

Messen elektrischer Größen

Ist eine EDV-Anlage gestört, müssen Informatikerinnen und Informatiker in der Lage sein, entsprechende Messgeräte zur Lokalisierung der Störung auszusuchen und richtig einzusetzen.

Dies kann z.B. ein Digitalmultimeter, ein Oszilloskop oder ein Logikanalysator sein.

Da Ein- und Ausgangssignale auch in analoger Form vorliegen können, erfordert die Einhaltung vorgegebener Grenzwerte von Informatikerinnen und Informatikern die Auswahl geeigneter Messgeräte (z.B. Drehpultmesswerk) zur Überwachung der Pegelwerte. Die Auswahl wird dabei entscheidend von den Fehlergrenzen der Messgeräte bestimmt.

In diesem Lernmodul wird im Lernbereich 1 zunächst auf die Begriffsdefinitionen der Messtechnik eingegangen. Anschließend wird die Bestimmung der Messwertabweichung nach einer Messung bzw. nach der Aufnahme einer Messreihe und die Interpretation der Messwerte dargestellt.

Im Lernbereich 2 werden die wesentlichen Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten typischer analoger Messgeräte erläutert.

Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten von Messgeräten mit digitaler Messdatenverarbeitung werden im Lernbereich 3 beschrieben.

Voraussetzung für dieses Lernmodul ist eine erfolgreiche Bearbeitung der Lernmodule 1, 2 und 3 dieses Faches

- Gleichstromkreise analysieren
- Elektronische Bauteile kennen und elektronische Schaltungen berechnen
- Digitale Bauelemente in Schaltungen anwenden

Alle weiteren notwendigen Informationen und Arbeitsunterlagen sind in diesem Lernmodul und in dem Modul „Formeln und Datenblätter“ enthalten.

Dieses Lernmodul ist im häuslichen Studium zu erarbeiten.

Der benötigte Zeitaufwand liegt bei ca. 9 Stunden.

Zusätzlich finden im Begleitunterricht 7 Stunden Festigung und Vertiefung fachspezifischer und fächerübergreifender Zusammenhänge sowie die Beschreibung von Lösungsverfahren zur Bearbeitung typischer Aufgaben und Problemstellungen statt.

In diesen 7 Stunden ist das Laborprojekt „Messen elektrischer Kenngrößen“ im Umfang von ca. 4 Stunden integriert.

LERNMODUL 4**Ziele****Ausgangssituation****Planung**

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen der Messtechnik	3
1.1 Begriffsdefinitionen der Messtechnik	3
1.2 Messabweichungen bei Messgeräten	10
1.2.1 Fehlerarten	10
1.2.2 Fehlergrenzen	17
2 Messen mit analogen Messgeräten	23
2.1 Drehspulmessgerät	23
2.2 Dreheisenmessgerät	30
2.3 Oszilloskop	33
3 Messgeräte mit digitaler Messdatenverarbeitung	53
3.1 Digitalmultimeter	53
3.2 Digitales Speicheroszilloskop	56
3.3 Logikanalysator	63
3.4 PC-Messsysteme	66
Lösungsanhang	75

1 Grundlagen der Messtechnik

Lernbereich

1.1 Begriffsdefinitionen der Messtechnik

Unser heutiges elektrotechnisches Weltbild beruht hauptsächlich auf Lehrsätzen, die durch Messungen entstanden sind, und die nur deshalb allgemein anerkannt werden, weil sie jederzeit durch Messungen nachgeprüft werden können. Eine Vielzahl technischer Funktionsabläufe, z.B. in der Energietechnik, Regelungstechnik oder Fertigungstechnik, müssen ständig messtechnisch kontrolliert werden, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erreichen.

Erst nach der Entwicklung geeigneter messtechnischer Möglichkeiten lassen sich viele Aufgaben z.B. die Problematik des Umweltschutzes lösen.

Mithilfe der Messtechnik sollen Naturvorgänge präzise beschrieben oder technische Funktionsabläufe kontrolliert werden. Es ist daher notwendig für die Messtechnik klare Begriffe zu verwenden, deren Bedeutung genau definiert ist. Die natürliche Sprache ist in dieser Hinsicht sehr ungenau, da sie mehrdeutig ist. Dieses kann prägnant an dem folgenden Beispiel gezeigt werden:

„Das ist vermessen!“

Was soll diese Behauptung aussagen?

- Hat jemand eine Forderung erhoben, die ihm nicht zusteht?
- oder Wurde etwas gemessen?
- oder Wurde etwas falsch gemessen?
- oder Wurde etwas Falsches gemessen?

In Fachsprachen müssen derartige Unklarheiten durch Normierungen von Begriffen beseitigt werden. Weiterhin ist es sinnvoll, auch bewährte Regeln und Arbeitsmethoden zu normen. Durch Normung kann eine wirtschaftliche Herstellung und eine allgemeine Austauschbarkeit beispielsweise bei Reparaturen erreicht werden. Zusätzlich müssen Begriffe und Regeln von erheblicher wirtschaftlicher oder sozialer Bedeutung durch gesetzliche Regelungen allgemein verbindlich gemacht werden, z.B. für den Handel wichtige Maßeinheiten oder für die Unfallverhütung dienende Vorschriften.

In der Bundesrepublik Deutschland sind folgende Institutionen für die Normung zuständig:

- DIN** Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin
- DKE** Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE
- VDE** Verband Deutscher Elektrotechniker e.V., Frankfurt
- VDI** Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf

Diese Institutionen sind für die nationalen Normen zuständig. Im Zeitalter des offenen Handels in Europa und der ganzen Welt, reichen diese nationalen Normen jedoch nicht mehr aus. Für den internationalen Bereich gibt es weitere Normen:

- DIN-Normen** gelten in der Bundesrepublik Deutschland
- DIN-EN-Normen** sind europäische Normen und
- DIN-IEC-Normen** sind weltweite Normen.

Wie schon bereits dargestellt, ist für die Anwendung der Messtechnik eine klar definierte Fachsprache unerlässlich. Im Folgenden werden für die Messtechnik wichtige Begriffe beschrieben.

Messen

„Messen“ bedeutet der Vergleich einer physikalischen Größe, die einen unbekannten Wert aufweist, mit einem Gerät oder einer Einrichtung, welche diese physikalische Größe so genau wie erforderlich darstellt. Hierbei wird die zu messende Größe als ein Vielfaches einer Einheit oder eines Bezugswertes dargestellt. Die Messung besteht nun darin, festzustellen, um wie viel mal größer oder kleiner die reale Größe im Vergleich zu ihrer Einheit ist.

$$\text{Größe} = \text{Maßzahl} \cdot \text{Einheit}$$

(Formel 1)

Zu jedem Größensystem gehört ein Einheitensystem, das die verwendeten Größen in normierter Form darstellt.

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Beispiel:} & U & = & 50 & \cdot & V & \\ & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & \\ & \text{Spannung} & = & 50 & \cdot & 1 \text{ V} & \\ & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & \\ & \text{Größe} & = & \text{Maßzahl} & \cdot & \text{Einheit} & \end{array}$$

Um Messungen vergleichbar zu machen, wurde ein „Internationales Einheitensystem (SI = Système International d’Unités)“ eingeführt, das seit 1954 in seiner heutigen Fassung vorliegt. Hierin werden sieben Basisgrößen festgelegt, die in der folgenden Tabelle 1 aufgeführt sind:

Basisgröße		Basiseinheit	
Name	Zeichen	Name	Zeichen
Länge	l	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Stromstärke	I	Ampère	A
thermodynamische Temperatur	T	Kelvin	K
Lichtstärke	I	Candela	cd
Stoffmenge	-	Mol	mol

Tabelle 1 SI Basisgrößen mit entsprechenden Basiseinheiten

Aus diesen sieben Basiseinheiten (SI-Einheiten) werden alle anderen Einheiten abgeleitet. Die für die Elektrotechnik besonders wichtigen abgeleiteten Einheiten haben einen selbstständigen Namen erhalten. Sie sind in der folgenden Tabelle 2 aufgeführt.

Größe	Name der SI-Einheit	Kurzzeichen	Beziehung zu anderen Einheiten
Frequenz	Hertz	Hz	$1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$
Kraft	Newton	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$
Druck	Pascal	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$
Energie	Joule	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
Leistung	Watt	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J}/\text{s}$
Elektrizitätsmenge	Coulomb	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
Elektrische Spannung	Volt	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W}/\text{A}$
Elektrische Kapazität	Farad	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C}/\text{A}$
Elektrischer Widerstand	Ohm	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V}/\text{A}$
Elektrischer Leitwert	Siemens	S	$1 \text{ S} = 1/\Omega$
Magnetischer Fluss	Weber	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$
Magnetische Flussdichte	Tesla	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb}/\text{m}^2$
Induktivität	Henry	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb}/\text{A}$
Lichtstrom	Lumen	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$
Beleuchtungsstärke	Lux	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm}/\text{m}^2$

Tabelle 2 Wichtige abgeleitete Einheiten

Für den einfacheren Gebrauch der Einheiten sind Vorsätze erlaubt, die Vielfache oder Teile der Einheit angeben. Bei der Anwendung dieser Vorsätze darf jedoch nur einer genommen werden und nicht mehrere hintereinander, z.B. km aber nicht Mmm.

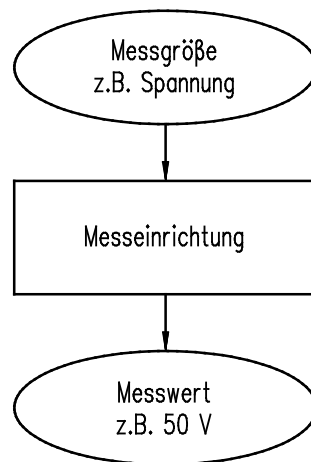
Messgröße

Unter der „Messgröße“ versteht man die physikalische Größe, deren Wert durch eine Messung ermittelt werden soll, z.B. die zu messende Spannung.

Messwert

Der „Messwert“ ist der Messgröße eindeutig zugeordnet. Der Messwert entspricht der Messgröße, besitzt jedoch eine andere physikalische Größe, so kann er z.B. auf einer Messeinrichtung angezeigt werden. Ein Messwert besitzt eine Maßzahl und eine Einheit. Er setzt sich zusammen aus dem wahren Wert, einer zufälligen Messabweichung und einer systematischen Messabweichung.

Die folgende Abbildung 1 stellt den Zusammenhang zwischen Messgröße und Messwert dar:



Die am Eingang eines Messgerätes angelegte physikalische oder technische Messgröße wird in der Messeinrichtung verarbeitet, so dass ein der Messgröße entsprechender Messwert ausgegeben werden kann.

Abbildung 1 Zusammenhang zwischen Messgröße und Messwert

Messergebnis

Unter dem „Messergebnis“ versteht man den aus einer Messung gewonnenen Wert für eine Messgröße. In einfachen Fällen kann ein berichtigter Messwert das Messergebnis sein. Die Berichtigung des Messwertes ist erforderlich, da jede Messeinrichtung Messabweichungen (Fehler) aufweist.

Messbereich

Der „Messbereich“ eines Messgerätes ist der Bereich, in dem die angezeigten Werte die Fehlergrenze nicht überschreiten. Die Messspanne reicht von einem Anfangs- bis zu einem Endwert, wobei diese beiden Eckwerte nicht immer mit dem Ende bzw. Anfang der Skala übereinstimmen. In diesen Fällen ist der Messbereich nur ein Teil des gesamten Anzeigebereiches, der auf der Skala mit zwei Punkten gekennzeichnet ist.

Die folgende Abbildung 2 stellt ein Beispiel für einen eingeschränkten Messbereich dar.

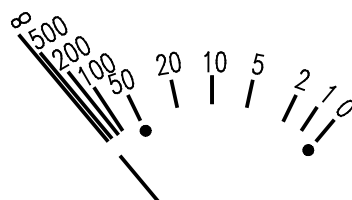


Abbildung 2 Skala mit einem eingeschränkten Messbereich

Messprinzip

Unter dem „Messprinzip“ versteht man die bei einer Messung zu Grunde liegende charakteristische physikalische Erscheinung, z.B. die Auswertung der Längenausdehnung bei der Temperaturmessung.

Messmethode

Unter einer „Messmethode“ versteht man die bei der Messung vom Messprinzip unabhängige Art des Vorgehens. Bei der Messmethode steht die physikalische Erscheinung, die der Messung zu Grunde liegt, nicht im Vordergrund, sondern die weitere Aufbereitung und anschließende Darstellung des Messwertes. Bei einer Messmethode kann es beispielsweise darauf ankommen, den Ausschlag des Drehspulinstrumentes als Messwert abzulesen, dann würde man von einer Ausschlagmethode sprechen, oder es könnte darauf ankommen, den Ausschlag des Instrumentes mithilfe eines bestimmten Einstellelementes auf Null abzugleichen, dann würde man von einer Nullabgleichmethode sprechen.

Messverfahren

Unter einem „Messverfahren“ versteht man die praktische Anwendung eines Messprinzips und der Messmethode, d.h. alle für die Gewinnung eines Messwertes notwendigen experimentellen Maßnahmen. So besteht die Möglichkeit in einem Temperaturmessverfahren ein Thermoelement und zur Messwertausgabe ein Drehspulmessinstrument nach der Ausschlagmethode einzusetzen.

Messeinrichtung

Unter dem Begriff „Messeinrichtung“ werden alle Messgeräte und zusätzliche Einrichtungen (Hilfsenergieeinrichtung, Ableselupe, Signal- u. Messleitungen, ...) zusammengefasst. Siehe hierzu auch Abbildung 3 Messeinrichtung mit Messkette.

Messkette

Unter einer „Messkette“ versteht man eine Folge von Elementen eines Messgerätes oder einer Messeinrichtung, die den Weg des Messsignals von der Aufnahme der Messgröße bis zur Bereitstellung der Ausgabe bildet. Eine Messkette ist somit der Teil einer Messeinrichtung, die für die Aufnahme, Anpassung und Ausgabe eines Messwertes dient. Zur Verdeutlichung dient die folgende Abbildung 3.

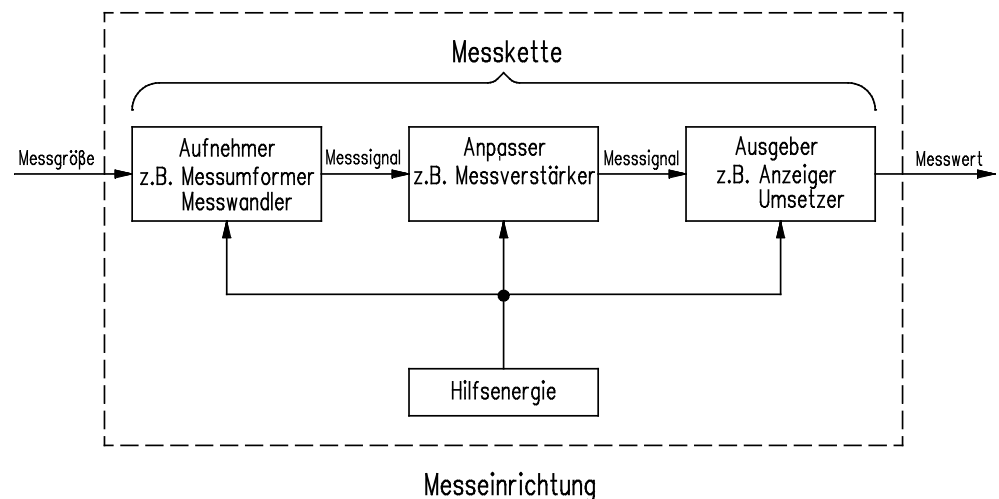


Abbildung 3 Messeinrichtung mit Messkette

Hierbei bedeuten:

Aufnehmer sind Messgeräte, die am Eingang die Messgröße aufnehmen und am Ausgang ein entsprechendes Messsignal abgeben.

Anpasser sind Messgeräte, die in der Messeinrichtung zwischen Aufnehmer und Ausgeber liegen. Sie bilden die Übertragungsstrecke.

Ausgeber sind Messgeräte, die den Messwert der gemessenen Größe ausgeben.

Normal

Unter einem „Normal“ versteht man eine Einrichtung, die einen sehr genau definierten, speziellen Wert einer Größe realisiert. Für die elektrotechnischen Einheiten Farad, Ohm, Henry, Volt und Hertz sind Normalien entwickelt worden.

Messgeräte werden mithilfe solcher Normalien geeicht. Hierunter versteht man das amtliche Eichen, bei dem die Eichbehörde die vorgeschriebenen Prüfungen an dem zu eichenden Gerät vornimmt. Sie beglaubigen die Einhaltung der Eichvorschriften und dass die Eichfehlergrenze nicht überschritten wurde. Im technischen Sprachgebrauch wird allerdings das Wort „Eichen“ auch im Sinne von „Kalibrieren“ oder „Justieren“ verwendet.

Skalensymbole

Um die wesentlichen Eigenschaften bei der Auswahl und dem Einsatz eines Messgerätes auch ohne Nachlesen der Betriebsanleitung zu erkennen, werden die wichtigsten Eigenschaften und Gebrauchsanweisungen durch Symbole auf der Skala des Messgerätes angegeben.

Die wichtigsten Skalensymbole für Messgeräte werden in der folgenden Tabelle 3 aufgeführt.


















Messwerksymbole	Zeichen	Stromart	Zeichen
Drehspulmesswerk		Gleichstrom	—
Drehpulquotientenmesswerk		Wechselstrom	~
Drehmagnetmesswerk		Gleich- und Wechselstrom	~ ~
Dreheisenmesswerk		Drehstrom	≡
Hitzdrahtmesswerk		Prüfspannung	Zeichen
Drehspulmesswerk mit Thermoumformer		Prüfspannung 500 V	☆
Elektrodynamisches Messwerk, eisenlos		Prüfspannung 2 kV	☆
Elektrodynamisches Messwerk, eisengeschlossen		Messgerät ohne Spannungsprüfung	☆
Induktionsmesswerk		Gebrauchslage	Zeichen
elektrostatisches Messwerk		senkrechte Gebrauchslage mit Angabe der zulässigen Abweichung	⊥ ±1°
Bimetallmesswerk		waagerechte Gebrauchslage	└┘
Vibrationsmesswerk		schräge Gebrauchslage mit Winkelangabe	∠60°
Zubehör	Zeichen	Allgemeine Kennzeichnung	Zeichen
Gleichrichter (zusätzlich zum Messwerksymbol)		Elektrostatische Abschirmung	⊙
Direkt geheizter und indirekt geheizter Thermoumformer		Magnetische Abschirmung	○
Elektronische Bauelemente im Messpfad (zusätzlich zum Messwerksymbol)		Zeigernullstellung	⦿
Getrennter Vorwiderstand		Frequenzbereich	20Hz...20kHz
Getrennter Nebenwiderstand		Achtung, Gebrauchsanleitung beachten	⚠
Genauigkeitsklasse	Zeichen		
Klasse 1,5 (Grundfehler 1,5 % vom Bereichsendwert)	1,5		

Tabelle 3 Skalensymbole

1.2 Messabweichungen bei Messgeräten

1.2.1 Fehlerarten

Überprüft man z.B. an einer elektronischen Schaltung die Spannung mit verschiedenen Messinstrumenten, so wird man in der Regel mit jedem Spannungsmesser einen geringfügig anderen Messwert erhalten. Selbst wenn mit dem gleichen Messgerät die Messung mehrfach wiederholt wird, werden sich beim genauen Vergleich der Messwerte Unterschiede zeigen. Auf Grund der Abweichung der Messwerte bei einer Messung ist der wahre Wert der Messgröße unbekannt. Ziel einer jeden Messung besteht jedoch darin, den wahren Wert der Messgröße zu ermitteln. Daher wird eine Messabweichung definiert.

Messabweichung: Die Messabweichung ist die Abweichung des gemessenen Wertes vom wahren Wert der Messgröße. Man unterscheidet dabei die

- a) **absolute** und die
- b) **relative** Messabweichung.

Anmerkung: In den VDE-Vorschriften wird statt Abweichung der Begriff Fehler verwendet.

Zu a) Absolute Messabweichung

Unter der „absoluten Messabweichung“ **E** versteht man die Differenz zwischen dem gemessenen Wert **M** (falscher Wert) und dem wahren Wert **X_w** (richtiger Wert). Die absolute Messabweichung hat die gleiche Einheit wie die Messgröße.

$$E = M - X_w \quad (\text{VDE:} \quad F = M - X_w) \quad (\text{Formel 2})$$

Die folgende Abbildung 4 stellt den Zusammenhang zwischen dem angezeigten Wert und der absoluten Messabweichung dar.

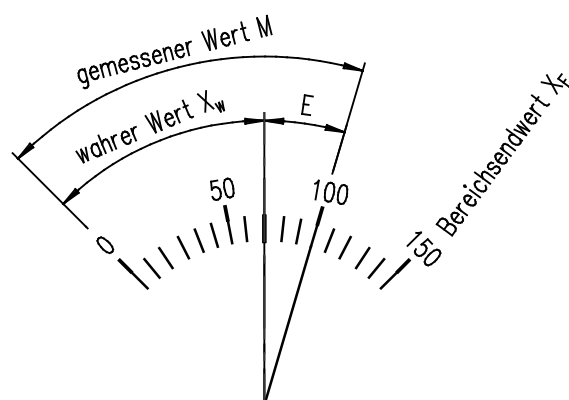


Abbildung 4 Zusammenhang zwischen dem angezeigten Wert und der absoluten Messabweichung

zu b) Relative Messabweichung

Die „relative Messabweichung“ e_r bezieht die absolute Messabweichung E des gemessenen Wertes M auf den wahren Wert X_w der Messgröße. Die relative Messabweichung hat keine Einheit.

$$e_r = \frac{M - X_w}{X_w} = \frac{E}{X_w} \quad (\text{VDE: } F_{\text{rel}} = \frac{M - X_w}{X_w} = \frac{F}{X_w}) \quad (\text{Formel 3})$$

Da der wahre Wert bei einer Messung auf Grund der Messabweichung nicht bekannt ist, kann bei kleinen absoluten Messabweichungen in einer Näherung die relative Messabweichung auf den gemessenen Wert M bezogen werden. Notwendig hierfür ist, dass $M - X_w \ll M$ ist. In der Praxis geht man davon aus, dass diese Bedingung erfüllt ist, wenn die absolute Messabweichung $E = M - X_w$ zehn mal kleiner ist, als der gemessene Wert M . Für die Näherung der relativen Messabweichung ergibt sich:

$$e_r \approx \frac{M - X_w}{M} = \frac{E}{M} \quad (\text{VDE: } F_{\text{rel}} \approx \frac{M - X_w}{M} = \frac{F}{M}) \quad (\text{Formel 4})$$

Bei Messgeräten ist es üblich die Anzeigeabweichung auf den Messbereichsendwert des Messgerätes X_E zu beziehen. Es ergibt sich für die relative Anzeigeabweichung eines Messgerätes E_A :

$$E_A = \frac{M - X_w}{X_E} = \frac{E}{X_E} \quad (\text{VDE: } F_{\text{VDE}} = \frac{M - X_w}{X_E} = \frac{F}{X_E}) \quad (\text{Formel 5})$$

Die einzelnen Messabweichungen werden häufig in Prozent angegeben. Hierbei wird die jeweilige Messabweichung mit einhundert Prozent multipliziert. Es ergeben sich folgende Gleichungen:

$$e_{r\%} = e_r \cdot 100 \% \quad (\text{Formel 6})$$

$$E_{A\%} = E_A \cdot 100 \% \quad (\text{Formel 7})$$

Lehrbeispiel 1

Mit einem Spannungsmessgerät wird bei der Messung einer Eichspannung von 15 V nur 14,8 V angezeigt.

Wie groß ist

1.1 *die absolute Messabweichung?*

1.2 *die relative Messabweichung in %?*

Lösung

Lehrbeispiel 1.1

geg.: $X_w = 15 \text{ V}$; $M = 14,8 \text{ V}$

ges.: $E = ?$

Die absolute Messabweichung ist nach Formel 2:

$$E = M - X_w$$

$$E = 14,8 \text{ V} - 15 \text{ V}$$

$$\underline{\underline{E = -0,2 \text{ V}}}$$

Antwort: Die absolute Messabweichung beträgt $E = -0,2 \text{ V}$.

Lehrbeispiel 1.2

ges.: $e_r = ?$

Für die relative Messabweichung gilt nach Formel 3:

$$e_r = \frac{E}{X_w}$$

$$e_r = \frac{-0,2 \text{ V}}{15 \text{ V}}$$

$$\underline{\underline{e_r = -0,01\overline{3}}}$$

Für die relative Messabweichung in % gilt nach Formel 6:

$$e_{r\%} = e_r \cdot 100 \%$$

$$e_{r\%} = -0,01\overline{3} \cdot 100 \%$$

$$\underline{\underline{e_{r\%} = -1,33 \%$$

Antwort: Die relative Messabweichung beträgt $e_{r\%} = -1,33 \%$ vom wahren Wert.

Lehrbeispiel 2

Ein Strommessgerät mit der Genauigkeit von 1,5 % bezogen auf den Messbereichsendwert und dem Messbereich 150 mA zeigt 95 mA an.

2.1 Zwischen welchen Werten darf der wahre Stromwert liegen?

2.2 Wie groß kann die relative Messabweichung betragsmäßig maximal sein?

Lösung**Lehrbeispiel 2.1**

geg.: $E_{A\%} = \pm 1,5 \%$; $X_E = 150 \text{ mA}$; $M = 95 \text{ mA}$

ges.: $X_{W \max} = ?$; $X_{W \min} = ?$

Für die relative Messabweichung in % bezogen auf den Messbereichsendwert gilt nach Formel 7:

$$E_{A\%} = E_A \cdot 100 \%$$

mit:

$$E_A = \frac{M - X_W}{X_E}$$

$$E_{A\%} = \frac{M - X_W}{X_E} \cdot 100 \%$$

umgestellt nach X_W :

$$X_W = M - \frac{E_{A\%}}{100 \%} \cdot X_E$$

I. $E_{A\%} = + 1,5 \%$

$$X_{W \min} = M - \frac{E_{A\%}}{100 \%} \cdot X_E$$

$$X_{W \min} = 95 \text{ mA} - \frac{1,5 \%}{100 \%} \cdot 150 \text{ mA}$$

$$\underline{\underline{X_{W \min} = 92,75 \text{ mA}}}$$

II. $E_{A\%} = -1,5 \%$

$$X_{W \max} = M - \frac{E_{A\%}}{100 \%} \cdot X_E$$

$$X_{W \max} = 95 \text{ mA} - \frac{-1,5 \%}{100 \%} \cdot 150 \text{ mA}$$

$$\underline{\underline{X_{W \max} = 97,25 \text{ mA}}}$$

Antwort: Der wahre Stromwert liegt zwischen 92,75 mA und 97,25 mA.
Kurzschreibweise: $U = 95 \text{ mA} \pm 2,25 \text{ mA}$

Lehrbeispiel 2.2

ges: $e_{r \max} = ?$

Nach Formel 5 gilt für die relative Messabweichung:

$$E_A = \frac{E}{X_E} \quad \Leftrightarrow \quad E = E_A \cdot X_E$$

mit Formel 7:
$$E_A = \frac{E_{A\%}}{100 \%}$$

$$E = \frac{E_{A\%}}{100 \%} \cdot X_E$$

$$E = \frac{\pm 1,5 \%}{100 \%} \cdot 150 \text{mA}$$

$$\underline{\underline{E = \pm 2,25 \text{mA}}}$$

mit Formel 3:
$$e_r = \frac{E}{X_W}$$

I. $E_{A\%} = 1,5 \% \quad \Rightarrow \quad E_{A1} = 2,25 \text{ mA}$

$$X_{W \min} = 92,75 \text{ mA}$$

$$e_{r_1} = \frac{2,25 \text{ mA}}{92,75 \text{ mA}}$$

$$e_{r_1} = 0,0243 \quad \Rightarrow \quad \underline{\underline{e_{r\%_1} = 2,43 \%}}$$

II. $E_{A\%} = -1,5 \% \quad \Rightarrow \quad E_{A2} = -2,25 \text{ mA}$

$$X_{W \max} = 97,25 \text{ mA}$$

$$e_{r_2} = \frac{-2,25 \text{ mA}}{97,25 \text{ mA}}$$

$$e_{r_2} = -0,0231 \quad \Rightarrow \quad \underline{\underline{e_{r\%_2} = -2,31 \%}}$$

Antwort: Die relative Messabweichung kann betragsmäßig maximal $e_{r\%_2} = 2,43 \%$ betragen.

Lehrbeispiel 3

Zur Messung einer Spannung von 4,5 V stehen zwei Messgeräte

- a:** $X_E = 6 \text{ V}$ und der Genauigkeit von 2,5 % bezogen auf den Messbereichsendwert und
b: $X_E = 100 \text{ V}$ und der Genauigkeit von 0,2 % bezogen auf den Messbereichsendwert zur Verfügung.

Welches Messgerät liefert das genauere Ergebnis?

Lösung

geg.: $M = 4,5 \text{ V}$; **a:** $X_E = 6 \text{ V}$; $E_{A\%} = \pm 2,5 \%$
 b: $X_E = 100 \text{ V}$; $E_{A\%} = \pm 0,2 \%$

ges.: $E = ?$

Für die relative Messabweichung bezogen auf den Messbereichsendwert gilt nach Formel 5:

$$E_A = \frac{E}{X_E} \Leftrightarrow E = E_A \cdot X_E \quad \text{und mit Formel 7:} \quad E_A = \frac{E_{A\%}}{100 \%}$$

$$\Rightarrow E = \frac{E_{A\%}}{100 \%} \cdot X_E$$

Messgerät a:

$$X_E = 6 \text{ V}; \quad E_{A\%} = \pm 2,5 \%$$

$$E = \frac{E_{A\%}}{100 \%} \cdot X_E$$

$$E = \frac{\pm 2,5 \%}{100 \%} \cdot 6 \text{ V}$$

$$\underline{\underline{E = \pm 0,15 \text{ V}}}$$

Messgerät b)

$$X_E = 100 \text{ V}; \quad E_{A\%} = \pm 0,2 \%$$

$$E = \frac{E_{A\%}}{100 \%} \cdot X_E$$

$$E = \frac{\pm 0,2 \%}{100 \%} \cdot 100 \text{ V}$$

$$\underline{\underline{E = \pm 0,2 \text{ V}}}$$

Antwort: Das Messgerät a: mit der schlechteren Genauigkeitsklasse von $\pm 2,5 \%$ liefert das genauere Ergebnis.

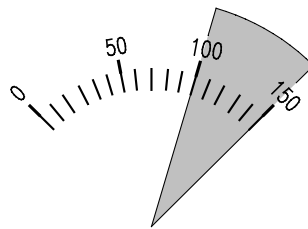


Abbildung 5 Günstiger Messbereich

Das Lehrbeispiel 3 zeigt:

Bei Messungen soll der Messbereich immer so gewählt werden, dass der Messwert im oberen Drittel des Anzeigebereiches liegt. So ist die relative Messabweichung geringer.

Bisher wurden die absolute und relative Messabweichung betrachtet. Mithilfe dieser Einteilung konnten die Messabweichungen größenmäßig beschrieben werden. Diese Unterteilung gibt jedoch keinen Aufschluss über die Art und das Auftreten der Messabweichung. So werden die Messabweichungen in die

- a) **systematischen** und
- b) **zufälligen**

Messabweichungen unterteilt.

Die vorher aufgeführte größenmäßige Beschreibung mithilfe der absoluten und relativen Messabweichung ist weiterhin für die zufälligen und systematischen Messabweichungen gültig.

- a) **Systematische** Messabweichungen werden durch eine gleich bleibende Unvollkommenheit der Messgeräte und Messverfahren hervorgerufen. Sie treten unter gleichen Messbedingungen immer mit dem gleichen Betrag und dem gleichen Vorzeichen auf. Bei Wiederholung des Messvorganges sind sie stets gleich groß, somit vorhersehbar und lassen sich durch Korrekturen beseitigen.

Hat z.B. das Messgerät einen bestimmten Temperaturgang, wird der Messwert bei unterschiedlichen Temperaturen verfälscht. Sind diese Abweichungen bei den unterschiedlichen Temperaturen bekannt, können die Messwerte korrigiert werden.

- b) **Zufällige** Messabweichungen entstehen durch unvorhersehbare Änderungen an den Messgeräten, z.B. durch die Umwelt und durch den Beobachter. Sie sind bei jeder Messung nach Größe und Vorzeichen verschieden und somit nicht korrigierbar. Ihr Einfluss lässt sich aber durch mehrfache Wiederholung der Messung und durch Mittelwertbildung vermindern.

Zufällige Messabweichungen können z.B. durch Reibung in den Lagern bei einem Zeigerinstrument entstehen.

Die Tabelle 4 gibt einen Überblick über die wichtigsten Gründe für Messabweichungen.

Messabweichung	
systematische Messabweichung	zufällige Messabweichung
↓	↓
<ul style="list-style-type: none"> • Gerätefehler • Verfahrensfehler • erfassbare Umwelteinflüsse 	<ul style="list-style-type: none"> • Ablesefehler • Fremdsignaleinstreuungen • nicht erfassbare Umwelteinflüsse • schlechte Kontakte • Reibung

Tabelle 4 Gründe für Messabweichungen

Die „Messabweichung“ wurde früher „Fehler“ genannt. Mit der Ausgabe der DIN 1319-3 vom Januar 1983 wird das Wort „Fehler“ nicht mehr verwendet, da diesem Wort im deutschen Sprachgebrauch weitgehend die Bedeutung eines nicht tolerierbaren Schadens zugeordnet wird. In der Messtechnik ist eine Messabweichung jedoch zulässig und tolerierbar, sofern sie bekannt ist.

In der Ausgabe VDE 2820 wird nach wie vor der Begriff Fehler statt Abweichung verwendet. Nach DIN 1319-3 ist der Begriff Fehler auch für festgestellte systematische Abweichung bei Messgeräten zulässig.

1.2.2 Fehlergrenzen

Um die Messabweichungen verschiedener Messgeräte beurteilen zu können, geben die Hersteller Garantiefehlergrenzen an, die die maximal zulässige Messabweichung unter bestimmten Betriebsbedingungen kennzeichnen (VDE 0410).

Beispiele für Betriebsbedingungen sind:

- Referenztemperatur: z.B. 23 °C ±10 °C
- Referenzlage: z.B. waagrecht ±5°
- Referenzfrequenz: z.B. 50 Hz ±10 %
- Referenzspannung: 10 V ±1,5 %

Die Garantiemessabweichung eines Messgeräts $E_{A\%}$ (in der Literatur wird die Garantiefehlerabweichung auch vereinzelt mit G bezeichnet) ist die absolute Messabweichung E die auf den Messbereichsendwert X_E bezogen wird. Es handelt sich um einseitige (+ oder –) oder zweiseitige (±) Messabweichungen, die in Prozent angegeben werden. Es gilt:

$$E_{A\%} = \frac{E}{X_E} \cdot 100 \% \quad (\text{Formel 8})$$

Da der Bereichsendwert eine feste Größe ist, lässt sich aus Formel 8 der absolute Fehler innerhalb des Messbereichs bestimmen:

$$E = \frac{E_{A\%}}{100 \%} \cdot X_E \quad (\text{Formel 9})$$

Messgeräte werden entsprechend ihrer Garantiefehlergrenzen in Genauigkeitsklassen eingeteilt. So gehört ein Gerät mit den Garantiefehlergrenzen ±1,5 % zur Klasse 1,5.

Nach dem Verwendungszweck unterscheidet man Feinmessgeräte für erhöhte Genauigkeitsanforderungen und Betriebsmessgeräte. Die folgende Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die Genauigkeitsklassen nach VDE 0410.

	Klassenzeichen	zulässige Anzeigeabweichung
Feinmessinstrumente	0,1	$\pm 0,1 \%$
	0,2	$\pm 0,2 \%$
	0,5	$\pm 0,5 \%$
Betriebsinstrumente	1	$\pm 1 \%$
	1,5	$\pm 1,5 \%$
	2,5	$\pm 2,5 \%$
	5	$\pm 5 \%$

Tabelle 5 Einteilung der Genauigkeitsklassen bei Messgeräten

Bei digitalen Messinstrumenten kommt die Quantisierungsabweichung von 1 Digit als zusätzlicher Fehler zu der Fehlerklasse des Messgerätes hinzu. Diese Quantisierungsabweichung ist wie die absolute Messabweichung unabhängig vom Messwert und wirkt sich deshalb auf kleine Messwerte besonders stark aus. Deshalb sollten auch Digitalmessgeräte im oberen Drittel des Messbereiches verwendet werden. Bei einer Anzeige z.B. 0 ... 9, also 10 Bereiche oder Digit, ist die Abweichung $1/10 = 10 \%$. Bei einer Anzeige hingegen von 0 ... 999 ist die Abweichung von 1 Digit $0,1 \%$.

Bei Digitalmessgeräten sind neben der Angabe der Abweichungen vom Messbereichsendwert (Güteklasse) zusätzliche Angaben über Messabweichungen notwendig. In der Praxis werden verschiedene Angaben gemacht. Da die Bezeichnung der Messabweichungen bei Digitalmessgeräten nicht genormt ist, stellt das folgende Beispiel die am häufigsten gemachten Angaben dar:

$$E_{\max} = \pm(0,1\% \text{ v.A.} + 0,1\% \text{ v.E.} + 1 \text{ Digit}) \quad (\text{Formel 10})$$

Dabei bedeutet: v.A. : von der Ablesung (Messwert M)
v.E. : vom Messbereichsendwert
1 Digit : Quantisierungsabweichung als Abweichung der letzten Stelle
Allgemein : $E_{\max} = \pm(e_{r\%} \text{ v.A.} + e_{r\%} \text{ v.E.} + n \text{ Digit})$

Die 1. Angabe der Messabweichung wird hauptsächlich durch Linearitätsabweichungen der mittleren Steigung der Kennlinie verursacht. Der 2. Beitrag wird vorwiegend durch die fehlerbehaftete Nullpunkteinstellung hervorgerufen. Die 3. Angabe bezieht sich auf die Quantisierungsabweichung, die durch das elektronische Verfahren der A/D-Umsetzung erzeugt wird. Sie kann bis auf $\pm \frac{1}{2}$ Digit reduziert werden.

Bei der Angabe der Gerätespezifikation wird häufig die 2. und 3. Angabe der Messabweichung zu einem resultierenden Messabweichungsgrenzbeitrag zusammengefasst. Hierbei wird entweder die 2. Angabe in Digit oder die 3. Angabe in % v.E. umgerechnet.

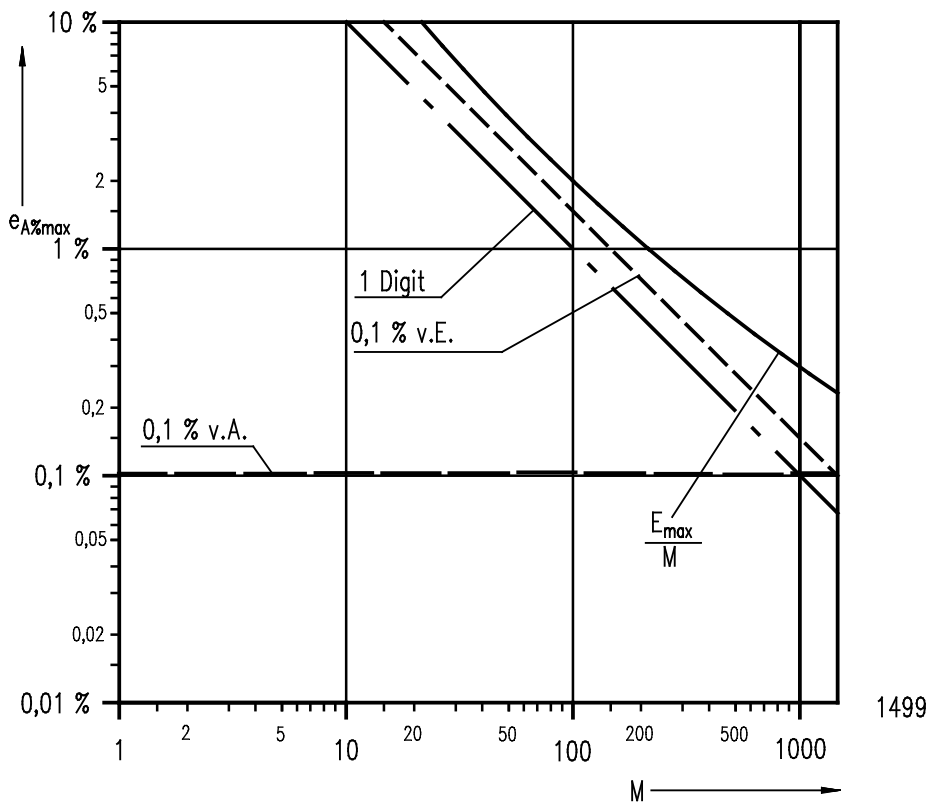


Abbildung 6 Anzeigenbezogene Messabweichung eines Digitalmessgerätes

Die Abbildung 6 stellt die Auswirkung der Messabweichungsgrenzen bei einem Digitalmessgerät mit dem Ziffernbereich von 0000 bis 1499 dar. Hierbei wird der Betrag der anzeigebezogenen relativen Fehlergrenze $e_{A\%} \approx E/M$ ausgerechnet und über der Anzeige M aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass auch bei Digitalmessgeräten im oberen Drittel des Messbereiches gemessen werden soll, damit die relative Messabweichung klein ist.

Die folgende Tabelle zeigt die Auflösung eines Digitalmultimeters in Abhängigkeit von der Stellenanzahl des Multimeters.

Stellen	Digits
3	1000
3½	2000
3¾	4000
4	10000
4½	20000
4¾	40000

Lehrbeispiel

Mit einem Messgerät, dass folgende Gerätespezifikation besitzt, wird im Messbereich bis 40 V eine Gleichspannung von 16,3 V angezeigt. Das Messgerät hat eine Anzeige von 0000 bis 3999.

Wie groß ist die maximal auftretbare absolute Messabweichung?

Technische Daten	
DC Volt Bereiche: Genauigkeit:	400 mV, 4 V, 40 V, 400 V, 1000 V $\pm (0,3 \% \text{ v. MW} + 2 \text{ Digits})$ für 400 mV $\pm (0,1 \% \text{ v. MW} + 2 \text{ Digits})$ für 4 V-1000 V
AC Volt Bereiche: Genauigkeit:	4 V, 40 V, 400 V, 750 V $\pm (0,5 \% \text{ v. MW} + 5 \text{ Digits})$ 50-60 Hz $\pm (1,0 \% \text{ v. MW} + 5 \text{ Digits})$ 40 Hz-1 kHz
DC Amp. Bereiche: Genauigkeit:	4 mA, 40 mA, 400 mA, 10 A $\pm (0,4 \% \text{ v. MW} + 2 \text{ Digits})$ für 4-400 mA $\pm (0,8 \% \text{ v. MW} + 4 \text{ Digits})$ für 10 A (geschützt)
AC Amp. Bereiche: Genauigkeit:	4 mA, 40 mA, 400 mA, 10 A $\pm (0,6 \% \text{ v. MW} + 5 \text{ Digits})$ für 4-400 mA $\pm (1,0 \% \text{ v. MW} + 5 \text{ Digits})$ für 10 A (geschützt)
Widerstand Bereiche: Genauigkeit:	400 Ω , 4 k Ω , 40 k Ω , 400 k Ω , 4 M Ω , 40 M Ω $\pm (0,4 \% \text{ v. MW} + 4 \text{ Digits})$ für 400 Ω $\pm (0,4 \% \text{ v. MW} + 2 \text{ Digits})$ für 4-400 k Ω $\pm (0,6 \% \text{ v. MW} + 3 \text{ Digits})$ für 4 M Ω $\pm (1,5 \% \text{ v. MW} + 5 \text{ Digits})$ für 40 M Ω
Kapazität Bereiche: Genauigkeit:	4 nF, 40 nF, 400 nF, 4 μ F, 40 μ F $\pm (1,0 \% \text{ v. MW} + 4 \text{ Digits})$ für 0-20 μ F $\pm (5,0 \% \text{ v. MW} + 8 \text{ Digits})$ für > 20 μ F
Frequenz Bereiche: Genauigkeit: Adapter Anzeige: Genauigkeit: Dioden, Teststrom: Durchgangstest, Mittelwert: Speisung: Abmessungen: Gewicht:	100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz $\pm (0,1 \% \text{ v. MW} + 4 \text{ Digits})$ 10er Wert für 1 mV $\pm (0,3 \% \text{ v. MW} \pm 4 \text{ Digits})$ 0,6 mA ca. 40 Ω 2 x AAA Micro Batterien 185 x 86 x 32 mm 370 g

Lösung

Messbereich: 0 ... 40 V \Rightarrow Genauigkeit $\pm(0,1 \% \text{ v. MW.} + 2 \text{ Digit})$

1. Berechnung der absoluten Messabweichung bedingt durch die Genauigkeit $\pm 0,1 \%$ vom Messwert:

geg.: $e_{r\%} = \pm 0,1 \%$; $M = 16,3 \text{ V}$

ges.: $E_1 = ?$

$$E_1 = \frac{e_{r\%}}{100 \%} \cdot M$$

$$E_1 = \frac{\pm 0,1 \%}{100 \%} \cdot 16,3 \text{ V}$$

$$E_1 = 16,3 \text{ mV}$$

2. Berechnung der absoluten Messabweichung bedingt durch die Genauigkeit ± 2 Digit:

geg.: $e_{Q\%} = \pm 2$ Digit ; $N = 4.000$; $M = 16,3 \text{ V}$

ges.: $E_2 = ?$

$$\Delta U = \frac{40 \text{ V}}{4000 \text{ Stufen}} = 0,01 \text{ V}$$

Eine Abweichung von ± 2 Digit entspricht, bezogen auf den Messbereichsendwert, eine Messabweichung von $E_2 = \pm 20 \text{ mV}$.

Die maximale Gesamtmessabweichung errechnet sich aus der Summe der Beträge der Einzelmessabweichungen.

$$E_{\text{ges}} = \pm (| E_1 | + | E_2 |)$$

$$E_{\text{ges}} = \pm (| 16,3 \text{ mV} | + | 20 \text{ mV} |)$$

$$E_{\text{ges}} = \pm 36,3 \text{ mV}$$

Die maximale auftretende absolute Messabweichung beträgt $E_{\text{ges}} = \pm 36,3 \text{ mV}$.

Aufgaben
Aufgabe 1

Ein Spannungsmesser zeigt an einer Eichspannungsquelle von 1 V eine Spannung von 1,015 V an.

1.1 Ermitteln Sie die absolute Messabweichung E_U des Spannungsmessers!

1.2 Ermitteln Sie die relative Messabweichung e_r % des Spannungsmessers in Prozent!

Aufgabe 2

Ein Elektrizitätszähler zeigt einen Energiebezug von 750 kWh an. Bei einer Überprüfung des Zählers wird eine Messabweichung von 1,4 % festgestellt.

Ermitteln Sie die wirklich gelieferte Energiemenge!

Aufgabe 3

Zur Messung eines Stromes von 280 μA stehen ein analoges und ein digitales Multimeter zur Verfügung.

Die Messgeräte haben folgende Kenndaten:

Analog:	Klasse 1,5	MBE 300 μA
Digital:	$E = \pm (0,8 \% \text{ v. Mw.} + 1 \text{ Digit})$	MBE 2 mA, 1 Digit = 1 μA

Stellen Sie fest, welches der beiden Messgeräte zur Messung des Stromes verwendet werden sollte, wenn die Messabweichung möglichst klein sein soll!

2 Messen mit analogen Messgeräten

Lernbereich

2.1 Drehspulmessgerät

Analoge Messgeräte werden heutzutage vor allem dann eingesetzt, wenn nicht nur der Spannungs- oder Stromwert eines Messsignals zu bestimmen ist, sondern auch das zeitliche Verhalten des Messsignals interpretiert werden muss. In der folgenden Abbildung ist der prinzipielle Aufbau eines Drehspulmessgerätes mit DC- (Gleichspannung/-strom) und AC- (Wechselspannung/-strom) Messbereichen abgebildet.

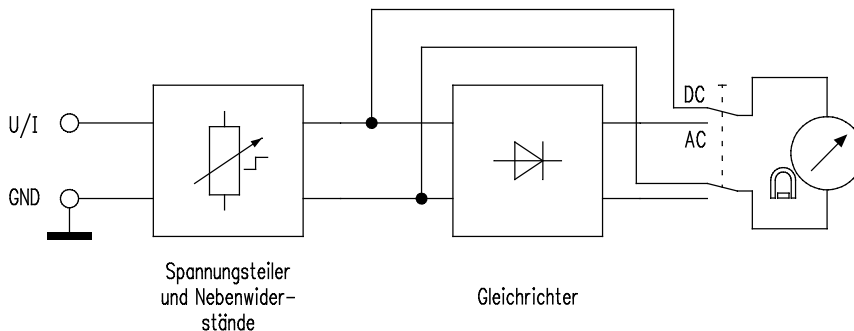


Abbildung 7 Vielfachmessgerät mit Drehspulmesswerk

Es besteht im Wesentlichen aus drei Baugruppen. Als anzeigendes Element wird bei diesem Messgerät ein Drehspulmesswerk verwendet. Seine Eigenschaften bestimmen maßgeblich den prinzipiellen Aufbau des Messgerätes.

Drehspulmesswerk

Das Funktionsprinzip des Drehspulmesswerkes beruht auf der Kraftwirkung einer stromdurchflossenen beweglichen Leiterschleife oder Spule in einem konstanten Magnetfeld. Der Prinzipaufbau ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

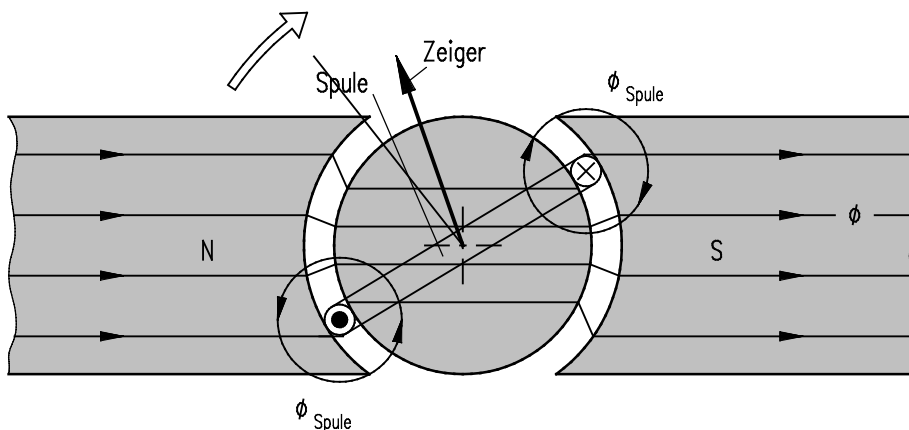


Abbildung 8 Prinzipaufbau eines Drehspulmesswerkes

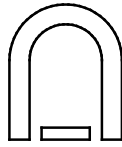


Abbildung 9 Symbol Drehspulmesswerk

Auf der Anzeige eines Messgerätes, das ein Drehspulmesswerk als Messwerk besitzt, wird nebenstehendes Sinnbild aufgedruckt.

Auf Grund der physikalischen Zusammenhänge ist der Zeigerausschlag proportional zum Strom: $\alpha \sim I$. Das heißt, der Zeigerausschlag zeigt neben der Stromstärke auch die Stromrichtung an und das Messwerk besitzt eine lineare Skala, siehe Abbildung 10.

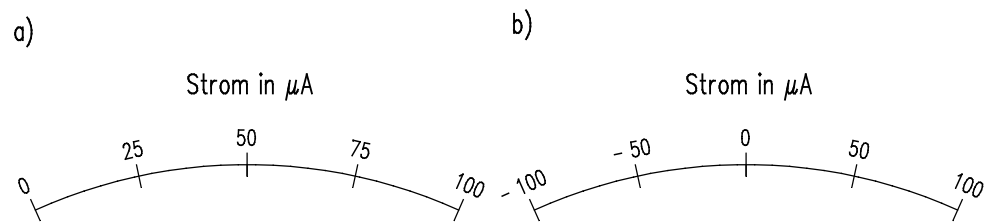


Abbildung 10 Lineare Stromskala des Drehspulmesswerkes

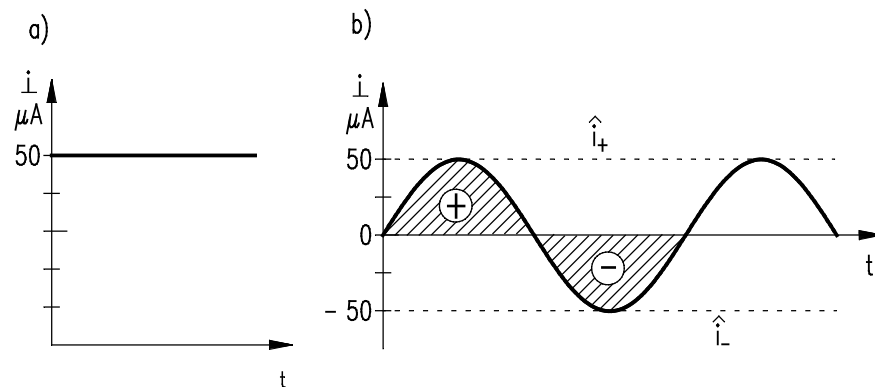


Abbildung 11 Gleichstrom und Wechselstrom

Wird das Messwerk von dem Gleichstrom aus Abbildung 11a durchflossen, stellt sich ein konstanter Ausschlag auf den Skalen von Abbildung 10 von 50 μA ein. Fließt durch das Messwerk der sinusförmige Strom aus Abbildung 11b, so pendelt der Zeiger auf der Skala von Abbildung 10b bei sehr niedrigen Frequenzen zwischen +50 μA und -50 μA hin und her. Er folgt dem Momentanwert des Stromes und der Richtung. Bei Frequenzen $> 25 \text{ Hz}$ kann der Zeiger der Stromänderung und der Stromrichtungsänderung auf Grund der Trägheit des Messwerkes nicht mehr folgen. Da die positiven und negativen Flächenanteile des Verlaufes innerhalb einer Periode gleich groß sind, liegt ein Wechselstrom vor: $|A_+| = |A_-|$. Auf der Skala des Messwerkes liest man 0 μA ab, den **arithmetischen Mittelwert** \bar{i} des fließenden Stromes.

Lehrbeispiel

Welchen Spannungswert zeigt ein Drehspulmessgerät bei dem in Abbildung 12a dargestellten Spannungsverlauf an, wenn ein DC-Spannungsmessbereich eingestellt ist?

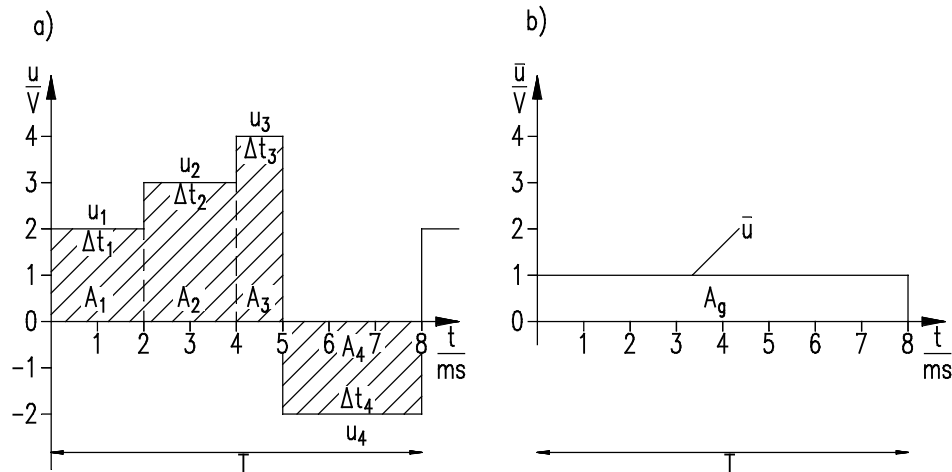


Abbildung 12 Bestimmung des arithmetischen Mittelwertes

Lösung

Der Spannungsverlauf einer Periode wird zunächst in einzelne berechenbare Flächenanteile (hier: A_1 , A_2 , A_3 , A_4) zerlegt. Die Gesamtfläche unter der Kurve entspricht der Fläche unter dem Gleichspannungsverlauf, s. Abbildung 12b. Es gilt:

$$A_g = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

Aus der Abbildung 12b kann man für A_g entnehmen: $A_g = \bar{u} \cdot T$

$$\Rightarrow \bar{u} \cdot T = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$\Rightarrow \bar{u} = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}{T} = \frac{u_1 \cdot \Delta t_1 + u_2 \cdot \Delta t_2 + u_3 \cdot \Delta t_3 + u_4 \cdot \Delta t_4}{T}$$

Im Fall des abgebildeten Kurvenverlaufes berechnet sich der Mittelwert zu:

$$\bar{u} = \frac{2 \text{ V} \cdot 2 \text{ ms} + 3 \text{ V} \cdot 2 \text{ ms} + 4 \text{ V} \cdot 1 \text{ ms} + (-2 \text{ V}) \cdot 3 \text{ ms}}{8 \text{ ms}} = \frac{8 \text{ Vms}}{8 \text{ ms}} = 1 \text{ V}$$

Das Drehspulmessgerät zeigt den Wert des Gleichspannungsanteils von 1 V an.

Aus dem Lehrbeispiel können folgende Formeln zur Berechnung des angezeigten arithmetischen Mittelwertes einer Spannung bzw. eines Stromes in den DC-Messbereichen abgeleitet werden:

$$\bar{u} = \frac{A_1 + \dots + A_n}{T} = \frac{u_1 \cdot \Delta t_1 + \dots + u_n \cdot \Delta t_n}{T} \quad (\text{Formel 11})$$

$$\bar{i} = \frac{A_1 + \dots + A_n}{T} = \frac{i_1 \cdot \Delta t_1 + \dots + i_n \cdot \Delta t_n}{T} \quad (\text{Formel 12})$$

Gleichrichter (AC-Messbereiche)

Neben der Messung von Gleichspannungs- und Gleichstromwerten sind häufig Effektivwerte von Spannung und Strom zu ermitteln. Möchte man z.B. die Scheinleistung eines Wechselstrommotors bestimmen, $S = U \cdot I$, so muss der Effektivwert der Motorspannung und der Effektivwert des Motorstromes gemessen werden.

Das Drehspulmesswerk zeigt auf Grund seiner Arbeitsweise den arithmetischen Mittelwert von Wechselspannung und -strom an: 0 V bzw. 0 A. Nur durch eine Beschaltung des Drehspulmesswerkes mit einem Gleichrichter kann über die Zwischengröße Gleichrichtwert der Effektivwert ermittelt werden. In Abbildung 13 ist das Beispiel einer Brückengleichrichtung dargestellt.

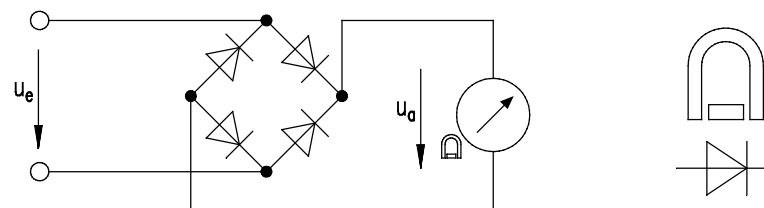


Abbildung 13 Drehspulmesswerk mit Brückengleichrichtung und Messgerätesymbol

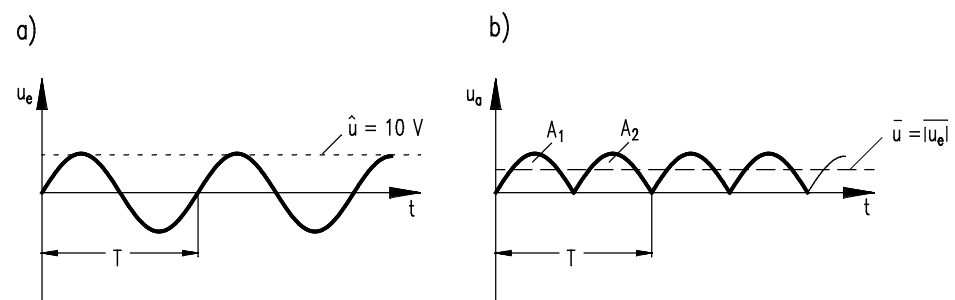


Abbildung 14 Spannungsverläufe in den AC-Messbereichen

Am Eingang der Schaltung (Abbildung 13) liegt die Spannung u_e , Abbildung 14a, an. Mittels des Gleichrichters wird die Spannung in eine pulsierende Gleichspannung, Abbildung 14b, umgeformt. Das Messwerk zeigt dann den arithmetischen Mittelwert von u_a , auch Gleichrichtwert $\overline{|u_e|}$ genannt, dieser Spannung an.

Die Fläche unter einer Halbwelle beträgt, ideale Dioden vorausgesetzt:

$$A_1 = A_2 = \frac{\hat{u}_e}{\pi} \cdot T = \frac{\hat{u}_a}{\pi} \cdot T$$

Der angezeigte Gleichrichtwert kann mit $\overline{|u_e|} = \frac{A_1 + A_2}{T}$ zu

$$\Rightarrow \overline{|u_e|} = \frac{2 \cdot \hat{u}_e}{\pi} = \frac{2 \cdot 10 \text{ V}}{\pi} = 6,37 \text{ V}$$

bestimmt werden. Da aber der Effektivwert der Eingangsspannung gesucht ist, muss ein Zusammenhang zwischen dem angezeigten Gleichrichtwert und dem gesuchten Effektivwert hergestellt werden. Für **sinusförmige Spannungen** gilt:

$$\hat{u}_e = \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}}$$

$$\Rightarrow \overline{|u_e|} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\text{eff}}}{\pi} = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{\text{eff}}$$

Die Formel zeigt, dass zwischen dem Effektivwert der Messspannung und dem Gleichrichtwert ein konstanter Umrechnungsfaktor vorhanden ist: $\frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} = 0,9$. Der angezeigte Gleichrichtwert beträgt also das 0,9fache des Effektivwertes.

Für den Effektivwert erhält man:

$$U_{\text{eff}} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \overline{|u_e|} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot 6,37 \text{ V} = 7,07 \text{ V}$$

Der konstante Faktor $\frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}}$ wird als Formfaktor F bezeichnet.

$$U_{\text{eff}} = F \cdot \overline{|u_e|} \quad \text{mit} \quad F = 1,11 \text{ (Brückengleichrichtung)}$$

Auf der Skala des Messgerätes liest man bei einem Gleichrichtwert von 6,37 V einen Effektivwert von 7,07 V ab. Damit der Effektivwert von 7,07 V direkt abgelesen werden kann, wird der Formfaktor durch eine Kalibrierung des Messgerätes berücksichtigt. In Abbildung 15 ist das Beispiel einer entsprechenden Skalenbeschriftung wiedergegeben.

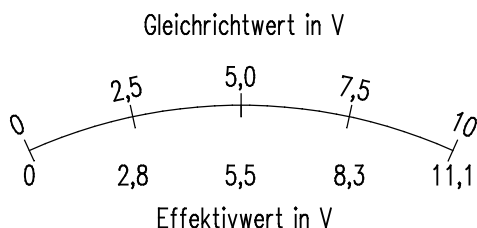


Abbildung 15 Kalibrierung des Messgerätes

Diese Skalenbeschriftung für $F = 1,11$ gilt **nur** für sinusförmige Spannungen bzw. Ströme!

Spannungsteiler und Nebenwiderstände

Zur Messbereichserweiterung bei den Strommessern wird parallel zum Messwerk ein **Nebenwiderstand** R_P (Shunt) geschaltet. Der Nebenwiderstand leitet den überschüssigen Strom I_P am Messwerk vorbei. Der Strom I_P ist um den zum Vollausschlag nötigen Messwerkstrom I_M kleiner als der zu messende Strom I . Auf Grund der Parallelschaltung liegt die gleiche Spannung am Nebenwiderstand wie auch am Messwerk. Die nächste Abbildung zeigt die Prinzipschaltung zur Messbereichserweiterung durch einen Nebenwiderstand.

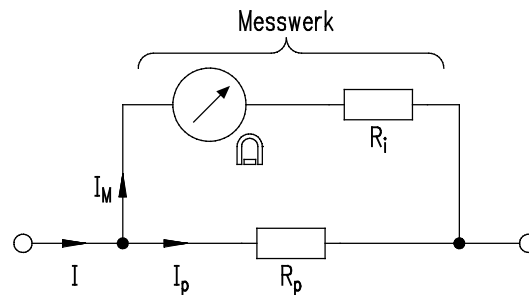


Abbildung 16 Prinzip der Messbereichserweiterung

Wie man aus Abbildung 16 erkennt, wird mithilfe eines Stromteilers der zu messende hohe Strom heruntergeteilt. Parallel zum Nebenwiderstand R_P wird der Innenwiderstand R_i des Messwerkes eingesetzt. Bei maximal zu messenden Strom I darf der Strom durch den Innenwiderstand des Messwerkes jedoch nur so groß sein, wie das Messwerk für den Maximalausschlag (I_M) benötigt. Aus diesem Zusammenhang ergibt sich für den Parallelwiderstand R_P :

$$R_P = R_i \cdot \frac{I_M}{I - I_M}$$

Lehrbeispiel 2

Ein Drehspulmesswerk mit den Kenndaten $R_i = 1 \text{ k}\Omega$ und $I_M = 100 \text{ }\mu\text{A}$ soll zur Messung eines maximalen Stromes von 1 mA eingesetzt werden.

Dimensionieren Sie den Parallelwiderstand R_P !

Lösung

$$R_P = R_i \cdot \frac{I_M}{I - I_M} = 1 \text{ k}\Omega \cdot \frac{100 \text{ }\mu\text{A}}{1 \text{ mA} - 100 \text{ }\mu\text{A}} = 111,11 \Omega$$

Um höhere Spannungen mit dem empfindlichen Messwerk messen zu können, muss durch einen Spannungsteiler die Messgröße auf einen, mit dem eingesetzten Messwerk messbaren Wert herabgesetzt werden. Die folgende Abbildung zeigt das Grundprinzip der Messbereichserweiterung für die Spannungsmessung.

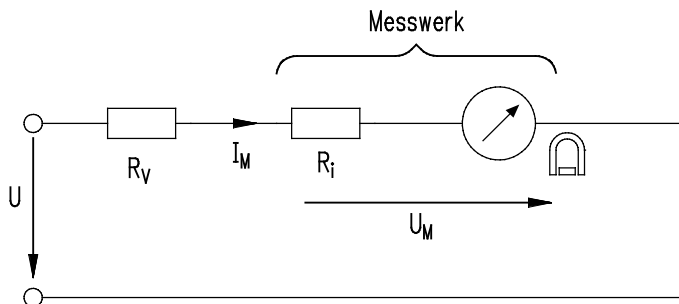


Abbildung 17 Grundprinzip der Messbereichserweiterung für die Spannungsmessung

Wie man aus Abbildung 17 erkennt, wird mithilfe eines **Spannungsteilers** (R_V) die zu messende hohe Spannung heruntergeteilt. Als zweiter Widerstand der Reihenschaltung wird der Innenwiderstand R_i des Messwerkes eingesetzt. An ihm darf bei maximal zu messender Spannung U jedoch nur eine so große Spannung U_M abfallen, wie das Messwerk für den Maximalausschlag benötigt. Aus diesem Zusammenhang ergibt sich für den Vorwiderstand:

$$R_V = \frac{U - U_M}{I_M}$$

Nachteil dieser Schaltung ist der relativ niedrige Eingangswiderstand der Messschaltung, einige $k\Omega$, in den Spannungsmessbereichen. Viele analoge Messgeräte weisen daher noch eine vierte Baugruppe auf, den Messverstärker. Durch ihn werden Eingangswiderstände von $10\text{ M}\Omega$ in den Spannungsmessbereichen möglich.

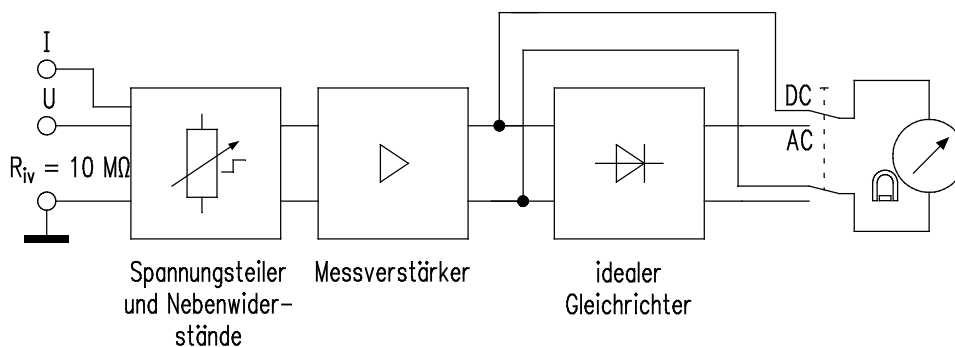
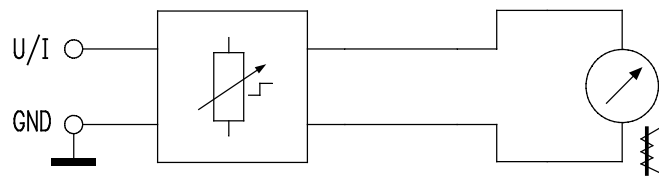


Abbildung 18 Vielfachmessgerät mit hohem Eingangswiderstand

2.2 Dreheisenmessgerät

Neben Drehspulmessgeräten werden auch Dreheisenmessgeräte zur Gleichspannungs-/Gleichstrommessung und Wechselspannungs-/Wechselstrommessung eingesetzt.

Die folgende Abbildung zeigt den prinzipiellen Aufbau eines derartigen Messgerätes.

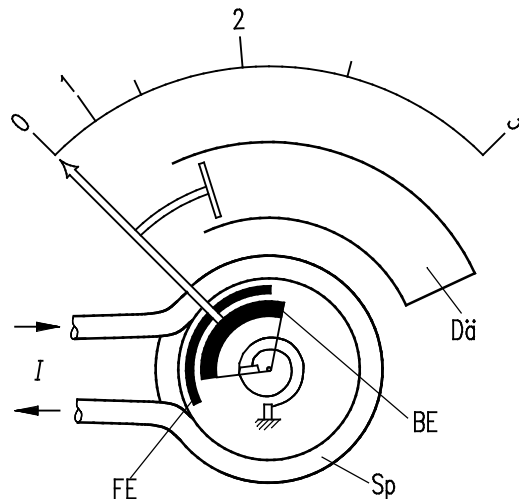


Messbereichserweiterung

Abbildung 19 Vielfachmessgerät mit Dreheisenmesswerk

Dreheisenmesswerk

Das Funktionsprinzip der Dreheisenmesswerke beruht auf der Kraftwirkung ferromagnetischer Stoffe aufeinander, z.B. Eisen, das sich in einem Magnetfeld befindet. Im Innern einer Spule, die vom Messstrom durchflossen wird, ist ein festes und ein, an der Zeigerachse befestigtes, bewegliches Eisenplättchen angeordnet. Das Prinzip ist in Abbildung 20 dargestellt.



- FE festes Eisenblech
- SP Spule
- BE Bewegliches Eisenblech
- Dä Dämpfungsluftkammer

Abbildung 20 Prinzip eines Dreheisenmesswerkes

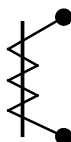


Abbildung 21 Symbol für das Dreheisenmesswerk

Auf der Anzeige eines Messgerätes, das ein Dreheisenmesswerk als Messwerk besitzt, wird folgendes Sinnbild aufgedruckt:

Auf Grund des physikalischen Wirkungsprinzips gilt für den Auslenkwinkel α :

$$\alpha \sim I^2$$

Der Ausschlagwinkel α ist proportional zum Quadrat des zu messenden Stromes. Das Dreheisenmesswerk besitzt daher eine quadratische Skala, s. Abbildung 20.

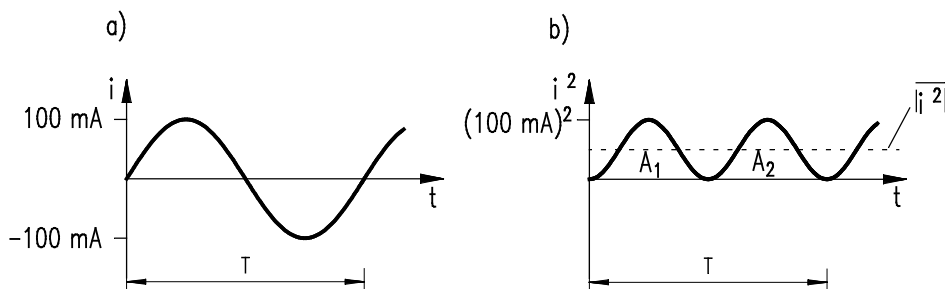


Abbildung 22 Verläufe bei einem Dreheisenmesswerk

Fließt der in Abbildung 22a abgebildete Strom durch das Messwerk, so folgt der Zeiger dem quadrierten Stromverlauf aus Abbildung 22b. Bei niedrigen Frequenzen pendelt der Zeiger zwischen 0 und dem maximalen Wert hin und her. Er zeigt den Momentanwert des Stromes an. Die Richtung des Stromes hat bedingt durch die Quadrierung keinen Einfluss auf die Anzeige. Bei höheren Frequenzen (50 Hz) kann der Zeiger wegen der Trägheit des Messwerkes den Momentanwert nicht mehr anzeigen. Er pendelt sich auf den arithmetischen Mittelwert des quadratischen Verlaufes ein.

Dieser Wert wird auch als **quadratischer Mittelwert** $\overline{i^2}$ bezeichnet. Da die Wurzel aus dem quadratischen Mittelwert gleich dem **Effektivwert** I_{eff} ist, kann dieser Wert bei entsprechender Beschriftung der Skala direkt abgelesen werden.

Lehrbeispiel 1

Welcher Effektivwert wird auf der Skala eines Dreheisenmessgerätes bei dem Stromverlauf in Abbildung 22a abgelesen.

Lösung

Den Effektivwert des Verlaufes aus Abbildung 22a kann man bestimmen, indem zunächst der Verlauf quadriert wird, Abbildung 22b.

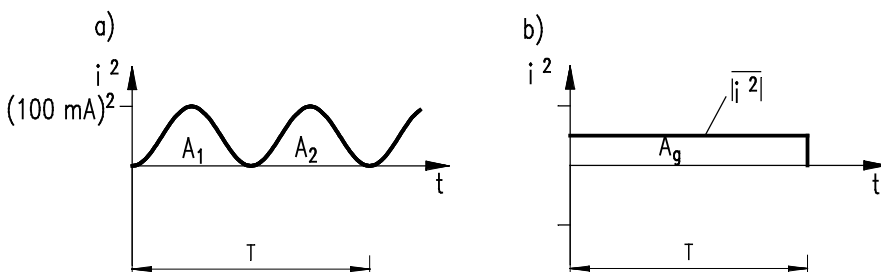


Abbildung 23 Ermittlung des Quadratischen Mittelwertes

Die Gesamtfläche unter dem quadrierten Verlauf entspricht der Fläche unter dem quadratischen Mittelwert, siehe Abbildung 23.

$$A_g = A_1 + A_2$$

Aus der Abbildung 23b kann man $A_g = |i^2| \cdot T$ entnehmen.

Somit gilt:

$$|i^2| \cdot T = A_1 + A_2$$

$$|i^2| = \frac{A_1 + A_2}{T}$$

$$I = \sqrt{|i^2|} = \sqrt{\frac{A_1 + A_2}{T}}$$

Die Fläche unter einer Halbwelle des quadrierten Verlaufes ergibt sich mittels Integralrechnung zu:

$$A_1 = A_2 = \frac{\hat{i}^2}{4} \cdot T$$

$$\Rightarrow I = \sqrt{\frac{\frac{\hat{i}^2}{4} \cdot T + \frac{\hat{i}^2}{4} \cdot T}{T}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \hat{i}^2 \cdot T}{4 \cdot T}} = \sqrt{\frac{\hat{i}^2 \cdot T}{2 \cdot T}}$$

$$\Rightarrow I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} = \frac{100 \text{ mA}}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{70,7 \text{ mA}}}$$

Der angezeigte Effektivwert beträgt $I = 70,7 \text{ mA}$.

Daraus kann eine allgemeine Berechnungsmöglichkeit für beliebige Flächenanteile abgeleitet werden:

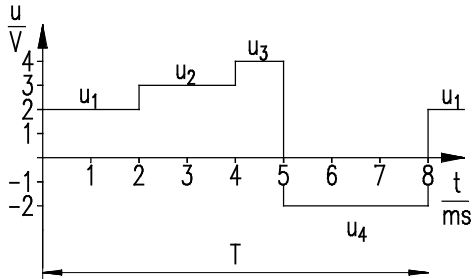
$$U = U_{\text{eff}} = \sqrt{u^2} = \sqrt{\frac{A_1 + \dots + A_n}{T}} = \sqrt{\frac{u_1^2 \cdot \Delta t_1 + \dots + u_n^2 \cdot \Delta t_n}{T}}$$

$$I = I_{\text{eff}} = \sqrt{i^2} = \sqrt{\frac{A_1 + \dots + A_n}{T}} = \sqrt{\frac{i_1^2 \cdot \Delta t_1 + \dots + i_n^2 \cdot \Delta t_n}{T}}$$

In technischen Angaben wird bei Effektivwerten häufig das Kürzel RMS verwendet. RMS steht für **R**oot **M**ean **S**quare = Wurzel des quadratischen Mittelwertes.

Lehrbeispiel 2

Welchen Effektivwert zeigt ein Dreheisenmessgerät bei dem abgebildeten Verlauf an?



Lösung

Bei dem oben abgebildeten Mischspannungsverlauf berechnet sich der Effektivwert der Mischspannung zu:

$$U = \sqrt{u^2} = \sqrt{\frac{(2 \text{ V})^2 \cdot 2 \text{ ms} + (3 \text{ V})^2 \cdot 2 \text{ ms} + (4 \text{ V})^2 \cdot 1 \text{ ms} + (-2 \text{ V})^2 \cdot 3 \text{ ms}}{8 \text{ ms}}}$$

$$U = \sqrt{u^2} = \sqrt{\frac{8 \text{ V}^2 \text{ ms} + 18 \text{ V}^2 \text{ ms} + 16 \text{ V}^2 \text{ ms} + 12 \text{ V}^2 \text{ ms}}{8 \text{ ms}}} = \sqrt{\frac{54 \text{ V}^2 \text{ ms}}{8 \text{ ms}}} = \underline{\underline{2,598 \text{ V}}}$$

Das Dreheisenmessgerät ist ein echtes Effektivwert-Messgerät. Die Effektivwertmessung ist unabhängig von der Kurvenform. Eingeschränkt wird sie lediglich durch den konstruktiven Aufbau des Messwerkes. Die relativ große Spule beschränkt den nutzbaren Frequenzbereich auf ca. 1 kHz. Der Eigenverbrauch des Messwerkes ist wegen des niedrigen Innenwiderstandes relativ hoch, 0,1 W bis 1 W.

Messbereichserweiterungen

Eine Messbereichserweiterung für Spannungen wird wie bei einem Drehspulmesswerk mittels Vorwiderstände durchgeführt. Wegen des niedrigen Innenwiderstandes kann ein Dreheisenmessgerät nur zur Spannungsmessung in niederohmigen Schaltungen (Energietechnik) eingesetzt werden.

Eine Messbereichserweiterung für verschiedene Strommessbereiche erreicht man durch Spulenabgriffe. Die bei den Drehspulmesswerken übliche Erweiterung durch Nebenwiderstände scheidet hier wegen der hohen Eigenerwärmung und des damit verbundenen Temperaturgangs aus.

2.3 Oszilloskop

Mit den analogen und digitalen Vielfachmessgeräten können nur Mittelwerte oder Effektivwerte, jedoch keine Augenblickswerte einer zeitlich veränderlichen Größe gemessen werden. Zur Sichtbarmachung und Auswertung des zeitlichen Verlaufs einer Messgröße muss das Anzeigegerät nahezu trägheitslos, wie beim Elektronenstrahl-Oszilloskop, sein.

Das Elektronenstrahl-Oszilloskop ist ein Messgerät, das in erster Linie zur Darstellung der zeitlichen Verläufe von elektrischen Signalen verwendet wird, wenn anzeigende Messgeräte den zeitlichen Änderungen nicht mehr folgen können. Damit der Signalverlauf auf dem Bildschirm steht und damit auswertbar ist, muss ein mit ausreichender Frequenz und exakt gleichem Verlauf wiederkehrendes Signal vorhanden sein.

Falls ein Signal dargestellt werden soll, das nicht periodisch ist, muss das Signal gespeichert werden. Das Speicheroszilloskop digitalisiert das Signal und legt es in einem Speicher ab. Das gespeicherte Signal kann dann periodisch abgerufen, wieder in ein Analogsignal zurückverwandelt und abgebildet werden. Neben dem Speicheroszilloskop gibt es noch das Oszilloskop mit einer Speicherbildröhre und den Oszillograf zur Anzeige von nichtperiodischen Signalen.

Auf Grund des fast trägheitslosen Anzeigesystems können mit dem Elektronenstrahl-Oszilloskop zeitlich veränderliche Messgrößen bis in den GHz-Bereich hinein dargestellt werden.

Wegen der Vielfalt der Einsatzmöglichkeiten des Elektronenstrahl-Oszilloskops für die Mess-, Prüf- und Serviceaufgaben wird dieses Gerät sehr häufig in der Messpraxis eingesetzt und hat auf Grund seiner Eigenschaften eine Bedeutung erlangt wie kaum ein anderes Messgerät.

Die wichtigsten Vorteile des Elektronenstrahl-Oszilloskops sind:

- geringe Belastung des Messobjektes infolge des hohen Eingangswiderstandes von ca. $1\text{ M}\Omega$
- zweidimensionale Darstellung von Vorgängen, entweder $u_y = f(t)$ oder $u_y = f(u_x)$
- gleichzeitige Darstellung mehrerer Vorgänge mit einem Mehrkanal- oder Mehrstrahlgerät
- große Bandbreite von 0 Hz (Gleichspannung) bis weit in den MHz-Bereich (in Sonderfällen bis in den GHz-Bereich)
- hohe vertikale Ablenkempfindlichkeit von ca. 1 mV/cm
- Darstellung von Impulsen mit Anstiegszeiten von ca. 1 ns

In den folgenden Ausführungen wird auf das 20-MHz-Zweikanal-Oszilloskop Typ HM 203-4 des Fabrikats HAMEG Bezug genommen.

Nach einer Übersicht zu den Bedienungselementen, wird die Funktion des Eingangswahlschalters und der Triggerung näher erläutert. Abschließend werden einige Messbeispiele erläutert.

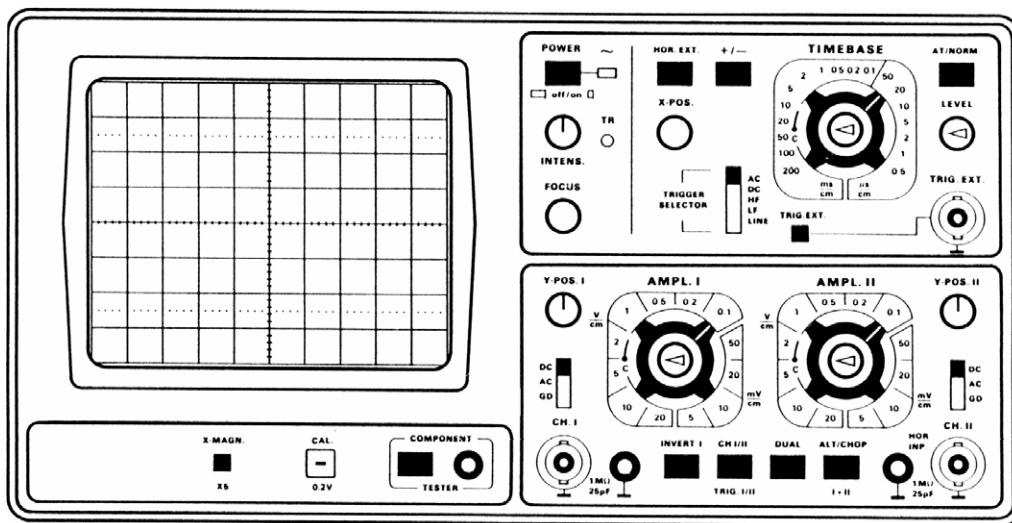


Abbildung 24 Bedienungsfläche des HM 203-4

Die Beschriftung der Frontplatte mit den Bedienelementen ist in Abbildung 24 dargestellt. Die vier Felder der Frontplatte und die dort angegebenen englischen Bezeichnungen haben folgende Bedeutungen:

linkes oberes Feld: Bildschirm

linkes unteres Feld:

X-MAGN. x 5	Erhöhung der X-Ablenkung um den Faktor 5; z.B. werden aus 100 ns/cm 20 ns/cm
CAL. 0.2V	Ausgang für Eichspannung (Rechtecksignal)
COMPONENT TESTER	Komponententester

rechtes oberes Feld:

POWER off/on	Netzschalter
INTENS	Helligkeit der Bildschirmdarstellung
TR	Einstellen der Strahldrehung
FOCUS	Schärfe der Bildschirmdarstellung
HOR.EXT.	externe horizontale Ablenkspannung
X-POS.	Horizontalverschiebung des Strahls, Links-rechts-Verschiebung des Schirmbildes

TRIGGER SELECTOR	Auswahl der Triggerung
AC	Triggerung mit Wechselspannungsanteil der Messspannung
DC	Triggerung mit Messspannung
HF	Triggerung mit Spannung hoher Frequenz
LF	Triggerung mit Spannung niedriger Frequenz
LINE	Triggerung mit 50 Hz Netzwechselspannung

TIMEBASE	Einstellung der Zeitablenkung
AT/NORM	automatische/normale Triggerung
LEVEL	Einstellung des Triggerpegels
TRIG. EXT.	externe Triggerspannung

rechtes unteres Feld:

Y-POS. I	Vertikale Verschiebung des Strahls I, vertikale Verschiebung des Schirmbildes von Kanal 1
Y-POS. II	Vertikale Verschiebung des Strahls II, vertikale Verschiebung des Schirmbildes von Kanal 2
AMPL. I	Eingangsabschwächer bzw. Vertikalverstärker I, 50 mV/cm, 1 V/cm usw.
AMPL. II	Eingangsabschwächer bzw. Vertikalverstärker II 50 mV/cm, 1 V/cm usw.
CH. I	bei eingeschalteter Zeitablenkung Y1-Eingang bei ausgeschalteter Zeitablenkung Y-Eingang
DC/AC/GD I	Eingangswahlschalter: Gleichspannung/Wechselspannung/Masse
CH. II	bei eingeschalteter Zeitablenkung Y2-Eingang bei ausgeschalteter Zeitablenkung X-Eingang
DC/AC/GD II	Eingangswahlschalter: Gleichspannung/Wechselspannung/Masse
INVERT I	Invertierung des Signals am Y1-Eingang, Signaldarstellung um 180° verschieben
CH I/II	bei Einkanalbetrieb Umschaltung d. angezeigten Kanals
TRIG. I/II	bei Zweikanalbetrieb Umschaltung des Triggereingangs
DUAL	Y1-Signal und Y2-Signal anzeigen
ALT/CHOP	bei Zweikanalbetrieb Umschaltung zwischen ALT-Betrieb und CHOP-Betrieb
I + II	bei Einkanalbetrieb Anzeigen der Summe aus Y1-Signal und Y2-Signal
HOR. INP	bei ausgeschalteter Zeitablenkung X-Eingang

Der **Eingangswahlschalter** hat drei Stellungen.

- In der Stellung **AC** (alternating current) ist in Serie zur Eingangsbuchse ein ausreichend großer Koppelkondensator C_K geschaltet, um einen im Messsignal enthaltenen Gleichspannungsteil abzutrennen. In dieser Stellung lassen sich Wechselspannungsanteile genauer untersuchen, die einer höheren Gleichspannung überlagert sind.
- In der Stellung **DC** (direkt current) ist die Eingangsbuchse direkt (galvanisch) mit dem Eingangsabschwächer und dem Verstärker verbunden. Dies ist die für Messungen gebräuchlichste Stellung, da hiermit Mischspannungen aus Gleich- und Wechselspannungsanteilen dargestellt werden können.
- In der Stellung **GD** (ground) wird die Eingangsbuchse auf Masse gelegt. So kann auf einfache Weise festgestellt werden, wo die Nulllinie liegt.

Triggerung

Anzeigeelement des Oszilloskopes ist die Elektronenstrahlröhre. Ein gebündelter Elektronenstrahl trifft auf eine fluoreszierende Leuchtschicht und man sieht einen Leuchtpunkt. Zur Darstellung z.B. einer Wechselspannung wird der Elektronenstrahl durch zwei Plattenpaare, abgelenkt. Es wird das physikalische Prinzip genutzt: negative Ladungen werden von positiven Potenzialen angezogen, von negativen Potenzialen abgestoßen.

Zur Darstellung eines Signals wird die Messspannung nach entsprechender Aufbereitung auf die Y-Platten gegeben. Dadurch wird der Strahl vertikal abgelenkt. Auf die X-Platten gibt man eine intern erzeugte Spannung, die so genannte Zeitablenkspannung (Abbildung 25). Durch sie wird der Strahl von links nach rechts geführt. Durch das Zusammenwirken entsteht der zeitliche Verlauf der Messspannung. Die Zeitablenkspannung wird durch die so genannte Triggereinheit erzeugt.

Die Triggerung wird eingesetzt, um bei einer Vertikalablenkung durch eine Wechselspannung ein stehendes Bild zu erreichen. Dazu muss der Ablenkgenerator für die Zeitablenkung mit dem Wechselspannungssignal synchronisiert werden. Bei jeder Wiederholung des Schreibvorganges auf dem Bildschirm muss die vorherige Kurve exakt überschrieben werden.

Um ein stehendes Bild zu erreichen, wartet man mit dem erneuten Schreiben des Schirmbildes so lange, bis das Signal wieder den gleichen Augenblickswert aus der gleichen Richtung erreicht hat. Dieses Verfahren der Synchronisation wird Triggerung genannt.

Die Signalspannung wird zur Triggerung einem Schwellwertschalter (Schmitt-Trigger) mit einstellbarem Schwellwert oder Triggerpegel zugeführt. Der Ablenkgenerator wird erst zur Abgabe eines neuen Sägezahnimpulses aufgefordert, wenn das Signal den Schwellwert des Schmitt-Triggers überschreitet (Abbildung 25).

Nach jedem Ablenkvorgang springt die Sägezahnspannung auf ihren negativen Scheitelwert (entsprechend dem linken Rand des Bildrasters) und bleibt in dieser Position dunkelgetastet in Wartestellung, bis der nächste Triggerimpuls einen neuen Ablenkvorgang startet. Auf diese Weise wird zwangsläufig immer wieder der gleiche Kurvenzug übereinander geschrieben und es entsteht ein stehendes Bild.

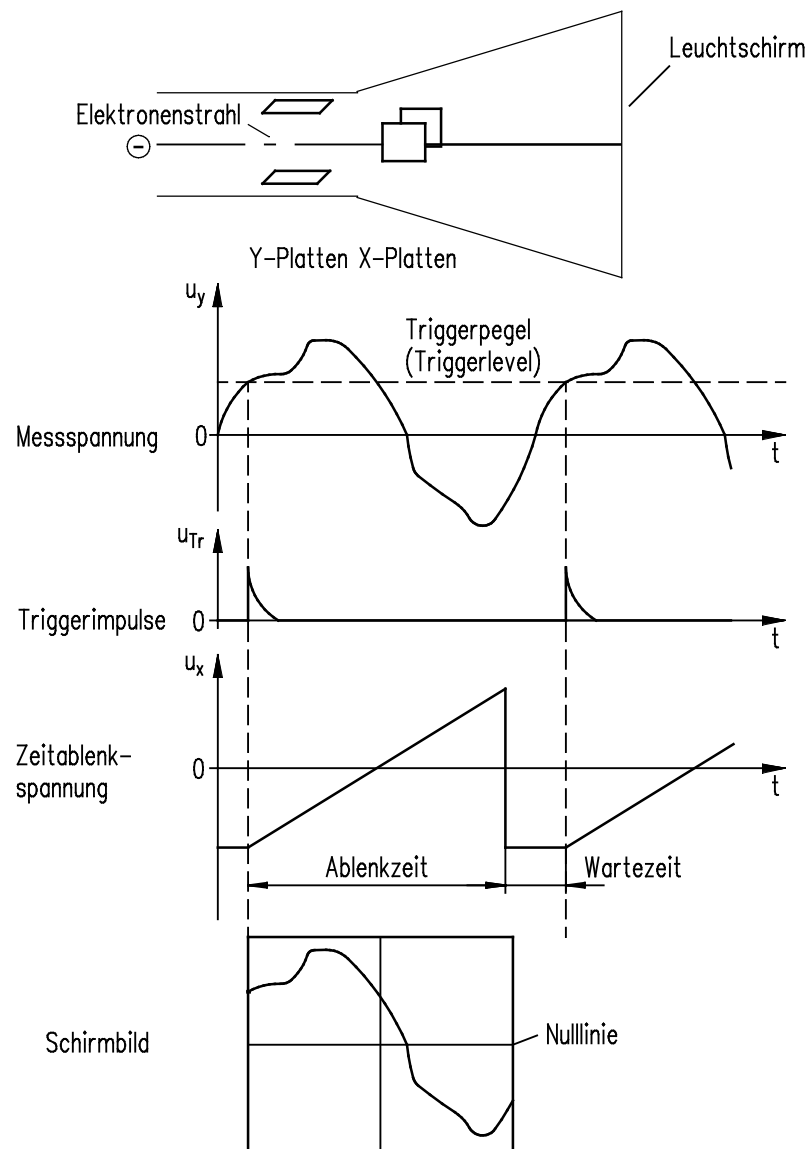


Abbildung 25 Stehendes Bild bei Triggerung

Im Normalbetrieb wird mit automatischer Triggerung gearbeitet: Der Schalter **AT/NORM.** ist nicht gedrückt. Bei fehlendem Wechselspannungssignal würde in der Schalterstellung **NORM.** keine Nulllinie geschrieben. In der Betriebsart **AT** liefert die Zeitbasis periodisch eine Linie, solange kein Wechselspannungssignal vorhanden ist, und geht automatisch zur Triggerung über, sobald ein Wechselspannungssignal ausreichender Amplitude am Eingang anliegt.

Bei komplexeren Signalverläufen ist unter Umständen im AT-Betrieb keine einwandfreie Triggerung möglich. Der **AT/NORM.**-Schalter ist dann auf normale Triggerung, Schalterstellung **NORM.**, umzuschalten. Der Triggerpegel muss dann mit dem Steller **LEVEL** stufenlos eingestellt werden.

Gleichspannungsmessung im Einkanalbetrieb

Da bei konstanter Gleichspannung eine Triggerung nicht möglich ist, muss die Zeitablenkung frei laufen. Die Triggereinrichtung ist daher in die Position automatische Triggerung zu schalten. Beim Messen einer positiven Gleichspannung ist es sinnvoll, die Nulllinie auf eine untere Rasterlinie zu legen, um durch eine möglichst große Vertikalablenkung eine optimale Messgenauigkeit zu erhalten. Entsprechendes gilt auch beim Messen einer negativen Gleichspannung. Ein Beispiel für die Abbildung von Gleichspannungen zeigt Abbildung 26.

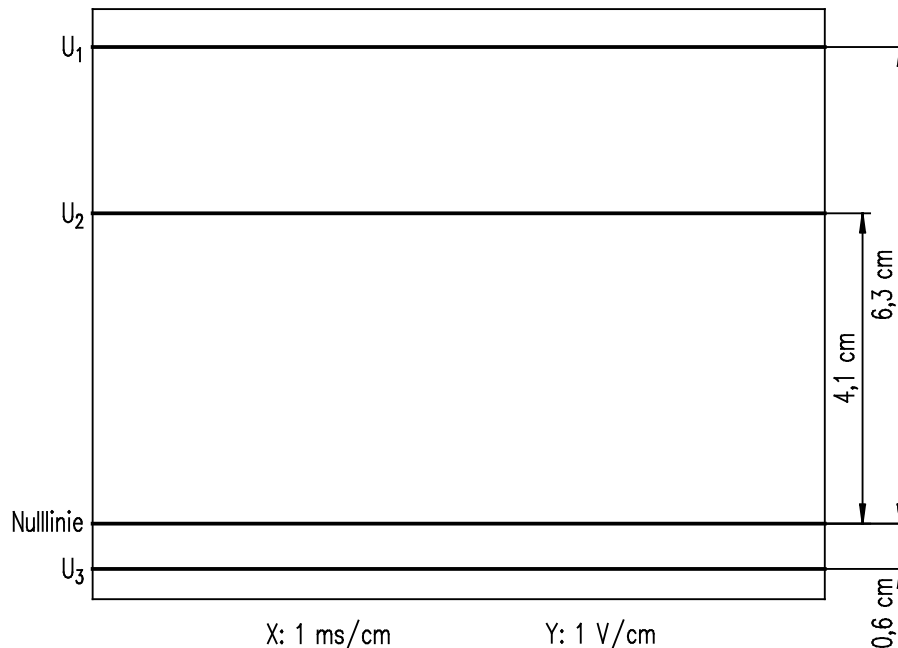


Abbildung 26 Abbildung von Gleichspannungen

Die Auswertung der Abbildung 26 geschieht durch Ablesen der Auslenkung von der Nulllinie in cm und Multiplikation dieses Wertes mit dem gewählten Y-Ablenkoeffizienten. Es ergeben sich somit folgende Spannungswerte:

$$U_1 = 6,3 \text{ cm} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 6,3 \text{ V}$$

$$U_2 = 4,1 \text{ cm} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 4,1 \text{ V}$$

$$U_3 = -0,6 \text{ cm} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = -0,6 \text{ V}$$

Für U_1 und U_2 erlaubt der gewählte Y-Ablenkoeffizient die größtmögliche Ablesegenauigkeit, jedoch nicht für U_3 . Die Spannung U_3 müsste gesondert gemessen werden. Dazu müsste die Nulllinie auf die oberste Rasterlinie verschoben werden und der Y-Ablenkoeffizient 0,1 V/cm gewählt werden.

Messung einer Mischspannung im Einkanalbetrieb

Ist eine Gleichspannung mit einer Wechselspannung überlagert, so spricht man von einer Mischspannung. In der Stellung **DC** wird die Mischspannung unverändert dargestellt. Schaltet man nun den Eingangswahlschalter auf **AC** um, so wird der Gleichspannungsanteil vom Koppelkondensator abgeblockt und nur die reine Wechselspannung abgebildet. Als Beispiel ist in Abbildung 27 die von einem Brückengleichrichter aus einer sinusförmigen Wechselspannung gelieferte pulsierende Gleichspannung dargestellt.

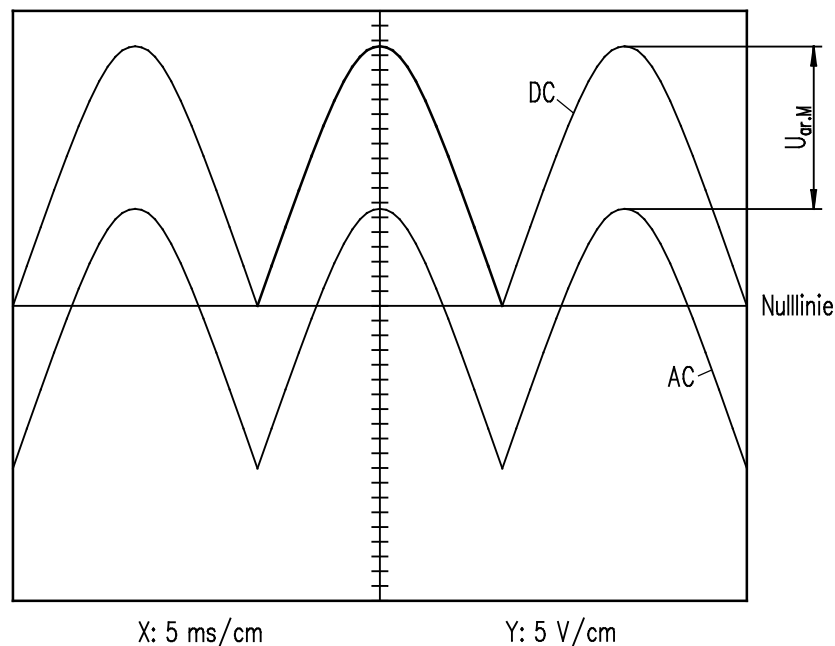


Abbildung 27 Messung einer Mischspannung

Die beim Umschalten von **DC** auf **AC** auftretende Vertikalverschiebung der Spannung entspricht dem arithmetischen Mittelwert der Mischspannung. Dieser ist der Gleichspannungsanteil der Mischspannung.

Die Auswertung der Abbildung 27 ergibt folgende Werte:

$$U_{arM} = 2,2 \text{ cm} \cdot 5 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 11 \text{ V}$$

ferner $u_{ss} = 3,5 \text{ cm} \cdot 5 \frac{\text{V}}{\text{cm}} = 17,5 \text{ V}$

und $T = 3,3 \text{ cm} \cdot 5 \frac{\text{ms}}{\text{cm}} = 16,5 \text{ ms}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{16,5 \cdot 10^{-3} \text{ s}} = 60,6 \text{ Hz}$$

Zur bequemen Ablesung des Gleichspannungsanteils beim gewählten Beispiel kann in der Stellung **AC** der obere Scheitelwert mithilfe der Vertikalposition auf den Nullpunkt der Skala verschoben werden. Nach Umschalten auf **DC** kann nun der Gleichspannungsanteil unmittelbar abgelesen werden.

Wechselspannungsmessungen im Einkanalbetrieb

Eine reine Wechselspannung liegt vor, wenn das Umschalten der Signalkopplung von **AC** auf **DC** keine Vertikalverschiebung der Kurve bewirkt, d.h. wenn der arithmetische Mittelwert Null ist. Wechselspannungen werden mit dem Oszilloskop im allgemeinen über den Spitze-Spitze-Wert u_{SS} gemessen. Den Scheitelwert einer Wechselspannung erhält man bei einer symmetrischen Kurvenform durch Halbierung des Spitze-Spitze-Wertes.

Für eine hohe Ablesegenauigkeit in der Horizontalrichtung ist der Zeitmaßstab für die X-Ablenkung so zu wählen, dass nur eine Schwingung oder möglichst wenige Schwingungen dargestellt werden. Für eine genaue Auswertung der Augenblickswerte der Spannung ist der Y-Ablenkfaktor so einzustellen, dass die Höhe des Rasterfeldes so weit wie möglich ausgenutzt wird.

Zur bequemen Ablesung des Spitze-Spitze-Wertes kann der negative Scheitelwert mit der Vertikalverschiebung auf die unterste Rasterlinie und der positive Scheitelwert mit der Horizontalverschiebung auf die mittlere senkrechte, fein unterteilte Rasterlinie gelegt werden (Abbildung 28).

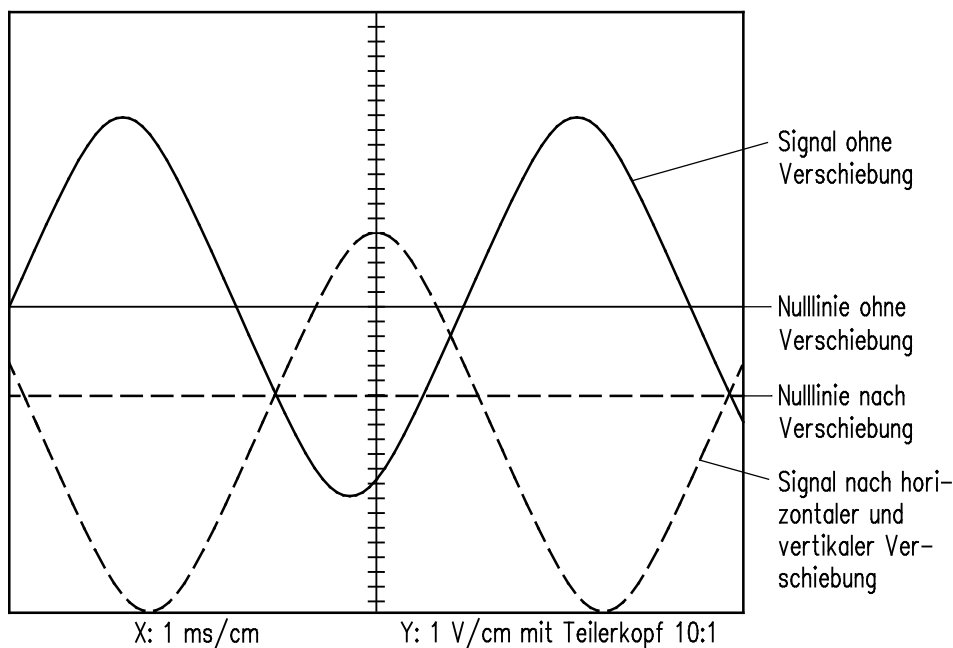


Abbildung 28 Messung einer reinen Wechselspannung

Die Auswertung der Abbildung 28 ergibt

$$u_{SS} = 5\text{cm} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{cm}} \cdot 10 = 50 \text{ V}.$$

Da die Spannung symmetrisch zur Nulllinie verläuft, gilt

$$\hat{u} = \frac{u_{SS}}{2} = 25 \text{ V}.$$

Der Effektivwert einer Wechselspannung lässt sich aus dem Oszillogramm nicht direkt ablesen. Er kann nur aus dem Spitze-Wert errechnet werden, wenn der Umrechnungsfaktor vom Spitze-Wert in den Effektivwert für die betreffende Kurvenform bekannt ist. Die Tabelle 6 zeigt die Umrechnungsfaktoren zum Berechnen des Effektivwertes aus dem Spitze-Wert für einige Kurvenformen von Wechselspannungen.

Für die sinusförmige Spannung in Abbildung 28 errechnet sich der Effektivwert zu

$$U_{\text{eff}} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot \hat{u} = 17,7 \text{ V} .$$

Die Periodendauer des Signals beträgt $T = 6 \text{ cm} \cdot 1 \text{ ms/cm} = 6 \text{ ms}$ und damit die Frequenz $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{6 \text{ ms}} \approx 167 \text{ Hz}$.


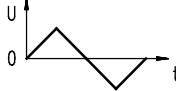
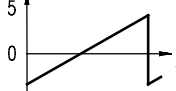
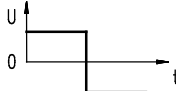
	Sinus	$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot u_{\text{ss}} = 0,707 \cdot u_{\text{ss}}$
	Dreieck	$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_{\text{ss}} = 0,577 \cdot u_{\text{ss}}$
	Sägezahn	$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot u_{\text{ss}} = 0,577 \cdot u_{\text{ss}}$
	Rechteck (zeitlich symmetrisch)	$U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot u_{\text{ss}} = 0,707 \cdot u_{\text{ss}}$

Tabelle 6 Umrechnungsfaktoren vom Spitze-Wert in den Effektivwert

Zur besseren Ablesbarkeit des Spitze-Spitze-Wertes kann bei höheren Frequenzen auch die Zeitablenkung verlangsamt werden, damit die Scheitelwerte enger beieinander liegen. Mit dem Abschalten der Horizontalablenkung durch Betätigen des **HOR.EXT.**-Schalters muss vorsichtig umgegangen werden. Die dann entstehende senkrechte Linie (Abbildung 29) hat eine höhere Helligkeit und erscheint durch ihre größere Breite etwas länger. Die Intensität sollte daher zurückgenommen werden.

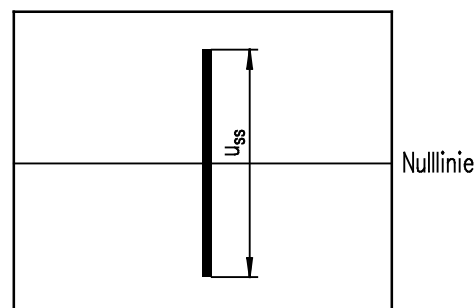


Abbildung 29 Messung von U_{ss} ohne Zeitablenkung

Der Effektivwert einer beliebigen Mischspannung kann durch getrenntes Bestimmen des Gleichspannungsanteils (arithmetischer Mittelwert) und des Wechselspannungsanteils erfolgen. Der Effektivwert U_{RMS} der Mischspannung errechnet sich aus dem arithmetischen Mittelwert U_{arith} und dem Effektivwert der Wechselspannung U_{eff} zu:

$$U_{\text{RMS}} = \sqrt{U_{\text{arith}}^2 + U_{\text{eff}}^2}$$

Zeitmessung und Frequenzmessung

Ein Beispiel zeigt die Auswertung eines verformten Rechteckimpulses. Die Impulsdauer t_i ergibt sich nun aus dem Abstand zwischen den Schnittpunkten der Impulsflanken mit der Mittellinie.

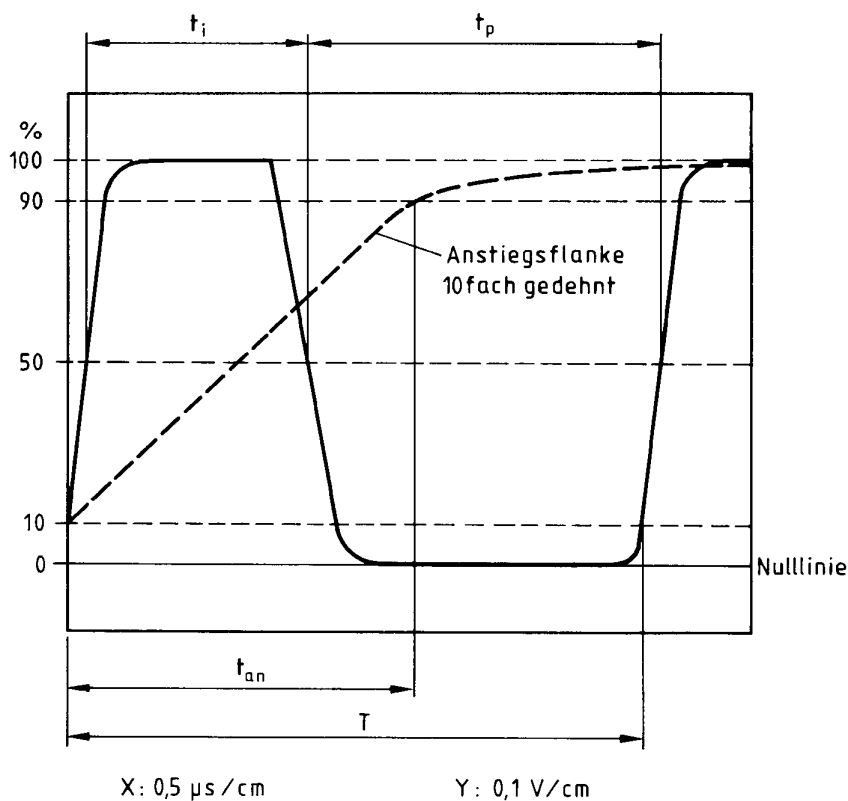


Abbildung 30 Zeitmessungen an einem verformten Rechteckimpuls

Die Auswertung ergibt:

$$\text{Periodendauer} \quad T = 8,5 \text{ cm} \cdot \frac{5 \mu\text{s}}{\text{cm}} = 42,5 \mu\text{s}$$

$$\text{Impulsdauer} \quad t_i = 3,3 \text{ cm} \cdot \frac{5 \mu\text{s}}{\text{cm}} = 16,5 \mu\text{s}$$

$$\text{Pausendauer} \quad t_p = T - t_i = 26 \mu\text{s}$$

Die Frequenz kann indirekt aus der Zeitmessung bestimmt werden nach der Beziehung

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{42,5 \mu\text{s}} = 23,53 \text{ kHz}.$$

Zweikanalbetrieb

Mithilfe des Oszilloskops HAMEG HM 203-4 können zwei zeitabhängige Spannungen scheinbar gleichzeitig mit der nur einstrahligen Bildröhre dargestellt werden. Dieses **Zweikanaloszilloskop** (Abbildung 31) ist besonders für Messungen geeignet, bei denen ein Bezug zwischen zwei oder mehreren synchron ablaufenden Signalen hergestellt werden muss.

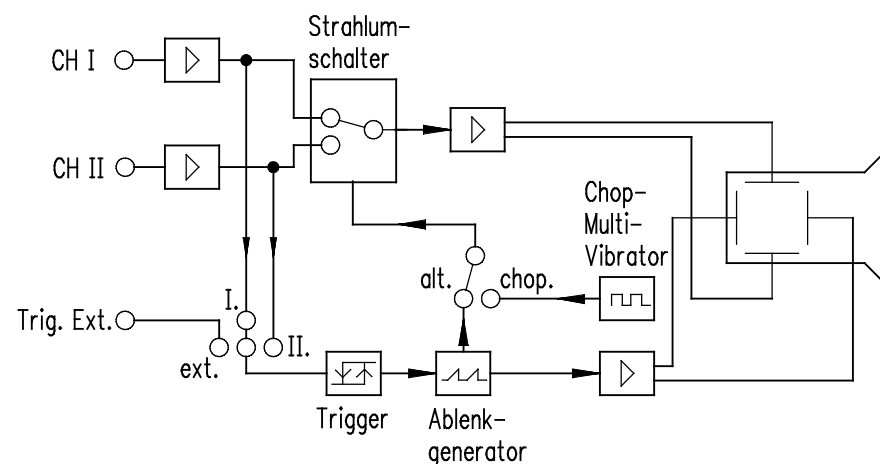


Abbildung 31 **Zweikanaloszilloskop** mit elektronischem Strahlumschalter

Beim Zweikanaloszilloskop nutzen beide Signale das gleiche Ablenssystem und die gleiche Zeitbasis. Die beiden zeitgleich dargestellten Signale liegen deshalb übereinander. Ein elektronischer Strahlumschalter schaltet den Vertikalverstärker abwechselnd auf die Eingangsverstärker von Kanal I oder Kanal II, wenn der mit **DUAL** bezeichnete Schalter des Oszilloskops HAMEG HM 203-4 gedrückt ist. Dieses ständige Umschalten kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen, nämlich „alternierend“ (abwechselnd) oder „choppend“ (zerhackt).

Bei der alternierenden Betriebsweise wird erst die eine Y-Spannung zusammenhängend, d.h. ohne jegliche Unterbrechung, von einer X-Sägezahnspannung abgelenkt und dann die zweite Y-Spannung in gleicher Weise von der folgenden Sägezahnspannung. Dieses Wechselspiel des Umschaltens jeweils nach Ablauf einer vollständigen Zeitablaufspannung führt zur Darstellung zweier kontinuierlicher, d.h. durch den Strahlumschalter nicht unterbrochener, Y-Messspannungen. Ein Beispiel für ein Schirmbild bei alternierender Zweikanaldarstellung zeigt Abbildung 32.

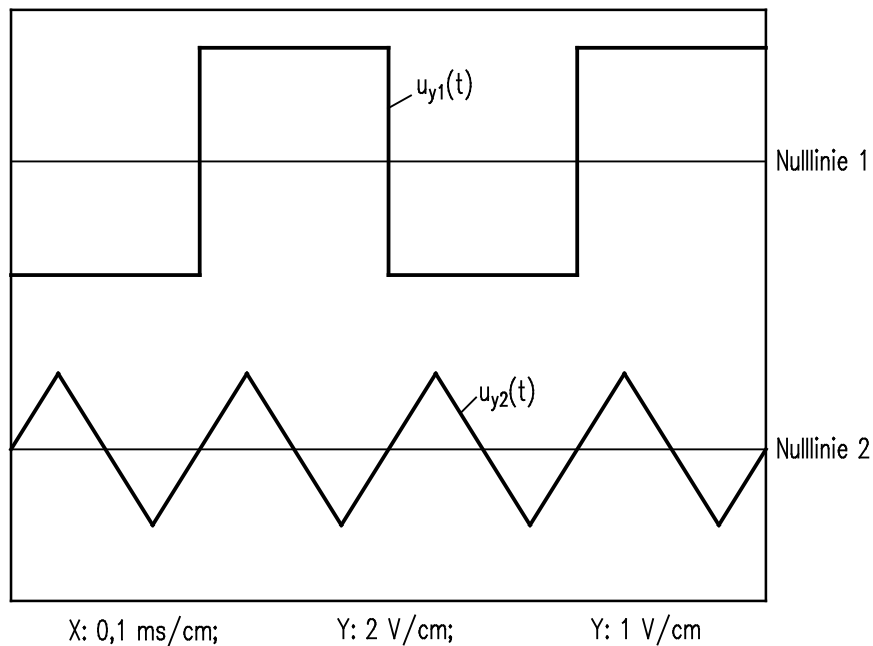


Abbildung 32 Schirmbild bei alternierender Zweikanalardarstellung

Damit beide Y-Ablenkspannungen für das menschliche Auge gleichzeitig sichtbar werden, müssen die Frequenz der Zeitablenkung und auch die Frequenzen der beiden Y-Ablenkspannungen deutlich über der Flimmergrenze des Auges liegen. Bei geringen Ablenkfrequenzen neigt das Bild auf Grund der Halbierung der Wiederholfrequenz eher zum Flackern als beim Einkanalbetrieb. Für diesen Fall bietet sich die Betriebsart „choppend“ an.

Bei Chop-Betrieb werden die beiden Y-Spannungen während des Ablaufs einer Zeitablenkspannung abwechselnd mit hoher Schaltfrequenz (100 kHz bis 500 kHz) umgeschaltet. Der Elektronenstrahl schreibt also zunächst ein kurzes Teilstück der Y1-Spannung und dann ein kurzes Teilstück der Y2-Spannung usw.

Die beiden Y-Spannungen werden streng genommen gestrichelt dargestellt (Abbildung 33). Praktisch ist die Strichelung jedoch kaum wahrnehmbar, da die Umschaltlücken abwechselnd überschrieben werden. Nachteilig kann bei dieser Betriebsart der Helligkeitsverlust sein, der durch die Umschaltzeit des Elektronenstrahls entsteht.

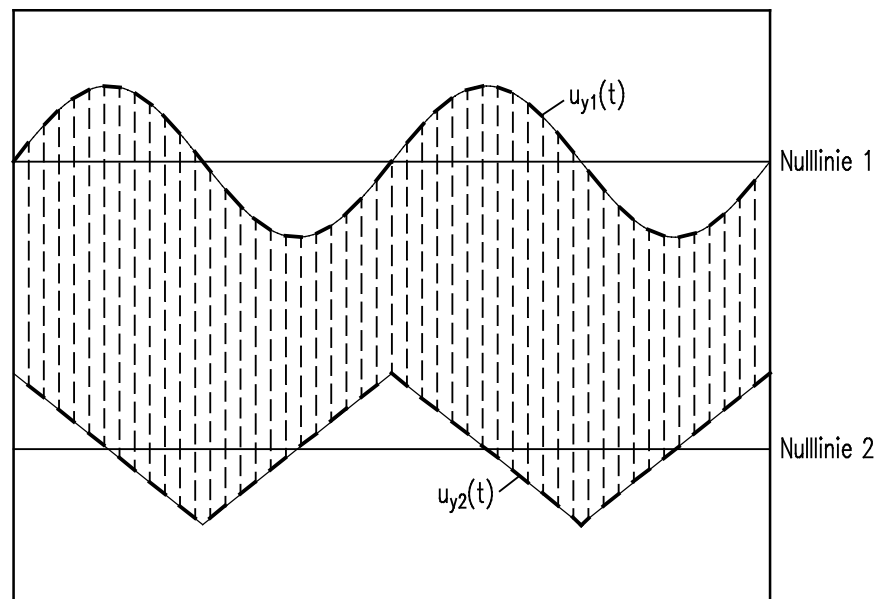
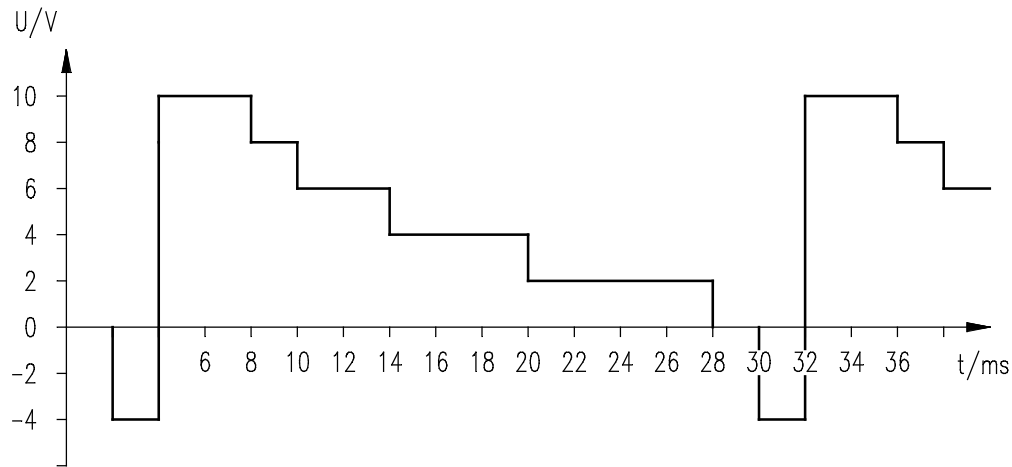


Abbildung 33 Schirmbild bei choppender Zweikanalardarstellung

Die Eingangsempfindlichkeit, die Vertikalposition und die Ankopplungsart können für beide Signale unabhängig gewählt werden. Die Zeitbasis ist für beide Signale gleich, da nur ein gemeinsames X-Ablenkplattenpaar vorhanden ist.

Der mit **TRIG.I/II** unterschriebene Schalter dient im Zweikanalbetrieb der Wahl der Triggerquelle. In der Normalstellung wird das auf den Eingang **CH. I** gelegte Signal zur internen Triggerung verwendet und in der gedrückten Stellung das von Eingang **CH. II**.

Aufgabe 1

Zur Messung des Effektivwertes der oben abgebildeten Spannung stehen mehrere Messgeräte zur Verfügung.

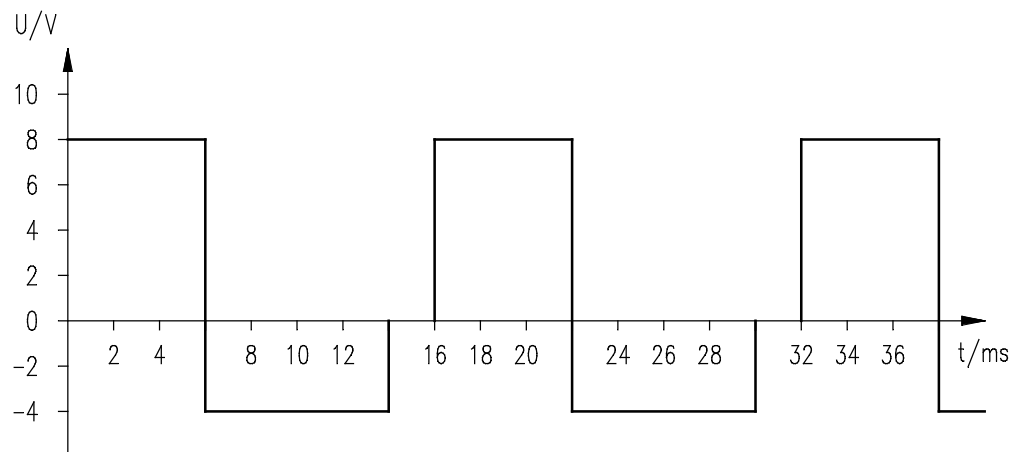
Bestimmen Sie die angezeigten Messwerte folgender Messgeräte!

1.1 Drehspulmessgerät, DC-Messbereich

1.2 DMM mit TRUE RMS-Zusatz

Aufgabe 2

Am Ausgang einer Schaltung steht die unten abgebildete Spannung an.



Bestimmen Sie für die abgebildete Spannung

2.1 den arithmetischen Mittelwert,

2.2 den Spannungswert, den ein Dreheisenmessgerät anzeigt und

2.3 den Spannungswert, den ein Drehspulmessgerät mit Mittelwertgleichrichter anzeigt, das auf einen AC-Messbereich eingestellt ist!

Aufgaben

Aufgabe 3

Es stehen zwei handelsübliche Digital-Multimeter zur Messung des Effektivwertes des Verlaufes aus Aufgabe 2 zur Verfügung:

- DMM mit Brückengleichrichtung, $F = 1,11$
- DMM mit TRUE RMS-Zusatz

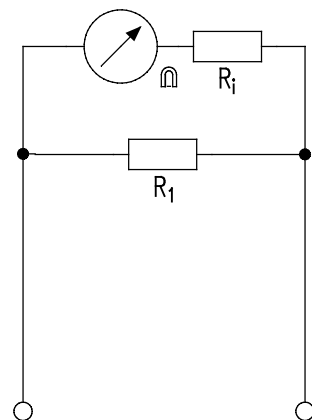
Geben Sie an, welches Messgerät verwendet werden kann und begründen Sie ihre Wahl!

Aufgabe 4

Ein Drehspulmesswerk soll entsprechend der abgebildeten Schaltung zur Messung eines Stromes von 1 A eingesetzt werden.

Es wird ein Messwerk mit folgenden Kenndaten verwendet:

$R_i = 4 \text{ k}\Omega$; MBE $100 \mu\text{A}$



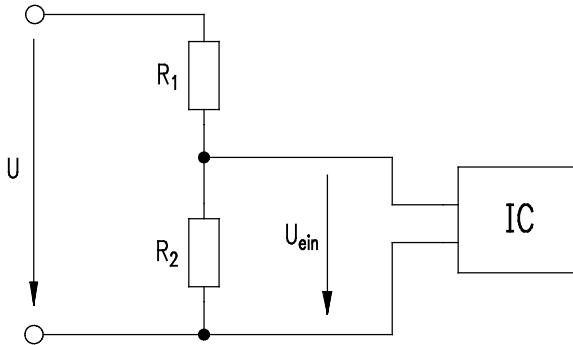
4.1 Berechnen Sie den Widerstand R_1 !

4.2 Skizzieren Sie die Stromskala des Messgerätes für 0 %, 25 %, 50 %, 75 % und 100 % des Vollausschlages des Messwerkes!

Aufgabe 5

Ein IC zur Spannungsmessung hat folgende Kenndaten:

$U_{\text{ein}} = 0 \dots 200 \text{ mV}$, 3 ½-stellige Anzeige.



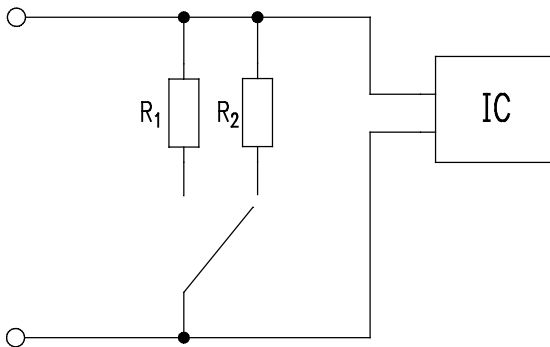
Berechnen Sie den Spannungsteiler R_1 und R_2 , wenn eine maximale Spannung von $U = 20 \text{ V}$ gemessen werden soll und der Gesamtwiderstand des Spannungsteilers $10 \text{ M}\Omega$ betragen soll (IC: $R_{iV} \rightarrow \infty$)!

Aufgabe 6

Die abgebildete Schaltung wird zur Messung von Strömen eingesetzt.

Das Spannungsmesser-IC hat folgende Kenndaten:

MBE 400 mV , $R_{iV} \rightarrow \infty$.



Berechnen Sie die Widerstände R_1 und R_2 für Messbereichsendwerte von 40 mA und 400 mA !

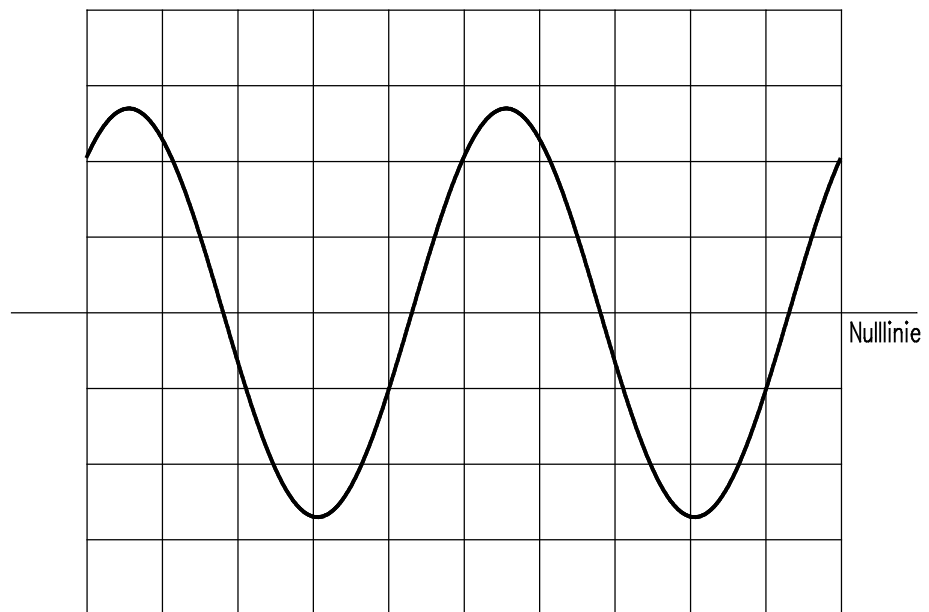
Aufgabe 7

Das Schirmbild wurde mit folgenden Einstellungen aufgenommen:

Einstellungen:

- Eingangswahlschalter. DC
- Zeitbasis X: 2 ms/cm
- Amplitude Y: 5 V/cm

Nulllinie in Bildschirmmitte



Ermitteln Sie

7.1 den Scheitelwert der Wechselspannung!

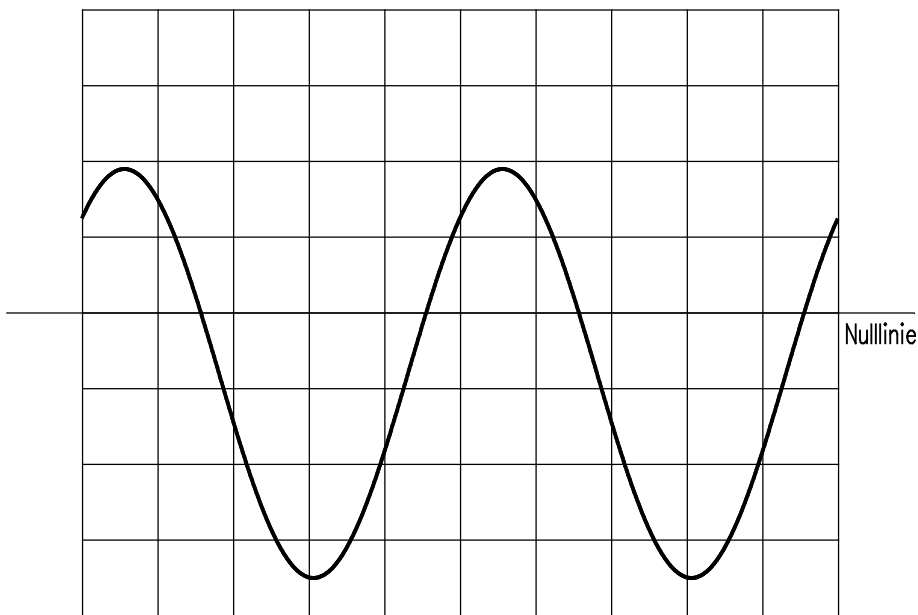
7.2 den Effektivwert der Wechselspannung!

Aufgabe 8

Am Ausgang eines Spannungsanschlusses wurde das unten abgebildete Schirmbild einer Mischspannung aufgenommen.

Einstellungen:

- Eingangswahlschalter: DC
- Zeitbasis X: 2 ms/cm
- Amplitude Y: 10 V/cm



Ermitteln Sie für die abgebildete Spannung

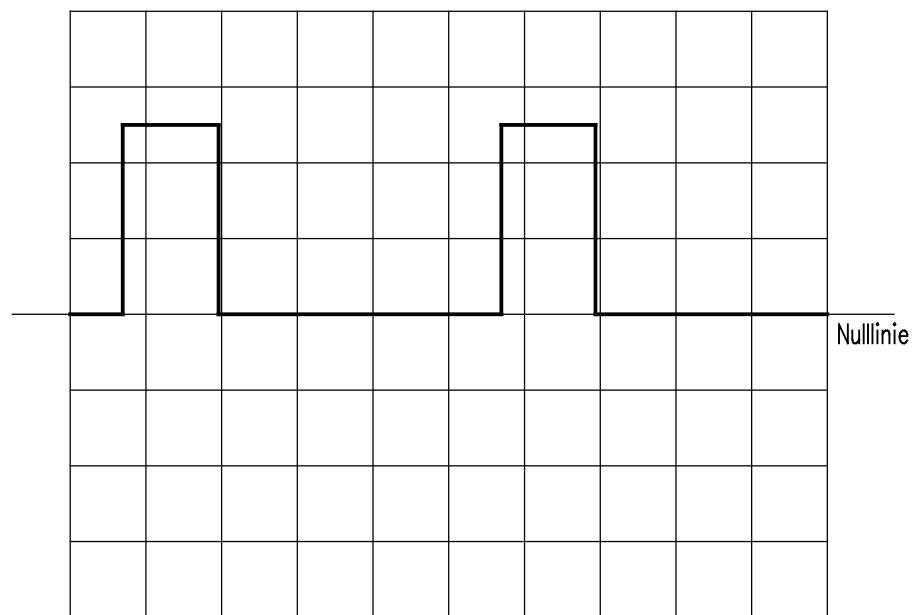
- 8.1 den Gleichspannungsanteil,
- 8.2 den Scheitelwert des Wechselspannungsanteils,
- 8.3 den Effektivwert des Wechselspannungsanteils und
- 8.4 die Periodendauer des Wechselspannungsanteils!

Aufgabe 9

Am Ausgang wurde das abgebildete Rechtecksignal aufgenommen.

Einstellungen:

- Eingangswahlschalter: DC
- Zeitbasis X: $2 \mu\text{s}/\text{cm}$
- Amplitude Y: $5 \text{ V}/\text{cm}$



Bestimmen Sie

- 9.1 die Länge des Impulses t_i ,
- 9.2 die Länge der Impulspause t_p und
- 9.3 die Periodendauer des Rechtecksignals!

3 Messgeräte mit digitaler Messdatenverarbeitung

Lernbereich

3.1 Digitalmultimeter

Digitalmultimeter sind in der heutigen Labor- und Betriebsmesstechnik nicht mehr wegzudenken. Durch den Einsatz von integrierten Schaltkreisen bieten sie eine hohe Genauigkeit und besitzen ein gutes Preis-Leistungs-Verhältnis. Ein besonderer Vorteil, der vor allem im Service großen Anklang findet, ist die Vereinigung mehrerer Messgeräte in einem Digitalmultimetergehäuse.

Übliche Digitalmultimeter sind geeignet zur Messung von

- Gleich- und Wechselspannungen,
- Gleich- und Wechselströme sowie
- Widerständen.

Viele Messgeräte verfügen zusätzlich über folgende Möglichkeiten:

- Kapazitätsmessung
- Frequenzmessung
- Tastverhältnismessung
- Durchgangsmessung
- Diodenmessung
- Transistormessung

Häufig werden Digitalmultimeter z.B. mit einem IEC-625-Bus-Interface ausgestattet, sodass sie auch in ein computergesteuertes Messsystem integriert werden können.

Die folgende Abbildung zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Multimeters mit Strom-, Spannungs- und Widerstandsmessbereichen.

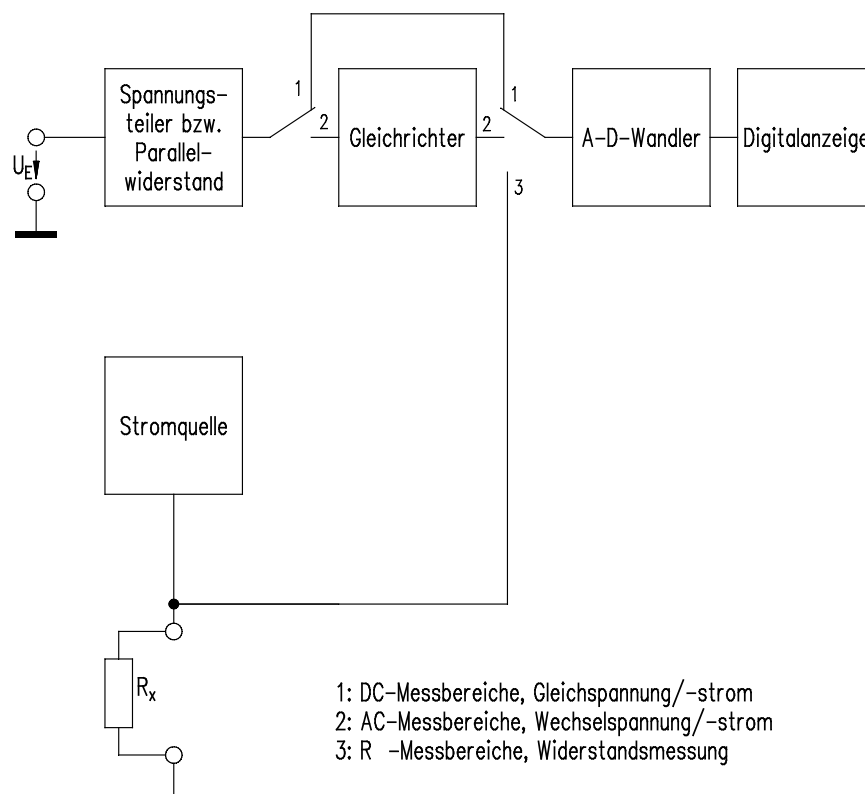


Abbildung 34 Blockschaftbild des Multimeters

Spannungsteiler

Der Eingangsspannungsteiler dient zur Bereichsanpassung bei Gleich- und Wechselspannungsmessungen. Er reduziert die Eingangsspannung U auf die für die nachfolgende Schaltung maximal zulässige Eingangsspannung U_M . Da die nachfolgende Schaltung sehr hochohmig ist, kann der Spannungsteiler als unbelastet betrachtet werden.

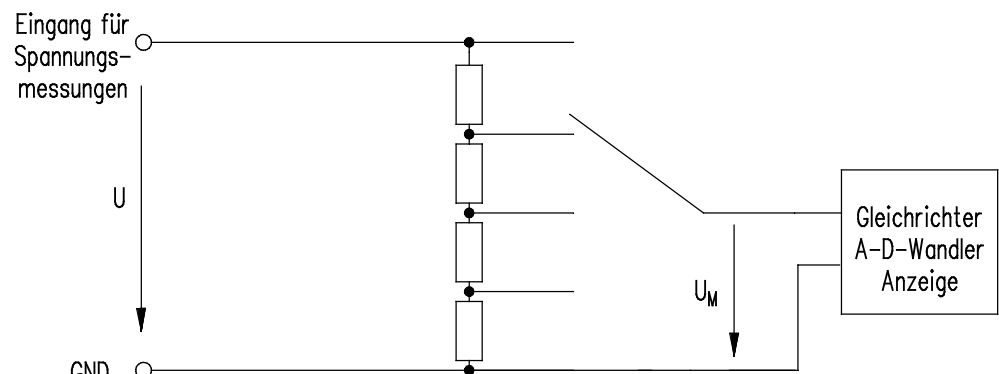


Abbildung 35 Blockschaltbild des Eingangsspannungsteilers

Alle Messbereichswiderstände sind unabhängig vom gewählten Messbereich immer zwischen den beiden Anschlussklemmen geschaltet. Daher haben DMM einen für alle Spannungsmessbereiche konstanten Eingangswiderstand. Üblicherweise beträgt er 10 M Ω .

Parallelwiderstände

Da die Messung der Stromstärke indirekt über eine Spannungsmessung erfolgt, liegen parallel zu den Anschlussklemmen Messbereichswiderstände.

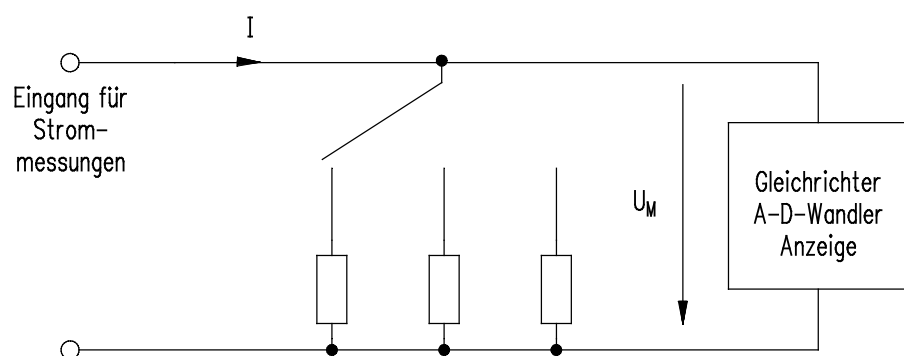


Abbildung 36 Blockschaltbild des Eingangsspannungsteilers mit den Abgriffen für die Strommessung

Der Widerstandswert wird so gewählt, dass bei dem maximalen Messbereichsstrom I die maximale Eingangsspannung U_M der nachfolgenden Baugruppe am Widerstand abfällt.

Da die nachfolgende Baugruppe sehr hochohmig ist, kann man davon ausgehen, dass der gesamte Messstrom über den Messbereichswiderstand fließt. Somit gilt:

$$R = \frac{U_M}{I}$$

Gleichrichter

Die Wechselspannung bzw. der Wechselstrom wird umgeformt, weil der A/D-Wandler für die Anzeige von Gleichspannung ausgelegt ist. Dies geschieht entweder mittels Messgleichrichter wie beim Drehspulmessgerät oder mittels Echteffektivwertumformer.

Wird die Umformung mit einem Brückengleichrichter durchgeführt, so wird der Formfaktor $F = 1,11$ berücksichtigt. Derartige DMM können nur zur Messung von Effektivwerten sinusförmiger Spannungen und Ströme eingesetzt werden.

Ein Echteffektivwertumformer berechnet bei beliebiger Kurvenform den Effektivwert. Die Anzeige ist also unabhängig von der Kurvenform. Sie wird lediglich durch die technischen Daten des Umformers eingeschränkt. Dies ist vor allem der nutzbare Frequenzbereich. Geräte mit diesem Umformer sind häufig durch die Bezeichnung TRUE-RMS gekennzeichnet.

Widerstandsmessung

Die Stromquelle erzeugt einen konstanten Gleichstrom, der über den zu messenden Widerstand fließt. Der entstehende Spannungsfall U ist dem Widerstandswert proportional und wird von A/D-Wandler ausgewertet. Die Prinzipschaltung der Widerstandsmessung mittels einer Stromquelle ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

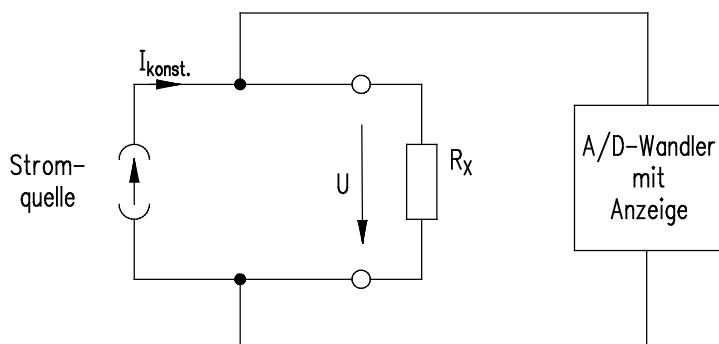


Abbildung 37 Prinzipschaltung der Widerstandsmessung mithilfe einer Stromquelle

$$U = I_{\text{konst.}} \cdot R_x$$

Da die Spannung U proportional zum gesuchten Widerstandswert ist, kann bei entsprechender Auslegung der Schaltung der Widerstandswert direkt abgelesen werden: z.B. $100 \text{ mV} \hat{=} 100 \Omega$.

Durch Änderung des Stromwertes sind verschiedene Messbereiche möglich.

A/D-Wandler mit Anzeige

Als Analog-Digital-Wandler werden in der Regel integrierende Wandler nach dem Dual-Slope-Verfahren eingesetzt. Mit ihnen lässt sich sowohl die notwendige Genauigkeit als auch eine Unterdrückung von störenden Signalanteilen erreichen.

Dazu wird der Messzyklus relativ lang gewählt. Bei einfachen Geräten beträgt er ca. 2 ms, bei Präzisionsgeräten mehrere Sekunden.

3.2 Digitales Speicheroszilloskop

Das herkömmliche analoge Oszilloskop stellt den Kurvenverlauf der zu messenden Spannung mittels einer Katodenstrahlröhre für den Menschen sichtbar dar. Bei periodisch auftretenden Signalen mit einer höheren Frequenz ist diese Darstellung zufriedenstellend. Bei einmal auftretenden Vorgängen oder bei periodischen Signalen mit einer sehr kleinen Frequenz kann der Kurvenverlauf nicht mehr dargestellt werden und es liegt der Wunsch nach einer Speicherung des Signalverlaufes nahe. Es wurden zwei Verfahren zur **analogen Speicherung** von Signalen entwickelt:

- **Bistabiles Bildschirmmaterial**

Der Bildschirm des Oszilloskops ist mit einer speziellen Beschichtung versehen, die zwei stabile Zustände besitzt. Hierdurch kann der Signalverlauf auf der Röhre gespeichert werden. Dieses Verfahren stellt zwar eine kostengünstige Lösung dar, die Energie, und damit die erreichbare Schreibgeschwindigkeit ist jedoch sehr gering, sodass dieses Verfahren nur bei niederfrequenten Vorgängen wie in der Mechanik Anwendung findet.

- **Veränderbare Nachleuchtdauer**

Die Nachleuchtdauer kann so eingestellt werden, dass das aufgezeichnete Signal dann zu verschwinden beginnt, wenn der neue Ablenkvorgang einsetzt. Dadurch können einerseits sehr langsame Signaländerungen, andererseits aber auch steile Flanken bei niederfrequenten Vorgängen aufgezeichnet werden.

Beide Verfahren haben allerdings den Nachteil, dass der an der Katodenstrahlröhre sichtbare Kurvenzug nicht automatisch weiterverarbeitet werden kann. Dies führte über die Entwicklung der Transientenrekorder (Geräten zur digitalen Aufzeichnung von Einzelvorgängen) zur Entwicklung von digitalen Speicheroszilloskopen. Durch die rasante Verbesserung der Analog-Digital-Umsetzer, dem Herzstück der digitalen Oszilloskope, gelang den digitalen Speicheroszilloskopen gegen Ende der Achtzigerjahre der Durchbruch.

Durch die Zeit- und Amplituden-Diskretisierung der Messwerte können diese leicht abgespeichert und weiterverarbeitet werden. Moderne digitale Speicheroszilloskope bieten neben den üblichen Oszilloskopfunktionen noch viele zusätzliche Möglichkeiten wie die Berechnung von Spitzen- und Mittelwerten, von Zeitwerten wie Periodendauer und Anstiegszeiten, den echten Effektivwert, Phasenverschiebung und vieles andere mehr.

Funktionsweise von digitalen Speicheroszilloskopen

Der Eingangsteil des digitalen Oszilloskops unterscheidet sich nicht von dem des analogen Oszilloskops, wie das folgende Blockschaltbild zeigt:

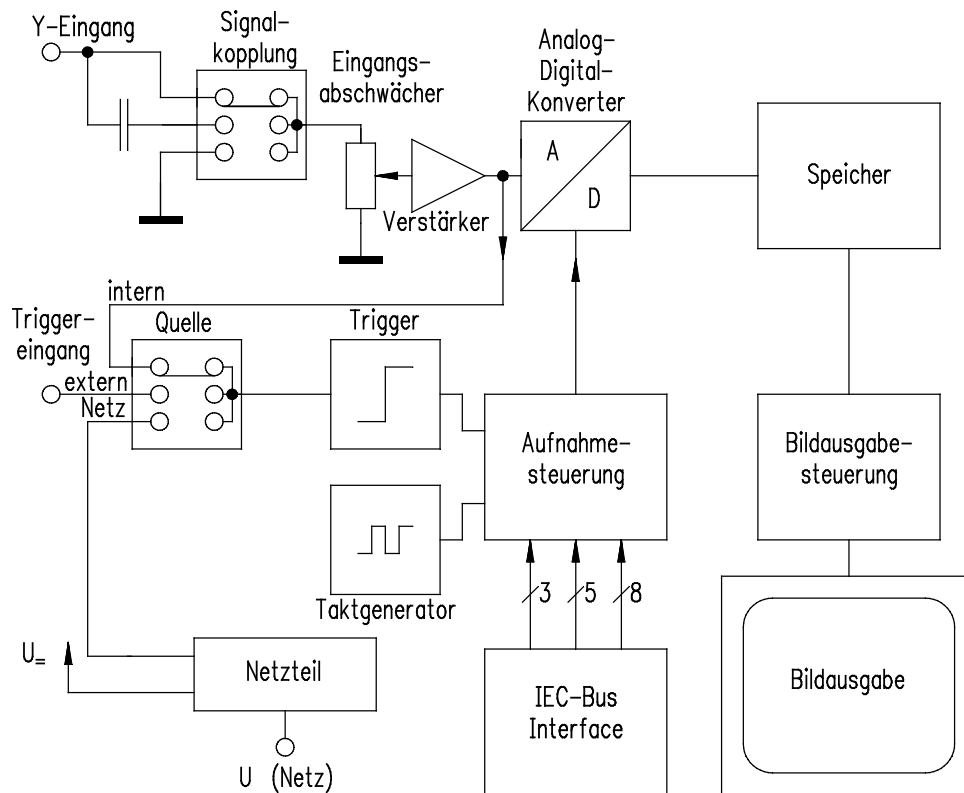


Abbildung 38 Blockschaltbild eines digitalen Speicheroszilloskops

Der Y-Eingang ist ähnlich gestaltet wie bei einem herkömmlichen Oszilloskop. Es gibt die Umschaltmöglichkeiten DC, AC und GND, um den Wechselspannungsanteil vom Signal abzutrennen und die Nulllinie einstellen zu können. Über den Eingangsabschwächer und dem Verstärker wird das Signal in kalibrierten Stufen dem Bildschirm angepasst.

Unterschiede zum analogen Oszilloskop treten erst in der weiteren Verarbeitung des Signals auf. Vom analogen Eingangssignal werden mit einer schnellen Abtastschaltung (Sample and Hold) Proben genommen, gespeichert und anschließend mit einem Analog-Digital-Umsetzer in einen Digitalwert gewandelt. Häufig handelt es sich um einen 8-Bit Analog-Digital-Umsetzer, der eine 8 Bit breite Dualzahl ausgibt. In diesem Fall ist dann festgelegt, dass in y-Richtung insgesamt $2^8 = 256$ verschiedene Spannungswerte unterschieden werden können. Die digitalen Zahlenwerte der Eingangsspannung werden in den Bildschirmspeicher geschrieben.

Dieser Bildschirmspeicher wird ständig ausgelesen, mithilfe eines Digital-Analog-Umsetzers wieder in eine analoge Spannung gewandelt und auf dem Bildschirm dargestellt. Da die Auslesung, Umsetzung und Darstellung des Bildschirminhaltes fortlaufend erfolgt, entsteht auf dem Bildschirm ein nicht flackerndes Bild, das den Inhalt des Bildschirmspeichers darstellt. Ändert sich der Bildschirmspeicher nur sehr langsam, weil die Abtastfrequenz sehr klein eingestellt ist (für langsame Signaländerungen) und die Werte im Bildschirmspeicher nur sehr langsam erneuert werden, kommt es immer zu einer Darstellung des gesamten Kurvenverlaufs auf dem Bildschirm.

Im Normalfall entspricht die Triggereinheit eines digitalen Speicheroszilloskops der eines analogen. Während allerdings beim analogen Oszilloskop vom Trigger ein Sägezahn-generator ausgelöst wird, der die x-Ablenkung steuert, wird beim digitalen Speicheroszilloskop laufend der Bildschirmspeicher mit den digitalen Abtastwerten beschrieben. Beim Eintreffen des Triggerereignisses wird die Aufzeichnung beendet, sodass nur der Verlauf des Eingangssignals vor dem Triggerzeitpunkt aufgezeichnet wird.

Um, ähnlich wie beim analogen Oszilloskop, den Signalverlauf nach dem Trigger sichtbar zu machen, besitzen die digitalen Speicheroszilloskope einen einstellbaren Verzögerungszähler, der nach dem Triggerereignis die eingestellte Anzahl der Datenpunkten aufzeichnet. Der Vorgang der Datenaufnahme wird solange durchgeführt bis er von der Steuereinheit beendet wird.

Die Zeitbasiseinstellung lässt Zeitteilungen der x-Achse über einen sehr großen Bereich zu:

Zum Beispiel: $5 \frac{\text{s}}{\text{cm}}$ bis $0,1 \frac{\mu\text{s}}{\text{cm}}$

Zu beachten ist dabei allerdings, dass nicht jede Zeitbasiseinstellung zur Echtzeitdarstellung des y-Signals führt. Eine Grenze bildet dabei die maximale Umsetzfrequenz (Abtastrate) des Analog-Digital-Umsetzers im y-Kanal. Am Oszilloskop ist der Zeitbasisbereich für Echtzeitsampling deutlich markiert. In diesem Bereich erhält die Abtastschaltung (Sample and Hold) über den Steuerbus jeweils einen neuen Abtastimpuls (Sample), wenn der Analog-Digital-Umsetzer das Ende der Umsetzung (EOC = End of Conversion) signalisiert und das Datenwort vom Pre-Trigger-Speicher übernommen worden ist.

Beim Eintreffen eines Triggerimpulses werden die Daten in den Anzeigespeicher übernommen und anschließend ausgelesen. Das so genannte Echtzeitsampling wird für höhere Frequenzen, bei denen die Zeitbasis auf kleinere Zeitwerte umgeschaltet wird, vom sequenziellen Samplingverfahren abgelöst.

In der Praxis beträgt nach dem Abtasttheorem, die höchste darstellbare Frequenz in Echtzeit etwa $1/5$ der Abtastrate. Übliche Abtastraten liegen im Bereich 2 bis 500 MHz. Das sequenzielle Sampling, wie es auch beim Samplingoszilloskop angewandt wird, erlaubt nicht mehr die Echtzeitdarstellung. Das Oszillogramm einer Periode des Eingangssignals ist hier das Ergebnis der Abtastungen vieler Perioden der Eingangsfrequenz. Die Abbildung einmaliger Vorgänge ist in diesem Zeitbereich der Zeitbasis nicht mehr möglich.

Digitale Speicheroszilloskope können zur Erweiterung ihrer Einsatzmöglichkeiten in ein automatisches Messsystem eingebaut werden. Sie müssen zu diesem Zweck eine entsprechende Schnittstelle zum Messbus aufweisen. In der Messtechnik besitzt das IEC-625-Bussystem zur Verbindung mehrerer Messgeräte zu einem Messsystem eine große Bedeutung.

Signalabtastung

Wird das Eingangssignal zum Zeitpunkt des Auftretens abgetastet und gespeichert, spricht man von Echtzeitabtastung (**Real-Time-Sampling**). Mit dieser Methode können sowohl periodische als auch transiente Vorgänge erfasst werden. Ein Beispiel der Echtzeitabtastung ist in der Abbildung 39 dargestellt:

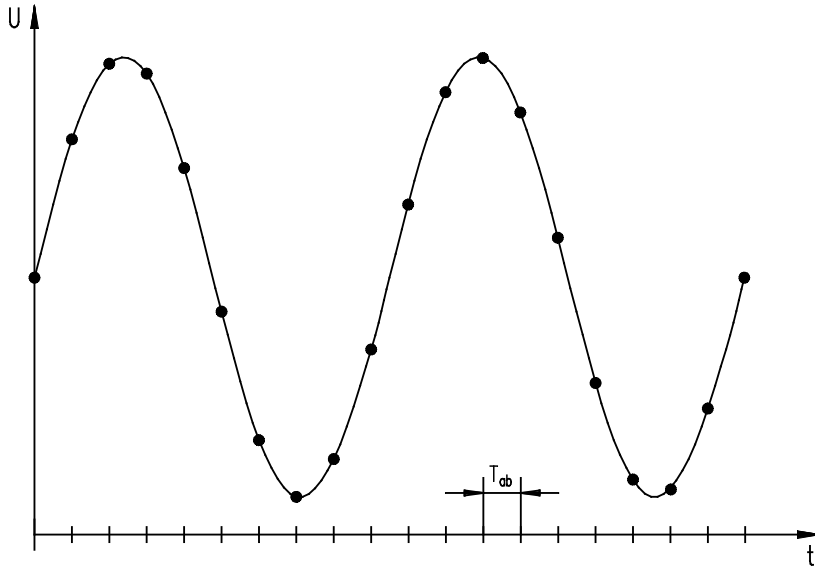


Abbildung 39 Echtzeitabtastung eines Sinussignals

Um Fehler bei der Echtzeitabtastung zu vermeiden, müssen einige Grenzen beachtet werden:

Aliasing

Um einen Signalverlauf aus den abgetasteten Werten vollständig rekonstruieren zu können, muss das Abtasttheorem von Shannon erfüllt werden. Dieses sagt aus, dass bei jedem Signal, das abgetastet werden soll, die Frequenzen sämtlicher auftretender Signalkomponenten kleiner sein müssen als die halbe Abtastfrequenz T_{abt} .

$$f_{\max} < \frac{f_{abt}}{2} = \frac{1}{2 \cdot T_{abt}}$$

Diese Bedingung gilt jedoch nur bei Verwendung eines idealen Tiefpasses. In der Praxis verwendet man eine fünffache Abtastfrequenz.

Ist diese Bedingung nicht erfüllt, tritt der so genannte **Aliasing-Effekt** auf. Die Bezeichnung weist auf eine Signalverfremdung hin, denn der Effekt bewirkt unter anderem eine scheinbare Frequenztransformation und daher werden falsche Zeitmaßstäbe angezeigt.

In der Abbildung 40 wird das Zustandekommen dieses Effekts gezeigt:

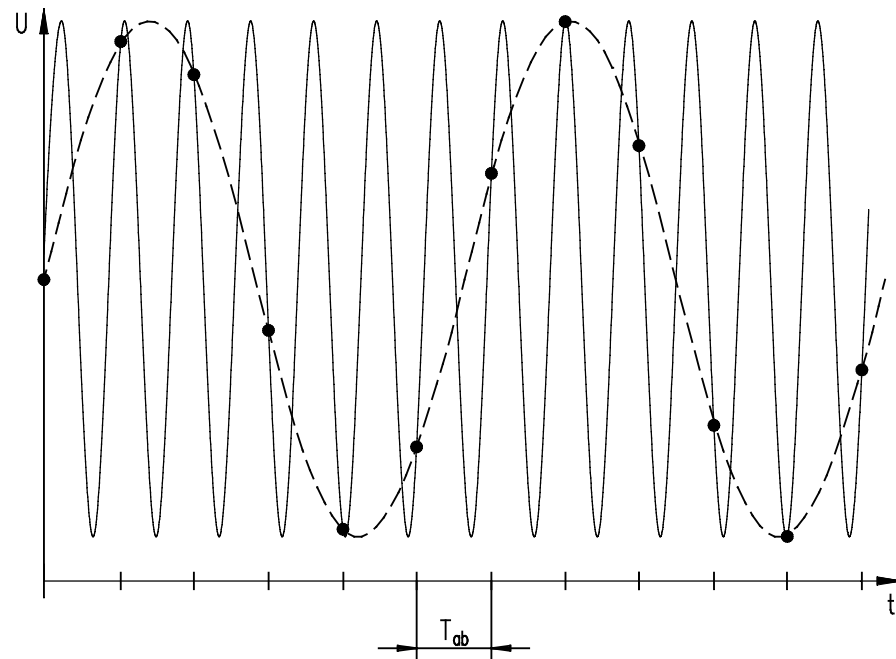


Abbildung 40 Abtastung einer Sinusschwingung mit einer falschen Abtastfrequenz

Durch die zu geringe Abtastrate entsteht ein Kurvenverlauf mit scheinbar geringerer Frequenz. Das Problem dabei ist, dass man den Aliasing-Effekt nicht erkennen kann. Abhilfe schafft in diesem Fall nur eine Erhöhung der Abtastrate. Sollte sich dann die angezeigte Frequenz ändern, kann man davon ausgehen, dass zumindest die vorherige Aufnahme gegen das Abtasttheorem verstoßen hat.

Einige digitale Speicheroszilloskope bieten die Möglichkeit Filter zur Frequenzbegrenzung vor den Analog-Digital-Umsetzer zu schalten. Diese Filter werden **Anti-Aliasing-Filter** genannt. Diese Filter sind der Abtastfrequenz angepasste Tiefpassfilter mit großer Steilheit (> 40 dB/Dekade), die als Nachteil eine zusätzliche Dämpfung im Durchlassbereich besitzen.

Eine übliche Methode zur Erkennung von Aliasing besteht darin, dass mit einer geeigneten Schaltung die Spitzenwerte zwischen zwei Abtastungen erkannt werden.

Ein digitales Speicheroszilloskop besitzt viele Signalverarbeitungsmodi, die hier nicht alle erläutert werden:

- Spitzenwerterkennung
- Hüllkurvenerkennung
- Refresh-Mode
- Roll-Mode
- Single-Mode
- Save-Mode (Speichermodus)
- Compare-Mode
- Minimum-Maximum-Mode

Chopper- und alternierender Betrieb

Diese zwei Betriebsarten haben die gleiche Funktion wie bei einem analogen Oszilloskop. Hier wird der Anzeigespeicher in zwei Bereiche aufgeteilt. Beispielsweise zum einen in dem Bereich mit den geradzahligen und zum anderen in dem Bereich mit den ungeradzahligen Adressen des Bildschirmspeichers.

- Der Chopper arbeitet dabei synchron mit den Zählern des Pre-Trigger- bzw. Anzeigespeichers. Damit kommen automatisch die Spannungsanteile des y_1 -Eingangs in den einen Speicherbereich und die des y_2 -Eingangs in den anderen. Ist der Anzeigespeicher voll, wird er ausgelesen und angezeigt. Durch den Wechsel von geradzahligen und ungeradzahligen Adressen beim Auslesen entsteht das übliche Chopperbild des 2-Kanal-Oszilloskops.
- Im alternierenden Betrieb wird einmal der Speicher mit y_1 -Signal gefüllt, danach gelesen und angezeigt. Anschließend wird auf y_2 -Signal umgeschaltet.

Triggerung

Unabhängig von der gewählten Aufzeichnungsart kann die Darstellung des Triggerereignisses gewählt werden. Grundsätzlich werden die digitalen Werte des Eingangssignals solange in dem für die Aufzeichnung vorhandenen Ringspeicher (Bildschirmspeicher) abgespeichert, bis das eingestellte Triggerereignis eintritt. Würde die Aufzeichnung sofort gestoppt werden, könnte immer nur der Signalverlauf vor dem Trigger angezeigt werden. Aus diesem Grund besitzen digitale Speicheroszilloskope einen Verzögerungszähler, der die Anzahl der Abtastwerte angibt, die nach dem Eintreffen des Triggersignals noch zusätzlich aufgezeichnet werden sollen. Zwei Arten des Triggers sind einstellbar:

- **Pretrigger**

Der Triggerzeitpunkt ist in der Darstellung sichtbar, das Bild zeigt sowohl einen Teil der Vorgeschichte, als auch ein Stück des Signalverlaufes nach dem Triggerereignis. Der maximale Anteil der Vorgeschichte ist dann erreicht, wenn die Aufzeichnung mit dem Eintreffen des Triggers gestoppt wird, also der Posttrigger 0 ist.

- **Posttrigger**

Der Verzögerungszähler ist auf einen größeren Wert eingestellt, als es der maximalen Speichertiefe entspricht. Der Triggerzeitpunkt ist nicht mehr sichtbar.

Die Abbildung 41 stellt den Zusammenhang zwischen Pretrigger und Posttrigger dar:

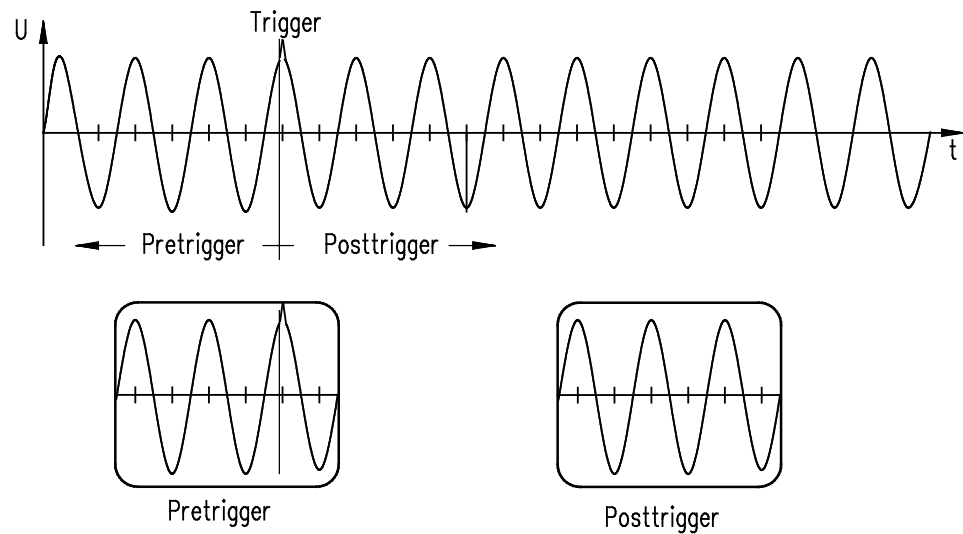


Abbildung 41 Zusammenhang zwischen Pretrigger und Posttrigger

Die abgetasteten und digitalisierten Werte des Eingangssignals liegen im Datenspeicher als Amplituden des Signals zu diskreten Zeitpunkten vor. Um den digitalisierten Kurvenzug auf dem Bildschirm geeignet darstellen zu können, gibt es neben der Punktdarstellung die lineare und die Sinusinterpolation.

Lineare Interpolation

Bei der linearen Interpolation werden benachbarte Punkte aus der Punktdarstellung mit einer Geraden verbunden. Auch diese Art ist bei geringer Punktdichte wenig anschaulich, da die so erzeugte Kurvenform vom realen Verlauf abweicht. Die Abweichung ist umso größer, je weniger Abtastwerte z.B. einer Sinusschwingung vorhanden sind. Um den Signalverlauf einer Sinusschwingung einigermaßen rekonstruieren zu können, müssen bei der linearen Interpolation im Allgemeinen 10 Abtastwerte pro Periode herangezogen werden.

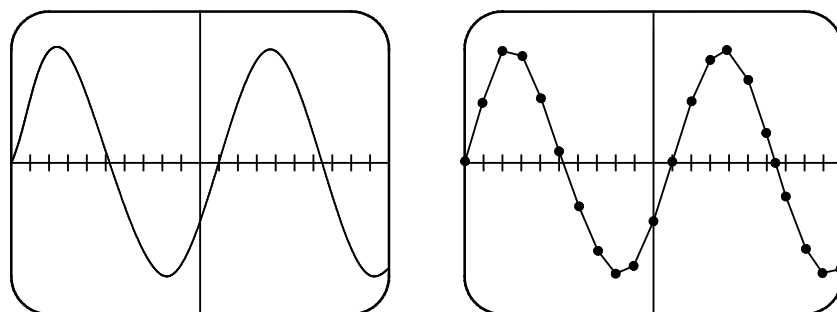


Abbildung 42 Eingangssignal und lineare Interpolation der Punktdarstellung des Eingangssignals

Sinusinterpolation

Ist das Abtasttheorem erfüllt, kann das abgetastete Signal prinzipiell verzerrungsfrei rekonstruiert werden. Durch jeden der einzelnen Abtastwerte wird dabei die darzustellende Funktion durch folgende Funktion interpoliert:

$$si(x) = \frac{\sin(x)}{x} \quad \text{mit: } x = \pi \cdot \frac{t}{T_{\text{abt}}}$$

In die einzelnen Abtastwerte wird zum Zeitpunkt $k \cdot T_{\text{abt}}$ die si-Funktion gelegt und die entstehenden Funktionsverläufe additiv überlagert, sodass das Eingangssignal wieder vollständig rekonstruiert werden kann. Um aber in der Praxis durch die zeitbegrenzte Realisierung der si-Funktion eine gute Rekonstruktion zu erhalten, ist es notwendig, statt mit mindestens 2 Abtastwerten pro Periode, wie es das Abtasttheorem vorschreibt, mit ca. 2,5 bis 2,7 Abtastwerten pro Periode der höchsten vorkommenden Signalfrequenz abzutasten.

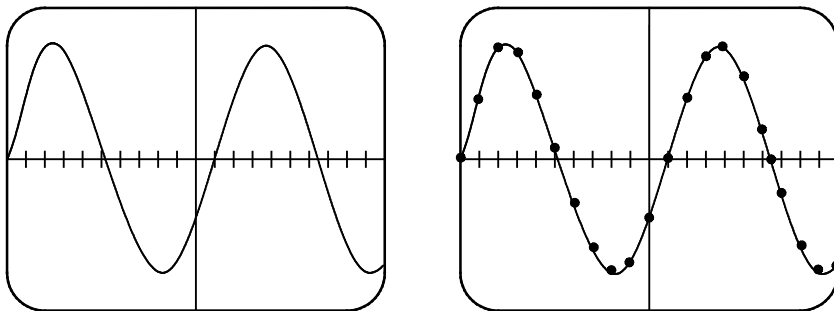


Abbildung 43 Eingangssignal und Sinusinterpolation der Punktdarstellung des Eingangssignals

3.3 Logikanalysator

Der Logikanalysator wird nicht als Oszilloskop im eigentlichen Sinne betrachtet. Bei diesem Gerät geht es nicht um die Aufzeichnung von analogen Spannungsverläufen als Funktionen der Zeit, sondern ausschließlich um die Darstellung von digitalen Wertigkeiten, d.h. Bitkombinationen nach einem High-Low-Bitmuster oder in numerischer Form im Binär-, Oktal-, Dezimal- oder Hexadezimalcode.

Dabei können grundsätzlich zwei Darstellungsarten unterschieden werden. Die x-Achse des Bildschirms stellt eine Zeitachse dar, mit der die Zeitabstände zwischen den einzelnen Impulsflanken gemessen werden können. Diese Darstellung wird auf Grund des Zeiteinflusses „Timingdiagramm“ genannt und kommt einem Oszillogramm am Nächsten. Die Darstellung in binärer oder hexadezimaler Form findet beispielsweise bei der Bestimmung des Inhaltes eines Speichers zu einem bestimmten Zeitpunkt Anwendung. Ziel ist hierbei der Erhalt von Informationen über die Potenziale, die an den einzelnen Eingängen zu einem beliebigen Zeitpunkt anlagen oder anliegen. Man bezeichnet diese Darstellung als Zustandsdiagramm, was mit einem Oszillogramm kaum etwas zu tun hat.

Während das Oszilloskop in der Regel nur 2 bis 4 Kanäle aufweist, können Logikanalysatoren über 16, 32, 64 und mehr Datenkanäle verfügen. Die Triggerung kann von einem bestimmten Eingangssignal abgeleitet werden (wie beim Oszilloskop) oder aber auch durch Anliegen eines bestimmten Bitmusters an den einzelnen Eingangskanälen erfolgen. Dieses Triggerwort ist vom Anwender frei programmierbar, wobei auch nur bestimmte Kanäle selektiert werden brauchen. In der Abbildung 44 ist ein Timingdiagramm und eine Zustandsdarstellung abgebildet. Man erkennt beim Timingdiagramm die prinzipiell oszillographische Darstellung wieder, wobei hier allerdings nur das logische Signal dargestellt wird. D.h. wenn z.B. der Logikanalysator auf TTL-Pegel einge-

stellt ist, erkennt er zwischen 2,4 V und 5 V ein High-Signal, was als solches dargestellt wird, egal welchen tatsächlichen Spannungswert das Eingangssignal in diesem Spannungsbereich hat. So sind bei einem Logikanalysator die Impulsflanken und Amplituden immer gleich.

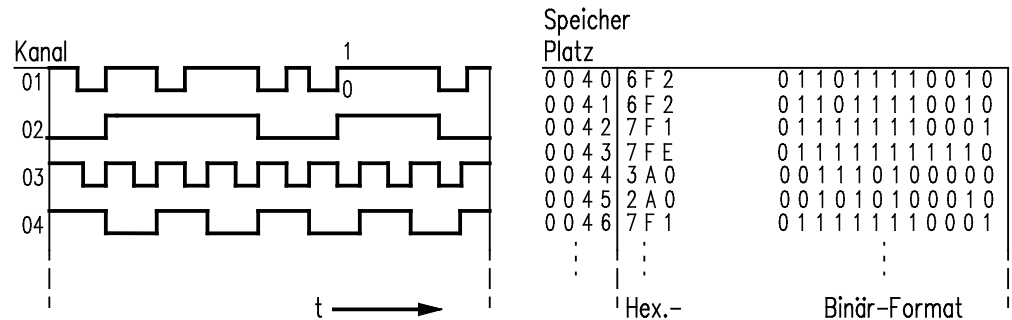


Abbildung 44 Timing- und Zustandsdiagramm eines Logikanalysators

Blockschaltbild

In der Abbildung 45 ist ein sehr vereinfachtes Blockschaltbild eines Logikanalysators dargestellt, was jedoch die typischen Baugruppen erkennen lässt:

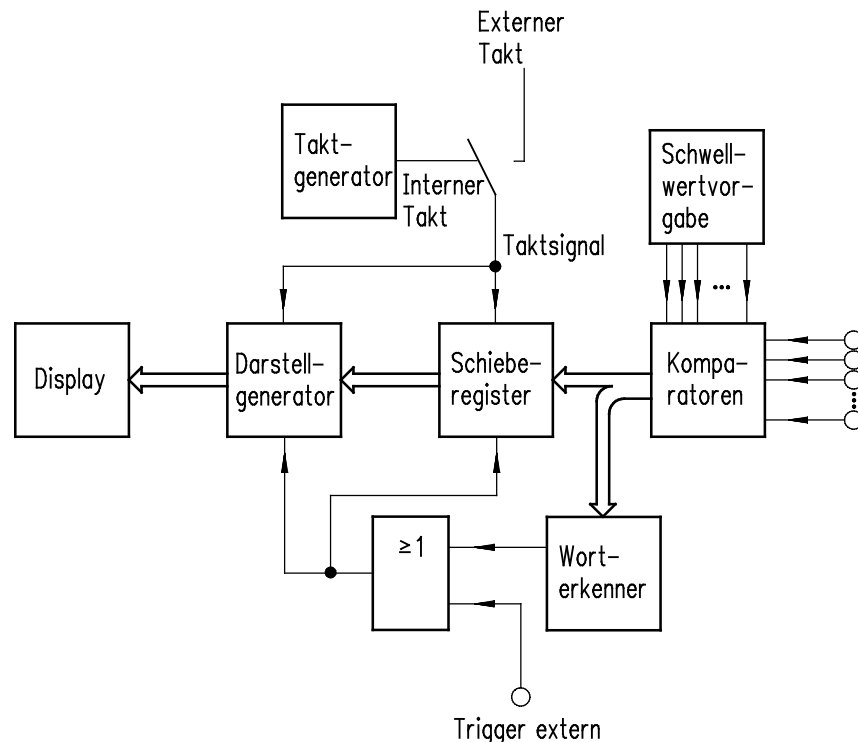


Abbildung 45 Blockschaltbild eines Logikanalysators

Die Dateneingänge sind meist in Steckeinheiten zu je 8 Kanälen (1 Byte) gegliedert. Die Eingangssignale werden zunächst über einstellbare Schwellwertschalter geführt, die der Unterscheidung der Pegel bei verschiedenen Logikfamilien (TTL, CMOS, ECL usw.) dienen. Jedem Kanal ist ein RAM-Speicherbereich zugeordnet, der je Kanal zwischen 256 und 4.096 Bits aufnehmen kann. Diese Speichertiefe ist bei den einzelnen Logikanalysatoren verschieden.

Zur Analyse eines 8-Bit-Mikroprozessorsystems sollte ein Logikanalysator verwendet werden, der mindestens 32 Kanäle aufweist:

- 8 Datenbusleitungen
- 16 Adressbusleitungen
- 8 Steuerbusleitungen

Somit ergibt sich ein Arbeitsspeicher mit 32 x 256 bis 32 x 4.096 Bit Speicherkapazität.

Neben dem Arbeitsspeicher ist meist noch ein Referenzspeicher mit gleicher Kapazität vorgesehen. Mit ihm lassen sich Vergleichsanalysen durchführen. Der Speicher nimmt die Daten der Eingangskanäle im Rhythmus eines Taktsignals auf, das entweder vom internen Taktgenerator oder extern vom Systemtakt des zu analysierenden Geräts abgegeben wird.

Zwei Betriebsarten sind hierbei möglich:

- Im Asynchronbetrieb erfolgt die Datenspeicherung mit dem internen Takt.
- Im Synchronbetrieb erfolgt die Datenspeicherung mit dem dazugehörigen externen Systemtakt.

Mit jedem Taktimpuls erhöht sich der Adressenzähler des Speichers um 1 und die an den Eingängen anliegenden Signale bzw. Daten werden gespeichert. Sobald der Speicher gefüllt ist, kann eine Anzeige des Speicherinhalts erfolgen. Die Periodendauer des internen Taktgenerators ist umschaltbar, sodass sich im Timingdiagramm unterschiedliche Zeitbasiseinstellungen ergeben. Die höchsten Taktfrequenzen liegen bei 100 MHz bis 500 MHz. Damit ergibt sich eine Abtastperiode der Kanäle von 10 ns bis 2 ns.

Da die Impulsfolgen der Kanäle und die Taktflanken zur Speicherung der internen Taktsteuerung asynchron sind, ergibt sich im Timingdiagramm zwangsläufig ein Zeitfehler. Die Berücksichtigung einer bestimmten Mindestzeit zwischen dem Anlegen des Eingangssignals und dem Abtastaugenblick führt im ungünstigsten Fall auf ± 2 Abtastperioden als Zeitfehler. Bei 100 MHz Taktfrequenz ergäben sich Unsicherheiten von ± 20 ns im Zeitdiagramm.

Je höher die interne Taktfrequenz ist, desto genauer wird die Timingdarstellung im Asynchronbetrieb.

Triggerung

Die Triggerung bei einem Logikanalysator kann auf zwei Weisen erfolgen. Zum einen so wie bei dem herkömmlichen Oszilloskop. Hierbei muss das Eingangssignal eine eingestellte Triggerschwelle (Spannungspegel) überschreiten und es wird die Triggerung ausgelöst. Zum Anderen verfügt ein Logikanalysator, im Gegensatz zum Oszilloskop über eine zusätzliche Triggerlogik, die den Zeitpunkt, der Beendigung der Abtastung und der Speicherung der Kanäle, festlegt. Dies geschieht, wenn die Bits auf bestimmten Kanälen eine Bitkombination bilden, die dem vorher eingegebenen Triggerwort entsprechen. Zusätzlich können noch weitere Bedingungen vereinbart werden wie z.B., dass das Triggerwort mehrmals auftritt oder ein zweites Triggerwort parallel anliegt. Dieses findet Anwendung, wenn die Signale auf dem Bus bei einem bestimmten Befehl untersucht werden sollen.

In der Regel enthält der Logikanalysator eine einstellbare Verzögerungsschaltung, mit deren Hilfe das Stoppsignal für die Datenaufnahme erst eine gewisse Zeit nach Erfüllung der Triggerbedingung gegeben wird, sodass auch später eintreffende Daten noch gespeichert werden. Diese Verzögerungszeit (Triggerdelay) kann so gewählt werden,

dass 25 %, 50 %, 75 % oder 100 % des Speicherinhalts in die Zeit nach der Triggerrung fallen.

Bei der externen Taktsteuerung erlaubt eine zusätzliche Qualifizierlogik die Ausblendung gewisser Taktimpulse, sodass nur bestimmte Bitfolgen in den Speicher übernommen werden. Dies ist besonders bei der Analyse von Computerprogrammen hilfreich. Die Speicherkapazität wird damit für die interessierenden Programmteile frei gehalten.

Asynchron- und Synchronbetrieb

Bei dem Asynchronbetrieb wird der Takt intern erzeugt. Wird dieser intern erzeugte Takt während einer Timinganalyse (Asynchronbetrieb) für Zeitmessungen verwendet, kann keine exakte Zuordnung der Datenflanken zu dem Taktimpuls vorgenommen werden. Dieses wird in der Abbildung 46 dargestellt.

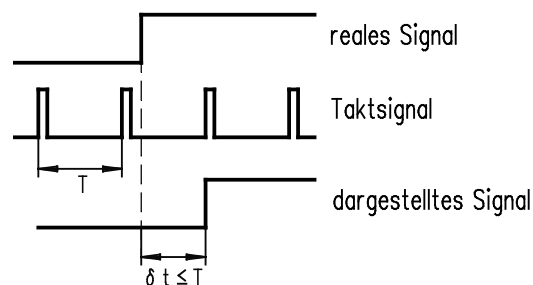


Abbildung 46 Zeitfehler beim Asynchronbetrieb

Setzt man bei der Timinganalyse jedoch den externen Takt (Synchronbetrieb) ein, erfolgt eine exakte Zuordnung der Datenflanken, da der externe Systemtakt synchron mit dem gelieferten Kanaldaten läuft. Es treten hierbei keine Zeitfehler zwischen den Kanälen auf. Zeitmessungen sind allerdings nicht möglich, denn es fehlt die durch den internen Takt gegebene kalibrierte Zeitbasis. Synchrone Timingdarstellungen sind für die Analyse der Adressen, Daten und Steuersignale eines Mikroprozessors sehr von Vorteil. Auch Zustandsdiagramme der Mikroprozessorsignale werden im Synchronbetrieb erstellt, mit dem Programmanalysator durchgeführt werden können. Das ist besonders leicht möglich, wenn der Logikanalysator ein Modul besitzt, das die Speicherdaten in den mnemonischen Code des untersuchten Mikrocomputers übersetzt und in dieser Darstellungsform auf den Bildschirm ausgibt.

3.4 PC-Messsysteme

Für viele Messaufgaben sind mehrere Messgeräte gleichzeitig erforderlich. Wenn diese zu einem Messaufbau zusammengefasst werden, spricht man von einem Messplatz oder Messsystem. Damit große Zahlen von Einzelmessungen oder sich häufig wiederholende Messprozeduren mit wenig Aufwand für das Bedienpersonal durchführbar sind, wird in der Regel dabei ein möglichst selbsttätiger Ablauf angestrebt. Die rein manuelle Einstellung an den Messgeräten und Messobjekten ist dabei durch automatische Verfahren zu ersetzen. In der modernen Messtechnik ist dieses durch den Einsatz von Rechnern gelöst.

Damit die Abläufe an Messplätzen und Messsystemen automatisch erfolgen können, ist es erforderlich, dass die Einstellungen an den Messgeräten und Messobjekten elektromechanisch oder elektronisch durchführbar sind. Die Auslösung jeder Einstellung bedingt dabei ein extern zugeführtes Steuersignal, wobei die Reihenfolge der Einstellungen durch ein Programm vorgegeben ist. Während früher dafür Schaltwal-

zen, Lochstreifen oder Lochkarten zur Anwendung kamen, werden bei den modernen Geräten fast ausnahmslos rein elektronische Verfahren eingesetzt. Die automatische Schrittfolge wird durch einen Computer gesteuert, dessen Herz meist aus einem oder mehreren Mikroprozessoren besteht.

Die Umstellung von direkter (manueller) auf indirekte (automatische) Einstellmethode erfordert die Verwendung entsprechender Messgeräte. Diese müssen schaltungstechnisch so aufgebaut sein, dass alle Bedienvorgänge durch externe Steuersignale ausgelöst werden können. In der Praxis kommen auch hier Mikroprozessoren zum Einsatz. Mithilfe des im Messgerät integrierten Rechners ergibt sich eine vereinfachte Bedienung. Durch die Programmierung können dem Anwender folgende Funktionen nützlich sein:

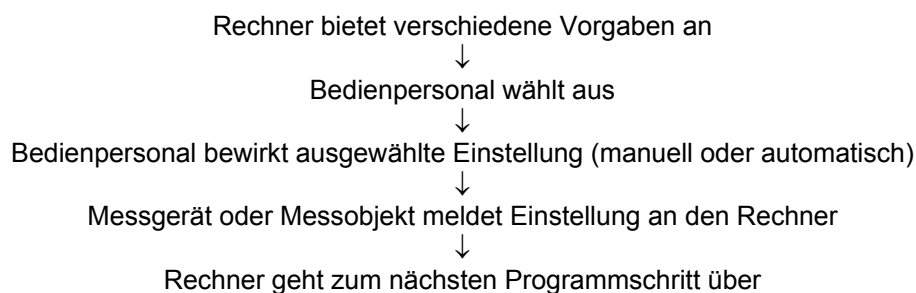
- selbsttätiger Ablauf von einzelnen Messvorgängen oder Messreihen
- selbsttätige Wiederholung häufig erforderlicher Einstellungen
- selbsttätige Prüfung der Kalibrierung (sog. Selbsttest)
- dem Messkonzept angepasste Aufbereitung der Messwerte bzw. Messergebnisse

Bei Messgeräten, die über eine Mikroprozessorsteuerung verfügen, wird im Allgemeinen von „intelligenten Messgeräten“ gesprochen. Die Intelligenz besteht darin, dass gemäß der Programmierung das Messgerät von der Ansteuerung abhängig reagiert und entscheiden kann. Falls bei einem Messplatz oder Messsystem nicht alle Geräte bzw. Funktionen durch Rechneransteuerung auslösbar sind, können wir nicht mehr von einem vollautomatischen Ablauf der Messungen sprechen. Es treten an den entsprechenden Stellen im Programmablauf Unterbrechungen auf, bei denen dann die erforderlichen Einstellungen manuell durchgeführt werden müssen. Die Aufforderung dazu erfolgt durch Anzeige auf einem Bildschirmgerät oder durch sonstige Signalisierung.

Für verschiedene messtechnische Anwendungen ist es nicht möglich oder auch nicht sinnvoll, die gesamte Messprozedur zu automatisieren. Dies gilt besonders bei Entwicklungen oder Einzelfertigungen, da hier nicht von festen Parametern ausgegangen werden kann. Für diese Fälle gibt es die Möglichkeit des Dialogbetriebes. Dabei ist zwischen dem Rechner und den Messgeräten bzw. dem Messobjekt eine Art Frage- und Antwort-Abfolge festgelegt.

Vom Rechner zur Auswahl gestellte Vorgaben (z.B. Spannungsbereich) werden auf einem Bildschirm angezeigt, vom Bedienpersonal ausgesucht und dann durch manuelle oder automatische Einstellung realisiert. Dadurch erfolgt eine Meldung an den Rechner, der nun den nächsten Programmschritt abarbeiten kann. Beim Dialogbetrieb kann in vielen Fällen der Aufwand für die Programmierung kostenmäßig klein gehalten werden, außerdem ist das Konzept flexibler. Im Gegensatz zu einem vollautomatischen Ablauf muss jedoch stets Bedienpersonal zur Verfügung stehen.

Ablauf bei einem Dialogbetrieb:



Im Entwicklungslabor wird es oft darum gehen, viele Parameter einer elektronischen Schaltung möglichst genau zu erfassen und auszuwerten, um optimale Lösungen zu erreichen. Dabei müssen sehr verschiedenartige Geräte wie z.B. Strom- und Spannungsquellen, Funktionsgeneratoren, Multimeter, Frequenzzähler und Oszilloskope zu einem Messplatz integriert werden. Die Messergebnisse sind zu speichern und zu dokumentieren. Häufig geht der eigentlichen „Echtzeitmessung“ eine Simulation der Schaltung mithilfe von Computerprogrammen (z.B. PSPICE) voraus.

Die Daten der simulierten Schaltung müssen anschließend mit denen des Labormusters verglichen und Abweichungen analysiert werden. Für den Computereinsatz setzt dies voraus, dass auch die Messdaten in digitaler Form vorliegen.

Eine besondere Bedeutung kommt dem Verbindungsweg zwischen dem Messgerät und dem Steuergerät oder Steuerrechner zu. Hier werden zwei grundsätzlich verschiedene Systeme unterschieden:

Zentrales Messsystem

Bei einem zentralen Messsystem sind die Messgeräte in Form von Steckkarten im Rechner integriert. Rechner und Messgeräte bilden eine Einheit. Vorteil des zentralen Systems ist die hohe Mess- und Datenübertragungsgeschwindigkeit, da die Messgeräte unmittelbar mit dem Systembus des Rechners verbunden sind.

Ein wesentlicher Nachteil besteht jedoch einerseits in der Beschränkung der Zahl von Messkarten auf die Zahl der Steckplätze des Rechners und andererseits auch darin, dass die einzelnen Steckkarten an den speziellen Rechner angepasst sein müssen und somit nicht universell verwendbar sind. Auch ist man bei diesem Konzept in der Auswahl der verwendbaren Messgeräte eingeschränkt. Die Abbildung 47 stellt ein Blockschaltbild eines zentralen Messsystems dar:

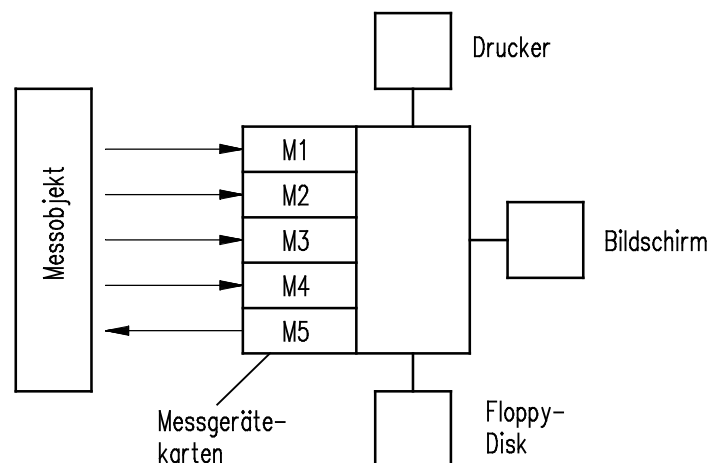


Abbildung 47 Blockschaltbild eines zentralen Messsystems

Dezentrales Messsystem

Bei einem dezentralen Messsystem werden eigenständige Messgeräte eingesetzt, die über Kabel mit dem Rechner verbunden sind. Für eine dezentrale Lösung spricht, dass im Prinzip Messgeräte beliebiger Art und Anzahl eingesetzt werden können. Durch eine Normierung des Interfaces wird eine Austauschbarkeit der einzelnen Messgeräte erreicht. Vorteilhaft kann auch die Möglichkeit der räumlichen Trennung von Messort und Auswertungsort sein, wenn man an die äußeren Bedingungen in einem Produktionsbetrieb denkt.

Nachteilig für dieses Gerätekonzept ist der Mehraufwand für die Interfacebaugruppen. Ferner ist die Datenübertragungsgeschwindigkeit über die Schnittstellen (Messgerät ... Rechner) mit den dazugehörigen Protokoll deutlich geringer als bei zentralen Systemen. Somit ist von Fall zu Fall zu prüfen, ob die zentrale oder dezentrale Lösung zu bevorzugen ist. Die Abbildung 48 stellt ein Blockschaltbild eines dezentralen Messsystems dar:

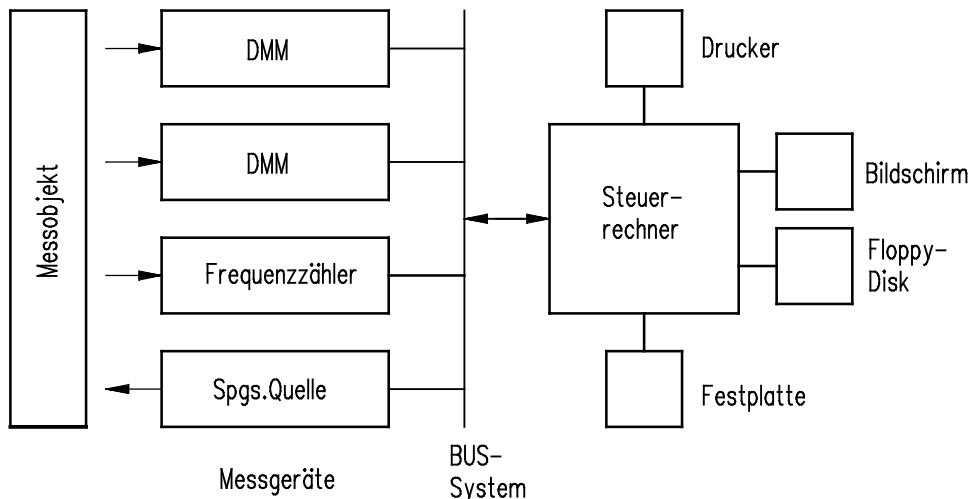


Abbildung 48 Blockschaltbild eines dezentralen Messsystems

Die Datenübertragung auf dem Verbindungsweg zwischen den Messgeräten und dem Steuergerät ist von großer Bedeutung. Prinzipiell lassen sich zwei Arten der Datenübertragung unterscheiden:

Parallele Datenübertragung

Im Rahmen der Labormesstechnik erfolgt die Datenübertragung über einen Messbus meistens parallel. Für jedes Bit eines Datenwortes steht eine Leitung zur Verfügung. Somit benötigt man zur Übertragung von 1 Byte (= 8 Bit) acht Leitungen. Man spricht dann von bitparalleler Übertragung. Hinzu kommen weitere Leitungen für Steuerungszwecke.

Der Bus wird im Multiplexbetrieb verwendet. D.h. für den Datenverkehr gibt es nur ein gemeinsames Leitungsbündel, an das jedes einzelne Gerät angeschlossen wird. Die Auswahl welches Gerät gerade angesprochen werden soll, erfolgt über eine Adressierung, wobei jedes Gerät eine feste Adresse erhält. Da jedes Gerät mechanisch am Bus angekoppelt ist, muss es über die Möglichkeit verfügen sich elektrisch durch einen hochohmigen Zustand (Tri-State-Technik) vom Bus zu trennen. Der Formalismus zum Austausch von Daten über den Bus wird in dem so genannten Busprotokoll festgelegt.

Die Parallelstruktur ermöglicht zwar eine sehr schnelle Datenübertragung, wegen der großen Zahl an Leitungen - je nach System können es bis zu 64 sein - verbietet allerdings den Datenverkehr über große Entfernungen. So ist z.B. die maximale Distanz für den IEC 625-Bus 20 m und für den CAMAC-Branch-Highway-Bus ca. 60 m. Im Laborbetrieb hat sich weitgehend der IEC 625-Bus durchgesetzt. Hier geht es weniger um die Überbrückung großer Entfernungen, sondern mehr um schnelle Messvorgänge mit vielen unterschiedlichen Messgeräten. Dieser Bus wird später in diesem Kapitel näher beschrieben.

Serielle Datenübertragung

Sollen Daten über größere Entfernungen bis hin zu mehreren Kilometern überbrückt werden, dann kommt nur ein Bussystem mit einer serieller Datenübertragung infrage. Solche Systeme werden vor allem in der Prozessleittechnik benötigt, wo es um Messung, Steuerung und Regelung von Produktionsprozessen geht. Ein solches Bussystem bildet der PDV-Bus (Prozesslenkung mit **D**aten-**V**erarbeitungsanlagen).

Im Gegensatz zur parallelen Übertragung werden hier die einzelnen Bits des Datenwortes nacheinander auf einer Leitung gesendet. Die einzelnen Teilnehmer werden über einen Buskoppler (Transformator) gleichsam wie an eine Steckdose angeschlossen. Gesteuert vom Leitsystem können die Teilnehmer Daten senden oder empfangen. Der PDV-Bus ist für Entfernungen bis etwa 3 km ausgelegt. Durch die bitserielle Übertragungsweise ist die Übertragungsgeschwindigkeit im Vergleich zu der eines Parallelbussystems deutlich reduziert.

Typische Übertragungsgeschwindigkeiten in seriellen Systemen sind:

- 4800 Baud
- 9600 Baud
- 19200 Baud

Die digitale Signalübertragung zum Steuerrechner wird häufig über die serielle Schnittstelle RS 232 (amerikanischer Standard der Electronic Industry Association - EIA) bzw. V.24 und V.28 (internationaler Standard des Comité Consultatif International Telefonique et Telegraphique - CCITT) geführt.

IEC 625-Bussystem (IEEE 488-Bus)

Für Messplätze und Messsysteme hat sich immer stärker das sog. IEC 625 Bussystem, meist nur IEC-Bus genannt, durchgesetzt. Dieser Umstand ist der Tatsache zu verdanken, dass der IEC-Bus als ein „byte-serielles, bit-paralleles Schnittstellensystem für programmierbare Messgeräte“ international genormt ist.

Das grundlegende Konzept des IEC-Busses wurde von der amerikanischen Firma Hewlett-Packard (HP) entwickelt und von ihr als HP-IB (Hewlett-Packard interface bus) oder GPIB (general purpose interface bus) bezeichnet. Es folgte dann die Festbeschreibung als amerikanische Norm durch das IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) als IEEE 488 und durch das ANSI (American National Standard Institute) als ANSI MC 1.1.

Im Rahmen der IEC (International Electrotechnical Commission = Internationale Elektrotechnische Kommission) wurde dann ein Normentwurf als IEC 66.22 erstellt, der dann in die endgültige Norm IEC 625 überging. Vom DIN (Deutsches Institut für Normung) erfolgte die Ausgabe der deutschen Fassung vorstehender IEC-Normen als DIN/IEC 66.22 bzw. DIN/IEC 625.

Die aufgezeigte Entwicklung der Standardisierung des IEC-Busses bringt es mit sich, dass in der Praxis für den IEC-Bus verschiedene Bezeichnungen auftreten.

- HP-IB (Hewlett Packard interface bus)
- GPIB (general purpose interface bus)
- IEEE 488
- ANSI MC 1.1
- IEC 66.22 (Entwurf)
- IEC 625
- DIN / IEC 66.22 (Entwurf)
- DIN / IEC 625

Beim IEC-Bus gibt es 8 Datenleitungen. Damit sind also Datenworte (= Bytes) mit einer Länge von 8 Bit (= Binärzeichen) gleichzeitig übertragbar.

Für die Steuersignale sind weitere 8 Leitungen vorgesehen. Dabei erfolgt eine Unterteilung in 3 Leitungen für die Steuerung der Übergabe der Datenworte und 5 Leitungen für die Steuerung der Schnittstellen zwischen dem eigentlichen Bus und den Geräten des Systems. Der IEC-Bus weist also gesamt 16 Leitungen auf, die in folgende Gruppen zusammengefasst werden können:

IEC-Bus 16 Leitungen

davon:

- Datenbus (engl.: data bus) 8 Leitungen
- Übergabesteuerbus (engl.: data byte transfer control bus) 3 Leitungen
- Schnittstellensteuerbus (engl.: general interface management bus) 5 Leitungen

Die Signale auf allen Leitungen sind für TTL-Schaltungen konzipiert.

Geräte, welche die Kriterien nach IEC-925 erfüllen, können auf einfache Weise zu einem Messplatz beziehungsweise Messsystem zusammengeschaltet werden. Dabei spielt die Herstellerfirma keine Rolle. Vom Funktionskonzept her sind für den Normalfall die Leitungslängen bei IEC-Bus-Systemen auf ca. 20 m begrenzt, wobei dann die interne Datenrate ca. 200 kByte/s beträgt. Die Normung lässt allerdings Veränderungen und Erweiterungen zu und damit die Anpassung an die messtechnischen Aufgabenstellungen.

In der Abbildung 49 ist ein Blockschaltbild zur Verbindung verschiedener Geräte mit dem IEC-Bus dargestellt:

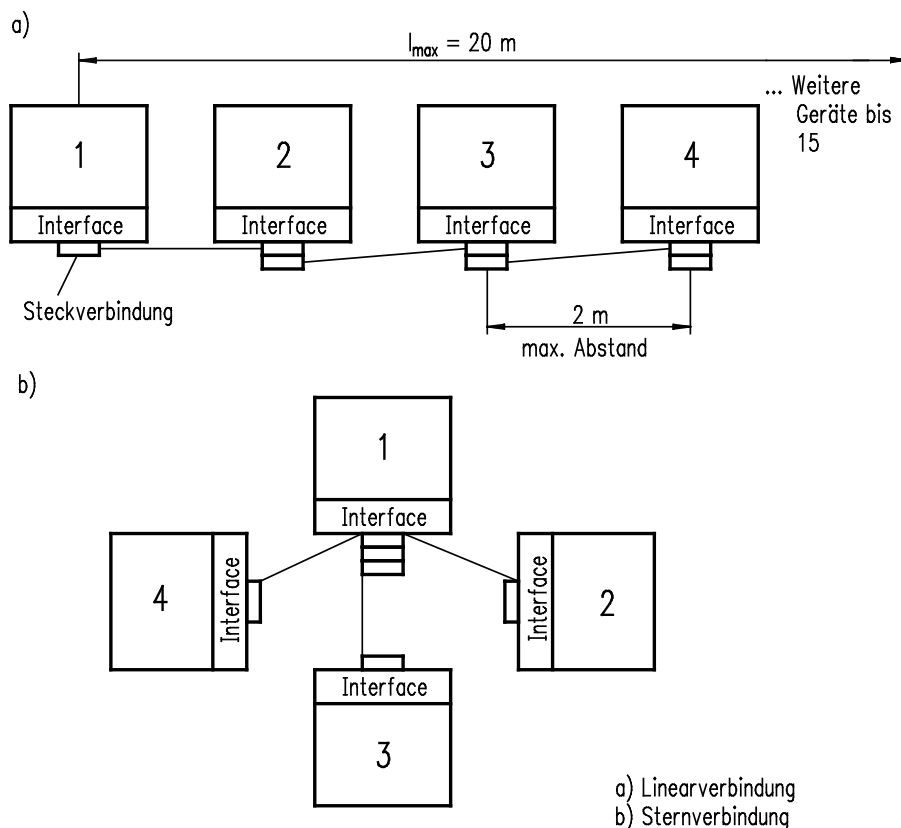


Abbildung 49 Geräteverbindungen des IEC-Busses

Einsatzmöglichkeiten automatischer Messsysteme

Messplätze und Messsysteme können für die unterschiedlichsten Aufgaben eingesetzt werden. Dabei ist der Aufbau aus Einzelgeräten auf dem Labortisch oder in einem Gestell ebenso möglich wie die Zusammenfassung in einem kompakten Gerät. Als Sammelbegriff werden in der Praxis häufig die Kurzbezeichnungen ATS (automatisches Testsystem), ATE (automatic test equipment) oder ATME (automatic test and measuring equipment) verwendet. Die Einsatzmöglichkeiten von Messplätzen und Messsystemen sind auch dadurch bestimmt, in welcher Weise die Ein- und Ausgabe von Daten, also Informationen, erfolgen kann und welche Auswertung von Messdaten oder Messergebnissen möglich ist.

Als Eingabeeinheiten kommen zur Anwendung:

- Tastaturen
- Bandgeräte
- Plattengeräte
- Speicher
- Lochkartenleser
- Lochstreifenleser
- sog. „Lichtgriffel“
- tastempfindliche Bildschirme

In gleicher Weise steht eine Vielfalt von Ausgabeeinheiten zur Verfügung:

- Bildschirm
- Drucker
- Schreiber
- Bandgeräte
- Plattengeräte
- Speicher
- Lochkartenstanzer
- Lochstreifenstanzer

Die präzise Abbildung von Abhängigkeiten als Kurven auf dem Bildschirm wird meist als Grafikdarstellung, häufig auch nur als Grafik bezeichnet. Dies stellt, ebenso wie der Dialogbetrieb eine Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten dar. Die Auswertung von Messwerten bzw. Messergebnissen hängt wesentlich vom Programm und den gerätemäßigen Möglichkeiten ab. Typische Fälle stellen Mittelwertbildung, Effektivwertbildung, Umrechnungen von Einheiten, Berechnungen der Abweichungen vom Sollwert, mathematische Operationen wie Fourier-Transformation usw. dar. Der erforderliche Aufwand wird durch die Aufgabenstellung bestimmt.

Weitere Einsatzgebiete automatischer Messsysteme sind:

- Ermittlung frequenzabhängiger Verläufe

Dabei kann es sich um Frequenzgänge von Verstärkern, Filtern usw., aber auch um die Frequenzfunktion von Scheinwiderständen (= Impedanzen) handeln. In Verbindung damit stehen auch Dämpfungsmessungen, die besonders bei Übertragungssystemen eine wichtige Rolle spielen.

- Vollständige Gerätemessungen

Um die Qualität bzw. Funktionsfähigkeit ganzer Geräte (z.B. Empfänger, Funkgeräte, Verstärker usw.) schnell ermitteln zu können, gibt es die unterschiedlichsten Formen von Messplätzen. Dabei werden in automatischer Abfolge Messungen durchgeführt. Da die Protokollierung der Ergebnisse in diesen Fällen nach stets gleichen Regeln erfolgt, ist die Gegenüberstellung und Auswertung der Messergebnisse problemlos möglich.

- Funkerfassung

Als weiteres Einsatzgebiet bietet sich die Funkerfassung an. Darunter versteht man allgemein das Beobachten, Erfassen, Registrieren und Auswerten elektromagnetischer Strahlung. In der Praxis handelt es sich darum, festgelegte Frequenzbänder daraufhin zu überprüfen, wo, zu welcher Zeit und mit welcher Feldstärke Sender auftreten und ob diese dort zugelassen sind.

- Betriebsüberwachung

Messplätze und Messsysteme werden auch für die Betriebsüberwachung nachrichtentechnischer Systeme eingesetzt. Dies gilt für den Ton-Rundfunk, den Fernseh-Rundfunk, das Fernsprechnet, Datennetze usw. In allen Fällen werden dabei betriebswichtige Parameter ständig gemessen und mit vorgegebenen Sollwerten verglichen. Bei unzulässigen Abweichungen sind dann Alarmierungen möglich oder automatische Umschaltungen. Letzteres wird im Regelfall als Reserveschaltung bezeichnet, wobei eine unterbrechungsfreie Umschaltung als aktive Reserve gilt, während sog. passive Reserve vorliegt, wenn für die Umschaltung Mindestzeiten (z.B. durch Einschaltfolge und Warmlaufzeit) erforderlich sind.

- Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Einen immer größeren Raum nimmt auch die Feststellung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) ein. Dabei erfolgt die messtechnische Feststellung bis zu welcher Größenordnung elektromagnetischer Strahlung Geräte oder Systeme noch einwandfrei arbeiten. Es hat sich dafür auch der Begriff Einstrahlungsfestigkeit eingebürgert. Im Gegensatz dazu stehen die von einem Gerät selbst abgegebenen elektromagnetischen Signale.

Diese Problematik tritt stets auf, wenn Schwingschaltungen oder Kippschaltungen im Gerät vorhanden sind oder steiflankige Impulse auftreten (z.B. bei Schaltnetzteilen). Es ergeben sich also unerwünschte Signale, die unmittelbar abgestrahlt werden, aber auch über die Leitungsverbindungen zu anderen Geräten gelangen können. Vorstehende Störsignale können unter dem Begriff EMI (electromagnetic interference) zusammengefasst werden.

- Prüfung von Baugruppen

Für die Entwicklung und Fertigung haben sich auch Messsysteme für die Prüfung von Baugruppen und Bauelementen bestens bewährt. Dabei werden die Messobjekte über entsprechend aufgebaute Adapter mit dem System verbunden und ein programmgesteuerter Betriebszustand simuliert. Als Programmiersprache hat sich dafür der Typ ATLAS (abbreviated test language for all systems) international durchgesetzt.

Aufgaben

Aufgabe 1

Es stehen zwei Multimeter zur Wechselspannungsmessung zur Verfügung. Das eine Digital-Multimeter ist ein Messgerät mit Mittelwertgleichrichter, das andere mit Echt-Effektivwertumformer.

1.1 Erläutern Sie den Unterschied zwischen den beiden Multimetern!

1.2 Nennen Sie je ein typisches Einsatzbeispiel für beide Digital-Multimeter!

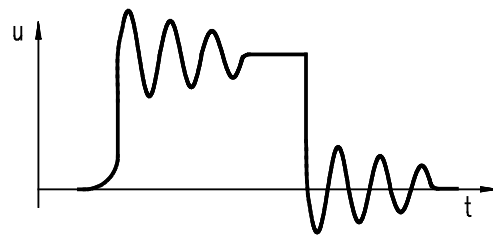
Aufgabe 2

2.1 Erläutern Sie, welche Folgen eine zu niedrige Abtastrate bei einem digitalen Speicheroszilloskop hat!

2.2 Wie kann man die eingestellte Abtastrate überprüfen?

Aufgabe 3

Sie wollen mit einem digitalen Speicheroszilloskop den unten abgebildeten Rechteckimpuls aufzeichnen.



Welche Nachteile hat die Aufzeichnung derartiger Signale mit einem digitalen Speicheroszilloskop?

Lösungsanhang**Lösungen****1 Grundlagen der Messtechnik****Aufgabe 1.1**

$$E_U = M - X_W = 1,015 \text{ V} - 1 \text{ V} = \underline{\underline{0,015 \text{ V}}}$$

Aufgabe 1.2

$$e_{r\%U} = \frac{M - X_W}{X_W} \cdot 100 \% = \frac{E_U}{X_W} \cdot 100 \% = \frac{0,015 \text{ V}}{1 \text{ V}} \cdot 100 \% = \underline{\underline{+1,5 \%}}$$

Aufgabe 2

$$e_{r\%P} = \frac{M - X_W}{X_W} \cdot 100 \% \Rightarrow e_{r\%P} = \left(\frac{M}{X_W} - 1 \right) \cdot 100 \%$$

$$\Rightarrow \frac{e_{r\%P}}{100 \%} = \frac{M}{X_W} - 1 \Rightarrow \frac{e_{r\%P}}{100 \%} + 1 = \frac{M}{X_W}$$

$$X_W = \frac{M}{\frac{e_{r\%P}}{100 \%} + 1} = \frac{750 \text{ kWh}}{\frac{1,4 \%}{100 \%} + 1} = \underline{\underline{739,6 \text{ kWh}}}$$

Aufgabe 3

Analog: $E = \frac{\pm 1,5 \%}{100 \%} \cdot 300 \mu\text{A} = \pm 4,5 \mu\text{A}$

Digital: $E = \pm \left(\frac{0,8 \%}{100 \%} \cdot 280 \mu\text{A} + 1 \mu\text{A} \right) = \pm 3,24 \mu\text{A}$

Das Digitalmultimeter hat die kleinere Messungenauigkeit!

2 Messen mit analogen Messgeräten**Aufgabe 1.1**

Arithmetischer Mittelwert wird angezeigt

$$U_M = \frac{-4 \text{ V} \cdot 2 \text{ ms} + 10 \text{ V} \cdot 4 \text{ ms} + 8 \text{ V} \cdot 2 \text{ ms} + 6 \text{ V} \cdot 4 \text{ ms} + 4 \text{ V} \cdot 6 \text{ ms} + 2 \text{ V} \cdot 8 \text{ ms} + 0 \text{ V} \cdot 2 \text{ ms}}{28 \text{ ms}}$$

$$U_M = \frac{112 \text{ Vms}}{28 \text{ ms}} = \underline{\underline{4 \text{ V}}}$$

Aufgabe 1.2

Effektivwert wird angezeigt

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{32 \text{ V}^2\text{ms} + 400 \text{ V}^2\text{ms} + 128 \text{ V}^2\text{ms} + 144 \text{ V}^2\text{ms} + 96 \text{ V}^2\text{ms} + 32 \text{ V}^2\text{ms} + 0 \text{ V}^2\text{ms}}{28 \text{ ms}}}$$

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{832 \text{ V}^2\text{ms}}{28 \text{ ms}}} = \underline{\underline{5,45 \text{ V}}}$$

Aufgabe 2.1

$$U_{\text{m}} = \underline{\underline{1 \text{ V}}}$$

Aufgabe 2.2

$$U_{\text{eff}} = \underline{\underline{5,66 \text{ V}}}$$

Aufgabe 2.3

$$U_{\text{Anzeige}} = 5 \text{ V} \cdot 1,11 = \underline{\underline{5,55 \text{ V}}}$$

Aufgabe 3

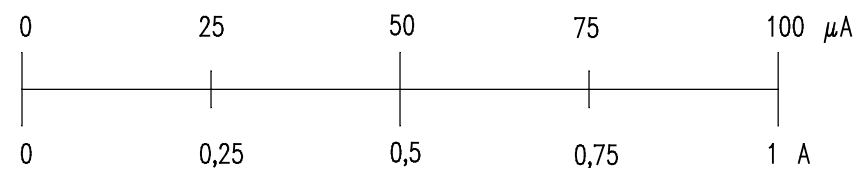
DMM mit Gleichrichter sind nicht geeignet, da die AC-Messbereiche für sinusförmige Wechselspannungen ausgelegt sind.

DMM mit TRUE RMS-Zusatz ermitteln unabhängig von der Kurvenform den Effektivwert. Dieses Messgerät ist daher geeignet.

Aufgabe 4.1

$$R_1 = \underline{\underline{0,4 \Omega}}$$

Aufgabe 4.2



Aufgabe 5

$$R_1 + R_2 = 10 \text{ M}\Omega$$

$$\frac{U_{\text{ein}}}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{U_{\text{ein}}}{U} (R_1 + R_2) = \underline{\underline{100 \text{ k}\Omega}}$$

$$\Rightarrow R_1 = \underline{\underline{9,9 \text{ M}\Omega}}$$

Aufgabe 6

$$R_1 = \frac{U_{\text{IC}}}{I_1} = \frac{400 \text{ mV}}{40 \text{ mA}} = \underline{\underline{10 \Omega}}$$

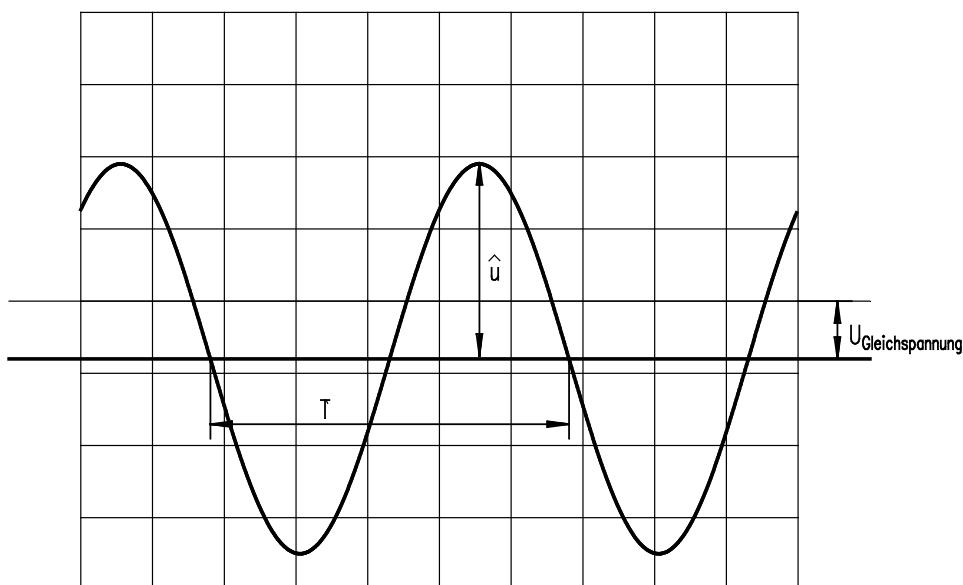
$$R_2 = \frac{U_{\text{IC}}}{I_2} = \frac{400 \text{ mV}}{400 \text{ mA}} = \underline{\underline{1 \Omega}}$$

Aufgabe 7.1

$$\hat{u} = 2,7 \text{ cm} \cdot 5 \text{ V / cm} = \underline{\underline{13,5 \text{ V}}}$$

Aufgabe 7.2

$$U_{\text{eff}} = \frac{13,5 \text{ V}}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{9,55 \text{ V}}}$$

Aufgabe 8.1

$$U_{\text{Gleichspannung}} = 0,8 \text{ cm} \cdot -10 \text{ V / cm} = \underline{\underline{-8 \text{ V}}}$$

Aufgabe 8.2

$$\hat{u} = 2,7 \text{ cm} \cdot 10 \text{ V / cm} = \underline{\underline{27 \text{ V}}}$$

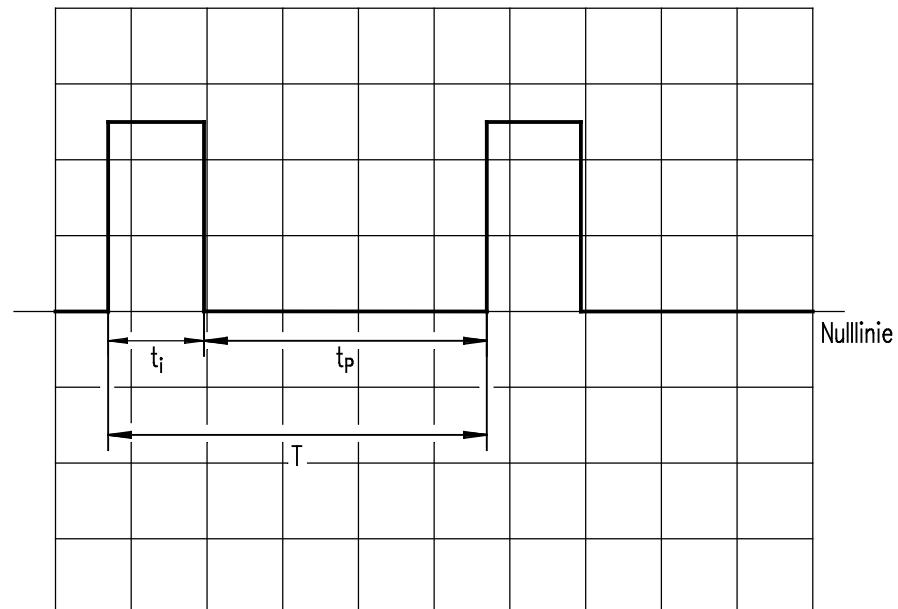
Aufgabe 8.3

$$U_{\text{eff}} = \frac{27 \text{ V}}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{19,1 \text{ V}}}$$

Aufgabe 8.4

$$T = 5 \text{ cm} \cdot 2 \text{ ms / cm} = \underline{\underline{10 \text{ ms}}}$$

Aufgabe 9.1



$$t_i = 1,3 \text{ cm} \cdot 2 \mu\text{s / cm} = \underline{\underline{2,6 \mu\text{s}}}$$

Aufgabe 9.2

$$t_i = 3,7 \text{ cm} \cdot 2 \mu\text{s / cm} = \underline{\underline{7,4 \mu\text{s}}}$$

Aufgabe 9.3

$$T = t_i + t_p = \underline{\underline{10 \mu\text{s}}}$$

3 Messgeräte mit digitaler Messdatenverarbeitung

Aufgabe 1.1

- **Mittelwertgleichrichter:**

Das Eingangssignal wird gleichgerichtet. Der so gewonnene Gleichrichtwert ist proportional zum gesuchten Effektivwert. Er wird dann unter Berücksichtigung eines Faktors, Formfaktor genannt, zur Anzeige des Effektivwertes verwendet. Da der Proportionalitätsfaktor nur für eine Kurvenform gilt, sind die handelsüblichen Messgeräte nur für sinusförmige Verläufe ausgelegt.

- **Echt-Effektivwertumformer:**

Hier wird das Eingangssignal einer elektronischen Schaltung zugeführt, die für Wechselspannungen oder mit Gleichspannung überlagerte Wechselspannungen mit beliebiger Kurvenform den Effektivwert berechnet.

Aufgabe 1.2

- **Mittelwertgleichrichter:**

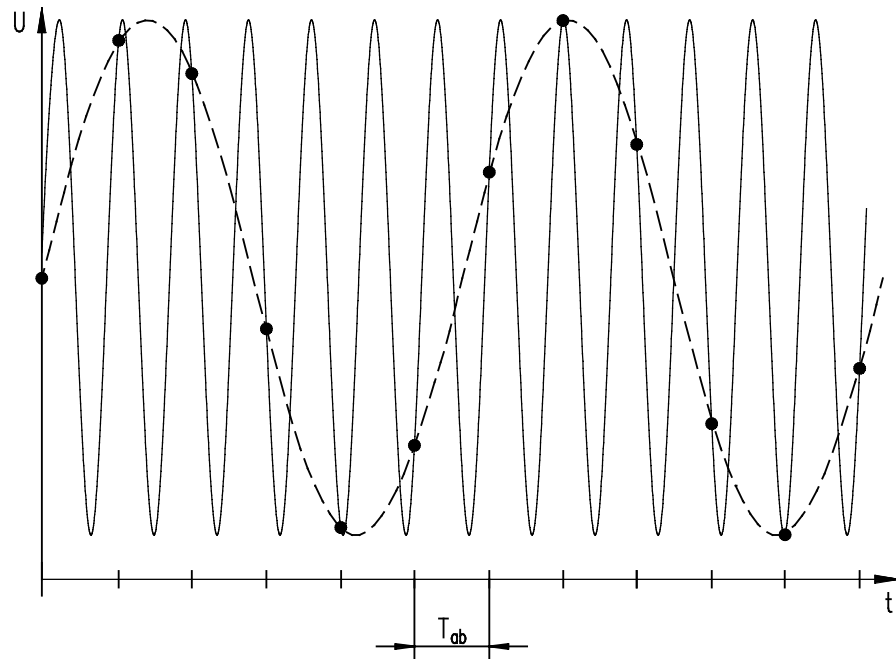
Messungen von sinusförmigen Wechselspannungen und -strömen, z.B. im „normalen“ Energienetz 230/400 V; Messen des Verbraucherstromes und der Netzspannung.

- **Echt-Effektivwertumformer:**

Messen von Effektivwerten bei beliebiger Kurvenform, z.B. im Motorstromkreis eines mit Frequenzumrichter betriebenen Drehstrommotors; der Frequenzumrichter steuert den Motor mit einer rechteckförmigen Spannung an.

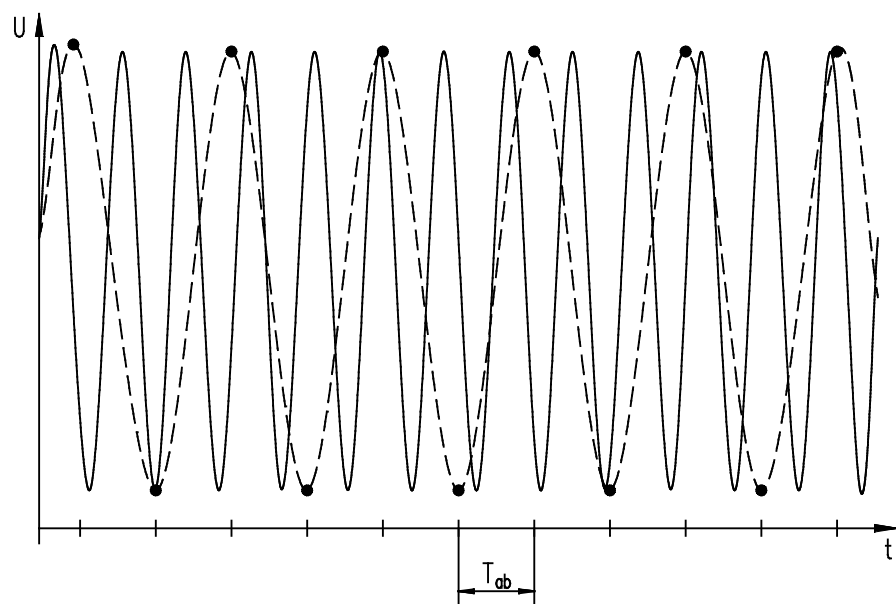
Aufgabe 2.1

Eine zu niedrige Abtastrate ruft den Aliasing-Effekt hervor. Auf dem Bildschirm ist eine Spannung mit einer Frequenz zu sehen, die nicht existiert.



Aufgabe 2.2

Ändert sich beim Erhöhen der Abtastrate die angezeigte Frequenz, so liegt der Aliasing-Effekt vor. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung der Spitzenwerterkennung. Ist ein Aliasing vorhanden, so ändert sich die Signalfrequenz.



Aufgabe 3

Da ein digitales Speicheroszilloskop das Signal nicht kontinuierlich aufzeichnet sondern abtastet, werden die Überschwinger nur bei entsprechend hoher Abtastrate bzw. aktivierter Spitzenwerterkennung aufgezeichnet. Eine weitere Signalverfälschung wird durch die Erzeugung weiterer Zwischenwerte mittels Interpolation hervorgerufen. Zur Vermeidung solcher Fehler muss die Abtastrate erhöht werden. Bei sehr kleinen Zeiten sind hier schnell die Grenzen des digitalen Speicheroszilloskopes erreicht. Der Einsatz eines analogen Oszilloskopes wäre sinnvoller.