



Funktionsgenerator

Ein Funktionsgenerator gehört zur Grundausstattung eines jeden Elektronik-Labors — ob zu Hause, in der Ausbildung oder in der Industrie. Der von Elektor 1977 veröffentlichte "Einfache Funktionsgenerator" wurde — und wird noch immer — eifrig nachgebaut. Dieser "VW" unter den Elektor-Schaltungen (läuft und läuft und läuft...) findet jetzt einen würdigen Nachfolger: Der neue Funktionsgenerator ist in der Grundkonzeption durchaus und bewußt ähnlich. Aber auch Bewährtes läßt sich noch entscheidend verbessern. Jedenfalls, wenn man den Ehrgeiz hat, den besten Funktionsgenerator mit 2206 zu entwickeln...

Technische Daten

- **Frequenzbereich:** 1 Hz...110 kHz in 5 dekadischen Bereichen umschaltbar, variabel $\times 1 \dots 11$
- **Externe Spannungssteuerung:** 0,1...10 V am VCO-Eingang, Eingangsimpedanz 1 M Ω
- **Kurvenformen:** Sinus, Dreieck, Rechteck (umschaltbar)
- **Klirrfaktor Sinussignal:** kleiner 0,5%
- **DC-Ausgang:** Alle Kurvenformen, Amplitude 100 mV...10 V (Spitze zu Spitze) einstellbar, Gleichspannungspegel $-5 \text{ V} \dots +5 \text{ V}$ einstellbar, Ausgangsimpedanz 50 Ω , kurzschlußfest
- **AC-Ausgang:** Alle Kurvenformen, Amplitude 10 mV...1 V (Spitze zu Spitze) einstellbar, gleichspannungsfrei, untere Eckfrequenz (-3 dB) 0,1 Hz, Ausgangsimpedanz 600 Ω , kurzschlußfest
- **SYNC-Ausgang:** Rechteck, Amplitude 500 mV (Spitze zu Spitze), gleichspannungsfrei, Ausgangsimpedanz 1 k Ω , kurzschlußfest, Nennabschlußimpedanz $\geq 10 \text{ k}\Omega$

Der Funktionsgenerator aus Elektor Oktober 1977 wurde in vielen tausend Exemplaren gebaut. Mangelndes Interesse an dieser Schaltung wäre sicher kein Grund gewesen, um einen neuen Funktionsgenerator zu entwickeln. Andererseits wird es aufmerksamen Lesern nicht entgangen sein, daß uns das Thema "Meßgeräte" seit einiger Zeit wieder umtreibt (Kapazitätsmeter, Impulsgenerator und demnächst Frequenzzähler). Es liegt auf der Hand, daß

wir in diesem Zusammenhang auch über einen neuen Funktionsgenerator nachgedacht haben.

Sieben Jahre sind in der Elektronik eine lange Zeit, da sollte man eigentlich annehmen, daß eine Neuentwicklung auch einen neuen Stand der Technik repräsentiert. Wieso dann doch wieder das altbekannte Funktionsgenerator-IC XR2206 in einer neuen Schaltung? Nun, ehrlich gesagt, wir waren auch etwas überrascht, als sich nach einigen Überlegungen diese technisch nicht gerade rasend neue Lösung als der beste Weg abzeichnete.

Aber:

Es sollte wieder ein einfach und sicher zu bauender Generator werden, nicht zu kostspielig und ohne "exotische" Bauteile. Eine diskreter Aufbau mit handelsüblichen Halbleitern erwies sich als zu kompliziert im Nachbau ("Transistorgrab", hoher Abgleichaufwand), und eine zeitgemäße digitale Lösung (Kurvenform im EPROM plus sehr schneller und genauer D/A-Wandler) ist mit erhältlicher und bezahlbarer Technologie nicht zu realisieren. Die Suche nach einem verbesserten 2206 erwies sich auch als vergeblich, fast zehn Jahre nach Einführung dieses ICs ist noch immer nichts Besseres in Sicht. Was bleibt einem Elektor-Entwickler da

Das Beste
mit 2206

noch übrig? Nun, er kann immer noch den besten Funktionsgenerator entwickeln, der sich mit dem 2206 überhaupt entwickeln läßt. Genau das haben wir getan. Und sind auch noch ein bißchen stolz darauf. Weshalb wir an anderer Stelle in dieser Ausgabe verraten, wie die kleinen Schönheitsfehler des 2206 mit List, Tücke und Ausdauer weitgehend ausgebügelt wurden.

Aspekte

Eine kleine "Function-Generator-Box" war gefragt. Kein teurer und wenig gebrauchter Schnickschnack, dafür ein gutes Basisgerät, das sich mit den kleinen, recht kostspieligen Kästchen bekannter Meßgerätehersteller durchaus vergleichen läßt. Wie so etwas aussieht, zeigt ein Blick auf "Technische Daten" und Frontplatte. Sinus, Dreieck und Rechteck reichen als Standard-Kurvenformen aus. Auf digitale Frequenzeinstellung oder Anzeige haben wir bewußt verzichtet. Dafür gibt es eine lineare Skala, die nach einmaligem Abgleich recht genau stimmt. Wer einen Frequenzzähler hat, kann bei Bedarf die Frequenz genau messen und wird dann auch eine gute Frequenzkonstanz feststellen.

Wichtig für die Praxis ist ein großer Ausgangsspannungsbereich mit einstellbarem Gleichspannungspegel. Am Ausgang DC-OUT stehen maximal 10 V (Spitze-Spitze) bei einer Ausgangsimpedanz von 50 Ohm zur Verfügung. Der zwischen -5 V und +5 V einstellbare Gleichspannungspegel erlaubt vielseitige Anwendung im digitalen Bereich, so lassen sich problemlos Rechtecksignale mit TTL- oder CMOS-Pegel erzeugen. Ein separater Ausgang für Anwendungen im Audiobereich ist gleichspannungsfrei (AC-OUT) und liefert einen Signalpegel zwischen 10 mV und 1 V (ebenfalls Spitze-Spitze) bei einer Ausgangsimpedanz von 600 Ohm.

Für gute Qualität der Kurvenformen bei höheren Frequenzen verfügt der Funktionsgenerator über einen gleichspannungsgekoppelten Ausgangsverstärker hoher Bandbreite. Wie bei allen Funktionsgeneratoren ist der aus dem Dreieckssignal abgeleitete Sinus nicht super-klirrfaktorarm. Für Klirrfaktormessungen an Hi-Fi-Geräten ist ein echter Sinusgenerator, z.B. ein Wien-Brücken-

Oszillator, sicher besser geeignet. Dennoch haben wir viel Zeit und Mühe darauf verwendet, dem XR2206 einen möglichst sauberen Sinus zu entlocken. Wie Bild 1 im Vergleich zu einem Industriegerät mit 2206 zeigt, ist das auch recht gut gelungen. Mit weniger als 0,5% "Klirr" kann man schon zufrieden sein.

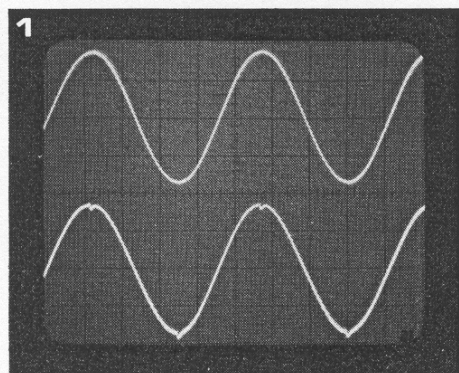
Ein weiteres wichtiges Detail ist der VCO-Eingang. Eine Gleichspannung zwischen 0,1 V und 10 V an diesem Eingang steuert die Frequenz linear im Bereich 1 : 100. Wobbeln ist damit kein Problem.

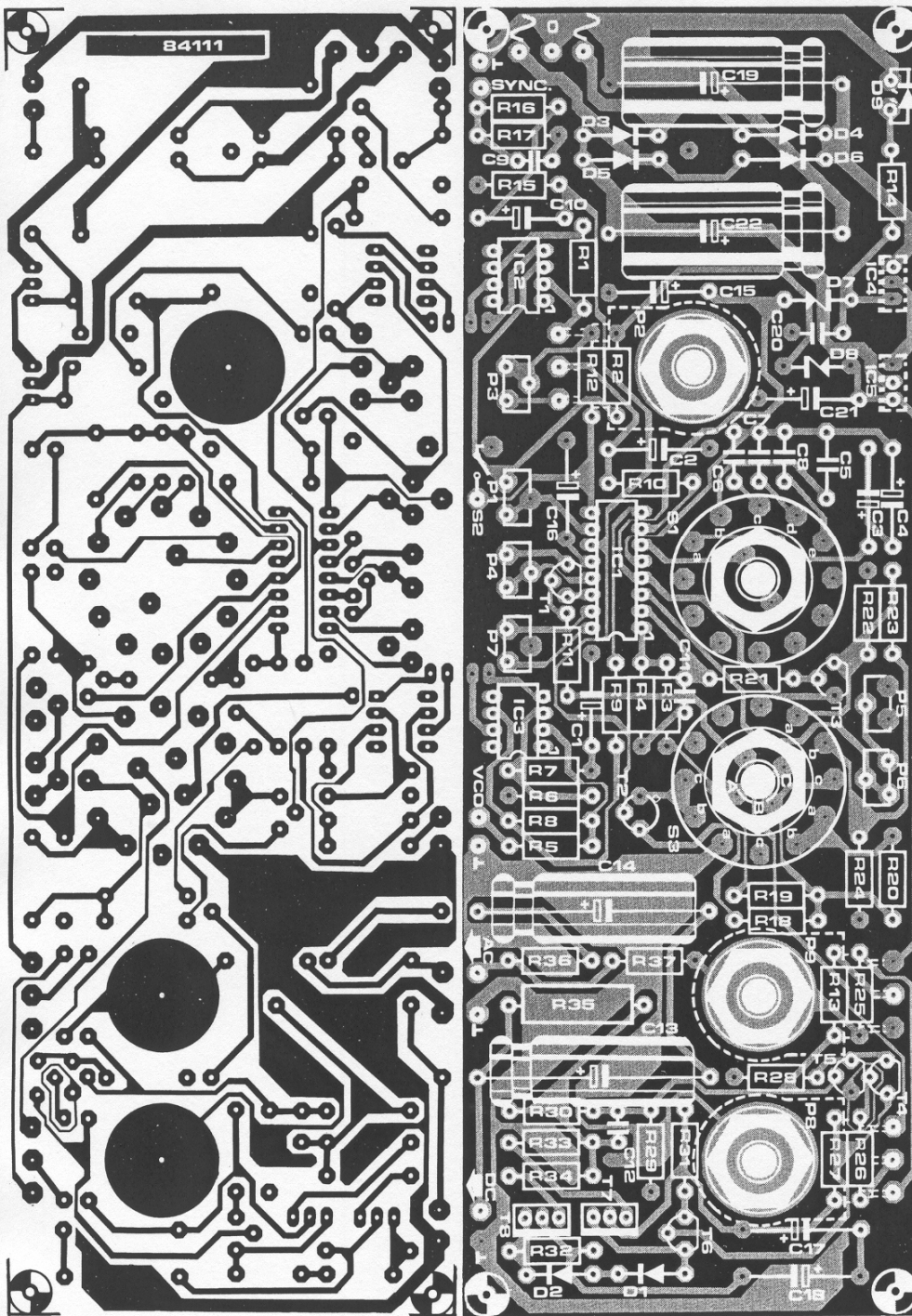
Um Leiterbahnen und Anschlußdrähte kurz zu halten, wurde eine doppelseitige Platine sehr sorgfältig entwickelt. Drehschalter und Potentiometer werden direkt mit der Platine verlötet. Das ist nicht nur gut für die Qualität der Kurvenformen, sondern vereinfacht auch den Nachbau. Die Verdrahtung beschränkt sich auf den Anschluß der Buchsen, Kippschalter und des Netztrafos.

Die Schaltung

Um mit dem Einfachsten zu beginnen: Das Netzteil erzeugt eine symmetrische Versorgungsspannung mittels Brückengleichrichter, Trafo mit Mittelanzapfung und 15-V-Spannungsreglern im positiven und negativen Zweig. LED D9 dient als Einschaltkontrollleuchte. Da das IC2206 nur mit maximal 26 V betrieben werden darf, begrenzen die beiden Z-Dioden D7 und D8 seine Betriebsspannung auf ± 8 V. An die Betriebsspannung des ICs werden keine sehr hohen Anforderungen gestellt. Es verfügt über eine interne, sehr stabile Referenzspannung. Diese Referenzspannung von 3 V (**bezogen auf negative Versorgungsspannung**) liegt an Pin 10 des ICs und wird über C1 entkoppelt. Sie dient auch als Bezugsspannung für die Frequenzeinstellung mit P2. Der OpAmp IC2 ist als Spannungsfolger geschaltet, um Pin 10 nur gering zu belasten. An Pin 7 des ICs liegt ebenfalls die Referenzspannung von 3 V. Die Frequenz des Generators ist linear proportional zu dem Strom, der aus Pin 7 herausfließt. Dieser Strom (und damit die Frequenz) hängt von der Spannung am Schleifer von P2 ab. Ist die Spannung hoch, d.h., nahezu 3 V, fließt nur ein kleiner Strom über R10, die Frequenz ist dann am niedrigsten (f_{\min}). Bei der niedrigsten Spannung am Schleifer von P2 (nahezu 0 V) stellt sich die höchste Frequenz (f_{\max}) ein. Mit den Trimpotentiometern P1 und P3 lassen sich Anfangs- und Endwert der Frequenzskala justieren. An Pin 9, dem FSK-Eingang, läßt sich der 2206 von der Frequenzeinstellung an Pin 7 auf eine Frequenzeinstellung an Pin 8 umschalten. Diese Möglichkeit wird für die externe Frequenzsteuerung genutzt. Nach Umschaltung mit S2 bestimmt der aus Pin 8 herausfließende Strom die Frequenz, Pin 7 (und damit P2) ist abgeschaltet. Der aus Pin 8 abfließende Strom hängt von der Spannung an R9 ab, die über OpAmp IC3 von der externen Steuerspannung am Eingang VCO-IN bestimmt wird.

Bild 1. Die Sinuskurvenform auf dem Bildschirm eines Oszilloskops. Unten von einem Industriegerät mit 2206, oben vom neuen Elektor-Funktionsgenerator.





Stückliste

Widerstände:

R1, R25 = 100 Ω
 R2 = 1 M
 R3, R4, R12, R13, R15,
 R17 = 10 k
 R5, R6, R7, R8 = 1 M,
 1% Metallfilm
 R9 = 2k7
 R10 = 8k2
 R11 = 10 M
 R14, R16, R19, R22, R23, R27,
 R32 = 1 k
 R18 = 1k2
 R20, R29 = 1k5
 R21 = 390 Ω
 R24, R37 = 680 Ω
 R26 = 12 k
 R28, R30 = 3k3
 R31 = 47 Ω
 R33, R34 = 10 Ω
 R35 = 47 Ω /1 W
 R36 = 5k6

Kondensatoren:

C1 = 1 μ /16 V
 C2, C10, C15,
 C16 = 10 μ /16 V
 C3, C4, C21 = 22 μ /25 V
 C5 = 1 μ MKT
 C6 = 100 n MKT
 C7 = 10 n MKT
 C8 = 1 n MKT
 C9 = 150 p
 C11 = 470 p
 C12 = 15 p
 C13, C14 = 470 μ /25 V
 C17, C18 = 100 μ /25 V
 C19, C22 = 220 μ /40 V
 C20 = 100 n

Potentiometer:

P1 = 250-k-Trimpoti,
 stehend
 P2 = 470- Ω -Drahtpoti, lin.
 mit 50 mm Achslänge
 (od. 500 Ω)
 P3 = 100- Ω -Trimpoti,
 stehend
 P4 = 500- Ω -Trimpoti
 (od. 470 Ω) stehend
 P5 = 10-k-Trimpoti
 stehend
 P6 = 50-k-Trimpoti
 (od. 47 k) stehend
 P7 = 25-k-Trimpoti
 (od. 27 k) stehend
 P8 = 10-k-Poti, log. mit
 50 mm Achslänge
 P9 = 10-k-Poti, lin. mit
 50 mm Achslänge

Bild 3. Die Platine von ihren beiden Seiten. Die doppelseitige Ausführung ermöglicht kurze Leiterbahnen an kritischen Stellen und direkte Montage der Schalter und Potentiometer. Wichtig für die Qualität der Signale!

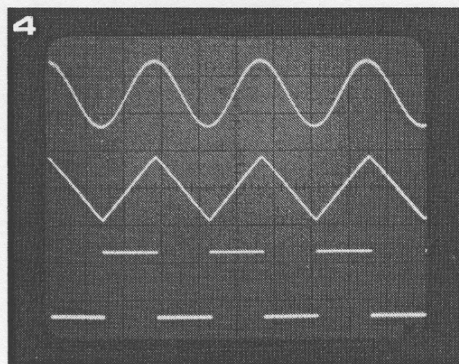
Slew-Rate allzusehr zu bremsen. Treiber T6 und Endtransistoren T7 und T8 sind ganz konventionell angeordnet, D1 und D2 sorgen für einen kleinen Ruhestrom in der Endstufe. Der Ausgangswiderstand R35 bestimmt die Ausgangsimpedanz am DC-Ausgang und begrenzt den Strom bei kurzgeschlossenem Ausgang, so daß die Transistoren ohne Kühlblech auskommen. Mit P9 läßt sich die Gleichspannung am Ausgang verschieben, P8 ist das "Lautstärkepotentiometer" des Verstärkers. Der AC-Ausgang ist dank des "bipolaren" Elkos C13/C14 gleichspannungsfrei, der Span-

nungsteiler R36/R37 verringert die Ausgangsspannung und erhöht die Ausgangsimpedanz auf 600 Ω . Um Wechselwirkungen zu vermeiden, sind Ausgangsverstärker und Funktionsgenerator mit C17/C18 bzw. C15/C16 separat entkoppelt.

Bauhinweise

Ein guter Funktionsgenerator will wie jedes Meßgerät sorgfältig gebaut sein. Damit sich die Mühe lohnt, sollte man die folgenden Hinweise auch beherzigen. Aufpassen muß man beim Einlöten von

Bild 4. Ausgangssignale
ohne Fehl und Tadel.
Maßstab: Hor. 200 μ s/Teil,
Vert. 1 V/Teil.



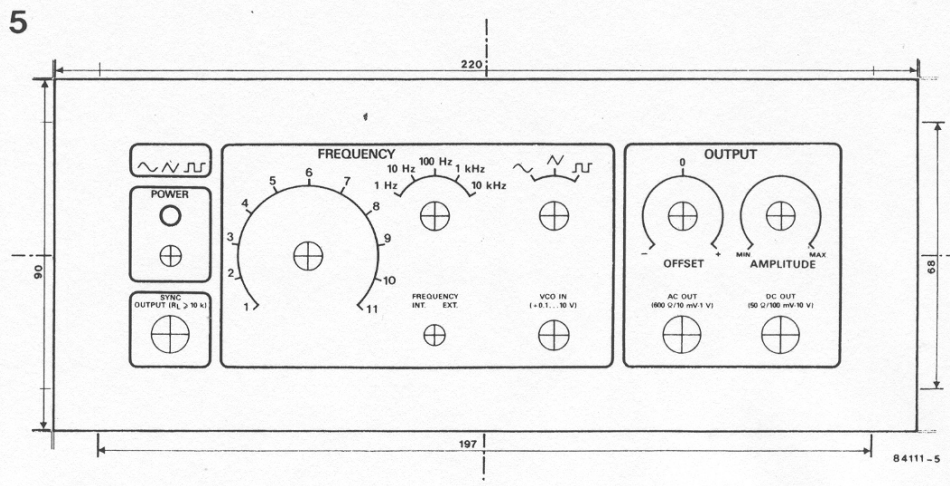
Halbleiter:

D1, D2 = 1N4148
D3, D4, D5, D6 = 1N4001
D7, D8 = Z-Diode 6V8/1 W
D9 = LED rot
T1 = BS 170
T2 = BSX 20 (2N2369)
T3, T4, T5 = BC 547B
T6 = BC 557B
T7 = BD 139
T8 = BD 140
IC1 = XR 2206
IC2 = LF 356N
IC3 = CA 3140E
IC4 = 7815
IC5 = 7915

außerdem:

S1 = Drehschalter für
Platinenmontage, 2
Ebenen, 6 Stellungen, z.B.
C + K A206
S2 = Kippschalter 1-pol.
Umschaltkontakt, z.B.
C + K 7101
S3 = Drehschalter für
Platinenmontage, 4
Ebenen, 3 Stellungen, z.B.
C + K A403
S4 = Kippschalter 2-pol.
Netzschalter, z.B.
C + K 7201
Tr1 = Netztrafo nach VDE,
sek. 2 x 18 V/250 mA
F1 = Feinsicherung 100 mA
trüg mit Halter
Kühlkörper oder Kühlblech
für IC4/IC5
3 BNC-Einbaubuchsen mit
Schraubbefestigung
1 Koaxial-Einbau-
Schaltbuchse für
Fremdspannungsanschluß
(siehe Bild 2, VCO-
Eingangsbuchse)
1 Platine 84111
1 Frontplattenfolie 84111-F
1 Gehäuse Nr. 075-01411D
(Vero)
1 dreiadriges Netzkabel mit
Schukostecker
1 Kaltgeräte-Einbau-
steckdose 3-polig, event.
mit eingeb. Sicherungs-
halter oder Netzdurch-
führung mit Zugentlastung
sowie Löt-nägel, isolierte
Schaltlitze, verzinnter
Schalt-draht

Bild 5. Die Frontplatte
paßt in ihren Abmessun-
gen zu dem in der Stück-
liste angegebenen
Gehäuse. Die mit dem
Gehäuse gelieferte Alu-
frontplatte wird erst mit
den nötigen Bohrungen
versehen und danach mit
einer bedruckten Front-
plattenfolie beklebt.

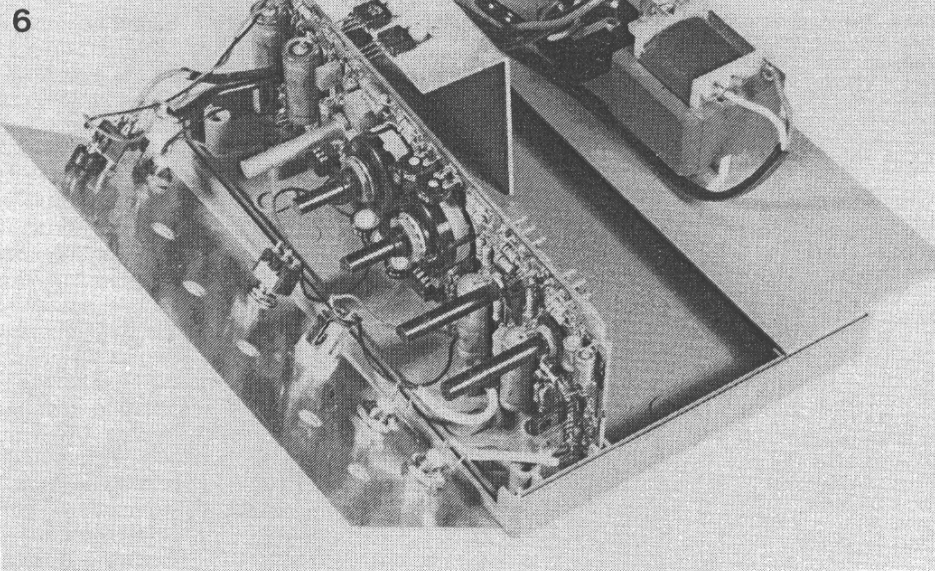


darauf achten, daß durch den gestauchten "Kragen" oder Flansch, der beim Einstecken in die Bohrung als Anschlag dient, keine Kurzschlüsse entstehen. Ist dieser Flansch zu breit, den Löt-nagel lieber nicht bis zum Anschlag durchdrücken. Ebenso die MKT-Kondensatoren mit etwas Abstand von der Platine montieren, um Kurzschlüsse mit der darunter liegenden Massefläche zu vermeiden. Auch bei den Potentiometern ungewollte Berührungen mit anderen Bauteilen vermeiden. Die Spannungsregler IC4 und IC5 werden auf der Platinenrückseite montiert, wobei die Kühlkörper in Richtung P2 zeigen. Zur Kühlung kann man auch selbst 1,5 mm starkes Alublech mit den Abmessungen 60 x 100 mm² zurechtbiegen. Dieses Blech reicht für beide Regler, die dann isoliert zu montieren sind. Zu sehen ist der Selbstbau-Kühler in Bild 6 und Bild 7. Noch ein Hinweis zu den Drehschaltern S1 und S3: Die in der Stückliste angegebenen Bauformen (C&K) gibt es auch von anderen Herstellern, z.B. von Lorlin. Vor dem Einbau ist die Anschlagbegrenzung richtig einzustellen. Den Schalter erst ganz nach links drehen, dann 2 bzw. 4 Raststellungen nach rechts und diesen rechten Anschlag mit der Blechscheibe unter der Befestigungsmutter fixieren.

Zum Einbau der Platine ins Kästchen (identisch mit dem für Impulsgenerator und Kapazitätsmeter verwendeten Gehäuse) müssen die Platinenecken ein wenig zurechtgefeilt werden. Das Gehäuse verfügt über Führungsnuten zum Einstecken von Frontplatte, Platine und Rückplatte. Für die Frontplatte haben wir wieder eine Selbstklebefolie vorgesehen, die der **gebohrten** Alu-Frontplatte ein professionelles Aussehen verleiht (erst bohren, dann aufkleben!). Die "Power-LED" und die VCO-Eingangsbuchse befestigt man mit 2-Komponenten-Kleber auf der Rückseite der Frontplatte.

Alles weitere läßt sich am besten anhand der Fotos erkennen. Im Gegensatz zu den beiden anderen Meßgeräten im gleichen Gehäuse kommt der Funktionsgenerator mit einer Platine aus, was den Zusammenbau wesentlich vereinfacht.

Bild 6. Der Funktionsgenerator ist modular aufgebaut: Frontplatte, Platine und Rückseite werden in Führungsnuten des Schalengehäuses eingesetzt. Auf der Frontplatte sind die Kippschalter und Buchsen montiert, auf der Platine Potentiometer und Drehschalter (mit ausreichend langen Achsen!) und auf der "Rückplatte" der Trafo, der Sicherungshalter und eine Kleingerätenetzbuchse oder eine Kabeldurchführung mit Zugentlastung.

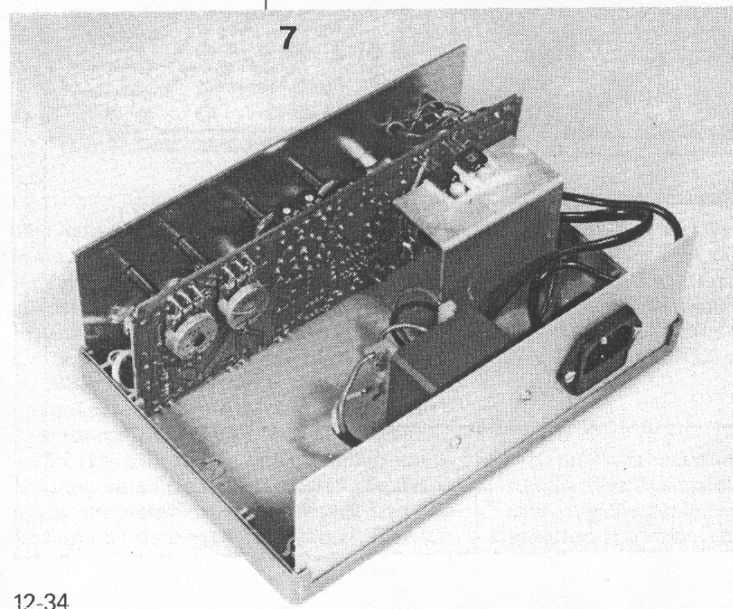


ACHTUNG!

220-V-Anschlüsse bei Netzschalter, Trafo- und Sicherungshalter unbedingt gut isolieren. Netzschalter kann sonst mit C19/C22 in Kontakt kommen.

Nicht vergessen darf man den Anschluß eines Schutzleiters an Frontplatte und Rückplatte!

Bild 7. Der fertige aufgebaute Generator vor dem "Zumachen". Das gut isolierte Netzkabel ist durch die Platine zum Netzschalter auf der Frontplatte geführt. Die beiden Spannungsregler auf der Platinenrückseite sind isoliert auf einem Selbstbau-Kühlblech befestigt. Unter diesem Blech steckt das Drahtpotentiometer für die Frequenzeinstellung.



Der Abgleich

Nicht alle Trimmer sind nach Einbau ins Gehäuse gut zugänglich. Deshalb empfiehlt es sich, die vollständig bestückte Platine vorher abzugleichen. Der Trafo muß wohl angeschlossen sein (220-V-Anschlüsse isolieren!), vor dem Einschalten folgende Grundeinstellung vornehmen: P8 auf rechten Anschlag (max. Amplitude), alle anderen Potentiometer und Trimmer in Mittelstellung, S2 geschlossen, S3 in Stellung Rechteck, S1 auf 1 kHz.

Jetzt Einschalten und P9 auf Null Volt am DC-Ausgang einstellen und Spannung (U_{SS}) des Rechtecksignals an diesem Ausgang messen (mit dem Oszilloskop!) und notieren.

Danach S3 in Stellung Dreieck bringen und mit P6 die Ausgangsspannung (Spitze-Spitze) auf den Wert der Rechteckspannung einstellen. Gleichzeitig mit P5 die Gleichspannung am Ausgang auf Null Volt einstellen und mehrere Male abwechselnd mit P5 und P6 einstellen, bis Gleichspannung und Pegel am Ausgang stimmen. Ist das beim Dreieck so weit in Ordnung,

mit S3 auf Sinus umschalten und mit P7 und P4 auf minimale Verzerrungen abgleichen, wobei ein Oszilloskop oder ein Klirrfaktormesser Aufschluß über den Erfolg der Bemühungen gibt.

Als letztes kommt der Skalenabgleich (P2) dran. Dazu die vorbereitete Frontplatte auf die Platine provisorisch draufschieben (nicht zu dicht — Kurzschlußgefahr!) und P2 mit passendem Drehknopf versehen. Drehknopf so justieren, daß der Drehbereich etwas über die beiden Skalenendwerte hinausgeht. Dann P2 auf Skalenanfang (1) stellen und mit P1 die Frequenz auf 1 kHz (Frequenzzähler oder Oszilloskop) abgleichen. Jetzt P2 auf Skalenwert 10 (10 kHz) stellen und mit P3 auf 10 kHz abgleichen. Fertig!

Die anderen Bereiche stimmen dann "automatisch", jedenfalls innerhalb der Toleranz der Kondensatoren C3...C8, normalerweise also auf $\pm 5\%$ genau. Eine Ausnahme bilden die Elkos C3/C4, die nominal schon um 10% zu groß sind: $22\ \mu\text{F}$ in Reihe gibt theoretisch $11\ \mu\text{F}$. Aber Elkos haben ohnehin $-10/+50\%$ Toleranz. Wer die Frequenz im untersten Bereich genauer haben will, muß daher eine Reihe von Elkos ausprobieren, wobei auch andere Wertekombinationen, wie z.B. $47\ \mu\text{F}$ in Reihe mit $10\ \mu\text{F}$, zum Ziel führen können. Perfektionisten können natürlich auch die anderen Kondensatoren einer kritischen Toleranzprüfung unterziehen. Und für P1 und P3 Cermet-Trimmer verwenden. Und Metallfilmwiderstände für R2, R9 und R10. Und noch einen kleinen Frequenzzähler "obendraufsetzen". Und so weiter und so fort. Aber für wirklich nötig halten wir das nicht. Wie eingangs erwähnt: Ein gutes Basisgerät soll es werden. In diesem Sinn wünschen wir Ihnen viel Erfolg beim Nachbau — auch wenn Sie einen Hang zum Luxus haben und doch einen Frequenzzähler dranbauen.

Literatur:

Funktionsgenerator-IC2206,
Elektor 9/75, S. 9-24 ff.
Einfacher Funktionsgenerator,
Elektor 10/77, S. 10-34 ff.