



ZIEL
Messung der Kennlinien eines Photovoltaikmoduls in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke

AUFGABEN

- Messung der I-U-Kennlinien eines Photovoltaikmoduls bei verschiedenen Beleuchtungsstärken.
- Vergleich der gemessenen Kennlinien mit einer Berechnung nach dem Ein-Dioden-Modell.
- Bestimmung des Zusammenhanges zwischen Leerlaufspannung und Kurzschlussstrom für verschiedene Beleuchtungsstärken.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Photovoltaikanlage wandelt Lichtenergie aus Sonnenlicht in elektrische Energie um. Dazu verwendet man Solarzellen, die z.B. aus geeignet dotiertem Silizium bestehen und im Prinzip einer großflächigen Photodiode entsprechen. In der Solarzelle absorbiertes Licht löst Ladungsträger aus den Kristallbindungen, die zu einem Photostrom gegen die Durchlassrichtung des p-n-Überganges beitragen. Der an eine äußere Last abgebbare Strom wird durch den Diodenstrom der Solarzelle begrenzt. Er erreicht bei der sogenannten Leerlaufspannung U_{oc} den Wert Null, weil sich der Photostrom und Diodenstrom dort genau kompensieren, und wird negativ, wenn eine Spannung oberhalb der Leerlaufspannung angelegt wird. Im Bereich positiver Ströme kann die Solarzelle als Generator zur Abgabe elektrischer Energie an eine äußere Last betrieben werden. Im Experiment werden die Strom-Spannungs-Kennlinien dieses Generators in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke gemessen und mit einem einfachen Parametersatz beschrieben.

BENÖTIGTE GERÄTE

Anzahl	Geräte	Art.-Nr.
1	SEG Solarenergie (230 V, 50/60 Hz)	1017732 oder 1017731
1	DC-Netzgerät 0-20 V, 0-5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 oder 1003311
	DC-Netzgerät 0-20 V, 0-5 A (115 V, 50/60 Hz)	

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Der Begriff Photovoltaik ist eine Zusammensetzung aus dem griechischen Wort Phos (Licht) und dem italienischen Namen Volta. Er ehrt *Alessandro Volta*, der u. a. die erste funktionsfähige elektrochemische Batterie erfand. Eine Photovoltaikanlage wandelt „kostenlos verfügbare“ Lichtenergie aus Sonnenlicht ohne CO₂-Emission in elektrische Energie um. Dazu verwendet man Solarzellen, die in den allermeisten Fällen aus geeignet dotiertem Silizium bestehen und einer großflächigen Photodiode entsprechen. In der Solarzelle absorbiertes Licht löst Ladungsträger aus den Kristallbindungen (innerer Photoeffekt), die im elektrischen Feld des durch Dotierung erreichten p-n-Überganges zu den äußeren Kontakten der Solarzelle gelangen, die Elektronen zur n-dotierten Seite und die Defektelektronen (Löcher) zur p-dotierten Seite (Abb. 1). So entsteht ein Photostrom gegen die Durchlassrichtung des p-n-Überganges, der elektrische Energie an eine äußere Last abgeben kann.

Technische Informationen zu den Geräten finden Sie unter 3bscientific.com



Der Photostrom I_{ph} ist proportional zur Beleuchtungsstärke Φ :

$$(1) \quad I_{ph} = \text{const} \cdot \Phi$$

Er wird überlagert durch den Diodenstrom in Durchlassrichtung

$$(2) \quad I_D = I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right)$$

I_s : Sättigungsstrom, U_T : Temperaturspannung

und wächst umso stärker an, je mehr die zwischen den Anschlüssen aufgebaute Spannung U die Diffusionsspannung U_D übersteigt. Also wird der nach außen abgegebene Strom I durch den Diodenstrom begrenzt:

$$(3) \quad I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right)$$

Er erreicht bei der sogenannten Leerlaufspannung U_{oc} den Wert Null, weil der Photostrom und der Diodenstrom sich dort genau kompensieren, und wird negativ, wenn eine Spannung $U > U_{oc}$ angelegt wird. Im Bereich positiver Ströme kann die Solarzelle als Generator zur Abgabe elektrischer Energie an eine äußere Last betrieben werden. Gl. (3) beschreibt die I-U-Kennlinie dieses Generators. Da der Photostrom I_{ph} in der Praxis erheblich größer als der Sättigungsstrom I_s ist, lässt sich aus (3) für die Leerlaufspannung der Zusammenhang

$$(4) \quad U_{oc} = U_T \cdot \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s}\right)$$

ableiten. Wird die Solarzelle an ihren Anschlüssen kurzgeschlossen, liefert sie den Kurzschlussstrom I_{sc} , der wegen $U = 0$ gemäß (3) dem Photostrom entspricht. Also ist

$$(5) \quad U_{oc} = U_T \cdot \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_s}\right), \text{ mit } I_{sc} = I_{ph}$$

Gl. 2 beschreibt das Diodenverhalten im Rahmen des sogenannten Standardmodells. Hier ist der Sättigungsstrom I_s eine Materialgröße, die von den geometrischen und elektrischen Daten der Solarzelle abhängt. Für die Temperaturspannung U_T gilt

$$(6) \quad U_T = \frac{m \cdot k \cdot T}{e}$$

$m = 1 \dots 2$: Idealitätsfaktor
 k : Boltzmann-Konstante, e : Elementarladung,
 T : Temperatur in Kelvin

In einer genaueren Betrachtung der Kennlinie sind noch Leckströme an den Kanten der Solarzelle und punktuelle Kurzschlüsse des p-n-Überganges zu berücksichtigen, die sich durch einen Parallelwiderstand R_p modellieren lassen. Gl. 3 wird damit zu

$$(7) \quad I = I_{ph} - I_s \cdot \left(\exp\left(\frac{U}{U_T}\right) - 1 \right) - \frac{U}{R_p}$$

Um gut nutzbare Spannungen im Bereich zwischen 20 und 50 V zu erreichen, werden in der Praxis viele Solarzellen in einem Photovoltaikmodul in Reihe geschaltet. Eine solche Reihenschaltung aus 18 Solarzellen wird im Experiment mit einer Halogenlampe variabler Beleuchtungsstärke beleuchtet, um Strom-Spannungs-Kennlinien des Moduls bei unterschiedlichen Beleuchtungsstärken aufzuzeichnen.

AUSWERTUNG

Die Schar der Strom-Spannungs-Kennlinien des Photovoltaikmoduls (Abb. 2) lässt sich mit Hilfe von Gl. 7 beschreiben, wenn man unabhängig von der Beleuchtungsstärke den stets gleichen Parametersatz I_s , U_T und R_p einsetzt und den Photostrom I_{ph} abhängig von der Beleuchtungsstärke wählt. Allerdings beträgt die Temperaturspannung das 18-fache des in Gl. 6 abgeschätzten Wertes, da das Modul als Reihenschaltung aus 18 Solarzellen aufgebaut ist.

Als Ersatzschaltbild für das Photovoltaikmodul lässt sich also eine Parallelschaltung aus einer idealen Stromquelle, einer Reihenschaltung aus 18 Halbleiterdioden und einem ohmschen Widerstand angeben, siehe Abb. 3. Die Stromquelle liefert einen von der Beleuchtungsstärke abhängigen Strom in Sperrrichtung.

Abb. 1: Schematische Darstellung einer Solarzelle als Halbleiterelement, n⁺: stark n-dotierter Bereich, p: p-dotierter Bereich, ●: durch Lichtabsorption erzeugtes Defektelektron (Loch), ●: durch Lichtabsorption erzeugtes freies Elektron, +: „ortsfeste“ positive Ladung, -: „ortsfeste“ negative Ladung, E_{int} : durch die Raumladungsdifferenz aufgeprägtes elektrisches Feld, R_L -Lastwiderstand

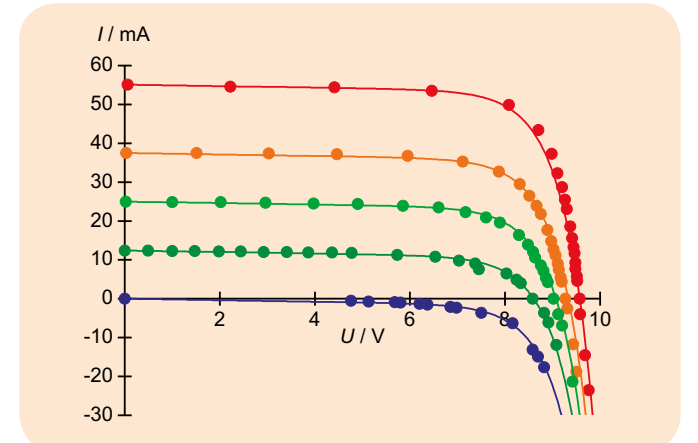
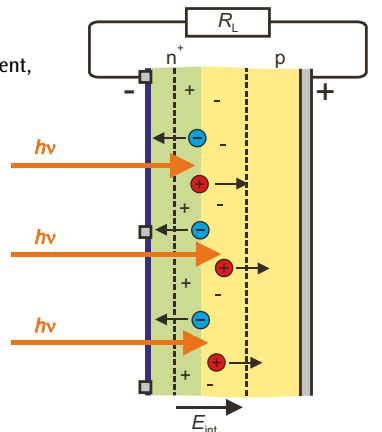


Abb. 2: Strom-Spannungs-Kennlinienschar eines Photovoltaikmoduls für fünf verschiedene Beleuchtungsstärken

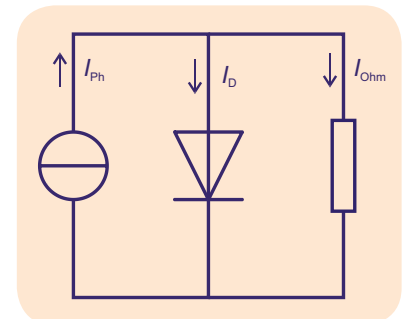


Abb. 3: Ersatzschaltbild für das Photovoltaikmodul