

REDISEÑO Y CONSTRUCCION DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO DE CONTROL DE UNIDADES EDUCATIVAS, TIPO MAWDSLEY'S, PARA EL ESTUDIO DE CONVERTIDORES AC/DC, AC/AC Y CONTROL DE MOTORES DC Y AC

Harol Espinoza Bravo ⁽¹⁾;
Richard Sánchez Rosado ⁽²⁾;
Alberto Larco Gómez ⁽³⁾

Estudiantes de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación ⁽¹⁾⁽²⁾

Director de proyecto, MBA de la ESPOL ⁽³⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

hlespino@espol.edu.ec ⁽¹⁾, ricsanch@espol.edu.ec ⁽²⁾
dlarco@espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

El presente trabajo, tiene como objetivo el rediseño y construcción de tres equipos educativos tipo Mawdsley's para la realización de las prácticas de sistemas de rectificación controlada por fase usando tiristores; en los cuales se puedan efectuar practicas con diversas topologías de rectificadores y controladores AC-AC, para configuraciones monofásicas y trifásicas. Además los equipos diseñados permitirán efectuar prácticas de control de velocidad y torque de motores de corriente continua en lazo cerrado, así como variar la velocidad de motores de inducción. Los diseños están basados en las técnicas de control utilizadas en el equipo educativo Inglés Mawdsley's existente en el laboratorio de electrónica de Potencia de la ESPOL. Adicionalmente y como contribución particular de este trabajo, se pretende dejar un manual en el cual se pueda obtener información de la estructura- interna de los equipos: partes eléctricas, conexiones, sistema electrónico y elementos constitutivos; así como resultados experimentales contrastadas con pruebas simuladas del funcionamiento del sistema electrónico de control y fuerza, basadas en herramientas como Pspice, Simulink y SimPowerSystem.

Palabras Claves: Mawdsley's, topologías de rectificadores y controladores AC-AC, Pspice, Simulink y SimPowerSystem.

Abstract

The present work aims to redesign and construction of three educational equipments such Mawdsley's to carry out practices rectification systems controlled by phase using thyristors, in which they can make you practice with various topologies of rectifiers and controllers AC-AC for single and three phase configurations. Besides equipment from engaging in design to allow speed and torque control of DC motors in closed loop and vary the speed of induction motors. The designs are based on management techniques used in the English educational equipment Mawdsley's existing in the power electronics laboratory of ESPOL. Additionally, as particular contribution of this work is intended to make a manual in which to obtain information from the internal structure of the equipment: electrical parts, connections, and electronic elements as well as experimental results contrasted with simulated testing the operation of electronic control and power, based on tools such as PSpice, Simulink and SimPowerSystem.

Keywords: Mawdsley's, rectifier topologies and controllers AC-AC, PSpice, Simulink and SimPowerSystem,

1. Introducción

El desarrollo del presente trabajo guiará al lector sobre la forma en la que están estructurados los Equipos Educativos tipo Mawdsley's, partiendo de un plano general hasta desarrollar una explicación de cada una de las partes constitutivas: transformadores, elementos de Potencia, tarjeta de control, etc.

De igual manera se hará uso de herramientas de desarrollo computacionales, como Pspice y Matlab, las cuales nos permitirán simular las características de la unidad, esto constituye un gran aporte para el estudio de sistemas de conversión AC-DC y AC-AC, que por la complejidad del análisis matemático involucrado se constituye en un obstáculo para la rápida comprensión del funcionamiento de los mismos.

2. Materiales y Métodos.

Las unidades educativas tipo Mawdsley's constan de dos secciones fundamentales: la sección de fuerza que comprende transformador trifásico, transformador monofásico, transformador de sincronismo, tiristores, diodos y la parte de control que comprende esencialmente la tarjeta controladora DC2554.

En la Figura 1 se puede apreciar el plano general de los equipos educativos tipo Mawdsley's donde se observa de manera global como están estructurados.

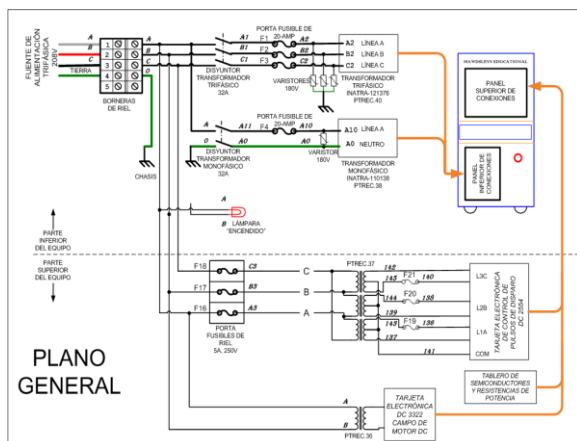


Figura 1. Plano General de los Equipos Educativos tipo Mawdsley's

En la cabina inferior de los equipos se encuentran los transformadores trifásico y monofásico que suministran potencia al convertidor que se desea realizar, los cuales son mostrados en la figura 2.

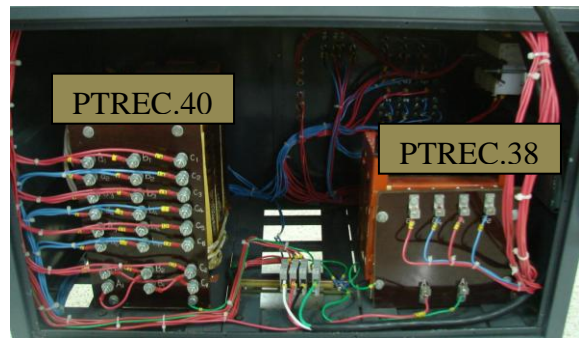


Figura 2. Transformador trifásico PTREC.40 y monofásico PTREC.38

En la parte superior de los equipos se encuentra el tablero de elementos de Potencia, que está compuesto por diodos y tiristores, con sus respectivos disipadores y redes snubber. Figura 3.

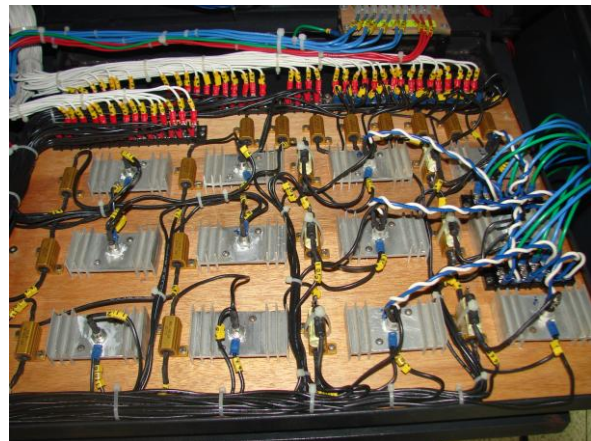


Figura 3. Tablero de elementos semiconductores.

Adicionalmente en la parte superior tenemos la tarjeta controladora de los pulsos de disparo, tarjeta DC2554, esta se encarga de sincronizar, variar y acoplar los pulsos de disparo hacia los tiristores. Figura 4.

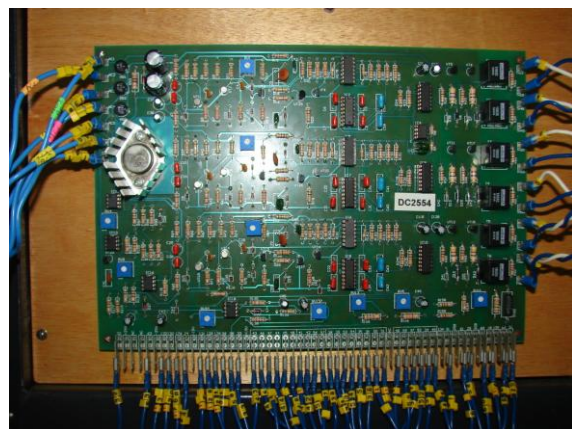


Figura 4. Tarjeta controladora DC2554

En la figura 5 se muestra uno de los equipos educativos el cual consta de su respectiva señalización y diagramación: en la parte superior se realizan las conexiones para obtener los distintos convertidores AC/DC y AC/AC que se pueden realizar en el equipo, tabla 1, mientras que en el panel inferior se realizan las conexiones de los transformadores de potencia que alimentarán al convertidor.



Figura 5. Vista frontal de un equipo educativo tipo Mawdsley's

Tabla 1. Configuraciones realizables en los equipos educativos tipo Mawdsley's

CONFIGURACIONES REALIZABLES EN LOS EQUIPOS EDUCATIVOS TIPO MAWDSLEY'S[1]	
RECTIFICADORES NO CONTROLADOS	Monofásico de media onda.
	Monofásico de onda completa
	Trifásico de media onda.
	Trifásico de onda completa.
RECTIFICADORES CONTROLADOS Estas configuraciones pueden incluir o no diodo de paso libre. Se recomienda que el motor DC sea utilizado en las configuraciones trifásicas.	Monofásico de media onda.
	Monofásico de onda completa semicontrolado.
	Monofásico de onda completa totalmente controlado.
	Bifásico de onda completa totalmente controlado.
	Trifásico de media onda.
	Trifásico de onda completa semicontrolado.
	Trifásico de onda completa totalmente controlado
Trifásico de seis pulsos diametral	

OTROS TIPOS DE CONVERTIDORES	Rectificador monofásico de onda completa con un SCR.
Los dos últimos ítems no requieren del uso de los bornes de carga ubicados al lado derecho en el panel frontal superior.	Convertidor AC/AC trifásico
	Arrancador manual de motores de inducción jaula de ardilla 120V, 1.1 KW*

3. Principio de funcionamiento de los equipos educativos.

El equipo genera seis pulsos de disparo desfasados 60° eléctricos entre ellos y pueden ser aplicados a las compuertas de los SCR. Estos pulsos están en formación circular en el panel superior en bornes con nomenclatura **P1** a **P6**; **P2** está atrasado 60° con respecto a **P1** y **P6** está adelantado 60° con respecto a **P1**; el pulso de **P4** está diametralmente opuesto a **P1** (desfase de 180°). Los pulsos de disparo deben llegar mediante conexión externa a los bornes habilitadores de compuerta con nomenclatura **G1** a **G6**. Cada habilitador tiene dos entradas. **G1** es el habilitador de pulsos del tiristor **TH1**, **G2** corresponde a **TH2**, y así sucesivamente. Realizando todas las conexiones necesarias y ajustando el potenciómetro de control **REFERENCE**, el ángulo de disparo puede variarse desde 0° a 180° máximo en cualquier tipo de convertidor.

Para poder suministrar potencia al convertidor se debe realizar la conexión respectiva de los transformadores en la parte inferior del equipo, está disponible una configuración monofásica o trifásica de los mismos.

Adicionalmente se puede realizar control de torque o velocidad a motores DC con las características del TERCO MV1009 DC-Machine [2], en conexión como motor paralelo. En la figura 6 se muestran las curvas características de un motor DC paralelo.

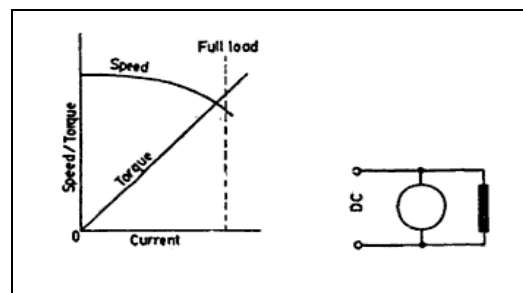


Figura 6. Curvas características de un motor DC paralelo.

Cuando se desea control de torque de un motor DC la velocidad es independiente [3], y el motor debe ser suministrado con una corriente constante, esta corriente es medida conectando una resistencia pequeña, en serie, a la salida del drive. En la Figura 7 se muestra el diagrama esquemático de un sistema de control de torque para un motor DC.

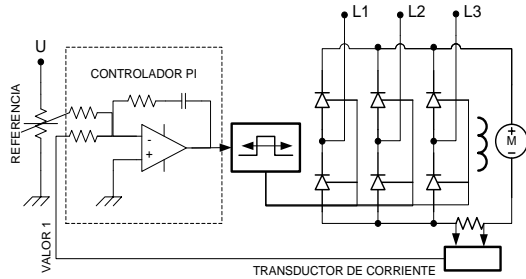


Figura 7. Diagrama esquemático de un sistema de control de torque.

Cuando se requiere velocidades precisas del eje, se debe implementar el control de velocidad [3]. Un tacómetro DC es usado para medir la velocidad del rotor, la señal del taco es comparada con la señal de referencia de velocidad. En la Figura 8 se muestra el diagrama esquemático de un sistema de control de velocidad para un motor DC.

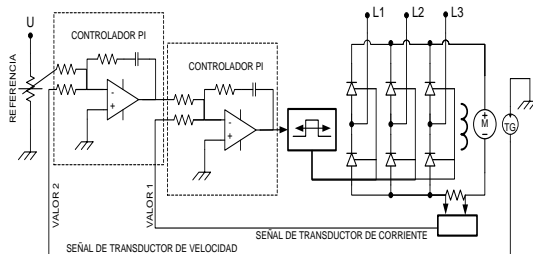


Figura 8. Diagrama esquemático de un sistema de control de velocidad.

4. Comparación de resultados.

Para los distintos convertidores que se pueden realizar en los equipos educativos, se lograron obtener señales reales, las cuales se cotejan con los resultados simulados en Pspice, a continuación.

Para el rectificador Monofásico totalmente controlado de onda completa se muestra en la figura 9, la conexión del mismo en el equipo.

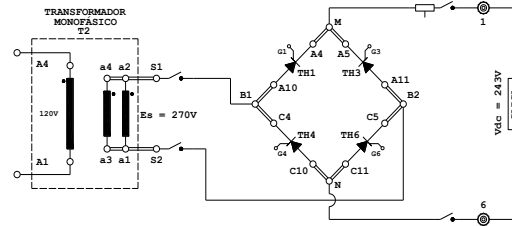


Figura 9. Conexiones del rectificador monofásico.

Para el rectificador monofásico de onda completa, con carga puramente resistiva, el voltaje DC máximo de salida en función del ángulo de disparo es [4]:

$$V_{DC} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2}V \sin \omega t d(\omega t) \quad (1)$$

$$V_{DC} = \frac{\sqrt{2}V}{\pi} \left[-\cos \omega t \right]_{\alpha}^{\pi+\alpha} = \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \cos \alpha$$

Las señales reales de voltaje y corriente de este convertidor para una carga RL, (R=200ohm; L=193mH) se muestran en la figura 10.

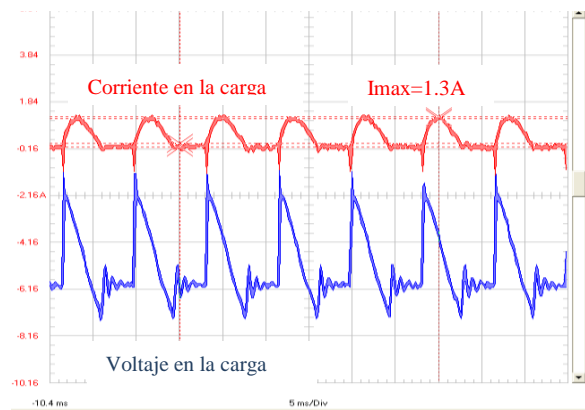


Figura 10. Corriente y voltaje reales de la carga.

Los resultados obtenidos con el simulador Pspice para el rectificador monofásico de onda completa con la misma carga RL, se muestran a continuación y podemos observar que las señales que nos brinda el simulador son muy similares a las reales.



Figura 11. Corriente y voltaje simulados de la carga.

5. Conclusiones

Con los equipos de convertidores tipo Mawdsley's se pueden analizar experimentalmente las diversas topologías de convertidores AC/DC y AC/AC basados en tiristores, adicionalmente se lo puede emplear en el estudio de sistemas de control en lazo cerrado de velocidad y torque de motores DC y en arranque de motores trifásicos de inducción.

La utilización de simuladores por computador como Pspice ha contribuido significativamente a mejorar la comprensión de la operación de las tarjetas electrónicas usadas en los equipos, y corroborar las señales obtenidas de los distintos convertidores.

Los equipos educativos pueden suministrar potencia a cualquier motor DC de características similares a las del motor TERCO DC MV1009. Sin embargo, el controlador Proporcional-Integral está configurado de acuerdo a los parámetros de dicho motor, no hay acceso externo para cambiar las ganancias controladoras por tanto no debe esperarse que funcione de igual manera en todos los motores debido a sus distintos parámetros eléctricos y mecánicos. Esto tiene la ventaja de no permitir al usuario inexperto usar de forma no apropiada ganancias que pueden hacer funcionar mal a los equipos.

6. Referencias

- [1] Angel Recalde, Julio Cárdenas, "Modernización de equipo educacional Ingles convertidor de tiristores Mawdsleys" 2007, pp. 23.
- [2] Manual Terco Laboratorio de Máquinas eléctricas. Disponible en "http://www.tercosweden.com/wp-content/uploads/2009/08/Terco_Electrical-Machines-Lab-Eng-low-ny.pdf", pp 8.
- [3] U S Eswar, "Handbook of Electrical motor control systems" Tata McGraw-Hill, pp 73-76.
- [4] Rashid, Muhammad H. Rasid Virgilio González y Pozo Agustín Suárez Fernández. "Electrónica de potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones", pp 77-80.