

Aplicación de MOSFETs de Carburo de Silicio (SiC) en Inversores Fotovoltaicos Conectados a Red

Javier Chavarría, Domingo Biel, Francesc Guinjoan, Alberto Poveda, Francesc Masana, Eduard Alarcón

Departamento de Ingeniería Electrónica (DEE)

Universidad Politécnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC)

Barcelona, Spain

javier.chavarría@upc.edu

Resumen.— En este trabajo se presenta la implementación de un sistema fotovoltaico formado por un emulador de panel basado en un convertidor Boost DC-DC y un inversor en puente completo conectado a red. Este prototipo se desarrolla con el fin de evaluar en el laboratorio las prestaciones de los sistemas fotovoltaicos cuando se utilizan MOSFETs basados en carburo de silicio (SiC), comparándolos con la tecnología clásica de silicio (Si). Los algoritmos de control diseñados tanto para el emulador como para el inversor se implementan en una FPGA “Field Programmable Gate Array”. Al final del trabajo se presenta una comparativa de eficiencias sobre el inversor fotovoltaico, obtenida en función de la tecnología de MOSFET utilizada y bajo distintas condiciones de funcionamiento.

I. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de sistemas eléctricos eficientes y el elevado coste de los recursos energéticos de origen fósil conllevan la necesidad de estudiar nuevas tecnologías de fabricación de dispositivos semiconductores.

La tecnología clásica basada en el silicio (Si) sigue siendo la apuesta más extendida ya que ofrece gran seguridad a la hora de realizar los diseños por estar muy estudiada y haberse empleado durante muchos años. Además, su utilización en todos los ámbitos de la electrónica ha favorecido la reducción de costes en los procesos de fabricación y se dispone de una amplia gama de dispositivos que permiten elegir el que mejor se adapte en la aplicación a diseñar.

Recientemente, los avances en el desarrollo de dispositivos semiconductores basados en nuevas tecnologías de fabricación como el carburo de silicio (SiC) o el nitruro de galio (GaN) han permitido ampliar el abanico de dispositivos y se está iniciado su introducción en diversos sectores industriales tales como la automoción, las energías renovables e incluso en la electrónica de consumo como es el caso de las cocinas de inducción. Las propiedades eléctricas de estos nuevos semiconductores permiten mejorar la eficiencia del sistema, trabajar bajo tensiones de bloqueo mayores (hasta 1700V en algunos MOSFETs de SiC), reducir las pérdidas de conducción y de conmutación, trabajar a frecuencias de conmutación más altas y, por tanto, reducir el tamaño, peso y coste del sistema. Por todas estas características, se está fomentando el estudio y la aplicación de estos dispositivos [1-3], esperando poder alcanzar mejores prestaciones y expandir los límites de las aplicaciones de electrónica de potencia.

Este trabajo centra su atención en los MOSFETs de carburo de silicio (SiC) y su aplicación en los inversores fotovoltaicos los cuales ya empiezan a estar presentes en el mercado [4]. En este tipo de aplicaciones se deben estudiar cuidadosamente las ventajas que aporta el uso de nuevos dispositivos en cuanto a eficiencia, tamaño y coste, considerando las múltiples condiciones de trabajo que se pueden dar en una instalación real y las figuras de mérito, como la eficiencia Europea, que permiten caracterizarlos. Para ello, se presenta un sistema de test completo formado por un emulador de panel fotovoltaico que se puede dimensionar en función de la potencia a la que se pretenda trabajar y que se basa en una estructura boost DC-DC. A la salida del emulador se conecta un inversor en puente completo sobre el que se comparan los diferentes dispositivos de conmutación.

El artículo se organiza siguiendo los siguientes puntos: en la sección II se describe el sistema fotovoltaico completo, en la sección III se detalla la implementación del sistema y se resumen las características de los dispositivos utilizados, en la sección IV se muestra el funcionamiento del sistema y la comparativa de eficiencias del inversor en función de la tecnología utilizada. Posteriormente, en la sección V se analizan los resultados obtenidos en el trabajo.

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

El sistema fotovoltaico que se presenta en este trabajo está basado en el diagrama de bloques que se muestra en la Fig. 1.

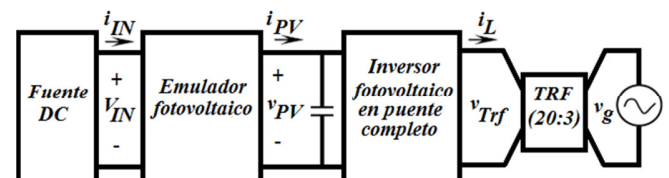


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema fotovoltaico.

En esta estructura, se puede observar que la energía de entrada se genera mediante una fuente de tensión continua cuya potencia nominal debe ser mayor que la máxima potencia a procesar por el conjunto fotovoltaico. La salida del emulador debe ser capaz de reproducir las curvas de potencia de los conjuntos de paneles fotovoltaicos considerando el rango de operación del inversor fotovoltaico. Finalmente, el inversor

fotovoltaico se encarga de inyectar la corriente a la red eléctrica a través de un transformador de baja frecuencia que ofrece aislamiento galvánico.

A continuación se describen las características principales de cada uno de los bloques que forman el sistema:

A. Fuente DC de entrada.

La fuente de tensión continua disponible en el laboratorio es la que fija el margen de trabajo del sistema. La potencia máxima que puede entregar es de 1kW quedando definida por un rango de tensión entre 0-50V y una corriente máxima de 20A.

B. Emulador de paneles fotovoltaicos.

El diseño del emulador fotovoltaico depende de la fuente de entrada disponible y también de las características del inversor que se conecta en la salida. Normalmente, los emuladores incluyen una etapa de potencia Buck DC-DC cuyo sistema de control se encarga de gobernar los dispositivos de conmutación a fin de emular, en el puerto de salida, la curva característica del conjunto de paneles [5-6]. Otros trabajos utilizan fuentes DC programables para reproducir la curva característica corriente-tensión [7]. Este tipo de emuladores, suelen incluir una etapa de elevación (Boost) que eleva la tensión para así, poder inyectar la potencia a la red eléctrica.

La solución que se ha elegido en este trabajo para la implementación del emulador se basa en la metodología de diseño presentada en [8] la cual permite minimizar el número de dispositivos de conmutación al mismo tiempo que evita el uso de transformadores como en el caso del convertidor flyback presentado en [9]. La estructura elegida se representa en la Fig. 2 y está basada en una etapa de potencia Boost DC-DC que permite elevar la tensión de entrada al mismo tiempo que emula en el puerto de salida la curva característica del conjunto de paneles fotovoltaicos (i_{PV} , v_{PV}).

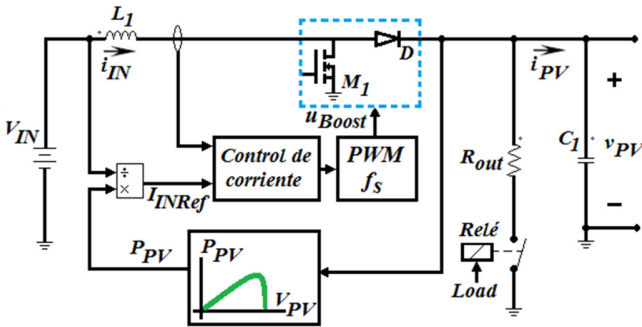


Fig. 2. Esquema del emulador fotovoltaico basado en una estructura Boost DC-DC.

Cabe mencionar que un emulador basado en esta configuración no permite operar en toda la curva del panel ya que tiene una relación de conversión con característica elevadora de tensión. Sin embargo, si se asegura que el punto de máxima potencia de la curva está incluido dentro del rango de operación del emulador, la topología utilizada es válida y permite caracterizar inversores que sigan la estructura que se describe en el apartado (C).

El sistema de control está basado en un control Proporcional Integral (PI) en modo corriente cuya salida se compara con una portadora en diente de sierra de frecuencia (f_s). Este control garantiza que la corriente de entrada (I_{IN}) sigue la referencia (I_{INRef}) que se calcula en función de la tensión de entrada (V_{IN}), la tensión en el puerto de salida del emulador (v_{PV}) y la curva de potencia a emular ($P_{PV}=f(V_{PV})$).

$$I_{INRef} = \frac{P_{PV}(V_{PV})}{V_{IN}} \eta_{Emul} \quad (1)$$

siendo η_{Emul} la eficiencia del emulador que en una primera aproximación se puede considerar ideal ($\eta_{Emul} = 1$).

C. Inversor fotovoltaico en puente completo.

En la Fig. 3 se representa el esquema del sistema fotovoltaico resaltando la estructura del inversor en puente completo conectado a red.

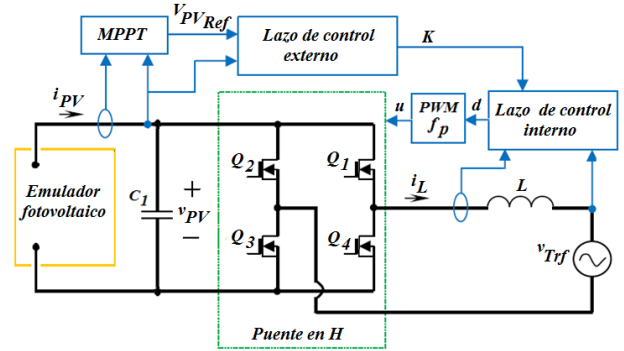


Fig. 3. Esquema del inversor fotovoltaico en puente completo conectado entre el emulador y el transformador de aislamiento (v_{Trf}).

Este inversor está formado por un puente en H, un inductor (L) como filtro de salida y un transformador de baja frecuencia con relación de transformación (20:3) que ofrece aislamiento galvánico. El sistema de control se estructura en cuatro bloques según la metodología de diseño presentada en [10]:

- MPPT, algoritmo encargado de entregar la tensión del punto de máxima potencia como referencia del lazo de control externo. En este artículo se utiliza un algoritmo de P&O clásico.
- Lazo de control externo, basado en el cálculo del balance energético, se encarga de gobernar la tensión de bus (v_{PV}) para que alcance la tensión de referencia (V_{PVRef}) al mismo tiempo que entrega la referencia de amplitud de la corriente (K) al lazo de control interno.
- Lazo de control interno, encargado de generar la corriente a inyectar a la red (i_L) asegurando que esté en fase con la componente fundamental de la tensión de red. La amplitud de la corriente inyectada debe ser proporcional al valor medio de la potencia extraída del conjunto de paneles fotovoltaicos en cada periodo de red. El diseño de este bloque se basa en un control Proporcional Resonante (PR).
- Modulador, encargado de generar una señal PWM de tres niveles para controlar los MOSFETs del puente en H que forma el inversor. Como se representa en la Fig. 3, el lazo

de control interno entrega la señal moduladora (d) que se compara con una portadora triangular de frecuencia f_p . La frecuencia de la portadora se puede ajustar en función del margen de trabajo que permitan los dispositivos de conmutación utilizados.

III. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

El sistema descrito en la sección II ha sido implementado con la finalidad de poder caracterizar el comportamiento del inversor fotovoltaico cuando se utilizan diferentes dispositivos de conmutación y bajo distintas condiciones de operación tales como la variación de la potencia de trabajo y de la frecuencia de conmutación.

La potencia máxima a la que trabaja el sistema viene definida por la curva característica de la agrupación de paneles fotovoltaicos. Se ha considerado una agrupación formada por seis módulos Artesa A-50M cuyas características se describen en [11]. La curva de potencia - tensión en condiciones de test estándar se representa en la Fig. 4 y se calcula a partir del modelo de Prince et al. [12].

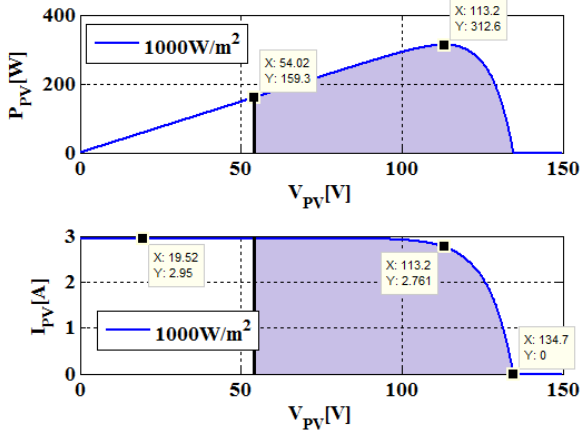


Fig. 4. Curva característica de la agrupación de paneles fotovoltaicos para una irradiancia de 1000W/m^2 y una temperatura de 25°C .

Como se puede observar, la curva característica presenta un máximo de potencia $P_{mp} = 312.6\text{W}_p$, una tensión de circuito abierto de $V_{oc} = 134.7\text{V}$, una corriente de cortocircuito $I_{sc} = 2.95\text{A}$ y se alcanza el máximo de potencia para una tensión de $V_{mp} = 113.2\text{V}$. Esta curva depende de las condiciones ambientales a las que está expuesta la agrupación de paneles y, por tanto, habrá que considerar la variación de las mismas para caracterizar el comportamiento del inversor.

La curva característica representada anteriormente no supera la tensión de red ($v_g = 230 \cdot \sqrt{2} = 325.27\text{V}$), pero es válida para asegurar la inyección de corriente hacia la red puesto que el inversor incluye un transformador de aislamiento con relación de transformación de (20:3). Por tanto, el punto de máxima potencia de la curva debe ser superior a $v_{Trf} = 48.79\text{V}$ más un margen de tolerancia para contemplar el incremento de tensión que produce la corriente inyectada hacia el transformador. Este efecto puede verse en la Fig. 7, donde se aprecia la forma de onda de la tensión en primario del transformador, v_{Trf} , cuando el inversor está parado y cuando se entrega potencia a la red.

Bajo estas consideraciones, el emulador fotovoltaico debe operar dentro del rango que se colorea en la Fig. 4, quedando restringido a valores superiores a 54V .

La Fig. 5 muestra la implementación de todo el sistema de control sobre una plataforma basada en una FPGA Spartan-3 XC3S200TF256. El acondicionamiento de señal se realiza mediante sensores LEM de efecto Hall (LA25-NP / LTS15-NP para medir corrientes y LV25-P para la medida de tensiones) y conversores analógico/digital AD9225 de 12 bits, 25MSPS.

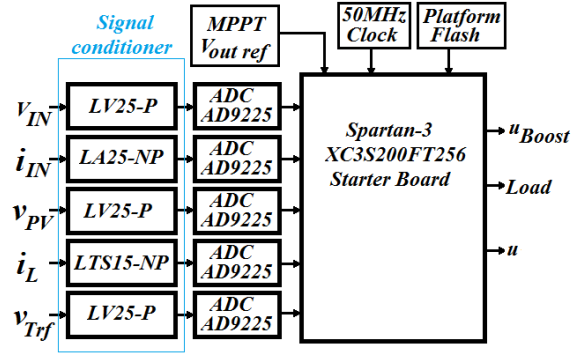


Fig. 5. Diagrama de bloques del sistema de control implementado en una FPGA Spartan-3 (XC3S200TF256).

Los algoritmos de control y las modulaciones que se emplean para gobernar el sistema fotovoltaico se han integrado en la FPGA por medio de vectores de señal con una resolución de 12 bits. La curva característica del conjunto fotovoltaico también se integra en la FPGA definiendo una ROM que incluye 4096 valores de potencia (P_{PV}) y que se direcciona mediante el puerto A/D de medida de la tensión de salida del emulador (v_{PV}). Como resultado, la salida de la ROM se actualiza siguiendo las variaciones de v_{PV} y solamente hace falta ponderar por la tensión de entrada (V_{IN}) y la eficiencia del emulador (η_{Emul}) a fin de obtener la corriente de referencia (I_{INRef}). Como salida de la FPGA se obtienen las señales de control del emulador (u_{Boost}), de la carga resistiva R_{out} ($Load$) y del puente completo (u). Todas ellas se optoacoplan y se pasan por los respectivos drivers de control.

Los elementos que forman el sistema fotovoltaico, los parámetros de control y la estabilidad de cada etapa de potencia se han calculado siguiendo las metodogías descritas en los artículos de referencia [8] y [10]. Los valores obtenidos se resumen en la tabla I.

TABLA I. PARÁMETROS DE DISEÑO Y DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN LA IMPLEMENTACIÓN SISTEMA FOTOVOLTAICO.

PV Emulador Boost DC-DC.			
C_l	4700 μF	L_l	880 μH
M_l	SIHG30N60E-E3 (Si)	Driver	IXDD630YI
D	SCS220AG (SiC)	R_{out}	500 Ω
Relay	G8P-1C4P	DAC	AD9225
$i_{IN\text{Sensor}}$	LA25-NP	$v_{PV\text{Sensor}}$	LV25-P
V_{IN}	50V	$f_s\text{Sawtooth}$	50kHz
Photovoltaic H-bridge inverter			
L	950 μH	$f_p\text{Triangular}$	20kHz
Driver	IR21844PBF	$v_{Trf\text{Sensor}}$	LV25-P
$Q_{1,2,3,4}$	Ref. Tabla II.	$i_{L\text{Sensor}}$	LTS15-NP
v_{Trf}	34.5V _{RMS} / 50Hz	v_g	230V _{RMS} /50Hz

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este apartado se evalúa el funcionamiento del sistema fotovoltaico implementado. A partir de un conjunto de pruebas experimentales, se compara la eficiencia del inversor fotovoltaico en función de las condiciones de trabajo y de la tecnología de MOSFETs utilizada (SiC) o (Si).

A. Verificación del funcionamiento del sistema fotovoltaico.

En la Fig. 6 se muestra la secuencia de arranque del emulador. Las formas de onda que se representan son: la tensión de salida del emulador (v_{PV}), la corriente de entrada (i_{IN}) y la corriente de referencia (I_{INRef}). Inicialmente, el condensador de salida (C_I) se precarga al valor de la tensión de entrada (V_{IN}), que es de 50V. Al arrancar, la corriente de entrada (i_{IN}) aumenta siguiendo la corriente de referencia (I_{INRef}) que genera el control y viene determinada por la ecuación (1), siendo proporcional a la curva de potencia del conjunto fotovoltaico. La corriente de entrada (i_{IN}) traza la forma de la curva del panel que incluye un valor máximo de 6.25A, valor que se corresponde con el máximo de potencia ($P_{mp} = 312.6W_p$) dividido por la tensión de entrada ($V_{IN} = 50V$). Al mismo tiempo, la tensión de salida del emulador (v_{PV}) va aumentando hasta que estabiliza en 133V, valor de tensión para el cual la potencia de entrada es absorbida por la carga resistiva conectada en la salida (R_{out}) y de valor 500 Ω . El valor de esta carga se elige siguiendo la metodología presentada en [8], a fin de estabilizar la tensión cerca del valor de circuito abierto (V_{oc}). Considerando el modo de operación real de un conjunto de paneles fotovoltaicos, el emulador debe arrancar y estabilizarse a la tensión de circuito abierto (V_{oc}) antes de poder poner en marcha el inversor.

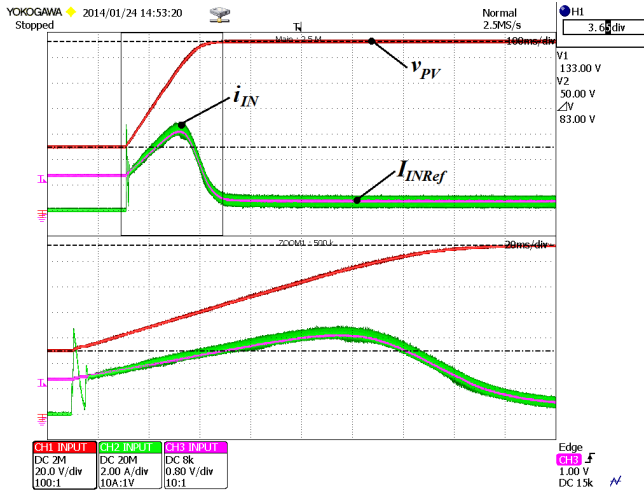


Fig. 6. Arranque del emulador fotovoltaico con el inversor parado: tensión de salida del emulador (v_{PV}), corriente de entrada (i_{IN}) y referencia (I_{INRef}).

Una vez el emulador alcanza el régimen estacionario, se puede poner en funcionamiento el inversor fotovoltaico y desconectar la carga resistiva (R_{out}). En la Fig. 7 se muestra el arranque del inversor observándose como la tensión de salida del emulador (v_{PV}) evoluciona desde 133V hasta estabilizar en el punto de máxima potencia ($V_{mp} = 113.2V$) determinado por el algoritmo MPPT (ver Fig. 4). Al mismo tiempo, la corriente

de entrada (i_{IN}) aumenta hasta alcanzar los 6.25A. La corriente inyectada a la red (i_L) crece en función de la potencia entregada (P_{PV}) hasta alcanzar el estado estacionario representado en la Fig. 8, que se corresponde con el punto de trabajo a máxima potencia. La corriente (i_L) se inyecta en fase con la frecuencia fundamental de la tensión de red y tiene un valor de 6.86A_{RMS}.

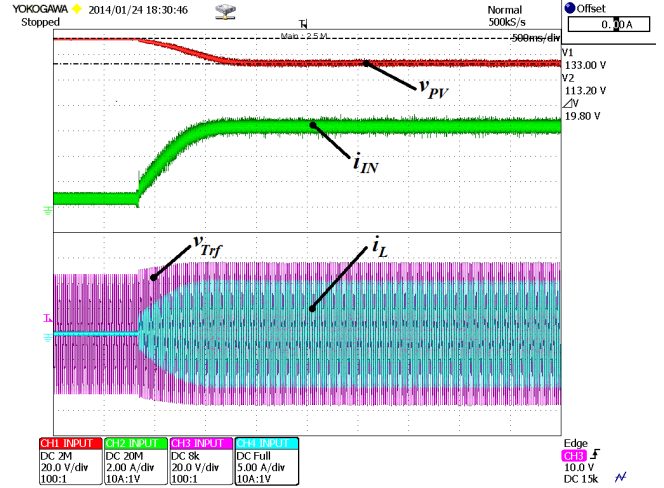


Fig. 7. Evolución de las formas de onda durante el arranque del puente H hasta alcanzar el régimen estacionario en el punto de máxima potencia (P_{mp}): tensión de salida del emulador (v_{PV}), corriente de entrada (i_{IN}), tensión en el primario del transformador (v_{Trf}) y corriente inyectada a la red (i_L).

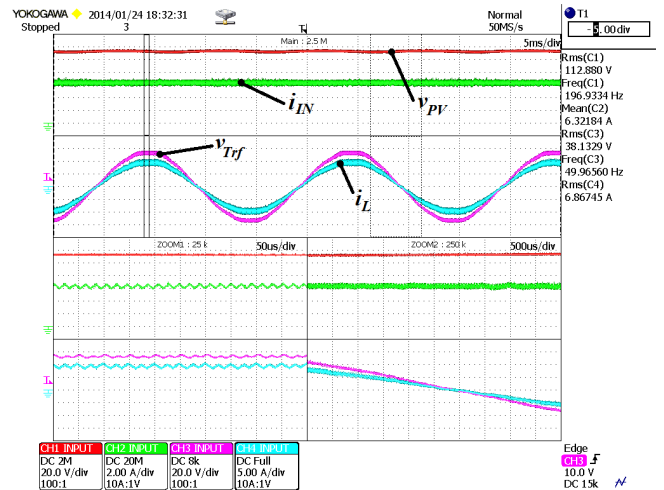


Fig. 8. Régimen estacionario de la corriente inyectada (i_L), tensión en el primario del transformador (v_{Trf}), tensión de salida del emulador (v_{PV}) y corriente de entrada (i_{IN}) trabajando a máxima potencia.

B. Estudio de la eficiencia del inversor fotovoltaico.

El estudio de la eficiencia del inversor fotovoltaico se realiza considerando los MOSFETs que se detallan en la tabla II y cuyas características se pueden encontrar en [13-15].

TABLA II. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS MOSFETs UTILIZADOS.

	CMF20120D	IRFP240	APT34M120J
Fabricante	CREE	FAIRCHILD	VISHAY
Tecnología	SiC	Si	Si CoolMos8
$V_{DS} - I_D$ (máximas)	1200V - 42A	200V - 20A	1200V - 35A
$R_{DS(ON)}$	80m Ω	140m Ω	240m Ω

Como pruebas experimentales para caracterizar la eficiencia se contempla el estudio de la variación de la frecuencia de conmutación de los dispositivos semiconductores y también la variación de la potencia nominal de trabajo. Los valores de potencia elegidos se han tomado en base la potencia máxima (312.6W) representada en la Fig. 4 y, posteriormente, se han ido disminuyendo siguiendo la ponderación que marca la ecuación para el cálculo de la eficiencia Europea:

$$\eta = 0.03 \cdot \eta_{5\%} + 0.06 \cdot \eta_{10\%} + 0.13 \cdot \eta_{20\%} + 0.10 \cdot \eta_{30\%} + 0.48 \cdot \eta_{50\%} + 0.20 \cdot \eta_{100\%} \quad (2)$$

El cálculo completo de la eficiencia Europea no se ha podido llevar a cabo ya que no se han medido las condiciones de operación al 10% y al 5% de la potencia máxima puesto que el emulador fotovoltaico necesita de una potencia de trabajo mínima (superior a la consumida por R_{out}) para arrancar y estabilizar. Para completar las medidas se ha tomado un punto adicional con la condición $\eta_{75\%}$. Los diferentes puntos de operación elegidos para evaluar el inversor se muestran en la tabla III.

TABLA III. PUNTOS DE OPERACIÓN DEL INVERSOR PARA LA MEDIDA COMPARATIVA DE LA EFICIENCIA (η).

Euro-Eficiencia	$\eta_{100\%}$	$\eta_{75\%}$	$\eta_{50\%}$	$\eta_{30\%}$	$\eta_{20\%}$
Irradiancia [W/m^2]	1000	765	525	325	223
Potencia (P_{mp}) [W]	312.6	234.7	156.8	93.74	62.52
Tensión (V_{mp}) [V]	113.2	112	109	105	102.5
Frecuencia (f_p) [kHz]	10 / 20 / 30 / 50 / 75 / 100 / 150 / 200				
MOSFETs	Tipo SiC (CMF20120D) – Tipo Si (IRFP240)				

En la Fig. 9 se representan los valores de eficiencia obtenidos en las distintas condiciones de funcionamiento tanto en el caso de utilizar MOSFETs de SiC como en el caso de utilizar los de tecnología de silicio.

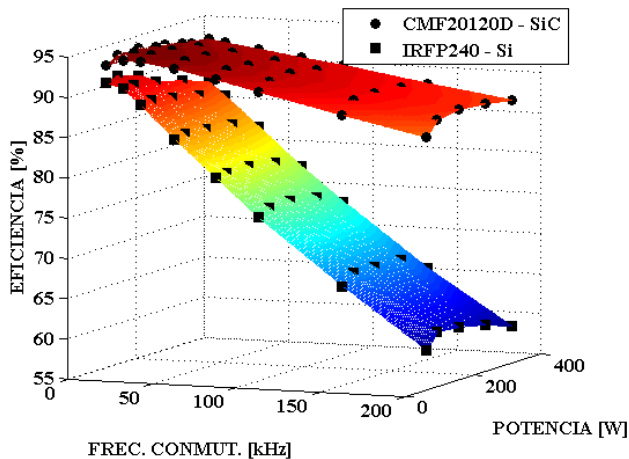


Fig. 9. Comparativa de la eficiencia del inversor en función de la frecuencia de conmutación y de la potencia de operación cuando se utilizan MOSFETs de SiC (CMF20120D) o MOSFETs de Si (IRFP240).

Se puede observar que en todas las condiciones de funcionamiento se obtiene una mejor eficiencia si se utilizan MOSFETs de carburo de silicio. El aumento de las pérdidas con la frecuencia de conmutación es notable en los

dispositivos convencionales mientras que los de SiC mantienen unos niveles de eficiencia superiores al 85% incluso cuando se hacen conmutar a frecuencias de 200kHz. Cabe destacar que se está comparando un MOSFET de SiC con prestaciones de $V_{DSmax} = 1200V$ e $I_D = 42A$ frente a uno de convencional de Si con $V_{DSmax} = 200V$ e $I_D = 20A$ y los resultados obtenidos son notablemente mejores en el caso del SiC.

Si se pretende hacer la misma comparativa utilizando MOSFETs de silicio que tengan un rango de funcionamiento equivalente, se puede elegir el tercer dispositivo presentado en la tabla II, es decir, un CoolMOS-8 de canal N con referencia APT34M120J y con prestaciones $V_{DSmax} = 1200V$ e $I_D = 35A$. No obstante, este dispositivo requiere de un driver de control de mayor potencia que el utilizado en la implementación realizada (IR21844PBF) ya que las capacidades a cargar son mucho mayores [13-15]. Observando la tensión de puerta se puede ver claramente que con la condición de tiempo muerto prefijada en el driver a 600ns, el MOSFET APT34M120J no puede operar (Fig. 10).

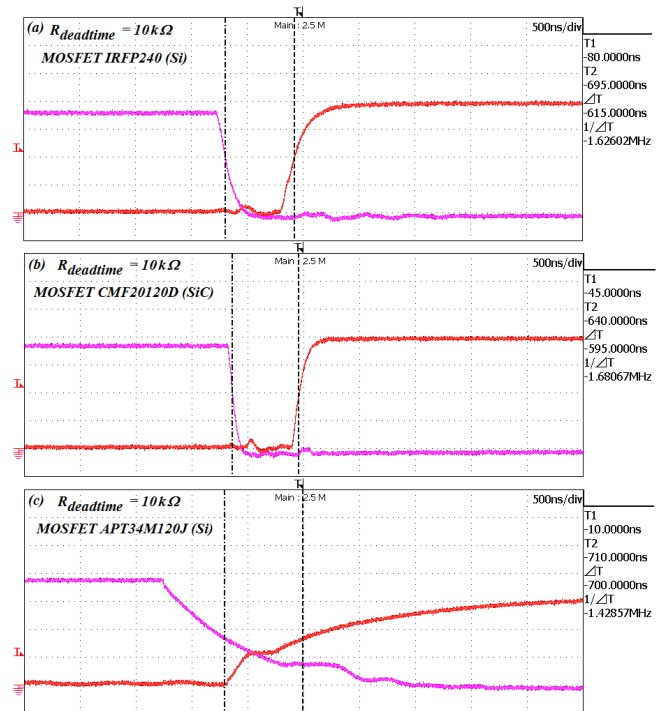


Fig. 10. Ajuste del tiempo muerto en el driver IR21844PBF mediante una resistencia de 10kΩ (≈600ns). Tensión de puerta de los MOSFETs del inversor Q1 y Q4: (a) IRFP240, (b) CMF20120D, (c) APT34M120J.

C. Distorsión armónica (THD) de la corriente inyectada a la red (i_L).

La distorsión armónica total se ha medido utilizando el equipo Yokogawa - WT1806. Se ha tomado la medida de la distorsión armónica de la tensión de red (v_g), de la tensión en el primario del transformador (v_{Tpf}) y de la corriente inyectada a la red (i_L). Los valores obtenidos trabajando a una potencia nominal de 312W y con una frecuencia de conmutación (f_p) de 20kHz, son:

TABLA IV. MEDIDAS DE DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD).

	v_g	v_{Trf}	i_L
THD(%)	1.696	5.286	2.21

Observando estos valores y considerando que la corriente de referencia se obtiene a partir de la medida de la tensión en el primario del transformador (v_{Trf}), se puede determinar que el lazo de control interno, además de asegurar que la frecuencia fundamental de la tensión y de la corriente estén en fase, mejora la forma de onda generando una corriente con una distorsión menor que la presente en la referencia. El factor de potencia con el que se inyecta la corriente en el primario del transformador es de 0.97%.

En la Fig. 11 se puede observar la medida de THD (%) sobre la corriente inyectada a la red (i_L) en función de la frecuencia de conmutación (f_p) y de la potencia de operación del inversor cuando se utilizan MOSFETs de SiC. Los valores mínimos de distorsión armónica se han obtenido para frecuencias de conmutación entre 20kHz y 100kHz así como al aumentar la potencia de trabajo del sistema. La distorsión armónica se hace mayor cuanto menor es la frecuencia de conmutación (debido al aumento del rizado sobre la corriente) y cuando se disminuye la potencia nominal de trabajo. Resaltar que el aumento excesivo de la frecuencia de conmutación ejerce un efecto similar al de disminuir la potencia de trabajo ya que aumentan las pérdidas y la amplitud de la corriente inyectada (i_L) disminuye.

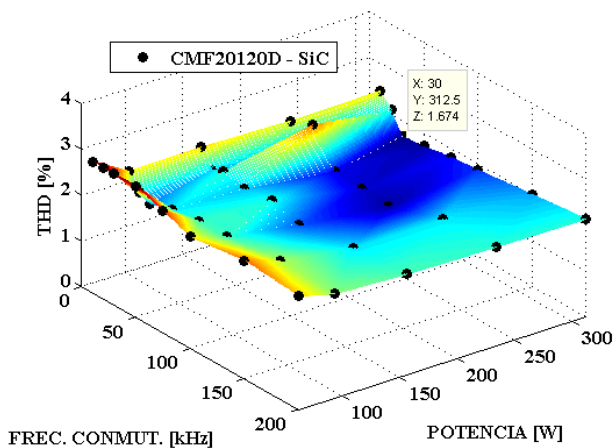


Fig. 11. Distorsión armónica total de la corriente inyectada a la red (i_L) en función de la frecuencia de conmutación y de la potencia de operación cuando se utilizan MOSFETs de SiC.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha descrito la implementación de un sistema fotovoltaico destinado a evaluar las prestaciones de los inversores fotovoltaicos conectados a red cuando se les aplican dispositivos de conmutación basados en carburo de silicio. La evaluación del sistema para distintos puntos de operación, permite verificar que la aplicación de MOSFETs de SiC sobre un inversor fotovoltaico mejora la eficiencia, incluso comparando los resultados con MOSFETs de prestaciones

inferiores a fin de asemejar las capacidades internas. La reducción de las capacidades y cargas intrínsecas de los MOSFETs cuando se utiliza la tecnología de SiC, aparte de permitir aumentar la frecuencia de conmutación y disminuir los elementos de filtrado, hace que estos dispositivos puedan ser controlados con drivers destinados a MOSFETs de prestaciones inferiores y, por tanto, reducen la complejidad, el tamaño y el coste del diseño cuando se requiere trabajar con dispositivos de prestaciones elevadas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la beca RUE CSD2009-0046, del programa Consolider-Ingenio 2010, por fondo FEDER DPI2012-31580 del Ministerio de Ciencia e Innovación de España.

REFERENCIAS

- [1] R.M. Burkart, J.W. Kolar, "Comparative Evaluation of SiC and Si PV Inverter System Based on Power Density and Efficiency as Indicators of Initial Cost and Operating Revenue," 14th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), pp. 1 - 6, June 2013.
- [2] T. Kim, M. Jang, V.G. Agelidis, "Current Status of Silicon Carbide Devices and Their Application in Photovoltaic Converters," ECCE Asia Downunder, pp. 555 - 559, June 2013.
- [3] L. Garcia-Rodriguez, E. Williams, J.C. Balda, J. Gonzalez-Lorente, E. Lindstrom, A. Oliva, "Dual-Stage Microinverter Design with a GaN-Based Interleaved Flyback Converter Stage," Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp. 4496 - 4502, September 2013.
- [4] CREE, Inc. "Cree SiC MOSFETs Enable Next-Generation Solar Inverters from Delta Energy System," <http://www.cree.com/news-and-events/cree-news/press-releases/2013/april/delta-pv-inverters>, April 17, 2013.
- [5] M.C. Di Piazza, M. Pucci, A. Ragusa, G. Vitale, "A Grid-Connected System based on a Real Time PV Emulator: Design and Experimental set-up," 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronic Society, IECON 2010, pp. 3237 - 3243, November 2010.
- [6] D. Ickilli, H. Can, K.S. Parlak, "Development of a FPGA-Based Photovoltaic Panel Emulator Based on a DC/DC Converter," 38th IEEE Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), pp. 1417 - 1421, June 2012.
- [7] D.S.L. Dolan, J. Durango, Taufik, "Development of a Photovoltaic Panel Emulator using Labview," 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), pp. 1795 - 1800, June 2011.
- [8] J. Chavarría, D. Biel, F. Guinjoan, A. Poveda, F. Masana, E. Alarcón, "Low Cost Photovoltaic Array Emulator Design for the Test of PV Grid-Connected Inverters," 11th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices, SSD-14, pp. 1 - 6, February 2014.
- [9] R.G. Wandhare, V. Agarwal, "A low cost, light weight and accurate photovoltaic emulator," 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), pp. 1887 - 1892, June 2011.
- [10] C. Meza, J.J. Negroni, D. Biel, F. Guinjoan, "Energy-Balance Modeling and Discrete Control for Single-Phase Grid-Connected PV Central Inverters," IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 55, no. 7, pp. 2734 - 2743, July 2008.
- [11] Artesa S.L, "Photovoltaic module A-50M," <http://www.artesa.com>, ref. MU-M5M (1) 4x9-O, January 2013.
- [12] M. Prince, "Silicon solar energy Converters," Journal of Applied Physics, vol. 26, no.5, pp. 534 - 540, May 1955.
- [13] CREE, Inc. "CMF20120D-Silicon Carbide Power MOSFET," CMF20120D datasheet, Rev. D. 2012. <http://www.cree.com/power>.
- [14] FAIRCHILD Semiconductor. "IRFP240, 20A, 200V, 0.180 Ohm, N-Channel Power MOSFET," IRFP240 datasheet, Rev. B. January 2002.
- [15] MICROSEMI Power Products Group. "APT34M120J Power MOS8 Cooler N-Channel," APT34M120J datasheet, Rev C. July 2011.