

LABORATORIO VIRTUAL DE SEMICONDUCTORES DE POTENCIA

VIRTUAL LABORATORY OF POWER SEMICONDUCTORS

José Gustavo Lara Ramírez

Tecnológico Nacional de México en Celaya
13031059@itcelaya.edu.mx

Fernando Zamora Chávez

Tecnológico Nacional de México en Celaya
14031659@itcelaya.edu.mx

Coral Martínez Nolasco

Tecnológico Nacional de México en Celaya
coral.martinez@itcelaya.edu.mx

Juan José Martínez Nolasco

Tecnológico Nacional de México en Celaya
juan.martinez@itcelaya.edu.mx

Alonso Alejandro Jiménez Garibay

Tecnológico Nacional de México en Celaya
alonso.jimenez@itcelaya.edu.mx

Resumen

Hoy en día, el uso de simuladores virtuales para experimentar con dispositivos semiconductores de potencia es muy común en la educación de ingeniería mecatrónica/electrónica. Desde la perspectiva de la electrónica de potencia, el objetivo de los simuladores es la interacción entre el software y el estudiante para conocer la funcionalidad en aplicaciones específicas. Para los técnicos e ingenieros industriales, el uso de sistemas de entrenamiento orientados a la experimentación ayuda en el proceso relacionado con la obtención de las competencias y habilidades experimentales requeridas. Este documento presenta una solución alternativa para laboratorios virtuales utilizados para educación y proceso de capacitación industrial, utilizando una interfaz hombre-máquina amigable a través de NI-LabVIEW. El diseño incluye los fundamentos de BJT, MOSFET e IGBT desde una perspectiva de frecuencia.

Palabra(s) Clave: Laboratorio Virtual, Semiconductor de Potencia, Educación en Ingeniería, Capacitación Industrial, Instrumento Virtual.

Abstract

Nowadays the use of virtual simulators to experiment with power semiconductor devices is very common in mechatronic/electronic engineering education. From the perspective of power electronics, the objective of the simulators is the interaction between the software and the student to know the functionality in specific applications. For industrial technicians and engineers, the use of practice-oriented training systems helps in the process related to obtain required practical competences and skills. This paper presents an alternative path for virtual laboratories using for education and industrial training process, using a friendly human-machine interface via NI-LabVIEW. The design includes fundamentals of BJT, MOSFET, and IGBT from a frequency perspective.

Keywords: *Virtual Laboratory, Power Semiconductor, Engineering Education, Industrial Training, Virtual Instrument.*

1. Introducción

Actualmente los convertidores electrónicos de potencia cumplen un rol muy importante dentro de la funcionalidad de nuevas tecnologías y dentro de los nuevos esquemas educativos e industriales alrededor del mundo (Pahwa, Butler-Purry, & Zareipour, 2014).

Por definición, la electrónica de potencia deriva en el uso de dispositivos de conmutación de estado sólido en esquemas electrónicos para el control y conversión de energía eléctrica. La incursión de estos esquemas en múltiples aplicaciones proyecta que el futuro del sector depende en gran medida de la forma en que los estudiantes, técnicos e ingenieros son capacitados para adoptar las tendencias tecnológicas. En la literatura se reportan múltiples intentos por desarrollar sistemas prácticos orientados hacia el entrenamiento y capacitación en el ámbito industrial y académico (Abdel-Motaleb, 2014). En la última década, el desarrollo de laboratorios remotos y virtuales relacionados con e-learning ha

marcado una pauta importante en el contexto del aprendizaje y entrenamiento (AbuShanab, Winzker, Brück, & Schwandt, 2018; Kotsampopoulos, Kleftakis, & Hatziaargyriou, 2017; Saadeh & Al-Mothafar, 2017). Para el entorno educativo la utilización de herramientas multimedia y el aprendizaje basado en problemas o proyectos e incluso Gaming (Cohen, Niemeyer, & Callaway, 2017) han permitido generar alternativas que mejoran la calidad dentro del aula.

Este artículo presenta una alternativa en el proceso de aprendizaje, a través de un laboratorio virtual que deriva en la interacción mediante un panel frontal con subinstrumentos que muestran el funcionamiento básico de semiconductores de potencia.

2. Métodos

La tabla 1 muestra una clasificación de semiconductores de potencia en función de las características de potencia y frecuencia, con ello es posible ubicarlos en determinadas aplicaciones de acuerdo con los requerimientos de diseño (Krein, 2011).

Tabla 1. Clasificación de semiconductores de potencia.

Semiconductor	Potencia (Volt/Amper)	Frecuencia (Hertz)	Variable de control
Diodo	5-21M	1k	No aplica
SCR	2.7-25M	60	Corriente
TRIAC	300-500k	400	Corriente
BJT	16-100k	25≤kHz≤35	Corriente
IGBT	30k-6M	30≤kHz≤80	Voltaje
MOSFET	6k	100k	Voltaje

La figura 1 muestra el ciclo de conversión de energía eléctrica que rige la electrónica de potencia, de él se desprende un sinnúmero de tópicos. Tomando como variable de interés la frecuencia de operación, en aplicaciones de conversión de energía con frecuencia de línea (50/60 hasta 400 Hz aproximadamente) es común utilizar diodos rectificadores y tiristores (Bryant, Santi, Hudgins, & Palmer, 2011; Maswood, 2011), para aplicaciones de conversión de energía con alta frecuencia,

los transistores (BJT, MOSFET o IGBT) son la alternativa (Abedinpour & Shenai, 2011; Batarseh, 2011; Simoes, 2011).

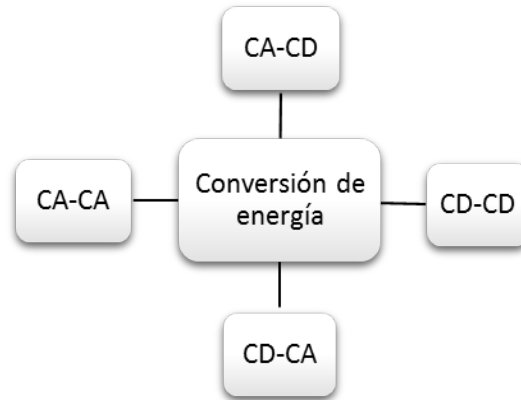


Figura 1 Ciclo de conversión de energía.

Tal como se mencionó anteriormente, esta investigación tiene su origen en el desarrollo de un laboratorio virtual de semiconductores de potencia, a través del diseño en NI LabVIEW de un panel frontal o interfaz, que permita al usuario observar el comportamiento de voltajes de interés en un circuito típico de prueba, alimentado con señales de control a diferentes frecuencias, los semiconductores de potencia seleccionados son BJT, MOSFET e IGBT debido a sus características propicias para utilizarlos como interruptores en topologías de conversión de energía eléctrica.

La figura 2 muestra un esquema general de la metodología empleada. Como primera fase se requiere comprender los fundamentos básicos de la teoría de semiconductores de potencia, con un interés especial en los semiconductores empleados como interruptores en esquemas de conversión de energía actuales, tal es el caso del BJT, MOSFET e IGBT.

La segunda fase de la metodología propuesta consiste en utilizar el circuito típico de prueba del semiconductor y someterlo a experimentación con valores diferentes de frecuencia de la señal de control. En la siguiente etapa se realiza la medición adecuada y se obtienen los resultados de los diferentes comportamientos. Una vez concluidas las etapas de experimentación, se genera

una etapa de análisis de datos y por último se comienza con la fase creativa del diseño del instrumento virtual, mismo que contiene información sobre la definición del semiconductor de potencia, el circuito típico de prueba, un selector de la frecuencia de operación de la señal de control y el comportamiento gráfico de los voltajes de la carga, de las terminales del interruptor y de la señal de control.

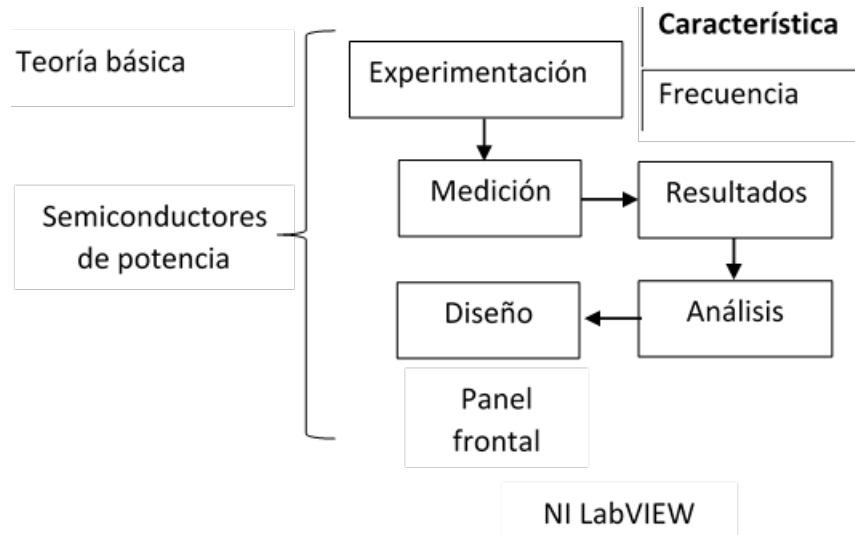


Figura 2 Metodología propuesta.

3. Resultados

El diseño del instrumento virtual en lo que refiere a la interfaz con el usuario (panel frontal) está formado de cuatro secciones. En primera instancia se muestra una sección con la definición del semiconductor y sus características de potencia-frecuencia. La segunda sección muestra el esquemático típico de experimentación, utilizando el tipo más común de semiconductor. La tercera sección se destina para elegir la frecuencia de operación de la señal de control, con valores predeterminados de 60 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz y 100 kHz. Por último, la cuarta sección muestra las formas de onda del voltaje de la señal de control, el voltaje en la carga y la caída de voltaje en los terminales del semiconductor.

Las figuras 3 y 4 muestran los resultados obtenidos en la selección del transistor de unión bipolar (BJT por sus siglas en inglés), en frecuencias de operación de 10

kHz y 100 kHz. Estos valores de frecuencia se eligieron de acuerdo con lo reportado en la tabla 1, anteriormente descrita, con ellas es posible inferir los rangos de frecuencia nominales de cada semiconductor. Así puede observarse que en rangos de hasta 10 kHz el BJT muestra condiciones nominales de operación, y en frecuencias del orden de 100 kHz muestra ineficiencia en respuesta en frecuencia.

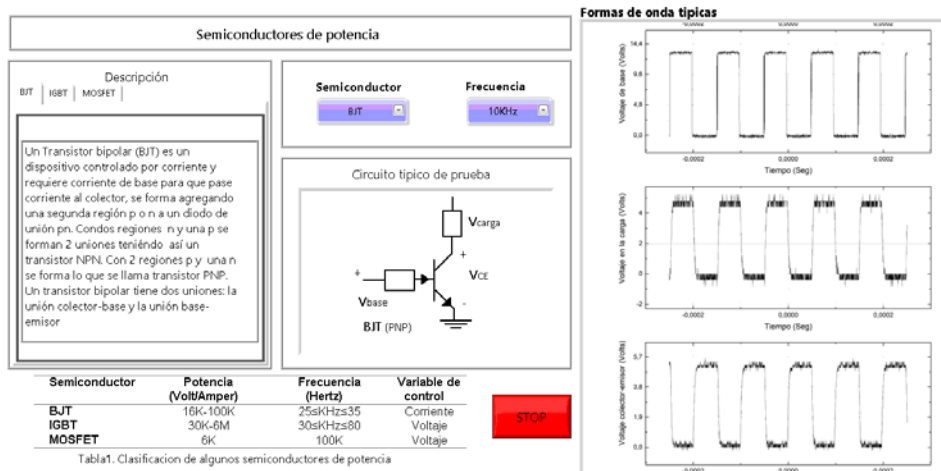


Figura 3 Transistor de Unión Bipolar con frecuencia de operación de 10 kHz.

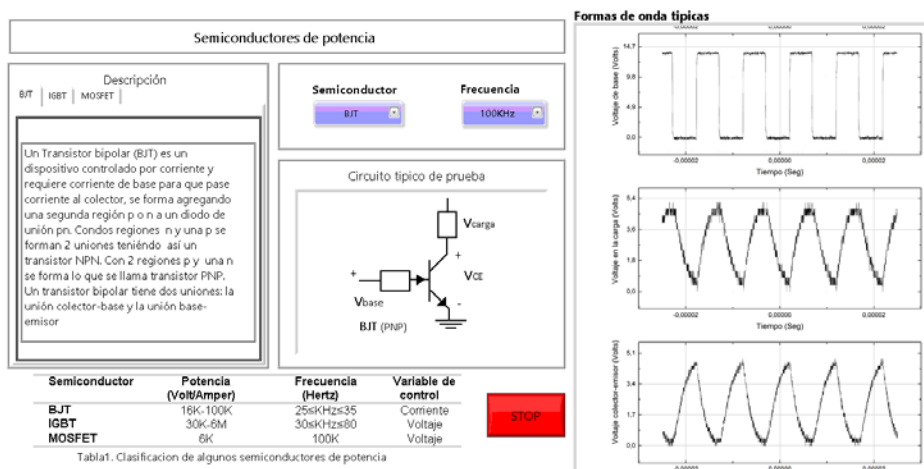


Figura 4 Transistor de Unión Bipolar con frecuencia de operación de 100 kHz.

Las figuras 5 y 6 muestran los resultados relacionados con la operación de un Transistor Bipolar de Compuerta Aislada (IGBT por sus siglas en inglés). Este

semiconductor es producto de las características en potencia de un BJT y características de control de un MOSFET, lo que permite mejorar las condiciones de rapidez de un BJT, con la ventaja de tener un control de compuerta en voltaje, aunque no iguales a las características de un MOSFET. Y con respecto al MOSFET presenta mejores condiciones en potencia, pero no iguales a las de un BJT. Para la experimentación se utilizó un IGBT tipo NPT canal N.

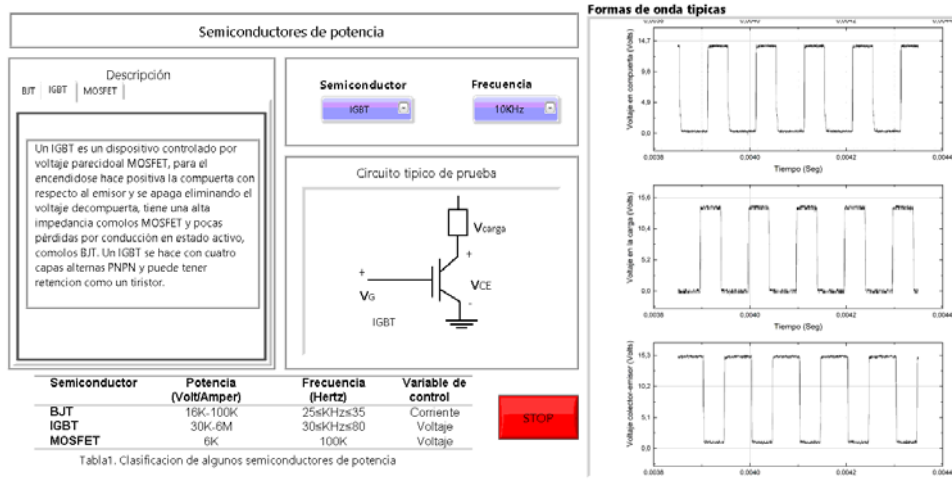


Figura 5 Transistor Bipolar de Compuerta Aislada con frecuencia de operación de 10 kHz.

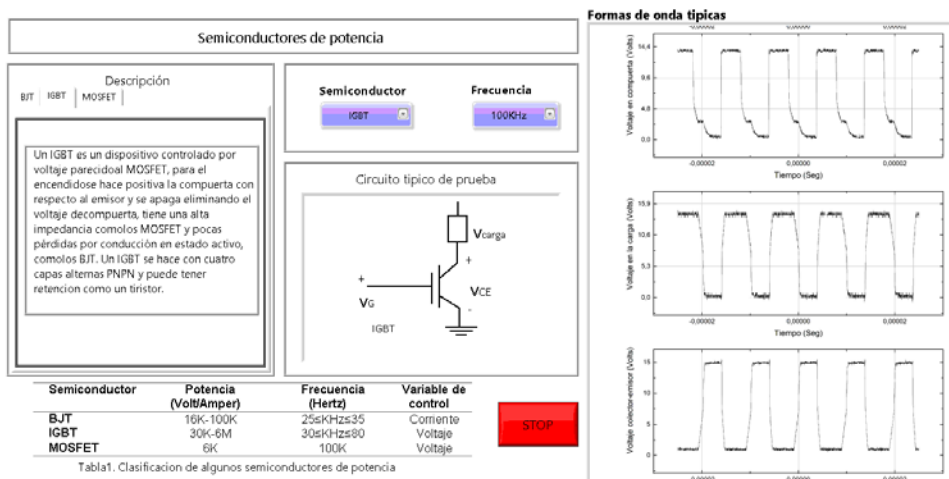


Figura 6 Transistor Bipolar Compuerta Aislada con frecuencia de operación de 100 kHz.

En las figuras 7 y 8 se observa, los resultados derivados de someter un Transistor de Efecto de Campo Metal-Óxido-Semiconductor (MOSFET por sus siglas en

inglés), bajo las mismas frecuencias de operación que el BJT mostrado anteriormente. La prueba se ejecutó utilizando un MOSFET de enriquecimiento canal N. Con respecto a los dos semiconductores anteriores el MOSFET presenta la mejor respuesta en frecuencia.

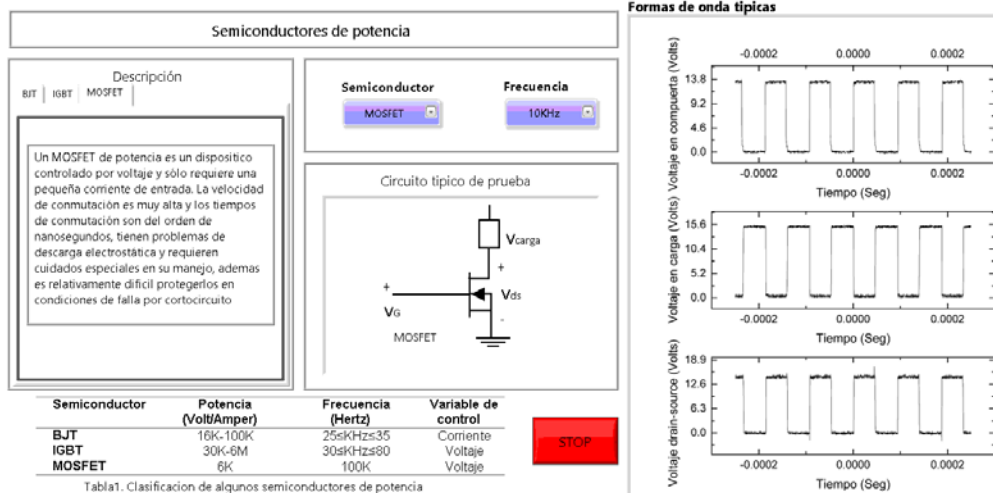


Figura 7 Transistor de Efecto de Campo con frecuencia de operación de 10 kHz.

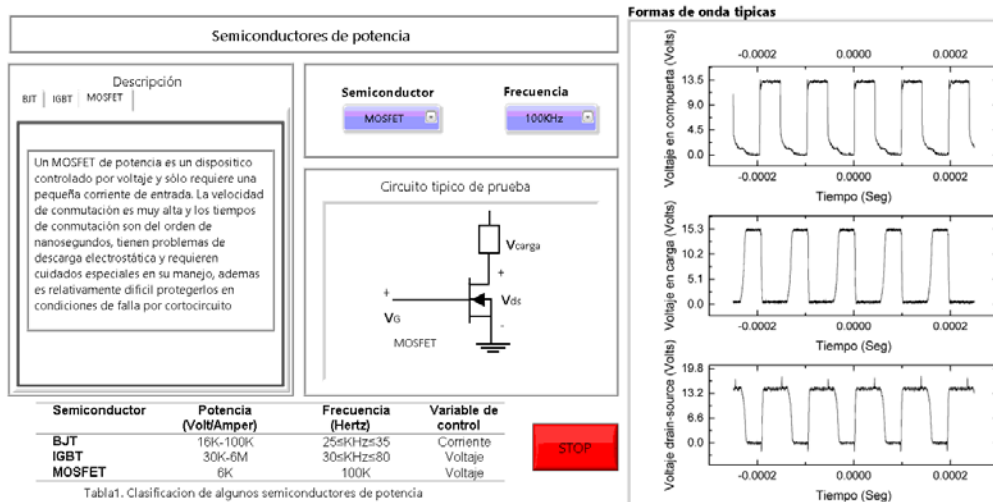


Figura 8 Transistor de Efecto de Campo con frecuencia de operación de 100 kHz.

4. Discusión

El desarrollo de e-learning a través de laboratorios remotos y/o virtuales relacionados con ingeniería electrónica, mecatrónica o afín, es uno de los temas

de interés en las bases de datos internacionales. En México, este desarrollo es de ayuda para aquellas instituciones que no cuenten con equipo de medición y generación experimental, debido a que brinda al estudiante la capacidad de observar fenómenos particulares en dispositivos electrónicos. Esta investigación expone de una manera general una metodología para el desarrollo de un laboratorio virtual para observar el comportamiento a diferentes frecuencias de operación de los transistores BJT, MOSFET e IGBT. Lo que contribuye a la comprensión del estudiante en conceptos básicos de selección de semiconductores de potencia utilizados como interruptores en topologías de conversión de energía eléctrica.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Abdel-Motaleb, I. M. (2014, 5-7 June 2014). Integrating power semiconductor device courses in electrical engineering curricula, a review paper. Paper presented at the IEEE International Conference on Electro/Information Technology.
- [2] Abedinpour, S., & Shenai, K. (2011). 5 - Insulated Gate Bipolar Transistor. In M. H. Rashid (Ed.), *Power Electronics Handbook (Third Edition)* (pp. 73-90). Boston: Butterworth-Heinemann.
- [3] AbuShanab, S., Winzker, M., Brück, R., & Schwandt, A. (2018, 17-20 April 2018). A study of integrating remote laboratory and on-site laboratory for low-power education. Paper presented at the 2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON).
- [4] Batarseh, I. (2011). 4 - The Power MOSFET. In M. H. Rashid (Ed.), *Power Electronics Handbook (Third Edition)* (pp. 43-71). Boston: Butterworth-Heinemann.
- [5] Bryant, A., Santi, E., Hudgins, J., & Palmer, P. (2011). 6 - Thyristors. In M. H. Rashid (Ed.), *Power Electronics Handbook (Third Edition)* (pp. 91-116). Boston: Butterworth-Heinemann.
- [6] Krein, P. T. (2011). 1 - Introduction. In M. H. Rashid (Ed.), *Power Electronics Handbook (Third Edition)* (pp. 1-14). Boston: Butterworth-Heinemann.

- [7] Cohen, M. A., Niemeyer, G. O., & Callaway, D. S. (2017). Griddle: Video Gaming for Power System Education. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32(4), 3069-3077. doi: 10.1109/TPWRS.2016.2618887.
- [8] Kotsampopoulos, P. C., Kleftakis, V. A., & Hatziaargyriou, N. D. (2017). Laboratory Education of Modern Power Systems Using PHIL Simulation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32(5), 3992-4001. doi: 10.1109/TPWRS.2016.2633201.
- [9] Maswood, A. I. (2011). 2 - The Power Diode. In M. H. Rashid (Ed.), *Power Electronics Handbook (Third Edition)* (pp. 17-27). Boston: Butterworth-Heinemann.
- [10] Pahwa, A., Butler-Purry, K. L., & Zareipour, H. (2014). Foreword for the Special Section on Power and Energy Education. *IEEE Transactions on Power Systems*, 29(4), 1871-1873. doi: 10.1109/TPWRS.2014.2325408
- [11] Saadeh, O. S., & Al-Mothafar, M. R. D. (2017, May 29 2017-June 2 2017). Power electronics laboratory education: The JUST experience. Paper presented at the 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON).
- [12] Simoes, M. G. (2011). 3 - Power Bipolar Transistors. In M. H. Rashid (Ed.), *Power Electronics Handbook (Third Edition)* (pp. 29-41). Boston: Butterworth-Heinemann.