# Meßgerät für Frequenzen von 0,0005 Hz...500 kHz

In vielen Bereichen der Elektronik ist es erforderlich, Frequenzen von wenigen Hz bis zu einigen kHz schnell und genau zu messen. Einige Beispiele sind die Kontrolle von Funktionsgeneratoren, der Sprechfunk (Tonruf), die Telemetrie, Stromerzeugungsanlagen, die Drehzahlkontrolle von Motoren und Maschinen und elektronische Musikinstrumente. Normale Frequenzzähler sind für diese Aufgaben nur bedingt oder gar nicht geeignet, da sich mit ihnen tiefe Frequenzen nur mit langer Torzeit und großem Fehler messen lassen. Zwar besteht meist die Möglichkeit der Periodendauermessung und Umrechnung in die gewünschte Größe (im Kopf oder mit Taschenrechner). Dies ist jedoch nur bei wenigen, konstanten Frequenzen praktikabel. Die vorliegende Schaltung mißt zwar auch die Periodendauer des Eingangssignals und bildet für die Frequenzanzeige den Kehrwert 1/T, sie rechnet allerdings nicht nur stur, sondern sorgt auch für konstant hohe Auflösung der Messung.

Die wesentlichen Vorteile gegenüber normalen Frequenzmeßgeräten sind:

- Direkte Messung von Frequenz, Periode und Drehzahl im Frequenzbereich von 0,0005 Hz...500 kHz (mit Vorteiler über 120 MHz) bei 6stelliger Auflösung ab 1 s Meßzeit (5stellig bei min. 0,1 s).
- Anzeige mit 6stelliger Mantisse und Exponent.
- Automatische Bereichswahl.
- Serieller Datenausgang.
- Einfacher Aufbau.
- Kleine Abmessungen.
- Geringe Kosten.

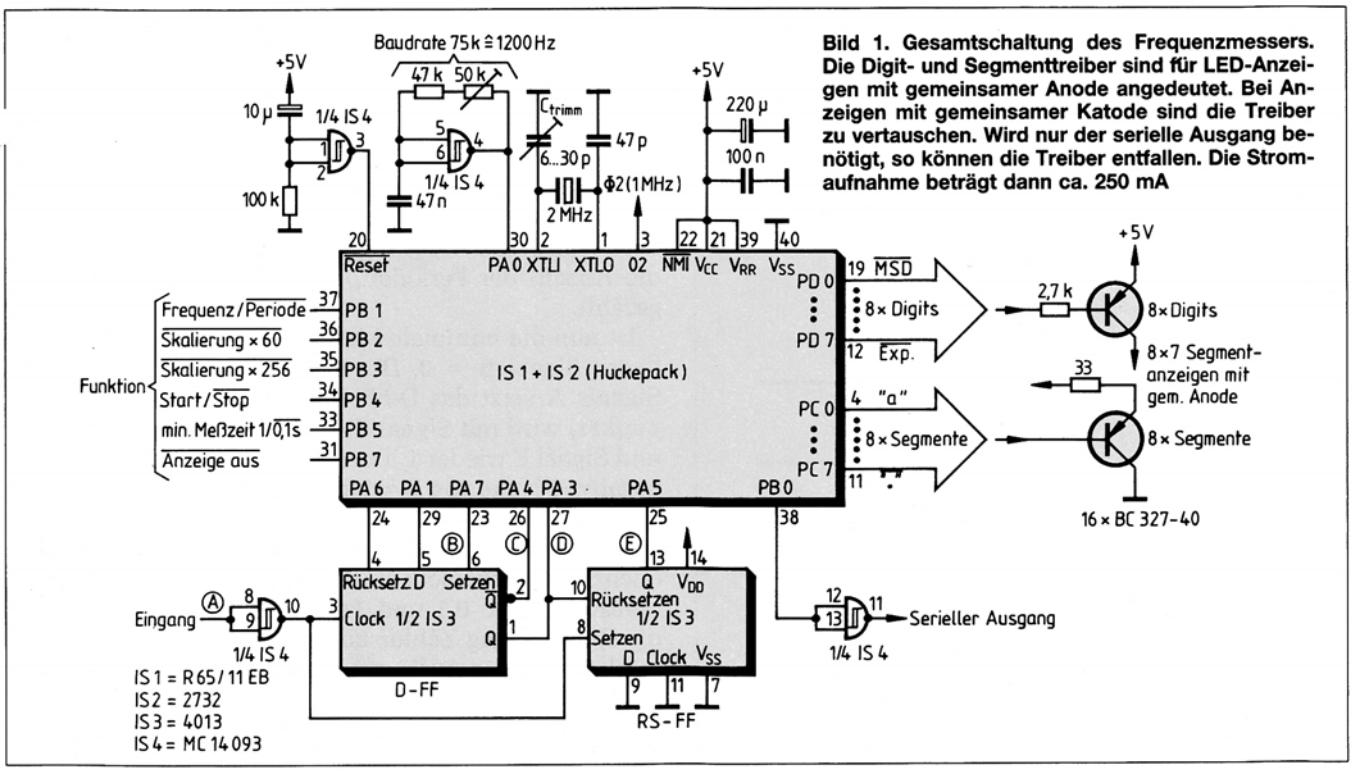


**Bild 1. Gesamtschaltung des Frequenzmessers. Die Digit- und Segmenttreiber sind für LED-Anzeigen mit gemeinsamer Anode angedeutet. Bei Anzeigen mit gemeinsamer Katode sind die Treiber zu vertauschen. Wird nur der serielle Ausgang benötigt, so können die Treiber entfallen. Die Stromaufnahme beträgt dann ca. 250 mA**

## Prinzip

Für die Messung der Periodendauer werden eine Referenzfrequenz ($F_{ref}$), ein Zähler für die Zeitmessung ($T_{ref}$) und eine Synchronisierstufe benötigt. Die Synchronisierstufe hat die Aufgabe, für eine Periode des Eingangssignals die Referenzimpulse auf den Zähler zu schalten. Nach dieser Messung ergibt sich die Periodendauer als $T_{ref}/F_{ref}$. Die Auflösung der Messung ist $1/T_{ref}$. Um auch bei hohen Frequenzen (kurzen Perioden) eine hohe Auflösung zu erhalten, muß man dafür sorgen, daß der Zeitzähler immer einen hohen Wert erreicht. Dieser ergibt sich, wenn man eine minimale Meßzeit (z. B. $1/F_{ref}*10^6$) vorgibt und eine oder eine ganzzahlige Anzahl von Perioden $N_{per}$ in dieser Zeit auswertet. Die Perioden in der Meßzeit werden in einem weiteren Zähler erfaßt.

Die Frequenz $F_{in}$ eines periodischen Eingangssignals ergibt sich dann als:

$$F_{in} = \frac{F_{ref}}{T_{ref}} * N_{per} \text{ bei einer Auflösung von } 1/T_{ref}.$$

Aus den Forderungen einer möglichst hohen Auflösung und schnellen Meßfolge ergibt sich die Notwendigkeit einer hohen Referenzfrequenz $F_{ref}$.

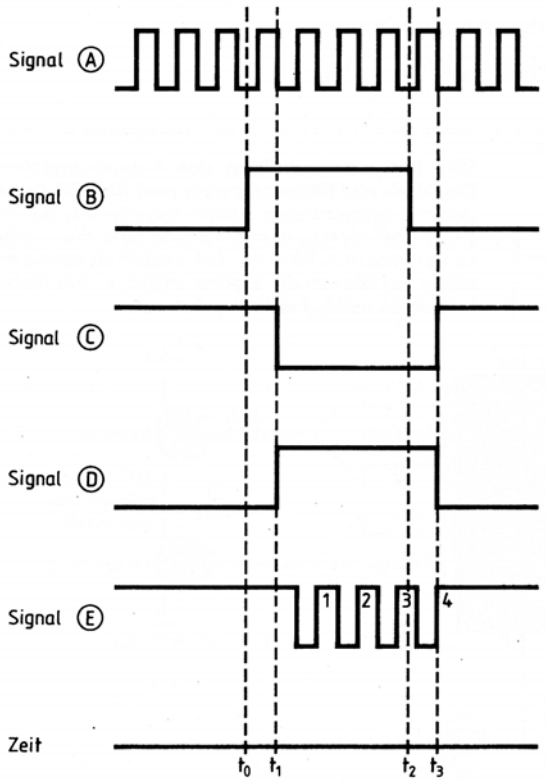


**Bild 2. Impulsdiagramm mit den Signalen an den Punkten A bis E. In der Meßzeit ($t_1$ bis $t_3$) werden die bezeichneten vier Perioden erfaßt**

## Schaltung

Durch Verwendung des Mikroprozessors R65/11EB [1] ergibt sich ein sehr einfacher und kostengünstiger Aufbau der Schaltung (*Bild 1*). Dieser Mikroprozessor enthält zwei 16-Bit-Zähler, wobei Zähler A zur Zeitmessung und Zähler B zur Ereignismessung für die Periodenanzahl verwendet werden. Die insgesamt 32 Ein-/Ausgabe-Leitungen dienen zur Steuerung der Synchronisierstufe und Zähler, Anwahl der Funktion, Ansteuerung der Ziffernanzeige und seriellen Datenausgabe. Die Eingänge PA0...PA3 können wie auch die Zähler Interrupts auslösen. Ferner befinden sich im R65/11EB noch 192 Byte RAM und auf dem Gehäuse ein Steckplatz für ein EPROM 2732. Damit ist die Hardware fast komplett.

Die Synchronisierstufe besteht aus einem IC4013, wobei die eine Hälfte regulär als D-Flipflop und die andere etwas zweckentfremdet als RS-Flipflop beschaltet sind. Außerdem ist ein MC14093 vorgesehen. Seine NAND-Schmitt-Trigger werden für Power-On-Reset und Eingangssignalaufbereitung, die Inverter für die serielle Datenausgabe und als Oszillator benötigt. Die Oszillatorfrequenz legt die Multiplexfrequenz der 7-Segmentanzeige und die Baudrate des seriellen Ausgangs fest. Im Schaltbild sind Digit- und Segmenttreiber für LED-Anzeigen mit gemeinsamer Anode dargestellt.

## Funktion

Im Impulsdiagramm (*Bild 2*) sind die Signale an den Punkten A...E dargestellt. In der Zeit vor $t_0$ befindet sich die Schaltung im „Stop"-Zustand. Wird nun eine Messung gestartet, so wird Signal B = 1. Zum Zeitpunkt $t_1$ wird das D-FF synchron gesetzt. Signal C gibt Zähler A frei, der die internen Referenzimpulse zählt. Gleichzeitig wird Signal D = 1. Signal E bleibt 1, da der Setzeingang von RS-FF = 1 ist und gegenüber dem Rücksetzeingang, bezogen auf den Ausgang Q, die höhere Priorität hat. Signal E folgt dem invertierten Signal A, da der Rücksetzeingang wirksam wird, sobald der Setzeingang 0 ist. Jede Signaländerung von 0 auf 1 des Signals E, also die Anzahl der Perioden, wird vom zweiten Zähler B gezählt.

Ist nun die minimale Meßzeit abgelaufen, so wird bei $t_2$ das Signal B = 0. Die nächste negative Flanke des Signals A setzt das D-FF synchron zurück. Zum Zeitpunkt $t_3$ wird mit Signal C = 1 die Zeitmessung beendet und Signal E wieder 1. Dort bleibt es auch, da D = 0. Die negative Flanke von D zeigt dem Prozessor das Ende der Messung.

Die interne Referenzfrequenz entspricht der Taktfrequenz des Prozessors und ist 0,5 $F_{quarz}$. Als minimale Meßzeiten sind 0,1 und 1 s einstellbar, so daß sich für die Zeitmessung Zählerstände von größer $10^5$ oder $10^6$ ergeben und die Auflösung entsprechend 5 oder 6 Stellen beträgt.

Die internen Zähler sind nur 16 Bit lang, beginnen aber nach einem Überlauf mit einem definierten

Anfangswert. Somit sind während einer Messung nur die Überläufe der Zähler zu zählen. Die Zähler selbst werden erst am Ende der Messung gelesen und berücksichtigt. Der größte Wert der Zeitmessung ist 2 147 483 647, woraus sich bei 1 MHz Referenzfrequenz als kleinste Eingangsfrequenz weniger als 0,0005 Hz ergeben. Die obere Grenzfrequenz ist durch Zähler B mit 500 kHz festgelegt. Mit einem Vorteiler 1/256 lassen sich allerdings Frequenzen bis 128 MHz erfassen. Damit die Umrechnungen richtig erfolgen, muß PB3 = 0 sein.

Die Eingänge PB1 bis PB5 bestimmen die Funktion der Schaltung. Sie haben eingebaute Pullup-Widerstände und können unbeschaltet bleiben:

- ○ PB1: 1 = Berechnung der Frequenz; 0 = Periodendauer
- ○ PB2: 0 = Multiplikation der Periodenanzahl mit 60 für Drehzahlen
- ○ PB3: 0 = Multiplikation der Periodenanzahl mit 256 für Vorteiler 1/256
- ○ PB4: 1 = fortlaufende Messungen; 0 = Stop
- ○ PB5: minimale Meßzeit 1 = 1 s; 0 = 0,1 s
- ○ PB7: 0 = Anzeige aus

## Datenausgabe

Die Meßwerte werden auf einer 7-Segmentanzeige mit 6stelliger Mantisse, Vorzeichen-Exponent und Exponent angezeigt. Der Dezimalpunkt steht immer rechts neben der obersten Stelle der Mantisse. Die sechste Stelle der Mantisse wird ausgeblendet, wenn die effektive Meßzeit (t1...t3) kleiner als 1 s ist.

Am seriellen Ausgang erscheinen die Meßwerte im festen Format mit Vorzeichen der Mantisse, 1. Stelle Mantisse, „.", 2. bis 6. Stelle Mantisse, „E", Vorzeichen des Exponenten, 2stelligem Exponenten, Kennung („F" = Frequenz, „P" = Periode, „D" = Drehzahl) und $0D. Die Ausgabe z. B. der Netzfrequenz sieht so aus:

+5.00123E+01F

Die insgesamt 14 Bytes werden als ASCII-Zeichen mit 8 Datenbits und je einem Start- und zwei Stopbits versehen gesendet. Der Inverter (¼ 4093) ist für viele Fälle als Treiber ausreichend, zumal sich eine negative Versorgungsspannung erübrigt.

## Abgleich

Die Quarzfrequenz muß natürlich abgeglichen werden. Dazu dient der Trimmkondensator $C_{trimm}$. Entweder mißt man eine genau bekannte externe Frequenz oder mit einem genauen Frequenzmeßgerät am Ausgang Φ2, die 1 MHz betragen muß.

Um den seriellen Datenausgang zu nutzen, ist auch die Baudrate (mit $R_{trimm}$) abzugleichen. Sie sollte maximal 4800 und minimal 300 Bd betragen. Wird die LED-Anzeige nicht aktiviert, so kann sie auch unter 300 Bd liegen.

Die ICs 14093 schwingen in der gezeigten Schaltung je nach Hersteller mit unterschiedlichen Frequenzen, da ihre Hysteresen voneinander abweichen. Nach Aufbau der Schaltung sollte aber der genaue Abgleich kein Problem sein. Wird der serielle Ausgang nicht benötigt, so ist die Frequenz unkritisch.

Der Autor ist bereit, die benötigte Software zum Selbstkostenpreis für nichtindustrielle Anwendung zur Verfügung zu stellen.

### Literatur

[1] Rockwell Data Book 1984, 2. Ausgabe, S. 3...147 und 3...182.
[2] CMOS-Datenbücher von Motorola, Valvo, RCA, NS, Fairchild.