

Frequenzzähler - die elektronische Skala in Empfängern, Sendern und Meßgeräten

Helmut Stadelmeyer

Angesprochen sind all jene, die auch heute noch den Ehrgeiz haben, Geräte für unser Hobby entweder komplett selbst zu bauen oder vorhandene ältere Geräte mit einer digitalen Frequenzanzeige nachzurüsten.

Der Beitrag soll grundsätzliche Anforderungen definieren helfen und Erfahrungen vermitteln, die beim Bau eines solchen Zählers gemacht wurden. Er ist aber kein Kochrezept für einen Nachbau, weil das über den gesetzten Rahmen doch hinausginge. Folgende Punkte haben sich als beachtenswert herausgestellt:

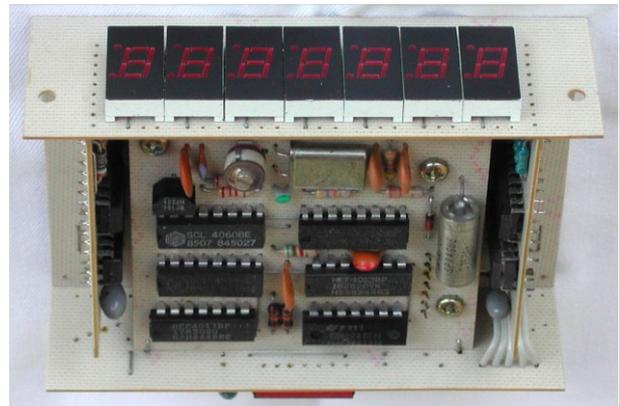


Abb. 1: Frontseite des Zählers von unten

1. Baugröße

Für diesen Anwendungszweck ist so klein wie möglich zu bauen, denn zumeist ist auf der Frontplatte der Geräte wenig Platz vorhanden. Die Forderung klingt banal, ist aber für jeden Konstrukteur eine Herausforderung. Auch sollte unser Zähler so gebaut sein, daß er dort ordentlich zu befestigen ist.

2. Störfreiheit

Nicht nur der Zähler selbst soll ungestört funktionieren, er darf auch in dem Gerät, in das er eingebaut wird, keine die Funktion beeinträchtigenden Störungen hervorrufen. Diese Forderung ist besonders bei Empfängern schwierig einzuhalten, weil diese ja möglichst das Gras wachsen hören sollen.

In der Hauptsache sind es zwei Quellen, aus denen das Ärgernis kommt:

- Der Oszillator für die Zeitbasis
- Die Multiplex- und Treiberschaltung für die Anzeige (ohne Multiplexen geht es wegen der begrenzten Baugröße nicht)

Abhilfe schafft nur überlegter Aufbau und konsequentes Abblocken aller nach außen führenden Leitungen. Man sollte sich aber des Umstandes bewußt sein, daß trotzdem auf bestimmten Frequenzen zumindest der Zeitbasis-Oszillator zu hören sein wird, weil Logiksignale sehr oberwellenreich sind.

Manchmal ist es möglich, die Zeitbasis-Oszillatorfrequenz so zu wählen, daß in den Empfangsbereich keine oder nur wenig Oberwellen fallen. Doch sollte man bedenken, daß bei einer hohen Oszillatorfrequenz bereits niedrigere Harmonische in den geplanten Empfangsbereich fallen, und die sind normalerweise energiereicher, produzieren also kräftigere Störungen. Es gilt, hier einen Kompromiß zu finden.

3. Stellenanzahl

Sofern man die Anforderungen nicht auf die Spitze treiben will, wird es im allgemeinen genügen, im Kurzwellenbereich bis auf 100 Hz und auf den UKW-Bändern bis auf 1 kHz ablesen zu können; das ergibt in beiden Fällen 6 Stellen, wenn eine Torzeit von 0,1 Sekunden gewählt wird und reicht auf KW für alle Betriebsarten und auf UKW für guten FM-Betrieb, nicht aber für SSB. Den Zähler vielleicht doch mit einer 7. Stelle versehen?

4. Genauigkeit, Zählfehler

Unser Zähler soll einerseits klein sein und andererseits auch nicht allzu teuer werden. Ein thermostatgeregelter Quarzoszillator, wie er in den großen, vielstelligen Laborzählern verwendet wird, scheidet deshalb aus.

Sinnvoll erscheint hingegen die Lösung, den Oszillator mit einem der billigen Uhrenquarze zu bestücken, wofür es auch die entsprechenden Teiler-ICs in CMOS-Ausführung gibt. Die Frequenzkonstanz dieser Quarze liegt in der Größenordnung von 1 bis 10 ppm, was bedeutet, daß bei 6 Stellen die letzte bereits Unsicherheiten aufweist. Die Frequenzänderungen stammen sowohl von der Temperaturdrift als auch von der Alterung des Quarzes und sind mit einfachen Mitteln nicht zu vermeiden.

Frequenzzähler - die elektronische Skala

Also ein weiterer Grund, bei einem solchen Projekt nicht mehr als 6 Stellen zu planen, weil eine 7. Stelle keinen Aussagewert besitzt. Diese Überlegung gilt gleichermaßen auch für alle 7- und mehrstelligen Zähler(bausätze), deren Herzschlag ohne zusätzliche Maßnahmen von einem solchen Quarz abgeleitet wird. Bei diesem Zähler wird das linke (7.) Digit zur Anzeige des Betriebszustandes verwendet (S/E, Überlauf, etc.).

Der Zählfehler entsteht, weil das Öffnen des Zähltors nicht mit dem Eintreffen der zu zählenden Impulse synchronisiert ist. Er beträgt bei gleichmäßiger Zählimpulsfolge $\pm 0,5$ Digit, bei Verwendung eines Vorteilers, der ausgangsseitig zur Erzielung eines dezimalen Teilverhältnisses manche Impulse ausblendet, auch mehr (1). Die Folge ist, daß die letzte Ziffer der Anzeige in einem bestimmten Bereich hin- und herspringt. Durch Mittelung der angezeigten Werte kommt man auf den tatsächlichen Wert.

5. Torzeit

Die Wahl der Torzeit hat einerseits Einfluß auf die Schnelligkeit einer genauen Abstimmung und andererseits auf eine angenehme, möglichst ruhige Anzeige.

Es ist nicht tragbar, beispielsweise die in Laborzählern übliche Torzeit von 1 Sekunde auch bei unserem Zähler anzuwenden: Man müßte nach jeder Bewegung des Abstimmknopfes zumindest eine ganze Sekunde warten, bis die gültige Anzeige erscheint, stellt dann fest, daß man zu hoch oder zu tief liegt, verstellt und wartet wieder, usw.

Die Torzeit von 0,1 Sekunde ist aus dieser Sicht einwandfrei, weil die richtige Anzeige unmittelbar vorliegt. Nur ist die letzte Ziffer aufgrund des Zählfehlers übernervös.

Ein guter Kompromiß scheint 0,2 Sekunden zu sein. Man muß, um eine richtige Anzeige zu erhalten, lediglich bei der Wahl des vorgeschalteten Teilers (den man fast immer brauchen wird!) auf diesen Umstand achten. Kleiner Bonus am Rande: Wegen der doppelt so langen Torzeit ist nur die halbe Zählfrequenz am Eingang erforderlich und das gibt weniger Oberwellen-Störungen.

Rechenbeispiel: Angenommen sei

- Torzeit 0,2 s
- Höchste anzuzeigende Frequenz = 30 MHz
- Stellenzahl 6, d.h., Anzeige 30000.0(kHz) und somit Ablesung bis auf 100 Hz.

Um in 0,2s 300000 Impulse zu zählen, ist eine Zählereingangsfrequenz von $300000 : 0,2 = 1,5$ MHz erforderlich. Der Vorteiler muß demnach auf ein Teilverhältnis von $30 \text{ MHz} : 1,5 \text{ MHz} = 20$ ausgelegt werden.

Aufpassen muß man, daß die Zählimpuls-Breite bei der höchsten anzuzeigenden Frequenz nicht kleiner wird, als sie der LSI-IC verarbeiten kann. Zu dieser Art von Vorteilern gehören alle Schaltungen, die ein duales Teilverhältnis von z.B. 1:64, 1:256, 1:960 durch Ausblenden von Impulsen auf einen dezimalen Teilerfaktor bringen (1) oder ein unsymmetrisches Ausgangssignal liefern.

Zum Glück sind die Angaben der IC-Hersteller meist recht konservativ gehalten. MOSTEK gibt z.B. für den MK50398/50399 1,5 MHz an; ich habe eine Anzahl dieser ICs geprüft und jeder konnte bei normaler Temperatur und 12 V Betriebsspannung 3,5 MHz einwandfrei verarbeiten. Man muß das im Bedarfsfall untersuchen.

Wird bei obiger Rechnung die maximale Zählimpulsfolge überschritten, so kann man entweder die Torzeit doppelt so lang machen und den Teilerfaktor verdoppeln, was sich dann bei der Abstimmung schon bemerkbar macht, oder man erhöht den Vorteiler-Faktor um eine Dekade und hat dann halt eine um 1 Stelle weniger genaue Anzeige. Oder man sucht einen anderen LSI-IC und beginnt von vorne.

6. Programmierbarkeit

Ist unser gutes Stück für einen Empfänger bestimmt, dann kommt man um die Programmierbarkeit der ZF-Ablage nicht herum, weil ja nur die Frequenz des Überlagerungsoszillators gezählt werden kann.

Die Forderung nach freier Programmierbarkeit der Ablage schränkt die Anzahl der verwendbaren LSI-ICs bereits merklich ein, denn längst nicht alle können das. Nur damit kann man aber auch an Empfänger herangehen, die exotische ZF-Frequenzen benutzen.

Frequenzzähler - die elektronische Skala

Ob man zur Programmierung Schalter verwendet oder Dioden einlötet, ist eine Platzfrage; auf jeden Fall direkt an die Zählerbaugruppe ohne lange Drähte! Arbeitet der Empfänger mit zwei verschiedenen ZF-Frequenzen, z.B. im unteren Empfangsbereich als Einfachsuper und im oberen als Doppelsuper, so muß man sich für eine Ablage entscheiden und bei der anderen Kopfrechnen. Eine automatische Umschaltung ist platzaufwendig und erfordert zumeist ebenfalls längere Leitungen, die dann wie lauter kleine Sendeanennen wirken und dafür sorgen, daß der Empfang gestört wird.

7. Ablesbarkeit

Die Größe und Art der Anzeigen wird ebenfalls von einem Kompromiß bestimmt:

LCD wäre gut, weil der Strom und damit die Störungen gering sind. Die Ansteuerung ist aber schwierig und es gibt nur wenige geeignete ICs. Deshalb wird diese Lösung in den meisten Fällen ausscheiden.

LED stört zwar des höheren Stromes wegen leichter beim Empfang, ist aber billig und viele ICs sind hierfür ausgelegt. Notfalls kann man sich mit Treibern für die Anzeige behelfen, wenn der LSI-IC den Strom nicht aufbringt.

Als Zifferngröße scheint 7 mm ein guter Kompromiß, denn 10- oder 12-mm-Digits brauchen schon recht viel Platz und die Taschenrechner-Anzeigen mit 3 bis 4 mm sind arg klein. Für die 7-mm-Anzeigen spricht auch, daß man die Zählerelektronik nicht wesentlich kleiner machen kann als man für die Anzeigen Platz braucht. Die Helligkeit ist bei LEDs mit den Vorwiderständen bequem einzustellen.

8. Empfindlichkeit

Die maximale Eingangsfrequenz der eigentlichen Zähler-LSI-ICs liegt im Bereich von 1 bis 10 MHz und das Eingangssignal muß dem Chip entsprechend TTL- oder CMOS-Pegel aufweisen. Falls der gesamte Kurzwellenbereich abgedeckt werden soll, ist man also bereits auf einen Vorteiler angewiesen, der mit TTL aufgebaut wird und seinerseits einen vorgeschalteten Verstärker braucht. Maßgebend für die Empfindlichkeit ist somit die Baugruppe "Vorteiler" und nicht die Baugruppe "Zähler".

Es genügt also, vor den LSI-IC eine Schaltung zu setzen, die das Ausgangssignal des Vorteilers auf den richtigen Pegel anhebt. Für den Fall, daß ein solcher Zähler ohne Vorteiler betrieben werden soll, ist ein abgesetzter Vorverstärker zu empfehlen. Man ist dann die Sorgen mit Einstreuungen der Multiplex-Frequenz in den empfindlichen Vorverstärker und daraus resultierenden Zählfehlern los.

Von übertriebenen Ansprüchen an die Empfindlichkeit des Vorverstärkers sei ausdrücklich abgeraten, weil dann auch jede kleinste Brummspannung mitgezählt wird, was keinesfalls in unserem Interesse sein kann. Etwa 50 mV reicht in den meisten Fällen.

9. Stromverbrauch

Ein mit LEDs bestückter Zähler ist für batteriebetriebene Geräte nicht geeignet, bei netzbetriebenen braucht man hingegen nicht allzusehr geizen. Trotzdem wird man den Zeitbasis-Oszillator nicht unnötig aufheizen und deshalb möglichst CMOS-ICs einsetzen. Typische Werte sind dann ca. 50 mA bei 12 V für Pegelanpaß-Verstärker, Zeitbasis und LSI-IC sowie ca. 150 mA bei 5 V für die Anzeige. Dazu kommt noch ein Vorteiler oder Vorverstärker mit 50 bis 150 mA bei 5 V. Damit wird das Netzteil des zu erweiternden Gerätes wahrscheinlich nicht über Gebühr belastet.

10. Frequenzbereich, Bauteile

Mit dem Konzept eines Vorverstärker-Vorteilers und nachgeschaltetem Zähler lassen sich Segmente des gesamten Bereiches von 10 kHz bis 2 GHz abdecken. An Beispielen wird das nachstehend gezeigt; als Zähler-IC soll der MK50398/50399 angenommen werden:

- Bereich 10 kHz bis 70 MHz: Vorteiler 1:20 mit 74LS196 (:10) und 7474 (:2); maximale Impulsfolge am Zählereingang 3,5 MHz, letzte Stelle zeigt 100 Hz an.
- Bereich 30 MHz bis 450 MHz: Vorteiler 1:200 mit U644 und Dezimalisierung von 64 auf 100; maximale Impulsfolge am Zählereingang $450:200 \times 100:64 = 3,516$ MHz, letzte Stelle zeigt 1 kHz an.
- Bereich 100 MHz bis 1,5 GHz: Vorteiler 1:2000 mit SDA 4211 und Dezimalisierung von 64 auf 100; maximale Impulsfolge 1,17 MHz, letzte Stelle zeigt 10 kHz an.

Frequenzzähler - die elektronische Skala

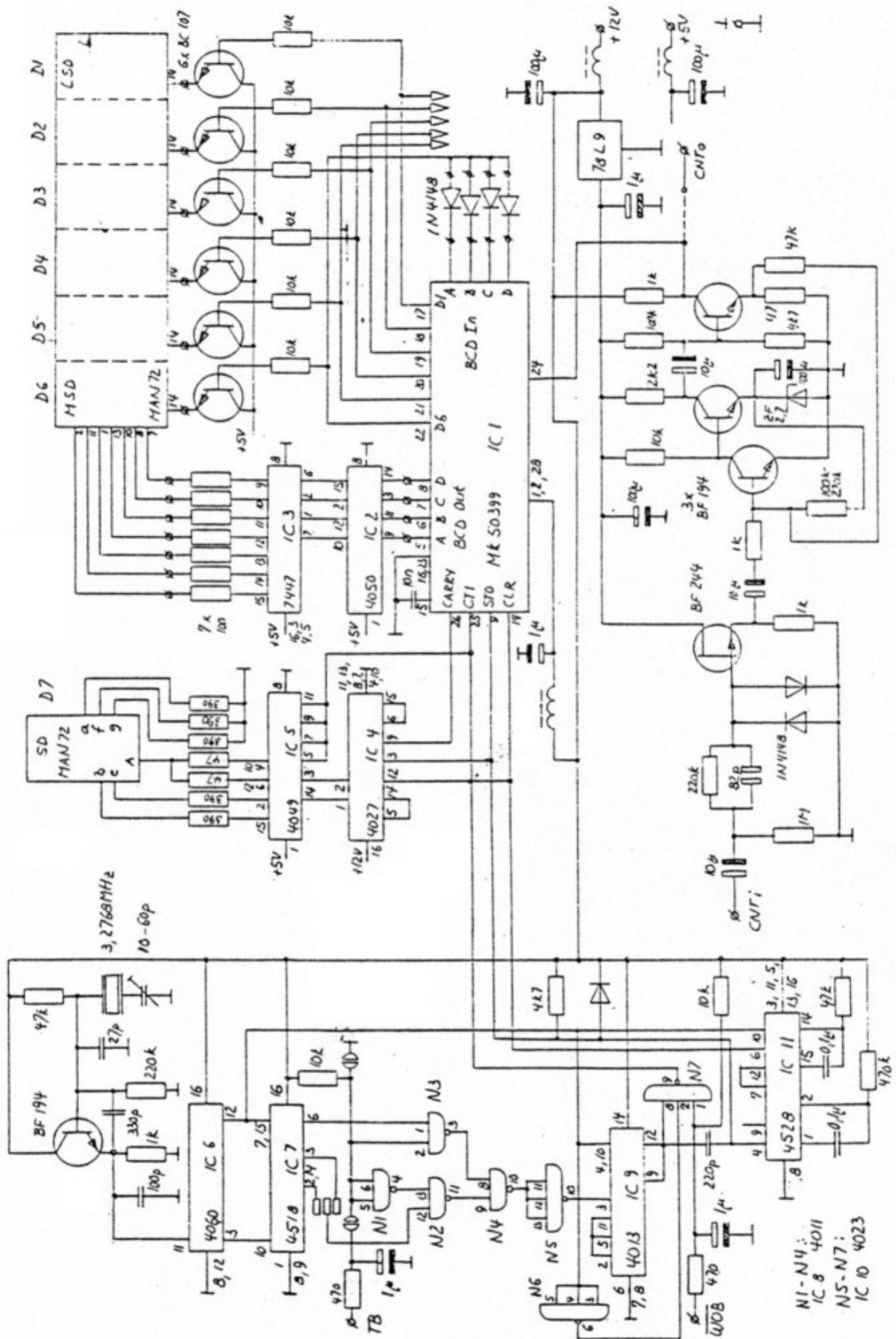


Abb. 2: Schaltplan des Zählers

Frequenzzähler - die elektronische Skala

Für den Zähler sind außer dem LSI-IC keine Spezialbauteile erforderlich, sodaß mit keinen größeren Beschaffungsschwierigkeiten zu rechnen ist. Die im Schaltbild angeführten Transistoren waren gerade vorrätig, sie können selbstverständlich durch modernere und für die jeweilige Anwendung geeignete Typen ersetzt werden. Für die Leiterplatten ist jedes 1 mm dicke Material brauchbar, beim Mustergerät wurde beigefarbenes Phenolharz verwendet, das mit Gewebe verstärkt und leichter zu bearbeiten ist als FR4-Epoxi; das lästige Nachschleifen der HSS-Bohrer fällt weg. Für schnelle Vorteiler ist Hartpapier ungeeignet.

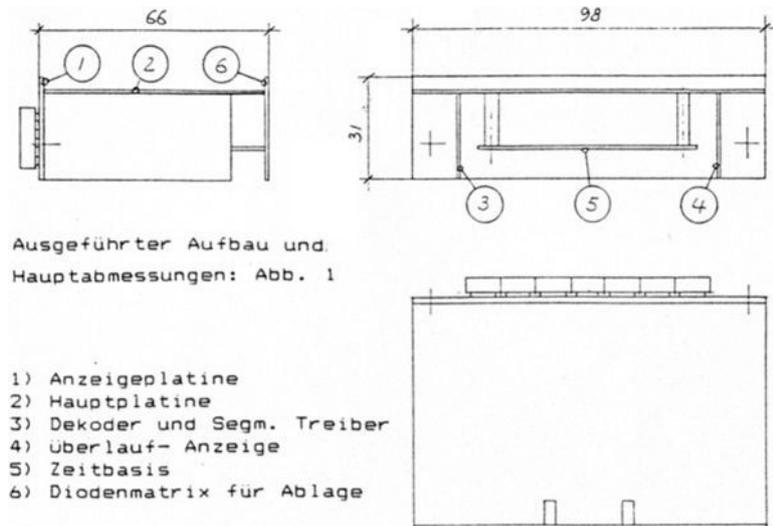


Abb. 3: Aufbau

Der Rauschflur liegt bei diesem mit einem 15-kHz-Filter bestückten FM-Gerät bei etwa -120 dBm. Mit einem unmittelbar an der Antennenbuchse eingesteckten Stab (eine eher unübliche Betriebsweise) ist die Zeitbasis mit 12 dB und an zwei anderen Stellen Breitbandrauschen mit ca. 10 dB über dem normalen Rauschpegel festzustellen. Bei Bedarf kann mit einer ordentlichen Abschirmung eine merkliche Verbesserung erzielt werden.

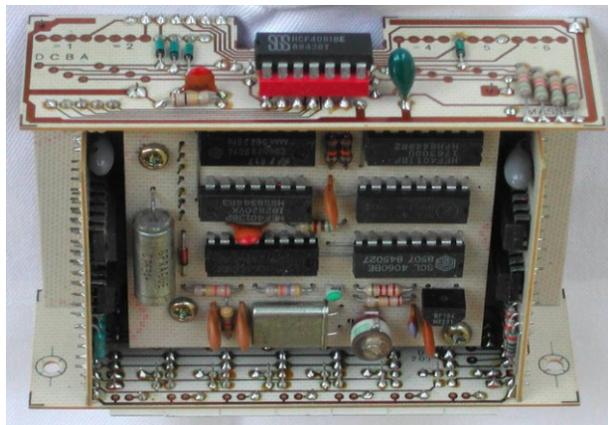


Abb. 4: Rückseite von unten

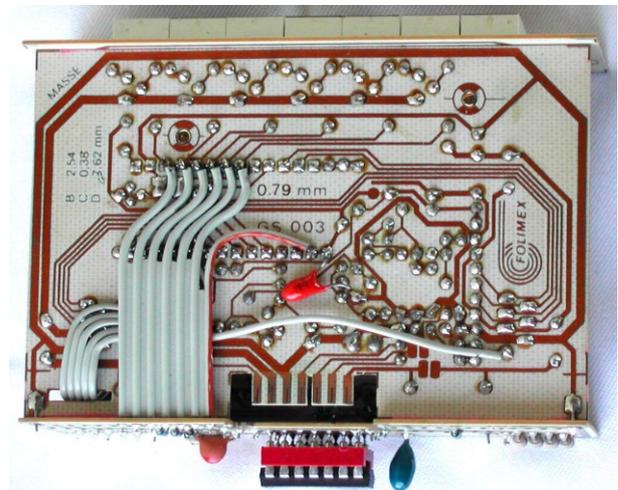


Abb. 5: Oberseite



Abb. 6: Eingebauter Zähler

11. Praktische Erfahrungen

Nach diesen Gesichtspunkten wurde ein Zähler entworfen, der in einem 2-m-Panoramaempfänger ohne besondere Abschirmung eingebaut ist. Bei angeschlossener Yagi-Antenne (ca. 20 m RG213-Kabel) ist außer der 44. Oberwelle des Zeitbasis-Oszillators mit ca. 3 dB über dem Rauschen auf 144,179 MHz keine weitere durch den Zähler verursachte Störung erkennbar.

Der Rauschflur liegt bei diesem mit einem 15-kHz-Filter bestückten FM-Gerät bei etwa -120 dBm. Mit einem unmittelbar an der Antennenbuchse eingesteckten Stab (eine eher unübliche Betriebsweise) ist die Zeitbasis mit 12 dB und an zwei anderen Stellen Breitbandrauschen mit ca. 10 dB über dem normalen Rauschpegel festzustellen. Bei Bedarf kann mit einer ordentlichen Abschirmung eine merkliche Verbesserung erzielt werden.

OE5GPL

Literaturverzeichnis

QSP 8/87, S. 7