

Repetitorium 7

Nach den erschöpfenden Ausführungen der letzten Vorlesung zu den Themen Masse und Digitalmultimeter beschäftigen wir uns in der heutigen Vorlesung mit weiteren wichtigen Werkzeugen im elektrotechnischen Labor: Netzgerät, Oszilloskop und Funktionsgenerator. Eingeschlossen sind „Nebenthemen“ wie Leitungsverbindungen für hohe Frequenzen sowie elementare Betrachtungen zu häufigen Fehlern bei der Interpretation des Abtasttheorems.

Netzgeräte

Netzgeräte sind neben den direkten Versorgungen aus dem Licht- und Kraftstromnetz und den elektrochemischen Energiequellen die dritte Säule der Stromversorgung technischer Geräte.

Sprachgebrauch: Grundsätzlich verwendet man die Bezeichnung „Netzgeräte“ für selbständige Einrichtungen. Sie sind mit einem vollständigen Gehäuse (nicht nur einer Abdeckung) versehen. Die Stromversorgung und die Entnahmestellen sind mit anschlussfertigen Kabeln oder Steckverbindern ausgerüstet. „Netzteile“ sind hingegen zum Einbau in größere Einheiten vorgesehen. Ihre Gehäuse haben vor allem tragenden Charakter und erfüllen häufig auch gar nicht die für frei stehende Geräte geltenden Vorschriften bezüglich Isolation, Berührungsschutz oder Schutz gegen das Eindringen von Fremdkörpern. Ihre Anschlussstellen sind meist offene Schraubkontakte, freie Drahtenden oder bei kleinen Leistungen sogar nur Printstifte. Wie so oft in der Technik ist der tatsächliche Sprachgebrauch unscharf und es ist mit der Vertauschung der Begriffe zu rechnen.

Im Laborbereich ist die überwiegende Anzahl der Netzgeräte mit Schutzkontaktsteckern (Schuko) zum Anschluss an das Lichtstromnetz ausgestattet. Die Ausgangsspannung(en) sind bis zu einem Strom von etwa 15A an 4mm Laborbuchsen zu entnehmen. Stellt das Netzgerät gegebenenfalls höhere Ströme zur Verfügung, so kommen entweder hochstromfähige Laborbuchsen, vor allem aber kräftige Schraubanschlüsse zum Einsatz.

Steckernetzgeräte kennt Ihr als Stromversorgungsgeräte für mobile EDV – Anlagen wie Laptops oder Handys. Sie werden derzeit bis zu einer Leistung von etwa 65W hergestellt. Kleinere Geräte bis etwa 24W sind zum direkten Anstecken in die Schukosteckdosen vorgesehen. Sie haben keinen Erdanschluss. Größere Geräte haben entweder fest angeschlossene oder steckbare Netzkabel.



Sie werden mit oder ohne Erdanschluss hergestellt. Die Ausgangsspannungen sind meist an DC – Steckverbindungen zu entnehmen. Diese sind bis etwa 5A verwendbar. Aufgrund des offenen Aufbaus der DC – Steckverbindungen ohne jeden Berührungsschutz sollte sich die Spannung in Grenzen halten. 42Veff sind aufgrund gesetzlicher Regelungen die absolute Obergrenze, Kinder sollten eigentlich nicht mehr als 12Veff in die Finger bekommen. DC – Steckverbindungen sehen alle ähnlich aus, werden aber in vielen Geometrien gefertigt, um eine Verwechslung hintanzuhalten und natürlich auch die Chance zu reduzieren, preisgünstigere Geräte von Drittanbietern zu verwenden.



Die meisten Steckernetzgeräte haben eine feste Ausgangsspannung und fest angeschlossene Ausgangsleitungen. Es werden aber einige wenige Typen vertrieben, die mit einer Klinge umschaltbarer Ausgangsspannung und steckbarer (und damit anpassbarer und umpolbarer) Ausgangsstecker ausgestattet sind. Sie sind eigentlich als Universal – Spannungsversorgungen im Consumer – Bereich vorgesehen, sind aber bei nicht allzu hohen Ansprüchen ein wertvoller und überaus preisgünstiger Ersatz für Labornetzgeräte.

Zu unterscheiden sind des Weiteren die analogen (linearen) Netzgeräte und die Schaltnetzgeräte. Analoge Netzgeräte erzeugen mittels eines Netztransformators zuerst eine (meist) niedrige Wechselspannung. Diese wird dann gleichgerichtet, gesiebt und mittels elektronischer Regler auf den gewünschten Wert gebracht und konstant gehalten. Vorteilhaft sind die schnelle Ausregelung bei wechselnden Lastverhältnissen und die minimalen Störspannungen (typisch $< 5\text{mV}$). Nachteilig sind das hohe Gewicht und die stattliche Größe, der schlechte Wirkungsgrad von typisch $< 50\%$ und die damit zusammenhängende Wärmeentwicklung. Für die kommunale Energieversorgung ist auch das stark induktive Verhalten der Linearnetzgeräte problematisch, da dadurch in der Summe große Blindleistungen zu kompensieren sind.

Schaltnetzgeräte richten die Netzspannung auf der Netzseite gleich. Diese Gleichspannung wird dann mit einem hochfrequenten elektronischen Schalter zerhackt und mittels eines kleinen Hochfrequenztransformators in eine (meist) niedrige Wechselspannung umgespannt. Aufgrund der hohen Schaltfrequenz wird nur ein kleiner und leichter Transformator benötigt. Außerdem wirkt die Regelung der Ausgangsspannung direkt auf die Primärseite des Netzgerätes, sodass hohe Wirkungsgrade erzielt werden können (je nach Spannung und Stromstärke $> 90\%$). Die Wirkung auf die Stromversorgungsnetze ist entweder kapazitiv oder (bei stärkeren Geräten aufgrund der Leistungsfaktorkorrektur) sogar resistiv, was die Netzbetreiber freut. Nachteilig sind die oft hohen Störspannungen ($200\text{mV}_{\text{eff}}$ sind normal, 2V_{ss} können schnell auch einmal auftreten), welche durch das breite Frequenzspektrum auch schwierig zu filtern sind. Die Industrie versucht dieses Problem der elektromagnetischen Umweltverschmutzung (EMI, RFI) mit ständig engeren Normen in Grenzen zu halten. Die gewaltige Verbreitung der Schaltnetzgeräte lässt dieses Unterfangen aber schwierig werden. Des Weiteren ist aufgrund der minimalen Abmessungen die Isolation der Ausgangsspannung von der Netzspannung allzu oft nicht befriedigend. Man hilft sich gegebenenfalls mit den allerdings saftig teuren Geräten mit Medizinzulassung.

Festspannungsnetzgeräte haben im Allgemeinen eine feste (in seltenen Fällen mehrere umschaltbare) Ausgangsspannung/en. Die Strombegrenzung ist lediglich für den Selbstschutz des Netzgerätes und als Schutz vor Brand ausgelegt. Vor allem im unteren Preisbereich kommen oft nicht ersetzbare Schmelzsicherungen gegen Überstrom oder Übertemperatur zum Einsatz, bei Schaltnetzgeräten auch elektronische Strombegrenzungen mit fester Stromgrenze.

Labornetzgeräte sind eine spezielle Art von Stromversorgungsgeräten, die primär für den Einsatz im elektrotechnischen Labor, im Service, in Forschung und Entwicklung und natürlich in der Ausbildung vorgesehen sind. Die Stromversorgung von Endgeräten ist manchmal möglich, aber eigentlich nicht Sinn der Sache. Natürlich gibt es auch hierbei eine Grauzone, aber die meisten Labornetzgeräte zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Einstellbarkeit der Ausgangsspannung in einem weiten Bereich, meist ab $1,2\text{V}$ (Bandabstand des Siliziums, wird gerne als Referenzspannung benutzt) oder gar ab 0V .
- Vor allem im höheren Preisbereich haben viele Labornetzgeräte auch kraftvolle Systeme zum Schutz gegen von außen eingeleitete Überspannungen. Man nennt diese üblicherweise „Crowbar“, also Brechstange, da sie mittels hoch belastbarer Halbleiter bei gefährlichen Überspannungen die Ausgangsbuchsen brutal kurzschließen.
- Einstellbarkeit der Stromgrenze in einem weiten Bereich, meist ab 0A . **Vorsicht Falle: Bei vielen Geräten wird die Ausgangsspannung auch ohne Last bei minimaler Stromgrenze bereits abgeschaltet. Das ist vor allem für Ungeübte verwirrend.**
- Definierter 2 Achsen – Betrieb: Ausgangsspannung und Stromgrenze können unabhängig voneinander eingestellt werden. Das Gerät gibt maximal die Spannung ab, die beiden Kriterien genügt. Daher sind Labornetzgeräte kurzschlussfest und überlastungssicher.
- Wenn das Gerät mehrere derart einstellbare Ausgangsspannungen liefern kann, können sie seriell und parallel betrieben werden, um Spannung oder Stromstärke zu erhöhen.
- Analoge oder digitale Anzeigen für Spannung und/oder Stromstärke.

- Oft findet man auch zusätzliche, meist feste Hilfsspannungsausgänge, beispielsweise für die wichtigen +5V oder $\pm 15V$ Versorgungen. Dadurch müssen die wertvollen Hauptausgänge nicht belegt werden.
- Die Ausgangsspannungen sind üblicherweise an 4mm Laborbuchsen zu entnehmen. Lediglich Geräte welche Ausgangsströme über etwa 15A liefern können, haben zusätzliche Hochstromanschlüsse.
- Moderne Geräte haben USB- oder RS232 – Interfaces, um mit PCs bzw. Laptops kommunizieren zu können. Das ist vor allem zur Protokollierung von Versuchen oder zur Steuerung hilfreich, wenn das Netzgerät eigentlich als Digital – Analog – Wandler mit Leistungsverstärker eingesetzt wird.
- Nahezu sämtliche Leistungsklassen sind als Linear- oder Schaltsysteme verfügbar. Linearnetzgeräte mit Ausgangsleistungen über 1kW sind allerdings reichlich groß und schwer. Man verwendet sie nur, wenn minimale Störspannungen essentiell sind.

Wie bei den DMMs gilt aufgrund der Vielfalt der am Markt erhältlichen Geräte auch hier:

Übermut tut selten gut.

Wer lesen kann, ist besser dran!

Konkret: Bevor Ihr sinnlos herum hantiert, macht Euch zuerst mit der Funktion, den Anzeigen und den Einstellelementen vertraut.

Um drei Uhr früh mit vier Promille wisst Ihr: Rot = Plus, Schwarz (früher blau) = Masse.

Außer bei den Hochspannungsnetzgeräten sind die Ausgangsleitungen der Labornetzgeräte üblicherweise von der Erdleitung isoliert. Die maximal zulässigen Spannungen zwischen Masse und Erde sind je nach Gerät unterschiedlich, Netzspannung sollte man aber besser nicht anlegen. Gegebenenfalls ist der entsprechende Aufdruck zu lesen oder in der Bedienungsanleitung nachzulesen. Manche Labornetzgeräte haben einen eigenen Anschluss oder Kontakt, der elektrisch fest mit der Erde verbunden ist. Dieser ist dann oft so konstruiert, dass er mit einfachen Metallbügeln mit der Masse verbunden werden kann. Da diese Verbindungen auch auf der Rückseite der Geräte angebracht sind, kann man dies übersehen. Im Zweifelsfall mit dem Ohmmeter nachmessen.

Wechselspannung

Bisher haben wir das Thema der Wechselspannung (aus guten Gründen!) lediglich gestreift. Daher an dieser Stelle eine kurze Einführung, für die ich Passagen aus <https://de.wikipedia.org/wiki/Wechselspannung> verwende, Download am 20.04.2020.

Wechselspannung nennt man eine elektrische Spannung, deren Polarität in regelmäßiger Wiederholung wechselt, deren zeitlicher Mittelwert aber gemäß Normung null ist. Die Kurvenform der Spannung ist dabei unerheblich und keineswegs an den Sinusverlauf gebunden.

Das Formelzeichen für die physikalische Größe „elektrische Spannung“ ist bekanntlich das U. Bei Verwechslungsgefahr mit Gleich- oder Mischspannung wird eine Wechselspannung durch die Tilde als Index gekennzeichnet: U_{\sim} . Keinesfalls ist das Einheitenzeichen V für Volt mit einem Kennzeichen zu versehen, sagt die Norm. Wenn die Tilde nicht verwendet werden kann, wird abgeleitet vom angelsächsischen Sprachraum der Index AC (engl. alternating current) verwendet – sowohl bei Strom (engl. current) als auch bei Spannung (engl. voltage), also U_{AC} . Die Anfügung an das Volt als Einheitenzeichen VAC (engl. volts alternating current) ist wie oben nach deutscher Normung nicht zulässig.

Mischspannung liegt vor, wenn zwar das Kriterium der Periodizität erfüllt ist, der Gleichwert aber nicht Null ist. Meist liegt Mischspannung vor, wenn zu der periodischen Wechselspannung eine Gleichspannung addiert ist.

In der Praxis nimmt man das alles nicht so genau. Ich empfehle: Nach Möglichkeit selbst die Norm einhalten, aber nicht hochmütig werden, wenn andere das nicht tun.

Wird die Wechselgröße als zeitabhängiger Augenblickswert dargestellt, verwendet man Kleinbuchstaben, also bei der Spannung u oder $u(t)$.

Definition: Damit eine mit der Zeit veränderliche elektrische Spannung $u(t)$ als Wechselspannung bezeichnet werden kann, muss sie gemäß der genannten Normung zwei Kennzeichen erfüllen:

- Sie ist periodisch, erfüllt also mit der Periodendauer T für alle ganze Zahlen n

$$u(t) = u(t + n \cdot T)$$

- Ihr Gleichwert ist null, daher gilt für jeden Zeitpunkt t_1

$$\int_{t_1}^{t_1 + T} u(t) dt = 0$$

oder gleichwertig: Die Fläche zwischen Kurve und Nulllinie ist teils positiv und teils negativ und ergänzt sich nach einer Periodendauer zu null.

Beispiele

- Das Rauschen ist ein stochastischer Prozess, der ständig, aber nicht periodisch verläuft; daher ist die Rauschspannung keine Wechselspannung. In der Nachrichtentechnik wird die Rauschspannung teilweise fälschlich mit der Wechselspannung gleichgesetzt bzw. als eine besondere Form der Wechselspannung definiert, wenn die erforderlichen Eigenschaften von Wechselgrößen (z. B. Periodizität) für den betrachteten Vorgang unerheblich oder vernachlässigbar sind.
- Ein einmaliger Schaltvorgang erfüllt ebenfalls nicht das Kennzeichen eines periodischen Vorgangs.
- Ein sich periodisch wiederholender Schaltvorgang, der zwischen einer positiven und einer negativen Spannung umschaltet, erzeugt dann eine Wechselspannung, wenn der Gleichwert der so erzeugten Spannung null ist.

Kenngrößen von Wechselspannungen

Der Nennwert einer Spannung, wie er beispielsweise auf Typenschildern angegeben wird, ist ihr Effektivwert. **Bedingt durch Verluste in den Zuleitungen des Verteilernetzes ist die tatsächlich zur Verfügung stehende Spannung jedoch lastabhängig. Durch technische Fortschritte wurde die Toleranz der Netzspannung im Laufe der Geschichte mehrfach verringert. Bei den Nennspannungen von 220 V mit zulässigen Abweichungen +20 %/–10 %, 230 V mit ± 10 % oder 240 V mit ± 5 % handelt es sich daher um dasselbe Versorgungsnetz, dessen Nennspannung geändert wurde, indem die aktuelle Spannung im Toleranzbereich der vertraglich vereinbarten Nennspannung liegt.**

Der Effektivwert (engl. root mean square, RMS) der Spannung U_{eff} entspricht mathematisch der Wurzel aus dem Mittelwert über das Quadrat der Spannungs- bzw. Stromfunktion während einer ganzen Zahl von Perioden. Der Effektivwert entspricht jener Gleichspannung, bei der dieselbe Leistung an einen ohmschen Verbraucher übertragen wird. Bei der Nennung „230 V“ für die im Haushalt übliche Wechselspannung handelt es sich um eine Effektivwertangabe.

Der Spitzenwert U_s wird bei Wechselspannung Scheitelwert \hat{u} und bei sinusförmigem Verlauf Amplitude genannt. Dies ist die unabhängig von der Polarität höchste erreichbare Spannungshöhe. Bei gegebenem Effektivwert eines definierten Spannungsverlaufs kann der Scheitelwert berechnet werden, bei zufälligen Spannungsverläufen (Audio, Rauschen, ...) sind aber nur statistische Angaben möglich.

Schwingungsbreite, Spitze-Spitze-Spannung

Dieser Spitze-Tal-Wert U_{ss} ist die Differenz zwischen dem positiven und negativen Spitzenwert der Spannungsfunktion. Bei der sinusförmigen Spannung ist sie das Doppelte der Amplitude.

Der Gleichrichtwert ist der Mittelwert der gleichgerichteten Spannung. Dieser lässt sich am einfachsten messen. Viele einfache Messgeräte messen diesen Wert und zeigen ihn mit dem Sinus-Formfaktor 1,11 multipliziert als „Effektivwert“ an. Die Geräte messen daher nur dann richtig, wenn die Kurvenform sinusförmig ist.

Der Formfaktor gibt das Verhältnis des Effektivwertes zum Gleichrichtwert an. Bei sinusförmiger Wechselspannung beträgt er 1,111 (exakt $\pi/\sqrt{8}$). Bei statistischen Spannungsverläufen ist der Formfaktor im Gegensatz zum Scheitelfaktor ebenfalls eine eindeutige Zahl, wenn das statistische Verhalten definiert ist (z. B. 1,11 für weißes Rauschen).

Der Scheitelfaktor (engl. crest factor) ist das Verhältnis des Spitzenwertes zum Effektivwert. Mit diesem Faktor kann man die beiden Größen Effektivwert und Spitzenwert umrechnen. Beispielsweise liegt der Scheitelfaktor einer sinusförmigen Wechselspannung bei 1,414 (exakt $\sqrt{2}$). Dies gilt jedoch nur für periodische und genau definierte Spannungsverläufe, bei beliebigen Spannungsverläufen (Messwerte, Rauschen usw.) macht der Scheitelfaktor nur statistische Aussagen über eine verlangte Amplitudenwahrscheinlichkeit (z. B. bei Rauschen mit einer Gauß-Verteilung).

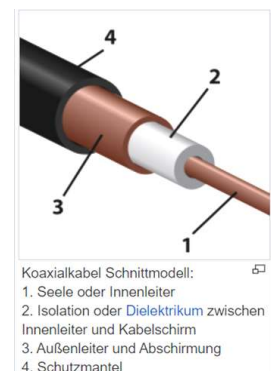
Die Frequenz gibt die Anzahl der periodisch auftretenden Schwingungen an, bezogen auf die Zeit, in der sie gezählt werden. Prinzipiell ist jede Frequenz $f > 0$ möglich. (Wir werden später sehen, dass unter bestimmten Umständen auch die Definition einer negativen Frequenz Sinn macht.) Bei theoretischen Behandlungen insbesondere sinusförmiger Schwingungen wird auch mit der Kreisfrequenz $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ gerechnet.

Kurvenformen: Neben der Sinusfunktion haben auch die symmetrische und unsymmetrische Rechtecksfunktion, die Dreiecksfunktion und die Sägezahnfunktion große technische Bedeutung.

Koaxialkabel und BNC-Steckverbinder

(Dieser Text und die Bilder sind teilweise aus <https://de.wikipedia.org/wiki/BNC-Steckverbinder>, <https://de.wikipedia.org/wiki/Koaxialkabel> und <https://de.wikipedia.org/wiki/Koaxialstecker> entnommen. Download am 21.04.2020.)

Koaxialkabel, kurz Koaxkabel, sind zweipolige Kabel mit konzentrischem Aufbau. Sie bestehen aus einem Innenleiter (auch Seele genannt), der in



konstantem Abstand von einem hohlzylindrischen Außenleiter umgeben ist. Der Außenleiter schirmt den Innenleiter vor Störstrahlung ab.

Der Zwischenraum heißt Isolator oder Dielektrikum. Das Dielektrikum kann anteilig oder vollständig aus Luft bestehen. Meist ist der Außenleiter durch einen isolierenden, korrosionsfesten und wasserdichten Mantel nach außen hin geschützt. Der Aufbau der Kabel bestimmt den Leitungswellenwiderstand (kommt gleich...) sowie die von der Frequenz abhängige Dämpfung der Kabel.

Koaxialkabel sind in der Technik weit verbreitet, vor allem in der Audiotechnik und als Verbindung für hochfrequente Signalspannungen. Spezialtypen sind als Verbindungskabel für Hochspannung ausgelegt. Sie schützen vor allem die Umgebung vor den Auswirkungen der Influenz.

Koaxiale Steckverbinder dienen der lösbaren Verbindung von Koaxialkabeln. Sie sind wie diese koaxial ausgeführt, um so die Vorteile der Koaxialkabel zu erhalten: geringe elektromagnetische Beeinflussung und Abstrahlung sowie gute elektrische Abschirmung.

Im Consumer – Bereich werden Koaxialkabel oft ohne spezielle Steckverbinder nur durch einfache Klemmungen kontaktiert. Im professionellen Bereich gibt es inzwischen eine Vielzahl an Systemen, die sowohl kontaktsicher sind als auch eine Vielzahl an Stecken – Lösen – Zyklen ohne nennenswerten Qualitätsverlust aushalten. Dafür gibt es einerseits schraubbare Systeme, die aufgrund des Zeitaufwandes für Stecken und Lösen eher für dauerhafte Verbindungen geeignet sind und andererseits die schnell zu betätigenden Renkverbindungen, welche eher im Service oder im Labor eingesetzt werden.

Definition: Kennzeichnend für eine Renkverbindung (Bajonettverbindung) ist das Ineinanderschieben und anschließende Verdrehen der Bauteile, wobei es sich meistens um Verbindungen handelt, die schnell lösbar und ebenso schnell wieder herstellbar sein müssen.

Die wohl meistverbreitete Koaxialstecker-Bauform ist der BNC-Steckverbinder. Benannt wurde dieses System nach den Entwicklern Paul Neill und Carl Concelman. Sie wurden Ende der 1940er-Jahre entworfen.



Die Deutung der Abkürzung ist umstritten. Häufig werden auch Bayonet Nail Connector, Bayonet Navy Connector, British Naval Connector, Bayonet Nut Connector, Bayonet Naur Connector oder Bayonet Norm Connector genannt.

BNC-Steckverbinder sind koaxiale Steckverbinder mit einem Bajonettverschluss für Hochfrequenz bis etwa 1 GHz, teilweise bis 4 GHz, mit einem definierten Wellenwiderstand von entweder 50 oder 75 Ω . Die 50- und die 75-Ohm-Typen sind untereinander steckbar.

Es gibt auch reverse Typen. Diese werden hauptsächlich in der Funk- und Videotechnik eingesetzt.

Die BNC-Technik hat sich auch zur Übertragung von schwachen Gleichströmen, niederfrequenten Wechselströmen und Impulsen im Laborbetrieb durchgesetzt, weil der Außenleiter elektrische Störungen abschirmt. Der koaxiale Aufbau bietet auch hierbei einen Schutz gegen Beeinflussungen. Aus diesem Grunde sind auch die Anschlüsse an Messgeräten wie Oszilloskop, Frequenzzähler und Funktionsgenerator in der Regel in BNC-Technik ausgeführt.

BNC – Stecker sind Renkverbinder. Das bedeutet, sie werden nicht durch die Reibungskräfte an einem Gewinde fixiert, sondern durch die Federkraft zwischen beweglichem und festem Teil des Steckers. Beim Schließen ist der Stecker auf die Buchse bis zum Anschlag aufzuschieben und

dann der drehbare Ring mit ein wenig Kraft um eine Vierteldrehung nach rechts zu drehen, bis die beiden Vertiefungen im beweglichen Teil des Steckers in die Nasen der Buchse einrasten. Beim Öffnen der Steckverbindung ist der Stecker als erstes minimal Richtung Gerät zu drücken, um die Fixierung zu entlasten und dann der bewegliche Teil des Steckers um eine Vierteldrehung zurück zu drehen, um die Fixierung endgültig zu lösen. Dann den Stecker abziehen.

Die Betätigung des BNC – Steckers ist an sich nicht schwierig, sollte aber geübt werden, um Schäden an den Geräten zu verhindern. Den BNC – Stecker niemals am hinteren Teil, an der Gummitülle betätigen! Am Besten gewöhnt Ihr Euch ganz schnell an, BNC – Stecker ausschließlich am drehbaren Metallring vorne anzugreifen!

Wellenwiderstand

(Dieser Text und die Bilder sind teilweise aus <https://de.wikipedia.org/wiki/Wellenwiderstand> entnommen. Download am 21.04.2020.)

Der Wellenwiderstand ist eines der wohl am meisten esoterisch anmutenden Kapitel der Elektrotechnik. Trotzdem hat es ungeheure Bedeutung bei der Übertragung elektrischer Signale im Hochfrequenzbereich, aber auch für die korrekte Verbindung von Sensor und Messgerät.

Missachtung dieser Gesetzmäßigkeiten und der daraus abgeleiteten Normen können jederzeit zur Verfälschung von Messergebnissen bis hin zur Zerstörung von Geräten führen!

Definition: Der Wellenwiderstand, auch die Wellenimpedanz oder die Impedanz, ist eine Eigenschaft eines Mediums, in dem sich eine Welle ausbreitet. Das Verhältnis von reflektierter und transmittierter Amplitude der Welle an einer Grenzfläche wird durch die Wellenwiderstände der beiden Medien bestimmt.

Um sich diese recht abstrakte Größe ein wenig vorstellen zu können, empfehle ich das Sinnbild des mechanischen Äquivalentes der Weichheit: Um einen Kraftstoß oder eine mechanische Welle zu übertragen, kann man beispielsweise einen Metallstab, eine harte Feder, eine weiche Feder, ein Gummiband oder einen Wollfaden verwenden. In dieser Reihenfolge sinkt die Steifigkeit des Übertragungssystems und der Wellenwiderstand steigt. Je höher der Wellenwiderstand, umso weniger Leistung lässt sich übertragen, aber umso geringer sind die Probleme mit reflektierten Stößen oder Wellen. Auch dazu das mechanische Äquivalent: Wenn Du mit einem stabilen Knüppel kräftig gegen eine feste Oberfläche schlägst, besteht eine große Gefahr, dass Du Dich dabei selbst verletzt. Wenn Du diesen Versuch mit einem Wollfaden ausführst, wird Dir kaum etwas geschehen.

Der Leitungswellenwiderstand (auch Kabelimpedanz oder Nennimpedanz genannt, englisch characteristic impedance) ist eine Kenngröße längshomogener Leitungen. Dazu gehören z. B. Kabel oder Einzeldrahtanordnungen, die aus wenigstens zwei elektrischen Leitern bestehen. [Die Wellenimpedanz eines Hohlleiters wird hier nicht betrachtet](#). Der Leitungswellenwiderstand beschreibt das Verhältnis sich in eine gemeinsame Richtung ausbreitender Strom- und Spannungswellen.

Während auf einem homogenen Leitungsstück das Signalausbreitungsverhalten selbst nicht vom Wellenwiderstand, sondern von der Fortpflanzungskonstante bestimmt wird, beeinflussen seine abrupte Änderung (an Stoßstellen) oder an den Leitungsenden vorhandene Fehlanpassungen das Signalausbreitungsverhalten – durch Reflexion und Brechung.

Einfacher Merksatz für diese recht akademische Formulierung:

Immer dort, wo sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit auf einem Signalweg ändert, kommt es zu Brechung oder Reflexion.

Vergleiche mit den bekannten Erscheinungen der geometrischen Optik: Wenn Lichtstrahlen die Grenzfläche zwischen Luft und Wasser durchdringen, werden sie abgelenkt.

Dies geschieht insbesondere, wenn die übertragenen Signale hochfrequent sind oder hochfrequente Anteile enthalten. Hoch steht hier im Vergleich zum Kehrwert der Signallaufzeit auf der Leitung; das heißt, neben der Signalfrequenz ist die Leitungslänge zu betrachten. Das ist z. B. der Fall für

- hohe Frequenzen (z. B. Hochfrequenzsignale oder steilflankige Signale auf praktisch beliebigen Leitungen)
- sehr lange Leitungen, wie z. B. interkontinentale 50-Hz-Hochspannungsleitungen
- Schaltvorgänge auf Leitungen

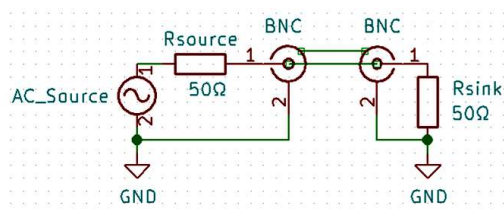
Mein privater Tipp: Immer wenn ein Kabel länger ist als 10% der Wellenlänge der höchsten im Signal vorkommenden Frequenz, ist bei Fehlanpassung mit Reflexion zu rechnen. Daumenregel für die Wellenlänge in Kabeln: 200MHz entspricht 1m.

Vorsicht Falle: „Die höchste im Signal vorkommende Frequenz“ ist nur bei sinusförmigen Signalen die Grundfrequenz. Speziell bei Rechtecksignalen von modernen Geräten kann die Flankensteilheit erheblich sein, oft unter 1ns, sodass bereits bei Leitungslängen deutlich unter 1m Vorkehrungen gegen Reflexion getroffen werden müssen!

Der Leitungswellenwiderstand homogener Hochfrequenzleitungen ist oft eine reelle Größe (z. B. 50Ω bei gängigen Koaxialkabeln im Bereich der Messtechnik) und unabhängig von der Leitungslänge. Der Leitungswellenwiderstand ist nicht zu verwechseln mit dem ohmschen Leitungswiderstand, der die (Wärme-)Verluste beschreibt, wenn die Leitung von einem Strom durchflossen wird.

Den Leitungswellenwiderstand gibt es nicht im Sinne eines Bauteils. Zwar zeigt eine unendlich lange Leitung an ihrem Beginn als Eingangsimpedanz ihren Wellenwiderstand, in der realen Welt wird der Wellenwiderstand jedoch zweckmäßigerweise vom Hersteller angegeben oder anhand der Geometrie berechnet, da er sich nicht ohne weiteres messen lässt. Wird hingegen eine Leitung mit einem ohmschen Widerstand abgeschlossen, dessen Widerstandswert gleich groß ist wie der Wellenwiderstand der Leitung, so zeigt die Leitung unabhängig von ihrer Länge am Anfang eben diesen Widerstandswert. Man nennt diesen Fall mit dem Wellenwiderstand abgeschlossen: Am Ende der Leitung ist ein Widerstandsbauteil mit dem Widerstandswert des Leitungswellenwiderstandes angeschlossen.

Konkret sieht das so aus:



Senderseitig (source) liegt der Quellenwiderstand in Serie zwischen Ausgangsanschluss der Spannungsquelle und dem BNC – Anschluss. Empfängerseitig (sink) liegt der Abschlusswiderstand unmittelbar zwischen Signalanschluss und Masse des BNC – Anschlusses.

Die beiden BNC – Anschlüsse werden mit einem Koaxialkabel mit in diesem Fall 50Ω Wellenwiderstand verbunden.

So macht man das richtig!

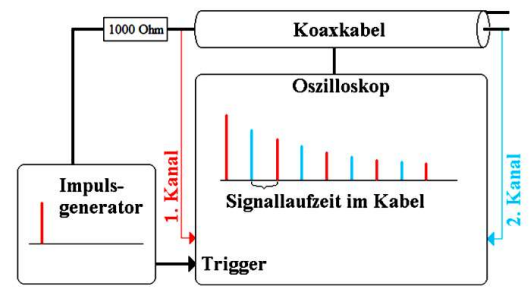
Aufpassen, eine beliebte Falle: Die beiden Widerstände R_{source} und R_{sink} bilden zusammen einen Spannungsteiler. Die Spannung an R_{sink} ist daher maximal (ein ideales Koaxialkabel vorausgesetzt) halb so groß wie die Ausgangsspannung der Quelle!

Nur für Erfahrene: Die Übereinstimmung der Impedanzen von Quelle, Last und Leitungswellenwiderstand ist nur dann notwendig, wenn störende Reflexionen oder Echos von Signalen in beiden Richtungen vermieden werden müssen (Beispiel: bidirektionale Datenkabel wie USB). Dann liegt Leistungsanpassung vor, der Wirkungsgrad kann mithin nicht größer als 50 % sein. Wird ein höherer Wirkungsgrad gefordert, genügt es, die Leitung nur am Ende reflexionsfrei (d. h. angepasst) abzuschließen – die Signalquelle darf beliebige Quellimpedanz haben. Bei leistungsstarken Sendern wird deshalb immer eine andere, meist viel kleinere Quellimpedanz gewählt, um einen höheren Wirkungsgrad zu ermöglichen – der Sender Wachenbrunn erreichte auf diese Weise einen Wirkungsgrad von 85 %.

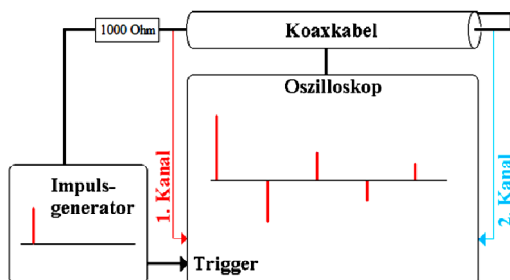
Beaufschlagt man eine homogene Leitung, die am Ausgang nicht mit dem Wellenwiderstand abgeschlossen ist, mit einem Spannungsimpuls, entsteht am Ort der Abschlussimpedanz eine Reflexion – vergleichbar einem akustischen Echo. Durch die Fehlanpassung wird ein vom Leitungswellenwiderstand abweichendes Spannungs-Stromverhältnis erzwungen, das die anteilige Reflexion der ankommenden Welle bewirkt. Der reflektierte Pulsanteil hängt vom Grad der Fehlanpassung ab. Er läuft dem ankommenden Spannungspuls entgegen. Entspricht die Quellimpedanz der Signalquelle nicht dem Wellenwiderstand der Leitung, wird das Signal an der Quellimpedanz ebenfalls als Echo reflektiert. Der Impuls läuft dann mehrmals hin- und zurück, bis seine Energie in Wärme umgewandelt ist. Eine mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossene Leitung unterbindet die Reflexion von Spannungspulsen, soweit die Impedanz am Leitungsabschluss über das gesamte Frequenzspektrum des Pulses mit dem Leitungswellenwiderstand übereinstimmt.

In der Hochfrequenztechnik werden diese drei Fälle unterschieden:

Impulse bei offenem Kabelende. Die Impulse werden gleichphasig reflektiert, aufgrund der Kabelverluste aber immer schwächer. Beachte die Mehrfachreflexion, sodass aus einem Impuls eine Impulskette mit exponentiell fallender Amplitude wird!

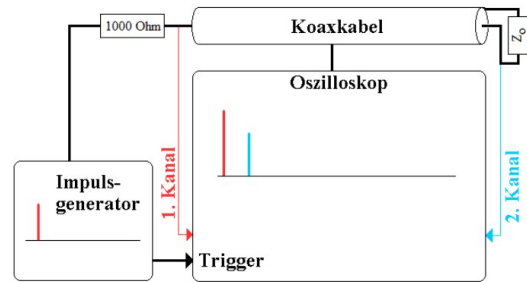


Ist die Folgefrequenz der gesendeten Impulse so hoch, dass die reflektierten Impulse noch während der Zeit des gesendeten Impulses eintreffen, wird das Signal bis zur Unkenntlichkeit verzerrt. Fehlt der Source – Widerstand, kann die Energie der reflektierten Impulse dermaßen hoch sein, dass der Sender beschädigt wird.



← Impulse bei kurzgeschlossenem Kabel. Die Impulse werden gegenphasig reflektiert, aufgrund der Kabelverluste aber immer schwächer.

Impulse bei richtig belastetem Kabel. →
 Der Impuls am Ausgang ist (ungefähr) halb so hoch wie der gesendete und mit der Zeitverzögerung des Kabels (typisch 5ns/Meter) versetzt. Es gibt keine Reflexionen.



Standardwerte: Im Lauf der Technikgeschichte haben sich einige wenige Normen durchgesetzt:

- Koaxiale Labormessleitungen besitzen üblicherweise einen Wellenwiderstand von 50Ω .
- Koaxiale Fernsehantennen- oder Kabelfernsehleitungen haben einen Wellenwiderstand von 75Ω .
- Bei älteren Rundfunkempfangssystemen gibt es noch Zweidrahtleitungen als Antennenleitungen mit einem Wellenwiderstand von 240Ω .

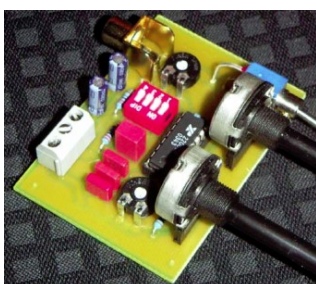
Bei gegebener Frequenz erfolgt die Anpassung an andere Eingangsimpedanzen zum Beispiel mit Hilfe von Resonanztransformatoren.

Funktionsgeneratoren

Gerade hochentwickelte Geräte wie in der Analytik oder der Telekommunikation sowie elektronische Musikinstrumente benötigen Wechselspannungen in den genannten Kurvenformen. Die technisch am meisten verbreitete Form sind unsymmetrische Rechteck – Schwingungen. Die Information wird dabei in die Impuls – Pause – Verhältnisse codiert. Ein richtiger Orgelklang hat Sägezahnform. Zum Studium von zeitabhängigen Prozessen sind Dreieckschwingungen hilfreich. Zur Bewertung von Audioanlagen werden gerne Sinusschwingungen verwendet, deren Frequenz über die Zeit verändert wird.

Der wahrscheinlich erste Funktionsgenerator war ein Tonfrequenzgenerator, der 1939 von William Hewlett und David Packard (beide Absolventen der Stanford University) in einer Garage in Palo Alto gebaut wurde. Dieses Gerät wurde das erste HP – Produkt, die Garage wird als Geburtsort des Silicon Valley betrachtet.

Zur Erzeugung all dieser Funktionen werden grundsätzlich zwei Techniken verwendet:



- Im analogen Funktionsgenerator wird die grundlegende Kurvenform erst mit Ladevorgängen von Kondensatoren gebildet (machen wir demnächst noch ausgiebig!) und dann, wenn nötig mit Bauteilen mit nichtlinearen Kennlinien (beispielsweise Dioden) nachgebessert. Schaltet man zwei solche Anordnungen zusammen, lässt sich wahlweise die Frequenz oder die Amplitude der Basisfunktion automatisch verändern. Solche Geräte waren bis in die 1980er hinein die einzige Methode, andere Wechselspannungen als die aus den elektrischen Versorgungsnetzen stammenden zu erzeugen.

- Mit dem Siegeszug der Digitaltechnik war es ab den 1980er Jahren auch möglich, Funktionen punktweise zu speichern und zyklisch abzurufen. Die digitalen Zahlenwerte werden dann in einem Digital – Analog – Wandler in Spannungswerte umgewandelt, verstärkt und ausgegeben. Solche Anordnungen sind sowohl als alleinstehende Geräte (Arbitrary – Funktionsgeneratoren) als auch als Einschubkarten für PCs sowie zum Anschluss an die USB – Schnittstelle verbreitet und recht kostengünstig erhältlich.



Funktionsgeneratoren und Oszilloskope sind die grundlegenden Instrumente zur Qualifizierung und Quantifizierung von Funktion, Zustand und Qualität elektronischer Aufbauten, die auf Signalwechselspannung beruhen. Das sind beispielsweise Audioanlagen, Messverstärker, Signalwandler, Übertragungsstrecken, Funktionsnetzwerke und dergleichen mehr. Aus den recht überschaubaren Geräten der Frühzeit der Elektronik sind inzwischen – dem Zeitgeist folgend – komplexe Apparaturen auf Mikroprozessor – oder gleich PC – Basis geworden, deren vollständige Beherrschung nicht nur längere Einarbeitungszeit, sondern auch vertiefte Kenntnisse der Elektrotechnik, Mathematik und Informatik erfordert. Wir wollen uns hier auf das Kennenlernen der elementaren Funktionen beschränken, was für die meisten Einsatzfälle ausreicht.

Funktionsgeneratoren sind elektronische Apparate, die primär der Erzeugung periodischer Wechselspannungen mit geringen Amplituden bis etwa 10V_{eff} und geringen Belastbarkeiten bis etwa 100mA_{eff} dienen. Sie können entweder voll analog arbeiten, indem durch periodische Auf- und Entladung eines Kondensators eine Dreiecksspannung gewonnen wird, die in weiteren Funktionsstufen in die gewünschte Form gebracht wird, oder die Funktion wird digital punktweise aus einem Speicher ausgelesen und in analoge Form gebracht. In beiden Fällen folgt darauf ein Verstärker, der die intern erzeugte Wechselspannung auf die gewünschte Amplitude bei entsprechender Belastbarkeit bringt.

Aus diesem Prinzipaufbau erkennen wir bereits die grundlegenden Bedienungs- und Anschlüsselemente eines Funktionsgenerators:



Ein oder mehrere Wahlschalter zur Festlegung der gewünschten Kurvenform (Funktion).

Sinus (\sim , SIN, Sine, Sinewave),
 Dreieck (\wedge , TRI, Triangle)
 Rechteck (\square , SQU, Squarewave)

sind in praktisch allen Geräten verfügbar.

Oft findet man auch Sägezahn (∇ , RMP, Ramp).
Bitte die korrekte Bezeichnung verwenden: Sawtooth
sagt man im Forum, nicht auf einer Universität!

Hinweis zum Lernen: Die vier Grundkurvenformen könnt Ihr auf Deutsch und Englisch benennen und Ihr könnt sie skizzieren!

- Bedienungselemente zur Festlegung der Frequenz. In analogen Geräten sind das ein Stufenschalter zur Wahl des Exponenten und ein Potentiometer zur Wahl der Mantis. In digitalen Geräten gibt's Menüs mit Encodern, Funktionstasten oder Mausbedienung.
- Bedienungselemente zur Festlegung der Ausgangsspannung. Das kann ein einfaches Potentiometer von 0...100% sein. Bei besseren Geräten findet man in Stufen zuschaltbare Abschwächer, was vor allem bei der Arbeit mit Verstärkern sehr hilfreich ist. In digitalen Geräten gibt's wieder Menüs mit Encodern, Funktionstasten oder Mausbedienung.
- Ausgangsbuchse(n) zur Entnahme der gewählten Wechselspannung. Nötig sind entweder 2 Stück 4mm Bananenbuchsen oder 1 BNC – Buchse. Bessere Geräte haben weitere Anschlüsse, beispielsweise Synchronisationsausgänge oder Steuerungseingänge.

Das war das Grundlegende. Alles Weitere ist Luxus, der manchmal recht praktisch ist, mit dem man aber erst arbeiten sollte, wenn man das Prinzip verstanden hat! Beispielsweise:



- Digitale Anzeige der Frequenz.
- Einstellungen zur Änderung des Tastverhältnisses.
- Einstellungen um der Ausgangsschwellenspannung eine Gleichspannung zu überlagern.
- Einstellungen um die Amplitude oder Frequenz der Ausgangsschwellenspannung selbständig zu variieren. Das nennt man Wobbeln und ist ganz wichtig für die Arbeit an Audioanlagen!
- Anschlüsse um die Betriebsart, Spannung und Frequenz des Funktionsgenerators durch externe elektrische Signale oder Softwarebefehle zu kontrollieren.
- Anschlüsse um das Argument des Funktionswertes auslesen zu können.
- Punktweise Programmierung beliebiger Funktionen.

Wir wollen hier in der Vorlesung nur die Basisfunktionen kennen lernen, die Details entnehmt Ihr bitte den Bedienungsanleitungen der speziellen Geräte!

Die Masse der Signalspannungen von netzbetriebenen Funktionsgeneratoren kann mit der Erdleitung verbunden sein oder nicht, das ist völlig unterschiedlich und nicht allgemein zu entscheiden. Daher nicht unreflektiert gläubig sein! Bitte bei der Verwendung von Funktionsgeneratoren in Schaltungen mit mehreren Masseleitungen (z.B. Brückengleichrichter, manche RC – Glieder) unbedingt mit einem Ohmmeter prüfen, ob Masse und Erde verbunden sind. Wenn ja, dann den Messaufbau entsprechend konstruieren: Beispielsweise zwei Messungen bezüglich der Masse des Eingangs durchführen und die Ergebnisse subtrahieren.

Eine Funktion moderner Funktionsgeneratoren solltet Ihr wirklich verstanden haben und in der Praxis beachten, da es an dieser Stelle immer wieder zu fatalen Fehlern kommt: Die Umschaltung der Ausgangsimpedanz.

Wie Ihr im letzten Kapitel gelernt habt, ist es ab einer von der Leitungslänge abhängige Frequenz erforderlich zu terminieren. Das heißt, in die Ableitung des Generators einen Widerstand einzufügen, der dann zum Wellenwiderstand der Leitung und dem empfängerseitig gegen Masse eingefügten Abschlusswiderstand passt. In der Messtechnik sind das (in ungewöhnlich eingehaltener Norm) 50Ω . Moderne Funktionsgeneratoren sind mit der Möglichkeit ausgestattet, den senderseitigen Widerstand per Menüfunktion zuzuschalten. Üblicherweise heißt diese Funktion 50Ω / Hi-Z. Ist 50Ω gewählt, wird der senderseitige Widerstand zugeschaltet. Ist Hi-Z gewählt, ist der Verstärkerausgang des Funktionsgenerators direkt mit der Ausgangsbuchse verbunden. Die Folgen sind weitreichend: In Stellung 50Ω ist die Ausgangsspannung ohne Last doppelt so hoch wie am Display angegeben, da der Funktionsgenerator davon ausgeht, dass jemand der 50Ω wählt, auch den empfängerseitigen Terminator einbaut. Des Weiteren ist dieser Widerstand zu berücksichtigen, falls an den Ausgang RC oder RL Glieder angeschlossen werden.

Zu Beginn eines Versuchs immer schauen, welche Betriebsart gewählt ist!

Oszilloskop

Da zur Beurteilung, was man am Funktionsgenerator genau eingestellt hat, ein entsprechendes Messgerät erforderlich ist, wollen wir nun die Grundfunktionen eines Oszilloskops kennen lernen.

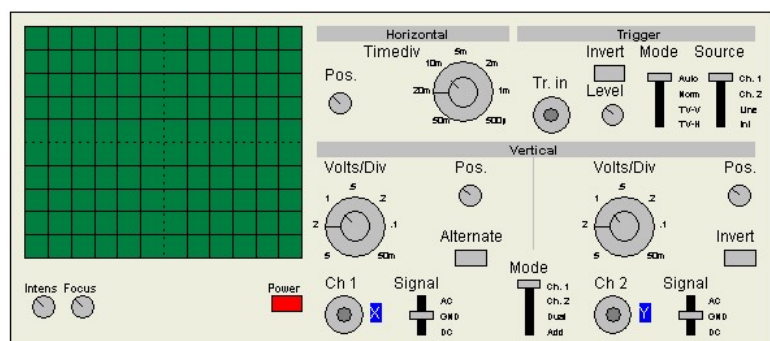
Die Vorgeschichte des Oszilloskops beginnt um 1838 mit Messschreibern, die Charles Babbage zur Dokumentation der Betriebszustände in Eisenbahnzügen eingesetzt hat (wen das genauer interessiert: https://en.wikipedia.org/wiki/Chart_recorder). Die Nachfahren dieses Systems sind die bis heute verwendeten schreibenden Messgeräte. Auch wenn diese schon weitgehend durch Datenlogger ersetzt sind, spielt die unmittelbare schriftliche Dokumentation bis heute eine nennenswerte Rolle, beispielsweise wenn es um Fragen der Qualitätssicherung oder um juristische Absicherung geht. Später wurden die aus der Messung von Strömen schon bekannten Galvanometer zur vertikalen Ablenkung eines Lichtstrahls verwendet. Zusammen mit der periodischen Ablenkung desselben Lichtstrahls in horizontaler Richtung mittels Drehspiegel (ursprünglich um 1850 von Léon Foucault für die Messung der Lichtgeschwindigkeit entwickelt) entstanden die ersten echten Oszilloskope. Auch diese Technik wird bis heute verwendet, unter anderem in Laserdruckern und in Partybeleuchtungen. Im Jahr 1897 wurde die Kathodenstrahlröhre (auch Braunsche Röhre genannt) von Ferdinand Braun (den kennen wir schon von der damals ignorierten Erfindung der Gleichrichterdiode 1874) erfunden. Dass Braun die ungeheure Bedeutung seiner Erfindung nicht erkannte, ist genauso eine der Launen der Technikgeschichte wie der Umstand, dass die Kathodenstrahlröhre vor der eigentlich wesentlich einfacheren Triode (um 1906) erfunden wurde. Wirklichen Auftrieb erhielt die Entwicklung der Oszilloskope wieder einmal durch die Militärtechnik, nämlich als Anzeigesystem für Radaranlagen. Alle bisherigen Oszilloskope hatten ein grundlegendes Problem, nämlich die Synchronisation der Horizontalablenkung mit dem Signal. Ohne eine solche Einrichtung bleibt die Herstellung eines stehenden Bildes von der Geschicklichkeit des Bedieners abhängig. Dieses Problem wurde erst mit der Erfindung der Triggereinrichtung 1946 gelöst. Aber noch in meiner Kindheit waren Oszilloskope mit Triggereinrichtungen dem oberen Preisbereich vorbehalten. Ab den 1980er Jahren wurden Analog – Digital – Wandler endlich so schnell, dass eine brauchbare Digitalisierung schneller Vorgänge möglich wurde. Diese Technik ist untrennbar mit dem Namen Walter LeCroy (geboren 1935, 2020 wahrscheinlich noch am Leben) verbunden. Oszilloskope dieses Namens bildeten jahrzehntelang die oberste Liga an Oszilloskopen, bis das Unternehmen 2012 von Teledyne übernommen wurde.

Nomenklatur: Korrekt heißt diese Klasse an Messgeräten Oszilloskope = Schwingungs – Schauer. Seit alten Zeiten wird die Bezeichnung Oszillograf = Schwingungs – Schreiber jedoch gleichbedeutend verwendet, obwohl sie korrekterweise einen Y – T – Schreiber benennt. Umgekehrt sagt niemand zum Y – T – Schreiber Oszillograf. Diese Situation erinnert ein wenig an das Thema des Schraubenziehers. Natürlich sind im alltäglichen Sprachgebrauch auch vereinfachte, verniedlichte und verzerrte Bezeichnungen wie Oszi, Oszi – Guck oder Oskar gebräuchlich.

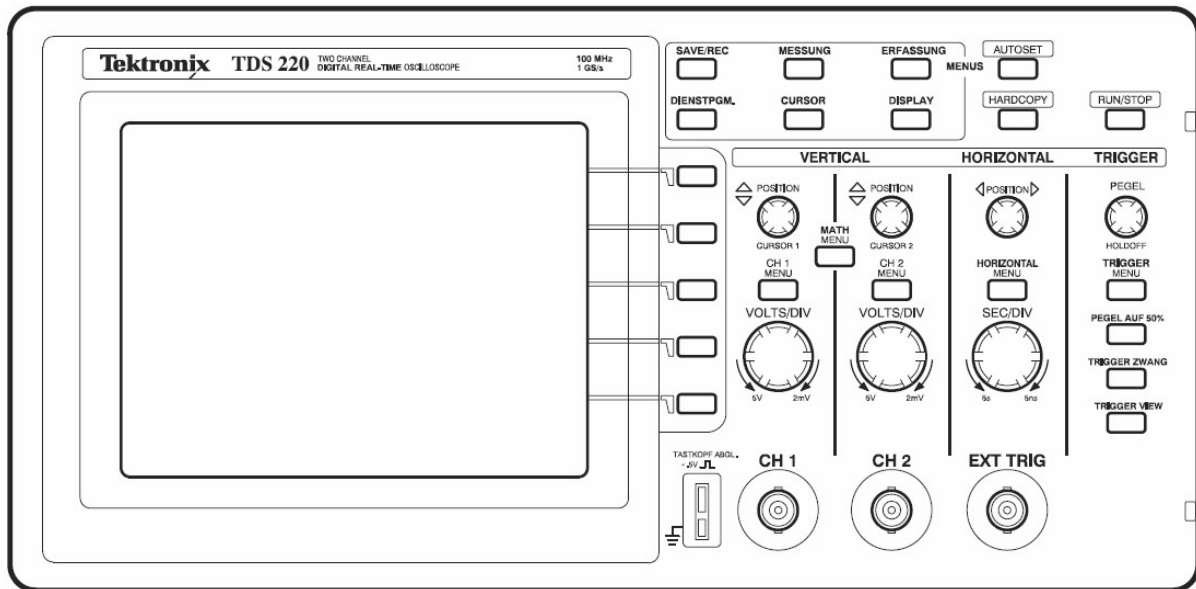
Typische Frontansicht eines Analog – Oszilloskops

Die grundlegenden Elemente eines Oszilloskops sind:

Ein Bildschirm, auf dem die Momentanwerte der Signalwechselspannung dargestellt werden. Die x – Achse ist die Zeitachse, die y – Achse ist die Spannungsachse. Zur Quantifizierung von Zeit und



Momentanspannung wird der Bildschirm üblicherweise in 8 bis 14 horizontale und 8 bis 10 vertikale Kästchen segmentiert. Bei analogen Geräten wird die Segmentierung auf der Kontrastfolie aufgedruckt, bei digitalen Geräten ins Bild eingeblendet. Die Breite bzw. Höhe eines solchen Kästchens bilden die elementaren Maßeinheiten am Oszilloskop und werden als DIV (Division) bezeichnet. **Bitte merken!** Sowohl Spannungen als auch Zeiten werden erst einmal in DIVs angegeben und dann erst vom Anwender oder vom Gerät in die physikalischen Maßeinheiten umgerechnet!



Typische Frontplatte eines Digital - Oszilloskops

Traditionell sind Oszilloskope so gestaltet, dass die Anschlüsse für die Signalspannungen und die dazu gehörigen Einstellungen von rechts bis etwas über die Mitte des Gerätes angeordnet sind. Eher rechts, manchmal auch „oben“ findet man die Anschlüsse und Einstellungen für die Zeitablenkung. Nur bei Geräten mit sehr großen Bildschirmen (z.B. der abgebildete LeCroy, Bildquelle <https://teledynelecroy.com/oscilloscope/> , Download am 21.04.2020) sind die Eingangsanschlüsse am unteren Rand des Gerätes angebracht.



Zuerst besprechen wir (gemäß der Leserichtung in unserer Kultur) die Elemente der Y - Richtung:

Eingangsbuchsen zum Anlegen der Signalspannung. Fast alle Oszilloskope sind dafür mit BNC - Buchsen ausgestattet. In jedem Fall ist für jeden Kanal eine Buchse erforderlich. Üblich sind 2 - und 4 - Kanal - Geräte, kleine Handgeräte haben oft nur einen Kanal, alle anderen Konfigurationen sind exotisch. **Teure Geräte haben manchmal zusätzlich die Möglichkeit, eine Vielzahl an Digitalsignalen zusätzlich anzuzeigen. Diese Eingänge werden üblicherweise mit kleinen Federkontakten bestückt, die halbwegs leicht direkt auf die Bauelemente aufgeklipst werden können. Nur für Eingeweihte!**

Für jeden Kanal gibt es einen Wahlschalter zur Festlegung der elektrischen Kopplung zwischen Eingangsbuchse und Eingangsverstärker. Er ist üblicherweise mit AC / GND / DC beschriftet.

- AC bedeutet, dass nur der Wechselspannungsanteil der Signalspannung zur Verstärkung und Anzeige gelangt. Der Gleichspannungsanteil wird abgetrennt. Das ist dann sehr sinnvoll, wenn einer hohen Gleichspannung eine minimale Wechselspannung überlagert ist, die man untersuchen möchte. Achtung: Sehr niederfrequente Signalanteile ($< 30\text{Hz}$) werden dabei differenziert! Das ergibt seltsame und auf den ersten Blick unverständliche Verzerrungen!

- GND bedeutet, dass der Eingang des Verstärkers an Masse liegt und die Signalspannung nicht beachtet wird. Das ist für Einstellzwecke hilfreich.
- DC bedeutet, dass die Signalspannung so verstärkt und angezeigt wird wie sie ist.

Für jeden Kanal gibt es einen Wahlschalter und ein Potentiometer zur Festlegung des Verstärkungsfaktors V/DIV. Die Verwendung des Potentiometers sollte mit Bedacht geschehen, da es logischerweise das fixe Verhältnis der Spannung zu den DIVs zerstört. Anfänger lassen das Potentiometer immer am rechten Anschlag stehen! Bei Digitalgeräten heißt diese Funktion meist Grob / Fein oder ähnlich. Wie so oft müsst Ihr hier ein wenig Phantasie zeigen.

Für jeden Kanal gibt es ein Potentiometer VPOS zur Festlegung der vertikalen Position der 0V – Spannung. Das ist einerseits wichtig, wenn man mehrere Spannungen gleichzeitig anzeigen möchte, und auch wenn der Signalspannung eine gewisse Gleichspannung überlagert ist, die man aber nicht abtrennen möchte.

Nun die Elemente der X – Richtung:

Eingangsbuchse EXT: Eine BNC – Buchse, an die man ein Signal anlegen kann, auf das die anderen Signale zeitlich bezogen werden, ohne dass man es selbst anschauen möchte.

Wahlschalter TIME/DIV: Das zentrale Bedienungselement der X – Achse! Hiermit wird die Geschwindigkeit der Zeitablenkung in einem weiten Bereich gewählt. Achtung: Die Zeitangabe bezieht sich immer auf 1 DIV – die gesamte dargestellte Zeit ist daher das 10fache – oder wie viele DIVs Euer Bildschirm gerade hat!

Potentiometer X POS: Dieses Bedienungselement ist nicht auf allen Geräten vorhanden. Damit wird die Position der X – Linie gegenüber dem Bildschirm verstellt. Das ist üblicherweise nur dafür gut, damit der Strahl mittig steht, manchmal ist das auch für Messaufgaben hilfreich.

Mit dem Wahlschalter Trigger Source wird die Signalquelle bestimmt, auf die das angezeigte Signal zeitlich bezogen wird. Üblich sind die 1 bis 4 Kanäle, EXT und Line. Line bedeutet, dass die Netzspannung als Bezug verwendet wird. Das ist bei Arbeiten an Netzgeräten oft sehr angenehm!

Mit dem Wahlschalter Trigup/down wird bestimmt, ob der zeitliche Bezugspunkt der Signaldarstellung von der steigenden oder fallenden Flanke des gewählten Trigger Source Signals abgeleitet wird.

Mit dem Potentiometer Trig Level wird bestimmt, auf welchen Spannungswert der zeitliche Bezugspunkt der Signaldarstellung gelegt wird.

Wichtig ist der Wahlschalter der Horizontalfunktion. Die Grundfunktionen heißen AUTO / NORM / SINGLE. AUTO bedeutet, dass immer ein Strahl generiert wird, egal ob eine Triggerung stattfindet oder nicht. NORM bedeutet, dass nur dann ein Strahl generiert wird, wenn eine Triggerung stattgefunden hat. Und SINGLE bedeutet, dass genau einmal ein Strahl generiert wird, sobald eine Triggerung stattgefunden hat. **Der Anfänger wählt immer AUTO!**

Schließlich gibt's noch einen Wahlschalter des Trigger Filters. Damit kann das Trigger Signal vor seiner Verwendung noch gefiltert werden, wobei digitale Oszilloskope da ganz schön komplexe Möglichkeiten bieten. Der Anfänger wählt DC, alles andere ist kompliziert!

Dazu gibt es gerade bei modernen Geräten noch viele weitere Funktionen. Für Euch besonders wichtig sind die Möglichkeiten der mathematischen Nachbearbeitung, vor allem Summe und Differenz der Eingangssignale (wichtig für Messungen, wenn man die Masseleitung nicht

verwenden darf) oder die Fourier – Analyse, um die Frequenzverteilung messen zu können (kommt später noch sehr ausführlich).

Wir haben bisher die bei weitem wichtigste Anwendung des Oszilloskops als Messgerät zur Darstellung von Spannungsverläufen als Funktion der Zeit beschrieben. Diese Betriebsart nennt man Y-T Betrieb, manchmal auch Y-t geschrieben. In seltenen Fällen möchte man aber das Schaubild einer parametrisierten Funktion sehen, also eine Spannung als Funktion einer anderen Spannung. Diese Betriebsart nennt man X – Y – Betrieb. Dazu wird ein Y – Eingang als X – Eingang verwendet. Aufpassen – lesen – welcher das ist, ist nicht bei allen Geräten gleich! Der andere Y – Eingang ist tatsächlich Y. Dann noch an einem Wahlschalter (suchen, lesen) oder in einem Untermenü die Betriebsart X – Y wählen und schon geht's los. Die heute einzige relevante Anwendung ist das Erstellen von Kennlinien von Bauelementen. Zu meiner Zeit konstruierte man mit dieser Betriebsart auch sogenannte Lissajous – Figuren. Sie haben heute keine technische Bedeutung mehr.

Unterabtastung – Aliasing

Die punktweise Abtastung analoger Signale zu einer zeitdiskreten und spannungsdiskreten Folge von Zahlenwerten ist eine, ja die zentrale Funktion jedes digitalen Messsystems für analoge Größen. Doch wie so oft in der Technik haben die neuen Funktionen ihre Tücken, deren mangelnde Beachtung schwerwiegende Messfehler zur Folge haben. Ein besonders schlimmer Teufel der digitalen Messtechnik ist die Unterabtastung, gerade auch weil allzu viele Leute fälschlich meinen, das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem verstanden zu haben.

Korrekte Formulierung: Das Abtasttheorem besagt, dass eine Funktion, die keine Frequenzen höher als f_{\max} enthält, durch eine beliebige Reihe von Funktionswerten im Abstand

$$\tau < \frac{1}{2 \cdot f_{\max}}$$

eindeutig bestimmt ist.

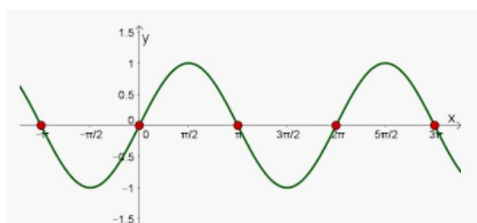
Falsche Formulierung: Viele Leute meinen, diese Aussage ein wenig vereinfachen zu können. Beispielweise zu: Eine Funktion, deren Periodendauer τ ist, kann durch eine beliebige Reihe von Funktionswerten im Abstand 2τ eindeutig bestimmt und damit rekonstruiert werden.

Das ist böser Blödsinn, wie folgende Beispiele zeigen:

Fehler 1: „Abstand 2τ “

Diese Methode klappt zufällig →

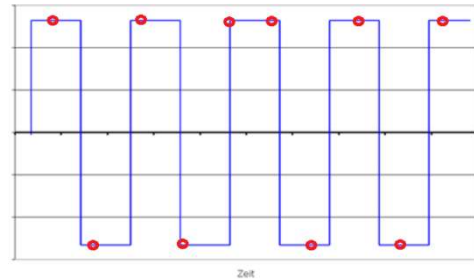
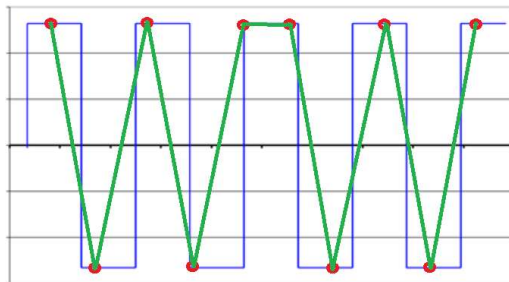
Nach der Rekonstruktion erhält man eine Dreieckschwingung, welche nach Filterung tatsächlich die originale Sinusfunktion ergibt. Voraussetzung war, dass die Abtastung jeweils genau an den Extremwerten des Originalsignals stattfindet.



← Das klappt nicht: Die Abtastung findet genau an den Nullstellen statt, die Rekonstruktion ergibt eine Null – Linie. Das Signal ist völlig zerstört.

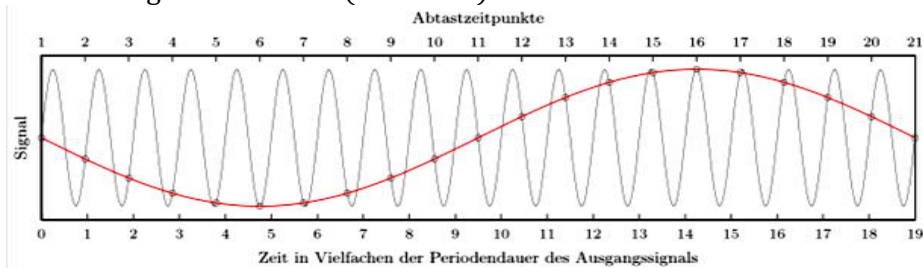
Fehler 2: „Frequenzanteile“ vergessen.

Und jetzt rekonstruiert mal schön...



← Auch das ist offensichtlich Blödsinn.

Sollte schon das korrekt formulierte Theorem nicht eingehalten werden, kommt es zum Alias-Effekt oder Aliasing: Ein kontinuierliches Ausgangssignal (schwarze Linie) wird mit einer ungeeigneten Abtastfrequenz, die kleiner als vom Abtasttheorem gefordert ist, diskretisiert. Aus den erhaltenen Messwerten (Kreise) entsteht durch Interpolation ein verfälschtes Signal mit deutlich zu großer Periode (rote Linie).



(Bild aus <https://de.wikipedia.org/wiki/Alias-Effekt>, Download am 21.04.2020).

Praktischer Tipp: Wenn Ihr nicht ganz genau wisst, was Ihr tut, mindestens mit der Zehnfachen Grundfrequenz des Signals abtasten und dann einmal sehr genau prüfen, ob dabei etwas Sinnvolles herauskommt.

Bei der Arbeit mit Digitalspeicher – Oszilloskopen an unbekannten Signalen immer mit der höchstmöglichen Abtastrate (s/DIV) beginnen und dann zurückschalten, bis ein sinnvolles Signal sichtbar wird. Beginnt man bei niedrigen Ablenkfrequenzen und kann das Bild nicht zum Stehen bringen, ist Alarmstufe Rot! Mir ist es auch an einem 12000€ Oszilloskop mit Leichtigkeit gelungen, an einem 1MHz Signal Aliasing zu erzeugen. Das sollte Euch eine Warnung sein.

Gerade bei Systemen mit Frequenzgeneratoren mit Quarzzeitbasis ist hohe Skepsis angebracht. Beispielweise bekam ein Kollege einmal bei einem hochfrequenten Aufbau ein Störsignal von wenigen Kilohertz, das aber die halbe gesamte Signalamplitude umspannte. Schließlich zeigte sich, dass er ein Signal von 1,000 MHz mit einem ADC abgetastet hatte, der mit der Quarzfrequenz 1,024 MHz betrieben wurde.

Interessierte lesen auch den Text

https://ti.tuwien.ac.at/cps/teaching/courses/dspv/files/DSP_9-Abtast.pdf.

Hinweis für Fortgeschrittene: Alias ist eigentlich eine Konsequenz der Multiplikation des Eingangssignals mit einem Abtastsignal. Dabei entstehen aufgrund des Sinus – Produktsatzes je zur Hälfte die Summen- und die Differenzfrequenz. Dies kann man sich zu Nutze machen, um mit langsamen ADCs schnelle periodische Vorgänge erfassen zu können, wenn man genau weiß, was man tut.

Periodische Signale können durch Abtastwerte aus vielen Durchläufen wieder korrekt zusammengesetzt werden. Voraussetzung ist eine sehr schnelle Abtast-Halte-Schaltung, die in besonders kurzer Zeit das Eingangssignal erfassen kann. Zwei bewährte periodische Abtast-Techniken sind:

Sequenzielles Abtasten: Pro Trigger gibt es nur eine Abtastung. Beim ersten Durchlauf liegt der Abtastzeitpunkt um eine kleine Verzögerungszeit hinter dem Triggerpunkt. Zum zweiten Durchlauf wird die Verzögerungszeit verdoppelt, zum dritten verdreifacht – bis das Zeitfenster gefüllt ist. Die Bildpunkte werden in der Reihenfolge der Abtastung angeordnet, untereinander im Abstand der kleinen Verzögerungszeit.

Willkürliches (von der Triggerung unabhängiges) Abtasten (random sampling): Hier wird jeder Messpunkt im Rahmen der möglichen Arbeitsgeschwindigkeit aufgenommen, und zusätzlich wird sein zeitlicher Abstand zum Triggerpunkt gemessen. Die Bildpunkte werden in der Reihenfolge dieses zeitlichen Abstands angeordnet. Bei hinreichend langer Erfassungszeit liegen die Bildpunkte so dicht, dass ein geschlossener Kurvenzug erscheint.

Bei diesen Techniken dürfen allerdings keine niederfrequenten Signalanteile vorhanden sein, da diese sich als Unschärfe in der konstruierten Kurve zeigen würden.

Tastköpfe

(Der folgende Text und das Bild sind weitgehend aus <https://de.wikipedia.org/wiki/Tastkopf> entnommen. Download am 21.04.2020.)

Der Tastkopf, auch Tastteiler (englisch: probe = Sonde) ist ein Messmittel für die elektrische Messtechnik, hauptsächlich bei Messungen mit dem Oszilloskop. Bei der Vielzahl an Messaufgaben kann das Oszilloskop nicht immer direkt an das Messobjekt angeschlossen werden. Je nach Anforderungen hilft zur Anpassung die Zwischenschaltung eines Tastkopfes, der das Messsignal über ein Koaxialkabel an das anzeigende Messgerät weitergibt.



Meist wird ein Tastkopf an einem Oszilloskop betrieben. Dieses hat in der Regel einen Eingangswiderstand von $1\text{ M}\Omega$ und eine Eingangskapazität von 20 bis 50 pF. Der Spitzenwert der Eingangsspannung am Tastkopf ist auf einige hundert Volt beschränkt, je nach Spezialisierung auch deutlich weniger. Oszilloskope mit höheren Bandbreiten verfügen meist über 50Ω -Eingänge oder können eine entsprechende Terminierung zuschalten. Eine im Tastkopf erforderliche erste Signalbehandlung kann mit passiven Bauelementen ausgeführt werden oder eine aktive Schaltung erfordern. Um das Oszilloskop auf sehr unterschiedliche Messaufgaben anzupassen, stehen viele Tastköpfe mit unterschiedlichen Eigenschaften zur Wahl. Die meisten Tastköpfe müssen an das jeweilig verwendete Oszilloskop angepasst werden derart, dass das Übertragungsverhalten frequenzunabhängig wird; dazu sind sie anhand eines Testsignals justierbar.

Vor jeder Verwendung eines Tastkopfes ist dieser individuell zu justieren! Dazu ist er an den Referenz Ausgang des Oszilloskops anzuschließen und das Schirmbild mittels der Stellschraube am Tastkopf oder am Anschlussgehäuse auf ein möglichst korrektes Rechtecksignal abzugleichen.

Die gebräuchlichste Bauform ist ein passiver Tastkopf mit einer Spannungsteilung, durch die die Spannung am Oszilloskop 1:10 kleiner ist als an der Tastkopfspitze. Der Eingangswiderstand ist

10:1 größer, also $10\text{ M}\Omega$. Er entsteht durch $9\text{ M}\Omega$ in der Tastkopfspitze zusätzlich zu $1\text{ M}\Omega$ im Oszilloskop.

Dazu gibt es aktive Tastköpfe, differentielle Tastköpfe, Strom-Tastköpfe und Hochspannungstastköpfe. Für unsere Lehrveranstaltung ist dies ohne Bedeutung.

Übungen

Nenne die drei wichtigsten Methoden der Versorgung elektrotechnischer Systeme mit elektrischer Energie.

Charakterisiere die wesentlichen Unterschiede zwischen Festspannungsnetzgeräten und Labornetzgeräten.

Charakterisiere die wesentlichen Unterschiede zwischen linearen Netzgeräten und Schaltnetzgeräten. Was sind die jeweiligen Vor- und Nachteile?

Nenne die Kennfarben für die Polarität von Spannungen.

Wie wird die Verbindung der Masseleitung von Labornetzgeräten mit der Erdleitung üblicherweise gehandhabt? Wie gehst Du in der Praxis zur Sicherheit vor?

Definiere folgende Kenngrößen von Wechselspannungen: Effektivwert, Spitzenwert, Spitze-Spitze-Spannung, Scheitelfaktor (crest factor), Frequenz.

Was sind Funktionsgeneratoren?

Nenne die vier wichtigsten Kurvenformen (Funktionen), die ein Funktionsgenerator erzeugen kann auf Deutsch und Englisch. Skizziere die Form der Funktionen.

Was sind Koaxialkabel? Wozu werden sie verwendet?

Beschreibe das mechanische Äquivalent des Wellenwiderstandes

Unter welcher Voraussetzung kommt es auf einem Signalweg zu Brechung oder Reflexion? Gib ein aus dem Alltag bekanntes Beispiel.

Wie wird eine Übertragungsstrecke korrekt so ausgeführt, dass es zu keiner Reflexion kommt? Welchen Nebeneffekt musst Du bei der Messung der Spannungen berücksichtigen?

Ein guter Funktionsgenerator ist in der Betriebsart „50 Ω “ geschaltet, die gewählte Amplitude beträgt laut Display 10Vss. Aufgrund der niedrigen Frequenz verzichtest Du auf einen Abschlusswiderstand auf der Seite des Empfängers. Welche Ausgangsspannung erwartest Du in der Realität.

Du überträgst ein Rechtecksignal mit 500MHz Grundfrequenz über ein 5m langes Koaxialkabel. Du bist zu faul, korrekt zu terminieren. Nenne die beiden Konsequenzen, die Deine Faulheit haben wird oder haben kann.

Nenne die drei Standardwerte der Wellenwiderstände und ihren jeweiligen Einsatzbereich:

Nenne die drei wichtigsten Bedienungselemente eines Oszilloskops für die Vertikalachse.

Nenne die sechs wichtigsten Bedienungselemente eines Oszilloskops für die Horizontalachse.

Du hast ein Signal an den Eingang des Oszilloskops angelegt, die korrekte Position und Auslenkung gewählt. Es wird keine Linie gezeichnet. Was könnte falsch sein? Wie kannst Du dieses Problem auf einfache Weise beheben? Hinweis: Das Gerät ist technisch in Ordnung.

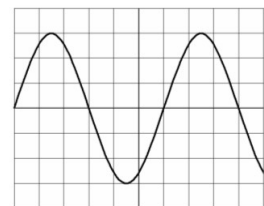
Bewerte folgende Aussage:

Das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem lautet: Eine Funktion, deren Periodendauer τ ist, kann durch eine beliebige Reihe von Funktionswerten im Abstand 2τ eindeutig bestimmt und damit rekonstruiert werden.

Du misst eine unbekannte sinusförmige Spannung. Du hast auf's Geratewohl die Ablenkzeit 10ms/DIV gewählt. Das Schirmbild zeigt eine sinusförmige Spannung. Leider läuft das Bild trotz korrekt eingestellter Triggerfunktion durch. Was schließt Du daraus? Was tust Du zur Abklärung?

Du möchtest ein Signal mittels Tastkopf messen. Welche Tätigkeit sollte bei Verwendung eines Tastkopfes vor jeder Messung erfolgen, wenn nicht sicher gestellt ist, dass er korrekt arbeitet?

Beschreibe die Methode der Messung des Spitze – Spitze – Wertes mit dem Oszilloskop gemäß Bild. Die Vertikalablenkung beträgt 1V/DIV.



Beschreibe die Methode der Periodenzeitmessung mit dem Oszilloskop gemäß Bild. Die Horizontalablenkung beträgt 1ms/DIV.

Lösungen zu den Übungen

Nenne die drei wichtigsten Methoden der Versorgung elektrotechnischer Systeme mit elektrischer Energie.

Direkte Versorgung aus dem Licht- und Kraftstromnetz
Elektrochemische Energiequellen
Netzgeräte

Charakterisiere die wesentlichen Unterschiede zwischen Festspannungsnetzgeräten und Labornetzgeräten.

Festspannungsnetzgeräte haben im Allgemeinen eine feste (in seltenen Fällen mehrere umschaltbare) Ausgangsspannung/en. Die Strombegrenzung ist lediglich für den Selbstschutz des Netzgerätes und als Schutz vor Brand ausgelegt. Vor allem im unteren Preisbereich kommen oft nicht ersetzbare Schmelzsicherungen gegen Überstrom oder Übertemperatur zum Einsatz, bei Schaltnetzgeräten auch elektronische Strombegrenzungen mit fester Stromgrenze.

Labornetzgeräte sind eine spezielle Art von Stromversorgungsgeräten, die primär für den Einsatz im elektrotechnischen Labor, im Service, in Forschung und Entwicklung und natürlich in der Ausbildung vorgesehen sind. Die Stromversorgung von Endgeräten ist manchmal möglich, aber eigentlich nicht Sinn der Sache. Labornetzgeräte zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- Einstellbarkeit der Ausgangsspannung in einem weiten Bereich, meist ab 1,2V (Bandabstand des Siliziums, wird gerne als Referenzspannung benutzt) oder gar ab 0V.
- Vor allem im höheren Preisbereich haben viele Labornetzgeräte auch kraftvolle Systeme zum Schutz gegen von außen eingeleitete Überspannungen. Man nennt diese üblicherweise „Crowbar“, also Brechstange, da sie mittels hoch belastbarer Halbleiter bei gefährlichen Überspannungen die Ausgangsbuchsen brutal kurzschließen.
- Einstellbarkeit der Stromgrenze in einem weiten Bereich, meist ab 0A. Vorsicht Falle: Bei vielen Geräten wird die Ausgangsspannung auch ohne Last bei minimaler Stromgrenze bereits abgeschaltet. Das ist vor allem für Ungeübte verwirrend.
- Definierter 2 Achsen – Betrieb: Ausgangsspannung und Stromgrenze können unabhängig voneinander eingestellt werden. Das Gerät gibt maximal die Spannung ab, die beiden Kriterien genügt. Daher sind Labornetzgeräte kurzschlussfest und überlastungssicher.
- Wenn das Gerät mehrere derart einstellbare Ausgangsspannungen liefern kann, können sie seriell und parallel betrieben werden, um Spannung oder Stromstärke zu erhöhen.
- Analoge oder digitale Anzeigen für Spannung und/oder Stromstärke.

Charakterisiere die wesentlichen Unterschiede zwischen linearen Netzgeräten und Schaltnetzgeräten. Was sind die jeweiligen Vor- und Nachteile?

Lineare Netzgeräte erzeugen mittels eines Netztransformators zuerst eine (meist) niedrige Wechselspannung. Diese wird dann gleichgerichtet, gesiebt und mittels elektronischer Regler auf den gewünschten Wert gebracht und konstant gehalten. Vorteilhaft sind die schnelle Ausregelung bei wechselnden Lastverhältnissen und die minimalen Störspannungen (typisch < 5mV). Nachteilig sind das hohe Gewicht und die stattliche Größe, der schlechte Wirkungsgrad von typisch <50% und die damit zusammenhängende Wärmeentwicklung. Für die kommunale Energieversorgung ist auch das stark induktive Verhalten der Linearnetzgeräte problematisch, da dadurch in der Summe große Blindleistungen zu kompensieren sind.

Schaltnetzgeräte richten die Netzspannung auf der Netzseite gleich. Diese Gleichspannung wird dann mit einem hochfrequenten elektronischen Schalter zerhackt und mittels eines kleinen Hochfrequenztransformators in eine (meist) niedrige Wechselspannung umgespannt. Aufgrund der hohen Schaltfrequenz wird nur ein kleiner und leichter Transformator benötigt. Außerdem wirkt die Regelung der Ausgangsspannung direkt auf die Primärseite des Netzgerätes, sodass hohe Wirkungsgrade erzielt werden können (je nach Spannung und Stromstärke > 90%). Die Wirkung auf die Stromversorgungsnetze ist entweder kapazitiv oder (bei stärkeren Geräten aufgrund der Leistungsfaktorkorrektur) sogar resistiv, was die Netzbetreiber freut. Nachteilig sind die oft hohen Störspannungen (200mV_{eff} sind normal, 2V_{ss} können schnell auch einmal auftreten), welche durch das breite Frequenzspektrum auch schwierig zu filtern sind. Die Industrie versucht dieses Problem der elektromagnetischen Umweltverschmutzung (EMI, RFI) mit ständig engeren Normen in Grenzen zu halten. Die gewaltige Verbreitung der Schaltnetzgeräte lässt dieses Unterfangen aber schwierig werden. Des Weiteren ist aufgrund der minimalen Abmessungen die Isolation der Ausgangsspannung von der Netzspannung allzu oft nicht befriedigend, man hilft sich gegebenenfalls mit den allerdings saftig teuren Geräten mit Medizinzulassung.

Nenne die Kennfarben für die Polarität von Spannungen.

Rot = Plus, Schwarz (früher blau) = Masse.

Wie wird die Verbindung der Masseleitung von Labornetzgeräten mit der Erdleitung üblicherweise gehandhabt? Wie gehst Du in der Praxis zur Sicherheit vor?

Außer bei den Hochspannungsnetzgeräten sind die Ausgangsleitungen der Labornetzgeräte üblicherweise von der Erdleitung isoliert. Die maximal zulässigen Spannungen zwischen Masse und Erde sind je nach Gerät unterschiedlich, Netzspannung sollte man aber besser nicht anlegen. Gegebenenfalls ist der entsprechende Aufdruck zu lesen oder in der Bedienungsanleitung nachzulesen. Manche Labornetzgeräte haben einen eigenen Anschluss oder Kontakt, der elektrisch fest mit der Erde verbunden ist. Dieser ist dann oft so konstruiert, dass er mit einfachen Metallbügeln mit der Masse verbunden werden kann. Da diese Verbindungen auch auf der Rückseite der Geräte angebracht sind, kann man dies übersehen.

Im Zweifelsfall mit dem Ohmmeter nachmessen.

Definiere folgende Kenngrößen von Wechselspannungen:

Effektivwert

Der Effektivwert (engl. root mean square, RMS) der Spannung U_{eff} entspricht mathematisch der Wurzel aus dem Mittelwert über das Quadrat der Spannungs- bzw. Stromfunktion während einer ganzen Zahl von Perioden. Der Effektivwert entspricht jener Gleichspannung, bei der dieselbe Leistung an einen ohmschen Verbraucher übertragen wird.

Spitzenwert

Der Spitzenwert U_s wird bei Wechselspannung Scheitelwert \hat{u} und bei sinusförmigem Verlauf Amplitude genannt. Dies ist die unabhängig von der Polarität höchste erreichbare Spannungshöhe.

Spitze-Spitze-Spannung

Dieser Spitze-Tal-Wert U_{ss} ist die Differenz zwischen dem positiven und negativen Spitzenwert der Spannungsfunktion. Bei der sinusförmigen Spannung ist sie das Doppelte der Amplitude.

Scheitelfaktor (crest factor)

Der Scheitelfaktor (engl. crest factor) ist das Verhältnis des Spitzenwertes zum Effektivwert. Mit diesem Faktor kann man die beiden Größen Effektivwert und Spitzenwert umrechnen. Beispielsweise liegt der Scheitelfaktor einer sinusförmigen Wechselspannung bei 1,414 (exakt $\sqrt{2}$). Dies gilt jedoch nur für periodische und genau definierte Spannungsverläufe, bei beliebigen Spannungsverläufen (Messwerte, Rauschen usw.) macht der Scheitelfaktor nur statistische Aussagen über eine verlangte Amplitudenwahrscheinlichkeit (z. B. bei Rauschen mit einer Gauß-Verteilung).





Frequenz

Die Frequenz gibt die Anzahl der periodisch auftretenden Schwingungen an, bezogen auf die Zeit, in der sie gezählt werden. Prinzipiell ist jede Frequenz $f > 0$ möglich. (Wir werden später sehen, dass unter bestimmten Umständen auch die Definition einer negativen Frequenz Sinn macht.) Bei theoretischen Behandlungen insbesondere sinusförmiger Schwingungen wird auch mit der Kreisfrequenz $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ gerechnet.

Was sind Funktionsgeneratoren?

Funktionsgeneratoren sind elektronische Apparate, die primär der Erzeugung periodischer Wechselspannungen mit geringen Amplituden bis etwa 10V_{eff} und geringen Belastbarkeiten bis etwa 100mA_{eff} dienen. Sie können entweder voll analog arbeiten, indem durch periodische Auf- und Entladung eines Kondensators eine Dreiecksspannung gewonnen wird, die in weiteren Funktionsstufen in die gewünschte Form gebracht wird, oder die Funktion wird digital punktweise aus einem Speicher ausgelesen und in analoge Form gebracht. In beiden Fällen folgt darauf ein Verstärker, der die intern erzeugte Wechselspannung auf die gewünschte Amplitude bei entsprechender Belastbarkeit bringt.

Nenne die vier wichtigsten Kurvenformen (Funktionen), die ein Funktionsgenerator erzeugen kann auf Deutsch und Englisch. Skizziere die Form der Funktionen.

Sinus		SIN	Sine, Sinewave
Dreieck		TRI	Triangle
Rechteck		SQU	Squarewave
Sägezahn		RMP	Ramp

Was sind Koaxialkabel? Wozu werden sie verwendet?

Koaxialkabel, kurz Koaxkabel, sind zweipolige Kabel mit konzentrischem Aufbau. Sie bestehen aus einem Innenleiter (auch Seele genannt), der in konstantem Abstand von einem hohlzylindrischen Außenleiter umgeben ist. Der Außenleiter schirmt den Innenleiter vor Störstrahlung ab.

Koaxialkabel sind in der Technik weit verbreitet, vor allem in der Audiotechnik und als Verbindung für hochfrequente Signalspannungen. Spezialtypen sind als Verbindungskabel für

Hochspannung ausgelegt. Sie schützen vor allem die Umgebung vor den Auswirkungen der Influenz.

Beschreibe das mechanische Äquivalent des Wellenwiderstandes

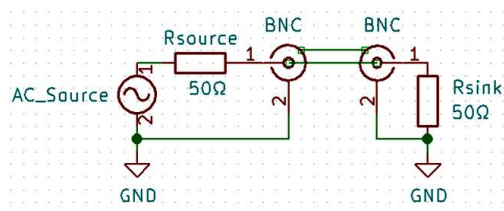
Das mechanische Äquivalent des Wellenwiderstandes ist die Weichheit: Um einen Kraftstoß oder eine mechanische Welle zu übertragen, kann man beispielsweise einen Metallstab, eine harte Feder, eine weiche Feder, ein Gummiband oder einen Wollfaden verwenden. In dieser Reihenfolge sinkt die Steifigkeit des Übertragungssystems und der Wellenwiderstand steigt. Je höher der Wellenwiderstand, umso weniger Leistung lässt sich übertragen, aber umso geringer sind die Probleme mit reflektierten Stößen oder Wellen. Auch dazu das mechanische Äquivalent: Wenn Du mit einem stabilen Knüppel kräftig gegen eine feste Oberfläche schlägst, besteht eine große Gefahr, dass Du Dich dabei selbst verletzt. Wenn Du diesen Versuch mit einem Wollfaden ausführst, wird Dir kaum etwas geschehen.

Unter welcher Voraussetzung kommt es auf einem Signalweg zu Brechung oder Reflexion? Gib ein aus dem Alltag bekanntes Beispiel.

Immer dort, wo sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit auf einem Signalweg ändert, kommt es zu Brechung oder Reflexion.

Bekannte Erscheinung der geometrischen Optik: Wenn Lichtstrahlen die Grenzfläche zwischen Luft und Wasser durchdringen, werden sie abgelenkt.

Wie wird eine Übertragungsstrecke korrekt so ausgeführt, dass es zu keiner Reflexion kommt? Welchen Nebeneffekt musst Du bei der Messung der Spannungen berücksichtigen?



Senderseitig (source) liegt der Quellenwiderstand in Serie zwischen Ausgangsanschluss der Spannungsquelle und dem BNC - Anschluss. Empfängerseitig (sink) liegt der Abschlusswiderstand unmittelbar zwischen Signalanschluss und Masse des BNC - Anschlusses. Die beiden BNC - Anschlüsse werden mit einem

Koaxialkabel mit in diesem Fall 50Ω Wellenwiderstand verbunden.

Die beiden Widerstände R_{source} und R_{sink} bilden zusammen einen Spannungsteiler. Die Spannung an R_{sink} ist daher maximal (ein ideales Koaxialkabel vorausgesetzt) halb so groß wie die Ausgangsspannung der Quelle!

Ein guter Funktionsgenerator ist in der Betriebsart „ 50Ω “ geschaltet, die gewählte Amplitude beträgt laut Display $10V_{ss}$. Aufgrund der niedrigen Frequenz verzichtest Du auf einen Abschlusswiderstand auf der Seite des Empfängers. Welche Ausgangsspannung erwartest Du in der Realität.

$20V_{ss}$. Da der Funktionsgenerator aufgrund der gewählten Betriebsart erwartet, dass die Leitung korrekt terminiert ist, erhöht er die Ausgangsspannung auf den Wert, dass sich bei Terminierung die gewählte Spannung ergibt.

Du überträgst ein Rechtecksignal mit 500MHz Grundfrequenz über ein 5m langes Koaxialkabel. Du bist zu faul, korrekt zu terminieren. Nenne die beiden Konsequenzen, die Deine Faulheit haben wird oder haben kann.

1) Es kommt mit Sicherheit zu massiven Leitungsreflexionen. Die reflektierten Impulse überlagern sich mit den ausgesendeten. Das Signal wird völlig unkenntlich.

2) Je nach Konstruktion des Senders kann dieser beschädigt werden.

Nenne die drei Standardwerte der Wellenwiderstände und ihren jeweiligen Einsatzbereich:

Koaxiale Labormessleitungen besitzen üblicherweise einen Wellenwiderstand von 50Ω .

Koaxiale Fernsehantennen- oder Kabelfernsehleitungen haben einen Wellenwiderstand von 75Ω .

Bei älteren Rundfunkempfangssystemen gibt es noch Zweidrahtleitungen als Antennenleitungen mit einem Wellenwiderstand von 240Ω .

Nenne die drei wichtigsten Bedienungselemente eines Oszilloskops für die Vertikalachse.

Für jeden Kanal gibt es einen Wahlschalter zur Festlegung der elektrischen Kopplung zwischen Eingangsbuchse und Eingangsverstärker. Er ist üblicherweise mit AC / GND / DC beschriftet.

- AC bedeutet, dass nur der Wechselspannungsanteil der Signalspannung zur Verstärkung und Anzeige gelangt. Der Gleichspannungsanteil wird abgetrennt. Das ist dann sehr sinnvoll, wenn einer hohen Gleichspannung eine minimale Wechselspannung überlagert ist, die man untersuchen möchte. Achtung: Sehr niederfrequente Signalanteile ($< 30\text{Hz}$) werden dabei differenziert! Das ergibt seltsame und auf den ersten Blick unverständliche Verzerrungen!
- GND bedeutet, dass der Eingang des Verstärkers an Masse liegt und die Signalspannung nicht beachtet wird. Das ist für Einstellzwecke hilfreich.
- DC bedeutet, dass die Signalspannung so verstärkt und angezeigt wird wie sie ist.

Für jeden Kanal gibt es einen Wahlschalter und ein Potentiometer zur Festlegung des Verstärkungsfaktors V/DIV. Die Verwendung des Potentiometers sollte mit Bedacht geschehen, da es logischerweise das fixe Verhältnis der Spannung zu den DIVs zerstört. Anfänger lassen das Potentiometer immer am rechten Anschlag stehen! Bei Digitalgeräten heißt diese Funktion meist Grob / Fein oder ähnlich. Wie so oft müsst Ihr hier ein wenig Phantasie zeigen.

Für jeden Kanal gibt es ein Potentiometer VPOS zur Festlegung der vertikalen Position der 0V – Spannung. Das ist einerseits wichtig, wenn man mehrere Spannungen gleichzeitig anzeigen möchte, und auch wenn der Signalspannung eine gewisse Gleichspannung überlagert ist, die man aber nicht abtrennen möchte.

Nenne die sechs wichtigsten Bedienungselemente eines Oszilloskops für die Horizontalachse.

Wahlschalter TIME/DIV: Das zentrale Bedienungselement der X – Achse! Hiermit wird die Geschwindigkeit der Zeitablenkung in einem weiten Bereich gewählt. Achtung: Die Zeitangabe bezieht sich immer auf 1 DIV – die gesamte dargestellte Zeit ist daher das 10fache – oder wie viele DIVs Euer Bildschirm gerade hat!

Potentiometer X POS: Dieses Bedienungselement ist nicht auf allen Geräten vorhanden. Damit wird die Position der X – Linie gegenüber dem Bildschirm verstellt. Das ist üblicherweise nur dafür gut, damit der Strahl mittig steht, manchmal ist das auch für Messaufgaben hilfreich.

Mit dem Wahlschalter Trigger Source wird die Signalquelle bestimmt, auf die das angezeigte Signal zeitlich bezogen wird. Üblich sind die 1 bis 4 Kanäle, EXT und Line. Line bedeutet, dass die Netzspannung als Bezug verwendet wird. Das ist bei Arbeiten an Netzgeräten oft sehr angenehm!

Mit dem Wahlschalter Trigup/down wird bestimmt, ob der zeitliche Bezugspunkt der Signaldarstellung von der steigenden oder fallenden Flanke des gewählten Trigger Source Signals abgeleitet wird.

Mit dem Potentiometer Trig Level wird bestimmt, auf welchen Spannungswert der zeitliche Bezugspunkt der Signaldarstellung gelegt wird.

Wichtig ist der Wahlschalter der Horizontalfunktion. Die Grundfunktionen heißen AUTO / NORM / SINGLE. AUTO bedeutet, dass immer ein Strahl generiert wird, egal ob eine Triggerung stattfindet oder nicht. NORM bedeutet, dass nur dann ein Strahl generiert wird, wenn eine Triggerung stattgefunden hat. Und SINGLE bedeutet, dass genau einmal ein Strahl generiert wird, sobald eine Triggerung stattgefunden hat. Der Anfänger wählt immer AUTO!

Du hast ein Signal an den Eingang des Oszilloskops angelegt, die korrekte Position und Auslenkung gewählt. Es wird keine Linie gezeichnet. Was könnte falsch sein? Wie kannst Du dieses Problem auf einfache Weise beheben? Hinweis: Das Gerät ist technisch in Ordnung.

Der häufigste Grund ist, dass der Wahlschalter der Horizontalfunktion in Stellung NORM geschaltet ist und keine Triggerbedingung vorliegt. Dann wird auch kein Strahl generiert. Zur Abhilfe auf AUTO schalten.

Bewerte folgende Aussage:

Das Nyquist-Shannon-Abtasttheorem lautet: Eine Funktion, deren Periodendauer τ ist, kann durch eine beliebige Reihe von Funktionswerten im Abstand 2τ eindeutig bestimmt und damit rekonstruiert werden.

Das ist Blödsinn. Gegenbeispiel: Immer an den Nullstellen abtasten und schon ist das Signal unwiderruflich zerstört.

Du misst eine unbekannte sinusförmige Spannung. Du hast auf's Geratewohl die Ablenkzeit 10ms/DIV gewählt. Das Schirmbild zeigt eine sinusförmige Spannung. Leider läuft das Bild trotz korrekt eingestellter Triggerfunktion durch. Was schließt Du daraus? Was tust Du zur Abklärung?

Ganz offensichtlich handelt es sich um Aliasing. Zur Abklärung die Ablenkzeit Stufe für Stufe erhöhen. Zuerst verflacht das Bild zu einer nahezu horizontalen Linie, dann wird auf einmal der Bildschirm hell wegen der kaum mehr aufzulösenden Flanken. Einige Stufen weiter ergibt sich dann ein korrektes Bild. Im Zweifelsfall immer von der höchsten Ablenkgeschwindigkeit zurückschalten und nicht von der niedrigsten hinauf!

Du möchtest ein Signal mittels Tastkopf messen. Welche Tätigkeit sollte bei Verwendung eines Tastkopfes vor jeder Messung erfolgen, wenn nicht sicher gestellt ist, dass er korrekt arbeitet?

Vor jeder Verwendung eines Tastkopfes ist dieser individuell zu justieren! Dazu ist er an den Referenz Ausgang des Oszilloskops anzuschließen und das Schirmbild mittels der Stellschraube am Tastkopf oder am Anschlussgehäuse auf ein möglichst korrektes Rechtecksignal abzugleichen.

Beschreibe die Methode der Messung des Spitze – Spitze – Wertes mit dem Oszilloskop gemäß Bild. Die Vertikalablenkung beträgt 1V/DIV .

Die Signalthöhe beträgt 6 DIV, daher 6 Vss.

Beschreibe die Methode der Periodenzeitmessung mit dem Oszilloskop gemäß Bild. Die Horizontalablenkung beträgt 1ms/DIV .

Die Periodendauer beträgt 6 DIV, daher 6 ms.

