



TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ

Praktikum Elektronische Messtechnik WS 2007/2008

Versuch ZFM

Tobias Doerffel
Andreas Friedrich
Heiner Reinhardt

Chemnitz, 7. Dezember 2007

Versuchsvorbereitung

- 3.1.1.
 - übliche Quarz-Oszillatoren: $\Delta = 10^{-7}$
 - temperaturkompensierte Quarz-Oszillatoren: $\Delta = 10^{-9}$ bis $\Delta = 10^{-11}$
 - Quarzuhren: $\Delta = 10^{-6}$
 - elektrisches Spannungsnormal: $\Delta = 10^{-6}$

Aus den angegebenen Werten geht hervor, dass Quarz-Oszillatoren eine wesentlich höhere Genauigkeit als Quarzuhren und Spannungsnormale besitzen.

- 3.2.1. Eine Umformung eines beliebig geformten Messsignals in ein Rechtecksignal ist erforderlich, da bei der Frequenz- und Periodendauermessung Logik-Bausteine verwendet werden. Diese Logik-Bausteine arbeiten mit Low- und High-Eingangspegeln. Wenn also ein Signal einen gewissen vorgegebenen Wert unterschreitet, so handelt es sich um einen Low-Pegel. Umgedreht handelt es sich um einen High-Pegel, wenn das Signal einen gewissen vorgegebenen Wert überschreitet. Des Weiteren existiert zwischen dem Low- und dem High-Zustand ein weiterer Bereich. Dieser Bereich wird als sogenannter verbotener Bereich bzw. verbotene Zone bezeichnet, da hier das Signal nicht eindeutig Low oder High zugeordnet werden kann. Ein Rechtecksignal arbeitet nur in 2 definierten Zonen, wohingegen analoge Signale auch Werte des verbotenen Bereichs annehmen können.

Es wird nur eine Flanke verwendet, da man durch die Zählung aller Flanken die Messungenauigkeiten weiter erhöhen würde (± 2 Zählimpulse) und dies effektiv zu einem größeren Fehler führen würde.

- 3.3.1. Bei der Frequenzmessung wird in einem vorgegebenen Zeitintervall die Anzahl der auf diesem Zeitintervall entfallenden Perioden des Messsignals gezählt. Im Unterschied dazu werden bei der Periodendauermessung innerhalb einer oder mehrerer Perioden des Messsignals die Takte eines bekannten Referenzsignals gezählt. Anhand der bekannten Periodendauer des Referenzsignals und der gezählten Perioden kann man die Periodendauer des Eingangssignals berechnen. Bei sehr niedrigen Frequenzen kann es lange dauern, bis man eine ausreichende Anzahl von Perioden gemessen hat. Daher ist es sinnvoller, die Anzahl der Takte eines Referenzsignals zu messen.

- 3.4.1. Das Zeitfenster T_M entspricht nicht zwangsläufig Vielfachen der Taktzeit, so dass je nach Situation eine ansteigende Flanke mehr oder weniger gezählt wird (siehe Abbildung 4).

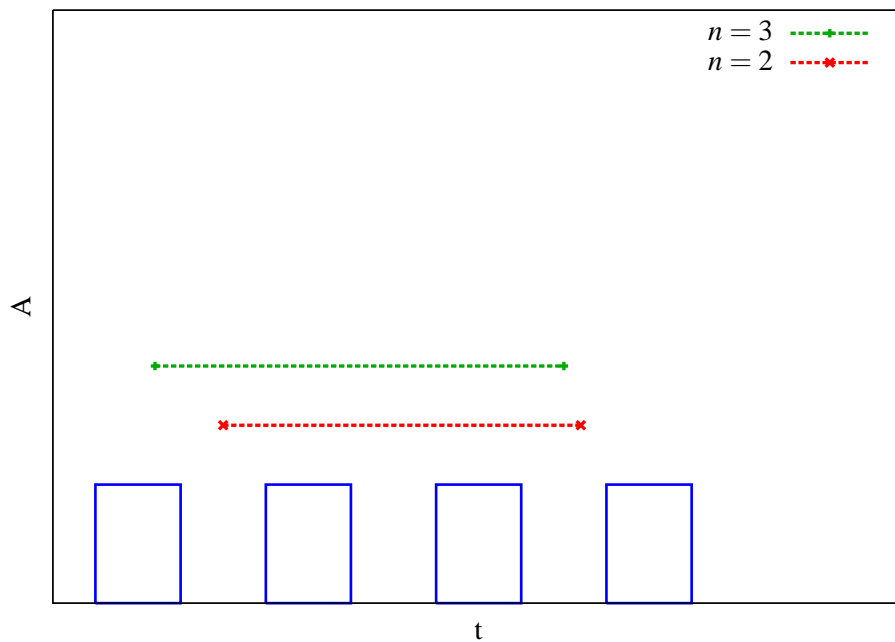


Abbildung 1: Messabweichung bei einer Zeitintervallmessung

3.5.1.

$$\delta = \frac{0,5}{50} = \frac{1}{n}$$

$$\Rightarrow n = \frac{50 \cdot 1}{0,5} = 100$$

$$T_M = \frac{n}{f} = \frac{100}{50 \frac{1}{s}} = 2s$$

3.6.1. Der Start- bzw. Stop-Impuls am Flip-Flop legt das Zeitfenster. Innerhalb dieses Zeitfensters liefert das Flip-Flop einen High-Pegel an das UND-Gatter, so dass dieses ebenfalls einen High-Pegel liefert, wenn das Eingangssignal gerade auf dem High-Pegel ist. Der Ausgang des UND-Gatters wird anschließend an einen Zähler geleitet, der die steigenden Taktflanken zählt. Die Ablaufsteuerung steuert den gesamten Vorgang an dessen Ende das Ergebnis auf der Anzeige ausgegeben wird. Die stehende Anzeige wird durch die Messpausen und durch einen internen Speicher erzeugt.

- 3.7.1. Frequenz-Vorteiler werden bei der Frequenzmessung genutzt, um die Eingangsfrequenz in einem ganzzahligen Verhältnis zu teilen. Auf diese Weise kann man große Zeitfenster realisieren und somit eine höhere Genauigkeit erreichen, ohne teure Zählbausteine mit vielen Stellen haben zu müssen.
- 3.8.1. Das Digitalspeicheroszilloskop tastet ein anliegendes Messsignal ab. Danach wird dieses Signal mit Hilfe des AD-Wandlers digitalisiert und anschließend gespeichert. Dadurch können neben periodischen Signale auch einmalige Signale, wie z.B. einzelne Impulse, angezeigt werden, was mit analogen Oszilloskopen nicht möglich ist. Im Anschluss an die Messung können die Messergebnisse vor allem auf digitalem Wege bequem weiterverarbeitet werden. Analoge Oszilloskope haben den großen Vorzug, Messsignale direkt darstellen zu können ohne diese mehrmals abtasten zu müssen und am Bildschirm entsprechend darzustellen. Durch die Abtastung sind Digitalspeicheroszilloskope begrenzt, was die Darstellung der maximalen Frequenz angeht ($f_{darstell} < \frac{f_{abtast}}{2}$).
- 3.9.1. Ein Komparator vergleicht eine unbekannte Spannung mit einer vorgewählten Referenzspannung U_{ref} . Das am Ausgang des Komparators zur Verfügung stehende Signal zeigt an, welche der beiden Eingangsspannungen höher ist. Ist die Spannung am positiven, nicht-invertierenden Eingang höher als die Spannung am negativen, invertierenden Eingang, dann nähert sich die Ausgangsspannung der positiven Versorgungsspannung an. Sind die Verhältnisse umgekehrt, so geht die Ausgangsspannung gegen die negative Versorgungsspannung.
- 3.10.1. Beim Single-Slope-Verfahren wird in einem Analog-Digital-Umsetzer eine Eingangsspannung in festen Zeitabständen mit einer gleichmäßig steigenden Sägezahnspannung verglichen. Die Zählimpulse werden dabei aufsummiert, solange bis Die Eingangsspannung der Referenzspannung entspricht. Die verstrichene Zeit ist proportional zur Höhe der Eingangsspannung.

$$U_e = \frac{U_{ref}}{\tau} \cdot \Delta t$$

Beim Dual-Slop-Verfahren wird ein Kondensator, der sich im Integrator befindet, mit der Eingangsspannung über einen festen Zeitraum aufgeladen. Nun wird der Integrator mit einer Referenzspannung entgegengesetzter Polarität beschalten. Ein Zähler ermittelt die Entladezeit des Kondensators.

$$U_e = \frac{t_{entladen}}{t_{aufladen}} \cdot U_{ref}$$

Durchführung

4.1.1. Der Takt ist bewegt bei festem Zeitfenster. Dadurch kann es passieren, dass man sich um 1 „verzählt“, wenn eine zusätzliche steigende Flanke gemessen, da bei bereits hoher Taktflanke die steigende Zeitfensterflanke zusätzlich gezählt wird → 10 bzw. 11 gezählte Flanken

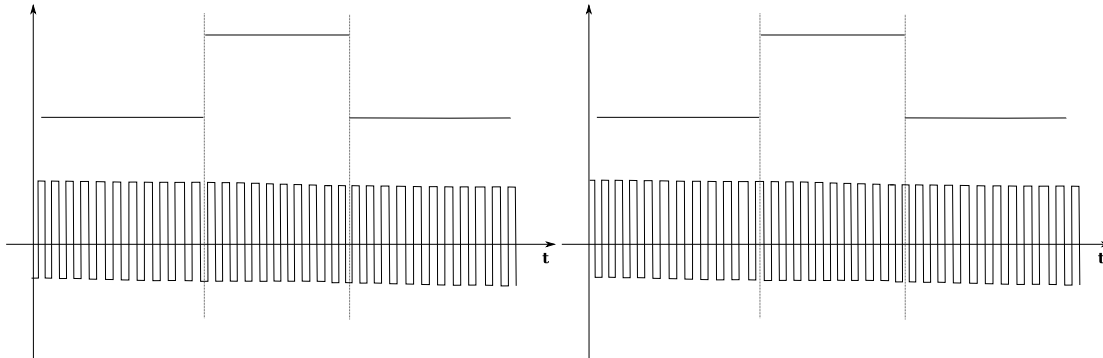


Abbildung 2: Keine Zählabweichung

Abbildung 3: Zählabweichung von +1 Impuls

4.1.2. Durch die bewusste Übersteuerung des Kondensators zur Rechteckspannungsgenerierung übersteigt die Spannung kurzzeitig die Maximalspannung des Kondensators und schwingt sich anschließend ein. Dadurch entstehen die beobachteten „Spitzen“. Zu große Störsignale könnten dazu führen, dass das Signal in die verbotene Zone der Logikbausteine (z.B. UND-Gatter) gelangt und somit als 0 interpretiert wird. Die Störampplitude muss demzufolge größer als 0,5V sein.

4.1.3.

Teilerfaktor	1	10	100	1000	10000	10000	1000000
Zeitfenster	1 μ s	10 μ s	100 μ s	1 ms	10 ms	100 ms	1 s

Ab einem Teilerfaktor von 10000 beträgt die Messabweichung vom erwarteten Wert mehr als einen Zählimpuls.

Ursache dafür sind die in ihrer Frequenz nicht 100%-ig übereinstimmenden Quarze im Oszilloskop und der Versuchsschaltung:

$$\frac{2}{10000} = 200 \text{ ppm} \Rightarrow \text{Abweichung der Quarze um 200 Hz voneinander}$$

4.1.4. $f_{takt} = 420 \text{ Hz}$

Die Anzeige ist fehlerhaft, da im Digitalbetrieb nur mit einer Abtastfrequenz von 300 kHz gearbeitet wird, obwohl wir im Bereich von 1 MHz arbeiten. Laut dem Nyquist-Shannonschen-Abtasttheorem gilt jedoch

$$f_{abtast} > 2f_{max}$$

Diese Bedingung ist ganz offensichtlich nicht erfüllt. Im Analogbetrieb wird erwartungsgemäß eine Frequenz von 1 Mhz gemessen, da hier keine Abtastung nötig ist.

4.1.5. Um das Flackern der Zähleranzeige bei großen Teilerfaktoren zu vermeiden, ist in den betreffenden Frequenzzählern ein interner Speicher enthalten. Dieser Speicher speichert einzelne Werte bzw. bildet aus mehreren Messwerten den Mittelwert und gibt diesen aus bzw. an die Anzeigeeinheit weiter.

4.2.1. Die Änderung des Offsets bewirkt keine Änderung des Rechtecksignals. Bei vergrößerter Amplitude verlängert sich die Zeitdauer des High-Pegels. Eine Änderung der Kurvenform hat ebenfalls keinen wesentlichen Einfluss auf das Rechtecksignal. Die minimal erforderliche Amplitude des Triggers beträgt 1,64 V, da der Trigger unterhalb dieses Wertes kein Rechtecksignal mehr liefert. Das Rechtecksignal (also dessen Phase) verschiebt sich mit dem Sinussignal.

4.2.2. Bei Verringerung der Frequenz werden weniger Perioden innerhalb des Zeitfensters gezählt. Dagegen werden bei Frequenzerhöhung mehr Perioden gezählt und es wird ein höherer Wert auf der Zähleranzeige angezeigt. Die relative Messabweichung verringert sich mit steigender Frequenz, da die absolute Abweichung konstant bei 1 Zählimpuls liegt.

4.3.1. Während der angezeigten Periode ändert sich der Pegel des Zeitfensters auf High, wobei durch die Hysterese im Schmitt-Trigger eine Verschiebung um 180° auftritt.

4.3.2. Bei Verringerung der Frequenz wird das Zeitfenster (=Periodendauer) gemäß dem Gesetz $f = \frac{1}{T}$ breiter. Innerhalb des breiteren Zeitfensters werden demzufolge mehr Takte gezählt.

Im Gegensatz dazu ist bei der Frequenzmessung ein konstantes Zeitfenster vorgegeben. Bei Verringerung der Frequenz werden lediglich weniger Perioden gezählt.

4.4.1. Innerhalb eines bestimmten Zeitfensters liegen nun mehrere Perioden vor. Im Gegensatz dazu wurde bei Messung der Periodendauer das Zeitfenster durch die Dauer einer Periode beschrieben. Ein Teilerfaktor von 10 bedeutet, dass eine zu messende Frequenz um den Faktor $\frac{1}{10}$ reduziert wird. Damit vergrößert sich das Zeitfenster.

4.4.2. Messwerte: 9998; 9997; 9998; 9998; 9997

Mittelwert: \bar{m}

$$\bar{m} = \frac{9998 + 9997 + 9998 + 9998 + 9997}{5}$$

$$\bar{m} = 9997,6$$

$$\Rightarrow T = \frac{\bar{m}}{n} = \frac{9997,6\mu s}{10000} = 0,99976\mu s$$

Ohne Vorteiler müsste der Zähler mit einer Frequenz von 10 GHz arbeiten.

Der Teilerfaktor hat keinen Einfluss auf die absolute Messabweichung. Eine absolute Messabweichung wird durch das Messsystem vorgegeben, und nicht durch die Eingangsgrößen. Bei steigendem Teilerfaktor wird die relative Messabweichung kleiner.

4.5.1. Durch die Taktung des Zählers mit 1 MHz ergibt sich ein Zeitmessbereich von 0 – 999999 μ s. Allerdings genügen die ersten drei Ziffern als Messergebnis, da die verwendeten Messgeräte nicht auf eine höhere Genauigkeit ausgelegt sind.

4.5.2. **Reaktion auf Lichtsignal** in ms

	Proband 1	Proband 2	Proband 3
Messung 1	300	236	210
Messung 2	240	207	189
Messung 3	246	203	228
Messung 4	224	225	122
Messung 5	243	237	223
Mittelwert	250,60	221,60	194,40
Standardabweichung	28,89	15,93	43,19

4.5.3. **Reaktion auf akustisches Signal** in ms

	Proband 1	Proband 2	Proband 3
Messung 1	188	204	170
Messung 2	211	156	190
Messung 3	395	173	238
Messung 4	281	189	179
Messung 5	255	174	221
Mittelwert	266,00	179,20	199,60
Standardabweichung	80,77	18,13	28,83

4.5.4. Die ermittelten Werte zeigen auf, dass die Reaktionen der Probanden auf akustische Signale im Allgemeinen schneller erfolgte, als die Reaktionen auf die optischen Signale. Dies ist vermutlich auf die evolutionäre Entwicklung des Menschen zurückzuführen.

4.6.1. $\frac{1V}{10ms} = 100V/s$

4.6.2. Anstiegsrampe: $\Delta t = 59,7\text{ms}$
 Messpause: $1,32\text{ s}$

4.6.3. Bei Erhöhung der Messspannung vergrößert sich das Zeitfenster, da eine längere Zeit benötigt wird, um die Spannung seitens des Integrators zu erreichen.

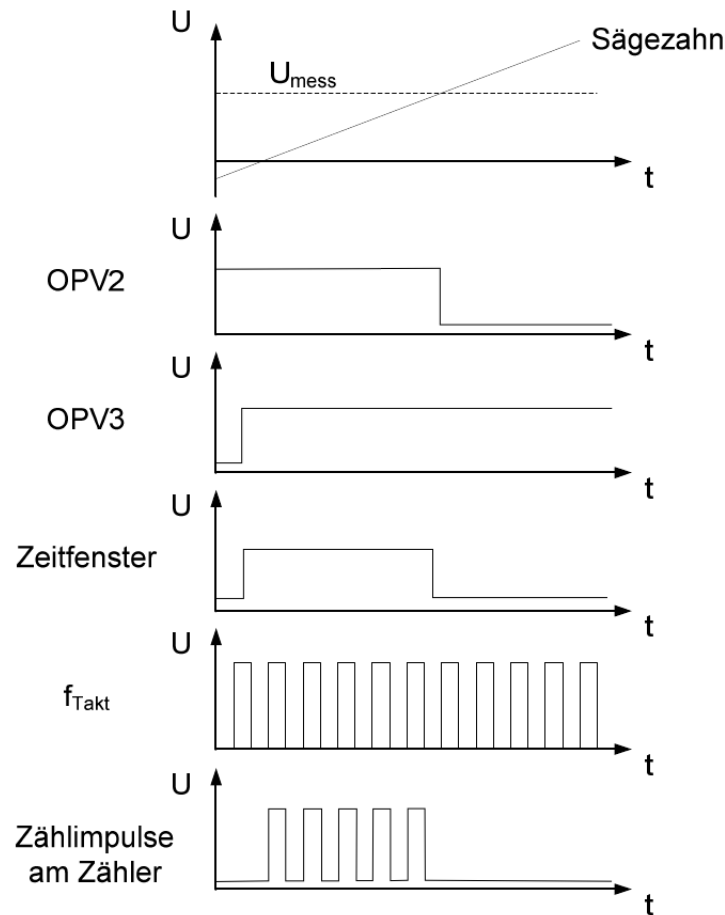


Abbildung 4: Signalverläufe bei der Spannungsmessung

4.6.4. Die Anzeige ist einigermaßen stabil, Schwankungen von ± 5 Impulse treten jedoch auf.

$$1\text{lsb} = 100\mu\text{V}$$

100 als Teilerfaktor ist für Spannungsmessung in Ordnung, da höhere Genauigkeiten mit den verfügbaren Geräten sowieso nicht erreichbar sind.

4.6.5. Digitalvoltmeter: 2,71V gegenüber 2,75 V am Anzeigewert $\Rightarrow \Delta U = 0,04 \text{ V}$

Die (geringen) Abweichungen entstehen dadurch, dass das Digitalvoltmeter im Gegensatz zu unserer Messschaltung geeicht ist. Ursachen für Messabweichungen liegen z.B. in Verlusten am Messsystem selbst (Wärmeentwicklung etc.) sowie an äußeren Umwelteinflüssen.

4.6.6. Messung nach Kalibrierung des Sägezahnanstiegs:

Geeichtes Messgerät	unser Messsystem	
0V	0V	→ deshalb kein Offset
0,5V	0,503V	
1,0V	1,003V	
1,5V	1,500V	
2,0V	1,997V	
2,5V	2,503V	
3,0V	3,004V	
3,5V	3,501V	
4,0V	3,998V	
4,5V	4,496V	
5,0V	5,004V	

Schaltung hat kein Offset und ist praktisch linear - von minimalen Störeinflüssen abgesehen. Die Abweichungen (siehe Abbildung 5) werden durch die gegenüber dem Referenzgerät geringere Auflösung verursacht. Deshalb dürfte man eigentlich nur eine bestimmte Anzahl von Stellen (hier z.B. bis 1 Stelle nach dem Komma) berücksichtigen und hätte damit eine Abweichung von 0.

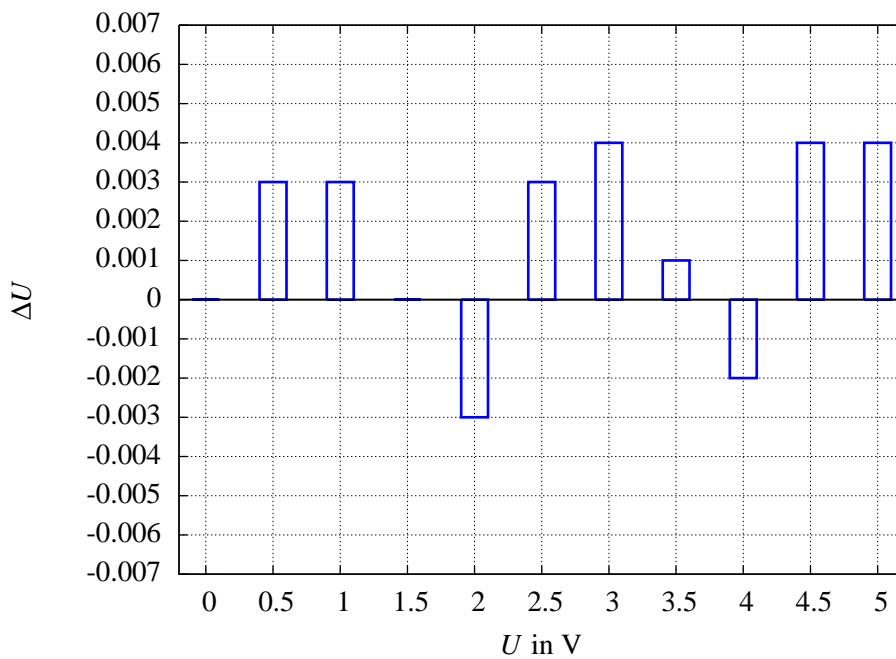


Abbildung 5: Messabweichungen bei der Spannungsmessung

4.6.7.

$$\begin{aligned}
 u_s(t) &= \frac{1}{RC} \int_0^t i \, dt \\
 &= \frac{U_{ref}}{R \cdot C} \cdot t
 \end{aligned}$$

$$u_e = u_s(\Delta t) = \frac{U_{ref}}{R \cdot C} \cdot \Delta t$$

Werden R oder C größer, so wird das Messergebnis kleiner. Wird dagegen die Referenzspannung erhöht, so steigt ebenfalls das Messergebnis.

Die Zeitkonstante $\tau = R \cdot C$ wird als fehlerkritisch betrachtet. Deswegen verwendet man häufig das Dual-Slope-Verfahren. Dort ergibt sich für die Eingangsspannung:

$$u_e = \frac{t_{entladen}}{t_{aufladen}} \cdot U_{ref}$$

Die fehlerkritische Zeitkonstante τ ist nun nicht mehr für das Messergebnis relevant.

Es wird ein Momentanwert gemessen.