# IE1206 Inbyggd Elektronik

| | |
|---|---|
| F1 → F2 | PIC-block Dokumentation, Seriecom Pulsgivare |
| F3 → Ö1 → KK1 LAB1 | *I*, *U*, *R*, *P*, serie och parallell<br>***Pulsgivare, Menyprogram***<br>● ***Start för programmeringsgruppuppgift*** |
| F4 → Ö2 | Kirchhoffs lagar Nodanalys Tvåpolsatsen R2R AD |
| F5 → Ö3 → KK2 LAB2 | ***Tvåpol, AD, Komparator/Schmitt*** |
| F6 → Ö4 → F7 → KK3 LAB3 | Transienter PWM<br>***Step-up, RC-oscillator*** |
| F8 → Ö5 → F9 | Visare jω PWM CCP KAP/IND-sensor |
| Ö6 → F10 → F11 → KK4 LAB4 | ***LC-osc, DC-motor, CCP PWM*** |
| F12 → Ö7 → redovisning | LP-filter Trafo + Gästföreläsning<br>● ***Redovisning av programmeringsgruppuppgift*** |
| F13 → tentamen | Trafo, Ethernetkontakten |

William Sandqvist william@kth.se

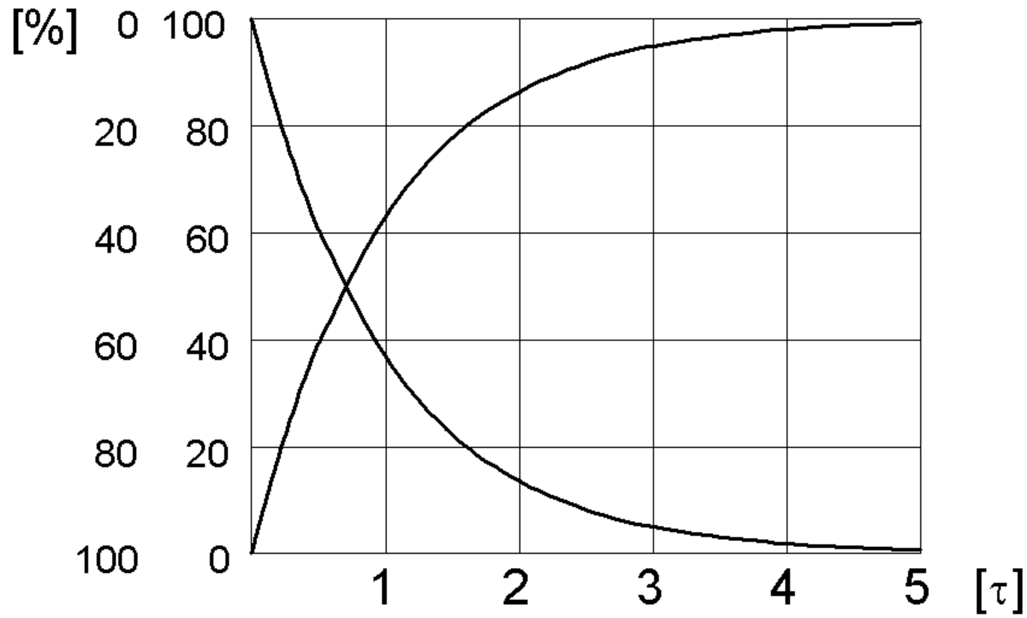
# ***Snabbformel*** *för exponentialfunktioner*

Typ. Stigande kurva

$$x(t) = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Typ. Fallande kurva

$$x(t) = e^{-\frac{t}{\tau}}$$




*Snabbformel (ger direkt funktionen för en stigande/fallande kurva):*

$\boxed{x_0}$ = storhetens startvärde

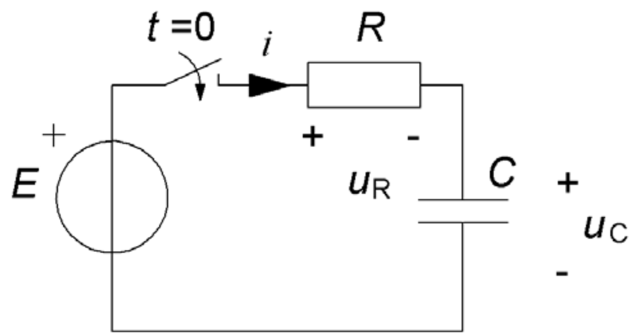
$\boxed{x_\infty}$ = storhetens slutvärde

$\boxed{\tau}$ = förloppets tidkonstant

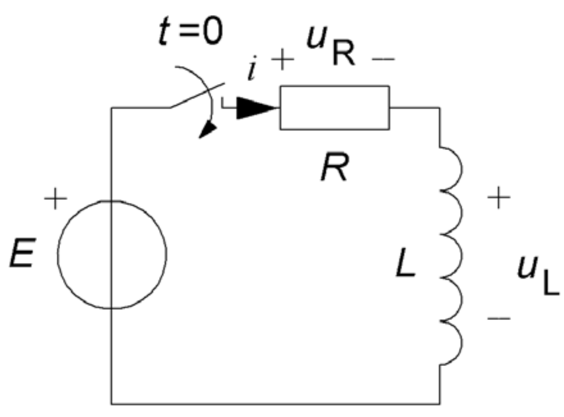
$$\boxed{x(t) = x_\infty - (x_\infty - x_0)e^{-\frac{t}{\tau}}}$$

William Sandqvist william@kth.se

# Tidkonstanter




$$\tau = R \cdot C$$

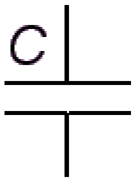



$$\tau = \frac{L}{R}$$

- Mer komplicerade kretsar förenklar man med tvåpolssatsen till dessa enkla former.

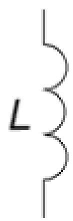
# Kontinuitetsvilkor

## Sammanfattning




*Kondensatorn är spänningströg*

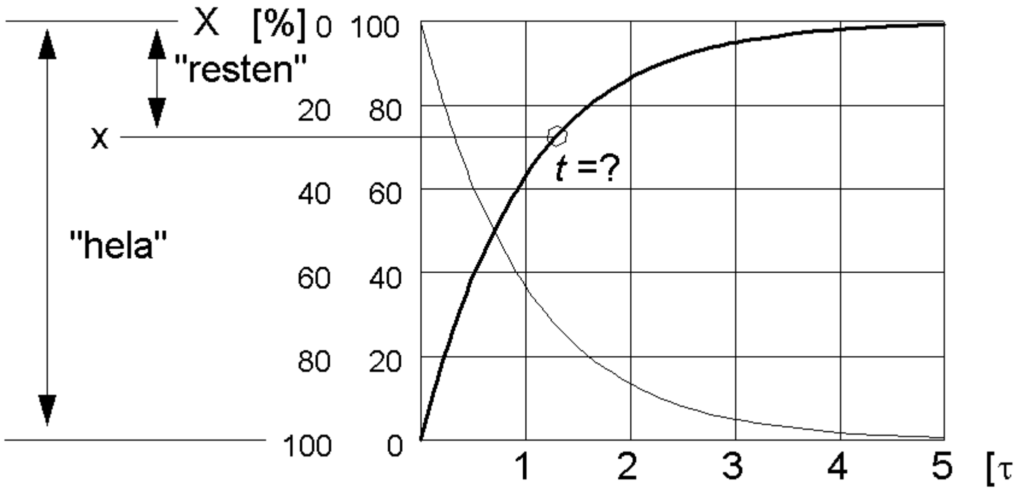
I en kondensator är laddningen alltid kontinuerlig
I en kondensator är **spänningen** alltid **kontinuerlig**.




*Spolen är strömtrög*

I en spole är flödet alltid kontinuerligt
I en spole är **strömmen** alltid **kontinuerlig**.

# ”Hela swinget genom resten”




$$x = X(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad \Rightarrow \quad \frac{x}{X} = 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \Rightarrow \quad \ln\left(1 - \frac{x}{X}\right) = -\frac{t}{\tau} \quad \Rightarrow \quad t = -\tau \cdot \ln\frac{X - x}{X}$$

$$\boxed{t} = \tau \cdot \ln\frac{X}{X - x} = \boxed{\tau \cdot \ln\frac{\text{"hela"}}{\text{"resten"}}}$$

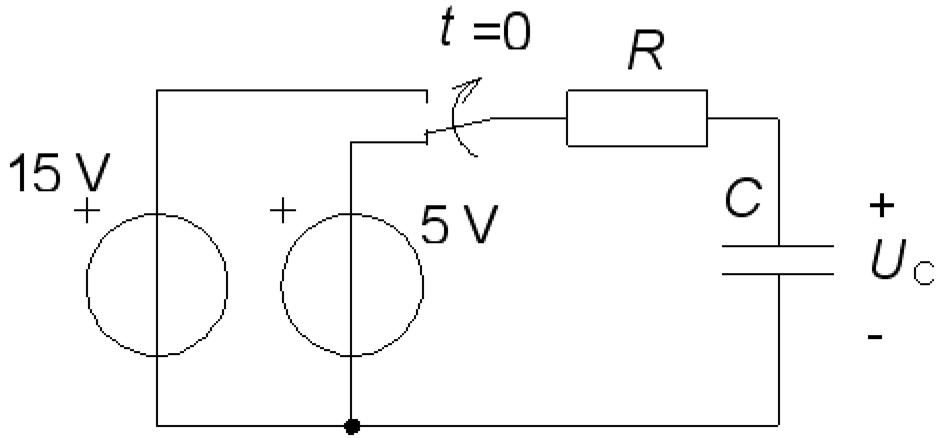
# Kondensatorns uppladdning (10.5)

$R$ = 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?



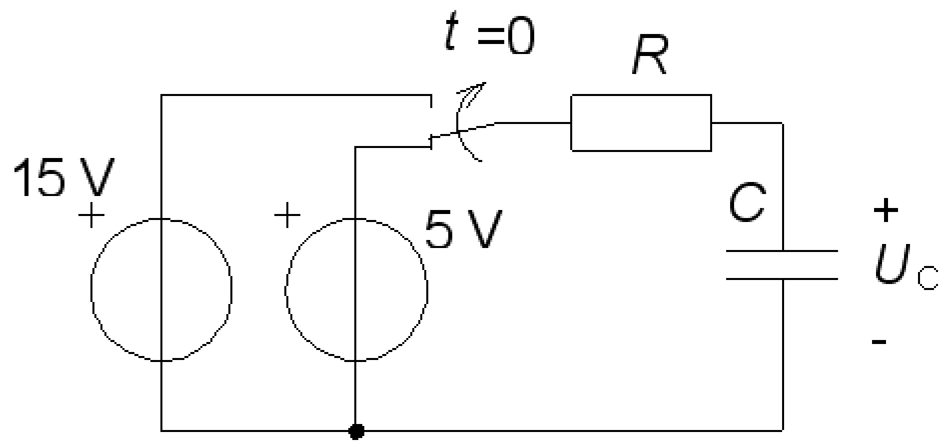
# Kondensatorns uppladdning (10.5)

$R$ = 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

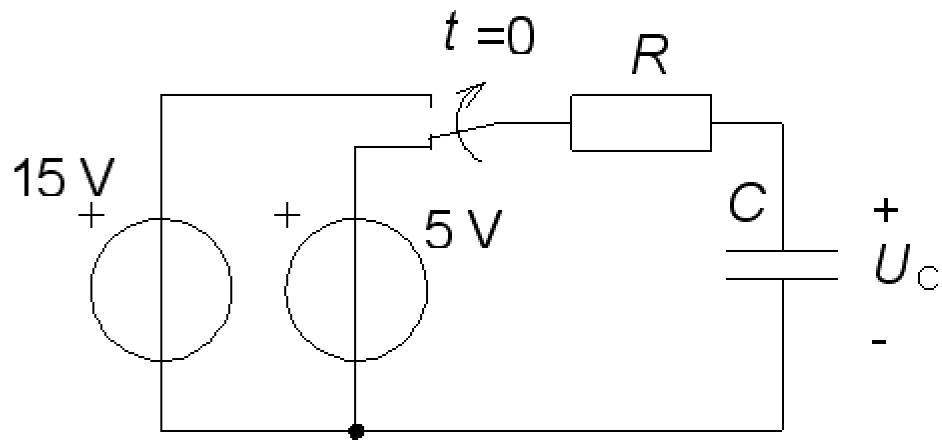
# Kondensatorns uppladdning (10.5)

$R$ = 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
$\tau$ = 2000·1000·$10^{-6}$ = 2 s

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

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

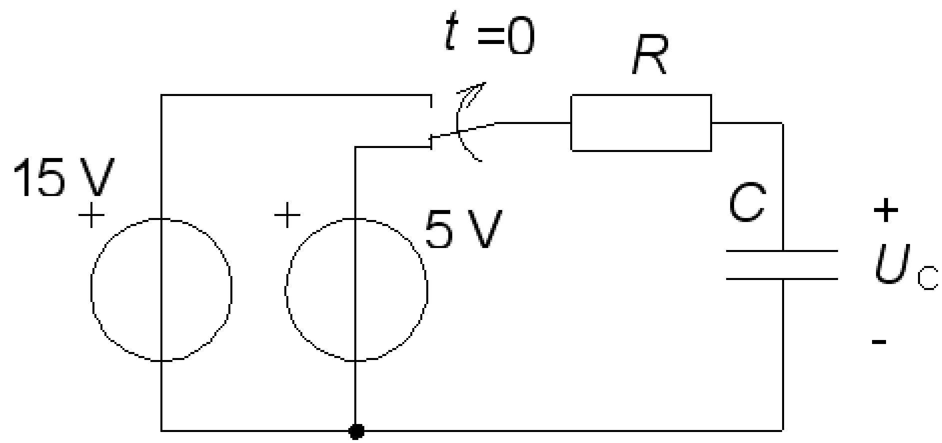
# Kondensatorns uppladdning (10.5)

$R$ = 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.

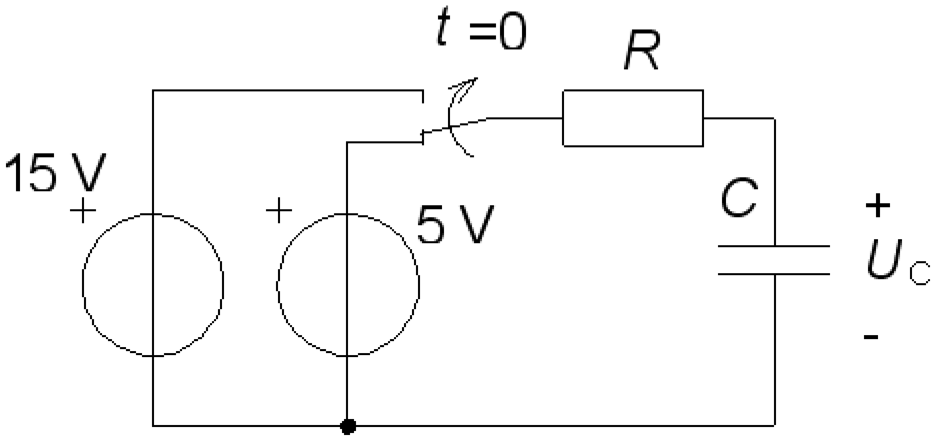
# Kondensatorns uppladdning (10.5)

$R$ = 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?



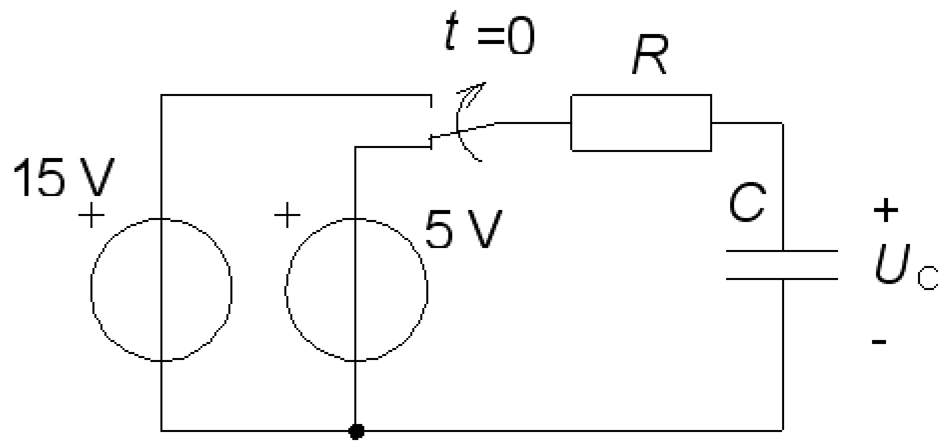
# Kondensatorns uppladdning (10.5)

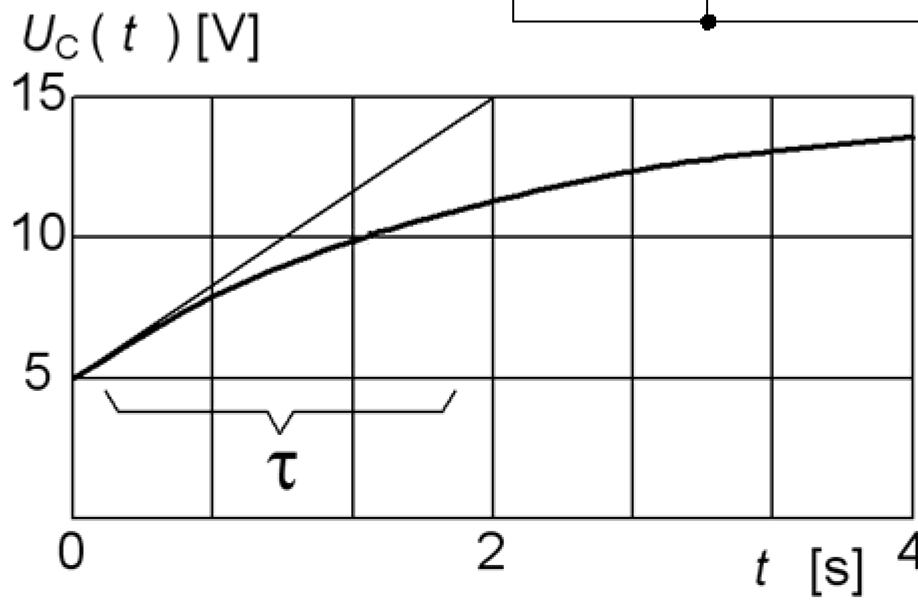
$R$ = 2000 Ω och $C$ = 1000 μF

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

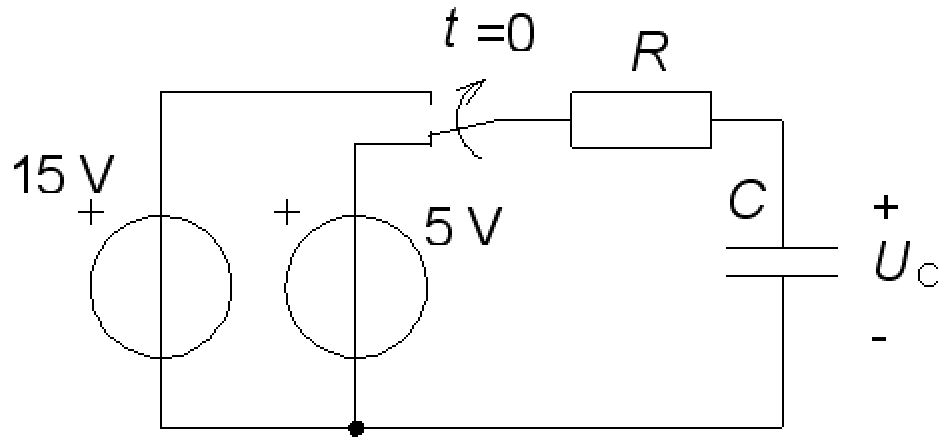
# Kondensatorns uppladdning (10.5)

$R$ = 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?



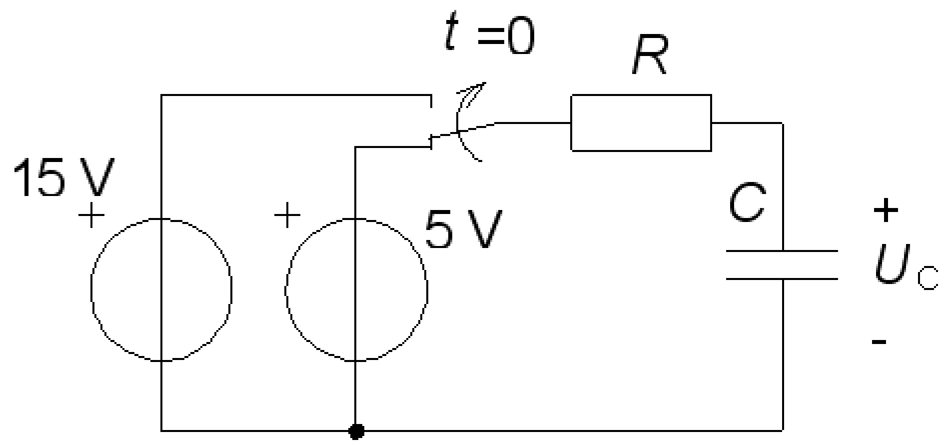
# Kondensatorns uppladdning (10.5)

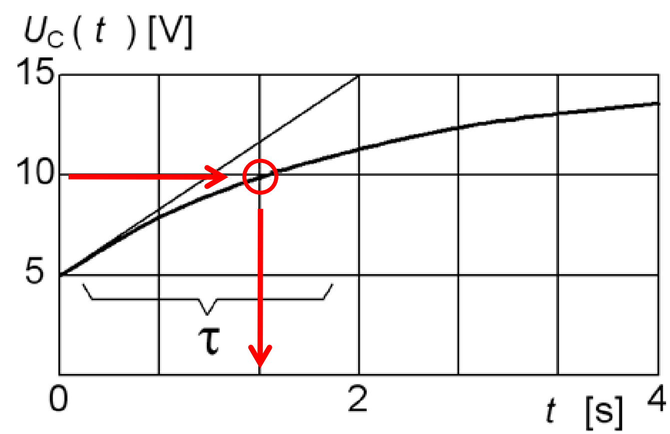
$R$ = 2000 Ω och $C$ = 1000 μF

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?



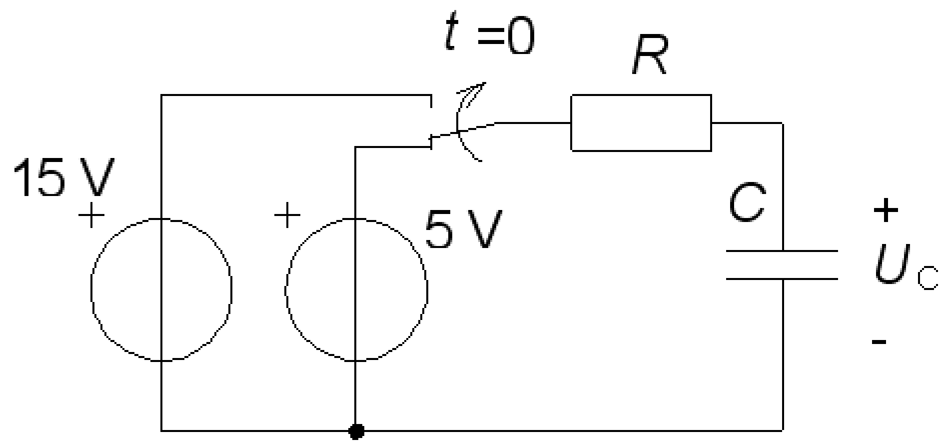
# Kondensatorns uppladdning (10.5)

$R$ = 2000 Ω och $C$ = 1000 μF

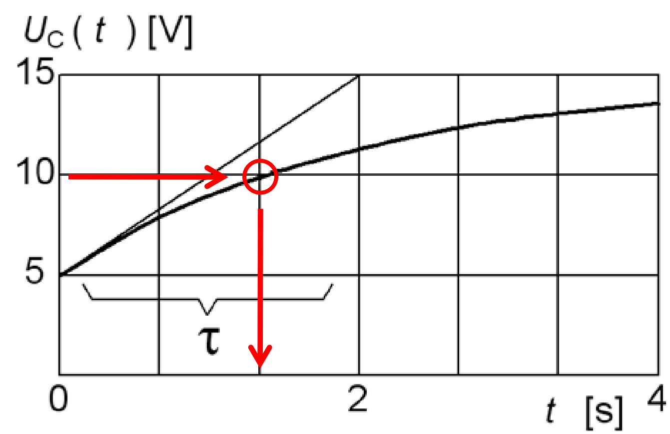
Tag fram ett uttryck för $u_C(t)$

Rita funktionen $u_C(t)$

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

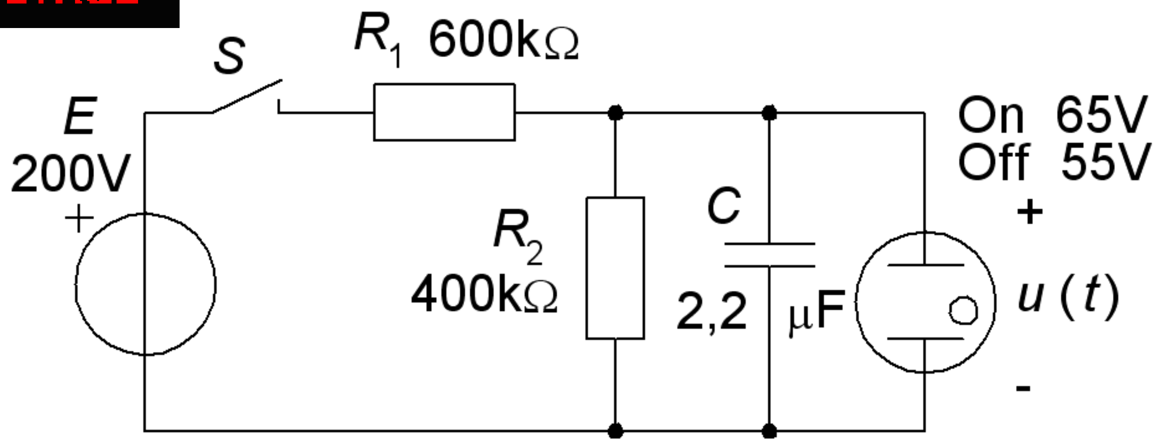



$$t = \tau \cdot \ln \frac{\text{"hela"}}{\text{"resten"}} = 2 \cdot \ln \frac{15-5}{15-10} =$$
$$= 2 \cdot 0{,}695 = 1{,}39 \text{ s}$$




William Sandqvist william@kth.se

# Glimlampan (10.9)

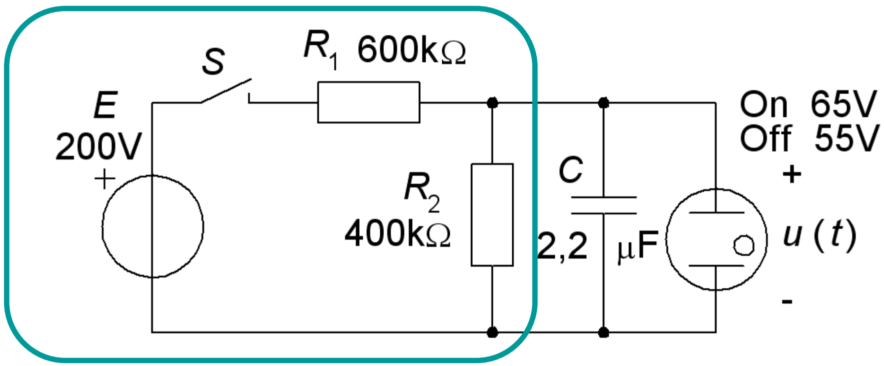




Blink-krets med glimlampa.

William Sandqvist william@kth.se

# Glimlampan (10.9)

a) *När kommer första blinket?*




Kretsens Thevenin-tvåpol:
$R_I = 600||400 = 240$ kΩ
$E_0 = 200 \cdot 400/1000 = 80$V

Kondensatorn laddas från 0V upp mot 80V till 65V då glimlampan tänds (och laddar ur kondensatorn till 55V då den släcks).

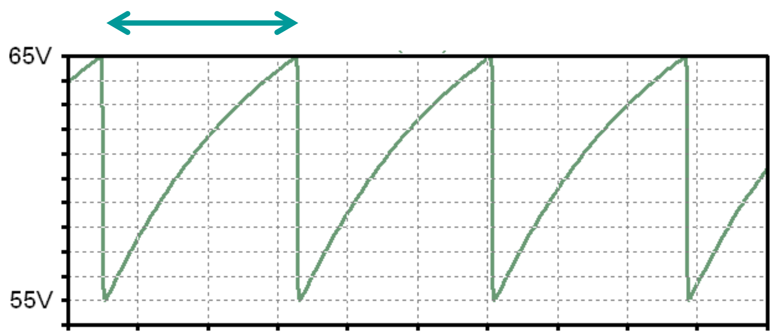
$$\tau = \boxed{R_I} \cdot C = 240 \cdot 10^3 \cdot 2{,}2 \cdot 10^{-6} = 0{,}528$$

$$t = \tau \cdot \ln \frac{hela}{resten} = 0{,}528 \cdot \ln \frac{80-0}{80-65} = 0{,}88\ s$$

# Glimlampan (10.9)

b) *Hur lång tid tar det till nästa blink?*

Kondensatorn laddas nu *från* 55V upp *mot* 80V *till* 65V då glimlampan tänds (och laddar ur kondensatorn till 55V, då den släcks).




$$\tau = 0{,}528$$

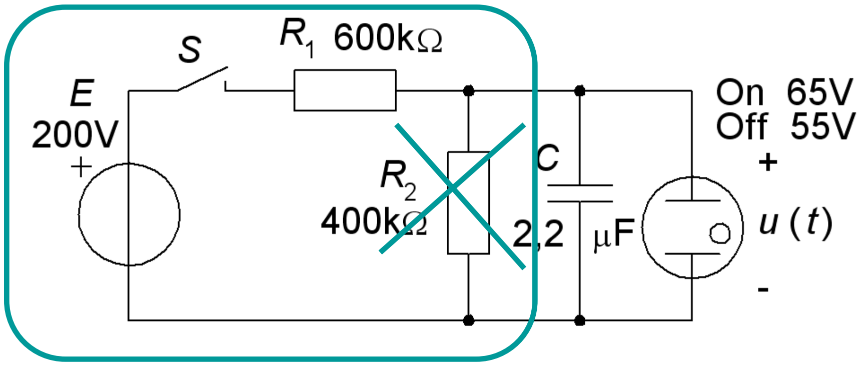
$$t = \tau \cdot \ln \frac{hela}{resten} = 0{,}528 \cdot \ln \frac{80-55}{80-65} = 0{,}27\ s$$

Blinkfrekvensen:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}27} = 3{,}7\ \mathrm{Hz}$$

# Glimlampan (10.9)

c) *Om $R_2$ är borta, hur lång tid tar det då mellan blinkningarna?*




Om $R_2$ är borta
spänningsdelas $E$ inte.
$E$ = 200.
Tidkonstanten förändras.

Kondensatorn laddas nu från 55V upp mot 200V till 65V då glimlampan tänds (och laddar ur kondensatorn till 55V då den släcks).

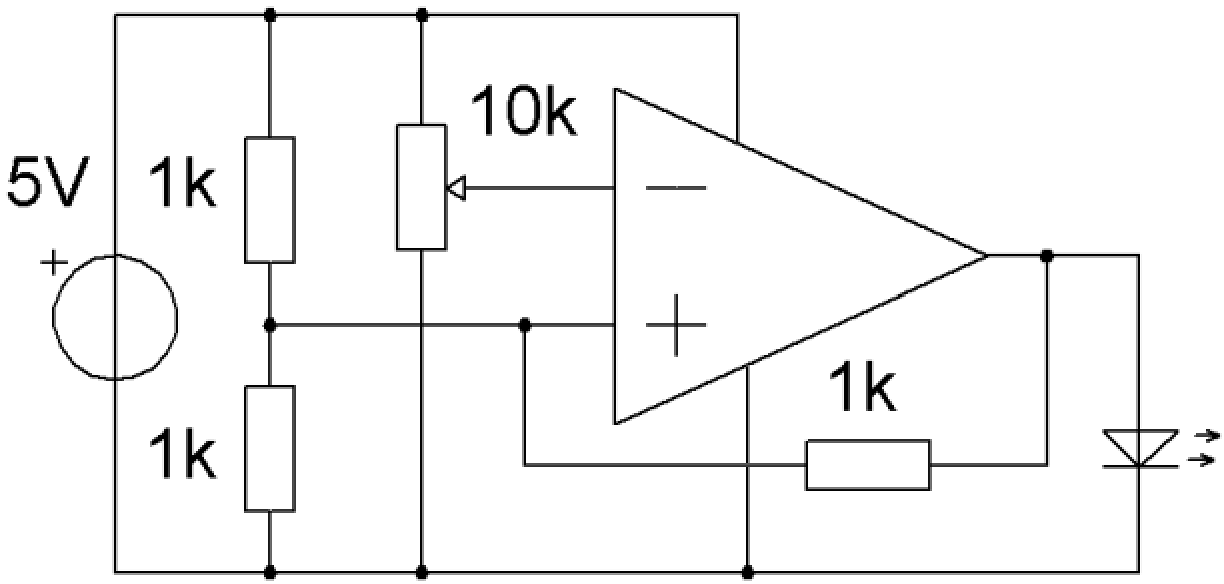
$$\tau = \boxed{R_1} \cdot C = 600 \cdot 10^3 \cdot 2{,}2 \cdot 10^{-6} = 1{,}32$$

$$t = \tau \cdot \ln \frac{hela}{resten} = 1{,}32 \cdot \ln \frac{200 - 55}{200 - 65} = 0{,}094\ s$$

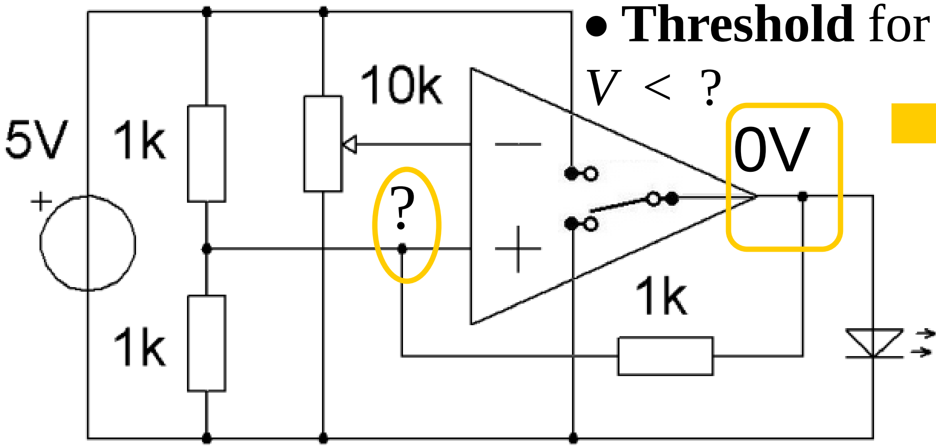
Blinkfrekvensen:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}094} = 11\ \mathrm{Hz}$$

# Schmitt-trigger (10.10)

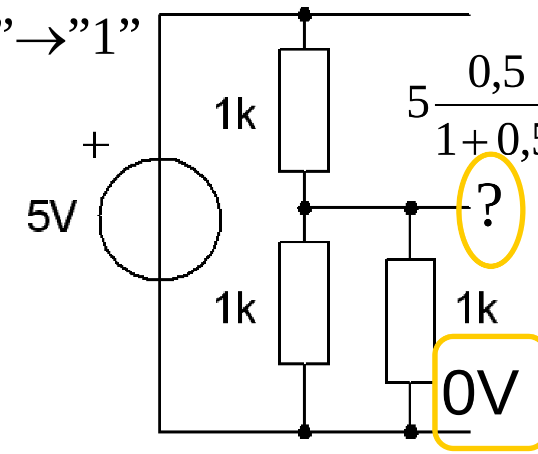


# Omslagsnivåerna? (10.10)



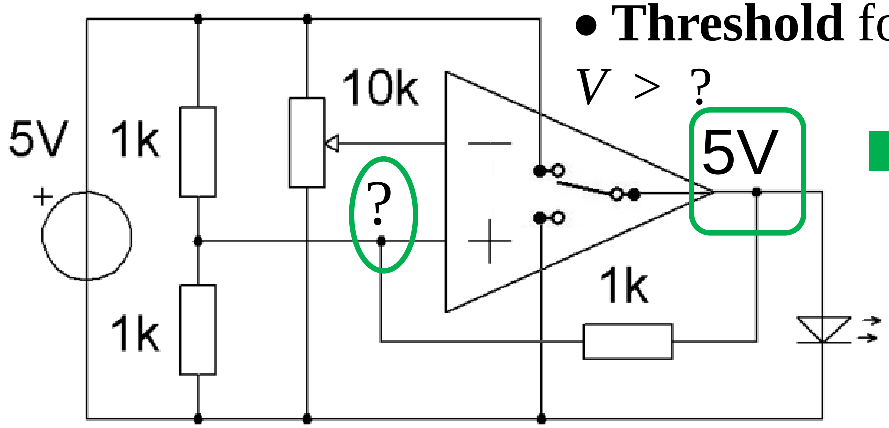

- **Threshold** for ”0”→”1”

$V < ?$



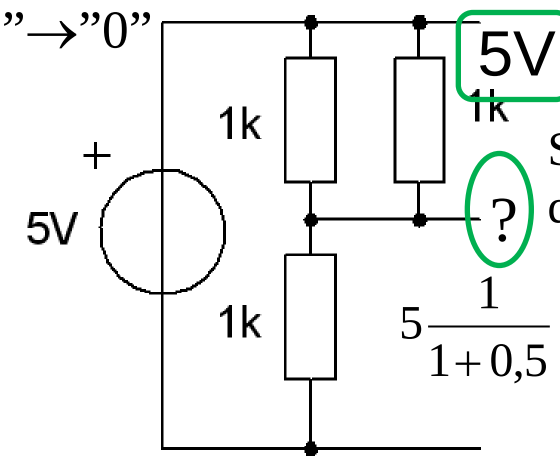

$$5\frac{0,5}{1+0,5} = 5\cdot\frac{1}{3}$$

Spännings-delning




- **Threshold** for ”1”→”0”

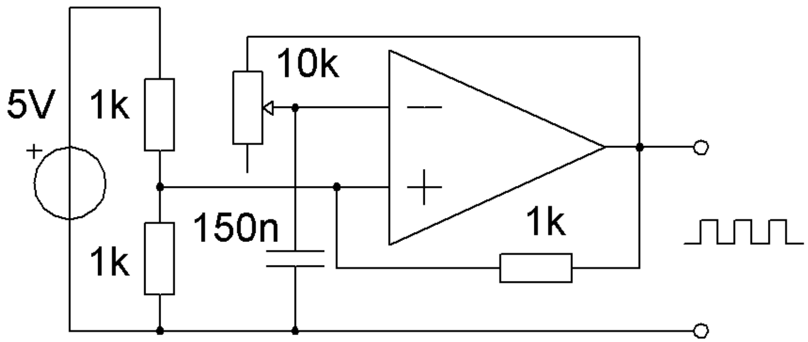
$V > ?$

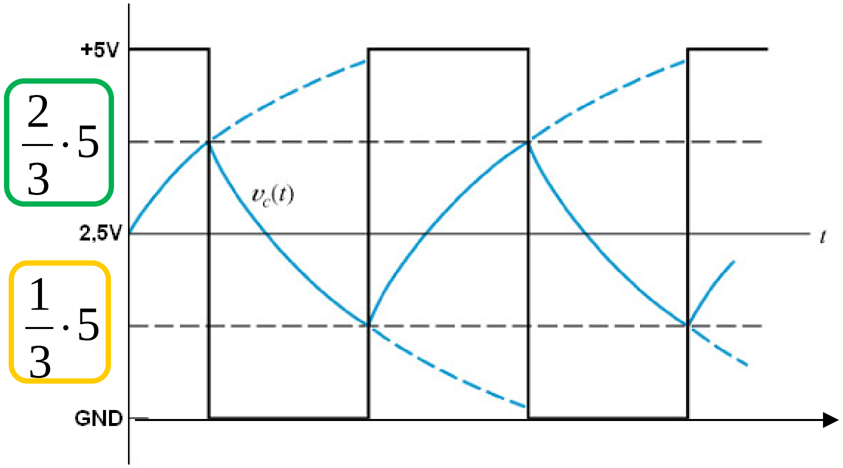



Spännings-delning

$$5\frac{1}{1+0,5} = 5\cdot\frac{2}{3}$$

# RC-oscillator (10.10)

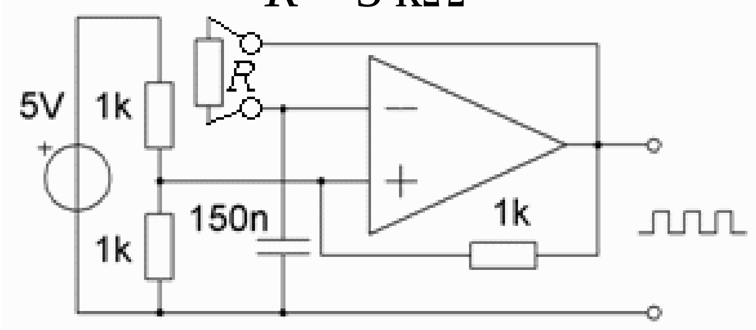


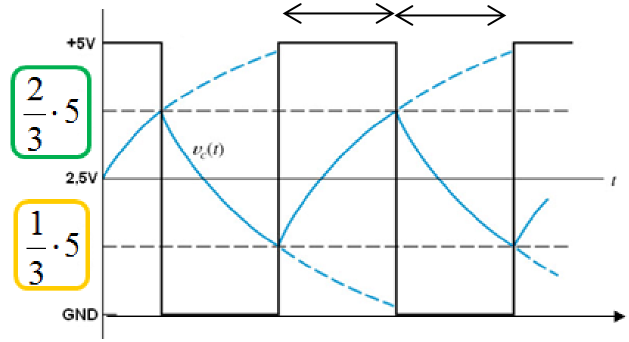

Komparatorn laddar upp kondensatorn till den övre omslags-spänningen, därefter slår utgången om och laddar ur kondensatorn till den nedre omslags-spänningen. Frekvensen på komparatorns utgång beror av produkten $R \cdot C$. Eftersom $C$ är konstant så blir det ***R* som styr frekvensen**.

# RC-oscillatorns frekvens (10.10)

$R = 5\ \mathrm{k\Omega}$




$t_1 = t_2$




$$\tau = R \cdot C = 5 \cdot 10^{3} \cdot 150 \cdot 10^{-9} = 0{,}75 \cdot 10^{-3}$$

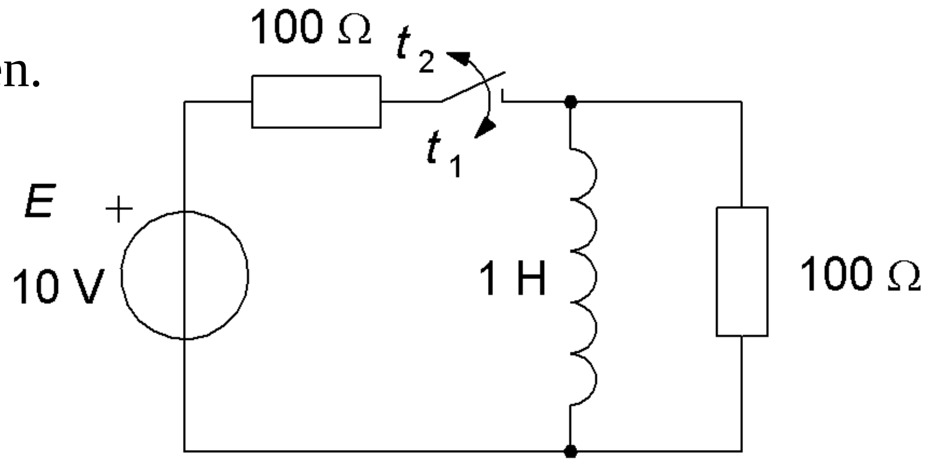
$$t_1 = \tau \cdot \ln \frac{hela}{resten} = 0{,}75 \cdot 10^{-3} \cdot \ln \frac{5 - \frac{1}{3} \cdot 5}{5 - \frac{2}{3} \cdot 5} = 0{,}75 \cdot 10^{-3} \cdot \ln 2 = 5{,}2\ \mathrm{ms}$$

$$t_2 = t_1 \quad T = 2 \cdot t_1 = 2 \cdot 5{,}2 \cdot 10^{-3} = 10{,}4\ \mathrm{ms} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10{,}4 \cdot 10^{-3}} = 962\ \mathrm{Hz}$$

Matningsspänningen 5V gick att förkorta bort. Frekvensen blir således oberoende av matningsspänningen!

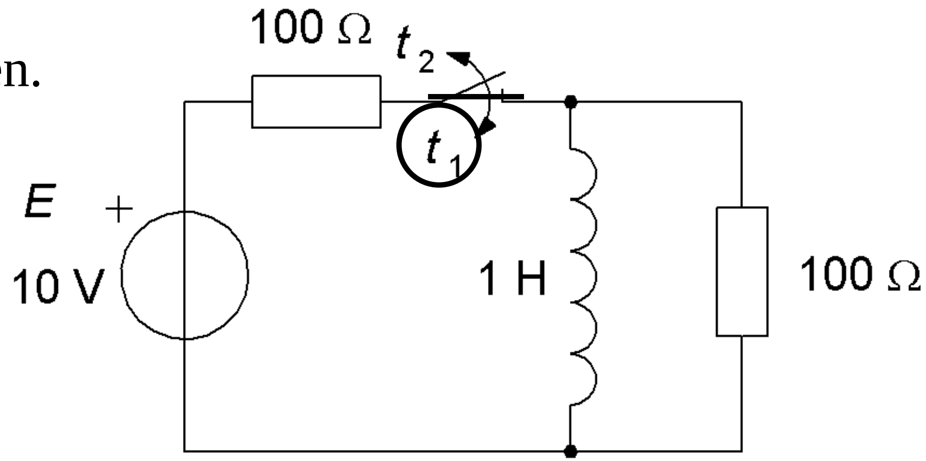
# Spolens **inkoppling** och urkoppling (10.8)

*E* är en likspänningskälla. Vid tidpunkten $t_1$ sluts strömställaren.



# Spolens **inkoppling** och urkoppling (10.8)

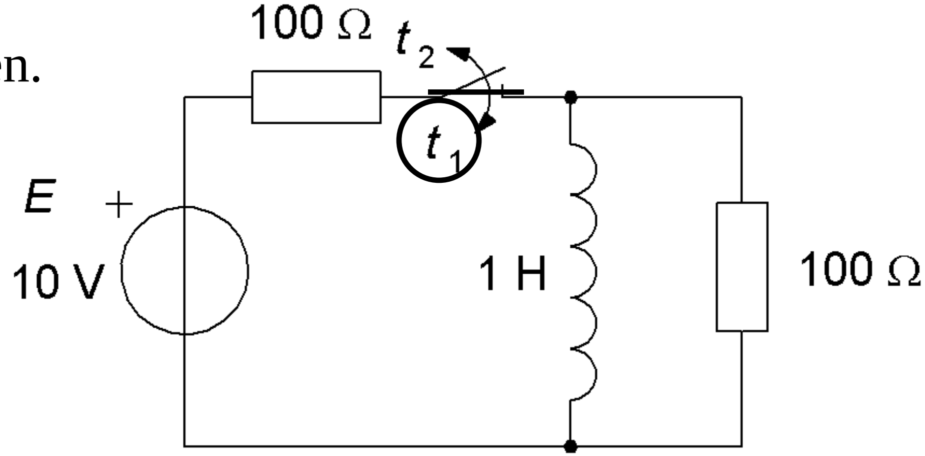
*E* är en likspänningskälla. Vid tidpunkten $t_1$ sluts strömställaren.




a) Hur stor blir strömmen genom spolen i första ögonblicket?

# Spolens **inkoppling** och urkoppling (10.8)

*E* är en likspänningskälla. Vid tidpunkten $t_1$ sluts strömställaren.

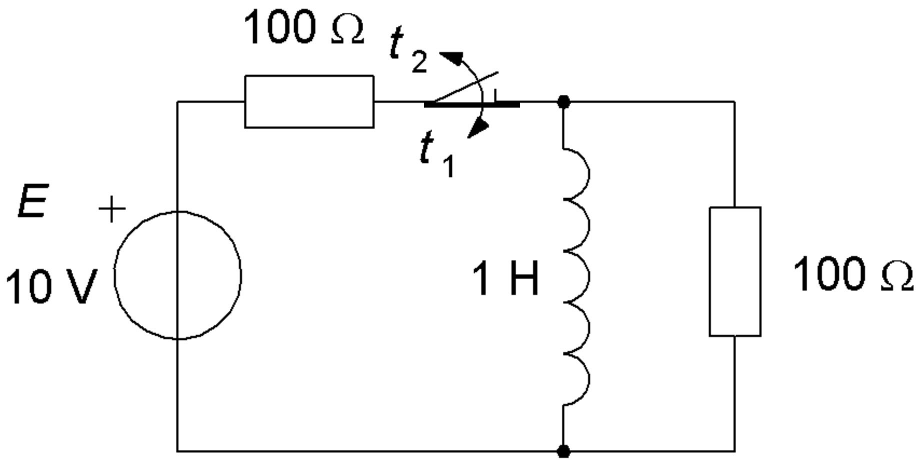



a) Hur stor blir strömmen genom spolen i första ögonblicket?

**Svar**: Spolen är ”strömtrög”. I första ögonblicket ($t_1$) är strömmen ”samma” $i$ = 0.

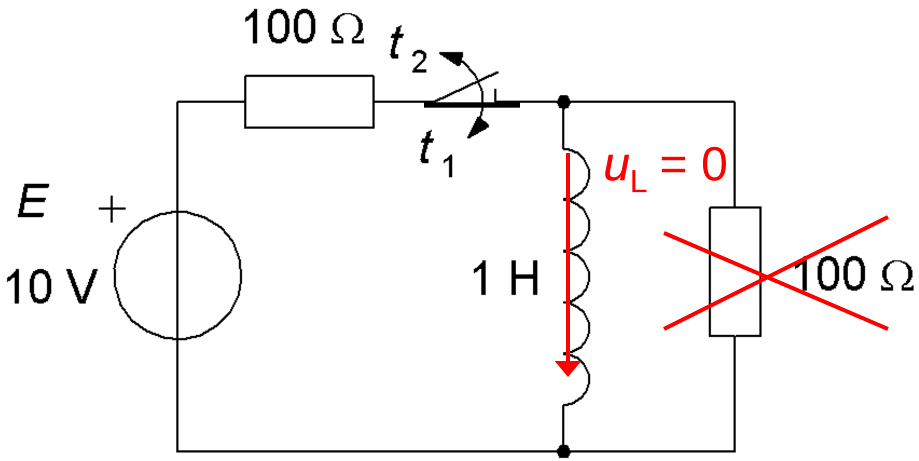
# Spolens **inkoppling** och urkoppling (10.8)

b) Hur stor blir strömmen genom spolen efter det att en *lång* tid förflutit?



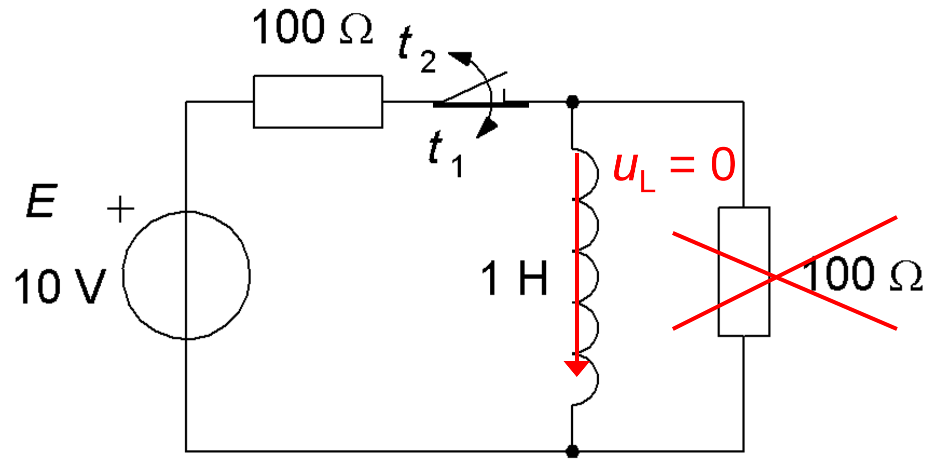
# Spolens **inkoppling** och urkoppling (10.8)

b) Hur stor blir strömmen genom spolen efter det att en *lång* tid förflutit?



# Spolens **inkoppling** och urkoppling (10.8)

b) Hur stor blir strömmen genom spolen efter det att en *lång* tid förflutit?

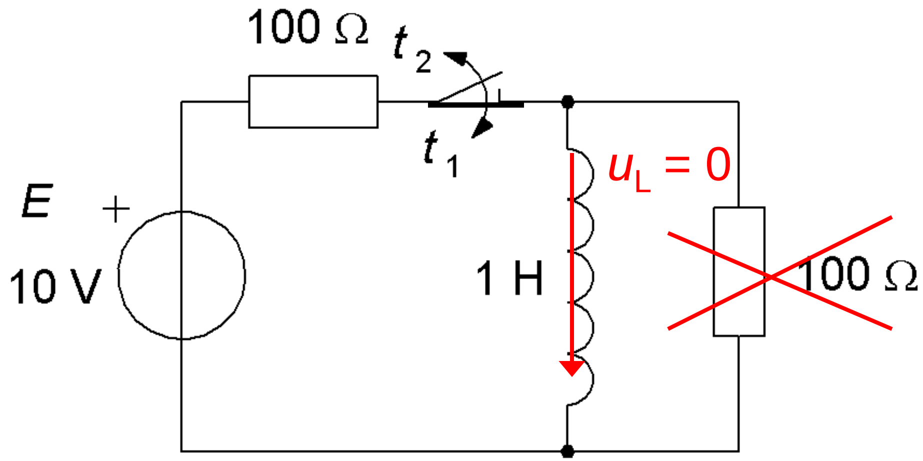



**Svar**: Efter en lång tid har förändringarna klingat ut. Spänningen över spolen (som beror på förändringar) är då 0, spolen ”kortsluter” den parallella 100 Ω resistorn. Kvar blir 100 Ω serie-resistorn.

$i$ = 10V/100Ω = 0,1 A.

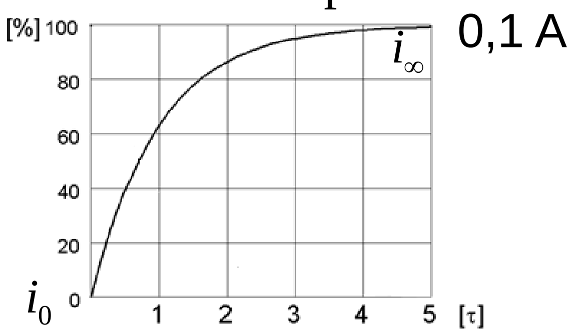
# Spolens **inkoppling** och urkoppling (10.8)

b) Hur stor blir strömmen genom spolen efter det att en *lång* tid förflutit?




**Svar**: Efter en lång tid har förändringarna klingat ut. Spänningen över spolen (som beror på förändringar) är då 0, spolen ”kortsluter” den parallella 100 Ω resistorn. Kvar blir 100 Ω serie-resistorn.

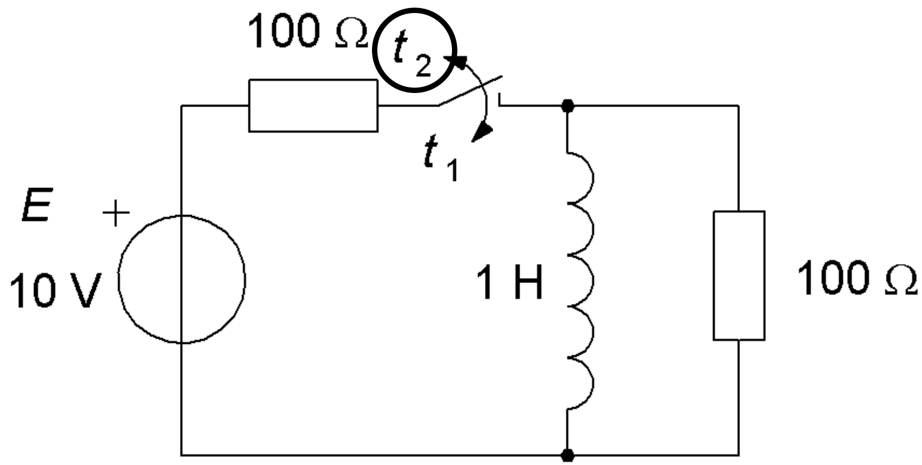
$i$ = 10V/100Ω = 0,1 A.



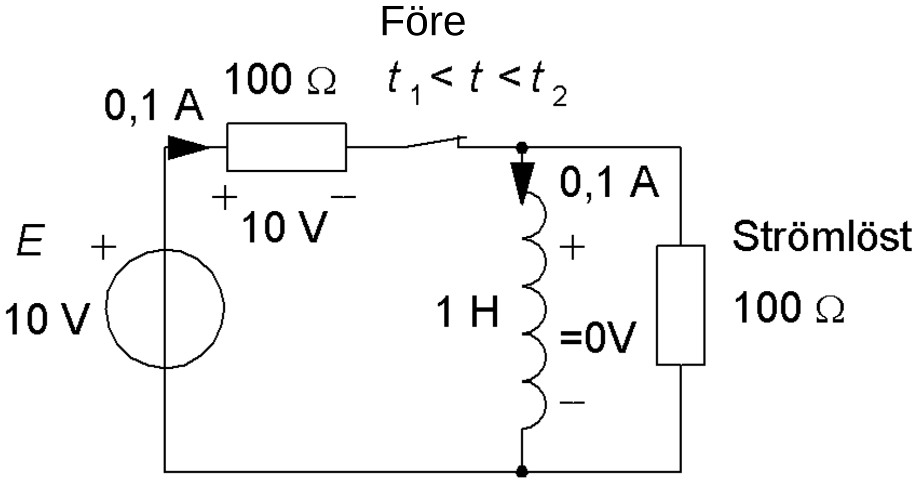
# Spolens inkoppling och **urkoppling** (10.8)

c) Senare, vid tidpunkten $t_2$ ***öppnas*** strömställaren.

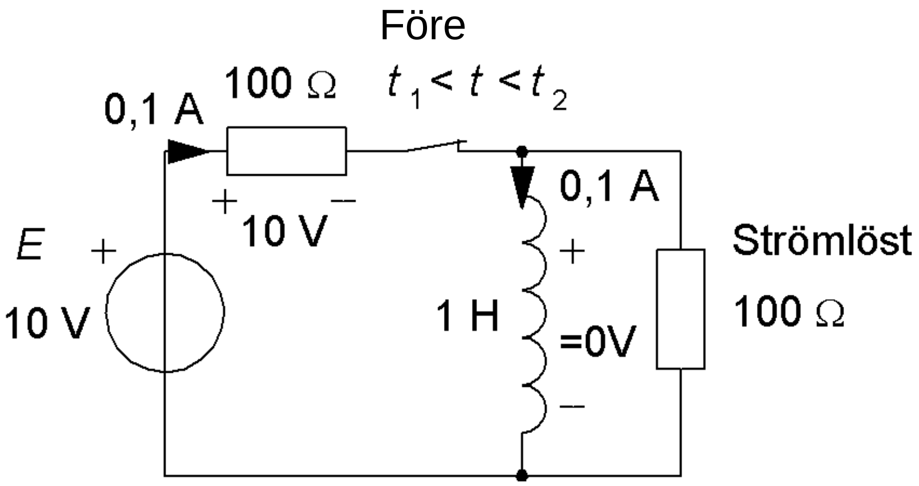
Ställ nu upp ett utryck för strömmen genom spolen som funktion av tiden $t$ för tiden efter $t_2$. Låt förloppet börja vid $t = t_2 = 0$.

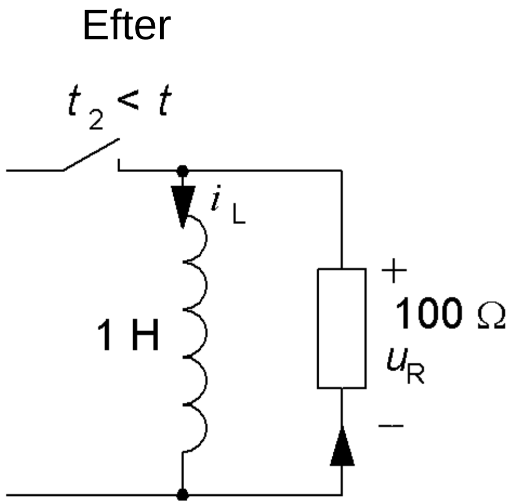


# Spolens inkoppling och **urkoppling** (10.8)

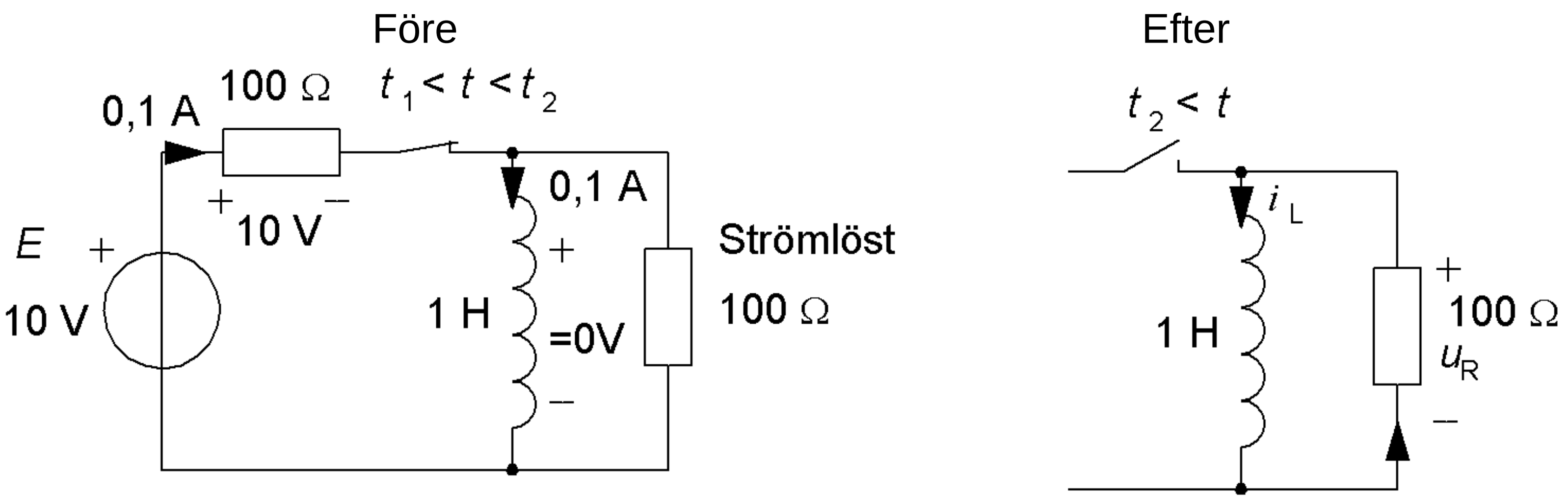


# Spolens inkoppling och **urkoppling** (10.8)



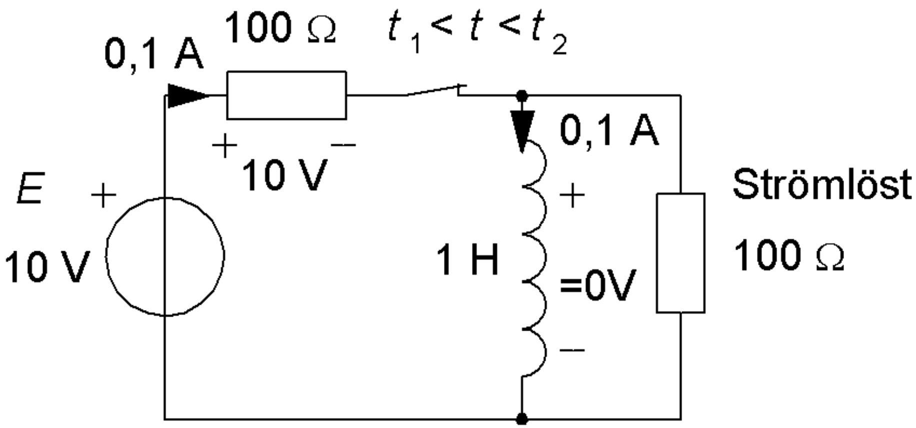
# Spolens inkoppling och **urkoppling** (10.8)



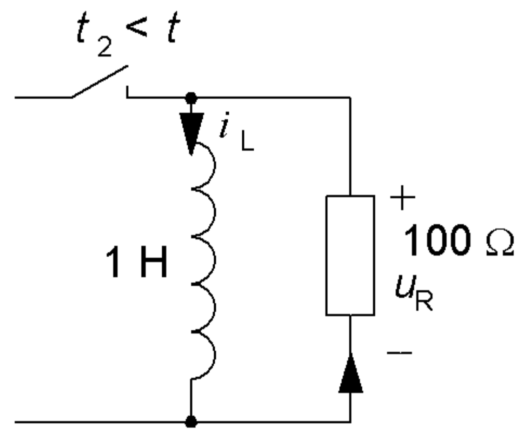

Efter $t_2$ börjar strömmen från ”samma” värde 0,1 A ( $i_0$ ) som före och klingar därefter av till 0 ( $i_\infty$ ). Tidkonstanten $\tau = L/R = 1/100 = 0{,}01$ s.

# Spolens inkoppling och **urkoppling** (10.8)

Före




Efter



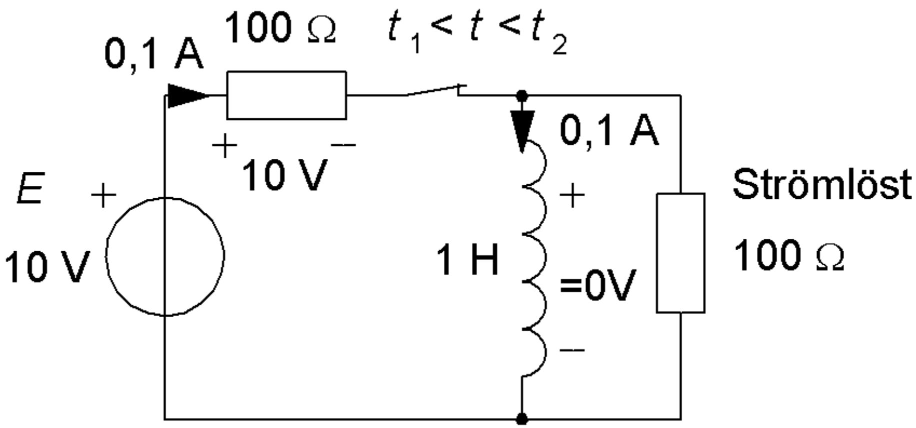

Efter $t_2$ börjar strömmen från ”samma” värde 0,1 A ( $i_0$ ) som före och klingar därefter av till 0 ( $i_\infty$ ). Tidkonstanten $\tau = L/R = 1/100 = 0{,}01$ s.

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

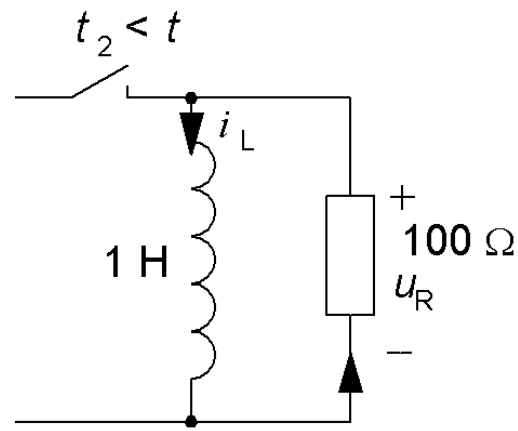
$$i_\mathrm{L}(t) = \overset{i_{L\infty}\downarrow}{0} - (\overset{i_{L\infty}\downarrow}{0} - \overset{i_{L0}\downarrow}{0{,}1}) \cdot e^{-\frac{t}{0{,}01}} \quad \Leftrightarrow \quad i_\mathrm{L}(t) = 0{,}1 \cdot e^{-\frac{t}{0{,}01}} = 0{,}1 \cdot e^{-100 \cdot t}$$

# Spolens inkoppling och **urkoppling** (10.8)

Före



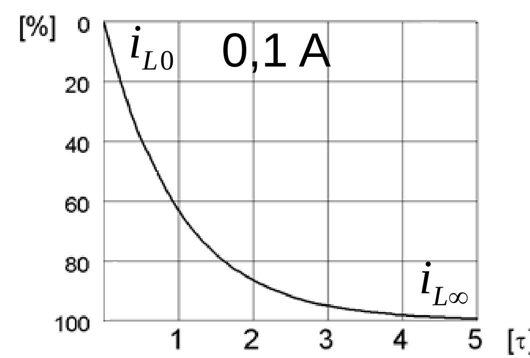

Efter




Efter $t_2$ börjar strömmen från ”samma” värde 0,1 A ( $i_0$ ) som före och klingar därefter av till 0 ( $i_\infty$ ). Tidkonstanten $\tau = L/R = 1/100 = 0{,}01$ s.

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

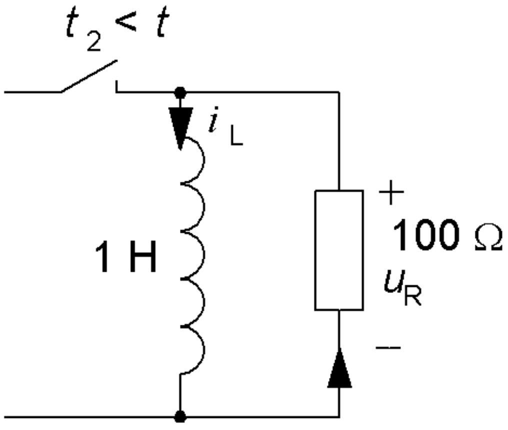
$$i_\mathrm{L}(t) = 0 - (0 - 0{,}1)\cdot e^{-\frac{t}{0{,}01}} \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{i_\mathrm{L}(t)} = 0{,}1\cdot e^{-\frac{t}{0{,}01}} = \boxed{0{,}1\cdot e^{-100\cdot t}}$$




William Sandqvist william@kth.se

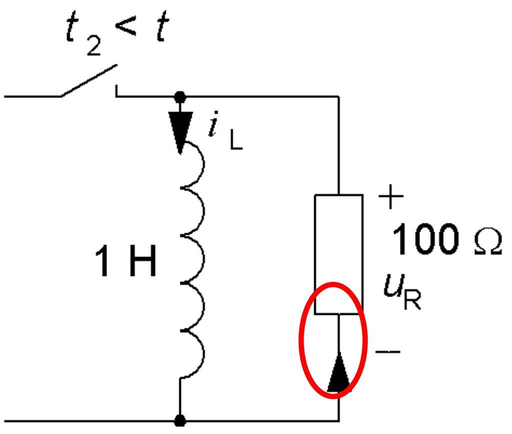
# Spolens inkoppling och **urkoppling** (10.8)

När spänningskällan 10 V är bortkopplad drivs strömmen *helt* av induktansen. Spänningen över 100 Ω resistorn $U_R$ blir i första ögon-blicket -100·0,1 = -10 V. Minustecken för att strömmen går in i *nedre delen* av resistorn.



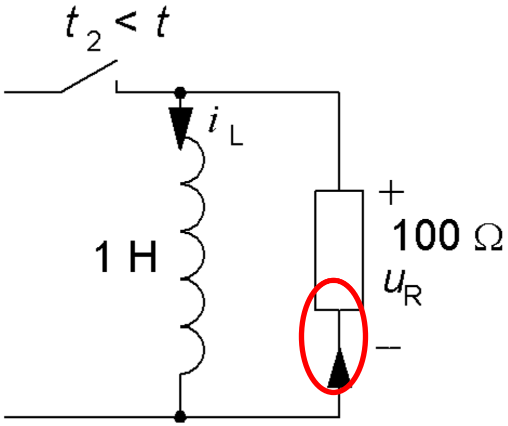
# Spolens inkoppling och **urkoppling** (10.8)

När spänningskällan 10 V är bortkopplad drivs strömmen *helt* av induktansen. Spänningen över 100 Ω resistorn $U_R$ blir i första ögonblicket -100·0,1 = -10 V. Minustecken för att strömmen går in i *nedre delen* av resistorn.



# Spolens inkoppling och **urkoppling** (10.8)

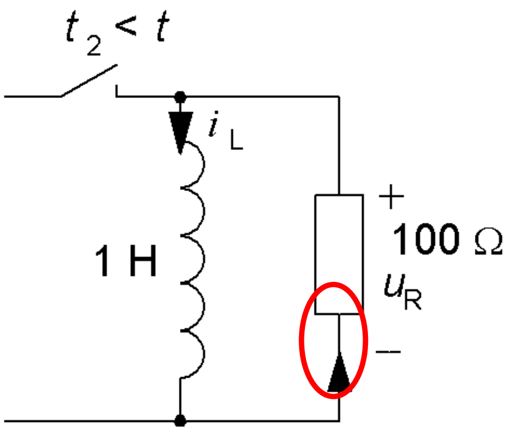
När spänningskällan 10 V är bortkopplad drivs strömmen *helt* av induktansen. Spänningen över 100 Ω resistorn $U_R$ blir i första ögonblicket -100·0,1 = -10 V. Minustecken för att strömmen går in i *nedre delen* av resistorn.




- Antag att resistorn i stället hade varit 1000 Ω. Då hade $u_R$ i första ögonblicket blivit -100 V !

# Spolens inkoppling och **urkoppling** (10.8)

När spänningskällan 10 V är bortkopplad drivs strömmen *helt* av induktansen. Spänningen över 100 Ω resistorn $U_R$ blir i första ögonblicket -100·0,1 = -10 V. Minustecken för att strömmen går in i *nedre delen* av resistorn.

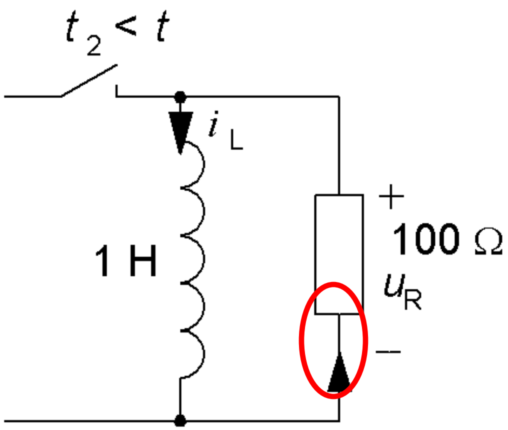



- Antag att resistorn i stället hade varit 1000 Ω. Då hade $u_R$ i första ögonblicket blivit -100 V !

- Antag att resistorn varit 10000 Ω då hade spänningen blivit -1000V !

# Spolens inkoppling och **urkoppling** (10.8)

När spänningskällan 10 V är bortkopplad drivs strömmen *helt* av induktansen. Spänningen över 100 Ω resistorn $U_R$ blir i första ögonblicket -100·0,1 = -10 V. Minustecken för att strömmen går in i *nedre delen* av resistorn.

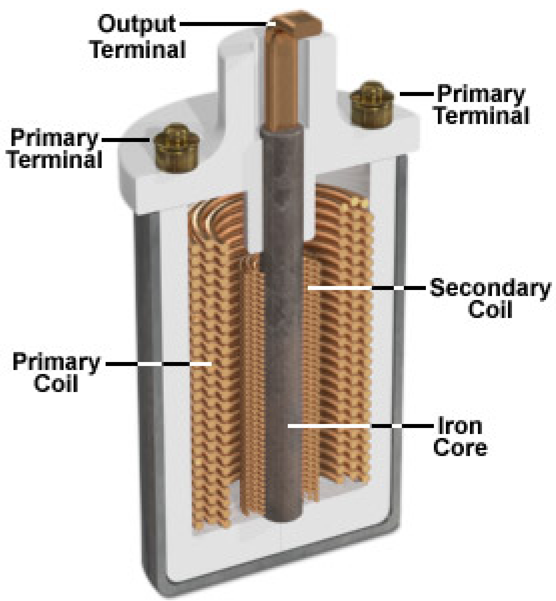


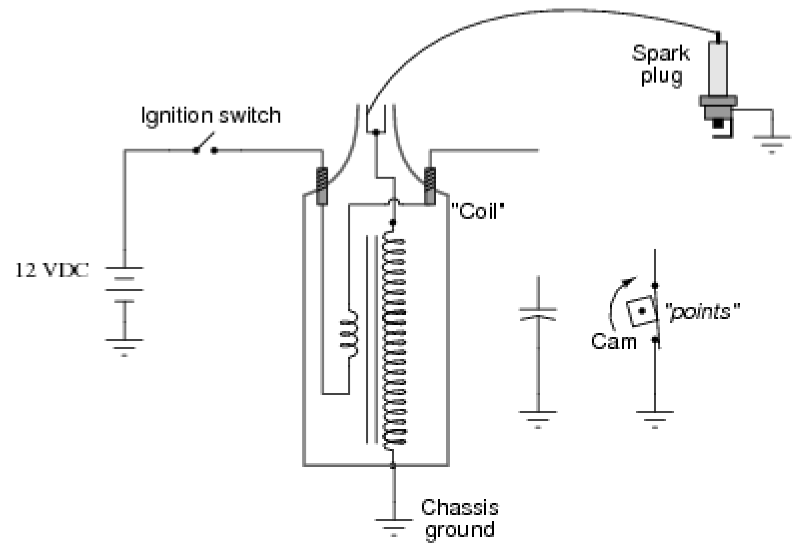

• Antag att resistorn i stället hade varit 1000 Ω. Då hade $u_R$ i första ögonblicket blivit -100 V !

• Antag att resistorn varit 10000 Ω då hade spänningen blivit -1000V !

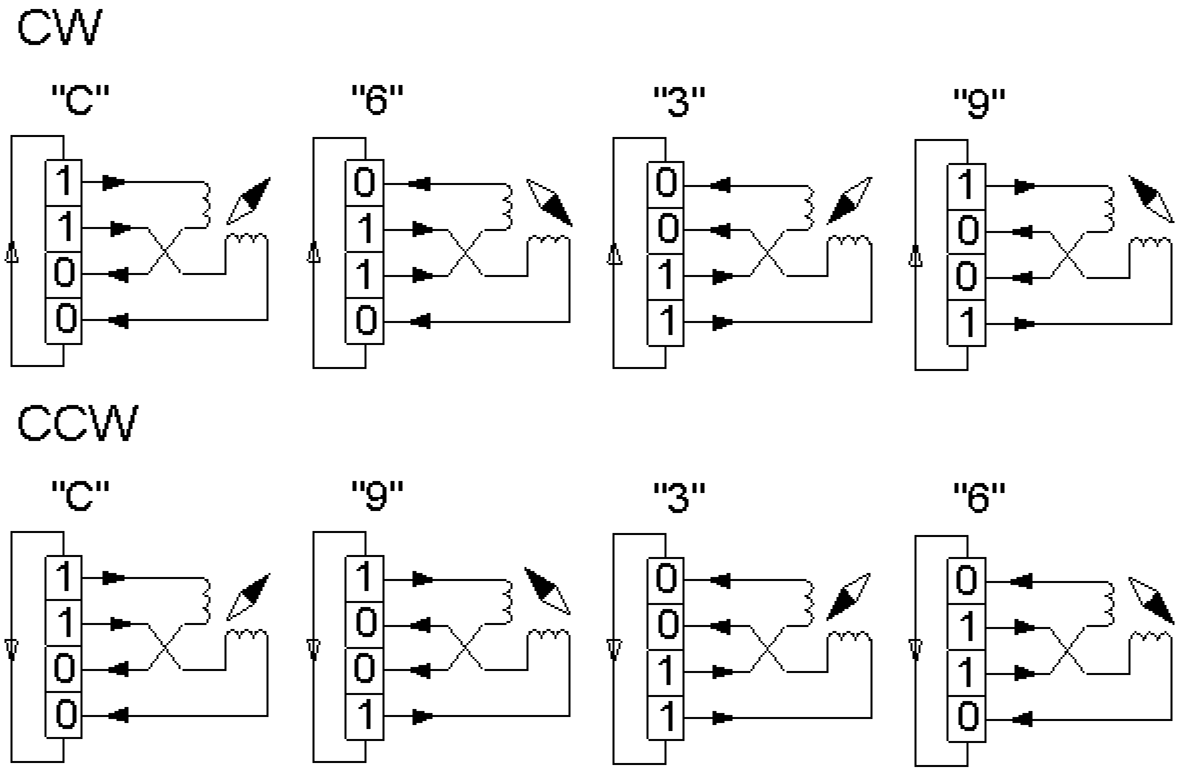
• När strömkretsen bryts försöker spolen *fortsätta strömmen*, tills all magnetisk energi har förbrukats. Om man utelämnar resistorn ur kretsen, dvs. $R = \infty$ blir spänningen kortvarigt *mycket hög*.

# Ex. Att bryta strömmen till en spole ger en hög spänning

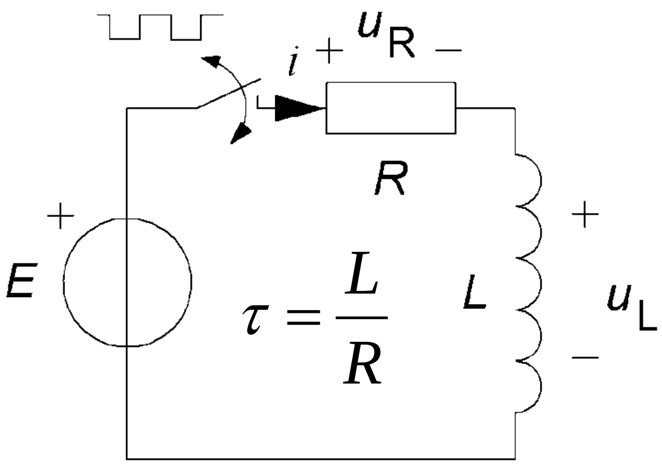


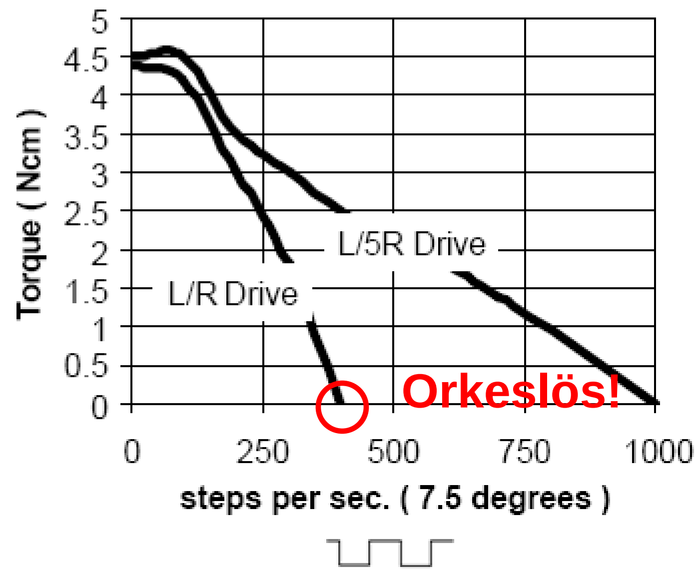



# ( Stegmotorn den digitala motorn )




# Hur snabbt kan man köra?



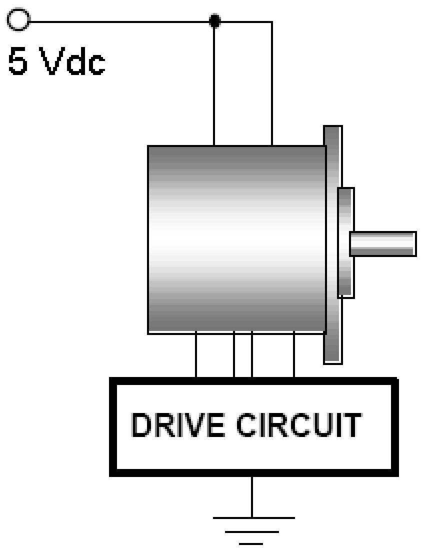



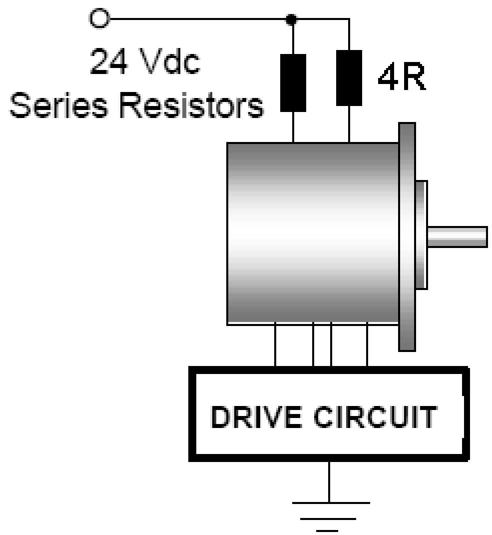

- Motorn tar ett steg per puls.

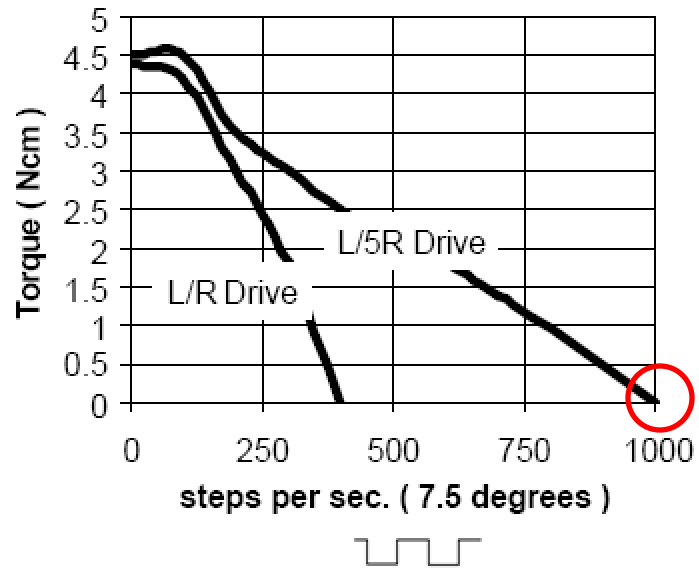
Ju snabbare man kör desto kortare blir pulserna. På grund av **tidkonstanten** $\tau$ hinner inte strömmen nå maxvärdet i lindningen och motorn blir då svag.

*Men det finns ett knep …*

# L/5R går snabbare – vem kunde gissat det?



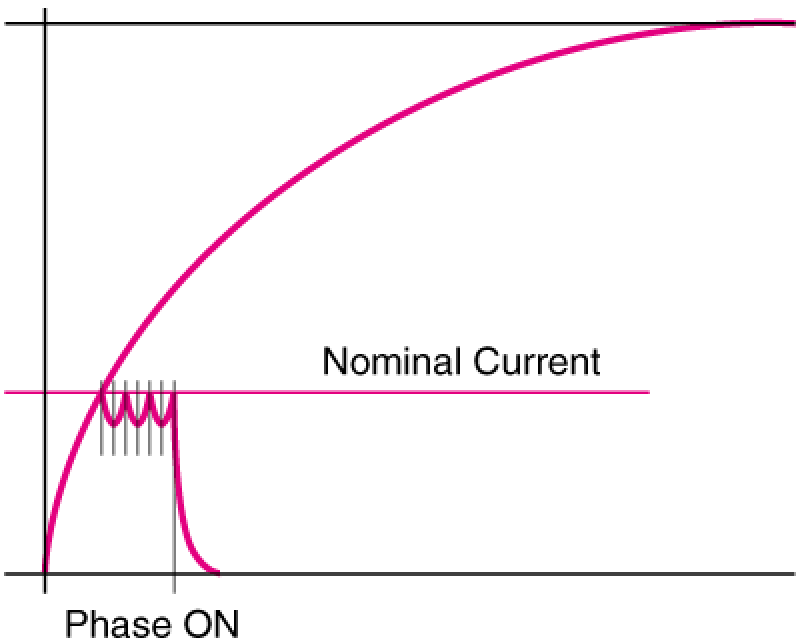

$$\tau = \frac{L}{R + 4 \cdot R} = \frac{L}{5 \cdot R}$$

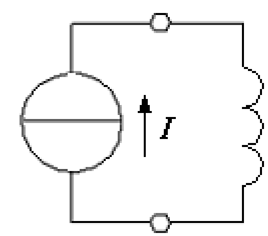
Man inför serieresistorer. Samtidigt *höjer* man spänningen för att kunna bibehålla strömmen. Nu kan motorn orka att köra mycket snabbare!

# Snabbast?

Om stegmotorn drivs från en **strömgenerator** så har denna mycket *hög* inre resistans ( $R_{\mathrm{I}} = \infty$ ). Tidkonstanten blir då nära 0 och stegmotorn förblir stark vid höga pulsfrekvenser.

Drivkretsar för konstant ström kallas för ”chopper”.
( En nackdel med en chopper är att den genererar mycket störningar ).




$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{L}{\infty} = 0$$