

Evaluación Comparativa entre el uso de MOSFETs de Carburo de Silicio (SiC) y de Silicio (Si) en un Emulador Fotovoltaico.

Javier Chavarría, Domingo Biel, Francesc Guinjoan, Alberto Poveda

Departamento de Ingeniería Electrónica (DEE)

Universidad Politécnica de Catalunya · BarcelonaTech (UPC)

Barcelona, España

javier.chavarría@upc.edu

Resumen.— En este trabajo se realiza una evaluación comparativa entre diferentes tecnologías de fabricación de MOSFETs sobre un emulador fotovoltaico. Concretamente, se estudia el uso de MOSFETs de carburo de silicio (SiC) frente a la tecnología convencional de silicio (Si) sobre un convertidor elevador CC-CC encargado de emular en su puerto de salida las curvas características de un conjunto de paneles fotovoltaicos. A fin de poder comparar las prestaciones del SiC respecto a las del Si bajo diferentes condiciones de funcionamiento, se definen dos agrupaciones de paneles. La primera agrupación alcanza una tensión de circuito abierto (V_{oc}) de 480V y una potencia máxima (P_{mp}) de 1kW a 403V. La segunda agrupación se caracteriza por tener una tensión V_{oc} de 800V y P_{mp} de 3kW a 665V. Sobre los diferentes puntos de operación se realizan barridos de frecuencia de conmutación entre 20kHz y 200kHz a fin de poder sacar conclusiones de eficiencia del sistema y temperatura en el MOSFET para cada tecnología de fabricación.

I. INTRODUCCIÓN

Durante la últimas décadas, la demanda de energía de los países desarrollados se ha incrementado notablemente y las perspectivas a largo plazo indican que las necesidades serán cada vez mayores. El consumo eléctrico está cada vez más presente en los diferentes servicios de la vida cotidiana y de la industria. La sustitución de los recursos agotables como el petróleo en el sector de la automoción y su cambio a motores eléctricos, o el gas por cocinas de inducción y calentadores eléctricos, entre otros, son factores que pueden incrementar todavía más el consumo eléctrico a corto plazo.

Muchos han sido los esfuerzos para introducir las fuentes de energía renovables (fotovoltaica, eólica, ...) a fin de reducir los efectos contaminantes de los recursos de origen fósil y poder cubrir la demanda energética. Sin embargo, no basta solamente en aumentar el número de generadores, es necesario que, tanto las fuentes de energía alternativa como los equipos que la consumen, alcancen los máximos niveles de eficiencia para ser rentables y cumplir con las normativas medioambientales.

La motivación para conseguir sistemas de potencia más eficientes lleva al estudio de nuevas tecnologías de fabricación de dispositivos de conmutación tales como ya conocida aparición de diodos, transistores J-FET y MOSFETs de

Carburo de Silicio (SiC) [1-4] y de Nitruro Galio (GaN) [5]. Dichos dispositivos aparecen como la solución para obtener unas mejores prestaciones en los actuales sistemas electrónicos de potencia pero están teniendo una introducción lenta en la industria debido a su reciente aparición y a que su coste todavía es alto. La tecnología de SiC, por sus características materiales inherentes, debe permitir trabajar a temperaturas más elevadas, soportar tensiones de bloqueo mayores (desde 1200V hasta 1700V en los dispositivos comerciales), reducir la resistencia de canal en conducción (minimizando las pérdidas de conducción), trabajar a frecuencias de conmutación mayores (menores pérdidas de conmutación) y, por tanto, reducir el tamaño, peso y coste del sistema al mismo tiempo que se mantiene o incluso maximiza la eficiencia.

En este trabajo se presenta el estudio comparativo entre los MOSFETs de carburo de silicio (SiC) y los convencionales basados en la tecnología clásica del silicio (Si). Se pretende analizar la viabilidad del uso de dispositivos de SiC considerando el rango de trabajo de la aplicación a fin de verificar si el SiC siempre ofrece mejores prestaciones o si su aplicación debe considerarse en función del rango de operación del sistema y la frecuencia de conmutación.

El artículo se organiza siguiendo los siguientes puntos: en la sección II se describe la aplicación sobre la que se realiza la comparativa de prestaciones en función de la tecnología fabricación de los MOSFETs, en la sección III se presentan los dispositivos de conmutación que elegidos y sus características más remarcables, en IV se describen los diferentes ensayos y se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio. Finalmente, en la sección V se extraen las conclusiones del trabajo.

II. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN DE POTENCIA

La aplicación de potencia que se ha elegido a fin de realizar el estudio comparativo entre tecnologías de fabricación de MOSFETs es un convertidor elevador CC-CC diseñado para trabajar como emulador de paneles fotovoltaicos. El diagrama de bloques que muestra la estructura del circuito y la metodología de control se muestra en la Fig. 1.

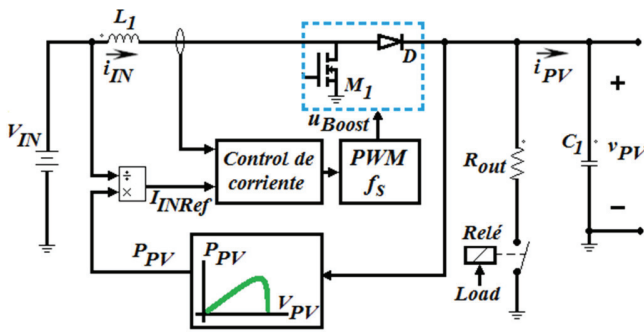


Fig. 1. Diagrama de bloques del convertidor elevador CC-CC operando como emulador de paneles fotovoltaicos.

El diseño del sistema de control y el estudio de estabilidad del circuito se basa en las investigaciones presentadas en [6]. En ese artículo se presentaba un prototipo de emulador fotovoltaico trabajando a 200W que suministra energía a un inversor fotovoltaico conectado a la red eléctrica y se verificaba experimentalmente su funcionamiento. Los algoritmos de control junto a los datos de las curvas características de los paneles se programaban en una FPGA Spartan-3 de Xilinx. La estructura elegida y representada en la Fig. 1, está basada en una etapa de potencia elevadora CC-CC 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}). Cabe recordar 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. Por tanto, se debe asegurar que el punto de máxima potencia de la curva esté incluido dentro del rango de operación del emulador.

En el trabajo que se presenta en este documento se han realizado algunos cambios en la estructura sin que ello afecte a la base de diseño general. Seguidamente se describe la plataforma de trabajo utilizada:

- Fuente de potencia de entrada (V_{IN}): Modelo Genesys 10kW, Lambda. Ofrece una salida máxima en tensión de 600V y una corriente máxima de 17A.
- Carga de salida (R_{out}): A fin de variar el valor de la carga de salida y poder trabajar en diferentes puntos de operación se ha utilizado una carga electrónica DC-Load 63804 de Chroma con características en CC de 4500W / 500V / 45A. En las pruebas realizadas con una tensión de salida superior a 500V se ha sustituido esta carga por resistencias pasivas del valor pertinente.
- Controlador: El sistema de control se implementa en una DSP TMS320F28335SPGF de Texas Instruments y se adquieren las diferentes señales del circuito con una resolución de 12 bits tal y como se describe en [6]. En el DSP se incluyen también los datos de las curvas características de las agrupaciones fotovoltaicas a emular.
- Bobina de entrada (L_I): tiene un valor de 1.5mH y está constituido por un núcleo de ferrita tipo PM-114

PSH40 sobre el que se devanan 68 espiras de hilo de Litz (150 hilos de 0.2mm de diámetro).

- Condensador de salida (C_I): está formado por un conjunto de condensadores tipo MKP a fin de alcanzar un valor de 800uF / 800V.
- Mosfet (M_I): Este dispositivo variará en función del test a fin de realizar la comparativa entre tecnologías de fabricación ya sea carburo de silicio (SiC) o silicio (Si).
- Diodo (D): Se elige un diodo schottky C4D20120A de CREE que soporta 1200V y está fabricado en carburo de silicio.
- Disipador: los dos dispositivos de conmutación (diodo y MOSFET) van montados sobre sendos disipadores tipo 47DN-01000-A-200 de H S MARSON con una resistencia térmica de 1.7°C/W. A cada disipador se le ha incorporado un ventilador del tipo EB60251B2-0000-A99 de SUNON alimentado a 12V.
- Circuito de driver: es común en todas las pruebas y dispositivos utilizados. Está formado por un integrado HPL-316J al que se le incluye en la salida una etapa de transistores complementarios (MJD44H11 y MJD45H11) en configuración Push-Pull que aumenta la capacidad de corriente de ataque en la puerta hasta 8A. La tensión de driver (V_{driver}) se ha fijado entre 18V y 0V y las resistencias externas de puerta 3.9Ω paso a ON y 2.2Ω para paso a OFF.

Debido a que se pretende realizar el estudio comparativo entre tecnologías de fabricación del MOSFET que forma la etapa elevadora, es deseable minimizar las pérdidas en los elementos que forman el sistema (L_I , C_I y D). Para ello se usan condensadores del tipo MKP (con resistencia serie (ESR) muy baja) y se implementa la bobina con hilo de Litz y núcleo de ferrita. El diodo de carburo de silicio elegido nos permite asegurar que podemos subir la tensión de trabajo hasta el mismo margen de trabajo que los MOSFETs comerciales de SiC que tienen una tensión de drenador – surtidor máxima (V_{DSmax}) de 1200V.

Las curvas características de las agrupaciones de paneles fotovoltaicos se han modelado en Matlab/Simulink y se calculan a partir del modelo de Prince et al. [7] a una resolución de 12 bits. Estos datos se almacenan en tablas de 4096 puntos internas al DSP. Aunque en el apartado IV se describen los puntos de operación elegidos para realizar el estudio, en la Fig. 2 se adjuntan las curvas fotovoltaicas que se han elegido para este trabajo.

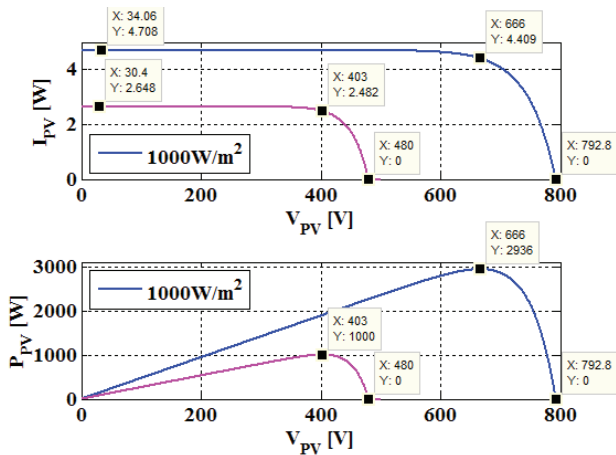


Fig. 2. Curvas fotovoltaicas a emular: P_{MP} 1kW- V_{MP} 403V y P_{MP} 3kW- V_{MP} 666V.

Los valores que definen la curva fotovoltaica se representan en la tabla I.

TABLA I. VALORES CARACTERÍSTICOS DE LAS CURVAS FOTOVOLTAICAS.

Curva 1: 1kW – 403V					
V_{OC} [V]	480	I_{SC} [A]	2.648	V_{MP} [V]	403
I_{MP} [A]	2.4282	P_{MP} [W]	1000		
Curva 2: 3kW – 666V					
V_{OC} [V]	792.8	I_{SC} [A]	4.708	V_{MP} [V]	666
I_{MP} [A]	4.409	P_{MP} [W]	2936		

La tensión de entrada (V_{IN}) se fija para conseguir en ambos casos una anchura de pulso máxima (D) alrededor del 75% cuando se alcanza la tensión de circuito abierto (V_{OC}) y del 70% en el punto de máxima potencia (V_{MP}), es decir:

$$V_{IN} = (1 - D) \cdot V_{OC}; V_{IN} = (1 - D) \cdot V_{MP} \quad (1)$$

Se obtienen unos valores de $V_{IN} = 120V$ para la curva 1 y de $V_{IN} = 200V$ para la curva 2.

Las curvas 1 y 2 se han definido con el objetivo de evaluar tanto inversores monofásicos conectados a red (curva 1) como inversores trifásicos (curva 2), con altas tensiones de trabajo en este último caso para poder evaluar el estrés de los dispositivos de 1200V.

III. DISPOSITIVOS DE CONMUTACIÓN (MOSFET) ELEGIDOS.

Una vez descrita la aplicación sobre la que se va a realizar la comparativa entre las diferentes tecnologías de fabricación, ya sea la convencional de silicio o la emergente en carburo de silicio, se presentan los MOSFETs elegidos. La elección se ha realizado en base a cuatro conceptos prioritarios:

- El dispositivo de carburo de silicio soporta una tensión máxima entre drenador y surtidor (V_{DSmax}) de 1200V, baja resistencia de conducción (R_{DSon}) y capacidades parásitas (C_{iss} , C_{rss} , C_{oss}) pequeñas.
- Los dispositivos de silicio que se seleccionan para la comparativa deben aproximarse a nivel de capacidades parásitas a las del carburo de silicio o bien a los

márgenes de tensión (V_{DS}) y corriente (I_D) máximos soportados.

- Considerando que se trabaja una curva fotovoltaica (curva 1) de posible aplicación en inversores monofásicos y de tensión máxima 480V, se puede añadir en la comparativa un MOSFET de 600V.
- El encapsulado del dispositivo sea el mismo para poder intercambiarlos con facilidad y además, poder comparar el nivel de temperatura que alcanza el encapsulado en cada caso.

En la tabla II se muestran las referencias de los dispositivos elegidos junto con las características más remarcables que los caracterizan. Los tres dispositivos son MOSFETs, el primero de ellos con referencia CMF20120D de CREE es de carburo de silicio, mientras que los otros dos, SIHG30N60E de VISHAY y el STW25N95K3 de ST-Microelectronics son de silicio.

TABLA II. PARÁMETROS DE LOS MOSFETs ELEGIDOS.

Dispositivo - MOSFET			
Referencia	CMF20120D	SIHG30N60E	STW25N95K3
Fabricante	CREE	VISHAY	ST-MICROEL.
Tecnología	SiC	Si	Si
Encapsulado	TO-247-3	TO-247AC	TO-247
Tensión V_{DSmax}	1200V	600V	950V
Corriente I_D	42A	29A	22A
Potencia P_D	215W	250W	400W
T. union max. T_J	-55 a 135°C	-55 a 150°C	-55 a 150°C
Resistencia R_{DSon}	80 mΩ	104 mΩ	320 mΩ
R. Term. R_{thJC}	0.44 K/W	0.5 K/W	0.31 K/W
R. Term. R_{thCS}	0.25 K/W	---	---
C. Entrada C_{iss}	1915 pF	2600 pF	3680 pF
C. Transf. C_{rss}	13 pF	3 pF	2 pF
C. Salida. C_{oss}	120 pF	138 pF	246 pF
Precio aprox. web	26€	4€	17€

Los datos que se presentan en la tabla II se han obtenido de los manuales del fabricante [8], [9] y [10] respectivamente. El precio indicado se ha obtenido a nivel de proveedor web para cantidades menores de 25 unidades y queda sujeto a la fecha de edición del artículo.

Como se puede observar, las capacidades parásitas tienen el mismo orden de magnitud y los encapsulados son idénticos. El dispositivo SIHG30N60E es un MOSFET convencional de Si que puede soportar una tensión máxima de 600V y, por tanto, solamente es aplicable a la curva 1. El dispositivo STW25N95K3 también de silicio está basado en tecnología SuperMESH™ [12] e incluye diodos zener de protección en la puerta del transistor. Esta nueva tecnología, puede soportar un máximo de 950V y puede ser utilizada en la curva 1 y la 2. Como era de esperar, el dispositivo que presenta unas mejores características tanto en tensiones y corrientes soportadas como en capacidades parásitas y resistencia de conducción es el CMF20120D de SiC.

IV. ENSAYOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este apartado se describen las pruebas que se han realizado sobre la aplicación de potencia descrita y para cada uno de los MOSFETs presentados en III. A partir de las curvas fotovoltaicas presentadas anteriormente, se definen los puntos de operación sobre los que se va a evaluar la eficiencia y la temperatura en el encapsulado de los diferentes dispositivos en función de la frecuencia de conmutación. Para tener suficientes puntos de resolución se ha considerado un barrido de frecuencias entre 20kHz y 200kHz con saltos de 20kHz. El cambio de frecuencia se realiza con el emulador funcionando y, a fin de asegurar la estabilización de la temperatura en el encapsulado, se ha fijado un intervalo de dos minutos desde que se cambia la frecuencia hasta que se toman las medidas.

Las medidas de potencias y eficiencias se han realizado con un analizador de potencia modelo WT-1600 de Yokogawa, mientras que las temperaturas se han medido con un registrador de datos USB TC-08 de PICO TECHNOLOGY el cual tiene 8 puertos de entrada a los que se les ha conectado termopares tipo K, modelo XF-321-FAR de LABFACILITY.

Remarcar que las eficiencias medidas en los siguientes apartados se han tomado a partir de la potencia medida en la salida y en la entrada. Es por ello que incluyen las pérdidas de todo el convertidor, es decir, de los elementos reactivos, los dispositivos de conmutación y el circuito impreso.

A. Curva 1: Estudio comparativo entre dispositivos SiC-Si.

Seguidamente se definen los puntos de operación del emulador fotovoltaico sobre la curva 1 (Fig. 3) a fin de evaluar la eficiencia del sistema y la temperatura en el encapsulado de los MOSFETs.

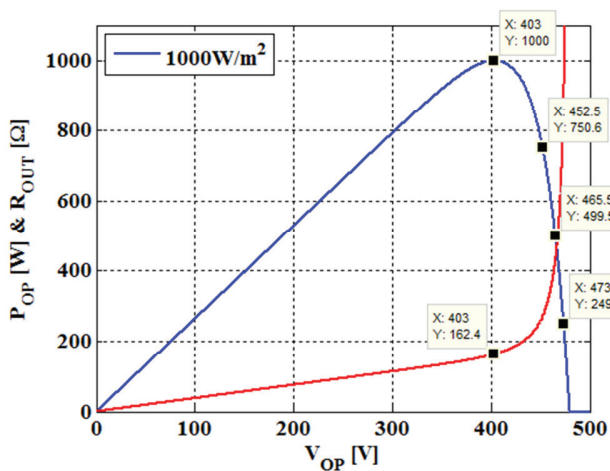


Fig. 3. Curva 1: 1kW-403V. Definición de los puntos de operación.

En azul se representa la curva característica de la agrupación de paneles y los puntos que se han definido a 1kW, 750W, 500W y 250W. Para que el convertidor se posicione en el punto de operación (V_{OP}) correspondiente se varía el valor de la carga de salida (R_{out}). En color rojo se muestra la curva de valores de resistencia de salida para que, punto a punto, el emulador se posicione en el punto de tensión de trabajo deseado. Por ejemplo, en la curva presentada el punto marcado

indica que con una resistencia de 162.4 ohmios se obtiene un punto de trabajo de 403V y 1000W de potencia. En la tabla III se resumen los valores requeridos para el ensayo.

TABLA III. VALOR DE LA RESISTENCIA DE SALIDA (R_{out}) EN FUNCIÓN DEL PUNTO DE OPERACIÓN (V_{op}).

Potencia (P_{OP})	Voltaje (V_{OP})	Carga (R_{OUT})
1000W	403V	162.4 Ω
750W	452.5V	272.8 Ω
500W	465.5V	433.7 Ω
250W	473.8V	900.7 Ω

A partir de la evaluación de los diferentes puntos de operación bajo las distintas frecuencias de conmutación (20kHz – 200kHz), se pueden representar los resultados de eficiencia global del emulador (Fig. 4) y de temperatura en el encapsulado del MOSFET (Fig. 5).

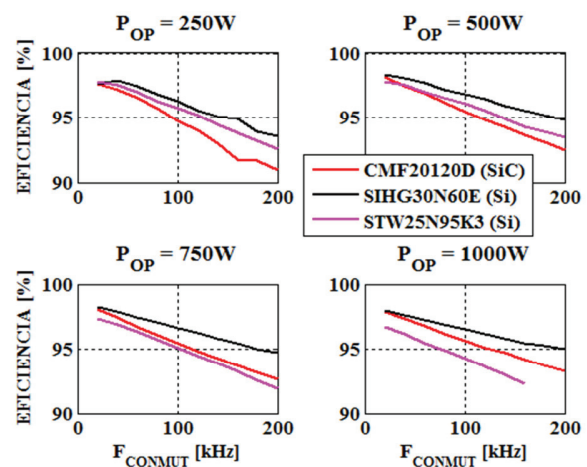


Fig. 4. Eficiencia del emulador en función del punto de operación y del MOSFET utilizado.

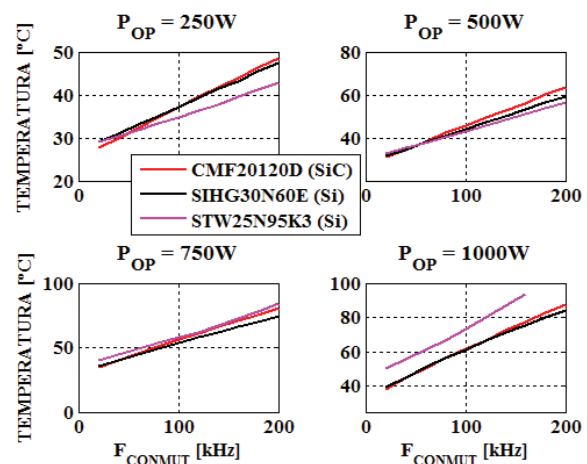


Fig. 5. Temperatura en el encapsulado del MOSFET en función del punto de operación del emulador.

Considerando la figura de la eficiencia (Fig. 4), se puede remarcar que el dispositivo de 600V de VISHAY está un punto porcentual por encima a 100kHz y hasta dos puntos a 200kHz. A 20kHz se consigue prácticamente la misma

eficiencia con ambos. En cuanto a comportamiento térmico, ambos dispositivos se comportan por igual. Si analizamos el comportamiento del MOSFET de tecnología SuperMESH™ podemos observar que a baja potencia ofrece una eficiencia mejor que el SiC y que conforme aumenta la potencia de trabajo empieza a caer de forma abrupta. Térmicamente se observa la misma tendencia hasta tal punto que la medida de eficiencia a 1kW y 200kHz no se ha tomado ya que el encapsulado del STW25N95K3 superaba los 95°C y se ha considerado oportuno parar el test.

Remarcar que las pruebas se han realizado a temperatura ambiente de 23.7°C.

Las Fig. 4 y 5 se pueden agrupar en forma de superficie a fin de dar más visibilidad a los resultados obtenidos. Así, las Fig. 6 y 7 muestran la comparativa entre el MOSFET de carburo de silicio CMF20120D y los otros dos dispositivos de silicio elegidos, el SIHG30N60E y el STW25N95K3 respectivamente. Se representa la eficiencia en función de la frecuencia de conmutación (F_{CONMUT}) y la potencia de operación (P_{OP}). La temperatura alcanzada en el encapsulado de cada dispositivo se visualiza en el color de las superficies y su gradiente se puede observar en la barra de color.

La Fig. 6 muestra como el dispositivo de silicio SIHG30N60E ofrece mejores prestaciones de eficiencia que el de SiC aunque aumente la frecuencia de conmutación. A nivel de temperatura tiene un comportamiento prácticamente idéntico. No obstante, este dispositivo de Si no se puede utilizar a tensiones mayores de 600V y, por tanto, estos resultados no deben quitar valor a las prestaciones esperadas en el SiC, que es capaz de soportar 1200V.

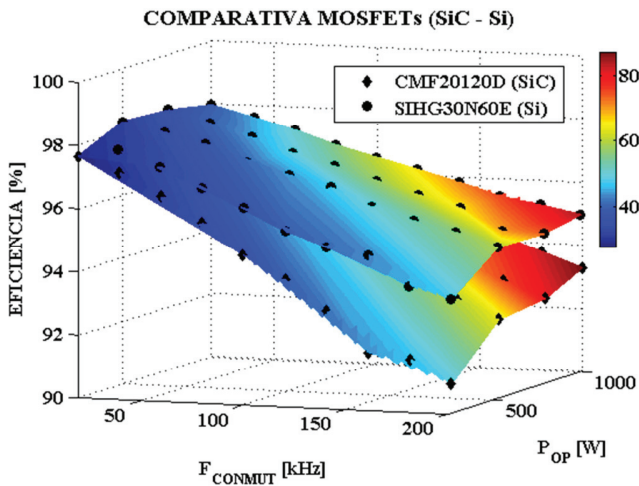


Fig. 6. Comparativa entre MOSFETs: CMF20120D (SiC – V_{DSmax} 1200V) y SIHG30N60E (Si – V_{DSmax} 600V) bajo diferentes puntos de operación de la curva 1 y diferentes frecuencias de conmutación.

En la Fig. 7 se puede observar como el dispositivo basado en tecnología SuperMESH™ de silicio (STW25N95K3) ofrece mejores prestaciones que el SiC cuando la potencia de trabajo es baja, mientras que al incrementarla empieza a caer la eficiencia de forma más abrupta. La temperatura incrementa acorde a la caída de la eficiencia llegando a superar los 95°C

por lo que no se ha podido tomar la última muestra a 1kW y 200kHz.

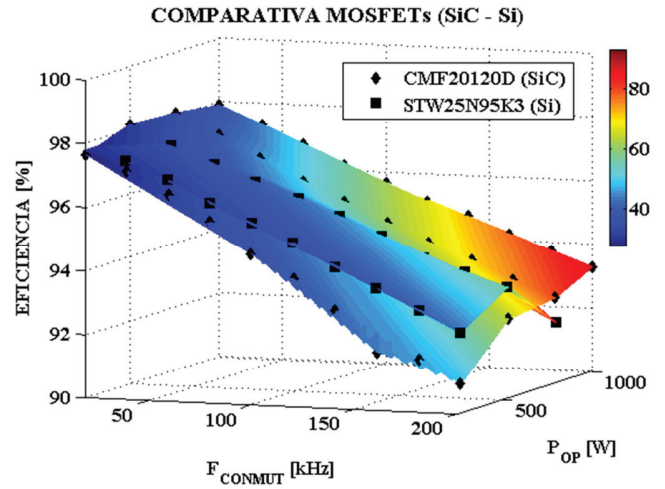


Fig. 7. Comparativa entre MOSFETs: CMF20120D (SiC – V_{DSmax} 1200V) y STW25N95K3 (Si – V_{DSmax} 950V) bajo diferentes puntos de operación de la curva 1 y diferentes frecuencias de conmutación.

B. Curva 2: Verificación de prestaciones del SiC.

La curva 2 se caracteriza por tener una tensión de circuito abierto (V_{OC}) de 792.8V y un punto de máxima potencia (P_{MP}) de 3kW a V_{MP} de 666V. En estas condiciones no se puede utilizar el MOSFET de VISHAY de 600V quedando el diseño restringido al uso de los otros dos MOSFETs, el de SiC o el de Si - SuperMESH™. A parte, hay que tener especial atención en la potencia y tensiones de trabajo si se pretenden hacer los barridos en la frecuencia de conmutación desde 20kHz a 200kHz. Dichos barridos se han tenido que ir acotando a medida que se ha incrementado la potencia de trabajo. Las frecuencias bajas quedan limitadas por la SOA (Safety Operation Area) que se define en base a la duración del pulso de conducción. Considerando la elevación en tensión y, que el ciclo de trabajo que se utiliza está entre el 70% y el 75%, a frecuencias bajas el tiempo de pulso va aumentando cada vez más y por tanto la SOA va quedando restringida. El barrido a frecuencias altas tiene un tiempo de pulso cada vez más pequeño pero como contrapartida aumentan las pérdidas y la temperatura. En este caso, la evaluación queda limitada por rotura del dispositivo debido a que se sobrepasaría la temperatura de unión máxima. Teniendo en cuenta estas premisas, si se pretende trabajar a 3kW hay que fijar la frecuencia de conmutación en torno a los 40kHz o 60kHz para cumplir el compromiso de diseño descrito.

En la Fig. 8 se ha fijado un punto de operación sobre la curva 2 a fin de poder mostrar unos resultados análogos a los que se han presentado para la curva 1 y validar el uso del carburo de silicio a tensiones mayores. Se ha elegido una potencia de trabajo de 1.2kW a 774.3V a fin de comparar los resultados de eficiencia obtenidos en la condición de la curva 1 de 1kW a 403V.

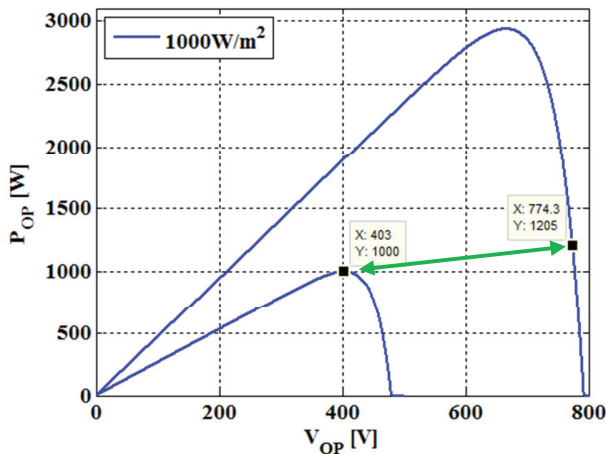


Fig. 8. Puntos de operación a 1kW sobre la curva 1 ($V_{OP} = 403V$) y 1.2kW sobre la curva 2 ($V_{OP} = 774.3V$).

En la Fig. 9 se muestra el resultado que se ha obtenido al hacer el barrido de frecuencias entre 20kHz y 200kHz sobre el punto de operación fijado en la curva 2. En color azul se muestra la eficiencia alcanzada trabajando a 1.2kW y 774V, mientras que en color rojo se representa la eficiencia a 1kW y 403V, ambos casos utilizando el MOSFET de SiC y considerando la tensión de driver entre [22.5V, -3.8V] y [18V, 0V] respectivamente.

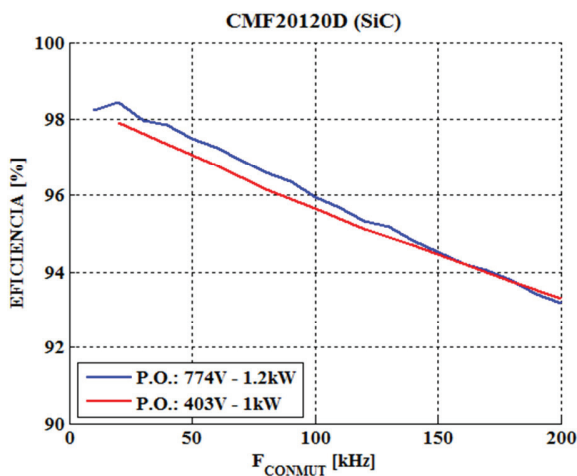


Fig. 9. Comparativa de eficiencia utilizando MOSFET de SiC para diferentes puntos de operación ($P_{OP} = 1kW$, $V_{OP} = 403V$ & $V_{driver} = [18V, 0V]$) y ($P_{OP} = 1.2kW$, $V_{OP} = 774.3V$ & $V_{driver} = [22.5V, -3.8V]$).

Se puede observar que la eficiencia obtenida no ha variado al aumentar la tensión de trabajo, por tanto, se puede atribuir al SiC unas muy buenas propiedades cuando se necesita utilizar un dispositivo de conmutación para tensiones y potencias elevadas. Las pérdidas obtenidas se pueden asignar mayoritariamente a pérdidas de conducción debidas a la corriente circulante por el MOSFET y al punto de polarización del dispositivo.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un estudio comparativo entre diferentes tecnologías de fabricación de dispositivos de

conmutación MOSFETs. Concretamente se han extraído resultados de eficiencia y temperatura sobre el encapsulado para tres MOSFETs, el primero de carburo de silicio y V_{DSmax} 1200V, el segundo de silicio de 600V y el tercero de silicio a 950V. A partir de los resultados obtenidos puede afirmarse que el uso de los dispositivos actuales de SiC quedaría enfocado a aplicaciones que precisen de tensiones mayores de 600V y potencias elevadas. A nivel térmico remarcar que el SiC, por sus características, debería poder trabajar a temperaturas superiores al silicio y que, debido al encapsulado, se queda limitado a un rango de trabajo similar. Por tanto, es necesario seguir trabajando para mejorar los encapsulados actuales y para aumentar el abanico de dispositivos comerciales diseñados y optimizados a fin de cubrir todo el rango de tensiones y potencias de trabajo.

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 y por el Proyecto DPI2013-41224-P a través del Ministerio de Economía y Competitividad.

REFERENCIAS

- [1] C.N.M Ho, H. Breuninger, S. Pettersson, G. Escobar, F. Canales, "A comparative performance study of an interleaved boost converter using commercialized Si and SiC diodes for PV applications," IEEE 8th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE), pp. 1190 – 1197, May 2011.
- [2] B. Burger, D. Kranzer, "Extreme high efficiency PV-power converters," 13th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'09), pp. 1-13, September 2009.
- [3] A. Kadavelugu, V. Baliga, S. Bhattacharya, M. Das, A. Agarwal, "Zero voltage switching performances of 1200V SiC MOSFET, 1200V silicon IGBT and 900V CoolMOS MOSFET," IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp. 1819-1826, September 2011.
- [4] H. Mirzaee, De. Ankan, A. Tripathi, S. Bhattacharya, "Design comparison of high power medium-voltage converters based on 6.5kV Si-IGBT/Si-PiN diode, 6.5kW Si-IGBT/SiC-JBS diode, and 10kV SiC MOSFET/SiC-JBS diode," IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp. 2421-2428, September 2011.
- [5] 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.
- [6] J. Chavarria, D. Biel, F. Guinjoan, A. Poveda, F. Masana, E. Alarcón, "FPGA-based design of a step-up photovoltaic array emulator for the test of PV grid-connected inverters," IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), pp. 485 – 490, June 2014.
- [7] M. Prince, "Silicon solar energy Converters," Journal of Applied Physics, vol. 26, no.5, pp. 534 - 540, May 1955.
- [8] CREE, Inc. "CMF20120D-Silicon Carbide Power MOSFET," CMF20120D datasheet, Rev. D. 2012. <http://www.cree.com/power>.
- [9] VISHAY Siliconix. "SiHG30N60E E Series Power MOSFET," SiHG30N60E datasheet, Rev. E. December 2012. <http://www.vishay.com>
- [10] ST-MICROELECTRONICS. "STW25N95K3 SuperMESH3™ Power MOSFET," STW25N95K3 datasheet, Rev. 2. January 2012. <http://www.st.com>
- [11] MICROSEMI Power Products Group. "APT34M120J Power MOSFET Cooler N-Channel," APT34M120J datasheet, Rev C. July 2011. <http://microsemi.com>
- [12] S. Taranovich, "STMicroelectronics reveals advanced power MOSFET family," EDN Network, September 12, 2012.