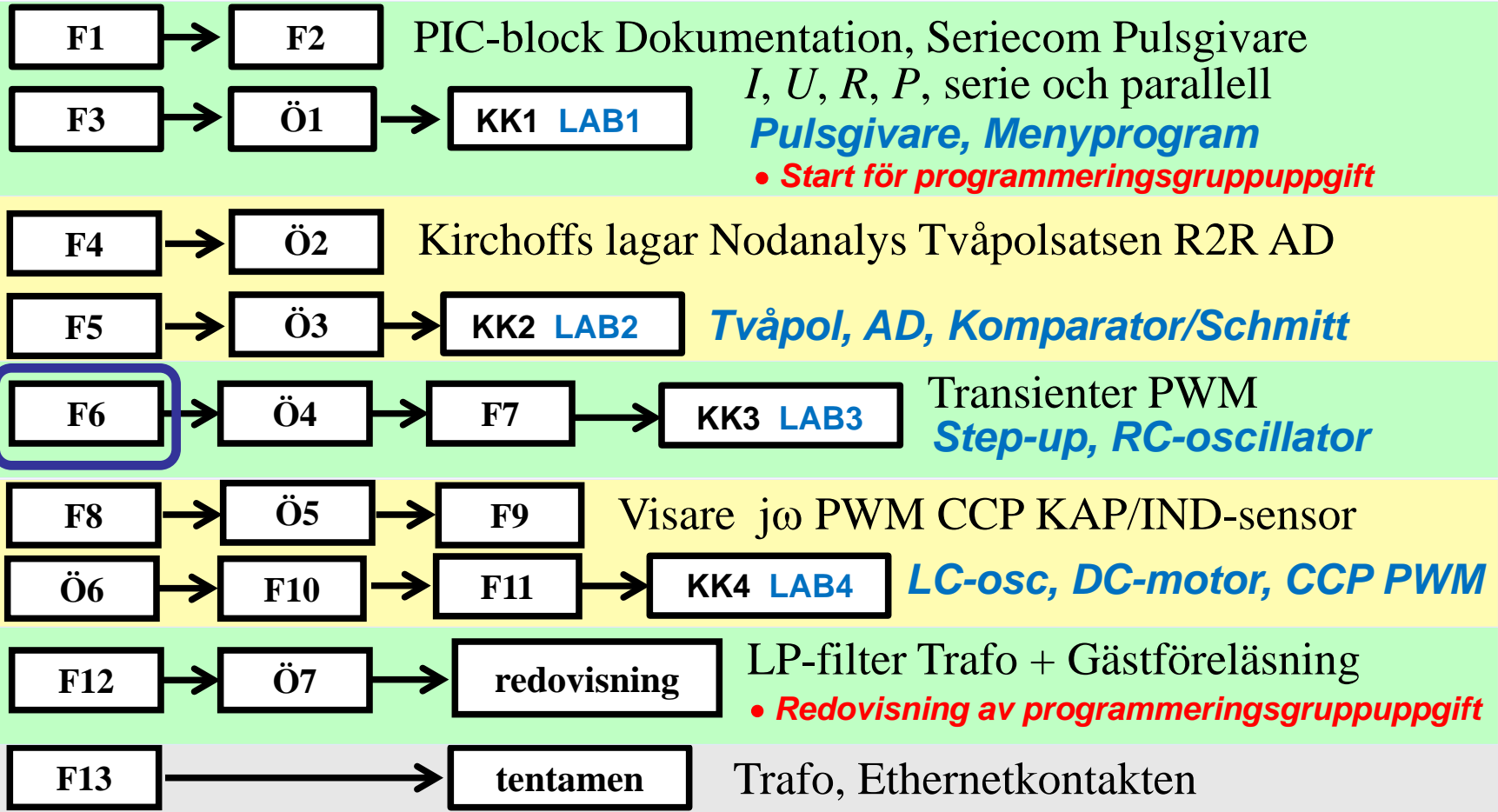


IE1206 Inbyggd Elektronik



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.

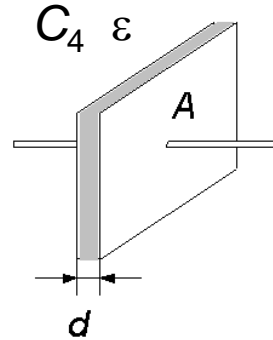
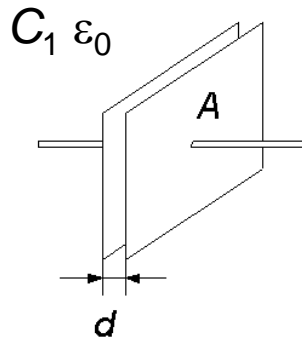
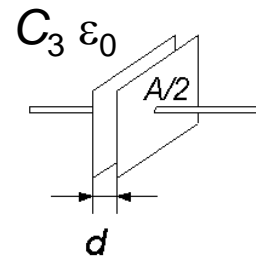
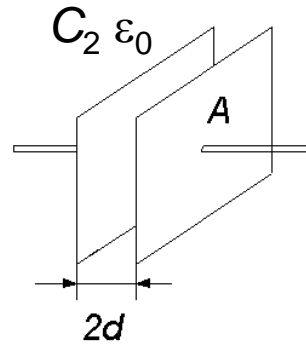
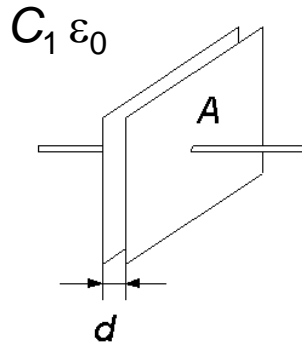
$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad \bar{E} = k \cdot \frac{Q_1 \cdot 1}{r^2} \quad k = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$

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

William Sandqvist william@kth.se

Plattkondensatorn

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



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

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

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

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

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

Dielektrikum

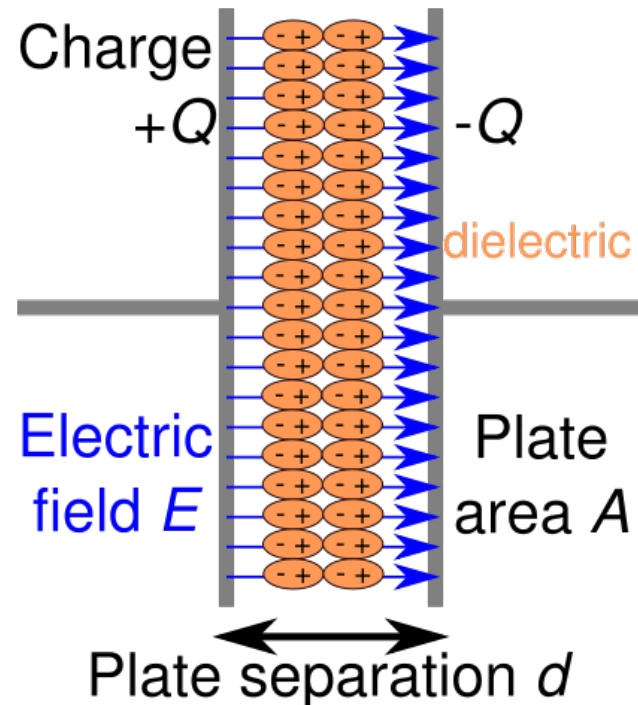
De flesta material är polariserbara, och kommer då att öka det elektriska fältet, och kondensatorns kapacitans, om man placerar dem mellan plattorna.

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.

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



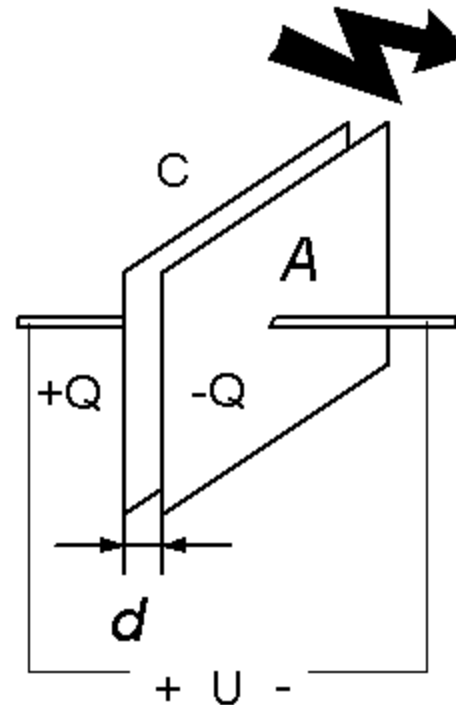
litet d , Spänningstålighet

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.



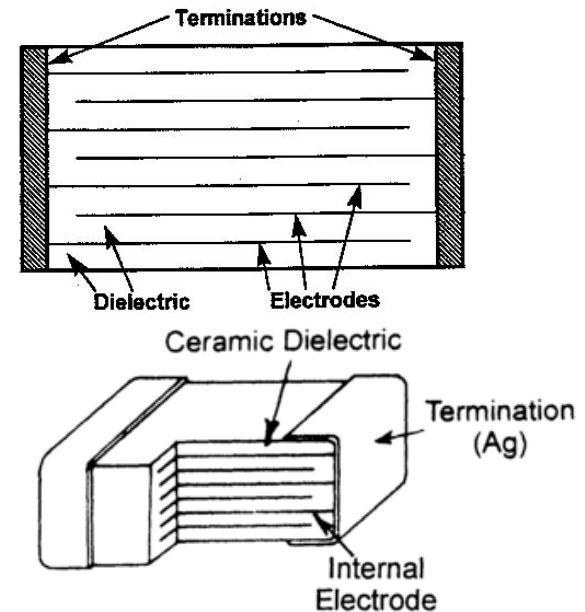
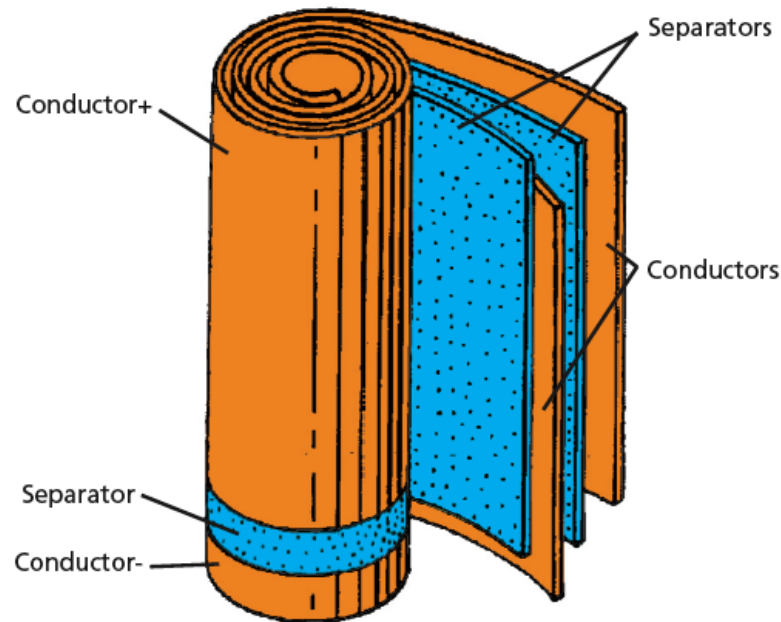
$$C = \frac{Q}{U}$$

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

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.



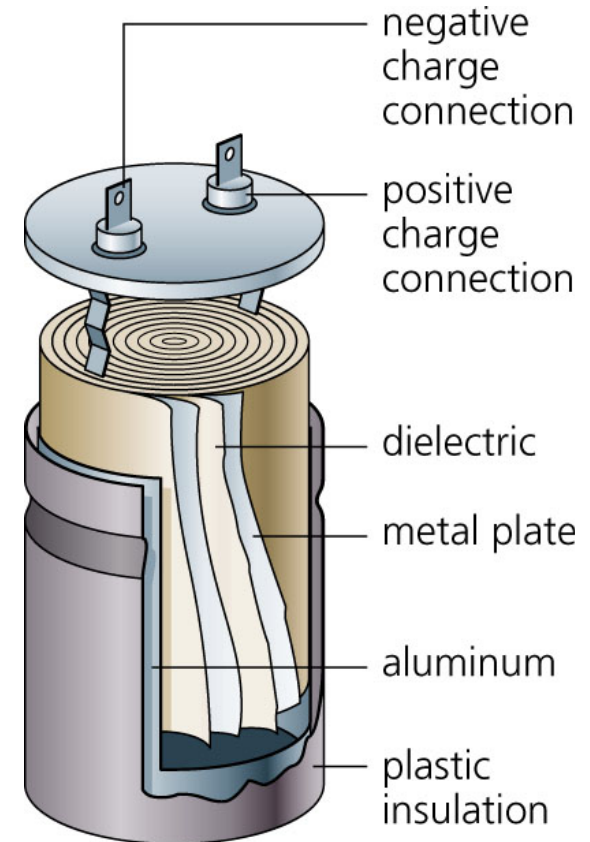
Flerlagerkondensator med keramiskt dielektrikum (= hög ϵ_r).

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 eloxeras 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

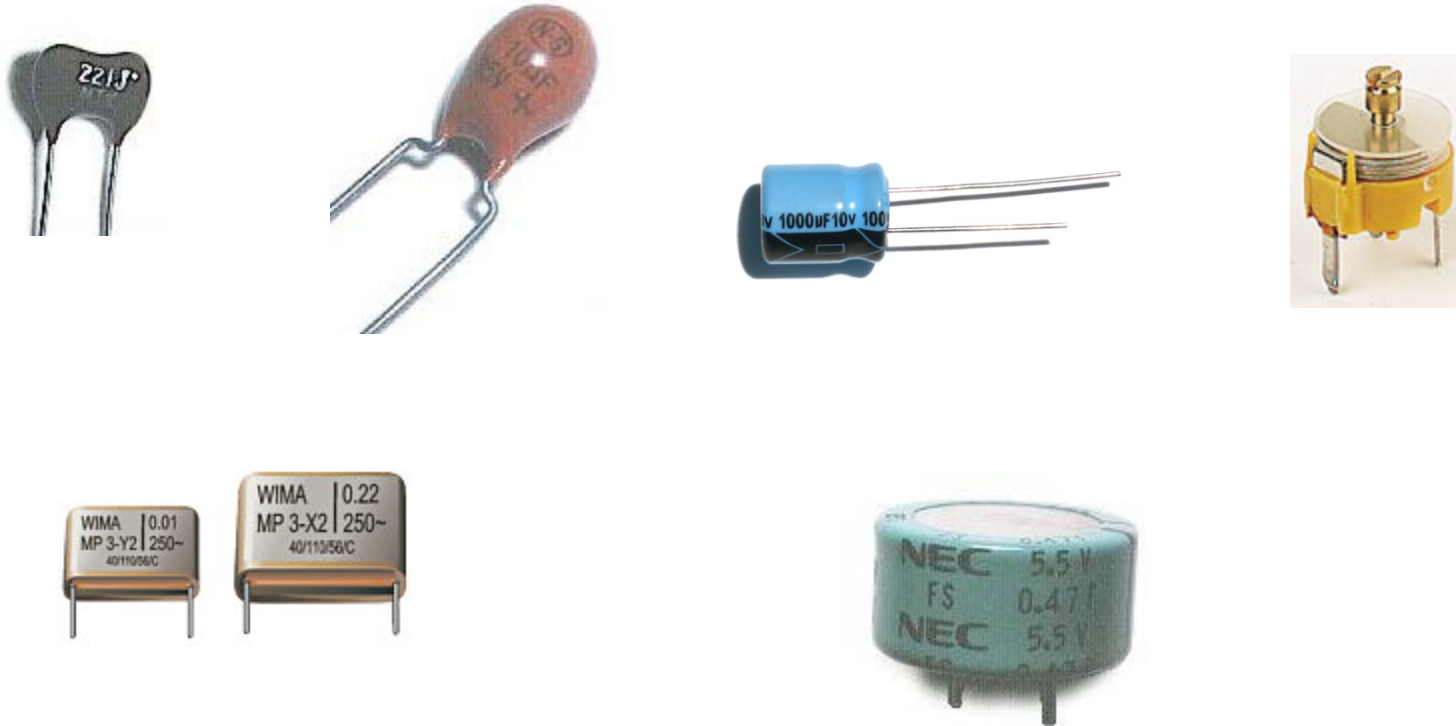
Tantalelektrolytkondensatorn har en "svampformad" elektrod.

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, 4.7μF 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.

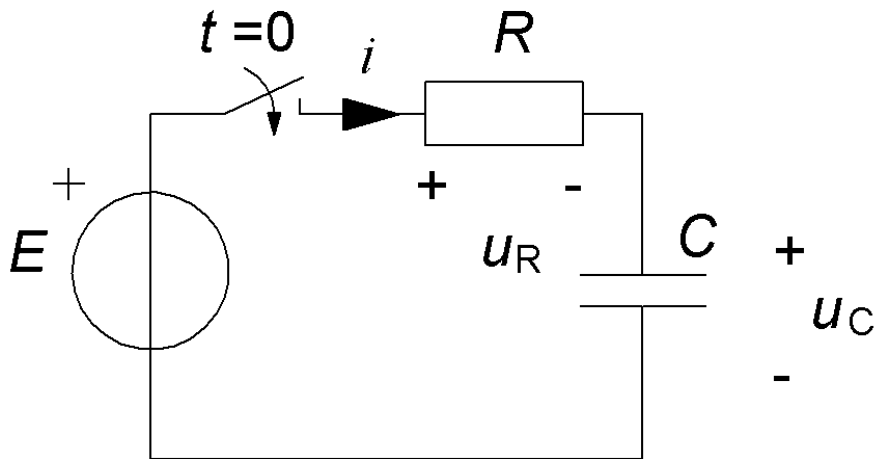


Skolans TELEKOMMUNIKATIONSSYSTEMLAB

William Sandqvist william@kth.se

William Sandqvist william@kth.se

Kondensatorns transienter $\tau = R \cdot C$



Spänningen över kondensatorn kommer från den uppsamlade laddningen.

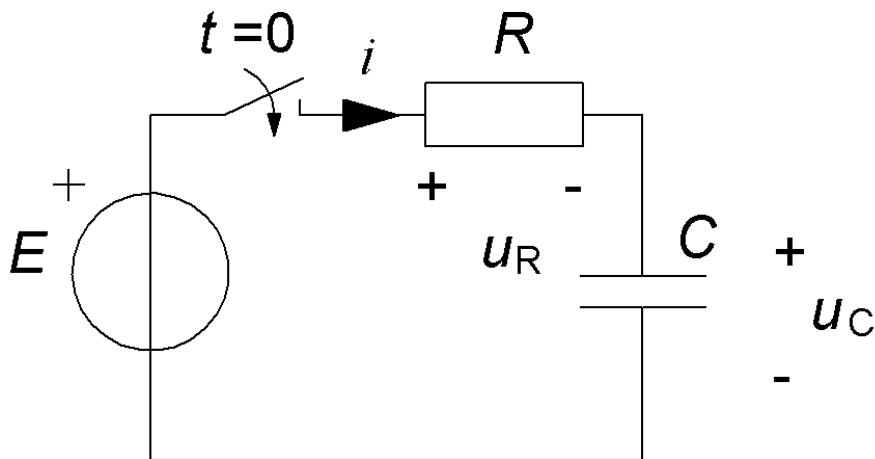
$$u_C(t) = \frac{q(t)}{C} = \frac{\int_0^t i(z) dz}{C}$$

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

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

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

Kondensatorns transienter $\tau = R \cdot C$



Spänningen över kondensatorn kommer från den uppsamlade laddningen.

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

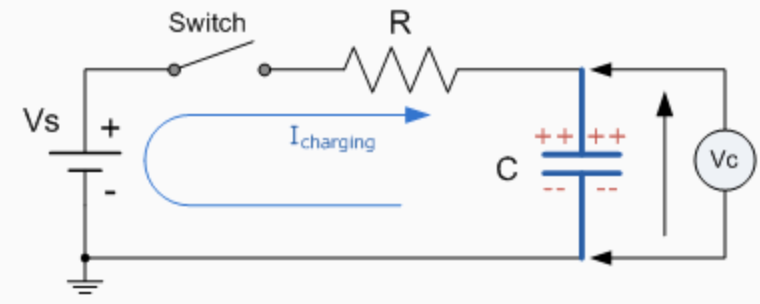
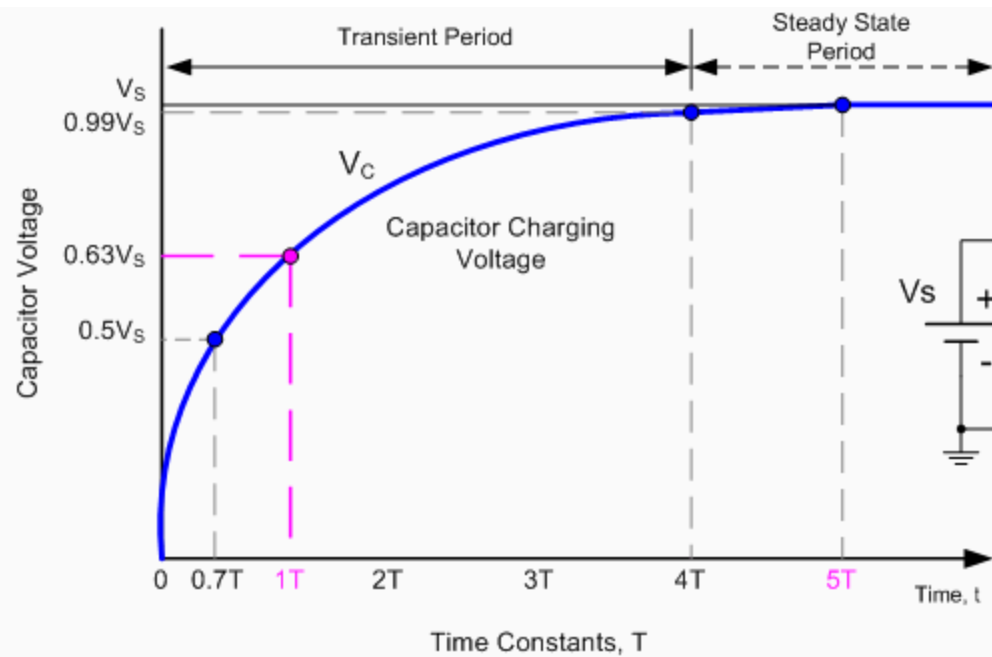
$$\boxed{E = u_R + u_C} \Leftrightarrow E = i(t) \cdot R + \frac{1}{C} \int_0^t i(z) dz$$

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

Differentialekvationen har lösningen:

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

Uppladdning av kondensator



Tidkonstanten
 $T = R \cdot C$

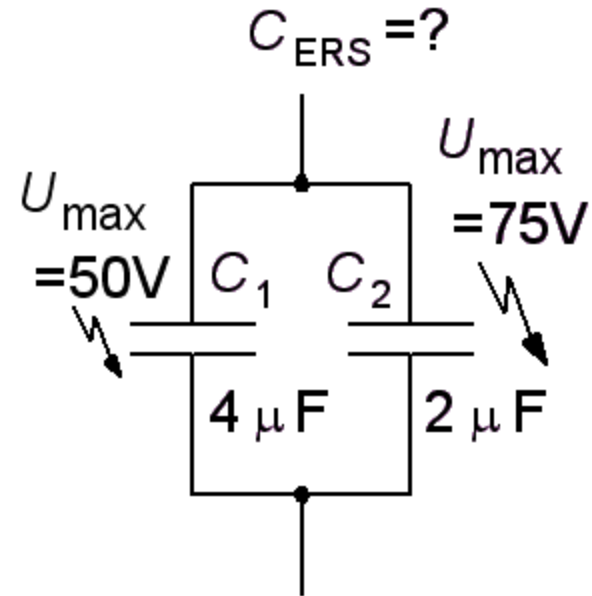
William Sandqvist william@kth.se

Parallellkopplade kondensatorer

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

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

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

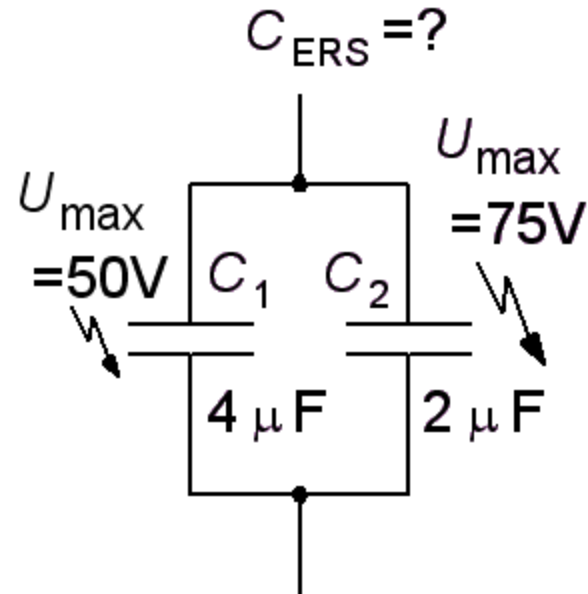


Parallellkopplade kondensatorer

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

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

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



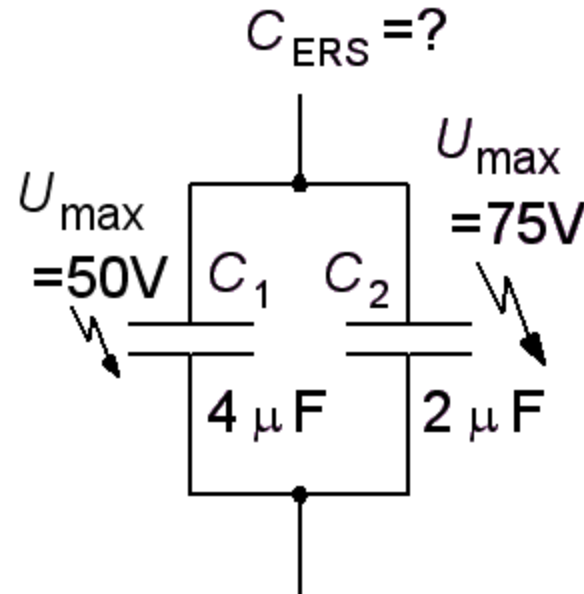
Kapacitansvärdena adderas, parallellkopplingen är samma sak som om kondensatorbeläggens ytor adderades. Den kondensator som har sämst spänningstålighet avgör ersättningskondensatorns märkspänning. Det är i den kondensatorn som genomslaget kommer att ske.

Parallellkopplade kondensatorer

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

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

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



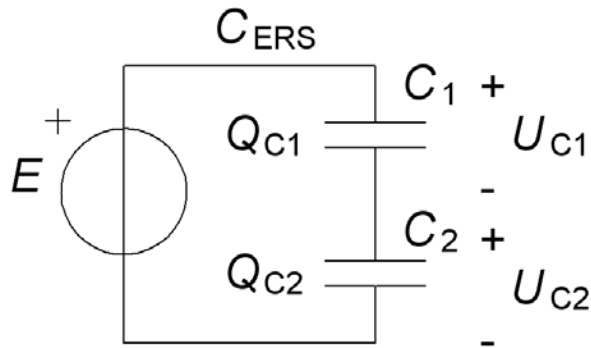
Kapacitansvärdena adderas, parallellkopplingen är samma sak som om kondensatorbeläggens ytor adderades. Den kondensator som har sämst spänningstålighet avgör ersättningskondensatorns märkspänning. Det är i den kondensatorn som genomslaget kommer att ske.

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

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

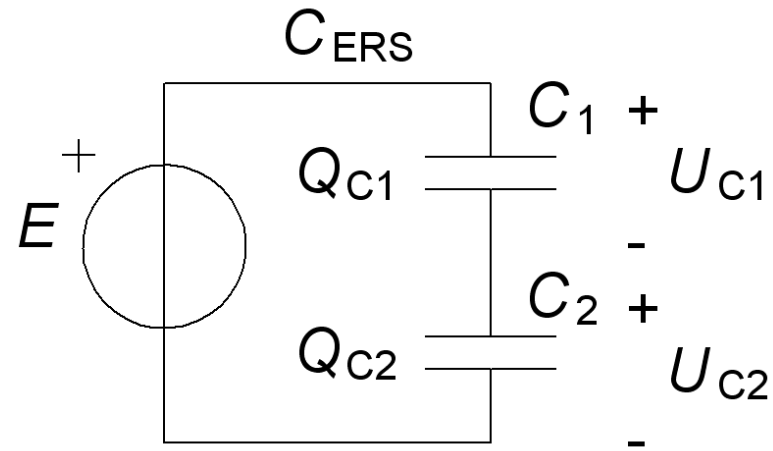
(Ex. 9.4) Två kondensatorer seriekopplas. Beräkna ersättningskapacitansen och ange hur spänningen delas mellan kondensatorerna.

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

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

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

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



Exempel. Seriekopplade kondensatorer

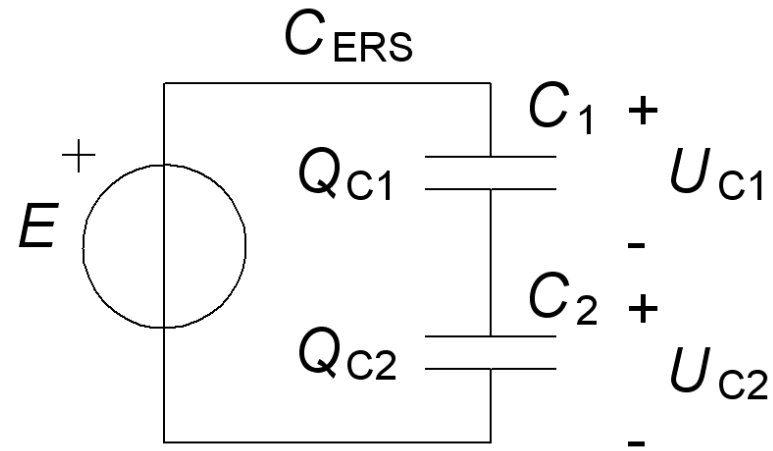
(Ex. 9.4) Två kondensatorer seriekopplas. Beräkna ersättningskapacitansen och ange hur spänningen delas mellan kondensatorerna.

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

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

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

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



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

Exempel. Seriekopplade kondensatorer

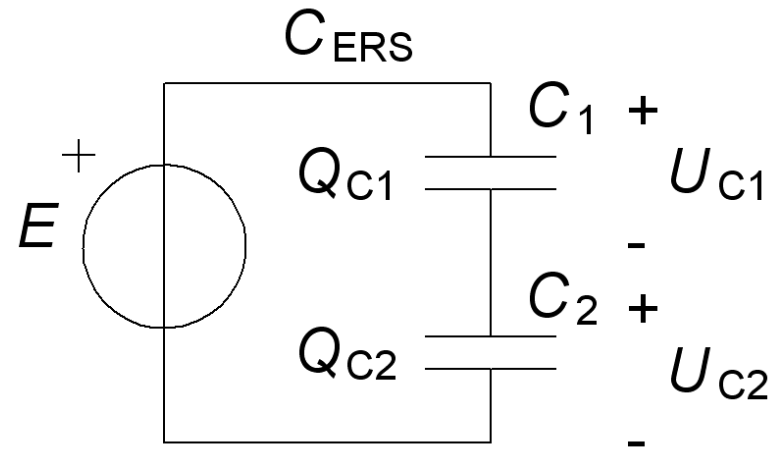
(Ex. 9.4) Två kondensatorer seriekopplas. Beräkna ersättningskapacitansen och ange hur spänningen delas mellan kondensatorerna.

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

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

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

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



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

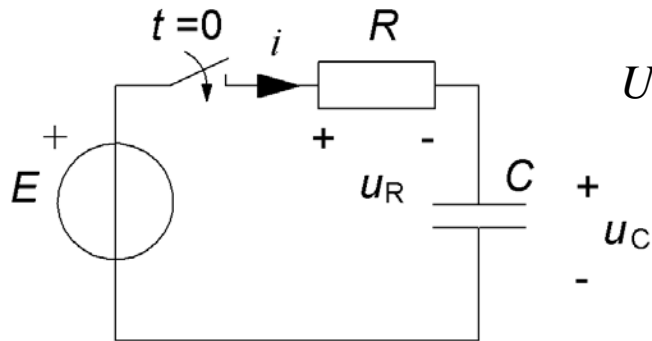
$$Q_{C1} = Q_{C2} = Q = C_{\text{ERS}} \cdot E = C_1 \cdot U_{C1} = C_2 \cdot U_{C2}$$

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

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

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:

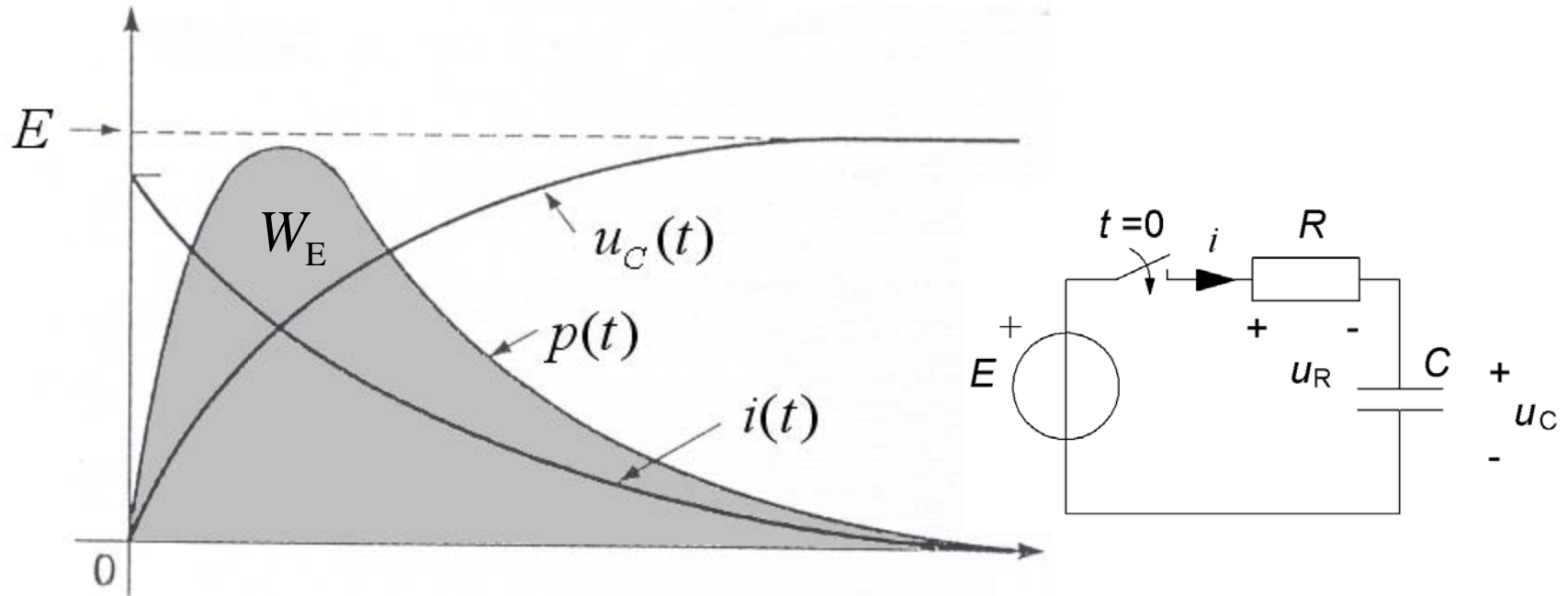
$$W = \int_{t=0}^{t=\infty} p dt = \int_{t=0}^{t=\infty} C \cdot u_C \cdot \frac{du_C}{dt} dt = \int_{u=0}^{u=E} C \cdot u_C du_C = \frac{1}{2} \cdot C \cdot E^2$$

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

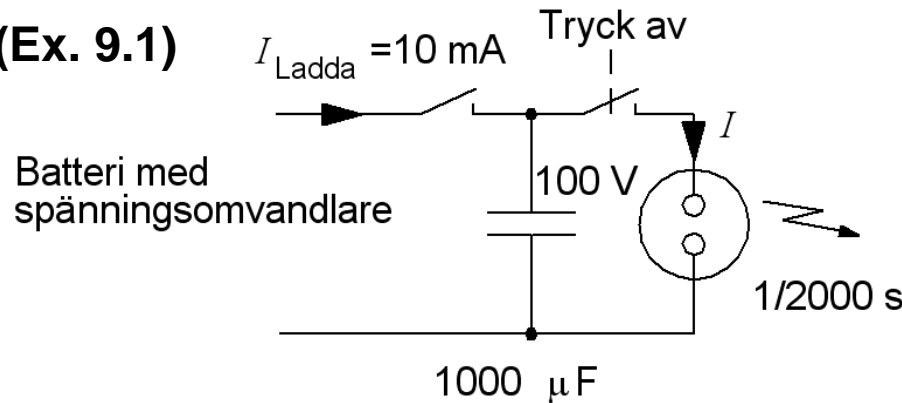


$$W_E = \frac{1}{2} C \cdot E^2$$

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} ?

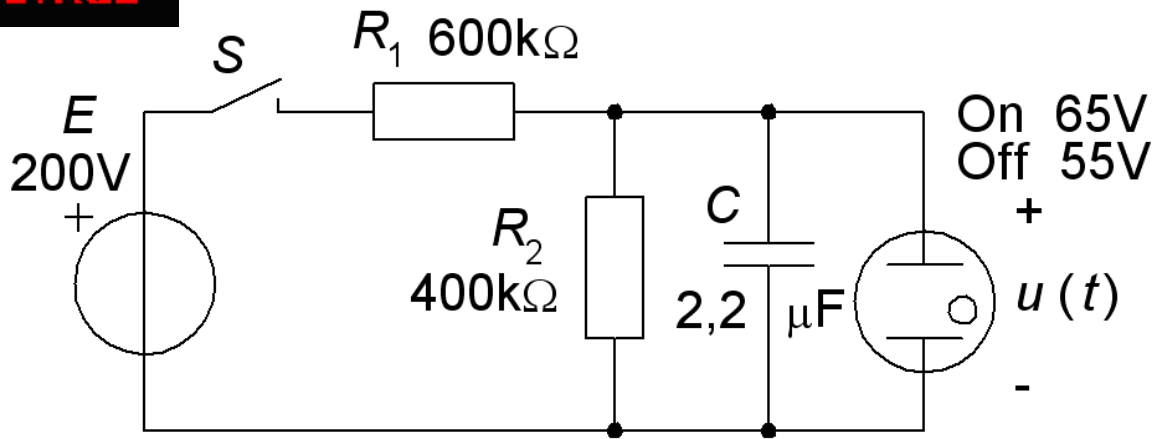
$$U = \frac{Q}{C} = \frac{I_{\text{Ladda}} \cdot t_{\text{Ladda}}}{C} \Rightarrow t_{\text{Ladda}} = \frac{C \cdot U}{I_{\text{Ladda}}} = \frac{1000 \cdot 10^{-6} \cdot 100}{10 \cdot 10^{-3}} = 10 \text{ s}$$

Nu
LED
Flash?



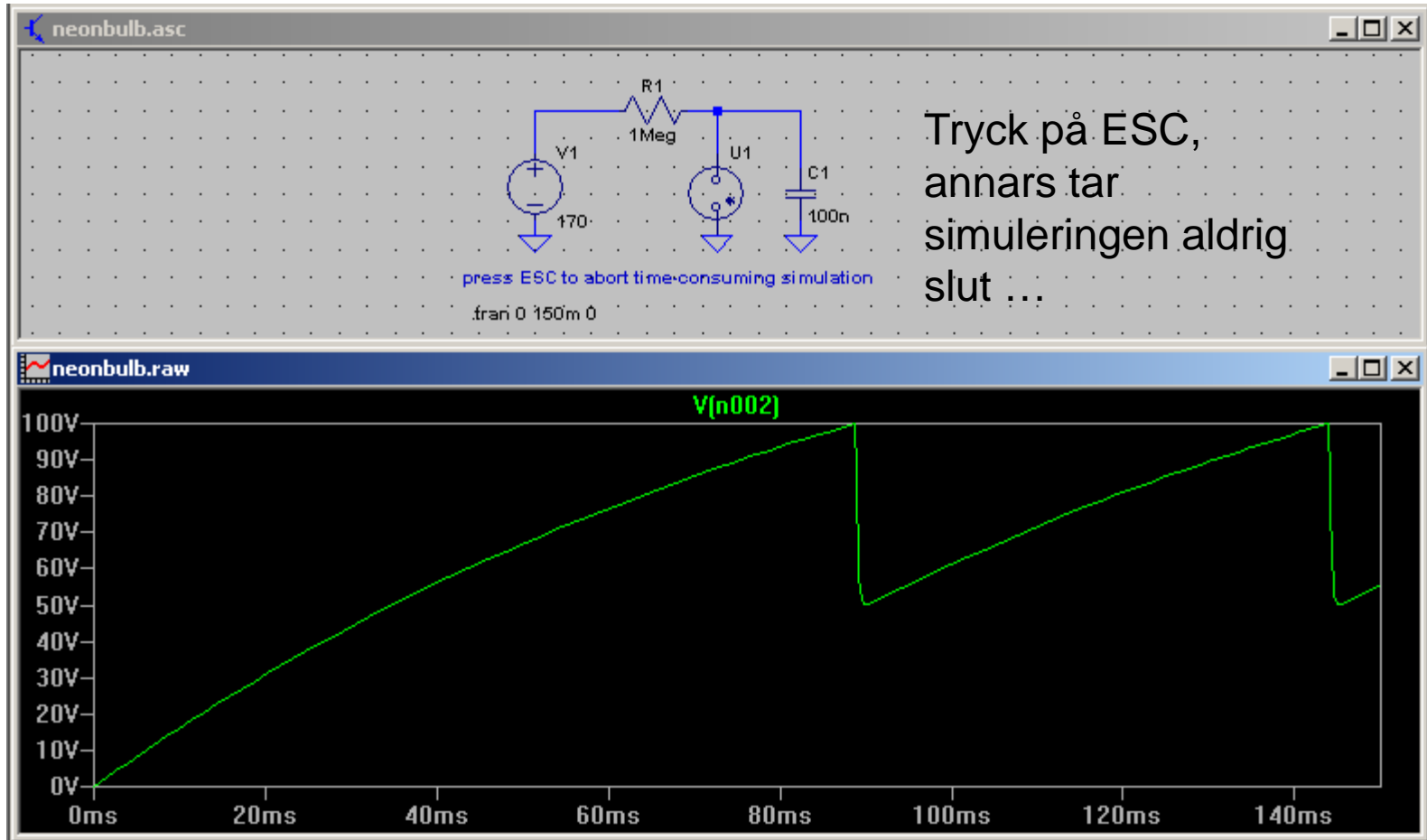
William Sandqvist william@kth.se

(Ex. 10.9) **Glimlampan**



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

Simulera Glimlampan



William Sandqvist william@kth.se