

Grundlæggende El-Varmeteknik

Verdens hurtigste introduktion til elektrisk opvarmning - er Dansk.

Læs også "[Grundlæggende Damp teknik](#)"

Side 1 af 18

1. Elektricitet og Haveslangen

Der er skrevet meget om grundlæggende el-teknik. Udfordringen er at elektrisk strøm er en abstrakt størrelse for de fleste og kan derfor være svær at forstå. Med sanserne kan man ikke – eller bør ikke kunne - se, høre, lugte, smage eller føle elektrisk strøm; men kun hvad den medfører. Vi skal bruge vores fantasi for at forstå elektricitetens vej til bl.a. energieffektive løsninger som vi får ud af den!

Nedenstående er forsøgt forfattet på en nærværende måde – hvor vi tager fokus på el-varme som vi f.eks. her i **AB&CO** bruger i vores **elektriske dampkedler**, elektriske **hedtoliekedler**, el-forvarmere, **el-luftforvarmere** m.m. Det er såkaldte ohmske modstande som grundlæggende er varmeafgivere - selvom det langt fra altid er formålet med modstanden (man bruger meget forskning for at minimere modstand i elektriske kredsløb f.eks. super-afkølede superledere m.m.).

Vi kommer i dette skriv ikke ind på det store fagområde omkring induktive og kapacitive modstande (med fællesbetegnelsen impedanser) herunder faseforskydninger mellem spænding og strøm, og derfor heller ikke multiplikatoren $\cos \phi$ som vi kender fra bl.a. el-motorer – kun el-varmeteknik.

Vi vil derimod se lidt mere pragmatisk på tingene. Vi prøver at se el og el-varme i et særligt perspektiv hvor vi sammenligner med noget så nærværende og banalt som strømmende vand inden i en haveslange!

Herfor en lille undskyldning for manglende videnskabelig seriøsitet til de tre herrer på side 18.

Materialet må bruges og oversættes uden forfatterens tilladelse til alt form for undervisning, men kun med tydelig og detaljeret kildeangivelse, og uden ansvar fra forfatterens side.

2. Strømstyrke / Strøm (I) – måles i enheden **A** (Ampere / Amp.)

Vand strømmer i haveslangen (eller et andet "rørsystem") - med en vandmængde der angives i f.eks. m³/time eller l/s (liter pr. sekund).

Sådan kan man også betragte elektrisk strøm. Men her måles den strømmende mængden i enheden Ampere (A). Dette benævnes oftest som strøm, strømstyrke og strømforbrug.

Ampere er i øvrigt en af grundenhederne i det europæiske SI-system, som alle tekniske størrelser defineres ud fra. De øvrige grund-enheder er kg (masse), m (længde), sekunder (tid), Kelvin (absolut-temperatur), mol (mængde af atomer) og candela (lysstyrke). Der er ingen andre grundenheder, - de fleste andre fysiske enheder er udledt af disse 7 enheder.

Der bliver dog hele tiden defineret andre enheder – en del indenfor kernefysik helt tilbage fra tiden med Niels Bohr's forskning. Men der er også mere kuriøse og alligevel seriøse enheder, som f.eks. lugt-enheden Olf, - navngivet efter den danske forsker Ole Fanger i 70'erne.

3. Spændingsfald / Spænding (U) – måles i enheden **V** (Volt)

For at vandet skal kunne strømme i haveslangen skal der være et tryk, - og med vand (og andre medier) måler man stadig ofte dette i bar selvom det mest korrekte er den SI-udledte enhed Pascal (Pa). Det er altid en trykforskel der giver strømning af vand. På haveslangen er der måske et vandtryk ved vandhanen på 3 bar og ved slangens udløb på 0 bar. Det er dette der gør at vandet kan strømme. Mere tryk - mere vand igennem, og intet vandtryk dvs. ingen trykforskel mellem vandhane og udløb - ingen strømmende vandmængde. Og det ved vi jo alle sammen.

Tilsvarende skal der for at lave en elektrisk strøm, være et "elektrisk tryk". Man kalder det også et elektrisk potentiale. Indenfor el-teknik har dette fået navnet **spænding**. Tilsvarende er det forskellen i spænding (spændingsforskel), der gør at der løber en strøm. Man siger også at der er et spændingsfald (eller en potentialeforskel).

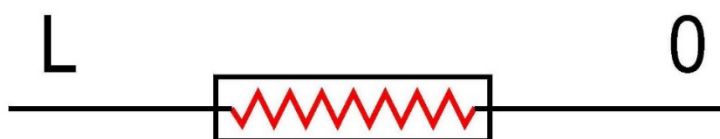
Ingen spænding - ingen strøm. Eller man kan sige, ingen spændingsforskel - intet strømforbrug.

Materialet må bruges og oversættes uden forfatterens tilladelse til alt form for undervisning, men kun med tydelig og detaljeret kildeangivelse, og uden ansvar fra forfatterens side.

Spændingsfaldet vil man have dér hvor man har en modstand. Det kan være et el-varmelegeme, en elektrisk leder (et kabel eller ledning) eller en anden strømforbruger.

I denne sammenhæng vil modstanden betragtes som en separat enhed, men den kan også være en del af en strømførende leder. Modstanden tilsluttes den strømførende "L" (en fase) på den ene side, og eksempelvis den spændingsløse "0" på den anden side (det kan også være en anden fase – se afsnit 9). I den anvendte teknik skriver man oftest 0 som "N" (Neutral).

I en elektrisk tilslutning vil der imellem L og 0 vil der så være et spændingsfald – og det kan f.eks. være 230 V som vi kender det fra en almindelig stikkontakt i huset.



4. **Modstand (R)** – måles i enheden Ω (Ohm)

Det der bestemmer hvor meget vand der strømmer igennem ved et givent tryk, er modstanden – f.eks. i haveslangen. Jo længere eller tyndere haveslangen er, des mere modstand. Modstanden kan også være i en given komponent f.eks. vandsprederen. Modstanden er for vandet variabel – for modstanden er her også afhængig af hastighed og af mediets beskaffenhed. F.eks. giver vand og olie forskellig modstand i den samme slange – også temperaturen har indflydelse (viskositet). Derfor er modstandens størrelse i rør eller slanger med cirkulerende vand eller andre medier - ikke noget man almindeligvis har behov for at fastsætte i en særskilt fysisk størrelse til specifikke komponenter, rør m.v. Til visse ventiler og andet armatur har man dog en størrelse som kaldes en kVS-værdi. Værdiene fortæller hvor meget modstand der er i en given komponent (f.eks. en ventil) under givne forhold.

Med elektricitet er det faktisk meget mere enkelt. En modstand er som udgangspunkt ret konstant.

Derfor opgør man elektrisk modstand i størrelsen Ohm (Ω) der er en specifik størrelse for den givne modstand som man faktisk også ofte mærker modstanden (enheden) med – dvs. med tekst, bogstaver og/eller farvekoder.

Der findes dog instrumenter f.eks. dekademodstande, hvor man kobler flere eller færre modstande ind efter behov eller en skydemodstand, men modstanden der vælges, er stadig (næsten) konstant.

Som så meget andet i denne verden er der ingen sandhed uden undtagelser og altid et "men". En ohmsk modstand er kun næsten konstant, den er i et vist omfang afhængig af temperaturen. Højere temperatur giver altid lidt større modstand – det er derfor man altid har forsket i at lave superledere næsten uden modstand. De findes ikke – ikke helt. Det ved vi såmænd fra noget så smukt som termodynamikkens grundsætninger. Ingen proces er tabsfri.

Et andet forhold omkring modstande generelt, er at de afgiver energi i form af varme når de påtrykkes spændingsfald henover og derved strøm løber igennem.

Det gør der faktisk også med haveslangen, men denne størrelse af varme er så lille at den ikke kan registreres.

En elektrisk modstand er således reelt en el-varmer (eller et el-varmelegeme). Og en modstand kan være f.eks. en lille komponent i et elektronisk kredsløb, men det kan også være hele det lange træk af mastephængte højspændingskabler igennem landskabet.

Der er altid en eller anden form for modstand når der løber en strøm, og dette vil altid medføre udvikling af varme tilsigtet (el-opvarmning) eller utilsigtet (varmetab).

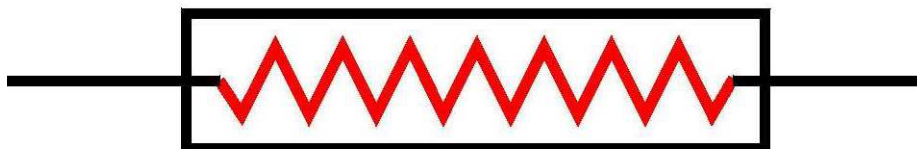
Derfor indgår beregninger af elektrisk modstand altid i et elektrisk kredsløb – typisk med dimensionering og materialevalg af kabler og komponenter. Derved opnår man kontrol med både energi og temperaturer.

Materialet må bruges og oversættes uden forfatterens tilladelse til alt form for undervisning, men kun med tydelig og detaljeret kildeangivelse, og uden ansvar fra forfatterens side.

Når man beskæftiger sig med spoler og kondensatorer - herunder el-motorer, så bruger man begrebet modstand, men derimod impedans. Impedans er en slags modstande hvor der også indgår forhold omkring faseforskydninger der er mellem vekselstrøm og -spænding (defineret som $\cos \phi$). Men det var så det vi ikke ville komme ind på her, som skrevet i indledningen

I det efterfølgende vil vi kun se på almindelige såkaldte ohmske modstande. Da de som nævnt også er varmeafgivere, vil vi i det følgende for nemheds skyld betragte modstande i deres funktion som de el-varmelegemer som AB&CO bruger i sine kedler og forvarmere.

Modstande vil vi i de efterfølgende illustrationer derfor blive vist som symbolet for el-varmelegemer:



Så i selve beregningen af elektriske modstande / el-varmelegemer, må vi konstatere at der er lidt forskel i forhold til hvordan man ser på størrelsen af en modstand for "vand i vandslangen", men i den overordnede betragtning kan de to ting sidestilles.

5. Ohms Lov – for et lederstykke (f.eks. et el-varmelegeme)

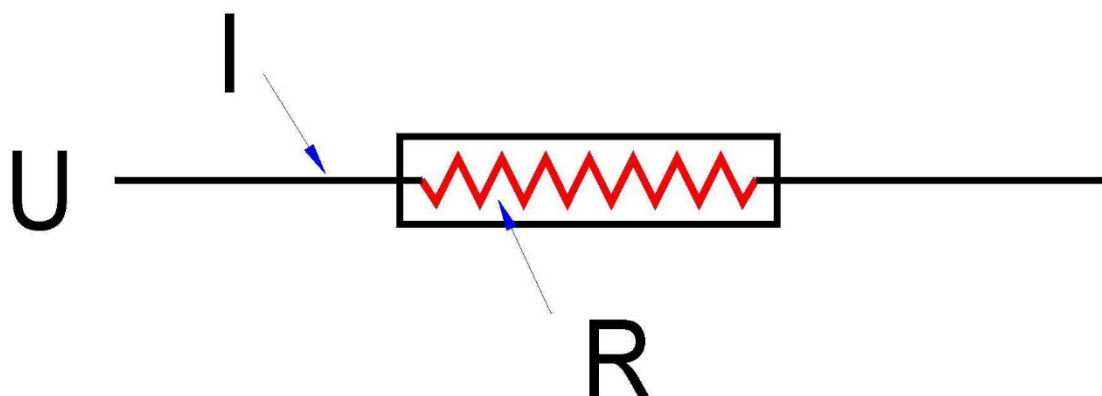
Både indenfor el-teknik og "vandslanger" arbejder man med 3 vigtige størrelser : 1) spænding/tryk (som også kan betragtes og benævnes som potentiale), 2) strøm/vandmængde og 3) modstande.

Og både indenfor el-teknik og "vandslanger" hænger de tre størrelser nøje sammen.

Indenfor elektricitet - og derfor også i el-varmeteknik med hensyn til el-varmelegemer - er denne sammenhæng bestemt helt præcist og meget enkelt formuleret i Ohm's Lov, der siger:

$$U = R \cdot I$$

Spændingsfald (**U**) = Modstand (**R**) x Strømstyrke (**I**)



Materialet må bruges og oversættes uden forfatterens tilladelse til alt form for undervisning, men kun med tydelig og detaljeret kildeangivelse, og uden ansvar fra forfatterens side.

R er modstanden – vist som et el-varmelegeme. **I** er den strøm der løber igennem el-varmelegemet og **U** er spændende – ”det elektriske tryk” der sættes på el-varmelegemet for at få strømmen til at løbe igennem det.

Ohms Lov $U = R \cdot I$ kan omskrives efter behov – for at give mere relevant betydning :

$$R = U/I$$

og

$$I = U/R$$

El-varmelegemet (modstanden **R**) kan således beregnes og udlægges efter Ohms Lov i den ene ovenstående omskrivning.

Men den anden ovenstående omskrivning $I = U/R$ er måske mest interessant for at forstå sammenhængen i praksis.

For det betyder at hvis man f.eks. øger spændingen **U** med 30% hen over el-varmelegemet (modstanden **R**), så øges strømforbruget **I** ligeledes med 30%, da modstanden **R** vil være konstant (el-varmelegemet er fysisk det samme).

Det betyder omvendt også, at hvis man vælger et el-varmelegeme med kun halv så stor modstand **R** (halvt så mange Ω), så bliver strømforbruget **I** det dobbelte med den samme spænding **U** (spændingsfald hen over el-varmelegemet). Mindre modstand **R** i el-varmelegemet kan man fremstille meget enkelt ved at vælge at vikle varmetråden i el-varmelegemet med et større i tværsnit og/eller kortere. Det er noget producenten af el-varmelegemerne gør på det enkelte varmelegeme – og et f.eks. 7 kW og et 2,33 kW el-varmelegeme kan meget vel se ens ud (og koste det samme). Det er bare lavet med større eller mindre modstand – og derfor reelt til to forskellige opgaver.

6. Parallelkoblede Modstande / El-Varmelegemer

Hvis man stadig betragter en modstand et enkelt lederstykke – altså som vist i alle ovenstående illustrationer med modstand i form af et el-varmelegeme. Modstand som illustreret kan godt bestå af flere mindre varmelegemer. Man skal så beregne en repræsentativ modstand dvs. som om det var en enkelt modstand. Man kan også lade dette den totale modstand.

Sidder modstandene (el-varmelegemerne) i serie dvs. efter hinanden, er den totale modstand blot summen af modstandene. Hvis de er på $2 + 2 + 2 \Omega$ - så er den modstand man skal regne i Ohms lov så 6Ω .

Sidder modstandene parallelt, er det lidt mere kompliceret:

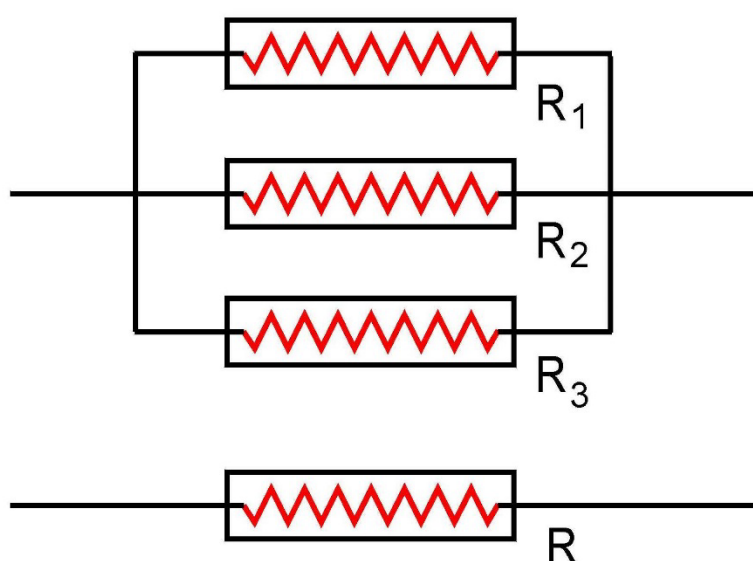
$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_T = 1 / \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

Der kan være flere led – her er kun vist tre led svarende til tre modstande (tre el-varmelegemer).

Her er R_T den totale modstand – og R_1 , R_2 og R_3 er enkeltmodstandene (modstanden i de enkelte el-varmelegemer).

Eksempelvis kan vi have en situation hvor modstanden i tre varmelegemer R1, R2 og R3 hver er 10 Ω - og dem parallelkobler vi så. Denne parallelkobling sammenligner vi så med en enkelt modstand R (et varmelegeme) – ligeledes på 10 Ω .



$$R_T = 1 / \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$R_T = 1 / \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} \right)$$

$$R_t = 3,33 \Omega$$

Den totale modstand bliver så kun 1/3. Eller man kan omvendt sige at tre parallelkoblede modstande R1, R2 og R3 på hver 10 Ω kan erstattes af en enkelt modstand R på 3,33 Ω . Da Ohms lov omskrevet siger at $I = U/R$ - så betyder det med en spænding (spændingsfald) på 230 V, at strømstyrken der samlet tilgår alle tre modstande (el-varmelegemer) er 230/3,33 = 69 A.

Igennem hver af de tre modstande vil strømstyrken være $230\text{V}/10\ \Omega = 23\ \text{A}$ - altså ligeledes en $1/3$. Det er logisk – en total "strømmængde" på 69A fordeler sig med 23 A i hver "delstrøm".

Dette eksempel er enkelt da modstandene (varmelegemerne) er lige store. Det er de ikke altid, og så bliver regnestykket lidt mindre forudsigeligt. Men logikken er klar, bliver en af modstandene større, vil dette presse mere strøm igennem de andre modstande.

Hvis modstandene (varmelegemerne) sidder i områder af både i serie og parallelle, må man beregne de enkelte områder til én fælles modstand ud og herefter regne de fælles modstande ud i en total modstand.

7. Kapacitet / Effekt (P) – måles i enheden W (Watt)

For at få noget ud af vandslangen skal der leveres noget energi hvert sekund. Det er pumperne på vandværket der skal levere denne energi. Energi per tidsenhed hedder effekt (man kalder det også kapacitet). Det måles i W (Watt) eller kW (1000 W). Den effekt **P** som pumperne skal aflevere for at trykke en given mængde vand igennem hele nettet, ud i huset og ud gennem slangen - afhænger af det tryk der skal til at drive vandmængden igennem.

Effekten **P** til haveslangen er [trykfaldet] x [vandmængde] x [en konstant].

Indenfor elektricitet afhænger effekten **P** tilsvarende af spændingsfaldet **U** og strømstyrke **I**. Man kalder det ofte fasespænding og fasestrøm fordi vi kun betragter den enkelte modstand i en elektrisk leder (f.eks. det enkelte el-varmelegeme). Det giver følgende effektligning:

Kapacitet / Effekt (P) = Spændingsfaldet (U) x Strømstyrken (I)

$$P = U_F \cdot I_F$$

Sammen med Ohms lov for et lederstykke, kan man omskrive effektligningen til f.eks. :

$$P = U^2 / R$$

Nu begynder vi at have noget der kan bruges i hverdagen med el-varmelegemer. For da modstanden (R) i et givent el-varmelegeme er konstant, betyder $P = U^2 / R$ at hvis man f.eks. forøger spændingen U med det dobbelte, - så bliver effekten 2^2 altså 4 gange så stor!

Og hvis man ved at der er et spændingsfald hen over et el-varmelegeme på 230 V og man med f.eks. et tang-ampere-meter på tilslutningen på varmelegemet måler 10 A – så yder el-varmelegemet $230 \text{ V} \times 10 \text{ A} = 2300 \text{ W} = 2,3 \text{ kW}$. Hvad sker der så med effekten, når man vælger et varmelegeme med den halve modstand? Prøv at regne nogle eksempler med forskellige U, I og R.

8. Jævnstrøm & Vekselstrøm

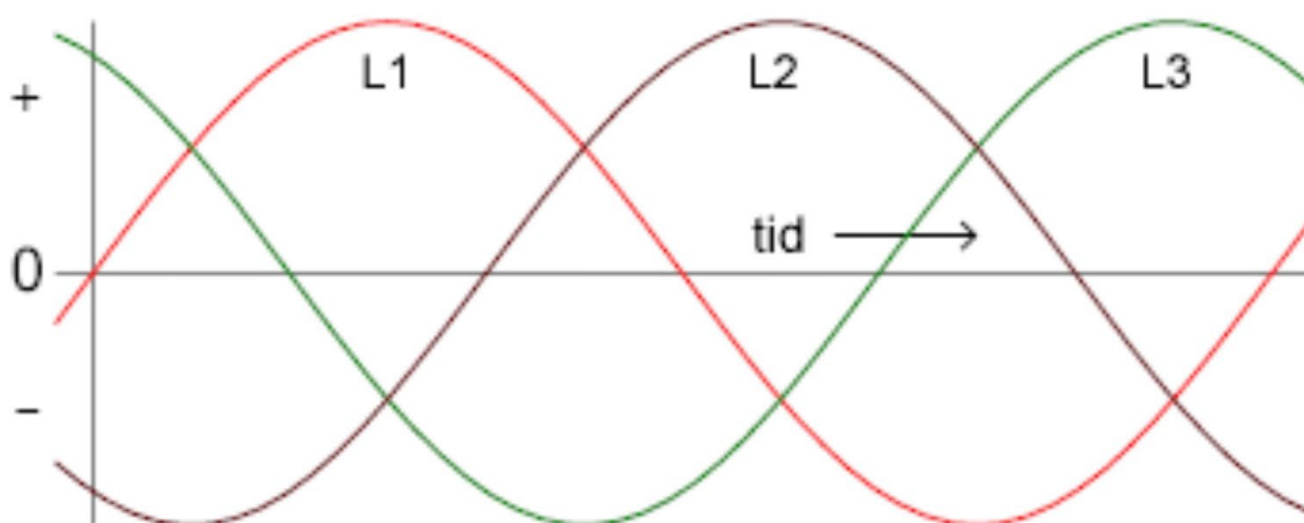
Både Ohm's Lov og ovenstående beregning af effekt gælder uanset om vi taler jævnstrøm eller vekselstrøm (eller jævnspænding eller vekselspænding). Normale forbrugere bruger som bekendt vekselstrøm, men f.eks. små elektroniske kredse bruger jævnstrøm. Men der er undtagelser som vi ikke kommer ind på her.

9. 3-faset Vekselstrøm

3-faset strøm kræver lige lidt mere forståelse – det er knap så simpelt. El-værket leverer nemlig ikke elektriciteten med én fase L og så et nul, ligesom vi betragter det ovenfor. Derimod leveres den som en 3-faset vekselstrøm (eller vekselspænding), hvilket har en række tekniske fordele. Vekselstrøm følger én sinus-kurve der svinger om et nulpunkt. 3-faset vekselstrøm er tre strømforsyninger L1, L2 og L3 der, som vist nedenfor, der følger hver deres sinus-kurve, forskudt 120° i forhold til hinanden. Spænding og strøm følges ad i hver af de tre sinus-kurver jf. Ohm's Lov.

Materialet må bruges og oversættes uden forfatterens tilladelse til alt form for undervisning, men kun med tydelig og detaljeret kildeangivelse, og uden ansvar fra forfatterens side.

Men som det fremgår nedenfor - og netop pga. af 120° forskydningen - er værdierne ikke de samme til et givent tidspunkt for de tre sinuskurver L1, L2 og L3. Når værdien i den ene sinuskurve er i top, er den på den anden kurve på vej ned og på den tredje på vej op. Bemærk også at der ikke er noget tidspunkt hvor alle værdier er nul samtidig.



Når vi ser på forholdene omkring effekt, spænding og strøm omkring el-varmelegemerne, må vi se på hvordan man kobler modstandene - dvs. de elektriske varmelegemer - i forhold til hinanden.

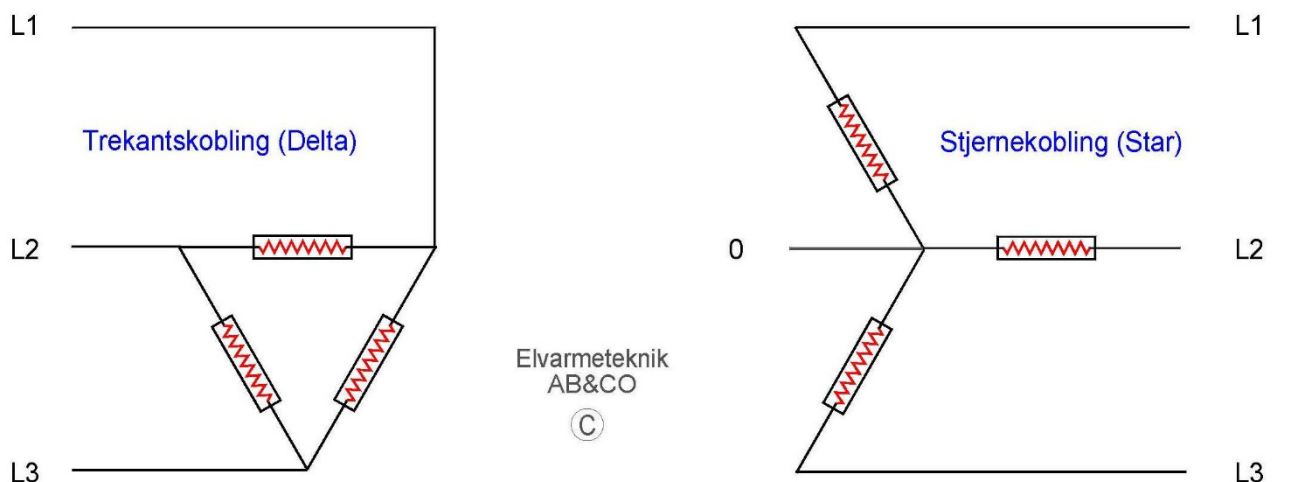
Årsagen til at man bruger konstanten $\sqrt{3}$ kan forklares matematisk (med trigonometri og geometri). Det tager udgangspunkt i illustrationen og den viste 120° forskydning ovenfor. Men denne dybere teori springer vi over her og vi betragter derfor blot $\sqrt{3}$ som en "konstant" der indgår i beregning af 3-faset vekselstrøm.

10. Effekt og El-varmelegemer i Stjerne- og Trekantskoblinger

Tilslutning af el-varmelegemer (modstande) som en balanceret belastning i en 3-faset strømforsyning L1, L2 og L3, sker med enten en stjernekobling eller en trekantskobling. Se illustrationen næste side.

Materialet må bruges og oversættes uden forfatterens tilladelse til alt form for undervisning, men kun med tydelig og detaljeret kildeangivelse, og uden ansvar fra forfatterens side.

Man kunne teoretisk forbinde et givent antal el-varmelegemer på en enkelt fase, men afhængig hvordan modstanden og forbrugerne er på de andre faser, vil der sandsynligvis blive en skæv og uhensigtsmæssig belastning af den 3-fasede strømforsyning. Denne ubalancerede belastning kan pludselig ske f.eks. hvis en fase ryger ud eller et el-varmelegeme brænder af. Men som udgangspunkt forsøger man altid at lave en balanceret belastning, hvor hver el-varmelegeme eller gruppe af el-varmelegemer er lige store til hver fase.



Det betyder at strømmen I_F der gennemløber hvert af de tre varmelegemer, kun er $1/\sqrt{3}$ dvs. knap 60% af strømmen i elforsyningen I_N . De sidste godt 40% af denne strøm går igennem det andet el-varmelegeme der er tilsluttet denne fase.

Hvis el-varmelegemerne er på f.eks. 23 Ω , vil strømmen igennem I_F ved en 3 x400V elforsyning være $400/23 = 17$ A

Strømmen i elforsyningen (netstrømmen) $I_N = \sqrt{3} \cdot I_F = \sqrt{3} \cdot 17 = \text{ca. } 30$ A

Vælger vi at se på det enkelte el-varmelegeme er det $P_F = U_F \cdot I_F = 400 \cdot 17 = 7$ kW og det bliver $3 \times 7 = 21$ kW for tre el-varmelegemer.

Ser vi på hele den 3-fasede forsyning samlet vil effekten på alle 3 el-varmelegemer kunne beregnes samlet : $P_N = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 30 = 21$ kW

Materialet må bruges og oversættes uden forfatterens tilladelse til alt form for undervisning, men kun med tydelig og detaljeret kildeangivelse, og uden ansvar fra forfatterens side.

10.2 "Stjernekoblingen"

Spændingsfaldet over tre modstande (el-varmelegemer) koblet i stjerne som vist ovenfor, - sker mellem en af de tre faser L1, L2 og L3 – og så et såkaldt nulpunkt.

Ved en 3-faset strømforsyning på 3 x 400 V, vil spændingsfaldet være 230 V over hvert el-varmelegeme

$$U_N = \sqrt{3} \cdot U_F \quad \Leftrightarrow \quad U_F = U_N / \sqrt{3}$$

Det betyder at spændingsfaldet over hvert el-varmelegeme kun er $1/\sqrt{3}$ dvs. knap 60% i forhold til spændingsforsyning U_N . Det betyder at hvis $U_N = 400\text{V}$, så er spændingsfaldet over el-varmelegemet $U_F = U_N / \sqrt{3} = 400 / \sqrt{3} = \text{ca. } 230\text{ V}$ (helt præcist 231V).

I en stjernekobling vil netstrømmen $I_N =$ fasestrømmen I_F .

$$I_N = I_F$$

Alt den strøm der kommer ind fra nettet på en fase, går kun igennem denne fases el-varmelegeme (modstand).

Det betyder at strømmen igennem el-varmelegemet er den samme som strømmen som kommer fra strømforsyningen.

Hvis el-varmelegemerne er på f.eks. 23 Ω , vil strømmen I_F igennem være U/R (Ohms Lov) dvs. $(400/\sqrt{3})/23 = 230/23 = 10\text{ A}$

Effekten på alle 3 el-varmelegemer vil være $P = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 10 = 7\text{ kW}$

Sammenligner vi hver af de tre el-varmelegemer er $P_F = U_F \cdot I_F = 230 \cdot 10 = 2,3\text{ kW}$ og det bliver 3 x 2,3 = 7 kW for tre el-varmelegemer.

11. Strømtæthed

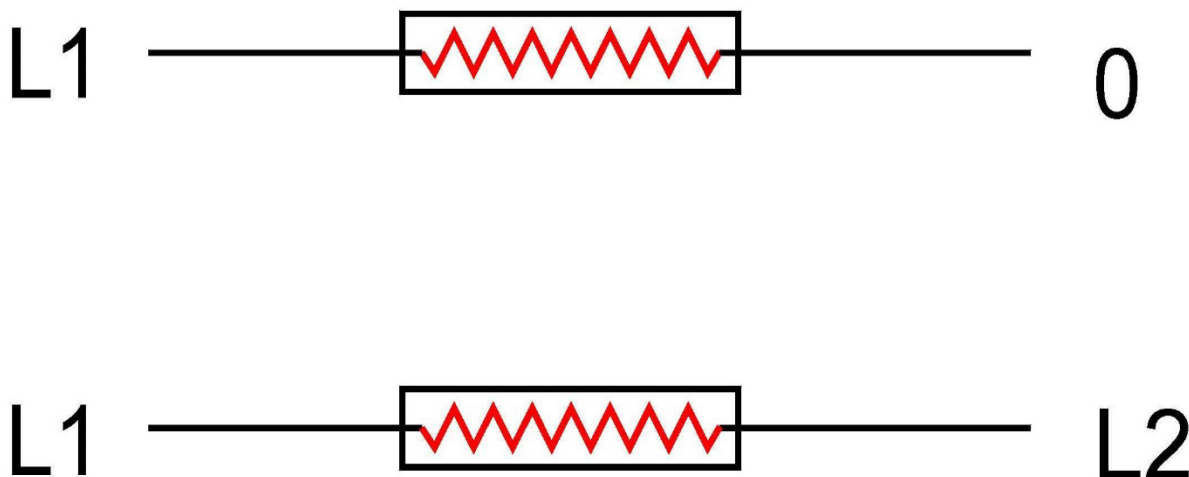
Det er indlysende at el-varmelegemerne skal fremstilles og udlægges efter forholdene. Men man kan godt i en stjernekobling bruge et el-varmelegeme fremstillet og udlagt til trekantskobling.

Men man skal vide hvad man gør og derfor forstå nedenstående. Mange uheld og overbelastninger ifm. el-varme er forårsaget af for stor strømtæthed.

I ovenstående eksempel vil et 400V el-varmelegeme der normal er dimensioneret til en strøm på 17 A, kunne bruges i en stjernekobling, hvor det samme el-varmelegeme så kun vil være tilsluttet 230 V og jf. Ohms Lov betyder den lavere spænding at varmelegemet vil have tilsvarende lavere strømforbrug på 10 A. Konsekvensen vil være at effekten falder fra 7 kW til 2,3 kW som det også fremgår ovenfor ($P = U \cdot I$).

Gør man det omvendte – dvs. bruger et el-varmelegeme med samme modstand i Ω og som er udlagt, dimensioneret og fremstillet for 230 V og 10 A, men tilslutter det 400 V - så vil el-varmelegemet brænde af (blive ødelagt)! Nedenfor er de to typer tilslutninger illustreret – øverst en stjerne-kobling hvor varmelegemet tilsluttes f.eks. L1 og 0 (230V), og nedenunder en trekantskobling hvor varmelegemet tilsluttes f.eks. L1 og L2 (400V).

Ethvert el-varmelegeme lavet for tilslutning til L1 og L2, kan også tilsluttes L1 og 0 (N) – det giver bare kun 1/3 effekt.



Årsagen til dette er at et el-varmelegeme (eller en hvilken som helst anden modstand) er udlagt til at kunne tage en vis maximalt strømstyrke (strøm igennem). Det hænger sammen med strømtæthed dvs. den strøm der kan komme igennem et givent tværsnit i et strømførende materiale.

Inden i varmelegemer er det strømførende materiale en metalliske legering - ofte en kobber-nikkellegering (f.eks. konstantan) - mens materialet i kabler og ledninger som bekendt oftest er kobber (aluminium bruges nu også i særlige applikationer pga. den lavere pris). Disse metaller er alle gode elektrisk ledende materialer dvs. de har en relativ lav modstand, som derfor muliggør en stor strøm og effekt jf. Ohms lov og effekt-ligningerne.

Hvis spændingen øges, kan man jf. Ohm's Lov presse mere strøm igennem et givent tværsnit (fuldstændig ligesom vandslangen). Men overskrides en vis grænse, bliver effekten - dvs. den varme der udvikles - for stor og den elektriske leder i el-varmelegemet bliver hvidglødende og smelter simpelthen - ofte kan det opleves og høres som en mindre eksplosion. Også kabler kan overbelastes, hvilken ofte udvikler brand. I begge tilfælde er strømtætheden blevet for stort for det aktuelle metal.

Materialet må bruges og oversættes uden forfatterens tilladelse til alt form for undervisning, men kun med tydelig og detaljeret kildeangivelse, og uden ansvar fra forfatterens side.

12. Resumé omkring Trekantskobling og Stjernekobling

Med tre ens el-varmelegemer (eller gruppe af varmelegemer) i en 3-faset el-installation (hver fase med samme modstand i Ω), - kan man sammenligne forholdene overordnet i en trekantskobling og i en stjernekobling.

Syv gode hovedregler :

1. Den totale effekt P_N er 3 gange større, hvis koblet i trekant i forhold til kobling i stjerne.
2. Det totale strømforbrug I_N er 3 gange større, hvis koblet i trekant i forhold til stjerne.
3. Spændingsfaldet U_F over hvert el-varmelegeme er $\sqrt{3}$ større (+73 %) i trekant end stjerne
4. El-varmelegemer udlægges til den højest forekommende spænding og strømstyrke.
5. El-varmelegemer til 400V kan bruges til 230 V, men giver kun 1/3 effekt (varme)
6. Hvis en fase eller en sikring går, så halveres effekten, både med stjerne og trekant
7. Hvis et varmelegeme (eller gruppe varmelegemer) brænder helt af, vil effekten falde tilsvarende 33% i trekant, men med 50% i stjerne.

13. De Gamle Kloge-Åge'r

Var det ikke for disse 3 herrer – ja, så havde andre nok alligevel fundet sammenhængen. Men dengang skulle de igennem en masse arbejde pga. deres vilde påstande. Der skulle en Italiener til at lave det første gang, en Franskmand til at forklare hvad det egentligt var, en Tysker til at forklare hvorfor det var relevant, en Dansker til at bruge det avanceret og Englænderen til at anerkende det. Nogenlunde ligesom i kogekunsten ?

**Grev Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta**

(født 18/2-1745 - død 5/3-1827).

Italiensk fysiker, kendt for bla. at have opfundet det elektriske batteri. Han har lagt navn til enheden **Volt (V)**

**André-Marie Ampère**

(født 20/1-1775 – død 10/6-1836).

Fransk fysiker og matematiker. Udførte også grundlæggende eksperimenter om sammenhængen mellem elektrisk strøm og magnetisme – næsten på samme tidspunkt som H.C. Ørsted (de var jævnaldrende), der dog kom længere med den praktiske anvendelse af elektromagnetismen.

Han har lagt navn til enheden **Ampere (A)**

**Georg Simon Ohm**

(født 16/3- 1789 - død 6/7-1854).

Tysk fysiker og matematiker, og ophavsmand til Ohm's Lov og studier omkring sinusbølger. Kun englænderne forstod hans opdagelser, mens resten af verden først forstod det langt senere. Han har lagt navn til enheden **Ohm (Ω)**