

einfacher Funktionsgenerator

Industriell gefertigte Funktionsgeneratoren haben meist einen entscheidenden Nachteil; sie sind für den Freizeitelektroniker zu teuer. Zumal man dieses Gerät, im Gegensatz zu Servicewerkstätten, in den seltensten Fällen voll auslasten kann. Aus diesem Grund wurde bei der beschriebenen Schaltung besonderes Augenmerk auf ein günstiges Verhältnis zwischen Anschaffungskosten und praktischem Nutzen gelegt, das sich mit dem Funktionsgenerator IC-XR2206 erzielen läßt. Die Schaltung erreicht zwar nicht die "Spitzendaten" eines Industrieerätes, zeichnet sich jedoch durch einfachen Aufbau und Abgleich, Vielseitigkeit und praxisgerechte Handhabung aus.

So können die Kurvenformen (Funktionen)

Sinus

Dreieck

Rechteck

Rechteck-Impulsfolge

und Sägezahn über einen Schalter abgerufen werden.

Die Skala der Frequenzeinstellung ist linear.

Die erzeugte Frequenz überstreicht einen Bereich von 9 Hz ... 220 kHz. Neben einer speziellen Endstufe, die für eine niedrige Ausgangsimpedanz sorgt, stehen drei geeichte Ausgangsspannungsbereiche zur Verfügung; 0 ... 10 mV, 0 ... 100 mV und 0 ... 1 V (effektiv). Der Abgleich der Schaltung ist auch ohne Oszilloskop möglich, das Gerät läßt sich sehr kompakt in einem Gehäuse unterbringen.

Das IC-XR2206

Eine ausführliche Beschreibung des ICs wurde bereits in Elektor September 1975 veröffentlicht. Das Innenleben des XR2206 ist in Bild 1 grob skizziert. Wichtigster Bestandteil ist der VCO, eigentlich ein stromgesteuerter Oszillator, dessen Frequenz von den beiden Komponenten C_{ext} und R_{ext} bestimmt wird. Ein integrierter Transistor entkoppelt den Ausgang des VCOs. Sein Kollektor ist an Pin 11 zugänglich.

Abhängig von dem logischen Zustand am FSK-Eingang (Pin 9), ist der Anschluß 7 oder 8 aktiviert, so daß die

Der Funktionsgenerator ist ein vielseitiges und nützliches Gerät, das es ermöglicht, Selbstbausaltungen einfach und schnell zu überprüfen. Er sollte deshalb in der "Grundausrüstung" eines Amateurlabors nicht fehlen.

Möglichkeit besteht durch unterschiedliche Beschaltung dieser beiden Ausgänge eine Frequenzumtastung (FSK = frequency shift keying) vorzunehmen.

Der Multiplizierer und Sinuskonverter sorgt für die weitere Signalaufbereitung. Für den Symmetrie- und Klirrfaktorabgleich sind weitere Anschlüsse vorhanden (13 ... 16). Der Gleichspannungsanteil der Ausgangsspannung wird über Anschluß 3 eingestellt. Über einen Spannungsfolger steht das Sinus- Dreieck- und Sägezahnsignal niederohmig an Pin 2 zur Verfügung. Der AM-Eingang (Pin 1) ermöglicht eine Amplitudeneinstellung und Modulation des Oszillatorsignals.

Die lineare Frequenzeinstellung

Die Spannung an den Punkten 7 und 8 wird im IC auf 3 V (typ.) stabilisiert, wobei die Temperaturdrift sehr gering ist ($6 \cdot 10^{-5}/C^{\circ}$).

Der entnommene, bzw. über einen Widerstand nach Masse fließende Strom (I_f) darf zwischen 1 μ A und 3 mA varriieren. Die geringste Temperaturdrift ergibt sich allerdings bei Strömen zwischen 15 μ A und 750 μ A.

Von diesem Strom I_f und der externen Kapazität C_{ext} hängt die Oszillatorfrequenz ab.

Der formelmäßige Zusammenhang lautet:

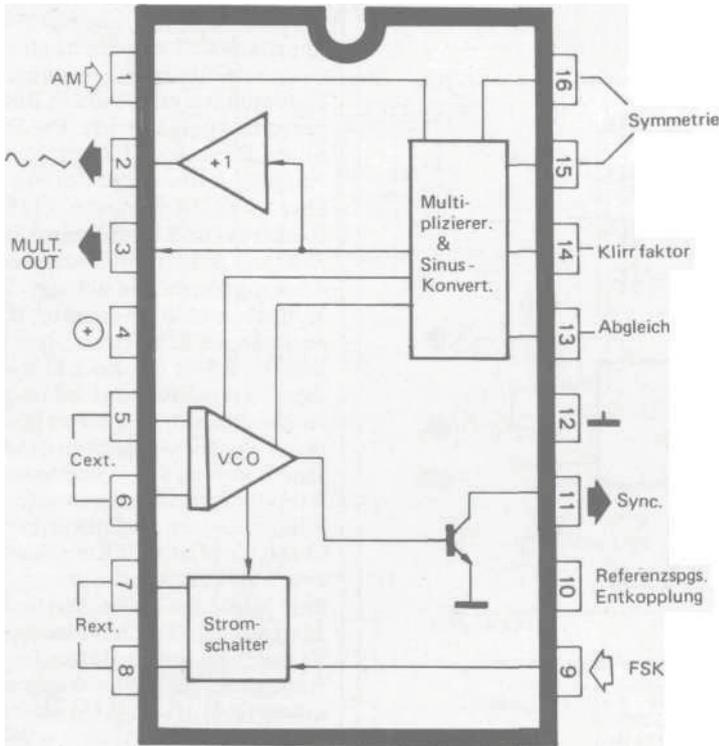
$$f = \frac{I_f}{3 C_{ext}} \quad (\text{Hz, A, F})$$

$$f = \frac{1}{R_{ext} C_{ext}}$$

Aus der letzten Formel resultiert eine hyperbelförmige, also nichtlineare Frequenzeinstellung (Bild 2, Kurve a). Man würde also ein "umgekehrt" logarithmisches Potentiometer benötigen, um eine annähernd lineare Frequenzeinstellung zu erzielen. Durch einen kleinen Schaltungstrick ist es jedoch möglich, auch mit einem linearen Potentiometer eine lineare Frequenzeinstellung zu realisieren (Bild 2, Kurve b). Bild 3 zeigt die entsprechende Teilschaltung.

Am Anschlußpunkt 7 des ICs liegt eine konstante Spannung von 3 V. Der Strom, der von Pin 7 nach Masse fließt ist direkt proportional der Ausgangs-





frequenz. Ändert man diesen Strom linear, ändert sich auch die Frequenz linear. Die Stromänderung erfolgt mit Hilfe des Spannungsteilers R4, P1, P6 und R7, wobei die Spannung U_f am Schleifer von P1 von Bedeutung ist. Der Spannungsteiler ist so dimensioniert, daß sich die Spannung U_f am Schleifer von P1 zwischen ca. 0,3 V und 2,8 V einstellen läßt. Die Spannung U_f bestimmt den Spannungsabfall an R_5 ($= 3 V - U_f$) und damit nach dem Ohmschen Gesetz auch den durch den Widerstand fließenden, frequenzbestimmenden Strom I_f . Zwischen Spannungsabfall und Strom besteht ein linearer Zusammenhang, mit einem linearen Potentiometer ergibt sich dadurch eine lineare Skalenteilung für die Frequenzeinstellung.

$$I_f = \frac{3 V - U_f}{R_5}$$

$$f = \frac{3 V - U_f}{3 \cdot R_5 \cdot C_{ext}} \quad (\text{Hz, V, } \Omega, \text{ F})$$

Ist Schalter S2 geschlossen, fließt (unter der Voraussetzung $R_5 = R_6$) genau der doppelte Strom, was die Frequenz ebenfalls verdoppelt. Der Einstellbereich von P1 umfaßt etwas mehr als eine Dekade; d.h. z.B. von 9 Hz ... 110 Hz. Der Feinabgleich wird mit P6 vorgenommen.

Der Generator

Die Gesamtschaltung des Generators zeigt Bild 4a. Die Detailschaltung Bild 3 ist sicherlich leicht wiederzufinden und braucht deshalb nicht mehr erklärt zu werden.

Anschluß 2 ist der Ausgang für Sinus, Dreieck und Sägezahn. Rechteck und Rechteckimpulsfolge liefert Pin 11. C1 bis C4 sind die frequenzbestimmenden Kondensatoren ($C_{ext.}$). Die Bereichswahl erfolgt mit S1. C5, C6 und C12 sind Siebkondensatoren. Der Spannungsteiler R1, R2 halbiert die Betriebsspannung und bestimmt über Pin 3 die Gleichspannungseinstellung des ICs, die Gleichspannung am Anschluß 2 beträgt dadurch ebenfalls

$$\frac{U_b}{2} = 6 V.$$

Mit P2 und P3 wird die Amplitude des Ausgangssignals eingestellt. Der Abgleich erfolgt getrennt für Sinus (P2) und Dreieck/Sägezahn (P3), damit der Spitze/Spitze-Wert aller drei Spannungen gleich ist, wobei die Umschaltung mit S3a erfolgt.

Trimmpot. P4 dient zur Einstellung der Symmetrie der Kurvenformen Dreieck und Sinus, für den Klirrfaktorabgleich der Sinusfunktion ist P5 vorgesehen. Die Umschaltung zwischen Dreieck und Sinus ist die Aufgabe des Kontakts S3b. Ist Schalter S4 geschlossen, liegt an Ausgang B ein Sägezahnsignal. Dabei wird die integrierte Stromquelle im Takt des an B liegenden Rechtecksignals von Anschluß 7 nach 8 geschaltet. Die Steilheit der abfallenden Flanke hängt von R8 ab. Der Widerstandswert von R8 sollte nicht kleiner als 1 k sein.

2

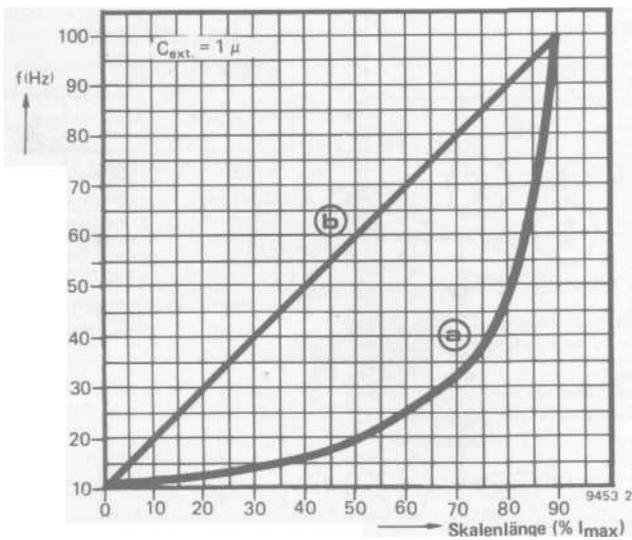
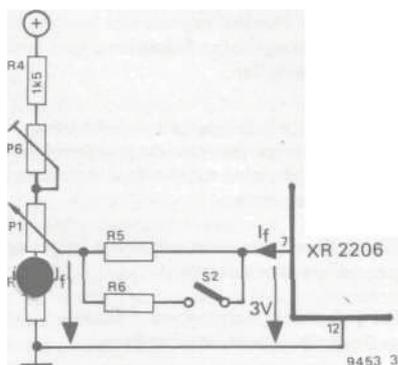


Bild 1. Innenleben des Funktionsgeneratorbausteins XR 2206.

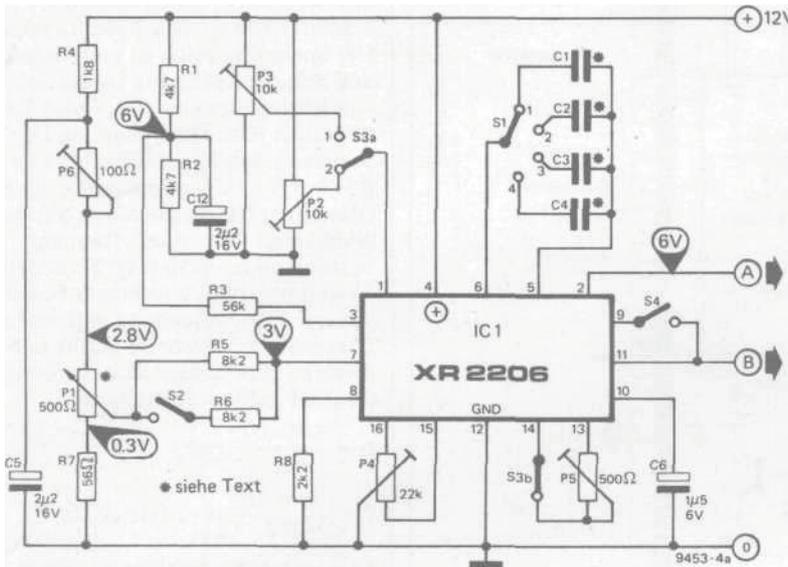
Bild 2. Die Besonderheit dieses Funktionsgenerators liegt in der linearen Frequenzeinstellung, was den Bedienungskomfort des Gerätes erhöht.

Bild 3. Diese Beschaltung des XR 2206 ermöglicht eine lineare Teilung der Frequenzskala.

3



4a

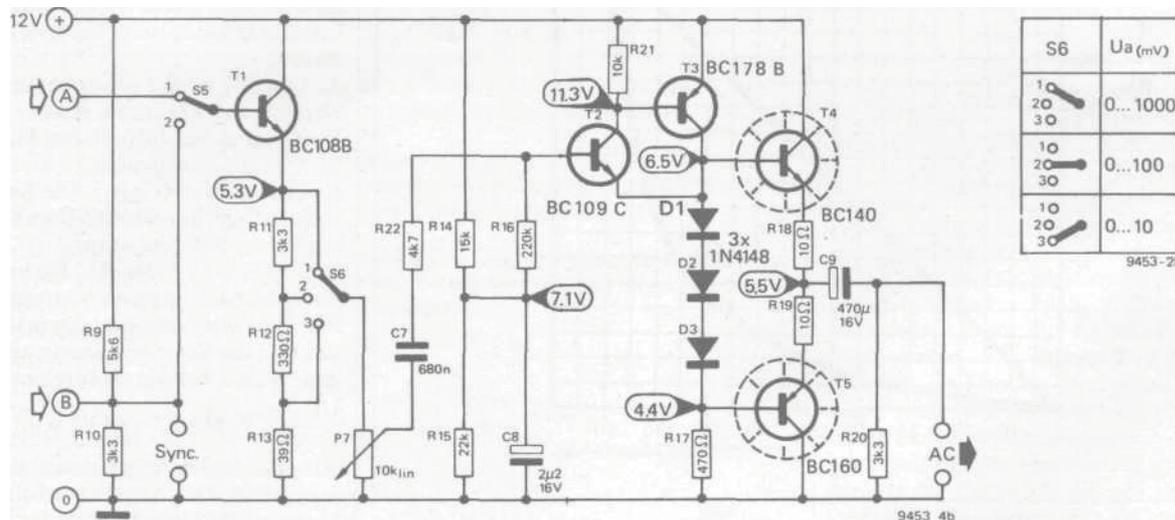


S1	C	f [Hz]	S2 fx2 [Hz]
1	1 μF	9...110	18...220
2	0,1 μF	90...1100	180...2200
3	10 nF	0,9...11 kHz	1,8...22 kHz
4	1 nF	9...110 kHz	18...220 kHz

Die Ausgangsstufe

Von einem guten Signalgenerator erwartet man eine niedrige Ausgangsimpedanz und eine leicht einstellbare, definierte Ausgangsspannung. Diese Forderungen erfüllt die in Bild 4b gezeigte Ausgangsstufe. Die Signale Sinus, Dreieck und Sägezahn vom Ausgang A des Generatorteils gelangen über S5 an die Basis von T1. Das Rechteck- und Impuls-signal liefert der Ausgang B des Generators, bei diesem Ausgang handelt es sich um den Kollektoranschluß eines in IC enthaltenen Schalttransistors (siehe Bild 1). R9 ist der Kollektorwiderstand dieses Transistors und bildet gleichzeitig zusammen mit R10 einen Spannungsteiler, der die Amplitude des Rechtecksignals auf ca. 4,5 V begrenzt. Dadurch wird der Synchronausgang (Sync.) TTL-kompatibel, er ist darüber hinaus kurzschlußfest und kann zum Ansteuern von TTL-Schaltungen, zu Synchronisationszwecken und als Triggerquelle für Oszilloskope dienen. T1 sorgt als Emitterfolger für eine Anpassung des niederohmigen Ausgangsteilers (R11, R12, R13) an die mit 600 bzw. 2000 Ω relativ hochohmigen Generatorausgänge. Der Spannungsteiler besitzt die Verhältnisse 1, 10 und 100 und unterteilt so die Generator-

4b



S6	Ua (mV)
1 20 30	0...1000
10 20 30	0...100
10 20 30	0...10

4c

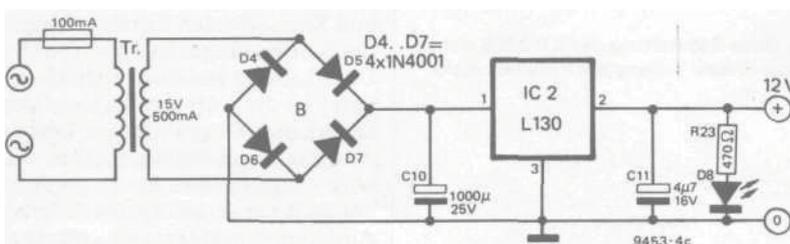
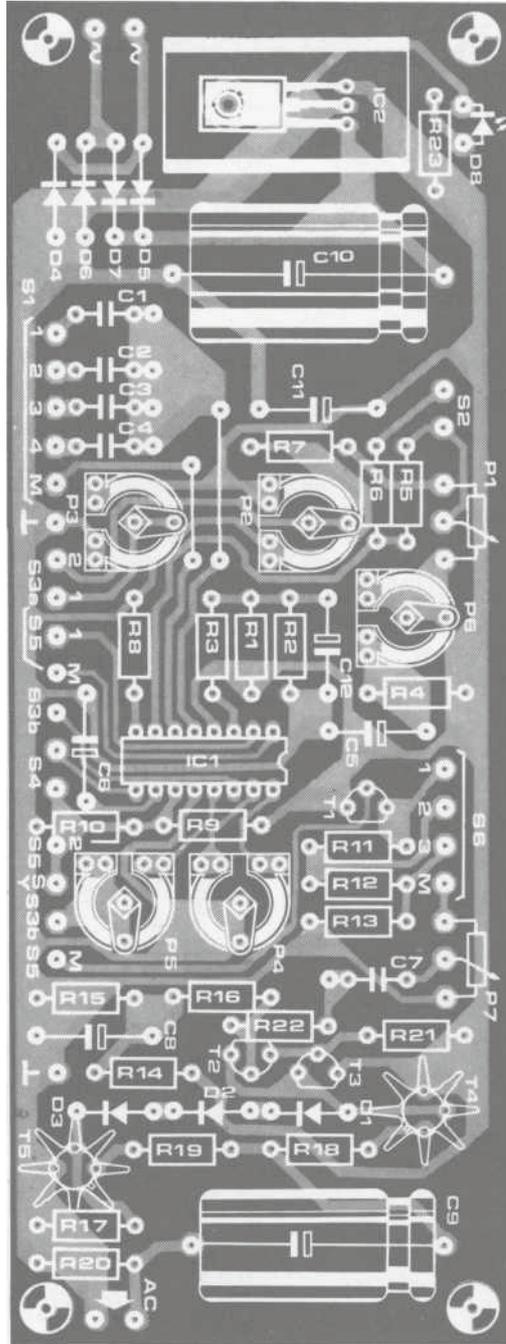
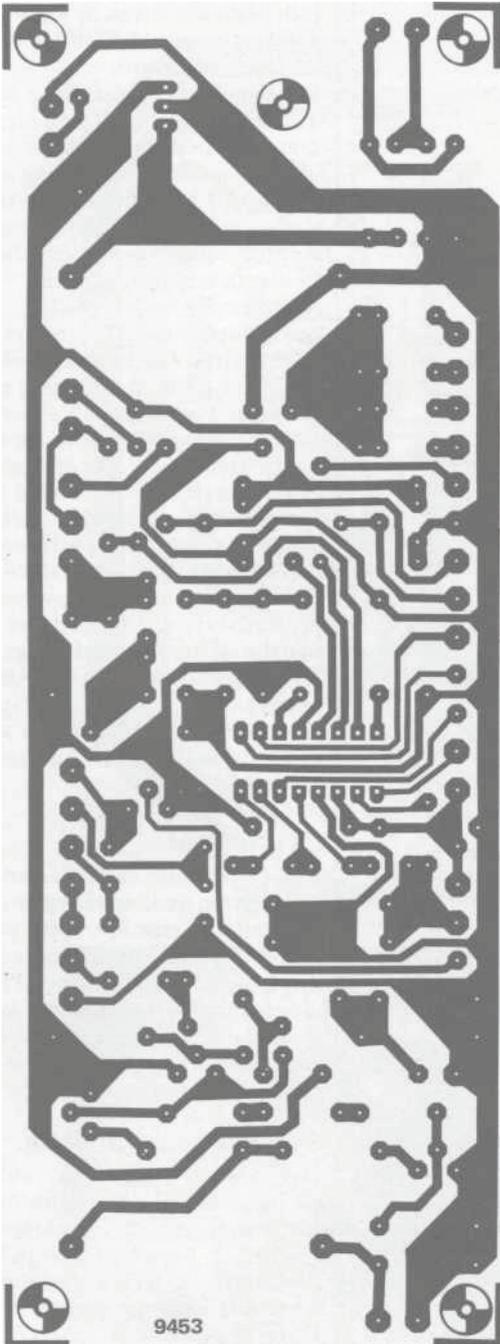


Bild 4a. Der Funktionsgenerator besteht nur aus einem integrierten Schaltkreis und einigen externen Bauteilen.

Bild 4b. Die Ausgangsstufe verleiht dem Generator einen niedrigen Ausgangswiderstand und ermöglicht eine definierte Einstellung der Ausgangsspannung.

Bild 4c. Das Netzteil ist mit einem integrierten Spannungsregler aufgebaut.

Bild 5. Bestückungsplan und Platinenlayout der Funktionsgeneratorschaltung.



Stückliste zu Bild 4, 5 und 6

Halbleiter:

- IC1 = XR2206
- IC2 = L130
- T1 = BC108 (107,109,546,547,548)B
- T2 = BC109 (107,108,546,547,548,549)C
- T3 = BC178 (177,179,556,557,558)B
- T4 = BC140
- T5 = BC160
- D1 ... D3 = 1N4148
- D4 ... D7 = 1N4001
- D8 = LED

Widerstände:

- R1, R2, R22 = 4k7
- R3 = 56 k
- R4 = 1k8
- R5, R6 = 8k2
- R7 = 56 Ω
- R8 = 2k2
- R9 = 5k6
- R10, R11, R20 = 3k3
- R12 = 330 Ω
- R13 = 39 Ω
- R14 = 15 k
- R15 = 22 k
- R16 = 220 k
- R17, R23 = 470 Ω
- R18, R19 = 10 Ω
- R21 = 10 k

Potentiometer:

- P1 = 500 Ω Drahtpotentiometer
- P2, P3 = 10 k Trimmer
- P4 = 22 k Trimmer
- P5 = 500 Ω Trimmer
- P6 = 10 k lin Potentiometer

Kondensatoren:

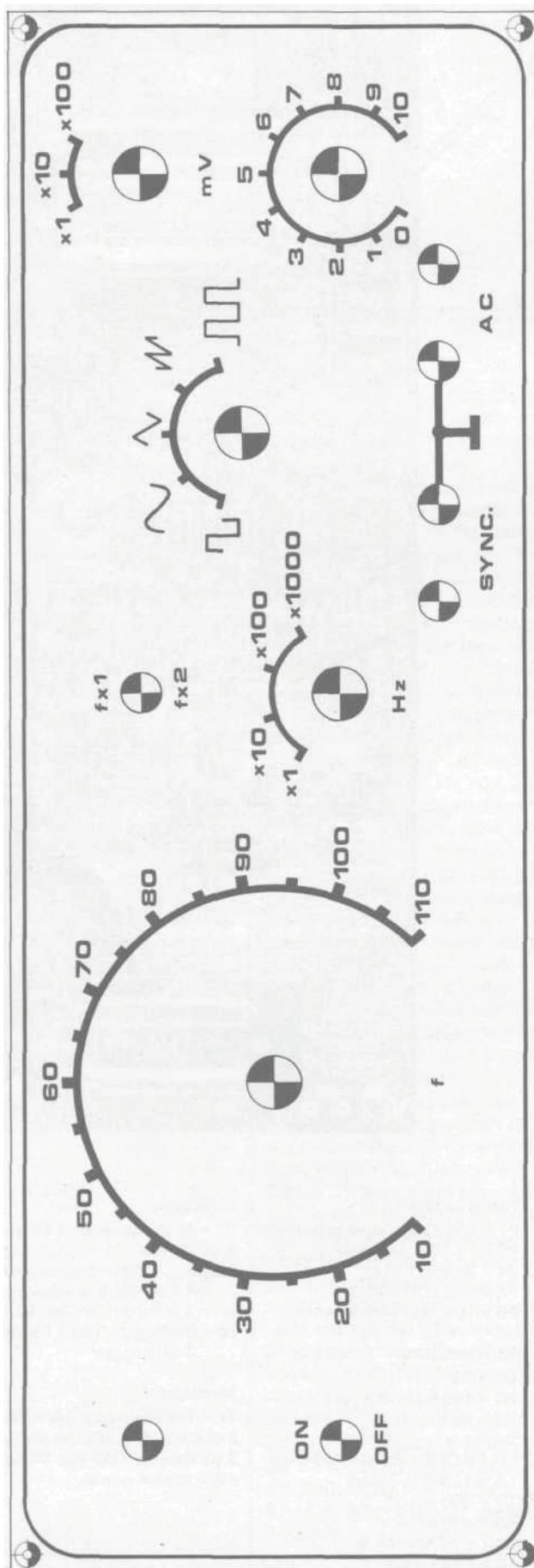
- C1 = 1 μ
- C2 = 100 n
- C3 = 10 n
- C4 = 1 n
- C5, C8, C12 = 2μ2/16 V Tantal
- C6 = 1μ5/6 V Tantal
- C7 = 680 n
- C9 = 470 μ/16 V
- C10 = 1000 μ/25 V
- C11 = 4μ7/16 V

Schalter:

- S1 = Stufenschalter; 1 Ebene, 4 Stufen
- S2 = 1x Ein
- S3a, S3b, S4, S5 = Stufenschalter; 4 Ebenen, 5 Stellungen, oder 3 Schalter; 2x Um, 1x Um, 1x Ein
- S6 = Stufenschalter; 1 Ebene, 3 Stellungen

Sonstiges:

- Tr = Transformator 15 V/500 mA
- Sicherung 100 mA mit Halter
- 2 Kühlsterne TO5 (für T4/T5)
- 4 Buchsen 4 mm φ



Ausgangsamplitude in drei dekadische, mit S6 umschaltbare Bereiche.

Innerhalb der Bereiche kann die Ausgangsspannung kontinuierlich mit P7 eingestellt werden.

Die eigentliche Endstufe ist mit den Transistoren T2 bis T5 als gleichspannungsgekoppelter Impedanzwandler ohne Spannungsverstärkung ausgeführt. T2 und T3 bilden einen Emitterfolger mit komplementärer Darlingtonstufe, der für eine hohe Eingangsimpedanz der Endstufe und niederohmige Ansteuerung der ebenfalls komplementären Ausgangstransistoren T4/T5 sorgt. Die hohe Eingangsimpedanz hält die Belastung von P7 gering und erlaubt die Verwendung eines Folienkondensators für C7. Durch die Dioden D1 . . . D3 erhalten die Transistoren T4 und T5 eine Basisvorspannung, die einen Ruhestrom von ca. 30 mA über die Emitterwiderstände fließen läßt. Diese Maßnahme verringert wirksam die Übernahmeverzerrung der Endstufe. C9 koppelt das Ausgangssignal gleichspannungsfrei aus, die Ausgangsimpedanz am AC-Ausgang beträgt ca. 5 Ω , so daß Lautsprecher ohne weiteres angeschlossen werden können. Auch der AC-Ausgang ist kurzschlußfest.

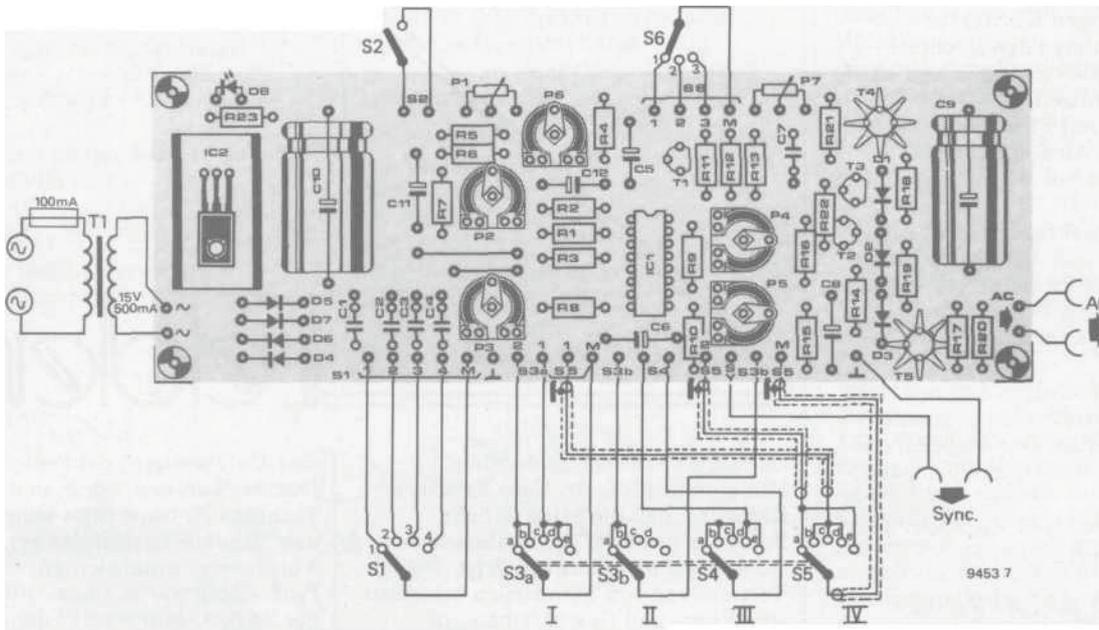
Das Netzteil

Bild 4c zeigt das einfache, mit einem integrierten Spannungsregler aufgebaute Netzteil, das eine Spannung von 12 V liefert. Da Netzteil, Generator und Endstufe auf einer einzigen Platine untergebracht sind, braucht lediglich der Netztransformator (ca. 15 V/0,5 A) angeschlossen zu werden. Die LED D8 zeigt den Betriebszustand an.

Platine und Frontplatte

Der gesamte Generator ist auf einer Platine (Bild 5) untergebracht, würden Aufbau wesentlich erleichtert. Bild 6 zeigt einen Frontplattenvorschlag. Die funktionsbezogene Anordnung der einzelnen Bedienelemente hat sich in der Praxis als vorteilhaft erwiesen. Über dem Ein/Aus-Schalter liegt die LED D8 zur Betriebskontrolle. Rechts daneben befindet sich das Potentiometer PL. Die große Skala erlaubt eine übersichtliche Frequenzeinstellung. Mit dem Schalter "Hz" (x 1, x 10, x 100 und x1000) kann man den gewünschten Frequenzbereich wählen; also 10 . . 110 Hz, 100 Hz . . . 1,1 kHz, 1 kHz . . . 11 kHz, und 10 kHz . . . 110 kHz. Diese Frequenzen lassen sich mit dem Schalter fx2 jeweils verdoppeln, so daß insgesamt acht Frequenzbereiche zur Verfügung stehen. Der Wahlschalter für die verschiedenen Kurvenformen befindet sich rechts daneben.

Die Ausgangsspannung kann stufenlos von 0 . . . 10 mV, 0 . . . 100 mV und 0 . . . 1000 mV eingestellt werden, wobei die Bereichswahl mit dem Schalter "mV" (x 1, x 10 und x 100) erfolgt. Das Ausgangssignal liegt an den



Buchsen "AC" und das Synchronisationssignal an den Buchsen "Sync.".

Verdrahtung und Aufbau

Um den Aufbau des Funktionsgenerators zu erleichtern ist in Bild 7 ein Verdrahtungsschema angegeben. Insbesondere die Verdrahtung des Wahlschalters für die verschiedenen Kurvenformen scheint auf den ersten Blick recht kompliziert zu sein. Es ist ein Stufenschalter mit 4 Ebenen und 5 Schaltstellungen erforderlich, der zunächst "intern" zu verdrahten und dann mit den entsprechenden Anschlüssen auf der Platine zu verbinden ist (siehe Bild 7). Für die Verdrahtung des Schalters S5 wird empfohlen, abgeschirmtes Kabel zu verwenden, um ein Übersprechen des auf diesen Leitungen anstehenden Rechtecksignals zu vermeiden. Die Verdrahtung der Schalter S1, S2 und S6, sowie der Ausgänge AC und Sync. ist unproblematisch.

Bauteilhinweise

Für P1 ist ein Drahtpotentiometer empfehlenswert, da diese meist eine bessere Linearität als Kohleschichtpotentiometer aufweisen. Natürlich kann man auch ein 10-Gang-Wendelpoti mit Feintrieb einsetzen. Damit läßt sich die Frequenz sehr genau einstellen; jedoch muß man dafür auch etwas tiefer in die Tasche greifen. Für die Kondensatoren C1 . . . C4 sind ausschließlich hochwertige Typen (MKM) zu verwenden.

Der für die KurvenformEinstellung verwaltete Stufenschalter kann natürlich auch durch drei einzelne Schalter (S3a, S3b, S4 und S5) ersetzt werden (siehe Bild 8). Ob es sich dabei um eine kostengünstiger Lösung handelt, hängt sicherlich von den benutzten Schaltern ab. Außerdem sind Abstriche

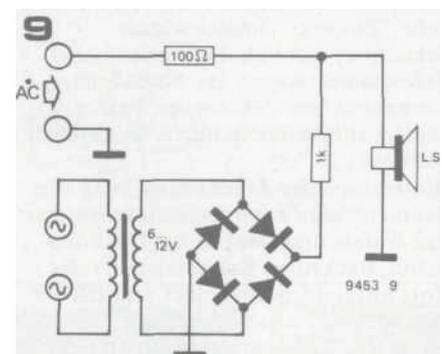
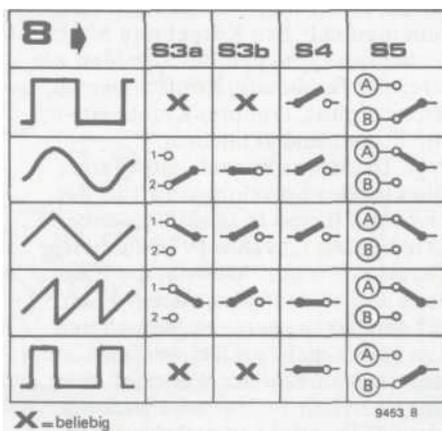


Bild 6. Eine übersichtliche Frontplatte erleichtert das Arbeiten mit dem Gerät.

Bild 7. Verdrahtungsschema für die Buchsen, Schalter und Potentiometer der Frontplatte.

Bild 8. Der für die KurvenformEinstellung verwendete Stufenschalter kann durch drei Schalter (S3a, S3b, S4 und S5) ersetzt werden.

Bild 9. Mit dieser einfachen Hilfsschaltung kann man einen recht genauen Frequenzabgleich durchführen.

beim Bedienungskomfort zu machen. Trotzdem sollte diese Möglichkeit nicht unerwähnt bleiben.

Der Abgleich

Nachdem die Bestückung der Platinen und die Verdrahtung der externen Schalter und Potis vorgenommen wurde, ist der ganze Aufbau sorgfältig zu kontrollieren. Danach kann man das Gerät einschalten und die Betriebsspannung messen, die um höchstens 10% von 12 V abweichen sollte.

Amplitudenabgleich

Zunächst ist S6 in Stellung 1 (bzw. x100) zu bringen und P7 zum rechten Anschlag zu drehen (maximale Amplitude). Sinussignal wählen, mit einer Frequenz von ca. 1 kHz. P2 auf Minimum; d.h. Schleifer an Masse P4 und P5 in Mittelstellung An den Ausgang (AC) des Gerätes ist ein Vielfachmeßgerät anzuschließen, das einen Wechselspannungsbereich von 2 Veff aufweist. Mit P2 eine Ausgangsspannung von 1 Veff oder 2 Veff einstellen. Dazu folgende Anmerkung: Der Vorteil der höheren Ausgangsspannung von 2 Veff wird mit dem Nachteil einer schlechteren Kurvenform bei hohen Frequenzen (über ca. 50 kHz) erkauft. Deshalb die Empfehlung, 1 Veff einzustellen, um bei Frequenzen bis ca. 200 kHz noch eine brauchbare Kurvenform zu erhalten. Um den im Datenblatt angegebenen niedrigen Klirrfaktor von typ. 0,5% zu erreichen, ist ein weiterer Abgleich unumgänglich, der jedoch ein Klirrfaktormeßgerät erfordert. Dazu noch ein Hinweis: Trotz sorgfältigen Platinen-Layouts und abgeschirmter Leitungen von und zu S5 tritt (größtenteils im IC selbst) Übersprechen zwischen Rechteck- und Sinusausgang auf, was mit zunehmender

Frequenz der Sinuskurve Nadelimpulse überlagert. Für Anwendungen, die einen möglichst niedrigen Klirrfaktor erfordern, kann man den Rechteckausgang Sync. kurzschließen und so die Störquelle beseitigen.

Zunächst wird mit P5 auf minimale Verzerrung des Ausgangssignals abgeglichen und mit P4 der Feinabgleich vorgenommen.

Steht kein Klirrfaktormeißgerät zur Verfügung, hat sich die Mittelstellung der Potis P4 und P5 als günstig erwiesen. Die Amplitude des Dreieck und Sägezahnsignals kann man mit P3 einstellen.

Auf Dreieck umschalten und mit Hilfe von P3 am Meßgerät eine Spannung von ca. 0,8 V einstellen. Der Abgleich mit einem Oszillografen ist natürlich auch möglich.

Sinus: Mit P2 auf 2,82 V_{ss} abgleichen (entspricht 1 V_{eff}), bzw. 5,65 V_{ss} (2 V_{eff}).

Dreieck: Mit P3 auf 2,82 V_{ss}, bzw. 5,65 V_{ss} abgleichen.

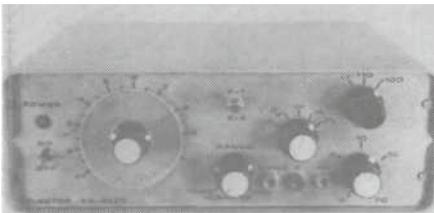
Damit ist der Amplitudenabgleich beendet.

Frequenzabgleich

Hierbei bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten an.

1. Mit einem Frequenzzähler.
P1 auf 100 Hz einstellen,
Frequenzzähler an den Synchronausgang anschließen und mit P6 auf 100 Hz abgleichen.
2. Mit Hilfe einer Ersatzschaltung (Bild 9).

Die von dem Klingeltransformator gelieferte Wechselspannung von ca. 6 ... 12 V wird gleichgerichtet und über einen Widerstand von 1 k einem Lautsprecher zugeführt. Damit liegt am Lautsprecher eine pulsierende Gleichspannung von 100 Hz, die gut hörbar ist.



Zusätzlich erhält der Lautsprecher über einen 100 Ω Widerstand ein 100 Hz Sinussignal vom Tongenerator (AC Ausgang). Da sich die Signale addieren, entsteht eine Schwebung. Mit P6 ist auf Schwebungsnull abzugleichen. Dies wird in den seltensten Fällen gelingen, da sowohl die Netz-, als auch die Generatorfrequenz zeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Man sollte sich deshalb mit dem Erreichen einer niedrigen Schwebungsfrequenz (weniger als 5 Hz) begnügen.