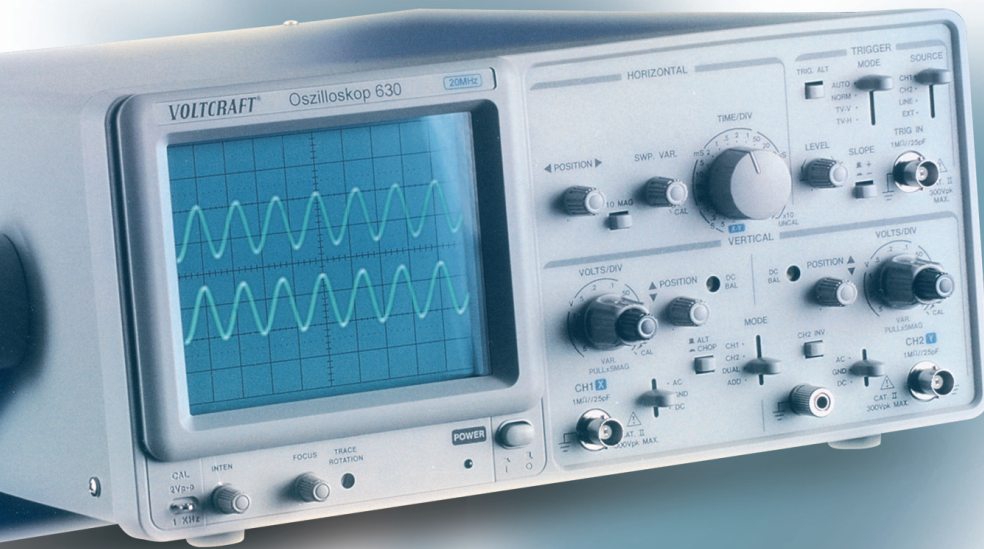


Dietmar Benda

5. überarbeitete Auflage

Wie misst man mit dem **Oszilloskop?**

**Technik, Geräte, Messpraxis
mit über 150 Messbeispielen**

Dietmar Benda

Wie misst man mit dem Oszilloskop?

Dietmar Benda

5. überarbeitete Auflage

Wie misst man mit dem **Oszilloskop?**

Technik, Geräte, Messpraxis mit über 150 Messbeispielen

190 Abbildungen

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Hinweis

Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einschaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar. Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben. Evtl. beigefügte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2010 Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

Satz: DTP-Satz A. Kugge, München

art & design: www.ideehoch2.de

Druck: Bercker, 47623 Kevelaer

Printed in Germany

ISBN 978-3-645-65017-5

Vorwort

Das Angebot an Oszilloskopen ist sehr vielfältig geworden. Es gibt einfache digitale Handoszilloskope (HDO), Analogoszilloskope (AO, ASO), digitale Speicheroszilloskope (DSO), Analog-/Digital-Oszilloskope (ADSO) und Mixed-Signal-Scopes (MSO) mit bis zu vier analogen und 18 digitalen Kanälen.

Im Gegensatz zu einfach zu bedienenden Anzeigemessgeräten erfordert das Oszilloskop Kenntnisse über seine vielfältigen einstellbaren Messfunktionen zur Sichtbarmachung, Speicherung, Auflösung und Berechnung elektrischer Signale und anderer, über Sensoren aufnehmbare Funktionsabläufe. DSOs und ADSOs sind mit bis zu 50 Bedienelementen und weiteren zahlreichen Softkey-Funktionen ausgestattet.

Bis auf die Netz-EIN-AUS-Taste werden bei höherwertigen Oszilloskopen die Bedienelemente elektronisch abgefragt. Alle elektronisch erfassten Bedienfunktionen und ihre aktuellen Einstellungen können daher gespeichert oder von extern gesteuert werden. Aber in der umfangreichen Angebotspalette gibt es sie noch, die einfachen und preiswerten AOs, wie z. B. das einkanalige 10-MHz-Oszilloskop.

In diesem praxisnahen Buch erwarten den Anfänger folgende Schwerpunkte:

- In den ersten fünf Abschnitten wird an einem zweikanaligen Analogoszilloskop (AO) gezeigt, wie man misst (Funktionen und Bedienung des Oszilloskops sowie Einsatz der Hilfsmittel wie Messkabel, Masseverbindungen und Tastköpfe). Ferner erfährt man, warum man so misst (Funktionserkennung) und was man misst (zahlreiche Anwendungsbeispiele, Übungen und Versuche).
- An einem Kombi-Scope (ADSO) werden in Abschnitt 6 die zahlreichen Funktionen der digitalen Signalverarbeitung dargestellt. Diese Geräte vereinigen die Vorteile der analogen Messung und die Möglichkeit der digitalen Speicherung und Auflösung (FFT). Es werden auch die Unterschiede von Elektronenstrahlröhre, LCD- und VGA-Bildschirmen in der horizontalen Auflösung und der maximal erfassbaren Signalfrequenz betrachtet.
- In Abschnitt 7 erfolgt eine Einführung in die SCPI-Sprache zur Steuerung von Messinstrumenten, die auch bei computergesteuerten Oszilloskopen zur Anwendung kommen.
- Im letzten Abschnitt werden zahlreiche Messbeispiele aus allen Bereichen der Technik (Computertechnik, Messen, Steuern, Regeln, Sensorik, Signalleitungen, Medizintechnik, Bioforschung) vorgestellt.

Wenn der Leser nicht die Möglichkeit einer regelmäßigen Messpraxis hat, kann er entstehende Kenntnislücken sozusagen im Trockenkursverfahren mithilfe dieses Buchs wieder auffrischen. Dazu helfen nicht nur die in allen Abschnitten zu den Funktionserklärungen folgenden zahlreichen Beispiele, sondern auch die Abschnitte „Übungen zur Vertiefung“.

Inhalt

1	Die Elektronenstrahlenröhre	11
1.1	Aufbau und Funktion der Elektronenstrahlröhre	11
1.2	Anforderungen an Elektronenstrahlröhren	14
1.3	Bezeichnungsschlüssel (Typenbezeichnung)	15
1.4	Elektronenstrahl positionieren und fokussieren	17
1.5	Die Funktionen TRACE und BEAM FIND	19
1.6	Übungen zur Vertiefung	23
2	Eigenschaften und Funktionen des Oszilloskops	25
2.1	Messtechnische Grundlagen der Signalaufzeichnung	25
2.1.1	Signalarten	27
2.1.2	Größen der Signalspannung	28
2.1.3	Zeit- und Frequenzwerte von Signalspannungen	31
2.2	Funktionen des Analog-Oszilloskop	33
2.2.1	Vertikalverstärkersystem	34
2.2.2	Horizontalverstärkersystem	36
2.2.3	Zeitablenkung	37
2.2.4	Triggerfunktionen	38
2.2.5	Triggerquellen und Triggersignalkopplung	38
2.3	Bedien- und Anzeigeelemente eines Analogoszilloskops	40
2.3.1	Einstellfunktionen am vertikalen Messverstärker	41
2.3.2	Einstellfunktionen an der horizontalen Zeitablenkung	42
2.3.3	Triggerfunktionen	42
2.3.4	Bauelemente-(Komponenten-)test und Kalibrierer	45
2.4	Kennwerte und technische Daten eines Analogoszilloskops	47
2.5	Übungen zur Vertiefung	49
3	Spannungs- und Amplitudenmessungen	51
3.1	Messaufbau	51
3.1.1	Bezugspotenzial, Erdungsprobleme und Masseführung	52
3.1.2	Innenwiderstand	55
3.1.3	Messleitungen, Einfluss von Länge und Qualität	57
3.2	Messung von Gleich- und Wechselspannungen ohne Zeitablenkung	59
3.2.1	Messung von Gleichspannungen	62

3.2.2	Messung von Wechsel-(Sinus-)Spannungen	63
3.3	Messung von Gleich- und Wechselspannungen mit Zeitablenkung	64
3.3.1	Messung von Gleichspannungen	65
3.3.2	Messung von Wechselspannungen	66
3.3.3	Messung von Mischspannungen	67
3.4	Messungen mit Tastköpfen	69
3.4.1	Tastteiler	69
3.4.2	Dioden-(Demodulator-)Tastkopf	72
3.5	Übungen zur Vertiefung	73
4	Triggerung und Synchronisation von Messsignalen	81
4.1	Triggerquelle	81
4.2	Auswahl der Triggerart	86
4.3	Auswahl der Triggerflanke und des Triggerpegels	88
4.4	Hinweise und Beispiele für die Triggersignalankopplung	93
4.5	Dehnung des Zeitablenkkoeffizienten	97
4.6	Übungen zur Vertiefung	98
5	Messungen mit Zweikanaloszilloskop	113
5.1	Betriebsarten	114
5.2	Differenzmessungen	119
5.3	Phasendifferenzmessung	122
5.4	Übungen zur Vertiefung	123
6	Digitale Speicher- und Kombi-Oszilloskope	125
6.1	Technische Kennwerte und Funktionen des ADSO	127
6.2	Bedienelemente und Bildschirmeinblendungen	129
6.2.1	Grundeinstellungen	131
6.2.2	Bedienung der Menüanzeigen	131
6.3	Betriebsarten der Messverstärker	133
6.3.1	Automatische Messungen	134
6.3.2	Cursor-Messungen	134
6.3.3	Mathematische Funktionen	134
6.3.4	Kalkulator-Funktion	136
6.4	Triggerung und Zeitablenkung	136
6.4.1	Ablenkverzögerung	137
6.5	AUTOSET	139
6.6	Mittelwertanzeige	140
6.7	Speicherbetrieb	141
6.7.1	Random-Sampling	141
6.7.2	Betriebsarten zur Signalerfassung	142
6.7.3	Speicherauflösung	143
6.7.4	Alias-Signale	143

7	Standard-Befehlssatz für programmierbare Instrumente	146
7.1	Systembefehle	146
7.2	Steuerungsbefehle	147
7.3	Aufbau und Beispiele für SPIC-Kommandos	148
8	Messungen an Anwendungs- und Versuchsschaltungen	151
8.1	Aliasing-Effekt vermeiden	153
8.2	Amplituden- und Frequenzmodulation	153
8.3	Antriebsregelsysteme	155
8.4	Buskonflikte mit Logiktriggerung erfassen	158
8.5	BUS-Systeme	161
8.6	Darstellung der Kennlinien von Bauelementen	164
8.7	Drehzahlmessungen an Inkrementalgebern	169
8.8	Frequenzfilter	171
8.9	Frequenzmessungen	173
8.10	Gleichtaktstörsignale an Schaltungen prüfen	178
8.11	Impulsmessungen	179
8.12	Impulsmessungen mit Spitzenwerterfassungsfunktion	181
8.13	Digitale Signalformen stabilisieren	183
8.14	Metastabile Zustände in digitalen Systemen finden und darstellen	184
8.15	Netzgleichrichter	186
8.16	Operationsverstärker	189
8.17	Phasenmessungen	191
8.18	Physikalische Funktionsabläufe von Sensoren	194
8.19	Puls- und EKG-Signale	196
8.20	Rauschen von Netzgeräten	199
8.21	Reflexionsmessungen an Verbindungs- und Übertragungsleitungen	201
8.22	Seltene Signale erfassen	207
8.23	Spannungs- und Stromverstärker	209
8.24	Ursachen von Störsignalen schnell diagnostizieren	211
8.25	Verzerrungsanalyse	212
8.26	Videosignale an Fernsehgeräten und Monitoren	213
8.27	Übungen zur Vertiefung	217
	Lösungen zu den Übungen	220
	Sachverzeichnis	232



1 Die Elektronenstrahlröhre

Die Elektronenstrahlröhre wird für die Erzeugung und Ablenkung des sichtbaren Elektronenstrahls im Oszilloskop benötigt. Auf ihrer Funktion basiert die Arbeitsweise eines Oszilloskops. Daher soll auf ihren Aufbau und ihre Funktion etwas näher eingegangen werden.

1.1 Aufbau und Funktion der Elektronenstrahlröhre

Die Elektronenstrahlröhre ist in langjähriger Entwicklungsarbeit aus der Braunschen Röhre (Katodenstrahlröhre) hervorgegangen. Technik, Bauart, Herstellung und Anwendung unterliegen der laufenden Weiterentwicklung, das Funktionsprinzip jedoch ist unverändert.

Die Elektronenstrahlröhre (*Abb. 1.1*) besteht aus einem zylindrischen Glaskolben, der sich zur Bildschirmseite pyramidenstumpfähnlich (bei Rechteckröhren) verjüngt. In diesem Glaskolben ist das z. T. kompliziert aufgebaute Elektrodensystem, auch einfach System genannt, untergebracht. Die Anschlüsse des Systems sind an Sockelstifte geführt, die die Verbindung mit den elektrischen Zuleitungen ermöglichen. Die Ablenkanschlüsse sind in unmittelbarer Nähe der Ablenkplatten (elektrostatische Ablenkung) angeordnet, damit Streufelder weder im System noch anderweitig Störungen hervorrufen können. Aus Isolationsgründen ist der Anodenanschluss ebenfalls getrennt nach außen geführt.

Auf der Bildschirmseite der Röhre ist eine fluoreszierende Schicht aufgebracht, die durch den auftreffenden Elektronenstrahl zur Lichtemission angeregt wird.

Zur Erzeugung des Elektronenstrahls wird eine Katode benutzt, die bei Netzgeräten indirekt, bei batteriebetriebenen Oszilloskopen meistens direkt geheizt wird. Die dem Steuergitter entsprechende Elektrode, der Wehnetz-Zylinder, wird als Steuergitter bezeichnet. Durch die Form seines Aufbaus kann nur ein Teil der emittierten Elektrodenwolke das System passieren. Das Steuergitter ist zylindrisch aufgebaut und wie die anderen Elektroden, die den Elektronenstrahl bündeln, zentrisch zur Katode angeordnet. Somit ist eine Formung des Strahls, der wegen der gewünschten Abbildungsschärfe stark gebündelt auf dem Bildschirm auftreffen muss, erreicht. In der Mitte des

Zylinders befindet sich eine kreisförmige Öffnung, durch die nicht alle emittierten Elektronen gelangen können. Indem man an das Steuergitter eine einstellbare Potenzialdifferenz legt, ist die Intensität des auftreffenden Strahls in gleichem Maße wie die Potenzialdifferenzänderung zu beeinflussen. Auf diese Weise ist die Helligkeitssteuerung (Intensität) des Bildes möglich. Der erzeugte Elektronenstrahl wird durch die Einwirkung der sich räumlich an das Steuergitter anschließenden Elektroden, der sogenannten Elektrodenlinse oder Elektrodenoptik, weiter gebündelt und in seiner Konzentration durch entsprechende Potenzialveränderungen variiert (*Abb. 1.2*).

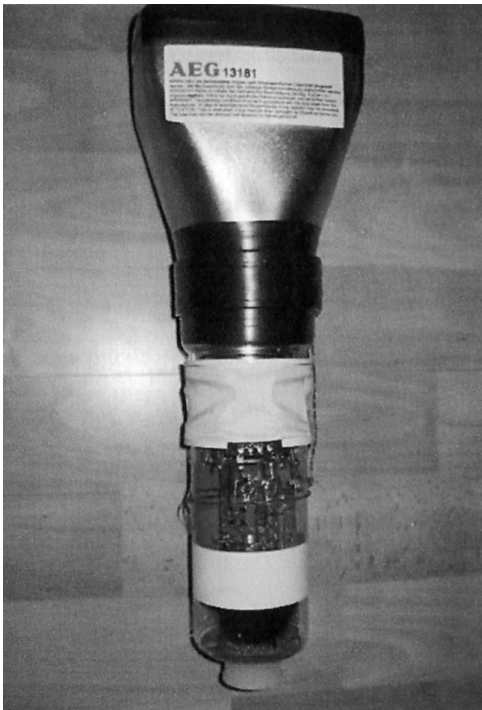


Abb. 1.1: Elektronenstrahlröhre mit rechteckigem Bildschirm

In dieser Anordnung von Beschleunigungs- und Linsenelektroden wird in deren Strahlraum ein zusätzliches Feld aufgebaut, das auf den Elektronenstrahl ähnlich wirkt wie eine Linsenoptik auf einen Lichtstrahl.

Durch die unterschiedlichen Potenzialdifferenzen der verschiedenen Elektroden der Elektronenlinse bilden sich Linienfelder mit gleichen Potenzialen (Äquipotenziallinienfelder) aus, in denen der Strahl so geformt wird, dass er auf dem Bildschirm gebündelt (fokussiert) auftritt. Mit dem Fokus-Einsteller, der die an der Elektronenlinse liegende Spannung verändert, lässt sich das Bild auf maximale Schärfe einstellen. Räumlich hinter der Fokussiereinrichtung angeordnet, befinden sich die Ablenkplattenpaare für

die horizontale und vertikale Ablenkung des emittierten Elektronenstrahls (Abb. 1.3). Wenn an die Ablenkplattenpaare, die um 90° gegeneinander versetzt sind, Spannungen gelegt werden, bauen sich an den Platten elektrostatische Felder auf, die die gewünschte Ablenkung des Elektronenstrahls zur Folge haben. Somit ist es möglich, den vorher gebündelten Strahl an beliebige Punkte auf der Bildschirmfläche zu dirigieren.

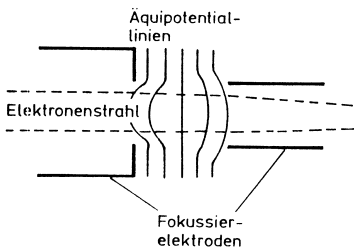


Abb. 1.2: Äquipotenziallinien bündeln den Elektronenstrahl

Der Elektronenstrahl wird durch das positive Potenzial der Anodenspannung beschleunigt und kann daher die verschiedenen Linsen- und Ablenkssysteme durchlaufen. Vom Röhrenkonzept her unterscheidet man nach der Art der Beschleunigung Elektronenstrahlröhren mit Beschleunigungs- und mit Nachbeschleunigungselektroden. Die erstgenannten beschleunigen den Elektronenstrahl, bevor er abgelenkt wird; beim zweiten Röhrenkonzept wird nach der Ablenkung beschleunigt. Daher auch der Name Nachbeschleunigung.

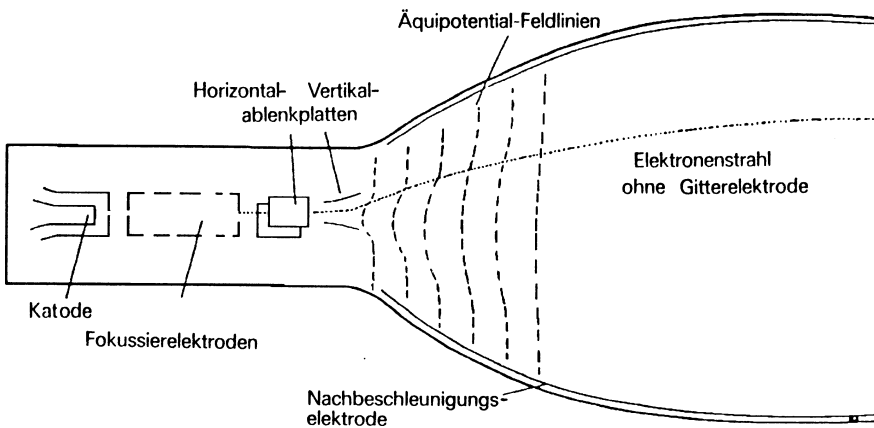


Abb. 1.3: Funktionselemente einer Elektronenstrahlröhre mit Nachbeschleunigungselektrode

Da die Lichtausbeute von der Anzahl der auf das Phosphor treffenden Elektronen und deren Auftreffgeschwindigkeit abhängt, ist eine möglichst hohe Beschleunigungsspannung wünschenswert. Im Falle der einfachen Beschleunigung kann mit einer Po-

tenzialdifferenz von 3 kV bis 4 kV zwischen Anode und Katode gearbeitet werden. Die Beschleunigungsspannung reicht aber in vielen Fällen, beispielsweise bei der Darstellung von langsam repetierenden Signalen oder kurzen Pulszeiten, nicht aus, um ein gut sichtbares Signal zu erzeugen. Aus diesem Grund wird in Oszilloskopen mit breitbandigem Frequenzbereich die Nachbeschleunigung eingesetzt. Diese Funktion wird durch die Nachbeschleunigungselektrode bewirkt, die als Widerstandswendel oder -belag auf der Kolbenwand aufgebracht ist. Dieser Teil der Kolbenwand liegt außerhalb des Bereichs, in dem das System angeordnet ist, also im freien Strahlraum, der auch Nachbeschleunigungsraum genannt wird.

1.2 Anforderungen an Elektronenstrahlröhren

Die heute verwendeten Bauformen von Elektronenstrahlröhren sind ein Kompromiss zwischen den erzielbaren Eigenschaften und den Anforderungen, die an eine Elektronenstrahlröhre gestellt werden. Diese Anforderungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- **Hohe Helligkeit**
Wichtig für Messungen in der Impulstechnik, wenn einmalige Vorgänge oder Vorgänge mit niedriger Wiederholfrequenz bei hoher zeitlicher Auflösung dargestellt oder fotografiert werden sollen.
- **Hohe Ablenkempfindlichkeit**
Aufgrund der niedrigen Betriebsspannungen der Horizontal- und Vertikalverstärker (Halbleiterschaltungen) und den damit verbundenen geringen Ablenkspannungen muss die Elektronenstrahlröhre eine hohe Ablenkempfindlichkeit haben.
- **Hohe Grenzfrequenz**
Diese Forderung entspricht dem Bestreben nach hohen Messfrequenzen, die die Verstärkertechnik der Analogoszilloskope ermöglicht.
- **Hohe Messgenauigkeit**
Damit verbunden sind eine hohe Punktschärfe, eine große Schirmfläche sowie eine fehlerfreie, daher lineare Auslenkung des Elektronenstrahls.

Wie schwierig es ist, die verschiedenen Forderungen gleichzeitig zu erfüllen, soll anhand einiger einfacher Zusammenhänge erläutert werden. Voraussetzung für eine hohe Helligkeit ist eine hohe Elektronenstrahl- und Auftreffgeschwindigkeit der Elektronen auf dem Phosphor. Da die Geschwindigkeit in direktem Zusammenhang mit der Beschleunigungsspannung steht, ist es sinnvoll, die Elektronenstrahlröhre mit einer hohen Beschleunigungs- bzw. Nachbeschleunigungsspannung auszustatten. Eine höhere Elektronenstrahlgeschwindigkeit hat aber zwangsläufig eine Verkürzung der Verweildauer des Strahls in den Ablenkefeldern zur Folge. Der Strahl kann dadurch durch die Elektrodensysteme nicht mehr so stark beeinflusst

werden. Die Folge ist eine Verschlechterung der Ablenkempfindlichkeit. Abhilfe könnte durch Verlängerung der Ablenkplatten oder durch Verringerung des Plattenabstands geschaffen werden.

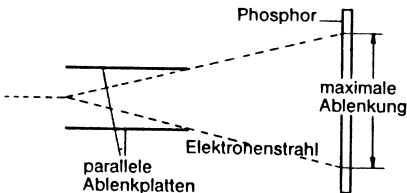


Abb. 1.4: Begrenzter Ablenk winkel durch parallele Ablenkplatten

In beiden Fällen steigt die Plattenkapazität, wodurch sich die Grenzfrequenz verringert. Im Ersatzschaltbild sind die Ablenkplatten die kapazitive Last des Vertikalendverstärkers, die mit dem Innenwiderstand des Endverstärkers einen Tiefpass bilden. Ein weiterer Nachteil liegt in der Begrenzung des Ablenk winkels bei parallel liegenden Ablenkplatten (Abb. 1.4). Bei zu langen Ablenkplatten erhöht sich die Verweildauer des Elektronenstrahls innerhalb des Ablenkplattenbereichs. Dies hat zur Folge, dass der Strahl nur von langsameren Ablenk signalen beeinflusst werden kann. Entspricht die Periodendauer des angelegten Ablenk signals der Verweildauer des Elektronenstrahls, hebt sich die Ablenk wirkung, die beide Halbwellen des Signals hervorrufen, auf. Aus diesem Grund muss die Verweildauer des Elektronenstrahls im Ablenkfeld bedeutend kleiner sein als die Periodendauer des an die Ablenkplatten gelegten Messsignals. Aus diesen einfachen, logischen Zusammenhängen erkennt man die Schwierigkeit, die anfangs erwähnten Forderungen zu erfüllen. Die im Zusammenhang mit der Fokussierung erwähnten Linienfelder treten überall zwischen den Elektroden des Systems auf und beeinflussen auch die Strahlablenkung. Eine relativ starke Beeinflussung der Ablenkung wird durch die Linienfelder verursacht, die sich zwischen der Nachbeschleunigungselektrode und den Ablenkplatten bilden. Die Linienfelder greifen in die Ablenkfelder ein und reduzieren dadurch die Ablenk wirkung.

1.3 Bezeichnungsschlüssel (Typenbezeichnung)

Die Qualität eines Oszilloskops wird auch von den Eigenschaften der eingesetzten Elektronenstrahlröhre bestimmt.

Die Elektronenstrahlröhren sind mit rechteckigen Planschirmen ausgestattet. Ihre Größe wird durch die Diagonallänge angegeben, z. B. 10, 14 und 18 cm.

Die Auflösung des Elektronenstrahls in beiden Ablenkrichtungen wird im Wesentlichen durch die Intensität (Helligkeit) des Elektronenstrahls und damit von der Nachleuchtdau-

er bestimmt. Je höher die Ablenkgeschwindigkeit ist, desto dunkler werden die Signallinien. Die Auflösung der Elektronenstrahlröhre im Digitalbetrieb ist ca. 8-mal größer als bei VGA-Bildschirmen und 4-mal größer als bei LCD Bildschirmen.

Die Elektronenstrahlröhren werden vom Hersteller mit Bildschirmen verschiedener Kennwerte angeboten. Die Auswahl richtet sich nach dem Verwendungszweck und unterscheidet sich vor allem in der Grenzfrequenz, der Farbe des Leuchtpunkts und der Nachleuchtdauer.

Das zeitliche Verhalten der Leuchtschicht beim Auftreffen des Elektronenstrahls unterscheidet zwischen Fluoreszenz und Phosphoreszenz. Die Bezeichnung Fluoreszenz wird für die Leuchtfarbe verwendet, die zu sehen ist, wenn der Elektronenstrahl auf die Leuchtschicht trifft. Das Nachleuchten wird durch die Phosphoreszenz bestimmt.

Bei geringer Geschwindigkeit des Leuchtpunkts auf dem Leuchtschirm ist langes Nachleuchten von Vorteil, damit ein vollständiges Signalbild dargestellt wird. Aber bei hohen Signalfrequenzen würden bei langer Nachleuchtdauer mehrere Signalbilder gleichzeitig dargestellt.

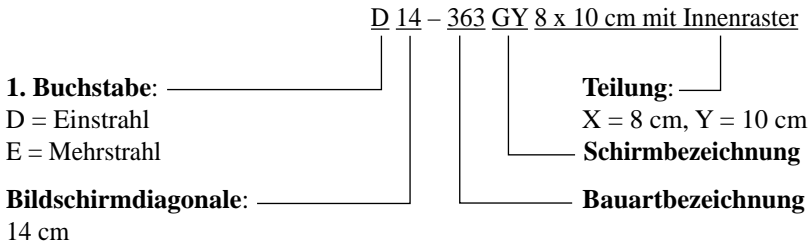
Tabelle 1.1 zeigt eine Auflistung der Schirmbezeichnungen und deren Farben und Nachleuchtdauer. Die angegebenen Zeiten für die Nachleuchtdauer definieren den Abfall der Helligkeit (Leuchtdichte) des Elektronenstrahls auf 10 % des Anfangswerts.

Schirmbezeichnung	Schirmfarbe		Nachleuchtdauer
	Fluoreszenz	Phosphoreszenz	
BA	purpurblau	blau	< 1 μ s
BE	blau	blau	10 μ s bis 1 ms
GE	grün	grün	1 μ s bis 10 μ s
GH	grün	grün	10 μ s bis 1 ms
GJ	gelblich grün	gelblich grün	1 ms bis 100 ms
GL	gelblich grün	gelblich grün	10 μ s bis 1 ms
GM	purpurblau	gelblich grün	100 ms bis 1 s
LC	orange	orange	<1 s

Tabelle 1.1: Bildschirmbezeichnungen

Für universelle Anwendungen werden Oszilloskope mit Elektronenstrahlröhren vom Typ GH ausgerüstet. Leuchtschichten für langes Nachleuchten werden bei langsamen Zeitabläufen eingesetzt, z. B. in der Medizintechnik für Atem-, EKG- und Pulsdarstellungen.

Die Typenbezeichnungen von den Herstellern der Elektronenstrahlröhren sind genormt. Daher können daraus die wichtigsten Daten entnommen werden. Die folgende Typenbezeichnung beinhaltet folgende Kennwerte:



Weitere Kennwerte und Betriebswerte der Elektronenstrahlröhren finden Sie in den Datenblättern der Hersteller.

1.4 Elektronenstrahl positionieren und fokussieren

Nachdem wir nun Vieles über Aufbau, Funktionen und Zusammenhänge der Elektronenstrahlröhre erfahren haben, wollen wir damit beginnen, uns mit der Inbetriebnahme des „Messgeräts Oszilloskop“ vertraut zu machen. Zuerst wird das Gerät

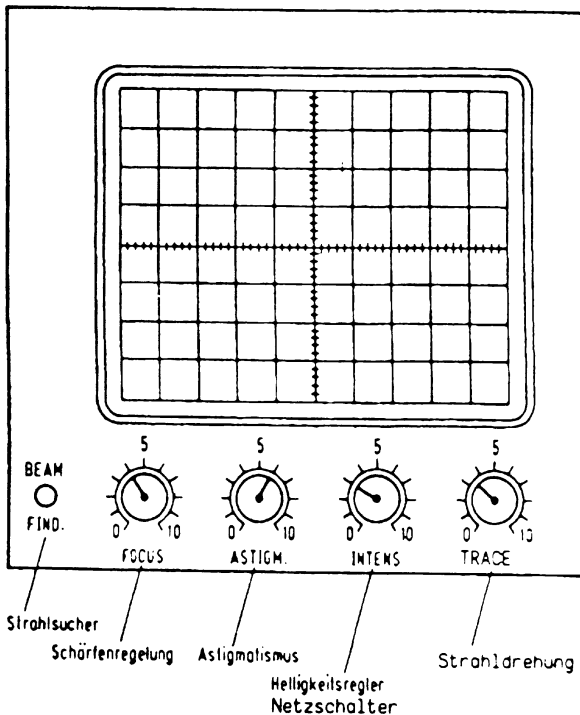


Abb. 1.5: Einstellmöglichkeiten für den Elektronenstrahl

mit dem Netzschalter eingeschaltet. In unserem Beispiel ist der Netzschalter mit dem Einsteller INTENS kombiniert (vgl. *Abb. 1.5*).

Man beachte hierbei die Anwärmzeit des Geräts. Die Zeit, die zur Erreichung der Betriebstemperatur erforderlich ist, beträgt ca. 5 bis 10 Minuten. Auch der Elektronenstrahl wird erst nach einigen Sekunden sichtbar. Erst nach Erreichen der Betriebstemperatur hat sich das Elektrodensystem der Elektronenstrahlröhre so weit stabilisiert, dass die Lage des Elektronenstrahls keine nennenswerte Drift mehr aufweist. Dies macht sich durch eine konstante Nulllage und gleichbleibende Strahlschärfe sowie Helligkeit des Elektronenstrahls bemerkbar.

Mitunter kann es Schwierigkeiten bereiten, den Strahl überhaupt sichtbar zu machen. Dies kann verschiedene Ursachen haben und ist in der Regel auf falsch eingestellte Bedienelemente zurückzuführen.

Daher wird eine Grundeinstellung der Bedienelemente nach dem Einschalten empfohlen. Folgende Einstellungen sind zur Einstellung der Strahlschärfe der Reihe nach vorzunehmen bzw. zu überprüfen (vgl. *Abb. 2.15*):

- Einsteller INTENS etwa auf Skalenteil 8 einstellen,
- Eingangskopplung des Y-Einganges auf GND schalten,
- Einsteller für Y- und X-Verschiebung (Y-POS, X-POS) in Mittelstellung drehen,
- Zeitablenkung abschalten (Taste XY in *Abb. 2.15* betätigen).

Der Strahlpunkt müsste sich jetzt im mittleren Bildschirmbereich darstellen. Falls erforderlich, mit Y-POS und X-POS korrigieren. In den folgenden Übungen versuchen wir die Wirkung der Einsteller FOCUS, ASTIGM und INTENS auf den Strahlpunkt darzustellen.

Betätigen wir den Einsteller INTENS von rechts nach links, dann stellen wir fest, dass im linken Einstellbereich der Leuchtfleck immer schwächer wird, bis er verschwindet. Mit zunehmender Rechtsdrehung wird der Leuchtfleck heller und zeigt im letzten rechten Drittel des Einstellbereichs einen zunehmenden Lichthof (*Abb. 1.6a*).

Der Einsteller ASTIGM ist auf die geometrische Form des Strahlpunkts wirksam. Drehen wir den Einsteller von der Mitte aus nach links, dann wird sich der Leuchtpunkt über eine elliptische Form zu einem Strich verändern. Bei einer Rechtsdrehung des Einstellers wird sich in etwa derselbe Effekt ergeben, nur mit dem Unterschied, dass sich eine andere Lage ergibt (*Abb. 1.6b*).

Wird der Einsteller FOCUS von links nach rechts gedreht (ASTIGM in Mittelstellung), dann stellen wir fest, dass sich der Leuchtpunkt in der mittleren Stellung am kleinsten und schärfsten darstellt und sowohl nach links als auch nach rechts zu einem Leuchtfleck vergrößert. (*Abb. 1.6c*).

Wenn die geometrische Form des Leuchtpunkts mit dem Einsteller ASTIGM nicht optimal eingestellt ist, wird bei der Schärfeeinstellung mit FOCUS kein kreisrunder kleiner Punkt erreicht. Der Punkt bleibt oval- oder stabförmig oder ändert seine Form in Abhängigkeit von der eingestellten Intensität des Strahls.

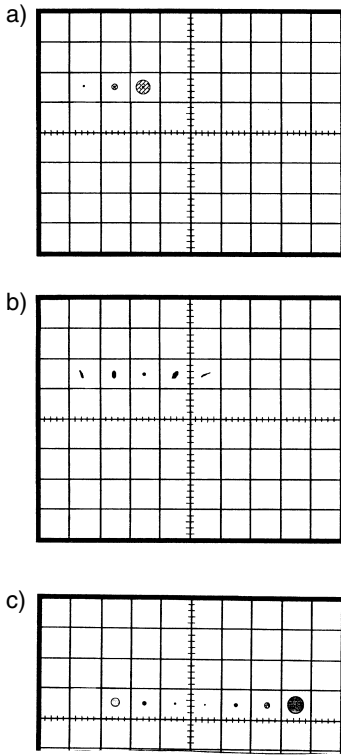


Abb. 1.6:
Beeinflussung des Strahlpunkts:
a) Helligkeitsveränderung
b) Astigmatismusveränderung
c) Schärfeveränderung

Für eine optimierte Strahleinstellung (kleiner runder Punkt über alle Helligkeitsbereiche) ist daher der richtige Abgleich der Einsteller ASTIGM und FOCUS wie folgt erforderlich:

- Einsteller INTENS in Mittelstellung;
- Einsteller FOCUS auf schärfsten und kleinsten Strahlpunkt einstellen;
- mit Einsteller ASTIGM kreisrunden Punkt einstellen und mit dem FOCUS-Steller die Punktschärfe nachstellen;
- bei Erhöhung der Helligkeit mit INTENS sollte der Strahlpunkt seine Form nicht verändern. Erforderlichenfalls ist abwechselnd mit ASTIGM und FOCUS, wie zuvor beschrieben, der Strahlpunkt zu optimieren.

1.5 Die Funktionen TRACE und BEAM FIND

In den ersten Abschnitten dieses Kapitels haben wir den Aufbau des Elektrodensystems kennengelernt. Es bildet mechanisch über Trägerkörper eine Einheit, die bei der Montage der Elektronenstrahlröhre durch den offenen Röhrenhals eingeschoben und justiert wird. Danach wird der Röhrenhals bis auf eine kleine Öffnung zugeschmolzen,

die Luft abgesaugt (evakuiert), die Öffnung verpfropft, der Röhrenanschlusssockel aufgesetzt und mit den Anschlussdrähten des Elektrodensystems verbunden.

Bei der mechanischen Justage des Elektrodensystems müssen die Ablenkplatten mit dem Bildschirmraster in Übereinstimmung gebracht werden. Verbleibt hierbei ein kleiner Versatz (*Abb. 1.7*), dann kann dieser durch eine Potenzialveränderung mit dem Einsteller TRACE korrigiert werden.

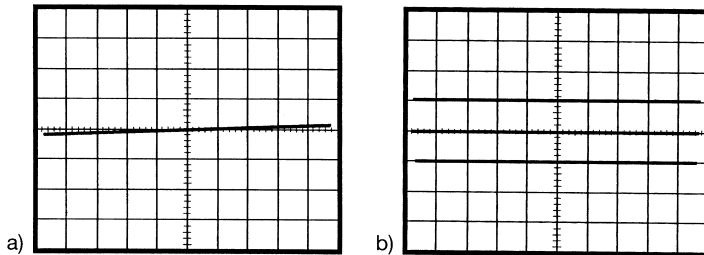


Abb. 1.7: Trace-Funktion

- a) Strahlablenkung verläuft schräg in der X-Achse
- b) Strahlablenkung verläuft in allen Schirmbildbereichen parallel zur X-Achse

Diese Korrektur kann auch dann erforderlich sein, wenn das Gerät durch einen Transport starken Erschütterungen ausgesetzt war oder Störfelder, bestehend aus elektromagnetischen Gleich- oder Wechselfeldern, auf die Ablenkung des Elektronenstrahls Einfluss nehmen. Der Einfluss derartiger Störfelder wird durch einen Abschirmzylinder aus Mu-Metall weitestgehend verhindert. Starke elektromagnetische Streufelder von Transformatoren verursachen z. B. ein Zittern oder eine Unschärfe des Elektronenstrahls.

Auf den nicht abgeschirmten Bildschirm wirkt insbesondere das Erdmagnetfeld, das in seiner Wirkung die Ablenkrichtung des Elektronenstrahls beeinflusst. Mit dem Einsteller TRACE wird der Stromfluss und damit das elektromagnetische Feld einer Spule beeinflusst, die um den vorderen Teil des Röhrenhalses, vor der Aufweitung der Bildröhre zum Bildschirm, gelegt ist.

Zur Korrektur muss ein Ablenkstrahl in der Zeitachse erzeugt werden, der folgende Einstellungen (*Abb. 2.15*) an der horizontalen Zeitablenkung erfordert:

- Stufenschalter TIME/DIV (24) in Stellung 1 ms/DIV;
- Schalter Triggerart in Stellung AUTO (21);
- Einsteller INTENS so einstellen, dass die horizontale Ablenklinie gut sichtbar ist;
- Eingangskopplung des Messverstärkers (*Abb. 2.15*) auf GND geschaltet lassen;
- Einsteller Y-POS (5), X-POS (11) so einstellen, dass die horizontale Ablenklinie auf der Mittellinie des Bildschirmrasters liegt (*Abb. 1.7a*);

- mit dem Einsteller TRACE die Ablenklinie so korrigieren, dass sie mit der horizontalen mittleren Rasterlinie zur Deckung kommt;
- mit dem Steller Y-POS die Ablenklinie auf die nächsten Rasterlinien nach oben und unten verschieben und Deckung der Linien prüfen, falls erforderlich, mit dem Steller TRACE leicht korrigieren (*Abb. 1.7b*).

Abschließend soll die sich auf der Bildschirmeinheit in *Abb. 1.5* befindliche Tastenfunktion BEAM FIND an einem Beispiel erklärt werden. Nachdem das Oszilloskop eingeschaltet wurde, ist vielfach der Strahlpunkt oder die Ablenklinie nicht sichtbar. Dies kann mehrere Ursachen haben:

- Die Intensität ist mit den Steller INTENS zu schwach eingestellt.
- Die Steller Y-POS und X-POS sind zu weit rechts oder nach links aus der Mittelstellung gedreht.
- Der Y-Stufenschalter steht in einer der empfindlichsten Stellungen mV/DIV und der Stufenschalter TIME/DIV steht zufällig in einer Stellung 1 ms/DIV oder schneller; eine starke Brummspannung von 50 Hz würde dann den Elektronenstrahl außerhalb des Messfeldrasters repetieren lassen, weil eine Halbwelle (10 ms) der Brummspannung bei einer Ablenkzeit von 1 ms/DIV oder schneller keinen Nulldurchgang auf den Bildschirm hätte (*Abb. 1.8a*).
- Eine weitere Möglichkeit einer Auslenkung außerhalb des Bildschirm-Messbereichs ist ein hohes Gleichspannungspotenzial am Messeingang bei DC-Eingangskopplung und Stufenschalter im mV/DIV-Bereich oder ein Messsignal, das einer sehr hohen Brummspannung 50 Hz bis 100 Hz überlagert ist.
- Die Strahlablenkung ist auch dann nicht zu sehen, wenn der TIME/DIV-Stufenschalter in der schnellsten Ablenkzeit $\mu\text{s}/\text{DIV}$ steht, bei INTENS in Mittelstellung oder wenn keine Ablenkung vorhanden ist (AUTO-Triggenung nicht eingeschaltet und Messsignal ist zu klein).

In all diesen Fällen hilft die Funktionstaste BEAM FIND bei der Strahlfindung. Bei Betätigung dieser Taste werden die Ablenkspannungen an den Y- und X-Ablenkplatten auf eine Spannung begrenzt, die innerhalb des Ablenkbereichs des Bildschirmrasters liegt, gleichzeitig wird auf die maximale Strahlintensität geschaltet.

Aus der Lage und der Darstellung des gebeamten Elektronenstrahls auf dem Bildschirm kann man verschiedene Informationen ableiten. Die Darstellung in *Abb. 1.8b* zeigt an, dass eine Übersteuerung für die Vertikal-Ablenkplatten nach oben vorliegt und für die Horizontal-Ablenkplatten nach links. Die balkenähnliche Darstellung sagt aber aus, dass eine Zeitablenkung vorhanden ist.

In diesem Fall müsste mit einer Positionsverschiebung X-POS das BEAM-Bild in die Mitte gebracht werden.

Die Y-Übersteuerung ist mit dem Abschwächer und/oder mit dem YPOS-Steller nach unten zu korrigieren (hohes Gleichspannungspotenzial am Messeingang).

Wenn die Beam-Darstellung in der Mitte liegt (Abb. 1.8c), dann ist der Y-Verstärker sehr stark übersteuert. Dann muss der Stufenabschwächer in unempfindlichere Stellungen V/DIV geschaltet werden.

Die punktuelle Darstellung des Beambildes in Abb. 1.8d ist typisch für die fehlende Zeitablenkung. In diesem Fall ist die Triggerquelle zu prüfen (vgl. Kapitel 4).

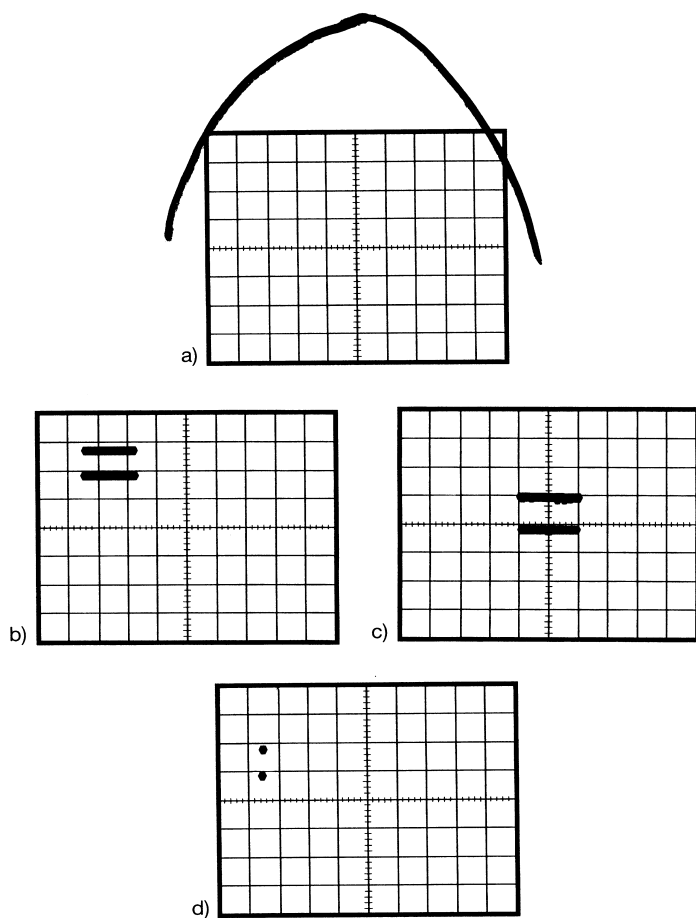


Abb. 1.8:

- a) Bei entsprechender Zeiteinstellung liegt das Signal außerhalb des Schirmbilds
- b) Übersteuerung des X- und Y-Schirmbildbereichs
- c) Übersteuerung in der Y-Achse
- d) Keine Zeitablenkung in der X-Achse

1.6 Übungen zur Vertiefung

Muss man sich mit etwas völlig Neuem mit Hilfe eines Fachbuches auseinandersetzen, dann sind die ersten Einführungs- und Beschreibungsabschnitte die schwersten. Neben neuen Funktionen und Bedienungsabläufen sind es vor allem die vielen neuen Begriffe, die einen anfänglich verwirren. Daher sollen in jedem Abschnitt zu allem Ungewohnten, weil Neuem, einige Vertiefungsübungen angeboten werden.

1. Auf dem Bildschirm ist kein Strahlpunkt und keine Linie sichtbar. Die Bildschirmfunktionen haben folgende Einstellungen:

- FOCUS in Mittelstellung
- ASTIGM in Mittelstellung
- INTENS in linker Stellung
- TRACE in rechter Stellung

Wenn der BEAM FIND betätigt wird, wird der Strahlpunkt in der Mitte des Bildschirms sichtbar.

Welche Funktion ist falsch eingestellt?

2. Der sichtbare Strahlpunkt auf dem Bildschirm verändert mit der Erhöhung der Helligkeit durch INTENS seine Form und Größe.

Folgende Einstellungen müssen überprüft werden:

- X- und Y-POS
- TRACE und FOCUS
- FOCUS und ASTIGM
- TRACE und ASTIGM
- Nur FOCUS
- Nur ASTIGM

3. Bei den in *Abb. 1.9* dargestellten Einstellungen ist kein Strahlpunkt sichtbar. Mit BEAM FIND wird der Strahlpunkt in der oberen Hälfte der Bildschirmmitte sichtbar. Welche Stellfunktion ist falsch eingestellt?

E i n g a n g s -	Ablenk- koeffizient	1V/ DIV
	kopplung	GND
	Polarität	Y
	Y-POS.	+5
	Regler	CAL

Abb. 1.9

4. Der Strahlpunkt kann nur mit BEAM FIND sichtbar gemacht werden; er zeigt sich hierbei in der rechten oberen Ecke des Bildschirms. Welche Stellfunktionen in *Abb. 1.10* müssen korrigiert werden, damit der Strahlpunkt auf dem Bildschirm sichtbar wird?

Bildschirm				
BEAM FIND	FOCUS	ASTIGM	INTENS	TRACE
	4	6	3	5

Abb. 1.10

5. Auf dem Bildschirm ist bei den in *Abb. 1.11* vorgegebenen Einstellungen kein Ablenkstrahl sichtbar. Durch Betätigen von BEAM FIND wird der Ablenkstrahl verkürzt in der Bildschirmmitte sichtbar. Welche Einstellung muss geändert werden?

Bildschirm				
BEAM FIND	FOCUS	ASTIGM	INTENS	TRACE
	4	6	3	5

Abb. 1.11

- Mit FOCUS muss der Strahlpunkt schärfer eingestellt werden
 - Y-POS muss korrigiert werden
 - Mit INTENS muss die Strahlhelligkeit erhöht werden
 - Die Zeitablenkung TIME/DIV muss auf langsamere Ablenkzeiten gestellt werden
6. Der Strahlpunkt steht in der linken unteren Ecke des Bildschirms. Wie müssen die Steller Y- und X-POS gedreht werden, damit der Strahlpunkt in der Mitte des Bildschirms positioniert wird?
- Y-POS und X-POS nach rechts drehen
 - Y-POS und X-POS nach links drehen
 - Y-POS nach rechts und X-POS nach links drehen
 - Y-POS nach links und X-POS nach rechts drehen

Lösungen ab Seite 220

2 Eigenschaften und Funktionen des Oszilloskops

Ein Oszilloskop ist bei der Funktionsprüfung von Wechselströmen und Wechselspannungen unterschiedlichster Signalformen sowie zeitlichen Abläufen und bei der Fehlersuche in elektronischen Schaltungen ein unentbehrliches Messgerät.

Mit dem Oszilloskop kann man elektrische Schwingungsvorgänge jeder Art in ihrer Amplitude und Signalformänderung in bestimmten Zeitabschnitten an beliebigen Stellen in elektronischen Schaltungen und Übertragungswegen sichtbar machen. Die trägheitslose Messung und Darstellung von Amplitude, Signalform und Zeitdauer ist besonders vorteilhaft, wenn Signale von sehr kurzer Zeitdauer (Millisekunden bis Nanosekunden) mit unregelmäßigem zeitlichen Verlauf (z. B. Impulsmessung in der Digitaltechnik, frequenzmodulierte Signale) gemessen werden sollen. Auch zur Messung von Mischsignalen unterschiedlichster Amplitude, Form und Frequenz (z. B. amplitudenmodulierte Signale) ist die Anwendung des Oszilloskops ideal.

Die Umwandlung von physikalischen Größen (Dehnung, Druck, Entfernung, Füllstände, Geschwindigkeit, Licht, Positionen, Schall, Temperatur, Zug) durch Sensoren (in nahezu allen Anwendungsbereichen) in elektrische Signale (Spannung, Strom, Widerstand) ermöglicht auch hier den Einsatz des Oszilloskops.

2.1 Messtechnische Grundlagen der Signalaufzeichnung

Direkt messen kann man mit einem Oszilloskop nur Spannungen. Alle anderen Messgrößen, wie z. B. der Strom oder der Widerstand, können nur indirekt gemessen werden. D. h., sie müssen auf eine Spannungsmessung zurückgeführt werden. Der Bildschirm zeigt ein Messdiagramm (Abb. 2.1), das die Spannungen U in der Amplitude (vertikale Y-Achse) und in der Zeit t (horizontale X-Achse) darstellt. Das Bildschirmraster (Abb. 2.2) ist ein einstellbarer Maßstab für beide Achsen und ermöglicht so das Ablesen der dargestellten Amplitude in der Y-Achse und der eingestellten Zeit in der X-Achse. Die Definition des Maßstabs erfolgt für ein Raster sowohl in der Y-Achse (Spannungskoeffizient) als auch in der X-Achse (Zeitkoeffizient).

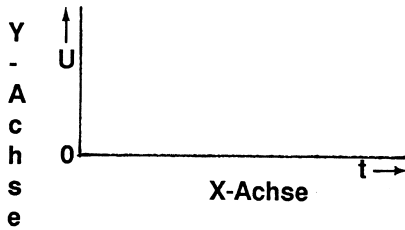


Abb. 2.1 Messdiagramm auf Bildschirm

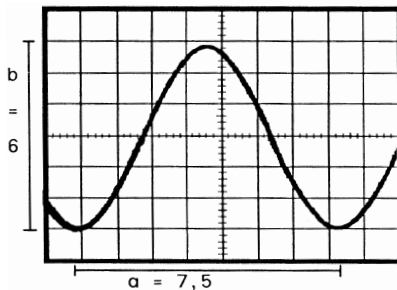


Abb. 2.2: Rastermaßstab auf Bildschirm

Für das Beispiel in Abb. 2.2 nehmen wir folgende Maßstäbe an:

- Y-Maßstab = 1 V pro Raster (Ablenkkoeffizient) oder abgekürzt 1 V/DIV
- X-Maßstab = 1 ms pro Raster (Zeitkoeffizient) oder abgekürzt 1 ms/DIV

Hieraus ergeben sich folgende Messwerte für eine sinusförmige Spannung:

- Der Amplitudenwert (b) von der positiven Halbwelle bis zur negativen Halbwelle geht über 6 Raster, dies entspricht einer Spannung von 6 V bei 1 V/DIV ($6 \cdot 1 \text{ V} = 6 \text{ V}$).
- Der Zeitablauf (a) einer Periode geht über ca. 7,5 Raster, dies entspricht einer Zeit von 7,5 ms (Millisekunden) bei 1 ms/DIV ($7,5 \cdot 1 \text{ ms} = 7,5 \text{ ms}$).

Wir merken uns:

Für die vertikale (y) oder horizontale (x) Ablenkung mit Hilfe von Spannungen gilt:

$$\text{Ablenkkoeffizient (pro Raster)} = \frac{\text{Spannung, die die Ablenkung bewirkt}}{\text{Ablenkungsweg des Leuchtpunkts}}$$

Für eine horizontale (x) Ablenkung, die proportional zur Zeit erfolgt, ist der Zeitkoeffizient maßgeblich:

$$\text{Zeitkoeffizient (pro Raster)} = \frac{\text{Zeitdauer}}{\text{Weg des Leuchtpunkts}}$$

Die Spannungskoeffizienten und die Zeitkoeffizienten sind am Oszilloskop einstellbar.

2.1.1 Signalarten

Die Messwerterfassung von Strömen und Widerständen erfolgt auf indirekte Messart. Ströme können direkt mittels einer Stromzange gemessen werden. Bei der indirekten Messwerterfassung eines Gleichstroms I wird die Spannung $U = R \cdot I$ an einem ohmschen Widerstand z. B. mit $R = 10 \Omega$ gemessen. Da mit dem Oszilloskop nur die Spannung gemessen werden kann (Abb. 2.3a), muss der Wert des Stroms indirekt bestimmt werden, $I = U / R$. Auf dem Bildschirm des Oszilloskops verläuft der Elektronenstrahl in der Y-Ablenkung 4 Raster über der Mittellinie (Abb. 2.3b). Beträgt der Ablenkkoeffizient 1 V pro Raster (Abk.: 1 V/DIV), beträgt der Messwert der Gleichspannung 4 Raster mal 1 V = 4 V. Der Strom errechnet sich dann aus $4 \text{ V} / 10 \Omega = 0,4 \text{ A} = 400 \text{ mA}$ (oberste Linie im Diagramm, 4 V oder 0,4 A). Da sich die drei Größen I , R und U proportional zueinander verhalten, kann man für die Y-Ablenkung auch gleich A/DIV oder mA/DIV als Maßstab angeben. 1 Raster ist dann 1 V oder 0,1 A/100 mA. Ändert sich die Spannung auf 2 V/DIV, hat sich der Strom auf 0,2 A/DIV oder 200 mA/DIV geändert (Linie 2 V, bzw. 0,2 A im Diagramm).

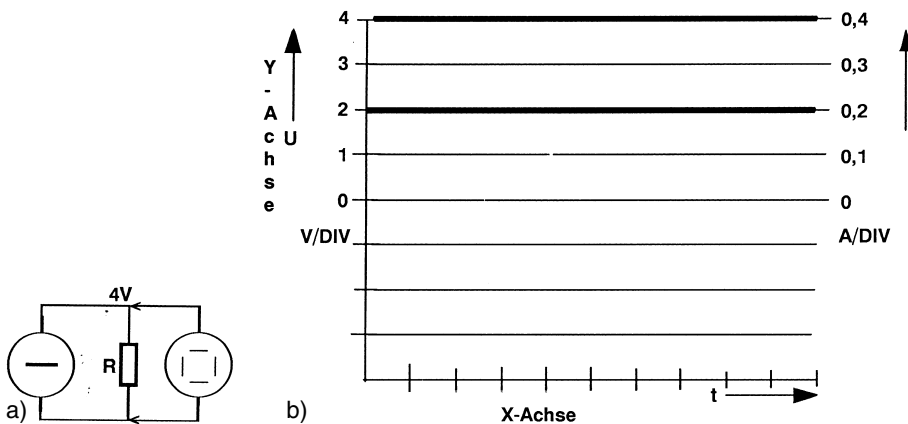


Abb. 2.3: Indirekte Strommessung; a) Messaufbau, b) Messdiagramm

Dieser Maßstab für den Strom auf der Y-Achse gilt bei dieser Messung nur für den Widerstandswert $R = 10 \Omega$. Ändert sich der Widerstandswert z. B. auf $R = 5 \Omega$, würde sich der Maßstab für den Strom I auf der Y-Achse ändern, bei gleichbleibenden Ablenkkoeffizienten 1 V/DIV. Bei gleichbleibender Spannung von 4 V am Widerstand $R = 5 \Omega$ ergibt sich ein Strom von $4 \text{ V} / 5 \Omega = 0,8 \text{ A} = 800 \text{ mA}$. Der Ablenkkoeffizient für den Strom in der Y-Achse würde dann 0,2 A/DIV oder 200 mA/DIV ergeben. Ein Raster hätte dann den Maßstab 1 V oder 0,2 A (200 mA).

Die Bestimmung eines unbekannten Widerstandswerts über eine Spannungsmessung am Oszilloskop kann nur über das Spannungsverhältnis einer bestehenden

Reihenschaltung eines bekannten Widerstands $R = 10\ \Omega$ mit einem unbekannten Widerstand R_x durchgeführt werden (Abb. 2.4a). Zuerst wird die anliegende Spannung gemessen, wieder mit einem Ablenkkoefizienten von 1 V/DIV . Auf dem Bildschirm in Abb. 2.4b zeigt sich wieder eine Strahllinie mit 4 Raster Abstand oberhalb zur Mittellinie, also 4 V . Die zweite Messung erfolgt zwischen der Verbindung der Widerstände R und R_x (Abb. 2.4a). Auf dem Bildschirm zeigt sich die Strahllinie mit 2 Raster Abstand zur Mittellinie, also 2 V/DIV (Abb. 2.4b).

Da sich die Spannungen proportional zu den Widerständen verhalten, muss an dem Widerstand R ebenfalls 2 V anliegen ($2\text{ V} + 2\text{ V} = 4\text{ V}$). Wenn an beiden Widerständen die Spannungen gleich groß sind, sind auch die Widerstände gleich groß, $R = R_x = 10\ \Omega$. Das Y-Raster hätte dann die Koeffizienten 1 V/DIV und $5\ \Omega/\text{DIV}$. Auch hier gilt einschränkend, dass die Y-Widerstandskoeffizienten nur für die Widerstandswerte dieses Beispiels gelten.

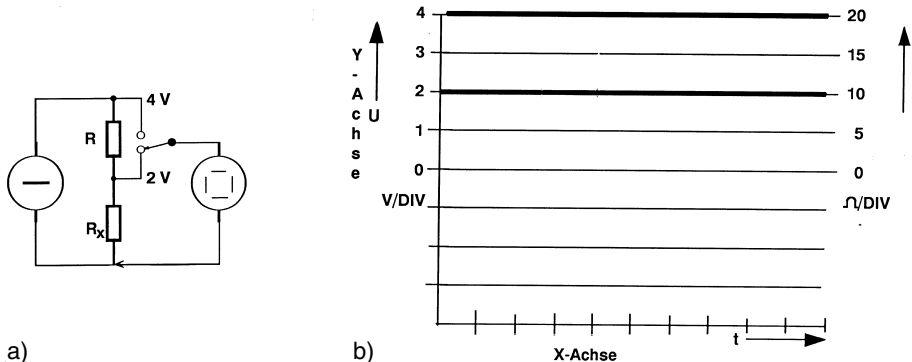


Abb. 2.4: Indirekte Widerstandsmessung; a) Messaufbau, b) Messdiagramm

2.1.2 Größen der Signalspannung

Bei der Messung von Spannungen mit dem Oszilloskop müssen drei Spannungsgrößen unterschieden werden:

- Effektivspannung (Gleichgröße) U
- Spitze-Spannung U_s
- Spitze-Spitze-Spannung U_{ss} oder \hat{u}

Die Effektivspannung oder Gleichgröße ist eine zeitlich konstante Größe (z. B. Gleichspannung), daher eine Spannung, die sich über die Zeit in der Amplitude nicht ändert (Abb. 2.5).

Die Spitze-Spannung U_s (Abb. 2.5) wird von der Nulllinie aus gemessen, in diesem Beispiel 3,1 Raster bei 1 V/DIV ergibt $U_s = 3,1\text{ V}$.

Der Spitze-Spitze-Spannungswert U_{ss} wird über die gesamte Amplitude gemessen und liegt daher bei 6,2 Raster, entspricht 6,2 V (Abb. 2.5b). Der zeitliche Mittelwert einer Größe ist der Gleichwert, diesen Wert erhält man bei einer Mischspannung, deren Spannungswerte über Spannungsnull liegen (Abb. 2.5c).

Eine Wechselspannung ist eine periodisch sich mit der Zeit ändernde Größe auf der Nulllinie, deren Gleichwert null ist (Abb. 2.5d).

Welcher Zusammenhang oder Unterschied besteht nun zwischen der Anzeige eines Voltmeters (Digital oder Zeiger) und den Spannungsdarstellungen eines Oszilloskops? Hierzu betrachten wir den folgenden Vergleich:

Spannungsart	Oszilloskop	Voltmeter
Gleichspannung, z. B. $U = +12\text{ V}$	Einst. 4 V/DIV $3 \times 4\text{ V} = 12\text{ V}$	Einst. Gleichsp. $+12\text{ V}$
Wechselspannung Sinus $u = 14,3\text{ V}$	Einst. 10 V/DIV $4 \times 10\text{ V} = 40\text{ V}$	Einst. Wechselsp. $14,3\text{ V}$

1.1 Meßtechnische Grundlagen

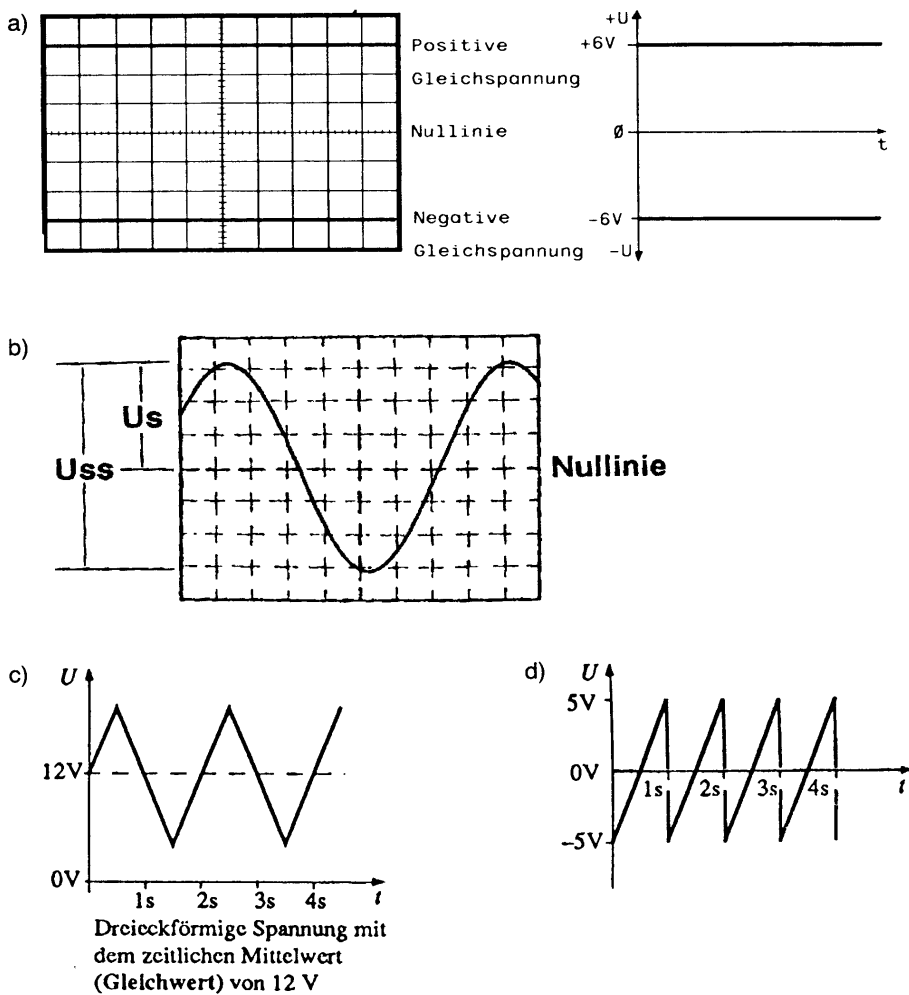


Abb. 2.5:

- a) Gleichspannung am Oszilloskop und im Diagramm
- b) Spitzenspannung und Spitze-Spitze-Spannung
- c) Dreieckförmige Spannung mit dem zeitlichen Mittelwert
- d) Sägezahnspannung als Wechselspannung (Gleichwert = 0 V)

2.1.3 Zeit- und Frequenzwerte von Signalspannungen

Nachdem wir eingehend die Messmöglichkeiten in der Y-Achse und deren Koeffizienten betrachtet haben, verdeutlichen einige Beispiele die Zeitmessungen in der X-Achse. Das Oszilloskop bietet die Möglichkeit, die Zeitachse auf verschiedene Zeiten pro Raster einzustellen, z. B. in Stufen im Bereich von Sekunden bis Mikrosekunden. Dadurch ist es möglich, bei Wechselspannungen der unterschiedlichsten Form den zeitlichen Ablauf und die Wiederholungsgeschwindigkeit (Frequenz) zu bestimmen.

Nehmen wir als Beispiel das in *Abb. 2.6a* dargestellte sinusförmige Signal, das über die gesamte Bildschirmbreite sichtbar ist. Damit wir feststellen können, welche Geschwindigkeit dieses Signal hat, müssen wir die Zeit einer vollen Sinusschwingung messen.

Die Sinuskurve messen wir von der ersten Zeitrastermarkierung 30 ms. Die vollständige Sinusperiode endet an der Zeitrastermarkierung 60 ms. Der Zeitmaßstab beträgt 10 ms pro Raster, also 10 ms/DIV. Damit benötigt die Sinusschwingung 3 Raster, von 30 ms bis 60 ms insgesamt 30 ms. Daraus errechnet sich die Frequenz ($1/t$) der Sinusschwingung, also die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde mit $1/30\text{ ms} = 0,0333\text{ kHz} = 33,3\text{ Hz}$.

Neben der Sinusschwingung gibt es noch zahlreiche andere Signalformen, wie z. B. Impuls- oder sägezahnförmige Spannungen. In *Abb. 2.6b* ist ein Rechteckimpuls dargestellt. Auch hier wird zur Frequenzbestimmung der Impulsfolge eine ganze Impulsschwingung gemessen. Diese wird in diesem Beispiel von der Mitte der ersten Abstiegsflanke bis zur Mitte der zweiten Abstiegsflanke definiert. Nach *Abb. 2.6b* ergibt sich demnach eine Impulsperiodenzeit von 40 ms. Das entspricht einer Impulsfolgefrequenz von $1/40\text{ ms} = 0,025\text{ kHz} = 25\text{ Hz}$.

Abb. 2.6c zeigt eine Impulsfolge mit sehr langen Impulspausen t_p und kurzen Impulsen t_i . Wenn z. B. t_i/t_p im Verhältnis 1/100 liegt, muss man die beiden Zeiten mit getrennten Zeitmaßstäben messen und dann die Zeiten t_i und t_p addieren. Daraus kann man dann die Impulsfolgefrequenz ermitteln. In dem Beispiel nach *Abb. 2.6c* wurde für die Messung der Impulspause t_p der Maßstab 0,1 ms/DIV gewählt und die Impulslänge von 0,1 ms bis 0,3 ms, mit 0,2 ms gemessen. Die Impulspause t_p wurde bei dem Maßstab 10 ms/DIV von 30 ms bis 55 ms mit 25 ms gemessen. Die Impulszeit ergibt sich dann zu $t_i + t_p = 0,2\text{ ms} + 25\text{ ms} = 25,2\text{ ms}$. Daraus kann die Impulsfolgefrequenz ermittelt werden: $1/25,2\text{ ms} = 0,0397\text{ kHz} = 39,7\text{ Hz}$.

Die Zeitdauer von dreieckförmigen Spannungen wird, wie bei der sinusförmigen Spannung, über eine volle Schwingungsperiode gemessen (*Abb. 2.6d*) – in diesem Beispiel von der Zeitrasterlinie 1 ms bis zur Zeitrasterlinie 5 ms, entsprechend 4 ms (250 Hz). Bei der sägezahnförmigen Spannung wird die Zeitdauer von Beginn des Spannungsanstiegs bis zu ihrem Ende definiert (*Abb. 2.6e*). Der Sägezahn beginnt bei der Zeitrasterlinie 5 ms und endet bei 22,5 ms. Dies entspricht einer Zeit von $22,5\text{ ms} - 5\text{ ms} = 17,5\text{ ms}$, was einer Frequenz von $0,057\text{ kHz} = 57\text{ Hz}$ entspricht.

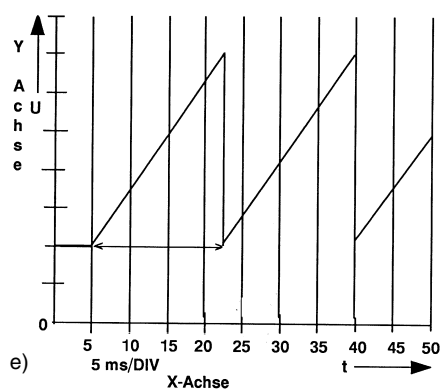
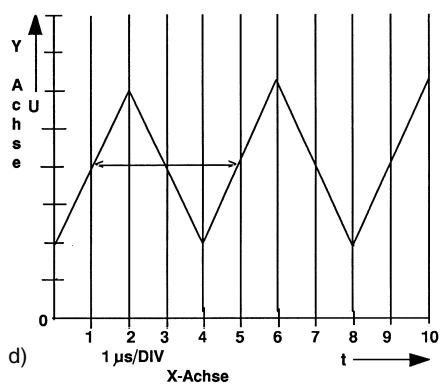
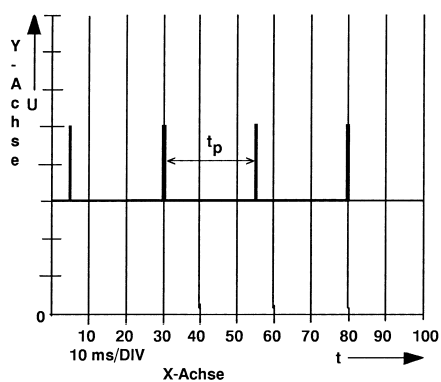
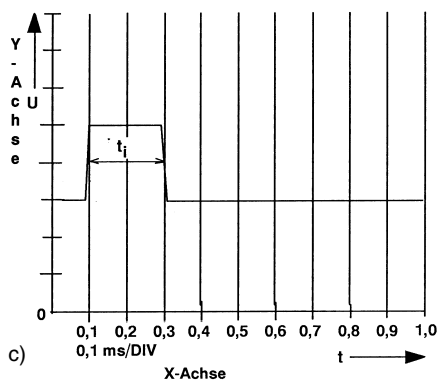
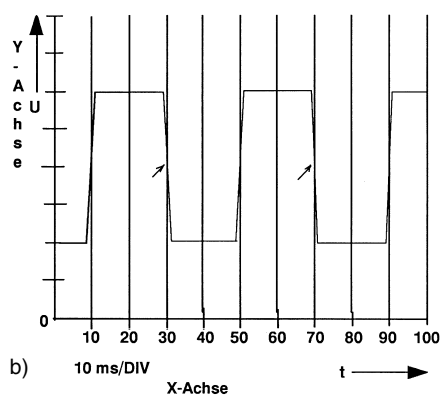
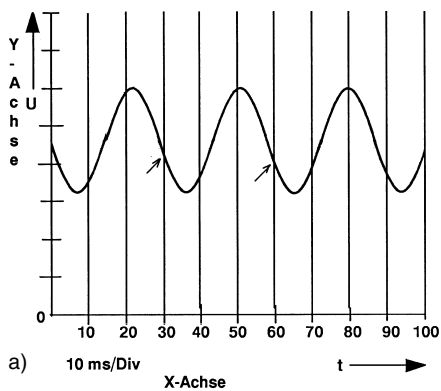


Abb. 2.6: Zeitmessungen; a) Sinusperiode, b) Rechteckimpulsperiode, c) Messung von Impulsdauer und Impulspause, d) Dreieckimpuls, e) Sägezahnimpuls

2.2 Funktionen des Analog-Oszilloskop

Werfen wir zuerst einen Blick auf ein sehr vereinfachtes Blockschaltbild in *Abb. 2.7*.

Das Messsignal wird direkt oder über einen Tastkopf (zur Erhöhung des Eingangswiderstandes und Verringerung der Eingangskapazität mit Amplitudenabschwächung 1:10 oder 1:100) an den Vertikaleingang des Oszilloskops angeschlossen.

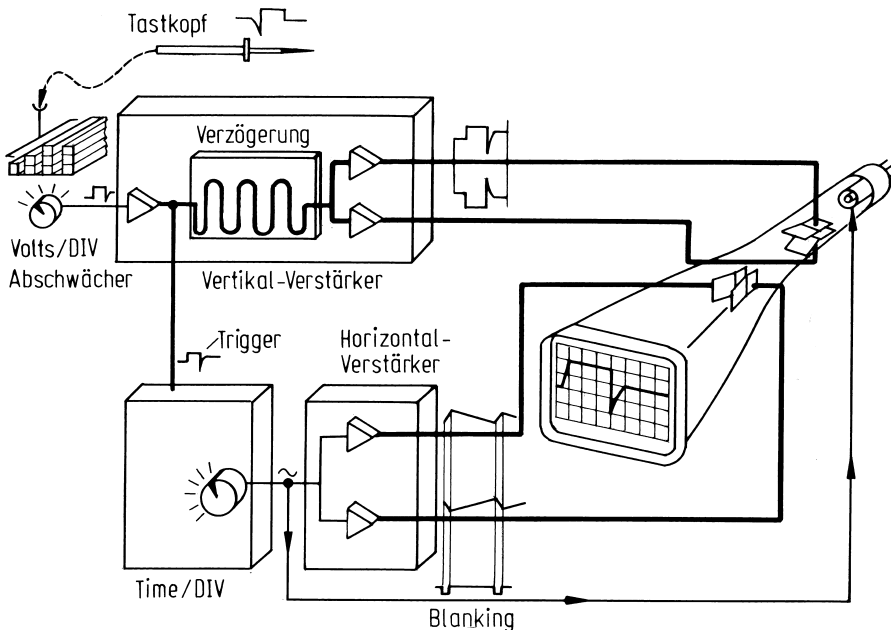


Abb. 2.7: Vereinfachtes Blockschaltbild des Oszilloskops

Der zu messende Spannungswert gelangt über den auf die Amplitude eingestellten Abschwächer an den Vertikalvorverstärker (Dreiecksymbol). Danach wird das Messsignal über eine Verzögerungsleitung und einen Gegentakt-Endverstärker an die vertikalen Ablenkplatten der Elektronenstrahlröhre weitergeleitet. Die Verstärkung des Messsignals ist erforderlich, weil die Ablenkplatten zur Auslenkung des Elektronenstrahls eine Spannung von 2 V bis 5 V für ein Rasterteil benötigen. Bei der in *Abb. 2.7* dargestellten Rastereinteilung von fünf Rastern müssen zur vollen Bildschirmauslenkung 10 V bis 25 V zur Verfügung gestellt werden. In *Abb. 2.15* beträgt die kleinste Einstellung des Spannungsteilers 1 mV/DIV. Deshalb muss der Vertikalverstärker das Signal auf das 10.000- bis 25.000-Fache verstärken können.

Mit der in *Abb. 2.7* dargestellten Verzögerungsleitung im Vertikalverstärker wird das Messsignal in seiner Laufzeit um einige Nanosekunden verzögert, und dies hat folgenden Grund:

Das Messsignal wird zwischen Vertikalvorverstärker und Verzögerungsleitung als „internes“ Triggersignal abgegriffen und an die Ablenk-Triggerschaltung geführt. Damit gewährleistet ist, dass die Zeitablenkung an den horizontalen Ablenkplatten um einige Nanosekunden früher einsetzt als die Auslenkung der Vertikalablenkplatten durch das Messsignal, ist die Verzögerungsleitung erforderlich.

Nach der Trigger- und Zeitablenkschaltung folgt ein Horizontalverstärker. Dieser Verstärker muss die sägezahnförmige Ablenkspannung für die Horizontalplatten ebenfalls verstärken, und dies für 8 Rastereinheiten.

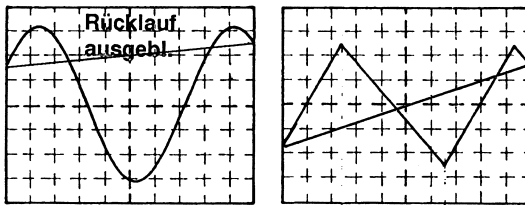


Abb. 2.8: Rückstrahlausblendung (Dunkelsteuerung)

Zwischen der Trigger- und Zeitablenkschaltung und dem Horizontalverstärker führt eine Leitung mit der Bezeichnung "Blanking" zur Kathode der Bildröhre. Das ist eine Austastfunktion für den Elektronenstrahl, wenn er seinen Weg von links nach rechts zur Darstellung des Signals beendet hat und in die Ausgangslage nach links schnell zurückschaltet. Damit dieser Rücklauf nicht gesehen wird (vgl. Abb. 2.8), wird in dieser Zeit der Elektronenstrahl dunkel getastet, daher ausgeblendet.

2.2.1 Vertikalverstärkersystem

Betrachten wir in Abb. 2.9 das Vertikalverstärkersystem in einem Blockschaltbild etwas genauer. Daneben die Bedienelemente, entsprechend Abb. 2.15. Damit wird das Zusammenwirken der einzelnen Funktionseinheiten und deren Anordnung ersichtlich.

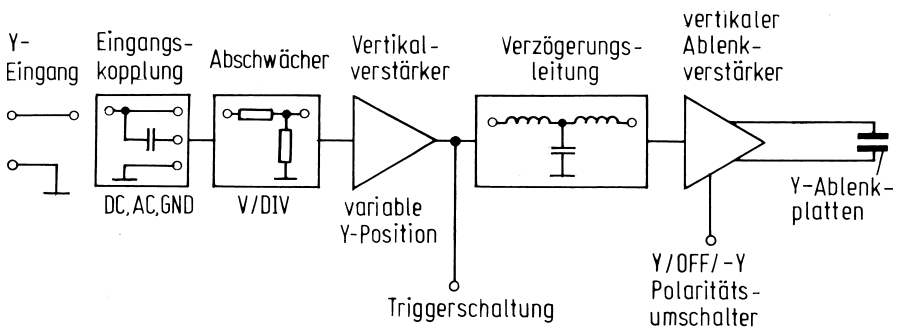


Abb. 2.9: Blockscha des Vertikalverstärkersystems

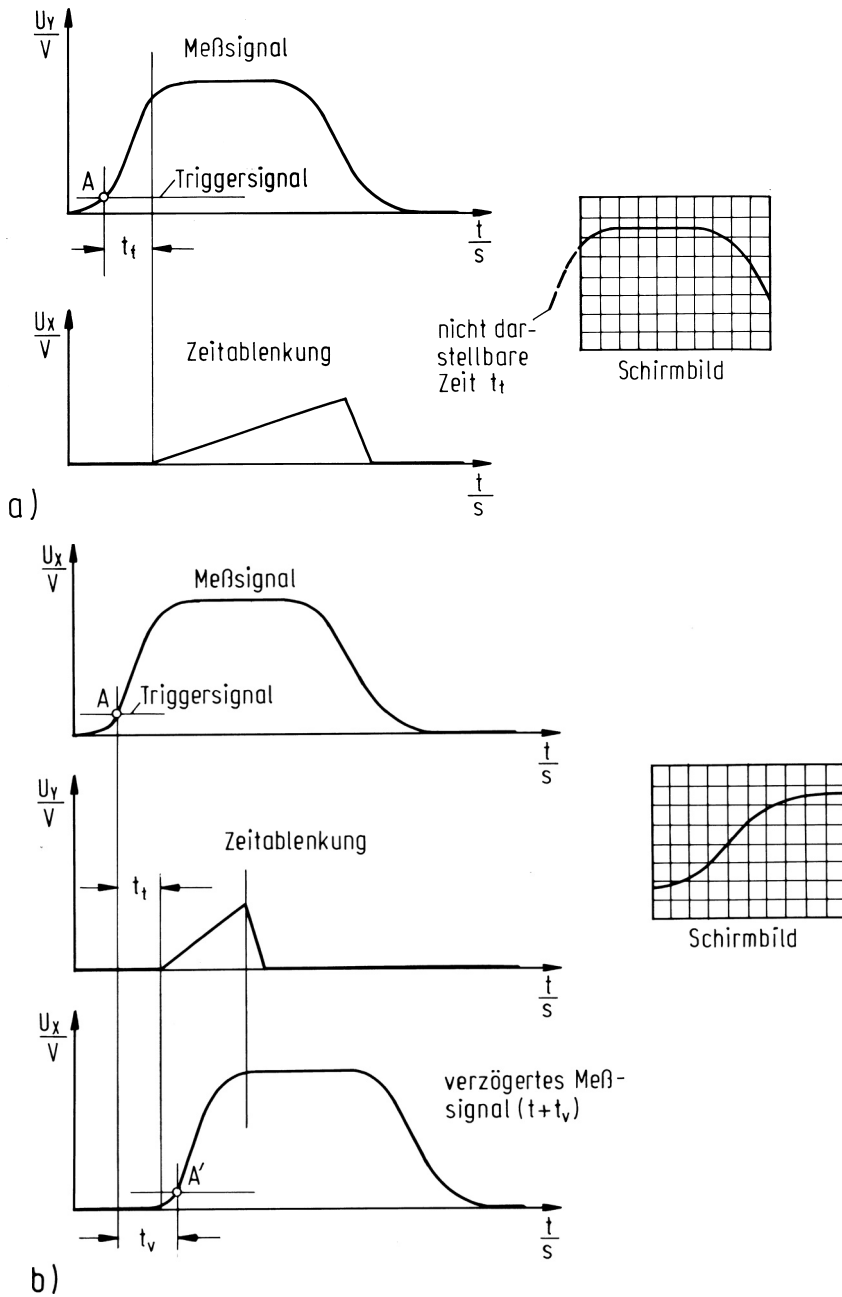


Abb. 2.10: Messsignaldarstellung a) ohne Verzögerungsleitung
b) mit Verzögerungsleitung

Das Vertikalverstärkersystem hat die Aufgabe, den Momentanwert der Eingangsspannung in eine proportionale Vertikalauslenkung des Elektronenstrahls auf dem Bildschirm umzuwandeln. Das Messsignal durchläuft der Reihe nach die Baugruppen Eingangskopplung, Eingangsteiler, Vertikalvorverstärker, Verzögerungsleitung, Vertikalendverstärker und die Vertikalablenkplatten in der Katodenstrahlröhre. Die Aufgabe der Verzögerungsleitung zeigt die Abb. 2.10.

Zur Darstellung schneller Messsignale (z. B. Nadelimpulse, Impulsflanken) wird auf den Anfang der Flanke getriggert (Punkt A in Abb. 2.10a). Aufgrund der Laufzeiten der Signale im Vertikalvorverstärker und in der Triggerschaltung wird die Ablenkspannung des Zeitablenkgenerators mit der Zeit t_1 später gestartet. Diese Triggervverzögerung im Bereich 50 ns bis 100 ns (Nanosekunden) führt zu der nicht vollständigen Darstellung der Anstiegsflanke, der untere Teil der Anstiegsflanke wird nicht mehr dargestellt.

Durch die Verzögerungsleitung erreicht das Messsignal die Vertikalablenkplatten später als die Ablenkspannung die Horizontal-Ablenkplatten (vgl. Abb. 2.10b).

Die Verzögerungsleitung besteht aus einem längeren Koaxialkabel, das zur Vermeidung von Reflexionen beidseitig mit dem Wellenwiderstand Z_0 abgeschlossen ist. Die Zeitverzögerung für 1 m Kabel beträgt ca. 5,3 ns.

2.2.2 Horizontalverstärkersystem

Das vereinfachte Blockschema eines Horizontalablenksystems zeigt die Abb. 2.11, bestehend aus der Triggerschaltung, dem Sägezahngenerator und dem Horizontalverstärker. Wird an das Oszilloskop ein zu messendes Signal an den Vertikalverstärker angelegt und die Horizontalablenkung eingeschaltet, entsteht auf dem Bildschirm ein nicht identifizierbares durchlaufendes Bild. Die Zeitablenkung hat noch keinen Bezug zum Vertikalsignal. Dieser Bezug wird mit der Triggerfunktion hergestellt. Die Triggerschaltung hat die Aufgabe, die Zeitablenkung an einem bestimmten Potenzialpunkt und einer bestimmten Phasenlage des Messsignals zu starten. Diese Massnahme lässt auf dem Bildschirm ein stehendes Oszillogramm sichtbar werden.

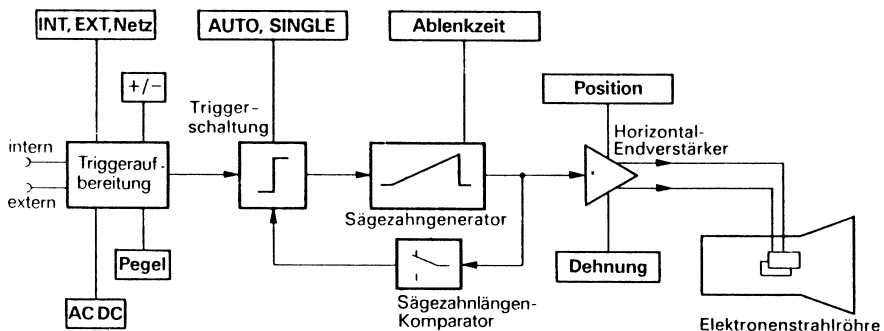


Abb. 2.11: Blockschema des horizontalen Ablenk- und Verstärkersystems

2.2.3 Zeitablenkung

Die Zeitablenkung erzeugt eine Funktion, die die Strahlablenkung in der Horizontalen mit konstanter Geschwindigkeit von links nach rechts über die gesamte Bildbreite bewirkt. Zur Erreichung einer linearen Zeitachse wird eine Sägezahnfunktion eingesetzt.

Der Strahl beginnt mit einem steigenden Amplitudenverlauf und einem positiven Pegel und endet entsprechend der Strahlablenkung am linken Bildschirmrand. Anschließend erfolgt eine Rückstellung des Strahls an den linken Bildschirmrand. Diese Rückstellung ist nicht zeitproportional; sie muss viel schneller vor sich gehen, damit die nächste Ablenkung kurz danach ausgelöst werden kann. Eine schnelle Rückstellung (Rücklauf) führt zur Steigerung der Wiederholfrequenz und hat helle Oszillogramme zur Folge.

Abb. 2.12 zeigt als Beispiel die Bildschirmdarstellung eines trapezförmigen Messsignals mit drei verschiedenen Ablenkzeiten. Aus dem repetitierenden Messsignal wird jeweils bei der steigenden Signalflanke und einem eingestellten Triggerpegel, der bei 25 % Signalamplitude liegt, der Triggerimpuls zum Zeitpunkt T_0 gewonnen.

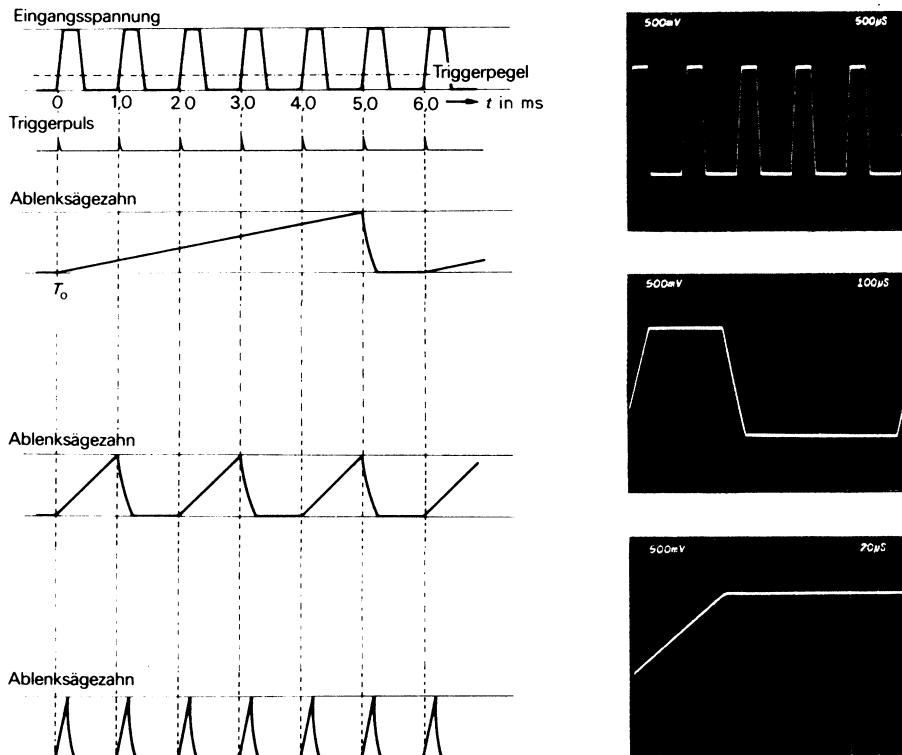


Abb. 2.12: Funktion der zeitabhängigen Horizontalablenkung

Der Triggerimpuls startet zum gleichen Zeitpunkt den Ablenksägezahn, der je nach eingestellter Zeitablenkung eine entsprechende Zeit benötigt, um vom linken Bildschirmrand mit steigender Amplitude zum rechten Bildschirmrand zu gelangen. Der oberste Sägezahn, der mit einer Ablenkgeschwindigkeit von $500 \mu\text{s}/\text{DIV}$ abläuft, benötigt für die zehn Raster Horizontalablenkung 5 ms ($500 \mu\text{s}/\text{DIV} \cdot 10 \text{ Raster}$) und stellt hierbei fünf der trapezförmigen und 1 ms langen Pulse auf dem Bildschirm dar. Eine Erhöhung der Ablenkgeschwindigkeit bewirkt, dass nur eine Periode oder nur Teile der Pulsfunktion dargestellt werden. So hat z. B. der mittlere Sägezahn in *Abb. 2.12* eine Ablenkgeschwindigkeit von $100 \mu\text{s}/\text{DIV}$ (1 ms Ablenkzeit bei 10 Rastern) und stellt nur einen trapezförmigen Puls dar. Der unterste Sägezahn in *Abb. 2.12* mit $20 \mu\text{s}/\text{DIV}$ ($200 \mu\text{s}$ Ablenkzeit bei 10 Rastern) erfasst sogar nur den Anstieg ab dem Triggerpunkt und einen Teil des Pulsdaches.

Der Zeitablenkgenerator arbeitet als Miller-Integrator oder nach dem Bootstrap-Prinzip.

2.2.4 Triggerfunktionen

Aufgabe der Triggerung ist es, zwischen dem angelegten Vertikalsignal oder einem externen Signal und der im Oszilloskop erzeugten horizontalen Ablenk-Sägezahnspannung einen Zeit- und Phasenbezug zu schaffen und dadurch ein stehendes (getriggertes) Oszillogramm. Diese Aufgabe ist für den Anwender des Oszilloskops von höchster Bedeutung, da bei allen Anwendungsmöglichkeiten unterschiedliche Bedingungen bezüglich Signalfrequenz, -amplitude und -form vorliegen und diese Signale als stabile Oszillogramme dargestellt werden sollen.

Die Triggerschaltung ist häufig als Tunneldiodenschaltung aufgebaut und erzeugt aus den unterschiedlichen Signalen einen definierten, steilen Triggerimpuls zur Auslösung des Horizontal-Sägezahnimpulses.

2.2.5 Triggerquellen und Triggersignalkopplung

Mit der Auswahl der Triggerquelle wird der Triggerschaltung ein bestimmtes Signal zugeführt (*Abb. 2.13*). Man unterscheidet hierbei die interne, externe und netzbezogene Triggerung. Bei der internen Triggerung wird das im Vorverstärker des Vertikalablenksystems vorhandene Messsignal an die Triggerschaltung geführt. Die externe Triggerung erfordert den Anschluss einer Triggerquelle an die vorgesehene Eingangsbuchse.

Die netzabhängige Triggerfunktion LINE gehört ebenfalls zu den Standardeinrichtungen. Hierbei wird als Triggerquelle die Netzfrequenz aus dem Netzteil des Oszilloskops eingesetzt.

Das Triggersignal kann über unterschiedliche Koppelfunktionen (*Abb. 2.13*) an die Triggereinheit geschaltet werden (Triggeraufbereitung im Blockschema *Abb. 2.11*).

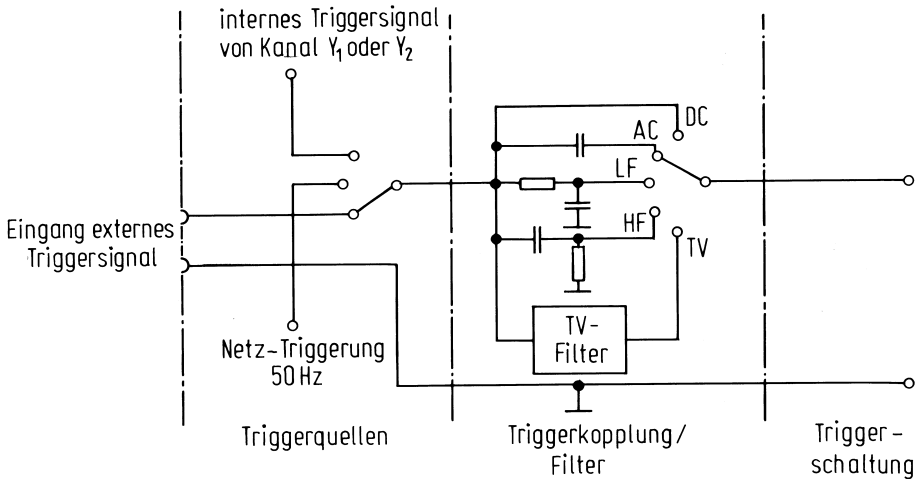


Abb. 2.13: Auslösung der Ablenkung bei unterschiedlichen Triggerpegeln

In der Stellung DC der Triggerkopplung werden alle Signale (Gleich- und Wechselspannung) übertragen. Sie eignet sich insbesondere für sehr langsam ablaufende Signale und für Digitalsignale.

Die AC-Kopplung ist zur Ankopplung von Wechselspannungen geeignet, die von einer überlagerten Gleichspannung getrennt werden sollen.

Diese Kopplung ist in der unteren und oberen Übertragungsfrequenz begrenzt (vgl. Abb. 2.17).

Die HF-Kopplung (vgl. auch Abb. 2.17) setzt bei 5 % bis 10 % der unteren Frequenzgrenze des Y-Verstärkers ein. Der Einsatz dieser Kopplungsart ist dann zweckmäßig, wenn HF-Frequenzen mit überlagerten NF-Frequenzen (z. B. 50-Hz-Netzfrequenz) dargestellt werden sollen.

Für die oszilloskopische Darstellung muss der Horizontal-Sägezahnimpuls sowohl auf der steigenden als auch auf der fallenden Flanke (SLOPE) eines beliebigen Signals ausgelöst werden können.

Außerdem muss auf jedem Pegelwert (Triggerlevel) der positiven (+) oder negativen (–) Flanke des darzustellenden Signals getriggert werden. Die Festlegung des Triggerpegels wird mit dem Pegelsteller bestimmt, der in einem Komparator die Signalamplitude mit einer kontinuierlich regelbaren Gleichspannung vergleicht und bei Spannungsgleichheit einen Triggerimpuls auslöst. Abb. 2.14 stellt die Triggerpunkte bei drei verschiedenen Potenzialen auf der fallenden Flanke einer Sinusfunktion dar. Ebenso können beliebige Triggerpotenziale auf der steigenden Flanke gewählt werden.

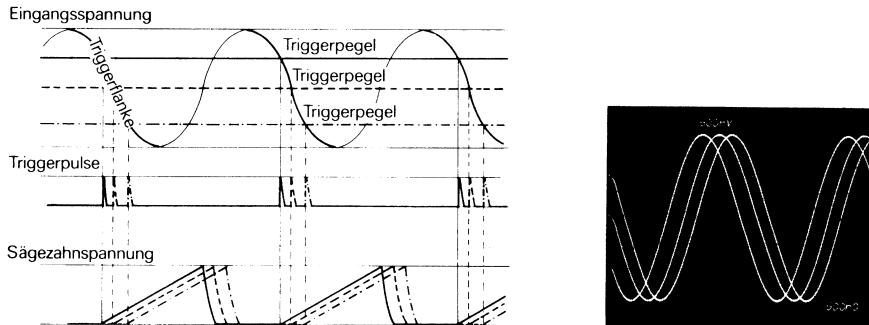


Abb. 2.14: Auslösung der Ablenkung bei unterschiedlichen Triggerpegeln

2.3 Bedien- und Anzeigeelemente eines Analogoszilloskops

Abb. 2.15 zeigt das Frontbild eines 2-Kanal-Oszilloskops mit je 35 MHz Bandbreite der Messverstärker. Aus dem Bedienfeld ist ersichtlich, dass bis zu 40 Schalter, Tasten und Drehwiderstände die Funktionseinstellungen erfordern. Das Bedienfeld ist funktional in vier Bereiche gegliedert. Dies sind im Wesentlichen die Bedienelemente 2 bis 4 für die Justierung der Elektronenstrahlröhre. Darunter befinden sich die Einstell- und Anschlussmöglichkeiten für die zwei Y-Messverstärker, rechts davon die Zeitablenkung mit X-Verstärker- und die Triggermöglichkeiten. Die Servicefunktionen liegen unterhalb der Elektronenstrahlröhre mit Kalibrierausgang und Komponententester. In den folgenden Beschreibungen und Funktionserklärungen wird auf die in Abb. 2.15 angegebenen Nummern der einzelnen Bedienungselemente in Klammern verwiesen.

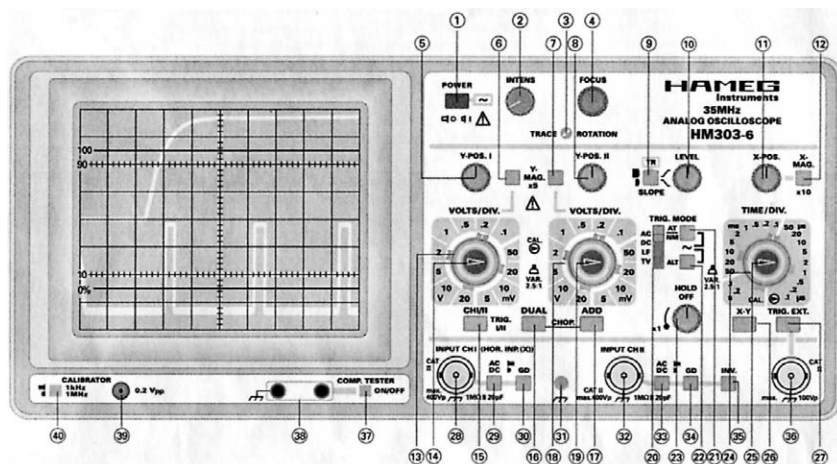


Abb. 2.15: Analogoszilloskop: Bedien- und Anzeigeelemente

2.3.1 Einstellfunktionen am vertikalen Messverstärker

Das Oszilloskop in Abb. 2.15 hat einen Spannungsteiler VOLTS/DIV für jeden der beiden Messkanäle (13) und (18), mit dem die Spannungsamplitude pro Raster (V/DIV oder mV/DIV) in 1-2-5 Schritten eingestellt werden kann. Mit einem Potenziometer auf dem Spannungsteiler (14, 19) kann die Amplitude bis zum Faktor 2,5 auf beliebige Zwischenwerte eingestellt werden. Nur in der rechten Endstellung CAL. des Potenziometers (Pfeil nach rechts zeigend) gilt die Rasterteilung V/DIV oder mV/DIV.

Die Tasten Y-MAG.x5 (6, 7) erhöhen die Y-Verstärkung der Messkanäle um den Faktor 5, maximal jedoch nur um 1 mV/DIV. Hierbei wird die Y-Verstärkung erhöht. Die dadurch bewirkte Zeitdehnung wirkt immer von der Mitte des Bildschirms aus (vgl. Abb. 2.16).

Mit dem veränderlichen Widerstand Y-POS. I (5) oder Y-POS. II (3) kann der Strahlpunkt oder der abgelenkte Strahlpunkt in Form einer horizontalen Linie oder des Signalverlaufs über den gesamten Bildschirm nach oben oder nach unten verschoben werden. Mit den Tasten AC/DC (29, 33) können die Messeingänge für Gleichspannungen (DC) gesperrt werden. Ein vorgeschalteter Kondensator kann nur Wechselspannungen (AC) übertragen. Nur in der Betriebsart DC können Mischspannungen (Wechsel- und Gleichspannungsanteile) übertragen werden.

Die Tasten GD (30, 34) legen die Messeingänge gegen Masse. Die Eingänge sind somit für alle Eingangssignale gesperrt. Für die BNC-Anschlussbuchsen (28, 32) des zu messenden Signals werden in Abb. 2.15, der Eingangswiderstand mit 1 M Ω und die Eingangskapazität mit 20 pF angegeben. Die maximale Eingangsspitzenspannung beträgt 400 Vp.

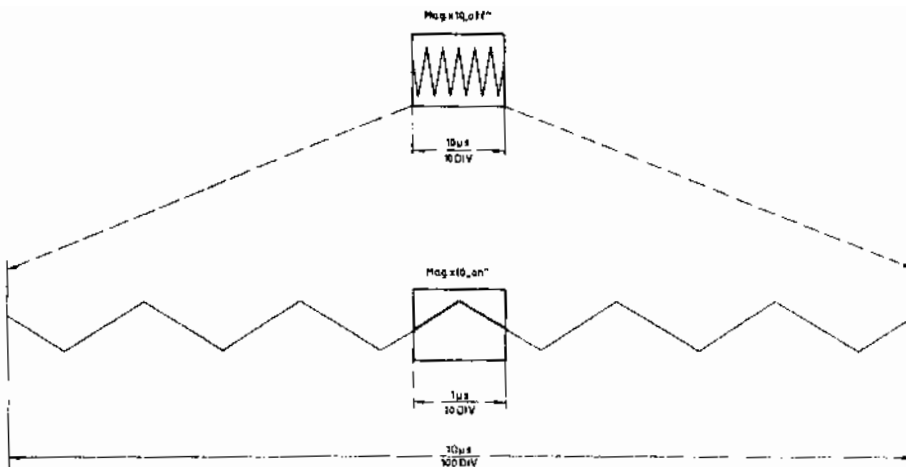


Abb. 2.16: Dehnung der Zeitachse

2.3.2 Einstellfunktionen an der horizontalen Zeitablenkung

Damit in der Horizontalablenkung (Zeitachse) verschiedene Zeitmaßstäbe eingestellt werden können, ist ein Zeitschalter TIME/DIV. (Abb. 2.15, 24) erforderlich. Ein eingestellter Zeitwert in Sekunden (s), Millisekunden (ms) oder Mikrosekunden (μs) gilt für ein Raster auf dem Bildschirm. Auf diesem Zeitschalter ist ebenfalls ein veränderlicher Widerstand (25) angebracht, mit dem der eingestellte Zeitmaßstab verändert werden kann – auch hier bis zum Faktor 2,5 (VAR. 2,5:1). Der eingestellte Zeitwert gilt nur in der Stellung CAL. des Potenziometers (25).

Eine Dehnung der X-Achse um den Faktor 10 ermöglicht die Taste X-MAG. $\times 10$ (12). In der kürzesten Zeiteinstellung $0,1 \mu\text{s}$ des TIME/DIV-Schalters verändert sich, bei Betätigung der Taste, die Zeit pro Raster auf 10 ns (Nanosekunden). Wie Abb. 2.16 zeigt, wird hierbei die X-Verstärkung auf das 10-Fache erhöht. Die dadurch bewirkte Zeitdehnung wirkt immer nach beiden Seiten von der Mitte des Bildschirms aus.

Mit dem veränderlichen Widerstand X-POS. (11) kann der Strahlpunkt oder die Strahllinie in der Horizontalen aus der Mittelstellung nach rechts oder links verschoben werden.

2.3.3 Triggerfunktionen

Als Triggerfunktion oder Triggersystem bezeichnet man die Einrichtung, mit der die horizontale Zeitablenkung auf das zu messende Signal synchronisiert wird, damit ein stehendes Bild der zu messenden Signale zustande kommt.

Wählen kann man verschiedene Triggerquellen und verschiedene Triggersignalkopplungen. Für die Triggerquelle gibt es zwei Auswahlmöglichkeiten mit der Taste TRIG. EXT (27). Bei nicht betätigter Taste wird die Zeitablenkung intern von dem zu messenden Signal ausgelöst. Bei gedrückter Taste erfolgt die Umschaltung auf externe Triggerung. Die Signalführung erfolgt über die BNC-Buchse (36). Für die Ankopplung der Triggerquellen stehen vier Übertragungsfunktionen zur Auswahl (Abb. 2.17), die mit dem Schiebeschalter TRIG. MODE (20) angewählt werden.

Die Wechselspannungsankopplung erfolgt über die Position AC. In dieser Stellung können Triggersignalfrequenzen zwischen 10 Hz und 100 MHz zur Triggerung eingesetzt werden – in der Stellung DC Signale im Frequenzbereich von 0 bis 100 MHz. In der Stellung LF (low frequency) des Schiebeschalters erfolgt die Triggerankopplung über einen Tiefpass im Frequenzbereich von 0 bis 1,5 kHz. Die interne Triggerung mit dem zu messenden Signal kann bei diesem Gerät nur bis zur 35 MHz erfolgen (Grenzfrequenz der Y-Verstärker), darüber bis 100 MHz über externe Triggerung.

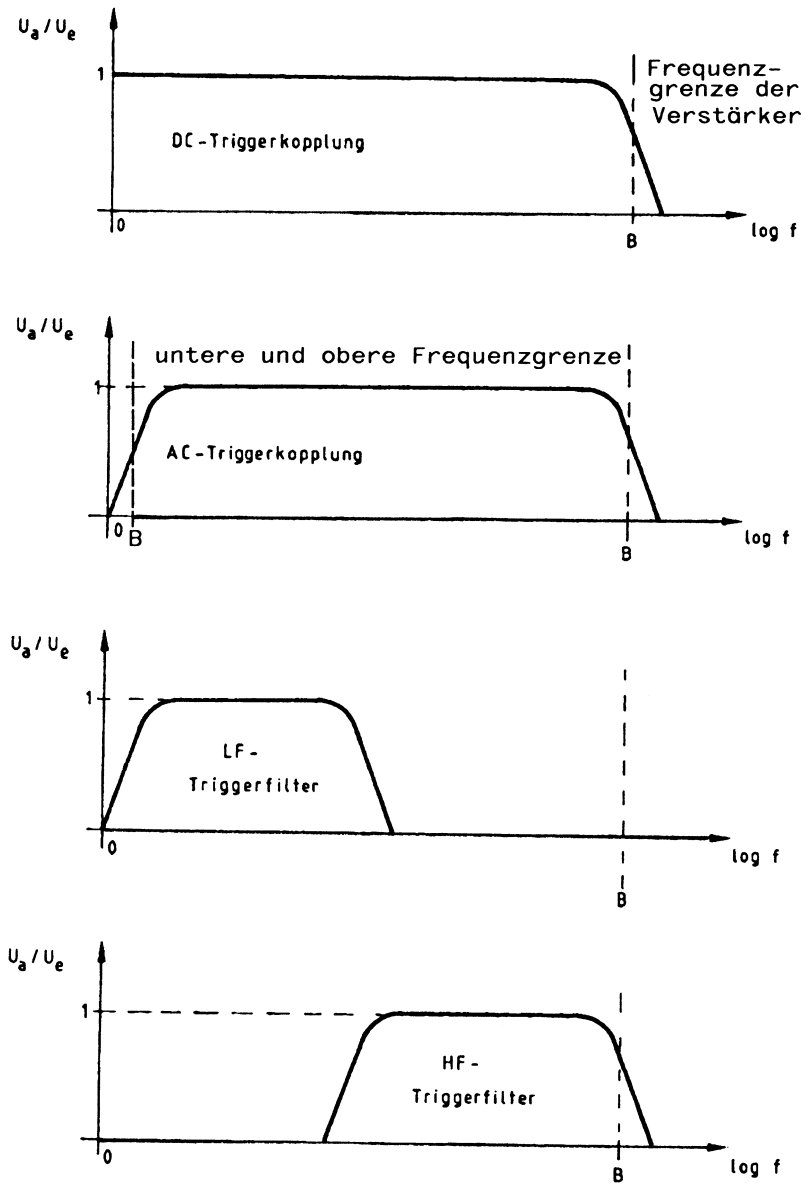


Abb. 2.17: Kopplungsarten für Triggersignal

In der Stellung TV (television) erfolgt die Triggerung von Bild und Zeile bei Videobildern.

Der veränderbare Widerstand LEVEL (10) ermöglicht die kontinuierliche Einstellung der Triggerschwelle, bei der die Auslösung des Elektronenstrahls erfolgt. Dadurch ist es möglich, die Auslösung der Triggerung an jeder beliebigen Stelle des zu messenden Signals auszulösen. Die Wahl des Triggereinsatzpunkts auf der ansteigenden (+) oder abfallenden (-) Flanke wird mit der Taste SLOPE (9) ausgeführt.

Bei Mischsignalen kann es vorkommen, dass auch bei mehrmaligem langsamem Durchdrehen des LEVEL-Drehwiderstands bei Normaltriggerung kein stabiler Triggerpunkt gefunden werden kann. Mit dem Drehwiderstand HOLD OFF (23) kann die Sperrzeit der Triggerung zwischen zwei Zeitablenkperioden im Verhältnis von 10:1 kontinuierlich vergrößert werden. Triggerimpulse, die innerhalb dieser Sperrzeit auftreten, können den Start der Zeitbasis nicht auslösen. Besonders bei Burst-Signalen oder aperiodischen Impulsfolgen gleicher Amplitude kann der Beginn der Triggerphase dann auf den jeweils günstigsten oder erforderlichen Zeitpunkt eingestellt werden (vgl. Abb. 2.18).

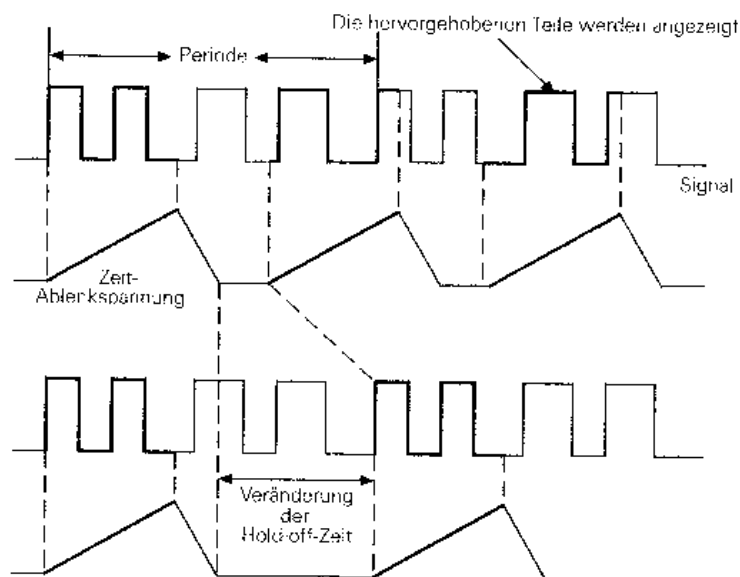


Abb. 2.18: Hold-off-Funktion

Ein stark verrauschtes oder ein durch eine höhere Frequenz gestörtes Signal wird manchmal doppelt dargestellt. Mit dem LEVEL-Drehwiderstand lässt sich vielleicht nur die gegenseitige Phasenverschiebung einstellen, nicht aber die Doppeldarstellung. Die stabile Einzeldarstellung des Signals lässt sich durch Vergrößerung der HOLD-OFF-Zeit erreichen. Hierbei wird der Drehwiderstand langsam nach rechts gedreht, bis nur noch ein Signal dargestellt wird. Ein weiteres Beispiel ist die Dop-

peldarstellung von Impulsen, die abwechselnd kleine Differenzen in den Spitzenamplituden aufweisen. Auch hier vereinfacht die Einstellung der HOLD-OFF-Zeit die Einzeldarstellung. Nach jedem Messvorgang sollte der HOLD-OFF-Drehwiderstand in den Linksanschlag zurückgestellt werden, damit eine reduzierte Bildhelligkeit die weiteren Messungen nicht beeinträchtigt.

Zwei weitere Triggerauslösungen ermöglicht die Taste AT/NM. Wird die Taste nicht betätigt (Betriebsart AT), kommt es zur automatischen Triggerung. Hierbei erfolgt die Zeitablenkung ohne Triggersignal. Der Zeitablenkgenerator läuft frei und schreibt eine Nulllinie auch ohne Messsignal am Vertikaleingang. Dies ist die gebräuchlichste Triggerart, weil jedes Messsignal innerhalb der vom Hersteller angegebenen Grenzwerte für Frequenz und Amplitude getriggert wird. Die Triggerpegel-Einstellung LEVEL (10) ist hierbei nicht in Funktion. Bei betätigter Taste (21) wird die Funktion NM (Normalbetrieb) ausgelöst. Ein Signalbild wird nur dargestellt, wenn ein Triggersignal vorhanden ist und die Triggerbedienelemente richtig eingestellt sind.

Werden die Tasten (21) und (22) gemeinsam gedrückt, erfolgt in der Betriebsart NM die Triggerung der Zeitablenkung mit der Netzfrequenz, also 50 Hz.

2.3.4 Bauelemente-(Komponenten-)test und Kalibrierer

Das Oszilloskop in *Abb. 2.15* verfügt über einen einfachen Komponententester. Der zweipolige Anschluss des zu prüfenden Bauelements erfolgt über zwei Buchsen. Die Umschaltung von Oszilloskop auf Komponententest erfolgt mit der Taste COMP.TESTER (37) ON/OFF. Die Taste X-MAG. $\times 10$ (12) darf nicht betätigt sein. Die Prüfung von elektronischen Bauelementen erfolgt zweipolig. Dabei wird ein Anschluss des Bauelements mit der 4-mm-Buchse (38) verbunden. Der zweite Anschluss erfolgt über die Massebuchse links daneben, die mit dem Netzschutzleiter verbunden ist.

Im Komponententestbetrieb sind der Y-Vorverstärker und der Zeitbasisgenerator abgeschaltet. Messsignale dürfen an den Eingangsbuchsen angeschlossen bleiben, wenn einzelne nicht in Schaltungen befindliche Bauteile getestet werden. Für die Verbindung des Testobjekts mit dem Oszilloskop sind zwei einfache Kabelverbindungen mit 4-mm-Bananensteckern erforderlich. Sollen Bauteile getestet werden, die sich in Testschaltungen oder Geräten befinden, müssen die Schaltungen bzw. Geräte unter allen Umständen vorher stromlos geschaltet werden. Soweit Netzbetrieb vorliegt, ist auch der Netzstecker des Testobjekts zu ziehen. Damit ist gewährleistet, dass keine Verbindung zwischen Oszilloskop und Testobjekt über den Schutzleiter zustande kommt. Falsche Messergebnisse wären die Folge. Auch Kondensatoren dürfen nur im entladenen Zustand gemessen werden.

Die Prüfung der Bauelemente erfolgt über einen 50-Hz-Sinusgenerator. Diese Prüfspannung speist die Reihenschaltung aus Prüfobjekt und eingebautem Widerstand. Die Sinusspannung wird zur Horizontalablenkung und der Spannungsabfall am Widerstand zur Vertikalablenkung benutzt.

Ist das Prüfobjekt ein Wirkwiderstand, sind beide Ablenkspannungen phasengleich. Auf dem Bildschirm wird ein mehr oder weniger schräger Strich dargestellt (siehe Abb. 2.19). Ist das Prüfprojekt kurzgeschlossen, steht der Strich senkrecht. Bei Unterbrechung oder ohne Prüfprojekt zeigt sich eine waagerechte Linie. Die Schrägstellung des Strichs ist ein Maß für den Widerstandswert. Damit lassen sich ohmsche Widerstände zwischen $20\ \Omega$ und $4,7\ \text{k}\Omega$ testen.

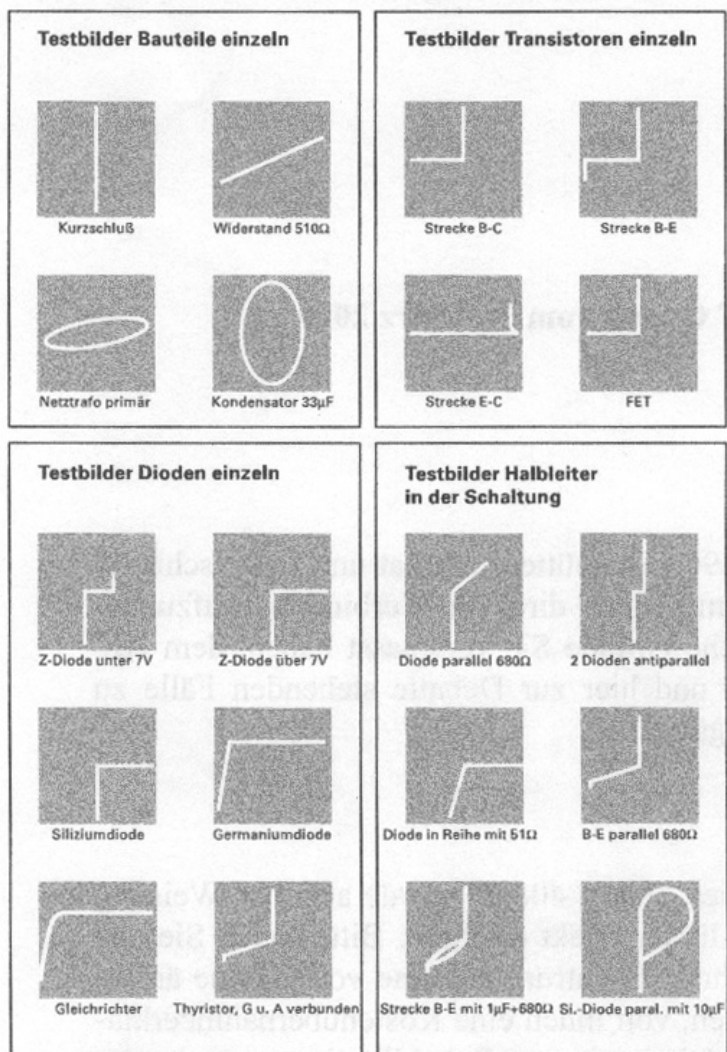


Abb. 2.19: Beispiele für Bauteile-Funktionstest

Kondensatoren und Induktivitäten (Spulen, Drosseln, Trafowicklungen) bewirken eine Phasendifferenz zwischen Strom und Spannung und damit auch zwischen den Ablenkspannungen. Das ergibt ellipsenförmige Bilder. Lage und Öffnungsweite der Ellipse sind kennzeichnend für den Scheinwiderstandswert bei einer Frequenz von 50 Hz. Kondensatoren werden im Bereich von 0,1 μF bis 1000 μF angezeigt.

Eine Ellipse mit horizontaler Längsachse bedeutet eine hohe Impedanz, kleine Kapazität oder große Induktivität. Eine Ellipse mit vertikaler Längsachse bedeutet niedrige Impedanz, große Kapazität oder kleine Induktivität. Eine Ellipse in Schräglage bedeutet einen relativ großen Wirkwiderstand in Reihe mit dem Blindwiderstand.

Bei Halbleiterbauelementen erkennt man die spannungsabhängigen Kennlinienknicke (vgl. Abb. 2.19) beim Übergang vom leitenden in den nicht leitenden Zustand. Soweit dies von der angelegten Spannung möglich ist, werden Sperr- und Durchlassrichtung dargestellt, z. B. bei einer Z-Diode unter 10 V. Hierbei ist immer nur eine Zweipolprüfung möglich. Deshalb kann z. B. die Stromverstärkung eines Transistors nicht getestet werden, wohl aber die einzelnen Elektrodenübergänge B-C, B-E und C-E. Da der Teststrom nur einige mA beträgt, können die einzelnen Elektrodenübergänge fast aller Halbleiterbauelemente zerstörungsfrei überprüft werden.

Da die Prüfspannung max. $U_S = 10\text{ V}$ beträgt, werden Durchbruch- und Sperrspannungen über diesen Wert nicht erfasst. Zu beachten ist, dass die Anschlussumpolung eines Halbleiters (Vertauschen der Messkabel) eine Drehung des Testbilds um 180° um den Rastermittelpunkt des Bildschirms bewirkt. Tests direkt in der spannungsfreien Schaltung sind in vielen Fällen möglich, aber nicht so eindeutig. Durch Parallelschaltung reeller und/oder komplexer Größen – besonders wenn diese bei einer Frequenz von 50 Hz relativ niederohmig sind – ergeben sich meistens große Unterschiede gegenüber Einzelbauteilen. In Zweifelsfällen kann ein Bauteileanschluss einseitig abgelötet werden. Dieser Anschluss sollte dann mit dem nicht an der Massebuchse angeschlossenen Messkabel verbunden werden, weil sich damit die Brummeinstreuung vermindert.

Als weitere Servicefunktion besitzt dieses Gerät einen Rechteckgenerator zur Überprüfung der X-Y-Verstärker auf ihre Messgenauigkeit und zum Abgleich der Eingangskapazitäten. Das Rechtecksignal am Ausgang (39) hat eine Spannung von 0,2 V U_{SS} und kann mit der Taste CALIBRATOR (40) von 1 kHz auf 1 MHz umgeschaltet werden.

2.4 Kennwerte und technische Daten eines Analog-oszilloskops

Die Leistungsfähigkeit eines Oszilloskops wird vom Hersteller durch technische Daten und Toleranzangaben beschrieben. Hierzu die Daten des zuvor beschriebenen Oszilloskops:

Vertikalablenkung

Betriebsarten:	Kanal I oder Kanal II Kanal I und II alternierend oder chopped Summe oder Differenz der Kanäle I und II
Invertierung:	Kanal II
XY-Betrieb:	Kanal I: X, Kanal II: Y
Bandbreite:	beide Kanäle 0 bis 35 MHz (-3 dB)
Anstiegszeit:	<10 ns
Ablenkkoeffizienten:	Schaltfolge 1-2-5 1 mV bis 2 mV/DIV.: $\pm 5\%$ 0 bis 10 MHz (-3 dB) 5 mV bis 20 V/DIV.: $\pm 3\%$ 0 bis 35 MHz (-3 dB) Variabel (unkalibriert): >2,5: 1 bis >50 V/DIV.
Eingangsimpedanz:	1 M Ω // 20 pF
Eingangskopplung:	DC, AC, GND (Masse)
Maximale Eingangsspannung:	400 V DC + Spitze AC

Triggerung

Automatik (Spitzenwert):	20 Hz bis 50 MHz (≥ 5 mm) 50 MHz bis 100 MHz (≥ 8 mm)
Normal mit Level-Einst.:	0 bis 50 MHz (>5 mm) 50 MHz bis 100 MHz (≥ 8 mm)
Triggeranzeige:	LED
Flankenrichtung:	positiv oder negativ
Triggerquellen:	Kanal I oder II und alternierend (≥ 8 mm), Netz und extern
Kopplung:	AC: 10 Hz bis 100 MHz DC: 0 bis 100 MHz LF: 0 bis 1,5 KHz
Triggerung extern:	USS $\geq 0,3$ V (30 Hz bis 50 MHz)
Aktiver TV-Sync-Separator:	positiv und negativ

Horizontalablenkung

Zeitbasis:	0,2 s/DIV. bis 0,1 μ s/DIV. (Schaltfolge 1-2-5) Genauigkeit: $\pm 3\%$ Variabel (unkal.): >2,5: 1 bis >0,5 s/DIV.
X-Dehnung x10:	bis 10 ns/DIV. Genauigkeit: $\pm 5\%$
Hold-off-Zeit:	variable bis ca. 10:1
XY-Betrieb	
Bandbreite X-Verstärker:	0 bis 2,5 MHz (-3dB)
XY-Phasendifferenz <3°:	<120 kHz

Komponententester

Testspannung:	ca. $U_{eff} = 7$ V (unbelastet)
---------------	----------------------------------

Teststrom: ca. $I_{eff} = 7 \text{ mA}$ (Kurzschluss)
 Testfrequenz: ca. 50 Hz
 Prüfkreis liegt einpolig an Masse (Schutzleiter)

Weitere Daten

Elektronenstrahlröhre: D14-363GY, 8 x 10 cm mit Innenraster
 Beschleunigungsspannung: ca. 2 kV
 Strahldrehung: auf Frontseite einstellbar
 Rechteck-Kal.-Signal: $0,2 \text{ V} \pm 1 \%$, 1 kHz, 1 MHz ($t_a < 4 \text{ ns}$)
 Netzanschluss: 105 bis 235 V, 50 bis 60 Hz $\pm 10 \%$, CAT II
 Leistungsaufnahme: ca. 36 W bei 230 V/50 Hz
 Umgebungstemperatur: 0°C bis 40°C
 Schutzart: Schutzklasse I (EN 61010-1)
 Gewicht: ca. 5,4 kg
 Gehäuseabmessungen: 285 x 125 x 380 mm

2.5 Übungen zur Vertiefung

1. Bestimmung von Amplituden

Signalform	Ablenkkoeffizient	Rasterteile	Messwert
Sinus	1 V/DIV	4 (Beispiel)	4 V
Gleichspannung	1 mV/DIV	3	
Rechteck	50 mV/DIV	2	
Dreieck	0,2 V/DIV	3	
Sinus	10 V/DIV	2	
Gleichspannung	0,5 V/DIV	4	

2. Bestimmung von Periodenzeiten

Signalform	Ablenkkoeffizient	Rasterteile	Messwert
Sinus	0,1 s/DIV	5 (Beispiel)	0,5 s
Rechteck	5 ms/DIV	7	
Sinus	50 μs /DIV	1,5	
Dreieck	0,2 ms/DIV	6	
Sägezahn	50 ms/DIV	4,5	
Sinus	20 ms/DIV	3	

3. Bestimmung von Frequenzen

Messwert	Frequenz
25 ms (Beispiel)	40 Hz
0,3 s	
20 ms	
0,1 μ s	
40 ms	
25 μ s	

4. Effektivwertbestimmung

Messwert	Effektivwert
$U_{ss} = 40$ V (Beispiel)	14,2 V
$U = 10$ V	
$U_{ss} = 80$ mV	
$U_s = 700$ mV	
$U_{ss} = 150$ mV	
Mischspannung:	
$U = 2$ V, $U_{ss} = 4$ V	

5. Bestimmung von Spitze-Spannung und Spitze-Spitze-Spannung

Effektivwert	Spitze (U_s)	Spitze-Spitze (U_{ss})
Sinus 10 V (Beispiel)	14 V	28 V
Sinus 20 mV		
$U = 25$ V		
Sinus 220 V		
Sinus 238 V		
Sinus 400 μ V		

Lösungen ab Seite 220

3 Spannungs- und Amplitudenmessungen

Die bisherigen Funktionsbetrachtungen des Oszilloskops fanden ohne Messsignale statt. In den folgenden Abschnitten soll nun das Messen von Spannungen und Amplituden näher betrachtet und erläutert werden.

3.1 Messaufbau

Bei allen Messungen, unabhängig davon, ob es sich um gleich-, wechsel- oder impulsförmige Spannungen handelt, ist ein richtiger Messaufbau die erste Bedingung für eine richtige Messung von Signalform und Spannung.

In Abb. 3.1 ist ein Messaufbau symbolisch dargestellt. Daraus ersehen wir, dass im Wesentlichen drei Funktionen auf das richtige Messergebnis Einfluss haben:

- Bezugspotenziale von Messobjekt (Signalquelle) und Messgerät (Oszilloskop);
- Verhältnis von Innenwiderstand des Messobjekts und des Messgeräts (Oszilloskop);
- Leitungslänge und Leitungsart der Messleitung zwischen Messobjekt und Messgerät (Oszilloskop).

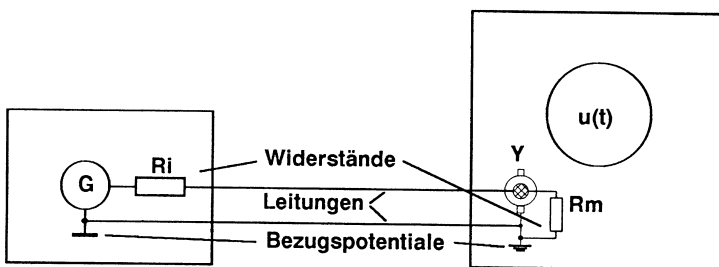


Abb. 3.1: Messaufbau: Messobjekt und Messgerät

3.1.1 Bezugspotenzial, Erdungsprobleme und Masseführung

Eine Messverbindung (Messstromkreis) zwischen Messobjekt und Messgerät muss wie ein einfacher Stromkreis (Spannungsquelle und Lastwiderstand) zwei Leitungsverbindungen haben (Abb. 3.2).

Auch hier wird von einer Signalübertragungsleitung und einer Bezugsleitung gesprochen.

Die Signalübertragungsleitung verbindet den Ausgang des Messobjektes (Generatorausgang) mit dem Messeingang (Y-Eingang) des Oszilloskops. Der gemeinsamen Bezugsleitung muss bei der Verbindung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Wenn die richtigen Bezugspotenziale nicht miteinander verbunden werden, kann es zu Unterbrechungen des Messstromkreises oder zu einem Kurzschluss desselben führen. Das Oszilloskop führt an allen Eingangsbuchsen das Bezugspotenzial an sein Gehäuse (Gehäusemasse). Das Gehäuse ist mit dem äußeren Schutzleiter PE der Netzverbindung verbunden (Abb. 3.2a).

Hat das Messobjekt die gleiche Bezugspotenzialverbindung, dann muss die Bezugsleitung dazwischen verbunden werden. Vertauscht man hierbei die Signalübertragungsleitung mit der Bezugsleitung, dann wird der Ausgang des Messobjektes und der Messeingang des Oszilloskops gegen das andere Bezugspotenzial kurzgeschlossen (Abb. 3.2b). Es kann keine Signalspannung gemessen werden.

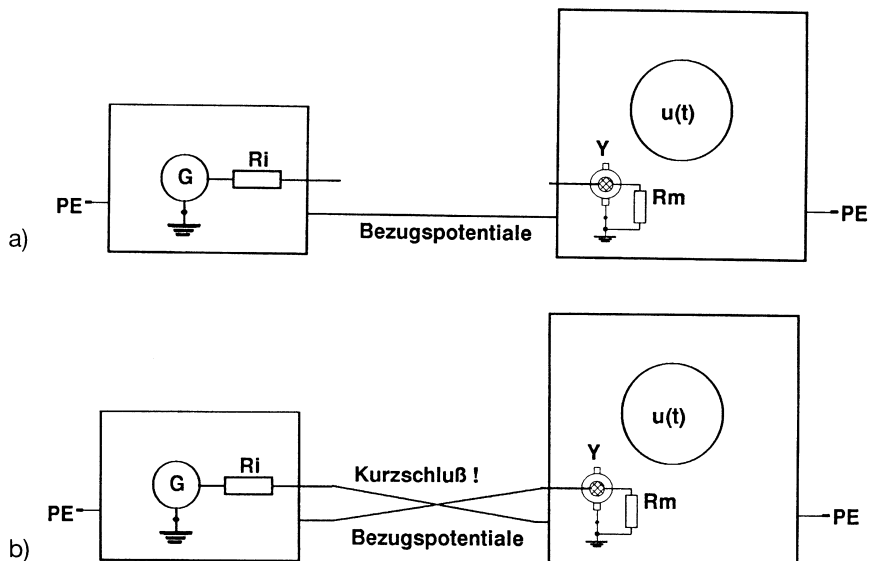


Abb. 3.2: Verbindung der Bezugspotenziale

- a) Messobjekt und Oszilloskop haben Bezugspotenzial mit dem Gehäuse verbunden
- b) Messleitungen sind vertauscht

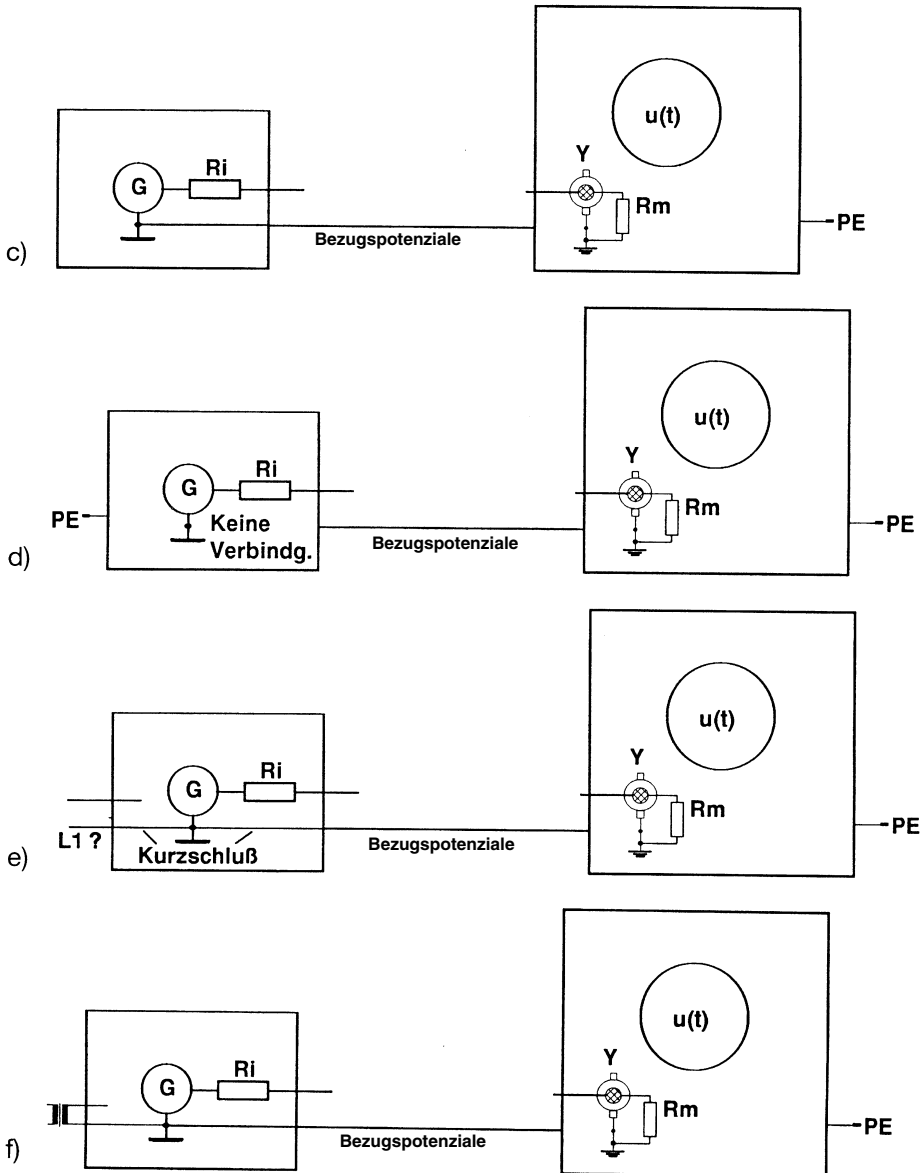


Abb. 3.2: Verbindung der Bezugspotenziale

- c) Messobjekt hat Bezugspotenzial nicht am Gehäuse
- d) Verbindung zwischen den Gehäusen: Bezugspotenzial des Messobjekts dadurch mit Oszilloskop nicht verbunden
- e) Netzleiter mit Bezugspotenzial verbunden, dadurch Kurzschluß
- f) Trenntrafo verhindert die Verbindung des Netzleiters mit dem Bezugspotenzial

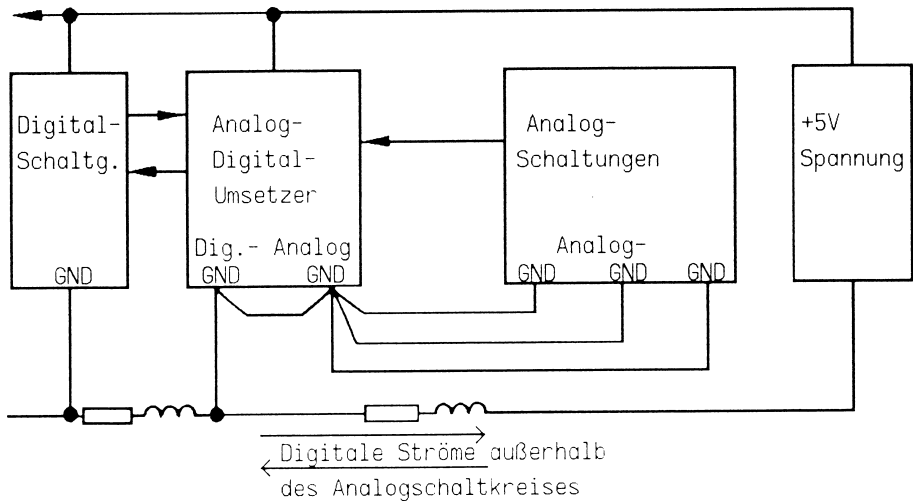


Abb. 3.2: Verbindung der Bezugspotenziale
g) Masseführung bei analogen und digitalen Schaltungen

Ist das Bezugspotenzial des Messobjektes von der Gehäusemasse getrennt, muss die Bezugsleitung an das isoliert geführte Bezugspotenzial gelegt werden (Abb. 3.2c).

Beachtet man dies nicht und legt die Bezugsleitung an die Gehäusemasse des Messobjektes, dann ist der Messstromkreis unterbrochen (Abb. 3.2d). In diesem Fall ist das Messsignal über einen sehr hochohmigen Messkreis mit dem Y-Eingang des Oszilloskops verbunden. Das Signal wird dadurch einer sehr hohen Brummspannung (50 Hz bis 100 Hz) überlagert sein und je nach Stellung des Stufenschalters zur Übersteuerung des Messverstärkers führen.

Besonders zu beachten, weil gefährlich, sind Messungen an Geräten, deren Gehäuse nicht mit einem äußeren Schutzleiter verbunden sind. Dies sind alle Geräte, die nur mit einem zweipoligen Netzstecker ausgestattet sind und keinen Netztrenntrafo haben. Diese Geräte haben ein isolierendes Schutzgehäuse (Kunststoff, Holz, Keramik). Damit man aber einen Messstromkreis aufbauen kann, muss man mit der Bezugsleitung an das Bezugspotenzial des Messobjektes. In der Regel ist dies das interne Metallchassis. Dieses Chassis ist mit einer Leitung des zweipoligen Netzsteckers verbunden. Dadurch kann der Nullleiter (PEN) des Hausnetzes oder der Netzaußenleiter mit dem Chassis verbunden sein (Abb. 3.2e). Wird nun die Bezugsleitung des Oszilloskops mit dem Chassis des Messobjektes verbunden und liegt der Netzaußenleiter an dem Chassis an, dann gibt es einen Kurzschluss zwischen den 230 V/50 Hz des Außenleiters und dem Erdschutzleiter am Gehäuse des Oszilloskops. Die Verbindungsklemme kann man danach meistens wegwerfen, weil sie angeschmolzen ist.

Damit die Netzaußenleiterverbindung vom Chassis getrennt wird, muss man einen Netz-

trenntrafo zwischen Netzhausanschluss und das Messobjekt schalten. Damit ist eine Trennung zwischen Netzaußenleiter und dem Erdschutzleiter gewährleistet (Abb. 3.2f) und gleichzeitig das Chassis gegen zu hohe Berührungsspannungen gesichert.

In vielen Anwendungsschaltungen kommen digitale und analoge Funktionsbausteine gemeinsam zum Einsatz. Dies bedeutet, dass man beim Messen unterschiedliche Versorgungsspannungen (z. B. $\pm 15\text{ V}$, $+5\text{ V}$) vorfindet. Für diese Spannungen muss man einen gemeinsamen Bezugspunkt für das Messgerät haben.

Ein häufig gemachter Messfehler ist, dass digitale Ströme über analoge Masseleitungen geführt werden und umgekehrt.

Wie sich das auswirkt, soll folgendes Beispiel verdeutlichen:

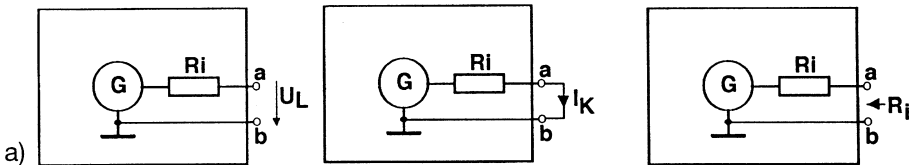
Ein 12-Bit-ADU (Analog-Digital-Umsetzer) hat eine Auflösung von $2,5\text{ mV}$. Fließt nun ein Strom von digitalen Schaltkreisen von 100 mA , so entsteht an einem Leitungswiderstand von $0,1\text{ Ohm}$ (auf einer Platine schnell erreicht) ein Spannungsabfall von 10 mV . Dies entspricht bei einer Auflösung von $2,5\text{ mV}$ pro Bit einem Fehler von 4 LSB.

Alle analogen Masseleitungen und alle digitalen Masseleitungen sollten zum Messgerät getrennt verlaufen und die Verbindung der Masseleitungen sollte vorrangig nur *einmal* an der zu messenden Schaltung (Massereferenzpunkt) oder wenn nicht anders möglich am Oszilloskop erfolgen (Abb. 3.2g). Optimal wäre ein konsequent durchgeführter sternförmiger Leitungsverlauf.

3.1.2 Innenwiderstand

Jede Spannungsquelle (z. B. Batterie oder Wechselspannungsgenerator) oder Ersatzspannungsquelle (z. B. Verstärker-, Oszillator- oder Gleichrichter-Ausgang) hat einen elektrischen Innenwiderstand, der sich aus der Beziehung Leerlaufspannung/Kurzschlussstrom ergibt (Abb. 3.3a).

Messgeräte haben entsprechend einen Eingangswiderstand. Bei Oszilloskopen ist der Eingangswiderstand, wie bereits im ersten Abschnitt erwähnt, in den technischen Daten oder neben der Eingangsbuchse (vgl. Abb. 2.15) angegeben.



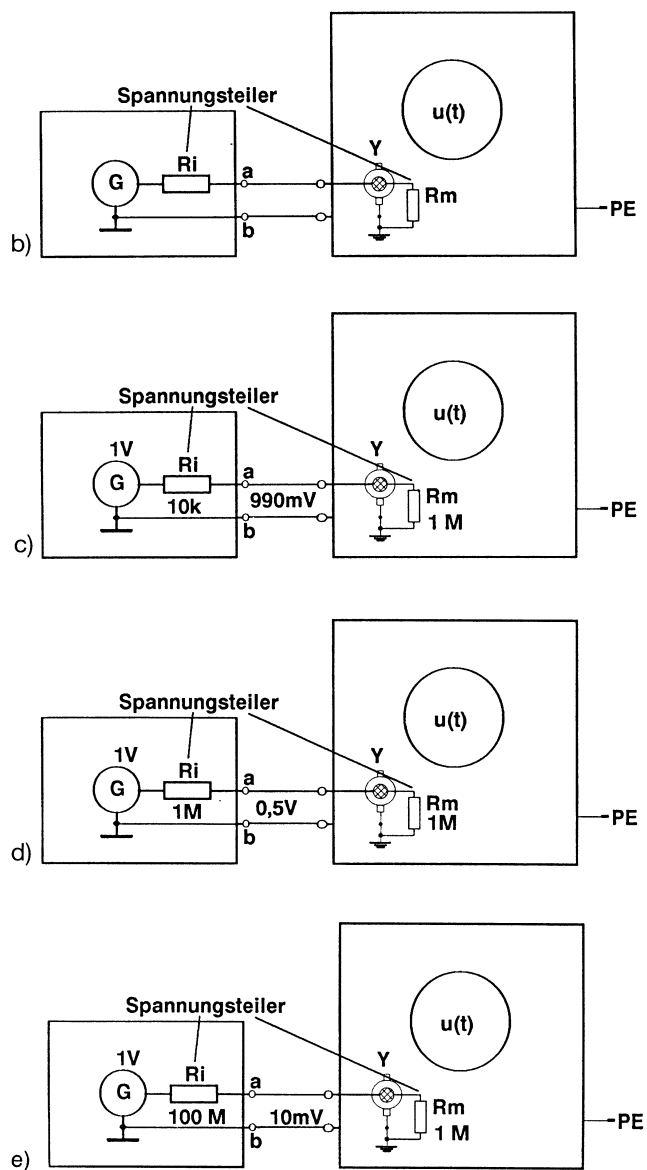


Abb. 3.3: Innenwiderstände beeinflussen Messspannungen:

- a) Spannung und Strom sind vom Innenwiderstand abhängig
- b) Innenwiderstände von Messobjekt und Oszilloskop bilden einen Spannungsteiler
- c) R_i sehr klein im Verhältnis zu R_m , nur geringe Spannungsteilung
- d) R_i in der Größenordnung von R_m , Spannung wird halbiert
- e) R_i sehr groß im Verhältnis zu R_m , sehr große Spannungsteilung

Der Innenwiderstand des Messobjektes wird beim Anschluss der Messleitungen mit dem Innenwiderstand des Oszilloskops in Reihe geschaltet und bildet somit einen Spannungsteiler für die Spannungsquelle des Messobjektes (*Abb. 3.3b*).

Solange der elektrische Innenwiderstand wesentlich kleiner ist als der Eingangswiderstand des Oszilloskops, wird die Spannung der Spannungsquelle an den Messklemmen gemessen.

Ein Innenwiderstand des Messobjekts von z. B. $R_i = 10 \text{ k}\Omega$ hat nur einen Anteil von einem Prozent am Gesamtwiderstand von $R_i + R_m = 10 \text{ k} + 1 \text{ M}$, d. h. nur 1 % der Spannung verbleibt am Innenwiderstand und 99 % werden an den Messklemmen gemessen (*Abb. 3.3c*).

Bei $100 \text{ k}\Omega$ des Innenwiderstands teilt sich die zu messende Spannung im Verhältnis $R_i + R_m / R_m = 1,1 \text{ M} / 1 \text{ M}$ auf. Der Messfehler beträgt hierbei schon fast 10 %.

Ist der Innenwiderstand der zu messenden Spannungsquelle genauso groß wie der Eingangswiderstand des Oszilloskops $R_i = R_m$, dann halbiert sich die Spannung an den Messklemmen (*Abb. 3.3d*).

An Schaltungen mit sehr hohen Innenwiderständen, z. B. am Gate von Feldeffekttransistoren, kann mit einem Eingangswiderstand von $R_m = 1 \text{ M}$ nicht mehr gemessen werden, z. B. bei $R_i = 100 \text{ M}\Omega$, wird die Spannung im Verhältnis $R_i / R_m = 100 \text{ M} / 1 \text{ M} = 100$ reduziert. Bei einer Spannung von 1 V würde man daher nur noch $0,01 \text{ V} = 10 \text{ mV}$ messen (*Abb. 3.3e*).

3.1.3 Messleitungen, Einfluss von Länge und Qualität

Zur Verbindung des Messobjekts und des Messgeräts sind elektrische Leiter (*Abb. 3.4a*) erforderlich. Man unterscheidet hierbei:

- das einfache Leiterkabel,
- das verdrehte Doppeladerkabel,
- das Koaxialkabel.

Das Oszilloskop ist an den Eingängen mit einem BNC-Anschluss ausgestattet, der den Anschluss eines Koaxialkabels erlaubt. Damit auch mit einfacheren Leitungsverbindungen gearbeitet werden kann, ist für die BNC-Buchse ein so genannter BNC-Adapter vorgesehen. Die Messleitungen können durch ihre Übertragungseigenschaften die zu messenden Signalformen erheblich beeinflussen.

Jedes Kabel hat einen Leitungswiderstand R_l , eine Leitungskapazität C_l und eine Leitungseinduktivität H_l , die mit zunehmender Länge der Messleitungen größer werden. Dies bedeutet, je länger die Messleitungen sind, um so schlechter werden die Übertragungseigenschaften und damit um so größer die Messfehler für Signalform und Signalamplitude. Daher gilt als erste Regel:

Messleitungen so kurz wie möglich halten.

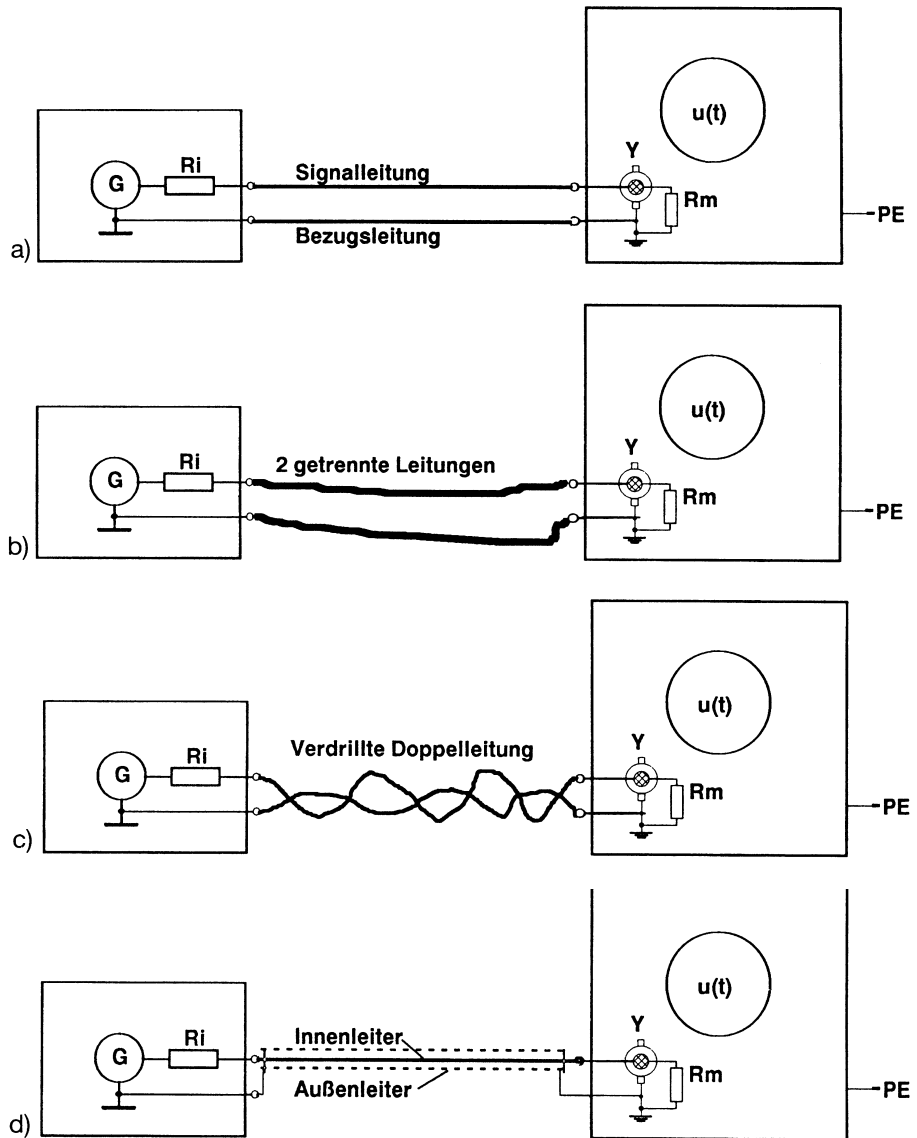


Abb. 3.4: Messleitungen beeinflussen Messergebnisse:

- a) Zwei Leitungen bilden einen frequenzabhängigen Übertragungswiderstand
- b) Zwei getrennte Leitungen haben einen veränderlichen Übertragungswiderstand
- c) Verdrillte Leitungen haben ein besseres Übertragungsverhalten
- d) Koaxialkabel haben einen konstanten Übertragungswiderstand

Die Leitungsart hat ebenfalls wesentlichen Einfluss auf das Übertragen der Messsignale.

Eine einfache Leitungsverbindung ist das schlechteste Übertragungsmedium. Durch die Anschlussverbindung der beiden losen Leitungen besteht kein fester Abstand und damit keine exakte Parallelführung der Leitungen zueinander. Dadurch gibt es auf der Leitungsstrecke unterschiedliche Leistungsverkopplungen, die das Übertragungsverhalten erheblich beeinflussen (*Abb. 3.4b*). Mit diesem Messleitungsaufbau sollten nur Gleichspannungen und sehr niederfrequente Wechselspannungen bis max. 100 Hz gemessen werden, auf keinen Fall Impulsspannungen, die in den Schaltflanken wesentlich höhere Frequenzen aufweisen, die unabhängig von der Impulsfolgefrequenz sind. Ein rechteckförmiger Impuls von $f = 1 \text{ Hz}$ ($T = 1 \text{ s}$) kann in den Schaltflanken Frequenzen von mehreren Megahertz ($T = \mu\text{s}$) erreichen.

Ein Kompromiss eines einfachen Messkabels ist das verdrehte Doppeladerkabel (*Abb. 3.4c*). Durch die Verdrehung wird der Abstand der Leitungen zueinander einigermaßen gleich gehalten. Dadurch ergeben sich bessere Übertragungseigenschaften als mit zwei losen Leitungen. Daher kann man mit diesem Messkabel Wechselspannungssignale und Impulsspannungen mit niedrigen Schaltfrequenzen im Bereich von 10 kHz bis max. 20 kHz messen.

Für die Übertragung hochfrequenter Signale soll man grundsätzlich das koaxiale Kabel einsetzen. Damit die Signalleitung gegen äußere Einwirkungen von elektromagnetischen Störwellen (z. B. Netzbrummen) gesichert ist, wird eine Abschirmung darum gelegt. Das Material besteht aus einem aus Kupferdraht dicht geflochtenen Metallschlauch, der die Messleitung vollständig umhüllt. Damit die Abschirmung mit dem Innenleiter nicht in Berührung kommt, wird eine Isolierung aus hochwertigem Kunststoff dazwischen gelegt. Über diese Isolierungsumhüllung ist dann der Metallschirm gezogen, der sogenannte Außenleiter. Durch diesen Aufbau sind der Innen- und der Außenleiter in einem äußerst geringen und gleichbleibenden Abstand festgelegt, wodurch die Leitungskapazität C_l sehr niedrig gehalten wird (*Abb. 3.4d*).

Als zweite Regel für eine Messung mit dem Oszilloskop gilt daher:

Messleitungen oder Messkabel der Messaufgabe anpassen.

3.2 Messung von Gleich- und Wechselspannungen ohne Zeitablenkung

Bevor man Messungen durchführt, sollte man sich von der Funktionsfähigkeit des Geräts überzeugen und die Grundeinstellungen für einen kalibrierten Messbetrieb vornehmen.

Zu den Grundeinstellungen gehört:

- die Einstellung der Strahlschärfe und der Strahlage vornehmen (siehe Abschnitt 1)
- an den Vertikalverstärkern (CHI und CHII) den Feineinsteller in Stellung CAL bringen
- Feineinsteller für Ablenkzeit (TIME/DIV) in Stellung CAL bringen
- Einstellung der X- und Y-POS gegebenenfalls mit Unterstützung von BEAM FIND auf Mitte des Bildschirms.

Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Y-Verstärker

Damit werden in erster Linie der Messverstärker und das vertikale Ablenkensystem geprüft.

Dafür benutzen wir den in *Abb. 2.15* auf der linken Seite dargestellten Ausgang (39) eines Rechteckgenerators. Dieser kann mit einer Taste (40) wahlweise auf eine Frequenz von 1 kHz oder 1 MHz, umgeschaltet werden. Aus den technischen Daten in Abschnitt 2.4 ersehen wir die Ausgangsspannung mit $U_{ss} = 0,2 \text{ V}$. Diesen Ausgang verbinden wir über ein Kabel mit den Eingang CHII des Y-Verstärkers.

Die Bedienelemente werden entsprechend *Abb. 3.5a* eingestellt, d. h., die Zeitablenkung ist abgeschaltet (z. B. Taste X-Y), die Eingangskopplung AC/DC ist mit dem Taster auf AC geschaltet. Der Schalter V/DIV des CHII steht in der Stellung 50 mV/DIV. Auf dem Bildschirm muss sich ein senkrechter Strich (1) über vier Raster zeigen. Schalten wir den Ablenkkoefizienten auf 0,1 V/DIV, muss sich eine Auslenkung von zwei Rastern (2) ergeben.

Formal stehen die drei Einheiten Auslenkung, angelegte Spannung und Ablenkkoefizient in folgenden Zusammenhang:

$$\begin{aligned} \text{Auslenkung} &= \frac{\text{angelegte Spannung}}{\text{Ablenkkoefizient}} = \frac{0,2 \text{ V}}{50 \text{ mV/DIV}} = 4 \text{ Raster oder} \\ &\quad \frac{0,2 \text{ V}}{0,1 \text{ V/DIV}} = 2 \text{ Raster} \end{aligned}$$

Weicht die Ablenkung von diesem Wert nur wenig ab, kann die Verstärkung des Messverstärkers über ein an der Frontseite angebrachtes Trimpoti (hinter der Abdeckung des Stellers VAR) kalibriert werden. Bei größeren Abweichungen (zu geringe Auslenkung) ist im Messverstärker ein Fehler.

Funktionsprüfung der Bedienelemente

Wenn die Signal-Eingangskopplung über den Taster GD an Masse geschaltet wird, muss aus dem vertikalen Strich in *Abb. 3.5a* ein Punkt werden (*Abb. 3.5b*). Betätigen wir den Taster GD wiederholt, zeigt sich wieder ein vertikaler Strich. Wird anschließend mit dem Taster AC/DC die Eingangskopplung auf DC geschaltet, baut sich der vertikale Strich auf dem Bezugspunkt der Eingangsspannung auf (*Abb. 3.5b*).

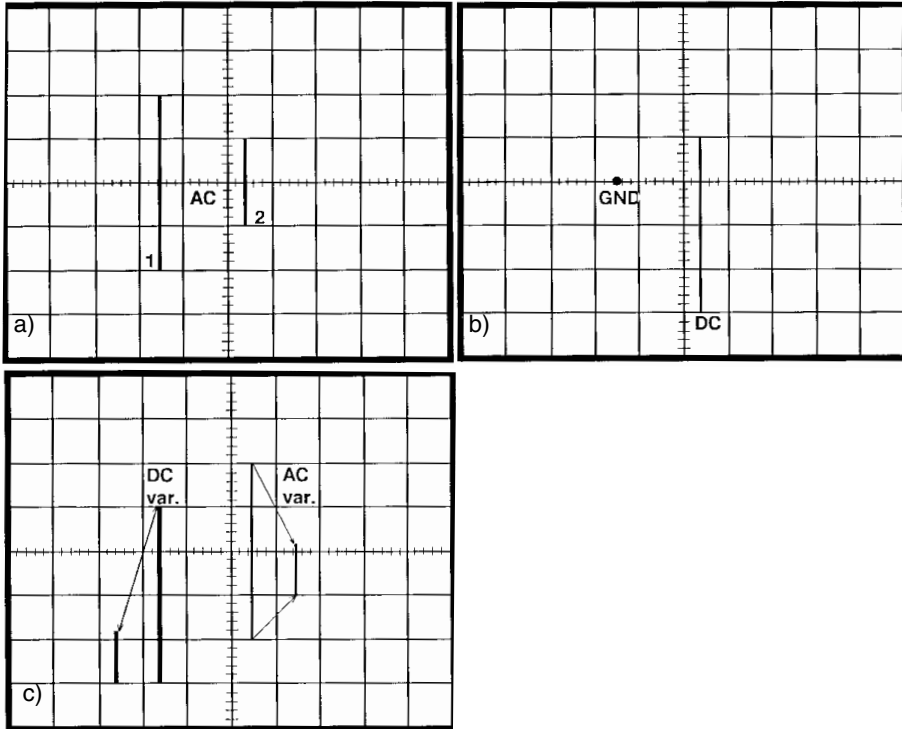


Abb. 3.5: Darstellung von Spannungsamplituden: a) Rechteck, b) Funktion von Eingangskopplung GND und DC, c) Wirkung der Feineinstellung bei Eingangskopplung AC und DC

Wird der Regler (VOLTS/DIV) zur Feineinstellung aus der Stellung CAL nach links gedreht, muss der vertikale Strich (links) langsam von oben beginnend kleiner werden, ohne dass sich der Bezugspunkt in seiner Lage ändert (Abb. 3.5c).

Nachdem der Feineinsteller wieder in die Stellung CAL und die Eingangskopplung mit dem Taster in die Stellung AC geschaltet wurde, drehen wir den Feineinsteller wieder aus der Stellung CAL nach links. Dabei können wir beobachten, dass sich der vertikale Strich von oben und unten gleichmäßig auf den Bezugspunkt (Mittellinie) zu verkleinert.

In den technischen Daten wurde der Einstellbereich des Feineinstellers mit $2,5 : 1$ angegeben. Das Signal mit 4 Raster Amplitude dürfte dann auf ca. 1.6 Raster bei Linksanschlag des Feineinstellers verkleinert werden.

Überprüfung der Funktionsfähigkeit des X-Verstärkers

Für diese Aufgabe muss das Verbindungskabel vom Y-Anschluss CHII entfernt werden und an den Y-Anschluss CHI angeschlossen werden. Die Verbindung zum X-Ver-

stärkereingang wird über die Taste X-Y hergestellt. Damit wird der Y-Verstärker CHI als X-Verstärker eingesetzt. Wird der Stufenschalter V/DIV auf 0,2 V/DIV eingestellt, muss die Auslenkung in der X-Achse 1 Raster betragen. Bei der Einstellung auf 20 mV/DIV beträgt die horizontale Auslenkung 10 Raster. Wird der Feineinsteller aus der Stellung CAL nach links gedreht, muss die horizontale Auslenkung kleiner werden (Abb. 3.6).

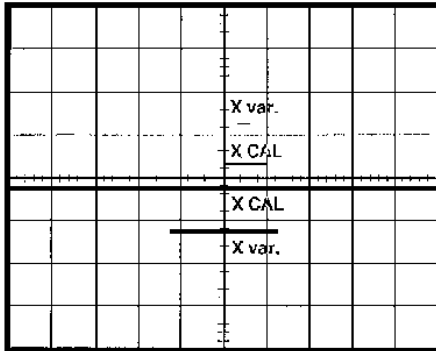


Abb. 3.6: Prüfung der X-Aussteuerung

3.2.1 Messung von Gleichspannungen

Der Messversuch in Abb. 3.7 zeigt die Auslenkung des Elektronenstrahls mit Gleichspannungen in X- und Y-Ablenkung.

Wird nur der Y-Eingang an eine Gleichspannung gelegt (+4 V) und der X-Eingang an 0 V, dann wird der Strahlpunkt von der Mitte aus senkrecht nach oben 4 Raster ausgelenkt.

Wird nur der X-Eingang an eine Gleichspannung gelegt (+4 V) und der Y-Eingang an 0 V, dann wird der Strahlpunkt von der Mitte aus waagerecht nach rechts 4 Raster ausgelenkt.

Werden beide Eingänge (Y-X) an die gleiche Spannung (+4 V) gelegt, dann wird der Strahlpunkt von der Mitte aus genau in der Diagonalen der beiden +4-V-Eckpunkte liegen.

Alle anderen Spannungseinstellungen von 0 V nach +4 V für Y und X liegen dann innerhalb dieser Eckpunkte und der Diagonalen im 1. Quadranten. Werden die Spannungsquellen umgepolt (Achtung! Das geht nur bei potenzialfreier Minusklemme, siehe Abb. 3.2), dann werden die gleichen Spannungsmessungen eine Strahlauslenkung vom Mittelpunkt aus nach links bzw. nach unten erzeugen, also innerhalb des 3. Quadranten.

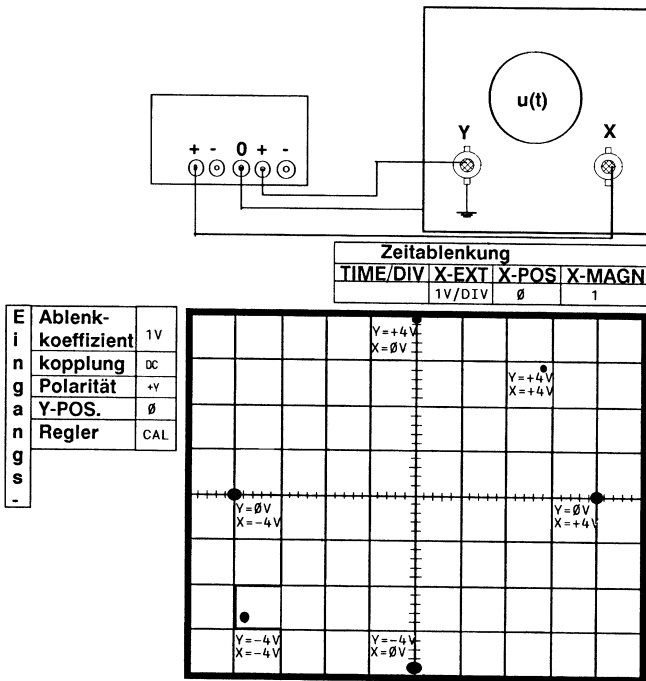


Abb. 3.7: X-Y-Aussteuerung mit Gleichspannung

3.2.2 Messung von Wechsel-(Sinus-)Spannungen

Bei diesem Messversuch (Abb. 3.8) wird eine sinusförmige Wechselspannung mit unterschiedlichen Spannungswerten und Spannungspolaritäten sowie verschiedenen Frequenzen zwischen 1 Hz und 1 kHz an die Y- und X-Eingänge angelegt.

Der Frequenzgenerator muss potenzialfreie Ausgänge haben, da in diesem Versuch an beiden Ausgängen gemessen wird.

Im ersten Versuch werden beide Eingänge (Y-X) an die Generatorspannung 8 V und $f = 1$ kHz angeschlossen. Dadurch werden die Spannungen an beiden Eingängen gleichzeitig positiv, gleichzeitig Null und gleichzeitig negativ.

Daraus ergibt sich bei einer Generatorfrequenz von 1 kHz eine zusammenhängende gerade Linie, die von rechts oben (1. Quadrant) über den Mittelpunkt der Quadranten nach links unten verläuft (3. Quadrant).

Im zweiten Versuch wird an einem Ausgang des Frequenzgenerators der Y-Eingang angeschlossen, an den anderen Ausgang der X-Eingang. Daraus ergibt sich eine zusammenhängende gerade Linie, die von links oben (4. Quadrant) über die Bildschirmmitte nach rechts unten (2. Quadrant) verläuft.

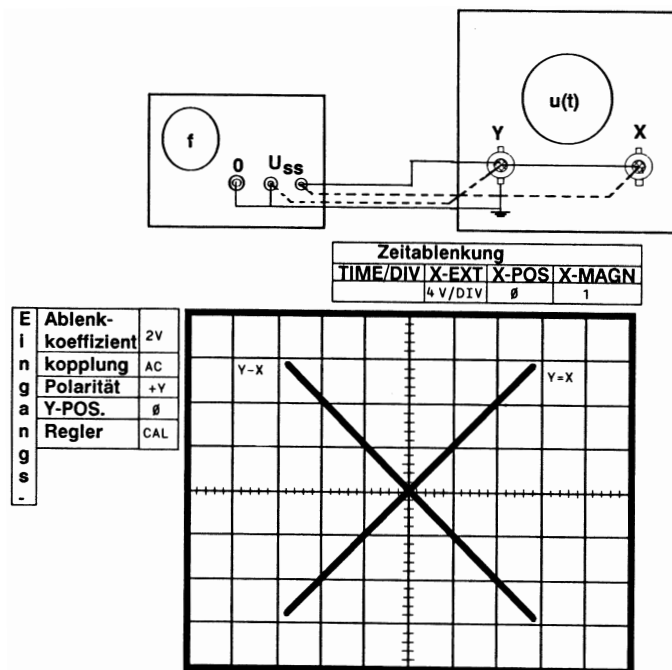


Abb. 3.8: X-Y-Aussteuerung mit Wechselspannung

Die Neigung der Geraden wird durch das Verhältnis zwischen Y- und X-Spannung bestimmt und liegt zwischen den Eckpunkten $Y = U_m/X = 0V$ und $Y = 0V/X = U_m$.

Wird die Frequenz von 1 kHz bei beiden Versuchen langsam nach tieferen Frequenzen nach 1 Hz verstellt, dann wird aus den Linien ein sich auflösender Punkt, der mit der Sinusfrequenz zwischen dem Spitzenwert der positiven Halbwelle und dem Spitzenwert der negativen Halbwelle hin- und herpendelt.

3.3 Messung von Gleich- und Wechselspannungen mit Zeitablenkung

Die Messung von Spannungen mit Zeitablenkung zur Darstellung der Signalform ist das eigentliche Einsatzgebiet des Oszilloskops. Der zeitlichen Auflösung der Spannungen kann man viele Kennwerte entnehmen, die Rückschlüsse auf die Funktion der Spannungsquelle erlauben.

Hierzu wird für die folgenden Betrachtungen die Zeitablenkung TIME/DIV auf 1 ms und die Triggereinrichtung auf AUTO eingestellt (Abb. 3.9).

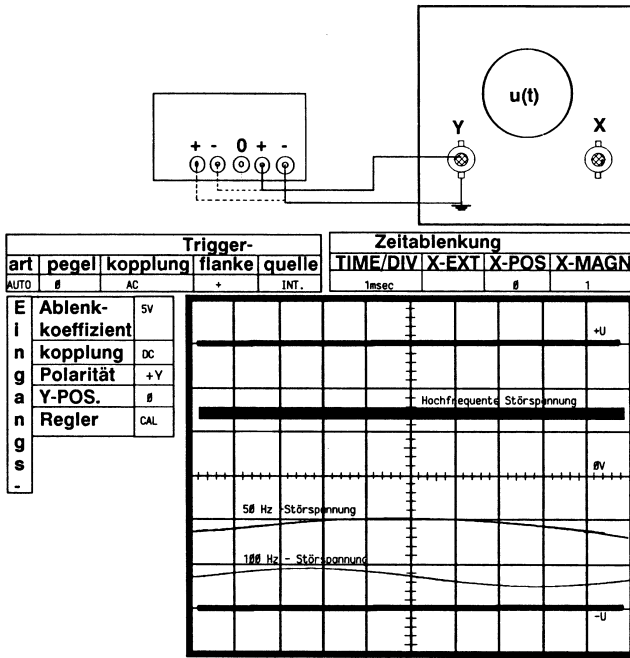


Abb. 3.9: Messen von Gleichspannungen

3.3.1 Messung von Gleichspannungen

Für Gleichspannungsmessungen wird zuerst die Bezugslinie für 0 V festgelegt (Eingangskopplung GND), z. B. auf die Mittellinie in Abb. 3.9. Danach wird die Eingangskopplung auf DC geschaltet und eine Gleichspannung von +15 V an den Y-Eingang angeschlossen. Der Spannungsablenkkoeffizient wird auf 5 V/DIV eingestellt. Für die Auswahl des Ablenkoeffizienten gilt die gleiche Regel wie für das Messinstrument. Es wird ein Bereich mit großer Aussteuerung gewählt, damit der Messwert möglichst genau abgelesen werden kann. Die Auflösung kann bei Gleichspannungsmessungen noch weiter erhöht werden, indem man die Nulllinie bei positiven Gleichspannungen auf die unterste Rasterlinie des Bildschirms einstellt, bei negativen Gleichspannungen auf die oberste. Eine Messspannung von + 15V kann nun mit einer Auflösung von 2 V/DIV gemessen werden ($15 \text{ V} / 2 \text{ V} = 7,5 \text{ Raster}$). Wird die zu messende Spannung umgepolt (-15 V), dann erfolgt die Aussteuerung des Elektronenstrahls nach unten (Abb. 3.9).

Eine störspannungsfreie Gleichspannung erzeugt eine saubere gerade Linie. Ist der Gleichspannung eine 50-Hz- oder 100-Hz-Wechselspannung überlagert, dann zeigt sich bei 1 ms/DIV über die gesamte Bildschirmbreite (10 ms) eine leichte Wellung der dargestellten Linie, bei 50 Hz eine halbe Welle (1 Sinusperiode entspricht 20

ms bei 50 Hz), bei 100 Hz eine volle Sinuswelle. Überlagerte Wechselspannungen mit höheren Frequenzen verursachen je nach Spannungsanteil eine dicke Ablenkklinie oder sogar ein breites Band.

Die Überlagerung mit einer 50-Hz-Wechselspannung, die gleich oder größer als die zu messende Gleichspannung ist, übersteuert bei den eingestellten Ablenkkoeffizienten von 5 V/DIV und DC-Eingangskopplung den Bildschirm. Hier liegt dann meistens ein Fehler im Messaufbau vor. Entweder sind die Bezugspotenziale nicht richtig miteinander verbunden (vgl. Abb. 3.4), oder der Messkreis ist nicht geschlossen (Unterbrechung in der Messleitung oder der Bezugsleitung).

3.3.2 Messung von Wechselspannungen

Messungen von Wechselspannungen werden bei AC-Eingangskopplung durchgeführt (Abb. 3.10). Die Einstellung der Ablenkzeit richtet sich nach der zu messenden Frequenz. Ist die Frequenz unbekannt oder für die Spannungsmessung nicht von Bedeutung, dann stellt man eine mittlere Ablenkzeit ein, z. B. 1 ms/DIV.

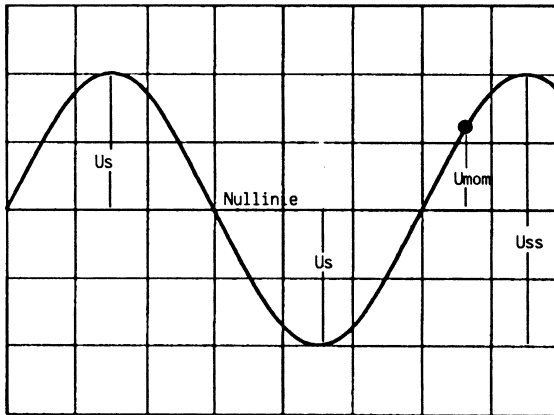


Abb. 3.10: Kennwerte einer Sinusperiode

Da Wechselspannungen immer einen positiven und einen negativen Spannungsanteil haben, muss die Nulllinie immer im mittleren Bildschirmbereich positioniert werden, bei Eingangskopplung GND. Das Oszilloskop stellt mit den Momentanwerten den zeitlichen Verlauf einer Wechselspannung auf dem Bildschirm dar. Bei einer sinusförmigen Wechselspannung sind die positiven und negativen Spitzen- oder Momentanwerte gegenüber der Nulllinie als Bezugswert gleich groß. Diese Definitionen gelten auch für eine symmetrische Dreiecksspannung. Bei allen anderen unsymmetrischen Spannungsverläufen sind die Spitzen oder Momentanwerte vom arithmetischen Mittelwert der positiven und negativen Spannungsflächenanteile abhängig.

An dem folgenden Beispiel einer Rechteckspannung mit unterschiedlichem Tastverhältnis und AC-Eingangskopplung sollen diese Zusammenhänge verdeutlicht werden (Abb. 3.11).

Betrachten wir den zeitlichen Verlauf der Spannung an dem Widerstand R_m bei verschiedenen Tastverhältnissen $t_i:t_p$ des Rechtecksignals. Aus Abb. 3.11a ist zu ersehen, dass die dunklen Flächen bei einem Tastverhältnis von $t_i/t_p = 1$ oberhalb und unterhalb der Nulllinie gleich groß sind und hierbei das Impulsdach und der Impulsfuß den gleichen Abstand zur Nulllinie haben.

Bei einem Tastverhältnis $t_i/t_p < 1$, verschiebt sich die Nulllinie in Richtung Impulsfuß (Abb. 3.11b).

Ist das Tastverhältnis $t_i/t_p > 1$, verschiebt sich die Nulllinie in Richtung Impulsdach (Abb. 3.11c).

Diese Zusammenhänge können auf alle Wechselspannungen mit unterschiedlichen Tastverhältnissen und damit unterschiedlichen Flächenanteilen übertragen werden. Bei DC-Eingangskopplung gibt es diese Nulllinienverschiebung nicht. Hier baut sich die Wechselspannung auf das Bezugspotenzial bzw. auf die Nulllinie auf.

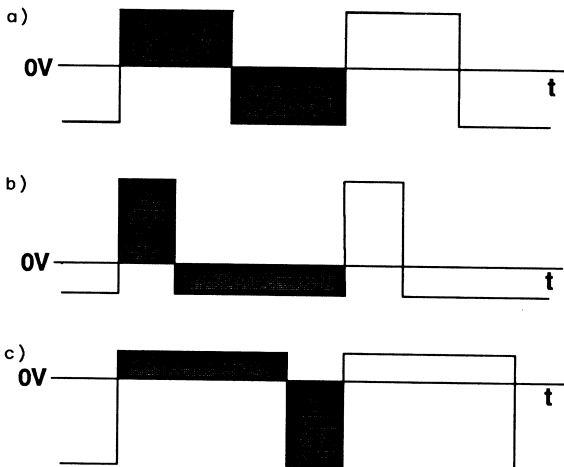


Abb. 3.11: Übertragung von Rechtecksignalen über einen Kondensator:

- a) Tastverhältnis $t_i:t_p = 1$
- b) Tastverhältnis $t_i:t_p > 1$
- c) Tastverhältnis $t_i:t_p < 1$

3.3.3 Messung von Mischspannungen

Bei der Messung von Wechselspannungen, die einer Gleichspannung überlagert sind, ist die Vorgehensweise der Messung von dem Spannungsverhältnis der beiden

Spannungen zueinander abhängig. Hat die Wechselspannung in etwa den gleichen Spannungswert wie die Gleichspannung, dann kann die Mischspannung über die Eingangskopplung DC gemessen werden (Abb. 3.12).

Ist der Gleichspannungsanteil wesentlich höher als die Wechselspannung, z. B. $> 10/1$, dann wird zuerst über Eingangskopplung DC der Gleichspannungsanteil gemessen, danach über die Eingangskopplung AC und höhere Auflösung V/DIV der Wechselspannungsanteil.

Ist der Gleichspannungsanteil im Verhältnis zur Wechselspannung sehr niedrig, z. B. $< 1/10$, dann wird über der Eingangskopplung AC zuerst die Wechselspannung gemessen. Danach wird auf die Eingangskopplung DC umgeschaltet und die Auflösung durch V/DIV erhöht. Dabei lässt man die positive Halbwelle der überlagerten Wechselspannung am oberen Bildschirmrand in die Begrenzung gehen, soweit dies für die Bestimmung der Gleichspannung erforderlich ist.

Überlagerte Störwechselspannungen, die in der Größenordnung der zu messenden Spannung liegen, müssen bei der Messung von Wechsel- oder Mischspannungen unbedingt vermieden werden, da sonst keine genaue Bestimmung der Spannungswerte möglich ist.

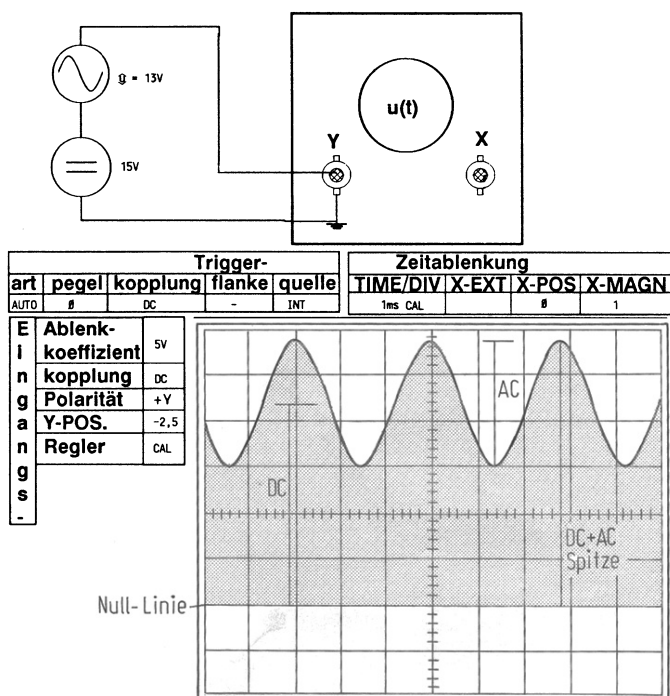


Abb. 3.12: Definition einer Mischspannung

Werden die Störspannungen von außen eingekoppelt, sind sie durch einen ordentlichen Messaufbau weitestgehend zu unterdrücken. Hierzu gehören einwandfreie Potenzialverbindungen, hauptsächlich Erd- und Masseverbindungen, gute Abschirmung der Messleitung und kurze Messleitungsverbindungen. Wird die Störspannung mit der Messspannungsquelle übertragen, in der Regel bei zu hohem Innenwiderstand, dann kann nur versucht werden, durch äußere Beschaltung (Parallelwiderstand) den Innenwiderstand zu verringern.

3.4 Messungen mit Tastköpfen

Für Messungen im gleich- oder niederfrequenten Wechselspannungsbereich bis 10 kHz und niederohmigen Messspannungsquellen (bis ca. 10 k Ω) kann mit einfachen Messleitungen gearbeitet werden. In diesen Bereichen ist nicht mit größeren Störsignaleinstreuungen zu rechnen. Für einwandfreie Anzeigeergebnisse bei hochohmigeren Messspannungsquellen und höheren Frequenzen werden vorzugsweise Tastköpfe eingesetzt. Den schematischen Aufbau eines Tastkopfes zeigt die Abb. 3.13.

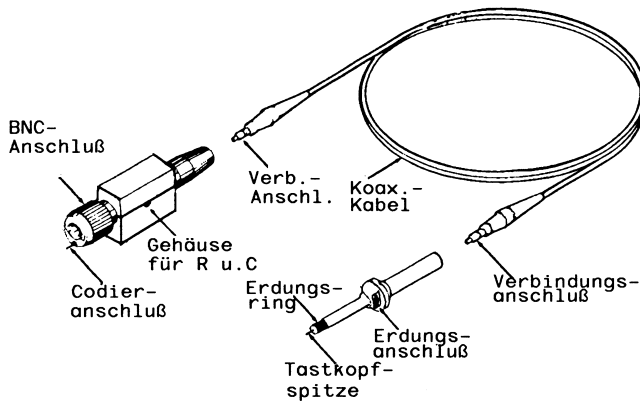


Abb. 3.13: Aufbau eines Tastkopfes bzw. Tastteilers

3.4.1 Tastteiler

Diese Form der Tastköpfe besteht in ihrem Aufbau (Abb. 3.14a) aus einem Längswiderstand von 9 M Ω , der zusammen mit dem 1-M Ω -Eingangswiderstand des Oszilloskops einen ohmschen Spannungsteiler 10:1 bildet. Diesem Längswiderstand liegt ein Trimmkondensator von ca. 5 pF parallel. Dieser liegt nun wiederum mit der Eingangskapazität des Verstärkereingangs in Reihe und bildet somit einen Spannungsteiler für hochfrequente Wechselspannungen. Dieser kombinierte Spannungsteiler erhöht die Eingangsimpedanz bzw. den Eingangswiderstand für die Messspan-

nungsquellen. Durch die Reihenschaltung der Widerstände ergibt sich ein gesamter Eingangswiderstand von 10 Megaohm für die Messspannungsquelle. Die Eingangskapazität von 15 pF des Messverstärkers wird durch den Trimmkondensator, wenn er richtig abgeglichen ist, auf ein Zehntel, also 1,5 pF, reduziert. Durch diese Schaltungsmaßnahme kann man an Messspannungsquellen höhere Frequenzen mit höherem Innenwiderstand messen (vgl. Abschnitt 3.1). Dafür wird die Spannungsteilung um den Faktor 10 für die Messspannung in Kauf genommen.

Damit der kapazitive Spannungsteiler an die Eingangskapazität des Oszilloskops genau angeglichen werden kann, wird der Trimmkondensator des Tastteilers an einer Rechteckspannung abgeglichen. Diese Signalform eignet sich am besten für den Abgleich, weil in den Schaltflanken der Rechteckspannung hohe Frequenzen enthalten sind, die auf dem Bildschirm durch Signalverformung sichtbar werden, wenn sie nicht alle gleichmäßig um den Faktor 10 von dem Tastteiler reduziert werden. Die Wirkungsweise des Tastteilers in Verbindung mit der Eingangsimpedanz des Oszilloskops kann man sich etwa so vorstellen: Die Gleichspannung und die tiefen Frequenzen werden nur durch den Widerstandsteiler R, die hohen Frequenzen jedoch nur durch den kapazitiven Teiler C übertragen.

Als Rechteckgenerator kann der interne 1-kHz-Generator des Oszilloskops verwendet werden.

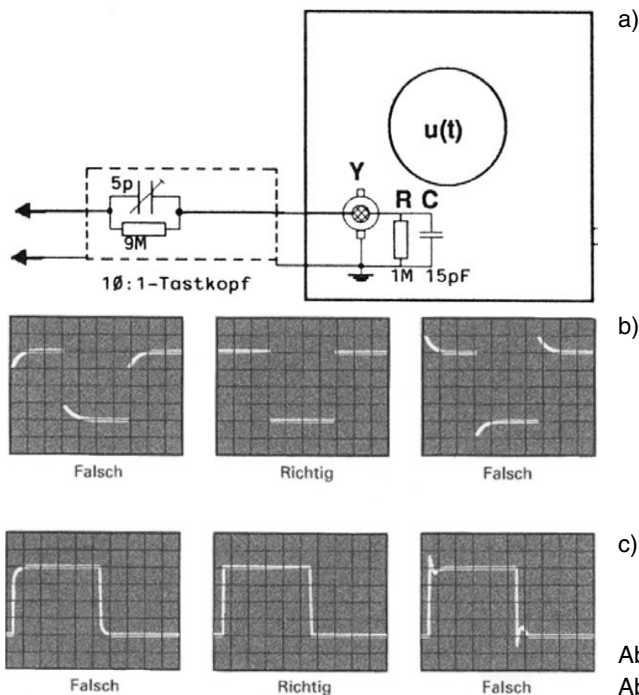


Abb. 3.14: Funktion und Abgleich eines Tastteilers

Der Abgleich des Tastkopfes kann an dem Oszilloskop in *Abb. 2.15* kann wie folgt vorgenommen werden:

Tastteiler 10:1 an den Eingang CH I anschließen, keine Taste betätigen, Eingangskopplung auf DC schalten. Eingangsteiler VOLT/DIV auf 5 V und TIME/DIV – Schalter auf 0,2 ms/cm schalten. Beide Feineinsteller müssen sich in Stellung CAL befinden. Tastkopf an den Ausgang des Rechteckgenerators anschließen. Auf dem Bildschirm sind zwei Rechteckimpulse 1 kHz zu sehen (*Abb. 3.14b*). Mit dem kapazitiven Trimmer werden die zwei Impulsdächer so abgeglichen, bis diese exakt zu den horizontalen Rasterlinien stehen, siehe mittlere *Abb. 3.14b*. Dann sollte die Signalauslenkung $4\text{ cm} + 1,2\text{ mm}$ ($= 3\%$) betragen. Die Signalfanken sind in dieser Einstellung unsichtbar.

Der HF-Abgleich erfolgt über das 1 MHz- Rechtecksignal des internen Generators. Nach diesen Abgleich erhält man nicht nur die maximal mögliche Bandbreite im Tastteilerbetrieb, sondern auch eine weitgehend konstante Gruppenlaufzeit am Bereichsende. Dadurch werden Einschwingverzerrungen (Überschwingen, Abrundung, Nachschwingen, Löcher oder Höcker im Dach) in der Nähe der Anstiegs- oder Abstiegsflanke auf ein Minimum begrenzt. Die Bandbreite des Oszilloskops wird dadurch bei Benutzung der Tastköpfe ohne Signalverzerrungen voll genutzt. Voraussetzung für diesen HF-Abgleich ist ein Rechteckgenerator (intern oder extern) mit kleiner Anstiegszeit (typisch 4 ns) und niederohmigen Ausgang (ca. $50\ \Omega$).

Durch die Verstellung des Trimmkondensators können die Darstellungen in *Abb. 3.14* erzeugt werden. Die mittlere Darstellung in dieser Abbildung zeigt die Signalform für den richtig abgeglichenen kapazitiven Spannungsteiler. Er hat hierbei genau das gleiche Teilverhältnis wie der Widerstandsteiler. In der linken Abbildung ist das kapazitive Teilverhältnis zu groß, die hohen Frequenzen werden zu stark abgeschwächt. In der rechten Abbildung ist das kapazitive Teilverhältnis zu klein, die hohen Frequenzanteile in den Schaltflanken werden zu wenig abgeschwächt.

Neben dem Tastteiler mit 10/1-Teilung gibt es auch noch Tastteiler mit 100/1-Teilung.

Bei Spannungsmessungen mit dem Oszilloskop muss das Teilverhältnis des Tastkopfes berücksichtigt werden.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über den tatsächlichen Spannungswert der Ablenkoeffizienten A_y für das Oszilloskop in *Abb. 2.15*:

Ablenkkoeffizient $A_y = 1$	Tastteiler A_y bei 10/1	Tastteiler A_y bei 100/1
50 V	500 V	5000 V
20 V	200 V	2000 V
10 V	100 V	1000 V
5 V	50 V	500 V
2 V	20 V	200 V
1 V	10 V	100 V
0,5 V	5 V	50 V
0,2 V	2 V	20 V
0,1 V	1 V	10 V
50 mV	500 mV	5 V
20 mV	200 mV	2 V
10 mV	100 mV	1 V
5 mV	50 mV	500 mV
2 mV	20 mV	200 mV
1 mV	10 mV	100 mV

3.4.2 Dioden-(Demodulator-)Tastkopf

Der Dioden-Tastkopf wird zur Gleichrichtung bei Messungen von amplitudenmodulierten Hochfrequenzspannungen eingesetzt. Durch die Gleichrichterwirkung der Diode in Abb. 3.15 wird nur die Hüllkurve der Trägerfrequenzspannung dargestellt. Der Diode ist ein Tiefpass nachgeschaltet, der den Hochfrequenzanteil des gleichgerichteten Signals unterdrückt.

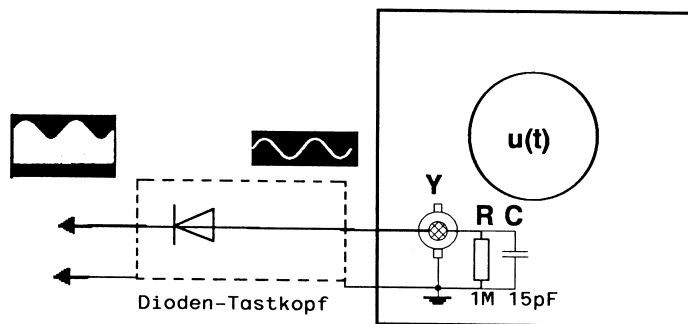


Abb. 3.15: Gleichrichtung und Demodulation mit Diodentastkopf

Wie bei allen anderen Verbindungselementen ist für fehlerhafte Messergebnisse der Tastkopf mit die am häufigsten übersehene Fehlerquelle, daher empfiehlt sich vor jeder Messung die funktionale Überprüfung an einer Kalibrierspannung. Vor allem die Masse- bzw. Erde-Verbindungen sind besonders sorgfältig zu überprüfen.

3.5 Übungen zur Vertiefung

Für die folgenden sieben Übungen wird für den vertikalen und horizontalen Ablenk-
koeffizienten $k_v = k_h = 1 \text{ V/DIV}$ angenommen.

1. Der Leuchtfleck steht in der Mitte, wenn weder am Eingang des Horizontal- noch an dem des Vertikalverstärkers Ablenkspannungen angelegt sind.

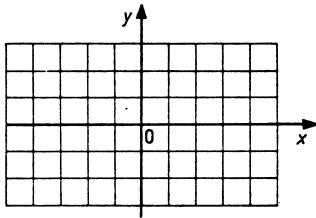


Abb. 3.16

In Abb. 3.16 ist die Lage des Leuchtflecks einzuzeichnen. Die Koordinaten sind anzugeben:

$x = \dots\dots\dots$ Teile

$y = \dots\dots\dots$ Teile

2. Die Eingangsspannung am Vertikalverstärker u_v ändert sich von 0 V auf + 2 V. Der Spurverlauf des Leuchtflecks ist in Abb. 3.17a einzuzeichnen.

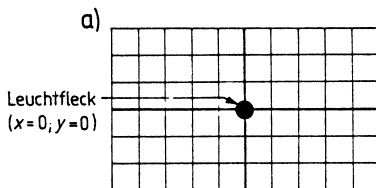


Abb. 3.17 a)

Die Eingangsspannung des Horizontalverstärker u_h ändert sich von 0 V auf +5 V. Der Spurverlauf des Leuchtflecks ist in *Abb. 3.17b* einzuzeichnen.

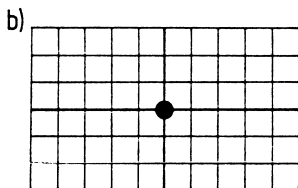


Abb. 3.17 b)

Die beiden beschriebenen Ablenkvorgänge sollen nun gleichzeitig verlaufen. Der Spurverlauf des Leuchtflecks ist in *Abb. 3.17c* einzuzeichnen.

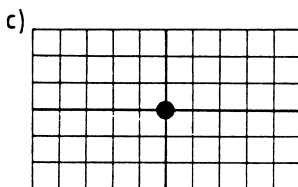


Abb. 3.17 c)

3. Der Leuchtfleck in *Abb. 3.18a* soll sich gleichmäßig von A nach B bewegen, in genau 8 s.

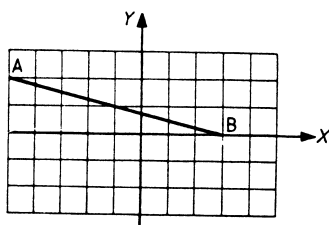


Abb. 3.18 a)

Die erforderlichen Ablenkspannungen u_v und u_h sind in *Abb. 3.18b* einzutragen. Zu beachten ist, dass es sich um zusammengesetzte Bewegungen handelt, die gleichzeitig ablaufen.

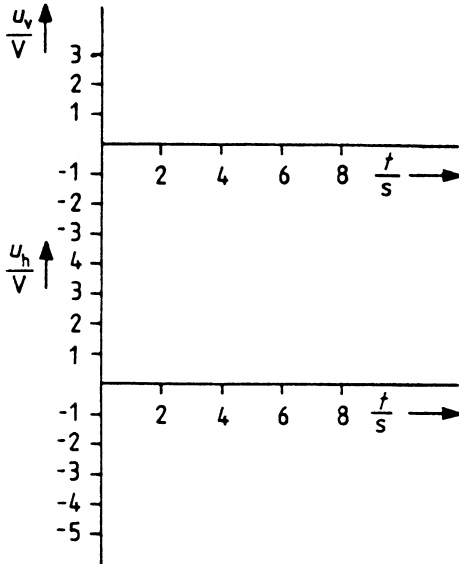


Abb. 3.18 b)

4. Der Leuchtfleck soll, nachdem er Punkt B in Abb. 3.18a erreicht hat, nach A zurückspringen, um dann in der gleichen Zeit wie vorher (8 s) nach B abgelenkt zu werden.

Dieser Vorgang soll insgesamt viermal ablaufen.

Die erforderlichen Ablenkspannungen sind in Abb. 3.19 einzutragen.

Für den Rücksprung wird die Zeit $t = 0$ s angenommen.

5. Die Spannung am Eingang des Vertikalverstärkers hat den Verlauf entsprechend Abb. 3.20a.

Der gleiche Verlauf soll auf dem Bildschirm entsprechend Abb. 3.20b sichtbar werden.

Der Verlauf der Spannung, die auf den Eingang des Horizontalverstärkers gegeben werden muss, ist in Abb. 3.20c einzutragen.

6. Durchläuft der Leuchtfleck auf dem Bildschirm eine Signalform nur einmal, verschwindet das Bild und kann nicht mehr beobachtet werden. Bei einer periodischen Spannung am Vertikaleingang (Abb. 3.21a) ist es durch stets wiederholtes Nachzeichnen derselben Kurve möglich, ein stehendes Bild darzustellen.

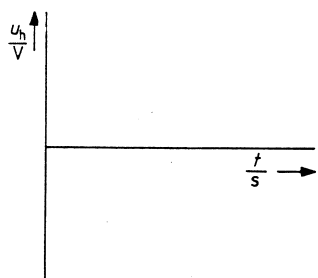
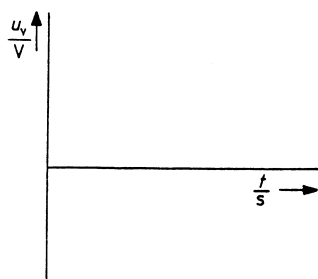


Abb. 3.19

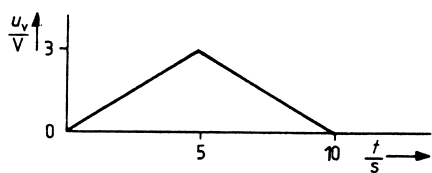


Abb. 3.20 a)

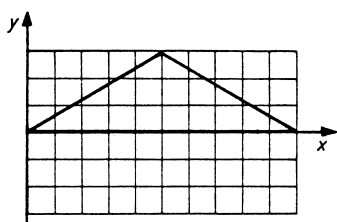


Abb. 3.20 b)

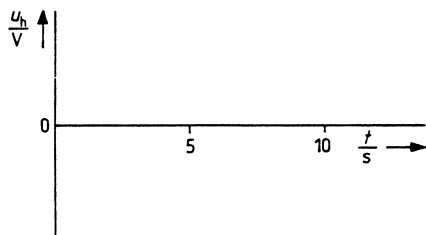


Abb. 3.20 c)

Um dies zu erreichen, muss eine periodische Ablenkspannung am Eingang des Horizontalverstärkers anliegen (Abb. 3.21b). Entsprechend dem Verlauf von u_v (Abb. 3.21a) und u_h (Abb. 3.21b) beträgt die maximale horizontale Ablenkung

a)Teile.

b) In Abb. 3.21c ist der resultierende Signalverlauf einzuzeichnen.

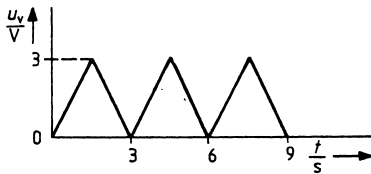


Abb. 3.21 a)

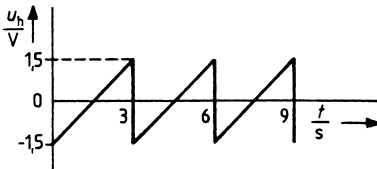


Abb. 3.21 b)

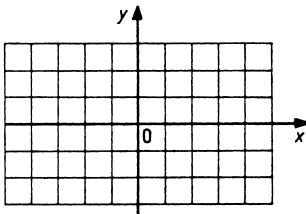


Abb. 3.21 c)

7. Durch welche der folgenden Maßnahmen kann man erreichen, dass die volle Bildschirmbreite ausgeschrieben wird?

- Durch Vergrößerung der Spannung am Eingang des Vertikalverstärkers.
- Durch Veränderung der Frequenz des Horizontalsignals.
- Durch Erhöhung des Wertes von Spitze zu Spitze der Spannung U_h .

8. Der Ausgang des Sägezahngenerators bleibt so lange auf Null, bis ein Triggerimpuls auf den Eingang gelangt. Dann wird am Ausgang die Ablenkspannung entsprechend Abb. 3.22 erzeugt:

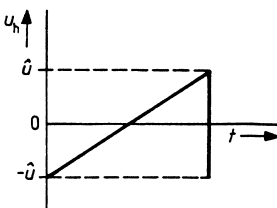


Abb. 3.22

Die Spannung u_h steigt von $-u$ so lange gleichmäßig an, bis sie den Scheitelwert $+u$ erreicht. Dann springt sie auf $-u$ zurück. Die Spitze-Spitze-Spannung u_{ss} ist gerade ausreichend, den Leuchtfleck über die volle Breite des Bildschirms abzulenken.

Der Leuchtfleck bewegt sich also nach Eintreffen eines Triggerimpulses mit konstanter Horizontalgeschwindigkeit einmal über den Schirm bis zum rechten Ende des Skalenrasters und springt dann wieder in seine Ausgangsposition am linken Skalenrand zurück. Die Geschwindigkeit, mit der sich der Leuchtfleck über den Bildschirm bewegt, ist am Ablenkteil einstellbar:

Dazu dient der Schalter „Zeitkoeffizient“, angegeben in Ablenkzeit pro Rastereinheit (Zeit/DIV).

Der Bildschirm ist zehn Raster breit. Ist der Zeitkoeffizient k_t auf 50 ms/DIV eingestellt, braucht der Leuchtfleck eine Zeit von, um die gesamte Breite des Bildschirms zu durchqueren.

9. Der Zeitkoeffizient ist so eingestellt, dass der Leuchtfleck 3 s braucht, um die gesamte Schirmbreite zu durchlaufen. Der Sägezahngenerator wird zum Zeitpunkt $t = 1$ s einmal getriggert.

Demnach ist der Zeitkoeffizient k_t auf Zeit/DIV eingestellt.

In Abb. 3.23 ist der von dem Zeitablenkgenerator erzeugte Spannungsverlauf einzuzeichnen.

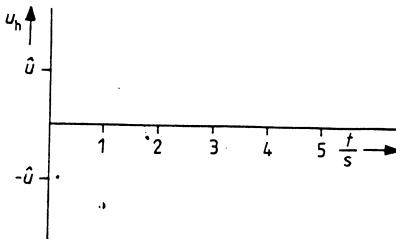


Abb. 3.23

10. Der Zeitkoeffizient k_t ist auf 0,1 s/DIV eingestellt. Die Eingangsspannung des Sägezahngenerators besteht aus einer Folge von Triggerimpulsen, wie in Abb. 3.24a dargestellt. Der Verlauf der erzeugten Ablenkspannung ist in Abb. 3.24b einzuzeichnen.

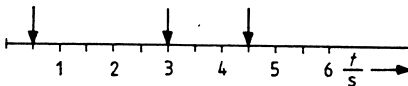


Abb. 3.24 a)

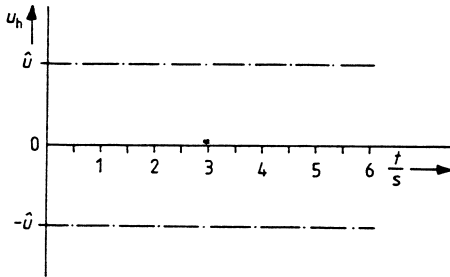


Abb. 3.24 b)

11. Aus dem Triggersignal (Auslösesignal) werden die Triggerimpulse abgeleitet. Bei einem periodischen Triggersignal wird die Ablenkung periodisch getriggert. Die Abb. 3.25 zeigt den Verlauf einer Ablenkspannung.

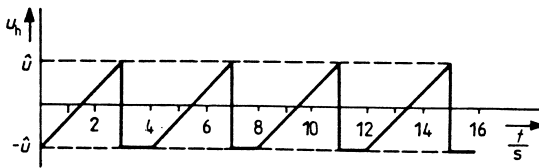


Abb. 3.25

- a) Der Sägezahngenerator wird einmal getriggert alle

..... s.

- b) Zu welchen Zeitpunkten befindet sich der Leuchtfleck am linken Rand des Schirms?

$t =$

- c) Auf welchen Wert ist der Schalter Zeitkoeffizient eingestellt, wenn u_{ss} gerade ausreicht, den Leuchtfleck über die ganze Bildschirmbreite (zehn Raster) abzulenken?

.....

12. Der Vertikalverstärker ist auf folgende Funktionen eingestellt:

- Eingangskopplung AC
- Ablenkoeffizient 2 V/DIV
- Die Messspannung beträgt +6 V Gleichspannung

Wieviel Raster über oder unter der Nulllinie bleibt der Leuchtfleck stehen?

.....Raster

13. An den Vertikal- und Horizontalverstärker wird eine Gleichspannung von $U = +8$ V angeschlossen, bei Eingangskopplung DC.

Der Ablenkoeffizient des Vertikalverstärkers beträgt 2 V/DIV, der Ablenkoeffizient des Horizontalverstärkers beträgt 5 V/DIV. Die Koordinaten des Leuchtflecks sind anzugeben.

X = Teile

Y = Teile

14. Bei welchen Spannungsverläufen liegt die Nulllinie nicht in der Mitte zwischen positiven und negativen Amplitudenanteilen?

- a) Sinus
- b) Dreieck
- c) Sägezahn
- d) Impulse

15. Eine Sinusspannung erzeugt eine Strichlänge von 4 Teileinheiten. Der Ablenkoeffizient beträgt 10 V je Teileinheit. Wie groß ist die Spitze-Tal-Spannung?

..... V

16. Bei einer Spannung umfasst eine Periode 8 Teileinheiten auf dem Bildschirm. Der Zeitmaßstab beträgt 5 μ s/DIV. Wie groß ist die Frequenz der Spannung?

..... kHz

17. Am Eichspannungsgenerator ist die Rechteckspannung auf 5 V_{ss} eingestellt. Über einen Tastteiler 10/1 wird die Spannung gemessen. Auf welchen Ablenkoeffizienten A_y muss der Stufenschalter gestellt werden, damit eine Auslenkung der Rechteckspannung über 2,5 Raster erfolgt?

..... /DIV

18. Die Frequenz der Eichspannung beträgt $f = 1$ kHz und die gemessene Periodendauer beträgt 5 Raster. Wie groß ist der eingestellte Zeitkoeffizient?

..... /DIV

19. In welchem Zeitablenkbereich wird die aufgezeichnete Linie in einen Punkt aufgelöst?

Zeitkoeffizientenbereich /DIV

Lösungen ab Seite 221

4 Triggerung und Synchronisation von Messsignalen

Die Triggerfunktionen von Oszilloskopen sind Leistungsmerkmale, die im Wesentlichen die Einsatzmöglichkeiten bestimmen.

Das breite Spektrum der möglichen Messaufgaben stellt die unterschiedlichsten Anforderungen an die Auslösung und Stabilisierung eines auswertbaren Oszillogramms in Frequenz, Amplitude und Signalform.

Bei einem Analog-Oszilloskop muss die Triggerung zwischen dem zugeführten Messsignal oder einem extern zugeführten Triggersignal und der vom Zeitbasisgenerator erzeugten sägezahnförmigen Ablenkspannung einen definierten Zeit- und Phasenbezug herstellen. Dies sind die Voraussetzungen für die Erzeugung stehender Signalformen auf dem Oszilloskop.

Ein Oszilloskop bietet verschiedene Möglichkeiten, die Triggenerauslösung zu beeinflussen und zu steuern. Die Funktionskombinationen:

- Einstellbarer Triggerpegel
- Wahl der Triggerflanke
- Wahl der Triggerbetriebsart
- Wahl der Triggerquelle
- Wahl der Triggerankopplung
- Frequenzbereich der Triggerfunktionen

Sie bieten eine Vielzahl von Einstellmöglichkeiten, die zu einer Optimierung der Triggenerauslösung für nahezu jede Messaufgabe beitragen.

In diesem Abschnitt sollen anhand von Messbeispielen und Messversuchen die verschiedenen Triggerfunktionen in ihrer Funktion verdeutlicht werden.

4.1 Triggerquelle

Entsprechend der Darstellung in *Abb. 2.15* können mit den Tasten „TRIG.MODE“ drei verschiedene Triggersignale angewählt werden. Im Normalfall wird man den Zeitbasisgenerator intern triggern.

Wir wollen diese Triggermöglichkeit in ihrer Funktion ausprobieren. In Abb. 4.1 wird über einen Funktionsgenerator ein Messsignal (Sinus, $f = 1 \text{ kHz}$, $U_{ss} = 0 \text{ bis } 5 \text{ V}$) an das Oszilloskop angeschlossen und die vorgegebenen Funktionen werden eingestellt.

Versuch 1: Triggerschwelle

Zuerst wird die Ausgangsspannung am Funktionsgenerator so lange verringert, bis das Signalbild am Bildschirm anfängt zu laufen oder die Triggerung ganz aussetzt (waagerechte Linie am Bildschirm). Wird die Messsignalamplitude wieder vergrößert, wird das laufende Signalbild wieder sichtbar und triggert bei weiterer Erhöhung auf ein stehendes Bild.

Die gleiche Wirkung wird erzielt, wenn die Amplitudenveränderung am Stufenschalter oder am Feinregler für die Ablenkkoeffizienten am Oszilloskop vorgenommen wird.

Daraus lässt sich ableiten, dass das Messsignal eine bestimmte Mindestamplitude haben muss, damit es noch eine Triggerauslösung bewirkt.

Unterschreitet die Amplitude eine Höhe von etwa 1 cm, wird die Triggerschwelle im Automatikbetrieb unterschritten und es erfolgt keine Triggerung mehr, der Zeitbasis-generator läuft frei.

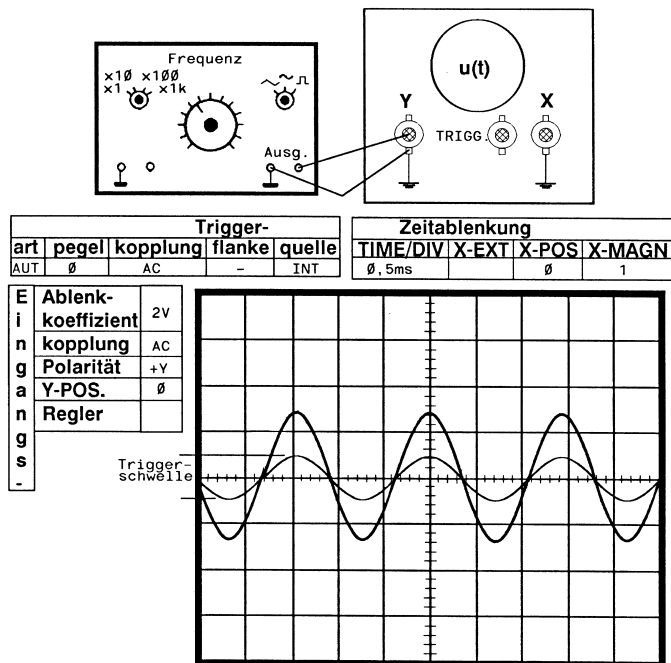


Abb. 4.1: Bewertung der Triggerempfindlichkeit

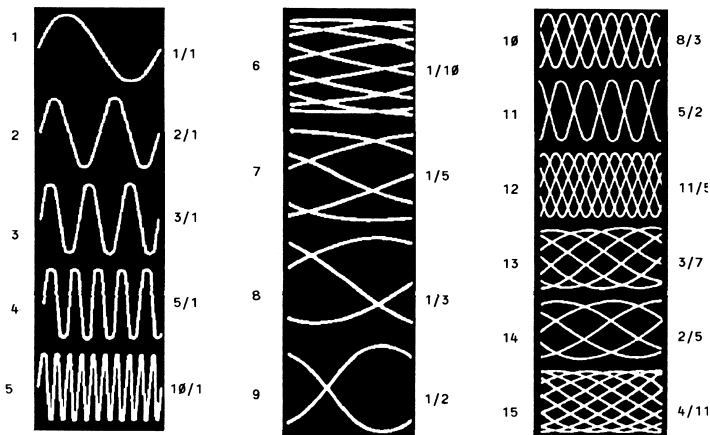


Abb. 4.2: Frequenzverhältnisse zwischen Mess- und Ablenkfrequenz

Versuch 2: Zusammenhang zwischen Messfrequenz und Ablenkfrequenz

Wir erhöhen die Messfrequenz am Funktionsgenerator kontinuierlich, die Ablenkzeit wird hierbei nicht verändert, und beobachten den Bildschirm.

Dabei werden sich Signalbilder entsprechend der *Abb. 4.2* einstellen. Die wechselnden Signalbilder erklären sich wie folgt:

Bei steigender Frequenz besteht teilweise keine Übereinstimmung mehr zwischen der Ablenkfrequenz und der Messfrequenz oder ihrem ganzzahligen Vielfachen, das Signalbild läuft bei ständiger Erhöhung der Messfrequenz mit entsprechend ungeradzahligen Vielfachen in horizontaler Richtung durch, wobei die Laufrichtung nach links oder rechts in Abhängigkeit der eingestellten Frequenz wechseln kann. Ist das Frequenzverhältnis geradzahlig, bleibt das Bild stehen, siehe *Abb. 4.2*.

Für die Darstellungen in *Abb. 4.2* gehen wir für die Betrachtungen davon aus, dass die Zeitablenkung immer 1 ms/DIV beträgt, entsprechend einer Ablenkfrequenz von $f = 1/1 \text{ ms} = 1 \text{ kHz}$. Im ersten Bild wäre für die Darstellung einer Sinusperiode eine Frequenz von $f = 1 \text{ kHz}$ erforderlich. Das Frequenzverhältnis zwischen Ablenkzeit pro Raster und der Messfrequenz stünde demnach im Verhältnis 1ms:1ms. Wie die folgende Tabelle zeigt, ist bei den Bildern 2 bis 5 in der linken Reihe und den Bildern 10 bis 12 in der rechten Reihe die Messfrequenz höher als die Zeit-Ablenk-Frequenz. Bei den Bildern 6 bis 9 in der mittleren Reihe und den Bildern 13 bis 15 in der rechten Reihe ist die Zeit-Ablenk-Frequenz höher als die Messfrequenz.

Das scheinbare Durchlaufen der Bilder wird an der grafischen Darstellung in *Abb. 4.3* noch deutlicher.

Der horizontale Ablenksägezahn T_h ist langsamer als die Periode des zu messenden Rechtecksignals T_v . Es wird also etwas mehr als eine Periode der Messfrequenz sicht-

bar. Dieses Stück fehlt beim nächsten Ablenkvorgang (siehe zweiter und dritter Hinlauf). Dieser Vorgang wiederholt sich, sodass der Eindruck entsteht, dass das Signalbild nach links läuft.

Wäre der Ablenksägezahn T_h etwas schneller als die Periode oder ein ungeradzahliges Vielfaches der Messfrequenz T_v , dann würde das Signalbild nach rechts laufen.

Bild-Nr.	Messsignal		Ablenkkoeffizient		Zeit- und Frequenzverhältnis	
	t	f	t	f	t	f
1	1 ms	1 kHz	1 ms	1 kHz	1 ms : 1 ms	1 kHz : 1 kHz
2	0,5 ms	2 kHz	1 ms	1 kHz	0,5 ms : 1 ms	2 kHz : 1 kHz
3	0,33 ms	3 kHz	1 ms	1 kHz	0,33 ms : 1 ms	3 kHz : 1 kHz
4	0,2 ms	5 kHz	1 ms	1 kHz	0,2 ms : 1 ms	5 kHz : 1 kHz
5	0,1 ms	10 kHz	1 ms	1 kHz	0,1 ms :	10 kHz : 1 kHz
6	10 ms	0,1 kHz	1 ms	1 kHz	10 ms :	0,1 kHz : 1 kHz
7	5 ms	0,2 kHz	1 ms	1 kHz	5 ms : 1 ms	0,2 kHz : 1 kHz
8	3,3 ms	0,3 kHz	1 ms	1 kHz	3,3 ms : 1 ms	0,3 kHz : 1 kHz
9	2 ms	0,5 kHz	1 ms	1 kHz	2 ms : 1 ms	0,5 kHz : 1 kHz
10	0,37 ms	2,7 kHz	1 ms	1 kHz	0,37 ms : 1 ms	2,7 kHz : 1 kHz
11	0,4 ms	2,5 kHz	1 ms	1 kHz	0,4 ms : 1 ms	2,5 kHz : 1 kHz
12	0,45 ms	2,2 kHz	1 ms	1 kHz	0,45 ms : 1 ms	0,42 kHz : 1 kHz
13	2,33 ms	0,42 kHz	1 ms	1 kHz	2,33 ms : 1 ms	0,42 kHz : 1 kHz
14	2,5 ms	0,4 kHz	1 ms	1 kHz	2,5 ms : 1 ms	0,4 kHz : 1 kHz
15	2,75 ms	0,36 kHz	1 ms	1 kHz	2,75 ms : 1 ms	0,36 kHz : 1 kHz

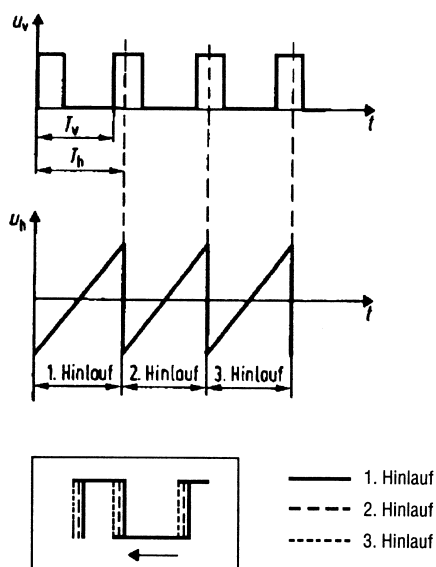


Abb. 4.3: Zusammenhang zwischen Mess- und Horizontalfrequenz

Versuch 3: Störspannungsüberlagerung

Dem Messsignal wird eine 50-Hz-Störspannung überlagert. Dies kann man auslösen, indem man z. B. versucht, die Bezugsleitung am Oszilloskop oder am Funktionsgenerator zu trennen, oder man legt einen Finger auf die blanke Messleitung.

Daraus erhalten wir dann vielleicht Signalbilder, die denen der Abb. 4.4 gleichen oder ähneln. Diese Signalbilder zeigen die Messfrequenzen, denen die 50-Hz-Störspannung überlagert ist. Das Signalbild wird auch durchlaufen. Erst wenn man versucht mit der Ablenkzeit auf die 50 Hz zu triggern, wird man ein stehendes Bild erhalten.

Die Abb. 4.4a zeigt die Störfrequenz mit einer wesentlich größeren Amplitude als die zu messende Frequenz. Abb. 4.4b zeigt einen geringeren Amplitudenunterschied zwischen Störfrequenz und Messfrequenz. In Abb. 4.4c ist die Amplitude der Störfrequenz wesentlich kleiner als die Amplitude der Messfrequenz.

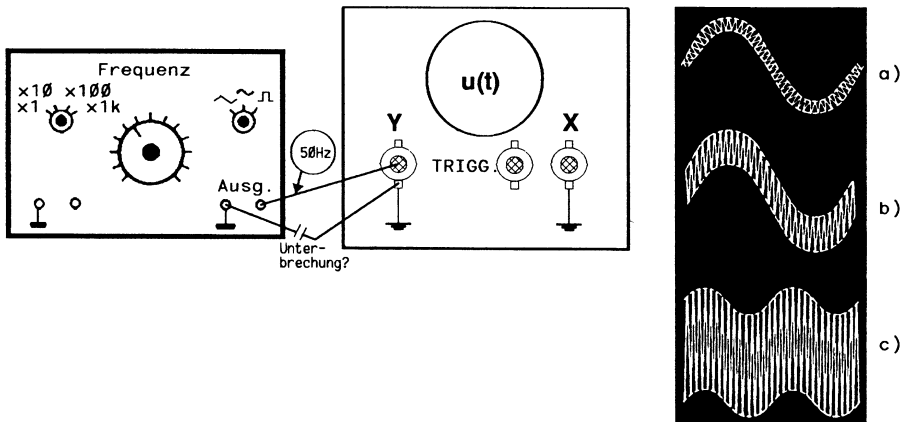


Abb. 4.4: Störspannungsüberlagerung: a) Störspannungsamplitude sehr groß
b) Störspannungsamplitude groß c) Messsignalamplitude größer

Versuch 4: Externes Triggersignal bei Störspannungen

Entsprechend den eingestellten Werten aus dem ersten Versuch wird der Wahlschalter für die Triggerquelle auf die Funktion EXT umgeschaltet. Dadurch wird dem Zeitbasisgenerator das Triggersignal abgeschaltet, die Ablenkung erfolgt frei mit der eingestellten Ablenkzeit TIME/DIV. Es ergibt sich ein laufendes Bild, dessen Geschwindigkeit vom Frequenzverhältnis der Ablenkzeit und der Messfrequenz abhängt.

Das Messsignal muss jetzt über die Anschlussbuchse TRIG.EXT (vgl. Abb. 2.15) über eine Messleitungsverbindung mit einem Triggersignal verbunden werden (Abb. 4.5). Nimmt man hierzu das störungsfreie Messsignal als Triggersignal, dann hat sich an der Triggerfunktion nichts geändert. Man erhält sofort ein stehendes Signalbild.

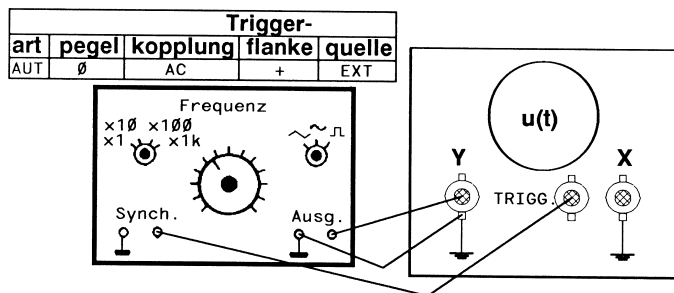


Abb. 4.5: Anschluss eines externen Triggersignals

Die externe Triggerung wird dann eingesetzt, wenn ein Messsignal mit Störsignalen entsprechend Versuch 3 oder mit anderen Signalformen überlagert ist, die eine wesentlich höhere oder niedrigere Frequenz aufweisen. Dann wird auch nicht mehr das Messsignal als externes Triggersignal eingesetzt, sondern ein anderes Signal, das keine Störsignalüberlagerungen aufweist. Auch hier muss bei der Triggerfrequenz darauf geachtet werden, dass nur dann ein stehendes Signalbild auf dem Bildschirm entsteht, wenn die Ablenkung immer am selben Punkt innerhalb jeder Periode des Messsignals getriggert wird.

Versuch 5: Netztriggerung

Ausgehend von der Versuchsanordnung in Abb. 4.1, wird die Triggerquelle in die Stellung LINE oder mit den Tasten AT/NM und Alt (vgl. Abb. 2.15) geschaltet.

Das Triggersignal wird jetzt innerhalb des Oszilloskops aus der 50-Hz-Netzspannung erzeugt. Innerhalb einer Sekunde wird der Ablenksägezahn 50-mal ausgelöst, dies entspricht einer Ablenkzeit von 20 ms.

Bei einer Messfrequenz von $f = 1 \text{ kHz}$ ist daher ein stehendes Bild zu erwarten (ganzzahliges Vielfaches). Kritisch wird die 50-Hz-Synchronisation bei Frequenzen unter 50 Hz oder sehr hohen Frequenzen.

Daher wird diese Triggerquelle nur dann eingesetzt, wenn das Messsignal im Bereich der Netzfrequenz liegt oder seine Frequenz von der Netzfrequenz abgeleitet oder synchronisiert wird. Dies ist zum Beispiel bei Wobbelgeneratoren der Fall, die Wiederholfrequenz des Wobbelhubs wird aus der Netzfrequenz synchronisiert bzw. abgeleitet. Auch bei Signalmessungen an Fernsehgeräten kann im Bildfrequenzbereich mit der 50-Hz-Triggerung gearbeitet werden.

4.2 Auswahl der Triggerart

Bei allen bisherigen Messbeispielen mit Zeitablenkung haben wir die Tasten TRIG. MODE immer in der Stellung AUTO stehen gehabt. In dieser Stellung des Wahl-

schalters arbeitet die Triggereinrichtung mit einer Auslösung des Zeitbasisgenerators, unabhängig von einer Triggerschwelle. Daher wird in dieser Betriebsart auch ohne Mess- und damit Triggersignal eine Nulllinie von links nach rechts gezogen.

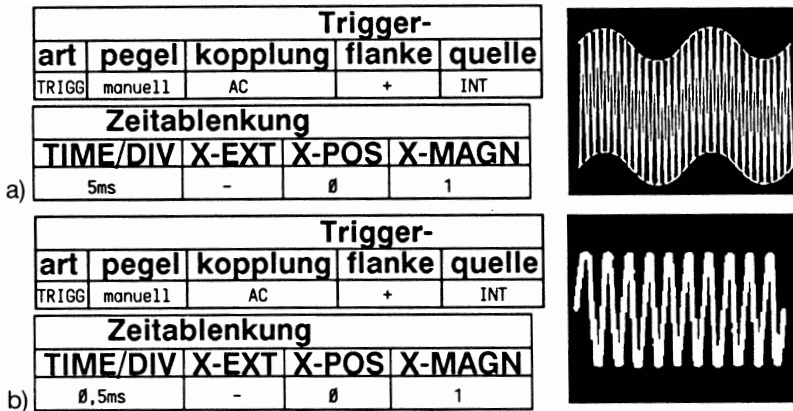


Abb. 4.6: Manuelle Triggersignal-Einstellung: a) Triggerung auf Störfrequenz
b) Triggerung auf Messfrequenz

In dieser Betriebsart erhält man nahezu für alle Messsignale eine stabile Darstellung der Signalformen.

Für die Triggerauslösung ist eine Überschreitung der Triggerschwelle durch das Messsignal erforderlich und die Messfrequenz muss höher sein als die vom Hersteller angegebene untere Grenzfrequenz der Triggerschaltung.

In der Stellung TRIG.MODE/NM erscheint nur dann ein stehendes Messsignal auf dem Bildschirm, wenn ein Triggersignal vorhanden ist und der Triggerpegel mit dem Pegeleinsteller TRIG.LEVEL auf das Messsignal richtig eingestellt ist. Damit lassen sich auch Messsignale triggern, deren Frequenz kleiner ist als die untere Grenzfrequenz der automatischen Triggerung. Vor allem kann mit dieser Triggerart bei überlagerten Signalen mit verschiedenen Frequenzen gezielt auf die gewünschte Frequenz getriggert werden (Abb. 4.6). Diese manuelle Triggereinstellung wird auch dann gewählt, wenn Impulsfolgen mit kleinem Tastverhältnis gemessen werden sollen.

Die Triggerart SINGLE (single sweep = einmalige Auslösung) wird bei älteren Geräten mit der Drucktaste SET READY ausgelöst. Nach jedem Knopfdruck erfolgt dann eine einmalige Auslösung des Elektronenstrahls. Zuvor muss aber in der Triggerart AUTO oder TRIG.MODE/NM die Triggereinstellung des Signals vorgenommen werden.

Diese Triggerart wird immer dann gewählt, wenn man nicht periodische Vorgänge oder periodische Signale mit veränderlicher Amplitude fotografieren will. Die-

se Messsignale würden bei einer sich wiederholende Zeitablenkung instabile, also nicht stehende Darstellungen ergeben.

Versuch 1: Automatik-Triggerung

Ohne Messsignal am Y-Eingang wird in der Triggerart AUT und einem Zeitkoeffizienten von 1 ms/DIV der Bildschirm betrachtet. Es muss sich eine Nulllinie zeigen. Wird nun in die Triggerart TRIGG umgeschaltet, wird die Nulllinie nicht mehr dargestellt. Die Nulllinie lässt sich in dieser Triggerart nicht reproduzieren, auch nicht durch Verändern der Triggerquelle von INT auf EXT oder der Triggerflanke von + auf – oder durch Verändern des Triggerpegels TRIGG LEVEL.

Versuch 2: Manuelle Triggerung

Ein Messsignal, Rechteck oder Sinus ($f = 1 \text{ kHz}$), wird an den Y-Eingang angeschlossen. Die Triggerquelle steht auf INT und der Triggerpegel steht auf 0 V, Steller TRIGG LEVEL in der Mitte auf Pegel 0.

In der Triggerart AUTO wird eine stehende Signalform dargestellt. Wird nun der Wahlschalter Triggerart von AUTO auf TRIGG umgeschaltet, dann bleibt das Signal stehen. Nun wird das Messsignal in seiner Amplitude auf dem Bildschirm kleiner gemacht. Bei einer Amplitude innerhalb eines halben bis eines Rasters wird dann das Messsignal verschwinden. Wird jetzt wieder in die Triggerart AUTO umgeschaltet, erscheint wieder die Nulllinie.

Versuch 3: Einmalige Triggerung

In der Triggerart AUTO wird ein Messsignal zur Darstellung gebracht. Danach wird der Wahlschalter in die Stellung SINGLE umgeschaltet. Das Messsignal verschwindet. Wird nun die Taste SET READY betätigt, wird das Messsignal in einem einmaligen Ablenkvorgang dargestellt.

Diesen Vorgang kann man beliebig oft wiederholen.

4.3 Auswahl der Triggerflanke und des Triggerpegels

Der Zeitpunkt, zu dem das Triggersignal einen Triggerimpuls zur Steuerung des Sägezahngenerators auslöst, ist von zwei Einstellungen abhängig:

- von der Triggerflanke, positiv oder negativ,
- und vom Triggerpegel.

Soll bei einem sich periodisch wiederholenden Spannungsverlauf ein stehendes Bild zu sehen sein, müssen nach jedem Ablenkvorgang alle sich zeitlich folgenden Bilder deckungsgleich sein. Dies wird erreicht, indem durch die beiden Funktionen Triggerflanke und Triggerpegel aus dem abzubildenden Signalverlauf ein Punkt herausge-

sucht wird, der das Startsignal für eine Ablenkbewegung des Leuchtpunkts ist, wenn dieser nach Erreichen des rechten Bildrandes in seine Ruhelage am linken Bildrand gesprungen ist. Hier wartet der Leuchtpunkt sozusagen auf seinen Einsatz, wenn der vorbestimmte Startpunkt am Signal sozusagen vorbeikommt. Dieser Vorgang wird als Triggern bezeichnet, nach dem englischen Wort „to trigger“ = auslösen.

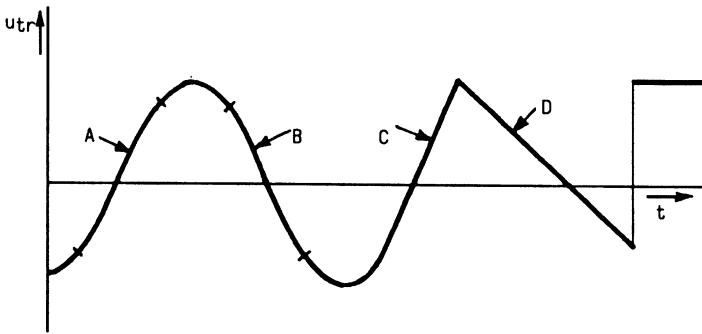


Abb. 4.7: Triggereinsatzpunkte an ansteigenden oder abfallenden Signalamplituden

Die Triggerschaltung wertet das angebotene interne oder externe Triggersignal nach Anstieg (+) oder nach Abstieg (–) und nach Niveau aus. Der resultierende Trigger- oder Auslöseimpuls wird an eine Logikschaltung weitergegeben. Hier wird festgestellt, ob der Strahl in seine Wartestellung am linken Bildrand zurückgekehrt ist; nur dann wird ein Ablenkvorgang ausgelöst.

Wird die Triggerflanke negativ (–) auf das in *Abb. 4.7* dargestellte Triggersignal eingestellt, dann kann die Ablenkung nur in den Bereichen B oder D getriggert werden. Bei positiv eingestellter Triggerflanke kann die Ablenkung nur in den Bereichen A oder C erfolgen.

Die Einstellung des manuellen Triggerpegels bestimmt, bei welchem Spannungsniveau des Triggersignals ein Triggerimpuls ausgelöst wird.

Das Triggerniveau lässt sich im Bereich zwischen den Spannungen U und U_1 in *Abb. 4.8* kontinuierlich einstellen.

Eine Triggerung ist nur dann möglich, wenn das Triggerniveau im Amplitudenbereich des Triggersignals liegt.

In dem Beispiel *Abb. 4.8* ist nur eine Triggerung zwischen den Pegeln $L2$ und $L3$ möglich. Dies ist vor allem bei der Wahl der Triggerquelle zu beachten. Bei der Triggerquelle INT und LINE ist das Triggersignal ausreichend groß und entspricht dem Bereich $U - U_1$. Nur bei der Triggerquelle EXT muss darauf geachtet werden, dass das Triggersignal kleiner ist als der Spannungsbereich $U - U_1$.

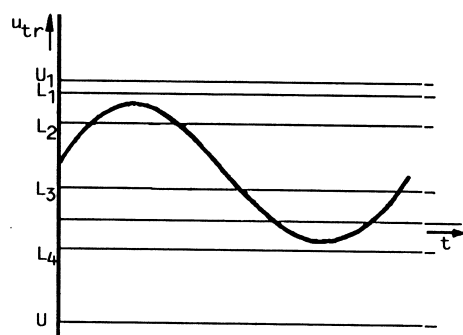


Abb. 4.8: Bereich Triggerpegel und Triggerniveau

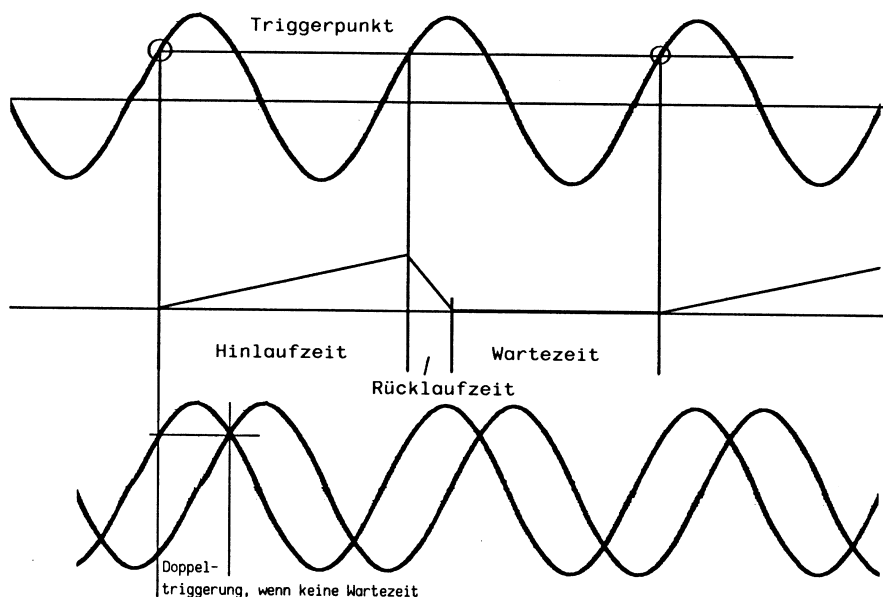


Abb. 4.9: Ablenkvorgang mit Wartezeit

Das Triggersystem eines Oszilloskops ist während eines Ablenkvorgangs oder während des Strahlrücklaufs nicht in der Lage, eine Triggerung auszulösen. Diese kurze Zeitspanne (hold-off-time) ist systembedingt in jeder Triggereinrichtung vorhanden und kann nicht beeinflusst werden, wie dies die Abb. 4.9 veranschaulicht.

Die Summe aus Hinlaufzeit, Rücklaufzeit und Wartezeit muss über zwei Perioden des zu messenden Signals andauern. Würden die Hinlaufzeit und die kurze Rücklaufzeit innerhalb einer Periode ablaufen, dann ergäbe sich eine Doppeltriggerung, nämlich bei der ansteigenden und abfallenden Flanke, wie dargestellt.

Befinden sich in einem Messsignal mehrere überlagerte Signale mit wechselnden Amplituden und Phasenverschiebungen (Abb. 4.10), dann können mögliche Triggerpunkte in einer Periode des Messsignals mehrfach auftreten. Dann ist auch bei manueller Einstellung des Triggerpegels und der Triggerflanke kein stehendes Signalbild herzustellen.

Eine manuelle Einstellung des Triggerpegels ist, wie schon im vorhergehenden Abschnitt erwähnt, nur in der Stellung TRIG.MODE/NM des Wahlschalters Triggerart möglich.

Das Triggern und Auswerten von Signalen mit Störspannungsüberlagerungen und Mischspannungen mit unterschiedlichen Amplituden, Frequenzen sowie Phasenbeziehungen erfordert viel Übung und Erfahrung, sodass man sich zunächst auf das Üben und Auswerten einfacher Vorgänge konzentrieren sollte, um sich damit mit den unterschiedlichen Triggerfunktionen im Zusammenwirken auf die jeweilige Messaufgabe vertraut zu machen.

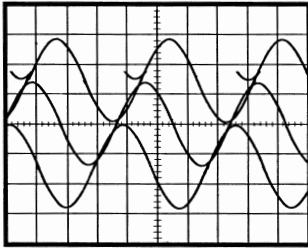


Abb. 4.10: Signalüberlagerung bei schwankenden Amplituden- und Phasenverschiebungen

Versuch 1: Flankentriggerung

In diesem Versuch wird ein Sinussignal ($f = 1 \text{ kHz}$, Kopplung = AC) an den Messverstärker angeschlossen. In der Triggerart NM und in der Einstellung der Triggerflanke auf „+“ (Taste SLOPE nicht gedrückt) wird der Sinus bei Triggerpegel in Stellung „0“ entsprechend Abb. 4.11 a1 dargestellt. Der Triggereinsatz erfolgt an der Nulllinie nach positiven Amplitudenwerten.

Wird nun der Triggerpegel mit LEVEL nach links gedreht (negative Spannungswerte U entsprechend Abb. 4.8), dann verschiebt sich der Triggereinsatz kontinuierlich von der Nulllinie aus nach unten zu negativen Amplitudenwerten (Abb. 4.11a2).

Ist der höchste negative Amplitudenwert am Messsignal erreicht und der Steller LEVEL noch nicht am linken Anschlag, dann wird das Messsignal beim Weiterdrehen nach links verschwinden oder der Triggereinsatz an der negativen Amplitudenspitze verweilen, weil der Triggerpegel außerhalb der maximalen Amplitudenwerte des Messsignals liegt (vgl. Abb. 4.8).

Nun wird der Triggerpegel aus der zuletzt links stehenden Position kontinuierlich nach rechts gedreht. Der Triggereinsatzpunkt verschiebt sich stetig bis zum höchsten positiven Spitzenwert des Messsignals (vgl. *Abb. 4.11a3*). Auch hier kann dieser Punkt schon erreicht sein, bevor der Steller LEVEL den rechten Anschlag erreicht hat.

Nun wird die Triggerflanke von „+“ nach „-“ umgeschaltet (Taste SLOPE gedrückt). Das Messsignal kippt scheinbar nach unten auf den höchsten negativen Amplitudenwert (*Abb. 4.11a4*).

Wird nun der Steller TRIGG LEVEL vom rechten Anschlag nach links gedreht, dann verschiebt sich der Triggereinsatzpunkt auf der abfallenden Sinuswelle nach der Nulllinie und weiter nach positiven Amplitudenwerten.

Versuch 2: Impulsflankentriggerung

Auf den Messverstärker wird nun ein Rechtecksignal geschaltet, mit der gleichen Amplitude und Frequenz wie das Sinussignal in Versuch 1. Aufgrund der sehr schnellen Anstiegs- und Abfallflanken von Rechtecksignalen kann hier nicht mit der gleichen Zeitablenkung im Millisekundenbereich wie bei einem Sinus- oder Dreiecksignal gearbeitet werden. Die Flanken eines elektronisch geschalteten Impulses liegen in der Größenordnung Nanosekunden bis Mikrosekunden und werden bei der Auflösung der Impulsperioden kaum gesehen, höchstens als feine senkrechte Striche bei höchster Intensitätseinstellung. Daher muss bei dem Versuch, die Flanken eines Impulses über die Zeit stehend sichtbar zu machen, wie in den Triggereinstellungen von Versuch 1, der Schalter für Zeitkoeffizienten so lange nach rechts gedreht werden, bis die Flanke sichtbar wird (vgl. *Abb. 4.11b1*). Dabei sollten Sie die Intensität zur Aufhellung ebenfalls nach rechts drehen.

Entsprechend den Einstellungen nach Versuch 1 wird die Anstiegsflanke von der Mitte aus nach positiven Werten getriggert.

Die Veränderung des Triggerpegels hin zu positiven Werten verschiebt den Triggerpunkt auf der Anstiegsflanke zum Impulsfuß (vgl. *Abb. 4.11b2*).

Die Veränderung des Triggerpegels hin zu positiven Werten bis zum Impulsdach zeigt die gesamte Anstiegsflanke entsprechend *Abb. 4.11b3*. Wird nun die Triggerflanke von „+“ nach „-“ umgeschaltet, springt der Triggereinsatzpunkt an die Abstiegsflanke zum Impulsfuß (vgl. *Abb. 4.11b4*).

Wird nun der Steller TRIGG LEVEL kontinuierlich von rechts nach links gedreht, dann verändert sich der Triggereinsatzpunkt vom Impulsfuß auf der Abstiegsflanke bis zum Impulsdach.

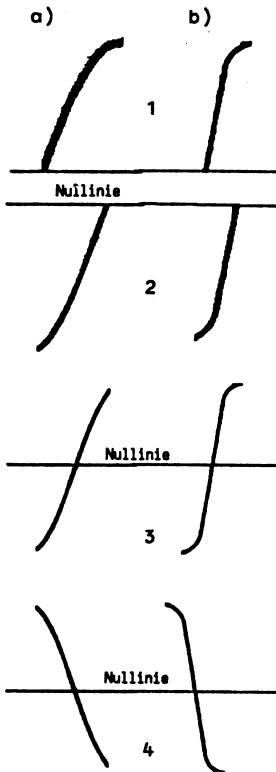


Abb. 4.11: Signalflankentriggerung

4.4 Hinweise und Beispiele für die Triggersignalankopplung

Die Auswahl der richtigen Kopplung des Triggersignals an die Triggerschaltung erfordert einige grundsätzliche Funktionsbetrachtungen von Signalformen und Signalverformungen.

Bereits im 2. Hauptabschnitt und in den Darstellungen *Abb. 2.17* und *Abb. 2.13* wurde eingehend auf die Funktionen der verschiedenen Triggersignalkopplungen hingewiesen. Daher soll in diesem Abschnitt anhand verschiedener Versuchsbeschreibungen auf die Grenzen der einzelnen Kopplungsarten hingewiesen werden.

Funktion DC

Das Oszilloskop in *Abb. 2.15* stellt drei Kopplungsarten zur Verfügung. Die Funktion „DC“ überträgt alle Triggersignale ohne untere Frequenzbegrenzung und damit ohne Triggersignalverformung.

Der gewünschte Triggerzeitpunkt kann in der Triggerart TRIGG mit dem Triggerpegelsteller TRIGG LEVEL eingestellt werden. Mit diesem Steller wird der Gleichspannungswert vorgegeben, an dem das Triggern dann einsetzt, wenn die Amplitude des Messsignals diesen Gleichspannungspegel erreicht hat.

Zu beachten ist bei dieser Kopplungsart das Triggern von Signalen mit Gleichspannungsanteilen. Je höher der Gleichspannungsanteil ist, umso schwieriger ist es, auf einen bestimmten Spannungspunkt des überlagerten Wechselspannungssignals zu triggern.

Daher wird diese Kopplungsart nur für sehr langsame Zeitvorgänge oder niedrige Frequenzen der Triggersignale benutzt. Diese Kopplung eignet sich vor allem für rechteckförmige Impulse mit sehr niedriger Folgefrequenz (< 20 Hz). Rechtecksignale werden hierbei nicht verformt.

Ist ein Messsignal tiefer Frequenz einer hohen Gleichspannung überlagert, dann kann dieses Signal nur über ein externes, gleichspannungsfreies Triggersignal mit tiefer Frequenz getriggert werden.

Bei dieser Kopplung wirken sich Störspannungen mit niederen Frequenzen besonders nachteilig auf die Triggerung aus.

Versuch 1: Triggerung einer Mischspannung

Ein Wechselspannungssignal von $U_{ss} = 50$ mV wird einer hohen Gleichspannung von 500 mV überlagert. Es wird versucht, dieses Mischsignal darzustellen.

Damit die Gleichspannung mit übertragen wird, muss die Eingangskopplung des Vertikalverstärkers auf DC geschaltet werden.

Die Nulllinie des Y-Verstärkers wird mit Y-POS auf die unterste Linie des Bildschirmrasters abgestimmt.

Der Ablenkoeffizient wird auf 0,1 V/DIV eingestellt. Dies ergibt eine Auslenkung von fünf Rastern für den Gleichspannungsanteil und ca. ein halbes Raster darüber für die Wechselspannung. Danach das Messsignal anschließen. Als Triggerquelle wird INT gewählt.

In der Triggerart AUTO kann das Wechselspannungssignal nicht mehr getriggert werden. In der Triggerart TRIGG lässt sich das Signal mit Hilfe des Stellers TRIGG LEVEL gerade noch triggern.

Sobald ein zu messendes und damit zu triggendes Signal unter der Triggeransprechschwelle eines Oszilloskops liegt, wird es nicht mehr wirksam.

Funktion AC

In dieser Kopplungsart wird das Triggersignal über einen Koppelkondensator geführt, wodurch alle Gleichspannungsanteile vom Triggersignal getrennt werden. Dieser Kondensator hat für das Triggersignal eine Tiefpassfunktion. Daher werden alle Frequenzen

von Wechselspannungssignalen unter 20 Hz in der Amplitude abgeschwächt. Hinzu kommt bei tiefen Impulsfrequenzen die Verformung des Impulssignals.

Daher eignet sich diese Kopplung für alle Triggersignale oberhalb der unteren Frequenzgrenze bis zu der vom Hersteller angegebenen Grenzfrequenz der Triggerschaltung.

Versuch 2: Triggerung von Wechselspannungssignalen

Der Triggerbereich der Triggerkopplung AC soll überprüft werden. Hierzu wird ein Frequenzgenerator SINUS/RECHTECK an den Y-Eingang angeschlossen und auf ca. 100 Hz SINUS eingestellt.

In der Triggerart AUTO und Triggerquelle INT wird das Signal mit 3 bis 5 Perioden dargestellt.

Nun wird die Frequenz am Generator so lange heruntergedreht, bis das Signalbild nicht mehr getriggert wird (Nulllinie) oder nicht mehr stehen bleibt. Bei dieser Frequenz ist der unterste Übertragungsbereich der AC-Kopplung erreicht.

Der Versuch wird mit einem Rechtecksignal wiederholt. Hierbei kann der unterste Übertragungsbereich schon bei höherer Frequenz erreicht werden, weil das Rechtecksignal nicht nur in der Amplitude abgeschwächt wird, sondern auch durch die Integrationsfunktion des Kondensators mit dem nachfolgenden Eingangswiderstand der Triggerschaltung das Triggersignal verformt.

Dieser Versuch wird in der Triggerart TRIGG und dem einstellbaren Triggerpegel wiederholt. Auch hier kann es für den SINUS und das RECHTECK voneinander abweichende untere Grenzfrequenzen geben.

Funktion HF

Wie die Abb. 2.13 zeigt, wird bei der Triggerkopplung HF (Hochfrequenzkopplung) das Triggersignal über ein Hochpassfilter übertragen. Dadurch wird die untere Grenzfrequenz nach oben verschoben. Die obere Grenze des Durchlassbereichs wird, wie bei den anderen Triggerkopplungen, durch die Triggerschaltung bestimmt.

Der Einsatz dieser Kopplungsart ist dann zweckmäßig, wenn hochfrequente Messsignale mit niederfrequenten Störsignalen (Schwebungen durch Interferenzen, 50- bis 100-Hz-Brummspannungen) überlagert sind.

Durch den Hochpass werden diese niederen Frequenzen in der Amplitude bedämpft.

Die Triggerquelle LINE mit einer Triggerfrequenz von 50 Hz ist in Verbindung mit der Triggerkopplung HF nicht geeignet.

Versuch 3: Triggerung von hochfrequenten Signalen

Zur Bestimmung der untersten Frequenzgrenze, bei der die Triggerung des Oszilloskops aussetzt, können die Messungen aus Versuch 2 wiederholt werden. Hierbei

muss die unterste noch brauchbare Triggerfrequenz wesentlich höher liegen als bei der AC-Kopplung.

Versuch 4: Prüfung der Triggergrenze

In diesem Versuch wird die Wirkung der Triggerkopplung HF auf ein Messsignal mit überlagerter Brummspannung entsprechend Abb. 4.12 überprüft.

Zuerst wird versucht, mit der Triggerkopplung HF auf das höherfrequente Messsignal zu triggern.

Danach wird in die Triggerkopplung AC umgeschaltet und versucht, das Messsignal zu triggern.

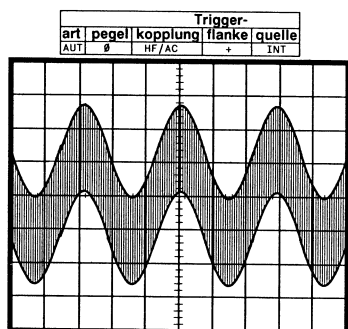


Abb. 4.12: HF-Signal mit 50-Hz-Störspannung

Hierbei besteht die Möglichkeit, dass wahlweise auf das Messsignal oder die Brummspannung getriggert wird oder beide Signale nicht getriggert werden können.

Die Umschaltung auf die Triggerkopplung DC und der Versuch, auf das Messsignal zu triggern, wird ebenfalls nicht gelingen. Die Signale werden wechselweise oder beide nicht getriggert. Wird die Zeitablenkung auf den Zeitbereich der Brummspannung eingestellt, dann wird auf dieses Störsignal einwandfrei getriggert werden können.

Abschließend eine Zusammenstellung der wichtigsten Anwendungsmerkmale der Triggerkopplungen (siehe folgende Tabelle).

T-Kopplung	unt. F.-Grenze	ob. F.-Grenze	Triggersignale
DC	0 Hz (Gleichsp.)	Herst.-Ang. beachten	alle Frequenzen keine Mischsignale
AC	ca. 20 Hz	Herst.-Ang. beachten	keine Gleichsp. keine tiefen Freq.
HF	> 100 Hz	Herst.-Ang. beachten	keine tiefen Freq. u. Signale mit Störs.

4.5 Dehnung des Zeitablenkoeffizienten

Die Zeitdehnung X-MAG (Abb. 2.15) ermöglicht es, die X-Verstärkung um den Faktor 10 zu erhöhen und somit das Oszillogramm zu dehnen. Diese Einstellmöglichkeit kann sowohl im Y-t-Betrieb als auch im XY-Betrieb vorgenommen werden. Die Zeitdehnung erfolgt immer von der Mitte des Bildschirms aus nach beiden Richtungen.

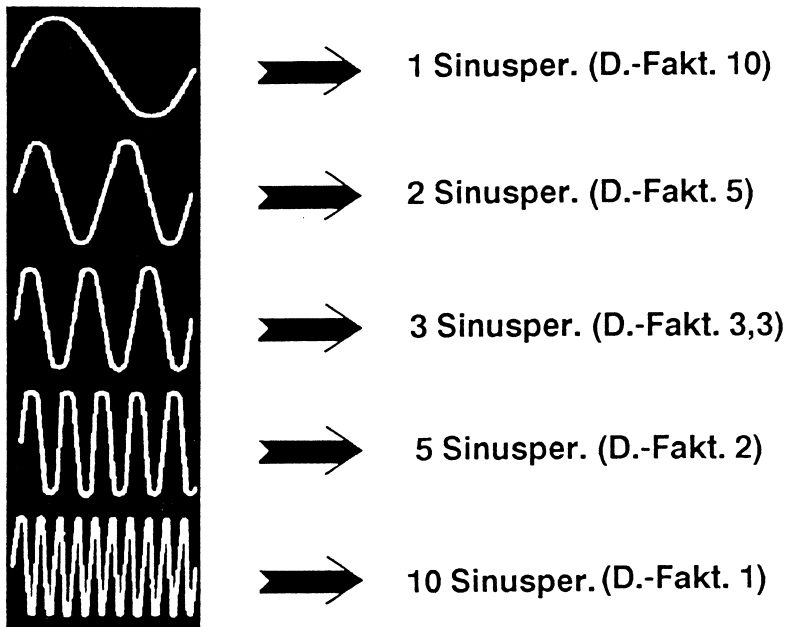


Abb. 4.13: Funktion der Zeitdehnung

Will man einen bestimmten Teil eines Messsignals genauer untersuchen, kann man mit Hilfe dieser Einrichtung das Signal dehnen. Mit der horizontalen Bildverschiebung (X-POS) wird der gewünschte Signalausschnitt in die Bildmitte geschoben.

Der eingestellte Zeitkoeffizient TIME/DIV gilt für den Faktor 1 der Zeitdehnung. Wird diese Stellung verlassen, verändert sich der Zeitfaktor. Durch die Zeitdehnung bekommt ein Zeitraster TIME/DIV einen anderen Wert.

Die folgende Tabelle soll als Beispiel für verschiedene Zeitkoeffizienten und Zeitdehnungsfaktoren die resultierenden Zeitkoeffizient aufzeigen (vgl. hierzu auch Abb. 4.13).

Zeitkoeffizient TIME/DIV	Resultierender Zeitkoeffizient				
	bei X-MAGN:	1	2	5	10
0,5 sec.		0,5s	0,25 s	0,1 s	0,05 s
0,2 sec.		0,2s	0,1 s	0,04 s	0,02 s
0,1 sec.		0,1 s	0,05 s	0,02 s	0,01 s
50 msec.		50 ms	25 ms	10 ms	5 ms
20 msec.		20 ms	10 ms	4 ms	2 ms
10 msec.		10 ms	5 ms	2 ms	1 ms
5 msec.		5 ms	2,5 ms	1 ms	0,5 ms
2 msec.		2 ms	1 ms	0,4 ms	0,2 ms
1 msec.		1 ms	0,5 ms	0,2 ms	0,1 ms
0,5 msec.		0,5 ms	0,25 ms	0,1 ms	0,05 ms
0,2 msec.		0,2 ms	0,1 ms	0,04 ms	0,02 ms
0,1 msec.		0,1 ms	0,05 ms	0,02 ms	0,01 ms
50 µsec.		50 µs	25 µs	10 µs	5 µs
20 µsec.		20 µs	10 µs	4 µs	2 µs
10 µsec.		10 µs	6 µs	2 µs	1 µs
5 µsec.		5 µs	2,5 µs	1 µs	0,5 µs
2 µsec.		2 µs	1 µs	0,4 µs	0,2 µs
1 µsec.		1 µs	0,5 µs	0,2 µs	0,1 µs
0,5 µsec.		0,5µs	0,25 µs	0,1 µs	0,05 µs

Versuch 1: Dehnung des Zeitmaßstabs

Entsprechend der Tabelle wird der langsamste Zeitkoeffizient eingestellt und mit der Zeitdehnungstaste der Faktor 10 eingeschaltet. Dieser Vorgang wird bei allen darauffolgenden Zeitkoeffizienten wiederholt.

Hierbei kann man feststellen, dass bei den langsamen Zeiten die Punktdarstellung bei angewähltem Dehnungsfaktor in eine Linie übergeht, weil beim angewähltem Zeitfaktor 10 pro Raster die Zeit 10-mal schneller wird.

Weiter wird man feststellen, dass bei schnellen Zeitkoeffizienten im Millisekunden- und Mikrosekundenbereich bei der Zeitdehnung die Helligkeit zunehmend geringer wird, auch bei voller Intensität.

Im Mikrosekundenbereich lässt sich der Elektronenstrahl bei Zeitdehnung überhaupt nicht mehr wahrnehmen.

4.6 Übungen zur Vertiefung

1. Wenn der Sägezahngenerator einmal getriggert ist, kann er nicht erneut getriggert werden, bevor der Ablenkvorgang beendet ist. Ein Triggerimpuls, der während des Verlaufs der Ablenkspannung auftritt, bleibt wirkungslos.

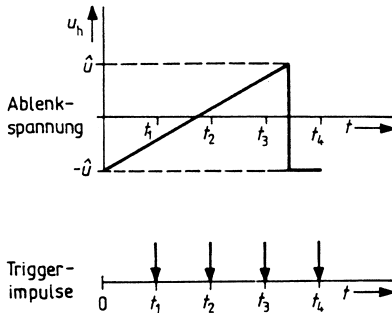


Abb. 4.14

Welche Wirkung hat der Triggerimpuls auf die Ablenkspannung in Abb. 4.14:

- Wenn er zur Zeit $t = t_2$ auftritt?
 - Wenn er zur Zeit $t = t_3$ auftritt?
 - Wenn er zur Zeit $t = t_4$ auftritt?
2. Der Zeitkoeffizient ist auf 0,5 s/DIV eingestellt. Gegeben ist die Abfolge der Triggerimpulse am Eingang des Sägezahngenerators in Abb. 4.15a.

In Abb. 4.15b ist die Horizontalablenkung des Leuchtflecks als Funktion der Zeit einzutragen!

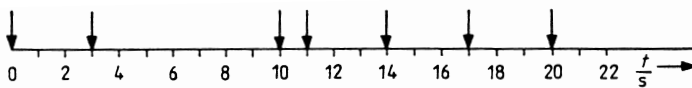


Abb. 4.15 a)

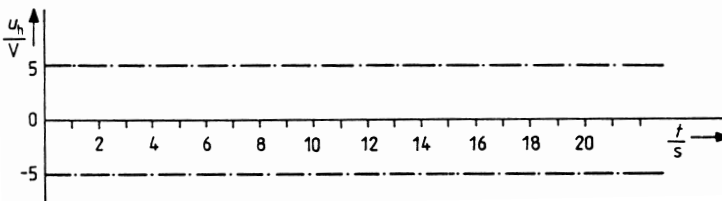


Abb. 4.15 b)

3. Wir wissen aus den Erläuterungen der vorhergehenden Kapitel, wie ein Sägezahn-generator funktioniert.

Die Ausgangsspannung dieses Generators steuert den Horizontalverstärker an, wenn eine Signalform als Funktion der Zeit auf dem Bildschirm sichtbar gemacht werden soll.

Tritt ein Triggerimpuls am Eingang des Sägezahngenerators auf, dann wird eine sägezahnförmige Ablenkspannung erzeugt, die den Leuchtfleck einmal über den Schirm ablenkt.

Wenn der nächste Triggerimpuls auftritt, wird die Ablenkspannung wieder getriggert, vorausgesetzt, der vorhergehende Sägezahnverlauf ist schon abgeschlossen.

a) Die Eingangsimpulse des Sägezahngenerators kommen von der

b) Wenn kein Triggersignal am Eingang der Triggerschaltung auftritt, wird auch kein Ausgangsimpuls erzeugt. Damit der Sägezahngenerator getriggert werden kann, muss ein am Eingang der Triggerschaltung vorhanden sein.

4. Der Zeitpunkt, zu dem das Triggersignal einen Triggerimpuls zur Steuerung des Sägezahngenerators auslöst, hängt von zwei Einstellfunktionen ab:

- Polarität der Triggerflanke
- Triggerpegel

Die erste Einstellfunktion bestimmt, ob die Ablenkung bei positiver oder negativer Steigung des Triggersignals einsetzt, d. h. bei ansteigender oder abfallender Flanke des Triggersignals.

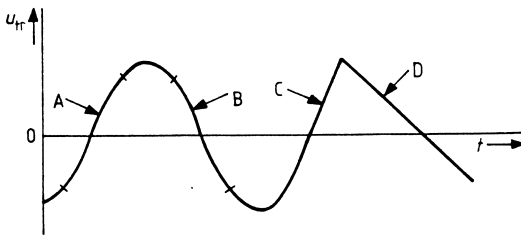


Abb. 4.16

Wird die Triggerflanke negativ eingestellt und entspricht das Triggersignal der Abb. 4.16, dann kann die Ablenkung nur in den Bereichen oder, nicht aber in den Bereichen oder getriggert werden.

5. Die zweite Einstellfunktion Triggerpegel bestimmt, bei welchem Spannungsniveau des Triggersignals ein Triggerimpuls ausgelöst wird. In dem Beispiel sind Triggerflanke und Triggerpegel so eingestellt, dass die Ablenkung in Punkt B der Abb. 4.17 durch das Triggersignal ausgelöst wird.

Welche Stellfunktion muss betätigt werden, damit die Ablenkung in Punkt A an-
statt in Punkt B triggert?

.....

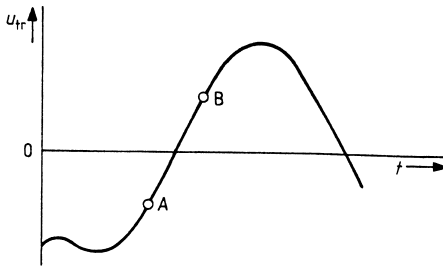


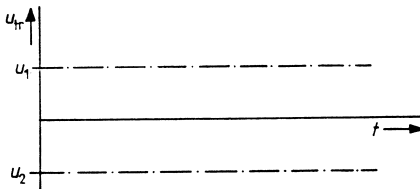
Abb. 4.17

6. Der Triggerpegel lässt sich entsprechend der *Abb. 4.18a* im Bereich zwischen den Spannungen U_1 und U_2 kontinuierlich einstellen. Eine Triggerrung ist nur dann möglich, wenn der Triggerpegel im Amplitudenbereich des Triggersignals liegt.

Bei welchem der in *Abb. 4.18b* eingezeichneten Triggerniveaus L_1 bis L_4 ist eine Triggerrung möglich?

.....

a)



b)

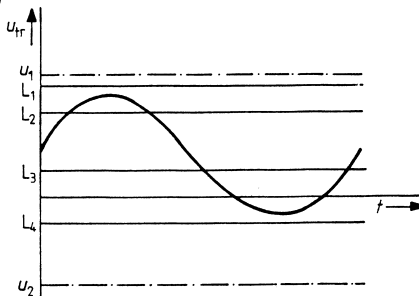


Abb. 4.18

7. Eine Sinusschwingung wird als Triggersignal eingesetzt. Die sich daraus ergebenden Triggerimpulse und die Ablenkspannung sind in *Abb. 4.19* dargestellt.

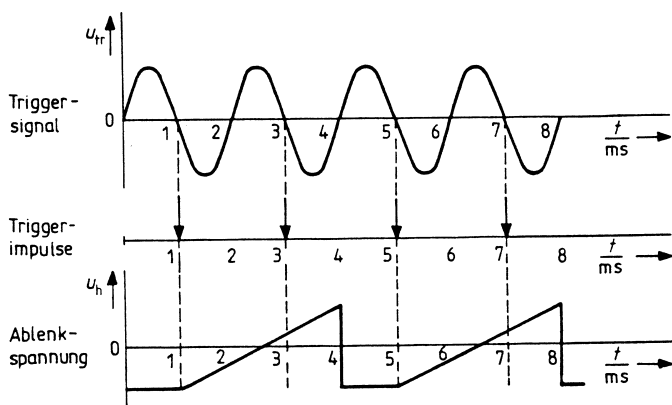


Abb. 4.19

Die Funktionen sind eingestellt:

- a) Triggerflanke
- b) Triggerpegel
- c) Zeitkoeffizient

8. Zu welchen Zeitpunkten in Abb. 4.20 wird der Sägezahn-generator durch die Impulse nicht getriggert?

- a) $t =$
- b) $t =$
- c) Begründung

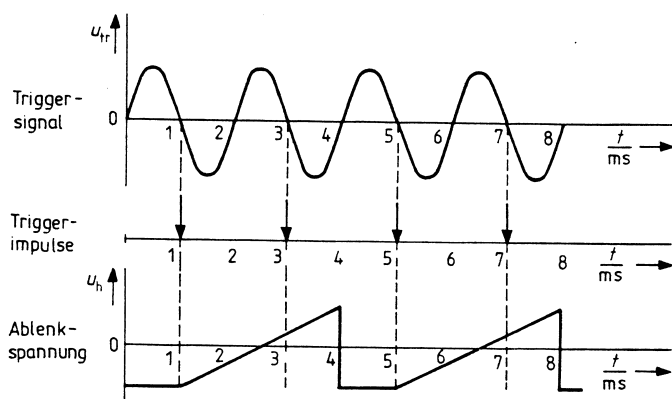


Abb. 4.20

9. In diesem Beispiel wird das Zusammenwirken von Triggerpegel und Triggerflanke geübt.

Gegeben ist in *Abb. 4.21a* der Zeitverlauf von $u_v = f(t)$.

Diese Spannung soll auch als Triggersignal verwendet werden.

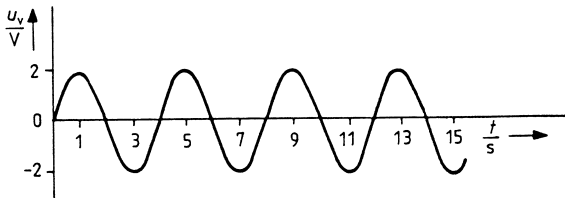


Abb. 4.21 a)

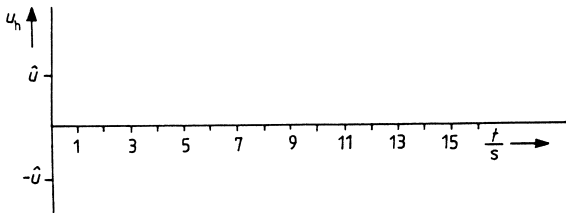


Abb. 4.21 b)

- Triggerpegel auf 0
- Triggerflanke auf +
- Zeitkoeffizient auf 0,5 s/DIV

Die erzeugte Ablenkspannung des Sägezahngenerators ist in *Abb. 4.21b* einzuzichnen!

10. In dieser Übung befindet sich der Leuchtfleck am linken Rand des Bildschirmrasters $u_h = -u$.

Die Ablenkspannung u_{ss} ist gerade so groß, dass der Leuchtfleck über die gesamte Breite des Rasters abgelenkt wird.

Ablenkkoeffizient: 1 V/DIV.

Die Spannung u_v und die Werte der Stellfunktionen entsprechen den Angaben aus Übung 9.

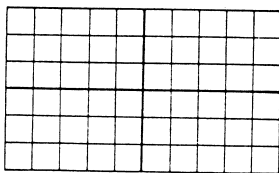


Abb. 4.22

In *Abb. 4.22* ist das auf dem Bildschirm erscheinende Bild einzuzichnen!

11. Der in Abb. 4.23 dargestellte Spannungsverlauf u_{tr} wird als Triggersignal eingesetzt.

In die folgende Tabelle sind die Einstellwerte für die Triggerflanke und den Triggerpegel einzutragen, wenn in den Punkten 1 bis 6 jeweils getriggert werden soll.

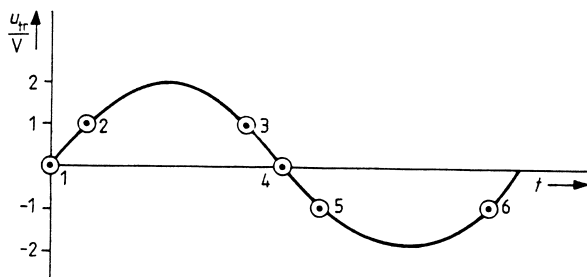


Abb. 4.23

Punkte	1	2	3	4	5	6
Flanke						
Pegel						

12. Der Spannungsverlauf u_{tr} aus der Übung 11 (Abb. 4.23) wird an den Vertikaleingang angeschlossen.

Die eingestellten Triggerfunktionen gewährleisten eine Triggerung in Punkt 3 des Signalverlaufs.

Der Zeitkoeffizient ist so eingestellt, dass genau eine Periode des Spannungsverlaufs dargestellt wird.

Durch entsprechende Wahl des Ablenkoeffizienten k_y wird eine Amplitude über 4 Raster geschrieben.

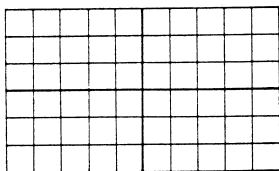


Abb. 4.24

Das aus den Einstellungen resultierende Signalbild auf dem Bildschirm ist in das Rasterdiagramm der Abb. 4.24 einzuzeichnen.

13. Am Schalter Triggerart lassen sich drei Arbeitsfunktionen wählen:

- Automatikbetrieb
- Normalbetrieb
- Einzelauslösung

Wie muss die Triggerart bei den folgenden Messproblemen eingestellt werden?

- a) Es soll geprüft werden, ob an einem Messpunkt ein Signal anliegt oder nicht.
Schalter Triggerart steht auf
- b) Die Frequenz eines Signals soll gemessen werden.
Schalter Triggerart steht auf
- c) Eine Nulllinie ohne Eingangssignal soll auf dem Bildschirm sichtbar gemacht werden.
Der Schalter Triggerart steht auf
- d) Das Messsignal auf dem Bildschirm soll mit einer langen Belichtungszeit fotografiert werden.
Der Schalter Triggerart steht auf

14. Die Triggerquelle ist auf LINE (Netz) geschaltet. Die 50-Hz-Netzspannung (Abb. 4.25) wird daher als Triggersignal eingesetzt.

- a) Wie oft in der Sekunde wird die Ablenkung getriggert, wenn die Ablenkzeit geringer ist als $1/50$ s?

.....

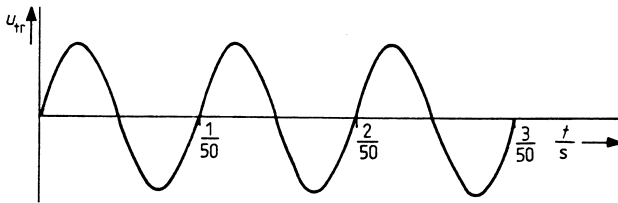


Abb. 4.25

- b) Wie oft in der Sekunde wird die Ablenkung getriggert, wenn die Ablenkzeit größer ist als $1/50$ s, aber geringer als $1/25$ s?

.....

15. Auf dem Bildschirm erscheint nur dann ein stehendes Bild, wenn die Ablenkung immer am selben Punkt innerhalb einer Periode des Vertikalsignals getriggert wird.

Stimmt die Ablenkfrequenz nicht mit der Messfrequenz oder ihrem ganzzahligen Vielfachen überein, läuft das Signalbild in horizontaler Richtung durch.

Der zeitliche Verlauf der Ablenkspannung und die Spannung am Vertikal-Eingang sind in Abb. 4.26 dargestellt.

Erscheint ein stehendes Bild auf dem Bildschirm?

Die Antwort ist zu begründen:

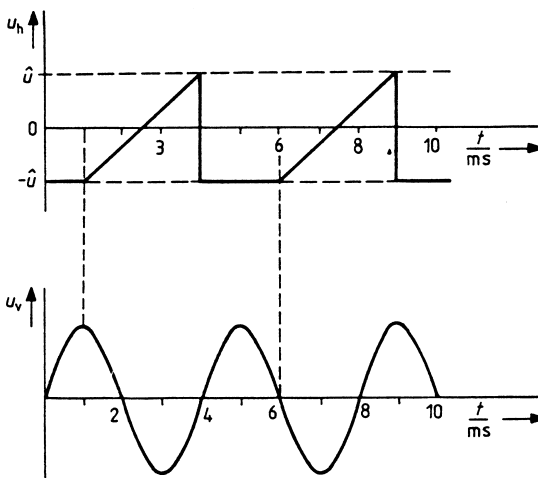


Abb. 4.26

16. Als Triggerquelle wurde die Funktion LINE gewählt. Der Bildschirm zeigt ein laufendes Signalbild.

Durch welche Maßnahme erhält man ein stehendes Signalbild?

17. Die Spannung in Abb. 4.27b liegt am externen Triggereingang und u_v am Vertikaleingang (Abb. 4.27a). Die Triggerquelle ist auf EXT geschaltet, die Triggerflanke steht auf „+“. Der Triggerpegel ist so eingestellt, dass der Triggerimpuls dann erzeugt wird, wenn u gerade -1 V beträgt.

In der Darstellung Abb. 4.27b sind die Stellen im Spannungsverlauf von u zu kennzeichnen, in denen getriggert wird.

Im Signalverlauf von u_v in Abb. 4.27a sind mit Pfeilen die Punkte zu kennzeichnen, bei denen die Ablenkung beginnt.

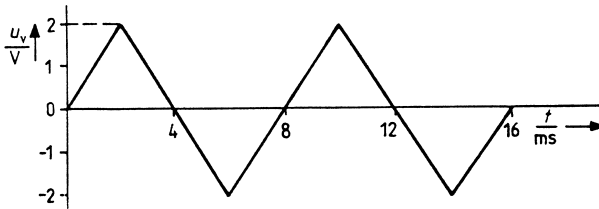


Abb. 4.27 a)

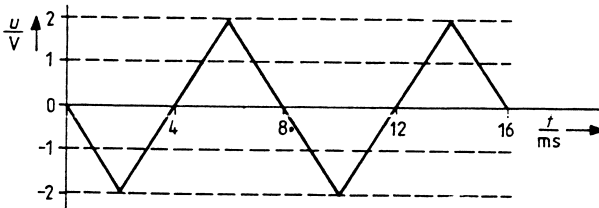


Abb. 4.27 b)

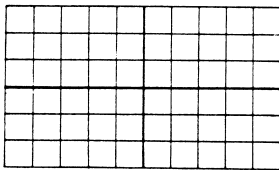


Abb. 4.27 c)

Das dargestellte Signalbild ist in das Diagramm *Abb. 4.27c* einzuzeichnen.

Zeitkoeffizient ist 1 ms/DIV.

Ablenkkoeffizient ist 1 V/DIV.

18. Die *Abb. 4.28* zeigt den Spannungsverlauf u_v am Vertikal-Eingang, und den Spannungsverlauf u des externen Triggersignals.

Die Triggerflanke steht auf „-“.

Der Triggerpegel ist so eingestellt, dass Triggerimpulse entstehen, wenn das Triggersignal gerade +1 V beträgt.

Zeitkoeffizient ist 1 ms/DIV.

Ablenkkoeffizient ist 1 V/DIV.

Die resultierenden Darstellungen sind einzuzeichnen!

In *Abb. 4.28a* für Triggerquelle in Stellung INT,

in *Abb. 4.28b* für Triggerquelle in Stellung EXT.

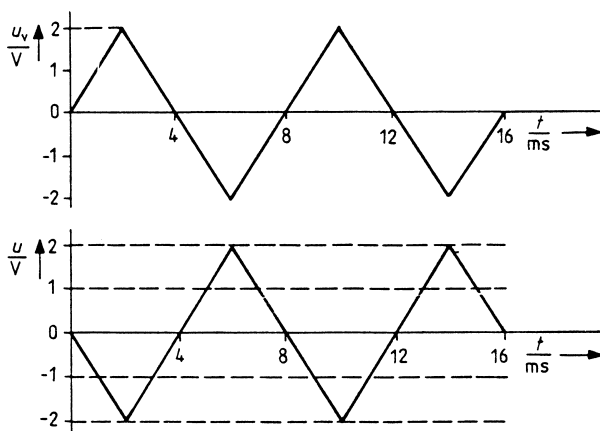
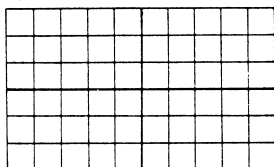


Abb. 4.28

a)



b)

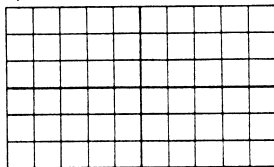


Abb. 4.28 a), b)

19. Die Ablenkung wird nicht getriggert in den Punkten des Triggersignals, in denen die Steigung Null ist. Als Eingangsspannung stehen die Signale u_1 und u_2 in Abb. 4.29a zur Verfügung.

Daraus ergibt sich das Schirmbild in Abb. 4.29b.

Folgende Fragen sind zu beantworten:

- Die Spannung u_1 ist verbunden mit
- Die Spannung u_2 ist verbunden mit
- Die Triggerquelle steht auf
- Die Triggerflanke steht auf
- Der Triggerpegel steht auf
- Der Zeitkoeffizient steht auf

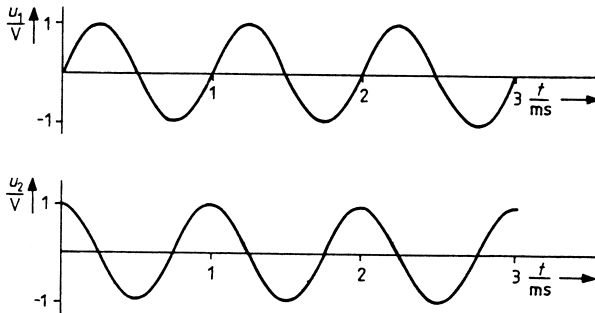


Abb. 4.29 a)

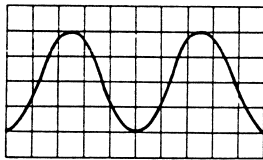


Abb. 4.29 b)

20. Will man auf dem Schirm ein periodisches Signal beobachten, muss die richtige Triggerquelle ausgewählt werden, so dass ein stehendes Bild entsteht.

In die nachstehende Tabelle sind alle möglichen und einstellbaren Triggerquellen einzutragen, die ein stehendes Signalbild gewährleisten.

	Vert.-Eingang	Ext. Trigg.-Eing.	Triggerquelle
a)	100 Hz	kein Signal
b)	56 Hz	28 Hz
c)	140 Hz	60 Hz
d)	1190 Hz	Gleichspannung

21. Der Gleichspannungsanteil des Triggersignals beeinflusst die Ablenkung nicht, wenn die Triggerkopplung in der Stellung

..... steht.

22. Wie muss bei sehr niedrigen Triggerfrequenzen die Triggerkopplung eingestellt werden?

Wie muss die Triggerkopplung eingestellt werden, wenn ein 5-Hz-Triggersignal zur Verfügung steht?

Die Antwort ist zu erläutern:

.....

23. Die Triggerfunktionen sind wie folgt eingestellt:

- Triggerpegel auf „0“
- Triggerflanke auf „+“

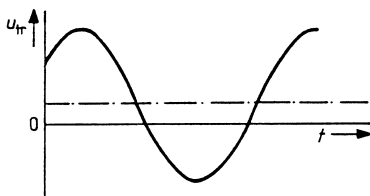


Abb. 4.30

In Abb. 4.30 sind an dem Signalverlauf die Punkte zu markieren, bei denen die Triggerung erfolgt (die gestrichelte Linie in dem Diagramm stellt den Gleichspannungsanteil dar):

- a) bei AC-Kopplung
- b) bei DC-Kopplung

24. Die Triggerquelle ist in Stellung INT geschaltet.

In der Abb. 4.31a ist der Signalverlauf auf dem Bildschirm angegeben. Die Eingangskopplung des Vertikal-Eingangs ist auf DC geschaltet, die Triggerankopplung auf AC.

DC- Eingang
AC-Ankopplung

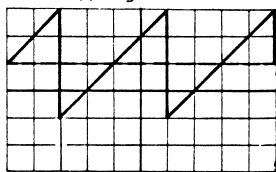


Abb. 4.31 a)

AC- Eingang
AC-Ankopplung

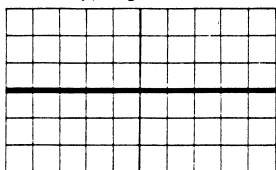


Abb. 4.31 b)

- a) Die Triggerflanke ist auf geschaltet.
 b) Der Triggerpegel steht hierbei auf
 c) Der Vertikal-Eingang wird nun auf AC umgeschaltet. Die Ablenkung wird noch immer zur selben Zeit getriggert, weil
 d) Der resultierende Signalverlauf ist in das Diagramm *Abb. 4.31b* einzuzeichnen.
25. Der Vertikal-Eingang ist auf DC geschaltet (vgl. *Abb. 4.32a*). Die Triggerkopplung auf AC.

Die Triggerkopplung wird auf DC umgeschaltet.

DC - Eingang
AC - Ankopplung

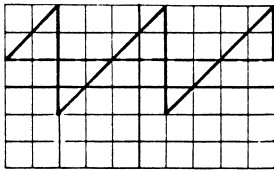


Abb. 4.32 a)

AC - Eingang
AC - Ankopplung

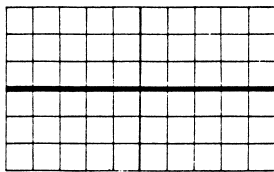


Abb. 4.32 b)

- a) Warum verschiebt sich der Signalverlauf nicht in vertikaler Richtung?

 b) Warum verschiebt sich der Signalverlauf in horizontaler Richtung?

 c) Der resultierende Signalverlauf ist in das Diagramm *Abb. 4.32b* einzuzeichnen.
26. Die Helltastung bewirkt, dass der Leuchtfleck nur während des Hinlaufs sichtbar wird. In der übrigen Zeit wird die Intensität des Elektronenstrahls zurückgenommen, und der Leuchtfleck bleibt unsichtbar. In *Abb. 4.33* ist der Ablenksägezahn in zweimaliger Wiederholung dargestellt.

Bei sehr hohen Ablenkgeschwindigkeiten kann die Zeit für den Rücklauf nicht mehr vernachlässigt werden.

In das Diagramm der *Abb. 4.33* sind die Abschnitte der Hell- und Dunkeltastung einzutragen.

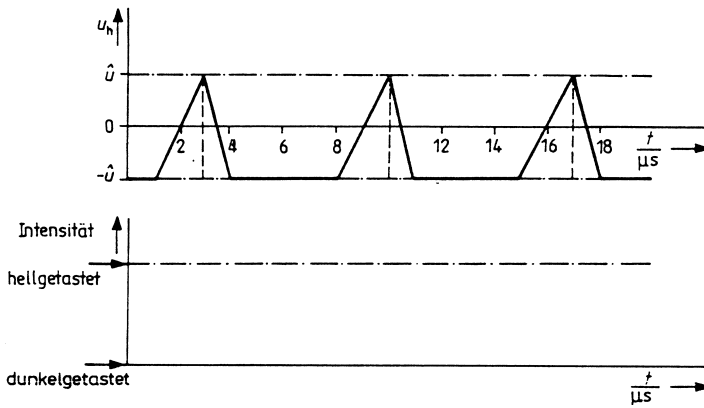


Abb. 4.33

27. Auf dem Bildschirm ist der Signalverlauf der Abb. 4.34 sichtbar. Die Dehnung X-MAGN wird von einfach auf fünffach umgeschaltet.

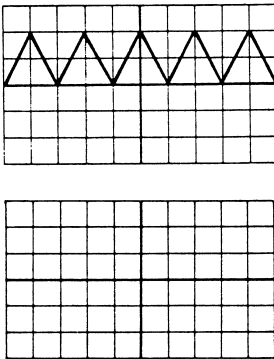


Abb. 4.34

In das leere Diagramm ist der neue Signalverlauf einzuzeichnen.

28. In der Übung 27 war der Zeitkoeffizient auf 2 ms/DIV eingestellt. Vor dem Umschalten der Dehnung benötigte der Leuchtpunkt vom linken zum rechten Rasterrand insgesamt $t = 20$ ms. Nach Umschalten der Dehnung auf das Fünffache braucht der Leuchtpunkt $t = \dots\dots\dots$ ms.

Das Ergebnis ist zu erläutern:

.....

Wie groß ist in der fünffachen Dehnung der tatsächliche Zeitkoeffizient?

..... /DIV.

Lösungen ab Seite 224

5 Messungen mit Zweikanaloszilloskop

Zur gleichzeitigen Darstellung von zwei periodischen Vorgängen benötigt man ein Zweistrahloszilloskop oder ein Zweikanaloszilloskop. Dadurch besteht die Möglichkeit, zwischen zwei Messsignalen, z. B. Eingangs- und Ausgangsfunktion, Vergleiche anzustellen zwischen Signalform, Signalamplitude, Phasenlage und zeitlichem Verlauf. Bevor wir auf den Aufbau und die Betriebsarten näher eingehen, wollen wir kurz die Begriffe Zweistrahl und Zweikanal erläutern.

Zweistrahloszilloskope enthalten eine Elektronenstrahlröhre mit zwei Strahlsystemen und zwei getrennte Y-Verstärker. Die beiden Elektronenstrahlen werden in der Röhre meist mit einer gemeinsamen Katode erzeugt und anschließend geteilt (Split-Beam-Technik). Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass die gemeinsame X-Ablenkung besonders genau erfolgt und damit ein guter Vergleich der beiden Signalspannungen möglich ist.

Der Begriff Zweikanaloszilloskop besagt, dass es sich bei der Elektronenstrahlröhre um eine Einstrahlröhre mit einem vertikalen und einem horizontalen Ablenkplattenpaar handelt. Das vertikale Ablenkplattenpaar wird von einem Endverstärker angesteuert. Die Zweikanalardarstellung wird mit einer elektronischen Umschaltung zwischen den beiden Signalen aus den vertikalen Vorverstärkern erreicht (Abb. 5.1).

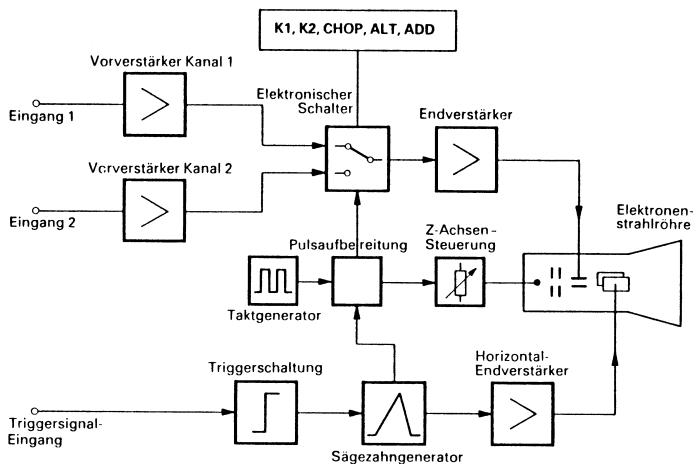


Abb. 5.1:
Blockschema
eines Zweikanal-
oszilloskops

Jeder Kanal des Zweikanaloszilloskops hat die bereits erwähnten Möglichkeiten der Eingangskopplung, der vertikalen Positionsregelung, der Teilung des Eingangssignals und der Polaritätsumschaltung. Damit stellt jeder Messkanal einen unabhängigen, in sich geschlossenen Vorverstärker dar. Die Vorverstärker sind über einen elektronischen Schalter mit dem vertikalen Endverstärker verbunden. Verbindet der Schalter den Vorverstärker 1 mit dem Endverstärker, dann wird das Signal von Kanal 1 im Endverstärker verstärkt und auf der Elektronenstrahlröhre dargestellt. Entsprechend wird nur Kanal 2 dargestellt, wenn der Schalter in die zweite Stellung wechselt.

Sollen zwei Signale mit einem Zweikanaloszilloskop gleichzeitig dargestellt werden, dann geschieht das immer im Zeitmultiplex-Verfahren. Da nur ein Elektronenstrahl zur Verfügung steht, muss dieser unter Ausnutzung der Trägheit des menschlichen Auges von einem Signal zum anderen umgeschaltet werden. Man unterscheidet bei der Umschaltung zwei Betriebsarten: die Umschaltung mit fester Umschaltfrequenz, den sogenannten chopped (zerhackt) Betrieb, und die ablenksynchrone Umschaltung (alternierender Betrieb).

5.1 Betriebsarten

Wie in Abb. 5.1 dargestellt, bietet das Zweikanaloszilloskop fünf verschiedene Betriebsarten zur Darstellung der Messsignale an (K1, K2, CHOP, ALT, ADD).

Einzelkanalbetrieb

Die wahlweise Darstellung von nur einem Messsignal bieten z. B. die Funktionen A und B (Abb. 5.2).

In der Funktion A wird nur das am Messkanal A angeschlossene Messsignal auf dem Bildschirm dargestellt. Wenn auf dieses Messsignal intern getriggert werden soll, dann muss A TRIGG. geschaltet werden. Nur in dieser Funktion kann die Triggereinheit auf das Messsignal triggern (Triggerquelle in Stellung INT).

Ist die Funktionstaste B betätigt, dann wird nur das am Messkanal B angeschlossene Messsignal auf dem Bildschirm dargestellt. Wenn auf dieses Messsignal intern getriggert werden soll, dann muss B TRIGG. geschaltet werden. Nur in dieser Funktion kann die Triggereinheit auf das Messsignal triggern (Triggerquelle in Stellung INT).

Versuch 1: Kanaltriggerung

Entsprechend der Abb. 5.2 wird der Funktionsgenerator an das Oszilloskop angeschlossen. Die Signalamplitude beträgt etwa zwei Raster. Der Zeitkoeffizient wird entsprechend der Messfrequenz eingestellt. Als erste Betriebsart wird die Taste A betätigt. Wird dazu die Triggerfunktion TRIGG. A betätigt, muss auf dem Bildschirm ein stehendes Signaltbild dargestellt werden.

Wird die Triggerfunktion auf den Kanal B (TRIGG B) umgeschaltet, läuft das Signaltbild durch.

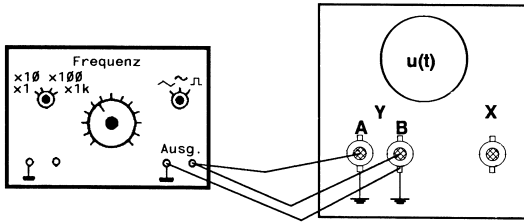


Abb. 5.2: Zweikanalbetrieb

Wird die Eingangspolarität von Kanal A in Stellung OFF. geschaltet, dann wird das Messsignal abgeschaltet (Nulllinie). In der Stellung -A erscheint das Messsignal mit einer halben Periode verschoben (Umkehrung).

Umschaltung mit fester Umschaltfrequenz

In der Betriebsart CHOP (chopped) wird der elektronische Schalter durch einen freilaufenden Taktgenerator gesteuert und schaltet z. B. bei jeder positiven Halbwelle des Taktsignals auf Kanal A und bei jeder negativen auf Kanal B. Jeder Kanal wird also für die Dauer der halben Periodendauer des Taktsignals zum Vertikalverstärker geschaltet und auf dem Bildschirm dargestellt. Es werden immer nur Signalausschnitte der beiden Eingangssignale dargestellt. Abb. 5.3a verdeutlicht diese Funktion.

Das Eingangssignal von Kanal A soll eine Sinusfunktion und das Signal von Kanal B eine Rechteckfunktion sein. Der freilaufende Taktgenerator soll eine Taktfrequenz von etwa 1 MHz haben, die nicht synchron mit den Eingangssignalen ist. Bei einer Taktfrequenz von 1 MHz (1 μ s Periodendauer) wird von einem zum anderen Kanal nach jeweils 500 ns umgeschaltet. Vorausgesetzt, dass die positiven Halbwellen den Schalter auf Kanal A schalten und die negativen auf Kanal B, wird sich folgendes Bild ergeben:

Nacheinander werden abwechselnd Funktionsausschnitte der Sinusschwingung und der Rechteckfunktion sichtbar. Die beiden Funktionen werden während jeder Horizontalablenkung nur ausschnittsweise dargestellt (Oszillogramm). Da die folgenden Horizontalablenkungen immer wieder andere Funktionsteile darstellen – es besteht kein Bezug zwischen der Horizontalablenkung und dem freilaufenden Taktsignal –, werden sich die Signalfunktionen über mehrere Zeitabläufe zusammensetzen und eine geschlossene Kurvenform bilden.

Damit die Umschaltung vom einen zum anderen Signalausschnitt, die der Elektronenstrahl in Form von senkrechten Linien darstellt, nicht sichtbar wird, ist während der Umschaltung eine Dunkeltastung der Bildröhre mit einbezogen. Die Dunkeltastung beginnt kurz vor und endet kurz nach der Umschaltung.

Die Betriebsart CHOP empfiehlt sich für die Zweikanaldarstellung bei langsamen Ablenkzeiten und entsprechenden Messfrequenzen.

Die Chop-Frequenzen liegen abhängig von der Grenzfrequenz des Vertikalverstärkers zwischen 500 kHz und 5 MHz.

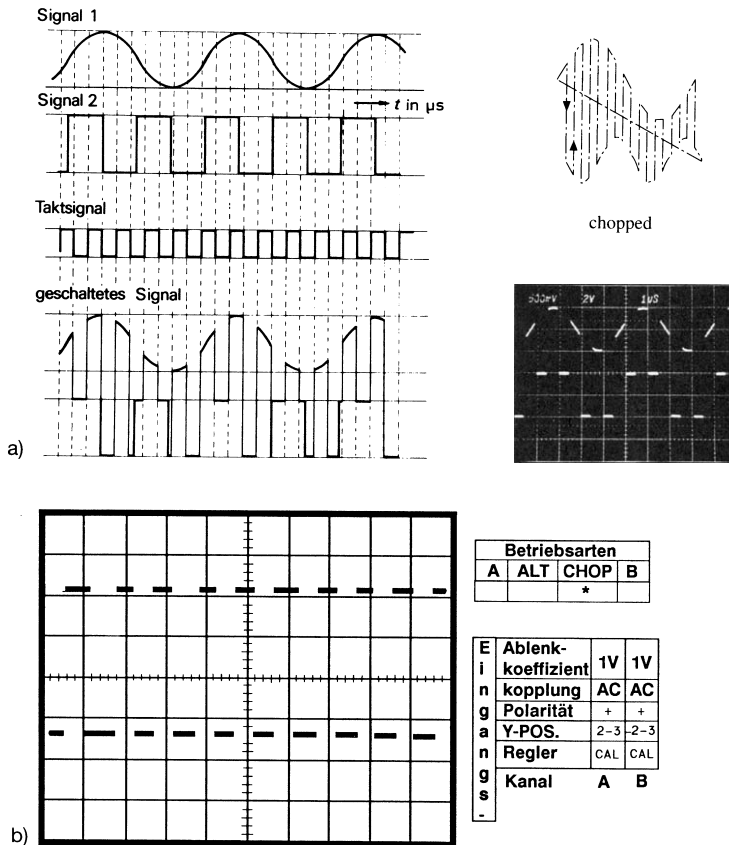


Abb. 5.3: a) Funktion der Chopped-Betriebsart bei Sinus- und Rechteck-Signaldarstellung b) Zerhackte Umschaltung ohne Signal

Die Betriebsart CHOP ist bis zu Signalfrequenzen von 50 kHz bis 100 kHz geeignet, da nur bis zu diesem Frequenzbereich lückenlose Signalverläufe dargestellt werden. Die Umschaltfrequenz muss im Verhältnis zu den Messsignalfrequenzen ausreichend groß sein für eine lückenlose Darstellung.

Wird das gechoppte Signal zur Triggerung verwendet, so führt das in der Regel dazu, dass auf die Umschaltfrequenz getriggert wird und dass das Signal nicht mehr zu erkennen ist. Hierbei ist es gleichgültig, ob die interne Triggerung von Kanal A oder Kanal B aus erfolgt.

Versuch 2: Chop-Betrieb

Mit dem Messaufbau aus Abb. 5.2 werden folgende Messversuche durchgeführt: Zuerst werden in der Betriebsart CHOP die beiden auf dem Bildschirm sichtbaren Signalbilder so eingestellt, dass der Messkanal A auf der oberen Bildschirmhälfte dargestellt wird, der Messkanal B auf der unteren Bildschirmhälfte.

Der Zeitkoeffizient wird auf die langsamste Zeit (0,5 s/DIV) eingestellt. Da auf beiden Messkanälen das gleiche Signal anliegt, wird in der oberen und unteren Bildschirmhälfte jeweils ein zwei Raster hoher vertikaler Strich synchron von links nach rechts wandern.

Wird der Zeitkoeffizient-Schalter nach schnelleren Ablenkzeiten gedreht, wird das Signal entsprechend gedehnt. In den letzten Stellungen (0,5 μ s bis 2 μ s) kann dann die Auflösung nach der Chopper-Frequenz sichtbar werden. Die Messfrequenz sollte hierbei nicht höher als 1 kHz sein. Allerdings wird auch bei maximaler Intensität das Signalbild sehr dunkel.

Am deutlichsten wird die Chopper-Frequenz sichtbar, wenn man auf kein Signal triggert (vgl. Abb. 5.3b).

Ablenksynchrone Umschaltung

Zur Triggerrung höherer Messfrequenzen empfiehlt sich die Betriebsart ALT (alternierende Umschaltung). In dieser Betriebsart wird der elektronische Schalter, der die Signale zum Vertikal-Endverstärker schaltet, von der Zeitablenkung gesteuert. Jeweils nach einem vollständigen Ablenkzyklus wird die Umschaltung von einem auf den anderen Kanal vorgenommen. Die einzelnen Signale werden während einer gesamten Ablenkung über den Bildschirm ohne Unterbrechung dargestellt. Hat die Horizontalablenkung den rechten Bildschirmrand erreicht, erfolgt die Umschaltung auf den anderen Kanal, dessen Signal danach wiederum für einen vollständigen Ablenkzyklus dargestellt wird. Die Funktion der Betriebsart „alternierende Umschaltung“ zeigt die Abb. 5.4a. Kanal A hat als Eingangssignal eine Dreiecksfunktion und Kanal B eine Rechteckfunktion.

Für die Horizontalablenkung wird eine Sägezahnfunktion benutzt. Hat der Sägezahn sein Maximum erreicht, ist der Strahl horizontal über den Bildschirm abgelenkt worden und befindet sich am rechten Bildschirmrand. Zu diesem Zeitpunkt wirkt die Kanalum-schaltung.

Diese Betriebsart hat bei langsamen Ablenkzeiten ein verstärktes Flimmern zur Folge, das durch die Halbierung der Wiederholfrequenz bedingt ist.

Wichtig ist bei der Betriebsart ALT die Festlegung der richtigen Triggerquelle, wenn ein zeitlicher Bezug zwischen den beiden Signalverläufen hergestellt werden soll. Dies ist nur dann möglich, wenn folgende Messregeln beachtet werden:

- Die Triggerrung muss immer vom gleichen Kanal aus erfolgen.
- Die Messsignale Y_1 (Kanal A) und Y_2 (Kanal B) müssen periodisch sein.
- Die Messsignale Y_1 und Y_2 müssen zeitsynchron zueinander sein (Messfrequenz-verhältnis muss ganzzahlig sein).

Bei Nichtbeachtung dieser Regeln geht der zeitliche Bezug verloren!

Die Umschaltung von der Betriebsart CHOP auf die Betriebsart ALT erfolgt bei manchen Oszilloskopentypen automatisch, je nach Signalfrequenz.

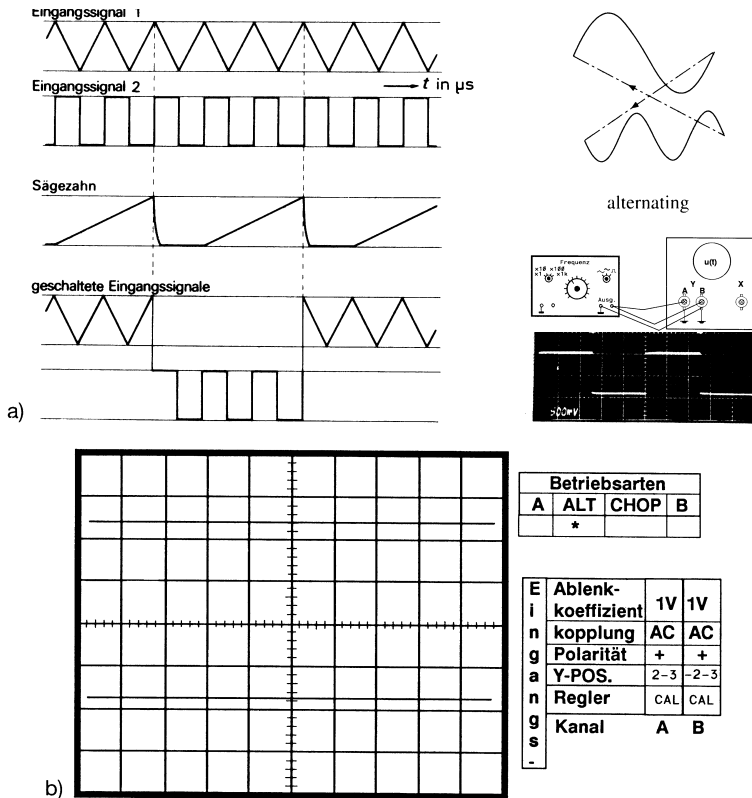


Abb. 5.4: a) Funktion der alternierenden Betriebsart bei Dreieck- und Rechteck-Signaldarstellung b) Alternierende Umschaltung ohne Signal

Versuch 3: Alternierende Kanaldarstellung

Ausgehend von dem Messaufbau des Versuchs 2, wird auf die Betriebsart ALT umgeschaltet und der Zeitkoeffizient auf 0,5 s/DIV eingestellt. Auf dem Bildschirm kann man nun sehen, dass abwechselnd auf der oberen und unteren Bildschirmhälfte immer nur ein senkrechter Strich über den Bildschirm wandert.

Wird der Zeitkoeffizient nach schnelleren Zeiten gedreht, werden beide Signalbilder gedehnt und dunkler, bis zwei Striche gerade noch sichtbar sind (Abb. 5.4b).

Signaladdition

In der Betriebsart ADD werden die Signale der Vorverstärker A und B addiert ($A+B$) und anschließend dem Endverstärker zugeführt. In Kombination mit der Wahl der Polarität des Eingangssignals von Kanal A und B ergeben sich folgende Betriebsarten:

Polarität A	Polarität B	ADD	Betriebsart
A	B	Ein	$A + B$
A	$-B$	Ein	$A + (-B) = A - B$
$-A$	B	Ein	$(-A) + B = B - A$
$-A$	$-B$	Ein	$(-A) + (-B)$

Werden die mittleren Kombinationen der Tabelle eingestellt, wirken beide Vertikalvorverstärker bei gleichen Ablenkkoeffizienten und sorgfältigem Abgleich der Feineinstellung wie ein Differenzverstärker. Die Messmöglichkeiten werden im folgenden Abschnitt näher beschrieben.

Versuch 4: Addition der Messsignale

Die Addition der Messsignale mit den Kombinationen der Polaritätsumschaltung lässt sich am einfachsten mit einer Gleichspannung durchführen.

Auf beide Messeingänge (A und B) wird eine Gleichspannung von +2 V geschaltet, bei einem Ablenkkoeffizienten von 0,5 V/DIV. In der Betriebsart ADD wird die Nulllinie genau auf die unterste Rasterlinie des Bildschirms eingestellt.

Danach werden folgende Einstellungen vorgenommen und die resultierende Gleichspannung am Bildschirm abgelesen:

Kanal A	+2 V (Pol. A)	+2 V (Pol. A)	+2 V (Pol. A)
Kanal B	0 V (Pol. OFF)	-2 V (Pol. -B)	+2 V (Pol. B)

Anzeige	+2 V (4 Raster)	0 V (Nulllinie)	+4 V (8 Raster)

Nulllinie auf die oberste Rasterlinie des Bildschirms einstellen:

Kanal A	0 V (Pol. OFF)	-2 V (Pol. -A)	-2 V (Pol. -A)
Kanal B	-2 V (Pol. -B)	+2 V (Pol. B)	-2 V (Pol. -B)

Anzeige	-2 V (4 Raster)	0 V (Nulllinie)	-4 V (8 Raster)

5.2 Differenzmessungen

Die Funktionen $A - B$ oder $B - A$ in der Betriebsart ADD sind vor allem bei Messungen sinnvoll, wenn die Spannungsdifferenz zwischen zwei Messpunkten abgegriffen werden

muss, die beide Spannung gegen eine gemeinsame Masse oder Erde führen, z. B. wenn die Ausgangsspannung im Nullzweig einer Messbrücke bestimmt werden soll.

Die Differenzmessung hat dann den Vorteil, dass gemeinsam überlagerte Störspannungen oder Gleichspannungen durch diesen Messvorgang unterdrückt werden (Gleichtaktunterdrückung).

Ein Beispiel soll dies verdeutlichen:

Die Spannungsdifferenz von zwei Messsignalen, die von einer 50-Hz-Störspannung überlagert sind, soll gemessen werden. Die Abb. 5.5 zeigt die gemeinsame Störspannung mit 5 V. Die Messspannungen $U_1 = 2\text{ V}$ und $U_2 = 3\text{ V}$ werden über Kanal A (U_1) und Kanal B (U_2) gemessen. Weil die Spannung U_2 die höhere Spannung ist, wird $B - A$ in der Betriebsart ADD gemessen. Polarität von Kanal A ist $-Y$, Polarität von Kanal B ist $+Y$.

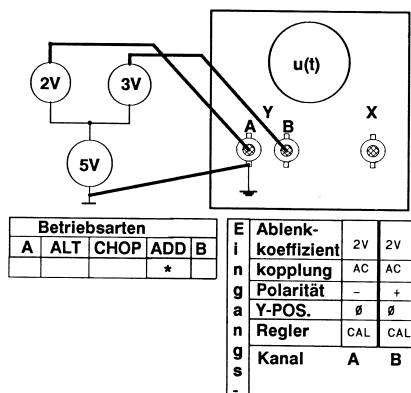


Abb. 5.5: Messen von Differenzspannungen

In beiden Messzweigen addieren sich die Störspannung und die zu messende Spannung wie folgt:

$$5\text{ V} + 3\text{ V} = 8\text{ V an Kanal B}$$

$$B - A = 8\text{ V} - 7\text{ V} = 1\text{ V}$$

$$5\text{ V} + 2\text{ V} = 7\text{ V an Kanal A}$$

Aus diesem Beispiel ersehen wir, dass nur die Differenzspannung zwischen den beiden Messsignalen von $3\text{ V} - 2\text{ V} = 1\text{ V}$ gemessen wird, da sich die gemeinsame Störspannung bei der Differenzmessung ($5\text{ V} - 5\text{ V} = 0\text{ V}$) aufhebt.

Da man vielfach die Differenzmessung bei sehr kleinen Messsignalen im Millivoltbereich mit großem Innenwiderstand und hohen Störspannungen messen muss, sollte man folgende Hinweise beachten (vgl. Abb. 5.6):

Die richtige Masseverbindung ist dann hergestellt, wenn die benutzten Tastköpfe oder Kabel an den Eingängen des Oszilloskops geerdet und die Abschirmungen am anderen Kabelende verbunden sind.

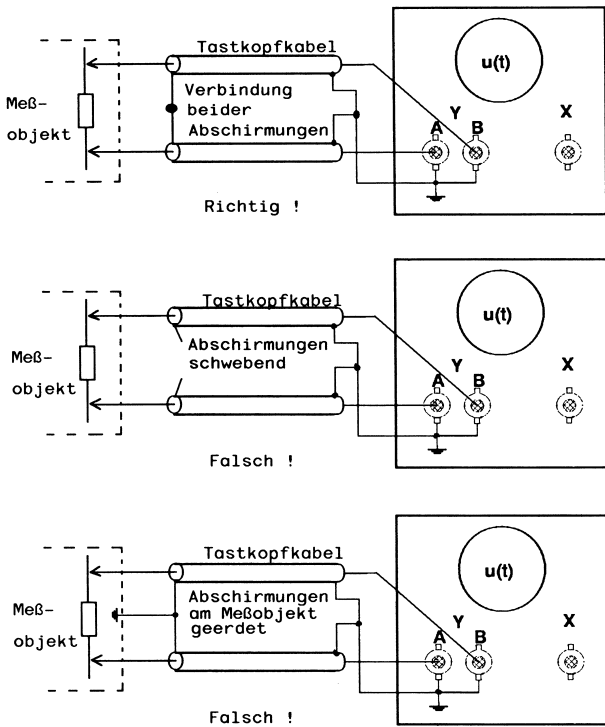


Abb. 5.6:
Messkabelanschlüsse
bei Zweikanalmes-
sungen

Die Abschirmungen dürfen nicht an die Masse des Messobjekts gelegt werden, da dadurch Brummschleifen entstehen können, und sie dürfen auch nicht miteinander verbunden sein, sonst können sie Streusignale aufnehmen.

Die Messkabel sollen so kurz wie möglich sein, in ihren Abmessungen gleiche Länge und gleiche Übertragungseigenschaften aufweisen und nicht an Störsignalquellen vorbeigelegt werden.

Hierzu ein praktisches Beispiel:

In der Phasenanschnittsteuerung (Abb. 5.7) soll die Spannung über einen DIAC gemessen werden.

Die Messpunkte über den DIAC sind massefrei. Mit einem Oszilloskop-Tastkopf würde mit dem Masseanschluss der Messleitung einer der Messpunkte kurzgeschlossen.

Im Zweikanalbetrieb wird ein Messpunkt an den Signaleingang Y_A und der zweite Messpunkt an den Signaleingang Y_B des Oszilloskops angeschlossen. Beide Spannungen werden gegen Bezugspotenzial (Masse) der Schaltung gemessen.

Das Oszilloskop wird hierbei im Differenzbetrieb A–B geschaltet. Die Signale von A und B werden voneinander subtrahiert. Somit wird der Spannungsfall über den DIAC gemessen.

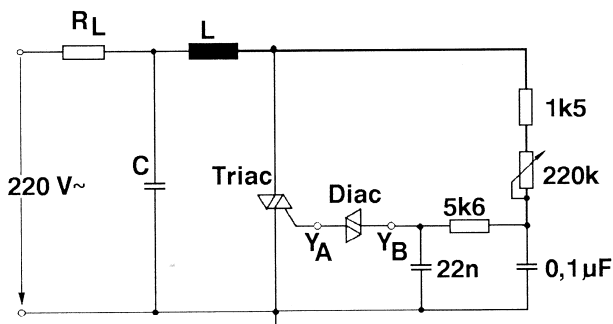


Abb. 5.7: Beispiel für Differenzmessung

5.3 Phasendifferenzmessung

Bevor die eigentliche Messung im Zweikanalbetrieb mit dem in *Abb. 2.15* dargestellten Oszilloskop beschrieben wird, kurz eine Erläuterung der Bedienelemente in *Abb. 5.8a* für diese Betriebsarten.

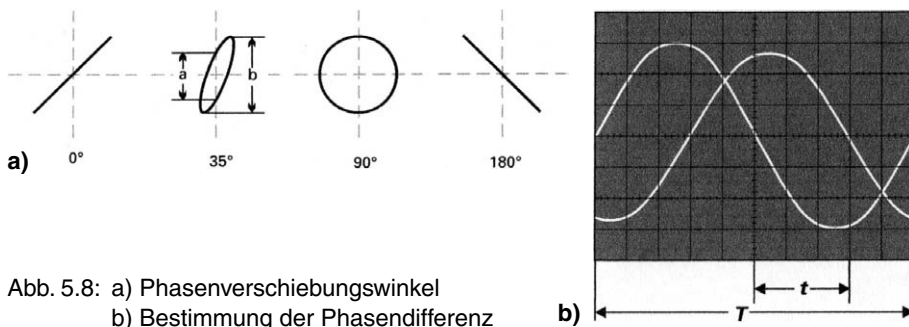


Abb. 5.8: a) Phasenverschiebungswinkel
b) Bestimmung der Phasendifferenz

Betriebsart	Taste TRIG. I/II(15)	DUAL(16)	ADD(17)	ALT(22)	INV(35)
Kanal CH I	nicht gedrückt	nicht gedrückt	nicht gedrückt	nicht gedrückt	nicht gedrückt
Kanal CH II	gedrückt	nicht gedrückt	nicht gedrückt	nicht gedrückt	nicht gedrückt
CHOP	CH I oder CH II	gedrückt	gedrückt	nicht gedrückt	nicht gedrückt
ALT	CH I oder CH II	gedrückt	nicht gedrückt	gedrückt	nicht gedrückt
ADD	CH I oder CH II	gedrückt	gedrückt	nicht gedrückt	nicht gedrückt
Diff.-Betr.	CH I oder CH II	gedrückt	gedrückt	nicht gedrückt	gedrückt

Eine größere Phasendifferenz zwischen zwei Eingangssignalen gleicher Frequenz und Form lässt sich im Zweikanalbetrieb (Taste DUAL gedrückt) am Bildschirm messen. Die Zeitablenkung wird dabei von dem Signal getriggert, das als Bezug (Phasenlage

0) dient. Das andere Signal kann dann einen vor- oder nachteilenden Phasenwinkel haben. Für Frequenzen >1 kHz wird alternierende Kanalumschaltung gewählt; für Frequenzen <1 kHz ist der Chopper-Betrieb geeigneter (weniger Flackern). Die Ablesegenauigkeit ist hoch, wenn auf dem Bildschirm nicht mehr als eine Periode und gleiche Amplitudenhöhe bei beiden Signalen eingestellt wird (Abb. 5.8a). Zu dieser Einstellung können ohne Ergebnisbeeinflussung auch die Feinregler für Amplitude, Zeitablenkung und LEVEL eingesetzt werden. Beide Zeitlinien werden vor der Messung mit den Y-POS-Stellern auf die horizontale Raster-Mittellinie eingestellt. Bei sinusförmigen Signalen misst man den Abstand der Nulldurchgänge, die Amplitudenspitzen sind weniger geeignet. Ist ein sinusförmiges Signal durch geradzahlige Harmonische merklich verzerrt (Halbwellen nicht spiegelbildlich zur X-Achse), oder ist eine Offset-Gleichspannung vorhanden, empfiehlt sich AC-Kopplung für beide Kanäle. Bei Impulssignalen gleicher Form misst man die Flankenabstände.

Im Beispiel der Abb. 5.8b ist $t = 3$ cm und $T = 10$ cm. Daraus errechnet sich eine Phasendifferenz in Winkelgraden von:

$$\varphi^\circ = t/T \cdot 3600 = 3/10 \cdot 3600 = 108^\circ$$

oder in Bogengrad ausgedrückt:

$$\text{arc } \varphi^\circ = t/T \cdot 2\pi = 3/10 \cdot 2\pi = 1,885 \text{ rad}$$

Relativ kleine Phasenwinkel bei nicht zu hohen Frequenzen lassen sich im XY-Betrieb mit Lissajous-Figuren genauer messen.

5.4 Übungen zur Vertiefung

1. Zwei Messsignale im Frequenzbereich 200 kHz bis 400 kHz sollen zum Vergleich auf dem Bildschirm dargestellt werden.

In welcher Betriebsart des Zweikanaloszilloskops soll die Messung erfolgen?

.....

Begründung:

.....

2. Zwei Messsignale, die im Frequenzbereich unter 50 Hz liegen, sollen gleichzeitig auf dem Bildschirm dargestellt werden.

Welche Betriebsart eignet sich hierfür am besten?

.....

3. Die Differenzspannung zwischen zwei frequenz- und phasengleichen Messspannungen soll festgestellt werden. Beide Spannungswerte liegen bei etwa 2 V. Die Differenzspannung liegt im Millivoltbereich.

Welche Einstellungen müssen für die Messung vorgenommen werden?

Eingangskopplung			Polarität		Betriebsart
Kanal	A	B	Kanal	A	B

4. In dem Brückenweig einer Gleichspannungsmessbrücke soll die Spannung gemessen werden.

Welche Einstellungen müssen für die Messung vorgenommen werden?

Eingangskopplung			Polarität		Betriebsart
Kanal	A	B	Kanal	A	B

Lösungen ab Seite 229

6 Digitale Speicher- und Kombi-Oszilloskope

Beim analogen Speicheroszilloskop findet der Speichereffekt in der Katodenstrahlröhre statt. Beim digitalen Speicheroszilloskop (DSO) hingegen wird die Eingangsspannung nach dem Vorverstärker in ein digitales Signal umgewandelt und in einem Schreib/Lese-Speicher (RAM) abgelegt (Abb. 6.1).

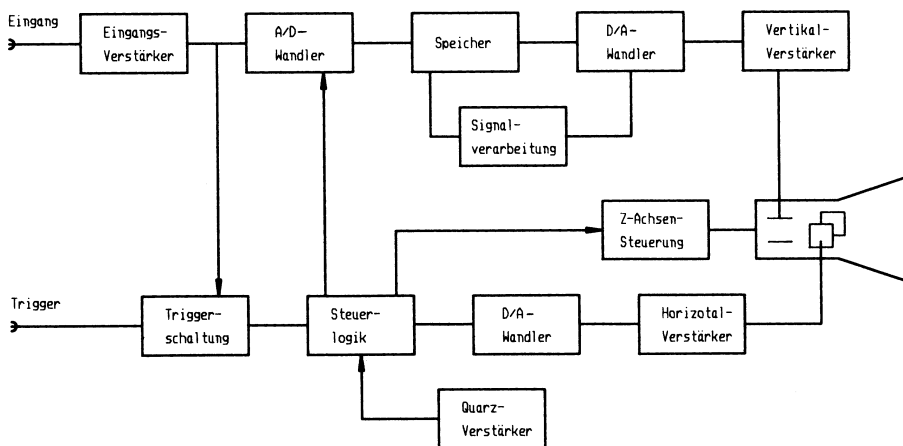


Abb. 6.1: Blockschema eines DSO

Die Umwandlung der analogen Messspannung geschieht in der gleichen Weise wie bei digitalen Messgeräten, d. h., die Messspannung wird in kurzen Zeitabständen abgetastet. Die Speicherung der digitalen Signale erfolgt in binärer Form. Die Abtastfrequenz muss dabei etwa 10-mal größer sein als die Messfrequenz, damit beim Lesen des Speichers das Signal wieder die annähernd vollständige Kurvenform erhält. Vorteile der digitalen Speicherung sind die beliebig lange Speicherzeit und die Wiederholbarkeit des gespeicherten Signalverlaufs. Außerdem besteht die Möglichkeit der zeitlichen Dehnung und der Darstellung von Signalverläufen, die vor der Triggerschwelle liegen. Die Weiterentwicklung des DSO zum prozessorgesteuerten Messgerät zeigt das Blockschaltbild in Abb. 6.2, das ein zweikanaliges DSO darstellt.

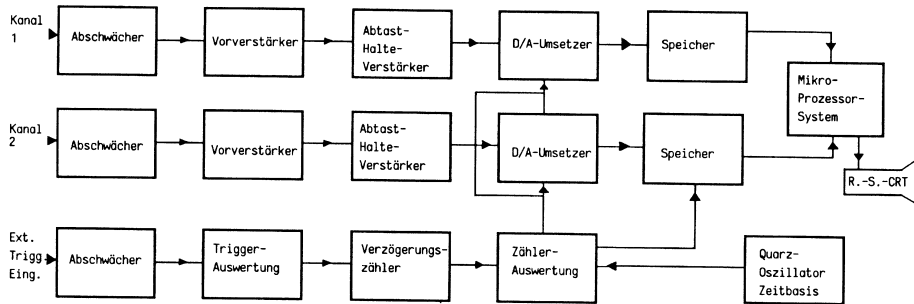


Abb. 6.2: Blockschema eines Zweikanal-DSO mit prozessorgesteuertem Display

Nach der Signalaufnahme über Spannungsteiler, Vorverstärker und Abtast-Halte-Verstärker erfolgt die Digitalisierung des Messsignals im AD- Wandler und danach die Speicherung. Die Signalaufbereitung zur Darstellung auf einem Bildschirm erfolgt in einem Mikrocomputer.

Das mikroprozessorgesteuerte DSO hat folgende Vorteile:

- Signale können für beliebig lange Zeiträume gespeichert werden – sozusagen unendliche Nachleuchtdauer. Digitale Speicherung erfolgt z. B. über die Betriebsarten Refresh, Roll, Single, XY, Envelope, Average, Random-Sampling.
- Abspeicherung auf alle handelsüblichen Medien über Standardschnittstellen (z. B. RS-232, USB, HO79-6 Multifunktions-Schnittstelle und Opto-Schnittstelle).
- Die Triggervorgeschichte kann analysiert werden.
- Der Bildschirminhalt kann ausgedruckt werden.
- Die zu analysierenden Signale können mithilfe komplexer Triggerbedingungen erfasst werden, wenn die übliche Flankentriggerung nicht mehr ausreicht.
- Die erfassten Daten können durch einen angeschlossenen Computer weiterverarbeitet werden.
- Das Oszilloskop kann durch einen Computer fernbedient werden.

Oszilloskope, die alle Vorteile von Analog- und Digitalspeicheroszilloskopen in sich vereinen, sind die Kombi-Oszilloskope (ADSO). Die analogen Messsignale können wahlweise direkt oder über digitale Aufbereitung (DSO) auf den Katodenstrahlbildschirm projiziert werden. Abb. 6.3. zeigt hierzu als Beispiel ein 50-MHz-Analog-/Digital-Oszilloskop.

Die Bedienungsabläufe dieser überwiegend softwaregesteuerten Oszilloskope sind von Hersteller zu Hersteller sehr unterschiedlich, da die Bedienung größtenteils über Software-Menütasten (Softkeys) erfolgt. Betriebsarten, Kennwerte und Berechnungswerte werden in Textform (Readout) in den Bildschirm eingeblendet.

Im folgenden Abschnitt 6.1 sind die technischen Daten eines 50-MHz-ADSO dargestellt. Aus den Kennwerten ist ersichtlich, dass die Vertikalablenkung und die Trig-

gerung sich im Analog- oder Digitalbetrieb nicht unterscheiden. Bei der Horizontalablenkung gibt es erhebliche Kennwertunterschiede in den Zeit-(Ablenk-)koeffizienten und in der Bandbreite des XY-Betriebs.

Die Bedienungs- und Anzeigefunktionen unterscheiden zwischen **manuellem Betrieb**, **Autoset**, **Save** und **Recall** mit insgesamt neun Geräteeinstellungen und Bildschirmeinblendungen (**Readout**), über Messparameter und Messresultate sowie Cursor- und Menüeinblendungen. Auf dem Bildschirm sind in Textform neben den Signaldarstellungen folgende Informationen möglich:

Automatische Messungen

Cursormessungen

Signalverarbeitung mit benutzerdefinierten Formeln

Im Rahmen dieses Buchs werden nicht alle Bedienelemente im Detail beschrieben, weil sie produktspezifisch sind. Ihre Beschreibung erfolgt in Verbindung mit den Funktionen, die für das Verständnis der Geräteeigenschaften und der Leistungsmerkmale erforderlich sind.

6.1 Technische Kennwerte und Funktionen des ADSO

(50 MHz CombiScope HM507)

Vertikalablenkung

Betriebsarten:	Kanal I oder Kanal II einzeln Kanal I und II (alternierend oder chop.)
Invertierung:	Kanal II
XY-Betrieb:	über KI (X) und KII (Y)
Bandbreite:	2 x 0 - 50 MHz (-3 dB)
Anstiegszeit:	< 7 ns
Ablenkkoeffizienten:	Stufen-Schaltfolge 1-2-5
1 mV/cm – 2 mV/cm:	$\pm 5 \%$, 0 – 10 MHz (- 3 dB)
5 mV/cm – 20 V/cm:	$\pm 3 \%$, 0 – 50 MHz (- 3 dB)
Variabel (unkal.)	> 2,5: 1 bis > 50 V/cm
Eingangsimpedanz:	1 M Ω , parallel 15 pF
Eingangskopplung:	DC, AC, GND (Masse)
Max. Eingangsspannung:	400 V (DC + Spitze AC)

Triggerung

Automatik (Spitzenwert):	20 Hz – 100 MHz (≥ 5 mm)
Normal mit Level-Einst.:	0 – 100 MHz (≥ 5 mm)
Flankenrichtung:	positiv oder negativ
Quellen:	Kanal I oder II, alternierend KI/KII (≥ 8 mm) Netz und extern

Kopplung:	AC (10 Hz – 100 MHz), DC (0 – 100 MHz), HF (50 kHz – 100 MHz), LF (0 – 1,5 kHz)
Triggeranzeige:	mit LED
Manuell:	mit Level-Einst. u. Flankenwahl
Triggersignal extern:	$\geq 0,3 V_{ss}$ (0 – 50 MHz)
Aktiver TV- Sync-Separator:	Bild und Zeile (\pm)

Horizontalablenkung (analog und digital)

Analog

Zeitkoeffizienten:	0,5 s/cm – 50 ns/cm (Stufen-Schaltfolge 1-2-5)
Genauigkeit:	$\pm 3 \%$
Variabel (unkalibriert)	$> 2,5:1$ bis $> 1,25s/cm$
X-Dehnung x 10:	bis 10 ns/cm ($\pm 5 \%$)
Genauigkeit:	$\pm 5 \%$
Verzögerung (zuschaltbar)	140 ms – 200 ns (variabel)
Hold-off-Zeit:	bis ca. 10:1 (variabel)

XY- Betrieb

Bandbreite X-Verstärker:	0 – 3 MHz (- 3 dB)
XY-Phasendifferenz $< 3^\circ$	< 120 kHz

Digital

Zeitkoeffizienten:	100 s/cm – 100 ns/cm (Stufen-Schaltfolge 1-2-5)
Genauigkeit:	$\pm 2 \%$
x-Dehnung x 10:	bis 20 ns/cm
Genauigkeit:	$\pm 2 \%$

XY-Betrieb

Bandbreite X-Verstärker:	0 – 50 MHz (- 3 dB)
XY – Phasendifferenz $< 3^\circ$:	< 10 MHz

Digitale Speicherung

Betriebsarten:	Refresh, Roll, Single, XY, Envelope, Average Random, Sampling
Interpolation:	lineare Dot Join Funktion
Abtastrate (Echtzeit)	max. 100 Msa/s, 8 bit Flashwandler
Abtastrate (Random)	2 Gsa/s relativ
Post/Pre-Trigger:	- 10 cm bis + 10 cm (kontinuierlich)
Signalerfassungsrate:	max. 180/s
Bandbreite:	2 x 0 – 50 MHz (- 3 dB)
Speicher:	3 x 2 k x 8 Bit
Referenz-Speicher:	3 x 2 k x 8 Bit
Mathematik-Speicher:	3 x 2 k x 8 Bit
Auflösung (Punkte/cm) yt-Betrieb:	X: 200/cm, Y: 25/cm
Auflösung (Punkte/cm) XY-Betrieb:	X: 25/cm, Y: 25/cm

Bedienungs- und Anzeigefunktionen

Manuell:	über Bedienelemente
Autoset:	automatische Parametereinstellung
Save und Recall:	9 Geräteeinstellungen
Redout:	Messparameter und Messresultate, Cursor und Menu
Auto Messfunktionen	
Analog-Betrieb:	Frequenz/Periode, U _{dc} , U _{pp} , U _{p+} , U _{p-}
zusätzlich im Digital-Betrieb:	U _{effektiv} , U _{Mittelwert}
Cursor Messfunktionen	
Analog-Betrieb:	ΔU , Δt , $1/\Delta t$ (f), t_a , U gegen GND,
Verhältnis X, Y	
zus. im Digital-Betrieb:	Impulszähler, U _i bezogen auf Triggerpunkt, Spitze – Spitze, Spitze +, Spitze –
Frequenzzähler:	4 Digit (0,01 % \pm 1 Digit) 0,5 Hz – 100 MHz
Schnittstelle:	RS –232 (Steuerung und Signaldatenabruf
Optional:	H079-6 (IEEE-488, RS-232, Centronics)

Komponententester

Testspannung:	ca. 7 V _{eff} (Leerlauf)
Teststrom:	max. 7 mA _{eff} (Kurzschluss)
Testfrequenz:	ca. 50 Hz
Testkabelanschluss:	2 Steckbuchsen 4 mm Ø
Prüfstromkreis liegt einpolig an Masse (Schutzleiter)	

Weitere Kennwerte

CRT:	D14-363GY, 8 x 10 cm mit Innenraster
Beschleunigungsspannung:	2 kV
Strahldrehung:	auf Frontseite einstellbar
Z-Eingang (Helligk. Modulation):	analog, max. + 5 V (TTL)
Kalibrierung, Rechteck:	0,2 V \pm 1 %, 1 Hz – 1 Mhz ($t_a < ns$), DC
Netzanschluss:	105 bis 253 V, 50/60 Hz \pm 10 %, CAT II
Leistungsaufnahme:	ca. 42 Watt bei 230 V/50 Hz
Umgebungstemperatur:	00...+ 40 °C
Schutzart:	Schutzklasse I (EN 61010-1)

6.2 Bedienelemente und Bildschirmeinblendungen

Abb. 6.3 des Zweikanal-Kombi-Oszilloskops (ADSO) zeigt eine stattliche Anzahl von Bedienelementen, insgesamt 45 Funktionen, die sich aus den analogen (Steller, Schalter und Tasten) und digitalen Funktionen (überwiegend Softkeys) ergeben. Vergleicht man die Einteilung der Bedienelemente des klassischen Analog-Zweika-

naloszilloskops in Abb. 2.15 mit den Bedienelementen der Abb. 6.3, sehen wir nur noch zwei wesentliche Funktionsgruppen, die sich in etwa gleichen. Dies sind die folgenden Bedienfelder:

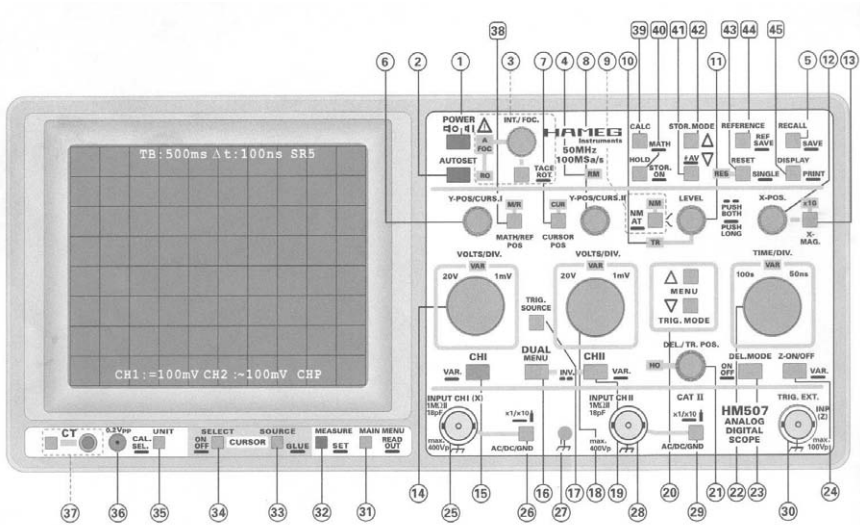


Abb. 6.3: Analog-Digital-Speicher-Oszilloskop: Bedien- und Anzeigeelemente

Vertikale Ablenkung

Diesem Bedienfeld in Abb. 2.15 entsprechen in Abb. 6.3 die Bedienelemente 14 bis 19 und 25 bis 29.

Horizontale Zeitablenkung und Triggereinheit

Diesem Bedienfeld in Abb. 2.15 entsprechen in Abb. 6.3 die Bedienelemente 9 bis 13 und 20 bis 24 sowie 30.

Signaldarstellung

Die Bedienelemente in Abb. 6.3 von 1 bis 8 haben teilweise und von 31 bis 37 fast nichts mehr mit den Funktionen in Abb. 2.15 gemeinsam.

Digitale Funktionen

Die Softwarefunktionen (Softkeys) sind in Abb. 6.3 die Bedienelemente 38 bis 45 mit der rechteckigen Umrahmung.

Die Funktionsumschaltungen mit den Tasten erfolgen teilweise durch kurze oder lange Betätigung.

Diese auf den ersten Blick verwirrende Vielzahl von Bedienelementen ergibt sich aus der Kombination von Analog- und Digitalbetrieb und den zahlreichen Softwareeinstellmöglichkeiten. Im Praxiseinsatz zeigt sich sehr schnell, dass für eine Vielzahl von Messaufgaben nur wenige Bedienelemente erforderlich sind.

6.2.1 Grundeinstellungen

Bei dem in *Abb. 6.3* dargestellten Oszilloskop sind bei der folgenden Funktionsbeschreibung der in Klammern bezeichneten Bedienelemente folgende Grundeinstellungen zu beachten:

- Mit der roten Netztaste POWER (1) wird das Gerät eingeschaltet. Das Oszilloskop übernimmt die Einstellungen, die beim vorhergehenden Ausschalten vorlagen.
- Nach ca. 20 Sekunden Vorheizzeit der Bildröhre ist die Taste AUTOSSET (2) zu betätigen. Es erfolgt eine automatische signalbezogene Einstellung. Die Strahlhelligkeit wird auf mittlere Werte gesetzt.
- Mit dem Potenziometer INT./FOC (3) ist die Helligkeit und Strahlschärfe einzustellen. Die Eingangskopplung ist hierbei auf GND (26, 29) zu stellen.
- Falls erforderlich, Strahllinie in Schirmmitte auf Rasterlinie mit der Taste TRACE ROT (3) korrigiert.
- Der Component-Tester, Taste CT (37), muss abgeschaltet sein.
- Im Hauptmenü, Taste MAIN-MENU (31) auf Menü SETUP & INFO, Untermenü MISCELLANEOUS (Verschiedenes) müssen folgende Einstellungen (aktiv mit x gekennzeichnet) vorliegen:
 CONTROL BEEP (akustische Signale, die bei fehlerfreier Bedienung ertönen) und
 ERROR BEEP (akustische Signale bei Fehlbedienungen) sind eingeschaltet (x).
 QUICK START (Schnellstart) ist abgeschaltet.
 Die Bildschirmeinblendungen (**Readout**) müssen sichtbar sein.

Die Leuchtdiodenanzeigen erleichtern die Bedienung und geben zusätzliche Informationen. Endstellungen von Drehbereichen werden durch ein akustisches Signal signalisiert. Bis auf die Netztaste POWER (1) werden **alle anderen Bedienelemente elektronisch abgefragt**. Alle elektronisch erfassten Bedienfunktionen und ihre aktuellen Einstellungen können daher gespeichert und gesteuert werden.

6.2.2 Bedienung der Menüanzeigen

Es wird zwischen Standardmenüs und Pull-down-Menüs unterschieden. Die Standardmenüs zeigen in der Bildschirmeinblendung keine Einstellparameter (z. B. Ablenkoeffizienten) an. Die Anzeige besteht im Wesentlichen aus der Menü-Überschrift, den Menüpunkten oder Funktionen. Am unteren Bildschirmrand werden Symbole und Befehle angezeigt, deren Bedienung mit den darunter befindlichen Tasten erfolgt (vgl. *Abb. 6.4*):

ESC	schaltet in der Menühierarchie um einen Schritt zurück
EXIT	bewirkt das sofortige Abschalten der Menüanzeige
SET	ruft den ausgewählten Menüpunkt sofort auf
SAVE	bewirkt die Speicherung
EDIT	führt in das EDITOR-Menü

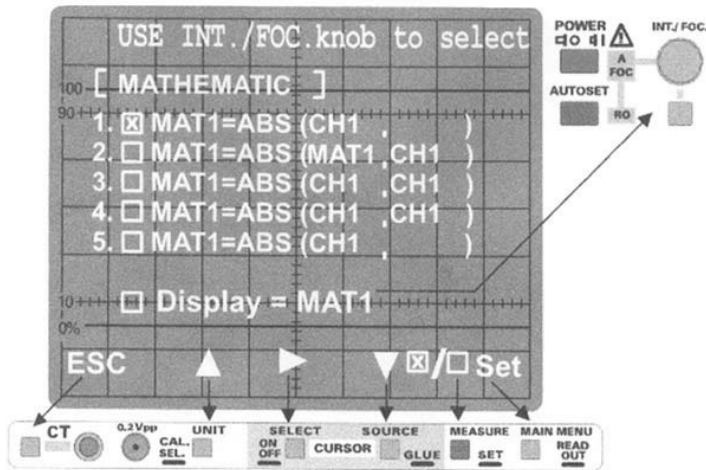


Abb. 6.4: Bildschirmdisplay für mathematische Funktionen

Mit den durch ein Dreieck gekennzeichneten Tasten lassen sich Elemente innerhalb eines Menüs aktivieren (aufgehellte Darstellung). Wird ein Hinweis auf den INT./FOC.-Einsteller angezeigt, kann mit diesem innerhalb des Elements gewählt werden. Steht ein []-Symbol in einer aktiven Zeile, bezieht sich die mit [x]/[] gekennzeichnete Taste auf dieses Symbol und ermöglicht die Umschaltung.

Nach Aufruf eines Pull-down-Menüs werden die Einstellparameter (Ablenkkoeffizienten etc.) weiterhin angezeigt. Die Bildschirmeinblendung (Readout-Anzeige) ändert sich nur bezüglich des aufgerufenen Parameters (z. B. Eingangskopplung: AC, DC und GND). Die vor dem Aufruf des Pull-down-Menüs wirksame Einstellung bleibt erhalten und wird mit größerer Helligkeit angezeigt. Solange das Pull-down-Menü angezeigt wird, kann mit einmaligem mehrfachen kurzen Betätigen der Taste umgeschaltet werden. Die Umschaltung erfolgt sofort und der wirksame Parameter wird mit größerer Helligkeit angezeigt. Erfolgt kein weiterer kurzer Tastendruck, schaltet sich das Pull-down-Menü nach einigen Sekunden ab und die Bildschirmeinblendung zeigt den gewählten Parameter an. Die CURSOR-Linie(n) und die Messergebnisanzeige werden, nachdem das Pull-down-Menü nicht mehr sichtbar ist, wieder angezeigt.

Die Bildschirmeinblendung ermöglicht die alphanumerische Anzeige der Einstellparameter des Oszilloskops, von Messergebnissen und der CURSOR-Linien. Welche der Anzeigen sichtbar sind, hängt von den gerade vorliegenden Einstellungen ab. Die folgende Auflistung beinhaltet die wichtigsten Anzeigen.

Oberste Rasterzeile von links nach rechts:

1. Zeitablenkkoeffizient und beim Digitalbetrieb zusätzlich die Abtastrate
2. Triggerquelle, Triggerflanke und Triggerkopplung

3. Betriebsbedingungen der verzögerten Zeitbasis im Analogbetrieb oder die Pre- oder Posttriggerzeit im Digitalbetrieb
4. Messergebnisse

Unterste Rasterzeile von links nach rechts:

1. Tastkopfsymbol (x10), Y-Ablenkkoeffizient und Eingangskopplung von Kanal 1
2. +-Symbol
3. Tastkopfsymbol (x10), Y-Ablenkkoeffizient und Eingangskopplung von Kanal 2
4. Kanalbetriebsart (Analogbetrieb) oder die Signaldarstellungsart (Digitalbetrieb)

Am linken Rasterrand wird das Triggerpunkt-Symbol angezeigt (Analogbetrieb). Die CURSOR-Linien können innerhalb des Rasters auf jede Position gestellt werden.

6.3 Betriebsarten der Messverstärker

Die wesentlichsten Bedienelemente der Messverstärker sind die Drucktasten CHI (15), DUAL (16) und CHII (19). Alle drei Drucktasten haben mehrere Funktionen. Mit den Tasten CHI und CHII wird u. a. die Triggerfunktion den Messverstärkern zu- und abgeschaltet. Mit der DUAL-MENU-Taste können u. a. folgende Betriebsarten ein- oder umgeschaltet werden:

- Umschaltung auf Zweikanal-, Additions- und XY-Betrieb
- Umschaltung von Standard- auf Pull-down-Menü

Im DUAL-Betrieb arbeiten beide Kanäle. Wie die Messsignale in beiden Kanälen dargestellt werden, ist von den Einstellungen der Zeitbasis abhängig. Die Kanalumschaltung kann nach jedem Zeit-Ablenkvorgang (Betriebsart: alternierend) erfolgen. Beide Kanäle können aber auch innerhalb einer Zeit-Ablenkperiode mit einer hohen Frequenz (Betriebsart chop) ständig umgeschaltet werden. Dann sind auch langsam verlaufende Vorgänge flimmerfrei darstellbar. Für die Darstellung langsam verlaufender Vorgänge mit Ablenkzeiten von $\geq 500 \mu\text{s/cm}$ ist die alternierende Betriebsart meist nicht geeignet. Das Schirmbild flimmert dann zu stark oder es scheint zu springen.

Bei Oszillogrammen mit hoher Folgefrequenz und entsprechend klein eingestellten Ablenkzeiten ist die gechoppte Kanalumschaltung meist nicht sinnvoll. Bei Summenbild der Messsignale (Additionsbetrieb) wird algebraisch addiert (+I, \pm II). Ob sich hierbei die Summe oder Differenz der Signalspannungen ergibt, ist von der Phasenlage oder der Polarität der Messsignale selbst abhängig und davon, ob eine Invertierung vorgenommen wurde. In der Additionsbetriebsart ist die vertikale Strahllage von der Y-POS.-Einstellung beider Kanäle (6, 8) abhängig. D. h., die Y-Pos.-Einstellung wird addiert, kann aber nicht mit der Invertierung beeinflusst werden. Signalspannungen zwischen zwei hochliegenden Schaltungspunkten werden oft im Differenzbetrieb beider Kanäle gemessen. Als Spannungsabfall an einem bekannten Widerstand lassen sich auch Ströme zwischen zwei hochliegenden Schaltungsteilen bestimmen. Bei der Darstellung von Differenzsignalen sollte der Abgriff der beiden Messspannungen nur

mit Tastteilern absolut gleicher Impedanz und Teilung erfolgen. Für manche Differenzmessungen ist es vorteilhaft, die galvanisch mit den Schutzleiter verbundenen Massekabel beider Tastteiler nicht mit dem Messobjekt zu verbinden. Hierdurch können eventuelle Brumm- oder Gleichtaktstörungen vermindert werden.

In der XY-Betriebsart ist die Zeitbasis abgeschaltet. Die X-Ablenkung wird mit dem über den Eingang von Kanal1 (INPUT CH I (X) = Horizontaleingang) zugeführten Signal vorgenommen. Eingangsteiler und Feinregler von Kanal 1 werden im XY-Betrieb für die Amplitudeneinstellung in X-Richtung benutzt. Zur horizontalen Positionseinstellung ist aber der X-POS.-Regler (12) zu benutzen. Der Positionsregler (6) von Kanal 1 ist im XY-Betrieb unwirksam. Die maximale Empfindlichkeit und die Eingangsimpedanz sind nun in beiden Ablenkrichtungen gleich. Die X-Dehnung $\times 10$ ist unwirksam. Bei allen Messungen im XY-Betrieb sind sowohl die obere Grenzfrequenz (-3 dB) des X-Verstärkers als auch die mit höheren Frequenzen zunehmende Phasendifferenz zwischen X und Y zu beachten. Im Analogbetrieb hat der X-Verstärker eine Grenzfrequenz von 3 MHz, im Digitalbetrieb 50 MHz (siehe technische Daten).

6.3.1 Automatische Messungen

Abb. 6.5a zeigt eine Auswahl der Parameter, die angezeigt werden. Spannungsmessungen werden nur ermöglicht, wenn AC- oder DC-Triggerkopplung vorliegt. Um Messfehler zu vermeiden, muss sich die Signaldarstellung innerhalb des Rasters befinden; d. h., es darf keine Übersteuerung erfolgen. Mittelwert(avg)- und Effektivwert(rms)-Berechnungen, setzen voraus, dass mindestens eine Signalperiode angezeigt wird und kein gemischtes Signal vorliegt. Diese müssen mit dem Cursor für mindestens eine Periode des Signals ausgemessen werden.

6.3.2 Cursor-Messungen

Das Menü wird angezeigt, wenn die Taste (32) kurz gedrückt wird (vgl. Abb. 6.5b). Die Messergebnisse der diversen Menüpunkte beziehen sich auf die Cursor-Linien, die auf die Signaldarstellung bezogen dargestellt werden. Mit der Taste (33) GLUE (kleben) lässt sich vermeiden, dass nach einer X- und/oder Y-Positionsänderung der Signaldarstellung eine neue Einstellung der Cursor-Linien und der +-Symbole erforderlich wird. Bei aktivierter GLUE-Funktion werden die aus Punkten bestehenden Cursorlinien und Symbole mit verringerter Punktzahl angezeigt.

6.3.3 Mathematische Funktionen

Ein langer Tastendruck [39] bewirkt die Anzeige des Math.-Menüs. Auf dem Bildschirm sind fünf nummerierte Zeilen (1 bis 5) sichtbar (Abb. 6.5c), in die Gleichungen eingegeben werden können. Die nummerierten Zeilen sind – von links nach rechts – wie folgt aufgebaut:

Zeilennummer (z. B. 1), Status [x] aktiv oder [] inaktiv), Resultatsname (z. B. MAT3), =, Funktion (z. B. Addition), (erster Operand, zweiter Operand).

a)

USE INT./FOC:knob to select			
[MATHEMATIK]			
1.	<input checked="" type="checkbox"/>	MAT1=MUL	(CH1, CH2)
2.	<input checked="" type="checkbox"/>	MAT2=ABS	(MAT1)
3.	<input type="checkbox"/>	MAT2=ABS	(CH1)
4.	<input type="checkbox"/>	MAT3=SQ	(MAT2)
5.	<input type="checkbox"/>	MAT3=SUB	(CH1, CH2)
<input checked="" type="checkbox"/> Display = MAT2 [.]			
ESC	▲	▶	▼ <input type="checkbox"/> Set

b)

[AUTO MEASURE]			
DC			
Counter			
Frequency			
Period			
Peak +			
Peak -			
Peak - Peak			
Trigger Level			
rms			
avg			
off			
ESC	▲	▼	Set

c)

[CURSOR MEASURE]			
ΔU Peak-Peak			
$1/\Delta t$ Peak+			
Rise Time Peak-			
ΔU avg			
U to GND rms			
Ratio X Count			
Ratio Y U Marker			
Gain			
Esc	▲	◀ ▶	▼ Set

Abb. 6.5: Betriebsarten für Messwerte; a) Automatikbetrieb, b) Cursorauswertung, c) mathematische Messergebnisse

Nicht bei allen Funktionen wird der zweite Operand angezeigt.

Die folgende Auflistung zeigt die in den unterschiedlichen Positionen vorkommenden Funktionsmöglichkeiten:

Mat1 bis MAT3	Jedem Resultat ist ein Speicher zugeordnet, dessen Inhalt nach dem Ausschalten des Geräts verloren geht.
ADD	Addition von Operand 1 und Operand 2
SUB	Subtraktion von Operand 1 (Minuend) und Operand 2 (Subtrahend)
MUL	Multiplikation von Operand 1 (Multiplikator) und Operand 2 (Multiplikand)
DIV	Division von Operand 1 (Dividend) und Operand 2 (Divisor)
SQ	Quadrat von Operand 1
INV	Negation von Operand 1
1/	Kehrwert von Operand 1
ABS	Absolutwert von Operand 1 (falls negativ) bilden (in positive Zahl wandeln)
POS	Resultat von Operand 1 sind nur Zahlen >0 (positive Werte). Zahlen <0 (negativ) und 0 werden als Resultat = 0 angezeigt
NEG	Resultat von Operand 1 sind nur Zahlen <0. Zahlen >0 (positiv) und 0 werden als Resultat = 0 angezeigt.

Es können maximal fünf Gleichungen aktiviert werden ([x]), aber es kann nicht mehr als ein Resultat angezeigt werden (MAT1, MAT2, oder MAT3).

6.3.4 Kalkulator-Funktion

Ein erneuter Tastendruck [39] CALC/MATH löst eine neue Berechnung und daraus resultierend eine neue Darstellung des Resultats aus. Nach einer Änderung des Signals oder der Gleichung muss die Taste CALC betätigt werden; erst dadurch wird eine neue Berechnung mit einer neuen Darstellung ausgelöst.

6.4 Triggerung und Zeitablenkung

Für die Trigger- und Zeitablenkfunktionen sind im Wesentlichen die Bedienelemente (20) bis (24) von Bedeutung. Reine Gleichspannungen können die Triggerung nicht auslösen, da sie keine zeitlichen Änderungen aufweisen und somit auch keine Flanke vorliegt, auf die getriggert werden kann. Im Wesentlichen werden zwei Trigger-Betriebsarten angeboten: die **Normal-Triggerung** und die **automatische Spitzenwert-Triggerung**.

Mit dem Betätigen der AUTOSSET-Taste (2) wird die automatische Spitzenwert-Triggerung eingeschaltet. Bei DC-Triggerkopplung und bei alternierender Triggerung wird die Spitzenwerterfassung automatisch abgeschaltet, während die Funktion der Triggerautomatik erhalten bleibt.

Die Zeitablenkung wird bei automatischer Spitzenwert-Triggerung auch dann periodisch ausgelöst, wenn keine Messwechselspannung oder externe Triggerwechselspannung anliegt. Ohne Messwechselspannung sieht man dann eine Zeitlinie (von der ungetriggerten, also freilaufenden Zeitablenkung), die auch eine Gleichspannung anzeigen kann. Der Trigger-LEVEL-Steller (11) ist bei automatischer Spitzenwert-Triggerung wirksam. Sein Einstellbereich stellt sich automatisch auf die Spitze-Spitze-Amplitude des gerade angelegten Signals ein und wird damit unabhängiger von der Amplitude und Form des Signals.

Die Einfachheit der Bedienung empfiehlt die automatische Spitzenwert-Triggerung für alle unkomplizierten Messaufgaben. Sie ist aber auch die geeignete Betriebsart für den Einstieg in diffizile Messprobleme, vor allem, wenn das Messsignal selbst in Bezug auf Amplitude, Frequenz oder Form noch weitgehend unbekannt ist. Die automatische Spitzenwert-Triggerung ist unabhängig von der Triggerquelle und ist, sowohl bei interner als auch externer Triggerung, oberhalb von 20 Hz anwendbar.

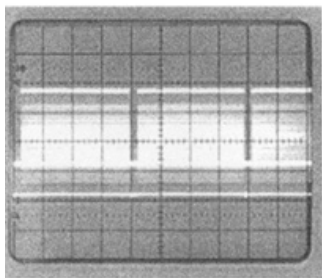
Bei der **Normaltriggerung** kann die Auslösung oder Triggerung der Zeitablenkung an jeder Stelle einer Messsignalfanke erfolgen. Der mit dem Steller LEVEL (11) erfassbare Triggerbereich ist abhängig von der Amplitude des Triggersignals. Ist bei interner Triggerung die Bildhöhe kleiner als 1 cm, erfordert die Einstellung etwas Feingefühl. Mit dem Drucktaster (9) kann die Flankenrichtung (plus oder minus) des Messsignals bestimmt werden. Die Flankenrichtungseinstellung wird durch AUTOSET nicht beeinflusst.

6.4.1 Ablenkverzögerung

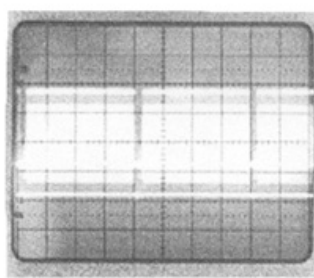
Mit der Ablenkverzögerung kann die Auslösung der Zeitablenkung ab dem Triggerpunkt um eine vorwählbare Zeit verzögert werden. Damit besteht die Möglichkeit, praktisch an jeder Stelle einer Signalperiode mit der Zeitablenkung zu beginnen. Der dem verzögerten Start der Zeitablenkung folgende Zeitabschnitt lässt sich durch Erhöhung der Ablenkgeschwindigkeit stark gedehnt darstellen (verringern des Zeit-Ablenkkoefizienten). Mit zunehmender Dehnung verringert sich die Strahlhelligkeit – Nachstellen erfolgt mit INT./FOC. (3). Wird das dargestellte Signal in X-Richtung unruhig dargestellt (jittern), besteht die Möglichkeit, dies durch mehrmaliges Triggern nach Ablauf der Delay-Zeit zu verhindern.

Im folgenden Beispiel (*Abb. 6.6*) wird von einem normalen Betrieb ausgegangen. Ohne Ablenkverzögerung wird das zu verzögernde Signal zunächst mit bis zu drei Grundperioden dargestellt (*Abb. 6.6a*). Die X-Dehnung $\times 10$ bleibt hierbei abgeschal-

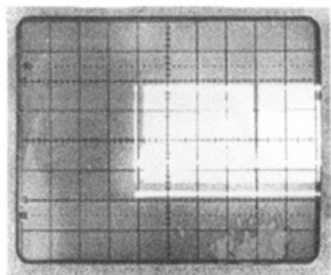
tet und es wird mit kalibrierter Zeitbasis gearbeitet. Die Triggerung muss für den weiteren Verlauf der Messung auf eine gut triggernde Flanke eingestellt sein.



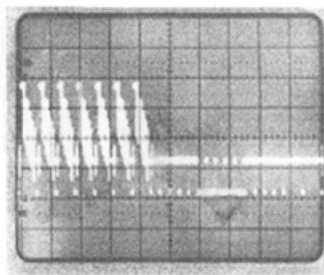
- a) MODE: DEL.MODE OFI
TIME / DIV. : 5ms/cm
Triggerkopplung: TvF
Triggerflanke: fallend



- b) MODE: „sea“
(SEARCH = suchen)
TIME / DIV. : 5ms/cm
Triggerkopplung: TvF
Triggerflanke: fallend (-)
Verzögerungszeit:
 $4\text{cm} \times 5\text{ms} = 20\text{ms}$



- c) MODE: „del“
(DELAY = verzögern)
TIME / DIV. : 5ms/cm
Triggerkopplung: TvF
Triggerflanke: fallend (-)
Verzögerungszeit:
 $4\text{cm} \times 5\text{ms} = 20\text{ms}$



- d) MODE: „del“
(DELAY = verzögern)
TIME / DIV. : 0.1ms/cm
Triggerkopplung: TvF
Triggerflanke: fallend (-)
Verzögerungszeit:
 $4\text{cm} \times 5\text{ms} = 20\text{ms}$

Abb. 6.6: Ablenkverzögerung

Nach dem Umschalten von unverzögertem auf verzögerten Zeitbasisbetrieb zeigt die Bildschirmanzeige sea (suchen) an. Ein Teil des Strahls ist nicht mehr sichtbar. Nun kann die Verzögerungszeit mit dem TIME/DIV.-Steller grob und dem DEL.POS.-Steller fein eingestellt werden. Dabei wird der Strahlstart noch nicht verzögert, sondern die Verzögerungszeit durch das Abschalten des Elektronenstrahls

sichtbar gemacht. D. h., die sichtbare Strahllänge wird verkürzt. Befindet sich der DEL.POS-Steller am Linksanschlag, wird der Strahl auf den ersten 2 cm am linken Rand dunkel. Dieser Bereich vergrößert sich um ca. 5 cm, wenn der DEL.POS-Steller ganz nach rechts gedreht wird.

Die Verzögerungszeit ist so einzustellen, dass die Strahllinie möglichst kurz vor dem zu vergrößernden Zeitabschnitt beginnt. Ist die Verzögerungszeit (maximal 7 cm x Ablenkoeffizient) nicht ausreichend, um bis zu dem später zu vergrößernden Signalteil zu gelangen, kann der Ablenkoeffizient vergrößert werden. Mit anliegendem Signal wird dabei sichtbar, dass daraus ein größerer Ablenkoeffizient resultiert, d. h., die Ablenkgeschwindigkeit wird verringert. Die Verzögerungseinstellung erfolgt relativ, also bezogen auf den Ablenkoeffizienten (vgl. *Abb. 6.6b*).

Abb. 6.6c zeigt, dass die Verzögerungszeit auch messbar ist. Sie ist identisch mit der eingestellten Verschiebung des Strahlanfangs. Man ermittelt sie durch Multiplikation des dunkelgetasteten Teils (horizontal) mit dem eingestellten Zeitkoeffizienten. Mit der Umschaltung von Suchen auf Verzögern (del) wird wieder die gesamte Strahllänge, beginnend mit dem zuvor gewählten Zeitabschnitt, sichtbar, wenn der (gespeicherte) aktuelle Ablenkoeffizient nicht zu klein ist. Ist wegen zu großer Dehnung (kleiner Ablenkoeffizient) der Strahl kaum oder gar nicht sichtbar, muss der Ablenkoeffizient mit dem TIME/DIV.-Steller vergrößert werden. Ein größerer Ablenkoeffizient als der zuvor im SEARCH-Betrieb gewählte Wert kann nicht eingestellt werden. Die Dehnung lässt sich nun mit der Einstellung des Ablenkoeffizienten verändern. Mit dem DEL.POS.-Einsteller ist auch nachträglich eine Veränderung der Verzögerungszeit und damit eine Verschiebung des gedehnten Abschnitts in horizontaler Richtung möglich. *Abb. 6.5d* zeigt, dass eine 50-fache Dehnung durch das Umschalten des Ablenkoeffizienten (TIME/DIV.) von 5 ms/cm auf 0,1 ms/cm erreicht wurde. Mit der Dehnung erhöht sich die Ablesegenauigkeit bei Zeitmessungen.

6.5 AUTOSET

Durch die Auslösung der AUTOSET-Taste (2) werden folgende Betriebsbedingungen vorgegeben:

- AC- und DC-Eingangskopplung unverändert oder letzte Einstellung vor der Umschaltung auf GND
- Interne, vom Messsignal abgeleitete Triggerung
- Automatische Triggerung
- Trigger-LEVEL-Einstellung auf Bereichsmitte
- Y-Ablenkoeffizient(en) kalibriert
- Zeitbasis-Ablenkoeffizient kalibriert
- AC-Triggerkopplung

- Unverzögerter Zeitbasisbetrieb
- Keine X-Dehnung (x 10)
- Automatische X- und Y- Strahlpositionseinstellung
- Strahl und Bildschirmanzeige (Readout) sichtbar

Liegt GND-Eingangskopplung vor und wird AUTOSET betätigt, stellt sich die zuletzt benutzte Eingangskopplung (AC oder DC) ein. Die Ablenkkoeffizienten 1 mV/cm und 2 mV/cm werden wegen der reduzierten Bandbreite in diesen Bereichen durch AUTOSET nicht gewählt. Liegt ein pulsförmiges Signal an, dessen Tastverhältnis einen Wert von ca. 400:1 überschreitet, ist keine automatische Signaldarstellung mehr möglich. Der Y-Ablenkkoeffizient ist dann zu klein und der Zeit-Ablenkkoeffizient zu groß. Daraus resultiert, dass nur noch die Strahllinie dargestellt wird und der Puls nicht sichtbar ist.

6.6 Mittelwertanzeige

Angezeigt wird der arithmetische (lineare) Mittelwert. Bei Gleich- oder Mischspannungen (Gleichspannungen mit überlagerter Wechselspannung) wird die Gleichspannung/der Gleichspannungsanteil angezeigt. Im Fall von Rechteckspannungen geht das Tastverhältnis in die Mittelwertanzeige ein.

Das zu messende Signal (bei Wechselspannungen >20 Hz) muss am Eingang von CHI (25) oder CHII (28) anliegen und mit DC-Eingangskopplung (26, 29) auf den nachfolgenden Messverstärker gelangen, bei interner Triggerung von CHI oder CHII und keiner alternierenden Triggerung. Die Mittelwertanzeige erfolgt nur bei AC- oder DC-Triggerkopplung. Die Cursor-Linien müssen abgeschaltet und im AUTO-MEASURE-Menü die Funktion DC aktiviert sein. Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, wird in der Bildschirmanzeige „n/a“ angezeigt.

Der Mittelwert wird mithilfe des bei interner Triggerung benutzten Triggersignalverstärkers erfasst. Im Einkanalbetrieb (CHI oder CHII) ergibt sich die Zuordnung der Mittelwertanzeige zum angezeigten Kanal automatisch, da mit der Kanalumschaltung automatisch auch die Triggerquelle (Verstärker) umgeschaltet wird. Bei DUAL-Betrieb kann die Triggerquelle (CHI oder CHII) gewählt werden. Die Mittelwertanzeige bezieht sich auf den Kanal, von dem das Triggersignal stammt.

Der Gleichspannungsmittelwert wird mit Vorzeichen angezeigt, z. B. dc:Y1 501 mV oder dc:Y1 -501 mV. Messbereichsüberschreitungen werden durch „<“- oder „>“-Zeichen gekennzeichnet, z. B. dc:Y1 <1.80 V oder dc:Y1 >1.80 V. Bedingt durch eine für die Mittelwertanzeige notwendige Zeitkonstante, aktualisiert sich die Anzeige erst nach einigen Sekunden, wenn Spannungsänderungen erfolgen.

6.7 Speicherbetrieb

Der Digitalbetrieb des Kombi-Oszilloskops bietet folgende Vorteile gegenüber dem Analogbetrieb: Einmalig auftretende Ereignisse sind leicht erfassbar. Niederfrequente Signale können problemlos als vollständige Periode dargestellt werden. Höherfrequente Signale mit niedriger Wiederholfrequenz rufen keinen Abfall der Darstellungshelligkeit hervor. Erfasste Signale können relativ einfach dokumentiert oder weiterverarbeitet werden.

Gegenüber dem Analogbetrieb gibt es aber auch Nachteile: die schlechtere Y- und X-Auflösung und die niedrigere Signalerfassungshäufigkeit. Außerdem ist die maximal darstellbare Signalfrequenz abhängig von der Zeitbasis. Bei zu niedriger Abtastrate können sogenannte Alias-Signaldarstellungen erfolgen, die ein nicht in dieser Form existierendes Signal zeigen. Der Analogbetrieb ist bezüglich der Originaltreue der Signaldarstellung unübertroffen. Mit der Kombination von Analog- und Digitalbetrieb besteht die Möglichkeit, abhängig von der jeweiligen Messaufgabe, die jeweils geeignetere Betriebsart zu wählen.

Oszilloskope dieser Größenklasse haben pro Messkanal einen 8-Bit-A/D-Wandler. Die Signalerfassung erfolgt bei Ablenkoeffizienten von 100 ns/div. bis 2 μ s/div. (5 μ s/div. mit SINGLE und DUAL) in Echtzeit. Dabei gibt es keinen Unterschied zwischen der Erfassung sich wiederholender Signale und dem Aufzeichnen einmalig auftretender Signalereignisse. Die Triggerung startet die Signalabtastung und wiederholt sie so lange, bis der Speicher voll ist. Bei der Echtzeiterfassung sollen mindestens 10 Abtastungen während einer Periode des zu erfassenden Signals erfolgen. Mit der maximalen Echtzeit-Abtastrate von 100 MSa/s ergibt sich daraus eine Signalfrequenz von max. 10 MHz.

Umschaltung von Analog- auf Digitalbetrieb

Mit einem langen Tastendruck [40] wird von Analog- auf Digitalbetrieb und umgekehrt geschaltet. Mit einem kurzen Tastendruck [39] wird die HOLD-Funktion ein- oder ausgeschaltet. Damit ist der aktuelle Speicherinhalt vor weiterem Überschreiben geschützt. Das Sichern mit HOLD innerhalb eines Signalerfassungsvorgangs kann einen Übergang zwischen den neuen (links) und den alten Daten (rechts) erkennbar machen. Dies lässt sich vermeiden, indem man das repetierende Signal als Einzelsignal [43] (single) aufnimmt. Anschließend kann mit HOLD verhindert werden, dass ein versehentliches Auslösen der RESET-Funktion [43] ein erneutes Überschreiben bewirkt.

6.7.1 Random-Sampling

Die Erfassung über Random-Sampling (Stichprobenentnahme) ermöglicht Ablenkoeffizienten von 1 μ s/div. (Abtastintervall 5 ns) bis 100 ns/div. (Abtastintervall 500 ps), die mit einer maximalen A/D-Wandler-Abtastrate von 100 MSa/s (Abtastintervall

= 10 ns) in Echtzeitbetrieb nicht realisierbar sind. Damit lassen sich Signale mit noch höheren Frequenzen als bei Echtzeiterfassung darstellen. Random-Sampling setzt sich ständig und unverändert wiederholende Signale voraus. Die Abtastung erfolgt zufällig, aber mit zeitlichem Bezug zum Triggereinsatzpunkt des zu erfassenden Signals. Während jeder Signalperiode wird dabei unter Umständen nur einmal abgetastet. Eine vollständige Aufnahme setzt somit eine hohe Zahl von Signalperioden voraus und benötigt daher Zeit, um aus den zufällig durchgeführten Abtastungen eine vollständige Signaldarstellung (2.048 Abtastwerte) erstellen zu können. Bei Random-Sampling führen Signaljitter, Signalrauschen, Phasen- und Amplitudenänderungen zu fehlerhaften, nicht der Realität entsprechenden Signaldarstellungen.

6.7.2 Betriebsarten zur Signalerfassung

Im Speicherbetrieb können Signale in bis zu sechs Betriebsarten erfasst oder dargestellt werden:

REFRESH (Auffrischen)

In dieser Betriebsart können, wie im Analogbetrieb, sich periodisch wiederholende Signale erfasst und dargestellt werden (Readout zeigt „rfr“ an).

ENVELOPE (Hüllkurve)

Im Gegensatz zu Refresh werden dabei die Ergebnisse mehrerer Signalerfassungen als Minimum/Maximum-Darstellung (Hüllkurve) angezeigt. Das gilt für Amplituden- und Frequenz(Jitter-)änderungen (Readout zeigt „env“ an).

AVERAGE (Mittelwert)

Der Mittelwert wird aus den Daten mehrerer Signalerfassungen gebildet. Damit werden Amplitudenänderungen (z. B. Rauschen) und Frequenzänderungen (Jitter) in der Darstellung verringert/beseitigt. Die Genauigkeit der Mittelwertbildung ist um so größer, je höher die Zahl der Signalerfassungsvorgänge ist, aus denen der Mittelwert gebildet wird. Es kann zwischen 2 und 512 Signalerfassungen gewählt werden (Readout zeigt „avm“ an).

ROLL (kontinuierlich)

Roll-Betrieb ermöglicht eine von der Triggerung unabhängige, kontinuierliche Signalerfassung. Das Ergebnis der letzten Abtastung wird am rechten Rand der Signaldarstellung angezeigt. Alle zuvor aufgenommenen Signaldaten werden mit jeder Abtastung um eine Adresse nach links verschoben. Dadurch geht der vorher am linken Rand angezeigte Wert verloren (Readout zeigt „rol“ an).

SINGLE (Einzelereignis)

Diese Betriebsart kann sowohl im Digital- als auch im Analogbetrieb eingeschaltet werden. Mit dem Umschalten auf SINGLE wird ein gerade stattfindender Zeiterfassungsvorgang abgeschaltet. Im Analogbetrieb ist der Katodenstrahl dann nicht mehr sichtbar (Readout zeigt „sgl“ an).

6.7.3 Speicherauflösung

Die im Speicher eingesetzten AD-Wandler ermöglichen in der Vertikalauflösung 256 unterschiedliche Strahlpositionen im Digitalbetrieb. Die Darstellung auf dem Bildschirm erfolgt mit einer Auflösung von 25 Punkten/cm. In der Horizontalauflösung können maximal drei Signaldarstellungen auf dem Bildschirm erfolgen (zwei Kanäle bei DUAL-Betrieb und 1 Referenzsignal). Jede Signaldarstellung besteht aus 2.048 Byte (Punkten). Dabei werden 2.000 Punkte über 10 Rasterstellungen dargestellt. Somit beträgt die Auflösung 200 Punkte/div. Dagegen haben DO und DSO mit VGA(50 Punkte/div.)- oder LCD(25 Punkte/div.)-Bildschirmen eine 4 bzw. 8-fach schlechtere X-Auflösung. Auch die maximal erfassbare Signalfrequenz ist bei einer Katodenstrahlröhre in jeder Zeitbasisstellung vier bzw. acht-fach höher. Damit werden bei einem ADSO auch höhere Signale mit höheren Frequenzen, die niederen Frequenzen überlagert sind, noch erfassbar.

Im folgenden Beispiel wird eine Periode eines 50-Hz-Sinussignals dargestellt. Der Ablenkoeffizient beträgt hierbei 20 ms/div. Im Vergleich mit anderen Bildschirmsystemen ergeben sich folgende Abtastraten und daraus resultierend die maximal erfassbaren Signalfrequenzen.

Bildschirm	Punkte/div.	Abtastintervall	Abtastrate	Signalfrequenz
Kat.-Strahl-R.	200	$2 \text{ ms}/200 = 10 \text{ } \mu\text{s}$	100 kS/s	10 kHz
VGA	50	$2 \text{ ms}/50 = 40 \text{ } \mu\text{s}$	25 kS/s	2,5 kHz
LCD	25	$2 \text{ ms}/25 = 80 \text{ } \mu\text{s}$	12,5 ks/s	1,25 kHz

Abtastintervall: der Zeitabstand zwischen den einzelnen Abtastungen (Erfassungslücke). Je geringer die Zahl der über ein div. anzeigbaren Bildpunkte ist, desto größer ist das Abtastintervall.

Abtastrate: der reziproke Wert des Abtastintervalls ($1 / \text{Abtastintervall} = \text{Abtastrate}$)

Signalfrequenz: Die Angabe bezieht sich auf die höchste sinusförmige Signalfrequenz, die bei der vorgegebenen Abtastrate noch 10 Abtastungen auf einer Signalperiode ermöglicht. Ist die Zahl der Abtastungen/Periode < 10 , kann z. B. nicht erkannt werden, ob ein Sinus- oder Dreieckssignal erfasst wurde.

Bei 10-facher Dehnung bleibt die Auflösung von 200 Abtastpunkten/div. erhalten, obwohl dann theoretisch nur 20 Punkte/div. angezeigt würden. Die fehlenden 180 Punkte werden interpoliert.

6.7.4 Alias-Signale

Bedingt durch die Zeitbasiseinstellung im Digitalbetrieb, kann die Abtastrate zu nied-

rig sein. Dann kommt es zur Darstellung sogenannter Alias-Signale (aliasing = vorgetäushtes Signal). Ein Beispiel in Abb. 6.7 veranschaulicht das Zustandekommen des Alias-Effekts. Es zeigt die Abtastung einer dreieckförmigen Signalfolge mit einer Frequenz von 100 kHz. Diese wird mit einer Frequenz von 66,66 kHz abgetastet und erfasst. Da die Abtastrate im Verhältnis zur Frequenz des zu messenden Signals zu niedrig ist, wird dieses Signal mit einer scheinbaren (alias) Frequenz von 16,66 Hz dargestellt.

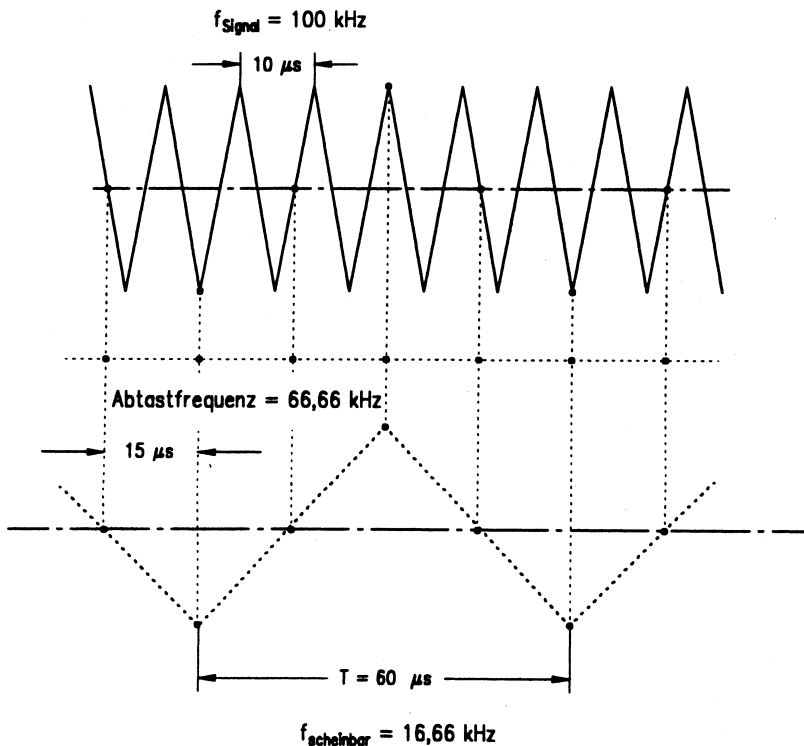


Abb. 6.7: Entstehung des Alias-Effekts

Wenn weniger als zwei Abtastungen pro Signalperiode erfolgen, wird am Bildschirm eine Warnung (AL?) angezeigt.

Weitere Beispiele beschreiben Alias-Signaldarstellungen:

Ein sinusförmiges Signal wird mit einer Abtastung pro Periode abgetastet. Wenn das Sinussignal zufällig frequenz- und phasengleich mit dem Abtasttakt ist und die Abtastung jedes Mal erfolgt, wenn der positive Signalscheitelwert vorliegt, wird eine waagerechte Linie in der Y-Position des positiven Signalscheitelwerts angezeigt. Dadurch wird eine Gleichspannung als Messsignal vorgetäuscht.

Andere Auswirkungen des Alias-Effekts sind scheinbar ungetriggerte Signaldarstellungen mit Abweichungen der angezeigten (z. B. 2 kHz) von der tatsächlichen Signalfrequenz (z. B. 1 MHz). Ebenso sind Hüllkurvendarstellungen möglich, die ein amplitudenmoduliertes Signal vortäuschen. Um derartige Verfälschungen zu erkennen, genügt es, auf Analogbetrieb umzuschalten und die tatsächliche Signalform zu betrachten.

Die Darstellung der Signale im Analogbetrieb eignet sich besonders für komplexe und modulierte Signale wie z. B. amplitudenmodulierte Trägersignale (AM) oder Videosignale. Die Hüllkurve eines AM-Signals wird durch die geeignete Einstellung der Zeitbasis gut sichtbar dargestellt (Abb. 6.8a). Bei dieser hohen Wiederholrate des Signals ist die Erfassung des Trägersignals im Digitalbetrieb aufgrund der niedrigen Abtastrate nicht einwandfrei möglich (Abb. 6.8b). Im Analogbetrieb wird die Wellenform verzerrungsfrei angezeigt.

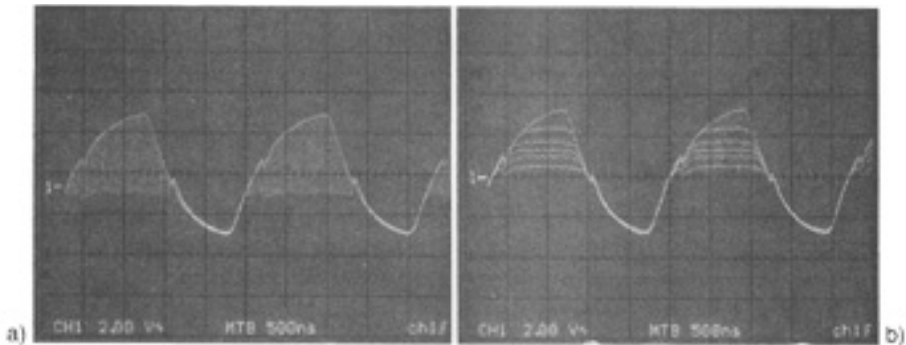


Abb. 6.8: Vergleichende Darstellung einer Amplitudenmodulation:

- a) Darstellung in Echtzeit mit AO
- b) Darstellung mit DSO aufgrund einer zu niedrigen Abtastrate

7 Standard-Befehlssatz für programmierbare Instrumente

Das Kürzel SCPI (standard commands for programmable instruments) steht für einen internationalen Standard (IEEE-488.2) für die externe Steuerung von Messgeräten, z. B. Oszilloskope. Umfangreiche Prüfplätze und Messanlagen können damit für den Datenaustausch der Messwerte vernetzt werden. Die Steuerung der Geräte übernimmt hierbei ein Host, z. B. ein PC. Der Datenaustausch der daran angeschlossenen Messgeräte erfolgt dann durch Eingabe von Befehlen am PC. Voraussetzung ist, dass alle angeschlossenen Messgeräte mit der SCPI-Standard-Software ausgerüstet sind. Damit werden alle Grundfunktionen der Messgeräte zusammengefasst. Dadurch kann z. B. jedes beliebige Messgerät eines Herstellers durch das Messgerät eines anderen ausgetauscht werden, ohne den Prüfablauf neu programmieren zu müssen. Deshalb sind die mit dieser Software ausgestatteten Oszilloskope mit einer oder mehreren Schnittstelle(n) ausgestattet, die eine Fernsteuerung (Remote) des Geräts ermöglichen. Man hat dabei Zugriff auf alle Bedienelemente, entsprechend den Erläuterungen in Abschnitt 7.2. Das in diesem Abschnitt beschriebene Gerät hat die Schnittstellen-GPIB nach IEEE-488, RS-232, USB und Ethernet. Die eingehendere Beschreibung und Programmierung der SCPI würde den Rahmen dieses Buchs sprengen. Daher werden nur beispielhaft einige Befehlsfunktionen und der Strukturaufbau der Befehle an Beispielen kurz erläutert:

7.1 Systembefehle

Common Commands (ca. 10 Befehle, vgl. *Tab. 7.1*) sind Systemkommandos und werden ohne die Angabe von Pfaden verwendet. Sie können in Befehlsketten stehen und werden wie andere Befehle auch mit Semikolon getrennt, z. B. '*IDN?'

Tabelle 7. 1 Common Commands

Befehl	Beschreibung
*CLS	setzt Status und Fehlerliste zurück und löscht den OPC-Status.
*ESE	setzt den Inhalt des SESER (Standard Event Status Enable Register) als Dezimalzahl.
*ESE?	liest den Inhalt des SESER.
*ESR?	liest den Wert des SESR (Standard Event Status Register) und setzt es anschließend zurück, z. B. „32“.
*IDN?	gibt die Identifikation des Geräts zurück.
*LRN?	gibt alle les- und schreibbaren Parameter zurück. Diese sind mit Semikolon getrennt und werden mit einem Header-Pfad (System- und Instrumentenparameter) angeführt.
*OPC	setzt das Operation-Complete-Bit im Standard-Event-Status-Register aktiv, wenn abhängige Operationen beendet sind.
*OPC?	Sind alle abhängigen Operationen beendet, wird nicht das OPC-Bit gesetzt, sondern die Ausgabe direkt als „1“ ausgegeben.
*RST	startet das Gerät mit den Werkseinstellungen neu.
*SRE	beschreibt das SRER-Register (Service-Request-Enable-Register).
*SRE?	liest das SRER-Register.
*STB?	gibt den Inhalt des SBR (Status-Byte-Register) zurück.

7.2 Steuerungsbefehle

Program Commands (über 100 Befehle in 16 Befehlsgruppen, vgl. Tab. 7.2) beinhalten alle gerätespezifischen Kommandos zur Steuerung des Geräts. Die Angabe erfolgt unter Anwendung von Pfaden entsprechend der SPCI-Syntax.

Tabelle 7.2 Program Commands

Befehlsgruppe	Beschreibung
:Add	mathematische Hardwareoperationen
:Acquire	beinhaltet Elemente der Signalerfassung
:Calibrate	Funktionen zur Kalibrierung des Geräts
:Channel	beinhaltet alle kanaltypischen Einstellungen
:Display	Steuerung der Anzeige
:FFT	Fast-Fourier-Transformation

Befehlsgruppe	Beschreibung
:Hardcopy	Screenshot
:Horizontal	beinhaltet Zeitbasiseinstellungen
:Instrument	beinhaltet die Betriebsarten des Geräts
:Logic	Logikeinstellungen
:Math	Mathematikfunktionen, Formelsätze
:Measure	Messfunktionen
:Pod	Logikgruppen
:System	Systemeinstellungen
:Trace	Funktionen zum Auslesen von Signalformen
:Trigger	Triggeroptionen

Query-Abfragen sind Kommandos, die eine direkte Abfrage des Geräts erzwingen. Dies gilt für Abfragen von Systemzuständen, Parametern oder auch Grenzbereichen. Das Auslesen von Parametern erfolgt durch ein Fragezeichen (?). Zusätzlich müssen Pfad und Parameter angegeben werden.

Beispiele: Auslesen der aktuellen Zeitbasis mit den Befehl :HOR: MAIN:SCAL?

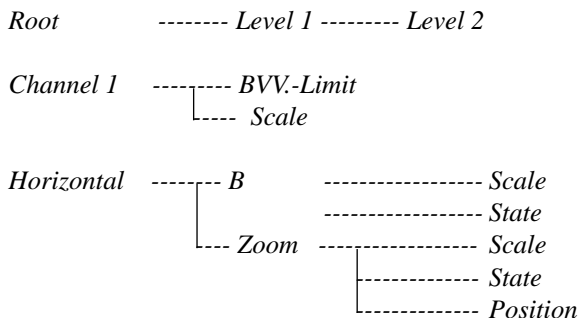
Abfrage der Geräteidentifikation *IDN?

Abfrage der minimal möglichen Zeitbasis :HOR:MAIN:SCAL?MIN

Befehlsabschlüsse werden als PMT (program message terminator) bezeichnet. Unterschieden wird zwischen NL (new line) und END (Ende). NL ist z. B. im SPCI-Nachrichtenbyte mit hoa definiert. Die Kombination von NL und END kann beliebig sein (NL, NL+END oder END).

7.3 Aufbau und Beispiele für SPCI-Kommandos

Ein SPCI-Kommando hat eine hierarchische Struktur, ähnlich einer Baumstruktur. Jeder Befehl besteht aus Pfaden, verschiedenen Funktionen, Schlüsselwörtern und der optionalen Zuweisung von Parametern.



Syntax

Bei der Zusammensetzung eines SPCI-Kommandos ist darauf zu achten, dass die vorgeschriebene Schreibweise eingehalten wird. Außer der definierten Kurz- oder Langform eines Befehls sind alle anderen Formen unzulässig. Auf Groß- oder Kleinschreibung muss nicht geachtet werden. Zur besseren Unterscheidung werden in den folgenden Beispielen für die Kurzform Großbuchstaben und für die Langform Kleinbuchstaben eingesetzt.

Beispiel für die Auswahl des Menüs Horizontal

Kurzform	:HOR
Langform	:HORizontal
zulässige Schreibweisen	:HOR :HORizonTAL
unzulässige Schreibweisen	:Horizont :Hori

Abschließend noch weitere Beispiele für SCPI-Kommandos:

Beispiel für die Abschaltung von Kanal 1 (OFF) und Vertikaleinstellung von Kanal 2 auf 1V/DIV

```
:CHAN1:STAT OFF;;CHAN2:SCAL 1
```

Kommentar:	:CHAN1	- Auswahl des Root-Elements 'Kanal 1'
	:STAT OFF	- Zuweisung von 'OFF' auf den Parameter 'STATE' von 'CHAN1'
	;	- Trennung zweier Befehle
	:CHAN2	- Auswahl des Root-Elements 'Kanals 2'
	:SCAL 1	- Zuweisen von '1' (V/DIV) als Ablenkkoeffizient von 'Kanal 2'

Beispiel für die Festlegung der Zeitbasis A auf 1 µs/DIV und deren Auslesen.

Variante 1:

```
:HOR:MAIN:SCALE 1E-6;;HOR:MAIN:SCALE?
```

Kommentar:	:HOR:MAIN	- Auswahl des Pfads von 'Zeitbasis'
	:SCALE 1E-6	- Zuweisung des Werts 1 µs auf die Zeitbasis
	:SCALE?	- Auslesen des aktuellen Werts der Zeitbasis

(Anzeige: 1,00E-6)

Variante 2:

```
:HOR:MAIN:SCALE 1E-6;SCALE
```

Kommentar:	Dieser Befehlssatz hat die gleiche Funktion wie der aus Variante 1. Da man sich im ersten Befehl der Variante 1 bereits im Pfad ':HOR:MAIN' befindet, kann diese Angabe im zweiten Befehl entfallen.	
------------	--	--

Beispiel für das Ausnutzen vorhandener Pfade

Anmerkung: Die mehrfache Verwendung vorhandener Pfade ist nur dann möglich, wenn man auf mehrere Endelemente des Pfads nacheinander zugreifen möchte. Der Wechsel in gleiche oder höhere Ebenen und gleichzeitige Nutzung vorhandener Pfade ist nicht möglich.

Zulässig: *:TRIG:A:EDGE:COUP DC;LEV MIN*

Kommentar: Die Elemente Kopplung (COUP) und PEGEL (LEV) befinden sich im gleichen Pfad.

Unzulässig: *:TRIG:A:EDGE:COUP DC; VID:FIEL?*

Kommentar: Das Element VID benutzt auch den Pfad 'TRIGger:A'. Jedoch befindet sich VID in der gleichen Ebene wie EDGE und nicht in einer Unter-ebene von EDGE. Daher muss der Pfad neu angegeben werden.

'TRIGger:A:EDGE:COUP DC;:TRIG:A:VID:FIEL?'

Zulässig: *:TRIG:A:EDGE:COUP DC;FILT:LPAS ON*

Kommentar: Das Element LPASs benutzt auch den Pfad 'TRIGger:A:EDGE' und kann daher den vorhandenen Pfad nutzen.

8 Messungen an Anwendungs- und Versuchsschaltungen

Mit dem Oszilloskop können elektrische Größen z. T. direkt und andere elektrische sowie nicht elektrische Größen indirekt gemessen werden.

Elektrischer Strom lässt sich indirekt über eine Spannungsmessung an einem Widerstand messen, der in den Stromkreis eingesetzt wird.

Der Strom durch den Messwiderstand verursacht einen Spannungsabfall, der nach dem Ohmschen Gesetz ($U = I \times R$) zum hindurchfließenden Strom proportional ist.

Nach dieser indirekten Messung kann auch ein Widerstandswert ermittelt werden. In diesem Fall muss man vorher den Stromwert bestimmen. Danach kann aus dem gemessenen Spannungswert und dem bekannten Stromwert der Widerstand nach dem Ohmschen Gesetz ($R = U/I$) berechnet werden.

Die durch einen Wechselstrom in einer Selbstinduktivität induzierte Spannung ist zur Stromänderung je Zeiteinheit und zum Induktivitätswert proportional. Ist die Stromänderung je Zeiteinheit bekannt (bei konstantem Strom und Frequenz), dann ist die selbstinduzierte Spannung der Spule von der Größe der Selbstinduktion abhängig.

Der durch einen Kondensatorstromkreis fließende Wechselstrom ist von der Kapazität und der Spannungsfrequenz abhängig. Wird eine Wechselspannung mit konstanter Frequenz und Amplitude an den Kondensator angeschlossen, dann ist der resultierende Strom zur Kapazität proportional. Über einen Messwiderstand kann der Strom in eine proportionale Spannung umgewandelt werden, die der Kapazität des Kondensators entspricht.

Bei der Umwandlung oder Umformung nicht elektrischer Größen in elektrische Spannung gibt es verschiedene Messwertaufnehmer, die mechanische Größen in elektrische Größen wandeln oder umsetzen.

Weg- und Längenmessungen im Mikro- und Millimeterbereich können durch kapazitive, induktive und ohmsche Aufnehmer erfasst werden.

Bei einer kapazitiven Längenmessung kann z. B. das Messobjekt mit einer Kondensatorplatte verbunden werden. Die zweite Kondensatorplatte wird fixiert. Vergrößert sich die Länge des Objekts, verringert sich der Plattenabstand. Dies hat eine Kapazi-

tätsänderung zur Folge. Die sich dadurch ändernde Spannung an einem im Messkreis befindlichen Widerstand ist ein Maß für die Längenänderung des Messobjekts.

Wird durch eine Längenänderung ein Metallstab in einer stromdurchflossenen Spule bewegt, dann ändert sich die Selbstinduktion dieser Spule. Daraus resultiert eine Selbstinduktionsspannung, die durch die Längenzunahme des Metallstabs in der Spule erhöht wird.

Bei einem Dehnungsmessstreifen verändert sich bei Dehnung oder Stauchung der Widerstand des Materials. Klebt man einen Dehnungsmessstreifen auf das Messobjekt, dann ändert sich der Widerstand bei entsprechender Längenänderung. Diese Widerstandsänderungen können in einem Stromkreis als Spannungsänderungen gemessen werden.

Messaufnehmer für Kraft und Druckmessungen messen ebenfalls die hierbei entstehenden Längenveränderungen. Sie arbeiten daher nach dem gleichen Prinzip wie die Längenaufnehmer.

Als Messaufnehmer für Schallschwingungen werden Mikrofone eingesetzt.

Hierbei unterscheidet man Kondensatormikrofone, Kristallmikrofone, elektrodynamische Mikrofone und Kohlemikrofone.

Auch hier werden die mechanischen Veränderungen in Kapazitäts-, Widerstands- und Selbstinduktionsveränderungen umgesetzt.

Für die Messung von Lichtänderungen und Beleuchtungsstärken werden lichtempfindliche Widerstände, Halbleiterdioden und Fotozellen eingesetzt.

Die folgenden Versuchsbeispiele sollen den Anwendungsbereich des Oszilloskops vor allem in der Schaltungstechnik der Elektronik aufzeigen.

Neben den schaltungsabhängigen Messungen der Signalformen werden auch Arbeitspunkt- und Potenzialmessungen dargestellt, soweit sie für die Funktionserkennung und Bewertung einer Schaltung von Bedeutung sind.

Alle Messungen werden mit einem Zweistrahloszilloskop vorgestellt. Die eingestellten Funktionen sind neben dem Diagramm angegeben.

Grundsätzlich können aber alle Messungen auch mit einem Einstrahloszilloskop durchgeführt werden.

Aus Sicherheitsgründen sollte der Messplatz mit einer abschaltbaren Netzsteckerleiste und einem Not-Aus-Schalter versehen sein.

8.1 Aliasing-Effekt vermeiden

Mit den folgenden Maßnahmen können Aliasing-Effekte verhindert werden.

1. auf einen stabilen Trigger achten. Aliasing-Signale scheinen manchmal über den Oszilloskop-Bildschirm zu wandern oder ungetriggert zu sein.
2. Die effektive Abtastrate muss so hoch wie möglich sein. Bei den meisten Oszilloskopen verringert sich die effektive Abtastrate bei langsamer Zeitbasis-Einstellung. Bei periodischen Signalen wird eine hohe effektive Abtastrate erzielt, selbst bei einer tatsächlichen niedrigen Abtastrate. Wird bei einer Signalform Aliasing vermutet, sollte die Ablenkgeschwindigkeit erhöht werden, damit die Abtastrate des Oszilloskops gesteigert wird und somit die korrekte Darstellung der Signalform gewährleistet ist.

Das Nyquist-Abtasttheorem besagt, dass zur korrekten Darstellung eines digitalen Signals die Abtastrate mehr als doppelt so hoch sein muss wie die höchste Frequenz, die in dem Signal auftritt.

Wird z. B. die Zeitbasis auf 5 ms/Skt. eingestellt, beträgt die Abtastrate des Oszilloskops 10 kSa/s. Dies bedeutet, dass eine Signalfrequenz mit 13 MHz mit etwa 50 MHz gemessen wird. Das Nyquistkriterium ist nicht erfüllt.

Bei einer Zeitbasiseinstellung von 20 ns/Skt. beträgt die Abtastrate des Oszilloskops 2 GSa/s. Das Oszilloskop zeigt das richtige Signal an und misst die richtige Frequenz von 13 MHz.

3. Von den Herstellern werden spezielle Techniken eingesetzt, damit Aliasing verhindert wird. DSO sind mit einem Anti-Aliasing-Algorithmus ausgestattet, mit dem Aliasing verhindert wird.
4. Mit der DSO-Spitzenwerterfassungsfunktion lässt sich Aliasing feststellen. Bei der Spitzenwerterfassung wird die maximale Abtastrate beibehalten und die höchsten und niedrigsten Werte werden auf dem Bildschirm dargestellt. Aliasing wird hierbei ausgeschaltet.

8.2 Amplituden- und Frequenzmodulation

Zur Darstellung der Resonanzkurven von Schwingkreis und Bandfilter wird im Versuch 8.8 eine Trägerfrequenz mit 50 Hz frequenzmoduliert.

Bei den Modulationsschaltungen wird nach Amplituden- und nach Frequenzmodulation unterschieden.

Für die verschiedenen Anwendungsbereiche werden von der Halbleiterindustrie die Modulator- und Demodulatorfunktionen bis über 100 MHz in Form integrierter Bausteine hergestellt, in der Mehrzahl jedoch in Verbindung mit anderen Funktionen als Systembausteine, z. B. Trägerfrequenzverstärker.

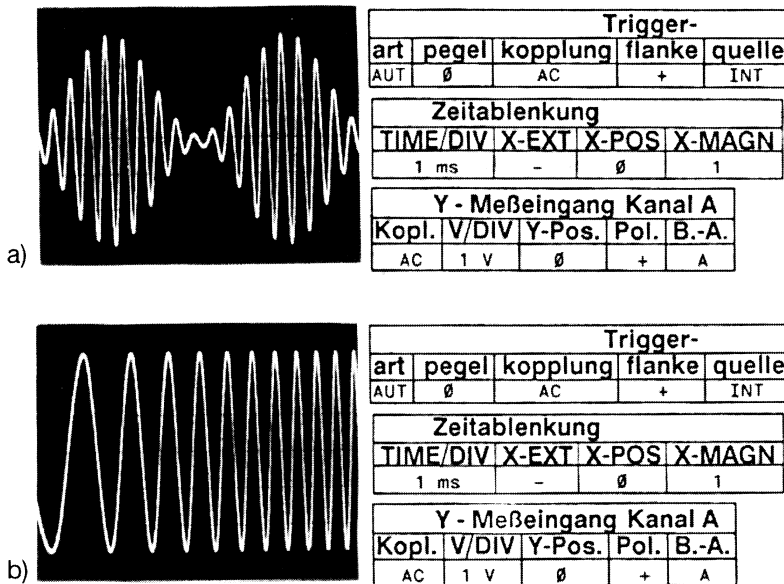


Abb. 8.1: Modulierte Trägerfrequenzspannungen:

- a) Amplitudenmodulierte Trägerfrequenz
 b) Frequenzmodulierte Trägerfrequenz

Auch mit Funktionsgeneratoren können modulierte Signale erzeugt werden, wie z. B. AM-, FM-, FSK- und Burst-Modulation.

Versuch 1: Auswertung einer amplitudenmodulierten Trägerfrequenz

Das Oszillogramm in Abb. 8.1a zeigt ein amplitudenmoduliertes Signal mit nur geringem Frequenzabstand von 10:1 zwischen Trägerfrequenz und Modulationsfrequenz.

Bei diesem geringen Frequenzabstand kann auf die Trägerfrequenz getriggert werden über Triggerquelle INT.

Ist die Trägerfrequenz sehr hoch im Verhältnis zur Modulationsfrequenz, dann muss auf das Modulationssignal getriggert werden.

Der Modulationsgrad der Amplitudenmodulation wird durch das Amplitudenverhältnis von NF und HF bestimmt. Er wird in Prozenten der HF-Spannung angegeben:

$$m = U_{\text{NF}} / U_{\text{HF}} \times 100 \%$$

Für das Beispiel in Abb. 8.1a ergibt sich folgender Modulationsgrad:

$$m = 5,5 \text{ V} / 6 \text{ V} \times 100\% = 90 \%$$

Versuch 2: Auswertung einer frequenzmodulierten Trägerfrequenz

Im Gegensatz zur Amplitudenmodulation wird bei der Frequenzmodulation nicht die Amplitude der Trägerspannung, sondern die Frequenz durch die niederfrequente Modulationsspannung verändert, d. h. die Trägerfrequenz ändert sich im Rhythmus der Frequenz, mit der die hochfrequenten Schwingungen moduliert sind.

Die Größe der durch die Modulation hervorgerufenen Frequenzänderung, die auch als Frequenzhub h bezeichnet wird, ist von der Amplitude der Modulationsspannung abhängig. Je größer die Amplitude der Modulationsspannung ist, umso größer ist der Frequenzhub der Trägerfrequenz.

Die Geschwindigkeit der Frequenzänderung ist wiederum von der Frequenz der Modulationsspannung abhängig.

Das Oszillogramm in *Abb. 8.1b* zeigt die erste Sinusperiode der Trägerfrequenz mit 1,5 Teilen, die letzte Sinusperiode mit ca. 0,5 Teilen. Bei 1 ms/DIV Ablenkzeit ergibt sich ein Frequenzhub von $h = 1/0,5 \text{ ms} - 1/1,5 \text{ ms} = 2 \text{ kHz} - 0,7 \text{ kHz} = 1,3 \text{ kHz}$.

Das Oszillogramm zeigt die Frequenzänderung für die erste positive Viertelperiode einer Sinuswelle. Die gesamte Veränderung durch eine Sinusperiode würde sich wie folgt ergeben:

Änderung von f durch	1. pos. Viertelper.	$(f + h)$	=	$0,7 \text{ kHz} + 1,3 \text{ kHz}$
” ” ” ”	2. ” ”	$(f + h - h)$	=	$0,7 \text{ kHz}$
” ” ” ”	3. neg. ”	$(f - h)$	=	$0,7 \text{ kHz} - 1,3 \text{ kHz}$
” ” ” ”	4. neg. ”	$(f - h + h)$	=	$0,7 \text{ kHz}$

Ähnlich wie bei der Amplitudenmodulation wird auch der Frequenzmodulationsgrad F_{MB} gekennzeichnet. Dieser wird durch den Index B bestimmt: $B = h/f_{\text{NF}}$

8.3 Antriebsregelsysteme

Der Kennlinienverlauf drehzahl geregelter Antriebe kann durch Veränderung der Parameter des PID-Reglers beeinflusst werden.

Der PID-Verstärker verstärkt die Soll-Ist-Differenz linear und negiert sie. Dadurch wirkt dieser Verstärker jeder Drehzahländerung proportional entgegen. Der Verstärkungsfaktor bestimmt im Wesentlichen die Kreisverstärkung.

In der Antriebstechnik werden die Eigenschaften eines Regelkreises durch zwei Begriffsdefinitionen gekennzeichnet:

1. Der Schleppfehler definiert die Zeit, die der Motor zum Erreichen einer neuen Drehzahl benötigt, hervorgerufen durch eine Soll- oder Istwert-Änderung (*Abb. 8.2a*). Umgesetzt in die Wegstrecke auf einer Achse, ist es die Wegdifferenz, den die Achse dem Sollwert nachläuft.

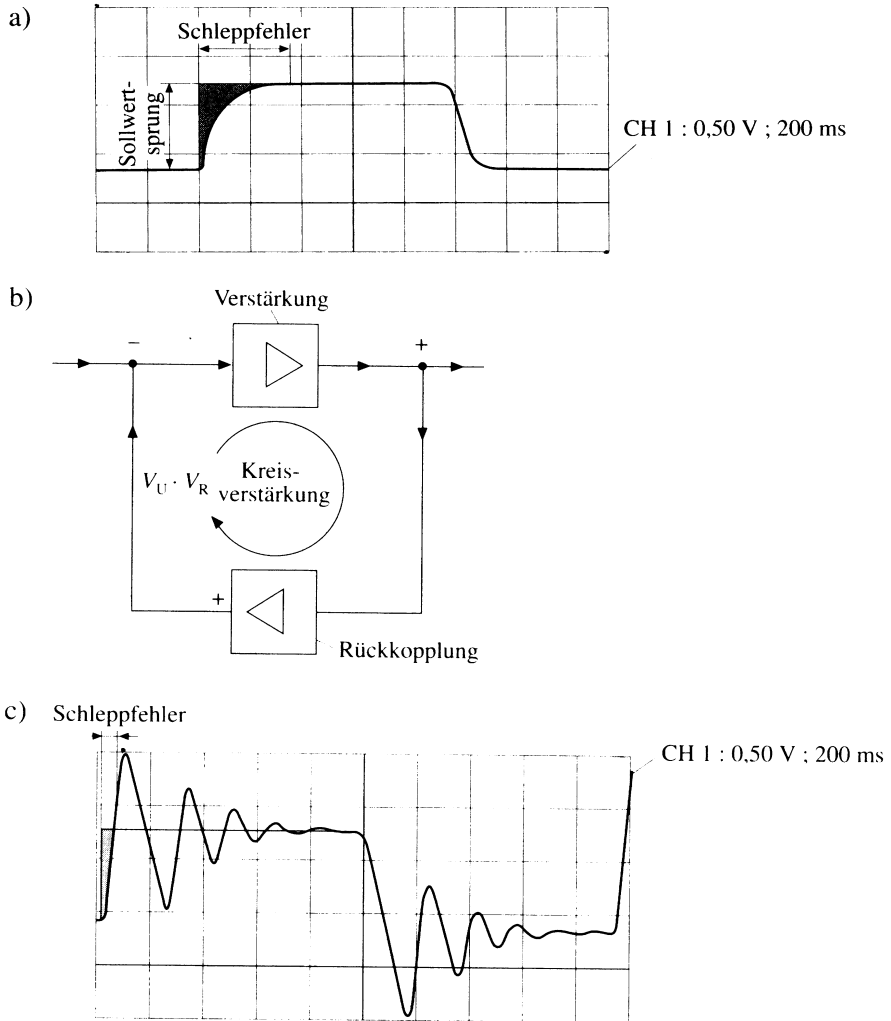


Abb. 8.2: Auswirkungen der Kreisverstärkung

- a) die Kreisverstärkung ist klein, der Schleppfehler wird groß
- b) Zusammenhang Verstärkung, Rückkopplung und Kreisverstärkung
- c) die Kreisverstärkung ist groß, der Schleppfehler wird klein, aber die Regelung schwingt

2. Die Gesamtverstärkung in einem geschlossenen Regelkreis wird als Kreisverstärkung (K_v) bezeichnet (Abb. 8.2b). Die Kreisverstärkung bestimmt im Wesentlichen das Reglerverhalten. Eine zu hohe Verstärkung führt zu Schwingungsneigungen (Abb. 8.2c).

Das Schwingungskriterium ergibt sich aus dem Rückkopplungsfaktor und dem Verstärkungsfaktor.

Bei zu kleiner Kreisverstärkung nähert sich die Ist-Drehzahl zu langsam an die Soll-Drehzahl und umgekehrt ($K_v = V_u \cdot V_r \geq 1$). Daher ist K_v umgekehrt proportional zum Schleppfehler. Die Kreisverstärkung muss so optimiert werden, dass der Motor seine Soll-Drehzahl so schnell wie möglich erreicht, ohne jedoch zu schwingen.

Der Integralverstärker wirkt durch seine Funktion, das Ausgangssignal als Integral des Eingangssignals über eine bestimmte Zeit zu bilden, der Schwingungsneigung des ganzen Verstärkersystems (Motor, Tachogenerator und Verstärker) entgegen (Abb. 8.3a und Abb. 8.3b).

Der Differenzialverstärker soll das Ausgangssignal proportional zur Steilheit des Tachometersignals verändern. Diese Verstärkerfunktion wirkt daher schnellen Tachosignaländerungen stärker entgegen als langsamen (Abb. 8.4a und Abb. 8.4b).

Abb. 8.5a bis Abb. 8.5d zeigen weitere Einstellmöglichkeiten und deren Einfluss auf das Regelverhalten des Antriebssystems.

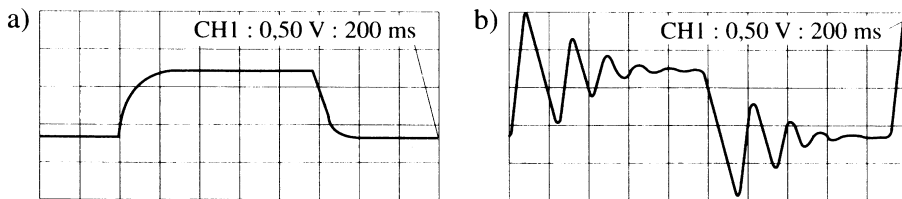


Abb. 8.3: Einfluss des Integralreglers

- a) überhöhter I-Anteil, Schleppabstand wird größer (langsame Annäherung); Kreisverstärkung ist klein
- b) verringerter I-Anteil, kleiner Schleppabstand, große Kreisverstärkung, Schwingungsneigung

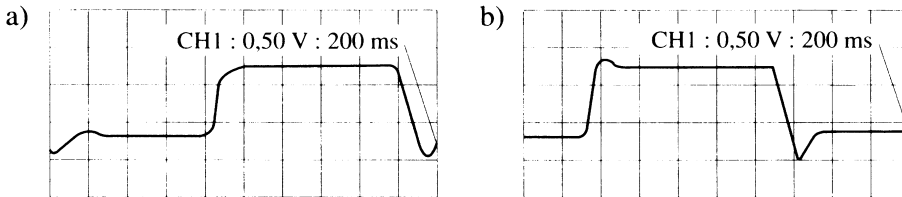


Abb. 8.4: Einfluss des D-Reglers

- a) überhöhter D-Anteil, Flanke zu Beginn der Näherung wird steiler
- b) verringerter D-Anteil bewirkt nur geringfügige Vergrößerung des Schleppabstands

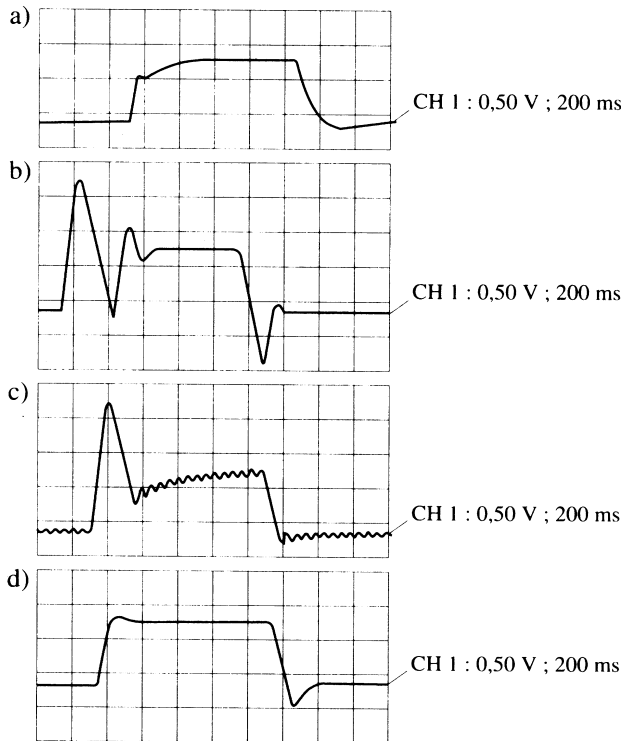


Abb. 8.5 Einfluss des PID-Reglers

- a) ID-Anteil vergrößert, ergibt zuerst schnelle, dann langsame Annäherung
- b) Vergrößerung der PID-Summe, Kennlinie des gesamten Regelkreises wird zu steil und damit zu schnell
- c) überhöhter P-Anteil bewirkt überproportionale Reaktion auf Sollwert-Sprung
- d) optimierte PID-Regelung, folgt dem Sollwert-Sprung (Rechteck); der Überschwin-
ger an der abfallenden Flanke kann ohne Bremse nicht verhindert werden

8.4 Buskonflikte mit Logiktriggerung erfassen

Für das Auffinden von Buskonflikten gibt es zwei Triggerarten: Triggerung auf Bitmuster (Pattern) und Statustriggerung.

Triggerung auf Bitmuster ist aktiv, wenn eine Kombination von Logikpegeln den Triggerpegel erreicht hat. In der Anwendung kann bestimmt werden, ob getriggert wird, wenn das Bitmuster den Triggerpegel erreicht oder wenn es den Triggerpegel verlässt.

Die Triggerung auf Bitmuster wird eingesetzt zur Herausfindung bestimmter Logikzustände oder zur Erkennung ungültiger Logikzustände. In der Abb. 8.6a gezeigten

Schaltung sollen Buskonflikte festgestellt werden. Daher muss herausgefunden werden, ob die beiden Bustreiber (CH2 und CH3) versuchen, den Bus gleichzeitig zu belegen. Der vierte Messkanal, der den Systemtakt misst, wird in diesem Stadium auf „don't care status“ (X) eingestellt (Abb. 8.6b).

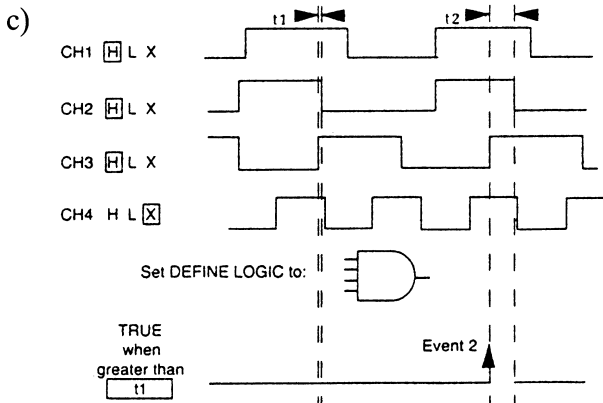
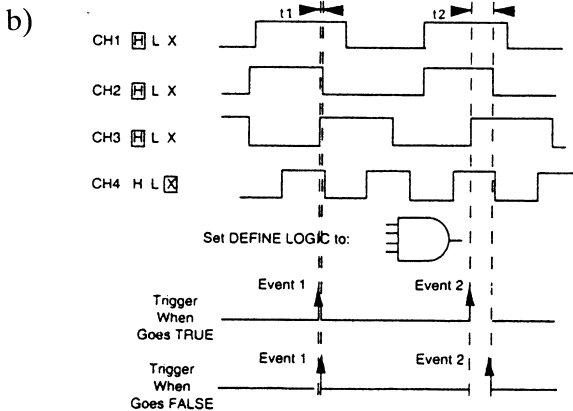
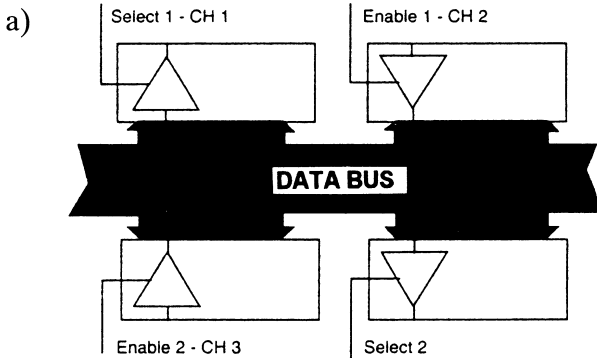


Abb. 8.6: Logiktriggerung auf Bitmuster

- a) Anschluss der Messkanäle an den Datenbus
- b) Bus-Triggerung in einem asynchronen System
- c) Zeitqualifizierte Triggerung auf Bitmuster von Bus-Signalstörungen

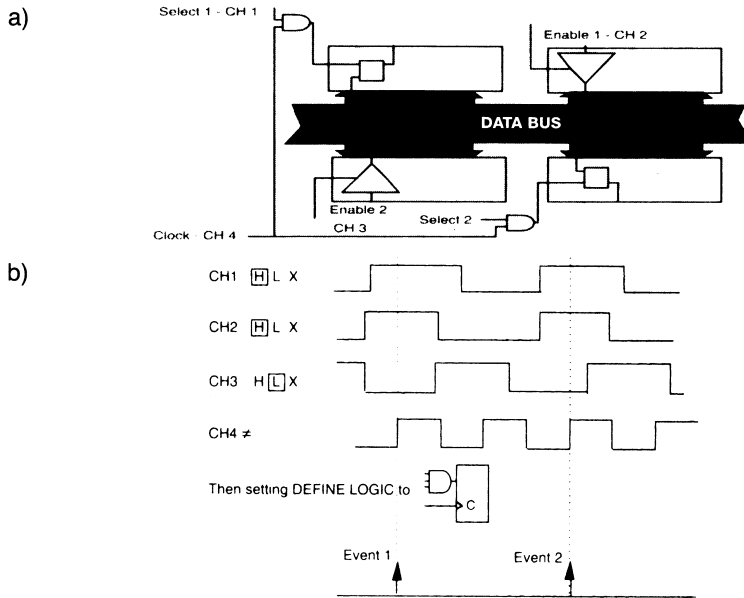


Abb. 8.7: Statustriggerung

a) Synchrone Busstruktur

b) Statustriggerung in einem synchronen Bussystem

Wie die Abb. 8.6b zeigt, könnte das Gerät zwei mögliche Trigger finden. Das Ereignis lässt sich beobachten, entweder zu Beginn des Einstellpatterns oder am Ende. Bei näherer Betrachtung der Bitmuster sieht man, dass das Triggerereignis (Event 1) auftritt, weil die Einstellzeit nicht stimmt. Das veranlasst beide Treiber für eine kurze Zeit aktiv zu sein. Obwohl dieser Zustand unerwünscht ist, ist er nicht die Ursache für den Datenbusfehler.

Der Fehler liegt im zweiten Ereignis (Event 2). Die Treiber werden für eine bestimmte Zeitspanne abgeschaltet. Damit das Ereignis 1 unterdrückt wird und auf das Ereignis 2 getriggert wird, stellt man die Triggerbedingung so ein, dass die Bedingungen für eine Zeitspanne größer als t_1 gültig (TRUE) sind (Abb. 8.6c).

Wird das Bussystem über einen Systemtakt synchron betrieben, eignet sich die Statustriggerung. Die Abb. 8.7a zeigt ein Busbeispiel, bei dem der Eingangstreiber als Latch-Treiber arbeitet. Das Taktsignal wird zum Erfassen der Daten benutzt und das vorhandene Signal zur Freigabe des Taktsignals. Diese Konstellation kann nur in einem System funktionieren, in dem die Steuersignale der verschiedenen Bauelemente am Bus auf einen Mastertakt synchronisiert sind. Die Messung in Abb. 8.7b zeigt, dass die Daten immer dann erfasst werden, wenn es keinen Buskonflikt gibt. Daher werden Fehler nicht durch das System weitergeleitet.

8.5 BUS-Systeme

Werden mit einem Oszilloskop in einem Mikrocomputersystem Pegel und Signale gemessen, ist zu beachten, dass die Informationen Bit-seriell erfasst werden. Bei einem Zweikanaloszilloskop bedeutet dies, dass von einem 8 Bit breiten Datenbus nur 2 Bit parallel gleichzeitig zueinander dargestellt werden können.

Festlegung des Triggersignals

Die Auswahl des Triggersignals erfordert beim Messen an Mikrocomputern die größte Aufmerksamkeit. Denn alles, was an Impulsdiagrammen auf dem Bildschirm erscheint, bezieht sich auf den zeitlichen Punkt der Triggerung. Ist dieser zeitliche Fixpunkt nicht für alle Messungen gleich, entstehen Messfehler, die unter Umständen als solche überhaupt nicht erkannt werden.

Die Abb. 8.8 zeigt, dass bei einem festen Zeitmaßstab ein stehendes Bild bzw. ein Bild ohne Geisterimpulse (Impulse mit durchgezogener Linie am Impulsdach und am Impulsfuß) nur möglich ist, wenn das Oszilloskop eine Trigger-Auslösesperre (Hold-Off) besitzt. Der Hold-Off muss durch Probieren so eingestellt werden, dass ein ordnungsgemäßes Impulsdiagramm dargestellt wird.

Die Abb. 8.9 zeigt, wie man auch dann brauchbare Impulsdiagramme erzeugen kann, wenn das Oszilloskop keine Hold-Off-Funktion besitzt.

Allerdings ist hier beim Einstellen der Sägezahnlänge (Zeitablenkung) etwas Fingerspitzengefühl erforderlich. Denn die Triggerschaltung löst den Sägezahn mit dem nächsten auftretenden Impuls aus, nachdem der Sägezahn sich in Wartestellung befindet.

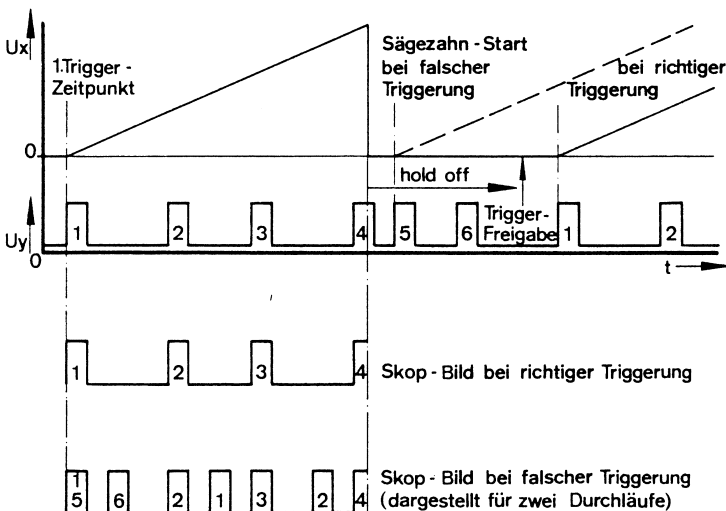


Abb. 8.8: Messung an einer Tri-state-(Bus-)Leitung mit Hold-Off-Funktion

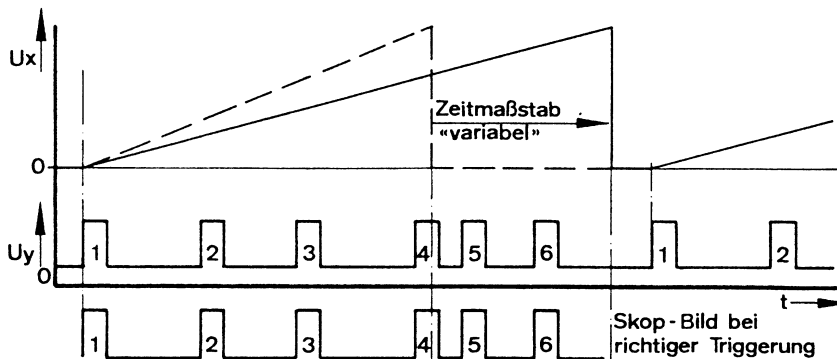


Abb. 8.9 Messung an einer BUS-Leitung ohne Hold-Off-Funktion

Wird nach einer der beiden erklärten Triggerv Verfahren ein Programm, das aus mehr als ca. 5 Maschinenbefehlen besteht, ausgemessen, ist der Abstand der zusammengehörenden Triggersignale zu groß. Ein sinnvolles Auswerten des Impulsdigramms ist kaum mehr möglich. Besitzt das Oszilloskop jedoch eine zweite Zeitbasis, kann das Impulsdigramm wieder beliebig gespreizt werden (Abb. 8.10).

Versuch: Auswerten von Impulsdigrammen

Bei Mikroprozessoren arbeiten Steuer-, Adress- und Daten-Bus jeweils parallel.

Wird der zeitliche Verlauf der Signalleitungen mit einem Zweikanal-Oszilloskop untersucht, ist beim Auswerten der Impulsdigramme darauf zu achten, dass die Kontrolle der Signalzustände von den zu untersuchenden Busleitungen parallel erfolgt. Bedingung hierfür ist jedoch ein eindeutiges Triggerereignis.

Die Oszillogramme in Abb. 8.11 sind mit einem Zweikanaloszilloskop (Grenzfrequenz 35 MHz) aufgenommen worden.

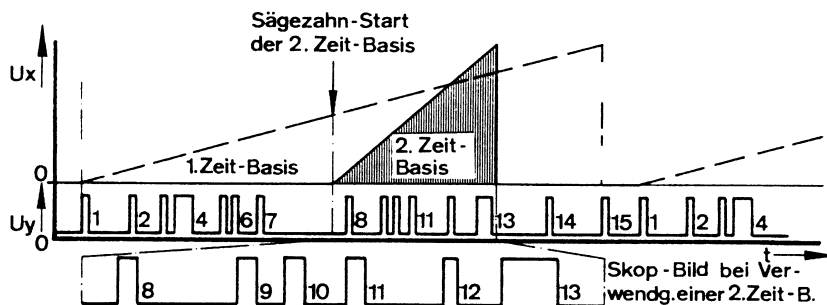


Abb. 8.10 Messung von Datenbusinformationen hoher Frequenz mit zweiter Zeitbasis

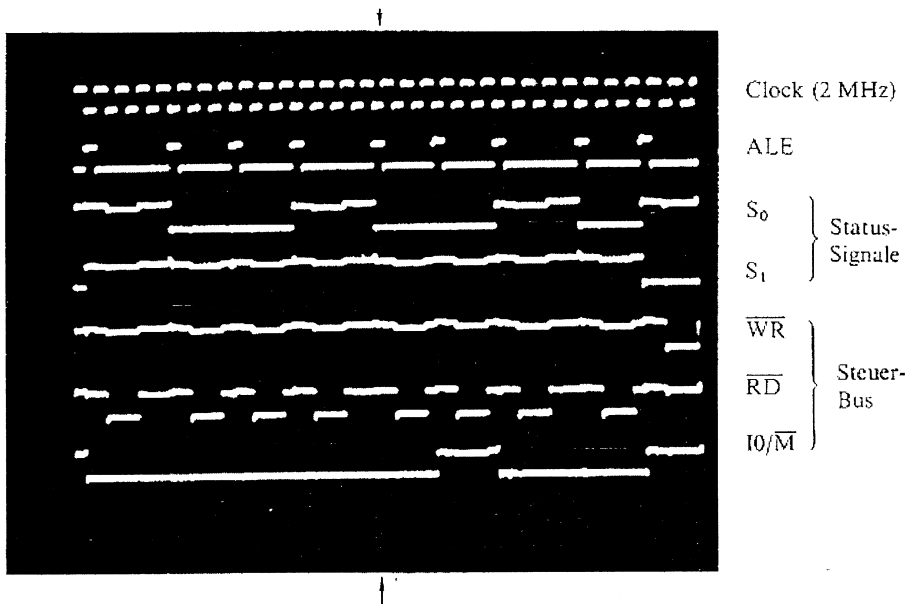


Abb. 8.11 Zeitliche Zuordnung der BUS-Steuersignale für den Maschinenzyklus „Operationscode im Speicher lesen“.

Die Darstellung von insgesamt sieben Impulssdiagrammen wurde durch Mehrfachbelichtung mit einem Fotoapparat ermöglicht.

Da immer nur zwei Signale gleichzeitig dargestellt werden können, muss bei der Triggerung immer darauf geachtet werden, dass das Signal mit der niedrigeren Frequenz als Triggerquelle eingesetzt wird.

Die folgende Auswertung der Steuersignale erfolgt zu dem mit den Pfeilen markierten Zeitpunkt.

Das Clock-Signal geht zu diesem Zeitpunkt von H- auf L-Pegel, dies hat zur Folge, dass das Status-Signal S_0 ebenfalls von H- auf L-Pegel geht, während das ALE-Signal von L- auf H-Pegel umgeschaltet wird.

Die anderen Signale ändern sich zu dem markierten Zeitpunkt nicht.

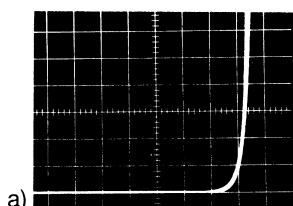
Der Darstellung der Steuersignale auf dem Oszillogramm kann folgender Maschinenstatus entnommen werden:

Die Status-Signale führen vor dem Umschalten von S_0 H-Pegel. Dies entspricht dem Maschinenzyklus „Operationscode lesen“. Nach der Änderung von S_0 auf L-Pegel wird ein neuer Maschinenzyklus eingeleitet.

Die Steuerleitung IO/M führt zu diesem Zeitpunkt L-Pegel und der Ausgang RD (Lesespeicher) geht einen Clock später ebenfalls auf L-Pegel, zusammen mit dem ALE-Ausgang (Adressenzwischenspeicher freigeben). Dies entspricht dem Maschinenzklus „Speicher lesen“.

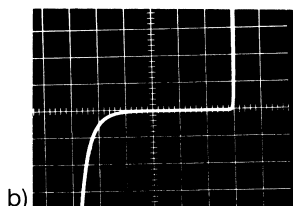
8.6 Darstellung der Kennlinien von Bauelementen

Die Kennlinie eines Bauelements ist die grafische Darstellung zweier voneinander abhängiger Größen, z. B. von Strom und Spannung, in einem rechtwinkligen Koordinatensystem. Die um 90 Grad versetzten Ablenkplatten des Oszilloskops entsprechen einem solchen Koordinatensystem. Man kann deshalb auf dem Oszilloskop Kennlinien in der X-Y-Betriebsart abbilden. Als Messspannung verwendet man eine Wechselspannung, da bei Gleichspannung nur jeweils ein Punkt der Kennlinie dargestellt würde.



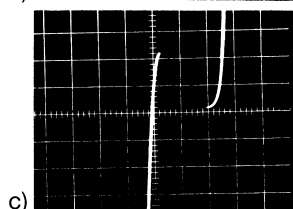
Zeitablenkung			
TIME/DIV	X-EXT	X-POS	X-MAGN
-	0,2	0	1

Y - Meßeingang Kanal A				
Kopl.	V/DIV	Y-Pos.	Pol.	B.-A.
DC	2 mA	-4	+	A



Zeitablenkung			
TIME/DIV	X-EXT	X-POS	X-MAGN
-	1 V	0	1

Y - Meßeingang Kanal A				
Kopl.	V/DIV	Y-Pos.	Pol.	B.-A.
DC	2 mA	0V	+	A



Zeitablenkung			
TIME/DIV	X-EXT	X-POS	X-MAGN
-	0,2	0	1

Y - Meßeingang Kanal A				
Kopl.	V/DIV	Y-Pos.	Pol.	B.-A.
DC	2 mA	0	+	A

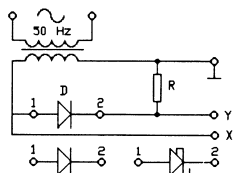


Abb. 8.12: Diodenkennlinien:

- a) PN-Siliziumdiode
- b) Z-Diode
- c) Tunneldiode

Ströme müssen mit Hilfe von Widerständen in Spannungen umgesetzt werden.

Versuch 1: Diodenkennlinien

Zur Aufnahme der Kennlinien von zweipoligen Bauelementen kann die in *Abb. 8.12* dargestellte Versuchsschaltung eingesetzt werden.

Bei der Dimensionierung des Vorwiderstands R ist darauf zu achten, dass der maximal zulässige Strom I_D durch die Diode nicht überschritten wird, weil dies die Zerstörung des Bauelements zur Folge hätte. Die Grenzwertdaten für das Bauelement müssen den technischen Daten entnommen werden.

Die Sperr- und Durchlassspannungen der Dioden werden in X-Richtung dargestellt. Sie können, mit der Rasterteilung multipliziert, mit den eingestellten Ablenkkoefizienten direkt abgelesen werden. Damit zwischen Sperr- und Durchlassspannung genau unterschieden werden kann, muss vorab ohne Signale der Nullpunkt des Koordinatensystems definiert werden.

Der Strommaßstab in der vertikalen Y-Ablenkung muss aus dem Quotienten von Ablenkkoefizient und Messwiderstand R berechnet werden

Damit der Strommaßstab am Bildschirm direkt abgelesen werden kann, wird ein Mess- und Vorwiderstand eingesetzt, dessen Widerstandswert einer Zehnerpotenz entspricht, also $1\ \Omega$, $10\ \Omega$, $100\ \Omega$.

Dazu ein Beispiel:

Der eingestellte Y-Ablenkkoefizient beträgt $0,1\ \text{V/DIV}$, der Mess- und Vorwiderstand hat einen Wert von $100\ \Omega$. Der Ablenkkoefizient für den Strommaßstab errechnet sich zu $0,1\ \text{V}/100\ \Omega = 1\ \text{mA/DIV}$.

Den Koordinaten-Nullpunkt auf dem Bildschirm für die Diodenkennlinie in *Abb. 8.12a* bildet die vertikale Mittellinie und die untere vorletzte horizontale Rasterlinie.

Von der vertikalen Mittellinie aus nach rechts kann die Durchlassspannung in horizontaler Richtung abgelesen werden ($2,5\ \text{Teile} \cdot 0,2\ \text{V} = 0,5\ \text{V}$).

Der vertikale Kennlinienverlauf zeigt den Stromanstieg in Durchlassrichtung bis zur Schirmbegrenzung.

Links von der vertikalen Mittellinie aus zeigt sich der Sperrbereich der Diode. Die Kennlinie verläuft auf der Nulllinie, weil in diesem Bereich nur ein geringer Sperrstrom fließt.

Die Darstellung der Z-Dioden-Kennlinie in *Abb. 8.12b* zeigt den Koordinaten-Nullpunkt auf der Mittellinie in horizontaler Richtung und ein Raster links von der vertikalen Mittellinie.

Der Arbeitsbereich der Z-Diode liegt im oberen rechten Quadranten. Die Z-Spannung beträgt 4 V bei 1 V/DIV. Der Durchlassbereich liegt im unteren linken Quadranten. Diese Darstellung ergibt sich aus der Betriebsart der Z-Diode, die im Vergleich zur Diode im Sperrbereich betrieben wird.

Abb. 8.12c zeigt die Tunneldiode von der Bildschirmmitte aus in Sperr- und Durchlassrichtung. Das Maximum des Tunnelstroms I_t ist bei niedrigen Spannungen vor dem Bereich des negativen Widerstands erreicht. Der Strom hat einen Wert von 4 mA bei 2 mA/DIV. Die zugehörige Spannung U_t beträgt ca. 60 mV.

Der minimale Tunnelstrom I_v beträgt im Minimum des Tales ca. 0,2 mA.

Die Spannung U_v beträgt ca. 440 mV. Aus dem Verhältnis der Spannungs- und Stromdifferenzen errechnet sich dann der Mittelwert des nicht sichtbaren differentiellen und negativen Widerstands r:

$$r = \frac{U_v - U_t}{I_v - I_t} = \frac{440\text{ mV} - 60\text{ mV}}{110\text{ }\mu\text{A} - 1000\text{ }\mu\text{A}} = -414\text{ }\Omega$$

Versuch 2: Eingangskennlinie eines Transistors

Mit dem Oszilloskop lassen sich nahezu alle Kennlinien darstellen, die im Datenblatt eines Transistors angegeben sind.

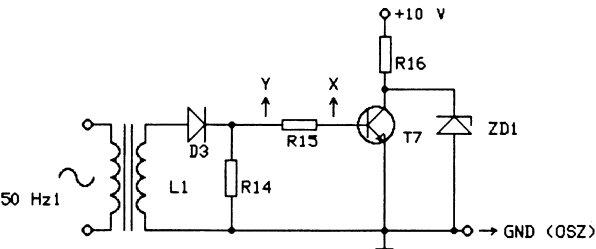
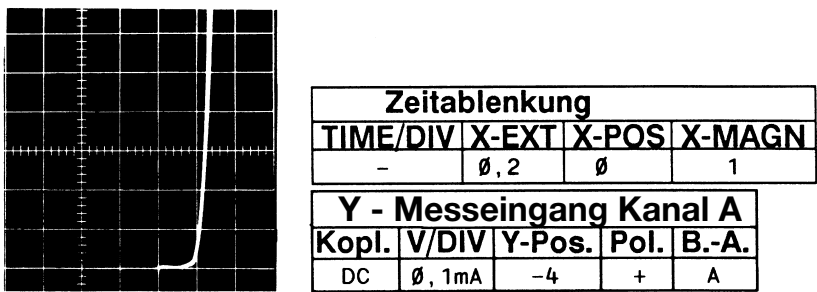


Abb. 8.13: Aufnahme einer NPN-Transistor-Eingangskennlinie

Zur Darstellung der Eingangskennlinie $I_B = f(U_{BE})$ eines Kleinsignaltransistors wird die Schaltung in Abb. 8.13 eingesetzt.

Die Versorgungsspannung $+U_B = 10\text{ V}$ wird einem Regelnetzgerät entnommen. Die Z-Diode D1 hält die Spannung U_{CE} konstant. Die Eingangsschwellenspannung 10 bis 20 V kann einem Netztrenntrafo entnommen werden.

Die durch die Diode gleichgerichtete Wechselspannung wird über den hochohmigen Widerstand $R15 = 100\text{ k}\Omega$ zur Basisansteuerung wirksam. Die zum Basisstrom proportionale Spannung für die Y-Ablenkung wird an dem Widerstand $R15$ abgenommen. Die Spannung U_{BE} wird direkt an der Basis für die X-Ablenkung abgegriffen.

Auf dem Bildschirm wird dann die Eingangskennlinie entsprechend der Abbildung dargestellt.

Versuch 3: Steuerkennlinie eines Transistors

Die Schaltung in Abb. 8.14 zeigt die Versuchsschaltung zur Darstellung der Steuerkennlinie $I_C = f(U_{BE})$. Als Versorgungsspannung werden $+U_B = 1,5\text{ V}$ benötigt (Netzteil potenzialfrei).

Der Transistor wird wie im vorhergehenden Versuch angesteuert.

Damit das Messergebnis nicht zu sehr verfälscht wird, darf der Messwiderstand $R3$ nicht größer als $10\text{ }\Omega$ werden. Hierdurch ergibt sich ein Kollektorstrom I_C von ca. 5 mA .

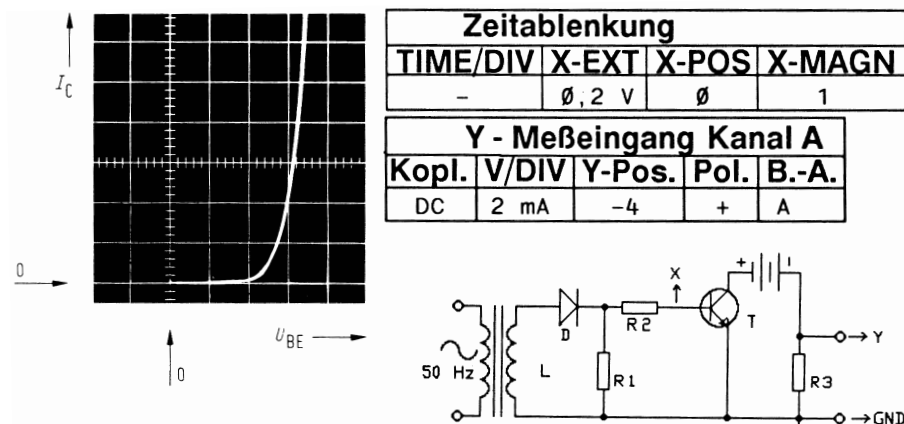


Abb. 8.14: Aufnahme einer NPN-Transistor-Steuerkennlinie

Versuch 4: Ausgangskennlinien eines Transistors

Für die Ansteuerung des Transistors wird ein Rechteckgenerator mit ca. 4 V Ausgangsspannung benötigt. Die in Reihe zur Versorgungsspannung geschaltete Wechselspan-

nung (50-Hz-Generator oder Stelltrenntransformator) wird ebenfalls auf ca. 4 V eingestellt (Abb. 8.15).

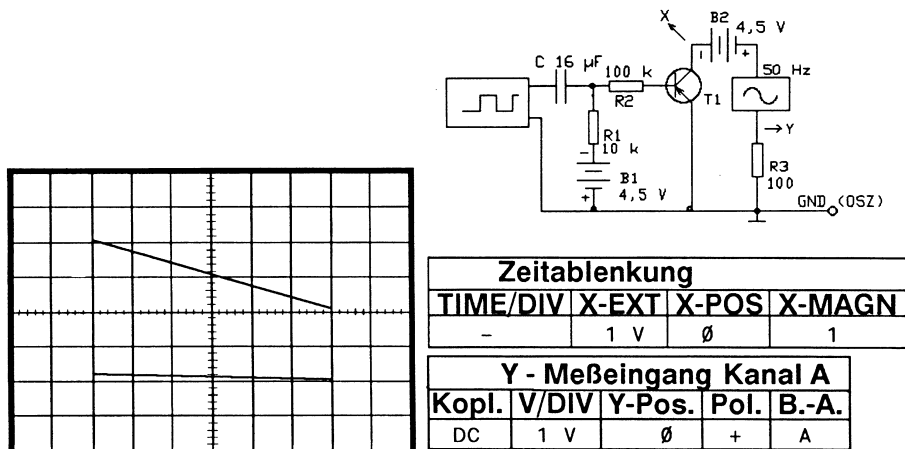


Abb. 8.15: Aufnahme einer NPN-Transistor-Ausgangskennlinie

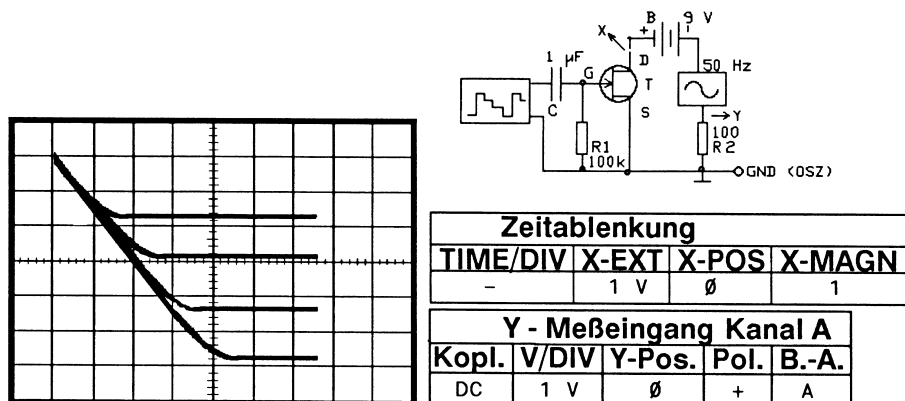


Abb. 8.16: Aufnahme einer N-FET-Ausgangskennlinie

Die Spannung an R3 (Y-Ablenkung) ist proportional zum Kollektorstrom.

Die Kollektorspannung U_{CE} liegt an der X-Ablenkung.

Das Oszillogramm zeigt zwei Kennlinien. Die untere Kennlinie entspricht in etwa der Eingangsspannung $U_{BE} = 0$ V (L-Pegel des Rechtecks).

Die obere Kennlinie wird durch den H-Pegel des Rechtecks erzeugt.

Versuch 5: Ausgangskennlinien eines Feldeffekt-Transistors

Für den dargestellten Versuch in *Abb. 8.16* wird ein Kleinsignaltransistor (N-Typ) eingesetzt.

Am Treppenspannungsgenerator wird eine Periodenzeit von $T = 0,2$ ms eingestellt. Die Stufenspannung beträgt etwa 1 V. Die Wechsel- und die Gleichspannung werden auf 8 bis 10 V eingestellt.

Das dargestellte Oszillogramm enthält vier Kennlinien, entsprechend der angelegten Treppenspannung $-U_{GS} = 3, 2, 1$ und 0 V.

8.7 Drehzahlmessungen an Inkrementalgebern

Das Grundprinzip eines inkrementalen Drehgebers mit berührungsloser Abtastung zur Geschwindigkeitsmessung besteht in der Messung der Impulsanzahl während einer bestimmten Zeitdauer oder des Zeitabstands zwischen zwei Phasen. Daraus ergibt sich ein Maß für die Geschwindigkeit. Wenn man für Servosysteme von einem dynamischen Verhältnis von 1:20 000 (Impulse pro Umdrehung) ausgeht, ergeben sich jedoch Probleme für den Inkrementalgeber. Damit kleine Drehzahlen überhaupt noch erfasst werden können, muss die Auflösung, d. h. die Anzahl der Impulse pro Umdrehung, entsprechend hoch gewählt werden. Dies führt bei hohen Drehzahlen zu Frequenzen von einigen MHz. Darüber hinaus würde die Anzahl der Informationen zu Null werden, wenn man sich dem Drehzahlnullpunkt nähert.

Lässt man jedoch die Lichtschranke um die Impulsscheibe drehen, so wird bei Welledrehzahl Null eine konstante Frequenz erzeugt. Bei Drehung der Impulsscheibe mit der Lichtschranke wird die Frequenz geringer, bei Drehung gegen die Drehrichtung der Lichtschranke größer. In der Praxis werden Systeme mit feststehenden Sendern, Blenden und Empfängern aufgebaut, wobei das Licht mit einer konstanten Frequenz umlaufend gepulst wird. Ein wesentliches Kriterium für dieses System ist die direkte Proportionalität der Frequenzänderung zur Drehzahländerung. Da die Frequenzänderung nicht sprunghaft ist, sondern sich in Form einer kontinuierlichen Phasenverschiebung über beliebig viele Phasen ergibt, ist das Verhalten bei Drehzahl Null bis zur maximalen Drehzahl gleich gut.

Als Impulsscheibe verwendet man die eines inkrementalen Drehgebers oder eines Linearmaßstabs. Die Signale können auch direkt als Information über den Drehwinkel ausgewertet werden. Zählt man die Anzahl der periodischen Frequenzverschiebungen, so erhält man eine Information über den Drehwinkel der Welle in inkrementaler Form, deren Auflösung von der Anzahl der Impulse/Umdrehungen abhängt.

Versuch: Messungen am Winkelcodierer

Für den reibungslosen Ablauf der Übertragung ist es notwendig, dass eine definierte Anzahl von Impulsen (Taktbüschel) auf den Takteingang des Winkelcodierers gelegt wird (loop in). Daraufhin muss eine Pause erfolgen, deren Zeit t_p abhängig von

der Taktfrequenz ist (vgl. oberes Oszillogramm in Abb. 8.17). Während der Zeit, in der kein Taktsignal am Codierer anliegt, ist das codeinterne Parallel-Seriell-Schieberegister auf parallel geschaltet.

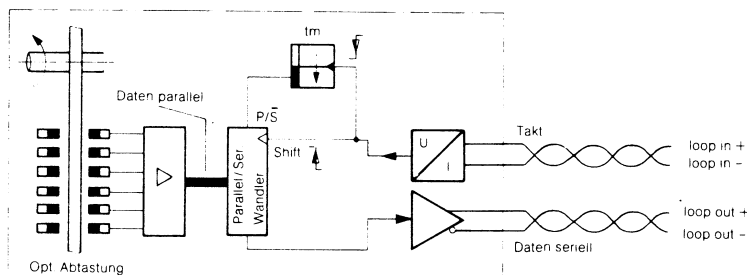
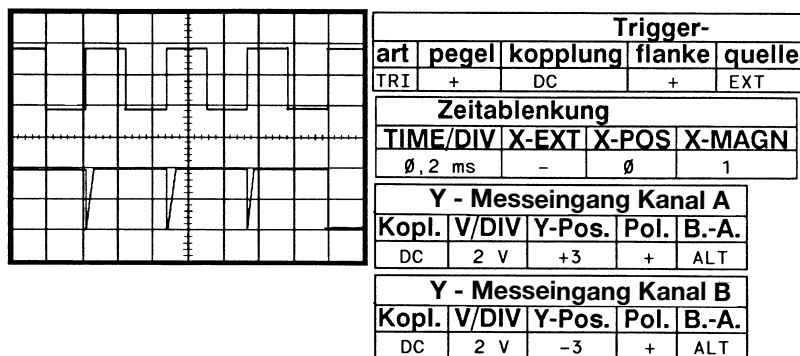


Abb. 8.17: Messungen an Inkrementalgeber
Oberes Oszillogramm: Takteingangssignal
Unteres Oszillogramm: Taktausgangssignal

Die Winkelinformation liegt parallel an. Sobald mit Beginn der Datenübertragung auf seriell geschaltet wird, wird die Winkelinformation gespeichert und über loop out ausgegeben (vgl. unteres Oszillogramm in Abb. 8.17).

Mit dem ersten Wechsel des Taktsignals von High auf Low wird das retriggerbare Monoflop angesteuert, dessen Monoflopzeit t_m größer als die Periodendauer T des Taktsignals sein muss.

Der Ausgang des Monoflops steuert das Parallel-Seriell-Register über den Anschluss P/S (Parallel-Seriell).

Mit dem ersten Wechsel des Taktsignals von Low auf High wird das höchstwertige Bit (MSB) der Gray-codierten Winkelinformation an den seriellen Datenausgang des Codierers gelegt. Mit jeder weiteren steigenden Flanke wird das nächstniederwertige

Bit an den Datenausgang geschoben. Ist das niederwertigste Bit (LSB) übertragen, schaltet die Datenleitung auf Low, bis die Monoflopzeit t_m abgelaufen ist.

Die Datenleitung zeigt somit an, dass der Codierer noch nicht für eine weitere Übertragung bereit ist.

Schaltet die Datenleitung daraufhin wieder auf High, dann ist der Codierer für eine weitere Übertragung bereit.

8.8 Frequenzfilter

Frequenzfilter sind einfache oder gekoppelte LC-Resonanzkreise, die in ihrer Resonanzfrequenz durch Spannungsüberhöhung reagieren.

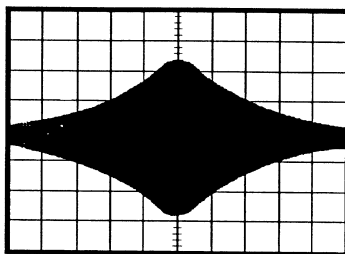
Werden diese Resonanzfrequenzen im HF-Bereich mit einer Niederfrequenz moduliert, kann die daraus resultierende Hüllkurve als Übertragungskennwert des Frequenzfilters auf dem Oszilloskop dargestellt werden.

Versuch 1: Frequenzbereich eines Schwingkreises

Die Messschaltung in Abb. 8.18 zeigt einen Hochfrequenzgenerator, der mit der extern zugeführten Modulationsfrequenz von 50 Hz frequenzmoduliert werden kann. Am Ausgang des Generators liegt ein Parallelschwingkreis.

Der HF-Generator ist ohne Modulationsspannung auf 450 kHz einzustellen, bei voller Ausgangsamplitude, der Widerstand R2 auf 100 k Ω .

Die 100-V-/50-Hz-Spannung ist an die Z-Achse anzuschließen, die X-Ablenkung auf X-EXT zu schalten und mit dem Kondensator C auf maximale Amplitude am Y-Eingang abzugleichen (Resonanzfrequenz 450 kHz).



Zeitablenkung			
TIME/DIV	X-EXT	X-POS	X-MAGN
-	1 V	\emptyset	1

Y - Messeingang Kanal A				
Kopl.	V/DIV	Y-Pos.	Pol.	B.-A.
AC	$\emptyset,5$ V	\emptyset	+	A

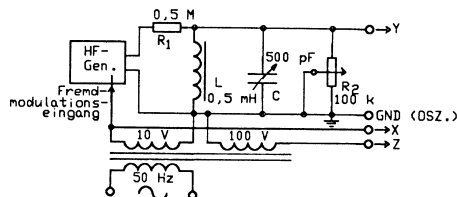


Abb. 8.18: Resonanzverhalten eines Parallelschwingkreises an frequenzmodulierter HF-Spannung

Am HF-Generator ist die Modulationsfrequenz 10 V, 50 Hz, anzuschließen und das Frequenzhubmaximum einzustellen. X- und Y-Verstärkung sind auf das dargestellte Oszillogramm abzugleichen. Bei zwei überlagerten Bildern sollte man die Bildhelligkeit mit INTENS zurücknehmen.

Die Hochfrequenz des Generators verändert sich entsprechend des eingestellten Frequenzhubs um die Resonanzfrequenz des Parallelschwingkreises von 450 kHz. Im selben Rhythmus der 50 Hz führt der Elektronenstrahl seine horizontale Schreibbewegung aus. Während eines vollständigen Modulationszyklus wird die Resonanzfrequenz zweimal durchlaufen, einmal beim Frequenzhub von der tiefsten Frequenz nach der höchsten Frequenz und ein zweites Mal beim Rücklauf von der höchsten nach der tiefsten Frequenz. Der Elektronenstrahl durchläuft entsprechend beim Vorlauf von links nach rechts und beim Rücklauf den Spannungsverlauf am Resonanzkreis. Die mit der Horizontalablenkung synchronisierte Z-Spannung (50 Hz) tastet den Elektronenstrahl während des Rücklaufs dunkel, dadurch entsteht nur ein Bild. Der Frequenzhub ist zur X-Spannung proportional. Daher kann die X-Achse des Oszillogramms als Frequenzachse betrachtet werden. Die Bildbreite entspricht dann dem doppelten Frequenzhub. Die Amplitude der Y-Spannung ist zur Schwingkreisimpedanz proportional. Der dargestellte Amplitudenverlauf stellt die Änderung der Schwingkreisimpedanz als Funktion der Frequenz dar.

Versuch 2: Frequenzbereich eines Bandfilters

Die Abb. 8.19 zeigt zwei Parallelschwingkreise, die über einen Koppelkondensator C3 ein Bandfilter bilden. Mit dem Schalter S kann der Y-Eingang wahlweise auf die Parallelschwingkreise umgeschaltet werden.

Die Hochfrequenz wird wieder ohne Modulation auf 450 kHz eingestellt.

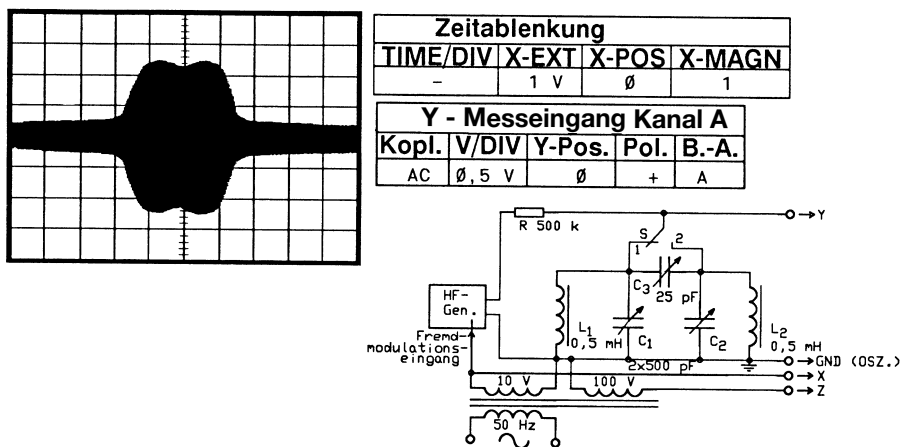


Abb. 8.19: Resonanzverhalten eines Bandfilters an frequenzmodulierter HF-Spannung

Der Kondensator C3 wird auf kleinsten Wert eingestellt. Der Schalter S wird in Stellung 2 geschaltet.

X-Kanal in Stellung X-EXT schalten und mit dem Kondensator C2 maximale Amplitude am Y-Eingang einstellen (Resonanzabgleich). Schalter S in Stellung 1 umschalten und den Kondensator C1 ebenfalls auf maximale Resonanzamplitude einstellen.

Frequenzmodulation einschalten und maximalen Frequenzhub einstellen.

An dem Kondensator C3 die Kapazität so weit vergrößern, bis sich ein Oszillogramm entsprechend der Abbildung ergibt.

Mit dem Kondensator wird die Kopplung der beiden Schwingkreise verändert. Dadurch ergibt sich eine mehr oder weniger breite Einsattelung in der Bandfilterdarstellung. Durch die Kapazitätsänderung von C3 wird auch die Resonanzfrequenz der Schwingkreise mit verändert, dadurch ergeben sich zwei Resonanzhöcker mit unterschiedlicher Frequenz, obwohl die beiden Schwingkreise auf die Frequenz von 450 kHz abgeglichen wurden.

8.9 Frequenzmessungen

Die Bestimmung der Frequenz eines Messsignals über den Zeitablenkfaktor des Oszilloskops ist relativ ungenau.

Die Messgenauigkeit wird durch Ablenkungenauigkeit der Zeitablenkung und durch Ablesefehler beeinträchtigt. Der gesamte Messfehler liegt hierbei im Bereich von 4...6 %.

Genauere Frequenzbestimmungen können nur über den Vergleich der Messfrequenz mit einer über die Zeit konstanten Vergleichsfrequenz durchgeführt werden.

Funktionsgeneratoren mit genauer Frequenzeinstellung (Frequenznormale) im Toleranzbereich $< 1\%$ sind teuer. Für die meisten Anwendungsfälle kann man die Netzfrequenz als Vergleichsfrequenz heranziehen, wenn die Messfrequenz im Bereich bis 500 Hz, max. bis 1 kHz liegt. Darüber hinaus muss ein Frequenznormal mit fester Frequenz (Quarzgenerator: 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz) herangezogen werden.

Als Frequenznormale kann man auch die Quarzoszillatoren von PCs oder von einer SPS heranziehen, wenn man unbekannte Messfrequenzen im Bereich von 1 MHz bis 100 MHz bestimmen will.

Bei den Frequenzvergleichsmessungen unterscheidet man folgende Messmethoden:

- Frequenzbestimmung über Lissajous-Figuren
- Frequenzbestimmung über Zykloiden
- Frequenzbestimmung über Z-Modulation
- Frequenzbestimmung über Netztrigger

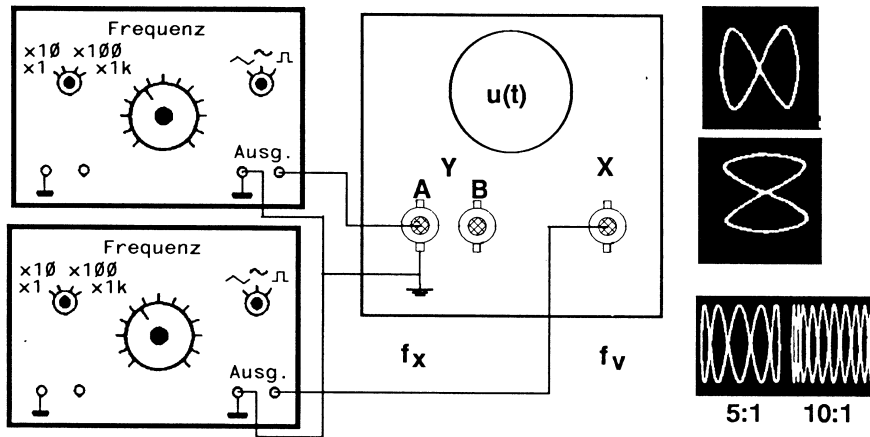


Abb. 8.20: Messaufbau für Frequenzvergleich über Lissajous-Figuren

In den folgenden Versuchen werden z. T. die Messmethoden zur Vereinfachung mit der Netzfrequenz als Vergleichsfrequenz durchgeführt.

Versuch 1: Vergleich über Lissajous-Figuren

Den Messaufbau für die Frequenzbestimmung über Lissajous-Figuren zeigt die Abb. 8.20.

An den X-Verstärker-Messeingang wird z. B. die bekannte Vergleichsfrequenz $f_v = 50$ Hz angeschlossen, an den Y-Messeingang die zu ermittelnde Messfrequenz f_x .

Jede der beiden Spannungen lenkt den Elektronenstrahl in seine Richtung ab, z. B. f_v in die waagerechte und f_x in die senkrechte Richtung.

Unter dem Einfluss beider Spannungen wird der Strahlpunkt in beiden Achsrichtungen entsprechend den Momentanwerten der Spannung ausgelenkt.

Haben die dem X- und Y-Eingang zugeführten Wechselspannungen gleiche Amplituden, gleiche Frequenz und gleiche Phasenlage, entsteht auf dem Bildschirm ein gegen die Horizontale um 45 Grad geneigter Strich.

Werden zwei gleiche Spannungen mit gleicher Amplitude und gleicher Frequenz, aber um 180 Grad phasenverschoben angeschlossen, dann ergibt sich eine nach links gegen die positive X-Achse um 135 Grad geneigte Gerade.

Sind die beiden Signale um 90 Grad gegeneinander verschoben, dann wird ein Kreis am Bildschirm dargestellt.

Ist die unbekannte Messfrequenz f_x doppelt so hoch (100 Hz) wie die Vergleichsfrequenz, dann entsteht eine liegende Acht.

Werden die beiden Messsignale vertauscht, $f_x = 100 \text{ Hz}$ an den X-Eingang und $f_y = 50 \text{ Hz}$ an den Y-Eingang, dann entsteht eine stehende Acht.

Aus diesen Unterschieden kann man ableiten, dass die Anzahl der Schleifen das geradzahlige Frequenzverhältnis der Signale darstellt.

Bei senkrecht stehenden Schleifen ist die Frequenz am X-Eingang höher als am Y-Eingang. Bei waagrecht liegenden Schleifen ist die Frequenz am Y-Eingang höher.

Versuch 2: Vergleich über Zykloiden

Wenn das Frequenzverhältnis von unbekannten und bekannten Signalen zu groß ist, können die Lissajous-Figuren nicht mehr ausgezählt werden.

Daher wendet man bei einem großen Frequenzverhältnis das Verfahren des modulierten Lissajous-Kreises (Zykloiden) an. Bei diesem Frequenzvergleich muss das unbekannte Messsignal eine höhere Frequenz, aber eine kleinere Amplitude als das Vergleichssignal aufweisen.

Zur Durchführung der Messung wird ein Messaufbau entsprechend *Abb. 8.21* benötigt.

Das bekannte Vergleichssignal wird durch einen Funktions- oder Sinusgenerator erzeugt, dessen Bezugspotenzial frei ist gegen die Gehäuse- und Erdverbindung. Auch beide Anschlüsse des unbekannten Messsignals müssen gegen Gehäusemasse und Netzerde potenzialfrei sein.

Bevor das Messsignal angeschlossen wird, muss der Widerstand R direkt an den X-Eingang des Oszilloskops angeschlossen und so eingestellt werden, dass bei der am Frequenzgenerator eingestellten Frequenz $R = C$ ist. Dadurch werden die Spannungen an den Bauteilen gegeneinander um 90° phasenverschoben. Wenn der Einstellbereich des Widerstands nicht ausreicht, muss die Frequenz des Generators geändert werden.

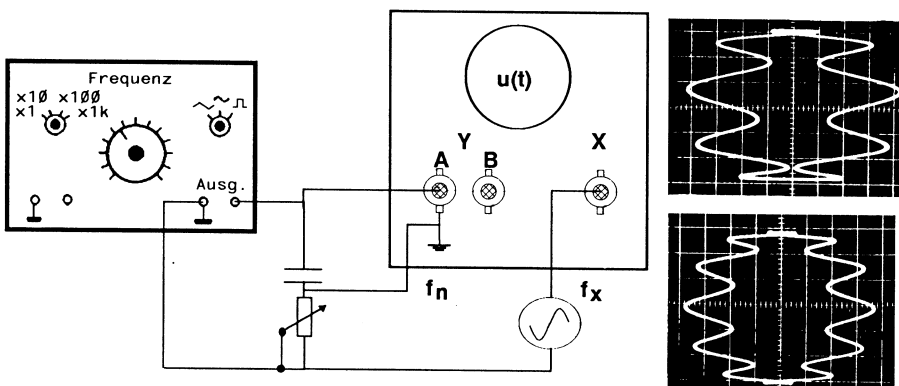


Abb. 8.21: Messaufbau für Frequenzvergleich über Zykloiden

Auf dem Bildschirm des Oszilloskops entsteht dadurch der aus Versuch 1 bekannte Kreis. Dieser Kreis wird auf Bildmitte zentriert. Danach wird das Messsignal entsprechend Abb. 8.21 angeschlossen. Durch die Phasenverschiebung des RC-Glieds wird die niedrigere Vergleichsfrequenz f_n durch die höhere Messfrequenz f_x moduliert. Die Darstellung zeigt ein Kurvenbild entsprechend der Darstellung.

Dreht sich das Bild, dann muss die Vergleichsfrequenz mit dem Generator so lange nachgestimmt werden, bis die Zykloiden stehen.

Zur Bestimmung der unbekannten Frequenz werden die rechten und die linken Amplituden z zusammengezählt und die Vergleichsfrequenz f_n am Generator abgelesen. Die Frequenz f_x des unbekannten Signals ergibt sich dann zu $f_x = z \times f_n$.

Für die Beispiele auf dem Bildschirm beträgt die eingestellte Vergleichsfrequenz $f_n = 1,25 \text{ kHz}$. Im oberen Bild beträgt die Anzahl der Schwingungen $z = 8$, in der unteren Darstellung $z = 10$.

Die unbekannten Frequenzen berechnen sich dann wie folgt:

$$f_x = 8 \cdot 1,25 \text{ kHz} = 10 \text{ kHz},$$

$$f_x = 10 \cdot 1,25 \text{ kHz} = 12,5 \text{ kHz}.$$

Versuch 3: Vergleich über Z-Modulation

Das Messverfahren durch Z-Modulation entspricht dem Messverfahren mit Zykloiden. In diesem Messverfahren muss die Amplitude des Messsignals sehr viel größer sein als die des Vergleichssignals.

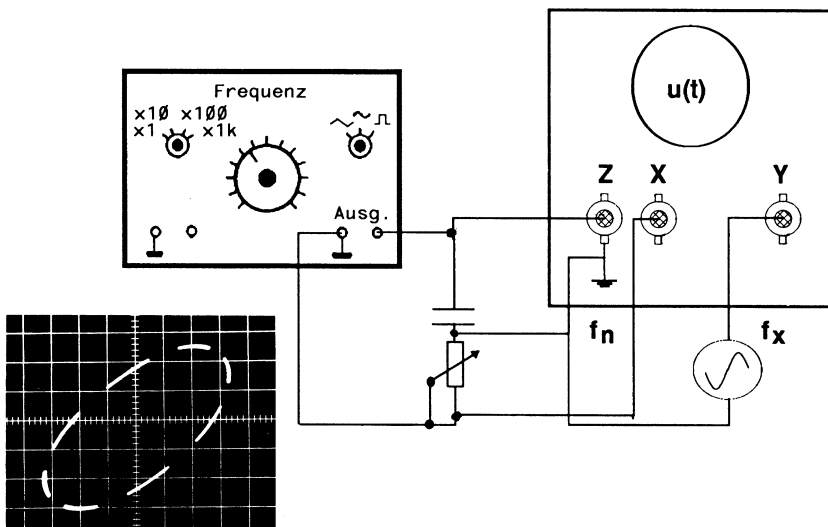


Abb. 8.22: Messaufbau für Frequenzvergleich über Z-Modulation

Das Messsignal wird zur Steuerung der Z-Achse und damit zur Helligkeitssteuerung herangezogen. Voraussetzung für diese Messung ist, dass das zur Verfügung stehende Oszilloskop eine Anschlussmöglichkeit für die Z-Modulation aufweist.

Der Versuchsaufbau in *Abb. 8.22* zeigt, dass das Vergleichssignal f_n über das Phasenschiebernetzwerk R und C auf die X-Y-Eingänge zur Darstellung der Lissajous-Figur verbunden ist. Das Messsignal f_x wird zur Modulation auf den Z-Eingang geschaltet. Somit wird die Lissajous-Figur mit den negativen Amplitudenwerten des Messsignals dunkel gesteuert, so dass sich auf dem Umfang des entstehenden Schirmbildes helle und dunkle Teilstücke abwechseln.

Zur Darstellung der Lissajous-Figur bleibt der Z-Eingang zunächst geschlossen. Nachdem der Kreis mit dem Widerstand R eingestellt und mit X-Y-Position zentriert ist, wird der Z-Eingang geöffnet und das Messsignal angeschlossen. Die Vergleichsfrequenz wird am Frequenzgenerator auf ein stehendes Bild korrigiert. Die unbekannte Frequenz f_x lässt sich aus der Anzahl z der Dunkelmarken und der am Frequenzgenerator eingestellten Frequenz f_n errechnen: $f_n \cdot z = f_x$

Der dargestellte Kreis in *Abb. 8.22* weist auf seinem Umfang acht Dunkelmarken auf. Die eingestellte Frequenz f_n beträgt 1 kHz. Danach berechnet sich die unbekannte Frequenz: $f_x = 8 \cdot 1 \text{ kHz} = 8 \text{ kHz}$

Versuch 4: Vergleich über Netzfrequenz

Die Netzfrequenz ist eine sehr genaue Frequenz, die zu vergleichenden Frequenzbestimmungen herangezogen werden kann. In diesem Fall wird sie über die interne Triggerquelle LINE des Oszilloskops als Vergleichsfrequenz herangezogen.

Die Triggerquelle LINE benutzt die 50-Hz-Netzwechselspannung als Triggerquelle.

Die unbekannte Messfrequenz f_x wird dann wie folgt bestimmt:

$$f_x = N_{fx} \cdot f_n \cdot p$$

N_{fx} ist die Anzahl der auf dem Bildschirm entstehenden Perioden (*Abb. 8.23*).

Der Faktor p definiert das Verhältnis der Zeitablenkfrequenz zur Bezugsfrequenz ($f_k : f_n$). Sind beide Zeiten gleich 20 ms, dann ist $p = 1$.

Das auf dem Bildschirm dargestellte Bild wird selten volle Perioden aufweisen. Entstehen Signalverläufe, die nur Teilstücke des Spannungsverlaufs der unbekannten Frequenz f_x enthalten, so liegt f_x unterhalb 50 Hz und ergibt sich als Quotient der bekannten Frequenz f_n und der Anzahl der Kurvenstücke A_k der unbekannten Frequenz f_x .

$$f_x = f_n / A_k \cdot p.$$

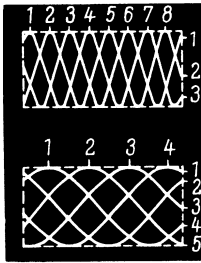


Abb. 8.23: Frequenzvergleich über Netztriggenung

In der Regel entstehen jedoch weder volle Perioden noch einfache Sinus-Kurvenbilder, sondern die in der Abbildung wiedergegebenen Kurvenformen. Um diese Bilder auszuwerten, zählt man die horizontalen Amplitudenspitzen und die vertikalen Kurvenenden. Dann ergibt sich die unbekannte Frequenz zu: $f_x = f_n \cdot A_h / A_v \cdot p$

Für die dargestellten Beispiele ergeben sich folgende Messfrequenzen:

$$f_x = 50 \text{ Hz} \cdot 8/3 \cdot 1 = 133 \text{ Hz}$$

$$f_x = 50 \text{ Hz} \cdot 4/5 \cdot 1 = 40 \text{ Hz}$$

8.10 Gleichtaktstörsignale an Schaltungen prüfen

Bevor Messungen an einer Schaltung durchgeführt werden, sollten die Tastkopfspitze und die Erdleitung mit den Massepunkt der Schaltung verbunden werden. Damit wird die Gleichtaktunterdrückung geprüft. Im Idealfall erscheint auf dem Oszilloskopbildschirm eine gerade Linie. Erscheinen dagegen Störimpulse (Gleichtaktstörung), wird sich diese Ungenauigkeit auch auf die Messergebnisse auswirken.

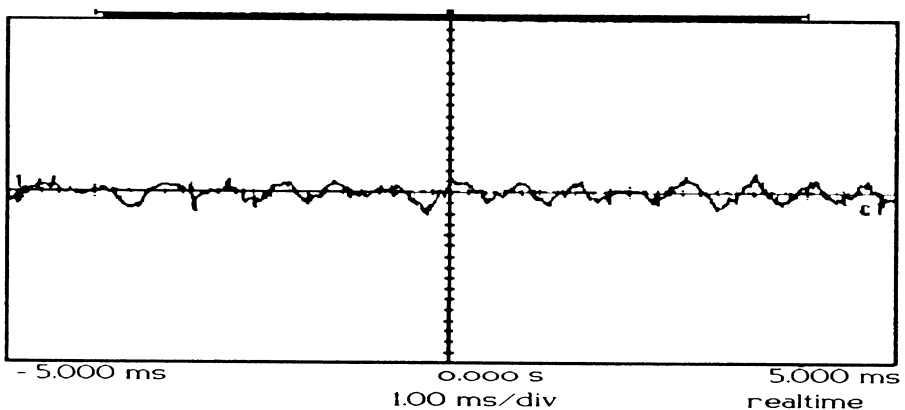


Abb. 8.24: a) Gleichtaktstörsignale bei langer Erdleitung

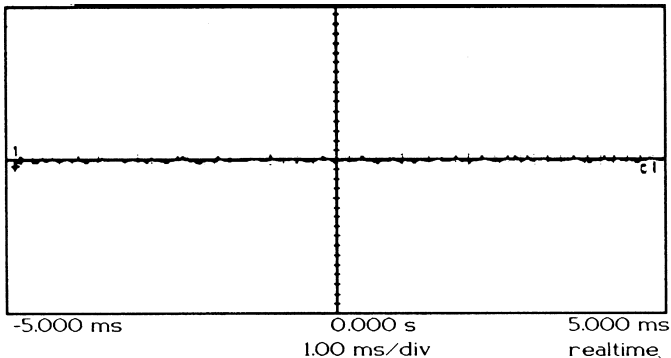


Abb. 8.24: b) Gleichtaktstörsignale bei kurzer Erdleitung.

In diesem Fall sollte der Messkreis geändert werden, damit die Messergebnisse genauer werden.

Die Abb. 8.24a und b zeigen die Auswirkung einer Verkürzung der Erdleitung.

In Abb. 8.24a wird die Betriebserde über eine ca. 15 cm lange Erdleitung kontaktiert.

In der Abb. 8.24b wird dieselbe Betriebserde über eine ca. 1,5 cm lange Erdleitung kontaktiert. Die Störimpulse sind jetzt so klein, dass sie die Messung nicht mehr wesentlich beeinflussen.

8.11 Impulsmessungen

In der digitalen Steuerungs- und Regelungstechnik, Kommunikationstechnik und der Datenverarbeitung haben wir es mit Impulsverarbeitungen und Impulsübertragungen zu tun. Die hierbei auftretenden Impulsveränderungen in Amplitude und Zeit ermöglichen Rückschlüsse auf die Übertragungseigenschaften der hierbei zur Anwendung kommenden Schaltungen und Verbindungsleitungen.

Die wichtigsten Pulsparameter in den Rechteckverzerrungen sind:

- A – Impulsdauer (Width) bezeichnet die Impulsbreite bei 50 % der Amplitude.
- B – Tastgrad (Duty Cycle) ist das Verhältnis von Impulsdauer/Pulsperiode.
- C – Tastverhältnis ergibt sich aus Pulsperiode/Impulsdauer.
- D – Anstiegszeit (Leading Edge) ist die Zeit zwischen 10 % und 90 % der Amplitude.
- E – Abfallzeit (Trailing Edge) ist die Zeit zwischen 90 % und 10 % der Amplitude.
- F – Jitter definiert die Zeitunsicherheit einer ansteigenden oder abfallenden Pulsflanke (Flankenjittern).
- G – Überschwingen (Overshoot) wird als erster Überschwinger über die Pulsamplituden in % definiert.

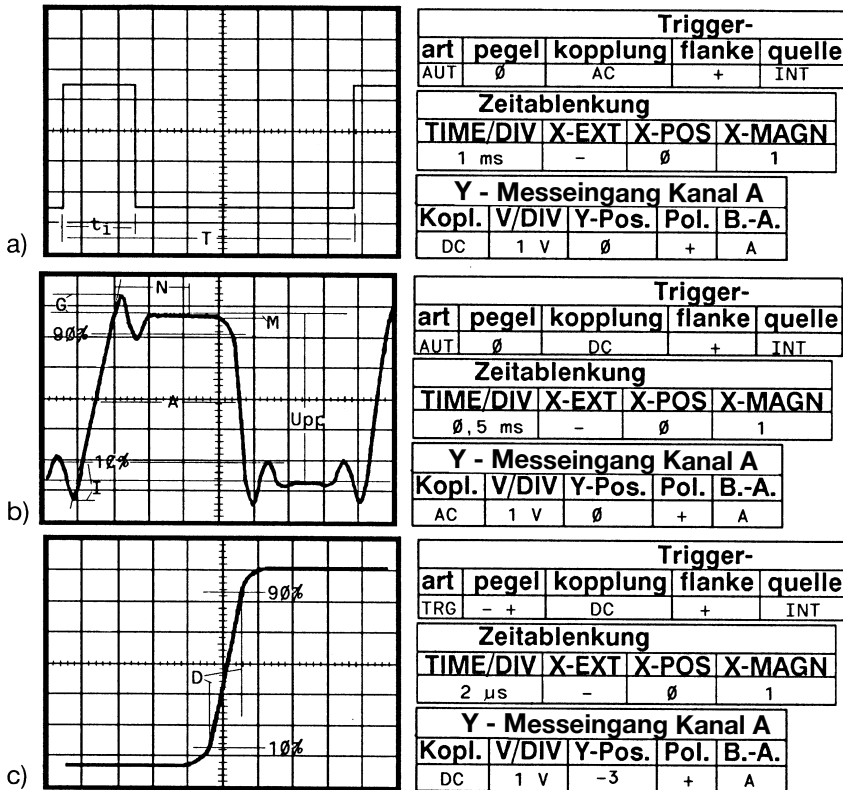


Abb. 8.25: Impulsmessungen

- a) Impulsdauer und Pulsperiode
 b) Weitere Impulskennwerte
 c) Definition der Impulsanstiegszeit

- H – Nachschwingen (Ringing) nach dem Überspringen in % der Amplitude, wobei das erste Minimum nach dem Überspringen als Bezugspunkt dient.
 I – Abweichung des Pulses von der Nulllinie vor der Flanke (Preshoot) in % der Amplitude.
 K – Nichtlinearität (Nonlinearity) definiert die Abweichung des Pulses von einer Geraden durch die 10- und 90%-Punkte in % der Amplitude.
 L – Abrundung (Rounding) direkt nach der Anstiegs- oder Abfallzeit.
 M – Dachschräge oder Absacken (Droop) der Amplitude während des Verlaufs des Pulses in % der Pulszeit.
 N – Einschwingzeit (Setting time) ist die Zeit, nach der sich der Impuls innerhalb eines vorgegebenen Fehlerbandes befindet, z. B. innerhalb 5 V bei 2 %.

Versuch 1: Messung von Impulskennwerten

Die Pulsparameter einer Rechteckimpulsfolge sollen in der Darstellung *Abb. 8.25a* entsprechend den Einstellungen Y-t gemessen werden:

Impulsdauer (A) $t_i = 2 \text{ ms}$

Tastgrad (B) $= t_i/T = 2 \text{ ms}/8,3 \text{ ms} = 0,24$

Tastverhältnis (C) $= 8,3/2 \text{ ms} = 4,2$

Pulsperiode $T = 8,3 \text{ ms}$

Pulsfrequenz $F = 1/T = 1/8,3 \text{ ms} = 120 \text{ Hz}$

Versuch 2: Messung von Impulskennwerten

Eine Rechteckimpulsfolge wurde im Zeitmaßstab auf die Darstellung der Impulsweite gedehnt (*Abb. 8.25b*). Folgende Pulsparameter sind zu bestimmen:

Überschwingen (G), $U_{pp} = 5,5 \text{ V} = 100 \%$, $G = 0,7 \text{ V} = 13/100 = 13 \%$

Amplitude $U_{pp} = 5,5 \text{ V}$

Einschwingzeit (N) $t = 2,2 \text{ ms}$

Dachschräge (M), $t_i = 2 \text{ ms}$, $M = 1 \text{ ms}$, $2 \text{ ms} = 100\%$, $1 \text{ ms} = 50\%$

Nichtlinearität (K) $= 0 \%$

Abweichung (I) $1,3 \text{ V}$, $U_{pp} = 5,5 \text{ V} = 100 \%$, $I = 24 \%$

Versuch 3: Messung von Anstiegs- und Abfallzeit

Zur Bestimmung der Anstiegs- und Abfallzeit wird zuerst auf die positive Flanke getriggert (*Abb. 8.25c*) und anschließend auf die negative Flanke. Mit dem Triggerpegel werden die Flanken fixiert und auf die Zeit zwischen 10 % und 90 % der Amplitude gemessen:

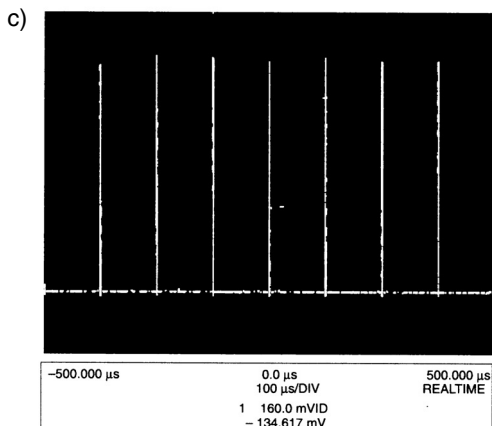
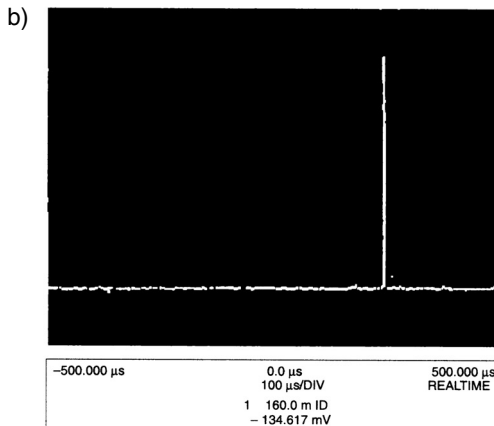
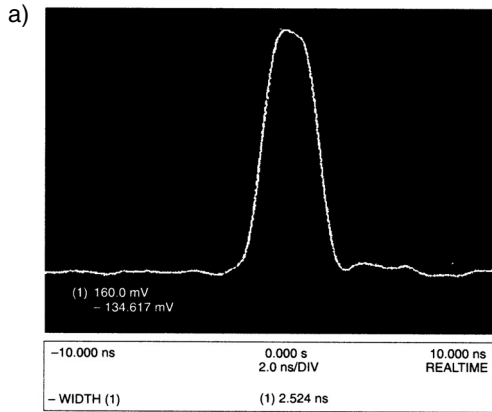
Anstiegszeit (D) $t = 2,1 \mu\text{s}$

Abfallzeit (E) $t = 2,2 \mu\text{s}$

8.12 Impulsmessungen mit Spitzenwerterfassungsfunktion

Das Erfassen schneller Impulse, wie z. B. der in *Abb. 8.26a* dargestellte 2,5-ns-Impuls, ist für schnelle Digitaloszilloskope kein Problem.

Ist dieser Impuls jedoch Teil einer Impulsfolge mit einem Tastverhältnis von nur 0,002 %, wird die Messung problematisch. Damit die lange Impulspause angezeigt werden kann, muss die Zeitbasis verlangsamt werden. Bei den herkömmlichen Abtasttechniken wird dazu die Abtastgeschwindigkeit des Oszilloskops reduziert, so dass Punkte auf schmalen Impulsen nicht mehr erfasst werden können. In dem Beispiel in *Abb. 8.26b* beträgt die Abtastrate des Oszilloskops 500 kSa/s bei einer Zeitbasis von 100 $\mu\text{s}/\text{Skt}$, so dass ein Punkt auf einen der schmalen Impulse nur zufällig erfasst wird. Statistisch wird ein 2,5-ns-Impuls bei einem Abtastintervall von 2 μs mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,125 % pro Zyklus erfasst.



Im Spitzenwerterfassungsmodus können dagegen Impulsfolgen mit einer Breite von nur 1 ns zuverlässig erfasst werden und dies unabhängig von der Zeitbasis des Oszilloskops (Abb. 8.26c).

Die Spitzenwerterfassung ist ein Darstellungsmodus, bei dem die maximale Abtastrate des Oszilloskops unabhängig von der Zeitbasis beibehalten wird. Die höchsten und die niedrigsten Werte werden gespeichert und dargestellt. Ohne die Spitzenwerterfassung würden viele dieser Maximal- und Minimalwerte nicht erkannt. Die kleinste Impulsbreite, die erfasst werden kann, ist abhängig von der Abtastrate des Oszilloskops.

Abb. 8.26: Schneller Impuls

a) 2,5-ns-Impuls

b) Erfassung des Einzelimpulses

c) Erfassung der Impulsfolge

8.13 Digitale Signalformen stabilisieren

In der Regel wird man zunächst die Flankentriggerung einsetzen. In diesem Modus wird die Zeilenablenkung an jeder Flanke getriggert, die den vorgegebenen Triggerwerten entspricht, z. B. auf Kanal 1 bei 1,5 V. Das Trigger-Ereignis wird zum zeitlichen Bezugspunkt für die Datendarstellung. Diese Darstellung wird zum Problem, sobald an unterschiedlichen Positionen in einer Signalform viele Flanken auftreten, die den Triggerwerten entsprechen. Dies ist bei komplexen Signalformen der Fall. Die Zeitablenkung wird in diesem Fall durch mehrere Flanken getriggert. Das Ergebnis ist eine Darstellung, die scheinbar ungetriggert ist (Abb. 8.27a).

Mit Hilfe der Trigger-Hold-Off-Funktion des Oszilloskops kann man eine solche Signalform stabilisieren. Wenn die Trigger-Hold-Off-Funktion aktiv ist, wird die Zeitablenkung durch die erste positive Flanke getriggert. Danach wird der Trigger zur Erfassung des nächsten Trigger-Ereignisses jedoch erst nach Ablauf der Hold-Off-Zeit wieder aktiviert. Hierbei muss eine Hold-Off-Zeit verwendet werden, die wesentlich kürzer ist als die Wiederholperiode der Signalform. In diesem Beispiel (Abb. 8.27b) liegt die Hold-Off-Zeit bei 28 μs .

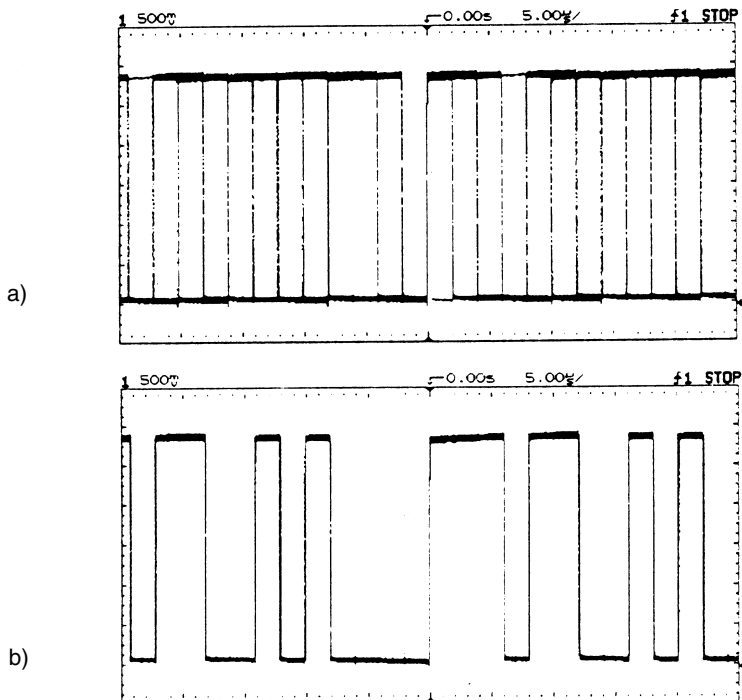


Abb. 8.27: Komplexer Signalverlauf a) ungetriggert, b) getriggert.

Die Zeitablenkung wird nun jedesmal an derselben Flanke getriggert, so dass für die Datendarstellung immer derselbe zeitliche Bezugspunkt gilt. Jetzt ist erkennbar, dass intermittierende Störimpulse auftreten.

8.14 Metastabile Zustände in digitalen Systemen finden und darstellen

Metastabile Zustände sind in asynchronen Systemen sehr schwer zu erfassen und zu diagnostizieren. Sie treten selten auf und machen das Auffinden und Erfassen noch schwieriger als bei anderen Fehlererscheinungen. Metastabile Zustände können durch Setup- und Holdzeit-Veränderungen am Eingang einer Logikschaltung verursacht werden wie bei dem D-Flip-Flop in *Abb. 8.28a*.

Das Bild zeigt zwei Signale DATA und CLOCK zum Flip-Flop, die asynchron sind. Gelegentlich wird die ansteigende Flanke des Taktes auftreten, wenn die Daten den Status ändern, was eine Setup- und Holdzeit-Veränderung bewirkt. In diesem Stadium kann der Ausgang Q des Flip-Flops in seinem Originalstatus bleiben, die Änderung im Datenstatus wiedergeben oder sogar einen Moment zwischen den beiden Zuständen verharren. In der Zeit des „Verharrens“ ist das Flip-Flop metastabil und die Ausgänge sind undefiniert, wie in *Abb. 8.28b* zu sehen ist. Dieses Beispiel zeigt, wie das Flip-Flop beim Erfassen der Daten versagt. Das Signal geht nach dem metastabilen Zustand in den davor liegenden Zustand zurück. Diese Funktionsabläufe sind mit normaler Triggerung nicht zu identifizieren. Die Erfassung dieser Logikzustände ist nur mit einer doppelten Amplitudenschwellen-Qualifizierung möglich. In der Oszilloskop-Messtechnik wird diese Funktion als „Runt-Triggerung“ bezeichnet.

In *Abb. 8.28c* passiert der zweite Puls die erste Schwelle, kreuzt aber nicht die zweite Schwelle, bevor er die erste Schwelle nochmals kreuzt. Ein gültiges Logiksignal würde die erste Schwelle kreuzen, dann die zweite und dann zurück durch die zweite und erste Schwelle. Wie gezeigt, kann ein negativer Runtimpuls aufgefunden werden, wenn der Logikpegel zwischen den Pulsen 3 und 4 nicht auf den richtigen Pegel zurückgeht. *Abb. 8.28d* zeigt den metastabilen Zustand, der mit der Runt-Triggerung erfasst wurde.

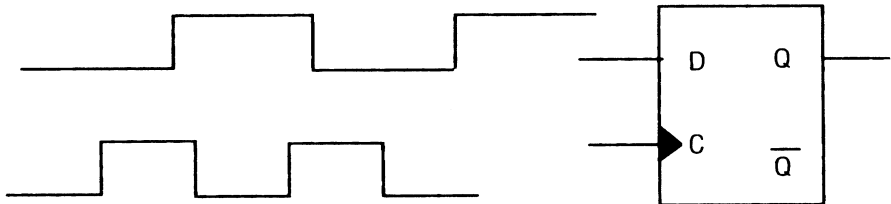
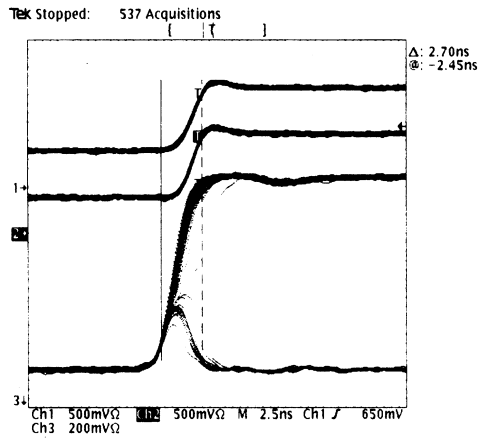
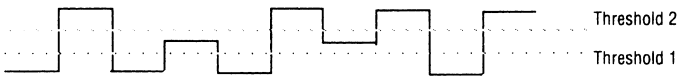


Abb. 8.28: Messen von metastabilen Zuständen a) Signale am D-Flip-Flop

b)



c)



d)

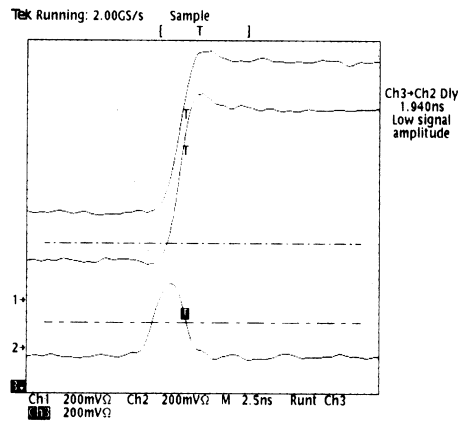


Abb. 8.28: Messen von metastabilen Zuständen

b) Metastabiler Zustand am D-Flip-Flop

c) Doppelte Amplitudenschwellen-Qualifizierung durch Runt-Triggerung

d) Metastabiler Zustand, erfasst mit Runt-Triggerung

8.15 Netzgleichrichter

Bei den Messungen an Netzgleichrichtern unterscheidet man die Einweggleichrichtung und die Zweiweggleichrichtung.

Bei der Einweggleichrichtung wird nur eine Halbwelle der Wechselspannung zu Gleichspannung umgewandelt, daher 50-Hz-Brummspannung. Bei der Zweiweggleichrichtung werden beide Halbwellen zur Umwandlung in Gleichspannung eingesetzt (100-Hz-Brummspannung).

Am Ausgang einer Gleichrichterschaltung mit Ladekondensator und Siebglied wird bei Laststrom eine hohe Gleichspannung mit relativ niedriger Brummspannungsüberlagerung gemessen.

Wird am Ausgang einer Gleichrichterschaltung unbelastet, d. h. ohne Laststrom, gemessen, dann wird eine höhere Gleichspannung ohne Brummspannung dargestellt.

Versuch 1: Einweggleichrichtung

Die Schaltung in Abb. 8.29 zeigt eine Einweggleichrichtung mit Ladekondensator und Lastwiderstand. Zwischen den einzelnen Bauelementen sind Steckbrücken enthalten, die nach Bedarf geöffnet und geschlossen werden können.

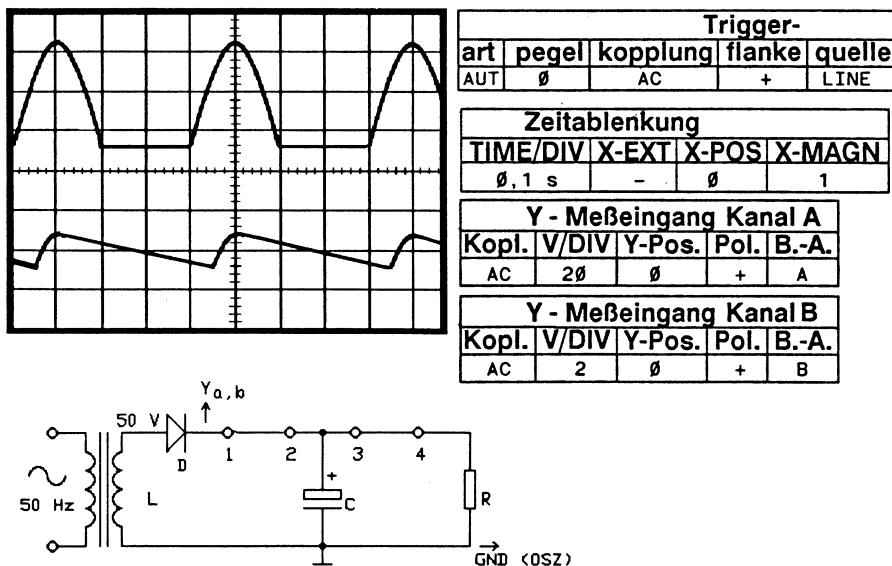


Abb. 8.29: Einweggleichrichtung

Oberes Oszillogramm: Ohne Last und ohne Ladekondensator

Unteres Oszillogramm: Mit Last und mit Ladekondensator

Ist die Brücke 1–2 offen, werden an der Gleichrichterdiode die positiven Halbwellen gemessen (oberes Oszillogramm).

Beide Brücken geschlossen, ergeben die belastete Gleichspannung mit Brummspannungsüberlagerung (unteres Oszillogramm).

Wird die Brücke 3–4 geöffnet, dann wird die unbelastete Gleichspannung gemessen, die der Spitzenspannung der Halbwellle entspricht.

Versuch 2: Zweiweggleichrichtung

Die Schaltung in Abb. 8.30 zeigt eine Zweiweggleichrichtung, ebenfalls mit Ladekondensator und Lastwiderstand sowie Steckbrücken.

Wird am Ausgang der Diodenbrücke gemessen, bei geöffneter Brücke 1–2, dann werden beide Halbwellen mit positiver Polarität gemessen (oberes Oszillogramm).

Sind beide Brücken geschlossen, wird die belastete Gleichspannung mit Brummspannungsüberlagerung gemessen (unteres Oszillogramm). Im Vergleich zur Einweggleichrichtung ist die Brummspannung geringer, weil in der Periodenzeit von 20 ms zwei Halbwellen zur Gleichspannungserzeugung zur Verfügung stehen. Die Zeitabstände zur Entladung der Kondensatoren durch den Laststrom sind halb so groß wie bei der Einweggleichrichtung.

Ist die Brücke 3–4 geöffnet, dann wird ebenfalls eine unbelastete Gleichspannung gemessen. Da kein Laststrom die Kondensatoren entlädt, besteht kein Unterschied zwischen dem Gleichspannungswert der Einweg- und Zweiwegschaltung.

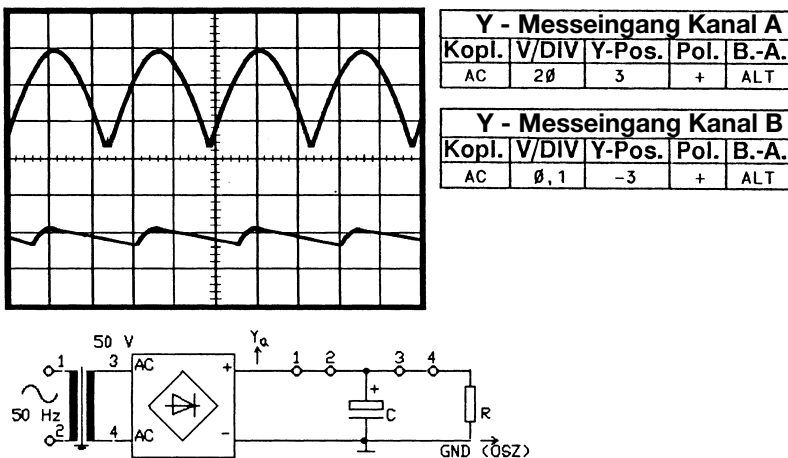


Abb. 8.30: Zweiweggleichrichtung

Oberes Oszillogramm: Ohne Last und ohne Ladekondensator

Unteres Oszillogramm: Mit Last und mit Ladekondensator

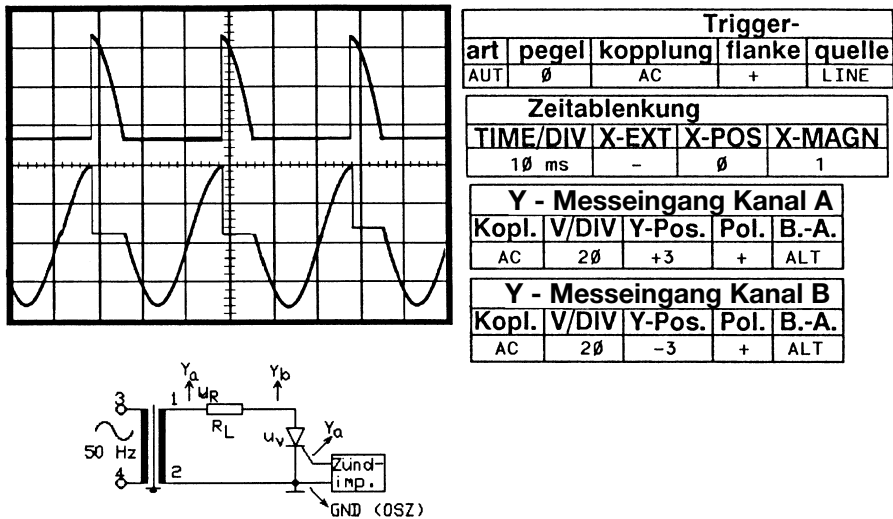


Abb. 8.31: Einweggleichrichtung mit Thyristor

Oberes Oszillogramm: Thyristor leitet, Spannung am Lastwiderstand

Unteres Oszillogramm: Thyristor sperrt, Spannung am Thyristor

Versuch 3: Anschnittsleichrichtung

Bei phasengesteuerten Gleichrichtern erfolgt das Zünden des Schaltgliedes im Verlauf einer Halbwelle der Betriebswechselspannung mit periodischer Wiederholung (Abb. 8.31).

Zum Zündzeitpunkt t_z wird der Thyristor leitend. Der Zündwinkel (Steuerwinkel) α ist die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt t_0 des Nulldurchgangs der Betriebswechselspannung und dem Zündzeitpunkt t_z , multipliziert mit der Kreisfrequenz der Wechselspannung:

$$\alpha = (t_z - t_0) \omega$$

Die Zündschaltung stellt einen Zündimpuls mit ausreichender Energie zur Zündung eines Halbleiterventils zur Verfügung. Es kommen meist Bauelemente zum Einsatz, die bei Überschreiten einer definierten Kippspannung (Diac, Vierschichtdiode, UJT) die in einem Kondensator gespeicherte Energie an das Gate des Ventils abgeben. Der Kippvorgang läuft synchronisiert auf die Netzspannung ab.

Das obere Oszillogramm auf Kanal A zeigt den Spannungsverlauf u_R über den Lastwiderstand. Der Stromfluss durch den Lastwiderstand ist proportional.

Das untere Oszillogramm zeigt den Spannungsverlauf u_v an dem Thyristor.

Der Thyristor kann nur während der positiven Halbwelle der Netzwechselspannung leitend geschaltet werden. Während der negativen Halbwelle bleibt er gesperrt.

8.16 Operationsverstärker

Die Kennwerte der Operationsverstärker (Abk.: OPV) werden durch die äußere Beschaltung bestimmt (Abb. 8.32).

Der OPV hat zwei potenzialfreie Eingänge, die sich in ihrer Bezeichnung „–“ (invertierend, umkehrend) und „+“ (nicht invertierend, nicht umkehrend) auf den Ausgang beziehen.

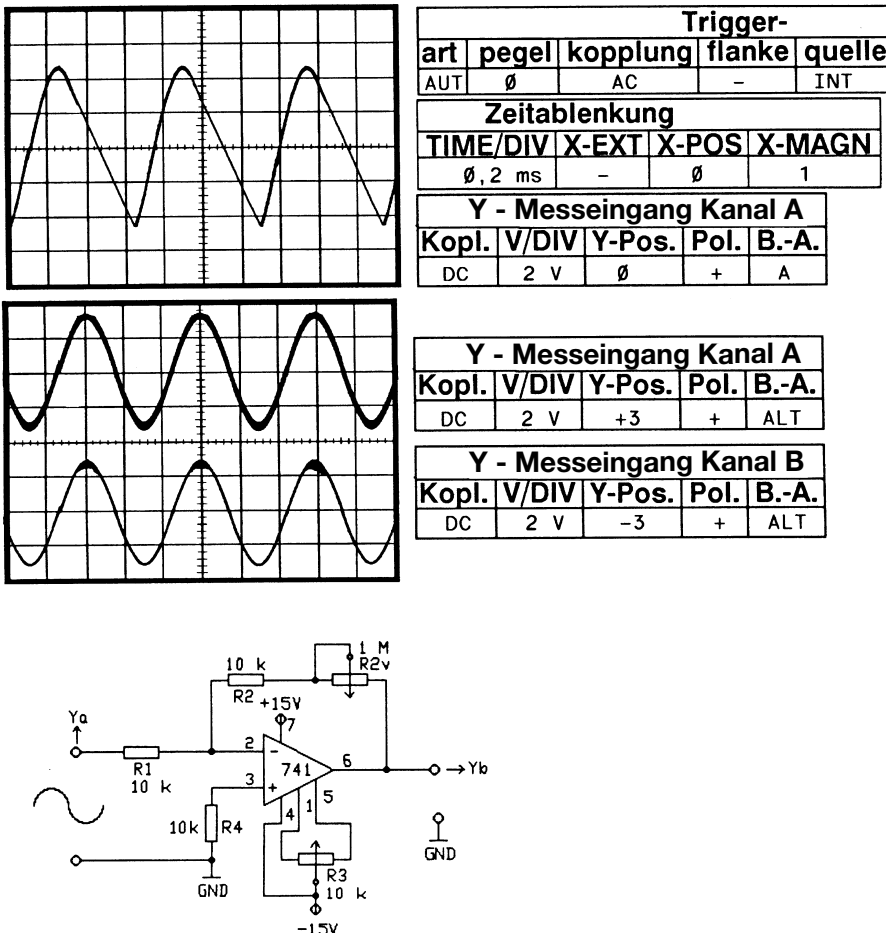


Abb. 8.32:

Die Oszillogramme zeigen fehlerhafte Ausgangsspannungen von Operationsverstärkern.

Oberes Oszillogramm: Begrenzung der Anstiegsgeschwindigkeit durch kapazitive Last

Mittleres Oszillogramm: Überlagerte HF-Eigenschwingungen

Unteres Oszillogramm: HF-Eigenschwingungen im Maximum der Amplitude

Die Gegenkopplung vom Ausgang auf den invertierenden Eingang bestimmt die Verstärkereigenschaften. Sie begrenzt die sehr hohe Eigenverstärkung (10 000...20 000) des OPV.

Der Verstärkungsfaktor des invertierenden OPV ergibt sich im Wesentlichen aus dem Widerstandsverhältnis R_2/R_1 .

Die Ausgangsspannung des OPV ist näherungsweise von der angelegten Eingangsspannung abhängig. Nach Erreichen der Grenzsprungspannung, die bei ca. 13 V liegt, steigt die Ausgangsspannung nicht mehr weiter an, d. h. der Verstärker wird übersteuert.

Versuch 1: Offset-Messung und -Abgleich

In diesem Versuch wird die Gleichspannungsablage (Offset), die sich aus Unsymmetrien innerhalb des OPV und der Eingangsbeschaltung ergibt, mit dem Trimpoti R3 auf 0 V abgeglichen. Dazu wird der Steuereingang potenzialfrei geschaltet.

Hierbei muss mit dem Schalter V/DIV nach Bedarf bis in den Bereich 1 mV/DIV heruntergeschaltet werden. In diesem Bereich wird der Abgleich erschwert, die Gleichspannung springt bei zu groben Einstellversuchen.

Versuch 2: Messung des Verstärkungsfaktors

Die Ausgangsspannung einer Wechselspannungsquelle wird auf 0,1 V eingestellt. Das Trimpoti R2v wird auf 0 Ohm gedreht.

Das Trimpoti R2v muss man nach höheren Widerstandswerten drehen und die Ausgangsspannung auf dem Bildschirm beobachten und den Verstärkungsfaktor bestimmen. Versuch bei kleinerer Eingangswechselspannung z. B. 0,01 V wiederholen.

Versuch 3: Eigenschwingen und Slew-Rate

Verstärker mit hoher Verstärkung und Gegenkopplung neigen zu Eigenschwingungen. Solche Eigenschwingungen können verursacht werden durch falsche Dimensionierung der Gegenkopplung und durch kapazitive Belastung des Ausgangs.

Bei voller Aussteuerung und maximaler Verstärkung muss man einen Kondensator (10 ... 100 nF) an den Ausgang des OPV gegen Masse anschließen.

Hierbei können sich die in Abb. 8.32 dargestellten Signalbilder ergeben.

Die kapazitive Belastung verhindert ein genügend schnelles Ansteigen oder Abfallen der Ausgangsspannung. Diese Begrenzung der Spannungsanstiegsgeschwindigkeit (Slew-Rate) führt zu dreieckförmiger Ausgangsspannung und kann eine Instabilität zur Folge haben (Abb. 8.32 oben).

Eigenschwingungen sind durch überlagerte hochfrequente Schwingungen, die das Signal zu einem Band verbreitern, ersichtlich (Abb. 8.32 Mitte).

Diese Verbreiterung kann dauernd vorhanden sein oder nur an bestimmten Stellen, z. B. im Nulldurchgang oder im Maximum von Sinusschwingungen (Abb. 8.32 unten).

8.17 Phasenmessungen

Phasenmessungen können neben den X-Y-Messungen, die sich besonders für Einstrahl-Oszilloskope bestens eignen, auch als Zeitmessungen (X-t) mit einem Zweikanal-Oszilloskop durchgeführt werden.

Bei X-Y-Darstellungen muss unbedingt die Grenzfrequenz für diese Messungen berücksichtigt werden. Gute Oszilloskope haben bei 1 MHz eine Phasenverschiebung von nur 1 Grad. Der größte Teil weist diese Phasenverschiebung bereits im Kilohertz-Bereich auf. Dagegen können Phasenverschiebungen über die X-t-Messung bis zur Grenzfrequenz der Oszilloskope gemessen werden.

Versuch 1: Phasendifferenz zwischen zwei Signalen

Im behandelten Beispiel soll die Phasendifferenz zwischen zwei Signalen hoher Frequenz gemessen werden.

Die beiden Signale werden gemeinsam in der Betriebsart alternierend oder chopped mit gleicher Amplitude symmetrisch zur mittleren horizontalen Rasterlinie eingestellt (Abb. 8.33a). Beim Anschluss der Signale mit hohen Frequenzen ist darauf zu achten, dass die Laufzeit in den Verbindungskabeln oder in den Tastkopfkabeln gleich groß ist (gleich lange Kabel benutzen).

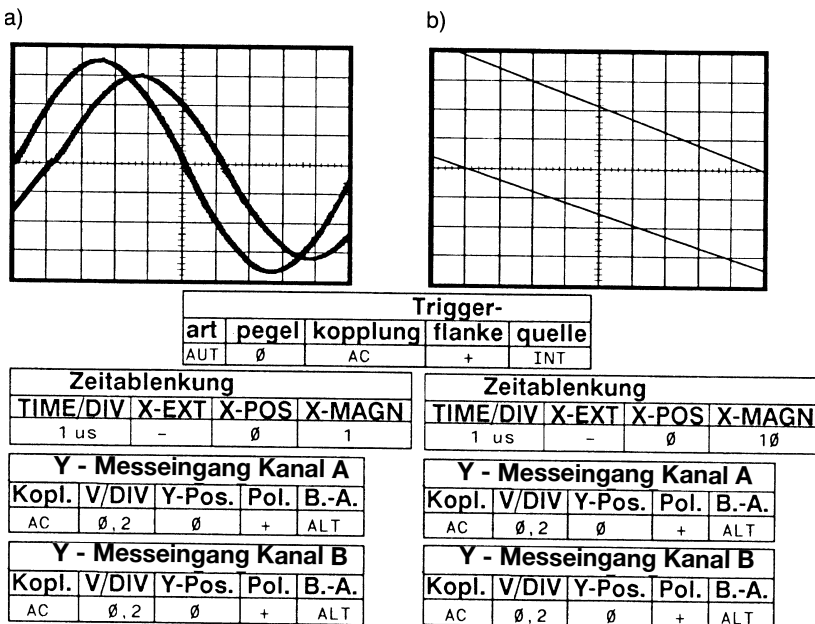


Abb. 8.33: Bestimmung von Phasenverschiebungen

Sollten die Signale verschiedene Polarität haben, dann hilft eine Drehung (invertieren), die Messgenauigkeit zu steigern. Die Signaldrehungen müssen bei der späteren Berechnung wieder berücksichtigt werden. Die Darstellung wird nur von einem Signal getriggert, entweder intern oder extern.

Die Zeitablenkung wird mit der Feineinstellung des Zeitkoeffizienten so eingestellt, dass eine Periodendauer von beiden Signalen eine feste Anzahl von Teilen umfasst und jeweils im Nulldurchgang die Rasterkreuze schneidet (am günstigsten sind acht oder zehn Rasterteile).

Die Periodendauer von 360 Grad ist auf zehn Rasterteile eingestellt, das bedeutet, dass ein Rasterteil 36 Grad entspricht.

Anschließend wird der horizontale Abstand zwischen den Nulldurchgängen beider Schwingungen ermittelt und mit dem Wert Grad/Rasterteil multipliziert.

$$\text{Phasendifferenz} = 0,9 \text{ Teile} \cdot 36 \text{ Grad/Teil} = 32,4 \text{ Grad}$$

Eine Steigerung der Genauigkeit kann auf einfache Art über die Dehnung (schwieriger über den Zeitablenkfaktor) erreicht werden. Mit Einschalten der Dehnung verringert sich der Winkel je Teil um den Dehnungsfaktor, z. B. um den Faktor 10 (*Abb. 8.33b*):

$$36 \text{ Grad}/10 = 3,6 \text{ Grad/Teil}$$

Die Nulldurchgänge der Signale werden mit der horizontalen Lageverschiebung in den Bildschirmbereich zurückgestellt und die Entfernung zwischen beiden Nulldurchgängen ermittelt. Die Phasendifferenz errechnet sich wiederum aus der Multiplikation des Winkels je Teil mit der Entfernung:

$$\text{Phasendifferenz} = 8,9 \text{ Teile} \cdot 3,6 \text{ Grad/Teil} = 32,1 \text{ Grad}$$

Versuch 2: I-U-Phasenverschiebung

In diesem Versuch wird die Messung der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung an einem Reihenresonanzkreis dargestellt (*Abb. 8.34*).

Das Ausgangssignal am Generator wird auf 1 kHz, 1 V eingestellt.

Die Gesamtspannung des Reihenresonanzkreises liegt am Kanal A. Am Kanal B wird über eine Spannungsmessung am Widerstand R der proportionale Strom gemessen.

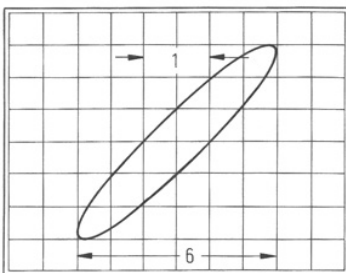
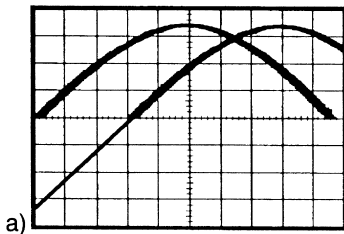
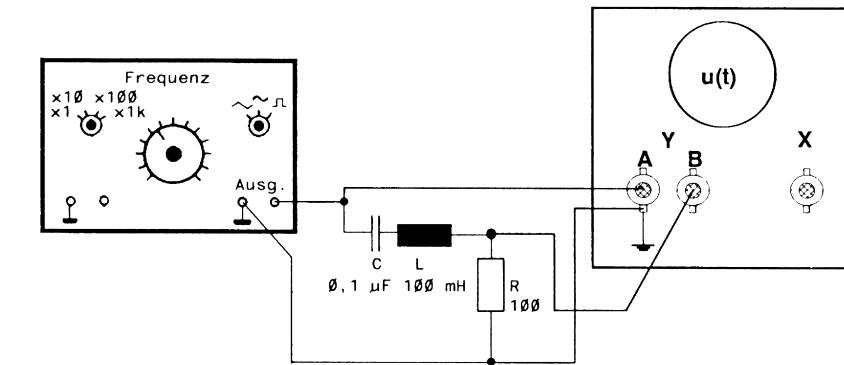
Abhängig von der Frequenz im Bereich von 1 kHz und 2,5 kHz kann sich die Phasenverschiebung des Stroms von -90 Grad bis $+90$ Grad ändern.

In dem angegebenen Frequenzbereich erreicht man Werte zwischen -80 und $+80$ Grad.

Wird auf dem Bildschirm genau eine halbe Periode eingestellt (*Abb. 8.34a*), so entsprechen 10 Raster 180 Grad ($\varphi = a_x 18^\circ / \text{DIV}$).

Befindet sich der positive Nulldurchgang auf der linken Bildschirmhälfte, eilt der Strom der Spannung nach, die Phasenverschiebung ist negativ, der Verschiebungswinkel ist

vom linken Bildschirmrand aus zu bestimmen. Befindet sich der negative Nulldurchgang in der rechten Bildhälfte, ist die Phasenverschiebung positiv und der Phasenverschiebungswinkel ist vom rechten Bildschirmrand zu bestimmen.



Schirmbild	Auswertung
	$U = U_n$ $f = f_n$ $\varphi = 0^\circ$
	$U = U_n$ $f = f_n$ $\varphi = 30^\circ$
	$U = U_n$ $f = f_n$ $\varphi = 90^\circ$
	$U = U_n$ $f = f_n$ $\varphi = 180^\circ$
	$U = U_n$ $f = 2f_n$
	$U = U_n$ $f = \frac{1}{2}f_n$

b) U = Meßspannung, f = Meßfrequenz,
 U_n = Vergleichsspannung, f_n = Vergleichsfrequenz,
 φ = Phasenverschiebungswinkel

Abb. 8.34

- a) I-U-Phasenverschiebung am Reihenresonanzkreis über Y-t-Messung
 b) I-U-Phasenverschiebung über X-Y-Messung

Dieser Versuch kann auch über eine X-Y-Messung (Lissajous-Figur) durchgeführt werden.

Das Signal vom Kanal B wird an den X-Eingang verlegt und der Ablenkkoeffizient V/DIV entsprechend eingestellt (*Abb. 8.34b*). Die Entfernung B für die gesamte Horizontalablenkung und die Entfernung A zwischen den beiden Kreuzungspunkten mit der horizontalen Mittellinie werden bestimmt. Der Quotient aus A und B ist der Sinus des Phasenwinkels. Im Beispiel beträgt die gesamte Horizontalablenkung B sechs Teile, und A beträgt zwei Teile. Daraus ergibt sich der Phasenwinkel:

$$\varphi = \arcsin \frac{A}{B} = \arcsin \frac{2}{6} = 19,5$$

8.18 Physikalische Funktionsabläufe von Sensoren

Vor allem die Entwicklung der Kraftfahrzeugelektronik hat viele messtechnische Aufgaben gelöst. So müssen Größen wie Weg, Lage, Winkel, Drehzahl, Beschleunigung, Kraft, Druck, Drehmoment, Temperatur, Gasdurchfluss oder Körperschall erfasst werden.

Hohe Genauigkeit durch Fehlerkompensation im Sensor, hohe Betriebssicherheit durch robuste Technik, geringer Platzbedarf durch Miniaturisierung der Bauelemente, niedrige Kosten durch rationelle Großserienfertigung und hohe Zuverlässigkeit kennzeichnen diese Bauelemente.

Mit Ausnahme der Winkelgeber und der Drehzahlsensoren, die impulsförmige Ausgangssignale liefern, werden alle anderen Ausgangssignale als Gleichspannung im Bereich von 10 mV bis 10 V angeboten.

Versuch 1: Piezoresistive Absolutdrucksensoren

Das Kernstück bildet eine in Dickschichttechnik hergestellte Druckblase.

Die auf der Blase aufgedruckten und mit einem Glasüberzug gegen aggressive Medien geschützten piezoresistiven Dickschicht-Dehnwiderstände zeichnen sich durch hohe Messempfindlichkeit aus. Bei Druckeinwirkung verwandeln sie eine mechanische Spannung in ein elektrisches Signal. Eine Vollbrückenschaltung liefert ein druckproportionales Messsignal, das von einer Hybridschaltung auf derselben Substratplatte verstärkt wird. Daher können keine Störungen auf die Kabelverbindungen zum Steuergerät einwirken (*Abb. 8.35*).

Eine Gleichstromverstärkung (CB) und eine Temperaturkompensation (C) sorgen für eine proportionale Ausgangsspannung im Bereich von 0 bis 120 mV bei einem Druck von 0 bis 250 kPa. Daher kann die Ausgangsspannung direkt mit dem Oszilloskop bei Eingangskopplung DC gemessen werden.

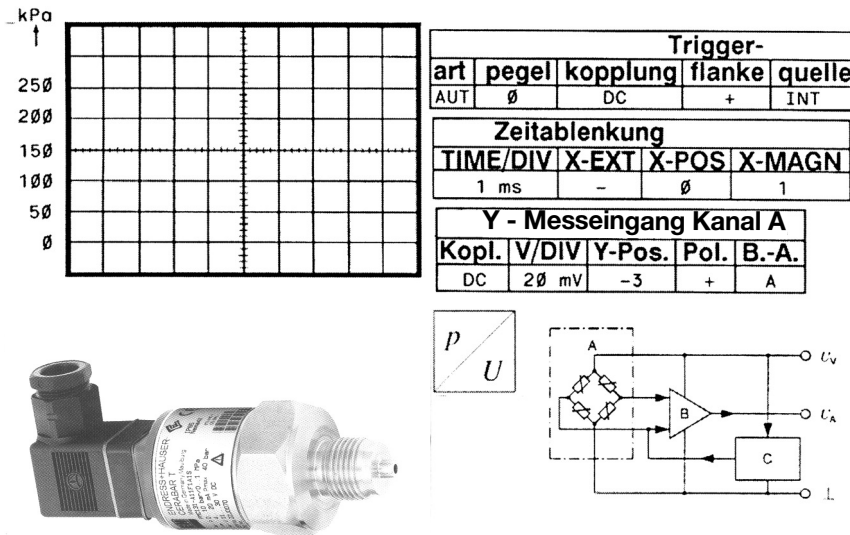


Abb. 8.35: Drucksensor mit Ausgangsschaltung. Das vertikale Raster des Bildschirms kann bei DC-Kopplung direkt in Druckwerten kalibriert werden.

Die Ausgangsgleichspannung des Sensors erhöht sich mit dem Druck wie folgt: 50 kPa = 20 mV, 100 kPa = 40 mV, 150 kPa = 60 mV, 200 kPa = 80 mV, 250 kPa = 100 mV

Versuch 2: Heißfilm-Luftmassenmesser

Messungen des Luftmassendurchflusses sind z. B. für schadstoffarme Verbrennungsvorgänge oder andere gasförmige Medien erforderlich.

Der Sensor ist ein thermischer Durchflussmesser. Die Schichtwiderstände auf dem Keramiksubstrat sind dem zu messenden Luftmassenstrom ausgesetzt. Der Platin-Metallfilmwiderstand R_s (Abb. 8.36) wird mit Hilfe eines Heizwiderstands R_H auf konstanter Übertemperatur gegenüber der Temperatur des anströmenden Mediums gehalten. Der Temperatursensor ist Teil einer Brückenschaltung, die außerdem noch Temperaturänderungen der durchströmenden Luftmassen durch den Fühler R_θ berücksichtigt. Der Widerstand R_l kompensiert dabei den Temperaturgang der Brücke im gesamten Arbeitstemperaturbereich. Das Messsignal hängt von der Temperaturabweichung des Heizwiderstands R_H ab und stellt somit ein Maß für die durchströmende Luftmasse dar.

Die Ausgangsgleichspannung U_A in V ist direkt ein Maß für den Massendurchfluss ρm : 100 kg/h = 5 V; 200 kg/h = 5,75 V; 300 kg/h = 6,5 V; 400 kg/h = 7,25 V; 500 kg/h = 8 V; 600 kg/h = 8,75 V

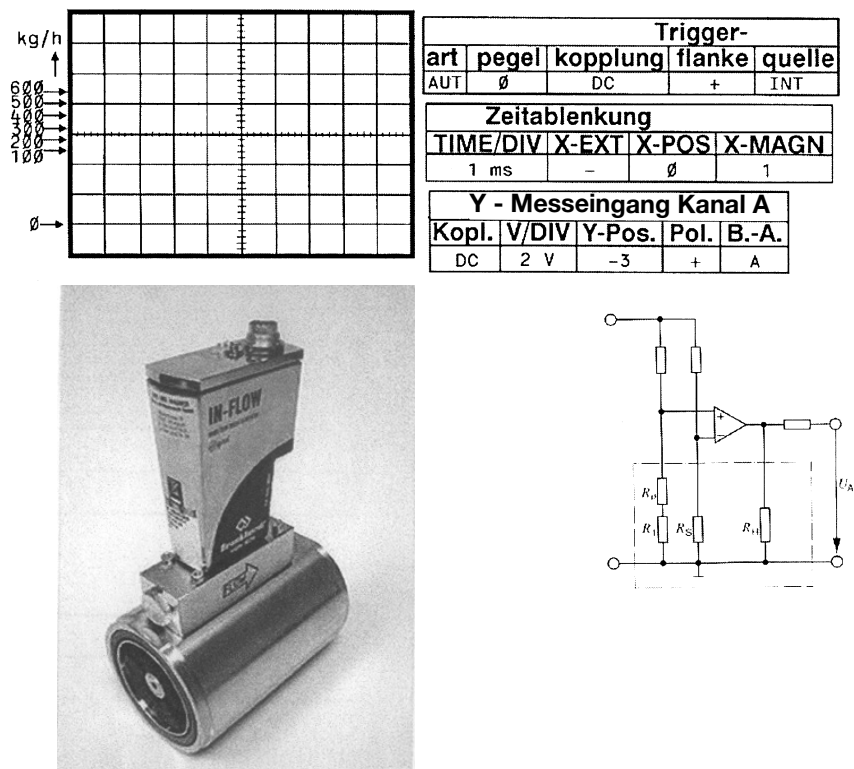


Abb. 8.36: Messung der Ausgangsspannung eines Luftmassensensors im Bereich von 5 V bis 8,75 V bei DC-Kopplung

8.19 Puls- und EKG-Signale

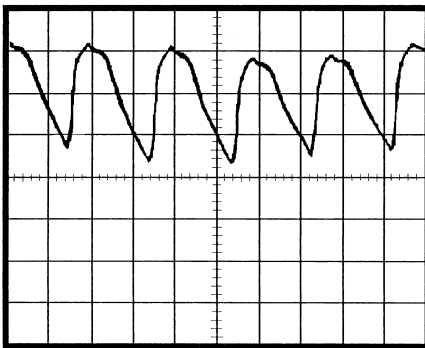
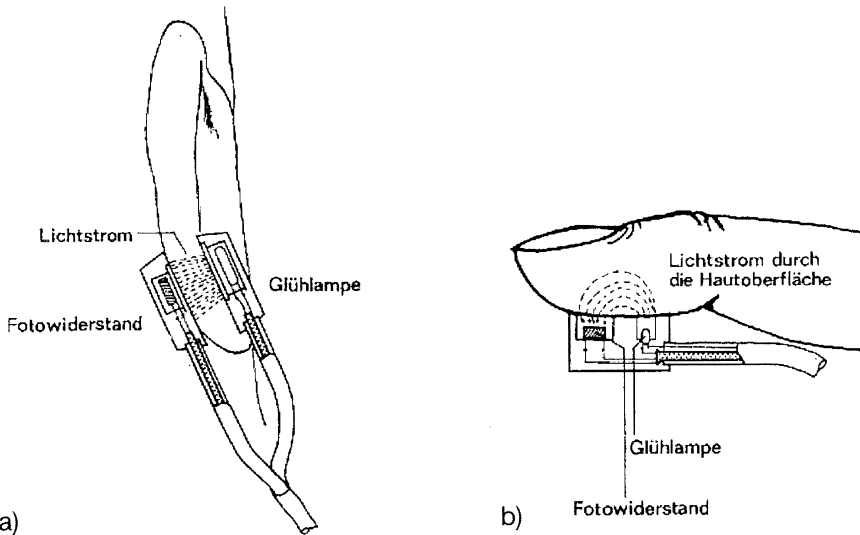
Physiologische Signale sind Signale mit niedriger Wiederholffrequenz bei langsamer Zeitablenkung. Die menschlichen Herzaktionsspannungen liegen im 1-Hz-Bereich (50 bis 100 P/min).

Die hierbei auftretenden Darstellungsanforderungen sind von der Nachleuchtdauer normaler Elektronenstrahlröhren beeinträchtigt.

Da die Nachleuchtdauer im Verhältnis zur Ablenkzeit sehr kurz ist, können keine Gesamtsignale, sondern immer nur Teile davon dargestellt werden. Daher empfiehlt sich entweder die Benutzung eines Bildschirmphosphors mit langer Nachleuchtdauer (bei wiederkehrenden Signalen) oder die Speicherung. Das Signal kann dann einmalig oder repetierend abgelenkt werden und steht immer als Gesamtsignal zur Verfügung. Auch können, je nach Anwendung, Signaländerungen über mehrere Ablenkungen sichtbar gemacht werden.

Versuch 1: Messen von Puls-Signalen

Die einfachste Methode der Pulsmessung ist die photoelektrische Pulsregistrierung, die auf der von der Blutfüllung abhängigen Lichtdurchlässigkeit des Gewebes beruht.



Trigger-				
art	pegel	kopplung	flanke	quelle
AUT	Ø	DC	+	INT

Zeitablenkung			
TIME/DIV	X-EXT	X-POS	X-MAGN
Ø,5 s	-	Ø	1

Y - Messeingang Kanal A				
Kopl.	V/DIV	Y-Pos.	Pol.	B.-A.
DC	1Ø mV	Ø	+	A

c)

Abb. 8.37: Messung von Pulssignalen:

- a) Funktion der Durchlichtmessung
 b) Funktion der Reflexionsmessung
 c) Darstellung des Pulssignalverlaufs auf Speicherstrahlröhre

Die Messung ist im Durchlichtverfahren möglich (Transmissionsprinzip), vgl. Abb. 8.37a, aber auch mit Hilfe des im Gewebeinneren reflektierten Lichts durchführbar (Reflexionsprinzip in Abb. 8.37b). Die Aufnehmer bestehen aus einem Fotowiderstand und einem Lämpchen oder einer LED.

Für das Reflexionsprinzip kann auch ein Reflexionssensor eingesetzt werden. Abhängig von der Empfindlichkeit der Pulsabnehmer und der Betriebsbedingungen (angelegte Betriebsspannung für den Fotowiderstand, Leistung der Lampe) können Ausgangssignale im 10- bis 100-mV-Bereich gemessen werden.

Die Amplitude der Pulsverlaufkurve im Sekundenbereich ist neben den Kennwerten des Pulsabnehmers auch von der Durchblutung des Objekts (Finger, Zehe oder Ohr-läppchen) abhängig. Kräftiges Reiben unmittelbar vor der Messung kann die Amplitude verdoppeln und verdreifachen (Abb. 8.37c).

Versuch 2: Messen von EKG-Signalen

Herzaktionsspannungen können über gut leitende metallische Elektroden am ganzen Körper abgenommen werden.

Drei Ableitungen nach EINTHOVEN zeigt die Abb. 8.38a:

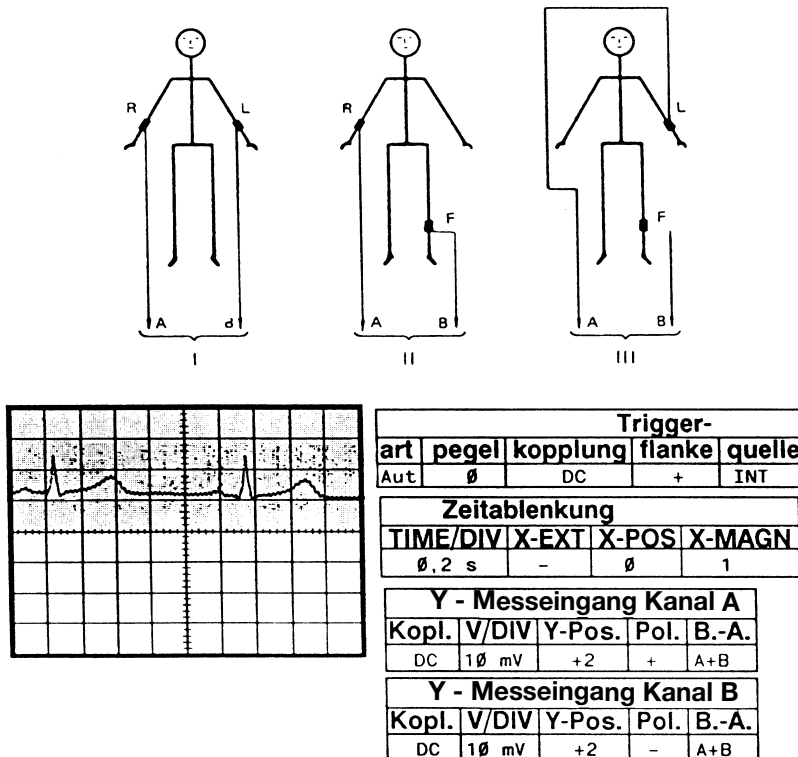


Abb. 8.38: Aufnahmen von Herzaktionsspannungen:

- Ableitungsarten
- Darstellung des Elektrokardiogramms (EKG) auf Speicherstrahlröhre

Ableitung I, vom linken Arm zum rechten Arm
Ableitung II, vom linken Bein zum rechten Arm
Ableitung III, vom linken Bein zum linken Arm

Für fehlerfreie Messungen müssen bei der Kontaktierung der Metallelektroden (Metallplättchen) einige Fehlerquellen beachtet werden.

Die Haut als Kontaktfläche hat unterschiedliche elektrische Übertragungseigenschaften, die sich auf die Amplitude der Herzaktionsspannung und die Signalform direkt auswirken.

Trockene Haut ist ein schlechter Leiter. Haare zwischen Haut und Elektrode verhindern guten Kontakt.

Hinzu kommen Bewegungsartefakte, Muskelzittern, hochfrequente Störfelder und niederfrequente Netzstörungen.

Aufgrund der vielen möglichen Störquellen und der Haut als nicht konstantem Übergangswiderstand (trockene Haut, Hornhaut, schlecht durchblutete Haut) ist es sinnvoll, mit einem Zweikanaloszilloskop im Differenzbetrieb ein EKG aufzunehmen (vgl. Abb. 8.38b).

8.20 Rauschen von Netzgeräten

Die Abbildung 8.39 zeigt drei Methoden zum Messen des Rauschens im normalen Betriebsmodus. Das Prinzip nach Abb. 8.39a schließt Fehler durch Erdschleifen nicht aus, da Netzteil und Oszilloskop über ihre Gehäuse an die Netzerdleitung angeschlossen sind. Ein Strom in der Erdschleife bewirkt einen seriellen Spannungsabfall am Oszilloskopeingang. Der Spannungsabfall wird durch die Aufnahme an den nicht abgeschirmten Anschlussleitungen noch verstärkt. Das daraus resultierende Rauschen kann viel größer sein als der tatsächliche Rauschpegel des Netzteils.

Abb. 8.39b zeigt einen Weg zum Auftrennen der Schleife. Mit einem unsymmetrisch angeschlossenen Oszilloskop wird eine verdrehte Doppelleitung oder eine abgeschirmte Zweidrahtleitung verwendet. Die Abschirmung ist nur an einem Ende mit der Erde zu verbinden.

Die Funktion dieses Messaufbaus kann wie folgt getestet werden:

Die Oszilloskopleitungen sind an den Netzgerätanschlüssen kurzzuschließen. Entspricht der Messwert am Oszilloskop immer noch den Werten der eigentlichen Messung, wird wahrscheinlich Rauschen über die Erdung oder die Anschlüsse aufgenommen.

Für sehr störanfällige Anwendungen oder Geräteanordnungen, bei denen Netzteil und Oszilloskop die gleiche Erdung haben, wird ein Differenzialoszilloskop benötigt (Abb. 8.39c). Ein Differenzialoszilloskop zeigt wegen seiner Unterdrückung von Gleich-

taktsignalen nur die Signaldifferenz zwischen seinen beiden Vertikaleingängen an. Das muss durch Kurzschließen der Leitungen am Netzteil überprüft werden. Wenn eine gerade Linie gezeichnet wird, sind der Messaufbau und der Abgleich in Ordnung. Werden Abweichungen festgestellt, unterdrückt das Oszilloskop die Gleichtaktsignale nicht und muss abgeglichen werden. Auch das Vorhandensein externer Fremdsignale kann geprüft werden. Hierzu wird das Netzgerät bei angeschlossenen Leitungen ausgeschaltet.

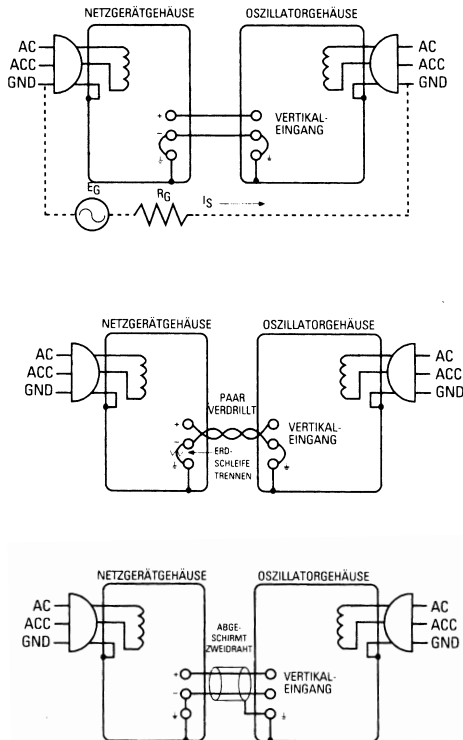


Abb. 8.39: Zur Messung von Welligkeit und Rauschen müssen etwaige Erdschleifen zwischen Netzgerät und Oszilloskop aufgetrennt werden.

- Falsche Messmethode
- Richtige Messmethode mit einem unsymmetrischen Messeingang
- Richtige Messmethode mit einem Differenzial-Messeingang

Wenn in der Anzeige irgendein Signal festgestellt wird, resultiert dies aus einer Erdschleife oder aus induktiven Einkopplungen in die Oszilloskopleitungen.

Für das Messen von Gleichtaktrauschen (CMI-Rauschen) wird eine andere Messanordnung benötigt. Außerdem muss eine Differenzialmessung mit einer hinreichend großen Bandbreite von ca. 20 MHz vorgenommen werden.

Aus der Abb. 8.40 ist der Messaufbau ersichtlich. Die Kondensatoren trennen von Gleichspannungen, die Widerstände dienen der Impedanzanpassung, damit stehende Wellen und Überschwinger unterdrückt werden. Die Widerstände müssen 2:1-Teilerwirkung haben. Dadurch müssen die abgelesenen Messwerte verdoppelt werden.

Außerdem muss darauf geachtet werden, dass die aus der Koaxialabschirmung herausstehenden Messleitungen so kurz wie möglich gehalten werden. Die Paare aus

Trennkondensator und Reihenwiderstand sind direkt zwischen Kabelinnenleiter und Netzteilanschlüssen ohne zusätzliche Leitungen zu verbinden.

Zu vermeiden sind Erdschleifen, indem die Abschirmungen der beiden Koaxialkabel nicht an die Netzteilerdung angeschlossen werden.

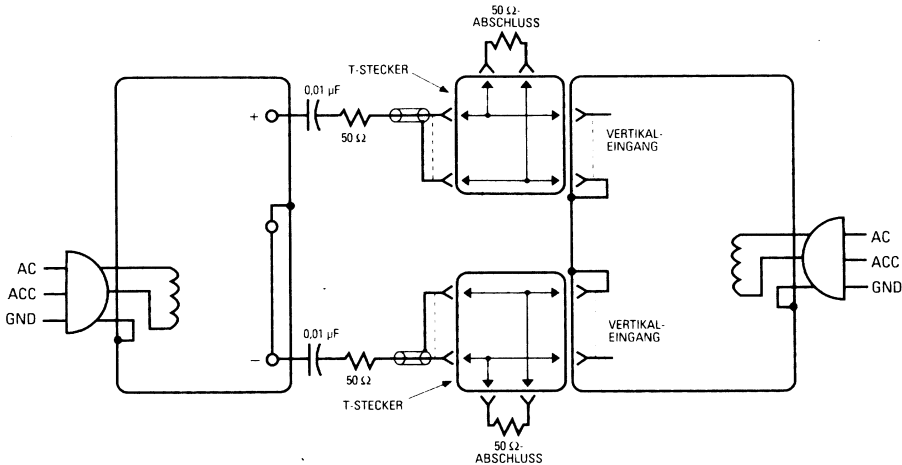


Abb. 8.40: Der richtige Messaufbau zum Messen von Störspitzen erfordert Gleichspannungs-Blockkondensatoren und Impedanzanpasswiderstände.

8.21 Reflexionsmessungen an Verbindungs- und Übertragungsleitungen

Die Übertragung von Dateninformationen über Verbindungsleitungen gewinnt für den Techniker zunehmend an Bedeutung. Durch die hohen Übertragungsgeschwindigkeiten mit Frequenzen im MHz-Bereich wird die Übertragungsqualität der Daten weitestgehend durch die Verbindungsleitungen bestimmt und dies im Wesentlichen durch die Form und den Aufbau der Leitung und die Art der Ankopplung bzw. der Anpassung an die Datenquelle (Senderausgang) und das Datenziel (Empfängereingang).

Auch der zunehmende Einsatz von Text-, Daten- und Bildverarbeitungssystemen führt zu einem steigenden Bedarf an innerbetrieblicher Kommunikation. Die Antwort darauf ist die Entwicklung von LAN (= Local Area Network) mit der Zielsetzung einer firmenweiten Kommunikation zwischen Datenendgeräten (Rechner, Terminals, Workstations, Drucker und Plotter) der unterschiedlichsten Hersteller.

LANs werden zusammen mit Datenverarbeitungsnetzen (DV-Netze) und Nebenstellenanlagen (PABX-Anlagen) unter dem Begriff „Inhouse-Netze“ zusammengefasst. DV-Netze haben die Aufgabe, Datenendgeräte an zentrale Datenverarbeitungsanlagen anzuschließen.

Nebenstellenanlagen sind im Wesentlichen Telefonanlagen, die die mündliche Kommunikation intern und extern ermöglichen. Übertragungsmedien für Inhouse-Netze sind:

Verdrillte Kupferleitungen

Die verdrillte Kupferleitung (Twisted Pair) ist das preiswerteste und verbreitetste Übertragungsmedium in der Nachrichtentechnik. Fast das gesamte Telefonnetz besteht zum Beispiel aus verdrillter Kupferleitung. Für Inhouse-Netze müssen jedoch einige Nachteile in Kauf genommen werden:

- Hohe Empfindlichkeit gegen elektromagnetische Störungen.
- Begrenzte Übertragungsbandbreite oder -geschwindigkeit.
- Geringe Reichweite.

Deshalb sind in der Datenübertragung zunächst geschirmte Kabel (shielded Twisted Pair) verwendet worden. Zunehmend wird auch die vorhandene Telefonverkabelung zur Datenübertragung verwendet.

Koaxialkabel

Elektrisch bessere Medien sind die Koaxialkabel. In Inhouse-Anwendungen werden zwei Koaxtypen verwendet:

- 10-BASE-2-Kabel oder RG58-Kabel, dünnes, relativ flexibles Koaxialkabel mit einer Dämpfung von 8,5 dB auf 185m bei 10 Mbit/s.
- 10-BASE-5-Kabel oder Yellow-Cable, dickes Koaxialkabel mit einer Dämpfung von 8,5 dB auf 500 m.

Lichtwellenleiter

Die Nachteile der elektrischen Kabel entfallen, wenn Lichtwellenleiter (LWL) eingesetzt werden. In Inhouse-Netzen wird überwiegend ein Gradientenindex-LWL mit den Kernmaßen 50/125 μm verwendet. Damit lassen sich störsichere Netze bis zu 4,5 km aufbauen. Die Bandbreite beträgt ca. 450 MHz/km und die Dämpfung 3 dB/km. Noch größere Netze lassen sich mit Einmoden-Fasern realisieren. Mit der OYDE-L-1300 können zum Beispiel Strecken bis zu 20 km ohne Zwischenverstärkung überbrückt werden.

Charakteristische Größen für Leitungen sind:

- Der Wellenwiderstand,
- die Fortpflanzungskonstante
- und die Ausbreitungsgeschwindigkeit.

Die Übertragungseigenschaften werden durch folgende Größen gekennzeichnet:

- Die Dämpfung definiert die Abschwächung eines Impulses am Ende einer Leitung. Die Dämpfung ist von der Leitungslänge l und der Impulsfrequenz f abhängig. Mit zunehmender Frequenz und zunehmender Leitungslänge wird die Dämpfung größer. Die Dämpfung einer Leitung wird wie folgt definiert:

$$a = 20 \times \log \times u_E / u_A$$

Für Leitungen wird für eine bestimmte Dämpfung keine obere Grenzfrequenz definiert.

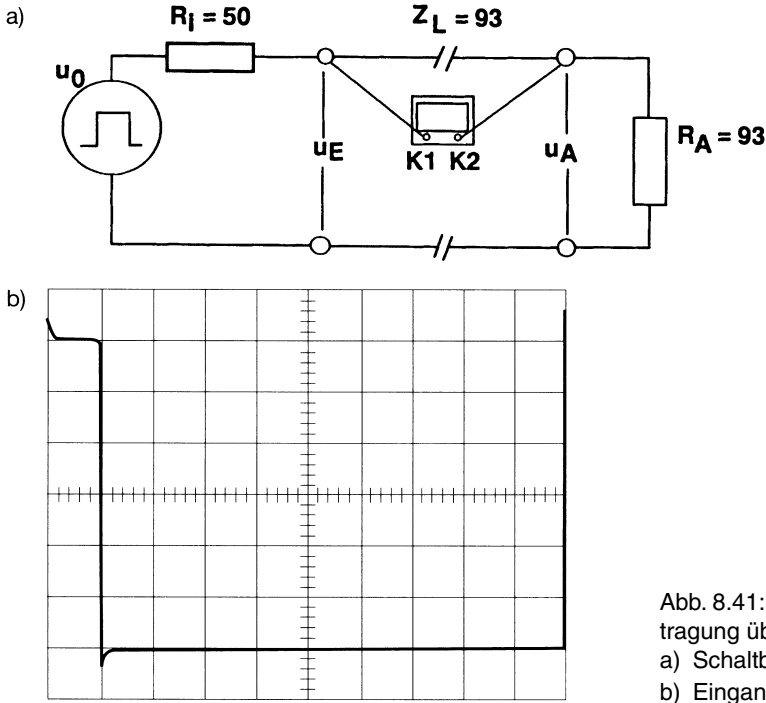


Abb. 8.41: Signalübertragung über Leitungen
a) Schaltbild
b) Eingangsimpuls

In Datenblättern wird häufig für die Leitungslänge 100 m jeweils ein Dämpfungsmaß für unterschiedliche Frequenzen angegeben. Da eine Leitung jedoch ein Tiefpassverhalten aufweist, kann man die Definition der Grenzfrequenz eines Tiefpasses anwenden:

$$f_{\text{grenz}} = 1/2 T_i \quad (T_i = \text{Anstiegszeit des Impulses})$$

- Die Signallaufzeit ist von der Ausbreitungsgeschwindigkeit v und der Leitungslänge l abhängig: $T = l/v$
Die maximale Ausbreitungsgeschwindigkeit ist die Lichtgeschwindigkeit. Sie wird im Vakuum erreicht ($\mu_r = 1, \epsilon_r = 1$)
- Einfluss auf den Reflexions- und Brechungsfaktor haben die in Abb. 8.41a dargestellten Größen.

Am Eingang der Leitung wird ein Rechteckimpuls eingespeist. Nach der Signallaufzeit T hat der Impuls den Ausgang der Leitung erreicht. Dort wird ein Teil des Impulses reflektiert ($u_{\text{refl.}}$) und ein Teil gebrochen ($u_{\text{gebr.}}$). Die Energie des gebrochenen Anteils wird im Abschlusswiderstand R_A verbraucht. Der reflektierte Anteil $u_{\text{refl.}}$ erreicht nach der doppelten Signallaufzeit $2 T$ den Eingang der Leitung. Dort wird

wiederinger ein Teil reflektiert und ein Teil gebrochen. Die gebrochene Energie wird am Widerstand R_i verbraucht, usw.

Die folgende Aufstellung zeigt die Kennwerte von vier verschiedenen Kabeltypen:

Leitung	Signallaufzeit	Wirkwdst. R	Wellenwdst. Z	Geschw. v
Koax	3,8 ns/m	0,156 Ω /m	93 Ω	263 000
Flachb. 0,14 mm ²	5,5 ns/m	0,264 Ω /m	120 Ω	181 000
LIYCY 4 \times 0,75 mm ²	5,8 ns/m	0,142 Ω /m	76 Ω	172 000
Verdrillte Telefontlg.	5,1 ns/m	0,126 Ω /m	115 Ω	97 000 km/s

Reflexionsmessungen an einem Koaxialkabel

Die folgenden Messungen wurden mit dem in Abb. 8.41b dargestellten Eingangsimpuls des Rechteckgenerators an einem Koaxialkabel durchgeföhrt:

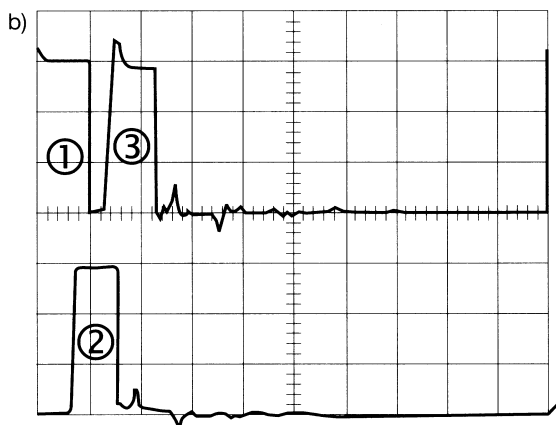
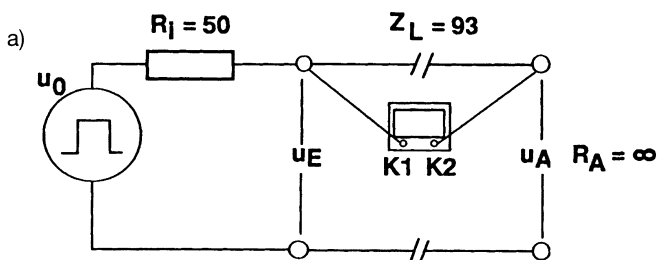


Abb. 8.42: Koaxialleitung ohne Abschluss

a) Messaufbau

b) Ein- und Ausgangsimpulse

Frequenz –	500 kHz
Periodendauer –	2 μ s
Pulspausenverhältnis –	1:9
Frequenz:	500 kHz
Periodendauer:	2 μ s
Pulspausenverhältnis:	1:9
Pulsdauer:	200 ns
Amplitude:	6 V

Einstellungen am Oszilloskop:

Y-Eingangsteiler –	1 V/Skt
Zeitablenkung –	0,2 μ s/Skt

Die Abb 8.42a zeigt den Messaufbau eines 30,8 m langen Koaxialkabels mit offenem Ausgang (Abschlusswiderstand unendlich).

Der Innenwiderstand R_i des Generators wurde bei diesem Messaufbau durch einen Reihenwiderstand auf die Größe des Wellenwiderstands erhöht, so dass am Eingang des Kabels keine Reflexion mehr entsteht.

Die in Abb. 8.42b gemessenen Impulsverläufe am Eingang und am Ausgang der Leitung wurden mit folgenden Einstellungen am Oszilloskop gemessen:

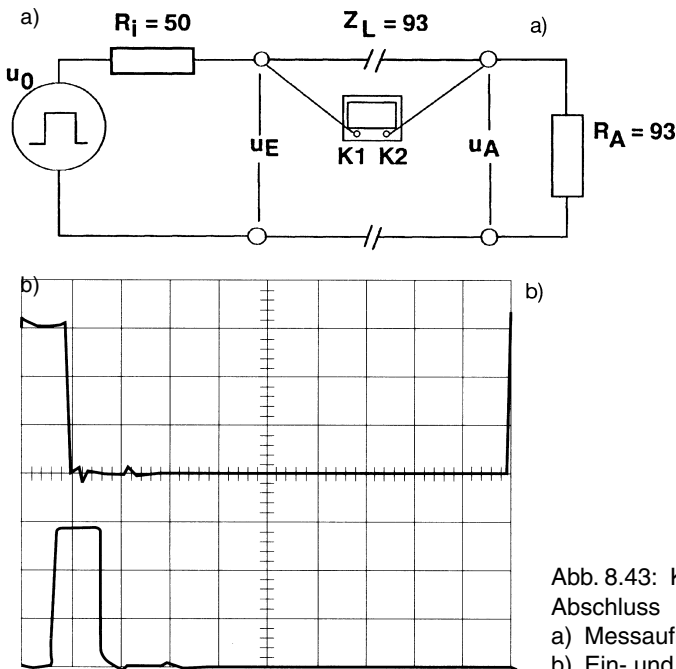


Abb. 8.43: Koaxialleitung mit Abschluss

a) Messaufbau

b) Ein- und Ausgangsimpulse

Y -Eingangsteiler Kanal 1 – 1 V/Skt (Eingang Leitung)

Y -Eingangsteiler Kanal 2 – 2 V/Skt (Ausgang Leitung)

Zeitablenkung – 0,2 μ s/Skt

Die Amplitude des Signals am Ausgang der Leitung ist doppelt so groß wie die des Eingangssignals, weil sich hinlaufendes und reflektiertes Signal überlagern.

Impuls (1) wird nach der Signallaufzeit am offenen Ende reflektiert (2) und erscheint als Impuls (3) nach der doppelten Signallaufzeit des Kabels wieder am Eingang.

Der Messaufbau in *Abb. 8.43a* zeigt die Leitung mit Abschlusswiderstand. Das Potenziometer am Ausgang wurde auf $R_A = Z_L = 93 \Omega$ eingestellt.

Die in *Abb. 8.43b* gemessenen Impulsverläufe am Eingang und am Ausgang der Leitung wurden mit folgenden Einstellungen am Oszilloskop gemessen:

Y-Eingangszeiler Kanal 1 – 1 V/Skt (Eingang Leitung)

Y-Eingangsteiler Kanal 2 – 1 V/Skt (Ausgang Leitung)

Zeitablenkung – 0,2 μ s/Skt

Durch die Anpassung des Ausgangswiderstands an den Wellenwiderstand des Kabels wird der Impuls nicht mehr reflektiert.

Die Amplitude des Signales wird halbiert (3 V).

Bei einem unbekannten Wellenwiderstand kann mit einem variablen Abschlusswiderstand der Wellenwiderstand bestimmt werden. Der Abschlusswiderstand wird so lange verändert, bis das Signal am Eingang der Leitung (Kanal 1) keine Reflexion mehr zeigt. Danach wird der Widerstandswert des Abschlusswiderstands gemessen.

Der Messaufbau in *Abb. 8.44a* zeigt die Leitung mit kurzgeschlossenem Ausgang.

Die in *Abb. 8.44b* gemessenen Impulsverläufe am Eingang und am Ausgang der Leitung wurden mit folgenden Einstellungen am Oszilloskop gemessen:

Y-Eingangsteiler Kanal 1 – 1 V/Skt (Eingang Leitung)

Y-Eingangsteiler Kanal 2 – 1 V/Skt (Ausgang Leitung)

Zeitablenkung – 0,2 μ s/Skt

Durch den kurzgeschlossenen Ausgang wird der Impuls (1) am Ausgang der Leitung mit Vorzeichenwechsel vollständig reflektiert (2) an den Eingang zurückgeschickt (Kanal 1).

Am Ausgang (Kanal 2) ist kein Signal sichtbar.

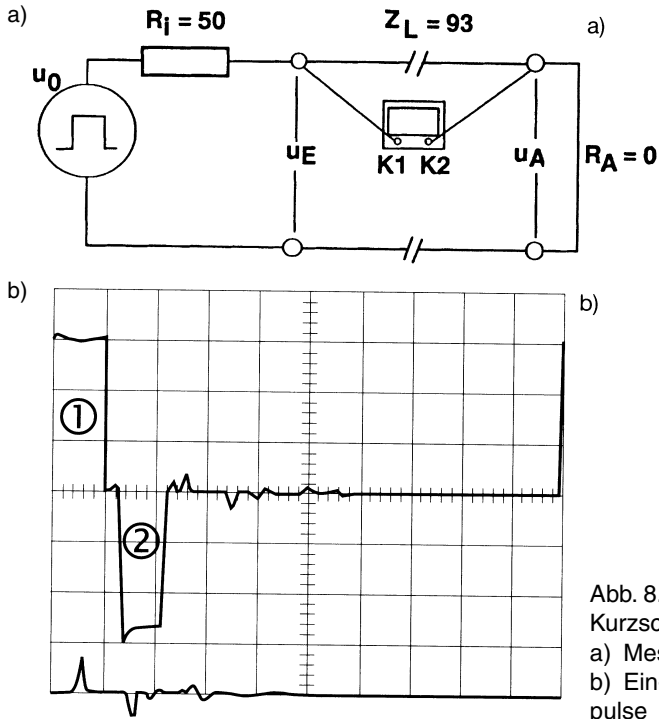


Abb. 8.44: Koaxialleitung mit Kurzschluss
a) Messaufbau
b) Ein- und Ausgangsimpulse

8.22 Seltene Signale erfassen

Bei der Fehlerdiagnose oder bei der Funktionsprüfung einer Schaltung können die Trigger-Funktionsmöglichkeiten des Oszilloskops sehr von Nutzen sein. Bei der Möglichkeit, für den Trigger ein Zeitlimit festzulegen, wird ein Trigger nur dann ausgelöst, wenn ein Signalereignis auftritt, das länger oder kürzer als der vorgegebene Wert ist.

Wenn z. B. bekannt ist, dass ein Strobe-Impuls mindestens 30 ns breit sein muss, dann muss das Oszilloskop so eingestellt werden, dass der Trigger bei einem Impuls von weniger als 30 ns ausgelöst wird. Die Trigger-Schaltung prüft alle Impulse, sofern der Impulsabstand mindestens so groß wie die Rücksetzdauer für die Trigger-Schaltung ist.

Wird der Trigger ausgelöst, liegt ein Problem vor. Wird der Trigger nicht ausgelöst, liegt kein Problem vor. In dieser Funktion kann ein Oszilloskop mehrere Zehnmillionen Ereignisse pro Sekunde verarbeiten.

In Abb. 8.45a triggert das Oszilloskop auf eine positive Flanke in Kanal 1, der Strobe-Impuls scheint richtig zu sein (Breite ≥ 30 ns).

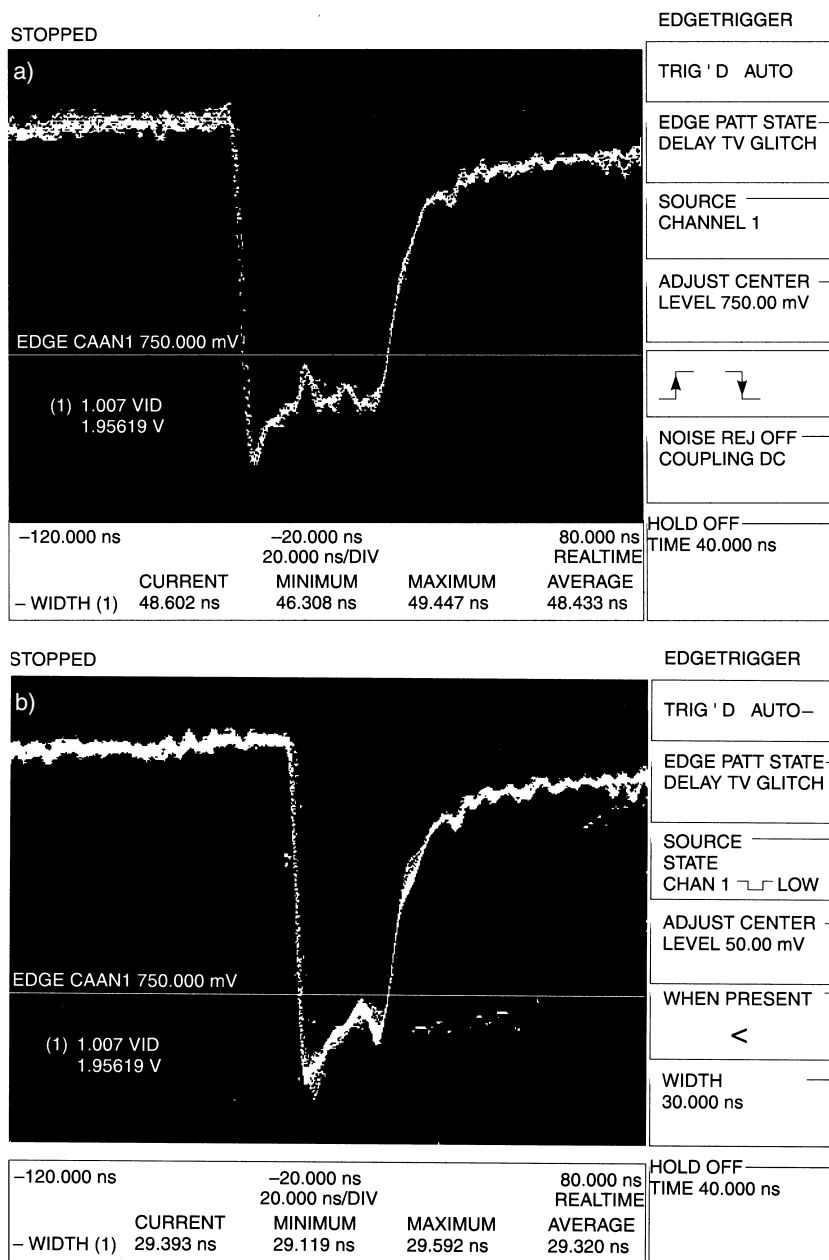


Abb. 8.45: Strobe-Impuls

a) nur scheinbar richtig gemessener Impuls

b) richtig gemessener Impuls

In Abb. 8.45b ist das Oszilloskop so eingestellt, dass es nur auf negative Impulse mit einer Breite von weniger als 30 ns triggert. Das Oszilloskop wurde getriggert, wodurch bestätigt ist, dass der Strobe-Impuls nicht immer richtig ist ($\text{Breite} \leq 30 \text{ ns}$).

8.23 Spannungs- und Stromverstärker

Bei der Überprüfung von Verstärkerstufen zur Übertragung von Sinusfunktionen sind neben der Signalform auch die Gleichspannungspotenziale an den einzelnen Elektrodenanschlüssen von Bedeutung.

Diese Spannungen geben Aufschluss über das Übertragungsverhalten der einzelnen Verstärkerstufen und ihre Funktion.

Versuch 1: Potenzialmessungen

An der in Abb. 8.46 dargestellten linearen Verstärkerstufe werden zuerst die Gleichspannungen an den einzelnen Elektroden des Transistors gemessen. Daher darf kein Signal an den Eingang angeschlossen werden.

Am Kollektor muss die Hälfte der Betriebsspannung gemessen werden.

Somit ist die lineare Aussteuerung für die positive und negative Halbwelle der Sinusspannung gewährleistet.

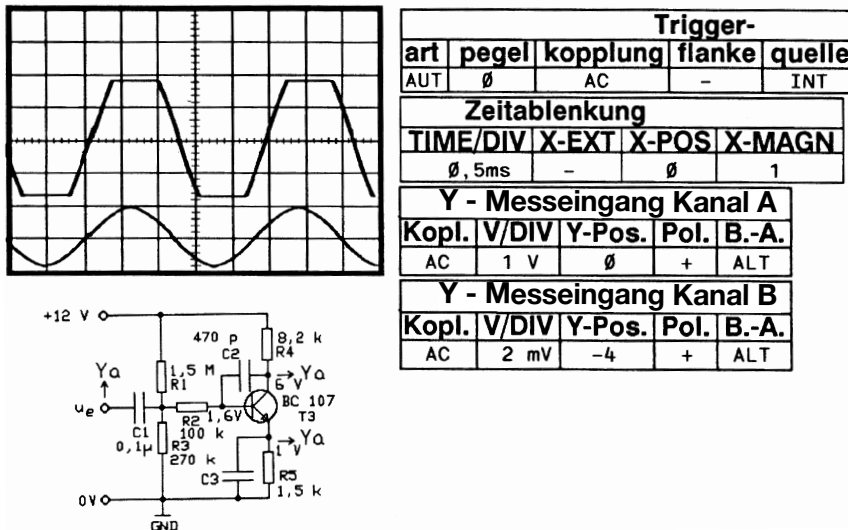


Abb. 8.46: Verstärkerstufe: Die Oszillogramme zeigen unten das Eingangssignal (Kanal B), oben ein übersteuertes Ausgangssignal (Kanal A)

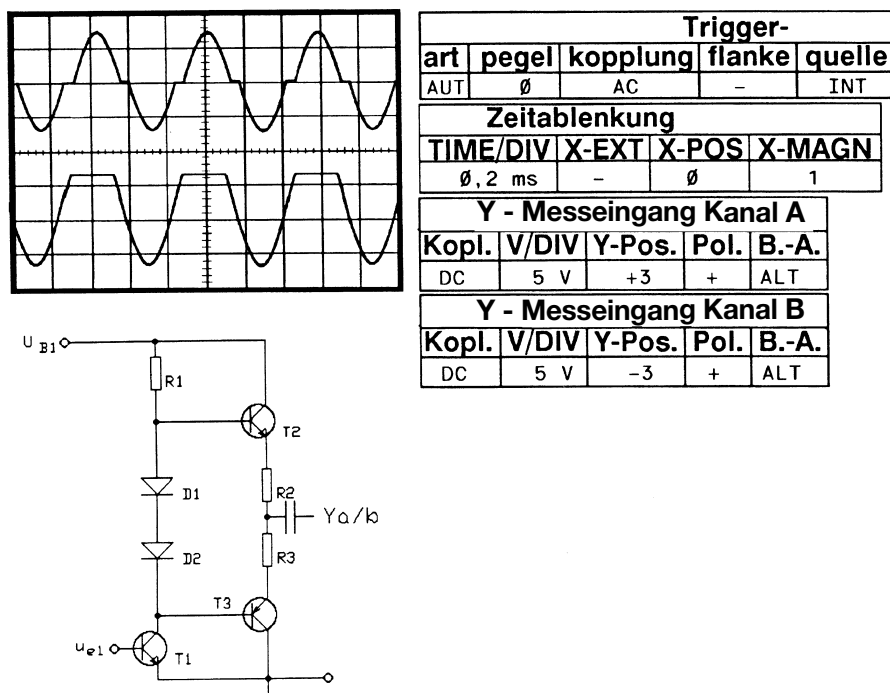


Abb. 8.47: Fehlerhafte Aussteuerung von Endstufen

Am Emittierwiderstand R5 ergibt sich eine Spannung entsprechend dem Widerstandsverhältnis $R4/R5$ bei 12 V.

Die Spannung an der Basis muss um ca. 0,6 V höher sein als die Emitterspannung.

Versuch 2: Bestimmung des Verstärkungsfaktors durch Messung

In diesem Versuch werden der Verstärkungsfaktor der Stufe und die Übertragungseigenschaften geprüft.

Daher wird eine Sinusspannung mit $f = 800 \text{ Hz}$, $u = 3,6 \text{ mV}$ am Eingang des Verstärkers angeschlossen.

Der Verstärkungsfaktor ergibt sich aus dem Verhältnis:

Ausgangsspannung/Eingangsspannung, $v_u = 3,5 \text{ V}/3,6 \text{ mV} = 972$

Das Ausgangssignal muss in der Signalforn dem Eingangssignal entsprechen.

Wenn die Amplitude des Eingangssignals erhöht wird, werden sich die Amplitudenspitzen am Ausgangssignal zunehmend begrenzen, d. h., das Signal wird größer als die 12 V Betriebsspannung.

Versuch 3: Messungen an Gegentaktendstufen

Die Abb. 8.47 zeigt als Beispiel eine Gegentaktendstufe. Der Ruhestrom der Transistoren T2 und T3 wird durch den T1 bestimmt. Zu geringer Ruhestrom äußert sich durch einen Knick beim Nulldurchgang der Spannung (Signalbild Kanal A). In diesem Zustand leitet keiner der beiden Transistoren ohne Signal. Der Strom durch T1 muss erhöht werden, damit die Basis-Emitter-Spannung von T2 und T3 größer wird.

Kanal B zeigt eine Spannungsbegrenzung in der oberen Amplitudenhälfte.

Hier ist die Aussteuerung unsymmetrisch. Der Arbeitspunkt in der Stufe T1 muss geändert werden.

8.24 Ursachen von Störsignalen schnell diagnostizieren

In digitalen Systemen sind Störsignale, die durch Systemkomponenten verursacht werden, ein häufig auftretendes Problem. Ganz gleich, ob die Störung auf ein Schaltnetzteil, Störimpulse aus der Bildschirm-Elektronik oder den Systemtaktgeber zurückzuführen ist, mit der hier beschriebenen Messtechnik lässt sich die Störungsursache eingrenzen.

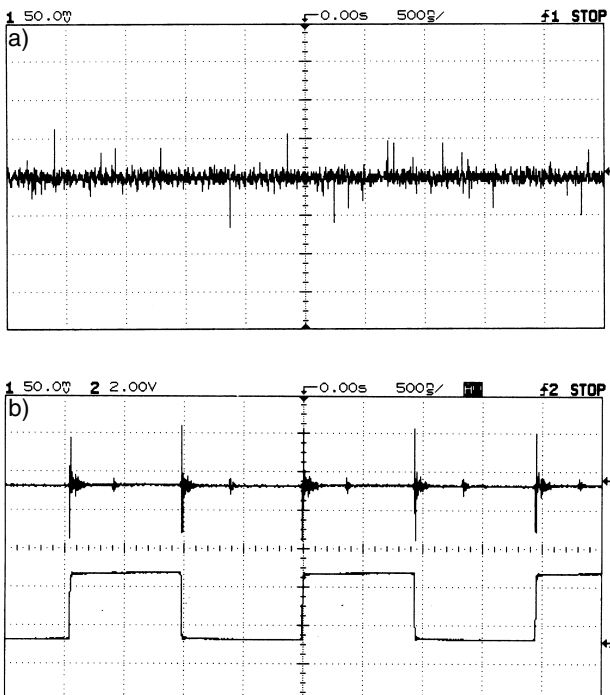


Abb. 8.48: Störsignal auf Masseleitung
a) Störsignal
b) Vergleich Störsignal und Messsignal

Die Analyse von Störsignalen mit einem Oszilloskop ist nicht ganz einfach. In der Regel wird das Oszilloskop auf ein Funktionssignal triggern. Störsignale sind in der Amplitude so klein, dass ein Oszilloskop nur schwer direkt auf ein solches Signal triggern kann. Die Abb. 8.48a zeigt ein mit Störungen überlagertes Massesignal bei automatisch getriggertem Oszilloskop.

Daher muss man versuchen, auf das mutmaßliche Störsignal zu triggern (Abb. 8.48b). In diesem Beispiel wurde das 516-kHz-Taktgebersignal als Störquelle angenommen. Durch Triggern auf das Taktgebersignal (Kanal 2) und Darstellung des gestörten Massesignals auf Kanal 1 ergibt sich ein mit dem Störsignal synchroner Trigger. Mit Hilfe der Messkurvenmittelung können die unkorrelierten Rauschanteile des Störsignals unterdrückt werden. Das 516-kHz-Taktsignal ließ sich somit als Störsignal ermitteln.

Bei mehreren Störquellen können mit derselben Technik die Störkomponenten isoliert werden, die auf die einzelnen Quellen zurückzuführen sind, wobei die Anteile der unkorrelierten Rauschquellen durch die Messkurvenmittelung eliminiert werden.

8.25 Verzerrungsanalyse

Harmonische Verzerrungen sind bei linearen Verstärkern ein wohlbekanntes Problem (Abb. 8.49a). Die Beurteilung dieser Signalform ist Erfahrung, lässt aber keine quantitative Beurteilung zu.

Eine FFT-Messung ermöglicht die quantitative Auswertung von harmonischen Verzerrungen. In der Abb. 8.49b beträgt die Grundfrequenz des Messsignals 50 kHz. Der Pegel der zweiten Oberwelle von 100 kHz liegt um 17,8 dB unter dem Pegel der Grundfrequenz, womit die Verzerrung des Messsignals begründet ist.

Oszilloskope (DSO) mit FFT-Messfunktion ermöglichen einen schnellen Überblick über Zeit- und Frequenzbereiche mit quantitativer Amplitudenauswertung.

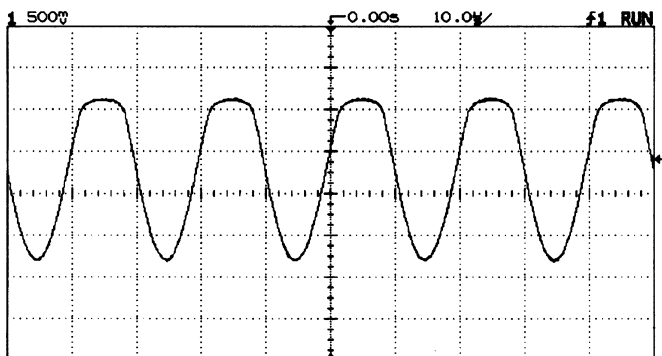


Abb. 8.49:
Signalverzerrungen
a) verzerrte Sinus-
welle,

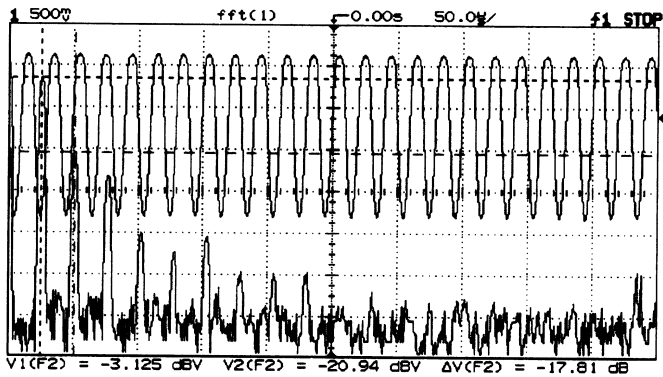


Abb. 8.49:
Signalverzerrungen
b) transformierte
Auflösung

8.26 Videosignale an Fernsehgeräten und Monitoren

Das Oszilloskop ist zur Fehlersuche an Fernsehgeräten sozusagen von den Herstellern vorgeschrieben.

Damit diese Fehlersuche erleichtert wird, sind die wichtigsten Oszillogramme zu den entsprechenden Messpunkten in den Schaltungen der Gerätehersteller eingezeichnet. Mit dem Oszilloskop kann dann festgestellt werden, ob das betreffende Oszillogramm in der vorgegebenen Form und Amplitude dargestellt wird.

Alle im Fernsehgerät vorkommenden Impulsformen sind periodisch und zum 50-Hz-Netz synchron. Es bereitet daher keine Schwierigkeit, diese Oszillogramme zu messen. Auch ältere Oszilloskope mit einfachen Synchronisierschaltungen sind einsetzbar.

Oszillogramme, die Bildinhalte wiedergeben, beziehen sich auf ein von einem Farbbalkengenerator stammendes Signal, das dem Fernsehgerät über die Antennenanschlüsse zugeführt wird.

Beim Messaufbau für die Oszilloskope ist darauf zu achten, dass das Fernsehgerät vom Netz getrennt betrieben wird.

In den Unterlagen der Hersteller sind entsprechende Hinweise zu beachten! Bei Geräten ohne Netztrafo führt das Chassis ständig Netzspannung (Brückengleichrichter).

Bei Reparaturen unbedingt Trenntrafo benutzen und gültige Sicherheitsvorschriften beachten.

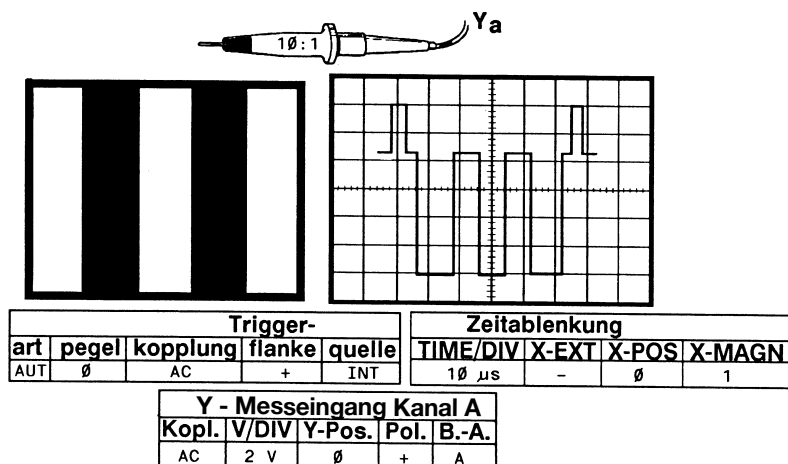


Abb. 8.50: Zeilenvideosignal an der Katode der Bildröhre

Versuch 1: Zeilenvideosignal

Entsprechend Abb. 8.50 wird ein Fernsehgerät über einen Trenntransformator an das Netz angeschlossen. Ein Bildmustergenerator wird über den Antenneneingang des Fernsehgeräts angeschlossen. Über einen Tastteiler 10/1 wird der Y-Eingang des Oszilloskops mit der Katode der Bildröhre verbunden.

Das Fernsehgerät einschalten und den Bildmustergenerator auf ein vertikales Balkenmuster einstellen. Amplitude und Frequenz des Videosignals so einstellen, dass auf dem Fernseher das Balkenmuster entsprechend der Abbildung dargestellt wird.

Zeitablenkung des Oszilloskops im Bereich 20 bis 50 μs einstellen und Feinabstimmung von Y-Verstärkung und Zeitmaßstab ($f = 15 \text{ kHz}$) vornehmen, bis das dargestellte Oszillogramm erreicht wird.

Ein Fernsehbild setzt sich aus 625 Zeilen zusammen, die pro Bild innerhalb von 40 ms über den Bildschirm gelenkt werden.

Die Zeilenfrequenz beträgt daher ca. 15,625 kHz, entsprechend einer Zeilendauer von 64 μs. Innerhalb von 53 μs wird der Bildinhalt (Helligkeitswerte) der Zeile dargestellt. In den verbleibenden 11 μs wird der Bildinhalt dunkel getastet (Zeilenrücksprung). Dieser Rücksprung wird durch die Anstiegsflanke des Zeilensynchronimpulses eingeleitet. Im Oszillogramm ist dies die Anstiegsflanke des ersten oberen Impulses. Dieser Impuls tritt 0,7 μs nach Aufzeichnung des Videosignals (Bildinhalt) einer Zeile auf. Diese Impulsperiode, in der die Bildröhre dunkel getastet wird, dauert 11,5 μs. Danach folgt das Videosignal der nächsten Zeile im unteren Impulspegel, entsprechend dem Balkensignal. Die drei Impulspausen entsprechen den weißen Balken, die zwei Impulse den schwarzen. Danach folgt im oberen Impulspegel der nächste Synchronimpuls (Sender/Empfänger) mit etwa 5,8 μs Impulsbreite.

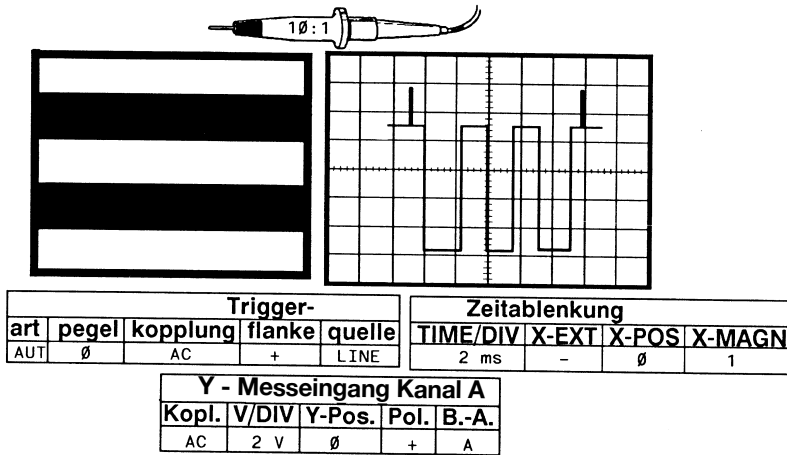


Abb. 8.51: Halbbildvideosignal an der Katode der Bildröhre

Mit dem Kontrasteinsteller am Fernsehgerät wird die Amplitude der Balkenimpulse im Bildbereich verändert.

Versuch 2: Videosignal für Halbbild

In diesem Versuch wird der Bildmuster-generator auf ein horizontales Balkenmuster eingestellt (vgl. Abb. 8.51) und das Fernsehbild auf dieses Videosignal abgestimmt.

Die Zeitablenkung wird auf das Bildsignal (50 Hz) eingestellt und auf ein stehendes Bild, entsprechend dem Oszillogramm, abgeglichen.

Ein vollständiges Fernsehbild wird innerhalb von 40 ms aufgebaut.

Dabei werden im ersten Halbbild zuerst alle ungeraden Zeilen übertragen, danach die geraden in einem zweiten Halbbild.

In diesem Zeilensprungverfahren muss der Elektronenstrahl zweimal von oben nach unten über den Bildschirm gesteuert werden. Die Übertragung der Bildinformation eines Halbbilds erfordert 18,4 ms. Während der verbleibenden 1,6 ms ist die Bildröhre dunkel getastet. In dieser Zeitspanne liegt das Vertikal-Austastsignal. Dieses besteht aus einer Folge schmaler und breiter Impulse, die jedes neue Halbbild und jede neue Zeile, einschließlich der 25 unsichtbaren Zeilen, zum richtigen Zeitpunkt synchronisieren.

Die unteren Impulse entsprechen den Bildinformationen des horizontalen Balkenmusters, die oberen Impulse sind die Synchron- und Austastimpulse.

Wird der Bildmuster-generator durch den Antennenanschluss ersetzt und ein Fernsehseher eingeschaltet, dann ändert sich die Bildinformation im unteren Oszillogrammbereich entsprechend den sich laufend ändernden Hell-Dunkel-Informationen, während die Synchron- und Austastimpulse unverändert an der gleichen Stelle stehenbleiben.

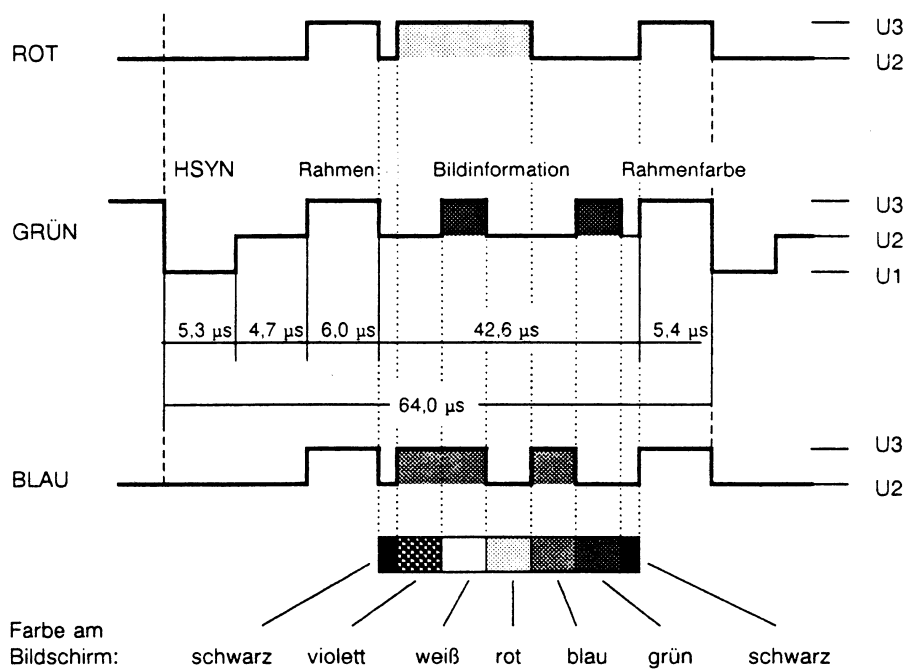


Abb. 8.52: Farbmonitor-Steuersignale

Versuch 3: Steuersignale für Farbmonitore

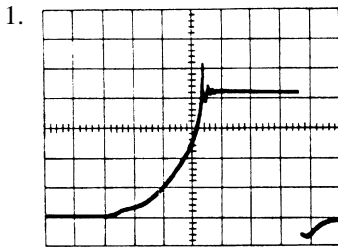
Farbmonitore an Steuerungsanlagen werden an standardisierte serielle und parallele Schnittstellen angeschlossen.

Abb. 8.52 zeigt die Pegel- und Zeitverläufe der RGB/BAS-Signale.

Folgende Spannungen müssen mit dem Oszilloskop gemessen werden:

Spannung Videosignal	Monitor angeschlossen ohne -5 V (Stift 9), mit -5 V		Ohne Monitor	
			ohne -5 V	mit -5 V
U1	1,2 V	-0,6 V	2,4 V	-1,0 V
U2	1,4 V	-0,1 V	2,8 V	-0,2 V
U3	2,0 V	+1,0 V	3,9 V	+0,2 V

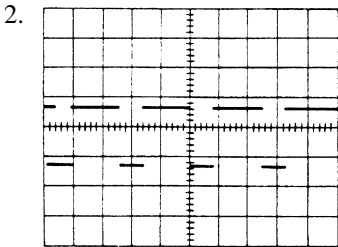
8.27 Übungen zur Vertiefung



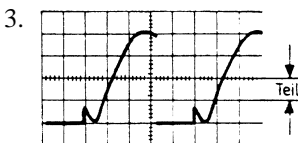
Timebase:
Einstellung $\frac{5\mu\text{s}}{\text{Teil}}$

Verstärkungs-
Ampl.: $\frac{3\text{mV}}{\text{Teil}}$
Einstellung

Die Anstiegszeit beträgt μs



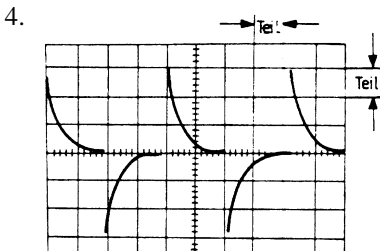
Das Tastverhältnis der oszilloskopierten Spannung beträgt ,



Ablenk-
koeffizient:
10 V/Teil

Die Schwingungsbreite Δu (u_{ss}) des oben abgeleiteten Impulses beträgt

, V.

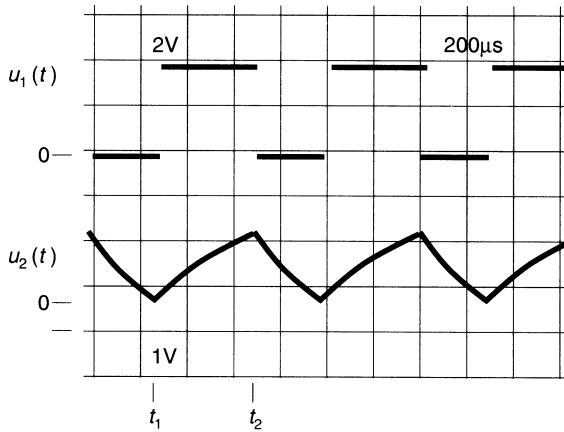


Ablenk-
koeffi-
zienten:

2 V/Teil
50 μs /Teil

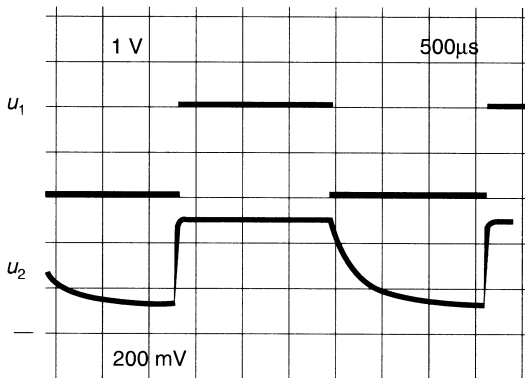
Ein Oszilloskop zeigt diesen Spannungsverlauf. Die Impulsfolgefrequenz ist

, kHz.

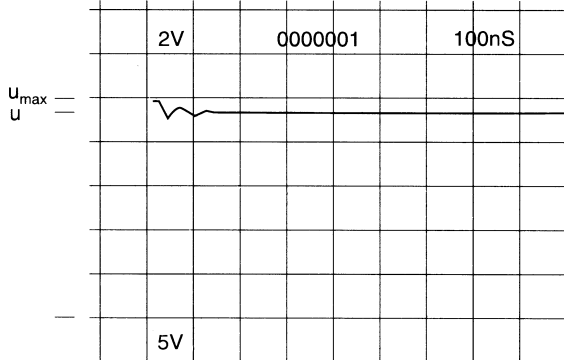


9. Bestimme die Abfallzeit für die Impulsfolge $u_2(t)$.

Bestimme weiterhin Pulsperiodendauer und Impulsfolgefrequenz.



10. Wie groß ist das Überschwingen des obigen Impulses?



Lösungen zu den Übungen

1.6.1 INTENS in linker Stellung (Strahlpunkt nicht hell genug)

1.6.2 FOCUS und ASTIGM

1.6.3 Y-POS; +5 V

1.6.4 X- und Y-POS

1.6.5 Die Strahlhelligkeit muss mit INTENS erhöht werden.

Die Zeitablenkung TIME/DIV muss auf langsamere Ablenkzeiten gestellt werden.

1.6.6 Y-POS und X-POS nach rechts drehen

2.5.1 Bestimmung von Amplituden

Signalform	Ablenkkoeffizient	Rasterteile	Messwert
Sinus	1 V/DIV	4	(Beispiel) 4 V
Gleichspannung	1 mV/DIV	3	3 mV
Rechteck	50 mV/DIV	2	100 mV
Dreieck	0,2 V/DIV	3	0,6 V
Sinus	10 V/DIV	2	20 V
Gleichspannung	0,5 V/DIV	4	2 V

2.5.2 Bestimmung von Periodenzeiten

Signalform	Ablenkkoeffizient	Rasterteile	Messwert
Sinus	0,1 s/DIV	5	(Beispiel) 0,5 s
Rechteck	5 ms/DIV	7	35 ms
Sinus	50 μ s/DIV	1,5	75 μ s
Dreieck	0,2 ms/DIV	6	1,2 ms
Sägezahn	50 ms/DIV	4,5	225 ms
Sinus	20 ms/DIV	3	60 ms

2.5.3 Bestimmung von Frequenzen

Messwert	Frequenz
25 ms	(Beispiel) 40 Hz
0,3 s	3,3 Hz
20 ms	50 Hz
0,1 μ s	10 MHz
40 ms	25 Hz
25 μ s	40 kHz

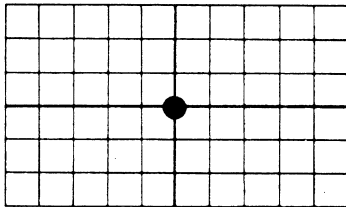
2.5.4 Effektivwertbestimmung

Messwert	Effektivwert
$U_{ss} = 40 \text{ V}$	(Beispiel) 14,2 V
$U = 10 \text{ V}$	10 V
$U_{ss} = 80 \text{ mV}$	28,5 V
$U_s = 700 \text{ mV}$	500 mV
$U_{ss} = 150 \text{ mV}$	53,5 mV
Mischspannung:	
$U = 2 \text{ V}, U_{ss} = 4 \text{ V}$	3,4 V

2.5.5 Bestimmung von Spitze-Spannung und Spitze-Spitze-Spannung

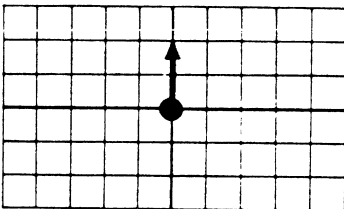
Effektivwert	Spitze (U_s)	Spitze-Spitze (U_{ss})
Sinus 10 V	(Beispiel) 14 V	28 V
Sinus 20 mV	28 mV	56 mV
$U = 25 \text{ V}$	_____	_____
Sinus 220 V	308 V	616 V
Sinus 238 V	333 V	666 V
Sinus 400 μV	560 μV	1120 μV

3.5.1 Der Leuchtfleck liegt in der Mitte des Skalenrasters: $x = 0$, $y = 0$ sind seine Koordinaten.

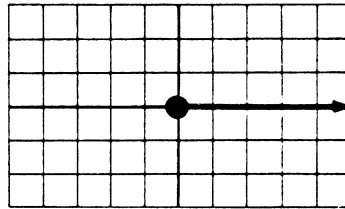


Leuchtfleck
($x=0, y=0$)

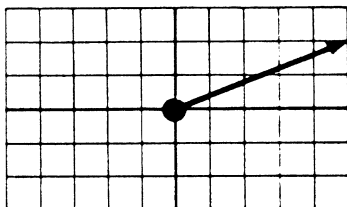
3.5.2



Lösung zu Abb. 3.17a

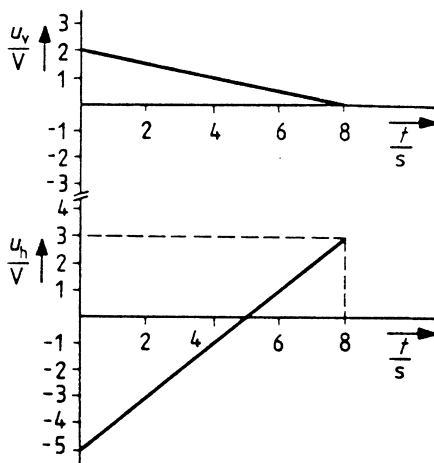


Lösung zu Abb. 3.17b



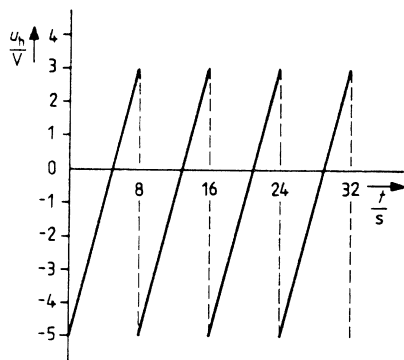
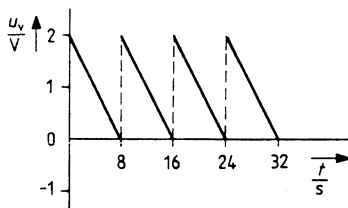
Lösung zu Abb. 3.17c

- 3.5.3 Beachten Sie dass sich gleichzeitig u_v von 2 V auf 0 V und u_h von -5 V auf 3 V ändern.



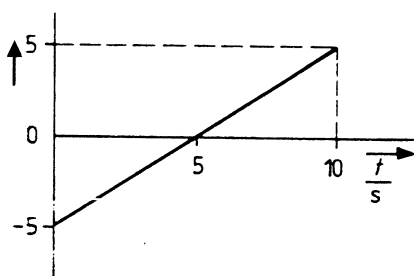
Lösungen zu Abb. 3.18b

- 3.5.4



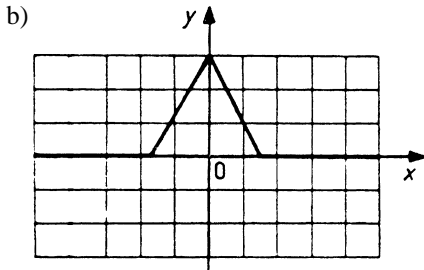
Lösungen zu Abb. 3.19

- 3.5.5



Lösungen zu Abb. 3.20c

3.5.6 a) Drei Teile. Beachten Sie, dass dieselbe Kurve dreimal durchlaufen wird.



Lösung zu Abb. 3.21c

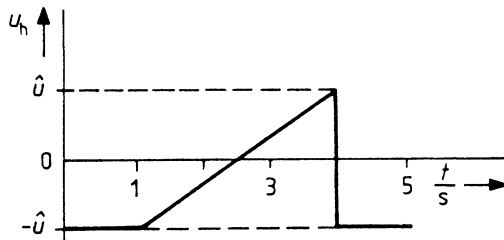
3.5.7 c) ist richtig

3.5.8 Der Leuchtfleck braucht eine Zeit von $500 \text{ ms} = 1/2 \text{ s}$, um den gesamten Schirm zu durchqueren.

Die allgemeine Beziehung dieses Vorgangs ist:

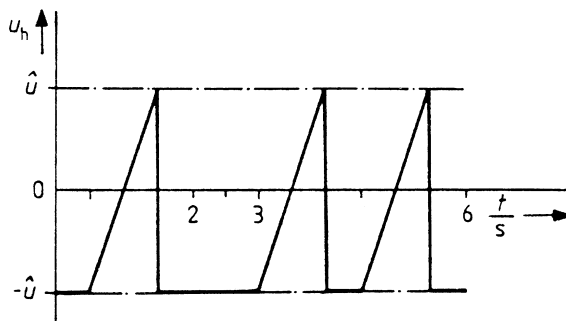
Wenn der „Zeitkoeffizient“ k_t auf Rs/Teil eingestellt wird, benötigt der Leuchtfleck $t = (R_s/\text{Teil}) \cdot (X \text{ Teile})$, um X Teile zu durchlaufen.

3.5.9 Der „Zeitkoeffizient“ kt ist auf $3 \text{ s}/10 \text{ Teile}$ eingestellt. Das entspricht $0,3 \text{ s/Teil}$.



Lösung zu Abb. 3.23

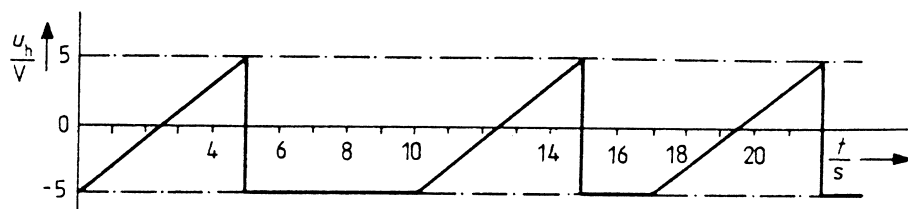
3.5.10 Beachten Sie, dass sich die Dauer der Ablenkspannung nach der Beziehung $t = kt \cdot X$ $= 0,1 \text{ s/Teil} \cdot 10 \text{ Teile}$ $= 1 \text{ s}$ ergibt.



Lösung zu Abb. 3.24b

- 3.5.11 a) Der Sägezahngenerator wird alle 4 s getriggert.
b) In den Zeiten $t = 0\text{ s}$, $t = 3\text{ s}$ bis $t = 4\text{ s}$, $t = 7\text{ s}$ bis $t = 8\text{ s}$, $t = 11\text{ s}$ bis $t = 12\text{ s}$
c) Der „Zeitkoeffizient“ beträgt in diesem Fall 0,3 s/Teil.
- 3.5.12 Der Leuchtfleck bleibt nach einer impulsförmigen Bewegung auf der Nulllinie stehen, aufgrund der AC-Kopplung.
- 3.5.13 $X = 1,6$ Teile
 $Y = 4$ Teile
- 3.5.14 c (d, wenn das Tastverhältnis nicht 1/1)
- 3.5.15 $U_{ss} = 40\text{ V}$
- 3.5.16 $8 \times 5\text{ }\mu\text{s} = 40\text{ }\mu\text{s}$, $f = 1/40\text{ }\mu\text{s} = 25\text{ kHz}$
- 3.5.17 $5\text{ V} : 10 = 500\text{ mV} : 2,5 = 200\text{ mV} = 0,2\text{ V/DIV}$
- 3.5.18 $t = 1/f = 1\text{ ms} : 5 = 0,2\text{ ms/DIV}$
- 3.5.19 0,5 s/DIV
- 4.6.1 a) Keine Wirkung.
b) Keine Wirkung.
c) In diesem Fall wird die Ablenkung von Neuem beginnen.

4.6.2



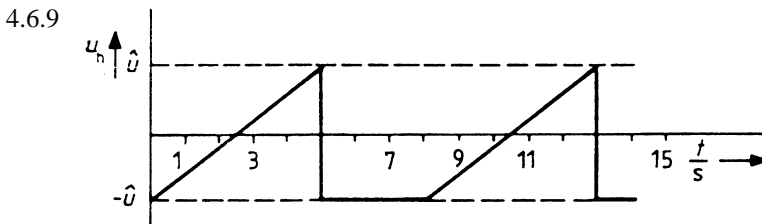
Lösung zu Abb. 4.15b

- 4.6.3 a) Triggerschaltung b) Triggersignal
- 4.6.4 Dann kann die Ablenkung in den Bereichen B oder D, nicht aber in den Bereichen A oder C getriggert werden.
- 4.6.5 Dazu muss der Einsteller „Trigger-Niveau“ betätigt werden.

4.6.6 Triggerng ist bei den Einstellungen L2 und L3 für das „Trigger-Niveau“ möglich.

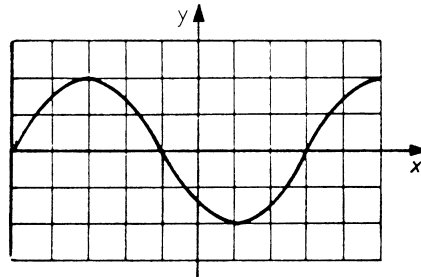
- 4.6.7 a) – (negativ)
 b) 0
 c) 0,3 ms/Teil

- 4.6.8 a) $t = 3 \text{ ms}$
 b) $t = 7 \text{ ms}$
 c) Der vorhergehende Ablenkvorgang war noch nicht beendet.



Lösung zu Abb. 4.21b

4.6.10 Beachten Sie, dass 5 s (5/4 Perioden) auf dem Bild erscheinen.

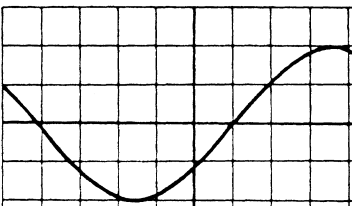


Lösung zu Abb. 4.22

4.6.11

Punkt	1	2	3	4	5	6
Flanke	+	+	–	–	–	+
Niveau	0 V	1 V	1 V	0 V	–1 V	–1 V

4.6.12



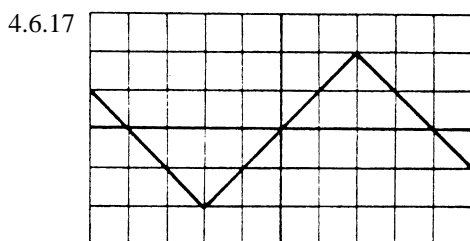
Lösung zu Abb. 4.24

- 4.6.13 a) Automatik c) Automatik
b) Normalbetrieb d) Einzelauslösung

- 4.6.14 a) Die Ablenkung wird 50-mal getriggert.
b) Die Ablenkung wird 25-mal getriggert.

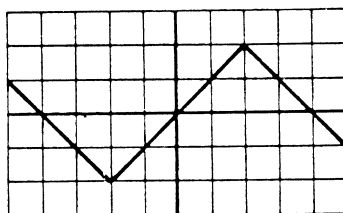
- 4.6.15 Nein, es erscheint kein stabiles Bild auf dem Schirm.
Die Ablenkung beginnt immer an verschiedenen Punkten innerhalb einer Periode.

- 4.6.16 Der „Trigger-Quelle“-Schalter muss in Position „Intern“ gebracht werden.



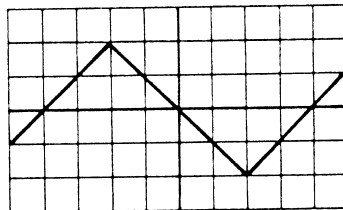
Lösung zu Abb. 4.27c

- 4.6.18 a) Es wird getriggert, wenn $u_v = 1V$
mit negativer Steigung ist.



Lösung zu Abb. 4.28a

- b) Es wird getriggert, wenn $u_v = 1V$
mit positiver Steigung ist.



Lösung zu Abb. 4.28b

- 4.6.19 Zwei Lösungen sind möglich:

1. a) dem Vertikal-Eingang
b) dem externen Trigger-Eingang
2. a) dem externen Trigger-Eingang
b) dem Vertikal-Eingang

- c) „Extern“
 d) (+)
 e) 0
 f) 0,2 ms/Teil

- c) „Extern“
 d) (-)
 e) 0
 f) 0,2 ms/Teil

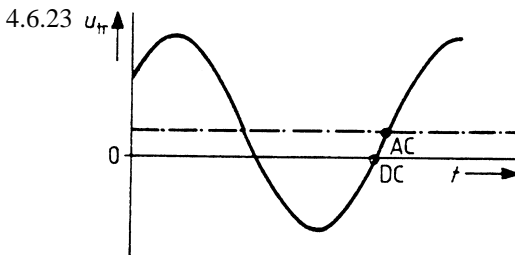
4.6.20

Vertikal-Eingang	Externer Trigger-Eingang	Richtige Einstellung des „Trigger-Quelle“-Schalters	
100 Hz	nichts	Line; INT	(a)
56 Hz	28 Hz	INT; EXT	(b)
140 Hz	60 Hz	INT	(c)
1190 Hz	Gleichspannung	INT	(d)

4.6.21 Der Gleichspannungsanteil des Triggersignals beeinflusst die Ablenkung nicht, wenn der Ankopplungsschalter auf AC steht.

4.6.22 a) auf DC

- b) Diese Einstellung ist nicht möglich, weil bei Frequenzen unter 16 Hz die DC-Ankopplung verwendet werden muss.

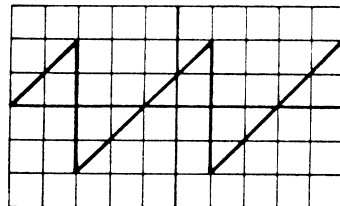


Lösung zu Abb. 4.30

4.6.24 a) (+)

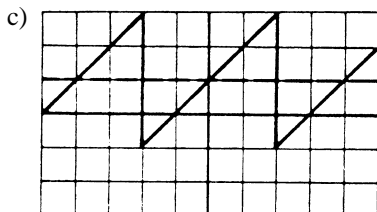
b) 0

- c) ... weil der Wechselspannungsanteil derselbe geblieben ist wie vorher.



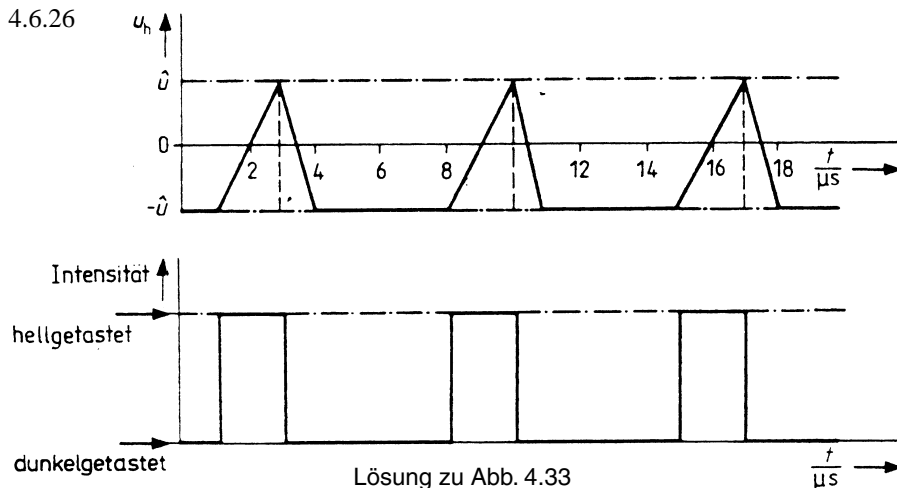
d) Lösung zu Abb. 4.31b

- 4.6.25 a) Weil der Gleichspannungsanteil am Vertikal-Eingang gleich geblieben ist.
b) Weil die Ablenkung zu einem anderen Zeitpunkt getriggert wird.



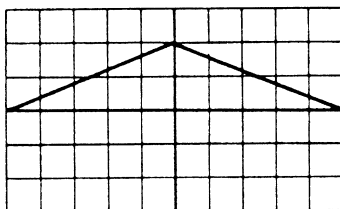
Lösung zu Abb. 4.32b

4.6.26



Lösung zu Abb. 4.33

4.6.27



Lösung zu Abb. 4.34

- 4.6.28 Nach Umschalten der „Dehnung“ auf das Fünffache braucht er $t = 4$ ms. Da der Zeitkoeffizient nicht verändert wurde, ist der Ablenkvorgang der gleiche geblieben. Durch die fünffache „Dehnung“ kann jetzt nur $1/5$ dieses Ablenkvorgangs auf dem Schirm sichtbar werden, und das geschieht während $1/5$ der Zeit, die der gesamte Ablenkvorgang beansprucht.

$$\frac{2 \text{ ms/Teil}}{5} = 0,4 \text{ ms/Teil}$$

5.4.1 Im alternierenden Betrieb

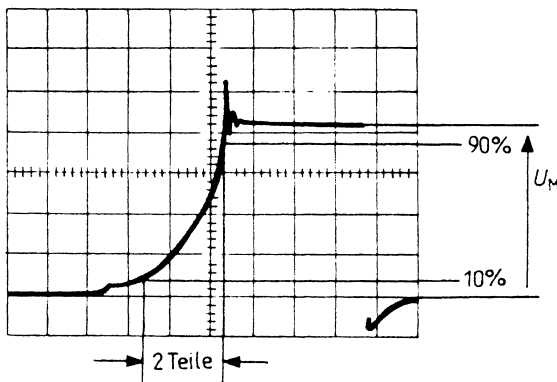
Begründung: Die Messfrequenzen sind für den Chop-Betrieb zu hoch.

5.4.2 Die Chop-Betriebsart

5.4.3 AC AC + - ADD

5.4.4 DC DC + - ADD

8.27.1 Die Anstiegszeit eines Impulses ist die Zeit, die vergeht, bis die Impulsspannung von 10 % des Endwerts bis auf 90 % angestiegen ist. Überschwingamplituden bleiben hierbei unberücksichtigt.



Lösung zu Abb. 4.32b

$$t_r = 2 \text{ Teile} \cdot \frac{5 \mu\text{s}}{\text{Teil}} = 10 \mu\text{s}$$

Richtig sind Ergebnisse zwischen 8 μs und 12 μs .

8.27.2 Nach DIN 5488 ist das Tastverhältnis T/τ , wobei T = Periodendauer und τ = Impulsdauer.

Bei $T = 2,5$ Teilen und $\tau = 1,6$ Teilen wird das Tastverhältnis $2,5/1,6 = 1,56$

Richtig sind Ergebnisse zwischen 1,45 und 1,65.

8.27.3 $U_{ss} = 4,2 T \cdot 10 \text{ V} = 42 \text{ V}$

8.27.4 $T = 4 \cdot 50 \mu\text{s} = 200 \mu\text{s}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{200 \mu\text{s}} = \frac{1}{0,2 \text{ ms}} = 5 \text{ kHz}$$

8.27.5 $2,75 T \cdot 5 \mu\text{s} \approx 13,6 \mu\text{s}$

8.27.6 C mit $70^\circ \dots 75^\circ$ ist richtig.

8.27.7 Dachschräge $\Delta u_2 \approx 1,9 \text{ Teile} \cdot 200 \frac{\text{mV}}{\text{Teil}} = 0,38 \text{ V}$

8.27.8 Die eingeblendeten Zahlenwerte geben die Ablenkoeffizienten an, d. h. für:

$$u_1 = 2 \frac{\text{V}}{\text{Teil}}, \quad u_2 = 1 \frac{\text{V}}{\text{Teil}} \quad \text{und} \quad t: \frac{200 \mu\text{s}}{\text{Teil}}$$

Für $u_1(t)$, $u_2(t)$:

$$\text{Pulsperiodendauer } T \approx 3,65 \text{ Teile} \cdot 200 \frac{\mu\text{s}}{\text{Teil}} \approx 730 \mu\text{s} = 0,73 \text{ ms}$$

$$\text{Impulsfolgefrequenz } f = \frac{1}{T} \approx \frac{1}{0,73 \text{ ms}} \approx 1,4 \text{ kHz}$$

Für $u_1(t)$:

$$\begin{aligned} \text{Tastverhältnis } \alpha &= \frac{T}{\text{Impulsdauer}} \approx \frac{0,73 \text{ ms}}{2,02 \text{ Teile} \cdot 0,2 \cdot \frac{\text{ms}}{\text{Teil}}} \\ \alpha &= \frac{0,73 \text{ ms}}{0,41 \text{ ms}} \approx 1,8 \end{aligned}$$

$$\text{Tastgrad } \frac{1}{\alpha} \approx \frac{1}{1,8} \approx 0,56$$

Für $u_2(t)$:

$$\text{Schwingungsbreite} \quad \Delta u_2 \approx 1,4 \text{ Teile} \cdot 1 \frac{\text{V}}{\text{Teil}} = 1,4 \text{ V}$$

$$\text{Anstiegsgeschwindigkeit} \quad v_{\text{au}+} = \frac{\Delta u_2}{\text{Impulsdauer}} \approx \frac{1,4 \text{ V}}{0,41 \text{ ms}} \approx 3,4 \frac{\text{V}}{\text{ms}}$$

$$\text{Abfallgeschwindigkeit} \quad v_{\text{au}-} \approx \frac{1,4 \text{ V}}{(0,73 - 0,41) \text{ ms}} = \frac{1,4 \text{ V}}{0,32 \text{ ms}} \approx 4,4 \frac{\text{V}}{\text{ms}}$$

$$\text{Spannungszeitfläche ergibt sich als Dreiecksfläche mit } A = \Delta u_2 \frac{t_2 - t_1}{2},$$

wenn Anstiegsflanke durch Gerade angenähert wird.

$$A \approx \frac{1,4 \text{ V} \cdot 0,41 \text{ ms}}{2} \approx 0,29 \text{ V ms.}$$

8.27.9 Mit ist die Zeitdauer zwischen

$$u_2 = \Delta u_2 \approx 1,9 \text{ Teile} \cdot 200 \frac{\text{mV}}{\text{Teil}} = 0,38 \text{ V} \quad 0,34 \text{ V} \quad \text{und} \quad u_2 = 0,04 \text{ V} \quad \text{zu bestimmen.}$$

Dies führt auf:

$$t_f \approx 2 \text{ Teile} \cdot 0,5 \frac{\text{ms}}{\text{Teil}} = 1 \text{ ms.}$$

$$\text{Pulsperiodendauer } T \approx 6,7 \text{ Teile} \cdot 0,5 \frac{\text{ms}}{\text{Teil}} = 3,35 \text{ ms.}$$

$$\text{Impulsfolgefrequenz } f = \frac{1}{T} \approx 298 \text{ Hz}$$

$$8.27.10 \frac{u_{\max} - u}{u} \approx \frac{5 \text{ Teile} \cdot 2 \frac{V}{\text{Teil}} - 4,6 \text{ Teile} \cdot 2 \frac{V}{\text{Teil}}}{4,6 \text{ Teile} \cdot 2 \frac{V}{\text{Teil}}} = \frac{5 - 4,6}{4,6} \approx 0,087 = 8,7\%$$

Sachverzeichnis

A

Abfallzeit 179
Ableitungen 198
Ablenkempfindlichkeit 15
Ablenkfrequenz 83
Ablenkkoefizient 26
Ablenkplattenpaare 12
Ablenksynchrone Umschaltung 117
Ablenkzyklus 117
Abrundung 180
Absolutdrucksensoren 194
Abtastintervall 143
Abtastrate 143
Alias 144
Alternierende Kanaldarstellung 118
Amplitudenwert 26
Analoge Masseleitungen 55
Anschnittsgerichtung 188
Anstiegszeit 179
Ausbreitungsgeschwindigkeit 202
Ausgangskennlinie 167
Auslöseimpuls 89
Außenleiter 59
Automatikbetrieb 82
Automatik-Triggerung 88
AVERAGE 142

B

Bandfilter 172
Beschleunigungsspannung 14
Betriebsart ADD 119
Bildfrequenzbereich 86
Bildinhalt 214

Bildschirmdisplay 132
Bitmuster 158
Blockschaltbild 33
BNC-Adapter 57
BNC-Anschluss 57
BNC-Buchse 57
Brechungs faktor 203

C

CHOP 115
Chop-Betrieb 116
Chop-Frequenzen 115
Clock-Signal 163
Common Commands 146
Cursormessungen 127

D

Dachschräge 180
Dämpfung 202
Differenzbetrieb 121
Differenzmessung 120
Digitale Masseleitungen 55
Diodenkennlinien 165
Doppeladerkabel 57
Doppeltriggerung 90

E

Effektivspannung 28
Eigenschwingung 190
Eingangskapazität 69
Eingangskennlinie 166
Eingangswiderstand 55
Einmalige Auslösung 87

Einmalige Triggerung 88
Einschwingzeit 180
Einweggleichrichtung 186
Einzelkanalbetrieb 114
EKG-Signale 198
Elektrodenoptik 12
Elektrodensystem 11
Elektronenstrahl 13
Elektrostatische Ablenkung 11
Ellipse 47
Endstufen 210
ENVELOPE 142
Erdschleifen 201

F

Farbmonitore 216
FFT-Messung 212
Flankentriggerung 91
Fokussiereinrichtung 12
Fortpflanzungskonstante 202
Frequenzabstand 154
Frequenzhub 155
Frequenznormale 173
Frequenzverhältnis 83
Funktionsprüfung 60

G

Gegentaktendstufen 211
Gehäusemasse 54
Gleichrichterwirkung 72
Gleichrichtung 72
Gleichtaktrauschen 200
Gleichtaktunterdrückung 120
Gleichwert 29

H

Halbbild 215
Heißfilm-Luftmassenmesser 195
Helligkeitssteuerung 12
Herzaktionsspannung 196
HF-Kopplung 39

HOLD OFF 44
hold-off-time 90
Horizontalverstärker 34

I

Impulsdach 67
Impulsdauer 179
Impulsflankentriggerung 92
Impulsfuß 67
Impulsperiodenzeit 31
I-U-Phasenverschiebung 192

J

Jitter 179

K

Kalibrierspannung 73
Kanaldarstellung, alternierende 118
Kanaltriggerung 114
Kapazitive Spannungsteiler 70
Katodenstrahlröhre 11
Koaxialkabel 57, 202
Kontaktfläche 199
Kreisverstärkung 155, 156

L

LCD 143
LC-Resonanzkreise 171
Leiterkabel 57
Leitungskapazität 57, 59
Leistungsverkopplung 59
Leitungswiderstand 57
Lichtdurchlässigkeit 197
Lichtemission 11
Lichtgeschwindigkeit 203
Lichtwellenleiter 202
LINE 38
Lissajous-Figuren 173, 174
Luftmassenmesser 195

M

Manuelle Triggerung 88
Masseleitung
 analoge 55
 digitale 55
Massereferenzpunkt 55
Messaufbau 51
Messbereichsüberschreitungen 140
Messfrequenz 83
Messleitung 51
Messobjekt 51
Messverbindung 52
Metallelektrode 199
Metallschirm 59
Mikroprozessor 162
Mindestamplitude 82
Mischspannung 94
Modulationsfrequenz 154
Modulationsgrad 154
Momentanwert 66

N

Nachleuchtdauer 16
Nachschwingen 180
Netztrigger 173
Netztriggerung 86
Nichtlinearität 180
Nullleiter 54
Nulllinie 65
Nyquist-Abtasttheorem 153

O

Offset-Gleichspannung 123
Offset-Messung 190

P

Parallelführung 59
Parallelschwingkreis 171
Pattern 158
Pfade 150
Phasenanschnittsteuerung 121

Phasendifferenz 191
Phasenwinkel 194
Physiologische Signale 196
PID-Regler 155
Piezoresistive Absolutdrucksensoren 194
Plattenkapazität 15
Positionsverschiebung 21
Potenzialmessungen 209
Program Commands 147
Prüfobjekt 46
Pull-down-Menü 133
Pulsmessung 197
Pulsregistrierung 197

R

Rauschanteile 212
Rechteckimpuls 31
Reflexionsmessungen 204
Reflexionsprinzip 198
Reflexionssensor 198
REFRESH 142
Regelkreis 156
Reglerverhalten 156
Resonanzfrequenz 171
RGB/BAS-Signale 216
ROLL 142
Rückkopplungsfaktor 157
Rückstellung 37
Rückstrahlausblendung 34
Runt-Triggerung 184, 185

S

Sägezahn 31
Sägezahnfunktion 37
Sägezahngenerator 36
Schleppfehler 155, 157
Schutzleiter 54
Schwungsneigung 156
Signaladdition 118
Signalübertragungsleitung 52
SINGLE 142

Slew-Rate 190
SLOPE 44
Spannungsablenkkoeffizient 65
Spannungsflächenanteile 66
Spannungsteiler 57
 kapazitive 70
Spitzenwerterfassung 153
Spitzenwerterfassungsmodus 182
Spitze-Spannung 28
Spitze-Spitze-Spannungswert 29
Status-Signale 163
Statustriggerung 158
Steurgitter 11
Steuerkennlinie 167
Störquellen 212
Störsignale 86
Störsignaleinstreuungen 69
Störsignalquellen 121
Störspannungen 85
Störspannungsüberlagerung 85
Störwechselspannungen 68
Störwellen 59
Strahleinstellung 19
Strahlpunkt 18
Syntax 149

T

Tastgrad 179
Tastverhältnis 67, 179
Trägerfrequenz 154
Transistor-Eingangskennlinie 166
Transistor-Steuerkennlinie 167
Transmissionsprinzip 197
Trigger-Auslösesperre 161
Triggerauslösung 81
Triggereinsatz 91
Triggerflanke 89
Triggergrenze 96
Trigger-Hold-Off 183
Triggerimpuls 38
Triggerniveau 89

Triggerpotenziale 39
Triggerpunkte 39
Triggerschwelle 82
Trimmkondensator 69

U

Überschwingen 179
Übersteuerung 21
Übertragungsmedium 59
Umschaltfrequenz 115
Umschaltung 115
 ablenksynchrone 117

V

Verdrillte Kupferleitungen 202
Vergleichsfrequenz 173
Verstärkungsfaktor 157, 190, 210
Vertikalvorverstärker 33
Verzögerungsleitung 33
VGA 143
Videosignal 215

W

Wartezeit 90
Wechselspannung 29
Wegdifferenz 155
Wegstrecke 155
Wehnetz-Zylinder 11
Wellenwiderstand 202
Winkelcodierer 169

Z

Zeilenfrequenz 214
Zeilenvideosignal 214
Zeitdehnung 97
Zeitkoeffizient 26
Z-Modulation 173, 176
Zweistrahloszilloskop 113
Zweiweggleichrichtung 187
Zykloiden 173, 175

Dietmar Benda

Wie misst man mit dem Oszilloskop?

Das Auswerten von zeitlich veränderlichen elektrischen Größen ist nur mit dem Oszilloskop möglich. Wer sich mit der Bedienung von Oszilloskopen zur Messung zeitlich unterschiedlicher Größen auseinandersetzen muss, ist mit diesem Buch gut beraten.

Es zeigt, was alles gemessen und vor allen Dingen wie es gemessen werden kann. Besonders hervorgehoben werden die verschiedenen Trigger- bzw. Synchronisierverfahren, deren richtige Auswahl für das Zustandekommen eines „stehenden Bildes“ maßgebend ist. Große Aufmerksamkeit wird auch dem digitalen Speicheroszilloskop zuteil, dessen sichere Handhabung für jeden Elektroniker unabdingbar ist. Um das Gelernte zu vertiefen, enthält das Buch über 150 Messbeispiele und Übungen aus vielen Anwendungsbereichen der Elektronik

Aus dem Inhalt:

- Die Elektronenstrahlröhre
- Eigenschaften und Funktionen des Oszilloskops
- Messtechnische Grundlagen
- Komponententest und Kalibrierer
- Spannungs- und Amplitudenmessungen
- Triggerung und Synchronisation von Messsignalen
- Zweikanal-Messungen
- Digitale Speicher- und Kombi-Oszilloskope
- Technische Kennwerte und Funktionen
- Bedienung der Menüanzeigen
- Speicherbetrieb
- Standard-Befehlssatz für programmierbare Instrumente
- Messbeispiele:

Aliasing-Effekt vermeiden, Amplituden- und Frequenzmodulation, Antriebs-Regelsysteme, Buskonflikte, Drehzahlmessungen, Frequenzfilter, Impulsmessungen, Messungen an Sensoren, Phasenmessungen, Puls- und EKG-Signale, Reflexionsmessungen an Leitungen und Kabeln, Störsignale, Verzerrungsanalyse

ISBN 978-3-645-65017-5



29,95 EUR [D]