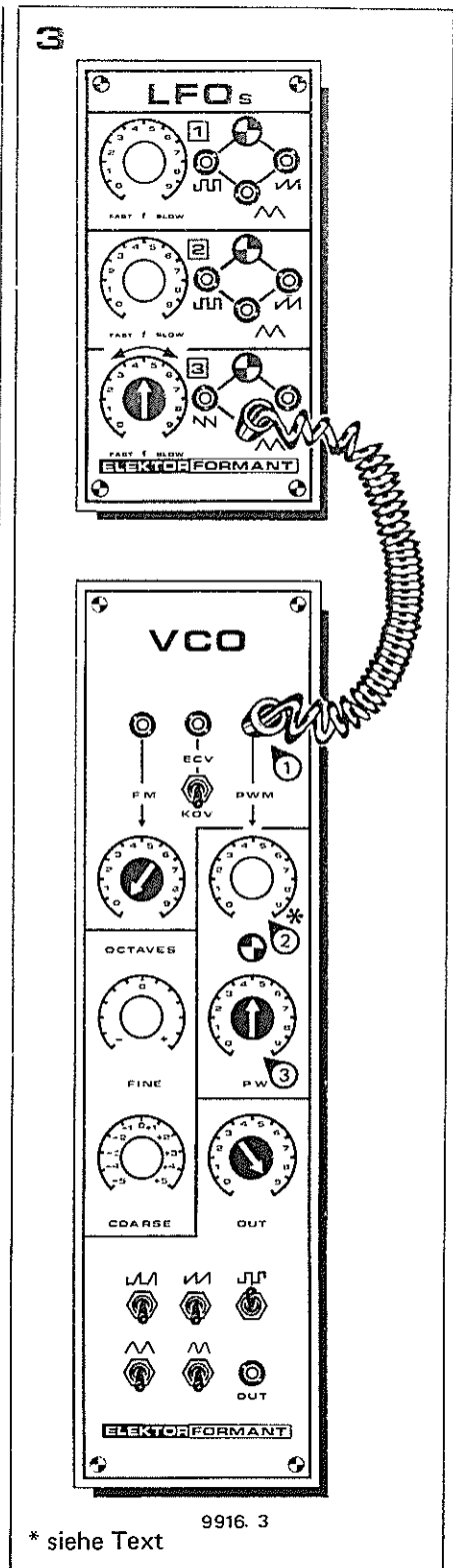
Aus solchen unabhängig modulierten Rechteckklängen mehrerer VCOs entstehen im FORMANT einige der eindrucksvollsten *orchestralen Klänge*.

### Ringmodulation mit Hilfe der PWM

Der FORMANT verfügt über keinen Ringmodulator. Es ist also interessant zu erwähnen, wie man intermodulationsreiche Klänge einfach mit Hilfe der PWM bei zwei oder mehr VCOs erzeugen kann.

Hierzu verbindet man den eingeschalteten Rechteck-Ausgang des zweiten VCOs (Bild 4) mit der PWM-Eingangsbuchse vom ersten VCO (1). Der OUT-Einsteller des zweiten VCOs ist dabei zuge dreht (2), steht also in Nullstellung. Für die Einstellung der beiden PW-Einsteller beim VCO 1 gilt ähnliches wie bei der LFO-Modulation. Diese Einstellungen sind hierbei nicht besonders kritisch.

VCO 1 ist über ein PATCHCORD (1) mit VCO 2 verbunden. Am Ausgang des ersten VCOs steht ein pulsweitenmodulierter Rechteck-Klang zur Verfügung, dessen Grundfrequenz VCO 1 bestimmt, während VCO 2 die Frequenz der PWM festlegt. Der OUT-

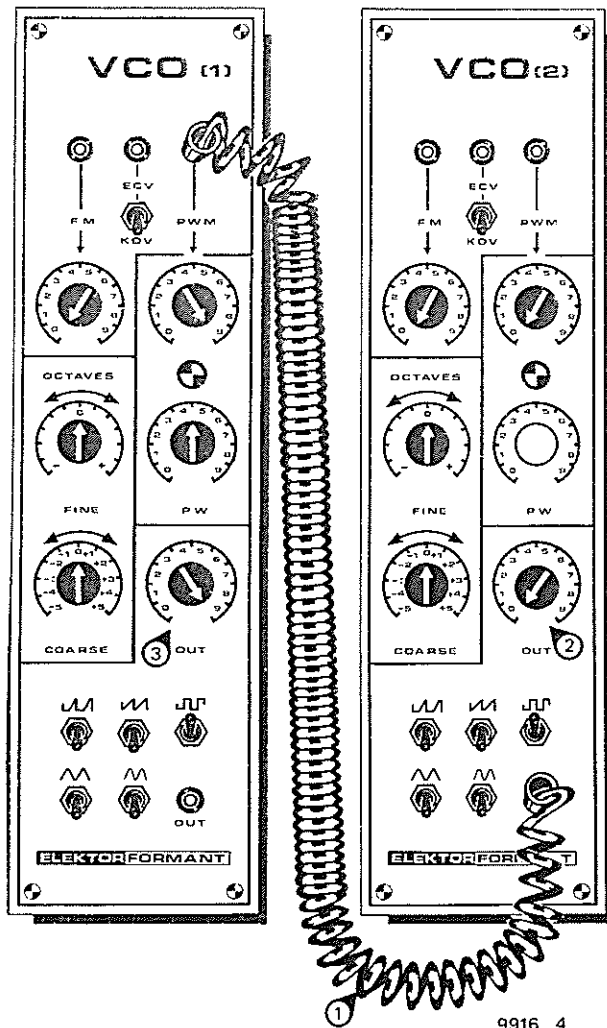


\* siehe Text

Bild 3. LFO-Steuerung der Pulsweitenmodulation

Bild 4. Ringmodulation mit Hilfe der Pulsweitenmodulation.

4



9916 4

Einsteller von VCO 1 (3) ist voll aufgedreht; im Gegensatz dazu steht der OUT-Einsteller von VCO 2 (2) auf Null.

Je nach Tonhöhen-einstellungen der beiden VCOs erhält man am Ausgang von VCO 1 typische Ringmodulator-Klänge, die wie bei einem echten Ringmodulator an die Geräusche eines Kurzwellenradios erinnern können. Einige Einstellungen liefern allerdings das recht interessante Grund-Timbre der glocken- und gongartigen Klänge, welches durch nichtharmonische Obertöne gekennzeichnet ist.

### Die Kurvenformen der VCOs

Ausführliche Erläuterungen hierzu sind dem Kapitel 3 vorbehalten. Es wird dort erläutert, welche Rolle die einzelnen Kurvenformen der VCOs bei der Synthese instrumenteller Klangfarben spielen.

Die interne Verdrahtung des FORMANT erlaubt es, die Kurvenformen beim Spielen schnell zu wechseln, mehrere Kurvenformen eines VCOs zu benutzen und die Signalanteile der einzelnen VCOs beliebig zu mischen. Um die Palette der Grundklänge für die weitere Synthese möglichst vielseitig zu gestalten, lohnt es sich, ausgiebig mit

Mischverhältnissen und Kombinationen der Kurvenformen zu experimentieren. Die musikalischen Besonderheiten der einzelnen VCO-Kurvenformen sind leicht erkennbar, wenn man sie mehrere Male für die Synthese benutzt hat. Sägezahn und Spaced-Sägezahn klingen blechern oder saitenhaft, wobei speziell der Spaced-Sägezahn mit seinem stärkeren Impulscharakter für "helle" Blechblasinstrumente sehr geeignet ist. Das Rechteck klingt — mit Ausnahme in der symmetrischen Einstellung — zwar ähnlich, jedoch sorgen die Einschnitte in der Spektralkontur für einen hohlen Klang, was mehr einem Klavier und den Grundklängen vieler Rohrflöten (z.B. Oboe, Fagott) nahekommt. Das symmetrische Rechteck klingt mehr nach einer Klarinette, obwohl zum exakten Klarinettenklang eine zusätzliche Klangformung — wie im übrigen bei dem Fagott und der Oboe — durch das Resonanzfilter erforderlich ist, genaueres hierzu in Kapitel 3. Das Dreieck klingt wie eine (hölzerne) Flöte, insbesondere in den hohen Lagen. Das Dreieck im FORMANT ist zwar kein echtes, sondern wie in vielen Synthesizern aus dem Sägezahn abgeleitet. Es zeichnet sich durch ein sehr weiches und musikalisches Timbre

aus. Der Sinus der FORMANT-VCOs klingt dunkler. Der relativ hohe Klirrfaktor des Sinus sorgt dafür, daß er nicht zu stumpf und ausdruckslos klingt.

Durch Kombinationen der Kurvenformen bei den einzelnen VCOs und entsprechendes Mischen lassen sich sehr differenzierte und eigenwillige Klangfarbenstrukturen ableiten. Klänge, die einer Hammondorgel ähneln oder auch Klänge von mehreren Instrumenten gleichzeitig, sind ohne weiteres möglich.

### Frequenzmodulation

Die Formant-VCOs sind mit einer Eingangsbuchse "FM" für elektronische Frequenzmodulation versehen. Die Stellung des unter der Buchse angebrachten Einstellers ist für die Stärke der einwirkenden Frequenzmodulation maßgebend. Wie bei der PM kann man auch die FM mit verschiedenen Spannungsquellen aussteuern, wobei der LFO die wichtigste Modulationsquelle ist.

Im Folgenden werden drei Modulationsarten kurz erläutert.

#### a) Vibrato

Dies ist die einfachste, unauffälligste und vielleicht musikalisch wichtigste Frequenzmodulation. Dabei verbindet man den Dreieck-Ausgang eines LFOs mit der FM-Buchse des jeweiligen VCOs. Der FM-Einsteller, direkt unter der FM-Buchse, wird nun sehr gefühlvoll aufgedreht, bis eine geringe Modulation vorhanden ist. Die am LFO eingestellte Modulationsfrequenz ist für ein wohlklingendes Vibrato je nach Instrument recht unterschiedlich (zwischen ca. 1 Hz und 10 Hz); sie beträgt in der Regel ca. 5 Hz.

Das Vibrato verleiht dem VCO-Klang einen singenden Charakter und ist für manche Klänge, z.B. bei Streicherklängen, eine wichtige Nuance. Beim FORMANT kann man jeden VCO einzeln mit einem unabhängigen Vibrato ausstatten. Dies führt — ähnlich wie bei der PWM — zu dichteren orchestralen Klangstrukturen.

Es soll noch erwähnt werden, daß der Ausdrucksgehalt von Vibrato-Klängen nuancenreicher wird, wenn man den FM-Einsteller beim Spielen mit der linken Hand langsam auf- und zudreht. Dadurch entsteht das Vibrato erst in einer bestimmten Phase des Tones oder es klingt dort bereits wieder ab.

#### b) "Tiefe" FM

Dreht man den FM-Einsteller — während alle übrigen Einstellungen erhalten bleiben — immer weiter auf, entstehen (bei Dreieckmodulation) sirenenartige Klänge, die sich über den gesamten Hörbereich erstrecken. Dies ist ein Beispiel für "tiefe" FM. Je nach Kurvenform beim LFO und seiner eingestellten Frequenz sowie je nach den Einstellungen des VCOs entstehen recht viele Klänge und Geräusche, die

oft sehr *elektronisch* klingen; sie können jedoch zusammen mit der folgenden Klangformung recht interessant sein. Auch Experimente mit unabhängigen Rechteckmodulationen bei den einzelnen VCOs sind lohnenswert. Auf diese Weise entstehen manchmal rhythmisierte (und auf der Tastatur spielbare) Klangstrukturen.

### c) Kreuzmodulationen

Für die Liebhaber von Kurzwellengeräuschen gibt es noch eine wirksame Steigerung der elektronischen Klänge. Man verbindet kreuzweise die Ausgänge und FM-Eingänge zweier VCOs. Nach Belieben werden die FM- sowie die OUT-Einsteller der beiden VCOs auf- und zuge dreht. Auf der Tastatur probiert man bei gleichzeitigem Verstellen der COARSE-Einsteller der beiden VCOs aus, welche "Sphärenklänge" hierbei entstehen.

## ECV/KOV und Überprüfung der Oktavschritte

Steht bei dem jeweiligen VCO der Kippschalter ECV/KOV in der Stellung KOV, steuert die Tastaturspannung die Tonhöhen dieses VCOs. Dies ist die Einstellung zum Spielen auf der Tastatur des FORMANT. Steht der Kippschalter auf ECV, ist die Tastatur nicht mehr tonhöhenbestimmend. Vielmehr kann jetzt der VCO durch eine externe Steuerspannung mit 1 V/Oktave über die Buchse ECV angesteuert werden. An diese Buchse kann man z.B. den Steuerspannungsausgang eines Sequenzers oder eines zweiten Keyboards (mit eigenem Interface) anschließen. Wird die Buchse ECV nicht benutzt und steht außerdem der Kippschalter weiter auf "ECV", ist die Tonhöhe von der Tastatursteuerspannung unabhängig. Dies ermöglicht eine schnelle Überprüfung der Oktav-Stimmung der übrigen VCOs. Es empfiehlt sich, anhand der nachfolgend beschriebenen Methode die Genauigkeit der Oktavschritte bei jedem der VCOs zu überprüfen.

Bei einem VCO (VCO 1 in Bild 6) steht der Kippschalter in Stellung ECV (1). Die Tonhöhe des VCOs ist mit dem COARSE-Einsteller (2) auf ca. 400 ... 500 Hz einzustellen. Für das Stimmen des zweiten VCOs drückt man die oberste Taste (3) und gleicht ihn mit seinem COARSE- und FINE-Einsteller exakt auf die Frequenz von VCO 1 ab. Bei genauer Übereinstimmung der beiden Frequenzen ist Schwebungsnull erreicht (4). Die oberste Taste bleibt während des gesamten Stimmens gedrückt. Der VCO-Abgleich wird nun eine Oktave tiefer überprüft (5). Die Prüfung erfolgt in weiteren Oktavensprüngen über die gesamte Tastatur. Erzeugen die zusammengemischten VCO-Signale bei

den tieferen Oktaven nur langsame Schwebungen, ist der zweite (zu überprüfende) VCO genügend genau gestimmt (5).

Auch bei höheren Referenzfrequenzen des VCO 1 (z.B. 2 oder 4 kHz) kann man sich mit der beschriebenen Methode davon überzeugen, daß nicht nur die Oktavsteuerspannung V/Oktave genügend genau ist, sondern ebenso das high-frequency-tracking des zweiten VCOs.

Die Genauigkeit der Oktavschritte ist sehr wichtig und sollte deshalb peinlich genau abgeglichen werden. Gegebenenfalls sind die beiden Trimmer V/Oktave und high-frequency-tracking bei jedem einzelnen VCO nachzujustieren.

## Interface

Das Interface des FORMANT speichert und transponiert die Tastatur-Steuerspannungen. Außerdem erlaubt es eine Verschleifung der Steuerspannungsschritte in Form des Portamento. Ebenfalls ist Frequenzmodulation – ähnlich wie bei den einzelnen VCOs – möglich. Das Interface liefert einen prellfreien Gateimpuls, der für das

genaue timing der ADSR-Hüllkurven-Generatoren zuständig ist. Die Interface-Schaltung ist mit im Tastatur-Gehäuse untergebracht.

Die im Abschnitt "Frequenzmodulation" gegebenen Hinweise gelten sinngemäß auch beim Abgleich des FM-Einstellers und der Benutzung der FM-Buchse. Die Frequenzmodulation des Interfaces wirkt gleichzeitig auf alle VCOs und auf das VCF Tracking-Filter. Mit der Dreiecksspannung eines LFO läßt sich also z.B. eine Art "Master-Vibrato" bei allen VCOs erzeugen. Auf die Möglichkeit der Summation von Frequenzmodulationen beim Interface und den einzelnen VCOs – z.B. im Zusammenhang von *elektronischen Geräuschen* – sei hier nur kurz hingewiesen.

Die zwei Einsteller COARSE und FINE (OCTAVES) dienen analog zu den gleichbenannten Einstellern der VCOs zum gleichzeitigen Stimmen aller VCOs sowie des VCF-Tracking-Filters auf bestimmte Tonhöhenlagen. Von dieser Möglichkeit ist nur bewußt Gebrauch zu machen. Bereits im Abschnitt "Stimmen der VCOs" ist erwähnt, daß mit dem Einsteller COARSE die Tonhöhe nicht mehr erhöht werden sollte, wenn man bei abgestimmten

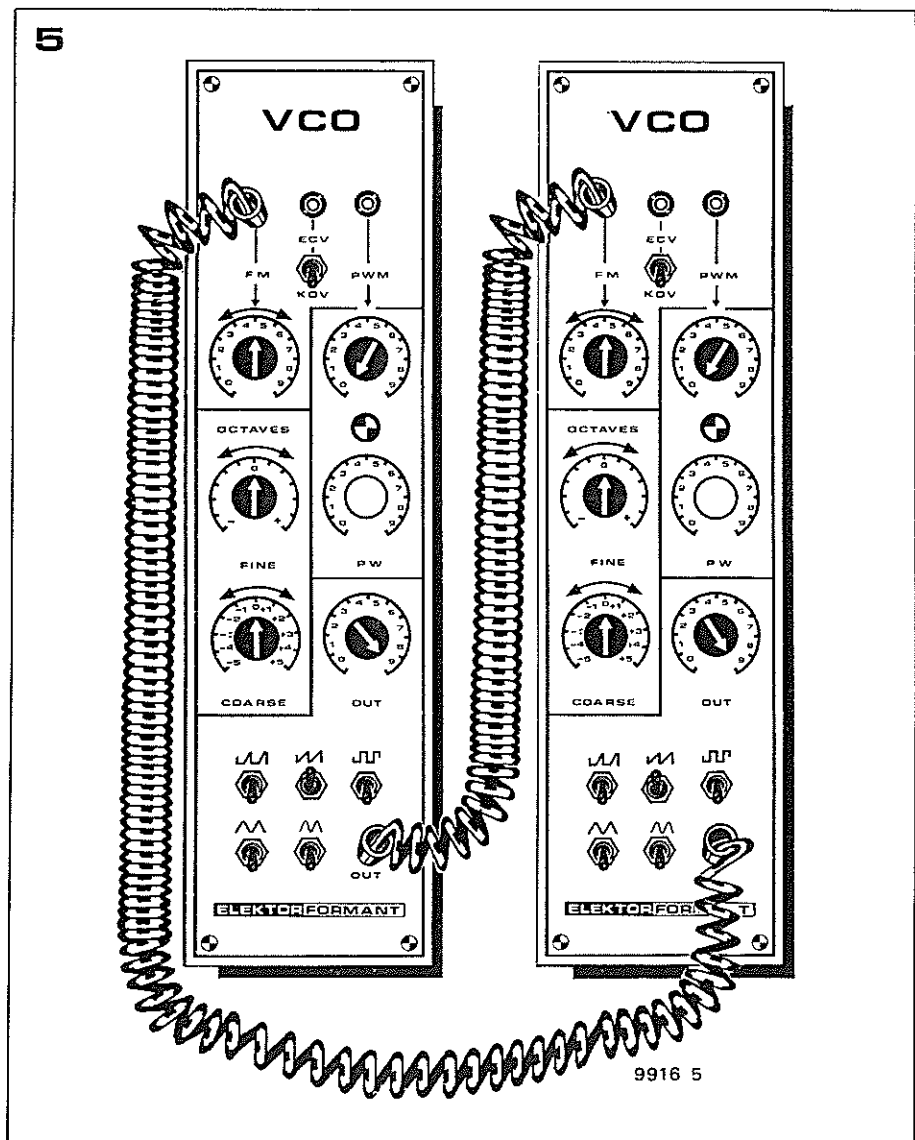
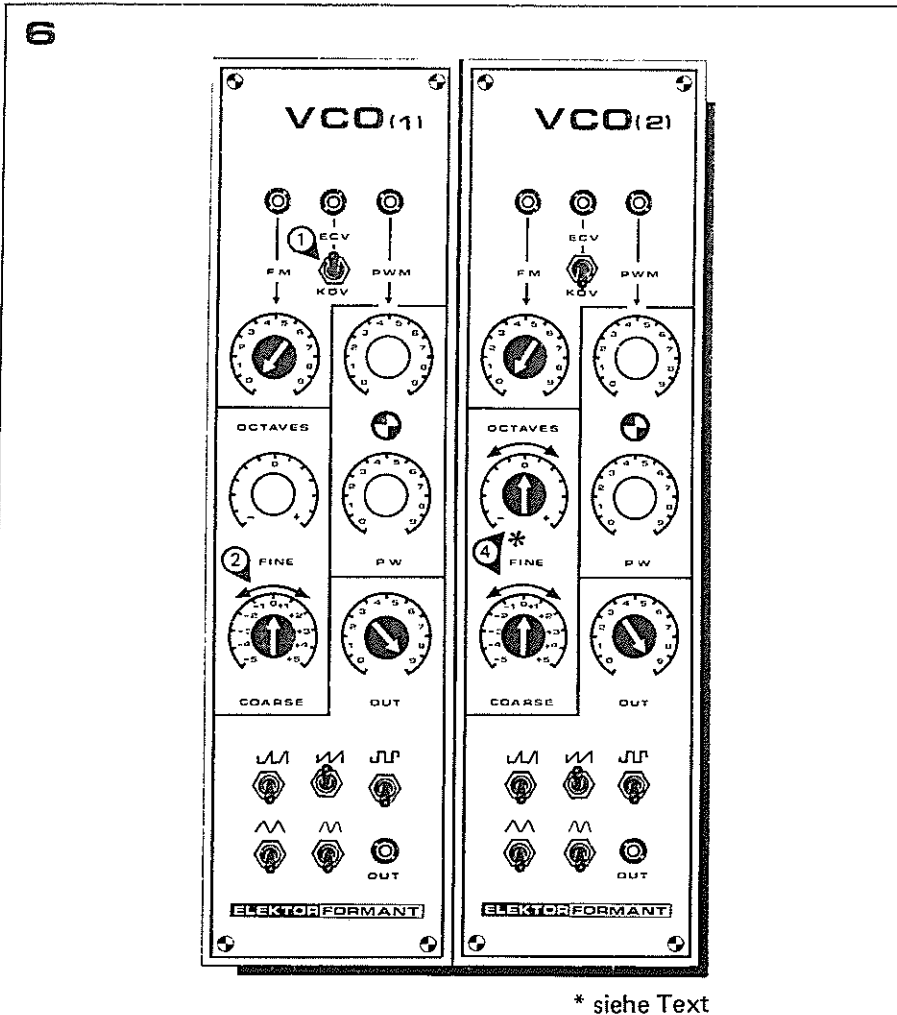


Bild 5. Kreuzmodulation

Bild 6. Genauigkeitsüberprüfung der Oktavschritte bei einem VCO.

VCOs auf schwebungsarme Klänge Wert legt. Doch davon abgesehen, erzeugt der COARSE-Einsteller des Interfaces wirkungsvolle Tonhöhenverschiebungen und Geräusch-Veränderungen. Beide Regler zusammen ermöglichen es, den FORMANT leicht auf die Tonhöhen beliebiger Musikinstrumente zu stimmen.

Mit dem ON/OFF-Schalter besteht die Möglichkeit, den COARSE-Einfluß abzuschalten; dies erleichtert die anfängliche Orientierung im Umgang mit dem FORMANT. Zusätzlich läßt sich dieser Schalter dazu benutzen, eine Transponierung zu programmieren. Steht der Kippschalter in Stellung OFF, ist die Grundstimmung des FORMANT wirksam. Die Höheneinstellung der zweiten Tonart läßt sich mit den COARSE-Einsteller vorwählen, so daß durch einfaches Umschalten der FORMANT seine Grundstimmung einmal wechseln kann. Mit dem Portamento stellt man die Gleitgeschwindigkeit der Tonhöhenänderung ein. Dadurch sind die in der Musik üblichen Glissando-Effekte sowie auch den Synthesizern eigenen "glides" möglich. Bedient man beim Spielen auf der Tastatur mit der linken Hand gleichzeitig den Portamento-Einsteller, entwickeln sich nuancenreichere Glissandos als bei einem fest-eingestelltem Portamento. So entsteht z.B. ein ähnlicher Tonverlauf, als wenn man die Saite einer Gitarre "zieht".

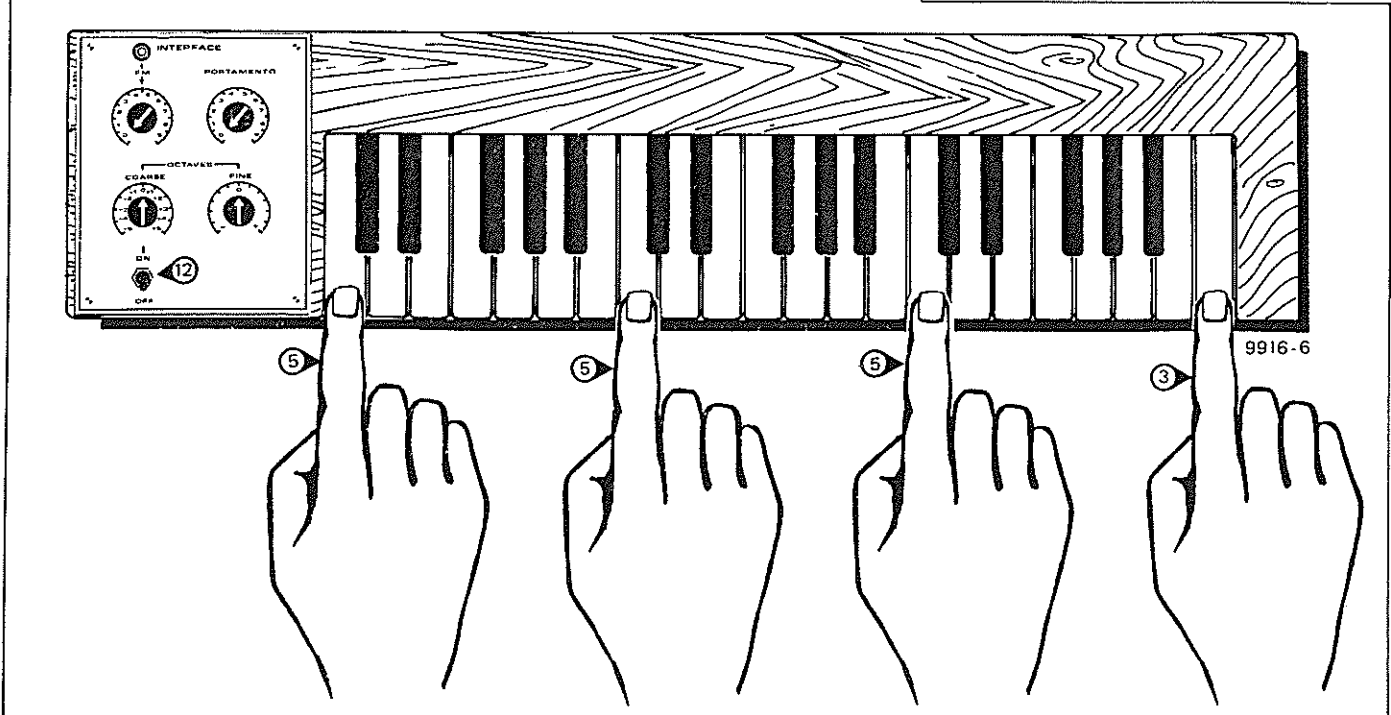


Die VCFs

Haupteigenschaften

Zum vollständig aufgebauten FORMANT gehören zwei verschiedene Filter, deren Zusammenwirken eine differenziertere Klangfarbenformung erreicht als man dies von vergleichbaren Synthesizern gewohnt ist. Insbesondere das Resonanzfilter-Prinzip ermöglicht die Synthese einer Anzahl von Instrumentalklängen, die sich mit üblichen Synthesizern (mit Ausnahme der Studio-Ausführungen) nur sehr unzulänglich erzeugen lassen.

\* siehe Text



Die VCFs eignen sich als *Tracking Filter mit dynamischer Hüllkurvenaussteuerung*, wobei das State-Variable-VCF mit seiner geringeren Steilheit besonders gut für die Erzeugung "heller" und "durchsichtiger" *Klangfarbendynamiken* geeignet ist, während ein 24 dB-VCF "mächtige" und "symphonische", oft auch realistischere Klangfarbendynamiken erzeugt (*"MOOG-Sound"*).

Beide VCFs eignen sich zur *Vorfilterung* einzelner Klänge. Speziell das State-Variable-VCF mit seiner Bandpaß-Funktion sowie der unabhängigen Einstellung der Mittenfrequenz und des Q-Faktors ist als Resonanzfilter geeignet.

In der Kombination beider Filter bietet sich das 24 dB-VCF (Tiefpaß) als dynamisches Tracking Filter an, welches für eine nuancierte Klangfarbendynamik sorgt, während das State-Variable-Filter mit seiner Bandpaßfunktion als Resonanzfilter bestimmte Formantenbereiche akzentuiert. Die Filterfrequenz beider VCFs läßt sich entsprechend zu den Tonhöhen (Grundtonfrequenzen) der VCOs kontinuierlich über den Hörbereich verändern. Die untere Grenze der Filterfrequenz liegt in der Regel unter 15 Hz. Diese Frequenz ist ausreichend, um das entsprechende VCF für die VCO-Signale zu sperren. Jedes der beiden VCFs hat einen internen Mischer für die VCO-Signale.

Als Tracking Filter ist das jeweilige VCF fest intern mit "seinem" ADSR-Generator verbunden. Die Modulationsstärke der einwirkenden Hüllkurve läßt sich am jeweiligen ENV-Einsteller des VCFs einstellen. Beide VCFs haben einen Q-Einsteller, der die Filterresonanz (unabhängig von der Filterfrequenz) einstellt. Eingänge für Timbre-Modulation (auch Pedalanschluß) und externe Audio-Signale (ES-Buchse) vervollständigen die Vielseitigkeit der VCFs. Beim State-Variable-VCF kann man mit Hilfe von drei Kippschaltern 4 verschiedene Grundfilterfunktionen einstellen: 12 dB Hochpaß, 12 dB Tiefpaß, 6 dB Bandpaß und Sperrpaß (Kombinationen der verschiedenen Schalterstellungen erzeugen ungewöhnliche Filterfunktionen wie z.B. Allpaß oder die elliptische Funktion). Beim 24 dB-VCF stellt man mit den Kippschaltern einmal die Hochpaß- bzw. Tiefpaß-Funktion und die Steilheit (12 dB bzw. 24 dB) ein.

### Einstellung des VCF als Tracking Filter

Ausgangspunkt ist die im Abschnitt "Stimmen der VCOs" beschriebene Grundeinstellung des FORMANT. In der dort vorgestellten VCF-Einstellung konnten die VCO-Signale unverändert das Filter passieren. Das VCF, das als Tracking Filter mit Hüllkurvenaussteuerung benutzt wird, ist intern fest mit dem Ausgang "seines" ADSR-Hüllkurven-Generators verbunden. In der nachfolgend beschriebenen

Einstellung arbeitet das VCF als Tracking Filter (Bild 7).

Der Kippschalter ECV/KOV muß in Stellung KOV stehen (1). Als Filterfunktion wird beim State-Variable-VCF oder beim 24 dB-VCF mit Hilfe des entsprechenden Kippschalters (unten auf der Frontplatte) der Tiefpaß angewählt (2). Die TM- (3) und ES-Einsteller (4) stehen auf Null; das gilt auch für den Q-Einsteller (6). Nun dreht man, während gleichzeitig die Ausgangsklänge abgehört werden, den OCTAVES-Einsteller des VCFs langsam nach links. Dabei wird der Klang der VCOs immer dunkler. Man dreht den OCTAVES-Einsteller so weit nach links, bis der Klang der VCOs gerade nicht mehr zu hören ist. Durch Drücken der obersten und untersten Keyboardtaste (7) überprüft man, ob das Tracking-Filter für alle Tonhöhen des Spielbereichs in dieser Einstellung undurchlässig ist. Gegebenenfalls muß man den OCTAVES-Einsteller noch einmal nachstellen. Ist die Einstellung trotzdem nicht zufriedenstellend, muß der "V/Oktave"-Trimmer im jeweiligen VCF noch einmal nachjustiert werden. Nach der exakten Einstellung läßt das Tracking Filter die VCO-Klänge an seinem Eingang nicht passieren. Dies ist die Voraussetzung dafür, daß die Spannungskontur des zugeordneten ADSR-Hüllkurven-Generators das VCF (Tiefpaß) mit einem bestimmten Verlauf "öffnet" und "schließt", sobald man eine Taste drückt und wieder losläßt.

Während man nun verschiedene Tasten drückt, wird der ENV-Einsteller (8) des VCFs langsam nach rechts gedreht. Dabei läßt die eingestellte Hüllkurve den einzelnen Ton mit einer bestimmten Klangfarbendynamik entstehen und ausklingen. Je weiter den ENV-Einsteller nach rechts gedreht ist, umso kräftiger ist die Klangfarbendynamik. Am Endanschlag des Einstellers entsteht eine helle und klirrende Dynamik, die musikalisch oft nicht mehr sinnvoll ist. Speziell beim 24 dB-VCF (Tiefpaß) empfiehlt sich eine sehr aufmerksame und genaue Einstellung des ENV-Einstellers, da dieses Filter eine sehr differenzierte Klangfarbendynamik erzeugen kann. Es ist auch bei perkussiven AD-Hüllkurven sehr wichtig, daß der ENV-Einsteller nicht zu weit aufgedreht ist, da sonst das VCF von der Spannungskontur des ADSR-Generators übersteuert wird und die perkussive Spitze der Hüllkurve sich nicht mehr auf die Klangfarbendynamik überträgt.

Nachdem nun das Tracking Filter grundsätzlich eingestellt und aktiviert ist, variiert man zum Kennlernen einige Parameter. Ändert man z.B. die Zeitkennzeichen sowie die Charakteristik der ansteuernden Hüllkurve (9), wechseln bei eingestellter Sägezahnkurvenform der VCOs blechblasinstrumentenartige Klänge mit saiteninstrumentenartigen Klängen ab. Wird gleichzeitig die Stellung des ENV-Einstellers

variiert, ändert sich auch die Klangfarbendynamik. Wählt man noch zusätzlich verschiedene Kurvenformen der VCOs an, entstehen z.B. Klarinetten-, Flöten-, Vibrafon- und holzblasinstrumentenartige Klänge. Dreht man den Q-Einsteller langsam auf, bilden sich WAWA-artige und seltsam klingende (oft sprachähnliche) Töne. Für natürlich klingende Klangfarbendynamiken muß der Q-Einsteller fast oder völlig nach links gedreht sein. Zur Einstellung des Tracking Filters wird praktisch immer nur die Tiefpaß-Funktion benötigt. Für "phantastische" Klänge kann jeder Ausgang der beiden VCFs benutzt werden. Beim VCF kann man mit allen möglichen Einstellungen experimentieren. So z.B. mit einer "umgekehrten" Hüllkurvenaussteuerung des Hochpasses beim jeweiligen VCF oder mit phaserhaften Notch-Klängen beim State-Variable-VCF. Dabei ist allerdings nicht aus den Augen zu verlieren, daß der Tiefpaß in der eingangs beschriebenen Einstellung die ergiebigste Form der Klangfarbendynamik erzeugt.

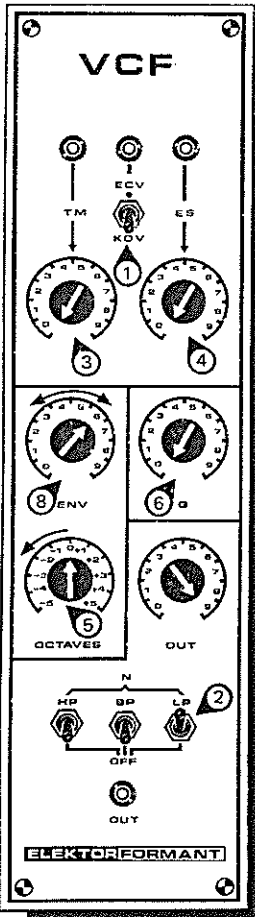
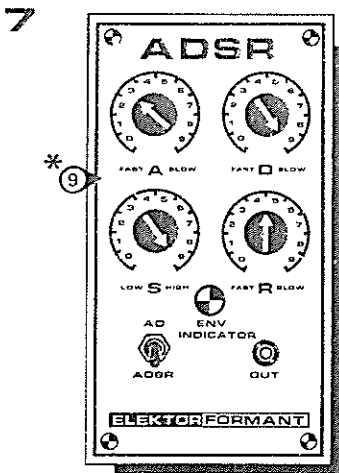
### Einstellung des VCFs als Resonanzfilter

Während das VCF in der gerade beschriebenen Einstellung die Formung der Klangfarbendynamik übernimmt, hebt das VCF als Resonanzfilter auf statische Art einzelne Obertonbereiche hervor (Formantenbildung). Die Filterfrequenz wird bei dem einzelnen Ton bzw. den verschiedenen Tonhöhen dabei nicht verändert. Das Resonanzfilter simuliert den für viele Instrumentalklänge wichtigen Einfluß der Resonanzbedingungen bei den meisten der "normalen" Musikinstrumenten. Das unabhängige Resonanzfilter, welches die Formantenbildung erlaubt, hat dem ELEKTOR-Musik-Synthesizer seinen Namen FORMANT gegeben. Für diese Filteranwendung ist insbesondere das State-Variable-VCF mit Bandpaß und variabler Güte (Q) besonders gut geeignet.

Ist der FORMANT mit nur einem VCF — dem State-Variable-Filter — ausgestattet, wird die Dynamik der einzelnen Töne nur von dem DUAL-VCA geformt. Sind jedoch bereits beide VCFs vorhanden, kann man — je nach Klang — entweder das zweite VCF als dynamische Tracking Filter oder den DUAL-VCA zur Formung der Tondynamik benutzen. Im zweiten Fall sind die resultierenden Instrumentalklänge viel differenzierter, so daß die Anschaffung von zwei VCFs lohnenswert ist.

Wenn man das State-Variable-VCF als Resonanzfilter benutzt (Bild 8), muß zunächst der Kippschalter "ECV/KOV" in Stellung "ECV" stehen (1), während als Filter der Bandpaß eingeschaltet ist (2). Der ENV-Einsteller (3) steht ganz am Nullanschlag, dagegen steht der Q-Einsteller zu Beginn in Mittelstellung





\* siehe Text

(4). Wie beim Stimmen der VCOs und beim Experimentieren mit dem Tracking Filter sollen die VCOs wiederum "helle" Kurvenformen liefern. Der OUT-Einsteller des VCFs ist voll aufgedreht (5), so daß die entstehenden Klänge gut hörbar sind. Dreht man den OCTAVES-Einsteller (6) des VCFs langsam von rechts nach links, wird die Einwirkung der sich verändernden Mittenfrequenz des Bandpasses (mit mittelgroßem Q) deutlich. Die VCO-Tonhöhen sollten dabei ca. 200 Hz betragen. Die sich bildenden Klänge sind zunächst dunkel, werden dann "vokalartig" (man hört ein angedeutetes u, o, e, a und i) und gehen abschließend, wenn der OCTAVES-Einsteller fast aufgedreht ist, in spitz und dünn klingende Töne über.

Ändert man nun den Q-Faktor und dreht den OCTAVES-Einsteller wieder langsam von links nach rechts, ist bei höherem Q-Faktor die Einfärbung des Ausgangsklanges noch deutlicher; es werden noch engere Formantenbereiche akzentuiert. Bei niedrigem Q-Faktor verblaßt die jeweilige Einfärbung und der Vokal-Charakter verliert sich immer mehr.

Ist der Q-Einsteller ungefähr in Mittelstellung und der OCTAVES-Einsteller so benutzt, daß der Bandpaß in etwa einen vokalartigen Klang erzeugt, beträgt die Mittenfrequenz zwischen 100 und 2000 Hz. In diesem Bereich der Vokal-Klänge liegen die meisten musikalisch relevanten Resonanzen.

Bei sorgfältig eingestelltem Q-Faktor und Mittenfrequenz des Bandpasses ist dem FORMANT bei vielen Instrumentalclängen ein zusätzliches, den Realismus der Klänge unterstreichendes Timbre eigen. Das ist eine wichtige Besonderheit des FORMANT-Synthesizers. Wie dies im einzelnen realisiert ist, beschreibt ausführlich Kapitel 3.

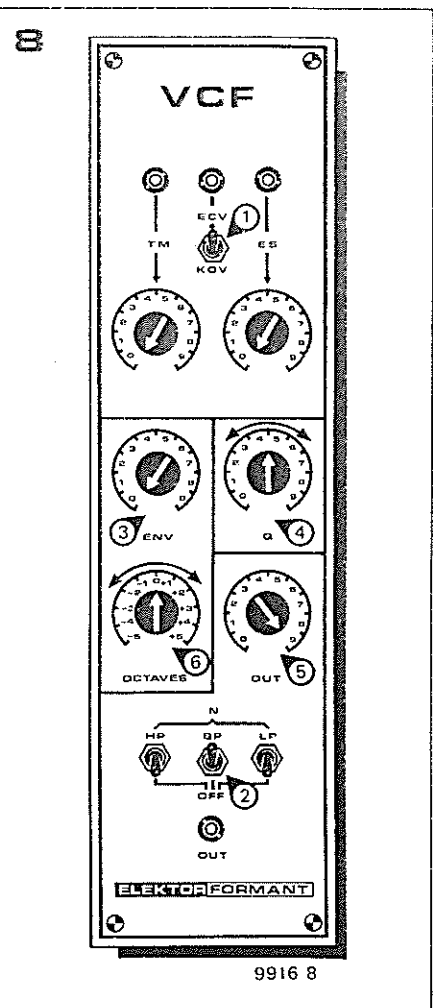
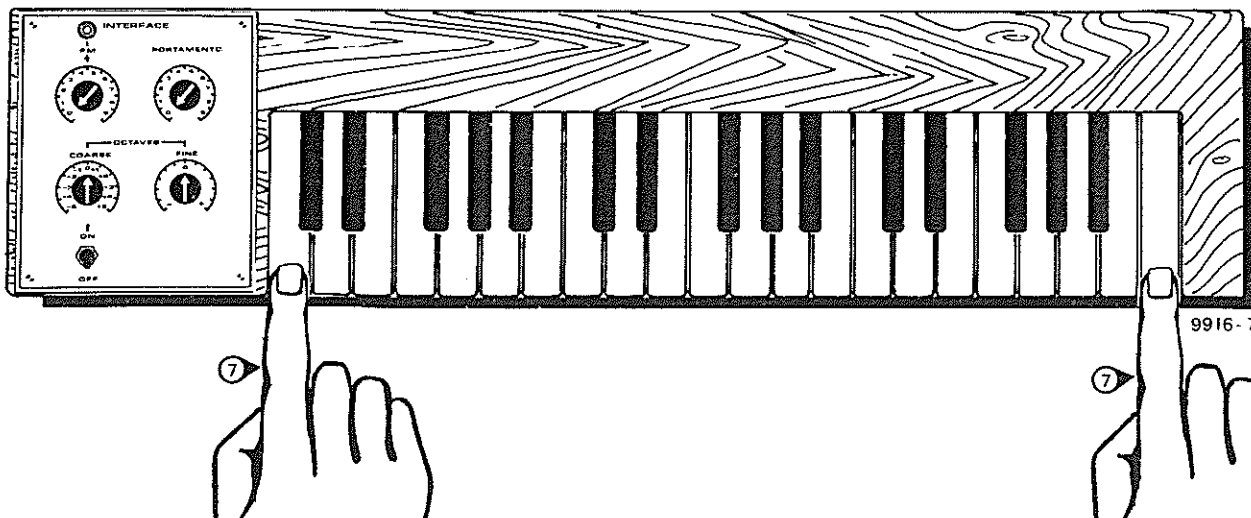


Bild 7. Einstellung des Tracking Filters.

Bild 8. Einstellung des VCF als Resonanzfilter.



9916-7

## Weitere Filteranwendungen

### Modulierter Bandpaß-Resonator

Es bleiben alle VCF-Einstellungen für das Resonanzfilter erhalten. Über die Steuerspannungsbuchse TM wird zusätzlich der Dreieck-Ausgang eines sehr langsam schwingenden LFO mit dem VCF verbunden. Dabei ist der TM-Einsteller halb aufgedreht. OCTAVES- und TM-Einsteller müssen nun so aufeinander abgestimmt werden, bis ein befriedigender Laufbereich der Bandpaß-Modulation gefunden ist. Mit dem Q-Einsteller wählt man abschließend den Akzentuierungsgrad der Bandpaß-Modulation.

Solche Klänge, besonders die mit einem langsamen LFO-Signal modulierten, sind mit ihren feinen, sich dauernd ändernden Klangfarben sehr schön anzuhören. Sie erinnern stark an einen Phaser.

### Pedalgesteuertes WAWA

Mit der Resonanzfilter-Grundeinstellung läßt sich das State-Variable-VCF auch als pedalgesteuertes WAWA benutzen, was eine sinnvolle Erweiterung der Spielmöglichkeiten des FORMANT mit sich bringt. Die ADSR-Hüllkurven

eignen sich meist weniger zur WAWA-Aussteuerung. Sie sind zu starr und in diesem Zusammenhang zu umständlich zu programmieren, während ein Pedal eine schnelle und flexible WAWA-Aussteuerung ermöglicht. Das (selbstgebaute) Pedal sollte – je nach Stellung – über ein zweipoliges Kabel und einen zweipoligen Klinkenstecker eine Steuerspannung zwischen 0 V und ca. plus 5 V abgeben. Pedal-Experimente empfehlen sich auch bei der Aussteuerung des bereits beschriebenen Tracking Filters; dabei wird der ADSR-Generator durch das Pedal ersetzt).

Das State-Variable-VCF wird folgendermaßen als pedalgesteuertes WAWA eingestellt (die Zahlen im folgenden Text beziehen sich auf Bild 9). Zuerst wird das Pedal an der Buchse "TM" angeschlossen (1). Der TM-Einsteller selbst aber steht zu Beginn auf Null (2). Bei der Resonanzfilter-Einstellung steht der Kippschalter (3) auf ECV und Kippschalter (4) auf Filterausgang "Bandpaß".

Während verschiedene Töne im vorgesehenen Spielbereich auf der Tastatur angeschlagen werden, stellt man den OCTAVES-Regler (5) so ein, daß der entstehende Klang genügend "dunkel" oder leise ist. Dabei befindet sich das Pedal in Ruhestellung. Bei ganz durch-

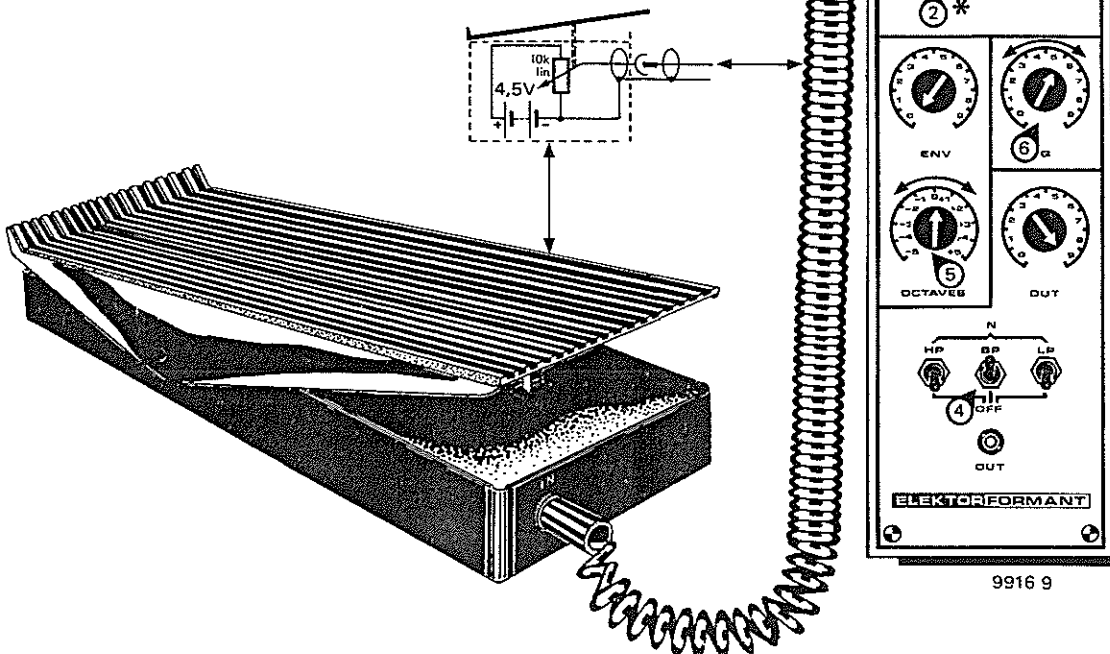
getretenem Pedal stellt man mit dem TM-Einsteller (2) ein, wie weit das WAWA sich "öffnen" soll. Die Einstellung muß für mehrere Töne im Spielbereich wiederholt werden. In der Regel wählt man die Einstellung so, daß bei voll durchgetretenem Pedal und mittlerem bis hohem Q-Faktor (6) der Bandpaß einen vokalartigen Klang ähnlich dem "a" erzeugt.

Nachdem nun der Startpunkt des WAWA mit dem OCTAVES-Einsteller und der Laufbereich mit dem TM-Einsteller eingestellt sind, ist das WAWA betriebsbereit. Es stellt sich ein anderer WAWA-Klang ein, wenn während des Spielens der Q-Faktor verändert und als Filter der Tiefpaß angewählt ist. Durch sorgfältiges Einstellen der relevanten Parameter (OCTAVES, Q-Einsteller und Tief- bzw. Bandpaß) läßt sich mit dem State-Variable-VCF sehr genau die jeweilige Klangcharakteristik jeder der verschiedenen, von den Musikern oft gebrauchten WAWA-Typen verwirklichen. Mit anderen Worten: Das pedalgesteuerte State-Variable-VCF ist ein ideales WAWA mit programmierbaren Klangeigenschaften.

Es ist auch möglich, das WAWA für die E-Gitarre zu benutzen. Das verstärkte und möglichst mit starker Höhenanhebung versehene E-Gitarren-Signal

9

\* siehe Text



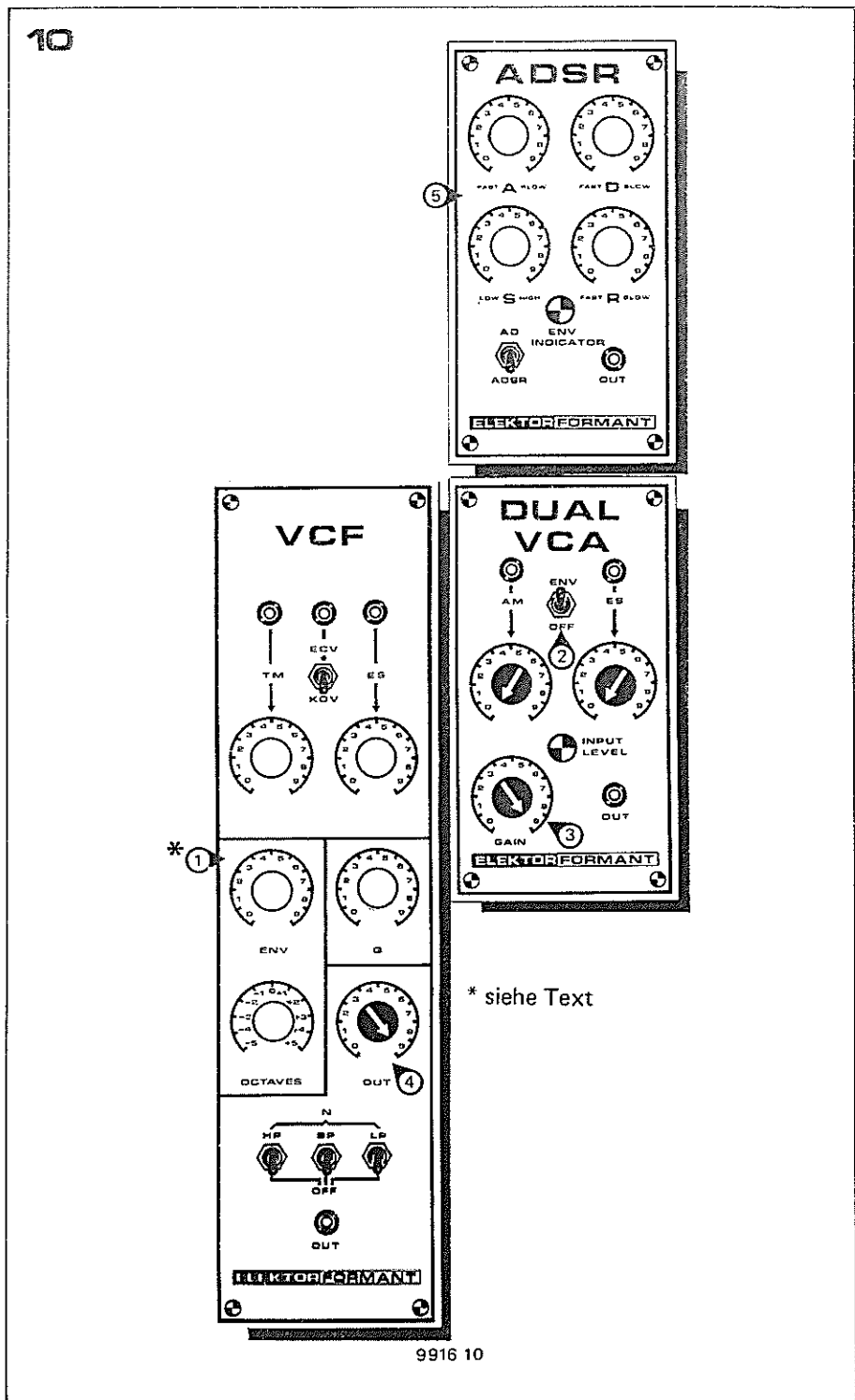
wird mit der Eingangsbuchse ES verbunden. Dabei muß der ES-Einsteller ganz aufgedreht sein. Auf weitere Hinweise für die Benutzung der VCF-Module wird an dieser Stelle verzichtet. Weitere Möglichkeiten wie z.B. die Timbre-Modulation durch einen LFO lassen sich leicht selbständig ausprobieren. Die beiden VCFs (das State-Variable-VCF und das steile 24 dB-VCF) können noch *in einer Reihe weiterer Konfigurationen* verbunden werden. Dem Musiker sind in seiner Kreativität dabei keine Grenzen gesetzt.

## DUAL-VCA Haupteigenschaften

Die beiden unabhängigen gain-blocks im VCA erlauben sowohl eine exponentielle ADSR-Hüllkurvenaussteuerung für eine realistische Lautstärke-Konturierung, als auch eine zusätzliche unabhängige lineare Tremolomodulation. Wie beim Tracking Filter ist der DUAL-VCA intern fest mit dem Ausgang seines ADSR-Generators verbunden. Um eine optimale Lautstärke-Konturierung zu erhalten, ist lediglich ein Kippschalter zu betätigen. Eine Aussteuerungsanzeige sorgt für die optimale Dimensionierung des Eingangssignals, so daß Rauschen oder Verzerrungen nicht störend in Erscheinung treten können. Der Grad der linearen Amplitudenmodulation ist kontinuierlich von 0% bis 100% einstellbar. Der Eingang ES für externe Audio-Signale vervollständigt das DUAL-VCA-Modul. Der Steuereingang für Amplituden-Modulation läßt eine Pedalaussteuerung des VCAs zu.

## Klangfarben- bzw. Lautstärke-Dynamik

Bei der Beschreibung des Tracking Filters wurde deutlich, wie man die Klangfarbendynamik des Tones formt. Der DUAL-VCA ermöglicht analog die Formung der Lautstärkedynamik (ohne Klangfarbenveränderungen). Bei den meisten "natürlichen" Klängen gibt es sowohl eine kennzeichnende Klangfarben – wie Lautstärke-Dynamik. Beginnt man sich mit dem FORMANT zu beschäftigen, empfiehlt sich eine Vereinfachung. Man probiert, welche der beiden Dynamiken für den jeweiligen Klang prägnanter ist. Bei vorherrschender Klangfarbendynamik wird das dynamische Tracking Filter zur Formung der Tonverläufe verwendet. Steht jedoch die bloße Lautstärkedynamik im Vordergrund, kommt der DUAL-VCA zum Einsatz. Im Kapitel 3 werden hierzu nach praktische Hinweise gegeben. Wird der DUAL-VCA zur Konturierung des Lautstärkeverlaufs des einzelnen Tons benutzt, schaltet man das jeweilige Tracking Filter auf durchlässig (vgl. Abschnitt "Stimmen der VCOs"). Dabei kann das State Variable Filter eine



\* siehe Text

9916 10

Bild 9. State-Variable-VCF als pedalgesteuertes WAWA.

Bild 10 Einstellung des DUAL-VCAs für Hüllkurven-Modulation.

Formantenbildung in nuancierter Weise bewirken. Nun zu den Einstellungen des DUAL-VCAs; sie sind relativ einfach (Bild 10).

Das vorgeschaltete VCF ist auf durchlässig bzw. als Resonanzfilter geschaltet (1). Der Kippschalter des DUAL-VCAs steht in Stellung ENV (2); der GAIN-Einsteller (3) ist bis zum Endanschlag aufgedreht. Der OUT-Einsteller (4) des vorgeschalteten VCFs ist so eingestellt, daß die Input-Volume-LED gerade aufleuchtet oder die Helligkeit im Rhythmus der Schwebungen des VCOs sich verändert.

Nun wirkt die Spannungscontur des zugeordneten ADSR-Hüllkurven-Generators auf den exponentiellen

GAIN-Block ein und sorgt – beim Drücken einer Taste – für eine dynamikreiche Lautstärke-Kontur. Die entsprechenden Parameter stellt man am zugeordneten ADSR-Hüllkurven-Generator ein (5).

Während gespielter Melodienfolgen ändert man die Parameter der aussteuernden Hüllkurve und verfolgt aufmerksam die entstehenden VCA-Klänge. Dabei fällt vor allem die unterschiedliche Klangqualität eines langsameren ATTACKs im Vergleich zur entsprechenden Aussteuerung des Tracking Filters auf. Insgesamt empfiehlt es sich, abwechselnd den Klang des hüllkurvenausgesteuerten DUAL-VCAs und des Tracking Filters bei jeweils *gleichen* Hüllkurven aufmerksam anzuhören. Auf diese Weise erhält man eine genauere Vorstellung davon, wann der DUAL-VCA und wann das Tracking Filter zur Dynamik-Formung einzusetzen ist.

### Lineare Amplituden-Modulation

Unabhängig davon, ob man den DUAL-VCA in der eben beschriebenen Weise benutzt, oder den exponentiellen Teil des DUAL-VCAs abschaltet (Kippschalter von "ENV" auf "OFF", kann der lineare GAIN-Block dazu verwendet werden, dem Klang eine lineare Amplitudenmodulation zu geben. Ein Beispiel hierfür ist das "weiche" TREMOLO: Hier wird der Dreieck-Ausgang eines LFOs auf die Buchse "AM" gegeben und der GAIN-Einsteller vom rechten Anschlag zur Mitte zurückgedreht (dies ermöglicht eine "tiefe" Amplitudenmodulation). Der Grad der linearen Modulation, im Beispiel ein Tremolo ist mit dem Modulationsregler unter der "AM"-Eingangsbuchse einzustellen. Bei ungefährender Mittelstellung des GAIN-Einstellers beträgt der

einstellbare Modulationsbereich 0% bis ca. 100%.

### Pedalsteuerung der Lautstärke und lineare Lautstärkekontur

Das bereits erwähnte (selbstgebaute) Pedal kann auch beim DUAL-VCA verwendet werden. Sein Steuerungsspannungsausgang wird mit dem AM-Eingang des DUAL-VCAs verbunden. Das Pedal kann zu zwei verschiedenen Zwecken benutzt werden: im ersten Fall lediglich zur Lautstärkeeinstellung im konventionellen Sinn. Dabei sorgt das Pedal an bestimmten Stellen der gespielten Musik für ein Crescendo, wobei die Dynamik-Formung mit dem dynamischen Tracking Filter oder dem angeschalteten exponentiellen Teil des DUAL-VCAs erfolgt. Im zweiten Fall der Pedalsteuerung des DUAL-VCAs steht das Tracking Filter auf durchlässig; ebenso ist der exponentielle GAIN-Block des DUAL-VCAs abgeschaltet. Nun übernimmt man mit dem (leichtgängigen) Pedal die Formung der Lautstärke-Kontur jedes einzelnen Tons. Dies ist besonders bei langsam anschwellenden und abklingenden Klängen sehr reizvoll. Nebenbei kann man mit diesem "SWELL-Pedal" auch z.B. die Klänge einer auf den Eingang ES gegebenen *E-Gitarre* verändern (bei langsamem ATTACK klingt die Gitarre oft geigenähnlich).

Das folgende Bild 11 zeigt die Einstellung des DUAL-VCAs für Pedal-Aussteuerung. Je nach Funktion des Pedals steht der Kippschalter des DUAL-VCAs auf ENV oder OFF (1). Das Pedal ist am Eingang AM angeschlossen (2). Der GAIN-Einsteller steht auf Null (3). Im Gegensatz dazu steht der Modulationseinsteller (4) in der Regel ganz nach rechts. Verbindet man den Ausgang eines

ADSR-Generators über ein Patchcord mit dem AM-Eingang, entsteht eine lineare Lautstärke Konturierung. Es besteht somit die Möglichkeit, der Lautstärke-Kontur mit Hilfe eines leicht geöffneten GAIN-Einstellers einen variablen "Offset" zu geben, bevor die Lautstärke-Kontur selbst einsetzt.

### ADSR-Hüllkurven-Generatoren

#### Haupteigenschaften

Die ADSR-Generatoren sind intern fest mit dem Tracking Filter und dem DUAL-VCA im FORMANT verbunden. Sie erzeugen Spannungskonturen mit logarithmischem Anstieg und exponentiellem Abfall, deren Verlauf sich gut zur Steuerung der Klangfarben- oder Lautstärkedynamik eignet.

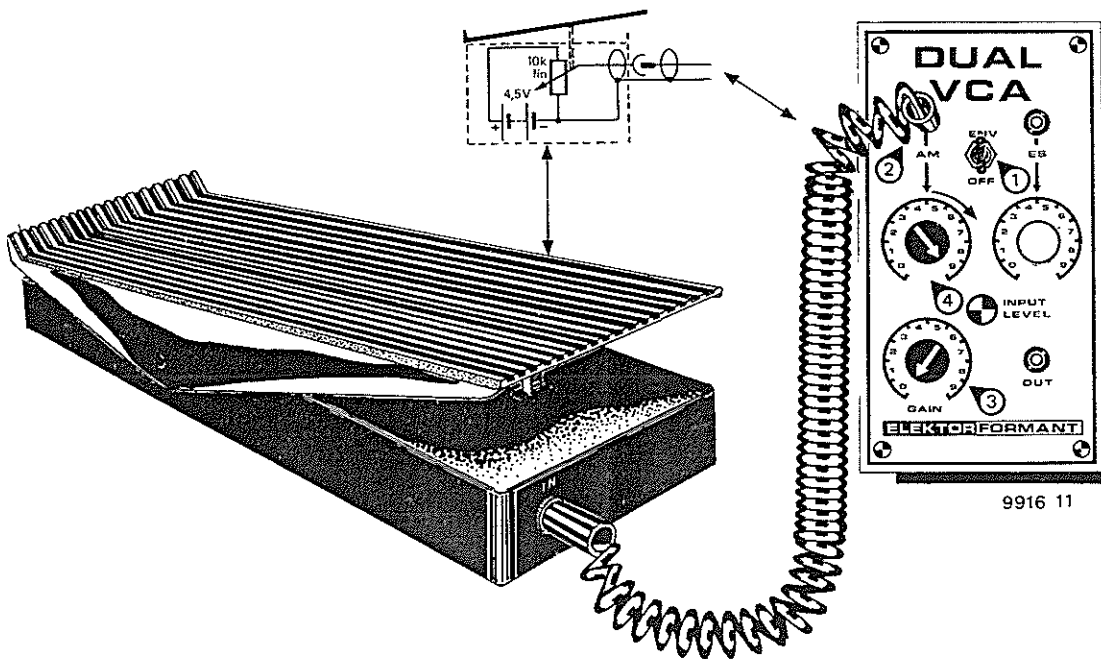
Die 4 veränderbaren Haupt-Parameter sind ATTACK (Einschwingzeit), DECAY (1. Ausschwingzeit), SUSTAIN NIVEAU (Niveau des "Steady State") und RELEASE (2. Ausschwingzeit). Die genaue Bedeutung dieser Parameter ist in der Schaltungsbeschreibung zum ADSR wiedergegeben. Ein weiterer Parameter ist die Charakteristik AD, die mit dem Kippschalter unten auf der Frontplatte gewählt wird.

Eine linearisierte LED-Anzeige läßt den Verlauf der eingestellten Spannungskontur optisch klar erkennen. Beim FORMANT gibt es drei Hüllkurven-Familien, die man auf einfache Art mit den Generatoren einstellen kann; dies wird im Folgenden ausführlich beschrieben.

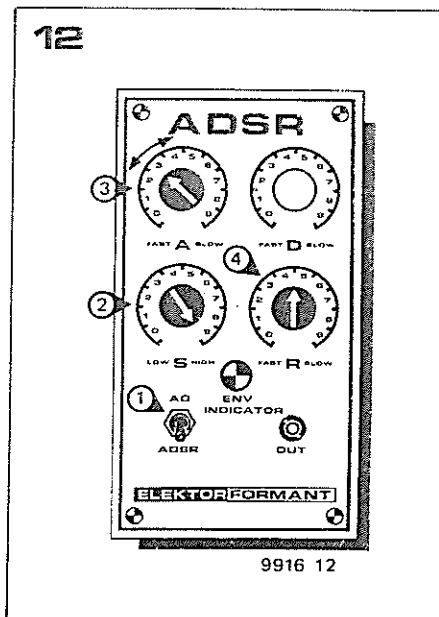
### AR-Dynamik

Bei AR-Dynamiken bleibt der jeweilige Klang so lange erhalten, wie eine Taste gedrückt ist. Ein Beispiel hierfür sind die Orgelklänge.

11



9916 11



Am ADSR-Hüllkurven-Generator variiert man nur die Einschwingzeit (ATTACK) und die 2. Ausschwingzeit (RELEASE). Die dazu notwendigen Einstellungen gehen aus Bild 12 hervor. Der Kippschalter steht auf ADSR (1), der Sustain-Einsteller (2) ist ganz aufgedreht. Die Einsteller ATTACK (3) und RELEASE (4) werden beim Spielen variiert.

### AD-Dynamik

Bei den AD-Dynamiken ist der Klangverlauf nicht von der Zeitdauer eines Tastendrucks abhängig. Vielmehr triggert die gedrückte Taste nur eine automatisch ablaufende Hüllkurve; der Tastendruck löst ihre Entstehung nur aus. Ein zweites Kennzeichen der AD-Hüllkurve ist, daß ihre Kontur sofort *abfällt*, nachdem sie ihre höchste Stelle erreicht hat. AD-Hüllkurven haben an ihrer höchsten Stelle also immer eine Spitze.

Ein Beispiel für einen perkussiven AD-Klang ist das Vibraphon. Am ADSR-Hüllkurven-Generator variiert man nur die Einschwingzeit (ATTACK) und die 1. Ausschwingzeit (DECAY). Hierbei wird der ADSR-Hüllkurven-Generator wie Bild 13 zeigt eingestellt.

Der Kippschalter steht in Stellung AD (1) und der Einsteller (2) für das Sustain-Niveau ist ganz auf Null gedreht. Beim Spielen wird die Einschwingzeit am ATTACK-Einsteller (3) und die Ausschwingzeit am DECAY-Einsteller (4) variiert.

Bei verschiedenen Einstellungen der beiden Einsteller wird der Klangunterschied deutlich, je nachdem ob man das Tracking Filter oder den DUAL-VCA mit einer solchen Hüllkurve aussteuert. Beim Spielen mit eingestellter AD-Hüllkurve muß man sich eine andere Technik auf der Tastatur angewöhnen als bei AR-Hüllkurven, die unter der Kontrolle der Tastendruckdauer stehen. Wichtig beim Spielen mit AD-Hüllkurven ist, daß die nächste Taste erst gedrückt wird, nachdem man die vorherige losgelassen hat.

### Mischformen AD/AR

Manche Instrumentalklänge sind durch eine Mischung von AD- und AR-Dynamiken gekennzeichnet. Bei ihnen liegt das Sustain-Niveau fast immer irgendwo zwischen 0% und 100%. Ein Beispiel bei der Klangfarben-Dynamik ist der stark angeblasene Trompetenton, der in einen weicheren "Steady State" (ingeschwungenen Zustand) übergeht. Bei anderen Klängen wird eine perkussive AD-Hüllkurve gedämpft, wenn man die Taste losläßt. Ein Beispiel hierfür ist der Klavierton. Für solche Mischformen wird der Kippschalter auf "ADSR" gestellt und am Einsteller für das Sustain-Niveau wird die entsprechende

Höhe des "STEADY State" wie beim dem beschriebenen *Trompetenklang* eingestellt. Im speziellen Fall des *Klaviertons* steht der Kippschalter ebenfalls auf "ADSR". Der Einsteller für das Sustain-Niveau wird ganz nach links gedreht (Nullstellung), die ATTACK-Zeit sehr kurz eingestellt, die DECAY-Zeit relativ lang und RELEASE kürzer als die DECAY-Zeit. Der "Trick" bei der klaviertonartigen Hüllkurve ist, daß die perkussive AD-Hüllkurve abbricht, wenn man die Taste losläßt, so daß der Ton mit der RELEASE-Zeit ausklingt. Deswegen steht der Kippschalter nicht auf AD, sondern auf ADSR.

### LFOs

Das LFO-Modul enthält drei unabhängige langsam schwingende Steuerungsspannungs-Oszillatoren, die jeder drei verschiedene Kurvenformen erzeugen. Die jeweilige Frequenz ist von ca. 5 mHz bis 20 Hz in einem Bereich kontinuierlich einstellbar. Bei vielen vergleichbaren Synthesizern gibt es nur einen LFO, oft muß ein VCO als LFO herhalten. Die drei unabhängigen LFOs des FORMANT mit jeweils drei Kurvenformen eignen sich für vielfältige und komplexe Modulationen.

LFO 1 und LFO 2 sind identisch aufgebaut; sie liefern Rechteck- und Dreieckimpulse sowie einen Sägezahn mit ansteigender Flanke. Der dritte LFO erzeugt anstelle des Rechtecksignals einen Sägezahn mit abfallender Flanke. Die Dreieck-Ausgänge eignen sich besonders gut für musikalische Frequenz- (Vibrato-), Pulsweiten-, Timbre- und Lautstärke-Modulationen. Alle Kurvenformen (einschließlich Dreieck) eignen sich für *elektronische Klang- und Geräuschcollagen*, bei denen starke und musikalisch untypische Modulationen eine größere Rolle spielen.

### NOISE-Modul

Das NOISE-Modul hat zwei NF-Ausgänge: weißes Rauschen und farbiges Rauschen mit starker Baßanhebung, außerdem einen Steuerungsspannungsausgang, der eine in der Fluktuationsrate einstellbare Zufallsspannung abgibt. Die beiden NF-Rausch-Signale können über den jeweiligen Eingang ES bei einem der beiden VCFs oder beim DUAL-VCA in den Signalweg des FORMANT eingeführt werden. Je nach Einstellung der klangerformenden Module entsteht eine große Zahl von realistischen Geräuschen, die vom lauten Donner über das gleichmäßige Auf und Ab eines Brandungsgeräusches bis zu heulenden Windgeräuschen reicht. Die Zufalls-Spannung hat im FORMANT keine primäre Funktion. Sie kann experimentell für dosierte *Zufallsmodulationen* benutzt werden, z.B. bei der Timbre- oder Lautstärke-Modulation, um einen unregelmäßigen "Steady State" zu erzeugen.

12

13

Bild 11. Pedalansteuerung des DUAL-VCA's.

Bild 12. Einstellung der AR-Dynamik beim ADSR-Generator.

Bild 13. Einstellung der AD-Dynamik beim ADSR-Generator.

## COM-Modul

Das COM-Modul enthält einen Klangeinsteller (Bässe, Mitten und Höhen) sowie einen Regler für die Ausgangslautstärke des FORMANT. Obwohl dies ein konventionelles Audio-Modul ist, erweitert die zusätzliche Klangformung durch das COM-Modul die Klangpalette des FORMANT. Dabei wird die "Arbeit der (des) VCFs wirksam unterstützt.

## Einstellung einzelner Instrumentalklänge

# 3

Die Einstellhinweise im zweiten Kapitel beschränken sich weitgehend darauf, wie man jedes einzelne FORMANT-Modul bedient. Dabei kam nicht zur Sprache, wie man mehrere Module des FORMANT zusammen benutzt, um Instrumentalklänge zu erzeugen.

Das Kapitel 3 baut auf den bereits erwähnten Einstellungen der einzelnen Module auf und beschreibt anhand einer Reihe von exemplarischen Einstellungen, wie man mehrere FORMANT-Module gemeinsam benutzt, um die jeweiligen relevanten Parameter musikalischer Klänge zu formen.

Kapitel 3 ist kein "Kochbuch" für alle möglichen Synthesizer-Klänge, sondern ein Beispiel dafür, wie man die musikalischen Möglichkeiten des FORMANT befriedigend nutzen kann. Die einzelnen Klangeinstellungen sollte man nicht unter Zeitdruck ausführen; *das eigene akustische Verständnis ist dabei wichtigstes Kriterium*. Obgleich der Verfasser versucht hat, die wichtigeren Einstellungen für den jeweiligen Klang genau zu beschreiben, bleibt bei jeder Klangeinstellung genügend Spielraum, um beim Nachvollziehen der Einstellungen die Klänge in ihren musikalischen Feinheiten verbessern zu können.

In Kapitel 3 sind bei weitem nicht alle sinnvolle Einstellmöglichkeiten des FORMANT beschrieben. Vielmehr hat der Verfasser versucht, die Beispiele so auszusuchen, daß die Klangerzeugung und Klangformung im FORMANT von vielen Seiten her beleuchtet wird. Die dabei gegebenen Anregungen sollen beim Leser den Wunsch entstehen lassen, *selbständig* klangliche Experimente durchzuführen. Neben der Funktionsbeschreibung der konventionellen Synthesizer-Module liegt der Hauptakzent auf den *Timbre-Verbesserungen mit Hilfe des Resonanzfilter*. Die dort gegebenen zahlreichen Hinweise lassen sich auch für andere Synthesizer und praktisch jedes elektronische Musik-Instrument (E-Klavier, String-Synthesizer, usw.) recht wirkungsvoll nutzen.

## Musikalische Relevanz der Synthesizer-Größe

Manchmal hört man von verschiedenen Seiten, daß sich mit nur einem VCO im Synthesizer nicht viel anfangen ließe. So ein kleines Gerät würde kaum mehr als einige eher unangenehme Geräusche erzeugen.

Die folgende Überlegung zeigt, daß solche Pauschalurteile nicht berechtigt sind. Eine große Zahl von Musikinstrumenten sind zum einen nur monophon spielbar – wie die allermeisten Synthesizer – und verfügen zum anderen nur über eine Tonquelle z.B. die *Trompete*, die *Posaune* die *Tuba*, die *Klarinette*, das *Fagott*, die *Oboe*, die *Saxophone*, die *Flöten* usw.

Möchte man mit dem FORMANT einen ähnlichen Klang spielen wie mit einem der genannten Instrumente, so empfiehlt sich, wie bei dem jeweiligen Vorbild nur eine Tonquelle, *einen VCO*, zu benutzen. Mehrere VCOs würden meist durch die entstehenden Phasing-Muster den angestrebten Klang verfremden. Es gibt somit eine ganze Anzahl von Anwendungen, bei denen ein VCO ausreichend ist.

Benötigt man zusätzliche Schwebungsmuster, so kann die spannungsgesteuerte PWM solche Phasing-Klänge leicht erzeugen. Für FORMANT-Interessierte mit "kleinem Geldbeutel" bedeutet dies, daß sie ohne Bedenken mit einem *MINIFORMANT* und z.B. einem VCO beginnen können.

Die musikalische Qualität der jeweils benutzten Synthesizer-Module läßt sich am besten bei nur einem VCO beurteilen. Der statische Klang einer VCO-Kurvenform (von PWM abgesehen) ist nicht besonders reizvoll; so kann man die musikalische Verwandlung des Rohklangs von einem VCO durch die VCFs und den VCA besonders gut verfolgen und beurteilen.

Bei einer ganzen Anzahl der im Folgenden beschriebenen Instrumentalklänge wird nur *ein VCO* als Tonquelle benutzt. Das ist natürlich nur dann musikalisch befriedigend, wenn die klangformenden Module entsprechend vielseitig sind und insgesamt musikalisch befriedigende Eigenschaften besitzen.

Ein weiterer Grund, warum man öfters mit nur einem VCO spielen sollte: Die monophone Spielweise der meisten Synthesizer läßt keinen Akkordwechsel von einem "Ton" zum nächsten zu. Deswegen können VCO-Akkorde, über längere Zeit gespielt, schnell monoton und ermüdend klingen. Anders ist es, wenn man nur mit einem VCO spielt und das eigentliche Melodiespiel sowie die Klangfarbe des "Instruments" dabei im Vordergrund stehen.

Entsprechende Überlegungen kann man in Bezug auf die übrigen Module des FORMANT anstellen. Dabei kommt man zu dem Schluß, daß bereits ein geringerer elektronischer Aufwand für viele musikalische Anwendungen

ausreicht. So genügt für die erwähnte *MINI-Version* des FORMANT z.B. ein VCO, ein State-Variable-VCF, DUAL-VCA und ein einziger Hüllkurven-Generator, der wahlweise auf das VCF oder/und den DUAL-VCA geschaltet wird.

Im umgekehrten Fall kennt der elektronische Aufwand da kaum Grenzen, wo ein fortgeschrittener Synthesizer-Spieler fein abgestufte und komplex aufgebaute Klangfarben spielen will. Ein Beispiel: WALTER CARLOS, der wohl bekannteste Synthesizer-Spieler, benutzte bei seinen Produktionen unter anderem 8 VCOs, 3 VCAs, 8 ADSR-Hüllkurven-Generatoren. Dabei hatte er den Eindruck, daß dies noch zu *wenig* Hüllkurvengeneratoren waren. Die modulare Konstruktion des FORMANT erlaubt grundsätzlich einen beliebigen Ausbau des FORMANT-Systems im Laufe der Zeit.

Beim Synthesizer gilt noch stärker als bei anderen Musikinstrumenten, daß neben dem Ohr des Spielers, seine Einstellungen und Fähigkeiten entscheidend sind für die Musikalität des Instruments. So fällt es ausgesprochen schwer, etwa auf einem Vibraphon überhaupt einen ausgesprochen unangenehmen Klang zu erzeugen. Dagegen fällt dies beim Synthesizer relativ leicht. So ist weder die geringe, noch die große Zahl von Modulen von direkter Relevanz für die Musikalität des Synthesizers. Sie hängt vielmehr davon ab, ob der Spieler die gegenüber konventionellen Musikinstrumenten klanglichen Möglichkeiten sinnvoll, d.h. zur Freude seiner und der Zuhörer Ohren zu nutzen weiß.

Die folgenden Klangeinstellungen sollen als Beispiele *einige* Spielmöglichkeiten des FORMANT beschreiben. Die jeweilige Einstellung des FORMANT hierzu wird genügend genau beschrieben; gegebenenfalls verdeutlicht eine Skizze die beschriebene Einstellung.

### Einfacher Flötenklang

Am Beispiel eines einfachen, flötenhaften Klangs soll erläutert werden, wie die FORMANT-Module zusammenwirken (Bild 14).

Die Flöte ist monophon spielbar und durch eine Tonquelle gekennzeichnet. Ihr Timbre ist dunkel und weich. Diese Charakteristik gibt bereits einige Anhaltspunkte für die Synthese: Benötigt wird ein VCO. Als Kurvenform kommt vor allem das Dreieck in Frage, das ein holzflötenähnliches Timbre hat. Die einzelnen Töne der Flöte sind in erster Annäherung durch keine bemerkenswerte Klangfarbendynamik gekennzeichnet, so daß man zur Formung der einzelnen Töne den DUAL-VCA mit Hüllkurven-Aussteuerung verwendet. Das (die) VCF(s) wird (werden) auf durchlässig gestellt. Die Ton-Dynamik ist dadurch gekennzeichnet, daß der einzelne Flöten ton beim Anblasen mit einem weichen, nicht perkussiven Ton beginnt.

Der Ton hält an, solange wie die Flöte angeblasen wird und klingt dann relativ schnell ab, wenn man das Anblasen beendet. Für die Synthesizer-Einstellung kommt somit eine einfache AR-Hüllkurve mit relativ kurzem, aber nicht zu kurzem ATTACK und RELEASE in Frage.

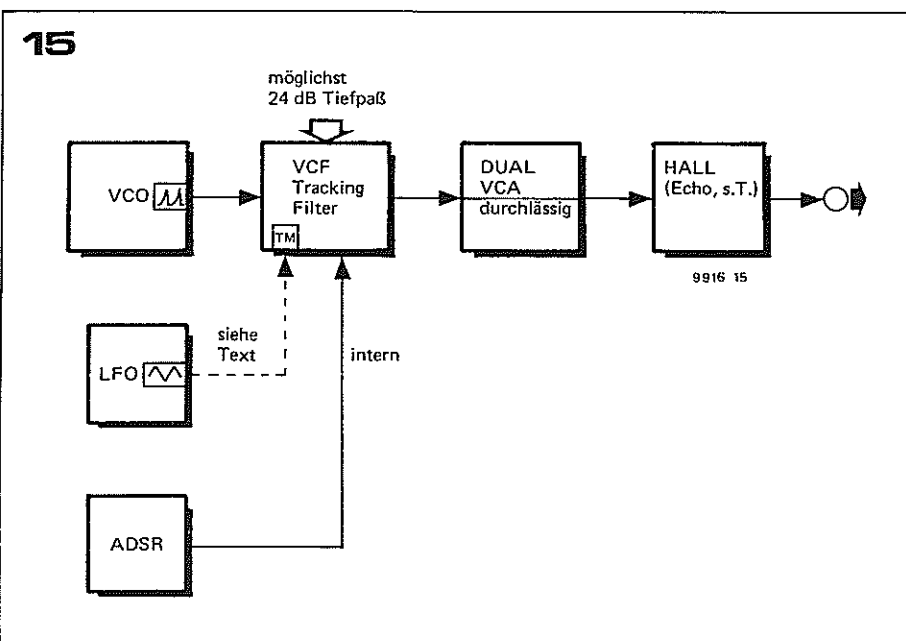
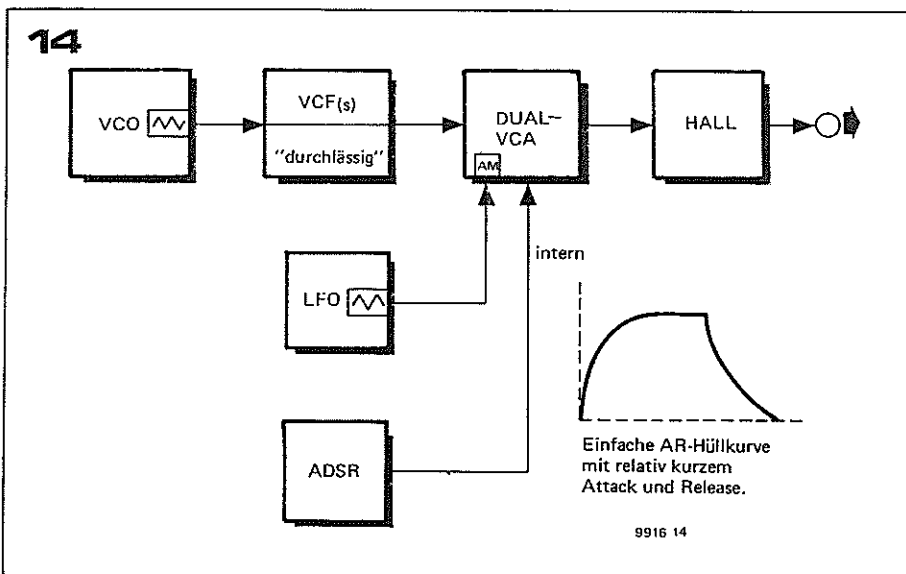
Manchmal sind die Flötenklänge zusätzlich durch ein mehr oder weniger starkes Tremolo gekennzeichnet. Für diese Klangeigenschaft kann man den Dreiecksausgang eines LFOs mit dem AM-Eingang des DUAL-VCAs verbinden. Die Stärke des Tremolo stellt man am Einsteller unter der AM-Buchse ein. Die Blockschaltung in Bild 14 zeigt, wie der FORMANT für einen Flötenklang eingestellt wird.

Wie bereits erwähnt, ist die Verwendung eines Hall-Gerätes beim FORMANT sehr nützlich. Es nimmt den synthetisch erzeugten Instrumentalklänge ihren unnatürlich trockenen Charakter. Nach eigenem Musik- bzw. Klangverständnis kann man den Instrumentalklänge mehr oder weniger Hall beimischen.

Mit der in Bild 14 gezeigten Einstellung läßt sich auch experimentieren. So wird z.B. die Grundeinstellung beibehalten, jedoch die Hüllkurve verändert. Gibt man der Hüllkurve in Schalterstellung AD des ADSR-Generators und bei Null % Sustain-Niveau eine kurze ATTACK-, jedoch eine relativ lange DECAY-Zeit, erhält man bei stärkerer Hall-Einmischung einen E-Klavierartigen oder vibraphonartigen perkussiven Klang.

Bild 14. Blockschaltbild für einfachen Flötenklang

Bild 15. Blockschaltbild eines einfachen Blechinstrumenten-Klanges.



### Einfacher Blechinstrumenten-Klang

Das zweite Beispiel ist ein einfacher Blechinstrumenten-Klang, der die Klangfarbendynamik des Tracking Filters demonstriert. Kennzeichnend für Blechmusik ist u.a. ihr heller, strahlender Klang. Dieses Timbre ist nicht dunkel wie bei der Flöte oder hohl wie bei der Klarinette. In Frage kommt als geeignete Kurvenform des VCOs entweder Sägezahn oder Spaced-Sägezahn.

Wie bei der Flöte ist das einzelne Blechinstrument nur monophon und mit einer Tonquelle spielbar. Blechinstrumente haben ein wichtiges Erkennungsmerkmal: die einzelnen Töne klingen angeblasen. Analytisch bedeutet dies, daß der Obertongehalt während der Entstehung des Tons mit einem typischen Verlauf stark zunimmt. Zur Formung der einzelnen Töne kommt somit bevorzugt ein 24 dB-VCF\* (Tiefpaß) als dynamisches Tracking Filter in Frage, da es bei Hüllkurvenaussteuerung eine kräftige Klangfarbendynamik erzeugt.

Die Hüllkurve des Blechinstrumentes ist durch einen verhältnismäßig langsamen ATTACK (bei nicht zu schnellem Spiel) gekennzeichnet. In Form einer AR-Charakteristik hält der Blechinstrumententon an – ähnlich wie bei einer Flöte –, bis er mit einem relativ kurzen RELEASE ausklingt, wenn der Musiker das Instrument absetzt. Aus diesen Überlegungen ergibt sich das folgende Blockschaltbild für die FORMANT-Einstellung eines einfachen Blechinstrumenten-Klanges.

Noch einige Nachbemerken: Wie bei der Flöte sorgt auch beim eingestellten Blechinstrument ein dosierter Hall für einen natürlicheren Klang.

Zur VCF-Einstellung sei noch nachgetragen, daß für realistische Blechinstrumenten – Klänge der Q-Einsteller des VCFs ganz am linken Anschlag stehen, oder nur sehr wenig aufgedreht sein sollte. Der ENV-Einsteller des VCFs muß speziell beim 24 dB-Tiefpaß sehr sorgfältig eingestellt werden. Mit Sägezahn und nicht zu weit aufgedrehtem ENV-Einsteller lassen sich mit dem FORMANT Flügelhorn und Waldhorn sehr realistisch imitieren. Auch mit der in Bild 15 gezeigten Einstellung kann man experimentieren. So ist z.B. die bei der ADSR-Schaltung beschriebene vollständige Hüllkurve interessant; sie wird "hell angeblasen" und geht dann in einen weicheren Steady State über (Bild 4 in dem erwähnten FORMANT-Artikel). Für "ätherische" Trompeten-Klänge eignet sich bei relativ stark zugebautem

\*Wer noch nicht über das 24 dB-VCF verfügt, kommt in Augenblick noch recht gut mit dem 12 dB-Tiefpaß des State Variable Filters aus, -nur klingen speziell Blechinstrumente mit dem 24 dB-VCF realistischer.

ENV-Einsteller eine schwache Timbre-modulation mit der Dreieck-Spannung von einem LFO. Bei einer günstigen Einstellung klingt das Instrument wie eine Mischung aus einer "silbrigen" Flöte und einer weich-gespielten Trompete. Mit einem *Echo-Gerät* erhalten speziell die Blechinstrumenten-Klänge des FORMANT einen sich auf-türmenden, mehrstimmigen Charakter.

### Realistische Klangfarben durch Resonanzfilterung

Hört man sich die nach dem vorherigen Abschnitt eingestellten Blechinstrumenten-Klänge aufmerksam an, beeindruckt die realistische *Klangfarben-Dynamik* das Anblasen. Irgendwie bleibt aber der akustische Eindruck unbefriedigend, insbesondere wenn man ihn mit den natürlichen Vorbildern direkt vergleicht.

Der natürliche Trompetenton klingt im Vergleich strahlender und heller, die Posaune fülliger und die Tuba baßreicher. Dagegen ist der jeweilige elektronische Blechinstrumenten-Klang blaß und anonym.

Bisher wurde bei der Synthese nicht berücksichtigt, daß z.B. die Trompete, das Flügelhorn, die Posaune und die Tuba nicht nur in ihren Tonhöhen, in ihren Lagen unterschiedlich sind, sondern sich auch durch typische Resonanzen unterscheiden. Sie sind bedingt durch die Form und Größe der Instrumente und akzentuieren eine bestimmte Formantenzone; dadurch verleihen sie dem jeweiligen Instrument sein typisches Grund-Timbre. So sind die Resonanzen bei der Trompete sehr hoch und erzeugen einen "strahlend-hellen" Klang. Die niedrigen Resonanzen erzeugen bei der Posaune den fülligen Klang, während für den baßreichen Tuba-Sound die noch niedrigeren Resonanzen verantwortlich sind. Beim Flügel- und Waldhorn koloriert die jeweilige Hauptresonanz das Timbre stärker als bei den übrigen Blechinstrumenten (höherer Q-Faktor). Solche Resonanzen oder Formanten sind als Klangmerkmal einzelner Musikinstrumente ebenso wichtig wie etwa die Klangfarbendynamik, die man mit dem Tracking Filter formen kann.

Nicht nur bei Blechinstrumenten spielen die Resonanzen eine wichtige Rolle, sondern ebenso bei den "reeds" (Blasinstrumente mit Blatt-Mundstück), z.B. beim Fagott, der Oboe, der Klarinette und ebenso bei den Flöten. Etwas komplizierter ist es bei den Streichinstrumenten, bei denen die Resonanzen zwar ebenso klangbildend sind, aber die große Anzahl es schwer macht, sie mit geringem elektronischem Aufwand zu simulieren. In dem folgenden Abschnitt wird anhand der verbesserten Einstellungen für die Trompete, die Posaune, die Tuba, das Fagott, die Oboe, die Klarinette, die Querflöten sowie für die

streichinstrumentenartigen Klänge beschrieben, wie man das Resonanzfilter dazu benutzt, deutlich realistischer Klangfarben zu erzeugen. Als Resonanzfilter bietet sich bei den folgenden Einstellungen das State-Variable-VCF an. Für die Simulierung mehrerer Resonanzen eignet sich eine Resonanzfilterbank. Nimmt man einige Abstriche in Kauf, ist auch der Einsatz eines Equalizers mit halb- oder drittel-oktavigen Filtern möglich (ELEKTOR, Heft 78 u. 84).

### Verbesserte Blechinstrumenten-Klänge

Die im Abschnitt "Einfacher blechmusikartiger Klang" beschriebenen Einstellungen werden auch hierbei grundsätzlich wieder benutzt. Zusätzlich ist das Resonanzfilter in den Signalweg eingeführt. Die Tabelle gibt Aufschluß über die typischen Frequenzen der Hauptresonanz bei verschiedenen Blechinstrumenten.

Instrument	Hauptresonanz
Trompete	1500 Hz
Flügelhorn	1000 Hz +)
Posaune	600 Hz
Waldhorn	400 Hz +)
Tuba	250 Hz

+ ) höherer Q-Faktor

Bei Erstellung der Tabelle hat der Verfasser die Mittenfrequenz des Resonanzfilters (Bandpaß des State-Variable-VCFs) bei verschiedenen Q-Faktoren immer wieder verändert, bis sich für seine Ohren jeweils eine recht befriedigende Analogie zu dem entsprechenden Vorbild ergab. Die dabei ermittelnden Werte stimmen mit den tatsächlichen Hauptresonanzen weitestgehend überein (SIRKER 1974). Zunächst stellt man die Bandpaß-Mittenfrequenz des Resonanzfilters auf die in der Tabelle angegebenen Werte ein. Der Q-Einsteller des State-Variable-Filters steht dabei ca. in Mittelstellung. Für trompeten- und posaunenartige Klänge ist vor allem der Spaced-Sägezahn, für flügelhorn-, waldhorn- und tubaähnliche Klänge der einfache Sägezahn geeignet. Bei der Trompeten- und Posaunenimitation ist der ENV-Einsteller des 24 dB-VCFs ziemlich weit aufgedreht; bei den anderen Blechinstrumenten ist er weiter zuge dreht. Für den flügel- und waldhornartigen Klang ist der Q-Faktor des Resonanzfilters zu erhöhen.

Damit die Resonanzfilterung die erwünschte Wirkung erzielt, soll das eingestellte Instrument im natürlichen Bereich seiner Tonhöhen gespielt werden. Bei allen Instrumentalklängen ist darauf zu achten, daß die gespielten Tonhöhen im Durchschnitt deutlich unter der Mittenfrequenz des Resonanzfilters liegen müssen. Anderenfalls unterbleibt die Betonung verschiedener Obertöne

bei einzelnen Tonhöhen, also die klangprägende, kolorierende Wirkung. Um die vorgenommenen Einstellungen klanglich zu beurteilen, sollten Melodien über mehrere Oktaven gespielt werden. Denn die feststehende Mittenfrequenz des Resonators führt bei verschiedenen Tonhöhen zu jeweils verschieden klingenden Kolorierungen; zum *typischen Gesamtklang eines Instruments* gehört, wie es bei *verschiedenen* Tonhöhen klingt. Als Beispiel sei an den sonoren Klang des Cellos bei tiefen Tönen im Vergleich zu seinen hohen Tönen erinnert. Bild 16 zeigt das Blockschema für die mit Hilfe des Resonanzfilters verbesserten Blechinstrumenten-Klänge. Das Resonanzfilter stellt man entsprechend der Tabelle ein. Die verbesserten Blechinstrumenten-Klänge haben eine recht überzeugende musikalische Qualität und es empfiehlt sich, der genauen Einstellung der Mittenfrequenz und des Q-Faktors beim Resonanzfilter einige Aufmerksamkeit zu schenken. Ansonsten gelten die bereits zum Bild 15 gemachten Hinweise auch hier, insbesondere was die behutsame Einstellung des ENV-Einstellers beim dynamischen Tracking Filter betrifft.

Die verbesserten Blechinstrumenten-Klänge (Bild 16) sind ein Beispiel dafür, daß man mit dem FORMANT mit nur *einem* VCO musikalisch befriedigende Klänge erzeugen kann.

### Mehrstimmige Blechinstrumenten-Klänge

Zum Abschluß der Blechblasinstrumenten-Experimente sollte man auch mehrere VCOs einsetzen, die z.B. auf einfache DUR- oder MOLL-Akkorde gestimmt sind. Es bestehen so – je nach Einstellung – z.B. fanfarenartige Blechinstrumenten Sounds oder ein Blechinstrumenten-Background, der sich vorzüglich als Klangteppich eignet, auf dem man mit anderen Instrumenten z.B. *MINI-FORMANT*, *zweiter FORMANT* oder *E-Gitarre* improvisierend spielen kann.

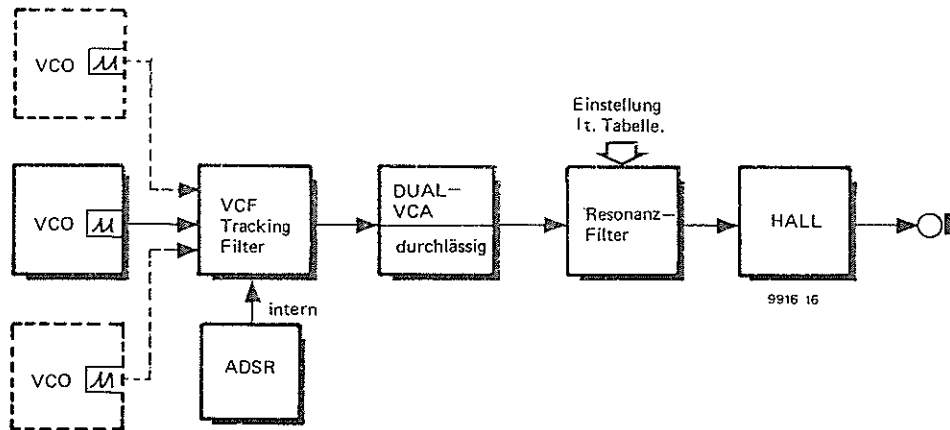
Durch Ändern der Hüllkurven-Parameter (z.B. ATTACK und RELEASE) der Blechinstrumente erhält man jenachdem kurze rhythmische oder langsam an- und ausklingende Töne. Mehrstimmige Blechinstrumenten-Klänge eignen sich hervorragend als *Background* für andere Klänge. Die invarianten Akkorde stören hierbei eigentlich kaum, sondern bilden eher zu den Vordergrund-Melodien einen reizvollen Kontrast.

### Einige typische Synthesizerklänge ohne konkretes klangliches Vorbild

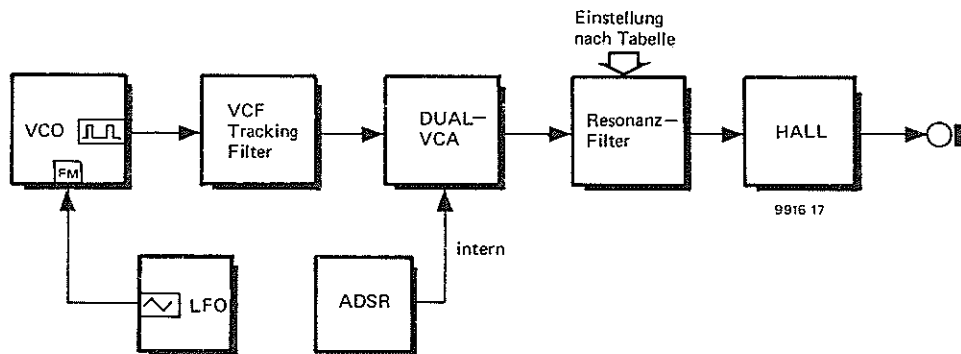
Läßt man die Einstellung aus Bild 16 grundsätzlich bestehen, variiert aber die



16



17



Parameter der Hüllkurve, welche das VCF (Tracking Filter) aussteuert, ergeben sich z.B. bei perkussiven AD-Hüllkurven (sehr kurzer ATTACK, relativ langer DECA Y) sehr reivolle, *metallische Klänge*. Dabei muß gleichzeitig Q und  $f_0$  des Resonanzfilters variiert werden. Das Spektrum reicht von sehr dunklen baßartigen Klängen über verschiedenfarbige Klänge wie bei *angeschlagenen Metall-Saiten* bis zu sehr hellen, scharfen *Saitenklängen*. Den elektronischen Klang kann man weiter variieren, indem der Q-Faktor des Tracking Filters erhöht wird. Ebenso ist es auch möglich mit den anderen Ausgängen des Resonanzfilters wie Hochpaß, Tiefpaß und Notch zu experimentieren.

Auf die Beschreibung weiterer Experimente wird an dieser Stelle verzichtet. Ausgehend von der Einstellung (Bild 16) ist es relativ leicht, verschiedene phantastische Klänge einzustellen. Wenn diese Klänge auch nicht mehr den konventionellen Musikinstrumenten ähnlich sind, können sie doch ebenso reizvoll klingen.

### Oboe, Fagott und Klarinette

Auch bei den konventionellen Musikinstrumenten gibt es eine Anzahl, deren Timbre sehr *farbig* ist, wie z.B. bei der

Bild 16. Blockschema für verbesserte Blechinstrumenten-Klänge.

Bild 17. Einstellschema für die Synthese der klarinetten-, fagott- und oboenartigen Klänge.

Oboe, dem Fagott und der Klarinette. Ähnlich wie bei der Flöte, im Gegensatz zu den Blechinstrumenten spielt die Klangfarben-Dynamik der genannten Instrumente keine primäre Rolle. Für die Synthese bedeutet dies, daß man zur Formung der einzelnen Töne den DUAL-VCA benutzt. Die Lautstärkedynamik ist ähnlich wie bei der Flöte, so daß auch hier in erster Annäherung eine einfache AR-Hüllkurve ausreicht. Alle drei Instrumente sind durch ein sehr *individuelles Timbre* gekennzeichnet, *das sich ohne Resonanzfilterung nicht genügend überzeugend nachbilden läßt*. Der klarinettenhafte Klang des symmetrischen Rechtecks eignet sich zwar gut für die Klarinetten-Synthese, ohne die *Formantenbildung* durch ein Resonanzfilter klingt die synthetische Klarinette jedoch in ihren tieferen Lagen nicht überzeugend, sondern blaß und elektronisch. Es fehlt z.B. das typische "Näseln" bei tiefen Tönen.

*Ein Fagott- oder oboenhaftes Timbre ist weder unmittelbar in den Kurvenformen der VCOs enthalten, noch läßt es sich mit dem Tracking Filter ableiten.* Mit anderen Worten: Während man mit einem konventionellen Synthesizer (ohne Resonanzfilterung) einfache Blechinstrumente noch relativ gut imitieren kann, ist für einen differenzierten (nicht "elektronisch" klingenden) Klarinettenklang *das*

*Resonanzfilter unbedingt erforderlich.* Noch deutlicher wird dies beim Fagott und der Oboe, deren Timbre stärker unter dem Einfluß von Resonanzen steht.

Gute Klarinetten-, Oboen- und Fagottklänge sind ein Erkennungsmerkmal des FORMANT mit seinem Resonanzfilterkonzept. Ähnliches gilt für klanglich befriedigende Saxophon- und Flötenklänge.

Die folgende Tabelle zeigt die Frequenzen der Hauptresonanzen für die Klarinette, die Oboe und das Fagott.

INSTRUMENT	HAUPTRESONANZ
Klarinette	1000-2000 Hz
Oboe	1300-1700 Hz
Fagott	440 Hz

Bei der Synthese für den fagott- und oboartigen Klang ist als Kurvenform des VCOs ein sehr unsymmetrisches impulshaftes Rechteck besonders geeignet. Für die Klarinetten-Synthese kommt als Kurvenform das am PW-Einsteller des VCOs sorgfältig eingestellte symmetrische Rechteck in Frage. Genau wie bei den verbesserten Blechinstrumenten-Klängen beschrieben, stellt man auch hier die Mittenfrequenz des Resonanzfilters für das jeweilige Instrument nach der Tabelle ein. Der Q-Faktor ist bei allen drei Klängen relativ hoch; das gilt besonders für das Fagott und die Oboe. Bei allen drei Klängen wird das Tracking Filter auf durchlässig eingestellt, allerdings sollte man am OCTAVES-Einsteller die Obertöne des jeweiligen Klangs dosiert dämpfen. Die Formung der einzelnen Töne geschieht – wie bereits erwähnt – mit dem DUAL-VCA (Bild 17). Einen "singenden" Sound erreicht man, wenn die eingestellten Klänge mit einem leichten Vibrato moduliert werden. Beigemischter Hall empfiehlt sich auch bei diesen Klängen.

Bei sorgfältiger Einstellung der relevanten Parameter (Resonanzfilter und Hüllkurve) erzeugt der FORMANT diese drei Instrumentalklänge bemerkenswert realistisch. Auch bei anderen "reeds" gilt, daß die Formanten, ihren typischen Klang prägen. Variiert man einige Parameter aus Bild 17, stellen sich z.B. Klänge vom Sopran- bis zum Bariton-Saxophon ein.

### Streichinstrumenten-Klänge

Bei den Blasinstrumenten-Klänge ist das Resonanzfilter für die Klangformung von maßgebender Bedeutung. Insbesondere ist das Filter bei den unterschiedlichen Hauptresonanzen für das Timbre der Tuba bis zur Trompete verantwortlich. Bei den Streichinstrumenten spielt das Resonanzfilter keine so primäre Rolle. Durch die eigenwillige Form der Streichinstrumente ist das akustische Verhalten nur zum Teil durch die Hauptresonanz gekennzeichnet. Vielmehr erzeugen die

Resonanzkörper eine Fülle von einzelnen Resonanzen, die sich über den ganzen Hörbereich verteilen.

Für die Synthese mit dem FORMANT bedeutet dies, daß man mit dem Resonanzfilter allein das Problem nicht lösen kann. Die Lösung wäre eine Resonanzfilterbank mit wenigstens einigen unabhängigen Bandpässen. Tatsächlich haben Tests mit solchen "string enhancement filter" zu brauchbaren Klangergebnissen geführt. Bei einem Saiteninstrument entsteht ein Ton, wenn man eine Saite mit dem Bogen anstreicht. Das entspricht der Hüllkurvenaussteuerung des DUAL-VCOs mit einem langsamen ATTACK. Beginnt die Saitenschwingung wieder abzunehmen, klingt der Ton langsam aus. Beim normalen Spiel wird jedoch die Saite mit einer neuen Bogenbewegung wieder angeregt. Diese Dynamik ist zu komplex, um sie mit einem einfachen Hüllkurvengenerator nachzubilden.

In erster Annäherung läßt sich der Klang eines Streichinstrumentes mit der einfachen AR-Hüllkurven nachbilden. Dabei ist allerdings die Dynamik des Steady State der Bogenbewegungen außer Acht gelassen. Von den zusätzlichen, wichtigen Feinheiten mehrstimmiger, orchestrale Streichklänge ist hierbei ebenfalls abgesehen (dazu sind die Hinweise in der FORMANT-Schaltungsbeschreibung zu beachten). Es stellt sich die Frage, ob der FORMANT-Besitzer wegen dieser Schwierigkeiten auf Streichinstrumenten-Klänge verzichten soll. Das sicher nicht! Aber nach den erwähnten Schwierigkeiten ist man darauf vorbereitet, daß die "Streicher-Klänge" nicht so realistisch wie die bisherigen Instrumenten-Klänge sind. Für manche musikalische Anwendung ist es jedoch reizvoll, Instrumente zu spielen, die an ein Cello oder an eine Geige erinnern. Dieses läßt sich nun mit einem FORMANT recht gut erreichen. Für die Streicher-Synthese ist kein Blockschema angegeben, da man die Klänge mit dem FORMANT auf verschiedene Arten erzeugen kann. Als Kurvenform des VCOs (man sollte mit einem VCO beginnen) eignet sich der Spaced-Sägezahn, der einfache Sägezahn oder ein unsymmetrisches Rechteck. Das Tracking Filter wird wieder auf durchlässig gestellt und mit seinem OCTAVES-Einsteller die Obertöne des Klangs etwas bedämpft. In der Praxis erweist sich ein leichtes Vibrato für den VCO als sinnvoll. Für die Resonanzfilter-Einstellung gibt die

Tabelle

	Hauptresonanz*
Geige	ca. 400 Hz
Cello	ca. 200 Hz
Bass	ca. 100 Hz

\* solle möglichst mit einem Kammfilter "unterstützt" werden.

Tabelle einige Anhaltspunkte.

Im Gegensatz zu den Resonanzen der Blasinstrumente ist die klangliche Relevanz der hier aufgeführten Werte geringer. Eine gute Hilfe ist die bereits erwähnte Resonanzfilterbank mit mehreren unabhängigen Resonanzen. Eine klangliche Verbesserung bringt auch die Verbindung eines Phasers oder eines Flangers mit sich. Der kammartige Frequenzgang des Phasers sorgt für eine Anzahl fester Resonanzen (peaks), die sorgfältig platziert den Streichinstrumenten-Klang gut unterstützen. Der DUAL-VCO wird mit einer einfachen AR-Hüllkurve angesteuert, wobei der ATTACK genügend langsam eingestellt ist. Dadurch wird das für Streichinstrumente typische Anschwellen der einzelnen Töne hörbar. Die RELEASE-Zeit ist relativ kurz; sehr wichtig ist ein guter Hall. Um den Klang der Streichinstrumente möglichst genau zu treffen, sind Experimente mit den Parametern des Resonanzfilters erforderlich. Das gilt ebenfalls für die Platzierung der peaks und notches des unmodulierten Phasers, der Oberton-dämpfung durch das Tracking Filter sowie für die ATTACK- und RELEASE-Zeit.

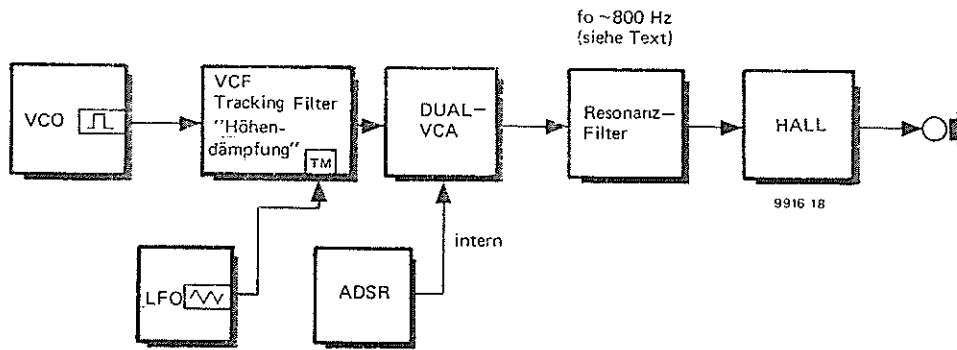
Hat man vor allem beim Resonanzfilter brauchbare Einstellungen für Baß, Cello, Viola und Violine gefunden, schaltet man einen zweiten VCO hinzu, der zunächst unisono gestimmt ist. Die Schwebungen der beiden VCOs geben dem Klang einen orchestralen Anstrich. Anschließend schaltet man noch den dritten, ebenfalls unisono-gestimmten VCO hinzu.

Mit einer unabhängigen PWM kann man evtl. bei allen drei VCOs die Schwebungsmuster dichter machen. Hierbei spielt man mit den modulierten Rechteckkurvenformen der VCOs. Eine andere Möglichkeit ist, jedem VCO bei Unisono- oder Oktavstimmung ein eigenes Vibrato zu geben. Bei genauer Einstellung der einzelnen Vibrato-Frequenzen und deren Modulationstiefe ergibt sich in der Regel bereits ein zufriedenstellender Streichinstrumenten-Klang mit orchestraler Note. Eine langsame periodische Phasermodulation kann das orchestrale Timbre des Klangs unterstreichen. Abschließend sind auch Experimente mit Akkordstimmung der VCOs interessant. Sind brauchbare orchestrale Klänge mit dem FORMANT gelungen, sollte man auch einmal Moll-Akkorde ausprobieren. Solche komplexeren Klänge sind als orchestraler Background für andere Instrumente gut geeignet.

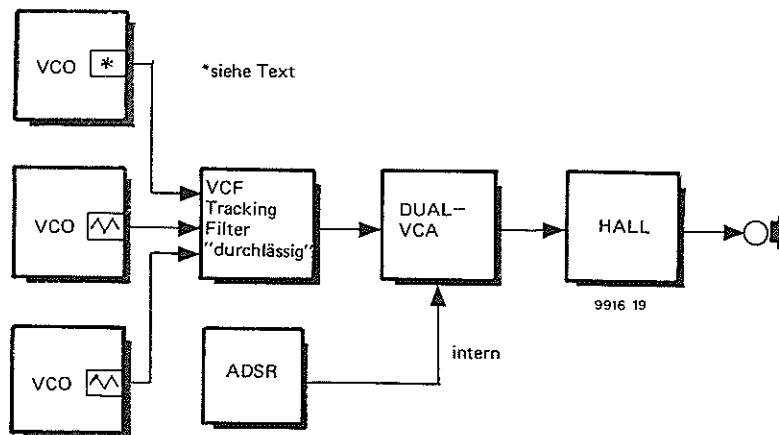
### Verbesserte Flötenklänge

Zu Beginn von Kapitel 3 ist bereits ein einfacher Flötenklang beschrieben. Hört man ihm aufmerksam zu, fällt auf, daß er durch eine Reihe von klanglichen Unzulänglichkeiten gekennzeichnet ist. Diese sind bei dem in diesem Abschnitt

18



19



beschriebenen verbesserten Flötenklang weitgehend ausgeklammert (Bild 18). Das Grund-Timbre des einfachen Flötenklangs ist *nur* durch die Dreiecks-Kurvenform geprägt. Der resultierende Klang entspricht *in etwa* dem Klang einer Holz-Flöte, auf keinen Fall aber dem "silberigen" Timbre z.B. einer Querflöte. Zum anderen fehlt die für Flöten typische Akzentuierung bestimmter Obertonbereiche durch die *Resonanzen* des Instruments. Eine weitere Unzulänglichkeit des einfachen Flötenklangs betrifft das nachgebildete Flöten-Tremolo, denn es ist im Grunde mehr als eine bloße Amplituden-Modulation. Speziell bei der Querflöte ist die Amplitudenmodulation von einer deutlich hörbaren, periodischen Klangfarben-Veränderung begleitet. Wird während des Tremolos der Ton jeweils lauter, wird er auch gleichzeitig heller, was speziell bei den tiefen Tönen der Querflöte leicht zu hören ist. Welche Veränderungen ergeben sich aus diesen Überlegungen für die Synthese verbesserter Flötenklänge mit dem FORMANT?

Strebt man nicht ausdrücklich das Timbre einer Holz-Flöte an, sondern das "silbrige" Timbre einer Metall-Querflöte, so kommt nicht mehr das Dreieck als Kurvenform des VCOs in Frage, sondern ein leicht unsymmetrisches Rechteck. Die starken Höhen des leicht unsymmetrischen Rechtecks muß man mit Hilfe des 24 dB Tracking Filters kräftig

Bild 18. Einstellung für den verbesserten Flötenklang.

Bild 19. Einstellanweisung für den orgelartigen Klang.

dämpfen. Je nach Ausführung der Querflöte kommt eine typische Formantenbildung durch Resonanz hinzu. *Als Richtwert für die Lage dieser Resonanz ist eine Mittenfrequenz des Bandpasses von ca. 800 Hz für einen Querflötenklänge recht brauchbar.*

Die Formung des einzelnen Tons geschieht mit Hilfe einer einfachen AR-Hüllkurve, welche den DUAL-VCA aussteuert. Das verbesserte Flöten-Tremolo wird in der Einstellung dadurch erreicht, daß eine dosierte und eventuell von Hand erfolgende dynamische Timbre-Modulation an die Stelle der Amplituden-Modulation tritt. Hierdurch wird ein realistischeres Flöten-Tremolo erreicht. Im Vergleich hierzu klingt die bloße Amplituden-Modulation ausdruckslos. Verschiedene Einstellfeinheiten sind noch nachzutragen. Zu Beginn stellt man das klarinetten- oder holzflötenhafte *symmetrische* Rechteck ein. Den OCTAVES-Einsteller des 24 dB-Tracking Filters (Tiefpaß) stellt man beim Spielen auf der Tastatur behutsam nach links (Richtung Null), bis sich ein relativ weicher, flötenhafter Grundklang einstellt. Mit Hilfe des Dreiecks aus einem LFO wird eine schwache Timbre-Modulation auf das Tracking Filter gegeben; dabei sollte die LFO-Frequenz nicht zu hoch eingestellt sein. Das Resonanzfilter ist mit seinem Bandpaß und mittelhohem bis relativ hohem Q-Faktor auf eine Mittenfrequenz von

ca. 800 Hz eingestellt und sorgt dafür, daß speziell die unteren Lagen des Flötentons ihren elektronischen Klangcharakter verlieren. Der DUAL-VCA formt mit der einfachen AR-Hüllkurve die einzelnen Töne, dabei wird er nicht mehr zur Amplituden-Modulation benutzt.

Nachdem man nun die Grundeinstellung für den verbesserten Flöten-Klang beim FORMANT vorgenommen hat, kommt eine sehr wichtige Einstellung. Bisher wurde das symmetrische Rechteck als Kurvenform benutzt, das zwar ein Holzflöten-Timbre erzeugt, aber nicht das angestrebte silberige Timbre einer (Metall-) Querflöte. Dieses Timbre erreicht man, indem man den PW-Einsteller des VCOs um 1 . . . 2 mm aus der eingestellten Position wegdreht, bei der das symmetrische Rechteck entstand. Ob man dabei den PW-Einsteller nach rechts oder links dreht, ist bei der Symmetrie des Pulsweiten-Spektrums unwesentlich. Überprüfen Sie mit dem Gehör die genaue Einstellung des PW-Einstellers, sie ist recht entscheidend in Bezug auf den silberigen Flötenklang. Ähnlich wichtig ist, daß der OCTAVES-Einsteller des ansonsten unbenutzten 24 dB-Tracking Filters soweit geschlossen ist, daß das Grund-Timbre keine klirrigen, elektronischen Obertöne mehr enthält. Er darf allerdings nicht soweit zuge dreht sein, daß das Grund-Timbre zu stumpf wird. Es ist empfehlenswert, mit der linken Hand beim Spielen den TM-Einsteller des Tracking Filters so zu bedienen, daß an bestimmten Stellen des einzelnen Tons oder der Melodie das Flöten-Tremolo dosiert entsteht. Der verbesserte Flötenklang bedarf auf jeden Fall einer sorgfältigen Einstellung, da dann der Flöte nicht mehr ein elektronischer Charakter anhaftet. Für die Experimentierfreudigen noch ein Tip: Es entstehen interessante Klänge, wenn der DUAL-VCA mit einer perkussiven AD-Hüllkurve angesteuert wird. Dabei sind die Tonhöhen entsprechend zu senken und die Resonanzfrequenzen zuerst auf ca. 400 Hz und dann auf 250 Hz einzustellen. Es entsteht ein baßflöten-ähnlicher Klang. Bei allen Einstellungen sollte man auch hierbei etwas Hall zu mischen.

## Orgelartige Klänge

Das folgende Klangbeispiel ist sehr einfach einzustellen (Bild 19). Zuerst stimmt man drei VCOs in einzelnen Oktavabständen und wählt nach dem Stimmen als Kurvenform für die beiden unteren Oktaven das Dreieck oder den Sinus. Für die oberste Oktave ist für einen sakralen Orgelklang das symmetrische Rechteck,- oder für einen ähnlichen, aber stärker gedämpften Klang das Dreieck geeignet. Für ein

trompetenhaftes *Orgelregister* benutzt man in der obersten Oktave den Sägezahn oder den Spaced-Sägezahn. Das Mischungsverhältnis der einzelnen Oktaven stellt man an den OUT-Einstellern der VCOs ein. Zur Tonformung dient lediglich der DUAL-VCA, der mit einer einfachen AR-Hüllkurve bei relativ kurzer ATTACK- und RELEASE-Zeit angesteuert wird. Die orgelartigen Klänge haben auch in sehr hohen Lagen, wo die Frequenz des Grundtons der obersten Oktave bereits über 2 KHz liegt, einen angenehm silberigen Charakter, der den sehr kleinen Pfeifen einer echten Orgel nahe kommt. Aber auch in den tiefen Lagen hören sich diese Klänge sehr gut an, da Sie in den unteren Oktaven durch die Dreieckskurvenformen sehr weich klingen. Bei allen orgelartigen Klängen des FORMANT empfiehlt sich zusätzlich ein stark eingestelltes Hall-signal.

## Klavierartige und -verwandte Klänge

Das Spektrum verschiedener klavier-ähnlicher Tasteninstrumente ist sehr groß. Es reicht vom Flügel mit seinem bei leisem Spiel weichen Bässen über HONKY-TONKY-artige Klavierklänge bis zu den hellen Klängen des CEMBALO, SPINETT und CLAVINETT. In gewisser Weise gehören die recht verschiedenen Klänge verschiedener E-Klaviere ebenfalls zu dieser Klang-Familie. Die allermeisten dieser Klänge, einschließlich des Klaviers oder Flügels, lassen sich mit der allerdings wichtigen Einschränkung der monofonen Spielweise recht gut mit dem FORMANT nachbilden. Von Besonderheiten bei einzelnen Keyboards abgesehen ist verschiedenen klavierartigen Klängen gemeinsam, daß mit dem Tastendruck eine Saite angeschlagen bzw. zum Schwingen angeregt wird. Der einzelne Ton beginnt perkussiv und mit einem schnellen ATTACK, klingt hingegen mit einem relativ langsamen DECAY aus. Das Loslassen der Taste führt zu einer zusätzlichen Dämpfung des ausklingenden Tons, der nun mit der verkürzten RELEASE-Zeit endet (vgl. "Mischformen AD/AR"). Eine zweite Charakteristik der meisten klavierartigen Klänge ist, daß die beschriebene Tondynamik in der Regel von keiner starken Klangfarbendynamik begleitet ist, so daß zur Formung solcher Klänge der DUAL-VCA benutzt wird, den die "Klavierhüllkurve" aussteuert. Ein weiteres Charakteristikum von klavierartigen Klängen ist, daß meist periodische "notches" das Spektrum solcher Klänge kennzeichnet, weswegen im FORMANT vor allem ein unsymmetrisches Rechteck als Ausgangskurvenform in Frage kommt. Für

bestimmte CLAVINETT- und E-Klavierklänge läßt sich ebenso Spaced Sägezahn und Sägezahn verwenden. Trotz der häufig fehlenden (deutlichen) Klangfarbendynamik sind die beiden Filter im FORMANT nicht funktionslos. Das 24 dB-Tracking Filter wird oft ohne Hüllkurvenaussteuerung dazu nützlich sein, bei klavier- und flügelartigen Klängen die starken Obertöne des unsymmetrischen Rechtecks abzuschwächen, ansonsten würden die Töne zu klirrig und elektronisch klingen. Das Resonanzfilter simuliert auf elektronischem Weg die Hauptresonanz des Klaviers oder des Flügels (niedriger Q-Faktor). Typisch für Klavier- und Flügel-Klänge sind die relativ weichen Bässe, die nicht dröhnen, sondern eher trocken klingen. Dagegen sind die Mittellagen prägnant und die Höhen bei nicht zu lautem Spiel relativ weich. Dies weist auf eine bestimmte Einstellung des Bandpasses hin, dessen Mittenfrequenz (Resonanzfilter) — je nach angestrebtem Klang — zwischen den Mitten und den Bässen liegen sollte. Auf den niedrigen Q-Faktor wurde bereits hingewiesen.

Bei anderen klavierartigen Instrumenten können recht abweichende Einstellungen des Resonanzfilters erforderlich sein, z.B. beim Spinett, Cembalo und speziell beim CLAVINETT. Ähnliches gilt auch für E-Klavier-Klänge, wo eigentlich nur der persönliche klangliche Geschmack bestimmt, wie man das Resonanzfilter einstellt.

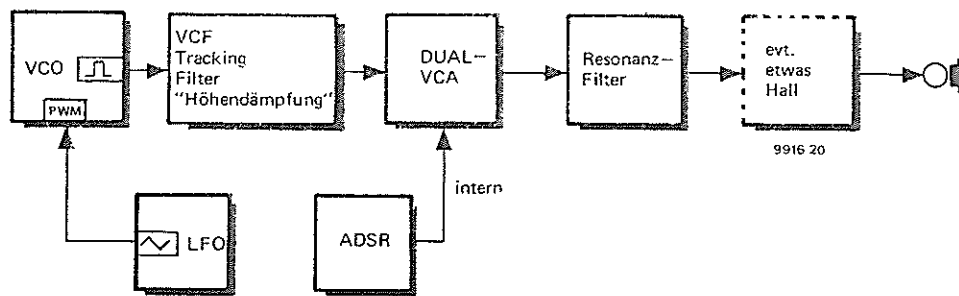
Die nachfolgende Beschreibung zeigt, wie man einen klavier- oder flügelartigen Klang mit dem FORMANT erzeugt (Bild 20).

Als Kurvenform wird ein unsymmetrisches Rechtecksignal gewählt (z.B. 10 bis 20% Pulsweite). Auf den PWM-Eingang des VCOs gibt man die relativ langsame Dreiecksschwingung von einem LFO.

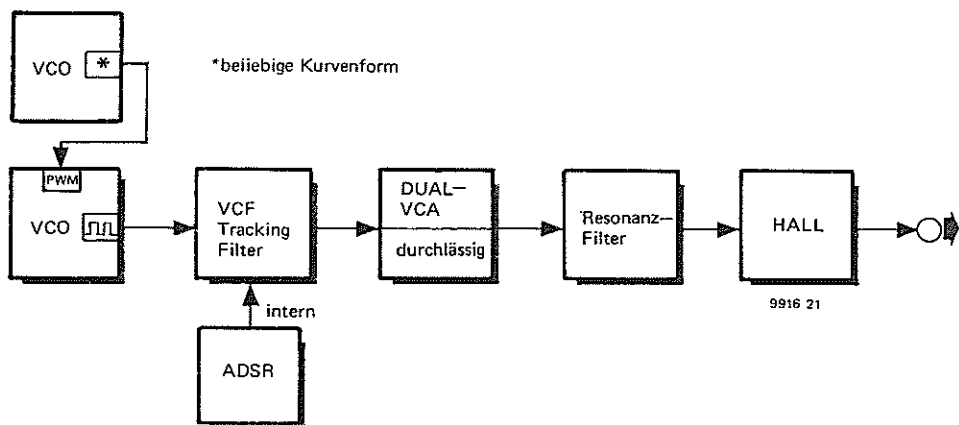
Der PWM-Einsteller des VCOs ist nur minimal aufgedreht, so daß gerade das Phasing hörbar wird. Mit Hilfe des 24 dB-Tracking Filters ohne Hüllkurvenaussteuerung (ENV-Einsteller zu) werden die Höhen des Rechteck-Klangs sorgfältig bedämpft. Die DUAL-VCA-Aussteuerung erfolgt mit einer klavierartigen Hüllkurve, so daß die Dynamik der einzelnen Töne entsteht. Die Höhendämpfung durch das Tracking Filter stellt man an seinem OCTAVES-Einsteller erst dann ein, nachdem der DUAL-VCA "in Aktion getreten ist". Abschließend ist noch die Mittenfrequenz des Bandpasses bei niedrigem Q-Faktor so einzustellen, daß die höheren klavierartigen Töne auf dem FORMANT nun genügend weich und die Bässe genügend trocken, aber noch nicht kraftlos klingen.

Für HONKY-TONKY-Klänge verstimmt man 2 VCOs gegeneinander. Beim MINIFORMANT mit einem VCO muß die PWM und gleichzeitig die Frequenz des LFOs geändert werden. Der perkussive Anschlagcharakter der

20



21



HONKY-TONKY-artigen Klavierklänge läßt sich wirksam unterstreichen, indem eine AD-Hüllkurve (sehr kurzer ATTACK und ebenso DECAY) auf das 24 dB-Tracking Filter einwirkt. Dabei ist der ENV-Einsteller leicht aufgedreht; die bereits beschriebene Einstellung des Tracking Filters ändert sich nicht. Man erreicht so, daß die "schwirrenden" Klänge des HONKY-TONKY einen "hellen" Anschlag erhalten.

Mit nur einem VCO, den eine AD-Hüllkurve mit sehr kurzem ATTACK am PWM-Eingang steuert, läßt sich gut experimentieren. Die eingestellte Kurvenform ist dabei ein Rechteck.

### Gong-, glocken- und schellenartige Klänge

Alle bisher beschriebenen oder erwähnten Klänge waren sich darin ähnlich, daß sie über *harmonische* Obertonstrukturen verfügen. Das letzte Klangbeispiel (Bild 21) das in diesem Abschnitt beschrieben wird, ist durch *nicht-harmonische Obertöne* gekennzeichnet, was ein Klangmerkmal von Glocken, Gongs, Schlagwerken usw. ist. Solche FORMANT-Klänge eignen sich zwar nicht in jedem Fall für ein Melodiespiel auf der Tastatur, sie können aber – über eine gute Verstärkeranlage wieder gegeben – sehr beeindruckend klingen. Für viele Anwendungen z.B.

Bild 20. Einstellschema für einfachen klavierartigen Klang.

Bild 21. Einstellanweisung für gong-, glocken- und schellenartige Klänge.

vom selbst produzierten Hörspiel bis zur Musik-Collage, können sie sehr nützlich sein. Die entsprechende Einstellung ist relativ einfach. Zwei VCOs sind – wie in Kapitel 2 bereits beschrieben – zu einer ringmodulatorhaften Pulsweitenmodulation zusammengeschaltet. Das 24 dB-Tracking Filter (Tiefpaß) mit Hüllkurvenansteuerung formt die Tondynamik. Die perkussive AD-Hüllkurve sollte eine sehr kurze ATTACK- und eine lange DECAY-Zeit haben. Beide VCOs stimmt man so, daß eine große Ähnlichkeit mit dem Timbre einer Glocke bzw. eines Gongs entsteht. Dabei darf nur ein VCO-Ausgang aufgedreht sein!

Ist das dynamische Tracking Filter bereits in Funktion, lassen sich die glockenähnlichen VCO-Klänge am einfachsten einstellen. Irgendwo zwischen den vielen Kurzwellengeräuschen, die vom Ringmodulator her bekannt sind, befinden sich viele abgestufte Grundklangfarben für alle möglichen kleinen und großen Glocken, Gongs, Schellen oder Uhrenschlagwerke. Das Resonanzfilter unterstreicht noch wirkungsvoll den dunklen Klang großer oder den hellen Klang kleiner Glocken.

### Weitere Klangvariationen

Die geschilderten Klangeinstellungen für den FORMANT sind nur einige Beispiele. Das bedeutet, daß viele Klang-

möglichkeiten des FORMANT nicht beschrieben sind. Dies sind vornehmlich komplexere Einstellungen, deren Beschreibungen mehr Platz in Anspruch nehmen würde. Der FORMANT-Besitzer hat also noch genügend Spielraum, selbständige Experimente und Klangeinstellungen durchzuführen.

Neben den orchestralen Klängen sind auch die Geräuschbeispiele – die man z.B. aus dem Rauschen ableiten kann – zu kurz gekommen. Ebenso fehlen die Hinweise für ausgesprochen elektronische Klänge. Das PORTAMENTO-Spiel, bei den beschriebenen Klangbeispielen vernachlässigt, bietet ein weitläufiges Experimentierfeld.

An dieser Stelle sei nochmals auf die Pedalansteuerung und das WAWA-Spiel hingewiesen; diese Spielmöglichkeiten eröffnen beim FORMANT eine Reihe ausdrucksvoller, individueller Klänge.

### Der FORMANT als Kombinationsinstrument

Der FORMANT ist nicht nur als Soloinstrument zu benutzen, sondern eignet sich sehr gut zum Zusammenspiel mit anderen Instrumenten. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten.

Für die Verehrer der reinen elektronischen Musik bietet sich das Zusammenspiel mit mehreren Synthesizern an. Geeignet ist z.B. die Kombination von einem "großen" FORMANT und einem Mini-FORMANT, der mit nur einem VCO, einem VCA, einem VCF und einem ADSR aufgebaut ist. Der "große" FORMANT liefert in dieser

Kombination den beschriebenen orchestralen Klang, während der Mini-FORMANT das eigentliche Melodiespiel übernimmt. Dabei ist es naheliegend, wenn die verschiedenen Synthesizer nicht von nur einem Spieler bedient werden, sondern für jedes Instrument ein Spieler zur Verfügung steht.

Wie sehr der FORMANT durch die Mehrstimmigkeit mit anderen Instrumenten gewinnt, läßt sich leider nicht genügend beschreiben. Ein Synthesizer allein ist wie ein großer Raum, vollgestopft mit den verschiedensten Instrumenten, für deren Bedienung nur ein Musiker zur Verfügung steht. Die Instrumente sind zum Teil nutzlos, da der Musiker allein sie nicht gleichzeitig bedienen kann.

Eine andere Art des mehrstimmigen Spiels ist das Playback. Allerdings sind die damit verbundenen Kosten für studioartige Tonbandgeräte relativ hoch. Der FORMANT läßt sich weiter ergänzen mit z.B. einem guten Elektroklavier oder einer vielseitigen Orgel. Besonders empfehlenswert ist das preiswerte CLAVINETT.

Die vielseitigste musikalische Anwendung hat der FORMANT im Rahmen einer Musikerguppe, wo seine Klänge mit den anders strukturierten Klängen der übrigen Musikinstrumente

kontrastieren. Der FORMANT-Spieler erhält bei einem solchen Zusammenspiel vielleicht die stärksten musikalischen Anregungen.

#### LITERATUR:

SIRKER, U.: "Strukturelle Gesetzmäßigkeiten in den Spektren von Blasinstrumentenklängen".

ACUSTICA, Vol. 30, Heft 1, 1974

HUTCHINS, C. M.: "Instrumentation and methods for violin testing".

JAES, Vol. 21, Sept. 1973, Nr. 7, 563-570

CARLOS, W.: "WALTER CARLOS on synthesizers" Veröffentlichter Brief in *WHOLE EARTH CATALOGUE* 1974.

CHAPMAN, G.: FORMANT-Serie Elektor Nr. 72-82, 1976/1977.

STRONG, W. & CLARK, M.:

"Synthesis of wind-instrument tones". *JASA*, Vol. 41, Nr. 1, 1967, S. 39-52.

CHAPMAN, C. u. DÜREN, W.:

"Synthesizer-Spezial".

Fachblatt-Musik-Magazin Dez. 1977 bis Mai 1978.

The control panels are organized as follows:

- Row 1:**
  - NOISE:** Includes a FAST/SLOW knob, a slider, and buttons for WHITE NOISE, COLOURED NOISE, and RANDOM NOISE. Includes an ELEKTORFORMANT logo.
  - LFOs:** Three panels, each with a FAST/SLOW knob, a waveform selector (S, M, N), and an ELEKTORFORMANT logo.
  - ADSR:** Two panels, each with four FAST/SLOW knobs (A, D, S, R), an AD ENV INDICATOR, and an OUT button. Includes an ELEKTORFORMANT logo.
  - DUAL VCA:** Includes an AM/ENV OFF/ES knob, two FAST/SLOW knobs, an INPUT LEVEL knob, a GAIN knob, and an OUT button. Includes an ELEKTORFORMANT logo.
- Row 2:**
  - VCO:** Three panels, each with FM, ECV, and PWM knobs, a KOV slider, and two FAST/SLOW knobs (OCTAVES, FINE). Includes an ELEKTORFORMANT logo.
  - VCF:** Two panels, each with TM, ECV, and ES knobs, a KOV slider, and two FAST/SLOW knobs (OCTAVES, FINE). Includes an ELEKTORFORMANT logo.

The interface panel includes:

- INTERFACE:** A knob for PORTAMENTO.
- OCTAVES:** A knob for COARSE and a knob for FINE.
- OFF:** A button.

Below the panel is a graphic of a piano keyboard with 12 keys.

9916 22

Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist das COM-MODUL entfallen.

# Dekoder

Was ist ein TUP?  
Was ist 3k9?  
Was bedeutet TF?  
Was ist eine Nachlese?

Der Elektor-Dekoder erläutert diese und andere häufig in Elektor verwendeten Begriffe, Abkürzungen und Bezeichnungen.

## Halbleitertypen

Die Abkürzungen TUP-TUN, DUG-DUS findet man häufig in Elektorschaltungen. Sie beziehen sich auf universell verwendbare Transistoren und Dioden, die hinsichtlich der technischen Daten übereinstimmen und sich nur durch Gehäuseform und Anschlußbelegung unterscheiden. Die Mindestanforderung der TUP-TUN, DUG-DUS-Bauelemente sind in den Tabellen I und II zusammengefaßt.

**Tabelle I.**  
Mindestanforderungen für TUP und TUN.

$U_{CE0}$ max.	20 V
$I_C$ max.	100 mA
$h_{FE}$ min.	100
$P_{tot.}$ max.	100 mW
$f_T$ min.	100 MHz

## TUN-Beispiele:

BC107 (-8, -9), BC147 (-8, -9),  
BC207 (-8, -9), BC237 (-8, -9),  
BC317 (-8, -9), BC347 (-8, -9),  
BC547 (-8, -9), BC171 (-2, -3),  
BC182 (-3, -4), BC382 (-3, -4),  
BC437 (-8, -9), BC414

## TUP-Beispiele:

BC177 (-8, -9), BC157 (-8, -9),  
BC204 (-5, -6), BC307 (-8, -9),  
BC320 (-1, -2), BC350 (-1, -2),  
BC557 (-8, -9), BC251 (-2, -3),  
BC212 (-3, -4), BC512 (-3, -4),  
BC261 (-2, -3), BC416

**Tabelle II.**  
Mindestanforderungen für DUG und DUS.

	DUG	DUS
$U_R$ max.	20 V	25 V
$I_F$ max.	35 mA	100 mA
$I_R$ max.	100 $\mu$ A	1 $\mu$ A
$P_{tot.}$ max.	250 mW	250 mW
$C_D$ max.	10 pF	5 pF

## DUG-Beispiele:

OA85, OA91, OA95, AA116

## DUS-Beispiele:

BA127, BA217, BA317, BAY61,  
1N914, 1N4148

Viele äquivalente Halbleiter haben unterschiedliche Typennummern. Um Beschaffungsschwierigkeiten eines speziellen Types zu vermeiden, wird in Elektor - soweit möglich - eine universelle Typennummer angegeben. Als Beispiel möge das IC 741 dienen.

741 bedeutet:  $\mu$ A 741, LM 741, MC 741, MIC 741, RM 741, SN72741, usw.

## Widerstands- und Kapazitätswerte

Die Angaben von Widerstands- und Kapazitätswerten erfolgt ohne Komma. Anstelle des Kommas werden international gebräuchliche Abkürzungen verwendet:

p (Piko) =  $10^{-12}$  k (Kilo)  
n (Nano) =  $10^{-9}$  M (Mega)  
 $\mu$  (Mikro) =  $10^{-6}$  G (Giga)  
m (Milli) =  $10^{-3}$

Einige Beispiele von Widerstands- und Kapazitätsangaben:

3k9 = 3,9 k $\Omega$  = 3900  $\Omega$

0 $\Omega$ 33 = 0,33  $\Omega$

4p7 = 4,7 pF

5n6 = 5,6 nF

4 $\mu$ 7 = 4,7  $\mu$ F

Belastbarkeit der Widerstände:

1/4 Watt (falls nicht anders angegeben).

Die Spannungsfestigkeit der Folienkondensatoren sollte um ca. 20% höher liegen als die Betriebsspannung der Schaltung.

## Gleichspannungsangaben

Die in einer Schaltung angegebenen Gleichspannungen sind als Richtwert zu betrachten, d.h. die Meßwerte dürfen um  $\pm 10\%$  abweichen. (Das Meßgerät sollte einen Innenwiderstand von  $\geq 20$  k $\Omega$ /V haben.)

## Technischer Leserservice

- Technische Fragen (TF) werden nicht nur schriftlich, sondern auch während der technischen Fragestunde telefonisch beantwortet. Die Redaktion steht jeden Dienstag in der Zeit von 13.30 ... 16.30 zur Verfügung.
- Nachlese, gibt alle wichtigen Informationen, die nach der Veröffentlichung eines Beitrags eintreffen, so schnell wie möglich an den Leser weiter.
- Wegwerfeschaltung. Auf der Innenseite der Banderole findet man allmonatlich eine sogenannte Wegwerfeschaltung. Vor dem Wegwerfen sollte man darauf achten, ob sie nicht doch eine eventuell nützliche Information enthält.
- Bücherservice. Schaltungen, die bereits vor mehreren Jahren publiziert wurden, sind auch heute noch gefragt. Deshalb hat Elektor sie in mehreren Büchern zusammengefaßt. Auch für den Newcomer stehen geeignete Bücher zur Verfügung, die eine einfache und leicht verständliche Starthilfe in die digitale- und analoge Elektronik bieten.

# elektor EPS Printservice

EPS-Prints werden vom Fachhandel geführt. Sind die Platinen im Fachhandel nicht vorrätig, so können sie auch durch Vorauszahlung zuzüglich Versandkosten DM 1,50 auf Postscheckkonto Köln 22 97 44 - 507 Elektor-Verlag, 5133 Gangelst 1, Tel.: 02454/5055, Telex-Nr.: 8329371 elek d, unter Angabe der Bestellnummer bezogen werden. Kein Nachnahmeversand. Auslieferung für die Schweiz: Thali AG, CH-6285 Hitzkirch, Tel.: 041/85 1270. Auslieferung für Österreich: Fachbuch Center ERB, Amerlingstr. 1, 1061 Wien, Tel.: 0222/56 62 09.

## Neu im EPS-Programm:

Interface	DM 6,50
VCO	DM 6,50
VCF	DM 6,50
DUAL-VCA	DM 6,50
ADSR	DM 6,50
LFO	DM 6,50
NOISE	DM 6,50
COM	DM 6,50
Paketpreis	DM 65,-

Das Paket enthält 3 VCO-, 2 ADSR- und je eine Interface-, VCF-, DUAL-VCA-, LFO-, NOISE- und COM-Frontplatte.

EPS-Prints werden vom Fachhandel geführt. Sind die Platinen im Fachhandel nicht vorrätig, so können sie auch durch Vorauszahlung zuzüglich Versandkosten DM 1,50 auf Postscheckkonto Köln 22 97 44 - 507 Elektor-Verlag, 5133 Gangelst 1, unter Angabe der Bestellnummer bezogen werden. Kein Nachnahmeversand.

## FORMANT-Platinen:

### Januar 1977

9721-1 12,25 Interface

### Februar 1977

9721-2 6,- Interface Empfänger  
9721-3\* 19,50 Netzteil  
9721-4 3,60 Tastaturplatine

### April 1977

9723-1\* 39,- VCO-Modul

### Mai 1977

9724-1 15,90 VCF-Modul

### Juni 1977

9726-1 15,70 VCA-Modul

### Halbleiterheft 1977

9725-1 15,- ADSR-Modul

### September 1977

9727-1 16,80 LFO-Modul  
9728-1 14,40 NOISE-Modul

### Oktober 1977

9729-1 13,20 COM-Modul

\* Leiterbahnen verzinst