

Laboratorio de accionamientos eléctricos

Se hace la presentación de unas Prácticas de Laboratorio para el curso de Accionamientos Eléctricos con el siguiente ordenamiento: primero se justifica la incorporación de las prácticas en el Plan de Estudios, luego se hacen algunas anotaciones de carácter general, finalmente se plantean los objetivos y se hacen comentarios sobre el tratamiento metodológico y científico-técnico de cada una de las prácticas.

LUIS SUAREZ FLOREZ
Ingeniero electricista
M. Sc. Potencia eléctrica

La asignatura Accionamientos Eléctricos divide su contenido en dos temas, que si bien se complementan son perfectamente diferentes entre sí. Por un lado el grueso del curso, un 70%, se enfoca a estudiar la operación de los motores eléctricos: arranque, frenado, variación de velocidad y las condiciones de carga. La otra parte del curso, estudia los elementos de control, maniobra y protección necesarias para operar el motor.

Sobre los contenidos de este curso es que se plantea la necesidad y también la viabilidad de realizar un trabajo de Laboratorio. Las prácticas propuestas se han evaluado durante cuatro (4) años, tiempo durante el cual el autor las ha realizado en el curso Teoría de Accionamientos Eléctricos; la evaluación ha sido exitosa pese a las precarias condiciones en que han sido realizadas. Para que las prácticas propuestas se integren en el Plan de Estudios, sólo es necesario contar con la parte institucional: esto es dedicar el tiempo, el equipo y el espacio físico para su correcta realización.

JUSTIFICACION

En la justificación sólo se enuncian las razones que atañen directamente al caso de los Accionamientos, de esta forma y como una atención a la brevedad, se omiten razones de tipo general.

1. El estudio del estado transitorio de los motores eléctricos es de un alto nivel de conceptualización, con las prácticas se busca establecer el necesario vínculo entre el análisis matemático y el proceso físico que se lleva a cabo.
2. Los regímenes de trabajo transitorio del motor: arranques y frenados, son junto con el régimen de sobrecarga, los estados donde es más crítico y vulnerable el trabajo de la máquina. Es por lo tanto en estos temas donde se debe acentuar la formación de los ingenieros, lo que amerita el utilizar el recurso de las Prácticas de Laboratorio.
3. Paradójicamente con el estado transitorio del motor, el caso de los elementos de control: reles, contactores, interruptores y proteccio-

nes, adolece de un nivel de conceptualización muy elemental. No existen modelos matemáticos para describir estos elementos, su estudio por lo tanto debe ser experimental.

- Los elementos de control no solo los utiliza el ingeniero que trabaja con motores, es difícil encontrar un área de trabajo donde el ingeniero electricista no tenga que ver con estos elementos, sin embargo el currículum de la carrera solo los contempla como una pequeña parte del curso de Accionamientos. Es por esto que su estudio debe apoyarse mediante prácticas de laboratorio.

LAS PRACTICAS:

PROCEDIMIENTOS Y ANOTACIONES GENERALES

Las prácticas se diseñaron pensando que deberían ser realizadas a lo largo del curso teórico, esta modalidad comparada con la modalidad clásica de ver primero la teoría y luego sí el laboratorio, permite que la teoría y la práctica se realimenten mutuamente con ganancia en el interés y el dinamismo tanto para la una como para la otra.

Como contraparte hay una gran exigencia para lograr coordinar las prácticas con el avance de la teoría, y existe dificultad para asignar horarios a la realización de las prácticas. Buscando neutralizar estas desventajas, se trató de que las prácticas fueran muy flexibles en cuanto a tiempo, equipo para realizarlas y dirección académica. En este orden de ideas se buscó utilizar los montajes más sencillos y se procuró dar la mayor información acerca de ellos en las guías de las Prácticas. Además en las guías se proponen un buen número de preguntas, que tratan de ampliar y de dirigir la imaginación del estudiante frente al desarrollo de la experiencia. Con lo anterior se consigue que la práctica dos y buena parte de la primera y tercera, las pueda adelantar el estudiante sin la directa asesoría docente, trabajando en forma personalizada e independiente.

PRACTICA PRIMERA:

“ELEMENTOS DE CONTROL Y FUERZA”

Sus objetivos son:

- Identificar y aprender las partes de cada uno de los siguientes elementos: relé electromagnético, contactor, pulsador, interruptor límite, interruptor de levas, y relevo térmico.
- Aprender a energizar los elementos arriba mencionados, estudiando sus valores de voltaje y corriente, tanto en operación normal como en operación límite.

En buena parte esta práctica se puede adelantar en forma personalizada, además para su realización se pueden programar varios grupos en forma simultánea, lo que facilita el trabajo docente y la asignación de horario.

PRACTICA SEGUNDA:

“CIRCUITOS DE CONTROL Y FUERZA”

Sus objetivos son:

- Diseñar un circuito de control, fuerza y señalización, escogiendo y especificando el equipo correspondiente.
- Aprender a realizar los planos necesarios para el montaje y mantenimiento de los circuitos de control, fuerza y señalización.
- Realizar el cableado correspondiente.

Esta práctica se puede llevar a cabo en forma personalizada, la acción del docente que dirige la práctica, se limita a especificar el problema de control a ser resuelto y a la evaluación final. La práctica tampoco depende del espacio físico del laboratorio, ya que el estudiante recibe el equipo que necesita y puede trabajar con plena libertad en cuanto a lugar y tiempo.

El hecho de que sea el docente director de la práctica, quien especifica el problema de control a resolver, evita caer en los problemas clásicos que se vuelven repetitivos, y que dicho sea de paso están resueltos en todos los manuales de fabricantes de equipo, tales como el arranque, $Y - \Delta$ el arranque por autotransformador o la conexión Dahlander.

PRACTICA TERCERA:

“EL MOVIMIENTO TRANSITORIO”

Sus objetivos son:

- Estudiar el movimiento transitorio de los motores eléctricos.
- Hallar la característica mecánica para motores de continua y para motores de inducción.
- Medir el módulo de inercia de algunos dispositivos mediante procedimientos diversos.
- Analizar y cuantificar la influencia del módulo de inercia y de la sumatoria de pares, en la duración de un proceso transitorio.

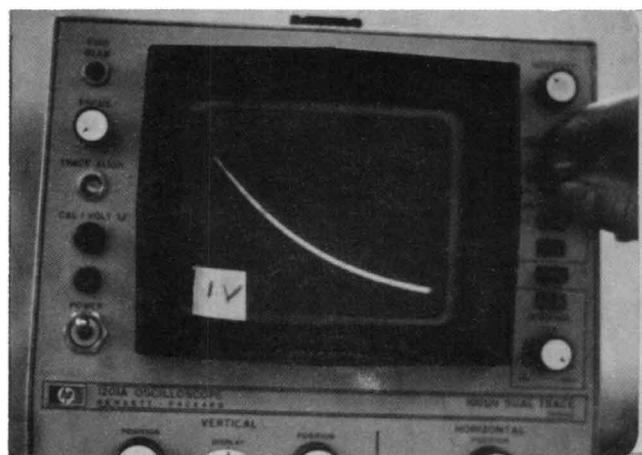


FIGURA 1. Arranque de un motor de inducción. (Tomada de la referencia 2). Velocidad vs. Tiempo.

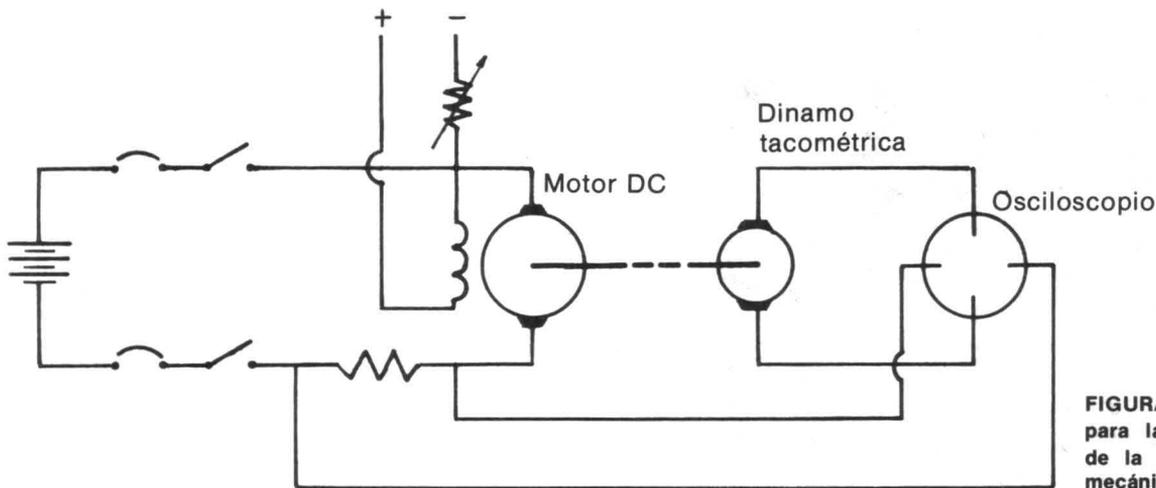


FIGURA 2. Montaje para la obtención de la característica mecánica.

Los fenómenos que tienen ocurrencia en un motor eléctrico durante el proceso transitorio de acelerar o frenar, se han estudiado normalmente solo bajo el punto de vista teórico, habiéndose descuidado el estudio en laboratorio. Esto debido a lo fugaz del fenómeno que solo alcanza a durar décimas o cuando más algunos pocos segundos. En esta práctica se visualizan algunas características de estos procesos transitorios, mediante el uso de un osciloscopio con memoria, se obtienen los siguientes trazos:

Velocidad en función de tiempo.

Par en función de la velocidad

La señal de velocidad está dada por la salida de voltaje de un generador de excitación separada DC, en la figura 1, se muestra el oscilograma logrado para el arranque de un motor de inducción. Repitiendo esta figura para diferentes condiciones de par y para diferentes valores del módulo de inercia, se puede analizar cómo influyen estas variables en el proceso transitorio.

La visualización del par motor, magnitud ésta que tradicionalmente sólo era observable en estado estacionario, se hace en función de la velocidad con el fin de obtener la característica mecánica. Se consigue llevando a un canal del osciloscopio la señal de velocidad (Voltaje del generador), y al otro canal la señal de corriente (voltaje sobre una resistencia), en la figura 2 se muestra el esquema del montaje utilizado. Este método indirecto de obtener el par, tiene validez en los motores DC de excitación separada, donde el par y la corriente son proporcionales.

PRACTICA CUARTA: "EL PROCESO DE ARRANQUE"

Sus objetivos son:

1. Estudiar el arranque a pleno voltaje, a voltaje reducido y mediante resistencias, en motores de continua y en motores de inducción.
2. Analizar y cuantificar las características principales del proceso de arranque: corriente de arranque, par de arranque y duración del proceso.

3. Demostrar la simplicidad o complejidad y los aspectos económicos, para los arranques estudiados.

4. Clarificar las ventajas y desventajas de los arranques estudiados.

Se hace hincapié en el análisis de las características operacionales básicas del arranque: corriente y par, en contraposición con las prácticas convencionales que ponen el acento en el circuito (Y - Δ , autotransformador, etc.). El hacer hincapié en la corriente y el par de arranque facilita un tratamiento más universal al problema, y da una base para comparar entre sí los diferentes métodos de arranque. La corriente se puede medir y visualizar en forma muy sencilla utilizando un osciloscopio con memoria. En las Figuras 3 y 4 se muestran los oscilogramas obtenidos para un arranque directo y un arranque con resistencias en rotor, el motor y las condiciones de trabajo son las mismas para ambos casos.

La medida del par es bastante más difícil que la anterior, en forma directa se mide el par para velocidad cero, mediante un torcómetro. Para velocidades diferentes de cero se obtiene una medida indirecta leyendo la corriente, y utilizando las relaciones de par en función de corriente.

La duración del arranque se puede analizar y cuantificar con los trazos obtenidos del oscilos-

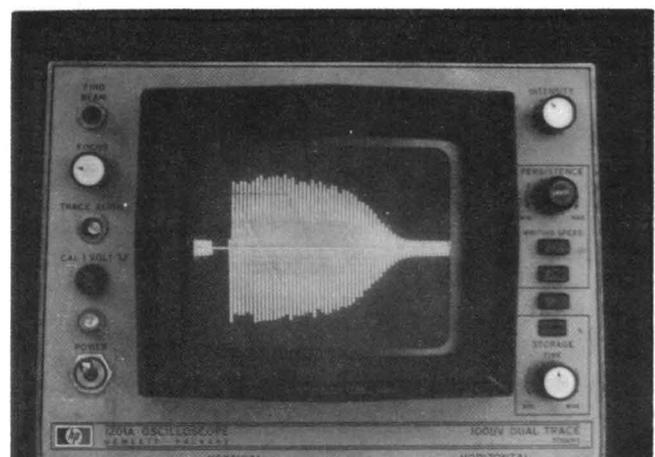


FIGURA 3. Arranque directo. Corriente vs. Tiempo.

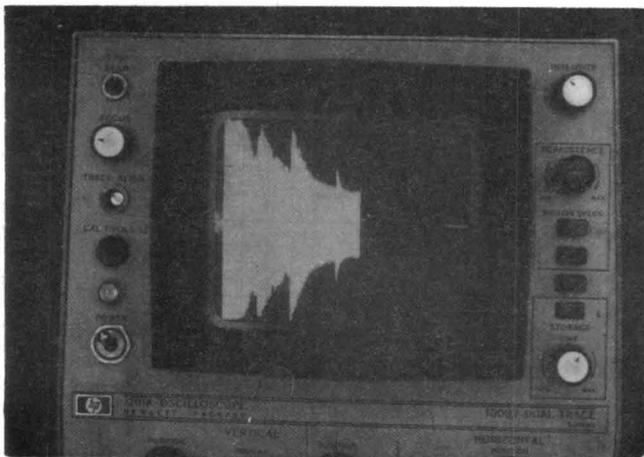


FIGURA 4. Arranque con resistencias en rotor. Corriente vs. tiempo.

copio. Mediante estos trazos se puede relacionar el tiempo de duración del proceso con el par de arranque.

En los motores de inducción se trabaja solo con el motor trifásico, se deja de lado el motor monofásico por creer que su importancia es prácticamente nula.

**PRACTICA QUINTA:
"EL PROCESO DE FRENADO"**

Sus objetivos son:

1. Estudiar los frenados de contracorriente, regenerativo y dinámico en motores de inducción.
2. Analizar y cuantificar las características principales de los frenados: par de frenado, control del par de frenado, corrientes resultantes y duración del proceso.
3. Clarificar las ventajas y desventajas de los frenados estudiados.

La práctica de frenados se enfoca hacia los motores de inducción y no hacia los motores de continua, por creer que en AC el fenómeno es de más abstracción y de más difícil entendimiento. De otro lado, con algunas variantes los frenados de motores de continua se corresponden con los de

alterna, por lo tanto estudiando éstos se pueden adelantar conclusiones respecto a aquellos.

El osciloscopio se vuelve a utilizar en esta práctica, para visualizar el amperaje en el frenado por contracorriente y para obtener las curvas de velocidad contra tiempo. Con estas curvas, y sabiendo de prácticas anteriores el valor del momento de inercia del motor y el par de pérdidas mecánicas, es posible obtener una medida indirecta del par de frenado.

En la figura 5 se aprecia el montaje realizado para la práctica de frenado regenerativo. Este es el montaje más complicado de todos los que se necesitan en esta serie de prácticas, se muestra con el fin de dar idea de hasta dónde se llegó en el afán de hacer sencillos los montajes. Las medidas para analizar son las de potencia, que muestran la inyección de energía a la red, la de corriente AC donde se lee la corriente reactiva que consume el motor y la de velocidad. Las medidas en continua se usan solamente como control.

**PRACTICA SEXTA:
"CALENTAMIENTO"**

Sus objetivos son:

1. Aprender a determinar la carga admisible por limitaciones térmicas de una máquina eléctrica, teniendo en cuenta el ciclo y las condiciones de trabajo.
2. Confirmar lo acertado en las hipótesis simplificadoras con las que se aborda el estudio del proceso de calentamiento.
3. Estudiar la influencia de los transitorios de arranque y frenado en el proceso de calentamiento de un motor eléctrico.

Esta es una práctica indispensable en un plan de prácticas que tengan que ver con máquinas eléctricas, esto en razón a que el calentamiento decide el dato de placa más importante de una máquina eléctrica: la potencia nominal, y de otro lado a que las disciplinas donde se sustenta el estudio del calentamiento son ajenas a la formación básica del ingeniero electricista, luego debe apoyarse este estudio mediante trabajos de laboratorio.

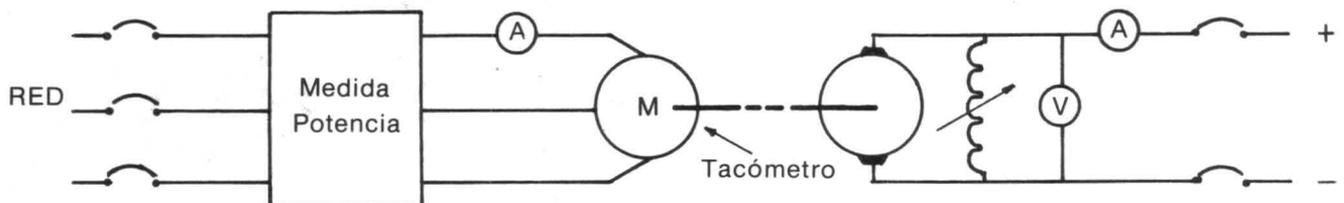


FIGURA 5. Montaje para el frenado regenerativo.

BIBLIOGRAFIA

1. CHILIKIN, M. *Electrical Drives*, Editorial MIR, 1970.
2. RODRIGUEZ, F. *Proyecto de Grado, Prácticas de Accionamientos*, 1985. Director Luis Suárez.
3. BROWN, BOVERI & CIE. *Protection of Low-voltage Three-phase motors*, Diciembre 1970.