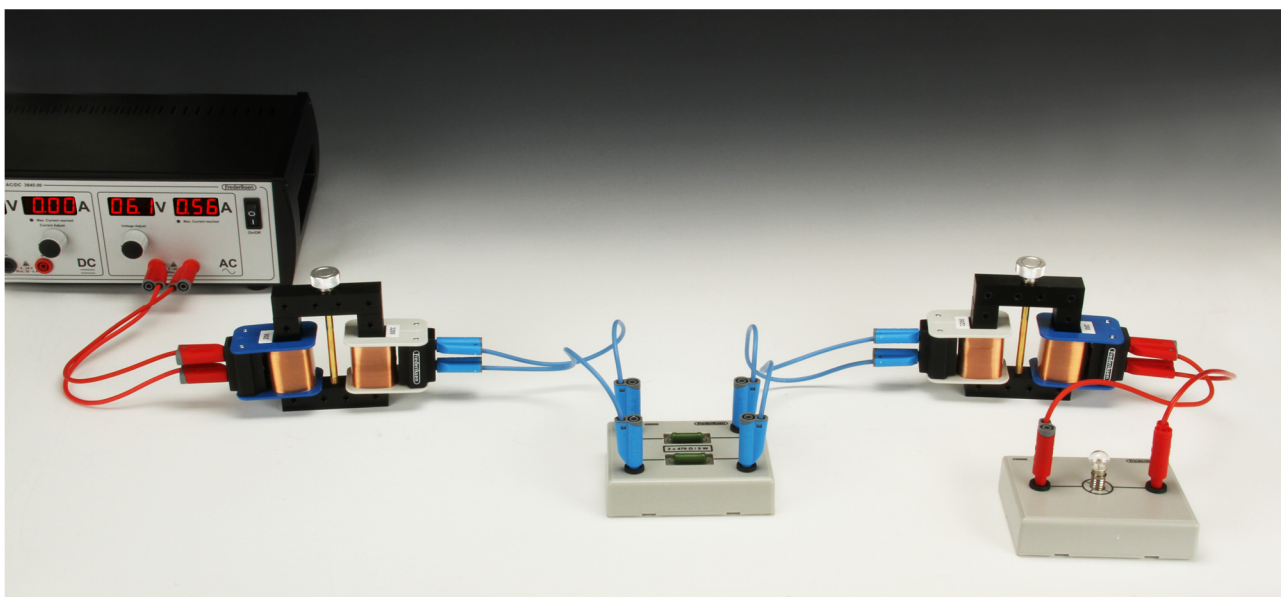


Eksperiment nummer	136090	Emne	Ellære, vekselstrøm		
Version	2019-09-20 / HS	Type	Demo-eksperiment	Foreslås til	9-10 / gymABC p. 1/4



## Formål

Vi undersøger, hvordan ledningernes modstand påvirker overførslen af elektrisk energi ved lav og høj spænding.

## Princip

En lille glødelampe tilsluttes en strømforsyning – først direkte, dernæst via nogle modstande, som simulerer lange ledninger. Til sidst indskydes to transformatorer, så de store modstande ligger i "højspændingsledningerne".

## Apparatur

Strømforsyning  
6 V glødelampe i sokkel  
To modstande på bundplade

To transformatorer, hver bestående af:

UI-kerne  
200 vindingers spole  
3200 vindingers spole

Ledninger

## Advarsel

Dette er et demonstrationsforsøg.

Med transformatorer er det nemt at opnå spændinger, som er højere end tilladt for elevbrug.

Vær forsigtig: Rør ikke ved dele af opstillingen, som har forbindelse til 3200 vindinger spolerne.

Afbryd kredsløbet helt herne ved strømforsyningen, inden der laves ændringer i kredsløbet.



## Udførelse

### 1) Direkte forbindelse

Vi tænker os her, at "kraftværket" (strømforsyningen) leverer netop den spænding, som forbrugeren har behov for. Desuden regner vi med, at der er meget kort afstand mellem kraftværk og forbrug.

Forbind soklen med elpæren direkte til AC-bøsningerne på strømforsyningen. Indstil spændingen på 6 V (evt. en anelse højere).

Observér: Pæren lyser.



Direkte (kort) forbindelse fra kraftværk til forbrug

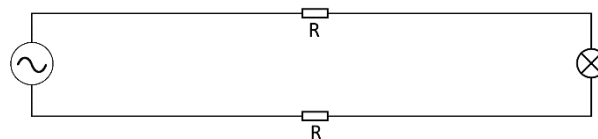
### 2) Lange ledninger med lavspænding

Vi ændrer ikke på spændingen, men øger afstanden til forbrugeren. Vi skal derfor sende strømmen igennem nogle "lange ledninger" – dvs. igennem de to modstande  $i$ .

Afbryd ledningerne ved strømforsyningen.

Forbind først pæren til de to modstande og derefter de to modstande til strømforsyningen. (Spændingen skal være præcis som før.)

Observér: Pæren lyser ikke.



Lange ledninger (stor modstand)

### 3) Højspændingsledninger

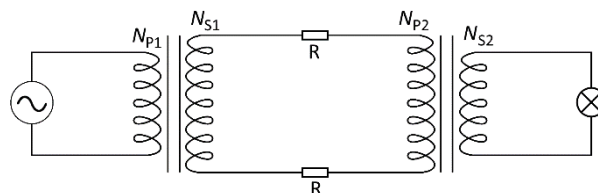
Nu indskydes transformatorer tæt på kraftværket og forbruget. Dermed transporterer de lange ledninger højspænding – men forbrugeren får samme spænding som før.

Afbryd ledningerne ved strømforsyningen.

Start igen ved pæren, og forbind kredsløbet som vist på forsiden – bemærk, at spolerne med 200 vindinger vender mod hhv. strømforsyningen og pæren, mens spolerne med 3200 vindinger vender mod "de lange ledninger" (429250).

Til sidst etableres forbindelsen til strømforsyningen.

Observér: Pæren lyser.



Transformatorer indskudt nær hhv. kraftværk og forbrug

## Diskussion

Gør opmærksom på, at der åbenbart er en form for forbindelse gennem modstandene – ellers ville pæren ikke lyse i opstilling 3 – men at den samme modstand forhindrer pæren i at lyse i opstilling 2.

Yderligere diskussion af observationerne kan ske med udgangspunkt i teoriafsnittet på næste side.

Hvorfor fører man ikke bare højspændingen helt ud til forbrugerne og sparer en transformator?

## Teori

### 1) Ideelle transformatorer, ingen modstand

Antages transformatoren at være ideel, er forholdet mellem primær- og sekundærspændingerne det samme som forholdet mellem vindingstallene:

$$\frac{U_S}{U_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

(I praksis vil en smule af det magnetiske felt fra primærspolen ikke gå gennem sekundærspolen, så sekundærspændingen bliver en smule lavere.)

En ideel transformator vil blot overføre den effekt, som sendes ind i den, til belastningen på udgangen:

$$P_S = P_P$$

Ser vi nu på primær- og sekundærstrømmene, har vi:

$$U_S \cdot I_S = U_P \cdot I_P$$

og dermed, at

$$\frac{I_S}{I_P} = \frac{U_P}{U_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

Kort sagt: Hvis man transformerer spændingen op, så vil strømstyrken gå ned.

Hvis to transformatorer, som er koblet efter hinanden, har reciprokke vindingforhold – dvs. hvis

$$\frac{N_{S1}}{N_{P1}} = \frac{N_{P2}}{N_{S2}}$$

– så vil spændingen ud af den sidste transformator være det samme som spændingen ind i den første:

$$U_{S2} = U_{P1}$$

(Stadig under antagelse af ideelle transformatorer.)

### 2) Modstand i ledningerne

Jævnfør Joules lov vil modstand i ledningerne medføre et effekttab:

$$P_{TAB} = R_L \cdot I^2$$

Bemærk, at tabet er proportionalt med kvadratet på strømstyrken.

Skal en given elektrisk effekt overføres gennem en ledning med en given modstand, vil man alt andet lige opnå et lavere tab ved at transformerer spændingen op. Transformerer spændingen en faktor 16 op, vil strømmen mindskes med en faktor 16 – hvorved effekttabet bliver  $16^2 = 256$  gange mindre.

### 3) Regneeksempel

De transformatorer, som bruges i dette eksperiment, skal let kunne skilles ad og samles, hvilket bidrager til, at de ikke er så effektive som "rigtige" transformatorer, som er lettere at optimere. Vi regner her alligevel, som om de var ideelle – men skal være klar over, at de præcise resultater ikke helt svarer til eksperimentet.

Lad os antage, at belastningen (pæren) trækker en strøm på 50 mA, dvs. at den modtager effekten

$$P = 6 \text{ V} \cdot 0,05 \text{ A} = 0,3 \text{ W}$$

Den samlede modstand i "ledningerne" – dvs. i 429250 – er  $2 \cdot 470 \Omega = 940 \Omega$ .

Hvis der skal gå 50 mA igennem så stor en modstand, bliver tabeffekten

$$P_{TAB} = 940 \Omega \cdot (0,05 \text{ A})^2 = 2,35 \text{ W}$$

– altså mange gange mere, end pæren forbruger.

(Det ville i øvrigt kræve, at spændingen på strømforsyningen blev hævet til mere end 50 V!)

Indskyder vi nu transformatorer i enderne af "de lange ledninger", falder strømmen til  $50 \text{ mA}/16 = 3,125 \text{ mA}$ . Tabeffekten bliver da

$$P_{TAB} = 940 \Omega \cdot (0,003125 \text{ A})^2 = 0,0092 \text{ W}$$

hvilket kun udgør 3 % af den overførte effekt.

## Noter til læreren

### Benyttede begreber

Spænding  
Strøm  
Modstand  
Effekt

### Matematiske forudsætninger

Brøkgregning

### Om apparaturet

Luftbårne højspændingsledninger laves normalt af aluminium, mekanisk forstærket med stål. Typiske spændinger ligger mellem 10 kV og 500 kV.

En mindre højspændingslinje kan have en elektrisk modstand på  $0,4 \Omega/\text{km}$ , men strømmen kan være mange hundrede ampere, så spændingsfaldet pr. kilometer bliver alligevel anseeligt, trods den lave modstand.

Modstandene i 429250 er en del højere end i én kilometer højspændingsledning, men omvendt er strømmen i dette eksperiment mange tusind gange mindre. Til at illustrere forskellen i energitabet ved lave og høje spændinger er modellen derfor glimrende.

(De fleste højspændingslinjer arbejder med vekselstrøm, hvorfor man i praksis også skal tage hensyn til linjens induktans.)

### Kilder

Billedet nederst på forsiden:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2013-08-26\\_11\\_06\\_23\\_High-Voltage\\_power\\_lines\\_in\\_the\\_northwestern\\_portion\\_of\\_Mercer\\_County\\_Park\\_in\\_Lawrence,\\_New\\_Jersey.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2013-08-26_11_06_23_High-Voltage_power_lines_in_the_northwestern_portion_of_Mercer_County_Park_in_Lawrence,_New_Jersey.jpg)

## Detaljeret apparaturliste

### Specifikt for eksperimentet

429250 Modstand 2 x 470 ohm 5W  
429000 Lampefatning E10, 2 bøsninger  
463000 U-I-kerne med skrue til elev spoler (2 stk.)  
462510 Spole, elev 200 vindinger (2 stk.)  
462540 Spole, elev 3200 vindinger (2 stk.)

### Standard laboratorieudstyr

364000 Strømforsyning (eller tilsvarende, som kan give 6 V AC)  
105721 Sikkerhedskabel 50 cm, rød (4 stk.)  
105723 Sikkerhedskabel 50 cm, blå (4 stk.)

### Diverse forbrugsstoffer

425025 Glødepære 6 V 0,05 A  
(10 stykpakke. Der skal bruges én pære.)

## Reklamationsret

*Der er to års reklamationsret, regnet fra fakturadato. Reklamationsretten dækker materiale- og produktionsfejl.*

*Reklamationsretten dækker ikke udstyr, der er blevet mishandlet, dårligt vedligeholdt eller fejlmonteret, ligesom udstyr, der ikke er repareret på vort værksted, ikke dækkes af garantien.*

*Returnering af defekt udstyr som garantireparation sker for kundens regning og risiko og kan kun foretages efter aftale med Frederiksen. Med mindre andet er aftalt med Frederiksen, skal fragtbetøbet forudbetales. Udstyret skal emballeres forsvarligt. Enhver skade på udstyret, der skyldes forsendelsen, dækkes ikke af garantien. Frederiksen betaler for returnering af udstyret efter garantireparationer.*

© Frederiksen Scientific A/S

*Denne brugsvejledning må kopieres til intern brug på den adresse, hvortil det tilhørende apparat er købt. Vejledningen kan også hentes på vores hjemmeside.*