

Nachrüstung einer OCXO-Zeitbasis in Meßgeräten

Helmut Stadelmeyer

Es wird der Einbau einer temperaturgeregelten Zeitbasis in Meßgeräte unter Verwendung eines preisgünstigen OCXO beschrieben. Die erreichbare Genauigkeit liegt bei 10^{-8} , sie ist für die meisten Anwendungen im Amateurfunk mehr als ausreichend.

Hinweise für den Abgleich und für den Anschluß anderer Geräte, die ebenfalls eine Referenzfrequenz benötigen, werden gegeben. Die Unterlagen zum Nachbau der hier beschriebenen Baugruppen sind ebenfalls ein Teil dieses Beitrages

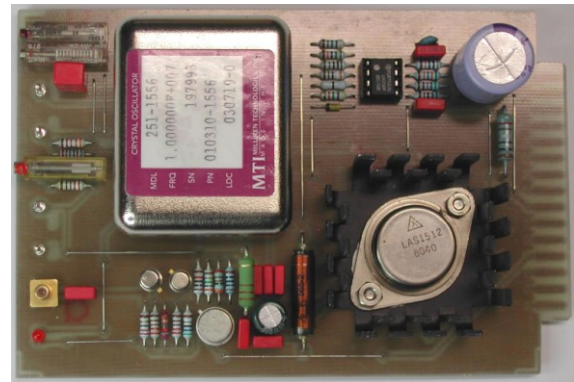


Abb. 1: Fertige Zeitbasis

An zwei Beispielen wird gezeigt, wie man alte Meßgeräte mit einer besseren Zeitbasis versehen kann. Diese Zeitbasis kann dann auch die übrigen Meßgeräte wie Zähler, Meßsender und sonstiges mit dem 10-MHz-Signal versorgen. Mikrowellen-Spezialisten werden einen HP 10811 verwenden wollen, den man bei eBay teuer erstehen kann. Für alle anderen Anwendungen wird ein OCXO mit Einfachthermostat genügen.

Zuerst ist die Zeitbasis eines selektiven Pegelmessers HP 3586 umgerüstet worden, der, wie das bei vielen HP-Geräten der Fall ist, seinen Oszillator auch dann mit Strom versorgt, wenn sich der Netzschalter am Gerät in der AUS-Stellung befindet. Das hat den Vorteil, daß am Meßplatz sofort ein stabiles 10-MHz-Signal zur Verfügung steht, an das Zähler und Signalgeneratoren angebinden werden können; man braucht nicht mehr warten, bis deren Oszillator eingelaufen ist. Der Nachteil soll auch nicht verschwiegen werden - dem Netz wird andauernd ein klein wenig Strom entnommen.

Von der Art des Oszillators hängt die Lang- und Kurzzeitstabilität eines Gerätes ab. Beheizte Oszillatoren werden in zunehmender Zahl bei eBay und auf Amateurfunk-Flohmärkten preisgünstig angeboten. Sie stammen zu einem großen Teil aus der Telekom-Technik und haben Kennwerte, von denen wir vor 20 Jahren noch geträumt haben. Besonders die Langzeitstabilität ist erstaunlich, wie die Überprüfung eines Zählers [1] unlängst gezeigt hat: die Frequenzabweichung bei 10 MHz hat nach fast eineinhalb Jahren und gelegentlichem Betrieb weniger als 0,5 Hz betragen – entsprechend $5 \cdot 10^{-8}$. Das ist besser als im Datenblatt angegeben. Kontrolliert wurde mit einer DCF77-Frequenzreferenz.

Zum Vergleich: übliche Quarzoszillatoren in Meß- und Funkgeräten haben eine Genauigkeit im Bereich von $1 - 5 \cdot 10^{-5}$ bei normaler und von $1 - 10 \cdot 10^{-6}$ bei guter Ausführung. Die Genauigkeit eines OCXO mit Einfachthermostat ist also um 2 oder gar 3 Zehnerpotenzen besser, einer mit Doppelthermostat wie der HP 10811 hat nochmals eine um den Faktor 10 bessere Kurzzeitstabilität. Die Meßgerätehersteller bieten diese guten Oszillatoren fast immer als Option an und nur selten hat man das Glück, ein Gerät mit eingebauter Option zu bekommen. Geräte ohne eingebaute Option sind jedoch mit ein wenig Geschick fast immer leicht aufzurüsten. Der Beitrag zeigt, daß der Aufwand für solch eine erhebliche Verbesserung nicht besonders groß ist.

Schaltung

Das Schaltbild ist mit etlichen Änderungen von der Option 004 des HP 3586 übernommen (fast alle alten HP-Geräte haben den unschätzbaren Vorteil, daß auf der Internet-Seite von AGILENT die Manuals zum Herunterladen angeboten werden). Geändert sind:

- die Spannungsteiler beim Strommeßwiderstand R1 – Originalwerte sind nur schwer beschaffbar
- Spannungsregler U1 – angepaßt an den OCXO; U1 ist jetzt mit Fingerkühlkörper versehen
- Siebung nach dem Spannungsregler U1
- Fabrikat und Type des OCXO; hier wird ein MTI251 von MILLIREN verwendet [2]
- Grob- und Feinjustierung für den OCXO

OCXO-Zeitbasis für Meßgeräte

- Ausgangsstufe für sinusförmige Spannung
- bei Halbleitern kommen leicht beschaffbare Vergleichstypen zur Anwendung.

OCXOs nehmen in den ersten Minuten nach dem Einschalten verhältnismäßig viel Strom auf; je nach Hersteller kann das durchaus mehr als 1 A sein. Erreicht die Temperatur im Inneren annähernd den vorgegebenen Wert, dann geht der Strom rapide zurück. Im Dauerbetrieb verbraucht ein solches Bauteil bei 25 Grad Umgebungstemperatur je nach Größe und Ausführung zwischen 0,5 und 3 W.

Der Spannungsabfall an R1 wird durch U2 mit einem an RV1 einstellbaren Wert verglichen. Ist der Strom groß, dann schließt Q2 den 10-MHz-Ausgang gegen Masse kurz, Q3 zieht den Signalausgang an X1/4 gegen Masse und D1 leuchtet. Der 10-MHz-Ausgang wird erst freigegeben, wenn der Strom annähernd auf seinen Normalwert zurückgegangen ist.

Die Daten des MTI251 sind recht ähnlich den Produkten anderer Hersteller und insgesamt beeindruckend:

- Eine Umgebungstemperaturänderung von -30 auf +70 Grad C bewirkt lediglich eine Frequenzänderung in der Größenordnung von 10^{-8}
- Die Änderung der Versorgungsspannung um 10 % hat eine Frequenzänderung von weniger als $1 \cdot 10^{-9}$ zur Folge
- Eine Laständerung von 10 % ändert die Frequenz um weniger als $1 \cdot 10^{-9}$
- Durch Alterung hervorgerufene Änderung der Frequenz: pro Tag $1 \cdot 10^{-9}$, pro Jahr $1 \cdot 10^{-7}$. Dabei handelt es sich um garantierte Werte, die tatsächlichen sind besser, wie der oben angeführte Versuch zeigt.
- Die Kurzzeitstabilität liegt in der Größenordnung von 10^{-11}
- Die Aufwärmzeit bis zum Erreichen von $2 \cdot 10^{-8}$ beträgt weniger als 10 Minuten

Geht man davon aus, daß der OCXO eine annähernd gleichbleibende Last speist, dann bräuchte er seiner Spezifikation nach den Ausgangstreiber eigentlich nicht, weil die durch Laständerung hervorgerufene Frequenzänderung sehr gering ist. Es ist aber durchaus denkbar, daß man ein Gerät, das normalerweise mit seiner Zeitbasis mehrere andere Geräte versorgt, auch einmal auswärts einsetzen will. Das hat dann eine wesentliche Änderung der Lastverhältnisse und damit auch der Frequenz zur Folge. Nicht umsonst macht HP diesen Ausgangstreiber, der die Rückwirkung einer Laständerung weitgehend unterdrückt.

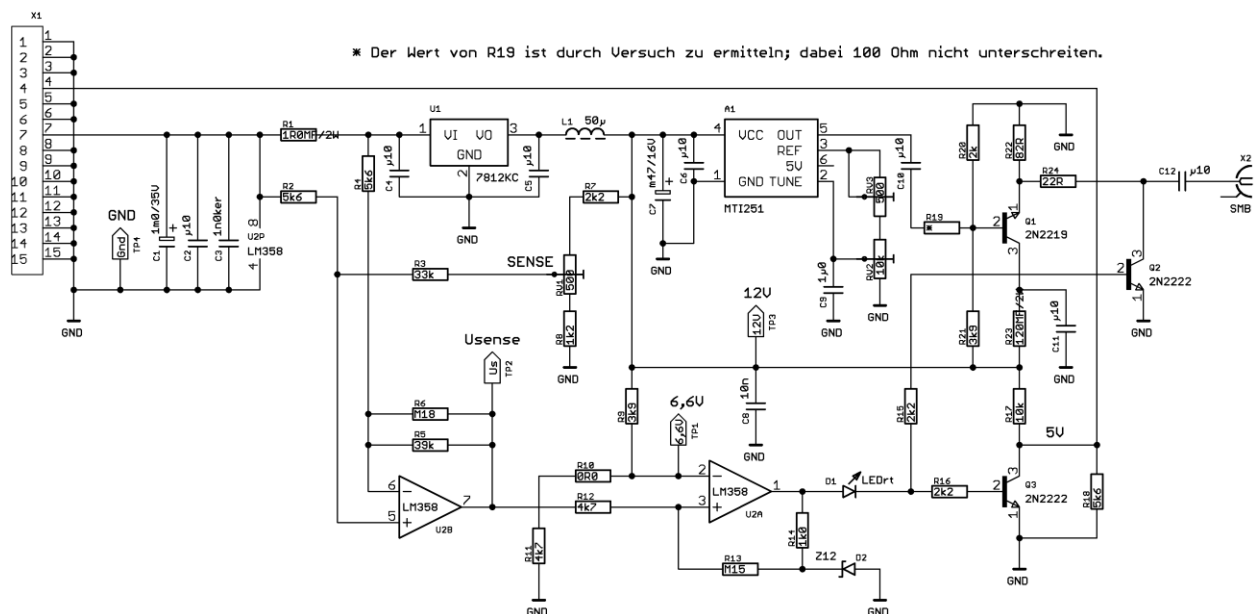


Abb. 2: Schaltbild der Zeitbasis

Weil dieser OCXO ein sinusförmiges Signal mit einer Leistung von 9 dBm liefert, ist der Ausgangstreiber angepaßt worden: die Basis von Q1 liegt durch den Spannungsteiler R20, R21 auf etwa 3,8 V; zwecks

OCXO-Zeitbasis für Meßgeräte

besserer Leiterbahnführung wurde anstatt eines PNP-Transistors ein NPN-Typ gewählt und die Ausgangsbeschaltung ist geändert. Die Stufe arbeitet als Impedanzwandler auf ungefähr 25 Ohm.

Die verschiedenen Betriebszustände des Ausgangstreibers sind mit dem Programm LTspice [3] überprüft worden (offener Ausgang, ohm'scher Abschluß mit 50 und 12,5 Ohm, kapazitive Last von 1 nF parallel zur ohm'schen Last sowie Kurzschluß). Die Bauteile sind so gewählt, daß sie in keinem Betriebszustand überlastet werden und bei sinusförmigem Eingang das Ausgangssignal bei diesem OCXO in allen Belastungsfällen ebenfalls eine angenäherte Sinusform hat. Auch mit einem Rechtecksignal kommt der Ausgangstreiber zurecht.

Leiterplatte

Der leichten Herstellung wegen kommt eine einseitige Platine zum Einsatz. Um die Masse-Leiterbahnen nicht unnötig zu unterbrechen, ist eine Anzahl von Brücken notwendig. So wie beim Original sind Meßpunkte, Abgleichelemente und HF-Anschluß leicht zugänglich am oberen Ende der Steckkarte angeordnet. Die Widerstände R1 und R23 sind mit 10 mm Abstand zur Leiterplatte einzusetzen.

Die Leiterplatte paßt beim HP 3586 in die Steckleiste XA16 des Motherboards. Für andere Geräte ist sie den jeweiligen Gegebenheiten anzupassen, was einen neuen Entwurf notwendig machen wird. Weil aber sowohl bei der Stromüberwachung als auch beim Ausgangstreiber die Bauteile in der Art eines Moduls gruppiert sind, wird man ihre Anordnung im wesentlichen vielleicht beibehalten können. Den genauen Maßen und der Anschlußbelegung einer allfälligen Steckverbindung ist allergrößtes Augenmerk zu widmen.

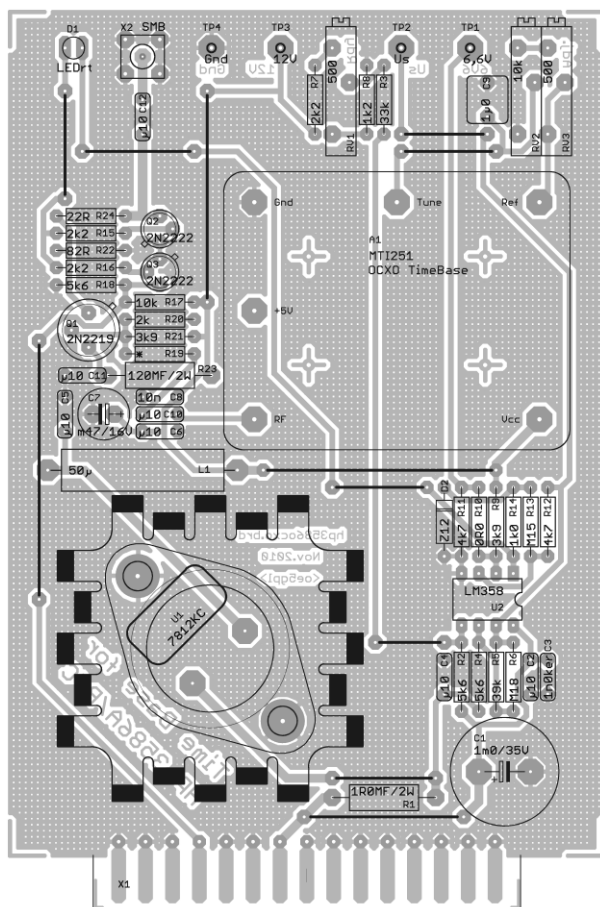


Abb. 3: Bestückungsplan

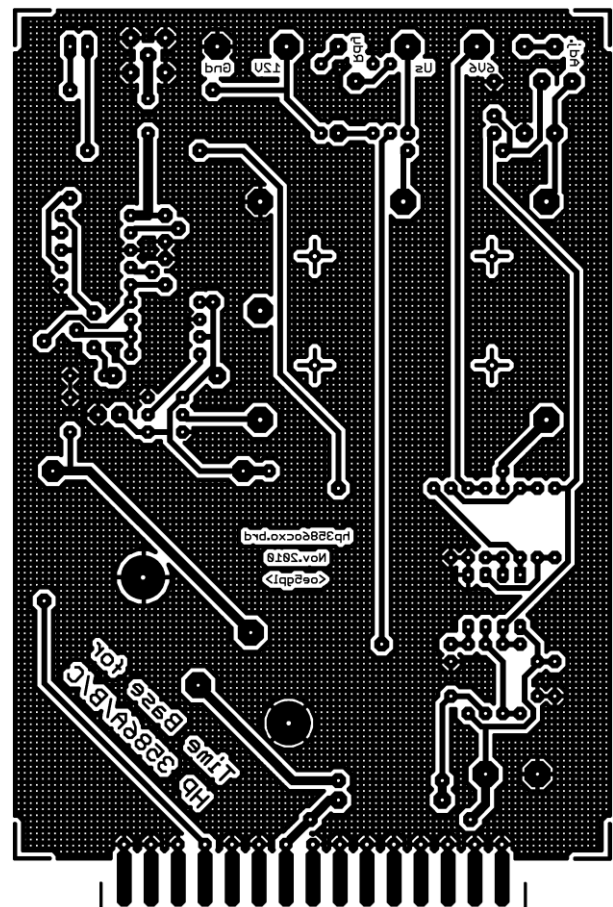


Abb. 4: Leiterplatten-Layout (nicht maßstabgetreu)

Abgleich

Die Stromaufnahme des warmgelaufenen OCXO ist bei Zimmertemperatur zu ermitteln. Er soll dabei nicht mit dem Gehäuse flach auf der Tischplatte liegen, weil dann das Warmlaufen unnötig lange dauert

OCXO-Zeitbasis für Meßgeräte

(gefaltetes Papier zur thermischen Isolierung unterlegen). Gemessenen Strom mit 1,1 multiplizieren, 120 mA hinzurechnen und den Wert notieren. Die 10 Prozent sind ein Sicherheitszuschlag für etwas niedrigere Umgebungstemperatur, bei der der OCXO seine Heizleistung erhöht. Wird die Baugruppe voraussichtlich öfter in kühler Umgebung betrieben, ist der Sicherheitszuschlag anzupassen. 120 mA verbrauchen Ausgangstreiber, Stromüberwachung und Spannungsregler im Kurzschlußfall.

Die Baugruppe ist bis auf den OCXO fertigzustellen. Den Schaltpunkt für die Freigabe des 10-MHz-Signals stellt man wie folgt ein:

- Baugruppe aus einem Netzgerät mit 23 V DC versorgen
- einstellbaren Widerstand (Schiebewiderstand oder elektronische Last) anstatt des OCXO anschließen und Strom auf den notierten Wert einstellen
- RV1 so einstellen, daß die LED leuchtet, anschließend so justieren, daß sie gerade erlischt
- durch Verändern des einstellbaren Widerstandes den Strom beim Ausschaltpunkt der LED überprüfen.

Die Baugruppe ist anschließend mit dem OCXO zu vervollständigen. Zwischen ihm und dem Ausgangstreiber ist sehr wahrscheinlich eine Pegelanpassung notwendig, um den Ausgangstreiber nicht zu übersteuern, weil sonst das Signal stark verzerrt wird. Durch passende Wahl von R19 stellt man die Ausgangsleistung der Baugruppe bei einer Last von 50 Ohm auf ungefähr 7 dBm ein (entspricht 5 mW). Dazu ist ein kalibrierter Netzwerktester mit seiner Leistungsmeßfunktion das richtige Meßinstrument. Die Kurvenform sollte man mit einem Oszilloskop, das wenigstens 50 MHz Bandbreite hat, kontrollieren.

OCXOs unterscheiden sich nicht nur in der Baugröße, sondern ebenso durch unterschiedliche Ausgangsleistung und durch die Art ihres Ausgangssignals: viele liefern ein Sinussignal, es gibt jedoch ebenso welche, die ein TTL-Signal ausgeben. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, für Nachbauwillige hier genauere Angaben zum erforderlichen Wert von R19 zu machen. Ein Weg, der ohne Lötarbeit zum Ziel führt, ist die Simulation der Schaltung mit LTspice. Nachstehend eine Bildschirmkopie, die für die gegenständliche Baugruppe mit einem Sinussignal gilt und eine zweite für einen Oszillator mit TTL-Signal (Abb. 5 und 6).

Die Kurven haben folgende Bedeutung:

- V(a) Eingangsspannung an der Basis von Q1 (schwarze Linie, Punkt A)
V(d) Spannung am Lastwiderstand RL (braune Linie, Punkt D)
I(RI) Strom durch RL (rote Linie)
V(D)*I(RL) Leistung an RL (grüne Linie)

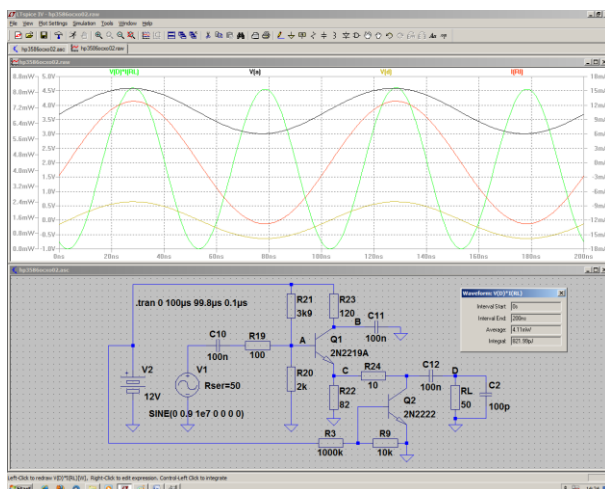


Abb. 5: Ermittlung von R19 bei einem Eingangssignal von 9 dBm Sinus

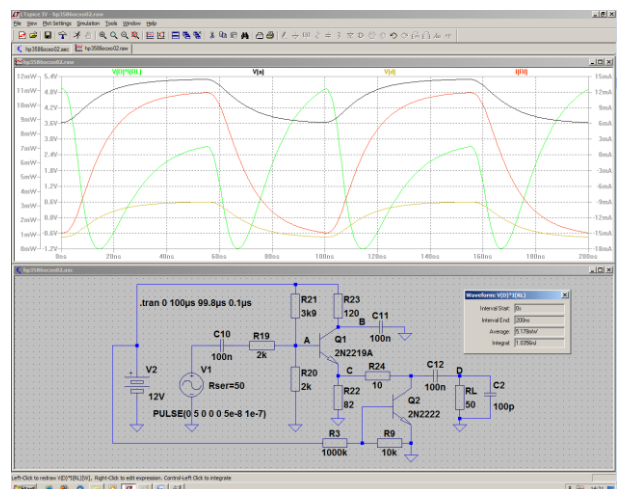


Abb. 6: Ermittlung von R19 bei einem TTL- Eingangssignal

An der Linie für die Leistung erkennt man sehr gut, ob das vom OCXO kommende Signal vom Ausgangstreiber fehlerfrei verarbeitet wird: sind bei oberer und unterer Halbwelle von Strom und Spannung die

OCXO-Zeitbasis für Meßgeräte

Leistungsspitzen gleich groß so wie in Abb. 5, dann liegt lineare Verarbeitung vor. Mit dieser Simulation hat sich beim MTI251 für R19 ein Wert von 100 Ohm als richtig herausgestellt. Beim TTL-Signal in Abb. 6 wird bereits am Basisspannungsteiler das Tastverhältnis des Signals einigermaßen verfälscht (die obere Halbwelle ist breiter), man bräuchte für R19 einen Wert von 2000 Ohm, um auf 5 mW zu kommen. Der neugierige Leser wird nun wissen wollen, wie genau die Simulation mit der Wirklichkeit übereinstimmt. Die eindeutige Antwort: überraschend genau, denn die Leistungsmessung hat 4,3 mW ergeben!

Zum Frequenzabgleich braucht man ein Zweikanal-Oszilloskop, einen Frequenzzähler und selbstverständlich eine Frequenzreferenz. Das kann ein sehr guter Vergleichsoszillator, eine DCF77- oder eine GPS-gesteuerte Zeitbasis, ein Rubidiumoszillator oder was noch Besseres sein. Die Genauigkeit der Referenz soll zumindest um eine Größenordnung über der angestrebten Genauigkeit liegen, $1 \cdot 10^{-9}$ ist in den meisten Fällen ausreichend.

Der Zähler, die Referenz und die fertige Zeitbasis-Baugruppe (nachfolgend „Prüfling“ genannt) sind wenigstens zwei Stunden, noch besser einen Tag vor dem Abgleich einzuschalten. Der Zähler ist sodann an die Referenz anzuschließen und auf eine Anzeige von 10.000.000 Hz zu justieren. Anschließend wird anstatt der Referenz der Prüfling angeschlossen und so eingestellt, daß der Zähler wiederum die 10 MHz anzeigt. Damit ist der Grobabgleich beendet.

Zum Feinabgleich ist das Signal der Referenz an einen Kanal des Oszilloskops und das Signal des Prüflings an den anderen anzuschließen, die Triggerung erfolgt durch einen der beiden Kanäle. Verwendet man anstatt der Tastköpfe eine direkte Verbindung mit 50-Ohm-Koaxialkabel, dann sollen diese Kabel am Oszilloskop über T-Stücke mit 50 Ohm abgeschlossen werden, um eine einigermaßen richtige Darstellung der Kurvenform zu erhalten.

Die Horizontalablenkung wird so eingestellt, daß ein oder zwei volle Perioden angezeigt werden. Die Anzeige läuft nun nach links oder rechts über den Schirm. RV2 ist so zu justieren, daß die Anzeige möglichst stillsteht; ein Feinabgleich ist mit RV3 möglich. Braucht die Anzeige beim Wandern von einem Maximum zum nächsten 10 Sekunden oder mehr, ist das Ziel von $1 \cdot 10^{-8}$ auch schon erreicht.

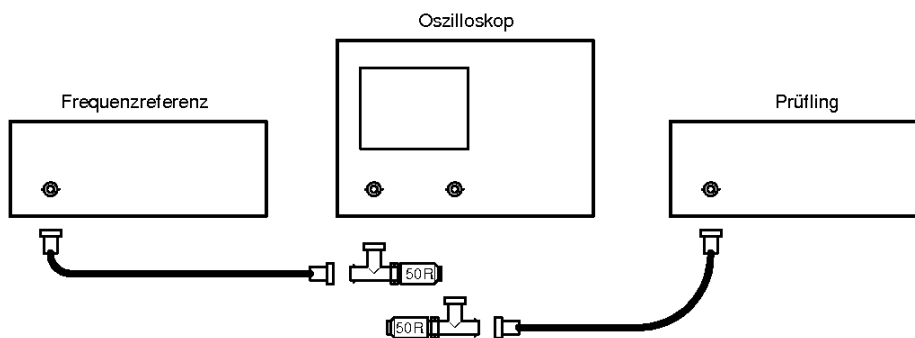


Abb. 7: Geräteanordnung für den Abgleich

Warum die Zwischenstufe mit dem Zähler und nicht gleich das Oszilloskop? Ist der Frequenzunterschied der beiden Signale zu groß, dann ist nicht feststellbar, ob das Signal nach links oder nach rechts läuft, ein Abgleich ist in diesem Fall Glückssache. Zudem könnte es sich um einen defekten OCXO handeln, der eine zu große, nicht korrigierbare Abweichung hat. Mit dem Zähler ist das eindeutig feststellbar.

Will man eine Zeitbasis um eine Zehnerpotenz genauer abgleichen, wird die Angelegenheit aufwendig, wobei man immerhin noch zwischen Zeit- und Geräteaufwand wählen kann:

Im ersten Fall ist der Prüfling so zu justieren, daß der Durchlauf über eine volle Periode mehr als 100 Sekunden dauert und nach jeder Korrektur muß man abwarten, ob die richtige Einstellung getroffen worden ist. Insgesamt wird sich ein Abgleich in dieser Art hinziehen.

Rascher geht das bei Verwendung eines 100-MHz-Oszilloskops und zweier Synthesizer-Signalgeneratoren, deren Ausgangssignal ebenfalls von einem 10-MHz-Mutteroszillator abgeleitet ist. So gut wie alle solchen Geräte haben einen Eingang für ein externes 10-MHz-Signal. Ein Generator erhält sein Taktsignal von der Frequenzreferenz, der andere vom Prüfling; beide sind auf 100 MHz einzustellen. Die Aus-

OCXO-Zeitbasis für Meßgeräte

gangssignale der Generatoren sind wieder den beiden Kanälen des Oszilloskops zuzuführen. Ein 10-Sekunden-Durchlauf ergibt nun $1 \cdot 10^{-9}$, einer mit 100 Sekunden $1 \cdot 10^{-10}$.

Hat man Zugang zu einem Vektoranalysator, der die Phasendifferenz auf 0,1 Grad genau anzeigt, dann ist bei 10 MHz ein Vergleich der beiden Frequenzen mit einem Fehler von etwa $5 \cdot 10^{-11}$ innerhalb einer Minute möglich. In jedem Fall sollte nach erfolgreichem Abgleich die gesamte Anordnung unverändert mehrere Stunden in Betrieb bleiben, die Geschwindigkeit der Phasenänderung ist dabei hin und wieder zu kontrollieren.

Andere Geräte

Weil das Nachrüsten beim HP 3586 so problemlos gegangen ist, kam gleich noch ein HP 3336 dran. In diesem Gerät ist etwas mehr Platz, es bekam deshalb einen älteren, aber guten und etwas größeren OCXO von SCHOMANDL auf einer waagrecht liegenden Leiterplatte serviert. Nachstehend Schaltbild, Bestückungsplan und Leiterplattenlayout. Am Bestückungsplan erkennt man schön, daß die Anordnung der Bauteile bei Stromüberwachung und Ausgangstreiber recht ähnlich wie in Abb. 3 ist.

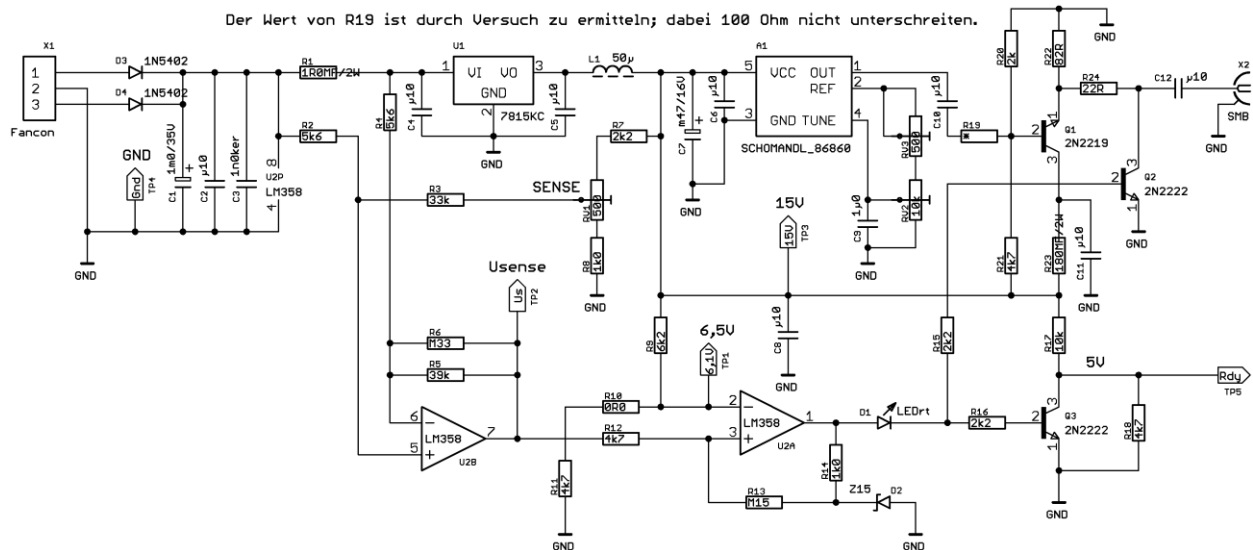


Abb. 8: Schaltbild der Zeitbasis für den HP 3336B

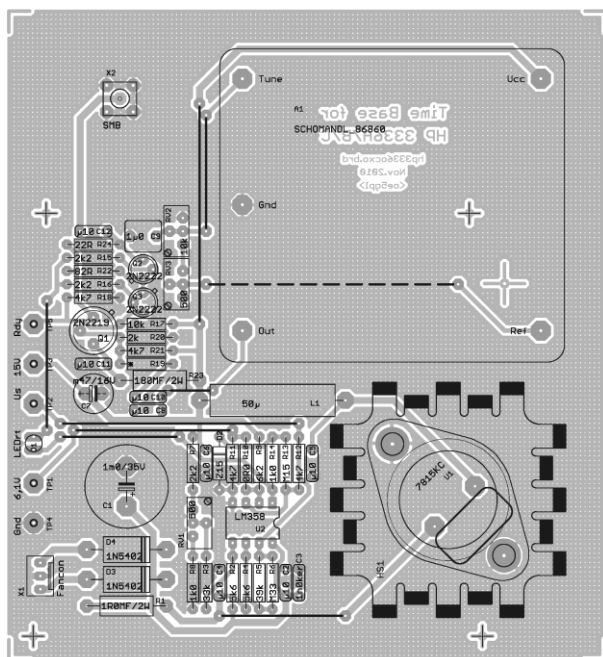


Abb. 9: Bestückungsplan

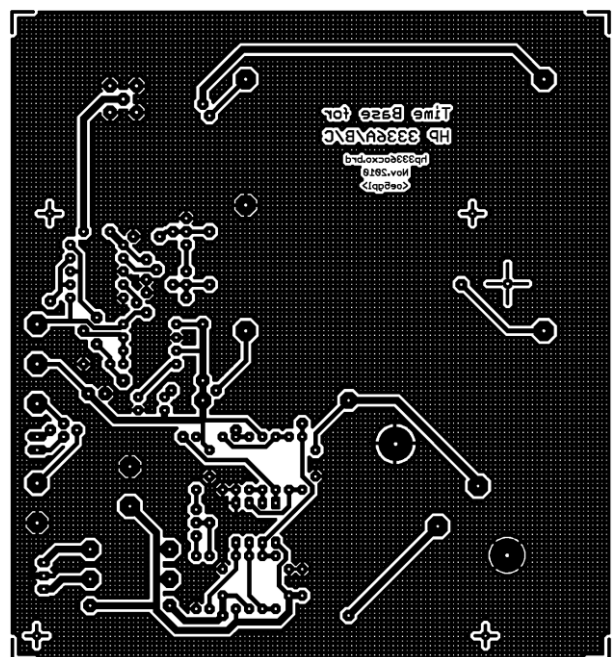


Abb. 10: Leiterplatten-Layout (nicht maßstabgetreu)

Anordnung am 10-MHz-Bus

Sollen mehrere Geräte mit der Referenzfrequenz versorgt werden, dann ist die Verkabelung so wie beim mittlerweile nicht mehr gebräuchlichen 10-MHz ThinEthernet Bussytem auszuführen: die Teilnehmer sind der Reihe nach ‚aufgefädelt‘ und über BNC-T-Stücke angeschlossen. Wenn beim letzten Teilnehmer der Eingang für die externe Zeitbasis hochohmig ist, dann ist dort ein 50-Ohm-Abschlußwiderstand anzubringen, damit das Kabel impedanzrichtig abgeschlossen ist. Die hier beschriebenen Zeitbasen können ohne weiteres vier oder mehr Geräte versorgen, auch wenn 50-Ohm-Eingänge darunter sind. Wegen des erforderlichen Pegels sind im Zweifelsfall die Manuals der Geräte zu konsultieren.

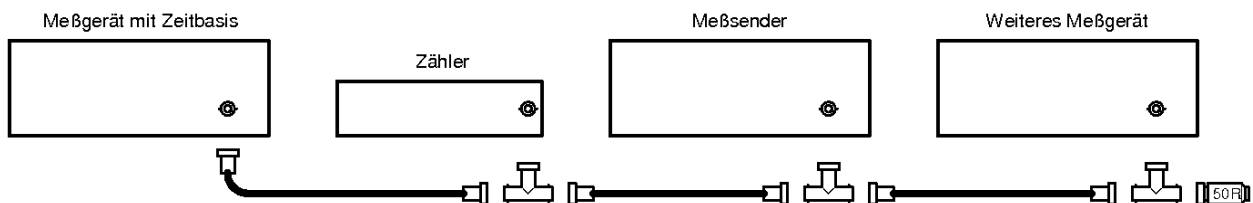


Abb. 11: Anschluß zusätzlicher Geräte an die Zeitbasis

Zur Verteilung des Sinussignals auf andere Geräte wird in diesem Fall billiges RG58-Kabel aus der alten Netzwerktechnik genügen. Hat man einen OCXO, der ein Rechtecksignal liefert, dann ist zu überlegen, ob nicht ein Kabel mit besserem Schirmmaß zweckmäßig ist. Die Oberwellen des 10-MHz-Signals können sonst ein Anlaß für Störungen sein.

Unterlagen

Die Leiterplatten-Layouts, Bestückungspläne und gut leserliche Schaltpläne sind in der gepackten Datei ‚ocxotb01.zip‘ enthalten, ebenso ein Vergleichsmaßstab zum Überprüfen der Maßhaltigkeit des Druckers. Eine allfällige Änderung der Vergrößerung läßt sich in der *.ps-Datei vornehmen. Wie man mit der *.ps-Datei verfährt, ist bei [4] im Verzeichnis „TIPPS“ unter „Leiterplattenentwurf“ nachzulesen. Bei der Anfertigung der Leiterplatten ist unbedingt darauf zu achten, daß die Abmessungen genau eingehalten werden, denn Steckleisten und andere große Bauteile verzeihen nur Fehler von wenigen Zehntel-millimetern.

Helmut, OE5GPL

Verweise und Quellen:

- [1] OAFV-HomePage, TECHNIK / MESSEN / SONSTIGES, Stabiler Quarzoszillator: <http://www.oe5.oevsv.at>
- [2] MTI-Milliren Technologies, Inc.: <http://www.mti-milliren.com/>
- [3] Linear Technology Corporation: <http://www.linear.com/designtools/software/>
- [4] OAFV-HomePage, TECHNIK / WERKSTATT / TIPPS, Leiterplattenentwurf, Leiterplattenherstellung: <http://www.oe5.oevsv.at>