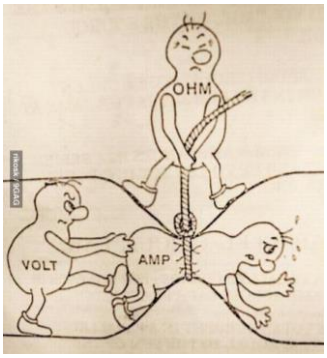
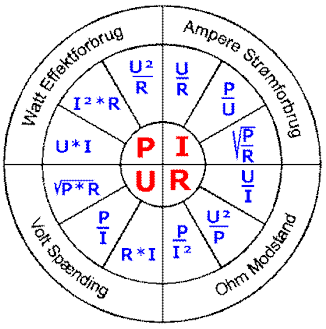
Ohm' DC lov $U = I \cdot R$

Ohm' AC lov $U = I \cdot$, hvor $Z^2 = R^2 + X^2$

Joule' lov $P = U \cdot I$

Effekttab $P = I^2 \cdot R$





Indhold

SI systemet, de syv grundenheder ("Système International d'Uniés") 3

SI systemet, de afledede enheder (afledet af de syv SI grundenheder) 3

Spændingsdeling 5

Kirchov' strømlov (KCL) 5

Kirchov' spændingslov (KVL) 5

Maskeligninger ud fra KVL 5

Vi vil bestemme strømmen i et kredsløb vha. KVL og KCL: 5

1. først anvendes KVL på et antal masker i kredsløbet (alle spændingskilder og alle modstande skal indgå i mindst en maske) 5

2. derefter opstilles KCL ligninger indtil der er lige så mange ligninger som ubekendte strømme 5

Ex. 5

KVL 1 $E1 - E2 = I1 \cdot R1 - I2 \cdot R2$ 5

KVL 2 $E2 = I2 \cdot R2 + I3 \cdot R3$ 5

KCL 3 $I1 + I2 = I3$ 5

KVL 1 $12 - 24 = I1 \cdot 10 - I2 \cdot 15$ 5

KVL 2 $24 = I2 \cdot 15 + I3 \cdot 20$ 5

KCL 3 $I1 + I2 = I3$ 5

Indtastes på TI-nspire (lommeregner) menu/3/7/1 og ender med at se således ud $solve\ 12 - 24 = i1 \cdot 10 - i2 \cdot 15$ $24 = i2 \cdot 15 + i3 \cdot 20\ i1 + i2 = i3$ $, i1, i2, i3$ 5

Indtaster i TI-nspire (PC) Dukumentværktøjslinje/dokumentværktøjer/6/3/7 5

Effekt (power) Joule' lov 6

Kondensatoren og elektrisk felt 7

Energien i en Kondensator 8

Serie-furbundne kondensatorer 8

Parallel-forbundne kondens. 8

Magnetisme 9

Permanent magneter (magneter) 9
Induktion 10
Induceret elektromotorisk kraft i en lukket sløjfe/spole 10
Selvinduktion i en sløjfe eller spole 10
Parallel og seriekobling af spoler: 10
Vektorer 13
Ohm' lov for vekselstrøm 14
Impedans $Z = \Omega$ 14
Faseforskydningsvinklen 14
Induktiv reaktans $XL = \Omega$ 14
Kapacativ reaktans $XC = \Omega$ 14
Komplekse tal 15
De to notationsformer for komplekse tal, sumform $\boldsymbol{z} = (\boldsymbol{x} + \boldsymbol{iy})$ og Produktform $\boldsymbol{z} = (\boldsymbol{z} \angle \boldsymbol{\varphi})$ 15
Beregning af effekt 16
Tilsyneladende effekt/skineffekt 16
Effekt/Virkeeffekt 16
Reaktiv effekt (Watt-løse effekt) 16
Vektordiagram for 1-fatet parallelforbindelse (serieforbindelse næste side) 17
Vektordiagram for 1-faset serieforbindelse 17
Trekant til stjerne ækvivalent ved symmetrisk belastning 18
Fasekompensering på et 1-fase kredsløb 19

I 1977 tilsluttede Danmark sig til SI enhedssystemet (”Système International d’Uniés”), som er et internationalt system med ens betegnelse for størrelser og enheder. SI systemet beskrives i bogen elektronik 1 (EL1) side 11-25, læs og gør notater i nedestående tabel.

SI systemet, de syv grundenheder (”Système International d’Uniés”)

	størrelse	Enhed		Definition
l	*længde*	*m*	*meter*	
m	*masse*	*Kg*	*kilogram*	
t	*tid*	*s*	*sekunder*	
I	*Elektrisk strøm*	*A*	*ampere*	$1\,A = 1\,C \cdot s^{-1} \approx 6{,}25 \cdot 10^{18}\ elektroner \cdot s^{-1}$
T	*temperatur*	*K*	*Kelvin*	$273{,}15 = 0\ ℃$
n	*stofmængde*	*mol*	*mol*	$6{,}022 \cdot 10^{23}$ *molekyler pr mol (Avogadros konstant)*
	lysstyrke	*cd*	*candela*	

SI systemet, de afledede enheder (afledet af de syv SI grundenheder)

	størrelse	Enhed		Definition	
f	*frekvens*	*Hz*	*Hertz*	$1\,Hz = s^{-1}$ *perioder per sekund*	
F	*kraft*	*N*	*newton*	$1\,N = 1\,kg \cdot m \cdot s^{-2}$	
p	*tryk*	*Pa*	*pascal*	$1\,Pa = 1\,N \cdot m^{-2}$	
W	*arbejde, energi, termisk energi*	*J*	*joule*	$1\,J = 1\,N \cdot m = 1\,W \cdot s$	
P, Q, S	*effekt,* *reaktiv effekt* *tilsyneladende effekt*	*W* *VAr* *VA*	*Watt*	$DC: P = U \cdot I$ $DC: eksister\ ikke$ $DC: eksistere\ ikke$	$AC: P = u \cdot i \cdot \cos(\varphi)$ $AC: Q = u \cdot i \cdot \sin(\varphi)$ $AC: S = u \cdot i$
q	*elektrisk ladning*	*C*	*coulomb*	$1\,C = 1\,A \cdot s$	
E, U	*elektromotorisk kraft, elektrisk spænding*	*V*	*Volt*	$1\,V = 1\,W \cdot A^{-1}$	
C	*kapacitans*	*F*	*farad*	$1\,F = 1\,A \cdot s \cdot V^{-1}$	
R	*resistans, modstand*	*Ω*	*Ohm*	$1\,\Omega = 1\,V \cdot A^{-1}$	$R = \varrho \cdot l \cdot S_{tvær}$
G	*konduktans, ledningsevne*	*S*	*siemens*	$1\,S = 1\,\Omega^{-1}$	$G = \Upsilon \cdot S_{tvær} \cdot l^{-1}$
ϕ	*magnetisk flux, magnetisk induktion*	*Wb*	*weber*	$1\,Wb = 1\,V \cdot s$	
B	*fluxtæthed*	*T*	*tesla*	$1\,T = 1Wb \cdot m^{-2}$	
L	*Induktans*	*H*	*henry*	$1\,H = 1\,V \cdot s \cdot A^{-1}$	
ϱ	*Resistivitet, specefik resistans*			*se tabel side* 239	
γ	*Konduktivitet, ledningsevne*			$S \cdot m \cdot m^{-2} = S \cdot m^{-1}$	
J	*Strømtæthed*			$A \cdot mm^{-2}$	

Resistivitet (Specific resistans) $\varrho = R \cdot \frac{S_{tvær}}{l}$ $[\varrho] = \Omega \cdot \frac{\mathrm{m}^2}{m} = \Omega \cdot \mathrm{m}$ V $[\varrho] = \Omega \cdot \frac{\mathrm{mm}^2}{m}$

Resistans (modstand) $R = \varrho \cdot \frac{l}{S_{tvær}}$ $[R] = \Omega \cdot m \cdot \frac{m}{m^2} = \Omega$

Konduktivitet (Specifik Ledningsevne) $\gamma = \frac{1}{\varrho} = \frac{G}{l} = \frac{1}{l \cdot R}$ $[\gamma] = \frac{1}{\Omega \cdot \mathrm{m}}$

Konduktansen (ledningsevne) $G = \gamma \cdot l = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$ $[G] = \frac{1}{\Omega \cdot \mathrm{m}} \cdot l = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{V}{A}} = \frac{A}{V} = S$

Beregn opgave 1.1-1.18 (dog ikke 1.8)

Resistans som funktion at temperaturen $R_{T2} = R_{T1} + R_{T1} \cdot \propto \cdot (T_2 - T_1)$, OBS $(T_2 - T_1) = \Delta T$

- Ex. beregn temp. af en Cu tråd ud fra følgende data: $T_1 = 20°\mathrm{C},\ R_1 = 5\Omega, \mathrm{R}_2 = 6\Omega, \propto_{Cu} = 4 \cdot 10^{-3}$ (s 239)
- Løses på TI-nspire vha. solve funktionen (menu/3/1) $solve(6 = 5 + 5 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot (T_2 - 20), T_2)$

Beregn opgave 1.25-1.30

Strømstyrke $I = \frac{Q}{t}$ $[I] = \frac{C}{s} = A$

Spænding (Ohm' lov) $U = R \cdot I$ $[U] = \Omega \cdot \mathrm{A} = \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}} \cdot A = V$

Elektromotorisk kraft (EMK) $E = \frac{W}{Q}$ $[E] = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}} = V$

Klemmespænding (spændingen over et element/batteri) $U_{kl} = E - U_{ri}$

$U_{kl} = E - I \cdot r_i$

Indre resistans (et element'/batteri' indre modstand) $r_i = \frac{E - U_{kl}}{I}$

Beregn opgave 1.40-1.43

Erstatningsresistansen for en serieforbindelse $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$

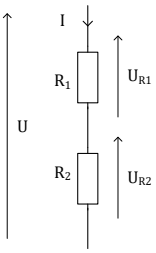
Erstatningsresistansen for en parallelforbindelse $R_p = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}\right)^{-1}$

Spændingsdeling

$$U_{R2} = I \cdot R_2$$

$$U_{R2} = \frac{U}{R_1+R_2} \cdot R_2$$

$$U_{R2} = \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot U$$



Kirchov' strømlov (KCL)

$$\Sigma I_{til} = \Sigma I_{fra}$$

Summen af strømme til et knudepunkt = summen af strømme fra knudepunktet

Kirchov' spændingslov (KVL)

$$\Sigma E_{EMK} = \Sigma(R \cdot I)$$

Summen af Elektromotoriske kræfter = summen af spændingsfald i en lukket sløjfe

Maskeligninger ud fra KVL

Vi vil bestemme strømmen i et kredsløb vha. KVL og KCL:

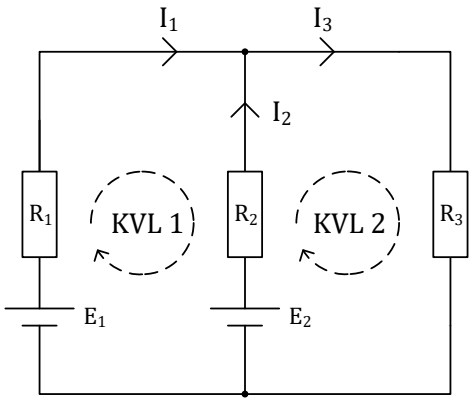
1. først anvendes KVL på et antal masker i kredsløbet (alle spændingskilder og alle modstande skal indgå i mindst en maske)
2. derefter opstilles KCL ligninger indtil der er lige så mange ligninger som ubekendte strømme

Ex.

KVL 1 $E_1 - E_2 = I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2$

KVL 2 $E_2 = I_2 \cdot R_2 + I_3 \cdot R_3$

KCL 3 $I_1 + I_2 = I_3$



$E_1 = 12$ V

$E_2 = 24$ V

$R_1 = 10\ \Omega$

$R_2 = 15\ \Omega$

$R_3 = 20\ \Omega$

KVL 1 $12 - 24 = I_1 \cdot 10 - I_2 \cdot 15$

KVL 2 $24 = I_2 \cdot 15 + I_3 \cdot 20$

KCL 3 $I_1 + I_2 = I_3$

Indtastes på TI-nspire (lommeregner) menu/3/7/1 og ender med at se således ud $solve\left(\left\{\begin{array}{l} 12-24 = i1 \cdot 10 - i2 \cdot 15 \\ 24 = i2 \cdot 15 + i3 \cdot 20 \\ i1 + i2 = i3 \end{array}\right., \{i1, i2, i3\}\right)$

Indtaster i TI-nspire (PC) Dukumentværktøjslinje/dokumentværktøjer/6/3/7

Effekt (power) Joule' lov

$P = U \cdot I$ $[P] = V \cdot A =$ (enheden W står for watt)

$P = R \cdot I^2$ $[P] = W$

$P = \frac{U^2}{R}$ $[P] = W$

Elektrisk energi $W = P \cdot t$ $[W] = W \cdot s = \frac{J}{s} \cdot s =$ $3{,}6 \cdot 10^6 J = 1\ kWh$

Arbejde energi (work) $W = F \cdot s$ $[W] = N \cdot m = J$

Moment $M = F \cdot r$ $[M] = N \cdot m = J$ (kraft gange arm)

Arbejde pr omdrejning $W = F \cdot = F \cdot omkreds = F \cdot 2\pi \cdot r = M \cdot 2\pi$ da $M = F \cdot r$

Arbejde udført på n omdr. $W = M \cdot 2\pi \cdot n$

Arbejde pr sekund = Drejningsmoment (P_2) $P_2 = \frac{W}{t} = \frac{M \cdot 2\pi \cdot f}{t} = \frac{M \cdot 2\pi \cdot \frac{n}{t}}{t} = M \cdot 2$ $, da\ f = \frac{n}{t}$

Virkningsgrad $\eta = \frac{W_{nyttet}}{W_{tilført}} = \frac{P_{nyttet} \cdot t}{P_{tilført} \cdot t} = \frac{P_{nyttet}}{P_{tilført}}$

Kondensatoren og elektrisk felt

Kapacitans (kapacitet) $C = \frac{Q}{U}$ $[C] = \frac{C}{V} = F$ *F er Farad ("et udtryk for hvor mange elektroner kondensatoren kan lager")*

$C = \frac{A \cdot \varepsilon}{a}$ *A er hver plades areal, ε se nedenfor, a er afstanden i mellem pladerne*

Ladning på kondensatoren $Q = U \cdot C = U \cdot \frac{A \cdot \varepsilon}{a}$ Heraf ses at større permittivitet (ε) (materialet mellem pladerne) gør, at ladningen på kondensatoren øges (og dermed øges den energi som kondensatoren kan lager)

Permittivitet $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot \varepsilon_r$ $[\varepsilon] = \frac{F}{m}$

ε_0 *er permittivitet i vacuum* $= 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$

ε_r Relativ Permittivitet, findes i tabel s 238 (større ε_r gør at kondensatoren kan lager flere elektroner og modstå en højere spænding)

Kraftlinietæthed (fluxtæthed)

Antal feltlinjer $\psi = \frac{Q}{\varepsilon}$ $[\psi] = \frac{C}{\left(\frac{F}{m}\right)} = \frac{C \cdot m}{F} = \frac{C \cdot m}{\left(\frac{C}{V}\right)} = \frac{m}{\frac{1}{V}} = V \cdot m$

Elektrisk felt (feltstyrke) $E_{felt} = \frac{\psi}{A}$ $[E_{felt}] = \frac{V \cdot m}{m^2} = \frac{V}{m}$

$E_{felt} = \frac{\left(\frac{Q}{\varepsilon}\right)}{A} = \frac{Q}{\varepsilon \cdot A}$ $[E_{felt}] = \frac{\left(\frac{C}{\left(\frac{F}{m}\right)}\right)}{m^2} = \frac{\left(C \cdot \frac{m}{F}\right)}{m^2} = \frac{\left(\frac{C}{F}\right)}{m} = \frac{\left(\frac{C}{\left(\frac{C}{V}\right)}\right)}{m} = \frac{\left(C \cdot \frac{V}{C}\right)}{m} = \frac{V}{m}$

$E_{felt} = \frac{U}{a}$ $[E_{felt}] = \frac{V}{m} = \frac{\left(\frac{J}{C}\right)}{m} = \frac{J}{C \cdot m} = \frac{N \cdot m}{C \cdot m} = \frac{N}{C}$

$E_{felt} = \frac{F}{Q}$ $[E_{felt}] = \frac{N}{C} = \frac{N \cdot m}{C \cdot m} = \frac{J}{C \cdot m} = \frac{\left(\frac{J}{C}\right)}{m} = \frac{V}{m}$

Elektrisk kraft $F = E_{felt} \cdot Q$ $[F] = \frac{N}{C} \cdot C = N$

$F = \frac{Q}{\varepsilon \cdot A_{plade}} \cdot Q = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{\varepsilon \cdot A_{plade}}$ for en kondensator er Arealet konstant, da alle feltlinjer går i samme retning fra + til –

Elektrisk kraft (Coulomb' lov) $F_{to\ punktladninger} = \frac{Q_1 \cdot Q_2}{\varepsilon \cdot A_{kugle}}$ For punktformede ladninger vil feltlinjerne være fordelt over et større areal, når afstanden (a) mellem ladningerne øges ($A_{kugle} = 4 \cdot \pi \cdot a^2$)

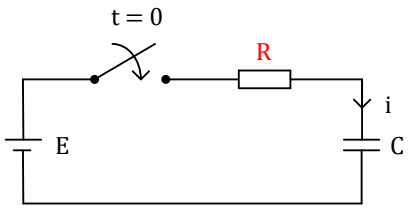
Løs opgave 4.1-4.9

Kondensators-spænding $U_c(t) = (U_{start} - U_{slut}) \cdot e^{\left(\frac{-t}{RC}\right)} + U_{slut}$ Kondensator-spændingen som fkt. Af tiden (Gælder både for op- og af-ladning af en kondensator)

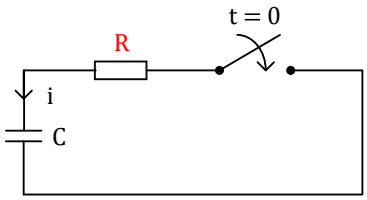
U_{start} *er spændingen over kondensatoren for* $t = 0$ *sekunder*

U_{slut} *er spændingen over kondensatoren for* $t \to \infty$

Tidskonstanten $\tau = R \cdot C$ *for* $t = \tau$ *vil kondensatoren være hhv* 63,2 % *opladet eller* 63,2 % *afladet*

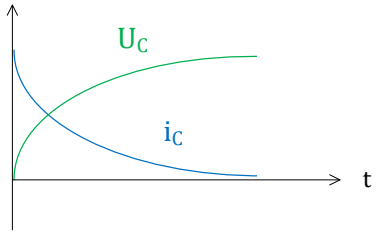


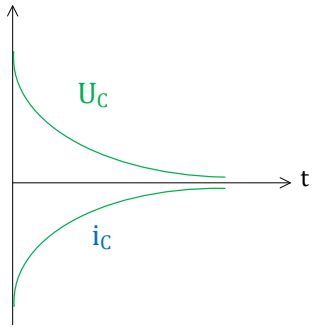
Eksempel på opladningskredsløb



Eksempel På afladningskredsløb

R er sjældent ens ved opladning og afladning





Løs opgave 4.10-4.14 om op og afladning

Energien i en Kondensator

$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$

$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}$ da $U = \frac{Q}{C}$

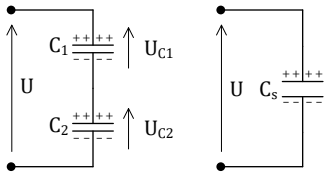
Serie-furbundne kondensatorer

$U = U_{C1} + U_{C2}$

$\frac{Q}{C_S} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$ $da\ \ U = \frac{Q}{C}$

$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

ladningen Q vil være ens på C_1 og C_2, da det er samme strøm der løber gennem dem ved opladning, og dermed samme antal elektroner/ladning, der er fjernet fra "+" pladen



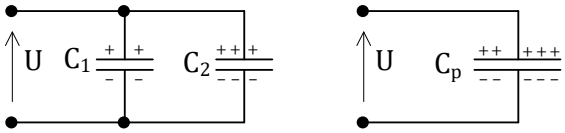
Serie erstatnings kapacitansen $C_s = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots + \frac{1}{C_n}\right)^{-1}$

Parallel-forbundne kondens.

$Q_p = Q_1 + Q_2$

$U \cdot C_p = U \cdot C_1 + U \cdot C_2$

Parallel erstatnings kapacitansen $C_p = C_1 + C_2 + \cdots + C_n)$



Løs opgave 4.15-4.18 om parallel og serie-forbindelse af kondensatorer, beregn desuden hvor meget energi der er lageret i en kondensator på 1 µF opladet til 12 V

Magnetisme

Proprtækker-reglen : Skru i strømmens retning og de magnetiske feltlinjer (flux) om lederen vil have samme retning som proptrækkerens "gevind"

Spolereglen: Højre hånd, grib om spolen med fingrene i strømmens retning, tommelfingeren angiver retningen på fluxene

Magnetisk flux (magnetisk feltlinjer) ϕ $[\phi] = V \cdot s = Wb$ $(Weber)$
Magnetisk flux danner altid en lukket sløjfe og går fra N til S eksternt

Fluxtæthed $(flux\ pr\ m^2)$ $B = \frac{\phi}{A} = \mu \cdot H$ $[B] = \frac{Wb}{m^2} = T$ $(Tesla)$

Permeabiliteten $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$ $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}\ \frac{Wb}{A \cdot m}$ $\mu_{r,luft} = 1\ og\ \mu_{r,jern} = 1200$
μ et udtryk for hvor godt et materiale er til at lede magnetisk flux

Magnetomotorisk kraft (ampære vindingstal) $F_m = I \cdot N = R_m \cdot \phi$

Reluktans (magnetisk modstand) $R_m = \frac{l}{\mu \cdot A}$ $[R_m] = \frac{m}{\left(\frac{V \cdot s}{A \cdot m}\right) \cdot m^2} = \frac{A}{V \cdot s} = \frac{A}{Wb} = \frac{A}{V \cdot s} = H^{-1}$ $Henry^{-1}$

Sammenligning med strømkredsløb $E_{ELK} = R \cdot I$ svare i magnetisme til $F_m = R_m \cdot \phi$

Feltstyrke (H-felt) $H = \frac{F_m}{l} = \frac{B}{\mu}$ $[H] = \frac{A \cdot v}{m}$ $v = vindinger$

For en cirkulær ring er middellængden: $l_{middel} = \frac{\pi}{2} \cdot (d_{ydre} + d_{indre})$

For en cirkulær ring er tværsnitsarealet: A= $\frac{\pi}{16} \cdot (d_{ydre} - d_{indre})^2$

Permanent magneter (magneter)

- En permanent magnet et stof/legering, som kan forbliver magnetisk efter magnetiserieng (kan være Fe, Al, Ni, Co og Nb) kaldes ferromagnetiske materiale
- En permanent magnet vil altid have en Nord- og Syd-pol
- Feltlinjerne (magnetisk flux) går eksternt fra N til S (og dermed internt fra S til N) og danner altid en lukket sløjfe.
- ***Curie- temperaturen*** er den temp. Hvorved magneten vil begynde at miste sin magnetisering (er materiale afhængig, men starter ved 200°C – 900°C)
- $\boldsymbol{Remanansen\ R_r \sim B_{permanentmagnet}}$ er magnetens fluxtæthed som er tilbage i spoles jernkerne, når den er strømløs (det B-felt som huskes "remember")
- ***Coercitivfeltstyrken*** er den feltstyrke (B) som skal til for at afmagnitisere magneten
- ***Det maksimale energiprodukt*** $(\boldsymbol{BH})_{max}$ (et mål for magnetens styrke i forhold til dens rumfang) $[BH] = \frac{kJ}{m^3}$
- N og S-poler tiltrækker hinanden, hvor i mod to ens poler frastøder hinanden

Induktion

Hvis der løber en strøm i en leder, vil der genereres et magnetisk felt om lederen (retningen bestemmes ved proptrækker-reglen). Formes lederen som en lukket sløjfe, vil alle de genererede magnetiske flux gå i gennem sløjfen (nu kan spolereglen bruges til at bestemme fluxens retning). Omvendt vil der blive induceret en strøm i en leder, der føres gennem et magnetisk felt og derved bryde/skærer feltlinjerne.

Vigtigt: for at der induceres en strøm i en sløjfe/spole, kræver det at antal af flux gennem sløjfen ændre sig. Denne strøm opstår fordi sløjfen/spolen vil forsøge at modvirke en ændring af flux'ene genne sløjfen/spolen.

Induceret elektromotorisk kraft i en lukket sløjfe/spole

Induceret elektromotorisk kraft $E_{pr\ vinding} = \frac{d\phi}{dt}$ $[E] = \frac{Wb}{s} = V$ fluxændring per tid = spænding

$E_{pr\ vinding} = \frac{\phi_2 - \phi_1}{\Delta t} = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ $, hvor\ \Delta\phi = B \cdot \Delta A = B \cdot l \cdot \Delta s = B \cdot l \cdot v \cdot \Delta t$

$E_{pr\ vinding} = B \cdot l \cdot v$ $(fluxtæthed) \cdot (længde\ på\ leder\ som\ passere\ feltet) \cdot (hastig\ hvormed\ lederen\ føres\ igennem\ feltet)$

$E_{spole} = N \cdot E_{pr\ vinding}$

Højrehåndsreglen (generatorreglen): Hold højre hånd langs lederen, så feltlinjerne går ind igennem håndfladen og tommelfingeren peger i lederens bevægelses-retning. Fingrene vil da være i den inducerede spændings retning. Spolereglen kan også bruges (tænk selv over hvorfor)

Selvinduktion i en sløjfe eller spole

Induktans (selvinduktion) $L = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot A}{l} = \frac{N^2}{R_m}$ $N\ er\ vindinger, \mu\ er\ kernens\ permabilitet, A\ er\ tværsnitsarealet, l\ er\ spolens\ middel\ længde$

Induceret spænding i en spole $e_s = \frac{di}{dt} \cdot L$ $I \cdot N = R_m \cdot \Leftrightarrow I \cdot N^2 = R_m \cdot \phi \cdot N \Leftrightarrow \frac{I \cdot N^2}{R_m} = \phi \cdot N \Leftrightarrow I \cdot L = \phi \cdot N$

Induceret spænding i N vindinger $e_s = \frac{d\phi}{dt} \cdot N$

Kraften fra et B-felt på en leder $F = B \cdot I \cdot l$ $B\ er\ fluxtætheden, I\ er\ strømmen\ i\ lederen, l\ er\ længden\ af\ den\ del\ af\ lederen\ som\ skære\ feltlinjer$

Arbejdet fra et B-felt på en leder $W = F \cdot s$ Kraft gange vej $[W] = N \cdot m = J$

Effekten fra B-felt overført til leder $P = \frac{W}{t}$ $[P] = \frac{J}{s} = W$

Kraftens retning (F' retning) Hold venstre hånd langs lederen, så feltlinjerne (ϕ) går gennem håndfladen og I er i fingrenes retning. Kraftpåvirkningen (F) på lederen vil da være i tommelfingerens retning (se evt. figur 5.9.1 side 91 i #1)

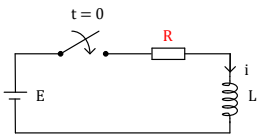
Strømmen i en spole $i(t) = (i_{start} - i_{slut}) \cdot e^{\left(\frac{-t}{\tau}\right)} + i_{slut}$

$i_{start}\ er\ strømmen\ i\ spolen\ til\ t = 0$

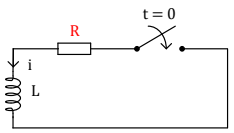
$i_{slut}\ er\ strømmen\ i\ spolen\ for\ t \rightarrow \infty$

$\tau = \frac{L}{R}$ $, husk\ at\ når\ t = 1\tau\ er\ spolen\ er\ spolen\ er\ hhv.\ 63{,}2\ \%\ opladet\ eller\ 63{,}2\ \%\ afladet$

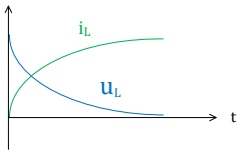
$R\ er\ sjældent\ ens\ ved\ op\ og\ af - ladning$

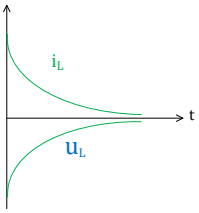


Eksempel på opladningskredsløb



Eksempel På afladningskredsløb





Energien i en spole $W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$ $[W] = J$ Løs 5.9-5.17 + 5.20, 5.22-5.24 side 34

Parallel og seriekobling af spoler:

Spoler i serie $L_s = L_1 + L_2 + \cdots + L_n$ $U_s = U_{L1} + U_{L2} + U_{L3} \Leftrightarrow \frac{di}{dt} \cdot L_s = \frac{di}{dt} L_1 + \frac{di}{dt} \cdot L_2 + \frac{di}{dt} \cdot L_3 \Leftrightarrow L_s = L_1 + L_2 + L_3$

Spoler i parallel $L_p = \left(\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \cdots + \frac{1}{L_n}\right)^{-1}$ $\frac{di_p}{dt} = \frac{di_{L1}}{dt} + \frac{di_{L2}}{dt} + \frac{di_{L3}}{dt} \Leftrightarrow \frac{U_p}{L_p} = \frac{U_p}{L_1} + \frac{U_p}{L_2} + \frac{U_p}{L_3} \Leftrightarrow \frac{1}{L_p} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$

Vekselstrøms (AC) regler

Ohms AC lov $U = I \cdot Z$

Der regnes ALTID med effektivværdier i vekselstrøm, med mindre andet er angivet (så det er underforstået at Ohms AC lov er $U_{eff} = I_{eff} \cdot Z$)

Sinusformet vekselstrøm	$i = I_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$	husk at regne i radianer: *doc/7/2/vinkel i radian*
Sinusformet vekselspænding	$u = U_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$	
Vinkelhastighed i radianer	$\omega = 2\pi \cdot f$	
Omregning fra tid (t) til vinkel i radianer	$\alpha_{rad} = 2\pi \frac{t}{T} = 2\pi f t = \omega \cdot t$	
Omregning fra tid (t) til vinkel i grader	$\alpha_{grader} = 360° \frac{t}{T}$	
Omregning fra radianer til grader	$\alpha_{grader} = \alpha_{rad} \cdot \frac{360°}{2 \cdot \pi}$	
Effektivværdien af en sinusspænding	$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$	se evt. udledning på næste side
Effektivværdien af en sinusstrøm	$i_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$	
Middelværdien af en sinusspænding	$U_m = U_{max} \cdot \frac{2}{\pi}$	se evt. udledning på næste side
Middelværdien af en sinusstrøm	$I_m = I_{max} \cdot \frac{2}{\pi}$	
Effektivværdien af en savtakspænding	$U_{eff,savtak} = \frac{U_{max}}{\sqrt{3}}$	
Effektivværdien af en savtakstrøm	$i_{eff,savtak} = \frac{I_{max}}{\sqrt{3}}$	
Middelværdien af en savtakspænding	$U_{m,savtak} = \frac{U_{max}}{2}$	
Middelværdien af en savtakstrøm	$I_{m,savtak} = \frac{I_{max}}{2}$	
Formfaktor	$\xi = \frac{U_{eff}}{U_{mid}}$	ξ *udtales xi*

Løs 6.1-6.5 + 6.7-6.12

Udledning af U_m for en vekselspænding: $U_m = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} u \cdot d(\alpha)$ vi integrere fra 0 til π og skal derfor dividere med π for, at få middelværdien af spændingen (U_m)

$$U_m = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} U_{max} \cdot \sin(\alpha) \cdot d(\alpha) \qquad da\ u = U_{max} \cdot \sin(\alpha)$$

$$U_m = \frac{U_{max}}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \sin(\alpha) \cdot d(\alpha)$$

$$U_m = \frac{U_{max}}{\pi} \cdot [-\cos(\alpha)]_0^{\pi}$$

$$U_m = \frac{U_{max}}{\pi} \cdot \left(-\cos(\pi) - (-\cos(0))\right)$$

$$U_m = \frac{U_{max}}{\pi} \cdot \left(1 - (-1)\right)$$

$$U_m = \frac{U_{max}}{\pi} \cdot 2$$

Middelværdien af en vekselspænding $U_m = U_{max} \cdot \frac{2}{\pi}$

Middelværdien, hvis noget af sinuskurven mangler $U_m = \frac{U_{max}}{\pi} \cdot (\cos(\alpha_1) - \cos(\alpha_2))$ husk at vinklen α er i radianer

Effektivværdi er den værdi vi regner med i vekselstrøm.

Eksempel: effektivværdien af en vekselspænding er lig med den DC-spænding, som vil afsætte den samme effekt i den samme modstand($P_{DC} = \frac{U_{DC}^2}{R} = \frac{U_{eff}^2}{R}$). Dvs $U_{eff}^2 = u_m^2$

Effektivværdien af en vekselspænding $U_m = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} u \cdot d(\propto)$ vi integrere fra 0 til π og skal derfor dividere med π for, at få middelværdien af spændingen (U_m)

Effektivværdien af en vekselspænding i 2. potens $U_{eff}^2 = u_m^2$

$$U_{eff}^2 = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \mathrm{u}^2 \cdot d(\alpha)$$

$$U_{eff}^2 = \frac{1}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} (U_{max} \cdot \sin(\alpha))^2 \cdot d(\alpha)$$

$$U_{eff}^2 = \frac{U_{max}^2}{\pi} \cdot \int_0^{\pi} \sin^2(\alpha) \cdot d(\alpha)$$

$$U_{eff}^2 = \frac{U_{max}^2}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{4}\sin(2\alpha)\right]_0^{\pi}$$ da stamfunktionen til $\sin(\alpha)$ er $\frac{1}{2}\alpha - \frac{1}{4}\sin(2\alpha)$

$$U_{eff}^2 = \frac{U_{max}^2}{\pi} \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \cdot \pi - \frac{1}{4}\sin(2\pi)\right) - \left(\frac{1}{2} \cdot 0 - \frac{1}{4}\sin(2 \cdot 0)\right)\right)$$

$$U_{eff}^2 = \frac{U_{max}^2}{\pi} \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \cdot \pi - 0\right) - (0 - 0)\right)$$

$$U_{eff}^2 = \frac{U_{max}^2}{2}$$

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{U_{max}^2}{2}}$$

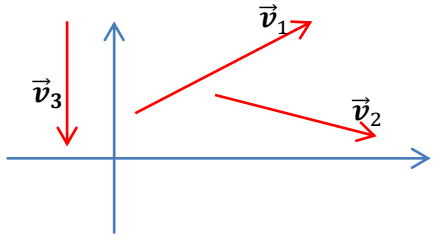
Effektivspændingen af en vekselspænding $U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$

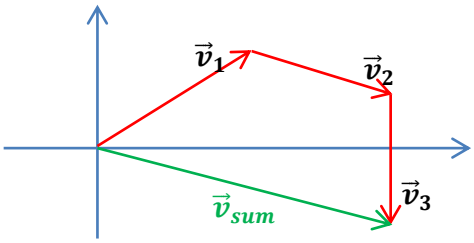
Effektivspændingen hvis noget af kurven mangler $U_{eff} = \sqrt{\frac{U_{max}^2}{\pi} \cdot \left(\left(\frac{1}{2} \cdot \alpha_2 - \frac{1}{4}\sin(2\alpha_2)\right) - \left(\frac{1}{2} \cdot \alpha_1 - \frac{1}{4}\sin(2 \cdot \alpha_1)\right)\right)}$

Vektorer

Hvis der er en spole eller en kondensator i et kredsløb, vil strømmene og spændingerne ikke være i fase. Når spændingerne ikke er i fase, skal de opdeles i vektorer for, at kunne adderes (summeres). NB. Spændingerne skal dog have samme frekvens.

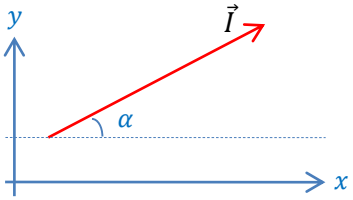
Vektorer lægges sammen ved, at tegne dem i forlængelse af hinanden, se eksempler nedenfor.





Generelt kan den summerede vektor ($\vec{v}_{sum}$) bestemmes ved, at tegne vektorerne i forlængelse af hinanden, evt. med start i origo (0, 0).

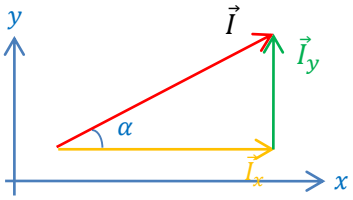
En vektor består af en længde og en vinkel: $\vec{I} = (I \angle \alpha)$



En vektor kan udtrykkes ved længderne af dens x- og y-komposanter $\vec{I} = \begin{pmatrix} I_x \\ I_y \end{pmatrix}$

X-komposanten $I_x = |\vec{I}_x| = |\vec{I}| \cdot \cos(\alpha)$

Y-komposanten $I_y = |\vec{I}_y| = |\vec{I}| \cdot \sin(\alpha)$



Længden af en vektor $I = |\vec{I}| = \sqrt{(I_x)^2 + (I_y)^2}$ udledt ud fra Pythagoras' sætning

Vinklen (fasedrejningen) for en vektor $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{I_y}{I_x}\right)$ husk at vælge om I vil have vinklen i grader eller radianer

Vinklen i radianer ud fra tid (t) og frekvens(f) $\alpha = 2\pi \cdot f \cdot t = 2\pi \cdot \frac{t}{T}$, *giver vinklen i radianer* $(\frac{1}{2}\pi = 2\pi + \frac{1}{2}\pi \ldots)$

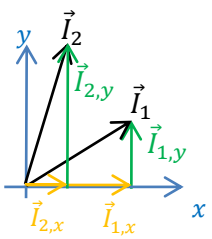
Vinklen i grader ud fra tid (t) og frekvens (f) $\alpha = 360° \cdot f \cdot t = 360° \cdot \frac{t}{T}$, *giver vinklen i grader* $(90° = 360° + 90° \ldots)$

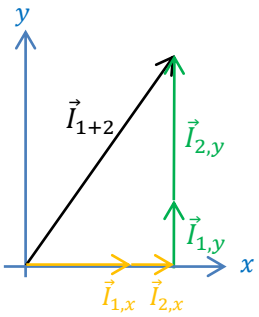
Omregning i mellem radianer og grader $\frac{\alpha_{rad}}{2\pi} = \frac{\alpha_{grader}}{360°}$

Addition af to strømmevektorer

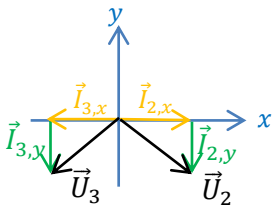
$\vec{I}_{1+2} = \vec{I_1} + \vec{I_2} = \begin{pmatrix} I_{1,x} \\ I_{1,y} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} I_{1,x} \\ I_{1,y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_{1,x}+I_{2,x} \\ I_{1,y}+I_{2,y} \end{pmatrix}$

$\vec{I}_{1,y}$





Spændingsforskel (fx i mellem to faser) $\vec{U}_{L2-L3} = \vec{u_2} - \vec{u_3} = \begin{pmatrix} u_{2,x} \\ u_{2,y} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} u_{3,x} \\ u_{3,y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{2,x}-u_{3,x} \\ u_{2,y}-u_{3,y} \end{pmatrix}$



Løs opgave 6.14+6.16-6.21

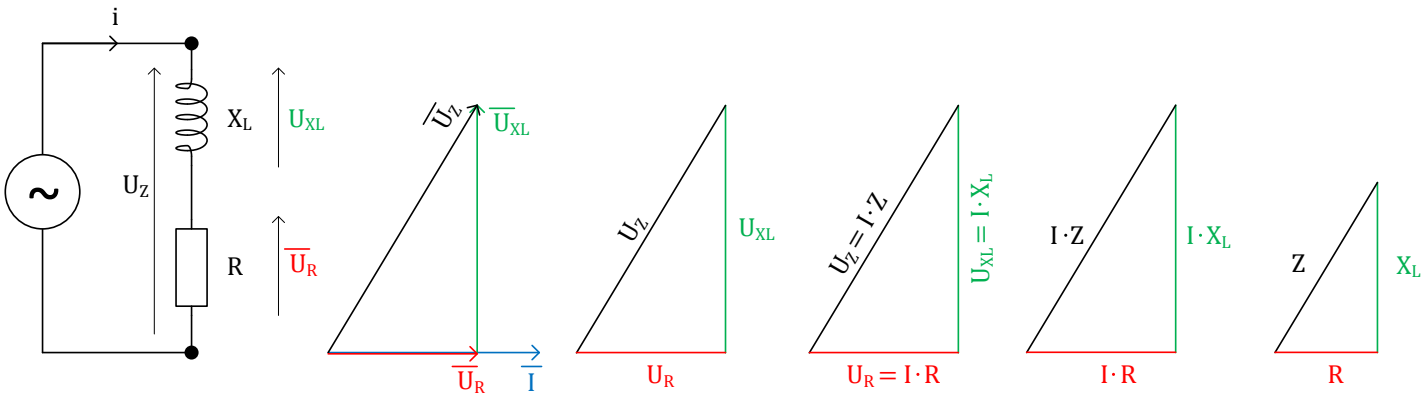
Ohm' lov for vekselstrøm $U = I \cdot Z$ *hvor Z er impedansen (samlet ac modstand)*

Impedans $[Z] = \Omega$

$Z = \frac{U}{I}$ Z er "AC-modstanden"

$Z = |\vec{Z}| = \sqrt{X^2 + R^2}$

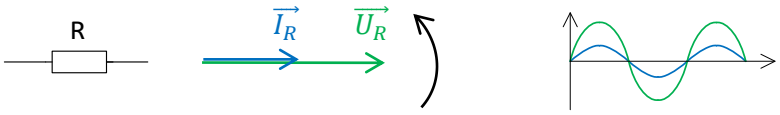
$Z = |\vec{Z}| = \sqrt{(X_L)^2 + (R)^2}$



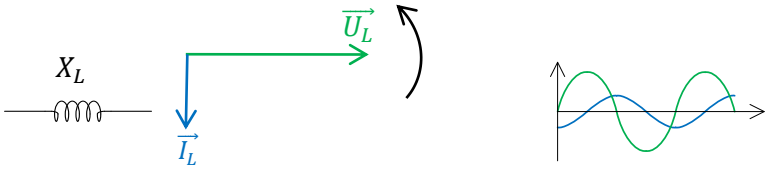
Faseforskydningsvinklen $\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R}\right)$ *(φ er vinklen i mellem strøm og spændin)*

Cosinus phi $Cos(\varphi) = \frac{R}{Z}$ Elektricitetsudbyderne vil gerne have at $Cos(\varphi) = 1$ (tænk selv hvorfor eller spørg)

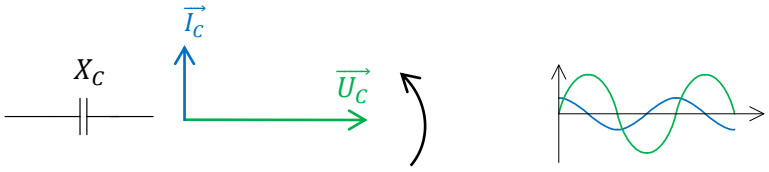
Resistans $[R] = \Omega$ $R = \sqrt{Z^2 - x^2}$



Induktiv reaktans $[X_L] = \Omega$ $X_L = 2\pi f L = \omega \cdot L$



Kapacativ reaktans $[X_C] = \Omega$ $X_C = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C}$



Huskeregel: ELICE spændingen (E) over en spole (L) er foran strømmen (I), strømmen (I) i en kondensator (C) er foran spændingen (E)

En spole virker som en afbrydelse ved $f \to \infty$ idet det medfører at $X_L \to \infty$, Prøv selv at udføre et beregningseksempel

En kondensator virker som en kortslutning for $f \to \infty$ idet det medfører at $X_L \to 0$, Prøv selv at udføre et beregningseksempel

Resistans (R) i en spole måles ved at tilslutte en jævnspænding til kredsløbet, hvorefter R kan beregnes vha. Ohm' lov ($U = R \cdot I$)

Komplekse tal

Opsætning af TI-nspire til komplekse tal

I menuen Generelle indstillinger (tast >doc</7/2/1) skal følgende vælges

- Vis cifre: *Flydende6*
- Vinkel: *Grader*
- Eksponentielt format: *Teknisk*
- Reel eller kompleks: polær — nu retuneres resultater af et komplekst tal på polær form $|\vec{z}| \angle \theta$
- Beregningsstandart: *Auto*
- Vektorformat: *Rektangulær*
- Talsystem: *Decimal*
- Enhedssystem: *SI* — Husk at taste >enter< to gange for at gemme de nye opsætninger i menuen indstillinger

Omregning til $x + i\,y$ (rektangulær/sumform)

Konverter fra produktform (z∠φ) til rektangulær form (x + iy) tast >bogtasten< og vælg Rect

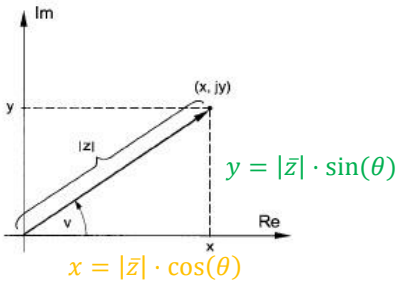
i findes under π tasten

∠ argumentet findes ved at taste >ctrl< >bogtasten< og vælge ∠

De to notationsformer for komplekse tal, sumform $\vec{z} = (x + iy)$ og Produktform $\vec{z} = (|z| \angle \varphi)$

Sumform/rektangulær $\bar{z} = (x + iy)$ *hvor x er den reelle del (Re) og y er den imaginære del (Im)*

$$\bar{z} = |\bar{z}| \cdot \cos(\varphi) + i \cdot |\bar{z}| \cdot \sin(\varphi)$$

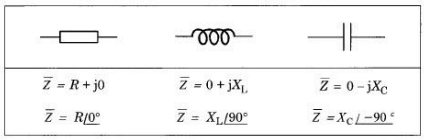


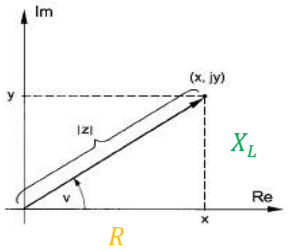
Summen af to vektorer $\bar{z}_1 + \bar{z}_2 = (x_1 + iy_1) + (x_2 + iy_2) = (x_1 + x_2) + i(y_1 + y_2)$

Ex) $\vec{z}$ *for R og L i serie* $\bar{z} = R + iX_L$

Ex) $\vec{z}$ *for R og C i serie* $\bar{z} = R - iX_C$

Ex) $\vec{z}$ *for R, L og C i serie* $\bar{z} = R + i(X_L - X_C)$





Produktform/polær $\bar{z} = |z| \angle \varphi$ bruges når vektorer adderes $(|z_1| \angle \varphi_1) \cdot (|z_2| \angle \varphi_2) = (|z_1| \cdot |z_2|) \angle (\varphi_1 + \varphi_2)$

$$\bar{z} = \sqrt{x^2 + y^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

Produktet af to vektorer $\bar{U} = \bar{Z} \cdot \bar{I} = (|Z| \angle \varphi_Z) \cdot (|\bar{I}| \angle \varphi_I) = (|\bar{Z}| \cdot |\bar{I}|) \angle (\varphi_U + \varphi_I)$

Beregning af effekt

- Ved effektberegninger regnes der altid i effektivværdier $\left(fx\ U = U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}\right)$
- Vær opmærksom på at i effektberegninger regnes strømmen kompleks konjugeret $(\vec{S} = \vec{U} \cdot \vec{I}^*)$, da det ikke er summen af vinklerne, men der i mod vinkel differensen (vinklen mellem spændingen og strømmen), der skal regnes med. Dette er eneste tilfælde hvor kompleks konjugeret optræder i EL1.

Tilsyneladende effekt/skineffekt

$$\vec{S} = \vec{U} \cdot \vec{I}^* = (|\bar{U}|\angle\theta_U) \cdot (|\bar{I}| \cdot \angle{-\theta_I}) = (|\bar{U}| \cdot |\bar{I}|) \angle (\theta_U - \theta_I) = \mathrm{S} \angle \varphi_{UI}$$

Størrelsen (længden) af den tilsyneladende effekt $S = U \cdot I$ *fremgår af den polære beregning ovenfor*

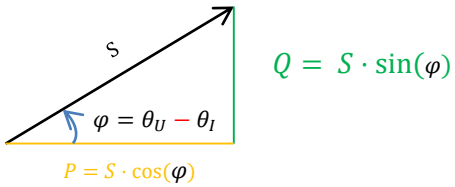
Størrelsen (længden) af den tilsyneladende effekt $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ *idet P og Q er komposanter til* $\vec{S}$

Effekt/Virkeeffekt

$P = S \cdot \cos(\varphi)$ *hvilket er den reelle del af* $\vec{S}$ *(x komkusanten)*

Reaktiv effekt (Watt-løse effekt)

$Q = S \cdot sin(\varphi)$ *hvilket er den imaginære del af* $\vec{S}$ *(y komposanten)*

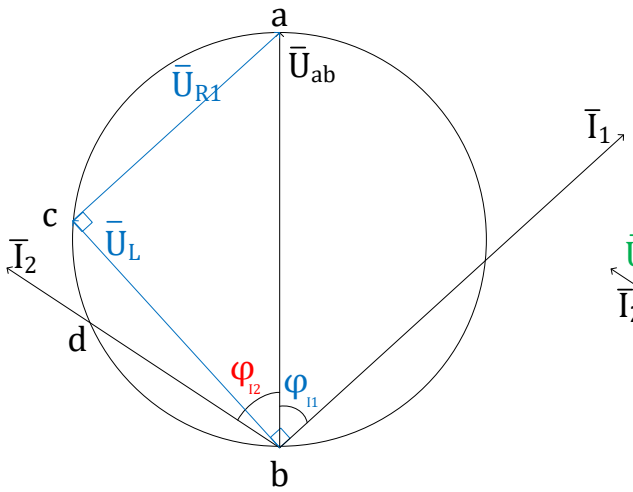


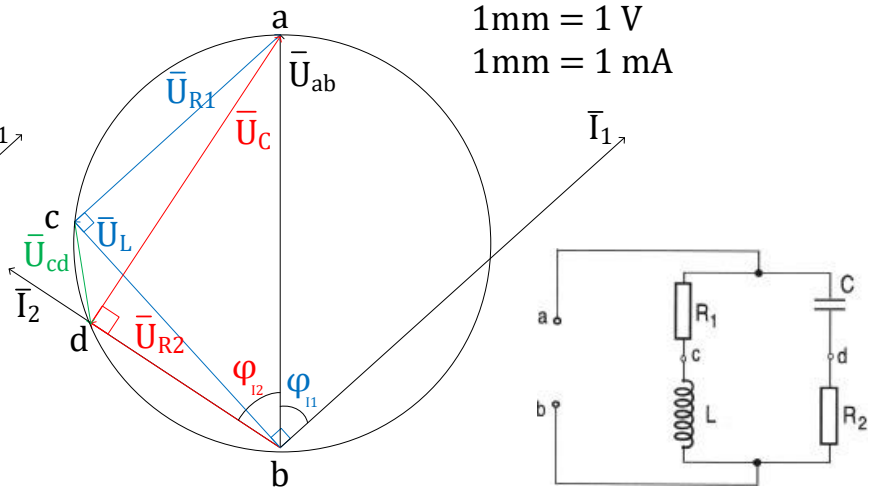
Husk: P og Q er komposanter til $\vec{S}$, og kan dermed ikke udtrykkes ved en vektor, kun en længde (størrelse)

Løs opgave 6.98, 6.100-6.101 og tegn vektordiagrammer til alle opgaver (til næste gang)

Løs opgave 120-122, 6.124 og tegn vektordiagrammer til alle opgaver (til næste næste gang)

Vektordiagram for 1-fatet parallelforbindelse (serieforbindelse næste side)



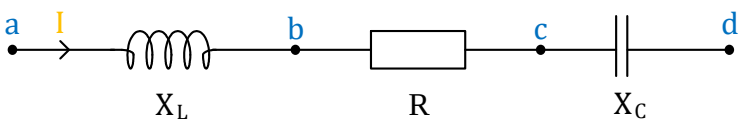


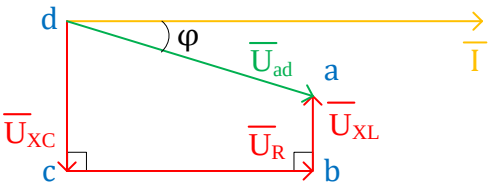
Vektordiagram med strømme og spændingerne i "gren" 1

Vektordiagram med alle strømme og spændinger

1. Spændingen over parallelforbindelsen vælges som reference ($\bar{U}_{ab} = U_{ab} \angle 0°$) og tegnes lodret
2. Vektordiagrammet tegnes "bagfra", dvs. vektor $\bar{U}_{ab}$ skal gå fra b til a
3. Hvis spændingen U_{ab} er 100 V, kan længden fx vælges til 100 mm, hvormed spændings/længde-forholdet skal være 1V pr mm for alle spændingsvektorer
4. Beregn strømmene i hver gren af parallelforbindelsen. Fx strømmen i gren 1: $\bar{I}_1 = \frac{\bar{U}_{ab}}{\bar{Z}_{tot\ gren\ 1}}$
5. Tegn strømmene fra hver gren ind på vektordiagrammet med start i punktet b med samme størrelsesforhold, fx 1 mm = 1 ampere (husk at 0° er lodret og + 90° er "vandret mod venstre" mens -90° er vandret mod højre)
6. Tegn en cirkel som indeslutter vektoren $\bar{U}_{parallel}$
7. Tegn spændingen over den "sidste" impedans i gren 1, som skal gå fra punktet b til et sted på cirklen (punkt c). Spændingens retning afhænger af om impedansen er en resistor, kondensator eller spole:
   $\bar{U}_R\ i\ fase\ med\ \bar{I}_1, \bar{U}_C\ er\ 90°\ foran\ \bar{I}_1\ eller\ \bar{U}_L er\ 90°\ efter\ \bar{I}_1$
8. Tegn spændingen over den "første" impedans i gren 1, som går fra punkt c til punkt a.
9. Punkt 7 og 8 foretages for de resterende grene i parallelforbindelsen

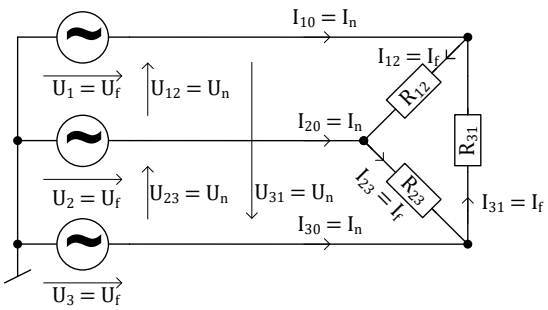
Vektordiagram for 1-faset serieforbindelse



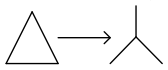


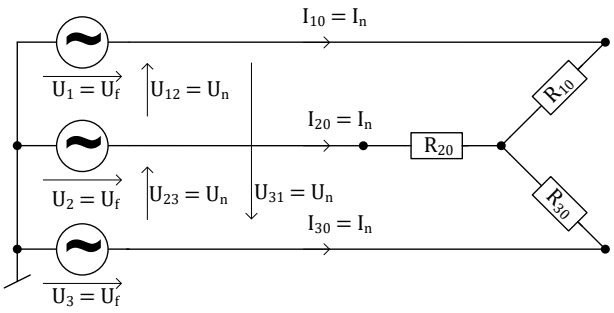
1) Strømmen vælges som reference, da den er fælles ($\bar{I} = I \angle 0°$)
2) Strømmen tegnes vandret med start fra sidste punkt i kredsløbet (her punkt d)
3) Beregn spændingen over hver komponent $Fx\ U_{XC} = I \cdot X_C$ (læg mærke til at det ikke er nødvendigt at regne med vektorer)
4) Kondensatoren er sidst, hvormed vi skal starte med at tegne denne spændingsvektor, som er 90° efter strømmen (ELICE)
5) Spændingsvektorerne tegnes i forlængelse af hinanden, med samme indbyrdes størrelsesforhold (fx 1 = 1 mm)
6) Tegn den samlede spænding over kredsløbet $\bar{U}_{ad}$ (summen af vektorspændingerne i kredsløbet)
7) Kontroller at længden og vinklen for den tegnede $\bar{U}_{ad}$ er lig med den beregnede længde og vinkel for $\bar{U}_{ad}$, og kommenter dette

Trekant til stjerne ækvivalent ved symmetrisk belastning



Trekant til stjerne ækvivalentkredsløb





For at der er tale om to ækvivalente kredsløb, kræver det at der er samme effektafsættelse i R_{12} og R_{10} osv.

Effektafsættelse i R_{12}: $P_{R12} = (I_{12})^2 \cdot R_{12} = \left(\frac{I_{10}}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot R_{12} = \frac{(I_{10})^2}{(\sqrt{3})^2} \cdot R_{12} = (I_{10})^2 \cdot \frac{R_{12}}{3}$

Effektafsættelse i R_{10}: $P_{R10} = (I_{10})^2 \cdot R_{10}$

Der skal afsættes lige meget effekt i R_{12} og R_{10}: $P_{R12} = P_{R10}$ => $(I_{10})^2 \cdot \frac{R_{12}}{3} = (I_{10})^2 \cdot R_{10}$ => $\frac{R_{12}}{3} = R_{10}$ => $R_{12} = 3 \cdot R_{10}$

I_f er fase-fase strømmen*: $I_f = I_{12} = I_{23} = I_{31} = \frac{U_n}{Z} = \frac{I_n}{\sqrt{3}}$

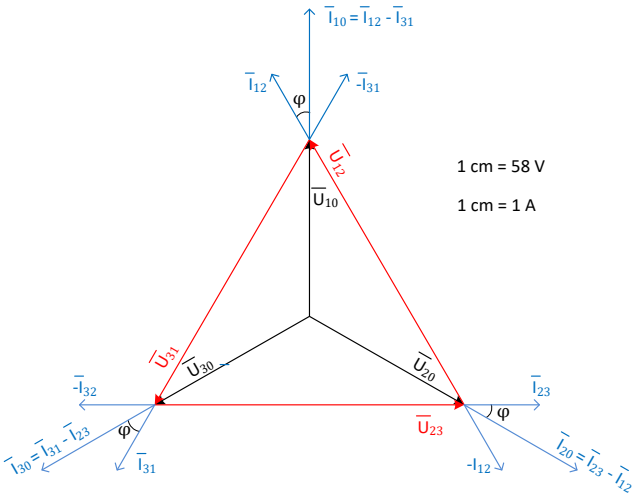
I_n er fase-nul strømmen*: $I_n = I_{10} = I_{20} = I_{30} = \frac{U_f}{Z} = \sqrt{3} \cdot I_f$

U_f er fase (fase-nul) spændingen*: $U_f = U_{10} = U_{20} = U_{30} = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$

U_n er net (fase-fase) spændingen*: $U_n = U_{12} = U_{23} = U_{31} = \sqrt{3} \cdot U_f$

* ved symmetrisk belastning

(ved usymmetrisk belastning er der selvsagt ikke ens strømme, hvormed der ikke kan sættes fælleudtryk op for I_f, I_n)



Nedestående formler er gældende uanset om der er tale om stjerne - trekant ækvivalente kredsløb ($R_{12} = 3 \cdot R_{10}$), eller stjerne – trekant direkte omkobling (med samme modstandsværdier i begge koblinger). Dog vil $I_{n,trekant} = \sqrt{3} \cdot I_{n,stjerne}$ ved direkte omkobling.

samlet effekt ved symmetrisk belastning i stjernekobling:

Tilsyneladende effekt: $S = 3 \cdot U_{10} \cdot I_{10} = 3 \cdot U_f \cdot I_n = 3 \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot I_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n$

Effekt (virke-effekt): $P = 3 \cdot U_{10} \cdot I_{10} \cdot \cos(\varphi_{UI}) = 3 \cdot U_f \cdot I_n \cdot \cos(\varphi_{UI})$

Reaktiv effekt: $Q = 3 \cdot U_{10} \cdot I_{10} \cdot \sin(\varphi_{UI}) = 3 \cdot U_f \cdot I_n \cdot \sin(\varphi_{UI})$

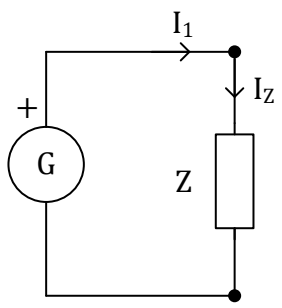
Samlet effekt ved symmetrisk belastning i trekantkobling:

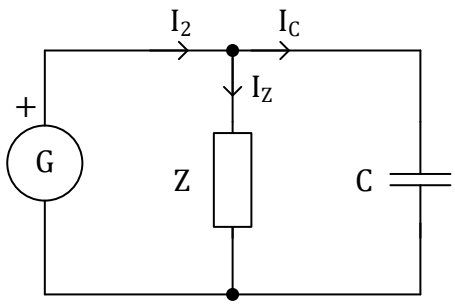
Tilsyneladende effekt: $S = 3 \cdot U_{12} \cdot I_{12} = 3 \cdot U_n \cdot I_f = 3 \cdot U_n \cdot \frac{I_n}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n$

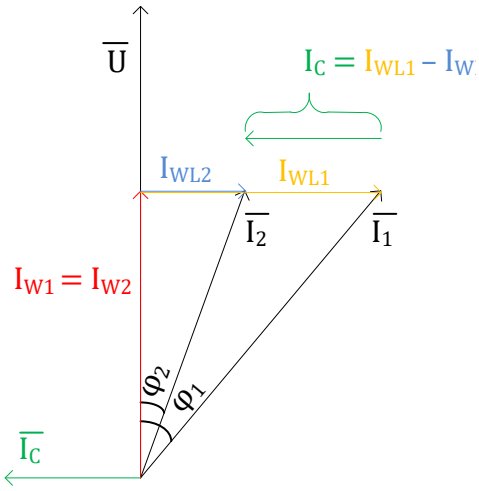
Effekt (virke-effekt): $P = 3 \cdot U_{12} \cdot I_{12} \cdot \cos(\varphi_{UI}) = 3 \cdot U_n \cdot I_f \cdot \cos(\varphi_{UI})$

Reaktiv effekt: $Q = 3 \cdot U_{12} \cdot I_{12} \cdot \sin(\varphi_{UI}) = 3 \cdot U_n \cdot I_f \cdot \sin(\varphi_{UI})$

Fasekompensering på et 1-fase kredsløb







Der ønskes fasekompenseret, så faseforskydningsvinke reduceres fra φ_1 *til* φ_2 (*se vektordiagram*)

Det er nødvendigt at indføre en kondensator:

I kondensatoren løber ingen watt-strøm ⇒ watt-strømmen ikke ændrer sig: $I_{W1} = I_{W2}$

$$I_1 \cdot cos\varphi_1 = I_2 \cdot cos\varphi_2$$

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{cos\varphi_1}{cos\varphi_2}$$

Strømmen i kondensatoren: $I_C = I_{WL1} - I_{WL2} = I_1 \cdot sin\varphi_1 - I_2 \cdot sin\varphi_2$

Kondensatorens reaktans: $X_C = \frac{U_C}{I_C}$

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