

Aplicación de simulación SPICE a la enseñanza de los sistemas fotovoltaicos

S.Silvestre, L.Castañer, R.Aloy y D.Carles.
C/Gran Capitán s/n, Módulo C-4, Despacho 106, 08034 Barcelona
Tfno:93-4017491, Fax: 4016756, e-mail : santi@eel.upc.es

RESUMEN.- En este trabajo se presenta la simulación de sistemas fotovoltaicos basada en el uso de un simulador estándar de circuitos electrónicos, así como los modelos especialmente desarrollados de los principales componentes del sistema. El método permite el acceso, de forma rápida y sencilla, a la variación temporal de las tensiones y corrientes en los principales nodos del sistema. De este modo se consigue una herramienta potente que permite al alumno el estudio, a través de la simulación, de los distintos bloques que componen el sistema y una mejor comprensión del funcionamiento de los mismos.

1.- INTRODUCCION.

La enseñanza de los sistemas fotovoltaicos se ve muy facilitada por el uso de herramientas informáticas, la mayor parte de las cuales han sido especialmente diseñadas [1]. Sin embargo, en los curricula de Ingeniería de Telecomunicación, los estudiantes se familiarizan y adquieren destreza en el uso de SPICE™ que es un simulador de circuitos electrónicos considerado estándar [2]. Este trabajo presenta la aplicación académica de la utilización de SPICE para la simulación de sistemas fotovoltaicos en el dominio del tiempo.

Esta elección permite trabajar con potentes librerías de componentes y dispositivos electrónicos.

Las características de la simulación en términos de velocidad, tipos de análisis, utilidades gráficas, y su gran flexibilidad para la simulación de distintas topologías, son claras ventajas que aporta esta herramienta.

La aplicación de este método permite el desarrollo de prácticas de simulación de sistemas fotovoltaicos dentro de la asignatura " Energía Solar Fotovoltaica " a los estudiantes de Ingeniería de Telecomunicación de la E.T.S.E.T.B.

2.- METODOS.

Se han desarrollado librerías con los modelos de los principales elementos que se pueden incluir en un sistema de conversión fotovoltaica : Células solares, módulos y baterías [3].

El modelo del circuito equivalente para la célula solar es el modelo del diodo con una resistencia serie y una resistencia paralelo, y los valores de densidad de corriente de cortocircuito, J_{sc} , y tensión de circuito abierto, V_{oc} , en condiciones de iluminación estándar ($AM1.5, 1kWm^{-2}$). La dependencia con la Irradiancia y la temperatura se han implementado definiendo el diodo en oscuridad como una fuente de corriente controlada por tensión, y la corriente fotogenerada se modela del mismo modo, siendo en este caso el perfil de irradiancia el que realiza el control de tensión [3]. Pueden accederse de forma independiente a cada una

de las células solares, de forma que pueden darse valores distintos a los parámetros de cada una de las células. Esto permite simular el funcionamiento de los módulos en condiciones reales de trabajo de forma muy precisa. Para el modelo de las baterías se han adaptado modelos analíticos [4], [5] a un circuito electrónico equivalente que incorpora fuentes controladas por perfiles de temperatura y el valor del estado de carga de la batería, generado a partir de un circuito equivalente que modela el flujo de corriente a través de la misma.

3.- RESULTADOS.

Para ilustrar el potencial del procedimiento de simulación, se ha resuelto un ejemplo mostrando la evolución detallada de las principales tensiones y corrientes en el sistema. Con la simulación también es posible obtener información macroscópica de las características del sistema [6].

El sistema se compone de 4 módulos fotovoltaicos en paralelo ($I_{sc}=4,4$ A, $V_{oc}=20,5$ V) conectados a través de un interruptor de sobrecarga a una batería de 6 elementos (140 Ah). La batería se conecta a una carga constante (60 W), mediante un interruptor de sobredescarga. Los interruptores presentan una histéresis del 5% para evitar oscilaciones. La evolución del sistema se ha simulado por un periodo de 5 días (del 1 al 5 de junio de 1994). El perfil de irradiancia corresponde a datos reales, medidos en intervalos de 10 minutos durante cinco días en Barcelona. Los resultados de la simulación incluyen: (1) Evolución de las tres principales tensiones del sistema: Tensión en el punto de máxima potencia a la salida de los módulos, tensiones en la batería y en la carga. (2) La evolución de las principales corrientes: Corriente a la salida de los módulos, corriente en la batería, y en la carga.

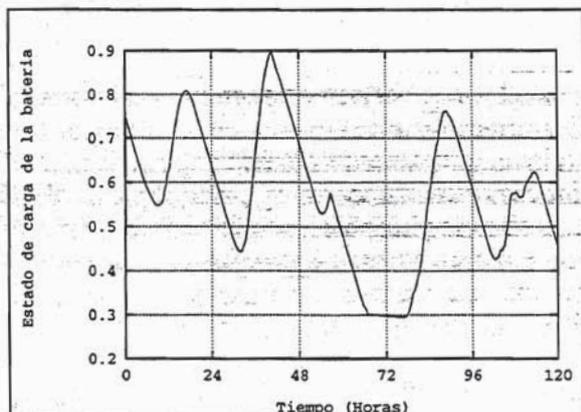


Figura 1. Estado de carga de la batería

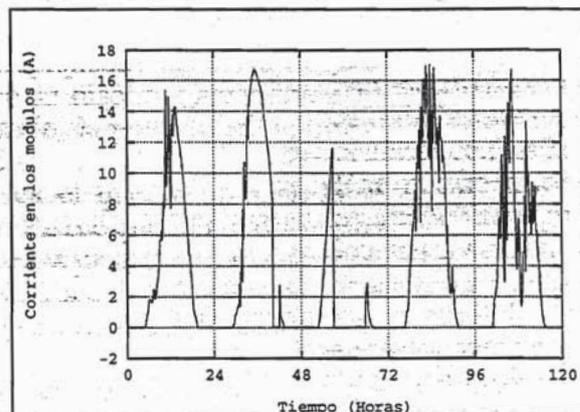


Figura 2. Corriente en los módulos

Se ha supuesto un estado de carga de la batería del 75% al comienzo de la simulación.

La evolución del estado de carga de la batería se muestra en la figura 1.

Se definen dos situaciones extremas: El estado de carga es del 90% en el segundo día de la simulación, indicando que el interruptor de sobrecarga estará abierto desconectando los paneles de la batería, y un estado de carga del 30% en la tercera noche, interruptor de sobredescarga abierto dejando la carga en circuito abierto. Estas dos situaciones pueden identificarse a la salida de los módulos en las figuras 2 y 3.

Las figuras 4 y 5 muestran la evolución de la corriente en la carga y de la tensión en la batería. La pérdida de la carga en la tercera noche se corresponde con la situación de

sobredescarga en la batería.

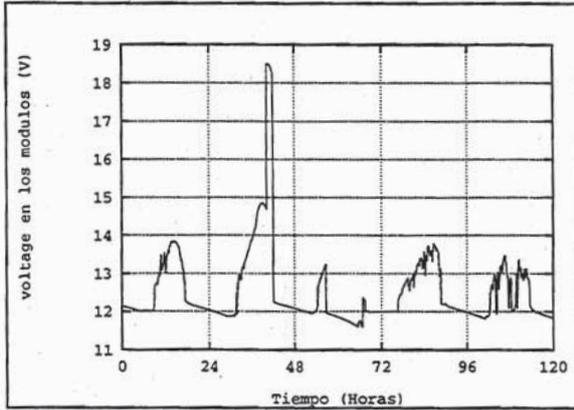


Figura 3. Tensión en los módulos

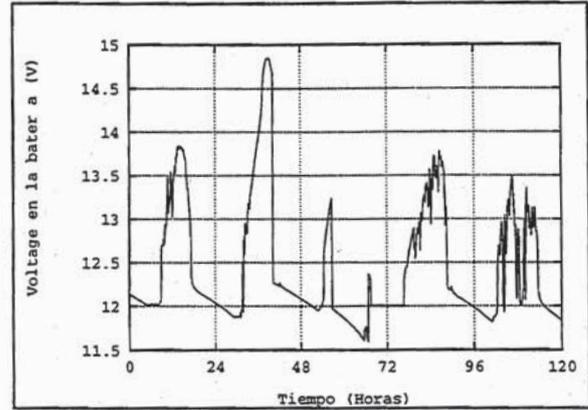


Figura 4. Tensión en la batería

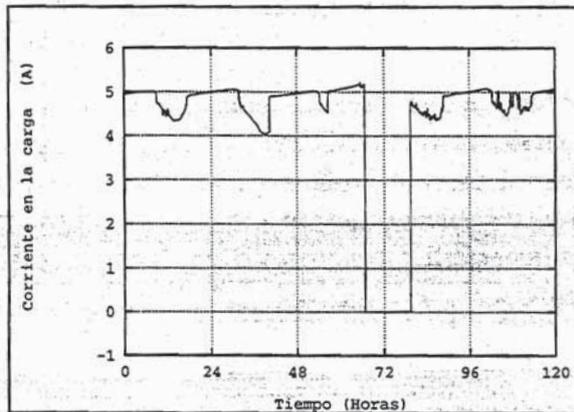


Figura 5. Corriente en la carga

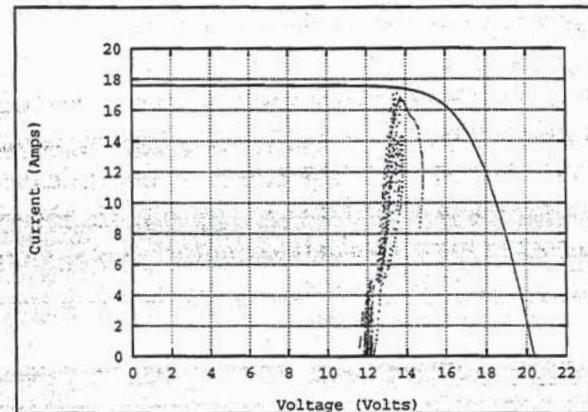


Figura 6. Característica I-V

Finalmente la figura 6 muestra la evolución del punto de operación del array en el plano I-V, así como la característica I-V, bajo condiciones estándar de iluminación.

4.- CONCLUSIONES.

Se ha presentado la simulación de un sistema fotovoltaico basado en el uso de un software de simulación de circuitos electrónicos ampliamente difundido, y se han desarrollado especialmente los modelos de los principales componentes del sistema fotovoltaico.

El método permite un rápido y fácil acceso a las variaciones temporales de las corrientes y tensiones más importantes en los nodos del sistema, esto hace que esta herramienta sea de gran utilidad en la enseñanza de los sistemas fotovoltaicos.

5.- REFERENCIAS.

- [1] A. Luque, M.A.Castro, J.Carpio, and J.A.Rodriguez," Introducing a computer program for the assessmetn of solar photovoltaic power plants", Proc. of the 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Eshibition, Nice, France, 1995.
- [2] Metasoftware Inc. User's manual HSPICE H93 A.01 for Sun Sparc 10 Campbell CA, USA 1993.

- [3] L. Castañer, R. Aloy and D.Carles, Progress in Photovoltaics. Research and Applications, vol 3, pp 239-252, 1995.
- [4] A.Krenzinger, J.A.Wagner, F.Chenlo, J.B.Copetti, Proc. of the 11th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conferene, pp. 1411-1414, 1992, Montreux, Switzerland.
- [5] A.Kovach, Effects of inhomogeneous irradiation distribution on a PV array in urban environment, Proc. of the 1st World Conf. on PV Energy Conversion, Dec. 1994, Hawaii.
- [6] L.Castañer, D.Carles, R.Aloy and S.Silvestre, SPICE simulation of PV systems, Proc. of the 13th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 1995, Nice, France.