

Stefan Steger, DL7MAJ, Gulbranssonstr. 20, D-81477 München
 Tel.: 089/7900920 e-Mail: stefan.steger@t-online.de AX25: DL7MAJ@DB0PV.#BAY.DEU.EU
 Homepage: <http://home.t-online.de/home/stefan.steger/homepage.html>

Frequenznormal mit ZDF-Fernsehsignal

Das Frequenznormal und die Genauigkeit

Die Horizontalfrequenz (15.625Hz) des ZDF-Fernsehsignals wird in der Sendezentrale in Mainz ("Taktzentrale") mit einem Rubidium-Atomfrequenznormal synchronisiert, das zusätzlich über das DCF77-Signal gesteuert wird. Der Vorteil des Fernsehsignals gegenüber dem bekannten DCF77-Signal liegt in der Amplitudenkonstanz der Horizontalimpulse, die auch in der Vertikal-Austastlücke weiterlaufen. Deshalb bietet sich das ZDF-Signal als Frequenzreferenz an. Die Genauigkeit ist besser als 1×10^{-11} und somit "ausreichend". Dieser Wert wird jedoch nur über einen langen Zeitraum (bis zu 24 Stunden) erreicht, die Kurzzeitgenauigkeit (Minutenbereich) ist wegen der Einflüsse des Empfangsweges ("Phasenjitter") -insbesondere bei Sat-Empfang- schlechter (siehe Anhang).

Das Schaltungsprinzip

In Bild1 ist das Blockschaltbild der Schaltung gezeigt:

Der 10MHz-Quarzoszillator kann in geringem Umfang frequenzgesteuert werden. Über die Teiler 1:10 (IC3) und 1:64 (IC2) liefert er 15625Hz an den Phasenvergleicher (IC1). Über Puffer-IC's werden auch die Ausgangssignale 10MHz und 1MHz herausgeführt.

Die Horizontalimpulse des Fernsehsignals (Referenz) werden in Q3 verstärkt, durch das Monoflop IC5b auf eine feste Impulsbreite von ca. 30µs gebracht und ebenfalls dem Phasenvergleicher zugeführt. Der Phasenvergleicher ist ein kombinierter Frequenz- und Phasenvergleicher. Bei großen Frequenzunterschieden arbeitet er als Frequenzdiskriminator und schaltet bei Frequenzgleichheit auf Phasenvergleich um. Verglichen werden die positiven Flanken an den Eingängen CIN und SIGIN. Mit einer Einschwingzeit von bis zu mehreren Minuten nach dem Einschalten synchronisiert sich der 10MHz-Quarzoszillator dann auf das Referenzsignal vom ZDF.

Die Schaltung

In Bild 3 ist die komplette Schaltung des Frequenznormales dargestellt. Q1 ist ein quarzgesteuerter 10MHz-Colpittsoszillator, der über die Kapazitätsdiode D1 in der Frequenz gesteuert werden kann. C1 ist so bemessen, daß der Abstimmbereich gerade ausreicht, die Drift des Oszillators zu stabilisieren und sollte so klein wie möglich sein, damit der Einfluß der Kapazitätsdiode auf den Quarz wegen der Kurzzeitstabilität möglichst gering ist. Die Abstimmspannung an CP2 sollte 3,2V (+/- 0,5V) betragen. Über die Teilerkette IC3 und IC2 werden die gewünschten Frequenzen erzeugt. An den Ausgängen stehen die hochgenauen Frequenzen 10MHz und 1MHz zur Verfügung. Die 15.625Hz-Referenzfrequenz wird über Q3 verstärkt und triggert das Monoflop IC5B. Damit ist unabhängig von der Form des Eingangssignales immer ein Rechtecksignal mit konstanter Impulsbreite am Phasenvergleicher verfügbar.

Die Abstimmmanzeige

Eine Besonderheit ist die Abstimmmanzeige, die in Form eines schmalen vertikalen Balkens in das Fernsbild eingeblendet wird (Bild 6). Damit kann gleichzeitig die Qualität des Fernsehempfanges und das Synchronisieren des Quarzoszillators kontrolliert werden. Mit der doppelten Horizontalfrequenz -also zweimal pro Fernsehzeile- wird das Monoflop IC5A getriggert und erzeugt pro Zeile zwei je ca. 1µs lange Impulse. Jeder Impuls entspricht ca. 1/64 der Zeilendauer von 64µs. Ist der Quarzoszillator synchronisiert, liegt der eine Impuls exakt auf dem Horizontal-Synchronimpuls des Fernsehbildes und damit unsichtbar in der Horizontal-Austastlücke. Der 2.Impuls liegt ungefähr in der Bildmitte und ist immer sichtbar. Die horizontale Lage des Balkens muß nach einigen Minuten stabil sein, ein horizontales Wandern ist ein Hinweis auf Synchronprobleme.

Der Aufbau

Eine Platine nach Bild 4 ist vom Verfasser entwickelt und verfügbar, Genaueres auf meiner homepage unter "Platinenservice". Für den Nachbau auf einer Lochrasterplatine mit freier Verdrahtung kann das Layout auch verwendet werden. Tabelle 1 zeigt das benötigte Material.

Der Einbau

Das Mustergerät des Verfassers ist in einem kleinen portablen S/W-Fernsehempfänger eingebaut, wird das Frequenznormal ausgeschaltet, ist ungestörter TV-Empfang möglich.

Der Anschluß an den Fernsehempfänger

Jeder Fernsehempfänger ist anders aufgebaut, deshalb kann der Einbau und Anschluß nur schematisch dargestellt werden (Bild 2 und 5):

- Das Horizontalsignal wird aus der Ansteuerung der Horizontalendstufe gewonnen und sollte größer $0,1V_{SS}$ sein. Über einen Entkopplungswiderstand R2 -beim Verfasser 1kOhm- und ggf. einem Koppelkondensator für die Gleichspannungsabtrennung wird das Signal zur Platine geführt.
- Das Videosignal wird in die Video-Endstufe des Fernsehempfängers eingekoppelt. Je nach erforderlicher Phasenlage muß von JP5 "Video out" das positive oder negative TTL-Signal ausgekoppelt werden. Der Anschluß erfolgt über einen Entkopplungswiderstand R1 und ggf. einen Koppelkondensator C1 für die Gleichspannungsabtrennung. Beim Verfasser erfolgte der Anschluß an den Emitter des Video-Endstufentransistors mit $R1 = 3,3k\Omega$ (ohne C1).
- Stromversorgung (9 bis 15VDC - kann ungestabilisiert sein) und EIN-Schalter anschliessen.

Der Abgleich

Für den Abgleich ist ein Oszilloskop und ein hochohmiges Voltmeter oder Oszi (10M Ω) nötig. Alle Messungen erfolgen gegen Masse (CPGND).

1. Kontrolle des Horizontalsignales: Oszilloskop an CP1; R13 auf sauberes Rechtecksignal mit mind. $2V_{SS}$ einstellen. Am Ausgang von IC5B (Pin 6) muß ein ca. $30\mu s$ breiter Rechteckpuls sichtbar sein ($f=15.625Hz$).
2. Kontrolle des Quarzoszillators: Oszilloskop an CP3; es muß ein 10MHz-Signal mit ca. $1V_{SS}$ sichtbar sein.
3. Kontrolle der Teilerkette: Oszilloskop an JP2; es muß ein 10MHz-Signal (TTL) sichtbar sein. Oszilloskop an JP3; es muß ein 1MHz-Signal (TTL) sichtbar sein. Oszilloskop an CP4; es muß ein 15.625Hz-Signal (TTL) sichtbar sein.
4. Kontrolle der Regelschleife und Abgleich von C2: Hochohmiges Voltmeter (10M Ω) an CP2 (Abstimmspannung). Falls vorhanden, mit einem Zweikanaloszilloskop die Frequenz- und Phasenregelung beobachten: Kanal 1 an CP1, Kanal 2 an CP4, mit Kanal 1 triggern. ZDF-Empfang einstellen. Das Regelverhalten muß zu sehen sein, nach ca. 2-3 Minuten muß Kanal 2 relativ zu Kanal 1 stabil sein und sich an CP2 eine Spannung von ca. 3,2V einstellen. Falls nicht, muß C2 eingestellt werden. Im Mittel sollte die Abstimmspannung 3,2V betragen. Falls OK, weiter mit 6.
5. Falls die Regelung nicht synchronisiert, den Frequenzbereich des Quarzoszillators mit einem Zweikanaloszilloskop wie oben testen: Kanal 1 an CP1, Kanal 2 an CP4, mit Kanal 1 triggern. ZDF-Empfang einstellen. Externe Abstimmspannung (3,2V aus Netzgerät) an CP2 anschließen. Es muß möglich sein, mit einer Veränderung von C2 das Signal an CP4 höher und niedriger als 15.625Hz einzustellen (Kanal 2 muß nach links und nach rechts durchlaufen, je nach Stellung von C2). Falls das nicht klappt, ist der Regelbereich von C2 nicht ausreichend. Dann muß C1 oder ggf. der Quarz getauscht werden.
6. Optische Kontrolle der Abstimmanzeige: Der vertikale Balken muß sich nach einiger Zeit ungefähr in der Bildmitte einpendeln, der zweite Balken muß am Bildrand verschwinden und darf nicht mehr erscheinen (Bild 6).
7. Ausschalten und nach ca. 1 Minute wieder einschalten. Das Frequenznormal muß innerhalb von ca. 2-3 Minuten synchronisieren.
8. FERTIG!!

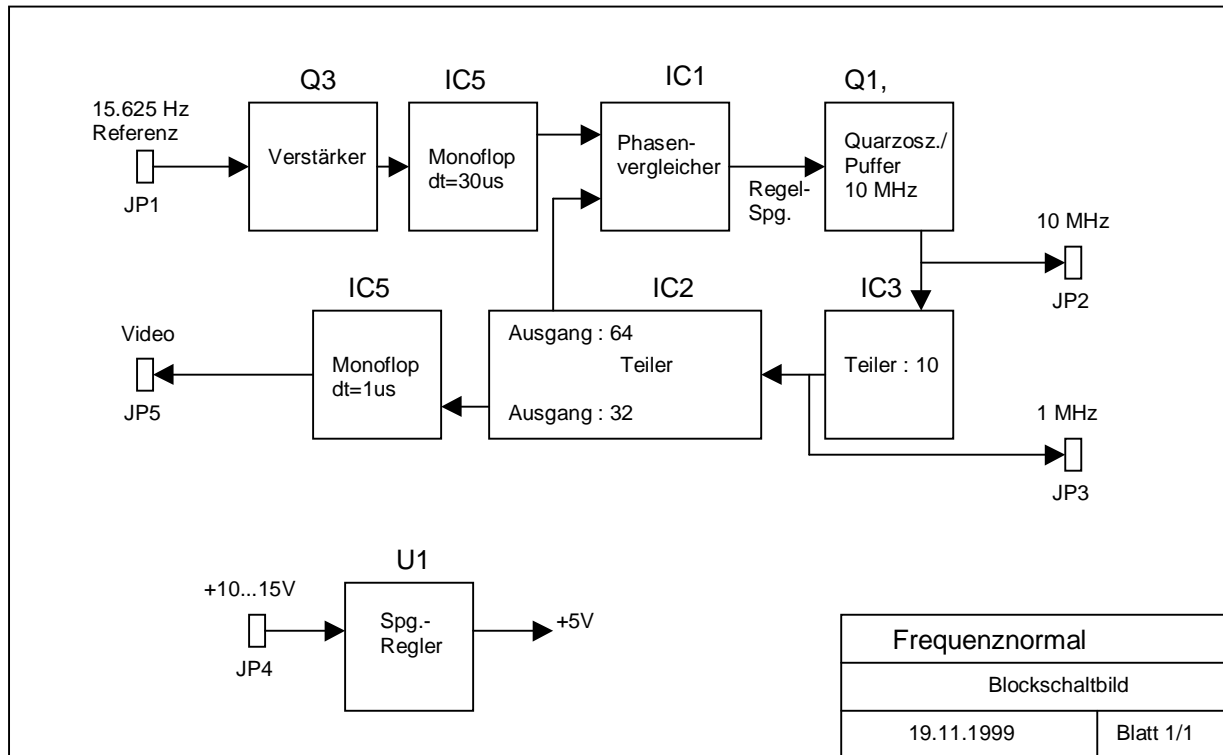


Bild 1 Blockschaltbild des Frequenznormals

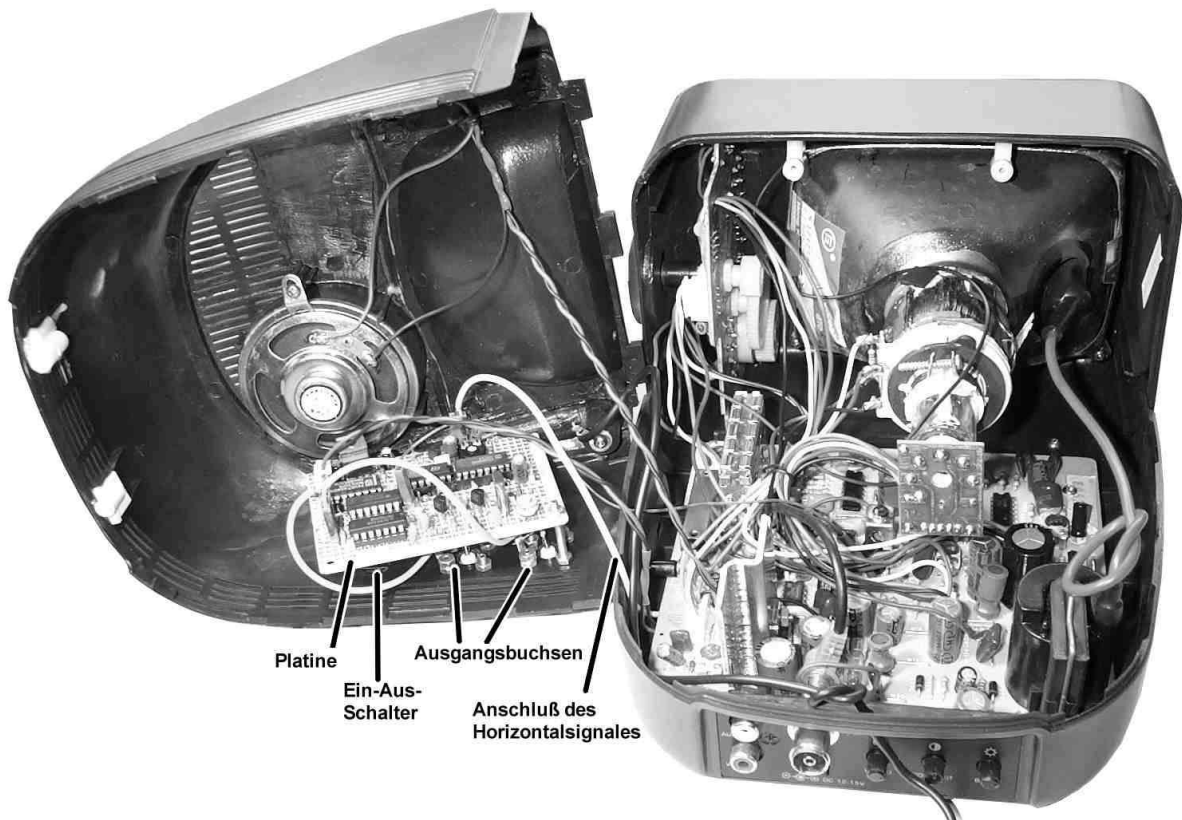


Bild 2 Einbau der Platine in ein portables TV-Gerät (s/w)

C1	18p	R1	22	IC1	4046
C2	30p-Trimmer	R2	8k2	IC2	4040
C3	330p	R3	10k	IC3	74LS90
C4	150p	R4	1k	IC4	74HC00
C5	47p	R5	18k	IC5	4098
C6	1n	R6	22k		
C7	4u7/16V	R7	1k	U1	7805T
C8	0,47u/25V	R8	470		
C9	0,47u/25V	R9	150k	Q1	BF199
C10	0,47u/25V	R10	100k	Q2	BF199
C11	0,47u/25V	R11	22	Q3	BC237
C12	4u7/16V	R12	22		
C13	4u7/16V	R13	47k	D1	BB109
C14	10u/25V	R14	330k	D2	1N4007
C15	0,47u/25V	R15	100k		
C16	0,47u/25V	R16	2k2	CP1	PINHD-1X1
C17	4n7	R17	10k	CP2	PINHD-1X1
C18	10u/25V	R18	22	CP3	PINHD-1X1
C19	1n	R19	1k	CP4	PINHD-1X1
C20	1n	R20	1k	CPGND	PINHD-1X1
C21	0,47u/25V			JP1	PINHD-1X2
C22	47p			JP2	PINHD-1X2
C23	100p	QU1	10MHz	JP3	PINHD-1X2
C24	470p	(HC49U)		JP4	PINHD-1X2
				JP5	PINHD-1X3

Tabelle 1 Materialliste für das Frequenznormal

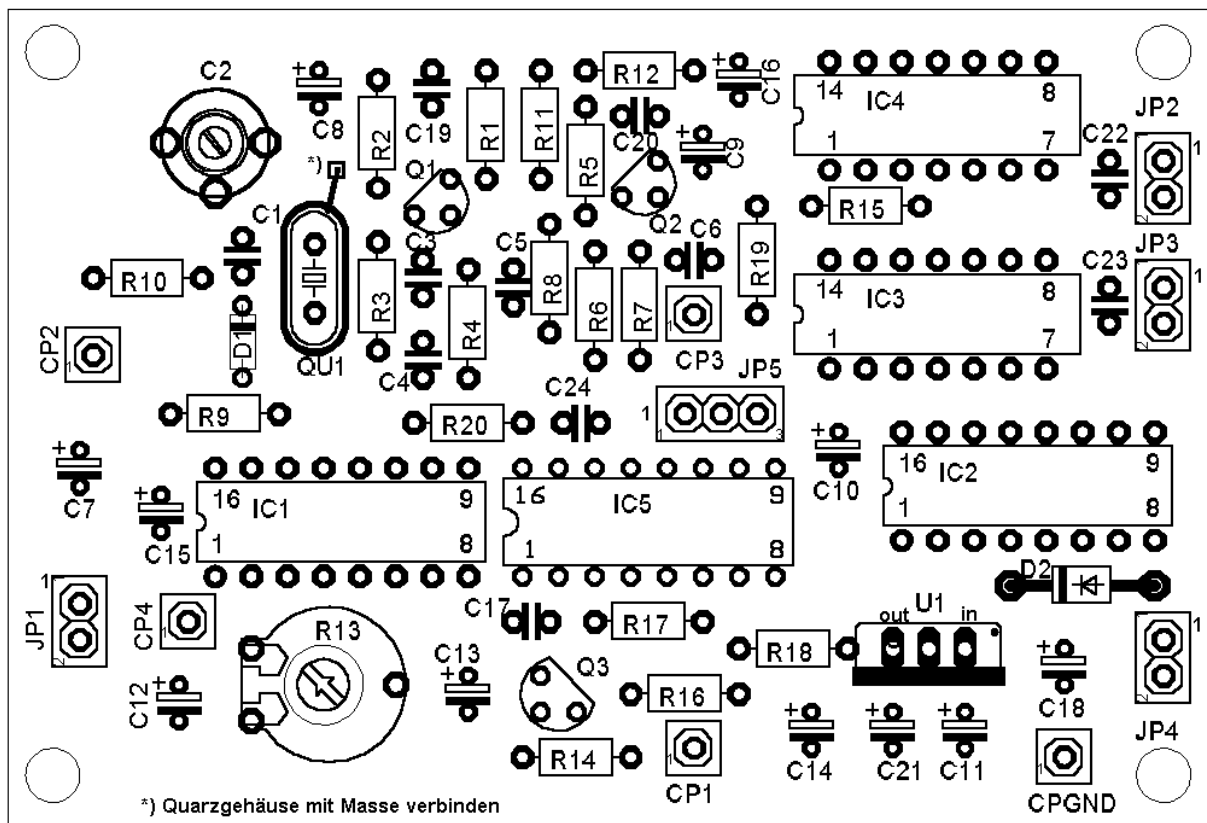


Bild 4 Platinenlayout

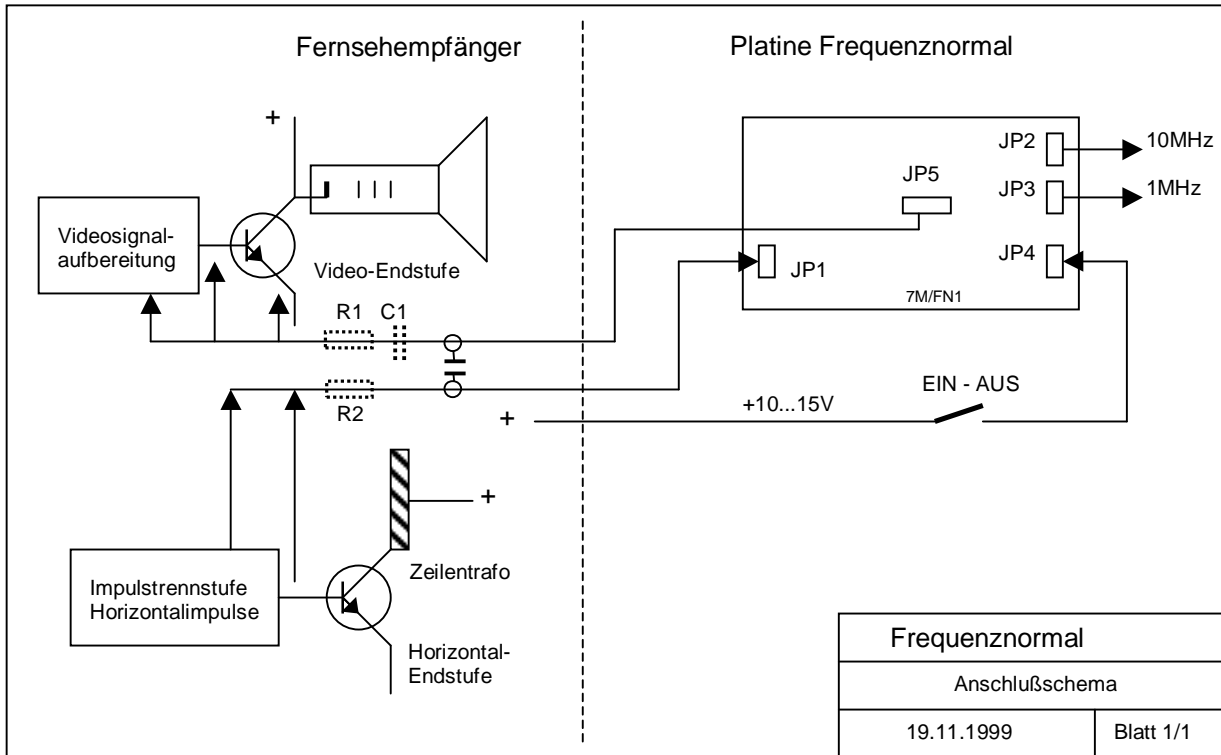


Bild 5 Anschlußschema des Frequenznormals

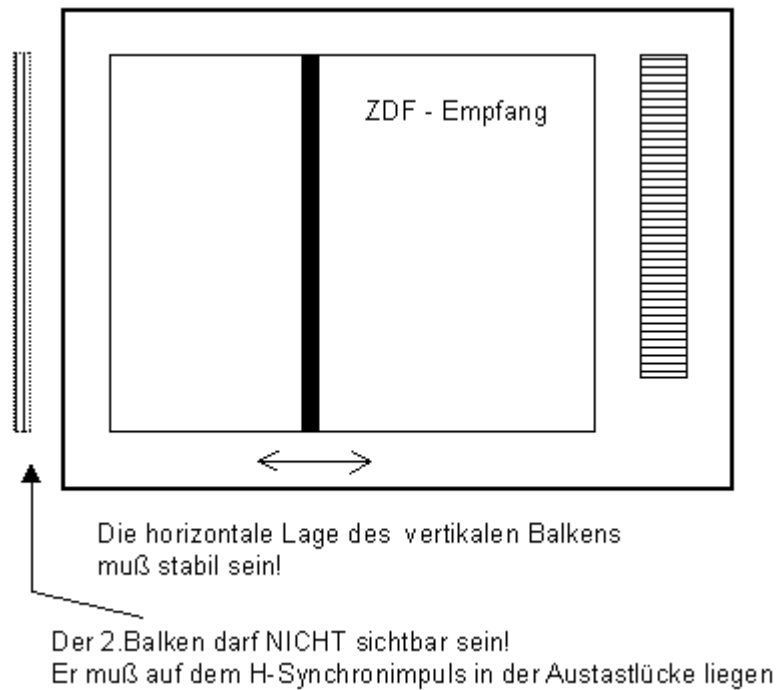


Bild 6 Abstimmmanzeige

Anhang

Montage- und Abgleichhinweise:

Das Quarzgehäuse von Q1 sollte mit Masse verbunden werden, um Frequenzsprünge durch äußere kapazitive Einflüsse zu vermeiden. Dazu wird oben am Quarzgehäuse ein Draht angelötet, der an der vorgesehenen Durchkontaktierung mit Masse verlötet wird.

Beim Löten am Quarzgehäuse mit einem 50Watt-Kolben schnell(!) löten.

Wegen des geringen Fangbereiches der PLL (C1 ist relativ klein) muss der Abgleich von C2 sorgfältig erfolgen. Insbesondere ist nach einer längeren Betriebszeit der Betrag der Regelspannung an CP2 zu überprüfen (Soll: 3,0V). Je nach Einbauort der Platine kann durch Erwärmung ein Wegdriften ausserhalb des Fangbereiches der PLL auftreten. Diese Gefahr besteht vor allem beim Einbau in ein TV-Gerät, das im Dauerbetrieb warm wird. Dann ist ggf. der Einbauort der Platine oder die Belüftung des Gerätes zu ändern.

Der geringe Fangbereich der PLL ist gewollt, damit der Einfluß der Kapazitätsdiode auf den Quarz zum Erreichen einer guten Kurzzeitstabilität möglichst gering ist.

Beim Einbau in ein TV-Gerät sollte ein möglichst feldfreier Platz gewählt werden; also Abstand zum Zeilentrafo und den Ablenkspulen einhalten!

Nachtrag zur erreichbaren Genauigkeit des Frequenznormales:

Auf der VHF-UHF 2002 in München wurde ein GPS-Frequenznormal vorgestellt /1/.

Dabei wurde in einem Vergleich festgestellt, daß die Genauigkeit des ZDF-Normales im Bereich besser als 10^{-8} stark von der Übertragungstrecke abhängt:

" ... Insbesondere kann es zu erheblichen Abweichungen bei der ZDF-Referenz kommen, wenn die Herkunft des Signales nicht über eine ausschließlich terrestrische Übertragungstrecke in die Anordnung gespeist wird. Es treten Abweichungen im 10^{-8} – Bereich auf, falls das Signal über eine Satellitenanlage oder Kabelanlage mit Satelliten-Front end kommt. Das liegt daran, daß der geostationäre Satellit eine "Acht" um seine Normalposition fliegt. Der Zyklus liegt bei 24h. Die Folge ist eine Dopplerverschiebung, die sich in Abhängigkeit von der geographischen Breite bemerkbar macht..... "

Anmerkung des Autors: Auch scheinbar "geostationäre" Satelliten wandern etwas, weil

1. sie keine idealen Kreisbahnen, sondern leicht elliptische Bahnen haben
2. die Bahnebene des Satelliten nicht exakt in der Äquatorebene liegt
3. die Erde keine ideale Kugel sondern ein Rotationsellipsoid mit ungleichmäßiger Massenverteilung ist, d.h. der Bahnmittelpunkt ist nicht exakt der Erdmittelpunkt
4. äußere langfristige Einflüsse wirken – insbesondere die Mondanziehung und der Sonnenwind
5. deshalb laufend Bahnkorrekturen durch Zünden der Steuerröhren an Bord erfolgen (müssen)

Die erzielbare Genauigkeit beträgt also im Minutenbereich 1×10^{-8} , das entspricht auf 23cm einer Abweichung von +/- 13Hz, ist also ausreichend!

Meßpraxistip:

Wegen des Zyklus von 24h, der fast sinusförmig ist (Bild 8 in /1/), sollten vergleichende Messungen exakt im Abstand von 12 Stunden gemacht werden, z.B. um 08:00 Uhr und 20:00 Uhr. Damit kann der Fehler durch die Satellitenbahn weitgehend eliminiert werden.

/1/ Scriptum der VHF-UHF München 2002, Autoren: DK7NT, DB4MP, DF7HSA und DJ8CY
Seite 127: "GPS Frequenznormal für die Funkwerkstatt – Controlled Reference Oszillator (CRO)"