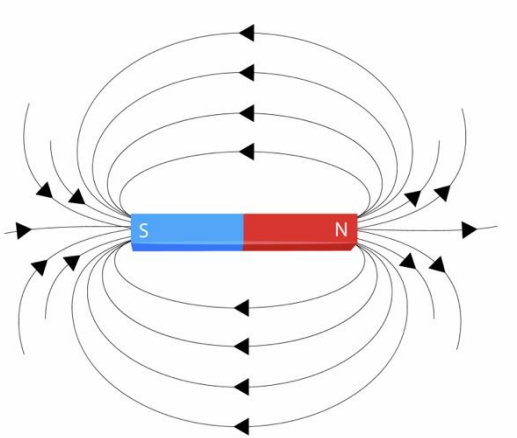
# Magnetism

Det finns en del material som har förmåga att bli magnetiska om de utsätts för ett magnetiskt fält. Magnetism brukar anges som magnetisk flödestäthet $B$ och anges i enheten Wb och är definerat som det magnetiskt flödet $\Phi$ per areaenhet $A$.

Magnetiskt flödestäthet: $\mathrm{B} = \frac{\Phi}{A}$ $[T]$ (Tesla)




Det magnetiska flödet har enheten Weber [Wb]. $[T = \frac{Wb}{m^2}]$

# Ferromagnetiska material

Så kallade ferromagnetiska material har en förmåga att bli magnetiska då de utsätts för ett magnetiskt fält av en tillräckligt hög flödestäthet.

Vissa kan behålla magnetismen en kortare tid varefter den avtar. Dessa kallas då temporärmagneter. Andra behåller den så länge att de då kallas permanentmagneter.

Nedan en tabell över några ferromagnetiska material. De så kallade koerciviteten anger hur stor flödestäthet som krävs för att magnetisera materialet.

| **Material** | **Koercivitet** |
|---|---|
| $Nd_2Fe_{14}B$ (neodymmagnet) | 1,2 T |
| Alnico | 0,06 T |
| Fe (sintrat pulver) | 0,05 T |
| Fe (transformatorplåt) | 50 µT |
| Permalloy | 5 µT |
| Superpermalloy | 0,2 µT |

# Permeabilitet

Permeabilitet är ett mått på ett materials magnetiska styrka.
Den anges ofta som relativ permeabilitet för materialet i förhållande till permeabiliteten i luft (eller egentligen vaakum).

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad Vs/Am$$

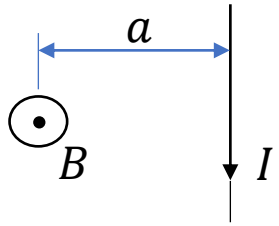
Relativ permeabilitet för några olika material:

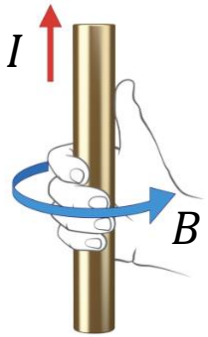
| Ämne | Relativ Permeabilitet, $\mu_r$ |
|---|---|
| Vatten, luft | 1 |
| Kobolt | 250 |
| Nickel | 600 |
| Stål | 100 |
| Järn | 5000 |
| Järn anlöpt i väte | 200000 |
| Permalloy | 100000 |
| Superpermalloy | 1000000 |

# Elektrisk ström och magnetiskt flödestäthet

En elektrisk ledare, ex v en kabel, genererar en magnetiskt flödestäthet som är proportionell mot strömmen $I$ genom ledaren samt omvänt mot avståndet $a$ från ledaren. Riktningen på det magnetiska flödet kan bestämmas med högerhandsregeln.

$$B = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \frac{I}{a}$$



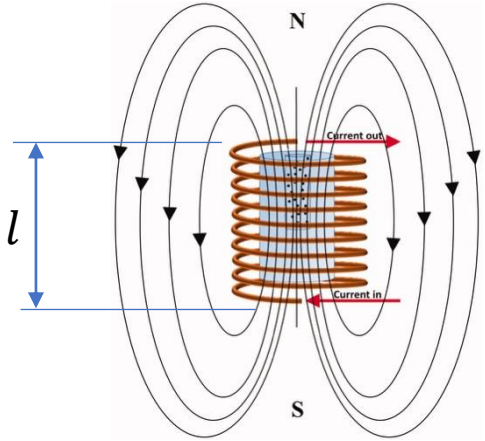




<u>Högerhandsregeln runt en ledare:</u>
Om tummen pekar i strömmens riktning pekar fingrarna i magnetfältets riktning.

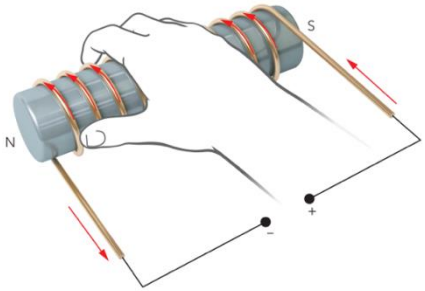
*) I luft kan det magnetiska flödet tecknas $B = \frac{2 \cdot 10^{-7} \cdot I}{a}$

# Elektromagnetisk spole

Genom att vira en ledare runt ett ferritiskt material fås en konstgjord magnet som kan bli mycket stark. Spolen har också vissa egenskaper som gör den till en ofta förekommande komponent i elekroniska kretsar.




$$B = \frac{N \cdot \mu \cdot I}{l}$$

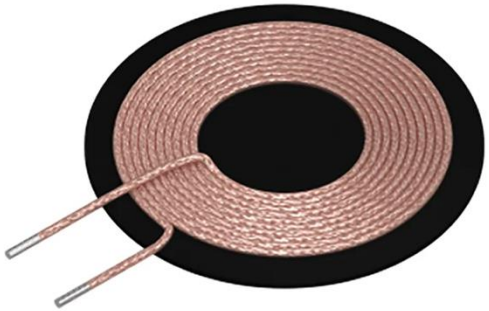



<u>Högerhandsregeln runt en spole:</u>

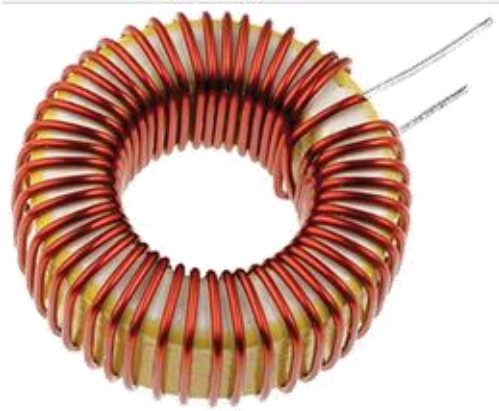
Om fingrarna pekar i strömmens riktning pekar tummen i magnetfältets riktning.

## Några olika varianter av elektromagnetiska spolar

Spolar tillverkas i platt form, solenoid och som toroid. Formeln för den magnetiska flödestätheten kan se lite olika ut beroende på utformning.







$$B \approx \frac{N \cdot \mu \cdot I}{2r_m}$$

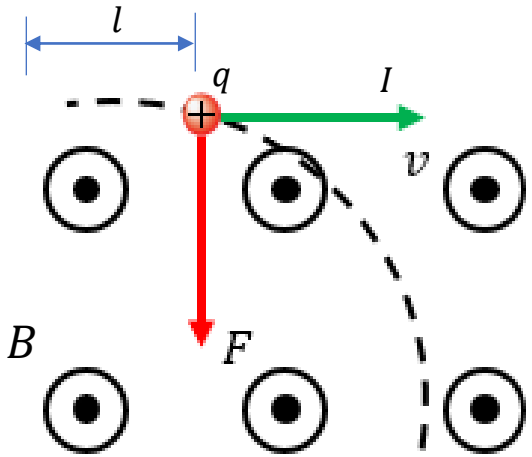
$$\mathrm{B} = \frac{N \cdot \mu \cdot I}{l}$$

$$\mathrm{B} = \frac{N \cdot \mu \cdot I}{2\pi r}$$

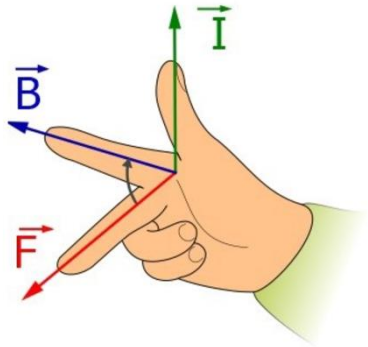
*) Notera att det skiljer ca en faktor $\pi$ i flödestäthet mellan en toroid och en platt spole (för samma ström, antal varv och permeabilitet).

# Kraft på partikel i ett magnetfält

Om en laddad partikel skjuts genom ett magnetfält kommer den att påverkas av en kraft $F_m$ som gör att rörelsebanan böjer av. Kraften kan bestämmas till både storlek och riktning.




Högerhandsregeln i ett magnetfält:
Om tummen pekar i strömmens riktning pekar pekfingret i magnetfältets riktning och långfingret i kraftens riktning.



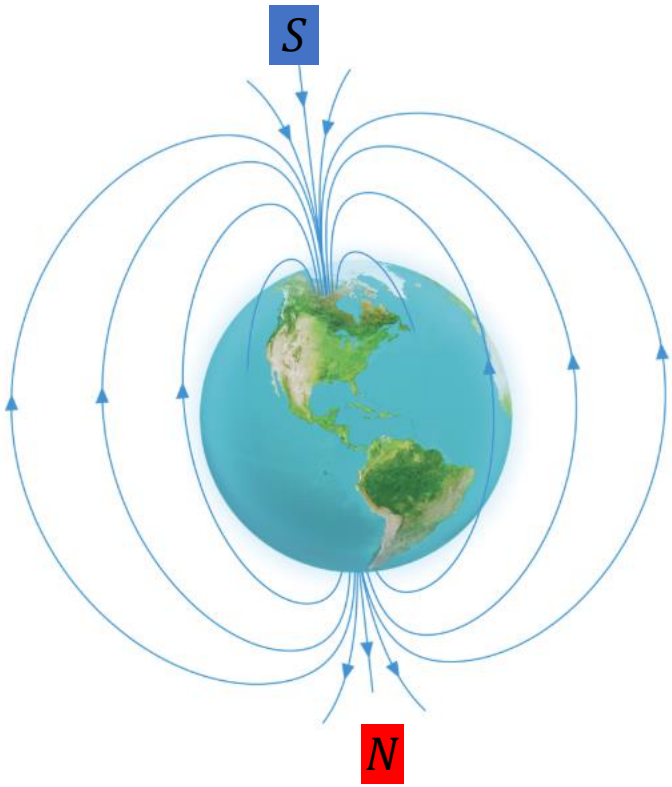

$$F_m = q \cdot v \cdot B$$

$$F_m = I \cdot l \cdot B$$

*) Notera att högerhandsregeln ovan gäller för en positivt laddad partikel. För en negativt laddad partikel kan i stället vänsterhanden användas.

# Jordens magnetfält

Det är jordens magnetfält som gör att vi kan navigera med en kompass. Notera att jordens magnetiska sydpol ligger i norr och dess nordpol i söder. Positionerna överensstämmer heller inte riktigt med de geometriska polernas.



# Begreppet Induktion respektive Induktans

Den spänning som induceras över en spole beror på det magnetiska flödet per tidsenhet. Sambandet ger oss den så kallade induktionslagen:

$$U = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$U = -N\frac{d\Phi}{dt}$$

(inducerad spänning i en spole)

Med hjälp av kedjeregeln kan vi skriva spänningen som :

$$U = -\frac{d\Phi}{dI} \cdot \frac{dI}{dt}$$

Induktansen som beror av spolens geometri definieras som:

$$L = \frac{d\Phi}{dI}$$

[H] (Henry)

Detta ger oss sambandet mellan spänning och ström för en spole:

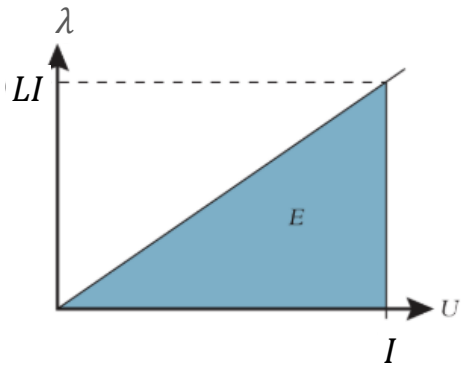
$$U = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

# Energi lagrad i spolen

Energin som lagras i en magnetspole kan tecknas enligt följande. $\lambda$ är här flödeslänkningen $N \cdot \Phi = L \cdot I$

$$E = \frac{\lambda \cdot I}{2}$$

$$\lambda = L \cdot I \Rightarrow \quad E = \frac{L \cdot I^2}{2}$$



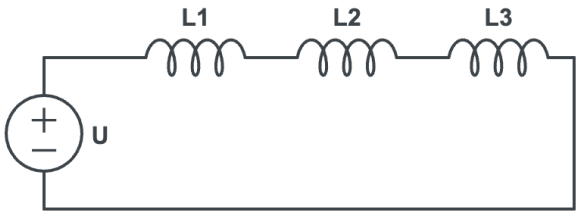

*) Den elektromagnetiska energin motsvarar arean i $\lambda - I$ grafen och kan således även bestämmas med en integral.

$$E = \int dE = \int \lambda \cdot dI = \int LIdI = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

# Serie- respektive parallellkoppling

Ersättningsinduktansen för serie- respektive parallellkoppling beräknas på samma sätt som för motstånd (förutsatt att spolarna sitter monterade med tillräckligt avstånd från varandra så att de inte påverkar varandras magnetfält).

## Seriekoppling

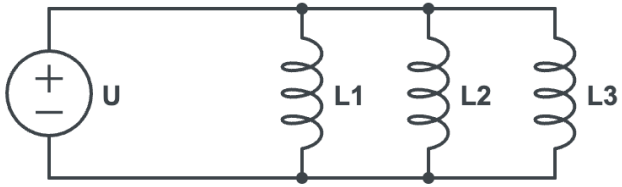



$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$L \cdot \frac{dI}{dt} = (L_1 + L_2 + L_3) \cdot \frac{dI}{dt}$$

$$\boxed{L = L_1 + L_2 + L_3}$$

## Parallellkoppling




$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

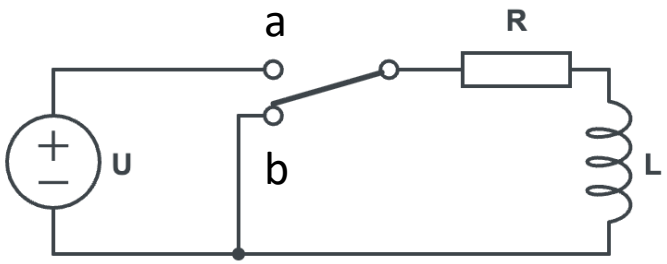
$$dI = dI_1 + dI_2 + dI_3$$

$$\frac{U}{L} = \frac{U}{L_1} + \frac{U}{L_2} + \frac{U}{L_3}$$

$$\boxed{\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}}$$

# Upp- och urkoppling av en spole

Studera nedanstående RL-krets. Spänningen och strömmen i varje tidsögonblick kan bestämmas ur en differentialekvation.




$$U = U_R + U_L$$

$$U = R \cdot I + L \cdot I'$$

$$I' + \frac{R}{L} \cdot I = \frac{U}{L}$$

$$I = \frac{U}{R}\left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}}\right)$$

Vid inkoppling (strömbrytaren i läge a):

$$U_L = -L \cdot I' = Ue^{-\frac{Rt}{L}}$$

$$I = \frac{U}{R}\left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}}\right)$$

Vid urkoppling (strömbrytaren i läge b):

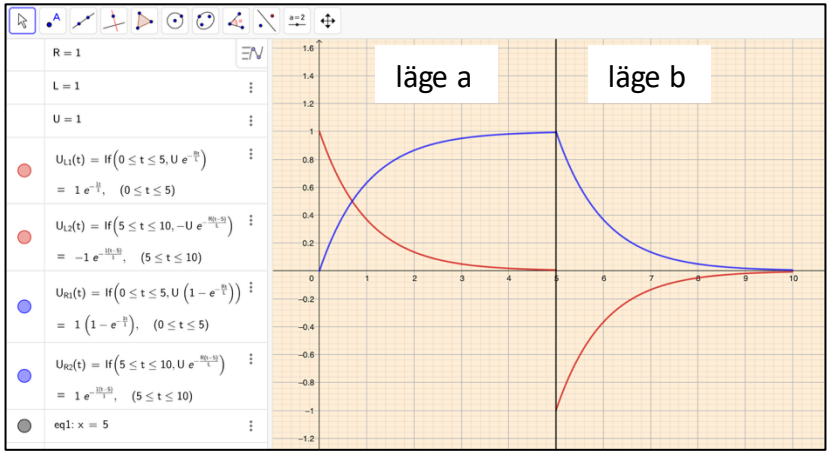
$$U_L = -R \cdot I = -U\, e^{-\frac{Rt}{L}}$$

$$I = \frac{U}{R}\, e^{-\frac{Rt}{L}}$$

# Upp- och urkoppling av en spole (forts.)

Om strömbrytaren står i läge a kommer strömmen nå upp till maxströmmen I, samtidigt som spänningen över spolen går mot noll. När strömbrytaren sedan slår om till läge B sjunker strömmen till noll samtidigt som spänningen över spolen växlar riktning.

Spänning $U_L$ och $U_R$:




Ström I :

