

E2 Kondensator

Physikalische Grundlagen

Der Kondensator ist ein wichtiges passives Bauelement, welches in elektronischen Schaltungen Verwendung findet. Eine Form der praktischen Realisierung dieses Bauelements ist der Plattenkondensator, bei welchem sich zwei elektrisch leitende Platten der Fläche A parallel im Abstand d gegenüberstehen. Legt man an diese Anordnung eine Spannungsquelle mit der Spannung U an, so fließen Ladungsträger mit der Stromstärke $I(t)$ auf die Kondensatorplatten und laden diese mit der Ladung

$$\int I(t)dt = Q = C \cdot U \quad (1)$$

auf. Der Proportionalitätsfaktor C stellt die Kapazität des Kondensators dar und ist außer von geometrischen Größen nur noch von der relativen Dielektrizitätskonstanten ϵ_r des Materials zwischen den Platten abhängig.

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (2)$$

Der Einfluss des Dielektrikums auf die Kapazität beruht auf dessen Polarisierbarkeit. Um trotz der Polarisation die vorgegebene Feldstärke $E \sim U$ konstant zu halten, werden zusätzliche Ladungsträger auf den Kondensatorplatten benötigt. Nach (1) ist das gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Kapazität.

Gegenüber Gleichspannung verhält sich ein geladener idealer Kondensator wie ein Nichtleiter. Für die Aufladung mit der Gleichspannung U_0 über einen Vorwiderstand R gilt

$$CdU_C = I_C dt = \frac{U_R(t)}{R} dt = \frac{U_0 - U_C(t)}{R} dt \quad (3)$$

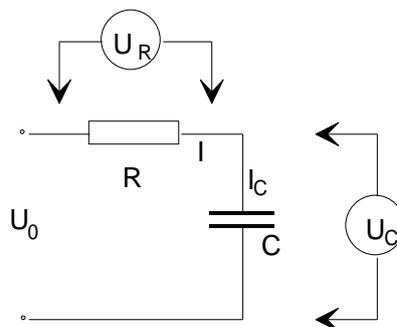


Abb.1 Schaltung zur Ladung und Entladung eines Kondensators

Durch Integration ergibt sich für den Spannungsverlauf am Kondensator

$$U_C(t) = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (4)$$

Mit $U_0 = 0$ in (3) folgt nach entsprechender Integration die Entladekennlinie

$$U_C(t) = U_C(0) e^{-\frac{t}{RC}} \quad (5)$$

Die halbe Endspannung bzw. die Hälfte der anfänglich vorhandenen Spannung wird erreicht nach der Zeit

$$t_{1/2} = RC \cdot \ln 2 \quad (6)$$

Beim Anlegen einer Wechselspannung der Frequenz f wird der Kondensator periodisch umgeladen, was einen Wechselstrom verursacht. Dabei eilt der Strom der sich am Kondensator auf- bzw. abbauenden Spannung um eine viertel Periodendauer ($\pi/2$) voraus. Der aus der Spannung und dem Stromfluss ermittelbare Widerstand wird kapazitiver Blindwiderstand genannt und berechnet sich zu

$$X_C = \frac{U}{I} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (7)$$

Der Name Blindwiderstand rührt daher, weil wegen der Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung am Kondensator keine Arbeit verrichtet wird.

Bei der Berechnung des Scheinwiderstandes einer Anordnung von ohmschen und kapazitiven Widerständen muss die Phasenverschiebung berücksichtigt werden. Das kann beispielsweise mittels Zeigerdiagrammen erfolgen. Für die Reihenschaltung wird der kapazitive Blindwiderstand in einer komplexen Widerstandsebene (Zeigerdiagramm) in entgegengesetzter Richtung zur imaginären Achse aufgetragen, der ohmsche Widerstand entlang der reellen Achse. Die geometrische Addition der beiden Widerstände liefert den Scheinwiderstand Z . Bei einer Parallelschaltung addieren sich die Leitwerte (reziproke Widerstände). Dementsprechend werden im Zeigerdiagramm die Leitwerte aufgetragen.

Versuchsvorbereitung

- elektrisches Feld, Polarisation
- Gesetzmäßigkeiten im Gleichstromkreis
- strom- und spannungsrichtige Messschaltungen

Warum sollte zur Durchführung von Aufgabe 1 die stromrichtige Messschaltung Verwendung finden?

(Schätzen Sie dazu die durch die Messgeräte verursachten Fehler bei der Messung des Blindwiderstandes für die strom- und spannungsrichtige Messschaltung ab. Kapazität des Kondensators $1nF$, Innenwiderstand des Amperemeters 100Ω , Innenwiderstand des Voltmeters $10M\Omega$, Frequenz $1000Hz$)

- Begründen Sie (3) und leiten Sie aus dieser Beziehung (4) (5) und (6) her!
- Zeigerdiagramme

Aufgaben

- Ermitteln Sie für verschiedene Kondensatoren die Frequenzabhängigkeit des kapazitiven Blindwiderstandes (Messung von Strom und Spannung).
- Berechnen Sie aus Ihren Messwerten und nach (2) die Kapazität der Kondensatoren.

Führen Sie dazu jeweils eine Fehlerschätzung durch.

- Nehmen Sie die Lade- oder Entladekurve für die Kondensatoren auf und bestimmen Sie mittels (6) deren Kapazität. Wegen der Kleinheit der Kapazität wird für diesen Zweck eine Rechteckspannung benutzt, deren Periodendauer wesentlich größer als die halbe Lade- bzw. Entladezeit der Kondensatoren ist und die Kondensatorspannung mittels eines Oszilloskops beobachtet.

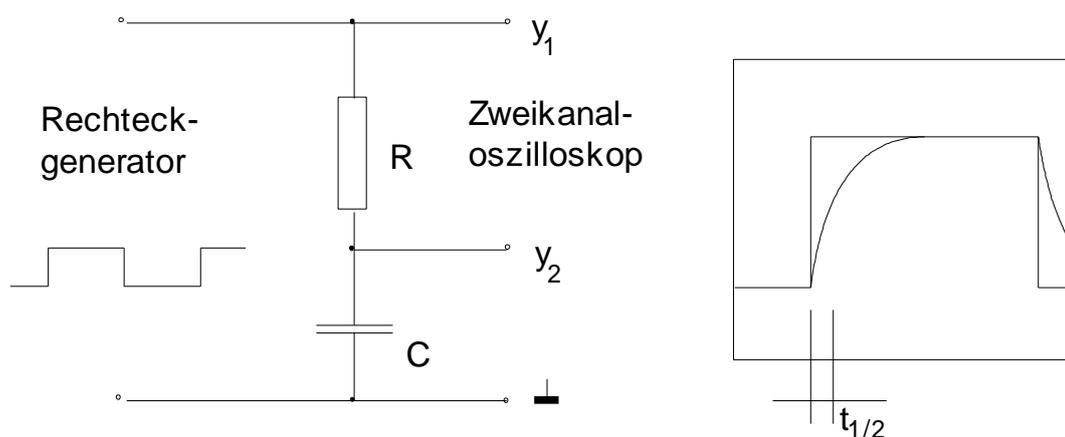


Abb.2 Schaltung zur Bestimmung der Lade- und Entladezeiten mittels Oszillographen

Berechnen Sie aus den gemessenen Zeiten die Kapazität der Kondensatoren.

Führen Sie dazu eine Fehlerschätzung durch!