



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**

Fakultät Physik

Physikalisches Grundpraktikum

Versuch: **OM**

Aktualisiert: am 18.09.2018

Oszilloskop - Messtechnik

Inhaltsverzeichnis

1 Motivation	2
2 Aufgabenstellung	2
3 Grundlagen	3
3.1 Signale und Begriffe	3
3.1.1 Periodische Signale	3
3.1.2 Einzelimpulse und nichtperiodische Impulse	4
3.2 Digital-Speicher-Oszilloskop (DSO)	6
3.2.1 Funktionsprinzip	6
3.2.2 Grundlagen der Bedienung des DSO	7
4 Messtechnik	9
4.1 Wirkungsweise des passiven Tastkopfes	9
4.2 Frequenz- und Phasenverschiebungsmessung mittels Lissajous-Figuren	10
Fragen	11
Literatur	11

1 Motivation

Das Oszilloskop ist das universelle Instrument der elektrischen bzw. elektronischen Messtechnik. Es dient der Visualisierung von Spannungen im Echtzeitbereich und ermöglicht damit beim Einsatz entsprechender Wandler die Darstellung und das Vermessen der Zeitverläufe physikalischer Größen.

Gegenwärtig verlieren die in ihrer Funktionsweise sehr anschaulichen Elektronenstrahloszilloskope gegenüber den Digital-Speicher-Oszilloskopen (DSO) rasant an Bedeutung. Letztere, mit zwei und mehr Kanälen ausgestattet und von einem Mikrokontroller gesteuert, erlauben neben den direkten Messungen von Amplituden und Zeitdifferenzen die Bestimmung von Frequenz und Phasenverschiebung ebenso wie eine Transformation von Zeitfunktionen in den Frequenzbereich (Fourieranalyse).

Das Oszilloskop gehört zum Handwerkzeug eines Experimentalphysikers, ob beim Aufbau von Experimenten oder als permanenter Bestandteil von Messanordnungen. Folgerichtig kommt es auch in Versuchen des Grund- und Fortgeschrittenenpraktikums zum Einsatz. Im Versuch sollen Kenntnisse über die prinzipielle Funktionsweise von Digital-Speicher-Oszilloskopen erworben und mit einem Tektronix TDS 2012B die Bedienung und die grundlegende Messtechnik so geübt werden, dass funktionell gleiche Oszilloskope in den folgenden Praktika problemlos angewandt werden können.

2 Aufgabenstellung

- Zur Einführung sind bekannte, von einem Funktionsgenerator (HM 8030-5) erzeugte, Signale bei unterschiedlichen Erfassungs- und Triggermodi auf dem Oszilloskop darzustellen und zu vermessen.
- Im Zweikanal-Betrieb ist die Phasenverschiebung zwischen zwei harmonischen Signalen und zwei Impulsfolgen zu bestimmen.
- Anhand unterschiedlicher Impedanzen von Signalquellen und Anstiegszeiten von Impulsen ist die Wirkung des passiven Tastkopfes zu studieren.
- Zuletzt sind unbekannte Signale und Signalkombinationen zu erfassen und zu identifizieren.

Genauereres Entnehmen Sie bitte der Platzanleitung.

3 Grundlagen

3.1 Signale und Begriffe

3.1.1 Periodische Signale

In den Abbildungen 1, 2(a) und 2(b) sind sinusförmige Wechselspannungen im Zeitbereich bzw. im Phasenbereich einschließlich der verwendeten physikalischen Größen dargestellt. Der Momentanwert der Spannung wird mathematisch beschrieben durch:

$$u(t) = U_m \sin(\omega t - \varphi_u)$$

Dabei sind U_m die *Amplitude* bzw. Spitzenspannung, ω die Kreisfrequenz mit $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$ und φ_u die Phase bezüglich $t = 0$. Man definiert auch die Spannung Spitze-Spitze U_{ss} und die zeitliche Verschiebung $\tau_u = \varphi_u T / (2\pi)$.

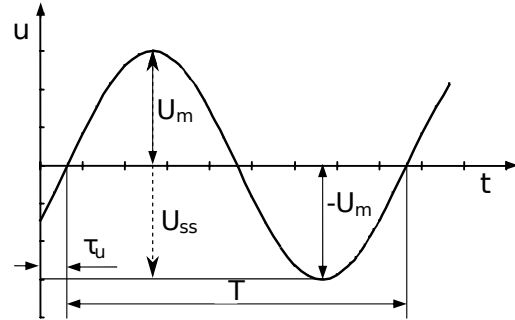
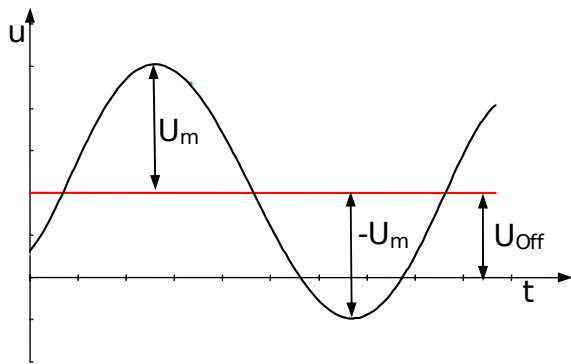
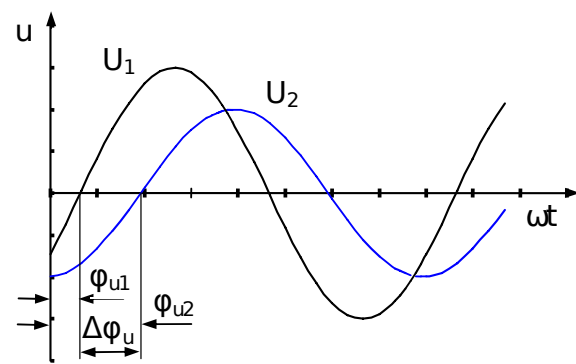


Abb. 1: Sinusförmige Wechselspannung



(a) Sinusförmige Wechselspannung mit Offset



(b) Verschiebung zweier Wechselspannungen im Phasenbereich

Abb. 2: Sinusförmige Wechselspannungen im Zeit- und Phasenbereich

Die Asymmetrie einer Wechselspannung bzgl. der Bezugsspannung (Masse) wird als Offset bezeichnet (Abb. 2(a)). Dieser Sachverhalt kann auch als Überlagerung einer Gleichspannung mit einer Wechselspannung verstanden werden, insbesondere dann, wenn die Gleichspannung der Informationsträger und die Wechselspannung eine Stör- oder Brummspannung ist.

Die zeitliche Verschiebung zweier harmonischer Signale gleicher Frequenz oder zweier harmonischer Signale, deren Frequenzen sich um ein ganzzahliges Vielfaches unterscheidenden, wird als Phasenverschiebung bezeichnet und in Grad oder Bogenmaß angegeben. In Abbildung 2(b). sind zwei um $\Delta\varphi_u$ gegeneinander verschobene sinusförmige Wechselspannungen gleicher Frequenz dargestellt.

In Abbildung 3 sind zwei harmonische Spannungen verschiedener Frequenz auf unterschiedliche Art überlagert. Im Beispiel links ist die Amplitude des hochfrequenten Signals durch das niederfrequente Signal moduliert. Es handelt sich um Amplitudenmodulation (AM), wie sie zur drahtlosen Übertragung von Informationen mittels Mittelwellensendern angewandt wird. In dem rechts dargestellten Fall das hochfrequente Signal vom niederfrequenten Signal überlagert. Dann spricht man von einer „Brummstörung“. Ist dagegen das niederfrequente Signal das „Nutzsignal“, dann spricht man von einem verrauschten Signal.

Die in Abbildung 4 dargestellten rechteckförmigen Impulsfolgen mit konstanten Impulsamplituden U_0 und gleicher Folgefrequenz $f = 1/T$ unterscheiden sich durch Impulsdauer t_I und damit durch

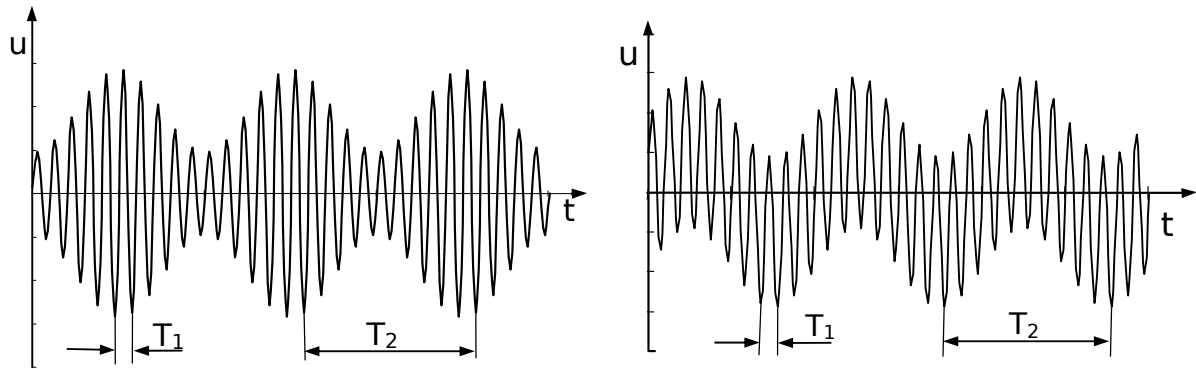


Abb. 3: Überlagerungen zweier harmonischer Signale unterschiedlicher Frequenz

ihr Tastverhältnis: $TV = t_I : T$. Dieses beträgt bei der linken Darstellung $TV = 1 : 2$, bei der rechten $TV = 1 : 4$. Gelegentlich wird das Tastverhältnis auch als Verhältnis von Puls zu Pause definiert.

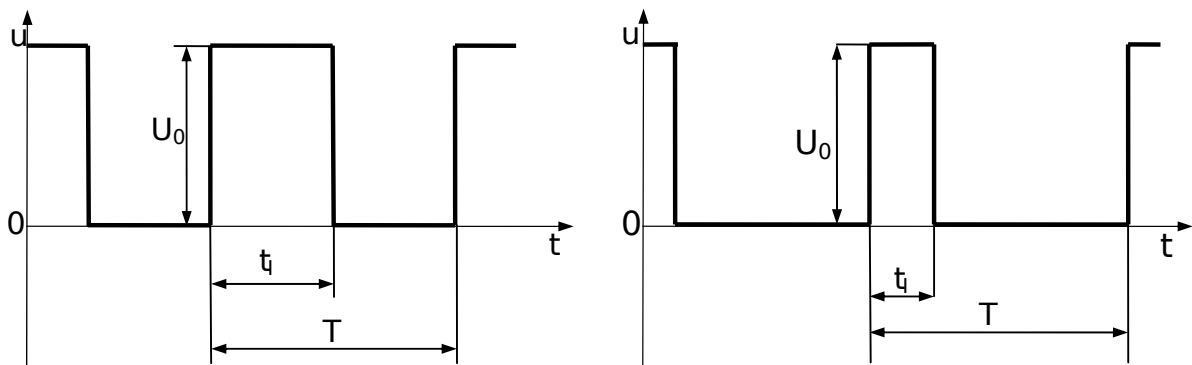


Abb. 4: Rechteck-Impulsfolgen mit unterschiedlichem Tastverhältnis

Die in Abbildung 5 gezeigten dreieck- und sägezahnförmigen Impulsfolgen sind u.a. geeignet Kennlinien von Zweipolen mit Hilfe eines im X-Y-Modus betriebenen Oszilloskops darzustellen.

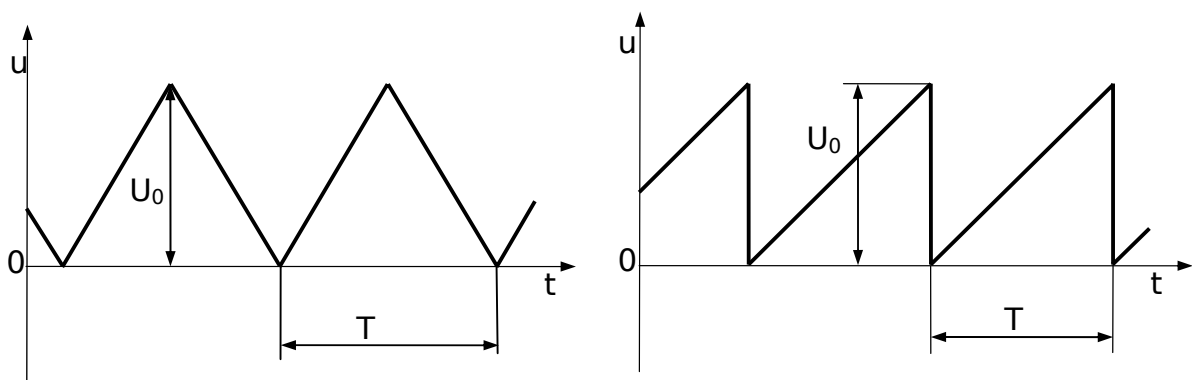


Abb. 5: Dreieck- bzw. Sägezahn-Impulsfolgen, welche durch eine Verlagerung der Maxima auseinander hervorgehen.

3.1.2 Einzelimpulse und nichtperiodische Impulse

Bestimmte Sensoren oder Signalgeber, wie z.B. Strahlungsdetektoren geben im Gegensatz zu periodischen Signalgebern zeitlich nicht vorhersagbare Signale ab. Häufig können diese auch noch in

Form und Amplitude variieren. Neben Impulsen mit exponentiell ansteigenden und abfallenden Flanken (sogenannte semigaußförmige Impulse) sind dies die in Abbildung 6 dargestellten Stufen- und Rechteckimpulse. Ersterer entspricht einer ideal geschalteten Spannung d.h. einem prellfreien Schalter.

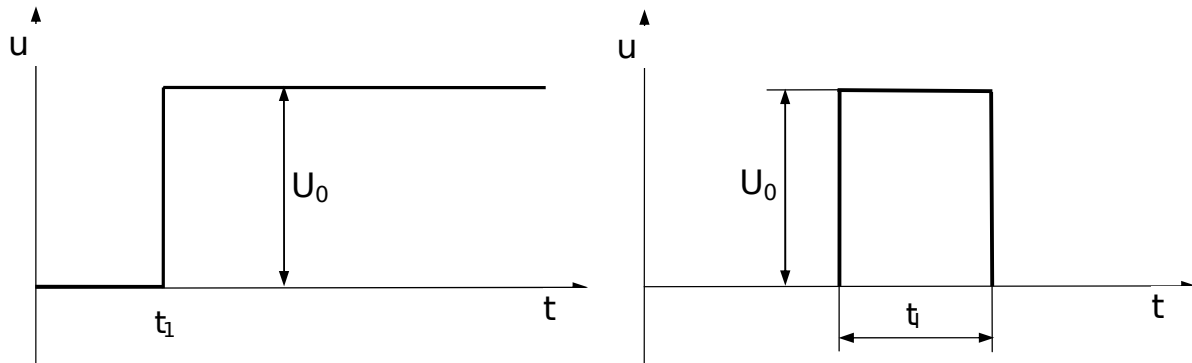


Abb. 6: Stufenimpuls, Rechteckimpuls

Eine Impulsfolge wie sie z.B. bei der seriellen Datenübertragung auftreten kann zeigt Abbildung 7. Kurze, unkorreliert auftretende Störimpulse sind oft die Ursache schwer zu findender Fehler bei Datenübertragung bzw. -verarbeitung.

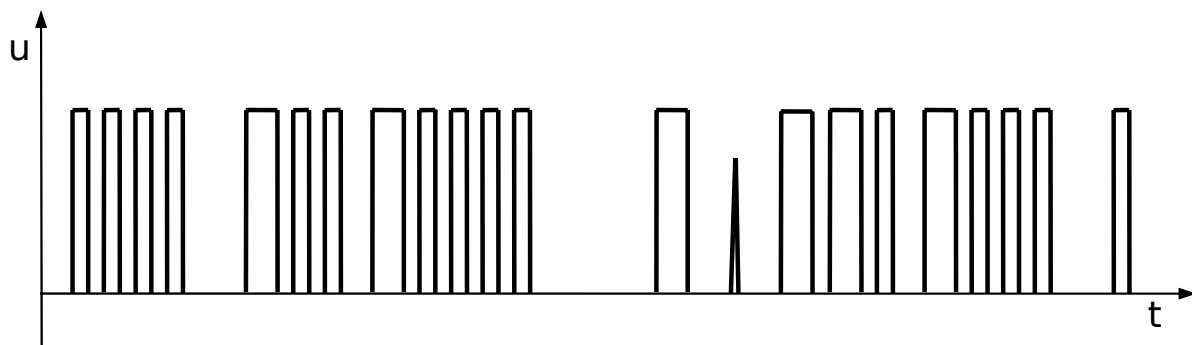


Abb. 7: Random-Impulsfolge mit kurzem Störimpuls

Variable Erfassungs- bzw. Abtastmodi und flexible Triggerregime moderner DSO erleichtern die Suche nach Störimpulsen, die sich in ihrer Amplitude und / oder in ihrer zeitlichen Struktur von den Standardimpulsen unterscheiden. Mit dem Triggern (s. Abschnitt 3.1.1) auf derartige Störungen werden natürlich die Vor- und Nachtriggerdaten erfasst, sodass die Auswirkung der Störung analysiert werden kann.

Die in den Abbildungen: 4, 6 und 7 dargestellten Rechteckimpulse sind idealisiert. Reale Ausgangsimpulse beliebiger Signalgeber weisen endliche Anstiegs- und Abfallzeiten und mehr oder weniger stark abgerundete Ecken auf. Durch die verarbeitende Elektronik werden diese Impulse oft mittels RC-Glieder gezielt weiter geformt. Bei der Übertragung durch Kabel und durch parasitäre Kapazitäten und Induktivitäten erleiden sie weitere Verformungen d.h. Verzerrungen (vgl. Wirkung des passiven Tastkopfes in Abschnitt 4). Eine typische Impulsform eines realen Rechteckimpulses mit endlicher Flankensteilheit und mit Überschwingen ist einschließlich der Definitionsgrößen in Abbildung 8 dargestellt: Dabei sind U_0 die Impulsamplitude, $U_{\ddot{u}}$ die Amplitude des Überschwingens, t_I die Impulsbreite, t_r die Anstiegszeit („rise time“) und t_f die Abfallzeit („fall time“).

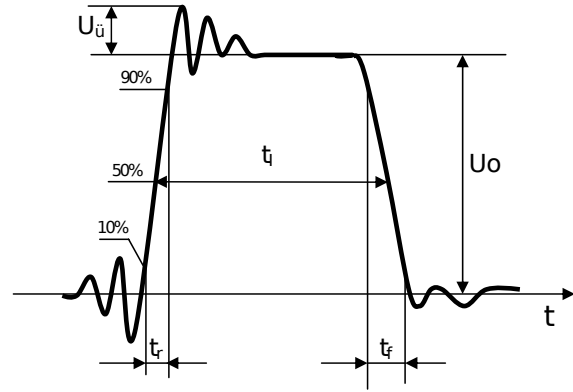


Abb. 8: Realer Rechteckimpuls mit Verzerrungen und Definitionsgrößen

3.2 Digital-Speicher-Oszilloskop (DSO)

3.2.1 Funktionsprinzip

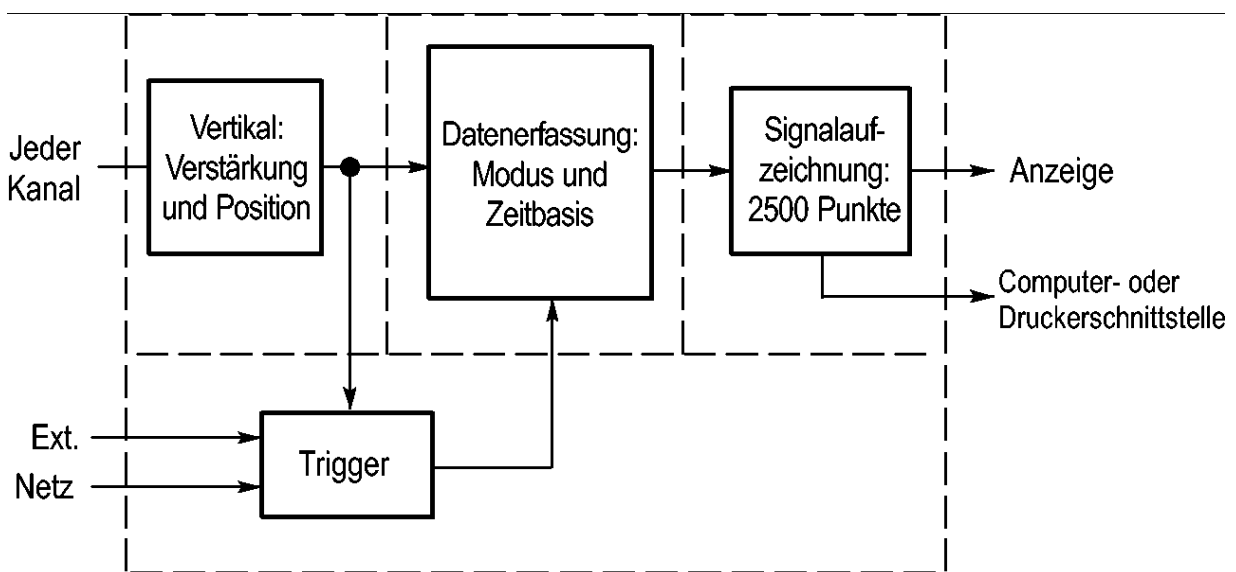


Abb. 9: Blockschaltbild der Oszilloskopfunktionen [3]

Wie dem funktionellen Blockschaltbild (Abb. 9) zu entnehmen ist, wird die darzustellende Spannung am Eingang eines jeden Kanals des Oszilloskops zur Anpassung an die vertikale Auflösung des Bildschirmes verstärkt (Vertikalverstärker). In einem DSO wird das verstärkte Eingangssignal in einem bestimmten zeitlichen Abstand kontinuierlich abgetastet (Abb. 10) und gespeichert, d.h. als Analogwert kurzzeitig gespeichert und mittels Analog-Digital-Konverter in ein entsprechendes binär kodiertes Signal gewandelt. Dieses wird in einen zyklisch beschreibbaren Speicher geschrieben. Durch den Trigger, ein Signal, das den zeitlichen Bezugspunkt fixiert, wird entsprechend der gewählten Zeitbereiche (Darstellung vor und nach dem Triggerzeitpunkt) die Übergabe an den Bildspeicher und die Darstellung auf einem LCD-Display ausgelöst. Das Triggersignal wird intern vom Eingangssignal eines der verfügbaren Kanäle abgeleitet. Der Kanal und die Triggerbedingungen sind wählbar.

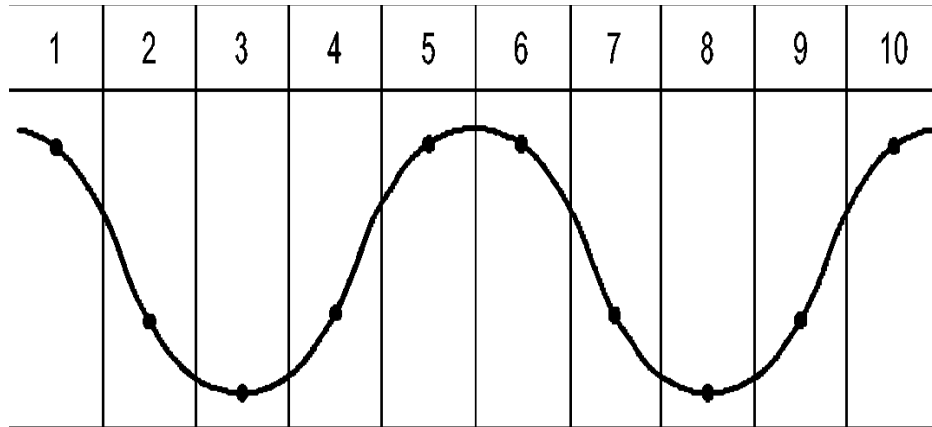


Abb. 10: Kontinuierliches Abtasten eines verstärkten analogen Eingangssignals bei vorgegebenem zeitlichen Abstand [3]

3.2.2 Grundlagen der Bedienung des DSO

Abbildung 11 zeigt das Bedienfeld des TDS 2012B. In benutzerfreundliche Funktionsbereiche unterteilt ermöglicht es leichten Zugriff auf die Bedienelemente und die Funktionsmenüs.

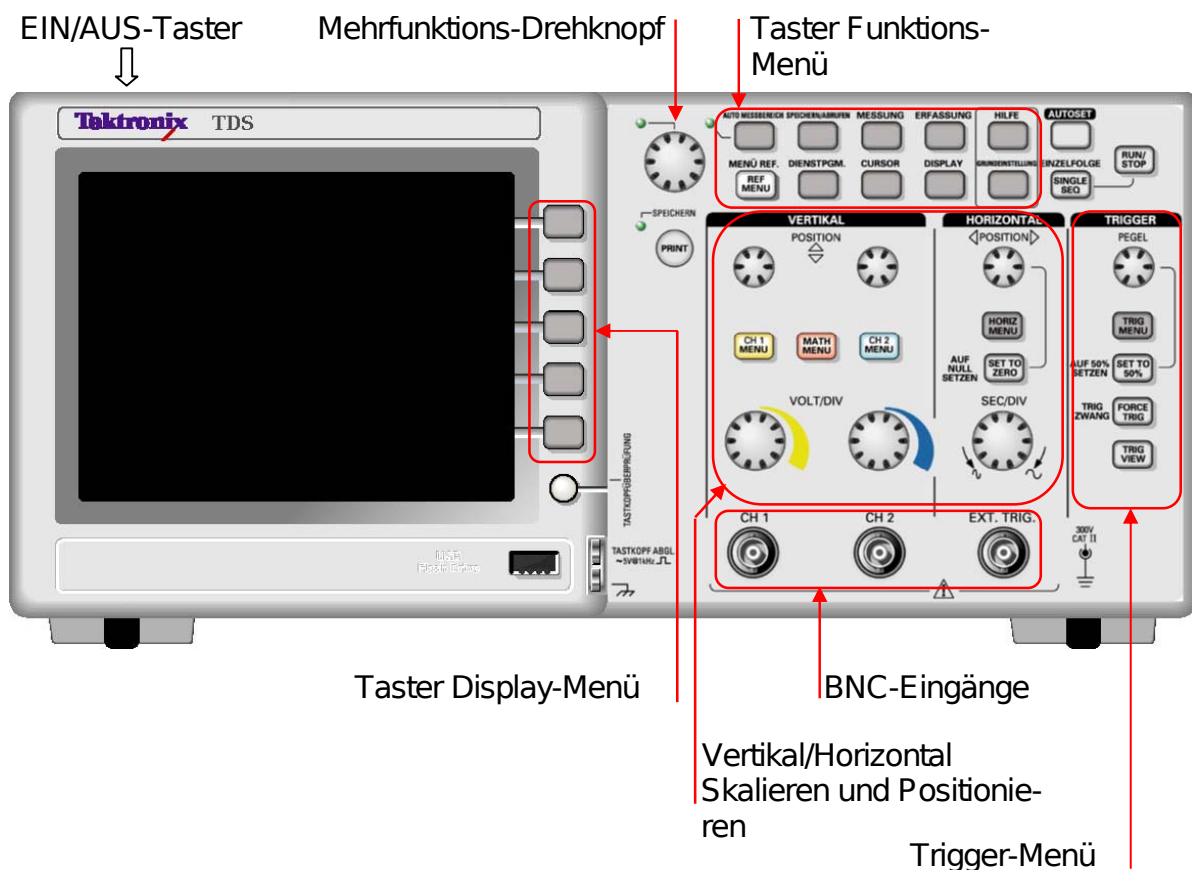


Abb. 11: Frontansicht des Zwei-Kanal-DSO TDS 2012B (auf Grundlage von [3])

Im LCD-Display werden neben den Signalverläufen (Inhalt des Bildspeichers) auch Informationen über die Signale selbst und Oszilloskopeinstellungen angezeigt. Die wichtigsten Anzeigen und Details sind Abbildung 12 zu entnehmen.

Für die Bedienung des Oszilloskops *müssen* folgende Funktionen beherrscht werden:

- Einstellung des DSO / Verwendung von Auto-Setup
- Signalerfassung
- Triggerung
- Skalierung (Verstärkung) und Positionierung von Signalen
- Durchführung von Messungen

Wichtig! Die Bedienungsgrundlagen und das notwendige Grundwissen sind im Benutzerhandbuch des Digital-Speicher-Oszilloskops auf den Seiten 11 bis 60 ausführlich dargestellt, im Kapitel Referenz auf Seiten 99 bis 144 werden alle Details erläutert. Im Anhang des Benutzerhandbuchs sind die technischen Parameter zu finden.

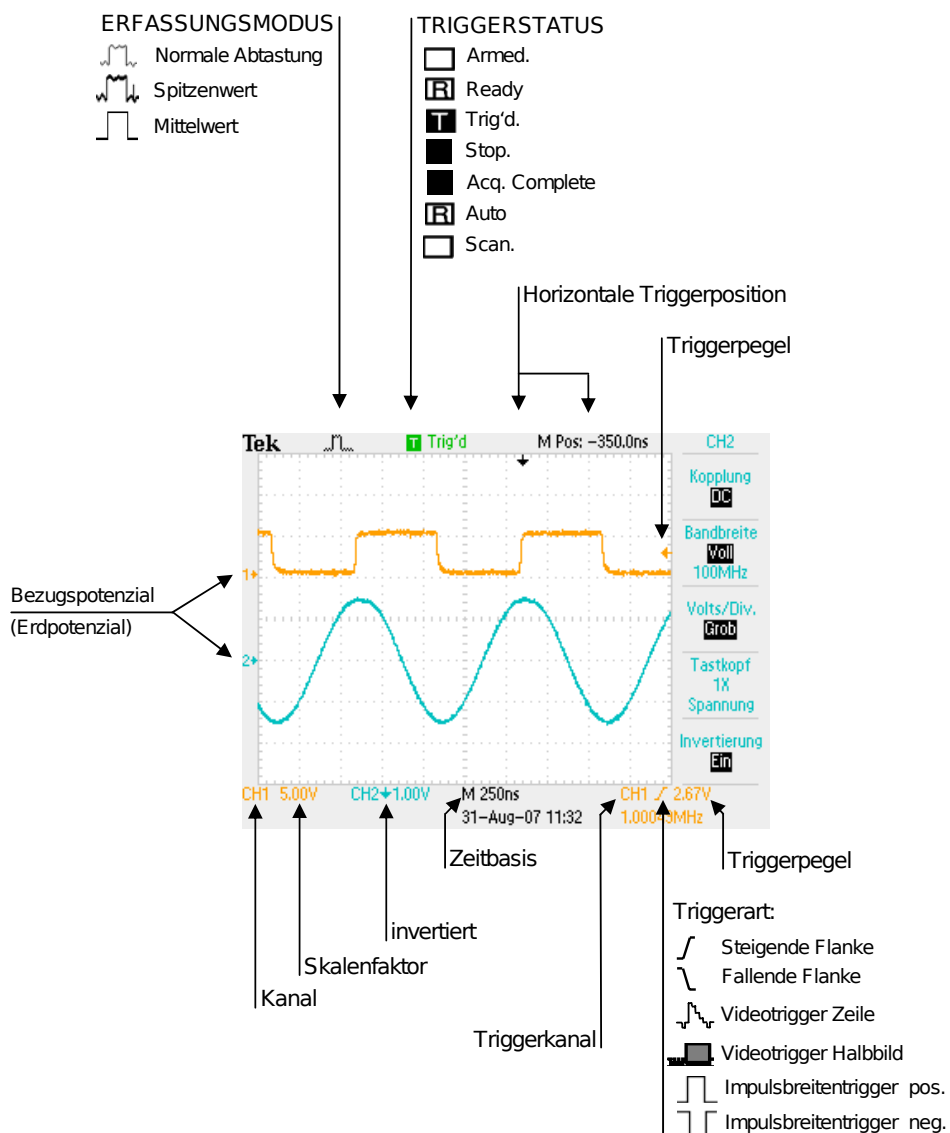


Abb. 12: Signal- und Parameterdarstellungen im Display des TDS 2012B

4 Messtechnik

Als Signalquellen stehen ein Funktionsgenerator HM 8030-5 (HAMEG) sowie ein spezieller Signal Generator (Eigenentwicklung) auf der Basis eines Training-Kits (Tektronix) zur Verfügung (Abb. 13). Der HM 8030 generiert Sinus-, Rechteck-, Dreieckssignale im Frequenzbereich: 0,05 Hz bis 5 MHz mit variabler Amplitude und zuschaltbarem Gleichspannungsoffset. Der Signal-Generator stellt eine Sinus- und eine Rechteckspannung sowie wählbare Signale zur Identifikation zur Verfügung. Die Signale können sowohl von den BNC-Ausgängen direkt über 50 Ω-Koaxialkabel zum Oszilloskop-Eingang geführt werden als auch mit einem passiven Tastkopf, der über eine 1:1 und eine 10:1 - Teilung verfügt, abgegriffen werden. Die Schaltung eines solchen Tastkopfes in Verbindung mit der Eingangs-Ersatzschaltung des DSO ist in Abbildung 14. dargestellt.

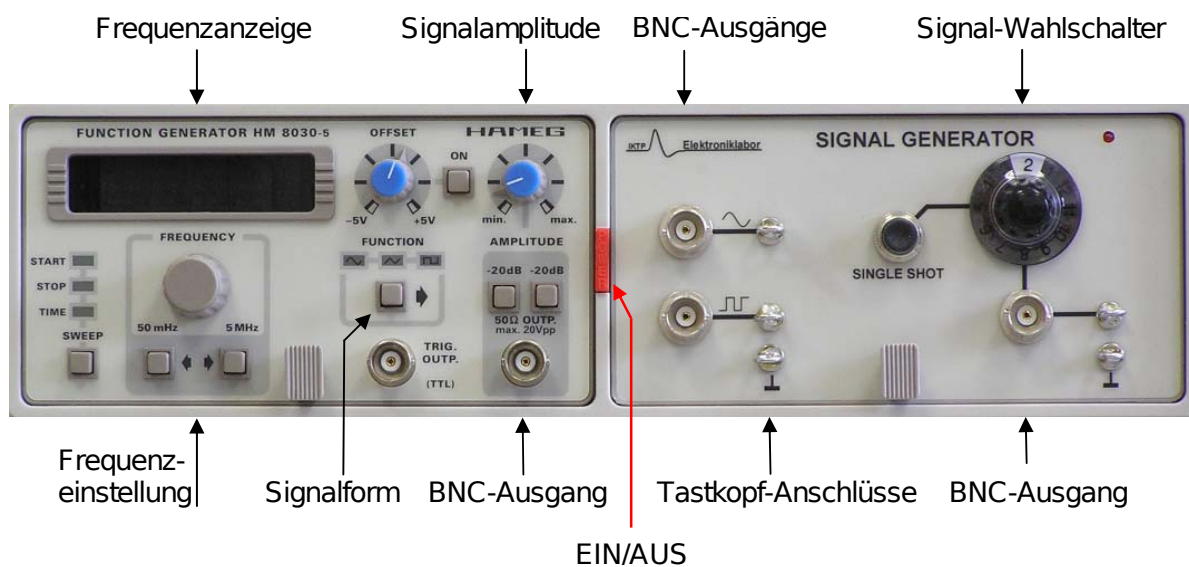


Abb. 13: Frontansicht der Signalquellen: HM 8030-5 (HAMEG) links, IKTP - Eigenentwicklung rechts

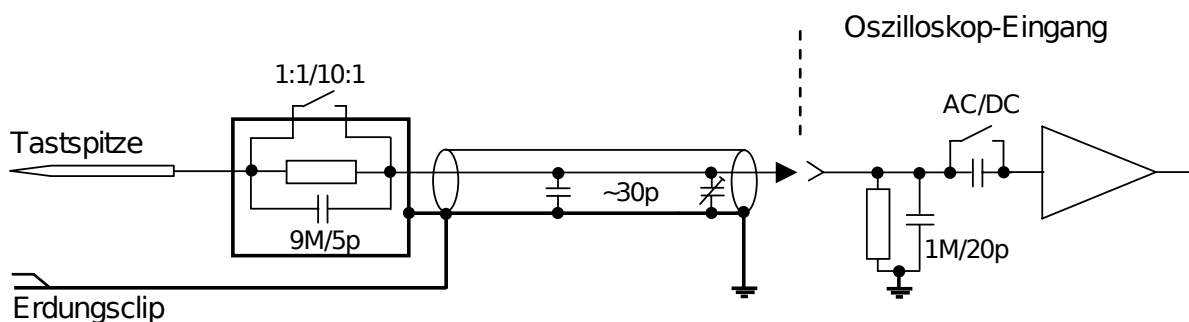


Abb. 14: Prinzipschaltung eines passiven Tastkopfes – wirkt bei geöffnetem Schalter (links) und führt zusätzlich zu einer Spannungsteilung 10:1 gegenüber der Eingangsspannung (muss explizit am Oszilloskop eingestellt werden).

4.1 Wirkungsweise des passiven Tastkopfes

Ausgehend von Abbildung 14 betrachten wir die Frequenzabhängigkeit des gemessenen Spannungssignals für die beiden Fälle ohne und mit Tastkopf. Wir gehen von einer Signalquelle mit einem Widerstand von $R_3 = 1k\Omega$ aus und setzen als Parameter für das Oszilloskop $R_1 = 1M\Omega$, $C_1 = 20pF$, das Kabel $C_4 = 30pF$ und den aktivierten Tastkopf $R_2 = 9M\Omega$, $C_2 = 5pF$ an. Gemäß des obigen Schaltplans ergibt sich der komplexe Gesamtwiderstand Z zu:

$$\begin{aligned}
 Z(f) &= Z_1 + Z_2 + Z_3 \\
 Z_1(f) &= \frac{1}{\frac{1}{R_1} + 2\pi i f (C_1 + C_4)} \quad (\text{Oszi} + \text{Kabel}) \\
 Z_2(f) &= \frac{1}{\frac{1}{R_2} + 2\pi i f C_2} \quad (\text{passiver Tastkopf}) \\
 Z_3 &= R_3 \quad (\text{Signalquelle})
 \end{aligned}$$

Wir betrachten als Amplitudenübertragungsfunktion (ATF) (gemessenes Signal im Verhältnis zum Eingangssignal) den folgenden Ausdruck:

$$ATF := \left| 1 - \frac{R_3}{Z(f)} \right| \tag{1}$$

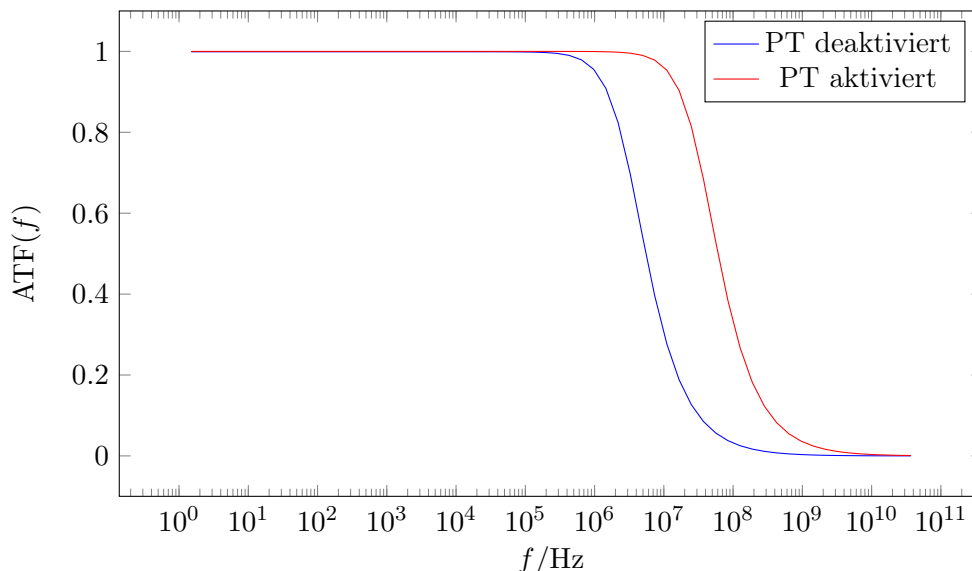


Abb. 15: Frequenzabhängigkeit der Amplitudenübertragung ohne (blau) und mit passivem Tastkopf (rot).

Die in Abbildung 15 dargestellten Frequenzverläufe zeigen eine Erweiterung der Signalbandbreite durch Einwirkung des passiven Tastkopfes im Hochfrequenzbereich.

4.2 Frequenz- und Phasenverschiebungsmessung mittels Lissajous-Figuren

Das DSO verfügt über eine Vielzahl von Messmöglichkeiten, die u.a. auch direkte Messungen im Zeitbereich (X-Achse) und daraus abgeleitet Frequenz- und Phasenmessungen ermöglichen. Die Genauigkeit dieser auf 8-bit Wandlern basierenden Messungen kann übertroffen werden, wenn ein Frequenzgenerator mit höherer Anzeigegenauigkeit als Vergleichsgenerator zur Verfügung steht und dessen Signal im XY-Modus des DSO statt der Zeitbasis eingespeist wird. Die so entstehenden Lissajous-Figuren (siehe Tabelle 1) erlauben einen exakten Frequenzvergleich.

























Frequenzverhältnis	Phasenverschiebung/Figur					
1 : 1	 0°	 45°	 90°	 180°	 270°	 360°
1 : 2	 0°	 45°	 90°	 180°	 270°	 360°
1 : 3	 0°	 45°	 90°	 180°	 270°	 360°
1 : 4	 0°	 45°	 90°	 180°	 270°	 360°

Tabelle 1: Lissajous-Figuren

Fragen

1. Wie lautet die mathematische Formulierung der Zeitfunktion $u(t)$ in Abbildung 2(a)?
2. Wie hängen Phasenverschiebung und zeitliche Verschiebung zusammen?
3. Wie lauten für die beiden Fälle in Abbildung 3 die Zeitfunktionen $u(t)$?
4. Wie könnte eine Schaltung für die Darstellung der Kennlinien von Zweipolen im X-Y-Modus des DSO aussehen (siehe Ende von 3.1.1)?
5. Mit welchen Einstellungen des DSO kann der dargestellte Störimpuls in Abbildung 7 sichtbar gemacht werden?
6. Unter welcher Bedingung lohnt sich der Einsatz des passiven Tastkopfes aus Abbildung 14?

Literatur

[1] H. J. Eichler, H. D. Kronfeldt, J. Sahm, *Das neue physikalische Grundpraktikum*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg [u.a.] 2006

[2] H. Engels, N. Schmidt, *Oszilloskop-Messtechnik von A – Z*, Franzis-Verlag, München 1992

[3] Tektronix, *Serie TDS1000B und TDS2000B Digitalspeicher-Oszilloskop Benutzerhandbuch*, Tektronix, <http://www.tek.com/>