

# DCF-synchronisierte Präzisions-Quarzeitbasis

## Teil 1



*Hohe Genauigkeitsanforderungen sowohl im professionellen als auch im Hobby-Bereich haben uns veranlaßt, eine Präzisions-Quarzeitbasis zu entwickeln, deren Genauigkeit rund 10 000fach (!) besser ist als die von „normalen“ Quarzeitbasen. Erreicht wird dies durch Synchronisation mit einem Atomzeitnormal. In dem hier vorliegenden ersten Teil dieses dreiteiligen Artikels werden grundlegende Zusammenhänge sowie das Blockschaltbild beschrieben. Der zweite Teil befaßt sich ausführlich mit der Schaltung, während im dritten Teil der Nachbau beschrieben wird.*

### Allgemeines

Zur Erzeugung genauer Frequenzen, für die in der Elektronik ein vielfältiger Bedarf besteht, werden im allgemeinen Quarzoszillatoren eingesetzt.

Ohne Abgleich liegen die Abweichungen bei 0,01 % (entsprechend 100 ppm), während mit Abgleich die Abweichungen auf 0,001 % (entsprechend 10 ppm) und besser reduziert werden können. Im Bereich von 1 ppm stößt man hier jedoch auf eine Grenze, die allein durch den Temperatureinfluß nur mit größerem Aufwand zu unterschreiten ist.

Durch den Einsatz eines hochstabilen Thermostaten, der den Schwingquarz auf konstanter Temperatur hält, in Verbindung mit künstlicher Voralterung sowie häufigem Nachabgleich läßt sich die Genauigkeit nochmals um gut eine Zehnerpotenz steigern. Doch spätestens im Bereich von 0,01 ppm ( $1 \times 10^{-8}$ ) ist ein Quarzoszillator auch mit noch so großem Aufwand an der Grenze seiner erreichbaren Frequenzstabilität. Allein aufgrund der Alterung sind hier kaum mehr Verbesserungen möglich, selbst wenn alle anderen äußeren Einflüsse ausgeschaltet werden.

Hält man sich vor Augen, daß eine Genauigkeit von 0,01 ppm eine Unsicherheit von 1 Impuls auf 100 Millionen Schwingungen bedeutet, so wird es leicht verständlich, daß selbst geringste Veränderungen hinsichtlich Temperatur und Versorgungsspannung störend sind. Auch der Einfluß der übrigen am Oszillator beteiligten Bauelemente kann sich, wenn auch in geringem Maße, ungünstig auswirken.

Vorstehende Ausführungen lassen erkennen, daß nur in Ausnahmefällen selbständig und unabhängig arbeitende Quarzoszillatoren mit einer Genauigkeit von besser als 0,1 ppm wirtschaftlich einge-

Sender	Land	Frequenz (kHz)	Genauigkeit ( $10^{-12}$ )	Leistung (kW)
Allouis	Frankreich	163,84	$\pm 50$	500
Donebach	Deutschland	151	$\pm 5$	250
DCF 77	Deutschland	77,5	$\pm 2$	38
Droitwich	Großbritannien	200	$\pm 20$	400
MSF	Großbritannien	60	$\pm 10$	50
HBG	Schweiz	75	$\pm 2$	20
NAA	Maine USA	17,8	$\pm 10$	1000
WWVB	Colorado USA	60	$\pm 10$	13
NDT	Japan	17,4	$\pm 10$	50
OMA	CSSR	50	$\pm 50$	5
RV 166	UDSSR	200	$\pm 50$	40

setzt werden können, zumal der Betriebsaufwand nicht zuletzt im Hinblick auf die erforderlichen Nachkalibrierungen verhältnismäßig hoch ist.

Erfreulicherweise gibt es nun eine elegante Möglichkeit, genaue Referenzfrequenzen zu erzeugen. Weltweit werden von verschiedenen Nationen hochpräzise Atomzeitnormale gesendet, deren Frequenzen überwiegend im Langwellenbereich angesiedelt sind. In Tabelle I sind die bekanntesten davon zusammengestellt.

Durch Anbindung des eigenen Quarzoszillators an eine dieser hochgenauen Referenzquellen kann die Genauigkeit des Quarzoszillators extrem gesteigert werden.

Mit Hilfe einer PLL-Stufe, die als Phasenkomparator arbeitet, wird der Quarzoszillator mit der Referenzfrequenz synchronisiert, d. h. phasenstarr verbunden.

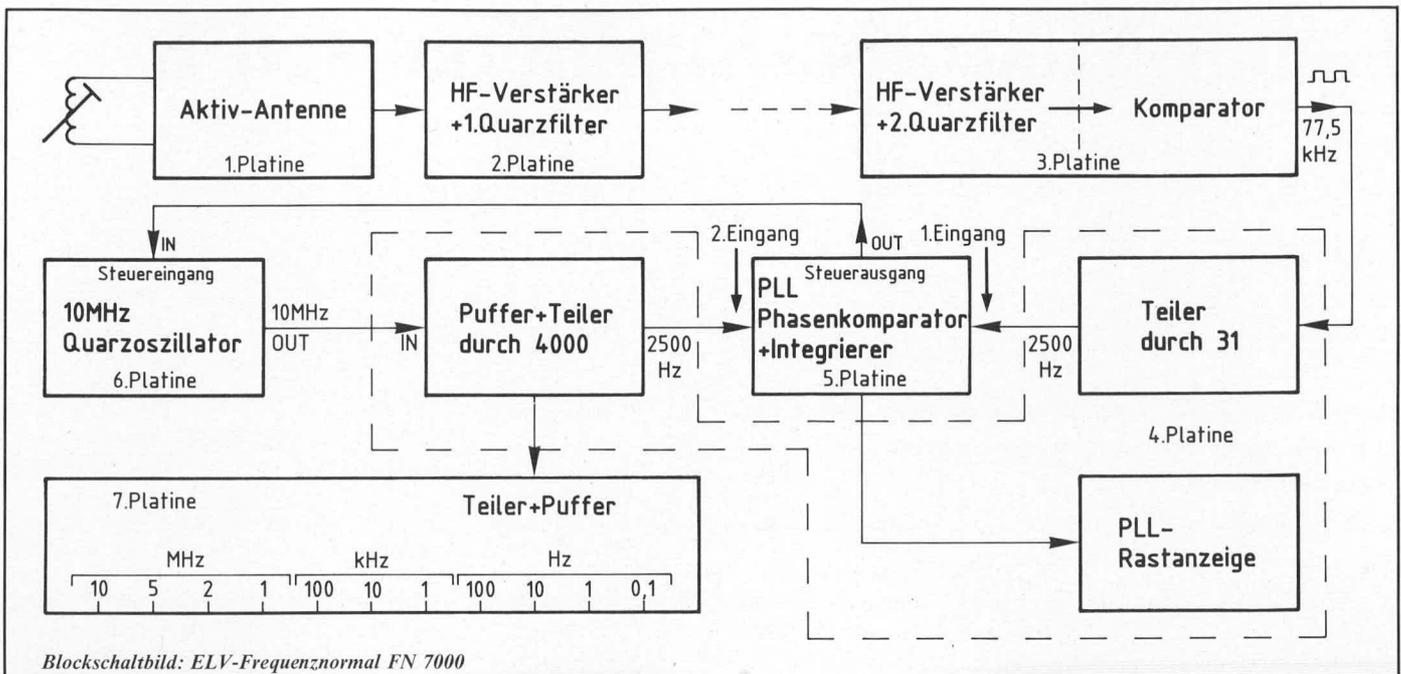
Für die Bundesrepublik Deutschland bietet sich als Referenzquelle die hochgenaue 77,5 kHz Trägerfrequenz des Zeitzeichensenders der PTB in Frankfurt/

Mainflingen DCF 77 an. Die Kurzzeitstabilität liegt bei  $2 \times 10^{-12}$ , im Mittel über einen Tag bei besser als  $1 \times 10^{-12}$  und im Mittel über 100 Tage bei besser als  $2 \times 10^{-13}$ .

Aufgrund der Ausbreitungsbedingungen langwelliger Sendefrequenzen sind je nach Entfernung zum Senderstandort Abstriche von dieser Grundgenauigkeit zu machen, auf die wir im weiteren Verlauf dieses Artikels noch näher eingehen. Je nach Qualität des Empfangsteiles können jedoch auch in größeren Entfernungen noch exzellente Ergebnisse erzielt werden.

### Das Blockschaltbild

Eine der wichtigsten Voraussetzungen zum Aufbau einer DCFsynchronisierten Quarzeitbasis ist die Gewinnung der Referenzfrequenz. Hierzu ist zum einen eine empfindliche Aktiv-Antenne und zum anderen eine hochwertige Verstärker/Filter-Kombination erforderlich, damit das 77,5 kHz-Signal in absolut störungsfreier Form zur Verfügung steht.



Beim PTB-Sender DCF 77 ist die Gewinnung des Empfangssignals schwierig, da die Sendefrequenz nicht mit konstanter Amplitude, sondern moduliert abgestrahlt wird. Im Klartext bedeutet dies, daß in jeder Sekunde mit Ausnahme der 59. Sekunde die Amplitude von 100 % auf 25 % abgesenkt wird und zwar für die Zeitdauer von 100 ms bzw. 200 ms. Diese gravierende Trägerabsenkung auf  $\frac{1}{4}$  der Grundamplitude ist im Hinblick auf eine möglichst stabile Phasenlage zu sehen und entsprechend problematisch. Speziell diesem Punkt wurde daher bei der Entwicklung im ELV-Labor hohe Bedeutung zugemessen.

Eine Aktiv-Antenne, wie sie vom ELV-Funkuhrensysteem DCF 86 vielen Lesern bereits bekannt ist, stellt die erste Stufe in der langen Kette der Signalgewinnung und -aufbereitung dar. Auf einer zweiten, ebenfalls räumlich dicht der Antenne zugeordneten Platine befindet sich ein integrierter HF-Verstärker mit automatischer Amplitudenregelung. Die Regelung selbst besitzt eine so große Zeitkonstante, daß nur langsam ablaufende Amplitudenschwankungen ausgeregelt werden (atmosphärisch bedingte Schwankungen sowie Standortänderungen).

Es folgt ein hochwertiger, extrem schmalbandiger Quarzfilter zur Unterdrückung von Störsignalen sowie zum Verschleifen der Modulationsübergänge. Hieran schließt sich ein zweiter integrierter HF-Verstärker an, dessen ebenfalls automatische Verstärkungsregelung den auftretenden Amplitudenschwankungen direkt folgen kann. Am Ausgang des nachgeschalteten Pufferverstärkers steht dann das 77,5 kHz Signal mit einer konstanten Amplitude von ca. 2 V<sub>ss</sub> an.

Bis zu diesem Punkt befinden sich sämtliche elektronischen Komponenten unmittelbar in räumlicher Nähe zum Ferrit-Antennenstab, d. h. innerhalb des Kunststoff-Antennenrohrs mit einem Durchmesser von 37 mm.

Von hieraus führt eine 2adrige abgeschirmte, isolierte Zuleitung zum Eingang eines weiteren HF-Verstärkers, der sich im Basisgerät befindet. Die Leitungslänge kann ohne Probleme mehrere 10 m ohne Qualitätseinbußen betragen.

Der zweite HF-Verstärker befindet sich auf einer dritten Platine, zusammen mit einem weiteren hochwertigen 77,5 kHz-Filter und einem nachgeschalteten Komparator mit konstanter Hysterese. Am Ausgang dieses Komparators steht dann das 77,5 kHz-Signal als hochkonstante Rechteckfrequenz mit einem Tastverhältnis von ungefähr 1 : 1 an.

Damit diese hochgenaue Referenzfrequenz zur Synchronisierung des 10 MHz-Quarzoszillators herangezogen werden kann, müssen beide Frequenzen ganzzahlig so geteilt werden, daß sich eine gemeinsame Grundfrequenz ergibt. Diese beträgt im vorliegenden Fall 2500 Hz. Teilt man 77,5 kHz durch 31 sowie 10 MHz durch 4000 so erhält man in beiden Fällen 2500 Hz. Die beiden unabhängig voneinander arbeitenden Teiler sowie die PLL-Rastanzeige befinden sich gemeinsam auf einer vierten Platine.

Die fünfte Platine beinhaltet den PLL-Phasenkomparator, der die beiden 2500 Hz-Frequenzsignale miteinander vergleicht sowie den als Integrierer arbeitenden Regler. Der Ausgang des Reglers arbeitet auf den Steuereingang des 10 MHz-Quarzoszillators, der sich auf einer separaten, sechsten Platine befindet.

Sobald eine Phasendifferenz zwischen 77,5 kHz- und 10 MHz-Signal auftritt, wird dies vom Phasenkomparator registriert und der Regler erzeugt ein Ausgangssignal, das über den Steuereingang des 10 MHz Quarzoszillators dessen Frequenz nachregelt, damit wieder beide Frequenzsignale phasenstarr miteinander verbunden sind.

Das synchronisierte, hochgenaue 10 MHz-Oszillatorsignal wird auf einer 7. Platine mehrfach geteilt und gepuffert. Insgesamt

stehen 11 hochgenaue Rechteckfrequenzen mit steilen Anstiegs- und Abfallflanken an den Ausgängen zur Verfügung.

Um Störeinstreuungen zu vermeiden, befindet sich der zweite HF-Verstärker/Komparator (dritte Platine) in einem HF-dichten Metallgehäuse. Gleichfalls sind die Platinen 5 und 6 ebenfalls gemeinsam in einem HF-dichten Metallgehäuse untergebracht. Dies ist empfehlenswert, damit die wichtigen und entsprechend empfindlichen Komponenten hinreichend störsicher arbeiten können.

Als weitere Maßnahme zur Sicherstellung einer korrekten Arbeitsweise der Gesamtanordnung dient die Versorgung aller entscheidenden Komponenten mit separaten, stabilisierten Festspannungen, um so Rückwirkungen und Übersprechen auszuschließen.

In diesem Zusammenhang ist es sinnvoll, sich nochmals vor Augen zu halten, daß die Genauigkeitsanforderungen extrem hoch gesteckt sind. Auf mehr als 1000 Millionen Schwingungen soll nicht einmal ein einziger Störimpuls bzw. eine einzige Fehlzählung kommen und dies bei einem Empfangssignal, das im Bereich von 1/1000 Volt und weniger liegen kann.

Ein entsprechend hochwertiges und sicher arbeitendes Gerät kann daher nur durch umfangreiche und ausgereifte Entwicklung in Verbindung mit sorgfältigem Aufbau erstellt werden.

Trotz des verhältnismäßig hohen schaltungstechnischen Aufwandes ist das Gerät recht einfach nachzubauen, bei einem sehr günstigen Preis-/Leistungsverhältnis. Der interessierte Hobby-Elektroniker mit etwas Erfahrung im Aufbau elektronischer Geräte wird ohne großen Aufwand dieses hochwertige und nützliche Gerät erstellen können.

Im zweiten Teil dieses Artikels stellen wir Ihnen das komplette Schaltbild und im dritten Teil den Nachbau vor.