

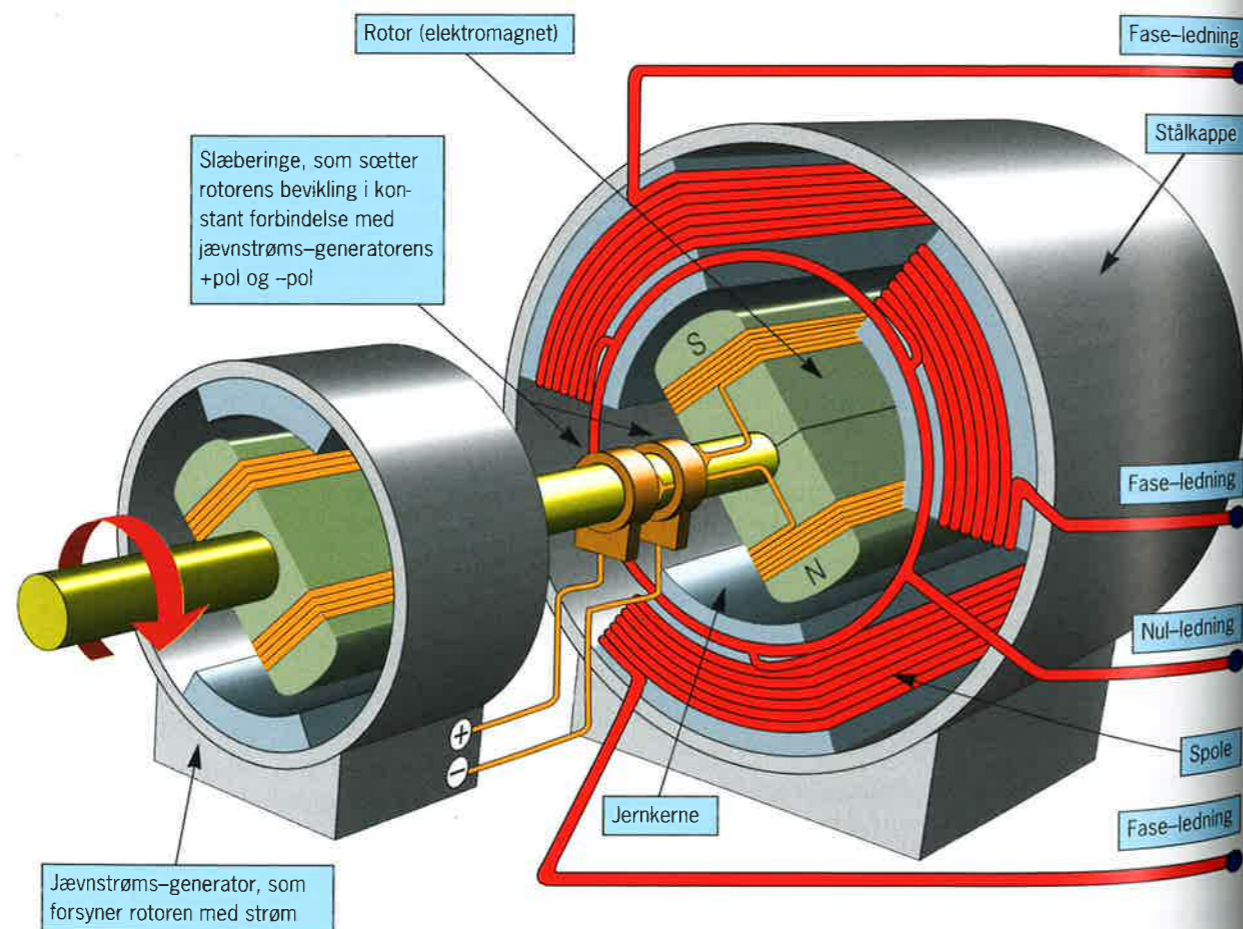
Hvordan er et rigtigt el-værks generator opbygget?

Hvis man besøger et el-værk, kan man ikke direkte se, hvordan generatoren er indrettet. Det hele er kapslet inde i en kæmpemæssig stålkappe.

Men i princippet er generatoren opbygget på samme måde som den simple generator, vi selv har lavet.

Den roterende magnet er en stor elektromagnet, som forsynes med jævnstrøm udefra. Den kaldes „rotoren“. Dens magnetpoler passerer tæt forbi nogle store spoler, som er anbragt på indersiden af en stor jerncylinder.

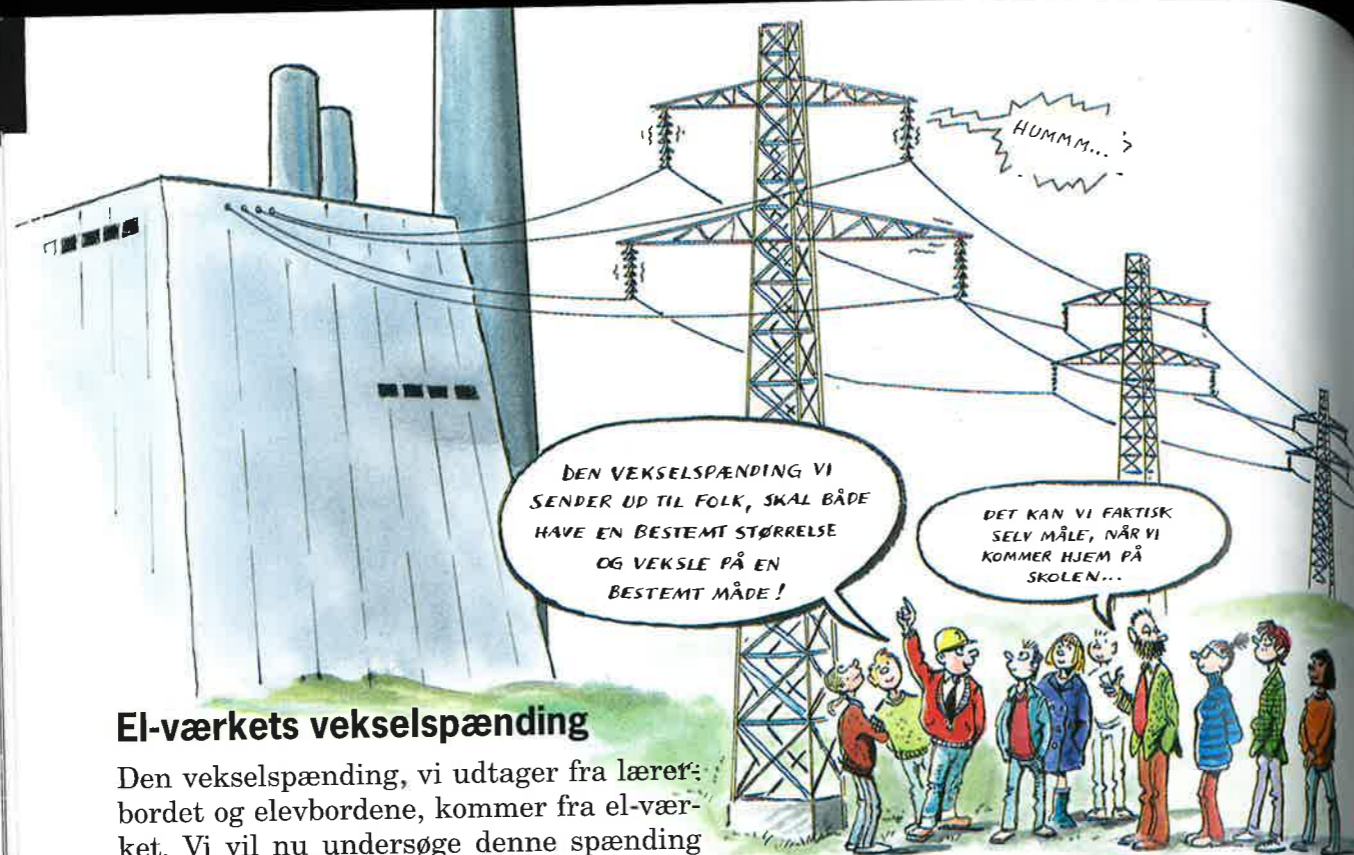
Denne skematiske tegning viser, hvordan en rigtig elværks-generator er indrettet. Den roterende magnet er en kraftig elektromagnet, som får strøm fra en lille jævnstrøms-generator anbragt på samme aksel. Læg mærke til, at der uden om rotoren er anbragt tre spoler på hver sin jernkerne. Fra hver spole er en såkaldt "fase-ledning" ført ud, mens spolerne anden ende er samlet til en fælles "nul-ledning". Hvorfor generatoren er opbygget på denne måde, skal du lære om i næste kapitel.



3 Vekselstrøm fra el-værket



På et el-værk overvåges produktionen meget nøje ved hjælp af moderne data-udstyr.



El-værkets vekselspænding

Den vekselspænding, vi udtager fra lærerbordet og elevbordene, kommer fra el-værket. Vi vil nu undersøge denne spænding ved hjælp af et oscilloskop.

FÆLLESFORSØG

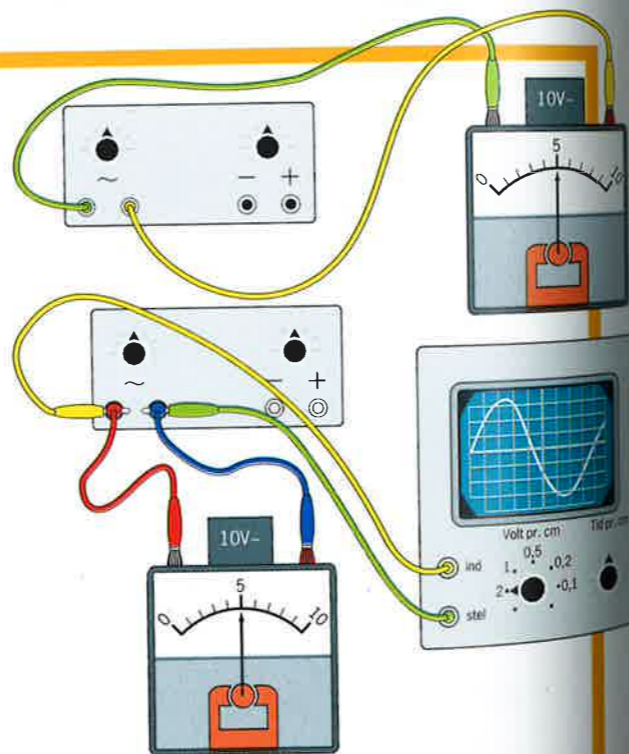
Lærerbordets vekselspænding

Vi forbinder et vekselstrøms-voltmeter til lærerbordets vekselspænding og regulerer spændingen til præcis 5 volt.

Dernæst forbinder vi også et oscilloskop til vekselspændingen. Oscilloskopets følsomhed indstilles til 2 volt pr. cm, og lysplettens fart reguleres, så der fremkommer en vekselspændingskurve som den, der er vist på tegningen.

Kurven viser, at vekselspændingen – ligesom spændingen fra vores hjemmelavede generator – hele tiden veksler mellem 0 volt og en maksimalværdi.

På oscilloskopet aflæser vi, at maksimalværdien er 7 volt.



De 5 volt, som voltmeteret viser, angiver åbenbart ikke maksimalspændingen.

Maksimal spænding og effektiv spænding

Af fællesforsøget fremgår, at den spænding, vi aflæser på et vekselstrøms-voltmeter, er mindre end maksimalspændingen. Den er en gennemsnitlig værdi for den varierende vekselspænding. Denne gennemsnitsværdi kaldes for vekselstrømmens *effektive spænding*.

I fællesforsøget så vi, at en maksimal spænding på 7 volt svarede til en effektiv spænding på 5 volt. Det viser, at maksimalspændingen er 1,4 gange så stor som den effektive spænding ($7 \text{ volt} = 1,4 \cdot 5 \text{ volt}$).

Denne regel gælder altid for den vekselspænding, vi får leveret fra et el-værk. For eksempel vil maksimalspændingen være 14 volt, hvis den effektive spænding er 10 volt.

$$\text{Maksimal spænding} = 1,4 \cdot \text{effektiv spænding}$$

Løs De følgende to opgaver. Svarene skal du skrive i arbejdsheftet, hvor du samtidig kan kontrollere, om du har svaret rigtigt.

Opgave 1.

Beregn maksimalspændingen, når den effektive spænding er:

- a) 1 volt b) 20 volt c) 100 volt d) 220 volt.

Opgave 2.

Beregn den effektive spænding, når maksimalspændingen er:

- a) 2,8 volt b) 56 volt c) 1400 volt.

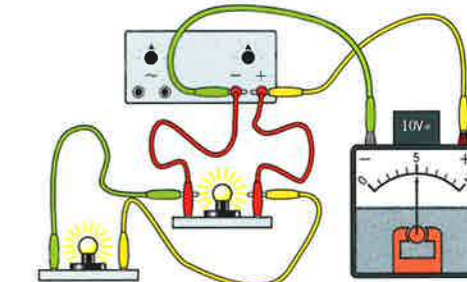
Vi sammenligner effektiv vekselspænding med jævnspænding

Når man bruger betegnelsen „effektiv spænding“, skyldes det, at den virker lige så godt som en jævnspænding af samme størrelse. Det kan vi vise ved et forsøg.

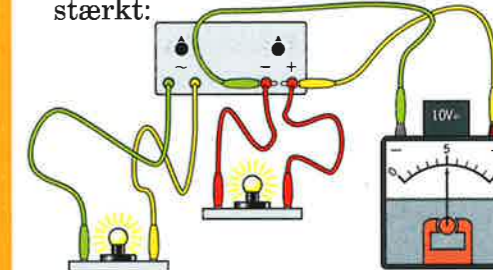
FÆLLESFORSØG

Effektiv spænding og jævnspænding

Vi forbinder, som tegningen viser, et jævnstrøms-voltmeter og to ens pærer af typen 6V-1A til en jævnspænding på 5 volt.

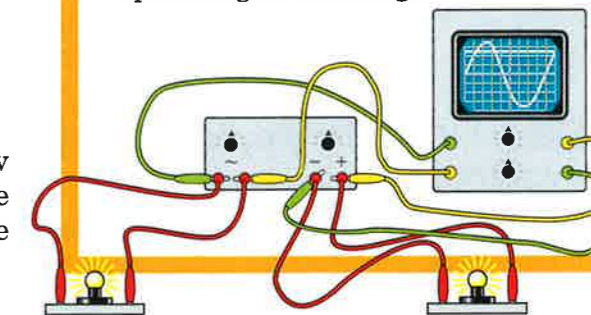


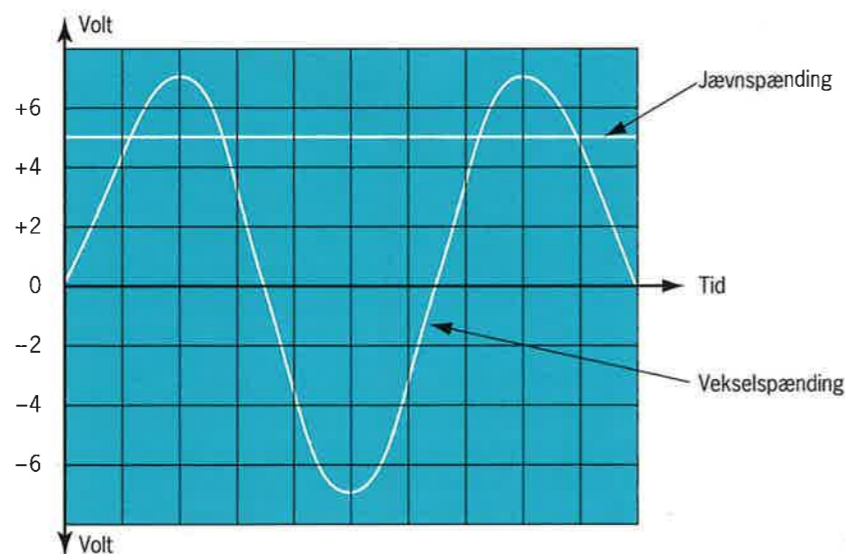
Vi kontrollerer, at pærene lyser med samme lysstyrke. Derefter fjerner vi den ene pære fra opstillingen og slutter den til en vekselspænding, som vi regulerer, indtil de to pærer igen lyser lige stærkt:



Derefter måler vi vekselspændingen med et vekselstrøms-voltmeter og konstaterer, at det også viser 5 volt.

Hvis vi har et dobbeltstråle-oscilloskop til rådighed, kan vi måle både jævnspændingen og vekselspændingen samtidig:





Således ser oscilloskop-billedet ud for den jævnspænding og vekselspænding, som vi anvendte i forsøget.

Det er ikke så mærkeligt, at vekselspændingen til nogle tidspunkter er større end 5 volt. For til andre tidspunkter er den jo til gengæld mindre end 5 volt, nogle gange ligefrem 0 volt.

Ved at veksle på denne måde kan vekselspændingen, som vi har set, få en pære til at lyse lige så godt som en jævnspænding, der konstant holder sig på 5 volt. Det er derfor vi siger, at vekselspændingens effektive værdi er 5 volt.

Når vi til daglig taler om størrelsen af en vekselspænding, mener vi altid den effektive spænding. Her i Danmark har vi en effektiv vekselspænding på 220 volt i vore stikkontakter.

Det betyder, at den maksimale spænding når op på $1,4 \cdot 220 \text{ volt} = 308 \text{ volt}$. Det er en af grundene til, at 220 volt vekselspænding er farligere end 220 volt jævnspænding.

Maksimal strømstyrke og effektiv strømstyrke

Når vi sender vekselstrøm igennem en elektrisk brugsgenstand, for eksempel en

pære, vil strømmen naturligvis variere i takt med spændingen, så der fremkommer en vekselstrøm.

Også her taler man om vekselstrømmens maksimalværdi og effektivværdi.

Ligesom for vekselspændingen gælder det, at vekselstrømmens maksimalværdi er 1,4 gange vekselstrømmens effektivværdi.

Maksimal strømstyrke = $1,4 \cdot$ effektiv strømstyrke

Også her gælder det, at det er den effektive værdi, vi måler med et vekselstrøms-ampere-meter.

Hvor ofte skifter el-værkets vekselspænding retning?

Ved vores hjemmelavede vekselstrøms-generator kunne vi selv bestemme, hvor ofte vekselspændingen skulle skifte retning. Vi kunne blot lade magneten rotere hurtigere eller langsommere.

På tilsvarende måde sørger man på de danske el-værker for, at rotoren drejer rundt med en ganske bestemt fart – således at den frembragte vekselspænding skifter retning i en ganske bestemt takt. Vi vil nu måle, hvor lang tid der går mellem hvert skift.

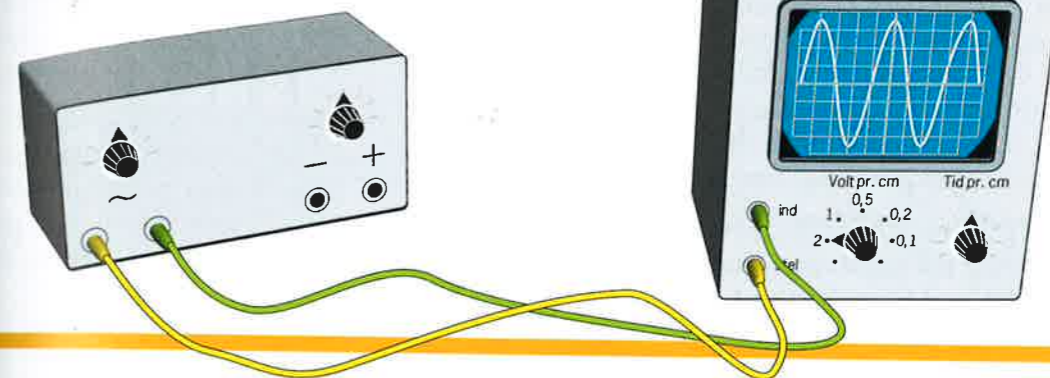
FÆLLESFORSØG

Hvor ofte skifter spændingen retning?

Vi forbinder oscilloskopet til lærerbordets vekselspænding.

Vi indstiller tidsknappen på oscilloskopet, så lyspletten er 5 ms (5 millisekunder) om at bevæge sig 1 cm frem. (Se lærervejledningen.)

Spændingens størrelse reguleres, så vi får en passende kurve på skærmen.

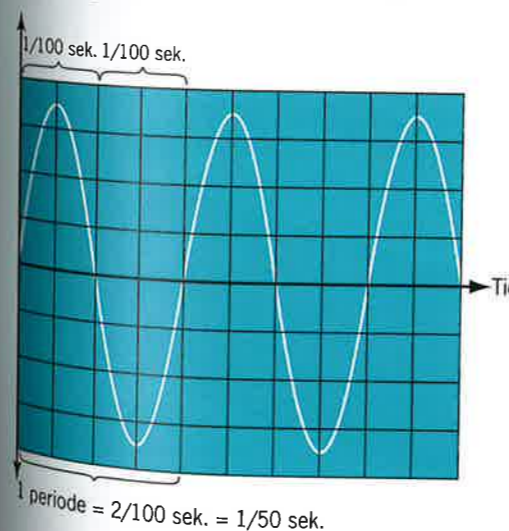


Vi ser, at der er nøjagtig 2 cm mellem to på hinanden følgende steder, hvor kurven skærer 0-linjen.

Det betyder, at det tidsrum, hvor spændingen går i den ene retning, er på $2 \cdot 5 \text{ ms} = 10 \text{ ms} = 0,01 \text{ sekund} = 1/100 \text{ sekund}$. I det næste $1/100 \text{ sekund}$ går spændingen i den modsatte retning.

Vekselstrømmens periode og frekvens

I fællesforsøget så vi, at vekselspændingen går i den ene retning i præcis $1/100 \text{ sekund}$ – for derefter at gå i den modsatte retning i præcis $1/100 \text{ sekund}$.



I alt tager det derfor $2/100 \text{ sekund} = 1/50 \text{ sekund}$ for vekselspændingen først at gå i den ene retning og derefter i den modsatte retning. Dette tidsrum, altså $1/50 \text{ sekund}$, kalder man for vekselspændingens *periode*.

Da den vekselstrøm, som vekselspændingen frembringer, varierer i takt med vekselspændingen, er vekselstrømmens periode naturligvis også $1/50 \text{ sekund}$.

Det antal perioder, vekselstrømmen gennemløber pr. sekund, kalder man for vekselstrømmens *frekvens*. I Danmark er vekselstrømmens frekvens derfor 50 perioder pr. sekund.

I stedet for betegnelsen „perioder pr. sekund“ bruger man også den kortere betegnelse hertz, der forkortes Hz.

I USA og i England anvender man en vekselstrømsfrekvens, der er lidt højere end 50 Hz, nemlig 60 Hz.

Vekselstrømmen i vore boliger

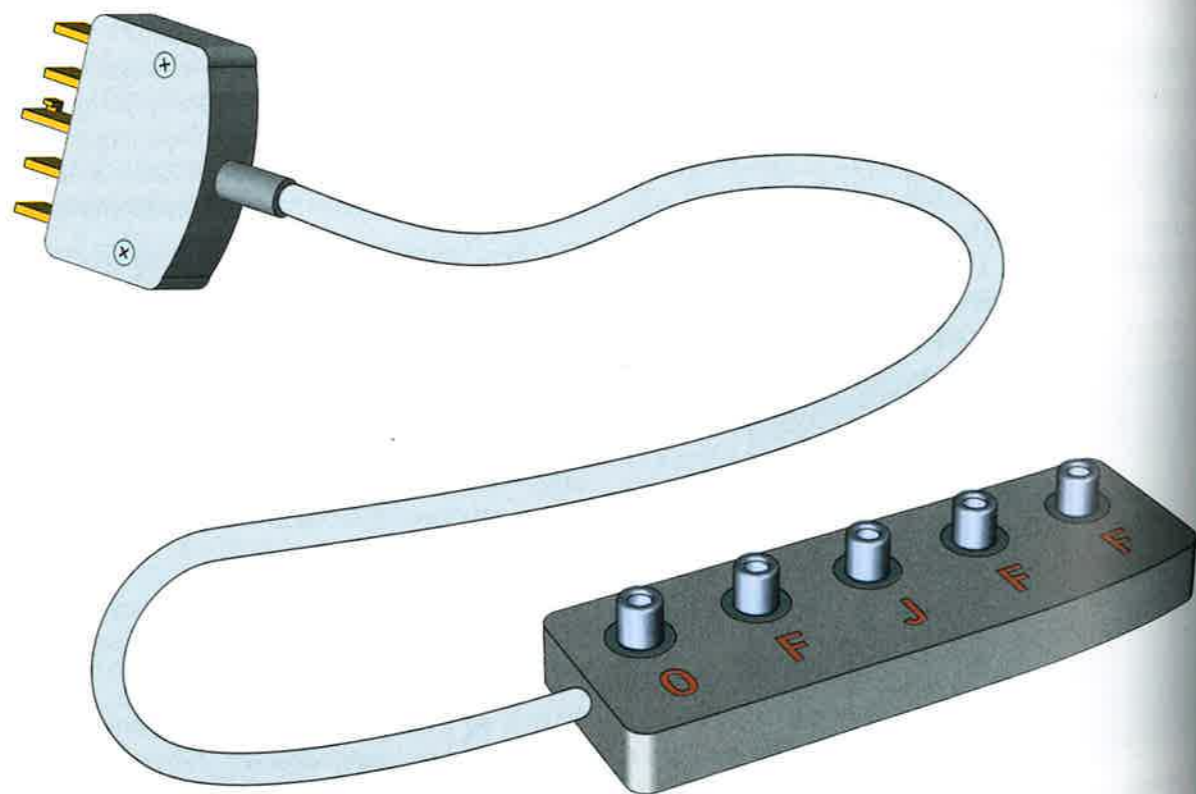
Normale stikkontakter har en spænding på 220 volt.

I de fleste moderne boliger er der også installeret nogle store stikkontakter, som er beregnet til el-komfur, opvaskemaskine, vaskemaskine, mv.

Disse stikkontakter har 5 huller, som det tilhørende stik passer ind i. De 5 bøsninger er fra venstre mod højre normalt betegnet: O, F, J, F, F.

De ledninger, som fra el-værket er ført frem til F-bøsningerne, kaldes *fase-ledninger*. Da der er tre fase-ledninger, kalder man kontakten en trefase-kontakt. Ledningen til O-bøsningen kaldes *nul-ledning*. Ledningen til J-bøsningen er en *jord-ledning*. Den kommer blot fra et metalspyd, som er stukket langt ned i jorden.

Ved hjælp af en forlængerledning, der ser ud som vist på tegningen, kan vi undersøge en sådan trefase-kontakt nærmere.



FÆLLESFORSØG

Vi undersøger en trefase-kontakt

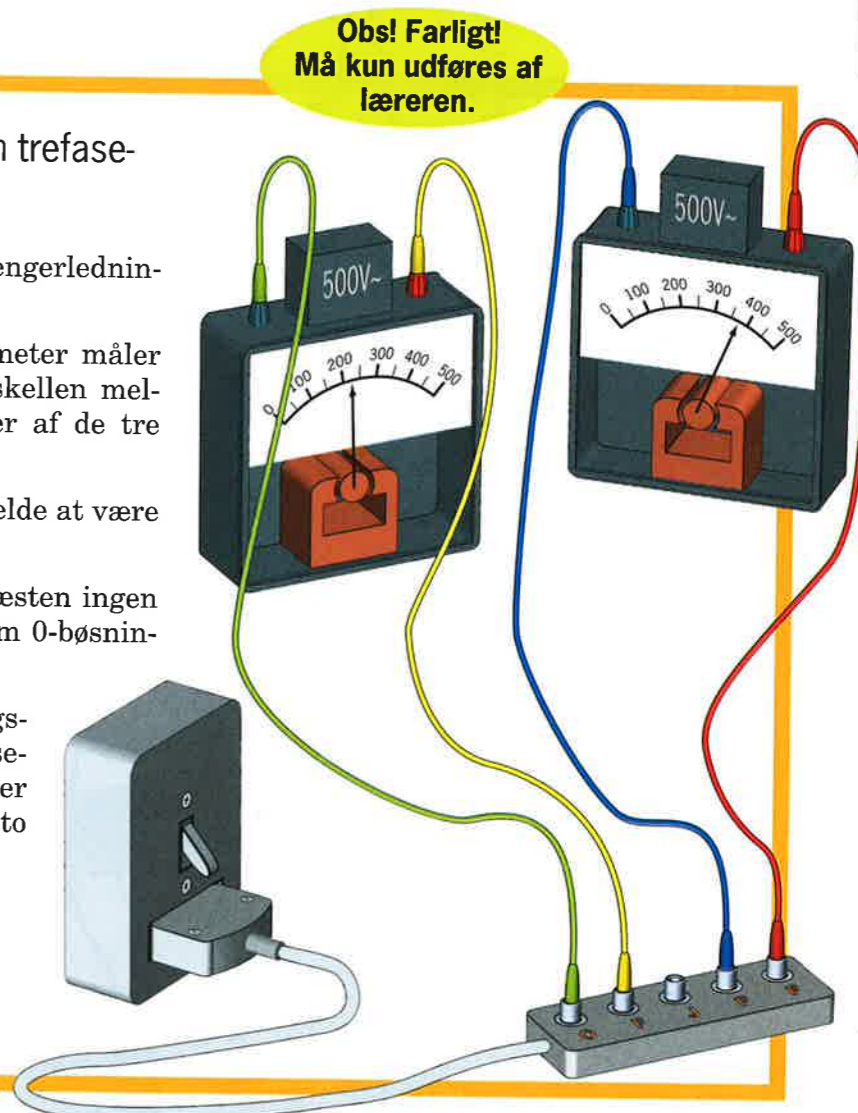
Vi sætter stikket fra forlængerledningen i trefase-kontakten.

Med et vekselstrøms-voltmeter måler vi efter tur spændingsforskellen mellem nul-bøsningen og hver af de tre fasebøsninger.

Den viser sig i alle tre tilfælde at være ca. 220 volt.

Derefter viser vi, at der næsten ingen spændingsforskel er mellem O-bøsningen og J-bøsningen.

Til sidst måler vi spændingsforskellen mellem to fasebøsninger og ser, at den er ca. 380 volt, uanset hvilke to faser vi måler på.



Af fællesforsøget lærer vi, at el-værket både leverer 220 volt og 380 volt.

Det er derfor, der fra et el-værk altid udgår 3 fase-ledninger og 1 nul-ledning. Mens man tidligere ofte kun førte én fase-ledning og nul-ledningen ind i hver bolig, er det i dag almindeligt, at man installerer alle tre fase-ledninger.

Derved får man både 220 volt og 380 volt til rådighed. Lamper og stikkontakter, som kræver 220 volt, tilsluttes en fase-ledning og nul-ledningen. De apparater, som kræver 380 volt, tilsluttes to fase-ledninger.

Billedet viser el-ledninger, som fra en el-mast ude ved vejen føres ind i et hus. De tre nederste tykke ledninger er fase-ledningerne. Den øverste tynde ledning er nul-ledningen. I dag går man mere og mere over til at lægge ledningerne i kabler i jorden.



Trefase-generatoren

De generatorer, der findes på el-værkerne, er alle konstrueret til at levere trefaset vekselstrøm.

Ved at ombygge vores hjemmelavede vekselstrøms-generator kan vi let vise, hvordan en sådan trefase-generator virker.

FÆLLESFORSØG

En trefase-generator

Vi opspænder den roterende magnet, som tegningen viser.

3 spoler med 1600 vindinger anbringes på hver sin jernkerne, som placeres med lige store mellemrum tæt rundt om magneten – altså 120 grader forskudt i forhold til hinanden. (Se lærervejledningen.)

4 polstænger, som skal forestille en trefase-kontakt, mærkes 0, F, F og F. De forbindes til spolerne på den måde, som tegningen viser.

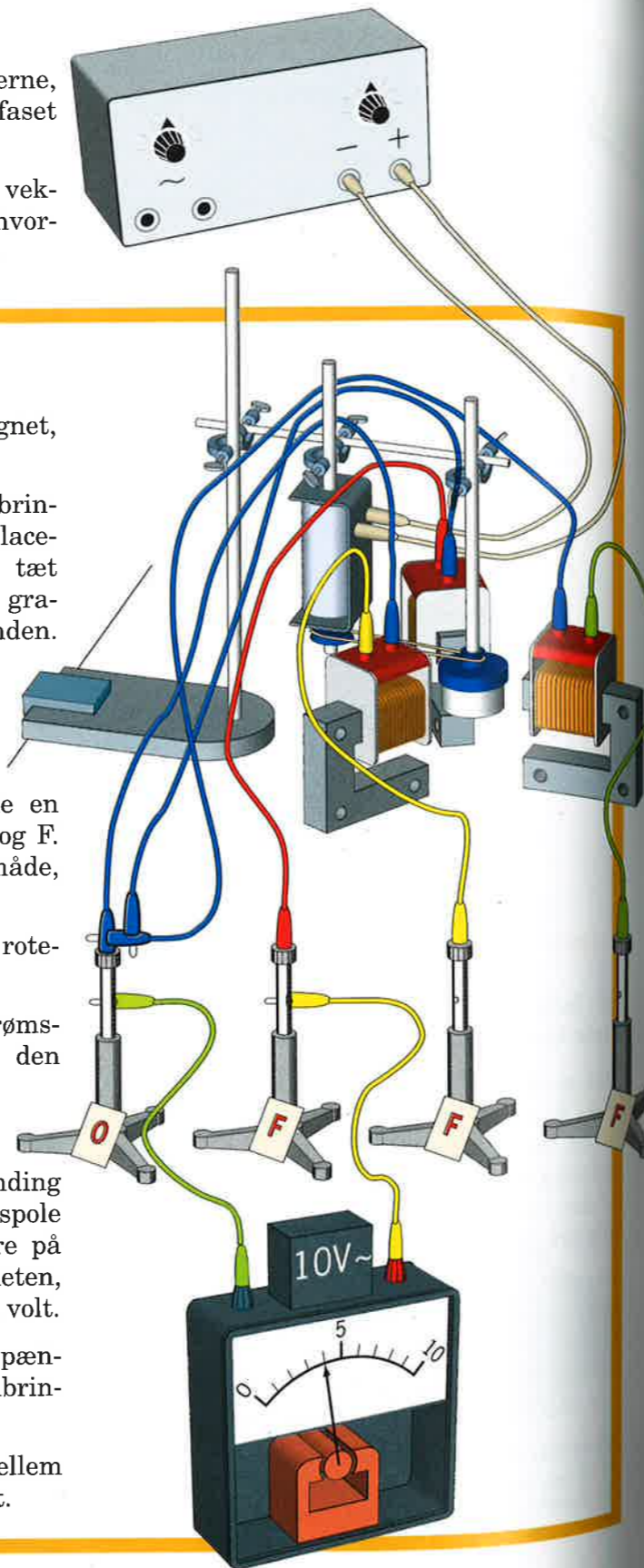
Vi lader el-motoren trække den roterende magnet med passende fart.

Derefter forbinder vi et vekselstrøms-voltmeter til nul-polstangen og den ene fase-polstang.

Vi justerer den frembragte spænding ved at flytte den pågældende spole med jernkerne enten lidt tættere på eller lidt længere væk fra magneten, indtil spændingen bliver præcis 4 volt.

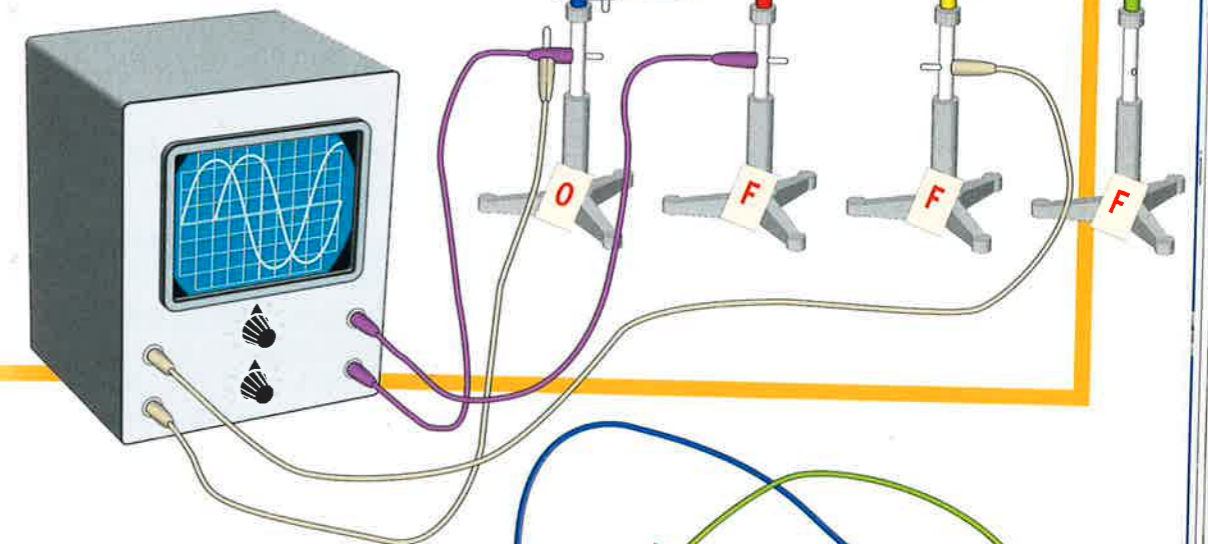
På samme måde justerer vi den spænding, som de to andre spoler frembringer i forhold til nul.

Derefter måler vi spændingen mellem to faser. Vi ser, at den er ca. 7 volt.



Hvis skolen har et dobbeltstråle-oscilloskop til rådighed, kan vi tilslutte to faser samtidig, som denne tegning viser.

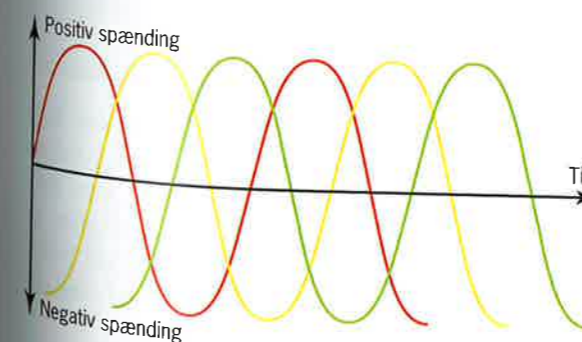
Vi ser da, at de to vekselspændingskurver er forskudt i forhold til hinanden.



At spændingerne er forskudt i forhold til hinanden, skyldes den måde, generatoren er opbygget på. Denne tegning viser princippet i trefase-generatoren. (Sammenlign med den skematiske tegning på side 22 af en rigtig elværks-generator.)

Du ved, at når magneten drejer rundt, induceres der en vekselspænding i hver af spolerne.

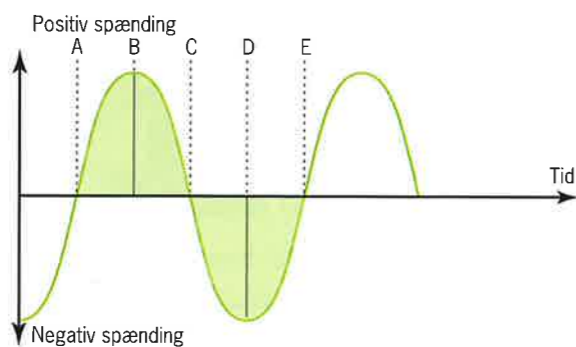
Hver gang en magnetpol passerer en spole, skifter spændingen i spolen retning.



Efter at en magnetpol har passeret en spole, varer det 1/3 omdrejning, inden den når frem til den næste spole. Derfor vil de tre vekselspændingskurver være forskudt 1/3 periode i forhold til hinanden, som tegningen til venstre viser.

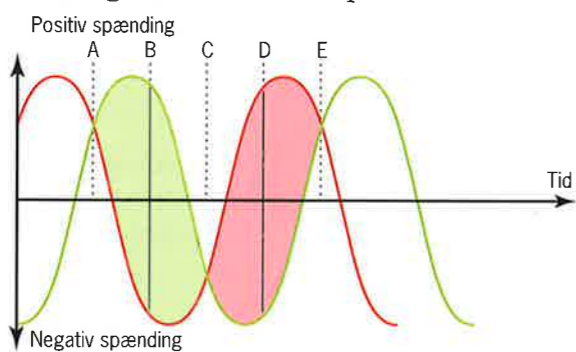
Hvorfor er der så stor spændingsforskel mellem to faser?

På denne tegning, som kun forestiller den ene af vekselspændingskurverne, viser de farvede områder, hvordan spændingen mellem en fase og nul ændrer sig i løbet af en hel periode:



Fra A vokser spændingen op til sin maksimalværdi ved B. Derefter aftager den atter og bliver 0 volt ved C. Mellem C, D og E gentager det samme sig i negativ retning.

På den næste tegning, som viser to af vekselspændingskurverne, kan vi se, hvordan spændingsforskellen mellem to faser ændrer sig i løbet af en hel periode:



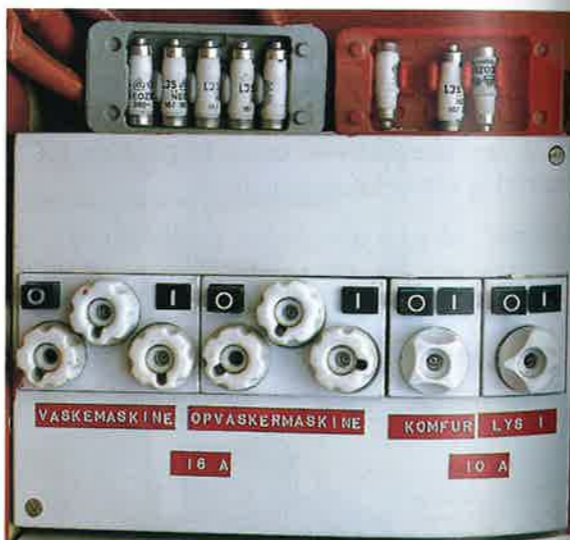
Ved A har de to faser *samme spænding*. Der er derfor ingen spændingsforskel mellem dem. Derefter fjerner de to kurver sig fra hinanden og når deres største indbyrdes afstand ved B, hvor den største spændingsforskel (maksimalværdien) derfor forekommer. Spændingsforskellen aftager atter og bliver nul ved C. Mellem C, D og E gentager det samme sig, blot med den forskel, at fasen, der før var positiv, nu er negativ, og fasen, der før var negativ, nu er positiv.

Ved at sammenligne længden af den lodrette streg ved B på de to tegninger kan vi se, at maksimalspændingen mellem to faser er væsentlig større end maksimalspændingen mellem en fase og nul.

Det er forklaringen på, at spændingsforskellen mellem to faseledninger i en husinstallation er 380 volt, mens spændingsforskellen mellem en faseledning og en nulledning kun er 220 volt.

Hvorfor har man brug for 380 volt?

Det er både dyrt og besværligt at føre tykke ledninger frem til stikkontakterne i vore boliger. Derfor nøjes man til almindelige stikkontakter med ledninger, der kan tåle op til 10 A. For at undgå, at strømmen bliver stærkere, er disse ført igennem en 10 A sikring. Til trefase-kontakter anvender man ledninger, der kan tåle 16 A. Disse er ført igennem en 16 A sikring. Alle sikringer er anbragt i en sikringstavle.

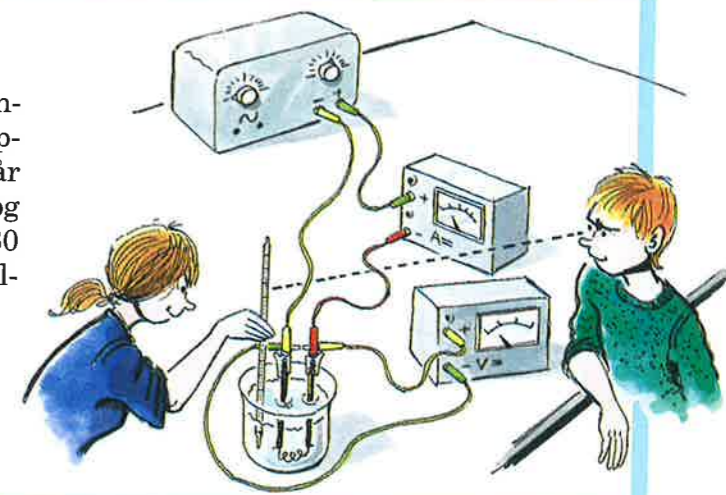


Selv med anvendelse af ledninger, der kan tåle 16 A, tager det forholdsvis lang tid at opvarme mad og vand, hvis man kun har 220 volt til rådighed. Ved anvendelse af 380 volt kan man nedsætte denne tid betydeligt. Det kan I få et indtryk af ved at lave den næste laboratorie-opgave.

Laboratorieopgave 2

Opvarmning med el

I denne laboratorieopgave skal I undersøge, hvor lang tid det tager at opvarme samme mængde vand, når spændingen er henholdsvis 2,2 volt og 3,8 volt (svarende til 220 volt og 380 volt), hvis strømstyrken i begge tilfælde er 1,6 A (svarende til 16 A).



I laboratorieopgave 2 så du, at vandet blev opvarmet meget hurtigere, når I anvendte 3,8 volt i stedet for 2,2 volt.

Det stemmer godt med, hvad du tidligere har lært om elektriske apparaters watt-forbrug.

$$\text{Watt-forbrug} = \text{spænding} \cdot \text{strømstyrke}$$

$$\text{Watt} = \text{volt} \cdot \text{ampere}$$

Beregning af watt-forbruget

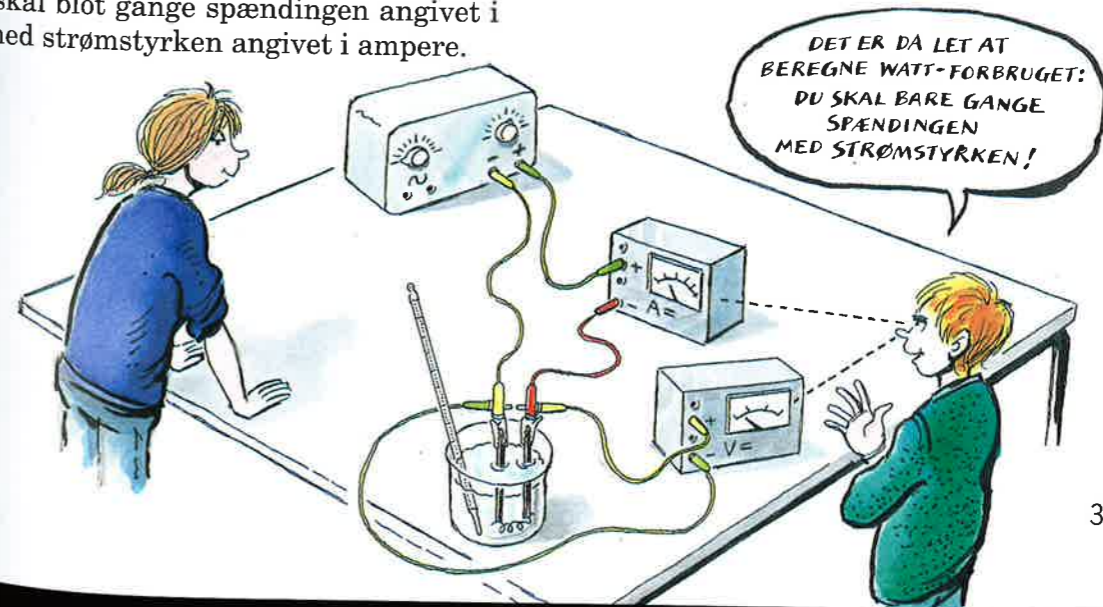
I hæftet „El i hverdagen“ lærte du, at et apparats watt-forbrug er et mål for, hvor meget energi det pågældende apparat får leveret pr. sekund og at enheden for watt-forbrug er watt. Du lærte også, at det er let at beregne watt-forbruget angivet i watt for simple elektriske apparater, som f.eks. de dyppevarmere, I anvendte i forsøget, eller elektriske pærer og kogeplader. Man skal blot gange spændingen angivet i volt med strømstyrken angivet i ampere.

I det forsøg, I lavede, var watt-forbruget ved anvendelse af 2,2 volt og 1,6 ampere:

$$2,2 \text{ V} \cdot 1,6 \text{ A} = 3,52 \text{ watt}$$

Med anvendelse af 3,8 volt og 1,6 ampere var wattforbruget:

$$3,8 \text{ V} \cdot 1,6 \text{ A} = 6,08 \text{ watt.}$$



220 volt og 380 volt i hus-installationer

I denne tabel over forskellige apparaters watt-forbrug kan du se, at de mest energikrævende apparater er dem, der bruges til madlavning og vask – altså apparater, hvor man ønsker hurtig opvarmning.

Derfor er det netop i køkkener og vaske-rum, at man installerer trefase-kontakter.

Herved opnår man, at man fra disse kon-takter kan tappe: $380 \text{ V} \cdot 16 \text{ A} = 6080$ watt.

Fra en 220 volts kontakt, som er tilsluttet en 10 A sikring, kan man derimod højst tappe: $220\text{V} \cdot 10 \text{ A} = 2200$ watt.

Man skal passe på ikke at have for mange energislugere tilsluttet samtidig til de 220 volts stikkontakter, som går på samme sikring. Har man f.eks. en el-kedel og en el-varmeovn tændt samtidig, kan man let risikere, at de tilsammen har et større watt-forbrug end 2200 watt – og så går sikringen!



El-apparat	Typisk watt-forbrug	Omtrentlig brugstid			Årligt el-forbrug (ca.)
		pr. døgn	pr. uge	Om året	
Bageovn	2000 W		3 timer	156 timer	312 kWh
Barbermaskine	20 W	5 minutter		30 timer	1 kWh
Brødrister	850 W	10 minutter		61 timer	52 kWh
Computer	65 W	1 time		365 timer	24 kWh
El-kedel	2000 W	5 minutter		30 timer	60 kWh
El-ur	2 W	24 timer		8760 timer	18 kWh
Fryser (ny)	63 W	24 timer		8760 timer	552 kWh
Glødelampe	60 W	4 timer		1460 timer	88 kWh
Hårtørrer	1000W		1 time	52 timer	52 kWh
Kaffemaskine	800 W	15 minutter		91 timer	73 kWh
Kogeplade på komfur	2000 W	1 time		365 timer	730 kWh
Køleskab (nyt)	29 W	24 timer		8760 timer	254 kWh
Mikrobølgeovn	1300 W	10 min.		61 timer	79 kWh
Opvaskemaskine	2000 W		3 timer	156 timer	312 kWh
Røremaskine	400 W		½ time	26 timer	10 kWh
Sparepære	11 W	4 timer		1460 timer	16 kWh
Stereoanlæg	100 W	3 timer		1095 timer	110 kWh
Strygejern	1000 W		½ time	26 timer	26 kWh
Støvsuger	1000 W		1 time	52 timer	52 kWh
Symaskine	75 W		1 time	52 timer	4 kWh
TV (farve)	150 W	3 timer		1095 timer	164 kWh
Vaskemaskine	2200 W		4 timer	209 timer	460 kWh
Video	45 W		12 timer	626 timer	28 kWh

Når vi skal betale for el-energien

Hvor dyrt det er at bruge de forskellige apparater, afhænger af, hvor lang tid man bruger dem.

Du husker måske, at man måler el-forbruget ved at gange watt-tallet (dvs. wattforbruget målt i watt) med det antal timer, det pågældende apparat er tændt.

I tabellen på forrige side er det for eksempel angivet, at en symaskine med watt-tallet 75 W bliver brugt i 52 timer på et år. El-forbruget er derfor $75 \text{ watt} \cdot 52 \text{ timer} = 3900$ watt-timer.

Som betegnelse for en watt-time anvendes betegnelsen Wh, idet W står for watt og h for det engelske ord for time: hour.

Symaskinens el-forbrug på et år er derfor 3900 Wh eller 3,9 kWh, idet kWh står for kilowatt-timer. (3,9 kWh er i tabellen afrundet til 4 kWh.)

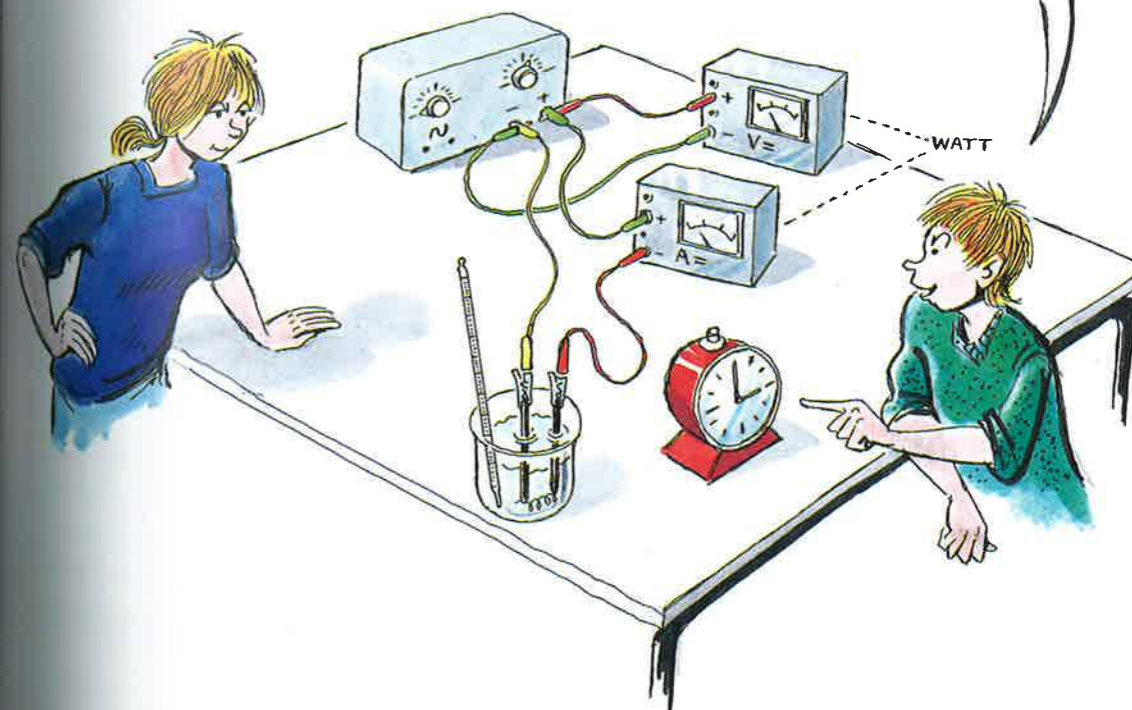
Det samlede årlige el-forbrug for en normal husstand kan let løbe op i flere tusinde kWh. Gennemsnitligt regner man med et årligt forbrug på ca. 4000 kWh pr. husstand. Da en kWh i dag koster ca. 1 kr, vil det sige, at el-forbruget koster ca. 4000 kr om året.

$$\text{El-forbruget} = \text{watt-tallet} \cdot \text{antal timer}$$

$$\text{Wh} = \text{watt} \cdot \text{timer}$$

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh}$$

DET ER DA LET AT BEREGNE, HVOR MEGET ENERGI VI BRUGER I ALT! VI SKAL BARE GANGE WATT-TALLET MED ANTALLET TIMER!



Hvor mange boliger kan et el-værk betjene?

Der er grænser for, hvad et el-værk kan yde. Ligesom vi taler om et apparats wattforbrug, kan vi også tale om, hvor mange watt et el-værk kan yde.

Vi kan let beregne ydeevnen for det mini-elværk, I selv lavede i kapitel 2. I kunne kun få svagt lys i tre 6 volts pærer – og målte måske en spænding på 2,5 V og en strømstyrke på 0,28 A. Det vil altså sige, at el-værket kunne yde: $2,5 \text{ V} \cdot 0,28 \text{ A} = 0,7 \text{ watt}$.

Hvis vi lod mini-elværket køre på fuld kraft i et helt år (8760 timer), ville det kunne producere: $0,7 \text{ watt} \cdot 8760 \text{ timer} = 6132 \text{ watt-timer} = \text{ca. } 6 \text{ kWh}$. Det er meget lidt i sammenligning med, hvad et stort el-værk kan yde.

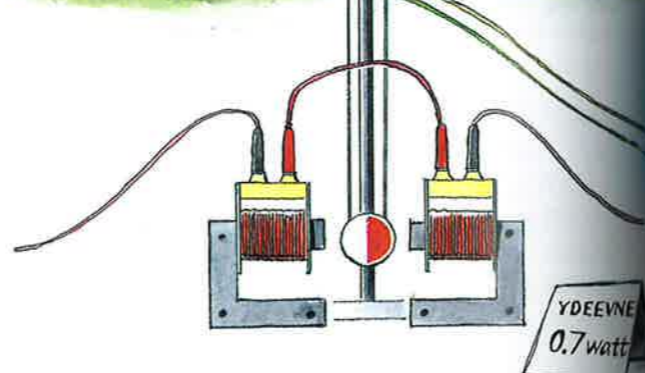
Et mellemstort el-værk kan yde ca. 400 MW (400 megawatt = 400 millioner watt), når det kører på fuld kraft. Hvis et sådant el-værk kørte på fuld kraft i et helt år, ville det kunne producere:

$$\begin{aligned} 400.000.000 \text{ watt} \cdot 8760 \text{ timer} &= \\ 3.504.000.000.000 \text{ watt-timer} &= \\ \text{ca. } 3\frac{1}{2} \text{ milliard kWh.} \end{aligned}$$

I praksis behøver et el-værk ikke at køre på fuld kraft hele tiden, da el-forbruget svinger meget både i løbet af et døgn og i løbet af et år. Et el-værk af den omtalte størrelse vil derfor normalt kun producere ca. 1 milliard kWh om året.

Teoriopgave

Hvor mange boligers behov vil 1 milliard kWh fra ovennævnte el-værk kunne dække, hvis vi regner med, at hver bolig har et årsforbrug på 4000 kWh?



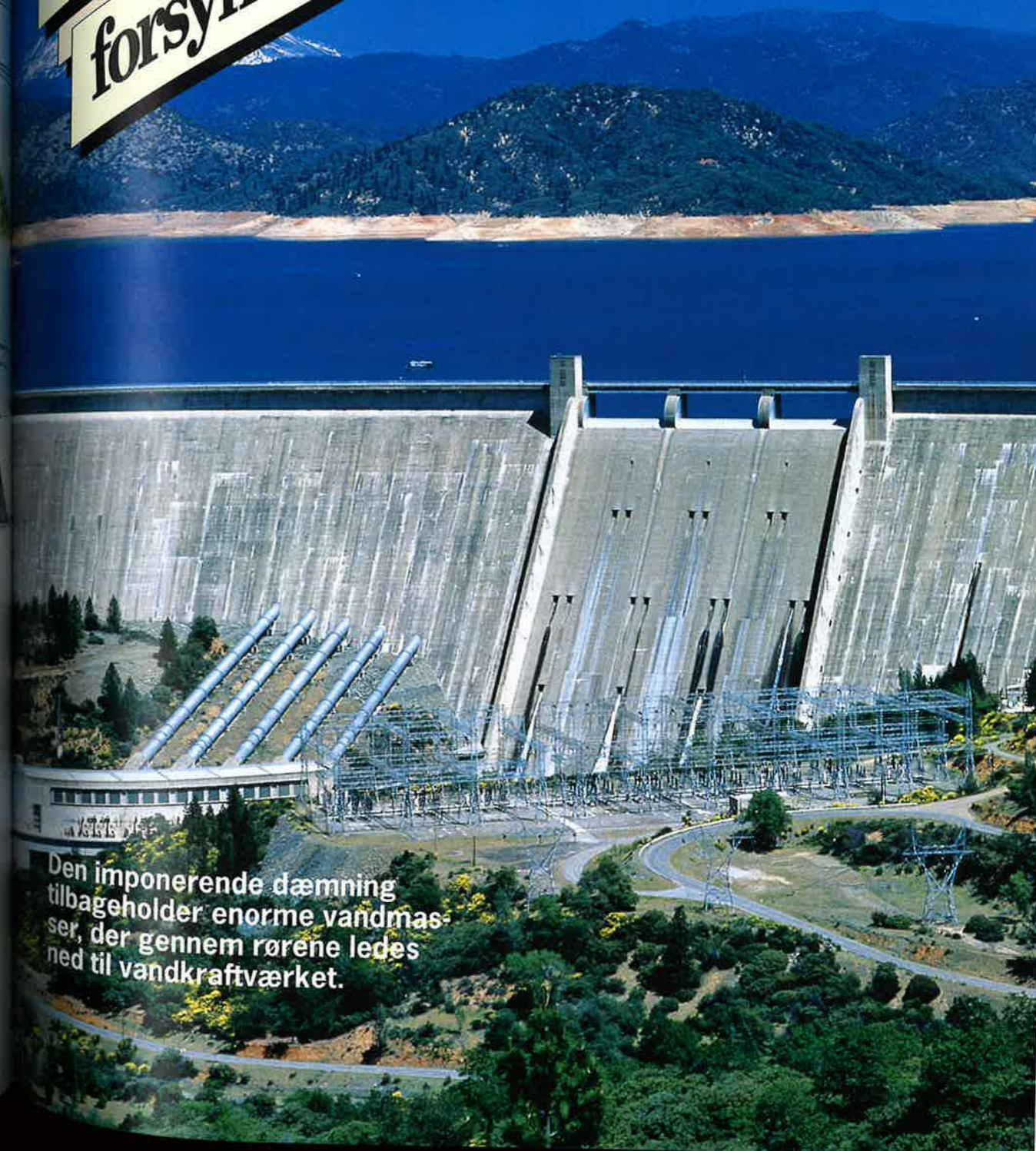
Undervisningsprogram 1



Induktion og vekselstrøm

Ved at løse teoriopgaverne i dette undervisningsprogram får du repeteret det vigtigste af, hvad du har lært i kapitel 2 og 3.

4 Energi til el-forsyning



Den imponerende dæmning tilbageholder enorme vandmasser, der gennem rørene ledes ned til vandkraftværket.