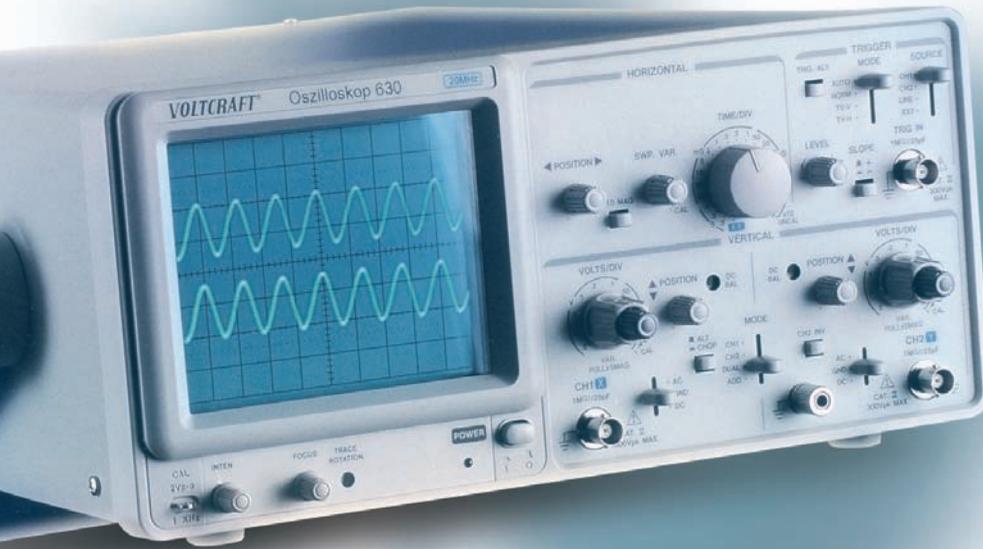


Dietmar Benda

5. überarbeitete Auflage



Wie misst man mit dem **Oszilloskop?**

Technik, Geräte, Messpraxis
mit über 150 Messbeispielen

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 Elektronenstrahlröhre	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 Bildschirmblendungen	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

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 trägeitslose 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).

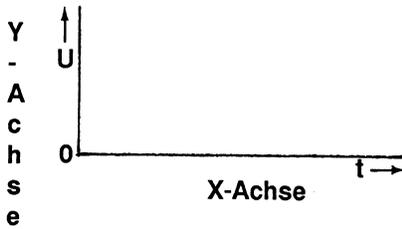


Abb. 2.1 Messdiagramm auf Bildschirm

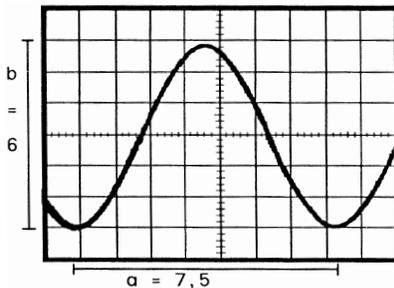


Abb. 2.2: Rastermaßstab auf Bildschirm

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

- Y-Maßstab = 1 V pro Raster (Ablenkoeffizient) 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:

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

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 $1 \text{ V} = 4 \text{ V}$. 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 $0,4 \text{ A}$). 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 $0,1 \text{ A}/100 \text{ mA}$. Ändert sich die Spannung auf 2 V/DIV , hat sich der Strom auf $0,2 \text{ A/DIV}$ oder 200 mA/DIV geändert (Linie 2 V , bzw. $0,2 \text{ A}$ im Diagramm).

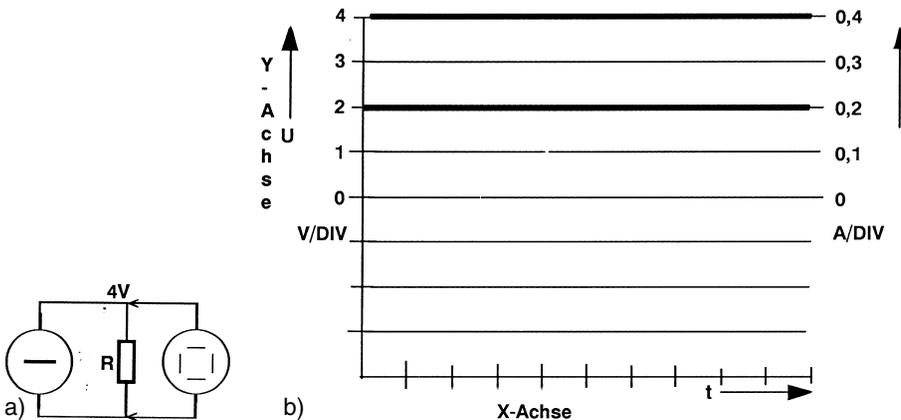


Abb. 2.3: Indirekte Strommessung; a) Messaufbau, b) Messdiagramm

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 $0,2 \text{ A/DIV}$ oder 200 mA/DIV ergeben. Ein Raster hätte dann den Maßstab 1 V oder $0,2 \text{ A}$ (200 mA).

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

Reihenschaltung eines bekannten Widerstands $R = 10 \Omega$ mit einem unbekanntem Widerstand R_x durchgeführt werden (Abb. 2.4a). Zuerst wird die anliegende Spannung gemessen, wieder mit einem Ablenkkoeffizienten 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.

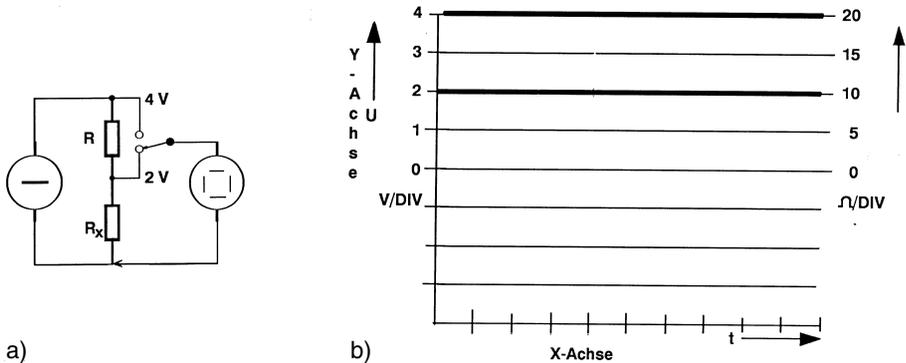


Abb. 2.4: Indirekte Widerstandsmessung; a) Messaufbau, b) Messdiagramm

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

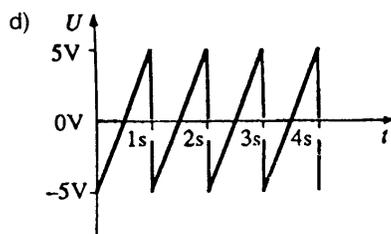
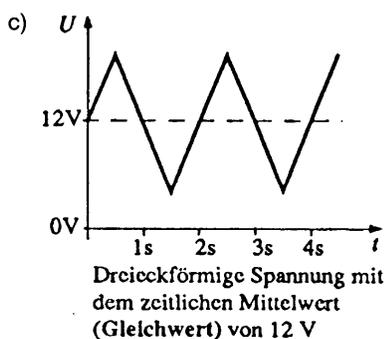
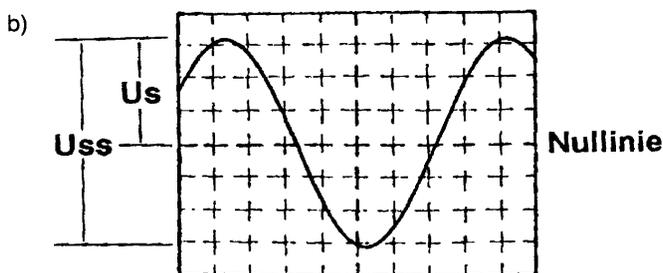
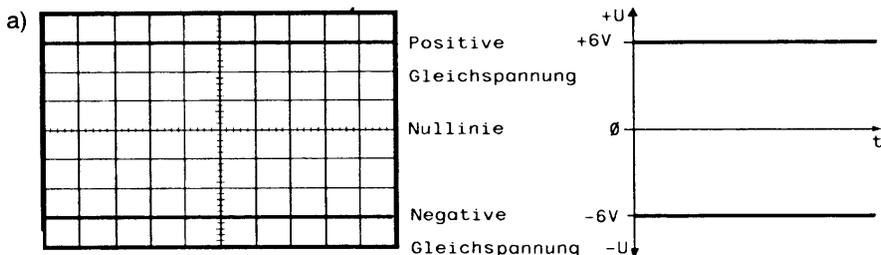


Abb. 2.5:

- 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.

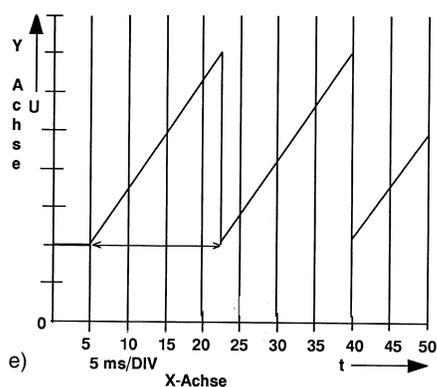
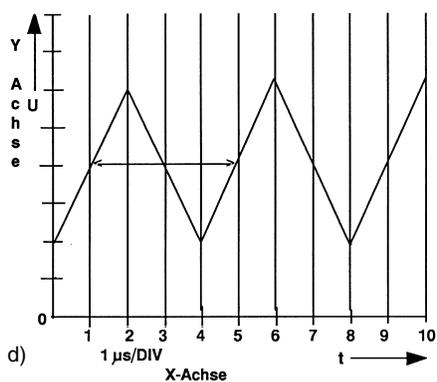
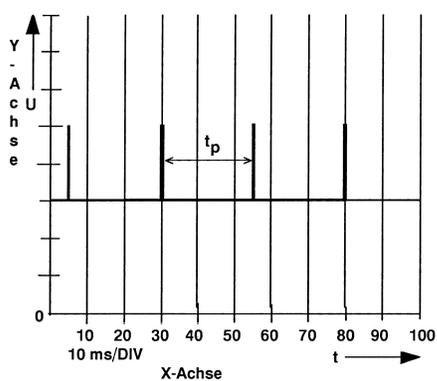
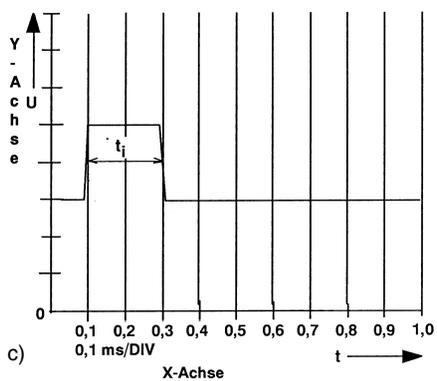
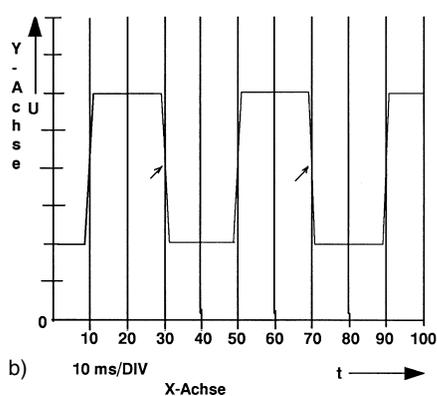
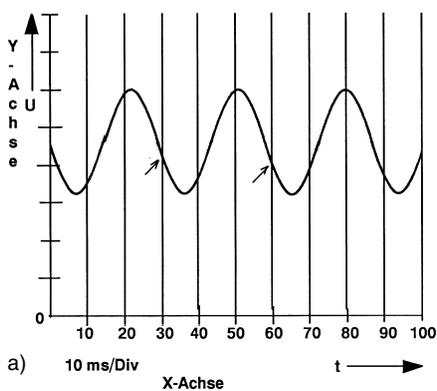


Abb. 2.6: Zeitmessungen; a) Sinusperiode, b) Rechteckimpulsperiode, c) Messung von Impulsdauer und Impulspause, d) Dreieckimpuls, e) Sägezahnimpuls

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.

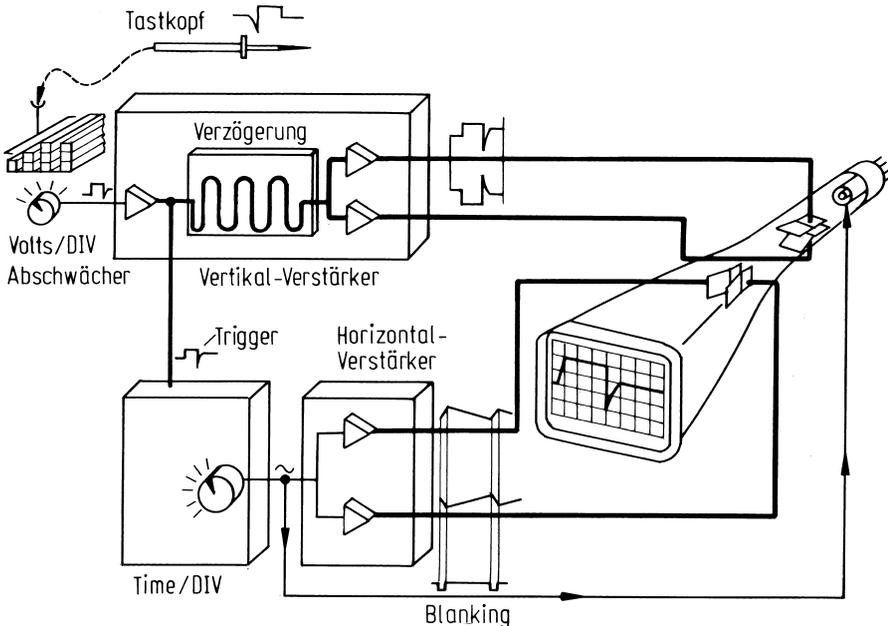


Abb. 2.7: Vereinfachtes Blockschaltbild des Oszilloskops

Der zu messende Spannungswert gelangt über den auf die Amplitude eingestellten Abschwächer an den Vertikalvorverstärker (Dreieckssymbol). 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.

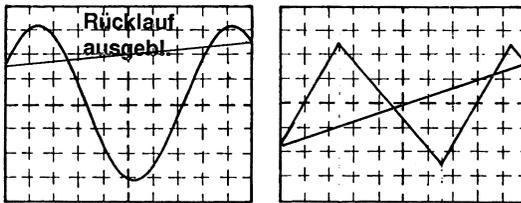


Abb. 2.8: Rückstrahlausblendung (Dunkelsteuerung)

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 Blockschaubild etwas genauer. Daneben die Bedienelemente, entsprechend Abb. 2.15. Damit wird das Zusammenwirken der einzelnen Funktionseinheiten und deren Anordnung ersichtlich.

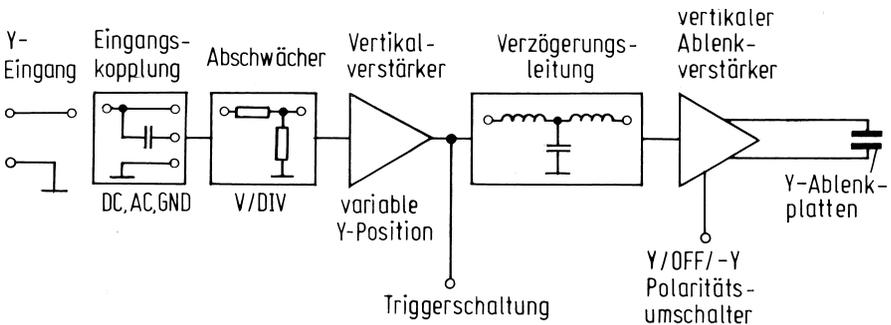


Abb. 2.9: Blockschaubild des Vertikalverstärkersystems

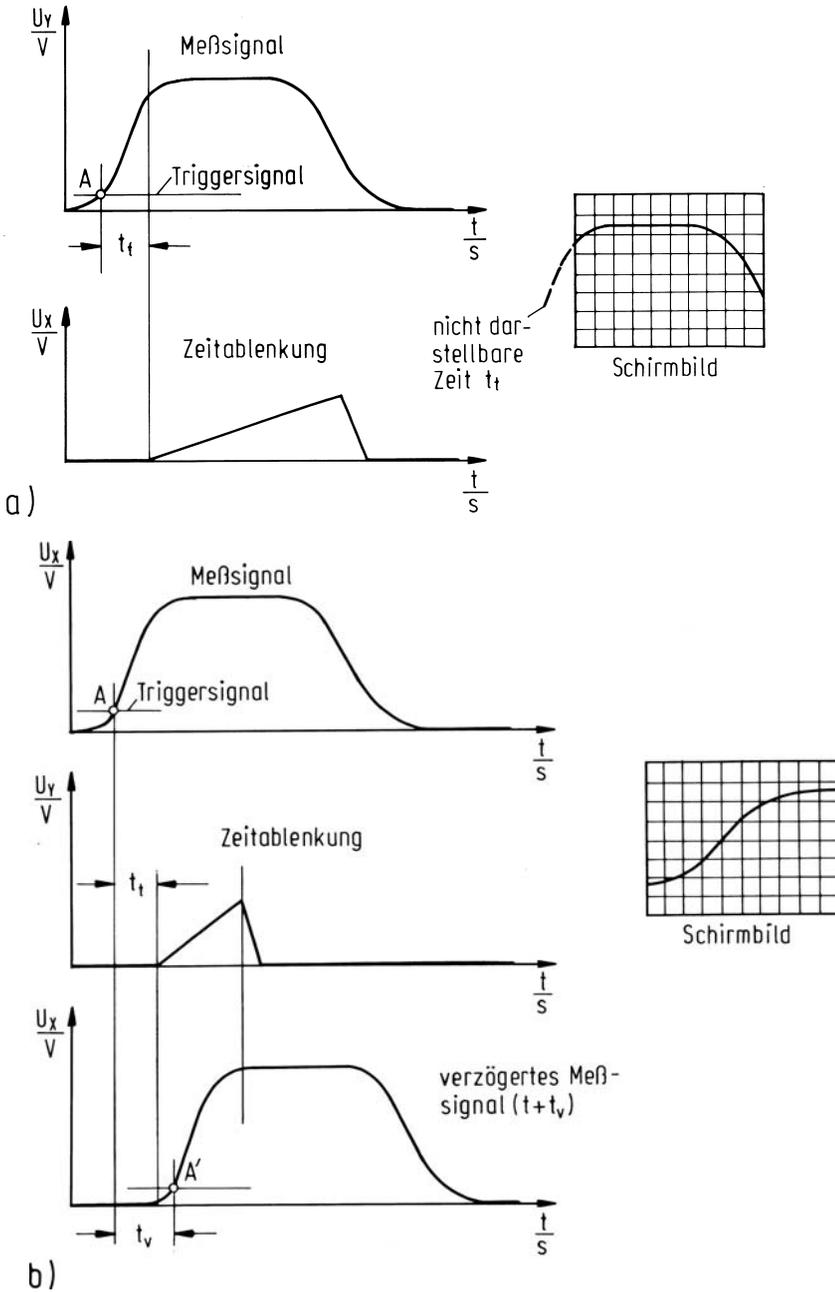


Abb. 2.10: Messignaldarstellung a) ohne Verzögerungsleitung
b) mit Verzögerungsleitung

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 Blockschaema 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.

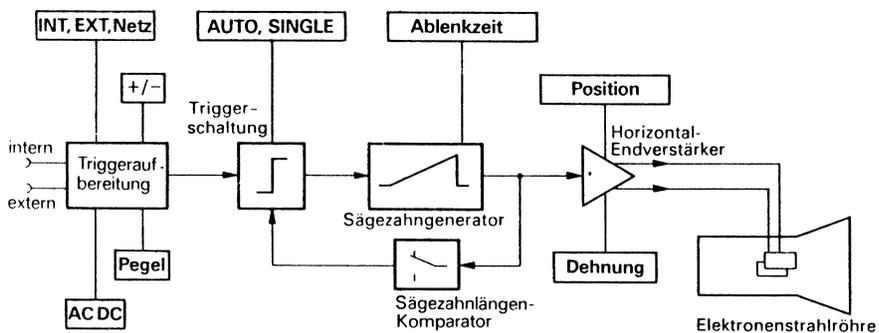


Abb. 2.11: Blockschaema des horizontalen Ablenk- und Verstärkersystems

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 repetierenden Messsignal wird jeweils bei der steigenden Signalflanke und einem eingestellten Triggerpegel, der bei 25 % Signalamplitude liegt, der Triggerimpuls zum Zeitpunkt T_0 gewonnen.

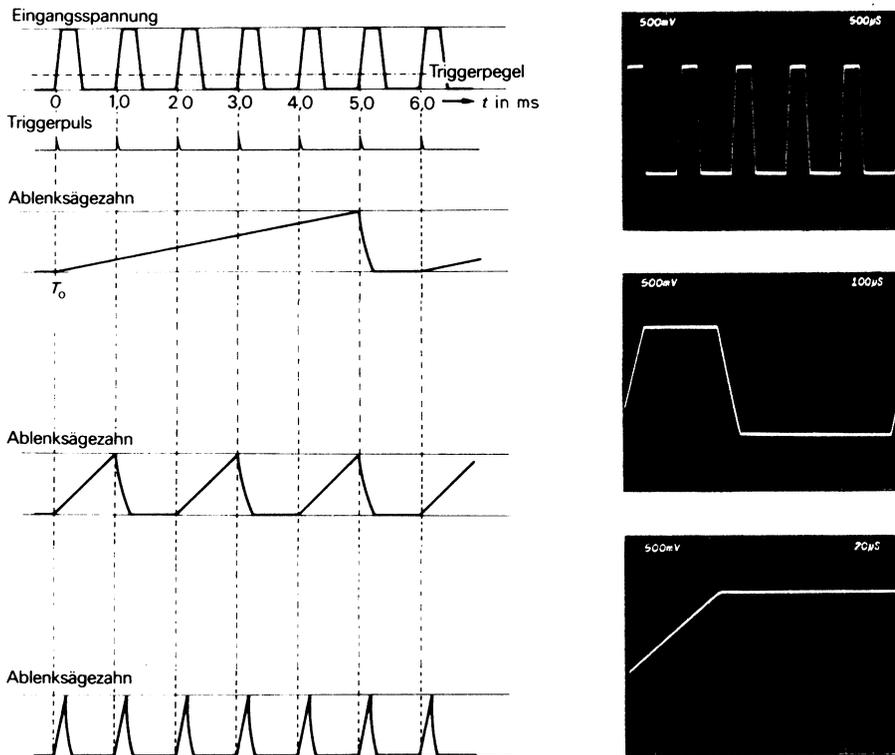


Abb. 2.12: Funktion der zeitabhängigen Horizontalablenkung

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 (Triggereaufbereitung im Blockschema *Abb. 2.11*).

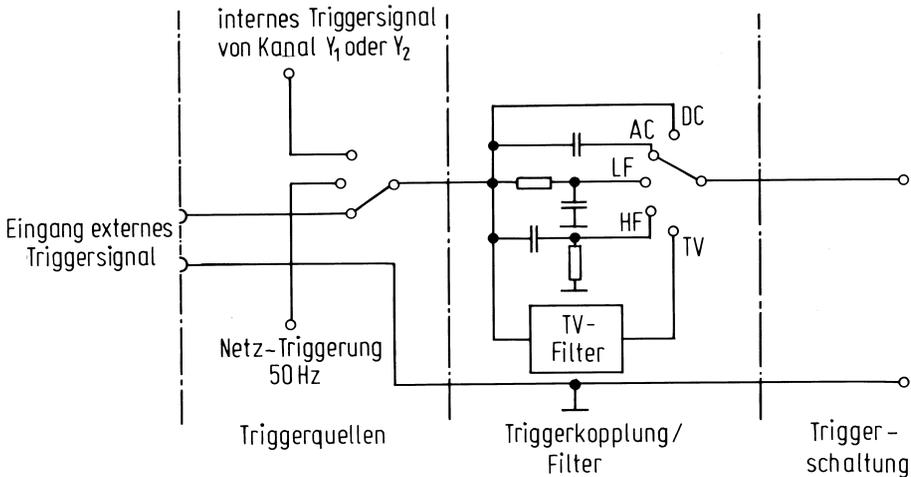


Abb. 2.13: Auslösung der Ablenkung bei unterschiedlichen Triggerpegeln

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.

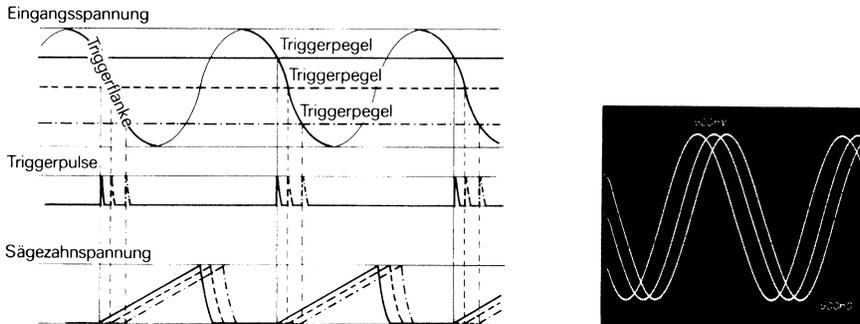


Abb. 2.14: Auslösung der Ablenkung bei unterschiedlichen Triggerpegeln

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 Kalibrierungsausgang und Komponententester. In den folgenden Beschreibungen und Funktionserklärungen wird auf die in Abb.2.15 angegebenen Nummern der einzelnen Bedienungselemente in Klammern verwiesen.

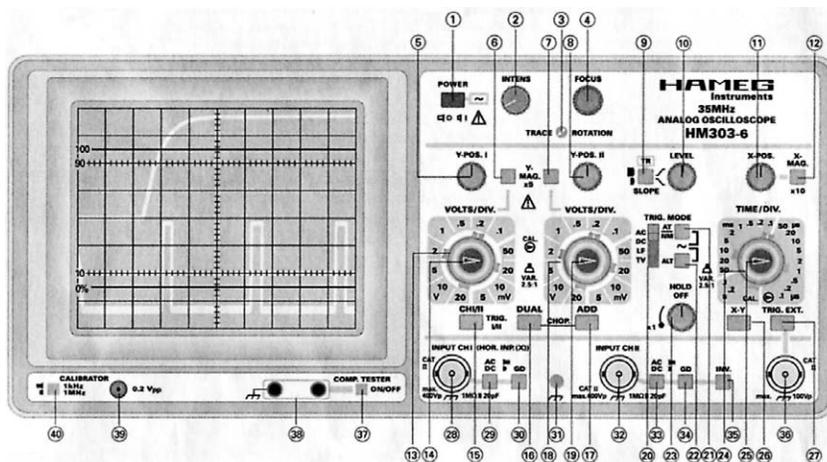


Abb. 2.15: Analogoszilloskop: Bedien- und Anzeigeelemente

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.

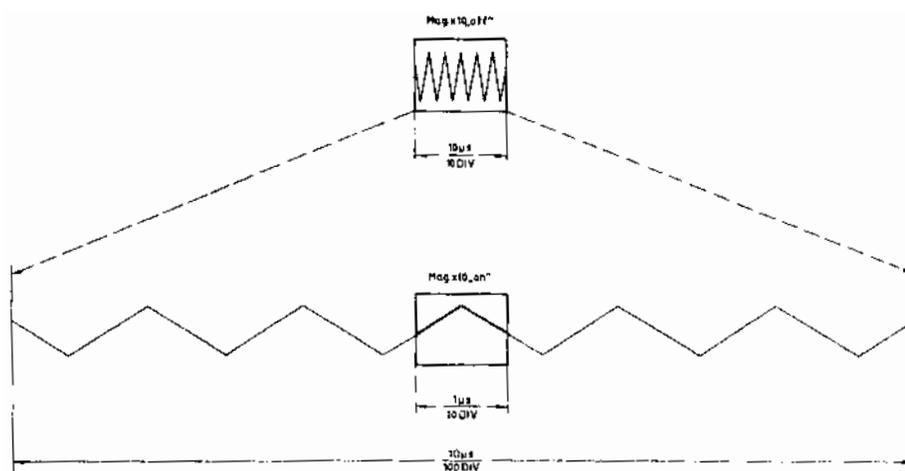


Abb. 2.16: Dehnung der Zeitachse

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 Wechsellspannungskopplung 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.

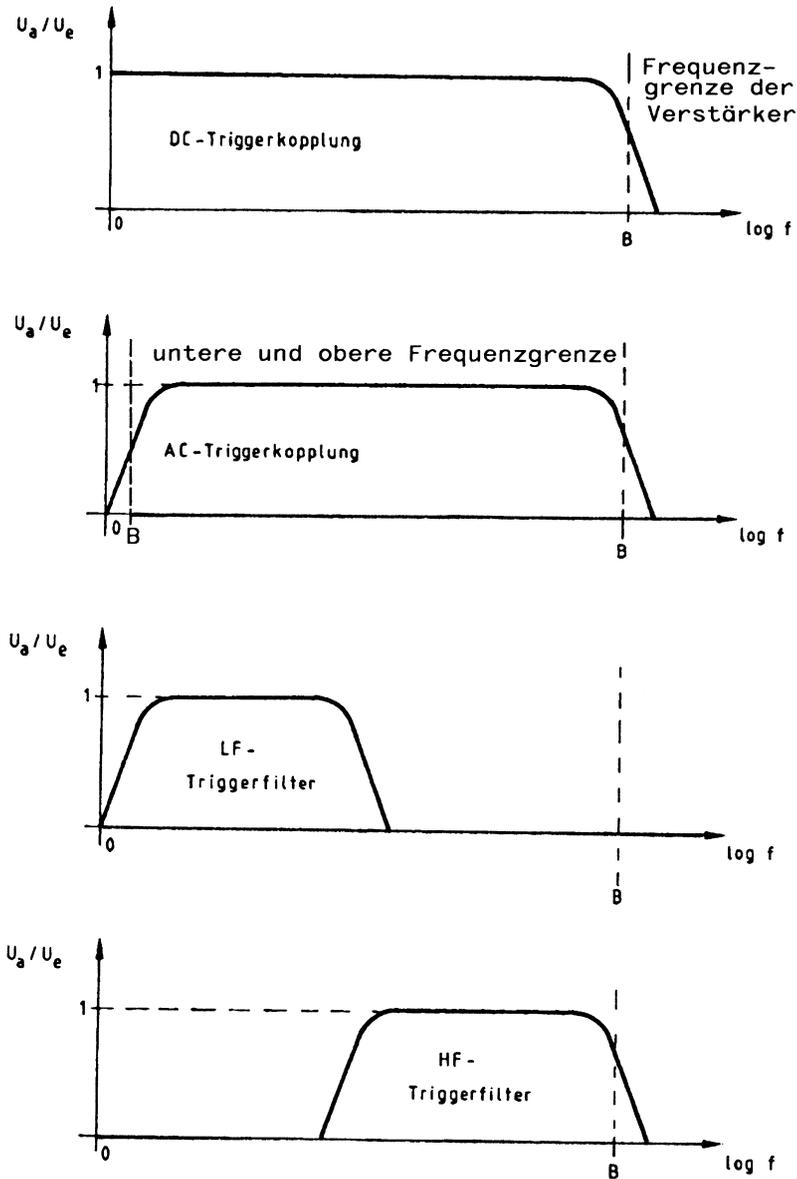


Abb. 2.17: Kopplungsarten für Triggersignal

In der Stellung TV (television) erfolgt die Triggerrung 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).

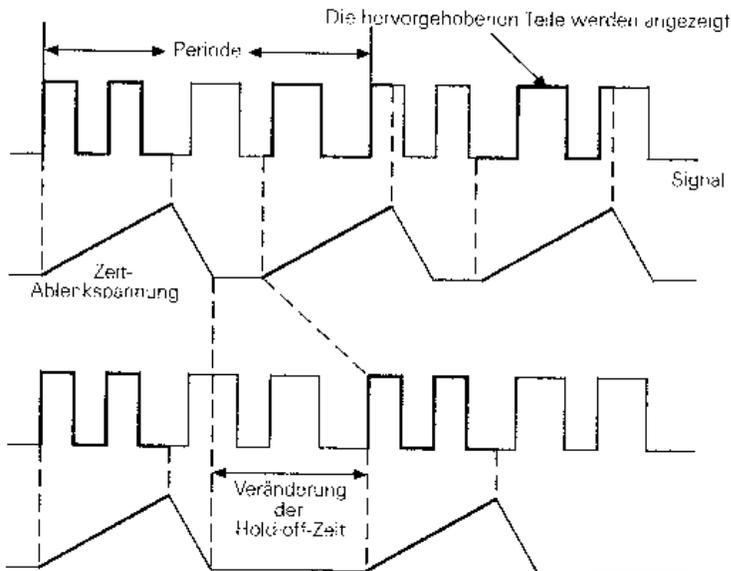


Abb. 2.18: Hold-off-Funktion

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 die 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. x10 (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 20Ω und $4,7 \text{ k}\Omega$ testen.

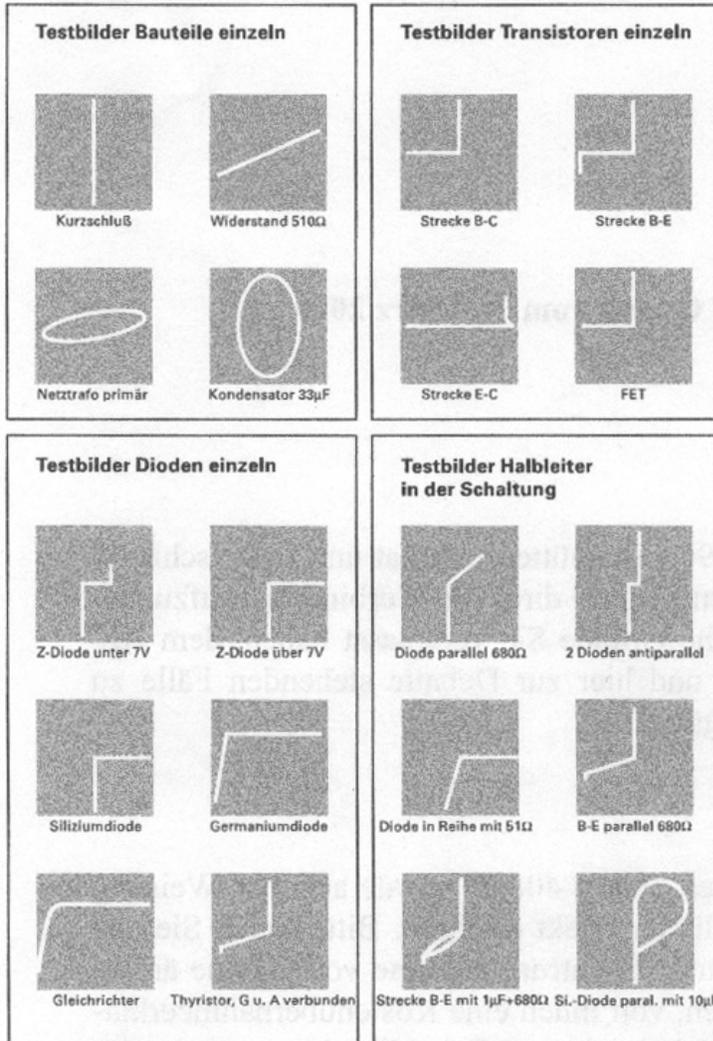


Abb. 2.19: Beispiele für Bauteile-Funktionstest

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: $0 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $40 \text{ }^\circ\text{C}$
 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

Sachverzeichnis

A

Abfallzeit 179
Ableitungen 198
Ablenkempfindlichkeit 15
Ablenkfrequenz 83
Ablenkoeffizient 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
Anschnittgleichrichtung 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
Kanalдарstellung, 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
Leitungsverkopplung 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
Rückstrahlabsblendung 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
- Triggern 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]