Elektronikpraktikum: Versuch 0
Einführungsversuch

Marc Hauer[*1] and Michael Vogt[†1]

[1]Uni Bonn

27. August 2024

Inhaltsverzeichnis

[*]s65mhaue@uni-bonn.de
[†]s65mvogt@uni-bonn.de

Einleitung

Versuch 0 dient zum kennenlernen der im Elektronikpraktikum eingesetzten Gerätschaften und führt in ihre Eigenheiten ein. Im Zuge dessen betrachten wir mit dem Oszilloskop verschiedene durch einen Funktionsgenerator erzeugte Signalformen, und untersuchen Anstiegszeit und Grenzfrequenz des Generators.

1 Theorie

1.1 Charakterisierung von Wechselspannungen

Bei Wechselspannungssignalen liegt keine schlicht konstante, sondern eine periodisch variierende Spannung vor. Daher gibt es verschiedene Möglichkeiten, das Signal durch einen Wert zu charakterisieren. Diese Spannungsangaben werden durch einen Index am Formelzeichen U_X oder an der Einheit Volt V_X gekennzeichnet.

Spitze-Spitze U_{pp} (peak-to-peak) entspricht der Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten auftretenden Spannungswert.

Scheitelwert / Spitzenwert U_{p} gibt den maximalen auftretenden Spannungswert an. Bei asymmetrischen Signalen ist damit meist, aber nicht immer, $U_{\mathrm{p}} = \max |U(t)|$ gemeint.

Effektivwert U_{eff} entspricht der Gleichspannung, welche die gleiche mittlere Leistung über einen Widerstand R verrichtet, wie das eigentliche Signal. Mit $P = U^2/R$ muss also $U_{\mathrm{eff}} = \sqrt{\langle U^2 \rangle_t}$. U_{eff} ist also die *root mean square*-Spannung und wird auch als U_{RMS} geschrieben.

1.2 Funktionsgenerator

Um Wechselspannungen verschiedener Formen zu produzieren, verwenden wir den Funktionsgenerator HM 8131-2, welcher einen Ausgangswiderstand von 50Ω hat. Es ist zu beachten, dass das Gerät eine endliche Frequenzbandbreite hat, welche sich hier durch einen RC-Tiefpass beschreiben lässt, dessen Grenzfrequenz der Bandbreite entspricht:

$$B = f_{\mathrm{grenz}} = 1/(2\pi RC) = 1/(2\pi\tau) \quad \text{mit Zeitkonstante } \tau = RC \tag{1}$$

Bei zeitlicher Darstellung des Signals zeigt sich diese Frequenzbegrenzung in Form einer endlichen Anstiegszeit Δt bei abrupten Spannungsänderungen (beispielsweise würde ein perfektes Rechtecksignal unendlich hohe Frequenzen benötigen). Δt wird definiert als Zeitdifferenz zwischen dem Erreichen von 10% und 90% der Maximalspannung. Es gilt näherungsweise

$$B\Delta t = 0.35 \tag{2}$$

1.3 Oszilloskop

Das Oszilloskop ist ein wichtiges Instrument zur Messung periodischer Signale. Bei einem analogen Oszilloskop (wie dem früher im Praktikum verwendeten HAMEG HM604) besteht die Anzeige aus einer Elektronenstrahlröhre mit Leuchtschirm. Der Elektronenstrahl kann durch zwei Plattenkondensatoren, deren Felder in x- (horizontal) bzw. y-Richtung (vertikal) zeigen, gesteuert werden. Meist wird an die x-Platten eine zeitlich gleichförmig steigende Spannung, und an die y-Platten das darzustellende Signal angelegt. So entsteht als Oszillogramm ein „Plot“ des Signals gegen die Zeit.

Die steigende x-Spannung wird durch Integration einer konstanten Spannung und Rücksetzung auf einen Ausgangswert durch ein Triggersignal erreicht. Dieser Trigger kann von dem y-Signal abhängig gemacht werden, um die Periodizität von x- und y- Signal aneinander anzupasssen. Nur so entsteht ein (scheinbar, bei Betrachtung mit bloßem Auge) zeitlich unveränderliches Oszillogramm.

Das Oszilloskop hat eine Eingansimpedanz, die durch einen Widerstand von 1Ω in Parallelschaltung zu einer Kapazität von ca. 30pF entsteht. Die Eingangsimpedanz kann häufig als unendlich genähert werden.

Wie auch der Funktionsgenerator, hat das Oszilloskop ebenfalls eine endliche Bandbreite B. Bei Messung der Anstiegszeit wird somit ein höherer Wert gemessen, nach der Formel

$$\Delta t^2_{\mathrm{gemessen}} = \Delta t^2_{\mathrm{Signal}} + \Delta t^2_{\mathrm{Oszi}} \tag{3}$$

2 Voraufgaben

2.A

Für eine Sinusförmige Spannung der Frequenz ω und Amplitude U_0 gilt $U_{\mathrm{SS}} = 2U_0$ und $U_{\mathrm{S}} = U_0$. Und für den Effektivwert

$$U_{\mathrm{eff}} = \sqrt{\langle U^2 \rangle} = U_0 \sqrt{\frac{w}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} dt \sin^2(\omega t)} = U_0/\sqrt{2} \tag{4}$$

2.B

Für ein symmetrisches Rechtecksignal mit $U_{\mathrm{S}} = 10\mathrm{V}$ gilt $U^2 = U_{\mathrm{S}}^2 = \mathrm{const}$. Damit ist $U_{\mathrm{eff}} = \sqrt{\langle U^2 \rangle} = |U_{\mathrm{S}}| = 10\mathrm{V}$

2.C

Es gilt $U_n = U_0 \frac{R_n}{R_n + R_i}$ mit $n = 1,\ 2$ und damit

$$\begin{aligned}\frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} &= \frac{\frac{R_2}{R_2+R_i} - \frac{R_1}{R_1+R_i}}{\frac{1}{R_1+R_i} - \frac{1}{R_2+R_i}} \\ &= \frac{R_2(R_1+R_i) - R_1(R_2+R_i)}{(R_2+R_i) - (R_1+R_i)} = \frac{R_i(R_2 - R_1)}{R_2 - R_1} = R_i \end{aligned} \tag{5}$$

Der Signalgenerator liefert $20\mathrm{V_{SS}}$ ohne Last, also mit I_1=0, und $10\,\mathrm{V_{SS}}$ mit 50Ω Last, also $I_2 = \frac{U_2}{R_2} = 0.2A_{\mathrm{SS}}$. damit gilt $R_i = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} = 50\Omega$.

2.D

Wir machen uns mit den Bedienungselementen des Oszilloskops vertraut.

2.E

Wir leiten (**??**) her. Für die exponentiell auf Spannung U_0 ansteigende Flanke gilt

$$\begin{aligned} U(t) &= U_0 \left(1 - \exp(-\frac{t}{\tau})\right) \\ \Longrightarrow\ t(U) &= -\tau \ln\left(1 - \frac{U}{U_0}\right) = -\tau \ln\left(\frac{U_0 - U}{U_0}\right) \\ \Longrightarrow\ \Delta t &= t(0.9U_0) - t(0.1U_0) = \tau \ln\left(\frac{U_0 - 0.1U_0}{U_0 - 0.9U_0}\right) = \tau \ln(9) \\ \Longrightarrow\ B\Delta t &= \frac{1}{2\pi\tau} \cdot \tau \cdot \ln(9) \approx 0.35 \end{aligned}$$

3 Durchführung & Auswertung

3.a

Um den Signalgenerator und das Oszilloskop kennenzulernen, verbinden wir diese mit einem Koaxialkabel (BNC-Kabel) und erzeugen mit dem Generator verschiedene Signale, die wir dann mit dem Oszi beobachten.

Abbildung 1: Oszillogramm des 2 MHz-Rechtecksignals.

Abbildung 2: Bode Diagramm des RC-Tiefpassfilters. f ist die Frequenz des Signals und U die Amplitude der Ausgangsspannung. Werte siehe Tab.**??**.

3.b

Zur Messung der insgesamten Anstiegszeit erzeugen wir ein Rechtecksignal mit einer Frequenz von 2 MHz und $20\,\mathrm{V_{pp}}$. Wir nutzen das Oszi um die 10% und 90% des Signalmaximums zu ermitteln und speichern das Bild mit diesen Hilfslinien (Abb. **??**).

Daraus lässt sich die Anstiegszeit $\Delta t_{\text{gemessen}}$ ablesen. Die 10%-Linie wird bei $t_{10} = (-13 \pm 1)\,\mathrm{ns}$ und die 90%-Linie bei $t_{90} = (-1 \pm 1)\,\mathrm{ns}$ erreicht. Damit ergibt sich

$$\Delta t_{\text{gemessen}} = t_{90} - t_{10} = (12.00 \pm 1.41)\,\mathrm{ns} \tag{6}$$

Die tatsächliche Anstiegszeit des Signals Δt_{Signal} erhalten wir dann über Δt_{Oszi}, was sich aus der Bandbreite des Oszilloskops $B_{\text{Oszi}} = 70\,\mathrm{MHz}$ ergibt

$$\Delta t_{\text{Ozsi}} = \frac{0.35}{B_{\text{Oszi}}} = \frac{0.35}{70\,\mathrm{MHz}} = 5\,\mathrm{ns} \tag{7}$$

aus (**??**) folgt

$$\Delta t_{\text{Signal}} = \sqrt{\Delta t^2_{\text{gemessen}} - \Delta t^2_{\text{Oszi}}} \tag{8}$$

$$\begin{aligned} \Delta(\Delta t_{\text{Signal}}) &= \frac{1}{2}(\Delta t^2_{\text{gemessen}} - \Delta t^2_{\text{Oszi}})^{-\frac{1}{2}} \cdot 2\Delta t_{\text{gemessen}} \Delta(\Delta t_{\text{gemessen}}) \\ &= \frac{\Delta t_{\text{gemessen}}}{\Delta t_{\text{Signal}}} \cdot \Delta(\Delta t_{\text{gemessen}}) \end{aligned} \tag{9}$$

und wir erhalten $\Delta t_{\text{Signal}} = (10.91 \pm 1.56)\,\mathrm{ns}$.

Damit lässt sich auch die Bandbreite des Signalgenerators B_{Signal} ermitteln:

$$B_{\text{Signal}} = \frac{0.35}{\Delta t_{\text{Signal}}} \tag{10}$$

$$\Delta B_{\text{Signal}} = \frac{0.35}{(\Delta t_{\text{Signal}})^2} \cdot \Delta(\Delta t_{\text{Signal}}) \tag{11}$$

Es ergibt sich $B_{\text{Signal}} = (32.08 \pm 4.59)\,\mathrm{MHz}$.

3.c

Anschließend schalten wir einen RC-Filter ($R = 390\,\Omega$, $C = 0.1\,\mu\mathrm{F}$) zwischen den Ausgang des Signalgenerators und den Eingang des Oszilloskops. Für verschiedene Frequenzen eines $U_0 = 20\,\mathrm{V_{pp}}$-Sinussignals messen wir die über dem Kondensator abgegriffene resultierende Amplitude U, um die Dämpfung durch den Filter zu bestimmen (Abb. **??**).

Die Grenzfrequenz ist die Frequenz, bei der $\frac{U}{U_0} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ist, also die Dämpfung $20\log(\frac{1}{\sqrt{2}}) \approx -3\mathrm{dB}$ ist. Der Schnittpunkt mit dieser Linie liegt bei $f_{\text{Grenz}} = (3650 \pm 50)\,\mathrm{Hz}$

f/Hz	**U_pp/V**

Tabelle 1