 <p>Fachhochschule Jena University of Applied Sciences Jena Fachbereich Elektrotechnik / Informationstechnik</p>	<b>Elektrische Meß- und Prüftechnik</b>  <b>Laborpraktikum</b>	<b>Versuch C</b>  ET(BA) WS 2010/2011
<b>Oszilloskop</b>		
Set: ..... <u>3.08</u> ..... Studienrichtung: ..... <u>WMT</u> ..... Teilnehmer: ..... <u>Michael, Goldbach</u> ..... ..... <u>Sören, Döflinger</u> .....	<b>Testat:</b> ..... Verantwortlicher: ..... <u>Niebel</u> ..... Datum: ..... <u>21.12.10</u> ..... ..... <u>Niebel</u> ..... Unterschrift	

## 1 Aufgabenstellung

Ziel dieses Versuches ist die Diskussion der physikalischen und technischen Grenzen welche eine Vergrößerung der Bandbreite von Oszilloskopen erschweren bzw. verhindern. Die Notwendigkeit der Frequenzkompensation in Tastköpfen wird betrachtet und Maßnahmen zur Verringerung der kapazitiven Belastung des Meßobjektes untersucht. Weiterhin lernen Sie die Möglichkeit kennen, mit dem bereitgestellten Funktionsgenerator verschiedene Möglichkeiten der Modulation eines Trägersignals zu nutzen. Als Möglichkeit der Darstellung der Kurvenform von Signalen mit einer Frequenz weit oberhalb der Bandbreite des Oszilloskops wird die Anwendung des Sampling-Prinzips untersucht. Mittels der Frequenzmodulation im Betriebsmodus **VCG** ( **V**oltage **C**ontrolled **G**enerator ) wird untersucht wie Gleichspannungen in Frequenzen umgesetzt werden um weiter durch eine zeitlich veränderbare Steuerspannung die Frequenzmodulation einer kontinuierlichen Trägerschwingungen zu erreichen. Ein praktischer Anwendungsfall ist die Darstellung von Übertragungsfunktionen mittels "Wobbeln".



## 2 Versuchsvorbereitung

- 2.1 Aus welchen Baugruppen besteht ein Oszilloskop?
- 2.2 Was ist die Bandbreite eines Oszilloskops und welche Testsignale sind für die Ermittlung der Bandbreite des Oszilloskops geeignet?
- 2.3 Was verstehen Sie unter „Triggern“ ?
- 2.4 Warum werden bei bestimmten Messungen mit dem Oszilloskop Taster verwendet?
- 2.5 Was verstehen Sie unter Frequenzkompensation?  
Wie wird diese im 10:1 Taster eines Oszilloskops realisiert?
- 2.6 Welche ohmschen und kapazitiven Belastungen des Meßobjektes treten beim Messen mit dem Oszilloskop auf, wie wirken diese und wie kann man sie verringern?
- 2.7 Erläutern bzw. erklären Sie den Begriff : „Sampling“ !  
Worin liegen die Vorteile der Sampling-Messtechnik ?  
Wie funktioniert das Prinzip der Frequenztransformation und welche Unterschiede bestehen zwischen real-time-sampling, equivalent-sampling und random-sampling ?
- 2.8 Welche Forderungen ergeben sich aus dem Abtasttheorem von Shannon, damit die abgetasteten Signale wieder rekonstruiert werden können?
- 2.9 Leiten sie die Formel für die Funktion  $u = f(t)$  her, wenn sie eine Trägerschwingung  $u_1(t) = \hat{u}_1 \cdot \sin(\omega_1 t)$  mit einer niederfrequenten Sinusschwingung  $u_2(t) = \hat{u}_2 \cdot \sin(\omega_2 t)$  modulieren. Dabei wird Amplitudenmodulation verwendet und es gilt  $\omega_1 \geq 10\omega_2$  !

### 3 Versuchsdurchführung

#### 3.1 Frequenzkompensation des Eingangsteilers

- Ermitteln Sie die Schaltung der wirksamen Bauelemente des vorgegeben Tastteilers und bestimmen Sie deren Parameter.
- Führen Sie die Frequenzkompensation praktisch durch !  
Benutzen Sie dazu die im Oszilloskop vorhandene Kalibrierquelle.
- Verlängern Sie nach erfolgter Frequenzkompensation das Koaxialkabel zwischen Tastkopf und Oszilloskop um etwa 50 cm.  
Ist eine erneute Kompensation erforderlich?  
Wenn ja ist sie möglich ?  
Begründen Sie Ihre Antwort !

#### 3.2 Bestimmung der Bandbreite des Oszilloskops Hameg HM 205-3

- Ermitteln Sie aus der Sprungantwort die obere Grenzfrequenz des Oszilloskops (Tastkopf + Eingang des Oszilloskops).

**Hinweis:**

Verwenden Sie statt der Zeitkonstante  $\tau$  ( die bei der mathematischen Behandlung der Sprungantwort eingeführt wurde ) die Anstiegszeit  $T_{\text{Anstieg}}$ .

Es gilt :

$$T_{\text{Anstieg}} = \frac{0,35}{f_{\text{Grenz}}}$$

- Ermitteln Sie bei Wechselfspannungskopplung ( AC ohne 10:1 Tastkopf ) die untere Grenzfrequenz des Oszilloskops aus der Dachschräge einer auf dem Oszilloskopschirm dargestellten Rechteckspannung !

**Hinweis :** Die Dachschräge ist definiert als Amplitudenabfall während der Impulsdauer.

Es gilt :

$$D = 1 - e^{-\pi \frac{f_u}{f}} \quad \text{wobei} \quad D = \frac{\Delta U}{U_{\text{max}}}$$

#### 3.3 Simulation eines Sampling - Oszilloskops

- Simulieren Sie die Wirkungsweise eines Sampling-Oszilloskops, indem Sie mit dem Funktionsgenerator zunächst Rechteck - Pulse mit einem möglichst kleinem Tastverhältnis erzeugen und diese auf dem Oszilloskop darstellen.
- Überprüfen Sie experimentell das Theorem von Shannon, indem Sie eine Sinus-Schwingung von 1kHz mit Hilfe der unter a) erzeugten Rechteckpulse abtasten.

**Anmerkung:**

Der Funktionsgenerator besitzt die Möglichkeit die Amplitude des erzeugten Ausgangssignals durch ein internes Sinussignal von 1kHz zu modulieren. Dadurch wird die abgetastete Sinus-Schwingung punktweise dargestellt.

- Stellen Sie die Schirmbilder für die Tastfrequenzen von 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz und 10 kHz nacheinander auf dem Oszilloskop dar und Skizzieren Sie auch diese Oszillogramme im Versuchsprotokoll !  
Diskutieren Sie die Ergebnisse im Hinblick auf das Shannon-Theorem und die Anwendbarkeit dieser Methode bei Sampling-Oszilloskopen.

#### 3.4 Amplitudenmodulierte Schwingung

- Bilden Sie auf dem Oszilloskop eine unmodulierte Trägerschwingung  $u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega t)$  ab.  
Beobachten Sie auf dem Oszilloskop den Einfluß einer dem Generator extern (Rückseite des Gerätes) zugeführten Gleichspannung von  $-5V < U_{\pm} < +5V$  auf die dargestellte Trägerschwingung.  
Skizzieren sie vor der Messung das Blockschaltbild für diese Aufgabe !
- Bilden Sie eine mit 1kHz amplitudenmodulierte Trägerschwingung  $u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega t)$  ab.  
Benutzen Sie dazu die interne 1kHz-Sinusquelle des Funktionsgenerators.  
Beobachten Sie auf dem Oszilloskop den Einfluß der Amplitude der 1kHz-Schwingung auf die



Amplitude der Trägerschwingung!  
Skizzieren Sie das Bild im Protokoll!

- c) Diskutieren Sie Ihre Beobachtungen aus a) und b).

### 3.5 Frequenzmodulierte Schwingungen

- a) Nehmen Sie den Verlauf  $f = f(U_{\pm})$  auf!

Stellen Sie bei  $U = 0$  V eine geeignete Frequenz im kHz-Bereich ein. Verändern Sie die Gleichspannung  $U_{\pm}$  im Bereich von  $-10$  V  $< U_{\pm} < +10$  V und skizzieren Sie Ihre Ergebnisse in einem Diagramm.

Welcher Gleichspannungsbereich ist für die Frequenzmodulation ausnutzbar ?

- b) Benutzen Sie an Stelle einer modulierenden Sägezahn - Zeitfunktion (Rampenfunktion) am VCG - Eingang die interne Sweep - Funktion des Funktionsgenerators zur Erzeugung des für das Wobbeln notwendigen Frequenzhubes.
- c) Nehmen Sie nach dem Wobbelverfahren die Amplituden-Frequenz-Kennlinie von verschiedenen Versuchsobjekten auf!

## 4 Literaturhinweise:

### Richter

Grundlagen der elektrischen Meßtechnik  
Verlag Technik Berlin 1988

### Käs; Pauli

Mikrowellentechnik  
Franz-Verlag München 1991

### Meyer, G.

Oszilloskope; Hüthig-Verlag, Heidelberg 1989

### Tränkner, H.-R.

Taschenbuch der Meßtechnik; Oldenbourg, München. Wien 1990

### Schmusch, Wolfgang

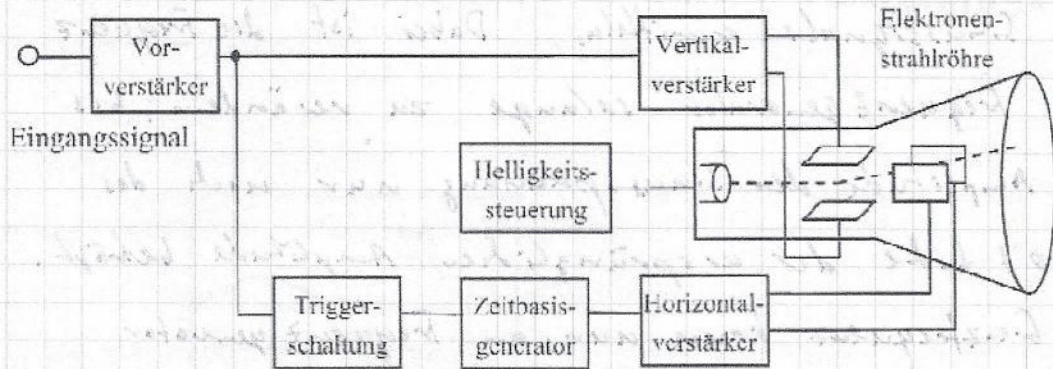
Elektronische Meßtechnik ; Vogel Buchverlag; 5. Auflage 2001  
ISBN 3-8023-1884-6

### Hoffmann, Jörg

Taschenbuch der Meßtechnik ; 3. Auflage Fachbuchverlag Leipzig; 2002  
ISBN 3-446-21977-3

# Versuchs vorbereitung

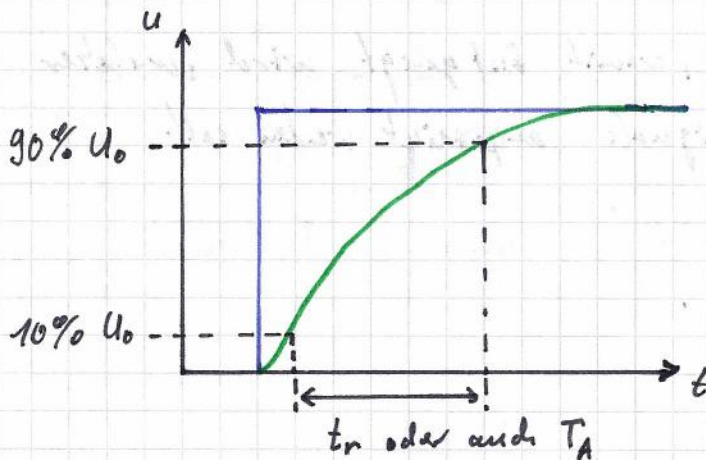
## 2.1.



sehr schlicht - das Wesentliche ✓

## 2.2.

Die Bandbreite wird von der oberen Grenzfrequenz  $f_{g0}$  bestimmt. Im Gleichspannungsbereich existiert keine untere Grenzfrequenz. Die obere Grenzfrequenz  $f_{g0}$  bestimmt sich aus  $f_{g0} = \frac{0,35}{t_r}$ . Dabei ist  $t_r$  die Anstiegszeit zwischen 10% und 90% der Eingangsspannung. Dabei wird als Eingangssignal ein Rechtecksignal eingespeist.



—  $U_{\text{Eingang}} = U_0$

—  $U_{\text{Ausgang}} = U_A$  ✓

$$f_{g0} = \frac{0,35}{t_r}$$



Frage: Welche Auswirkung hat die Bandbreite auf die Einsatzmöglichkeit des Oszis?

Somit ergibt sich für die Bandbreite  $B = f_{q0} = 0 \text{ Hz}$ .

$$\text{Daraus folgt: } B = f_{q0} = \frac{0,35}{t_r}.$$

Eine weitere Möglichkeit der Bestimmung der oberen Grenzfrequenz und damit der Bandbreite lässt sich mithilfe

eines Sinussignals ermitteln. Dabei ist die Frequenz

zum Frequenzgenerator solange zu verändern, bis

die Amplitude der Sinusspannung nur noch das

0,707 fache der ursprünglichen <sup>\*</sup> Amplitude beträgt.

Die Grenzfrequenz kann nun am Frequenzgenerator

abgelesen werden oder über die Periodendauer am

Oszilloskop bestimmt werden.

\*1) Bei welcher Frequenz kommt es zu ...?

2.3.

In Verbindung mit der Zeitverzögerung im  $y$ -Kanal

und der Zeitbasiseinheit werden mithilfe der Trigger-

Schaltung die zeitlichen Abläufe im Oszilloskop gesteuert.

Durch Einstellen der Trigger-Schwelle wird festgelegt

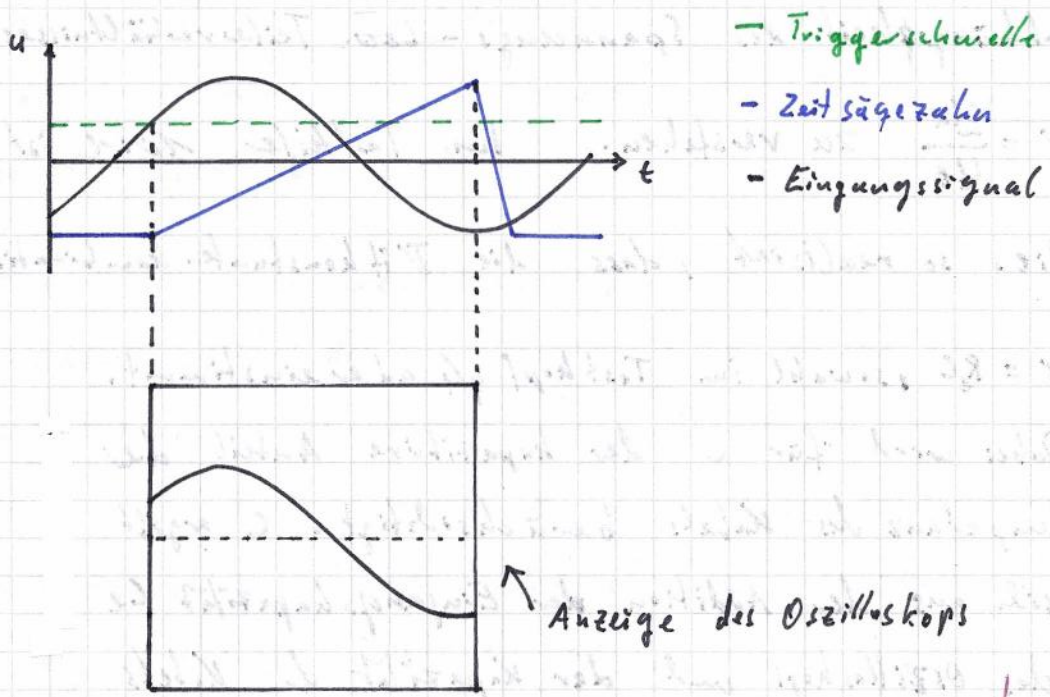
wann der Sägezahn der Zeitbasiseinheit gestartet

wird. Erst wenn das Eingangssignal die

eingestellte Trigger-Schwelle überschreitet wird der

Sägezahn gestartet, womit festgelegt wird, welcher

Teil des Eingangssignals angezeigt werden soll.



- Triggersechwellen
- Zeitsägezahn
- Eingangssignal

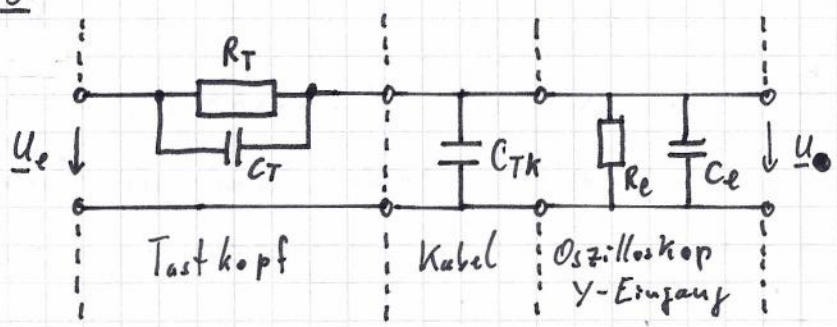
→ ermöglicht groß flächendes Bild!

2.4.

Tastteiler werden verwendet, um die kapazitive und ohmische Belastung der Signalquelle zu vermindern.

Sie werden aber auch dazu verwendet, um höhere Spannungen messen zu können. Dies wird durch die verminderte Empfindlichkeit erreicht.

2.5.





Unter Frequenzkompensation ist die Wahrung der Frequenzunabhängigkeit des Spannungs-~~lev.~~ Teilverhältnisses

$V = \frac{U_e}{U_0}$  zu verstehen. Im Tastkabel 10:1 ist

dies so realisiert, dass die Zeitkonstanten Kombination

$\tau = R_e C$ , mit der im Tastköpfe übereinstimmt.

Dabei wird mit  $C$  der kapazitive Anteil der Impedanz des Kabels berücksichtigt.  $C$  ergibt sich aus der Addition der Eingangskapazität  $C_e$  des Oszilloskops und der Kapazität des Kabels  $C_{TK}$ . Somit ergibt sich:  $C = C_e + C_{TK}$ .

Aus den zuvor genannten Kriterien ergibt sich für den Frequenzkompensierten Zustand das Verhältnis

$$R_e C = R_i C_T$$



2.6.

Beim Messen mit dem Oszilloskop wird über den ohmschen Widerstand und dem kapazitiven Anteil des Eingangssteils des Oszilloskops das Messobjekt beeinflusst.

Ist der Widerstand des Oszilloskops nicht wesentlich größer, als der des Messobjektes, entsteht ein nicht vernachlässigbarer Spannungsteiler. Dem kann durch Zuschalten eines weiteren Widerstandes in Reihe zum ohmschen Widerstand des Oszilloskops entgegen gewendet werden. Bei der Messung ist dieser dann bei der Berechnung des Messwertes zu berücksichtigen. (Wenn vernachlässigbar, dann berücksichtigen?)

Wie oben schon beschrieben, nimmt auch der kapazitive Anteil des Eingangssteils des Oszilloskops einen Einfluss auf das Messobjekt. Dies wirkt sich wie ein Tiefpass aus, d.h. die obere Grenzfrequenz des Messobjektes herunter geschoben wird, da eine Parallelschaltung der Kapazität des Messobjektes und der Oszilloskops zustande kommt und somit die Gesamtkapazität des Messobjektes erhöht wird.

Durch Zuschalten einer weiteren Kapazität in Reihe kann die Gesamtkapazität wieder heruntersgesetzt werden.

Diese Anforderungen erfüllt beispielsweise ein Tastteil.



2.7. Sampling beschreibt das Abtasten einer Messgröße, bzw. des Signals einer Messgröße zu bestimmten Zeiten. Ein Signal wird sonst nicht durchgängig abgetastet. Man entnimmt „nur“ einige Proben / Samples und zerlegt das Signal in einzelnen Punkte, welche entweder direkt ausgegeben werden, oder gespeichert und später ausgegeben werden. Wiederspiel!

Ein Vorteil ist die Nutzung der Sampling-Methode zur Analog-Digital-Wandlung. So kann bei einem Digital-Speicher-Oszilloskop die Nachbearbeitung (bzw. Auswertung) auf externen Geräte geschehen. Ebenso können einmalige, niederfrequente und nichtperiodische Signale sichtbar gemacht werden. DSOs ermöglichen auch die flimmerfreie Darstellung von Signalen mit geringer Wiederholrate.

Die bessere Darstellung kann durch eine Frequenztransformation erfolgen. Hierbei wird ein Signal in seiner Frequenz (bzw. Periodendauer) geändert ohne jedoch die Signalform zu ändern. Das Signal wird also gedehnt.

Beim Sampling unterscheidet man verschiedene Arten. Im Real-Time-Sampling wird das Signal nach einem bestimmten Takt abgetastet:



Der Kurvenverlauf wird direkt aufgenommen und gleich ausgegeben. Vorteil ist die Aufnahmefähigkeit von einmaligen Erscheinungen. Nachteil ist die Begrenzung des Abtasttaktes. Es können Informationen verloren gehen, z.B. wenn (schnelle) Vorgänge zwischen zwei Takten stattfinden.

Sollte es sich um ein periodisches Signal handeln, bietet sich das äquivalent-Sampling an.

kann auch gespeichert werden!



Beim Äquivalenzzeit-Sampling geschieht die Abtastung in mehreren Durchläufen. Pro Durchlauf einer Signalperiode werden ein oder mehrere (wenige) Punkte abgetastet.

Man unterscheidet in sequentiell sampling und random-sampling. Beim sequentiellen sampling durchläuft man die Periode mehrfach und addiert bei jedem Durchlauf eine kleine Zeit zur vorhergehenden Abtastung.

Signal im Beispiel unpassend, muß periodisch sein!



Die Werte werden abgespeichert und <sup>usw.</sup> "später" als Ganzes ausgegeben. Beim Random-Sampling werden die Abtastpunkte zufällig gewählt. Zur zeitlichen Zuordnung werden die Zeiten zwischen Triggerpunkt und Abtastwert gemessen. Im Unterschied zu den beiden anderen Verfahren werden (bzw. können hier) Fehler (systematische Fehler) vermieden werden, da es sich nicht um feste Abstände zwischen den Abtastpunkten handelt.

2.8.

Das Abtasttheorem von Shannon erklärt wüßte ein Signal abgetastet werden muß damit es rekonstruierbar ist und keine falschen, bzw. verfälschten, Signale bei der Rücktransformation oder der Ausgabe entstehen.

Im Grenzfall muß die Abtastzeit  $T_a$  kleiner sein, als eine halbe Periode <sup>d. Signals</sup>. Doch auch hier können noch Fehler entstehen. [ Deshalb ist es ratsam  $T_a \approx (2,5 \dots 3) \cdot \frac{1}{f}$  oder sogar  $T_a \approx \frac{1}{15 \dots 10} \cdot \frac{1}{f}$  zu wählen ]

- Periode!

gehört nicht zum Shannon Theorem!



2.9.

Trägerschwingung:  $u_1(t) = \hat{u}_1 \cdot \sin(\omega_1 t)$

modulierende Schwingung:  $u_2(t) = \hat{u}_2 \sin(\omega_2 t)$

$$\omega_1 \geq 10\omega_2$$

ges:  $u = f(t) \Rightarrow u_1(t)$  verändert durch  $u_2(t)$

$$u = (\hat{u}_1 + \hat{u}_2 \sin(\omega_2 t)) \cdot \sin(\omega_1 t)$$

$$u = \hat{u}_1 \cdot \sin(\omega_1 t) + \hat{u}_2 \sin(\omega_2 t) \cdot \sin(\omega_1 t)$$

$$u = \hat{u}_1 \sin(\omega_1 t) + \frac{\hat{u}_2}{2} \cos(\omega_2 t - \omega_1 t) - \frac{\hat{u}_2}{2} \cos(\omega_2 t + \omega_1 t)$$

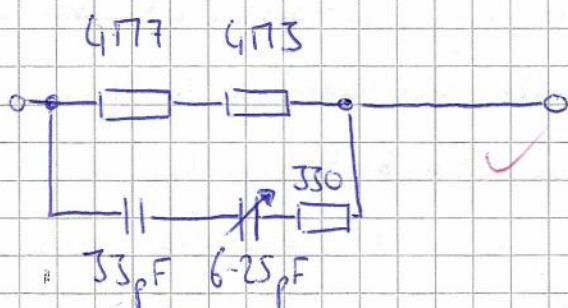
Da  $\omega_1 \gg \omega_2$  ergibt sich eine negative  
Frequenz



3.

3.1.

a)



c) Eine erneute Kompensation ist erforderlich da das Kabel eine weitere Kapazität addiert. Die neue verlängerte Variante ist unterkompensiert. Ein erneuter Abgleich war nicht möglich. Die Kapazität des TK reicht nicht aus um eine Kompensation zu ermöglichen.

3.2.

a)

$$T_A = \frac{0,35}{f_{\text{Grenz}}}$$

$$f_{\text{Grenz}} = f_0$$

$$T_A = 50 \text{ ns}$$

$$f_0 = \frac{0,35}{T_A} = \frac{0,35}{2,5 \cdot 0,2 \mu\text{s} \cdot \frac{1}{10}} = 717 \text{ Hz}$$

b)

$$D = 1 - e^{-\pi \frac{f_u}{f}}$$

$$D = \frac{\Delta u}{U_{\text{max}}}$$

$$f_u = \frac{f}{\pi} \ln\left(\frac{1}{1-D}\right)$$

$$f = 14 \text{ Hz}$$

$$\Delta u = 2 \text{ V}$$

$$U_{\text{max}} = 6,8 \text{ V}$$

$$f_u = 1,5 \text{ Hz}$$

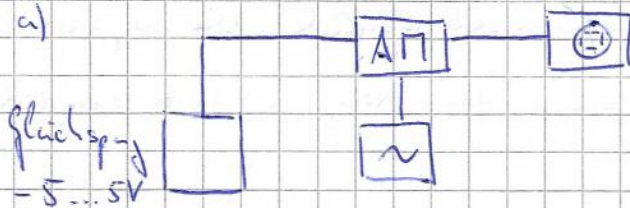


3.3.

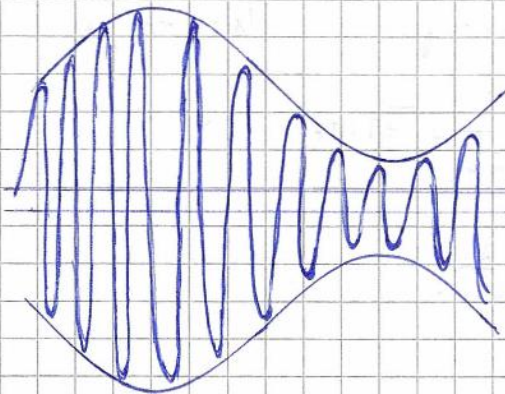
c) Bei 10kHz war der Sinus am besten erkennbar und die Periodendauer korrekt. Bei niedrigerer Taktfrequenz verschlechterte sich die Erkennbarkeit so kann es zu Überlagerungen, Sprüngen und Unschärfen kommen. Das Shannon-Theorem beschreibt den Grenzfalle. Jedoch zeigt der Versuch dass <sup>sich</sup> eine deutlich höhere Frequenz anbieter, bzw zur eindeutigen Bestimmung notwendig ist.

3.4.

a)



b)



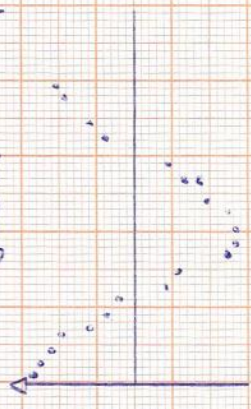
c) Die modulierende Spannung fungiert als Einhüllende. Je größer die Amplitude wird desto mehr dehnt die modulierende das Trägersignal in einen Bereich und staucht es in einem anderen





33  
c1

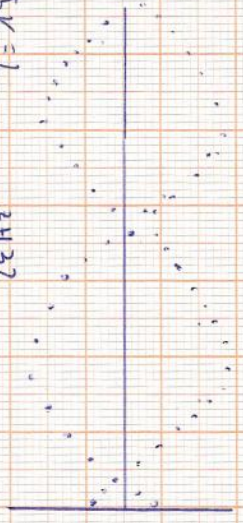
500 Hz  
 $T = 35 \text{ ms}$



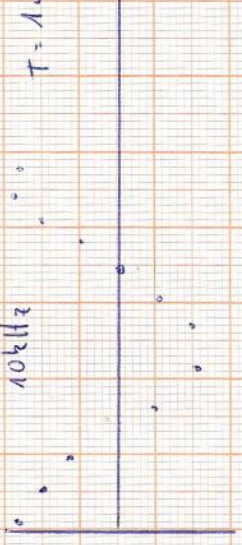
$T = 45 \text{ ms}$



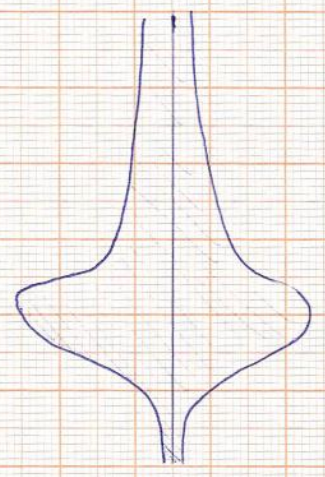
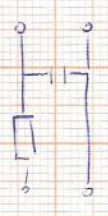
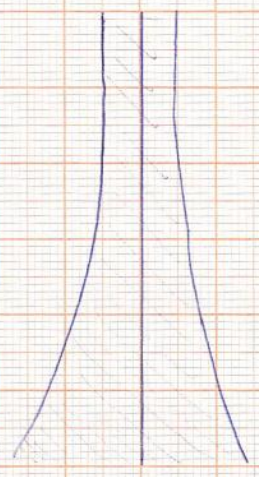
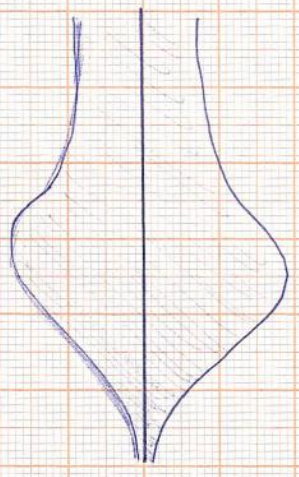
2 kHz  
 $T = 15.4 \text{ ms}$



$T = 1 \text{ ms}$

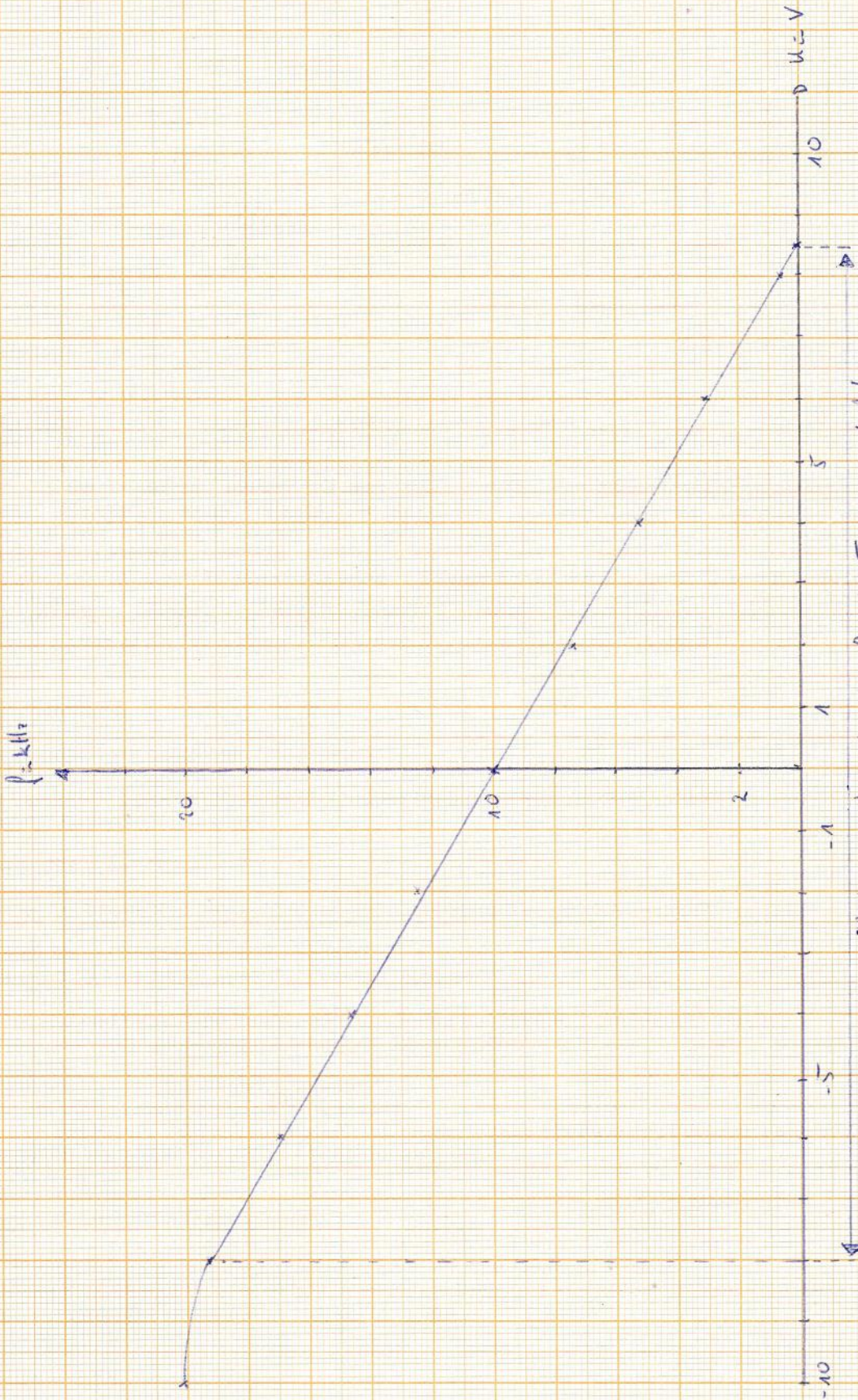


35  
c1





3.5 a)



gleichspannungsbesch der für die Frequenzmodulation nutzbar ist