

FYS2150: Rapport 3

Solcellen

Aleksander Hansen

May 12, 2013

Abstract

Denne rapporten omhandler

1 Introduksjon

Solceller er unike på den måte at de kan konvertere lys direkte til elektrisk strøm uten at man trenger store turbiner og dynamoer som brukes i annen kraftproduksjon. De er kanskje ikke det mest kosteffektive energikildene foreløpig, men de gjør opp for det med sin skalerbarhet. Solceller finnes i størrelser på noen få kvadratcentimeter, brukt i f.eks. lommeregner, til kvadratmeter store arrayer på hustak eller romstasjoner ol.

2 Teori

I en halvlederen som er p- og n-dopet på hver sin side vil elektroner fra n-området rekombinere seg med hull fra p-siden ved diffusjon, og visa versa. Pga. ionene som blir igjen vil det i overgangssonen mellom p- og n-siden bli satt opp et elektrisk felt rettet fra n- til p-siden. Dette gjør at det tilslutt blir en likevekt mellom diffusjonen og kraften fra E-feltet på ladningsbærerene, slik at ingen netto ladning beveger seg fra p- til n-området. Vi har nå en halvlederdiode

Et foton med tilstrekkelig energi kan absorberes i en halvleder og danne et elektron-hull par. Denne minimums energien for krystalinsk silisium er $E_g = 1.12\text{eV}$. Hvis fotoner blir absorbert i overgangssonen beskrevet over, vil E-feltet gjøre at elektron-hull parene blir separert slik at elektronene beveger

seg mot n-området, og hullene mot p-området. Dette skjer helt til E-feltet er null. Kobler vi nå n- og p-siden sammen med en leder vil vi få en strøm fra p- til n-siden gjennom lederen. Hvis vi utformer dioden slik at den fanger opp mest mulig lys så har vi nå en solcelle.

Effekten som faller inn på solcellen er gitt ved

$$P_{inn} = \frac{V_S \cdot A}{A} \quad (1)$$

Ved å måle spenning og lastmotstand kan vi bruke det som et amperemeter vha. Ohms lov:

$$V = R \cdot I \quad (2)$$

Hvor V er spenning i Volt, R er motstand i Ohm, og I er spenning i Ampere. Også hvis vi vet spenningen og strømmen kan vi finne effekten (P) fra likningen:

$$P = I \cdot V \quad (3)$$

3 Eksperimentelt

Øvelsen består av 4 deler. Først finner vi strøm-spennings karakterestikken for en belyst solcelle. Deretter finner vi solcellens optimale belastning. Så undersøker vi oppførselen til to serie- og parallellkoblede solceller. Til slutt finner vi solcellens effektivitet. En variabel motstand med en usikkerhet på $\pm(0.1\% + 5)m\Omega$ og to Fluke 45 multimeter (rate: S) med oppgitt usikkerhet i måleområdet på $\pm(0.025\% + 6)V$, ble brukt til å måle/varierte strømmen og spenningen under øvelsen.

A Solcellen som halvlederdiode

Solcellen ble plassert i en avstand fra en prosjektor som ble brukt som lyskilde slik at hele cellen kunne bli belyst. Denne avstanden ble holdt konstant gjennom hele øvelsen. Solcellen ble stilt inn slik at lyset fra projektoren kom vinkelrett inn mot solcelleplanet. Solcellen, motstanden (R_L), voltmeterene (V_L og V) og en konstant spenningskilde (ε) på $5V$ ble koblet sammen som illustrert i figur 1.

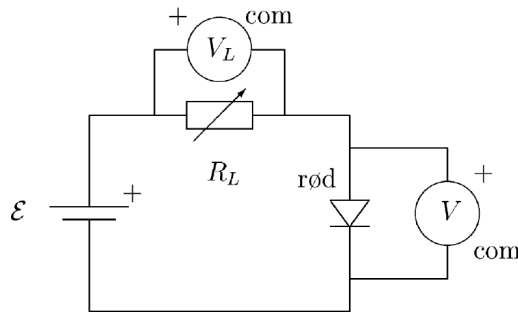


Figure 1: Kablingsskjema for måling av strøm-spennings karakteristikk i lederetningen

Ved å variere motstanden tok vi opp strøm-spennings karakteristikken i lederetningen. Deretter snudde vi polariteten på spenningskilden, med alt annet holdt konstant, for å finne karakteristikken i sperreretningen.

Vi koblet ut spenningskilden og sluttet kretsen med ledningene fra spenningskilden for å ta opp strøm-spennings karakteristikken når solcellen fikk jobbe på egen hånd. Ellers var oppsettet likt som over.

B Solcellens optimale belastning

Vi gjorde en ny måleserie med redusert belysning. Solcellen ble stilt i en vinkel på ca. 60° for å redusere belysningen til ca. halvparten. Ellers var oppsettet identisk med oppsettet i siste del av forrige avsnitt.

C Kombinasjon av enkeltsolceller til et solcellepanel

To (antatt identiske) solceller koblet vi i parallell og serie, figur 2 og figur 3, og satte de i samme avstand fra lyskilden som tidligere, vinkelrett på innkommende stråling. Vi målte V_{OC} for åpen krets ($R_L = \infty$) og så for “kortsluttet” krets ($R_L = 0.5$) for å finne I_{SC} , med henholdsvis en og ingen av solcellene tildekket med en bok.

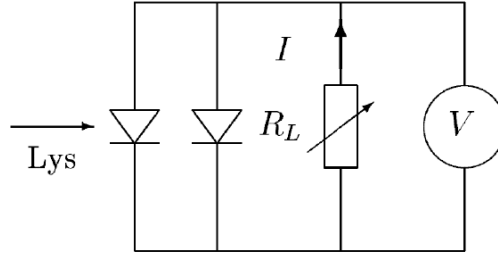


Figure 2: Koblingsskjema for parallellkoblede solceller

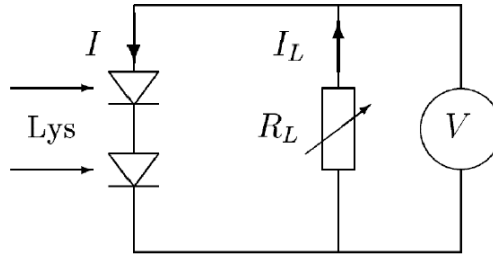


Figure 3: Koblingsskjema for seriekoblede solceller

D Solcellens effektivitet

Vi stilte solarimeteret mot lyset og ventet ca. 20 sek. for å la det stabilisere seg, deretter målte vi spenningen V_S fra solarimeteret. Vi gjentok målingene med et rødt filter plassert foran lyset fra projektoren. Deretter tok vi noen målinger av spenningen til solcellen under rød belysning mens vi varierte motstanden fortløpende for å finne maksimal effekt (P_{ut}). Pga. knapp tid byttet vi våre resultater for blått lys med den andre gruppens resultater for rødt lys. Kalibreringskonstantene til solarimeterene var $a_1 = 4.84 \cdot 10^{-6} V/Wm^{-2}$ for vårt oppsett (uten filter og blått filter), og $a_2 = 4.59 \cdot 10^{-6} V/Wm^{-2}$ for den andre gruppen (rødt filter). Solcellens areal er gitt ved

$$A = a^2 - \frac{1}{2}(a - b)^2 \quad (4)$$

Se figur 4. Usikkerheten er da gitt ved

$$\Delta A = \sqrt{\left(2\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta c}{c}\right)^2} \quad (5)$$

hvor $c = a - b$, og

$$\Delta c = \sqrt{(\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Vi målte sidene a og b med en linjal og antok en usikkerhet på $\pm 1\text{mm}$.

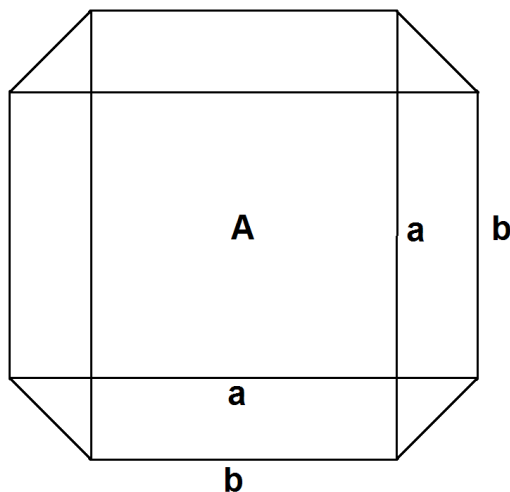


Figure 4: Skisse av solcellen.

4 Resultater

A Solcellen som halvlederdiode

Målingene av V , V_L for valgt R_L , samt I utledet fra likning 2 er presentert i tabell 1 og 2, for henholdsvis med og uten spenningskilde.

Table 1: Belyst solcelle med ytre spenningskilde.

| $V(V)$ | $V_L(V)$ | $R_L(\Omega)$ | $I(mA)$ |
|--------|----------|---------------|---------|
| 0.587 | 4.422 | 33.3 | 132.8 |
| 0.541 | 4.485 | 100 | 44.85 |
| 0.531 | 4.497 | 250 | 17.99 |
| 0.530 | 4.499 | 400 | 11.25 |
| 0.524 | 4.506 | 550 | 8.192 |
| 0.520 | 4.511 | 700 | 6.444 |
| 0.519 | 4.512 | 850 | 5.308 |
| 0.518 | 4.513 | 1000 | 4.513 |
| -4.115 | -0.909 | 4 | -227.3 |
| -2.831 | -2.195 | 10 | -219.5 |
| -0.688 | -4.334 | 20 | -216.7 |
| -0.123 | -4.900 | 23 | -213.0 |
| 0.203 | -5.228 | 25 | -209.1 |
| 0.356 | -5.382 | 30 | -179.4 |
| 0.415 | -5.443 | 40 | -136.1 |
| 0.454 | -5.485 | 60 | -91.42 |
| 0.471 | -5.503 | 80 | -68.79 |
| 0.499 | -5.533 | 200 | -27.66 |
| 0.509 | -5.545 | 500 | -11.10 |
| 0.512 | -5.548 | 1000 | -5.548 |

Table 2: Belyst solcelle som virker alene.

| $V(V)$ | $V_L(V)$ | $R_L(\Omega)$ | $I(mA)$ |
|--------|----------|---------------|---------|
| 0.1160 | -0.1057 | 0.5 | -211.4 |
| 0.2338 | -0.2238 | 1.1 | -203.5 |
| 0.4855 | -0.4832 | 10 | -48.32 |
| 0.5135 | -0.5133 | 100 | -5.133 |
| 0.5162 | -0.5163 | 1000 | -0.516 |
| 0.5168 | -0.5169 | 10000 | -0.052 |

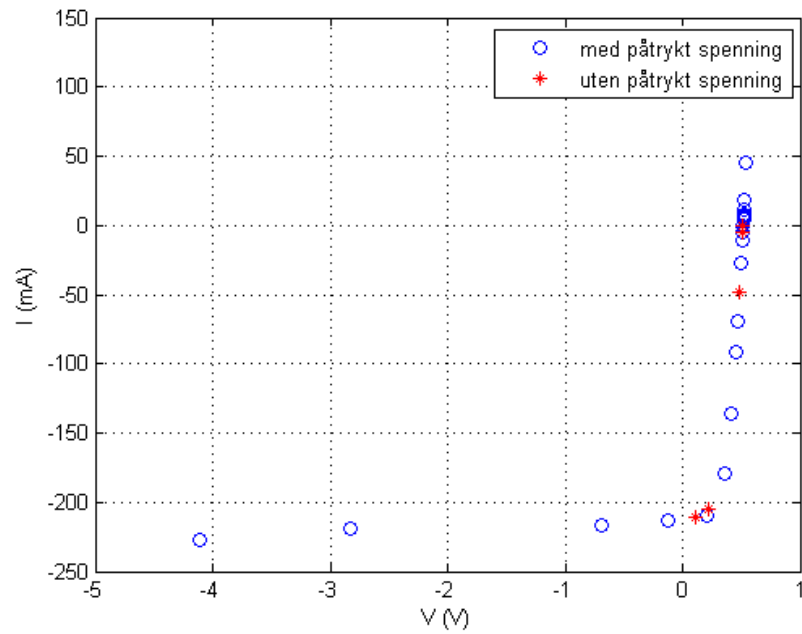


Figure 5: Strøm-spenningskarakterestikk for belyst solcelle med og uten påtrykt spenning.

B Solcellens optimale belastning

Strøm-spennings karakterestikken fra solcellen som jobbet alene med full belysning fra forige oppgave, plottet sammen med karakterestikken fra oppsettet med redusert belysning er presentert i figur 6.

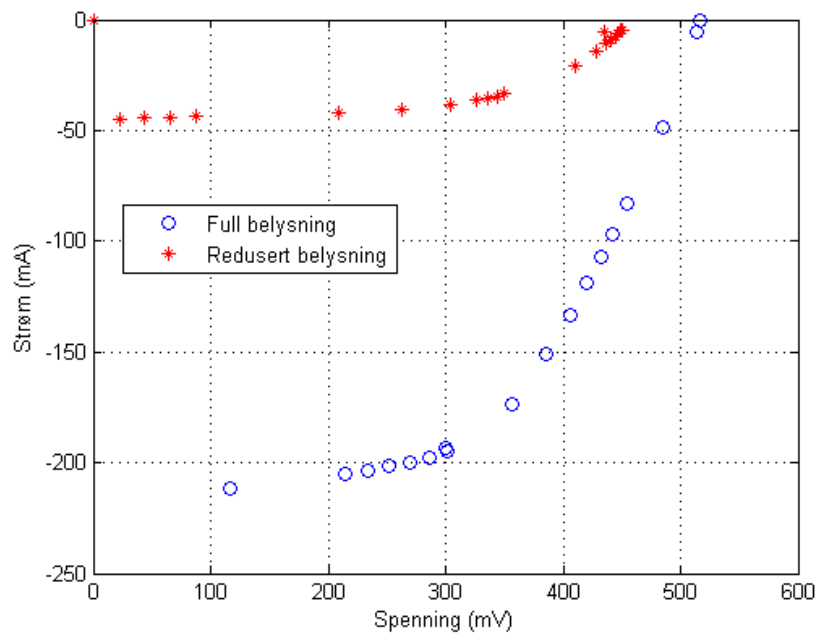


Figure 6: Strøm-spenningskarakterestikk for full og redusert belysning.

C Kombinasjon av enkeltsolceller til et solcellepanel

Målt spenning V for motstand R_L som svarer til V_{OC} og I_{SC} , samt utledet I og P med beregnet usikkerhet, for parallell- og seriekoblingen, med en og ingen av solcellene tildekket er presentert i tabell 2 og 3.

Table 3: Parallell

| | $R_L(\Omega)$ | $V(mV)$ | $I(mA)$ | $P(mW)$ |
|-------------|-----------------|---------|---------|----------|
| ikke dekket | 0.5 ± 0.005 | 204.8 | 102.4 | 20971.52 |
| | " ∞ " | 512.1 | | |
| til-dekket | 0.5 | 100.5 | | |
| | " ∞ " | | | |

Table 4: Serie

| | $R_L(\Omega)$ | $V(mV)$ | $I(mA)$ | $P(mW)$ |
|----------------|---------------------------------|----------------|---------|----------|
| ikke dekket | 0.5 ± 0.001 “ ∞ ” | 204.8 512.1 | 102.4 | 20971.52 |
| til- dekket | 0.5 “ ∞ ” | 100.5 | | |

D Solcellens effektivitet

Solarimeterets spenning for blått og rødt filter ble målt til å være, $V_S^B = 0.015mV$ og $V_S^R = 0.043mV$. Sidene til solcellen ble målt til å være $a = 10.0cm$ og $b = 7.6cm$. Arealet er da (fra likning 4)

$$A = 0.0097m^2$$

Fra likning 1 får vi at

Table 5: Serie

| Farge | V_S | a | P_{inn} |
|-------|-------|---|-----------|
|-------|-------|---|-----------|

Table 6: Blått lys

| $R_L(\Omega)$ | $V(mV)$ | $I(mA)$ | $P(\mu W)$ |
|---------------|---------|---------|------------|
| 0.5 | 4.63 | 9.3 | 43 |
| 1.0 | 8.98 | 9.0 | 81 |
| 10.0 | 85.8 | 8.58 | 736 |
| 20.0 | 162.8 | 8.14 | 1330 |
| 30.0 | 222.7 | 7.42 | 1650 |
| 40.0 | 261.2 | 6.53 | 1710 |
| 50.0 | 285.9 | 5.72 | 1630 |
| 45.0 | 274.5 | 6.10 | 1670 |
| 35.0 | 243.0 | 6.94 | 1690 |
| 60.0 | 302.5 | 5.04 | 1530 |
| 38.0 | 253.2 | 6.66 | 1690 |
| 42.0 | 265.0 | 6.31 | 1670 |

Table 7: Rødt lys

| $R_L(\Omega)$ | $V(mV)$ | $I(mA)$ | $P(\mu W)$ |
|---------------|---------|---------|------------|
| 6.0 | 166.7 | 28 | 4631.5 |
| 7.0 | 192.3 | 27 | 5282.8 |
| 7.5 | 205.0 | 27 | 5603.3 |
| 6.5 | 179.2 | 28 | 4940.4 |
| 8.0 | 216.5 | 27 | 5859 |
| 8.5 | 228.7 | 27 | 6153.4 |
| 9.0 | 240.4 | 27 | 6421.4 |
| 9.5 | 251.1 | 26.432 | 6637 |
| 10.0 | 261.8 | 26.18 | 6853.9 |
| 10.5 | 270.7 | 25.781 | 6978.9 |
| 15.0 | 340.8 | 22.72 | 7743 |
| 20.0 | 377.6 | 18.88 | 7129.1 |
| 30.0 | 406.9 | 13.563 | 5518.9 |
| 13.0 | 316.2 | 24.323 | 7691 |
| 12.0 | 301.3 | 25.108 | 7565.1 |
| 14.0 | 311.2 | 22.229 | 6917.5 |

5 Diskusjon

A Solcellen som halvlederdiode

B Solcellens optimale belastning

Vi ser at

C Kombinasjon av enkeltsolceller til et solcellepanel

D Solcellens effektivitet

6 Konklusjon