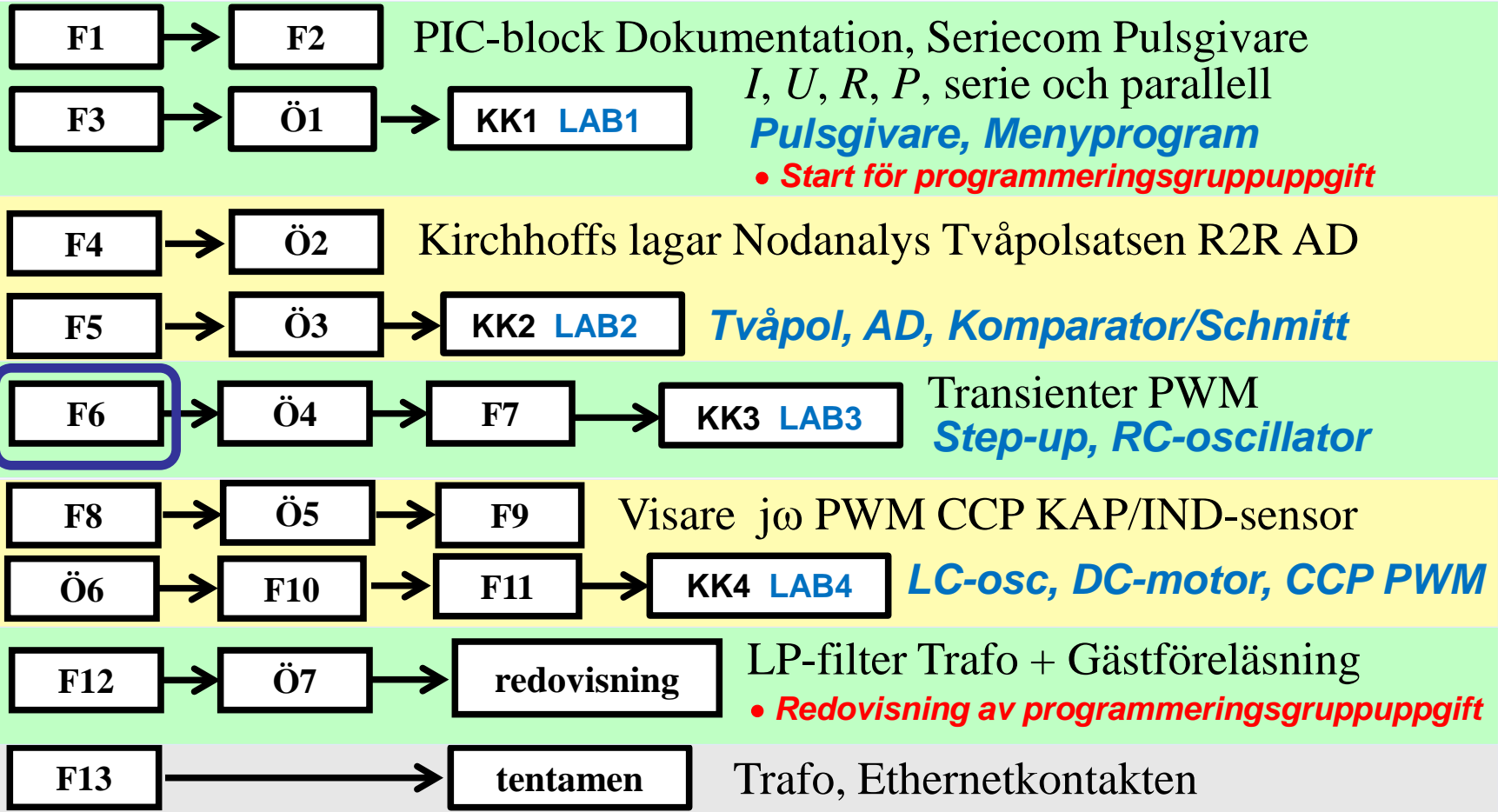


IE1206 Inbyggd Elektronik



Elektriska fält



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

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.

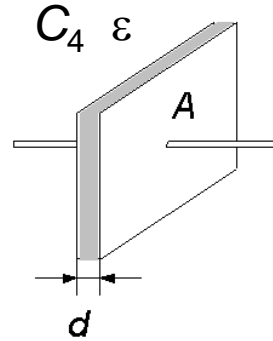
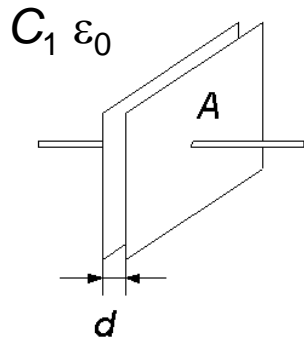
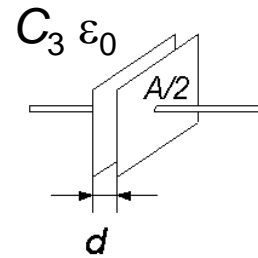
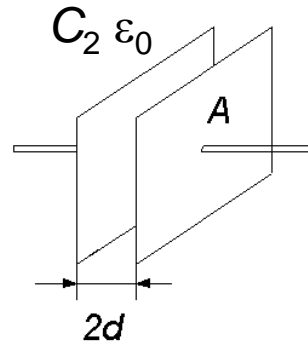
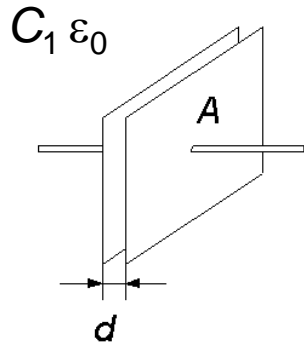
$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad \bar{E} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot 1}{r^2} \quad k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

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

William Sandqvist william@kth.se

Plattkondensatorn

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



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

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

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

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

$$C_1 = \varepsilon_0 \frac{A}{d} < C_4 = \varepsilon \frac{A}{d} \quad \varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \quad \varepsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m}$$

Dielektrikum

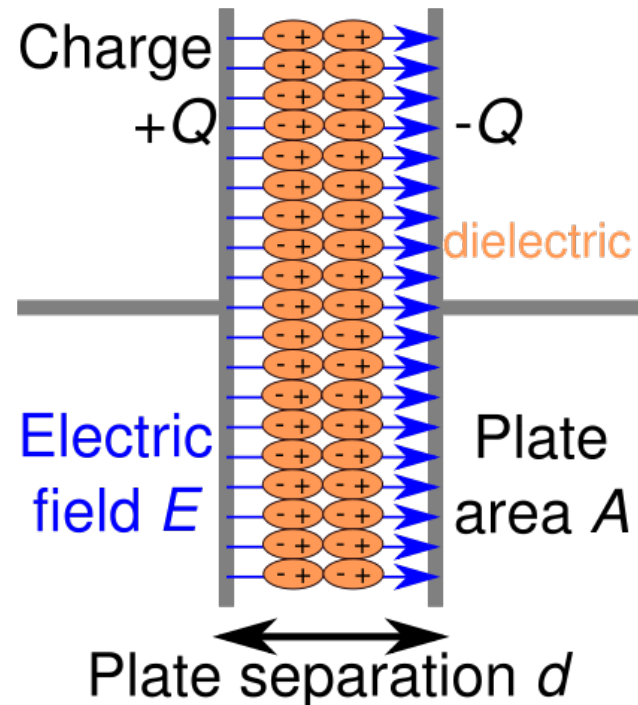
De flesta material är polariserbara, och kommer då att öka det elektriska fältet, och kondensatorns kapacitans, om man placerar dem mellan plattorna.

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

$$\epsilon_r = 7500$$

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

$$\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \quad \epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m}$$



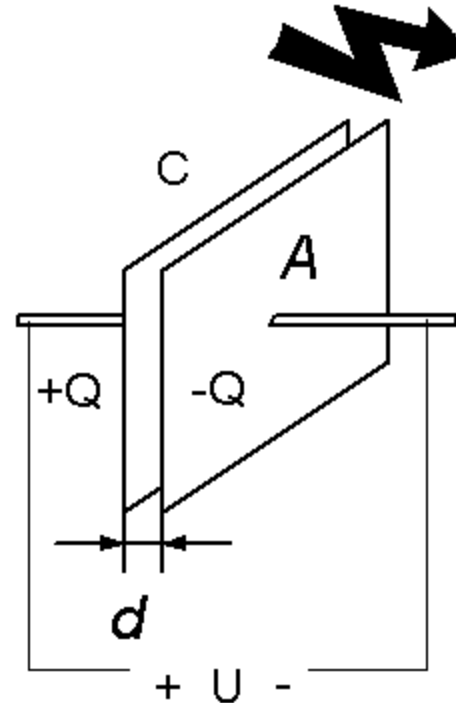
litet d , Spänningstålighet

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 märkspänning blir av nödvändighet större än en med lägre märkspänning om kapacitansvärdet är detsamma.



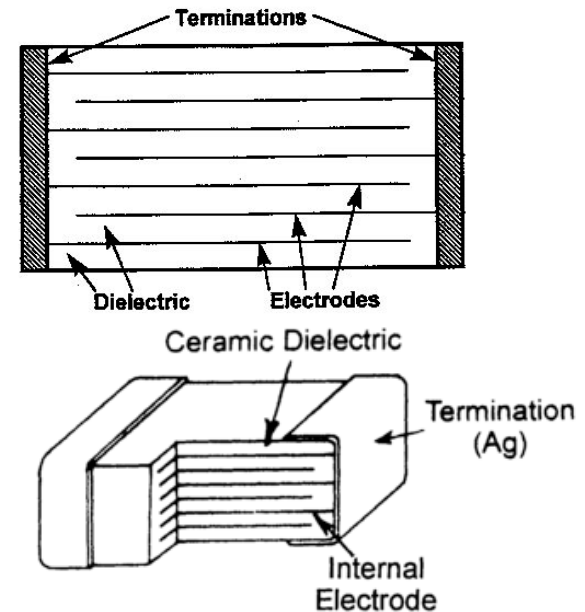
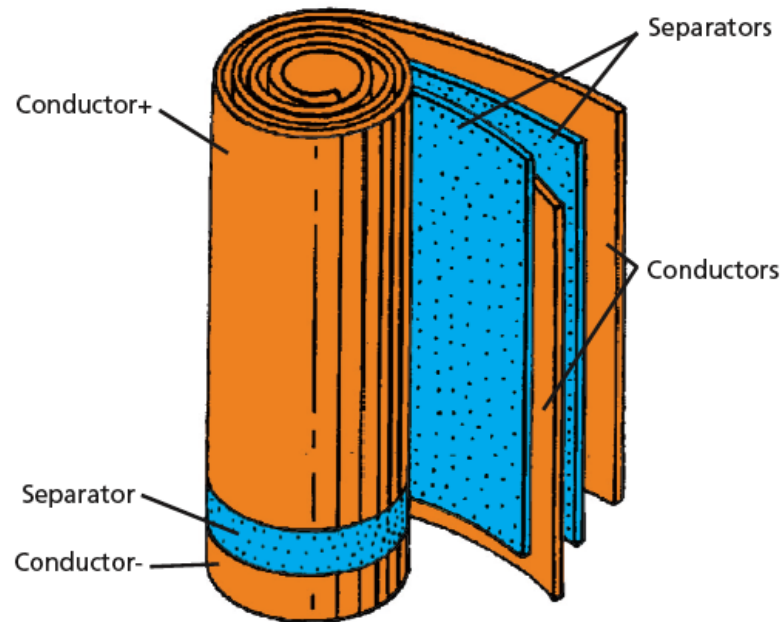
$$C = \frac{Q}{U}$$

$$E = \frac{U}{d}$$

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

Stor yta A

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



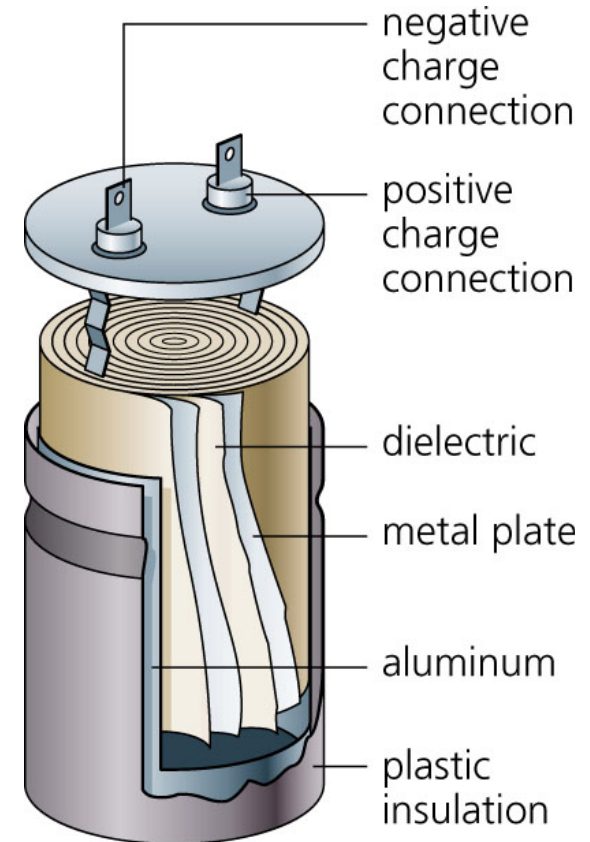
Flerlagerkondensator med keramiskt dielektrikum (= hög ϵ_r).

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 oxidskiktet eloxerades. Annars förstörs oxidskiktet och kondensatorn kortsluts!

Kondensatorn förstörs även om märkspänningen överskrides.



Stor yta A och litet avstånd d

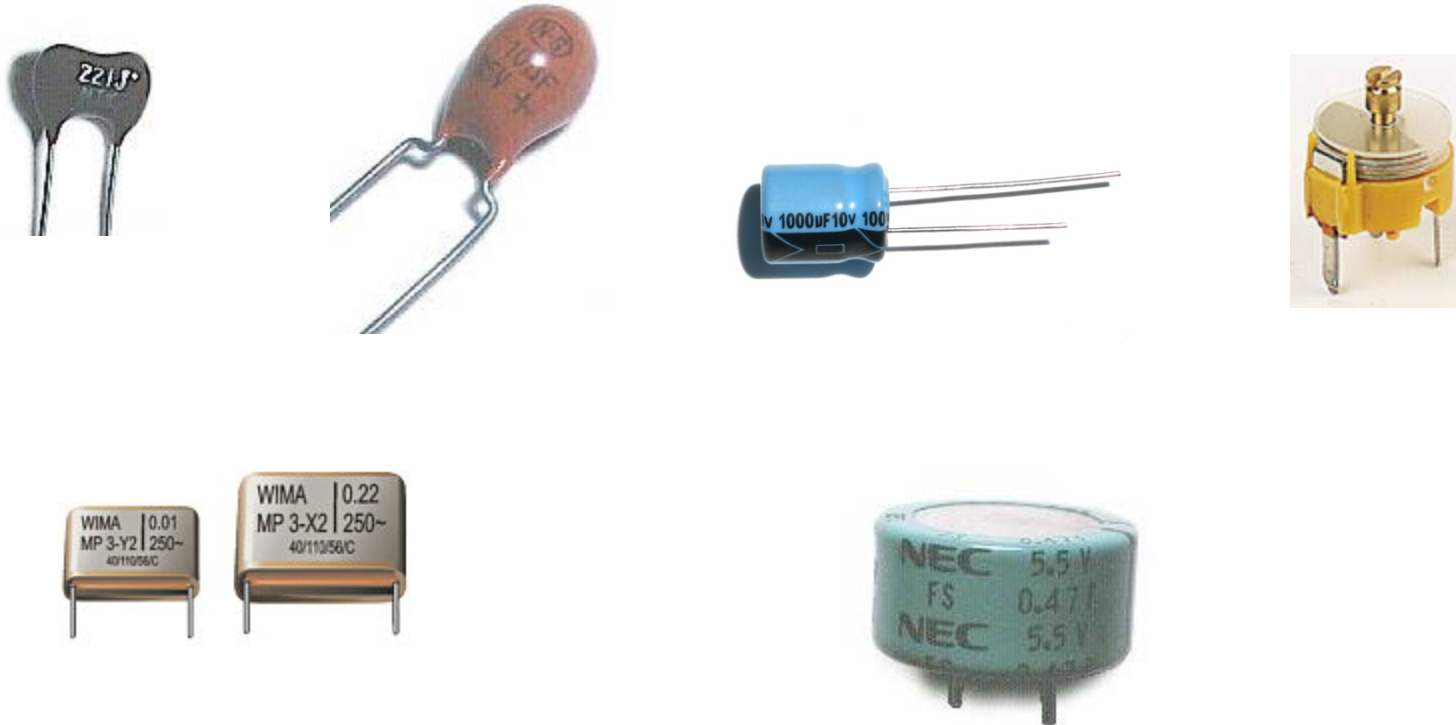
Tantalelektrolytkondensatorn har en "svampformad" elektrod.

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, 4.7 μ F tantalelektrolyt har den ekvivalenta inre ytan 40 cm² !



Kondensatorer



William Sandqvist william@kth.se

Supercap (9.2)



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

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

Supercap (9.2)



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

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

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

Skolans "värsta" supercap?

3000 F × 16 st

Forskning pågår kring energilagring för användning till routrar på otillgängliga platser med för batterier "olämpliga" temperaturer.

Exempelvis i öknen eller på arktis.

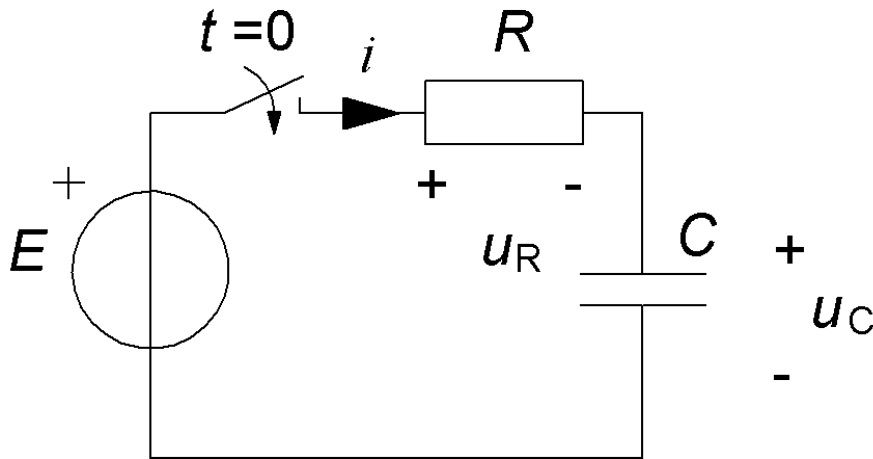


Skolans TELEKOMMUNIKATIONSSYSTEMLAB

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

Kondensatorns transienter $\tau = R \cdot C$



Spänningen över kondensatorn kommer från den uppsamlade laddningen.

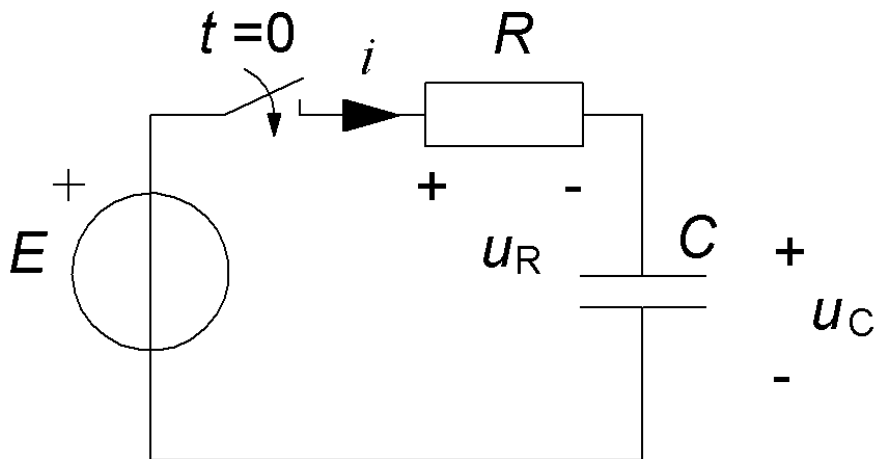
$$u_C(t) = \frac{q(t)}{C} = \frac{\int_0^t i(z) dz}{C}$$

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

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

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

Kondensatorns transienter $\tau = R \cdot C$



Spänningen över kondensatorn kommer från den uppsamlade laddningen.

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

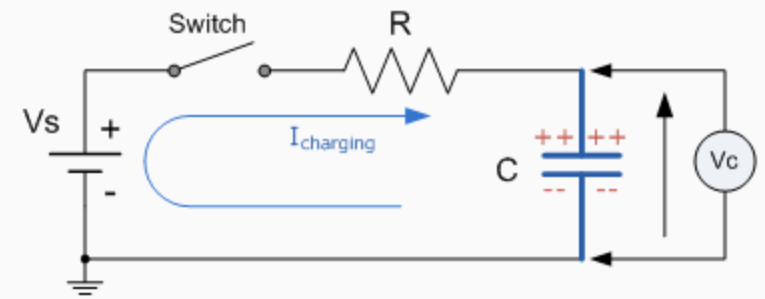
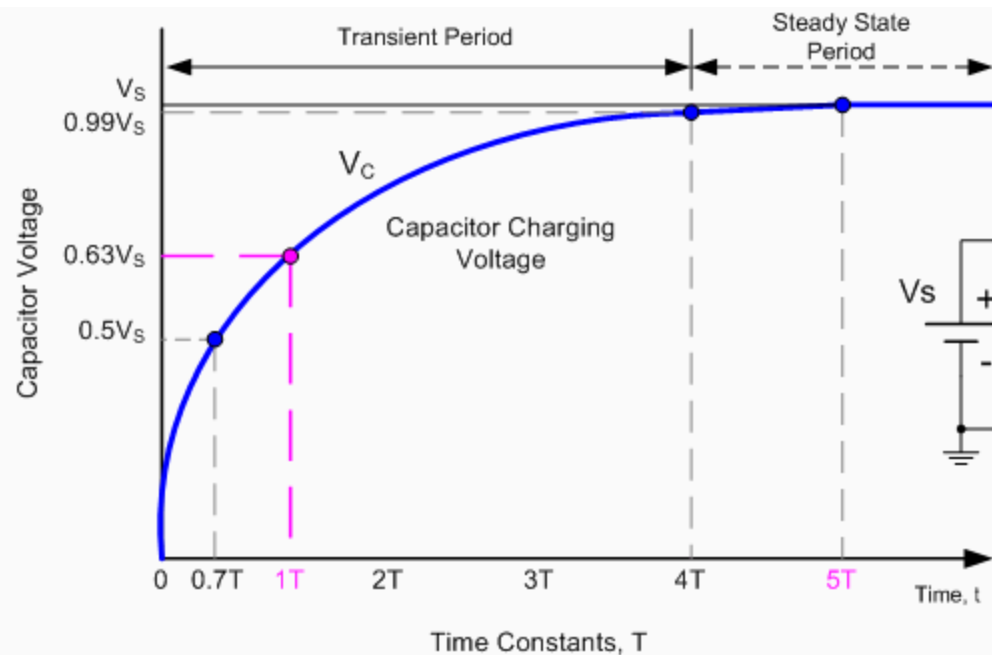
$$E = u_R + u_C \Leftrightarrow E = i(t) \cdot R + \frac{1}{C} \int_0^t i(z) dz$$

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

Differentialekvationen har lösningen:

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

Uppladdning av kondensator



Tidkonstanten
 $T = R \cdot C$

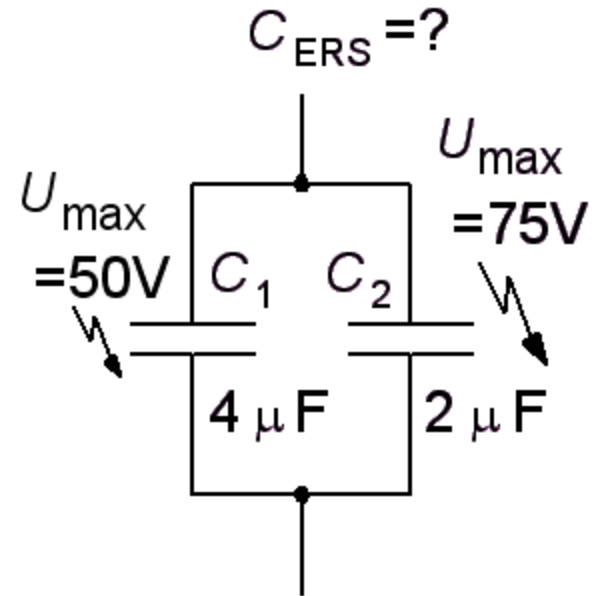
William Sandqvist william@kth.se

Parallellkopplade kondensatorer

(Ex. 9.3) Två kondensatorer parallell-kopplas. Vad gäller för ersättningskapacitansen och ersättningsmärkspänningen?

$$C_1 = 4 \mu\text{F} \ 50\text{V}$$

$$C_2 = 2 \mu\text{F} \ 75\text{V}$$

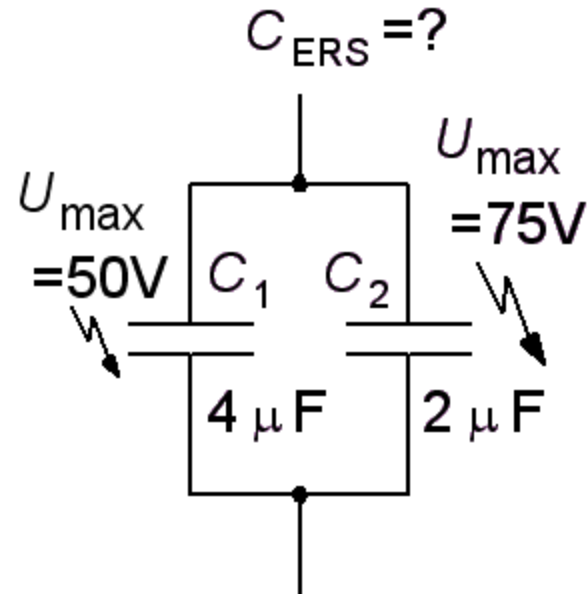


Parallellkopplade kondensatorer

(Ex. 9.3) Två kondensatorer parallell-kopplas. Vad gäller för ersättningskapacitansen och ersättningsmärkspänningen?

$$C_1 = 4 \mu\text{F } 50\text{V}$$

$$C_2 = 2 \mu\text{F } 75\text{V}$$



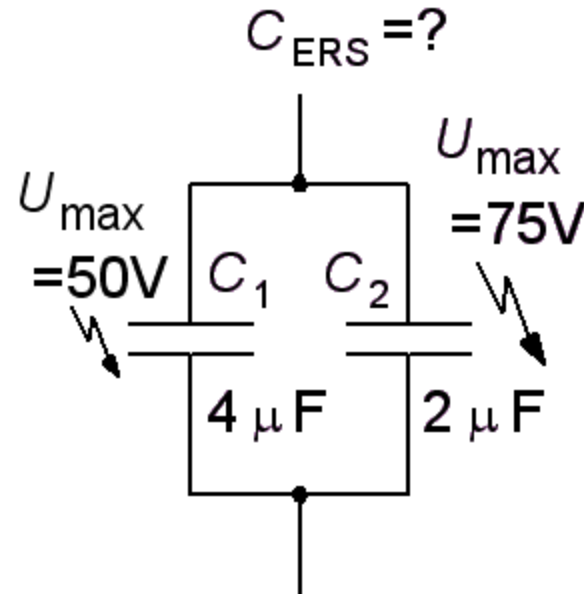
Kapacitansvärdena adderas, parallellkopplingen är samma sak som om kondensatorbeläggens ytor adderades. Den kondensator som har sämst spänningstålighet avgör ersättningskondensatorns märkspänning. Det är i den kondensatorn som genomslaget kommer att ske.

Parallellkopplade kondensatorer

(Ex. 9.3) Två kondensatorer parallell-kopplas. Vad gäller för ersättningskapacitansen och ersättningsmärkspänningen?

$$C_1 = 4 \mu\text{F } 50\text{V}$$

$$C_2 = 2 \mu\text{F } 75\text{V}$$



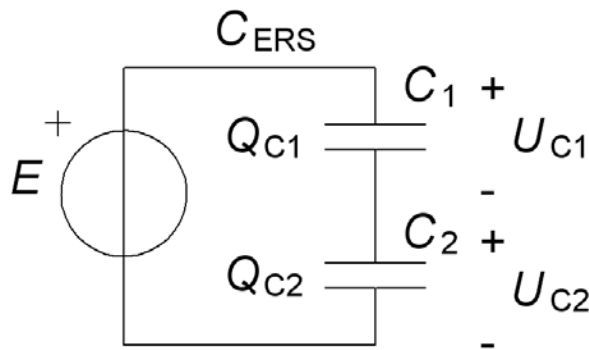
Kapacitansvärdena adderas, parallellkopplingen är samma sak som om kondensatorbeläggens ytor adderades. Den kondensator som har sämst spänningstålighet avgör ersättningskondensatorns märkspänning. Det är i den kondensatorn som genomslaget kommer att ske.

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

Seriekopplade kondensatorer

$$E = U_{C_1} + U_{C_2} \quad U = \frac{Q}{C} \Rightarrow E = \frac{Q}{C_{\text{ERS}}} = \frac{Q_{C_1}}{C_{C_1}} + \frac{Q_{C_2}}{C_{C_2}} \quad Q = Q_{C_1} = Q_{C_2}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{C_{\text{ERS}}} = \frac{1}{C_{C_1}} + \frac{1}{C_{C_2}}$$



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

Parallellkopplingsformeln 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

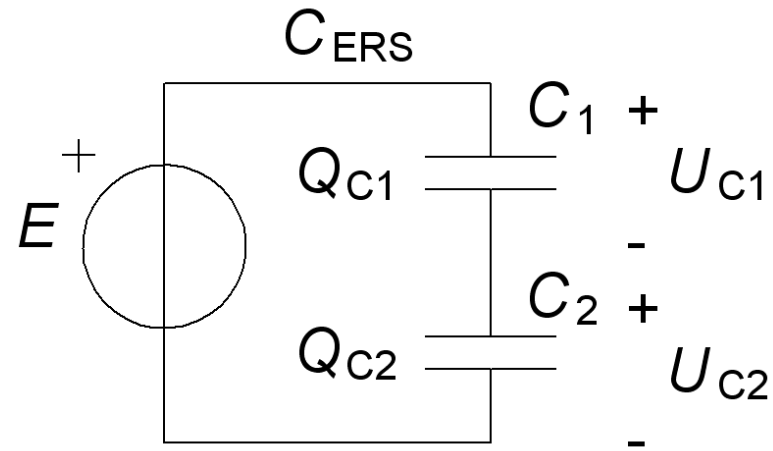
(Ex. 9.4) Två kondensatorer seriekopplas. Beräkna ersättningskapacitansen och ange hur spänningen delas mellan kondensatorerna.

$$E = 10 \text{ V}$$

$$C_1 = 6 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 12 \mu\text{F}$$

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



Exempel. Seriekopplade kondensatorer

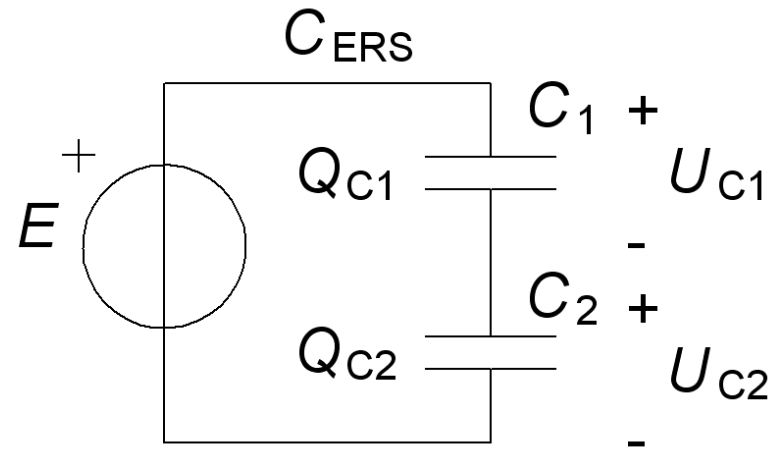
(Ex. 9.4) Två kondensatorer seriekopplas. Beräkna ersättningskapacitansen och ange hur spänningen delas mellan kondensatorerna.

$$E = 10 \text{ V}$$

$$C_1 = 6 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = 12 \text{ } \mu\text{F}$$

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



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

Exempel. Seriekopplade kondensatorer

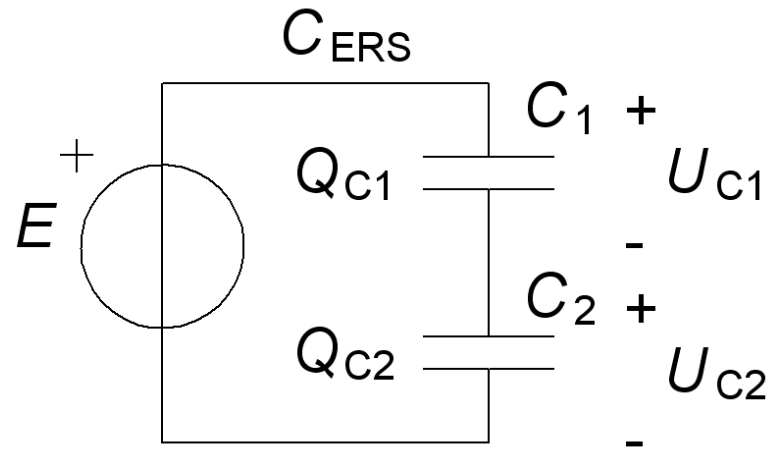
(Ex. 9.4) Två kondensatorer seriekopplas. Beräkna ersättningskapacitansen och ange hur spänningen delas mellan kondensatorerna.

$$E = 10 \text{ V}$$

$$C_1 = 6 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_2 = 12 \text{ } \mu\text{F}$$

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



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

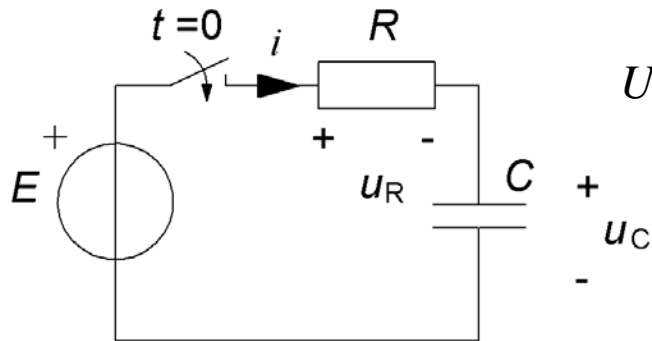
$$Q_{C1} = Q_{C2} = Q = C_{\text{ERS}} \cdot E = C_1 \cdot U_{C1} = C_2 \cdot U_{C2}$$

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

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

William Sandqvist william@kth.se

Energi i kondensator



$$U = \frac{Q}{C} \Rightarrow \frac{du_C}{dt} = \frac{1}{C} \cdot \frac{dq}{dt} \Rightarrow \frac{dq}{dt} = i = C \frac{du_C}{dt}$$

Ögonblickseffekt:

$$p = i \cdot u_C = C \frac{du_C}{dt} \cdot u_C \Rightarrow$$

Energi:

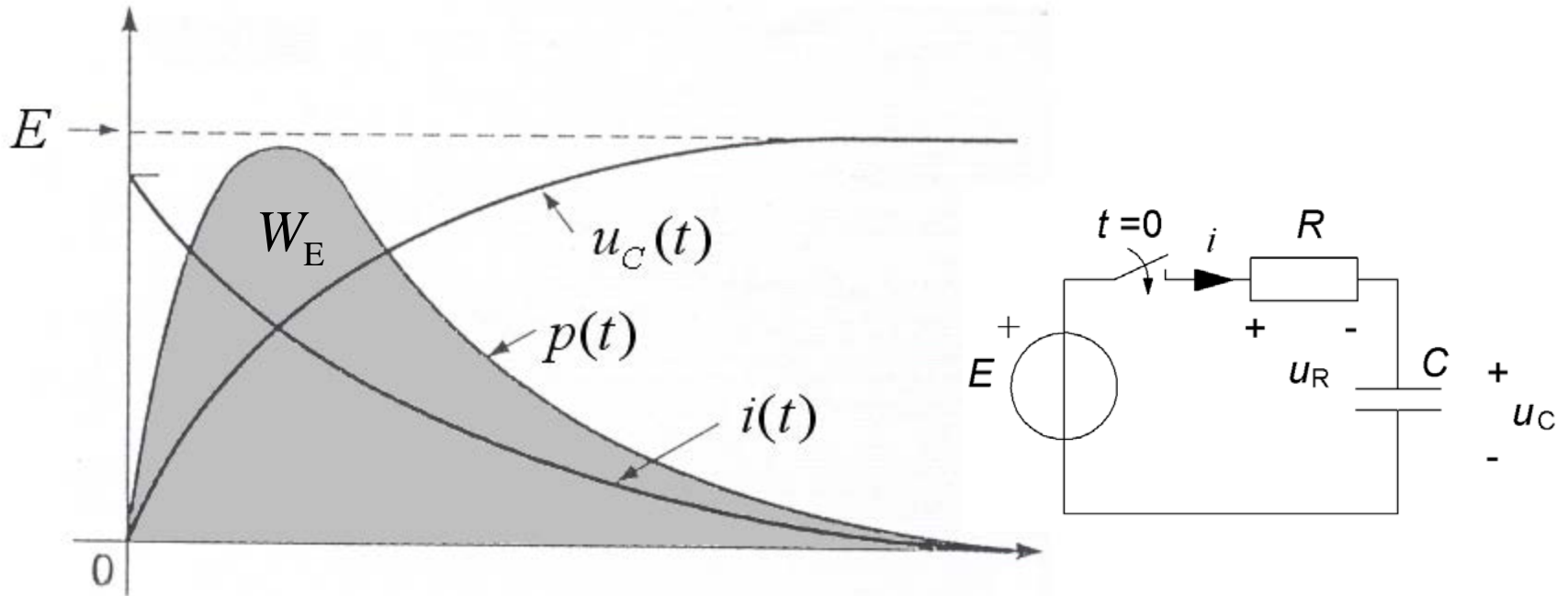
$$W = \int_{t=0}^{t=\infty} p dt = \int_{t=0}^{t=\infty} C \cdot u_C \cdot \frac{du_C}{dt} dt = \int_{u=0}^{u=E} C \cdot u_C du_C = \frac{1}{2} \cdot C \cdot E^2$$

Upplagrad energi i
det elektriska fältet:

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

*Kom ihåg formeln, men
tillåtet att skolka i från
härledningen ...*

Energi i kondensator

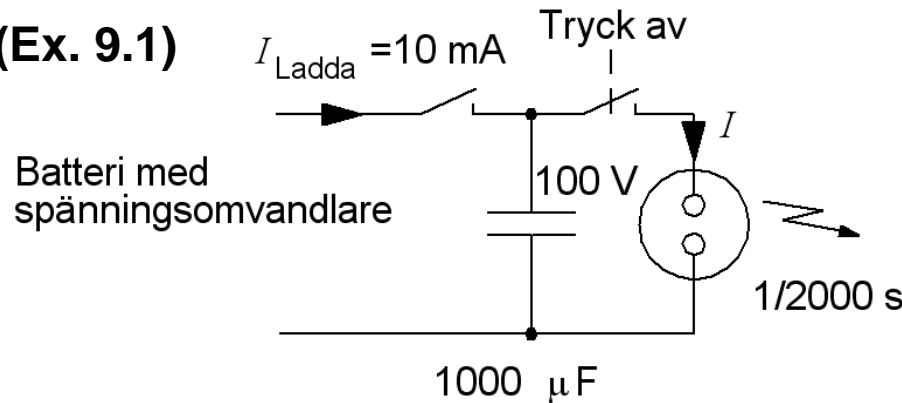


$$W_E = \frac{1}{2} C \cdot E^2$$

William Sandqvist william@kth.se

Kamerablixten

(Ex. 9.1)



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

$$Q = C \cdot U$$

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

Elektriska energin i kondensatorn W ?

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 100^2 = 5 \text{ J, Ws}$$

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 ?

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

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

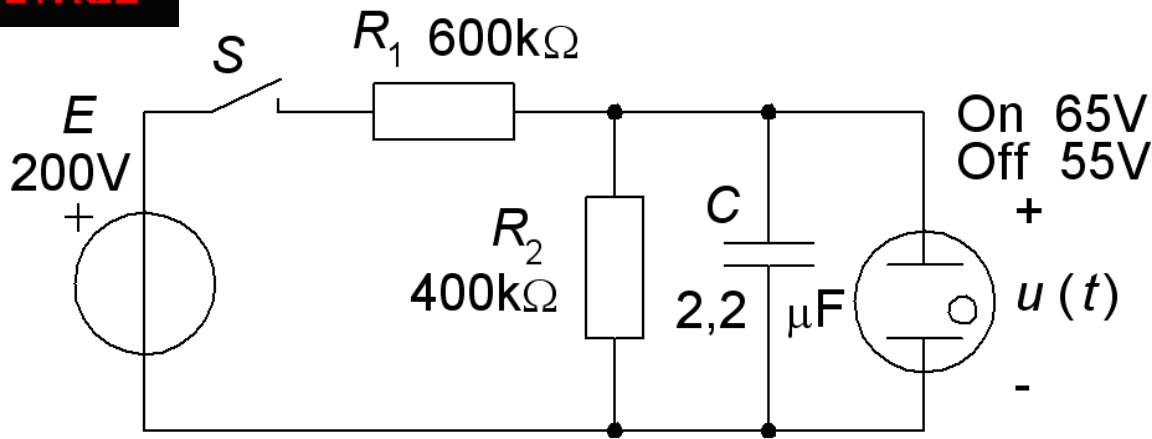
$$U = \frac{Q}{C} = \frac{I_{\text{Ladda}} \cdot t_{\text{Ladda}}}{C} \Rightarrow t_{\text{Ladda}} = \frac{C \cdot U}{I_{\text{Ladda}}} = \frac{1000 \cdot 10^{-6} \cdot 100}{10 \cdot 10^{-3}} = 10 \text{ s}$$

Nu
LED
Flash?



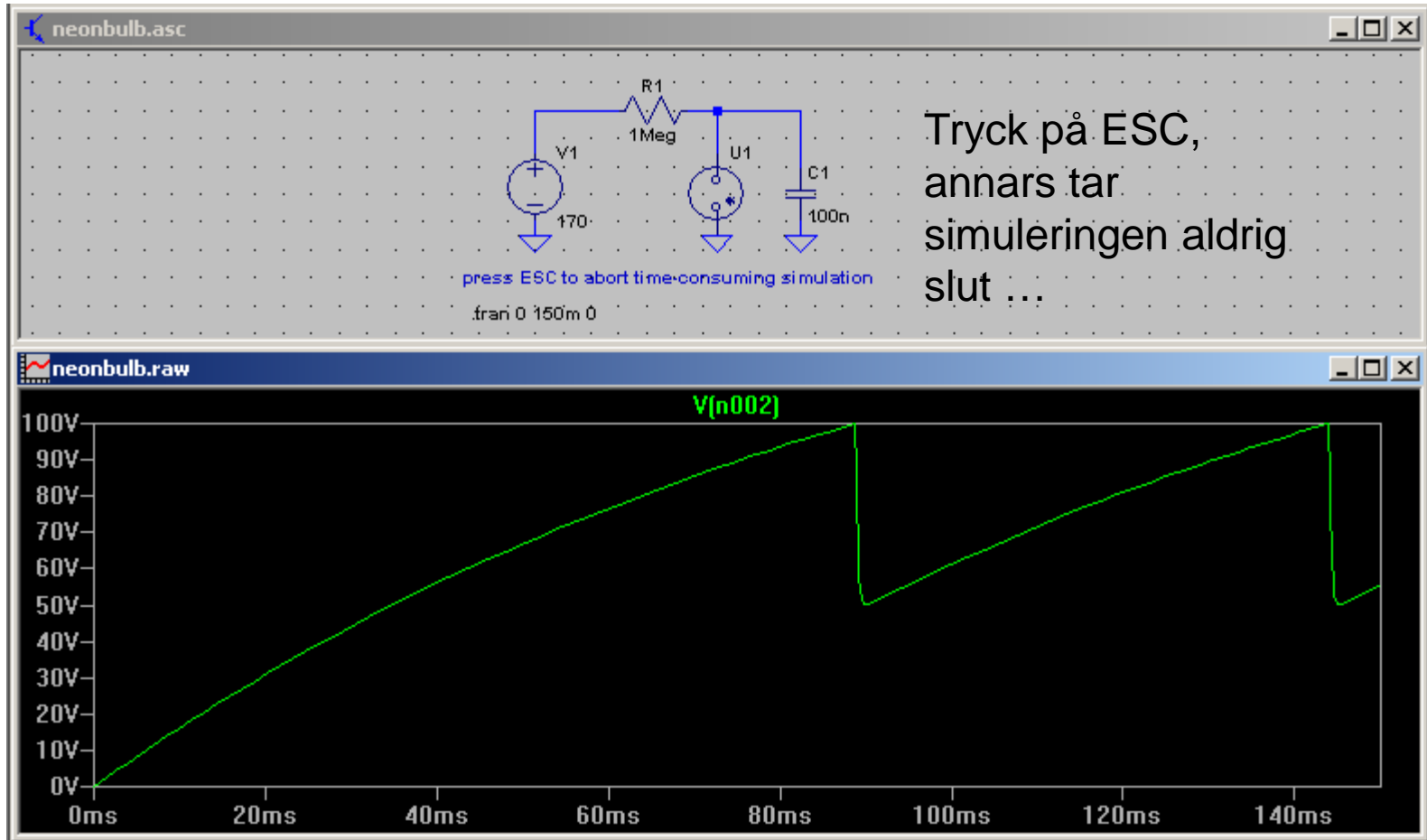
William Sandqvist william@kth.se

(Ex. 10.9) **Glimlampan**



Blink-krets med glimlampan.
Räkna på övningen ...

Simulera Glimlampan



William Sandqvist william@kth.se