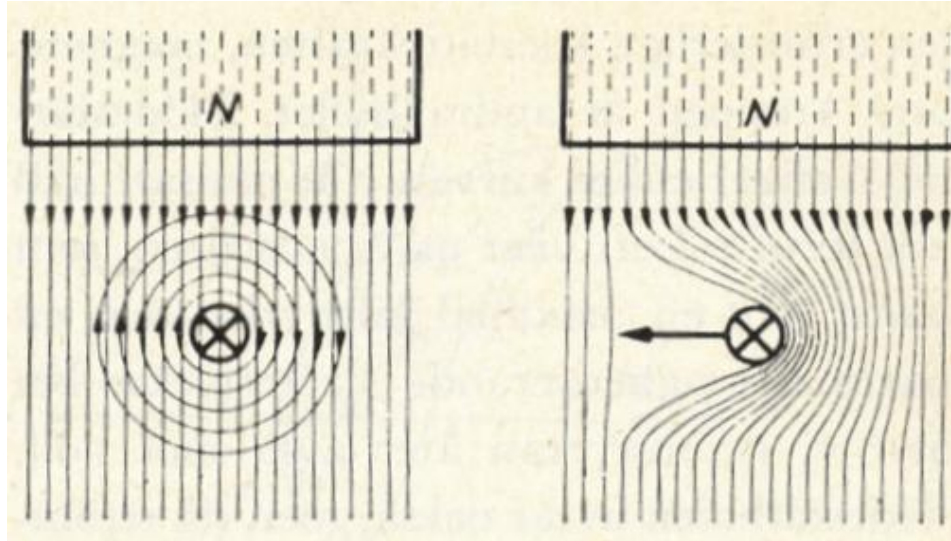


Motorprincipen

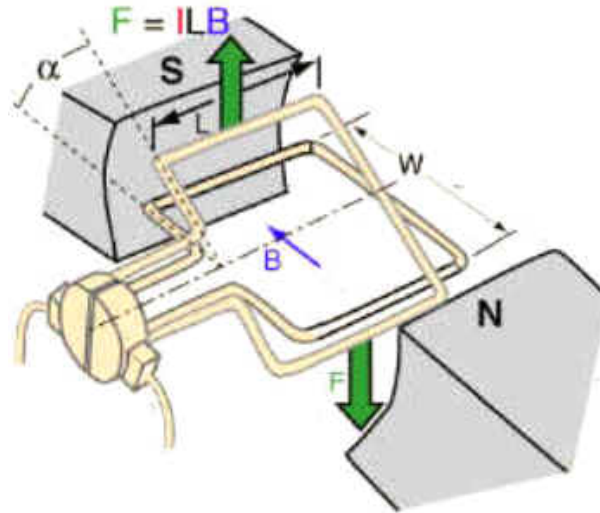


En strömförande ledare befinner sig i ett magnetfält B (längden l är den del av ledaren som befinner sig i fältet). De magnetiska kraftlinjerna får inte korsa varandra. Fältet förstärks därför på ena sidan om ledaren och försvagas på den andra. En kraft F vill *skjuta ut* ledaren ur fältet.

$$F = B \cdot I \cdot l$$

Kraftverkan i elektriska motorer bygger på denna princip.

DC-motorn

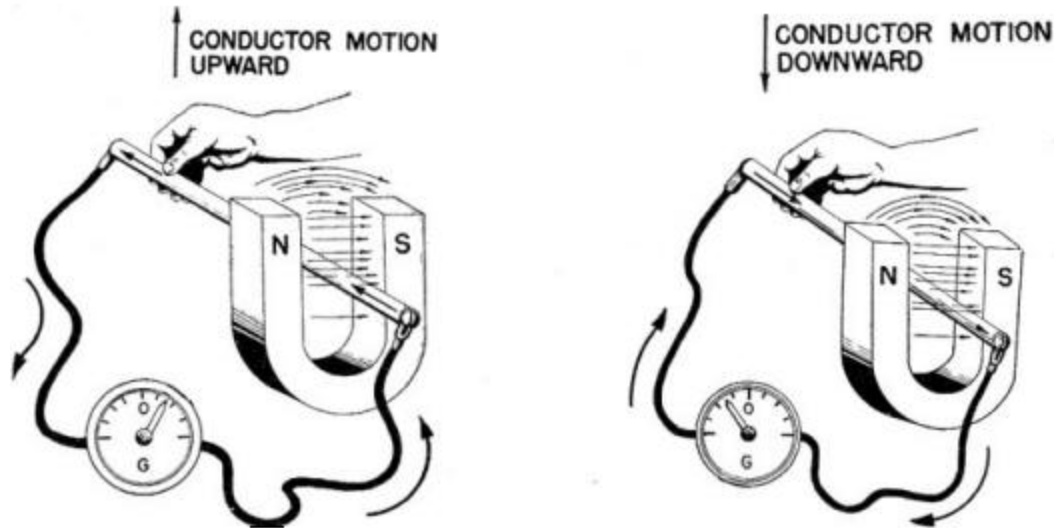


Den permanentmagnetiserade likströmsmotorn utnyttjar sambandet

$$F = B \cdot I \cdot l$$

När slingan vridit sig ett halvt varv skulle kraftverkan upphöra om inte en omkopplingsanordning växlade om strömriktningen.

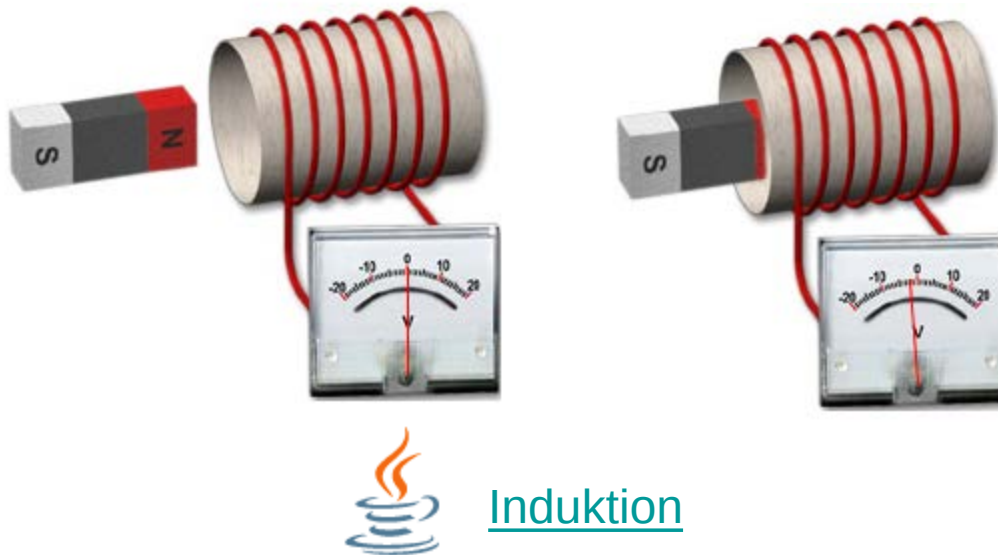
Generatorprincipen



Bilder från: Electricity - Basic Navy Training Courses
U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE 1945

Omvänt så induceras en spänning/ström i en ledare som rör sig i ett magnetfält.

Induktionslagen storlek (Faraday)

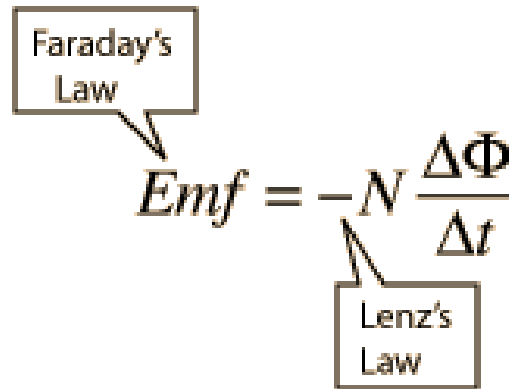


$$e = N \frac{d\Phi}{dt}$$

Den inducerade emkens storlek är proportionell mot flödets förändringshastighet. Faradays induktionslag. Gäller det en spole i stället för en ensam ledare blir emken även proportionell mot antalet lindningsvarv N .

Lenz lag

(Riktningen = motverkande)



Faraday's Law

$$\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Lenz's Law

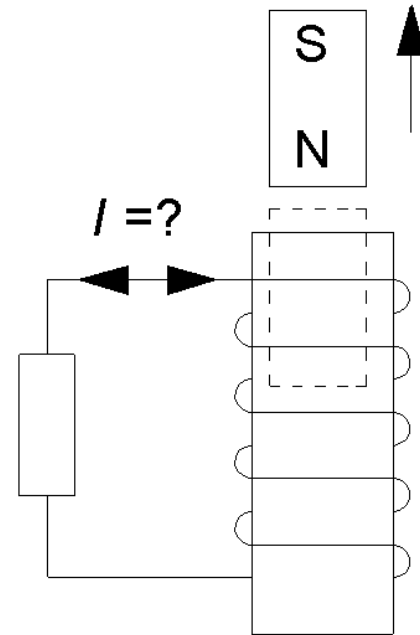
The diagram illustrates the relationship between Faraday's Law and Lenz's Law. A box labeled 'Faraday's Law' has an arrow pointing to the negative sign in the equation $\mathcal{E} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$. Another box labeled 'Lenz's Law' has an arrow pointing to the same negative sign, indicating that the negative sign represents the direction of the induced EMF as described by Lenz's Law.

Lenz lag säger att den inducerade spänningen får en sådan riktning att den ström den skulle driva, *motverkar* rörelsen.

(Vore det tvärtom så skulle det vara enkelt att bygga evighetsmaskiner!)

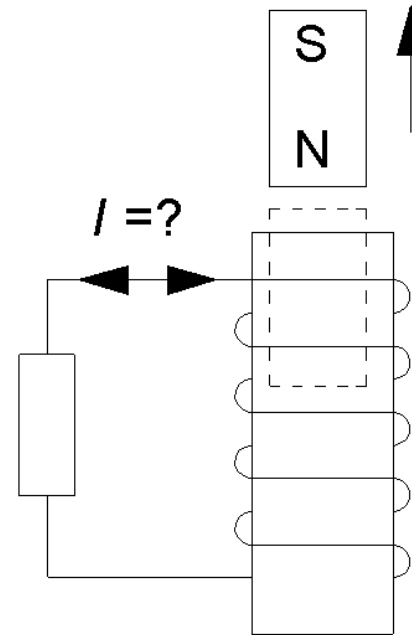
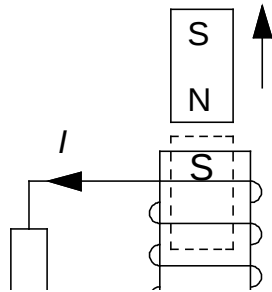
Exempel. Lenz lag

Vi drar ut magneten (som en kork ur en flaska) ur spolen. Vilken riktning får strömmen?



Exempel. Lenz lag

Vi drar ut magneten (som en kork ur en flaska) ur spolen. Vilken riktning får strömmen?



Strömmen ska motverka rörelsen. Så blir det om magneten lämnar spolen vid "sydsidan" (= attraktion mellan spole och magnet). Högerhandsregeln ger då strömriktningen ut från lindningen.

Faradays experiment (10.9)

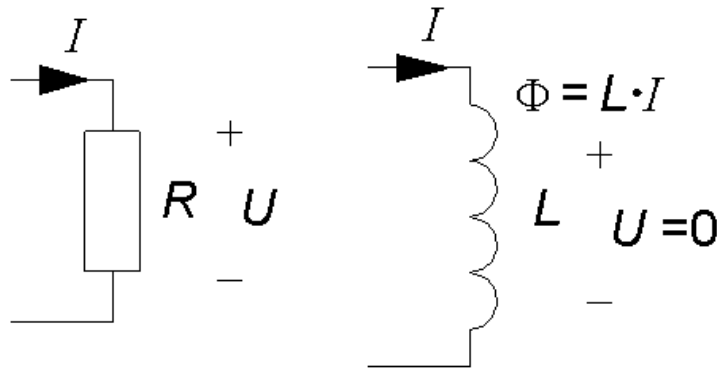
- Vad händer när man *sluter* strömställaren?



[Faradays experiment](#)

- Vad händer när man *bryter* strömställaren?

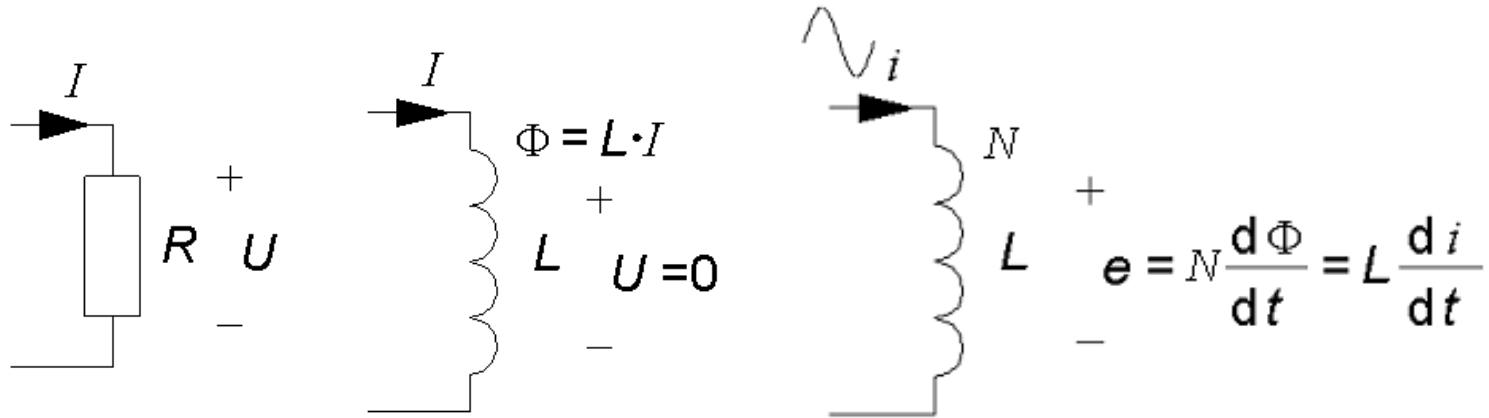
Självinduktion



- En **konstant ström** I genom en spole ger upphov till ett magnetiskt flöde Φ . Flödets storlek är proportionellt mot strömmen I , men beror på även på spolens *geometriska utformning*. $\Phi = L \cdot I$

Proportionalitetskonstanten L är spolens induktans med sorten Henry [H].
Det blir *inget* spänningsfall över spolen. $U = 0$.

Självinduktion

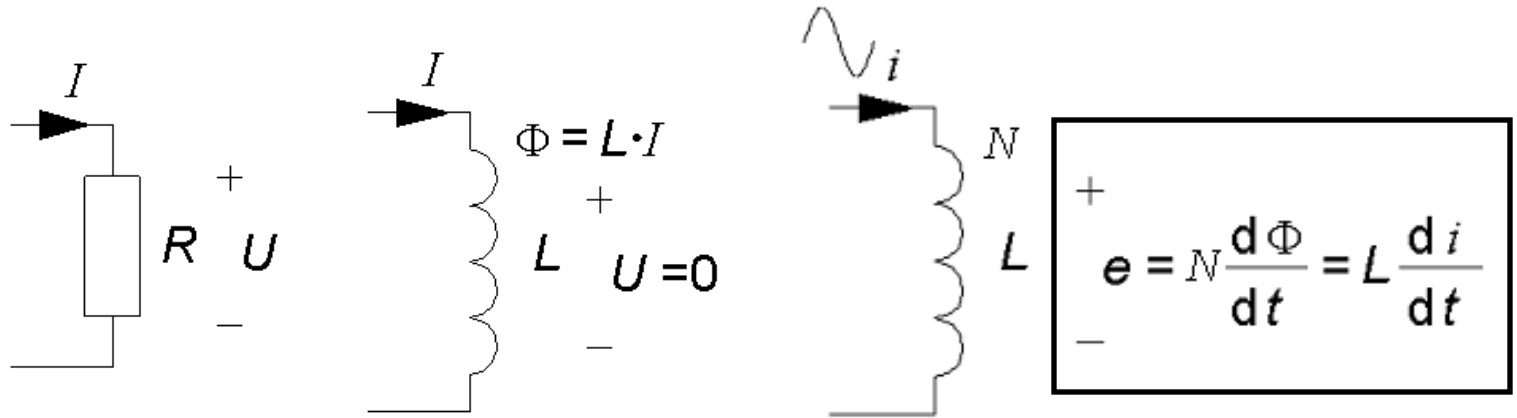


- En **konstant ström** I genom en spole ger upphov till ett magnetiskt flöde Φ . Flödets storlek är proportionellt mot strömmen I , men beror på även på spolens *geometriska utformning*. $\Phi = L \cdot I$

Proportionalitetskonstanten L är spolens induktans med sorten Henry [H]. Det blir *inget* spänningsfall över spolen. $U = 0$.

- En **föränderlig ström** i ger upphov till ett föränderligt flöde, och då induceras en motverkande spänning över spolen. Detta är självinduktion. Spolen får då ett *strömberoende spänningsfall* som för en "resistor". e .

Självinduktion



- En **konstant ström** I genom en spole ger upphov till ett magnetiskt flöde Φ . Flödets storlek är proportionellt mot strömmen I , men beror på även på spolens *geometriska utformning*. $\Phi = L \cdot I$

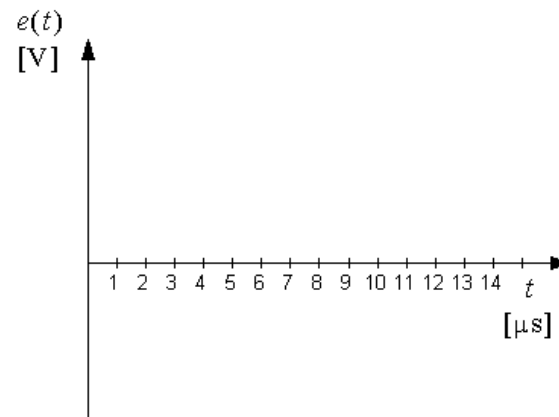
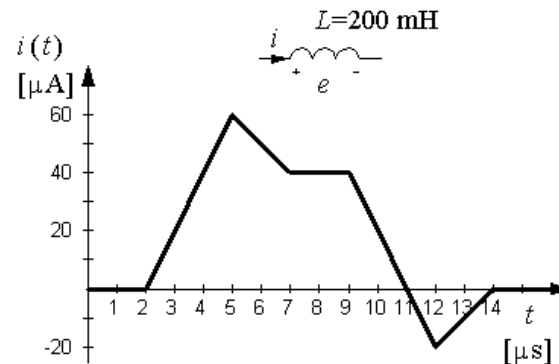
Proportionalitetskonstanten L är spolens induktans med sorten Henry [H]. Det blir *inget* spänningsfall över spolen. $U = 0$.

- En **föränderlig ström** i ger upphov till ett föränderligt flöde, och då induceras en motverkande spänning över spolen. Detta är självinduktion. Spolen får då ett *strömberoende spänningsfall* som för en "resistor". e .

Ström till en avlänkningsspole

Givet är strömmens kurvform $i(t)$ till en avlänkningspole – hur måste spänningen $e(t)$ över spolen se ut?

$$e = L \cdot \frac{di}{dt} \approx L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

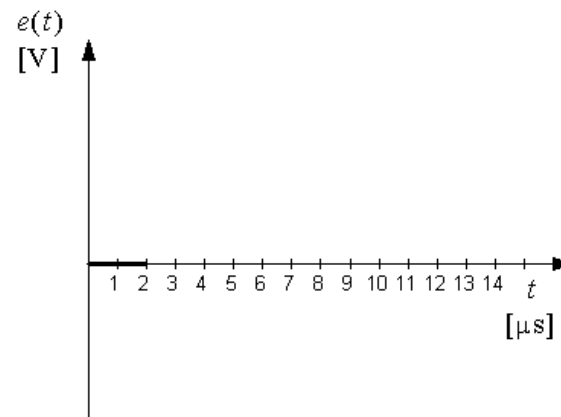
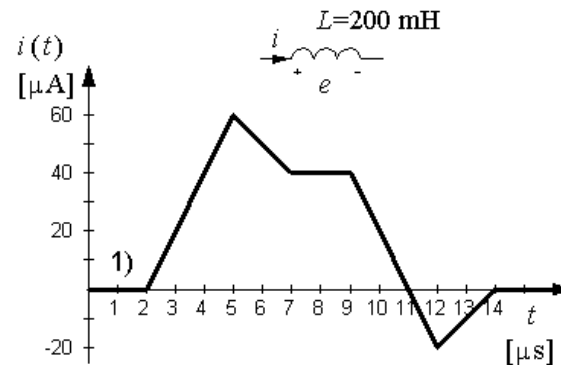


Ström till en avlänkningsspole

Givet är strömmens kurvform $i(t)$ till en avlänknings-spole – hur måste spänningen $e(t)$ över spolen se ut?

$$e = L \cdot \frac{di}{dt} \approx L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

1) $\Delta i = 0, e = 0$

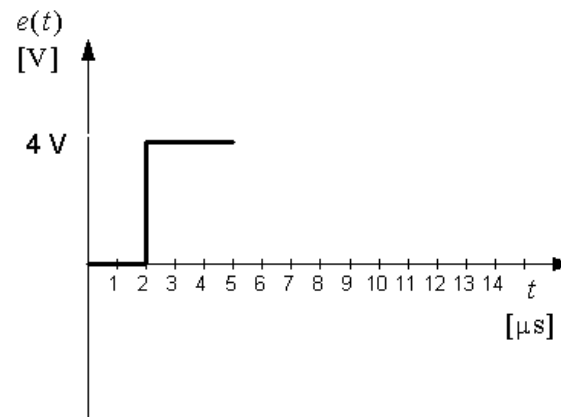
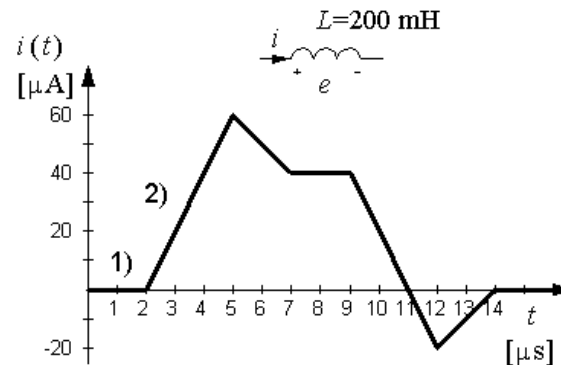


Ström till en avlänkningsspole

Givet är strömmens kurvform $i(t)$ till en avlänknings-spole – hur måste spänningen $e(t)$ över spolen se ut?

$$e = L \cdot \frac{di}{dt} \approx L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$2) \quad e = \frac{60 - 0}{5 - 2} \cdot 0,2 = 4 \text{ V}$$

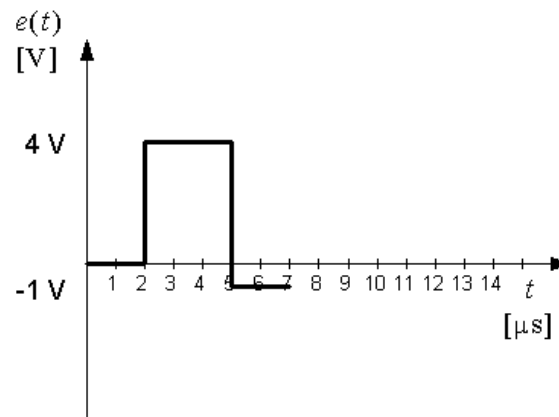
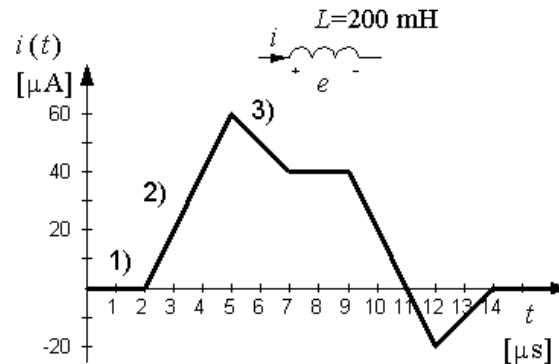


Ström till en avlänkningsspole

Givet är strömmens kurvform $i(t)$ till en avlänknings-spole – hur måste spänningen $e(t)$ över spolen se ut?

$$e = L \cdot \frac{di}{dt} \approx L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$3) \quad e = \frac{40 - 60}{7 - 5} \cdot 0,2 = -1 \text{ V}$$

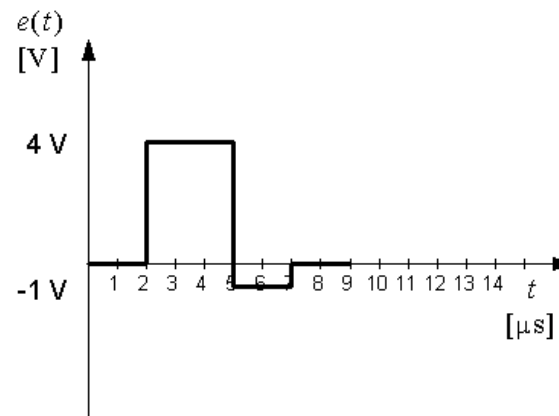
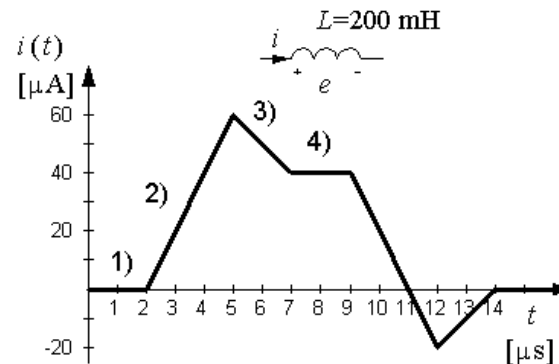


Ström till en avlänkningsspole

Givet är strömmens kurvform $i(t)$ till en avlänknings-spole – hur måste spänningen $e(t)$ över spolen se ut?

$$e = L \cdot \frac{di}{dt} \approx L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$4) \Delta i = 0, e = 0$$

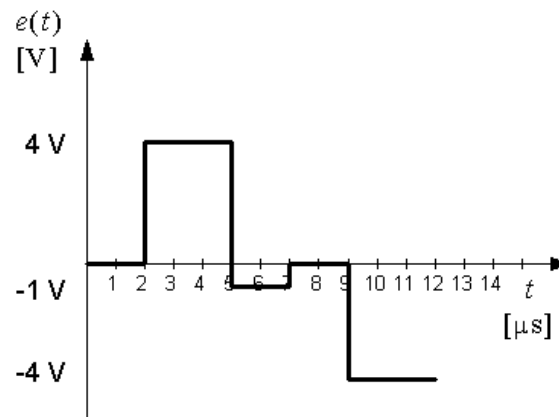
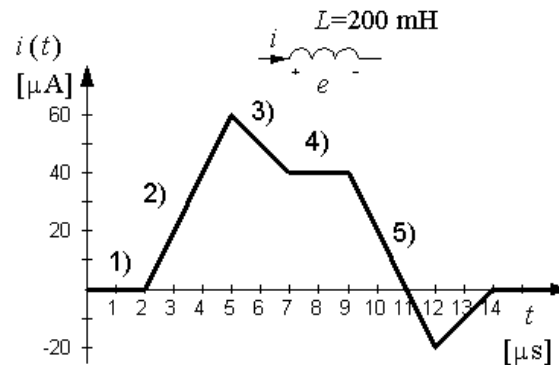


Ström till en avlänkningsspole

Givet är strömmens kurvform $i(t)$ till en avlänknings-spole – hur måste spänningen $e(t)$ över spolen se ut?

$$e = L \cdot \frac{di}{dt} \approx L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$5) \quad e = \frac{40 - (-20)}{12 - 9} \cdot 0,2 = -4 \text{ V}$$

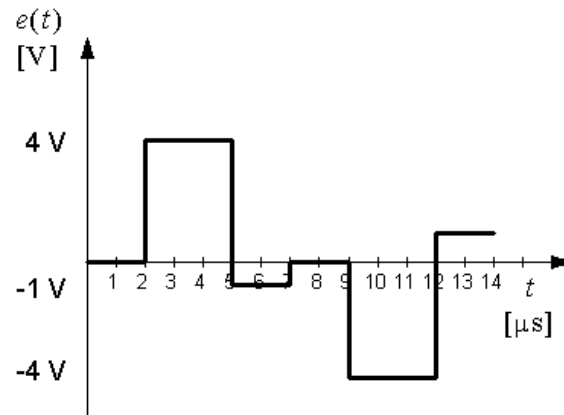
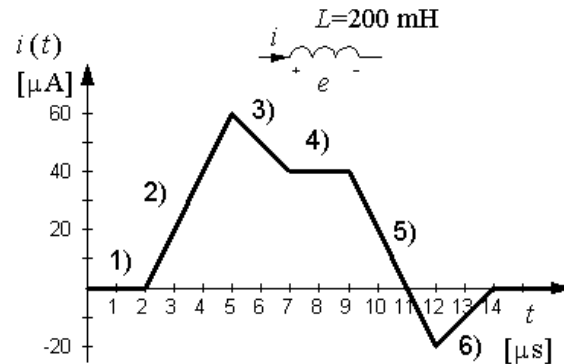


Ström till en avlänkningsspole

Givet är strömmens kurvform $i(t)$ till en avlänknings-spole – hur måste spänningen $e(t)$ över spolen se ut?

$$e = L \cdot \frac{di}{dt} \approx L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$6) \quad e = \frac{0 - (-20)}{14 - 12} \cdot 0,2 = 1 \text{ V}$$

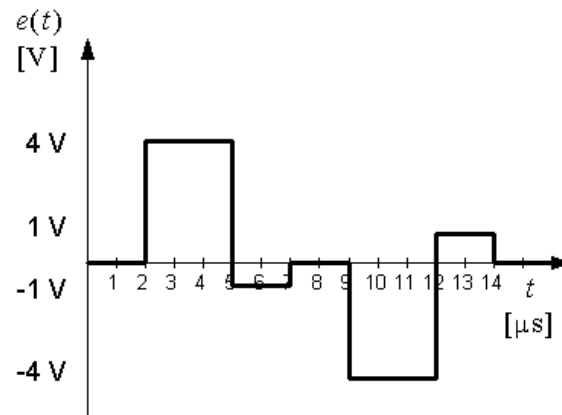
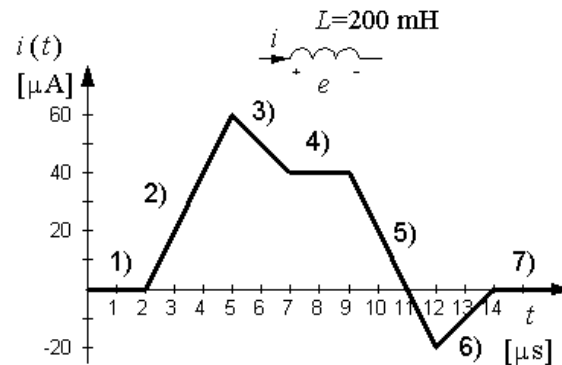


Ström till en avlänkningsspole

Givet är strömmens kurvform $i(t)$ till en avlänknings-spole – hur måste spänningen $e(t)$ över spolen se ut?

$$e = L \cdot \frac{di}{dt} \approx L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$7) \Delta i = 0, e = 0$$



Ström till en avlänkningsspole

$$e = L \cdot \frac{di}{dt} \approx L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

1) $\Delta i = 0, e = 0$

2) $e = \frac{60 - 0}{5 - 2} \cdot 0,2 = 4 \text{ V}$

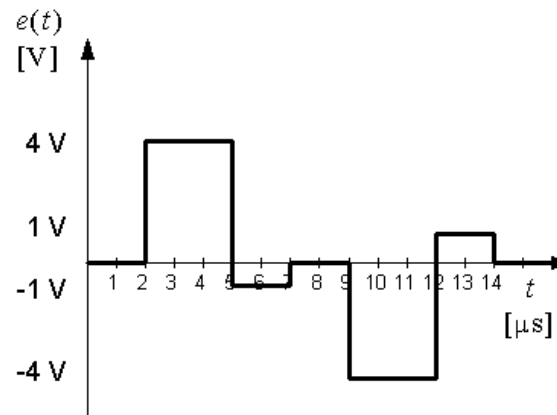
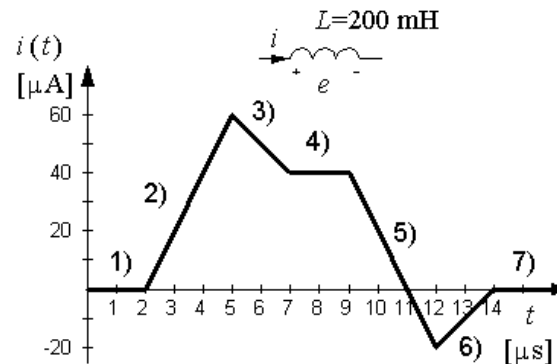
3) $e = \frac{40 - 60}{7 - 5} \cdot 0,2 = -1 \text{ V}$

4) $\Delta i = 0, e = 0$

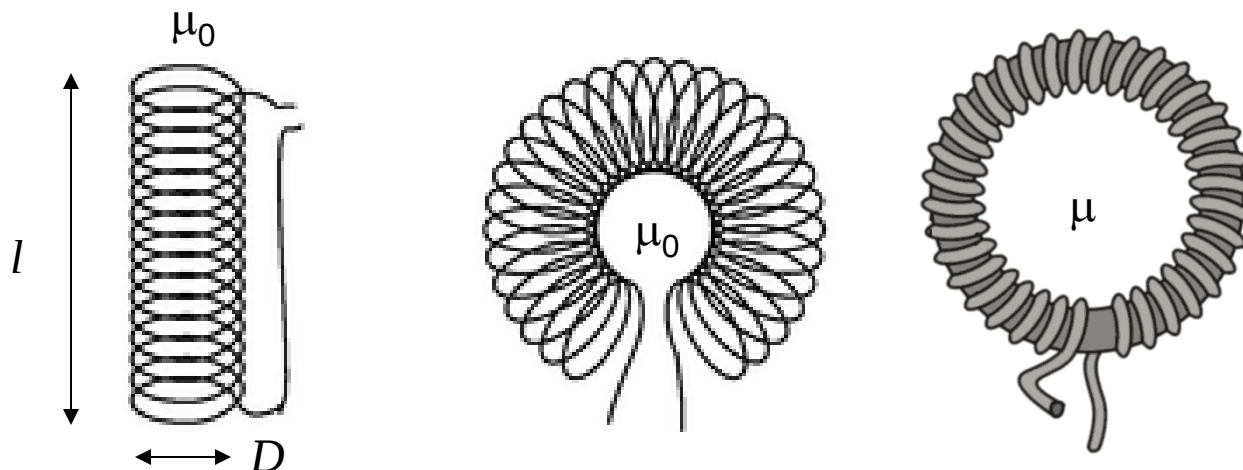
5) $e = \frac{40 - (-20)}{12 - 9} \cdot 0,2 = -4 \text{ V}$

6) $e = \frac{0 - (-20)}{14 - 12} \cdot 0,2 = 1 \text{ V}$

7) $\Delta i = 0, e = 0$



Induktansberäkning



För spolar med i huvudsak konstant flödestäthet över hela tvärsnittsarean, finns en enkel formel för beräkning av induktansen. Detta gäller toroidspole och sk. "långsmal" spole ($l/D \gg 10$).

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l} = k_m \cdot \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot A}{l}$$

Varför tror Du att faktorn N^2 alltid finns med i alla induktansberäkningsformler?

$$L \propto N^2$$

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l} = k_m \cdot \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot A}{l}$$

Antag att en spole är lindad med $N = 100$ varv och Då har induktansen 1 H. Hur många varv skall lindas av om man vill ändra spolen så att induktansen blir $\frac{1}{2}$ H?

$$L \propto N^2$$

$$L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l} = k_m \cdot \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot A}{l}$$

Antag att en spole är lindad med $N = 100$ varv och Då har induktansen 1 H. Hur många varv skall lindas av om man vill ändra spolen så att induktansen blir $\frac{1}{2}$ H?

- $L = 1 = 100^2 \cdot K \Rightarrow K = 10^{-4}$
- $0,5 = N^2 \cdot 10^{-4} \Rightarrow N = \sqrt{5000} = 71$

Linda av 29 varv så halveras induktansen! ($100-29=71$)

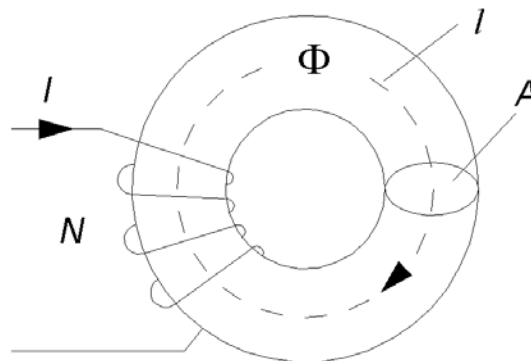
Induktansberäkning (10.15)

Gjutjärn

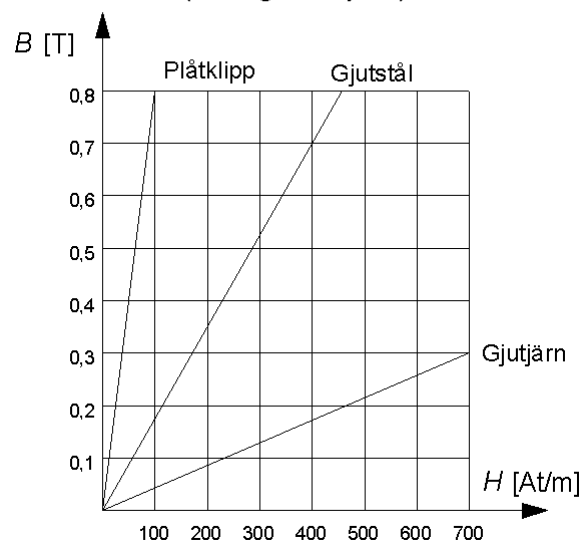
$$N = 500$$

$$A = 8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$l = 0,1 \text{ m}$$



Magnetiseringskurvor för omättat järn
(vid låg fältstyrka)



b) Hur stor induktans L har toroidspolen?

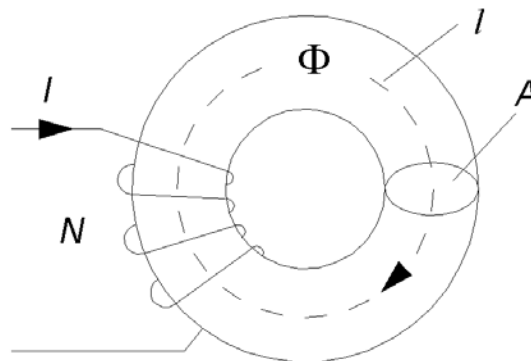
Induktansberäkning (10.15)

Gjutjärn

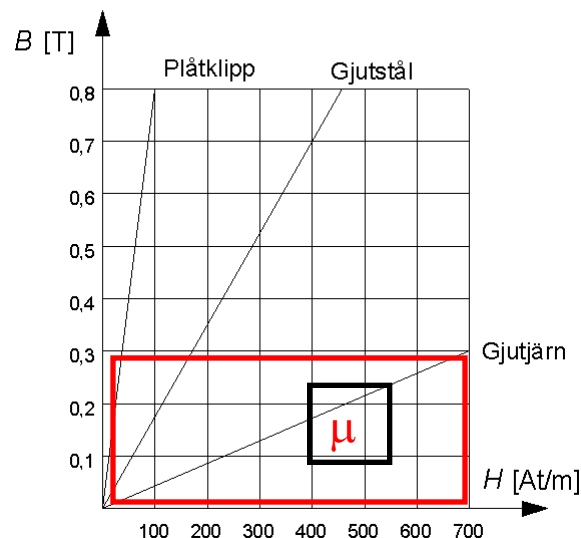
$$N = 500$$

$$A = 8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$l = 0,1 \text{ m}$$



Magnetiseringskurvor för omättat järn
(vid låg fältstyrka)



b) Hur stor induktans L har toroidspolen?

$$B = \mu \cdot H \quad \mu = \frac{\Delta B}{\Delta H} = \frac{0,3}{700} = 4,29 \cdot 10^{-4}$$

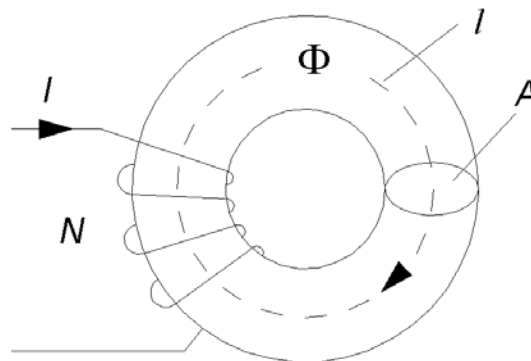
Induktansberäkning (10.15)

Gjutjärn

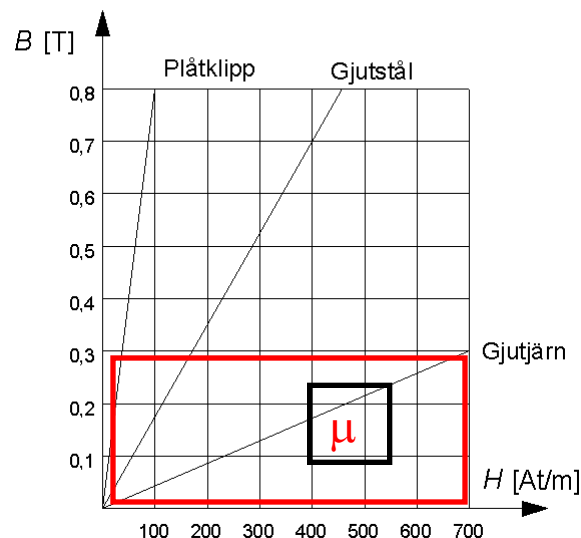
$$N = 500$$

$$A = 8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$l = 0,1 \text{ m}$$



Magnetiseringskurvor för omättat järn
(vid låg fältstyrka)



b) Hur stor induktans L har toroidspolen?

$$B = \mu \cdot H \quad \mu = \frac{\Delta B}{\Delta H} = \frac{0,3}{700} = 4,29 \cdot 10^{-4}$$

$$L_{\text{järn}} = \frac{N^2 \cdot A \cdot \mu}{l} = \frac{500^2 \cdot 8 \cdot 10^{-5} \cdot 4,29 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 0,086 = 86 \text{ mH}$$

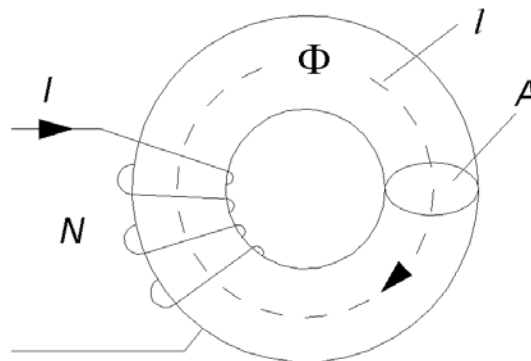
Induktansberäkning (10.15)

Gjutjärn

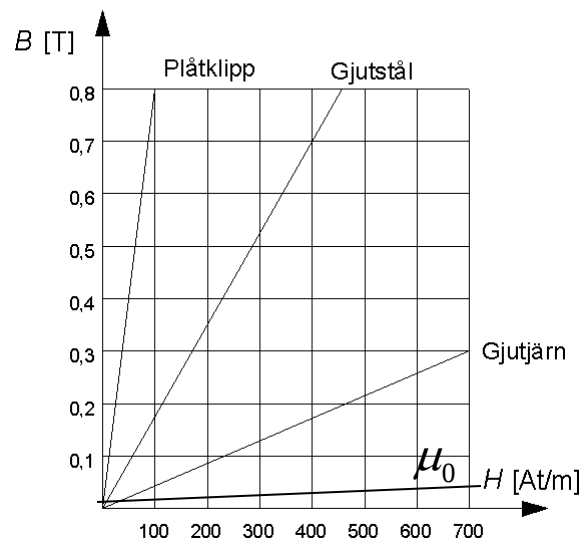
$$N = 500$$

$$A = 8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$l = 0,1 \text{ m}$$



Magnetiseringskurvor för omättat järn
(vid låg fältstyrka)



c) Hur stor induktans L_0 skulle toroidspolen ha om den saknade gjutjärns kärnan?

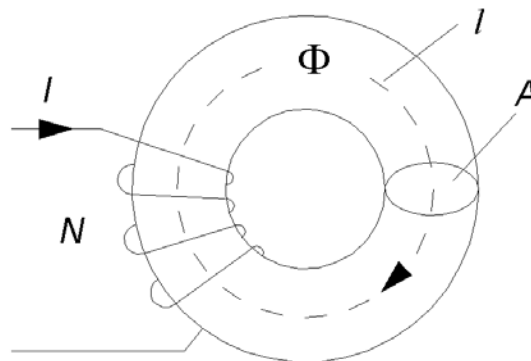
Induktansberäkning (10.15)

Gjutjärn

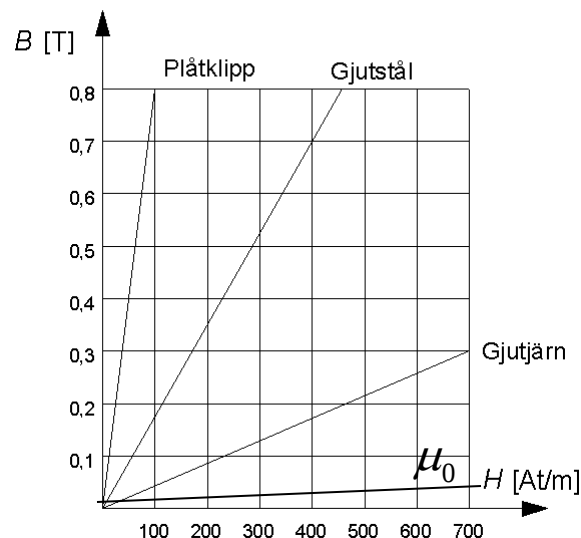
$N = 500$

$A = 8 \cdot 10^{-5}$
 m^2

$l = 0,1 \text{ m}$



Magnetiseringskurvor för omättat järn
(vid låg fältstyrka)



c) Hur stor induktans L_0 skulle toroidspolen ha om den saknade gjutjärnskärnan?

$$L_0 = \frac{N^2 \cdot A \cdot \mu_0}{l} = \frac{500^2 \cdot 8 \cdot 10^{-5} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{0,1} = 0,25 \text{ mH}$$

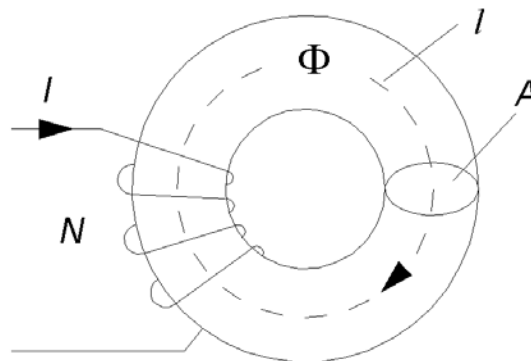
Induktansberäkning (10.15)

Gjutjärn

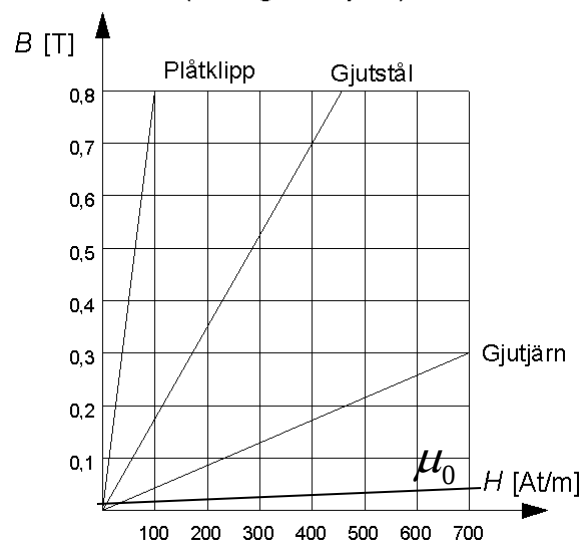
$$N = 500$$

$$A = 8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$l = 0,1 \text{ m}$$



Magnetiseringskurvor för omättat järn
(vid låg fältstyrka)



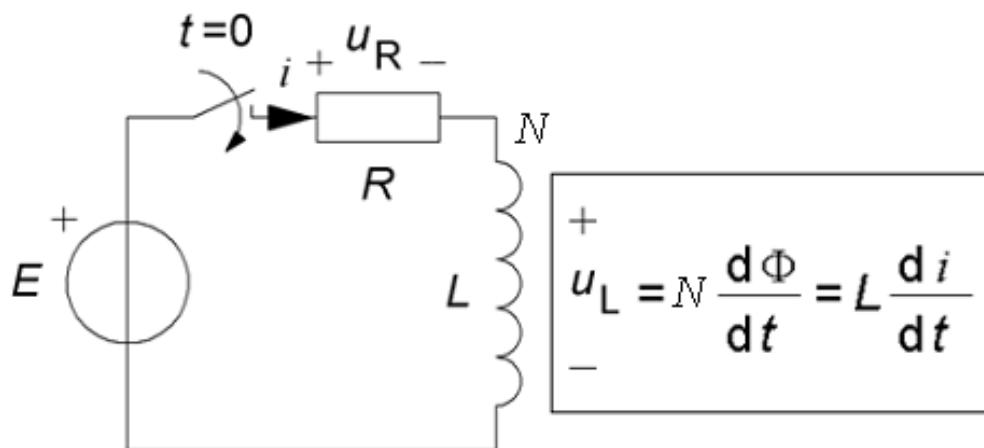
c) Hur stor induktans L_0 skulle toroidspolen ha om den saknade gjutjärnskärnan?

$$L_0 = \frac{N^2 \cdot A \cdot \mu_0}{l} = \frac{500^2 \cdot 8 \cdot 10^{-5} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{0,1} = 0,25 \text{ mH}$$

- Induktansen utan järnkärna blir bara en bråkdel av induktansen med kärnan.

Spolens transienter

Eftersom spolen **motverkar alla strömförändringar** kan man undra vad som händer när man *kopplar in*, eller *kopplar ur*, spolen till en krets?

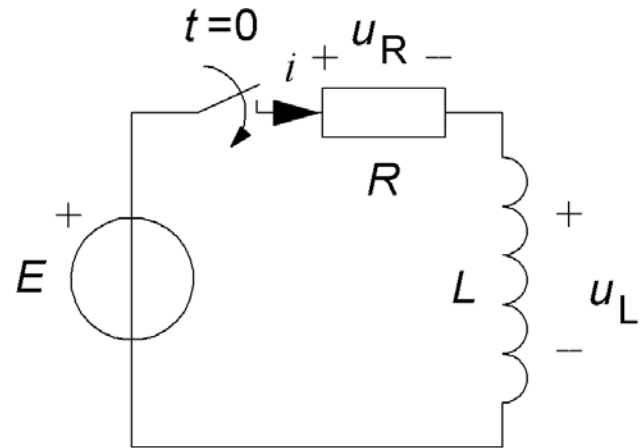


Spolens transienter

Vad händer när en spole kopplas in till ett batteri?

Vi antar att spolen förutom sin induktans L , även har en resistans R tex från den tråd spolen lindats av.

(Om R är spolens inre resistans så kan man *inte* komma åt att mäta u_R och u_L separat.)

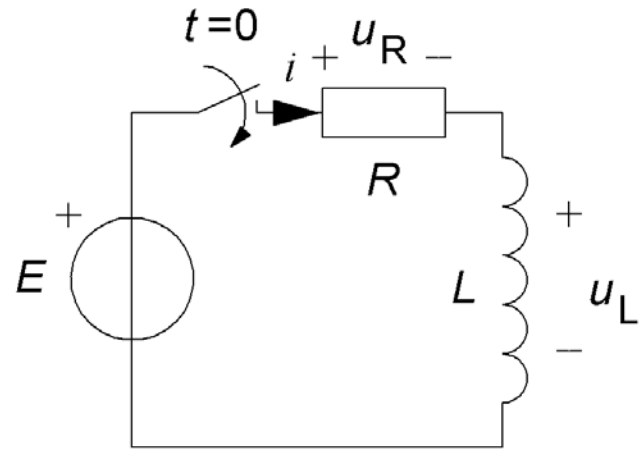


Spolens transienter

Vad händer när en spole kopplas in till ett batteri?

Vi antar att spolen förutom sin induktans L , även har en resistans R tex från den tråd spolen lindats av.

(Om R är spolens inre resistans så kan man *inte* komma åt att mäta u_R och u_L separat.)



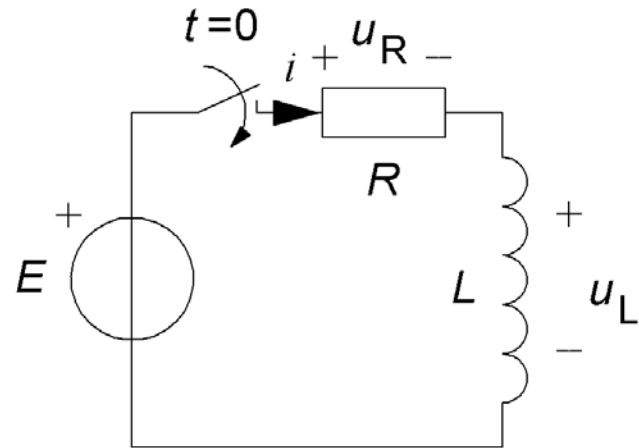
$$u_L = L \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow E = u_R + u_L \Rightarrow E = i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}$$

Spolens transienter

Vad händer när en spole kopplas in till ett batteri?

Vi antar att spolen förutom sin induktans L , även har en resistans R tex från den tråd spolen lindats av.

(Om R är spolens inre resistans så kan man *inte* komma åt att mäta u_R och u_L separat.)



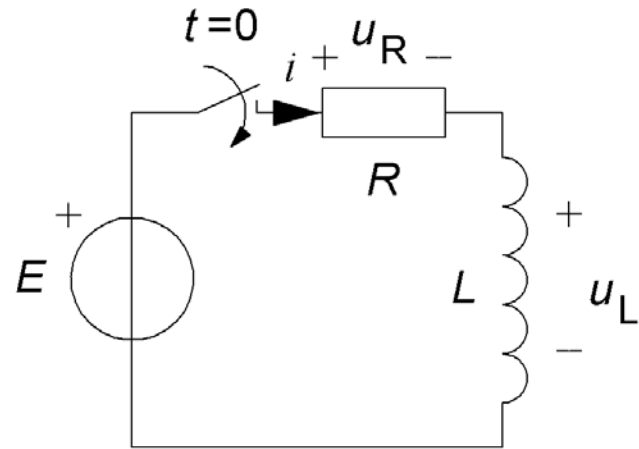
$$u_L = L \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow E = u_R + u_L \Rightarrow \boxed{E = i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}}$$

Spolens transienter

Vad händer när en spole kopplas in till ett batteri?

Vi antar att spolen förutom sin induktans L , även har en resistans R tex från den tråd spolen lindats av.

(Om R är spolens inre resistans så kan man *inte* komma åt att mäta u_R och u_L separat.)



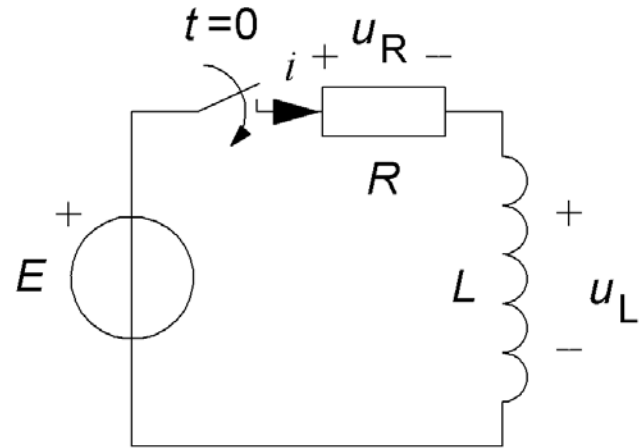
$$u_L = L \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow E = u_R + u_L \Rightarrow \boxed{E = i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}}$$

Lösningen till denna differentialekvation är en **exponentialfunktion**.

$$i(t) = \frac{E}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t \cdot R}{L}} \right)$$

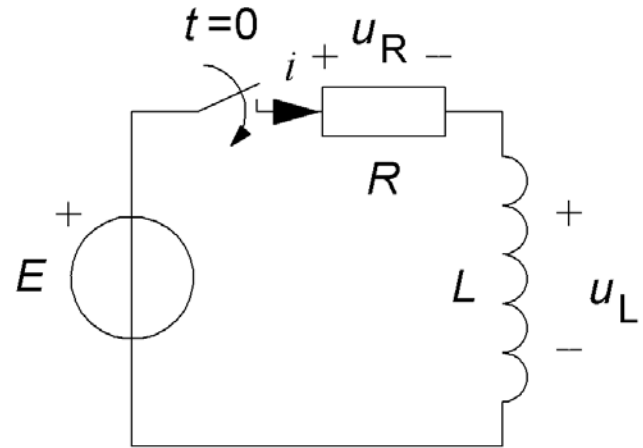
Spolens tidkonstant

$$i(t) = \frac{E}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t \cdot R}{L}} \right)$$



Spolens tidkonstant

$$i(t) = \frac{E}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{tR}{L}} \right)$$

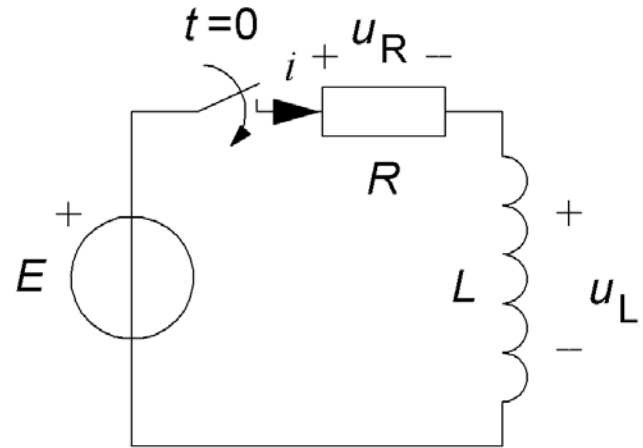


L/R kallas för tidkonstant och brukar betecknas med τ .

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

Spolens tidkonstant

$$i(t) = \frac{E}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{tR}{L}} \right)$$



L/R kallas för tidkonstant och brukar betecknas med τ .

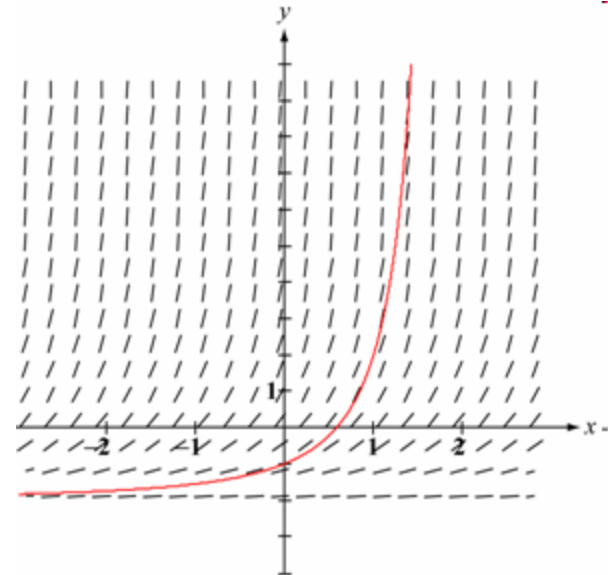
$$\tau = \frac{L}{R}$$

Differentialekvationer beskriver kurvskaror

Tidkonstanten anger kurvans
branthet.

Differentialekvationer beskriver
kurvskaror.

Vet vi att kurvan är en exponential-
funktion behöver vi också veta
startvärdet x_0 och slutvärdet x_∞ för
att kunna "välja" **rätt kurva**.



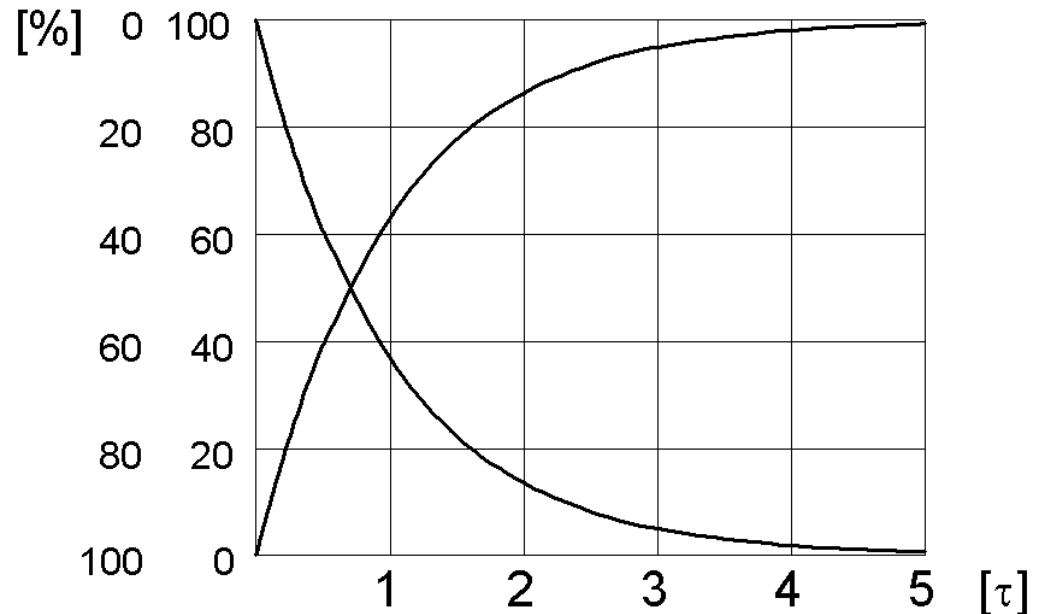
Snabbformel för exponentialfunktioner

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):

- x_0 = storhetens startvärde
- x_∞ = storhetens slutvärde
- τ = förloppets tidkonstant

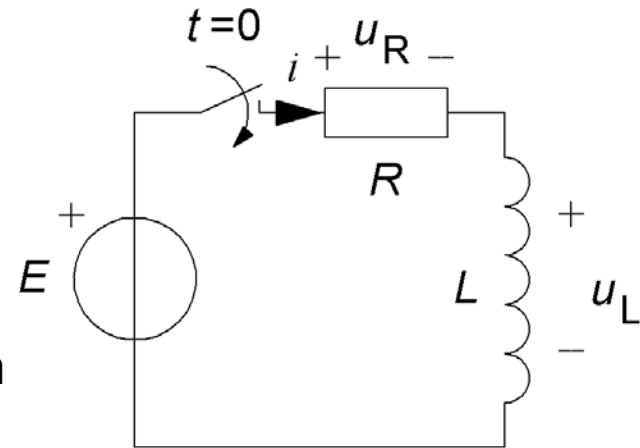
$$x(t) = x_\infty - (x_\infty - x_0)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Spolens transienter

Tillslag av spole. En spole är "strömtrög" – den motsätter sig strömförändringar.

- **Från början** vid tiden $t = 0$ är därför strömmen "samma" $i_0 = 0$.
- **Efter mycket lång tid** $t = \infty$ har alla förändringar klingat av, spänningen u_L som beror av förändringarna $= 0$. Kvar blir då Ohm's lag för R . $i_\infty = E/R$.

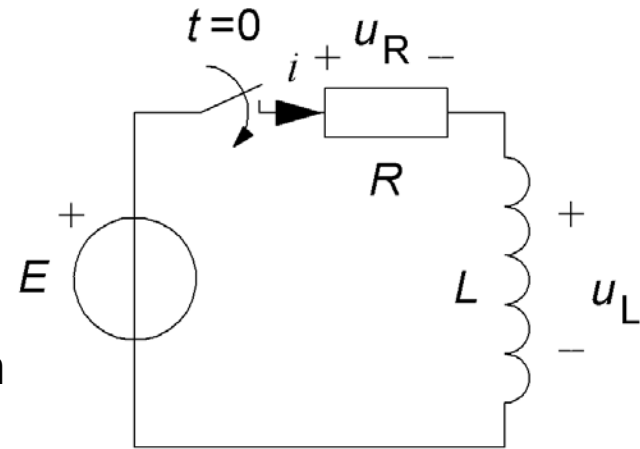
Kurvan blir stigande från $i_0 = 0$ till $i_\infty = E/R$.



Spolens transienter

Tillslag av spole. En spole är "strömtrög" – den motsätter sig strömförändringar.

- **Från början** vid tiden $t = 0$ är därför strömmen "samma" $i_0 = 0$.
- **Efter mycket lång tid** $t = \infty$ har alla förändringar klingat av, spänningen u_L som beror av förändringarna $= 0$. Kvar blir då Ohm's lag för R . $i_\infty = E/R$.



Kurvan blir stigande från $i_0 = 0$ till $i_\infty = E/R$.

- Kretsar med R och L har tidkonstanten $\tau = L/R$

Man kan nu formulera en exponentialfunktion som stämmer överens med dessa villkor:

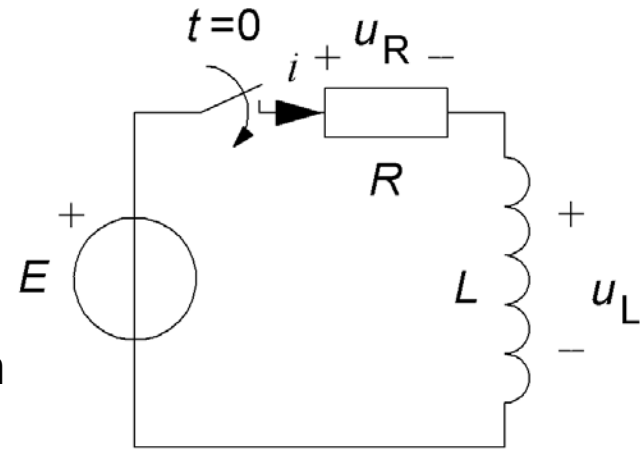
$$x(t) = x_\infty - (x_\infty - x_0)e^{-\frac{t}{\tau}} \quad i(t) = \frac{E}{R} - \left(\frac{E}{R} - 0 \right) e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{E}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t \cdot R}{L}} \right)$$

Snabbformeln

Spolens transienter

Tillslag av spole. En spole är "strömtrög" – den motsätter sig strömförändringar.

- **Från början** vid tiden $t = 0$ är därför strömmen "samma" $i_0 = 0$.
- **Efter mycket lång tid** $t = \infty$ har alla förändringar klingat av, spänningen u_L som beror av förändringarna $= 0$. Kvar blir då Ohm's lag för R . $i_\infty = E/R$.



Kurvan blir stigande från $i_0 = 0$ till $i_\infty = E/R$.

- Kretsar med R och L har tidkonstanten $\tau = L/R$

Man kan nu formulera en exponentialfunktion som stämmer överens med dessa villkor:

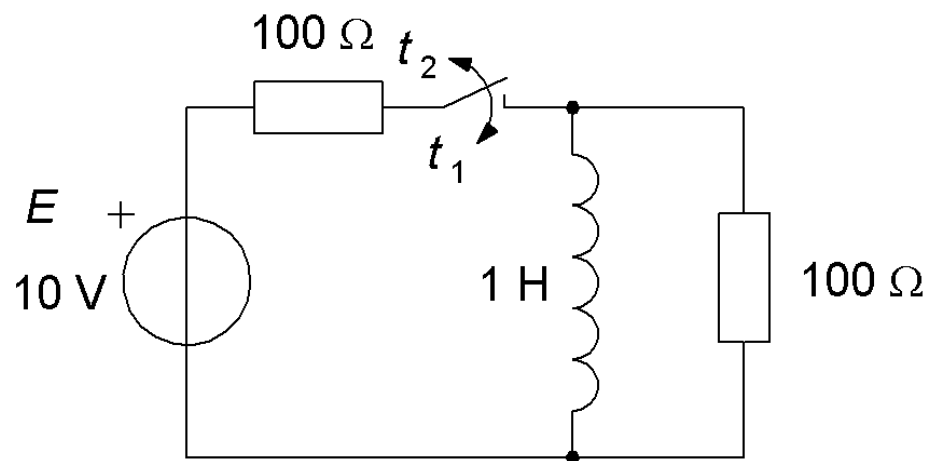
$$x(t) = x_\infty - (x_\infty - x_0)e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Snabbformeln

$$i(t) = \frac{E}{R} - \left(\frac{E}{R} - 0 \right) e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{E}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t \cdot R}{L}} \right) \text{ Som tidigare!}$$

Spolens **inkoppling** och urkoppling (11.6)

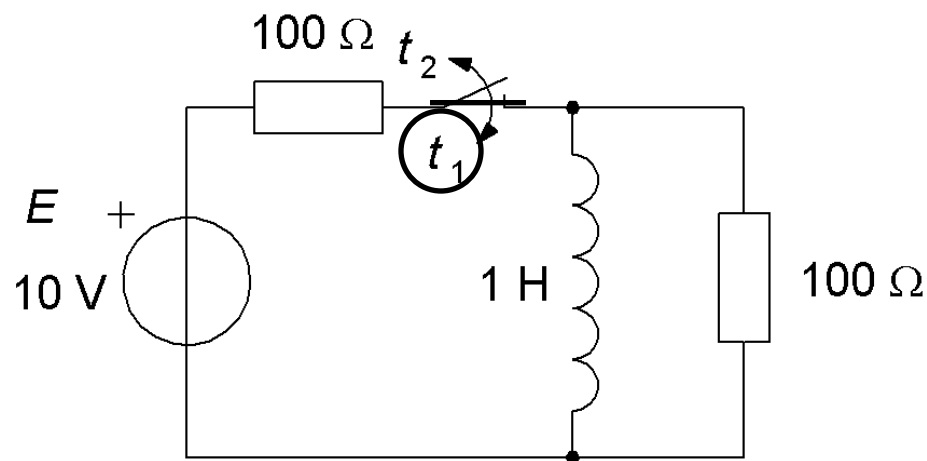
E är en likspänningskälla. Vid tidpunkten t_1 sluts strömställaren.



Spolens **inkoppling** och urkoppling (11.6)

E är en likspänningskälla. Vid tidpunkten t_1 sluts strömställaren.

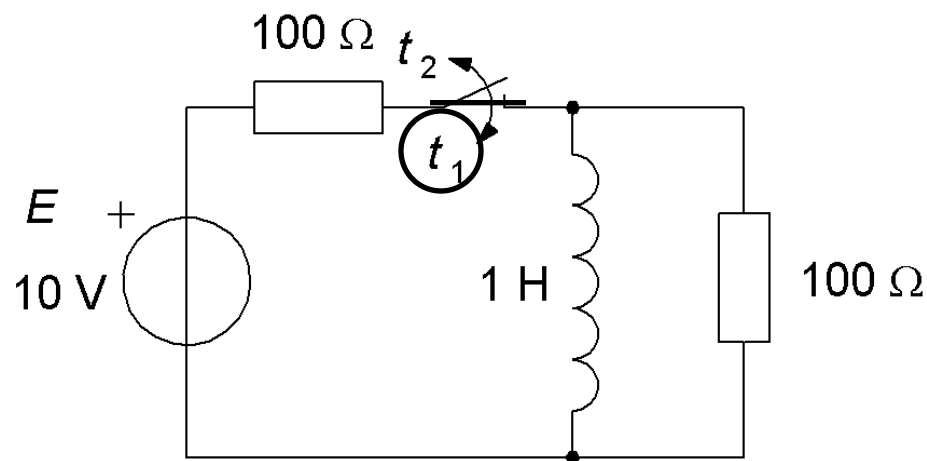
a) Hur stor blir strömmen genom spolen i första ögonblicket?



Spolens **inkoppling** och urkoppling (11.6)

E är en likspänningskälla. Vid tidpunkten t_1 sluts strömställaren.

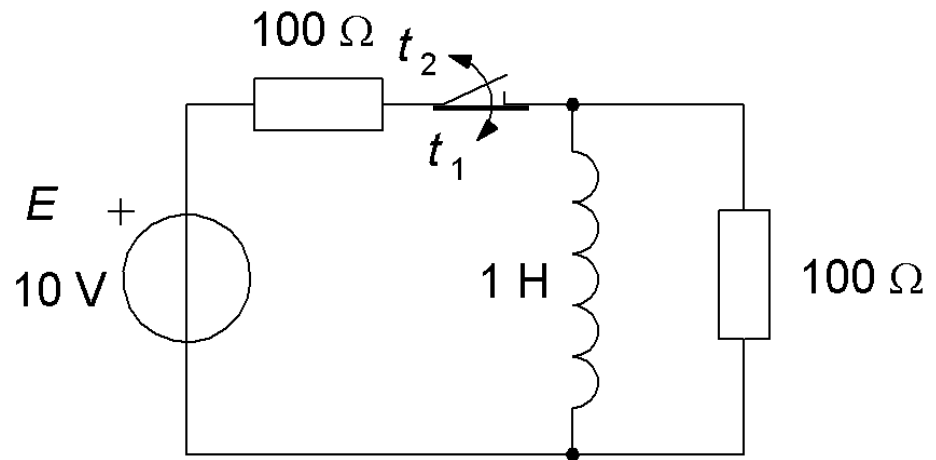
a) Hur stor blir strömmen genom spolen i första ögonblicket?



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

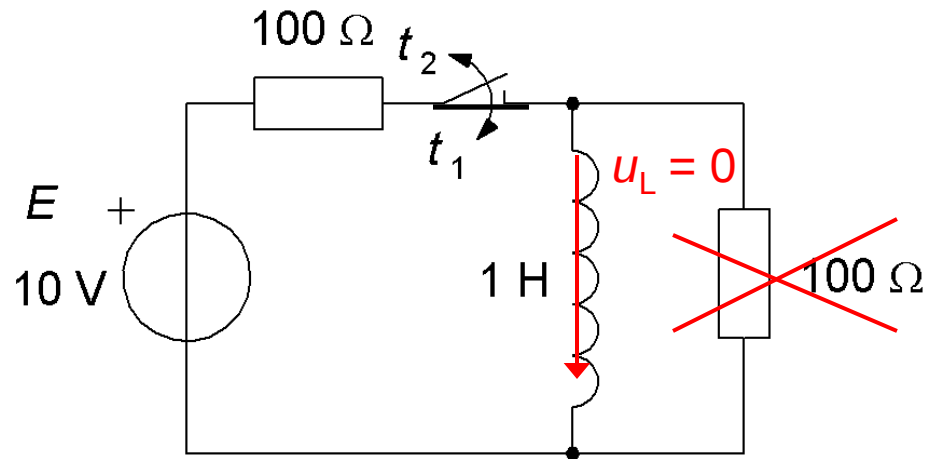
Spolens **inkoppling** och urkoppling (11.6)

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



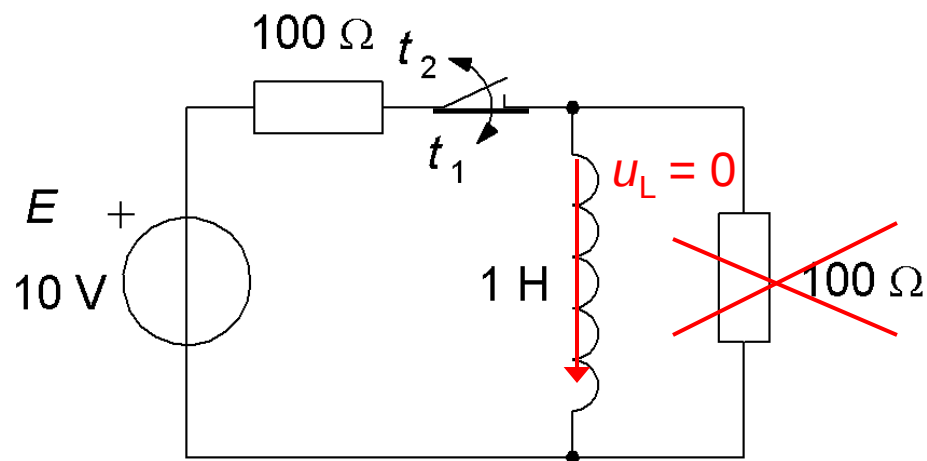
Spolens **inkoppling** och urkoppling (11.6)

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



Spolens **inkoppling** och urkoppling (11.6)

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

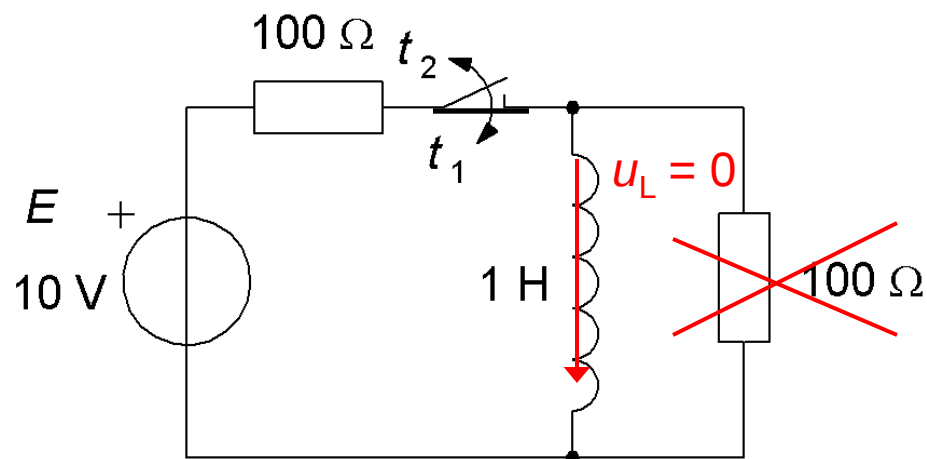


Svar: Efter en lång tid har förändringarna klingat ut. Spänningen över spolen (som beror på förändringar) är då 0, spolen "kortsletter" den parallella $100\ \Omega$ resistorn. Kvar blir $100\ \Omega$ serie-resistorn.

$$i = 10\text{V}/100\Omega = 0,1\text{ A}.$$

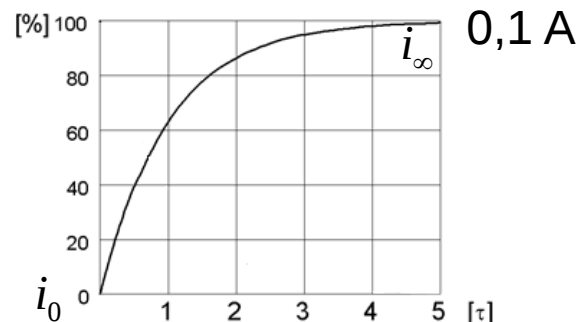
Spolens **inkoppling** och urkoppling (11.6)

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 "kortsletter" den parallella $100\ \Omega$ resistorn. Kvar blir $100\ \Omega$ serie-resistorn.

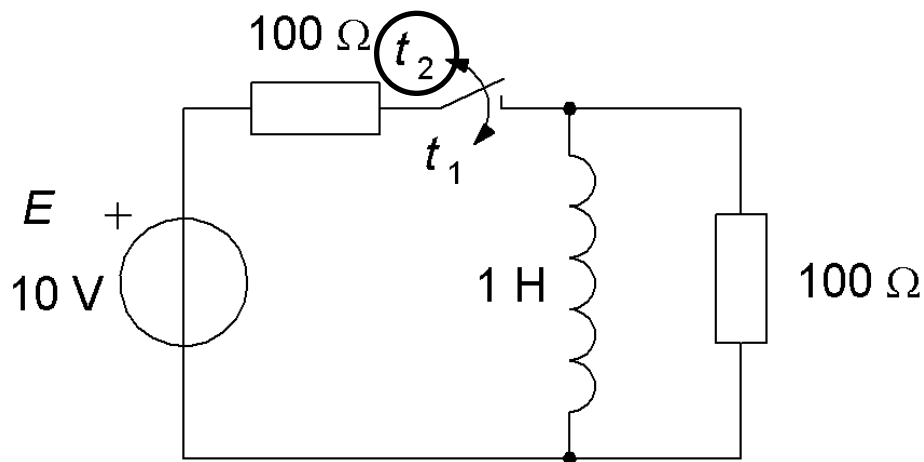
$$i = 10\text{V}/100\Omega = 0,1\text{ A}.$$



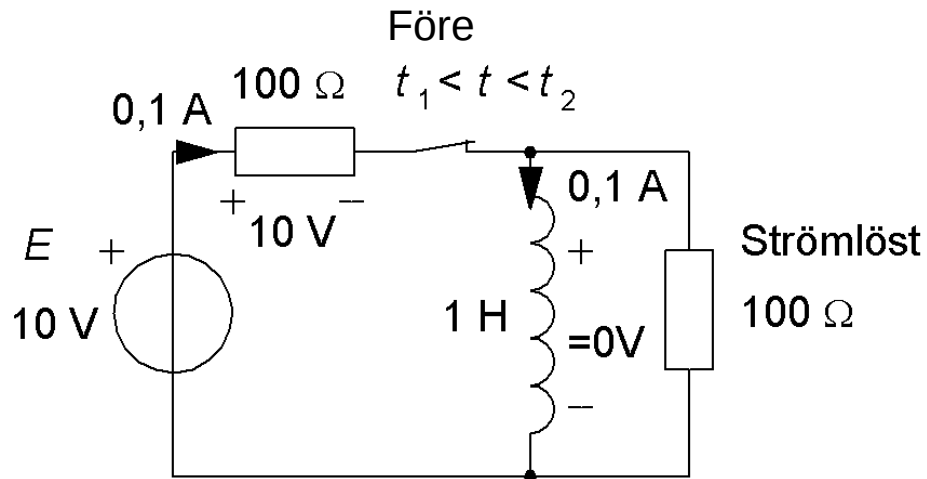
Spolens inkoppling och **urkoppling** (11.6)

c) Senare, vid tidpunkten t_2
öppnas strömställaren.

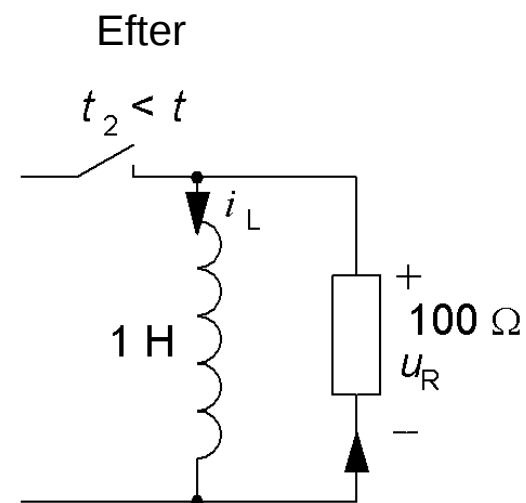
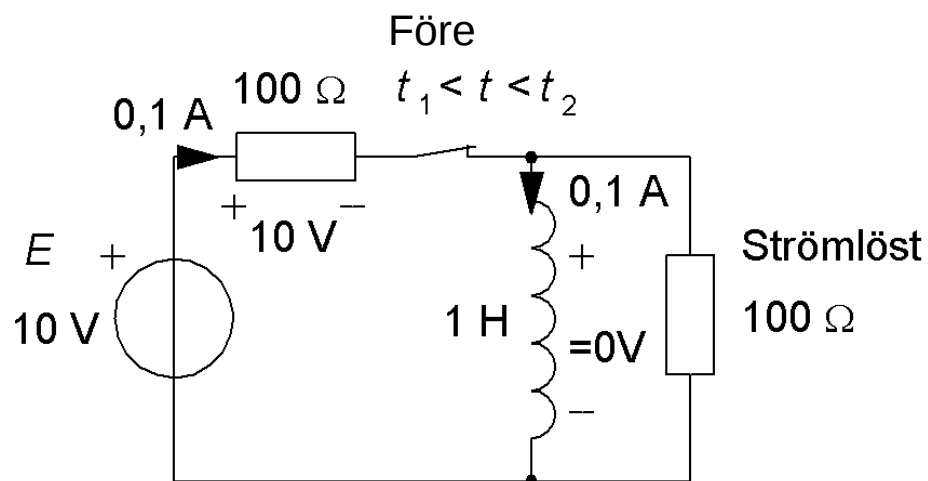
Ställ nu upp ett uttryck för
strömmen genom spolen som
funktion av tiden t för tiden
efter t_2 . Låt förloppet börja vid
 $t = t_2 = 0$.



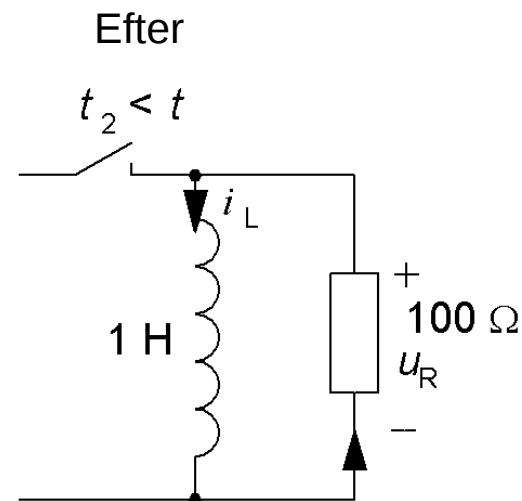
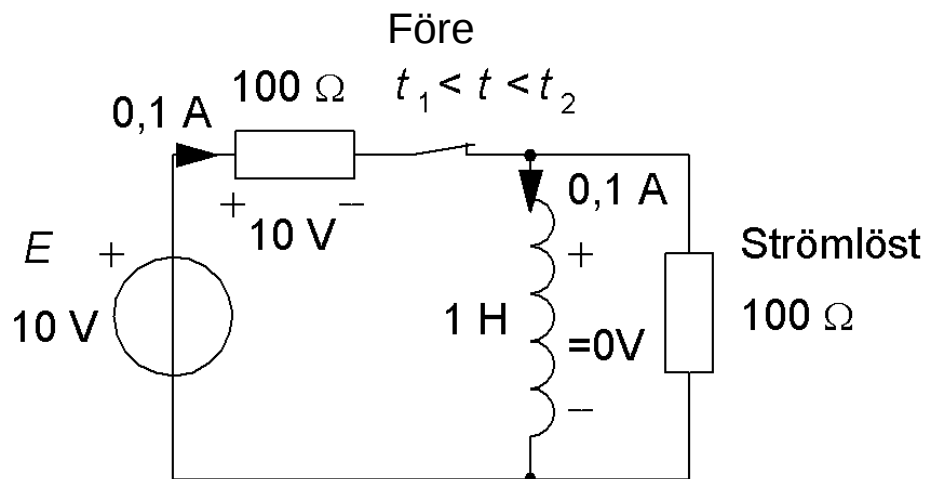
Spolens inkoppling och **urkoppling** (11.6)



Spolens inkoppling och **urkoppling** (11.6)

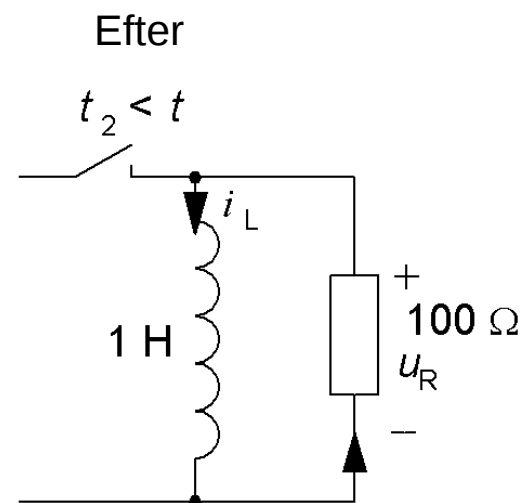
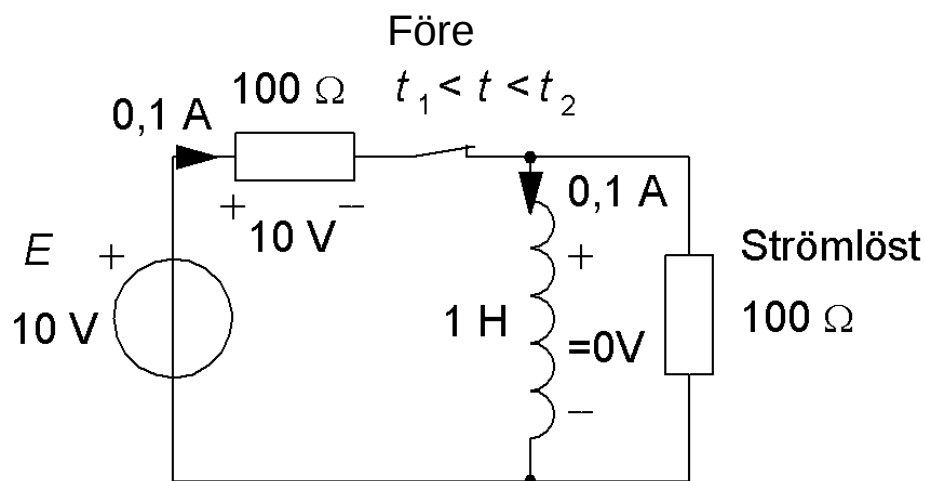


Spolens inkoppling och urkoppling (11.6)



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

Spolens inkoppling och urkoppling (11.6)

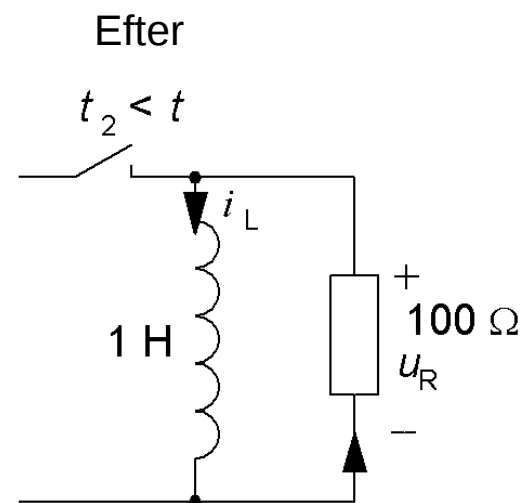
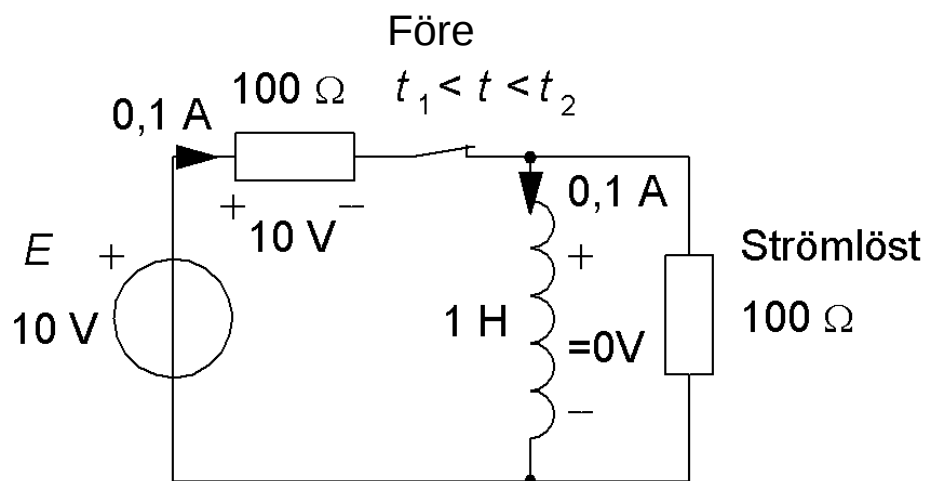


Efter t_2 börjar strömmen från "samma" värde 0,1 A (i_0) som före och klingar därefter av till 0 (i_∞). Tidkonstanten $\tau = L/R = 1/100 = 0,01$ s.

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

$$i_L(t) = 0 - (0 - 0,1) \cdot e^{-\frac{t}{0,01}} \Leftrightarrow i_L(t) = 0,1 \cdot e^{-\frac{t}{0,01}} = 0,1 \cdot e^{-100 \cdot t}$$

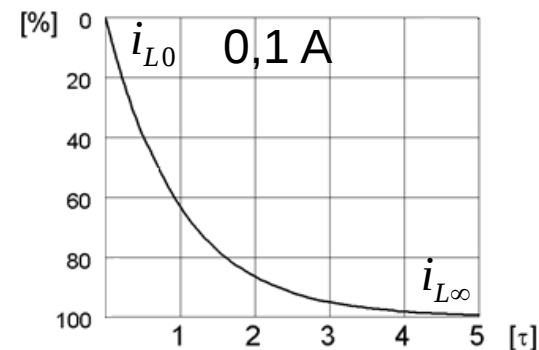
Spolens inkoppling och urkoppling (11.6)



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

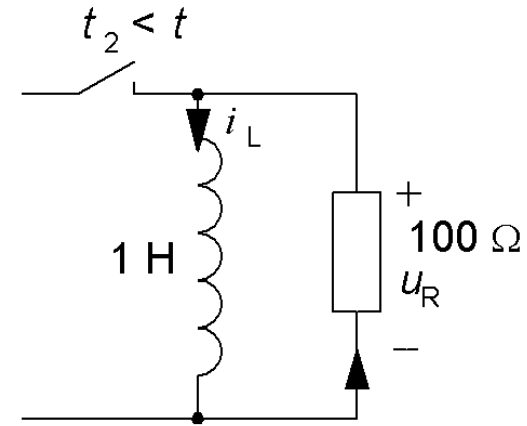
Snabbformeln: $x(t) = x_\infty - (x_\infty - x_0)e^{-\frac{t}{\tau}}$

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



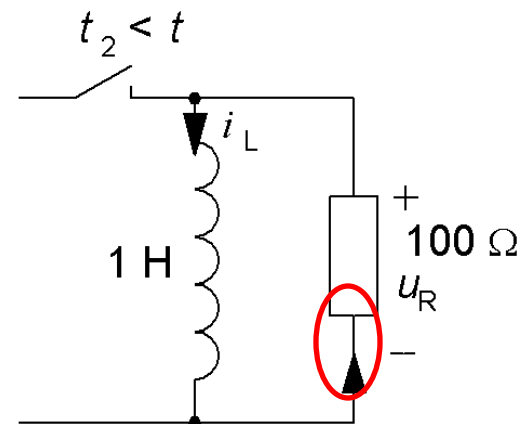
Spolens inkoppling och **urkoppling** (11.6)

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



Spolens inkoppling och **urkoppling** (11.6)

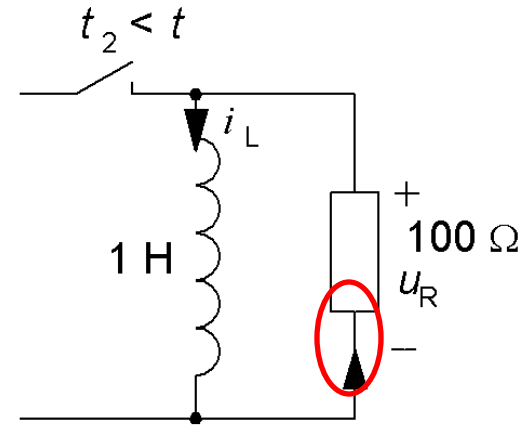
När spänningskällan 10 V är bortkopplad drivs strömmen *helt* av induktansen. Spänningen över 100 Ω resistorn U_R blir i första ögonblicket $-100 \cdot 0,1 = -10$ V. Minustecken för att strömmen går in i *nedre delen* av resistorn.



Spolens inkoppling och **urkoppling** (11.6)

När spänningskällan 10 V är bortkopplad drivs strömmen *helt* av induktansen. Spänningen över 100 Ω resistorn U_R blir i första ögonblicket $-100 \cdot 0,1 = -10$ 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 !

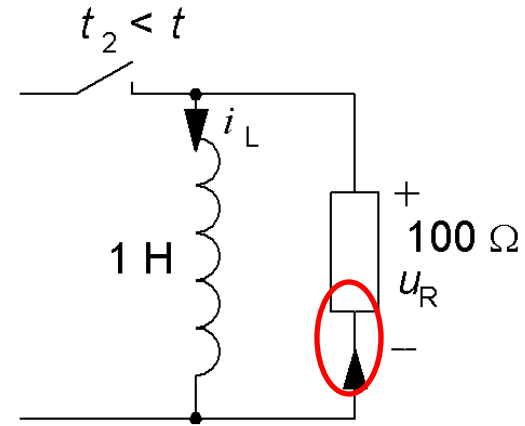


Spolens inkoppling och **urkoppling** (11.6)

När spänningskällan 10 V är bortkopplad drivs strömmen *helt* av induktansen. Spänningen över 100 Ω resistorn U_R blir i första ögonblicket $-100 \cdot 0,1 = -10$ 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 !



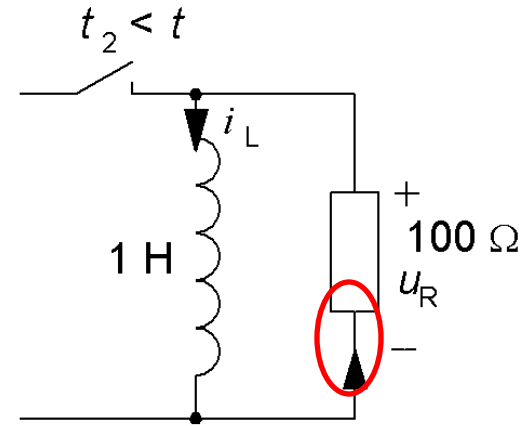
Spolens inkoppling och urkoppling (11.6)

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

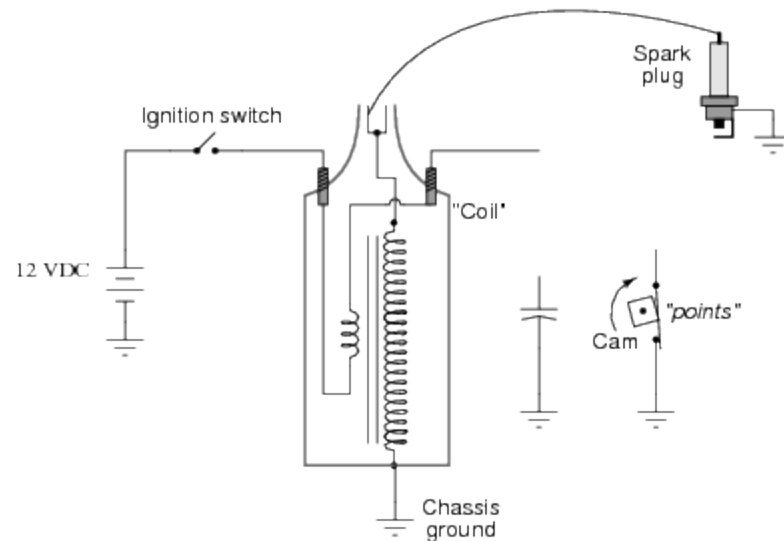
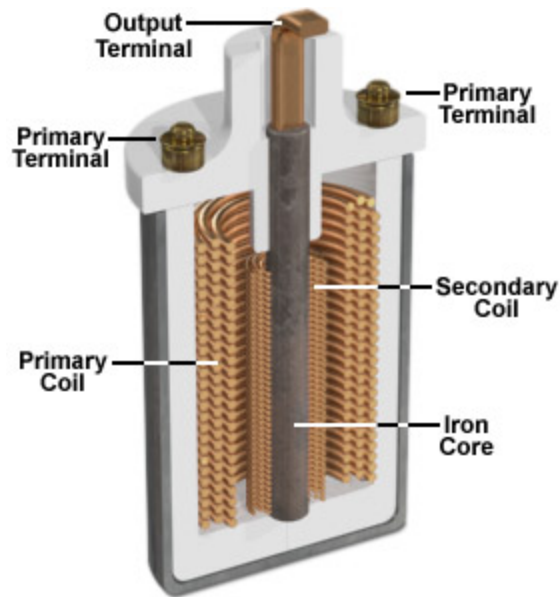
Antag att resistorn i stället hade varit 1000 Ω . Då hade u_R i första ögonblicket blivit -100 V !

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

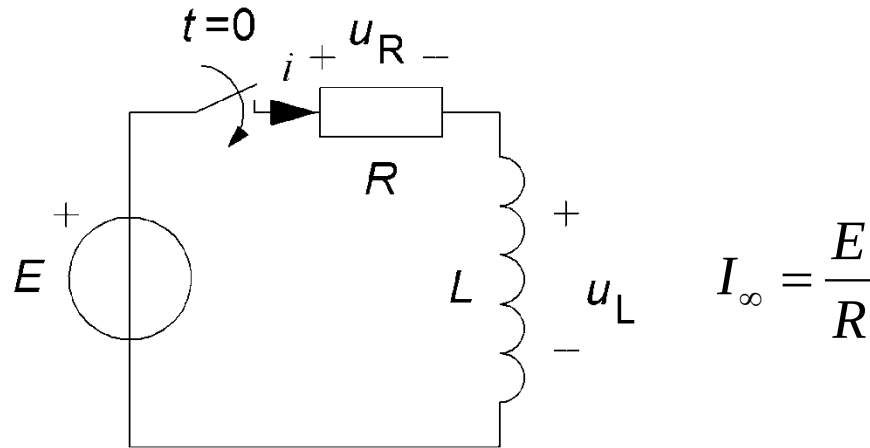
- När strömkretsen bryts försöker spolen *fortsätta strömmen*, tills all magnetisk energi har förbrukats. Om man utelämnar resistorn ur kretsen, dvs. $R = \infty$ blir spänningen kortvarigt *mycket hög*.



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



Energi lagrad i magnetfält



Ögonblickseffekt:

$$p = i \cdot u_L = i \cdot L \cdot \frac{di}{dt}$$

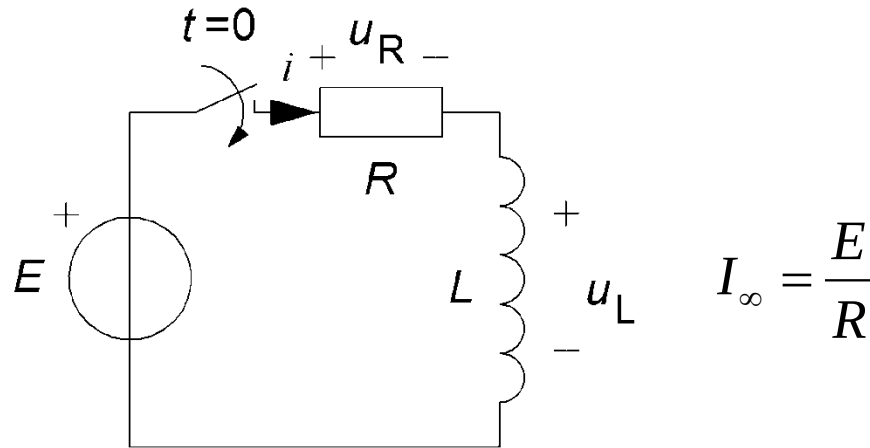
Energi:

$$\Rightarrow W = \int_{t=0}^{t=\infty} p \, dt = \int_{t=0}^{t=\infty} L \cdot i \cdot \frac{di}{dt} \, dt = \int_{i=0}^{i=I_\infty} L \cdot i \, di = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_\infty^2$$

Upplagrad energi i
magnetfältet:

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

Energi lagrad i magnetfält



Ögonblickseffekt:

$$p = i \cdot u_L = i \cdot L \cdot \frac{di}{dt}$$

Energi:

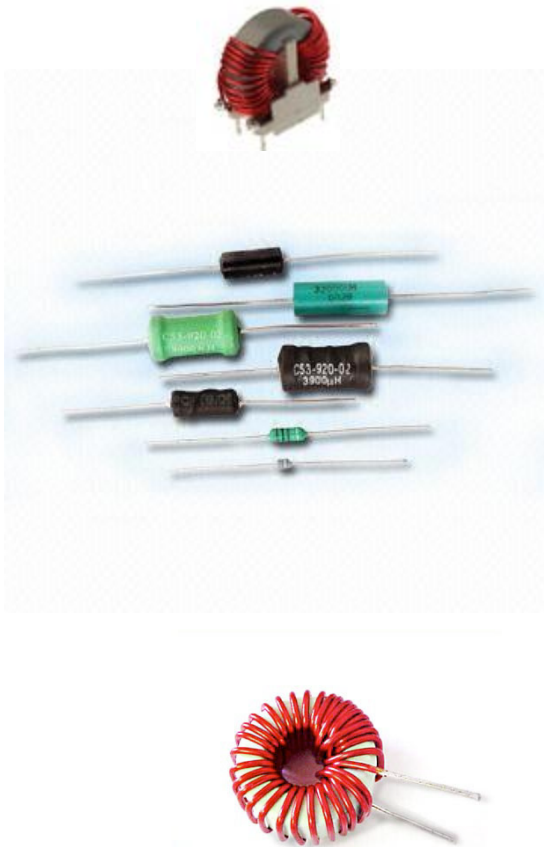
$$\Rightarrow W = \int_{t=0}^{t=\infty} p \, dt = \int_{t=0}^{t=\infty} L \cdot i \cdot \frac{di}{dt} \, dt = \int_{i=0}^{i=I_{\infty}} L \cdot i \, di = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{\infty}^2$$

Upplagrad energi i magnetfältet:

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

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

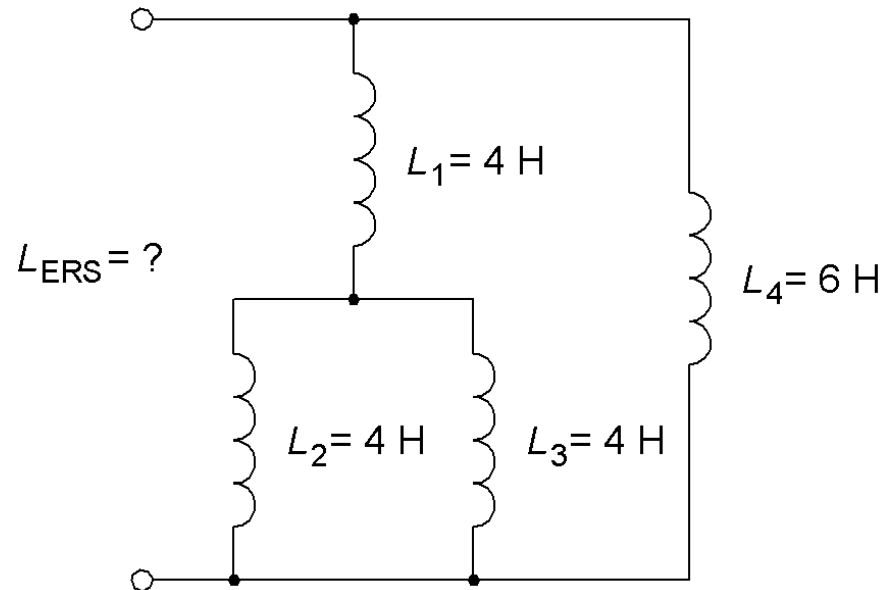
Induktorer



Serie och parallellkoppling av induktorer

Under förutsättningen att inga av spolarna delar magnetiska kraftlinjer med varandra, utan är helt av varandra **oberoende komponenter**, kan man behandla serie- och parallellkopplade induktanser **precis som om de vore resistorer**.

(Spolar med sammanlänkat flöde behandlas senare i kursen).

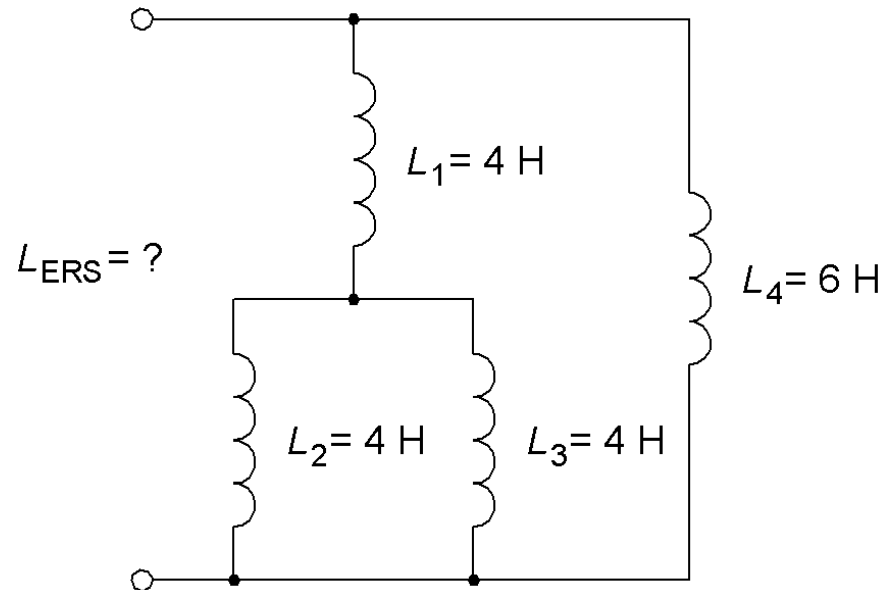


Serie och parallellkoppling av induktorer

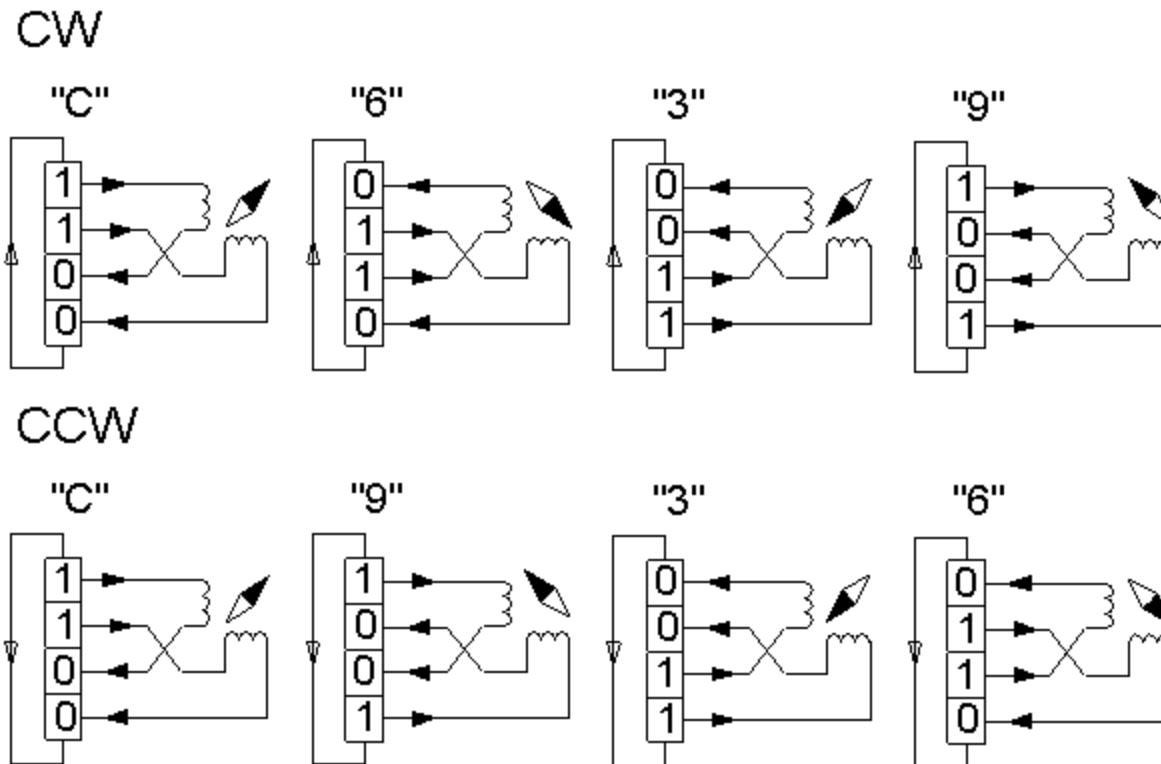
Under förutsättningen att inga av spolarna delar magnetiska kraftlinjer med varandra, utan är helt av varandra **oberoende komponenter**, kan man behandla serie- och parallellkopplade induktanser **precis som om de vore resistorer**.

(Spolar med sammanlänkat flöde behandlas senare i kursen).

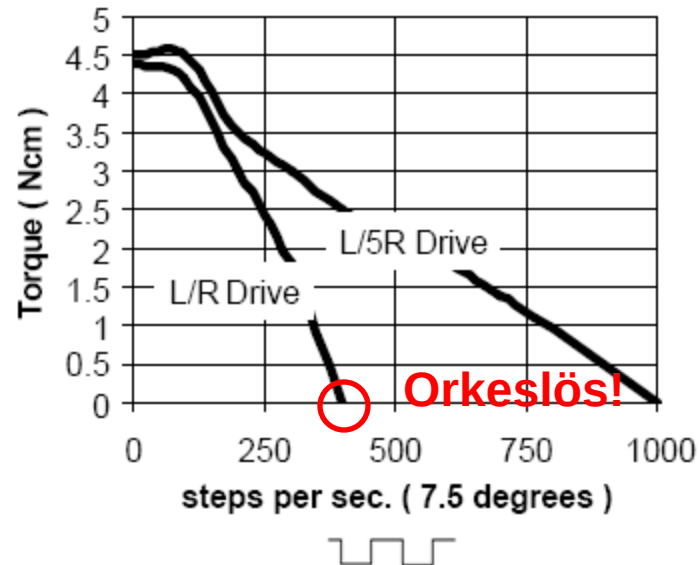
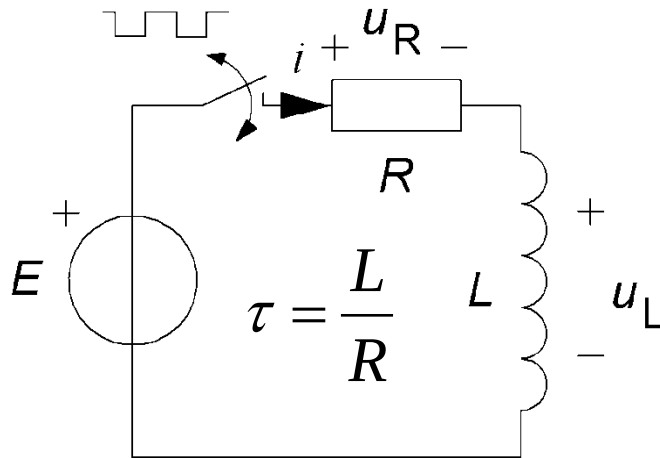
$$L_{\text{ERS}} = \frac{\left(4 + \frac{4 \cdot 4}{4 + 4}\right) \cdot 6}{4 + \frac{4 \cdot 4}{4 + 4} + 6} = 3 \text{ H}$$



(Stegmotorn den digitala motorn)



Hur snabbt kan man köra?

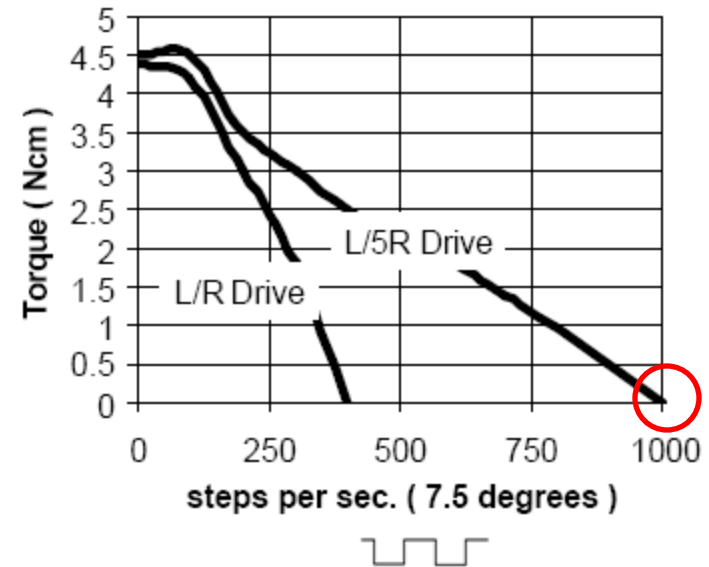
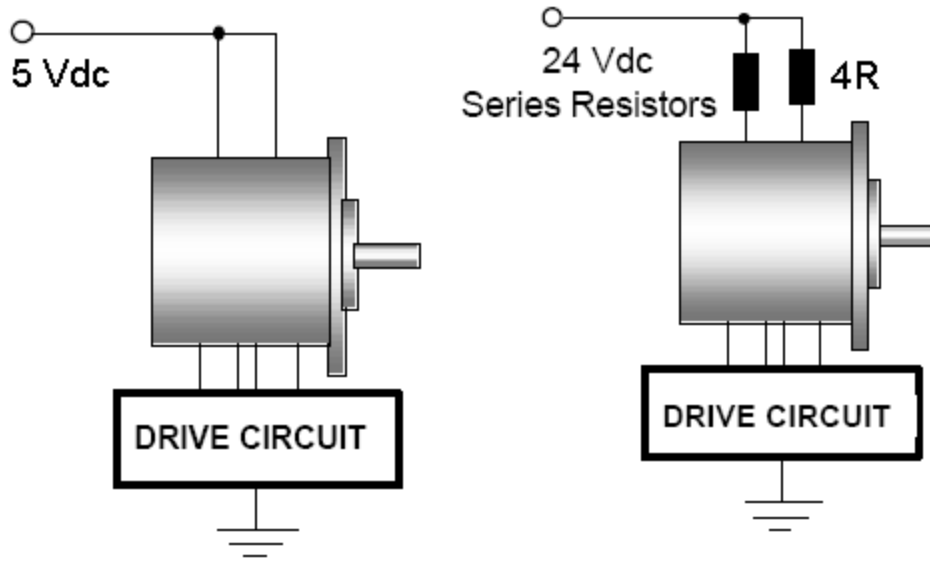


- Motorn tar ett steg per puls.

Ju snabbare man kör desto kortare blir pulserna. På grund av **tidkonstanten** τ 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?



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

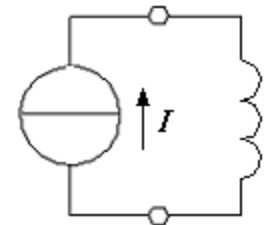
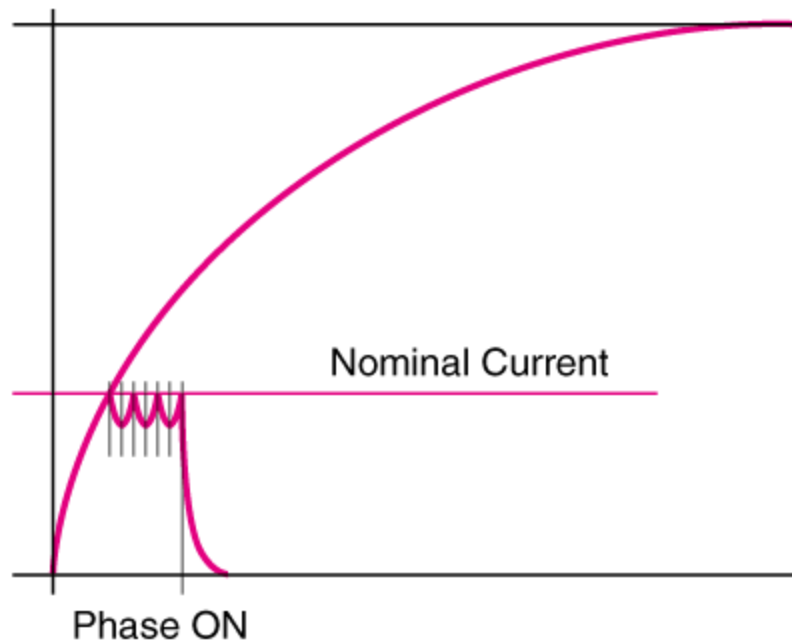
Man inför serieresistorer. Samtidigt *höjer* man spänningen för att kunna bibehålla strömmen. Nu kan motorn orka att köra mycket snabbare!

Snabbast?

Om stegmotorn drivs från en **strömgenerator** så har denna mycket *hög* inre resistans ($R_I = \infty$). 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).



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

