

# Forelesning i Fysikk 9.

## Magnetisk induksjon

Hans J. Rivertz

IDI-avdeling-kalvskinnet

13. februar 2020

# Plan for forelesningen



Læringsmål for timen

30.1 Gjensidig induksjon

30.2 Selvindusksjon og spoler

30.3 Magnetisk felt-energi

30.4 R-L-kretser

30.5 L-C-kretser

30.6 L-R-C-kretser

# Oversikt



## Læringsmål for timen

30.1 Gjensidig induksjon

30.2 Selvinduskjon og spoler

30.3 Magnetisk felt-energi

30.4 R-L-kretser

30.5 L-C-kretser

30.6 L-R-C-kretser

# Læringsmål for timen



- Kjenne til spoler (inductors) og hvordan de virker.
- Forstå hvordan strøm i en krets kan indukere strøm i en annen krets uten ledninger mellom disse. (innbyrdes induksjon)
- Forstå hvordan vekselstrøm i en krets kan indukere strøm i en annen krets uten ledninger mellom disse. (innbyrdes induksjon)
- Forstå hvordan en endring av strøm i en sløyfe eller spole inducerer ems i seg selv. (selv-induksjon)
- Kunne beregne energi i et magnetfelt.
- Kunne beregne strøm og spenning i
  - R-L kretser
  - L-C kretser
  - L-R-C kretser

# Oversikt



Læringsmål for timen

30.1 Gjensidig induksjon

30.2 Selvinduskjon og spoler

30.3 Magnetisk felt-energi

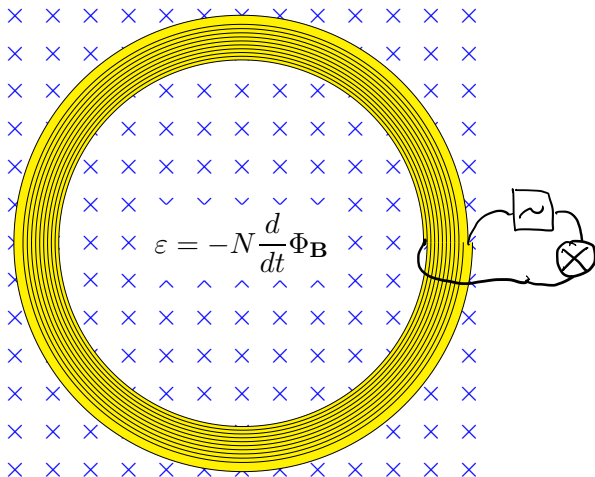
30.4 R-L-kretser

30.5 L-C-kretser

30.6 L-R-C-kretser

## 30.1 Gjensidig induksjon

Når en leder er kveilet opp i  $N$  antall sløyfer (spole) vil induisert ems multipliseres med  $N$ . Det er på grunn av at de  $N$  sløyfene er koblet i serie.



## 30.1 Gjensidig induksjon

To spoler ligger utenpå hverandre

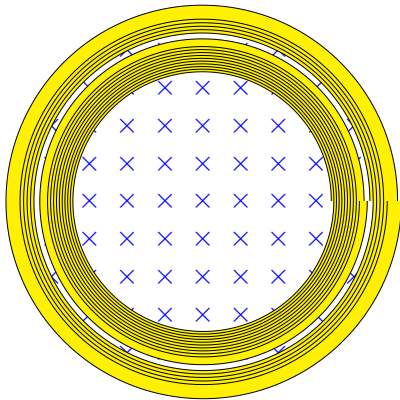
- Magnetfeltet fra ytre spole,  $\mathbf{B}(t)$ , er proporsjonalt med strøm og antall vindinger.

- Indusert ems i indre spole

$$\varepsilon = -N \frac{d}{dt} \Phi_B$$

*serie av N sløyfer*

- Spenning er proporsjonal med  $N$
- Slik virker i prinsippet en transformator.



# Oversikt



Læringsmål for timen

30.1 Gjensidig induksjon

30.2 Selvinduskjon og spoler

30.3 Magnetisk felt-energi

30.4 R-L-kretser

30.5 L-C-kretser

30.6 L-R-C-kretser

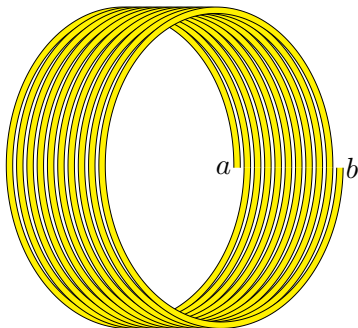


## 30.2 Selvinduskjon og spoler

Når strømmen endres i en spole vil magnetfeltet og derfor fluksen endres proporsjonalt. Det vil indusere en ems i spolen som motvirker endringen.

$$V_{ab} = -\varepsilon = L \frac{d}{dt} i(t)$$

Konstanten  $L$  (**induktans**) er avhengig av størrelsen til spolen og antall vindinger.  $L$  måles i Henry (H).



# Oversikt



Læringsmål for timen

30.1 Gjensidig induksjon

30.2 Selvinduskjon og spoler

30.3 Magnetisk felt-energi

30.4 R-L-kretser

30.5 L-C-kretser

30.6 L-R-C-kretser

## 30.3 Magnetisk felt-energi

Effekt avgitt til spolen er gitt ved

$$P = i V_{a,b}$$

Energien finner vi ved å integrere opp effekten.

$$E = \frac{1}{2} L i^2.$$



## 30.3 Magnetisk felt-energi

Energien er lagret i feltet og ikke i lederen. Energitettheten<sup>1</sup> til feltet er

$$u = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

---

<sup>1</sup>Energitetthet  $u$  = energi per volum enhet

# Oversikt



Læringsmål for timen

30.1 Gjensidig induksjon

30.2 Selvindusksjon og spoler

30.3 Magnetisk felt-energi

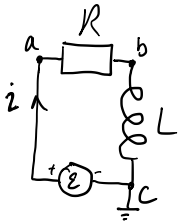
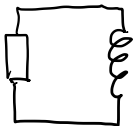
30.4 R-L-kretser

30.5 L-C-kretser

30.6 L-R-C-kretser

## 30.4 R-L-kretser

En krets som består av en  
motstånd  $R$  og en spole med induktans  
 $L$ .



Kirchhoffs II lov.

$$\sum V = 0.$$

$$i(t)$$

$$E(t)$$

$$V_{ab} = Ri(t) = V_a - V_b$$

$$V_{bc} = Li'(t) = V_b - V_c$$

$$V_{ca} = -E(t) = V_c - V_a$$

Kirchhoffs II lov.

$$Ri(t) + Li'(t) - E(t) = 0.$$

Spezialtiefte  $\varepsilon = 0$  (konstant lih 0.)

$$R i(t) + L \cdot \frac{di}{dt} = 0 \quad \text{Differential-gleichung.}$$

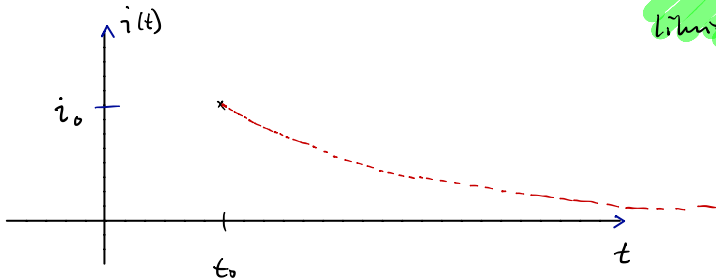
$$\frac{di}{dt} = - \frac{R}{L} i$$

Diff-gleichung für exponentiell  
abklingend.

$$i(t) = i_0 \cdot e^{-\frac{R}{L}(t-t_0)}$$

$$i_0 = i(t_0)$$

Homogen  
gleichung



$$R_i + L \frac{di}{dt} = \mathcal{E}$$

1. Stationäre Lösungen. D.h.  $\frac{di}{dt} = 0$ .

$$R_i = \infty \quad \text{Dus} \quad i_s(t) = \frac{\mathcal{E}}{R} \quad (\text{konstant}).$$

$L_n i_h(t)$  vere lösnig av  $R_i + L \frac{di}{dt} = 0$  Homogen

on  $i_b(t)$  stasjonær løsting er  $Ri + L \frac{di}{dt} = \varepsilon$

Du er  $i_h(t) + i_s(t)$  også —————

General Lösung:  $\frac{\varepsilon}{R} + I_0 e^{-\frac{R}{L}(t-t_0)} = i(t)$

Gitt  $i(t_0) = i_0$   $\frac{\varepsilon}{R} + I_0 = i_0$   $i(t) = \frac{\varepsilon}{R} + (i_0 - \frac{\varepsilon}{R})e^{-\frac{t}{\tau}}$



# Oversikt



Læringsmål for timen

30.1 Gjensidig induksjon

30.2 Selvinduskjon og spoler

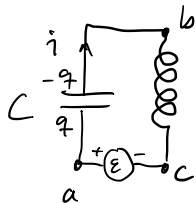
30.3 Magnetisk felt-energi

30.4 R-L-kretser

30.5 L-C-kretser

30.6 L-R-C-kretser

## 30.5 L-C-kretser



$q$  ladning på kondensator

$$\dot{q} = i$$

$$V_{ab} = \frac{q}{C}$$

$$V_{bc} = L \frac{di}{dt} = L \frac{d^2 q}{dt^2}$$

$$V_{ca} = -\mathcal{E}(t).$$

Kirchoffs II lov.

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{q}{C} - \mathcal{E}(t) = 0$$

Special tilfelle.  $\mathcal{E} = 0$ .

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{q}{C} = 0 \quad (\Leftrightarrow)$$

$$\frac{d^2 q}{dt^2} = -\frac{1}{LC} \cdot q$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

$$q'' = -\omega_0^2 q$$

general løsning

$$q(t) = A \cos \omega_0 t + B \sin \omega_0 t.$$

$$\xi(t) = \xi_0 \cdot \sin \omega t.$$

$$q'' + \omega_0^2 q = \xi_0 \sin \omega t.$$

Speziell lösnng.  $q_s(t) = q_0 \sin \omega t$

setzen ein

$$-q_0 \omega^2 \sin \omega t + q_0 \omega_0^2 \sin \omega t = \xi_0 \sin \omega t \quad | : \sin \omega t$$

$$q_0 (\omega_0^2 - \omega^2) = \xi_0 \quad \omega \neq \omega_0$$

$$q_0 = \frac{\xi_0}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

$$\omega = \omega_0$$

$$q(t) = D t \cos \omega t + E t \sin \omega t.$$

Resonance.



# Oversikt



Læringsmål for timen

30.1 Gjensidig induksjon

30.2 Selvinduskjon og spoler

30.3 Magnetisk felt-energi

30.4 R-L-kretser

30.5 L-C-kretser

30.6 L-R-C-kretser

## 30.6 L-R-C-kretser



# Neste forelesning



Bølger og partikler. Kvantemekanikk.