



OBJETIVO

Medición de las curvas características de un módulo fotovoltaico en dependencia con la intensidad de la iluminación

TAREAS

- Medición de las curvas características I-U de un módulo fotovoltaico bajo diferentes intensidades de iluminación.
- Comparación de las curvas características medidas con un cálculo según el modelo de un diodo.
- Determinación de la relación entre voltaje de circuito abierto y corriente de cortocircuito para diferentes intensidades de iluminación.

RESUMEN

Una instalación fotovoltaica convierte la energía luminosa de la luz solar en energía eléctrica. Para ello se utilizan células solares, las cuales, p.ej. se componen de silicio dopado apropiadamente y en principio corresponden a un fotodiodo de gran superficie. En la célula solar la luz absorbida desprende portadores de carga de los enlaces cristalinos, los cuales contribuyen a una corriente fotoeléctrica en contra de la dirección de conducción de la transición p-n. La corriente entregable a la carga externa está limitada por la corriente del diodo de la célula solar. Ésta alcanza el valor cero con la llamada tensión de circuito abierto U_{oc} , porque la corriente fotoeléctrica y la corriente del diodo en este punto se compensan, y se hace negativa cuando se conecta una tensión por encima de la tensión de circuito abierto. En el rango de corrientes positivas, la célula solar se puede hacer funcionar como generador para entregar energía eléctrica a una carga externa. En el experimento se miden las curvas características de este generador en dependencia con la intensidad de la iluminación y se describen con un juego de parámetros sencillo.

EQUIPO REQUERIDO

Número	Aparato	Artículo N°
1	SEA Energía solar (230 V, 50/60 Hz)	1017732 ó
	SEA Energía solar (115 V, 50/60 Hz)	1017731
1	Fuente de alimentación CC, 0 – 20 V, 0 – 5 A (230 V, 50/60 Hz)	1003312 ó
	Fuente de alimentación CC, 0 – 20 V, 0 – 5 A (115 V, 50/60 Hz)	1003311

FUNDAMENTOS GENERALES

El concepto de "Fotovoltaica" es una combinación de la palabra griega "Phos" (Luz) y el nombre del Volta. Este nombre hace honor a *Alessandro Volta* el cual entre otras, inventó la primera batería electroquímica capaz de funcionar. Una instalación fotovoltaica convierte la energía luminosa "disponible sin costos" de la luz solar en energía eléctrica sin emisión de CO₂. Para ello se utilizan células solares, las cuales, p.ej. se componen de silicio dopado apropiadamente y en principio corresponden a un fotodiodo de gran superficie. La luz absorbida por la célula solar desprende portadores de carga de los enlaces cristalinos, (efecto fotoeléctrico interno) los cuales, en el campo eléctrico de la transición p-n creada por el dopado llegan a los contactos externos de la célula solar, los electrones al lado dopado n y los defectos de electrones (huecos) al lado dopado p (Fig. 1) Así se genera la corriente fotoeléctrica en contra de la dirección de conducción de la transición p-n, la cual puede entregar energía eléctrica a la carga externa.

Informaciones técnicas de los aparatos encuentra Ud. en 3bscientific.com



La corriente fotoeléctrica I_{ph} es proporcional a la intensidad de la iluminación Φ :

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

Ésta se sobrepone con la corriente de diodo en la dirección de conducción

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

I_s : Corriente de saturación, U_T : Tensión de estrés térmico

y aumenta tanto más fuertemente cuando la tensión U que se crea entre los puntos de contacto sobrepasa la tensión de difusión U_D . Por lo tanto la corriente I entregada hacia afuera es limitada por la corriente de diodo:

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

En la así llamada tensión de circuito abierto U_{oc} llega al valor cero, porque la corriente fotoeléctrica y la corriente de diodo allí se compensan exactamente y se hace negativa cuando se conecta una tensión $U > U_{oc}$. En el rango de corrientes positivas la célula solar se puede hacer funcionar como generador para entregar energía eléctrica a una carga externa. La ecuación (3) describe la curva característica I-U de este generador. Como la corriente fotoeléctrica I_{ph} en la práctica es fuertemente mayor que la corriente de saturación I_s , se puede deducir de (3) para la tensión de circuito abierto la relación

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

Si la célula solar se puentea en sus puntos de contacto, ella entrega la corriente de cortocircuito I_{sc} , la cual, debido a que $U = 0$ según (3) corresponde a la corriente fotoeléctrica. Es decir

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

La Ec 2. describe el comportamiento del diodo en el marco del llamado "Modelo estandar". Aquí la corriente de saturación I_s es una magnitud que dependen del material y de los datos eléctricos de la célula solar. Para la tensión de estrés térmico U_T se tiene

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

$m = 1 \dots 2$: Factor de idealidad
 k : Constante de Boltzmann, e : Carga elemental,
 T : Temperatura en Kelvin

En una observación más exacta de la curva característica se deben tener en cuenta corrientes de fuga en los bordes de la célula solar y cortocircuitos puntuales en la transición p-n, los cuales se dejan modelar por medio de una resistencia en paralelo R_p . En esta forma la ecuación (3) se convierte en:

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

Para lograr tensiones bien aplicables en el alcance entre 20 y 50 V, en la práctica se conectan muchas células solares en serie en un módulo fotovoltaico compuesto por 18 células solares. Una conexión en serie como tal, formada por 18 células solares conectadas en serie, se ilumina en el experimento con una lámpara halógena de intensidad de iluminación variable, para registrar las curvas características del módulo con intensidades de iluminación diferentes.

EVALUACIÓN

El grupo de curvas características corriente – tensión del módulo fotovoltaico (Fig. 2) se puede describir con la Ec. 7, cuando independiente de la intensidad de la iluminación se utiliza el mismo juego de parámetros I_s , U_T und R_p y se elige la corriente fotoeléctrica I_{ph} dependiente de la intensidad de la iluminación. Sin embargo, la tensión de estrés térmico U_T es 18 veces el valor estimado en la Ec. 6, porque el módulo está compuesto de 18 células solares conectadas en serie. Como circuito equivalente para el módulo fotovoltaico se puede entonces especificar una conexión en paralelo compuesta de una fuente de corriente ideal, una conexión en serie de 18 diodos semiconductores y una resistencia óhmica, véase Fig. 3. La fuente de corriente entrega una corriente dependiente de la intensidad de la iluminación en dirección de bloqueo.

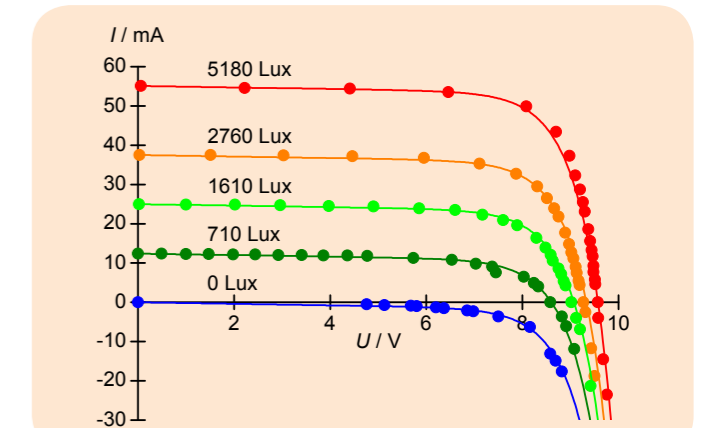
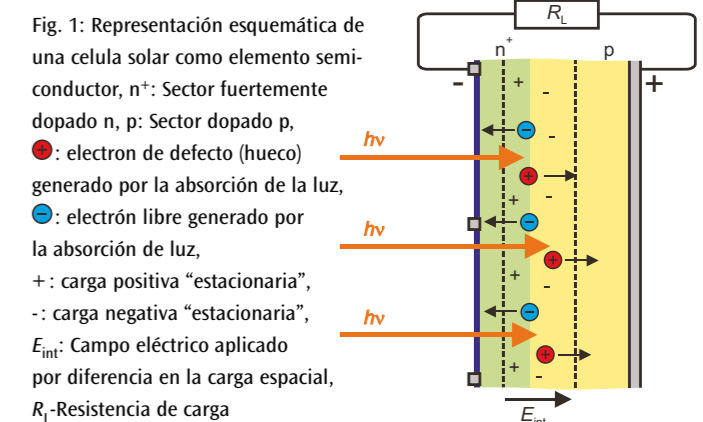


Fig. 2: Grupo de curvas características corriente-tensión de un módulo fotovoltaico para cinco diferentes intensidades de iluminación

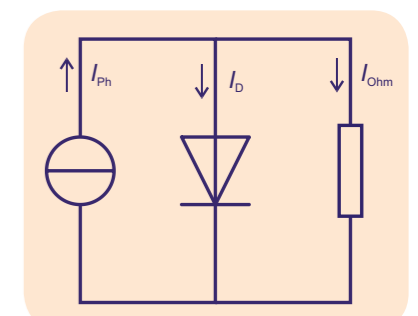


Fig. 3: Circuito equivalente para el módulo fotovoltaico