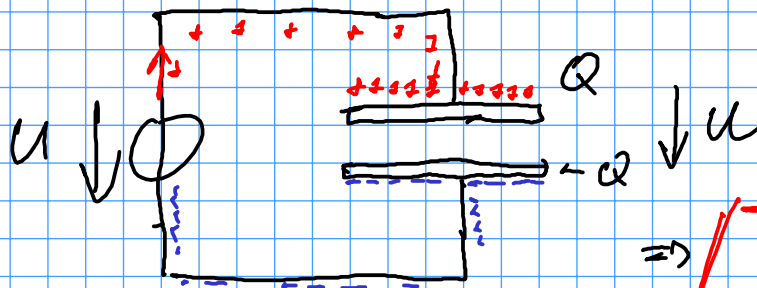


Kondensatoren / Kapazitäten



Ladung $Q \sim U$

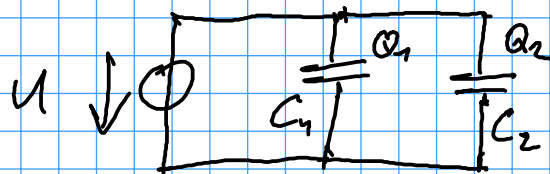
$$\Rightarrow Q = C \cdot U$$

C : Kapazität in Farad

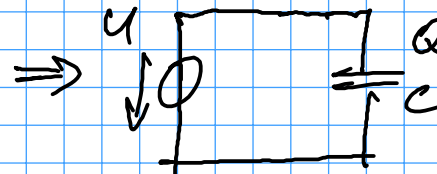
$$C = \frac{Q}{U} \quad [C] = \frac{As}{V} = F$$

Zusammenschaltung von Kondensatoren

Parallelschaltung



Ersetzschaltung



$$Q_1 + Q_2 = Q$$

$$C_1 \cdot U + C_2 \cdot U = C \cdot U$$

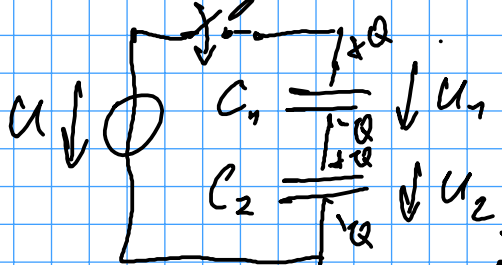
$$(C_1 + C_2) U = C \cdot U$$

$$\Rightarrow C = C_1 + C_2$$

allgemein $C = \sum_{i=1}^N C_i$ bei N parallelen Kapazitäten

Vgl.
 $G = G_1 + G_2$
 Leitwerte
 parallel

Serienschaltung



zunächst beide C ungeladen
 Gesamt Ladung Q bewegt

\Rightarrow Ladung auf jedem der Kondensatoren



$$U_1 + U_2 = U$$

$$\frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = \frac{Q}{C}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \Leftrightarrow C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i} \quad \text{bei } N \text{ in Serie geschalteter Kapazitäten}$$

Vgl. mit Leitwerten.

Energie auf einem Kondensator

Gespeicherte Energie.

Energie, die auf die Kapazität gebraucht wird

$$W = \int_{Q_0}^{Q_1} U \cdot \frac{dQ}{dQ} = \int_{Q_0}^{Q_1} U dQ = \int_{Q_0}^{Q_1} \frac{Q}{C} dQ$$

$$Q = C \cdot U \Leftrightarrow U = \frac{Q}{C}$$

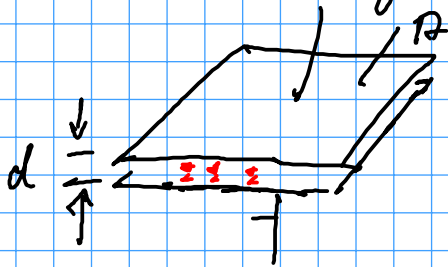
$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} \Big|_{Q_0}^{Q_1}$$

Am Anfang $Q_0 = 0$ am Ende $Q_1 = Q$

$$W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

Unabhängig davon, wie genau die Ladungsvergung aussieht.

Grundsätzliche Aufgaben von Kondensatoren



Plattenkondensator

$C \uparrow A \uparrow$; $C \uparrow d \downarrow$, Material verwenden

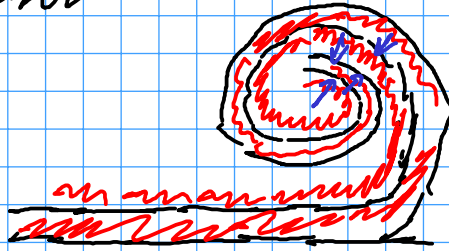
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

Materialparameter

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \quad \text{Maxwellkonstante}$$

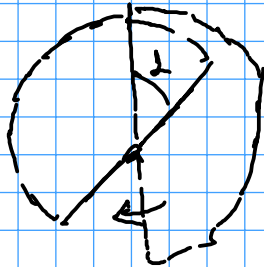
Kapazität erhöhen durch Keramika $\epsilon_r = 100 \dots 1000$

Folienkondensator



↓ Kapazität verdoppelt sich weil durch an der anderen Seite ein Gegenpol auftritt.

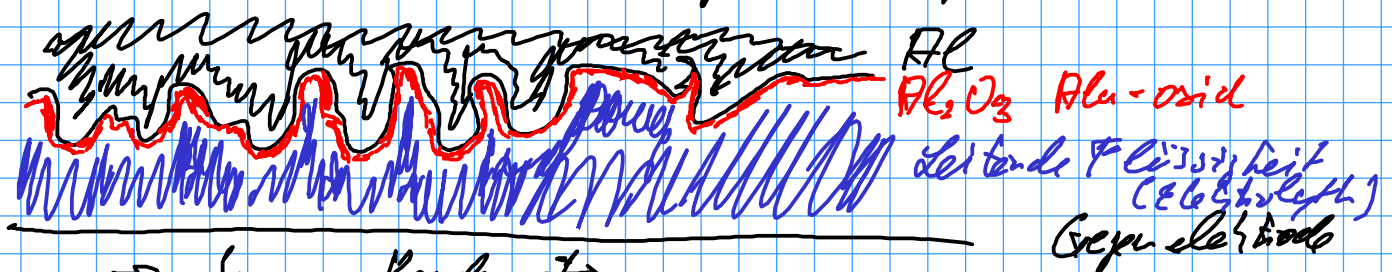
Drehkondensator / einstellbarer Kondensator



Überlappungswinkel α bestimmt die Kapazität

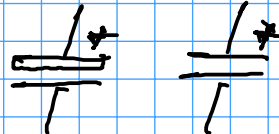
Elektrolyth-Kondensator

Aluminium kann man mit poröse Oberfläche herstellen



→ Super Kondensator ...

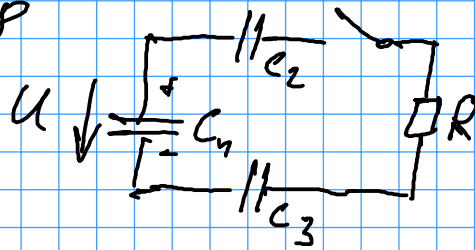
- Polarität beachten



- begrenzt Spannungsfest

- Altert (wird im Laufe der Jahre mit Elektrolyth)

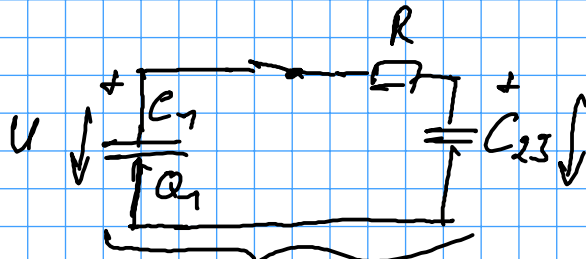
Aufgabe 3.8



$C_1 = 4 \mu\text{F}$ $t = 0$
 Ladung auf $C_1: U = 120\text{V}$
 $C_2 = 3 \mu\text{F}$
 $C_3 = 6 \mu\text{F}$

Energie W_R , die beim Schließen des Schalters dem Widerstand R zugeführt wird

Energie auf C_1 am Anfang: $W_1 = \frac{1}{2} C_1 \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 4 \mu\text{F} \cdot (120\text{V})^2 = 28,8 \text{ mJ}$



$C_{23} = \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3} = 2 \mu\text{F}$

Ladung auf C_1 :

$Q_1 = C_1 \cdot U_1 = 4 \mu\text{F} \cdot 120\text{V} = 480 \mu\text{As}$
 Gesamtladung nach langer Zeit der dieser Parallelschaltung ist Q_1 , die Ladung am Beginn.

$U' = \frac{Q_1}{C_{23} + C_1} = \frac{480 \mu\text{As}}{(2 + 4) \mu\text{F}} = 80\text{V}$

Energie am Ende des Vorgangs:

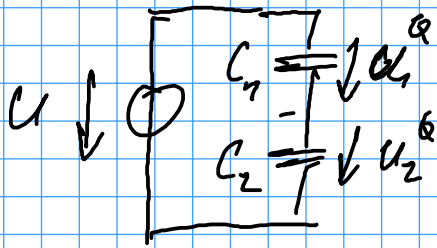
$W' = \frac{1}{2} (C_1 + C_{23}) \cdot U'^2 = \frac{1}{2} (2 + 4) \mu\text{F} \cdot (80\text{V})^2 = 19,2 \text{ mJ}$

$W_R = W_1 - W' = 28,8 \text{ mJ} - 19,2 \text{ mJ} = 9,6 \text{ mJ}$

\Rightarrow unabhängig von R

Als Künungen...

Kapazitive Spannungsteiler



$$Q = C \cdot U$$

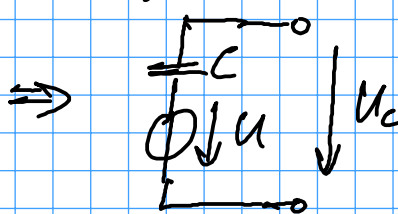
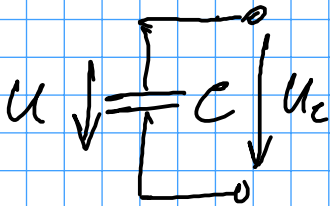
$$C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2 = C_{ges} \cdot U$$

$$C_{ges}^{-1} = C_1^{-1} + C_2^{-1}$$

$$\Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1} \quad \frac{U}{U_1} = \frac{C_1}{C_{ges}} = \frac{C_1}{\frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}} = \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^{-1}$$

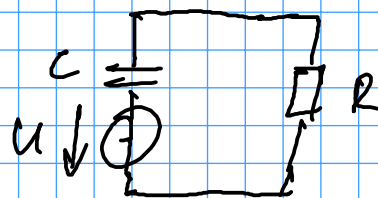
$$\frac{U_1}{U} = \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$

Kondensatoren, die schon geladen sind

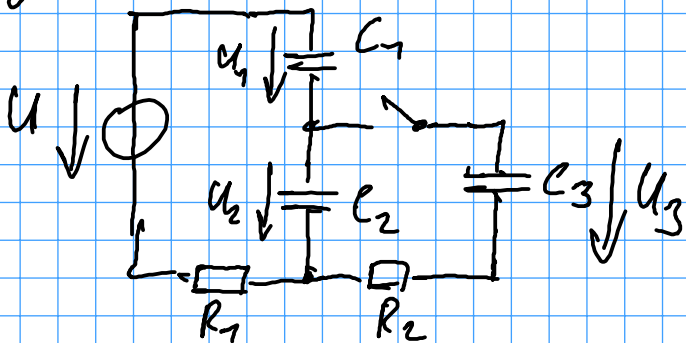


C ist hier aufgeladen.

Rechenbeispiel:



Aufgabe 3.9



$$U = 120V$$

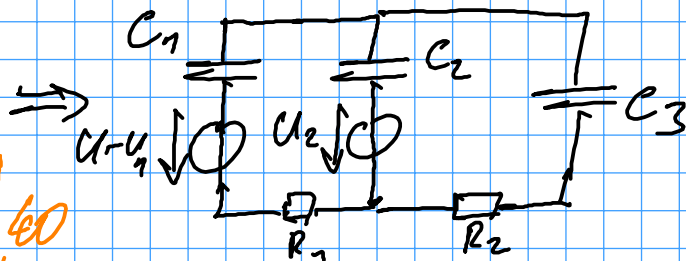
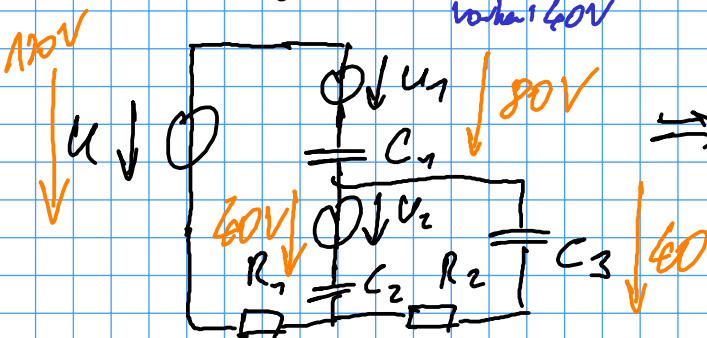
$$C_1 = 6 \mu F \quad U_1 = 60V$$

$$C_2 = 3 \mu F \quad U_2 = 80V$$

$$C_3 = 9 \mu F \quad \text{un geladen}$$

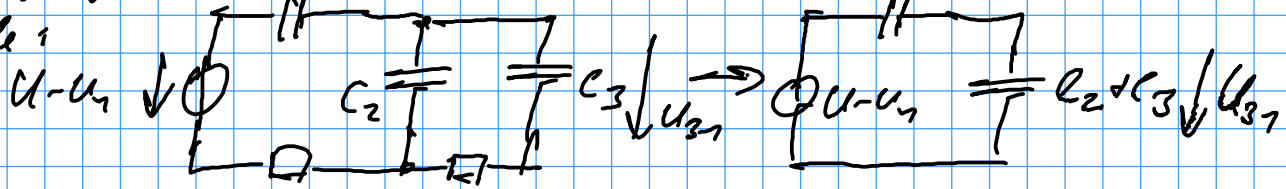
a) U_3 kurze Zeit nach Schließen des Schalters.

vorher 60V



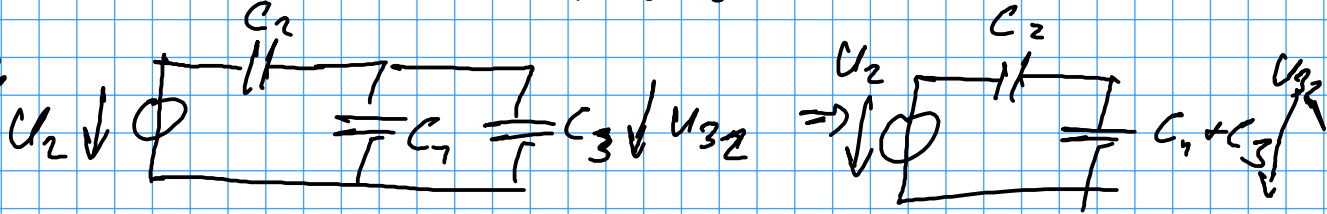
Übalaagerungsformen C_1

1) Quelle:



$$U_{31} = (U - U_1) \frac{C_1}{C_1 + C_2 + C_3} = 80V \cdot \frac{6}{18} = \underline{\underline{26,67V}}$$

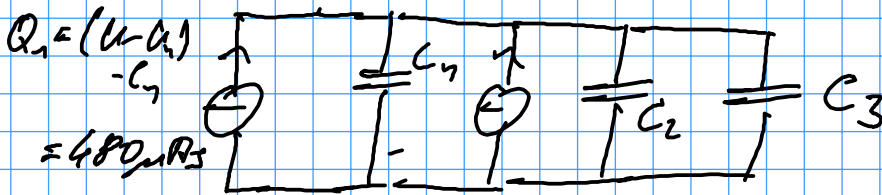
2. Quelle:



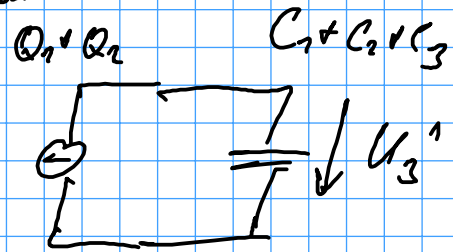
$$U_{32} = U_2 \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2 + C_3} = 80V \cdot \frac{3}{18} = 13,33V$$

Gesamt: $U'_3 = U_{31} + U_{32} = 26,67V + 13,33V = \underline{\underline{40V}}$

Bestimmung mit Ersatz Ladungsquellen



$$Q_2 = U_2 \cdot C_2 = 240 \mu As$$



$$720 \mu As \quad 18 \mu F$$

$$U'_3 = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2 + C_3} = \frac{720 \mu As}{18 \mu F} = \underline{\underline{40V}}$$

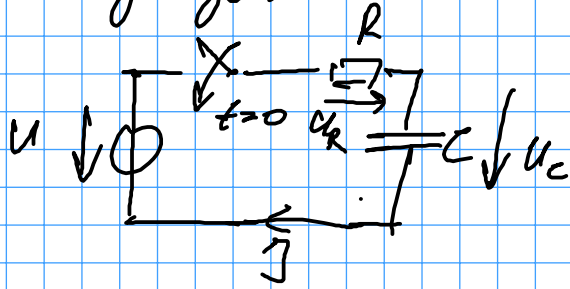
b) Energie aus der Quelle nach Schließen von Schalter.

Ladung "nachher" auf C_1 : $Q'_1 = U'_1 \cdot C_1 = 480 \mu As$

vorher auf C_1 : $Q_1 = U_1 \cdot C_1 = 240 \mu As$

$$\underline{\underline{\Delta W = U \cdot (Q'_1 - Q_1) = 120V \cdot 240 \mu As = 28,8 mJ}}$$

Anfangs & Endbedingungen bei Kapazitäten



$t = \infty$ nach langer Zeit

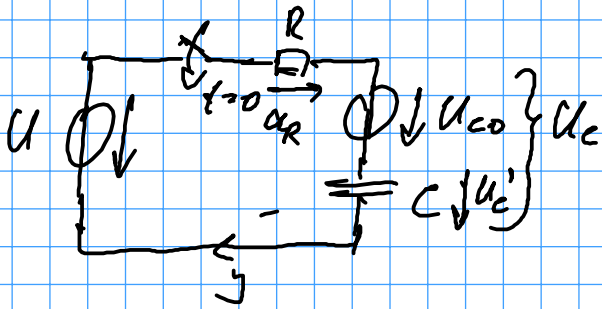
$$U_C = U; \quad I = 0$$

Kondensator ist wie Totlauf.

Nach kurzer Zeit, also $t = 0+$

$$\Rightarrow U_C = 0 \quad (\text{bei } t = 0+) \Rightarrow U_R = U \Rightarrow I = \frac{U}{R}$$

Beispiel mit C_- ist bei $t = 0-$ aufgeladen auf U_{C0}



$t = \infty$

$$U_{C0} + U_C' - U = 0$$

$$\Rightarrow U_C' = U - U_{C0}$$

$$\Rightarrow U_C = U_{C0} + U_C' = U_{C0} + U - U_{C0} = \underline{\underline{U}}$$

$t = 0+$ (direkt nach Schließen)

$$U_C' = 0 \quad U_R = U - U_{C0} \quad ; \quad I = \frac{U - U_{C0}}{R}$$