

Temperaturstabilisierter Quarzoszillator OCXO 400 Teil 2

Zur Stabilisierung der Ausgangsfrequenz arbeitet der OCXO 400 mit einer konstanten Betriebstemperatur. So lässt sich die Frequenzkonstanz dieses temperaturstabilisierten Quarzoszillators bis zum Faktor 1000 gegenüber einer herkömmlichen Ausführung verbessern.

Allgemeines

In vielen Anwendungen, vor allem in der Messtechnik, ist die Güte eines Gerätes direkt verbunden mit der Genauigkeit eines zur Verfügung stehenden Referenzsignals. Dabei kommt in der elektrischen Messtechnik die Zeitmessung aufgrund ihrer einfachen Handhabung in Verbindung mit einer hohen Genauigkeit sehr oft zum Einsatz. Voraussetzung ist dafür aber eine genaue und konstante Referenzquelle. Im Allgemeinen reicht die Frequenzkonstanz eines herkömmlichen Quarzoszillators dabei nicht aus. Hier wirkt sich die unzureichende Stabilität unter dem Einfluss verschiedener Parameter wie Temperaturschwankungen, Betriebsspannungsschwankungen etc. wesentlich auf die Genauigkeit aus. In den meisten Anwendungen sind daher auch diese Kennwerte eines Oszillators, die zusammenfassend als Kurz- und Langzeitstabilität bezeichnet werden können, wichtiger als die absolute Genauigkeit der Frequenz.

Bei Quarzoszillatoren ist der Einfluss

der Umgebungstemperatur sehr ausgeprägt. Bei den üblichen Temperaturkoeffizienten eines Quarzes ergeben sich Abweichungen von 50 ppm - bei einem 10-MHz-Quarz entspricht dies einer Frequenzänderung von 0,5 kHz. Aus diesem Grunde zielen nahezu alle Versuche, die Stabilität eines solchen einfachen XOs (crystal oscillator) zu verbessern, auf die Kompensation des Temperaturverhaltens ab. Bei den heutigen Verfahren erreicht man mit dem Aufbau eines temperaturstabilisierten Quarzoszillators (OCXO = oven controlled crystal oscillator) die besten Ergebnisse bezüglich der Temperaturstabilität. Dabei sind natürlich auch diesem Verfahren Grenzen gesetzt.

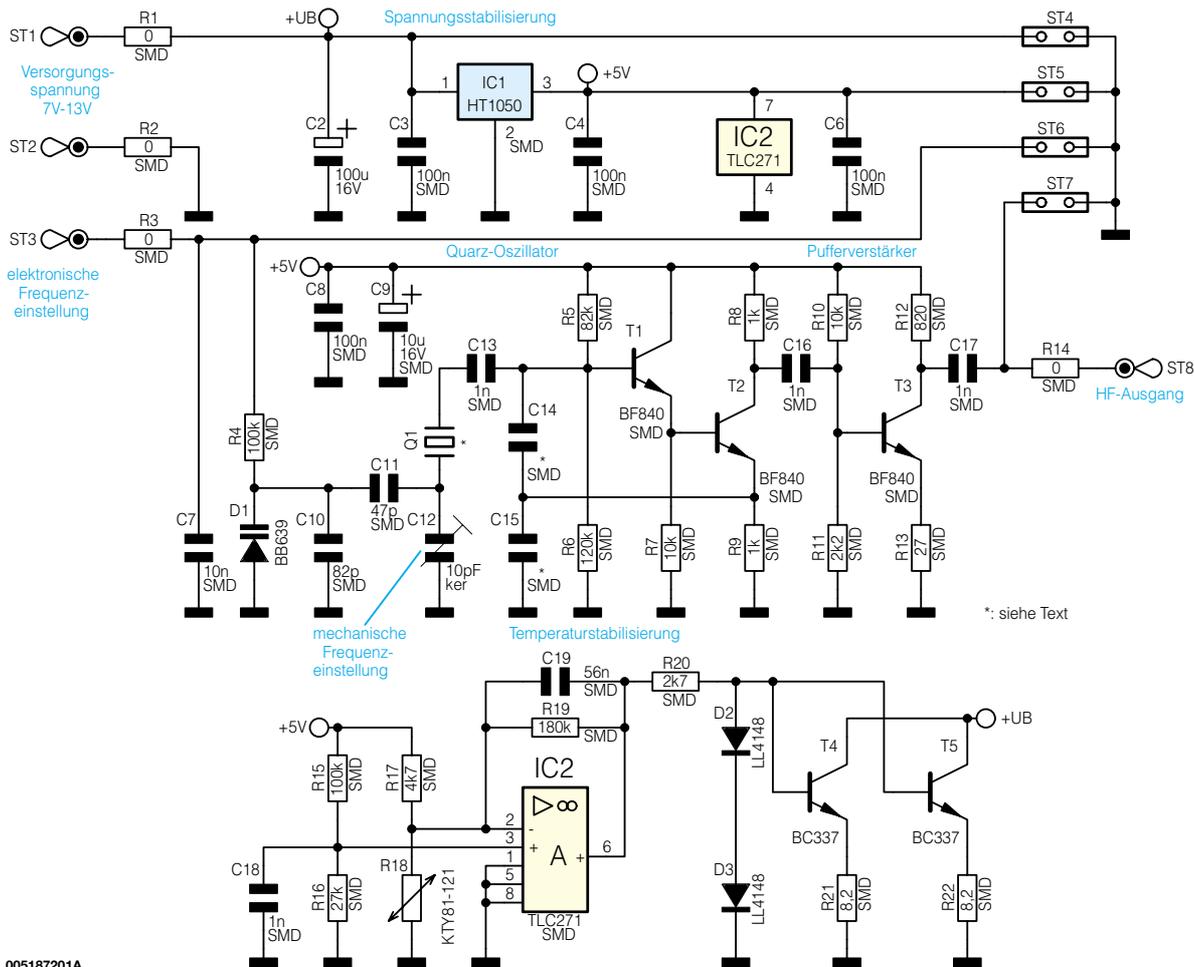
Mit sehr hohem Aufwand erreicht man mit einem OCXO Temperaturstabilitäten von 10^{-9} . Ist eine noch höhere Stabilität gefordert, muss man auf weitere stabilisierende Maßnahmen zurückgreifen. Beispielsweise lässt sich die Frequenz eines Quarzoszillators mittels eines im Regelkreis befindlichen Rubidiumstandards auf Genauigkeiten von 10^{-11} steigern. Solche Präzision ist allerdings nur bei sehr wenigen

Anwendungen gefordert. Als technisch notwendig und wirtschaftlich sinnvoll reicht meist eine Stabilität im Bereich von $10^{-8}/^{\circ}\text{C}$. So erreicht auch der ELV OCXO 400 eine Temperaturstabilität von $2 \cdot 10^{-8}/^{\circ}\text{C}$ (typ.), wobei aber natürlich auch die Güte des eingesetzten Quarzes entscheidend mitgeht. Die daraus resultierende Abweichung der absoluten Frequenz richtet sich folglich nach dem bestückten Quarz.

Technische Daten: OCXO 400

Frequenzbereich: . 2 MHz bis 25 MHz
 Frequenzstabilität (typ.): $2 \cdot 10^{-8}/^{\circ}\text{C}$
 Vorgesehener Quarz:
 - Typ: AT-Schnitt
 - Gehäuse: HC-49/U,
 6,6 mm bis 13,5 mm Bauhöhe
 Betriebsspannung: 7 V bis 13 V
 Abstimmspannung: 1 V bis 28 V
 Stromaufnahme
 - Anheizphase: 140 mA
 - Betrieb (typ. @ 10 V): 50 mA
 Abmessungen
 (H x B x T): 30 x 37 x 37 mm

**Bild 4:
Schaltbild
des OCXO**



005187201A

Da die benötigte Ausgangsfrequenz eines Referenzoszillators anwendungsspezifisch ist, wird der ELV-OCXO ohne Quarz geliefert. Die im Folgenden vorgestellte Schaltung des temperaturstabilisierten Quarzoszillators besitzt einen Arbeitsbereich von 2 MHz bis 25 MHz und deckt somit nahezu den gesamten interessierenden Frequenzbereich ab.

Schaltung

Die in Abbildung 4 dargestellte Schaltung des ELV-OCXOs kann prinzipiell in drei Bereiche unterteilt werden: die eigentliche Signalerzeugung, die Temperaturstabilisierung und die Spannungsversorgung.

Zur Erzeugung der Sinusschwingung dient ein zweistufiger Colpitts-Oszillator. Dieser ist mit den beiden Transistoren T 1 und T 2 und Beschaltung aufgebaut, wobei die Widerstände R 5 und R 6 den Arbeitspunkt bestimmen. In diesem, auch als kapazitive Dreipunktschaltung bekannten Oszillatortyp, arbeitet der Quarz Q 1 als einziges frequenzbestimmendes Element. Den kapazitiven Dreipunkt bilden die Kondensatoren C 14 und C 15, die für die notwendige Mitkopplung sorgen. Damit sich eine Schwingung ausbilden kann, wird das Signal vom Emitter von T 2 phasen-

richtig auf den Eingang, die Basis von T 1, gekoppelt.

Der Quarz, der über Kondensator C 13 angebunden ist, sorgt für die gewünschte Selektivität der Schaltung. Aufgrund seines hohen Kapazitätswertes hat C 13 im Gegensatz zu C 12 keinen Einfluss auf die Schwingfrequenz. Mit dem als C-Trimмер ausgeführten Kondensator C 12 lässt sich die Resonanzfrequenz des Quarzes in gewissen Grenzen beeinflussen. Rein schaltungstechnisch wird mit diesem in Reihe zum Quarz geschalteten „Ziehkondensator“ (Cs) die Kapazität C1 aus dem Quarzersatzschaltbild (Abbildung 2, „ELVjournal“ 4/00) verkleinert. Damit ergibt sich eine neue, höhere Resonanzfrequenz. Die „gezogene“ Schwingfrequenz f_z lässt sich über folgende Formel bestimmen:

$$f_z = f_{\text{Quarz}} \cdot \left(1 + \frac{C_1}{C_s}\right)$$

Neben der mechanischen Einstellung mittels C-Trimmer besteht weiterhin die Möglichkeit, die Ausgangsfrequenz auf elektronischem Wege zu beeinflussen. Dies geschieht mit Hilfe der Kapazitätsdiode D 1, die über die Koppelkapazität C 11 an den Quarz angebunden ist. Die über den externen Anschluss ST 3 zugeführte Abstimmspannung wird über den Widerstand

R 4 als Sperrspannung auf die Diode geführt. Diese verändert dann in Abhängigkeit vom Spannungswert, der zwischen 1 V und 28 V liegen muss, ihre Kapazität und erlaubt somit das elektrische „Ziehen“ der Oszillatorfrequenz. Da die Frequenzstabilität eines Quarzes durch eine sich ändernde Gleichspannung negativ beeinflusst wird, sorgt der Kondensator C 11 für die notwendige Entkopplung. Der Widerstand R 4 verhindert in Verbindung mit der Kapazität C 7, dass die Oszillatorfrequenz über den Anschluss der elektronischen Frequenzeinstellung abgestrahlt wird. Eventuell vorhandene hochfrequente Störsignale, die der Abstimmspannung überlagert sein könnten, werden auch durch den Kondensator C 7 abgeblockt.

Im Signalweg folgt dem mit den Transistoren T 1 und T 2 aufgebauten Colpitts-Oszillator der Pufferverstärker. Dieser mit T 3 aufgebaute HF-Verstärker sorgt für die notwendige Pegelanhebung des Oszillatorsignales. Weiterhin reduziert ein solcher nachgeschalteter Verstärker die Rückwirkungen vom Ausgang, d. h. von der angeschalteten Last, auf den eigentlichen Oszillator, sodass die Oszillatorfrequenz kaum von einer Laständerung beeinflusst wird. Das Oszillatorsignal wird am Kollektor von T 2 abgegriffen und über den Koppelkondensator C 16 auf den nachfol-

genden Transistorverstärker gegeben. Über C 17 gelangt das Signal dann kapazitiv entkoppelt auf den HF-Ausgang ST 8.

Um die gesteigerten Genauigkeitsanforderungen erreichen zu können, ist eine möglichst exakte Temperaturstabilisierung vonnöten. Dazu verfügt der ELV-OCXO 400 über eine Heizung, die in Verbindung mit der zugehörigen Regelschaltung und dem thermisch isolierten Gehäuse eine stabile Innentemperatur erzeugt. Als Heizelemente dienen die Transistoren T 4 und T 5, die sich im Platinenlayout in unmittelbarer Nähe zum Quarz befinden. Über den Temperatursensor R 18 wird die aktuelle Innentemperatur erfasst, die Widerstände R 15 und R 16 geben den Sollwert vor. Bei einer Differenz zwischen Soll- und Isttemperatur ist die Brückenschaltung aus R 15 bis R 18 nicht ausgeglichen, die Spannung in der Brückendiagonalen ist ungleich Null. In diesem Fall gibt die Reglerschaltung aus IC 2 und Beschaltung am Ausgang eine Steuerspannung aus, die die Heiztransistoren entsprechend steuert.

In der Anheizphase ist der Widerstand des Temperatursensors relativ klein. Somit ist die Spannung am nicht-invertierenden Eingang des Operationsverstärkers größer als die am invertierenden. Dementsprechend werden die Heizelemente, d. h. die beiden Transistoren, so angesteuert, dass der maximale Kollektorstrom fließt. Die Emitterwiderstände R 21 und R 22 bilden dabei eine Gegenkopplung. Sie begrenzen den maximalen Heizstrom pro Transistor auf ca. 65 mA. Die anfallende Verlustleistung, die ja der Heizleistung entspricht, richtet sich damit nur nach der anliegenden Betriebsspannung, die mit der unstabilisierten Versorgungsspannung identisch ist. Somit ist auch die Dauer der Anheizphase von der Versorgungsspannung abhängig.

Damit der schwankende Heizstrom und die ggf. daraus resultierende sich ändernde Versorgungsspannung keinen Einfluss auf die Oszillatorfrequenz hat, wird die Betriebsspannung für die Oszillatorschaltung aus einer separaten Spannungsstabilisierung gewonnen. Der Spannungsregler IC 1 generiert aus der am Anschluss ST 1 anliegenden Versorgungsspannung die stabilisierte 5-V-Betriebsspannung. Diese versorgt neben dem Oszillator und der Pufferstufe auch die Reglerschaltung, damit auch hierüber Spannungsschwankungen keinen negativen Einfluss auf die Frequenzstabilität haben.

Eine Besonderheit in der Schaltung stellen die 0-Ohm-Widerstände R 1 bis R 3 und R 14 dar. Diese dienen nur der thermischen Entkopplung und vermindern die Wärmeabfuhr über die nach außen geführten Anschlussdrähte. Damit ist die Schaltung des temperaturstabilisierten Quarzos-

zillators detailliert erläutert und es folgt die ausführliche Beschreibung des Nachbaus.

Nachbau

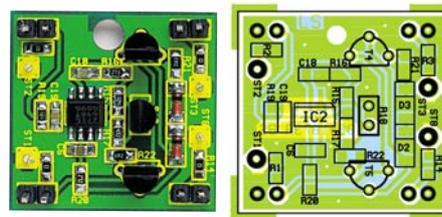
Aufgrund der hohen Anforderungen an die Temperaturstabilität im Innern des Oszillators, kommt dem Aufbau eine besondere Aufgabe zu. Ein wesentlicher Parameter ist dabei die thermische Isolierung, damit die Heizleistung so klein wie möglich gehalten werden kann. Weiterhin hat eine schlechte Isolation auch ein erhöhtes internes Temperaturgefälle zur Folge. Dieser Temperaturgradient kann dann dafür sorgen, dass wesentliche Teile, beispielsweise der Quarz, nie die gewünschte Solltemperatur erreichen. Aus diesem Grunde wird der Quarzoszillator in ein thermisch gut isoliertes Gehäuse eingebaut.

Um eine gute Wärmeverteilung und somit eine gute Arbeitsweise der Temperaturregelung sicherstellen zu können, ist die Schaltung des ELV-OCXO auf zwei Platinen aufgeteilt, die in Sandwich-Bauweise übereinander angeordnet werden. Die obere Platine trägt die eigentliche Oszillatorschaltung und die Spannungsstabilisierung, auf der unteren befindet sich die Temperaturregelung. Bei den beiden Platinen mit dem Abmessungen 27 mm x 27 mm handelt es sich um doppelseitige Leiterplatten mit einem separaten Masselayer.

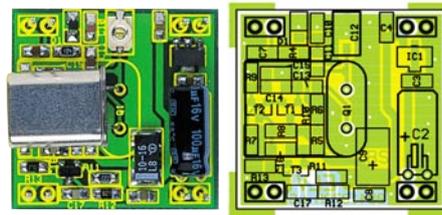
Eine wesentliche Voraussetzung für die Kompaktheit der Schaltung ist die Verwendung von SMD-Bauteilen. Bei den nun folgenden Bestückungsarbeiten, die anhand der Stückliste und des Bestückungsdruckes ausgeführt werden, ist aufgrund der Bauteilgröße und der zum Teil beengten Platzverhältnisse besonders sorgfältig vorzugehen.

Im ersten Arbeitsschritt wird die Reglerplatine aufgebaut, beginnend mit dem Auflöten der SMD-Widerstände. Bei der Bestückung der Kondensatoren ist erhöhte Aufmerksamkeit gefordert, da SMD-Kondensatoren keinen Wertaufdruck besitzen. Sie können also nach Entnahme aus der Verpackung nur durch explizites Ausmessen identifiziert werden. Eine Besonderheit gilt bei den Kondensatoren C 14 und C 15. Diese müssen gemäß Tabelle 1 an die Schwingfrequenz angepasst werden.

Die Dioden und der Operationsverstärker IC 2 sind anschließend unter Beachtung der Einbaulage aufzulöten. Bei den Dioden muss dazu der Katodenring auf dem Bauteil mit der entsprechenden Mar-



Fertig aufgebaute Reglerplatine mit zugehörigem Bestückungsplan



Fertig aufgebaute Oszillatorplatine mit zugehörigem Bestückungsplan

kierung im Bestückungsdruck übereinstimmen. Bei der Montage des ICs gibt die Gehäuseeinkerbung eine Orientierungshilfe. Diese muss mit der Kennzeichnung im Bestückungsdruck übereinstimmen. Hier ist beim Anlöten der Anschlusspins besonders darauf zu achten, dass keine Kurzschlüsse durch Lötzinnbrücken entstehen.

Damit sind die SMD-Teile bestückt, und es folgt der Einbau der drei konventionellen Bauteile R 18, T 4 und T 5. Der Temperatursensor R 18 ist so zu positionieren, dass das Bauteilgehäuse auf der Platine aufliegt, wobei die Polarität nicht von Bedeutung ist. Bei den anschließend zu bestückenden Heiztransistoren ergibt sich die richtige Polung aus der Anordnung der Anschlussbeine. Um die erzeugte Wärme gut abgeben zu können, ist es notwendig, einen Abstand von 2 mm zwischen Transistorgehäuse und Platinenoberfläche einzuhalten. Die Reglerplatine ist somit komplett bestückt und es folgt der Aufbau der Oszillatorplatine.

Auch hier sind im ersten Arbeitsschritt die Widerstände und Kondensatoren einschließlich des C-Trimmers einzulöten, wobei die beiden Elektrolyt-Kondensatoren zunächst nicht eingebaut werden. Die Diode D 1 ist unter Beachtung der Polung aufzulöten, wobei der Katodenstrich auf dem Bauteil mit der Markierung im Bestückungsdruck übereinstimmen muss. Beim Einlöten der Transistoren und des Spannungsreglers IC 1 gibt die Padanordnung die korrekte Lage vor, so dass hier ein Verpolen nicht möglich ist.

Im Anschluss erfolgt der Einbau der

Tabelle 1:
Kapazitätswerte für C 14 und C 15

Frequenzbereich	2 MHz bis 6 MHz	6 MHz bis 15 MHz	15 MHz bis 25 MHz
C 14	680 p	560 p	220 p
C 15	560 p	220 p	100 p

Stückliste: Temperaturstabilisierter Quarz-Oszillator

Widerstände:

0Ω/SMD	R1-R3, R14
8,2Ω/SMD	R21, R22
27Ω/SMD	R13
820Ω/SMD	R12
1kΩ/SMD	R8, R9
2,2kΩ/SMD	R11
2,7kΩ/SMD	R20
4,7kΩ/SMD	R17
10kΩ/SMD	R7, R10
27kΩ/SMD	R16
82kΩ/SMD	R5
100kΩ/SMD	R4, R15
120kΩ/SMD	R6
180kΩ/SMD	R19
Temperatursensor, KTY81-121 ..	R18

Kondensatoren:

47pF/SMD	C11
82pF/SMD	C10
100pF/SMD	C15*
220pF/SMD	C14*, C15*
560pF/SMD	C14*, C15*
680pF/SMD	C14*
1nF/SMD	C13, C16-C18
10nF/SMD	C7
56nF/SMD	C19
100nF/SMD	C3, C4, C6, C8
10µF/16V/SMD	C9
100µF/16V	C2
C-Trimmer, 10pF/SMD	C12

Halbleiter:

HT1050/SMD	IC1
TLC271/SMD	IC2
BF840/SMD	T1-T3
BC337	T4, T5
BB639/SMD	D1
LL4148	D2, D3

Sonstiges:

Quarz, 2 MHz bis 25 MHz (nicht im Lieferumfang)	Q1*
Stiftleisten, 1 x 1-polig, 34 mm	ST1-ST3
Stiftleisten, 2 x 1-polig, 34 mm	ST4-ST7
1 Isolierfolie, 13 x 20 mm	
1 Gehäuse, komplett	

*= siehe Text

Elektrolyt-Kondensatoren unter Beachtung der richtigen Polarität. Hier ist zu bedenken, dass beim bedrahteten Kondensator C 2 der Minuspol am Bauteil gekennzeichnet ist und beim SMD-Elko C 9 der Pluspol!

Als dann ist der entsprechende Quarz einzubauen. Da dieser liegend oberhalb der zugehörigen Oszillatorschaltung positioniert wird, sollte die Platine vor dem Einbau auf Lötzinnbrücken und korrekte Bestückung überprüft werden. Die Schaltung und das Platinenlayout sind für Standardquarze mit AT-Schnitt im HC-49/U Gehäuse ausgelegt. Die Anschlussbeine des Quarzes sind unmittelbar am Quarzgehäuse um 90° abzuwinkeln. Beim Einbau ist dann darauf zu achten, dass das Quarzgehäuse auf den darunter befindlichen Bauteilen aufliegt. Die anschließend zwischen Quarzgehäuse und SMD-Bauteile zu schiebende Isolierfolie verhindert elektrische Kurzschlüsse.

Im letzten Schritt sind die Stiftleisten paarweise in die Positionen ST 4 bis ST 7 auf der Oszillatorplatine einzulöten und anschließend auf eine verbleibende Länge von ca. 15 mm (gemessen ab Platinenoberseite) zu kürzen.

Zur Verbindung beider Platinen wird die Reglerleiterplatte so auf die Oszillatorplatine aufgesetzt, dass der Temperatursensor R 18 auf dem Quarz aufliegt und sich die beiden Heiztransistoren T 4 und T 5 neben dem Quarz befinden. Dabei werden die Stiftleisten durch die zugehörigen Bohrungen der Reglerplatine geführt und dort verlötet. Die Abbildung 5 zeigt den prinzipiellen Aufbau. Der sich so ergebende Abstand zwischen beiden Platinen sollte 11 mm nicht überschreiten.

Zum Anschluss des ELV-Quarzoszillators ist in den Anschlusspunkten ST 1 bis ST 3 und ST 8 jeweils ein Stiftleistenpin einzulöten. Dieser ist von der Unterseite durch die entsprechenden Bohrungen zu stecken, und auf der Bauteilseite zu verlöten. Hier ist es besonders wichtig die über die Lötung überstehenden Enden so kurz wie möglich abzuschneiden. Um den späteren Gehäuseeinbau problemlos zu ermöglichen, sollten anschließend die Kunststoffabstandshalter von den Stiften entfernt werden. Ist der Aufbau soweit fortgeschritten, erfolgt nun die erste Inbetriebnahme des OCXO 400.

Inbetriebnahme und Gehäuseeinbau

Zum ersten Funktionstest wird die Spannungsversorgung an die Anschlusspins ST 1 und ST 2 angeschlossen. Diese muss im Bereich von 7 V bis 13 V liegen und einen Mindeststrom von 140 mA liefern können. Die Spannung muss zwar nicht stabilisiert sein, sollte aber eine Restwelligkeit von weniger als 1 V_{ss} aufweisen.

Nach dem Anlegen der Betriebsspannung sollte zunächst die stabilisierte Betriebsspannung „+5V“ gemessen werden. Liegen hier die geforderten 5V ± 0,25 V an, so ist anschließend der Heizstrom der Transistoren zu kontrollieren. Hierzu wird der Spannungsabfall an den beiden Emitterwiderständen R 21 und R 22 gemessen, die im Bereich von 550 mV ± 100 mV liegen sollte.

Sind diese beiden Gleichspannungsspiegel verifiziert, muss der eigentlich Oszillator geprüft werden. Hierzu wird das HF-Ausgangssignal am Anschluss ST 8 mit einem Oszilloskop aufgenommen. Die Amplitude ist in gewissem Maße von der Oszillatorfrequenz abhängig, sollte aber im Bereich von 2,6 V_{ss} bis 4 V_{ss} liegen. Die korrekte Schwingfrequenz kann mit einem Frequenzzähler geprüft werden. Hierbei ist dann auch der Grobgleich auf die Sollfrequenz mit Hilfe des C-Trimmers C 12 vorzunehmen. Anschließend erfolgt der Einbau ins Gehäuse.

Dazu wird das Platinen-Sandwich mit der Oszillatorplatine voran in den Gehäusekörper abgesenkt. Auf die unten herausragenden Anschlusspins wird dann der untere Verschlussdeckel gepresst und somit das Gehäuse geschlossen. Damit ist der Nachbau abgeschlossen, und das Gerät kann in das eigentliche Zielsystem, z. B. als Referenzoszillator in einem Frequenzzähler, eingesetzt werden. Dort sollte dann auch der exakte Abgleich der Frequenz mit Hilfe der über ST 3 zuzuführenden Abstimmspannung erfolgen. Diese muss in einem Bereich von 1 V bis 28 V liegen. Zu beachten ist dabei, dass diese Spannung exakt stabilisiert sein muss, da sich jegliche Schwankung sofort auf die Frequenzstabilität des OCXOs auswirkt. Dieser Feinabgleich sollte auch erst nach etwa 1 Stunde Betriebszeit erfolgen und ggf. nach einer Woche wiederholt werden, da der Quarz an sich einer Alterung unterliegt, die in den ersten Betriebsstunden am größten ist.

Weiterhin ist beim Einlöten des Quarzoszillators darauf zu achten, dass die Anschlusspins vorsichtig anzulöten sind, da zu langes Löten der Wärmeisolierung des Gehäuses schadet. Nach dem erfolgreichen Aufbau steht dem Einsatz des neuen temperaturstabilisierten Quarzoszillators nichts mehr im Wege.

ELV

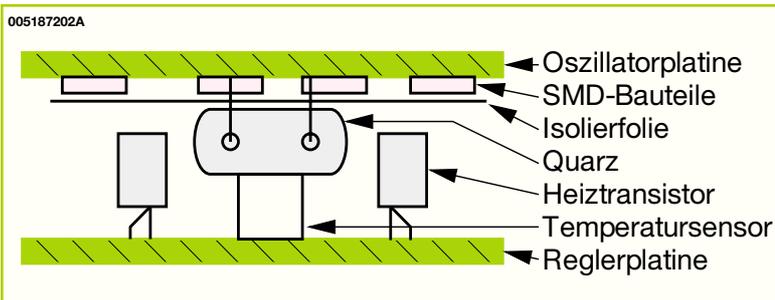


Bild 5:
Prinzipielle
Anordnung
der
Platinen