

Praktikum G1: Messtechnik

Teil 9: Messungen Nachrichtentechnischer Signale

Dieser Praktikumsversuch soll Sie mit dem Digitaloszilloskop vertraut machen. Zudem lernen sie die Charakteristiken nachrichtentechnischer Signale kennen.

- **Lesen Sie Kapitel 1,2,3 und 4 dieser Anleitung vor dem Versuch durch!**
- **Führen Sie die Sicherheitsunterweisung vor dem Versuch durch.**
- **Füllen Sie das von Ihnen ausgedruckte Arbeitsblatt (findet sich in Kopie in Kap. 4) vor dem Versuch aus und bringen Sie es mit!**
- **Bringen Sie diese gesamte Versuchsanleitung (vorzugsweise in elektronischer Form!) mit.**
- **Zur Anfertigung Ihrer Ausarbeitung erhalten Sie vorbereitete Auswertungsblätter. Bis auf das vorher auszufüllende Arbeitsblatt müssen Sie also nichts ausdrucken.**

1 Grundlagen

Ein Oszilloskop zeigt den zeitlichen Verlauf von Spannungen. Multimeter zeigen Spannungen oder Ströme zu einem nicht genau bestimmbar Moment oder nehmen eine Mittelung vor.

Der entscheidende Informationsgewinn beim Oszilloskop ist daher die Kenntnis über den genauen zeitlichen Verlauf der zu messenden Spannung. Dazu dient die X-Achse als Zeitachse und die Y-Achse zur Darstellung des Spannungswertes. Da die meisten Oszilloskope mehrere Signale gleichzeitig verfolgen und darstellen können („Mehrkanaloszilloskop“), sind sogar die zeitlichen Zusammenhänge zwischen mehreren Signalen sichtbar.

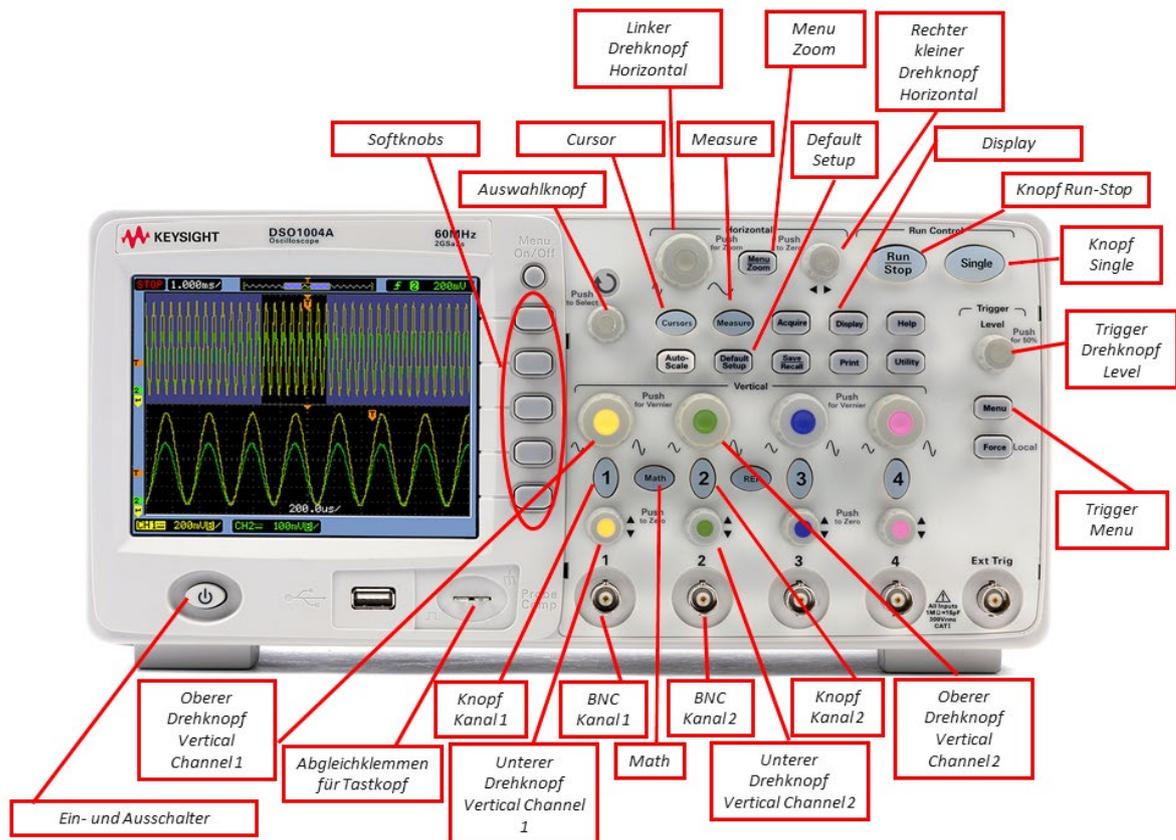


Abbildung des in diesem Versuch verwendeten Digitaloszilloskops mit den im Versuch benutzten Bedienelementen

1.1 Digitale und analoge Oszilloskope

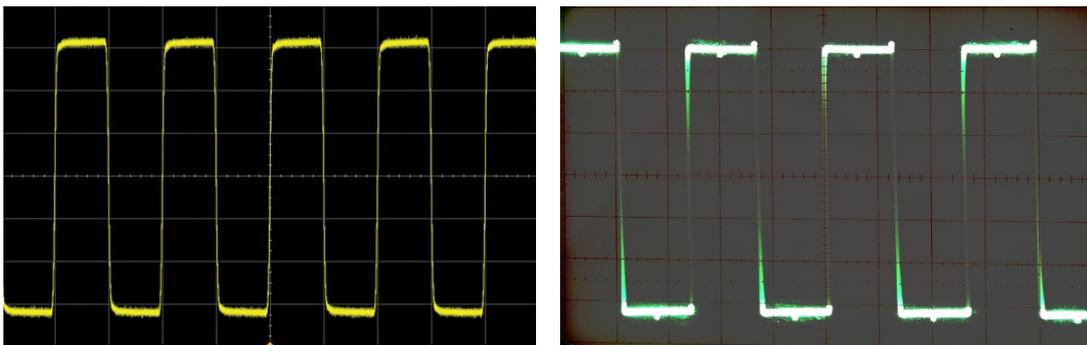
Heutzutage werden fast ausschließlich digitale Oszilloskope verwendet. Man übernahm viele Bezeichnungen aus der analogen Ära. Da die zweidimensionale Darstellung bei analogen Oszilloskopen durch die Ablenkung eines Elektronenstrahls innerhalb einer Bildröhre erfolgte, spricht man oft von X- oder Horizontalablenkung (engl. Deflection) bzw. Y- oder Vertikalablenkung.

Der entscheidende Unterschied zwischen einem normalen analogen Oszilloskop und einem digitalen Oszilloskop ist, dass mit analogen Oszilloskopen im Wesentlichen nur periodische Signale dargestellt werden konnten. Der Grund war, dass ein einzelner Zeitverlauf nicht genügend Helligkeit auf dem Bildschirm erzeugte. Nur das periodische Schreiben ergab in Summe ein erkennbares Bild. Digitale Oszilloskope besitzen AD-Wandler für die Eingangssignale und können daher einzelne Zeitverläufe aufnehmen und beliebig lange darstellen. Da die Zeitverläufe in einem üblicherweise großen Speicher abgelegt werden, besteht die Möglichkeit, sich Details eines längeren Zeitverlaufes durch eine zeitliche Zoom-Funktion detailliert zu betrachten.

Falls das Signal in digitaler Form vorliegt, können damit weitere Messungen erfolgen. Digitale Oszilloskope besitzen Möglichkeiten zur Anzeige von Kenngrößen der Eingangsspannung wie Spitzenwerte, genau berechnete Effektivwerte, Anstiegsgeschwindigkeiten, Frequenzen, Tastverhältnisse oder Zeitunterschiede zwischen zwei Punkten im Zeitverlauf. Dazu können zusätzliche Hilfslinien (eng. Cursor) eingeblendet werden, welche dann Spannung bzw. Spannungsdifferenzen oder Zeitpunkte bzw. Zeitspannen nach Platzierung auf dem Bildschirm darstellen. Üblich ist auch die Option der Anzeige einer

Fourier-Transformation des Eingangssignales, mit welcher die Frequenzkomponenten des Signals berechnet wird, um sich einen Überblick über die spektrale Zusammensetzung des Signals zu verschaffen. Ebenso ist eine Mittelung zur Rauschunterdrückung verfügbar. Darüber hinaus ist die in den Oszilloskopen verbaute PC-ähnliche Hardware mit der notwendigen Konnektivität ausgestattet. So kann man die Messgeräte über PCs fernsteuern, Messdaten auslesen oder Screenshots speichern. Es können einmal gewählte Einstellungen in einem Setup-Speicher abgelegt werden, so dass sie beim Wechsel der Messaufgabe sofort zur Verfügung stehen.

Bei einem analogen Oszilloskop war bei periodischen Signalen mit überlagerten Variationen (z.B. Rauschen) eine Aufweitung des Spannungsverlaufes in Y-Richtung erkennbar. Geübte Bediener können so schnell einen Überblick z.B. über die Größe der Variation abschätzen. Diese Eigenschaft wird bei digitalen Oszilloskopen nachgeahmt. Man findet dazu Einstellungen wie die Nachleuchtdauer (engl. Persistence) die angibt, dass bei periodischem Schreiben der Bildschirm nach jeder Darstellung nicht komplett erneuert wird, sondern die Zeitverläufe der Vergangenheit langsam verbleichen. Da die Helligkeit eines analogen Oszilloskops mit der Geschwindigkeit des Schreibstrahls abnimmt, werden schnelle Signaländerungen dunkler dargestellt. Da auch dies von geübten Bedienern zur Einschätzung der Signalqualität (z.B. bei steilen Flanken in einer Logikschaltung) genutzt wird, wird auch dieser Effekt von manchen modernen digitalen Oszilloskopen nachgeahmt.



Bildschirme eines Digitaloszilloskops (links) und eines analogen Oszilloskops (rechts). Man beachte die von der Schreibgeschwindigkeit abhängige Helligkeit des analogen Gerätes sowie die Bildschirmraster auf beiden Geräten

1.2 Signalverarbeitung eines digitalen Oszilloskops

Viele Funktionen und Beschränkungen eines Oszilloskops erschließen sich durch die Betrachtung der Schritte in der Signalverarbeitung. Diese Signalverarbeitung ist im Wesentlichen bei allen digitalen Oszilloskopen ähnlich. Für ein spezifisches Oszilloskop sei dabei immer auf die jeweilige Bedienungsanweisung hingewiesen.

Zentraler Bestandteil eines Oszilloskops ist eine PC-ähnliche Hardware mit passender Betriebssoftware, die für die Bildschirmausgabe und die Konnektivität des Oszilloskops sorgt. Zusammen mit der Messhardware realisiert eine Applikation (Oszilloskop-Software) alle Funktionen.

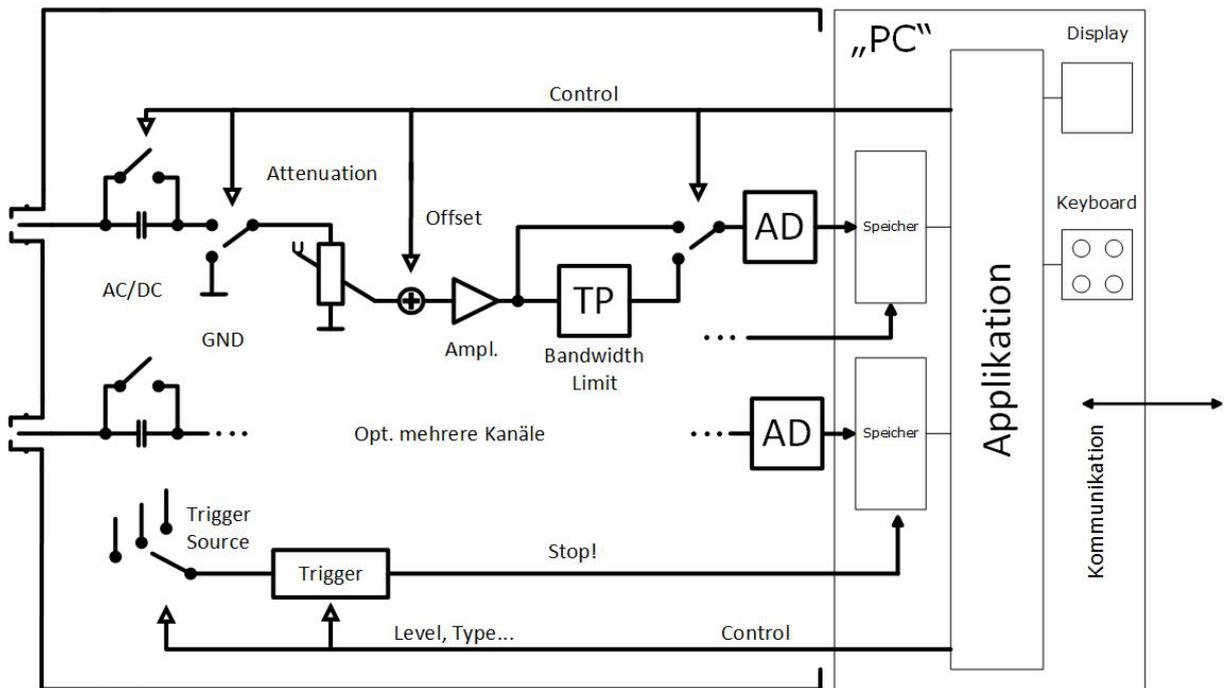
1.2.1 Messhardware

Die zum Teil analoge Messhardware hat folgende Teilaufgaben:

- Tastkopf-Erkennung: Neben den BNC-Signalanschlüssen (BNC ist eine genormte Bajonett-Steckverbindung) finden sich oft kleine Kontakte, über die das Oszilloskop gegebenenfalls die Eigenschaften des Tastkopfes auslesen kann. Eine wichtige Eigenschaft des Tastkopfes ist die Spannungsreduktion. Ein 10:1-

Tastkopf liefert nur 1/10 der wirklichen Spannung am Oszilloskop ab. Sofern das Oszilloskop dies erkennt, wird dies von der Software des Oszilloskops automatisch korrigiert. Ansonsten kann man dies dem Oszilloskop durch Eingabe der Tastkopfeigenschaften mitteilen.

- Sind mehrere Kanäle vorhanden, muss die Software die zu verwendeten Kanäle aktivieren.
- AC/DC-Schalter: Optionale Abtrennung eines großen überlagerten, aber nicht interessierenden DC-Anteils im Messsignal. Damit kann der zeitveränderliche Signalanteil in den Aussteuerbereich der AD-Wandler gebracht werden.
- GND-Schalter: Dieser Schalter legt 0 V an den Eingang. Damit kann identifiziert werden, auf welcher vertikalen Position die 0 V-Line des Signals auf dem Bildschirm geschrieben wird.
- DC-Offset/Position: Ein einstellbarer DC-Offset kann sowohl zur vertikalen Verschiebung auf dem Schirm als auch zur Verschiebung des Signals in den Aussteuerbereich der Wandler genutzt werden. Dieses Element ist nicht in jedem Fall vorhanden. Viele Oszilloskope führen als Ersatz eine reine Verschiebung per Software (Y-Position, s.u.) durch.
- Ein einstellbarer Abschwächer verkleinert das Eingangssignal, damit es in den Aussteuerbereich der AD-Wandler passt. Die Oszilloskop-Software kennt diesen Faktor und passt die Bildschirmdarstellung so an, dass immer der korrekte Spannungswert angezeigt wird. Dies erfolgt durch die Wahl der Spannung, die dem vertikalen Abstand zweier Markierungen des Bildschirmrasters entspricht (engl. Division). Wählt man beispielsweise 2 V/div (oft abgekürzt „2 V/“), so hat eine Spannung von 3 V eine Höhe von 1,5 Rasterlinien bzw. 1,5 Divisions.
- Das auf einen Standard-Pegel abgeschwächte Signal wird verstärkt und auf den Aussteuerbereich der AD-Wandler gebracht.
- Vor den Wandlern findet sich meist ein Tiefpass, der mit „Bandwidth Limit“ bezeichnet wird. Mit diesem können hochfrequente Stör- und Rauschsignale, die gar nicht gemessen werden sollen, im Signal verkleinert werden.
- Die AD-Wandler digitalisieren mit einer von der Oszilloskop-Software programmierten Abtastfrequenz. Die Daten werden in den Speicher transportiert.
- Das Einschreiben in den Speicher wird von der Triggerschaltung zu dem gewünschten Zeitpunkt gestoppt, so dass der Signalausschnitt zur Darstellung vorbereitet werden kann. Falls noch keine Triggerbedingung erfüllt ist, wird somit kontinuierlich das Signal aufgezeichnet. Ist die Triggerbedingung erfüllt, wird das Einschreiben derart gestoppt, dass sich sowohl die Zeitpunkte vor als auch nach dem Triggerzeitpunkt im Speicher befinden. Ein analoges Oszilloskop kann ohne weitere Hilfsmittel nur den Signalverlauf nach dem Triggerzeitpunkt darstellen. Eine ausführlichere Beschreibung der Triggerschaltung findet sich weiter unten.



Übersicht der Signalverarbeitung in einem Digitaloszilloskop

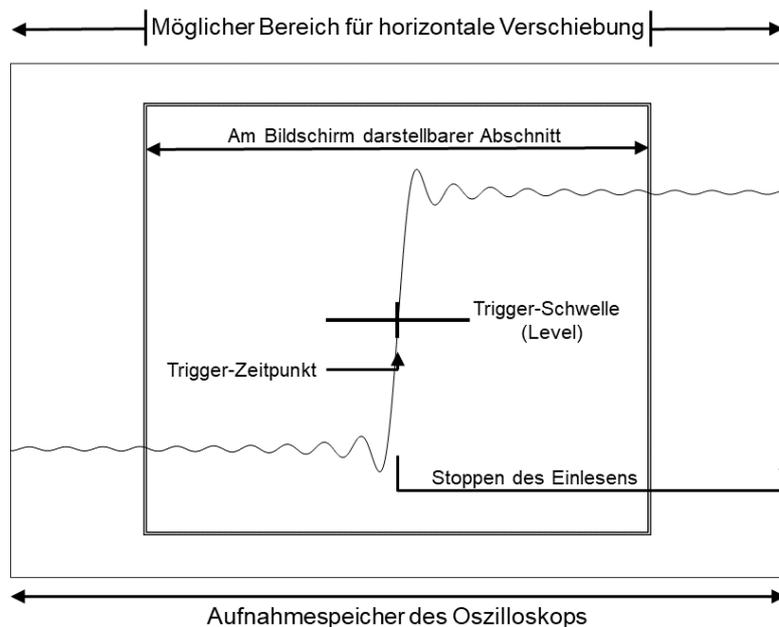
1.2.2 Applikation

- Die Applikation übernimmt folgende Funktionen:
 - Umsetzen aller Eingaben im User Interface und auf den Tasten/Drehreglern in entsprechende Steuer-Befehle auf dem Kontrollbus, so dass die analoge und digitale Signalverarbeitung dadurch gesteuert wird. Dies betrifft insbesondere die Steuerung der Zeitablenkung und der Triggerschaltung.
 - Vorbereitung der eingelesenen Zeitverläufe
 - Darstellung der eingelesenen Zeitverläufe auf dem Bildschirm
 - Messungen im angezeigten Signal
- Steuerung der Zeitablenkung
 - Der Benutzer gibt bei der „Horizontal-Ablenkung“ die Breite des darzustellenden Zeitbereiches vor. Dies erfolgt durch die Wahl der Zeitdauer, die dem horizontalen Abstand zweier Markierungen des Bildschirmrasters entspricht. Wenn also der Benutzer 5 ms/div vorgibt, und der Bildschirm 10 Abteilungen „div“ breit ist, ist der gesamte dargestellte Zeitausschnitt 50 ms lang. Jedes Oszilloskop blendet diese Zahl im Schirmbild ein.
 - Von besonderem Interesse ist dabei die Wahl der Abtastfrequenz. Diese Wahl erfolgt durch das Gerät derart, dass diese zunächst tendenziell so hoch wie möglich ist. Die Abtastfrequenz ist aber durch die verwendeten AD-Wandler, die darzustellende Zeitdauer und die Speichergröße des Oszilloskops begrenzt. Würde man das obige Beispiel zu Grunde legen, und das Oszilloskop hätte 10000 Speicherplätze für Abtastwerte, so wäre die maximale Abtastfrequenz $10000 / 50 \text{ ms} = 200 \text{ KHz}$, obwohl das Oszilloskop laut Datenblatt eine deutlich höhere Abtastrate bereitstellen könnte. Wählt man also lange Zeitbereiche, so wählt das Oszilloskop kleine Abtastfrequenzen, die zu Aliasfehlern führen können. Diese Aliasfehler sind eine Verzerrung des Signals, durch die Frequenzkomponenten entstehen,

die im analogen Signal nicht vorhanden sind. Daher blenden die meisten Oszilloskope auch die aktuell gewählte Abtastfrequenz zur Kontrolle auf dem Bildschirm ein. Das Abtasttheorem besagt vereinfacht dargestellt, dass die Abtastfrequenz größer sein muss als das Doppelte der höchsten Frequenz im analysierten Signal.

- Steuerung der Triggerschaltung
 - Bei periodischen Signalen oder Signalen mit periodischen Anteilen wird die Triggerschaltung so eingestellt, dass das periodische Signal jedes Mal möglichst genau an derselben Stelle auf dem Bildschirm dargestellt wird. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, dies zu realisieren. Üblicherweise ist der Triggerzeitpunkt der Durchgang der Eingangsspannung in vorgegebener Richtung (engl. Slope) durch einen vorgegebenen Spannungswert (engl. Trigger Level). Wählt man beispielsweise 0 V und „aufsteigende Flanke“ (engl. Rising Edge), so wird eine harmonische Schwingung ab dem Triggerzeitpunkt als Sinusfunktion auf dem Bildschirm dargestellt, beginnend mit dem Nulldurchgang von der negativen zur positiven Halbwelle. Neben der steigenden Flanke kann alternativ die fallende Flanke gewählt werden.
 - Moderne Oszilloskope bieten darüber hinaus zahlreiche weitere Triggermuster an. So können Impulsfolgen oder gar vordefinierte Datenmuster zum Triggern verwendet werden. Grundsätzlich kann man bei Mehrkanaloszilloskopen einen bestimmten Eingangskanal vorgeben, der das Triggern auslöst. Ebenso steht ein zusätzlicher Trigger-Eingang zur Verfügung, der aber nicht angezeigt werden kann. Des Weiteren kann man üblicherweise auf die Netzfrequenz triggern.
 - Bei periodischen Signalen lässt man das Signal üblicherweise periodisch triggern und erhält so fortlaufend neue Anzeigen auf dem Bildschirm. Will man eine Messung genauer betrachten, kann man dies durch einen oft mit „Run/Stop“ bezeichneten Taster anhalten bzw. weiterführen.
 - Findet das Oszilloskop nach längerer Zeit keine Triggerbedingung, so startet es von sich aus das Triggern („Auto-Trigger“), um dem Benutzer wenigstens irgendein Zeitsignal zu präsentieren.
 - Dieser „Auto-Trigger“ wird bei nicht periodischen Signalen oder Signalen mit seltenen Ereignissen oft abgestellt. Stellen Sie sich vor, Sie suchen ein seltenes Störereignis. Dazu warten Sie, bzw. das Oszilloskop beispielsweise auf eine steigende Flanke. Nach einigen Sekunden schaltet das Oszilloskop in den Auto-Trigger, so dass Sie das interessierende Ereignis (die Flanke) gar nicht sehen könnten.
Bei ausgeschaltetem Auto-Trigger wartet das Oszilloskop so lange, bis das Triggerereignis auch eintritt.
 - Bei nicht periodischen Signalen wird häufig darauf verzichtet, die Messung automatisch zu wiederholen. Dazu wird mit „Run/Stop“ angehalten und mit „Single“ ein einzelner Messvorgang angefordert.
 - Erst nachdem das Einschreiben in den Speicher gestoppt wurde und der Inhalt von der Applikation ausgelesen ist, kann ein neuer Triggervorgang erfolgen. Da in den meisten Oszilloskopen aber eine Verzögerung auftritt, bevor ein neuer Einschreibevorgang gestartet werden kann, ist nicht garantiert, dass jeder Zeitverlauf auch aufgezeichnet wird, der die Triggerbedingung erfüllt!

- Vorverarbeitung
 - Bei der Vorbereitung der Signalverläufe kann eine vertikale Verschiebung (Y-Position) gewählt werden.
 - Oft finden sich im Eingangssignal Störkomponenten, die sich in einem nicht interessierenden Frequenzbereich befinden. Diese können durch digitale, einstellbare Tiefpass- oder Bandpassfilter gegebenenfalls unterdrückt werden.
 - Eine horizontale Verschiebung erfolgt durch Auswahl der Triggerposition des als Referenzzeitpunkts dienenden Triggerzeitpunkts (X-Position oder „Delay“). Dazu wird entsprechend weiter vorne oder hinten in den Speicher zugegriffen. Damit dies funktioniert, wird immer nur maximal die Hälfte des Signalausschnittes – also im Beispiel 5000 Werte – auf dem Bildschirmausschnitt dargestellt. Ist die Position des Triggerzeitpunktes links auf dem Bildschirm gewählt worden, wird nur die erste Hälfte des Speichers dargestellt, ist der Triggerzeitpunkt rechts, nur die zweite. Alle Oszilloskope zeigen den Triggerzeitpunkt zur Orientierung als Triggerposition auf dem Display an.



Triggerzeitpunkt und darstellbarer Zeitausschnitt

- Abtastrater und Pixelraster auf dem Bildschirm passen normalerweise nicht aufeinander, daher wird eine Um-Interpolation auf das Pixelraster des Bildschirms vorgenommen. Üblicherweise werden viele Abtastwerte auf einen Bildschirmpunkt verrechnet. Nehmen Sie an, dass der Bildschirm 1000 Bildpunkte breit wäre, dann würden in unserem Beispiel nach Um-Interpolation der 5000 zur Verfügung stehenden Werte auf einen Bildschirmpunkt $5000 / 1000 = 5$ Bildpunkte fallen. Im Zoom-Mode wird dieses Verhältnis reduziert, so dass im Extremfall nur noch ein Abtastwert auf einen Bildschirmpunkt fällt. Auf diese Weise kann man in zeitlicher Richtung detaillierter betrachten.
- Bei der Darstellung sind folgende Schritte üblich:

- Mittelung über mehrere Zeitverläufe zur Verringerung von Störungen (nur sinnvoll bei periodischen Signalen)
- Darstellung der Wertepaare (Zeit/Spannung) als Einzelpunkte (engl. Dots, oft unübersichtlich) oder durch Verbindungslinien (engl. Vectors). Bei „Vectors“ können die Verbindungslinien linear interpoliert oder durch Digitalfilter berechnet werden. Letzteres ist oft die geeignetere Darstellung.
- Die Helligkeit der geschriebenen Punkte auf dem Bildschirm kann die Darstellung auf einem analogen Oszilloskop nachahmen. Dies kann geschehen über:
 - Dunklere Darstellung sich vertikal schnell ändernder Zeitverläufe zur Visualisierung der Flankensteilheit.
 - Hellere oder farbig hervorgehobene Darstellung von Bildpunkten, die bei Signalen mit periodischen Anteilen häufig angenommen werden. Man erkennt so leicht die Breite von Schwankungen im Signal.
 - Zeitliches Abklingen der Helligkeit (engl. Persistence) um die Vergangenheit eines Signalverlaufes zu visualisieren. Dieses Abklingen kann ganz abgeschaltet werden. Ein einmal gesetzter Punkt bleibt also bestehen. Damit kann man bei Signalen erkennen, ob bestimmte Zeitlich/Spannungsmäßige Bereiche überhaupt erreicht bzw. nie erreicht werden.
- Als Sonderfall kann die Ablenkung der X-Achse von einem zweiten Eingangskanal übernommen werden (XY-Betrieb).

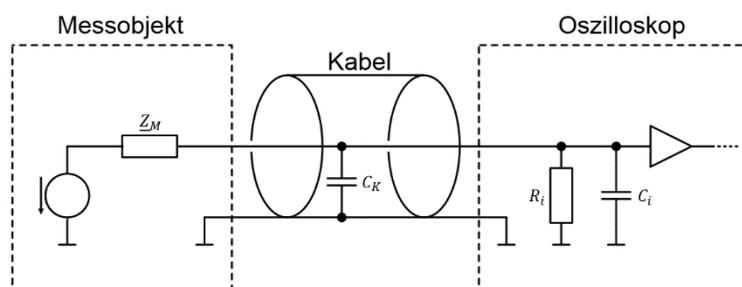
1.3 Messgenauigkeit und Fehlerquellen

- Die absolute Messgenauigkeit eines Oszilloskops hängt vom Typ und Hersteller und von der richtigen Bedienung ab. Als Erfahrungswert/Daumenregel kann man davon ausgehen, dass keine Messung besser als ca. 1% Genauigkeit der auf dem Bildschirm darstellbaren Maximalwerte aufweist. Für absolute Angaben zur Genauigkeit muss immer das Datenblatt des Gerätes betrachtet werden.
- Moderne digitale Oszilloskope sind komplexe Messgeräte, die von Zeit zu Zeit durch den Bediener/die Bedienerin in einen Zustand gebracht werden, der von ihm/ihr nicht mehr verstanden wird. Benutzen Sie in diesem Fall ein Default-Setup.
- Ein digitales Oszilloskop ist ein Abtastsystem. Es besteht immer die Gefahr, bei zu niedriger Abtastfrequenz (Verletzung des Abtasttheorems) falsche oder irreführende Zeitverläufe zu erhalten.
- Die analogen Komponenten des Oszilloskops haben eine limitierte Grenzfrequenz und/oder begrenzte Anstiegsgeschwindigkeit für Spannungsänderungen, die sie darstellen können. Dadurch werden die Zeitverläufe verschliffen. Die Grenzfrequenz ist in vielen Fällen keine harte Grenze, sondern der Frequenzgang fällt langsam ab. Die Grenzfrequenz ist daher keine sichere Vorfilterung, um Aliasfehler zu vermeiden. Ebenso kann man sich aufgrund der endlichen Bandbreite nicht darauf verlassen, dass Signalkomponenten oberhalb der spezifizierten Grenzfrequenz in richtiger Amplitude dargestellt werden.
- Die in manchen Oszilloskopen verbauten digitalen Filter können nur Störungen unterhalb der halben Abtastfrequenz unterdrücken. Sie haben keinen Einfluss auf das Entstehen von Alias.

- Die Grenzfrequenz des Oszilloskops bzw. die Bandbegrenzung vor den AD-Wandlern hat meist keine stark abfallende Filterfunktion. Beides ist daher keine sichere Methode, um Alias auszuschließen. Bei Verdacht auf Alias sollten Sie eine Messung mit höherer Abtastfrequenz zur Kontrolle durchführen.
- Die Verstärker des Oszilloskops rauschen, und der AD-Wandler hat eine begrenzte Anzahl von Stufen, die zu Quantisierungsrauschen führen. Dieses Rauschen überlagert die darzustellenden Zeitverläufe.
- Die analoge Vorverarbeitung führt dazu, dass die gemessenen Spannungswerte im Vergleich zu einem Multimeter mit größeren Fehlern beaufschlagt sind. Dies betrifft insbesondere den Gleichspannungsoffset. Gleichspannungen sollten Sie immer mit einem Multimeter kontrollieren.
- Bei Verwendung von Tastköpfen mit Teilverhältnis gelangt eine Spannung an das Oszilloskop, die um das Teilverhältnis des Tastkopfes kleiner ist. Man kann das Teilverhältnis im Oszilloskop eingeben, so dass alle Werte auf dem Bildschirm korrigiert und in der ursprünglichen Höhe angezeigt werden. Manche Tastköpfe haben kleine Zusatzkontakte, durch die dem Oszilloskop dieses Teilverhältnis automatisch mitgeteilt wird. Falls das nicht der Fall ist, besteht die Fehlermöglichkeit, dass das Teilverhältnis des Tastkopfes nicht mit dem im Oszilloskop eingetragenen Verhältnis übereinstimmt.

1.3.1 Fehler durch Belastung von Messobjekten

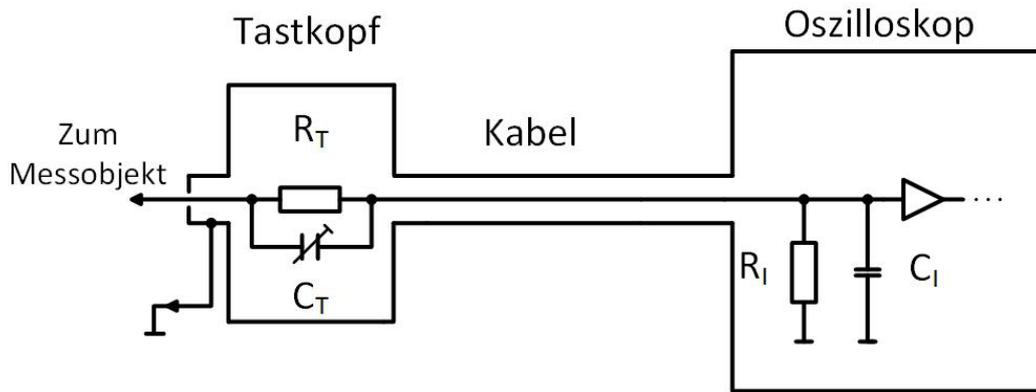
- Das Oszilloskop hat einen Eingangswiderstand R_i von typischerweise 1 M Ω . Damit werden Gleichspannungsquellen belastet.
- Der Eingang des Oszilloskops besitzt eine Eingangskapazität C_i . Werden Messkabel verwendet, so wirken diese bei üblichen Längen als weitere, zusätzliche Kapazität C_K . Diese Kapazitäten $C_i + C_K$ belasten das Messobjekt. Die Belastung des Messobjektes kann durch Tastköpfe mit einem Teilverhältnis oder durch Tastköpfe mit eingebauten Verstärkern verringert werden.



Belastung des Messobjektes durch Oszilloskopeingang und Kabelkapazität

1.4 Verwendung von Tastköpfen

In den meisten Fällen werden zur Messung in Schaltungen passive Tastköpfe verwendet. Tastköpfe sorgen für den Kontakt zum Messobjekt durch Abklemmen oder durch Messspitzen. Tastköpfe sollten dem Aufbau möglichst wenig weitere kapazitive Belastung hinzufügen. Es gibt Tastköpfe mit einem Teilverhältnis. Dies kann z.B. 10:1 oder seltener 100:1 betragen. Solche Tastköpfe können die Ohm'sche und kapazitive Belastung verringern.

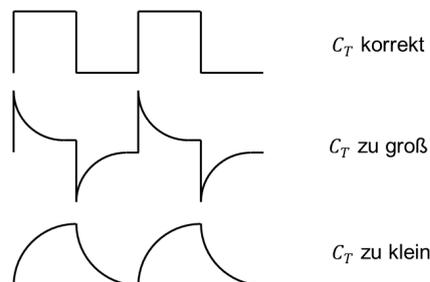


Interne Schaltung des Tastkopfs und Verbindung zum Oszilloskop; hier: C_T im Tastkopf

Bei einem allgemeinen 10:1 Tastkopf wird in diesem Fall beispielsweise:

- ein Widerstand R_T von $(10-1) \cdot 1 \text{ M}\Omega = 9 \text{ M}\Omega$ Widerstand eingeschleift, so dass der resultierende Eingangswiderstand $10 \text{ M}\Omega$ aufweist,
- ein Kondensator $C_T = (C_I + C_K) / (10-1)$ dem Teilerwiderstand R_T parallelgeschaltet,
- die Spannung am Oszilloskopeingang um den Faktor 10 verkleinert,
- die Ohm'sche Belastung des Messobjektes daher um den Faktor 10 verringert,
- die kapazitive Belastung des Messobjektes um den Faktor 10 verringert.

Insbesondere der letzte Punkt ist wichtig bei Schaltungen, die mit höheren Frequenzen arbeiten. Die genaue Größe von C_T ist dabei entscheidend für die korrekte Funktion. Nur bei richtiger Größe von C_T ist die volle Kompensation gegeben und es ergibt sich durch die beteiligten Bauelemente keine unerwünschte Veränderung des Frequenzgangs. Da der Tastkopf oftmals unabhängig vom Oszilloskop beschafft wird, muss jeder Tastkopf mit einem Teilerverhältnis an dem jeweiligen Oszilloskop abgeglichen werden. Dazu ist C_T als Trimmkondensator ausgeführt. Oszilloskope erzeugen für den Abgleich ein Rechtecksignal, dass für den Abgleich verwendet wird. Der beste Frequenzgang wird durch Optimierung der dargestellten Zeitfunktion auf ein möglichst ideales Rechteck erreicht. Viele Tastköpfe setzen im Griffstück einen festen Kondensator ein, um das Griffstück handlich zu halten. Dieser dann eigentlich zu groß gewählte Kondensator wird dann durch einen Trimmkondensator im BNC-Anschlussstück wieder ausgeglichen. Der Nachteil dieser Lösung ist die prinzipiell etwas höhere kapazitive Belastung des Messobjektes.



Abgleich des Trimmkondensators C_T

Der Trimmkondensator ist mechanisch empfindlich. Seien Sie vorsichtig und verwenden Sie nur vorgesehene Abgleichdreher. Auch die Messspitze des Tastkopfs bricht schnell ab. Stecken Sie die Spitze des Tastkopfes nie in eine Öffnung, sie bricht sofort ab! Der

im Versuch verwendete Tastkopf ist zwischen 1:1 und 10:1 umschaltbar. Im Modus 1:1 ist kein Abgleich vorgesehen, nur die 10:1-Position muss abgeglichen werden.

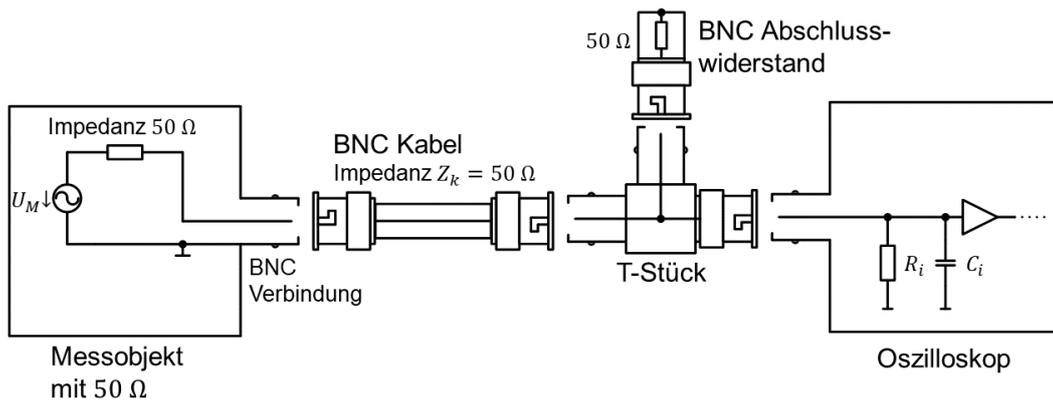


Im Versuch verwendeter Tastkopf mit Masseklemme und abgezogener Klemmvorrichtung für die Prüfspitze. Der Trimmkondensator befindet sich im BNC-Anschlussstück. Der 1:1/10:1-Umschalter ist der schwarze Schieber im Griffstück.

1.5 Verwendung von Messkabeln

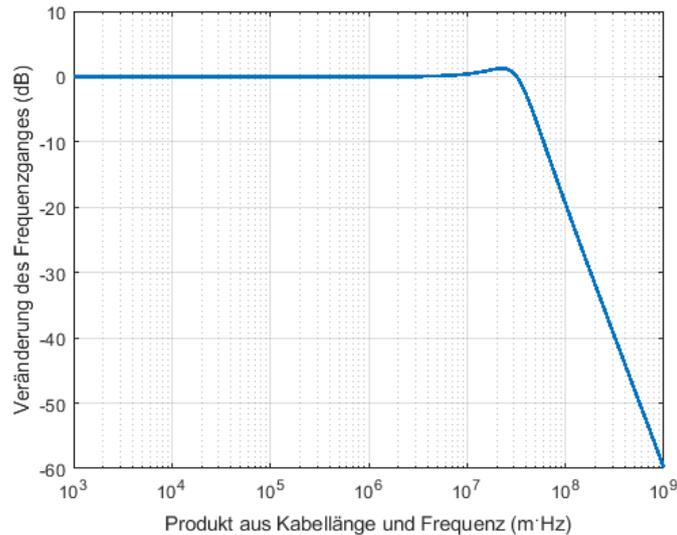
Bei Messungen an Ausgängen von Schaltungen mit definierter Ausgangsimpedanz sollte ein dazu passendes Kabel und ein Abschluss am Oszilloskop gewählt werden. Werden bei Messungen 50 Ω -Kabel verwendet, so können die üblichen BNC-Stecker direkt auf die Oszilloskop-Eingänge gesteckt werden. Dabei gibt es ebenfalls Möglichkeiten für Fehler:

- Manche Oszilloskope besitzen intern einen zuschaltbaren 50 Ω Widerstand für die Eingänge. Alternativ kann man direkt am Eingang über ein T-Stück einen 50 Ω Widerstand mit BNC-Stecker parallelschalten. In beiden Fällen muss berücksichtigt werden, dass das Messobjekt mit definierten 50 Ω belastet wird. Die gemessene Spannung sinkt entsprechend der Spannungsteiler-Regel. Bitte überprüfen Sie, ob die Spannungsangaben des Messobjektes im Datenblatt bei freilaufendem oder abgeschlossenem Leitungsende angegeben worden sind. Sind logarithmische Leistungsangaben am Messobjekt vorhanden („dBm“, „dBW“) so beziehen diese sich immer auf die am Ende des Kabels ankommende Leistung bei korrektem Abschluss.
- Vorsicht, es gibt Abschlusswiderstände und Kabel mit abweichenden Impedanzen (z.B. 75 Ω). Eine gemischte Kombination bringt wiederum eine nicht definierte Belastung des Messobjektes.



Korrekte Verwendung von Messkabeln mit 50 Ω Kabelimpedanz. Am Oszilloskop kann ein externer Abschluss mit einem T-Stück verwendet werden. Die gemessene Spannung entspricht damit $U_M/2$.

- Ist das Kabel am Oszilloskop nicht mit 50 Ω abgeschlossen, so wird aufgrund des hohen Eingangswiderstands das Signal ins Kabel zurück reflektiert. Wenn am anderen Ende des Kabels ebenfalls nicht genau mit 50 Ω abgeschlossen ist, wird das Signal mehrfach im Kabel reflektiert und es entstehen Echos des Signals. Die dabei entstehenden Messfehler sind nicht einfach darstellbar.
- Für Kabel, deren Länge deutlich kürzer ist als die Wellenlängen der höchsten zu betrachtenden Frequenz, lässt sich das Kabel durch seinen kapazitiven und induktiven Belag als konzentrierte Bauelemente grob modellieren. Für das übliche RG 58 Laborkabel sind die Beläge $L' \approx 250$ nH/m und $C' \approx 100$ pF/m. Die Induktivität $L = L' \cdot d$ ergibt sich aus Induktivitätsbelag L' und der Kabellänge d . Die Kapazität wird durch den Kapazitätsbelag über $C = C' \cdot d$ bestimmt und ist der entscheidende Faktor. Am Oszilloskopeingang wirkt das Kabel im Modell wie ein Spannungsteiler zwischen dem Quellwiderstand von 50 Ω und der Kabelinduktivität auf der einen Seite sowie der Kabelkapazität auf der anderen Seite. Der resultierende Betragsfrequenzgang für das RG 58 Kabel ist nachfolgend skizziert.



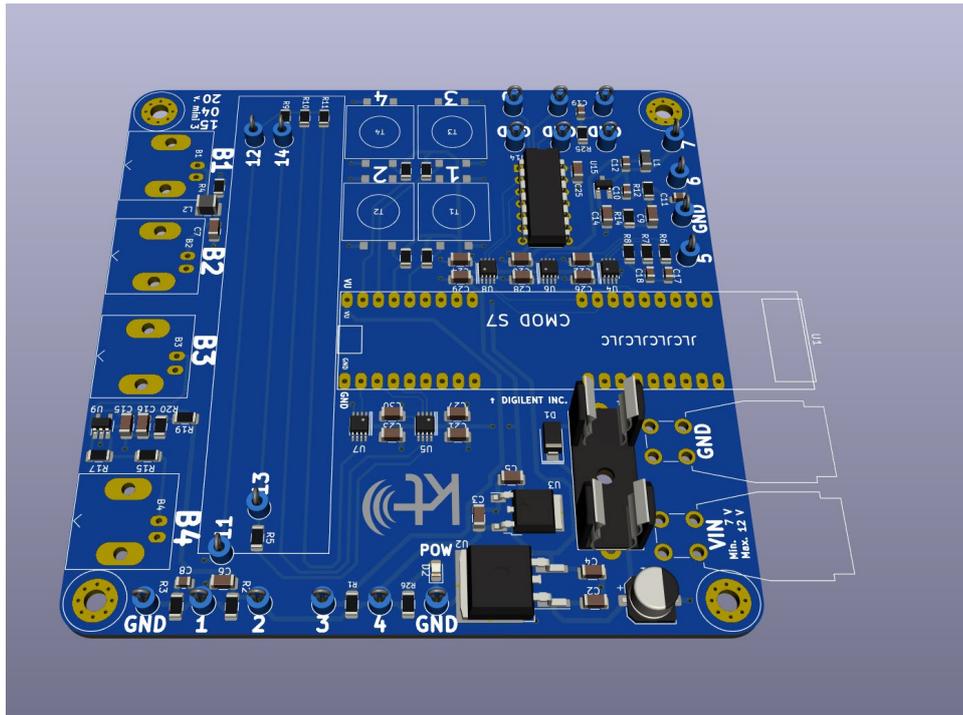
Veränderung des Frequenzganges bei einer 50Ω Signalquelle bei fehlendem Abschluss am Eingang des Oszilloskops abhängig vom Produkt aus Kabellänge und Frequenz. Berechnet für typisches RG 58 Messkabel. Gültig nur für Kabellängen, die deutlich kürzer als die Wellenlänge sind.

Bis zu einem Wert von 10^7 m·Hz für das Produkt aus Kabellänge und Frequenz beträgt der Fehler weniger als 1dB. In unserem Versuch verwenden Sie Kabellängen von ca. 50 cm, so dass wir davon ausgehen können, dass der Fehler unterhalb von 10^7 m·Hz / 0,5 m = 20 MHz weniger als 1 dB beträgt. Die vom Generator erzeugten Frequenzen sind unterhalb dieses Wertes, so dass die Messfehler begrenzt bleiben. Wir verzichten daher in diesem Versuch auf Abschlusswiderstände am Oszilloskop.

2 Verwendete Geräte

2.1 Experimentalplatine mit verschiedenen Messobjekten

Die Platine wird mit 10 V Gleichspannung aus dem Hameg-Netzteil versorgt. Die Platine beinhaltet Testschaltungen, die für einzelne Teile des Versuches verwendet werden:



Experimentalplatine (zur Übersicht ohne FPGA Board) mit Lage der Messpunkte (1,2,3 ...), GND-Anschlüssen und BNC-Verbindern (B1 ... B4)

2.2 Netzteil Rohde und Schwarz / Hameg

Dieses Netzteil dient zur Versorgung der Experimentalplatine. Stellen Sie das Netzteil auf eine Spannung von ca. 10 V ein und verbinden Sie es danach bei Bedarf mit der Platine. Das Einstellen von 10 V geschieht folgendermaßen:

- Rechte Ausgänge benutzen
- Spannung 10V, Strom auf Rechtsanschlag
- Output „On“

2.3 Agilent Funktionsgenerator 33522A

Der Funktionsgenerator wird verwendet, um entweder einfache, periodische Zeitsignale zu erzeugen, oder um komplexe Zeitsignale aus seinem eingebauten Speicher abspielen zu lassen. Sofern das Gerät in einem Versuchsteil verwendet wird, wird ein vorgegebenes Setup geladen. Ansonsten ist keine Bedienung nötig.

Nehmen Sie an, der Name das Setup ist „State113.sta“, dann gehen Sie folgendermaßen vor:

System \ Store/Recall \ Recall State \ Drehknopf oben rechts: State113.sta \ Select

2.4 Digitales Oszilloskop DSO1004A

Sie müssen während des Versuches das Oszilloskop selbstständig bedienen. Die Anleitung für das Oszilloskop findet sich hier:

<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/54130-97003.pdf>

Wir empfehlen, dass Sie sich die Anleitung vor der Versuchsdurchführung beschaffen.

2.5 Sonstiges

3 BNC-Kabel, BNC-T-Stück, Adapter BNC-Bananenstecker, 4 Kabel mit Bananenstecker zur Stromversorgung und zum Multimeter, Multimeter, 2 Tastköpfe 1:1 / 10:1 umschaltbar, Mehrfachsteckdose, 4 Netzkabel.

3 Hinweise für die Ausarbeitung

- Ist den nachfolgenden Abschnitten in der Ausarbeitung eine Zeichnung verlangt, so fertigen Sie diese in dem für die Skizze vorgesehen Bereich dieser Anleitung an. Es muss sich um eine von Ihnen erstellte **Handzeichnung** mit korrekter Beschriftung handeln, die alle wesentlichen Informationen (z.B. Achsenbeschriftung, Ablenkungseinstellungen, besondere Trigger-Modes etc.) beinhaltet. Screenshots oder Bildschirmfotos sind in der Ausarbeitung nicht zulässig. Sie können während des Versuches zur Beschleunigung der Dokumentation ein Bildschirmfoto z.B. mit dem Handy machen, in der Ausarbeitung ist jedoch nur eine Handzeichnung erlaubt.
- Notieren Sie Messwerte und beantworten Sie Fragen unmittelbar in den freien Stellen handschriftlich hinter dem jeweiligen Aufgabenpunkt.
- Felder mit durchgehenden Umrandungen müssen während des Praktikums ausgefüllt werden.
- Felder, die mit gestrichelten Umrandungen werden nicht während des Praktikums sondern in der Nachbereitung beantwortet!
- Sie brauchen keine Einleitung etc. zu schreiben. Halten Sie sich einfach an die Aufgabenstellung und geben Sie das Arbeitsblatt (Kap 4), sowie den ausgefüllten Teil 5 und 6 der Versuchsanleitung zusammengeheftet ab.
- Abgabe innerhalb von 14 Tagen am Briefkasten des Lehrstuhles (vor der Lehrstuhltür in P1-03-200) oder auf dem Postweg: TU Dortmund, Wolfgang Endemann, ETIT/LS KT, Otto-Hahn-Str. 4, 44221 Dortmund.
- Abgaben per Email werden nicht angenommen.

4 Arbeitsblatt

(vor Versuch von jedem Versuchsteilnehmer handschriftlich ausgefüllt mitzubringen)

Versuchsdatum:		
Name	Vorname	Matr. Nr.
geboren am	In Ort	Tel. Nr.
Email (TU)	Email (Privat)	
Erklärung Sicherheitsunterweisung Hiermit bestätige ich an der Sicherheitsunterweisung für das G1 Praktikum teilgenommen und die Inhalte verstanden zu haben. Nachfragen konnte ich vollumfänglich klären. Eine Zuwiderhandlung kann dazu führen, dass die Teilnahme am Versuch untersagt wird.		Ort, Datum, Unterschrift

Es geht fachlich weiter. In den nachfolgenden Fragen ist maximal ein Fehler erlaubt:

- Was ist der übliche Innenwiderstand eines Oszilloskopes?

- Mit welchem welchen Eingangswiderstand belastet ein 10:1 Tastkopf die angeschlossene Schaltung?

- Eine Schwingung hat eine Periode von 3 „Div.“ bei einer Ablenkung von 1 ms/Div. Wie groß ist die Frequenz?

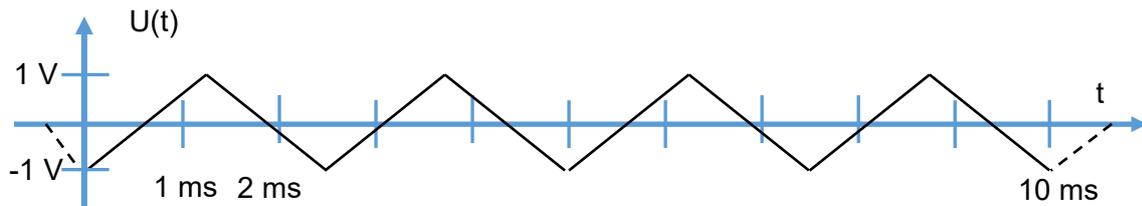
- Eine Spannung wird bei 2 „Div.“ vertikal bei einer Ablenkung von 5 V/Div angezeigt. Wie groß ist die Spannung?

- Eine Sinusschwingung hat die Minimalwert 1 V und den Maximalwert 5 V. Auf welchen Wert wird der Triggerlevel eingestellt?

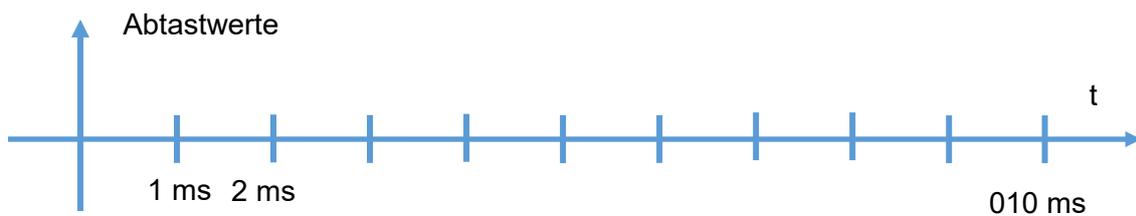
- Was ist die angegebene Bandbreite des im Versuch verwendeten Oszilloskops?

- Was wird angezeigt, wenn der Eingangswahlschalter auf „GND“ gelegt wird?

- Eine Schwingung $U(t)$ hat eine Frequenz von 400 Hz. Sie wird mit 500 Hz abgetastet.



Zeichnen Sie die Abtastwerte in das Diagramm und verbinden Sie diese.



- Welche Frequenz hat die Schwingung in Ihrer Zeichnung?

Versuchsdatum:					
Assistent:				Betreuer:	
Aufgaben in Teil 5:	1)		2)		
	Name	Vorname	Matr. Nr.	Vorbesprechung OK:	Testat erteilt:
Teilnehmer 1:					
Teilnehmer 2:					
Teilnehmer 3:					

5 Einführende Versuchsaufgaben

Die vorzunehmenden Einstellungen am Oszilloskop sind immer kursiv geschrieben. Die Namen der Bedienelemente entsprechen entweder der Beschriftung auf der Frontplatte oder den Softkeys auf dem Bildschirm.

5.1 Eigenschaften des Oszilloskops

5.1.1 Bedienung des Oszilloskops

Am Ende dieses Versuchsabschnittes sollten Sie in der Lage sein, einfache periodische Signale auf dem Oszilloskop darzustellen und die Kenndaten aus dem Schirmbild abzulesen.

5.1.1.1 Messen eines einzelnen Sinussignals

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State109.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

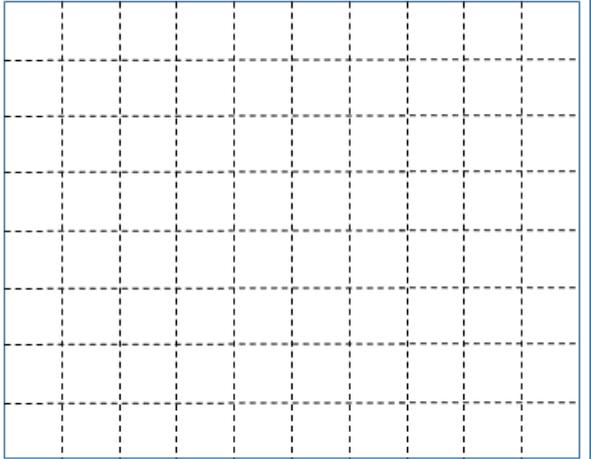
- Stellen Sie das Sinussignal auf dem Oszilloskop dar.
- Vertikal zentriert, Höhe +/-2 Div.
- Zeigen Sie ca. 4-5 Perioden des Sinus.
- Triggern Sie, so dass ein stehendes Bild existiert.

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X* (mehrfach drücken bis 1X erreicht ist oder mit Auswahlknopf auswählen, der Auswahlknopf ist der Drehknopf links von Knopf „Cursors“)
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 500mV/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 500.ns/*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- Zeichnen Sie das Schirmbild ab.

	Einstellungen und Messwerte:
---	------------------------------

- Welche Maximal- und Minimalamplitude hat das Signal? (aus Schirmbild ablesen)

- Wie groß ist die Periodendauer des Sinussignals? Wie groß ist seine Frequenz (aus Schirmbild ablesen!)?

5.1.1.2 Messen von zwei Kanälen gleichzeitig

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State109.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1, Funktionsgenerator Channel 2 mit BNC an Oszilloskop Kanal 2

Aufgabe

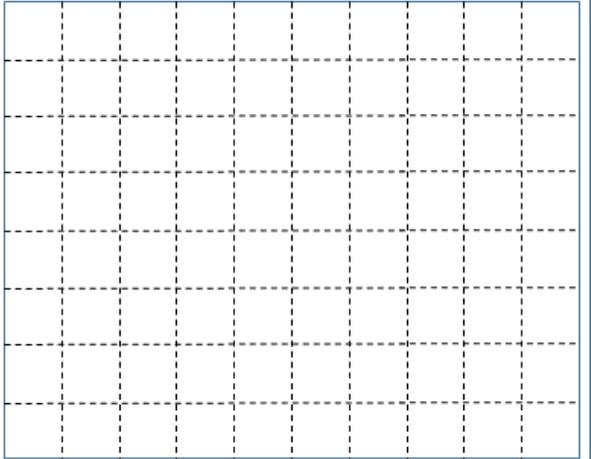
- Stellen Sie den Sinus und das Rechtecksignal auf dem Oszilloskop dar.
- Sinussignal vertikal symmetrisch um +1 Div., Höhe +/-2 Div.
- Zeigen Sie ca. 4-5 Perioden des Sinus
- Rechtecksignal zwischen -2 und -3 Div., Höhe 1 Div.

Einstellung am Oszilloskop

- Wie bei 5.1.1.1, dann
- *Unterer Drehknopf Vertical Channel 1: POS= 500mV*
- *Knopf Channel 2 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 2: CH2= 5.00V/*
- *Unterer Drehknopf Vertical Channel 2: POS= -16.0V*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- Zeichnen Sie das Schirmbild ab.

	Einstellungen und Messwerte:
---	------------------------------

- Welche Maximal- und Minimalamplitude hat das am Eingang anliegende Rechtecksignal (aus Schirmbild ablesen!)?

- Wie groß ist seine Frequenz (aus Schirmbild ablesen!)?

5.1.1.3 Messen von zwei Kanälen mit nicht ganzzahligem Frequenzverhältnis

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State110.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1, Funktionsgenerator Channel 2 mit BNC an Oszilloskop Kanal 2

Aufgabe

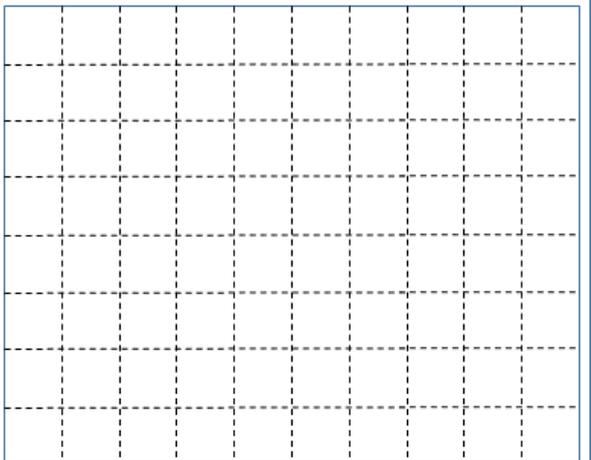
- Stellen Sie den Sinus und das Rechtecksignal wie bei 5.1.1.2 auf dem Oszilloskop dar.

Einstellung am Oszilloskop

- Wie bei 5.1.1.2

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

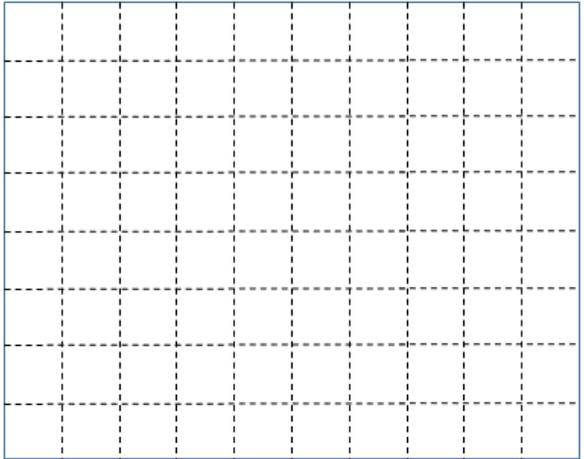
- **Teilpunkt (a)**
 - Zeichnen Sie das Schirmbild manuell ab.

	Einstellungen und Messwerte:
---	------------------------------

- Welche Frequenz hat das Sinussignal (aus Schirmbild ablesen!)?
- Warum wird das Rechtecksignal nicht als periodisches Signal dargestellt?

• **Teilpunkt (b)**

- Funktionsgenerator: Setup: State110.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1, Funktionsgenerator Channel 2 mit BNC an Oszilloskop Kanal 2
- Einstellung am Oszilloskop wie bei 5.1.1.2, dann aber
 - *Trigger Menu \ Source CH2*
 - *Trigger Drehknopf Level: Push for 50%* (Draufdrücken!)
- Zeichnen Sie das Schirmbild manuell ab.

	<p>Einstellungen und Messwerte:</p>
--	-------------------------------------

- Welche Frequenz hat das Rechtecksignal (möglichst genau aus Schirmbild ablesen!)?
- Warum musste man auf den Drehknopf „Level“ drücken?

5.1.2 Bedienung der Triggerschaltung

Am Ende dieses Versuchsabschnittes sollten Sie in der Lage sein, häufig vorkommende Einstellungen der Triggerschaltung vornehmen zu können, um gezielt ein stehendes Bild zu erzeugen.

5.1.2.1 Verändern von Trigger Level und Flanke, Verändern der Triggerposition

Hier lernen Sie den Triggermechanismus zu nutzen.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State107.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

- Stellen Sie das Sägezahnsignal auf dem Oszilloskop dar
- Vertikal zentriert, Höhe +/-2,5 Div.

- Zeigen Sie ca. 2 Perioden der Schwingung
- Triggern Sie, so dass ein stehendes Bild existiert.

Einstellung am Oszilloskop

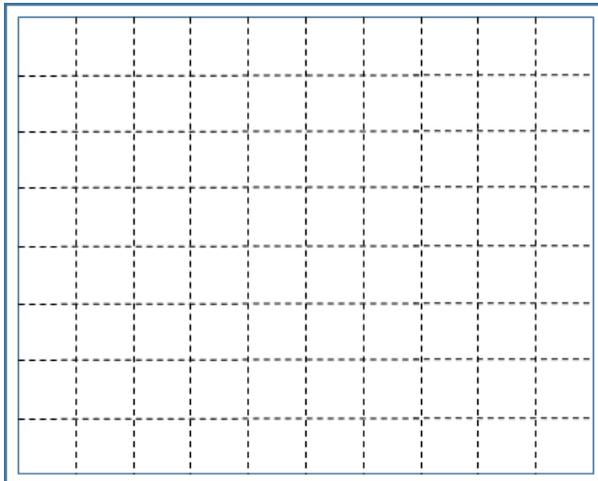
- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 200mV/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 2.000us/*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**

- Wo auf dem Schirm findet sich der Triggerzeitpunkt, also die Triggerposition?

- Zeichnen Sie das Schirmbild manuell ab und notieren sie die Veränderungen in den nachfolgenden Teilpunkten.



Einstellungen und Messwerte:

- **Teilpunkt (b)**

- Verändern Sie mit
 - *Trigger Drehknopf Level: TRIG LVL: -400mV*
 den Trigger Level.
- Was bedeutet die eingeblendete orange Linie?

- Verändert sich der Triggerzeitpunkt?

- **Teilpunkt (c)**

- Trigger Level auf 0 zurückstellen und fallende Triggerflanke wählen durch
 - *Trigger Drehknopf Level: Push for 50%*
 - *Trigger Menu \ Slope: Fallende Flanke*
- Wie verändert sich die Position des Sägezahnsignales?

- Verändern Sie mit
 - *Trigger Drehknopf Level: TRIG LVL: -400mV*
 den Trigger Level.
- Verändert sich der Triggerzeitpunkt des dargestellten Signals? Warum nicht?

- **Teilpunkt (d)**

- Verändern der Triggerposition
 - *Rechter kleiner Drehknopf Horizontal: T-> -5.00000us*
- Was wird durch das orange „T“ symbolisiert?

5.1.2.2 Verändern des Trigger Coupling

Dies sind weitere Basismethoden zum Einstellen der Triggerschaltung.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State106.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

- Stellen Sie das mit großem DC überlagerte Rechtecksignal dar
- Vertikal die Rechteckschwingung um 3,5 Div. Zentriert darstellen
- Zeigen Sie ca. 10 Perioden der Schwingung
- Triggern Sie so, dass ein stehendes Bild existiert.

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 2.00V/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 10.00us/*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**

- Zeichnen Sie das Schirmbild manuell ab und notieren sie die Veränderungen in den nachfolgenden Teilpunkten.

- Stellen Sie mit den beiden folgenden Einstellungen einen Trigger Level und eine Empfindlichkeit ein, die ein stehendes Bild erzeugt:
 - *Trigger Drehknopf Level: TRIG LVL: ??? (Diesen Wert müssen Sie selber herausfinden)*
 - *Trigger Menu \ Set Up \ Sensitivity: 0.10div Einstellen mit Auswahlknopf*
(Der Auswahlknopf ist der Drehknopf links von Knopf „Cursors“)
- Auf welchen Wert mussten Sie den Trigger Level einstellen?

- Warum können Sie erst nach Modifikation der Sensitivity ein stehendes Bild erzeugen?

- **Teilpunkt (c)**

- Trigger Level auf 0 V stellen und AC-Coupling für das Triggern wählen durch
 - *Trigger Menu \ Set Up \ Coupling: AC*
 - *Trigger Drehknopf Level: TRIG LVL: 0.00V*
- Warum sind jetzt Trigger Level und DC-Level des Signals unterschiedlich?

5.1.2.3 Entfernen von Störungen aus dem Triggersignal

Damit einzelne Störimpulse nicht das Triggern auslösen, gibt es verschiedene Möglichkeiten diese aus dem Signal zu entfernen.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State105.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

- Stellen Sie das mit Spikes überlagerte Rechtecksignal dar
- Vertikal zentriert, Höhe +/-1 Div.
- Zeigen Sie ca. 2 Perioden der Schwingung
- Triggern Sie, so dass ein stehendes Bild existiert.

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 1.00V/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 500.0us/*

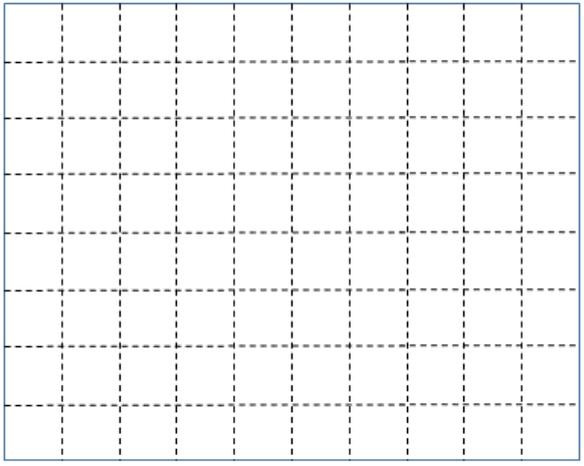
Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**

- Warum wird zunächst kein stehendes Bild erzeugt?

- **Teilpunkt (b)**

- Triggerempfindlichkeit verringern und Unterdrückung hochfrequenter Störungen für das Triggern wählen durch
 - *Trigger Menu \ Set Up \ HF Reject: ON*
 - *Trigger Menu \ Set Up \ Sensitivity: 1,00div*
- Zeichnen Sie das Schirmbild ab.

	<p style="margin: 0;">Einstellungen und Messwerte:</p>
--	---

- Warum erscheint jetzt ein stehendes Bild?

- Welche Periodendauer hat das Rechtecksignal?

5.1.2.4 Alternative Triggermuster

Viele Oszilloskope haben weit über Flankendetektion hinausgehende Triggermechanismen. Wir wollen nur das Triggern auf die Impulsbreite untersuchen.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State111.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

- Stellen Sie aus der Folge von Rechteckimpulsen nur den Impuls dar, der breiter ist als alle anderen.
- Vertikal 0V zentriert, Höhe +2 Div.
- Triggern Sie, so dass nur der breiteste Impuls mit einer Breite von ca. 1,2 Div. Gezeigt wird.

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*

- Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 1.00V/
- Linker Drehknopf Horizontal: 50.0us/
- Trigger Drehknopf: TRIG LVL: 500mV

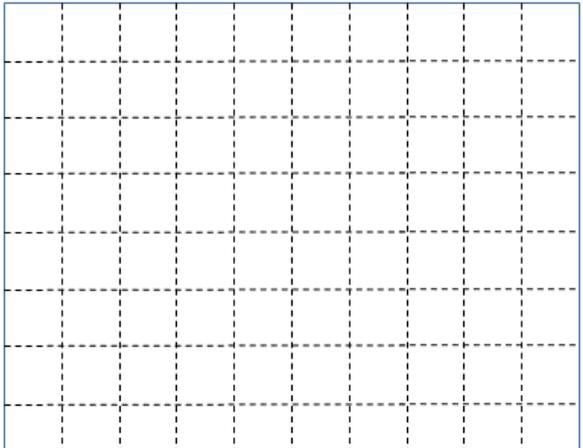
Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**

- Warum werden jetzt unterschiedlich breite Impulse dargestellt?

- **Teilpunkt (b)**

- Trigger umschalten auf Pulsbreite und Pulsbreite wählen
 - *Trigger Menu \ Mode: Pulse*
 - *Trigger Menu \ When: Positiver Impuls, Mindestbreite*
 - *Trigger Menu \ Setting: 51.0us Einstellen mit Auswahlknopf (Der Auswahlknopf ist der Drehknopf links von Knopf „Cursors“)*
- Zeichnen Sie das Schirmbild ab.

	<p>Einstellungen und Messwerte:</p>
--	-------------------------------------

- Wie breit ist der breiteste Impuls?

5.1.2.5 Zeitliche Triggersperre

Wenn bestimmte Ereignisse nicht das Triggern auslösen sollen, kann die Triggersperre hilfreich sein.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State112.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

- Stellen Sie zwei Impulszüge mit je drei Impulsen dar.
- Vertikal 0V zentriert, Höhe +2 Div.
- Triggern Sie so, dass ein stehendes Bild existiert.

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 500mV/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 20.00us/*
- *Trigger Drehknopf Level: Push for 50%*

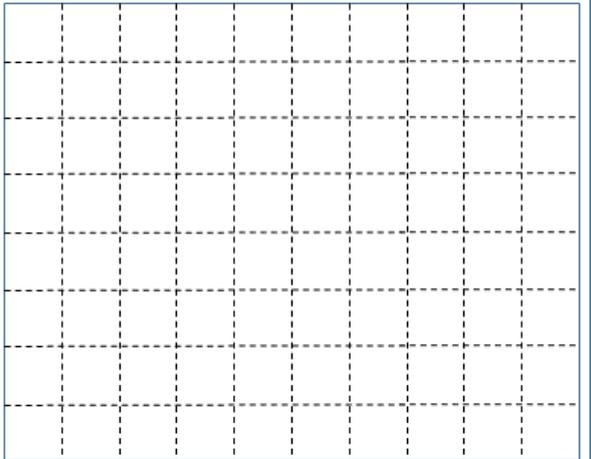
Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**

- Warum wird zunächst der Impulszug mit teilweise zu vielen Impulsen gezeigt?

- **Teilpunkt (b)**

- Stellen Sie eine zeitliche Triggersperre ein:
 - *Trigger Menu \ Set Up \ Holdoff 30.0 us Einstellen mit Auswahlknopf*
- Zeichnen Sie das Schirmbild ab.

	<p>Einstellungen und Messwerte:</p>
--	-------------------------------------

- Warum erscheinen jetzt die Impulszüge aus drei Impulsen?

- Welche Dauer hat ein Impulszug?

- Funktion des Holdoff beschreiben:

5.1.2.6 Triggerbedingungen

Das Einschreiben in den Speicher des Oszilloskops kann vom Bediener gesteuert werden.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State113.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

- Rechtecksignal vertikal zentriert, Höhe +/-1 Div.
- Zeigen Sie ca. 5 Perioden
- Experimentieren Sie in den Teilaufgaben mit den Triggerbedingungen

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 1,00V/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 5.000us/*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

• Teilpunkt (a)

- Einschreiben anhalten und wieder starten
 - Mehrfach *Knopf Run-Stop* drücken
- Funktion in Ausarbeitung beschreiben:

• Teilpunkt (b)

- Ein einzelnes Einschreiben Auslösen
 - *Knopf Run-Stop* drücken um Einschreiben anzuhalten
 - Mehrfach *Knopf Single* drücken
- Funktion in Ausarbeitung beschreiben:

• Teilpunkt (c)

- Verhalten bei Ausbleiben des Triggersignals im Auto-Modus
 - Gehen Sie wieder mit *Knopf Run-Stop* in den laufenden Modus.
 - *Eingangssignal von Kanal 1 abziehen* und Verhalten beobachten
 - *Eingangssignal wieder aufstecken und* Verhalten beobachten
- Funktion in Ausarbeitung beschreiben:

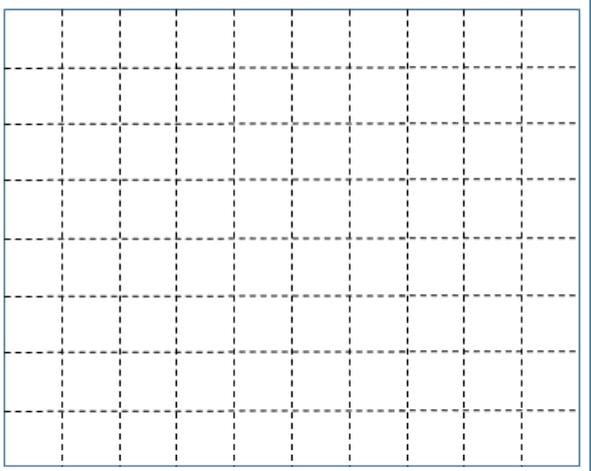
• Teilpunkt (d)

- Verhalten bei Ausbleiben des Triggersignals im Normal-Modus
 - *Trigger Menu \ Sweep: Normal*
 - *Eingangssignal von Kanal 1 abziehen* und Verhalten beobachten
 - *Eingangssignal wieder aufstecken und* Verhalten beobachten

- Funktion in Ausarbeitung beschreiben:

- **Teilpunkt (e)**

- Aufnahme eines einzelnen Triggerereignisses im Normal-Modus
 - *Trigger Menu \ Sweep: Normal*
 - *Eingangssignal von Kanal 1 abziehen*
 - *Knopf Single ein Mal drücken*
 - *Eingangssignal wieder aufstecken und Verhalten beobachten*
- Zeichnen Sie das Schirmbild ab.

	Einstellungen und Messwerte:
--	------------------------------

- Funktion in Ausarbeitung beschreiben:

5.1.3 Darstellungsformen auf dem Oszilloskop

Das Oszilloskop kann neben den bereits bekannten Darstellungsformen sich langsam ändernde Signale besser im „Roll“ Modus darstellen. Des Weiteren kann im XY-Modus die Horizontalablenkung durch den zweiten Kanal erfolgen. Die Einstellung der Zeitablenkung steuert dann nur die Zeitdauer der aufgenommenen Abtastwerte und die Abtastfrequenz.

5.1.3.1 Oszilloskop im Roll Modus

Der Roll Modus ist oft bei sich langsam ändernden Signalen sinnvoll.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State104.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

- Impulse bei 0V vertikal zentriert, maximale Höhe +1 Div.
- Zeigen Sie ca. 5 Impulse im Roll Mode.

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*

- Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 500mV/
- Linker Drehknopf Horizontal: 1.000s/ <- **Aufpassen!**

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**

- Beobachten sie über eine halbe Minute die Darstellung des Signals.
- Nachteile der Darstellung?

- **Teilpunkt (b)**

- Wechseln Sie in den Roll Mode.
 - *Menu Zoom \ Time Base: Roll*
- Beobachten sie über eine halbe Minute die Darstellung des Signals.
- Was ist der Vorteil?

- Wie viele kleine Impulse folgen nach wie vielen großen Impulsen?

- Funktion in Ausarbeitung beschreiben:

5.1.3.2 Oszilloskop im XY Modus

Im XY Modus kann die Abhängigkeit von zwei Signalen untereinander gezeigt werden.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State102.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1, Funktionsgenerator Channel 2 mit BNC an Oszilloskop Kanal 2

Aufgabe

- Zeigen Sie die Kombination von verschiedenen Sinusschwingungen im XY Modus

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 500mV/*
- *Knopf Channel 2 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 2: CH2= 500mV/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 1.000us/*

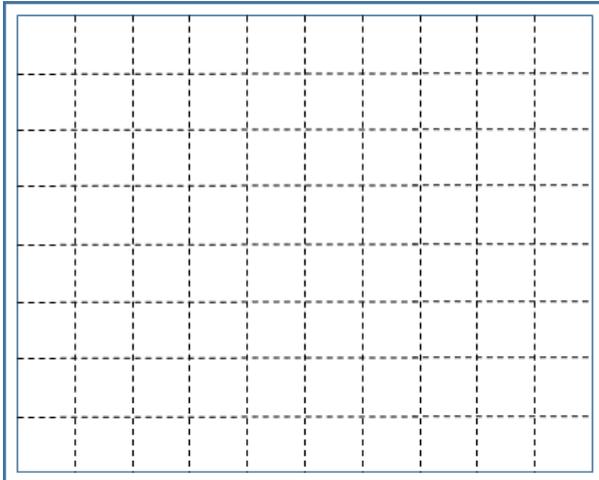
Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**

- Welche Signale liegen am Oszilloskop an?

- **Teilpunkt (b)**

- Wechseln Sie in den XY Modus
 - *Menu Zoom \ Time Base: X-Y*
- Zeichnen Sie das Schirmbild ab.



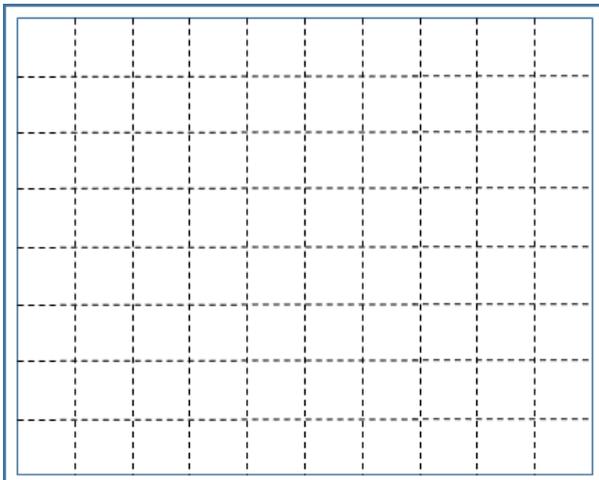
Einstellungen und Messwerte:

- Ziehen Sie Kanal 1 kurzzeitig am Oszilloskop ab und stecken Sie ihn zurück.
- Welcher Kanal ist für X- und welcher für Y-Ablenkung zuständig?

- Erklären Sie die Entstehung des Schirmbildes.

- **Teilpunkt (c)**

- Wechseln Sie zurück in die Zeitbasierte Ablenkung und wählen Sie ein anderes Signal.
 - *Menu Zoom \ Time Base: Y-T*
 - Funktionsgenerator: Setup: State101.sta
- Betrachten Sie das Signal und wechseln dann wieder in den XY Modus
 - *Menu Zoom \ Time Base: X-Y*
- Zeichnen Sie das Schirmbild manuell ab.



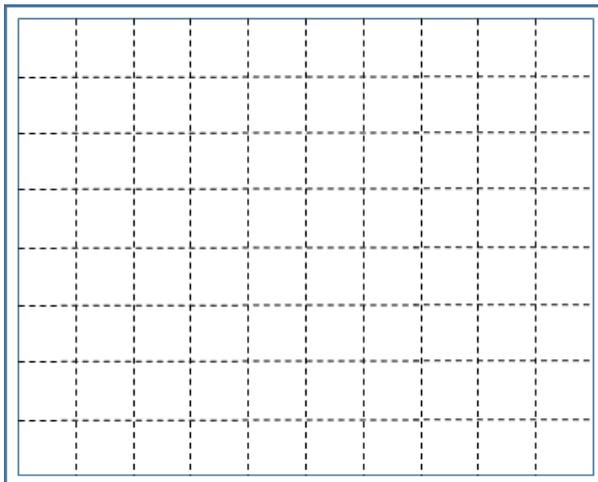
Einstellungen und Messwerte:

- Erklären Sie die Entstehung des das Schirmbildes.



- **Teilpunkt (c)**

- Wählen Sie ein anderes Signal.
 - Funktionsgenerator: Setup: State114.sta
- Zeichnen Sie das Schirmbild ab.



Einstellungen und Messwerte:

- Erklären Sie die Entstehung des Schirmbildes.



- **Teilpunkt (d)**

- Wählen Sie ein anderes Signal.
 - Funktionsgenerator: Setup: State115.sta
- Was hat sich gegenüber dem vorherigen Teilpunkt auf dem Bildschirm verändert?



- Erklären Sie die Entstehung des Schirmbildes.



- **Teilpunkt (e)**

- Verschieben Sie das Bild auf dem Bildschirm.
 - *Unterer Drehknopf Vertical Channel 1: POS= -1,00V*

- *Unterer Drehknopf Vertical Channel 2: POS= 500mV*
- Beschreiben Sie die Funktion der Position-Knöpfe im XY Modus.

5.1.3.3 Zoom Modus

Mit der Zoomfunktion kann man Details vergrößert darstellen. Abhängig von der Speichergröße des Oszilloskops können dabei aber subtile Messfehler (Aliasfehler) entstehen.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State108.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

- Stellen Sie zunächst zwei Perioden eines interessanten Signals dar.
- Zeigen Sie im weiteren Verlauf den interessanten **Ausschnitt** des Signals.

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 500mV/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 500.0us/*
- *Trigger Menu \ Set UP \ HF Reject: ON*
- *Trigger Menu \ Set Up \ Sensitivity: 1.00div Einstellen mit Auswahlknopf*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**
 - Sehen alle Flanken gleich aus?

- **Teilpunkt (b)**
 - Betrachten Sie die **fallende Flanke** genauer im Zoom Modus
 - *Menu Zoom / Zoom: ON*
 - *Rechter kleiner Drehknopf Horizontal: T-> -1.00000ms*
 - *Linker Drehknopf Horizontal: 20.0us Abschnitt*
 - *Knopf Single mehrfach drücken*
 - Zeichnen Sie das Schirmbild ab.

Einstellungen und Messwerte:

- Wie lange dauert ungefähr die instabile Phase („Prellen“) der fallenden Flanke?

- Wie groß ist die Abtastfrequenz (Sa Rate)? Wird angezeigt, wenn man einmal auf *Menu Zoom* drückt.

- **Teilpunkt (c)**

- Ohne es zu wissen haben wir im vorigen Teilpunkt einen Messfehler produziert, der jetzt verdeutlicht wird. Dazu betrachten Sie die fallende Flanke im nicht-gezoomten Modus.

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 500mV/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 500.0us/*
- *Trigger Menu \ Set UP \ HF Reject: ON*
- *Trigger Menu \ Set Up \ Sensitivity: 1.00div Einstellen mit Auswahlknopf*
- *Trigger Menu \ Slope: Fallende Flanke*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 10.0us/*
- *Knopf Single zum Ausprobieren **mehrfach** drücken*

- Zeichnen Sie das Schirmbild ab.

	<p>Einstellungen und Messwerte:</p>
---	-------------------------------------

- Wie lange dauert das Prellen?

- Wie groß ist die Abtastrate? (Wird angezeigt, wenn man einmal auf *Menu Zoom* drückt)

- Warum sieht das Prellen ganz anders aus als im vorherigem Teilpunkt?

5.1.3.4 Nachleuchtdauer

Mit der Nachleuchtdauer können Sie einmalig auftretende Ereignisse für eine gewisse Zeit (bzw. beliebig lange) speichern und so leichter erkennbar machen.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State105.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

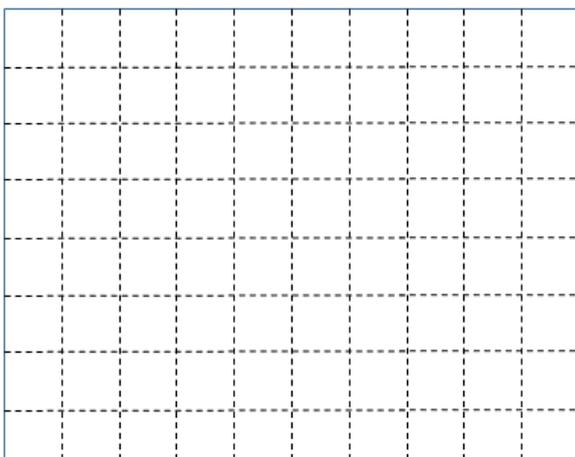
- Stellen Sie das mit Spikes überlagerte Rechtecksignal dar und lesen Sie ab, wie groß die Spikes sind.

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 1.00V/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 2.000ms/*
- *Display\ Persist: Infinite*
- *Intensity: 30% Einstellen mit Auswahlknopf*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- Zeichnen Sie das Schirmbild ab.

	Einstellungen und Messwerte:
--	------------------------------

- Wie hoch sind die Spikes nach oben und unten maximal?

5.1.3.5 Eingebaute Messhilfsmittel

Das Oszilloskop kann direkt aus dem Schirmbild Messgrößen ablesen. Obwohl die Spannungsmessung beim Oszilloskop bei Gleichspannungen eher schlecht ist, ist sie bei Wechselfspannungsmessungen viel genauer als ein Multimeter. Ein Multimeter kann beispielsweise nur für 50 Hz Sinusschwingungen den Effektivwert korrekt anzeigen. Ändert man beim Multimeter die Frequenz oder die Kurvenform, entstehen oft große Messfehler.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State117.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1, mit T-Stück und BNC-Bananenstecker-Adapter Verbindung zum Multimeter. Multimeter Spannungsmessung im AC-Bereich.

Aufgabe

- Messen Sie den Effektivwert auf dem Oszilloskop. Bestimmen Sie die Parameter der Schwingung mit Hilfe der Cursor.

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 1.00V/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 10.00 μ s/*
- *Measure \ Voltage: Vrms*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**

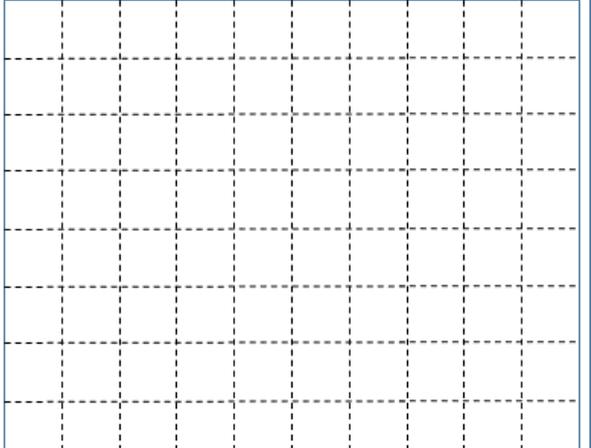
- Welchen Spannungswert zeigt das Multimeter an? (AC Volt)

- Welchen Effektivwert zeigt das Oszilloskop an?

- Was wäre der theoretisch korrekte Wert?

- **Teilpunkt (b)**

- Aktivieren Sie die Cursorlinien zur Messung
 - *Cursors: Manual*
 - *CurA \ CurA* (Zwei Mal drücken!, Feld unter „CurA“ muss blau, also aktiv sein)
 - *Position von CurA einstellen mit Auswahlknopf auf steigende Flanke.*
(Der Auswahlknopf ist der Drehknopf links von Knopf „Cursors“)
 - *CurA \ CurB* (jeweils einmal drücken, CurA ist jetzt nicht mehr aktiv, dafür CurB aktiv)
 - *Position von CurB einstellen mit Auswahlknopf auf fallende Flanke.*
- Zeichnen Sie das Schirmbild ab.

	<p>Einstellungen und Messwerte:</p>
---	-------------------------------------

- Wie lang ist die High-Periode der Schwingung (Anzeige ΔX)?

- **Teilpunkt (c)**

- Umschalten der Cursorlinien auf Spannungsmessung
 - *Type* drücken (Cursorlinien jetzt horizontal verlaufend)
 - *Position von CurB einstellen mit Auswahlknopf auf kleinste Spannung der Schwingung, Unterschwinger nicht berücksichtigen*

- *CurB \ CurA* (Jeweils einmal drücken, CurB ist jetzt nicht mehr aktiv, dafür CurA wieder aktiv)
- *Position von CurA einstellen mit Auswahlknopf auf größte Spannung der Schwingung, Überschwinger nicht berücksichtigen*
- Wie groß ist der Spannungshub der Schwingung (Anzeige ΔY)?
- Wie groß ist die größte Spannung der Schwingung (Anzeige CurA)?

5.2 Fehlerquellen und Störungen

5.2.1 Alias durch unzureichende Abtastrate

Sie sollten erkennen, welche Effekte bei unzureichender Abtastrate auftreten.

Messaufbau

- Funktionsgenerator: Setup: State116.sta
- Verbindung: Funktionsgenerator Channel 1 mit BNC an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

- Stellen Sie das Sinussignal dar und erkennen Sie den Aliasfehler.

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 200mV/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 10.00ms/*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**
 - Welche Frequenz hat das auf dem Bildschirm dargestellte Sinussignal?
 - Ergibt sich ein stehendes Bild?
 - Welche Abtastrate verwendet das Oszilloskop? (Wird angezeigt, wenn man einmal auf *Menu Zoom* drückt)
 - Welche echte Frequenz zeigt der Funktionsgenerator an?
- **Teilpunkt (b)**
 - *Linker Drehknopf Horizontal: 20.00ns/*
 - Ergibt sich ein stehendes Bild?
 - Welche Abtastrate verwendet das Oszilloskop?
 - Welche Frequenz lesen Sie jetzt ab?

- Erklären Sie, wie Aliasfehler entstehen und woran Sie Aliasfehler erkennen.



5.2.2 Belastung der Messobjekte

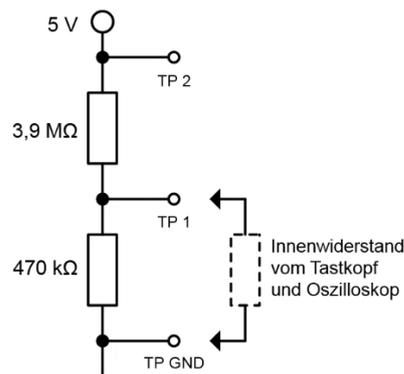
Üblicherweise werden Oszilloskope in Entwicklungsumgebungen eingesetzt, so dass die Messobjekte einen eher hohen und oft nicht bekannten Innenwiderstand besitzen. Man kommt diesem entgegen, indem Oszilloskope mit hohem Eingangswiderstand (typ. $1\text{M}\Omega$) einsetzt, die die Messobjekte wenig belasten. Leider haben das Oszilloskop und das Kabel eine Eingangskapazität, die eine Belastung darstellt und eine unerwünschte Tiefpassfilterung verursacht. In der Einführung ist dargestellt, wie man mit Tastköpfen mit Teilerfaktoren diese Belastung und die Tiefpasscharakteristik verringert, auf Kosten der Empfindlichkeit.

5.2.2.1 Auswirkung der Ohm'schen Belastung

Sie sollten erkennen, wie sich Belastungen des Messobjektes auswirken. Außerdem lernen Sie, wie man mit den automatischen Messmitteln des Oszilloskops umgeht, hier Spannungsmessung.

Messaufbau

- Experimentalplatine vom Strom trennen, wieder mit Strom versorgen. Siehe Kapitel 2.2.
- Tastkopf zunächst in Stellung „X1“ später in Stellung „X10“ an Oszilloskop Kanal 1
- Tastkopf Masseklemme an TP GND in der Nähe von TP 2.
- Tastkopf Messspitze zunächst an TP 2, später an TP 1



Hochohmiger Spannungsteiler auf der Experimentalplatine

Aufgabe

- Messen Sie, wie stark sich die Ohm'sche Belastung des Oszilloskops auswirkt.

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Knopf Channel 1 \ Probe: 1X*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 2.00V/*

- *Linker Drehknopf Horizontal: 10.00us/*
- *Measure \ Voltage: Vavg Einstellen mit Auswahlknopf*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- Messen Sie folgende Spannungen:

	TP 2 (TP 1 (
Tastkopf Stellung X1		
Tastkopf Stellung X10		

- Berechnen Sie die theoretische Spannung an TP 1, wenn Sie annehmen dass das Oszilloskop einen unendlich hohen Eingangswiderstand hat.

- Vergleichen Sie dies mit den Messungen.

5.2.2.2 Abgleich des Tastkopfes

Damit der Tastkopf den richtigen Frequenzgang darstellt, muss die Kompensationskapazität (siehe Einführung) abgeglichen werden.

Messaufbau

- Nacheinander beide Tastköpfe an die Abgleichklemmen (Signal und GND!) des Oszilloskops anklammern und abgleichen.
- Tastkopf in Stellung „X10“ an Oszilloskop Kanal 1

Aufgabe

- Tastkopfabgleich

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 1.00V/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 200.0us/*
- *Trigger Drehknopf Level: Push for 50% (Draufdrücken!)*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

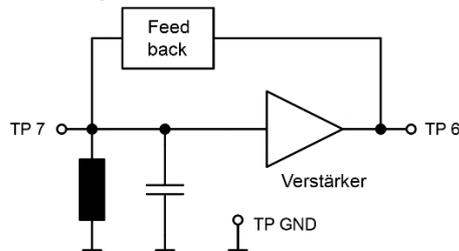
- Nehmen Sie den Abgleichdreher und gleichen sie am BNC-Anschluss des Tastkopfes das dargestellte Rechteck auf optimale Form ab. Verstellen Sie zumindest einmal den Abgleich, so dass Sie einen fehlerhaften Abgleich erkennen können.
- Führen Sie das für beide Tastköpfe durch.
- Achtung: Beim Wechsel des Oszilloskops ist ein erneuter Abgleich notwendig!

5.2.2.3 Auswirkung der kapazitiven Belastung

Auf der Experimentalplatine findet sich ein LC-Oszillator. Dieser ist empfindlich gegenüber kapazitiver Belastung. Außerdem lernen Sie, wie man mit den automatischen Messmitteln des Oszilloskops umgeht, hier Frequenzmessung.

Messaufbau

- Experimentalplatine vom Strom trennen, wieder mit Strom versorgen.
- Tastkopf in Stellung „X10“ an Oszilloskop Kanal 1, Tastkopf Masseklemme an TP GND in der Nähe von TP 6, Messspitze an TP 6
- Tastkopf in Stellung „X10“ an Oszilloskop Kanal 2, Tastkopf Masseklemme an TP GND in der Nähe von TP 6, Signal noch nicht anschließen



LC-Oszillator auf der Experimentalplatine

Aufgabe

- Beobachten, wie stark sich kapazitive Belastung auswirken kann

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 200mV/*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 2: CH2= 200mV/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 5.000ns/*
- *Measure \ Time: Freq Einstellen mit Auswahlknopf*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**
 - Welche Frequenz hat das auf dem Bildschirm dargestellte Sinussignal?
- **Teilpunkt (b)**
 - Kanal 1 bleibt unverändert. **Berühren** Sie mit der Messspitze vom zweiten Tastkopf den Messpunkt TP 7. Was passiert?
 - Was ist die Begründung?

5.2.3 Begrenzte Messgenauigkeit

Die Messgenauigkeit eines Oszilloskops ist durch allgemeines (thermisches) Rauschen, Quantisierungsrauschen, DC-Offsetfehler und allgemeine Nichtlinearitäten begrenzt.

Messaufbau

- Experimentalplatine vom Strom trennen, wieder mit Strom versorgen.
- Tastkopf in Stellung „X10“ an Oszilloskop Kanal 1, Tastkopf Masseklemme an TP GND in der Nähe von TP 2, Messspitze an TP 2

Aufgabe

- Fehler des Oszilloskops identifizieren

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 2.00V/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 1.000us/*
- *Measure \ Voltage: Vavg Einstellen mit Auswahlknopf*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**

- Welche Spannung zeigt das Oszilloskop auf dem Bildschirm an?

- Messen Sie mit dem Multimeter die gleiche Spannung (DC Volt)?

- Wie groß ist der prozentuale Fehler?

- **Teilpunkt (b)**

- Tastkopf Messspitze von Platine abnehmen. Masseklemme direkt an Messspitze

- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 20.0mV/*

- Wie groß ist jetzt die angezeigte Gleichspannung?

- Wie groß sollte sie sein?

- **Teilpunkt (c)**

- Schätzen Sie ab, wie viele mV das angezeigte Rauschen sich vertikal ausdehnt.

- Reduzieren Sie dann die analoge Bandbreite auf 20 MHz:

Knopf Channel 1 \ BW Limit: ON

- Schätzen Sie nun die reduzierte Rauschspannung.

- Wodurch ist die Verbesserung entstanden? Was ist der Nachteil?

5.2.4 Entfernen von hochfrequenten Störkomponenten im Eingangssignal

Nutzen Sie die eingebauten Vorfilter im Oszilloskop bei Signalen mit hochfrequenten Störungen. Dazu wird an TP 5 der Experimentierplatine ein Rechtecksignal mit hochfrequenten Störungen überlagert ausgegeben.

Messaufbau

- Experimentalplatine vom Strom trennen, wieder mit Strom versorgen.
- Drücken Sie Taster 1 drei Mal (LEDs zeigen „0011“ an)
- Tastkopf in Stellung „X10“ an Oszilloskop Kanal 1, Tastkopf Masseklemme an TP GND in der Nähe von TP 5, Messspitze an TP 5

Aufgabe

- Analoge und digitale Bandbreitereduktion zur Störungsreduktion, Trigger mit Bandbreitereduktion optimieren

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 2.00V/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 200.0ns/*
- *Trigger Menu \ Set UP \ HF Reject: ON*
- *Trigger Drehknopf Level: Push for 50% (Draufdrücken!, eventuell Triggerlevel manuell nachregeln)*
- *Knopf Channel 1 \ BW Limit: ON \ Digital Filter: ON \ Upper Limit: 30 MHz Einstellen mit Auswahlknopf*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- Welche Frequenz hat das Signal?

- Was passiert, wenn Sie die Grenzfrequenz des Digitalfilters auf 5 MHz reduzieren?

5.2.5 Wahl des Masseanschlusses

Auf einer komplexen Platine fließen viele unterschiedliche Ströme, die zu Magnetfeldern führen. Diese Magnetfelder induzieren in Leiterschleifen Störspannungen. Der Abstand zwischen Masseanschluss und Tastkopfspitze sowie den Verbindungen auf der Platine formt eine Leiterschleife, die oft große Störspannungen induziert. Im besten Fall sollte

- der Massedraht sehr kurz sein und
- die Masse direkt neben dem Signal abgegriffen werden.

Die Experimentalplatine enthält eine Teststruktur, mit der man dieses überprüfen kann.

Messaufbau

- Experimentalplatine vom Strom trennen, wieder mit Strom versorgen.
- Drücken Sie Taster 1 zwei Mal (LEDs zeigen „0010“ an)
- Tastkopf in Stellung „X10“ an Oszilloskop Kanal 1, Tastkopf Masseklemme an TP TP 11 (ist GND in der Nähe vom TP 13), Messspitze an TP 13

Aufgabe

- Erkennen einer sinnvollen Wahl des Massepunktes

Einstellung am Oszilloskop

- *Default Setup*
- *Oberer Drehknopf Vertical Channel 1: CH1= 1.00V/*
- *Linker Drehknopf Horizontal: 100.0ns/*
- *Trigger Drehknopf Level: Push for 50% (Draufdrücken!)*

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- **Teilpunkt (a)**

- Schätzen sie die Rauschspannung ab, wenn direkt zwischen GND an TP 11 (gute GND-Position) und Signal am TP 13 (nahe an GND) gemessen wird.

- **Teilpunkt (b)**

- Schätzen sie die Rauschspannung ab, wenn direkt zwischen GND an TP 11 (gute GND-Position), aber Signal an TP 14 (Signal weit entfernt von GND) gemessen wird.

- **Teilpunkt (c)**

- Schätzen sie die Rauschspannung ab, wenn zwischen GND an TP 12 (schlechte GND-Position) und Signal an TP 13 (Signal weit entfernt von GND) gemessen wird. Dies sollte der schlechteste Fall sein.

- Fassen Sie die Erfahrungen in der Ausarbeitung zusammen:

6 Messungen allgemeiner Signale mit dem Oszilloskop

Im letzten Kapitel haben Sie den Umgang mit dem Oszilloskop erlernt. In diesem Abschlusskapitel werden echte Messaufgaben gestellt. Sie bekommen Hinweise für die Durchführung der Messung, aber keine exakten Vorgaben mehr wie im letzten Kapitel. Der Versuchsleiter wählt zwei Versuche für Sie aus. Sie können Vorschläge machen, welche Teile Sie besonders interessieren.

6.1 Zeitliche Stromaufnahme einer Schaltung

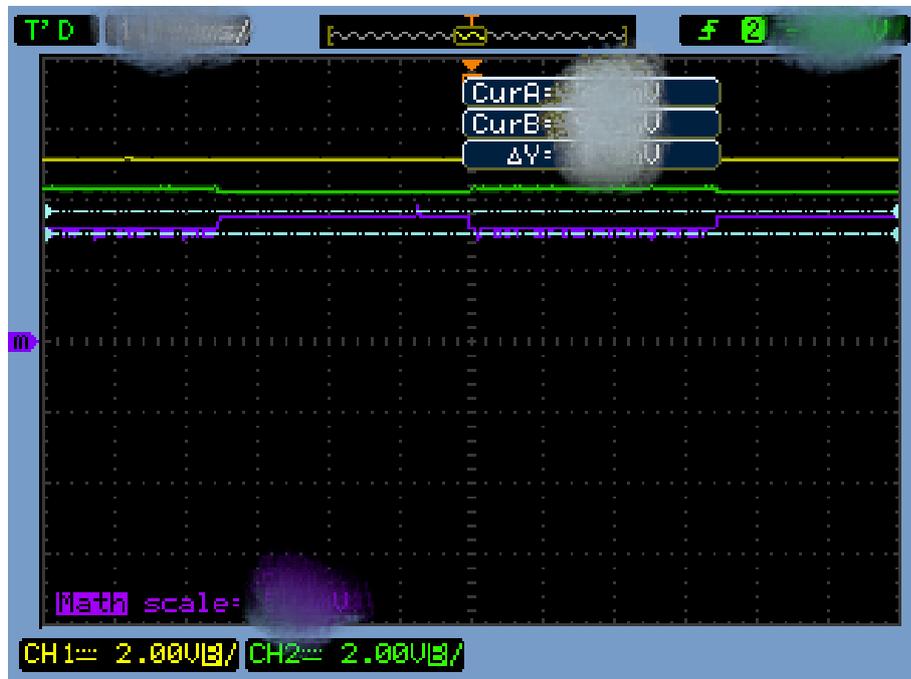
Auf der Platine befindet sich ein FPGA mit einer weißen LED. Sie sollen messen, wie groß die Stromaufnahme der FPGA-Platine ist. Die LED wird ständig ein- und ausgeschaltet. Daher können Sie auch die zusätzliche Stromaufnahme der LED messen.

Hinweise

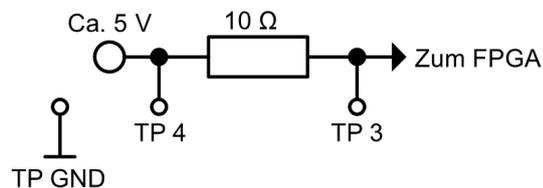
- Experimentalplatine vom Strom trennen, wieder mit Strom versorgen.
- Drücken Sie Taster 1 vier Mal (grüne LEDs zeigen „0100“ an, weiße LED leuchtet)
- Diese weiße LED wird mit einer Frequenz ein- und ausgeschaltet. Ist die LED aus, fließt nur der Strom für das FPGA. Die Erhöhung der Stromaufnahme wird durch das Aufleuchten der LED verursacht.
- Zur Strommessung dient ein „Shunt-Widerstand“. Der Spannungsabfall über den Shunt-Widerstand kann an TP 4 und TP 3 mit jeweils einem Oszilloskop Kanal

gemessen werden. Da der Wert des Shunt-Widerstands bekannt ist, kann man aus dem Spannungsabfall den Strom berechnen.

- Die Differenzspannung zwischen TP 3 und TP 4 ist proportional zur Stromaufnahme.
- Verwenden Sie die Mathematikfunktion CH1-CH2, um die Spannungsdifferenz zu messen.



Schirmbild zur Messung der Stromaufnahme. Die wechselnde Stromaufnahme ist in der Spannungsdifferenz (lila) zu erkennen. Details im Bild wurden versteckt.



Shunt-Widerstand auf der Experimentalplatine zur Messung der Stromaufnahme des FPGAs

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- Mit welcher Frequenz wird die weiße LED aus- und eingeschaltet?

- Wie groß ist die Stromaufnahme des FPGA?

- Wie groß ist die zusätzliche Stromaufnahme der weißen LED?

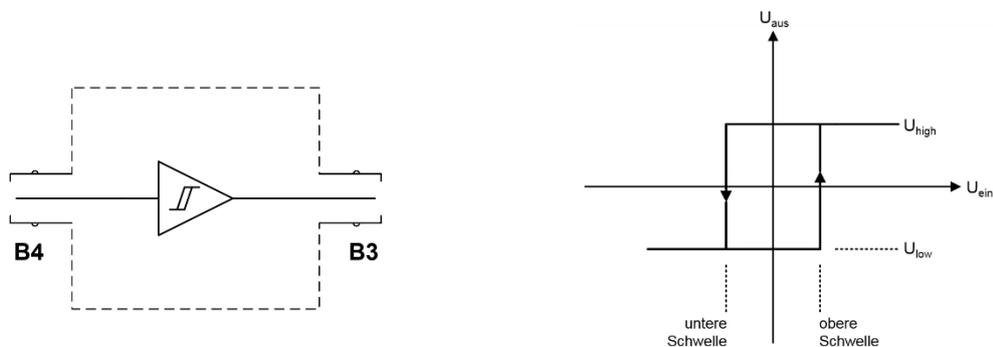
6.2 Messen der Hysterese eines Komparators

Auf der Platine befindet sich ein Komparator. Dieser schaltet das Ausgangssignal von einem niedrigen Wert U_{low} auf einen höheren Wert U_{high} beim Überschreiten einer (oberen) Schwellenspannung. Sinkt die Eingangsspannung wieder, so muss die Eingangsspannung erst eine (untere) Schwelle unterschreiten, bevor wieder U_{low} ausgegeben wird. Diese Hysterese verhindert, dass der Komparator schon bei kleinen Änderungen am Ausgang Signalsprünge erzeugt.

Sie sollen die Kenngrößen dieser Schaltung durch die Aufnahme der Hysteresekurve messen.

Hinweise

- Experimentalplatine vom Strom trennen, wieder mit Strom versorgen.
- B4 ist der Eingang des Komparators, B3 ist der Ausgang.
- Messen Sie das Signal per Koaxialkabel (Teilverhältnis am Oszilloskop X1).
- Als Eingangssignal können Sie vom Funktionsgenerator eine dreieckförmige Spannung erhalten. Wählen Sie dazu State 103.sta.
- Verwenden Sie für die X-Achse das Eingangssignal, für die Y-Achse das Ausgangssignal. Verwenden Sie ein T-Stück zum Aufspalten des Eingangssignals.
- Es kann sinnvoll sein, mit der Nachleuchtdauer und mit der Horizontalablenkung zu experimentieren, um eine sinnvolle Hysteresekurve zu erkennen.
- Messen Sie die Spannungen mittels der Cursorfunktionen. Achtung: Die Cursorlinien müssen für den richtigen Kanal anzeigen! Wenn Sie für Kanal 1 messen wollen, dann muss der Cursor auch für Kanal 1 (und nicht 2!) ausgewählt worden sein.



Komparator auf der Experimentalplatine und Beispiel für eine Hysteresekurve



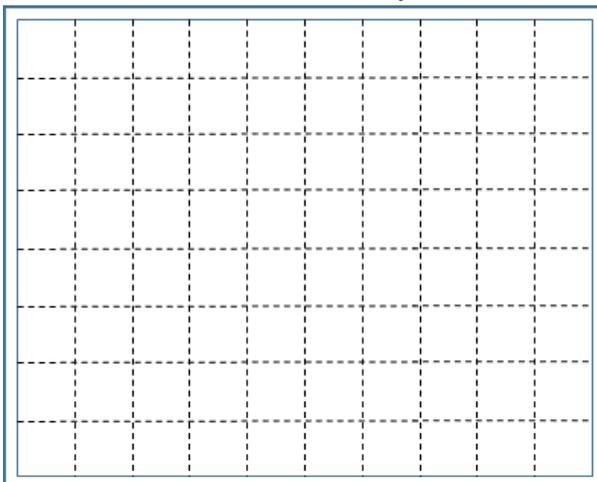
Schirmbild während der Messung der Hysteresekurve. Die Cursorlinien befinden sich an den beiden Schwellen. Details im Bild wurden versteckt.

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- Wie groß ist U_{low} und U_{high} ?

- Wie groß sind untere und obere Schwelle?

- Zeichnen Sie die Hysteresekurve.



Einstellungen und Messwerte:

6.3 Schaltzeiten eines Flipflops

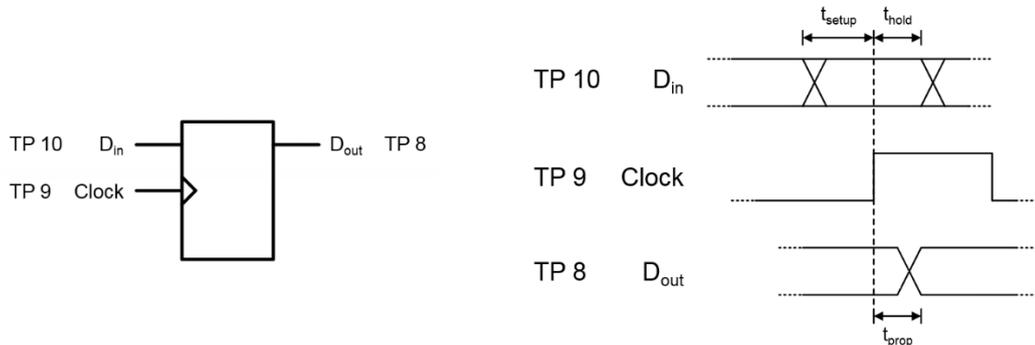
Die Geschwindigkeit von Logikschaltungen ist insbesondere durch drei Kenngrößen bestimmt.

- Setup-Time t_{setup} : Dies ist die Zeit, die das Eingangssignal D_{in} an einem D-Flipflop vor der steigenden Taktflanke anliegen muss, damit der Wert stabil übernommen wird.
- Hold-Time t_{hold} : Dies ist die Zeit, die das Signal D_{in} nach der steigenden Taktflanke weiter unverändert anliegen muss, damit der Wert stabil übernommen wird.
- Propagation Delay: t_{prop} : Dies ist die Zeit, die das Eingangssignal nach der steigenden Taktflanke braucht, um am Ausgang ein stabiles D_{out} produziert zu haben.

Sie sollen in diesem Versuch diese drei Zeiten am Beispiel eines D-Flipflops aus der eher langsamen 74LS-Serie (Betriebsspannung 5V, Spannungen unter 0,7 V gelten als Low-Pegel, Spannungen über 0,8 V gelten als High-Pegel) gemessen werden.

Hinweise

- Experimentalplatine vom Strom trennen, wieder mit Strom versorgen.
- Drücken Sie Taster 1 einmal (grüne LEDs zeigen „0001“ an)
- Mit einem andauerndem Druck entweder auf Taster 4 (später) oder auf Taster 3 (früher) können Sie die Lage des Taktes (Clock) sehr fein in Bezug zu D_{in} verschieben.



Flipflop auf der Experimentalplatine und Übersicht über die Schaltzeiten

Empfehlung für das Messen:

- Lassen Sie sich einen weiteren Tastkopf geben. Kanal 1: D_{in} , Kanal 2: Takt, Kanal 3: D_{out} .
- Triggern auf die steigende Flanke von D_{in} in Kanal 1.
- Steigende Taktflanke mit Taster 3 möglichst früh vor dem Wechsel der Daten in D_{in} einstellen (unkritischer Fall).
- Verschieben sie die Taktflanke immer weiter nach hinten, bis D_{out} fehlerhaft wird (instabiles Verhalten oder konstanter Wert). In diesem Moment wurde die minimale Hold-Time unterschritten. Messen mit den Cursorfunktionen die minimale Hold-Zeit. Hinweis: Das verwendete IC lässt es zu, dass die Taktflanke sogar hinter dem Wechsel von D_{in} liegt, und dass der Wert von D_{in} vor dem Wechsel trotzdem noch übernommen wird. In diesem Fall haben sie eine negative Hold Zeit.
- Beobachten Sie wieder D_{out} . Verschieben Sie den Takt weiter nach hinten, bis D_{out} gerade wieder funktioniert. Jetzt ist eine extrem lange Hold-Time, aber die minimale Setup-Time erreicht. Zudem ist D_{out} jetzt nicht mehr scheinbar invertiert zu D_{in} , weil D_{in} nicht mehr am Ende, sondern ganz am Anfang des Taktzyklus übernommen wird.
- Messen Sie die (jetzt minimale) Setup-Time mit den Cursor Linien.
- Messen Sie zudem, wie lange es dauert, bis nach dem Wechsel der Taktflanke D_{out} einen stabilen Pegel angenommen hat. Dies ist das Propagation Delay. Hier müssen Sie D_{out} mit Clock vergleichen.



Unkritischer Fall: Kanal 1: D_{in} , Kanal 2: D_{out} , Kanal 3: D_{out} . D_{out} übernimmt den Low-Pegel von D_{in} . D_{in} ist schon lange Zeit auf Low. Taktflanke ist sehr weit vor dem Wechsel in D_{in} .



Messung der Minimalen Hold-Time. Zulässige Hold-Time wurde gerade unterschritten, Kanal 1: D_{in} , Kanal 2: Clock, Kanal 3: D_{out} . Die Hold Time kann 0 oder sogar negativ sein. Details im Bild wurden versteckt.



Messung der Minimalen Setup-Time, Kanal 1: D_{in} , Kanal 2: Clock, Kanal 3: D_{out} . Details im Bild wurden versteckt.



Messung des Propagation Delays, Kanal 1: D_{in} , Kanal 2: Clock, Kanal 3: D_{out} .
Details im Bild wurden versteckt.

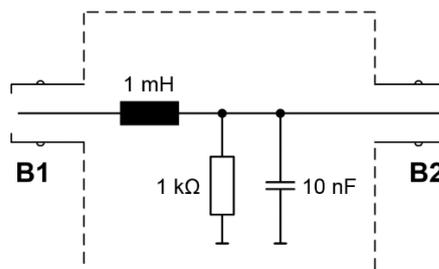
Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- Geben Sie Ihre gemessene minimale Setup-Time, die minimale Hold-Time und das Propagation Delay an:

6.4 Aufnahme eines Frequenzganges mit Frequenz Sweep aus Funktionsgenerator

Bei der Messung eines Betrags-Frequenzganges $|H(f)|$ eines Filters wird der Übertragungsfaktor bei sehr vielen Frequenzen gemessen und in einem Plot dargestellt. Die Messung jeder einzelnen Frequenz ist allerdings sehr aufwändig. Um Sie zu automatisieren, wird in einem Funktionsgenerator ein Frequenz Sweep erzeugt. Dieser startet mit einem Sinussignal bei einer kleinen Frequenz und erhöht die Frequenz kontinuierlich, bis die maximale Frequenz erreicht wird. Schickt man dieses Signal auf ein Filter und beobachtet dessen Ausgang, so ist die angezeigte Hüllkurve ein Maß für den Betrag des Frequenzganges.

Auf der Experimentalplatine befindet sich zwischen B1 und B2 ein Tiefpass, dessen Frequenzgang Sie bestimmen sollen.

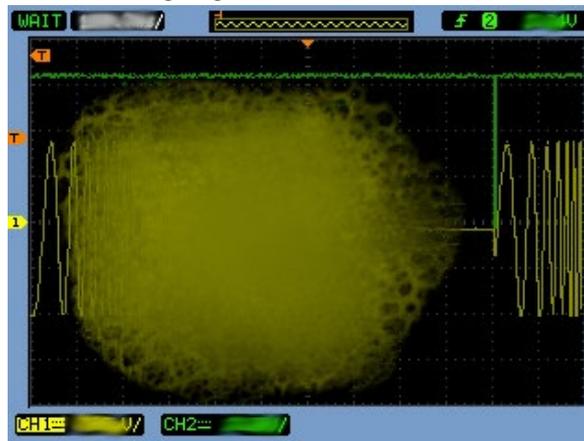


Tiefpass auf der Experimentalplatine

Hinweise

- Experimentalplatine vom Strom trennen, wieder mit Strom versorgen.

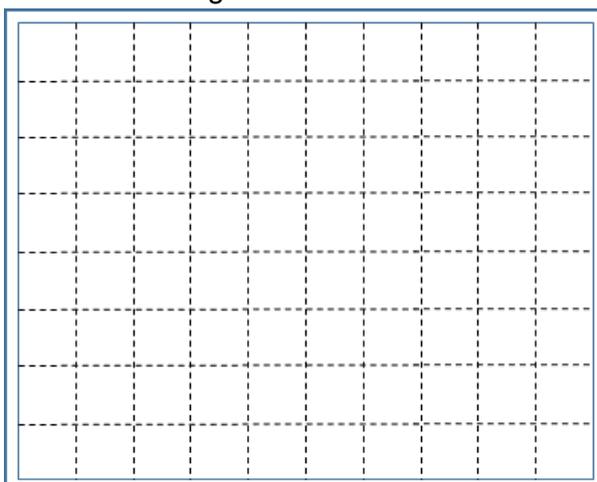
- Im Funktionsgenerator State100.sta auswählen. Kanal 1 liefert den Sweep. Der Sync-Ausgang des Generators liefert einen kurzen Impuls zu Beginn des Sweeps.
- Legen Sie den Sync-Impuls auf Kanal 2 des Oszilloskopes, triggern Sie auf diesen. Achtung: Der Sweep dauert eine Sekunde, daher muss der Auto-Trigger ausgeschaltet sein! Vermutlich müssen sie den Trigger-Level anpassen. Verschieben Sie die Position des Triggerzeitpunktes (=Startpunkt des Sweeps) nach ganz links auf den Bildschirm. Sinnvoll ist bei der Horizontalablenkung 100.0ms/.
- Der Sweep startet bei 10 Hz und stoppt bei 1 MHz. Alle 200 ms verzehnfacht sich also seine Frequenz. Die Frequenzachse ist logarithmisch!
- Schauen Sie sich zunächst den auf Kanal 1 den Sweep an. Wie groß ist seine Amplitude?
- Schauen Sie sich den Ausgang des Filters auf Kanal 1 an.



Schirmbild während der Messung des Frequenzganges, Details im Bild wurden versteckt.

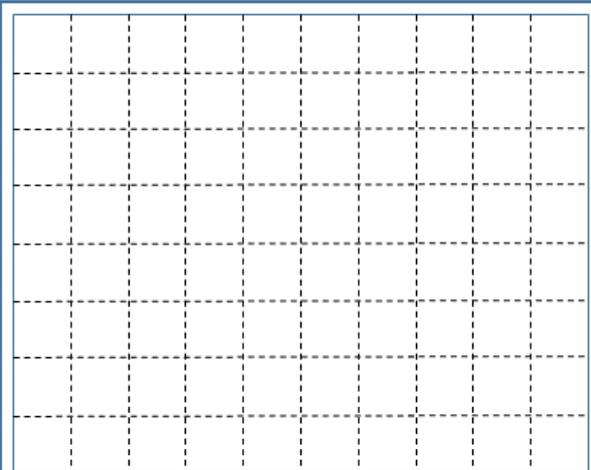
Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- Fertigen Sie eine Skizze des Schirmbilds an.

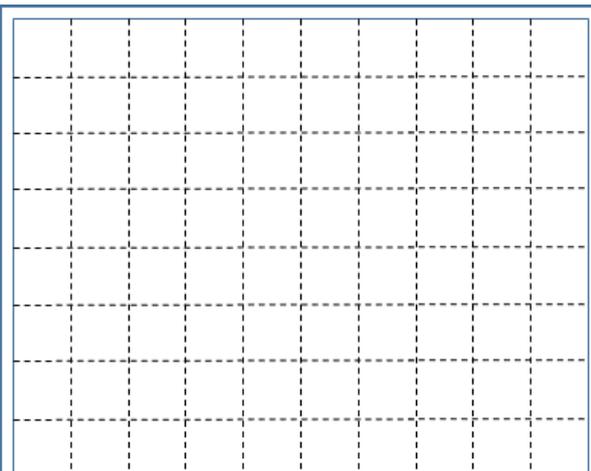


Einstellungen und Messwerte:

- Zeichnen Sie aus dem Schirmbild einen Plot für $|H(f)|$ mit logarithmischer Frequenzachse zwischen 10 Hz bis 1 MHz. Die vertikale Achse ist linear!

	Einstellungen und Messwerte:
---	------------------------------

- Zeichnen Sie auch einen Plot, der $|H(f)|$ aus den Bauteilen berechnet hat und vergleichen Sie den berechneten und gemessenen Frequenzgang.

	Einstellungen und Messwerte:
--	------------------------------

6.5 Abschätzen des Klirrfaktors

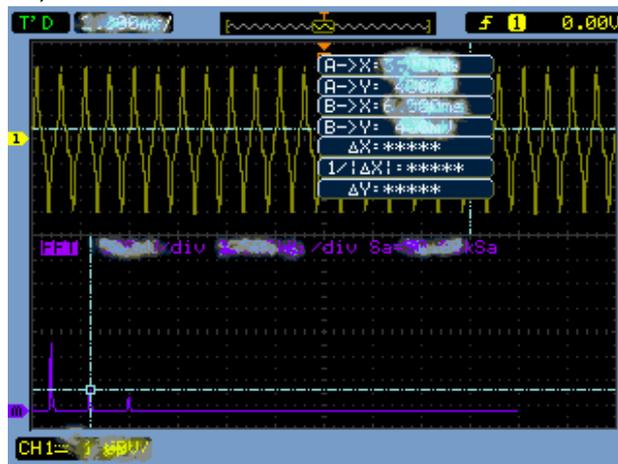
Eine perfekte sinusförmige Schwingung kann zum Beispiel durch nichtlineare Verstärker verzerrt werden. Diese verzerrte Schwingung beinhaltet dann nicht nur die Grundwelle, sondern auch Frequenzanteile bei ganzzahlig Vielfachem der Grundwelle. Um den Anteil dieser Oberwellen am Gesamtsignal mit einer Kennzahl zu charakterisieren, definiert man den Klirrfaktor. Der Klirrfaktor einer verzerrten ursprünglich sinusförmigen Schwingung ist definiert als Verhältnis der Leistung der Oberwellen des Sinus zur Gesamtleistung aller Schwingungen, also

$$\text{Klirrfaktor} = 100\% \cdot \frac{U_{3f_1}^2 + U_{5f_1}^2 + \dots}{U_{f_1}^2 + U_{3f_1}^2 + U_{5f_1}^2 + \dots}$$

Sie sollen nachfolgend die Leistung der Grundwelle bei der Frequenz f_1 also $U_{f_1}^2$ im Verhältnis zu den n-ten Oberwellen $U_{nf_1}^2$ messen und daraus den Klirrfaktor bestimmen. Dazu werden sie die eingebaute Transformation in den Frequenzbereich (FFT) des Oszilloskops nutzen.

Hinweise

- Im Funktionsgenerator State118.sta auswählen. Der Funktionsgenerator liefert ein periodisches Sinussignal mit Oberwellen.
- Messen Sie das Signal per Koaxialkabel (Teilverhältnis am Oszilloskop X1) auf Kanal 1 des Oszilloskops,
- Stellen Sie zunächst ca. 25 Schwingungen auf dem Bildschirm dar.
- Aktivieren Sie mit *Math* die FFT für Kanal 1, Wählen Sie für *Window*: Hamming.
- Auf der zweiten Seite des *Math* Menus können Sie die vertikale Lage und die Größe der Frequenzkomponenten darstellen.
- Im *Cursor* Menu wählen Sie Track und als Quelle nicht Kanal 1 sondern *Math*.
- Verwenden Sie *CurA* um die Peaks im Spektrum abzufahren und zu notieren (Höhe und Position)



Schirmbild während der Klirrfaktormessung, Details im Bild wurden versteckt.

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- Welche Frequenz hat die Grundwelle?
- Wie viele Frequenzen müssen berücksichtigt werden?
- Notieren Sie Höhe und Position der Peaks im Spektrum!

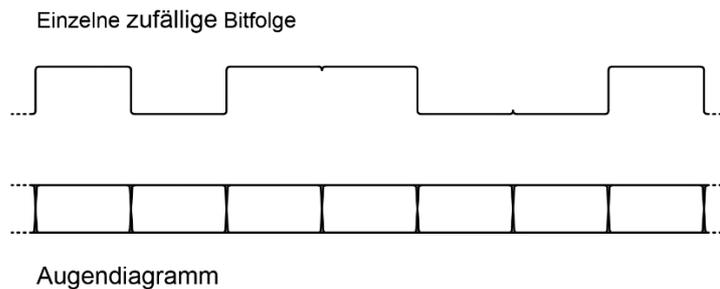
- Wie groß ist der Klirrfaktor?

6.6 Augendiagramm

Das Augendiagramm ist eine schnelle Methode, mit der man sich einen Eindruck über die Qualität bzw. Fehleranfälligkeit einer digitalen Übertragungsstrecke verschaffen kann. Nehmen wir an, dass Bits mit rechteckförmigen Impulsen übertragen würden, so würde man ohne Störungen am Empfänger ein Signal oszillographieren, bei dem das Signal

immer zwischen zwei Werten wechselt. Überlagert man mit Hilfe der Nachleuchtdauer viele solcher zufälligen Verläufe, ergibt sich ein Muster aus nebeneinanderliegenden Boxen oder „Augen“. Als Triggersignal verwendet man den Takt, mit dem die Datenimpulse übertragen werden.

- Verwendet man andere Impulse als Rechtecke (beispielsweise tiefpassgefilterte Impulse), so bleiben die Augenöffnungen zwar bestehen, aber sie werden kleiner aufgrund der Verschleifung der Übergänge.
- Kommt Rauschen auf dem Kanal hinzu, werden alle Linien vertikal breiter, so dass sich das Auge vertikal schließt.
- Ist die zeitliche Synchronisation unsicher, so schließt sich das Auge horizontal.
- Ist das Auge annähernd geschlossen, kommt es zu Übertragungsfehlern.

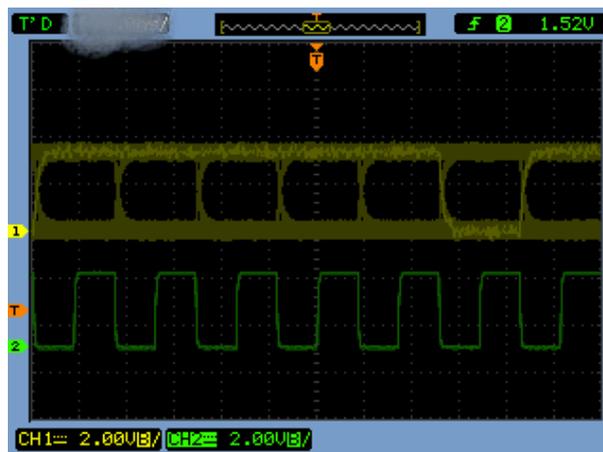


Einzelne zufällige Bitfolge und Augendiagramm

Wir werden nachfolgend ein einfaches Augendiagramm mit Rauschstörung oszilloskopieren.

Hinweise

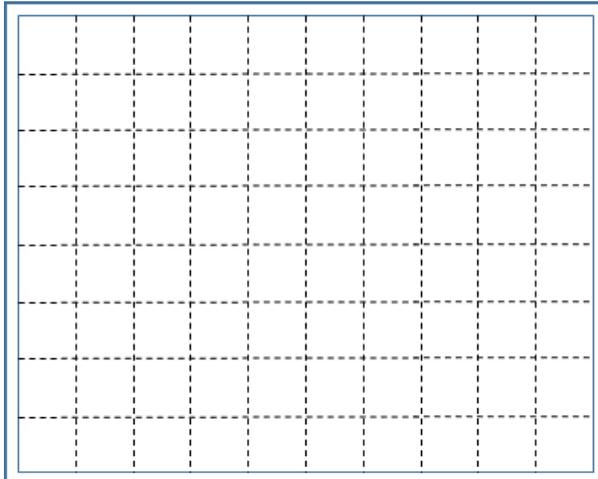
- Experimentalplatine vom Strom trennen, wieder mit Strom versorgen.
- Drücken Sie Taster 1 fünf Mal (grüne LEDs zeigen „0101“ an)
- Triggern Sie auf den Takt (liegt an TP 13 an).
- Das verrauschte Datensignal liegt an TP 5.
- Wählen Sie eine sinnvolle Nachleuchtdauer



Schirmbild während der Aufnahme eines Augendiagramms, Details im Bild wurden versteckt.

Messaufgabe und Aufgaben für Ausarbeitung

- Zeichnen Sie das Schirmbild.



Einstellungen und Messwerte:

- Wie groß ist die Bitrate?

- Kann fehlerfrei empfangen werden und woran erkennen Sie dies?

