

Das Zeit-Gesetz

Keine Angst, jetzt folgt keine theoretische Abhandlung im Sinne der Relativitätstheorie. Wie so vieles in unserer Gesellschaft ist nämlich auch die Zeit gesetzlich festgelegt. Es gibt bei uns nicht nur einfach "die Zeit"; es gibt vielmehr ein Gesetz über die Zeitbestimmung, in dem die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) mit der Darstellung der gesetzlichen Zeit für die Bundesrepublik Deutschland beauftragt wird. Das von der PTB Erzeugte Signal mit (Atom-) Normalfrequenz wird von dem Langwellensender DCF77 ausgestrahlt.

Der Zeit-Sender

Der Sender DCF77 steht bei Frankfurt am Main und ist aufgrund seiner zen-

ten. Bei längeren Abschaltzeiten für Wartungsarbeiten wird ein Reservesender eingeschaltet. Bei kürzeren, überwiegend durch Gewitter bedingten Ausfällen bleibt natürlich auch die Funkfernsteuerung der heimischen Atomuhr aus. In diesem Fall muß die Uhr eine Gangreserve haben, also mit eigener Zeitbasis weiterlaufen können. Oder man muß den Zeitpunkt abwarten, zu dem die Uhr automatisch per Funk nachgestellt wird. In den Jahren zwischen 1974 bis 1978 gab es nur sechs durch Gewitter bedingte Abschaltungen mit einer Dauer zwischen 1 Stunde und 4 Stunden. Ganz kurze Störungen (im Sekunden- oder Minuten-Bereich) werden vermutlich von den Atomuhr-Besitzern gar nicht registriert, weil die Uhr sich ja ständig selbst nachstellt.

Normalzeit-Empfänger für DCF 77

Der erste Schritt zur Atom-Uhr

Die "Atomuhr" hat nichts mit Atomkraftwerken, Atombomben oder ähnlichen (Un-)Dingen zu tun. Vielmehr weist das Wort auf den Ursprung ihrer Zeitbasis hin: eine aus der Resonanzfrequenz bestimmter Atome abgeleitete Normalfrequenz. Es handelt sich um eine Uhr ohne Knöpfe, Schalter und Tasten. Sie wird ganz alleine von einem Signal funkfern-gesteuert, das der Langwellen-Sender DCF77 rund um die Uhr ausstrahlt. Der Artikel beschreibt die Eigenschaften des kodierten Steuersignals und die Schaltung eines geeigneten Langwellen-Empfängers. Die Dekodierung der Informationen und deren digitale Anzeige werden in einem späteren Heft die Atom-Uhr vervollständigen.

tralen Lage mit einer Sendeleistung von 20 bis 25 kW im Umkreis von 700 bis 800 km gut zu empfangen. Die Trägerfrequenz beträgt 77,5 kHz und ist aus einem Atomfrequenznormal abgeleitet. Ihre relative Abweichung vom Nennwert beträgt im Mittel über 100 Tage weniger als 2×10^{-13} . Frequenzschwankungen sind also nur aufgrund der für diesen Frequenz-Bereich (LW) typischen ausbreitungsbedingten Phasenschwankungen des Trägers zu erwar-

Das Zeit-Signal

Der Träger von DCF77 wird mit Sekundenmarken moduliert, indem zu Beginn jeder Sekunde (mit Ausnahme der 59. Sekunde jeder Minute) eine Absenkung der Trägeramplitude auf etwa 25% entweder 100 ms oder 200 ms lang erfolgt. Die Sekunde beginnt genau mit der einsetzenden Absenkung. Die 59. Sekundenmarke fehlt, dadurch wird der folgende Minuten-Beginn angekündigt. Beim Einfügen einer "Schalt-

1

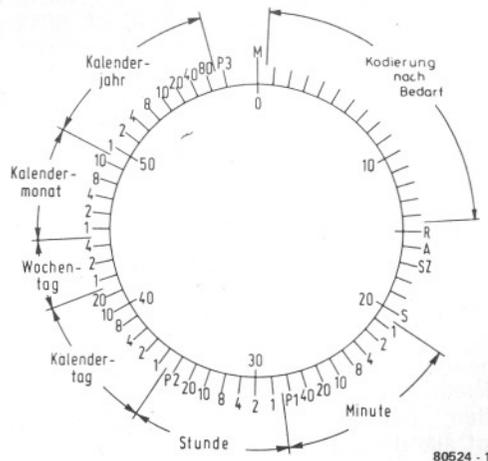


Bild 1. Schema der kodierten Zeitinformation
 M Minutenmarke
 P1,P2,P3 Prüfbits
 R Antennenbit
 A Ankündigungsbit für Übergang auf Sommerzeit oder zurück
 SZ Sommerzeitbit
 S Startbit der kodierten Zeitinformation

80524 - 1

sekunde" wird anstelle der 59. die 60. Sekundenmarke weggelassen. Diese Schaltsekunde korrigiert die aktuelle Zeit bei mehr als einer halben Sekunde Abweichung der astronomischen Zeit (bestimmt durch die Erdrotation) von der künstlichen, physikalischen Zeit (bestimmt durch das Atomfrequenznormal).

Der Zeit-Kode

Die unterschiedliche Dauer der Sekundenmarken von 100 ms oder 200 ms wird dazu benutzt, im BCD-Kode Uhrzeit und Datum zu übertragen. Dabei entsprechen Sekundenmarken mit einer Dauer von 100 ms der logischen 0 und solche mit einer Dauer von 200 ms der logischen 1. Bild 1 zeigt das Schema der Kodierung und die Zuordnung der einzelnen Sekundenmarken auf die übertragene Zeitinformation (die Wertigkeit der logischen Informationen).

Die Kodierung der Sekundenmarken 1 bis 14 ist noch nicht festgelegt, so daß die erste auswertbare Information mit der 15. Sekunde beginnt. Das Antennenbit "R" zeigt mit einer logischen 1 (200 ms) an, daß die Reserveantenne (bzw. der Reservesender) eingeschaltet ist. Bit "A" (Nr. 16) gibt eine Stunde vorher mit einer logischen 1 den Wechsel von Sommer- nach Winterzeit und umgekehrt an (60malige Wiederholung). Bit "SZ" (Nr. 17) gibt Auskunft darüber, ob sich die folgende Zeit-Information auf die Sommer- oder Winterzeit bezieht.

Mit Startbit "S" beginnt die aktuelle Zeit-Information. Eingeleitet von einer logischen 1 erfolgt die kodierte Übertragung von Uhrzeit und Datum im Bereich der Sekundenmarken Nr. 21 bis

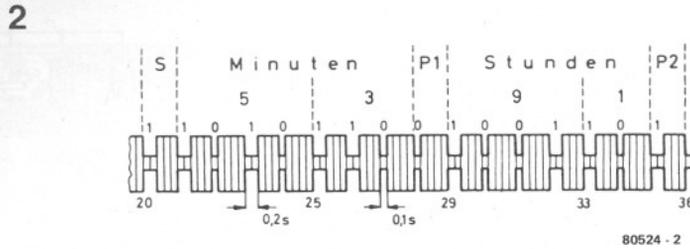


Bild 2. Träger-einhüllende für die kodierte Uhrzeit 19.35 Uhr. Die unterhalb der Träger-einhüllenden stehenden Zahlen sind die Nummern einiger Sekundenmarken. Oberhalb der Träger-einhüllenden findet man zunächst die Binärwerte der Sekundenmarken und darüber die dekodierten Dezimalziffern.

Nr. 58 jeder Minute. Dabei gelten die übertragenen Bitmuster jeweils für die darauf folgende Minute.

Die Prüfbits (Nr. 28, 35 und 58) ergänzen die jeweils vorhergehenden Informationen auf eine gerade Zahl von logischen Einsen.

Als Beispiel für die Kodierung bei DCF77 ist in Bild 2 die Modulation des Trägers für eine Uhrzeit dargestellt.

Dreimal stündlich in den Minuten 19, 39 und 59 (jeweils während der Sekunden 20 bis 32) wird zweimal hintereinander das Rufzeichen "DCF77" als Folge von Morsezeichen ausgesendet. Je ein Buchstabe oder eine Ziffer wird zwischen zwei Sekundenmarken ausgestrahlt, wobei die Morsezeichen in Form von 250-Hz-Rechteck-Trägerablenkungen von 100% auf etwa 85% gegeben werden. Die Rufzeichenerzeugung erfolgt elektronisch ohne Unterbrechung der Zeitmarkenfolge.

Der Zeit-Empfänger

In Bild 3 ist das Blockschaltbild des

Normalzeit-Empfängers dargestellt. Bei der Entwicklung mußten drei Forderungen erfüllt werden:

1. kein Spulen-(HF-)Abgleich,
2. große Empfindlichkeit und
3. geringe Bandbreite

Die geringe Bandbreite wurde mit Hilfe eines Bandfilters erreicht. Die große Empfindlichkeit erzielt man durch die Verwendung einer aktiven Antenne mit einem Rauscharmen Vorverstärker und durch die schon erwähnte geringe Bandbreite. Ein Spulen-Abgleich erübrigt sich dank des Einsatzes eines Quarz-Oszillators und eines Bandfilters mit festgelegten Parametern.

Da alle drei Forderungen zusammen nur mit einem Überlagerungsempfänger zu realisieren sind, wird in der Schaltung das verbreitete IC TCA440 verwendet.

Es enthält eine geregelte HF-Vorstufe, den Mischer, einen Oszillator und einen geregelten ZF-Verstärker. Außerdem sorgt die interne Spannungs-Stabilisierung für eine rückwirkungs-freie Arbeitsweise aller Schaltungs-teile.

3

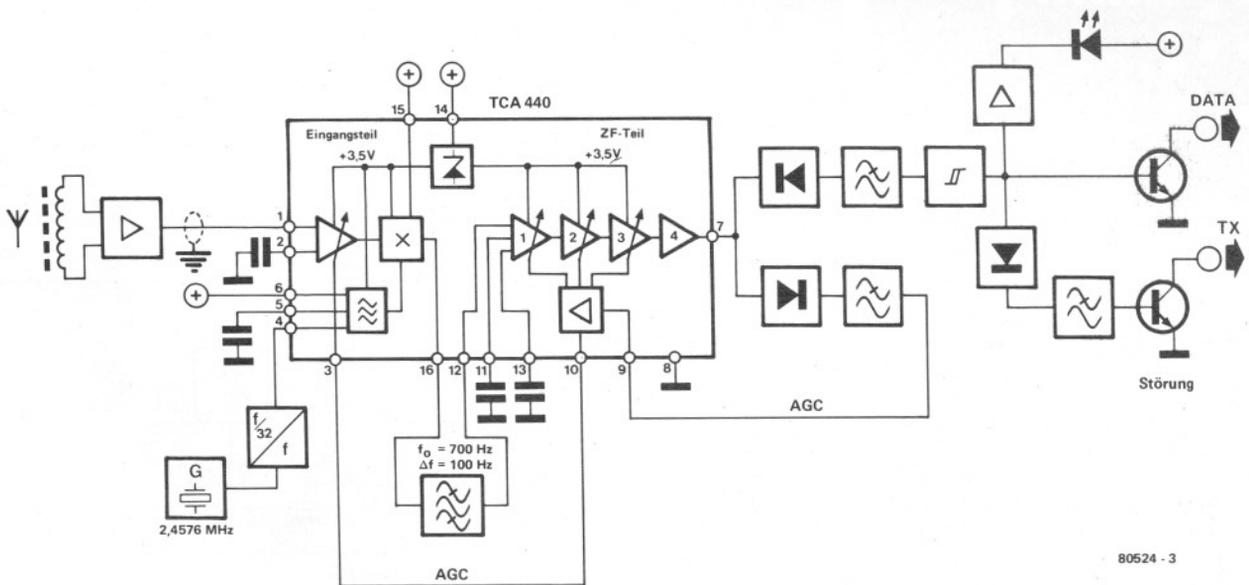


Bild 3. Blockschaltbild des Normalzeit-Empfängers. Rund um das IC TCA440 ist ein Festfrequenz-Überlagerungs-Empfänger aufgebaut. Das hochfrequente Eingangssignal (77,5-kHz-Träger) wird von einer aktiven (Ferrit-)Antenne empfangen. Die Schaltung hat zwei "Open Collector"-Ausgänge: "DATA" liefert das DCF-Signal; und an "TX" steht ein Signal bei Senderausfall oder Empfangsstörung zur Verfügung.

Durch die hohe Integration ist in diesem Falle nur noch die externe Erzeugung der Regelspannung für die Vorstufe und den 3-fach-ZF-Verstärker notwendig. Diese Regelspannung (AGC) wird durch Gleichrichtung und Filterung aus dem ZF-Signal gewonnen und dem Regelverstärker über Pin 9 des IC zugeführt. Die Vorstufe erhält das gleiche Regelsignal nach Entkopplung durch einen im Regelverstärker enthaltenen Emitterfolger (Ausgang Pin 10) über Pin 3 des IC.

Das DCF-Signal gelangt nach Gleichrichtung und Filterung über einen Schmitt-Trigger TTL-kompatibel an den Open-Collector-Ausgang "DATA" und über einen Puffer-Verstärker an die LED-Betriebsanzeige. Außerdem liegt am Ausgang "TX" nach Gleichrichtung und Filterung des DCF-

4

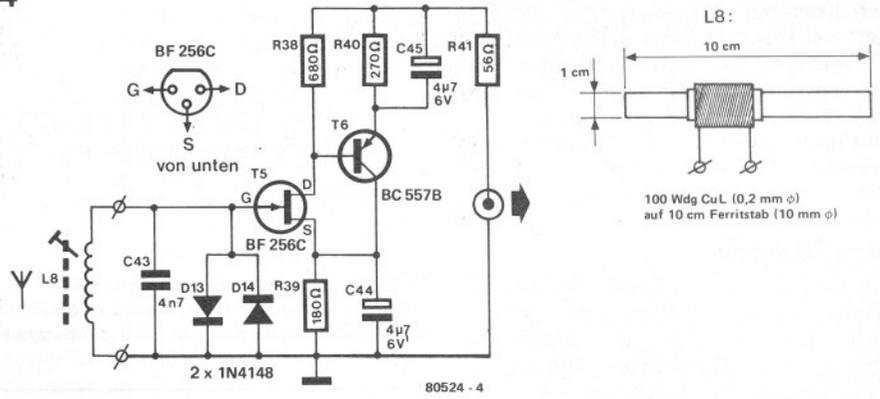


Bild 4. Ein Empfänger ist nur so gut wie seine Antenne! Im Umkreis von bis zu 800 km von Mainflingen bei Frankfurt, dem Standort des DCF-Senders, erhält man mit dieser aktiven Antenne einen guten Empfang.

5

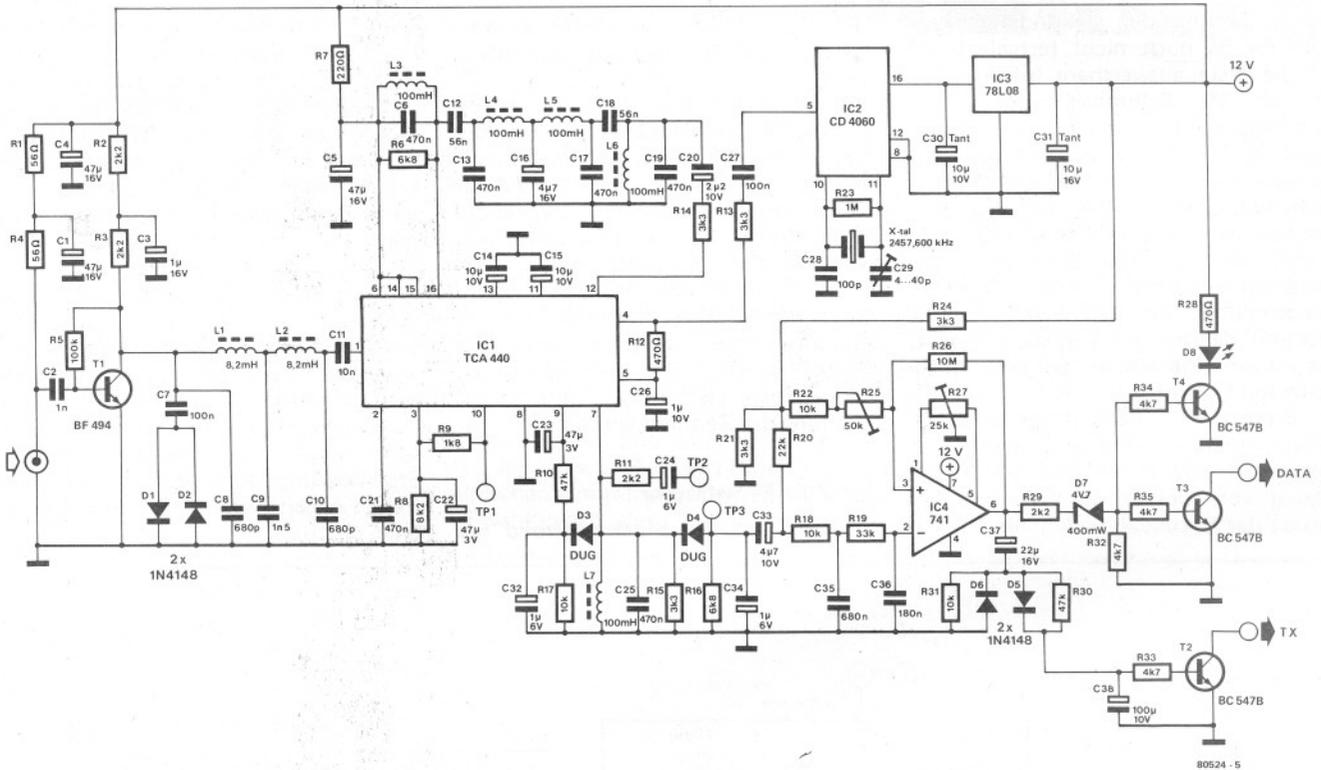


Bild 5. Das Schaltbild des Normalzeit-Empfängers. Seine richtige Funktion wird mit R25, R27 und C29 eingestellt und mit Hilfe eines Oszilloskops an den Testpunkten TP1 . . . TP3 überprüft. Eine Einstellung "nach Gehör" ist auch möglich: dazu braucht man einen Kristall-Ohrhörer oder Verstärker und ein Vielfachmeßinstrument.

Signals eine Spannung an, die als Störungs-Indikator dienen kann.

6

Schaltung

Die Bilder 4, 5 und 6 zeigen die gesamte Schaltung des Normalzeit-Empfängers. In Bild 4 ist die aktive Antenne dargestellt. Die auf den Ferritstab gewickelte Spule L8 läßt sich beim Abgleich noch so verschieben, daß die Resonanzfrequenz des Eingangskreises L8/C43 genau "getroffen" wird. Das hochfrequente Signal wird von der Verstärker-Stufe mit FET T5 etwa 20mal verstärkt und über T6 ausgekoppelt.

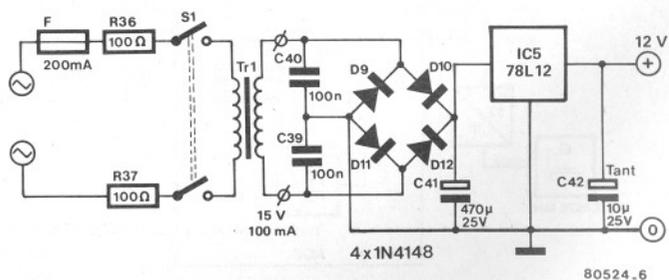


Bild 6. Die Speisung des Empfängers ist bis auf Netztrafo, 2 Widerstände, Netzschalter und Sicherung ebenfalls auf der Platine enthalten.

7

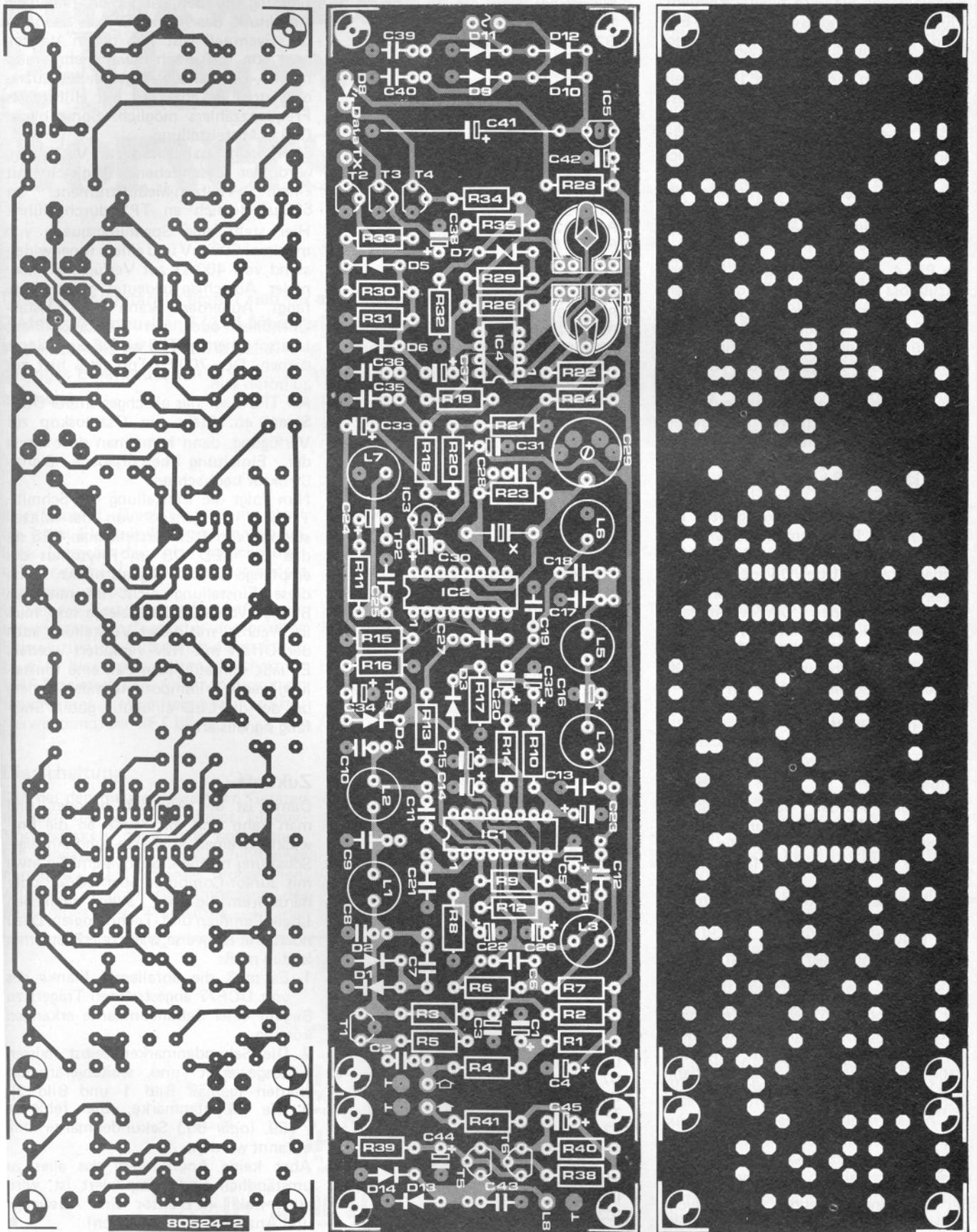


Bild 7. Layout und Bestückungsplan der doppelseitig kupferkaschierten Platine für den Empfänger. Die Bauteile-Seite ist gleichzeitig die Massefläche der Schaltung, so daß dort auch alle Lötverbindungen nach Masse hergestellt werden müssen. Die Elkos werden senkrecht eingesetzt und önnen entweder Print- oder "Normal"-Typen mit entsprechend zurechtgebogenen Drahtenden sein. Tantal-Elkos sind nur dort erforderlich, wie sie in der Stückliste ausdrücklich als solche gekennzeichnet sind.

Die Antenne erhält ihre Speisespannung über das am Ausgang angeschlossene Koaxialkabel. Sie wird zweifach gesiebt. (durch R1/C4 und R4/C1) an den Eingang des eigentlichen Empfängers gelegt (siehe Bild 5).

Zwischen den Pins 12 und 16 liegt ein 700-Hz-Bandpaß, aufgebaut mit Festinduktivitäten. Seine Bandbreite ist in dieser Dimensionierung etwa 100 Hz. Man kann die Bandbreite zwar auch kleiner wählen, muß dann aber das Filter abgleichen! Der Formfaktor des LC-Bandfilters ist etwa 3 (Formfaktor = -60-dB-Bandbreite geteilt durch -6-dB-Bandbreite).

An Pin 4 wird das Signal des externen Oszillators eingespeist. Mit dem Quarz ergibt sich eine Schwingfrequenz von 2,4576 MHz. Dieses Signal wird mit IC2 durch 32 geteilt, so daß eine Spannung mit der Frequenz von 76,8 kHz entsteht. Durch Multiplikation (Mischung) des Eingangssignals mit einer Frequenz von 77,5 kHz mit diesem Oszillatorsignal entsteht das ZF-Signal mit einer Frequenz von 700 Hz ($77,5\text{ kHz} - 76,8\text{ kHz} = 700\text{ Hz}$).

Nach Filterung und Verstärkung gelangt das Signal an den Ausgang von IC1 (Pin 7). Das Regelsignal AGC wird von D3 durch Gleichrichtung des 700-Hz-Signals erzeugt. Über D4, den Schmitt-Trigger mit IC4, D7 und T3 gelangt das DCF-Signal an den "DATA"-Ausgang. T4 steuert die LED im Rhythmus des empfangenen Zeit-Signals. Mit D5 und T2 ist die Störungs-Anzeige "TX" aufgebaut. Schließlich ist in Bild 6 noch die einfache Speisung des Empfängers dargestellt.

Aufbau

Alle zum Aufbau des Empfängers notwendigen Einzelheiten sind Bild 7 zu entnehmen. Die Platine für die aktive Antenne wird von der Haupt-Platine abgesägt.

Die komplette Antenne wird in ein kleines Kunststoff-Gehäuse eingebaut.

Eine BNC-Buchse stellt die Verbindung mit dem Empfänger her. Den Einbau bitte erst nach dem Abgleich vornehmen!

Der Empfänger wird (ebenfalls erst nach dem Abgleich!) in ein abschirmendes Weißblechgehäuse eingebaut. Die notwendigen Verbindungen stellt man dann über Buchsen oder Durchführungskondensatoren her.

Abgleich

Wie schon erwähnt, ist kein HF-Abgleich der Schaltung notwendig. Als Abgleichpunkte sind TP1..TP3 und als Abgleich-Elemente R25, R27 und C29 gekennzeichnet.

Zunächst geht man von der Mittelstellung der Abgleich-Elemente aus. Nach der Verbindung der Antenne mit dem Empfänger und der Kontrolle der Betriebsspannung(en) wird an TP2 ein Oszilloskop angeschlossen. Dort wird

Stückliste

Widerstände:

R1,R4,R41 = 56 Ω
 R2,R3,R11,R29 = 2k2
 R5 = 100 k
 R6,R16 = 6k8
 R7 = 220 Ω
 R8 = 8k2
 R9 = 1k8
 R10,R30 = 47 k
 R12,R28 = 470 Ω
 R13,R14,R15,R21,R24 = 3k3
 R17,R18,R22,R31 = 10 k
 R19 = 33 k
 R20 = 22 k
 R23 = 1 M
 R25 = 50-k-Trimmpoti
 R26 = 10 M
 R27 = 25-k-Trimmpoti
 R32,R33,R34,R35 = 4k7
 R36,R37 = 100 Ω
 R38 = 680 Ω
 R39 = 180 Ω
 R40 = 270 Ω
 R41 = 56 Ω

Kondensatoren:

C1,C4,C5 = 47 μ /16 V
 C2 = 1 n
 C3 = 1 μ /16 V
 C6,C13,C17,C19,C21,C25 = 470 n
 C7,C27,C39,C40 = 100 n
 C8,C10 = 680 p
 C9 = 1n5
 C11 = 10 n
 C12,C18 = 56 n
 C14,C15 = 10 μ /10 V
 C16 = 4 μ /16 V
 C20 = 2 μ /10 V
 C22,C23 = 47 μ /3 V
 C24,C32,C34 = 1 μ /6 V
 C26 = 1 μ /10 V
 C28 = 100 p
 C29 = 4 ... 40-p-Trimmer
 C30 = 10 μ /10 V Tantal
 C31 = 10 μ /16 V Tantal
 C33 = 4 μ /10 V
 C35 = 680 n
 C36 = 180 n
 C37 = 22 μ /16 V
 C38 = 100 μ /10 V
 C41 = 470 μ /25 V
 C42 = 10 μ /25 V Tantal
 C43 = 4n7
 C44,C45 = 4 μ /6 V

Spulen:

L1,L2 = 8,2 mH
 L3 ... L7 = 100 mH
 L8 = 100 Windungen CuL (0,2 mm ϕ) auf 10 cm Ferritstab (10 mm ϕ)

Halbleiter:

D1,D2,D5,D6,D9 ... D14 = 1N4148
 D3,D4 = DUG
 D7 = Zenerdiode 4V7/0,4 W
 D8 = LED rot
 T1 = BF494
 T2,T3,T4 = BC547B
 T5 = BF256C
 T6 = BC557B
 IC1 = TCA440
 IC2 = CD4060
 IC3 = 78L08
 IC4 = 741
 IC5 = 78L12

außerdem:

X-Tal = 2457,600-kHz-Quarz
 Tr1 = Netztrafo 15 V/100 mA sek.
 S1 = doppelpoliger Netzschalter
 F = Feinsicherung 200 mA träge

nun durch Verschieben der Spule auf dem Ferritkern und gleichzeitige Ausrichtung auf den Sender die maximale Amplitude des 700-Hz-Signals beobachtet. Eventuell läßt sich durch Verstellung von C29 noch etwas mehr "raus-holen". Der genaue Abgleich des Quarzoszillators ist aber nur mit Hilfe eines Frequenzzählers möglich. Sonst bleibt C29 in Mittelstellung.

Steht kein Oszilloskop zur Verfügung, wird der beschriebene Abgleich mit einem Vielfach-Meßinstrument im 500- μ A-Bereich an TP1 durchgeführt. Hier steht eine Spannungsquelle von maximal 600 mV und einem Innenwiderstand von 400 Ω zur Verfügung. Maximaler Ausschlag bedeutet guten Empfang! Außerdem kann ein Kristall-Ohrhörer oder ein Verstärker mit Lautsprecher an TP2 als NF-Empfänger dienen. Der 700-Hz-Ton muß hier gut zu hören sein.

An TP3 liegt das gleichgerichtete DCF-Signal an. Steht ein Oszilloskop zur Verfügung, dann kann man dort die in der Einleitung beschriebene Signalstruktur beobachten.

Nun folgt die Einstellung des Schmitt-Triggers. Ausgehend von der Mittelstellung von R27 verstellt man R25 so, daß die LED D8 im Rhythmus des empfangenen DCF-Signals blinkt. Sollte diese Einstellung nicht im mittleren Bereich von R25 zu erzielen sein, muß im Wechsel mit dieser Verstellung auch der Offset mit R27 verändert werden. Es läßt sich auf jeden Fall eine Einstellung beider Trimpotentiometer finden, bei der die LED eindeutig guten Empfang signalisiert.

Zukunft

Damit ist der Abgleich beendet, und man kann sich mit Muße an die Entwicklung einer Auswerte- und Anzeige-Schaltung machen. Softwaremäßig etwa mit Junior-Computer oder SC/MP oder hardwaremäßig mit allen möglichen Logik-Familien und -Technologien. Dazu noch drei Hinweise, was so ein Programm leisten muß:

1. Es muß die abfallende Flanke des von DCF77 abgestrahlten Trägers zu Beginn einer Sekundenmarke erkennen können.
2. Die Sekundenmarken selbst müssen ausgewertet und weiterverarbeitet werden (gemäß Bild 1 und Bild 2).
3. Die Minutenmarke, die fehlende 59. (oder 60.) Sekundenmarke muß erkannt werden.

Aber keine Angst, wem das alles zu umständlich und kompliziert ist, wird auch bald in Elektor eine Auswerte- und Anzeigeschaltung finden!