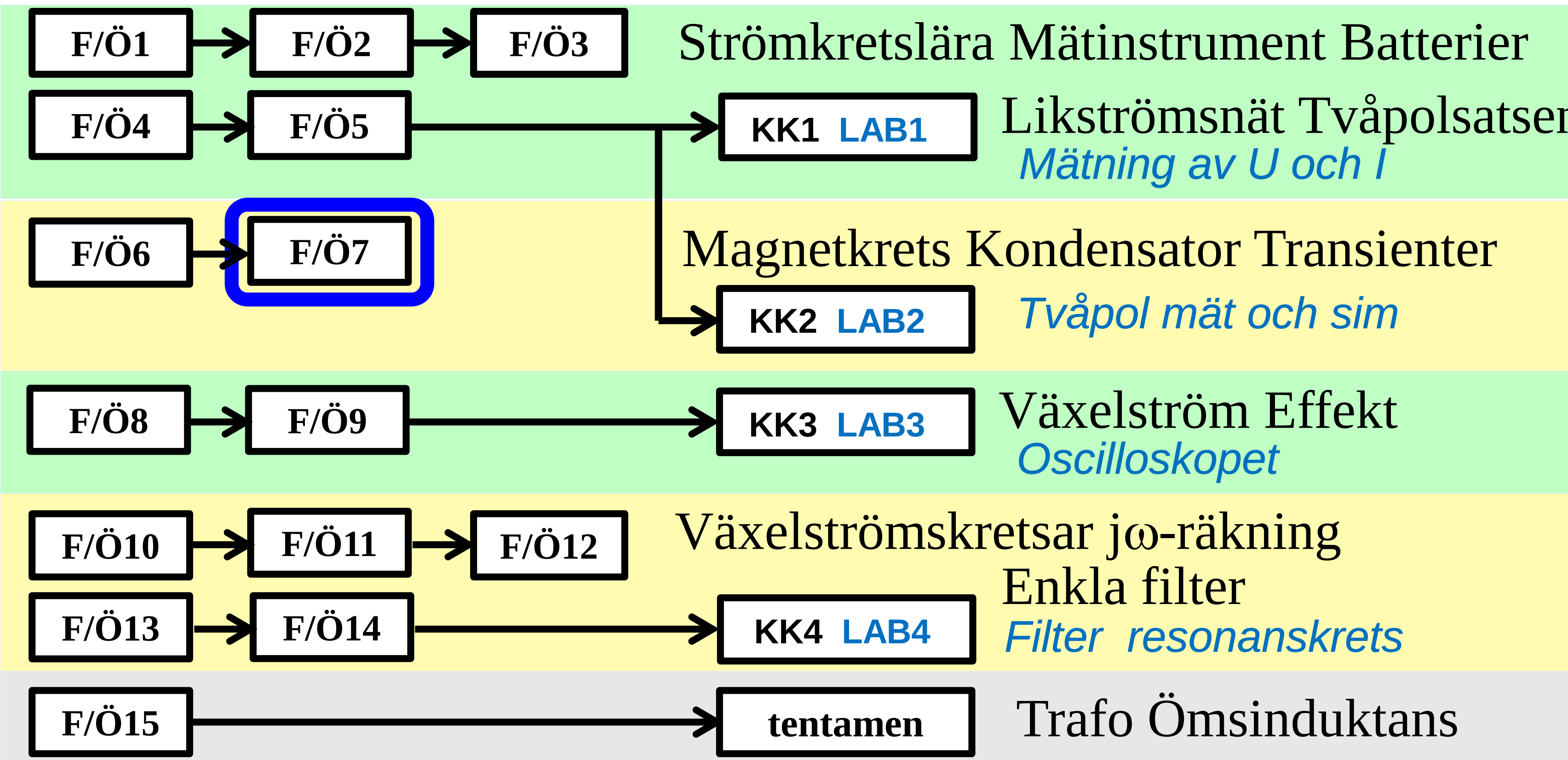
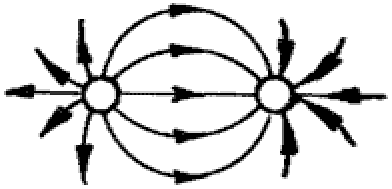
IF1330 Ellära

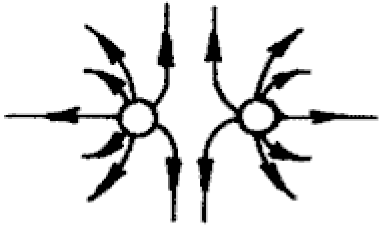


Föreläsningar och övningar bygger på varandra! Ta alltid igen det Du missat!
Läs på i förväg – delta i undervisningen – arbeta igenom materialet efteråt!

William Sandqvist william@kth.se

Elektriska fält





Kraften mellan två laddningar kan beräknas med Coulombs lag. Kraften mellan lika laddningar är repellerande, mellan olika laddningar atraherande.

Det elektriska fältet *E* från en punktladdning Q_1 kan ses som kraften på en ”testladdning”, en ”enhetsladdning” (Q_2 =+1).
De elektriska kraftlinjerna börjar från en positiv laddning och slutar på en negativ laddning.

Kraftlinjerna får *inte* korsa varandra.

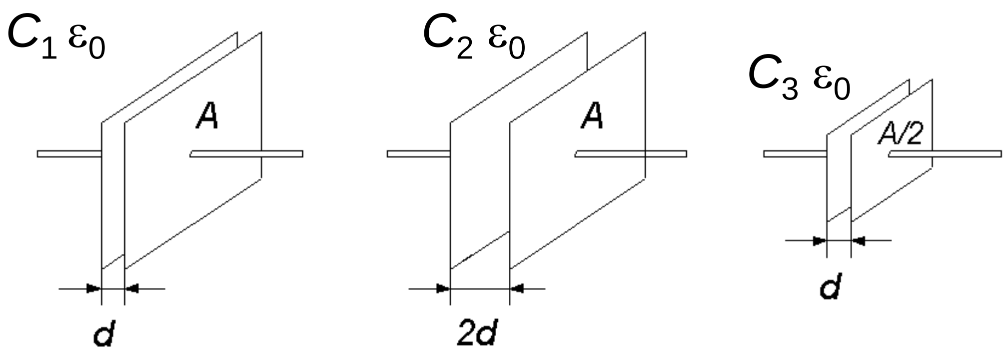
$$F = \mathrm{k} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \qquad \overline{E} = \mathrm{k} \cdot \frac{Q_1 \cdot 1}{r^2} \qquad \mathrm{k} = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \ \mathrm{Nm^2/C^2}$$

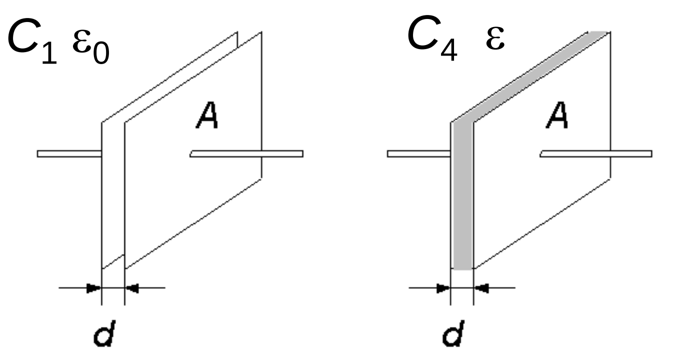
Konstanten k har ett mycket stort värde, **de elektriska krafterna är starka**.

William Sandqvist william@kth.se

Plattkondensatorn

$$C = \frac{Q}{U} \qquad C = \varepsilon \frac{A}{d}$$





En kondensators kapacitans *C* är proportionell mot ytan *A* och omvänt proportionell mot plattavståndet *d*.

Om isolermaterialet mellan plattorna är polariserbart (ε) *ökas* kapacitansen.

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

$$C_1 = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \quad > \quad C_2 = \varepsilon_0 \frac{A}{2d} \quad = \quad C_3 = \varepsilon_0 \frac{A/2}{d}$$

$$C_1 = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \quad < \quad C_4 = \varepsilon \frac{A}{d} \qquad \varepsilon = \varepsilon_\mathrm{r} \cdot \varepsilon_0 \quad \varepsilon_0 = 8{,}85\ \mathrm{pF/m}$$

William Sandqvist william@kth.se

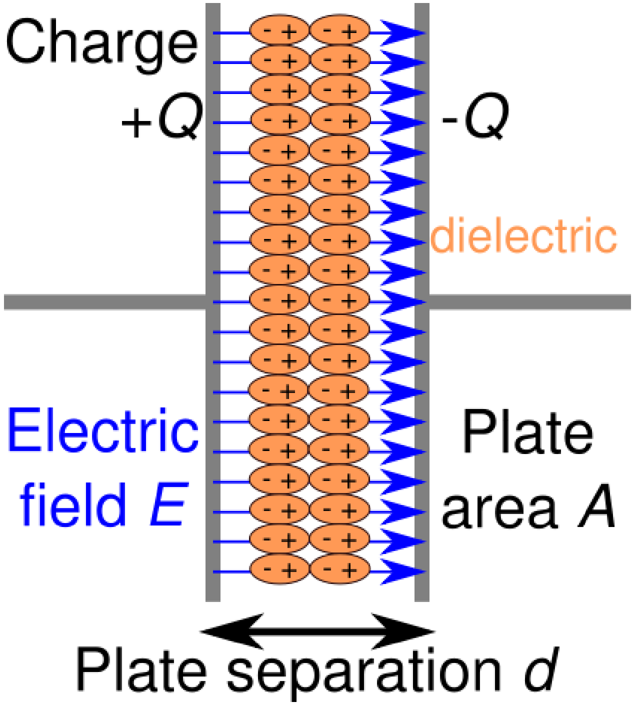
Dielektrikum

De flesta material är polariserbara, och kommer då att öka det elektriska fältet, och kondensatorns kapacitans, om man placerar dem mellan plattorna.

Titanite, som används i keramiska kondensatorer ökar kapacitansen 7500 ggr i jämförelse mot vacuum eller luft.

$\varepsilon_r = 7500$

ε_r spelar samma roll för elektriska fält som μ_r (eller k_m) gör för magnetiska fält.



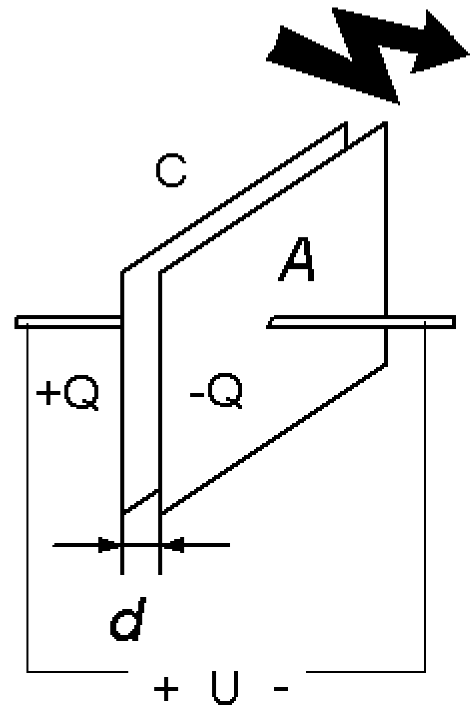
$$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \qquad \varepsilon_0 = 8{,}85 \text{ pF/m}$$

litet *d*, Spänningstålighet

Högt kapacitansvärde kan man erhålla med ett *litet* plattavstånd *d*.

Nackdelen är att risken ökar för överslag mellan plattorna.
Varje kondensator har därför en högsta märkspänning som *inte* får överstigas.

En kondensator för högre märk-spänning blir av nödvändighet större än en med lägre märkspänning om kapacitansvärdet är detsamma.



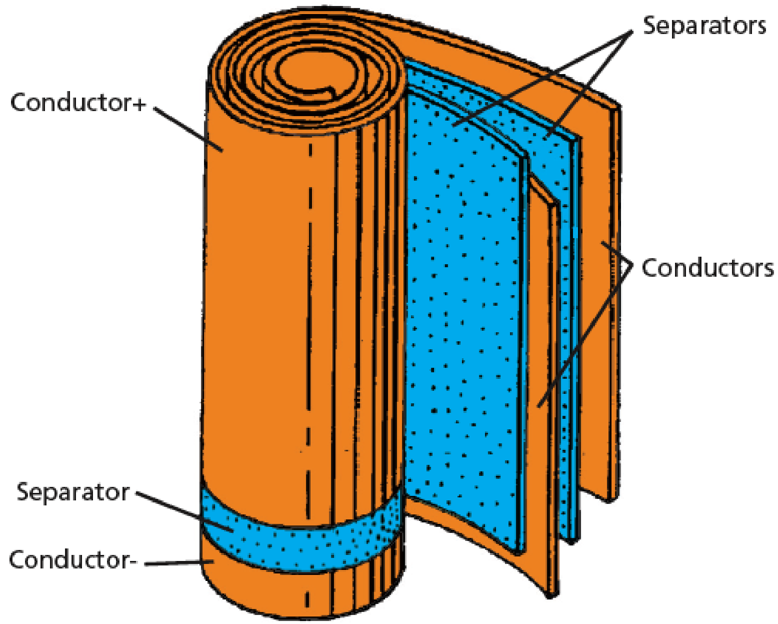
$$C = \frac{Q}{U} \qquad E = \frac{U}{d}$$

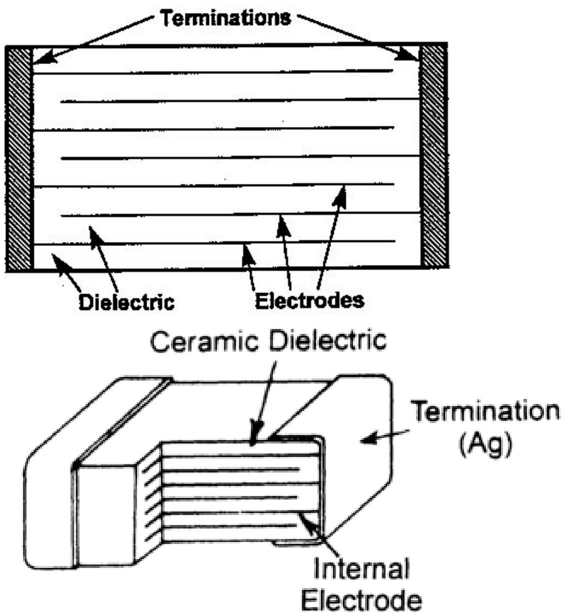
Det elektriska fältet *E* i kondensatorn är *E*=*U*/*d*. Luft tål 2,5 kV/mm innan överslag!

William Sandqvist william@kth.se

Stor yta *A*

Högt kapacitansvärde kan man få med *stor* yta *A*. Kondensatorn kan då vara rullad, eller av typen flerlagers, så att ”komponentytan” minimeras trots den stora innerytan.





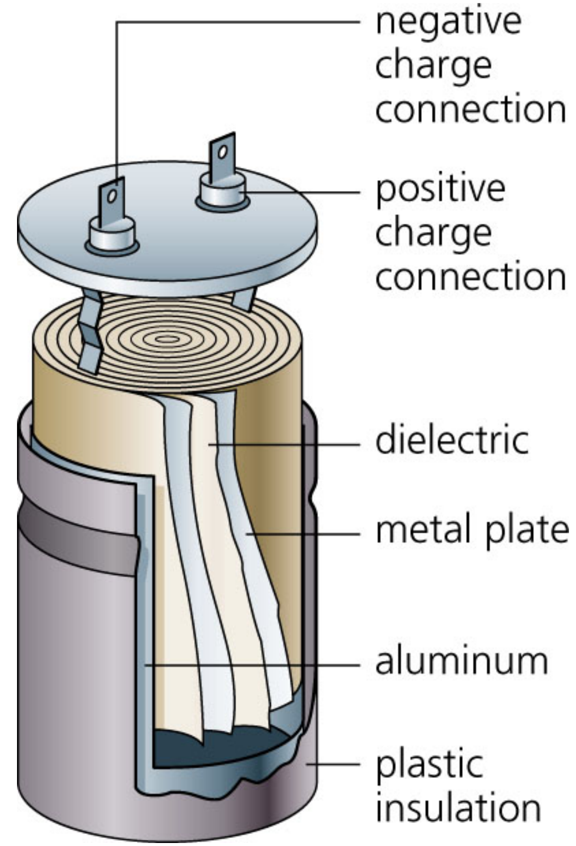
Flerlagerkondensator med keramiskt dielektrikum (= hög ε_r).

Litet avstånd *d*

Elektrolytkondensatorn bygger på *extremt litet* avstånd *d* mellan elektroderna. Ena elektroden är en aluminiumfolie, och dielektriket är ett tunt isolerande oxidskikt som eloxerats på folien.
Den andra elektroden är själva elektrolyten som ju är i nära kontakt med foliens yta.

Kondensatorn måste polariseras rätt, med *samma* polaritet som när oxidskitet eloxerades. Annars förstörs oxidskiktet och kondensatorn kortsluts!

Kondensatorn förstörs även om märkspänningen överskrides.

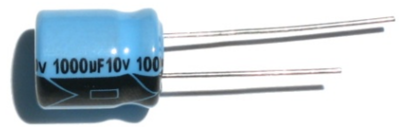


Stor yta *A* och litet avstånd *d*

Tantalelektrolytkondensatorn har en ”svampformad” elektrod.

Den totala inre ytan *A* blir *extremt stor*. Isoleringen består av ett oxidskikt så även *d* blir *liten*.
En 3.5 mm × 2.5 mm × 5.5 mm, 4.7µF tantalelektrolyt har den ekvivalenta inre ytan 40 cm^2 !

Kondensatorer



William Sandqvist william@kth.se

Supercap

$$C = \frac{Q}{U} \qquad I = Q \cdot t$$

Backup-kondensator ”Supercap”. Spänningsbackup till tex minnen – flytta telefonen från ett rum till ett annat *utan* att telefonen ”glömmer” snabbnummren.

Hur länge räcker kondensatorn?

Antag att C = 1 F och att U från början är 5V. Utrustningen drar I = 10 mA och fungerar ända ned till 2,5V.

Supercap

$$C = \frac{Q}{U} \qquad I = Q \cdot t$$

Backup-kondensator ”Supercap”. Spänningsbackup till tex minnen – flytta telefonen från ett rum till ett annat *utan* att telefonen ”glömmer” snabbnummren.

Hur länge räcker kondensatorn?

Antag att C = 1 F och att U från början är 5V. Utrustningen drar I = 10 mA och fungerar ända ned till 2,5V.

$$\Delta Q = C \cdot \Delta U = 1 \cdot (5 - 2{,}5) = 2{,}5 \text{ As} \qquad t = \frac{\Delta Q}{I} = \frac{2.5}{10 \cdot 10^{-3}} = 250 \text{ s} = 4 \text{ min}$$

Skolans ”värsta” supercap?

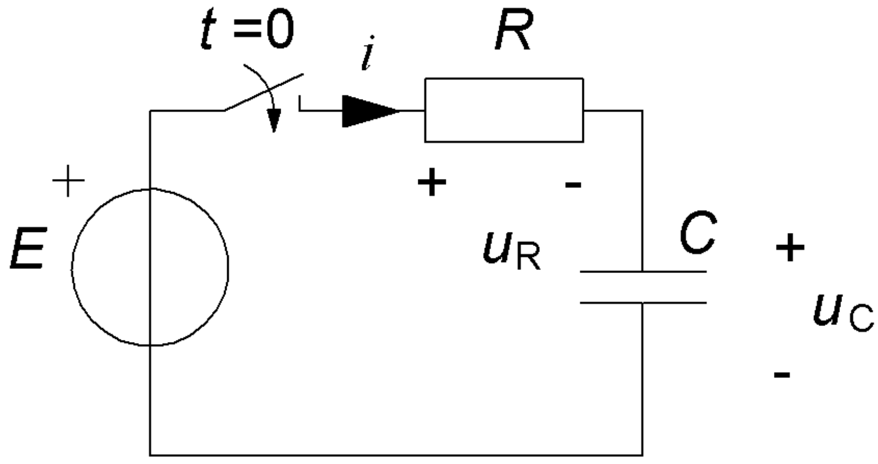
3000 F × 16 st
Forskning pågår kring energilagring för använd-ning till routrar på otill-gängliga platser med för batterier ”olämpliga” temperaturer.

Exempelvis i öknen eller på arktis.

Skolans TELEKOMMUNIKATIONSSYSTEMLAB

William Sandqvist william@kth.se

Kondensatorns transienter $\tau = R \cdot C$



Spänningen över konden-
satorn kommer från den
uppsamlade laddningen.

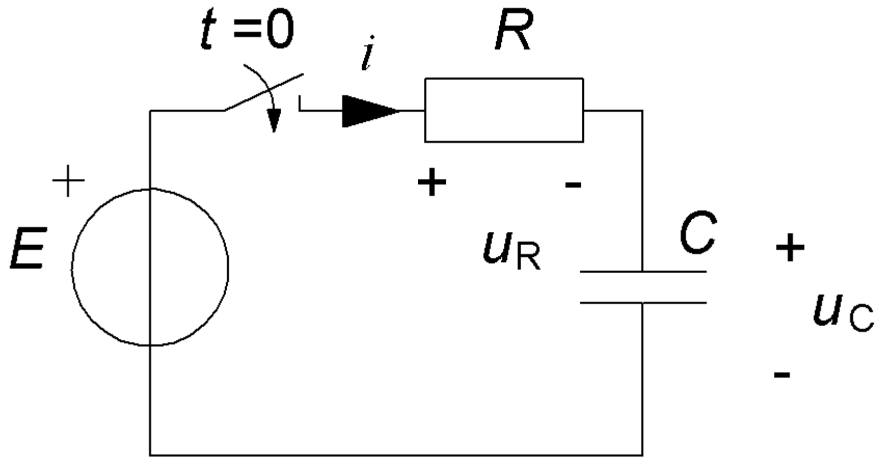
$$u_C(t) = \frac{q(t)}{C} = \frac{\int_0^t i(z)\,\mathrm{dz}}{C}$$

$$E = u_R + u_C \quad \Leftrightarrow \quad E = i(t) \cdot R + \frac{1}{C}\int_0^t i(z)\,\mathrm{dz}$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}E = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}i(t) \cdot R + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{1}{C}\int_0^t i(z)\,\mathrm{dz} \quad \Rightarrow \quad 0 = R\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{C}i(t) \quad \Leftrightarrow \quad 0 = R \cdot C\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} + i(t)$$

$$i(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad \tau = R \cdot C$$

Kondensatorns transienter $\tau = R \cdot C$



Spänningen över konden-satorn kommer från den uppsamlade laddningen.

$$u_C(t) = \frac{q(t)}{C} = \frac{\int_0^t i(z)\,\mathrm{d}z}{C}$$

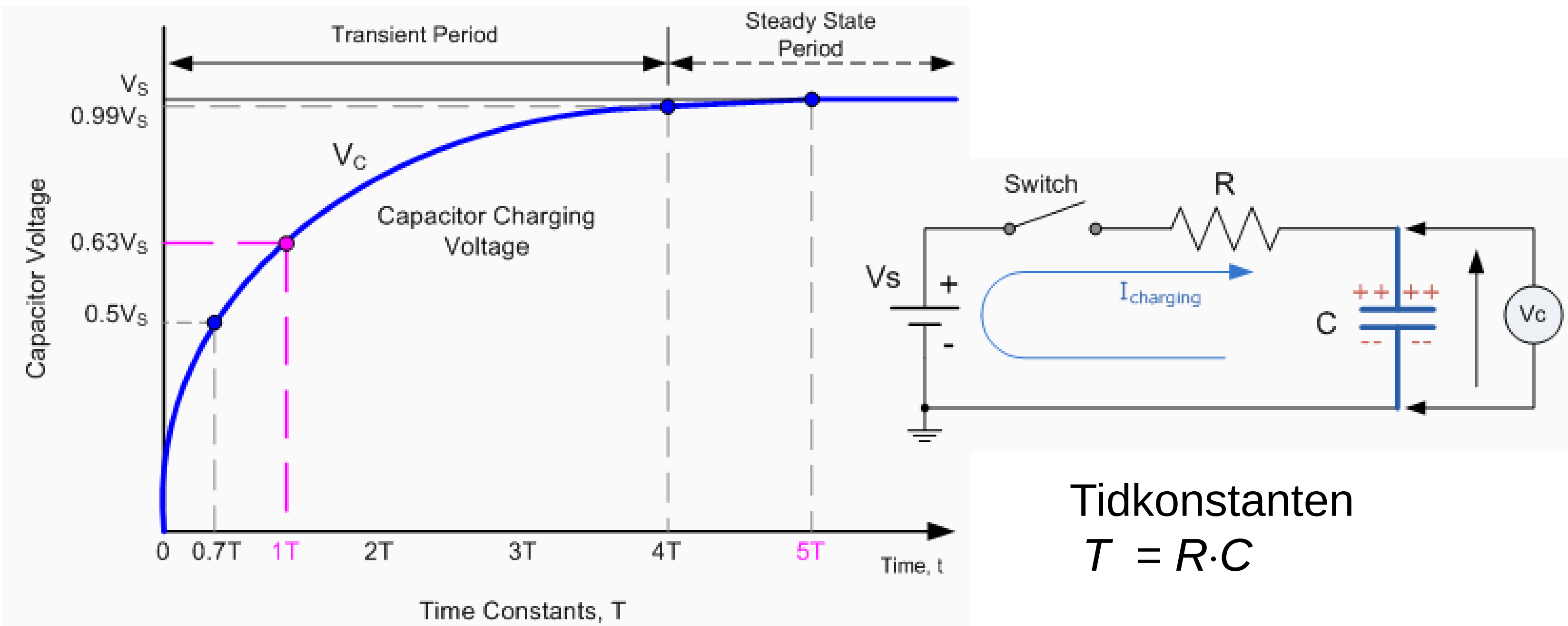
$$\boxed{E = u_R + u_C} \Leftrightarrow E = i(t) \cdot R + \frac{1}{C}\int_0^t i(z)\,\mathrm{d}z$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}E = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}i(t) \cdot R + \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\frac{1}{C}\int_0^t i(z)\,\mathrm{d}z \Rightarrow 0 = R\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{C}i(t) \Leftrightarrow \boxed{0 = R \cdot C\frac{\mathrm{d}i(t)}{\mathrm{d}t} + i(t)}$$

Differentialekvationen har lösningen:

$$\boxed{i(t) = \frac{E}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \qquad \tau = R \cdot C}$$

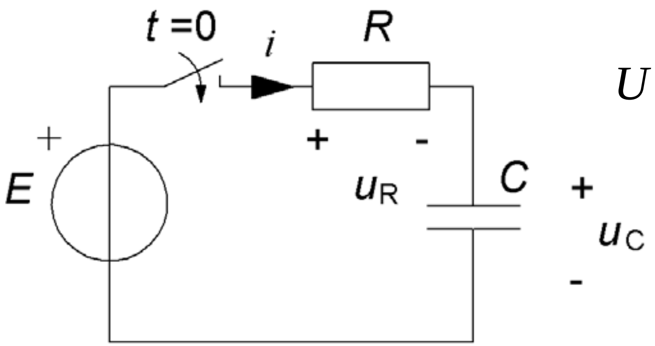
Uppladdning av kondensator



Tidkonstanten

$T = R \cdot C$

Energi i kondensator



$$U = \frac{Q}{C} \quad \Rightarrow \quad \frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{C} \cdot \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} \quad \Rightarrow \quad \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = i = C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$$

Ögonblickseffekt:

$$p = i \cdot u_\mathrm{C} = C\,\frac{\mathrm{d}u_\mathrm{C}}{\mathrm{d}t} \cdot u_\mathrm{C} \quad \Rightarrow$$

Energi:

$$W = \int_{t=0}^{t=\infty} p\,\mathrm{d}t = \int_{t=0}^{t=\infty} C \cdot u_\mathrm{C} \cdot \frac{\mathrm{d}u_\mathrm{C}}{\cancel{\mathrm{d}t}}\,\cancel{\mathrm{d}t} = \int_{u=0}^{u=E} C \cdot u_\mathrm{C}\;\mathrm{d}u_\mathrm{C} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot E^2$$

Upplagrad energi i det elektriska fältet:

$$\boxed{W_\mathrm{E} = \frac{1}{2} C \cdot U^2}$$

Kom ihåg formeln, men tillåtet att skolka i från härledningen …

William Sandqvist william@kth.se

Energi i kondensator och spole

$$\boxed{W_\mathrm{L} = \frac{1}{2} L \cdot I^2} \qquad \boxed{W_\mathrm{E} = \frac{1}{2} C \cdot U^2}$$

- **Tänkt elektromagnetisk motor:**

$W_\mathrm{M} = L \cdot I^2/2$ koppar ”tål” 3A/mm^2 induktansen 1 H är rimlig i en motor.

- **Tänkt elektrostatisk motor:**

$W_\mathrm{E} = C \cdot U^2/2$ luft ”tål” 2,5 kV/mm kapacitansen 100 pF är rimlig för en motor. 1 mm mellan rörliga delar är rimligt.

Nu är alla elektrostatiska motorer mikromekaniska …

Enligt uträkningarna kommer nog detta att bestå!

$$W_\mathrm{M} \approx \frac{1 \cdot 3^2}{2} = 4{,}5 \text{ J} \qquad W_\mathrm{E} \approx \frac{100 \cdot 10^{-12} \cdot (2{,}5 \cdot 10^3)^2}{2} = 3{,}13 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

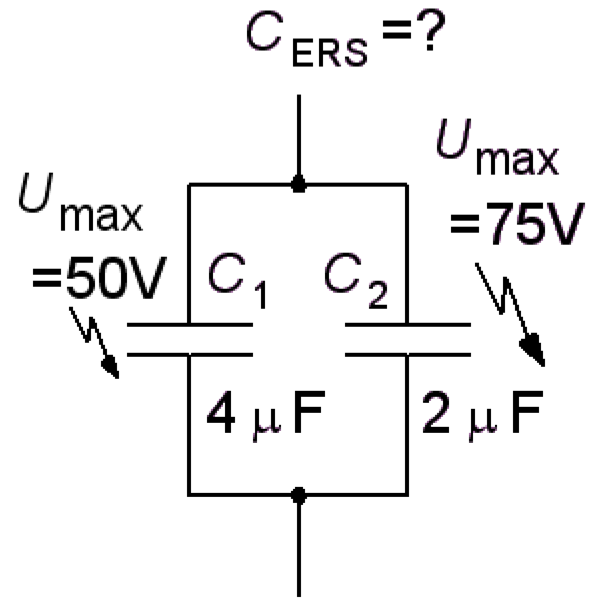
William Sandqvist william@kth.se

Parallellkopplade kondensatorer

Två kondensatorer parallell-kopplas. Vad gäller för ersättningskapacitansen och ersättningsmärkspänningen?

C_1 = 4 μF 50V

C_2 = 2 μF 75V

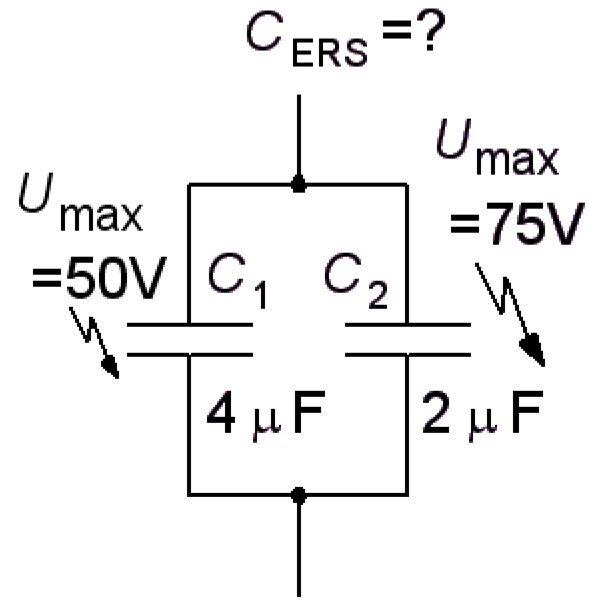


Parallellkopplade kondensatorer

Två kondensatorer parallell-kopplas. Vad gäller för ersättningskapacitansen och ersättningsmärkspänningen?

C_1 = 4 μF 50V

C_2 = 2 μF 75V



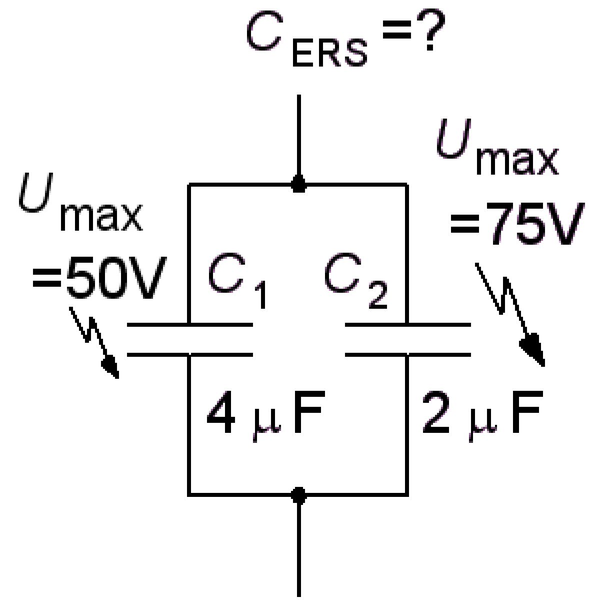
Kapacitansvärdena adderas, parallellkopplingen är samma sak som om kondensatorbeläggens ytor adderades. Den kondensator som har sämst spänningstålighet avgör ersättningskondensatorns märkspänning. Det är i den kondensatorn som genomslaget kommer att ske.

Parallellkopplade kondensatorer

Två kondensatorer parallell-kopplas. Vad gäller för ersättningskapacitansen och ersättningsmärkspänningen?

C_1 = 4 μF 50V

C_2 = 2 μF 75V



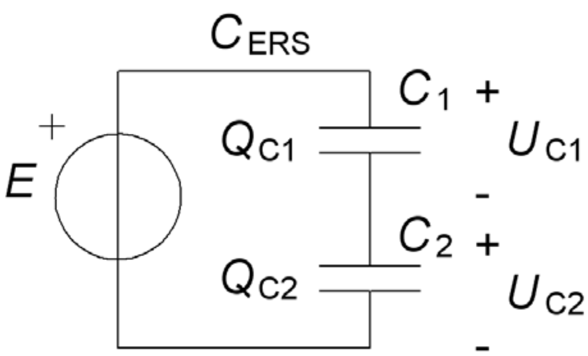
Kapacitansvärdena adderas, parallellkopplingen är samma sak som om kondensatorbeläggens ytor adderades. Den kondensator som har sämst spänningstålighet avgör ersättningskondensatorns märkspänning. Det är i den kondensatorn som genomslaget kommer att ske.

$$C_{ERS} = C_1 + C_2 = 4 + 2 = 6\ \mu\text{F}\ \ 50\text{V}$$

Seriekopplade kondensatorer

$$E = U_{C1} + U_{C2} \quad U = \frac{Q}{C} \quad \Rightarrow \quad E = \frac{Q}{C_{\mathrm{ERS}}} = \frac{Q_{\mathrm{C1}}}{C_{\mathrm{C1}}} + \frac{Q_{\mathrm{C2}}}{C_{\mathrm{C2}}} \quad Q = Q_{\mathrm{C1}} = Q_{\mathrm{C2}}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{1}{C_{\mathrm{ERS}}} = \frac{1}{C_{\mathrm{C1}}} + \frac{1}{C_{\mathrm{C2}}}$$



$$C_{\mathrm{ERS}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Parallellkoplingsformeln för resistorer är jämförbar med seriekopplingsformeln för kondensatorer!

I en kapacitiv spänningsdelare delas spänningen i *omvänd* proportion mot de ingående kondensatorernas kapacitanser. Den minsta kondensatorn får den högsta spänningen – tål den det?

Exempel. Seriekopplade kondensatorer

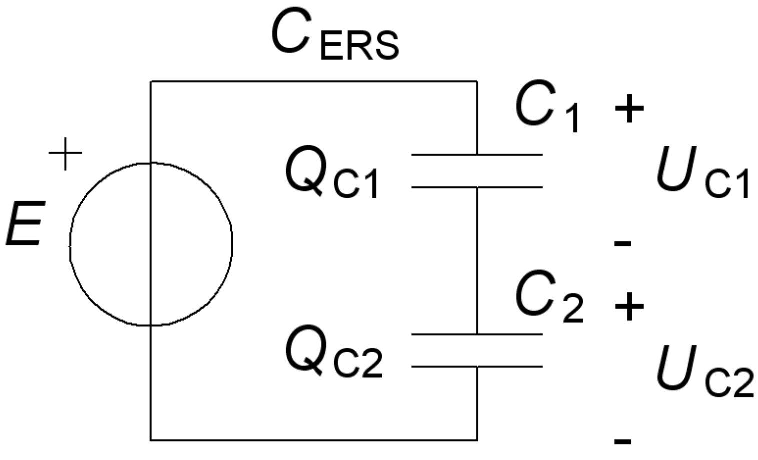
Två kondensatorer seriekopplas. Beräkna ersättningskapacitansen och ange hur spänningen delas mellan kondensatorerna.

E = 10 V

C_1 = 6 μF

C_2 = 12 μF

$$\boxed{C_{\mathrm{ERS}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}}$$



Exempel. Seriekopplade kondensatorer

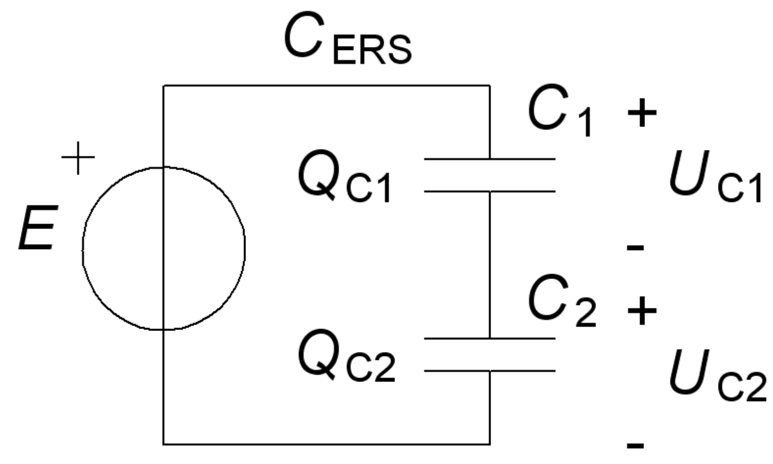
Två kondensatorer seriekopplas. Beräkna ersättningskapacitansen och ange hur spänningen delas mellan kondensatorerna.

E = 10 V

C_1 = 6 μF

C_2 = 12 μF

$$\boxed{C_{\mathrm{ERS}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}}$$



Ingen ström/laddning kan passera genom en kondensator. Två seriekopplade kondensatorer måste därför alltid ha *samma* laddning! $Q_{C1} = Q_{C2}$.

Exempel. Seriekopplade kondensatorer

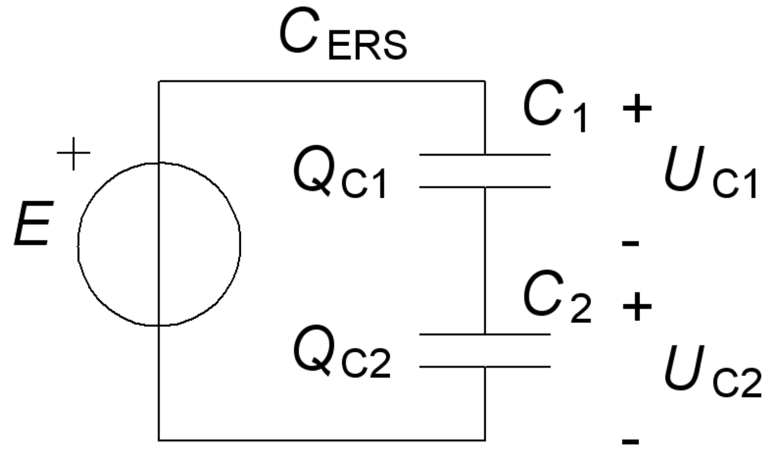
Två kondensatorer seriekopplas.
Beräkna ersättningskapacitansen och ange hur spänningen delas mellan kondensatorerna.

E = 10 V

C_1 = 6 μF

C_2 = 12 μF

$$\boxed{C_{\mathrm{ERS}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}}$$



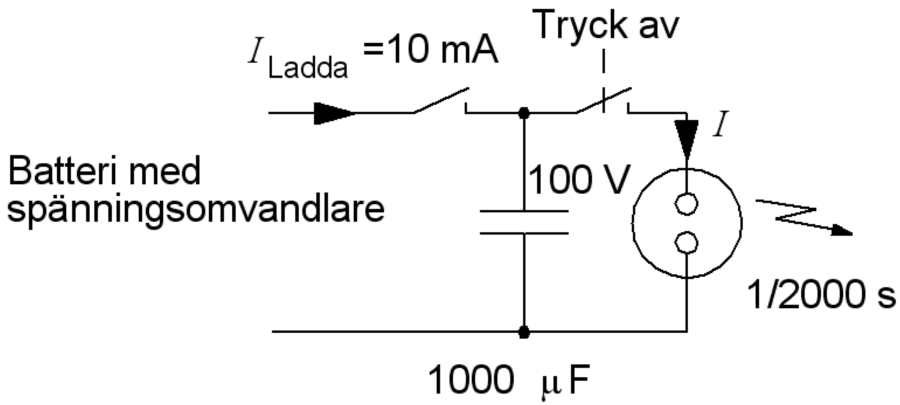
Ingen ström/laddning kan passera genom en kondensator. Två seriekopplade kondensatorer måste därför alltid ha *samma* laddning! $Q_{C1} = Q_{C2}$.

$$Q_{C1} = Q_{C2} = Q \quad = \quad C_{\mathrm{ERS}} \cdot E \quad = \quad C_1 \cdot U_{\mathrm{C1}} \quad = \quad C_2 \cdot U_{\mathrm{C2}}$$

$$C_{\mathrm{ERS}} = \frac{6 \cdot 12}{6 + 12} = 4\ \mu\mathrm{F} \qquad Q = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 40\ \mu\mathrm{C}$$

$$U_{\mathrm{C1}} = \frac{Q}{C_1} = \frac{40 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-6}} = 6{,}66\ \mathrm{V} \qquad U_{\mathrm{C2}} = E - U_{\mathrm{C1}} = 10 - 6{,}66 = 3{,}33\ \mathrm{V}$$

Kamerablixten



$$W = \tfrac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$
$$Q = C \cdot U$$
$$I = \frac{Q}{t}$$
$$P = \frac{W}{t}$$

Elektriska energin i kondensatorn *W* ? $W = \tfrac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \tfrac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 100^2 = 5\ \text{J, Ws}$

Kondensatorns laddning *Q* ? $Q = C \cdot U = 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 100 = 0{,}1\ \text{C, As}$

Blixtströmmen (medelvärde) I ? $I = \frac{Q}{t} = \frac{0{,}1}{1/2000} = 200\ \text{A}$

Effekten under blixturladdningen P ? $P = \frac{W}{t} = \frac{5}{1/2000} = 10\ \text{kW}$

Nu LED Flash?

Hur länge får man vänta på nästa blixt t_{Ladda} ?

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{I_{\text{Ladda}} \cdot t_{\text{Ladda}}}{C} \quad \Rightarrow \quad t_{\text{Ladda}} = \frac{C \cdot U}{I_{\text{Ladda}}} = \frac{1000 \cdot 10^{-6} \cdot 100}{10 \cdot 10^{-3}} = 10\ \text{s}$$

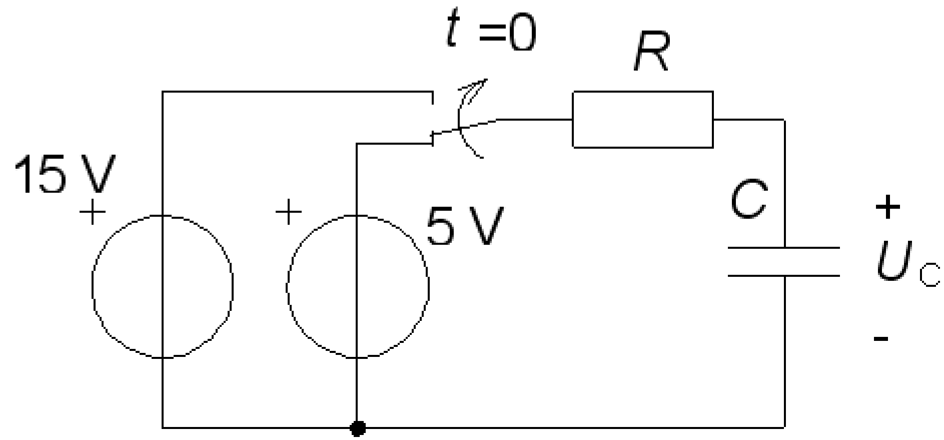
Kondensatorns uppladdning (11.7)

R = 2000 Ω och C = 1000 μF

Tag fram ett uttryck för $u_C(t)$

Rita funktionen $u_C(t)$

Beräkna hur lång tid det tar för u_C att nå +10V?



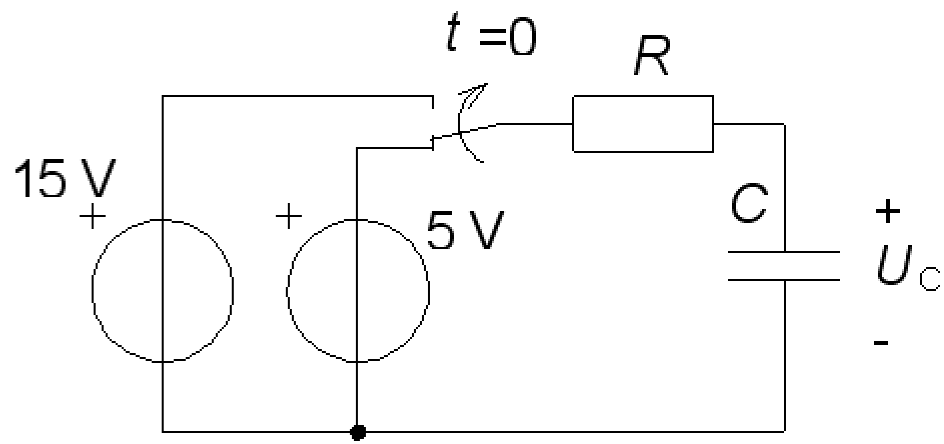
Kondensatorns uppladdning (11.7)

R = 2000 Ω och C = 1000 μF

Tag fram ett uttryck för $u_C(t)$

Rita funktionen $u_C(t)$

Beräkna hur lång tid det tar för u_C att nå +10V?



u_{C0} = 5 V
$u_{C\infty}$ = 15 V
$\tau = 2000 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} = 2$ s

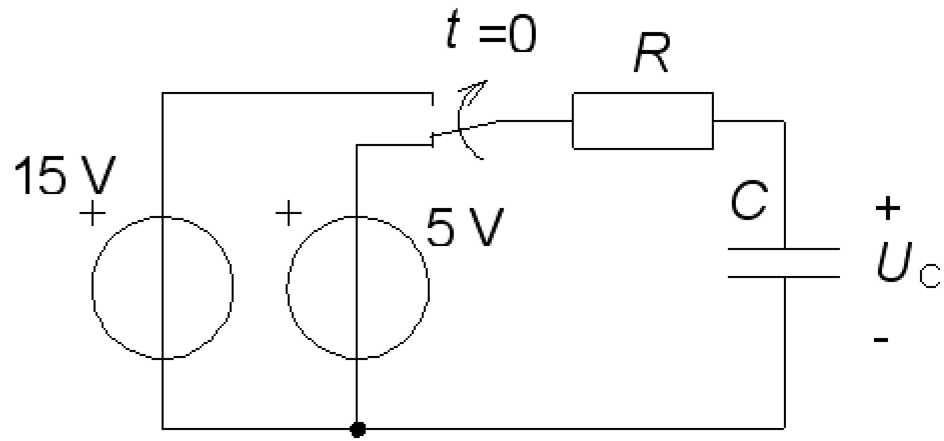
Kondensatorns uppladdning (11.7)

R = 2000 Ω och C = 1000 μF

Tag fram ett uttryck för $u_C(t)$

Rita funktionen $u_C(t)$

Beräkna hur lång tid det tar för u_C att nå +10V?



u_{C0} = 5 V
$u_{C\infty}$ = 15 V
$\tau = 2000 \cdot 1000 \cdot 10^{-6}$ = 2 s

$$x(t) = x_\infty - (x_\infty - x_0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_C(t) = 15 - (15 - 5) \cdot e^{-\frac{t}{2}} = 15 - 10 \cdot e^{-0,5 \cdot t}$$

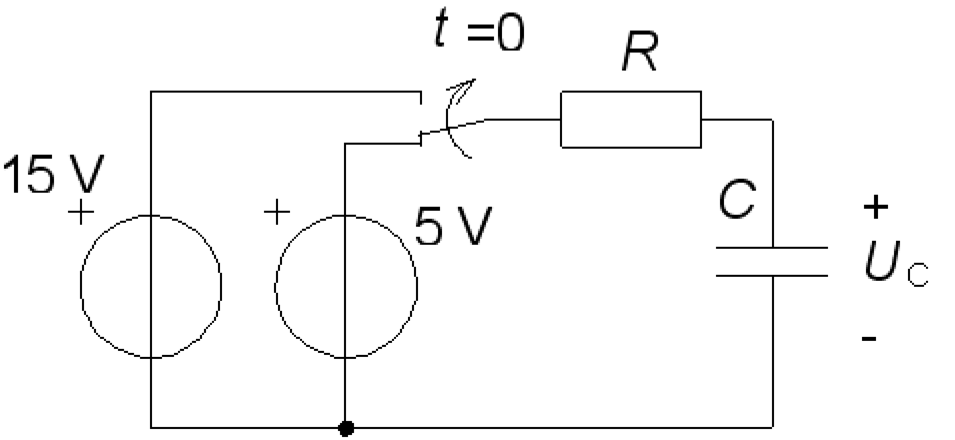
Kondensatorns uppladdning (11.7)

R = 2000 Ω och C = 1000 μF

Tag fram ett uttryck för $u_C(t)$

Rita funktionen $u_C(t)$

Beräkna hur lång tid det tar för u_C att nå +10V?



u_{C0} = 5 V
$u_{C\infty}$ = 15 V
$\tau = 2000 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} = 2$ s

$$x(t) = x_\infty - (x_\infty - x_0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$u_C(t) = 15 - (15 - 5) \cdot e^{-\frac{t}{2}} = 15 - 10 \cdot e^{-0,5 \cdot t}$$

Tips: Kondensatorn är ”spänningströg” – Lägger man en spänning över en kondensator kan den inte laddas ögonblickligen (skulle kräva oändlig ström). Spänningen ändras *inte* momentant.

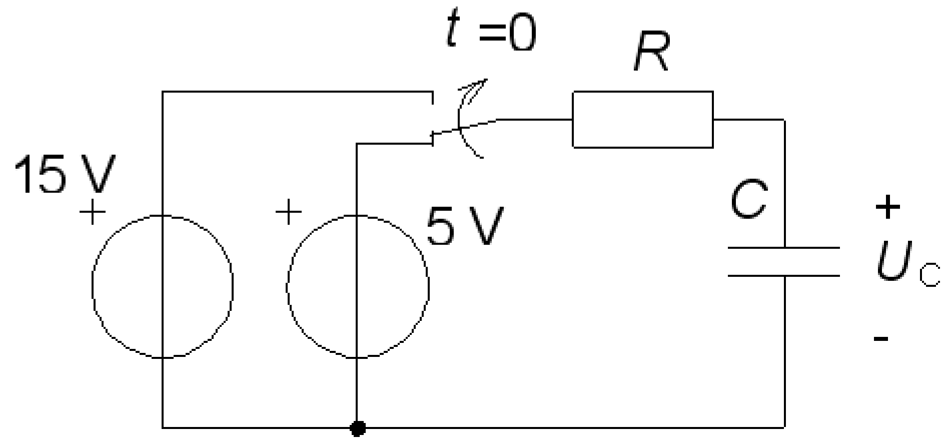
Kondensatorns uppladdning (11.7)

R = 2000 Ω och C = 1000 μF

Tag fram ett uttryck för $u_C(t)$

Rita funktionen $u_C(t)$

Beräkna hur lång tid det tar för u_C att nå +10V?



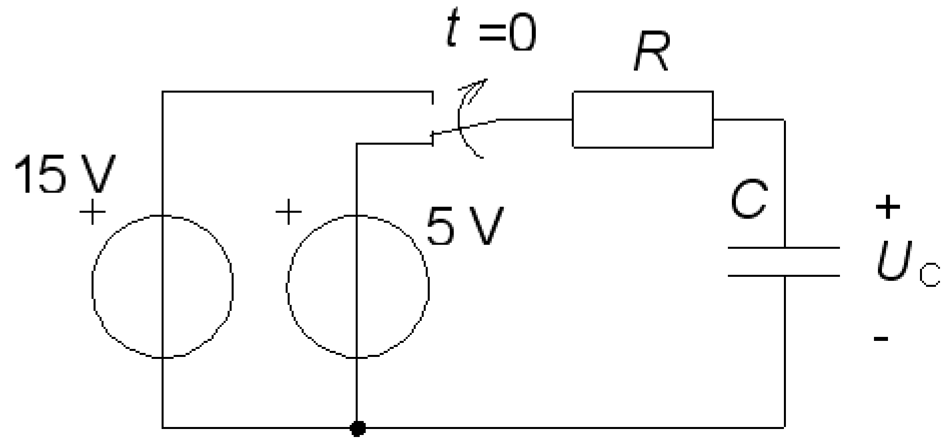
Kondensatorns uppladdning (11.7)

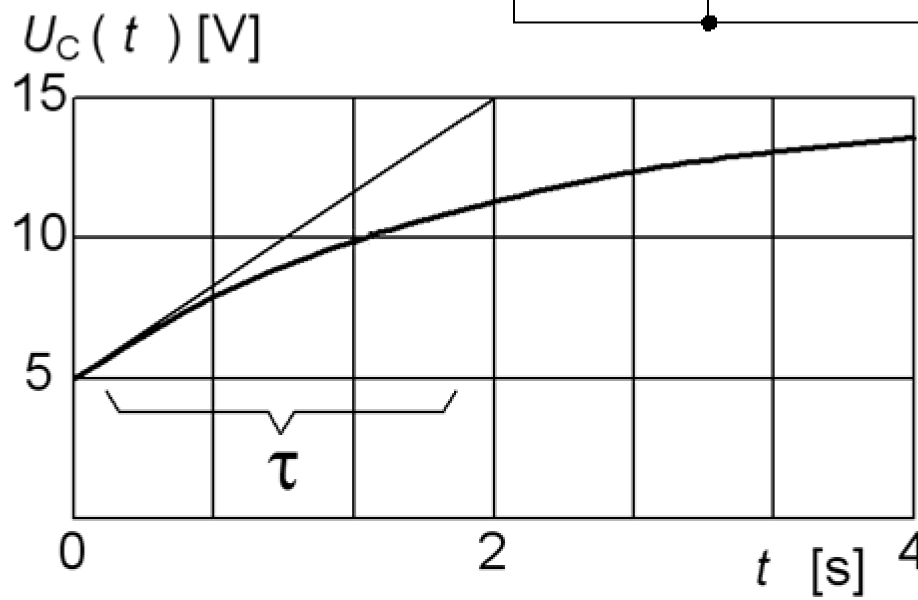
R = 2000 Ω och C = 1000 μF

Tag fram ett uttryck för $u_C(t)$

Rita funktionen $u_C(t)$

Beräkna hur lång tid det tar för u_C att nå +10V?





William Sandqvist william@kth.se

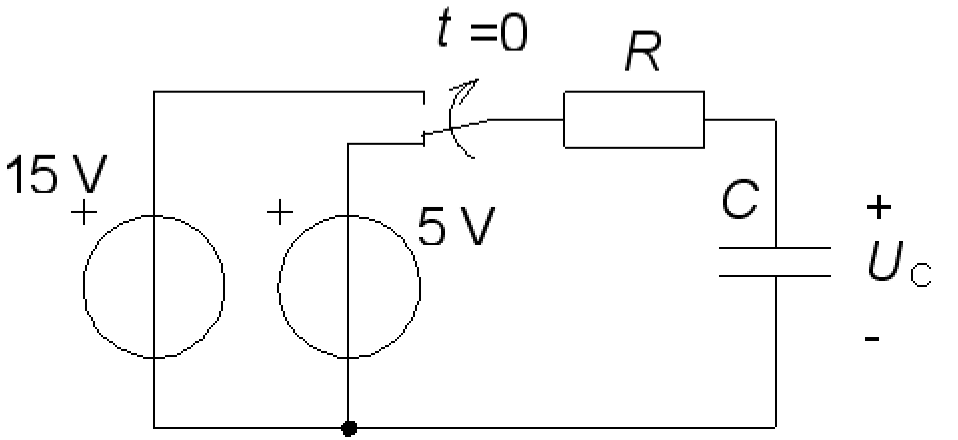
Kondensatorns uppladdning (11.7)

R = 2000 Ω och C = 1000 μF

Tag fram ett uttryck för $u_C(t)$

Rita funktionen $u_C(t)$

Beräkna hur lång tid det tar för u_C att nå +10V?



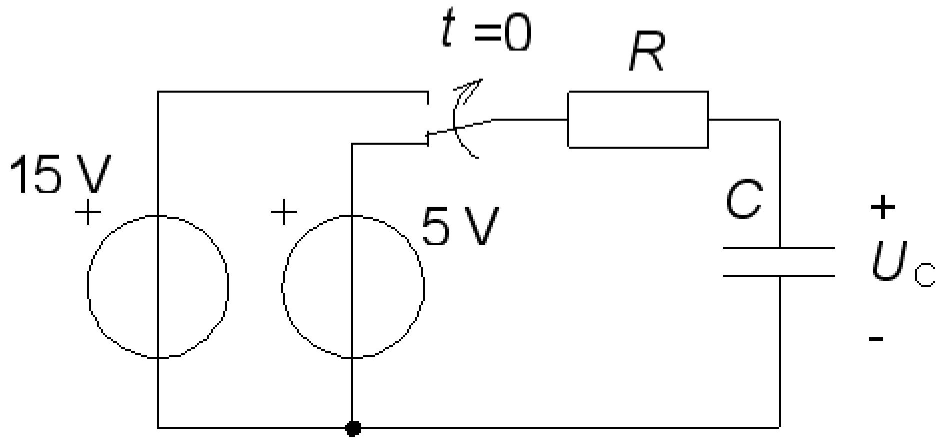
Kondensatorns uppladdning (11.7)

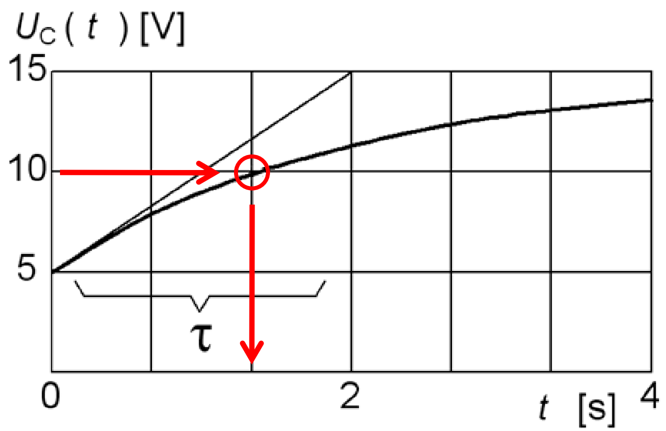
R = 2000 Ω och C = 1000 μF

Tag fram ett uttryck för $u_C(t)$

Rita funktionen $u_C(t)$

Beräkna hur lång tid det tar för u_C att nå +10V?





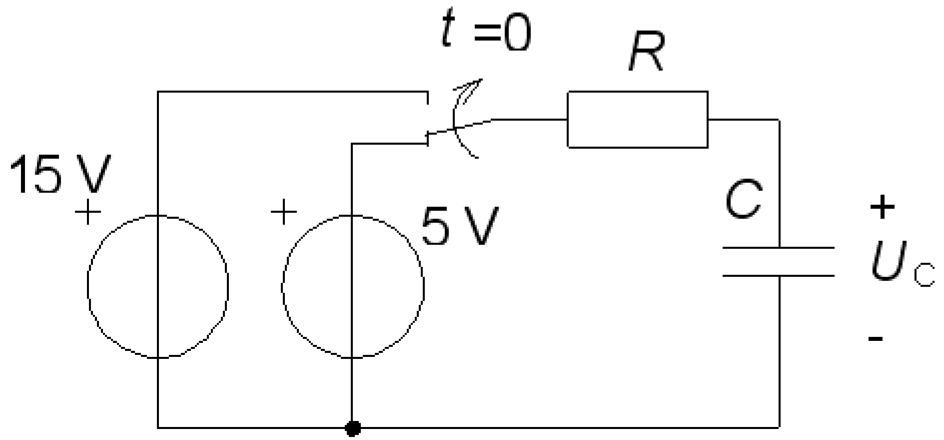
Kondensatorns uppladdning (11.7)

R = 2000 Ω och C = 1000 μF

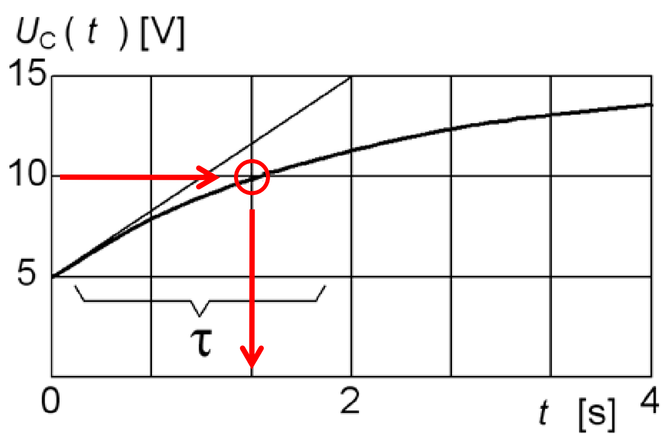
Tag fram ett uttryck för $u_C(t)$

Rita funktionen $u_C(t)$

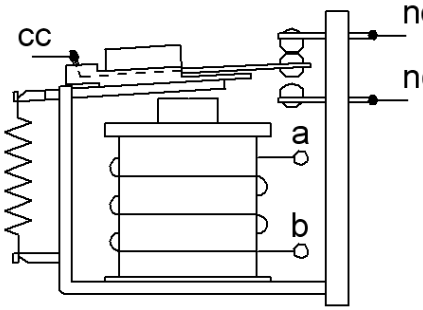
Beräkna hur lång tid det tar för u_C att nå +10V?

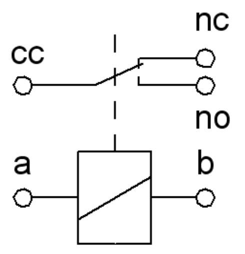


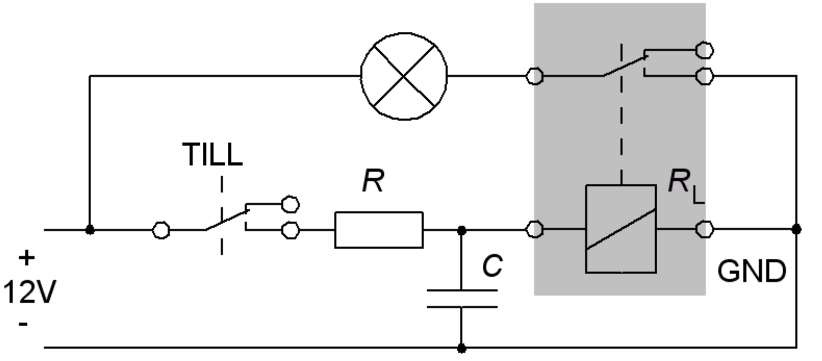
$$t = \tau \cdot \ln \frac{\text{"hela"}}{\text{"resten"}} = 2 \cdot \ln \frac{15-5}{15-10} =$$
$$= 2 \cdot 0{,}695 = 1{,}39 \text{ s}$$



Relä - fördröjt tillslag

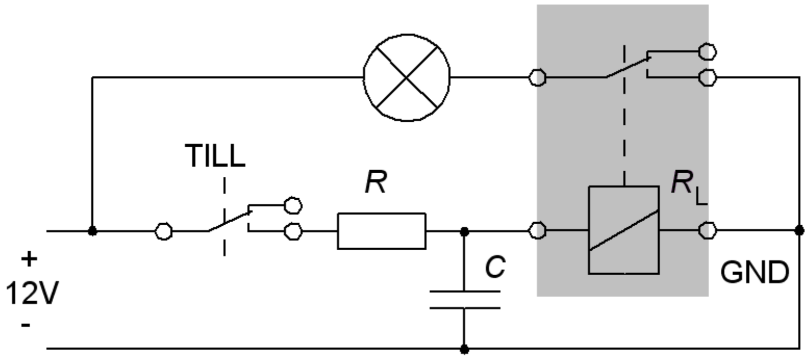






Ett 12V relä behöver **8 V** för tillslag (och slår ifrån vid **2V**). Reläspolen har den inre resistansen R_L = 530 Ω. Man har en elektrolytkondensator med C = 4700 μF.
Hur lång blir tillslagsfördröjningen om R = 130 Ω ?

Relä - fördröjt tillslag



12 V spänningen delas mellan R och R_L
Det måste bli minst 8 V över R_L om reläet skall kunna slå till!

$$8 = 12\frac{530}{R+530} \quad \Rightarrow \quad R < 265 \quad \text{Givet:} \quad R = 130$$

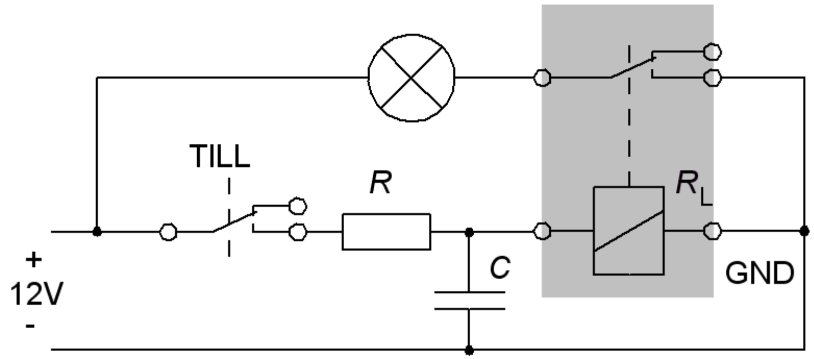
$$12\frac{530}{130+530} = 9{,}6 \quad 9{,}6 > 8$$

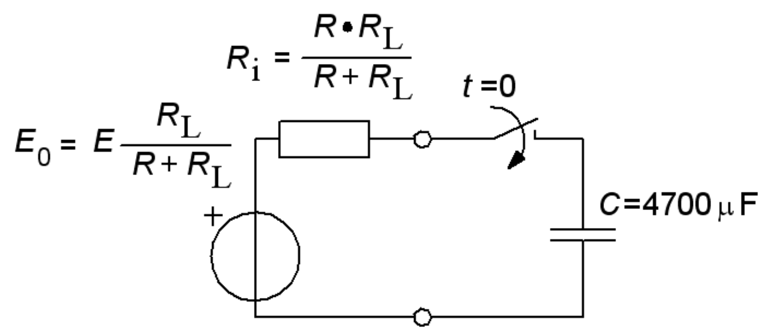
OK. Det finns marginal.

Relä - fördröjt tillslag

Vi söker tvåpolsekvivalenten eftersom kretsen innehåller två resistorer, R och R_L.

Tvåpolsekvivalent $R_i = R||R_L$

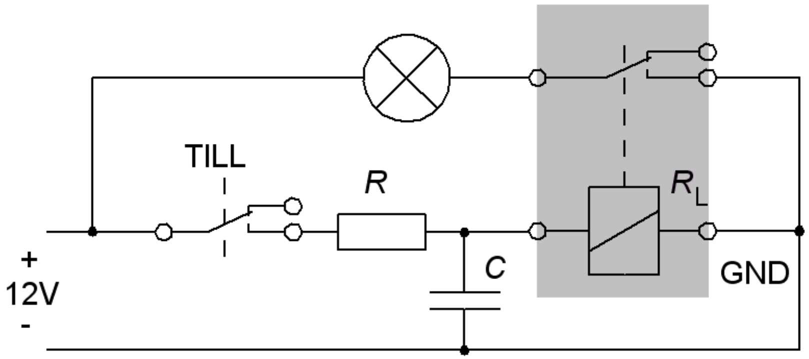




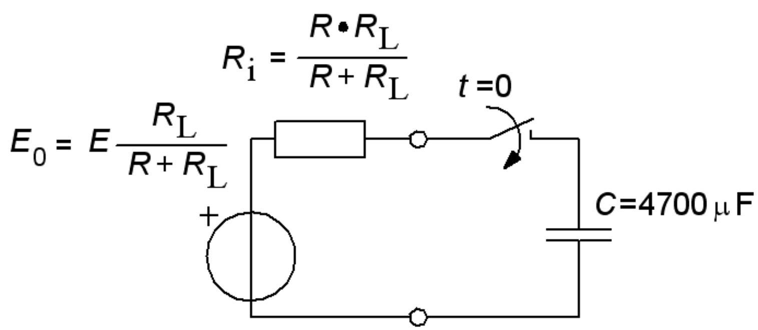
$$E_0 = 12 \frac{530}{130 + 530} = 9{,}6 \quad R_i = \frac{130 \cdot 530}{130 + 530} = 104 \quad \Rightarrow \quad \tau = 104 \cdot 4700 \cdot 10^{-6} = 0{,}49 \text{ s}$$

Relä - fördröjt tillslag

Vi söker tvåpolsekvivalenten eftersom kretsen innehåller två resistorer, *R* och R_L.



Tvåpolsekvivalent $R_i = R||R_L$



$$E_0 = 12\frac{530}{130+530} = 9{,}6 \quad R_i = \frac{130 \cdot 530}{130+530} = 104 \quad \Rightarrow \quad \tau = 104 \cdot 4700 \cdot 10^{-6} = 0{,}49\ \text{s}$$

När slår reläet till?

U_{t0} = 0

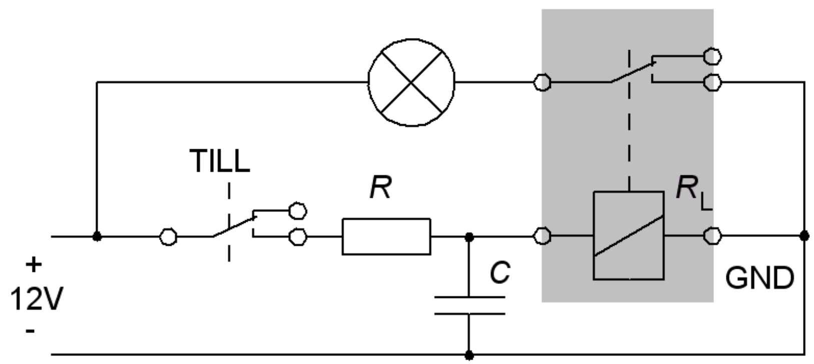
$U_{t\infty}$ = 9,6

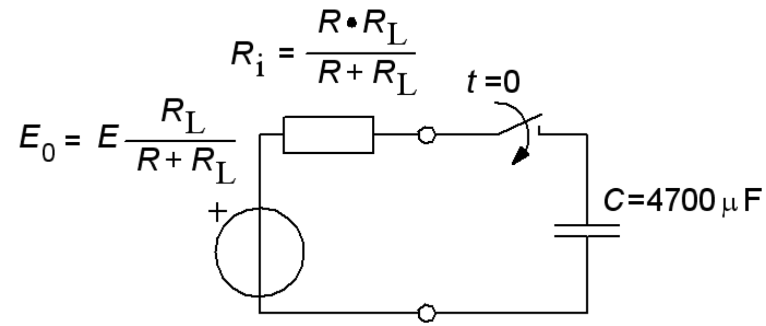
$U_{t=?}$ = 8

Relä - fördröjt tillslag

Vi söker tvåpolsekvivalenten eftersom kretsen innehåller två resistorer, *R* och R_L.

Tvåpolsekvivalent $R_i = R || R_L$





$$E_0 = 12 \frac{530}{130 + 530} = 9,6 \quad R_i = \frac{130 \cdot 530}{130 + 530} = 104 \quad \Rightarrow \quad \tau = 104 \cdot 4700 \cdot 10^{-6} = 0,49 \text{ s}$$

När slår reläet till?

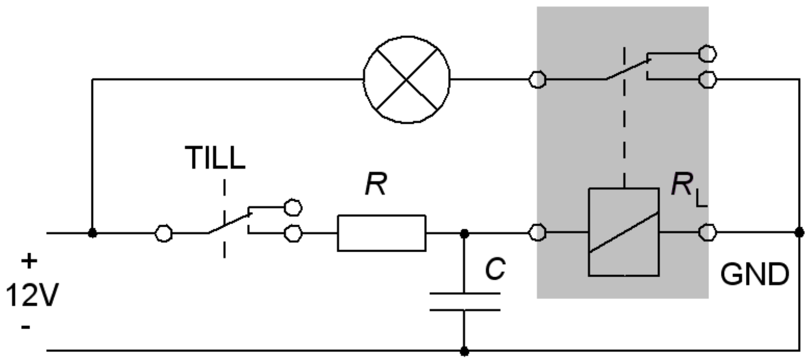
U_{t0} = 0
$U_{t\infty}$ = 9,6
$U_{t=?}$ = 8

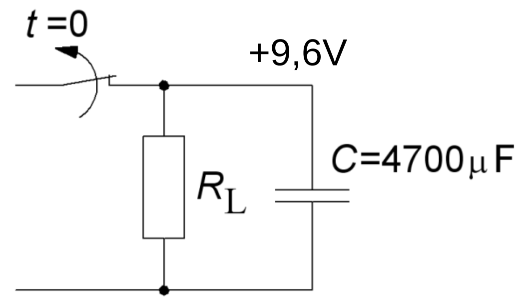
”Hela swinget genom resten”

$$t = 0,49 \cdot \ln \frac{9,6 - 0}{9,6 - 8} = 0,88 \text{ s}$$

William Sandqvist william@kth.se

Relä - fördröjt frånslag



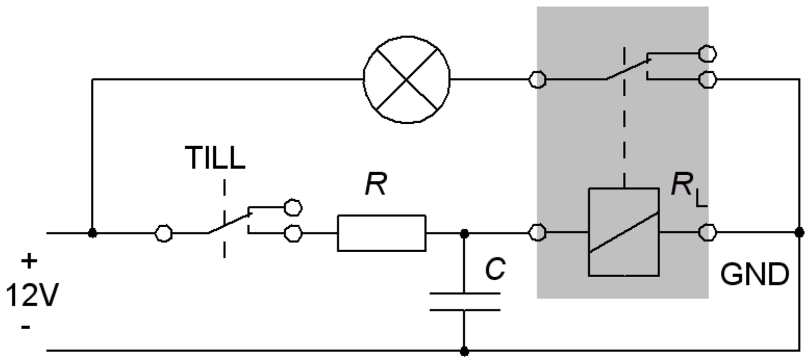


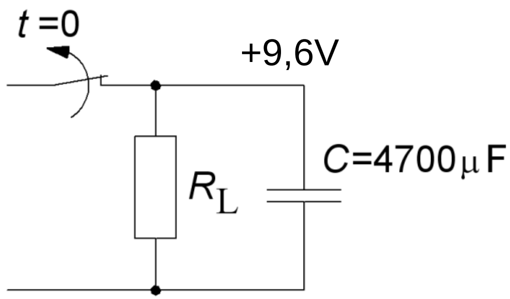
Kondensatorn urladdas genom reläets inre resistans $R_L = 530\Omega$.

$\tau = 530 \cdot 4700 \cdot 10^{-6} = 2{,}5$ s.

Reläet slår ifrån först när spänningen sjunkit till 2 V.

Relä - fördröjt frånslag



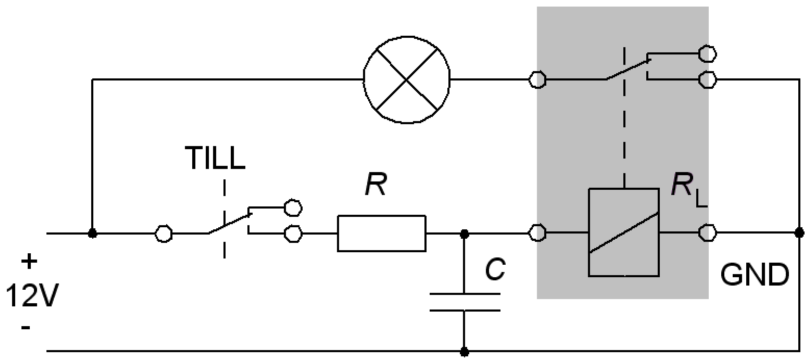


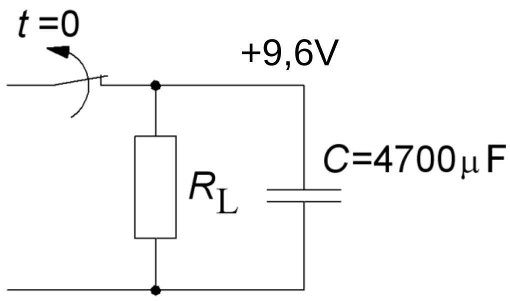
Kondensatorn urladdas genom reläets inre resistans R_L = 530Ω.
$\tau = 530 \cdot 4700 \cdot 10^{-6} = 2{,}5$ s.
Reläet slår ifrån först när spänningen sjunkit till 2 V.

$$t = 2{,}5 \cdot \ln \frac{9{,}6 - 0}{2 - 0} = 3{,}9 \text{ s}$$

”Hela swinget genom resten”

Relä - fördröjt frånslag





Kondensatorn urladdas genom reläets inre resistans R_L = 530Ω.
$\tau = 530 \cdot 4700 \cdot 10^{-6} = 2{,}5$ s.
Reläet slår ifrån först när spänningen sjunkit till 2 V.

$$t = 2{,}5 \cdot \ln \frac{9{,}6 - 0}{2 - 0} = 3{,}9 \text{ s}$$

”Hela swinget genom resten”

Varför har reläer olika tillslagsspänning och frånslagsspänning?