Laden und Entladen eines Kondensators

MESSUNG DER LADE- UND ENTLADEZEITEN

- Punktweise Aufzeichnung des Verlaufs der Kondensatorspannung beim Laden eines Kondensators durch Messung der Ladezeiten.
- Punktweise Aufzeichnung des Verlaufs der Kondensatorspannung beim Entladen eines Kondensators durch Messung der Entladezeiten.
- Bestimmung der internen Widerstände und Kapazitäten durch Messung der Lade- bzw. Entladezeit und Vergleich mit bekannten externen Parametern.

UE3050105

09/16 JöS/UD

Fig. 1: Lade- und Entladungsgerät im Betrieb mit externem (links) und internem (rechts) Widerstands-/Kondensatorpaar.

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

In einem Gleichstromkreis fließt Strom durch einen Kondensator nur während eines Ein- oder Ausschaltvorgangs. Durch den Strom wird der Kondensator beim Einschalten geladen, bis die angelegte Spannung erreicht ist, und beim Ausschalten entladen, bis die Spannung Null erreicht ist.

Für einen Gleichstromkreis mit der Kapazität C, dem Widerstand R und der Gleichspannung U_0 gilt beim Einschalten

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

und beim Ausschalten

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

mit der Zeitkonstante

(3) $\tau = R \cdot C$.

Zur Überprüfung dieses Zusammenhangs werden im Experiment die Zeiten gemessen, die bis zum Erreichen vorgewählter Vergleichsspannungen verstreichen. Dazu wird die Stoppuhr mit dem Lade- bzw. Entladevorgang gestartet und anschließend durch eine Komparatorschaltung gestoppt, sobald die Vergleichsspannung erreicht ist. Durch Messung für verschiedene Vergleichsspannungen wird die Lade bzw. Entladekurve punktweise abgetastet.

In der Praxis interessant ist auch die Zeit

(4) $t_{5\%} = -\ln(5\%) \cdot R \cdot C \approx 3 \cdot R \cdot C$,

in der die Kondensatorspannung beim Entladen 5% des Aus-

gangswertes U_0 erreicht und beim Laden bis auf 5% an den Endwert U_0 herankommt. Durch Messung von $t_{5\%}$ können z.B. die Parameter R und C bestimmt werden.

GERÄTELISTE

1	Lade- und Entladungsgerät @230V	1017781 (U10800-230)
oder		
1	Lade- und Entladungsgerät @115V	1017780 (U10800-115)
1	Kondensator 1000 µF, 16 V, P2W191009957	1017806 (U333106)
1	Widerstand 10 kΩ, 0,5 W, P2W19	1012922 (U333030)
Zusätzlich empfohlen:		
1	Digital-Multimeter P1035	1002781 (U11806)

INBETRIEBNAHME

- Lade- und Entladungsgerät über das mitgelieferte Steckernetzgerät ans Netz anschließen.

ALLGEMEINE HINWEISE

In den Stellungen INTERN 1, INTERN 2 oder INTERN 3 des Wahlschalters für R/C-Paar ist jeweils der interne Kondensator mit den Eingangsbuchsen für den externen Kondensator verbunden. Interner und externer Kondensator sind in diesem Fall parallel geschaltet.

- Bei Messungen allein an den internen R/C-Paaren keinen externen Kondensator anschließen.

Die gemessene Lade- bzw. Entladezeit wird durch Prellzeiten beeinflusst, die durch eine unsichere Hand beim Drehen des Funktionsschalters Laden/Entladen vergrößert werden.

- Den Funktionsschalter zügig drehen.
- Zur genaueren Zeitbestimmung ggf. jede Messung mindestens dreimal durchführen und daraus den Mittelwert bilden.
- Nur externe R/C-Paare wählen mit Zeitkonstante $\tau = R \cdot C > 4$ s.

DURCHFÜHRUNG

Messung an internen Widerstands-/Kondensator-Paaren

- Externe Widerstände und Kondensatoren entfernen.
- Den Wahlschalter für R/C-Paar auf INTERN 1, INTERN 2 oder INTERN 3 stellen.

Messung an externen Widerstands-/Kondensator-Paaren

- Externen Widerstand und externen Kondensator aufstecken.
- Den Wahlschalter für R/C-Paar auf EXTERN stellen.

Messung der Ladezeit t_C

- Den Funktionsschalter Laden/Entladen in die Stellung CHARGE – STOP bringen.
- Den Stufenschalter für Vergleichsspannung auf gewünschten Wert stellen.
- Die Taste RESET kurz drücken, um den Digitalzähler auf Null zu setzen.
- Den Funktionsschalter Laden/Entladen in die Stellung CHARGE – START bringen, um das Aufladen und die Zeitmessung zu starten.
- Die gemessene Zeit notieren, sobald der Zähler stoppt.

Messung der Entladezeit t_{DC}

- Wie bei der Messung der Ladezeit vorgehen, den Funktionsschalter Laden/Entladen jedoch in die Stellung DISCHARGE – STOP bzw. DISCHARGE – START bringen.

Bestimmung der Zeit $t_{5\%}$

Die Zeit $t_{5\%}$ kann sowohl über eine Messung des Ladens als auch des Entladens bestimmt werden (siehe Erläuterungen zu Gleichung (4)). Eine größere Genauigkeit lässt sich durch eine Mittelwertbildung beider Messungen erreichen:

- Die Ladezeit $t_{C,\,5\%}$ für 9,5 V messen.
- Die Entladezeit $t_{DC,\,5\%}$ für 0,5 V messen.
- Den Mittelwert $(t_{C,\,5\%} + t_{DC,\,5\%}) / 2 = t_{5\%}$ bilden.

Aufnahme der Ladekurven

- Den Stufenschalter für Vergleichsspannung auf 0,5 V stellen und Ladezeit gemäß „Messung der Ladezeit“ bestimmen.
- Zur Messung des nächsten Wertes den Stufenschalter eine Stufe weiterdrehen und alle Schritte wiederholen.

Aufnahme der Entladekurven

- Den Stufenschalter für Vergleichsspannung auf 9,5 V stellen und Entladezeit gemäß „Messung der Entladezeit“ bestimmen.
- Zur Messung des nächsten Wertes den Stufenschalter eine Stufe weiterdrehen und alle Schritte wiederholen.

Bestimmung der externen und internen Kapazität sowie der internen Widerstände

- Den Wahlschalter für R/C-Paar nacheinander auf INTERN 1, INTERN 2 und INTERN 3 stellen und jeweils drei Mal die Zeiten $t_{C,\,5\%}$ und $t_{DC,\,5\%}$ messen, wie oben beschrieben. Werte in Tab. 5 eintragen und die Zeit $t_{5\%}$ bestimmen.
- Den externen Kondensator aufstecken. Den Wahlschalter für R/C-Paar z.B. auf INTERN 3 stellen und jeweils drei Mal die Zeiten $t_{C,\,5\%}$ und $t_{DC,\,5\%}$ messen, wie oben beschrieben. Werte in Tab. 5 eintragen und die Zeit $t_{5\%}$ bestimmen.
- Zusätzlich den externen Widerstand aufstecken. Den Wahlschalter für R/C-Paar auf EXTERN stellen und jeweils drei Mal die Zeiten $t_{C,\,5\%}$ und $t_{DC,\,5\%}$ messen, wie oben beschrieben. Werte in Tab. 5 eintragen und die Zeit $t_{5\%}$ bestimmen.

MESSBEISPIEL

Tab. 1:Lade- und Entladezeiten des internen R/C-Paares 1.

U_C / V	t_C / s	t_{DC} / s
0,5	0,3	14,1
1,0	0,5	10,7
2,0	1,0	7,5
3,0	1,6	5,6
4,0	2,3	4,3
5,0	3,1	3,2
6,0	4,1	2,4
7,0	5,5	1,7
8,0	7,3	1,1
9,0	10,6	0,5
9,5	13,8	0,3

Tab. 2:Lade- und Entladezeiten des internen R/C-Paares 2.

U_C / V	t_C / s	t_{DC} / s
0,5	0,5	32,6
1,0	1,2	24,8
2,0	2,3	17,3
3,0	3,8	12,9
4,0	5,3	9,8
5,0	7,2	7,4
6,0	9,6	5,5
7,0	12,7	3,9
8,0	17,0	2,5
9,0	24,6	1,3
9,5	32,4	0,7

Tab. 3:Lade- und Entladezeiten des internen R/C-Paares 3.

U_C / V	t_C / s	t_{DC} / s
0,5	1,1	63,8
1,0	2,2	48,6
2,0	4,6	33,8
3,0	7,3	25,2
4,0	10,4	19,2
5,0	14,2	14,6
6,0	18,9	10,7
7,0	24,9	7,7
8,0	33,6	4,8
9,0	49,1	2,4
9,5	65,8	1,3

Tab. 4:Lade- und Entladezeiten des externen R/C-Paares.

U_C / V	t_C / s	t_{DC} / s
0,5	0,6	33,7
1,0	1,1	25,8
2,0	2,4	17,8
3,0	3,7	13,3
4,0	5,5	10,1
5,0	7,4	7,6
6,0	9,8	5,7
7,0	13,0	3,9
8,0	17,7	2,5
9,0	26,5	1,3
9,5	37,8	0,7

Tab. 5:Lade- und Entladezeiten $t_{C,5\%}$ und $t_{DC,5\%}$ der drei internen R/C-Paare, des internen R/C-Paares 3 bei Parallelschaltung mit dem externen Kondensator, des externen R/C-Paares sowie die Zeiten $t_{5\%}$ aus der Mittelwertbildung.

Modus	$t_{C,5\%}$ / s			$t_{DC,5\%}$ / s			$t_{5\%}$ / s
INTERN 1	13,8	14,0	13,8	14,1	14,1	13,9	14,0
INTERN 2	32,4	32,4	32,1	32,6	32,6	32,4	32,4
INTERN 3	65,8	63,9	63,4	63,8	64,5	63,5	64,1
INTERN 3 + C_{EXT}	100,3	99,9	99,7	97,1	97,0	97,0	98,5
EXTERN	37,8	37,4	36,6	33,7	33,5	33,6	35,4

AUSWERTUNG

Aufnahme der Lade- und Entladekurven

- Die eingestellten Spannungen U_C gegen die gemessenen Lade- und Entladezeiten t_C und t_{DC} (Tab. 1 – 4) graphisch auftragen.

Fig. 2 und 3 zeigen beispielhaft die Lade- und Entladekurve für das interne R/C-Paar 3. Die nach den Gleichungen (1) und (2) erwarteten exponentiellen Verläufe werden bestätigt.

Bestimmung der externen und internen Kapazität sowie der internen Widerstände

Bei bekanntem externem Widerstand R_{ext} = 10 kΩ (5% Toleranz) wird die externe Kapazität C_{ext} gemäß (4) aus der Zeit $t_{5\%} = t_{5\%,\,ext}$ berechnet (Tab. 5):

$$(5)\quad C_{ext} = \frac{t_{5\%,\,ext}}{3 \cdot R_{ext}} = \frac{35{,}4\ \text{s}}{3 \cdot 10\ \text{k}\Omega} = 1180\ \mu\text{F}\ .$$

Dieser Wert stimmt im Rahmen der spezifizierten Toleranz von 20% mit dem Nennwert 1000 µF überein.

Für die Zeiten $t_{5\%}$, die für das interne R/C-Paar 3 ohne und mit aufgestecktem externen Kondensator bestimmt wurden, gilt nach Gleichung (4):

$$(6)\quad t_{5\%,\,3} = 3 \cdot R_{int,\,3} \cdot C_{int}$$

und

$$(7)\quad t_{5\%,\,3ext} = 3 \cdot R_{int,\,3} \cdot \left(C_{int} + C_{ext}\right)\ .$$

Division von Gleichung (7) durch Gleichung (6) und Einsetzen der Zeiten aus Tab. 5 ergibt:

$$(8)\quad C_{int} = C_{ext} \cdot \frac{t_{5\%,\,3}}{t_{5\%,\,3ext} - t_{5\%,\,3}} = 1180\ \mu\text{F} \cdot \frac{64{,}1\ \text{s}}{98{,}5\ \text{s} - 64{,}1\ \text{s}}\ . = 2199\ \mu\text{F}$$

Dieser Wert stimmt im Rahmen der spezifizierten Toleranz von 10% mit dem Nennwert 2000 µF überein.

Schließlich erhält man die drei noch unbekannten internen Widerstände $R_{int,\,i}$ aus den zugehörigen Lade- und Entladezeiten (Tab. 5) und der zuvor bestimmten internen Kapazität C_{int}:

$$(9)\quad R_{int,\,i} = \frac{t_{5\%,\,i}}{3 \cdot C_{int}} \quad \text{mit } i = 1, 2, 3$$

Daraus resultiert:

$$(10)\quad R_{int,\,1} = \frac{14{,}0\ \text{s}}{3 \cdot 2199\ \mu\text{F}} = 2122\ \Omega\ .$$

$$(11)\quad R_{int,\,2} = \frac{32{,}4\ \text{s}}{3 \cdot 2199\ \mu\text{F}} = 4911\ \Omega\ .$$

$$(12)\quad R_{int,\,3} = \frac{64{,}1\ \text{s}}{3 \cdot 2199\ \mu\text{F}} = 9717\ \Omega\ .$$

Die Werte stimmen gut mit den Nennwerten 2,2 kΩ, 5,1 kΩ und 10 kΩ überein.

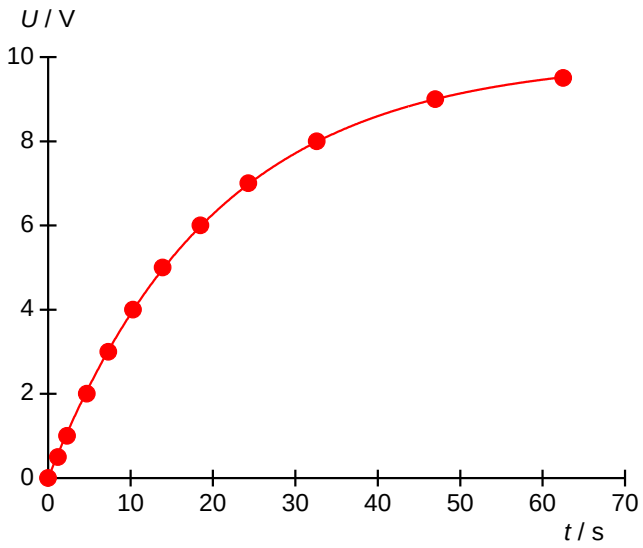

Fig. 2: Ladekurve des internen R/C-Paares 3.

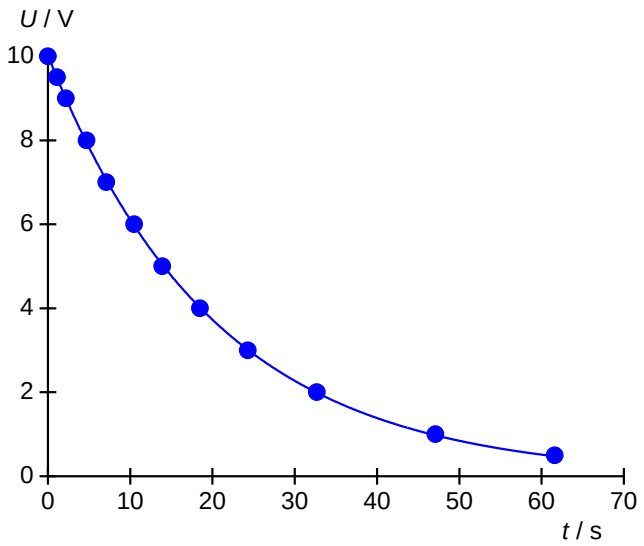

Fig. 3: Entladekurve des internen R/C-Paares 3.

© Copyright 2016 3B Scientific GmbH