

0 | Einführung und Vorversuch

Angelo Brade^{*1} and Jonas Wortmann^{†1}

¹Rheinische Friedrich–Wilhelms–Universität Bonn

August 28, 2024

^{*}s72abrad@uni-bonn.de

[†]s02jwort@uni-bonn.de

Contents

1	Einleitung	1
2	Theorie	2
3	Voraufgaben	4
3.1	A	4
3.2	B	4
3.3	C	4
3.4	E	4
4	Auswertung	6
4.1	b	6
4.2	c	7

1 Einleitung

Dieser Versuch beschäftigt sich mit dem Oszillographen als Messegerät für verschiedene elektrische Signale. Die Funktionsweise basierend auf der Elektronenstrahlröhre und praktische Anwendung wie die Messung der Anstiegszeit bei einem Rechtecksignal werden behandelt.

2 Theorie

Messgeräte sind in ihrem fundamentalen Aufbau eine Kombination aus einer Messeinheit und einer Anzeigeeinheit. Oft wird ein Messwandler verwendet, der das gemessene Signal proportional in eine Anzeigegröße umwandelt.

Der Oszillograph ist ein Messgerät welches in seinem fundamentalen Aufbau aus einer Elektronenstrahlröhre besteht. Die gemessene Größe (meist Spannung) elektrische Felder gewandelt und dann als Auslenkung des Elektronenstrahl ausgegeben.

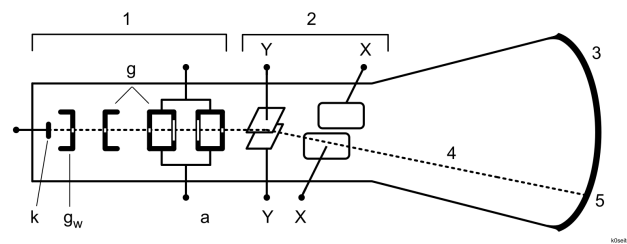


Figure 1: Elektronenstrahlröhre; Abbildung 0.4 [1]

1 ist das Strahlerzeugersystem, 2 die Ablenkelektroden und 3 der Bildschirm. 4 ist der Elektronenstrahl und 5 der Auftreffpunkt.

Ein Oszillograph besteht weiter aus einem y-Verstärker und einer Zeitablenkeinheit (oder Zeitbasis). Der y-Verstärker verstärkt das Signal in y Richtung, um auch kleinere Spannungen anzeigen zu können. Die Zeitbasis ist eine proportional zur Zeit steigende Spannung angelegt an den x-Platten, die die Zeitentwicklung darstellt. Sie wird meist periodisch wiederholt, indem der Strahl wieder zurück zur Ausgangsposition springt und die Spannung erneut erhöht wird.

Das Zweikanaloszilloskop verfügt über zwei gleiche aber voneinander getrennte y-Eingänge, damit zwei Signale gleichzeitig auf dem Bildschirm angezeigt werden können. Es existieren nicht zwei Elektronenstrahlen, sondern die Elektronenstrahlröhre schaltet mit sehr hoher Frequenz zwischen den beiden Kanälen um, um beide Signale auszugeben.

Zum Vergleich der Phasenlage zweier Wechselspannungssignale ist es sinnvoll das eine Signal auf die y-Ablenkung zu legen und das andere auf die x-Ablenkung.

Alle signalverarbeitenden elektronischen Geräte haben eine begrenzte Bandbreite, die mit einem Tiefpassfilter erster Ordnung beschrieben werden kann,

$$B = \frac{1}{2\pi\tau} \quad \tau := RC. \quad (2.1)$$

Eine endliche Bandbreite führt zur Unterdrückung von hohen Frequenzen und im Zeitbereich zu einer endlichen Anstiegszeit von schnellen Signalen, wie zum Beispiel dem Rechtecksignal.

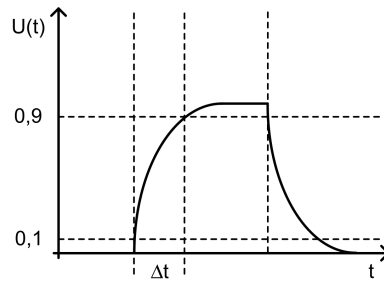


Figure 2: Rechteckimpuls mit endlicher Anstiegszeit; Abbildung 0.11 [1]

Statt der Bandbreite B wird oft die Anstiegszeit Δt angegeben, die ein Signal braucht, um von 10% auf 90% anzusteigen. Näherungsweise gilt die Formel für exponentiell ansteigende Signale

$$B \cdot \Delta t \approx 0.35. \quad (2.2)$$

Da der Oszillograph auch eine Anstiegszeit besitzt, wird die echte Signalform verfälscht und es gilt

$$\Delta t_{\text{gemessen}}^2 = \Delta t_{\text{Signal}}^2 + \Delta t_{\text{Oszi}}^2. \quad (2.3)$$

3 Voraufgaben

3.1 A

Sie die Spannung $U(t) = U_0 \sin(\omega t)$. Dann ist

$$U_{SS} = 2U_0 \quad U_S = U_0 \quad U_{\text{eff}} = \sqrt{\langle U_0^2 \sin^2(\omega t) \rangle} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}. \quad (3.1)$$

3.2 B

Mit $U_S = 10 \text{ V}$ folgt $U_{\text{eff}} = \sqrt{\langle (10 \text{ V})^2 \rangle} = 10 \text{ V}$.

3.3 C

Es ist

$$U_n = U_0 \frac{R_n}{R_n + R_i} \quad (3.2)$$

$$\Leftrightarrow U_0 = \frac{U_n (R_n + R_i)}{R_n}, \quad (3.3)$$

Für $n \in [1, 2]$ gilt dann

$$\Rightarrow \frac{U_1 (R_1 + R_i)}{R_1} = \frac{U_2 (R_2 + R_i)}{R_2} \quad (3.4)$$

$$\Leftrightarrow I_1 (R_1 + R_i) = I_2 (R_2 + R_i)$$

$$\Leftrightarrow I_1 R_i - I_2 R_i = I_2 R_2 - I_1 R_1$$

$$\Leftrightarrow R_i (I_1 - I_2) = U_2 - U_1$$

$$\Leftrightarrow R_i = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2}. \quad (3.5)$$

Es ist $U_1 = 20 \text{ V}_{\text{SS}}$ mit $I_1 = 0$ (unbelastet) und $U_2 = 10 \text{ V}_{\text{SS}}$ mit $I_2 = \frac{U_2}{R_2} = 0.2 \text{ A}$. Damit ist

$$R_i = \frac{10 \text{ V}_{\text{SS}} - 20 \text{ V}_{\text{SS}}}{0 \text{ A} - 0.2 \text{ A}} = 50 \Omega. \quad (3.6)$$

3.4 E

Für einen Tiefpass mit exponentiell ansteigender Flanke gilt

$$U(t) = U_0 \left(1 - e^{-t/\tau}\right). \quad (3.7)$$

Für die Zeit Δ die ein Rechtecksignal von 10% auf 90% ansteigt gilt dann

$$\Rightarrow U(t) = 0.1U_{\max} = \left(1 - e^{-t/\tau}\right) U_{\max} \quad (3.8)$$

$$\Rightarrow U(t + \Delta) = 0.9U_{\max} = \left(1 - e^{-(t+\Delta)/\tau}\right) U_{\max} \quad (3.9)$$

Daraus folgen

$$0.1 = 1 - e^{-t/\tau} \quad (3.10)$$

$$\Leftrightarrow e^{-t/\tau} = 0.9$$

$$\Leftrightarrow \tau = -\frac{t}{\ln(0.9)}$$

$$\Leftrightarrow t = -\ln(0.9)\tau. \quad (3.11)$$

und

$$0.9 = 1 - e^{-(t+\Delta)/\tau} \quad (3.12)$$

$$\Leftrightarrow e^{-(t+\Delta)/\tau} = 0.1$$

$$\Leftrightarrow \tau = -\frac{t + \Delta}{\ln(0.1)}. \quad (3.13)$$

Die Zeitdifferenz ist dann $\Delta = \ln(0.9)\tau - \ln(0.1)\tau = \ln(9)\tau$. Daraus folgt die Bandbreite

$$B \cdot \Delta = \frac{1}{2\pi\tau} \ln(9)\tau \approx 0.35. \quad (3.14)$$

4 Auswertung

4.1 b

Der Ausgang des Signalgenerators wird mit dem CH1-Eingang des Oszilloskops verbunden. Dazu wird ein kurzes RG-58 C/U Kabel (BNC Kabel) verwendet. Am Signalgenerator wird ein Rechtecksignal mit einer Frequenz von 2 MHz eingestellt, um die Anstiegszeit des Oszillographen zu bestimmen.

Auf dem Bildschirm des Oszillographen werden die Cursor so platziert, dass die zwei vertikalen Linien bei 10% und 90% Signalstärke liegen. Daraus lässt sich die Differenz der Zeitpunkte ablesen, welche die gemessene Anstiegszeit des Signals ist.

$$\Delta t_{\text{gemessen}} = 15(1) \text{ ns.} \quad (4.1)$$

Die Anstiegszeit des Oszillographen kann aus der Bandbreite berechnet werden. Die Bandbreite dieses Oszis liegt bei

$$B = 70 \text{ MHz.} \quad (4.2)$$

Es gilt dann

$$\Delta t_{\text{Oszi}} = \frac{0.35}{B} = \frac{0.35}{70 \text{ MHz}} = 5 \text{ ns.} \quad (4.3)$$

Daraus ergibt sich die Anstiegszeit des Signal mit

$$\begin{aligned} \Delta t_{\text{Signal}} &= \sqrt{\Delta t_{\text{gemessen}}^2 - \Delta t_{\text{Oszi}}^2} = \sqrt{(15 \text{ ns})^2 - (5 \text{ ns})^2} \\ &= \sqrt{2} \cdot 10^{-8} \text{ ns} \approx 14.14 \text{ ns} \end{aligned} \quad (4.4)$$

und Fehler

$$\Delta \Delta t_{\text{Signal}} = \frac{2 \Delta t_{\text{gemessen}} \cdot \Delta \Delta t_{\text{gemessen}}}{\sqrt{\Delta t_{\text{gemessen}}^2 - \Delta t_{\text{Oszi}}^2}} = 2.12 \text{ ns} \quad (4.5)$$

zu

$$\Delta t_{\text{Signal}} = 14.14(212) \text{ ns.} \quad (4.6)$$

Mit der Anstiegszeit für das Signal ist die Bandbreite des Signalgenerators

$$B = \frac{0.35}{\Delta t_{\text{Signal}}} \approx 24.8 \text{ MHz.} \quad (4.7)$$

Der Fehler liegt bei

$$\Delta B = \frac{0.35}{\Delta t_{\text{Signal}}^2} \Delta \Delta t_{\text{Signal}} \approx 3.7 \text{ MHz.} \quad (4.8)$$

Insgesamt

$$B = 24.8(37) \text{ MHz.} \quad (4.9)$$

4.2 c

Der Generators wird nun mit einem R–C–Tiefpass verbunden. Die Spezifikationen dieses R–C–Glieds sind

$$R = 470 \, \Omega \quad C = 0.1 \, \mu\text{F} \quad \tau = RC = 47 \, \mu\text{s}. \quad (4.10)$$

Dieser Tiefpass wird dann mit CH1 des Oszillographen verbunden. Am Funktionsgenerator wird ein Sinussignal mit $U_{\text{pp}} = 4 \, \text{V}$ eingestellt, für welches die Dämpfung des Tiefpasses berechnet werden soll. a

List of Figures

1	Elektronenstrahlröhre; Abbildung 0.4 [1]	2
2	Rechteckimpuls mit endlicher Anstiegszeit; Abbildung 0.11 [1]	3

List of Tables

Source

- [1] Fabian Hügging. *Elektronik-Praktikum Versuchsanleitung*.
Universität Bonn, kurs b edition, 2024.