

- (Alexej) 4 Ausarbeitung (Abgabetermin: 14 Tage nach dem Versuch)
 - ☒ Einfaches Deckblatt
 - ☒ Kein Verzeichnis
 - ☒ Musterbericht als Vorlage nehmen
 - ☐ Protokoll einscannen und als Anhang abgeben
 - ☐ Max 4 MB
- (Alexej) 4.1 Messaufbau
 - ☒ Geräteliste einfügen
 - ☒ Schaltung einführen
- (Alexej) 4.2 Zu Abschnitt 3.3 "Anstiegszeit ermitteln"
 - ☒ Anstiegszeit bestimmen
 - ☒ Unsicherheit der Anstiegszeit ermitteln
 - ☒ Abweichung der Anstiegszeit zu Δx diskutieren
 - ☒ OSZ-Datenblatt nehmen und Anstiegszeit auslesen
 - ☒ Welcher Zusammenhang besteht zur "Bandbreite" 200 MHz des Oszilloskops (vergl. Anhang A)?
 - ☒ Lässt sich damit entscheiden, ob die nicht idealen Flanken durch den Signalgenerator verursacht werden, oder ob das Oszilloskop evtl. so steile Flanken nicht korrekt darstellen kann?
- (Alexej) 4.3 Zu Abschnitt 3.4.1 "Widerstand"
 - ☒ Den Messwert des Widerstands mit Unsicherheit (absolut und relativ) angeben.
- (Wilfrid) 4.4 Zu Abschnitt 3.4.2 "Speisung durch BNC-Box"
 - ☒ (Wilfrid) 4.4.1 Nichtideale Spannungsquelle
 - ☒ Ermitteln Sie die Ursache für die Abweichung der Eingangsspannung von der Rechteckform
 - ☒ Ersatzschaltbild der Schaltung aus, in dem Sie den Signalgenerator als nichtideale Spannungsquelle darstellen.
 - ☒ Werte der Parameter dieser Spannungsquelle und dessen Anfangs Sprunghöhe
 - ☒ **Hinweis:** Zum Zeitpunkt des Sprungs ist die Kondensatorspannung gleich 0, was einem kurzgeschlossenen Ausgang der Schaltung entspricht.
 - ☒ (Wilfrid) 4.4.2 Anstiegszeit und Bestimmung der Kapazität des Kondensators
 - ☒ Anstiegszeit incl. Unsicherheit aus den Messwerten des unteren und des oberen Schnittpunkts bestimmen.
 - ☒ Welche Kapazität des Kondensators ergibt sich aus dem Widerstand und der gemessenen Anstiegszeit? (vergl. Anhang A und Vorbereitungsaufgaben 1 und 2)
 - ☒ Wie groß ist die Messunsicherheit der berechneten Kapazität? (Fehlerfortpflanzungsrechnung)
 - ☒ Die Nichtidealität der Spannungsquelle verursacht eine systematische Abweichung des berechneten Wertes der Kapazität. Diese Abweichung lässt sich mit den Ergebnissen aus 4.4.1 bestimmen. Wie lautet der korrigierte Wert der Kapazität?

- 4.5 Zu Abschnitt 3.4.3
 - ☒ (Wilfrid) ~~4.5.1 Anstiegszeit und Kapazität bei Speisung aus dem Oszilloskop~~
 - ☒ ~~Anstiegszeit incl. Unsicherheit aus den Messwerten des unteren und des oberen Schnittpunkts bestimmen.~~
 - ☒ ~~Wie in 4.4.2 die Kapazität des Kondensators und ihre Unsicherheit bestimmen. Auf die Bestimmung und Korrektur des systematischen Fehlers kann verzichtet werden.~~
 - ☐ (Alexej) 4.5.2 Auswertung mit MATLAB, Least-Squares-Parameteridentifikation
 - ☐
- 4.6 Vergleichende Diskussion



HSB

Hochschule Bremen
City University of Applied Sciences

Schaltungsanalyse mittels Oszilloskop, Kenngrößen, Anstiegszeiten

Labor: Grundlagen der Elektrischen Messtechnik
Wintersemester 2021/2022

Versuchs Bezeichnung: OSZ

Versuchs Datum: 08.11.2021

Abgabedatum: 22.11.2021

Beteiligte: Alexej Kravtschenko
Wilfried Leyo Tajo Tallo

Laborleitung / - Betreuung: Prof. Dr.-Ing. Manfred Mevenkamp
M.Sc.-Phys. Hendrik Sander

4.1 Messaufbau (Alexej)

4.1.1 Verwendete Werkzeuge

Für den Laborversuch wurden die folgenden Werkzeuge verwendet:

- 2 Passive Tastköpfe mit einer 10:1 Dämpfung
- Ein Signalgenerator (BNC-2120-Box)
- Eine Platine, die über eine Tiefpassschaltung verfügt
 - mit $R = 1\text{ k}\Omega$
- Ein METRAHIT X-TRA Multimeter
- Eine Federklemme und ein BNC-Kabel

4.1.2 Messgeräte

Die Widerstandsmessung der Tiefpassfilter-Schaltung wurde nach einem Zero-Abgleich mit dem Multimeter durchgeführt. Die Signalmessung wurde mit den Werkzeugen des Oszilloskops erfasst. Insgesamt wurden zwei unterschiedliche Messmethoden am Oszilloskop verwendet:

- die "Cursor-Methode", die es einem erlaubt horizontale und oder vertikale Messzeitpunkte zu bestimmen
- sowie "Trace-Daten", die eine automatische Messung der Signale am Computer ausgibt.

4.1.2.1 Multimeter

Für die Erfassung, der tatsächlichen Größe des Widerstandes, wurde ein Multimeter verwendet. Bei dem verwendeten Multimeter handelt es sich um das Multimeter METRAHIT TRMS SYSTEM. Die Messung des Widerstands dient als ein Ausschluss potentieller Fehler, bei Verwendung unpassender Größen. Der Multimeter muss vor Beginn, sinnvoll eingestellt werden, damit die Messung mit einem passenden Widerstand resultiert. Der gemessene Widerstand lässt sich am Display ablesen.

Das Gerät wurde für den $6\text{ k}\Omega$ Messbereich verwendet. Laut dem gestellten Datenblatts lässt sich folgende Messunsicherheit ablesen:

$$6\text{ k}\Omega \pm (0,1\% \text{ v. } MW + 5D)$$

$5D$ entspricht $500\text{ m}\Omega$

4.1.2.2 DSOX2024A - Oszilloskop

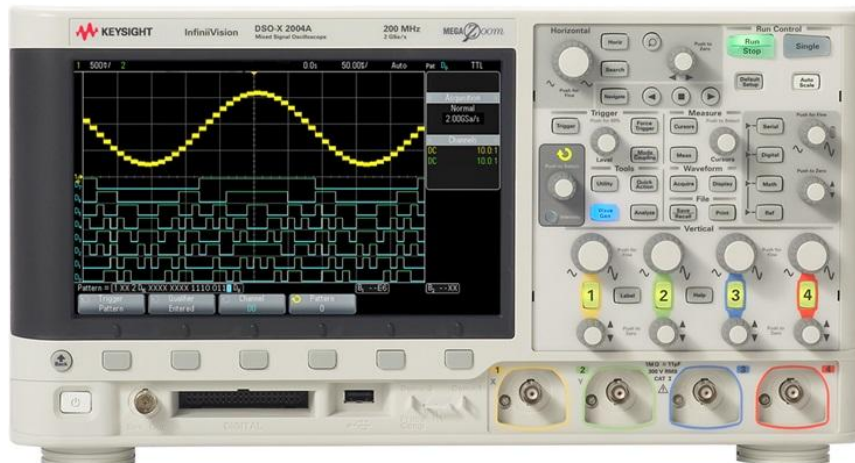


Abbildung X: DSOX2024A - Oszilloskop

Das Oszilloskop ist ein elektrisches Gerät, dass den zeitlichen Verlauf eines eingespeisten Signals auf einem Bildschirm anzeigt. Das angezeigte Signal wird über ein zweidimensionales Koordinatensystem modelliert, wobei die x- und y-Achse als Zeit- und Spannungsachse dienen.

Für den Laborversuch wurde ein Oszilloskop der Firma Keysight mit der Kennnummer DSOX2024A zur Verfügung gestellt. Das Gerät ist ein 4-Kanal, 200 MHz Oszilloskop. Es verfügt über eine "calculated-rise-time" (10%-90%) von $\leq 1,75 \text{ ns}$. Diese Anstiegszeit lässt

sich anhand der folgenden Formel definieren: $\frac{tr}{\text{Bandbreite}}$

Wobei tr für einen Konstanten Wert von $tr = 0,35$ steht und die Bandbreite 200 MHz

beträgt. Damit ergibt sich $\frac{0,35}{200 \text{ MHz}} = 1,75 \text{ ns}$

Während des Versuchs wurde mit Hilfe des Oszilloskops, die Kennlinien der Signale Oszilloskopiert. Außerdem wurde anhand der Cursor-Funktion die Anstiegszeit bestimmt.

4.1.3 Passiver Tastkopf

Dieser Abschnitt wird für das bessere Verständnis eines Tastkopfes verwendet.

Dafür müssen wir uns zuerst ein Ersatzschaltbild [1] ansehen, dass die Verwendung eines Oszilloskops mit einem Tastkopf zeigt.

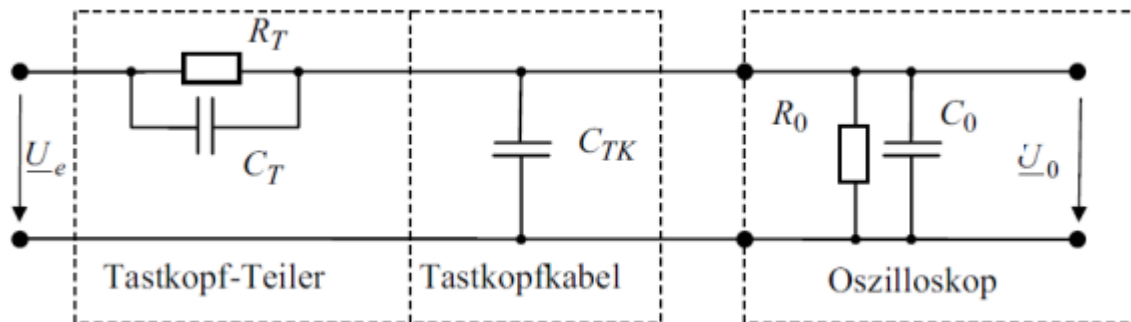


Abbildung:1 Oszilloskop mit Tastkopf

Bei einem korrekt kompensierten Tastkopf, mit einer Dämpfung von 10:1, wird das Eingangssignal des Oszilloskops um den Faktor 10 gedämpft. Diese Dämpfung führt dazu, dass in Relation zu einem herkömmlichen Kabel bzw. ein BNC-Kabel, die Frequenzbandbreite um eine Größenordnung ansteigt. Allerdings wird dafür der Signalhub um den Faktor 10 verringert.

4.1.3 BNC-2120-Box

4.1.4 RC-Filterschaltung

4.2 Anstiegszeit (Abschnitt 3.3 des Experiments(Alexej))

4.3 Widerstandsmessung (Abschnitt 3.4.1 des Experiments(Alexej))

absolute Unsicherheit: $\Delta R = (0,1\% \cdot MW + 5D) = (0,001 \cdot 0,9997k\Omega + 500m\Omega) = 1,5\Omega$

relative Unsicherheit: $\frac{\Delta R}{R} = \frac{1,5\Omega}{999,7\Omega} = 0,15\%$

4.4 Speisung durch BNC-Box (Abschnitt 3.4.2 des Experiments) (Wilfrid)

4.4.1 Nichtideale Spannungsquelle (Wilfrid)

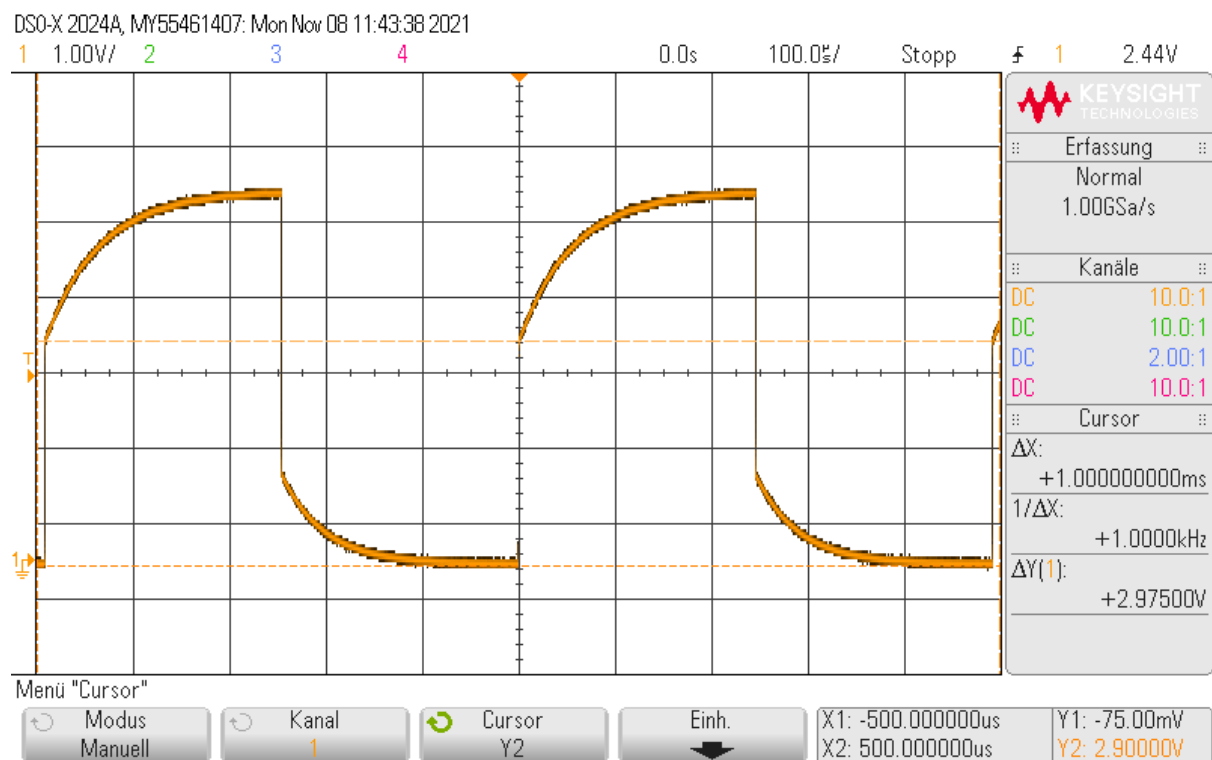


Bild: Die anfängliche Sprunghöhe

Die Ursache für die Abweichung der Eingangsspannung von der Rechteckform liegt daran, dass das Signal an den Eingang der Schaltung angelegt und wieder am Oszilloskop dargestellt wurde.

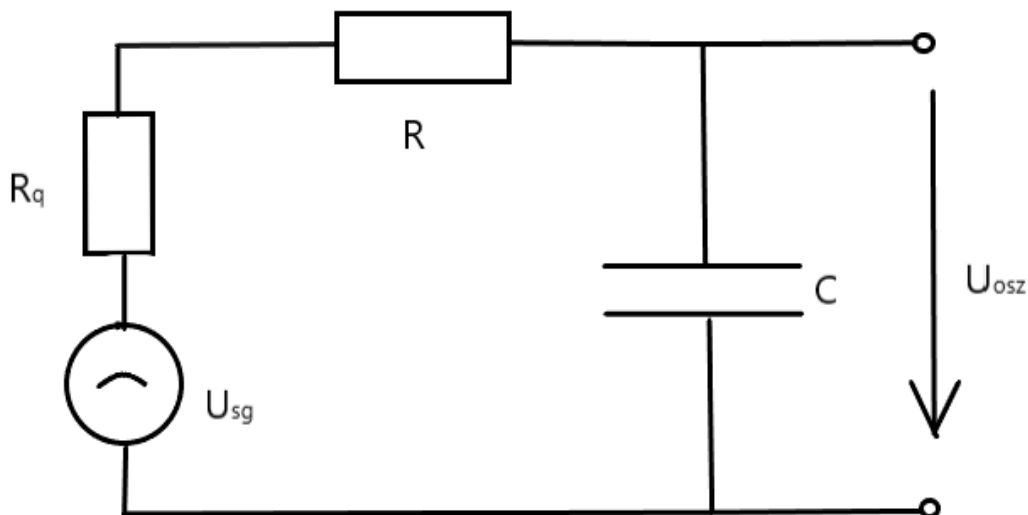


Abbildung : Ersatzschaltbild der Schaltung

Die Anfangssprunghöhe beträgt 2,975V. Der Kondensator C kann zunächst als kurzgeschlossen betrachtet werden, da er in diesem Zeitfenster noch nicht geladen werden konnte. Es wurde in der Filterschaltung verbauten Widerstand $R = 0,9997 \text{ k}\Omega$ gemessen. Der Strom in der Schaltung kann also über R und U_{osz} ausgerechnet werden.

$$R = \frac{U_{osz}}{I} \quad \Leftrightarrow \quad I = \frac{U_{osz}}{R} = \frac{2,975 \text{ V}}{0,9997 \text{ k}\Omega} = 2,983 \text{ mA}$$

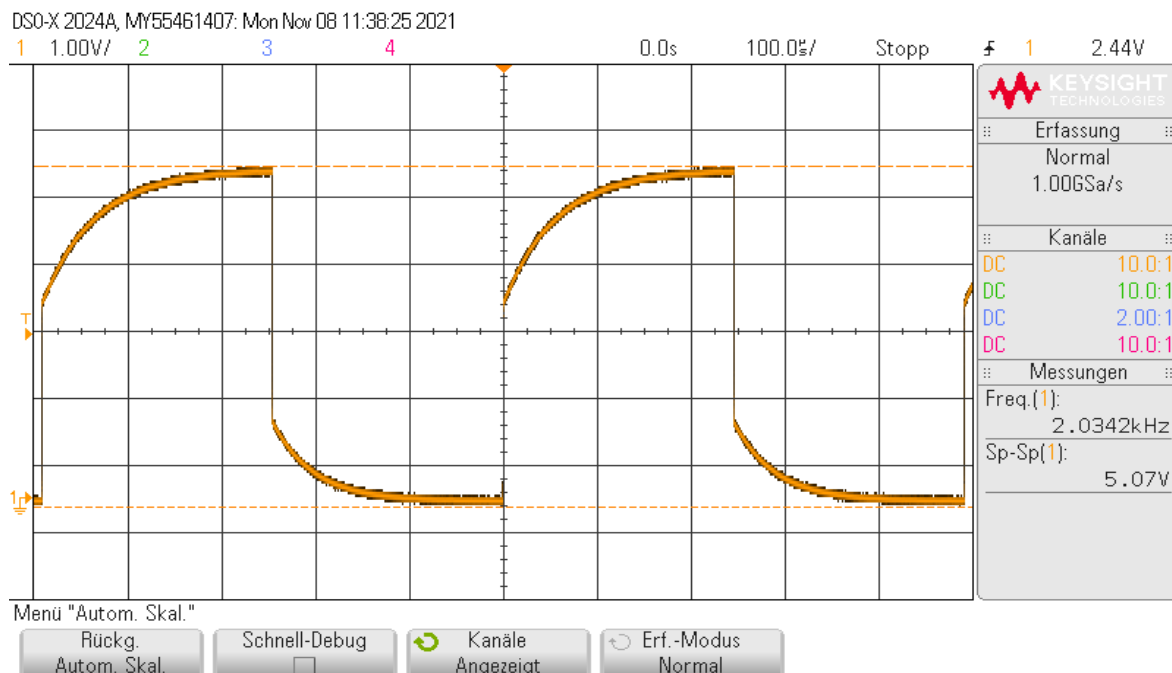


Bild: Spitze-Spitze Wert

Aus dem vorherigen Bild ist Messwert der Spannung $U_{sg} = 5,07 \text{ V}$ zu sehen. Da der Strom zum Zeitpunkt des Sprunges nun bekannt ist, kann die Spannung U_{R_q} der Schaltung mit Hilfe der Spannung der idealen Spannungsquelle berechnet werden.

$$U_{sg} - U_{R_q} - U_{osz} = 0$$

$$U_{R_q} = U_{sg} - U_{osz} = 5,07 \text{ V} - 2,975 \text{ V} = 2,095 \text{ V}$$

Daraus kann der Widerstand R_q aus dem Ersatzschaltbild berechnet werden.

$$R_q = \frac{U_{R_q}}{I} = \frac{2,095 \text{ V}}{2,983 \text{ mA}} = 702,313 \Omega$$

4.4.2 Anstiegszeit und Bestimmung der Kapazität des Kondensators

(Wilfrid)

- Bestimmung der Anstiegszeit incl. Unsicherheit aus den Messwerten des unteren und des oberen Schnittpunkts (Wilfrid)

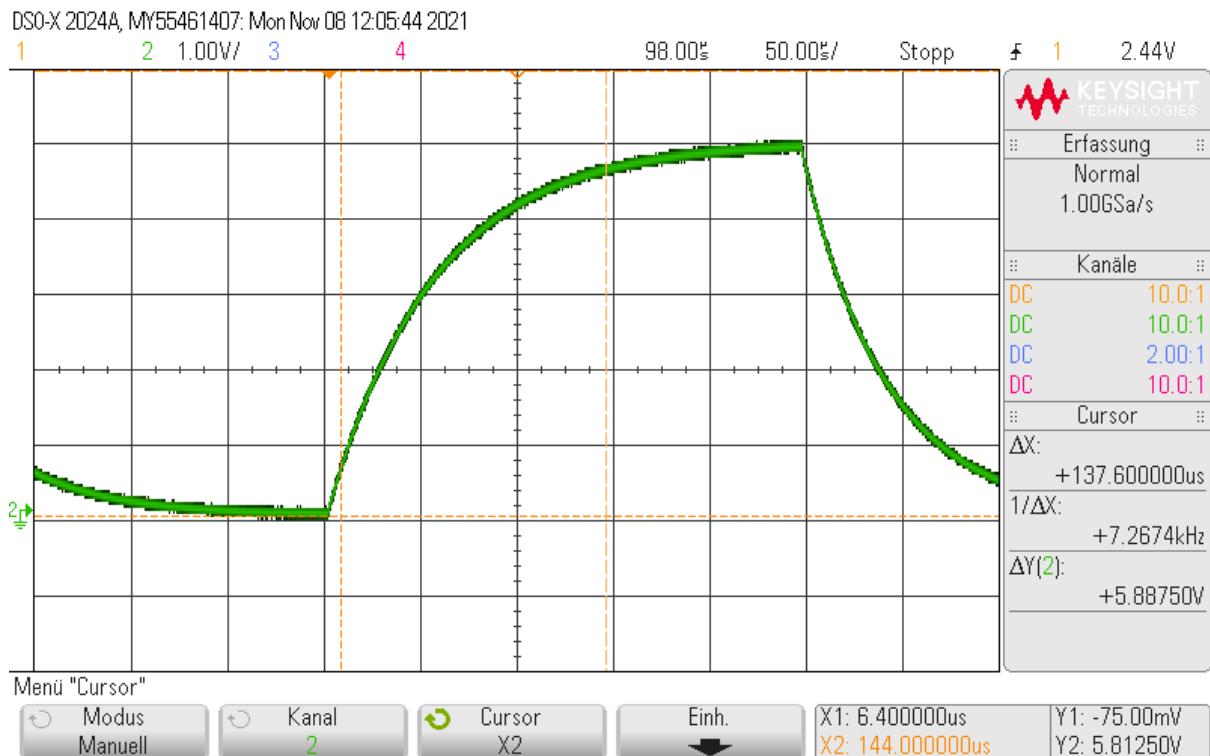


Bild: Die Anstiegszeit und der ansteigende Flanke

Zur Bestimmung der Anstiegszeit t_r musste zunächst die Zeitkonstante T berechnet werden.

Für die Bestimmung der Unsicherheit aus den Messwerten sollte man das Kästchen des 10%- und 90%-Niveaus markieren und daraus der minimale und maximale Wert bestimmen und dessen Mittelwert nehmen.

$$X_1 = 6,4 \mu s$$

$$X_2 = 144 \mu s$$

Man stellt fest, dass die Cursor sich nur mit einer Unsicherheit von $\pm \frac{1}{20} Div$ mit einer Division von $50 \mu s$ entsprechend $\Delta t_i = \frac{50 \mu s}{20} = 2,5 \mu s$ einstellen lassen.

$$t_1 = 6,4 \mu s \pm 2,5 \mu s$$

$$t_2 = 144 \mu s \pm 2,5 \mu s$$

$$\Delta T = \sqrt{t_1^2 + t_2^2} = \sqrt{(2,5 \mu s)^2 + (2,5 \mu s)^2} = 3,535 \mu s$$

$$\Rightarrow T = t_2 - t_1 = 144 \mu s - 6,4 \mu s \pm \sqrt{(2,5 \mu s)^2 + (2,5 \mu s)^2}$$

$$\Rightarrow T = 137,6 \mu s \pm 3,535 \mu s$$

Aus Anhang A $t_r \approx 2,2 T$

$$t_r \approx 2,2(137,6 \pm 3,535) \mu s \approx 302,72 \mu s \pm 7,777 \mu s$$

Die Anstiegszeit $t_r = 302,72 \mu s$

Die Messunsicherheit $\Delta t_r = 7,777 \mu s$

➤ Bestimmung der Kapazität C des Kondensators und der Unsicherheiten der Größen mit der Fehlerfortpflanzungsrechnung (Wilfrid)

Mit der Anstiegszeit t_r kann die Grenzfrequenz f_g berechnet werden. Aus Anhang A und Vorbereitungsaufgaben 1 und 2:

$$T \approx 0,455 \cdot t_r \quad \text{und} \quad f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot T} \approx \frac{0,35}{t_r}$$

$$\Rightarrow f_g = \frac{0,35}{302,72 \mu s} = 1,156 \text{ kHz}$$

Die Zeitkonstante $T = 137,6 \mu s \pm 3,535$

Aus der Zeitkonstante T lässt sich die Kapazität C des Kondensators wie folgt bestimmen:

$$T = R \cdot C \quad \Leftrightarrow \quad C = \frac{T}{R} = \frac{137,6 \mu s}{0,9997 \text{ k}\Omega} = 137,641 \text{ nF}$$

Für die Unsicherheit der Grenzfrequenz Δf_g gilt:

$$\frac{\Delta f_g}{|f_g|} = \frac{\Delta t_r}{|t_r|} \quad \Leftrightarrow \quad \Delta f_g = \frac{\Delta t_r}{t_r} \cdot f_g = \frac{7,777 \mu s \cdot 1,156 \text{ kHz}}{302,72 \mu s} = 29,698 \text{ Hz}$$

Für die Unsicherheit des Widerstands ΔR gilt :

Genauigkeit: $\pm (0,1\% \text{ v. M.} + 5 \text{ digit})$ 5 digit entspricht 500 mΩ

Messwert: $R = 0,9997 \text{ k}\Omega$

Messunsicherheit:

$$\Delta R = 0,1\% \cdot 0,9997 \text{ k}\Omega + 500 \text{ m}\Omega = 1,4997 \Omega$$

➤ Bestimmung der Messunsicherheit der berechneten Kapazität
(Wilfrid)

$$C = \frac{R}{T}$$

Bei Division der Messwerte ergibt sich ΔC :

$$\Rightarrow \Delta C = C \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta T}{T}\right)^2} = 137,641 \text{ nF} \cdot \sqrt{\left(\frac{1,4997 \Omega}{0,9997 \text{ k}\Omega}\right)^2 + \left(\frac{3,535 \mu\text{s}}{137,6 \mu\text{s}}\right)^2}$$

$$\Rightarrow \Delta C = 3,539 \text{ nF}$$

➤ Berechnung des korrigierten Wertes der Kapazität (Wilfrid)

Bekannt ist bereits, dass die Nichtidealität der Spannungsquelle eine systematische Abweichung des berechneten Wertes der Kapazität verursacht. Diese Abweichung lässt sich mit den Ergebnisse aus 4.4.1 ermitteln. Aus der Abbildung lässt sich erkennen, dass es einen zusätzlichen Widerstand gibt. Der wäre dann der Innenwiderstand der nichtideale Spannungsquelle R_q .

so wäre dann der korrigierte Wert der Kapazität C_k :

$$C_k = \frac{T}{R+R_q} = \frac{137,6 \mu\text{s}}{0,9997 \text{ k}\Omega + 702,313 \Omega} = 80,845 \text{ nF}$$

4.5 Speisung durch den Signalgenerator des Oszilloskops

4.5.1 Anstiegszeit und Kapazität bei Speisung aus dem Oszilloskop

(Wilfrid)

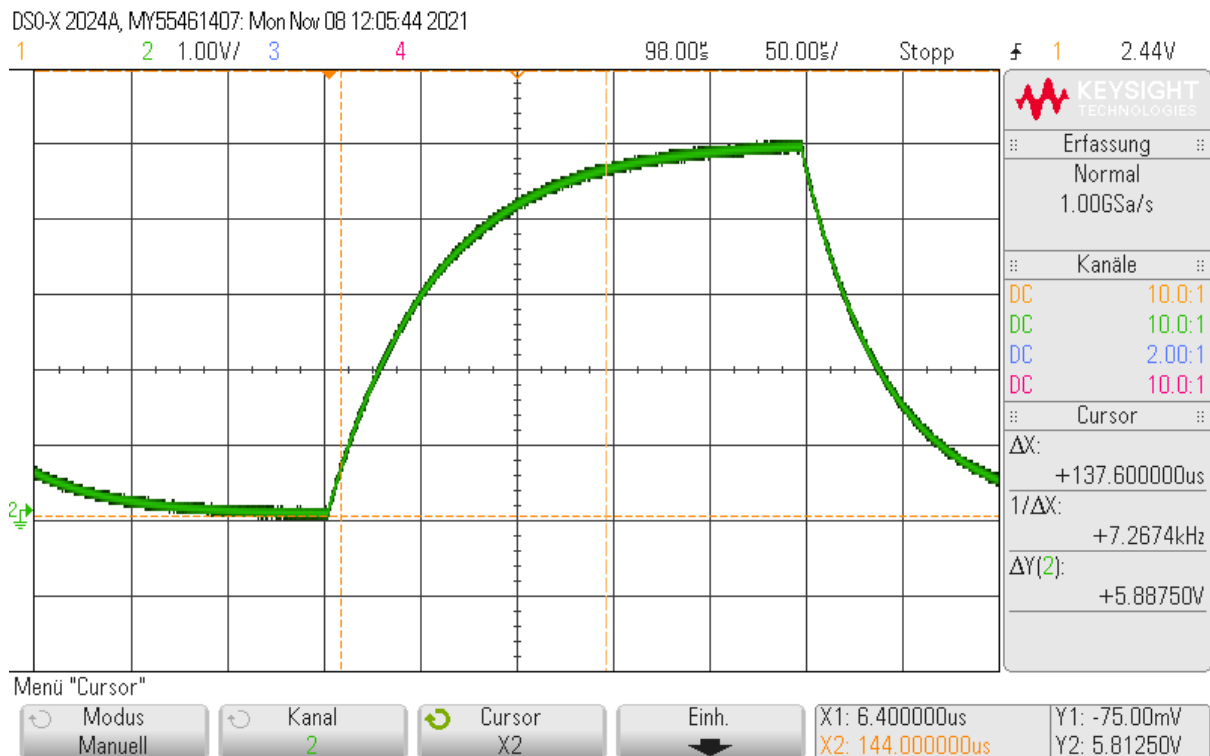


Bild: Anstiegszeit der Kondensatorspannung bei Speisung aus dem Oszilloskop

- Bestimmung der Anstiegszeit incl. Unsicherheit aus den Messwerten des unteren und des oberen Schnittpunkts (Wilfrid)

Aus dem Bild lässt sich erkennen, dass die Anstiegszeit $t_r = 137,600 \mu\text{s}$

Für die Bestimmung der Unsicherheit der Anstiegszeit aus den Messwerten sollte man wie in 4.4.2 beschrieben vorgehen.

$$X_1 = 2,1 \mu\text{s} \text{ bis } 7,05 \mu\text{s}$$

$$X_2 = 88,5 \mu\text{s} \text{ bis } 101,8 \mu\text{s}$$

$$\Rightarrow \Delta t_r = \left(\frac{88,5 \mu\text{s} + 101,8 \mu\text{s}}{2} \right) - \left(\frac{2,1 \mu\text{s} - 7,05 \mu\text{s}}{2} \right) = 97,625 \mu\text{s}$$

- Bestimmung der Kapazität C des Kondensators und ihrer Unsicherheit wie in 4.4.2 (Wilfrid)

Wie in 4.4.2 lässt sich die Grenzfrequenz f_g bestimmen:

$$f_g = \frac{0,35}{t_r} = \frac{0,35}{137,600 \mu s} = 2,543 \text{ MHz}$$

Die Zeitkonstante T hier:

$$T = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_g} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,543 \text{ MHz}} = 62,617 \mu s$$

Aus der Zeitkonstante T lässt sich die Kapazität C des Kondensators wie folgt bestimmen:

$$T = R \cdot C \quad \Leftrightarrow \quad C = \frac{T}{R} = \frac{62,617 \mu s}{0,9997 \text{ k}\Omega} = 62,635 \text{ nF}$$

$$C = \frac{R}{t_r}$$

Für die Division der Messwerte ergibt sich ΔC :

Aus 4.4.2 ergibt sich $\Delta R = 20,094 \Omega$

$$\Rightarrow \Delta C = C \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta t_r}{t_r}\right)^2} = 62,635 \text{ nF} \cdot \sqrt{\left(\frac{20,094 \Omega}{0,9997 \text{ k}\Omega}\right)^2 + \left(\frac{97,625 \mu s}{137,600 \mu s}\right)^2}$$

$$\Rightarrow \Delta C = 1,258 \text{ mF}$$

4.5.2 Auswertung mit MATLAB (Alexej)

4.6 Vergleichende Diskussion

Der Unterschied zwischen die Kapazität des Kondensators aus den erhaltenen Ergebnissen lässt sich gut merken, ebenfalls für die Unsicherheiten. Die erkennbare Abweichung von idealen Verlauf ist der Grund des Unterschieds zwischen die Kapazität des Kondensators, weil sich der Signalverlauf und vor allem die anfängliche Sprunghöhe der ansteigenden Flanke verändert. Da die Nichtidealität der Spannungsquelle den Wert der Kapazität beeinflusst, ist es die Ursache einer systematische Abweichung des Wertes der Kapazität des Kondensators. (Wilfrid)

5. Anhang