

Moderne Oszilloskop-Meßtechnik

Teil 8

Die Meßpraxis mit einem modernen Oszilloskop beschreibt der achte Teil dieser Artikelserie.

8. Messen mit dem Oszilloskop

In den vorangegangenen Kapiteln dieser Artikelserie haben wir im wesentlichen die Technik und die Meßmöglichkeiten moderner Oszilloskope betrachtet. Im folgenden wenden wir uns nun der Meßpraxis zu.

Obwohl im Prinzip ein Oszilloskop nur ein Spannungsmeßgerät ist, gilt es allgemein als das vielfältigste Meßgerät im Bereich der Elektronik.

8.1 Anlegen der Signalspannung

Grundsätzlich gilt: Vorsicht beim Anlegen unbekannter Signale an den Vertikal-eingang!

Ohne vorgeschalteten Teiler sollte der Schalter für die Signalkopplung zunächst immer in Stellung „AC“ gebracht werden und der Eingangsteiler in den größten Meßbereich, der bei vielen Oszilloskopen 5V/cm beträgt.

Ist die Strahllinie nach dem Anlegen der Signalspannung plötzlich nicht mehr sichtbar, kann es sein, daß die Signalamplitude viel zu groß ist und den Vertikalverstärker total übersteuert.

Der maximale Spannungsbereich ergibt sich aus dem maximalen Eingangsteilerwert (Angabe in V/cm) multipliziert mit der Anzahl der horizontalen Teilungssegmente (üblicherweise 8).

Bei einem Oszilloskop mit der üblichen maximalen Teilerstufe von 5V/cm und einer Bildschirmhöhe von 8 cm (8 Teilungssegmente) muß bei Signalamplituden $>40V_{ss}$ ein Taster vorgeschaltet werden, um eine Übersteuerung zu vermeiden.

Verdunkelt sich die Strahllinie beim Anlegen des Signals sehr stark, ist wahrscheinlich die Periodendauer des Meßsignals wesentlich länger als der eingestellte Wert am „TIME/DIV.“-Schalter. Letzterer ist dann auf einen entsprechend größeren Zeitkoeffizienten nach links zu drehen.

Die Zuführung des aufzuzeichnenden Signals an den Y-Eingang des Oszilloskops ist mit einem abgeschirmten Meßkabel oder über einen Taster möglich.

Die Verwendung eines Meßkabels (z. B. BNC-Kabel) an hochohmigen Meßobjek-

ten ist jedoch nur dann empfehlenswert, wenn mit relativ niedrigen, sinusförmigen Signalen (bis etwa 50 kHz) gearbeitet wird. Für höhere Frequenzen muß die Meß-Spannungsquelle niederohmig, d. h. an den Kabel-Wellenwiderstand (in der Regel 50 Ω) angepaßt sein.

Besonders bei der Übertragung von Rechteck- und Impulssignalen ist das Kabel unmittelbar am Y-Eingang des Oszilloskops mit einem Widerstand abzuschließen, der dem Kabel-Wellenwiderstand entspricht. Hierfür sind entsprechende Durchgangsabschlüsse oder einfach ein BNC-T-Adapter in Verbindung mit einem einfachen Abschlußwiderstand zu verwenden. Vor allem bei der Übertragung von Rechtecksignalen mit sehr kurzen Anstiegszeiten werden ohne Abschluß an den Flanken und Dächern störende Einschwingverzerrungen sichtbar. Auch höherfrequente (>100 kHz) Sinussignale dürfen generell nur impedanzrichtig abgeschlossen gemessen werden.

Im allgemeinen halten Verstärker, Generatoren oder ihre Abschwächer die Nenn-Ausgangsspannung nur dann frequenzunabhängig ein, wenn ihre Anschlußkabel mit dem vorgeschriebenen Widerstand abgeschlossen wurden.

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, daß der Abschlußwiderstand üblicherweise nur mit maximal 2 W belastet werden darf. Diese Leistung wird mit 10 V_{eff} oder bei einem Sinussignal mit 28,3 V_{ss} erreicht.

Wird ein Taster 10 : 1 oder 100 : 1 verwendet, ist kein Abschluß erforderlich. In diesem Fall ist das Anschlußkabel direkt an den hochohmigen Eingang des Oszilloskops angepaßt.

Mit einem Taster werden hochohmige Spannungsquellen auch nur geringfügig belastet (ca. 10 M Ω // 16 pF bzw. 100 M Ω // 7 pF beim HZ53). Aus diesem Grunde empfiehlt sich grundsätzlich der Einsatz eines Tasters zumindest dann, wenn der auftretende Spannungsverlust durch eine höhere Empfindlichkeitseinstellung ausgeglichen werden kann. Außerdem stellt die Längsimpedanz des Teilers einen gewissen Schutz für den Eingang des Vertikalverstärkers dar.

Infolge der getrennten Fertigung von Oszilloskopen und Tastteilern werden letztere nur vorabgeglichen geliefert. Deshalb muß ein genauer Abgleich des Tastteilers direkt am Oszilloskop erfolgen (siehe hierzu ELV 2/95, Teil 5).

Vorsicht ist beim Einsatz von „Billig-Tastteilern“ geboten. Diese verringern oft die Meßbandbreite oder rufen Signalverzerrungen hervor. In Fällen, bei denen die Oszilloskop-Bandbreite voll genutzt werden soll (z. B. für Impulse mit steilen Flanken), empfiehlt sich ein entsprechender hochwertiger Taster.

Wenn ein Taster 10 : 1 oder 100 : 1 Verwendung findet, muß bei Spannungen über 400 V immer die DC-Eingangskopplung benutzt werden.

Bei AC-Kopplung tieffrequenter Signale ist die Teilung nicht mehr frequenzunabhängig, d. h., Impulse können Dachschrägen zeigen, Gleichspannungen werden unterdrückt - belasten aber den betreffenden Oszilloskop-Eingangs-Kopplungskondensator. Dessen Spannungsfestigkeit ist max. 400 V (DC + Spitze AC).

Ganz besonders wichtig ist daher die DC-Eingangskopplung bei einem Taster 10 : 1, der meist eine zulässige Spannungsfestigkeit von max. 1200 V (DC + Spitze AC) aufweist.

Zur Unterdrückung einer störenden Gleichspannung darf aber ein Kondensator entsprechender Kapazität und Spannungsfestigkeit vor den Taster geschaltet werden (z. B. zur Brummspannungsmessung).

Bei allen Tastteilern ist die zulässige Eingangswechselspannung oberhalb von 20 kHz frequenzabhängig begrenzt. Deshalb ist die „Derating Curve“ des betreffenden Taster-Typs zu beachten.

Wichtig für die Aufzeichnung kleiner Signalspannungen ist die Wahl des Massepunktes am Prüfobjekt. Er soll möglichst immer nahe dem Meßpunkt liegen. Andernfalls können vorhandene Ströme durch Masseleitungen oder Chassisteile das Meßergebnis verfälschen.

Besonders kritisch sind auch die Massekabel von Tastteilern. Sie sollen so kurz wie möglich sein. Beim Anschluß des Taster-Kopfes an eine BNC-Buchse ist

möglichst ein BNC-Adapter zu verwenden, der oft als Tastteiler-Zubehör mitgeliefert wird bzw. optional erhältlich ist. Damit können Masse- und Anpassungsprobleme eliminiert werden.

Das Auftreten merklicher Brumm- oder Störspannungen im Meßkreis (speziell bei einem kleinen Ablenkkoeffizienten) wird möglicherweise durch Mehrfach-Erdung verursacht, weil dadurch Ausgleichströme in den Abschirmungen der Meßkabel fließen können.

8.2 Meßbeispiele

Nachdem wir im Teil 4 dieser Artikelserie bereits die Grundmeßmöglichkeiten (Spannung und Zeit/Frequenz) erörtert haben, wollen wir nun einige spezielle Meßbeispiele aufzeigen.

8.2.1 Phasendifferenz-Messung im 2-Kanal-Betrieb

Eine größere Phasendifferenz zwischen 2 Eingangssignalen gleicher Frequenz und Form läßt sich sehr einfach im 2-Kanal-Betrieb (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 eine vor- oder nachteilende Phasenlage aufweisen.

Für Frequenzen ≥ 1 kHz wird alternierende Kanalumschaltung gewählt, während für Frequenz < 1 kHz der Chopper-Betrieb geeigneter ist (weniger Flackern).

Es läßt sich eine gute Ablesegenauigkeit erreichen, wenn auf dem Bildschirm nicht viel mehr als eine Periode bei etwa gleicher Bildhöhe beider Signale eingestellt wird. Zu dieser Einstellung können - ohne Einfluß auf das Ergebnis - auch die Feinregler für Amplitude und Zeitablenkung sowie der „LEVEL“-Knopf benutzt werden. Beide Zeitlinien sind vor der Messung mit den Y-POS.-Knöpfen auf die horizontale Raster-Mittellinie einzustellen.

Bei sinusförmigen Signalen beobachtet man die Nulldurchgänge, da die Sinuskuppen eine weniger genaue Ablesung erlauben. Ist ein Sinussignal durch geradzahlige Harmonische merklich verzerrt (Halbwellen nicht spiegelbildlich zur X-Achse) oder wenn eine Offset-Gleichspannung vorhanden ist, empfiehlt sich die AC-Kopplung für beide Kanäle. Handelt es sich um Impulssignale gleicher Form, liest man an den steilen Flanken ab.

Im Beispiel aus Abbildung 39 ist $t = 3$ cm und $T = 10$ cm. Daraus errechnet sich eine Phasendifferenz in Winkelgraden von:

$$\varphi^{\circ} = \frac{t}{T} \cdot 360^{\circ} = \frac{3}{10} \cdot 360^{\circ} = 108^{\circ}$$

oder in Bogengrad ausgedrückt

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

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

Frequenz auf die Frequenz des anderen Signals bis zur Synchronisation. Das gilt auch noch für ganzzahlige Vielfache oder Teile der einen Signalfrequenz.

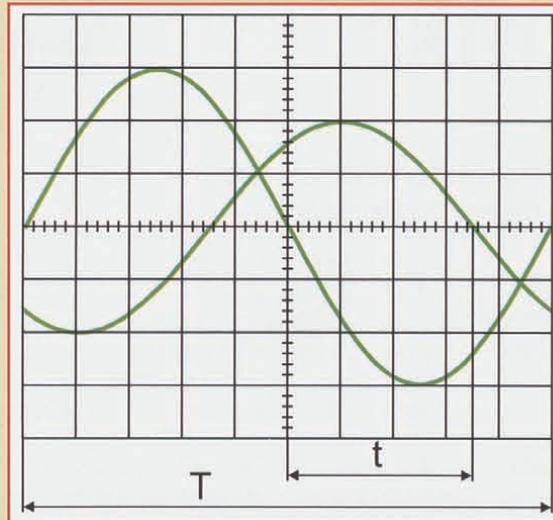


Bild 39: Phasendifferenz-Messung im 2-Kanal-Betrieb

8.2.2 XY-Betrieb

Im XY-Betrieb wird in der Regel das X-Signal über den Eingang von Kanal II zugeführt. Hierbei sind dann der Eingangsteiler sowie der Feinregler von Kanal II für die Amplitudeneinstellung in X-Richtung zu benutzen.

Zur Einstellung der Position dient der X-POS.-Regler. Die maximale Empfindlichkeit und die Eingangsimpedanz sind, bedingt durch den Zugang über die Y-Verstärker, für beide Ablenkrichtungen gleich. Die Grenzfrequenz für die Y-Ablenkrichtung ist identisch mit der Grenzfrequenz im „normalen“ Oszilloskopbetrieb (z. B. 20 MHz).

Für die Ablenkung in X-Richtung trifft dies aber nicht zu. Je nach Hersteller liegt die Grenzfrequenz üblicherweise sehr viel niedriger (ca. 2 bis 4 MHz). Weiterhin ist zu beachten, daß schon ab 50 kHz zwischen X und Y eine merkliche, in Richtung höherer Frequenzen zunehmende Phasendifferenz auftritt.

Der XY-Betrieb mit Lissajous-Figuren erleichtert oder ermöglicht gewisse Meßaufgaben:

- Vergleich zweier Signale unterschiedlicher Frequenz oder Nachziehen der einen

- Phasenvergleich zwischen 2 Signalen gleicher Frequenz.

8.2.3 Phasenvergleich mit Lissajous-Figuren

Abbildung 40 zeigt die Lissajous-Figuren zweier Sinussignale mit gleicher Frequenz und Amplitude, jedoch mit unterschiedlichen Phasenwinkeln.

Die Berechnung des Phasenwinkels oder der Phasenverschiebung zwischen X- und Y-Eingangsspannung (nach Messung der Strecke a und b am Bildschirm) ist mit den folgenden Formeln und einem Taschenrechner mit Winkelfunktionen leicht und übrigens unabhängig von den Ablenkamplituden auf dem Bildschirm durchzuführen:

$$\sin \varphi = \frac{a}{b}$$

$$\cos \varphi = \sqrt{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2}$$

$$\varphi = \text{arc sin } \frac{a}{b}$$

- Hierbei ist folgendes zu beachten:
- Bedingt durch die Periodizität der Winkelfunktionen sollte die rechnerische Auswertung auf Winkel $\leq 90^{\circ}$ begrenzt

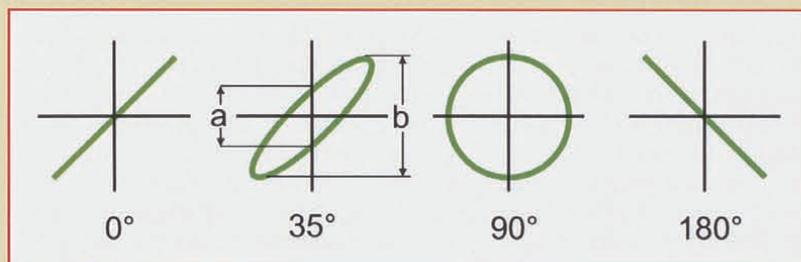


Bild 40: Lissajous-Figuren zweier Sinussignale mit einem Frequenzverhältnis von 1 : 1

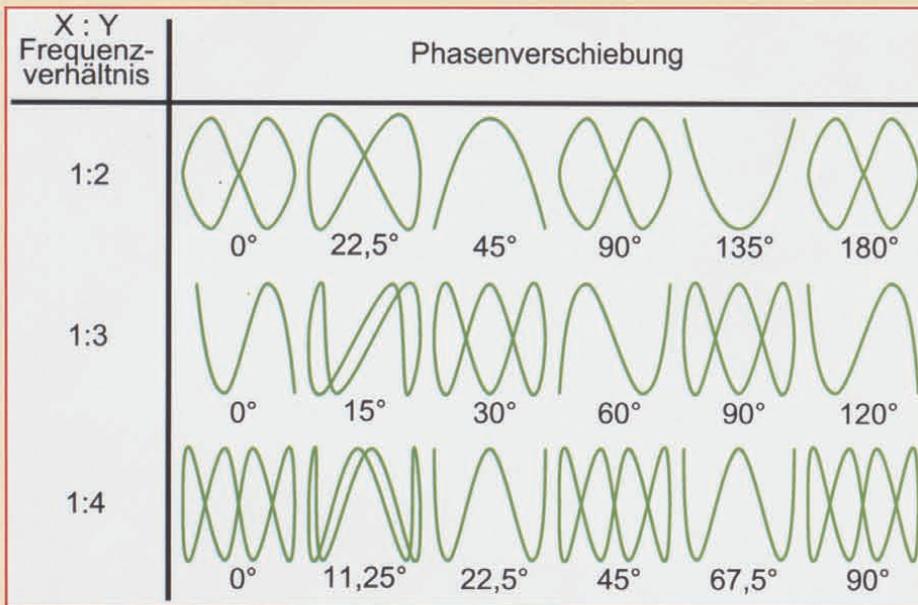


Bild 41 zeigt weitere Lissajous-Figuren bei unterschiedlichen Frequenzverhältnissen.

werden, gerade hier liegen die Vorteile der Methode.

- Keine zu hohen Meßfrequenzen benutzen. So kann z. B. bei 20MHz-Oszilloskopen oberhalb von 200 kHz bereits eine Winkelverschiebung von 3° zwischen dem X- und dem Y-Verstärker überschritten werden. Es empfiehlt sich hier, in den technischen Daten Ihres Oszilloskops nachzulesen, bis zu welcher Frequenz noch eine tolerierbare Phasengenauigkeit gegeben ist.
- Aus dem Schirmbild ist nicht ohne weiteres ersichtlich, ob die Testspannung gegenüber der Bezugsspannung vor- oder nachsteilt. Hier kann ein CR-Glied vor dem Testspannungseingang des Oszilloskops hilfreich sein. Als R kann dabei gleich der 1 MΩ-Eingangswiderstand Ihres Oszilloskops dienen, so daß nur ein passender Kondensator (C) vorzuschalten ist. Vergrößert sich die Öffnungsweite der Ellipse (gegenüber kurzgeschlossenem C), dann eilt die Testspannung vor, im umgekehrten Fall eilt die Testspannung nach. Das gilt aber nur im Bereich bis 90°-Phasenverschiebung. Deshalb sollte der Kondensator genügend groß sein und nur eine relativ kleine, gerade gut beobachtbare Phasenverschiebung bewirken.

Falls im XY-Betrieb beide Eingangsspannungen fehlen oder ausfallen, wird ein sehr heller Leuchtpunkt auf dem Bildschirm abgebildet. Bei zu hoher Helligkeitseinstellung (INTENS.-Knopf) kann dieser Punkt in die Leuchtschicht einbrennen, was entweder einen bleibenden Helligkeits-

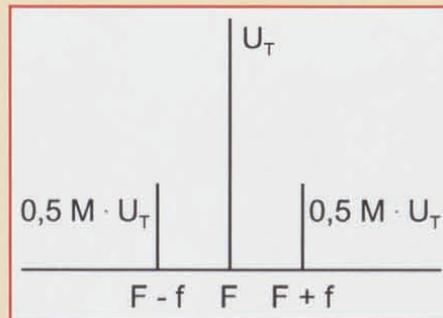


Bild 42: Spektrale Darstellung einer AM-Modulation (M = 50 %)

verlust oder im Extremfall eine vollständige Zerstörung der Leuchtschicht an diesem Punkt verursacht.

8.2.4 Messung einer Amplitudenmodulation

Die momentane Amplitude u im Zeitpunkt t einer HF-Trägerspannung, die durch eine sinusförmige NF-Spannung unverzerrt amplitudenmoduliert ist, folgt der Gleichung:

$$U = U_T \cdot \sin \Omega t + 0,5m \cdot U_T \cdot \cos(\Omega - \omega) t - 0,5m \cdot U_T \cdot \cos(\Omega + \omega) t$$

Hierin ist

U_T = unmodulierte Trägeramplitude

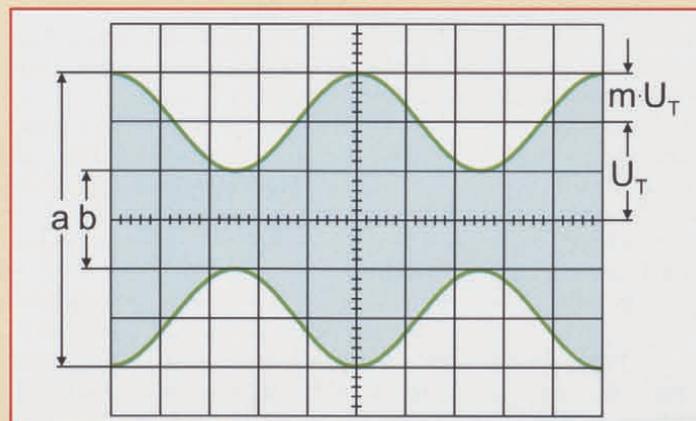


Bild 43: Amplitudenmodulierte Schwingung: F = 1 MHz, f = 1 kHz, m = 50 %, $U_T = 28,3 \text{ mV}_{\text{eff}}$

$\Omega = 2\pi F$ = Träger-Kreisfrequenz,
 $\omega = 2\pi f$ = Modulations-Kreisfrequenz
 m = Modulationsgrad (i. a. ≤ 1 ; $1 \hat{=} 100 \%$).

Wie in Abbildung 42 dargestellt, entsteht bei einer AM-Modulation neben der eigentlichen Trägerfrequenz eine untere Seitenfrequenz $F - f$ sowie eine obere Seitenfrequenz $F + f$.

Die amplitudenmodulierte HF-Schwingung kann mit dem Oszilloskop sichtbar gemacht und ausgewertet werden, wenn das Frequenzspektrum innerhalb der Oszilloskop-Bandbreite liegt.

Abbildung 43 zeigt die Darstellung einer amplitudenmodulierten Trägerschwingung im Zeitbereich, wie sie auch auf dem Oszilloskop sichtbar gemacht werden kann.

Die Zeitbasis wird so eingestellt, daß mehrere Wellenzüge der Modulationsfrequenz sichtbar sind. Genau genommen sollte mit der Modulationsfrequenz (vom NF-Generator oder einem Demodulator) getriggert werden. Eine interne Triggereinstellung ist mit Normaltriggereinstellung unter Zuhilfenahme des Zeit-Feinsetzers oft ebenfalls möglich.

Oszilloskop-Einstellung für ein Signal gemäß Abbildung 43:

Ablenkkoeffizient: 20 mV/cm

Eingangskopplung: AC

Time/DIV.: 0,1 ms/cm

Triggereinstellung: normal, AC, intern mit Zeit-Feinsetzer (oder externe Triggereinstellung):

Liest man die beiden Werte a und b vom Bildschirm ab, so errechnet sich der Modulationsgrad aus:

$$m = \frac{a - b}{a + b} \text{ bzw. } m = \frac{a - b}{a + b} \cdot 100 [\%]$$

Hierin ist $a = U_T(1+m)$ und $b = U_T(1-m)$.

Bei der Modulationsgradmessung können die Feinsetzköpfe für Amplitude und Zeit beliebig verstellt sein. Ihre Stellung geht nicht in das Ergebnis ein.

Im folgenden Teil dieser Artikelserie wenden wir uns den verschiedenen Triggereinstellungen moderner Oszilloskope zu.

ELV