
**OBJETIVO**
**Estudio de la influencia del sombreado parcial**
**TAREAS**

- Medición y análisis de la línea característica  $I-U$  y de la línea característica  $P-R$  de una conexión en serie de dos módulos fotovoltaicos.
- Medición y análisis de las líneas características en caso de un sombreado parcial con y sin protección por diodos de bypass.
- Comprobación de la tensión de bloqueo en un módulo sombreado y sin protección.
- Determinación de las pérdidas de potencia por el sombreado parcial.

**RESUMEN**

En instalaciones fotovoltaicas normalmente varios módulos se conectan en serie formando un ramal. Los módulos son, a su vez, conexiones en serie de muchas celdas solares. En la práctica tienen lugar sombreados parciales. Entonces, módulos individuales de la instalación son iluminados con una intensidad reducida y entregan por lo tanto sólo una corriente fotoeléctrica pequeña, la cual limita la corriente que fluye por la conexión en serie completa. Esto se evita por medio de la conexión de diodos de bypass. En el experimento dos módulos compuestos cada uno de 18 celdas solares representan una instalación fotovoltaica sencilla. Éstos se conectan opcionalmente sin o con diodos de bypass adicionales en serie y se iluminan con la luz de una lámpara halógena.

**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

**FUNDAMENTOS GENERALES**

En instalaciones fotovoltaicas normalmente se conectan en serie varios módulos formando un ramal. Los módulos son, a su vez, conexiones en serie de muchas celdas solares.

El cálculo de la corriente y de la tensión de una conexión en serie como esta sigue las leyes de Kirchhoff teniendo en cuenta la característica de corriente contra tensión de las celdas solares. A través de la conexión en serie de todos los módulos fluye la misma corriente  $I$  y la tensión total

$$(1) \quad U = \sum_{i=1}^n U_i$$

$n$ : Número de módulos

es la suma de todas las tensiones  $U_i$  entre los puntos de conexión de cada uno de los módulos individuales. La característica de corriente contra tensión de una celda solar resp. de un módulo se puede explicar bien por medio de un circuito equivalente, el cual está compuesto de una conexión antiparalela compuesta de una fuente de corriente constante, que entrega la corriente fotoeléctrica, y un "diodo semiconductor". Pérdidas ohmicas que aparezcan corresponden a una resistencia adicional conectada en paralelo (véase el experimento UE8020100 y la Fig. 1). La corriente fotoeléctrica es proporcional a la intensidad de iluminación de la luz. Con intensidad de iluminación igual los módulos se comportan en igual forma y crean cada uno la misma tensión individual. Entonces, de la Ec. 1 se tiene:

$$(2) \quad U = n \cdot U_i$$

Sin embargo, en la práctica pueden tener lugar sombreados parciales en una instalación fotovoltaica. Algunos módulos de la instalación son entonces iluminados con una intensidad de luz reducida y entregan sólo una corriente fotoeléctrica pequeña, la cual limita la corriente a través de toda la conexión en serie. Esta limitación de la corriente conduce a que se creen diferentes tensiones  $U_i$  individuales en los módulos. En el caso extremo, en los módulos plenamente iluminados, inclusive con cortocircuito ( $U = 0$ ), se alcanzan valores de hasta de tensión de circuito abierto, véase también la Fig. 2. La suma de estas tensiones, en dirección de bloque, se encuentra en los módulos sombreados. Esto puede provocar un recalentamiento masivo y un encapsulado o una destrucción de las mismas celdas solares. Como protección las instalaciones fotovoltaicas están equipadas de diodos de bypass, los cuales pueden hacer una derivación de la corriente en los elementos sombreados.

En el experimento dos módulos, compuestos cada uno de 18 celdas solares, representan una instalación fotovoltaica sencilla. Éstos se pueden conectar en serie opcionalmente sin o con diodos de bypass adicionales y ser iluminados con la luz de una lámpara halógena. Primero se iluminan ambos módulos fuertemente con la misma intensidad y luego un módulo se sombrea de tal forma que entregue solamente la mitad de la corriente fotoeléctrica. En todos los casos se registran y se comparan las líneas características de  $I-U$ , desde cortocircuito hasta circuito abierto. Además se calculan las potencias como funciones de la resistencia de carga, para determinar las pérdidas de potencia por el sombreado y la influencia de los diodos de bypass. En el caso del cortocircuito se mide además separadamente la tensión en el módulo sombreado, ésta llega a -9 V, cuando el módulo no está protegido por un diodo de bypass.

**EVALUACIÓN**

Si un módulo, p. ej., entrega sólo la mitad de la corriente fotoeléctrica, ésta determina la corriente de cortocircuito de la conexión en serie, cuando no se emplea ningún diodo de bypass.

Con un diodo de bypass se logra que un módulo totalmente iluminado entregue su corriente más alta, hasta que ésta se reduzca porque se llega a la tensión de circuito abierto de cada módulo.

El modelo matemático para la adaptación de los valores de medida en las Figs. 3 y 4 tiene en cuenta las leyes de Kirchhoff y aplica las líneas características de corriente contra tensión de los módulos individuales determinadas en el experimento UE8020100, con los parámetros  $I_s$ ,  $U_T$  y  $R_p$ . Para tener en cuenta los diodos de bypass se consideran sus líneas características.

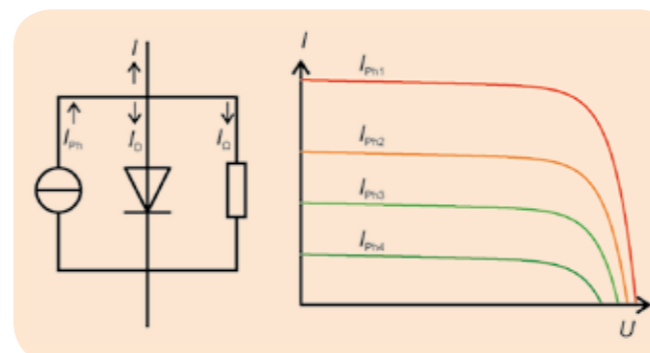
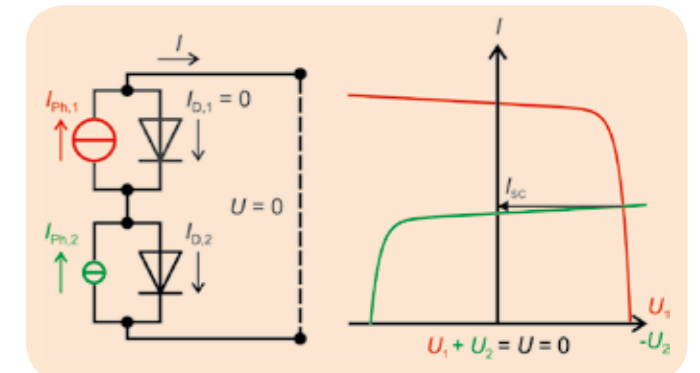
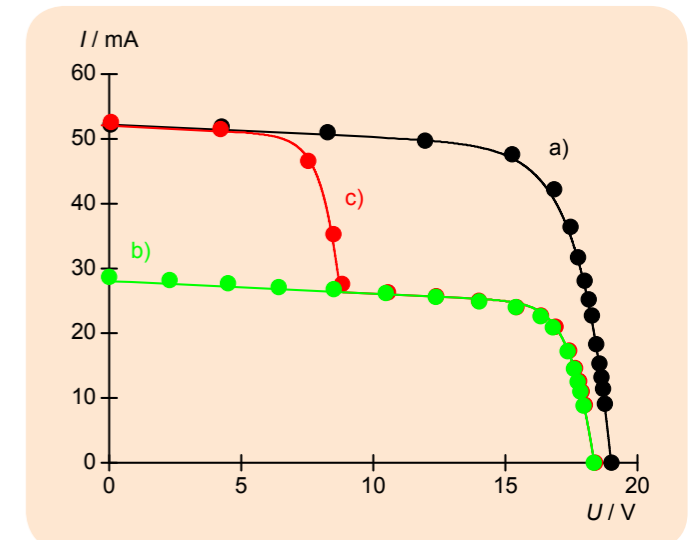
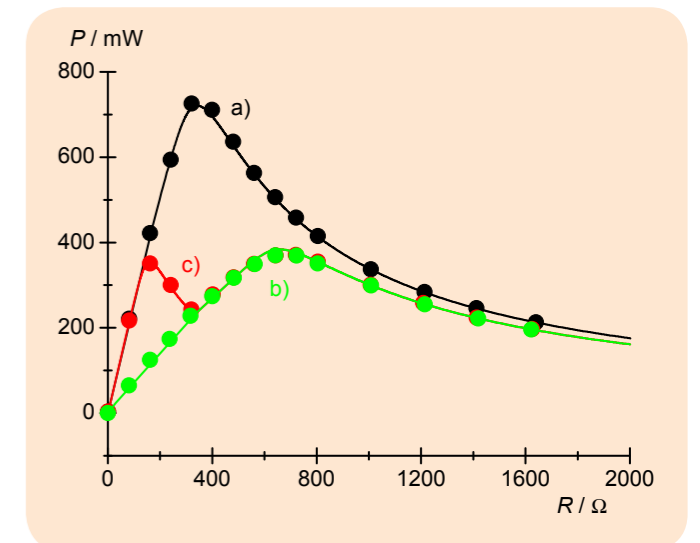


Fig. 1: Circuito equivalente y líneas características de una celda solar


 Fig. 2: Observación esquemática de un sombreado parcial de la conexión en serie de dos módulos sin bypass, en cortocircuito ( $U = 0$ ). La línea característica del módulo sombreado (verde) está representada especularmente. Aquí se ajusta una tensión  $U_2$  en dirección de bloqueo.

 Fig. 3: Línea característica  $I-U$  de la conexión en serie de dos módulos. a) Sin sombreado, b) Sombreado parcial, sin bypass, c) sombreado parcial, con bypass.

 Fig. 4: Línea característica  $P-R$  de la conexión en serie de dos módulos. a) Sin sombreado b) Sombreado parcial, sin bypass, c) Sombreado parcial, con bypass.