

Stabiler Quarzoszillator

Helmut Stadelmeyer – OE5GPL

Die Stabilität von Oszillatoren, die in Meßgeräten eingesetzt sind, läßt oft zu wünschen übrig. Der Beitrag beschreibt den Aufbau eines Oszillators, der als Frequenzreferenz dienen kann, und den Umbau eines Frequenzzählers.

Angeregt durch den Beitrag in [1] kam der Wunsch auf, den Original-Oszillator meines Frequenzzählers (es handelt sich um einen 25 Jahre alten LEADER LDC823, der mit einem ganz einfachen 10 MHz-Oszillator ausgerüstet ist, weder temperaturkompensiert noch beheizt) durch etwas Besseres zu ersetzen. Die in [1] gezeigte Schaltung eines beheizten Oszillators ist nicht aufwendig, auch wenn bei dem von ELV zu beziehenden Bausatz einige spezielle Kondensatoren dabei sein mögen, die eine zusätzliche Temperaturkompensation bewirken. Ich habe den Bausatz aber nicht bestellt, weil für den Zähler wegen der Abmessungen ohnedies eine maßgeschneiderte Ausführung erforderlich war. Es blieb somit nur ein eigener Entwurf übrig.

Wesentliche Einflüsse auf das Temperaturverhalten

Der Quarz solcher Oszillatoren wird mittels elektronisch geregelter Heizung auf einer Temperatur von etwa 60 °C gehalten. Das ist aber nur die erste einer Reihe von Maßnahmen, die helfen sollen, das Driften des Oszillators zu verringern. Daß die Betriebsspannungen zu stabilisieren sind, versteht sich von selbst. Großen Einfluß haben auch alle übrigen in der Schwingschaltung eingesetzten Bauteile, in der Hauptsache Kondensatoren. Hier greift man zu Typen, die einen möglichst geringen Temperaturgang aufweisen [2], [3], [4].

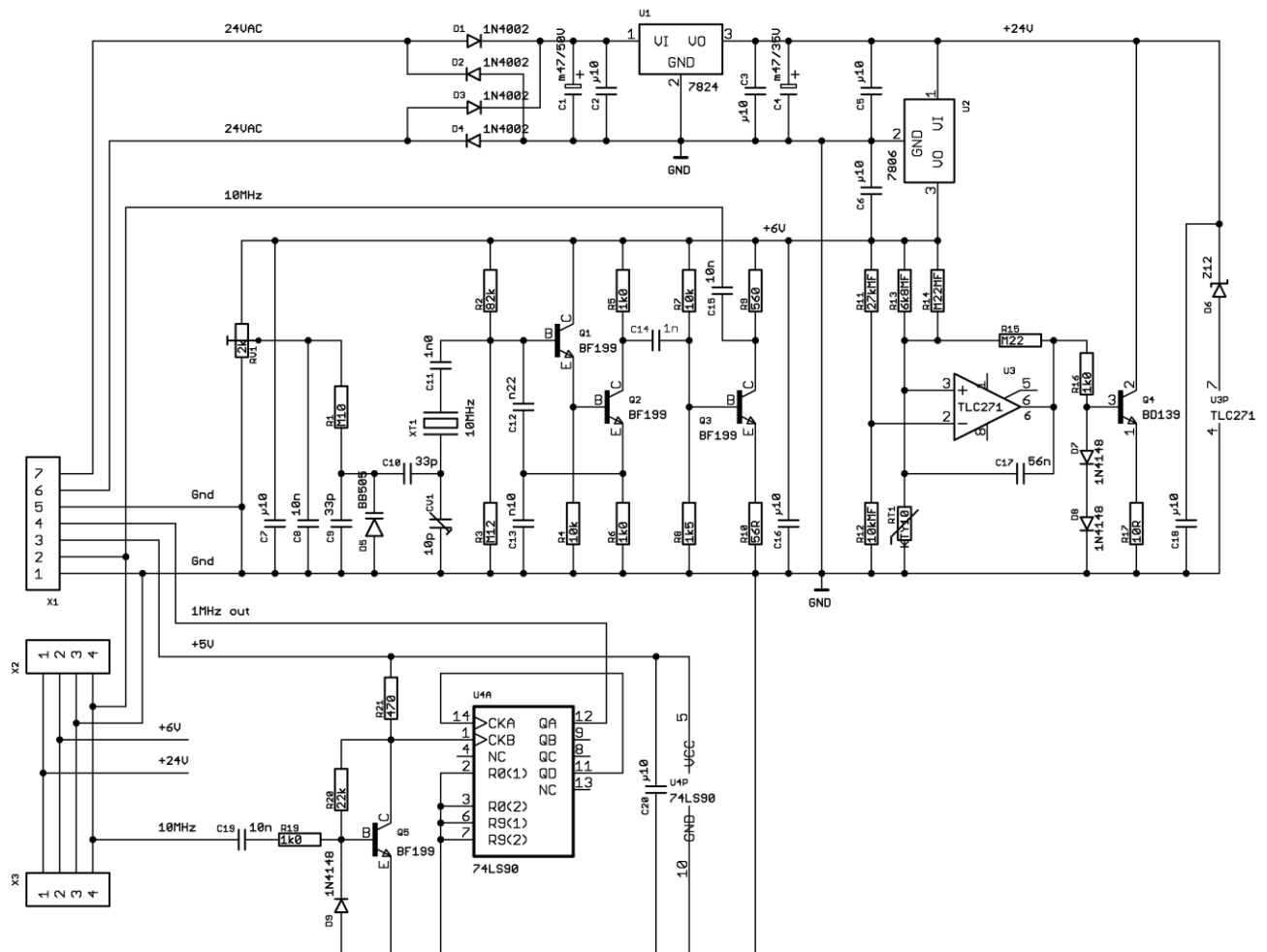


Abb.1: Schaltbild der Baugruppe

Ein nicht vernachlässigbarer Einfluß wird auch von den Transistoren herrühren, deren Werte sich ebenfalls mit der Temperatur ändern. Am Ende dieser Überlegungen steht die Erkenntnis, daß es wohl am vorteilhaftesten ist, den ganzen Funktionsblock des Oszillators zusammen mit der Heizungssteuerung in die temperaturgeregelte Umgebung zu verlegen. Um den Einfluß von Umgebungs-Temperaturänderungen auf die Heizleistung so gering wie möglich zu halten, ist die Schaltung thermisch bestmöglich zu isolieren. Das heißt, daß die Leiterplatte des Oszillators in einen Mantel aus Schaumstoff einzuschließen ist und daß für alle Ver-

Stabiler Quarzoszillator

bindungen zur Außenwelt in erster Linie schlechte Wärmeleiter die richtige Wahl darstellen (mechanische Verbindungsteile aus Plastik, elektrische Leiter mit kleinem Querschnitt). Damit ist einmal für stabile Verhältnisse im Dauerbetrieb gesorgt.

Ein weiterer Punkt, den es zu bedenken gilt, ist das Verhalten nach dem Einschalten. Das Ziel ist eine möglichst kurze Einlaufzeit bis zum Erreichen des stabilen Zustandes, den wir aber erst dann erreicht haben, wenn alle frequenzbestimmenden Komponenten auf der Endtemperatur sind. Es ist also die zu erwärmende Masse klein zu halten und es ist notwendig, für eine möglichst rasche Wärmeverteilung innerhalb des Isoliermantels zu sorgen, was von einem Mindest-Luftvolumen zur Wärmeleitung mittels Konvektion begünstigt wird. Die Leiterplatte selbst ist aus Epoxid (FR4) angefertigt, das verhältnismäßig gute Eigenschaften in Bezug auf Wärmeleitfähigkeit hat. Unterstützt wird die Wärmeleitung noch durch große Kupferflächen, die für eine gleichmäßige Verteilung der Wärme sorgen. Das Resultat der Maßnahmen ist eine Einlaufzeit von etwa 15 Minuten, während der sich die Frequenz der Endfrequenz asymptotisch annähert und nach Ablauf dieser Zeit bei einigermaßen gleichbleibender Umgebungstemperatur nur mehr im Bereich von $1 \cdot 10^{-8}$ ändert.

Praktische Ausführung

Um die vorstehenden Bedingungen zu erfüllen und die Baugruppe möglichst universell auszulegen, wurde die Schaltung in 2 Funktionsblöcke unterteilt: Oszillator mit Pufferverstärker und Heizung einerseits und Stromversorgung sowie ein Zehnerteiler auf der anderen Platine. Die Schaltung wird mit 20 bis 24 V Wechselspannung versorgt, was ein üblicher Wert für beheizte Oszillatoren zu sein scheint (auch im LDC823 ist bereits eine 24 V- Wechselspannungsversorgung vorgesehen).

Die Gesamtstromaufnahme beim Einschalten des Oszillators liegt bei ca. 100 mA und geht bei 20 °C Umgebungstemperatur nach 15 Minuten auf ca. 30 mA zurück, wobei auf den eigentlichen Oszillator ca. 9 mA entfallen. Die restlichen 21 mA der geregelten 24 V-Versorgung decken den Verbrauch der Spannungsregler, des OpAmp und den Wärmeverlust, der über den Isoliermantel sowie über die mechanischen und elektrischen Verbindungen abgegeben wird. Nicht enthalten ist in diesen Werten der Strom für den Zehnerteiler, der extern mit 5 V versorgt wird.

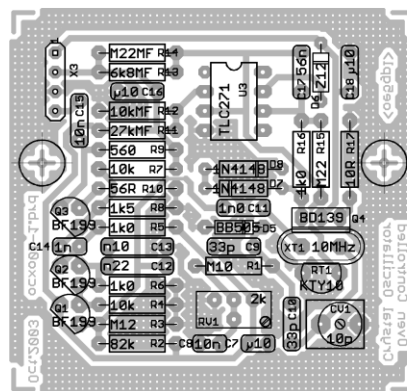


Abb. 2: Bestückungsplan Oszillator

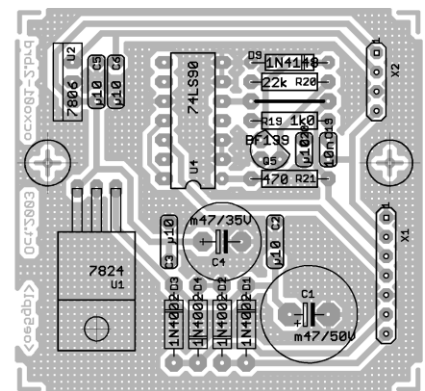


Abb. 3: Bestückungsplan Stromversorgung & Teiler

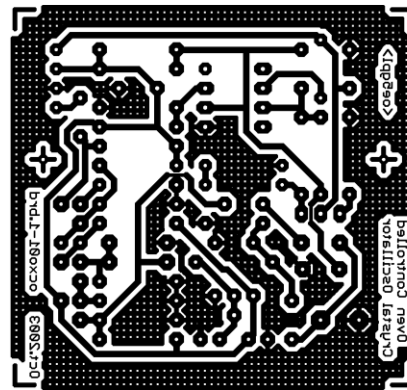


Abb. 4: Leiterplatten-Layout Oszillator

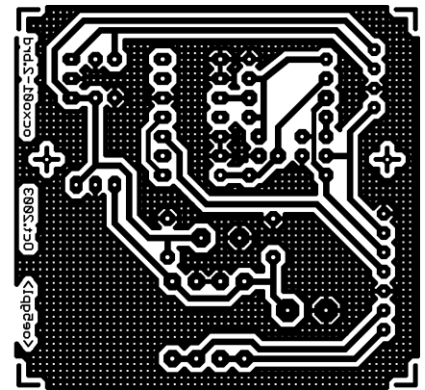


Abb. 5: Leiterplatten-Layout Stromversorgung & Teiler

Stabiler Quarzoszillator

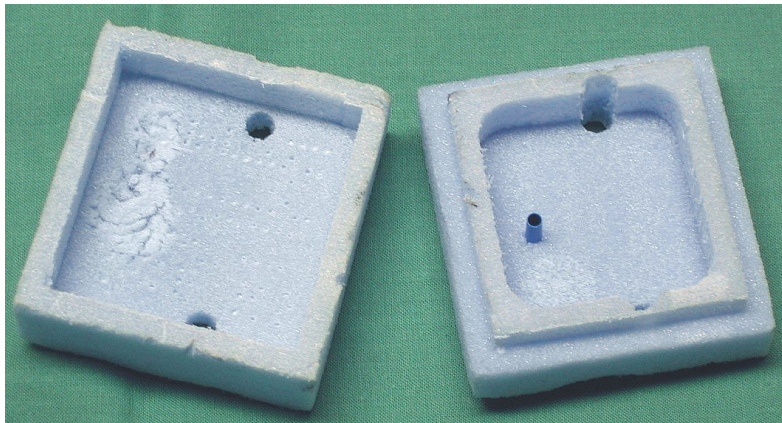


Abb.6: Isoliermantel aus PU-Schaumstoff

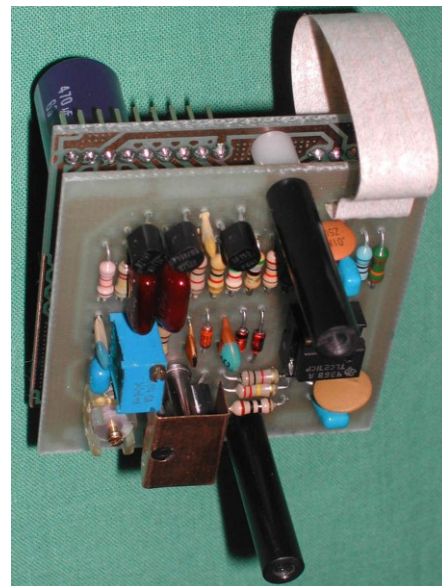


Abb.7: Probemontierte Baugruppe

Verwendete Bauteile

Im Mustergerät wurden für C9 – C13 NP0-Kondensatoren eingesetzt (Glimmer und Keramik), der Quarz ist einer der üblichen Computerquarze im HC-49/U-Gehäuse. Abhängig von den Daten des verwendeten Quarzes kann eine Änderung der Kondensatoren C9 und C10 erforderlich sein, um mit CV1 bei annähernder Mittelstellung in den Bereich der Nennfrequenz zu kommen. Die Feinabstimmung erfolgt mit RV1. Der als Heizelement eingesetzte BD139 und der Temperaturfühler sind mittels einer kleinen Klammer an das Quarzgehäuse anzudrücken. Eine geringe Zugabe von Wärmeleitpaste verringert den Wärmeübergangswiderstand zwischen diesen Bauteilen und trägt zum raschen Reagieren der Heizung bei einer Änderung der Temperatur bei. Das Gewicht des zusammengebauten Oszillators beträgt ca. 52 g.



Abb.8: Fertiger Oszillator

Weil bei diesem Probeaufbau bis auf die NP0-Kondensatoren ganz normale Bauteile verwendet worden sind, darf man als Ergebnis keine Wunder erwarten. Es ist allerdings schon so, daß ein solcher Oszillator gegenüber Temperaturänderungen um wenigstens 1 Zehnerpotenz unempfindlicher ist als übliche Quarzoszillatoren. Das sagt noch nichts über die Langzeitstabilität aus, die in erster Linie vom Alterungsverhalten des verwendeten Quarzes abhängt. Bei Massenware (Billigware) ist dieser Parameter nicht abzuschätzen und wer etwas Besseres haben will, sollte zumindest den Quarz eines renommierten Herstellers verwenden. Hier ging es in der Hauptsache um den Nachweis, daß sich mit vergleichsweise einfachen Mitteln die Kurzzeit-Frequenzkonstanz entscheidend anheben läßt.

ORIGINAL-OSZILLATOR des LDC-823			
Umgebungstemperatur [°C]	0	20	40
Frequenz beim Einschalten [Hz]	10.000.001,8	9.999.982,2	9.999.957,4
Frequenz nach 15 min [Hz]	10.000.002,2	9.999.980,2	9.999.957,3
Frequenz nach 30 min [Hz]	10.000.002,2	9.999.979,9	9.999.957,2

Tabelle 1: Meßwerte des Original-Oszillators

Stabiler Quarzoszillator

Vorstehend die Meßwerte des Original-Oszillators aus dem LDC-823. Dieser Oszillator ist wahrscheinlich ebenfalls mit NP0-Kondensatoren aufgebaut. Der Quarz stammt von einem namhaften japanischen Hersteller, und deshalb ist ein direkter Vergleich mit dem Eigenbau nicht ganz richtig (man hätte genaugenommen in beiden Oszillatoren den gleichen Quarz einsetzen müssen). Erkenntnisse hinsichtlich der Temperaturstabilität lassen sich dennoch ableiten.

BEHEIZTER OSZILLATOR			
Umgebungstemperatur [°C]	0	20	40
Innentemperatur [°C]	ca. 52	ca. 52	ca. 52
Frequenz beim Einschalten [Hz]	10.000.083,4	10.000.187,3	9.999.971,3
Frequenz nach 15 min [Hz]	9.999.995,2	9.999.998,9	10.000.005,2
Frequenz nach 30 min [Hz]	9.999.995,4	10.000.000,0	10.000.006,3
Frequenz nach 45 min [Hz]	9.999.995,5	10.000.000,1	10.000.006,4
Strom beim Einschalten [mA @ 24 V]	ca. 100	ca. 100	ca. 100
Strom nach 15 min [mA @ 24 V]	49	ca. 32	ca. 22
Strom nach 30 min [mA @ 24 V]	47	ca. 31	ca. 21
Strom nach 45 min [mA @ 24 V]	47	ca. 31	ca. 21
Einlaufzeit [min]	ca. 15	ca. 15	ca. 15

Tabelle 2: Meßwerte des selbstgebauten Oszillators gem. Abb.8 (ohne Abdichtung des Isoliermantels)

Soll die Stabilität noch weiter verbessert werden, so ist ein spezieller Quarz zu verwenden, bei dem der obere Umkehrpunkt des Temperaturganges bekannt ist [5]. Der sollte wegen der Langzeitstabilität der übrigen Bauteile, die ja miterwärmt werden, nicht wesentlich über 60 °C liegen. Der Spannungsteiler der Temperaturregelung ist dem Umkehrpunkt anzupassen (R14, siehe auch Abb. 9), so daß der Quarz dann tatsächlich in diesem Punkt betrieben wird.

Zudem sollte der Isoliermantel in ein allseitig geschlossenes Plastikgehäuse eingebaut oder zumindest mittels Klebeband so weit abgedichtet werden, daß ein äußerer Luftzug keinen Luftaustausch mit dem warmen Innenraum zur Folge hat. Der Mantel an sich ist ja auf Grund von Paßungenauigkeiten, welche bei der Herstellung unvermeidbar sind, nicht einmal annähernd dicht.

Kalibriert wird das Modul durch Vergleich mit einer bekannten Frequenz, die z.B. aus der Zeilenfrequenz eines terrestrischen Fernsehsenders abgeleitet wird. Die mittlere Genauigkeit der Zeilenfrequenz und daraus abgeleiteter Frequenzen ist noch um gut 2 Zehnerpotenzen besser als unser Oszillator. Hier wird man wohl ein wenig herumfragen und suchen müssen, denn nicht jeder hat solch eine Frequenzreferenz.

Man ist bei dieser Schaltung keineswegs auf einen 10 MHz-Quarz festgelegt; allenfalls sind bei abweichender Frequenz die Werte der beiden Kondensatoren C12 und C13 entsprechend zu ändern.

Die Einsatzmöglichkeiten für einen solchen Oszillator sind vielfältig: Falls

ausreichend Platz vorhanden ist, ist der Einbau in einen Frequenzzähler oder in ein anderes Gerät möglich, aber auch als externes Teil ist er zur gelegentlichen Überprüfung von Zählern und Kurzwellengeräten bestens verwendbar. Alle Unterlagen sind von [6] herunterzuladen. In den vorgesehenen Zähler hätte dieser Oszillator allerdings noch nicht ganz hineingepaßt; hier wäre zur Verkleinerung der Abmessungen ein Aufbau unter Verwendung von SMD-Teilen notwendig. Unterlagen zur Herstellung der Leiterplatten in der vorstehend beschriebenen Form sind Teil dieses Beitrages.

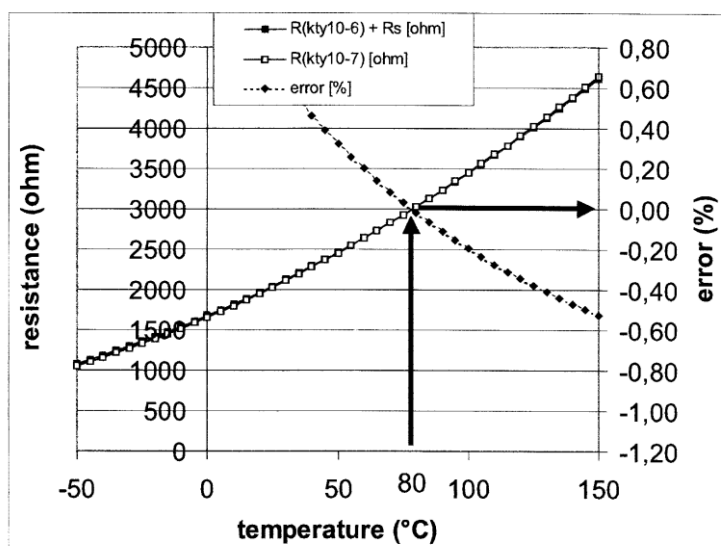


Abb.9: Widerstandskennlinie des Temperaturfühlers

Eine noch bessere Lösung

Mitten in der Arbeit an diesem kleinen Projekt kam das Angebot zur Mithilfe beim Abbau einer Basisstation des ehemaligen D-Netzes. Eine der bei diesem Anlaß überlassenen Komponenten war ein 3-MHz-Mutteroszillator. Es handelt sich dabei um ein allseits verlötetes Blechgehäuse mit den ungefähren Abmessungen $7 * 6 * 5$ cm und nicht unerheblichem Gewicht (ca. 181 g), das ebenfalls einen OCXO enthält. Man darf gestrost annehmen, daß der ein gutes Stück besser ist als ein selbst angefertigter und so wurde letztendlich dieser in den Zähler eingebaut. Der Platz ist knapp, aber es geht, wie Abb. 10 zeigt

In der Originalschaltung wird der eigentliche Oszillator mit 15 V DC versorgt und der HF-Ausgang des Oszillators ist mit 50 Ohm belastet. Dabei liegt die Ausgangsspannung bei knapp 4 V Spitze-Spitze. Ein Versuch hat ergeben, daß der Oszillator auch mit 8 V gut funktioniert, wenn der Ausgang offen oder nur gering belastet ist. Die Versorgungsspannung ist entsprechend dem jeweiligen Anwendungsfall zu wählen und die korrekte Funktion sollte mittels Oszilloskop und Zähler geprüft werden (die Ausgangsspannung muß sinusförmig sein!). Die Heizung wird in jedem Fall mit ca. 27 V DC versorgt.

Aus Platzgründen ist es bei diesem Zähler notwendig, den Oszillator auf einer separaten Platine zu montieren und mit passenden Abstandhaltern auf der Stromversorgungsleiterplatte so zu befestigen, daß sich die rückseitige Gehäuseöffnung des Zählers zum allfälligen Nachstellen des Oszillators mit der Blindverschraubung des OCXO deckt. Die Stromversorgungsleiterplatte ihrerseits ist ebenfalls mit kurzen Abstandhaltern auf der Unterseite des Zählers mit 4 Schrauben befestigt.

Der Oszillator des OCXO wird mit 8 V betrieben. Die Stromaufnahme ist gering, sodaß ein 78L08 zur Stabilisierung ausreicht. Weil die Zeitbasis des LDC823 1 MHz benötigt, ist dem Oszillator ein Teiler durch 3 mit einem 74LS90 nachgeschaltet. Die dafür notwendigen 5 V kommen aus dem Zähler. Zum Verständnis der Funktion aller am Stecker X1 anstehenden Signale ist das Schaltbild des Zählers notwendig.

Die Heizung dieses Oszillators hat allerdings beim Einschalten eine wesentlich höhere Stromaufnahme von ca. 350 mA, was beim Einbau in ein Gerät zu berücksichtigen ist (dieser Zähler kommt damit gut zurecht).

Nach dem Warmlaufen, das etwas rascher erfolgt als bei dem selbst gebauten Oszillator, verbraucht die Heizung bei 20 °C Umgebungstemperatur immer noch an die 100 mA bei 27 V. Für den 27-V-Spannungsregler ist ein Kühlkörper erforderlich, der die beim Warmlaufen entstehende Verlustwärme abführt.

Auch für den Umbau eines solchen Zählers sind sämtliche Unterlagen verfügbar, die Darstellung aller hier abgebildeten Leiterplatten und Bestückungspläne ist nicht maßstäblich. Wir haben nicht die Absicht, Leiterplatten zum Kauf anzubieten, Nachbauwillige sind deshalb auf Selbsterstellung angewiesen.

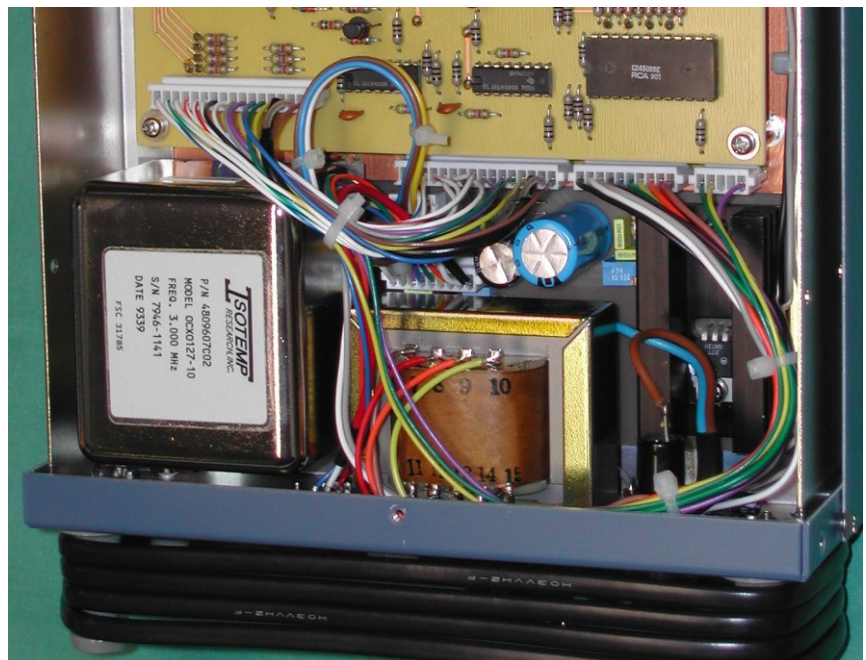


Abb.10: Oberseite des umgebauten Zählers

Stabiler Quarzoszillator

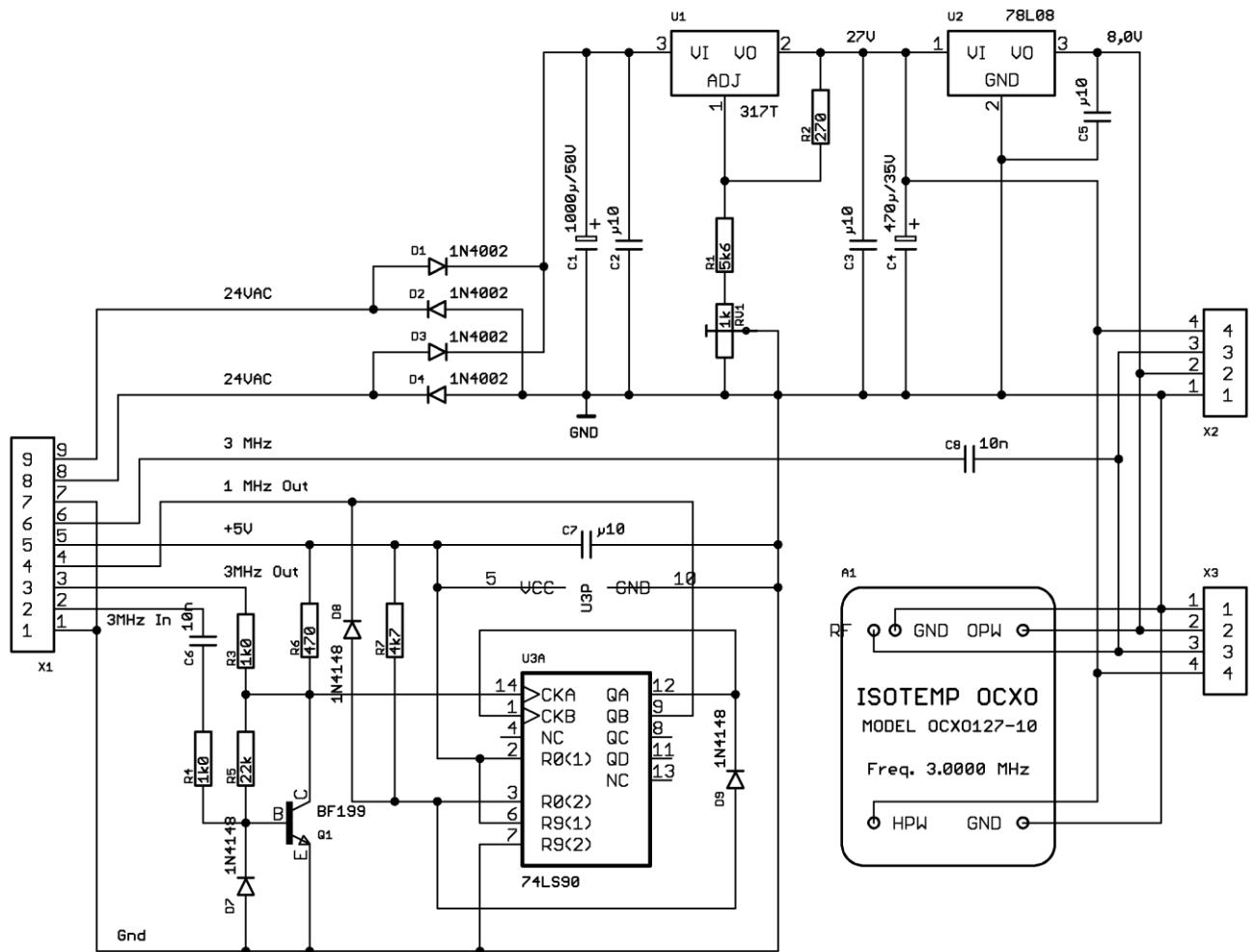


Abb.11: Schaltbild von Stromversorgung, Oszillator und Teiler

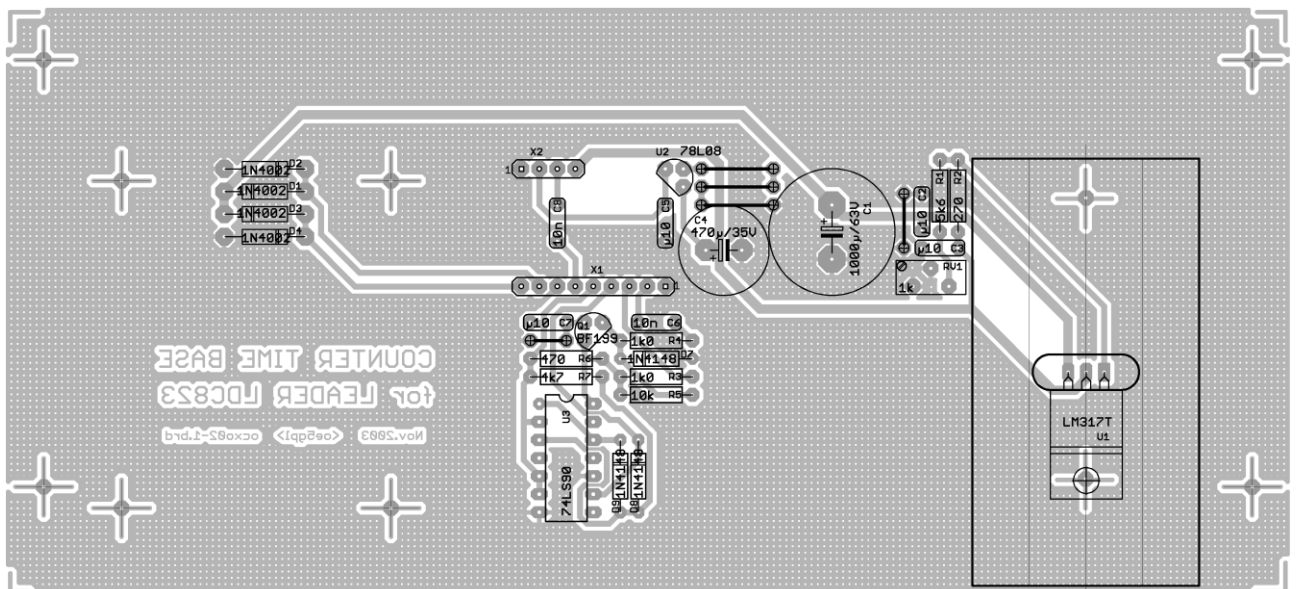


Abb.12: Bestückungsplan Stromversorgung & Teiler

Etwa in der Mitte der Leiterplatte fallen drei nebeneinander liegende Brücken auf. Will man aus irgendeinem Grund den Oszillator des OCXO mit einer höheren Spannung als 8 V betreiben, dann sind anstatt der Brücken Dioden oder Zenerdioden einzubauen, mit denen der gewünschte Spannungsunterschied eingestellt wird.

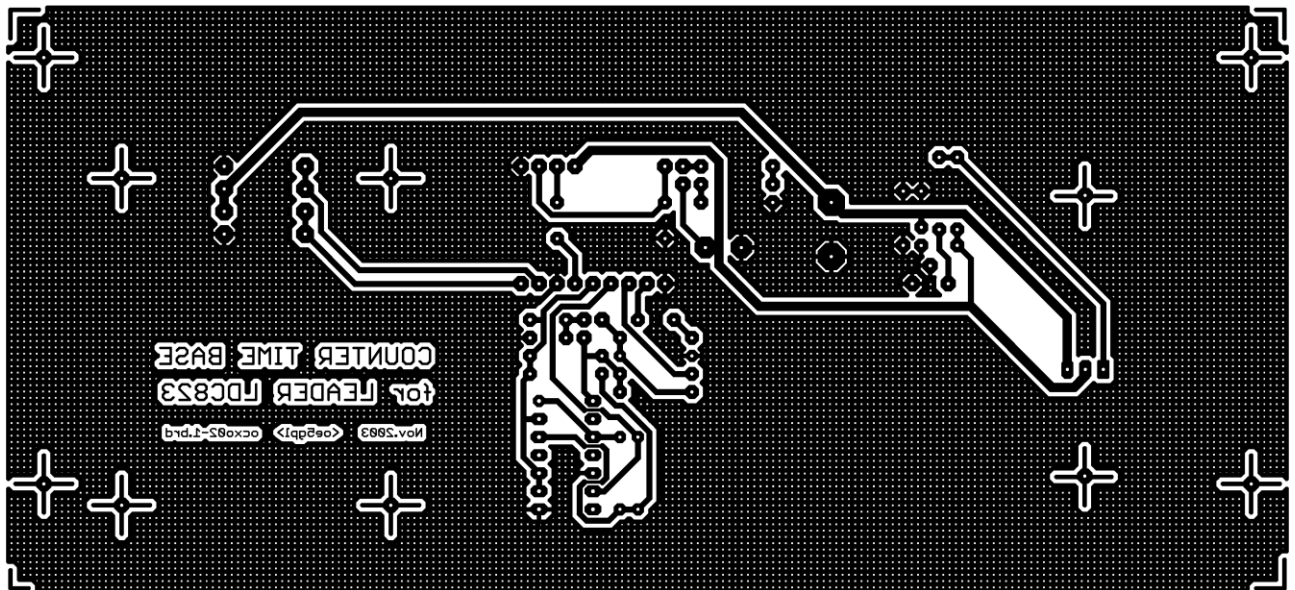


Abb.13: Leiterplatten-Layout der Stromversorgung und des Teilers

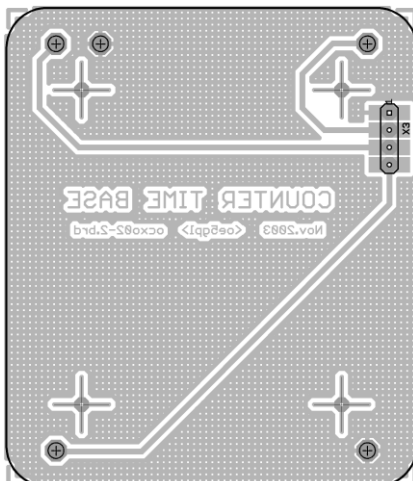


Abb.14: Bestückungsplan Oszillator

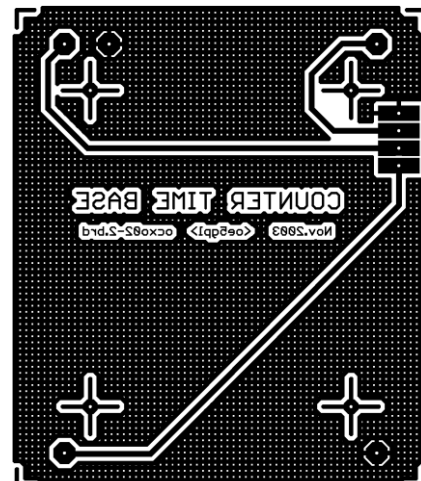


Abb.15: Leiterplatten-Layout für den Oszillator

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, daß mit einfachen Mitteln Quarzoszillatoren zu bauen sind, die durchaus auch erhöhten Anforderungen an die Stabilität genügen. Ebenso werden Hinweise gegeben, wie sich die Stabilität noch weiter verbessern läßt.

Beim Entwurf solch beheizter Oszillatoren gibt es augenscheinlich 2 Denkweisen:

- Die massearme und nach außen hin gut isolierte Bauart hat den Vorteil des geringen Energieverbrauchs, Temperaturschwankungen der Umgebung erfordern ein rasches Reagieren der Heizung. Die Nennfrequenz wird in der Art der Ladekurve eines Kondensators erreicht. Beispiel: Eigenbau-Oszillator.

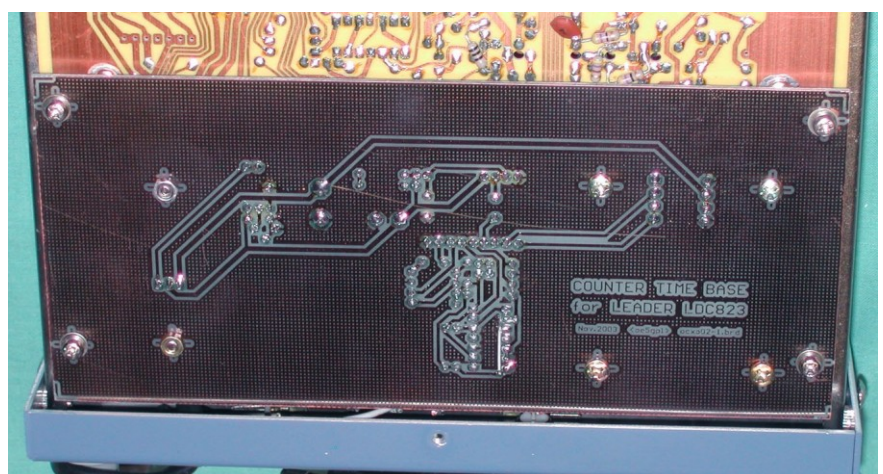


Abb.16: Unterseite des umgebauten Zählers

Stabiler Quarzoszillator

- Die massereiche Bauart braucht zum raschen Aufheizen und auch im Dauerbetrieb vergleichsweise viel Energie. Die Frequenz läuft nach dem Einschalten zuerst einmal über die Nennfrequenz hinaus. Temperaturänderungen der Umgebung wirken sich wegen der größeren Masse nicht so unmittelbar aus und die Heizung hat Zeit, zu reagieren. Beispiel: Oszillator von ISOTEMP

Obwohl sämtliche Unterlagen verfügbar sind, ist der Beitrag nicht als detaillierte Baubeschreibung gedacht; er soll vielmehr die Überlegungen aufzuzeigen, die einem erfolgreichen Umbau vorausgehen. Zudem soll er dem Leser Mut machen, seine eigenen Ideen bei einem Probeaufbau zu verwirklichen – Leiterplatten sind ohne großen Aufwand herzustellen [7].

Die Verwendung der Oszillatoren ist selbstverständlich nicht auf die angeführte Zählertype beschränkt, sondern ist in allen Geräten denkbar, wo der notwendige Platz und die passende Stromversorgung vorhanden sind.

Helmut, OE5GPL

Literatur und Verweise:

- [1] A. Kösling, DJ2JG und K.H. Hille, DL1VU, FUNK 2000, Heft 02, Seiten 58-60: Die Temperaturstabilität von Transceivern
- [2] WIKIPEDIA, Keramikkondensator: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoff-Keramikkondensator>
- [3] WIKIPEDIA, Kunststoff-Folienkondensator: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoff-Folienkondensator>
- [4] WIKIPEDIA, Glimmerkondensator: <http://de.wikipedia.org/wiki/Glimmerkondensator>
- [5] B. Neubig, DK1AG: Quarz-Kochbuch
- [6] Internetseite des Oberösterreichischen Amateurfunkverbandes OAFV, Stabiler Quarzoszillator: <http://www.oe5.oevsv.at/technik/messen/hf/>
- [7] Internetseite des OAFV, Leiterplatten selbst herstellen – wirklich keine Kunst: <http://www.oe5.oevsv.at/technik/werkstatt/tipps/>