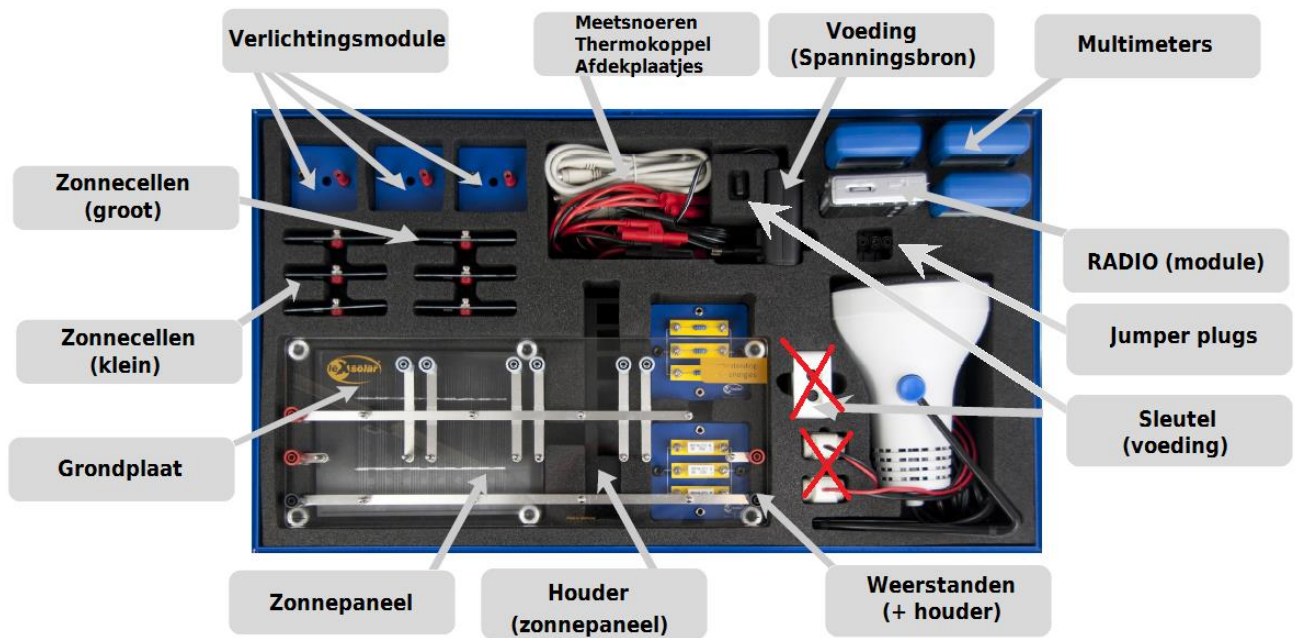
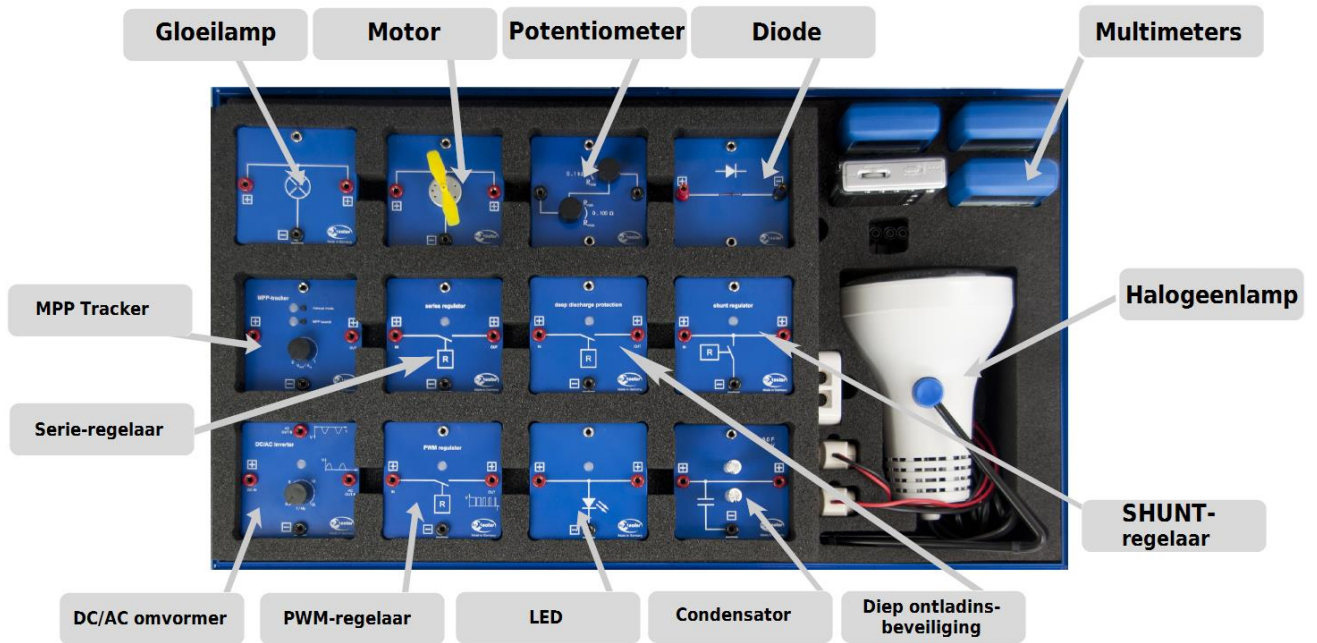


Koffer .....

OK/NOK	Aantal	Omschrijving
		Meetsnoeren
	2	Rood / lang
	2	Rood / kort
	2	Zwart / lang
	2	Zwart / kort
	1	<a href="#">Voedingskabel radiomodule</a>
	4	Afdekplaatjes (zwart / kunststof)
	1	<a href="#">Schroevendraaier – sleutel</a>
	1	Thermokoppel (temperatuurmeting)
	1	Radio (module)
	3	Jumper plugs (zwart)
	1	<a href="#">Voeding</a>
	3	Multimeters PeakTech 107 DMM
	1	<a href="#">Grondplaat</a>
	1	<a href="#">Halogeenlamp</a>
	3	Verlichtingsmodule
	1	<a href="#">Houder zonnepaneel</a>
	1	<a href="#">Zonnepaneel</a>
	3	<a href="#">Zonnecel – groot</a>
	3	<a href="#">Zonnecel – klein</a>
		Weerstanden
	2	<a href="#">Houder (module)</a>
	3	100 $\Omega$
	2	10 $\Omega$
	1	33 $\Omega$
	3	Verlichtingsmodule
		Modules
		<a href="#">Gloeilamp</a>
		<a href="#">Motor</a>
		<a href="#">Potentiometer</a>
		<a href="#">Diode</a>
		<a href="#">MPP tracker</a>
		<a href="#">Serieregelaar (serie regulator)</a>
		<a href="#">Diepe ontladingsbeveiliging (deep discharge protection)</a>
		<a href="#">Shunt-regelaar (shunt regulator)</a>
		<a href="#">DC/AC omvormer (DC/AC inverter)</a>
		<a href="#">PWM regelaar (PWM regulator)</a>
		<a href="#">LED</a>
		<a href="#">Condensator</a>

**Algemene informatie**

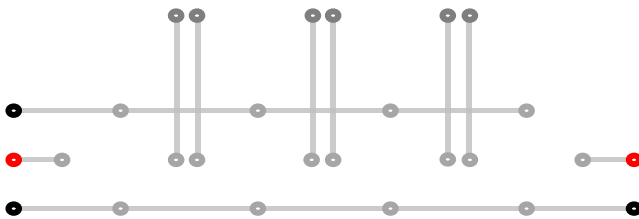
**Koffer - Indeling**



Onderdelen

In deze bundel krijg je informatie over de verschillende onderdelen van de koffer. Je krijgt per component een foto en het pictogram dat in de schematische proefopstelling gebruikt wordt. Tevens vind je hier informatie over de eigenschappen van het onderdeel.

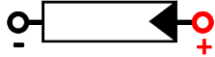
**Grondplaat**



**Voeding**

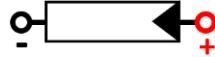


**Kleine zonnecel**



$U = 0,5 \text{ V}$   
 $I = 420 \text{ mA}$

**Grote zonnecel**

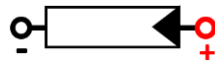


$U = 0,5 \text{ V}$   
 $I = 840 \text{ mA}$

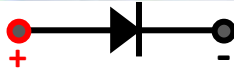
**Zonnepaneel**



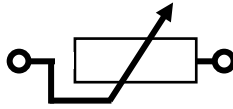
$U = 5 \text{ V}$   
 $I = 420 \text{ mA}$



### Diode



### Potentiometer



### Radio

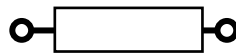


### Weerstandsmodule



De volgende weerstanden zijn beschikbaar:

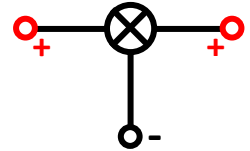
- $2 \times R = 10 \Omega$
- $1 \times R = 33 \Omega$
- $3 \times R = 100 \Omega$



### Gloeilamp



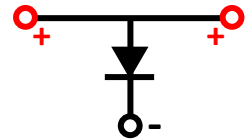
Het lampje licht op bij een spanning van ongeveer 0,5 V. Let wel op. Het lampje geeft geen fel. Voor een optimale zichtbaarheid van de gloeilamp kan je dit lampje best afschermen van andere lichtbronnen.



### LED



De LED komt overeen met een LED-lamp in een reëel off-grid PV-installatie. Vanwege de efficiëntie worden in off-grid (autonome) PV-installaties uitsluitend LED-lampen gebruikt.



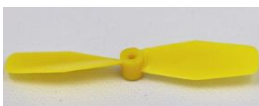
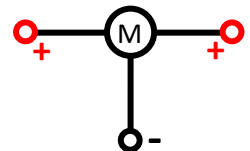
### Motor



Start stroom:  $I = 20 \text{ mA}$

Start spanning:  $U = 0,4 \text{ V}$

Werkspanning:  $U = 0,4 \text{ V} \dots 12 \text{ V}$



### Condensator



$U = 5,4 \text{ V}$

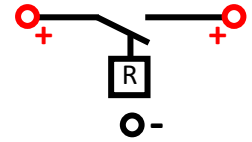
$C = 5,0 \text{ F}$

### Diep-ontladingsbeveiliging



- een accu behouden voor te diepe ontleding.
- verhoogt de levensduur van de batterij.

Loskoppelen verbruiker van accu: < 2,8V  
 Inschakelen verbruiker: >3,15V



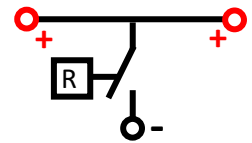
### Shuntregelaar



- voorkomt dat accu overladen wordt.
- sluit de ingangsspanning kort bij eindspanning

Bovenste schakelpunt: 4,2 V  
 Onderste schakelpunt: 3,6 V.

Voor een goede werking moet je er voor zorgen dat je voor het experiment de condensator minimum een spanning heeft van 2 V



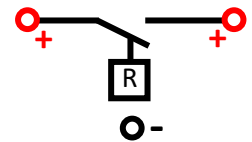
### PWM regelaar



PWM = Pulse Width Modulation  
 = pulsbreedte modulatie

- Voeding wordt constant in- en uitgeschakeld.
- $arbeidsduur = \frac{pulsduur}{pulsperiode}$
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Pulsbreedtemodulatie>
- voorkomt dat accu overladen wordt.

leXsolar: Pulsatie start pas vanaf 3,7 V

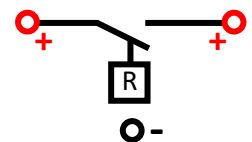


### Serieregelaar



- voorkomt dat accu overladen wordt.
- ontkoppelt accu bij eindspanning

Ontkoppelen: 4,1 V  
 Terug inschakelen: <3,5 V

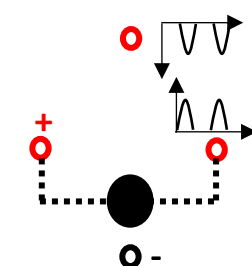


### DC/AC omvormer



- zet gelijkspanning om in wisselspanning
- amplitude spanning: 2,5 V
- frequentie: 0,5 → 2,5 V

De uitgangsspanning is daarom slecht bij benadering sinusoidaal.



## MPP Tracker



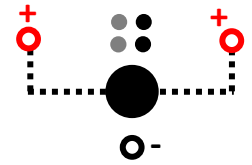
(Maximum Power Point Tracker)

→ DC/DC omvormer (inverter)

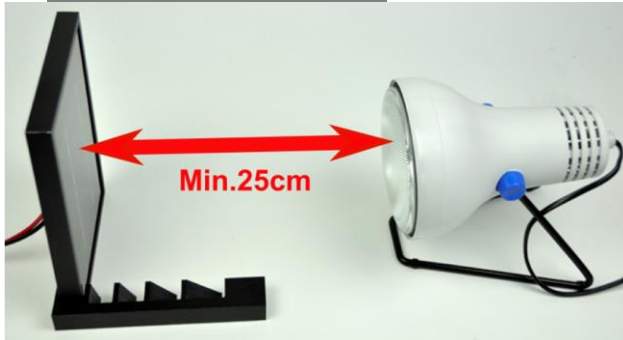
→ Automatic mode → zoekt zelf MPP

→ Manual mode → verhouding

ingangs/uitgangsspanning kan handmatig ingesteld worden.



## Veiligheid en gebruik



Het zonnepaneel wordt opgesteld tegenover de lamp met de aanpasbare voet. De minimumafstand tussen lamp en paneel moet 25 cm bedragen



De invalshoek kan aangepast worden door het zonnepaneel in een andere uitsparen te steken. De volgende invalshoeken kunnen bekomen worden: 0°, 15°, 30°, 45° en 55°. Deze hoeken staan ook gedrukt op de voet.

De kortsluitstroom van het zonnepaneel kan aangepast worden door de invalshoek of door de afstand tussen lamp en paneel te wijzigen.



De lamp kan tijdens het gebruik zeer warm worden!

Na gebruik moet je dan ook de lamp volledig laten afkoelen voordat je deze terug in de koffer mag plaatsen.

## Gebruikte symbolen

$MPP$	Maximum Power Point → punt van maximaal vermogen. Dit punt ligt op de stroom-spanning curve daar waar een zonnecel zijn maximale vermogen opbrengt. Door MPP tracking kan dit punt in iedere situatie worden opgespoord en vastgehouden.
$FF$	De vulfactor het rendement aan dat een zonnecel haalt in vergelijking met het vermogen dat een zonnecel in theorie maximaal zou kunnen leveren ( $= U_{oc} \cdot I_{sc}$ ).
$I_{sc}$	Kortsluitstroom: Stroom gemeten wanneer de twee polen van een zonnepaneel/zonnecel zonder een verbruiker met elkaar verbonden. (De plus- en min-pool mag wel verbonden worden met een ampèremeter)
$I_{laad}$	Laadstroom van de condensator
$I_{belast}$	Verbruikstroom (stroom door de verbruiker)
$U_{oc}$	Open klemspanning: (Nullastspanning, inwendige spanning) Spanning gemeten aan de polen wanneer het zonnepaneel geen stroom levert (kring is open, weerstand van de kring is oneindig).
$U_{TERM}$	Klemspanning: Spanning gemeten aan de polen van het zonnepaneel/de zonnecel wanneer deze stroom levert.
$U_{MPP}$	Spanning van het MPP
$P$	Vermogen
$P_{MPP}$	Vermogen geleverd op het MPP
$\alpha$	Invalshoek van het licht: Hoek gevormd door de lichtstraal en de lijn loodrecht op het oppervlak van de zonnecel (de normaal)
$E$	Verlichtingssterkte Het vermogen van het invallend licht per oppervlakte-eenheid
$R$	Weerstand
$R_i$	Inwendige weerstand
$\vartheta$	Temperatuur gemeten in °C



## 1. Schakelen van zonnecellen

### Informatie

Fotovoltaïsche zonne-energie is de directe omzetting van zonlicht (zonne-energie) in een elektrische stroom (elektrische energie). Deze omzetting kan plaatsvinden met behulp van zonnecellen. Het licht dat de zonnecel bereikt wordt omgezet in elektrische energie. Hoe meer licht de zonnecel bereikt, hoe meer energie kan worden omgezet. Daarom is de hoeveelheid geproduceerde energie afhankelijk van de invallende licht. Aangezien het invallende licht verschilt afhankelijk van de tijd van het jaar en dag als het weer, varieert de energieopwekking eveneens.

De term "fotovoltaïsch" komt van een Grieks woord ( $\phi\omega\varsigma$ ) voor licht (in Latijns schrift: fos), en de naam van de Italiaanse natuurkundige Volta, naar wie de eenheid Volt is genoemd. Het betekent letterlijk van licht en elektriciteit.

### Opdracht

Er zijn verschillende belangrijke voordelen van zonnecellen boven andere werkwijzen voor het produceren van elektriciteit (bijvoorbeeld kolen centrale).

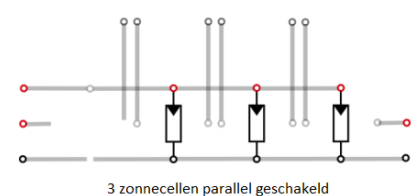
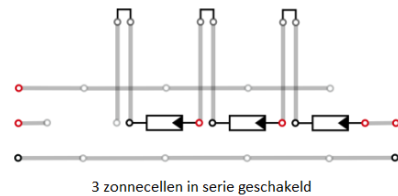
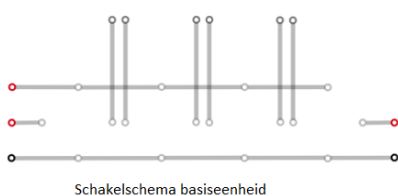
#### Welke voordelen kunt u noemen?

Je weet zeker enkele toepassingen van fotovoltaïsche systemen uit het dagelijks leven.

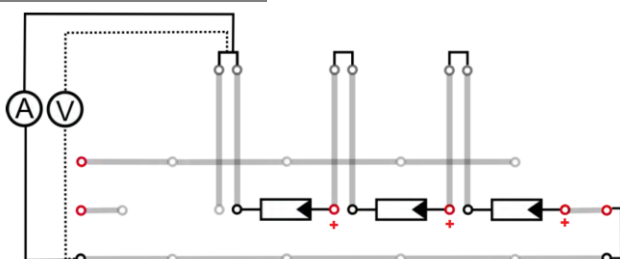
#### Noem een aantal voorbeelden

### Opstellingen

Op de zonnecellen vindt u aan de ene kant een "min", aan de andere kant een "plus". Deze symbolen geven de polen. Zoals batterijen, is het belangrijk om de zonnecellen op de juiste manier te verbinden.



### Benodigdheden



### Benodigdheden

- Grondplaat
- 3 grote zonnecellen
- 3 lichtmodules
- 1 kleine zonnecel
- 1 multimeter
- 1 voeding



---

## Werkwijze

1. Enkelvoudige zonnecellen
  - a. Maak de proefopstelling
  - b. Meet de kortsluitstroom en de open klemspanning van
    - i. één kleine zonnecel
    - ii. een grote zonnecel
  - c. Noteer je waarnemingen in een tabel.
2. Serieschakeling van zonnecellen
  - a. Maak de proefstelling.
  - b. Meet de kortsluitstroom en open klemspanning van
    - i. een serieschakeling van twee en drie grote zonnecellen
    - ii. een serieschakeling van twee grote en één kleine zonnecel.
  - c. Noteer je waarnemingen
3. Parallelschakeling van zonnecellen
  - a. Maak de proefstelling.
  - b. Meet de kortsluitstroom en open klemspanning van
    - i. een parallelschakeling van twee en drie grote zonnecellen
    - ii. een parallelschakeling van twee grote en één kleine zonnecel.
  - c. Noteer je waarnemingen

### Opmerking:

In dit experiment wordt alleen de kortsluitstroom ( $I_{sc}$ ) en open klemspanning ( $U_{oc}$ ) gemeten. Beide grootheden kunnen niet gelijktijdig worden gemeten. Voor de open klemspanning te meten moet de kring onderbroken worden (open kring). Deze condities kunnen bekomen worden door je multimeter om te schakelen van ampèremeter naar voltmeter.

---

## Besluit/Vragen

1. Omschrijf het principe van de totale stroom en de totale spanning bij serie en parallel aansluiting van zonnecellen.
2. Hoe moeten bij fabricage de zonnecellen geschakeld worden om een bruikbare spanning te garanderen?
3. Wat gebeurt bij aansluiting zonnecellen met verschillende afmetingen, vooral bij het aansluiten hen serie?



### 2. Factoren onderzoeken die invloed hebben op het vermogen van de zonnecellen

#### *Inleiding*

In deze experimentenreeks ga je onderzoeken welke factoren een effect hebben op het geleverde vermogen van een PV-installatie.

Gedurende een periode van één jaar, zal de installaties blootgesteld worden aan verschillende condities. In de winter kunnen een deel van de zonnecellen bedekt zijn met ijs, waardoor hier geen zonlicht op kan vallen. Terwijl in de zomer de lichtintensiteit veel hoger is dan in de winter maar zal de temperatuur van de zonnepanelen stijgen. Zelfs gedurende één dag zullen de condities veranderen. Zo zal de invalshoek constant wijzigen.

Om het effect van deze factoren te gaan onderzoeken, maken we gebruik van het product van de kortsluitstroom en de open klemspanning. Dit product gaan we voor de eenvoud het vermogen  $P$  noemen. In deze redenering maken we een fout. Toch toont dit het principieel het gedrag aan van het werkelijke vermogen en kan dus voor de eenvoud gebruikt worden. De relatie zal meer in detail worden onderzocht in het experiment " stroom-spanningskarakteristieken"





### 2.1 Zonnecellen en onbelichte delen.

#### Inleiding

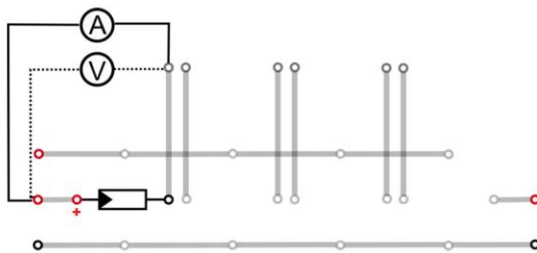
In dit labo gaan we onderzoeken wat het effect is als een zonnecel bijvoorbeeld volledig of gedeeltelijk bedekt is met sneeuw, of dat er een schaduw opvalt.

De schaduw die over de zonnecel valt is een structureel probleem. In het tweede gedeelte van dit labo gaan we dan een mogelijke oplossing bekijken om de effecten van deze schaduw te reduceren.

#### Opdracht:

Meet de kortsluitstroom, open klemspanning en bereken het vermogen  $P = U_{oc} I_{sc}$  voor een zonnecel dit voor een kwart, de helft, 3 kwart en volledig bedekt is met sneeuw.

#### Benodigdheden



#### Benodigdheden

- Grondplaat
- 1 grote zonnecel
- 1 multimeter
- Afdekplaatjes
- 1 verlichtingsmodules
- Voeding (6V)

#### Werkwijze

1. Maak de proefopstelling.
2. Sluit de verlichtingsmodule aan op de voeding (parallel, 6V)
3. Meet achtereenvolgens de open klemspanning en de kortsluitstroom.
4. Herhaal de meting met 1/4 helft en driekwart van de zonnecel bedekt
5. Noteer de gemeten gegevens in een tabel
6. Bereken het vermogen  $P$  dat de zonnecel genereert.
7. Zet de resultaten in een grafiek.

#### Besluit/Vragen

1. Welke relatie kan worden gevonden tussen de spanning en het oppervlakte van de cel, alsook de stroom en het oppervlakte van de zonnecel?
2. Hoe kan dat worden verklaard?
3. Wat is de relatie tussen het oppervlakte van de zonnecel en het gegenereerde vermogen van de zonnecel?



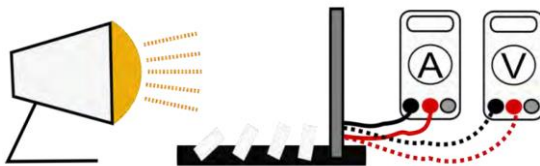
### 2.2 Lichtinvalshoek en vermogen van de zonnecel

#### Opdracht

De positie van de zon ten opzichte van een zonnepaneel zal zowel gedurende het jaar, als de dag veranderen. In dit experiment ga je onderzoeken welk effect de verandering van de lichtinvalshoek  $\alpha$  heeft op het opgewekte vermogen. Dit vermogen bereken je met de kortsluitstroom en de open klemspanning.

Maak een grafiek waarbij je het opgewekte vermogen uitzet in functie van  $\cos \alpha$ . ( $P = f(\cos \alpha)$ )  
Welke relatie neem je waar?

#### Benodigdheden



#### Benodigdheden

- 1 grondplaat
- 1 grote zonnecel
- 1 multimeter
- 1 halogeenlamp
- 1 houder voor de zonnecel

#### Werkwijze

1. Maak de proefopstelling.
  - a. Plaats het zonnepaneel met behulp van de houder verticaal ten opzichte van de lamp.
  - b. Plaats de lamp op die afstand van de zonnecel zodat er een kortsluitstroom van 100mA stroomt.
2. Meet de kortsluitstroom en open klemspanning.
3. Verander de invalshoek met behulp van de houder .  
Meet voor elke invalshoek de kortsluitstroom en open klemspanning.
4. Noteer uw waarnemingen in een tabel.
5. Bereken het vermogen  $P = U_{oc} I_{sc}$
6. Maak een grafiek  $P=f(\cos \alpha)$   
(Verticale as: vermogen  $P$  / Horizontale as:  $\cos \alpha$ )

#### Besluit/Vragen

1. Bereken het vermogen  $P$  dat de zonnecel genereert.
2. Zet de resultaten in een grafiek.
3. Welke relatie kan worden gevonden tussen de spanning en het oppervlakte van de cel, alsook de stroom en het oppervlakte van de zonnecel?
4. Hoe kan dat worden verklaard?
5. Wat is de relatie tussen het oppervlakte van de zonnecel en het gegenereerde vermogen van de zonnecel?



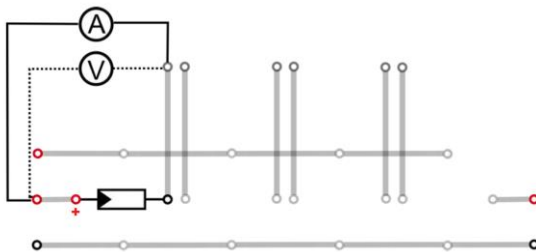
### 2.3 Veranderende lichtsterkte bij een onbelaste zonnecel

#### Opdracht

Als een zonnepaneel lichtenergie omzet in elektrische energie, dan kan je verwachten dat hoe meer licht er invalt op het paneel, hoe meer vermogen het paneel zal leveren. Maar is het elektrische vermogen recht evenredig met de lichtsterkte?

In dit experiment onderzoek je de relatie tussen het opgewekte vermogen  $P$  en de invallende lichtintensiteit  $E$ .

#### Benodigheden



#### Benodigheden

- grondplaat
- 1 verlichting module
- 1 grote zonnecel
- 1 multimeter
- 1 voeding (8 V)

#### Werkwijze

1. Maak de proefopstelling.
2. Verlicht de zonnecel met één lamp (draai de 3 andere gloeilampjes los)
  - a. Bereken het invallende lichtvermogen per vierkante centimeter.
  - b. meet de open klemspanning en de kortsluitstroom.
  - c. Bereken het opgewekte elektrische vermogen.
3. Herhaal de meting met 2, 3 en 4 lampen.
4. Noteer je waarnemingen in een tabel
5. Teken een grafiek waarbij het opgewekte elektrische vermogen wordt weergegeven in functie van het invallende lichtvermogen.

#### Opmerking:

- In deze en in volgende experimenten, het aantal lampen dat licht geeft wordt gevarieerd door het los- of vastschroeven van de gloeilampen. Één gloeilamp heeft bij 8V een lichtsterkte van  $1,75\text{mW}/\text{cm}^2$  per gloeilamp. Dus je kunt voor elke meetwaarde het bijbehorende verlichting niveau berekenen – Zo bereik je met vier lampen en 8V een invallend lichtvermogen  $7\text{mW} / \text{cm}^2$ .
- Hou de belichtingsduur van de zonnecel zo kort mogelijk om opwarming van de zonnecel te voorkomen.

#### Besluit/Vragen

1. Welke relatie heb je waarneemt tussen opgewekte elektrisch vermogen van de zonnecel en het verlichtingsniveau?
2. Welke relatie heb je waarneemt tussen de spanning en de verlichtingsniveau?
3. Verklaar je waarnemingen.

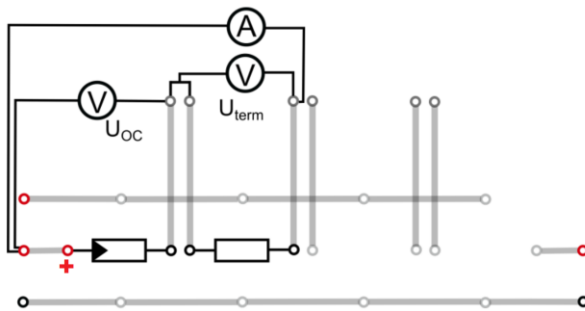


### 2.4 Verandering van de inwendige weerstand bij veranderende lichtsterkte

#### Opdracht

Bepaal de relatie tussen de inwendige weerstand  $R_i$  van een zonnecel en het verlichtingssterkte  $E$ .

#### Benodigdheden



#### Benodigdheden

- grondplaat
- 1 verlichting module
- 1 grote zonnecel
- 2 multimeters
- 1 voeding (8V)

#### Werkwijze

1. Maak de proefopstelling
2. Belicht de zonnecel met één lamp.
3. Meet de open klemspanning
4. Sluit de ampèremeter aan en meet de belasting stroom en de klemspanning onder belasting
5. Noteer uw resultaten in een tabel.
6. Herhaal de meting achtereenvolgens met twee, drie en vier lampen als belichtingsbron.
7. Bereken de inwendige weerstand

**Opmerking:**  $U_{TERM} = U_{OC} - I \cdot R_i$

#### Opmerking:

- Hou de belichtingsduur van de zonnecel zo kort mogelijk om opwarming van de zonnecel te voorkomen.
- Per lamp krijg je een verlichtingssterkte van  $1,75 \text{ mW/cm}^2$

#### Opdracht

1. Schets het equivalente schema waarbij de inwendige weerstand van de zonnecel wordt weergegeven.

**Opmerking:**  $U_{TERM} = U_{OC} - I \cdot R_i$

#### Besluit

1. Welke relatie kan worden gevonden tussen de opgewekt vermogen van de cel en het verlichtingsniveau?
2. Wat is het verschil tussen experiment 1.5 en dit experiment? Hoe kun je dit verklaren?



### 2.5 Effect van één onbelichte zonnecel bij een serieschakeling zonnecellen

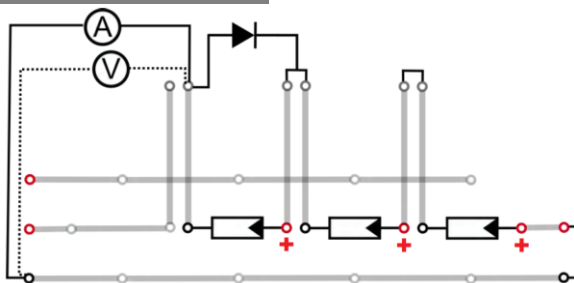
#### Inleiding

Zonnecellen worden slechts af en toe verduisterd door sneeuw. Een gedeelte van een installatie kan wel dagelijks gedeeltelijk onbelicht zijn omdat er schaduw op valt van bijvoorbeeld een boom of een schoorsteen.

#### Opdracht

Onderzoek welk invloed een onbelichte zonnecel bij een serieschakeling van zonnecellen op het vermogen.

#### Benodigdheden



#### Benodigdheden

- grondplaat
- 3 kleine zonnecellen
- 1 diode module
- 1 multimeter
- afdekplaatjes

#### Werkwijze

1. Maak de proefopstelling volgens het schema maar zonder de diode.
2. Meet de open kring spanning en de kortsluitstroom van de serieschakeling van drie zonnecellen (zonder verbinding diode).
3. Bedek nu een van de zonnecellen volledig en meet opnieuw de inwendige spanning en de kortsluitstroom van het gehele circuit.
4. Verbind de diode zoals aangegeven in het schema.  
Bedek de zonnecel met de diode aangesloten en meet opnieuw de respectieve open circuit spanning en kortsluitstroom van het hele circuit.
5. Bereken de daling van het opgewekte vermogen bij het bedekken van de zonnecel respectievelijk zonder en met een diode.

#### Besluit/Vragen

1. Welke gevolgen heeft dit effect op de werking van een zonnepaneel?
2. Hoe kan dit effect worden gebruikt in zonnepanelen?

#### Extra taak:

3. Verklaar het gedrag door gebruik te maken van de functie van een halfgeleiderdiode (Opmerking: De weerstand van een bedekte zonnecel is groter dan de weerstand van de halfgeleider diode in doorlaatrichting).



### 3.1 Stroom-spanningskarakteristieken van zonnecellen.

#### Inleiding

In vorige experimenten hebben we steeds het product van de kortsluitstroom en de open klemspanning genomen als het vermogen van de zonnecel. We hebben toen wel reeds aangegeven dat dit foutief was, maar dat er toch wel een verband bestaat tussen dit product en het werkelijk vermogen dat de zonnecel kan leveren.

Om te weten hoe een zonnecel reageert onder belasting, en zo het verloop van het vermogen te gaan bepalen, maakt men gebruik van de stroom-spanningskarakteristiek.

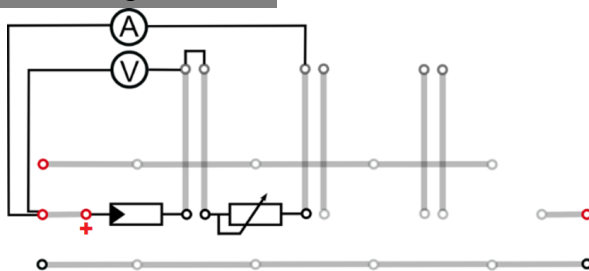
Wanneer een zonnecel belast gaat worden merken we dat de klemspanning gaat dalen (zie experiment....).

Wanneer we het verloop van deze spanning, in functie van krijg je de stroom-spanningskarakteristiek en kan je de belasting gaan bepalen waarbij het zonnepaneel het beste vermogen geeft.

#### Opdracht

Stel de stroom-spanningskarakteristiek op en bepaal het Maximum Power Point (PP) en vulfactor (FF)

##### Benodigdheden



##### Benodigdheden

- grondplaat
- 1 grote zonnecel
- 2 multimeters
- 1 potentiometer module
- 1 verlichtingsmodule
- 1 voeding (5V)

#### Vorbereiding

1. Maak de proefopstelling
2. Sluit de verlichtingsmodule aan op de voeding (5V) en plaats deze op de zonnecel. Controleer of alle vier de lichten branden!

**Opmerking:** Hogere spanningen op de verlichtingsmodule leiden tot opwarming van de zonnecel en vervalsen de metingen.

#### Werkwijze

1. Maak de proefopstelling
2. Sluit de verlichtingsmodule aan op de voeding (5V) en plaats deze op de zonnecel. Controleer of alle vier de lichten branden!  
Opmerking: Hogere spanningen op de verlichtingsmodule leiden tot opwarming van de zonnecel en vervalsen de metingen.



3. Voer de stroom- en spanningsmetingen uit volgens de waarden gegeven op de volgende pagina.  
Opmerking: Vermijd het wijzigen van het meetbereik tijdens de metingen
4. Teken de stroom-spanningskarakteristiek van de zonnecel.
5. Bereken voor elk punt het vermogen van de zonnecel.
6. Voeg een tweede as aan de rechterzijde van de karakteristiek toe voor het vermogen.  
Teken de P-U-curve.
7. Bepaal het Maximum Power Point (MPP) en de vulfactor (FF) van de zonnecel.

---

### Besluit

Bij de gegeven meetcondities is het Maximum Power Point (MPP) op

a.  $U_{MPP} =$  \_\_\_\_\_

b.  $I_{MPP} =$  \_\_\_\_\_.

Dus het maximale vermogen is  $P_{MPP} =$  \_\_\_\_\_.

De vulfactor van de zonnecel is \_\_\_\_\_%.



### 3.2 Stroom-spanningskarakteristieken bij andere omstandigheden

#### Opgaven

De stroom-spanningskarakteristieken (UI-curve) worden steeds opgemeten met de methode beschreven in **Experiment 3.1**.

Voor alle onderstaande opgaves geldt steeds:

1. Plot de verschillende UI-karakteristieken van de zonnecellen in een diagram.
2. Bepaal de Maximum Power Point (MPP) en de vulfactor voor elke karakteristiek en vergelijk de verschillende MPP's.
3. Vergelijk kwalitatief de verandering in de karakteristiek

#### IU-curve bij veranderende lichtintensiteit

Stel de IU-curve op voor verlichting met één, twee, drie en vier gloeilampen (spanning 5V). Teken al deze karakteristieken in één grafiek.

Welk effect heeft een veranderende lichtintensiteit op het MPP en FF?

Verlichtingsintensiteit	$P_{MPP}$ (mW)	$U_{MPP}$ (V)	$I_{MPP}$ (mA)	FF
1 (waarden van 3.1)				
$\frac{3}{4}$ (3 lampen)				
$\frac{1}{2}$ (2 lampen)				
$\frac{1}{4}$ (1 lampen)				

#### IU-curve bij veranderende temperatuur van de zonnecel

Stel de IU-curve op bij kamertemperatuur en bij een temperatuur van 55°C.

Om de zonnecel op te warmen wordt de verlichtingsmodule gevoed met een spanning van 12V.

Om de IU-curve op te nemen moet de zonnecel verlicht worden met lampen op 5 V. Wanneer de temperatuur van de zonnecel gedaald is onder 50°C wordt de spanning van de verlichtingsmodule opnieuw verhoogd tot 12 V totdat opnieuw een temperatuur van 55°C bereikt wordt.

Welk effect heeft een hoger temperatuur op het MPP en FF?

	$P_{MPP}$ (mW)	$U_{MPP}$ (V)	$I_{MPP}$ (mA)	FF
Kamertemperatuur				
55°C				

### IU-curve verschillende zonnecellen.

Stel de IU-curve op voor volgende combinaties van in serie geschakelde zonnepanelen (één verlichtingsmodule per zonnecel).

- 3 grote zonnecellen in serie
- 3 kleine zonnecellen in serie
- 2 grote en 1 kleine zonnecel in serie.

Verlichtingsniveau	$P_{MPP}$ (mW)	$U_{MPP}$ (V)	$I_{MPP}$ (mA)	FF
1 grote cel				
3 grote cellen in serie				
3 kleine cellen in serie				
2 grote, 1 kleine cel in serie				

### IU-curve verschillende zonnecellen.

Stel de IU-curve op voor volgende combinaties van in serie geschakelde zonnecellen (één verlichtingsmodule per zonnecel).

- 3 grote zonnecellen in serie
- 3 kleine zonnecellen in serie
- 2 grote en 1 kleine zonnecel in serie.

### IU-curve van gedeeltelijk verduisterde zonnecellen

Stel de IU-curve op voor volgende combinaties van in serie geschakelde zonnecellen (één verlichtingsmodule per zonnecel).

- 3 grote zonnecellen in serie, elk verlicht door een verlichtingsmodule met 4 brandende lampjes en een spanning van 5V
- 3 grote zonnecellen in serie, waarvan
  - 2 zonnecellen verlicht met 4 brandende lampjes (5V)
  - 1 zonnecel verlicht met 2 brandende lampjes (5V)
- Herhaal vorige combinatie maar met een diode geschakeld over de gedeeltelijk verlichte zonnecel is.
- Herhaal vorige combinatie maar met een diode geschakeld over 2 zonnecellen waarvan 1 de gedeeltelijk verlichte zonnecel is.

	$I_{MPP}$ (mA)	$U_{MPP}$ (V)	$P_{MPP}$ (mW)	FF
1 (metingen van 3.2)				
3 grote zonnecellen in serie				
diode parallel over 1 zonnecel				
diode parallel over 2 zonnecellen				

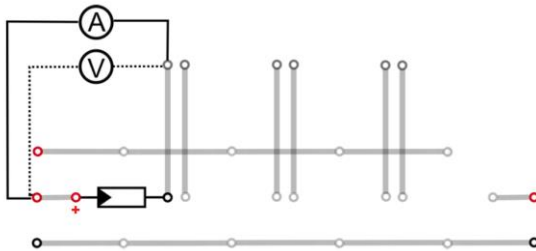


### 4 Effect van de temperatuur op het vermogen van de zonnecel

#### Opdracht

Onderzoek het effect van een temperatuurstijging op het vermogen van een zonnecel.

#### Benodigheden



#### Benodigheden

- grondplaat
- 1 verlichtingsmodule
- 1 grote zonnecel
- 2 multimeter
- 1 thermometer
- 1 voeding (12V)

#### Vorbereiding

Maak de proefopstelling. Gebruik alle vier de lampen in de verlichtingsmodule! Zet de verlichtingsmodule op de zonnecel en plaats de thermometer in het gat zodat de thermometer in contact komt met de cel! Verbind de verlichtingsmodule met de voeding (12V) maar zet deze nog niet op.

**Opmerking:** In dit experiment wordt alleen kortsluiting stromingen ( $I_k$ ) en open klemspanning ( $U_{oc}$ ) worden gemeten. Beide metingen kunnen niet gelijktijdig gemeten worden.

#### Werkwijze

1. Maak de proefopstelling.
2. Zet de verlichtingsmodule op de zonnecel (gebruik aal 4 de lampen) en plaats de thermometer in het gat zodat de thermometer in contact komt met de cel.
3. Verbind de verlichtingsmodule met de voeding (12V) maar zet deze nog niet op.
4. Lees de temperatuur op de thermometer.
5. Schakel de voeding in. Meet onmiddellijk de open klemspanning  $U_{oc}$  en kortsluitstroom  $I_k$ . Noteer deze metingen en de temperatuur van de zonnecel in een tabel.
6. Herhaal deze meting bij verschillende temperaturen (gebruik intervallen van  $5^\circ\text{C}$  met een maximum van  $60^\circ\text{C}$ ).
7. Teken volgende grafieken:  $I_k - \vartheta$  en  $U_{oc} - \vartheta$ . Welke relatie vind je tussen de temperatuur en de open klemspanning en de temperatuur en de kortsluitstroom.
8. Bepaal de temperatuurscoëfficiënt van e korstsluitstroom en de open klemspanning in (% per K).

#### Besluit

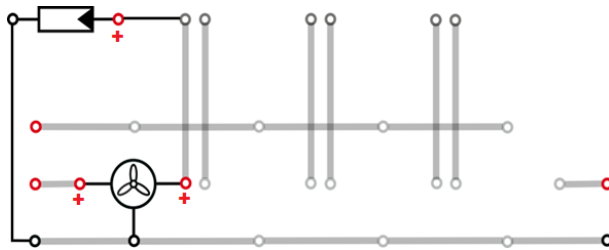
Welke relatie verwacht je tussen de temperatuur  $\vartheta$  en het vermogen  $P$ ? Veronderstel dat het vermogen  $P = U_{oc} \cdot I_k$  het zelfde gedrag vertoont als het MPP-vermogen

## 5 Onderdelen van een autonome PV-installatie

### Opdracht

Onderzoeken welke onderdelen noodzakelijk zijn om een PV-installatie autonoom te laten werken.

### Benodigdheden



### Benodigdheden

- grondplaat
- 1 zonnemodule
- 1 halogeenlamp
- 1 motor module
- \_\_\_\_\_

### Uitvoeren (a)

1. Verbind het zonnepaneel met de ventilator en verlicht het panel met de halogeenlamp (zie proefopstelling)
2. Doe het licht uit

### Besluit (a)

1. Wat neem je waar?  
 .....  
 .....  
 .....
2. Welke situatie in het dagelijkse leven kan vergeleken worden met het uitschakelen van de lamp?  
 .....  
 .....  
 .....
3. Geef één manier om het probleem dat hierdoor gecreëerd wordt op te lossen. Voeg het noodzakelijk onderdeel toe aan de benodigdheden-lijst. Pas de tekening van de proefopstelling aan. (Denk goed na hou je alles gaat verbinden).  
 .....  
 .....  
 .....
4. Geef de eigenschappen van dit onderdeel  
 .....  
 .....  
 .....

---

### Uitvoeren (b)

3. Plaats het in (a) beschreven onderdeel in de kring.
4. Verlicht het zonnepaal kort (ongeveer 20 s) en zet dan de halogeenlamp weer uit.

---

### Besluit (b)

5. Wat neem je waar? Wat is er verandert?

.....

.....

.....

---

### Informatie

Het opslagmedium voor de elektrische energie heeft een maximale laadspanning  $U_{\max}$  en een ontladspanning  $U_{\min}$ . Het overschrijden van de deze waarden leid uiteindelijk tot de vernietiging van het component. Om overbelasting van het opslagmedium te voorkomen gebruik je een laadregelaar om het opladen te controleren. Om overmatige ontlading te voorkomen, wordt een zogenaamde diepe ontlading beschermer gebruikt.

---

### Besluit (c)

5. Tussen welke twee modules moet u de laadregelaar en de diepe ontlading beschermer toevoegen? Leg uit waarom u dit denkt.

(Opmerking: Bedenk welke componenten moeten worden beschermd en wat de reden is voor de eventuele vernietiging van het opslagmedium zijn.)

- Laadregelaar tussen \_\_\_\_\_ en \_\_\_\_\_
- Diepe ontlading beschermer tussen \_\_\_\_\_ en \_\_\_\_\_

6. Reden:

.....

.....

.....

---

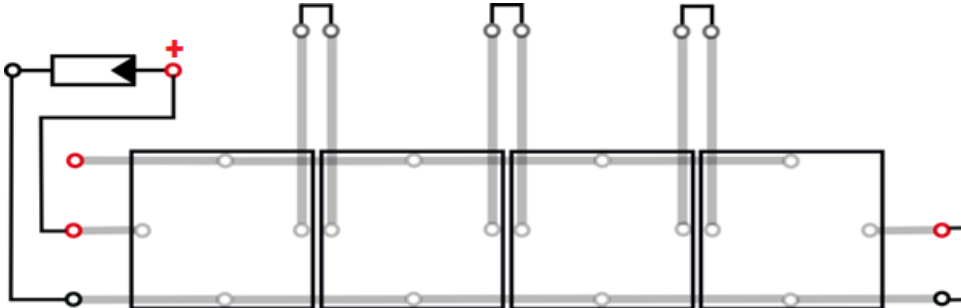
### Uitvoeren (d)

5. . Bouw een complete autonome PV-installatie met alle benodigde apparatuur en lever vervolgens elektriciteit aan een gebruiker.

## Opstelling (e)

Plaats de letters bij het juiste onderdeel in het schakelschema.

- D.....diepe ontladings beschermer
- CR.....ladingsregelaar
- CL .....verbruiker belasting
- S.....opslagmedium



## Besluit (e)

7. Noem alle essentiële onderdelen van een autonome PV-installatie.
8. Omschrijf kort het doel van elk onderdeel (Let op: Denk na over waarom je de apparatuur / apparaten moeten installeren):

Onderdeel van een autonome PV-installatie	Taak / Functie van dit onderdeel

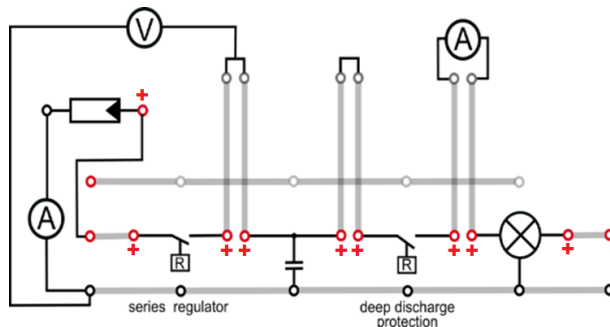


### 6. Autonome PV-installatie bij verschillende werksomstandigheden

#### Opdracht

Het beschrijven van de drie verschillende werksomstandigheden van een autonome PV-installatie.

#### Benodigheden



#### Benodigheden

- grondplaat
- 1 laadregel eenheid
- 1 onderspanningsbeveiliging
- 1 zonnecel
- 1 halogeenlamp
- 1 condensator
- 1 gloeilamp
- 1 ampèremeter
- 1 voltmetergrondplaat

#### Werkwijze

1. Maak een volledig autonoom zonne-energiesysteem (kijk naar het schakelschema).
2. Simuleer de verschillende werksomstandigheden van het autonoom systeem door de verlichting van de zonnecel te variëren.
  - Nacht omstandigheid (geen verlichting)
  - Bewolkt (lage lichtintensiteit)
  - Direct zonlicht (hoge lichtintensiteit)
3. Meet
  - de laad- en verbruiksstroom ( $I_{\text{laad}}$  en  $I_{\text{belast}}$ ) voor elke omstandigheid
  - meet 4maal (om de 10 s) de spanning over de condensator ( $U_1 \dots U_4$ ).

#### Besluit/Vragen

Beschrijf de drie verschillende situaties van het systeem. Vergelijk  $I_{\text{laad}}$  en  $I_{\text{belast}}$  voor elke verschillende situatie. Beschrijf ook de oplaadcondities van de batterij en het type van energievoorziening naar de belasting.





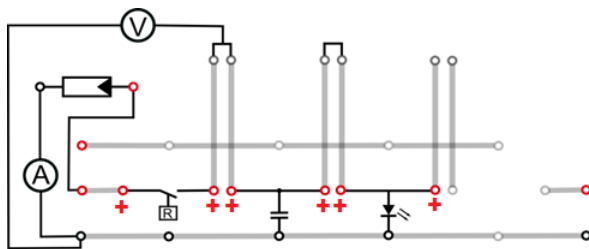
### 7. De werking van een shunt- en serieregelaar

#### Doel

De werking van een shunt- en een serieregelaar verklaren

Het verschil verklaren tussen de twee laadregulatoren (+ schakeldrempels)

#### Benodigdheden



#### Benodigdheden

- grondplaat
- 1 zonnecel
- 1 halogeenlamp
- 1 condensator
- 1 shuntregulator
- 1 serieregulator
- 2 multimeters
- 1 LED-module
- 1 chronometer

#### Werkwijze

1. Maak het experiment, zoals aangegeven (gebruik eerst de shuntregelaar) en verlicht de zonnecel met de halogeenlamp.
2. Observeer de werking van de regulator en meet de spanning over de condensator op de bepaalde tijdstippen.
3. Start de meting aan  $U_C \approx 4V$  en  $I_{\text{start}} \approx 40mA$ .
4. Meet de stroom altijd op hetzelfde tijdstip
5. Herhaal het experiment met de serieregelaar

#### Besluit/Vragen

1. Geef de schakeldrempel van een shuntregelaar en een serieregelaar.
2. Verklaar de functies van beide regelaars. Verklaar de verschillende werking (opmerking: observeer de progressie van de stroomsterkte en het schakelschema van de componenten).

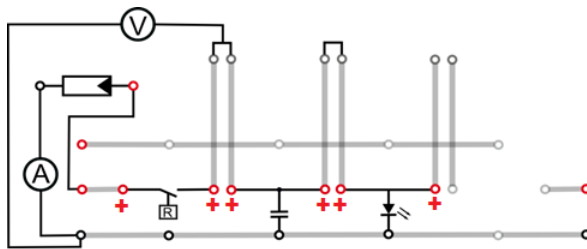


## 8 De vergelijking tussen een PWM-regelaar en een serieregelaar

### Opdracht

Vergelijk de werking van een PWM-regelaar en een serieregelaar.

### Benodigdheden



### Benodigdheden

- grondplaat
- 1 zonnecel
- 1 halogeenlamp
- 1 serieregelaar
- 1 condensator
- 1 PWM-regelaar
- 1 LED module
- 2 multimeters

### Werkwijze

1. Maak het experiment, zoals getoond in het schakelschema (gebruik eerst de serieregelaar) en verlicht de zonnecel met de halogeenlamp. Plaats de lamp zo, dat de zonnecel een kortsluitstroom bereikt van ongeveer 40mA.
2. Observeer het werkingsprincipe van de regelaar en meet de spanning over de condensator  $U_C$  op vaste tijdstippen. Start de meting met  $U_C \approx 4V$ .
3. Herhaal de meting met de PWM-regelaar.
4. Teken de condensatorspanning  $U_C$  over de tijd voor de serie- en PWM-regelaar.

### Waarnemingen

serieregelaar

(opgelet: Bekijk de wisselende intervallen vanaf 120s).

t in s	0	20	40	60	80	100	120	160
U in V								
I in mA								

t in s	200	240	280	320	340	360	380	420
U in V								
I in mA								

## PWM-regelaar

(opgelet: Bekijk de wisselende intervallen vanaf 120s).

$t$ in s	0	20	40	60	80	100	120	160
$U$ in V								
$I$ in mA								

$t$ in s	200	240	280	320	340	360	380	420
$U$ in V								
$I$ in mA								

### Besluit

Wat zijn de fundamentele verschillen tussen beide laadregelaars. Wat is de conclusie voor het werkingsprincipe van de PWM-regelaar? Wat is het voordeel van de PWM-regelaar ten opzichte van de serieregelaar?



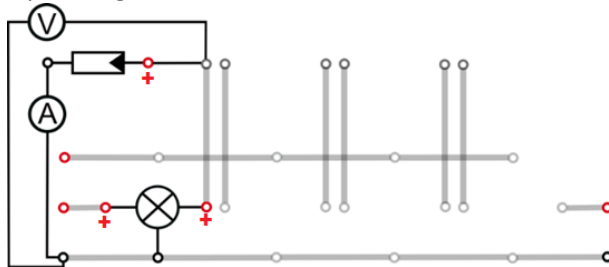
### 9.1 Het werkingsprincipe MPP-tracker module

#### Opdracht

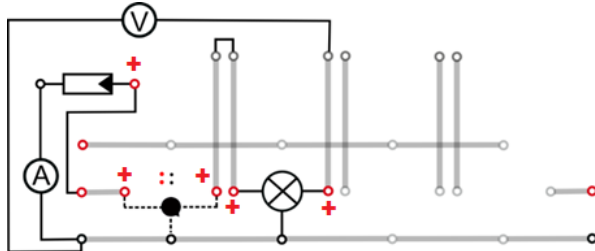
Vergelijk een PV-systeem met MPP-tracker met één zonder MPP-tracker. Onderzoek respectievelijk het elektrisch vermogen van de consument

#### Benodigheden

Opstelling 1:



Opstelling 2:



- grondplaat
- 1 zonnecel
- 1 halogeenlamp
- 1 MPP-tracker
- 1 gloeilamp
- 2 multimeters

#### Werkwijze

1. Meet de kortsluitstroom van de zonnecel. Stel de zonnecel zo op, ten opzichte van de lamp, dat de kortsluitstroom 35mA bedraagt.
2. Sluit de zonnecel direct aan op de gloeilamp en meet zowel de spanning, als de stroomsterkte aan de verbruiker (proefopstelling 1). Noteer de gemeten waarden en bereken het vermogen.
3. Plaats de MPP-tracker in het circuit (proefopstelling 2) en probeer, eerst manueel, het uitgaand vermogen te maximaliseren. U kan zich hierbij oriënteren op de helderheid van de gloeilamp. Meet opnieuw de spanning en stroomsterkte, noteer de waarden en bereken het vermogen.
4. Plaats de MPP-tracker in de "MPP search"-mode en wacht totdat de LED naast de "MPP Search" knop permanent begint te branden. Meet opnieuw de spanning en stroomsterkte, noteer de waarden en bereken het vermogen.

#### Besluit

Beschrijf de observaties. Wat is het effect van de MPP-tracker?

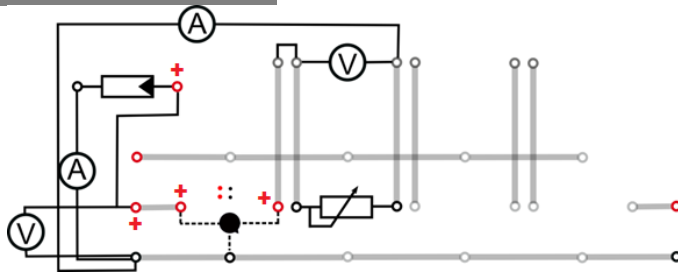


### 9.2 Karakteristiek van de MPP-tracker

#### Opdracht

Vergelijk een PV-systeem met MPP-tracker met één zonder MPP-tracker. Onderzoek respectievelijk het elektrisch vermogen van de consument

#### Benodigdheden



#### Benodigdheden

- grondplaat
- 1 zonnecel
- 1 halogeenvlamp
- 1 MPP-tracker
- 1 potentiometer
- 4 multimeters

#### Werkwijze

1. Stel de zonnecel zo af, ten opzichte van de lamp, zodat er een kortsluitstroom wordt bereikt van ongeveer 70mA. Maak het experiment, zoals aangegeven in het schakelschema en zet beide potentiometers op het maximum. Duw op de "MPP search" knop en wacht totdat de LED naast de knop stopt met knipperen.
2. Verminder traag de weerstand aan de uitgang van de MPP-tracker. Verander eerst de afstelling van 1kΩ-potentiometer. Wanneer de 1kΩ-potentiometer zijn minimum heeft bereikt, gaat u verder met de afstelling van de 100kΩ-potentiometer tot beide potentiometers hun minimum bereikt hebben. Noteer volgende waarden in de tabel:
  - Inkomende spanning  $U_{in}$
  - Inkomende stroomsterkte  $I_{in}$
  - Uitgaande spanning  $U_{uit}$
  - Uitgaande spanning  $I_{uit}$
3. Meet deze waarden afhankelijk van de uitgaande spanning in intervallen van 0,25V. Bereken het inkomende en uitgaand vermogen en de inwendige weerstand van de verbruiker en zonnecel op elk meetpunt.
4. Teken de uitgaande stroomsterkte en het uitgaand vermogen op de uitgaande spanning. Teken de I-U karakteristiek en P-U karakteristiek, gemeten in het vorige experiment in hetzelfde diagram. Vergelijk de karakteristieken van uitgaande stroomsterkte en uitgaande spanning, wanneer er een MPP-tracker wordt gebruikt en wanneer er geen MPP-tracker wordt gebruikt.

#### Besluit/Vragen

1. Observeer de gemeten waarden. Wat hebben alle inkomende waarden gemeen?
2. Vergelijk de gemeten waarden met de gemeten waarden van het experiment "I-U karakteristiek en MPP van een zonnecel". Wat gebeurt er bij de meting met de MPP-tracker?
3. Vat het effect van de MPP-tracker samen

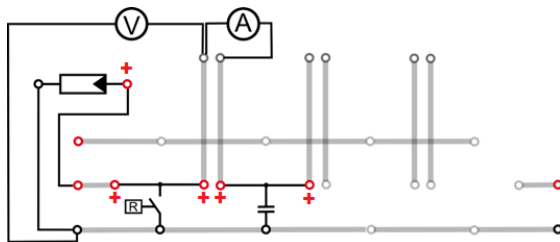


### 9.3 Vergelijking van de shuntregelaar en MPP-tracker voor de C-laadcurve.

#### Opdracht

Vergelijk de laadsnelheid van de condensator, wanneer een shuntregelaar gebruikt wordt, en wanneer er een MPP-tracker gebruikt wordt

#### Benodigheden



#### Benodigheden

- grondplaat
- 1 zonnecel
- 1 halogeenlamp
- 1 MPP-tracker
- 1 shuntregelaar
- 1 condensator
- 1 chronometer
- 2 multimeters

#### Werkwijze

1. Maak het experiment, zoals aangegeven in het schakelschema. Gebruik eerst de shuntregelaar. Laad de condensator op naar een spanning van 1V .
2. Laad voor twee minuten met de shuntregelaar en schakel de condensator, daarna onmiddellijk af. Noteer de eindspanning over de condensator na de afschakeling ( $U_{\text{eind}}$ ).
3. Herhaal de meting met de MPP-tracker. (Opgelet: ontlad de condensator eerst tot 1V). Duw onmiddellijk als de meting gestart is op de "MPP-search" knop.
4. Teken de laadstroom en het laadvermogen voor beide typen van de regelaars over de tijd

#### Besluit

1. Bereken de energie-inhoud van de condensator na beide experimenten. Welke regelaar zou de voorkeur moeten krijgen?
2. Teken de laadstroom en het laadvermogen voor beide typen van de regelaars over de tijd.
3. Leg je observaties uit. Welke regelaar is het meest efficiënt? Waarom?



## 10 Werkingsprincipe van de diep ontladingsbeveiliging.

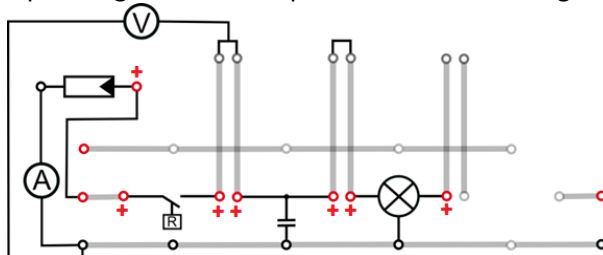
### Doel

Onderzoeken systemen met en zonder diepe ontlading beschermer, en concluderen wat de wijze van functioneren van het product is.

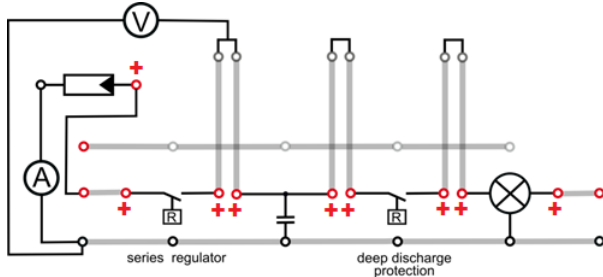
### Benodigdheden

### Benodigdheden

Opstelling 1: zonder diepe ontladbescherming



Opstelling 2: met diepe ontladbescherming



- Grondplaat
- 1 gloeilamp
- 1 zonnecel
- 1 halogeenlamp
- 1 diep ontladingsbeveiliging
- 2 multimeters
- 1 chronometer
- 1 condensator
- 1 laadregelaar

### Werkwijze

1. Verbind eerst de condensator (spanning op de condensator ongeveer 3 V) met de lamp (zie proefopstelling zonder diepe ontlading beschermer) en verlicht het zonnepaneel.
2. Meet de spanning om de 10 seconden en noteer je waarnemingen in de tabel.
3. Herhaal het experiment ( $U_{\text{capacitor}} = 3 \text{ V}$ ) maar met diepe ontladbeveiliging (zie proefopstelling met diepe ontlading beschermer).
4. Plot de  $U/t$ -curve voor het systeem met en zonder diepe ontlading beschermer op een grafiek (gebruik verschillende kleuren).

### Besluit/ Vragen

1. Bepaal de schakeldrempels van de diepe ontlading beschermer van de tweede karakteristiek
2. Beschrijf de wijze van functioneren en de rol doel van de diepe ontlading beschermer
3. De opgenomen karakteristiek zonder diepe ontlading beschermer komt overeen met de conventionele \_\_\_\_\_ van de condensator. Door de extra zonnepaneel stroom de lozing cyclus is \_\_\_\_\_. De onderste schakelpunt drempel van de diepe ontlading is \_\_\_\_\_, de bovenste drempel is \_\_\_\_\_.
4. Wat is de wijze van functioneren en de rol van de diepe ontlading beschermer?

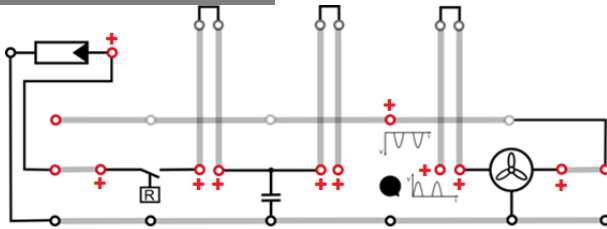


### 11 Werkingsprincipe van de DC/AC inverter.

#### Opdracht

Het werkingprincipe van een DC/AC inverter begrijpen.

#### Benodigdheden



#### Benodigdheden

- grondplaat
- 1 zonnecel module
- 1 halogeen lamp
- 1 seriesregelaar
- 1 condensator module
- 1 DC/AC inverter module
- 1 LED module

#### Werkwijze

1. Maak de proefopstellen.  
Maak ze eerst zonder de DC / AC inverter.  
Laad de condensator volledig op tot de controle-LED van de serie regulator wordt uitgeschakeld.
2. Verbind nu de DC / AC inverter module met de motor module aan beide uitgangen van de DC / AC inverter module.
3. Stel de frequentie in eerste instantie tot het minimum (0,5 Hz). Observeren het gedrag van de motor module.
4. Verander nu langzaam de frequentie, wat observeren je?
5. Breng de lamp module en de LED-module in plaats van de motor module. Vergelijk het gedrag van beide modules.

#### Besluit

1. Beschrijf en verklaar het gedrag van de motor module.
2. Wat is het verschil tussen de lampmodule en de LED module?



<b>Experiment 1: Schakelen van zonnecellen</b>	Datum:
Naam:	Klas:

## Opdrachten

Er zijn verschillende belangrijke voordelen van zonnecellen boven andere werkwijzen voor het produceren van elektriciteit (bijvoorbeeld kolen centrale).

Welke voordelen kunt u noemen?

.....

.....

.....

Je weet zeker enkele toepassingen van fotovoltaïsche systemen uit het dagelijks leven.

Noem een aantal:

.....

.....

.....

## Waarnemingen

Enkelvoudige cellen

	Één grote zonnecel	Één kleine zonnecel
$U_{OC}$ (V)		
$I_{SC}$ (mA)		

Serieschakeling

	Twee grote zonnecellen	Drie grote zonnecellen	Twee grote en één kleine zonnecel
$U_{OC}$ (V)			
$I_{SC}$ (mA)			

## Parallelschakeling

	Twee grote zonnecellen	Drie grote zonnecellen	Twee grote en één kleine zonnecel
$U_{oc}$ (V)			
$I_{sc}$ (mA)			

### Besluit

- Omschrijf het principe van de totale stroom en de totale spanning bij serie en parallel aansluiting van zonnecellen.

	Spanning	Stroom
<b>Serieschakeling</b>		
<b>Parallelschakeling</b>		

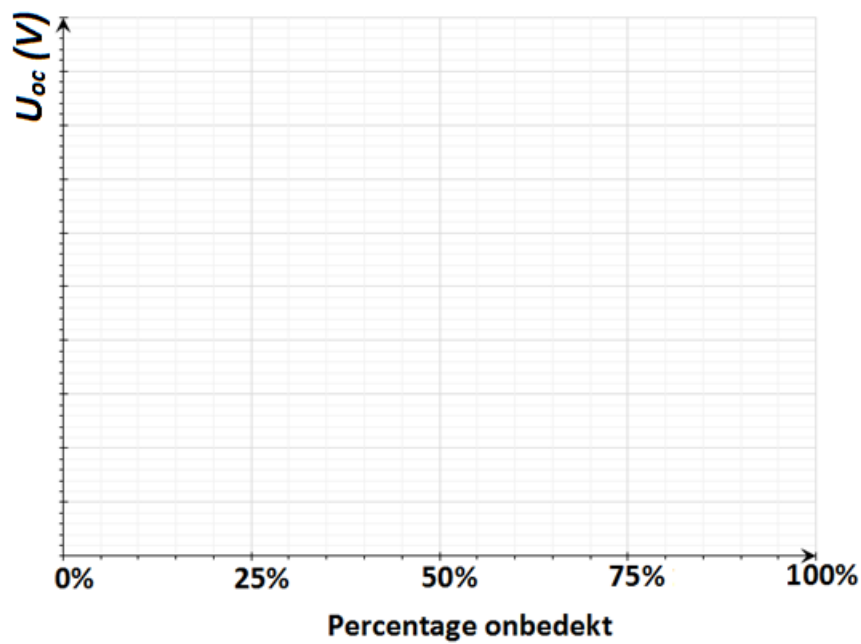
- Hoe moeten bij fabricage de zonnecellen geschakeld worden om een bruikbare spanning te garanderen?  
.....
- Wat gebeurt bij aansluiting zonnecellen met verschillende afmetingen, vooral bij het aansluiten hen serie?  
.....  
.....  
.....
- Waar moet je dus op letten bij de productie?  
.....  
.....  
.....

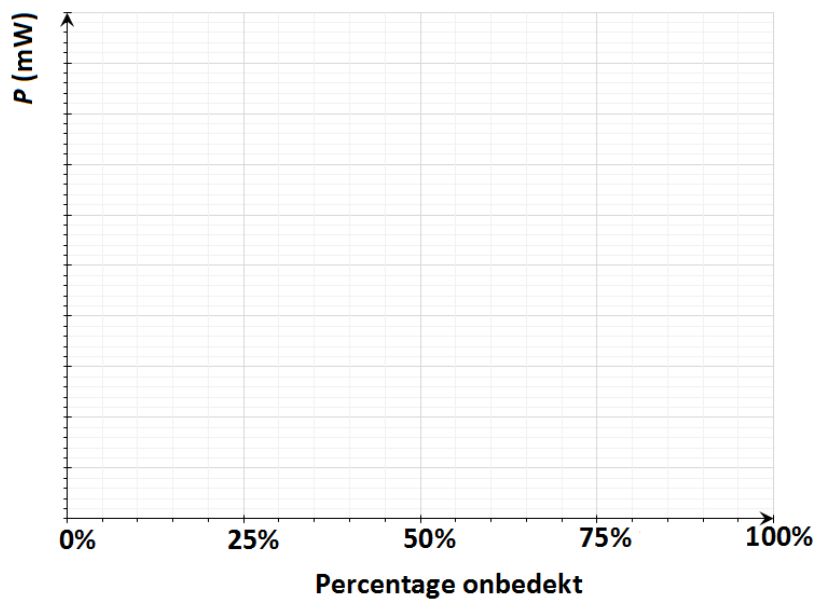
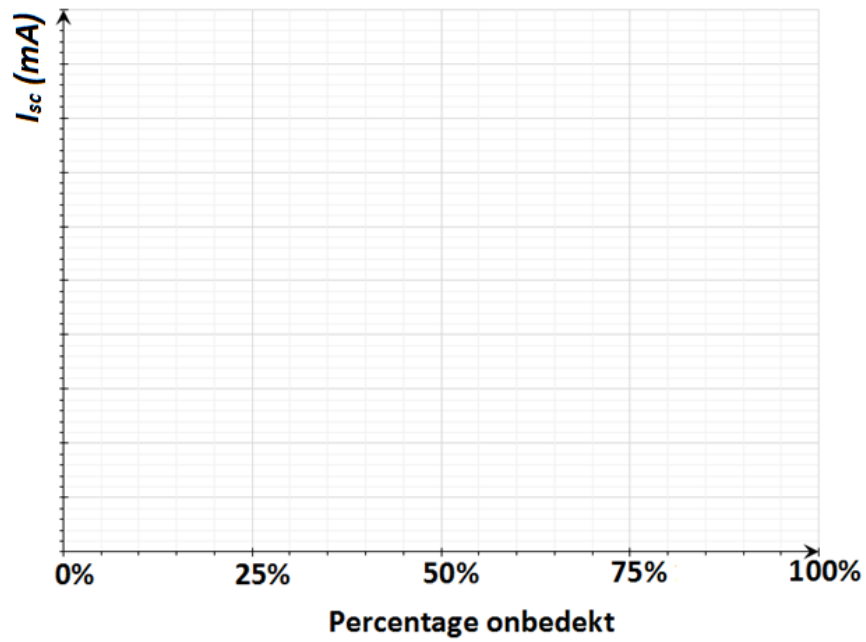
<b>Experiment 2.1 : Zonnecellen en onbelichte delen</b>	Datum:
Naam:	Klas:

### Waarnemingen

	Percentage onbedekt				
	100%	75%	50%	25%	0%
$U_{oc}(V)$					
$I_{sc} (mA)$					
$P=U_{oc} \cdot I_{sc} (mW)$					

### Grafieken





### Besluit

1. Welke relatie kan worden gevonden tussen de spanning en het oppervlakte van de cel, alsook de stroom en het oppervlakte van de zonnecel?
2. Hoe kan dat worden verklaard?
3. Wat is de relatie tussen het oppervlakte van de zonnecel en het gegenereerde vermogen van de zonnecel?

**Experiment 2.2 :  
Lichtinvalshoek en vermogen van de zonnecel**

Datum:

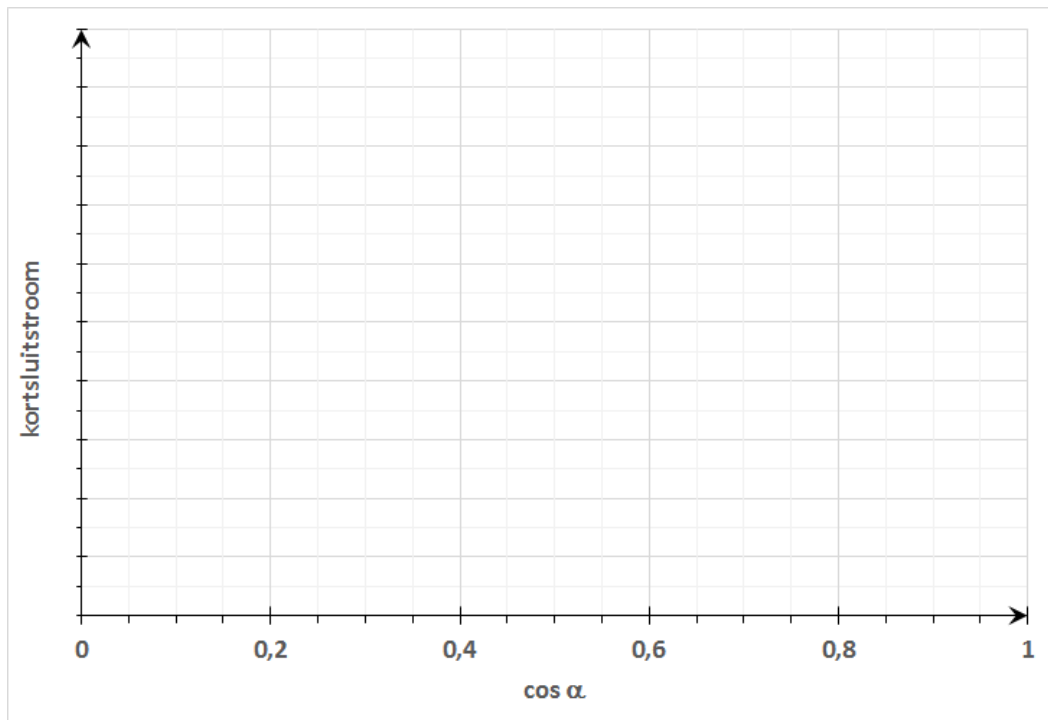
Naam:

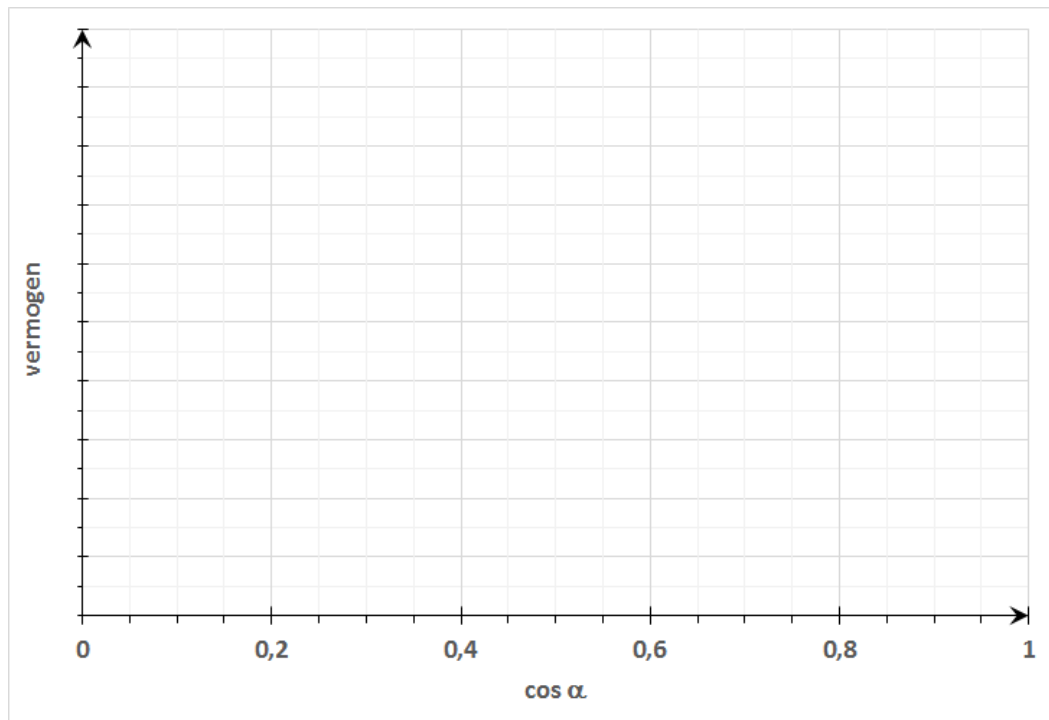
Klas:

**Waarnemingen**

$\alpha$ (°)	0	15	30	45	55
$U_{oc}$ (V)					
$I_{sc}$ (mA)					
$\cos \alpha$					
$P$ (mW)					

**Grafieken**





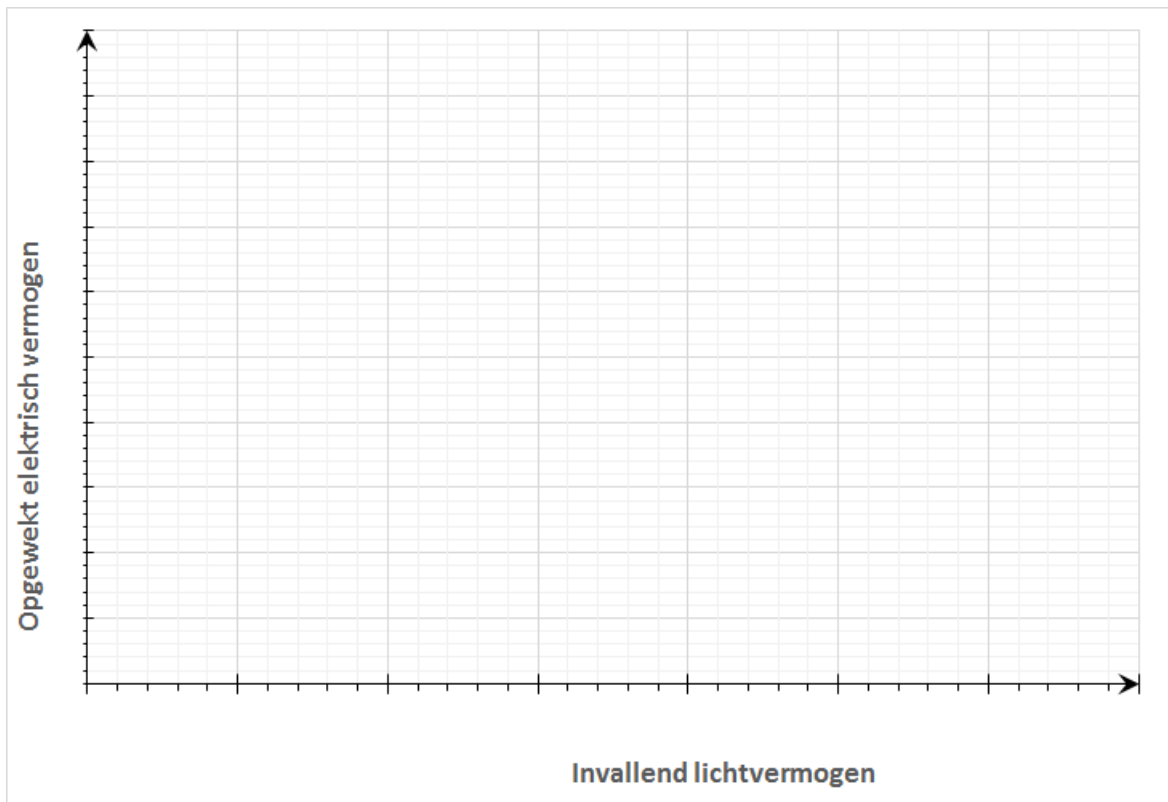
### Besluit

1. Bereken het vermogen  $P$  dat de zonnecel genereert.
2. Zet de resultaten in een grafiek.
3. Welke relatie kan worden gevonden tussen de spanning en het oppervlakte van de cel, alsook de stroom en het oppervlakte van de zonnecel?
4. Hoe kan dat worden verklaard?
5. Wat is de relatie tussen het oppervlakte van de zonnecel en het gegenereerde vermogen van de zonnecel?

<b>Experiment 2.3 :</b> <b>Veranderende lichtsterkte bij een onbelaste zonnecel</b>	Datum:
Naam:	Klas:

**Waarnemingen**

$\alpha$ (°)	1 lamp	2 lampen	3 lampen	4 lampen
Invallend lichtvermogen $E$ (W/m <sup>2</sup> )				
$U_{oc}$ (V)				
$I_{sc}$ (mA)				
$P$ (mW)				



**Besluit**

1. Welke relatie heb je waarneemt tussen opgewekte elektrisch vermogen van de zonnecel en het verlichtingsniveau?
2. Welke relatie heb je waarneemt tussen de spanning en de verlichtingsniveau?
3. Verklaar je waarnemingen.

**Experiment 2.4 :  
Inwendige weerstand bij veranderende lichtsterkte**

Datum:

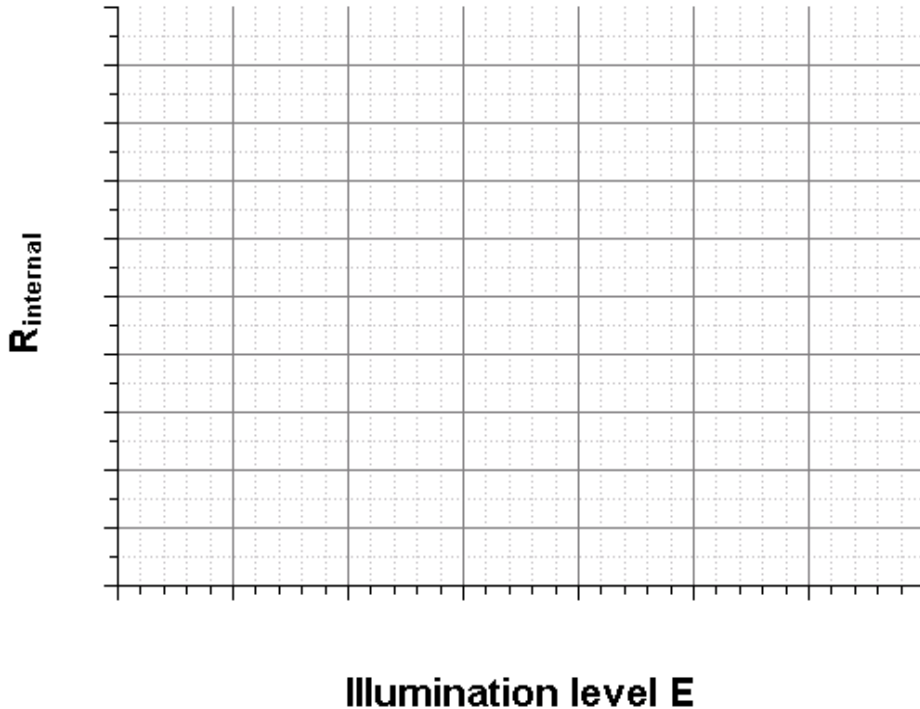
Naam:

Klas:

Waarnemingen

Aantal lampen	1	2	3	4
Invallend lichtvermogen (W/m <sup>2</sup> )				
$U_{oc}$ (V)				
$U_{TERM}$ (V)				
$I$ (mA)				
$R_i$ ( $\Omega$ )				

Grafieken





---

## Opdrachten

1. Schets het equivalente schema waarbij de inwendige weerstand van de zonnecel wordt weergegeven.

**Opmerking:**  $U = E - I \cdot R_i$

---

## Besluit

1. Welke relatie kan worden gevonden tussen de opgewekt vermogen van de cel en het verlichtingsniveau?
2. Wat is het verschil tussen experiment 1.5 en dit experiment? Hoe kun je dit verklaren?

<b>Experiment 2.5:</b> <b>Één onbelichte zonnecel bij een serieschakeling</b>	Datum:
Naam:	Klas:

### Waarnemingen

	Alle cellen belicht	1 cel onbelicht	1 cel belicht met diode
$U_{OC}$ (V)			
$I_{sc}$ (mA)			
$P=U_{OC} \cdot I_{sc}$ (mW)			
$\Delta P$ (%)			

### Besluit

1. Welke gevolgen heeft dit effect op de werking van een zonnepaneel?
2. Hoe kan dit effect worden gebruikt in zonnepanelen?

#### Extra taak:

Verklaar het gedrag door gebruik te maken van de functie van een halfgeleiderdiode (Opmerking: De weerstand van een bedekte zonnecel is groter dan de weerstand van de halfgeleider diode in doorlaatrichting).

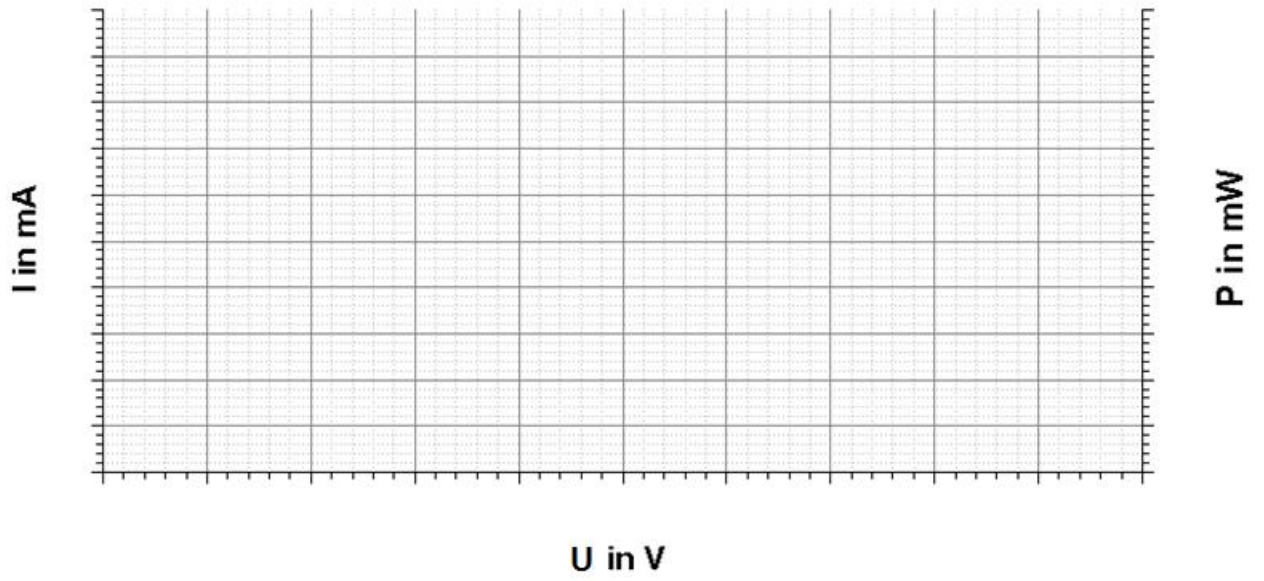
<b>Experiment 3: Stroom-spanningskarakteristiek</b>	Datum:
Naam:	Klas:
IU-curve van.....	

### Waarnemingen

	(1)	(2)	(3)...											
$U$ (V)														
$I$ (mA)														
$P=U \cdot I$ (mW)														

														...(3)	(4)
$U$ (V)															
$I$ (mA)															
$P=U \cdot I$ (mW)															

- (1) Open kring
- (2) Beide potentiometers op maximum.
- (3) Je kan de spanning d.m.v. de potentiometers veranderen:
  - Verander eerst door een wijziging van de  $1\text{k}\Omega$ -potentiometer, indien noodzakelijk gebruik de  $100\ \Omega$ -potentiometer voor de fijnafstelling.
  - Wanneer de  $1\ \text{k}\Omega$ -potentiometer zijn minimum bereikt heeft, ga dan verder met de  $100\ \Omega$ -potentiometer tot beide op hun minimum staan.
- (4) Sluit de kring kort (Plaats de ampèremeter rechtstreeks op klemmen van de zonnecel.)



**Experiment 4:  
Effect van de temperatuur op het vermogen**

Datum:

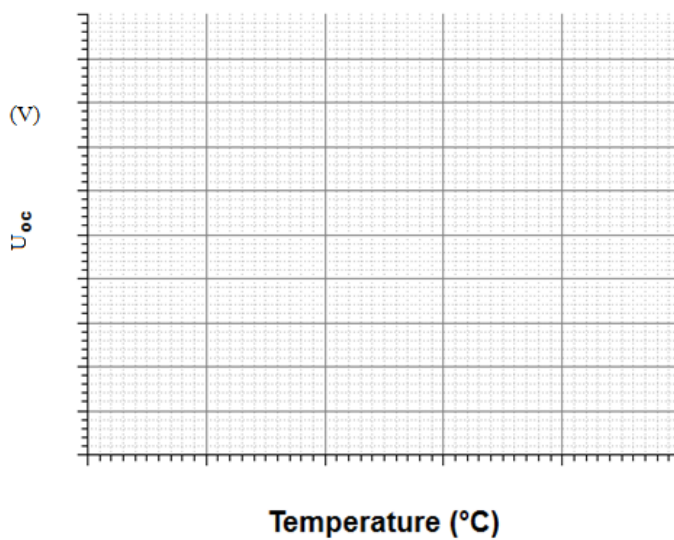
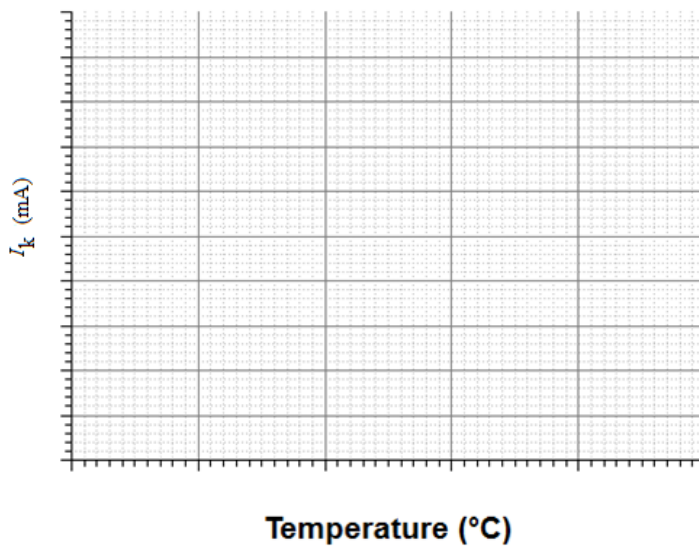
Naam:

Klas:

**Waarnemingen**

$\vartheta$ (°C)										
$I_{sc}$ (mA)										
$U_{oc}$ (V)										

**Grafieken**



---

## Besluit

De temperatuurscoëfficiënt van de nullastspanning is \_\_\_\_\_ % / K

De temperatuurscoëfficiënt van de kortsluitstroom is \_\_\_\_\_ % / K

Hoe hoger de temperatuur, hoe \_\_\_\_\_ het vermogen is van de zonnecel.

**Experiment 6: Autonome PV-installatie bij verschillende werksomstandigheden**

Datum:

Naam:

Klas:

**Waarnemingen**

a) Nacht omstandigheid (geen verlichting)

$I_{\text{laad}}$ [mA]	$I_{\text{belast}}$ [mA]	$U_1$ [V]	$U_2$ [V]	$U_3$ [V]	$U_4$ [V]

b) Bewolkt (lage lichtintensiteit)

$I_{\text{laad}}$ [mA]	$I_{\text{belast}}$ [mA]	$U_1$ [V]	$U_2$ [V]	$U_3$ [V]	$U_4$ [V]

c) Direct zonlicht (hoge lichtintensiteit)

$I_{\text{laad}}$ [mA]	$I_{\text{belast}}$ [mA]	$U_1$ [V]	$U_2$ [V]	$U_3$ [V]	$U_4$ [V]

**Besluit**

<b>Experiment 7:</b> <b>De werking van een shunt- en serieregelaar</b>	Datum:
Naam:	Klas:

### Waarnemingen

#### shuntregulator

(opgelet: Bekijk de wisselende intervallen vanaf 120s).

$t$ in s	0	20	40	60	80	100	120	160
$U$ in V								
$I$ in mA								

$t$ in s	200	240	280	320	340	360	380	420
$U$ in V								
$I$ in mA								

#### serieregulator

(opgelet: Bekijk de wisselende intervallen vanaf 120s).

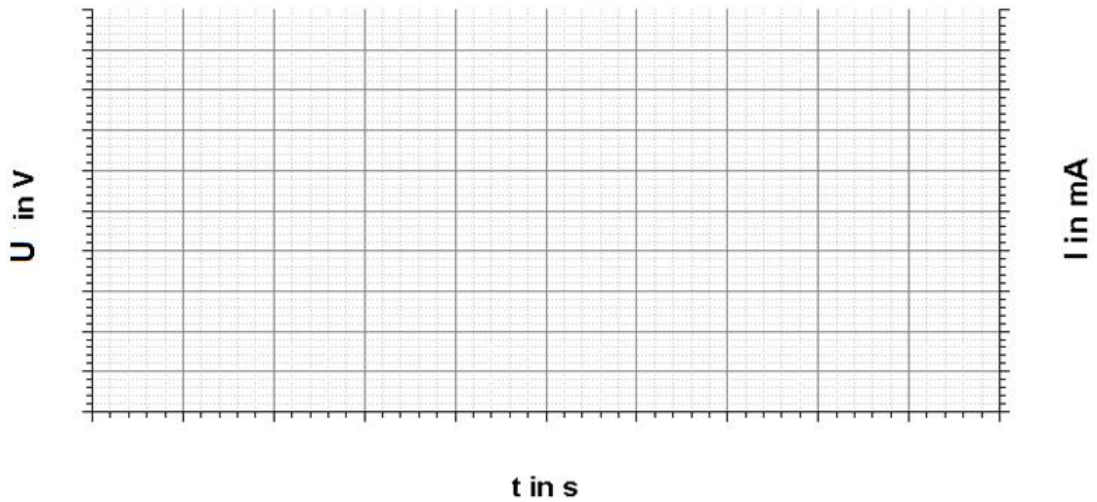
$t$ in s	0	20	40	60	80	100	120	160
$U$ in V								
$I$ in mA								

$t$ in s	200	240	280	320	340	360	380	420
$U$ in V								
$I$ in mA								

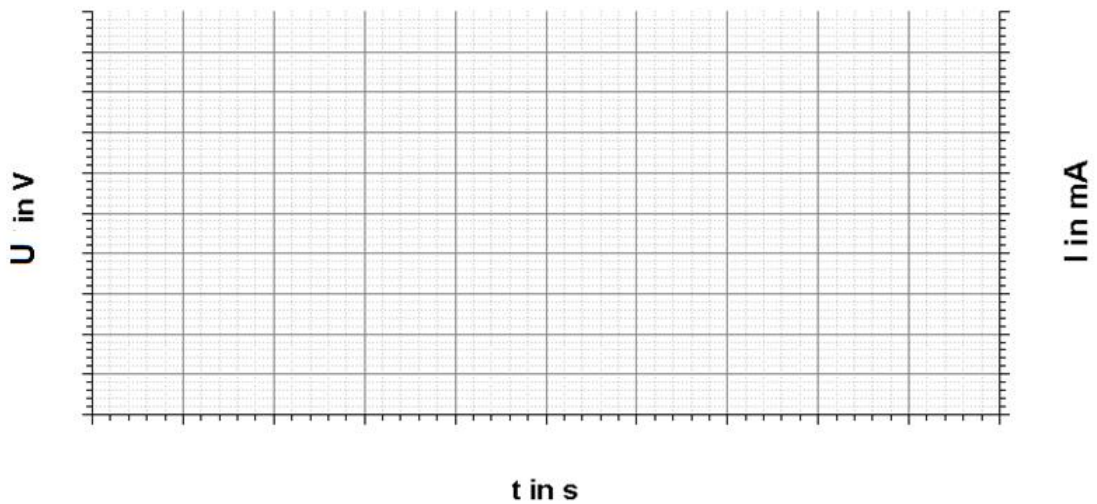


## Grafieken

### Shuntregelaar



### Serieregelaar



## Besluit

1. Geef de schakeldrempel van een shuntregelaar en een serieregelaar.

.....  
.....  
.....

2. Verklaar de functies van beide regelaars. Verklaar de verschillende werking (opmerking: observeer de progressie van de stroomsterkte en het schakelschema van de componenten).

.....  
.....  
.....

<b>Experiment 8:</b> <b>Vergelijking tussen de PWM- en de serie-regelaar</b>	Datum:
Naam:	Klas:

### Waarnemingen

#### Serieregelaar

(opgelet: Bekijk de wisselende intervallen vanaf 120s).

$t$ in s	0	20	40	60	80	100	120	160
$U$ in V								
$I$ in mA								

$t$ in s	200	240	280	320	340	360	380	420
$U$ in V								
$I$ in mA								

#### PWM-regelaar

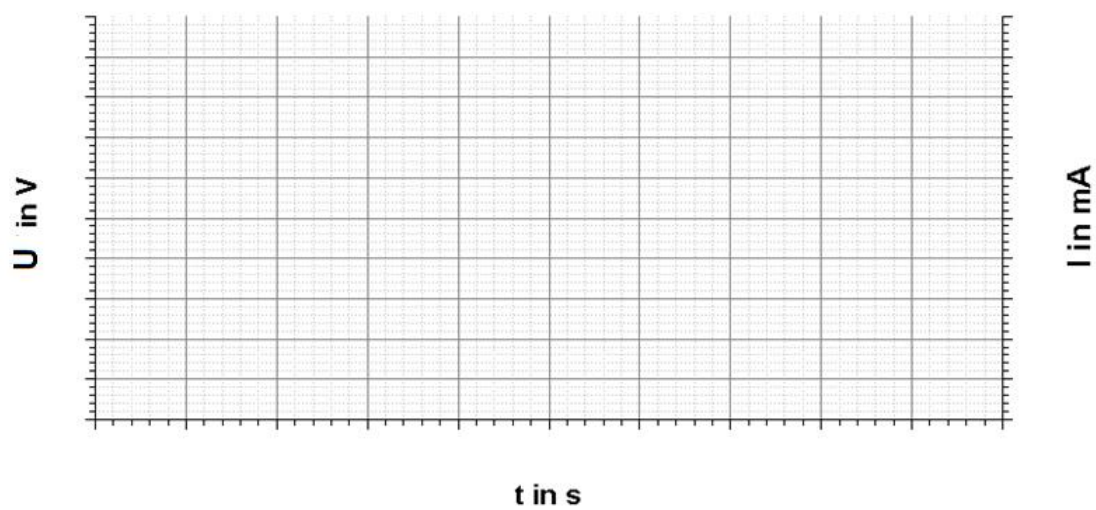
(opgelet: Bekijk de wisselende intervallen vanaf 120s).

$t$ in s	0	20	40	60	80	100	120	160
$U$ in V								
$I$ in mA								

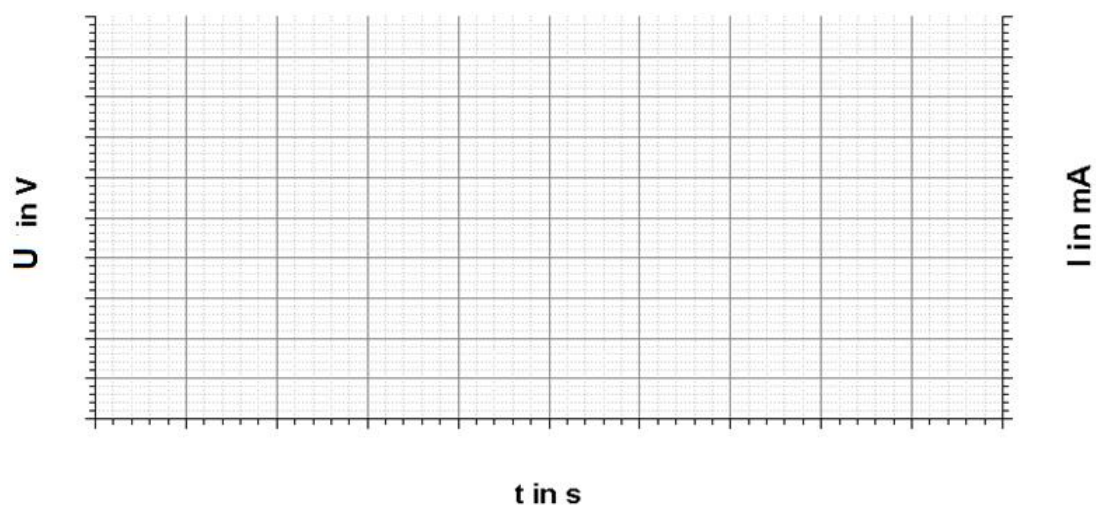
$t$ in s	200	240	280	320	340	360	380	420
$U$ in V								
$I$ in mA								

## Grafieken

### Serieregelaar



### PWM-regelaar



## Besluit

<b>Experiment 9.1: Het werkingsprincipe MPP-tracker module</b>	Datum:
Naam:	Klas:

### Waarnemingen

	zonder MPP-tracker	MPP-Tracker manual mode	MPP-Tracker search mode
U (V)			
I (mA)			
P (mW)			

### Besluit

**Experiment 9.2:  
Karakteristiek van de MPP-tracker**

Datum:

Naam:

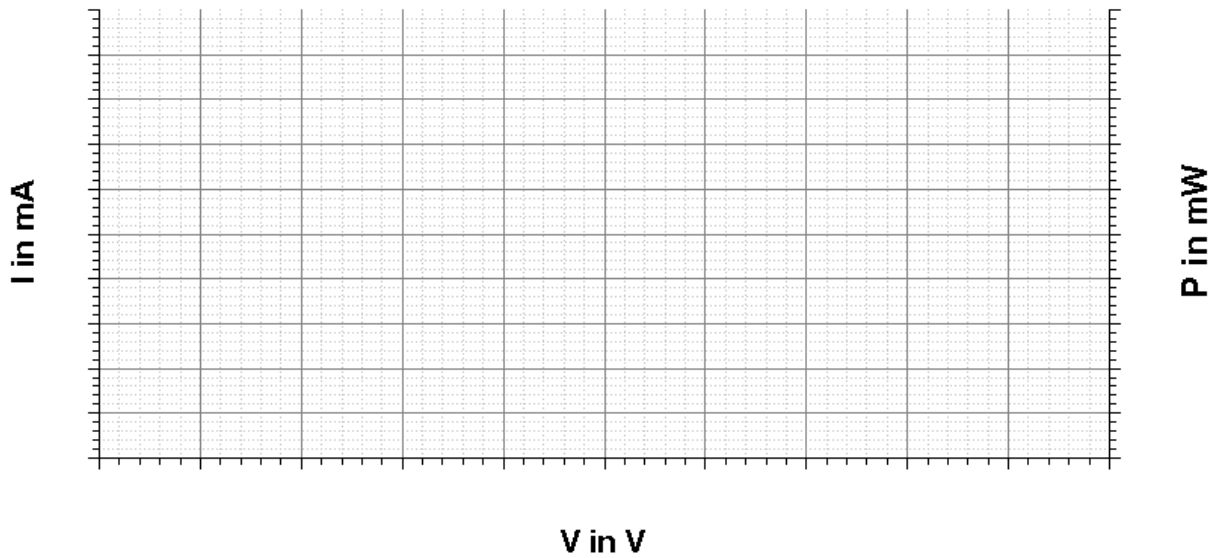
Klas:

**Metingen**

$U_{uit} / V$										
$I_{uit} / mA$										
$P_{uit} / mW$										
$R_{uit} / \Omega$										
$U_{in} / V$										
$I_{in} / mA$										
$P_{in} / mW$										
$R_{in} / \Omega$										

$U_{uit} / V$										
$I_{uit} / mA$										
$P_{uit} / mW$										
$R_{uit} / \Omega$										
$U_{in} / V$										
$I_{in} / mA$										
$P_{in} / mW$										
$R_{in} / \Omega$										

## Grafieken



## Besluit/Vragen

1. Observeer de gemeten waarden. Wat hebben alle inkomende waarden gemeen?
2. Vergelijk de gemeten waarden met de gemeten waarden van het experiment "I-U karakteristiek en MPP van een zonnecel". Wat gebeurt er bij de meting met de MPP-tracker?
3. Vat het effect van de MPP-tracker samen

**Experiment 9.3: Vergelijking van de shuntregelaar en MPP-tracker voor de C-laadcurve.**

Datum:

Naam:

Klas:

**Metingen**

met shunt-regelaar:

$t$ (s)	40	60	80	100	120
$U$ (V)					
$I_{\text{laad}}$ (mA)					

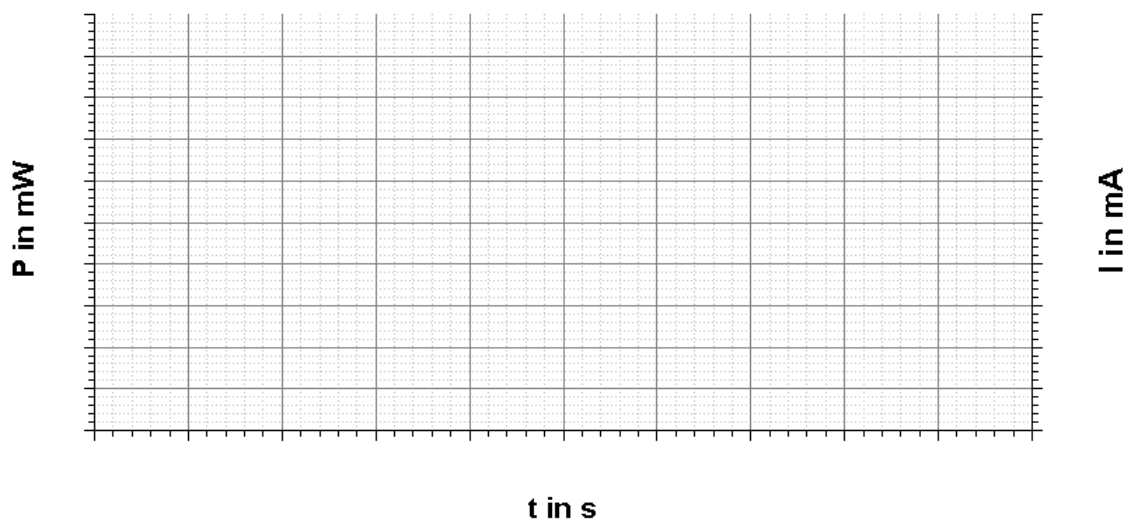
$U_{\text{eind}} =$

met MPP-tracker:

$t$ (s)	40	60	80	100	120
$U$ (V)					
$I_{\text{laad}}$ (mA)					

$U_{\text{eind}} =$

**Grafiek**



---

## Besluit

1. Bereken de energie-inhoud van de condensator na beide experimenten. Welke regelaar zou de voorkeur moeten krijgen?
2. Teken de laadstroom en het laadvermogen voor beide typen van de regelaars over de tijd.
3. Leg je observaties uit. Welke regelaar is het meest efficiënt? Waarom?



<b>Experiment 10: Werkingsprincipe van de diep ontladingsbeveiliging.</b>	Datum:
Naam:	Klas:

**Metingen**

a) zonder diep ontlad beveiliging

t [s]													
v [V]													

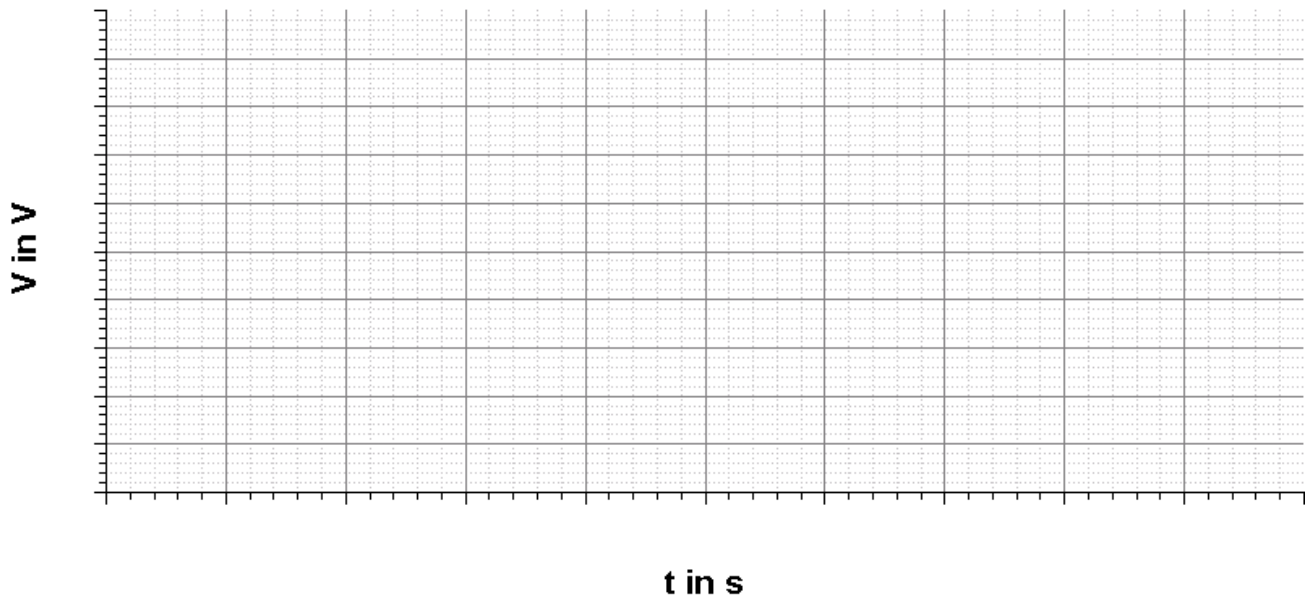
t [s]													
v [V]													

b) met diep ontlad beveiliging

t [s]													
v [V]													

t [s]													
v [V]													

## Grafiek



## Besluit/Vrage

1. Bepaal de schakeldrempels van de diepe ontlading beschermer van de tweede karakteristiek
2. Beschrijf de wijze van functioneren en de rol doel van de diepe ontlading beschermer
3. De opgenomen karakteristiek zonder diepe ontlading beschermer komt overeen met de conventionele \_\_\_\_\_ van de condensator. Door de extra zonnepaneel stroom de lozing cyclus is \_\_\_\_\_. De onderste schakelpunt drempel van de diepe ontlading is \_\_\_\_\_, de bovenste drempel is \_\_\_\_\_.
4. Wat is de wijze van functioneren en de rol van de diepe ontlading beschermer?

## Zonne-energie woordenboek

### A

- AM, afk., Eng. air mass, aanduiding voor de luchtdichtheid. De luchtdichtheid beïnvloedt het spectrum van het zonlicht dat het aardoppervlak (aardatmosfeer) bereikt. In midden-Europa bedraagt de air mass gemiddeld 1,5.
- Amorf silicium, atomen in het amorfe materiaal zijn willekeurig gerangschikt (amorf is Grieks voor onsamenhangend). Vanwege de siliciumplakken van slechts 0,5 m dikte is de productie d.m.v. de zgn. dunne laagtechniek zeer kostengunstig.
- Amorfe zonnecellen, zonnecellen uit amorf silicium. Deze zijn gemaakt m.b.v. de dunne laagtechniek.
- Anti-reflectielaag, is een enkele miljoenste millimeter dunne, transparante laag, die opbrengstverliezen door weerkaatsing van het zonlicht tegengaat. Licht dat door het oppervlak van de zonnecellen wordt gereflecteerd kan niet worden opgevangen, waardoor minder stroom wordt omgezet. De anti-reflectielaag zorgt vandaar voor een verhoogde opname van zonlicht en zodoende een hogere werkingsgraad.
- Autonoom systeem (eiland-systeem) een zonnestroomsysteem dat niet aan het publieke elektriciteitsnet is gekoppeld en alleen de afgezonderde elektrische gebruiker van energie voorziet, bijv. in de bergen of in een landelijke omgeving.
- Azimut (A) opstelling van de panelen volgens de sterrenkunde(noord-oost-zuid-west)bvb.  $A=0^\circ \Rightarrow$  het paneel is naar het noorden gericht  $A=90^\circ \Rightarrow$  het paneel is naar het westen gericht  $A=180^\circ \Rightarrow$  het paneel is naar het zuiden gericht  $A=270^\circ \Rightarrow$  het paneel is naar het oosten gericht (soms wordt voor Zonnepanelen echter ook zuid als  $0^\circ$  beschouwd)

### B

- Becquerel, Alexandre-Edmond, een Frans natuurkundige, ontdekte in 1839 de principes van fotovoltaïsche omzetting: als licht valt op een (negatief geladen) elektron in de buurt van een elektrisch veld, ontstaat er elektrische spanning; fotovoltaïk.
- Beschaduwing, obstakels, bijv. schoorstenen, bomen of antennes, zorgen voor een beperkte instraling van de zon. De zo ontstane schaduw kan leiden tot een meer dan evenredig verminderde opbrengst van het PV systeem.
- Bypass diode, een diode die parallel aan een cellenstring is geschakeld die bij beschaduwing van enkele zonnecellen (seriegeschakeld), de stroom van andere stringen langs deze cellen omleidt. Hot spot.

### C

- COM-Card (netwerkaart) Deze kaart zorgt voor communicatie tussen omvormers onderling alsmede de datalogger.

## D

- Datalogger (data registratie apparaat), meetwaarden uit de omvormer en opbrengstgegevens van de PV systemen worden met behulp van een datalogger over een groot tijdsbestek geregistreerd.
- Degradatie (opbrengstvermindering), amorfe silicium zonnecellen kennen dit effect. Na ongeveer 1000 zonne-uren stabiliseert de opbrengst zich op een niveau conform het nominale vermogen dat door de fabrikant wordt aangegeven. Amorf silicium.
- Diffuse straling treedt op, indien directe zonnestraling door wolken of atmosfeerdeeltjes verstrooid wordt.

Deze straling bereikt dus niet via een vast traject een bepaalde plaats op het aardoppervlak, in tegenstelling tot directe straling.

- Directe straling, zonnestraling die direct, zonder omweg het aardoppervlak bereikt.

Zie tevens indirecte, ofwel diffuse straling.

- "Dunne-laag" zonnecellen (zonnecellen die zijn opgebouwd uit een dunne laag kristallijnsilicium), aanduiding voor dunne zonnecellen, waarvan het vervaardigingproces zonder Wafer (kristallijnsilicium) plaatsvindt. Dit proces is door het lage gebruik van silicium zeer gunstig qua energiekosten.

## E

- EEG Duits, afk. voor Wetgeving op Regeneerbare Energie
- Efficiëntie, werkingsgraad
- Energieomslagpunt, de tijd die een PV systeem nodig heeft, om de benodigde energie op te wekken die het gekost heeft om het te produceren.
- Energieterugverdientijd de tijd die nodig is om minimaal kostendekkend te draaien met behulp van de opbrengsten van het PV systeem.

De terugverdientijd is afhankelijk van de vergoedingsregelingen en de duur daarvan, de investeringskosten, en de energieopbrengsten per jaar.

- ENS  
Instrumentatie ter bewaking van het functioneren van een PV systeem

## G

- Globale instraling, de instraling van het gehele lichtspectrum van de zon die per tijdseenheid een horizontaal vlak op aarde bereikt. Globale instraling is de som van directe en indirecte straling (diffuse straling), en is goed voor zo'n 1000W/m<sup>2</sup> bij een loodrechte zoninstraling. Kijkt men naar de geografische ligging en het daarbij horende aantal zonne-uren in een jaar, dan bedraagt de jaarlijkse instralingsenergie in Duitsland ongeveer 1000 kWh/m<sup>2</sup>, bij de evenaar ligt dit rond de 2200kWh/m<sup>2</sup>

## H

- Hellingshoek, hoek tussen de zonnecellen en de horizontale lijn/waterpaslijn. Elke breedtegraad van de plaats waar het PV systeem staat, kent een optimale hellingshoek.

- Hot spot, ontstaat bij beschaduwning van enkele zonnecellen. In een module zijn meerdere cellen in een string seriegeschakeld. Een geschakelde cel is als een elektrische weerstand en kan, als de stroom door de overige cellen wordt geleid, verhitten en zelfs permanent defect raken. Om dit te voorkomen, worden bypassdioden parallel met de cellen geschakeld.

## M

- Maximum Power Point (MPP), Eng. voor het punt van maximaal vermogen. Dit punt ligt op de stroomspanning curve daar waar een zonnecel zijn maximale vermogen opbrengt. Door MPP tracking kan dit punt in iedere situatie worden opgespoord en vastgehouden.
- Monokristal (monokristallijn), bestaat uit volledig regelmatig gerangschikte siliciumatomen die zich over het gehele materiaal uitstrekken. De efficiëntie van monokristallijne zonnecellen is hoger dan die van multikristallijn silicium.
- Monokristallijn silicium, aanduiding voor silicium, dat uit monokristallen is opgebouwd.
- MPP-tracking, manier om energieopbrengsten dermate te beïnvloeden dat een PV systeem steevast op het hoogst haalbare vermogen (Maximum Power Point) functioneert. Hierdoor worden opbrengstverliezen voorkomen. Het is een onderdeel van de omvormer en spanningsregelaar.

## N

- Nominaal vermogen, dit is het maximaal opbrengstvermogen van een module gemeten onder Standard Test Conditions (STC). De meeteenheid hiervoor is Watt-peak (Wp).
- Netkoppeling, aansluiting van het PV systeem aan het publieke elektriciteitsnet via een omvormer met als doel een volledige of gedeeltelijke teruglevering van de PV stroom. Netgekoppelde PV systemen hebben geen opslagmedium nodig.

## O

- Omvormer, zet de door de zonnecellen opgewekte gelijkstroom om in wisselstroom. De omvormer zorgt ervoor dat de PV installatie het maximale vermogen afgeeft (Maximum Power Point).
- Oriëntatie (O) opstelling van de panelen volgens de kompasroos. bvb.  $O = 0^\circ \Rightarrow$  het paneel is naar het noorden gericht  $O = 90^\circ \Rightarrow$  het paneel is naar het westen gericht  $O = 180^\circ \Rightarrow$  het paneel is naar het zuiden gericht  $O = 270^\circ \Rightarrow$  het paneel is naar het oosten gericht

## P

- Performance ratio, beoordelingscriterium voor PV systemen, onafhankelijk van de hoek waarin het PV systeem naar de zon is gericht en de voor het systeem geldende optimale instraling. Performance ratio wordt gedefiniëerd als de verhouding tussen de daadwerkelijke en de theoretisch mogelijke energieopbrengst. Photovoltaïk (afk. PV, PhotoVoltaïk), is de techniek waarmee zonne-energie door zonnecellen in elektrische energie (stroom) wordt omzet. Photovoltaïsch principe, dit principe geeft het ontstaan van elektrische spanning in een halfgeleider, een kleurstof molecuul of soortgelijk weer, als bij lichtinval geladen deeltjes worden geactiveerd. Indien vervolgens de geladen deeltjes worden geëxtraheerd, kan elektrische energie in de vorm van stroom worden opgewekt. Het photovoltaïsche principe is door Becquerel ontdekt.
- Polykristallijn of multikristallijn silicium, bestaat uit kleine kristallen die netjes gerangschikt zijn en een doorsnede van enkele millimeters tot centimeters kunnen hebben. Deze zijn hierdoor veel eenvoudiger te produceren dan monokristallijn silicium.

## R

- Reflectieverliezen, licht dat door het oppervlak van de zonnecellen wordt gereflecteerd, en daardoor niet kan worden omgezet in stroom. Een anti-reflectielaag is hiervoor de oplossing.

## S

- Silicium, chemisch element, dat vier verbindingen met andere atomen kan aangaan. Silicium is de halfgeleider die tot nu toe voor zowel de halfgeleiderindustrie als de PV systeemtechniek het belangrijkste is. De grondstof siliciumdioxide (zand) kan tot monokristallijn-, polykristallijn- of amorf silicium worden verwerkt.
- Standard Test Conditions (afk. STC) Eng. voor standaard test condities. Meting van het nominale vermogen van een zonnemodule bij een zonnenspectrum met een AM van 1,5, met een celtemperatuur van 25 ° Celsius en een instraling van 1000W/m<sup>2</sup>.
- String, (Modulestring), aanduiding voor meerdere in serie geschakelde zonnecellen van een module.
- Stroom-spanning curve, verhouding tussen deze twee eenheden is de basis van een zonnecel. Zonnecellenstroom wordt omgezet in spanning en afgevoerd.

## V

- Ventilatie, bij een goede ventilatie blijft de temperatuur van de zonnecellen gering en de werkingsgraad optimaal.

## W

- Werkingsgraad van een PV module, verhouding tussen de afgegeven energie en de instralingsenergie, gebaseerd op het oppervlak van het PV systeem.

## Z

- Zonnecollector, deze zet het geabsorbeerde zonlicht meteen om in warmte. Door een vloeistof (bijv. water of olie) met een hoog warmtevasthoudend vermogen wordt de warmte opgenomen, vervoerd, en aan een warmteopslagtank afgegeven.
- Zonneorientatie systeem, speciaal bevestigingssysteem, waarbij de PV installatie voortdurend naar de zon is gericht, zodanig dat het zonlicht loodrecht op de zonnecellen valt.
- Zonneslag, Het in groepsverband aankopen van zonnepanelen om zo een lagere prijs te verkrijgen.

Bron:

Ergeon, your energie saving specialist.

[http://www.ergeon.be/zonne-energie-woordenboek-zonnecelen-ventilatie-zonneslag\\_NL%7C-3312.html](http://www.ergeon.be/zonne-energie-woordenboek-zonnecelen-ventilatie-zonneslag_NL%7C-3312.html)

Geraadpleegd op 4/02/15