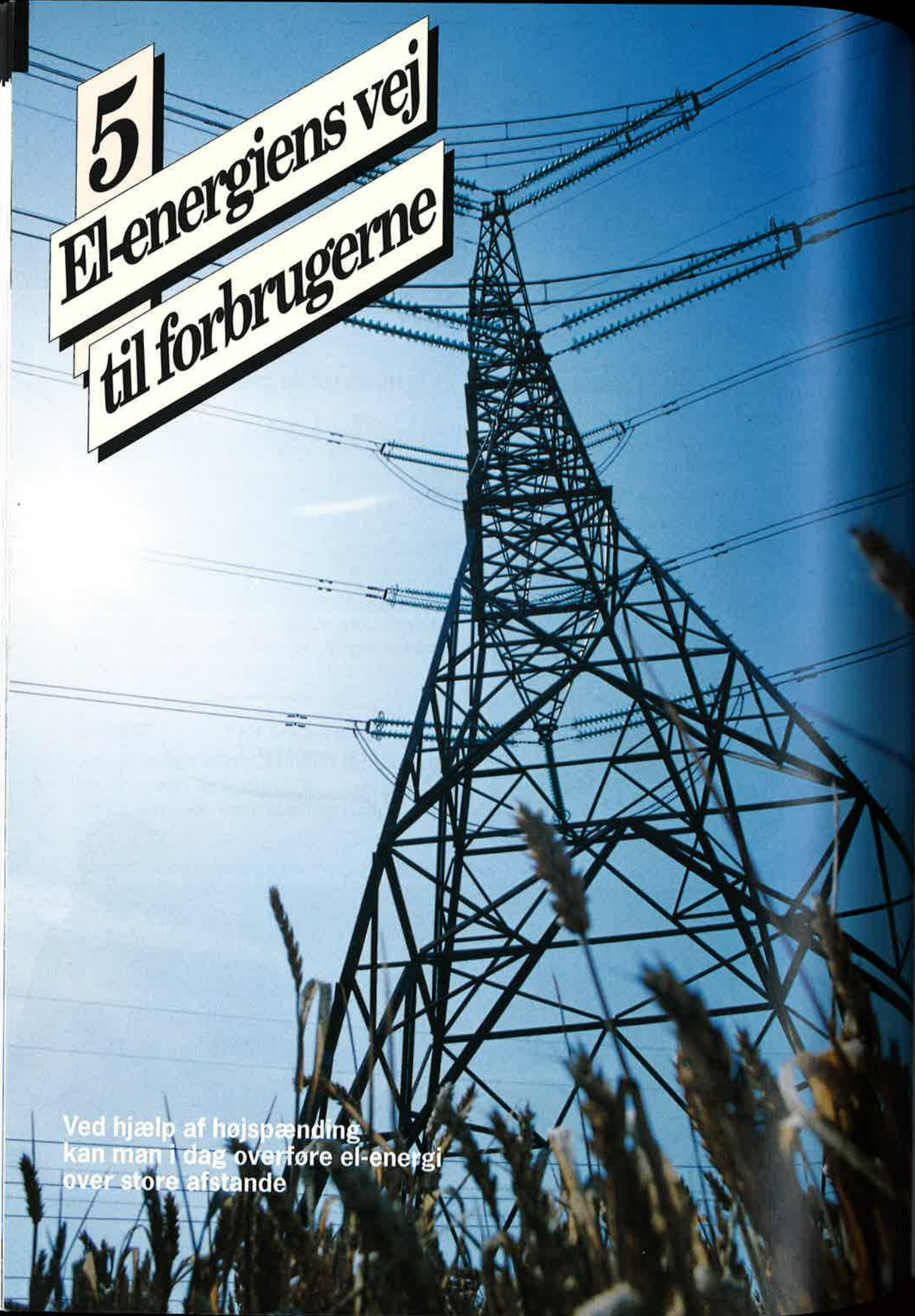
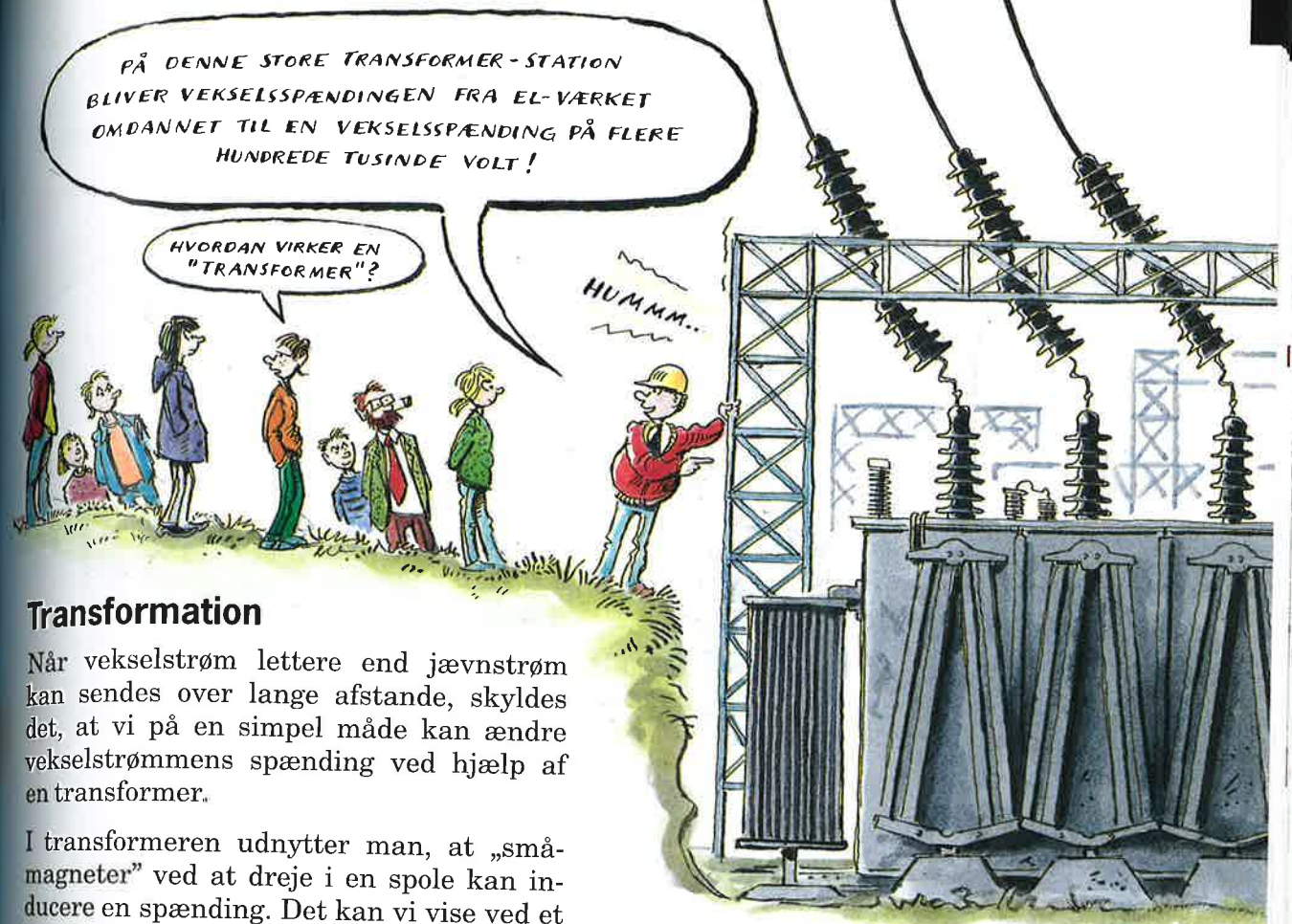


5 El-energiens vej til forbrugerne



Ved hjælp af højspænding kan man i dag overføre el-energi over store afstande



Transformation

Når vekselstrøm lettere end jævnstrøm kan sendes over lange afstande, skyldes det, at vi på en simpel måde kan ændre vekselstrømmens spænding ved hjælp af en transformer.

I transformeren udnytter man, at „små-magneter” ved at dreje i en spole kan inducere en spænding. Det kan vi vise ved et forsøg.

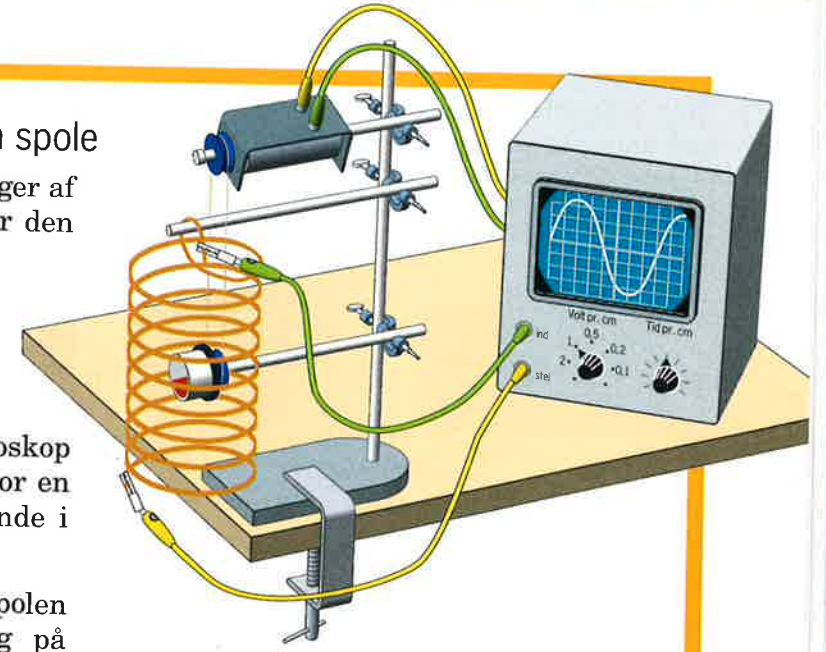
SELLESFORSØG

Roterende magnet i en spole

Vi laver en spole på 10-15 vindinger af 2 mm tyk kobbertråd og hænger den op, som tegningen viser.

Vi forbinder spolen til et oscilloskop og sætter ved hjælp af en el-motor en rund magnet i hurtig rotation inde i spolen.

På oscilloskopet ser vi, at der i spolen fremkommer en vekselspænding på grund af magnetens omdrejninger.

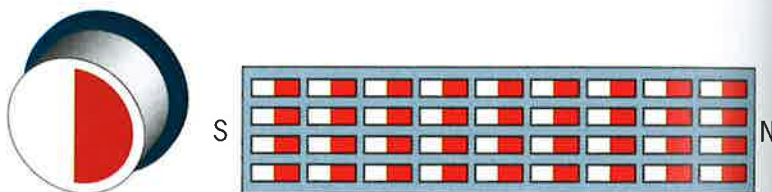


Roterende småmagneter i en jernkerne

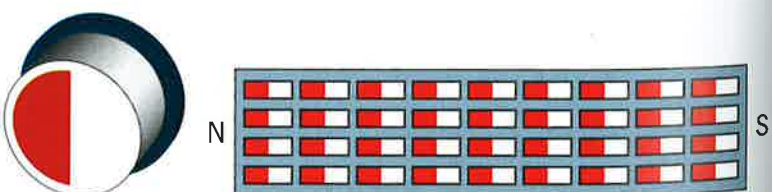
Da vi i kapitel 2 byggede en vekselstrøms-generator, fik vi i virkeligheden også nogle mikroskopiske magneter til at dreje sig inde i spolen. Det var de „småmagneter“, som jernkernen er opbygget af. Den roterende skiveformede magnet fik dem til skiftevis at dreje sig i den ene og den anden retning.

Du har jo tidligere lært, at den umagnetiske jernkerne er opbygget af nogle mikroskopisk små områder, som man kalder domæner, og som virker som små stangmagneter. Når jernstangen alligevel er umagnetisk, skyldes det, at disse „småmagneter“ ligger i vild uorden.

Når den skiveformede magnets nordpol drejer hen foran jernkernen, vil jernkernens småmagneter ensrettes som vist på denne tegning:

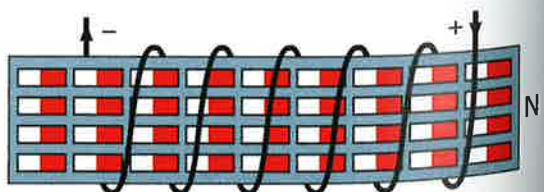
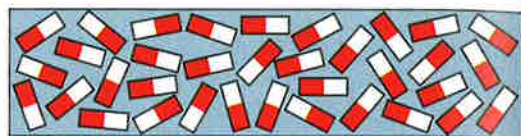


Når magneten drejer videre, så dens sydpol kommer til at ligge ud for jernkernen, drejes alle småmagneterne rundt, så de kommer til at ligge i modsat retning:



Småmagneterne i jernkernen drejer derfor rundt i takt med den skiveformede magnets omdrejninger.

I stedet for at anvende en magnet kan man lige så godt magnetisere jernkernen ved hjælp af en spole, som man sender strøm igennem.



Selv en U-kernes småmagneter kan man påvirke i hele kernens udstrækning, blot man sender strøm gennem en spole, der er anbragt på U-kernens ene ben.

FÆLLESFORSØG

Drejning af en U-kernes småmagneter

Vi laver denne opstilling og sender en jævnstrøm på ca. 2 A igennem spolen med 200 vindinger.

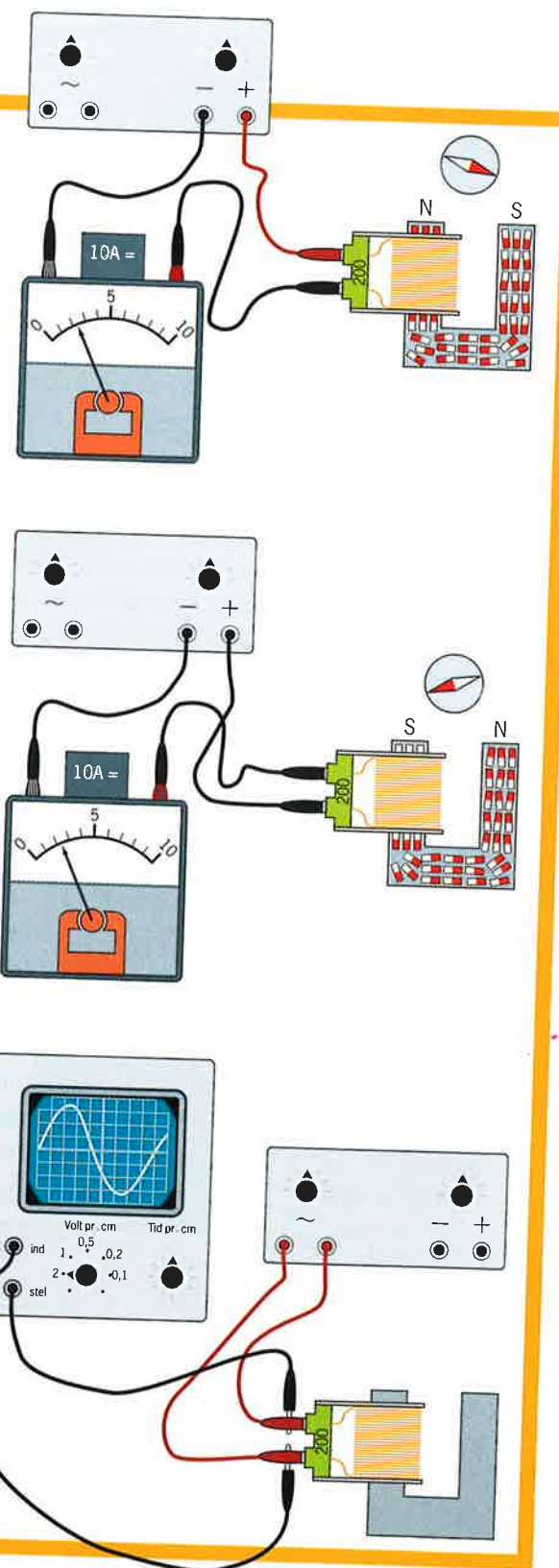
Med en magnetnål påviser vi, at U-kernen får de på tegningen viste poler. Vi slutter heraf, at strømmen i spolen påvirker småmagneterne i hele den U-formede jernkerne, så de indstiller sig omtrent som vist på tegningen.

Vi vender strømmen og påviser med magnetnålen, at U-kernens poler nu er ombyttet. Småmagneterne må altså have drejet sig rundt, så de vender den modsatte vej.

Derefter forbinder vi spolen og et oscilloskop til 6 volt vekselspænding. Vi indstiller oscilloskopet, så der aftegnes 1 periode på skærmen.

Da strømmen i spolen nu hele tiden skifter retning, må vi forvente, at småmagneterne i U-kernen hele tiden drejes rundt, så de skifter retning i takt med strømmen.

Vi kan finde ud af, om dette er tilfældet, ved at lægge nogle vindinger omkring U-kernens højre gren. Hvis småmagneterne drejes, må der jo induceres en vekselspænding i beviklingen.



Vi forbinder derfor en ca. 2 m lang ledning til oscilloskopet og vikler nogle vindinger omkring U-kernens højre gren.

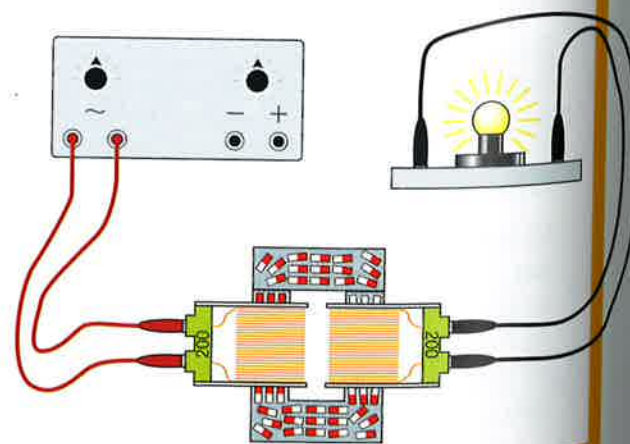
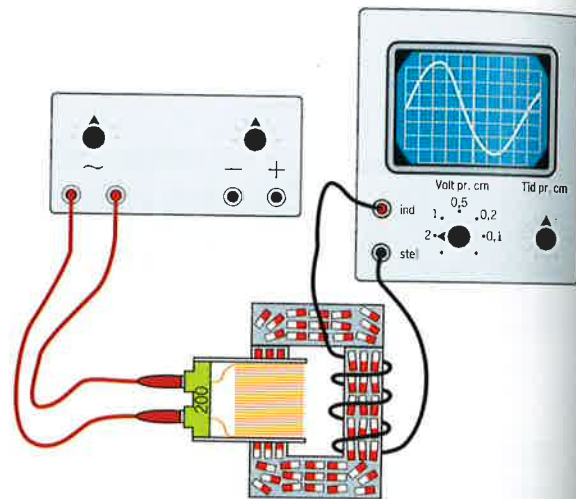
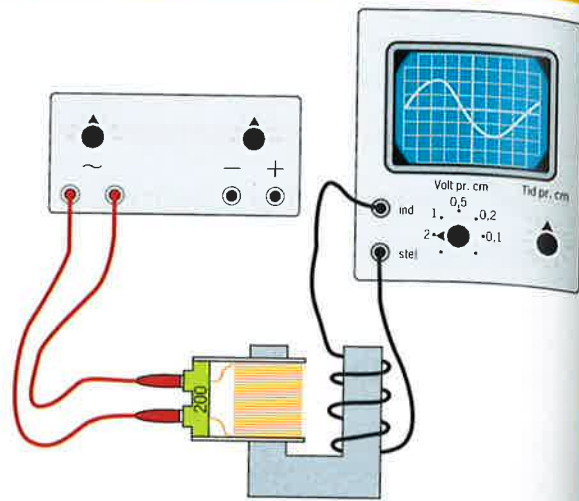
Vi ser, at der i denne hjemmelavede spole opstår en vekselspænding, hvis maksimalværdi bliver større, jo flere vindinger vi vikler om. Yderligere ser vi, at der afbildes netop 1 periode på skærmen – som tegn på, at den frembragte vekselspænding har samme frekvens som den vekselspænding, spolen er tilsluttet.

Hvis vi løfter de omviklede vindinger op langs U-kernens højre gren, ser vi, at den inducerede spænding falder – som tegn på, at vekselstrømmen i 200 vindingers spolen har sværere ved at dreje småmagneterne foroven i U-kernens højre gren.

Til sidst lukker vi U-kernen med den tilhørende lige jernkerne og ser, at den inducerede spænding bliver større, og at det nu er uden betydning, om vi skubber vindingerne op eller ned.

Strømmen i spolen kan nu bedre dreje småmagneterne i hele den lukkede jernkerne, fordi småmagneterne påvirker hinanden hele vejen rundt.

Vi skifter den hjemmelavede spole ud med en spole med 200 vindinger – og viser, at den inducerede spænding nu kan få en pære (6V-1A) til at lyse.



Transformeren

En lukket jernkerne med to spoler kalder vi en *transformer*.

Den spole, der tilsluttes strømkilden, kaldes for *primær*-spolen (primær betyder „første“ på latin). Den anden spole kaldes for *sekundær*-spolen (sekundær betyder „anden“).

Fordelen ved at bruge en transformer består i, at man – uanset hvor stor primærspændingen er – selv kan bestemme, hvor stor sekundærspændingen skal blive.

I den næste laboratorieopgave skal I selv prøve at finde ud af, hvordan man bærer sig ad med at frembringe lige netop den sekundærspænding, man ønsker.

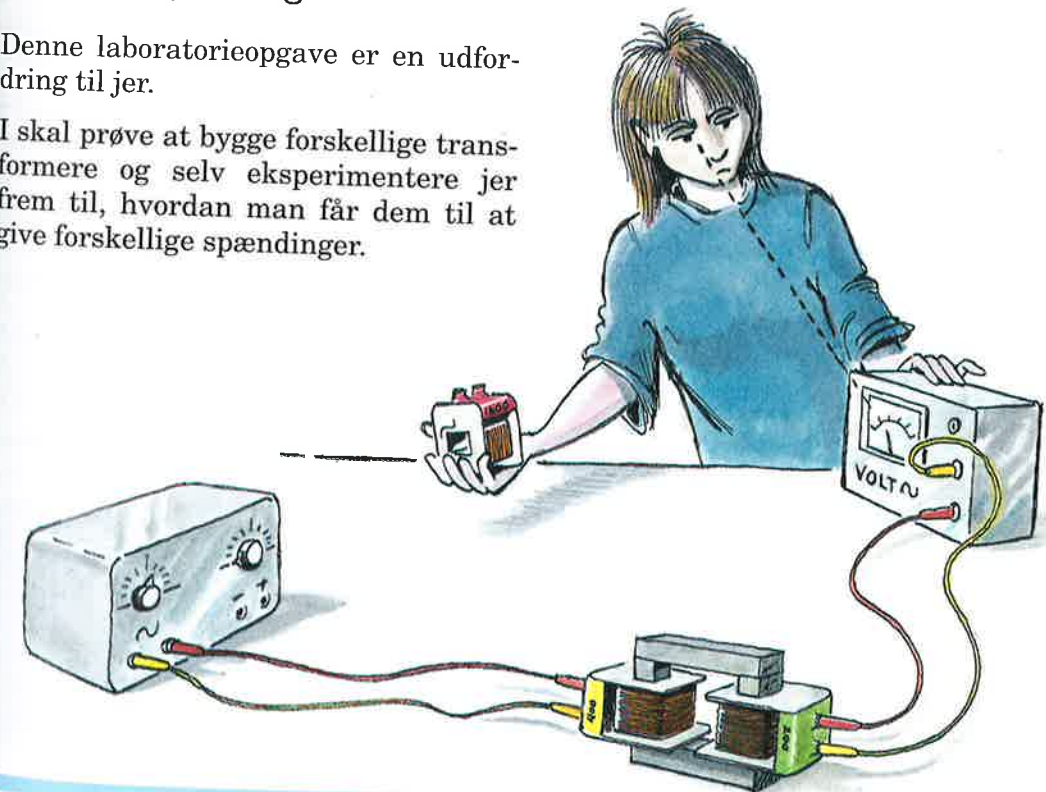


Laboratorieopgave 5

Primær- og sekundærspænding

Denne laboratorieopgave er en udfordring til jer.

I skal prøve at bygge forskellige transformere og selv eksperimentere jer frem til, hvordan man får dem til at give forskellige spændinger.



Transformererens sekundærspænding

I laboratorieopgave 5 fandt I sikkert ud af, at I skulle bruge lige så mange vindinger på sekundærsiden som på primærsiden, hvis sekundærspændingen skulle blive lige så stor som primærspændingen.

Hvis I derimod kun ønskede, at sekundærspændingen skulle være halvt så stor, skulle I bruge halvt så mange vindinger på sekundærsiden som på primærsiden.

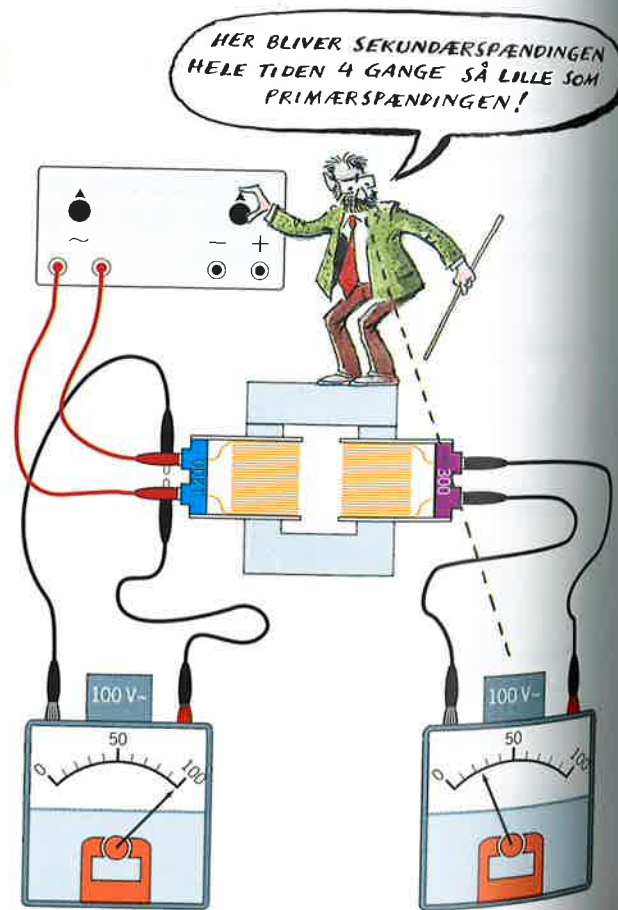
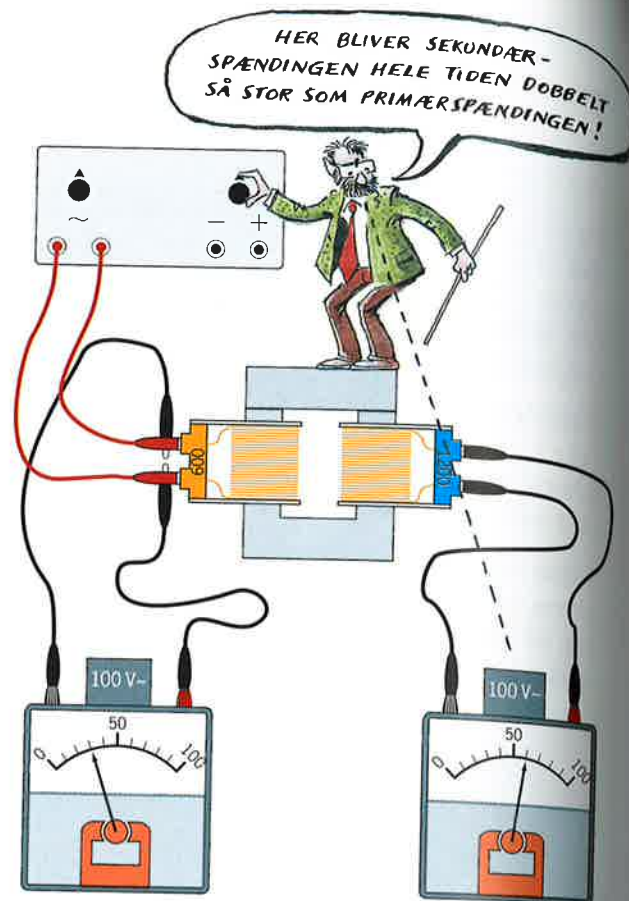
I fandt sikkert også ud af, at det var muligt at gøre sekundærspændingen dobbelt så stor ved at anvende dobbelt så mange vindinger på sekundærsiden som på primærsiden.

Heraf kan vi se, at der gælder følgende simple regel for spændingstransformation (idet N står for et vilkårligt tal):

For at gøre sekundærspændingen N gange så stor som primærspændingen skal man anvende N gange så mange vindinger på sekundærsiden som på primærsiden.

For at gøre sekundærspændingen N gange så lille som primærspændingen skal man anvende N gange så få vindinger på sekundærsiden som på primærsiden.

Denne regel kan vi for eksempel anvende, hvis vi ønsker at lave en transformer, der kan få en 1,5 volts lommelampepære til at lyse ved hjælp af en 220 volts stikkontakt.



FELLESFORSØG

Frembringelse af en spænding på ca. 1,5 volt

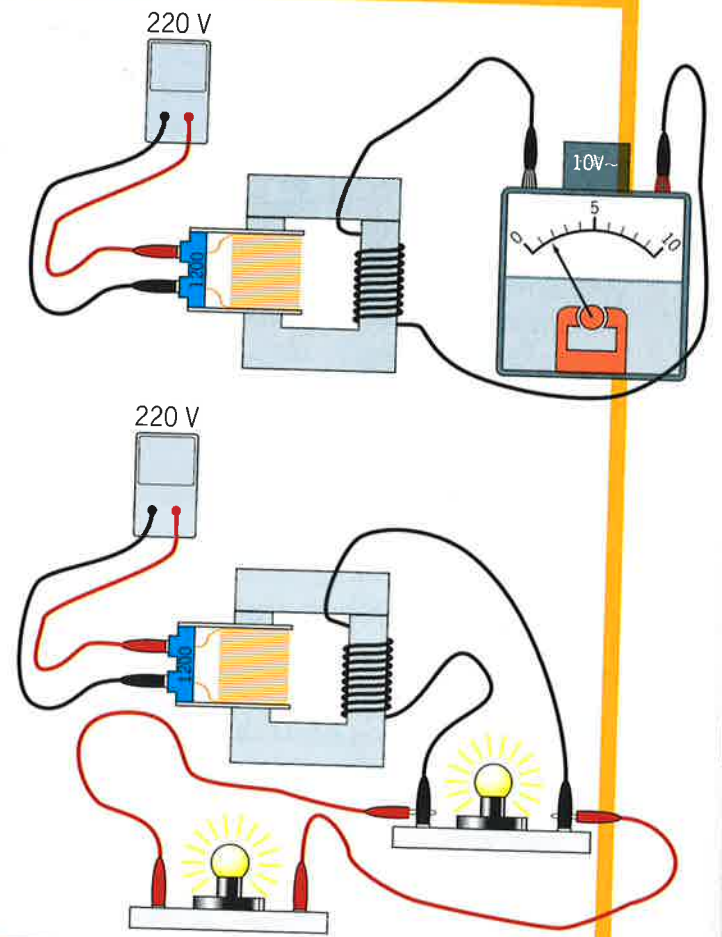
Vi laver en transformer med en primærspole på 1200 vindinger, som vi forbinder til en stikkontakt (220 volt).

Sekundærspolen laver vi selv ved at vikle en ca. 2 m lang ledning så mange gange om transformerkernen, at voltmeteret viser 1,5 volt.

Det viser sig at være nødvendigt med 8-9 vindinger. Regn selv efter, om det stemmer med reglen for spændings-transformation!

Vi fjerner voltmeteret og forbinder sekundærviklingen med en 1,5 volts pære. Dernæst tilslutter vi yderligere 2 eller 3 pærer i parallelforbindelse.

Vi ser, at sekundærviklingen virker lige så godt som et 1,5 volts element.



En transformer, som på denne måde frembringer lavspænding, er ufarlig at berøre på sekundærsiden, da der ikke er nogen direkte elektrisk forbindelse mellem primærspolen og sekundærspolen.

Sådanne transformere anvendes mange steder, hvor man har brug for lavere spændinger end stikkontaktens 220 volt.

Det kan for eksempel være til elektrisk legetøj, som skal være ufarligt for børn: elektrisk tog, lys i dukkehus, racerbane og lignende, hvor batterier kan erstattes af en transformer.



Hvordan går det med strømstyrken ved transformation?

Vi har set, at en vekselspænding let kan ændres ved transformation. Vi vil nu undersøge, hvordan det forholder sig med strømstyrken.

Den strøm, der løber i en transformers primærspole, kaldes *primærstrømmen*. Strømmen i sekundærspolen kaldes *sekundærstrømmen*.

Vi vil nu undersøge, hvad der sker med primærstrømmen, når vi lader sekundærspolen sende strøm gennem en pære.

FÆLLESFORSØG

Transformeringens primærstrøm

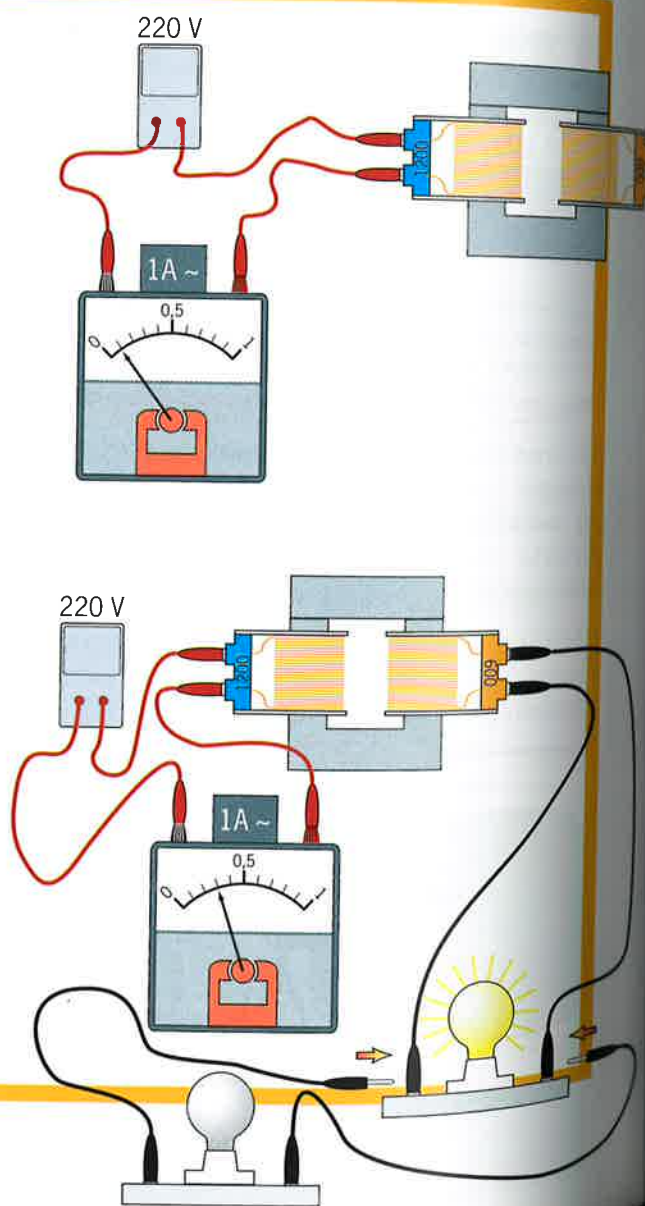
Vi laver denne opstilling, hvor amperemeteret måler strømmen i primærkredsen.

Vi ser, at der går en ganske lille strøm (ca. 0,1 A) gennem primærspolen, når sekundærspolen ikke er forbundet med nogen pære eller noget apparat. Denne lille strøm kaldes transformeringens *tomgangsstrøm*.

Vi forbinder nu en 60 W pære til sekundærspolen. Vi ser, at primærstrømmen vokser i samme øjeblik, vi slutter strømmen i sekundærkredsen.

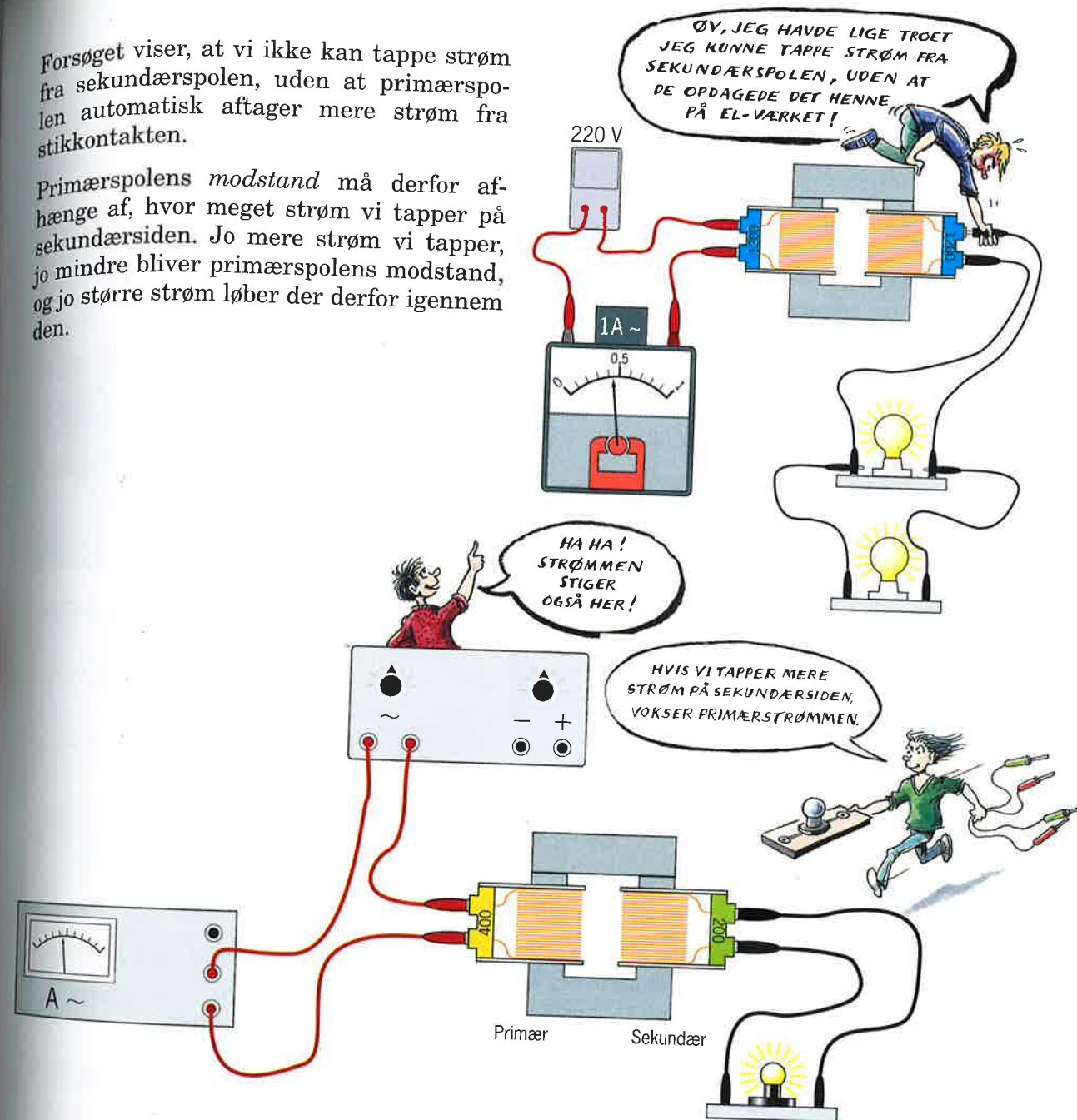
Vi aflæser strømstyrken og tilslutter derefter en ekstra 60 W pære parallelt med den første pære, så der løber mere strøm gennem sekundærkredsen.

Vi ser, at det medfører, at også strømstyrken i primærkredsen vokser.



Forsøget viser, at vi ikke kan tappe strøm fra sekundærspolen, uden at primærspolen automatisk aftager mere strøm fra stikkontakten.

Primærspolens modstand må derfor afhænge af, hvor meget strøm vi tapper på sekundærsiden. Jo mere strøm vi tapper, jo mindre bliver primærspolens modstand, og jo større strøm løber der derfor igennem den.



Transformersætningen

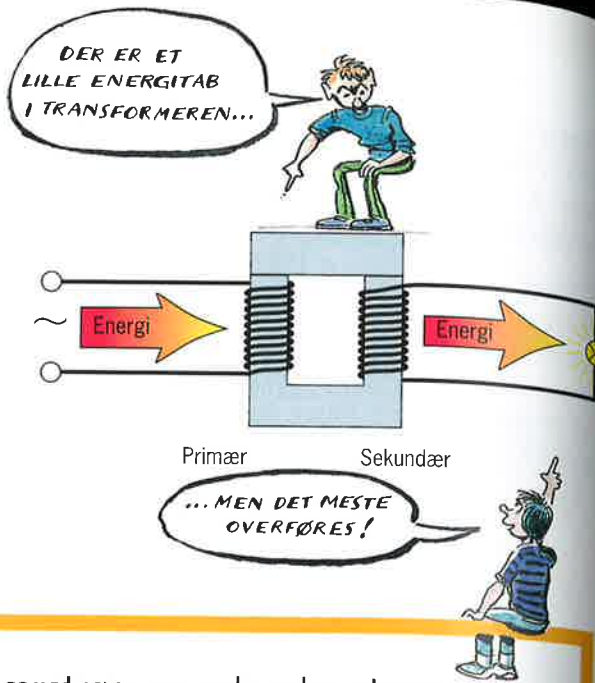
Når vi slutter en pære eller et andet elektrisk apparat til en transformers sekundærspole, tapper vi energi fra den.

Denne energi kommer naturligvis fra elværket. Det er derfor, strømstyrken i primærspolen bliver større, jo mere energi der tappes på transformeringens sekundærside.

Energioverføringen fra transformeringens primærside til dens sekundærside er en ret indviklet affære, som vi ikke kan gå dybere ind på her. Vi vil blot påpege, at det er småmagneternes uafbrudte drejning i jernkernen, der kobler primærside og sekundærside sammen.

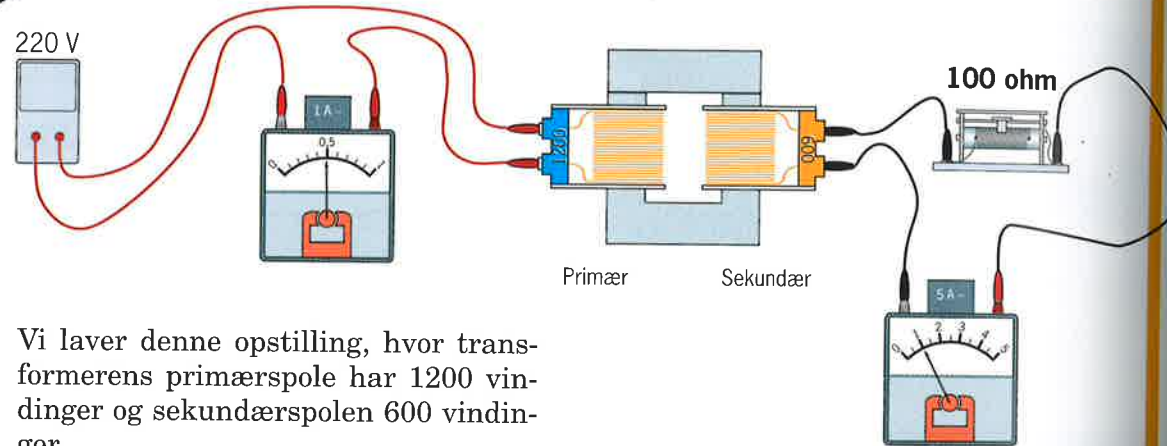
På transformerenes primærside tappes der altid lidt mere energi fra el-værket, end der overføres til sekundærsiden. Det kan jo blandt andet ikke undgås, at primærspolens vindinger opvarmes lidt af strømmen.

Ser vi bort fra dette lille energitab, vil der være en simpel sammenhæng mellem primærstrøm og sekundærstrøm. Det kan vi vise ved et forsøg.



FÆLLESFORSØG

Sammenhængen mellem primærstrøm og sekundærstrøm



Vi laver denne opstilling, hvor transformerenes primærspole har 1200 vindinger og sekundærspolen 600 vindinger.

Ved hjælp af skydemodstanden regulerer vi sekundærstrømmen (I_s), indtil den antager de værdier, der er anført i skemaets anden kolonne.

Vi aflæser de tilsvarende værdier af primærstrømmen (I_p) og ser, at vi får de strømstyrker, som er anført i skemaets første kolonne.

1200 vindinger	600 vindinger
Primærstrøm: I_p	Sekundærstrøm: I_s
ca. 0,5 A	1,0 A
ca. 0,8 A	1,6 A
ca. 1,0 A	2,0 A

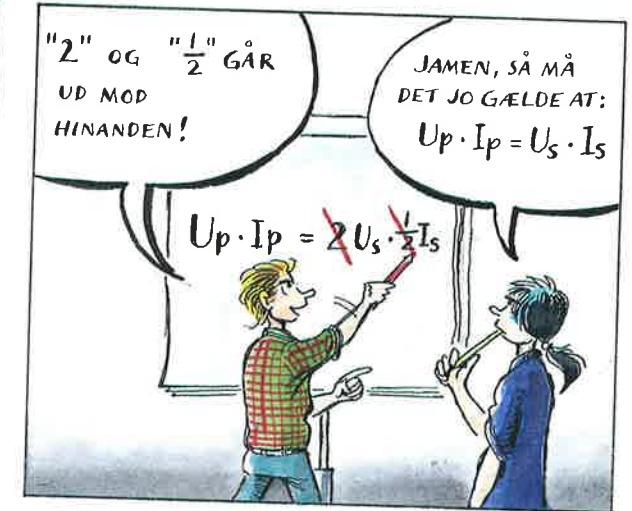
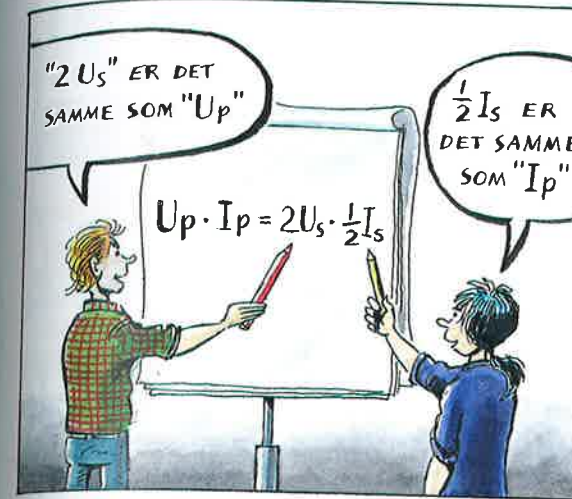
Af forsøgsresultaterne ser vi, at primærstrømmen I_p i alle tre forsøg er ca. halvt så stor som sekundærstrømmen I_s . Vi kan skrive det således:

$$I_p = \frac{1}{2} I_s$$

Da primærspolen har dobbelt så mange vindinger som sekundærspolen, må primærspændingen U_p være dobbelt så stor som sekundærspændingen U_s . Det gælder derfor, at:

$$U_p = 2 U_s$$

Da U_p i forsøget er lig med $2U_s$, og I_p er lig med $\frac{1}{2} I_s$, kan vi regne ud, hvad $U_p \cdot I_p$ er lig med:



Det har vist sig, at det gælder, at $U_p \cdot I_p = U_s \cdot I_s$, uanset hvilke spoler man anvender som primærspole og sekundærspole.

Vi kan derfor opstille følgende regel, som kaldes *transformer-sætningen*:

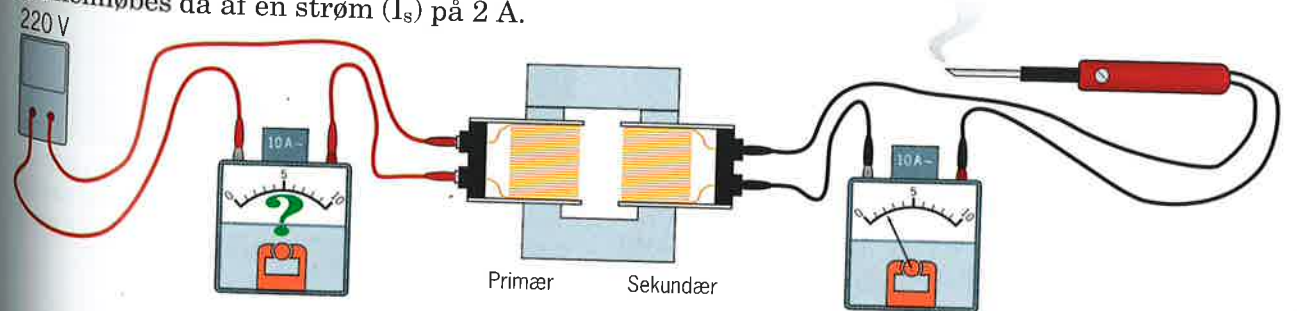
$$U_p \cdot I_p \approx U_s \cdot I_s$$

Tegnet \approx skal angive, at sætningen ikke gælder helt nøjagtigt, idet der, som tidligere nævnt, altid forekommer et lille tab ved energioverføringen.

Beregn ved hjælp af transformer-sætningen, hvor stor en strøm (I_p) loddekolben belaster stikkontakten med (afrund til 2 decimaler).

Teoriopgave

En 12 volts loddekolbe tilsluttes en transformer, som nedsætter stikkontaktens spænding på 220 V til 12 V. Loddekolben gennemløbes da af en strøm (I_s) på 2 A.



Frembringelse af stærke strømme ved transformation

Ved at transformere til lavspænding kan man frembringe meget store strømstyrker uden at overbelaste den 220 volts kontakt, som leverer el-energien. Vi kan for eksempel frembringe så stærk en strøm, at vi kan smelte et jernsøm over.

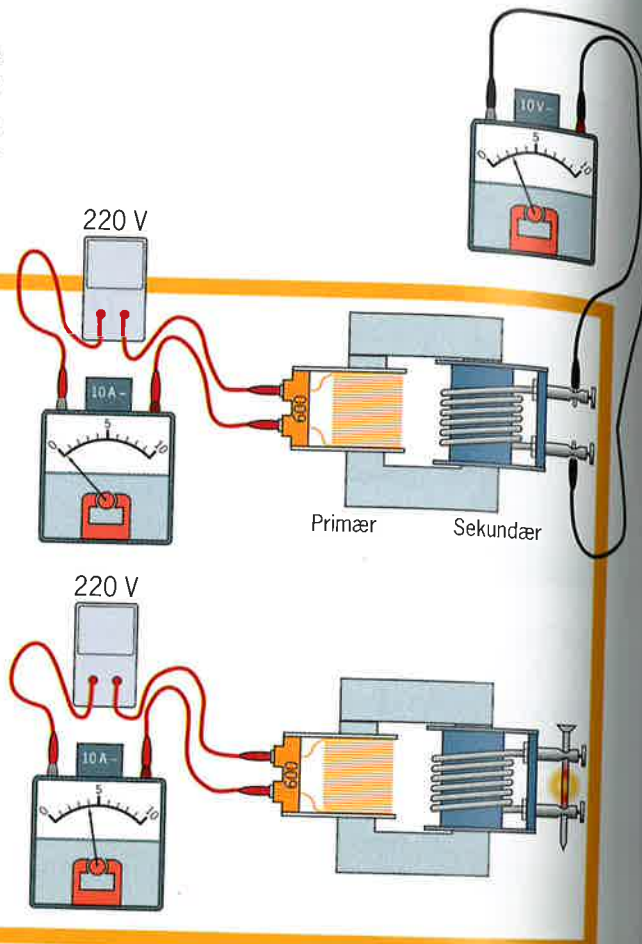
FÆLLESFORSØG

Vi smelter et søm

Vi laver den viste opstilling, hvor primærspolen har 600 vindinger, mens sekundærspolen kun har 6 tykke vindinger.

Vi måler sekundærspændingen med et voltmeter og ser, at den som forventet er ca. 2,2 V.

Vi spænder derefter et jernsøm godt fast mellem sekundærspolens klemmer og tænder for kontakten. Vi ser, at sekundærstrømmen I_s bliver så stærk, at sømmet gløder og brænder over, selv om primærstrømmen I_p ikke er særlig stor (f.eks. 4 A).



Ved hjælp af transformer-sætningen kan vi beregne strømstyrken i sekundærkredsen, hvor sømmet befinder sig.

Da sekundærspændingen U_s er 1/100 af primærspændingen U_p , må sekundærstrømmen I_s til gengæld være 100 gange så stor som primærstrømmen I_p . Sømmet gennemløbes derfor af en strøm på $100 \cdot 4 \text{ A} = 400 \text{ A}$.

En så stor strømstyrke ville vi ikke kunne opretholde i et kredsløb, der direkte tilsluttes stikkontakten. Sikringen ville øjeblikkelig smelte.

Årsagen til, at sekundærstrømmen kan blive så stærk, er, at de tykke vindinger og det tykke søm har en uhyre lille modstand, kun en lille brøkdel af en ohm (ca. 1/200 ohm).



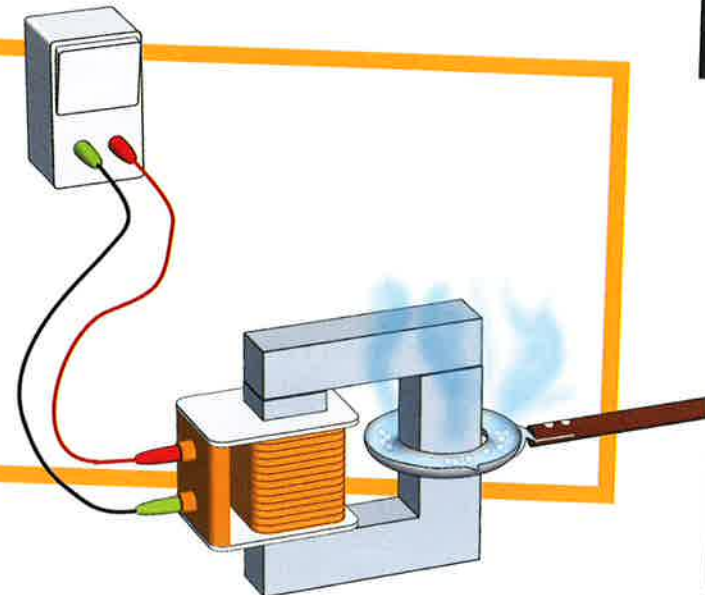
Ved elektrosvæjsning af jernplader anvender man en lignende teknik, som vi anvendte til oversmeltning af et søm. Ved at transformere til lavspænding opnår man så store strømstyrker, at man kan svejse jernplader sammen.

FÆLLESFORSØG

Vi koger vand

Vi laver denne transformer, hvor primærspolen har 600 vindinger og sekundærspolen kun 1 vinding, der er udformet som en rende af aluminium.

Vi hælder vand i renden og tænder for strømmen. Vi ser, at strømmen i sekundærspolen bliver så stærk, at vandet hurtigt begynder at koge.



I dette forsøg vil sekundærspændingen kun være 1/600 af 220 volt, dvs. 0,37 volt. Men rendens modstand er måske kun 1/1000 ohm, så strømstyrken bliver fantastisk stor.

Vi laver gnister

Ved hjælp af transformation kan vi også frembringe højspænding.

Højspænding! Livsfare!

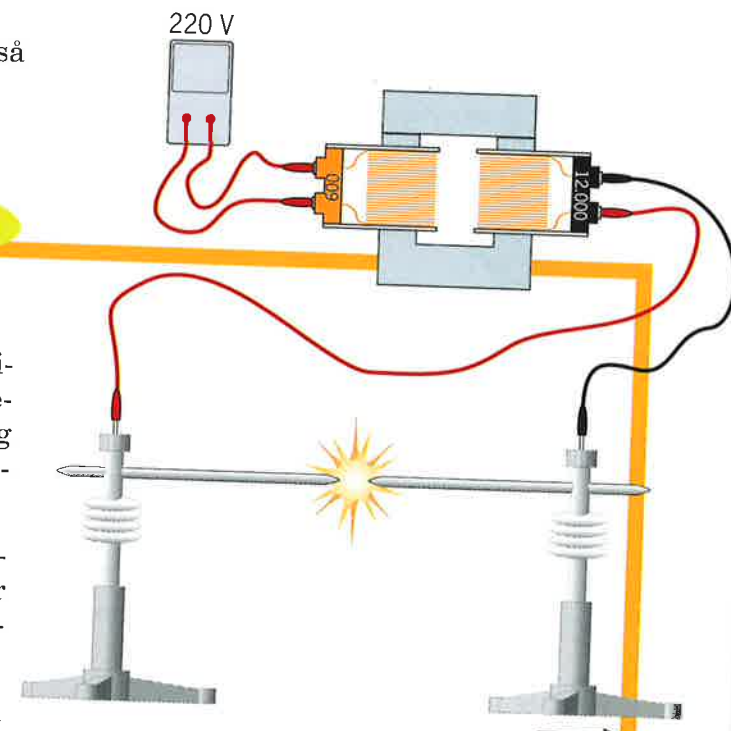
FÆLLESFORSØG

En stående gnist

Vi laver denne opstilling, hvor primærspolen har 600 vindinger og sekundærspolen 12000 vindinger, og passer på ikke at berøre sekundærsiden, når strømmen er sluttet.

Stålpindene (f.eks. strikkepinde) anbringes, så deres spidser næsten rører hinanden. Når primærstrømmen slutes, dannes der en gnist mellem dem.

Ved forsigtigt at trække i foden på den ene isolationsklemme trækker vi den ene stålpind lidt væk fra den anden, så gnisten bliver længere og danner en bue.



At der dannes en gnist, skyldes den meget høje spænding mellem strikkepindenes spidser. Sekundærspolens vindingstal er jo 20 gange så stort som primærspolens. Sekundærspændingen bliver derfor $20 \cdot 220 \text{ volt} = 4400 \text{ volt}$.

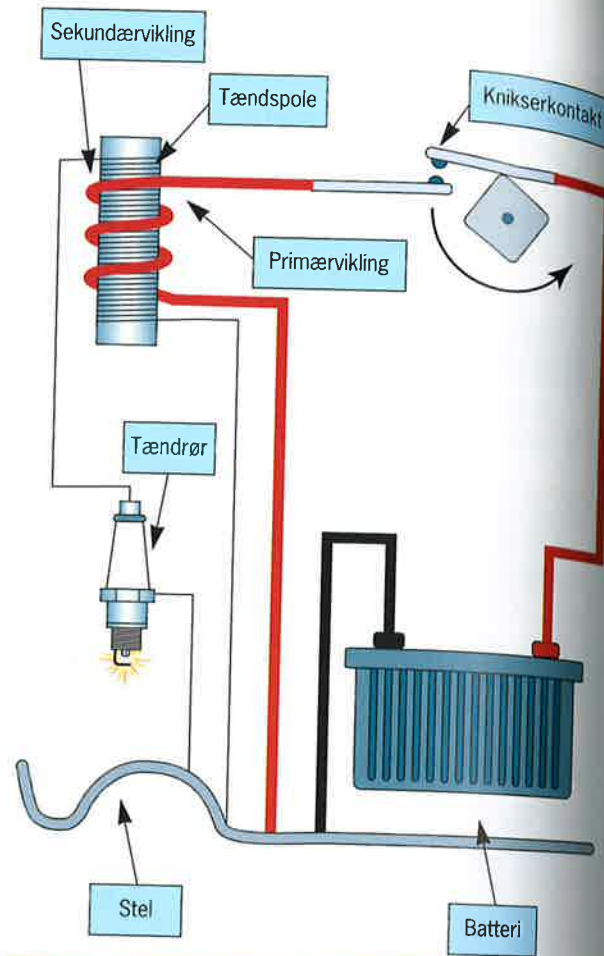
En tændspole

Det, der får en benzinmotor til at virke, er en række eksplosioner, som finder sted inde i motorens cylindre.

Eksplosionerne fremkommer ved, at en elektrisk gnist på de rigtige tidspunkter antænder en blanding af luft og benzin. Hertil anvender man et tændrør, der indeholder et gnistgab, som er forbundet med en tændspole.

I ældre biler består tændspolen af en simpel højspændingstransformer, hvor både primærviklingen og sekundærviklingen er anbragt på en lige jernkerne. Vi vil illustrere tændspolens virkemåde ved et forsøg.

Skematisk tegning af en bilmotors tændingssystem. Tændspolens lige jernkerne har både en primærvikling med få tykke vindinger og en sekundærvikling med mange tynde vindinger. Hver gang knikserkontakten afbryder strømmen til primærviklingen, induceres der i sekundærviklingen en kortvarig højspænding, som frembringer en gnist i et tændrør. Denne gnist kan så antænde en blanding af luft og benzin.



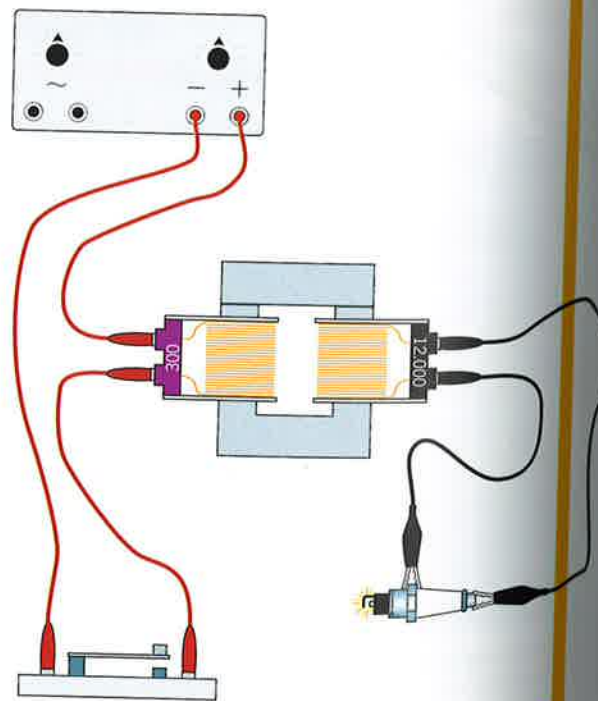
FÆLLESFORSØG

Vi driver et tændrør

Vi laver denne opstilling, hvor transformerens primærspole har 300 vindinger og sekundærspolen 12000 vindinger. Ved hjælp af kontakten kan vi forbinde primærspolen med en jævnspænding på 6 volt.

Vi slutter og afbryder kontakten nogle gange og ser, at der dannes en gnist, hver gang vi afbryder strømmen.

Der induceres åbenbart en større spænding i sekundærspolen, når primærstrømmen afbrydes, end der gør, når den sluttes.



Årsagen til, at sekundærspændingen bliver størst, når primærstrømmen afbrydes, er, at jernkernens småmagneter lynhurtigt kommer i uorden, når vi afbryder strømmen, mens det tager længere tid at bringe dem i orden, når strømmen sluttes.

At man i den rigtige tændspole anvender en lige jernkerne frem for en lukket jernkerne, medvirker også til, at småmagneterne hurtigere kommer i uorden.

I moderne biler frembringer man nu næsten udelukkende højspændingen ved hjælp af elektroniske kredsløb (elektronisk tænding).

Jævnstrømsværkeres problem

Da man byggede de første jævnstrømsværker, var det et problem at overføre el-energi over store afstande på grund af de lange ledningers modstand.

Hvis man for eksempel skulle overføre el-energi til en familie, som boede 25 km fra el-værket, ville den samlede modstand være ca. 1000 ohm, hvis man anvendte kobberledninger på 1 millimeters tykkelse.



Undervisningsprogram 2

Transformation

Ved at løse teoriopgaverne i dette undervisningsprogram får du slået det fast, som du har lært om transformation.

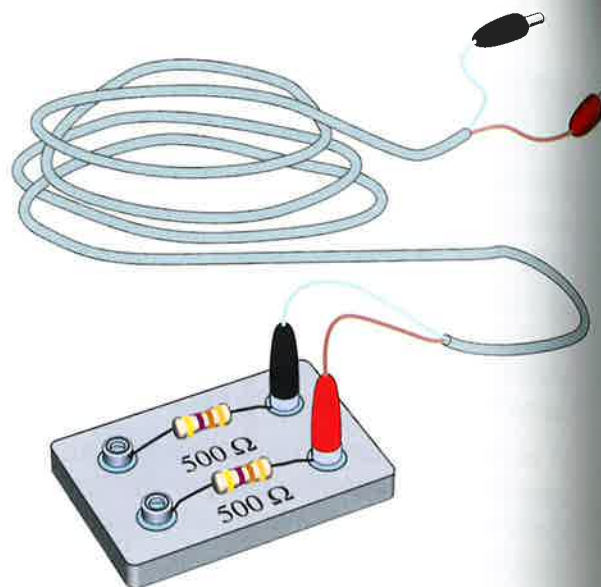


El-forsyning uden transformation

Vi kan få et indtryk af de vanskeligheder, de første el-værker stod over for, hvis vi forsøger at få en lommelampepære til at lyse ved at forbinde den til 6 volt gennem lange ledninger med 1000 ohms modstand.

Som lange forsynings-ledninger kan vi bruge den ca. 10 m lange dobbeltledning, vi tidligere har anvendt til forsøgene med mini-elværket (side 17).

For at den skal få samme modstand som en 25 km lang dobbeltledning, forsyner vi den ene ende af hver ledning med en 500 ohms modstand, som denne tegning viser.



FÆLLESFORSØG

Jævnstrømsforsyning over stor afstand

Vi forbinder først en pære (6V-100mA) direkte til 6 volt jævnspænding og kontrollerer, at den lyser normalt.

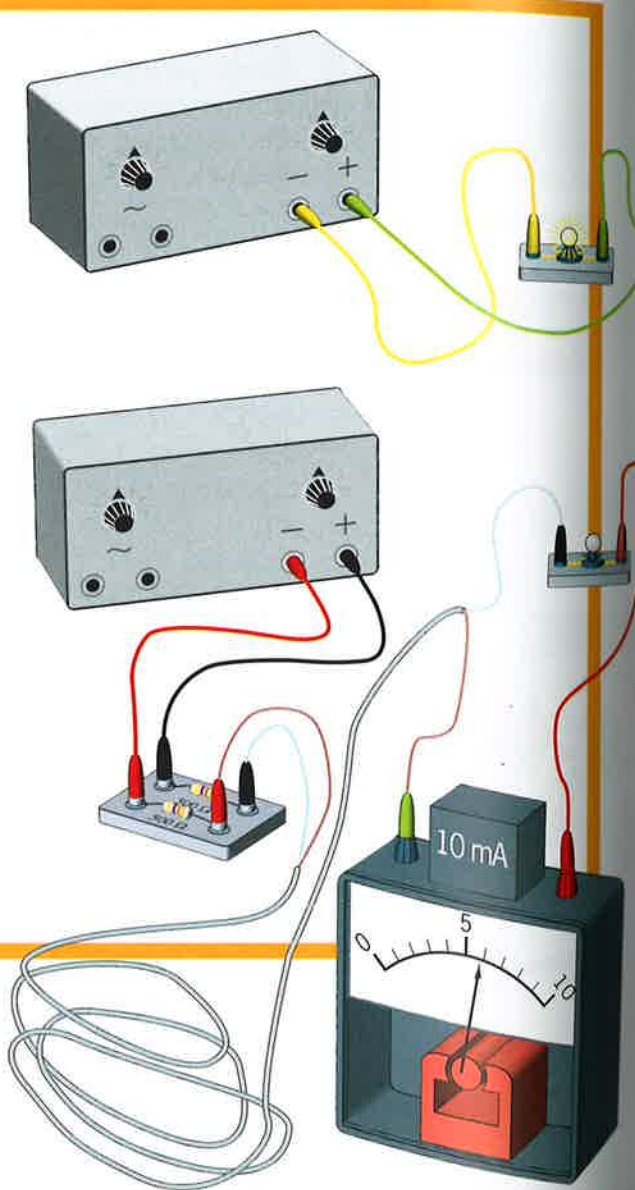
Dernæst indskyder vi dobbeltledningen med de to 500 ohms modstande imellem „el-værket“ (de 6 volt) og pæren.

Nu lyser pæren ikke.

Derfor indsætter vi et milliamperemeter i kredsløbet og konstaterer, at strømstyrken kun er ca. 6 mA. Det er ikke så mærkeligt, at pæren ikke lyser, da den kræver 100 mA for at lyse normalt.

Vi forsøger, om vi kan få pæren til at lyse, hvis vi i stedet forbinder den med 6 volt *vekselspænding* gennem den lange dobbeltledning. Det kan vi ikke.

Forsøget viser, at hverken jævnstrøm eller vekselstrøm uden videre kan sendes gennem ledninger med stor modstand, uden at der sker et stort energitab.



El-forsyning ved hjælp af transformation

Når man anvender vekselspænding, har man mulighed for at ændre spændingen ved hjælp af transformation. Herved kan energitabet gøres meget lille. Det vil vi prøve i det følgende forsøg.

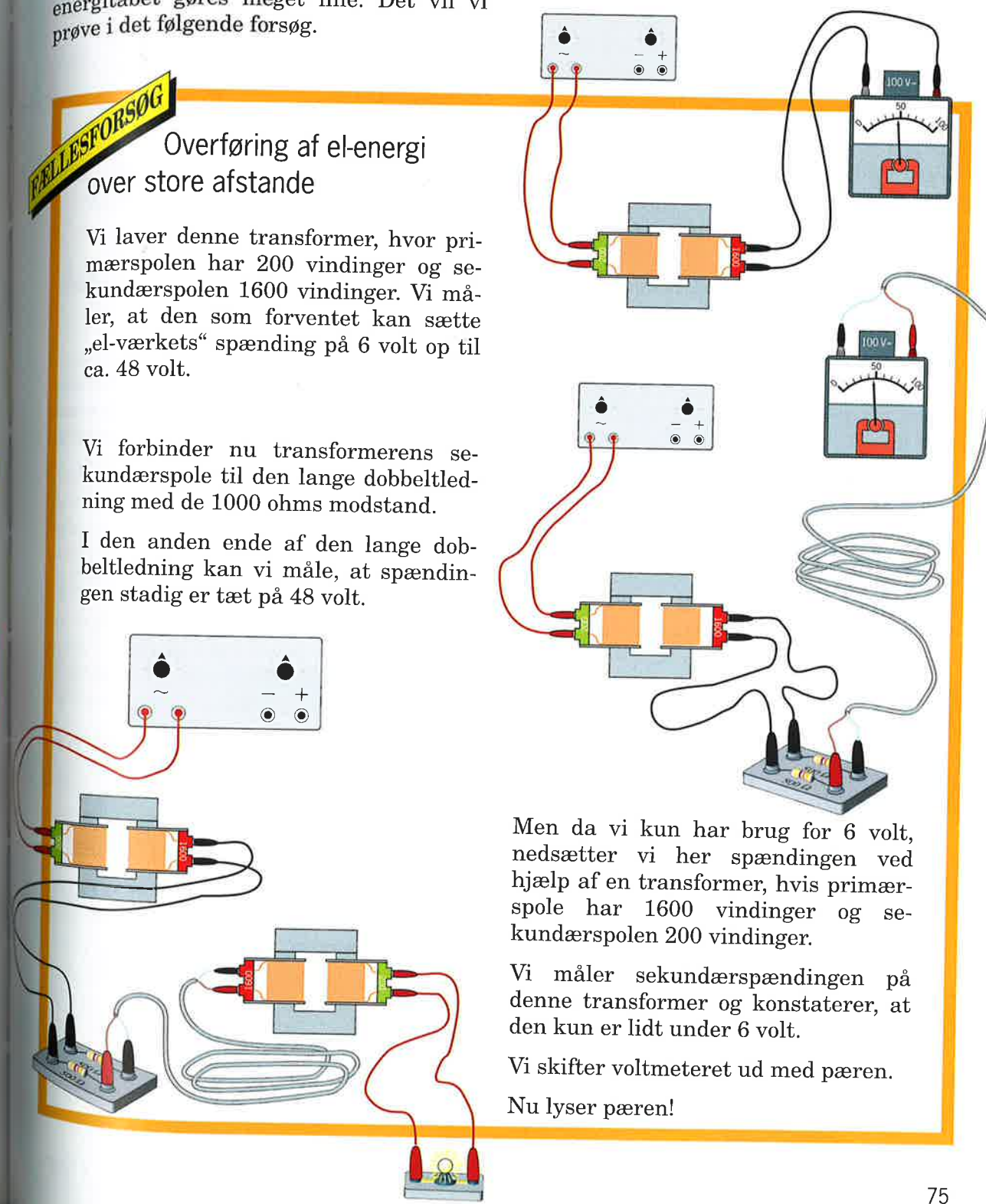
FÆLLESFORSØG

Overføring af el-energi over store afstande

Vi laver denne transformer, hvor primærspolen har 200 vindinger og sekundærspolen 1600 vindinger. Vi måler, at den som forventet kan sætte „el-værkets“ spænding på 6 volt op til ca. 48 volt.

Vi forbinder nu transformerens sekundærspole til den lange dobbeltledning med de 1000 ohms modstand.

I den anden ende af den lange dobbeltledning kan vi måle, at spændingen stadig er tæt på 48 volt.



Men da vi kun har brug for 6 volt, nedsætter vi her spændingen ved hjælp af en transformer, hvis primærspole har 1600 vindinger og sekundærspolen 200 vindinger.

Vi måler sekundærspændingen på denne transformer og konstaterer, at den kun er lidt under 6 volt.

Vi skifter voltmeteret ud med pæren. Nu lyser pæren!

El-forsyning ved hjælp af høj-spænding

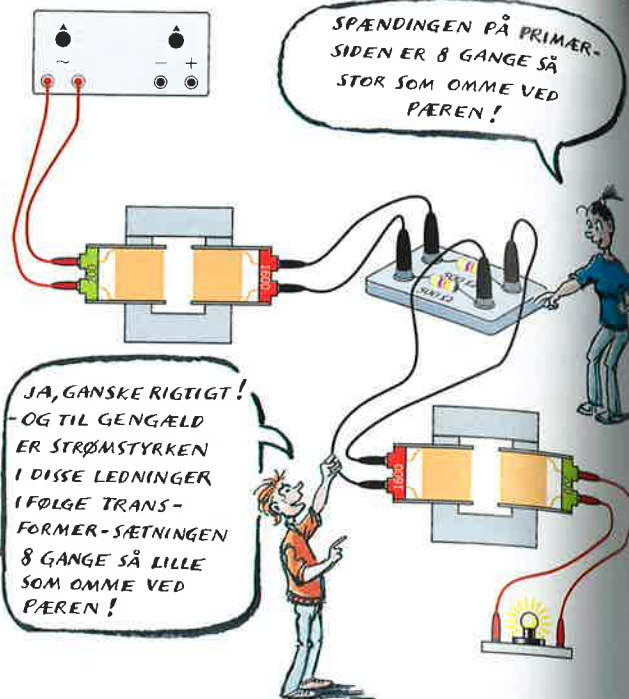
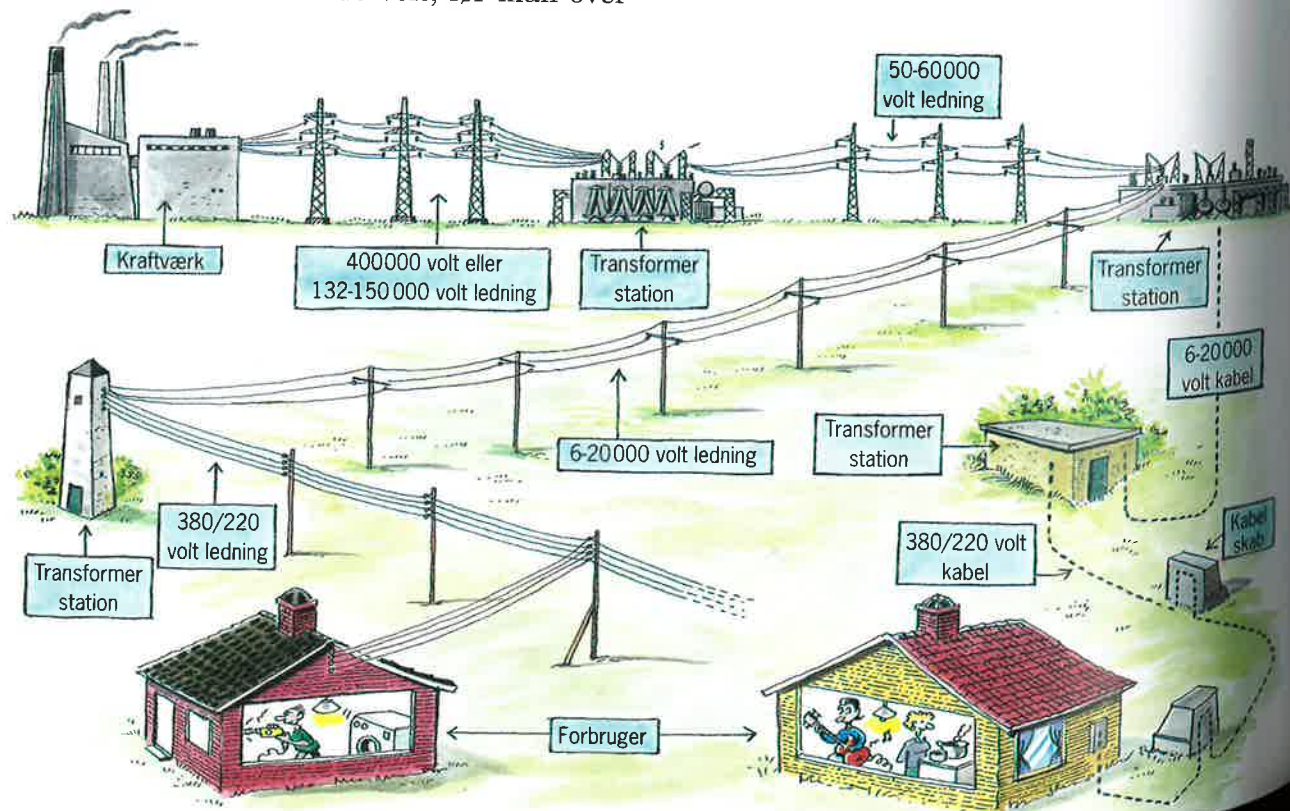
Vi har i det foregående fællesforsøg set, at vi kan overføre el-energi over store afstande uden større tab ved at transformere el-værkets spænding op til en høj værdi – og transformere spændingen ned igen til den oprindelige værdi ude på forbrugsstedet.

Årsagen til, at energitabet bliver mindre, er, at strømmen i de lange ledninger nu er langt svagere end strømmen gennem pæren. Dette fremgår af transformer-sætningen, når vi anvender den på transformeren ude ved pæren.

Her er spændingen på primærsiden jo 8 gange så stor som spændingen på sekundærsiden. Til gengæld må strømmen på primærsiden da være 8 gange så lille som strømmen på sekundærsiden.

Jo svagere strøm der går i de lange ledninger, jo mindre energi afsættes der i disse, og jo mindre bliver energitabet. Der kan da overføres mere energi til pæren.

I praksis nøjes man ikke med at sætte spændingen 8 gange op. Man transformerer i stedet spændingen fra el-værket op til flere hundrede tusinde volt, før man over-



fører energien til fjerne forbrugssteder, hvor man transformerer spændingen ned til 220 volt igen. På denne måde bliver strømmen i forbindelsesledningerne, og dermed energitabet, meget lille.

Denne tegning viser, hvordan den enorme spænding gradvis transformeres ned til lavere spændinger på dens vej til forbrugeren.

Den første el-forsyning i Danmark

Den 13. oktober 1891 blev det første danske el-værk sat i drift i en privat kælder i Køge.

I den anledning skrev Østsjællands Folkeblad:

Elektrisk lys i Køge

I Aften tændes det elektriske Lys fra den i Hr. Urmager Hansens Ejendom i Brogade indrettede Centralstation. Forskellige Butiker på Torvet og i Brogade vil blive forsynede med den nye Belysning.



Urmager Hansen og hans medhjælpere trak selv ledninger hen over tage og baggårde til butikker og private, der meldte sig som kunder.

Fra en lille generator i Hansens kælder blev der så leveret el i nogle få aftentimer. Inden strømmen blev afbrudt ved god borgerlig sengetid kl. 21.15, blinkede man lidt med lyset som advarsel.

Tre uger senere åbnede et kommunalt el-værk i Odense. Og i løbet af de næste 10-15 år blev der opført over 20 el-værker forskellige steder i landet.

El-værkerne leverede jævnstrøm med en spænding på 110 eller 220 volt. Men, som vi har set, er der den ulempe ved jævnstrøm, at det højst kan betale sig at trække ledninger til kunder 2-3 km fra værket.

Vekselstrøms-værker

I 1907 blev Danmarks første vekselstrømsværk sat i drift. Herved blev det muligt at levere vekselstrøm til forbrugere over langt større afstande, end man kunne med jævnstrøm.

Nu gik udviklingen hurtigt. I løbet af de næste 10 år blev der bygget omkring 100

større eller mindre el-værker, de fleste vekselstrøms-værker. Generatorerne blev hovedsageligt drevet af dampmaskiner og den nyopfundne dieselmotor.

I 1947 fandtes der i alt 405 el-værker, hvoraf de fleste dog var ganske små. Således stod 268 værker tilsammen kun for 3% af produktionen, medens 23 større værker tilsammen stod for over 75% af produktionen.

Dansk el-produktion i dag

I dag er hovedparten af el-produktionen samlet på 19 store el-værker. Men herudover satses der også på mindre kraftvarmeværker, biogasanlæg, vindmøller, osv.

I 1993 var det samlede el-forbrug på ca. 30 milliarder kWh. Heraf blev ca. 90% produceret på de 19 store el-værker. Ca. 3% kom fra 248 mindre værker. Ca. 3% blev fremstillet på landets knap 4000 vindmøller, mens omkring 4% blev købt i udlandet. (Se kortet på næste side.)

Det danske ledningsnet

El-energien fordeles ud over Danmark via et ledningsnet med en samlet længde på ca. 160.000 km. Det svarer til en tur 4 gange omkring jorden.

Knap halvdelen af ledningerne er ophængt i store master. Resten er lagt som kabler i jorden. Man arbejder hen imod at få større og større dele af nettet lagt ned som kabler.

På el-værkerne produceres vekselstrømmen som regel med en spænding på 10-20.000 volt.



Alt efter, hvor store afstande energien skal overføres over, transformerer man spændingen op til ca. 60.000, 150.000 eller 400.000 volt. Ledninger med høje spændinger er for det meste ophængt i store stålmaster.

Forskellige steder ved fordelingsnettet er der anbragt transformerstationer, som sørger for op- og nedtransformering af spændingen. På de sidste strækninger ud til de enkelte forbrugere er spændingen transformeret ned til 220 volt.

På dette kort kan du se, hvor de 19 store danske el-værker ligger, samt hvordan højspændingsnettet er fordelt ud over landet. Du kan også se forbindelseslinjerne til udlandet.

Ved at transformere til højspænding kan man som tidligere nævnt begrænse energitabet i ledningsnettet. I praksis regner man med, at energitabet udgør 6-9%.

El-værkerne hjælper hinanden

Tidligere delte Storebælt Danmark i to helt adskilte el-forsyningsområder. Men i forbindelse med bygningen af den faste forbindelse mellem Fyn og Sjælland (bro + tunnel) er der planlagt kabelforbindelse mellem de to områder.

I øvrigt er fordelingsnettet udformet sådan, at man kan hjælpe hinanden, hvis der opstår fejl på en ledning, eller et af el-værkerne ikke kan klare en midlertidig stor belastning. Sådanne fejl vil normalt ikke medføre større afbrydelser, da man hurtigt kan omkoble forbindelserne, så forbrugerne forsynes ad andre veje fra andre el-værker.

El-samarbejde med udlandet

Det er ikke blot inden for det danske område, at vi kan hjælpe hinanden. Danmark er forbundet med sine nabolande, dels med store luftledninger over den dansk/tyske grænse i Sønderjylland, dels med søkabler under vandet i Skagerak, Kattegat og Øresund.

På denne måde er vi i stand til efter behov at udveksle el-energi med de andre lande. På kortet kan du se, hvor mange kWh der i 1993 gik både den ene og den anden vej ad disse forbindelser.

Samlet kan du se, at vi i 1993 importerede 6280 millioner kWh og eksporterede 5092 millioner kWh. Import og eksport kan svinge meget fra år til år. Året efter (i 1994) importerede vi således kun 1779 millioner kWh, mens vi eksporterede 6623 millioner kWh. Det skyldtes dels, at der i 1994 var mindre vand end normalt i de norske og svenske floder, dels at svenske A-kraftværker i perioder var ude af drift. På denne måde kan de forskellige lande efter behov hjælpe hinanden.

Forskellige el-systemer forbindes med jævnstrøm

Forbindelsen mellem Sjælland og det nordtyske område skal efter planen tages i brug i slutningen af 1995. Den består af et 170 km langt jævnstrømskabel mellem to store omformerstationer – hvoraf den ene er placeret i Bjæverskov ved Køge og den anden i nærheden af Rostock i Nordtyskland.

På den ene af de to omformerstationer laver man ledningsnettets 400.000 volt vekselspænding om til 400.000 volt jævnspænding. På den anden station laver man igen jævnspændingen om til vekselspænding. Jævnstrømskablet indeholder kun én ledning, idet Østersøen bruges som returledning. Derfor er to store elektroder udlagt i vandet, den ene ved Stevns klint og den anden i Nordtyskland.

Grunden til, at man anvender jævnstrøm, er blandt andet, at det er meget vanskeligt at få vekselstrømmen i de to el-systemer, der skal forbindes, til at svinge i takt.

Det er nemlig sådan, at Sjælland sammen med blandt andet Sverige og Norge udgør ét el-system, mens Jylland/Fyn sammen med blandt andet Tyskland udgør et andet el-system. Vekselstrømmen i de to systemer svinger nok med samme frekvens – men ikke i takt!

Når man laver vekselstrøm om til jævnstrøm, får man strømmen til hele tiden at løbe i den samme retning. I den følgende laboratorieopgave skal du lære, hvordan det kan gøres i praksis.

Laboratorieopgave 6

Ensretning af vekselstrøm

I denne laboratorieopgave skal I selv prøve at få vekselstrøm til hele tiden at løbe i samme retning.