Fysik B/A

Teorihæfte

HVERDAGSFYSIK

En powerbanks levetid

Forfatter: Jens Christian Hansen
Redaktør: Søren Storm
Korrekturlæst og faktatjekket af:
Vibeke Axelsen (Egaa gymnasium)
Kim Vedel Pedersen (Nørre Gymnasium)
Margit From

Støttet af: novo nordisk fonden

Indholdsfortegnelse

Om teorihæftet

Dette teorihæfte omhandler giver en forståelse af kobling af elementer i en powerbank. Mangler du grundlæggende kendskab til el-lære, anbefaler vi at du læser i hæftet her.

Begrebsafklaring

Batteri
Et batteri består af to eller flere elementer koblet sammen.

Element
Et element er en elektrisk komponent, der kun består af to elektroder, en positiv og en negativ, samt af en elektrolyt.

Elektrisk resistans / modstand
Begrebet ’resistans’ bruges specifikt når der er tale om en ’Ohmsk modstand’. Det er altså i de tilfælde hvor der er ligefrem proportionalitet mellem spændingsfaldet over en komponent, og strømmen gennem komponenten. Ellers bruges den generelle betegnelse ’modstand’.

Seriekobling af elementer

n ens elementer kobles i serie. Elementerne har hvilespændingen U_0 og indre modstans R_i.
Den samlede hvilespænding vil så være:

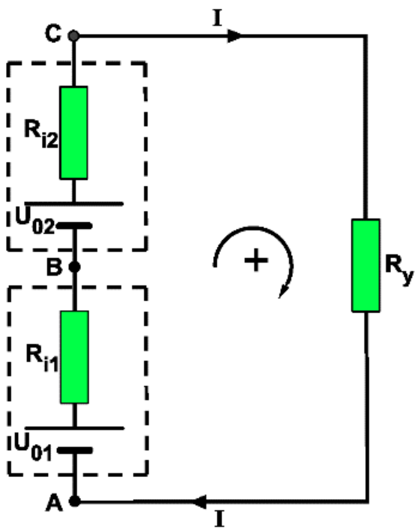
$$U_{0-serie} = n \cdot U_0$$

og den samlede polspænding ved

$$U_{p-serie} = n \cdot (U_0 - R_i \cdot I)$$

Eksempel: To ens elementer i serie

Her ser vi på et eksempel, hvor 2 ens elementer er koblet i serie:



Vi benytter Kirchhoffs 2. lov:

I et lukket kredsløb, er summen af hvilespændingerne regnet med fortegn, lig med summen af spændingsfaldene, regnet med fortegn

$$\Sigma\, U_0 = \Sigma\, R \cdot I$$

Fortegnene for hvilespændingerne og spændingsfaldene, regnes i forhold til en valgt omløbsretning.

For den viste seriekobling, får man, ved at gennemløbe kredsløbet $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$

$$U_{01} + U_{02} = R_{i1} \cdot I + R_{i2} \cdot I + R_y \cdot I \ (1)$$

Hvis elementerne er ens er $U_{01} = U_{02} = U_0$ og $R_{i1} = R_{i2} = R_i$
Dermed vil formel (1) kunne omskrives til:

$$2 \cdot U_0 = (2 \cdot R_i + R_y) \cdot I \Rightarrow I = \frac{2 \cdot U_0}{2 \cdot R_i + R_y}$$

og dermed

$$2 \cdot U_0 = 2 \cdot R_i \cdot I + R_y \cdot I \Rightarrow R_y \cdot I = 2 \cdot (U_0 - R_i \cdot I)$$

Og da polspændingen U_p er givet ved $R_y \cdot I$, får vi:

$$U_p = 2 \cdot (U_0 - R_i \cdot I)$$

Er elementerne ubelastede er $I = 0$ og $U_p = U_0$, så $U_{0-serie} = 2 \cdot U_0$

Nyttevirkning for to seriekoblede elementer

Nyttevirkning er defineret som den effekt der afsættes i det ydre kredsløb P_y i forhold til den totale afsatte effekt $P_y + P_i$. Da $P = R \cdot I^2$ fås:

$$\eta = \frac{P_y}{P_i + P_y} = \frac{R_y \cdot I^2}{R_i \cdot I^2 + R_y \cdot I^2} = \frac{R_y}{R_i + R_y}$$

Og dermed er η for seriekoblingen af to elementer

$$\eta = \frac{R_y}{2R_i + R_y}$$

Det ses, at nyttevirkningen for to serieforbundne elementer bliver mindre end for hvert enkelt element $\eta = \frac{R_y}{R_i + R_y}$ (R_y antages konstant)

Ikke overraskende vil der for n ens serieforbundne elementer gælde:

$$\eta = \frac{R_y}{n \cdot R_i + R_y}$$

Ved et meget stort antal serieforbundne elementer (n meget stor) og en konstant ydre modstand vil nyttevirkningen nærme sig 0 (0%).

$$n\ stor: \eta \approx \frac{R_y}{\infty + R_y} \approx 0$$

Eksempel: To forskellige elementer i serie

Vi ser nu på tilfældet hvor 2 forskellige elementer er koblet i serie:

$$I = \frac{U_{01} + U_{02}}{R_{i1} + R_{i2} + R_y}$$

Vi benytter Kirchhoffs 2. lov:

$$U_{01} + U_{02} = I \cdot R_y + I \cdot (R_{i1} + R_{i2})$$

Polspændingen $U_p = R_y \cdot I$ bliver så:

$$U_p = \mathrm{U}_{01} + \mathrm{U}_{02} - I \cdot (R_{i1} + R_{i2})$$

Nyttevirkningen bliver i dette tilfælde:

$$\eta = \frac{R_y}{R_y + R_{i1} + R_{i2}}$$

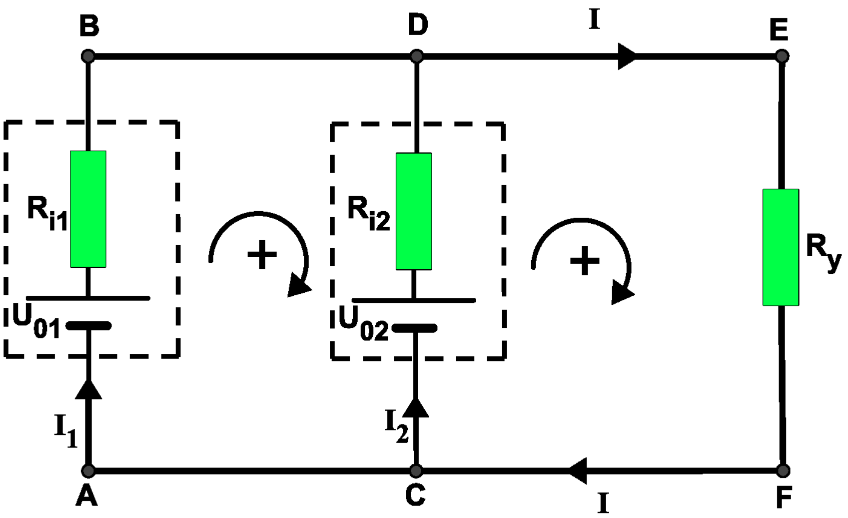
Parallelkobling af elementer

n ens elementer kobles parallelt. Elementerne har hvilespændingen U_0 og indre modstand R_i. Den samlede hvilespænding vil da være:

$$U_{0-parallel} = U_0$$

og den samlede polspænding:

$$U_{pol-parallel} = U_0 - \frac{R_i}{n} \cdot I$$



Vi bruger Kirchhoffs 2. lov på de to viste masker $ABDCA$ hhv. $CDEFC$.

$$U_{01} - U_{02} = R_{i1} \cdot I_1 - R_{i2} \cdot I_2$$

$$U_{02} = R_{i2} \cdot I_2 + R_y \cdot I$$

og Kirchhoffs 1. lov på forgreningspunktet D

$$0 = I_1 + I_2 - I$$

Hvis elementerne er ens ($U_{01} = U_{02} = U_0$ og $R_{i1} = R_{i2} = R_i$) fås:

$$0 = R_i \cdot (I_1 - I_2)$$

og dermed

$$I_1 = I_2$$

og fra sidste ligning

$$I = 2 \cdot I_1 = 2 \cdot I_2$$

Dermed fås fra
$U_0 = R_i \cdot I_2 + R_y \cdot I$ og $I = 2 \cdot I_2$ samt $I_1 = I_2$

$$U_0 = R_i \cdot I_2 + R_y \cdot 2 \cdot I_2 \Rightarrow I_2 = I_1 = \frac{U_0}{R_i + 2 \cdot Ry}$$

og da

$$I = 2 \cdot I_1 = 2 \cdot I_2$$

$$I = \frac{2 \cdot U_0}{R_i + 2 \cdot R_y} = \frac{U_0}{\frac{1}{2} \cdot R_i + R_y} \Rightarrow R_y \cdot I = -\frac{1}{2} \cdot R_i \cdot I + U_0$$

I er den strøm der går gennem den ydre modstand R_y, så $U_{pol} = R_y \cdot I$ og dermed:

$$U_{pol} = U_0 - \frac{1}{2} \cdot R_i \cdot I$$

Nyttevirkningen bliver så for parallelkoblede ens elementer

$$\eta = \frac{R_y}{\frac{1}{2} \cdot R_i + R_y}$$

Det ses, at nyttevirkningen for to parallelforbundne elementer bliver højere end for hvert enkelt element (R_y antages konstant)

Ikke overraskende vil der for n ens parallelforbundne

$$\eta = \frac{R_y}{\frac{1}{n} \cdot R_i + R_y}$$

Ved et meget stort antal parallelforbundne elementer (n meget stor) og en konstant ydre modstand vil nyttevirkningen nærme sig 1 (100%).

$$n\ stor\!: \ \eta \approx \frac{R_y}{0 + R_y} = 1$$

Hvis elementerne ikke er ens ($U_{01} \neq U_{02}$ og $R_{i1} \neq R_{i2}$) fås:

Vi bruger Kirchhoffs 2. lov:

$$U_{01} - U_{02} = R_{i1} \cdot I_1 - R_{i2} \cdot I_2$$

$$U_{02} = R_{i2} \cdot I_2 + R_y \cdot I$$

Og fra Kirchhoffs 1. lov

$$0 = I_1 + I_2 - I$$

$$U_{01} - R_y \cdot I = R_{i1} \cdot I_1 \Rightarrow$$

$$U_p = U_{01} - R_{i1} \cdot I_1$$

eller

$$U_p = U_{02} - R_{i2} \cdot I_2$$

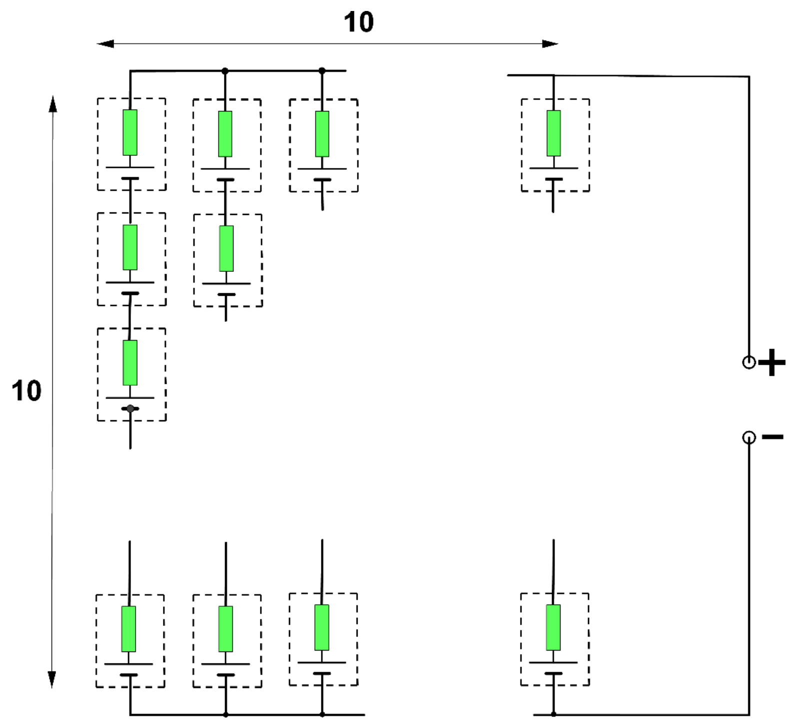
Nyttevirkningen bliver i dette tilfælde:

$$\eta = \frac{R_y}{R_y + \left(\frac{1}{R_{i1}} + \frac{1}{R_{i2}}\right)^{-1}}$$

Powerbanken fra videoen

Advarsel: Vores powerbank blev bygget af professionelle.
Ved projekter af denne størrelse, er der stor risiko for personskade.
Lad være med at gøre det derhjemme.

Vores powerbank består af 10 gange 10 serieforbundne elementer, der er forbundet parallelt. Se figuren nedenfor. Alle elementerne er ens, med hvilespænding U_0 og indre modstand R_i. Powerbanken er koblet til en ydre modstand R_y (inverteren).



For hver af de 10 serieforbundne elementer, gælder at den samlede polspænding er

$$U_p = 10 \cdot U_0 - 10 \cdot R_i \cdot I = U_{0-serie} - R_{i-serie} \cdot I \text{ (1)}$$

Og at

$$R_{i-serie} = 10 \cdot R_i \text{ og } U_{0-serie} = 10 \cdot U_0.$$

Du kan se hvordan vi er kommet frem til formel (1), ved at læse afsnittet om seriekobling af elementer, på side 2. Når disse 10 serieforbundne batterier kobles parallelt, får vi

$$U_p = -\frac{1}{10} \cdot R_{i-serie} \cdot I + U_{0-serie} = -\frac{1}{10} \cdot 10 \cdot R_i \cdot I + 10 \cdot U_0 = 10 \cdot U_0 - R_i \cdot I$$

Ved denne parallelkobling, opnår man at den samlede indre modstand, og dermed tabet af energi, bliver mindre.

Nyttevirkningen for 10 serieforbundne elementer

Vi ser på 10 serieforbundne elementer, hver med hvilespændingen $1{,}5\ V$ og en indre modstand på $0{,}25\ \Omega$

$$U_p = -2{,}5\Omega \cdot I + 10 \cdot 1{,}5\ V = -2{,}5\ \Omega \cdot I + 15\ V$$

De 10 serieforbundne elementer indsættes i et kredsløb, hvor den samlede ydre modstand er $5{,}0\ \Omega$. Nyttevirkningen er derfor:

$$\eta = \frac{5{,}0\ \Omega}{2{,}5\ \Omega + 5{,}0\ \Omega} \cong 0{,}67$$

Nu ses på tilfældet hvor powerbanken benyttes:

$$U_p = -0{,}25\Omega \cdot I + 15\ V$$

Den samlede nyttevirkning for 10 parallelle moduler, af hver 10 serieforbundne elementer er dermed

$$\eta = \frac{5{,}0\ \Omega}{0{,}25\ \Omega + 5{,}0\ \Omega} \cong 0{,}91$$