

Sonderdruck aus **Funkschau** Heft 7/1976

Funkschau Mini-Zähler

für Frequenzmessungen,
Frequenzzählungen und Perioden-
dauerermessungen.

FU 7208A

SE Spezial-Electronic KG

8000 München 70, Ortlerstr. 8, Postfach 701626, Tel. 089 7600034, Telex 5 212176 spez d
3062 Bückeburg/Hannover, Kreuzbreite 14, Tel. 057 22 1014, Telex 9 71624 spez d



Dipl.-Ing. Reinhard Göbller

Miniaturzähler für Frequenz und Periodendauer

Der folgende Beitrag beschreibt einen universellen Zähler im Miniaturformat, dessen Nachbau mit dem angebotenen Bausatz kein Problem ist. Die Bauanleitung ist ausführlich gehalten und geht auch auf Randprobleme ein, da viele unserer Leser noch keine Erfahrung im Umgang mit CMOS-Schaltungen oder mit dem Multiplexen von Anzeigen besitzen. Somit erhält auch der Hobby-Elektroniker Gelegenheit, die eigene Werkstatt durch ein leistungsfähiges Meßgerät zu erweitern, das zudem sehr preisgünstig nachgebaut werden kann.

Systembetrachtung

Aufgabe des Gerätes ist es, periodisch wiederkehrende Vorgänge zu erfassen und wertmäßig anzuzeigen. Im einfachsten Fall gibt man dazu eine feste Torzeit vor, während der periodische Impulse gezählt werden; die Anzeige des Zählerstandes gibt dann den Wert einer Frequenz wieder (Anzahl pro Zeiteinheit). Die Meßbereichsgrenzen in dieser Betriebsart ergeben sich auf der einen Seite durch die begrenzte Arbeitsgeschwindigkeit der integrierten Schaltungen (obere Grenze), auf der anderen Seite will man bei sehr langsamen Vorgängen nicht beliebig lange auf das Meßergebnis warten. Dort geht man zweckmäßigerweise dazu über, die Zeitdauer einer Periode zu messen und daraus auf die Frequenz zu schließen. Unser Zähler ist für beide Betriebsarten ausgelegt.

Blockschaltung

Der prinzipielle Aufbau und die Arbeitsweise gehen aus der Blockschaltung (Bild 1) hervor. Das Kernstück des Gerätes bildet die

CMOS-Schaltung ICM 7208 (IS 1) der Firma Intersil. Sie vereint im 28poligen Dual-Line-Gehäuse einen siebenstufigen Zähler mit nachfolgenden Speichern, den Decodierer, Treiber und die komplette Multiplex-Steuerung für die Anzeige. Eine vergleichbare Lösung mit herkömmlichen IS würde etwa 30 IS erfordern, um IS 1 zu ersetzen!

Der Zähler wird mit L(= LOW)-Potential¹⁾ am INHIBIT-Eingang aktiviert; während dieses L-Zustandes gelangen die Impulse vom INPUT-Eingang in den Zähler. Nach Ablauf der INHIBIT-Torzeit folgt ein Speicher-Übernahme-Impuls (STORE) und anschließend der Rücksetzimpuls (RESET), wie dies von herkömmlichen Zählerschaltungen her bekannt ist. Aus Bild 2 geht die zeitliche Zuordnung dieser Impulse hervor. Bei der Frequenzmessung übernimmt der Schaltkreis ICM 7207A die Ablaufsteuerung, indem er die Torzeit τ_{INH} und die beiden Steuerpulse STORE und RESET erzeugt; außerdem generiert diese IS die Multiplex-

¹⁾ HIGH und LOW als Bezeichnung für Logikpegel entsprechen DIN 41785!

Frequenz von 1,6 kHz zum Multiplexen der Anzeige.

Die integrierten Schaltungen IS 6... IS 8 werden nur für die Periodendauer-Messung benötigt. Dabei sorgt IS 6 (Teiler durch 2) dafür, daß aus einem Eingangssignal mit beliebigem Tastverhältnis die gewünschte Torzeit gewonnen wird (Bild 3). Während dieser Zeit wird eine Meßfrequenz von 1 MHz in den Zähler geleitet; der entsprechende Quarzoszillator und Teiler sind in der Schaltung ICM 7209 (IS 8) untergebracht. In dieser Betriebsart müssen die Steuerpulse zum Speichern und Rücksetzen des Zählerstandes separat erzeugt werden. Zur Umschaltung von Frequenz- auf Periodendauer-Messung sind elektronische Schalter vorgesehen, die von dem einzigen externen Bedienelement S 1 gesteuert werden.

Auslegung

Leitgedanke beim Schaltungsentwurf war die generelle Beibehaltung der durch das zentrale Chip gegebenen Vorteile: Miniaturisierung und extrem niedriger Leistungsbedarf bei gleichzeitigem Niedrigstpreis. So kommen als zusätzliche Bauelemente nur solche in CMOS-Technologie in Frage, bei denen wiederum keine „exotischen“, sondern Standardexemplare ausgewählt wurden. Besonders Sorgfalt verdient in diesem Zusammenhang die Wahl der Anzeige, da diese üblicherweise jede Leistungsbilanz verdirbt.

Die im Bausatz enthaltene Anzeige stellt den absolut modernsten Stand der Technik dar und ermöglicht sogar den Batteriebetrieb des kompletten Zählers! Obwohl die ge-

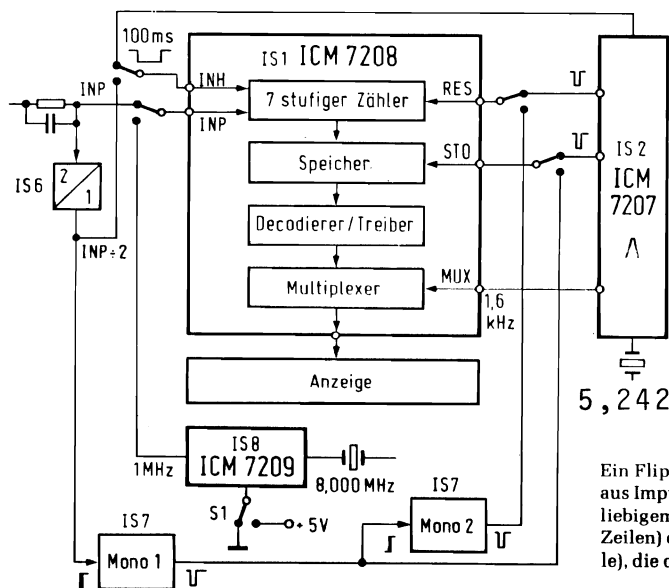
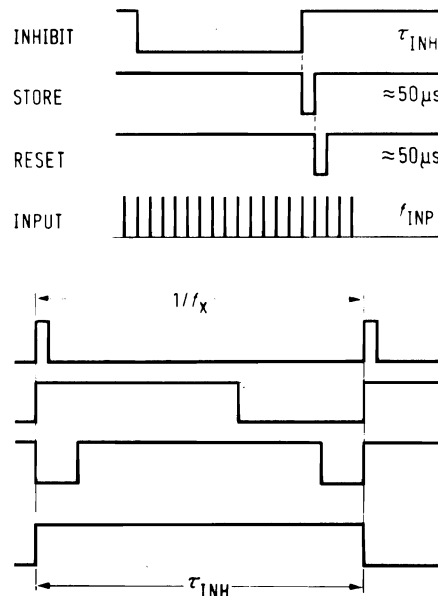


Bild 2. ► Zeitliche Zuordnung der Impulse an den Zählereingängen

► Bild 1. Blockschaltung des Zählers; gezeichnete Schalterstellung: Frequenzmessung

Bild 3. ► Ein Flipflop als Teiler durch 2 formt aus Impulsen der Frequenz f_x mit beliebigem Tastverhältnis (obere Zeile) eine Torzeit τ_{INH} (untere Zeile), die der vollen Periodendauer des Eingangssignals entspricht



samte Elektronik samt Anzeige fast im Volumen einer Streichholzschachtel unterzubringen wäre, wurde das Mustergerät deutlich größer konzipiert. Bestimmend für die Gehäuseabmessungen war die Breite der Anzeige, neben der noch Eingangsbuchse und Hauptschalter Platz finden mußten. Die notwendige Anzahl externer Bedienelemente ergibt sich unmittelbar aus der Betrachtung der Genauigkeitsanforderungen.

Meßgenauigkeit

Die digitale Anzeige von Meßwerten führt leicht zur Überbewertung der Genauigkeit. Für das vorgestellte Gerät soll anhand einer kurzen Betrachtung die erreichbare Genauigkeit festgestellt werden, woraus gleichzeitig hervorgeht, daß eine Meßbereichsumschaltung nicht erforderlich ist. Eine absolute Grenze der Meßgenauigkeit ergibt sich durch die Qualität der verwendeten Quarze, da sich aus ihnen die Basisgenauigkeit ableitet.

Bei den hier eingesetzten Exemplaren liegt die Toleranz bei etwa $20 \cdot 10^{-6}$, was gelegentlich auch als 20 ppm (parts per million) abgekürzt wird. Diese Abkürzung ist etwa vergleichbar der Prozentangabe, nur beziehen sich die Zahlenwerte hier nicht auf hundert, sondern auf eine Million Einheiten. Eine Toleranz von $10 \cdot 10^{-6} = 10^{-5}$ bedeutet also eine Abweichung von 0,00001 entsprechend 0,001%. Hinzu kommt der bei jeder Digitalisierung zwangsläufig auftretende Quantisierungsfehler, der um Größenordnungen höher liegt. Wie wir wissen, ist die letzte angezeigte Stelle eines digitalen Meßwertes unsicher; eine Anzeige von 1000

muß also als 1000 ± 1 verstanden werden. Wünscht man hohe Genauigkeit, so ist aus diesem Grunde ein großer Zahlenwert anzustreben, um die auftretende Unsicherheit vernachlässigen zu können.

Bezogen auf unseren Fall, bedeutet das folgendes: Der Zeitgeber (IS 2) liefert ohne äußere Beschaltung die feste Torzeit von 1 s eine Frequenz von 300 kHz führt damit zu einer Anzeige von 300000 (einem relativen Fehler von 0,003% (resultierend aus ± 1 bezogen auf 30000).

Der größte Fehler tritt beim kleinsten Anzeigewert auf; mit den vorgegebenen Größen von Torzeit und Meßfrequenz läßt sich zeigen, daß dieser Wert gerade bei 3,16 kHz erreicht ist, wenn man darüber Frequenzen mißt und darunter Periodendauern. Der Fehler beträgt bei dieser Frequenz sogar 0,3% (± 1 auf 316). Da diese Abweichung nicht irgendwo und auch nicht zufällig entstehen kann, sondern gesetzmäßig festliegt (Bild 4), soll sie in Kauf genommen werden. Der Aufwand an Bedienelementen reduziert sich dadurch auf einen einzigen Umschalter für Frequenz- bzw. Periodendauer-Messungen; dieser ist kombiniert mit dem Ein-/Aus-schalter. Die Tabelle gibt Aufschluß über die technischen Daten des Zählers.

Anzeige

Wollte man eine siebenstellige Sieben-Segment-Anzeige an herkömmliche Decodierer anschließen, wären dazu $7 \times 7 = 49$ Leitungen erforderlich. Darum geht man aus Gründen der Wirtschaftlichkeit bei mehrstelligen Anzeigen zum Multiplex-Betrieb über. Dabei sind alle gleichartigen Segmente

miteinander verbunden, und jede Stelle besitzt einen separaten Eingang, über den sie aktiviert werden kann. Daraus resultiert ein Verdrahtungsaufwand von sieben Leitungen für die Segmente und weiteren sieben Leitungen für die einzelnen Stellen.

Im Betrieb sind dann nicht alle Anzeigen gleichzeitig eingeschaltet, sondern sie werden nacheinander aktiviert; passend zu der gerade angesteuerten Stelle liegt an den parallelen Segment-Eingängen die Information für die Ziffer der betreffenden Stelle. Das wiederholt sich in schneller Folge (in unserem Fall etwa 200 Hz), so daß durch die Trägheit des Auges der Eindruck entsteht, alle Stellen leuchteten gleichzeitig.

Beim Multiplex-Betrieb erhalten die Segmente Stromimpulse von hoher Intensität, um im zeitlichen Mittel einen genügenden Helligkeitseindruck hervorzurufen. Würde man das periodische Umschalten von einer auf die andere Stelle stoppen, könnte die gerade angesteuerte Stelle zerstört werden: Im Dauerbetrieb vertragen die Leuchtpunkte nämlich keinen so hohen Strom wie im gepulsten Betrieb.

Unsere Anzeige darf maximal 3 mA/Segment im Dauerbetrieb erhalten, kurzzeitig (für weniger als 0,5 ms) sogar 50 mA. Entscheidend für die Wahl dieses Anzeigetyps war die Tatsache, daß bereits bei 0,2... 0,3 mA/Segment eine ausgezeichnete Lesbarkeit vorhanden ist; die Effektivität dieser Anzeige liegt damit um den Faktor 5... 10 höher als die der gängigen Leuchtdioden!

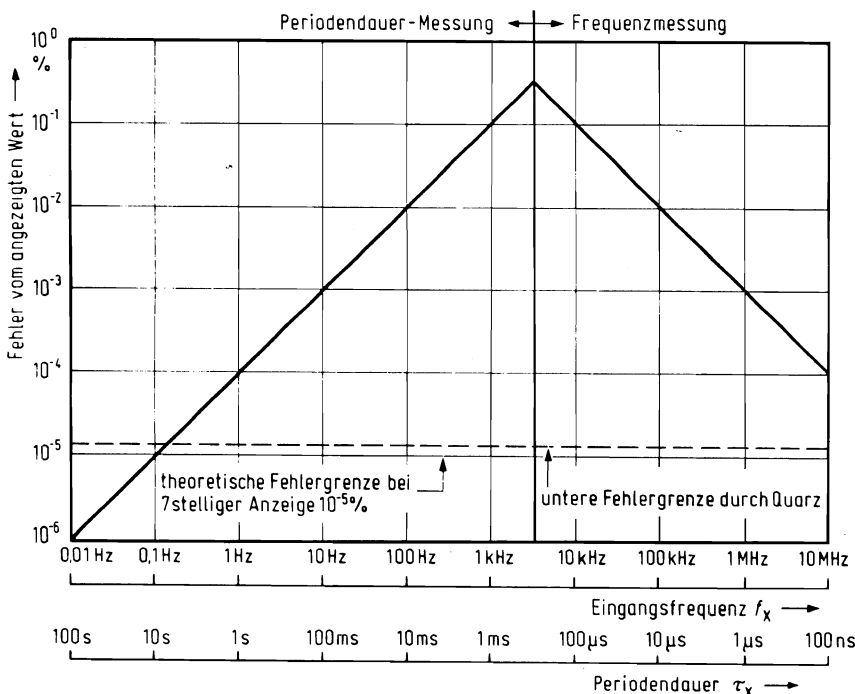


Bild 4. Größe des Fehlers vom angezeigten Wert in Abhängigkeit von der Meßgröße f_x bzw. τ_x .

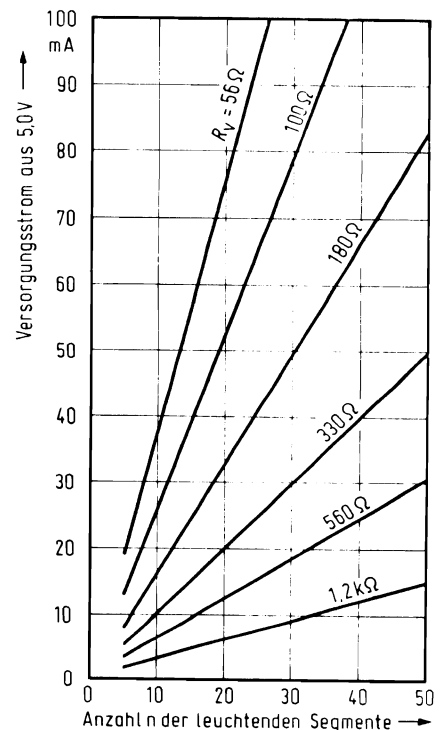


Bild 5. Strombedarf für die Anzeige in Abhängigkeit von der Anzahl der leuchtenden Elemente; Parameter: Vorwiderstand vor den Segmenten

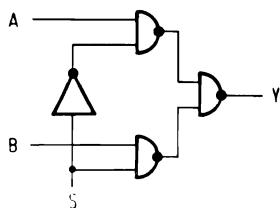


Bild 6. Einfacher elektronischer Umschalter für Digitalsignale

Wegen des hohen Wirkungsgrades und aus Gründen der Stromersparnis sollen die Segmente Vorwiderstände von ca. 1 k Ω erhalten. Damit stellt sich im Mittel ein Strom von etwa 300 μ A/Segment ein, wenn die Versorgungsspannung 4,0 V beträgt, also zum Beispiel bei nicht mehr ganz frischen Batterien. Der Spitzenstrom pro Segment liegt dann auch unter ungünstigsten Bedingungen noch unter 4 mA, also weit unter dem maximal zulässigen Wert von 50 mA. Wer eine hellere Anzeige der Stromersparnis vorzieht, kann die sieben Vorwiderstände natürlich verringern; bei 56 Ω und 5,0 V Versorgungsspannung ist allerdings die Leistungsgrenze der Anzeige erreicht (Bild 5).

Ein Nachteil der Anzeige soll nicht verschwiegen werden: Sie beginnt bereits bei so geringen Strömen zu leuchten, wie sie unter Umständen als Leckströme der Multiplex-Schalter auftreten können. Der Schaltkreis wäre deshalb keineswegs schadhafte und erfüllt die Spezifikationen des Herstellers. Nur glimmen dann ständig alle Segmente schwach, während die angesteuerten heller aufleuchten. Wenn dieser Fall auftritt (bei den Voruntersuchungen ist keine einzige derartige IS entdeckt worden!), läßt sich das störende Glimmen beheben, indem man von den Katodenanschlüssen 3, 5, 7, 9, 11, 13 und 15 an der Anzeige Widerstände zum Pluspol der Versorgungsspannung lötet. Der Wert für diese Widerstände braucht keinesfalls kleiner zu sein als 2,7 k Ω , gegebenenfalls reichen auch größere Werte aus; hier hilft am besten ein Versuch. Wenn die Katodenwiderstände eingelötet werden, dürfen die Segmentvorwiderstände minimal nur 470 Ω groß sein, weil sie sonst nicht genügend Strom für die Anzeige hindurchlassen.

Integrierte Schaltungen

Alle integrierten Schaltungen sind in CMOS-Technologie ausgeführt. Erst dadurch kann die Verlustleistung so drastisch gesenkt werden, daß sich auch komplexe Schaltungen für Batteriebetrieb eignen. Gleichzeitig handelt man sich aber mit der Hochohmigkeit der Schaltkreise den erheblichen Nachteil der erhöhten Zerstörungsgefahr ein: Bereits die statische Aufladung des menschlichen Körpers kann bei Berührung an den hohen Eingangswiderständen bei CMOS-Schaltungen eine so große Spannung hervorrufen, daß die betreffende IS zerstört wird. Darum Vorsicht beim Umgang mit den

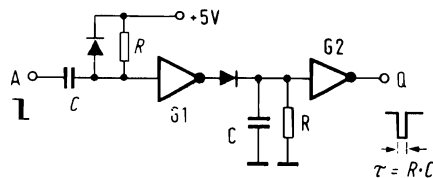


Bild 7. Schaltung für eine monostabile Kippstufe mit CMOS-Bausteinen

IS. Keine Anschlußbeinchen anfassen und die Lagerung nur auf leitender Unterlage vornehmen! Sozusagen als Gegenleistung sind die Bausteine extrem genügsam. IS 1 beispielsweise nimmt im Betrieb ganze 210 μ A (!) auf (maximal 700 μ A), während man bei gleicher Leistungsfähigkeit in TTL-Technologie auch mit dem tausendfachen Strom noch lange nicht auskäme!

Umschalter

Zur Umschaltung der Eingangssignale am Zähler dient eine simple Schaltung aus NAND-Gattern (Bild 6). In Abhängigkeit vom Potential am Steuereingang S gelangt entweder die Information vom Eingang A oder von B ohne Invertierung zum Ausgang Y (Multiplexer 2 auf 1). Diese Schaltungsversion wurde aus Gründen der Preiswürdigkeit und Lieferbarkeit der IS gewählt, 5, 2, 4, 2, 8, 8 MHz zurz sind dazu auch einzeln

obwohl auch andere Lösungen technisch realisierbar wären.

Monoflops

Als monostabile Kippstufen zur Erzeugung der Steuersignale findet eine bewährte, sehr einfache Schaltung Verwendung (Bild 7; |1|). Im Ruhezustand liegt der Eingang des zweiten Gatters G 2 über den Widerstand an Masse, und der Ausgang Q des Monoflops befindet sich auf H-Potential. Mit der negativen Flanke an A geht der Eingang von G 1 so lange auf L, bis der Kondensator über R auf diejenige Spannung aufgeladen ist, die zum Zurückkippen des Inverters 1 führt; von diesem Augenblick an beginnt die Entladung des RC-Gliedes vor G 2, das so lange für L-Pegel an Q sorgt, bis die Umschaltsschwelle von G 2 erreicht ist. Ausgelöst von einer negativen Flanke, entsteht also an Q ein LOW-Impuls mit der Dauer $t = R \cdot C$.

Nachbau

Prinzipiell kann der Zusammenbau der Gesamtschaltung (Bild 8 und Bild 9) auf beliebigem Leiterplatten-Format und auch mit allen handelsüblichen Sieben-Segment-Anzeigen (gemeinsame Katode!) erfolgen. Die Schaltungen IS 1, IS 2 und IS 8 sowie der

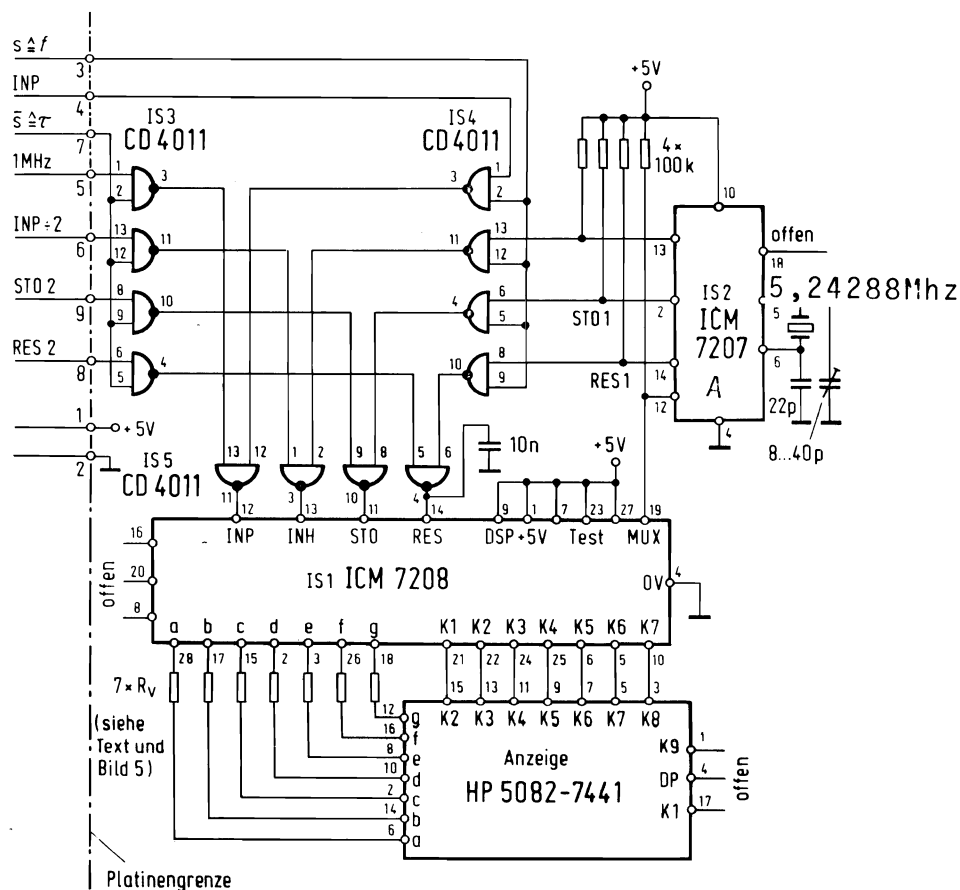
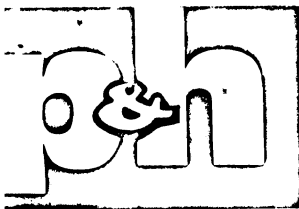
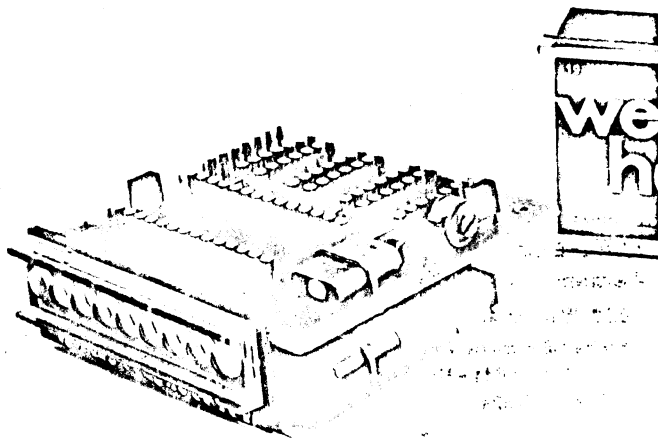


Bild 8. Schaltung des Frequenzzählers mit Umschalter für die Eingangssignale (Platine 1)



von der Firma Spezial-Electronic erhältlich. Wer den gesamten Bausatz bezieht (siehe unten), erhält gleichzeitig die Platinen, mit denen ein sehr gedrängter Aufbau möglich ist (Bild 10). Alle IS sollten auf Fassungen gesetzt werden, weil ein eventuelles Austauschen ohne Beschädigung der Platine sonst kaum möglich ist. Nach dem Einlöten aller diskreten Bauelemente erfolgen die Verbindung der beiden Platinen untereinander sowie der Anschluß der Anzeige. Im ersten Fall verwenden wir Drahtbrücken, während die Verbindung zur Anzeige sowohl über Drahtbrücken (zu den Kathodenanschlüssen 3, 5, 7, 9, 11, 13 und 15) als auch über die Segmentvorwiderstände (zu den Anschlüssen 2, 6, 8, 10, 12, 14 und 16) hergestellt wird. Die Numerierung der 17 Anzeigenschlüsse beginnt bei Draufsicht links unten (Lötlagen unten). Bei dieser Montageform lassen sich die drei Platinen auseinanderklappen (Bild 11), um die vollständige Verdrahtung der externen Anschlüsse (Eingangsbuchse, Batterie mit Buchse für Klinkenstecker und Hauptschalter) vorzunehmen. Die Quarze werden nach vorsichtigem Umbiegen der Anschlußstifte mit einem Drahtbügel gehalten. Erst wenn diese Arbeit

Bild 10. Im Größenvergleich mit einer Streichholzschatel gewinnt man einen Eindruck von der Miniaturisierung des Gerätes



ten abgeschlossen sind (sorgfältig kontrollieren!), sollten die IS nacheinander eingesetzt werden (Bild 12).

Stromversorgung

Bei einem Stromverbrauch, der für das vollständige Gerät einschließlich Anzeige

bei 15... 20 mA liegt, eignen sich ohne weiteres Trockenbatterien zur Energieversorgung. Beispielsweise läßt sich mit drei Mallory-Mignon-Zellen, die noch bequem im

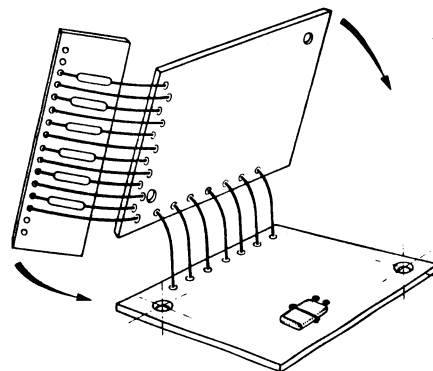


Bild 11. Schematische Anordnung der einzelnen Platinen nach dem Zusammenbau

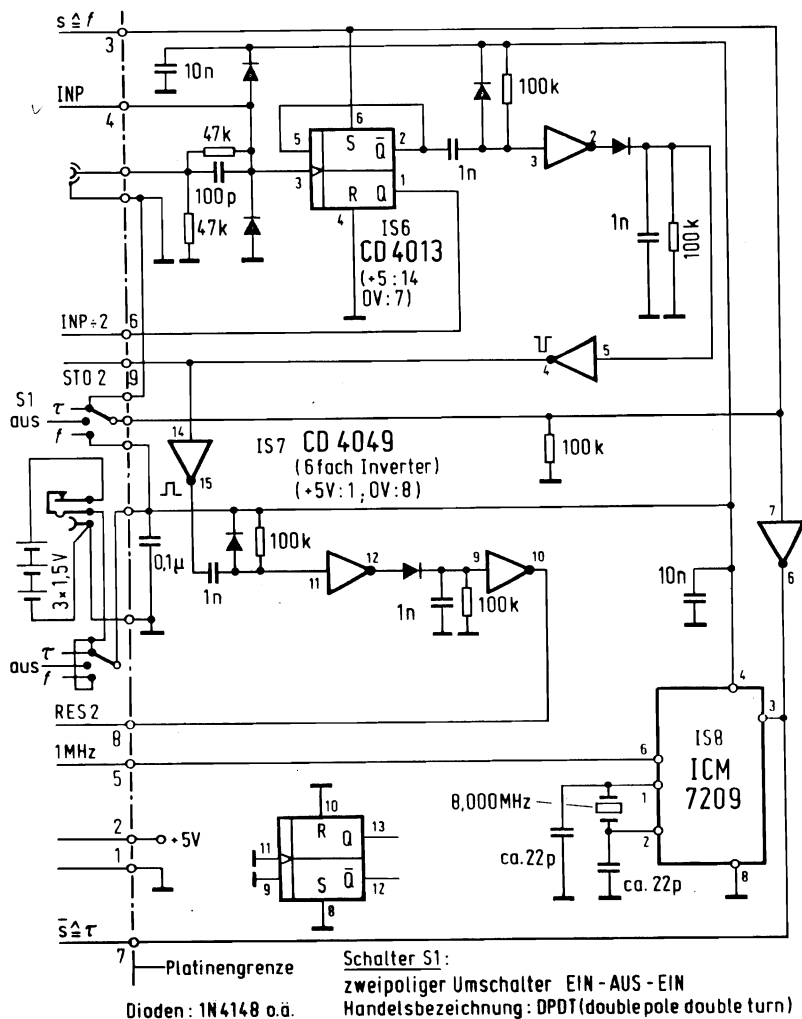


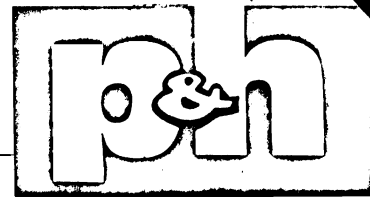
Tabelle der technischen Daten

- Eingangspiegel:** alle gängigen Logikfamilien
- H-Pegel: $\geq 3 V^*$
- L-Pegel: $\leq 2 V^*$
- Pulsbreite: $\geq 100 ns$
- Überspannungsschutz: bis $150 V_{ss}$
- Eingangswiderstand: $> 25 k\Omega$
- Frequenzmessung:** 1 Hz... 5 MHz
- Torzeit: 1 sec
- Auflösung: 1 Hz
- Kurvenform des Eingangssignals: beliebig
- Periodendauer-Messung:** 1 μs ... 10 s
- Meßfrequenz: 1 MHz
- Auflösung: 1 μs
- Anstiegszeit des Eingangssignals: $\leq 15 \mu s$
- Tastverhältnis: beliebig
- Versorgungsspannung:** 3.5... 6.0 V
- Stromaufnahme bei voller Anzeige und 25 μcd pro Segment: $< 20 mA^*$
- Basisgenauigkeit:** 20 ppm*)
- Multiplex-Rate der Anzeige: 200 Hz
- Unterdrückung führender Nullen (in Zweiergruppen)

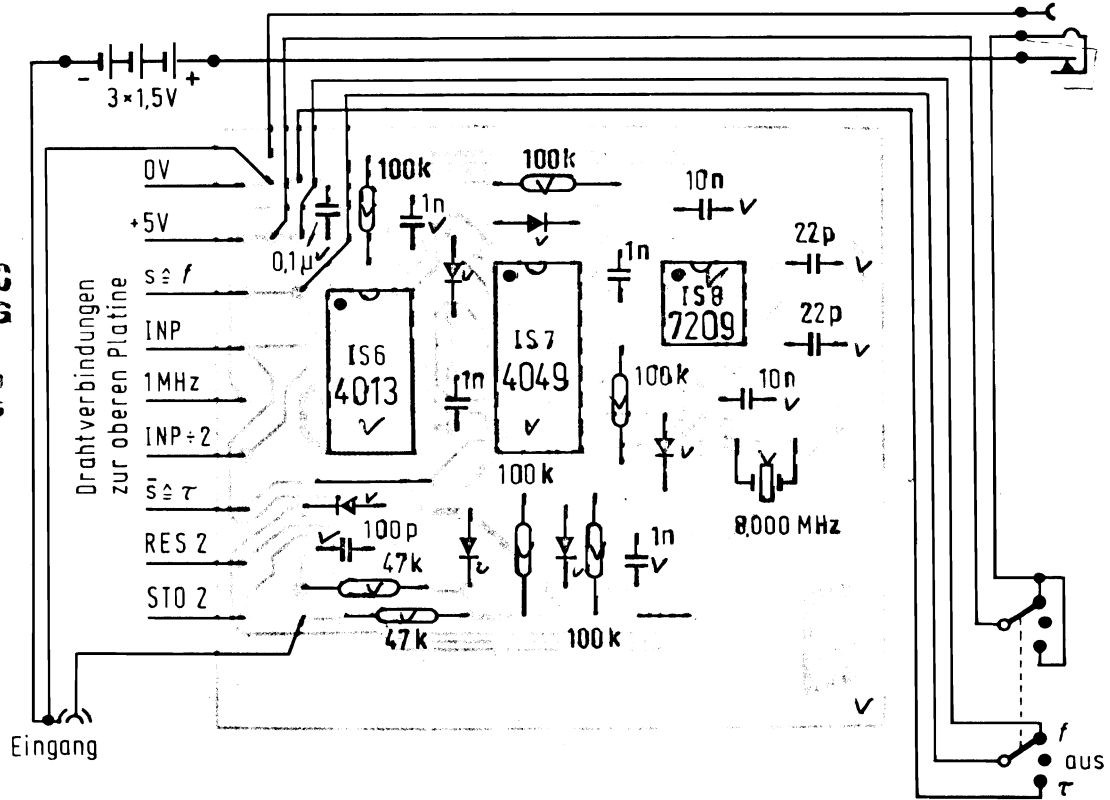
*) bezogen auf 5.0 V Versorgungsspannung

Bild 9. Schaltung der Signalaufbereitung mit der Erweiterung für Periodendauer-Messungen (Platine 2)

Dioden: 1N4148 o.ä. Schalter S1: zweipoliger Umschalter EIN - AUS - EIN Handelsbezeichnung: DPDT (double pole double turn)



SPEZIAL-ELECTRONIC
 Bauelemente Wuttke KG
 3062 Bückeburg
 Kreuzbreite / Postfach 1303
 Telefon 05722 / 1011-1015
 Telex 971624



Gehäuse unterzubringen sind, eine Betriebsdauer von über 100 Stunden erzielen, vorausgesetzt, man betreibt die Anzeige nicht zu stromintensiv.

Zur Umschaltung auf externe 5-V-Versorgung eignet sich bestens ein Miniatur-Klinkenstecker, wie er auch für Ohrhörer verwendet wird. Diese Buchse soll gegen das Gehäuse isoliert sein. Ein Allstrom-Netzteil, das gleichzeitig zur Aufladung von NiCd-Akkus dient und neben diesen auch noch im Gehäuse Platz findet, ist in Vorbereitung.

Betrieb

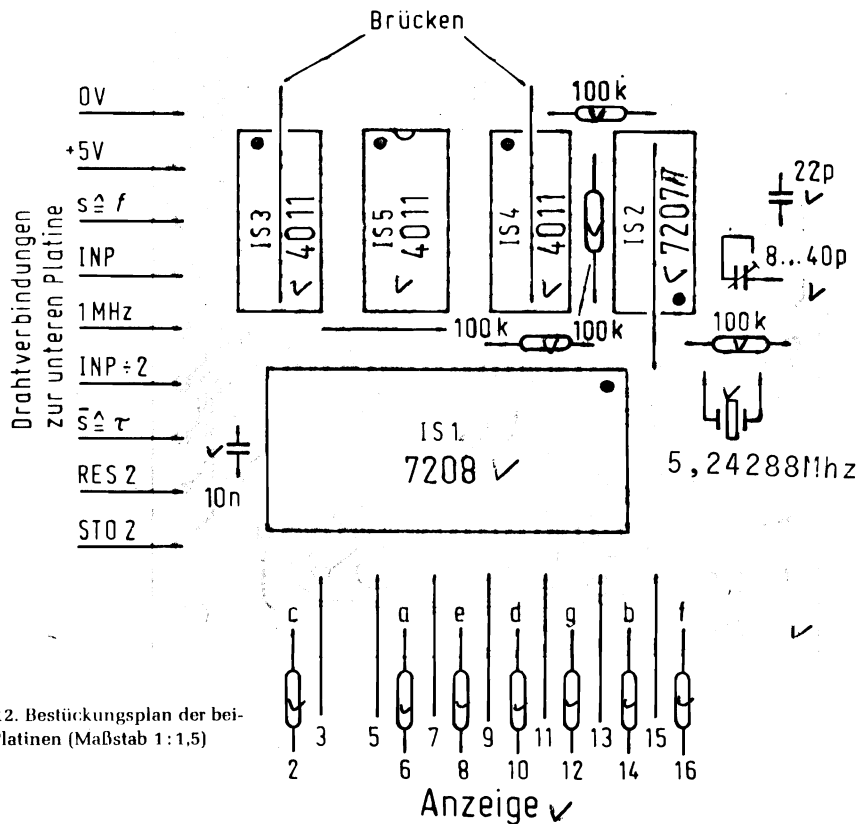
Bei Periodendauer-Messungen erfolgt nach 9 s ein Überlauf der Anzeige, d.h. der angezeigte Wert kippt von 9 999 999 auf 0 000 000, wenn die Meßzeit bis dahin noch nicht abgelaufen ist. Wenn man aber parallel dazu den groben Überblick für die verstrichene Zeit behält (für 10 s Genauigkeit reicht jede Armbanduhr!), kann man längere Periodendauern sehr exakt messen, auch wenn die Anzeige nicht den vollen Wert, sondern nur die letzten sieben Stellen wiedergibt; diese Anzeige erfolgt in Mikrosekunden.

In der anderen Stellung des Hauptschalters („Frequenzmessung“) besitzt die niedrigstwertige Stelle der Anzeige den Wert Ein Hertz;

Die maximale Zählfrequenz in dieser Betriebsart liegt bei etwa 5 MHz.

Als Eingangspegel in beiden Betriebsarten eignen sich vorzugsweise TTL- oder CMOS-Signale; bei anderen Signalen darf eine Anstiegszeit von 15 µs nicht unter-

Bild 12. Bestückungsplan der beiden Platinen (Maßstab 1:1,5)



schritten werden. Als Schutz vor höheren Eingangsspannungen dienen die Klammerdioden am Eingang.

Für das Mustergerät ist ein einfaches Gehäuse angefertigt worden, dessen beide

Hauptteile im Aufriß in Bild 13 dargestellt sind. Das Bodenblech besteht aus 1,5 mm dickem Aluminium, der Deckel wurde aus überklebtem Weißblech gebogen, das durch seine Elastizität auch ohne besondere Ver-

52c

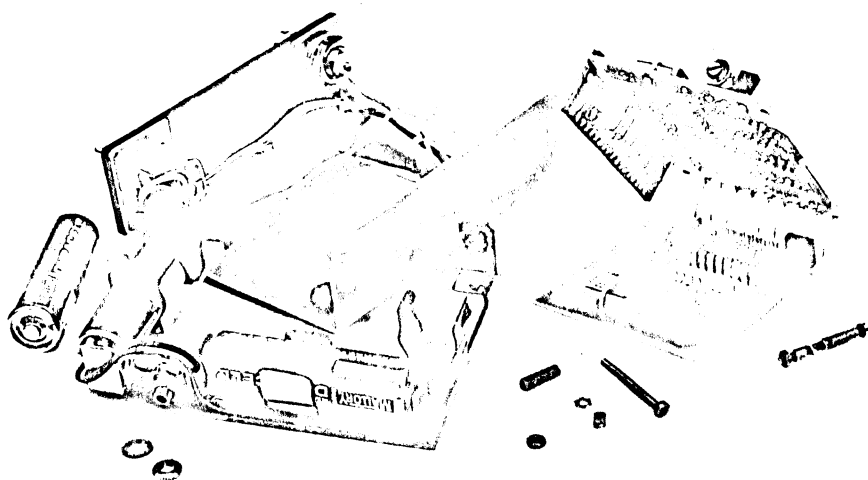
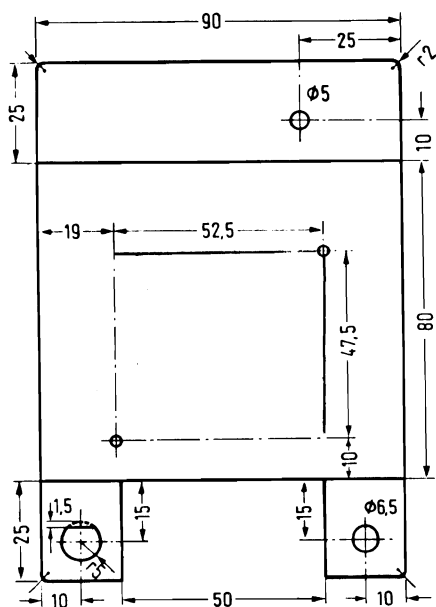


Bild 15. Im Mustergerät sind die Batterien auf einer speziellen Halterung untergebracht; die Montage der Platinen erfolgt mit Distanzröhrchen und M-2-Schrauben. Die hier eingelöteten IS-Fassungen sind sehr funktionssicher und erlauben die problemlose Führung der Brücken unter den integrierten Schaltungen

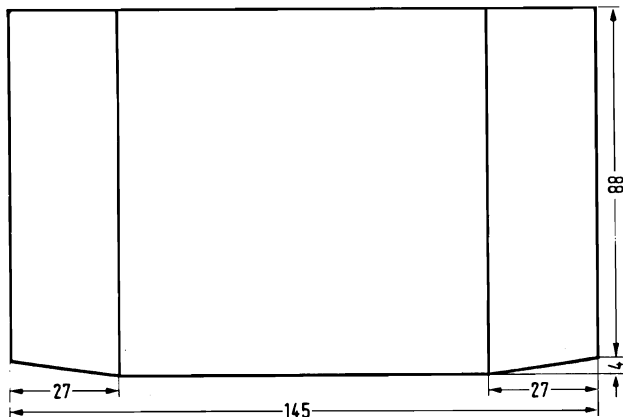


Bild 13. Maßangaben für das Gehäuse des Mustergerätes (in mm)

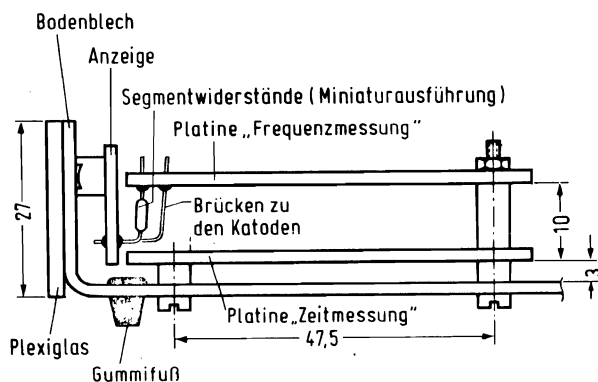


Bild 14. Detailzeichnung und Maßangaben (in mm) für den mechanischen Zusammenbau der Platinen (Seitenansicht)

schraubung festhält. Die Frontplatte bildet eine 3 mm dicke, rote Plexiglasscheibe (Bild 14). Mit ein wenig Sorgfalt kann man dem Aufbau (Bild 15) ein gefälliges Aussehen geben, so daß mit geringem Aufwand ein ebenso nützlich wie formschönes Gerät entstehen kann. Das auf dem Titelbild dieses Heftes abgebildete Gerät beispielsweise ist ausschließlich mit amateurmäßigen

Hilfsmitteln hergestellt worden.

Bausatz

Der angebotene Bausatz für das Gerät enthält neben den Platinen sämtliche IS, die beiden Quarze und die Anzeige. Unter der Bezeichnung „FUNKSCHAU-Mini-Zähler“ kann diese Zusammenstellung von der Firma Spezial-Electronic KG in 8 München

70, Ortlerstr. 8, bzw. 3062 Bückeberg, Kreuzbreite 14, bezogen werden.

Literatur

- [1] Datenblätter der Firma Spezial-Electronic zu den Intersil-Schaltungen ICM 7207, 7208 und 7209.
- [2] Astable and Monostable Oscillators. RCA-Application Note ICAN-6267.

SPEZIAL-ELECTRONIC
Bauelemente Wuttke KG
 3062 Bückeberg
 Kreuzbreite / Postfach 13 08
 Telefon 057 22/1011-1015
 Telex 971624