



## **Versuch 5 Zeit und Frequenzmessung**

### **1 Theorie**

#### **1.1 Zeitintervall- und Frequenzzähler**

Die Messung von Zeitintervallen und Frequenzen wird überwiegend mit digitalen Messgeräten durchgeführt. Frequenz- und Zeitmessungen lassen sich mit hoher Präzision realisieren. Frequenz- und Zeitzeichen-Normalien können leicht mit hoher Genauigkeit an den Messort übertragen werden. Die Physikalisch-Technische-Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig betreibt in Mainflingen bei Frankfurt den Langwellensender DCF 77, der damit als Zeitzeichen- und Normalfrequenzsender auf der Basis des PTB Caesium-Frequenznormals landesweit verfügbar ist (siehe Anhang). Die über den Tag gemittelte relative Frequenzabweichung ist am Sendeort kleiner als  $10^{-12}$ . Werden Zeitmarken über das Global Positioning Network (GPS) übertragen, haben sie vergleichbar geringe Unsicherheiten. Wegen dieser hohen Genauigkeit versucht man häufig, die Messung von physikalischen Größen auf Frequenz- oder Zeitintervallmessungen zurückzuführen. Als Vorteile zeit- und frequenzanaloger Signale gegenüber amplitudenanalogen Signalen können hervorgehoben werden:

- die Übertragungs- und Verstärkungsmöglichkeiten ohne nennenswerten Genauigkeitsverlust, weil die Information in der Frequenz des Signals liegt,
- die geringe Störempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Einstreuungen,
- die einfache galvanische Trennung dieser Signale (kapazitive -, Trafo-Kopplung),
- die leichtere Digitalisierbarkeit durch Abzählen der Perioden, Teilen,

Es gilt bei digitalen Messungen der Zeit  $T$  und der Frequenz  $f$  für den Zählerstand  $N$  die Beziehung  $N = f \cdot T$ . Dabei wird bei Frequenzmessungen ein bekanntes Zeitintervall  $T$  konstant gehalten, und es gilt dann für den Zählerstand  $N \sim f$ . Bei Messungen des Zeitintervalls wird eine bekannte Frequenz  $f$  konstant gehalten und damit ist der Zählerstand  $N \sim T$ .

#### **1.2 Funktionselemente von Zeit-/ Frequenzmessgeräten**

So wie die Periodenlänge einfach in eine Frequenz umgerechnet werden kann, so kann das Blockschaltbild eines Frequenzzählers zu dem einer Periodendauer. Messung umgebaut werden. Für den Aufbau dieser Messgeräte benötigt man einige immer wiederkehrende Funktionsblöcke:

- einen Vorverstärker und Impulsformer für einen großen Frequenzbereich, der eine Periode des Eingangssignals in einen korrekten zählbaren Digitalimpuls umwandelt,

- einen Referenzgenerator mit einer hohen, besonders stabilen Frequenz ( $\Delta f/f < 10^{-7} - 10^{-9}$ ), einen temperatur- und alterungsstabilen Quarz-Oszillator,
- verschiedene Frequenzteiler  $M$ ,
- eine Torschaltung, die für eine bestimmte Zeit geöffnet, alle ankommenden Pulse durchlässt,
- ein genügend schnelles Zählermodul mit geeigneter Anzeige.
- In einer entsprechenden Zusammenschaltung ergeben sie Anordnungen zur Zeit-/Periodendauer- oder Frequenzmessung

### 1.3 Messung der Frequenz einer Pulsfolge

Um die Frequenz einer Pulsfolge zu bestimmen, muss man die Anzahl der Pulse innerhalb eines Zeitintervalls ermitteln. Deshalb wird die Referenzfrequenz heruntergeteilt und ergibt das Messfenster von 1 ms, 1 s oder andere Werte entsprechend der Teilerzahl  $M$ .

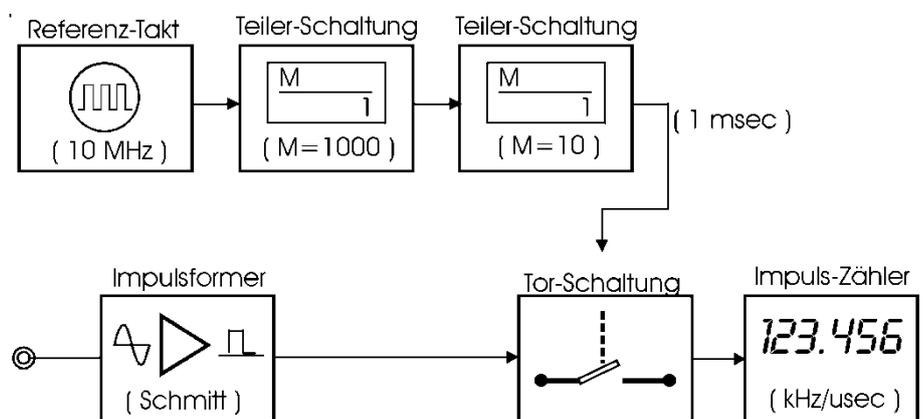


Bild 1.1: Prinzipanordnung eines Frequenz-Zählers

Die Wahl des Messfensters beeinflusst die Anzeige des Zählermoduls, denn es können nur Pulse gezählt werden, die kürzer als das Messfenster sind. Die Wahl eines Messfensters von 1 ms erfordert also Pulse einer Periodenlänge  $< 1$  ms, d.h. Frequenzen größer als 1 kHz. Daher ergibt eine Messung mit einer Torzeit von 1 ms einen Skalenfaktor der Zähleranzeige von „Kilohertz“, es können nur (ganze) Vielfache von kHz gemessen werden. Entsprechend ist für eine Messung in „Hertz“ ein Messfenster von 1 s erforderlich.

### 1.4 Messung der Periodendauer

Die digitale Periodendauer-Messung bezieht sich auf den zeitlichen Abstand zweier gleicher (steigender oder fallender) Flanken eines Signals, die die Schwingungsdauer oder Periode  $T$  eines Signals kennzeichnen.

Zur Messung wird der bekannte Takt des Referenz-Takt-Generators verwendet. Es wird ermittelt, wie viele Referenz-Takte innerhalb einer Periode des Eingangssignals gezählt werden. Daher steuert jetzt das Eingangssignal die Torschaltung, gezählt wird der Referenz-Takt.

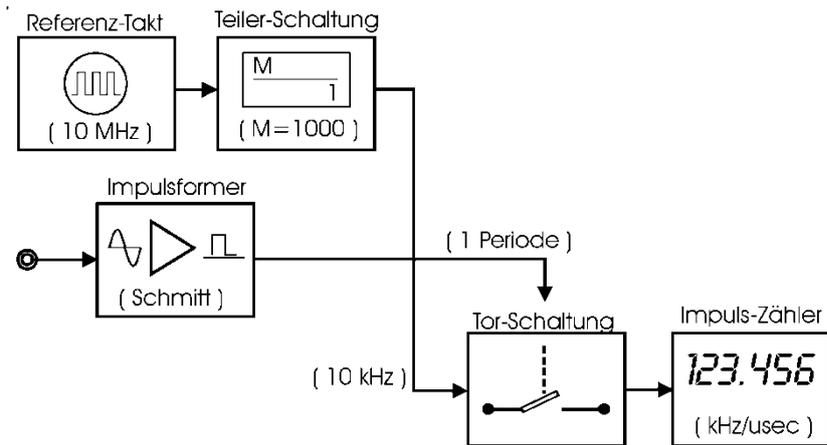


Bild 1.2: Periodendauermessung

Das Ergebnis der Zählung ist ein Vielfaches der Periodenlänge des Referenztaktes (im Beispiel Bild 1.3 etwa  $N \cdot 100 \mu\text{s}$ ), daher muss dieser Takt eine wesentliche höhere Frequenz als das zu untersuchende Eingangssignal aufweisen.

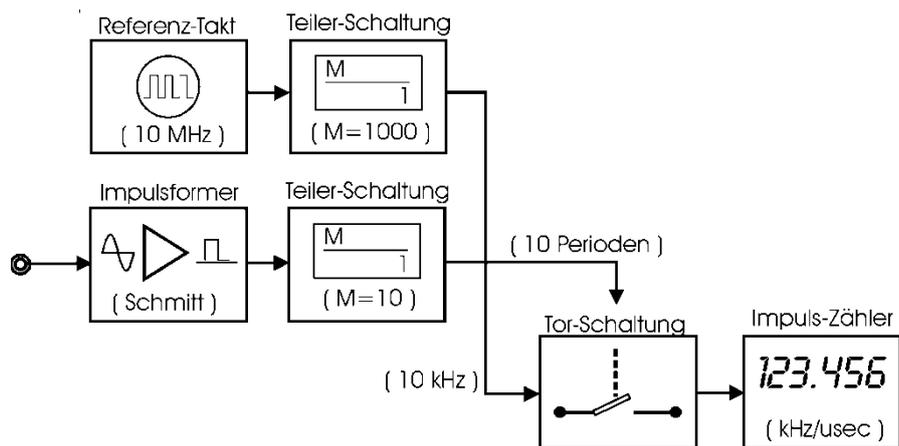


Bild 1.3: Periodendauermessung erhöhter Genauigkeit durch Vorteiler

## 1.5 Messfehler und Messunsicherheit

Bei der Umwandlung einer stetig veränderlichen Größe (Signal) in einen digitalen Zahlenwert kann dieser den analogen Wert nur bis zu einer durch die Stellenzahl gegebenen Genauigkeit wiedergeben. Durch die zufällige Lage des Messfensters kann ein letzter Puls gerade noch / nicht mehr mitgezählt werden, ohne dass eine signifikante Änderung der Frequenz vorliegen müsste. Dieser „Quantisierungsfehler“ tritt in allen Digitalschaltungen auf, es ist ein nicht korrigierbarer systematischer Fehler. Er wirkt sich als Messunsicherheit in der letzten Stelle um  $\pm 1$  Digit aus. Durch den Abbruch auf eine ganze Zahl werden die restlichen Bruchteile des Messwertes zu Null angenommen. Die relative Messunsicherheit eines gemessenen Wertes  $N$  als Folge des Digitalisierungsfehlers wird damit zu (mindestens)  $\frac{1}{N}$ . Bei der Periodendauermessung kann der Wert  $N$  vergrößert werden, indem man die Referenzpulse über mehrere Perioden des Eingangssignals zählt.

Die Unsicherheiten bei Zeit- und Frequenzmessungen hängen auch von der Stabilität des Referenz-Oszillators ab. Abweichungen von der Sollfrequenz können durch Drift, z.B. infolge von Temperaturschwankungen und durch Alterung der Bauteile verursacht werden. Die überwiegend verwendeten Quarzoszillatoren zeigen eine Frequenzstabilität von etwa  $\pm 1 \cdot 10^{-5}$ , mit thermostatgeregelten Quarzoszillatoren von ca.  $10^{-8}$ . Schwingquarze zeigen nach der Fertigung einen Alterungseffekt, der nach ca. 1000 h weitgehend abgeklungen ist. Wenn noch höhere Stabilität benötigt wird, kann ein Caesium- oder Rubidium-Oszillator verwendet werden. Zum Abgleich oder zur Korrektur von Driften kann das Referenzsignal auch über den Langwellensender DCF 77 oder über GPS-Satelliten mit dem Zeitnormal der PTB verglichen werden. Hierfür wird eine Stabilität am Sendeort von  $10^{-12}$ , gemittelt über 24 h angegeben.

Die Messunsicherheit bei einem Standard-Zähler setzt sich im Wesentlichen aus den beiden Anteilen für Zeitbasisdrift und dem Quantisierungsfehler zusammen.

$$\frac{\partial f}{f} = \pm \left( \left| \frac{\partial f_{ref}}{f_{ref}} \right| + \left| \frac{1}{N} \right| \right)$$

Die Messunsicherheit ist demnach mindestens die Unsicherheit der Referenzfrequenz (Clock-Signal) sowie zusätzlich die Unsicherheit aus dem Abbruchfehler/Quantisierungsfehler der Messung und Anzeige.

Dieser 2. Anteil ist abhängig von der Wahl von Messbereich, Torzeit, Referenzfrequenz und eventuellen Vorteilern. In einer gegebenen Messumgebung ist die Messung tiefer Frequenzen über die Periodendauer, die von hohen Frequenzen über eine Frequenzmessung günstiger. In einem mittleren Frequenzbereich kann die Messunsicherheit bei beiden Methoden erheblich größer als die Referenzfrequenzunsicherheit sein.

### 1.6 Rechnende Zähler

Das Verhalten von Standard-Zählern lässt sich direkt durch die vorher beschriebenen Beziehungen

zwischen Torzeit, Referenzfrequenz und Auflösung beschreiben. Ein solcher Zähler braucht z.B. 10 s Torzeit, um auf 0,1 Hz genau zu messen.

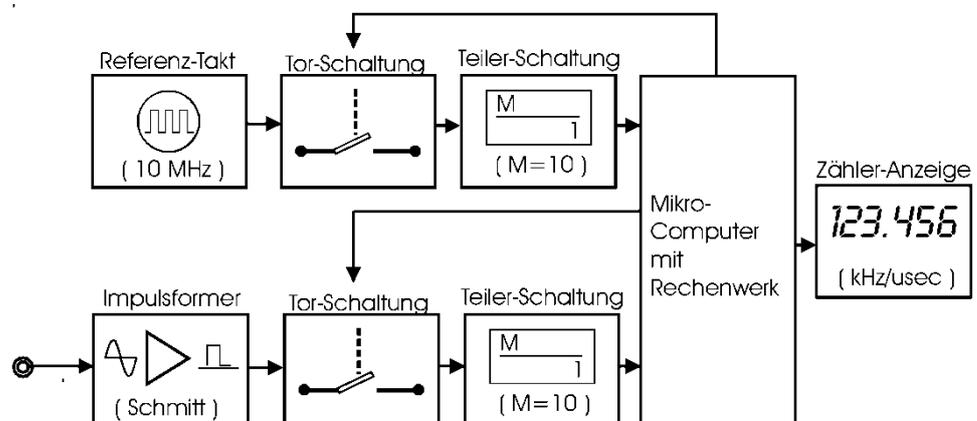


Bild 1.4: Funktionsschaltbild eines rechnenden Zählers

Um die Messfehler durch die Abbruch-

fehler infolge der Messbereichswahl zu vermeiden und gleichzeitig eine hohe Auflösung bei

kurzer Messzeit zu erhalten, wurden sogenannte „rechnende Zähler“ entwickelt, die mit Kombinationen aus Frequenz- und Periodendauermessung arbeiten.

So kann man beispielsweise in einem Messintervall erst die ganzen Pulse des Eingangssignals zählen (Frequenzzählung) und danach die Restdauer vom letzten Puls bis zum Ende des Messfensters (Periodendauer-Messung) ermitteln. Dadurch können Abbruchfehler wesentlich verringert werden. Bei einem “rechnenden” Zähler ist die Zeitbasisdrift noch ebenso wirksam wie bei einem Standard-Zähler, die Einschränkungen durch die Wahl des Messbereiches für Frequenz oder Periode sind aber weitgehend reduziert. Hinzu kommen mögliche Abweichungen durch Rundungsfehler in den internen digitalen Berechnungen.

### 1.7 Erzeugung von Standard-Frequenzsignalen

Wegen der engen internationalen Verknüpfung der Nationen durch Verkehr, Rundfunk, Fernsehen oder Navigation (GPS) ist es notwendig, ein weltweit einheitliches Maß für Frequenz und Zeit zu verwenden. Für Messaufgaben wird in Geräten (u.a. Zählern, Steuerungen) oft eine lokale Referenzfrequenz erzeugt.

Die nationalen Normeninstitute (D: PTB) erzeugen mit Hilfe von atomaren Frequenznormalen eine Abbildung der weltweit gültigen SI-Einheit Zeit/Frequenz. Die national gültige Uhrzeit wird über Funk (Langwelle 77.5 kHz) europaweit verteilt und kann mit Funkuhren empfangen werden. Die Sendefrequenzen einiger Rundfunksender (DLF(D) 153 kHz, Droitwich(UK) 200 kHz, NBS(USA) 10 MHz) sowie die Zeilenfrequenz des Fernsehens (15.625 Hz) werden auf etwa  $10^{-11}/h$  genau geregelt.

### 1.8 Lokale Zeitbasis oder Referenzfrequenz

Für die lokale Erzeugung einer Frequenz zum Steuern eines Gerätes gibt es unterschiedliche Verfahren. Beispielhaft werden im Laborversuch ein RC-Kipp-Oszillator, ein Schwingkreis / LC-Oszillator und ein Quarz-Oszillator untersucht. Sie weisen für die Anwendung unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der erzeugten Signalform, der Stabilität, der Verstimbarkeit und des Preises auf.

Tabelle 1.1: Vergleich der Oszillatoren

R-C-Oszillator [NE555] (Kipp-Oszillator)	Auf- und Entladen eines Kondensators über einen (einstellbaren) Widerstand	geringer Aufwand mäßige Genauigkeit sehr gute verstellbar Stabilität $10^{-2}$
L-C-Oszillator	Schwingkreis-Oszillator mit Rückkopplung	gute Stabilität $10^{-3}$ verstellbar sinusförmige Ausgangsspannung
Quarz-Oszillator	Quarzelemente als piezo-elektrischer /mechanischer Schwingkreis	Sehr gute Stabilität $10^{-5}$ vorgefertigte Schwingfrequenz sehr gering verstellbar
Atom-Frequenznormal	Schwinganordnung unter Verwendung von atomaren Energiezuständen (Rubidium-Caesium-Oszillator)	Extrem gute Stabilität ( $10^{-9}$ bis $10^{-13}$ pro Stunde) Sehr aufwendig und teuer

## **1.9 Empfang der Normalfrequenz über DCF77**

Als offizielle Zeit- und Frequenzreferenz wird in Mainflingen bei Frankfurt ein Langwellensignal auf 77,5 kHz ausgesendet. Dabei weicht die Trägerfrequenz von der genormten idealen SI-Einheit um ca.  $10^{-13}$  ab, aufgrund von Störungen im Mittel praktisch um  $10^{-12}$ . Dieses Trägersignal wird zusätzlich im Sekundentakt abgesenkt und damit codiert die Uhrzeit und das Datum übertragen (siehe Anhang). Die Zeit- und Frequenzaussendung wird von der PTB gesteuert und kontrolliert.

Das Trägersignal ist überall in Mitteleuropa hinreichend gut zu empfangen, soweit die externen Störungen am Empfangsort nicht zu hoch sind. Da die mittlere Frequenz extrem stabil ist und die atmosphärischen Störungen etwa gleichverteilt um die Nennfrequenz liegen, kann die Genauigkeit der Frequenzmessung durch Mittelung über längere Messzeiten verbessert werden.

In der Praxis ist der Empfang auf der Langwelle häufig durch Störsignale überlagert, die von elektrischen Geräten und Maschinen mit elektronischer Steuerung erzeugt werden. Zusätzlich kann durch die Stahlbeton-Konstruktion von Gebäuden die Ausbreitung der Wellen behindert werden.

Sogenannte „Funkuhren“ werden meistens täglich mit der codiert übertragenen Uhrzeit synchronisiert, sie verwenden ansonsten eine Quarzzeitbasis (Uhrenquarz),

Über den Empfang der Signale von 3 bis 4 GPS-Satelliten lässt sich mit einem geeigneten Empfänger die Zeit und Frequenz ebenso mit hoher Präzision darstellen.

### **Literaturverzeichnis:**

- [1] Germer, Wefers; Messelektronik Band 2, Hüthig
- [2] Broschüre der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, „Zur Zeit“
- [3] Lerch, Elektrische Messtechnik, Springer Lehrbuch 1996

## 2 Anhang:

### 2.1 Zeit-/Frequenzreferenz über den Sender DCF77

Während bis etwa 1967 die internationale Zeit aus der Astronomie (Erdumlauf um die Sonne) hergeleitet wurde, wird heute die Zeit und daraus abgeleitet die Frequenz über Atomuhren in den Normeninstituten bestimmt. Dabei werden Metalldämpfe im Vakuum zu Schwingungen angeregt, deren Frequenzen im Wesentlichen nur durch den (unveränderlichen) atomaren Aufbau der Metalle bestimmt sind. Damit wird die Messung der Zeit durch weltweit gleiche Naturkonstanten definiert.

Zur Verbreitung der amtlichen Zeit in Europa wird von der PTB ein Langwellensender betrieben, dessen Frequenz auf genau  $77500 \pm 10^{-12}$  Hz geregelt ist und dessen Amplitude mit Zeitinformationen moduliert wird. Dazu wird die Sendeleistung im Sekundentakt auf 25% des Normalwertes abgesenkt, für 0,1 s als „0“ und für 0,2 s als „1“. Der 59. Puls wird weggelassen, so dass daran der Beginn der nächsten Minute erkannt werden kann. Die codiert übertragene Zeit gilt für die nächste Minute nach dem weggelassenen Sekundenpuls.

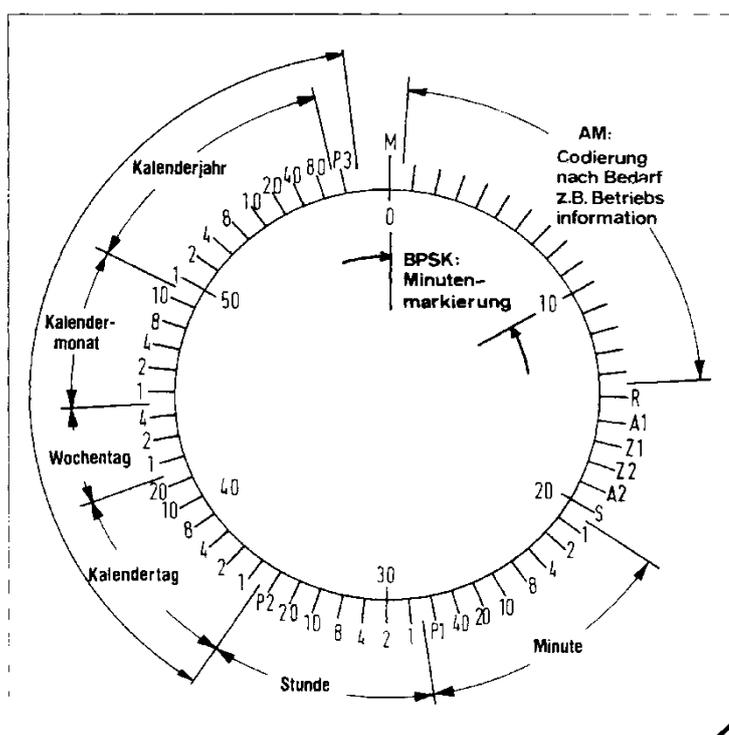


Bild 4: Schema der codierten Zeitinformation von DCF77.

M Minutenmarke, R Antennenbit, A1 Ankündigungsbit für den Übergang von MEZ nach MESZ oder von MESZ nach MEZ, Z1, Z2 Zonenzeitbits, A2 Ankündigungsbit für eine Schaltsekunde, S Startbit der codierten Zeitinformation, P1, P2, P3 Prüfbits.

Bild 2.1: DCF77 Schema der codierten Zeitinformation

### 2.2 Realisierung einer Zeitbasis mit R-C-Oszillator Timer-IC 555

Der Baustein NE555 erzeugt die Frequenz, indem ein Kondensator über zwei Widerstände  $R_A$  und  $R_B$  aufgeladen wird, bis eine obere Schaltschwelle ( $2/3 V_{cc}$ ) erreicht ist. Dann wird der Kondensator C über den Widerstand  $R_B$  bis zu einer unteren Schwelle ( $1/3 V_{cc}$ ) entladen. In beiden Fällen folgt die Ladespannung der bekannten e-Funktion. Weil die Ladespannung und die Schaltschwellen jeweils ein fester Teil der Betriebsspannung sind, ist die Frequenz unabhängig von der Höhe dieser Spannung.

Durch geschickte Schaltungstechnik wird eine hohe Stabilität der Frequenz gegenüber Umwelteinflüssen erreicht; Änderungen der Bauteile R und C gehen aber voll in die Drift ein. Die Frequenz des Bausteins aus der Periode der Auf- und Entladezeit ist:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,46}{(R_a + 2 \cdot R_b) \cdot C}$$

Das Puls-/Pausenverhältnis der Ausgangsspannung ist systembedingt immer ungleich 50 %, die Aufladezeit ist zwangsläufig ungleich der Entladezeit. Durch Verändern des Widerstands RA lässt sich die Frequenz in großem Umfang ändern.

### 2.3 Realisierung mit L-C-Schwingkreis-Oszillator

Bei einem Schwingkreis-Oszillator wird eine LC-Kombination in Verbindung mit einem rückgekoppelten Verstärker zu Eigenschwingungen angeregt. Es ergibt sich eine charakteristische Schwingfrequenz zu

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Bei dem gewählten Colpitts-Oszillator wird als Verstärker ein FET in Drainschaltung eingesetzt, der die Güte  $Q$  des Schwingkreises nur wenig verschlechtert. Das wirksame  $C$  ist die Reihenschaltung von  $C_1$  und  $C_2$ . Werden Verstärkung, Rückkopplung und Begrenzung richtig gewählt, entsteht als Ausgangsspannung eine weitgehend reine Sinusspannung. Änderungen der Bauteilwerte  $L$  und  $C$  durch Umwelt- oder Alterungseinflüsse gehen nur mit der Wurzel der Änderung in die Frequenz ein. Bei hochwertigen Elementen  $L$ ,  $C$  mit geringen Verlustwiderständen entsteht eine sehr stabile Schwingfrequenz.

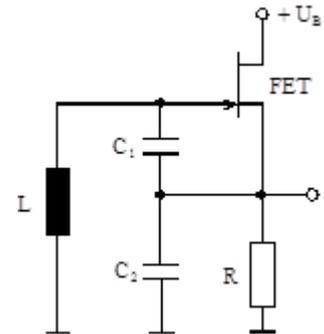


Bild 2.2: Schwingkreis

### 2.4 Realisierung als Quarzoszillator mit HCMOS-IC

Piezoelektrische Materialien wie Quarz oder Bariumtitanat können durch Anlegen einer äußeren Spannung zu geringen mechanischen Verformungen angeregt werden, sie geben auch Ladungen ab, wenn sie selbst mechanisch verformt werden. Bildet man das Bauteil so aus, dass es mechanische Resonanzschwingungen vollführen kann (z.B. Stimmgabelschwinger), so kann man ein hochwertiges mechanisch-elektrisches Schwingssystem konstruieren. Ein solcher Schwingquarz hat eine durch die Herstellung vorgegebene Resonanzfrequenz, er hat meist einen hochohmigen Scheinwiderstand (1k...500 kΩ) und eine elektrische Güte von  $10^4$  bis  $10^6$ .

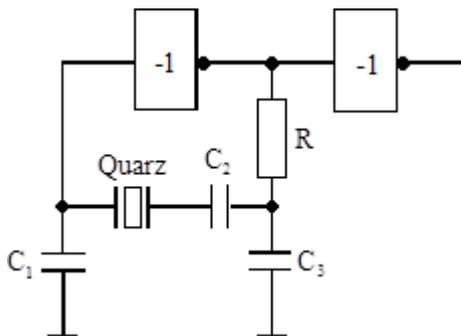


Bild 2.3: Quarz-Oszillator

In der Regel werden die Schwingquarze so hergestellt, dass sie die Nennfrequenz bei einer Serienresonanz mit einem Kondensator von 30 pF erreichen. Durch Verändern dieser Kapazität kann ein Quarzoszillator geringfügig abgestimmt werden.

Die Genauigkeit der Herstellfrequenz liegt bei  $10^{-4} \dots 10^{-5}$ , durch besondere Kristallschnitte und Temperaturstabilisierung kann eine Stabilität von  $10^{-8}$  pro Stunde erreicht werden.

In der Versuchsschaltung wird ein CMOS-Logik-Gatter als Verstärker eingesetzt, weil es nur geringe Steuerleistungen benötigt. Der Quarz bildet mit der Reihenschaltung von  $C_1$ ,  $C_2$  und  $C_3$  einen Schwingkreis im Rückkopplungspfad. Mit dem Widerstand  $R$  wird die Stärke der Rückkopplung begrenzt. Das zweite Gatter formt ein sauberes Rechtecksignal. Die Schwingschaltung benötigt weniger als 1 mW Betriebsleistung.



Labor für elektrische Messtechnik		Laborbericht	
Semester		Versuch 5 Zeit- und Frequenzmessung	
-----	Gruppen-Nr.	Name: -----	Matr.Nr: -----
-----	-----	Name: -----	Matr.Nr: -----
Datum	Vortestat	Testat/Note/Bemerkung:	
-----	-----	-----	

### 3 Vorbereitung

- (1) Machen Sie sich mit der Funktion von Frequenz- und Periodendauer-Messgeräten vertraut.
- (2) Bestimmen Sie die Unsicherheit einer Frequenzmessung für einen Frequenzmesswert von 38 kHz, einer Torzeit von  $T = 1$  s und einer Zeitbasisunsicherheit von  $\Delta f/f$  von  $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ .

### 4 Durchführung

#### 4.1 Stabilität und Drift der Frequenzerzeugung mit den Oszillatoren:

Das Laborgerät verfügt über folgende Einstellungsmöglichkeiten zur Auswahl:

- (a) RC-Oszillator
- (b) LC-Oszillator
- (c) Quarz-Oszillator
- (d) DCF77 Trägerfrequenz vorverarbeitet

Die DCF77-Trägerfrequenz wird nur untersucht, wenn die Störungen der Empfangsqualität es zulassen. Die Qualität ist dann hinreichend, wenn das Gerät den codierten Sekundentakt erkennt (blinkende gelbe LED). Auf dem Oszilloskopbild lässt sich bei entsprechender Zeitablenkung die Signalabsenkung (Sekundenpulse) erkennen.

Nach 2-3 Minuten Einlaufzeit werden im Minutenabstand die Frequenzen der 3 Quellen gemessen und aufgezeichnet, nach 10 min alle 5 min, gesamte Beobachtungszeit 40 min. Für die Auswertung ist es dabei wichtig, mindestens 6 ablesbare Stellen des HM 8122 zu notieren.

Achtung: Auf eine genügend große Torzeit (z.B. 8 s) ist dabei zu achten, damit die 6 Stellen gültig sind (kein Wechsel in der Anzeige der 6 Stellen). Die Messdaten sind dadurch abzusichern, dass die Anzeige „OFL“ für den Überlauf nicht leuchtet und die Tiefpassfilterung mit dem Button „L.PASS 50 kHz“ angewandt wird. Wichtig: **Reset** des HM8122 nicht vergessen nach dem Umschalten auf den nächsten Oszillator!

Die Nennfrequenz jeder Quelle kann sich durch mechanische Alterung verändern und wird ab und zu Langzeit-gemessen. (Werte während der Durchführung beim Betreuer erfragen.)

#### **4.2 Messung der Messgenauigkeit eines Standard-Zählers**

Durch die Messung verschiedener Frequenzen soll die Größe des systembedingten Digitalisierungsfehlers eines Standard-Zählers ermittelt werden.

Verwendete Geräte:

Standard-Zähler

„Rechnender“ Frequenzzähler „Programmierbar Counter HM 8122“

Funktionsgenerator „HM 8130-3“

Frequenz-Sollwerte:

**Hz:** (40)/80/120/280/600 **kHz:** 1,5/30/75/120/250/300

Einstellen der oben aufgelisteten Frequenzen mit Bezug auf den (genauen) HM 8122, jeweils Messung / Ablesung von Frequenz und Periodendauer am Standard-Zähler mit folgenden Zähler-einstellungen:

- (a) Frequenzmessung, Standard-Zähler-Torzeit: 10 s
- (b) Frequenzmessung, Standard-Zähler-Torzeit: 1 s
- (c) Periodendauermessung, „Torzeit“ 0,1 s (Messung über 10 Perioden des Eingangssignals)

Auch hier ist es wichtig, alle (mind. 6) ablesbaren Stellen des HM 8122 zu notieren.

#### **Anmerkung:**

Der Standardzähler zeigt die Frequenz in kHz und die Periodendauer in  $\mu\text{s}$  an. Analog zu den oben angegebenen Werten **entspricht** bei der **Periodendauer**-Messung eine eingestellte Torzeit von 1 s einer Messung über 100 Perioden und eine Torzeit von 10 s einer Messung über 1000 Perioden des Eingangssignals.

## 5 Auswertung

### 5.1 Frequenzdrift:

- (1) Ist der Empfang von DCF77 hinreichend stabil, wird die Abweichung des HM 8122 vom korrekten Wert bestimmt.
- (2) In einem Diagramm mit geeignetem vertikalen Maßstab wird die Frequenzabweichung der 3 Signale (1a-c) unter 4.1 als + / - Abweichung vom Nennwert über der Zeit dargestellt.
- (3) Aus der Darstellung wird ermittelt, ob die Abweichungen zufällige Störungen sind oder ob ein Trend, eine systematische und möglicherweise korrigierbare Abweichung in einer Richtung vorliegt (Kommentar).
- (4) Aus den Diagrammen werden die Messfehler bestimmt. Dabei wird ein über lange Zeit (ca.8 Stunden) ermittelter Wert für jede Quelle als Referenz zugrunde gelegt. Es sollen Interpretationen zu den verschiedenen Fehlerarten gegeben werden.

### 5.2 Frequenz-, Periodendauermessung:

- (1) Berechnung der gesamten relativen Messunsicherheit  $\delta f/f$  für die abgelesenen Anzeigewerte unter der Annahme, die Referenzfrequenz des Standard-Zählers hätte eine Abweichung von  $\Delta f_{\text{ref}}/f_{\text{ref}} = \pm 10^{-5}$ . (Beachten Sie, dass Sie für die Unsicherheitsberechnung bei der **Periodendauermessung** die Formel auf S.4 modifizieren müssen!

$$1/N = 1/(n \cdot T_{\text{per}} \cdot f_{\text{ref}}), \text{ wobei } n=10 \text{ (} \text{``Torzeit`` } 0,1\text{s) und } f_{\text{ref}} \text{ des Standardzählers} = 10 \text{ MHz)}$$

Geben Sie für den ersten und letzten Tabellenwert (3 Tabellen für Torzeit 10 s, 1 s, 0,1 s) für die relative Messunsicherheit des Standardzählers die Berechnungsformel mit eingesetzten Werten an (unter der jeweiligen Tabelle), damit man nachvollziehen kann, wie Sie auf ihre Werte kommen.

(In alten Meistern stehen oft falsche bzw. nicht nachvollziehbare Werte.)

- (2) Berechnung der gültigen (signifikanten) Stellenzahl der Messwerte aus dem Kehrwert der Messunsicherheit ( $NS = \log ( 1 / (\delta f/f) )$ ).

## 6 Prüfling und Geräte:

### Bei dem Versuch eingesetzter Prüfling

Laborgerät mit den 3 verschiedenen Oszillatoren und einem DCF77 Empfänger



### Bei dem Versuch eingesetzte Geräte:

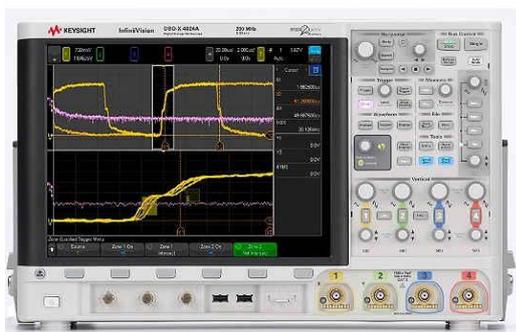
„Rechnender“ Frequenzzähler  
„Programmierbar Counter HM 8122“



Standard-Frequenz-Zähler  
mit einstellbarer Torzeit



Oszilloskop Agilent DSO-X 4024



Funktionsgenerator „HM 8030-3“



Datenblätter und Anleitungen zu den Geräten finden Sie auf dem Messplatz.