ENSEÑANZA DE ACCIONAMIENTOS ELECTRICOS UTILIZANDO PROGRAMAS DE SIMULACION DE CIRCUITOS

Fernando Bertolotti[1],Fabiana Ferreira[2]

Abstract *— This paper presents experiences obtained in a pregraduate course about electric drives. The course content includes issues referent to control of electric machines, the structure of the power electronic converters and the study of electric machines. The methodology followed in class was based on the use intensive of circuit simulation programs wich became an fundamental tool for education to stimulate learning, to improve understanding and can be a form to achieve integration whith other subjects. The simulation programs used are: ATPDraw, IsSpice and Matlab/Simulink wich are widely employed by areas academics, institutions and companies.It will talk about the course methodology that we employed and we will describe the development of the course, it will do an analisys about the methodology employed and will show the conclusions obtained.*

Index Terms —Education, Electric drives, Power Electronics, Simulation programs.

INTRODUCCIÓN

Dentro del plan de estudios de la carrera Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires figura la materia Accionamientos variables. La mencionada asignatura abarca temas referentes al funcionamiento de las máquinas eléctricas de corriente continua y de corriente alterna trifásica, la estructura de los equipos convertidores de potencia para accionarlas y los sistemas de control de velocidad de las mismas.

El curso es cuatrimestral con una carga horaria de 6 horas semanales, es decir que se desarrolla durante 16 semanas dando un total de 96 horas. Según el régimen de estudios vigente en la universidad por cada hora de curso presencial, los alumnos deben dedicar una hora de trabajo adicional. Si bien se desarrollan ejercicios y ejemplos para afirmar los conocimientos adquiridos, nuestra experiencia adquirida en estos cursos nos permiten observar que los alumnos no llegan a obtener una visión completa de las aplicaciones y del funcionamiento del sistema electromecánico. Para abordar este problema se decidió por la utilización de programas de simulación de circuitos con el fin de lograr una visión global del sistema que incluye: la máquina eléctrica con su sistema mecánico, el convertidor de potencia que la acciona y la red eléctrica que suministra la energía.

Respecto a los conocimientos previos que poseen los alumnos podemos decir que conocen los conceptos de teoría de control y tienen amplio conocimiento de circuitos electrónicos analógicos y digitales de baja potencia, sin embargo no están habituados a manejar circuitos monofásicos y trifásicos de potencia ni tampoco están acostumbrados a tratar a los dispositivos semiconductores como interruptores para controlar potencia.

También es necesario presentar los conceptos de potencia activa, reactiva, aparente y de deformación así como también exponer los fundamentos de armónicos.

Es importante recalcar que los alumnos tienen experiencia en resolución numérica de ecuaciones diferenciales y están habituados a utilizar programas para resolver esas ecuaciones y graficar las variables de interés.

Presentaremos brevemente los programas de simulación utilizados, describiremos el desarrollo de las clases para la materia accionamientos variables mostrando las simulaciones que se efectuaron, contaremos las experiencias obtenidas y obtendremos conclusiones.

LOS PROGRAMAS DE SIMULACION

En la actualidad existen programas utilizados en ámbitos académicos y empresas para simular en forma integrada sistemas eléctricos, sistemas de control y sistemas mecánicos. Aunque en todos estos programas se puede trabajar utilizando lenguajes de programación en forma de sentencias, la tendencia en este caso es a utilizar la interfaz gráfica orientada a modelos de que disponen. Por lo tanto no es necesario que el alumno tenga a priori amplios conocimientos de resolución numérica de ecuaciones, permitiendo enfocar la atención exclusivamente en la topología y en el funcionamiento del circuito que se está estudiando. En la materia accionamientos variables se trabaja con tres programas de simulación de circuitos ampliamente difundidos:

- **ATPDraw**
- **Matlab/Simulink**
- **IsSpice**

En la tabla I se resumen los requerimientos de hardware y software:

1 Fernando Bertolotti,Departamento de electrónica, Facultad de Ingeniería ,Universidad de Buenos Aires, Av. Paseo Colón ,850, Buenos Aires,Argentina, fbertol@fi.uba.ar

2 Fabiana Ferreira ,Universidad Nacional de Quilmes,Departamento de ciencia y tecnología Universidad Nacional de Quilmes, Roque Saenz Peña 352, Bernal,Buenos Aires, Argentina, fferreir@unq.edu.ar

TABLA I

REQUERIMIENTO DE HARDWARE Y SOFTWARE

Programa	Requrimiento Hardware	Requrimiento Hardware	Licencia/Gratuito
Matlab/Simulink	Pentium 100MB disco 64MB RAM	Windows 9X/2000/NT/XP UNIX	SI/NO
IsSPICE	Pentium 25 MB Disco 32 MB RAM	Windows 98/2000/NT/XP	SI/NO
ATPDraw	Pentium 30 MB Disco 64 MB RAM	Windows 98/2000/NT/XP	Si/Si (a través del Comité de usuarios del ATP)

IsSpice es una versión del tradicional PSpice (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) programa muy utilizado para simular circuitos eléctrónicos, contiene una librería extensa con modelos de circuitos integrados, dispositivos semiconductores para toda al gama de tensiones y corrientes algunos de ellos bastantes sofisticados. Esta versión trabaja sobre una interfaz de desarrollo gráfica.

ATPDraw es un preprocesador gráfico para el ATP (Alternative Transients Program) que es una de las versiones del programa EMTP (ElectroMagnetic Transients Program). Es un software utilizado normalmente para simular transitorios en sistemas eléctricos de potencia, los cuales son trifásicos y de baja, media o alta tensión. Su menú contiene gran cantidad de modelos de equipos eléctricos de potencia como transformadores, líneas de transmisión y máquinas eléctricas entre otros; también posee una amplia librería con elementos de sistemas de control en forma de bloques de transferencia y bloques que permiten expresiones y operaciones matemáticas. Para aplicaciones de electrónica de potencia tiene disponible modelos de diodos, tiristor y triac además tiene llaves controladas para representar cualquier dispositivo semiconductor.

Matlab (Matrix Laboratory) es un programa multipropósito utilizado para resolver cualquier problema de ingeniería; contiene una interfaz gráfica llamada Simulink con una librería extensa y variada con modelos y bloques de control en forma de función transferencia. Dentro de la librería de Simulink se encuentra un bloque llamado 'Power System' el cual contiene infinidad de modelos de equipos eléctricos de potencia incluyendo también modelos de equipos convertidores de potencia. Los modelos del bloque de 'Power System' se pueden integrar con los modelos del bloque de control para crear sistemas más complejos. En la tabla II se presenta un cuadro comparativo de las librerías disponibles en estos programas.

TABLA II

LIBRERIAS DISPONIBLES

Programa	Circuitos Integrados	Sistemas de Control	Dispositivos semiconductores
Matlab/Simulink	No tiene	Si	Diodo, Tiristor MOSFET, IGBT, GTO
IsSPICE	Muy buena	Si	Si Completa
ATPDraw	No tiene	Si	Diodo , Triac y Tiristor

DESARROLLO DEL CURSO

La metodología desarrollada en clase emplea como material didáctico a los programas de simulación de circuitos. Los temas a desarrollar se enumeran en el siguiente orden:

- Convertidores de potencia para corriente continua.
- Máquina eléctrica de corriente continua.
- Control de máquinas de corriente continua.
- Convertidores de potencia para corriente alterna.
- Máquina eléctrica de corriente alterna trifasica.
- Control de máquinas de corriente alterna.

Las clases son teórico prácticas, se presentan los fundamentos teóricos y la estructura de los circuitos convertidores de potencia, luego se realizan las siguientes simulaciones: primero se simula el convertidor y la máquina por separado, posteriormente se simulan el convertidor y la máquina interconectados formando un sistema. La tarea final es incorporar a la simulación el circuito de control.

Podemos separar el curso en dos partes: los accionamientos de máquinas de corriente continua y los accionamientos de máquinas de corriente alterna.

Las simulaciones de accionamientos de corriente continua

Los programas de simulación usados en este caso son ATPDraw, Matlab/Simulink y IsSpice.

Los convertidores de interés a simular para accionar máquinas de corriente continua son:

- El rectificador controlado en sus versiones monofásico y trifásico, la versión trifásica se muestra en la figura 1, usando ATPDraw.
- Los troceadores Buck, Boost y Buck-Boost. En la figura 2 se visualiza el convertidor Buck realizado con el programa IsSpice.

La máquina eléctrica elegida es de corriente continua del tipo excitación independiente.La figura 3 muestra el modelo en ATPDraw de dicha máquina.

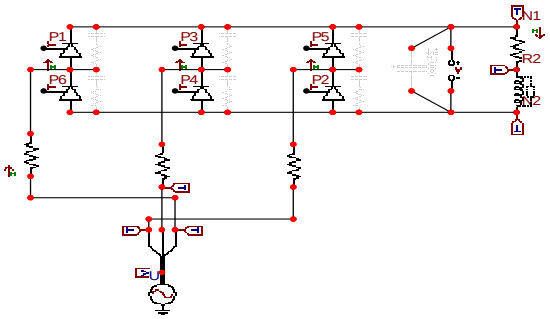

FIGURA 1

RECTIFICADOR CONTROLADO EN ATPDRAW

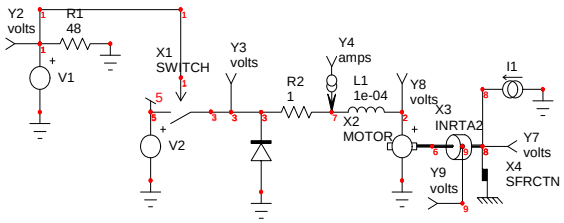

FIGURA 2

TROCEADOR BUCK ALIMENTANDO A UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

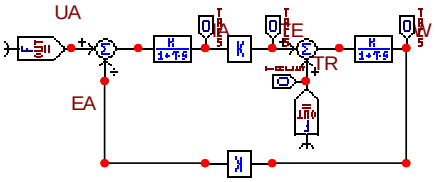

FIGURA 3

MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA EXCITACIÓN INDEPENDIENTE

La primer simulación corresponde al convertidor del tipo rectificador controlado en ATPDraw como indica la figura 1, se grafican la tensión y la corriente del lado de corriente continua. También se visualizan la tensión y corriente del lado de corriente alterna.

La segunda simulación, también usando ATPDraw, se incorpora la máquina de corriente continua con excitación independiente cuyo modelo se muestra en la figura 3. Se grafican la velocidad en el eje y la corriente en el motor.

En la tercer simulación se integra de la manera indicada por la figura 4 el sistema de control de velocidad, ubicado abajo en dicha figura. El sistema de control se incorpora al sistema formado por la máquina y el convertidor situados arriba a la derecha e izquierda respectivamente. Se grafican la velocidad, que es la variable a controlar, y el torque como variables mecánicas como se muestra en la figura 5. También se grafican la tensión y la corriente que toma el motor.

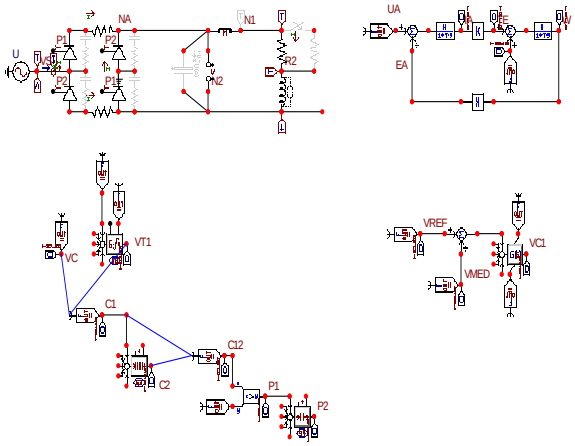

FIGURA 4

SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD PARA MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

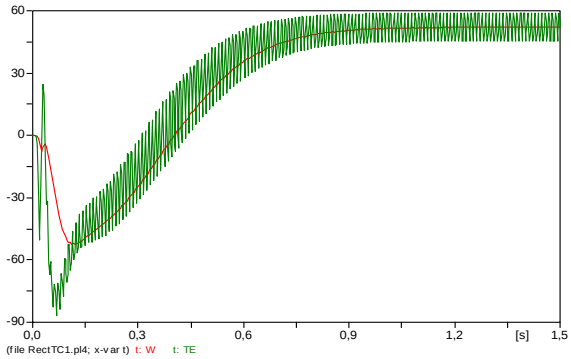

FIGURA 5

VELOCIDAD Y TORQUE EN EL EJE EL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA

FIGURA 6

VELOCIDAD EN EL EJE DEL MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA CON TROCEADOR BUCK

Para los convertidores del tipo troceadores se utiliza el programa IsSpice, se simula como indica la figura 2 un convertidor Buck con un motor de corriente continua como carga. Se grafican la tensión de salida y la corriente por la inductancia. También se grafica la velocidad en el eje, la cual aparece en la figura 6 y la corriente que toma el motor.

Las simulaciones de accionamientos de corriente alterna

Los programas de simulación usados en este caso son ATPDraw y Matlab/Simulink.

El convertidor de interés para accionar máquinas de corriente alterna es el inversor trifásico con modulación PWM senoidal, el cual se visualiza en la figura 9. La máquina eléctrica elegida es la máquina de corriente alterna trifásica del tipo asincrónica con rotor jaula de ardilla.

La primera simulación de accionamientos de corriente alterna es sobre un inversor trifásico con carga resistiva e inductiva y fuerza electromotriz, lo cual se puede ver en la figura 9. Se grafica la tensión que genera el inversor y la corriente en la carga como se indica en la figura 10. La señal modulada PWM que genera el circuito de disparo también se grafica.

La segunda simulación se realiza incorporando el motor asincrónico trifásico con rotor jaula de ardilla de la manera que indica la figura 11. Se grafican la velocidad y el torque en el eje como variables mecánicas las cuales pueden verse en la figura 12. Además de grafican la tensión y corriente de fase que circulan por el motor asincrónico, lo cual se visualiza en la figura 13.

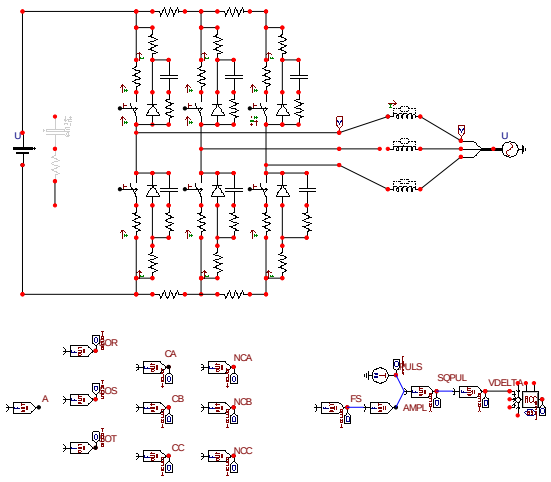

FIGURA 9

INVERSOR TRIFASICO CON CARGA RESISTIVA E INDUCTIVA Y FUERZA ELECTROMOTRIZ

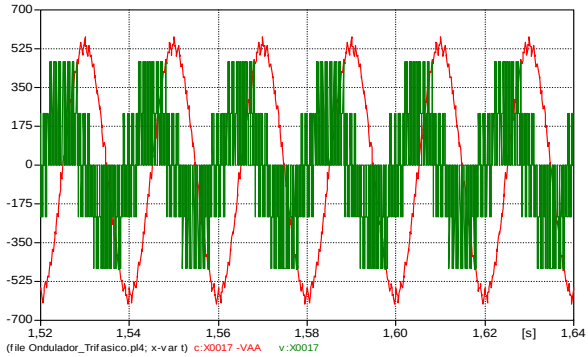

FIGURA 10

TENSION DE FASE Y CORRIENTE DE FASE QUE GENERA EL INVERSOR TRIFASICO

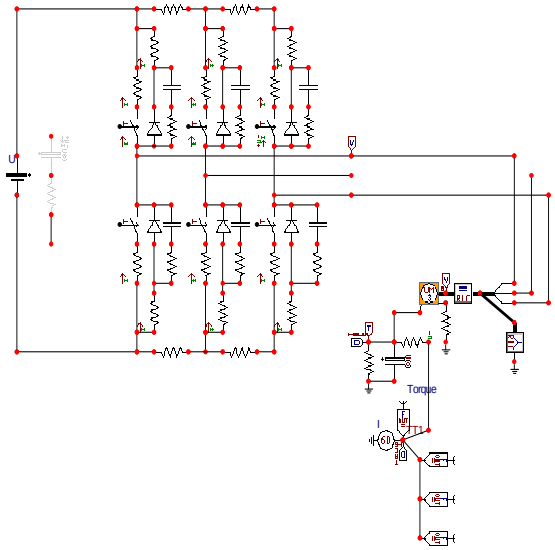

FIGURA 11

ACCIONAMIENTO DE UN MOTOR ASINCRONICO CON INVERSOR TRIFASICO

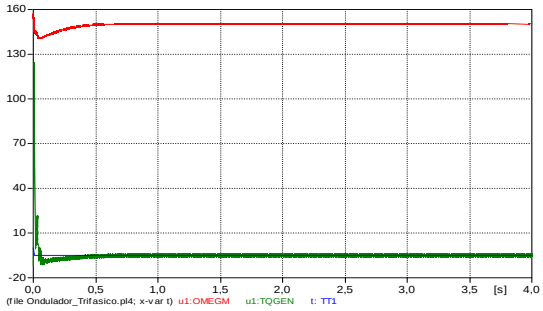

FIGURA 12

VELOCIDAD Y TORQUE

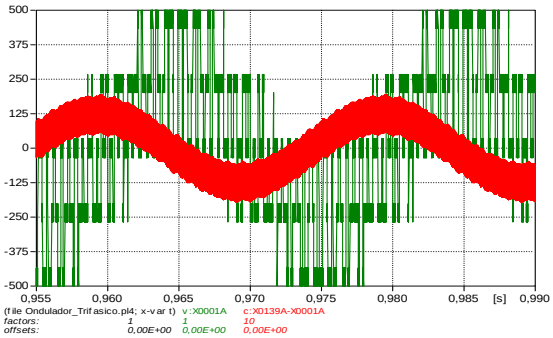

FIGURA 13

TENSION Y CORRIENTE DE FASE QUE TOMA EL MOTOR ASINCRONICO DEL INVERSOR TRIFASICO

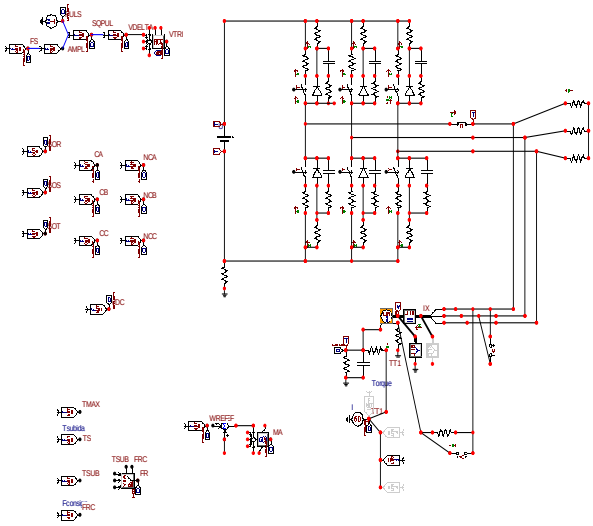

FIGURA 14

CONTROL V/F DE UN MOTOR ASINCRONICO TRIFASICO

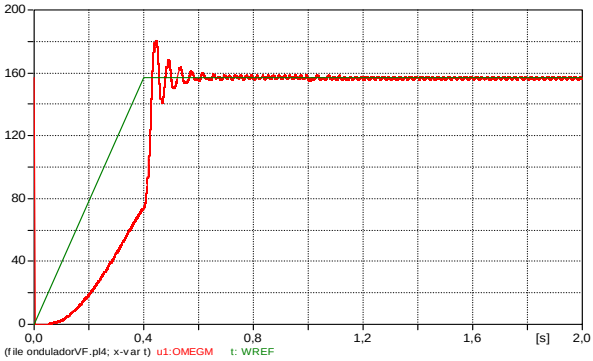

FIGURA 15

VELOCIDAD EN EL EJE Y VELOCIDAD DE REFERENCIA PARA CONTROL V/F DE UN MOTOR ASINCRONICO TRIFASICO

Finalmente siguiendo el mismo orden que el utilizado para explicar los accionamientos de corriente continua se efectúa la tercera simulación donde se incorpora el esquema de control al sistema formado por el motor y el inversor. En la figura 14 se muestra el control conocido como tensión – frecuencia o V/F. Se grafica la velocidad en el eje que es la variable a controlar junto con la velocidad de referencia de la manera mostrada en la figura 18. También se grafican la tensión y la corriente de fase en el motor.

CONCLUSIONES

Se mostró la metodología seguida en un curso de accionamientos eléctricos variables de la carrera de grado de ingeniería electrónica donde se eligió trabajar con programas de simulación para presentar los temas.

La experiencia obtenida nos permite ver que el uso de los programas ayuda a comprender la estructura de los convertidores y de su utilización debido al entorno gráfico que presentan y además al simularlos pueden observarse las formas de onda de las variables del circuito. A nuestro criterio esta herramienta incentiva el aprendizaje del funcionamiento de los accionamientos como sistema, genera una mayor participación del alumno en clase, crea un espíritu crítico y de investigación. Además las simulaciones permiten verificar al mismo tiempo los cálculos teóricos que se realizan, usando los mismos datos del circuito real en la simulación, por comparación con los resultados obtenidos de la simulación. En lo que respecta al fundamento teórico para el estudio de los convertidores y las máquinas eléctricas siguen existiendo las mismas dificultades para aprender a manejar las ecuaciones y conceptos, por ello se requiere dedicar tiempo adicional para complementar el trabajo en clase.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fué parcialmente financiado por el proyecto UBACYT I005.

REFERENCIAS

[1] Martinez. J, A, Capolino ,G,A, Henao,H, "A Suitable tool for tha simulation of power converters and drives", *IEEE Workshop on Computers in Power Electronics*,August 1992, pp.87-100.

[2] Prinkler, L., Heidalen ,H,K, "ATPDraw-version 3.5 for Windows 9x/NT/2000/XP Users Manual", *book*, October 2002.

[3] Mohan, N., Underland, T,.M., Robins, W,P., "Power Electronics: Converter , Aplication and Design"2nd.Edition, *book*, 1994

[4] Hymowitz, C, E., Meares, L, G., "Spice Applications Handbook"2nd Edition, *book*,1994.

[5] Dommel H,W, "Electromagnetic Transients Program Reference Manual", *EMTP Theory book*., Portland 1986.

[6] Secretaría Académica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, " Ingeniería Electrónica , Plan de estudios", 1986.