

Neue FORMANT-Modulen

Der FORMANT-Musiksynthesizer ist mit den bisher 9 bekannten Moduln relativ umfangreich und musikalisch vielseitig. Wer gerne kreativ mit elektronischen Klängen experimentiert, wünscht sich immer mehr und vor allen Dingen neue Möglichkeiten.

Mit einer Vervielfachung der bereits veröffentlichten Moduln (VCOs, VCFs, VCAs, usw.) können weitere unabhängige Signalwege (patchways) aufgebaut werden. Zusätzliche (digitale) Keyboards (Kapitel 1) sowie Sequencer erlauben ein gewisses Maß an Vieltimmigkeit.

Die hier beschriebenen neuen FORMANT-Moduln ermöglichen eine Erweiterung der musikalischen Möglichkeiten des FORMANT, die sich mit den bisher veröffentlichten Moduln überhaupt nicht oder nur schwierig realisieren lassen.

Im Rahmen dieses Kapitels werden insgesamt 9 weitere FORMANT-Moduln vorgestellt, die in beliebiger Reihenfolge einzeln oder mehrfach dem Grundausbau des FORMANT hinzugefügt werden können. In diesem "Baupaket" sind sowohl Spannungsquellen als auch analytische und signalformende Moduln enthalten. Für jeden "Geschmack" ist also etwas dabei.

Jedes Modul besitzt, ebenso wie die bisher veröffentlichten, eine eigene Frontplatte, die zusammen mit der Platine (im Europa-Format) eine steckbare und leicht austauschbare Einheit bildet. Die Modulbezeichnungen auf den Frontplatten beschreiben jeweils die wichtigsten Funktionen der Moduln. Die Signalwege wurden nach Möglichkeit auf den Frontplatten durch Pfeile angedeutet, damit sich auch Musiker, die weniger in die Technik eingeweiht sind, leicht zurechtfinden können. Die Ein- und Ausgänge der einzelnen Moduln sind so ausgelegt, daß ohne Gefahr von Kurzschlüssen und Fehlanpassungen alle denkbaren Patchcord-Konfigurationen möglich sind. Den kreativen Möglichkeiten im Formen neuer Klangstrukturen sind also (fast) keine Grenzen gesetzt.

Neben einer ausführlichen Schaltungsbeschreibung sowie Platinen- und Frontplattenvorschlägen fehlen auch nicht genaue Aufbau- und Abgleichanlei-

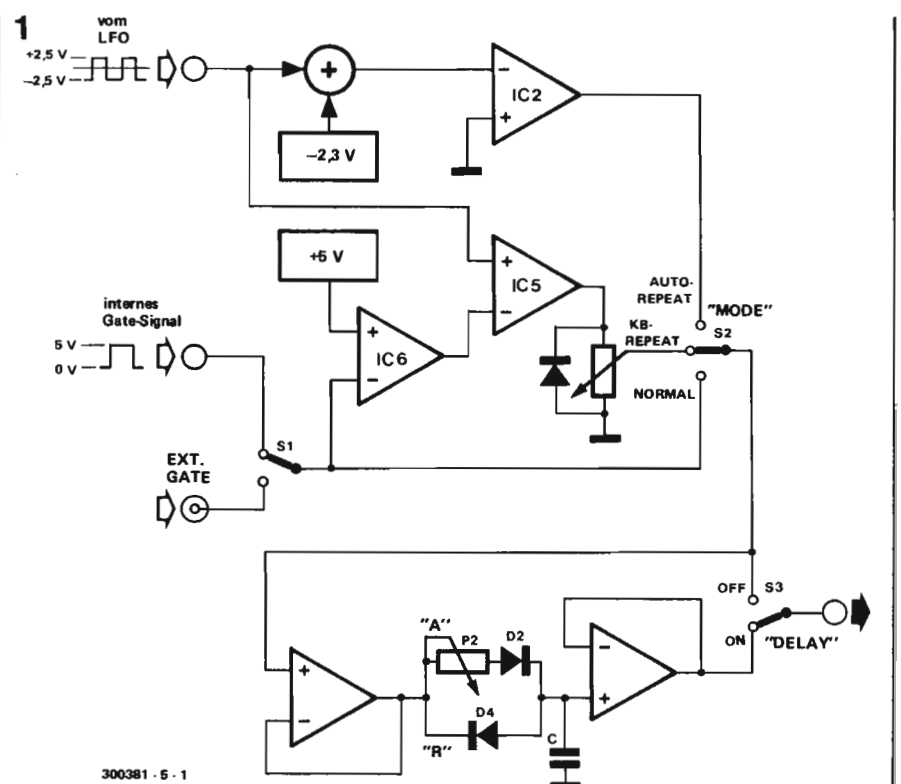
tungen sowie einige Anwendungsmöglichkeiten, die gerade die Arbeit mit den (noch) weniger populären FORMANT-Moduln erleichtern sollen. An den Einstellungshinweisen kleben natürlich die "Fingerabdrücke des Verfassers", sie weisen oft nur einen möglichen Weg zur Realisierung eines bestimmten "Sounds". Sie sollen nur zum kreativen Handeln anregen und keinesfalls die Phantasie des Anwenders irgendeiner Form einschränken.

Viel Spaß bei eigenen Klangentdeckungen mit den neuen FORMANT-Moduln!

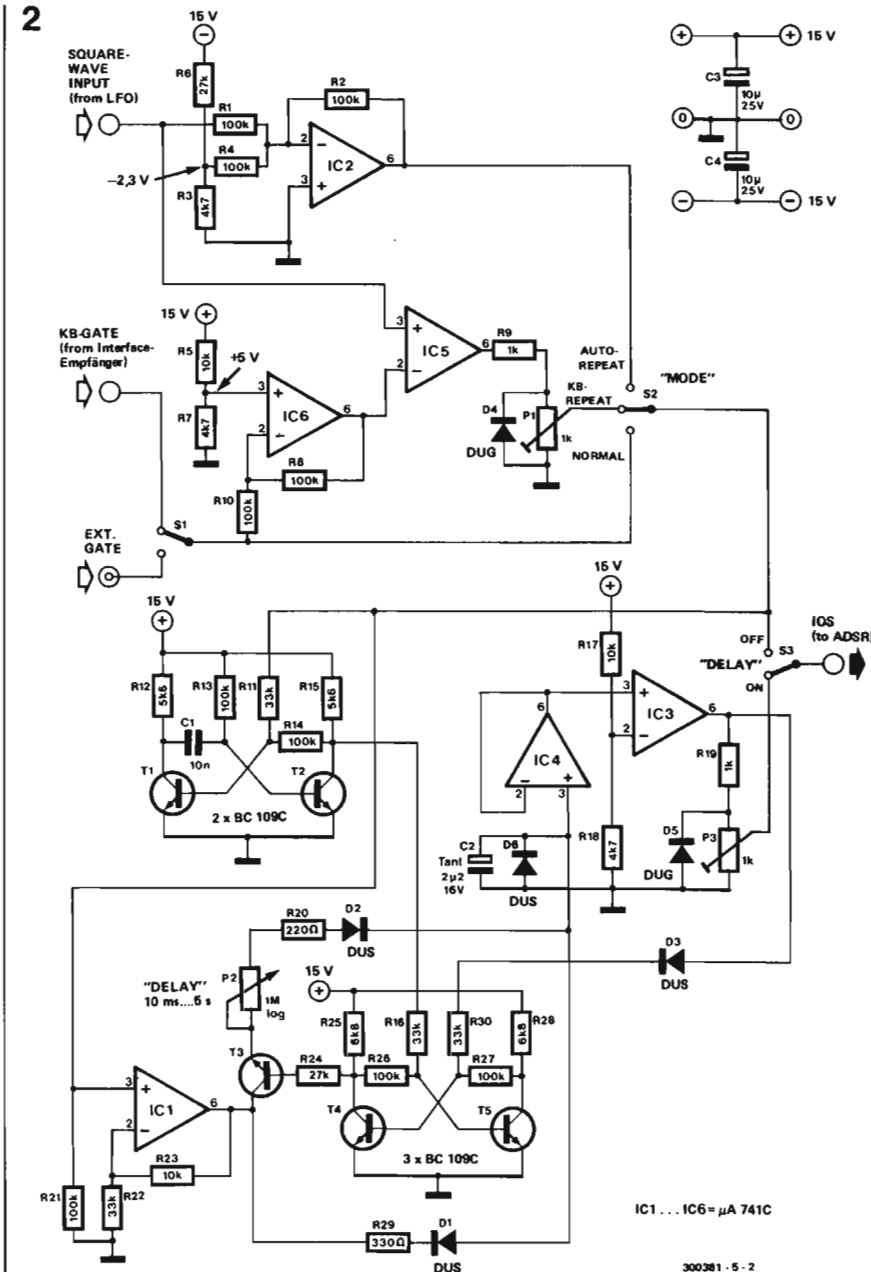
ADSR-Controller

Vielfach wird ein externer GATE-Eingang für die ADSR-Hüllkurvengeneratoren gewünscht, besonders, wenn der FORMANT zusammen mit Sequencern eingesetzt werden soll. Über einen

"Repeat"-Eingang kann die ADSR-Funktion im Takt einer LFO-Rechteckspannung wiederholt werden. Die ebenfalls integrierte Verzögerungseinheit ermöglicht das zeitlich verzögerte Weiterleiten eines aufgeschalteten Gate-Impulses an die "getriggerten" Elemente. ADSR-Hüllkurvengeneratoren dienen vor allem zur Steuerung der Klangfarbendynamik von VCFs und des Amplitudenverlaufs von VCAs. Im Rahmen der FORMANT-Serie wurde vorgeschlagen, die ADSRs intern zu verdrahten. Sie besitzen daher keinen eigenen Eingang. Will man den FORMANT z.B. zusammen mit einem Sequencer betreiben, hat man Schwierigkeiten, die ebenfalls vom Sequencer erzeugten Gate-Signale den Hüllkurvengeneratoren zuzuführen. Der ADSR-Controller bietet daneben noch die Möglichkeit, das Gate-Signal auch von der Rechteckspannung eines LFOs, das natürlich auch spannungsgesteuert sein kann (VC-LFOs bzw. LF-VCOs), abzuleiten bzw. ein Gate-Signal vom internen oder externen



2



Stückliste zu Bild 2

Widerstände (Kohleschicht, 5%):
 R1, R2, R4, R8, R10, R13, R14, R21,
 R26, R27 = 100 k
 R3, R7, R18 = 4k7
 R5, R17, R23 = 10 k
 R6, R24 = 27 k
 R9, R19 = 1 k
 R11, R16, R22, R30 = 33 k
 R12, R15 = 5k6
 R20 = 220 Ω
 R25, R28 = 6k8
 R29 = 330 Ω

Potentiometer:
 P1, P3 = 1 k (Trimmer)
 P2 = 1 M (log.)

Kondensatoren:
 C1 = 10 n (MKH, MKM)
 C2 = 2µ2/16 V, Tantal
 C3, C4 = 10 µ/25 V

Halbleiter:
 D1, D2, D3, D6 = DUS
 D4, D5 = DUG
 T1 ... T5 = TUN (z.B. BC 550C)
 IC1 ... IC6 = µA 741C (Mini-Dip)

Sonstiges:
 S1, S3 = Miniatur-Kippschalter
 1 x UM
 S2 = dreipoliger Drehschalter
 3 x Klinenbuchse 3,5 mm
 2 x Drehknöpfe für 6 mm Achse
 1 x 31-pol. Steckerleiste oder
 Lötträger

Bild 1. Vereinfachtes Schaltungsprinzip des ADSR-Controllers. Die Verzögerungsleitung gleicht dem AR-Zweig des FORMANT-ADSRs mit D = 0.

Bild 2. Vollständiger Schaltplan des FORMANT-ADSR-Controller-Moduls.

Eingang periodisch zu unterbrechen, wodurch die ADSR-Hüllkurve im Takt des Rechtecksignals wiederholt wird. Als Besonderheit bietet der ADSR-Controller die Möglichkeit, das Gate-Signal für einen bestimmten Hüllkurvengenerator (abschaltbar, d.h. vorprogrammierbar) zeitlich in einem Bereich von 10 ms bis ca. 5 s zu verzögern. Dadurch wird eine gestaffelte Auslösung der einzelnen Hüllkurven-Generatoren möglich, wobei "chorartige" Effekte mit einem *einzigem* Keyboard entstehen (sofern man über mehrere unabhängige Signalwege verfügt).

Die Schaltung

Das Schaltungsprinzip geht aus Bild 1 hervor. Bild 2 zeigt den kompletten Schaltplan der "Kontroll-Einheit". Ist der Schalter S1 in der Stellung "KB-GATE" und S2 sowie S3 in Position "NORMAL" bzw. "OFF", gelangt das Gate-Signal vom Interface-

Empfänger unverändert zum jeweiligen Hüllkurvengenerator. Mit S1 kann wahlweise auf ein externes Gate-Signal (+5 V = ON, 0 V = OFF) umgeschaltet werden.

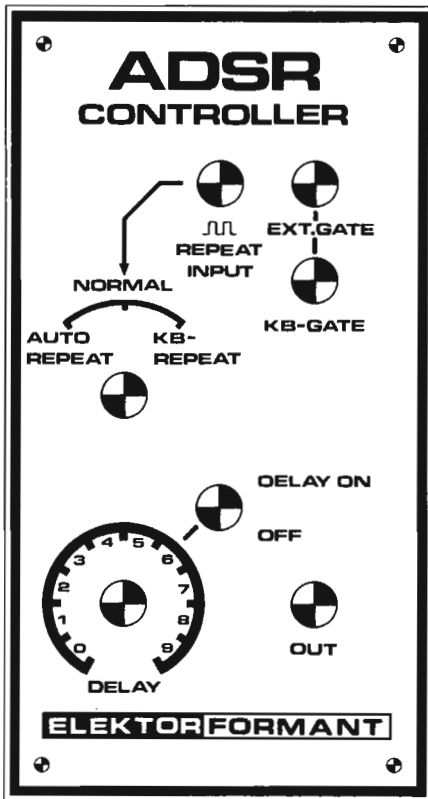
Das Rechtecksignal eines LFOs für den Wiederholungseffekt der Hüllkurvenfunktion erfährt über OpAmp IC2 eine Pegelverschiebung um +2,3 V. Ist S2 in der Stellung "AUTO-REPEAT" folgt das angeschlossene ADSR-Modul der Taktfrequenz des LFOs. In der Stellung "KB-REPEAT" gelangt das Ausgangssignal des Komparators IC5 über R9 und P1 zum (intern verdrahteten) ADSR-Eingang. Als Referenzspannung am invertierenden Eingang des Komparators dient das invertierte und in der Lage um 5 V verschobene Gate-Signal. An den nichtinvertierenden Eingang gelangt das unveränderte Rechtecksignal (oberes Plateau), das gleichzeitig am Eingang des Moduls anliegt. Das sich im Takt des LFO-Signals wiederholende Gate-Signal folgt so dem Tastendruck oder der

Zeitkonstanten des Trigger-Ausgangs eines Sequencers.

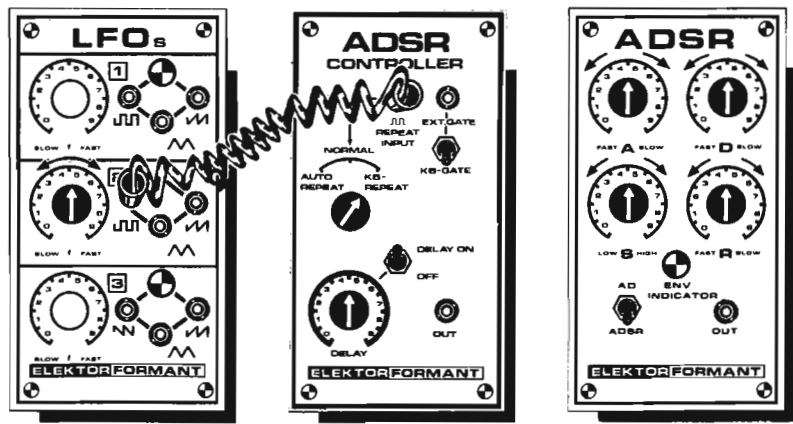
Die Delay-Schaltung des ADSR-Controllers ist im Aufbau der eigentlichen FORMANT-ADSR-Schaltung sehr ähnlich. Im folgenden ist die Funktion der Verzögerungseinheit kurz erläutert: Das am Eingang der Delay-Schaltung anliegende Gate-Signal triggert mit der positiven Flanke das mit T1 und T2 aufgebaute Monoflop, das seinerseits einen Setzimpuls an das mit T4 und T5 aufgebaute Flipflop liefert. Das Flipflop wird gesetzt, T5 leitet und sperrt damit T4. Da T4 nun gesperrt ist, beträgt sein Kollektorpotential +15 V, T3 leitet und gibt den "Delay-Ladeweg" frei. Dieser wird aus einer +6 V-Spannungsquelle (IC1) aus dem Gate-Signal gespeist. Der Tantal-Kondensator C2 lädt sich in der Folge mit einer durch P2 einstellbaren Delay-Zeit auf. Die Spannung an C2 wird über einen OpAmp (IC4) niederohmig entkoppelt. Der relativ hohe

Eingangswiderstand von IC4 sorgt dafür, daß praktisch der gesamte Ausgangsstrom von IC1 in die Kapazität C2 abfließt. Vom Ausgang von IC4 gelangt das Signal an den nichtinvertierenden Eingang des Komparators IC3. Sobald die Spannung am Kondensator C2 die Schaltschwelle des Komparators (ca. +5 V) erreicht, springt der Ausgang von ca. -12 V...-14 V auf +12 V...+14 V, wodurch das Flipflop T4/T5 über D3 und R30 zurückgesetzt wird. In der

4



5



Folge sperrt T3 und beendet die Aufladephase von C2 ("Delay-Time"). Die Spannung an C2 wird nun bis zum "Ende" des Gate-Signals am Eingang der Delay-Schaltung gespeichert. Mit der abfallenden Flanke des Gate-Signals fällt auch die Ausgangsspannung von IC1 auf 0 V, die an C2 gespeicherte Spannung kann sich nun über D1 und R29 abbauen. Mit R29 ist die Entladekonstante auf ca. 3 ms eingestellt. Die Delay-Schaltung ist nun für die Verzögerung des nächsten Gate-Signals bereit. Mit P3 wird die positive Ausgangsspannung am Komparator IC3 auf ca. +5 V eingestellt. Eine negative Ausgangsspannung wird über D5 auf Massepotential geklemmt. Damit steht auch am Ausgang der Delay-Schaltung ein "richtiges" Gate-Signal zur Verfügung. Mit S3 kann man eine bestimmte Delay-Zeit vorprogrammieren, um das Gate-Signal im richtigen Moment in der gewünschten Zeit verzögern zu können.

Bauelementeauswahl

Grundsätzlich sollte man, wie im

Rahmen der FORMANT-Serie mehrmals erwähnt, nur Bauteile namhafter Hersteller verwenden. Für C2 ist unbedingt ein Tantal-Elko vorzusehen. Für die TUN-Transistoren T1...T5 sollte man C-Typen verwenden (z.B. BC 550C).

Aufbau und Abgleich

Platinenlayout und Bestückungsplan gehen aus Bild 3 hervor. Der Aufbau dürfte keine Probleme bieten. Grundsätzlich sollte für jeden ADSR-Hüllkurvengenerator ein eigenes ADSR-Controller-Modul vorgesehen werden. Die Verdrahtung erfolgt intern. Statt dessen könnte man auch am ADSR-Controller eine Ausgangsbuchse vorsehen. In diesem Falle müßte das ADSR-Modul mit einer Eingangsbuchse mit Schalter versehen werden, über die die Gate-Leitung gelegt wird. Beim Verbinden des ADSR-Controller-Ausgangs mit dem ADSR-Eingang wird das KB-Gate vom Interface-Empfänger automatisch abgeschaltet. Auf diese Weise kann man die Zahl der Controller-Module reduzieren. Als Faustformel

3

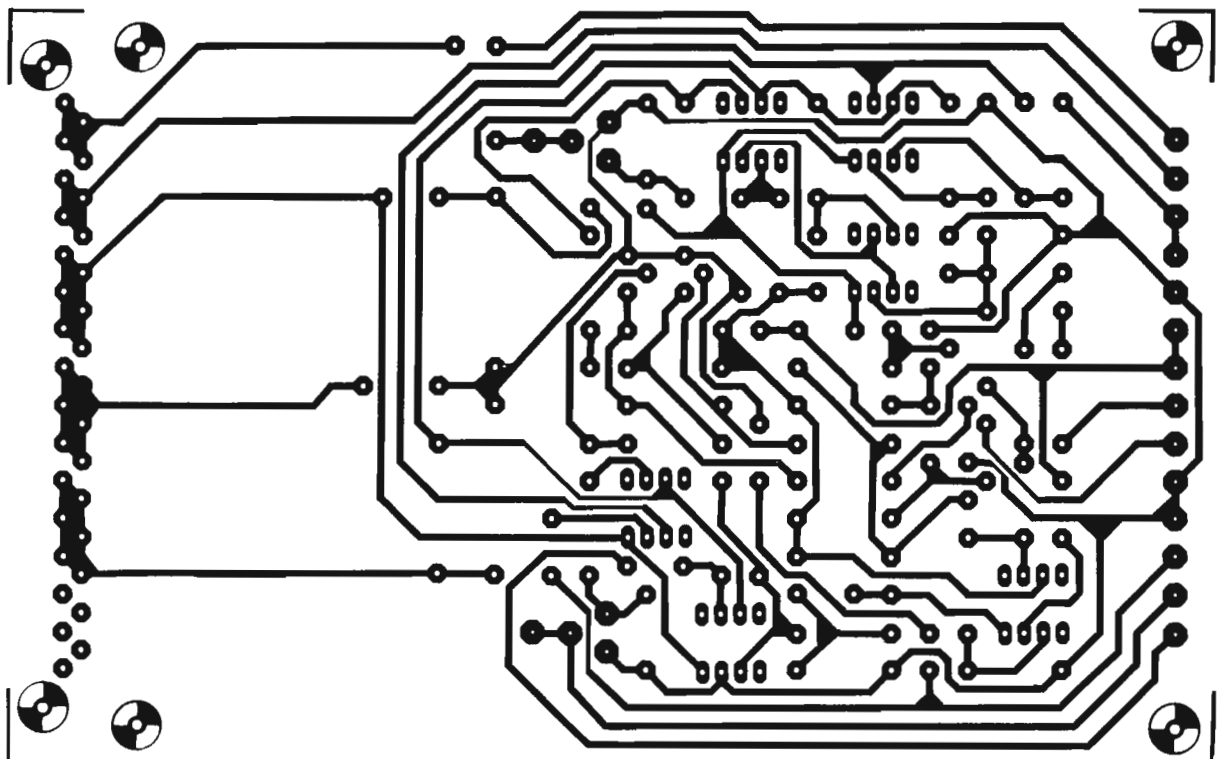
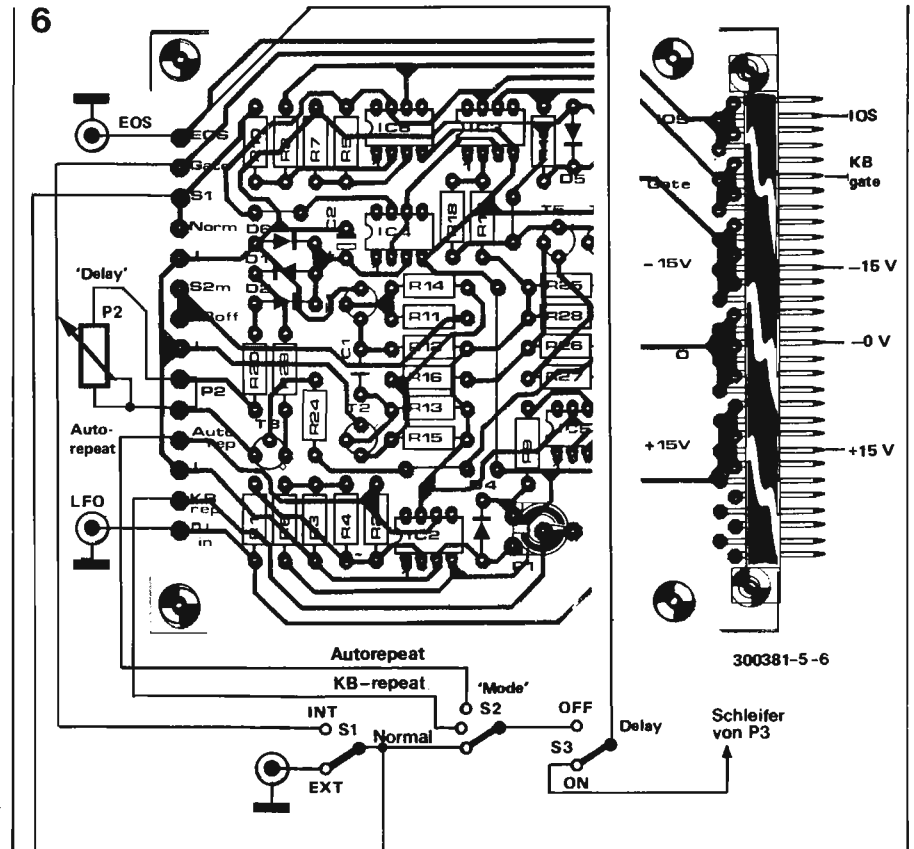


Bild 3. Platinenlayout und Bestückungsplan des ADSR-Controllers.

Bild 4. Frontplattenvorschlag für den ADSR-Controller.

Bild 5. Grundschialtung des ADSR-Controllers in KB-REPEAT-Position.

Bild 6. Verdrahtungsplan zwischen Platine und Frontplattenelemente.



kann gelten: die Hälfte der Anzahl der ADSR-Module.

Einzige Abgleichpunkte sind die Trimmer P1 und P3, mit denen die "Größe" des Gate-Signals auf ca. +4,7 V bis +5,0 V eingestellt werden soll. Der Abgleich von P1 geschieht am einfachsten, indem man das LFO auf maximale Periodendauer (= minimale Frequenz) einstellt und gleichzeitig eine Taste drückt (S1 in Stellung KB-GATE).

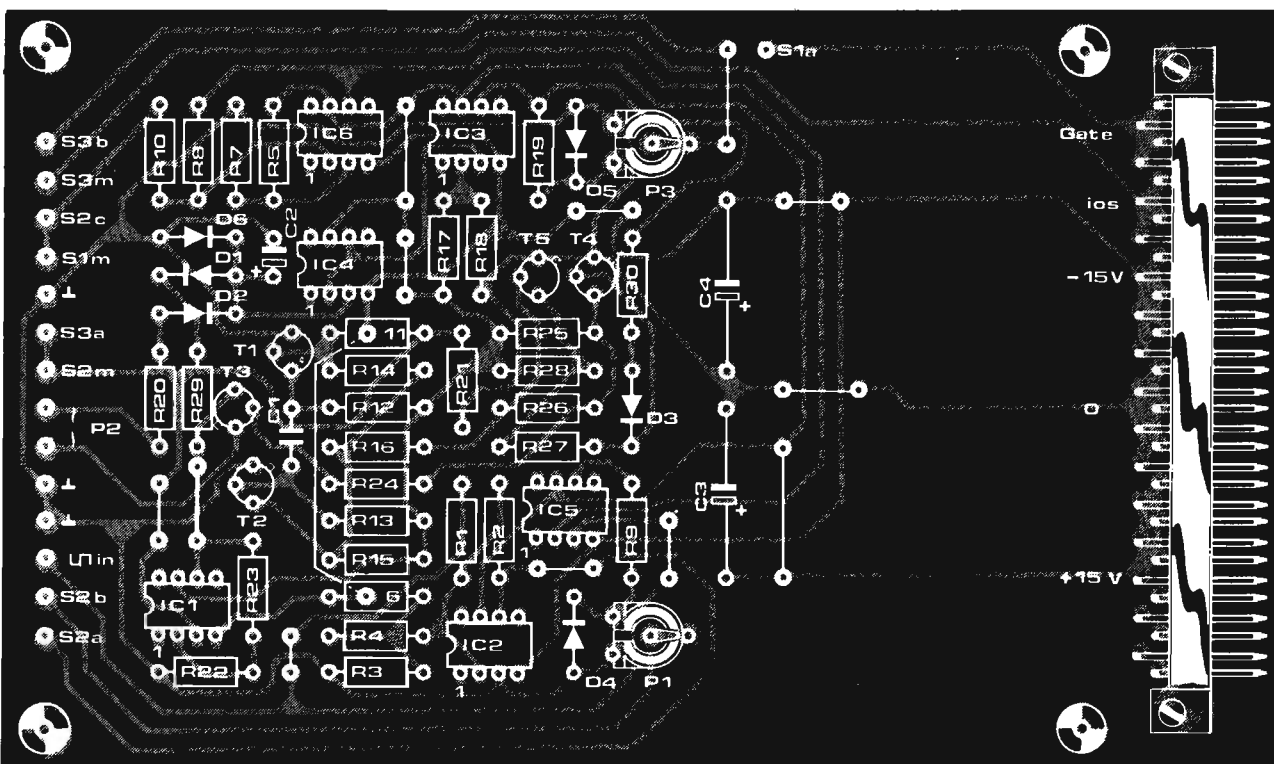
P1 läßt sich dann leicht auf den zum sicheren "Anspringen" der ADSR-Hüllkurvengeneratoren erforderlichen Wert einstellen. P3 wird ebenfalls bei gedrückter Taste und minimaler Delay-Zeit auf +4,7 V bis +5,0 V eingestellt.

Anwendungen

Über den EXT. GATE-Eingang können beliebige Gate-Signale von einem

Sequencer oder bei Verwendung von ADSRs in einem Erweiterungsgehäuse vom KB-Gate-Verteilerfeld (Kapitel 4) eingeschleift werden. Der REPEAT-Eingang dient ausschließlich zur Wiederholung der ADSR-Funktion im Takt der LFO-Frequenz.

Die Gate-Verzögerung bietet vielfältige Anwendungsmöglichkeiten: Von Chorfekten bis Repeat-Percussion sowie Mandolinen-Effekten.



VC-LFOs

LFOs (Low Frequency Oszillators) dienen in einem Musiksynthesizer zu Modulationen aller Art. Sie verleihen den Synthesizer-Klängen erst ihre "Lebendigkeit". Die Möglichkeit der Spannungssteuerung dieser Modulationsoszillatoren bietet dem Anwender eine beträchtliche Erweiterung der musikalischen Ausdrucksmöglichkeiten ("Verdichtung" von Phasing-Mustern, Anschlagabhängigkeit der Tremolo-Frequenz, Nachführung des Vibrators mit der Tonhöhe der VCOs, usw.).

Dieses LFO-Modul liefert zwei unabhängige niederfrequente Modulationsspannungen (für FM, PWM, TM, CM, AM, usw.) und ist darüber hinaus noch selbst spannungssteuerbar. Das von Dr. Robert A. Moog eingeführte Konzept der Spannungssteuerung wurde hier in einem veränderten FORMANT-LFO-Modul konsequent angewendet (Bild 1), wodurch dem FORMANT-Spieler neue Möglichkeiten der Klangbeeinflussung eröffnet werden.

Bei optimaler Ausnutzung der Platinen- und Frontplattenfläche sind zwar pro Platine nur zwei Oszillatoren untergebracht, dies kann jedoch für die Möglichkeit der Spannungssteuerung in Kauf genommen werden. Darüber hinaus stehen am Ausgang jedes Oszillators drei verschiedene Schwingungsformen gleichzeitig zur Verfügung, womit auch komplizierte Modulationen realisiert werden können.

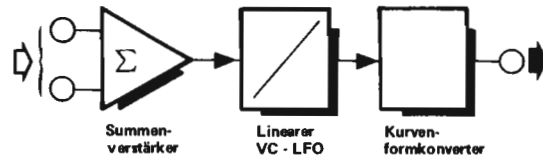
Auf der Platine sind zwei unabhängige LFOs untergebracht, die in ihrer Funktion niederfrequenten Funktionsgeneratoren gleichkommen. Am Ausgang von LFO 1 stehen die Kurvenformen Rechteck, Dreieck und Sägezahn mit ansteigender Flanke (und schaltungsbedingt mit doppelter Frequenz) zur Verfügung, am Ausgang von LFO 2 neben der Dreieckschwingung zwei verschiedene "Sägezähne": Einen mit ansteigender und einen mit abfallender Flanke. Die Frequenz der Ausgangssignale ist bei beiden LFOs in einem Bereich von ca. 0,005 Hz bis ca. 20 Hz einstellbar.

Wie aus Bild 2 ersichtlich, verlaufen alle Signale zwischen -2,5 V und +2,5 V, eine Anzeige-LED macht den Verlauf der Dreieckschwingung sichtbar. Dies stellt ein nützliches Hilfsmittel bei der Einstellung und Zuordnung der jeweiligen Modulationsquelle dar, dies besonders bei sehr langsam schwingenden LFOs.

Schaltung

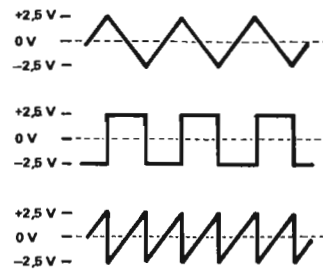
Die Oszillatorsektion der beiden LFOs ist in Bild 3 (a und b) dargestellt. Bis auf je einen Widerstand gleichen die Schaltbilder denen der FORMANT-LFOs aus dem 9. Teil der Serie. Die Schaltungsfunktion ist jedoch im folgenden nochmals erläutert: Der eigentliche Oszillator

1



300381 - 5 - 7

2



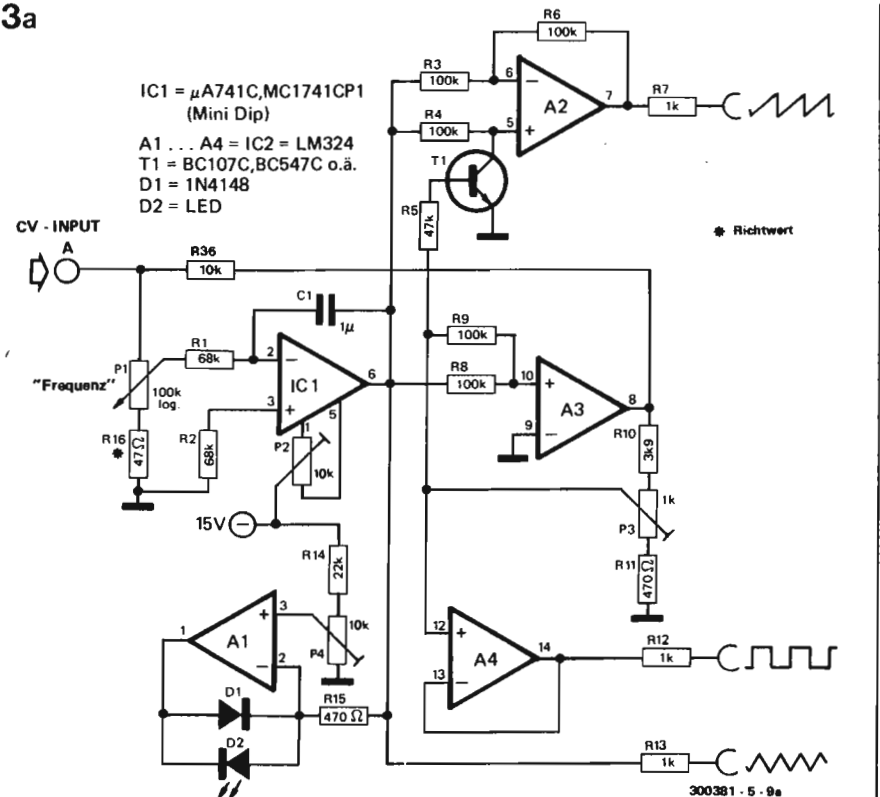
300381 - 5 - 8

besteht aus einem Integrator (IC1 bzw. IC3) und einem OpAmp-Schmitt-Trigger (A3 bzw. A7). Die Dreieckschwingung des Oszillators entsteht durch Rückkopplung vom Schmitt-Trigger-Ausgang auf den Integrator-Eingang. Der Spannungsteiler R10/P3/R11 (R32/P7/R33) teilt die zwischen ca. +14 V und ca. -14 V wechselnde Ausgangsspannung von A3 (A7) auf +2,5 V bzw. -2,5 V am Schleifer von P3 (P7) herunter. Die Widerstände R8 und R9 (R30 und R31) bilden einen Spannungsteiler für die zwischen dem Ausgang von IC1 (IC3) und dem Schleifer von P3 (P7) liegende Spannung, am nichtinvertierenden Eingang von A3 (A7) liegt daher immer die Hälfte dieser Spannung (R8 = R9 = R30 = R31 = 100 k). OpAmp A3 (A7) arbeitet genau genommen als Komparator, sein Ausgang geht auf ca. +14 V, sobald der nichtinvertierende

Eingang positiv gegenüber dem invertierenden, auf Masse liegenden Eingang wird, und auf ca. -14 V, sobald der nichtinvertierende Eingang negativ wird. Wegen der Rückführung der auf ± 2,5 V heruntergeteilten Ausgangsspannung auf den Spannungsteiler R8/R9 (R30/R31) geht der Ausgang von A3 (A7) auf ca. +14 V, wenn die Ausgangsspannung von IC1 (IC3) auf +2,5 V angestiegen ist (obere Schaltschwelle des Triggers) und auf ca. -14 V, wenn die Ausgangsspannung des Integrators -2,5 V erreicht (untere Schaltschwelle).

Über R36 und P1 (R37 und P8) gelangt die Ausgangsspannung des Komparators auf den Eingang von IC1 (IC3), so daß sich die Richtung der Spannungsänderung am Integrator-Ausgang beim Erreichen der Schaltschwellen 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 Abfallgeschwindigkeit des Spannungsverlaufs am Ausgang, die Frequenz ist mit dem Potentiometer P1 (P8) einstellbar. Die vom Schmitt-Trigger erzeugte Rechteckspannung wird über den Puffer-OpAmp A4 niederohmig entkoppelt. Eine einfache Konverterschaltung leitet aus der Dreieckschwingung den Sägezahn ab. Solange die Spannung am Schleifer von P3 (P7) negativ ist (näm-

3a



Stückliste VC-LFOs

Widerstände (Kohleschicht, 5%):

- R1, R2, R19, R20 = 68 k
- R3, R4, R6, R8, R9, R21, R22, R24, R30, R31, R38, R38', R40, R40', R41, R41', R42, R42' = 100 k
- R5, R23 = 47 k
- R7, R12, R13, R28, R29, R34 = 1 k
- R10, R32 = 3k9
- R11, R15, R33, R35 = 470 Ω
- R14, R18, R39, R39' = 22 k
- R16, R17 = 47 Ω
- (Richtwert, siehe Text)
- R25, R27 = 10 k
- R26 = 4k7
- R36, R37 = 10 k

Potentiometer:

- P1, P8 = 100 k log. (4 mm Achse)
- P2, P4, P5, P6 = 10 k (Trimmer)
- P3, P7 = 1 k (Trimmer)
- P9 = 100 k (lin. Stereoausführung, 4 mm Achse)
- P10, P10' = 100 k (lin. 4 mm Achse)

Kondensatoren:

- C1, C2 = 1 μ (MKM, MKS)
- C3, C4 = 10 μ/25 V

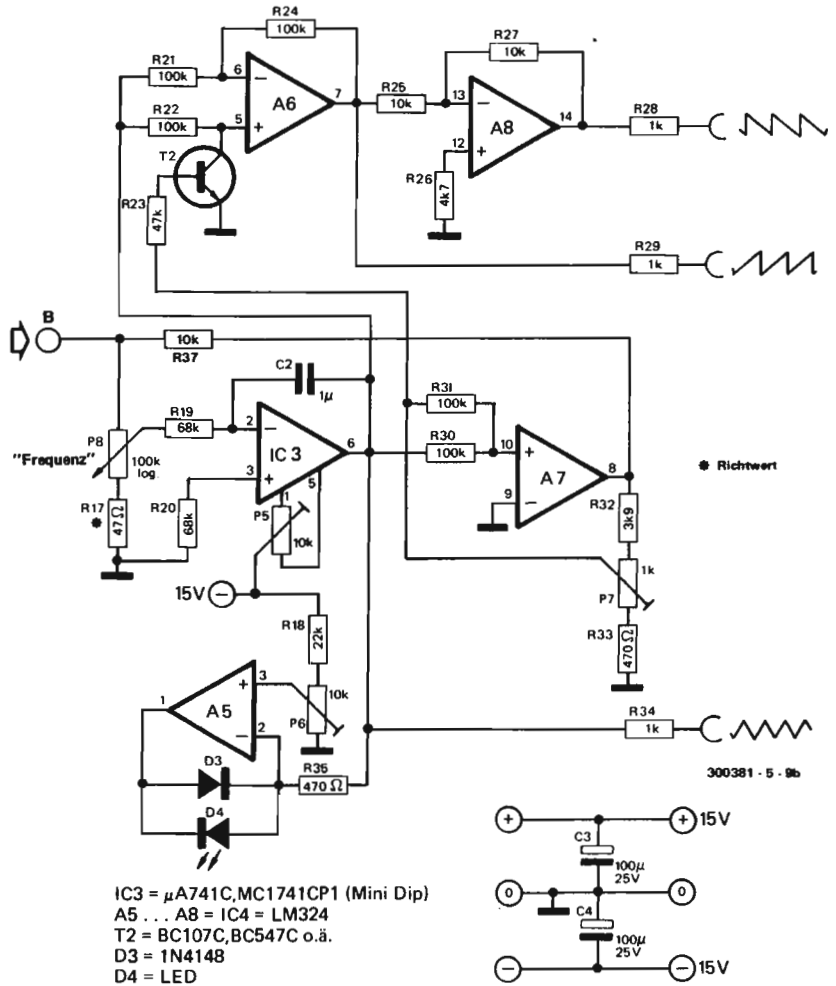
Halbleiter:

- IC1, IC3 = μA 741C (Mini Dip)
- IC2, IC4, IC5 = LM 324N
- T1, T2 = BC 107C, BC 547C, o.ä.
- D1, D3, D5, D5', D6, D6' = DUS
- D2, D4 = LED

Sonstiges:

- 8 x Klinkenbuchsen 3,5 mm
- 5 x Drehkböpfe (4 mm)
- 1 x 31-pol. Steckerleiste oder Lötnägel

3b



IC3 = μA741C, MC1741CP1 (Mini Dip)
 A5 ... A8 = IC4 = LM324
 T2 = BC107C, BC547C o.ä.
 D3 = 1N4148
 D4 = LED

Bild 1. Prinzipieller Aufbau eines spannungsgesteuerten LFO nach dem MOOG'schen Modulkonzept.

Bild 2. Verlauf der Ausgangssignale von LFO1. Bedingt durch die Konzeption des Dreieck/Sägezahn-Konverters weist die Sägezahn-schwingung die doppelte Frequenz der Dreieck- und der Rechteckschwingung auf, was aber musikalisch nicht störend wirkt.

Bild 3. Schaltplan des LFO-Moduls, das zwei unabhängige Modulationsoszillatoren enthält. Bild 3a zeigt den einen Oszillator für Dreieck, Rechteck und Sägezahn. Die zweite Modulatorschaltung zeigt Bild 3b. Sie liefert neben der Dreiecksspannung noch Sägezahn-signale mit ansteigender und abfallender Flanke.

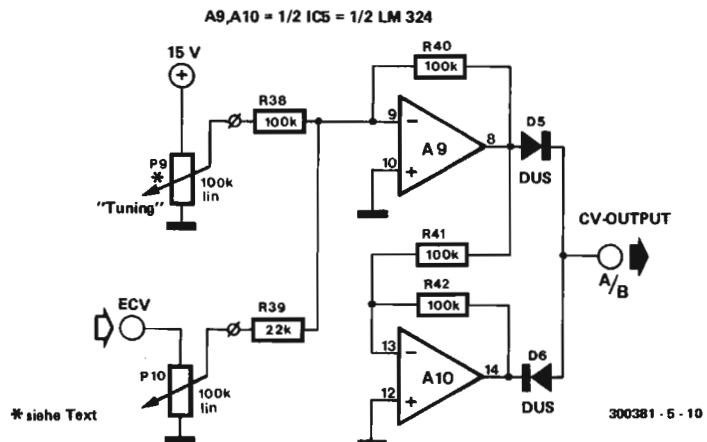
Bild 4. Schaltbild der Steuerspannungs-schaltung für die VC-LFOs. Die Schaltung ist auf der Platine (Bild 5) zweimal vorhanden.

lich während der ansteigenden Flanke des Dreiecks) ist T1 (T2) gesperrt, der OpAmp A2 (A6) arbeitet dann als nichtinvertierender Verstärker mit Verstärkung 1. Seine Ausgangsspannung ist in dieser Zeit mit der Dreiecksschwingung identisch. Mit der positiven Flanke des Rechtecksignals (die Dreiecksschwingung hat die obere Schaltschwelle des Schmitt-Triggers erreicht, vergl. Bild 2) wird T1 (T2) leitend und schaltet A2 (A6) in die invertierende Betriebsart um, was eine negative Flanke (Rückflanke des Sägezahns) an seinem Ausgang zur Folge hat. Da nun A2 (A6) invertiert, entsteht während des folgenden abfallenden Verlaufes der

Dreieckschwingung ein spiegelbildlicher ansteigender Verlauf am Sägezahn-ausgang. Bild 2 zeigt den Spannungsverlauf und die gegenseitige Phasenlage der LFO-Ausgangssignale. Die LED-Anzeige mit D2 bzw. D4, die sich schon in mehreren FORMANT-Modulen bewährt hat und nicht nur eine optische Spielerei darstellt, sorgt für eine "linearisierte" Anzeige.

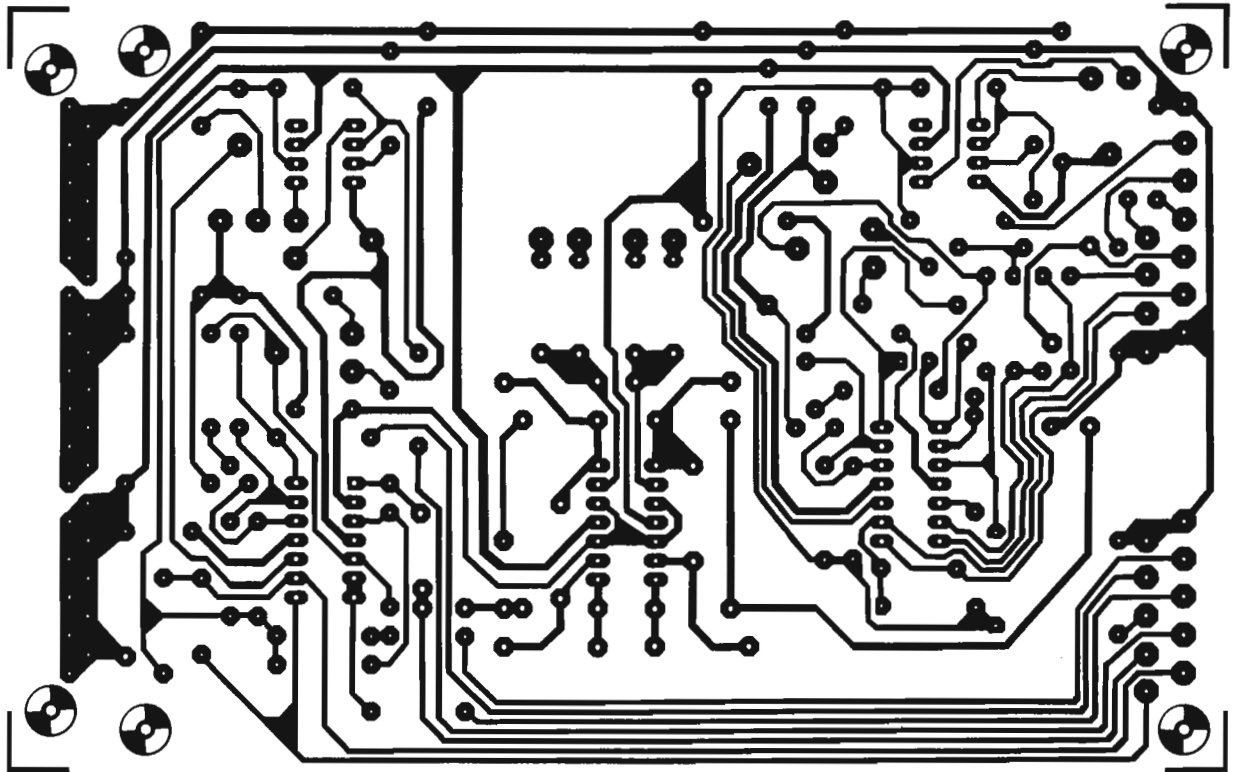
Einziger Unterschied zwischen den beiden LFOs besteht in der Anwendung eines der vier OpAmps von IC2 bzw. IC4. Während bei LFO 1 der OpAmp A4 zur niederohmigen Entkopplung der Rechteckspannung herangezogen wird, dient bei LFO 2, wo auf einen Recht-

4



* siehe Text

5



eck-Ausgang verzichtet wird, der "freigewordene" Verstärker A8 anstelle dessen zur Invertierung des Sägezahnsignals "um die Nulllinie", so daß an seinem Ausgang ein Sägezahn mit abfallender Flanke entsteht.

Bild 4 zeigt die Steuerspannungssektion, die in zweifacher Ausführung benötigt wird. Mit P9 kann die Gesamtstimmung beider LFOs eingestellt werden, mit P10 bzw. P10' kann man das externe Steuerspannungssignal abschwächen. P9 muß ein Stereopotentiometer sein. Die Steuerspannung wird in den Rückkopplungsweig von A3 (A7) und IC1 (IC3) eingeschleift. Der Widerstand R36 (R37) blockt den Ausgang des Komparators A3 (A7) gegen die Steuerspannung ab. Da die Eingangsspannung des Integrators IC1 (IC3) die Anstiegs- und Abfallgeschwindigkeit an seinem Ausgang und somit die Frequenz des LFOs bestimmt, ist diese nun auch anteilig von der Größe der Steuerspannung abhängig. Nicht unerwähnt bleiben sollte die Tatsache, daß die LFOs auch dann "schwingen", wenn keine externe Steuerspannung anliegt.

Aufbau und Abgleich

Wegen des recht gedrängten Aufbaus der LFOs auf der Platine, sollte man beim Einlöten der Bauteile vorsichtig ans Werk gehen. Platinenlayout und Bestückungsplan gehen aus Bild 5 hervor. Für C1 und C2 sind unbedingt leckstromarme Folienkondensatoren (Siemens MKH, Wima MKS) zu verwenden. Aus Platzgründen sind für die Drehpotentiometer Typen mit 4-mm-Achse vorzusehen. Bild 6 zeigt einen passenden Frontplattenvorschlag.

Jedes LFO enthält vier Abgleichpunkte: Einstellung der Signalamplitude (P3

bzw. P7), Offsetabgleich des Integrators (P2 bzw. P5), Einmessen von R16 bzw. R17 zur Festlegung der maximalen Periodendauer sowie Abgleich der LED-Anzeige (P4 und P6).

Der Abgleich erfolgt für beide LFOs in der gleichen Weise und Reihenfolge.

Einstellung der Signalamplitude

Vor dem Abgleich Trimmer P2 (P5) in Mittelstellung bringen und mit P1 (P8)

6

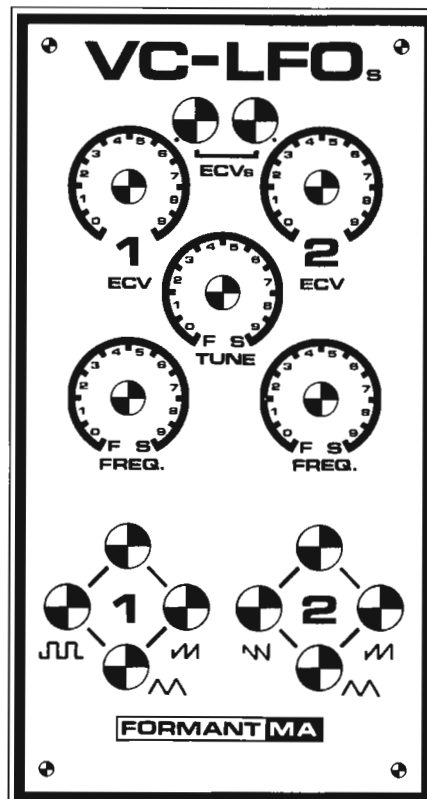


Bild 5. Layout und Bestückungsplan des VC-LFO-Moduls. Beim Bestücken der Platine ist folgendes zu beachten:

Der Widerstand R37 wird auf die Leiterbahnseite gelötet.

Bild 6. Frontplattenvorschlag für das VC-LFO-Modul.

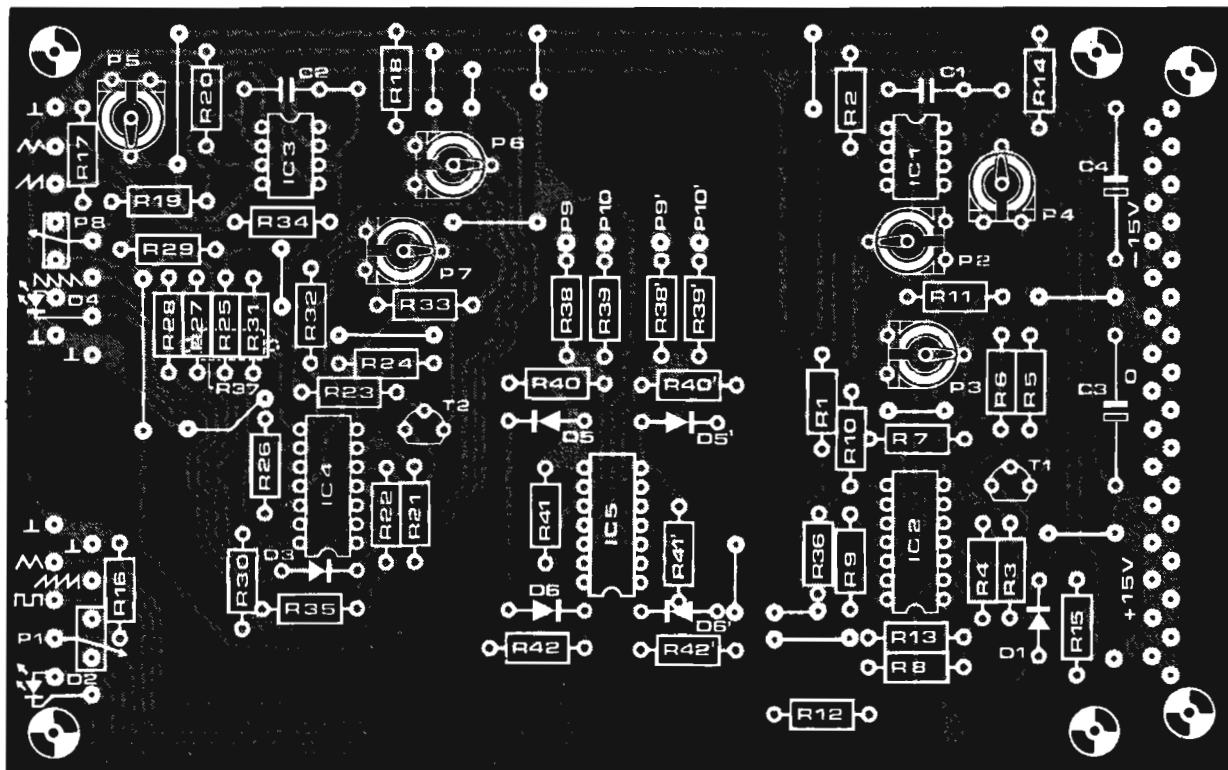
Bild 7. Zwei einfache Grundsaltungen des VC-LFO-Moduls.

Bild 7a zeigt die Nachführung der Modulationsfrequenz je nach "Tonhöhe" der Tasten. Die Verdrahtung nach Bild 7b "verdichtet" das Modulationsmuster der VC-LFOs.

maximale Frequenz einstellen (Scheifer an R36 bzw. R37). Danach Messung der Dreieck-Ausgangsspannung mit einem Oszilloskop und Einstellung auf $\pm 2,5$ V. Anschließend Amplitude und Kurvenform der anderen Ausgänge überprüfen und gegebenenfalls P3 (P7) neu justieren.

Offsetabgleich des Integrators

In der Regel kann der Trimmer P2 (P5) in Mittelstellung belassen werden. Falls die Oszillatoren bei niedrigen Frequenzen "frühzeitig" aussetzen sollten, ist ein präziser Offsetabgleich notwendig: Schleiferanschluß von P1 (P8) und R1 (R19) mit Masse verbinden. Damit liegen nun beide Eingänge von IC1 (IC3) an Masse. Multimeter an Ausgang Pin 6 (IC1 bzw. IC3) anschließen und Gleichspannungs-Meßbereich von 30 V oder 50 V wählen. Die Spannung am Dreieckausgang wird jetzt zwischen +15 V und -15 V liegen und in positive oder negative Richtung driften. Sollte die Spannung auf einem der beiden



Maximalwerte ($\pm 15\text{ V}$) "festhängen", Kondensator C1 (C2) über einen 1 k-Widerstand entladen. P2 nun so einstellen, daß die Spannungsänderung (möglichst in der Nähe von 0 V) zum Stillstand kommt. Nun einen kleineren Meßbereich wählen, C1 (C2) wieder entladen und die Einstellung von P2 auf minimale Spannungsänderung korrigieren. Diesen Vorgang so lange wiederholen, bis auch im kleinsten DC-Meß-

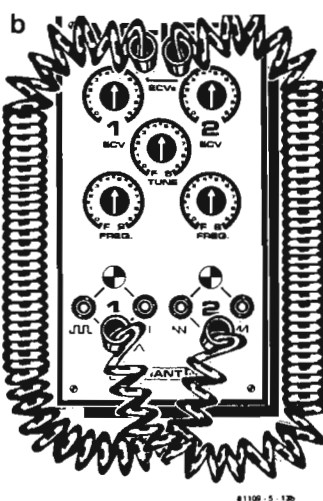
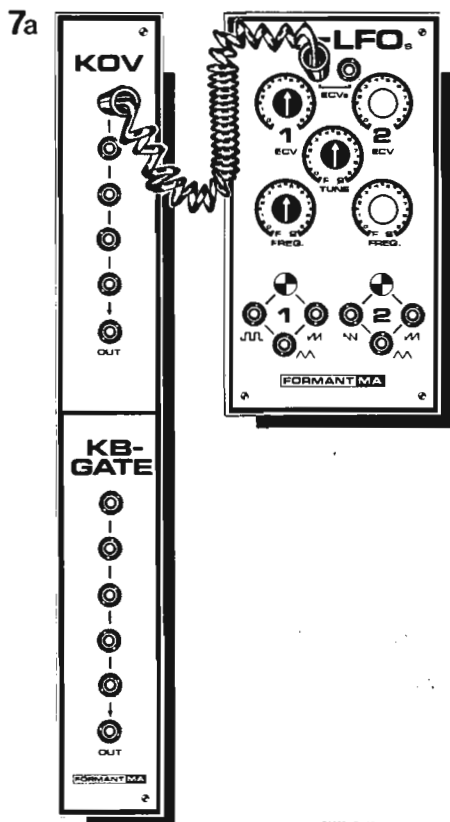
bereich (z.B. 100 mV) die Spannung am Dreiecksausgang nur mehr um wenige mV um den Nullpunkt schwankt.

Einmessen von R16 (R17)

Falls die maximale Periodendauer (auch nach erfolgtem Offsetabgleich) weniger als 3 Min. beträgt oder sonst nicht zufriedenstellend ist, dann kann diese durch Verringern des Wertes von R16

Anwendungsmöglichkeiten

Die beiden unabhängigen niederfrequenten Steuerspannungsquellen erzeugen jeweils drei Kurvenformen, die gleichzeitig zur Verfügung stehen. Sie eignen sich besonders gut für alle Arten von Modulationen: Frequenzmodulation (FM; "Vibrato"), Pulsweitenmodulation (PWM; "Phasing"), Timbremodulation (TM), Amplitudenmodulation (AM; "Tremolo"), Clipping-Modulation (CM), usw. Durch gegenseitige Spannungssteuerung der einzelnen LFOs entstehen starke, und teilweise musikalisch untypische Modulationsmuster. Beim Vorhandensein eines KOV/KB-Gate-Verteilerfeldes kann die KOV als Steuerspannung für die VC-LFOs herangezogen werden. Beim Spielen von z.B. PWM-modulierten Rechteckklängen wird so für eine langsame Modulation bei tiefen Tönen und für eine entsprechend schnellere Modulation bei hohen Tönen gesorgt, was bedeutend angenehmer klingt (und auch als "natürlicher" empfunden wird) als eine gleichbleibende Modulationsfrequenz. Derartige automatische Beeinflussungen von Modulationsvorgängen sind besonders bei Verwendung von Sequencern interessant. Darüber hinaus lassen sich die VC-LFOs natürlich auch für alle aus FORMANT-Buch 1 bekannten Einstellungen mit LFOs verwenden.



(R17) vergrößert werden. Dabei sollte der Widerstandswert 10 Ω jedoch nicht unterschreiten.

Abgleich der LED-Anzeige

Trimmer P4 (P6) ist so einzustellen, daß die LED dem Verlauf der Dreiecksschwingung möglichst "linear" folgt, d.h. daß weder Hell- noch Dunkelpausen auftreten.

Literatur:

- M. Bertuch: *VCLFO, Patchcord, Nr. 3, S. 16*
- C. Chapman: *FORMANT-Musik-synthesizer, Elektor Verlag*
- R.A. Moog: *Voltage Controlled Electronic Music Modules, JAES, Vol. 13, No. 3, S. 200-206 (July 1965)*

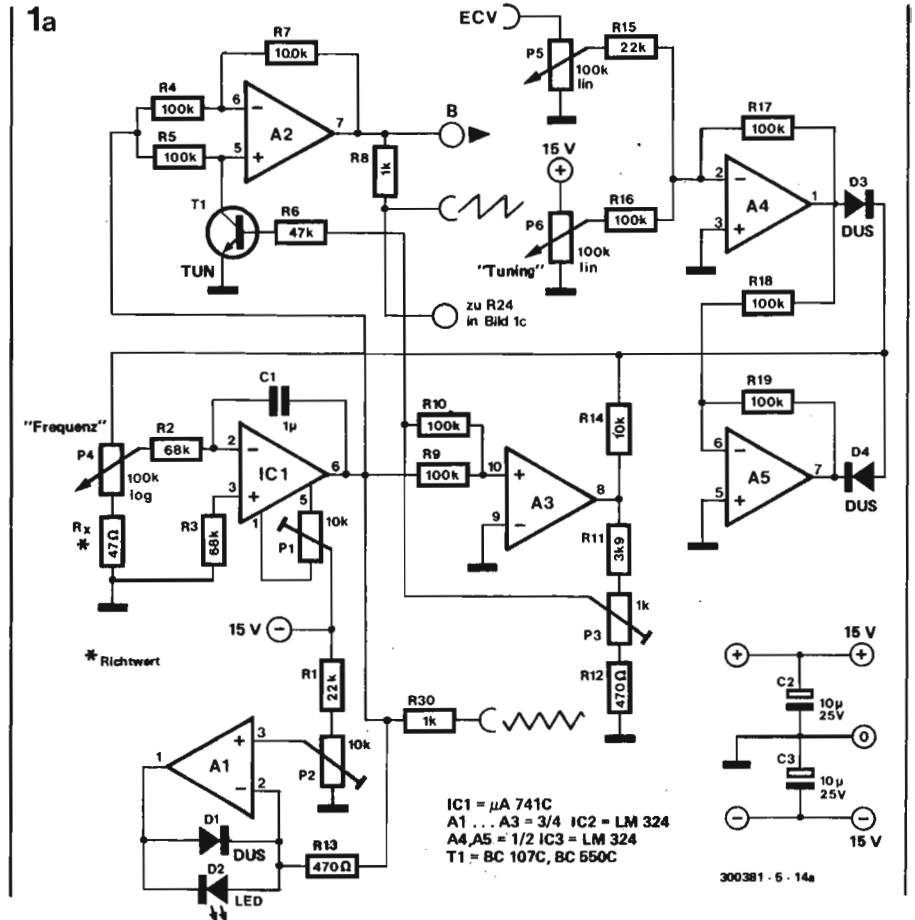
LF-VCO

Dieser spannungssteuerbare niederfrequente Modulationsoszillator bietet zusätzlich noch die Möglichkeit der Pulsbreitenmodulation der Rechteckspannung. Die Frequenz des Ausgangssignals ist dabei zwischen ca. 0,005 Hz und ca. 20 Hz einstellbar.

Der Schaltung des LF-VCOs ist in Bild 1a wiedergegeben. Die Schaltungsfunktion ist im Prinzip mit der von den VC-LFOs identisch. Deshalb wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet. Neben einem Dreieck- und zwei Sägezahnansgängen (einer mit ansteigender und einer mit abfallender Flanke) findet sich auch ein pulsbreiten-modulierbarer Rechteckausgang.

Der Pulsbreitenmodulator

Der Pulsbreitenmodulator (Bild 1c) ist ein Kurvenformkonverter, der sich auch für niederfrequente Zwecke gut eignet. Dieser Kurvenformkonverter, der auf einer eigenen Platine untergebracht ist, leitet aus einem Sägezahnsignal am Eingang eine Rechteckschwingung mit einstellbarem und modulierbarem Puls-/Pausen-Verhältnis ab. Die Schaltung (Bild 1c) besteht im wesentlichen aus einem Komparator mit den Transistoren T2, T3 und T4. Durch Änderung der Vergleichsspannung entsteht am Ausgang ein Rechtecksignal mit variablem Puls-/Pausen-Verhältnis. Die Vergleichsspannung wird von einem Eingangssaddierer (IC4), der eine externe Modulationsspannung (PWM) erhält, mit zwei einstellbaren Komponenten (P7, P10) verknüpft. P7 dient dabei zur manuellen Einstellung der Pulsbreite. Mit P10 kann

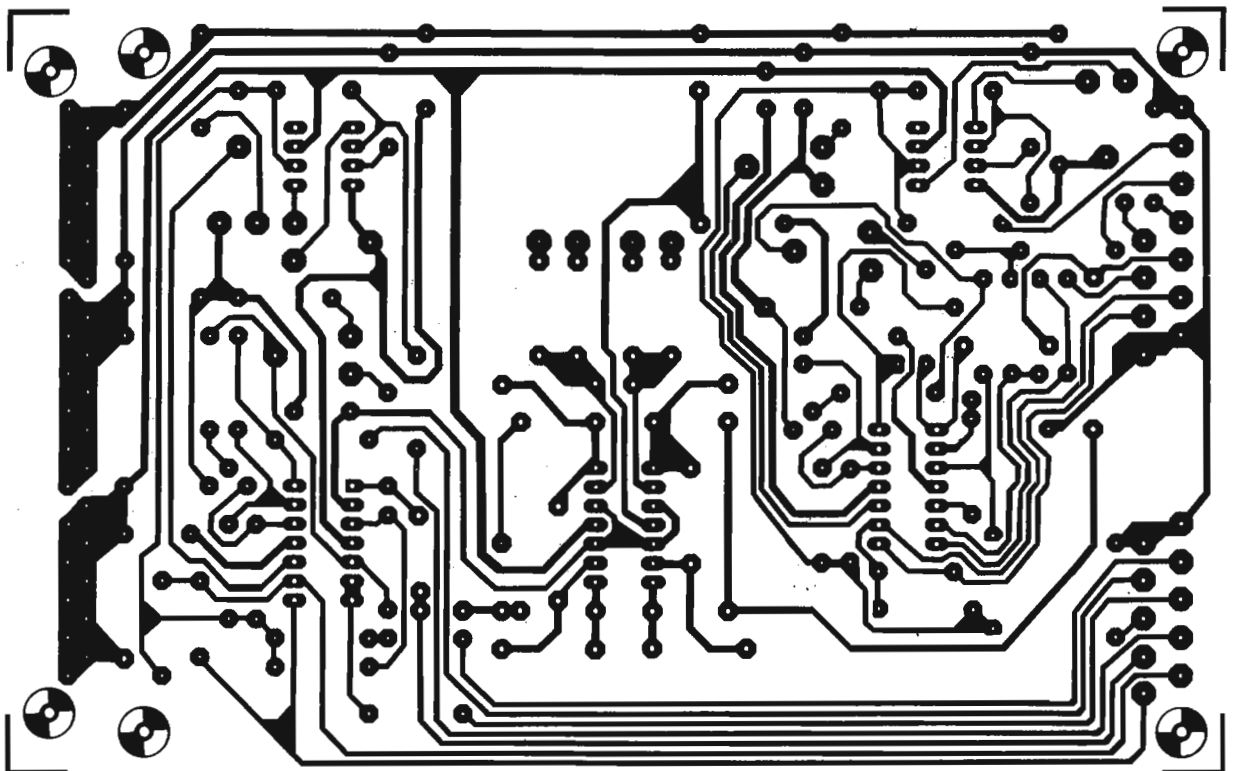


das externe Modulationssignal abgeschwächt werden. Mit den Trimmern P8 und P9 wird der Modulationsbereich (1 . . . 99%) festgelegt. Eine LED-Anzeige ist nicht unbedingt notwendig, da die Frequenz der PWM aus der Fluktuationsrate der Anzeige-LED der externen Modulationsquelle ersichtlich ist.

Aufbau

Wie aus Bild 2 ersichtlich ist, wird für das LF-VCO auf die Platine der VC-LFOs zurückgegriffen. Wegen der zusätzlichen PWM-Sektion ist auf der LF-VCO-Frontplatte (Bild 3) nur für einen LF-VCO Platz. Als Folge dessen ist die Platine nicht ganz bestückt. Es ist nur Platz für einen LF-VCO, das ent-

2



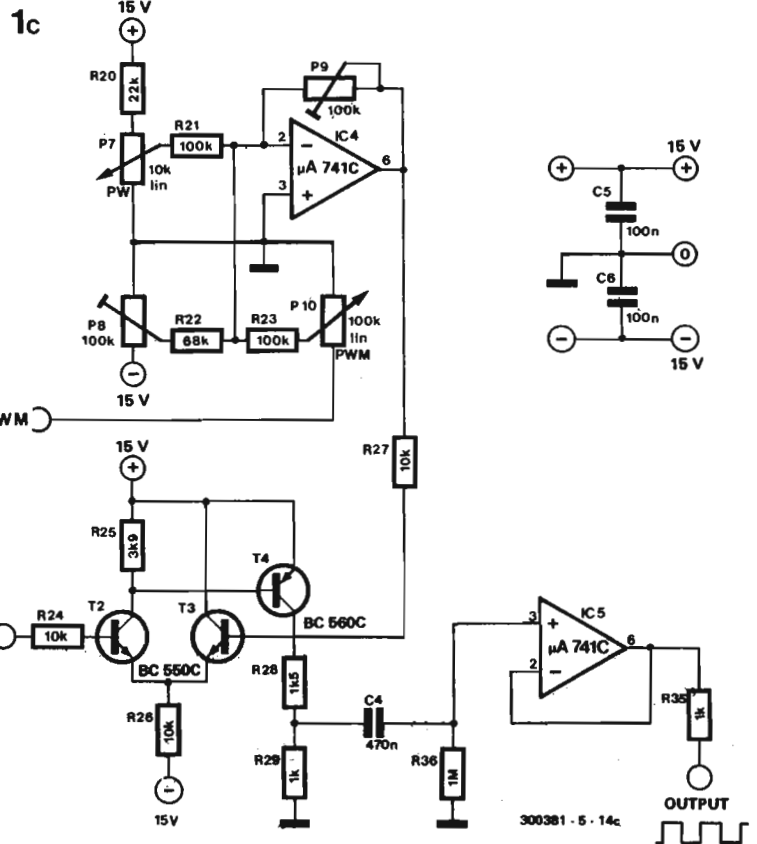
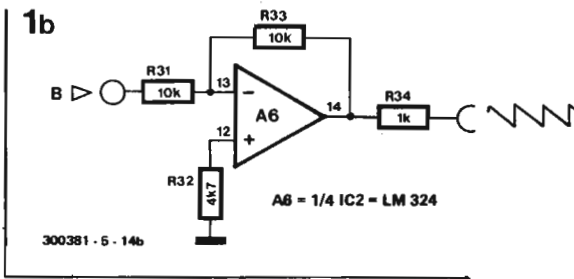


Bild 1a. Steuerspannungs- und Oszillatorsektion des LF-VCO-Moduls.

Bild 1b. Sägezahnkonverter für Sägezahn mit abfallender Flanke.

Bild 1c. Der Pulsweitenmodulator erzeugt aus einem Sägezahnsignal ein Rechtecksignal, dessen Puls/Pausen-Verhältnis durch eine Spannung am PWM-Eingang moduliert werden kann.

Bild 2. Layout, Bestückungsplan und Stückliste für das LF-VCO-Modul. R14 wird auf die Leiterbahnseite gelötet.

Stückliste LF-VCO

Widerstände (Kohleschicht, 5%):

- R1, R15, R20 = 22 k
- R2, R3, R22 = 68 k
- R4, R5, R7, R9, R10, R16, R17, R18, R19, R21, R23 = 100 k
- R6 = 47 k
- R8, R29, R30, R34, R35 = 1 k
- R11, R25 = 3k9
- R12, R13 = 470 Ω
- R14, R24, R26, R27, R31, R33 = 10 k
- R28 = 1k5

- R32 = 4k7
- R36 = 1 M
- R_x = 47 Ω (siehe VC-LFO)

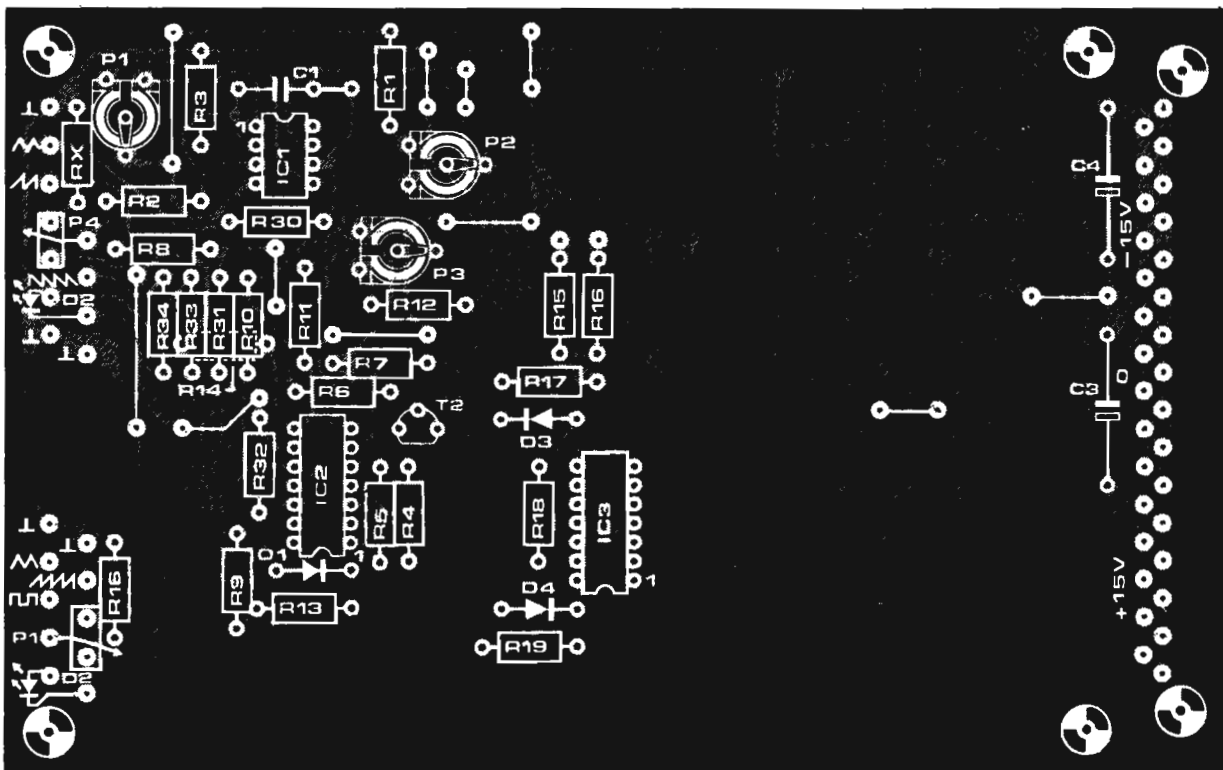
- Potentiometer:
- P1, P2 = 10 k (Trimmer)
 - P3 = 1 k (Trimmer)
 - P4 = 100 k log. (6 mm Achse)
 - P5, P6, P10 = 100 k (lin. 4 mm Achse)
 - P7 = 10 k lin. (4 mm Achse)
 - P8, P9 = 100 k (Trimmer)

- Kondensatoren:
- C1 = 1 μ (MKH, MKS)
 - C2, C3 = 10 μ/25 V
 - C4 = 470 n
 - C5, C6 = 100 n } (MKH, MKS)

- Halbleiter:
- IC1, IC4, IC5 = μA 741C (Mini Dip)
 - IC2, IC3 = LM 324N
 - T1 ... T3 = TUN (C-Typen, z.B. BC 550C)

- T4 = TUP (C-Typen. z.B. 309C)
- D1, D3, D4 = DUS
- D2 = LED

- Sonstiges:
- 6 x Klinkenbuchsen, 3,5 mm
 - 4 x Drehknöpfe (4 mm)
 - 1 x Drehknopf (6 mm)
 - 1 x 31-pol. Steckerleiste oder Löt Nägel



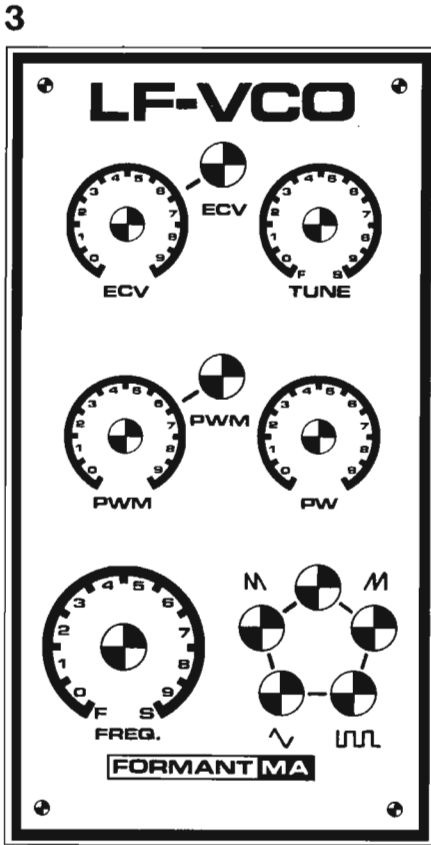
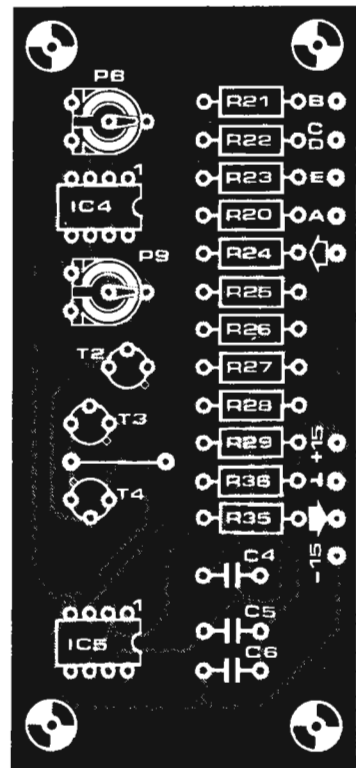
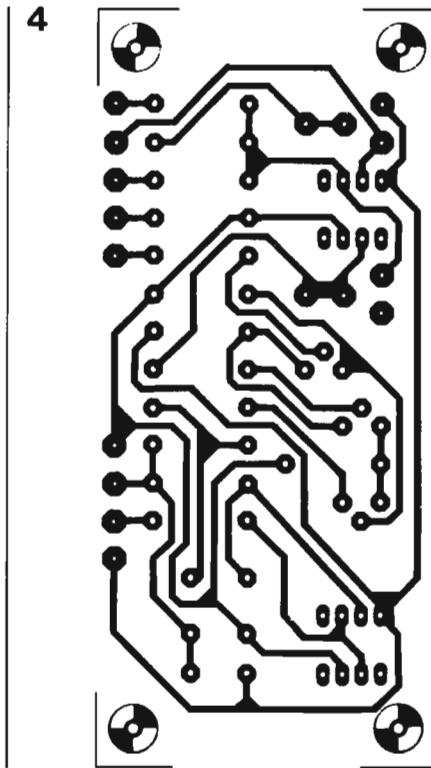


Bild 3. LF-VCO-Frontplatte.

Bild 4. Layout und Bestückungsplan für die PWM-Schaltung. Die Bauelemente sind in der Stückliste zu Bild 2 enthalten.

Bild 5. Montagevorschlag für LF-VCO, PWM-Platine und Frontplatte.

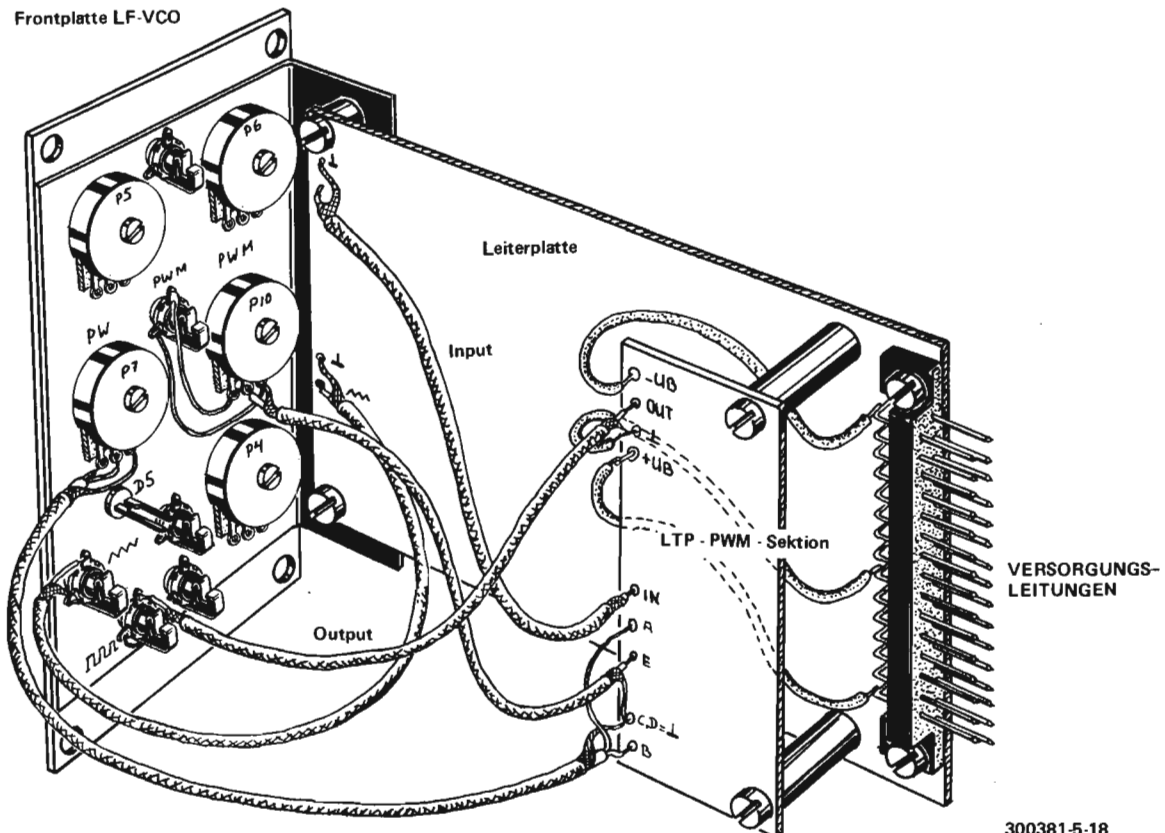
Bild 6. Verdrahtungsplan der Frontplattenelemente für den Pulsweitenmodulator.



spricht auf der Platine dem Platz von LFO 2. Für die PWM-Sektion (Bild 1c) ist eine eigene Platine vorgesehen, deren Layout und Bestückungsplan aus Bild 4 hervorgehen. Die Platine kann mittels Distanzrollen an den Bohrungen der Hauptplatine befestigt werden. Bild 5 zeigt einen entsprechenden Montagevorschlag. Beim LF-VCO sollte für den Kondensator C1 nur ein leckstromarmer Folienkondensator Verwendung finden. Alle Drehpotentiometer sind mit Aus-

nahmen des FREQ-Potis Typen mit 4 mm-Achse. Die Schaltungsart von IC5 ist als Impedanzwandler oder auch als Spannungsfolger bekannt. Die letztere Bezeichnung ist völlig einsichtig, wenn man überlegt, daß die Ausgangsspannung gleich der Differenz aus der Eingangsspannung am nichtinvertierenden Eingang und der Spannung zwischen den beiden OpAmp-Eingängen ist. Da aufgrund der Rückkopplung eine Spannungsdifferenz zwischen den OpAmp-

5 Frontplatte LF-VCO



Eingängen nicht auftritt, folgt also die Ausgangsspannung der Eingangsspannung. Da jeder OpAmp von Natur aus einen hohen Ein- und einen niedrigen Ausgangswiderstand hat und diese Eigenschaften durch die äußere Beschaltung nicht verfälscht werden, ist auch der Begriff Impedanzwandler gerechtfertigt. Die Verstärkung dieser Anordnung ist 1.

Der Platinausschnitt in Bild 6 für den Pulsbreitenmodulator zeigt die Verdrahtung der Potentiometer P7 und P10.

Abgleich

Der Abgleich der Oszillatorsektion ist analog den Abgleichhinweisen zum VC-LFO-Modul vorzunehmen. Zusätzlich muß aber noch die Modulationsbreite der PWM-Sektion abgeglichen werden:

Schleifer von P10 des komplett verdrahteten LF-VCO-Moduls gegen Masse drehen. Trimmer P8 und P9 so justieren, daß mit Potentiometer P5 der gesamte Pulsbreiten-Einstellbereich (1 . . . 99%) überstrichen werden kann. Beim Vorhandensein eines Oszilloskops wird die folgende Methode jedoch meist schneller zum Ziel führen:

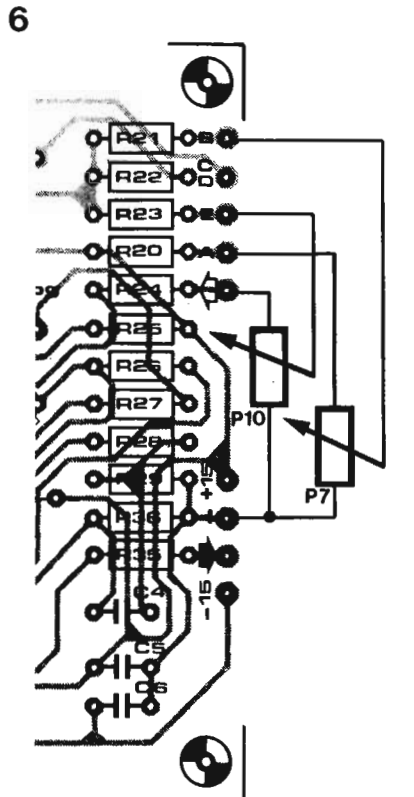
- P8 auf eine Spannung von $-5,5\text{ V}$ am Schleifer einstellen, P9 auf maximalen Wert stellen. Danach Multimeter (DC-Meßbereich) an Pin 6 von IC4 anschließen.
- PW-Ausgangssignal mit dem Bildschirm des Oszilloskops am Rechteckausgang beobachten.
- P7 auf maximale und minimale Impulsbreite einstellen (Endstellung des Drehpotis) und in beiden Stel-

lungen die Spannungswerte am Multimeter notieren. Der höhere Spannungswert (bei minimaler PW) wird im folgenden mit U_{\max} der niedrigere Wert (bei maximaler PW) mit U_{\min} bezeichnet.

- P8 nun gegen Masse "drehen", P7 auf maximale Schleiferspannung ($+4,7\text{ V}$) einstellen. Mit P9 die Ausgangsspannung von IC4 so einstellen, daß

diese Spannung gleich der Differenz der unter Punkt c gemessenen Spannungen ($U_{\max} - U_{\min}$) ist. Da IC4 als Inverter geschaltet ist, wird auch die Ausgangsspannung von IC4 negativ!

- P7 bleibt unverändert, P8 anschließend auf maximale Impulsbreite einstellen. Damit ist der Abgleich beendet. Zur Kontrolle kann man den Schleifer von P7 gegen Masse drehen. Das Ausgangssignal am Oszilloskop-Schirm muß nun minimale Pulsbreite aufweisen.



Anwendungsmöglichkeiten

Die Anwendungsmöglichkeiten des LF-VCOs decken sich prinzipiell mit denen der LFOs aus der FORMANT-Serie bzw. der VC-LFOs. Zusätzlich ist über den Einsteller "PW" die Einstellung von Rechtecksignalen mit beliebigem Puls-/Pausen-Verhältnis möglich. Über den PWM-Eingang wird ein "gephasetes" Modulationssignal realisierbar, womit z.B. ein Vibrato mit zeitlich unterschiedlicher Betonung der oberen und unteren "Grenzfrequenz" möglich ist.

Literatur:

- M. Bertuch: *VCLFO, Patchcord*, Nr. 3, S. 16
 C. Chapman: *FORMANT-Buch 1*, Elektor Verlag

Digital Noise (DNG)

Wer die Vorzüge des DIGITAL NOISE GENERATORS mit denen des COLOURED NOISE CIRCUITS (beide Kapitel 2) in einem Modul vereinen will, wird bei der Adaptierung eines FORMANT-Noise-Moduls aus Platzgründen auf Schwierigkeiten stoßen. Daher erscheint eine Neukonstruktion des Noise-Moduls ratsam. Hier ist es!

Das Digital-Noise-Modul enthält neben dem DIGITAL NOISE GENERATOR und dem COLOURED NOISE CIRCUIT (Schaltungsbeschreibung Kapitel 2) ein Tiefpaßfilter mit variabler Eckfrequenz, das zur Erzeugung zufällig gemusterter Steuerungsspannungen dient sowie eine LED-Anzeige, deren Fluktuationsrate dem Wechsel der (zufälligen) positiven und negativen Steuerungsspannungen entspricht. Das komplette Schaltbild des Digital-Noise-Circuits für den FORMANT ist in Bild 1 wiedergegeben.

Random-Voltage-Circuit

Der Pegel des Ausgangssignals des einstellbaren Rauschfilters wird mit IC4

angehoben. Das Signal gelangt danach auf einen mit IC5 aufgebauten 12-dB-Tiefpaß, der die niederfrequenten Rauschteile herausfiltert. So gelangt man auf einfache Weise zu einer niederfrequenten Zufallsspannung, deren Fluktuationsrate über die Eckfrequenz des Tiefpaßes (P4) einstellbar ist.

Ein weiterer als Komparator ausgelegter OpAmp (IC6) dient als LED-Treiber. Die Fluktuation der Zufallsspannung wird damit deutlich sichtbar.

Aufbau und Abgleich

Das Platinenlayout nebst Bestückungsplan und Stückliste sind aus Bild 2 ersichtlich. Für die C-MOS-ICs sollte man vorsichtshalber IC-Fassungen verwenden. Um Beschädigungen zu vermeiden sind die bekannten Vorsichtsmaßregeln für den Umgang mit MOS-Bauelementen zu beachten.

Die Schaltung wurde so konzipiert, daß die EPS-Frontplatte NOISE verwendet werden kann. Wer auf eine Variierung von "Red" und "Blue" verzichtet will, kann anstatt der Lötnägel für P1 und P2 Trimpotentiometer einsetzen. In diesem Fall entfallen die "Bohrarbeiten" an der Frontplatte. Die Einstellung von

P1 und P2 richtet sich nach dem persönlichen "Geschmack" des Anwenders. Wenn man jedoch die Einstellung von "Red" und "Blue" laufend verändern will, macht das eine Neugestaltung der Frontplatte erforderlich. Bild 3 zeigt einen Vorschlag für die neue Frontplattengestaltung. Die Frontplatte muß dazu mit zwei zusätzlichen 10-mm-Bohrungen versehen werden. Der Bohrvorgang ist ausführlich im Rahmen der Beschreibung des PORTAMENTO-SCHALTERS (Kapitel 1) erläutert.

Der Abgleich des Digital-Noise-Moduls bietet keine Schwierigkeiten: Trimmer P3 ist so zu justieren, daß die "gefärbt" rauschende Ausgangsspannung dem Pegel des weißen Rauschens entspricht. Zur Messung genügt ein einfaches Vielfachinstrument (integrierende Anzeige: $0,8\text{ V} \dots 1,0\text{ V}_{\text{eff}} = 2,3\text{ V} \dots 2,8\text{ V}_{\text{SS}}$). Nach dieser einzigen Einstellung ist das Digital-Noise-Modul einbaufertig.

Anwendungsmöglichkeiten

Die Anwendungsmöglichkeiten des Digital-Noise-Moduls entsprechen jenen des Noise-Moduls der FORMANT-Serie. Da im ersten FORMANT-Buch spezifische

1

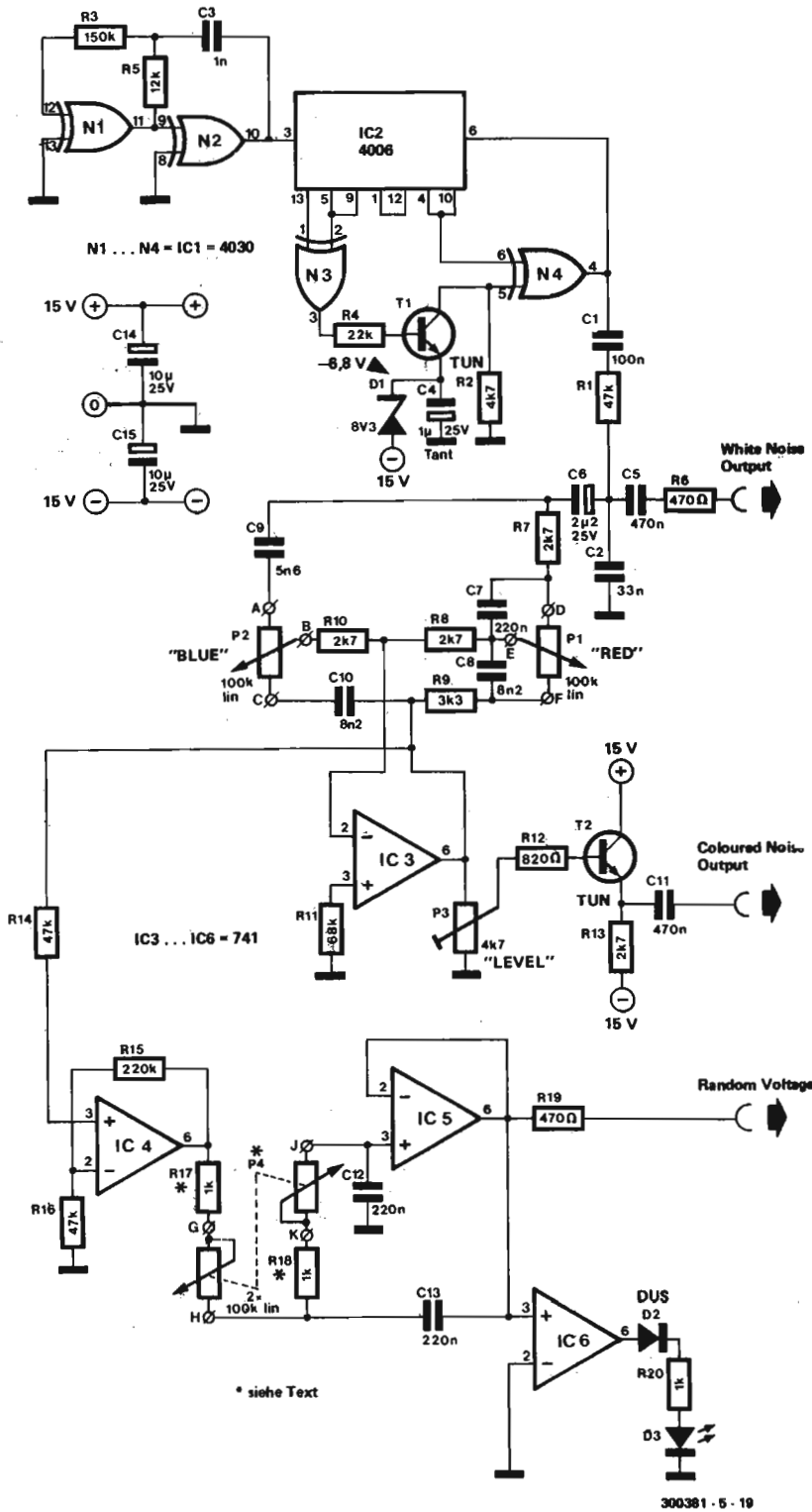


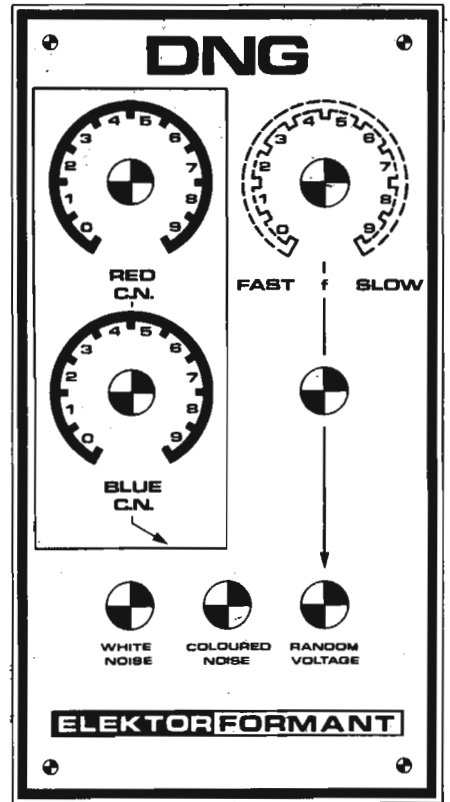
Bild 1. Schaltung des digitalen Noise-Moduls. Für die Stromversorgung der ICs gilt folgende Belegung: Pin 7 von IC1 und IC2 mit dem Meßpunkt -6,8 V verbinden. Pin 14 von IC1 und IC2 an Masse legen. Die Pins 4 von IC3 ... IC6 mit -15 V und die Pins 7 mit +15 V verbinden.

Bild 2. Layout, Bestückungsplan und Stückliste des digitalen Noise-Moduls.

Bild 3. Die ursprüngliche Noise-Frontplatte kann man durch zwei zusätzliche Bohrungen erweitern. Beachten Sie die Bearbeitungsvorschriften aus Kapitel 1 (Portamento-Schalter).

Bild 4. Einstellung für ein "rauschendes" Schlaginstrument.

3

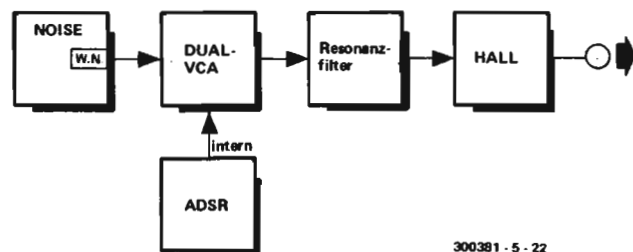


Klangeinstellungen mit dem (Digital-) Noise-Modul etwas zu kurz gekommen sind, sind hier anhand von "Signalfuß-Diagrammen" einige Einsatzmöglichkeiten dargestellt.

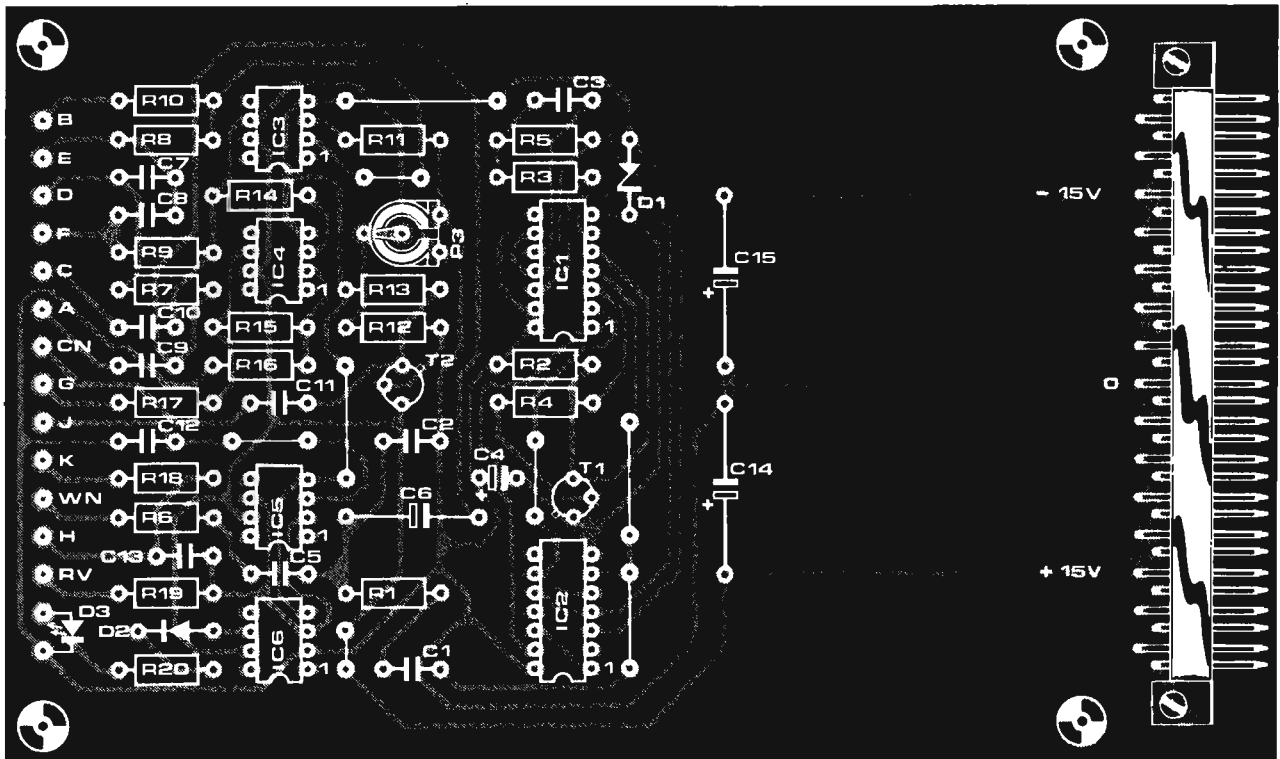
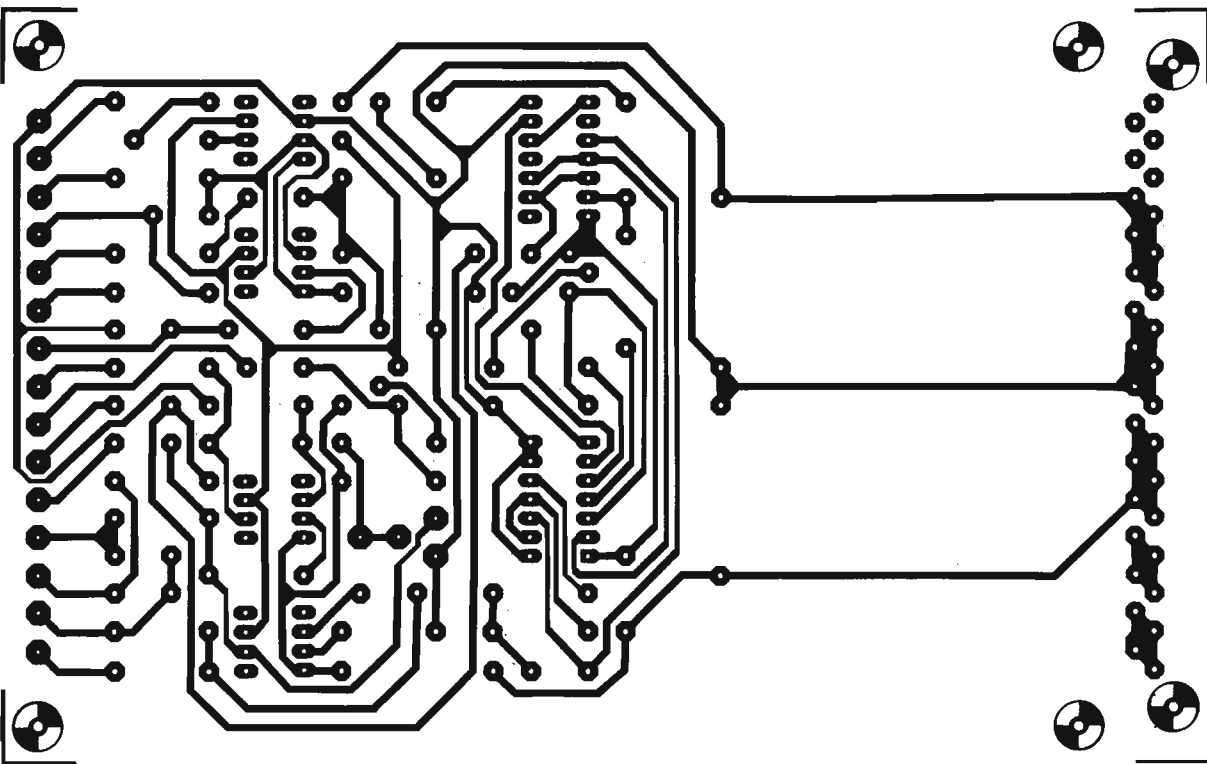
Schlaginstrumente (Bild 2)

Weißes Rauschen eignet sich vor allem zur Nachbildung metallener und hölzerner Schlag-, Klapper- und Rasselinstrumente (z.B. Becken, Cymbal, Kastagnetten, Maracas). Das VCA dient zur Formung der Lautstärkendynamik.

4



2



Stückliste Digital-Noise-Modul

Widerstände (Kohleschicht, 5%):

R1, R14, R16 = 47 k
 R2 = 4k7
 R3 = 150 k
 R4 = 22 k
 R5 = 12 k
 R6, R19 = 470 Ω
 R7, R8, R10, R13 = 2k7
 R9 = 3k3
 R11 = 68 k
 R12 = 820 Ω
 R15 = 220 k

R17, R18 = 1 k (besser 10 k)
 R20 = 1 k

Potentiometer:

P1, P2 = 100 k lin. (siehe Text)
 P3 = 4k7 (Trimmer)
 P4 = 100 k lin.
 (Stereopotentiometer)
 (besser 500 k)

Kondensatoren:

C1 = 100 n
 C2 = 33 n

C3 = 1 n
 C4 = 1 μ/25 V (Tantal)
 C5, C11 = 470 n
 C6 = 2μ2/25 V
 C7, C12, C13 = 220 n
 C8, C10 = 8n2 (6n8 + 1n5)
 C9 = 5n6 (4n7 + 1 n)
 C14, C15 = 10 μ/25 V

Halbleiter:

D1 = BZX 83 C 8V3
 D2 = DUS
 D3 = LED

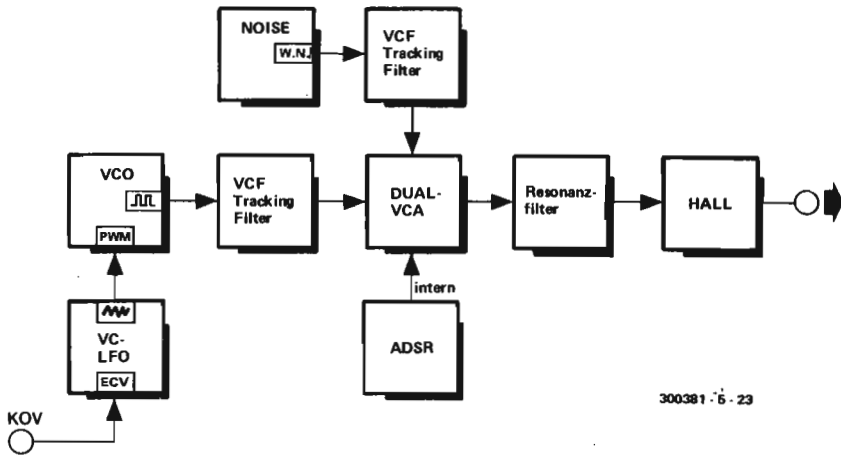
T1, T2 = TUN

IC1 = 4030
 IC2 = 4006
 IC3, IC4, IC5, IC6 = μA 741 C
 (Mini Dip)

Sonstiges:

3 x Klinkenbuchsen 3,5 mm
 1 x 31-pol. Steckerleiste oder
 Lötningel
 3 x Drehknöpfe (6 mm Achse)
 mit Pfeilring

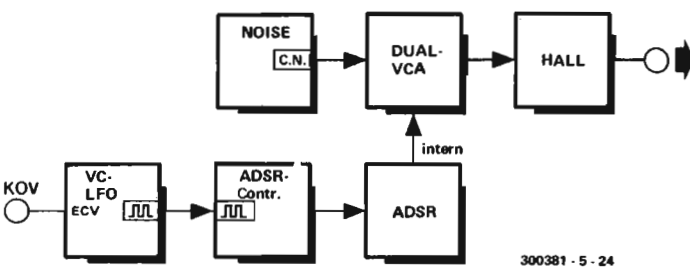
5



300381 - 6 - 23

Bild 5. Diese Einstellung verbessert den Holzbläserklang.

6



300381 - 5 - 24

Bild 6. Nachbildung einer vorbeifahrenden Dampflokomotive.

Bild 7. Verbesserte Nachbildung verschiedener Pfeifenorgel-Register.

Bild 8. Nachbildung einfacher Schlag- und Pfeifgeräusche.

wand können verschiedene eindrucksvolle Effekte erzeugt werden: Vorbeifahrende Dampflokomotive (Bild 6), mächtig rumpelnde Gewitter, Wind, Regen, startendes Düsenflugzeug, Wasserfall, Meeresrauschen und vieles mehr. Langsam veränderte Timbre- und Amplitudeneinstellung tragen viel zur "Lebendigkeit" der Geräusche bei. Diese Funktion kann auch von einfachen Fußpedalen (siehe erstes FORMANT-Buch) übernommen werden. Ein stark eingestellter Nachhall und ein zusätzliches Echo ermöglichen Experimente mit "Weltraumgeräuschen".

Der Hüllkurvengenerator wird auf eine percussive AD-Hüllkurve eingestellt (kurzes Attack und mittlere bis lange Decay-Zeit). Das Resonanzfilter unterstreicht je nach Einstellung einen dunkleren oder helleren Klang.

Verbesserte Holzbläserklänge (Bild 5)

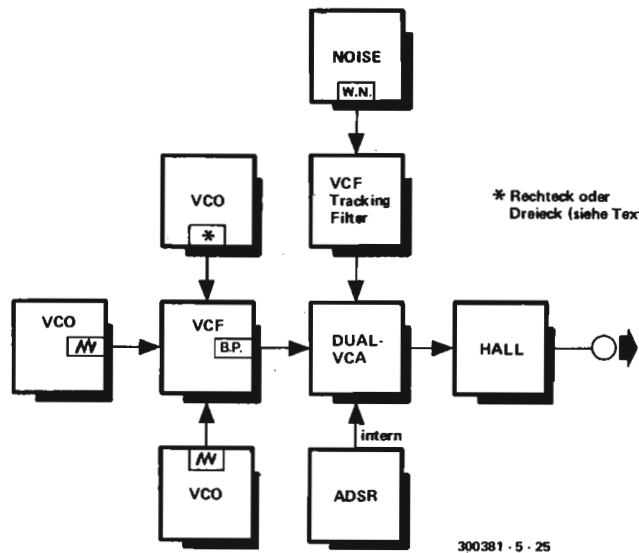
Bei entsprechender Filterung ("red"/"blue" bzw. VCF-Tracking Filter) und ausgewogener Dosierung kann durch den Rauschgenerator das typische Anblasen verschiedener Holzblasinstrumente simuliert werden. Der Klang wirkt dadurch weniger "elektronisch". Darüber hinaus ist eine sorgfältige Einstellung des Resonanzfiltermoduls für die "Echtheit" des Klanges genauso wichtig.

Verbesserte Orgelklänge (Bild 7)

Der Rauschgenerator liefert bei entsprechender Filterung das Geräusch des Spielwindes beim Aufblasen einer mechanischen (Kirchen-)Orgel. Das Rauschen darf dabei jedoch nicht zu sehr betont werden. Am natürlichsten klingen in Oktaven gestimmte VCOs (mindestens 3), wobei für die unteren Chöre die dunklen "Farben" des Dreieck oder Sinus und für die oberste Stimme ein (möglichst symmetrisches) Rechteck zu wählen ist. Verwendet man auch für die oberste Oktave ein Dreieck, wirkt der Klang dumpfer.

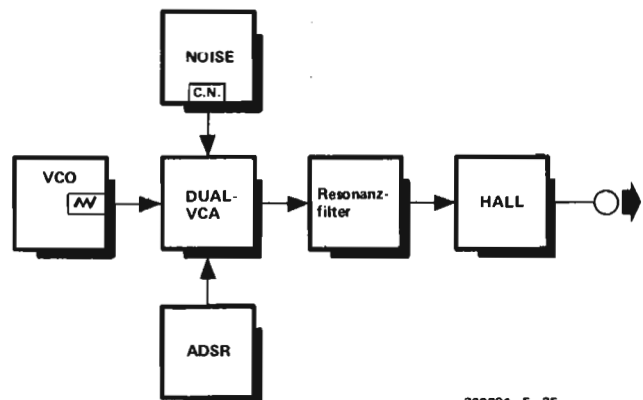
Hörspiel- und "live-Show"-Effekte
Schon mit relativ geringem Kabelauf-

7



300381 - 5 - 25

8



300381 - 5 - 26

Envelope Follower (ENV.-F.)

Der Envelope Follower (Hüllkurvenwandler) erzeugt aus der Hüllkurve eine Wechselspannung, die von einem beliebigen Audiosignal kommen kann, eine entsprechende "Steuerspannungskurve" zur Beeinflussung aller Modulations-eingänge des FORMANT. Zusätzlich wird bei jedem Erreichen eines einstellbaren Schwellwertes der Hüllkurve ein Gate-Impuls zum Start von ADSR-Kontour-Generatoren abgegeben. Vielfach besteht der Wunsch, den Synthesizer durch externe Signalquellen (Mikrofon, E-Gitarre, E-Orgel, usw.) zu beeinflussen und zu steuern. Der FORMANT ist zwar durchgehend spannungsgesteuert, externe Signalquellen können jedoch höchstens (nach vorheriger Anpassung) über die ES-Eingänge in den NF-Signalweg eingespeist werden.

Der Envelope-Follower setzt den Lautstärkenverlauf einer externen Signalquelle in eine Steuerspannung, die der Lautstärke des Eingangssignals proportional ist, um. Zusätzlich wird aus der Steuerspannung ein Gate-Signal erzeugt, sobald ein einstellbarer "Minimalpegel" (Schwellwert, engl.: Threshold) überschritten wird. Das am Trigger-Output zur Verfügung stehende Gate-Signal ist zur Ansteuerung der FORMANT-ADSRs bzw. ADSR-Controller gedacht.

Die Schaltung

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Envelope-Followers. Die Schaltung (Bild 3) gleicht im Grunde dem "Hüllkurven-Detektor" des ELEKTOR-Ringmodulators. Dennoch soll das Funktionsprinzip der Schaltung noch einmal kurz erläutert werden. Der Hüllkurvendetektor (A1...A3) liefert als Ausgangssignal die Hüllkurve ("Envelope") des Eingangssignals. Der

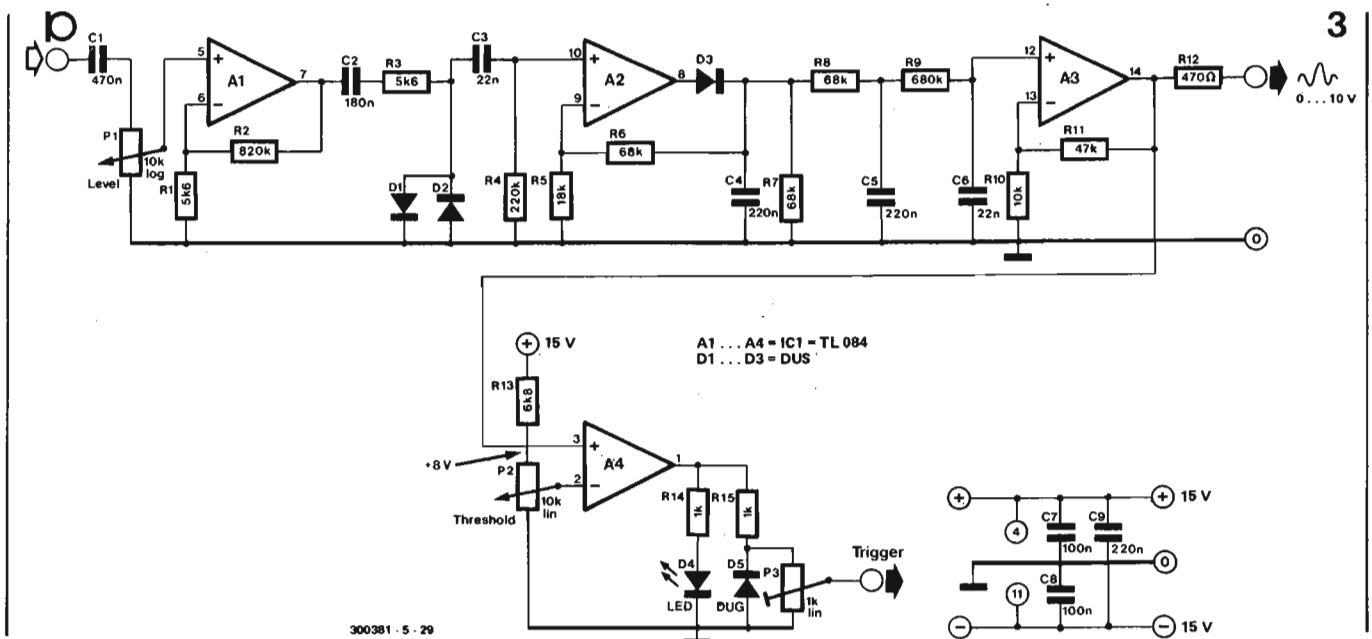
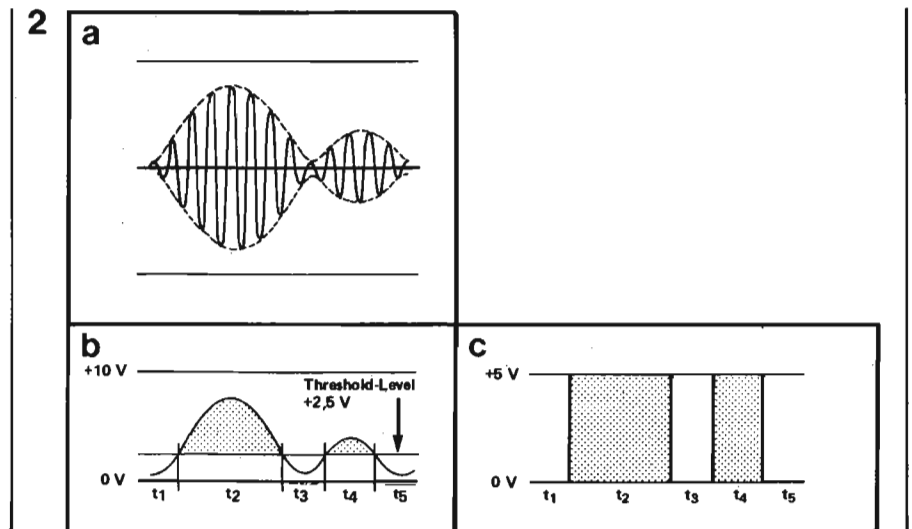
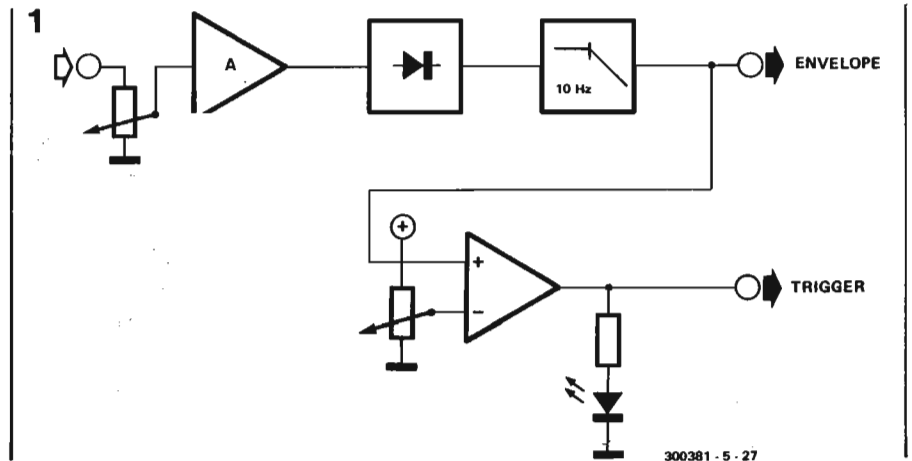
Eingang ist dabei so ausgelegt, daß er empfindlich genug ist, um ein Mikrophonsignal *direkt* verarbeiten zu können. Ein Signal von 10 mV_{SS} reicht bereits zur Vollaussteuerung aus. Die Empfindlichkeit ist damit für die mei-

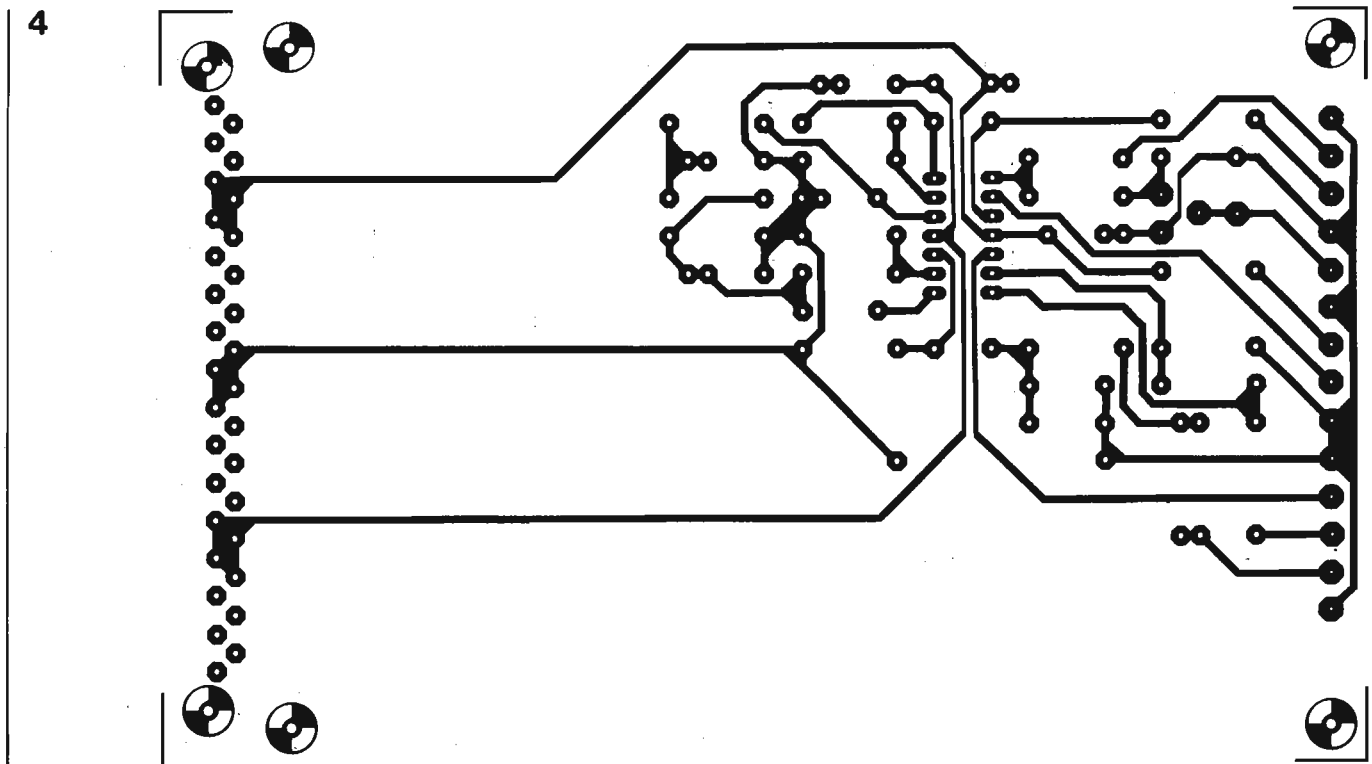
Bild 1. Blockschaltbild des FORMANT-Envelope-Followers.

Bild 2. Die einzelnen Kurvenfolgen und Signale verdeutlichen die Arbeitsweise der Schaltung:

- a) Eingangssignal
- b) Ausgangssignal (Envelope)
- c) Ausgangssignal (Trigger)

Bild 3. Schaltung des Envelope-Followers.





sten Mikrofon- und E-Instrumenten-Ausgänge hoch genug. Mit A1 wird das Eingangssignal auf das erforderliche Niveau gebracht. Die Empfindlichkeit ist mit dem Potentiometer P1 einstellbar. Nach der Verstärkerstufe werden eventuell auftretende übergroße Spannungen mit D1 und D2 begrenzt.

J-FET-OpAmp A2 bildet zusammen mit der Diode D3 und dem Kondensator C4 einen Spitzengleichrichter. Zusammen mit dem darauf folgenden Tiefpaßfilter, dessen Grenzfrequenz bei ca. 10 Hz liegt, wird ein Signal erzeugt, das genau der Hüllkurve des Eingangssignals folgt.

Mit OpAmp A3 wird schließlich das Niveau der Einhüllenden festgelegt. Die Werte der Spannung am "Envelope Output" liegen zwischen 0 V und +10 V.

OpAmp A4 ist als Komparator geschaltet und dient zur Erzeugung des FORMANT-kompatiblen Gate-Signals.

Am nichtinvertierenden Eingang von A4 (Pin 3 von IC1) liegt das "Envelope"-Signal. Der invertierende Eingang (Pin 2) liegt am Schleifer von P2, das zusammen mit R16 einen Spannungsteiler bildet. P2 dient zur Einstellung der "Triggerschwelle". Am Ausgang (Pin 1) des Komparators liegt ebenfalls ein Spannungsteiler, dessen variable Komponente P3 die Einstellung der Amplitude des Gate-Signals auf ca. 4,7 ... 5,0 V ermöglicht. Die Diode D5 "klemmt" die negative Ausgangsspannung des Komparators auf Massepotential. Mit LED D4 werden die Gate-Impulse "sichtbar" gemacht. Jedesmal, wenn das Hüllkurven-Signal den Pegel der einstellbaren Triggerschwelle überschreitet, springt das Gate-Signal von ca. 0 V auf ca. 5 V.

Stückliste Envelope-Follower

Widerstände (Kohleschicht, 5%)

R1, R3 = 5k6
 R2 = 820 k
 R4 = 220 k
 R5 = 18 k
 R6, R7, R8 = 68 k
 R9 = 680 k
 R10 = 10 k
 R11 = 47 k
 R12 = 470 Ω
 R13 = 6k8
 R14, R15 = 1 k

Potentiometer:

P1 = 10 k log.
 P2 = 10 k lin.
 P3 = 1 k (Trimmer)

Kondensatoren (Folienkondensatoren, MKH, MKS):

C1 = 470 n
 C2 = 180 n (150 n + 33 n)
 C3, C6 = 22 n
 C4, C5, C9 = 220 n
 C7, C8 = 100 n

Halbleiter:

D1, D2, D3 = DUS
 D4 = LED
 D5 = DUG
 A1 ... A4 = IC1 = TL 084 CN
 (TL 074 CN)

Sonstiges:

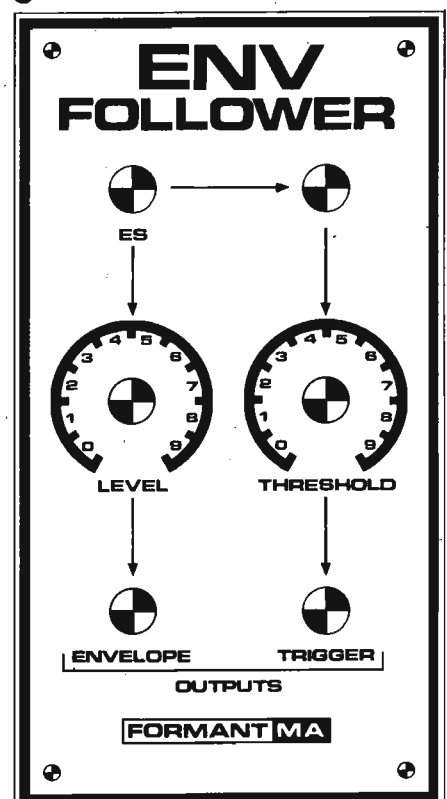
2 x Klinkenbuchsen 3,5 mm
 1 x Klinkenbuchse 6,35 mm
 1 x 31-pol. Steckerleiste oder
 Lötnägel

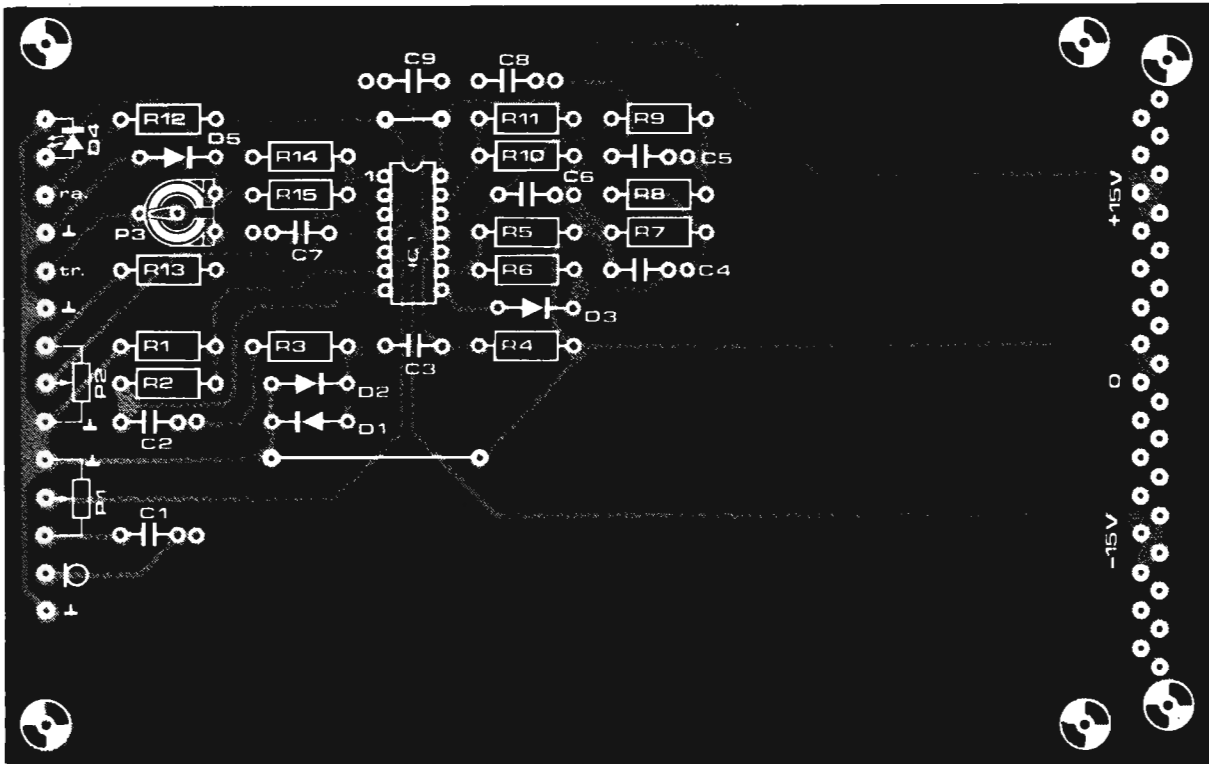
Bild 4. Layout, Bestückungsplan und Stückliste für die Schaltung nach Bild 2.

Bild 5. Frontplattenvorschlag für das ENV-F-Modul.

Bild 6. Grundschialtung des Envelope-Follower-Moduls: Die aus dem externen Signal abgeleiteten Hüllkurven und Triggersignale beeinflussen die Lautstärke bzw. das Auslösen von ADSR-Konturen (ggf. über Zwischenschaltung des ADSR-Controller-Moduls).

5





Aufbau

Die Schaltung kann mit der im Europa-Format ausgelegten Platine (Bild 4) aufgebaut werden. Das J-FET-IC ist mit der gebotenen Vorsicht und Sorgfalt zu behandeln. Die Verwendung einer IC-Fassung ist empfehlenswert. Eine

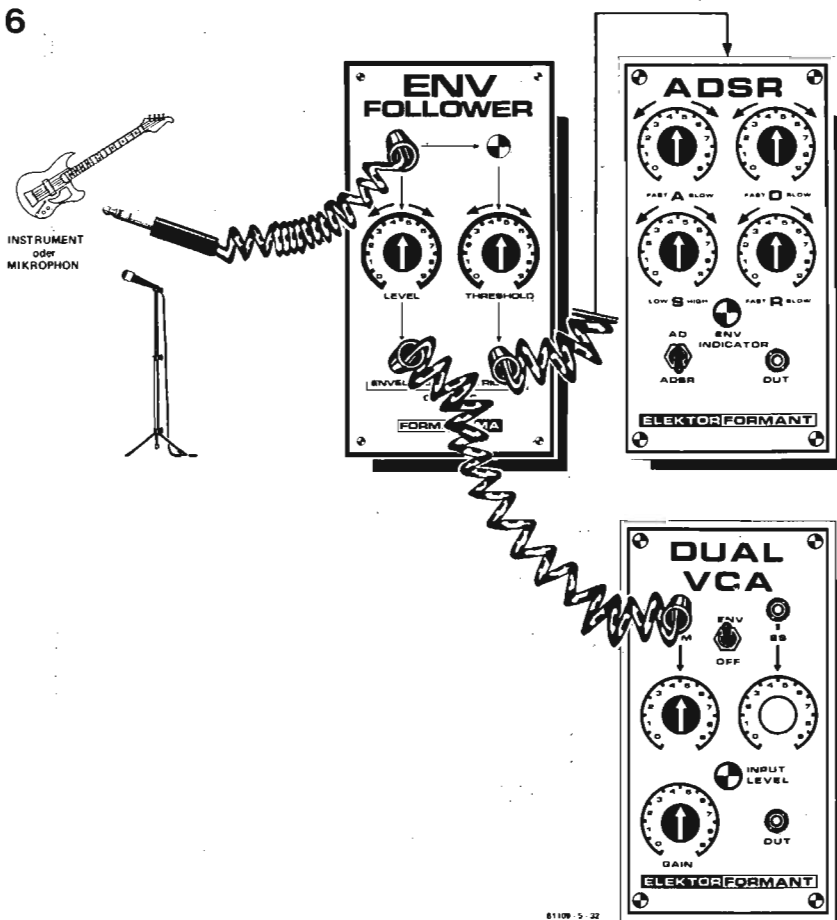
Frontplatte (Bild 5) komplettiert das Envelope-Follower-Modul. Die Schaltung wird, wie im FORMANT üblich, mit Versorgungsspannungen von ± 15 V gespeist und benötigt nur wenige zige Milliampere. Das Envelope-Follower-Modul kann daher ohne Bedenken

jedem bestehenden FORMANT-Aufbau hinzugefügt werden.

Anwendungsmöglichkeiten

Bild 6 zeigt die Grundschiung des Envelope-Followers. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig. So kann z.B. das Schlagzeug über ein Mikrophon die Lautstärke und/oder die Tonhöhe bzw. den Obertongehalt steuern. Jeder Trommenschlag kann dabei eine ADSR-Hüllkurve auslösen. Oder aber der FORMANT paßt sich über den Envelope-Follower automatisch der Lautstärke anderer Instrumente, mit denen er zusammen spielt, an. Dies kann auf einfache Weise durch "Amplitudenmodulation" des VCAs mit dem "Envelope"-Signal realisiert werden. Darüber hinaus lassen sich mit dem Envelope-Follower-Modul alle anderen Modulations- und Steuereingänge ansteuern. So ist z.B. eine "Pfeifsteuerung" des FORMANT durch die menschliche Stimme bzw. durch "Pfeifen" möglich. Einige Anregungen zum Aufbau von Gitarren- und Schlagzeugsynthesizern sind im Rahmen der Beschreibung des MIXERs (an anderer Stelle in diesem Kapitel) dargestellt.

6



Sample and Hold (S & H)

Die Speicherung von Analogsignalen ist eine Aufgabe, die vielfach in einem Musiksynthesizer vorkommt. Man denke z.B. an die Steuerspannungs-„Speicher“ für KOV und die anschlagabhängige CV. Das Sample-and-Hold-Modul erzeugt Steuerspannungssequenzen die an keinen regelmäßigen Ablauf gebunden sind.

Analogspeicher (im folgenden kurz S & H genannt) sind dem FORMANT-Erbauer keine „Unbekannten“. Jeder Besitzer eines (analogen) Keyboard's bzw. einer Anschlagsteuerung wird sich der möglichst „drift“- und „tracking“-freien Funktion erfreuen. Die für die „Tastaturelektronik“ verwendeten S & H sind jedoch zur Erzeugung von Treppenspannungen und Zufallsmustern zu träge.

Bild 1 zeigt das Blockschaltbild des S & H-Moduls. Der „Sample“-Zweig besteht im wesentlichen aus einem (triggerbaren) elektronischen Schalter „S“, einem Speicherkondensator C_X und einem Spannungsfollower. Der Schalter „S“ wird durch den Komparator, dessen „Sample“-Schwelle (Threshold) zwischen 0 V und +2,5 V einstellbar ist, benötigt. Eine Triggerschwelle von beispielsweise +2,0 V läßt die Triggerung erst bei Pegeln über +2,0 V aktiv werden. Eine LED-Anzeige macht den „Sample“-Modus sichtbar.

Bei der Suche nach einer geeigneten Schaltung fiel die Wahl auf eine rund um den bekannten CA 3080 aufgebaute Applikation (Bild 3). Der OTA (Operation Transconductance Amplifier) ersetzt den Schalter „S“ aus dem Blockschaltbild. Liegt am Sample-Eingang ein Signal, ist der Ausgang (bei geschlossenem Schalter) bestrebt, sich der Eingangsspannung möglichst schnell anzupassen. Je nach „Einstellung“ der Signaländerungsgeschwindigkeit

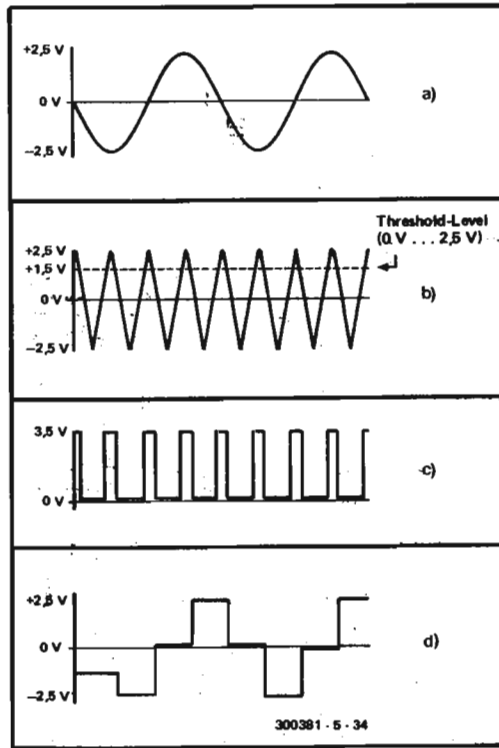
$$\text{max. slew rate} = \frac{I_{ABC}}{C_X} \left[\frac{V}{s} \right]$$

wird der Schalter geschlossen (Sample-Modul) oder geöffnet (Hold-Modul). Da C_X durch die Kapazität von C₂ bestimmt ist, kann die Signaländerungsgeschwindigkeit nur durch Variierung von I_{ABC} beeinflusst werden. Im Sample-Modus ist

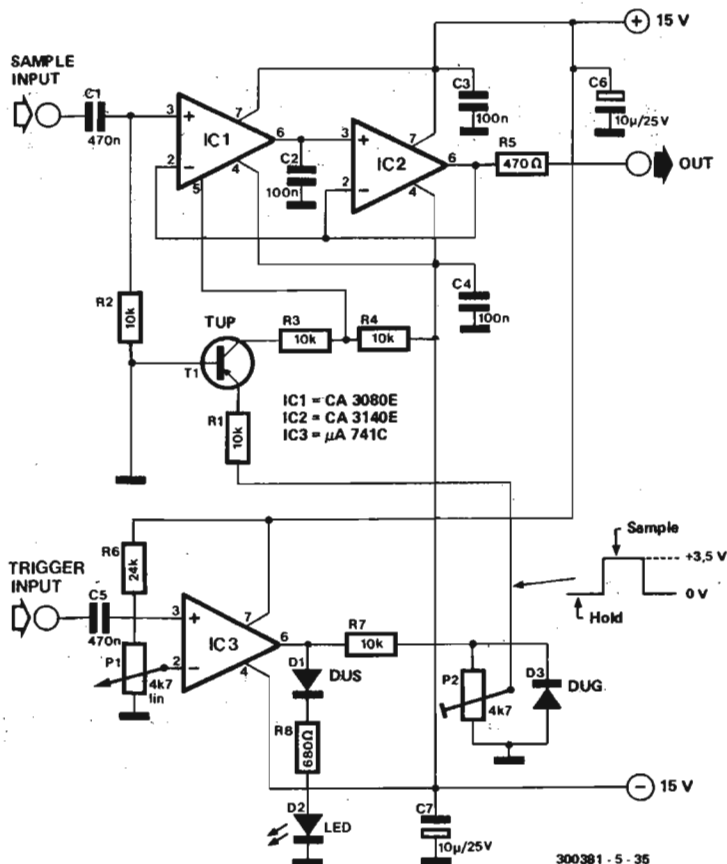
I_{ABC} sehr groß (die max. Signaländerungsgeschwindigkeit liegt bei 3 V/ms), d.h. es kann mit relativ kleinen Abtastzeiten gearbeitet werden. Im Hold-Modus geht I_{ABC} nahezu gegen Null, die zuletzt an C_X anliegende

Spannung wird bis zum nächsten „Sample“ gespeichert. An das eigentliche S & H schließt sich mit IC2 ein MOS-FET-Spannungsfollower an, der die Speicherspannung niederohmig entkoppelt. Der mit dem OTA IC1 aufgebaute elektronische Schalter wird durch den Komparator IC3 gesteuert. Sobald das Triggersignal die (mit P1 einstellbare) Schwelle über-

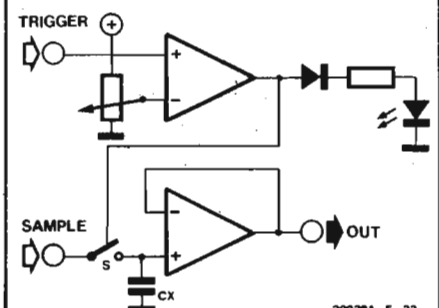
2



3



1



4

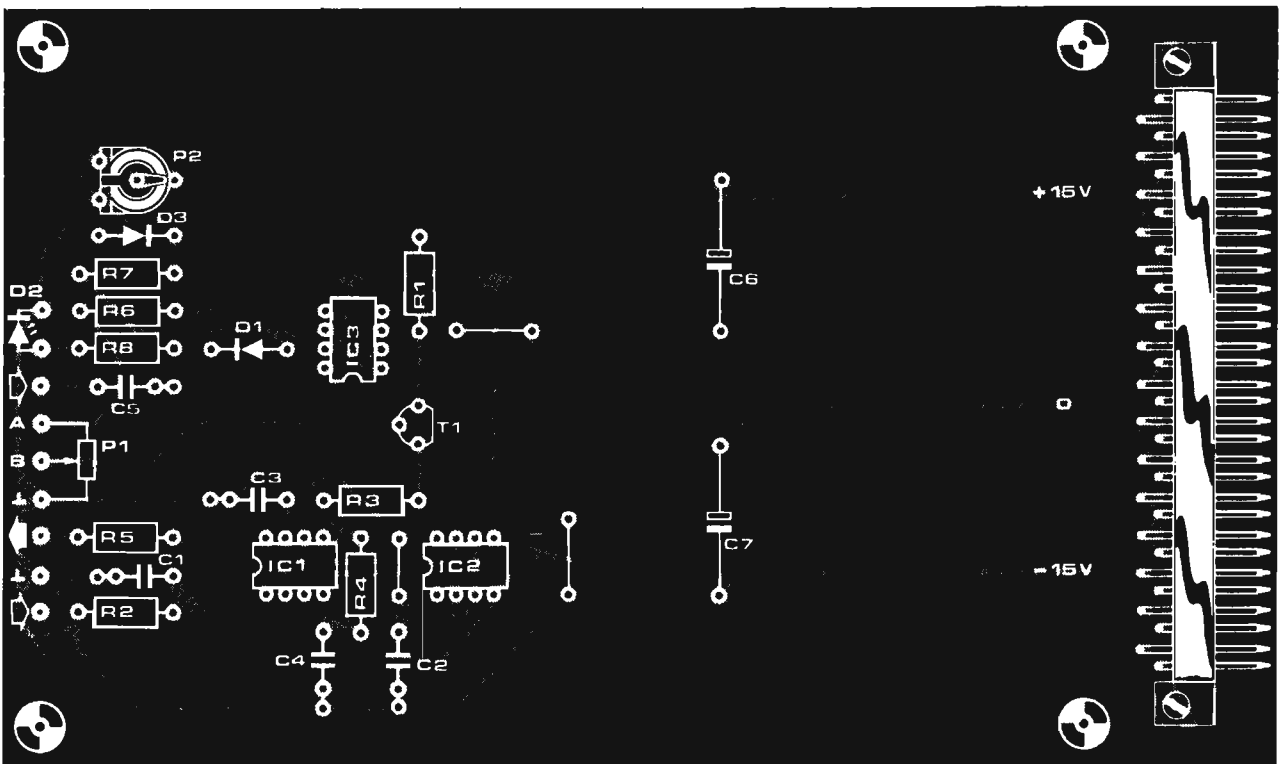
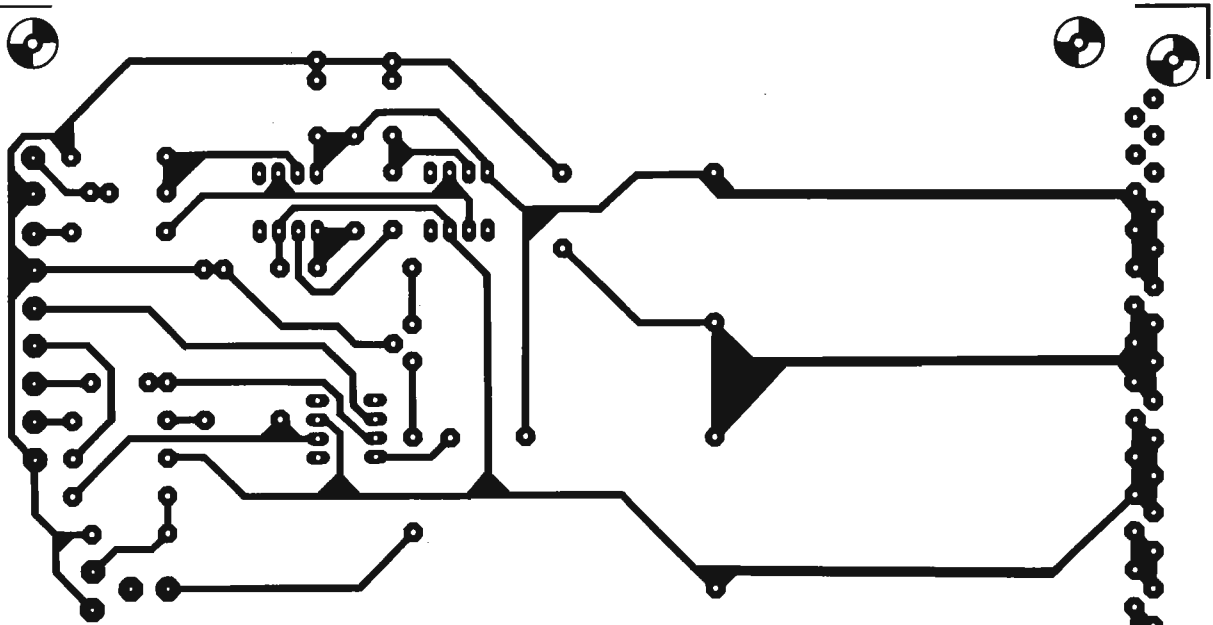


Bild 1. Blockschaltbild für das Sample & Hold-Modul.

Bild 2. Das Funktionsprinzip des Sample-and-Hold-Moduls ist aus dem gezeigten Kurvenverlauf leicht ersichtlich:

- a) Eingangssignal (Sample)
- b) Eingangssignal (Trigger)
- c) Triggersignal
- d) Ausgangssignal

Bild 3. Komplette Sample-and-Hold-Schaltung für den FORMANT.

Bild 4. Layout, Bestückungsplan und Stückliste für das S & H-Modul.

Stückliste Sample-and-Hold

Widerstände (Kohleschicht, 5%):

- R1, R2, R3, R4, R7 = 10 k
- R5 = 470 Ω
- R6 = 24 k (22 k + 2k2)
- R8 = 680 Ω

Potentiometers:

- P1 = 4k7 lin,
- P2 = 4k7 (Trimmer)

Kondensatoren
(Folienkondensatoren MKH,
MKS):

- C1, C5 = 470 n

- C2, C3, C4 = 100 n
- C6, C7 = 10 μ /25 V

Halbleiter:

- D1 = DUS
- D2 = LED
- D3 = DUG
- T1 = TUP
- IC1 = CA 3080E (Mini-Dip)
- IC2 = CA 3140E (Mini-Dip)
- IC3 = μ A 741C (Mini-Dip)

Sonstiges:

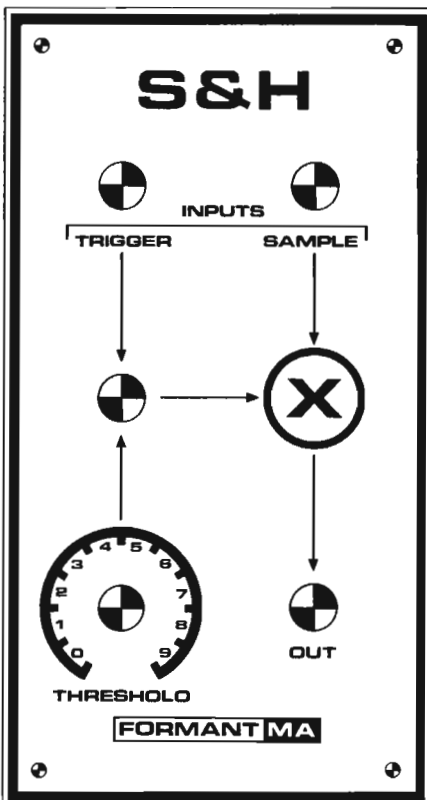
- 3 x Klinenbuchsen 3,5 mm
- 1 x Drehknopf für 6 mm Achse
- 1 x 31-pol. Steckerleiste oder Löt Nägel

schreitet, gelangt ein positiver Impuls, der mit dem Spannungsteiler (R7/P2) auf ca. +3,5 V begrenzt wird, über R1 auf den Emitter des Schalttransistors T1. Die Diode D3 "klemmt" die negativen Signale am Komparatorausgang gegen Masse. Mit LED D4 werden die positiven Impulse ("Samples") sichtbar gemacht, wodurch die exakte Einstellung der Schaltschwelle erleichtert wird. Das Funktionsprinzip des S & H ist aus den Diagrammen von Bild 2, die den zeitlichen Spannungsverlauf in den einzelnen Schaltungsbereichen zeigen, ersichtlich.

Aufbau

Der Aufbau der Schaltung dürfte nach dem Platinenlayout und dem Bestückungsplan von Bild 4 keine Schwierigkeiten bereiten, falls bei der Auswahl der Bauelemente die bekannten Qualitätskriterien beachtet werden. Für IC1 und IC2 sind sowohl Mini-Dip- als auch "metal-can"-Typen verwendbar. Bei letzteren müssen die einzelnen Pins entsprechend der Anschlußbelegung gebogen werden. Unter der Bezeichnung CA 3080S bzw. CA 3080AS sind auch Typen im Metallgehäuse (TO 5) erhältlich, deren Anschlüsse bereits DIL-kompatibel sind. Für IC2 sollte man lieber eine IC-Fassung verwenden, falls man keinen Lötcolben mit völlig potentialfreier Spitze besitzt. Für C2 ist ein besonders leckstromfreier Folienkondensator von Vorteil. Auch bei den übrigen Kondensatoren schadet es nicht, wenn man etwas tiefer ins Portemonnaie greift. Bild 5 zeigt den Frontplattenvorschlag,

5



6

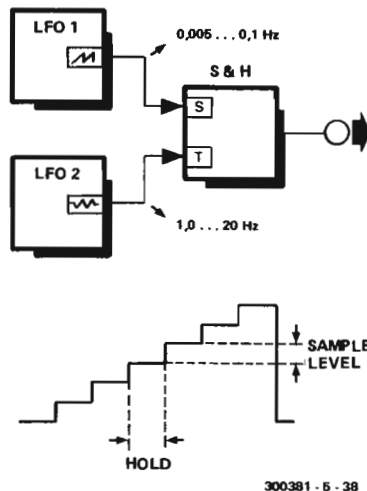


Bild 5. S & H-Frontplattenvorschlag.

Bild 6. Grundeinstellung für eine Treppenspannung. LFO 1 liefert eine relativ niederfrequente Spannung (Sägezahn mit ansteigender bzw. abfallender Flanke oder auch Dreiecksspannung), während LFO 2 auf eine relativ hohe Frequenz eingestellt ist. Als Kurvenform für LFO 2 eignen sich Dreieck und Impuls (siehe LF-VCO) bei mittlerem bis hohem Threshold-Level besonders gut. Die Größe der Spannungssprünge ist von der Kurvenform und der Frequenz von LFO 1 abhängig, während die Anzahl der "samples" von der Frequenz und vor allem von der Einstellung des Schwellwertes abhängt.

7

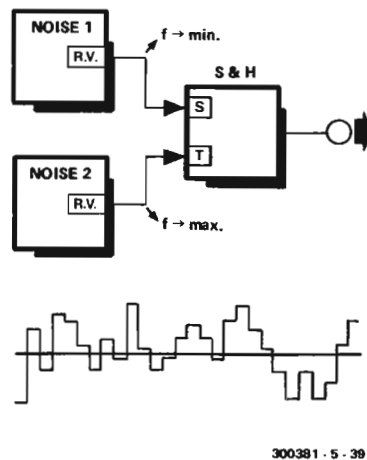


Bild 7. Grundeinstellung für ein "verdichtetes" Zufallsmuster. Die "Frequenz" der Steuerungspannungsfolge am Sample-Eingang sollte möglichst niedrig, die am Trigger-Eingang bei mittlerem Threshold-Level- möglichst hoch eingestellt sein.

der das Sample-and-Hold-Modul komplettiert. Die Bedienelemente finden neben den Eingangs- und Ausgangsbuchsen auf einer "kleinen" FORMANT-Frontplatte Platz. Der Abgleich des S & H-Moduls ist denkbar einfach, da nur ein einziger Abgleichpunkt beachtet werden muß. Zum Abgleich schließt man ein Oszilloskop oder ein Multimeter am Schleifer von P2 an und dreht den Schleifer von P1 gegen Masse. An den Trigger-Eingang legt man am besten eine Rechteckspannung aus einem LFO an und justiert den Schleifer von P2 – während sich das Rechteck am "oberen Plateau" (LED-Anzeige beachten) befindet – auf ca. +3,5 V.

Anwendungsmöglichkeiten

Hauptanwendungen des S & H-Moduls dürfte wohl die Erzeugung verschiedenster Treppenspannungs-Konfigurationen (daher auch der Name "Treppenspannungsgenerator", engl.: staircase-generator) und Zufallsmustern sein. Sicherlich für viele faszinierend ist dabei ist die Tatsache, daß man auf diese Weise den Synthesizer dazu bringen

kann, alleine zu "spielen". Bei sorgfältiger Justierung der einzelnen Parameter lassen sich musikalische reizvolle Tonfolgen und Modulationsmuster kreieren, die z.T. auch an Sequencer erinnern können. Mit dem S & H kann man auch einer Sequencersignalfolge einen "zufälligen" Charakter verleihen.

Literatur:
 Linear Integrated Circuits
 CA 3080/A/AS/E/S, RCA-Datenblätter
 Nr. 475, 1974
 G.D. Shaw: P.E. Sound Synthesizer 5,
 Sample and Hold, Practical Electronics,
 June 1973, S 506 ff.
 H.A. Wittlinger: Anwendung der
 Operations-Transconductance-
 Verstärker CA 3080 und CA 3080A,
 RCA-Applikationsschrift
 ICAN - 6668, 1973
 Sample & Hold für Synthesizer,
 Halbleiterheft 1980, Elektor-Verlag.

Waveform-Processor (WP)

Wenn die fünf Kurvenformen der FORMANT-VCOs nicht ausreichen, bietet der Waveform-Processor die Möglichkeit, mit relativ einfachen Mitteln die bestehenden Kurvenformen weiter zu verändern. Darüber hinaus läßt sich das Niveau des einstellbaren "Clipping"-Pegels voll spannungssteuern. Dem Anwender stehen somit (fast) unzählige Variationsmöglichkeiten zur Verfügung!

Der Waveform Processor (engl.: processing = Verarbeitung, Veredelung) wird seinem Namen im wahrsten Sinn des

thesizer abgestimmt. Das Platinenlayout wurde deshalb im Eurocard-Format ausgelegt, obwohl der Platz reichlich bemessen ist (Bild 3).

Bei mehrstimmigem Spiel treten als Differenzklänge kräftige Baßtöne auf. Bild 2 zeigt anhand von 4 Beispielen einige Möglichkeiten der "Kurvenformsynthese", wie sie mit dem Waveform-Processor möglich sind.

Der freie Raum auf der Platine hätte gut für einen zweiten Waveform-Processor oder eine andere Schaltung gereicht, aber bei Verwendung einer "kleinen"

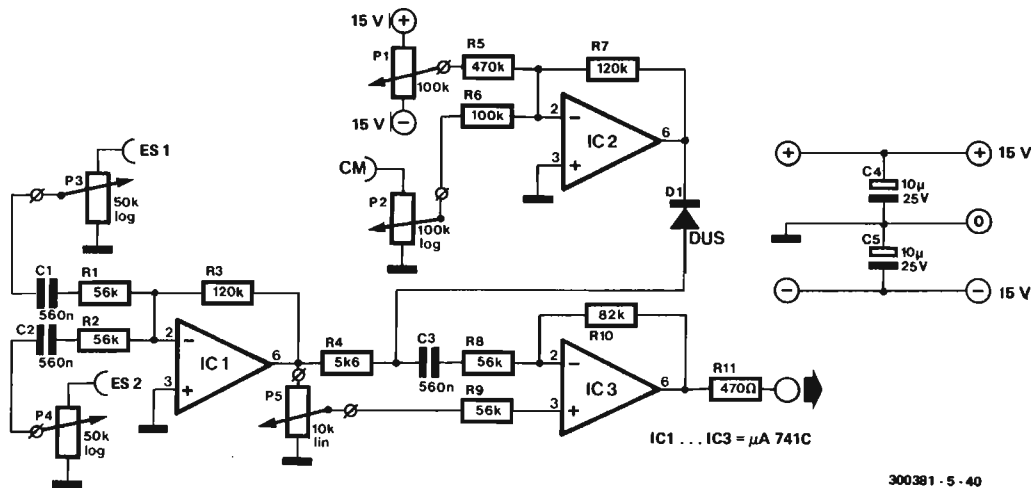
FORMANT-Frontplatte (Bild 4), wo die vielen Bedienungselemente einen gedrängten Aufbau verlangen (4 mm-Potis), ist das wenig sinnvoll. Der Aufbau des Waveform-Processors nach dem Bestückungsplan und der Stückliste dürfte wohl problemlos sein, zumal kein Abgleich notwendig ist.

Anwendungshinweise

Bild 5 verdeutlicht die Wirkungsweise von P1 und P5. Abschließend zwei "Signalfluß"-Diagramme als Vorschmack auf eine musikalisch-kulinarische Entdeckungsreise.

Der Waveform-Processor ist, wie z.B. der Ringmodulator, ein Modul für experimentierfreudige FORMANT-Spieler.

1



300381 - 5 - 40

Wortes gerecht. Aus dem Konzept der Schaltung, die zur Gruppe der signalformenden zu zählen ist (Bild 1), ergeben sich eine Vielzahl neuer Kurvenformen für eine Reihe von interessanten Anwendungen. Durch "Clipping" (Abschneiden der Kurvenspitzen) und (un-)symmetrische Verstärkung von geclippten und ungeclippten Signalanteilen sowie durch Umklappen der abgeschnittenen Kurvenanteile, lassen sich z.B. die dunklen Klangfarben des Sinus und des Dreieck aufhellen. Ebenso sind z.B. eine Betonung der 3. Harmonischen, Frequenzverdopplung und Trapezkurvenform möglich.

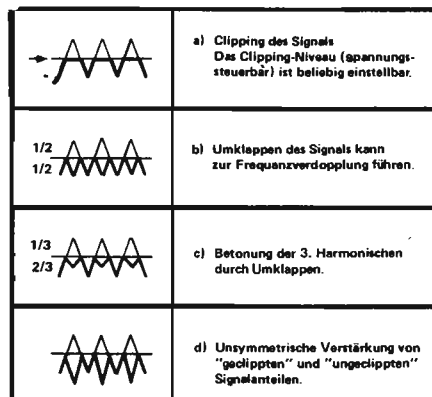
Darüber hinaus besteht die Möglichkeit der Spannungssteuerung des "Clipping-Niveaus" (Umklapppunkt) durch LFOs, ADSRs, Sequencer usw. Bei der Ansteuerung mit einem langsamen Sinus oder Dreieck (z.B. aus einem LFO) entstehen bei Modulationsfrequenzen von 0,5 Hz . . . 1,0 Hz phasingartige Klangfarbendynamiken, die bei etwas schnellerer Modulation (ca. 3 Hz . . . 10 Hz) in chorusartige Klänge übergehen. Ringmodulatorähnliche Klänge lassen sich durch Spannungssteuerung eines im Audio-Bereich schwingenden VCOs erzeugen.

Der Waveform-Processor ist in Konzeption und Design ganz auf die Verwendung im FORMANT-Musiksyn-

Bild 1. Schaltbild für den Waveform-Processor.

Bild 2. Kurvenformsynthese mit dem Waveformprocessor (Eingangssignal: Dreieck).

2



300381 - 5 - 41

Stückliste Waveform-Processor

Widerstände (Kohleschicht, 5%):
 R1, R2, R8, R9 = 56 k
 R3, R7 = 120 k
 R4 = 5k6
 R5 = 470 k
 R6 = 100 k
 R10 = 82 k
 R11 = 470 Ω

Potentiometer:
 P1 = 100 k lin. (clipping-niveau)
 P2 = 100 k log. (clipping mod.)
 P3, P4 = 50 k log. (ES)
 P5 = 10 k lin (symmetry)

Kondensatoren (MKH, MKS):
 C1, C2, C3 = 560 n (470 n + 100 n)
 C4, C5 = 10 µ/25 V

Halbleiter:
 D1 = DUS
 IC1, IC2, IC3 = µA 741C

Sonstiges:
 4 x Klinkenbuchsen 3,5 mm
 1 x 31-pol. Steckerleiste oder
 Lötnägel

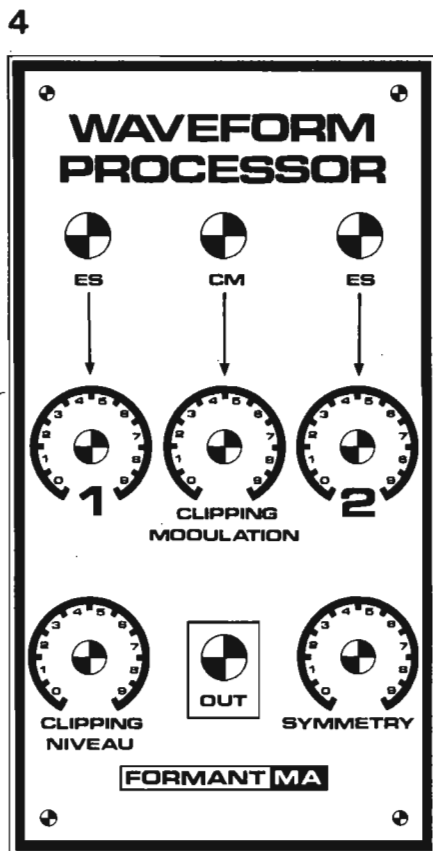
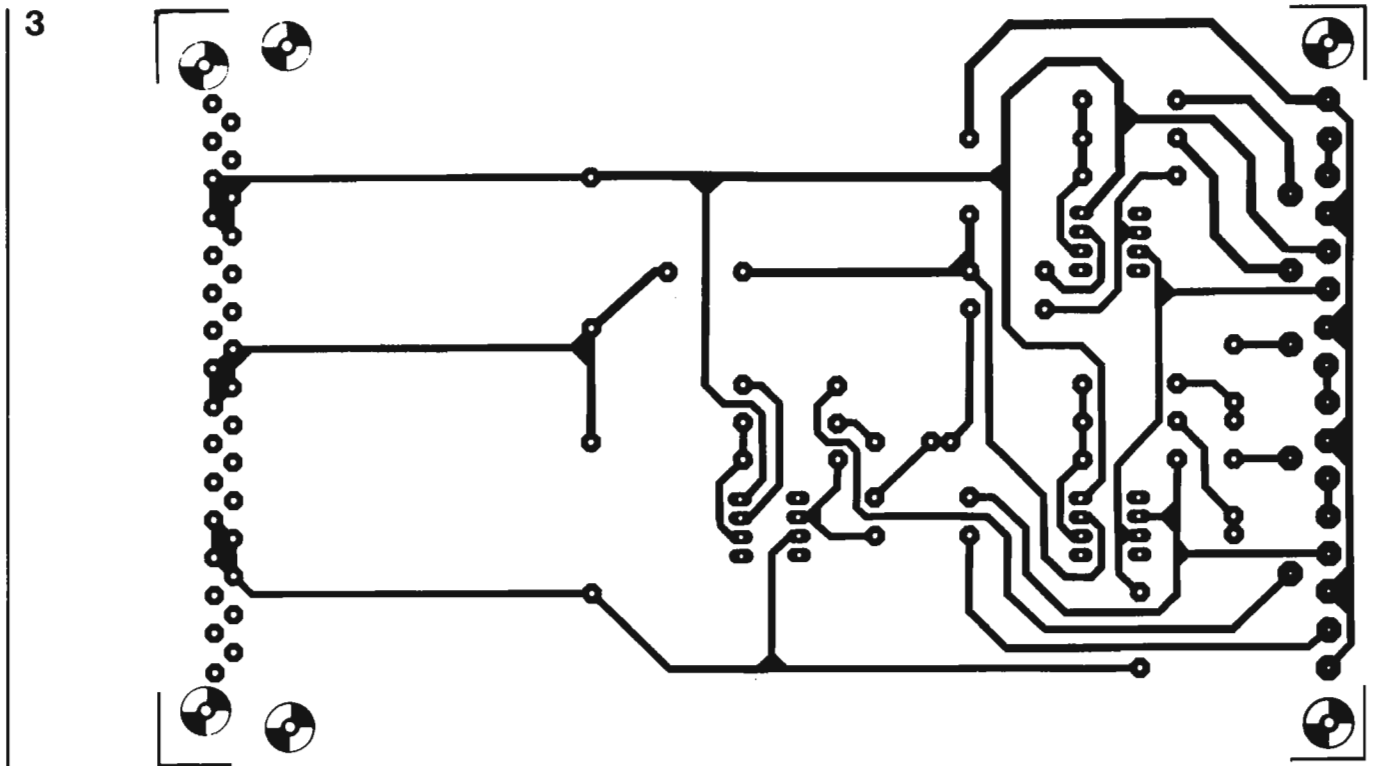


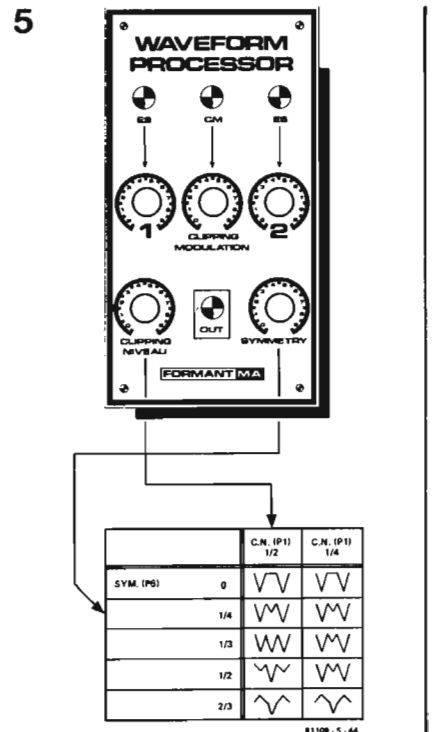
Bild 3. Platinenlayout, Bestückungsplan und Stückliste für den Waveform-Processor.

Bild 4. Frontplattenvorschlag.

Bild 5. Wirkungsweise der Potentiometer "Clipping Niveau" (P1) und "Symmetry" (P5) bei einem Dreieckssignal.

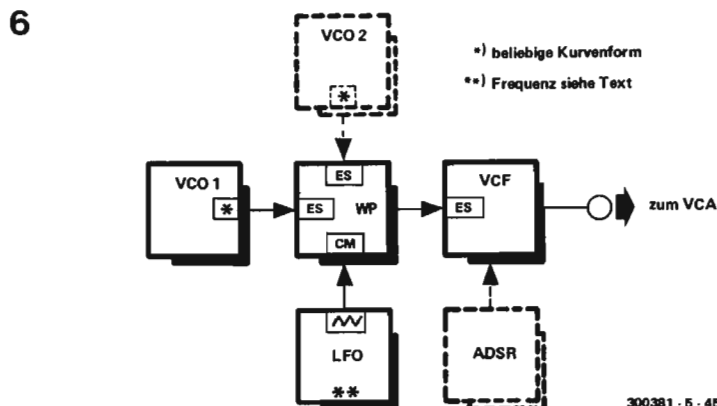
Bild 6. Grundeinstellung für einen "clipping-modulierten" Klang.

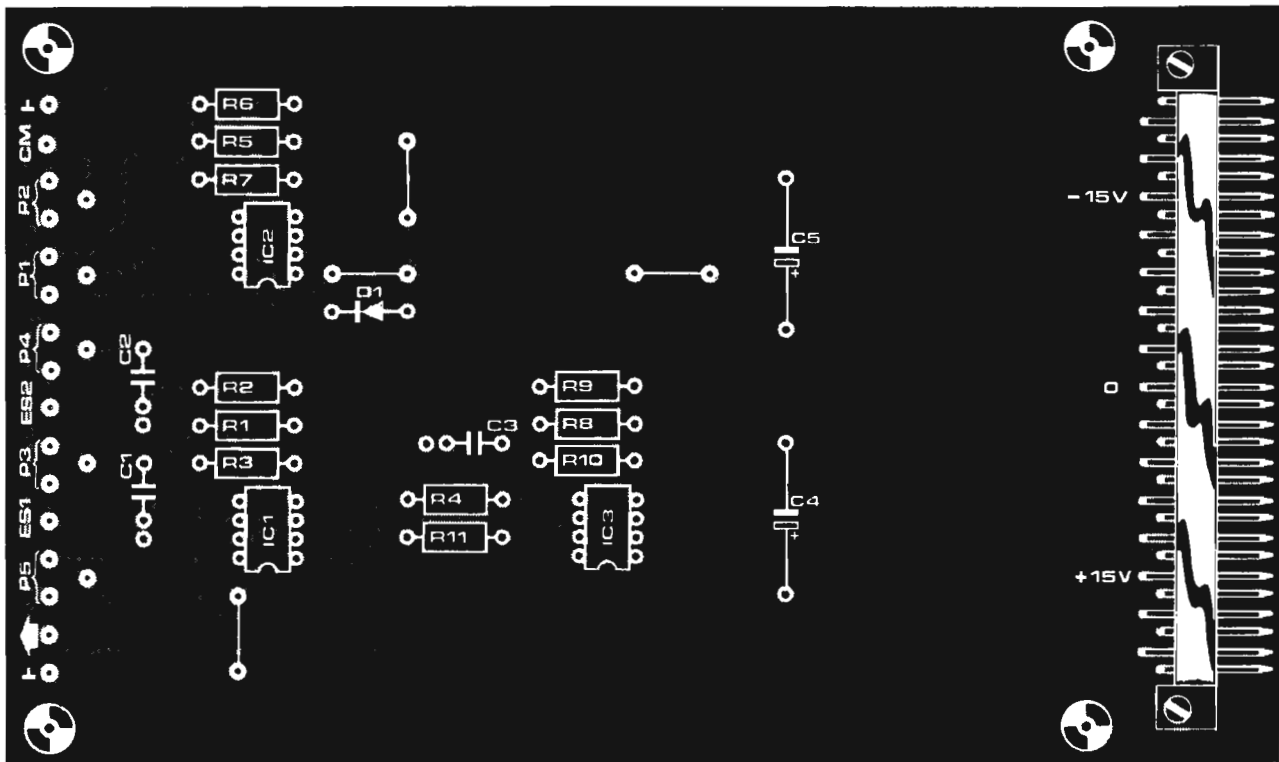
Bild 7. Grundeinstellung für einen gong- oder glockenartigen Klang. Das Resonanzfilter betont – je nach Einstellung – entweder den dunklen Klang großer Schlagwerke oder den hellen Klang kleiner Glocken.



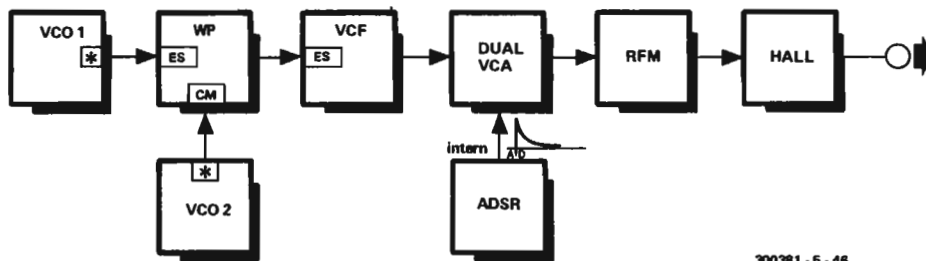
Sicherlich ließen sich einige Effekte, von denen eine Auswahl bereits am Beginn der Beschreibung genannt wurden, auch über Umwege mit den "herkömmlichen" FORMANT-Moduln des Grundausbau realisieren. Der Aufbau von zumindest einem Waveform-Processor ist nicht zuletzt aufgrund des günstigen Preis/Leistungs-Verhältnisses empfehlenswert.

Literatur: M. Bertuch: Der Kurventransformator, Patchcord, Nr. 3, S. 15





7



300381 - 5 - 46

*) Kurvenform: Sinus, Dreieck oder Rechteck
Frequenz: der stärkste Effekt entsteht,
wenn die VCOs im Abstand einer Quart
(5 Halböne) gestimmt werden.

Mixer

Das Mixer-Modul, das in zwei verschiedenen Versionen aufgebaut werden kann, dient zum Mischen beliebiger Steuerspannungen, Modulations- und Audio-Signale. Dazu verfügt die Schaltung über einen Eingang für externe Signale (Mikrophon, E-Gitarre, E-Orgel, usw.). Einzel- und Summen-Pegel sind einstellbar, eine LED-Anzeige warnt vor Übersteuerungen. Am Ausgang stehen jeweils ein invertiertes und nicht-invertiertes Gesamtsignal gleichzeitig zur Verfügung.

Wer nicht gerade über "Verteiler-Patchcords" verfügt, die an einem Ende mehrere Stecker haben, wird sich bei der Realisierung bestimmter Steuerungs- und Modulationsvorgänge ohne eigenen Mixer ziemlich schwer tun. Will man z.B. die PWM eines VCOs durch zwei LFOs beeinflussen, so ist dies beim Vorhandensein eines Mixer-Moduls kein Problem.

Die Schaltung

Die Schaltungsfunktion des Mixers ist aus Bild 1 ersichtlich. Obwohl die Schaltung sehr einfach aufgebaut ist, soll im folgenden die Funktion der einzelnen Schaltungsteile kurz beschrieben werden.

Der mit IC1 aufgebaute OpAmp-Verstärker ist empfindlich genug, um Signale von 10 mV_{SS} auf ca. $1,5 \text{ V}_{SS}$ zu verstärken, was dem im FORMANT üblichen Pegel entspricht. Die Empfindlichkeit der Verstärkerstufe ist somit für Gitarrentonabnehmer und Kondensatormikrophone hoch genug. Der Pegel des Eingangssignals kann mit P1 abgeschwächt werden. Die Dioden D1 und D2 dienen zur Begrenzung großer Signale.

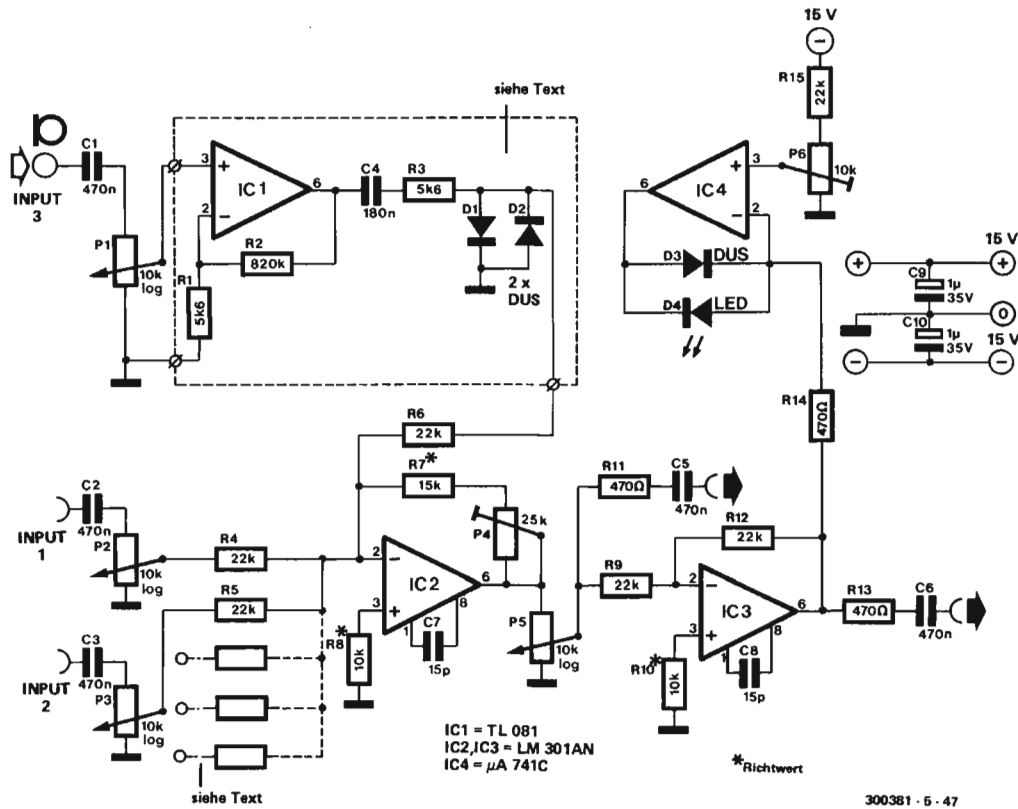
Das Ausgangssignal von IC1 gelangt nun zusammen mit den anderen bis zu max. 5 Eingangssignalen, deren Pegel ebenfalls abgeschwächt werden können, zu einem invertierenden Summenverstärker (IC2), dessen Verstärkung mit P4 eingestellt werden kann. Das Summensignal kann mit P5 abgeschwächt werden. IC3

ist als Inverter mit Verstärkung 1 aufgebaut, so daß an seinem Ausgang die ursprüngliche Signallage wieder hergestellt wird. Die Ausgänge werden niederohmig entkoppelt. Der mit IC4 aufgebaute LED-Treiber sorgt für eine "linearisierte" Anzeige des nichtinvertierten Ausgangssignals und warnt vor Übersteuerungen.

Aufbau und Abgleich

Platinenlayout und Bestückungsplan (Bild 2) sorgen für einen problemlosen Aufbau. Wer auf einen Eingang für externe Signale verzichten will, kann die umrahmte Teilschaltung um IC1 (Bild 1) weglassen. Pin 3 von IC1 und die Kathode von D2 sind mit einer Drahtbrücke oder Litze zu verbinden. Für den Eingang 3 ist dann statt einer 6,35-mm Klinkenbuchse ein 3,5 mm-Typ vorzusehen. Da die Bohrung für die Eingangsbuchse von Eingang 3 im Durchmesser 9 mm beträgt, klebt man am besten ein mit einer 6-mm-Bohrung versehenes 1,5-mm-starkes Alu-Blech zur Montage der 3,5 mm-Klinkenbuchse mit Zwei-

1



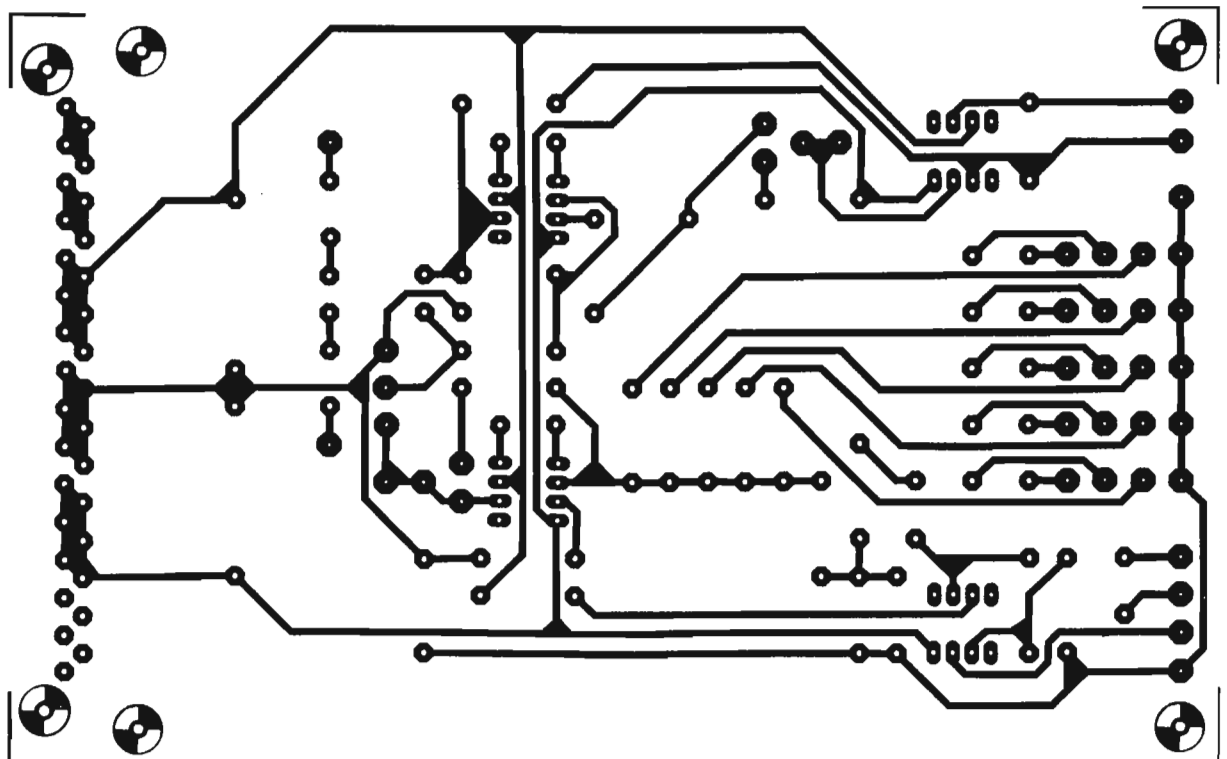
komponenten-Klebstoff (z.B. UHU-endfest 300) an die Hinterfläche der Frontplatte. Andererseits ist auch eine Erweiterung auf insgesamt 6 Eingänge unter Hinzufügen weiter 470 n-Kondensatoren, 10 k-Potentiometer und 22 k-Widerstände möglich. Bild 3 zeigt für beide Versionen entsprechende Frontplatten-vorschläge. Die für 6 Eingänge konzi-

Bild 1. Schaltbild des universellen Mixers.

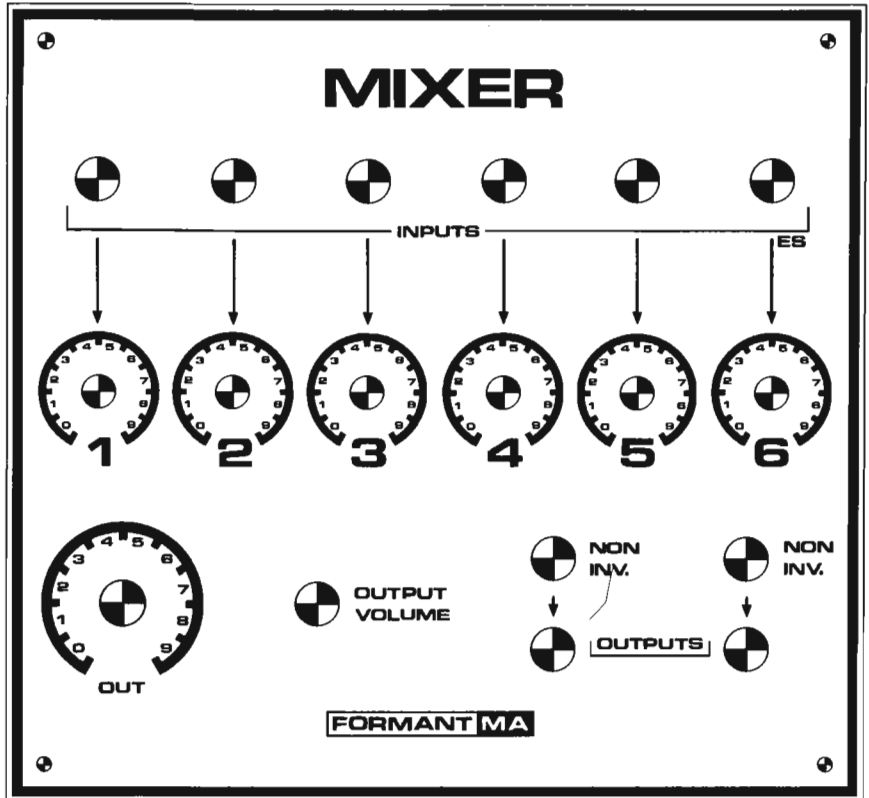
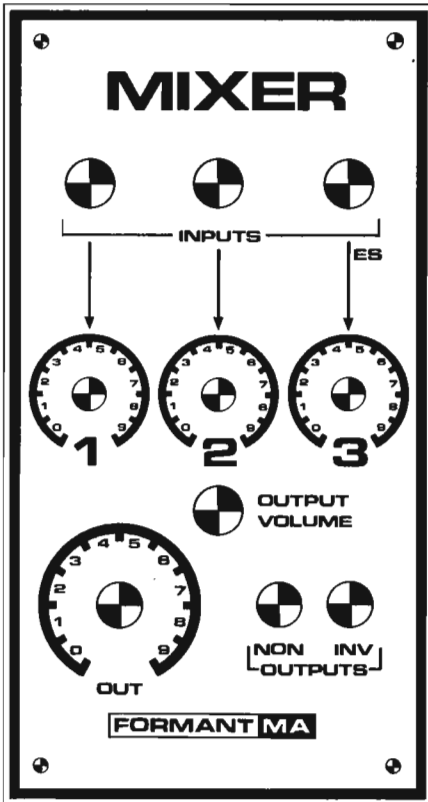
Bild 2. Platinenlayout und Bestückungsplan des Mixer-Moduls. Die Platine ist sowohl für kleine als auch für die große Ausführung verwendbar. Beim Verzicht auf einen ES-Eingang fällt der umrahmte Schaltungsteil fort. An dessen Stelle tritt eine Drahtbrücke von Pin 3 (IC1) zur Kathode von D2.

pierte Frontplatte ist doppelt so breit wie "normale" kleine FORMANT-Frontplatten. Aus Platzgründen sind für die Eingangs-Potentiometer nur Typen mit 4-mm-Achse verwendbar. Abgleich: P4 dient zur Einstellung der Verstärkung von IC2. Das Modul kann damit den jeweiligen Erfordernissen angepaßt werden. P6 wird so justiert, daß ein Gesamtsignal von 3 V_{SS} die LED

2



3



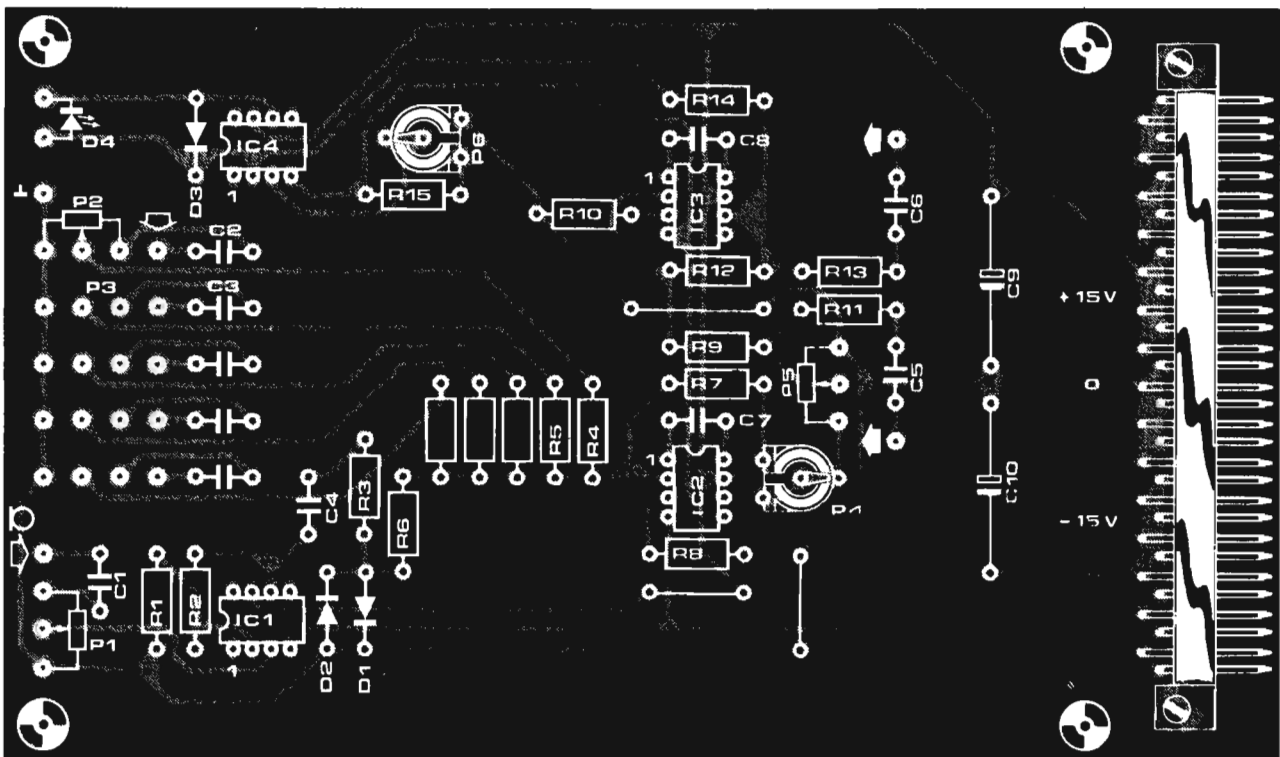
schwach, aber deutlich zum Leuchten bringt.

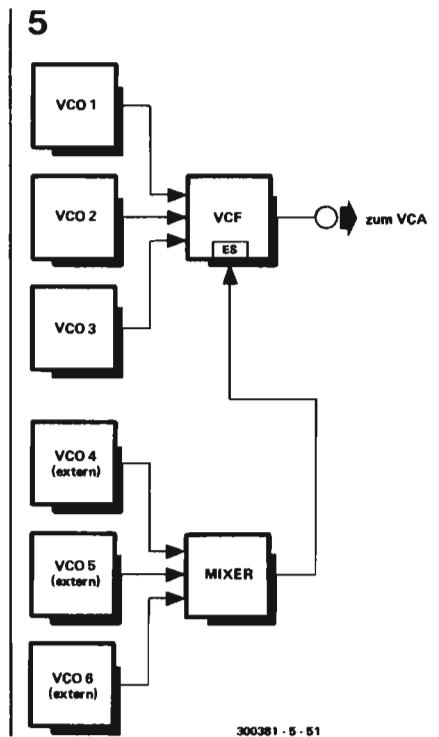
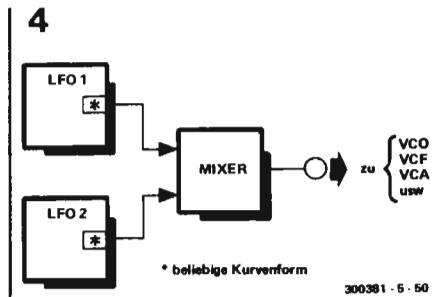
Anwendungshinweise

Der Mixer kann zum Mischen beliebiger Steuerspannungen, Modulations- und Audio-Signalen herangezogen werden. So sind z.B. mehrfache Modulationen von VCOs, VCFs, usw. durch mehrere LFOs denkbar. Andererseits kann der

Bild 3. Frontplattenvorschlag für den Mixer. Je nach Ausführungsart genügt das kleine Format. Bei insgesamt 6 Eingängen muß man das große Format wählen. Der ES-Eingang ist für externe (außerhalb des FORMANT gelegene) Signalquellen vorgesehen.

Mixer auch zum Einschleifen von VCO- oder VCF/VCA-Bänken benutzt werden. Auch bei der Beeinflussung von Fremdsignalen durch den FORMANT ist der Mixer sehr hilfreich, da er das Signal auf den im FORMANT üblichen Pegel anhebt. So kann mit dem Mixer und einigen anderen FORMANT-Modulen ein einfacher Gitarrensensitizer aufgebaut werden (siehe Bild 6, 7). Als





Drucktaster kann ein ausrangiertes Nähmaschinenpedal einer elektrischen Nähmaschine gute Dienste leisten. Für komfortablere Gitarrensensitizer ist erheblich mehr Aufwand vorzusehen: Für jede Saite ein eigenes "pick up", 6 PTVCs (Pitch-to-Voltage-Converter), 6 VCOs, usw. (siehe Bild 8).

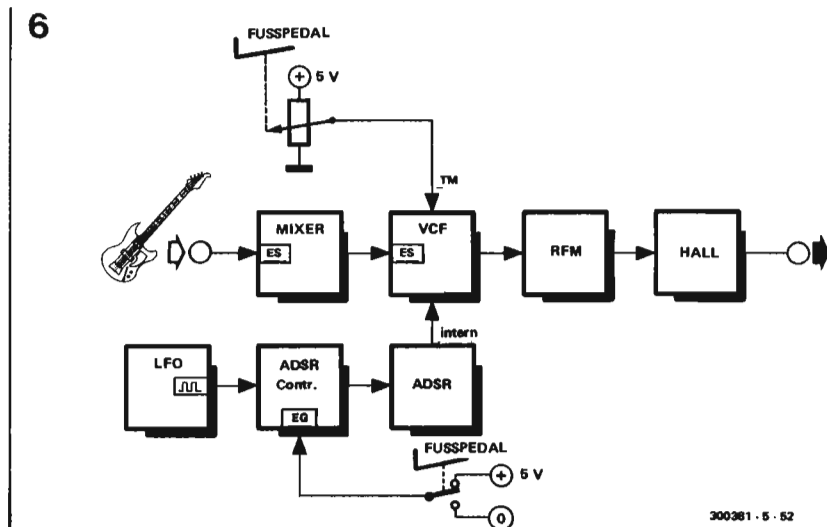
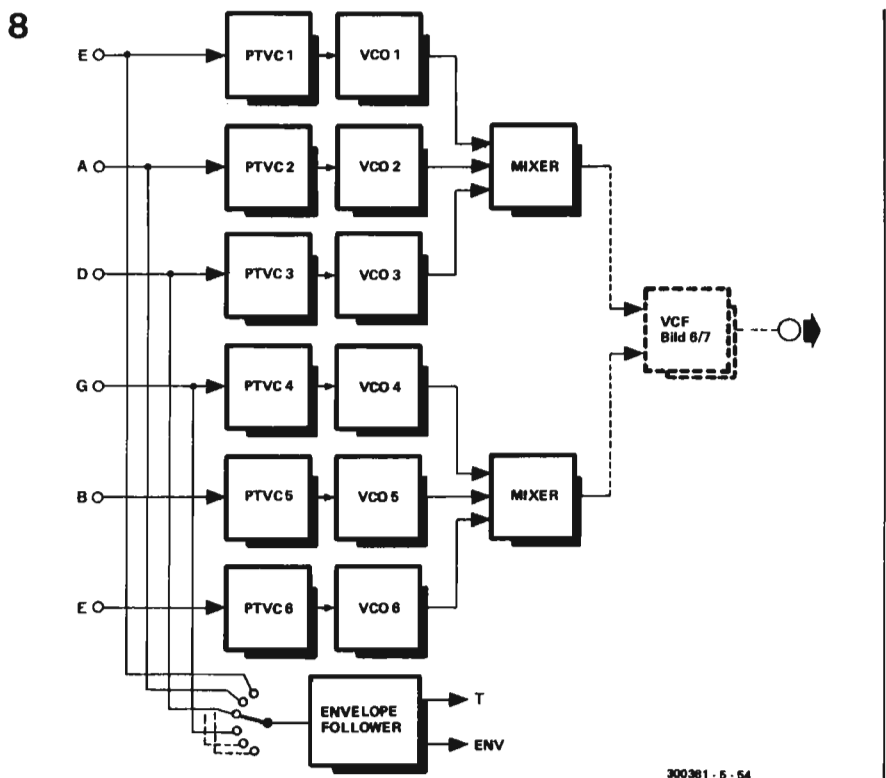
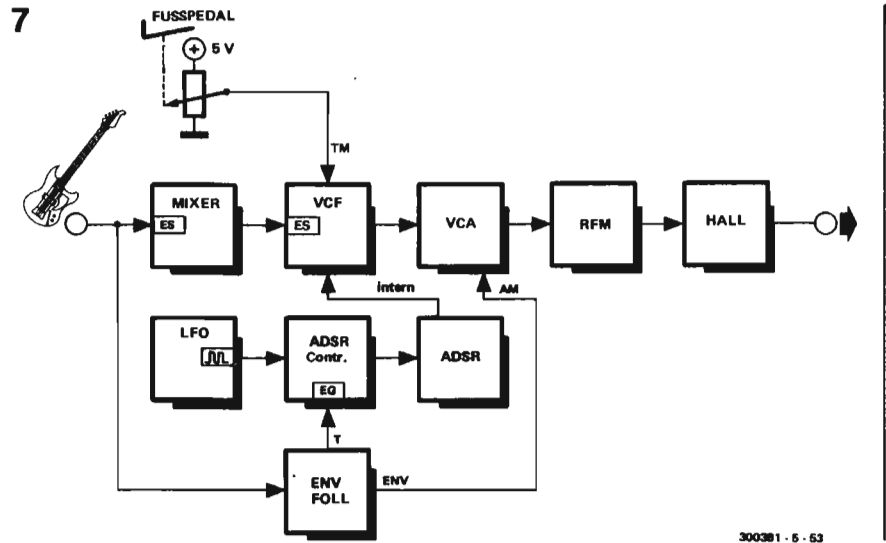


Bild 4. Grundeinstellung für Mehrfachmodulation mit zwei LFOs.

Bild 5. Einschleifen einer externen (d.h. in einem eigenem Gehäuse untergebrachten) VCO-Bank in den Signalweg des FORMANT.

Bild 6. Grundeinstellung eines Gitarren- bzw. Schlagzeug-Sensitizer mit der Klangformung durch ein Pedal (TM) sowie durch einen mit dem Fuß bedienbaren Drucktaster (ADSR).

Bild 7. Grundeinstellung für einen Gitarren- bzw. Schlagzeug-Sensitizer mit Klangformung durch ein Pedal (TM) sowie durch eine Envelope-Follower (Trigger-Ausgang ADSR), dessen Envelope-Ausgang zur Amplitudenmodulation herangezogen werden kann.

Bild 8. Prinzipschaltbild eines "komplexen" Gitarrensensitizer.

Stückliste Mixer (für max. 3 Eingänge)

Widerstände (Kohleschicht, 5%):

- R1, R3 = 5k6
- R2 = 820 k
- R4, R5, R6, R9, R12, R15 = 22 k
- R7 = 15 k
- R8, R10 = 10 k
- R11, R13, R14 = 470 Ω

Potentiometer:

- P1, P2, P3, P5 = 10 k log.
- P4 = 25 k (Trimmer)
- P6 = 10 k (Trimmer)

Kondensatoren:

- C1, C2, C3, C5, C6 = 470 n
- C4 = 180 n (150 n + 33 n) } (MHM, MKS)
- C7, C8 = 15 p (keramisch)
- C9, C10 = 1 µ/35 V

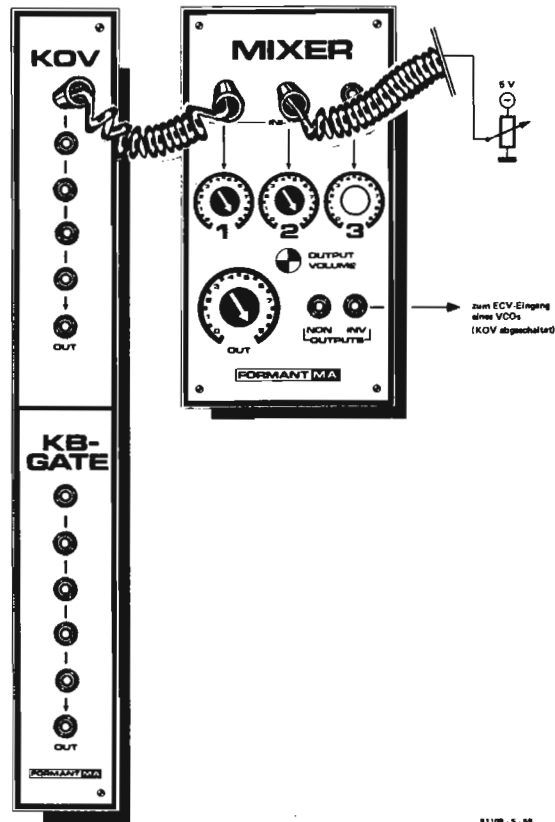
Halbleiter:

- IC1 = TL 081C
- IC2, IC3 = LM 301 AN
- IC4 = µA 741C (Mini-Dip)
- D1, D2, D3 = DUS (z.B. 1N4148)
- D4 = LED

Sonstiges:

- 1 x 31-pol. Steckerleiste oder Löt Nägel
- 4 x Klinkenbuchsen 3,5 mm
- 1 x Klinkenbuchse 6,35 mm (siehe Text)
- 1 x Drehknopf für 6 mm Achse
- 3 x Drehknöpfe für 4 mm Achse

9



81108 - 5 - 06

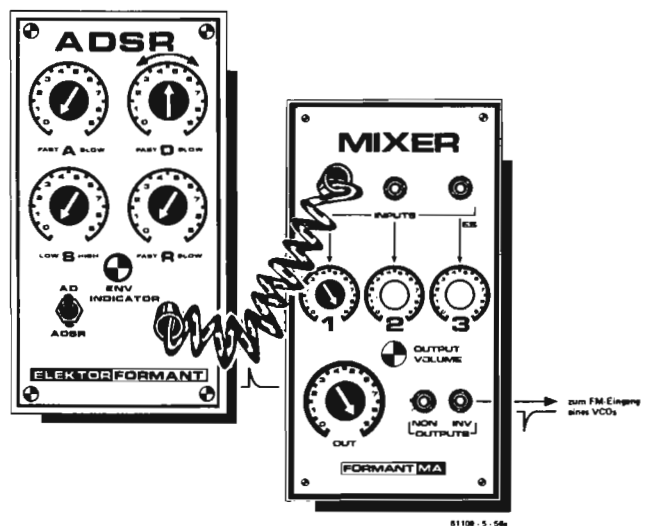
Wichtiger Hinweis!

Für das Mischen von langsamen LFO-Signalen bzw. von Gleichspannungen müssen die Eingänge Input 1 und Input 2 gleichspannungsgekoppelt sein. Dazu muß man die Kondensatoren C2 und C3 auf der Platine durch Drahtbrücken ersetzen.

Bild 9. Invertierung der KOV. Ein typisches Beispiel für eine Anwendungsmöglichkeit von zwei Erweiterungsmodulen: Die KOV wird im Mixer invertiert, so daß die Töne am oberen Ende der Tastatur tiefer klingen als jene am unteren Ende. Die über den zweiten Mixer-Eingang zugeführte negative Spannung ermöglicht es, den Frequenzbereich des VCOs ganz ausschöpfen zu können, ohne daß dessen OCTAVES-Einsteller verändert werden muß. Die Einstellung des Potentiometers, das auch als Fußpedal ausgeführt sein kann, ist relativ unkritisch.

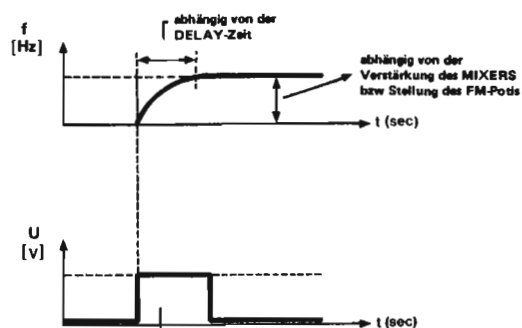
Bild 10. Benutzung des Mixers zur Erzeugung eines Gleiteffektes. Aus dem Impulsdiagramm in Bild 10b ist ersichtlich, daß die Gleitdauer von der Decay-Zeit des ADSR und der Frequenzversatz von der Mixer-Verstärkung bzw. von der Einstellung des FM-Einstellers des VCOs abhängig ist. Bei automatisch ablaufender Hüllkurve (Schalter: AD!) ist der Gleiteffekt unabhängig von der Dauer des Gate-Signals (bzw. des Tastendrucks). Musikalisch interessant klingen auch Effekte mit längeren Attacke-Zeiten. Natürlich lassen sich neben FM auch TM und AM beeinflussen.

10a



81108 - 5 - 06a

b



300381 - 5 - 56b

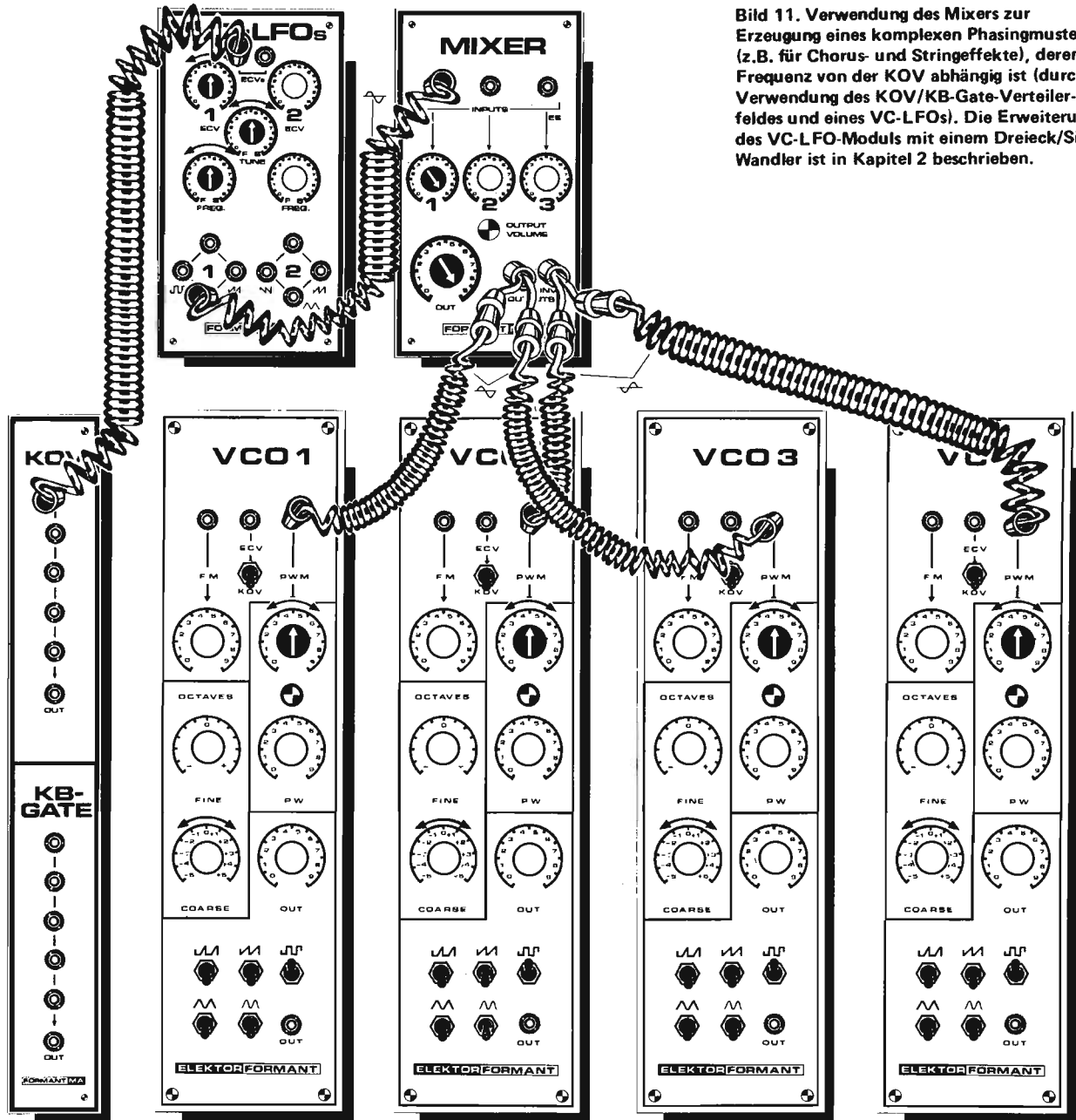


Bild 11. Verwendung des Mixers zur Erzeugung eines komplexen Phasingmusters (z.B. für Chorus- und Stringeffekte), deren Frequenz von der KOV/KB-Gate-Verteilerfeldes und eines VC-LFOs). Die Erweiterung des VC-LFO-Moduls mit einem Dreieck/Sinus-Wandler ist in Kapitel 2 beschrieben.

Eichnormal (440 CPS tuning)

Ein Eichnormal ist ein "Muß" für den FORMANT, zumal das bisherige Fehlen einer solchen Schaltung auch im FORMANT-Test einer bekannten deutschen Musik-Fachzeitschrift bemängelt wurde.

Auf einfache Weise erzeugt diese "elektronische Stimmgabel" den Kammerton "a" (440,0 Hz). Sie stellt aufgrund der vielfältigen Steuerungsmöglichkeiten im FORMANT eine (fast) unerlässliche Hilfe beim Stimmen (engl.: "tuning") dar.

Bedingt durch die vielfachen Steuerungsmöglichkeiten ändert sich z.B. die Stimmspannung der VCOs mit jeder neuen Programmkombination. Das auf 440 Hz eingestellte Eichnormal sorgt für eine rasche Anpassung des Manuals.

Falls es sich nicht gerade um Studio-Geräte handelt, ist der Aufwand für Quarz-Normalien zu kostspielig. Für kleinere und mittlere Musiksynthesizer, wie sie von Amateuren verwendet werden, reicht ein stabiler (konventioneller) Sinusoszillator völlig aus.

Die Schaltung

Die Frequenz des Oszillators, dessen vollständiges Schaltbild aus Bild 1 hervorgeht, wird durch eine einfache Wien-Brücke bestimmt. C1, C2, R2, P2 und P3 sind als frequenzbestimmende Komponenten in den Mitkopplungszweig der OpAmps IC1 und IC2 eingebaut. In den Gegenkopplungsweg, der für die Stabilisierung sorgt, ist P1 eingeschaltet. OpAmp IC3 sorgt für eine

Stückliste Eichnormal

Widerstände (Kohleschicht, 5%):

- R1 = 560 Ω
- R2 = 10 k
- R3, R4 = 100 k
- R5 = 56 k
- R6 = 470 Ω
- R7 = PTC 220 Ω (siehe Text)

Potentiometer:

- P1 = 1 k (Trimmer)
- P2 = 10 k (Trimmer)
- P3 = 470 Ω (siehe Text)

Kondensatoren:

- C1, C2 = 47 n
 - C3, C4 = 470 n
- } MKH, MKS

Halbleiter:

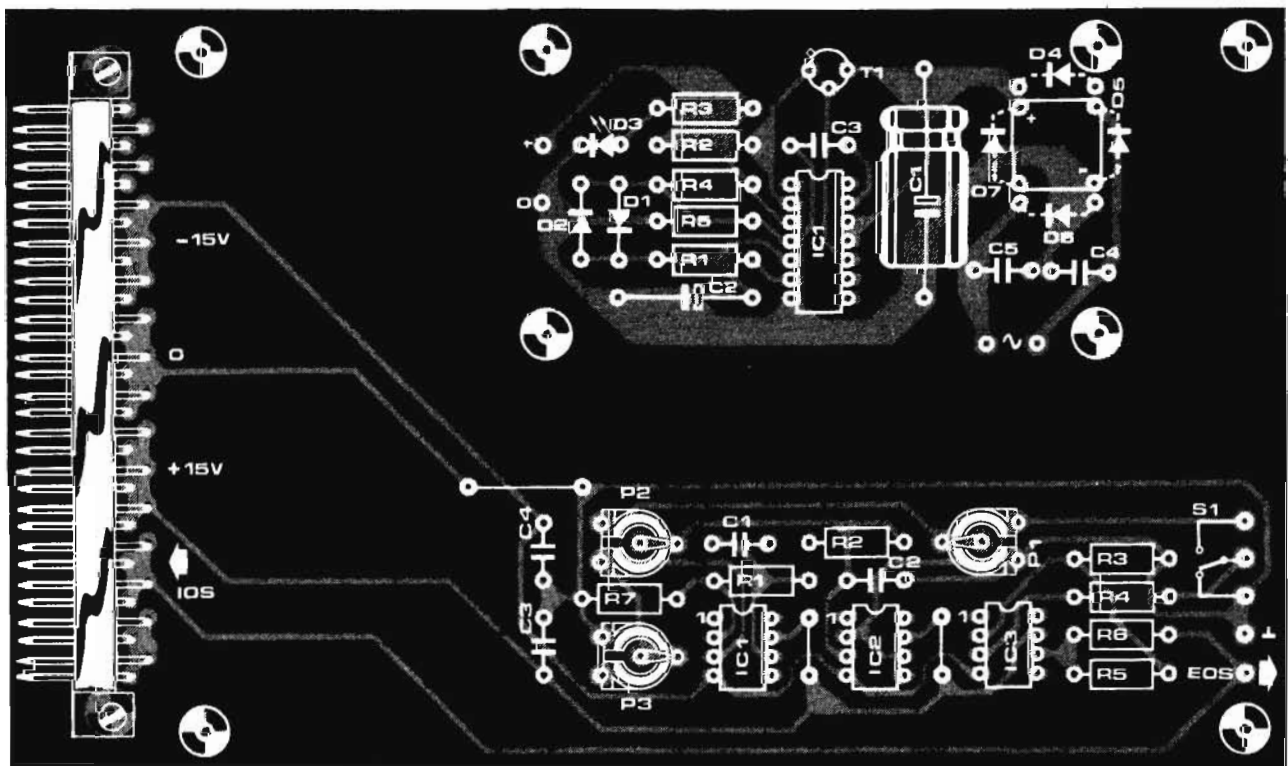
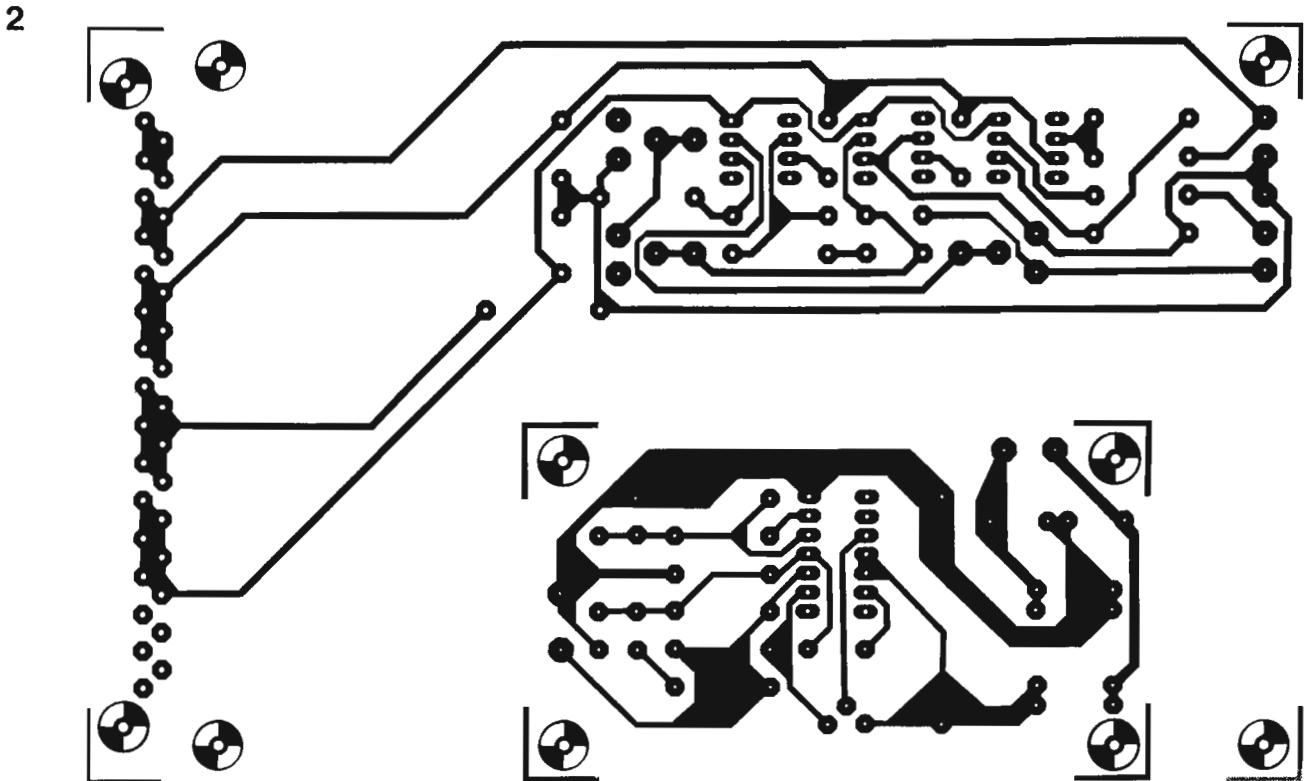
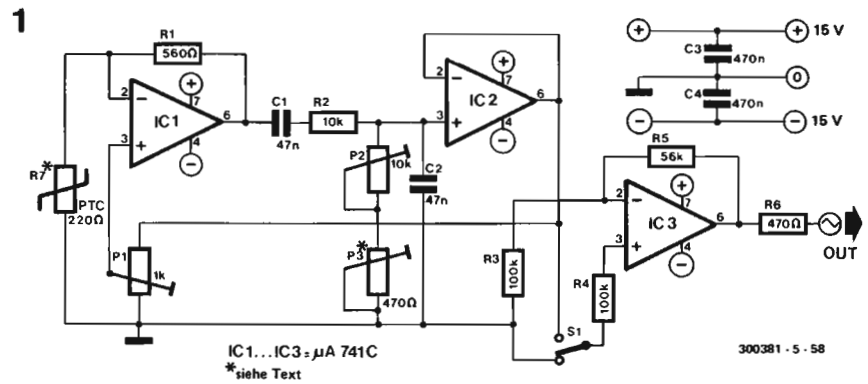
- IC1 ... IC3 = 741 (Mini-Dip)

Sonstiges:

- S1 = Miniatur-Kippschalter (1 x UM)
- 1 x Klinkenbuchse 3,5 mm
- 1 x 31-pol. Steckerleiste oder Lötnägel

Bild 1. Eichnormal für den FORMANT. Es handelt sich um einen Sinusoszillator, der auf 440 Hz (Kammerton "a") abgestimmt ist.

Bild 2. Layout und Bestückungsplan für das Eichnormal. Da auch diese Platine im Europakartenformat ausgeführt ist, bleibt noch genügend Platz für eine +9 V-Stromversorgung. Die Schaltung, Platine und Stückliste sind in Anhang D wiedergegeben.



Anpassung des Signalpegels auf FORMANT-Niveau und für eine niederohmige Entkopplung. Mit S1 kann der Sinusoszillator "abgeschaltet" werden.

Aufbau

Der Aufbau nach dem Layout und dem Bestückungsplan aus Bild 2 dürfte keinerlei Schwierigkeiten bereiten. Da die nicht allzu große Schaltung bequem auf eine Europakarte paßt, kann man den freien Raum mit einer +9 V-Speisung belegen, die dazu benutzt werden kann, um z.B. diverse Effektgeräte für Musiker batterieunabhängig zu machen. Im Anhang D sind Schaltbild und Bestückungsplan der Stromversorgung ersichtlich. Das Feinabstimmopotentiometer P3 wird zweckmäßigerweise zur Frontplatte geführt, damit nachträgliche Korrekturen ohne Entfernen der Rückwand und Ausbau des Moduls erfolgen können. Auf der Frontplatte (Bild 3) ist eine entsprechende Bohrung vorgesehen. Im Handel sind 10-Gang-Wendelpotentiometer erhältlich, die sich natürlich gut für diesen Zweck eignen. Ihr einziger Nachteil liegt wohl im Preis. Die Skizze in Bild 4 zeigt, wie das Problem auch einfacher, d.h. billiger, gelöst werden kann. Ein Cermet-Wendeltrimmer wird auf einer Lochrasterplatte montiert, die ihrerseits mittels eines Alu-Winkels auf der Rückseite der Frontplatte befestigt wird. Die Anschlüsse des Trimmers werden über Lötnägel geführt. Das einzige kritische Bauelement ist R7. Falls kein 220-Ohm-PTC-Widerstand erhältlich sein sollte, kann auch eine Kleinstlampe (6 V, 30 mA) eingesetzt werden.

Abgleich

P1 ist so einzustellen, daß die Amplitude der Ausgangsspannung in einem Bereich von 2,5 V_{SS} liegt. Bei der Messung mit einem (möglichst hochohmigen) Vielfachmeßinstrument ist zu beachten, daß der gemessene Effektivwert mit dem Faktor $2\sqrt{2}$ ($\approx 2,828$) multipliziert werden muß. P2 dient zur Grobeinstellung, P3 zur Feineinstellung der Oszillatorfrequenz. Den Abgleich sollte man wegen der Betriebstemperatur erst nach ca. 10 Minuten Betriebsdauer beginnen. Die genaue Einstellung von P2 und P3 kann einfach dadurch erfolgen, daß man den Oszillator mit einem Referenzsignal auf "Schwebungsnull" abgleicht. Als Vergleichssignal kann ein NF-Funktionsgenerator, eine E-Orgel oder eine Stimmgabel verwendet werden. Genauere Ergebnisse lassen durch Abgleich mit einem digitalen Frequenzzähler erzielen, obwohl der Abgleichvorgang bei einer Taktzeit von 5...10 Sekunden entsprechend zeitraubend ist. Im Hinblick auf das Zusammenspiel mit anderen (mechanischen) Musikinstrumenten wurde eine Eichfrequenz von 440 Hz gewählt. Diese entspricht dem "Kammerton" a1. Der Sinusoszillator schwingt jedoch in einem Bereich von

250 Hz...750 Hz sicher an, so daß er auch auf eine andere Frequenz als 440 Hz gestimmt werden kann.

Verdrahtung

Die Verdrahtungen der Verbindungen Platine/Frontplatte bedürfen keiner näheren Erläuterung. Zur "Lage" des Eichnormal innerhalb der internen Verdrahtung des FORMANT-Musiksynthesizers jedoch noch einige Bemerkungen: Der interne Ausgang (IOS) des Eichnormal-Moduls wird am besten mit dem IS-Eingang, der auch mit einem oder mehreren Ausgängen der VCAs in Verbindung steht, verdrahtet. Über den EOS-Ausgang auf der Frontplatte steht der Stimmtton z.B. auch für eine zusätzliche "VCO-Bank" in einem eigenen Gehäuse zur Verfügung.

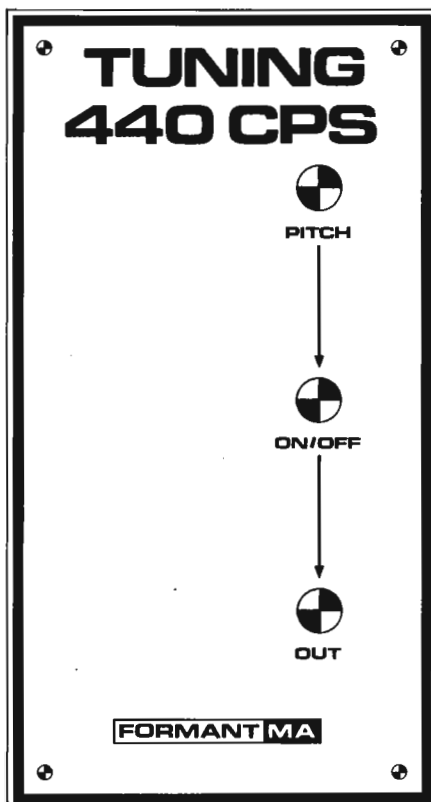
Anwendung im FORMANT

Der Stimmvorgang der FORMANT-VCOs ist im 2. Abschnitt des ersten FORMANT-Buches ausführlich beschrieben. Zum Stimmen schaltet man VCFs und VCAs auf Durchlässigkeit bei maximaler Verstärkung. Die einzelnen FINE- und COARSE-Einsteller werden nun bei gedrücktem "a" auf der Tastatur, auf Schwebungsnull eingestellt. Damit ist der FORMANT für das Zusammenspiel mit anderen Musikinstrumenten bereit. Beim Stimmen auf Akkorde zählt man beim Einstellen auf Schwebungsnull die Anzahl der Halbtöne, um die das VCO höher klingen soll, vom "a" ausgehend einfach *herunter*. Bei Stimmung auf z.B. einen Terzabstand stellt man VCO1 bei "a" und VCO2 bei "f", also vier Halb-

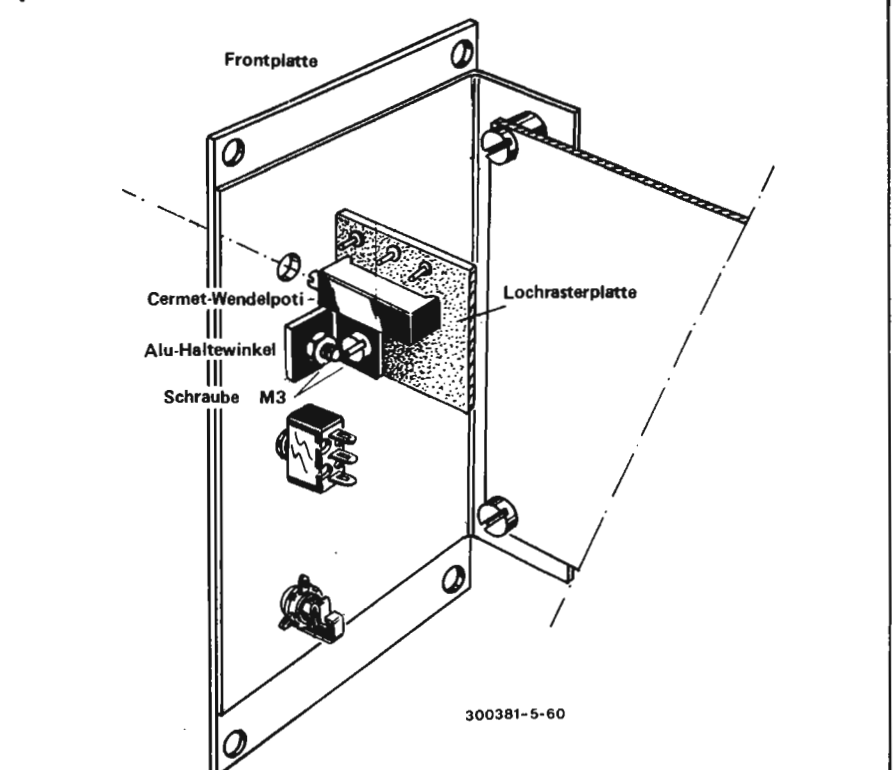
Bild 3. Frontplattenvorschlag (80% der Originalgröße) für das Eichnormal.

Bild 4. Montagevorschlag für ein Cermet-Wendel-Trimmpoti, wenn kein 10-Gang-Wendelpotentiometer infrage kommt.

3



4



300381-5-60

töne tiefer auf Schwebungnull ein. VCO2 klingt dann um 4 Halbtöne höher als VCO1. Das "Merken" der einzelnen VCO-Stimmungen entfällt dabei, was den Stimmungsvorgang enorm erleichtert. Schon beim ersten Abgleich ist der Akkord meist so rein, daß ein Nachjustieren kaum notwendig ist.

Literatur:

C. Chapman: *FORMANT Musik-Synthesizer*, Elektor Verlag
 G. Dellmann: *FORMANT SYNTHESIZER*, Fachblatt - Music Magazin (Rubrik: Musik - TÜV), Nr. 53, August 1977
 H. Tünker: *Elektronic Pianos und Synthesizer*, Franzis Verlag, München, RPB-Serie Nr. 302 (1975, 1. Aufl) S. 109, 110

Auf ein Wort

Grundlegendes zum Modulumfang des FORMANT ist bereits im ersten FORMANT-Buch, aber auch in der Einleitung zu diesem Buch gesagt worden. Da dieses Thema jedoch für viele Synthesizer-Anwender ein nicht gerade kleines Problem darstellt, ist abschließend sicherlich noch ein Antwortversuch gerechtfertigt.

Nur die wenigsten Synthesizer-Interessenten wissen am Anfang bereits genau, welche Moduln sie wie oft benötigen. In der Regel haben alle diejenigen, die sich zum erstenmal mit einem komplexen elektronischen Musikinstrument befassen, keine konkreten Vorstellungen über den richtigen Umfang ihres Systems. Grundsätzlich richtet sich der Gesamtumfang eines Synthesizer-Systems nach seinem Anwendungsgebiet. Ein Ton-/Filmamateurliebhaber, der mit seinem Synthesizer seine Dia- und Filmshow nur akustisch unterlegen will, benötigt eine andere Modulzusammensetzung als ein (Elektronik-)Jazzmusiker. Eine weitere Rolle spielt beim Selbstbau auch die Zeit, die man seinem Hobby widmet. Nicht zuletzt ist auch die finanzielle Situation des einzelnen bei der Zusammenstellung des Systems von Bedeutung. Aber hierfür läßt sich durch die genaue Planung (z.B. Erstellung einer Gesamtstückliste für das gesamte System) einiges tun. Denn beim Einkauf von z.B. 100 Widerständen ist der einzelne Widerstand billiger als beim Einkauf von nur 10 Stück.

Ein wichtiger Punkt sollte man bei der Planung nicht außer Acht lassen: die spätere Erweiterung des ursprünglichen Systems. Der Wunsch nach Systemerweiterung entsteht spätestens dann, wenn alle musikalischen Möglichkeiten bekannt sind. Deshalb sollte man dies bei der mechanischen Konzeption und der Wahl des Gehäuses unbedingt berücksichtigen. Der modulare Aufbau des FORMANT bietet den Aufbau in Raten geradezu an. Damit verbunden ist ein weiterer Vorteil, der nicht direkt ins Auge springt. Doch durch den am Anfang noch überschaubaren Rahmen, gelangt man viel schneller zu musika-

lisch relevanten Ergebnissen und wächst beim späteren Ausbau langsam mit. Von welchem Modul benötigt man nun wieviele? Die Erfahrung zeigt, daß es nie genug VCOs, VCAs und ADSRs sein können. Die Anzahl der VCFs läßt sich schwer bestimmen, da insbesondere sie von dem Einsatzgebiet abhängen, dies gilt ebenfalls für einige Moduln aus diesem Buch. Es schadet aber nicht, zumindest je eine dieser Spezialschaltungen aufzubauen (Ringmodulator, Envelope-Follower, Sample & Hold, usw.), um zu sehen, welches musikalische Potential in ihnen steckt. Erst wenn man darüber ein klares Bild gewonnen hat, kann die Anzahl der neuen Moduln festgelegt werden. Die Tabelle kann bei der Entscheidungsfindung als Richtschnur dienen. Sie ist aufgrund von Erfahrungswerten über typische Synthesizer-Systeme entstanden. Der Grundausbau entspricht in etwa den in Buch 1 beschriebenen Schaltungen. Der in der Tabelle mit einem mittleren System bezeichnete Aufbau gehört bereits zur gehobenen Klasse industrieller Vergleichsgeräte. Der Amateur und experimentierfreudige Spieler kommt dabei voll auf seine Kosten. Das große System kommt dem Aufbau von Synthesizer-Systemen in Aufnahmestudios sehr nahe. Schließlich kann man sich bei der Zusammenstellung des eigenen Systems auch noch am Umfang der Ausrüstung bekannter Synthesizer-Spieler anlehnen.

Wie auch immer. Ein Ziel darf man bei allen Überlegungen nicht aus den Augen verlieren: Ein Synthesizer ist dazu da, daß mit ihm Musik gemacht wird. Es ist ein geeignetes Hilfsmittel, dem Anfänger den Zugang zur musikalischen Akustik bis hin zur elektronischen Musik zu ermöglichen. Die Kunst allein besteht darin, die eigene Phantasie in entsprechende musikalische Formen umzusetzen. Aufzeichnungen über interessante Sounds helfen beim Aufbau von Ideenbanken. Das kann entweder schriftlich mit den Mitteln aus Anhang A geschehen oder mit einer Cassette als "akustischer Speicher". Ein letzter Gedanke: Trotz aller Modernisierung und Erweiterung der einzelnen Moduln ist es immer der Spieler selbst, der die physikalischen Schwingungen zu Musik formt. Neue Moduln alleine regen nicht zu mehr Kreativität an. Das hat die Praxis bereits bewiesen. Je mehr Modul-Kästen und Tastaturen auf der Bühne standen umso mehr verkümmerte die Phantasie. Ein Geräte-Fetisch ist kein Garant für einen "kreativen Sound". Im Gegenteil. Mit nur zwei oder drei FORMANT-Moduln (z.B. VCF und Noise), einem Mikrophon und einem akustischen Instrument ist es bereits möglich, in neue akustische Dimensionen einzudringen. Jiri KLASEK hat diese Möglichkeit einmal treffend beschrieben, indem er sagte: "Durch Elektronik zu mehr Musik und nicht umgekehrt".

	Modulbezeichnung	Grundausbau	mittleres System	großes System
FORMANT-Buch 1 + 2	VCO	3	4 ... 6	7 ... 12
	VCF (12 dB)	1	2	3 ... 4
	VCF (24 dB)	1	2	4 ... 5
	Dual-VCA	1	2 ... 3	5 ... 10
	ADSR	1 ... 2	3 ... 6	8 ... 15
	LFOs, VC-LFOs, LF-VCO	1	2	3 ... 4
	NOISE oder DNG	1	2	4
	RFM	0 ... 1	1 ... 2	2 ... 4
FORMANT-Buch 1 + 2	COM	1	2	2 ... 4
	Controllers (analoges oder digitales Keyboard, Joystick, Touch Plate, Ribbon Controller, usw.)	1	2	3 ... 6
FORMANT-Erweiterungen (Buch 2)	Anschlagsteuerung	0	0 ... 1	1 ... 2
	NPD	0 ... 1	1 ... 2	2 ... 4
	Ringmodulator	0 ... 1	1 ... 2	4
	Phase Shifter	0	1 ... 2	3 ... 5
	Krimisizer	0 ... 1	0 ... 2	0 ... 3
	(Digital) Reverb	0	0 ... 1	1 ... 3
	KOV/KB-Gate	0 ... 1	1 ... 2	2
	Multiple Jacks	0 ... 1	1 ... 2	3 ... 6
	ADSR-Controller	0	1 ... 2	4 ... 8
	ENV-F	0	1	2
	Waveform Processor	0	1	2
	S & H	0 ... 1	2	4
	Mixer	0	1 ... 2	3 ... 6
	440 Cps Tuning	0	1	1 ... 2
(digitaler) Sequencer	0 ... 1	1 ... 2	2 ... 5	