

# Fysik 6

Elektrodynamik  
John Niclasen

## Contents:

---

### 1. Pensum

### 2. Elektronik

- 2.1 Kirchoff's 1. lov
- 2.2 Kirchoff's 2. lov
- 2.3 Modstand
- 2.4 Kapacitor
- 2.5 Induktans (Spole)
- 2.6 Batterier og spændingsforsyninger
- 2.7 RCL-kredsløb
- 2.8 RL-kredsløb

## 1. Pensum

---

- Elektronik noter, s. 71-95
- Fourier Transformation, afsnit 1-3, s. 1-10
- More on waves, afsnit 1-4, s. 1-16
- D. J. Griffiths, Introduktion to Elektrodynamik, Third Edition, Prentise-Hall, 1999.
  - Afsnit 7.3, side 321-333, med undtagelse af underafsnit 7.3.4, side 327-328. Vi er gået overfladisk hen over udledningen af Maxwells ligninger i medier i afsnit 7.3.5, og I vil derfor ikke blive stillet til regnskab for udledningen, men det er vigtigt, at I kender resultatet i ligning (7.55).
  - Afsnit 8.1, side 345-349.
  - Afsnit 9.1, side 364-374.
  - 9.2-9.3.2, side 375-386. Kommentarerne om impuls og tryk i lign (9.58), (9.59), (9.62) og (9.64) er ikke pensum.
  - Afsnit 9.4.1 og 9.4.2, side 392-398.
  - Afsnit 10.1 og 10.2.1, side 416-426.
  - Afsnit 11.1.1 og 11.1.2 side 443-449.

## 2. Elektronik

---

### Symboler

Symbol	Forklaring
$C$	Kapacitans (Kapacitor)
$\vec{E}$	Elektrisk felt
$\vec{F}$	Kraft
$I$	Strøm
$\vec{J}$	Strømtæthed
$L$	Induktans (Spole)
$\vec{l}$	Liniestykke
$P$	Effekt
$Q$	Ladning
$R$	Resistans (Modstand)
$t$	Tid
$V$	Spænding

$W$	Arbejde
$Z$	Impedans (Kompleks modstand)
$\varepsilon$	Elektromotorisk kraft (Spænding)
$\nu$	Frekvens ( $= \omega/2\pi$ )
$\Phi$	Flux
$\phi$	Fase
$\theta$	Fase
$\sigma$	Konduktivitet
$\omega$	Vinkelfrekvens (Vinkelhastighed)

## 2.1 Kirchoff's 1. lov

Knudeligningen siger, at summen af strømme, der løber til en knude, er lig med summen af strømme, der løber fra knuden. Så den totale sum af strømmene regnet med fortegn er nul:

### 2.1.1 Jævnstrøm

$$\sum_i I_i = 0$$

### 2.1.2 Vekselstrøm

$$\sum_j \Re[\tilde{I}_j] = 0$$

## 2.2 Kirchoff's 2. lov

Maskeligningen siger, at spændingsfaldet (den elektromotoriske kraft) leveret af spændingsforsyninger (batterier) er lig summen af spændingsfald over alle komponenter i masken.

### 2.2.1 Jævnstrøm

$$\sum_{\text{batterier}} \varepsilon_i = \sum_{\text{spoler}} L_i \frac{dI_i}{dt} + \sum_{\text{kapacitorer}} \frac{1}{C_i} \int^t I_i(t') dt' + \sum_{\text{modstande}} R_i I_i$$

### 2.2.2 Vekselstrøm

$$\sum_{\text{batterier}} \tilde{\varepsilon}_{0,j} = \sum_{\text{spoler}} -i\omega L_j \tilde{I}_{0,j} + \sum_{\text{kapacitorer}} \frac{1}{-i\omega C_j} \tilde{I}_{0,j} + \sum_{\text{modstande}} R_j \tilde{I}_{0,j}$$

## 2.3 Modstand

### 2.3.1 Ohm's lov

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$$

### 2.3.2 Jævnstrøm

$$V = RI$$

## Effekt

Modstand sætter sig som varme i ledninger og komponenter, og det sker med hastigheden:

$$P = \frac{dW}{dt} = \int_V \vec{J} \cdot \vec{E} dt$$

$$P = \frac{dW}{dt} = VI = RI^2$$

### 2.3.3 Vekselstrøm

$$\tilde{\varepsilon}_0 = R \tilde{I}_0$$

$$\Leftrightarrow \tilde{I}_0 = \frac{\tilde{\varepsilon}_0}{R}$$

$$\tilde{I}(t) = \tilde{I}_0 e^{-i\omega t}$$

$$I(t) = \Re[\tilde{I}(t)]$$

## 2.4 Kapacitor

$$Q = CV$$

$$\Leftrightarrow V = \frac{Q}{C}$$

### 2.4.1 Energi

Det koster energi at lade en kapacitor op:

$$W = \frac{Q^2}{2C}$$

### 2.4.2 Jævnstrøm

$$I = C \frac{dV}{dt}$$

$$\Leftrightarrow V = \frac{1}{C} \int I dt$$

### 2.4.3 Vekselstrøm

$$\tilde{\varepsilon}_0 = \frac{1}{-i\omega C} \tilde{I}_0$$

$$Q(t) = \Re[\tilde{Q}_0 e^{-i\omega t}]$$

$$\tilde{Q}_0 = \frac{\tilde{I}_0}{-i\omega}$$

$$\tilde{I}(t) = \tilde{I}_0 e^{-i\omega t} = \frac{d\tilde{Q}}{dt} = -i\omega \tilde{Q}_0 e^{-i\omega t}$$

$$I(t) = \Re[\tilde{I}(t)]$$

## 2.5 Induktans (Spole)

$$\varepsilon = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$\Phi = LI$$

## 2.5.1 Jævnstrøm

$$\varepsilon = -L \frac{dI}{dt}$$

## 2.5.2 Vekselstrøm

$$\begin{aligned}\tilde{\varepsilon}_0 &= -i\omega L \tilde{I}_0 \\ \tilde{I}(t) &= \tilde{I}_0 e^{-i\omega t} = \frac{\tilde{\varepsilon}_0}{-i\omega L} e^{-i\omega t} \\ I(t) &= \Re[\tilde{I}(t)]\end{aligned}$$

## 2.6 Batterier og spændingsforsyninger

### 2.6.1 Jævnstrøm

$$\varepsilon_0 = \int \bar{F} \cdot d\bar{l}$$

#### Effekt

Energien et batteri pumper ind i et kredsløb pr. tid:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}(Q\varepsilon_0) = I\varepsilon_0$$

### 2.6.2 Vekselstrøm

$$\begin{aligned}\varepsilon(t) &= \varepsilon_0 \cos(\omega t + \theta) \\ \varepsilon(t) &= \Re[\tilde{\varepsilon}(t)] = \Re[\tilde{\varepsilon}_0 e^{-i\omega t}] \\ I(t) &= \Re[\tilde{I}(t)] = \Re[\tilde{I}_0 e^{-i\omega t}]\end{aligned}$$

#### Effekt

Arbejde udført af batteri pr. tid (effekt):

$$P(t) = \varepsilon(t)I(t)$$

## 2.7 RCL-kredsløb

### 2.7.1 Jævnstrøm

$$\varepsilon = L \frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{1}{C}Q + R \frac{dQ}{dt}$$

## 2.8 RL-kredsløb

### 2.8.1 Vekselstrøm

$$\begin{aligned}\tilde{\varepsilon}_0 &= Z \tilde{I}_0 = (-i\omega L + R) \tilde{I}_0 \\ \Leftrightarrow \tilde{I}_0 &= \frac{\tilde{\varepsilon}_0}{Z} = \frac{\tilde{\varepsilon}_0}{R - i\omega L} \\ |\tilde{I}_0| &= \frac{\varepsilon_0}{|Z|} = \frac{\varepsilon_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}\end{aligned}$$

$$I(t) = \Re \left[ |\tilde{I}_0| e^{-i(\omega t + \phi)} \right] = |\tilde{I}_0| \cos(\omega t + \phi)$$

## 2.8.2 Impedans

$$Z = R - i\omega L$$

$$Z = |Z| e^{i\phi}$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

$$\tan \phi = -\frac{\omega L}{R}$$