

MODERNIZACIÓN DE EQUIPO EDUCACIONAL INGLÉS CONVERTIDOR DE TIRISTORES MAWDLEYS

*Angel Recalde Lino***
*Julio Cárdenas Landín***
*Alberto Larco**

** Estudiantes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación

*Master de la ESPOL, Director de proyecto

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación (FIEC)

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Km. 30 ½ vía Perimetral Campus Gustavo Galindo, GYE, Ecuador

arecalde@espol.edu.ec, jcardena@espol.edu.ec

Resumen

Los convertidores estáticos tienen hoy en día muchas aplicaciones en sistemas de conversión de energía eléctrica y son utilizados extensamente en las industrias para manejar cargas que necesitan ser controladas mediante una referencia variable. El presente trabajo trata acerca de la reparación de un equipo convertidor de tiristores para el estudio de sistemas de rectificación AC/DC a partir del hecho que ha estado en desuso, no se cuenta con planos eléctricos y muchos de los componentes han sido removidos. El estado del equipo no es el mejor, y además su construcción está basada en tecnología de la década de 1980. El trabajo tiene que empezar con la descripción completa de todo el equipo para lo cual se necesita analizar cada tarjeta electrónica, componente y conector. Al recurrir al análisis es importante utilizar herramientas de simulación por computadora que permitan estudiar el comportamiento de todos los circuitos involucrados, pudiéndose también de esta forma desarrollar un paquete simulador valioso para los estudiantes. Posteriormente deberán reemplazarse los componentes dañados y faltantes con aquellos que mejor se adapten; esto implica utilizar tecnología disponible y actual. De esta forma, el equipo debe quedar habilitado completamente con todas sus prestaciones originales.

Palabras clave: convertidores estáticos, rectificador con tiristores, Equipo educacional Mawdleys, controladores de pulsos de disparo, motores de corriente continua.

Abstract

In present days static converters have many applications in electric energy conversion systems and are used extensively in industrial environment to drive varied loads which need to be controlled by a set up reference. This paper describes the repairing of English static converter equipment for the study of AC/DC rectifier systems since it has no electrical drawings, has been unused for a long time, and many of its components have been removed. The equipment has not been in better conditions lastly and moreover, its construction is based on decade 1980 technology. The work must begin with complete equipment description, for which it is necessary to analyze each electronic PCB, element, and connector therein. To have success in nowadays engineering is important to use computer simulation in order to sustain what is stated for all related systems and circuits; this can lead to academic contribution which is to develop a simulation platform useful for students. After, damaged elements and lost components must be replaced with others which could be best adapted; that means to use current affordable technology. In this way, the equipment is going to be ready to operate completely as it was recently bought.

Keywords: static converters, thyristor converters, Mawdleys educational Equipment, triggering pulse controller, direct current motors.

1. Introducción

El equipo educacional inglés convertidor de tiristores Mawdleys utilizado en el Laboratorio de Electrónica de Potencia permite realizar estudios de una gran mayoría de configuraciones de convertidores con casi cualquier carga incluyendo un conjunto motor-generator de la misma marca. Mawdleys LTD fue una compañía inglesa ubicada en Gloucestershire, Dursley - Inglaterra de notable desarrollo comercial en la década de los 80, líder y fabricante de equipos convertidores de tiristores para aplicaciones industriales y de trabajo pesado. Esta empresa lanzó al mercado una línea de convertidores de tiristores educacionales muy bien desarrollados basados en fundamentos utilizados en aquella época. Este equipo permitía un extenso estudio de sistemas de rectificación de corriente alterna a continua con modestos controles en las variables eléctricas y mecánicas de la carga. En la actualidad, Mawdleys LTD no existe como tal, por lo que reparar un equipo de esta marca no es posible con sólo llamar al soporte técnico para ubicar algún repuesto. Es necesario entonces realizar una ingeniería inversa para que, a partir de los resultados de los análisis, se pueda encontrar la mejor opción para reemplazar o reparar los componentes dañados o inexistentes.

2. Ingeniería Inversa

El equipo convertidor de tiristores referido puede dividirse en componentes eléctricos, electrónicos y de electrónica de potencia. En general, en un sistema de conversión de energía eléctrica alterna a continua, la carga demanda potencia continua que es transferida de la fuente de alimentación mediante los componentes eléctricos y de electrónica de potencia. Los componentes electrónicos se encargan casi exclusivamente del control de la electrónica de potencia y de las variables eléctricas y mecánicas de carga. Es necesario conocer estos componentes para proceder a cualquier cambio o reparación.

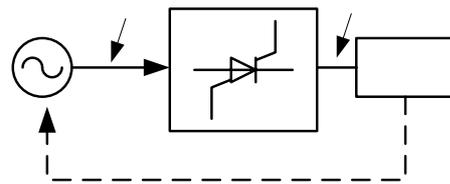


FIGURA 1.- SISTEMA DE CONVERSIÓN AC/DC

El conocimiento de estos componentes inicia con la lectura de los planos del equipo. Sin estos planos, difícilmente puede identificarse algún error en las señales de control o en los demás componentes. El primer paso fue obtener los planos eléctricos y electrónicos, clasificándolos en componentes como se ha mencionado. Esto pudo ser posible gracias a experiencia de los autores. Una vez obtenidos los planos totales, se procedió a realizar análisis de los respectivos circuitos utilizando herramientas de simulación por computador. Se escogió Orcad® Pspice v9.0 como principal, apoyándonos en otras herramientas como Matlab® – Simulink® con PLECS®, PSIM DEMO® y Proteus® ISIS. Las simulaciones realizadas ayudaron a comprender principalmente el funcionamiento de las tarjetas electrónicas, además fue posible probar varias soluciones entre las cuales se escogieron las que mejores resultados ofrecieron. Todos los circuitos integrados originales de las tarjetas electrónicas pertenecían a una extinta línea para aplicaciones industriales HTL fabricada por MOTOROLA®. Esta lógica compuesta por diversas clases de compuertas (AND, OR, NAND, MULTIVIBRADORES, etc.) se polarizaba a +15V. En reemplazo se utilizó integrados CMOS con funcionamiento muy parecido al original; sin embargo las configuraciones de pines era diferente. Fue necesario entonces diseñar y fabricar pequeñas PCB para poder adaptar estos nuevos integrados en los zócalos de la tarjeta original.



FIGURA 2.- ADAPTACIÓN DE CIRCUITOS INTEGRADOS

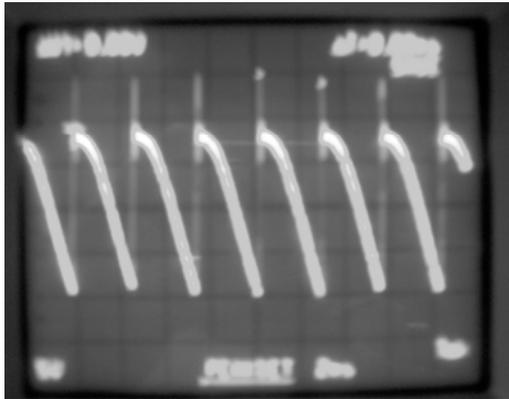


FIGURA 3.- RESULTADOS PARA MOTOR DC 1.5 HP MAWDLEYS (Rectificador trifásico)

2.1. Reparaciones adicionales

En vista del grave desuso mencionado en el que se encontró el equipo, fue necesario reparar la mayoría de los elementos eléctricos. Como todo buen mantenimiento, la limpieza siempre es primordial y se empezó por una limpieza profunda y se extrajeron muchos desperdicios. De no haber realizado esto, el funcionamiento completo se vería seriamente afectado y podrían ocurrir desperfectos. Se procedió luego a dar mantenimiento completo que incluía revisiones y reparaciones de: breaker de carga continua, conectores machos y hembras de potencia, transformadores de potencia, sincronismos, borneras, disipadores para semiconductores, etc. La elaboración de un informe fue indispensable para solicitar un presupuesto para adquirir los elementos necesarios como semiconductores de potencia, disipadores de

calor, entre otros. Además, el proyecto proponía la elaboración de una nueva tarjeta electrónica de control que funcionase como reemplazo de la original. No obstante, esta nueva tarjeta podía servir como controlador de cualquier convertidor estático similar al Mawdleys educacional. Mas allá, en un futuro proyecto de investigación estas tarjetas pueden servir como controladores para sistemas que trabajen en cuatro cuadrantes (convertidores estáticos duales).

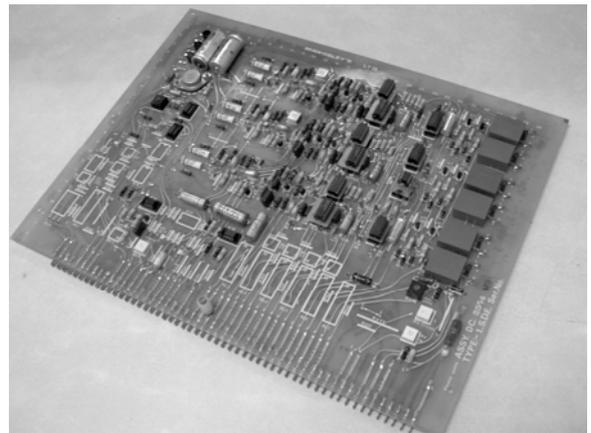


FIGURA 3.- TARJETA CONTROLADORA ORIGINAL

3. Operación de convertidores estáticos

La teoría convencional de convertidores estáticos está descrita en muchos textos y documentos en Internet, unos más destacados que otros. Plasmar algunos estos conocimientos en este trabajo sería redundar innecesariamente. Lo conveniente es resumir de alguna manera los criterios más comunes de aplicación en el medio industrial.

Los convertidores estáticos estudiados en este trabajo pueden clasificarse en rectificadores AC/DC y conversores AC/AC. El aprovechamiento de los transformadores especialmente diseñados para convertidores estáticos varía según las configuraciones del rectificador. En general, los rectificadores pueden clasificarse según entreguen potencia DC de 2, 3, 6, 12, 24 y algunas veces 48 pulsos. Mayor cantidad de pulsos se utilizan en grandes sistemas de transmisión HVDC [1]. El factor de potencia que es similar a un índice de utilización de potencia activa

(única que realiza trabajo mecánico) es más bajo a medida que se tienen menor número de pulsos. La distorsión armónica depende del ángulo de control, del uso de diodos de paso libre y del tipo de carga que se tenga [2], siendo de manera general más crítico cuando se tienen corrientes pulsantes (discontinuas). Las pérdidas de potencia son despreciables en la mayoría de los casos debido a las pequeñas constantes térmicas de los semiconductores. Los controles para estos tipos de convertidores merecen atención cuando se requiere estabilización de velocidad, corriente o voltaje. El control de voltaje en la carga, por ejemplo en un motor, aseguraría una regulación de velocidad adecuada aunque la distorsión armónica se vea afectada por el corrimiento de fase del voltaje. La relación entre el factor de potencia y la distorsión armónica es $fp = DF \cdot DH$ [2], donde DF es el factor de desplazamiento análogo al factor de potencia calculado para voltajes y corrientes sinusoidales de entrada [2].

Las cargas industriales generalmente requieren de corrientes constantes, por lo que el factor de potencia se fija en valores aceptables si es que la carga es igual o menor a la detallada por la empresa de suministro eléctrico. La norma IEC60146 [2] es recomendable para la operación de convertidores estáticos industriales y sus emisiones radioeléctricas (EMI) Cuidar estas emisiones asegura alta calidad de energía y la protección de equipos sensibles.

TABLA 1.- CONFIGURACIONES RECTIFICADORAS MAS UTILIZADAS

	MOTOR DC	OTRAS APLICACIONES
$P=2$	Pequeñas potencias	Fuentes filtradas, filtros activos
$P=3$	Configuración doble estrella con reactor de interfase	No recomendable, altas corrientes por el neutro
$P=6$	Operación en cuatro cuadrantes	Rectificadores PWM
$P=12$ o más	Muy poco utilizado	HVDC, Rectificadores de frente activo para motores AC

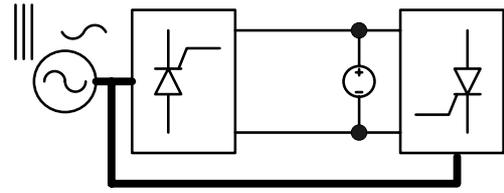


FIGURA 4.- OPERACIÓN EN CUATRO CUADRANTES

4. Comparación de resultados

Se comprobó que el funcionamiento de la tarjeta electrónica de control es similar al simulado por computador. El número de iteraciones en los programas varían de acuerdo a la aplicación para los cuales fueron hechos. La idealización de los componentes ayuda de manera que las señales de control puedan ser reemplazadas por sistemas matemáticos menos complejos que toda la circuitería analógica una vez que ésta haya sido analizada. Esto es especialmente importante para situaciones donde es necesario largos tiempos de simulación, por ejemplo, en el estudio de las respuestas del motor al control de velocidad, torque o voltaje que pueden tomar a veces varios cientos de milisegundos.

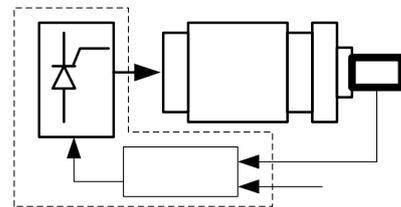


FIGURA 5.- CONTROL DE VELOCIDAD

El modelo matemático del motor DC de excitación separada fue obtenido de acuerdo a las relaciones mostradas en la FIGURA 6.

$$\begin{bmatrix} v_F \\ v_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_F + pL_F & 0 \\ -M_{A1} p\omega & R_A + pL_A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_F \\ i_A \end{bmatrix}$$

FIGURA 6.- MATRIZ DE COMPORTAMIENTO MOTOR DC DE EXCITACIÓN SEPARADA

Este modelo está basado en operación estable, aunque aproxima adecuadamente a los transientes de cambios de referencia y cargas. Para analizar controles retroalimentados es suficiente con lo

obtenido. Luego pueden corroborarse estos resultados y obtener márgenes de error precisos.

Conclusión

Las herramientas de simulador apoyan en gran medida al análisis de sistemas diversos como si se estuviera en laboratorio. Además es posible simular diferentes soluciones sin necesidad de perder presupuestos en la construcción de los mismos. En nuestro país tales prácticas están tomando auge en diversas áreas de ingeniería por lo que saber utilizarlas y entenderlas es fundamental, aportando así al desarrollo tecnológico y cimentando las bases de un procedimiento para analizar y reparar la gran mayoría de sistemas de conversión de energía eléctrica. Este estudio puso en marcha un equipo educacional de pequeña potencia a partir de muy escasa información, entregando el mismo como nuevo y con una plataforma simuladora y bibliográfica extensa para que el usuario tenga toda la información oportuna y precisa al momento de operarlo.

REFERENCIAS

- [1] John D. Mc Donald, "*Electric Power Substations Engineering*", CRC Press, Inc. 2003 cap. V
- [2] Introducción a la Electrónica de Potencia, "*Efecto de los rectificadores sobre la red de alimentación*", Universitat de València, Curso 06/07, caps. IV & V
- [3] S. B. Dewan, G. R. Slemon, A. Straughen, *Power Semiconductor Drives*, John Wiley & Sons, Canada, 1984, caps. III & IV
- [4] S.B. Dewan & A. Straughen, "*Power Semiconductor Circuits*", *Controlled Rectifiers*, cap. V.
- [5] Rashid Muhammad H., *Electrónica de potencia*, Tercera edición, Pearson Education, México, 2004, caps. III & X.
- [6] Rashid Muhammad H., *Power Electronics Handbook*, Academic Press, San Diego CA, 2001, caps XI, XII XXVI.