

Plataforma de electrónica de potencia versátil para aplicaciones de campo eléctrico pulsado de nanosegundos.

P. Briz*, B. López-Alonso, H. Sarnago, O. Lucía, J. M. Burdío

Afiliación: Grupo de Electrónica de Potencia y Microelectrónica (GEPM)
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: pbriz@unizar.es

Resumen

En el campo de la electroporación, las tendencias actuales apuntan a que los pulsos de nanosegundos podrían presentar grandes ventajas en diversas aplicaciones, pero la sintetización de estas señales supone un reto tecnológico. Actualmente existen pocos generadores experimentales y con muchas limitaciones. Este artículo propone un diseño con menos limitaciones.

Introducción

La aplicación de campos eléctricos pulsados de nanosegundos (nsPEF) tiene un gran interés, tanto en aplicaciones experimentales como industriales, dentro del campo de la electroporación (EP) [1], [2]. Este fenómeno se basa en el incremento de la permeabilidad de las membranas celulares por medio de la aplicación de campo eléctrico de alta intensidad. Concretamente, a diferencia de la electroporación convencional, uno de los efectos que se busca mediante la aplicación de nsPEF es una permeabilización de las membranas intracelulares minimizando el efecto en la membrana extracelular, o la minimización de los efectos letales de la EP [3]. Los requisitos de tensión en estas aplicaciones pueden ir desde unos cientos de V/cm hasta centenas de kV/cm, incrementándose enormemente los requisitos de tensión a medida que la frecuencia de los pulsos aumenta.

Convertidores de potencia para EP

Uno de los mayores desafíos tecnológicos actuales en el campo de la EP es la generación de pulsos de nanosegundos, dado que se necesitan convertidores de potencia que permitan obtener elevados niveles de tensión y corriente en tiempos muy reducidos [4]. Otro aspecto crítico es la independencia del campo eléctrico aplicado y la impedancia del tejido o medio en que se quiere aplicar. En este artículo se propone el diseño e implementación de un prototipo que permite aplicar pulsos unipolares desde 5 ns, con

amplitudes de 3.6 kV y 250 A, con una mínima impedancia de salida y un dv/dt controlable.

Convertidor propuesto

El convertidor propuesto presenta un diseño modular, lo que aporta versatilidad y escalabilidad al diseño. El control de la etapa permite además una activación secuencial de los módulos, permitiendo así una mayor versatilidad en cuanto a la generación de las formas de onda, incluyendo la posibilidad de controlar el dv/dt . Las señales de control están aisladas mediante fibra óptica, mientras que las alimentaciones auxiliares de cada módulo se realizan empleando un aislamiento galvánico, optimizado para minimizar las capacidades de acoplo.

Topología y dispositivos de potencia

La topología propuesta consiste en semipuentes inversores conectados en serie, de manera que cada módulo soporta únicamente una fracción de la tensión de salida total. En cuanto a los dispositivos de potencia, se han diseñado dos tipos de módulos, basados en transistores de GaN de 650 V y SiC de 1200 V para su comparación. Los dispositivos de GaN permiten un menor tiempo de conmutación, pero el rango de tensión de bloqueo también es más bajo, y tienen mayor sensibilidad a interferencias electromagnéticas. Por otro lado, existen dispositivos recientes de SiC de 1200 V cuyas velocidades de conmutación se acercan a las de GaN, pero permitiendo bloquear tensiones más elevadas, y una mayor inmunidad al ruido.

Diseño de los drivers

Para minimizar el tiempo de conmutación e incrementar el control sobre el tiempo de activación de los transistores, se han implementado los drivers de los dispositivos de potencia de manera discreta. El diseño está basado en un semipuerto con dispositivos de GaN de baja tensión, con el objetivo de poder suministrar un pico de hasta 30 A en la puerta de los transistores de potencia, minimizando el tiempo de

conmutación. Entre el lado bajo del driver y la fuente de los transistores de potencia, se añade una fuente de tensión que permite obtener un nivel de tensión negativo en puerta durante el período no activo. Con ello se reduce la posibilidad de activación por efecto Miller, además de reducir el tiempo de conmutación.

Implementación y resultados

Se han diseñado y fabricado varios prototipos con el fin de validar el funcionamiento del generador propuesto y comparar la adecuación de distintos dispositivos de potencia. Dos de esos diseños emplean transistores de GaN de 25 mΩ (GS66516T) y 50 mΩ (GS66508T, 2 paralelizados), y un diseño para transistores de SiC con encapsulado TO-263-7, dada la variedad de dispositivos disponibles con dicho encapsulado que cumplen las características necesarias para este prototipo. De los diversos transistores que se han comparado, se han seleccionado dispositivos de SiC de 1200 V y 22 mΩ (IMBG120R022M2H). La implementación de los drivers se ha realizado mediante transistores discretos de GaN (EPC2214), controlados mediante un driver de semipunto integrado de alta frecuencia (LMG1210). Las tensiones de disparo se ajustan en cada diseño a las requeridas por los transistores de potencia seleccionados. Con ello se ha conseguido un tiempo de conmutación de la salida del driver inferior a los 700 ps, otorgando un pico de corriente superior a 30 A a la puerta de los transistores de SiC. Con esto, el sistema permite la generación de pulsos con una duración mínima de 5 ns para transistores de GaN y 10 ns para transistores de SiC, una tensión de bus de hasta 2 kV con transistores de GaN y 3.6 kV con transistores de SiC, con cargas de hasta 250 A. En la Figura 1 se puede ver el generador propuesto, y en la Figura 2 una captura de osciloscopio aplicando un tratamiento con pulsos de ns a un cultivo celular de levaduras.

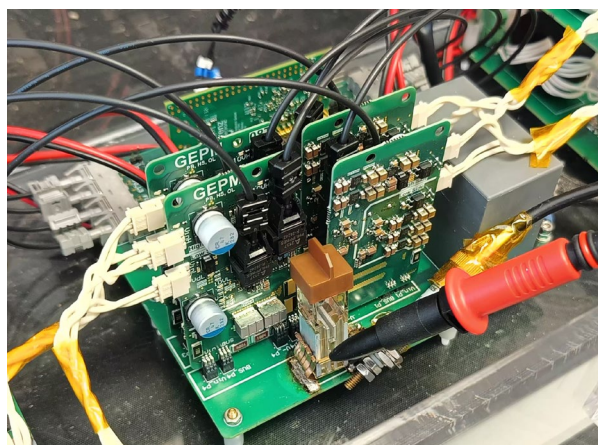


Figura 1. Implementación completa del prototipo diseñado.

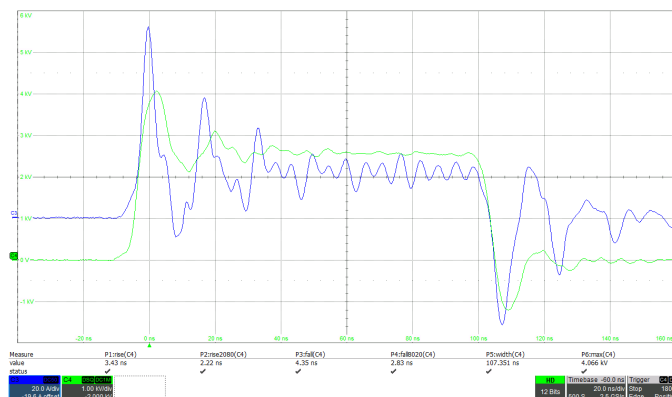


Figura 2. Formas de onda de salida, con dispositivos de SiC. La carga es una suspensión celular de levaduras entre dos electrodos separados 1mm, con una impedancia principalmente capacitiva. El canal 1 muestra la tensión y aplicado y el canal 2 la corriente.

Conclusiones

El diseño del convertidor propuesto se ha implementado satisfactoriamente con distintos tipos de transistores de potencia, pudiendo comparar el desempeño de ambas tecnologías. Las implementaciones que utilizan SiC no permiten tiempos de conmutación tan cortos como las de GaN, pero a cambio presentan un mayor robustez e inmunidad frente a ruido. Finalmente, cabe destacar que este generador se puede emplear para la generación de nsPEF con duraciones iguales o superiores a 10 ns en el caso de los dispositivos de SiC, 5 ns en el caso de GaN, y pueden aplicarse hasta 3.6 kV y 2 kV respectivamente. Este diseño modular es escalable y por tanto el rango de aplicaciones del diseño propuesto es mucho más amplio que el de las tecnologías presentes en la bibliografía actual.

REFERENCIAS

- [1] F. Xie *et al.*, “Ablation of myocardial tissue with nanosecond pulsed electric fields,” *PLoS One*, vol. 10, no. 12, Dec. 2015, doi: 10.1371/journal.pone.0144833.
- [2] P. Briz, B. López-Alonso, H. Sarnago, J. M. Burdío, and O. Lucía, “Tumor location on electroporation therapies by means of multi-electrode structures and machine learning,” *Bioelectrochemistry*, vol. 154, p. 108510, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.bioelechem.2023.108510.
- [3] H. Sarnago *et al.*, “A Versatile Multilevel Converter Platform for Cancer Treatment Using Irreversible Electroporation,” *IEEE J Emerg Sel Top Power Electron*, vol. 4, no. 1, pp. 236–242, Mar. 2016, doi: 10.1109/JESTPE.2015.2512324.
- [4] M. Kranjc, M. Rebersek, and D. Miklavcic, “Numerical simulations aided development of nanosecond pulse electroporators,” in *2012 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, 2012, pp. 344–347. doi: 10.1109/EuCAP.2012.6206633.