

Quarzstabiler Sinusgenerator mit niedrigem Klirrfaktor (2)

DIETER STOTZ

Wie bereits im ersten Teil erwähnt, wurde beim Filterpaar für die höchste Frequenz auf einen Tiefpaß wegen der Slewrate des OPV verzichtet, denn den Gewinn an Oberwellendämpfung durch den Tiefpaß würde man sich dann mit der wachsenden Verzerrung durch die Slewrate erkaufen.

Die Ausgänge der Filter führen auf die zweite Ebene des Frequenzwahlschalters. Der Schaltkreis IC2/I stellt den Treiber für das endgültige Ausgangssignal dar. An seinem Ausgang befindet sich hierbei noch ein Stufenabschwächer und das Potentiometer für die kontinuierliche Einstellung des jeweils benötigten Ausgangspegels. Außerdem führt der Ausgangsanschluß des Operationsverstärkers auf den Eingang der Amplitudenregelung, welche in Bild 7 gezeigt ist.

Amplitudenregelung

Zur Konstanthaltung der Amplitude wird letztere, wie bereits gesagt, am Ausgang des Treibers (siehe Bild 6) abgetastet. Das Signal gelangt gemäß der Schaltung in Bild 7 zunächst auf den Eingang von IC2/II, wo dann eine Spitzenwertgleichrichtung stattfindet.

C12 wird mit diesem Spannungswert (über R28 recht schnell) aufgeladen; eine langsame Entladung kann über R29 erfolgen.

Der als Komparator fungierende Operationsverstärker IC2/III vergleicht diesen Spitzenwert mit dem Referenzwert, der mit R32 eingestellt ist. Zur Schwingungsunterdrückung dient C13, während die Diode D16 die Release-Zeit bei Hyper-Regelung verringert (z.B. beim Ein- oder Umschalten). Durch Setzen des Jumpers J1 läßt sich die Regelung außer Kraft setzen.

Bereits geringste Unterschiede zwischen Soll- und Istwert des Signals verursachen am Ausgang von IC2/III große Spannungsänderungen. Ist das Signal z.B. geringfügig zu klein, bewegt sich das Potential am Meßpunkt MP2 in positivere Bereiche. In diesem Fall wird das Signal TTL von der Quarzreferenz weniger gegen Masse gezogen als sonst – dadurch wird das ansteuernde Rechtecksignal also größer, und die zu geringe Amplitude des Sinussignals wird entsprechend wieder gesteigert.

Durch D17 und R35/R36 wird ermöglicht, daß das Dachpotential des Rechtecksignals

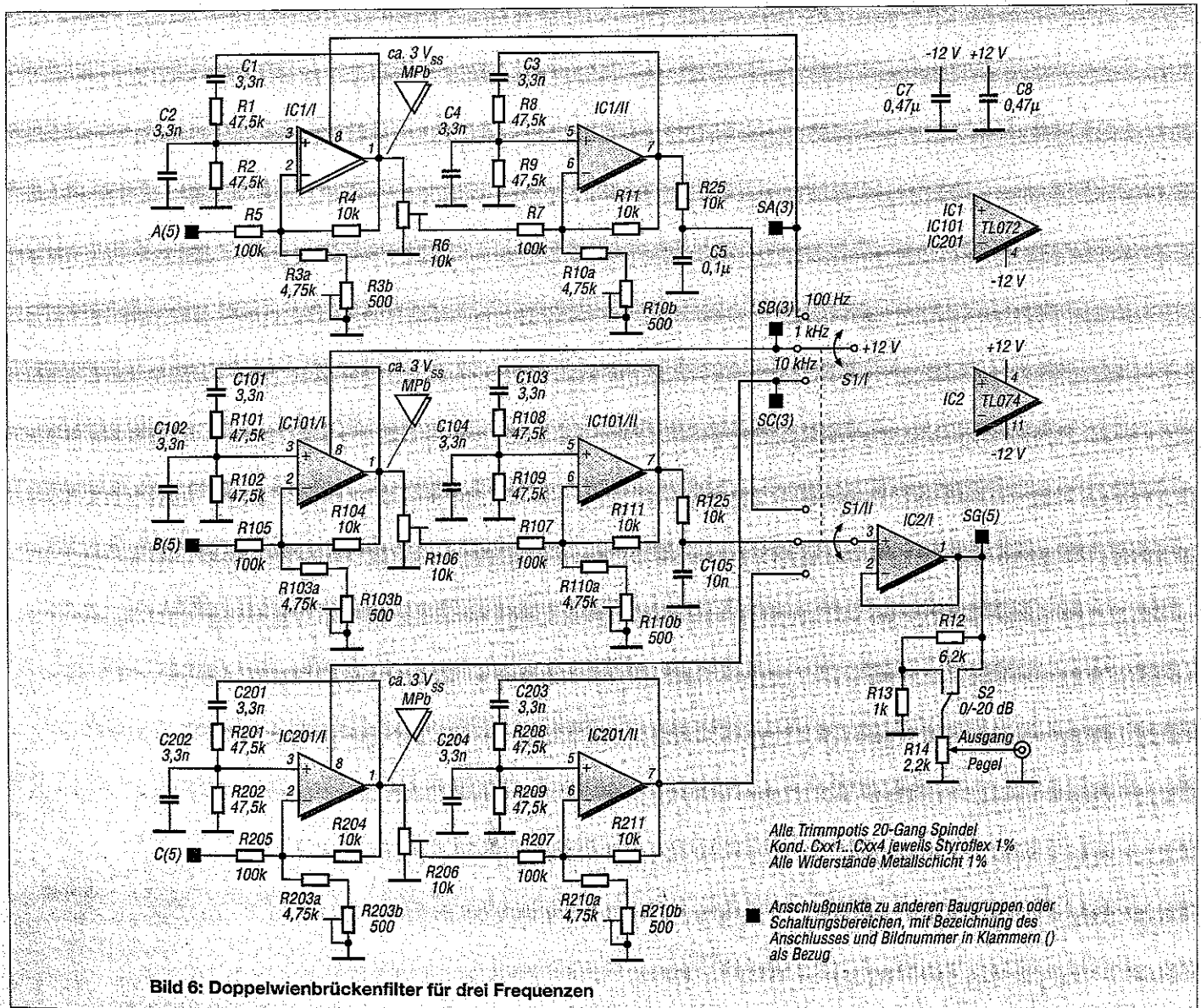


Bild 6: Doppelwienbrückenfilter für drei Frequenzen

Der Tiefpaß R25/C5 ist etwa auf eine Grenzfrequenz der 1,5fachen Sollfrequenz ausgelegt, also:

$$C5 = 1/(3 \cdot f \cdot R25).$$

Man sollte hier den Widerstand mit 10 kΩ belassen und den Kondensator entsprechend wählen. Auf besondere Genauigkeit kommt es hier ausnahmsweise nicht an (5 % Toleranz sind ausreichend).

Eine weitere Modifikation ist beim Tiefpaß R22/C9 (wieder bezogen auf die zu verändernde Frequenz im obersten Filterpaar) vorzunehmen. Für Nennfrequenzen ≤ 300 Hz ist

$$C9 = 1/(0,1 \cdot f \cdot R22),$$

während man für Nennfrequenzen > 300 Hz für C9 wählen sollte:

$$C9 = 1/(0,03 \cdot f \cdot R22).$$

■ Leitungsbrücken

In der Schaltung sind ein paar Brücken (8 an der Zahl) einzulöten; die einseitig kaschierete Platine macht dies notwendig. Im Bestückungsplan (Bild 9) sind das die gestrichelt gezeichneten Linien. Man kann die Brücken auch auf der Lötseite anbringen, beispielsweise mit Wirewrap-Draht und Sicherung durch Siliconkleber.

■ Diodenbestückung D1 – D14

Soll von den vorgesehenen Frequenzen nicht abgewichen werden, sind die Dioden wie im Bestückungsplan vorgeschrieben einzusetzen. Hierzu kann es von Vorteil sein, die Platinenfolie unter den Bestückungsplan zu legen. Aber auch der Schaltplan kann hier Hilfestellung geben.

■ Meßpunkte und externe Bauteile

Die Anschlüsse der externen Bauteile, wie Schalter usw., gehen ebenfalls aus dem Bestückungsplan hervor. Am besten setzt man hierzu in die Platine Lötstützpunkte ein. Für die Meßpunkte sollte man dies ebenfalls tun, damit man immer eine gute und sichere Meßverbindung hat.

■ Abschirmungen

Die Leitungen zum Frequenzwahlschalter S1 sollten eine gemeinsame Abschirmung erhalten, ebenso die Leitungen zu S2. Vor-

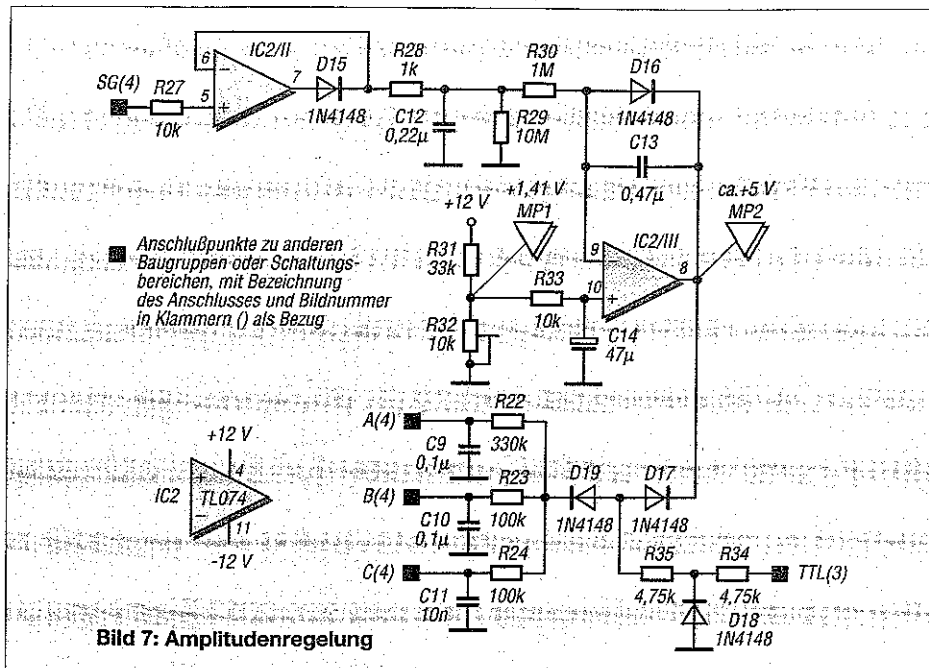


Bild 7: Amplitudenregelung

durch den Operationsverstärker bestimmt werden kann. Da die Regelspannung an MP2 in besonderen Fällen auch einmal negativ werden kann, sind die Dioden D18 und D19 eingefügt. Erstere schließt eine solche Fehlspannung gegen Masse kurz und hält sie so von der Quarzreferenz fern, und letztere hat sperrende Wirkung und verhindert so eine Wirkung auf die Wienbrückenfilter.

■ Netzteil

Das Netzteil des Sinusgenerators muß zwei stabilisierte, symmetrische Betriebsspannungen liefern. Der Transformator sollte eine Gesamtleistung von ca. 3 VA liefern. Das Netzteil sollte in einiger Distanz von der Generatorplatine plaziert werden, damit Brummeinstreuungen wirksam verhindert werden. Bild 8 zeigt ein Beispiel für die Schaltung einer solchen Baugruppe.

Auf die Wiedergabe eines Platinenlayouts wurde hier verzichtet, weil es viele verschiedene Trafos für Printausführung gibt. Man kann das einfache Netzteil nach Bild 8 auch auf einer Experimentierplatine aufbauen. Es muß in jedem Fall auf eine genügend große Distanz zwischen Primärseite des Trafos und den Niedervoltspannungen geachtet werden.

■ Bestückungshinweise

Der Filterteil für 10 kHz benötigt kein RC-Glied am Ausgang. Infolgedessen ist für R225 eine Brücke einzubauen, während C205 einfach entfällt. Das Layout ist für diese beiden Bauteile lediglich ausgelegt worden, falls für tiefere Frequenzen als ca. 8 kHz bestückt werden soll.

Die Quarzreferenz kann auch für andere Frequenzen als 100 Hz, 1 kHz und 10 kHz ausgelegt werden. Bei der Bestückung der

Dioden zu den Ausgängen von IC32 ist nach dem weiter oben beschriebenen Verfahren vorzugehen. Auf der Platine hat es normalerweise genügend Platz, um spezielle Teilverhältnisse zu verwirklichen. Sollen also tatsächlich andere Sinusfrequenzen realisiert werden, so müssen neben diesen Dioden der Quarzreferenz auch noch in anderen Schaltungsbereichen Modifikationen vorgenommen werden.

Wir betrachten uns hierzu noch einmal die oberste Filtergruppe in Bild 6. Soll diese für eine andere Frequenz bestückt werden, so müssen die Kondensatoren C1, C2, C3 und C4 folgende Gleichung erfüllen:

$$C1 = C2 = C3 = C4 = 1/(2 \cdot f \cdot R).$$

Für R ist dabei zunächst 47,5 kΩ einzusetzen. Da es für die 1%igen Kondensatoren normalerweise nur die E12er-Reihe gibt, wird ein Wert gewählt, der die obere Gleichung ungefähr erfüllt; der Restfehler kann durch die einheitliche Veränderung der Widerstände R1, R2, R8 und R9 behoben werden (Metallschicht 1 % der Reihe E48 oder höher).

Zu beachten ist nur, daß sich die Widerstände im Bereich 10 kΩ ... 100 kΩ befinden und daß die Kondensatoren einen Wert von ca. 220 pF nicht unterschreiten.

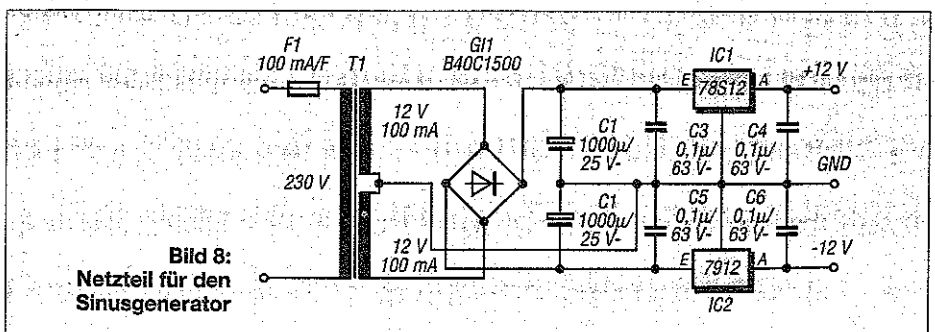


Bild 8: Netzteil für den Sinusgenerator

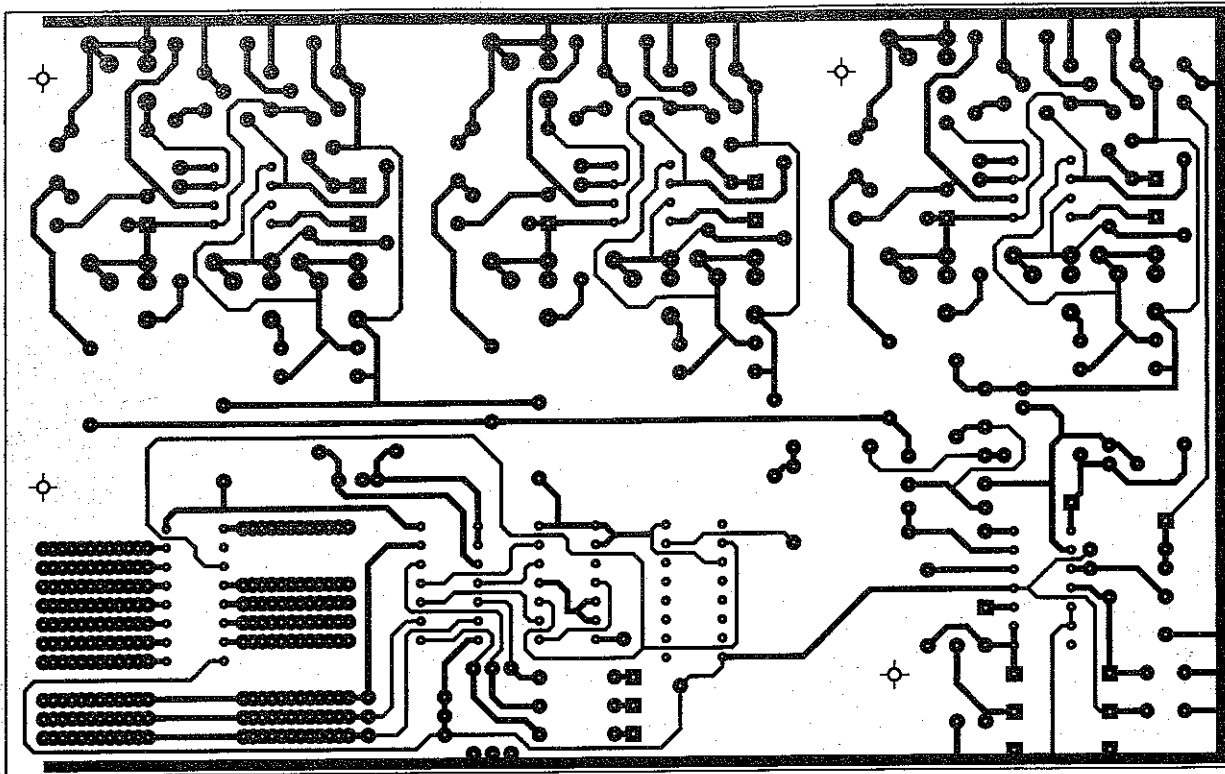
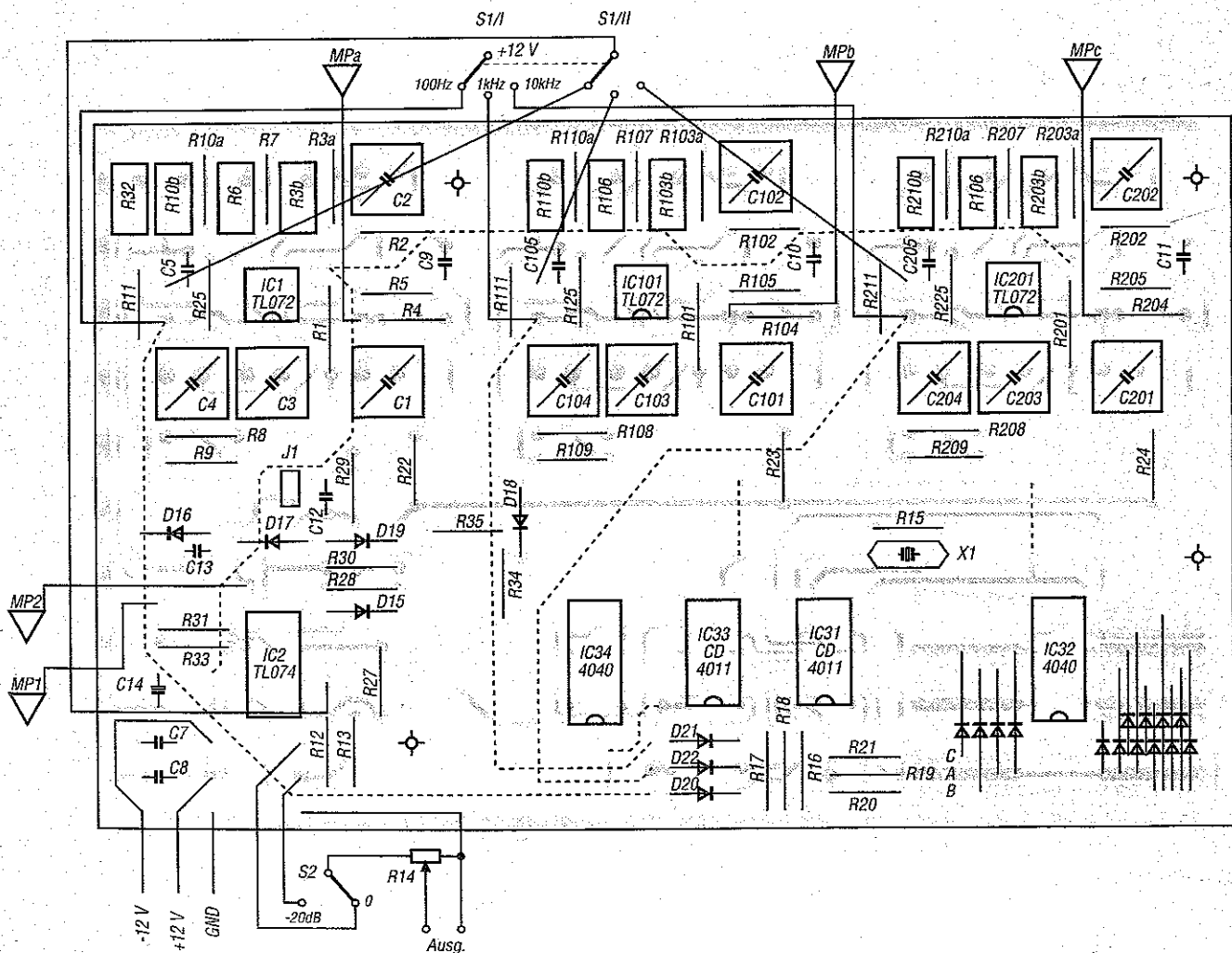


Bild 9: Platinenlayout

Bild 10: Bestückungsplan



teilhaft sind Abschirmbleche, die die gesamte Platine auf beiden Seiten umgeben und mit Masse verbunden sind.

Man kann hierfür natürlich auch zwei unbearbeitete Europlatinen verwenden. Bei Einbau des Generators in ein Gehäuse kann i. a. eine dieser Abschirmplatten entfallen, wenn sich eine Gehäusewand in unmittelbarer Nähe der Platine befindet.

■ Abgleichanweisung

Eine Schlüsselrolle zum Erreichen der Qualitätsmerkmale des Sinusgenerators spielt der gewissenhafte Abgleich. Aus diesem Grunde sind auf der Platine einige Meßpunkte vorgesehen. Als Meßgeräte werden ein Oszilloskop und ein Digitalmultimeter benötigt.

Nachdem der Generator mit der symmetrischen 12-V-Versorgung verbunden wurde, wird der Abgleich nach folgenden Punkten vorgenommen:

1. Jumper J1 auf beide Stifte setzen (Überbrückung), damit Regelung außer Betrieb gesetzt wird.
2. Schalter S1 in Stellung A (100 Hz) bringen.
3. Mit Digitalmultimeter Spannung an Meßpunkt MP1 messen und mit R32 auf 1,41 V einstellen.
4. Oszilloskop an Meßpunkt MPa anschließen.
5. Trimmer R3b so einstellen, daß Selbsterregung gerade einsetzt (Oszilloskop zeigt dann eine stark verzerrte Schwingung).
6. Trimmer R3b dann ca. um 2 Umdrehungen zurückdrehen (daß Selbsterregung wieder sicher aussetzt). Das Oszilloskop soll dann eine unverzerrte Sinusschwingung mit einer Spannung von ca. $3 \cdot V_{SS}$ zeigen.
7. Trimmer R6 etwa in Mittelstellung drehen (zunächst viele Umdrehungen in einer Richtung drehen, dann 10 Umdrehungen zurückstellen).
8. Oszilloskop an den Ausgang des Generators anschließen. Ausgangspoti R14 ganz aufdrehen und Schalter S2 in Stellung 0 bringen.
9. Trimmer R10b so einstellen, daß Selbsterregung gerade einsetzt (Oszilloskop zeigt dann eine stark verzerrte Schwingung).
10. Trimmer R10b dann ca. um 2 Umdrehungen zurückdrehen (daß Selbsterregung wieder sicher aussetzt). Das Oszilloskop zeigt dann eine unverzerrte Sinusschwingung.
11. Jumper J1 wieder entfernen (auf nur einen Stift stecken), damit Regelung wieder freigegeben wird.
12. Digitalmultimeter an Meßpunkt MP2 anschließen und die Regelspannung messen.
13. R6 so einstellen, daß das Multimeter eine Regelspannung von ca. +5 V anzeigt. Damit hat der Regelverstärker nach oben und unten etwa das gleiche Regelintervall.

14. Mit dem Oszilloskop am Ausgang des Generators überprüfen, ob eine Amplitude von $1 V_{eff}$ ($= 2,8 V_{SS}$) vorhanden ist. Gegebenenfalls R32 etwas nachstellen.

15. Die Trimmer R3b und R10b können u.U. noch etwas in Richtung höherer Güten (Richtung Schwingungseinsatz) gedreht werden; in diesem Falle muß aber R6 unter dem Kriterium der Regelspannung = +5 V nachgestellt werden. Der Schwingungseinsatz (Selbsterregung der Filter) muß aber noch sicher vermieden werden.

16. Die Punkte 1. bis 15. werden für die anderen beiden Frequenzen wiederholt (Wahlschalter umschalten, entsprechend andere Trimmer und Meßpunkte berücksichtigen. Punkt 3. wird dabei ignoriert).

Nach diesem Abgleich kann mit einer Klirrfaktormeßbrücke der Klirrfaktor überprüft werden.

■ Daten des Generators

Erreichbare Klirrfaktorwerte sind:

100 Hz und 1 kHz: ca. 0,005 %

10 kHz: ca. 0,02 %

Die Ausgangsspannung beträgt: $1 V_{eff}$.

Die Ausgangsimpedanz ist 1,1 k Ω .

Die Stabilität der Ausgangsamplitude beträgt ca. 100 ppm/K.

Die Frequenzgenauigkeit ist dabei von der Genauigkeit des Quarzes abhängig. Die Abgleichtoleranzen bewegen sich bei ca. 100 ppm.

■ Störungen

Keine Schwingungen:

Sollte der Generator keine Schwingungen abgeben, so ist zunächst zu prüfen, ob die Quarzreferenz arbeitet. Hierzu mißt man mit dem Oszilloskop zunächst an Kopfpunkt C9 (bzw. C10 bei 1 kHz oder C11 bei 10 kHz) (Dreiecksignal der Grundfrequenz), IC34/Pin 7 (Rechteck-Grundfrequenz), IC34/Pin 10 (positive Nadelimpulse vierfacher Grundfrequenz), IC32/Pin 10 (Quarzreferenz).

Mit den erwähnten Messungen braucht man nur dann fortzufahren, wenn die Messung kein ordnungsgemäßes Resultat erbringt. Wenn keine Schwingungen am Ausgang des Generators meßbar sind, so ist auch eine fehlerhafte Verdrahtung des Schalters S1 möglich.

Zu kleine Schwingungsamplituden

Sind die Schwingungen zu schwach, so ist die Regelspannung zu messen. Beträgt diese über +8 V, so arbeitet sehr wahrscheinlich die Regelung einwandfrei. Dann sind die Einstellungen der Trimmer R3b, R6 und R10b zu prüfen bzw. der Abgleich durchzuführen. Beim Umschal-

ten auf eine andere Frequenz wird sich in diesem Falle die Situation ändern.

Liegt die Regelspannung dagegen unter +1 V, so ist die Referenzspannung an Meßpunkt MP1 zu prüfen (Soll: +1,41 V). Mit R32 ist die Referenz einstellbar. Manchmal kommt es auch vor, daß der Tantal-Elko C14 einen Schluß hat. Man erkennt dies an einem Unterschied der Spannungen an MP1 und Pin 10 von IC2.

Ferner zeigt die Regelung solche Erscheinungen, wenn die Regelverstärkung zu gering ist; dies tritt z.B. bei einem Feinschluß von C13 auf.

Falsche Frequenz

Wird die Diodenmatrix (D1 – D14) falsch verdrahtet, so ergibt sich eine falsche Rechteckfrequenz an IC34/Pin 7. Dadurch ergibt sich, falls die Abweichung groß ist, auch eine zu kleine Ausgangsamplitude der gewählten Frequenz.

Das Signal einer Frequenz fehlt

In diesem Fehlerfall ist zuerst einmal das Vorhandensein des Rechtecksignals zu prüfen (IC34/Pin 7). Fehlt dieses, so ist die Quarzreferenz näher zu untersuchen. Speziell sind dabei die Polaritäten der Dioden D1 – D14 und D20 – D22 zu überprüfen.

Ist das TTL-Signal ordnungsgemäß vorhanden, so geht die Suche weiter im betreffenden Filterkreis. Man beginnt dabei mit der Messung am Eingangstiefpaß (siehe Bild 7). Danach mißt man an MPa (bzw. MPb oder MPc) und am Schluß am Ausgang des zweiten Filters (Pin 7 IC1/IC101/IC201).

■ Grenzen der Schaltung

Natürlich erhebt sich jetzt die Frage, ob man den Klirrfaktor nicht noch weiter reduzieren kann. Nun, der Restklirrfaktor, der sich bei der angegebenen Schaltung ergibt, resultiert vor allem von der Slewrate der eingesetzten Operationsverstärker. Außerdem addiert sich zusätzlich auch das Rauschen dieser Bausteine zum Sinussignal.

Hält man sich an die vorgeschlagene Bestückung, sind die oben angegebenen Werte des Klirrfaktors erreichbar. Sollen noch niedrigere Werte erzielt werden, steigt der Schaltungsaufwand weiter an. Man setzt dann beispielsweise spezielle Filter ein, die besonders steilflankig sind.

Eine andere Möglichkeit bietet der Einsatz von Digitalschaltungen, mit denen die Schwingung zunächst digital erzeugt wird, dann werden durch Oversampling Interpolationswerte geschaffen, und am Schluß wird auf Analogformat gewandelt und gefiltert. Diese Generatoren sind relativ aufwendig und teuer.