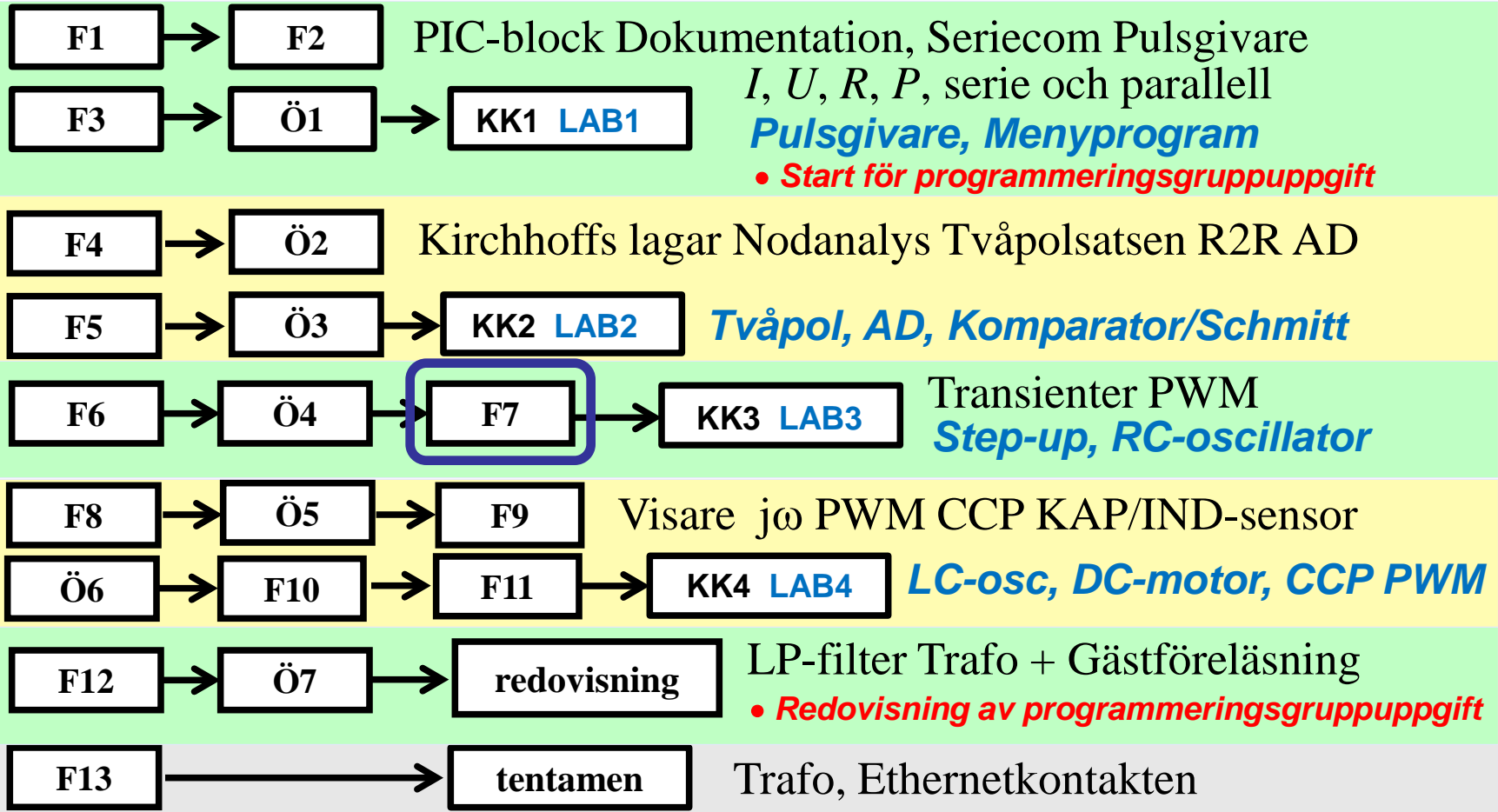


IE1206 Inbyggd Elektronik

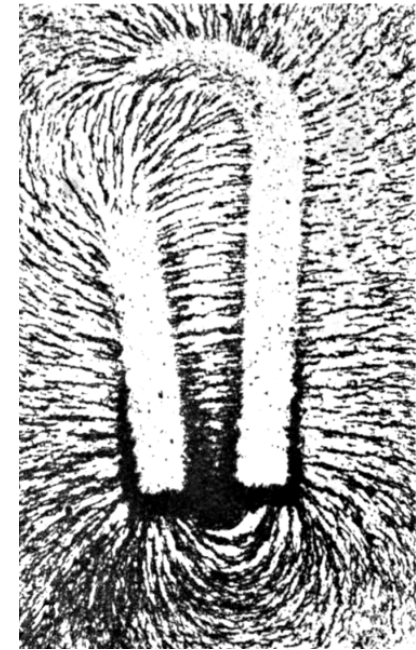
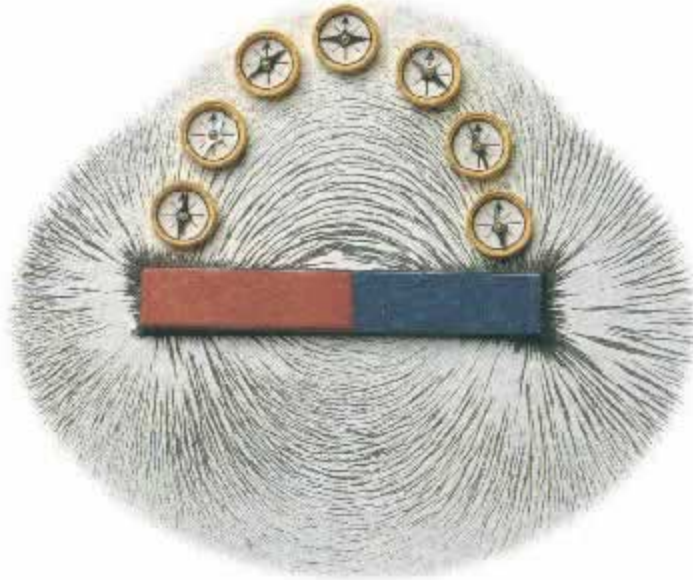


Magnetism?

Vad kommer Du ihåg om magnetism och elektromagnetism?

Permanentmagneter

Varje magnet har ett magnetiskt fält. Fältet definieras utgå från Nordpol och in till Sydpol.



Fältet, kraftlinjerna, kan åskådliggöras med järnfilsspån, eller med utplacerade kompassnålar. Numera finns även ”Magnetic Field Viewer Film”.

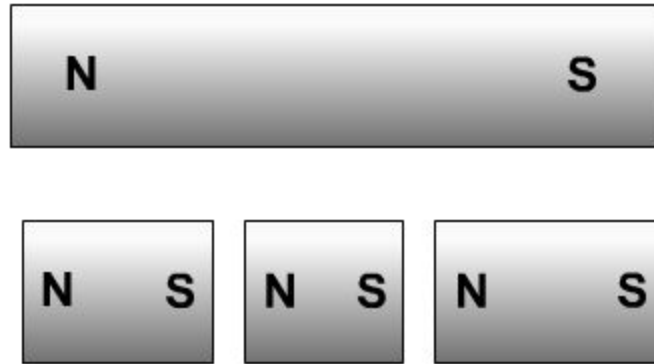


Kraftverkan mellan magneter



Du känner säkert till reglerna för kraftverkan mellan magneter.

En magnet delas i tre bitar

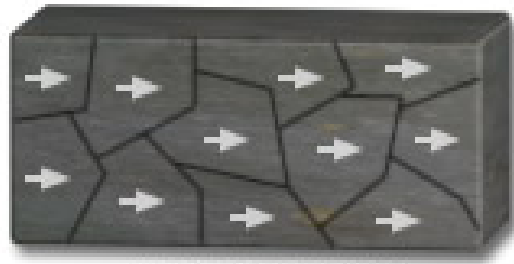


Om en magnet kapas i mindre delar, blir varje del en komplett magnet med egen Nordpol och Sydpol.

Magnetiska domäner



**Domains Before
Magnetization**



**Domains After
Magnetization**

Ett magnetiskt material består av ett stort antal ”elementarmagneter”. Normalt är dessa oordnade och gör därför materialet till omagnetiskt. Om materialet magnetiseras ordnas elementarmagneterna så att de samverkar vilket gör materialet magnetiskt.

Flöde och Flödestäthet

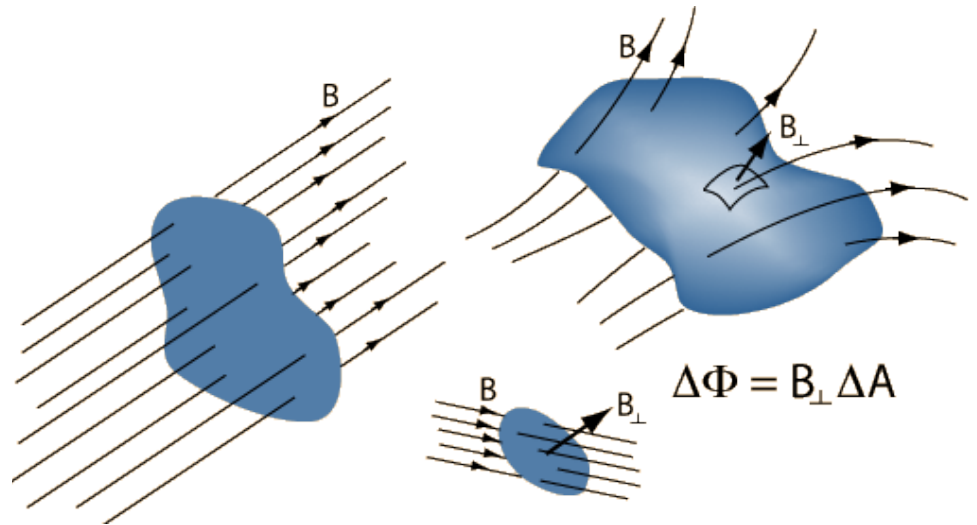
Den grundläggande magnetiska storheten är det magnetiska flödet ϕ med sorten Weber [Wb].

Flödet kan ses som ”totala antalet kraftlinjer”.

Det magnetiska fältet är ojämnt fördelat i rummet, flödestätheten $B = \Delta\phi/\Delta A$ [Wb/m²] är ett mått på fältets lokala styrka.

De magnetiska kraftlinjerna följer ”minsta motståndets väg” och ett materials magnetiska ledningsförmåga kallas för Permeans.

Regel: Kraftlinjerna är slutna, och kan aldrig korsa varandra eller gå in i varandra.



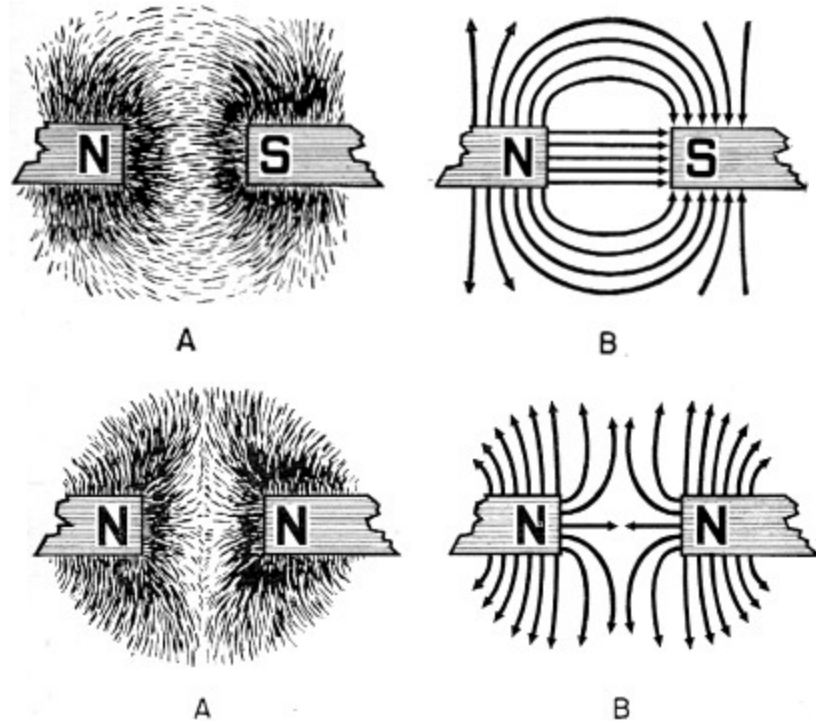
Fältbilder mellan poler

Minsta motståndets väg – kortare väg till den andra magnetens Sydpol än till den egna!

Magneterna attraherar varandra.

Kraftlinjerna får aldrig korsa varandra.

Magneterna repellerar varandra.



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

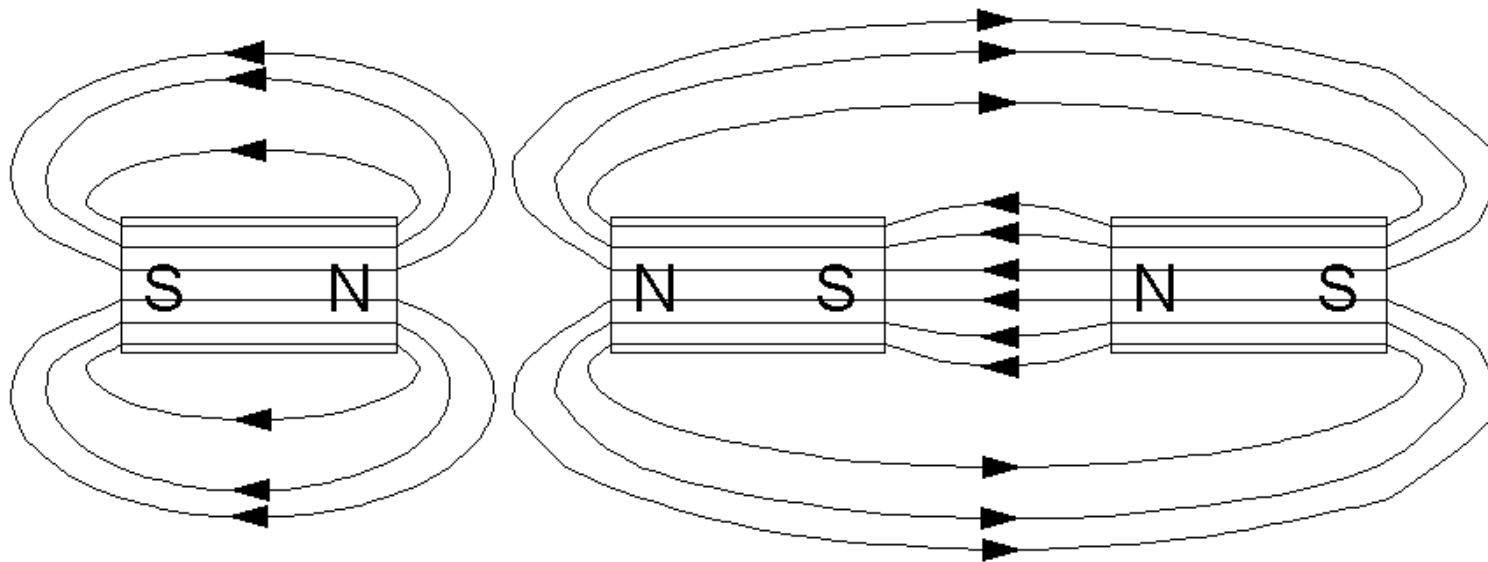
Snabbfråga Permanentmagneter

(Ex. 9.5) Rita de magnetiska kraftlinjerna i figuren.
Markera med pilar fältets riktning. Diskutera med dina närmaste bänkgrannar.



Snabbfråga Permanentmagneter

(Ex. 9.5) Rita de magnetiska kraftlinjerna i figuren.
Markera med pilar fältets riktning.

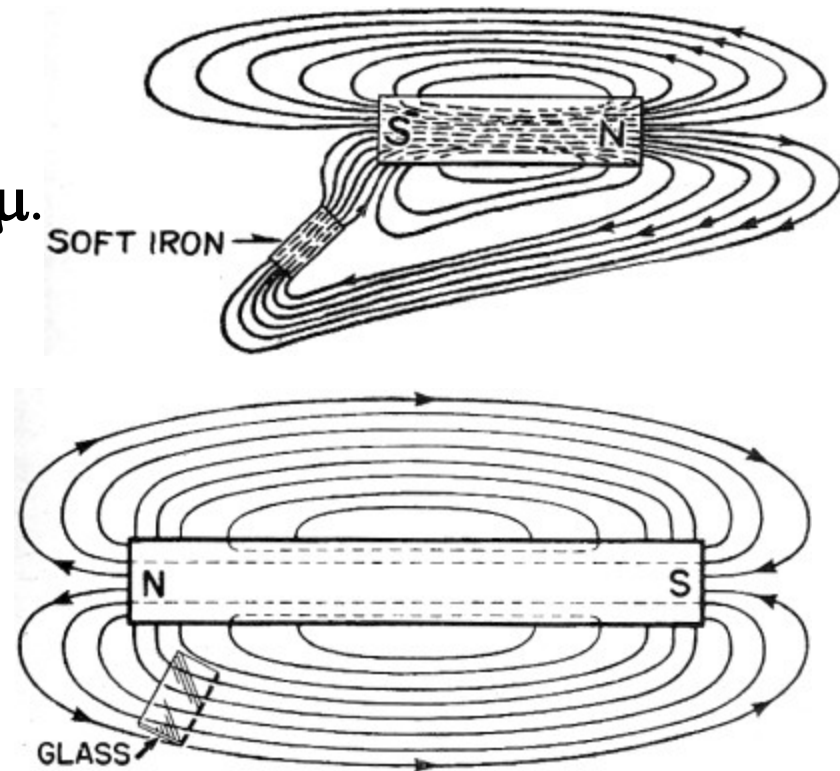


Permabilitet μ

”Magnetiserbara” material som järn och nickel har god ledningsförmåga för de magnetiska kraftlinjerna – de har hög **permabilitet μ** . Många kraftlinjer tar en ”genväg” genom ett stycke järn i närheten av en magnet.

Alla andra material är ”icke magnetiserbara”.

$$\text{De har } \mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$



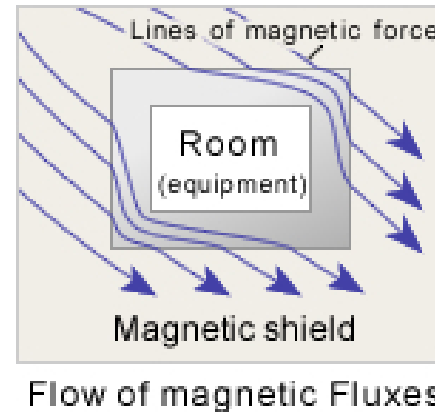
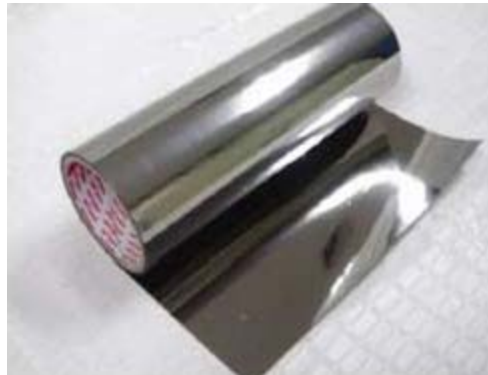
Relativ Permabilitet μ_r

Det är praktiskt att jämföra olika materials permabilitet med vacuums. Man kallar den relativa permabiliteten för μ_r .

$$\boxed{\mu = \mu_r \cdot \mu_0} \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

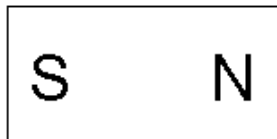
Permalloy $\mu_r \approx 8000$. My-metall $\mu_r \approx 20000$.

Det är dyra material som kan användas som ”skärmar” mot magnetiska fält.



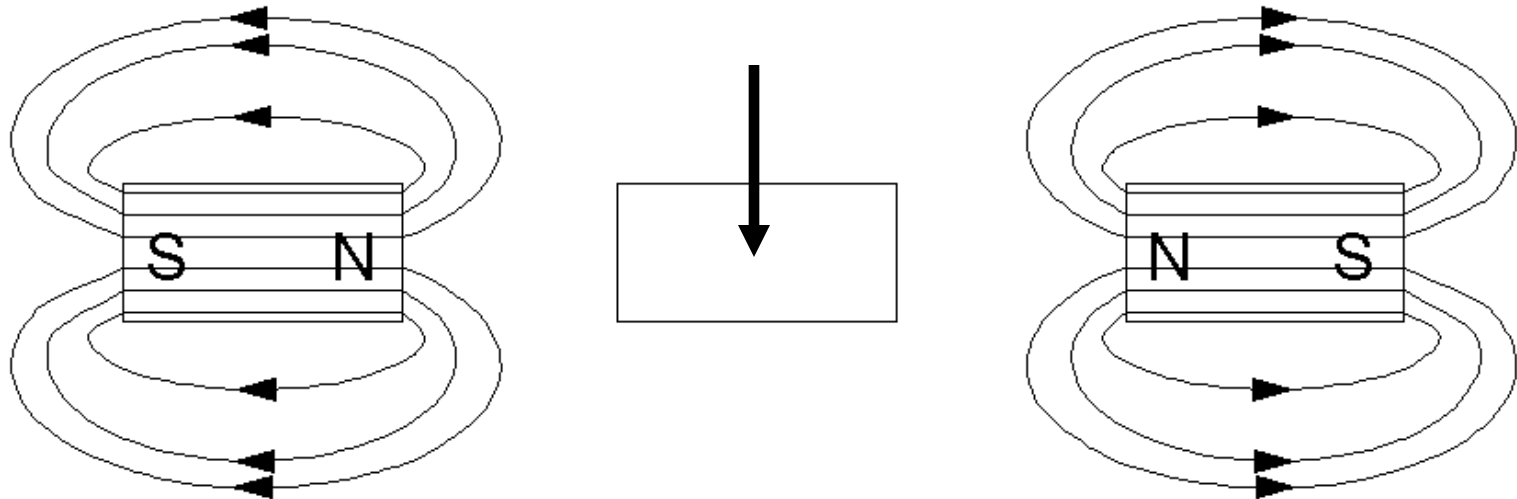
Snabbfråga, Permabilitet

(Ex. 9.6) Två magneter är placerade på varsin sida av en metallbit. metallen har $\mu_r = 1$. Rita de magnetiska kraftlinjerna i figuren. Markera med pilar fältets riktning.



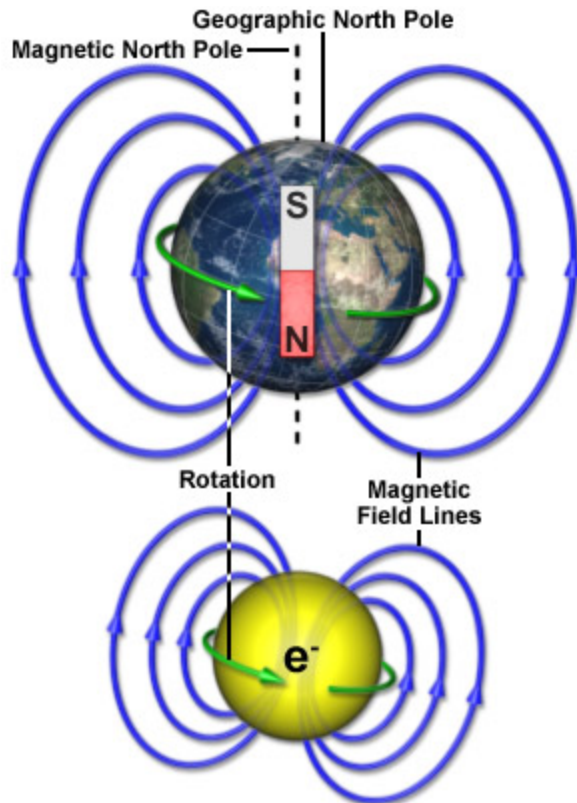
Snabbfråga, Permabilitet

Magnetfältet påverkas inte av metallbiten, den har relativa permabiliteten 1, samma som luft!



William Sandqvist william@kth.se

Både jorden och elektronen är magneter



The Earth and electrons are both magnets.

- Jordens *roterande* järnkärna skapar ett magnetfält

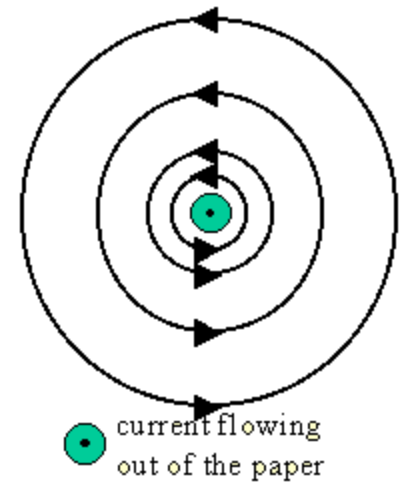
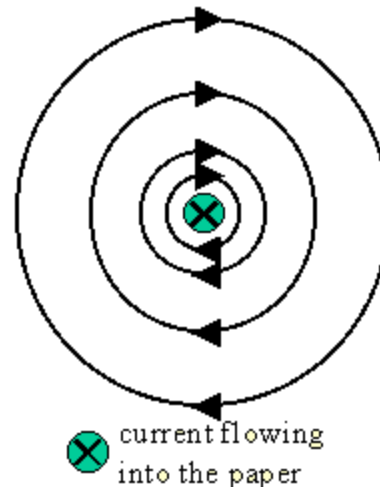
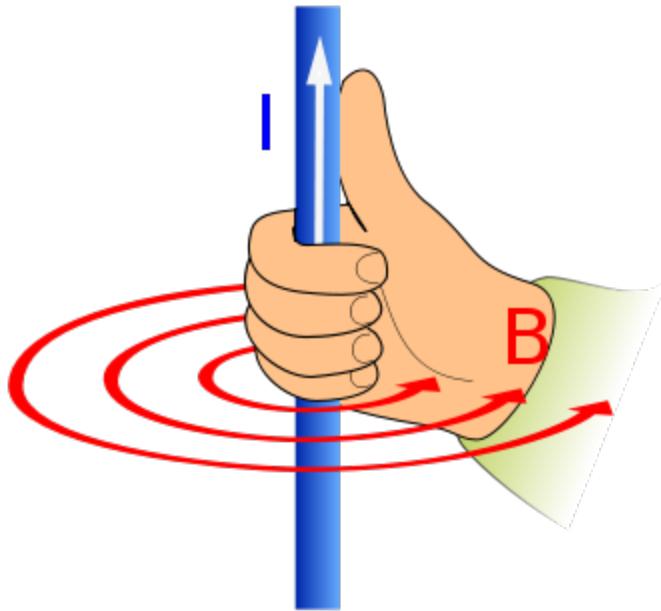


- Elektronens *spinn* skapar ett magnetfält

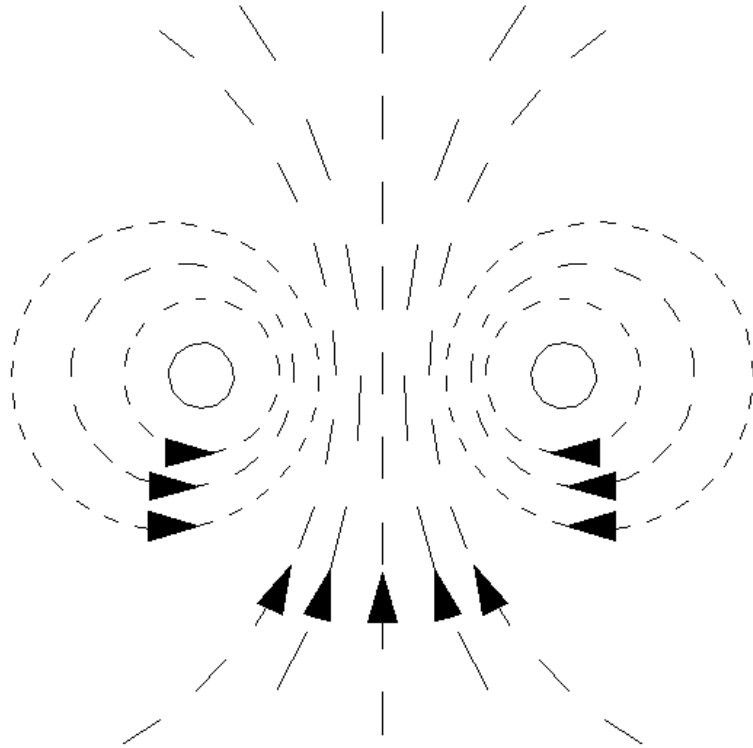


Skruvregeln

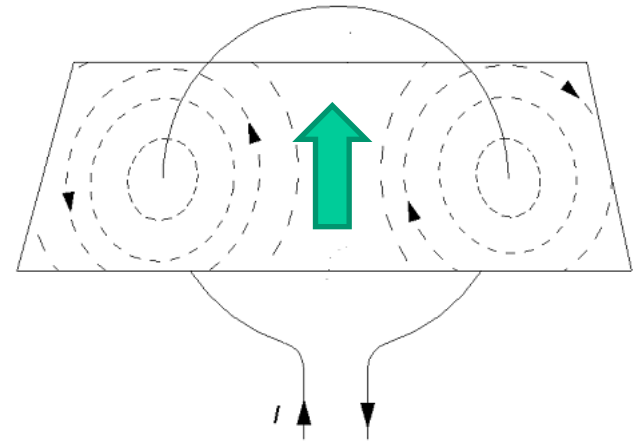
- Den elektriska strömmen skapar ett magnetfält.



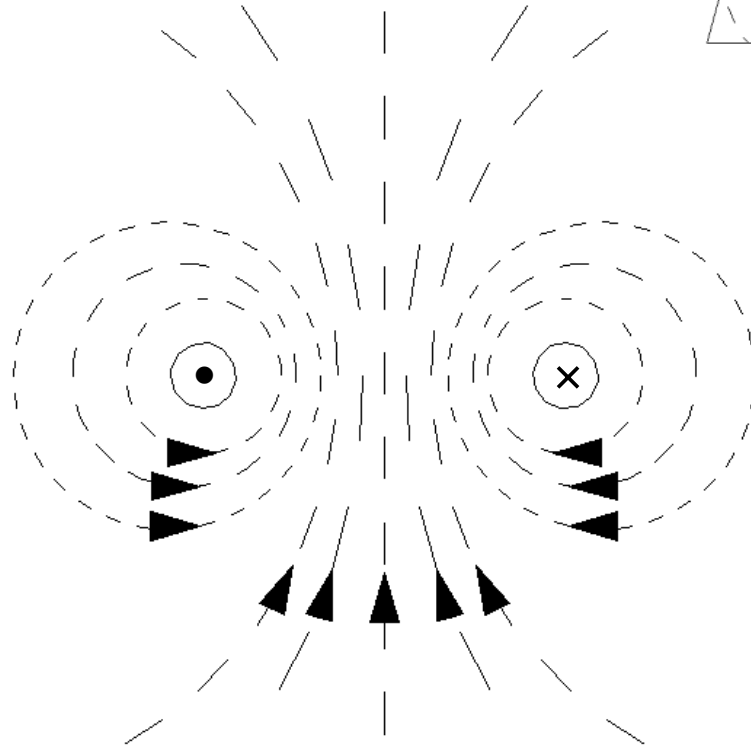
?



(Ex. 9.8)



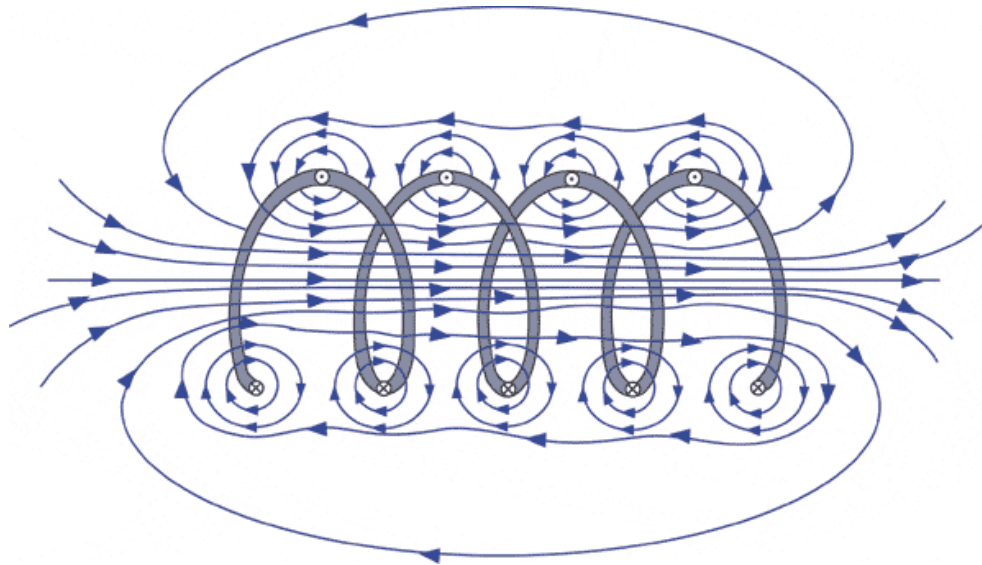
!



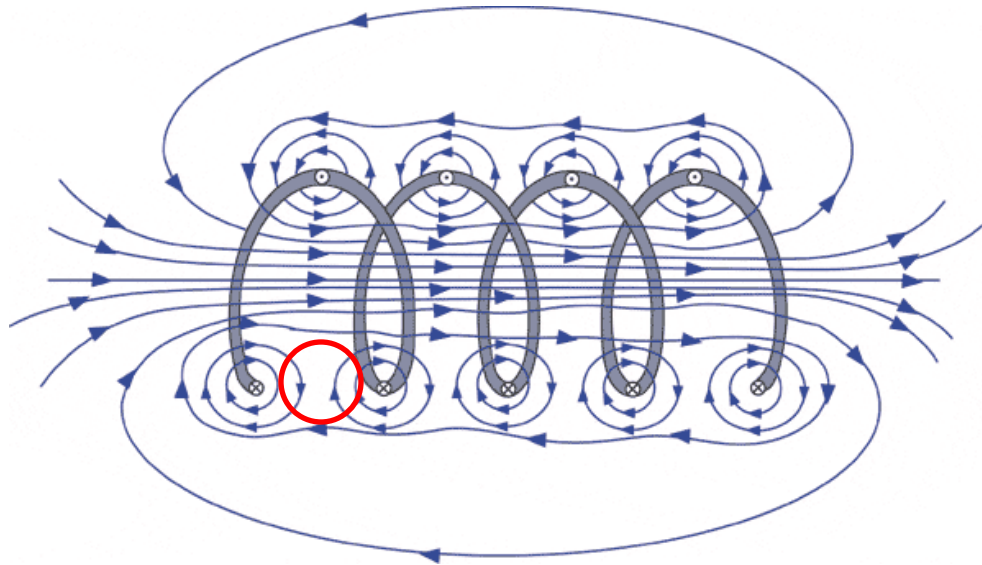
*Det blir
samverkande
fält inuti en
slinga!*



Elektromagneten

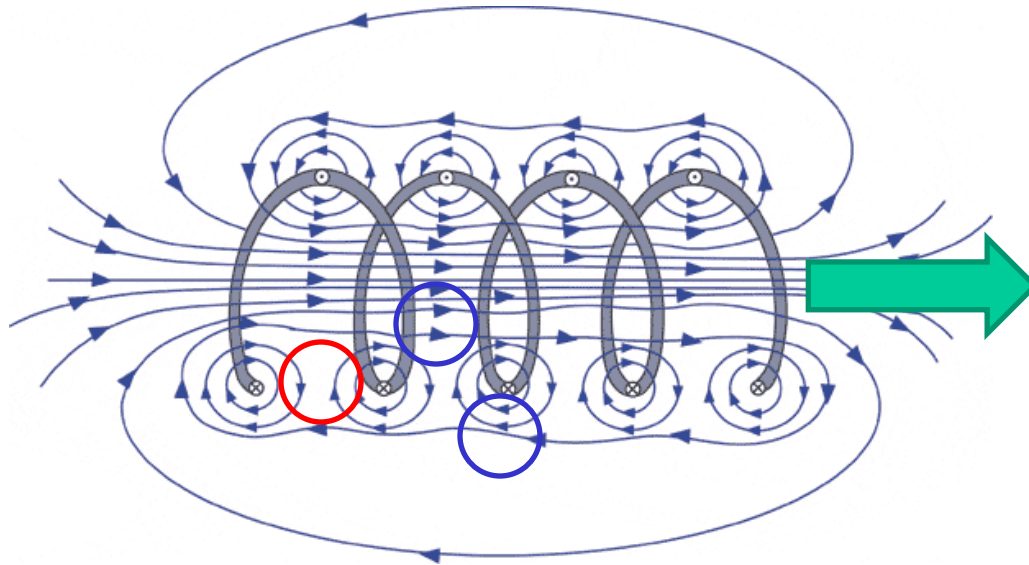


Elektromagneten



Mellan slingorna **motverkar** fältlinjerna varandra.

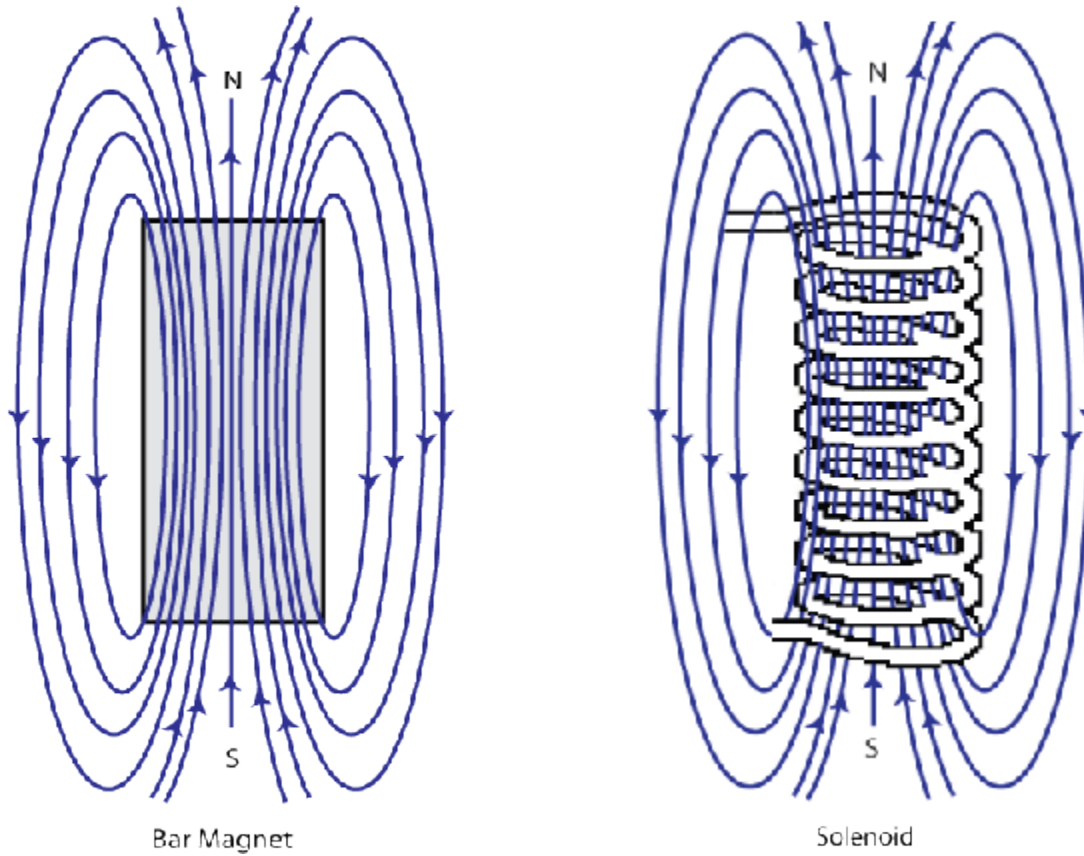
Elektromagneten



Mellan slingorna **motverkar** fältlinjerna varandra.

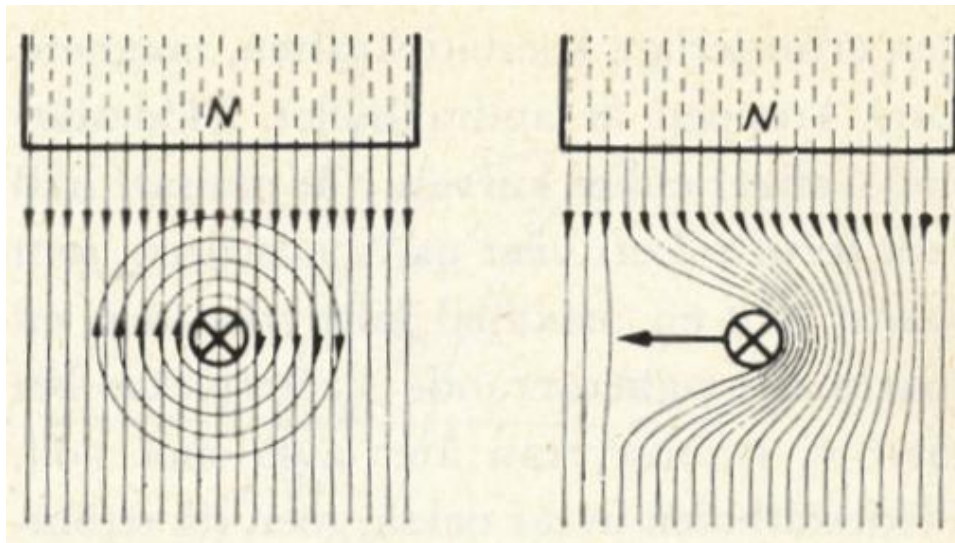
Inanför slingorna **förstärker** fältlinjerna varandra.

Fältbilden blir som för stavmagneten



William Sandqvist william@kth.se

Motorprincipen

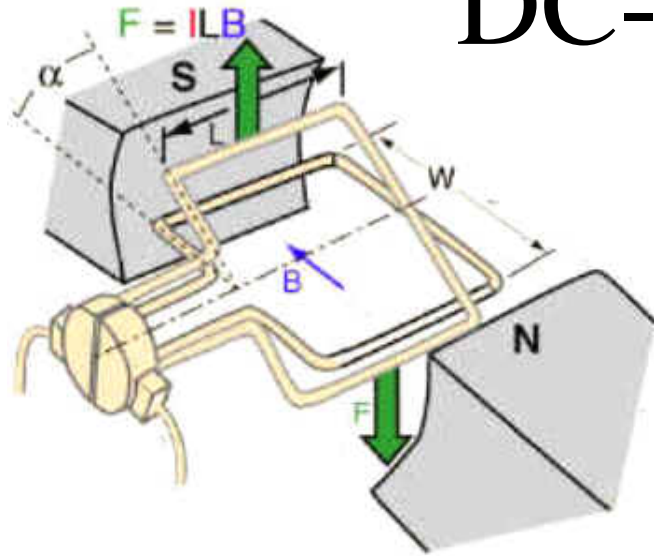


Kraftverkan i elektriska motorer bygger på denna princip.

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.

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

DC-motorn

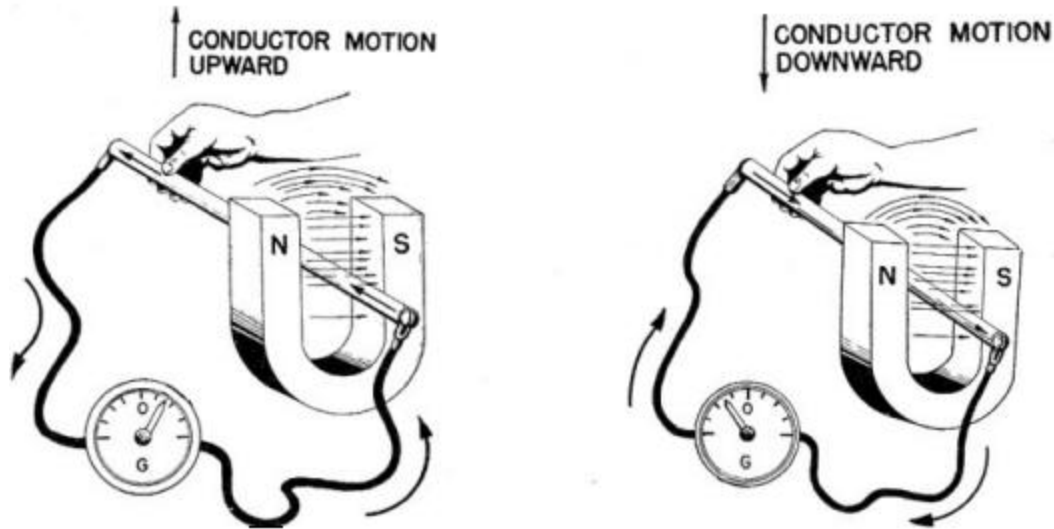


$$F = B \cdot I \cdot l$$

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.

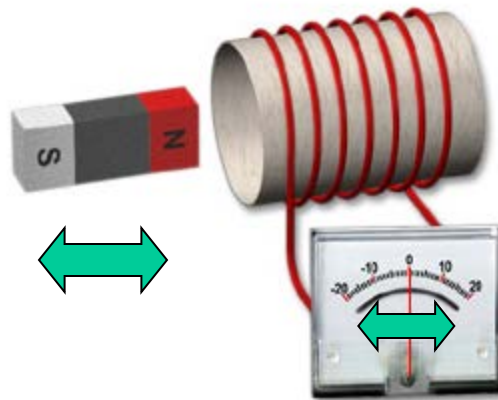
Generatorprincipen



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

$$Emf = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Lenz's Law

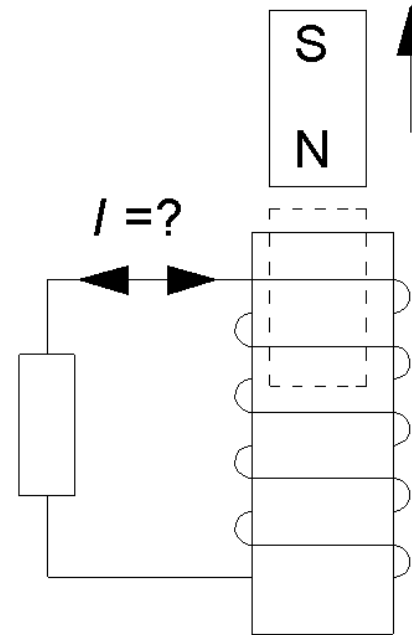
The diagram shows the equation $Emf = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. A box labeled 'Faraday's Law' has an arrow pointing to the entire equation. Another box labeled 'Lenz's Law' has an arrow pointing specifically to the negative sign in the equation.

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!)

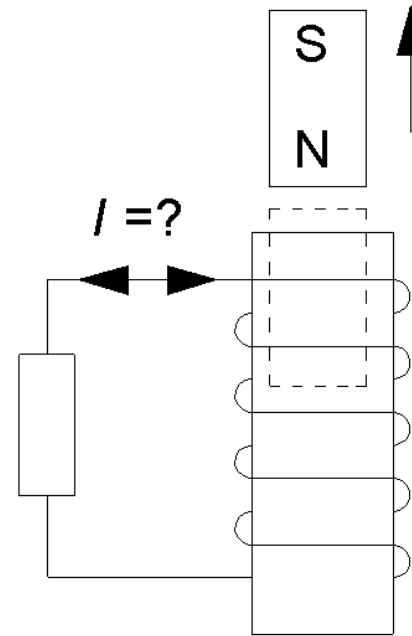
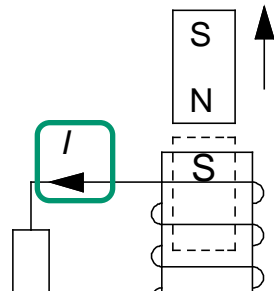
Snabbfråga Lenz lag (9.9)

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



Snabbfråga Lenz lag (9.9)

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

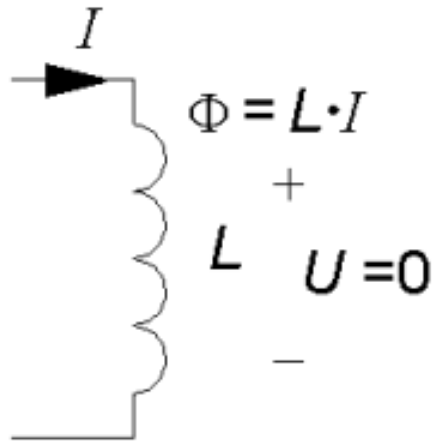


Strömmen ska motverka rörelsen. Så blir det om magneten lämnar spolen vid "sydsidan" (= attraktion mellan spole och magnet). Högerhandsregeln ger då strömriktningen ut från lindningen.



William Sandqvist william@kth.se

Induktans



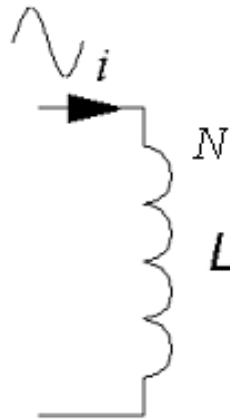
- En **konstant ström** I genom en spole ger upphov till ett magnetiskt flöde Φ . Flödets storlek är proportionellt mot strömmen I , men beror också på spolens *geometriska utformning*.

$$\boxed{\Phi = L \cdot I}$$

Proportionalitetskonstanten L är spolens induktans med sorten Henry [H].

Om strömmen är oföränderlig, konstant, blir det *inget* spänningsfall över spolen. $U = 0$.

Självinduktion

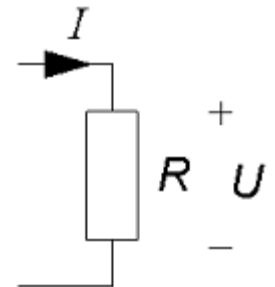


$$e = N \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

$$e = L \frac{di}{dt}$$

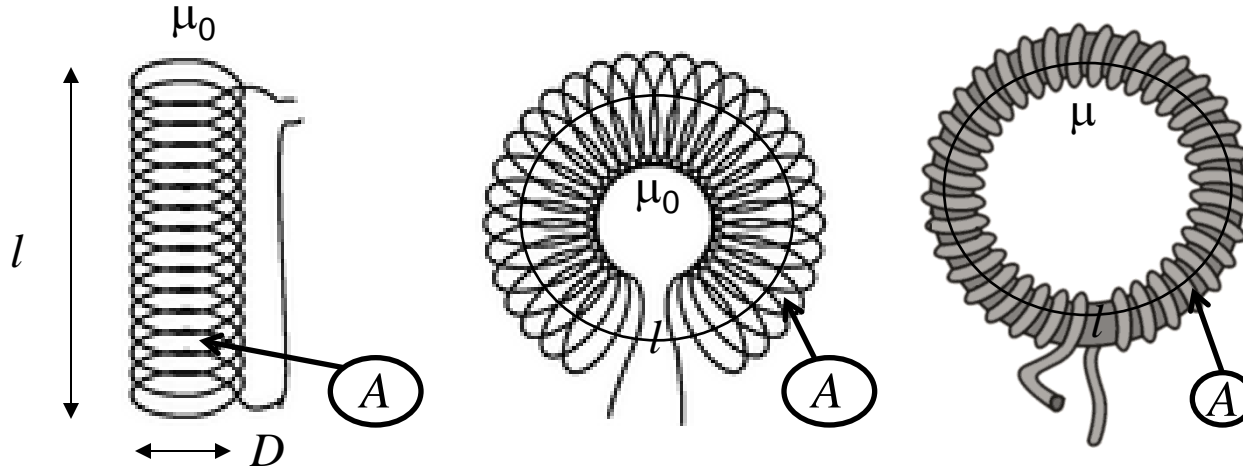
- En **föränderlig ström** i ger upphov till ett föränderligt flöde, och då induceras en motverkande spänning, e , över spolen. Detta är självinduktion. Spolen får ett spänningsfall som beror av strömmens förändringshastighet

Lentz lag's motverkan innebär här att man definierar spänningsfallets riktning som för en "resistor".



William Sandqvist william@kth.se

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 ($l/D \gg 10$).

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

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

(9.11) Snabbfråga $L \propto N^2$

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

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?



(9.11) Snabbfråga $L \propto N^2$

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

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?

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

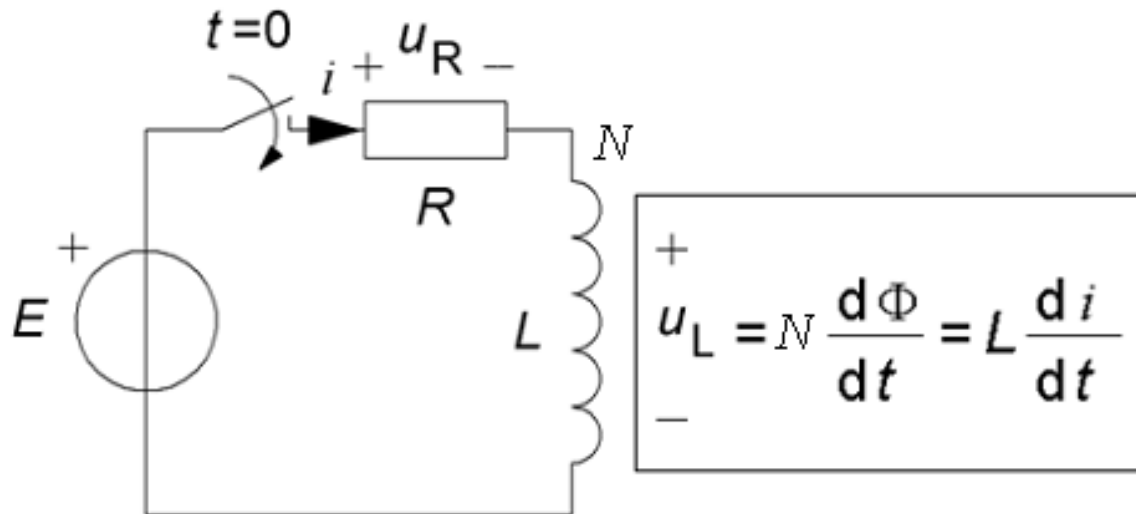
Linda av 29 varv så halveras induktansen!
(100-29=71)



William Sandqvist william@kth.se

Spolens transienter

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

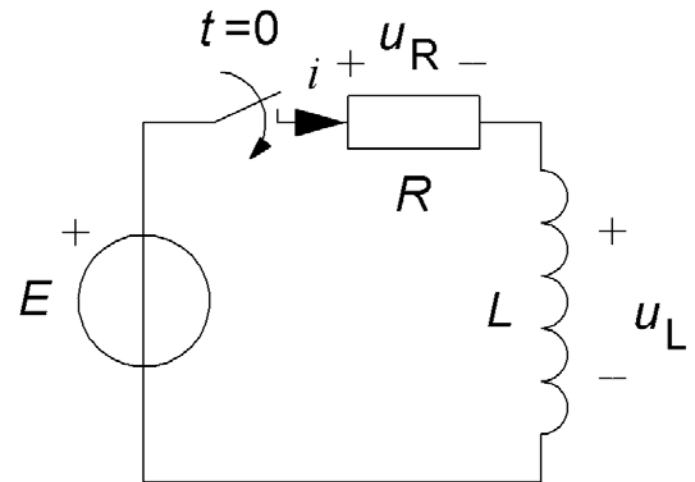


Spolens transienter

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 metalltråd spolen lindats av.

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



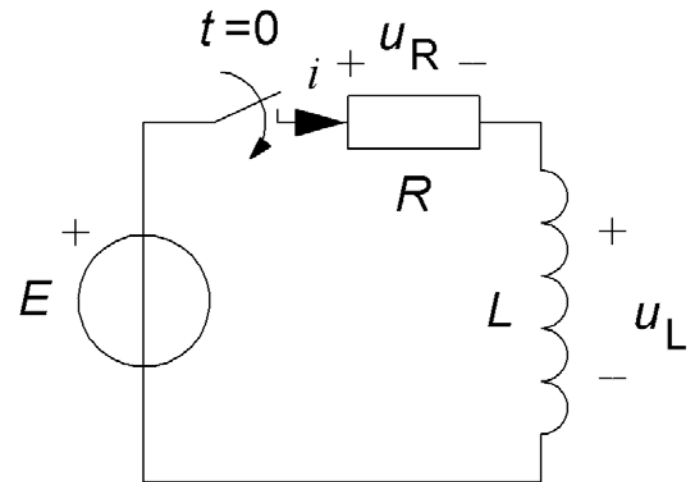
Spolens transienter

Vad händer när en spole kopplas in till ett batteri?

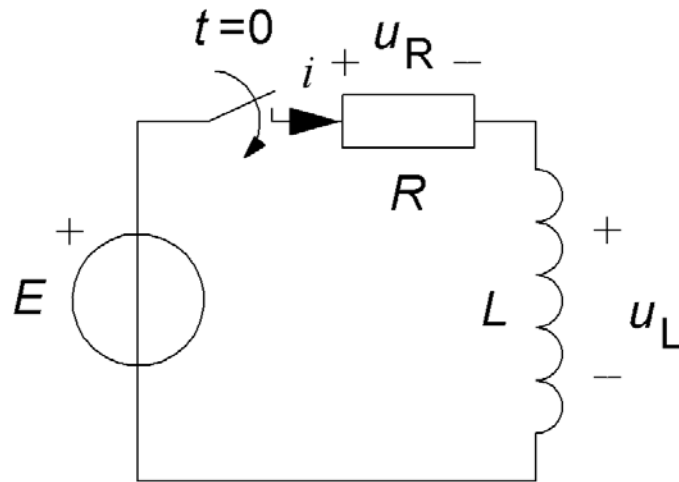
Vi antar att spolen förutom sin induktans L , även har en resistans R tex från den metalltråd spolen lindats av.

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

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



Spolens transienter



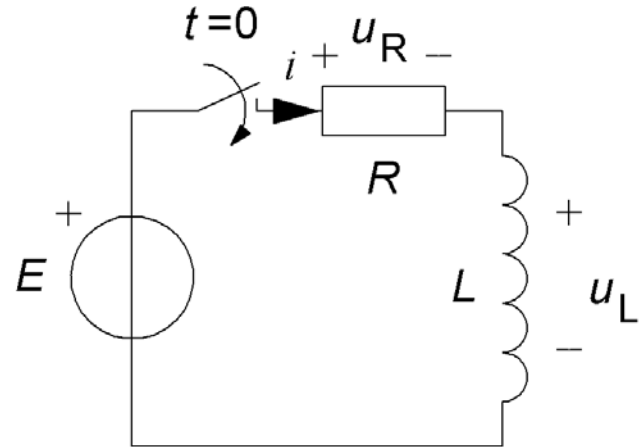
$$E = i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}$$

- Lösningen till denna differentialekvation är en **exponentialfunktion** med tidkonstant.

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

Spolens tidkonstant

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

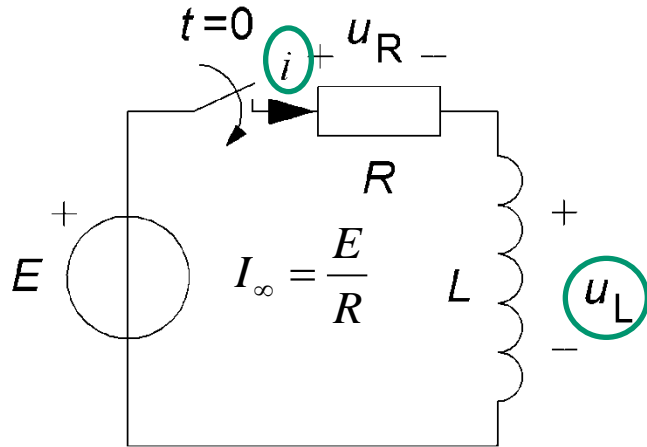


L/R kallas för tidkonstant och brukar betecknas med τ .

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

William Sandqvist william@kth.se

Energi lagrad i magnetfält



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

Ögonblickseffekt:

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

Energi:

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

Upplagrad energi i magnetfältet:

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

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

Energi i kondensator och spole

$$W_L = \frac{1}{2} L \cdot I^2 \quad W_E = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$



- **Tänkt elektromagnetisk motor:**

$W_M = L \cdot I^2 / 2$ koppar "tål" 3A/mm² induktansen 1 H är rimlig i en motor.

- **Tänkt elektrostatisk motor:**

$W_E = C \cdot U^2 / 2$ luft "tål" 2,5 kV/mm kapacitansen 100 pF är rimlig för en motor. 1 mm mellan rörliga delar är rimligt.

Nu är alla elektrostatiska motorer mikromekaniska ...

Enligt uträkningarna kommer nog detta att bestå!

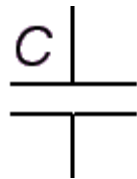
$$W_M \approx \frac{1 \cdot 3^2}{2} = 4,5 \text{ J} \quad W_E \approx \frac{100 \cdot 10^{-12} \cdot (2,5 \cdot 10^3)^2}{2} = 3,13 \cdot 10^{-4} \text{ J}$$

Induktorer



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**.

William Sandqvist william@kth.se