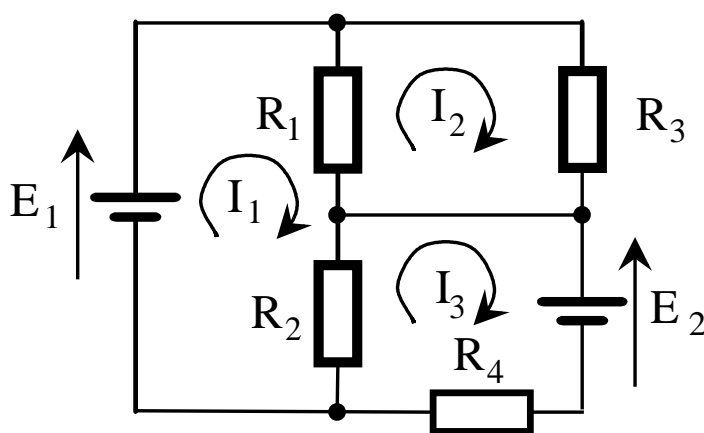
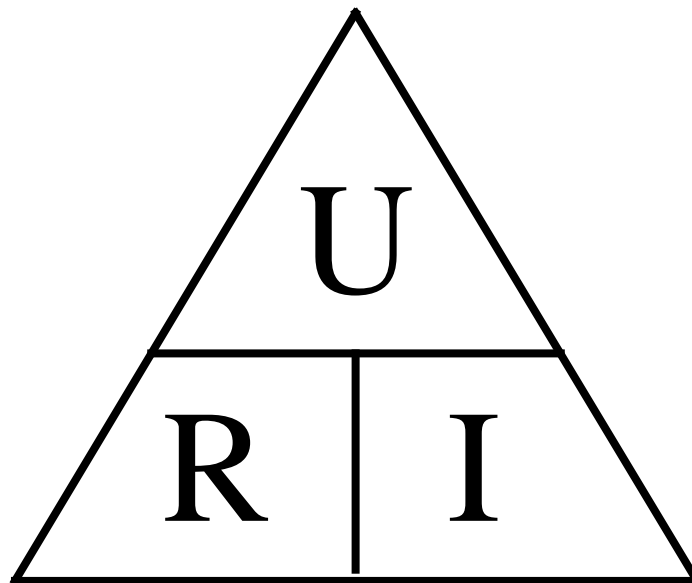


Computer- og El-teknik

Formelsamling



$$E_1 = I_1 R_1 + I_1 R_2 - I_2 R_1 - I_3 R_2$$

$$0 = I_2 R_1 + I_2 R_3 - I_1 R_1$$

$$-E_2 = I_3 R_2 + I_3 R_4 - I_1 R_2$$

Indholdsfortegnelse.

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1. | Forkortelser inden for strøm. | 2 |
| 2. | Modstande ved DC | 3 |
| 2.1 | Ohms Lov..... | 3 |
| 2.2 | Effekt og Energi i en ohmsk modstand..... | 3 |
| 2.3 | Kirchoff's Love. | 3 |
| 2.4. | Modstandskombinationer..... | 4 |
| 2.5. | Spændings- og Strømdelere. | 4 |
| 2.6 | Erstatning spændingskilde med spændingsdeler. | 5 |
| 2.7 | Stjerne – Trekant transformation. | 5 |
| 3. | Måling i kredsløb. | 6 |
| 3.1 | Måling af strøm og spænding. | 6 |
| 3.2 | Måling af modstand. | 6 |
| 3.3. | Samtidig måling af strøm og spænding..... | 6 |
| 4. | Vekselstrøm. | 7 |
| 4.1. | Definitioner på vekselstrømskurven. | 7 |
| 4.2. | Effekt på sinuskurven. | 7 |
| 5. | Ensrettere. | 8 |
| 5.1. | Enkelt-ensretning..... | 8 |
| 5.2. | Dobbelt-ensretning..... | 9 |
| 5.3. | Filtrering. | 10 |
| 6. | Kondensatorer ved DC. | 11 |
| 6.1. | Spændingsændring på en kondensator..... | 11 |
| 6.2. | Opladning af en kondensator. | 11 |
| 6.3. | Afladning af en kondensator..... | 11 |
| 7. | Kondensatorer ved AC. | 12 |
| 7.1. | RC-led ved AC..... | 12 |
| 7.2. | Vektorer på kondensatoren. | 12 |
| 7.3. | RC-led som højpas og lavpas-led. | 13 |
| 8. | Spoler ved AC | 14 |
| 8.1. | RL-led ved AC. | 14 |
| 8.2. | Vektorer på spolen. | 14 |
| 8.3. | RL-led som højpas og lavpas-led..... | 15 |
| 9. | Aktive filtre | 16 |
| 9.1. | 2. ordens lavpas..... | 17 |
| 9.2. | 2. ordens højpas. | 18 |
| 10. | Køling af halvledere | 19 |

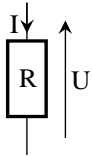
1. Forkortelser inden for strøm.

| Bogstav | Betegnelse | Enhed | Enhed |
|------------------------|---|----------|----------|
| τ | Tidskonstant | s | Sekunder |
| Δt | Tidsrum | s | sekunder |
| ΔU | Spændings-ændring | V | Volt |
| C | Kondensator | F | Farad |
| C_F | Filter-kondensator | F | Farad |
| C_L | Lade-kondensator | F | Farad |
| E | Elektromotorisk kraft (Spændingskilde) | V | Volt |
| E | Energi | J | Joule |
| f | Frekvens | Hz | Hertz |
| f_o | Overgangs-frekvens | Hz | Hertz |
| f_{Rippel} | Rippel-frekvens | Hz | Hertz |
| I | Strøm | A | Ampere |
| $I_{D,\text{Middel}}$ | Diode-strøm middel | A | Ampere |
| I_{DC} | DC middelstrøm | A | Ampere |
| I_{eff} | Effektiv-strøm | A | Ampere |
| L | Selvinduktion (Spole) | H | Henry |
| L_F | Filter-spole | H | Henry |
| P | Effekt | W = J/s | Watt |
| R | Modstand | Ω | Ohm |
| R_{bel} | Belastningsmodstand | Ω | Ohm |
| R_F | Filter-modstand | Ω | Ohm |
| T | Periodetid | s | sekunder |
| t | Tid | s | sekunder |
| t_d | Opladetid | s | sekunder |
| t_p | Periodetid | s | sekunder |
| U | Spænding | V | Volt |
| U_0 | Startspænding | V | Volt |
| u_c | Kondensatorspænding | V | Volt |
| U_D | Diode-spænding | V | Volt |
| u_{eff} | Effektiv-spænding | V | Volt |
| u_{in} | Indgangs-spænding | V | Volt |
| u_{midd} | Middel-spænding | V | Volt |
| U_{Middel} | Middel-spænding | V | Volt |
| U_{Min} | Minimum-spænding | V | Volt |
| U_p, U_{Peak} | Spids-spænding | V | Volt |
| u_{pp} | Spids til spids spænding | V | Volt |
| U_{Rippel} | Rippel-spænding (spids til spids) | V | Volt |
| X_C, X_L | Reaktans (vekselstrømsmodstand) | Ω | Ohm |
| Z | Impedans (vekselstrømsmodstand) | Ω | Ohm |

2. Modstande ved DC.

2.1 Ohms Lov.

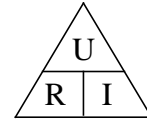
Stømmen **I** der løber i en modstand **R** er bestemt af modstandens størrelse og spændingen **U** over modstanden.



$$U = R \cdot I$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$I = \frac{U}{R}$$



2.2 Effekt og Energi i en ohmsk modstand.

Effekten **P** der afsættes i en modstand **R** er bestemt af strømmen **I** der løber i modstanden og spændingen **U** over modstanden. Ved det brændes energien **E** af i løbet af tiden **t**.

Effekt: $P = U \cdot I$

Energi: $E = P \cdot t$

Sammen med Ohms lov kan der findes de 12 følgende udtryk for **U**, **I**, **R** og **P**.

$$U = R \cdot I$$

$$U = \sqrt{P \cdot R}$$

$$U = \frac{P}{I}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{P}{U}$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{U^2}{P}$$

$$R = \frac{P}{I^2}$$

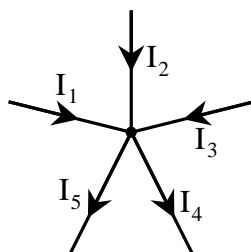
$$P = \frac{U^2}{R}$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$P = U \cdot I$$

2.3 Kirchoff's Love.

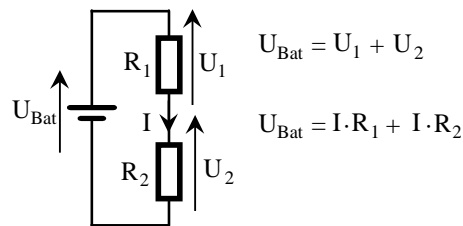
Kirchoff's 1. lov siger at summen af de strømme der løber ind i et knudepunkt er lig med summen af de strømme der løber ud fra knudepunktet (der bliver ikke noget væk).



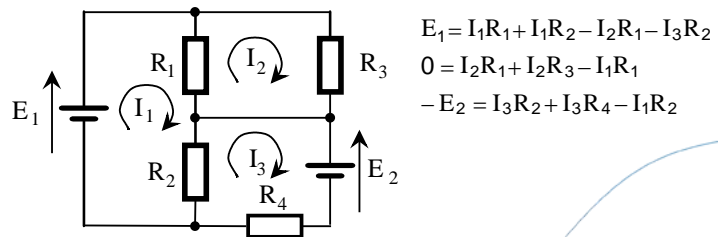
$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

Kirchoff's 2. lov siger at summen af de elektromotoriske kræfter (spændingskilder) er lig med summen af spændingsfaldene i en maske (kreds).

Simpelt Kredsløb:

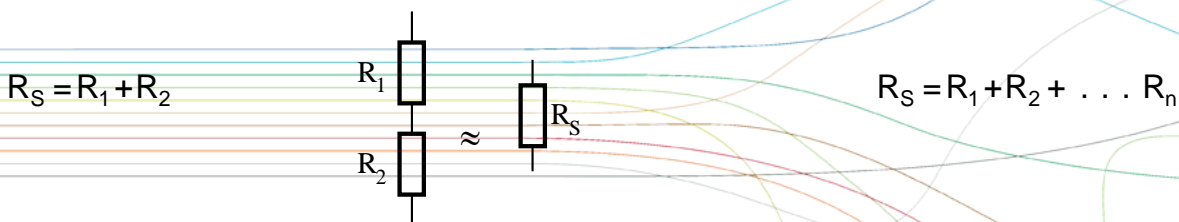


Kompliceret kredsløb:

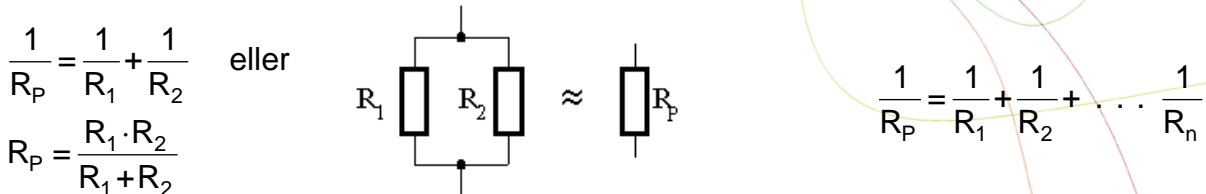


2.4. Modstandskombinationer.

Modstande i Serie:



Modstande i parallel:

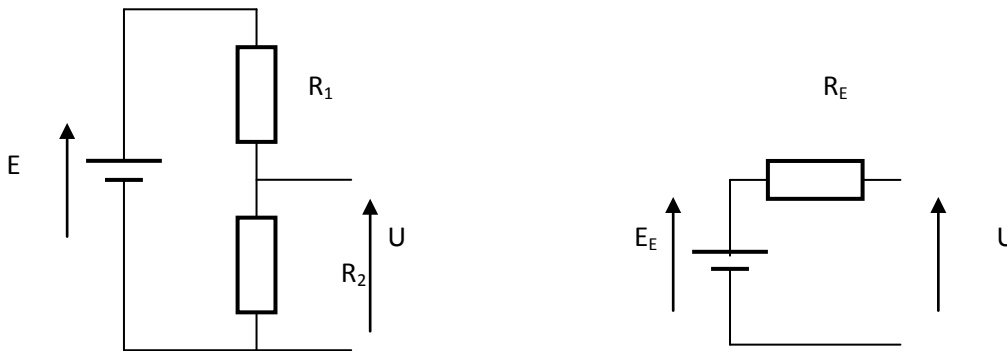


2.5. Spændings- og Strømdelere.



2.6 Erstatning spændingskilde med spændingsdeler.

En spændingskilde E , hvor man trækker en spænding U ud fra en spændingsdeler (R_1 og R_2) kan erstattes med en mindre spændingskilde E_E og en seriemodstand R_E . (Thevenin's generatoromskrivning)



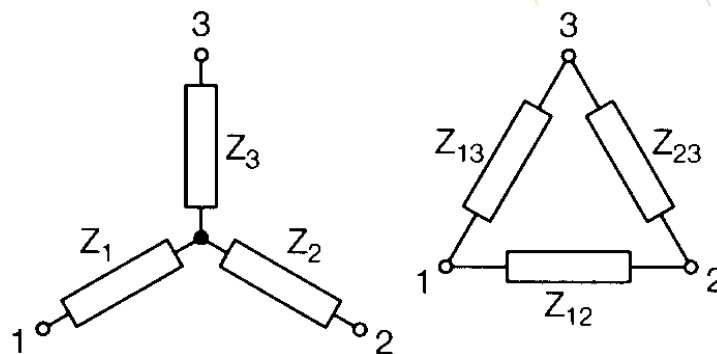
Følgende formler gælder for omregningen fra det første kredløb til det andet.

$$E_E = E \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_E = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \text{ (Parallelforbindelsen)}$$

2.7 Stjerne - Trekant transformation.

Tre modstande (impedanser) Z_1 , Z_2 og Z_3 , der sidder i en stjerneform, kan erstattes med tre andre modstande (impedanser) Z_{12} , Z_{13} og Z_{23} , der sidder i trekantform, således at man ikke udefra (punkterne 1, 2 og 3) kan se forskel. Transformationen kan gøres begge veje.



$$Z_1 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{13}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{13}}$$

$$Z_2 = \frac{Z_{12} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{13}}$$

$$Z_3 = \frac{Z_{13} \cdot Z_{23}}{Z_{12} + Z_{23} + Z_{13}}$$

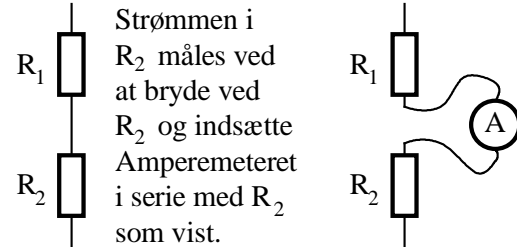
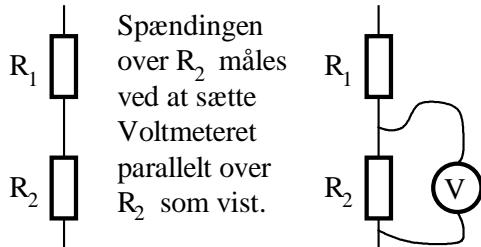
$$Z_{12} = Z_1 \cdot Z_2 \cdot \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right)$$

$$Z_{23} = Z_2 \cdot Z_3 \cdot \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right)$$

$$Z_{13} = Z_1 \cdot Z_3 \cdot \left(\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \right)$$

3. Måling i kredsløb.

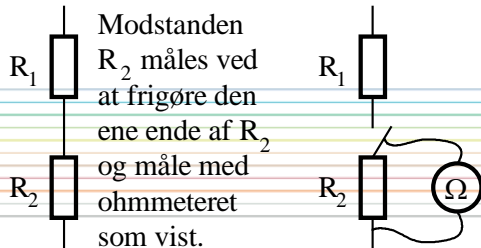
3.1 Måling af strøm og spænding.



Voltmeterets indre modstand kan ændre sig med måleområdet, og kan belaste modstand kredsløbet, så der måles forkert. forkert.

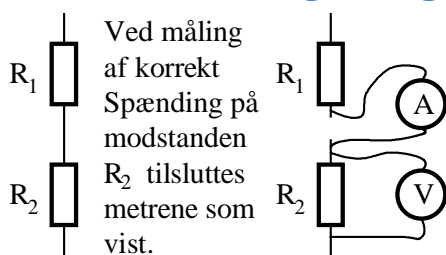
Amperemeterets indre modstand kan ændre sig med måleområdet, og kan føje til i kredsløbet, så der måles

3.2 Måling af modstand.

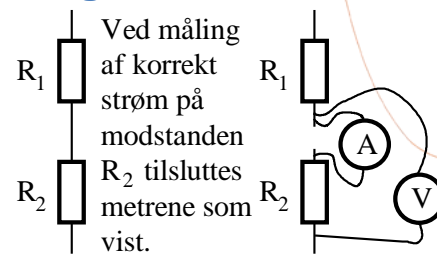


Modstanden måles ved at der sendes en strøm gennem modstanden, og spændingen registreres. Derfor må modstanden ikke have forbindelse med kredsløbet.

3.3. Samtidig måling af strøm og spænding.



For at sikre bedst måling skal Voltmeteret have stor indre modstand.

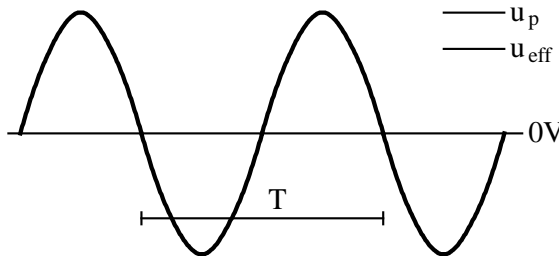


For at sikre bedst måling skal Amperemeteret have lille indre modstand.

4. Vekselstrøm.

Når man regner på vekselstrøm kan man i nogen tilfælde regne som om det er DC, specielt hvis der kun indgår modstande i kredsløbet, men generelt skal man tage højde for hvordan situationen ser ud, før man regner på vekselstrøm.

4.1. Definitioner på vekselstrømskurven.



$$u_p = u_{\text{eff}} \cdot \sqrt{2}$$

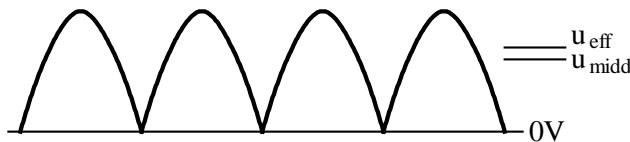
$$u_{\text{eff}} = \frac{u_p}{\sqrt{2}}$$

$$u_{\text{pp}} = u_p \cdot 2$$

$$u_{\text{pp}} = u_{\text{eff}} \cdot 2\sqrt{2}$$

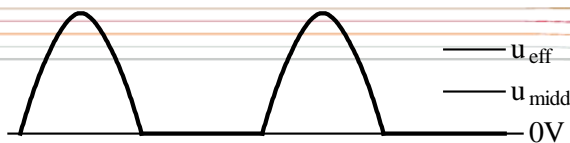
$$f = \frac{1}{T}$$

Middelværdi ved Dobbeltensretning.



$$u_{\text{midd}} = u_{\text{eff}} \cdot 0,9$$

Middelværdi ved Enkeltensretning.

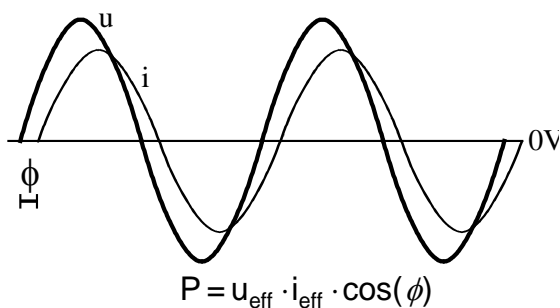


$$u_{\text{midd}} = u_{\text{eff}} \cdot 0,45$$

4.2. Effekt på sinuskurven.

Hvis strømmen og spændingen ikke ligger i fase, vil faseforskydningen ϕ være med til at bestemme den afsatte effekt. Effekten kan godt være nul, selvom der løber en strøm, og der er en spænding.

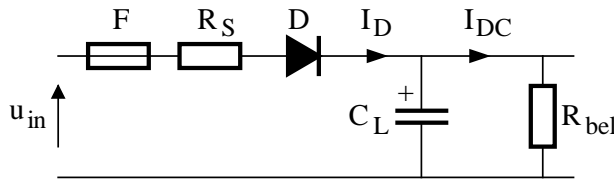
Effekt på sinuskurven.



$$P = u_{\text{eff}} \cdot i_{\text{eff}} \cdot \cos(\phi)$$

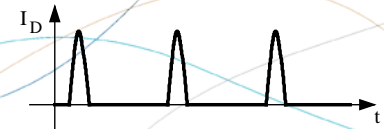
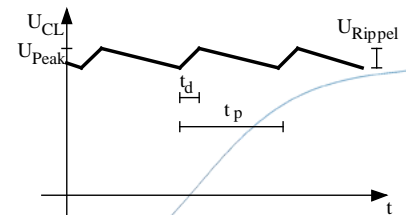
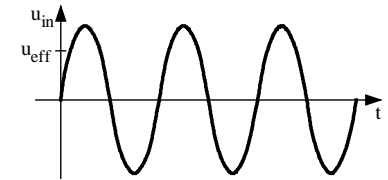
5. Ensrettere.

5.1. Enkelt-ensretning.



Spændingen u_{in} er en 50 Hz AC målt som effektiv-værdi

| Størrelse | Teoretisk | Normal | Kritisk |
|------------------------------------|--|---|---|
| $U_{CL, Peak} = U_{CL, Ubelastet}$ | $u_{in} \cdot \sqrt{2} - U_D$ | $u_{in} \cdot \sqrt{2}$ | $2 \cdot u_{in}$ |
| $U_{CL, Rippel}$ (peak to Peak) | $\frac{I_{DC} \cdot (t_p - t_d)}{C_L}$ | $\frac{I_{DC} \cdot 16 \cdot 10^{-3}}{C_L}$ | $\frac{I_{DC} \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{C_L}$ |
| f_{Rippel} | 50 Hz | 50 Hz | 50 Hz |
| C_L | $\frac{I_{DC} \cdot (t_p - t_d)}{U_{Rippel, Max}}$ | $\frac{I_{DC} \cdot 16 \cdot 10^{-3}}{U_{Rippel, Max}}$ | $\frac{I_{DC} \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{U_{Rippel, Max}}$ |



Hvis man måler middelværdien på udgangen, uden

ladekondensator fås en spænding på $U_{Middel} = 0.45 \cdot u_{in}$

| Størrelse | Teoretisk | Normal | Kritisk |
|--|---|---------------------|--------------------|
| $I_{D, Middel}$ (Total Average Forward current) | I_{DC} | I_{DC} | I_{DC} |
| I_{eff} | $I_{DC} \cdot \sqrt{\frac{t_p}{t_d}}$ | $2,2 \cdot I_{DC}$ | $3 \cdot I_{DC}$ |
| $I_{D, Peak, Rep}$ (Repetative Peak Forward Current) | $I_{DC} \cdot \frac{t_p}{t_d} \cdot \sqrt{2}$ | $7,1 \cdot I_{DC}$ | $10 \cdot I_{DC}$ |
| $I_{D, Peak, Start}$ (Non-Rep. Peak Forward Current) | $\frac{U_{C_L, Peak}}{R_S}$ | $35 \cdot I_{DC}$ | $50 \cdot I_{DC}$ |
| $U_{D, Reverse}$ | $2 \cdot \sqrt{2} \cdot u_{in}$ | $2,83 \cdot u_{in}$ | $3,5 \cdot u_{in}$ |

Ladekondensatoren C_L dimensioneres ud fra den maksimalt tilladte rippel-spænding.

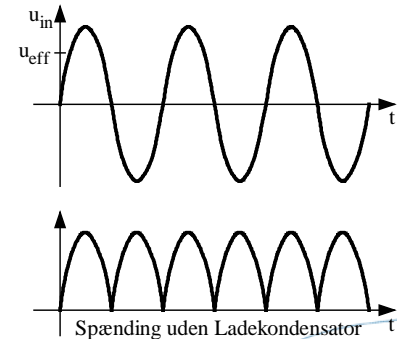
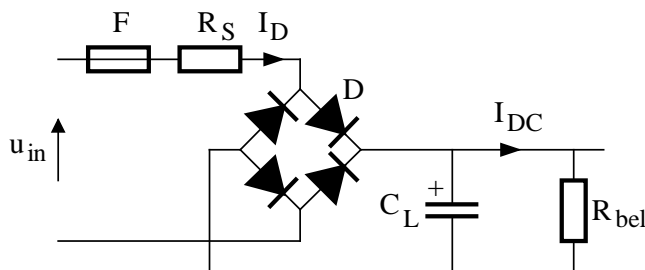
Sikringen F dimensioneres ud fra I_{eff} med lidt ekstra sikkerhed.

Hvis R_S er med i opstillingen dimensioneres den, så opladetiden t_d bliver ca. 4ms.

$$P_{R_S} = I_{eff}^2 \cdot R_S$$

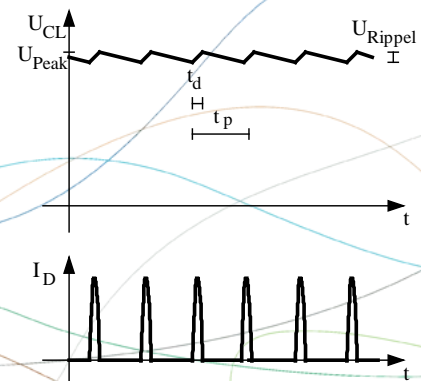
(nomalt udnytter man transformatorens indre modstand)

5.2. Dobbelt-ensretning.



Spændingen u_{in} er en 50 Hz AC målt som effektiv-værdi

| Størrelse | Teoretisk | Normal | Kritisk |
|------------------------------------|--|--|---|
| $U_{CL, Peak}$ | $u_{in} \cdot \sqrt{2} - 2 \cdot U_D$ | $u_{in} \cdot \sqrt{2}$ | $2 \cdot u_{in}$ |
| $U_{CL, Rippel}$ (peak to Peak) | $\frac{I_{DC} \cdot (t_p - t_d)}{C_L}$ | $\frac{I_{DC} \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{C_L}$ | $\frac{I_{DC} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{C_L}$ |
| f_{Rippel} | 100 Hz | 100 Hz | 100 Hz |
| C_L | $\frac{I_{DC} \cdot (t_p - t_d)}{U_{Rippel, Max}}$ | $\frac{I_{DC} \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{U_{Rippel, Max}}$ | $\frac{I_{DC} \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{U_{Rippel, Max}}$ |



Hvis man måler middelværdien på udgangen, uden ladecondensator fås en spænding på $U_{Middel} = 0.90 \cdot u_{in}$

| Størrelse | Teoretisk | Normal | Kritisk |
|---|---|---------------------|--------------------|
| $I_D, Middel$ (Total Average Forward current) | I_{DC} | I_{DC} | I_{DC} |
| I_{eff} | $I_{DC} \cdot \sqrt{\frac{t_p}{t_d}}$ | $2,2 \cdot I_{DC}$ | $3 \cdot I_{DC}$ |
| $I_D, Peak, Rep$ (Repetative Peak Forward Current) | $I_{DC} \cdot \frac{t_p}{t_d} \cdot \sqrt{2}$ | $7,1 \cdot I_{DC}$ | $10 \cdot I_{DC}$ |
| $I_D, Peak, Start$ (Non-Rep. Peak Forward Current) | $\frac{U_{C_L, Peak}}{R_S}$ | $35 \cdot I_{DC}$ | $50 \cdot I_{DC}$ |
| $U_D, Reverse$ | $2 \cdot \sqrt{2} \cdot u_{in}$ | $2,83 \cdot u_{in}$ | $3,5 \cdot u_{in}$ |

Ladecondensatoren C_L dimensioneres ud fra den maksimalt tilladte rippel-spænding.

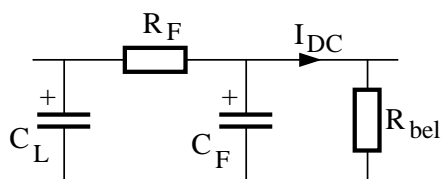
Sikringen F dimensioneres ud fra I_{eff} med lidt ekstra sikkerhed.

Hvis R_S er med i opstillingen dimensioneres den, så opladetiden t_d bliver ca. 2ms.

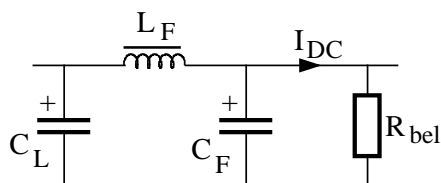
$$P_{R_S} = I_{eff}^2 \cdot R_S$$

(normalt udnytter man transformatorens indre modstand)

5.3. Filtrering.



| Størrelse | Enkelt-Ensretter | Dobbelt-Ensretter |
|---------------------------|---|---|
| $U_{\text{Rippel, } C_F}$ | $\frac{U_{\text{Rippel, } C_L}}{100 \cdot \pi \cdot R_F \cdot C_F}$ | $\frac{U_{\text{Rippel, } C_L}}{200 \cdot \pi \cdot R_F \cdot C_F}$ |
| $U_{\text{Middel, } C_L}$ | $U_{\text{Peak, } C_L} - \frac{U_{\text{Rippel, } C_L}}{2}$ | $U_{\text{Peak, } C_L} - \frac{U_{\text{Rippel, } C_L}}{2}$ |
| $U_{\text{Middel, } C_F}$ | $U_{\text{Middel, } C_L} - I_{\text{DC}} \cdot R_F$ | $U_{\text{Middel, } C_L} - I_{\text{DC}} \cdot R_F$ |
| $U_{\text{Min, } C_F}$ | $U_{\text{Middel, } C_F} - \frac{U_{\text{Rippel, } C_F}}{2}$ | $U_{\text{Middel, } C_F} - \frac{U_{\text{Rippel, } C_F}}{2}$ |
| Filterfaktor | $\frac{1}{100 \cdot \pi \cdot R_F \cdot C_F}$ | $\frac{1}{200 \cdot \pi \cdot R_F \cdot C_F}$ |



| Størrelse | Enkelt-Ensretter | Dobbelt-Ensretter |
|---------------------------|--|--|
| $U_{\text{Rippel, } C_F}$ | $\frac{U_{\text{Rippel, } C_L}}{98600 \cdot R_F \cdot C_F}$ | $\frac{U_{\text{Rippel, } C_L}}{395000 \cdot R_F \cdot C_F}$ |
| $U_{\text{Middel, } C_L}$ | $U_{\text{Peak, } C_L} - \frac{U_{\text{Rippel, } C_L}}{2}$ | $U_{\text{Peak, } C_L} - \frac{U_{\text{Rippel, } C_L}}{2}$ |
| $U_{\text{Middel, } C_F}$ | $U_{\text{Middel, } C_L} - I_{\text{DC}} \cdot R_{\text{cu, L}}$ | $U_{\text{Middel, } C_L} - I_{\text{DC}} \cdot R_{\text{cu, L}}$ |
| $U_{\text{Min, } C_F}$ | $U_{\text{Middel, } C_F} - \frac{U_{\text{Rippel, } C_F}}{2}$ | $U_{\text{Middel, } C_F} - \frac{U_{\text{Rippel, } C_F}}{2}$ |
| Filterfaktor | $\frac{1}{98600 \cdot R_F \cdot C_F}$ | $\frac{1}{395000 \cdot R_F \cdot C_F}$ |

6. Kondensatorer ved DC.

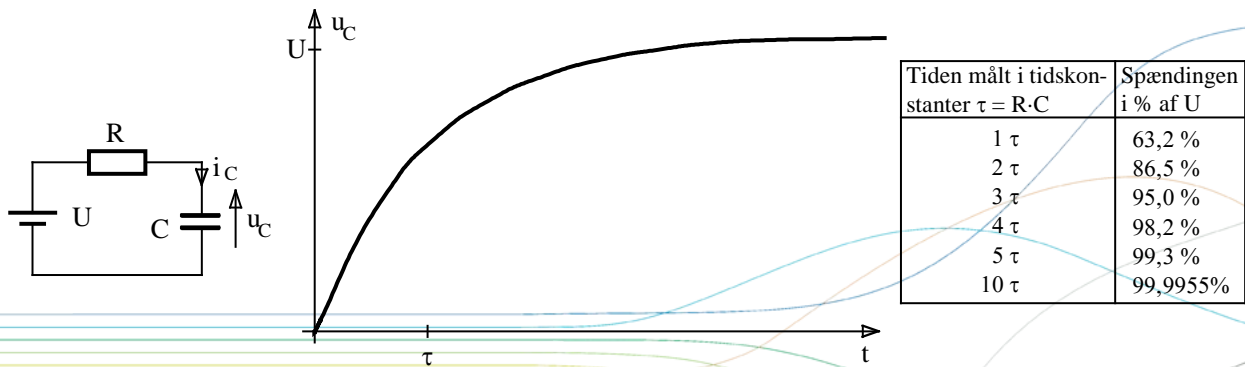
6.1. Spændingsændring på en kondensator.

Når der løber en konstant strøm I i en kondensator C , vil der i løbet af tidsrummet Δt ske en spændingsændring ΔU på kondensatoren.

$$\Delta U = \frac{I \cdot \Delta t}{C}$$

6.2. Opladning af en kondensator.

Når en kondensator C lades op af en spænding U gennem en modstand R , vil spændingen u_C forløbe som vist:

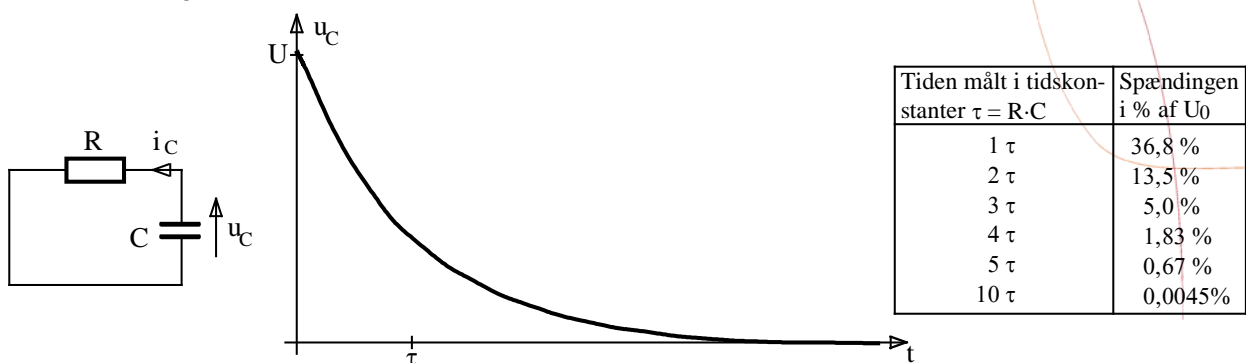


Spændingen over kondensatoren u_C og strømmen i_C kan beregnes til ethvert tidspunkt t .

$$\tau = R \cdot C \quad u_C(t) = U \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad i_C(t) = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

6.3. Afladning af en kondensator.

Når en kondensator C er ladet op til en spænding U_0 , og den aflades gennem en modstand R , vil spændingen u_C forløbe som vist:

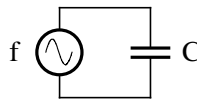


Spændingen over kondensatoren u_C og strømmen i_C kan beregnes til ethvert tidspunkt t .

$$\tau = R \cdot C \quad u_C(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad i_C(t) = \frac{U_0}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

7. Kondensatorer ved AC.

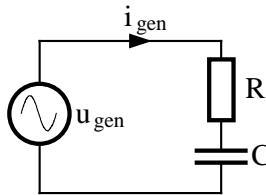
Kondensatorens vekselstrømsmodstand X_C (Reaktans) er afhængig af kondensatorens størrelse og frekvensen.



$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

7.1. RC-led ved AC.

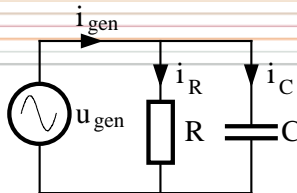
Et RC serieled dannet af en modstand R og en kondensator C påvirkes med en AC med en sinusformet frekvens på f og en størrelse på u_{gen} . Modstanden og kondensatoren danner tilsammen en impedans (vekselstrømsmodstand) Z , så der løber strømmen i_{gen} .



$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$u_{gen} = \sqrt{u_R^2 + u_C^2} = i_{gen} \cdot Z$$

Et RC parallelled dannet af en modstand R og en kondensator C påvirkes med en AC med en sinusformet frekvens på f og en størrelse på u_{gen} . Modstanden og kondensatoren danner tilsammen en impedans (vekselstrømsmodstand) Z , så der løber strømmen i_{gen} .

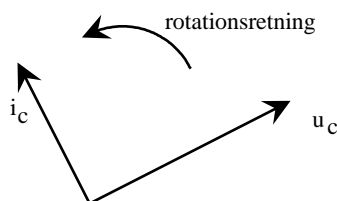


$$Z = \frac{R \cdot X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

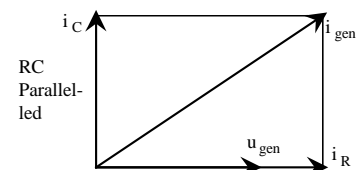
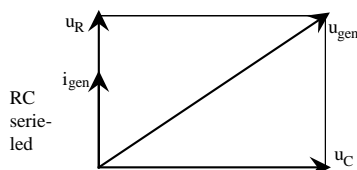
$$i_{gen} = \sqrt{i_R^2 + i_C^2} = \frac{u_{gen}}{Z}$$

7.2. Vektorer på kondensatoren.

Strømmen i_C kommer 90° før spændingen u_C i en kondensator ved en sinusformet spænding med vilkårlig frekvens.



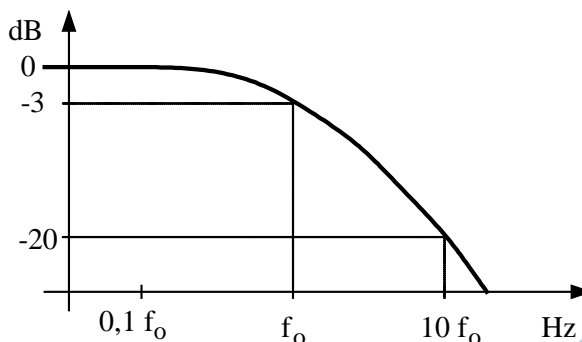
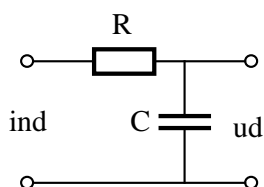
Ved serie- og parallel-forbindelse af kondensator og modstand, vil vektorerne se ud som følger:



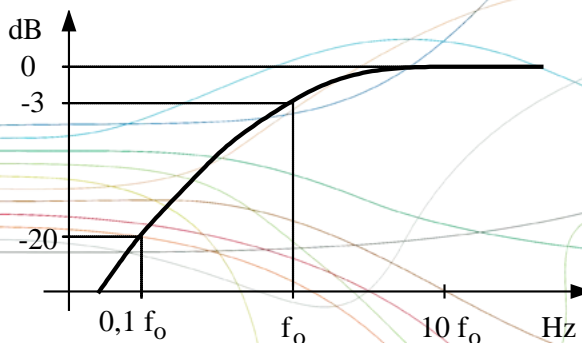
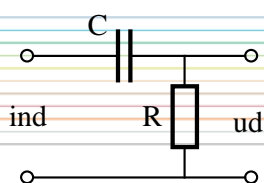
7.3. RC-led som højpas og lavpas-led.

Ved at lave en serieforbindelse af en modstand og en kondensator, og bruge dem som frekvens- afhængig spændingsdeler, og dermed danne enten højpas-led eller et lavpas-led.

Lavpas-led



Højpas-led



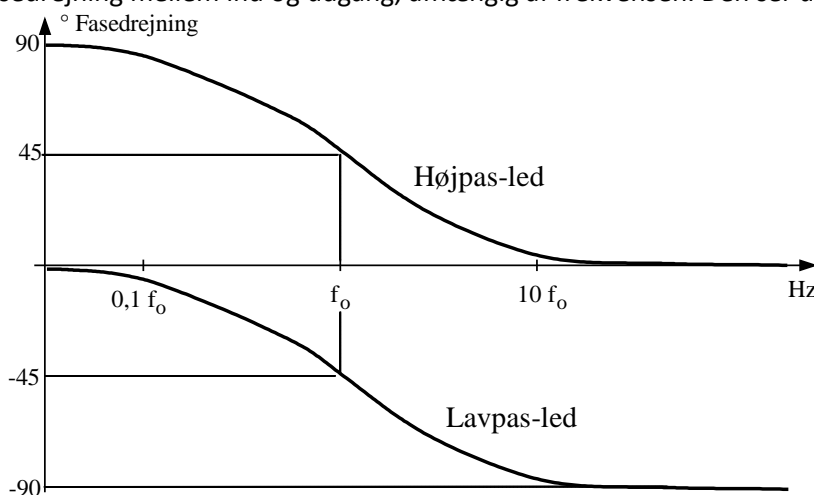
Overgangsfrekvensen f_0 er den frekvens hvor $X_C = R$. Heraf kan udledes at:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

RC-leddene har et fald på 6 dB pr. oktav (fordobling / halvering af frekvens) og 20 dB pr. dekade (frekvens gange 10 / delt med 10).

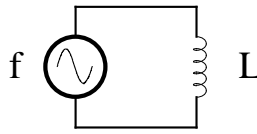
dB udregnes ud fra forholdet mellem indgang og udgang: $\text{dB} = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{ud}}{U_{ind}}\right)$

Der sker en fasedrejning mellem ind og udgang, afhængig af frekvensen. Den ser ud som følger:



8. Spoler ved AC.

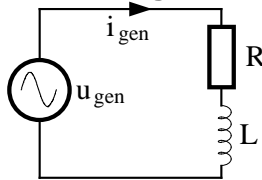
Spolens vekselstrømsmodstand X_L (Reaktans) er afhængig af spolens størrelse og frekvensen.



$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

8.1. RL-led ved AC.

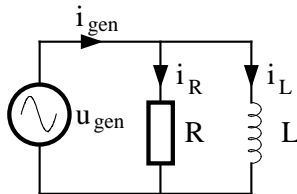
Et RL serieled dannet af en modstand R og en spole L påvirkes med en AC med en sinusformet frekvens på f og en størrelse på u_{gen} . Modstanden og spolen danner tilsammen en impedans (vekselstrømsmodstand) Z , så der løber strømmen i_{gen} .



$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$u_{gen} = \sqrt{u_R^2 + u_L^2} = i_{gen} \cdot Z$$

Et RL parallelled dannet af en modstand R og en spole L påvirkes med en AC med en sinusformet frekvens på f og en størrelse på u_{gen} . Modstanden og spolen danner tilsammen en impedans (vekselstrømsmodstand) Z , så der løber strømmen i_{gen} .

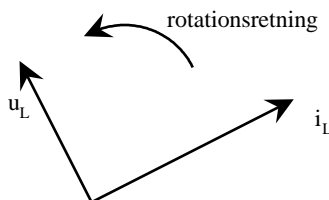


$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

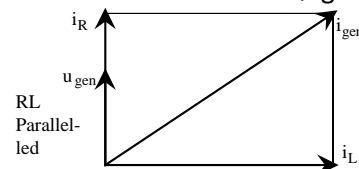
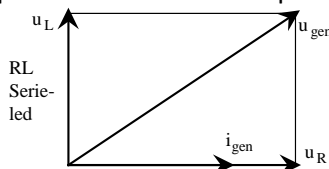
$$i_{gen} = \sqrt{i_R^2 + i_L^2} = \frac{u_{gen}}{Z}$$

8.2. Vektorer på spolen.

Strømmen i_L kommer 90° efter spændingen u_L i en spole ved en sinusformet spænding med vilkårlig frekvens.



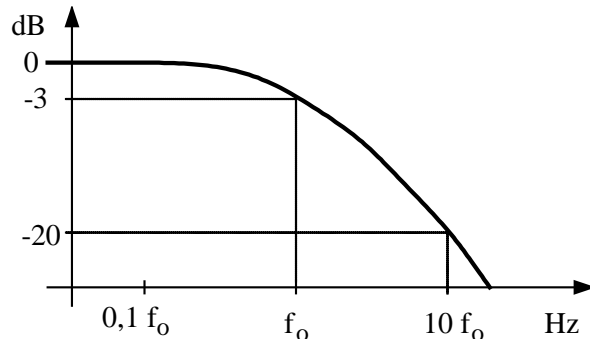
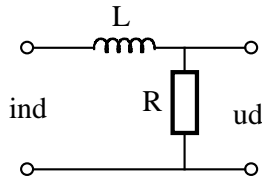
Ved serie- og parallel-forbindelse af spole og modstand, vil vektorerne se ud som følger:



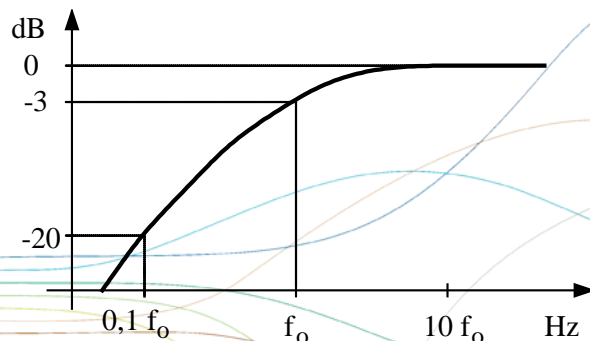
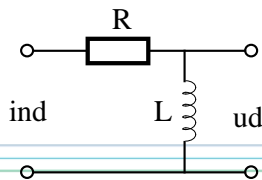
8.3. RL-led som højpas og lavpas-led.

Ved at lave en serieforbindelse af en modstand og en spole, og bruge dem som frekvens- afhængig spændingsdeler, og dermed danne enten højpas-led eller et lavpas-led.

Lavpas-led



Højpas-led



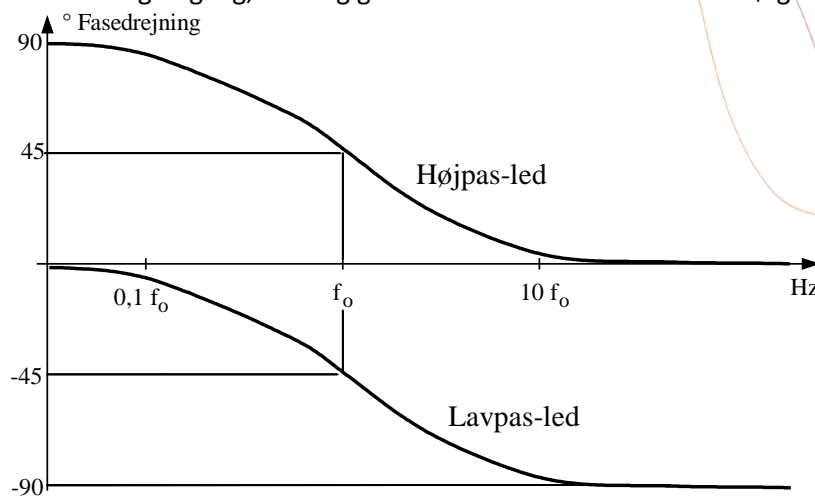
Overgangsfrekvensen f_0 er den frekvens hvor $X_L = R$. Heraf kan udledes at:

$$f_0 = \frac{R}{2\pi \cdot L}$$

RL-leddene har et fald på 6 dB pr. oktav (fordobling / halvering af frekvens) og 20 dB pr. dekada (frekvens gange 10 / delt med 10).

dB udregnes ud fra forholdet mellem indgang og udgang: $\text{dB} = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{ud}}{U_{ind}}\right)$

Der sker en fasedrejning mellem ind og udgang, afhængig af frekvensen. Den ser ud som følger:

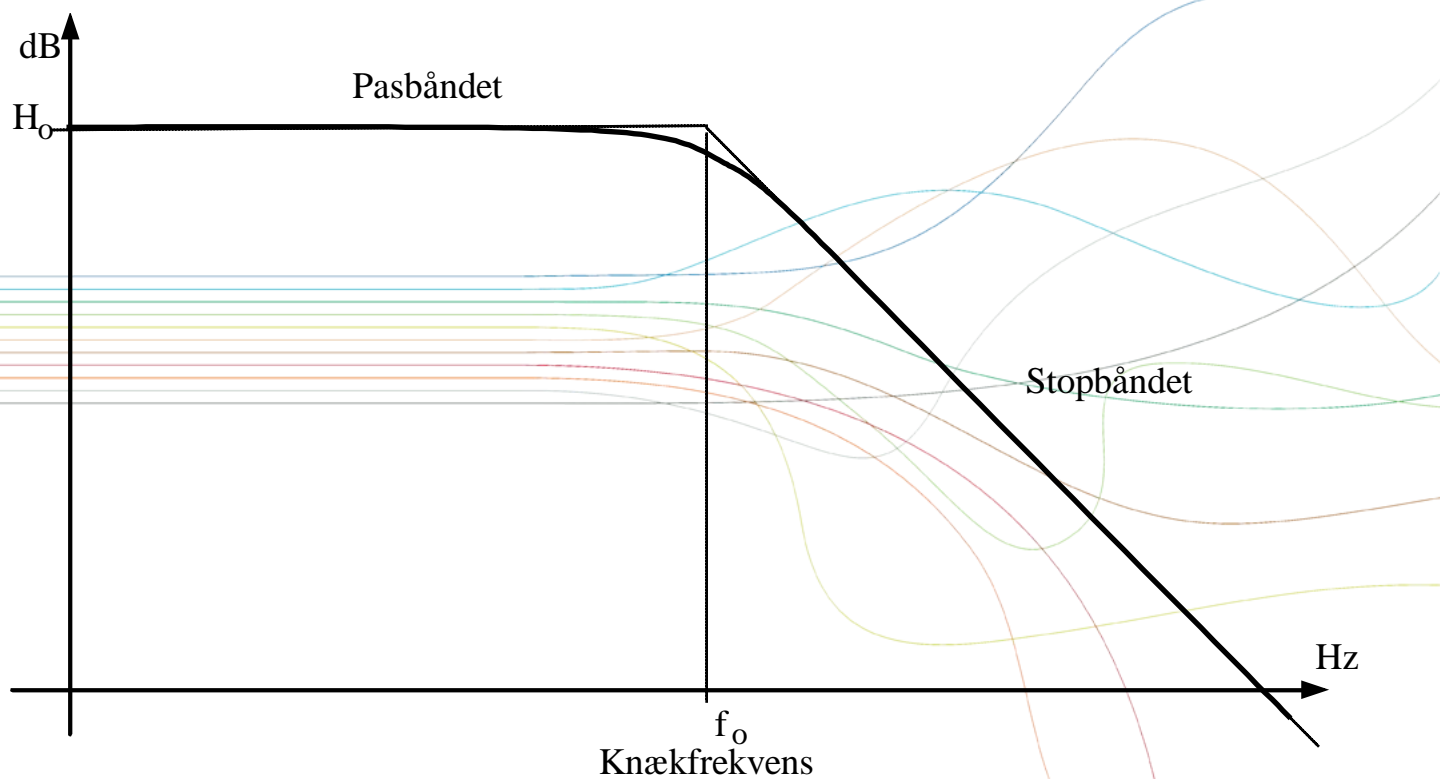


9. Aktive filtre.

Simple RC- og RL-led giver kun en afskæring i stop-båndet på 20 dB/dekade, de betegnes som 1. ordens led. For at få en skarpere afskæring skal der realiseres filtre med en højere orden, f.x. vil et led med 3. orden skære 60 dB/dekade. For at realisere filtre med højere orden skal der kobles flere frekvensbestemmende led, så det kunne realiseres med LC-kombinationer, beregningerne herpå bliver dog ret komplicerede.

En anden måde at realisere på er ved at indføje et aktivt element - operationsforstærkeren. Aktive filtre kan have mange forskellige udseender, men et relativt simpelt er 2. ordens multipel tilbagekobling, der dimensioneres ud fra tre størrelser:

- H_0 : Forstærkningen i pasbåndet.
- ω_0 : Knækfrekvensen i rad/s ($\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0$)
- ζ : Dæmpningsfaktoren



H_0 og ω_0 er givet ud fra figuren. Den sidste størrelse ζ er dæmpningsfaktoren, der bestemmer forløbet omkring knækfrekvensen:

- $0 < \zeta < 0,5$: Frekvensgangen får en top ved knækfrekvensen.
- $0,5 < \zeta < 1$: Rimeligt pænt knæk ved knækfrekvensen ($\zeta = 0,7071$ giver -3dB).
- $\zeta > 1$: Meget udfladet "knæk".

9.1. 2. ordens lavpas.

Ud fra de tre størrelser H_0 , ω_0 og ζ , samt et valg af kondensator-værdi C og en faktor K beregnes komponentværdierne. (K vælges så kvadratrodstegnet bliver tæt på 0).

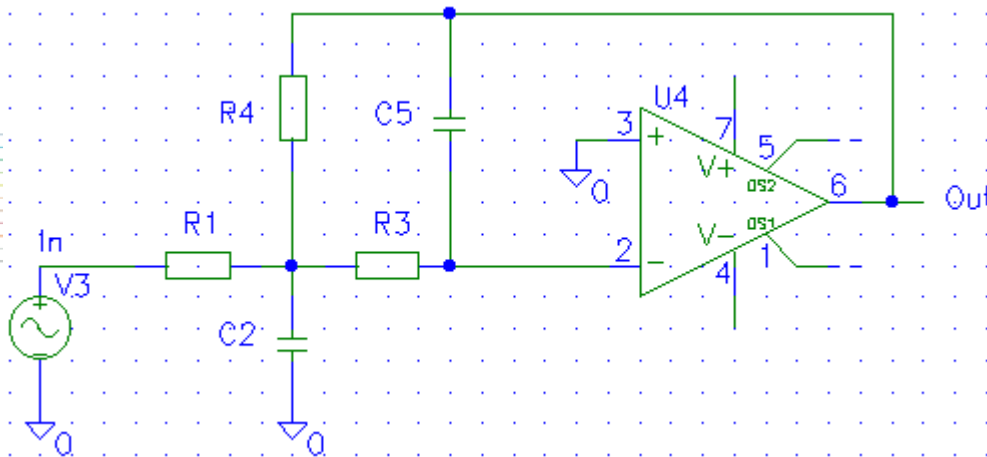
$$C_5 = C$$

$$C_2 = K \cdot C$$

$$R_4 = \frac{\zeta}{\omega_0 \cdot C} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{H_0 + 1}{K \cdot \zeta^2}} \right)$$

$$R_1 = \frac{R_4}{H_0}$$

$$R_3 = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C^2 \cdot R_4 \cdot K}$$



Ud fra komponentværdierne på et filter kan de grundlæggende ting omkring filteret også beregnes som følger:

$$H_0 = \frac{R_4}{R_1}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{R_3 \cdot R_4 \cdot C_2 \cdot C_5}}$$

$$\zeta = \sqrt{\frac{C_5}{4 \cdot C_2}} \left(\sqrt{\frac{R_3}{R_4}} + \sqrt{\frac{R_4}{R_3}} + \frac{\sqrt{R_3 \cdot R_4}}{R_1} \right)$$

9.2. 2. ordens højpas.

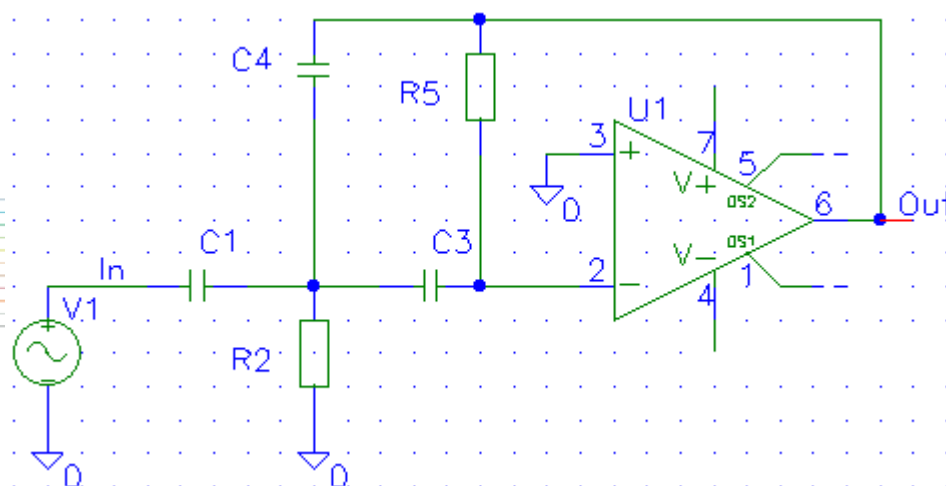
Ud fra de tre størrelser H_0 , ω_0 og ζ , samt et valg af kondensator-værdi C beregnes komponentværdierne.

$$C_1 = C_3 = C$$

$$R_5 = \frac{1}{2 \cdot \zeta \cdot \omega_0 \cdot C} (2 \cdot H_0 + 1)$$

$$C_4 = \frac{C_1}{H_0}$$

$$R_2 = \frac{2 \cdot \zeta}{\omega_0 \cdot C \cdot \left(\frac{1}{H_0} + 2 \right)}$$



Ud fra komponentværdierne på et filter kan de grundlæggende ting omkring filteret også beregnes som følger:

$$H_0 = \frac{C_1}{C_4}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{R_2 \cdot R_5 \cdot C_3 \cdot C_4}}$$

$$\zeta = \sqrt{\frac{R_2}{4 \cdot R_5} \left(\sqrt{\frac{C_3}{C_4}} + \sqrt{\frac{C_4}{C_3}} + \frac{C_1}{\sqrt{C_3 \cdot C_4}} \right)}$$

10. Køling af halvledere.

En halvleder kan kun tåle en bestemt temperatur i selve krystallet. Overskrider man denne, ændrer halvlederens data sig, og den bliver eventuelt ødelagt.

Varmen må bortledes fra krystallet til huset, og igen til luften eller et andet omgivende medium.

Varmeafgivningen fra krystal til hus sker ved varmeledning, medens den videre kan transporteres bort fra huset ved ledning eller stråling.

Man taler om en termisk modstand mellem krystal og hus, ligesom der vil være en termisk modstand til omgivelserne. Ved at forsyne halvlederen med en køleplade kan den termiske modstand fra hus og videre gøres mindre, medens kun fabrikanten råder for den termiske modstand mellem krystal og hus.

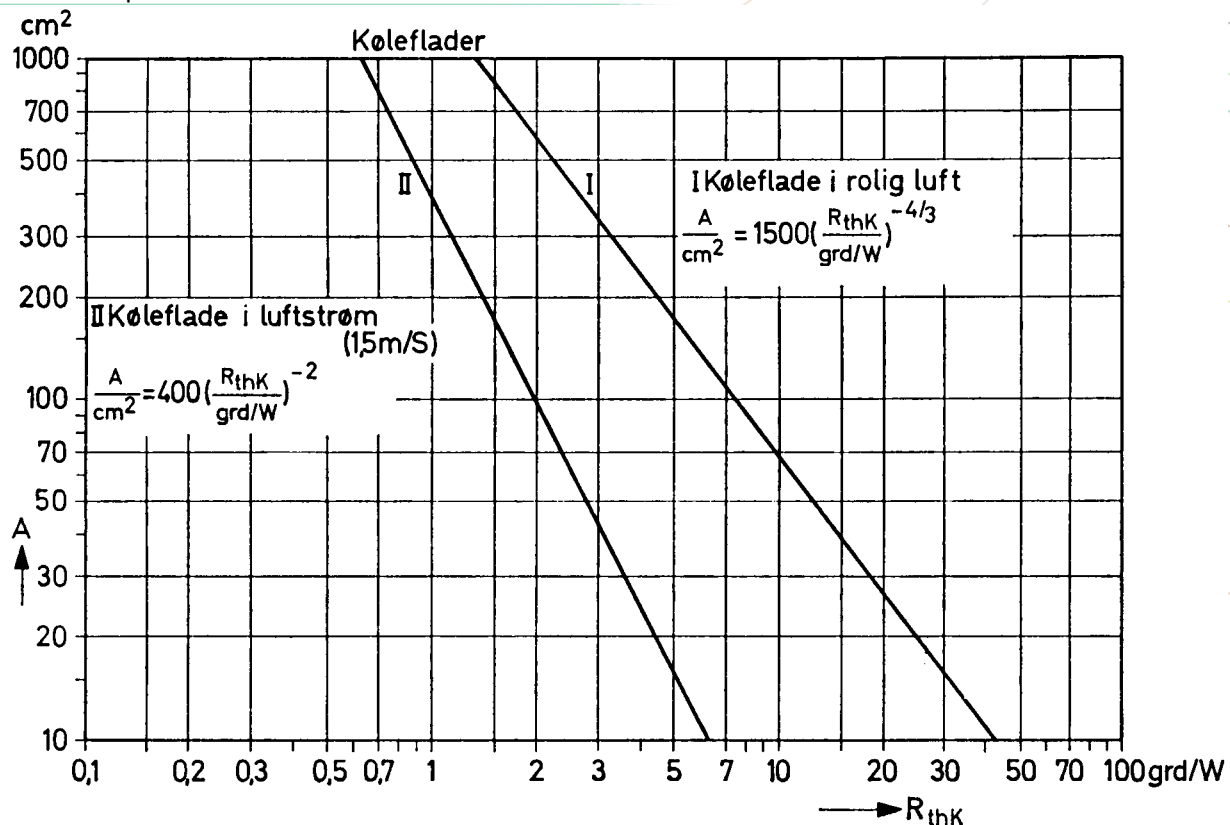
Tænker man sig en halvleder monteret på en køleplade skal varmen passere tre modstande, en mellem krystal og hus, en mellem hus og plade, og en mellem plade og luft. Der vil gælde følgende relation (ohms lov for varmetransport)

$$T_2 - T_1 = R_{th} \cdot P \quad \text{hvor}$$

$T_2 - T_1$ er temperaturforskellen mellem krystal og luft. R_{th} er summen af de termiske modstande mellem krystal og luft. P er den effekt der afsættes i krystallet.

Hvis det drejer sig om en transistor uden køleplade er R_{th} lig med den af fabrikanten opgivne termiske modstand for den pågældende transistor, medens temperaturforskellen er omgivelsestemperaturen trukket fra krystallets temperatur (her kan man anvende den maksimale krystaltemperatur, eller hvad man ønsker skal være max arbejdstemperatur).

Drejer det sig om en halvleder med køleplade adderes halvlederens R_{th} til hus med kølepladens R_{th} til luften. Den følgende kurve kan anvendes til en køleplades nødvendige areal, hvis den fremstilles i 2 mm aluminiums plade.



EKSEMPEL

En transistor med $R_{th} = 1,5 \text{ °C/W}$ skal arbejde ved en omgivelsestemperatur på 50 °C . Krystallet må blive 90 °C . Der skal afsættes 7 W . Der findes:

$$R_{th} = \frac{90 - 50}{7} = 5,7 \text{ °C/W} \quad \text{For kölepladen få s: } 5,7 - 1,5 = 4,2 \text{ °C/W}$$

Af kurven aflæses arealet i rolig luft: $A = 220 \text{ cm}^2$.