 <p>Fachhochschule Jena University of Applied Sciences Jena</p> <p>Fachbereich Elektrotechnik / Informationstechnik</p>	<p><b>Elektrische Meß- und Prüftechnik</b></p> <p>Laborpraktikum</p>	<p>Versuch F</p> <p>ET(BA) SS 2011</p>
<p><b>Rechnergesteuerter Frequenzmeßplatz</b></p>		
<p>Set: .....</p> <p>Studienrichtung: .....</p> <p>Teilnehmer: .....</p> <p>.....</p>	<p><b>Testat:</b> .....</p> <p>Verantwortlicher: .....</p> <p>Datum: .....</p> <p>.....</p> <p style="text-align: center;">Unterschrift</p>	

**1 Versuchsziel**

Kennenlernen möglicher Verfahren zur Frequenzmessung, insbesondere der Einsatz eines Frequenzzählers unter besonderer Berücksichtigung gestörter Signale; Einstellung einer optimalen Triggerschwelle.

**2 Theoretische Grundlagen**

Bei einer Frequenzmessung wird die Frequenz eines periodischen Vorganges auf die Einheit der Frequenz bezogen. Die zur Messung notwendige Vergleichsfrequenz ist nach Gesichtspunkten der anzustrebenden Meßunsicherheit auszuwählen, je nach Anforderungen können das Quarznormale, die Aussendung von Normalfrequenzen oder aber auch Atomfrequenznormale sein.

Bei geringeren Ansprüchen an die Meßunsicherheit kann die zu messende Frequenz mit Hilfe von Resonanz- oder Brückenverfahren, und mit dem Oszillographen ( LISSAJOUSche Figuren ) bestimmt werden.

Grundsätzlich muß bei der Auswahl einer Meßmethode bzw. -einrichtung gelten, daß ihre Gesamtunsicherheit während der Messung mindestens um eine Größenordnung geringer ist, als die für die Messung angestrebte Unsicherheit.

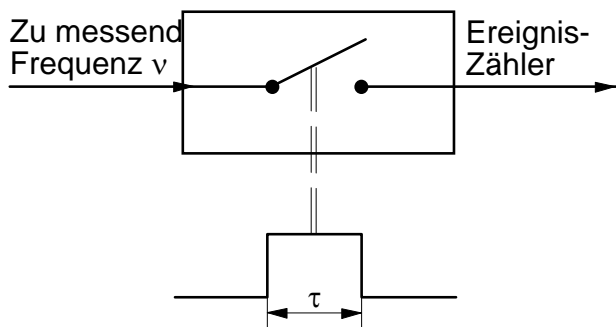
Bei den üblichen Frequenzmessungen werden die Mittelwerte der momentanen Frequenz  $\nu(t)$  über eine bestimmte Meßzeit  $\tau$  bestimmt:

$$\nu = \frac{N}{\tau} \quad ( N - \text{Anzahl der Perioden während der Meßzeit } \tau ) \quad (\text{Gl. 1})$$

Damit ist aber bereits eine gängige Meßmethode charakterisiert, nämlich die Frequenzmessung mit elektronischen Zählern. Kommerziell erhältliche Zähler erfüllen meist mehrere Meßfunktionen, von denen hier insbesondere genannt seien :

- Messung der Frequenz
- Messung der Periodendauer
- Messung von Zeitintervallen
- Messung von Frequenzverhältnissen

Beim derzeitigen Stand der Technik sind Zähler bis in den GHz - Bereich verfügbar. Wesentliches Element eines Frequenzzählers ist eine Torschaltung, die von  $\tau$  geöffnet und geschlossen wird.



Die Genauigkeit des Zähl- ( Meß-) Ergebnisses wird in hohem Maße von der Präzision bestimmt,, mit der  $\tau$  das Tor öffnet und schließt. Deshalb wird die Meßzeit  $\tau$  von einem hochgenauen Generator - der sogenannten Zeitbasis - abgeleitet. Für Universalzähler ist das beispielsweise ein 10-MHz-Quarzgenerator, dessen Frequenz dekadisch geteilt wird bis zur erforderlichen Toröffnungszeit  $\tau$

$$\tau = N \cdot \frac{1}{f_{\text{Zeitbasis}}} \quad (\text{Gl. 2})$$

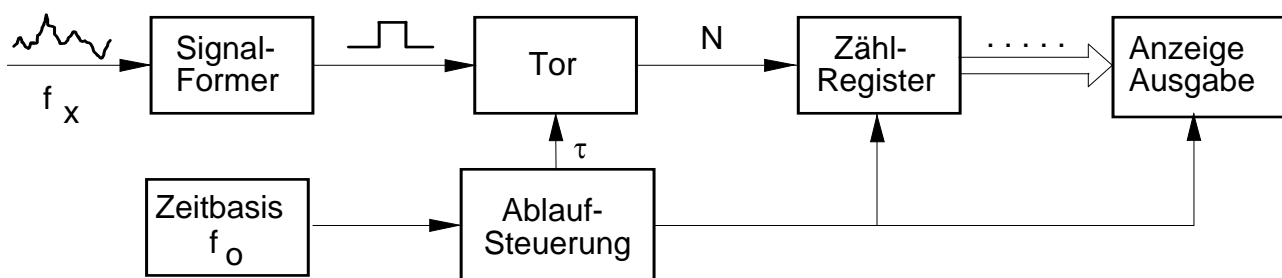
N - Teilungsfaktor

Für unterschiedliche Toröffnungszeiten ergeben sich damit folgende Maßeinheiten für die Zählergebnisse :

$\tau$	1 s	1 ms	1 $\mu$ s
Anzeige	Hz	kHz	MHz

Der dem Tor folgende Zähler ist ein einfacher " Ereigniszähler ", der die Zahl der Perioden der Meßsignale zählt und sie zur Anzeige bringt bzw. in digitaler Form zur Weiterverarbeitung bereitstellt.

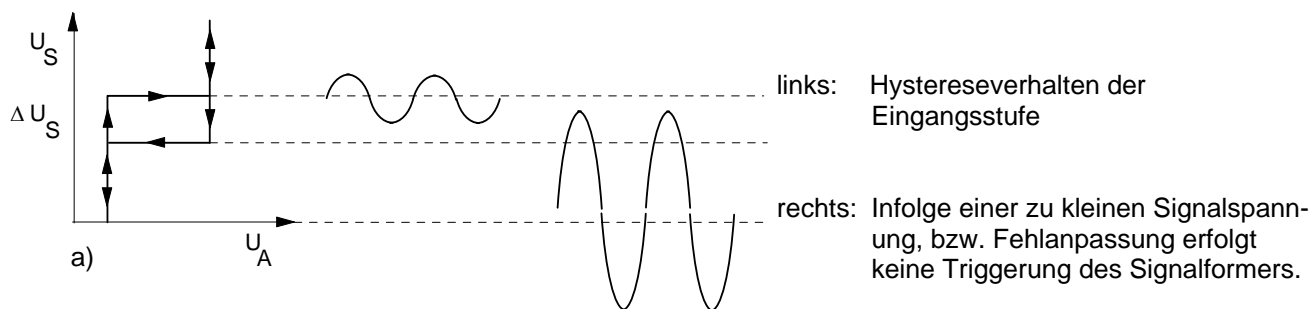
Um die Frequenz der unterschiedlichsten periodischer Signalverläufe zuverlässig messen zu können, wird das Eingangssignal in einer Signalformerstufe so aufbereitet, daß für je eine Schwingung (Periode) des Signals eine Impulsform erzeugt wird, die nach Passieren des Tores vom Zählregister sicher erfaßt werden kann. Damit ergibt sich das folgende vereinfachte Prinzipschaltbild :

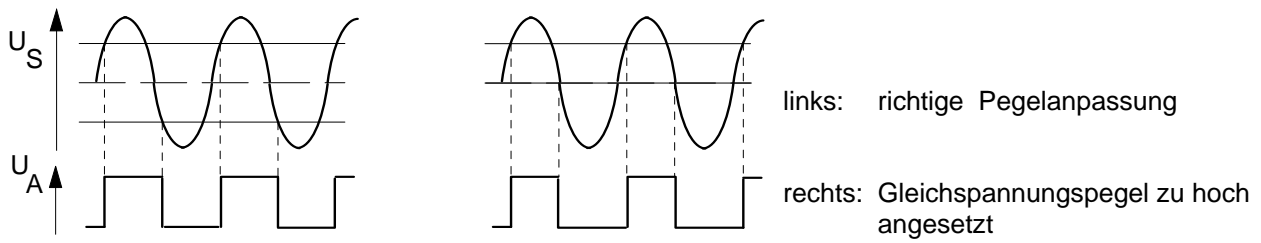


Bis auf den Signalformer, der im allgemeinen aus diskreten Bauelementen aufgebaut ist, werden Frequenzzähler durch integrierte Schaltungen realisiert. Signalformerstufen bieten vielfältige Einstellmöglichkeiten, gebräuchlich sind :

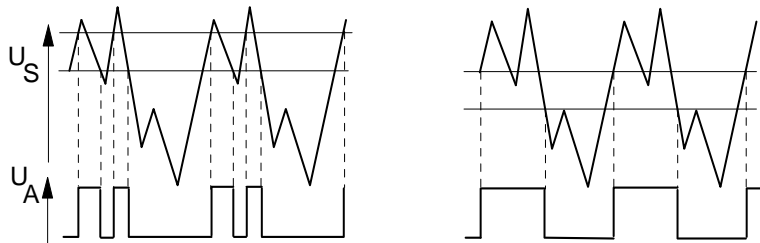
- Eingangssignalabschwächer
- Gleich- / Wechselspannungskoppler
- Gleichspannungspegel
- Triggerung der Signalformerstufe durch positive oder negative Signalfanken

Während verzerrungsfreie Sinus- und Rechtecksignale kaum Schwierigkeiten bei der korrekten Einstellung der Signalformerstufe mit sich bringen, ist die korrekte Triggerung gestörter Signale mitunter sehr schwierig. Es ist offenkundig, daß fehlerhafte Einstellungen zu erheblichen Meßfehlern führen können, wie die nachfolgenden Beispiele für verschiedene Einstellungen des Eingangs einer Signalformerstufe in Bezug auf das Eingangssignal zeigen:

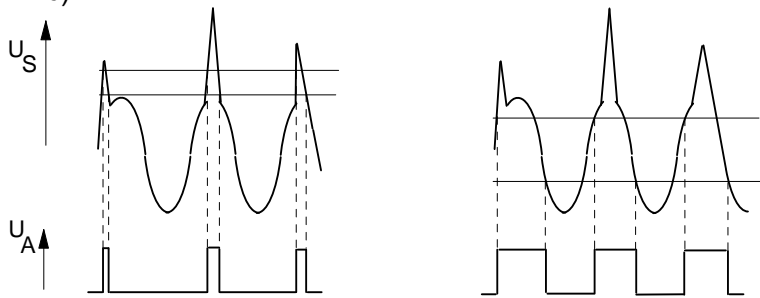




b)



c)



d)

Dem Nutzsinal überlagerte Störspannungen können, je nach Pegel-einstellung, bei gleichem Signal unterschiedliche Triggerungen des Signalformers auslösen.

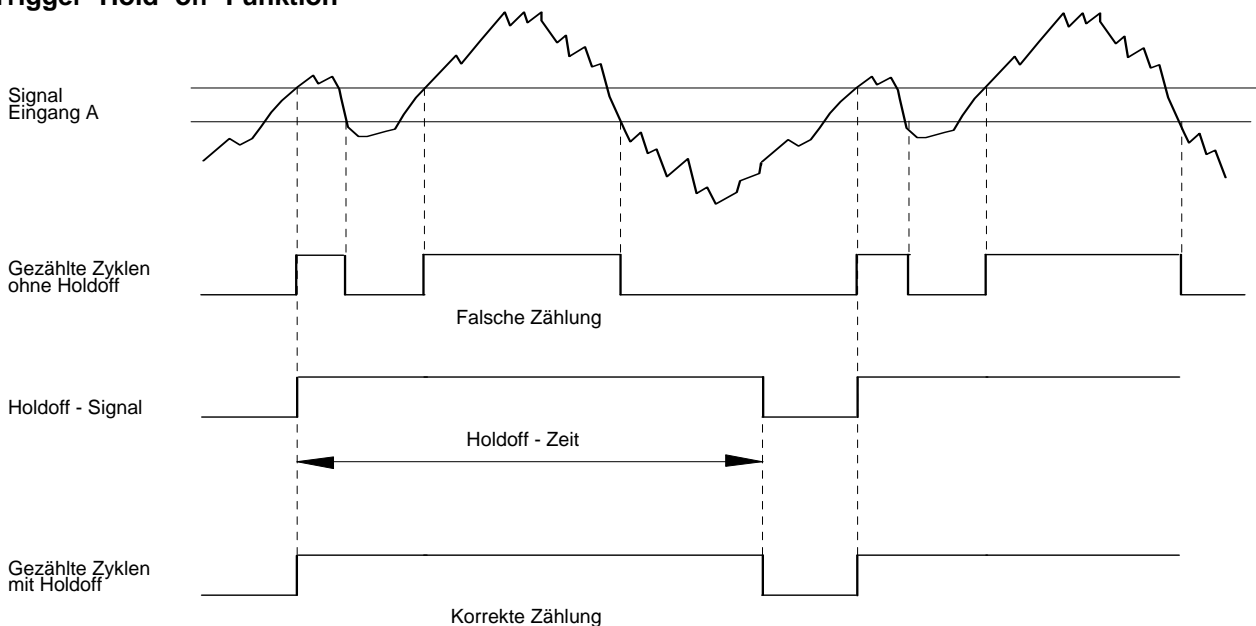
Mitunter sind weitere hilfreiche Triggerfunktionen möglich. Hier seien noch erwähnt:

- Autotriggerfunktion
- Trigger- Holdoff- Funktion

### Autotriggerfunktion:

Der Triggerpegel wird dabei automatisch auf 50 % der Amplitude positioniert, unabhängig von Tastverhältnis und Gleichspannungsoffset.

### Trigger- Hold- off- Funktion



Durch Einfügen einer Holdoff-Zeit wird verhindert, daß Störsignale den Trigger starten bzw. stoppen.

Bei Frequenzmessungen an Signalen, deren Signalform und Eigenschaften vorerst unbekannt sind, sollte die Signalform zunächst mit einem Oszilloskop kontrolliert werden, um Fehleinstellungen der Signalformstufe zu vermeiden.

Der relative Gesamtfehler der Frequenzmessung mit Hilfe eines elektronischen Zählers setzt sich insbesondere aus den Anteilen

- Fehler der Zeitbasis
- Quantisierungsfehler
- Triggerfehler

zusammen, also läßt sich prinzipiell für den maximalen relativen Fehler schreiben

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \left( \left| \frac{\Delta f_0}{f_0} \right| + \left| \frac{\Delta N_x}{N_x} \right| + \frac{\Delta t_{\text{Trigger}}}{t_{\text{Trigger}}} \right) \quad (\text{Gl. 3})$$

mit  $\frac{\Delta f_0}{f_0}$  - lativer Fehler der Zeitbasis

und  $\frac{\Delta N_x}{N_x} = \frac{1}{N_x}$  - relativer Quantisierungsfehler

(Wegen des absoluten Quantisierungsfehlers  $\Delta N_x = \pm 1 \text{Digit}$ )

In den technischen Unterlagen der Zählfrequenzmesser werden im allgemeinen zugeschnittene Formeln für die Fehlerberechnung angegeben ( vergl. Anhang 1 ). Je nach Meßaufgabe ist auch zu entscheiden, ob der Triggerfehler nicht getrennt als statistischer Fehleranteil behandelt werden muß, da er insbesondere von Schwankungserscheinungen des Meßsignals bestimmt wird. Dann lassen sich der von der Zeitbasis herrührende Fehleranteil und der Quantisierungsfehler als systematischer Fehler interpretieren und im Meßergebnis korrigieren.

### Frequenzinstabilität

Zur Messung zufälliger Frequenzschwankungen sind im allgemeinen aufwendige Meßverfahren erforderlich; abhängig vom benutzten Meßverfahren werden folgende Kenngrößen auf ihre Schwankungen hin untersucht :

- Momentanwert des Null - Phasenwinkels
- Momentanwert der relativen Frequenzabweichung

$$y(t) = \frac{v(t) - v_0}{v_0} = \frac{1}{2\pi v_0} \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt} \quad (\text{Gl. 4})$$

- Momentanwert der Null – Phasenzeit

$$x(t) = \frac{1}{2\pi v_0} \cdot \varphi(t) \quad (\text{Gl. 5})$$

Die Schwankungen der Größen  $\varphi(t)$ ,  $y(t)$  und  $x(t)$  werden beispielsweise durch ihre Leistungsspektren  $S_\varphi(f)$ ,  $S_y(f)$  und  $S_x(f)$  im jeweiligen FOURIER- Frequenzbereich charakterisiert. Häufig werden jedoch die zufälligen Frequenzschwankungen auch durch ihre Zwei-Proben-Standardabweichung  $s$  beschrieben, für die gilt:

$$s_y(\tau, n) = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [y_{i+1}(\tau) - y_i(\tau)]^2} \quad (\text{Gl. 6})$$

mit  $y_k(\tau) = \frac{1}{\tau} \cdot \int_{t_k}^{t_k+\tau} y(t) \cdot dt = \frac{1}{2\pi v_0 \tau} \cdot [\varphi(t_k + \tau) - \varphi(t_k)] = \frac{1}{\tau} \cdot [x(t_k + \tau) - x(t_k)]$

und  $n = \text{Anzahl der Intervalle}$

Für eine große Anzahl  $n$  von Messungen (und unter bestimmten weiteren Voraussetzungen, auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann) geht die Zwei-Proben-Standardabweichung  $s$  in die Zwei-Proben-Standardabweichung der Grundgesamtheit  $\sigma$  über, also

$$s_y(\tau, n) \approx s_y(\tau) \approx s_y(\tau)$$

Die verschiedenen Schwankungsgrößen sind mit bestimmten Einschränkungen ineinander umrechenbar.

Die Ausgangsspannungen aller Frequenzgeneratoren zeigen Frequenzschwankungen. Diese Frequenzänderungen werden als Frequenzinstabilität bezeichnet, wobei unterschieden wird zwischen:

**- Frequenzdrift**

(Häufig einseitig fortschreitende Frequenzänderung, die im allgemeinen durch Koeffizienten einer Ausgleichsgeraden beschrieben werden kann )

**- zufällige Frequenzschwankungen**

( die zufälligen Frequenzschwankungen werden üblicherweise durch ihr Leistungsspektrum mit Bezug auf die FOURIER-Frequenz f oder durch Varianzen bzw. Standardabweichung der Einzelmessungen, die von der jeweiligen Dauer der Meßzeit  $\tau$  abhängen, beschrieben. )

Für die Ausgangsspannung eines Frequenzgenerators gilt :

$$u(t) = \hat{u} \cdot \cos[2\pi v(t) \cdot t] = \hat{u} \cdot \cos[2\pi v_0 t - \varphi(t)] \quad (\text{Gl. 7})$$

- mit
- u(t) - Momentanwert der elektrischen Spannung
  - $\hat{u}$  - Amplitude der elektrischen Spannung
  - v(t) - Momentanwert der Frequenz
  - $v_0$  - Nennwert der Frequenz
  - $\varphi(t)$  - Momentanwert des Null – Phasenwinkels

Bei der Frequenzinstabilität wird unterschieden zwischen

- **Kurzzeitstabilität**  
( short-term stability : Frequenzänderungen sind auf Zeiten von etwa 1000 s bezogen )
- **Langzeitstabilität**  
( long-term stability : Frequenzänderungen sind auf Zeiten größer 24 Std. bezogen )

Da Schwankungserscheinungen von grundlegender physikalischer Natur sind, treten Frequenzinstabilitäten bei allen Generatoren auf. Ihre meßtechnische Erfassung ist unumgänglich bei allen Präzisionsoszillatoren und Frequenznormalen sowie bei HF - Generatoren in nachrichtentechnischen Geräten ( besonders im oberen MHz- und GHz- Bereich )

**3 Fragen zur Vorbereitung**

- Skizzieren Sie das Blockschaltbild eines Periodendauermessers !
- Nennen Sie systembedingte Fehleranteile, mit denen beim Frequenzzähler zu rechnen ist!
- Wann sind Periodendauermessungen anstelle von Frequenzmessungen sinnvoll ?
- Erläutern Sie die prinzipielle Funktionsweise (Blockschaltbild) eines DCF77 - Frequenznormal!
- Schätzen Sie den Gesamtfehler für Frequenzmessungen mit dem PM 6680 ab!  
( vergl. Datenblatt im Anhang 1 )
- Erläutern Sie die Begriffe Drift, Lang- und Kurzzeitstabilität, Zwei-Proben-Standardabweichung!
- Erläutern Sie die prinzipielle Funktionsweise eines rechnergesteuerten Frequenzzählers!
- Erläutern Sie den Begriff GPIB !
- Charakterisieren Sie die standardisierte Bus - Schnittstelle nach IEEE 488.2 (IEC-Bus)!
- Bereiten Sie eine Fehlerabschätzung für Frequenzmessungen mit dem Zähler PM 6680 anhand der Unterlagen im Anhang 1 vor

<b>Annahme:</b>	Signalrauschen	$U_{\text{eff}} \approx 500 \mu\text{V}$
	Signalanstiegsrate am Triggerpunkt	$\approx 10^9 \text{ V/s}$
	Meßzeit	$\tau \approx 1 \text{ s}$
	Meßfrequenz	$\approx 1 \text{ MHz}$
	Zeitbasisfehler	$\approx 10^{-6}$

## 4 Aufgaben

### 4.1. Autonomer Betrieb des Zählfrequenzmessers

#### 4.1.1.

Machen Sie sich mit den Bedienelementen des Universalzählers PM 6680 von Philips bekannt!

#### 4.1.2.

Entnehmen Sie dem 1-MHz-Ausgang des DCF 77- Frequenznormals ein Signal, dessen Frequenz Sie mit dem Zähler ermitteln sollen.

Bemerkung: Bei dem 1 MHz-Signal handelt es sich um ein mit Störungen überlagertes Rechtecksignal; dadurch wird die richtige Triggereinstellung erschwert. Grundeinstellungen am Zähler: Kanal A, Meßzeit 100  $\mu$ s [100e-6], DC-Kopplung, manuelle Einstellung der Triggerschwelle durch positive Flanke.

#### 4.1.2.1

Ändern Sie die Triggerschwelle in 0,1-V-Schritten zwischen -2 V und +2 V und notieren Sie zu jeder Triggerschwelle die Anzeige des Zählers in einer Tabelle !

#### 4.1.2.2

Untersuchen Sie das Meßsignal mit einem Oszilloskop und erläutern Sie anhand einer Skizze des Signalverlaufes, warum bei den verschiedenen Triggerpegeln nach Aufgabe 1.2.1 unterschiedliche Zählergebnisse auftreten.

#### 4.1.2.3

Wiederholen Sie die Untersuchungen bei anderen Triggerparametern ( AC-Kopplung, negative Flanken ). Skizzieren und diskutieren Sie die Ergebnisse !

### 4.2 Rechnergestützter Betrieb des Zählfrequenzmessers ( Software - Paket Time View )

#### 4.2.1

Nehmen Sie das im PC installierte Software-Paket "**Time View**" über Windows-Anwendungen in Betrieb, und kontrollieren Sie am Display des Zählers, daß er wirklich über den IEC-Bus ferngesteuert wird (REMOTE )!

#### 4.2.2

Machen Sie sich anhand der Firmendruckschrift "Getting started" mit den Möglichkeiten der Software vertraut.

Bemerkung : Die Firmendruckschrift entnimmt die Beispiele einer abgespeicherten Datenliste. Sie können die Beispiele natürlich auch mit eigenen aktuellen Daten ausprobieren.

#### 4.2.3

Kontrollieren Sie mittels SETTING die bei der Programminitialisierung vorgenommene Einstellung des Zählers.

#### 4.2.4

Untersuchen sie mit der Zähler-Grundeinstellung nach Ziffer 2.3 das 1-MHz-Signal aus dem DCF-Frequenznormal für die folgenden zwei Fälle :

- Das Frequenznormal ist an das DCF-Signal "angebunden"; Rastanzeige am DCF-Normal leuchtet
- Das Frequenznormal ist nicht auf DCF gerastet, d. h. der interne Quarzgenerator läuft frei.

Drucken Sie für jeden der beiden Fälle (mittels Taste F9) die Meß- und Analyseergebnisse aus. (Darstellung der Frequenz über der Zeit und Histogramm).

#### 4.2.5

Ermitteln Sie die Frequenzdrift des Impulsgenerators PM 5705 in den ersten 30 min nach dem Einschalten !

#### Parametereinstellungen :

Meßzeit : 500 ms [ Einstellung über Menü SETTING : 500  $e^{-3}$  ]  
Samples : 2048 [ Einstellung über Menü CAPTURE : ]

Während diese Messung automatisch ( rechnergesteuert ) abläuft, sollten Sie die folgenden beiden Aufgaben lösen :

#### 4.2.6

Interpretieren Sie die Ergebnisse aus Aufgabe 4.2.4 !

Vergleichen Sie dabei auch die ermittelten Standard-Abweichungen und die ALLEN - Varianz, bzw. die Quadratwurzel aus der ALLEN - Varianz.

#### 4.2.7

Weisen Sie durch Messung nach, daß mit zunehmender Zahl der in die Messung einbezogenen Samples ( Grundeinstellung 512; Wiederholung bei 128 und 2048 Samples Einstellung über das Menü CAPTURE ), die Abweichung zwischen Standard - Abweichung und der Wurzel aus der ALLEN - Varianz kleiner wird.

### 5 Beschreibung des Praktikumsplatzes und der Praktikumsaufgabe

Der Praktikumsplatz ist ausgestattet mit einem Universal- Zähler, der als eigenständiges Gerät betrieben werden kann. Der Zähler verfügt außerdem über eine GPIB- Rechnerschnittstelle nach IEEE 488.2 über die er mit einem PC verbunden ist. Ein im PC installiertes kommerziell erhältliches Programm-Paket \*) für die Zeit- und Frequenzanalyse übernimmt sowohl die Steuerung des Zählers, als auch die Meßdatenerfassung in dem Rechner und deren Analyse und Anzeige. Dadurch ist ein komfortabler Frequenzmeßplatz entstanden, mit dem auch zeitaufwendige Messungen automatisiert durchgeführt werden können.

Die technischen Daten des Universalzählers PM 6680 sind als Anlage 1 beigelegt, im Anhang 2 befindet sich eine Kurzbeschreibung der Zeit- und Frequenzanalyse Software.

Am Versuchsplatz liegen ausführliche Inbetriebnahme- und Bedienungshinweise für den Zähler und das Software-Paket bereit (in englischer Sprache, gegebenenfalls Wörterbuch mitbringen! )

Für den Betrieb des Zählers ist eine möglichst genaue Zeitbasis erforderlich. Die Genauigkeit des Zeitbasis - Oszillators bestimmt maßgeblich die Genauigkeit.

Der Frequenzzähler am Praktikumsplatz ist mit der Standard-Zeitbasis ausgerüstet ( rel. Fehler ca.  $10^{-6}$ ); für genaue Messungen steht eine externe Zeitbasis in Form eines DCF77-Frequenznormales zur Verfügung. Die Genauigkeit der Zeitbasis ist in diesem Fall für übliche Meßzeiten bei den Praktikumsaufgaben mit  $10^{-9}$  anzusetzen. ( Bei dem DCF77-Frequenznormal dient diese hochgenaue Frequenz eines PTB-Primärsignals als Referenz. Diese hochgenaue Frequenz wird über einen Langwellen-Sender mit der Trägerfrequenz 77,5kHz übertragen und steht damit im Labor zur Verfügung.

\*) **Time View** der Firma Philips; Zeit- und Frequenzanalyse Software für den Universalzähler PM 6680

### 6 Literatur

ALLEN, D.W.	Statistics of atomic frequency standards Proc. IEEE 54 (1966) 2, 221 – 230
KOHLRAUSCH, F.	Praktische Physik, Band 2 Stuttgart: Teubner 1985
PROFOS, P.; PFEIFER, T. (Hrsg.)	Grundlagen der Meßtechnik München, Wien: Oldenbourg 1993
SCHMUSCH, W.	Elektronische Meßtechnik Würzburg: Vogel 1991
STECHER, R.	Messung von Zeit und Frequenz Berlin: Verlag Technik 1990

## Anhang 1

### Technische Daten PM 6680

liegt am Platz aus !

## Anhang 2

### Time View (Software - Beschreibung)

liegt am Platz aus !