



# Elektrische Messtechnik, Labor

Analog-Digital-Umsetzer und Frequenzmessung

StudienassistentIn	Gruppe	Datum	Note
GERALD HÖRACK	21	12.03.15	1

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Analog/Digital-Umsetzer</b>	<b>1</b>
1	Flash Umsetzer	1
2	Sukzessiver Approximations-Umsetzer	5
3	Dual-Slope Umsetzer	8
4	A/D-D/A Umsetzereinheit	11
	Geräteverzeichnis	13
<b>II</b>	<b>Frequenzmessung</b>	<b>14</b>
5	Bestimmung einer unbekanntes Frequenz	14
6	Einfacher $f/U$ -Umsetzer	17
7	Einfacher $U/f$ -Umsetzer	21
8	Optische Übertragungsstrecke	25
	Geräteverzeichnis	29

# Teil I

## Analog/Digital-Umsetzer

### 1 Flash Umsetzer

#### 1.1 Aufgabenstellung und Diskussionspunkte

##### Aufgabenstellung

- Bauen Sie einen Flash Konverter zur Messung einer Gleichspannung auf.
- Bestimmen Sie die benötigte Dauer einer Umsetzung.
- Nehmen Sie die Umsetzerkennlinie unter Zuhilfenahme der variablen Spannungsquelle ( $-2.5\text{ V}$  bis  $2.5\text{ V}$ ) auf. Bestimmen Sie den positiven und negativen Bereichsendwertfehler, den Nullpunktfehler und die differentielle und integrale Nichtlinearität. Markieren Sie diese Werte in der Tabelle, als auch in der Umsetzerkennlinie.
- Beobachten Sie die Auswirkungen von überlagerten Störungen (Sinus und Rauschen).

##### Diskussionspunkte

- Wie viele Taktzyklen benötigt ein Umsetzvorgang?
- Nennen Sie typische Eigenschaften eines Flash Konverters. Geben Sie die Vor- und Nachteile des Konverters an.
- Wie wirken sich der Eingangsspannung überlagerte Störungen aus?
- Welche Aufgabe(n) hat der Eingangsverstärker?

#### 1.2 Schaltung

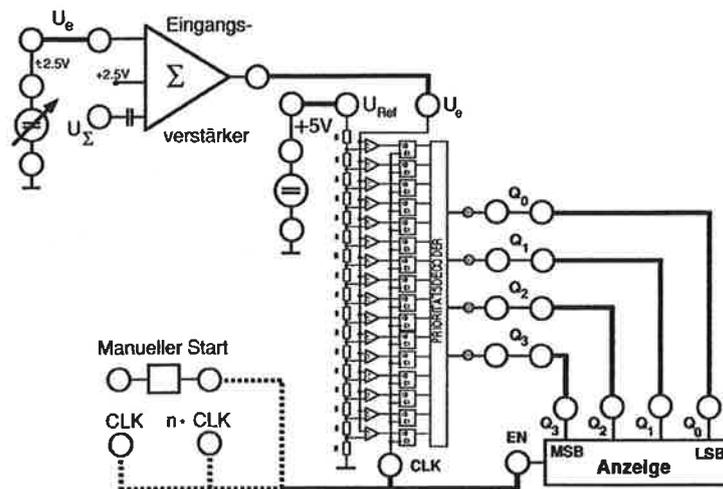


Abbildung 1: Schaltung des Flash Konverters.

### 1.3 Messwerte und Tabellen

Die gemessenen Werte sind Spalte (I) eingetragen. Die Berechnung der restlichen Einträge erfolgt rechnergestützt. Eine vollständige Tabelle ist dem Protokoll angehängt.

7-Segment Anzeige	Umschaltspannung				Stufenbreite			Stufenmittelpunkt			
	Real V I	Ideal V II	Diff. V III	Korr. V IV	Real V V	Ideal V VI	Diff. V VII	Real V VIII	Ideal V IX	Diff. V X	
-8	-1,910	-2.344									
-7	-1,447	-2.031			0.313			-2.188			
-6	-1,058	-1.719			0.313			-1.875			
-5	-0,730	-1.406			0.313			-1.563			
-4	-0,418	-1.094			0.313			-1.250			
-3	+0,177	-0.781			0.313			-0.938			
-2	0,228	-0.469			0.313			-0.625			
-1	0,529	-0.156			0.313			-0.313			
0	0,773	0.156			0.313			0.000			
1	1,104	0.469			0.313			0.313			
2	1,391	0.781			0.313			0.625			
3	1,663	1.094			0.313			0.938			
4	1,802	1.406			0.313			1.250			
5	2,092	1.719			0.313			1.563			
6	2,344	2.031			0.313			1.875			

7-Segment Anzeige	Umschaltspannung					Stufenbreite				Stufenmittelpunkt			
	Real [I]	Ideal [II]	Diff. [III]	Korr. [IV]		Real [V]	Ideal [VI]	Diff. [VII]	Real [VIII]	Ideal [IX]	Diff. [X]		
	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)
-8	-1,910	-2,344	<b>0,434</b>	-2,344									
-7	-1,447	-2,031	0,584	-1,872		0,472	0,313	0,159	-2,108	-2,188	0,079		
-6	-1,058	-1,719	0,661	-1,475		0,398	0,313	0,085	-1,674	-1,875	0,201		
-5	-0,730	-1,406	0,676	-1,138		0,337	0,313	0,024	-1,306	-1,563	0,256		
-4	-0,418	-1,094	0,676	-0,817		0,321	0,313	0,008	-0,978	-1,250	0,272		
-3	-0,177	-0,781	0,604	-0,568		0,250	0,313	-0,063	-0,693	-0,938	0,245		
-2	0,218	-0,469	0,687	-0,164		0,404	0,313	0,091	-0,366	-0,625	0,259		
-1	0,519	-0,156	<b>0,675</b>	0,146		0,310	0,313	-0,003	-0,009	-0,313	0,303		
0	0,773	0,156	0,617	0,408		0,263	0,313	-0,050	0,277	0,000	0,277		
1	1,104	0,469	0,635	0,748		0,340	0,313	0,027	0,578	0,313	0,265		
2	1,391	0,781	0,610	1,043		0,296	0,313	-0,017	0,896	0,625	0,271		
3	1,663	1,094	0,569	1,324		0,281	0,313	-0,032	1,184	0,938	0,246		
4	1,802	1,406	0,396	1,472		0,148	0,313	-0,165	1,398	1,250	0,148		
5	2,092	1,719	0,373	1,770		0,299	0,313	-0,014	1,621	1,563	0,059		
6	2,344	2,031	<b>0,313</b>	2,031		0,261	0,313	-0,052	1,901	1,875	0,026		
7													

max: 0,303

max: -0,165

Fehler	(V)	/U_LSB
negativer Bereichsendwertfehler	0,434	1,39
positiver Bereichsendwertfehler	0,313	1,00
Nullpunktfehler	0,675	2,16
differenzielle Nichtlinearität	-0,165	-0,53
integrale Nichtlinearität	0,303	0,97



## 1.4 Formeln und Berechnungsbeispiele

Eine genaue Vorgehensweise zur Ermittlung der berechneten Werte für die Tabelle ist im Laborskript zu finden. Im folgenden ist ein Berechnungsbeispiel für einen Messpunkt angeführt:

Umschaltspannung<sub>Diff.</sub> (Berechnung anhand  $U_{23\text{Real}}$  Messwert 2 u. 3)

$$U_{\text{DIFF}} = U_{\text{REAL}} - U_{\text{IDEAL}} = \underline{0,61\text{V}} = 1,391\text{V} - 0,781\text{V}$$

Umschaltspannung<sub>Korr.</sub> neg. Bereichsendwertfehler pos. Bereichsendwertfehler

$$U_{\text{KORR}} = U_{\text{REAL}} - \frac{n}{14} \cdot U_{\text{DIFF neg}} - \frac{m}{14} \cdot U_{\text{DIFF pos}} = 1,391\text{V} - \frac{4}{14} \cdot 0,33\text{V} - \frac{10}{14} \cdot 0,313\text{V} = \underline{1,043\text{V}}$$

mit  $n+m=14$  (Gewichtung)

Stufenbreite<sub>Real</sub>

Hinzunahme von  $U_{\text{KORR}12}$  &  $U_{\text{KORR}23}$

$$U_{\text{SB REAL}} = |U_{\text{KORR}i} - U_{\text{KORR}j}| = |1,043\text{V} - 0,748\text{V}| = \underline{0,295\text{V}}$$

Stufenbreite<sub>Diff.</sub>

aufeinander folgende Werte

(Rundungsfehler bez.  $U_{\text{SB REAL}}$  von Liste und Berechnung)

$$U_{\text{SD DIFF}} = U_{\text{SB REAL}} - U_{\text{SB IDEAL}} = \underline{-0,018\text{V}}$$

Stufenmittelpunkt<sub>Real</sub>

$$U_{\text{SM REAL}} = U_{\text{KORR}12} + \frac{1}{2} U_{\text{SB REAL}} = \frac{0,748\text{V}}{1} + \frac{1}{2} \cdot 0,295\text{V} = \underline{0,8955\text{V}}$$

Stufenmittelpunkt<sub>Diff</sub>

$$U_{\text{SM DIFF}} = U_{\text{SM REAL}} - U_{\text{SM IDEAL}} = 0,8955\text{V} - 0,625\text{V} = \underline{0,2705\text{V}}$$

## 1.5 Diagramme

Die Erstellung der Umsetzerkennlinie erfolgt rechnergestützt. Ein Ausdruck ist dem Protokoll angehängt.

## Notizen und Diskussion

a) 1 Taktzyklus wird für die Umsetzung benötigt. clk an digitaler Sample-and-Hold-Stufe. (Nachweis mit man. clk)

b)  $\oplus$  Vorteile:

- + schnell
  - ↳ hohe Sampling-Rate
  - ↳ geringe Latenzzeiten

$\ominus$  Nachteile:

- aufwendig
- geringe Eingangsimpedanz
- "relativ" geringe Auflösung
- hohe Leistungsaufnahme

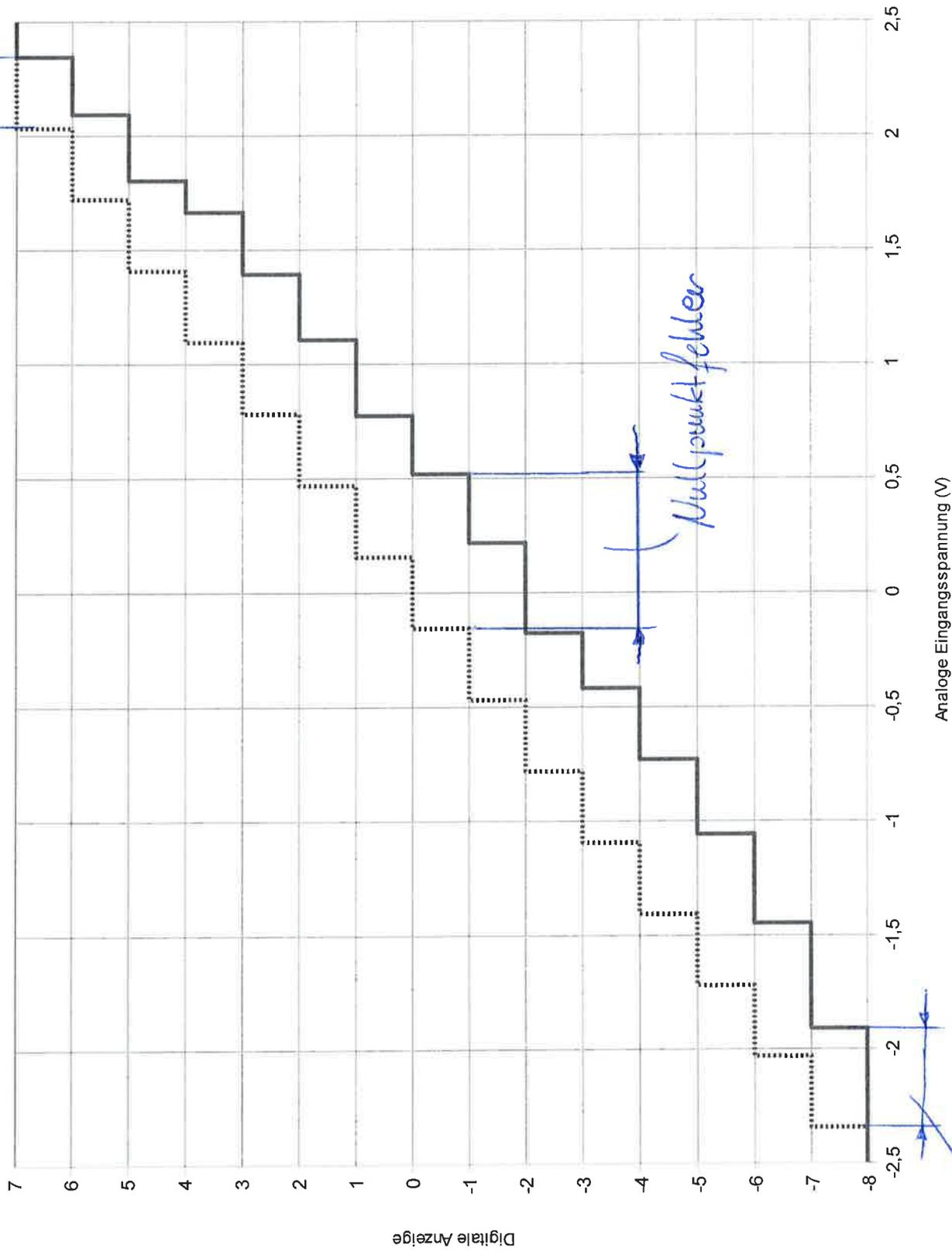
c) Störeinflüsse überlagern mit dem Momentanwert des Eingangssignals, sie werden daher mit umgesetzt.

d) der bipolare Verstärker ermöglicht die

- ▷ Offset-Anpassung (unipolar vs. bipolar)
- ▷ Range-Anpassung des Eingangssignals.

positiver Bereichswertfehler

### Umsetzkennlinie



negativer Bereichswertfehler



## 2 Sukzessiver Approximations-Umsetzer

### 2.1 Aufgabenstellung und Diskussionspunkte

#### Aufgabenstellung

- (a) Bauen Sie einen ADC nach dem Wägeverfahren auf und überprüfen Sie die Funktion.
- (b) Skizzieren Sie die internen Signalverläufe bei einem Umsetzvorgang.
- (c) Untersuchen Sie das Verhalten bei Einwirkung von Störungen.

#### Diskussionspunkte

- (a) Wie viele Taktzyklen benötigt ein Umsetzvorgang?
- (b) Nennen Sie Vor- und Nachteile dieses Konvertertyps.
- (c) Ist dieses Verfahren störungsempfindlicher als der Flash-Konverter?
- (d) Wie wirken sich Änderungen des Eingangssignal während eines Umsetzvorganges auf das Ergebnis aus? Welche schaltungstechnische muss hier getroffen werden?

### 2.2 Schaltung

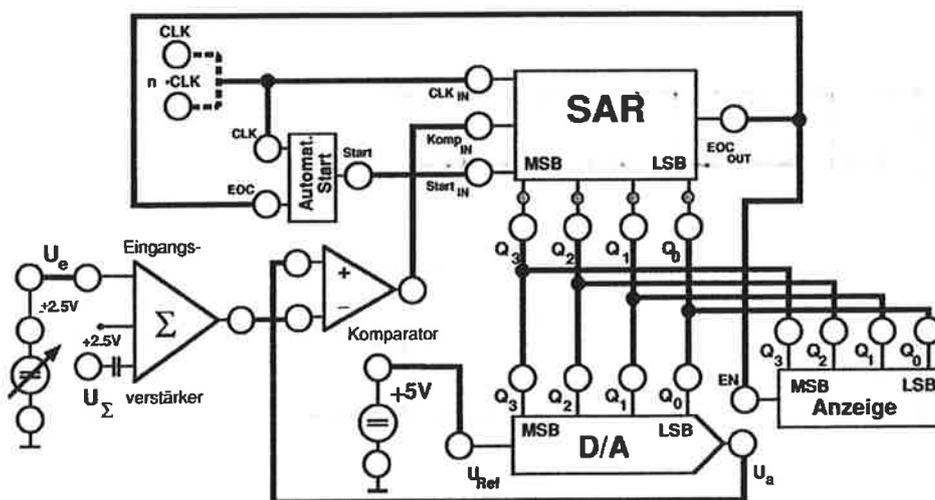


Abbildung 2: Schaltung des Umsetzers nach dem Wägeverfahren.

## 2.3 Diagramme

Die nachstehenden Grafiken zeigen die internen Signale des Umsetzers bei einem digitalen Anzeigewert von 5.

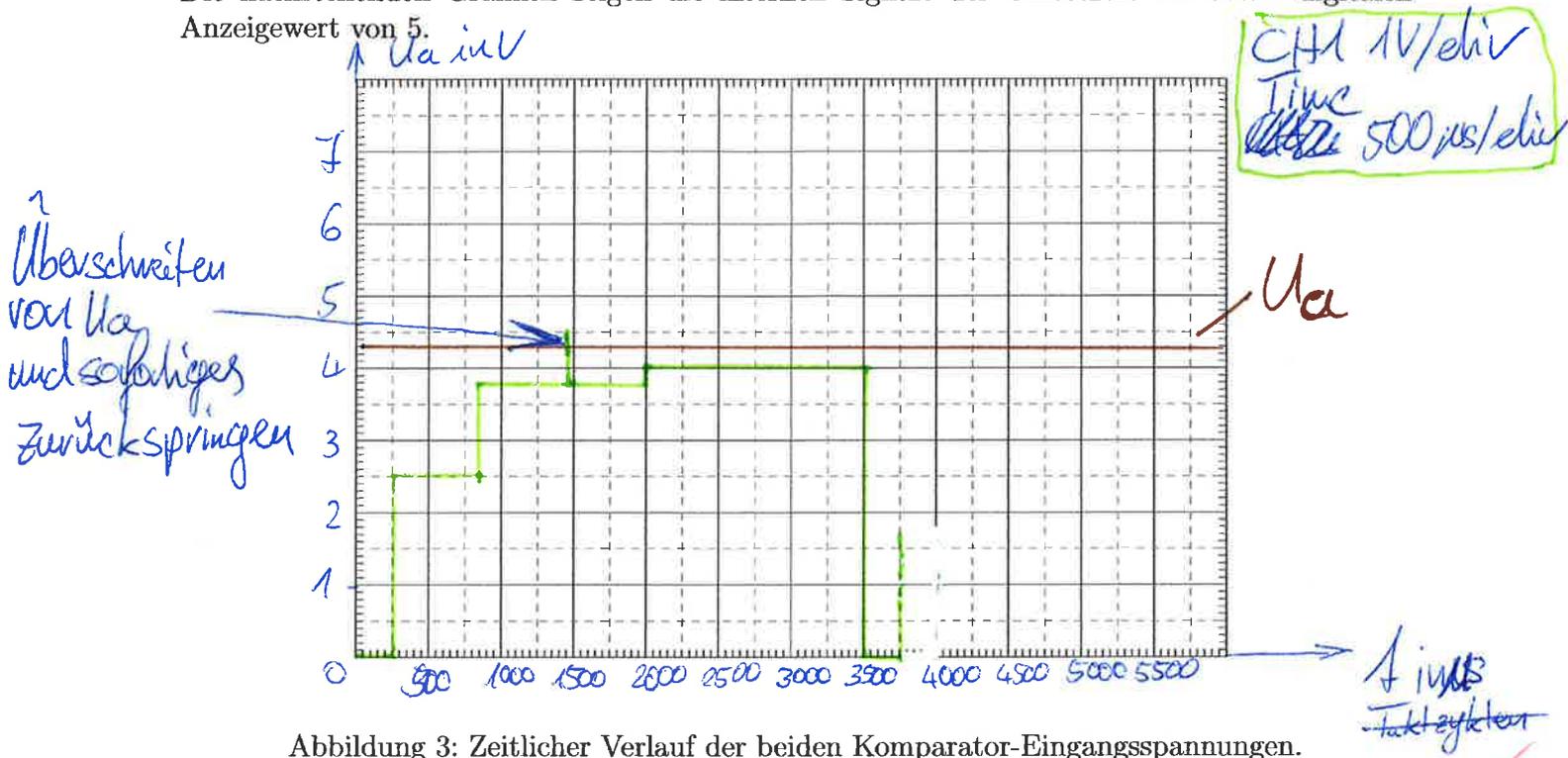


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der beiden Komparator-Eingangsspannungen.

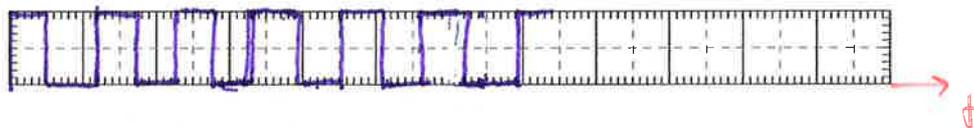


Abbildung 4: Taktsignal *CLK*.

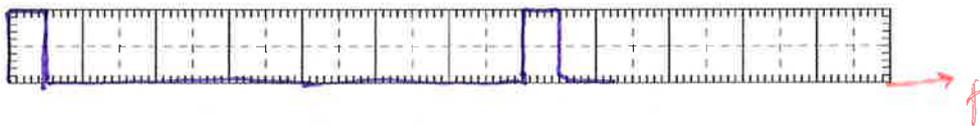


Abbildung 5: Steuersignal *Start*.

## Notizen und Diskussion

a) es gilt 1 Taktzyklus pro 1 Bit Genauigkeit i.d.R.. Also für unseren Fall 4 Tz, aber gemessen wurden 6 Tz. Dies rührt daher, da noch 1 Tz von der internen Steuerung und 1 Tz von EOC-Signal dazu kommt.

b) ⊕ Vorteile: ⊖ Nachteile:

- + hohe Auflösung möglich
- + hohe Signal-to-Noise-Ratio
- + geringe integr. Nichtlinearität
- hohe Latenz in Vergleich zu Flash ADC
- geringe Abtastrate (wenige MS/s max.)

c) Nein, ein SAR ist gleich störempfindlich, da der Momentanwert umgesetzt wird.

d) i.d.R. wird eine vorangeschaltete Sample-and-Hold-Stufe benötigt. Wird diese nicht vorangeschaltet, können durch ~~ein~~ Änderungen ~~des~~ des Eingangssignals ~~unter~~ ein unvorhersehbares Verhalten entstehen.

### 3 Dual-Slope Umsetzer

#### 3.1 Aufgabenstellung und Diskussionspunkte

##### Aufgabenstellung

- (a) Bauen Sie einen ADC nach dem Dual-Slope-Verfahren auf und überprüfen Sie die Funktion.
- (b) Skizzieren Sie die internen Signalverläufe bei zwei verschiedenen Eingangsspannungen. Notieren Sie zusätzlich die Anzahl der Taktzyklen für die Einzelnen Schritte des Umsetzvorganges im Diagramm.
- (c) Untersuchen Sie das Verhalten bei Einwirkung von Störungen.

##### Diskussionspunkte

- (a) Wie viele Taktzyklen benötigt ein Umsetzvorgang?
- (b) Was sind die Vor- und Nachteile des Dual-Slope Verfahrens.
- (c) Ist dieses Verfahren störungsempfindlicher als die beiden vorherigen Konverter?

#### 3.2 Schaltung

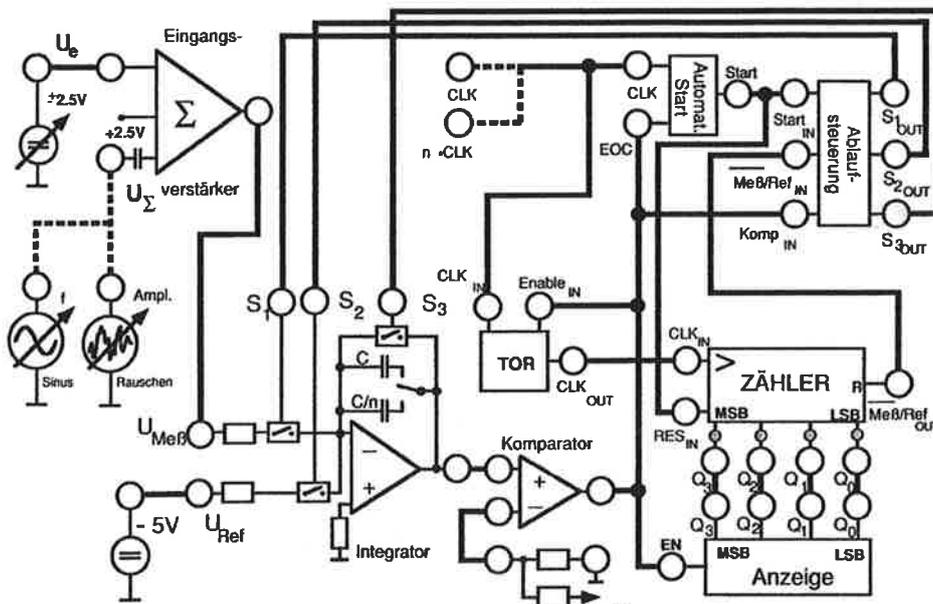


Abbildung 6: Schaltung des Dual-Slope Konverters, mit  $nCLK$  als Takt und Schalterstellung  $C/n$  für den Integrator.

### 3.3 Diagramme

Die nachstehenden Grafiken zeigen die internen Signale des Umsetzers bei einer analogen Eingangsspannung von  $-1\text{ V}$  und  $1\text{ V}$ .

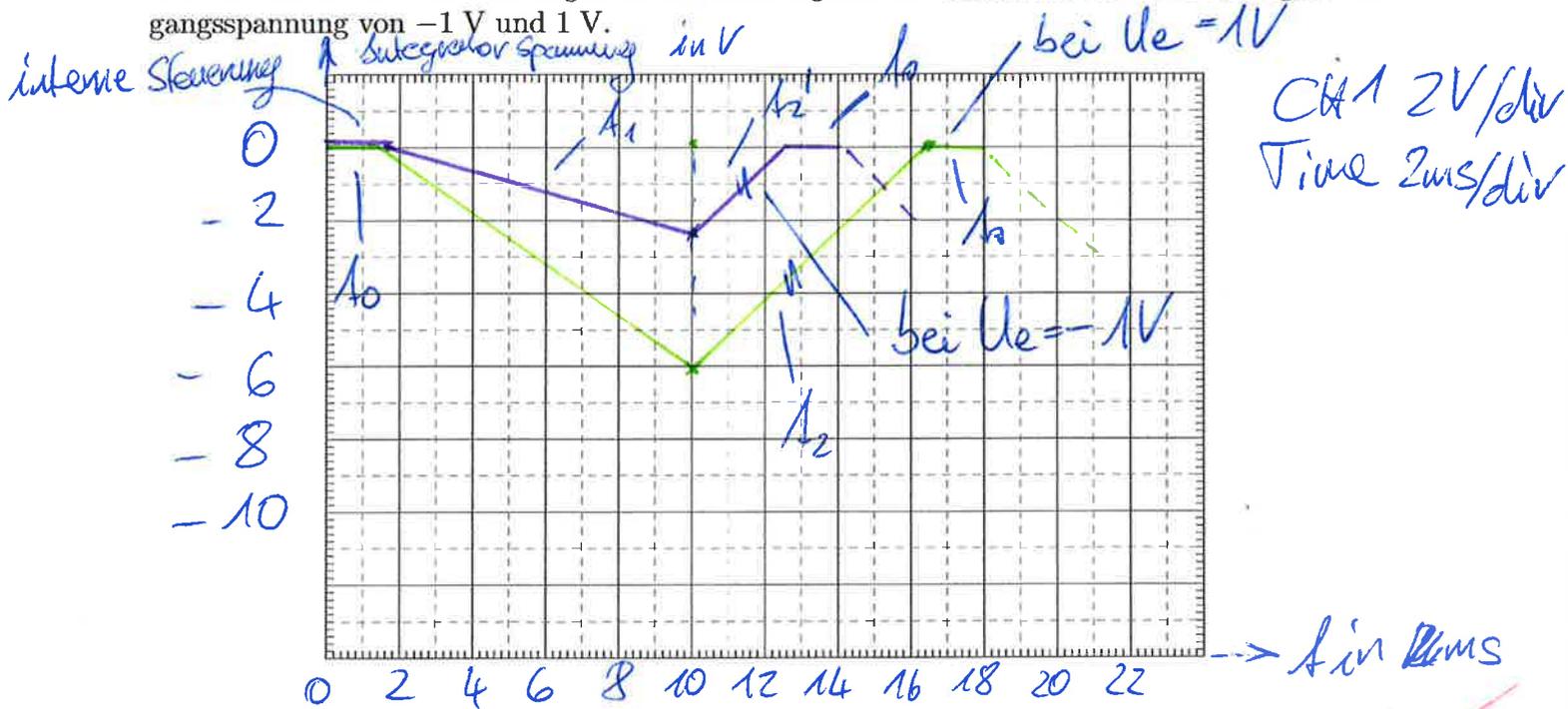


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf der Integratorspannung.

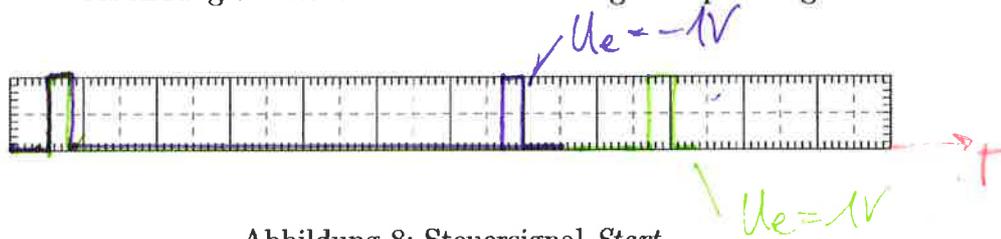


Abbildung 8: Steuersignal Start.

$$A_0 \approx 2T_Z$$

$$A_1 \approx 16T_Z$$

$$A_2' \approx 5T_Z$$

$$A_2 \approx 11T_Z$$

## Notizen und Diskussion

a) Anzahl an Taktzyklen setzt sich zusammen aus:

▷ TZ zur Integration von  $U_e$  (konstant)

▷ TZ zur Integration von  $U_{ref}$  (variabel)

▷ TZ aus interner Steuerung

b) ⊕ Vorteile:                      ⊖ Nachteile:

+ kein S+H-Glied nötig      - lange Umsetzungszeit (ms!)

+ gute Störsignalunterdrückung  
Durch Umsetzen des Mittelwertes  
der Eingangsspannung

+ hohe Auflösung

c) Ja, weil

Bei Überlagerung von Rauschsignalen: relativ unempfindlich wenn die Rauschamplitude verhältnismäßig klein ist. völlig unempfindlich gegen Rauschen!

Bei Überlagerung mit Sinus-Signal: Wenn die Integrationszeit gleich oder ein Vielfaches der Periodendauer des Signals => Mittelwert = 0, ansonsten Abweichung da  $U_e + U_{sin}$

## 4 A/D-D/A Umsetzereinheit

### 4.1 Aufgabenstellung und Diskussionspunkte

#### Aufgabenstellung

- Bauen Sie eine A/D - D/A Umsetzereinheit auf. Verwenden Sie dazu den Flash-ADC und dem beim Wägeverfahren verwendeten DAC. Skizzieren Sie ein Blockschaltbild des Aufbau.
- Testen Sie die Schaltung mit einem niederfrequenten sinusförmigen Eingangssignal. Betrachten Sie die Eingangs- und Ausgangsspannung der Umsetzereinheit.
- Stellen Sie den Quantisierungsfehler am Oszilloskop dar.
- Erhöhen Sie die Frequenz des Eingangssignals und zeigen Sie den Effekt des Aliasing.

#### Diskussionspunkte

- Wie groß ist der Quantisierungsfehler minimal und maximal?
- Wie kann der Quantisierungsfehler betragsmäßig verringert werden?
- Welche Maßnahme können Sie treffen um ein glatteres Ausgangssignal zu erreichen?
- Welche Maßnahme müssen Sie vor der Umsetzung treffen, damit sich das Signal nach der Umsetzung wieder korrekt rekonstruieren lässt?

### 4.2 Schaltung

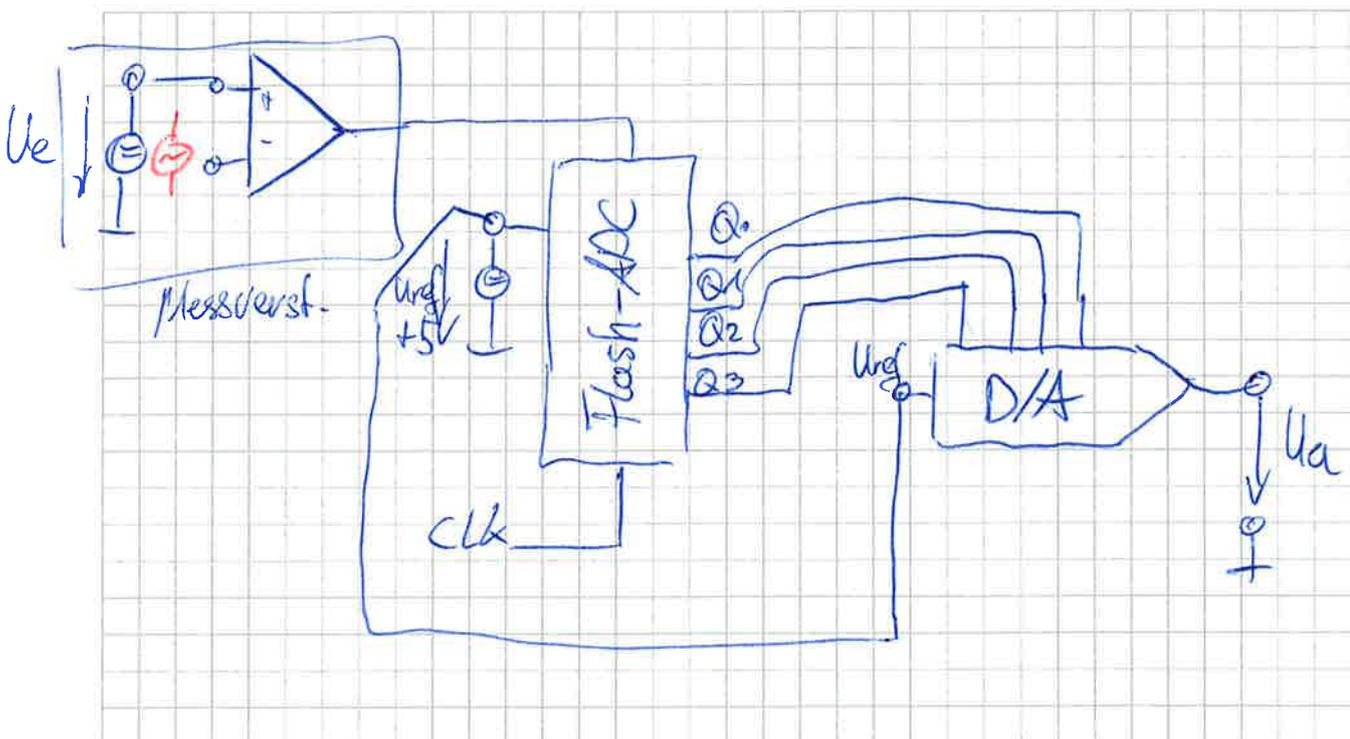


Abbildung 9: Blockschaltbild des Messaufbaus.

## Notizen und Diskussion

a) Quantisierungsfehler minimal  $\Rightarrow 0V$   
maximal  $\Rightarrow \pm \frac{U_{LSB}}{2}$  } ideal ✓

real: (gemessen) minimal  $\Rightarrow 0V$   
maximal  $\Rightarrow \begin{cases} +400\text{ mV} \\ -600\text{ mV} \end{cases}$  ✓

b) Verringerung des Quantisierungsfehlers  
durch Erhöhung der Auflösung ✓

c) Nachschalten eines Filterst<sup>(Tiefpass)</sup>, höhere Auflösung ✓

d) 1) Signal darf keine Frequenzen  $> \frac{\text{Abtastrate}}{2}$   
enthalten (Aliasing) (Shannon) ✓

2.) DAC muss schnell genug sein  
um die höchste vorkommende  
Frequenz rekonstruieren zu können.

Möglichkeit: Vorschalten eines Tiefpasses  
vor den ADC ✓

# Geräteverzeichnis

Die nachstehende Geräteliste gilt für den gesamten Teil *Analog/Digital-Umsetzer*.

Gerät	Typ/Beschreibung	Eigenschaften
LABORBOX	—	Au- und Abschalten bei Integrationsverfahren
OSZILLOSKOP	RIGOL DS102E	2 Channel 100 MHz, 1 GS/s
MULTIMETER	FLUKE 87TRMS	—

# Teil II

## Frequenzmessung

### 5 Bestimmung einer unbekanntenen Frequenz

#### 5.1 Aufgabenstellung und Diskussionspunkte

##### Aufgabenstellung

- Als Zählerfrequenz  $f_N$  stehen Ihnen Signale mit 1 kHz, 10 kHz und 100 kHz zur Verfügung. Berechnen Sie für alle drei Zählerfrequenzen die maximal messbaren Eingangsfrequenzen  $f_X$ . Verwenden Sie dafür den Teilerfaktor  $m = 900$  zur Generierung der Torzeit  $T_T$ .
- Wählen Sie anschließend eine Zählerfrequenz und eine Eingangsfrequenz. Legen Sie die beiden Frequenzen so aus, dass der Zähler möglichst gut ausgenutzt wird (Zählerstand größer 5000). Bauen Sie die Schaltung auf und kontrollieren Sie beide Frequenzen mit einem Multimeter.
- Bestimmen Sie nun die unbekannte Frequenz  $f_X$  mit der aufgebauten Schaltung. Wiederholen Sie die Messung bei verschiedenen Teilverhältnissen für die Torzeit. Bestimmen Sie die Auswirkung des Teilverhältnis auf die Messgenauigkeit mit Hilfe der Fehlerfortpflanzung. Berücksichtigen Sie dabei auch die Messabweichung die durch die Bestimmung der Zählerfrequenz entsteht.

##### Diskussionspunkte

- Welche Unsicherheiten und Fehlerquellen gibt es?
- Was können Sie tun um den Zählerstand so zu verändern, dass die Messgenauigkeit möglichst hoch ist?

#### 5.2 Schaltung

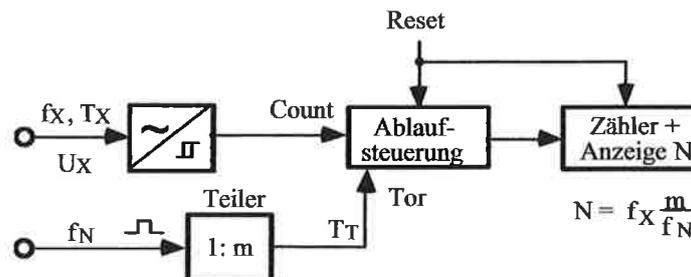


Abbildung 10: Schaltung zur Bestimmung einer unbekanntenen Frequenz  $f_X$ .

### 5.3 Messwerte und Tabellen

Tabelle 1: Messwerte der Frequenzmessung.

Messung Nr.	Eingestellt	Gemessen			Berechnet	
	m	$f_N$	$f_X$	N	$f_X$	$\Delta f_{X,rel}$
	1	kHz	kHz	1	kHz	%
1	900	1,141	12,66	9981	12,654	0,0238
2	90	1,151	12,65	990	12,552	0,1168
3	9	1,151	12,65	100	12,68	1,0136
4	1	1,151	12,65	12	13,69	8,348

Für Berechnung immer  $f_N = 1,141$  kHz verwendet ✓

### 5.4 Formeln und Berechnungsbeispiele

sei  $f_X = \frac{N}{m} \cdot f_N \Rightarrow$  mit Messung Nr. 1

$\Rightarrow f_X = \frac{9981}{900} \cdot 1,141 \text{ kHz} = \underline{12,654 \text{ kHz}}$  ✓

Berechnung von  $\Delta f_{X,rel} \% = \frac{\Delta f_X}{f_X} \cdot 100\%$

mit  $\Delta f_X = \left| \frac{\partial f_X}{\partial N} \cdot \Delta N \right| + \left| \frac{\partial f_X}{\partial m} \cdot \Delta m \right| + \left| \frac{\partial f_X}{\partial f_N} \cdot \Delta f_N \right|$   
= 0 (vernachlässigt)

mit  $\Delta N = \pm 1$  (Unsicherheit des letzten Digit)

$\Delta f_X = \left| \frac{1}{m} \cdot f_N \cdot \Delta N \right| + \left| \frac{N}{m} \cdot \Delta f_N \right| = \underline{3,009 \text{ Hz}}$  ✓

~~$\Delta f_{X,rel} \% =$~~  Genauigkeit Fluke 87  $\rightarrow 0,005\% + 1$   
 $\Rightarrow \Delta f_N = f_N \cdot 0,005\% + 0,1 \text{ Hz} = \underline{0,157 \text{ Hz}}$  ✓

$\Delta f_{X,rel} \% = \frac{\Delta f_X}{f_X} \cdot 100\% = \underline{0,0238\%}$  ✓

## Notizen und Diskussion

- FEHLERQUELLEN**
- a) ▷ Fehler (Unsicherheit) des letzten Digit
- ▷ Ungenauigkeiten der Referenzquelle  $(f_n, T_n)$
- ▷ Teilerunsicherheit
- ▷ Unsicherheiten des Schmitt-Triggers
- ▷ Einkopplung von Störquellen ✓

- GEGENMASSNAHMEN**
- b) ▷ für hohe Genauigkeit soll der Zählbereich so groß wie möglich gewählt werden, i. e.  $f_n$  klein und  $m$  groß.  $\Rightarrow$  Totzeit möglichst lang (schwierig: Abschätzen des Überlaufes)
- (▷ ~~§~~ Abschirmung zur Unterdrückung von Einkopplungen) ✓

Berechnung a)  $N = f_x \cdot \frac{m}{f_N}$

$f_N = 1 \text{ kHz}, 10 \text{ kHz}, 100 \text{ kHz}$

$\Rightarrow f_{x_1} = N \cdot \frac{f_N}{m} \Big|_{f_N = 1 \text{ kHz}} = 9999 \text{ kHz} \cdot \frac{1 \text{ kHz}}{900} = \underline{\underline{11,10 \text{ kHz}}}$

$\Rightarrow f_{x_2} = N \cdot \frac{f_N}{m} \Big|_{f_N = 10 \text{ kHz}} = \underline{\underline{111,0 \text{ kHz}}}$

$\Rightarrow f_{x_3} = N \cdot \frac{f_N}{m} \Big|_{f_N = 100 \text{ kHz}} = \underline{\underline{1,11 \text{ MHz}}}$

$\Delta f_x \Big|_{m=90} = 14,405 \text{ Hz}$

$\Delta f_{x \text{ rel} \%} \Big|_{m=90} = 0,148 \%$

$\Delta f_x \Big|_{m=9} = 128,52 \text{ Hz}$

$\Delta f_{x \text{ rel} \%} = 1,0136 \%$

$\Delta f_x \Big|_{m=1} = 1142,884 \text{ Hz}$

$\Delta f_{x \text{ rel} \%} = 8,348 \%$



## 6 Einfacher f/U-Umsetzer

### 6.1 Aufgabenstellung und Diskussionspunkte

#### Aufgabenstellung

- Bauen Sie die Schaltung zur Frequenz-Spannungsumsetzung auf. Wählen Sie dabei  $R$  und  $C$  so, um eine möglichst geringe Welligkeit der Ausgangsspannung  $U_1$  zu erreichen.
- Nehmen Sie die Umsetzerkennlinie bei 2 unterschiedlichen Haltezeiten  $T_0$  des Monoflops auf.
- Skizzieren Sie die Ausgangsspannung des Monoflop und des Tiefpass für eine günstige und eine ungünstige Wahl der Zeitkonstante. Variieren Sie dafür den Kondensator  $C$ .

#### Diskussionspunkte

- Welche Werte für  $R$  und  $C$  haben Sie gewählt? Begründen Sie Ihre Wahl.

### 6.2 Schaltung

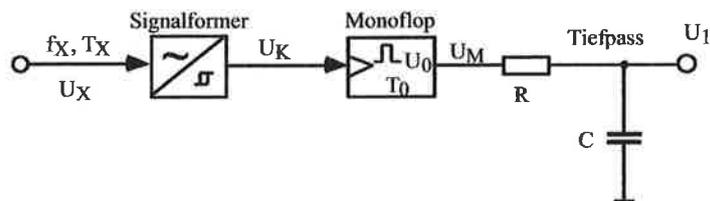


Abbildung 11: Blockschaltbild des f/U-Umsetzers.

### 6.3 Messwerte und Tabellen

Tabelle 2: Messwerte der f/U-Umsetzerkennlinie mit  $T_0 = 10\mu\text{s}$  in 10 kHz Schritten.

Messung Nr.	Gemessen	
	$f_x$	$U_1$
	kHz	V
1	<del>10,000</del>	0,503
2	20,05	1,000
3	29,99	1,493
4	40,01	1,993
5	50,01	2,495
6	60,05	3,013
7	70,01	3,520
8	80,06	4,060
9	81,63	4,140
10	—	—

1000

MAX

Tabelle 3: Messwerte der f/U-Umsetzerkennlinie mit  $T_0 = 100\mu\text{s}$  in 1 kHz Schritten.

Messung Nr.	Gemessen	
	$f_x$	$U_1$
	kHz	V
1	1,002	0,504
2	2,003	1,004
3	3,002	1,506
4	4,004	2,010
5	5,002	2,516
6	6,009	3,038
7	7,008	3,55
8	8,003	4,07
9	9,019	4,63
10	9,270	4,79

### 6.4 Diagramme

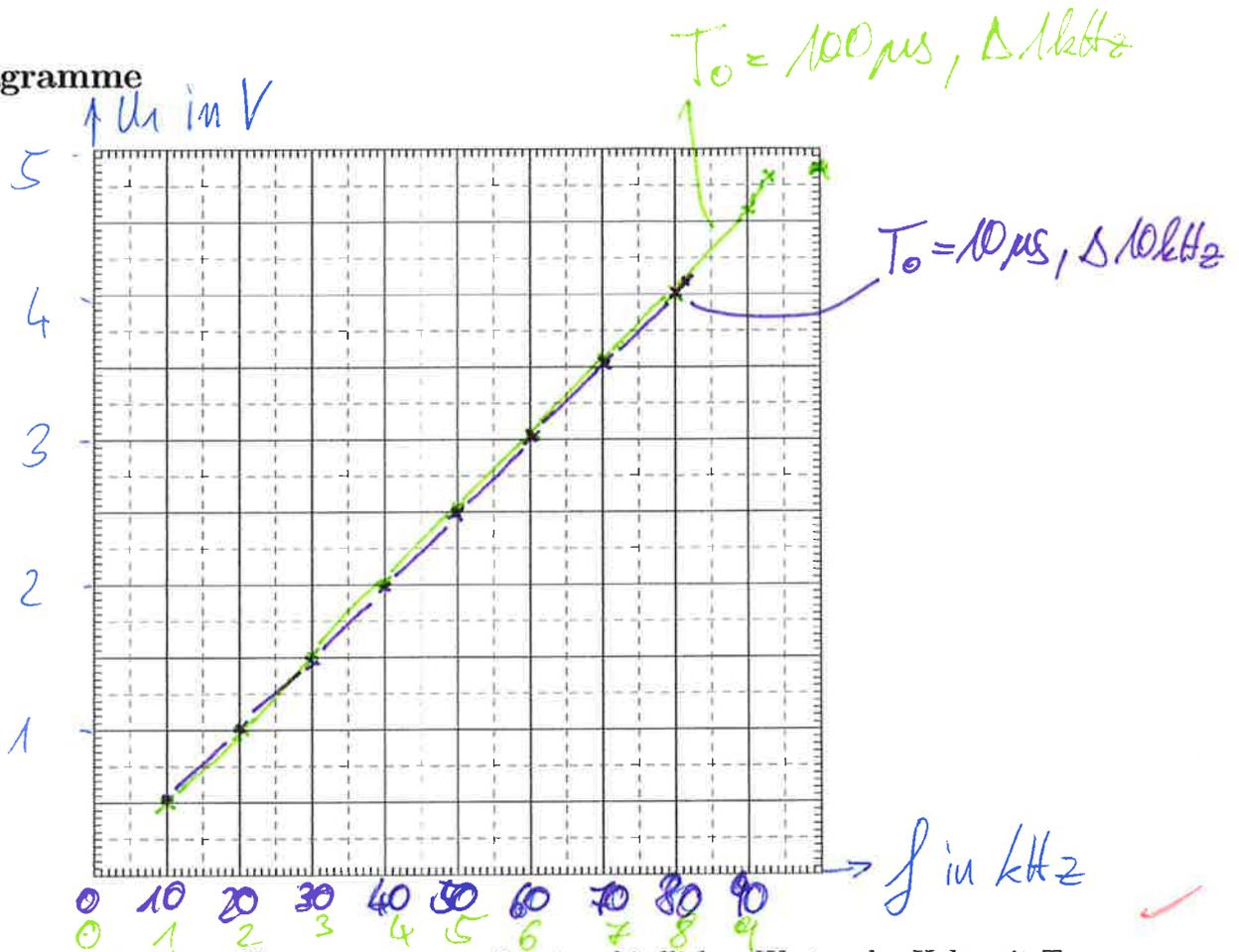


Abbildung 12: Kennlinien des f/U-Umsetzers mit 2 unterschiedlichen Werten der Haltezeit  $T_0$ .

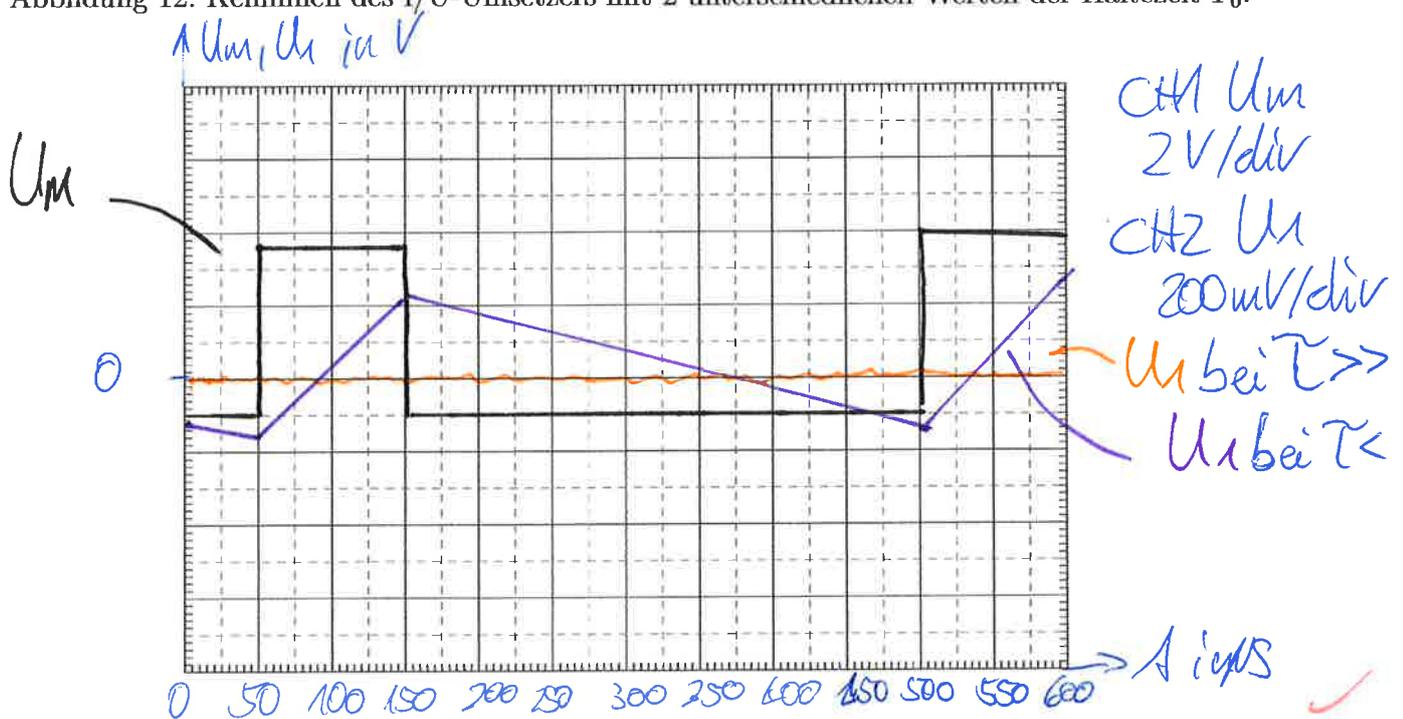


Abbildung 13: Zeitlicher Verlauf der Spannung am Ausgang des Monoflops und des Tiefpassfilters für 2 verschieden gewählte Kondensatoren  $C$ .

## Notizen und Diskussion

a) Bei der Wahl von R und C wurde ein Kompromiss zwischen Dynamik und Welligkeit des Ausgangssignals getroffen.

$$\Rightarrow R = 10 \text{ k}\Omega \quad T = R \cdot C = \underline{\underline{0,1 \text{ s}}}$$

$$\Rightarrow C = 10 \mu\text{F}$$

Sollte aber so träge sein, damit sich ein Gleichanteil einstellt.

Siehe Abb. 13 für Vergleich von versch.  $T$ 's  
R wurde so klein wie möglich gewählt damit der ~~Spannungsabfall~~ Spannungsabfall am Ausgang an R so gering wie möglich ist.

## 7 Einfacher U/f-Umsetzer

### 7.1 Aufgabenstellung und Diskussionspunkte

#### Aufgabenstellung

- Bauen Sie einen U/f Umsetzer auf. Verwenden Sie  $R = 100 \text{ k}\Omega$  und  $C = 1 \text{ nF}$  als Tiefpassparameter.
- Nehmen Sie die Umsetzerkennlinie auf.

#### Diskussionspunkte

- Welchen Einfluss haben die Tiefpassparameter auf die Funktion der Schaltung?

### 7.2 Schaltung

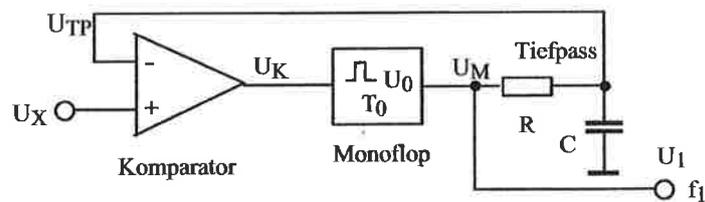


Abbildung 14: Blockschaltbild des einfachen U/f-Umsetzers.

### 7.3 Messwerte und Tabellen

Tabelle 4: Messwerte der U/f-Umsetzerkennlinie für  $U_X = 0$  bis 5 V in 0.5 V Schritten.

Messung Nr.	Gemessen	
	$U_X$	$f_1$
	V	kHz
1	0,013	11,96,4
2	0,500	12,86
3	1,001	22,56
4	1,502	32,11
5	2,000	41,47
6	2,500	50,81
7	3,008	59,87
8	3,50	69,24
9	4,00	78,48
10	4,50	87,01
11	5,00	94,61

### 7.4 Diagramme

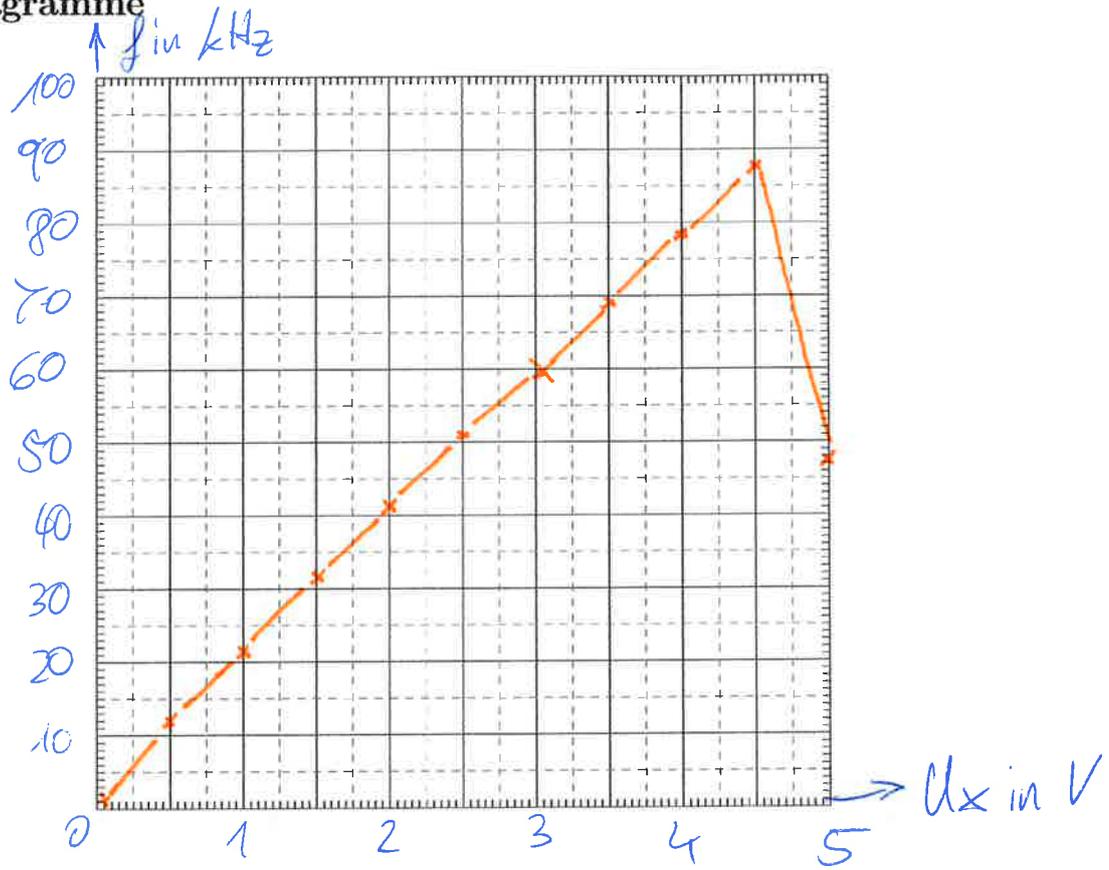


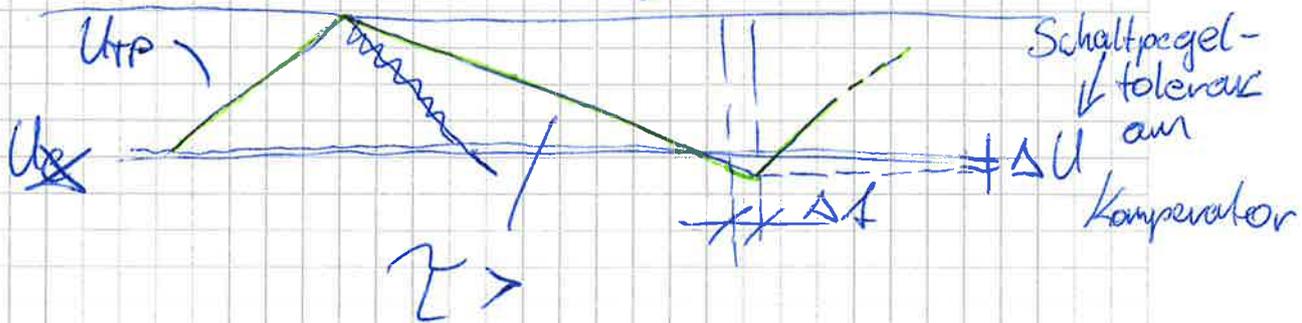
Abbildung 15: Kennlinie des U/f-Umsetzers.

# Notizen und Diskussion

a) Sei  $\tau = R \cdot C$

so wirkt sich R und C auf die "Trägheit" des Tiefpasses aus und bestimmt somit wie schnell der U<sub>TF</sub>-Umsetzer einer ~~Eingangsspannung~~ <sup>Eingangsspannungsänderung</sup> folgt.  $\left(\frac{\partial U_{TF}}{\partial t}\right)$

Komparator hat keinen definierten Schaltzeitpunkt  $\Rightarrow$  bei  $\tau > \Rightarrow$  trüges Verhalten  $\Rightarrow$  Unterschreitung der Eingangsspannung am Komparator ✓



# 8 Optische Übertragungsstrecke

## 8.1 Aufgabenstellung und Diskussionspunkte

### Aufgabenstellung

- (a) Bauen Sie eine optische Übertragungsstrecke mit Hilfe eines U/f-Umsetzers, der optischen Diodenstrecke und eines f/U-Umsetzers auf. Skizzieren Sie den Aufbau.
- (b) Nehmen Sie die Übertragungskennlinie auf und vergleichen Sie die aufgenommene Kennlinie mit der idealen Übertragungskennlinie.

### Diskussionspunkte

- (a) Welche Zeitkonstante  $T_0$  haben Sie für das Monoflop des U/f Umsetzers verwendet? Begründen Sie Ihre Wahl.
- (b) Welche Vorteile bietet eine optische Übertragungsstrecke und wo wird sie daher eingesetzt?

## 8.2 Schaltung

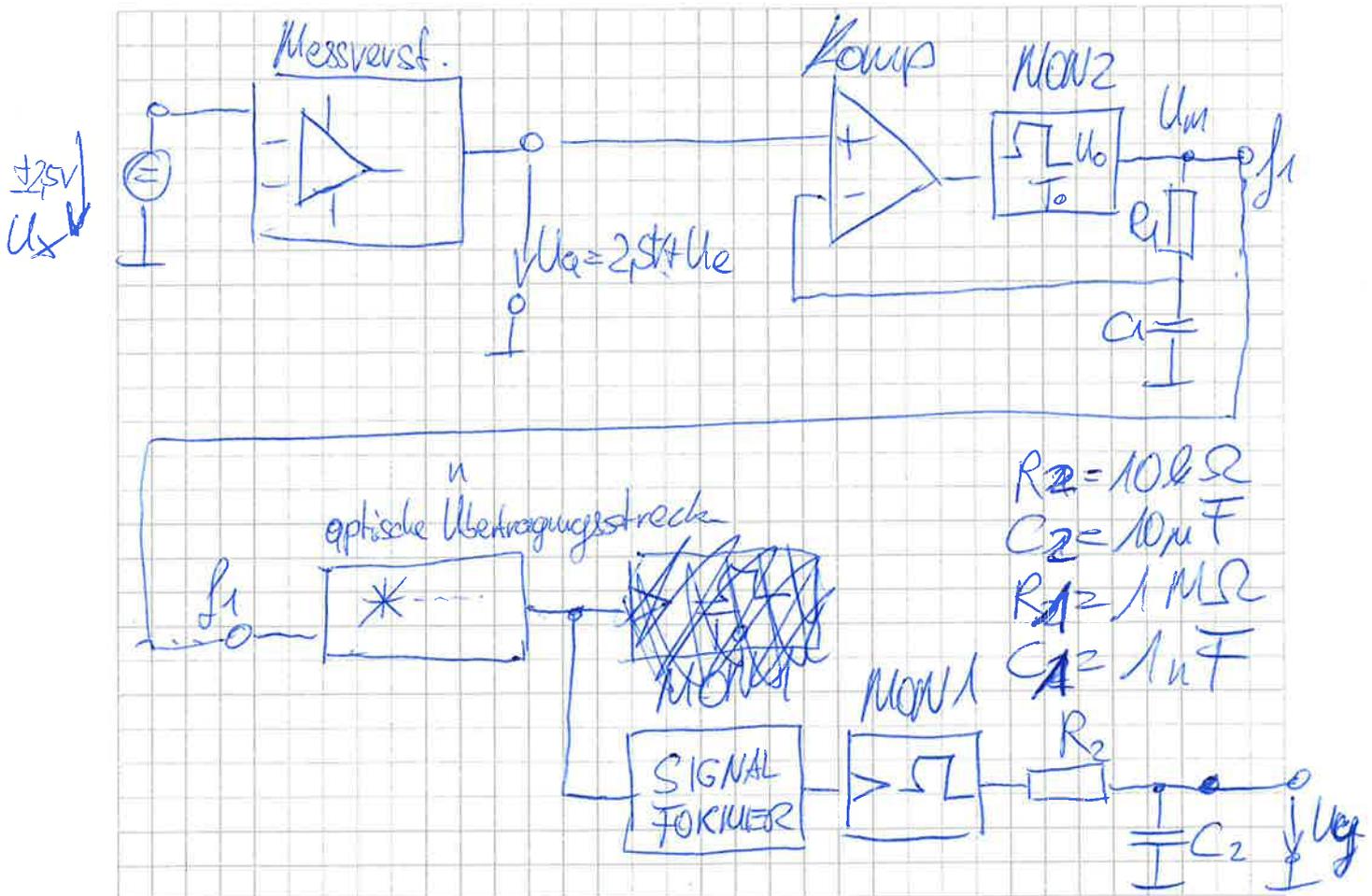


Abbildung 16: Blockschaltbild des Messaufbaus.

### 8.3 Messwerte und Tabellen

Tabelle 5: Messwerte der optischen Übertragungsstrecken-Kennlinie für  $U_e = 0 - 5 \text{ V}$  in  $0.5 \text{ V}$  Schritten.

Messung Nr.	Gemessen	
	$U_x$	$U_{ij}$
	✓	✓
1	0,5	0,489
2	1,001	1,025
3	1,501	1,535
4	2,000	2,051
5	2,500	2,575
6	2,889	3,083
7	3,51	3,63
8	4,00	4,11
9	4,50	4,60
10	5,00	0,50

8.4 Diagramme

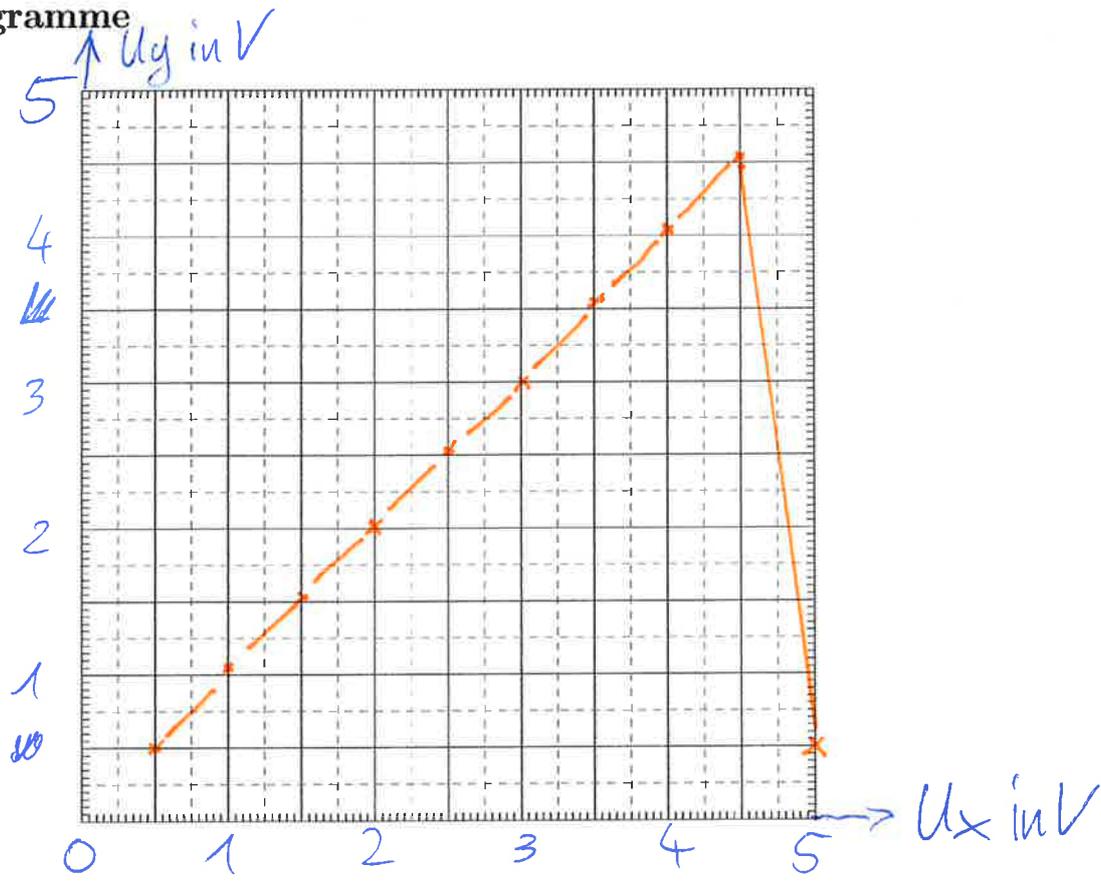


Abbildung 17: Kennline der optischen Übertragungsstrecke.

## Notizen und Diskussion

a)  ~~$R_1, R_2, C_1$  und  $C_2$  wurden empirisch ermittelt~~  
~~mit  $\mu = 10^6$~~   
~~Bei f/U sollte sein wie mö~~

Es gilt: bei f/U soll  $\tau$  so klein wie möglich gewählt werden

bei U/f soll  $\tau$  so groß wie möglich gewählt werden

Wie wurde  $R_1, R_2, C_1, C_2$  empirisch ermittelt damit  $U_x$  und  $U_y$  sich so ~~wie~~ ähnlich wie möglich sind.

Daher folgt:  $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$   
 $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$   
 $C_1 = 1 \text{ nF}$   
 $C_2 = 10 \text{ }\mu\text{F}$

+ hohe Datenraten möglich

b) Vorteile: + galvanische Trennung  
+ geringe Übertragungsverluste

daher wird optische Übertragung für Signalübertragungen über große Distanzen verwendet.

a)  $T_0$  von MON1 wurden mit  $10 \text{ nVs}$  gewählt, weil mit Frequenzen von  $10 - 100 \text{ kHz}$  gearbeitet wurde und somit Überlappungen am Monoflop Ausgang vermieden werden konnten.

# Geräteverzeichnis

Die nachstehende Geräteliste gilt für den gesamten Teil *Frequenzmessung*.

Gerät	Typ/Beschreibung	Eigenschaften
2x LABORBOX	—	—
OSZILLOSKOP	RIGOL DS102E	2 Channel 100 MHz 1Gs/s
<del>FLUKE 87</del>		
3x Multimeter	FLUKE 87	TRMS
	FLUKE 70	—
	FLUKE 75	—

