

DCF-synchronisierte Präzisions-Quarzeitbasis

Teil 2



In dem hier vorliegenden zweiten Teil unserer dreiteiligen Artikelserie stellen wir Ihnen die komplette Schaltung vor.

Zur Schaltung

Das ELV-Frequenz-Normal FN 7000 (DCF-synchronisierte Präzisions-Quarzeitbasis) wird auf insgesamt 7 Platinen aufgebaut. Die Schaltungsbeschreibung wollen wir daher zweckmäßigerweise anhand der 7 Teilschaltbilder, die den jeweiligen Platinen entsprechen, vornehmen.

Die Bezeichnung einzelner Platinen- bzw. Schaltungspunkte ist so angelegt, daß Punkte mit gleichen Bezeichnungen miteinander über Brücken bzw. flexible isolierte Leitungen verbunden werden.

Wir beginnen mit unserer Beschreibung der Schaltung mit der 1. Platine und fahren dann chronologisch fort.

1. Platine

Die auf der 1. Platine untergebrachte Teilschaltung stellt die Aktiv-Antenne dar. Sie entspricht genau der tausendfach bewährten Konstruktion in den ELV-Funkuhrensystemen doc 85 und DCF 86.

Die Spule L 101 bildet in Verbindung mit dem eng tolerierten Kondensator C 101 den Eingangsempfangskreis. Dieser ist auf die Resonanzfrequenz von 77,500 kHz abgestimmt.

Über L 102 wird das Empfangssignal aus-

gekoppelt und auf die Basis des ersten Verstärkertransistors T 101 gegeben. Das andere Ende von L 102 liegt über den Spannungsteilerwiderständen R 101 und R 102 auf halber Betriebsspannung. Hierdurch wird der Gleichspannungspunkt von T 101 festgelegt.

Der Arbeits-Gleichstrom wird über R 104 bestimmt. C 103 dient zur Maximierung des Wechselspannungs-Verstärkungsfaktors, der für diese Stufe bei ca. 50 liegt.

Am Kollektorwiderstand R 103 steht das entsprechend verstärkte Eingangssignal an.

Eine zweite, mit T 102 und Zusatzbeschaltung ähnlich aufgebaute Stufe, nimmt eine weitere Verstärkung vor, so daß am Kollektor dieses Transistors das ca. 2000-fach verstärkte Eingangssignal zur anschließenden Weiterverarbeitung im Empfänger zur Verfügung steht.

2. Platine

Über 3 kurze Leitungen (wenige Zentimeter lang) werden die Platinenanschlußpunkte „a, b, c“ der 1. und der 2. Platine miteinander verbunden.

Das von der 1. Platine kommende 77,500 kHz-Signal gelangt über C 202 auf den

Eingang (Pin 12) des Empfänger-ICs 201 des Typs TCA 440.

Von diesem verhältnismäßig hoch integrierten IC findet nur der Zwischenfrequenzverstärkerteil, dessen Eingang Pin 12 darstellt, Verwendung. Hierbei handelt es sich um die größte in diesem IC enthaltene Funktionseinheit. Hervorzuheben ist die hohe Verstärkung und der große Regelumfang von über 60 dB.

Der Ausgang (Pin 7) des IC 201 arbeitet auf einen Schwingkreis, bestehend aus Tr 201 und C 208.

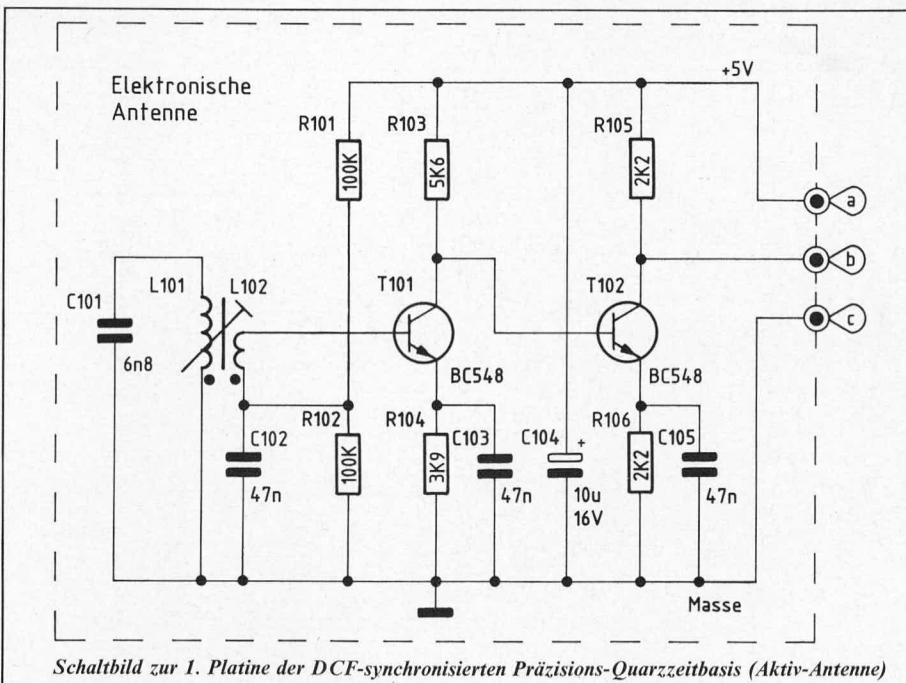
Mit Hilfe von D 201, R 201, R 202, C 205 und C 206 erfolgt eine Gleichrichtung und Pufferung der Ausgangsspannung, die auf den Steuereingang (Pin 9 des IC 201) zurückgeführt wird. Auf diese Weise wird eine automatische Verstärkungsregelung und damit Anpassung an die Höhe des Eingangssignals vorgenommen. Steigt die Ausgangsspannung an Pin 7, so erhöht sich auch die Steuerspannung an Pin 9, wodurch wiederum die Verstärkung und damit die Ausgangsspannung reduziert wird. Es handelt sich somit um ein selbststabilisierendes System. Aufgrund der großen Zeitkonstanten (R 201/C 206) erfolgt die Nachregelung nur verhältnismäßig langsam ($t = 3,3 \text{ sec}$), so daß kurzzeitige Signalschwankungen und Störimpulsspitzen unberücksichtigt bleiben.

C 203 und C 204 dienen zur Verminderung des internen Rauschens.

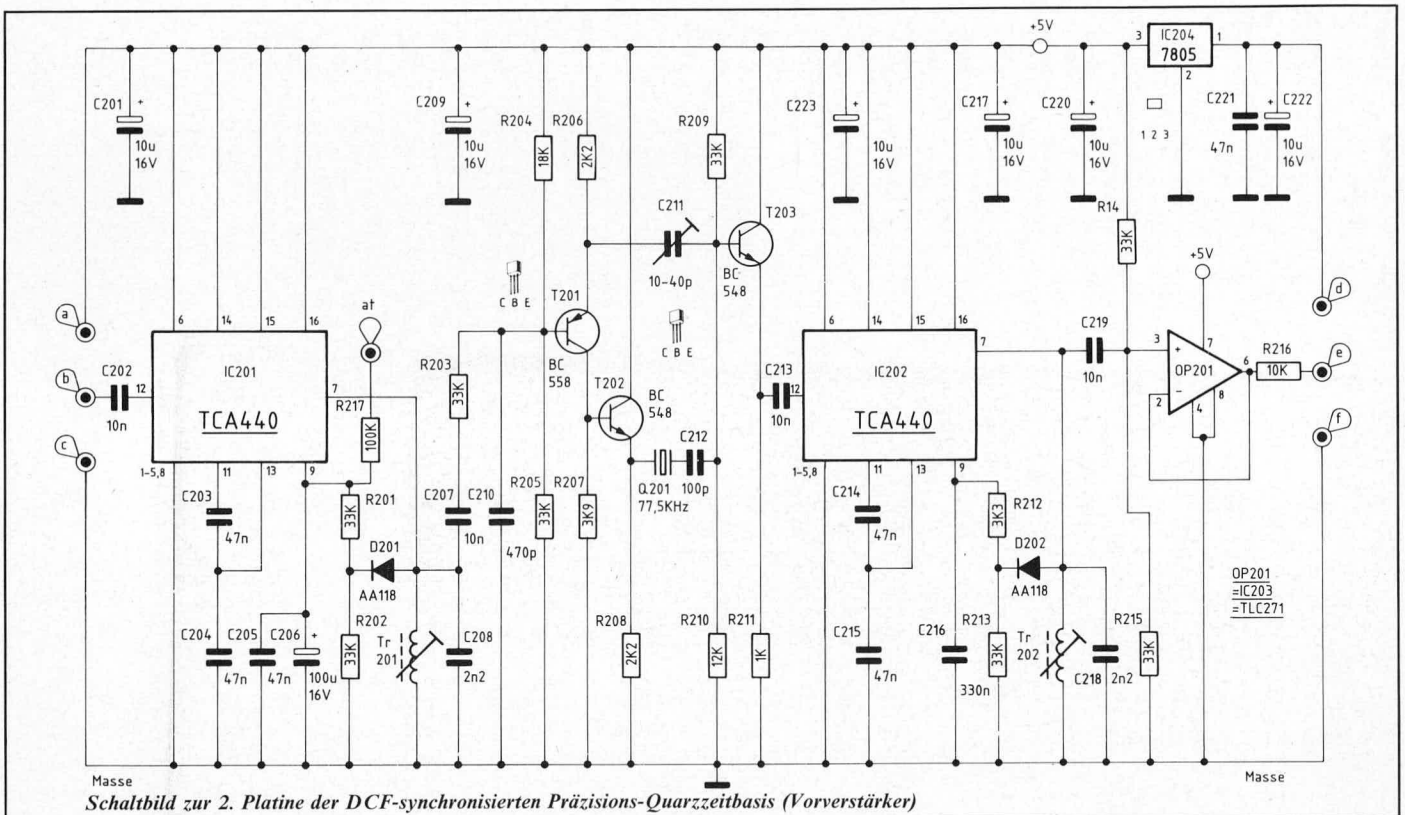
Die Ausgangsspannung an Pin 7 des IC 201 beträgt ca. $2 V_{SS}$.

Die auf die Schaltungsmasse bezogene, an Pin 9 des IC 201 anstehende Regelspannung, ist gleichzeitig ein Maß für die Größe des Eingangssignals. Je größer diese Spannung wird, um so mehr regelt der Verstärker zurück. Voraussetzung für ein Zurückregeln ist jedoch ein gestiegenes Ausgangssignal. Kleinere Signale an Pin 7 bedeuten eine kleinere Regelspannung an Pin 9, wodurch die Verstärkung wieder hochgefahren wird, sofern das Eingangssignal zuvor auf geringere Werte abgefallen ist.

Zweckmäßigerweise führt man Pin 9 des IC 201 sowie die Schaltungsmasse über einen Vorwiderstand (R 217) aus dem Antennengehäuse heraus. Auf diese Weise kann durch einfache (hochohmige) Messung der Regelspannung die Ausrichtung der Antenne optimiert werden.



Schaltbild zur 1. Platine der DCF-synchronisierten Präzisions-Quarzeitbasis (Aktiv-Antenne)



Schaltbild zur 2. Platine der DCF-synchronisierten Präzisions-Quarzeitbasis (Vorverstärker)

Über C 207, R 203 gelangt das aufbereitete Empfangssignal auf die Basis des als Emitterfolger geschalteten Transistors T 201. In Verbindung mit T 202 sowie der entsprechenden Zusatzbeschaltung wird ein hochwertiger Quarzfilter realisiert, dessen Abstimmung mit C 211 erfolgt.

Mit dem als Emitterfolger geschalteten Transistor T 203 wird das Signal ausgekoppelt und über C 213 auf den Eingang des IC 202 gegeben.

Beim IC 202 handelt es sich um den gleichen Typ wie beim IC 201 mit nahezu identischer Beschaltung. Ein wesentlicher Unterschied liegt jedoch in der Zeitkonstanten der Verstärkungsregelung (R 212, C 216), die hier verhältnismäßig kurz gewählt wurde. Auf diese Weise erfolgt eine gute Ausregelung der Amplitudenmodulation

des Empfangssignals, wobei zuvor der Quarzfilter die Signalform verbessert und die Modulationsübergänge verschliffen hat. Die Regelung kann somit den schwankenden Amplitudenhöhen mühelos folgen.

An Pin 7 des IC 202 steht das 77,500 kHz-Signal mit einer Amplitude von ca. 2,2 V_{SS} bereits in guter Qualität an. Die Amplitudenschwankung liegt in der Größenordnung von ca. 10 %.

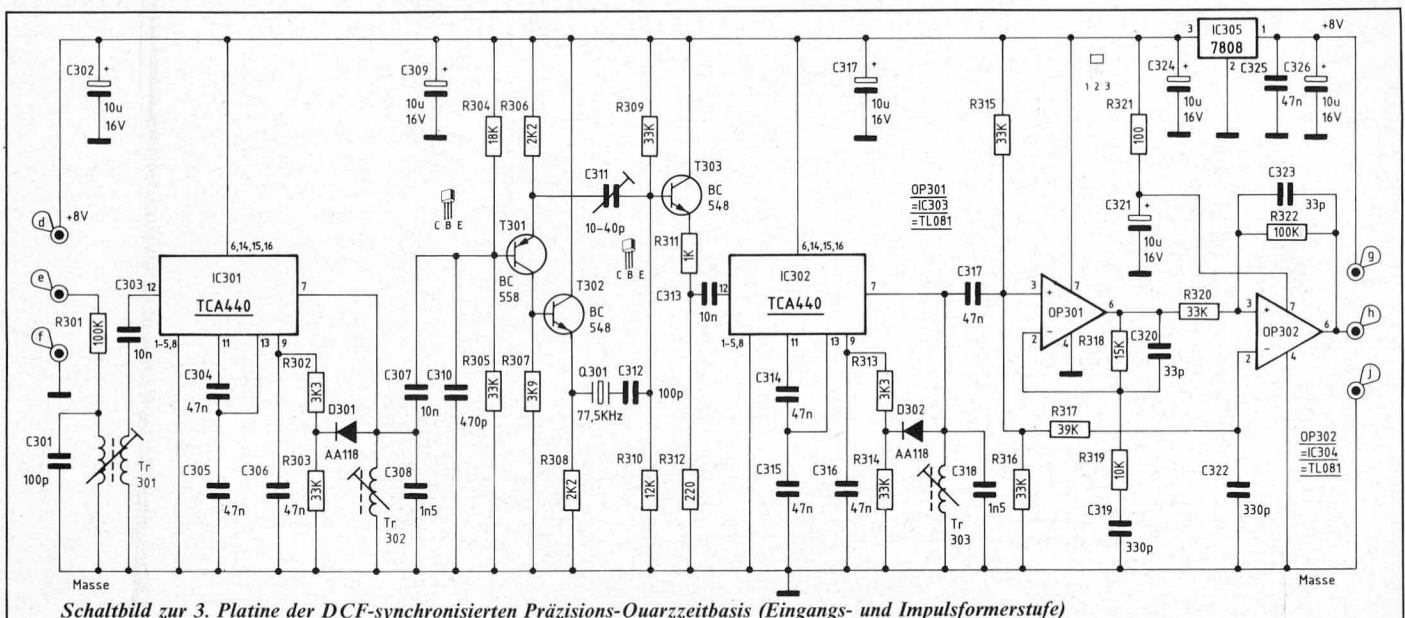
Über C 219 gelangt das Signal auf den nicht invertierenden (+) Eingang des als Impedanzwandler geschalteten OP 201. R 216 dient zur Entkopplung der am Platinenanschlußpunkt „e“ anzuschließenden Verbindungsleitung zum Eingang des Basisgerätes. Diese Verbindungsleitung kann mehrere 10 m Länge aufweisen.

IC 204 stellt eine stabilisierte 5 V Betriebs-

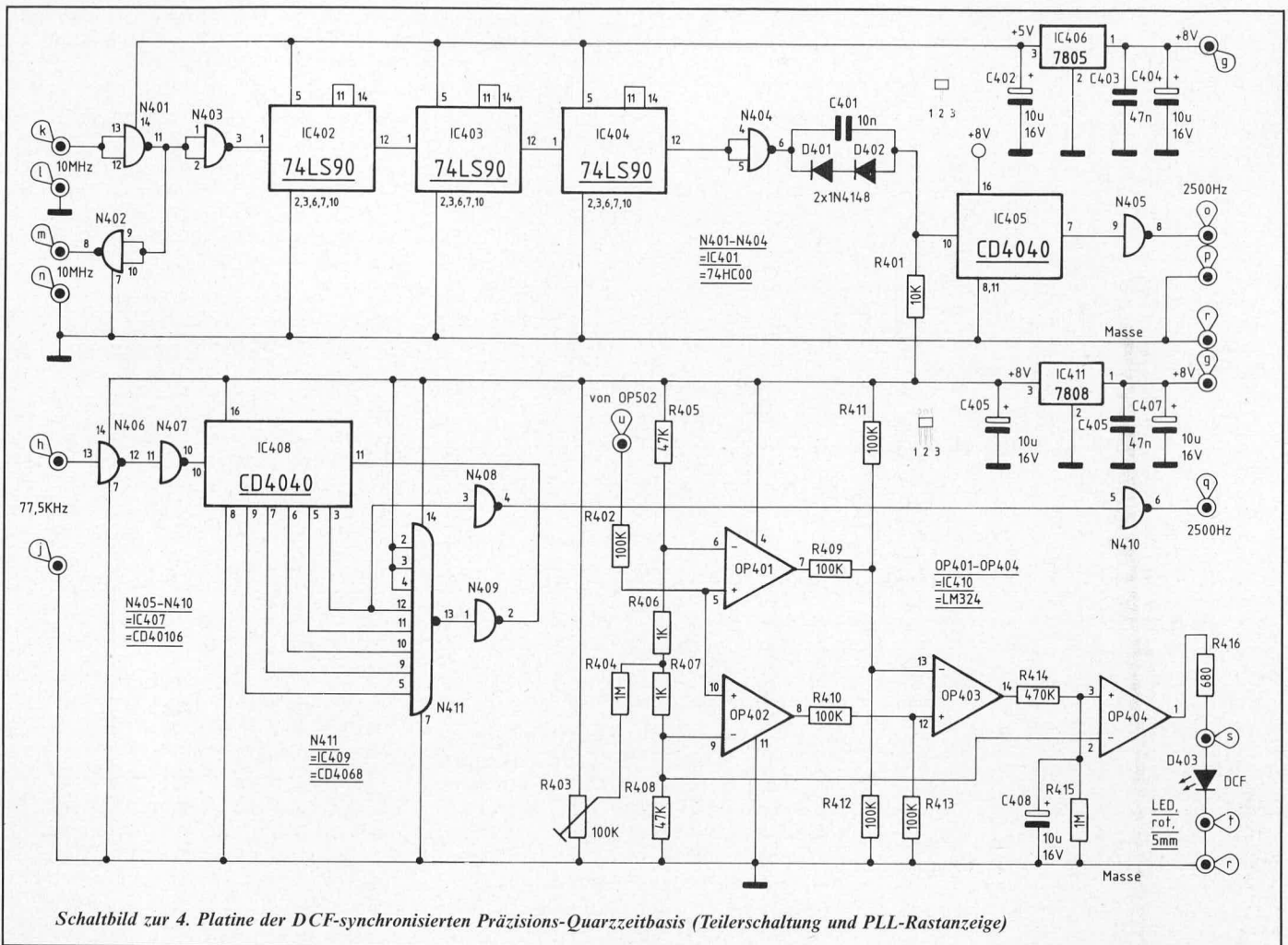
spannung, sowohl für die 2. als auch für die in räumlicher Nähe angeordnete 1. Platine dar. Hierdurch ergibt sich eine optimale Entkopplung zu den Versorgungsspannungen des Basisgerätes.

3. Platine

Über R 301 gelangt das vom Antennenteil kommende 77,500 kHz-Signal auf den Eingangsschwingkreis der im Basisgerät angeordneten 3. Platine. Dieser Schwingkreis besteht aus C 301 sowie der Primärwicklung des Übertragers Tr 301. Die Sekundärwicklung speist über C 303 den Eingang des IC 301. Hierbei handelt es sich ebenfalls um den Typ TCA 440, der eine identische Beschaltung wie das IC 202 aufweist. Am Ausgang (Pin 7) beträgt die Signalhöhe ca. 2,2 V, wobei die Amplitudenschwankungen an dieser Stelle nur noch bei wenigen 10 mV liegen.



Schaltbild zur 3. Platine der DCF-synchronisierten Präzisions-Quarzeitbasis (Eingangs- und Impulsformerstufe)



Schaltbild zur 4. Platine der DCF-synchronisierten Präzisions-Quarzzeitbasis (Teilerschaltung und PLL-Rastanzeige)

Über C 307 wird das Ausgangssignal auf einen weiteren Quarzfilter, bestehend aus T 301, T 302 sowie entsprechender Zusatzschaltung, gegeben. Die Abstimmung erfolgt mit C 311.

Um den Rauschpegel sowie unerwünschte Störimpulse weitgehend zu unterdrücken und um ein möglichst sauberes Signal zu erhalten, wurde an dieser Stelle ein zweites Quarzfilter eingebaut.

Mit T 303 erfolgt die Auskopplung auf den Spannungsteiler R 311, R 312. Über C 313 gelangt dieses Signal auf den Eingang des IC 302, das in gleicher Weise wie das IC 301 beschaltet ist.

Am Ausgang (Pin 7) des IC 302 beträgt die Amplitudenhöhe ebenfalls ca. $2,2 V_{SS}$ mit einer kaum mehr feststellbaren Amplitudenschwankung.

Über C 317 wird dieses Signal auf eine Impedanzwandler/Verstärkerstufe gegeben. An Pin 6 des OP 301 beträgt die Amplitudenhöhe ca. $5 V_{SS}$.

Der nachgeschaltete OP 302 stellt in Verbindung mit R 320, R 322 einen Komparator mit starker Hysterese dar, wobei C 323 sowie R 317, C 322 zur Unterstützung der Hysterese beitragen.

Am Ausgang (Pin 6 des OP 302) steht eine saubere Rechteckspannung mit einer Frequenz von 77,500 kHz an.

R 321, C 321 dienen zur Entkopplung der Versorgungsspannung des Komparators von der Versorgungsspannung der übrigen

Schaltung, um auf diese Weise Störeinflüsse der Komparatorschaltvorgänge zu unterdrücken.

4. Platine

Das am Platinenanschlußpunkt „h“ anstehende 77,500 kHz Rechtecksignal gelangt über 2 Inverter (Impulsformerstufen) auf den Eingang (Pin 10) des IC 408. In Verbindung mit N 411 und dem nachgeschalteten Inverter N 409 arbeitet das IC 408 als Teiler durch 31. Am Ausgang (Pin 3) steht dann eine Frequenz von exakt 2500 Hz an ($77\,500 : 31 = 2500$). Das Tastverhältnis beträgt ungefähr 1 : 1 (exakt 31 : 32). Ausgekoppelt wird das Signal über die Impulsformer/Pufferstufen N 408 und N 410.

Am Platinenanschlußpunkt „q“ steht die hochgenaue, aus der 77,500 kHz-DCF-Frequenz gewonnene Referenzfrequenz von 2500 Hz an.

Am Platinenanschlußpunkt „k“ wird die 10 MHz-Frequenz (von Platine 6) eingespeist und über N 401, N 403 auf den Eingang (Pin 1) der ersten Teilerstufe (IC 402) gegeben.

N 402 dient zur Entkopplung und Pufferung. Am Platinenanschlußpunkt „m“ steht die 10 MHz-Frequenz zur Speisung der Schaltung der 7. Platine an.

Die Teilerkette, bestehend aus den ICs 402 bis 405, nimmt eine Division durch 4000 vor.

Am Ausgang (Platinenanschlußpunkt „o“)

steht ebenfalls eine Frequenz von 2500 Hz an ($10\,000 : 4000 = 2500$ Hz). Diese Frequenz steht mit der 10 MHz-Frequenz des Quarzoszillators in direkter Verbindung, d. h. Schwankungen des Quarzoszillators ändern unmittelbar die am Platinenanschlußpunkt „o“ anstehende 2500 Hz-Frequenz.

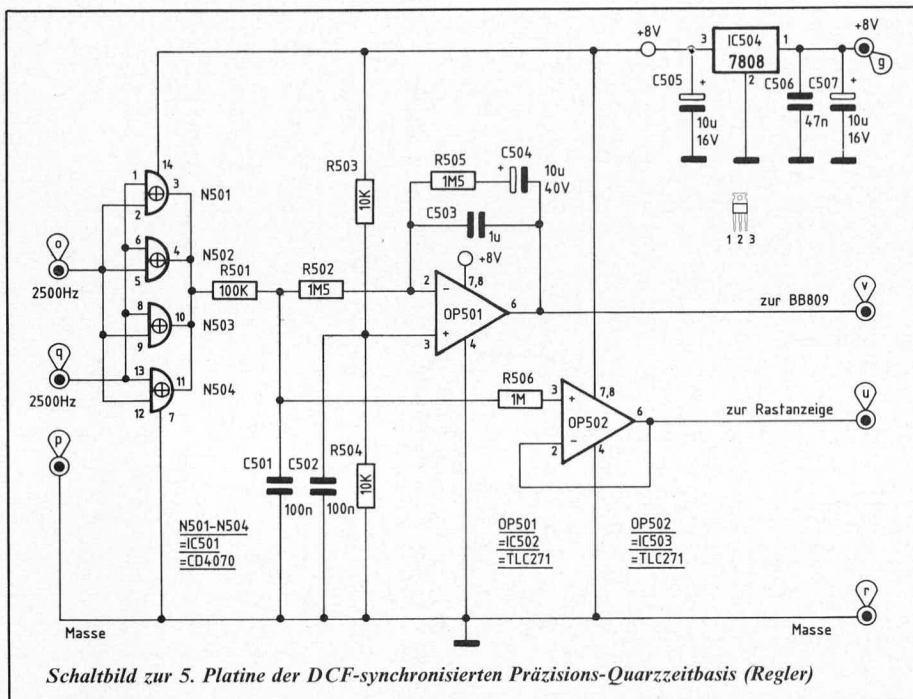
Die Kombination C 401, D 401, D 402 sowie R 401 dient zur Pegelanpassung des mit 5 V betriebenen Schaltungsteiles an die mit 8 V versorgte Schaltung. Den Schnittpunkt stellt der Ausgang des Gatters N 404 sowie der Eingang des IC 405 (Pin 10) dar. Auch die 4. Platine besitzt eine eigene Spannungsstabilisierung, die mit Hilfe der ICs 406 (+ 5 V) und IC 411 (+ 8 V) vorgenommen wird.

Die OPs 401 bis 404 stellen in Verbindung mit ihrer Zusatzbeschaltung einen sehr schmalen Fensterdiskriminator dar. Sofern die vom OP 502 (5. Platine) kommende Spannung exakt bei $U_B/2$ (4 V) liegt, leuchtet D 403 auf, als Zeichen für eine phasenstarke Kopplung zwischen 77,500 kHz und 10 MHz-Quarzoszillator (PLL-Rastanzeige).

Warum die Spannung bei 4,0 V ein Maß für die eingerastete PLL bedeutet, wird im weiteren näher beschrieben.

5. Platine

Genau wie die empfindliche Eingangsverstärkerplatine (3. Platine) befindet sich auch die 5. Platine zusammen mit der 6.



Schaltbild zur 5. Platine der DCF-synchronisierten Präzisions-Quarzeitbasis (Regler)

Platine in einem abgeschirmten HF-dichten Metallgehäuse, um Störeinstreuungen zu vermeiden.

Die Schaltung der 5. Platine besitzt 2 Eingänge. Der erste Eingang (Platinenanschlußpunkt „o“) wird mit der durch 4000 geteilten 10 MHz-Quarzoszillatorfrequenz (2500 Hz) beaufschlagt, während dem zweiten Eingang (Platinenanschlußpunkt „q“) die durch 31 geteilte 77,500 kHz-DCF-Frequenz (2500 Hz) zugeführt wird.

Beide Frequenzen werden über einen Phasenkomparator miteinander verglichen. Realisiert wird dieser Schaltungsteil durch 4 parallel geschaltete EXOR-Gatter (N 501 bis N 504).

Bei einer Phasenverschiebung von 90 Grad steht am Ausgang dieser Gatter ein Rechtecksignal mit einem Tastverhältnis von ungefähr 1 : 1 und einer Frequenz von exakt 5 kHz an.

Der nachgeschaltete Tiefpaß (R 501, C 501) nimmt eine erste Filterung vor.

OP 501 stellt mit seiner Zusatzbeschaltung R 502, R 505 sowie C 503 und C 504 einen hochwertigen Integrator dar. Er vergleicht die Spannung an C 501 mit der Spannung an C 502 (4,0 V). Immer dann, wenn eine Abweichung dieser beiden Spannungen auftritt, führt dies zu einer Regelabweichung und die Ausgangsspannung an Pin 6 des OP 501 ändert sich.

Nur wenn die Spannung an C 501 exakt den gleichen Wert wie die Spannung an C 502 aufweist, ist die PLL eingerastet.

Da OP 502 lediglich einen Pufferverstärker darstellt, ist die Ausgangsspannung (Pin 6 des OP 502) ein Maß für den Rastzustand der PLL. Der auf der 4. Platine untergebrachte Fensterdiskriminator stellt fest, ob die Spannung am Platinenanschlußpunkt „u“ hinreichend genau auf 4,0 V liegt (± 85 mV).

Am Platinenanschlußpunkt „v“ steht die Steuerspannung zur Nachregelung des 10 MHz-Quarzoszillators an.

Sobald sich eine ungewollte Phasendifferenz zwischen 77,500 kHz Referenzfrequenz und 10 MHz-Quarzoszillatorfrequenz ergibt, ändert sich die Spannung am Platinenanschlußpunkt „v“ in der Weise, daß sich wieder eine Ausregelung der Phasenlage beider Frequenzen ergibt (phasenstarre Kopplung).

Auch diese Platine besitzt eine eigene 8 V-Stabilisierung, die mit dem IC 504 aufgebaut ist.

6. Platine

Mit den Gattern N 601 und N 602, den Kondensatoren C 602 bis C 606 sowie den Widerständen R 604 und R 605 ist ein hochwertiger Oszillator aufgebaut, der durch den eingesetzten Quarz Q 601 auf einer Frequenz von 10 MHz schwingt.

Durch den Einsatz der Kapazitätsdiode D 601 des Typs BB 809 kann die Oszillatorfrequenz in geringen Grenzen mit Hilfe einer Steuerspannung variiert werden.

R 602 legt die Anode von D 601 gleichspannungsmäßig auf Schaltungsmasse, während die Katode über R 601 und R 603 mit der Steuerspannung beaufschlagt wird. C 601 dient zur Rauschunterdrückung.

Ein Ansteigen der Steuerspannung am Platinenanschlußpunkt „v“ bedeutet eine Verringerung der Diodenkapazität von D 601 und somit ein Ansteigen der Oszillatorfrequenz. Sinkt hingegen die Steuerspannung ab, so erhöht sich die Kapazität und die Oszillatorfrequenz sinkt.

Die Steuerspannung selbst wird, wie bereits beschrieben, über die Schaltung der 5. Platine durch Vergleichen der Soll-Frequenz (77,500 kHz : 31 = 2500 Hz) mit der Ist-Frequenz (Oszillatorfrequenz = 10 MHz : 4000 = 2500 Hz) gewonnen.

Auf diese Weise kann die Frequenz des 10 MHz Quarzoszillators in Verbindung mit einem hochwertigen Regler sehr genau konstant gehalten werden.

Mit dem Trimmer C 604 wird eine Grundeinstellung der Oszillatorfrequenz vorgenommen.

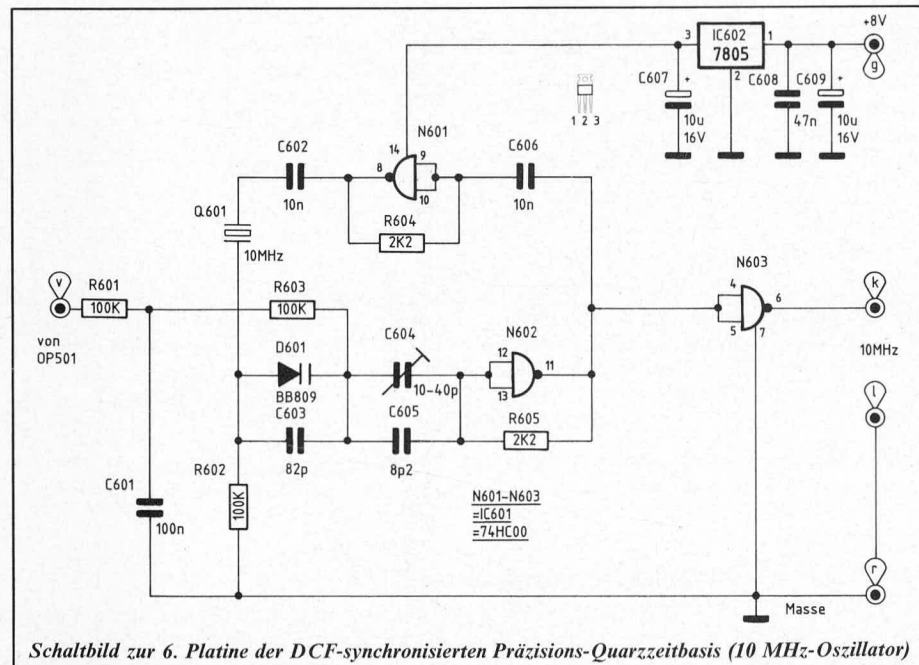
Über das Gatter N 603 wird die Oszillatorfrequenz ausgekoppelt und gepuffert. Am Platinenanschlußpunkt „k“ steht dann eine hochgenaue 10 MHz Rechteckfrequenz zur Verfügung. Diese gelangt zurück auf die 4. Platine an den Platinenanschlußpunkt „k“, um daraus durch Teilung 2500 Hz zu erzeugen, die zu Vergleichszwecken dienen.

Darüber hinaus wird nach erfolgter Pufferung über die Gatter N 401 und N 402 (auf der 4. Platine) die 7. Platine (Platinenanschlußpunkt „m“) gespeist.

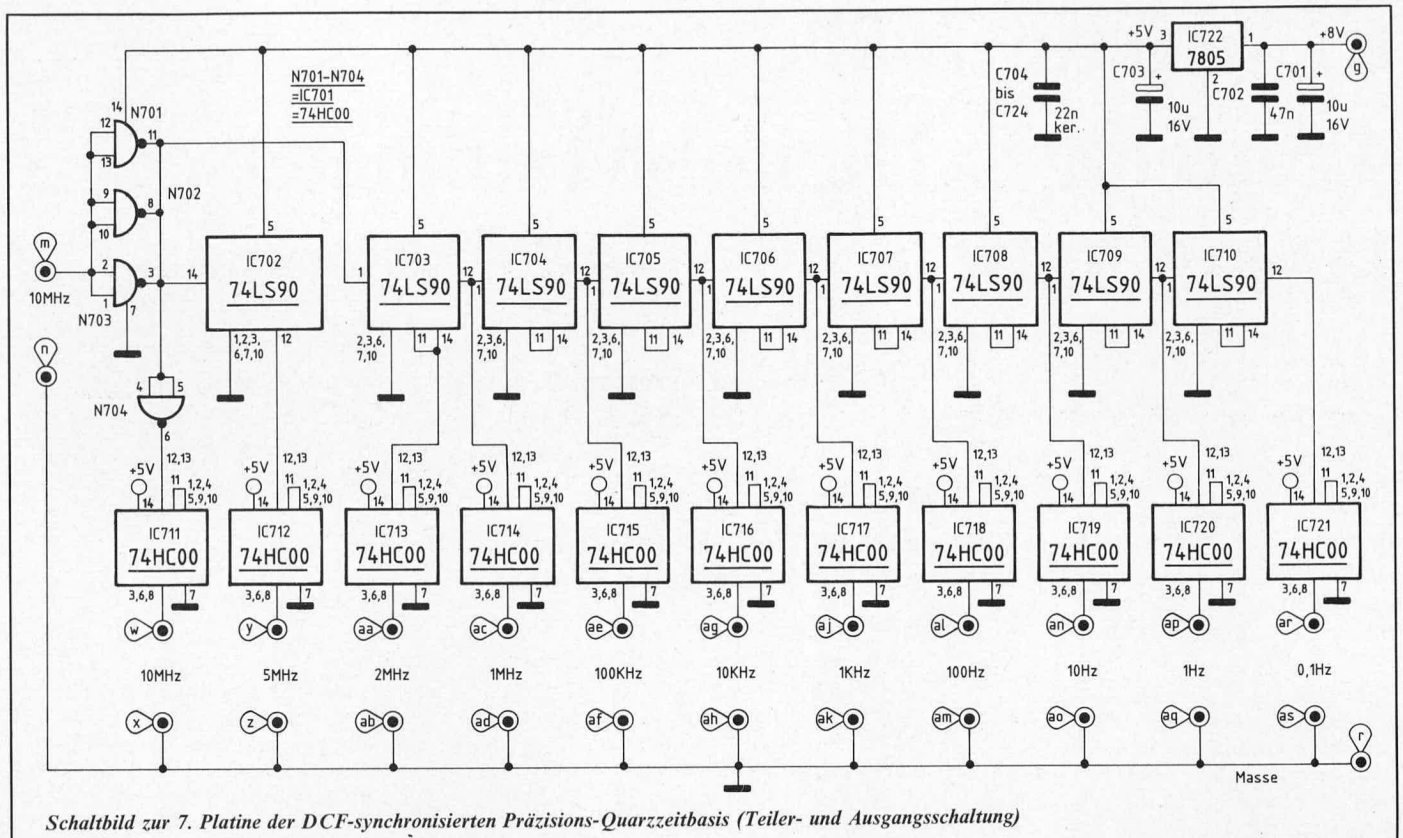
Die Versorgungsspannung der Oszillatorplatine wird separat über einen 5 V-Festspannungsregler stabilisiert, der sich auf derselben Platine befindet.

7. Platine

Der bis zu diesem Punkt getriebene Aufwand dient einzig und allein zur Gewinnung einer hochgenauen 10 MHz-Referenz.



Schaltbild zur 6. Platine der DCF-synchronisierten Präzisions-Quarzeitbasis (10 MHz-Oszillator)



Schaltbild zur 7. Platine der DCF-synchronisierten Präzisions-Quarzeitbasis (Teiler- und Ausgangsschaltung)

renzfrequenz, die aufgrund ihrer Stabilität für verschiedene Anwendungen bestens geeignet ist. Sei es als eigenständige Oszillatorfrequenz, als Frequenznormal zur Kalibrierung von Frequenzzählern o. ä. oder als Zeitbasis zur Erzeugung verschiedener Torzeiten — für supergenaue Referenzfrequenzen ist ein vielfältiger Bedarf.

Damit sich möglichst universelle Anwendungsvoraussetzungen ergeben, haben wir eine zusätzliche Teilerkette auf einer 7. Platine aufgebaut, mit der dekadische Frequenzen im Bereich zwischen 0,1 Hz und 10 MHz sowie zusätzlich 2 MHz und 5 MHz abgreifbar sind. Jeder Stufe ist ein

Impulsformer/Treiber-IC (IC 711 bis IC 721) nachgeschaltet, um möglichst saubere Rechteckfrequenzen mit extrem schnellen Anstiegsflanken (typ. 3 ns!) zu erhalten.

Die eigentliche Teilerkette besteht aus den ICs 702 bis 710.

Mit Ausnahme der 10 MHz und der 2 MHz, deren Tastverhältnis nur ungefähr 1 : 1 beträgt, liegt das Tastverhältnis aller übrigen Ausgangsfrequenzen bei exakt 1 : 1.

Die Belastbarkeit der Ausgangsfrequenzen mit einer Amplitude von 5 V liegt bei mindestens 10 mA.

Die Stabilisierung erfolgt auch für diese Platine mit einem separaten 5 V Festspannungsregler (IC 722), der auf derselben Platine untergebracht ist.

Obwohl diverse Abgleichpunkte in der Schaltung vorhanden sind, gestaltet sich die Inbetriebnahme verhältnismäßig einfach, etwas Praxis beim Nachbau elektronischer Geräte vorausgesetzt. Dieses Thema wird im weiteren Verlauf des Artikels jedoch noch ausführlich beschrieben.

In der kommenden Ausgabe des „ELV journal“ stellen wir Ihnen das Aufbaubeschreibung des Gerätes vor.