

Uso de un módulo didáctico de transformadores eléctricos en la enseñanza de la asignatura de Máquinas de Inducción

Usage of a didactical electrical transformer module in teaching of Induction Machines' course

J. M. Díaz Chacón

Universidad Autónoma de Baja California
juan.mauricio.diaz.chacon@uabc.edu.mx

C. Amaro Hernández

Universidad Autónoma de Baja California

V. Mata Brauer

Universidad Autónoma de Baja California

A. Navarro Valle

Universidad Autónoma de Baja California

Resumen

En este artículo se presenta la implementación de un módulo didáctico de transformadores eléctricos como herramienta de apoyo en la enseñanza del curso de Máquinas de Inducción de la Carrera de Ingeniero Eléctrico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California. También se muestra el progreso educativo que se puede obtener en los alumnos, con el uso de esta herramienta, en la comprensión y validación de conocimientos teóricos impartidos en clase. El uso del módulo didáctico puede contribuir, de manera considerable, a la comprensión de fundamentos relacionados con el funcionamiento de las máquinas de inducción. Estos fundamentos les permitirán a los estudiantes cursar asignaturas posteriores de manera eficiente.

Abstract

In this paper, the implementation of a didactical electrical transformer module as a support tool in teaching of Induction Machines' course of the Career in Electrical Engineering, Faculty of Engineering of

Universidad Autónoma de Baja California is presented. Educational progress that can be obtained in the students, with the usage of this tool, in understanding and validating of theoretical knowledge taught in class is also shown. The usage of the didactical module can significantly contribute to the comprehension of fundamentals related with the operation of induction machines. These fundamentals will allow to the students to study subsequent subjects efficiently.

Palabras clave / key words: educación, ingeniería, módulo didáctico, máquinas de inducción. / education, engineering, didactical module, induction machines.

Introducción

Hoy en día, el uso de las tecnologías es una de las principales alternativas que los profesores de diversos niveles educativos han empleado para desarrollar, de manera conveniente, su práctica docente en las unidades de aprendizaje a su cargo.

Actualmente, los estudiantes expresan diversas inquietudes por la demostración experimental de las teorías y fundamentos impartidos en el salón de clases.

A nivel licenciatura, particularmente en el área de la ingeniería, estas inquietudes son aún mayores debido a que los conceptos impartidos en el aula se emplean continuamente en la vida laboral.

El desarrollo de prácticas de laboratorio por parte de los estudiantes en diversas asignaturas de la ingeniería es cada vez más frecuente. El objetivo primordial de la implementación de estas prácticas es mostrar la cohesión que existe entre los aspectos teóricos que describen el comportamiento de un fenómeno, y la validación experimental del mismo.

Esto es muy conveniente para el alumno debido a que le incentiva a generar su propio conocimiento a partir de experiencias reales y a su vez, le permite elevar su creatividad y juicio propio, e impide adquirir los conocimientos como una serie de reglas absolutas que debe memorizar.

Debido a lo anterior, el estudiante es capaz de sustentar el comportamiento de los fenómenos del área de estudio, así como de responsabilizarse de construir su propio conocimiento (constructivismo).

Dentro de la ingeniería eléctrica, una de las temáticas fundamentales necesarias para el desarrollo de los conocimientos teórico-prácticos es el estudio del funcionamiento de las máquinas eléctricas, entre las cuales se encuentran las máquinas de inducción tales como los transformadores y los motores eléctricos (Chapman, 2011), (Fitzgerald, Kingsley & Umans, 2003).

La comprensión del funcionamiento de estos equipos es de vital importancia en el proceso de aprendizaje de los alumnos para la vida de trabajo en la industria.

Desafortunadamente, el desarrollo de pruebas experimentales, propias de esta área, no es una tarea fácil. Esto se debe a que estas pruebas son sumamente peligrosas, pudiendo provocar daños severos al estudiante, incluso la muerte. Por tal motivo, en algunas instituciones educativas de nivel superior no se llevan a cabo este tipo de experimentos.

Algunas alternativas propuestas para observar el comportamiento de los equipos eléctricos, incorporan el uso de software (Ayasun & Nwankpa, 2005), (Bentounsi et al., 2011), (Rubaii, 1994). Sin embargo, el rezago que puede provocar la falta de este tipo de experiencias en el estudiante es considerable. Esto se debe a que, en la industria, el estudiante se tendrá que enfrentar con diversos retos relacionados con el manejo de equipo eléctrico riesgoso. Por tal motivo, es conveniente implementar este tipo de aplicaciones didácticas en la preparación de los estudiantes de esta área (Chin, 2014), (Jewell, 1990), (Koochaki, 2015), (Martinez-Roman et al., 2015).

Por otra parte, los equipos didácticos empleados en el desarrollo de prácticas de laboratorio de esta especialidad, tienden a ser sumamente costosos (debido a su exclusividad de aplicación educativa), y por lo tanto, en algunas universidades se imposibilita su adquisición y uso.

En este trabajo se presenta el uso de un módulo didáctico de transformadores eléctricos, diseñado y construido por los autores de este trabajo y por alumnos de la carrera de Ingeniero Eléctrico de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de Baja California. También se establecen las temáticas que se pueden abordar con la ayuda del mismo y las contribuciones que se pueden alcanzar en el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes de la carrera de Ingeniero Eléctrico. En este

artículo sólo se presenta el enfoque educativo que se puede lograr mediante el uso de este módulo. La metodología llevada a cabo para el diseño del módulo se presentará en un trabajo posterior.

METODOLOGÍA DE USO DEL MÓDULO DIDÁCTICO

Durante el desarrollo del programa de estudios de la asignatura de Máquinas de Inducción de la Carrera de Ingeniero Eléctrico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California se presentó la necesidad de resolver un problema relacionado con la falta de demostración experimental de los temas impartidos en clase. Algunos de estos temas (relacionados con el transformador monofásico) son:

- 1.- Curvas de magnetización y de histéresis.
- 2.- Determinación de las marcas de polaridad.
- 3.- Relación de transformación.
- 4.- Pruebas de vacío y de corto circuito.
- 5.- Determinación de los parámetros del circuito equivalente.
- 6.- Determinación de la eficiencia y de la regulación de voltaje con diversas cargas.

Estos temas son sumamente relevantes para el desarrollo profesional del estudiante de Ingeniería Eléctrica. Por tal motivo, se desarrolló el diseño y construcción de un módulo didáctico de transformadores eléctricos.

El módulo didáctico se compone de dos transformadores monofásicos: uno de tipo acorazado y el otro de tipo núcleo. En la Fig. 1 se muestra el interior del módulo donde se pueden observar estos transformadores.

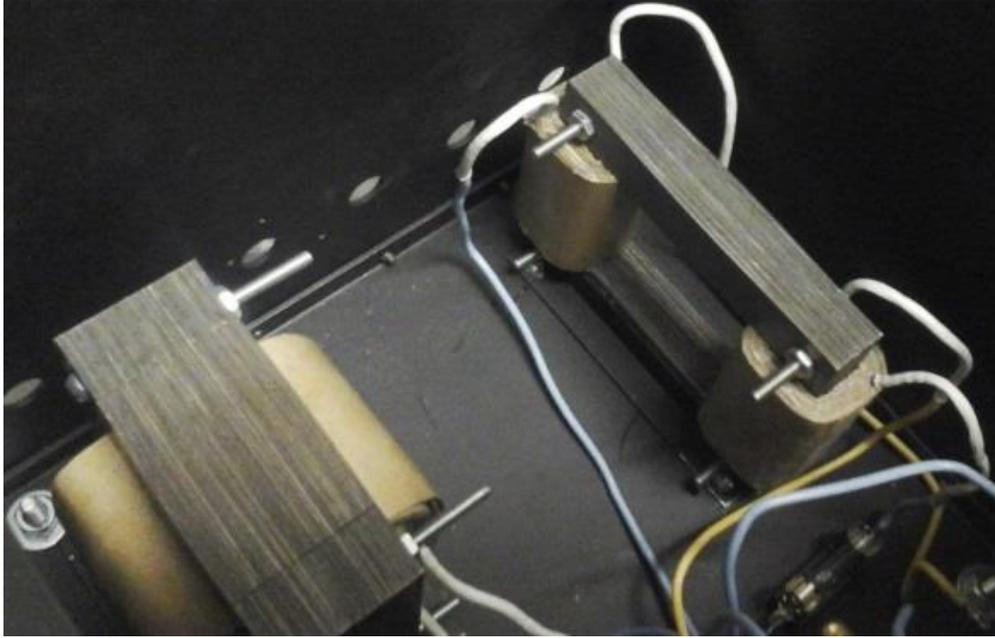


Fig. 1. Interior del módulo didáctico de transformadores eléctricos: izquierda – tipo acorazado, derecha – tipo núcleo.

Ambos transformadores se construyeron del mismo material magnético y cada uno de ellos tiene su aplicación en objetivos particulares dentro de los temas mencionados.

Las marcas de polaridad se colocaron de manera didáctica en los bornes superiores de los transformadores. Esto permite mantener la visualización teórica de los diagramas eléctricos empleados en clase.

El transformador acorazado se emplea para la determinación de los parámetros eléctricos del circuito equivalente y para la realización de las pruebas con carga. Los valores nominales del mismo son 120/60 V, 60 VA.

Por otra parte, el transformador tipo núcleo se utiliza para la determinación de las curvas de magnetización y de histéresis debido a que, para lograr la saturación magnética del material de construcción, sólo se requiere un nivel de bajo voltaje (aproximadamente 30 V). En el panel frontal del módulo se indican las especificaciones de ambos transformadores, Fig. 2.



Fig. 2. Panel frontal del módulo didáctico de transformadores.

El módulo también se compone de una resistencia shunt a través de la cual se puede obtener la forma de onda de la corriente eléctrica de los transformadores de manera indirecta (si un osciloscopio es utilizado).

Adicionalmente, se adaptó una punta de tierra, la cual permite tener un punto de referencia común en las conexiones eléctricas. Esta punta es primordial en la realización de mediciones eléctricas con el osciloscopio y se encuentra conectada tanto al gabinete del módulo como a los núcleos de los transformadores. Todas las conexiones eléctricas realizadas dentro del módulo se encuentran canalizadas a sus bornes respectivos del panel frontal.

Como medida de protección se añadieron dos fusibles, los cuales fueron colocados en los devanados de entrada de ambos transformadores. Esto permite evitar el paso de corrientes superiores a las especificadas en cada transformador que puedan dañar, de manera severa, los devanados de los mismos.

Finalmente, el módulo didáctico posee un medidor analógico que permite la visualización del voltaje de entrada del transformador acorazado en cierto rango de medida. Cabe mencionar que el gabinete del módulo se construyó de metal rígido, lo cual le permite ser robusto y fácil de trasladar. Además, el tipo de metal permite representar de manera didáctica, los materiales conductores empleados en la fabricación de los tanques de transformadores comerciales.

Alternativamente, al diseño y construcción del módulo didáctico, se propusieron varias prácticas de laboratorio relacionadas con los objetivos de aprendizaje de los temas antes mencionados.

En estas prácticas se utilizan diversos equipos de laboratorio adicionales al módulo, entre los cuales se encuentran: multímetros digitales, empleados para realizar las mediciones de voltajes y corrientes eléctricas; osciloscopios empleados para la obtención de las formas de onda de las señales eléctricas.

También se emplea una fuente de potencia para suministrar energía eléctrica a los circuitos.

Finalmente se requiere de un módulo de carga resistiva para la realización de la prueba con carga del transformador.

Cabe mencionar que las conexiones eléctricas de las prácticas de laboratorio se han diseñado de manera que exista un grado mínimo de dificultad en su desarrollo, promoviendo la confianza en el estudiante para la realización de las mismas y permitiendo el enfoque de la práctica en la comprensión y validación del principio teórico.

A pesar de lo anterior, siempre se hace énfasis a los estudiantes sobre la estricta seguridad que debe prevalecer dentro del laboratorio y de los peligros latentes que presentan cada una de las prácticas a realizarse.

Para la determinación de los parámetros eléctricos del circuito equivalente del transformador, como el que se muestra en la Fig. 3, se requieren llevar a cabo dos pruebas fundamentales: la prueba de circuito abierto o de vacío, y la prueba de corto circuito. La obtención de este circuito es de vital importancia para la determinación tanto de la eficiencia como de la regulación de voltaje del transformador.

En conclusión, los parámetros del circuito equivalente son necesarios para conocer el funcionamiento de la máquina en cuestión y a su vez, le facilitarán al estudiante, entender y explicar otros circuitos

equivalentes como el del motor de inducción. Estos conocimientos le permitirán, de manera más sencilla, cursar asignaturas posteriores relacionadas con el funcionamiento de las máquinas eléctricas.

Mediante el uso de este módulo, el alumno adquirirá la habilidad para traducir información especializada a un lenguaje que sus clientes futuros en el sector laboral y/o de servicios puedan comprender y de la cual dependerá su éxito (Ponce, 2011).

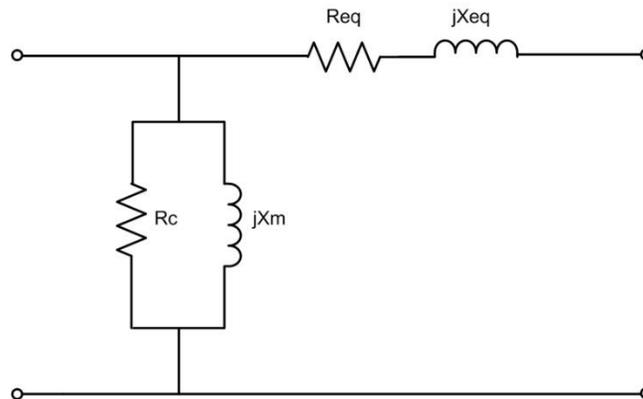


Fig. 3. Circuito equivalente del transformador.

En la Fig. 4 se muestra el diagrama de la prueba de vacío, que se realiza en las prácticas de laboratorio. Se puede observar la simplicidad de las conexiones y el alto grado de seguridad que presenta para el cuidado integral del alumno (debido a la manera de colocar la punta de tierra del osciloscopio en el circuito).

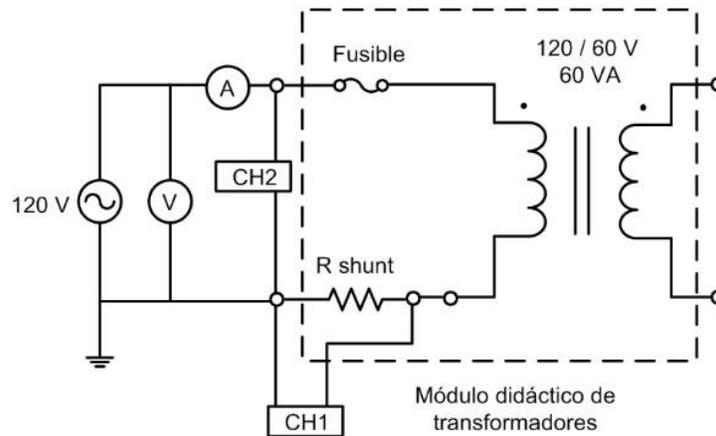


Fig. 4. Diagrama de la prueba de vacío.

Algunas de las prácticas de laboratorio propuestas se muestran en las Figs. 5-7. Se puede observar que para la realización de la prueba de corto circuito se utilizan las mismas conexiones que se emplean para la prueba de vacío, sólo se requiere agregar un amperímetro en serie al devanado secundario del transformador.

Es evidente que los valores de voltajes y corrientes son muy distintos en cada prueba; para la prueba de vacío se utiliza el voltaje nominal del transformador y para la prueba de corto circuito se utiliza un voltaje de valor muy pequeño a corriente nominal.

Para obtener la curva de histéresis se puede utilizar un circuito integrador compuesto por un capacitor de valor bajo (menor a $1 \mu\text{F}$) y una resistencia de alto valor óhmico ($100 \text{ k}\Omega$). Adicionalmente, en estas prácticas de laboratorio se puede implementar el uso de una interfaz gráfica mediante una computadora para realizar la adquisición de los datos provenientes del osciloscopio.

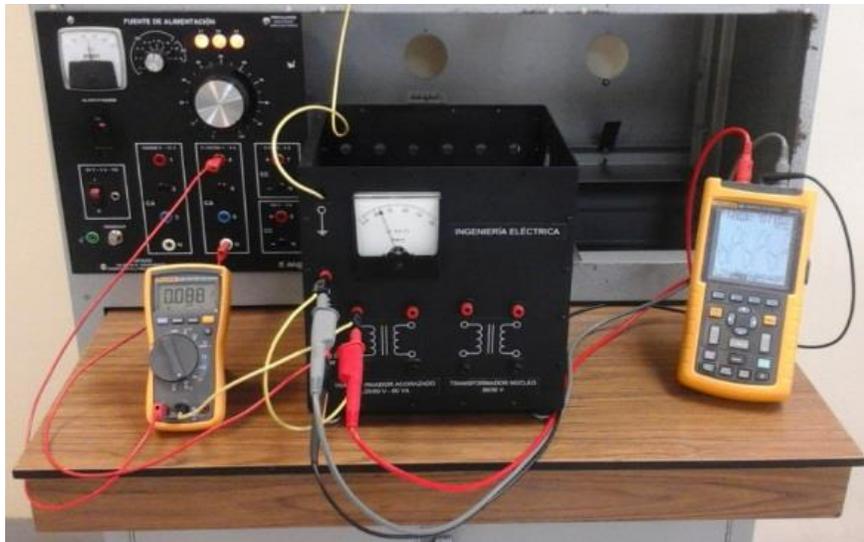


Fig. 5. Prueba de vacío del transformador acorazado.

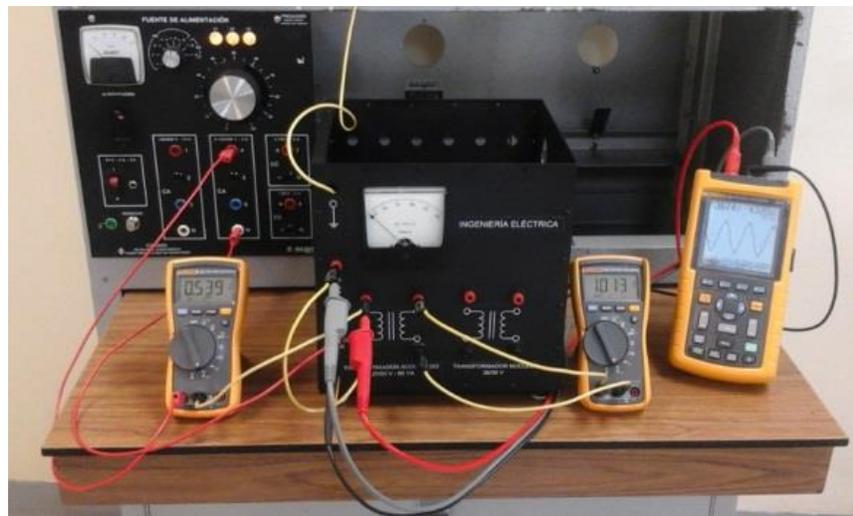


Fig. 6. Prueba de corto circuito del transformador acorazado.



Fig. 7. Prueba de histéresis del transformador núcleo.

El desarrollo de las prácticas de laboratorio, como las que se muestran en las Figs. 5-7, les permite a los estudiantes, reafirmar los conocimientos vistos en clase. Esto representa una contribución importante en el campo de la enseñanza de la ingeniería debido a que se emplean elementos didácticos prácticos y tecnológicos que permiten promover el interés por el estudio de la asignatura en cuestión.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) por el apoyo recibido para la realización de este trabajo.

Conclusión

En este trabajo se presentó la implementación de un módulo didáctico de transformadores diseñado específicamente para demostrar varios fundamentos relacionados con la asignatura de Máquinas de Inducción. Los diversos componentes que ofrece este módulo les facilitan a los alumnos la observación y validación experimental de los conocimientos teóricos adquiridos en el salón de clases. Esto les ofrece la oportunidad de apropiarse del conocimiento de manera eficaz y les permite interactuar con sistemas modulares basados en el funcionamiento de equipos industriales.

Bibliografía

Ayasun, S., & Nwankpa, C. (2005). Induction motor tests using matlab/simulink and their integration into undergraduate electric machinery courses. *IEEE Trans. Education*, 48(1), 37-46.

Bentounsi, A., Djeghloud, H., Benalla, H., Birem, T., & Amiar, H. (2011). Computer-aided teaching using matlab/simulink for enhancing an im course with laboratory tests. *IEEE Trans. Education*, 54(3), 479-491.

Chapman, S. J. (2011). *Electric machinery fundamentals* (5a. ed.). Nueva York, Estados Unidos de América: McGraw-Hill.

Chin, Y. (2014). Development of educational platform for experiments of electric machines. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 1-10.

Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., & Umans, S. D. (2003). *Electric machinery* (6a. ed.). Nueva York, Estados Unidos de América: McGraw-Hill.

Jewell, W. T. (1990). Transformer design in the undergraduate power engineering laboratory. *IEEE Trans. Power Systems*, 5(2), 499-505.

Koochaki, A. (2015) Teaching calculation of transformer equivalent circuit parameters using matlab/simulink for undergraduate electric machinery courses. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(17), 1-6.

Martinez-Roman, J., Perez-Cruz, J., Pineda-Sanchez, M., Puche-Panadero, R., Roger-Folch, J., Riera-Guasp, M., & Sapena-Baño, A. (2015). Electrical machines laminations magnetic properties: a virtual instrument laboratory. *IEEE Trans. Education*, 58(3), 159-166.

Ponce, M. (2011). *Cómo enseñar mejor: técnicas de asesoramiento para docentes* (3a. ed.). México: México. Paidós.

Rubaai, A. (1994). Computer aided instruction of power transformer design in the undergraduate power engineering class. *IEEE Trans. Power Systems*, 9 (3), 1174-1181.