

# Praktikum E16-2

## Elektronik - Kondensatoren

Alena Zwanzig (722348)

Harald Haakh (720708)

Messungen vom 03.12.2004

### 1 Punktweise aufgenommener Strom und Spannungsverlauf

Am Experimentierboard wurde die Quellenspannung auf  $U_0 = 4.99V$  eingestellt.

Der Verlauf von Spannung und Strom während des Ladens und Entladens eines Kondensators mit  $C = 93.4\mu F$  über einen Widerstand von  $R \simeq 100k\Omega$  wurde punktweise im Abstand von  $\Delta t = 5.1s$  aufgenommen.

Da das Voltmeter einen endlichen Innenwiderstand besitzt, fließt auch bei abgeklemmtem Schalter ein Strom, der den Kondensator entlädt. Hier wurde der Zeitliche Verlauf der Spannung am Kondensator aufgenommen. Es gilt während des Entladens

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{1}{RC}t} \Leftrightarrow \ln\left(\frac{U_0}{U(t)}\right) = \frac{1}{RC}t$$

Demnach lässt sich die Impedanz des Voltmeters aus dem Anstieg dieser Geraden bestimmen. OpenOffice liefert  $a = 1.01 \cdot 10^{-3} \frac{1}{s}$  und man erhält  $R_i = \frac{1}{aC} = 10.6M\Omega$ . Der in der Gerätebeschreibung angegeben Wert beträgt  $10M\Omega$ . Da die Impedanz des Gerätes sehr viel größer als der Entladewiderstand ist, ist ihr Einfluss als systematische Fehlerquelle auf den Kurvenverlauf vernachlässigbar.

### 2 Bestimmung der Zeitkonstanten aus der Halbwertszeit

Für den Entladevorgang gilt die Gleichung

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{1}{\tau}t}$$

wobei  $\tau = RC$  die sogenannte Zeitkonstante ist. Mit der am PC aufgenommenen Kurve des Spannungsverlaufs am Kondensator während des Entladens lässt sich die Zeitkonstante aus der Halbwertszeit  $T_H$  bestimmen. Zu diesem Zeitpunkt gilt

$$U(t) = \frac{1}{2}U_0 \Leftrightarrow \tau = \frac{T_H}{\ln(2)}$$

Der Ladevorgang am Kondensator lässt sich durch die Gleichung

$$U(t) = U_0(1 - e^{-\frac{1}{\tau}t})$$

beschreiben, die Bestimmung erfolgt analog und führt auf die gleiche Beziehung.

Beim Ablesen der Halbwertszeiten in den Diagrammen ist zu beachten, dass die automatisch generierte Skalierung offenbar falsch ist. Bei unseren Vergleichen mit der Stoppuhr stellten wir fest, dass die abgelesene Zeit mit dem Faktor  $\frac{35}{16}$  multipliziert werden muss.

Die im Diagramm A1 ( $R = 100k\Omega$ ) abgelesenen Halbwertszeiten ergeben unter Berücksichtigung dieser Korrektur  $T_H \in \{5s, 7.25s\} \Rightarrow \bar{T}_H = 6.1s$ . Die Standardabweichung beträgt  $\sigma = 1.2s$  und das dazugehörige Vertrauensintervall bei nur zwei Messungen  $u_{T_H} = 10.2s$ . Damit ergibt sich

$$\tau = 9 \pm 15s$$

Man sollte also eine größere Zahl von Kurven auswerten um auf vernünftige Werte der Messunsicherheit zu kommen.

### 3 Bestimmung der Zeitkonstanten mit der RLC-Messbrücke

Im Vergleich dazu ergibt sich aus den mit der RLC-Messbrücke bestimmten Werte  $C = (99 \pm 3)\mu F$  und  $R = (99.4 \pm 1)k\Omega$  ein Wert von

$$\tau = RC = (10 \pm 0.4)s$$

Für dessen Unsicherheit gilt  $u_\tau = \tau \cdot (|\frac{u_R}{R}| + |\frac{u_C}{C}|)$ .

Der Vergleich dieses Wertes mit den auf anderem Wege errechneten zeigt, dass diese innerhalb der Vertrauensbereiche übereinstimmen.

### 4 Bestimmung der Zeitkonstanten aus der Lade- und Entladekurve

Zum Zeitpunkt  $\tau$  gilt in der Lade- bzw. Entladekurve gerade

$$U_E(t) = U_0 e^{-1} \simeq 0.37U_0$$

$$U_L(t) = U_0(1 - e^{-1}) \simeq 0.63U_0$$

Trägt man die dazugehörigen Parallelen in die Diagramme ein und liest den Schnittpunkt mit dem Graphen ab, so erhält man aus der Entladekurve  $\tau = 11s$  und aus der Ladekurve  $\tau = 10.5s$ . Diese Methode ist sehr ungenau, da mehrfach nach Augenmaß abgelesen wird.

### 5 Bestimmung der Zeitkonstanten aus der Logarithmierten Kurve

#### 5.1 Entladevorgang

Beim Entladevorgang gilt analog zu 1. für die Spannung

$$\ln\left(\frac{U_0}{U(t)}\right) = \frac{1}{\tau}t$$

Der Geradenausgleich in OpenOffice ergab die Steigung  $a_{E,U} = (0.094 \pm 0.001)\frac{V}{s}$  und damit

$$(\tau_{E,U} = 10.6 \pm 0.2)s$$

Für den Entladestrom gilt die Formel analog, und man erhält  $a_{E,I} = (0.092 \pm 0.003)\frac{V}{s}$  und damit

$$\tau_{E,I} = (10.8 \pm 0.4)s$$

Dabei ist als Unsicherheit des Geradenanstiegs jeweils die Standardabweichung angegeben.

#### 5.2 Aufladevorgang

Beim Aufladevorgang gilt für die Spannung

$$-\ln\left(1 - \frac{U(t)}{U_0}\right) = \frac{1}{\tau}t$$

Damit ergibt sich  $a_{A,U} = (0.105 \pm 0.003)\frac{V}{s}$  und damit

$$(\tau_{A,U} = 9.5 \pm 0.3)s$$

Aus dem Aufladestrom erhält man nach der gleichen Formel wie für den Entladestrom  $a_{A,I} = (0.072 \pm 0.003)\frac{V}{s}$  und damit

$$\tau_{E,I} = (13.9 \pm 0.6)s$$

Schon die Diagramme zeigen, dass die Werte aus dem Aufladevorgang nicht so gut wie die des Entladevorgangs sind. Daraus erklärt sich auch die große Abweichung der Zeitkonstanten.

## 6 Ausgangsspannung und Phasenverschiebung an RC-Gliedern

Bei verschiedenen RC-Kombinationen und verschiedenen Periodendauern wurde die Ausgangsspannung an Hoch- und Tiefpass aufgenommen.

Die Spitzenspannungen lassen sich direkt ablesen.

Die Phasenverschiebung ergibt sich aus der zeitlichen Verschiebung  $\delta$  nach  $\Delta\phi = 2\frac{\delta}{T}\pi$ . Hierbei ist die falsche Skalierung nicht berücksichtigt, da sie für die Phasenverschiebung irrelevant ist. Die angegebenen Periodendauern stimmen deshalb aber natürlich nicht mit den tatsächlichen überein.

### 6.1 Tiefpass

Am Tiefpass lag eine Spitzenspannung von  $\hat{U} = 2V$  an.

Es ergab sich mit aus Diagramm B1 mit  $T = 5s, R = 100k\Omega, C = 100\mu F$

$$\Delta\phi = 0.46\pi, \hat{U}_A = 0.36V$$

und aus Diagramm B2 mit  $T = 2.5s$

$$\Delta\phi = 0.52\pi, \hat{U}_A = 0.18V$$

### 6.2 Hochpass

Am Hochpass lag eine Spitzenspannung von  $\hat{U} = 2.5V$  an.

Es ergab sich aus Diagramm B4 mit  $T = 5s, R = 4.7k\Omega, C = 100\mu F$

$$\Delta\phi = -0.44\pi, \hat{U}_A = 0.84V$$

und aus Diagramm B3 mit  $T = 2.5s$

$$\Delta\phi = -0.37\pi, \hat{U}_A = 1.32V$$

### 6.3 Interpretation

Man erkennt, dass am Tiefpass die Spitzenspannung bei höherer Frequenz erniedrigt wird und am Hochpass die Spitzenspannung bei höherer Frequenz zunimmt. Das stimmt mit den Erwartungen an einen *Hoch-* bzw. *Tiefpass* überein. Die Phasenverschiebung liegt jeweils grob im Bereich von  $\pm\frac{\pi}{2}$ . Das Vorzeichen kommt dadurch zu Stande, dass die Ausgangsspannung am Hochpass dem Umladestrom proportional ist, während am Tiefpass die am Kondensator anliegende Spannung gemessen wird.

## 7 Laden und Entladen des Kondensators am RC-Glied

Das Laden und Entladen des Kondensators in einem RC-Glied wurde untersucht, indem eine Rechteckspannung angelegt und der Widerstand zwischen den Einzelnen Aufnahmen variiert wurde. Das führte natürlich auch zu einer Veränderung der Zeitkonstanten und damit des Umladeverhaltens.

### 7.1 Tiefpass

Die am Tiefpass aufgenommenen Spannungskurven (Diagramm C1-C3) zeigen das bekannte periodische Muster auf. In Diagramm C2 bleibt die Spannung jeweils eine Zeitspanne lang nahezu konstant, da der Widerstand relativ klein war und der Kondensator innerhalb der Halbperiode vollständig geladen bzw. entladen werden konnte. Im Gegensatz dazu weist das Diagramm C1 beinahe linear ansteigende Flanken auf, da der Widerstand hier deutlich größer war und der Lade- bzw. Entladestrom sich während der Halbperiode nicht drastisch änderte. Einen Zwischenwert zeigt das Diagramm C3.

### 7.2 Hochpass

Am Hochpass (Diagramme C4-C6) ist die Ausgangsspannung proportional zum Umladestrom, weswegen auch negative Werte auftreten können. In Diagramm C4 ist der Widerstand relativ klein gewählt, weswegen der Umladevorgang innerhalb einer Halbperiode der Rechteckspannung nahezu abgeschlossen ist. In den Diagrammen C5 und C6 ist dies nicht der Fall.

Anlagen:

- Berechnungen mit OpenCalc
- Jede Menge Diagramme
- Aufgenommene Kurven A1-C6
- Messprotokoll

Testpunkte auf Diagramm A2

Potsdam, 16. Dezember 2004

Alena Zwanzig

Harald Haakh