

76



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ARAGON”

285

FALLA DE ORIGEN

MANUAL DE LABORATORIO DE
MAQUINAS ELECTRICAS

T E S I S

Que para obtener el Título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICO

P r e s e n t a

MIGUEL ANGEL MALDONADO SERRANO

FALLA DE ORIGEN
EN SU TOTALIDAD

San Juan de Aragón Edo. de Méx.

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA:

**A MIS PADRES POR SU GRAN APOYO
DURANTE MIS ESTUDIOS.**

EN ESPECIAL A MI HIJA.

ARACELI

MIGUEL A.



MAQUINAS ELECTRICAS

MANUAL DE LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

CONTENIDO

INTRODUCCION	7
--------------------	---

PRACTICA I

" NORMAS DE SEGURIDAD Y FUENTE DE PODER".....	8
---	---

Introducción	9
Electropatología.....	9
Reglas de seguridad en el laboratorio.....	10
Existen cuatro reglas de seguridad para evitar quemaduras....	12
Reglas de seguridad especiales.....	13
La fuente de energía o alimentación.....	14
La fuente de energía proporciona las siguientes salidas.....	15
Características de la fuente de alimentación.....	16
Material.....	17
Desarrollo.....	17

PRACTICA II

" INSTRUMENTOS DE MEDICION".....	22
PRIMERA PARTE	

Introducción.....	23
El movimiento de D' Arsonval.....	23
La rectificación de la corriente.....	26
Medidores de CA que utilizan el movimiento de veleta.....	27
Medidores de CA que utilizan el movimiento de electrodinamómetro.....	27
Amperímetros.....	27
Voltímetros.....	29
Probador Megger.....	30
La ley de Ohm.....	30
Material.....	31
Procedimiento.....	31
Prueba de conocimientos.....	35



MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA II	
" INSTRUMENTOS DE MEDICION"	37
SEGUNDA PARTE"	
Introducción.....	38
Wattímetros.....	39
Movimiento del Electro-dinamómetro.....	40
Potencia eléctrica	42
Potencia reactiva inductiva.....	43
Potencia reactiva capacitiva.....	43
potencia real.....	44
Factor de potencia.....	44
Material.....	48
Procedimiento.....	48
Prueba de conocimientos.....	55
PRACTICA III	
"TRANSFORMADOR MONOFASICO"	57
Introducción.....	76
Construcción del transformador.....	76
Aspectos más importantes en la construcción del transformador.....	60
Pruebas de bajo voltaje.....	61
Pruebas del transformador.....	62
Propiedad aditiva y substractiva.....	65
Material.....	66
Procedimiento.....	67
Prueba de conocimientos.....	74
PRACTICA IV	
"TRANSFORMADOR TRIFASICO"	75
Introducción.....	76
Construcción del transformador.....	76
Conexión delta - delta	78
Conexión en estrella - estrella	79
Secuencia de fases	85
Material	87
Procedimiento	87
Prueba de conocimientos	91



MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA V

" MOTORES DE INDUCCION" 93

Introducción	94
Partes constitutivas	95
Motor de inducción rotor devanado	98
Rotor de jaula de ardilla	100
Campos magnéticos giratorio	102
Material	105
Desarrollo	105
Prueba de conocimientos	115

PRACTICA VI

" MAQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA" 120

Introducción	121
Partes constitutivas	122
Motor en derivación	124
Características terminales de un motor de cc en derivación	124
Control de velocidad en los motores en derivación de cc	126
Motor compuesto	130
La característica par - velocidad de un motor de excitación - compuesta acumulativa de cc	131
La característica par - velocidad de un motor de excitación - compuesta diferencial de cc	132
Control de velocidad en el motor de cc de excitación compuesta - acumulativa	132
Motor serie	133
Par producido en un motor de cc serie	133
La características terminales de un motor de cc serie	133
El electrodinamómetro	135
Material	136
Desarrollo	136
Prueba de conocimientos	142

FALLA DE ORIGEN



MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA VII " MAQUINAS SINCRONAS" 144

Introducción.....	145
Principios de funcionamiento	146
Curva de saturación en vacío y en corto circuito	148
Arranque del motor sincrónico	149
Arranque del motor reduciendo la frecuencia eléctrica	151
Arranque del motor con un primotor externo	152
Arranque del motor utilizando devanados amortiguadores	153
Curva en V	156
Motor sincrónico como inductancia o capacitancia variable.....	158
Par de salida del motor sincrónico	159
El alternador.....	159
Material.....	161
Procedimiento.....	161
Prueba de conocimientos.....	177

PRACTICA VIII

" INTRODUCCION AL EQUIPO DE CONTROL" 178

Introducción.....	179
Interruptores termomagnéticos	180
Interruptores termomagnéticos instantáneos.....	180
Interruptores termomagnéticos de tiempo inverso.....	180
Partes constitutivas de un interruptor termomagnéticos.....	181
Contactores magnéticos.....	181
Relevadores térmicos.....	182
Relevador térmico de sobrecarga de aleación de fusible.....	183
Estación de botones	184
Material.....	184
Desarrollo.....	185
Definición y descripciones del equipo de control.....	185
Simbología y especificaciones de los dispositivos	198
Símbolos gráficos y especificaciones de los dispositivos	200



MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA IX

" CONTROL DE UN MOTOR 3 ϕ A TENSION PLENA"..... 202

Introducción.....	203
Elementos que forman los sistemas de control	204
Arrancadores magnéticos - tamaño nema y capacidades	206
Controladores magnéticos.....	209
Control contra sobrecarga	209
Material.....	212
Procedimiento.....	212
Prueba de conocimientos	219

PRACTICA X

" ARRANQUE RETRASADO DE UN MOTOR DE INDUCCION DE 3 ϕ " 220

Introducción.....	221
Cinco funciones de tiempo del relevador de retraso de tiempo	222
Material.....	224
Procedimiento.....	225

CONCLUSIONES.....233

BIBLIOGRAFIA.....234

INTRODUCCION.

Escribi este manual, porque durante el tiempo que curse la materia de maquinas eléctricas pude darme cuenta que hacia falta el uso de una guía o un manual para este laboratorio.

El manual contiene material suficiente, cuenta con la información teórica-práctica que puede ser muy útil en el campo del trabajo laboral ó como elemento de referencia.

Uno de mis mayores méritos de este manual esta en la importancia dada a la demostración práctica de las teorías analizadas y en que no se requieren matemáticas avanzadas. El método seguido es experimental y directo, además tiene gran flexibilidad que permite adaptarlo a todas aquellas personas que no cuentan con los conocimientos suficientes en el aérea de las maquinas eléctricas.

Al final de cada practica se encuentra una serie de preguntas que el estudiante debe resolver el orden se presenta de dificultad creciente y, conforme se pasa de un experimento a otro, los ejercicios requieren conocimientos cada vez más avanzados y especializados.

Espero que se facilite el aprendizaje y se aproveche al máximo el curso de laboratorio de maquinas eléctricas con el apoyo de esta obra.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA 1

" NORMAS DE SEGURIDAD Y FUENTE DE PODER "



NORMAS DE SEGURIDAD Y FUENTE DE PODER

OBJETIVOS :

- 1.- Aplicar las reglas de seguridad
- 2.- Aprender el manejo y construcción de la fuente de poder o alimentación de c-a y c-d.

INTRODUCCION

La electricidad. Es forma de energía de las más importantes en la vida moderna. Representa un recurso energético que se puede obtener mediante la transformación de otras formas de la energía. No se concibe la sociedad moderna sin el curso de la electricidad, la que se define como un movimiento de electrones.

La industria moderna primordialmente requiere energía eléctrica en el trabajo diario de ahí que para industrializar a un país lo primero es/electrificarlo.

La electricidad existe en la naturaleza, sólo se aprovecha la que obtiene el hombre transformando otras formas de energía eléctrica. Para ello, se cuenta con plantas hidroeléctricas, termoeléctricas, nucleoeeléctricas, geotermicas, etc.

ELECTROPATOLOGIA.- Es el paso de la corriente eléctrica por el cuerpo humano, puede causar la muerte por diversos mecanismos; en forma inmediata, por la caída de voltaje gran altura con traumatismo craneoencefálico, por fibrilación, o por el paso directo de la corriente sobre el sistema nervioso central con los siguientes efectos:

A corto plazo. Parálisis respiratoria o cardio respiratoria. A plazo más largo; como resultante de las quemaduras, superficie, de primero a tercer grado, debido a la alta temperatura del arco eléctrico que puede alcanzar hasta 4,000°C; o bien por lesiones profundas por verdaderas cocción de los músculos con coagulación irreversible de las proteínas.

La parte más grande de la resistencia del cuerpo reside en la capa externa de la piel. La epidermis es delgada y no contiene vasos sanguíneos ni extremidades de nervios. Sin embargo, esta resistencia varía en diferentes regiones del cuerpo humano, siendo más débil sobre la palma de las manos, la planta de los pies, cara interna de los muslos, las ingles y la cara.

No obstante que la piel seca tenga una fuerte resistencia por unidad de superficie, puede transmitir una corriente intensa cuando la superficie de contacto es grande. Si la piel está húmeda por la transpiración o lavados recientes o un humedecimiento cualquiera, su impedimento se reduce a una débil fracción de la resistencia en seco. La condición de humedecimiento puede hacer las conexiones por corrientes de 110 voltios muy peligrosos. Asimismo, los piquetes, escoriaciones y ampollas disminuyen grandemente la protección ofrecida por la piel.

La seguridad es factor vital en toda actividad. No se puede programar para una o dos horas de estudio y luego abandonar en favor de otro tema. Que un accidente ocurra o no, generalmente depende del grado con que se siguen las reglas básicas de seguridad de sentido común y la medida con que la aplicación de estas reglas supera al potencial de accidentes. En todo momento deben observarse las siguientes reglas importantes de seguridad en el laboratorio.

1.- No bromea ni participe en juegos bruscos. Muchas heridas dolorosas se originan por las andanzas descuidadas e irrazonables del "bromista".

2.- Obtenga la aprobación de su instructor antes de iniciar el trabajo. Ello le ahorrará tiempo y ayudará a impedir accidentes. Recuerde que su instructor está para ayudarles.

3.- Notifique inmediatamente de cualquier herida que se produzca: incluso las más pequeñas. Una pequeña herida puede complicarse si no se atiende en la forma apropiada.

4.- Utilice anteojos de seguridad si va usar un esmeril o trabaja en áreas donde vuelen chispas o fragmentos de metal. Sus ojos son un bien inapreciable.

5.- Mantenga limpios los pisos alrededor de su área de trabajo y libres de basura que pudieran provocar que alguien se resbale o tropiece.

6.- Utilice las herramientas correctamente y no las use si no están en condiciones de trabajo adecuadas.

7.- Observe los métodos apropiados de manejar y levantar objetos. Obtenga ayuda para levantar objetos pesados.

8.- No hable ni distraiga sus compañeros estudiantes cuando este usando una máquina.

9.- Jamás abandone una máquina cuando esté trabajando o parando. Quédese junto a ella hasta que se pare completamente.

10.- Obtenga permiso antes de utilizar herramienta muy potente.

11.- Es muy importante el uso de guantes.

12.- Antes de comenzar a trabajar con cualquier equipo averigue en qué condiciones está el equipo y si existe algún peligro. Muchas personas han muerto porque se suponía que la pistola estaba descargada y a muchos electricistas les ha pasado lo mismo porque creían que los circuitos estaban "muertos".

13.- Nunca confié en dispositivos de seguridad tales como fusibles, relevadores y sistemas de cierre elimina la característica de conexión a tierra del equipo, convirtiéndolo en un verdadero peligro.

14.- Nunca quite la punta de tierra de un enchufe de entrada de tres alambres. Esto elimina la característica de conexión a tierra del equipo, convirtiéndolo en un verdadero peligro.

15.- Orden en la mesa de trabajo trabajar entre una maraña de cables de conexión y con un montón de componentes y herramientas sólo propicia el descuido, con lo que aumentan las posibilidades de corto circuito, choques y accidentes. Acostúmbrese a trabajar en forma sistemática y organizada.

16.- No trabaje solo siempre conviene que haya otra persona para cortar la corriente, aplicar respiración artificial y llamar a un médico.

17.- Jamas hable con nadie mientras trabaja no permita que le distraigan y no converse con nadie, sobre todo si trabajan con equipos peligrosos. No sea la causa de un accidente.

18.- Muévase siempre con lentitud cuando trabaje cerca de circuitos eléctricos. Los movimientos rápidos y violentos son la causa de muchos choques, accidentes y cortos circuitos.

Existen cuatro reglas de seguridad para evitar quemaduras

1.- Las resistencias se calientan mucho, sobre todo las que llevan corrientes elevadas. Tenga cuidado con las resistencias de cinco y diez watts; pueden quemarle la piel de los dedos. No las toque hasta que se enfrien.

2.- Tenga cuidado con todos los capacitores que aún puedan tener alguna carga. La descarga eléctrica no sólo puede producirle un choque peligroso o fatal, si no, también, quemaduras. Si se excede el voltaje nominal de un capacitor electrolítico o se invierten sus polaridades, éste puede calentarse de un modo excesivo e inclusive explotar.

3.- Tenga cuidado con los cautines o las pistolas de soldar. Nunca los deje en la mesa de manera que puede tocarlo accidentalmente con el brazo. No los guarde jamás mientras estén calientes; puede ser que un estudiante poco perspicaz lo tome.

4.- La soldadura caliente puede producirle quemaduras muy dolorosas en la piel. Espere a que las uniones soldadas se enfrien. Cuando proceda a desoldar uniones, no vaya a sacudirlos, porque la soldadura puede caer sobre los ojos, las ropas o el cuerpo de sus compañeros.

REGLAS DE SEGURIDAD ESPECIALES

1.- Aunque la persona sana normal no encontrará voltajes altamente peligrosos mientras realiza los pasos listados para cada uno de los experimentos de laboratorio de manual, a veces, ocurrirán circunstancias bajo a las que se pueden sufrir un choque eléctrico sorpresivo no son especialmente peligrosos en sí mismos, pueden provocar daños secundarios debido a la contracción muscular violenta que pueden arrojar a una persona contra un muro o banco de trabajo o quizá contra otra fuente de corriente todavía más peligrosa.

2.- Practique la precaución que utilizan los ingenieros y técnicos experimentados. Siempre mantenga una mano en su bolsillo (o atrás de usted) al medir corriente y voltaje. Si hay dos manos en contacto con el circuito, la corriente fluye a través de la regiones del pecho y corazón, lo cual es muy peligroso.

3.- Si tiene duda respecto al alambrado del circuito, pida al instructor que lo verifique antes de conectar la energía. La electricidad no respeta la ignorancia.

4.- Fórmese el hábito de poner en corto circuito los capacitores electrolíticos y de los valores grandes con un cable aislado con puntas de caimán antes de tratar de trabajar en un circuito. Los capacitores pueden retener una carga durante un período largo después de interrumpir la energía.

5.- Conozca la ubicación del extinguidor de incendios.

6.- Determinadas componentes, tales como las resistencias, se calientan bastante durante su funcionamiento. Denles tiempo de enfriarse antes de intentar quitarlas.

7.- No trabaje alrededor del equipo eléctrico si los pisos están húmedos o mojados.

8.- No trabaje en un circuito eléctrico mientras la energía está conectada,

9.- Asegúrese de que el equipo esté en condiciones de trabajo adecuado antes de utilizarlo. Los cables de energía eléctrica agrietados o las clavijas agrietadas o rotas constituyen una fuente importante de accidentes.

10.- Pida instrucciones a su instructor antes de utilizar cualquier artículo de equipo de prueba por primera vez aunque crea saber cómo utilizarlo. Poco conocimiento puede ser un poco peligroso; y si es posible que algo falle, así sucederá. Con frecuencias es caro reparar el equipo de prueba.

11.- La electricidad y la electrónica son campos muy amplios y la mayoría de las personas hacen bien en comprender pequeños segmentos de los mismos. Cuando tenga dudas, pregunte. ¡ Sea humilde

La protección más sencilla que se les debe dar a estos implementos, es llevando a tierra las cubiertas o partes metálicas de la herramienta en cuestión. Esto tiene por objeto que en el caso de que haya un defecto en el aislamiento del sistema eléctrico, la corriente escape por el cable a tierra impidiendo que se acumule en las partes metálicas un voltaje peligroso.

B) LA FUENTE DE ENERGIA O ALIMENTACION

El módulo de fuente de alimentación que en este caso estaremos haciendo uso a lo largo de nuestros experimentos será el modulo EMS 8821 que se muestra en la figura 1, Sus características son las siguientes:

El módulo proporciona toda la energía necesaria, en c-a y c-d ya sea fija o variable, monofásica o trifásica, el módulo se debe conectar a un sistema trifásico de 120/208 volts, cuatro hilos y un quinto conectado a tierra.

LA FUENTE DE ENERGIA PROPORCIONA LAS SIGUIENTES SALIDAS

1.- Salida de 120/208 volts de c-a 3 ϕ fijos de los cuales se puede obtener de sus cuatros terminales marcadas como 1, 2, 3 y N. Se pueden obtener : 208 volts fijos de c-a, entre terminales 1 y 2, 2 y 3, ó 1 y 3, y 120 volts fijos de c-a, entre cualquiera de las terminales 1, 2 ó 3 y la terminal N. La corriente nominal de esta fuente de energia es 15A por fase.

MODULO DE FUENTE DE ENERGIA

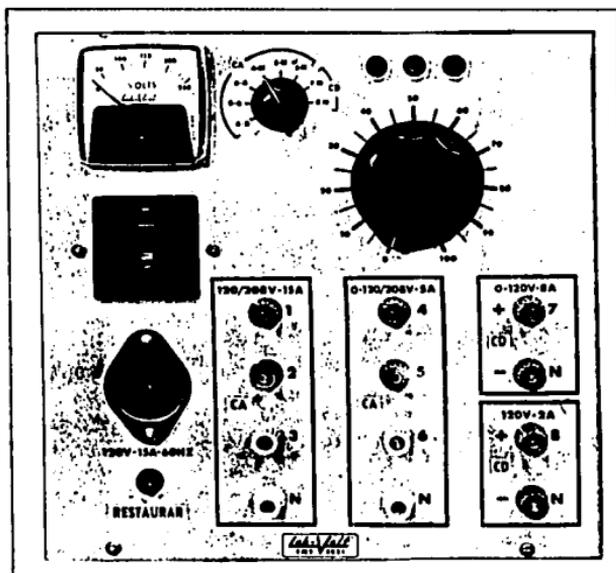


FIG. 1

2.- Salida 120/208 volts variables de c-a 3 ϕ que proporciona nuestra fuente de energía de los cuales se puede obtener de sus cuatro terminales identificadas como 4, 5, 6 y N. Se obtiene 4 y 5, 5 y 6 ó 4 y 6, y 0 - 120 volts variables de c-a, entre cualquiera de las terminales 4, 5 ó 6 y la terminal N. La corriente nominal de esta fuente es 5A por fase.

3.- Salida 120 volts fijos de c-d que proporciona nuestra fuente llegan a las terminales identificadas como 8 y N. La corriente nominal de fuente es 2A.

4.- Salida de 0 - 120 volts variables de c-d que proporciona la fuente de energía llegan a las terminales 7 y N. La corriente nominal de esta fuente es 8A.

CARACTERISTICAS DE LA FUENTE DE ALIMENTACION

* Las terminales del neutro N están conectadas entre si y con el hilo neutro de la alimentación de c-a.

* Toda la energía de las salidas se suprime cuando el interruptor está en la posición "on - off" está en la posición off (la manija hacia abajo).

* Las salidas variables de c-a y c-d se regulan por medio de una sola perilla de control que está al frente del módulo.

* El voltímetro del módulo indicará todos los voltajes de salida de c-a variables y de c-d variables y fija que se obtenga de acuerdo con la posición del interruptor del selector del voltímetro.

* La fuente de energía está totalmente protegida contra sobrecarga o cortos circuitos y todas las salidas tienen sus propios interruptores de circuitos, cuya reposición se puede efectuarse, haciendo girar un solo botón localizado en la parte frontal del tablero.

MATERIAL

* Módulo de fuente energía	EMS 8821
* Módulo de medición de c-a	EMS 8426
* Cables de conexión	EMS 8941

DESARROLLO

1.- Examine la construcción del módulo de energía EMS 8821.
Fig.1 Identifique los siguientes elementos en la parte frontal de módulo.

- a) El interruptor de circuito de tres polos
- b) Las tres lámparas que identifican la operación.
- c) El voltímetro ca/cd.
- d) El interruptor selector del voltímetro c-a/c-d.
- e) La perilla de control de la salida variable.
- f) El receptáculo de 120V c-a fijos.
- g) Las terminales de salida de 120/208 volts fijos (identificados como las terminales : 1, 2, 3 y N).
- h) Las terminales de salida de 0 - 120/208 volts variables (identificadas como : 4, 5, 6 y N).
- i) Las terminales de salida de c-d fija (8 y N)
- j) Las terminales de salida de c-d variables (7 y N)
- k) El botón común de restauración.

2.- Mida y anote el voltajes c-a ó c-d y la corriente nominal disponible en cada una de las siguientes terminales marcadas en la tabla 1, y llene en el espacio correspondiente su resultado.

TERMINALES	VOLTAJE (VOLTS)	CORRIENTE (AMPERS)
1 Y N		
2 Y N		
3 Y N		
4 Y N		
5 Y N		
6 Y N		
7 Y N		
8 Y N		
1,2 Y 3		
4,5 Y 6		
RECEPTACULO		

TABLA 1

3.- Examine la construcción interior del módulo identifique los siguientes elementos.

- a) El autotransformador 3 ϕ variables
- b) Los capacitores de filtrado
- c) Los interruptores termomagnéticos
- d) Los diodos rectificadores de estado sólido
- e) Los enfriadores del diodo
- f) El conector de cinco puntas

4.- Coloque el módulo de fuente de energía en la consola en posición (off) y que se la ha dado toda la vuelta ala perilla de control,haciendo girar en el sentido contrario al de las manecillas del reloj para obtener su mínima salida.

5a) Ponga el selector del voltímetro en la posición 7 - N y conecte la fuente de energía moviendo hacia arriba la palanquita del interruptor es decir a la posición " on ", que significa conectado.

5b) Haga girar la perilla de control del autotransformador 3φ y observe como aumenta el voltaje. Mida y anote el voltaje máximo y mínimo de salida en c-d, según lo señale el voltímetro del aparato.

V c-d salida = -----

V c-d salida = -----

5c) Baje el voltaje a cero haciendo girar la perilla de control en sentido contrario al de las manecillas del reloj, hasta el fin.

6a) Coloque el selector del voltímetro en la posición

(4 - N)

6b) Haga girar la perilla de control y vea cómo aumenta el voltaje. Mida y anote los voltajes máximo y mínimo de salida en c-a, según lo indique el voltímetro del aparato.

V c-a salida = -----

V c-a salida = -----

6c) Reduzca nuevamente el voltaje a cero y desconecte la fuente de energía cambiando el interruptor maestro a la posición " inferior".

7.- ¿ Qué otros voltajes se modifican cuando se hace girar la perilla de control?

Terminales ----- y ----- V c-a

Terminales ----- y ----- V c-a

Terminales ----- y ----- y ----- V c-a

8) Para cada una de las siguientes condiciones:

a) Conecte el medidor de 250V c-a entre las terminales especificadas en la tabla 2.

- b) Conecte la fuente de alimentación
- c) Mida y anote el voltaje de la tabla 2, escriba su resultado en el espacio correspondiente.
- d) Desconecte la fuente de energía.

TERMINALES	VOLTAJES V c-a
1 Y 2	
2 Y 3	
3 Y 1	
1 Y N	
2 Y N	
3 Y N	

TABLA 2

- e) ¿ Cambiará alguno de estos voltajes cuando se hace girar la perilla de control?

- 8a) Ajuste el selector del voltímetro a la posición 8 - N
- b) Conecte la fuente de energía.
- c) Mida y anote el voltaje.

Terminales 8 y N = ----- V c-d

- d) ¿ Cambiará este voltaje si se hace girar la perilla de control?

- e) Desconecte la fuente de energía.
- 9) Para cada una de las siguientes posiciones del selector del voltímetro.
- a) Conecte la fuente de energía y haga girar la perilla de control hasta el fin siguiendo el movimiento de las manecillas del reloj.
- b) Mida y anote el voltaje de la tabla 3, escriba su resultado en el espacio correspondiente.
- c) Vuelva el voltaje a cero y desconecte la fuente de alimentación.

TERMINALES	VOLTAJES V c-a
4 Y 5	
5 Y 6	
6 Y 4	
4 Y N	
5 Y N	
6 Y N	
7 Y N	

TABLA 3

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA 2

" INSTRUMENTOS DE MEDICION "

PRIMERA PARTE



"INSTRUMENTOS DE MEDICION"

OBJETIVOS

- 1.- Aprender el manejo de aparatos de medición de corriente alterna y c.d.
- 2.- Demostrar que la potencia se puede encontrar aplicando sus tres formas diferentes.
- 3.- Verificar la ley de Ohm, así como la potencia en los circuitos de c.a.

INTRODUCCION

En esta práctica se estudiarán los instrumentos utilizados para medir las cantidades eléctricas básicas de los circuitos de cd: El amperímetro, el voltímetro y el watímetro se emplean para medir la corriente, la tensión y la potencia, en tanto que el ohmímetro, el probador de Megger o el puente de Wheatstone se usan para medir la resistencia. La mayoría de los medidores utilizan uno de los tres movimientos básicos: El de D'Arsonval, desarrollado por el físico francés Jacques Arsene D'Arsonval en 1881, el de tipo de veleta el de electrodinamómetro. Esos movimientos son apropiados para emplearlos en un amperímetro de cd/ca, un voltímetro de cd/ca, un ohmímetro y un puente de Wheatstone. El movimiento del electrodinamómetro es el único que se utiliza en la construcción de un watímetro.

EL MOVIMIENTO DE D'ARSONVAL

Consiste básicamente en una bobina de núcleo de hierro montada sobre cojinetes entre un imán permanente. Los resortes helicoidales limitan el movimiento de la bobina y proporcionan una trayectoria para que la corriente llegue a la bobina. Los campos magnéticos de imán y la bobina son como se muestran en la figura 2.1A

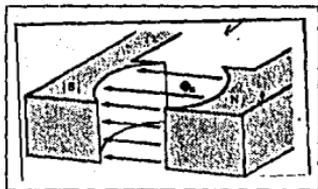


FIG. 2.1A
LOS CAMPOS MAGNETICOS DEL IMAN

Los flujos generados por la bobina y el imán interactúan para desarrollar un momento angular en la bobina, que hace que gire sobre cojinetes. Puesto que el flujo \uparrow del imán es el mismo en cualquier instante dado, todo cambio del momento angular se ve determinado por un cambio del flujo \uparrow de la bobina. Sin embargo, el flujo \uparrow , es directamente proporcional a la corriente que pasa por la bobina, por lo cual el momento angular es también directamente proporcional a la corriente que pasa por la bobina. Cuanto mayor sea la corriente que pasa por la bobina, tanto mayor será el momento angular y la deflexión de la aguja indica la magnitud de la corriente que pasa por la bobina. En general, las escalas utilizadas para indicar la magnitud de la corriente se presentan en dos tipos: Las que tienen el cero al extremo izquierdo y las lo tienen en el centro.

El movimiento se ajusta para indicar una deflexión cero cuando la corriente que pasa por la bobina es cero. Si un medidor tiene la escala que se muestra en la fig 2.1A sólo se producirá una deflexión ascendente cuando la corriente pase en una dirección por la bobina. Si la corriente se invirtiera, la aguja se desviaría hacia la izquierda por debajo de cero.

Se puede utilizar un medidor con escala que aparece en la fig 2.1B, con la corriente en cualquier dirección en la bobina, puesto que una inversión de la corriente requerirá simplemente el uso de la otra escala. La mayoría de los medidores con escala que se muestra en la figura 2.1A indican, mediante polaridades, el método apropiado para conectarlos a un circuito.

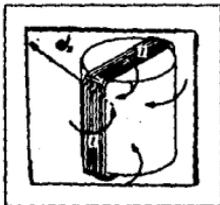


FIG. 2.1B
CAMPO MAGNETICO DE LA BOBINA

Los movimientos de D'Arsonval se clasifican casi siempre por corriente y resistencia. Las especificaciones de un movimiento típico pueden ser 1 ma, 50 ohms. El valor de 1 ma es la sensibilidad a la corriente (SC) del movimiento, o sea, la corriente necesaria para una deflexión a escala completa. La resistencia de 50 ohms es la resistencia interna (R_m) del movimiento. Las marcas de polaridad sobre las terminales externas son las mismas que existirían para una caída de potencial en la resistencia interna del amperímetro, que la corriente que se va a medir cause una deflexión ascendente en la escala. Para asegurar la conexión apropiada en un circuito, el amperímetro se pone siempre en serie con la bifurcación en la que se debe determinar la corriente y con la corriente convencional que entre a la terminal positiva. En esta práctica veremos que los movimientos de veleta y del electrodinamómetro no requiere circuitos adicionales para medir cantidades de c-a, mientras que el de D'Arsonval se debe utilizar junto con algún tipo de circuito rectificador.

D'Arsonval es el único que es básicamente instrumento de cd. Si fluye corriente por las polaridades de sus terminales exteriores, la aguja indicará una desviación hacia arriba en la escala; sin embargo, si la corriente se invierte, el momento angular se desarrollado se invertirá, haciendo que la aguja de una indicación por debajo de cero. Para que el movimiento de D'Arsonval mida cantidades de c-a es preciso convertir primero la corriente para que tenga una naturaleza continua, como sucede con la corriente directa. Uno de los métodos utilizados para lograr esto es la rectificación. Como se muestran en la figuras 2.2, 2.3 y 2.4.

LA RECTIFICACION DE LA CORRIENTE

FIG. 2.2

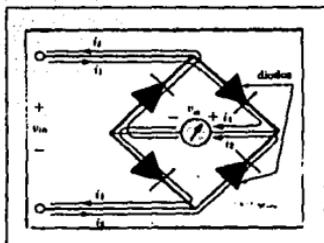


FIG. 2.3

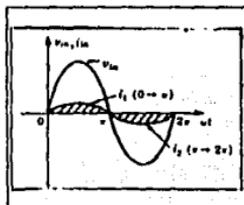
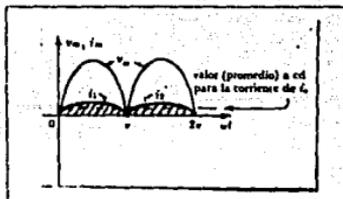


FIG. 2.4



MEDIDORES DE CA QUE UTILIZAN EL MOVIMIENTO DE VELETA

Un medidor que utiliza el movimiento de veleta muestra una desviación ascendente de la escala para cualquier dirección de la corriente que pase por él, puesto que la repulsión entre las dos barras tiene lugar siempre en el mismo sentido, cualquiera que sea la dirección de la corriente de entrada. Una inversión del flujo de la corriente sitúa simplemente los polos norte y sur en extremos opuestos de las veletas; por ende, este movimiento puede leer corriente directa o el valor efectivo de una entrada senoidal, sin circuitos adicionales.

El costo de los medidores de c-a con el movimiento de D'Arsonval o el de veleta suele ser aproximadamente el mismo; sin embargo los medidores con movimiento de tipo de veleta son más populares puesto que no necesitan un circuito rectificador.

MEDIDORES DE CA QUE UTILIZAN EL MOVIMIENTO DE ELECTRODINAMOMETRO

El movimiento de electrodinamómetro puede medir también cantidades tanto de ca como de cd, sin cambios en los circuitos exteriores. De hecho, un medidor de electrodinamómetro puede medir cualquier valor efectivo de cualquier forma de onda periódica o no periódica. Esto se debe a que una inversión de la dirección de la corriente invierte los campos tanto de la bobina estacionaria como de la móvil, de modo que la desviación de la aguja se produce siempre hacia arriba de la escala.

A) AMPERIMETROS

La corriente máxima que puede leer el movimiento de D'Arsonval es igual a la sensibilidad a la corriente del movimiento; sin embargo, se pueden medir corrientes más altas si se introducen circuitos adicionales. Estos, como se muestran en la fig 2.5, dan como resultado la construcción básica de un amperímetro.

En donde la resistencia $R_{a, \dots}$ se escoge para el amperímetro de la fig. 2.5, con el fin de permitir que fluya 1 ma por la bobina móvil cuando entra al amperímetro una corriente máxima de 1 amp. Si debe pasar por el amperímetro menos de 1 amp, la bobina móvil recibirá menos de 1 ma e indicará menos que la deflexión completa de la escala.

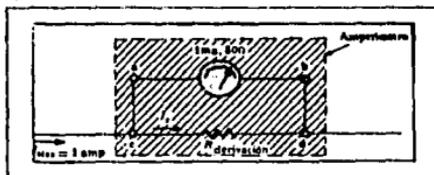


FIG.2.5

Puesto que la tensión que existe por elementos en paralelo debe ser la misma, la caída de potencial a través de a-b en la figura 2.5 debe ser igual al que existe por c-d, o sea,

$$(1 \text{ ma})(50 \text{ ohms}) = (R_{\text{derivada}})(I_s)$$

donde I_s debe ser igual a $1 \text{ amp} - 1 \text{ ma} = 999 \text{ ma}$ si la corriente se debe limitar a 1 ma por medio del movimiento (ley de corrientes de Kirchhoff) y por lo tanto tenemos que:

$$(1 \times 10^{-3})(50) = (999 \times 10^{-3})(R_{\text{derivada}})$$

$$R_{\text{derivada}} = \frac{(1 \times 10^{-3})(50)}{(999 \times 10^{-3})}$$

$$R_{\text{derivada}} = 0.05 \text{ OHM}$$

$$R_{\text{derivada}} = \frac{R_m.CS}{I_{\text{máx}} - I_s}$$

Para la mayoría de los amperímetros, la resistencia interna suele ser suficientemente baja como para que se desprecie para cada escala utilizada. Por supuesto, se debe considerar si los resistores del circuito externo al medidor son del mismo orden de magnitud.

B) VOLTÍMETROS

El movimiento de 1 ma 50 ohms se puede clasificar también como de 50 millivolts (1 ma x 50 ohms) y 50 ohms, lo que indica que la máxima tensión que puede medir el movimiento independientemente es de 50mv. La clasificación en millivolts se suele clasificar como sensibilidad a la tensión (ST). La construcción básica del voltímetro se muestra en la siguiente fig.2.6.

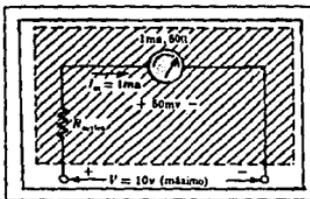


FIG.2.6

La resistencia R_{serie} se ajusta para limitar la corriente que pasa por la bobina móvil a 1 ma cuando se aplica la tensión máxima en las terminales del voltímetro. Una tensión menor reducirá simplemente la corriente en el circuito y, por ende, la deflexión del elemento móvil. De acuerdo al circuito mostrado en la figura anterior podemos obtener que:

$$R_{serie} = \frac{V_{m\acute{a}x} - V_S}{I_C}$$

El voltímetro se conecta siempre en paralelo con la porción de la red a través de la cual se mide la tensión. Para una deflexión ascendente de la escala, las polaridades de la diferencia de potencial que se mide deben corresponder a las marcas de polaridad sobre las terminales externas del voltímetro.

El voltímetro tiene una resistencia interna mucho más alta que el amperímetro, pero esa resistencia está siempre en paralelo con la porción de la red en la que se lee la tensión. Por lo común, la corriente tomada del circuito por el voltímetro suele ser muy pequeña, debido a la magnitud de la resistencia interna. Cuando mayor sea la resistencia interna del voltímetro, tanto menor será la corriente tomada por el circuito y mayor la exactitud de la lectura.

C) PROBADOR MEGGER

Este es un instrumento que sirve para medir valores de resistencias muy altos. El término megger se deriva del hecho de que mide valores de resistencia en el rango de megohms. Su función primordial es probar el aislamiento de los conductores fuertes que se encuentran en los sistemas de transmisión de energía eléctrica, la maquinaria eléctrica, los transformadores, etc. Para medir altos valores de resistencia, se necesita una tensión muy alta. Esto se obtiene mediante un generador de cd de impulso manual, llamado magneto. Si se hace girar el eje por encima de algún valor establecido, la salida del generador se fijará a una tensión que suele ser de 250, 500 o 1000 volts.

LA LEY DE OHM

La Ley de Ohm se considera a menudo como el fundamento del análisis de circuitos y se puede expresar mediante la fórmula siguiente:

$$R = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(2.1)$$

En donde :

V = A la diferencia de potencial entre los dos extremos de un elemento de resistencia (que se mide en volts).

I = A la corriente que pasa por dicho elemento de resistencia (que se mide amperes).

R = A la resistencia del mismo elemento (que se mide en ohms).

Los sistemas de energía eléctrica de los que este programa forma parte, utilizan el "flujo convencional de la corriente" para la corriente eléctrica. En este sistema "convencional", la corriente va de la terminal positiva a la negativa.

Cerciórese siempre de que las polaridades concuerden con las marcadas en las terminales del medidor, a fin de obtener una lectura positiva. Si se invierten las conexiones, la aguja se desviará en la dirección negativa estas observaciones se aplicaran en voltímetros y amperímetros. La polaridad se debe mantener para obtener la deflexión adecuada de la aguja.

La potencia eléctrica de un circuito de c-d se puede encontrar utilizando cualquiera de sus tres ecuaciones:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.2)$$

$$P = I^2 \times R \dots\dots\dots(2.3)$$

$$P = V^2/R \dots\dots\dots(2.4)$$

En donde:

- P = potencia en watts
- I = corriente en amperes
- V = voltaje en volts

Cuando la energía eléctrica llega a una resistencia, se convierte inmediatamente en calor, con el resultado de que la resistencia se calienta. Mientras mayor es la potencia eléctrica proporcionada, tanto mayor será la temperatura, hasta que se llega a un punto en que la resistencia o cualquier componente cercano se quema.

En consecuencia, es evidente que el tamaño físico de una resistencia depende no de su valor de resistencia sino casi exclusivamente de la potencia sino casi exclusivamente de la potencia que debe disipar. A esto se debe que las lámpara de 100 watts son más grandes que las de 60 watts. El mayor tamaño favorece un mejor enfriamiento tanto por convención, como por radiación.

MATERIAL.

- | | |
|-------------------------------|----------|
| * Módulo de fuente de energía | EMS 8821 |
| * Módulo de resistencia | EMS 8311 |
| * Módulo de medición de CD | EMS 8412 |
| * Cables de conexión | EMS 8941 |

PROCEDIMIENTOS

Advertencia: " No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada, debe desconectar la fuente después de realizar cada medición "

1.- Use los módulos EMS de resistencia, medición de CD y fuente de energía para conectar el circuito ilustrado en la figura 2-A. Cerciérese de que el interruptor del voltímetro de la fuente de energía debe estar en la posición de CD y, además deberá indicar cero volts. (7 es la terminal positiva y N la negativa para la salida de voltaje en c-d de la fuente de energía). Conecte la fuente de energía y haga girar lentamente la perilla de control del voltaje de salida (en sentido de las manecillas del reloj) hasta obtener los voltajes marcados en la tabla 2-B. Anote sus resultados en el espacio correspondiente de la tabla.

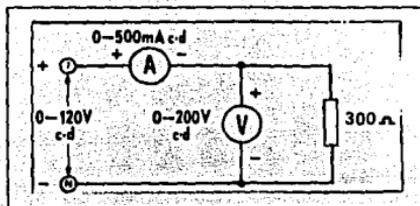


FIG. 2-A

VOLTS V	0	20	40	60	80	100	120
I_{medida}							
$R_{calculada}$							
$P_{calculada}$							

TABLA 2-B

2.- Grafique las corrientes anotadas a los voltajes indicados de la tabla 2-B, sobre la gráfica que aparece en la figura 2C.

3.- Conecte el circuito que se ilustra en la figura 2-D. Observe que las tres resistencias están conectadas en serie. (se utilizará el mismo voltímetro para medir el voltaje en cada una de estas tres resistencias). Conecte la fuente, ajuste el voltaje a 90V c-d, según la lectura del voltímetro de dicha fuente. Mida y anote la corriente y el voltaje de cada resistencia y llene en la tabla 2-E.

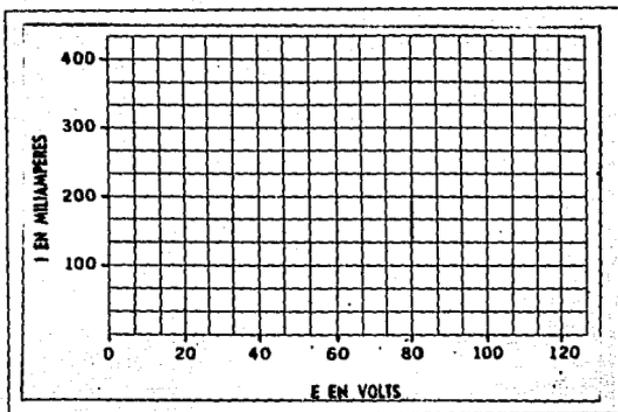


FIG. 2-C

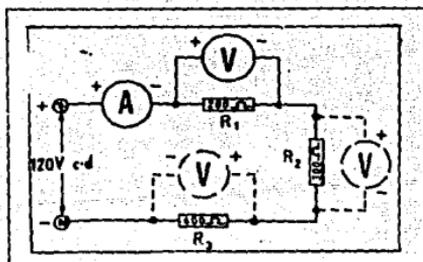


FIG. 2-D

R (Ω)	I (A)	V (V)	P _{disipada} (W)
R ₁			
R ₂			
R ₃			

TABLA 2-E

4.- Utilice el módulo EMS 8311 de resistencia, para conectar el circuito que aparece en la figura 2-F. Se dará cuenta de que el circuito está conectado a la toma de energía variable en c-a (4 y N) de la fuente de alimentación. Coloque los interruptores de resistencia en tal forma que su valor total sea sucesivamente, 57 y 100 ohms. Anote y mida la corriente de la resistencia en el espacio correspondiente de la tabla 2-G.

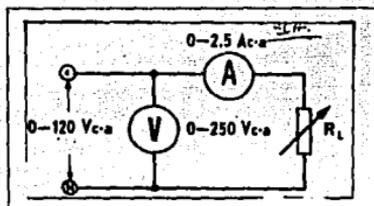


FIG. 2-F

RL (OHMS)	57 Ω	100 Ω	57 Ω	100 Ω
V _{c-a}	100V	100V	120V	120V
I _{c-a} medida				
I _{c-a} calculada				
V x I (Watts)				

TABLA 2-G

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

1.- Un amperímetro que tiene una escala de 0-1 A c.d y una resistencia de 1 ohm, se conecta a una fuente de 300 milivolts. ¿ Que valor indicará?

2.- ¿ Explique porque el voltímetro tiene una resistencia interna mucho más grande que el amperímetro?

3.- Un fusible de 1 Ampere tiene una resistencia de 0.2 ohm. Dicho fusible se fundirá o quemara cuando la corriente que pase por él sea lo suficientemente grande para producir una pérdida de potencia de 5 watts. ¿ Cual es el valor de esta corriente de fusión ?

4.- ¿ Explique en que consiste el movimiento de D'Arsonval y en que instrumento de medición se utiliza ?

5.- ¿ Puede explicar porqué la mayoría de los voltímetros y amperímetros de c.a están diseñados para dar lecturas de valores (r.m.c) de voltaje y corriente ?

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

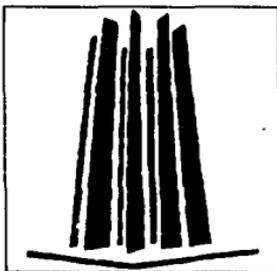
ARAGON

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA 2

" INSTRUMENTOS DE MEDICION "

SEGUNDA PARTE



**"INSTRUMENTOS DE MEDICION"
" SEGUNDA PARTE"**

OBJETIVOS

- 1.- El alumno conocerá a usar el vatímetro.
- 2.- Aprender cómo se puede mejorar el factor de potencia de un motor, así como la determinar la potencia aparente, real y reactiva.
- 3.- Estudiar el comportamiento de circuitos complejos de c-a, usando gráficas vectoriales.
- 4.- Aprender a medir la potencia de un circuito trifásico, utilizando el método de los dos wattímetros. Así como determinar la potencia activa, reactiva y el factor de potencia de un sistema trifásico.

INTRODUCCION

El vatímetro instrumento que sirve para medir la potencia real (en watts) en los circuitos de corriente alterna. Examine la construcción del Módulo 8341 del vatímetro monofásico. Las conexiones internas de la bobina de corriente del medidor se llevan hasta las terminales A y B de éste. Las conexiones internas de la bobina de voltaje del medidor se llevan hasta las terminales C-D. La bobina de corriente (protegida por los diodos), se conecta en serie con la línea (terminales 1 y 3 del módulo). La fuente de energía se debe conectar siempre a las terminales 1 y 2 (la entrada al módulo del vatímetro). La carga se debe conectar siempre a las terminales 3 y 4 (la salida del módulo del vatímetro). Nunca deben cambiar las conexiones del módulo de la parte posterior del tablero como se muestra en la 2.1.

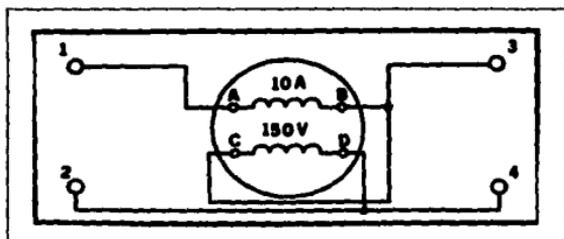


FIG.2.1
WATIMETRO MONOFASICO

WATTIMETROS

Un movimiento generalmente más costoso que los dos descritos es el de del electrodinamómetro que, además de utilizarse en los diversos medidores vistos hasta ahora, se puede emplear para construir un watímetro. Su construcción básica se ilustra en la figura.2.2

En el movimiento del electrodinamómetro, la bobina móvil gira en un campo magnético producido por la corriente que pasa por una bobina estacionaria. Los flujos de la bobina estacionaria y la móvil interactúan para desarrollar un momento angular sobre la aguja conectada a la bobina móvil. En la configuración del watímetro, la corriente en las bobinas estacionarias es la corriente de la línea, mientras que la corriente de la bobina móvil se deriva de la tensión de la línea. A continuación, este instrumento indica la potencia en watts en una escala lineal.

Algunos watímetros dan siempre una lectura en watts que es mayor que la alimentada realmente a la carga. Son altas por la cantidad de potencia consumida por la bobina de potencial = V_{pc}^2/R_{pc} . Esta corrección es importante y se debe considerar en todos los conjuntos de datos. Se diseñan muchos watímetros de modo que se compense esta corrección; por ende, se elimina la necesidad de hacer cualquier ajuste en las lecturas. El watímetro está conectado siempre en paralelo a la bobina de potencial y la bobina de corriente en serie, con la porción de la red en la que se mide la potencia.

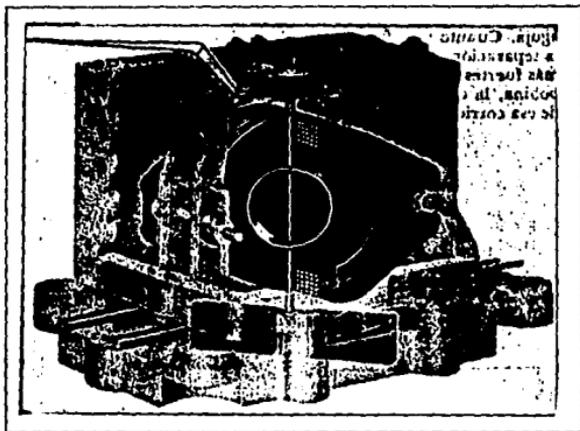


FIG. 2.2
MOVIMIENTO DEL ELECTRODINAMOMETRO

En la figura 2.3. La bobina fija de corriente, A está en serie con la carga y la bobina móvil de voltaje V se conecta de la carga. La deflexión resultante es directamente proporcional a la potencia real entregada a la carga. Como se muestra en la figura 2.4

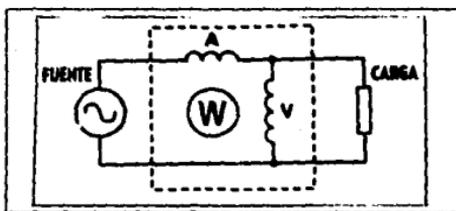


FIG. 2.3

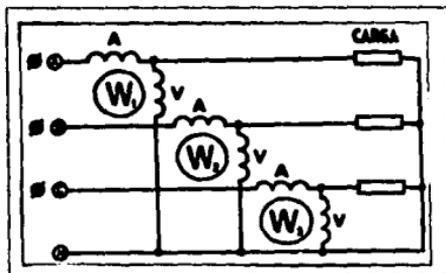


FIG. 2.4

Si se desea medir la potencia suministrada por un sistema trifásico de cuatro hilos, simplemente se usan tres wattímetros monofásicos para medir la potencia. Vea la fig. 2.4, y se suman las tres lecturas.

No obstante, cuando el sistema es trifásico y de tres hilos o conductores, sólo se utilizan dos wattímetros monofásicos para medir la potencia. Vea en la figura 2.5. Las bobinas de corriente llevan las corrientes de dos bobinas de voltaje se conectan a la línea restante. Observe que no se hace ninguna conexión al hilo neutro. La potencia trifásica total es igual a la suma algebraica de las lecturas de los wattímetros.

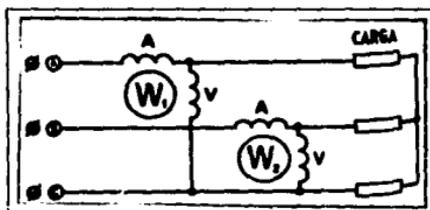


FIG. 2.5

Para cargas balanceadas a un factor de potencia igual a 1, las condiciones de los dos wattímetros serán idénticas. Cuando el factor de potencia de la carga es de 50%, un medidor indicará cero y el otro indicará la potencia trifásica total. Para factores de potencia intermedios entre 50 y 100 por ciento, un medidor indicará una potencia mayor que la del otro. Para factores de potencia inferiores al 50%, la indicación de uno de los medidores será negativa y el total de la potencia trifásica será la que indique un medidor menos la potencia negativa que indica el otro. A un factor de potencia igual a cero, los wattímetros indicarán valores idénticos pero de signo contrario, dando en total una potencia cero. Por consiguiente, existe una relación específica entre las indicaciones de los medidores para cada valor del factor de potencia del circuito.

POTENCIA ELECTRICA. - Es igual a la tensión por la corriente se divide en los siguientes tres tipos:

1.- La potencia aparente es la potencia total que se produce en el circuito, sin considerar que la parte de ella efectúa trabajo útil. Esta potencia es la suma vectorial de las otras dos potencias, (real y reactiva) simbolizándose como "S" y expresándose en Voltamperes (VA) ó kilovoltamperes (KVA).

2.- La potencia real es la parte de la potencia aparente que efectúa un trabajo útil simbolizándose por "P" y expresándose en watts (W). Si se conoce el ángulo de fase entre el voltaje y la corriente, la potencia real se determina mediante la ecuación :

$$\text{potencia real} = E \times I \cos \theta = \text{potencia aparente} \times \cos \theta$$

3.- La potencia reactiva es la parte de la potencia aparente que no efectúa un trabajo útil, simbolizándose como "Q" y expresándose en voltamperes reactivos (VAR) o kilovoltamperes reactivos (KVARs). La potencia reactiva se puede calcular mediante la ecuación :

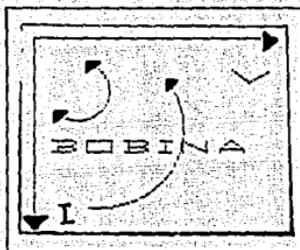
$$\text{potencia reactiva} = \sqrt{(\text{potencia aparente}^2) - (\text{potencia real}^2)}$$

La corriente que produce nuestras máquinas en las plantas es una CORRIENTE ALTERNA. A esta corriente alterna le presentan oposición para su desplazamiento tres tipos de elementos.

1.- LAS BOBINAS O INDUCTANCIAS, en donde la corriente va "atrasada" 90° de la tensión aplicada, según se muestra en la figura. 2.6 Si calculamos para este caso el "trabajo útil" obtendremos que es cero, puesto que la fuerza (tensión) en el sentido del desplazamiento (electrones) es nula, es decir:

$$\cos 90^\circ = 0$$

FIG.2.6

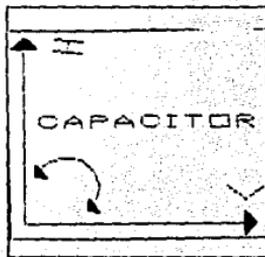


Sin embargo, existe un "trabajo aparente" como resultado de multiplicar la tensión por los electrones sin considerar el sentido del desplazamiento. Por lo tanto, tendremos que la "potencia útil" es cero y la "potencia aparente" es $V \times I$

En electricidad llamamos a la "potencia útil" como potencia real, y a la "potencia aparente" de igual forma potencia aparente. En el caso de una bobina la potencia aparente recibe también el nombre de **POTENCIA REACTIVA INDUCTIVA**

2.- LOS CAPACITORES, en los que la corriente va adelantada 90° de la tensión que se le aplica, tal y como se muestra en la figura 2.7. Al igual que en las bobinas, aquí el "trabajo útil" es cero y el trabajo aparente es el resultado de multiplicar la tensión por la corriente. Por lo tanto, no existe potencia real y la potencia aparente es el producto de $V \times I$ para los capacitores, la potencia aparente recibe también el nombre de **potencia REACTIVA CAPACITIVA**

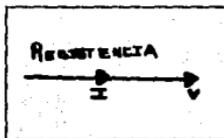
FIG.2.7



El objeto de diferencias entre una potencia reactiva inductiva y una potencia reactiva capacitiva es tener presente que mientras una es producida por una corriente que va atrás en 90° de la tensión la otra es producida por una corriente que va adelante 90° sin embargo, ambas potencias no son aprovechables.

3.- **LAS RESISTENCIAS**, en donde la corriente va en fase con la tensión, según se observa en la figura 2.8. Si calculamos para este caso el " el trabajo útil "encontraremos que es el producto de la tensión para los electrones dado que la fuerza (tensión) es en el sentido del desplazamiento. Por lo tanto, la potencia activa será igual a $V \times I$. Así mismo, el "trabajo aparente" será igual al producto tensión por electrones, y por lo tanto igual al "trabajo útil".

FIG.2.8



En el caso de las resistencias, observamos que la " potencia aparente " recibe también el nombre de **POTENCIA REAL**.

FACTOR DE POTENCIA

Hemos visto que en los circuitos de corriente alterna no toda la potencia es aprovechable, sino solo la potencia activa. Con el fin de tener un número o cantidad que nos indique para un circuito o una carga el grado de aprovechamiento de la potencia se ha ideado un factor llamado **FACTOR DE POTENCIA**.

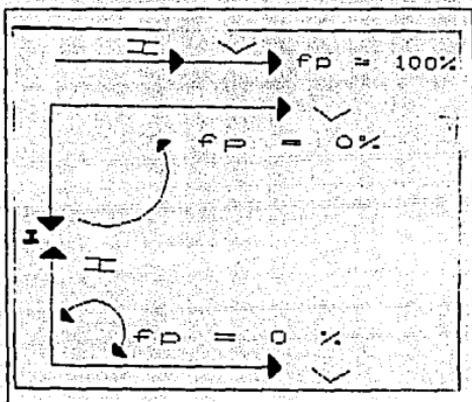
$$\text{FACTOR DE POTENCIA} = \frac{\text{POTENCIA REAL}}{\text{POTENCIA APARENTE}}$$

$$\text{Lo que también es igual a } fp = \frac{p}{s}$$

El factor de potencia puede tomar valores desde cero hasta uno, o en otros términos podemos decir que puede valer desde cero por ciento hasta cien por ciento. Su valor depende del tipo de carga que se este alimentado.

En la figura 2.9 se muestran los diagramas de la tensión y la corriente para los tres tipos de cargas: Resistencia, inductancias y capacitancia, indicando su factor de potencia. Observe que hacemos la diferencia entre factor de potencia inductivo y factor de potencia capacitivo, es decir que en realidad el factor de potencia varía desde 0% inductivo hasta 100% y desde 100% hasta 0% capacitivo. La figura 2.10 muestra esto.

FIG. 2,9



El factor de potencia valdrá cero cuando no sea posible aprovechar nada de la potencia (una bobina o un capacitor), y valdrá 100% cuando toda la potencia sea aprovechable (una resistencia).

Tratemos de ejemplificar de una manera sencilla lo que significa el factor de potencia, para lo cual veamos la figura 2.11. En el punto 1 toda la potencia aparente esta utilizándose puesto que el "jalón " es hecho en el sentido del desplazamiento del carro; por lo tanto, el factor de potencia es unitario a 100%. En el punto 2 únicamente una parte (p.) de la potencia aparente se utiliza, debido a que el jalón no es hecho en el sentido que se mueve el carro, aquí el factor de potencia es menor que la unidad puesto que hay una potencia (Q_c) que se desperdicia. Para el punto 3 tenemos que también solo se aprovecha una parte de la potencia aparente, siendo el factor de potencia del punto 2 porque la potencia que se desperdicia (Q_c) es mayor. Por último, en el punto 4 decimos que el factor de potencia es cero porque ninguna parte de la potencia aparente es utilizable.

Si se conoce el ángulo en que están defasados entre sí el voltaje y la corriente, el factor de potencia se puede determinar por medio de la ecuación :

$$PF = \cos\phi$$

Los motores de corriente alterna toman potencia reactiva de la línea de alimentación para crear el campo magnético que necesitan. Además, estos motores toman también potencia real, siendo la mayor parte de ésta convertida en potencia mecánica, en tanto que el resto se disipa en forma de calor.

La potencia reactiva oscila, entre el motor y la fuente de c-a. La potencia reactiva no efectúa ningún trabajo útil, excepto que crea el campo magnético del motor. Si se coloca un capacitor en paralelo con el motor, y si la potencia reactiva que toma el capacitor es exactamente igual (pero de signo opuesto) a la potencia reactiva que toma el motor, entonces una potencia reactiva neutralizará a la otra. El resultado es que la línea de transmisión de potencia ya no necesita llevar ninguna potencia reactiva.

Antes de conectar el capacitor, el factor de potencia del motor es bastante bajo. Una vez que el capacitor se conecta al motor, aumenta el factor de potencia. Si se escoge bien la capacitancia, este factor puede acercarse a la unidad.



MAQUINAS ELECTRICAS
EL FACTOR DE POTENCIA

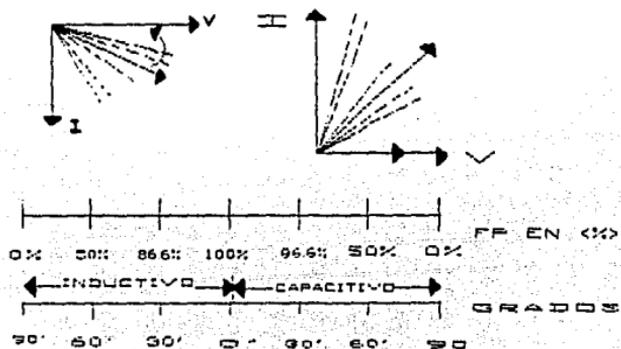
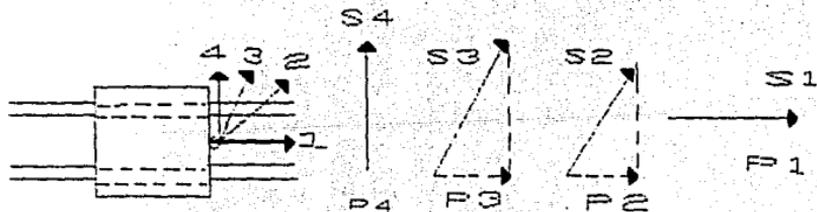


FIGURA 2.10

FIGURA 2.11



MATERIAL

* Módulo de fuente de energía	EMS 8821
* Módulo de resistencias	EMS 8311
* Módulo de inductancias	EMS 8321
* Módulo de capacitancia	EMS 8331
* Módulo de motor monofásico de fase hendida con arranque de capacitor	EMS 8251
* Módulo de medición de c-a	EMS 8426
* Módulo de Vatímetro monofásico	EMS 8431
* Módulo de medición de c-a	EMS 8425
* Módulo de wattímetro trifásico	EMS 8446
* Cables de conexión	EMS 8941

PROCEDIMIENTOS

1.- Use lo módulos EMS de resistencia, vatímetro, medición de c.a y fuente de alimentación para conectar el circuito que se ilustra en la figura 2.12. Ajuste la resistencia de carga a 57 ohms (todos los interruptores deben estar cerrados y todas las secciones en paralelo)

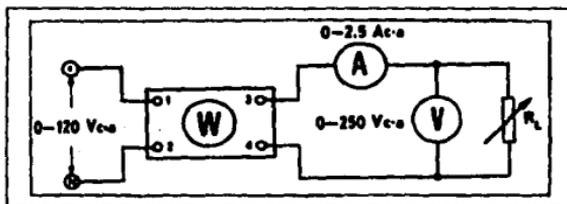


FIG.2.12

a) Conecte la fuente de alimentación y ajústela a 120 Vc-a, valor que indicará el voltímetro de c-a conectado a través de R_L . Mida y anote la corriente de carga I_1 :

$$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A...}$$

b) Mida y anote la potencia de entrada, de acuerdo con la lectura del vatímetro.

$$P_{\text{entrada}} = \text{-----} \text{ W}$$

c) Calcule la potencia de entrada utilizando la ecuación

$$p = E \times I$$

$$P_{\text{entrada}} = \text{-----} \text{ W}$$

d) Reduzca a cero el voltaje y desconecte la fuente de alimentación.

2.- Examine la estructura del módulo EMS 8331 de capacitancia, observe que es similar a los módulos de resistencias e inductancias en el sentido de que contiene nueve interruptores en tres secciones idénticas.

a) Conecte el circuito que aparece en la figura 2.12 pero en esta ocasión cambie la carga por capacitancia. Haga lo mismo con el módulo de inductancia EMS 8321. Repita los procedimientos 1a, 1b, 1c y 1d. Anote sus resultados en el espacio correspondiente de la tabla 3.

ELEMENTO	VOLTAJE	CORRIENTE	POT _{entrada}	P _{aparente}
CAPACITANCIA				
INDUCTANCIA				

TABLA 3

3.- Use los módulos EMS de motor monofásico de fase hundida arranque por capacitor, medición de c-a, vatímetro y fuente de energía, para conectar el circuito que aparece en la figura 2.13. Conecte la fuente de alimentación y ajústela a 120 Vc-a (el motor debe estar funcionando). Mida y anote sus resultados en la tabla correspondiente 3.1

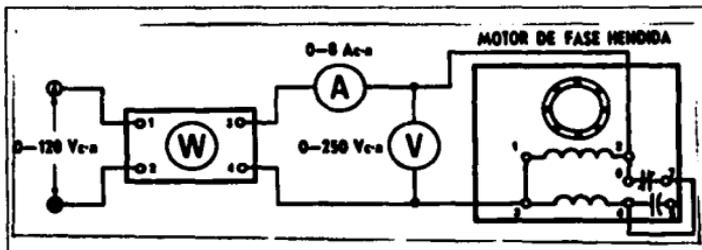


FIG. 2.13

I_1 medidas	$P_{\text{real medida}}$	P_{aparente}	fp	P_{reactiva}

TABLA 3.1

4.- Conecte el circuito que aparece en la figura 2.13, conecte en paralelo dos módulos de capacitancia y el motor. Conecte las seis secciones de capacitancia en paralelo y abra (posición abajo) todos los interruptores articulados de los capacitores. Conecte la fuente de energía y ajústela a 120 V c-a (el motor debe estar funcionando).

a) Comience a aumentar la capacitancia del circuito cerrando los interruptores uno a la vez. Ajuste la capacitancia para obtener un mínimo de corriente de línea. Mida y anote la sus valores obtenidos en el espacio correspondiente.

* Corriente de línea $I_1 =$ _____ A c-a

* Potencia real $P =$ _____ W

* Calcule la pot.aparente $P_1 =$ _____ VA

* Calcule el factor de pot. $fp =$ _____

* Calcule la pot.reactiva $P_r =$ _____ var

5.- Puesto que estas corrientes no están en fase, la suma aritmética de las mismas será mayor que la corriente de línea (de la fuente). Sin embargo, si estas corrientes se representan como fasores, su suma vectorial será igual a la corriente de la fuente. En este experimento calculará los valores de un circuito de c-a utilizando diagramas fasoriales, luego verificará los resultados haciendo mediciones en el circuito real.

a) Para cada uno de los siguientes circuitos: (2.14 a 2.17)

- Dibuje el diagrama fasorial.

- Use un transportador para medir el ángulo de fase entre el voltaje de la fuente y la corriente de la fuente

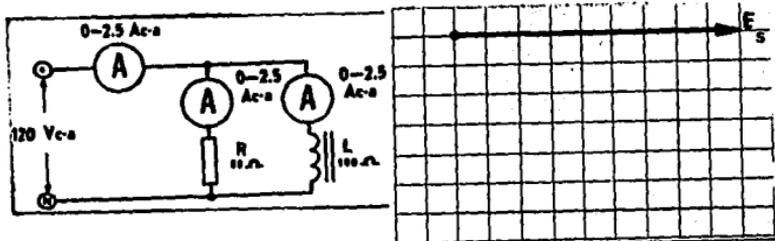


Fig. 2.14

Fase $I_a =$ _____

Fase $I_R =$ _____

Fase $I_L =$ _____

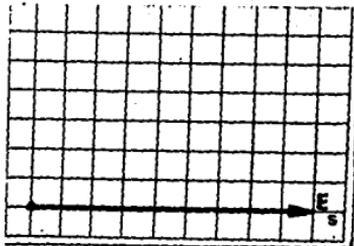
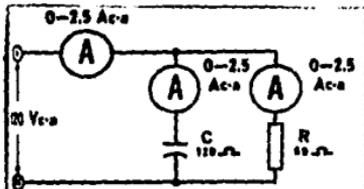
Ángulo de fase de $I_s =$ _____

I_a Medida = _____

I_R Medida = _____

I_L Medida = _____

FIG. 2.15



FACTOR $I_A =$ _____

FACTOR $I_C =$ _____

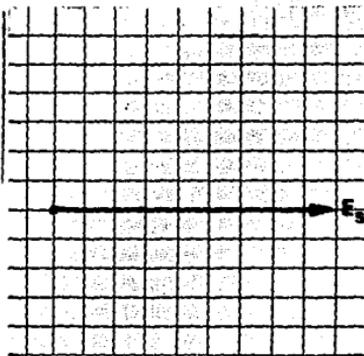
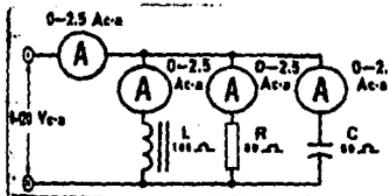
FACTOR $I_R =$ _____

ANGULO DE FASE DE $I_C =$ _____

I_A MEDIDA = _____

I_C MEDIDA = _____

I_R MEDIDA = _____



FACTOR $I_A =$ _____

FACTOR $I_C =$ _____

FACTOR $I_L =$ _____

ANGULO DE FASE DE $I_C =$ _____

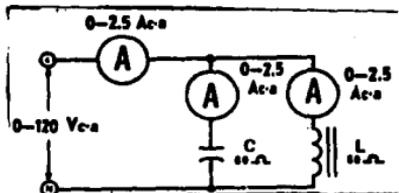
I_A MEDIDA = _____

I_C MEDIDA = _____

I_L MEDIDA = _____

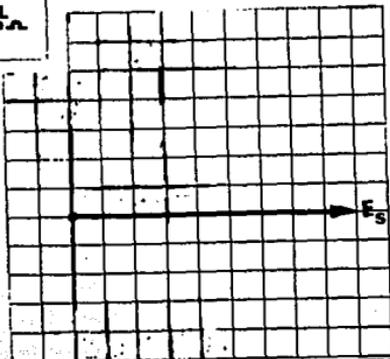
FIG. 2.16

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS



FZE.2.17

Fasea I_L = _____
 Fasea I_C = _____
 Fasea I_S = _____
 Ángulo de Fase de I_S = _____
 I_L Medida = _____
 I_C Medida = _____
 I_S Medida = _____



- Anote sus respuestas en el espacio correspondiente e indique si la corriente de la fuente I_s se adelanta o se atrasa con relación al voltaje de la fuente E_s .

b) Conecte la fuente de energía y ajústela a 120 V c-a, tomando esta lectura en el voltímetro de c-a de la fuente de alimentación. Mida y anote las corrientes resultantes en los espacios correspondientes.

6.- El módulo de wattímetro trifásico 8441 se compone de dos wattímetros y tiene una conexión tal que sólo se requiere conectar las líneas trifásicas a las terminales de entrada 1, 2 y 3. La carga se conecta a las terminales de salida 4, 5 y 6. Los interruptores con marcas de polaridad indican si las lecturas dadas por el medidor son positivas o negativas.

a) Conecte el circuito ilustrado en la figura 2.18 utilizando los módulos EMS 8446 de wattímetros trifásicos, fuente de alimentación, resistencia y medición de c-a. Ajuste la fuente de alimentación y ajuste el voltaje de línea a 208 V c-a, según lo indique el voltímetro V.

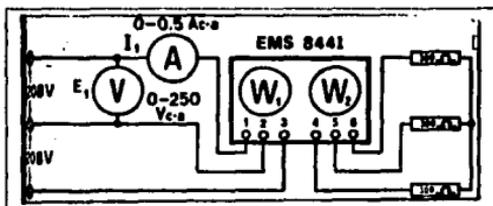


FIG. 2.18

b) Mida, anote y calcule los datos que se piden en la tabla 3.2

c) Repita el procedimiento 6a pero en esta ocasión cambie el módulo de resistencia por el de capacitancia, haga lo mismo con el de inductancia, anote sus resultados en la tabla 3.2.

ELEMENTO	I_1	P_1	P_2	Pot. _{med}	Pot. _{real}	f_p
RESISTENCIA						
CAPACITANCIA						
INDUCTANCIA						

TABLA 3.2

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

1.- ¿ En qué condiciones indicará un vatímetro una potencia negativa (inferior a cero)?

2.- La potencia aparente es mayor que la real, cuando el circuito contiene uno de los dos tipos específicos de carga. ¿Cómo se denominan estas cargas?

3.- Cuando se agregó la capacitancia en el experimento 4a. ¿varió la corriente que pasa por los devanados del motor?

4.- ¿Cambiará la potencia real proporcionada al motor cuando se conectan capacitores en paralelo con éste?

Explique por qué

FALLA DE ORIGEN

5.- En el experimento 5a, si el voltaje de la fuente E. se redujera a la mitad de su valor en los siguientes circuitos:

a) ¿ Cambiaría alguno de los valores de corriente ?

Explique por qué

b) ¿ Cambiaría el ángulo de fase de la corriente de la fuente I. Explique por qué

6.- ¿ Bastaría con un solo wattímetro para medir la potencia trifásica total en un sistema trifásico balanceado de cuatro hilos?

7.- Si se usan dos wattímetros para medir la potencia total en un sistema trifásico de tres conductores, ¿ mide una potencia monofásica cada medidor ?

Explíquelo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA 3

" TRANSFORMADOR MONOFASICO "



TRANSFORMADOR MONOFASICO.

OBJETIVOS

- 1.- Conocer la construcción del transformador, así como las relaciones de voltaje y corriente de este.
- 2.- Determinar las corrientes de excitación, la capacidad en voltamperes y las corrientes de cortocircuito de un transformador
- 3.- Aplicar la polaridad de los devanados del transformador a las conexiones serie aditiva y substractiva.

INTRODUCCION

A) Construcción del transformador.

El transformador consiste de dos o más devanados aislados alrededor de un núcleo de hierro. Por definición, el devanado primario es el que se conecta a la fuente eléctrica. El devanado secundario es el devanado de salida. Puede haber más de un devanado secundario en ese caso, cada uno se conecta a una carga diferente o se interconecta para proporcionar diferentes voltajes de salida.

El núcleo está formado por un conjunto de láminas de acero. El acero tiene una alta permeabilidad magnética y da una trayectoria de alta permeancia al flujo, que se es mutuo al primario y al secundario. El núcleo está constituido por planchas delgadas (aproximadamente de 0.014 pulgadas de espesor, para funcionar a 60 HZ), eléctricamente unas de otras. Este tipo de estructura limita el flujo de las corrientes de Eddy debidas a los voltajes inducidos en el núcleo mismo. Por lo tanto, hay tres elementos en un transformador: el primario, el secundario y el núcleo.

La configuración de transformador que se muestra en la figura 3.2 se denomina forma de concha. Nótese que el núcleo forma una especie de concha alrededor de los devanados. Una construcción diferente se muestra en la figura 3.1 y se denomina forma de núcleo. Cuando se diseña correctamente, cualquier forma tendrá excelentes características de funcionamiento.

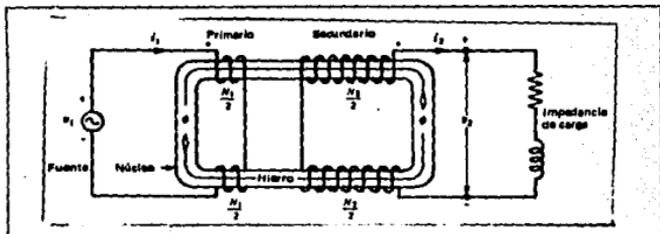


FIG. 3.1

**TRANSFORMADOR ELEMENTAL EN FORMA DE NÚCLEO
CON DOS DEVANADOS.**

En la práctica real, el devanado de bajo voltaje se sitúa próximo al núcleo y se extiende en la mayor parte de longitud usada del núcleo. Los devanados de alto voltaje rodean a los devanados de bajo voltaje. Esto simplifica el problema de aislar los devanados de alto voltaje del núcleo.

Cuando un transformador está funcionando, pasan corrientes alternas por sus devanados y se establece un campo magnético alterno en el núcleo de hierro. Como resultado, se producen pérdidas de cobre y hierro que representan potencia real (watts) y que hacen que el transformador se caliente. Para establecer un campo magnético se requiere una potencia reactiva (vars) que se obtiene de la línea de alimentación. Por estas razones, la potencia total entregada al devanado primario es siempre ligeramente mayor que la potencia total entregada por el devanado secundario. Sin embargo, se puede decir, que aproximadamente en casi todos los transformadores.

- a) Potencia del primario (watts) = Potencia del secundario (watts)
- b) Voltamperes del primario (VA) = Voltamperes del secundario (VA)
- c) Vars del primario = Vars del secundario.

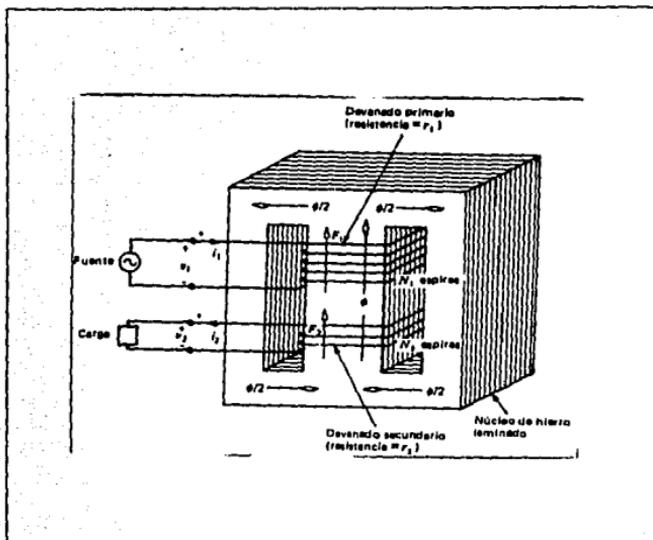


FIG. 3.2
ELEMENTOS DE UN TRANSFORMADOR

Cuando el voltaje del primario se eleva más allá de su valor nominal, el núcleo de hierro comienza a saturarse y la corriente de magnetización (de excitación) aumenta con gran rapidez.

Los aspectos más importantes que deben considerarse en la construcción del modelo son:

1. Pérdidas en el cobre son pérdidas por calentamiento de tipo resistivo en los arrollamientos primario y secundario del transformador. Varían proporcionalmente con el cuadrado de la corriente de los devanados.

2. Pérdidas por corrientes de Foucault. Son pérdidas por calentamiento de tipo resistivo en el núcleo del transformador.

3. Pérdidas por histéresis. Están asociadas con el agrupamiento de los dominios magnéticos en el núcleo durante cada semiciclo.

4. Flujo de dispersión. Los flujos ϕ_1 y ϕ_2 que abandonan el núcleo y ligan sólo a uno de los devanados del transformador son flujos dispersos. Estos originan autoinductancias en los devanados primario y secundario, cuyos efectos deben ser tenidos en cuenta.

B) PRUEBAS DE BAJO VOLTAJE.

Antes de que salgan de la fábrica, todos los transformadores se someten a una serie de pruebas destinadas a verificar si garantizan una seguridad de funcionamiento suficiente para resistir las diversas exigencias eléctricas, mecánicas o térmicas que pueden normalmente ocurrir en su lugar de utilización. Otras pruebas se enfocan especialmente a verificar la aptitud para cumplir su función, o sea, proporcionar en su secundario una imagen fiel de la tensión o de la corriente primaria.

En la tabla 3.3, se da un resumen de las diferentes pruebas. Entre estas pruebas, algunas son de rutina, que se efectúan sistemáticamente en cada transformador, otras son de prototipo, que se efectúan en aparatos de modelo, y finalmente algunas son especiales por no estar incluidas en las normas, o bien complementarias para verificar alguna característica particular.

PRUEBAS DE TRANSFORMADORES (TABLA 3.3)

1.- Pruebas dieléctricas (para verificar la calidad del aislamiento)

- 1.1 Tensión aplicada entre devanados de A.T y B.T a tierra.
- 1.2 Tensión aplicada entre devanados de B.T y tierra.
- 1.3 Tensión aplicada entre devanados de B.T
- 1.4 Tensión inducida
- 1.5 Prueba de impulso
- 1.6 Descargas parciales
- 1.7 Factor de disipación

2.- Pruebas de cortocircuito

- 2.1 Verificación de la corriente térmica
- 2.2 Verificación de la corriente dinámica
- 2.3 C.C en las terminales.

3.- Pruebas de circuito abierto.

- 3.1 En los T.C

4.- Pruebas de calentamiento

- 4.1 Elevación de temperatura con carga real o simulada

5.- Pruebas de precisión

- 5.1 En condiciones normales (verificación del error de relación y de fase)
- 5.2 Para los T.C para protección en condiciones anormales (verificación del índice de saturación)

6.- Complementarias

- 6.1 Polaridad
- 6.2 Resistencia
- 6.3 Corriente de excitación
- 6.4 Pérdidas en vacío y en C.C
- 6.5 Impedancia en C.C

La primera prueba es el ensayo en circuito abierto. En esta prueba se deja el arrollamiento secundario del transformador en circuito abierto, mientras le es aplicado al primario el voltaje nominal. Observando la figura 3.4 puede verse que, bajo las condiciones descritas, toda la corriente que se consume debe circular por la rama de magnetización del transformador. Los elementos en serie R_p y X_p son tan pequeños comparados con R_c y X_m que producen unas caídas de voltaje despreciables, así que prácticamente todo el voltaje de alimentación queda aplicado sobre la rama de magnetización.

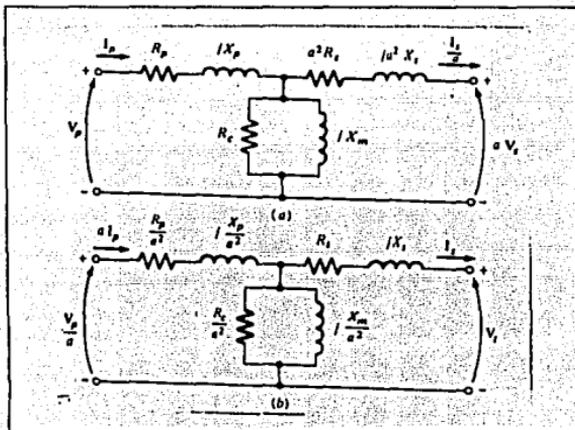


FIG. 3.4

- (a) Circuito equivalente del transformador referido al primario.
 (b) Circuito equivalente.

Las conexiones para efectuar el ensayo en circuito abierto están indicadas en la fig.3.5 se aplica el voltaje nominal al primario del transformador, y se toman lecturas del voltaje aplicado, la corriente y la potencia consumidas. con esta información, es posible calcular el factor de potencia de la corriente y, por lo tanto, la magnitud y al ángulo de la impedancia de magnetización.

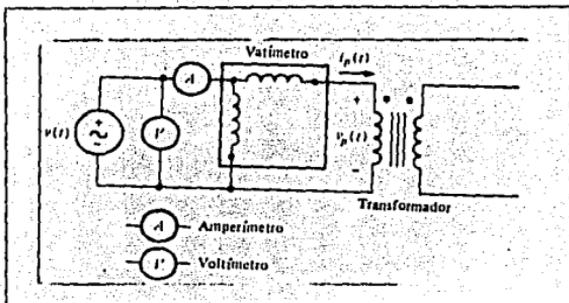


FIG.3.5
Conexiones para la prueba del transformador
en circuito abierto

La segunda prueba del transformador es el ensayo de corto circuito. En esta prueba, los terminales del secundario del transformador son puestos en corto circuito, y el primario se alimenta de una fuente de muy bajo voltaje, tal como se indica en la fig.3.6. El voltaje de alimentación se ajusta de manera que circule la corriente nominal por el arrollamiento cortocircuitado. (Asegúrese de que el voltaje primario sea lo suficientemente bajo para no quemar el transformador mientras trata de ensayarlo). De nuevo, debe medirse el voltaje, la corriente y la potencia que entran al transformador.

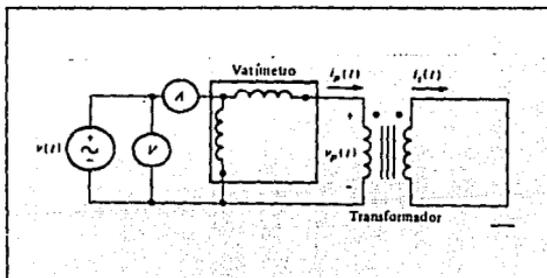


FIG.3.6
Conexiones para la prueba del transformador
en corto circuito.

Como el voltaje de alimentación es tan bajo durante el ensayo, por la rama de magnetización fluirá una corriente muy pequeña. Si se desprecia esta corriente de excitación, toda la caida de voltaje del transformador puede atribuirse a los elementos en serie del circuito. La magnitud de las impedancias serie referidas al primario del transformador es mediante el empleo de esta técnica es posible determinar la impedancia serie total referida al primario .

C) PROPIEDAD ADITIVA Y SUBSTRACTIVA

Por definición, un voltaje en c-a cambia continuamente su valor y su polaridad, por lo tanto, el voltaje aplicado al devanado primario (terminales 1 y 2) cambia constantemente la polaridad de la terminal 1 con respecto a la terminal 2. Las terminales 1 y 2 no pueden tener jams la misma polaridad. La terminal 1 debe ser siempre positiva o negativa con respecto a la terminal 2 . Por consiguiente, el flujo magnético alterno induce voltajes en todos los demás devanados, haciendo que aparezca un voltaje de c-a en cada par de terminales . Las terminales de cada devanado también cambian la una relación a la otra.

Quando se habla de la polaridad de los devanados de un transformador, se trata de identificar todas las terminales que tienen la misma polaridad (positiva o negativa) en el mismo instante. Por lo general se utilizan marcas de polaridad  puntos negros que señalan que en un instante dado cuando :

- 1 es positivo con respecto a 2
- 3 es positivo con respecto a 4
- 6 es positivo con respecto a 5
- 7 es positivo con respecto a 8
- 10 es positivo con respecto a 9

Conviene hacer notar que una terminal no puede ser positiva por sí sola, sólo puede serlo con respecto a otra terminal. En consecuencia, en cualquier momento dado, las terminales 1, 3, 6, 7 y 10 son todas positivas con respecto a las terminales 2, 4, 5, 8 y 9. En los devanados de los transformadores se conectan en serie para obtener un mayor voltaje de salida , la terminal positiva de uno de los devanados se debe conectar con la terminal negativa de el siguiente. Cuando se conectan en esta forma, los voltajes individuales se suman  sean aditivos

La polaridad de un transformador no puede ser más que aditiva o substractiva, en los diagramas la polaridad se representa por medio de unas marcas que pueden ser, círculos llenos o cuadros pequeños, o las letras "H" en alta tensión y "X" en baja tensión, que se ponen en las terminales del aparato tanto en el primario como el secundario.

Como se ve, las marcas de polaridad que nos serviran como punto de referencia, para determinar el sentido de las corrientes instantáneas siguen la siguiente regla general.

Las marcas de polaridad correspondientes indican que por una de ellas entra la corriente y por la otra sale en el mismo instante, es decir, si la corriente imaginamos que en un momento entra a un transformador por la marca de polaridad de su primario la corriente en el secundario estará saliendo por su marca de polaridad. Si el sentido a la entrada cambia (sale) en la marca de polaridad del secundario también cambiará (entra). Si por H, entra la corriente por X, debe indicarse como saliendo del aparato a partir de esta marca de polaridad.

Marcas de polaridad correspondientes en transformadores monofásicos se consideran H, con X, ó H. En los T.P y T.C. Solamente se usan los círculos llenos en la misma forma. Lo antes expuesto es un concepto general en donde no interesa conocer que clase de polaridad tiene el transformador.

MATERIAL

* Módulo de transformador	EMS 8341
* Módulo de fuente de alimentación	EMS 8821
* Módulo de medición de c-a	EMS 8426
* Módulo de medición de c-a	EMS 8425
* Ohmímetro	
* Módulo de medición de c-d	EMS 8412
* Cables de conexión	EMS 8941

PROCEDIMIENTOS

1.- Examine el módulo EMS 8341 del transformador, fijándose especialmente en el transformador, las terminales de conexión y el alambrado. Así como sus diferentes valores de corriente y de voltaje que se muestran en la carátula del módulo.

a) Identifique los tres devanados independientes del transformador marcados en la cara del módulo y anote el voltaje nominal de los tres devanados:

Terminal 1 a 2 -----Vc-a

Terminal 3 a 4 -----Vc-a

Terminal 5 a 6 -----Vc-a

2.- A continuación escriba en el espacio correspondiente los valores de voltaje y de corriente nominal sobre la figura 7, entre las terminales de conexión marcadas en la carátula del módulo (EMS 8341)

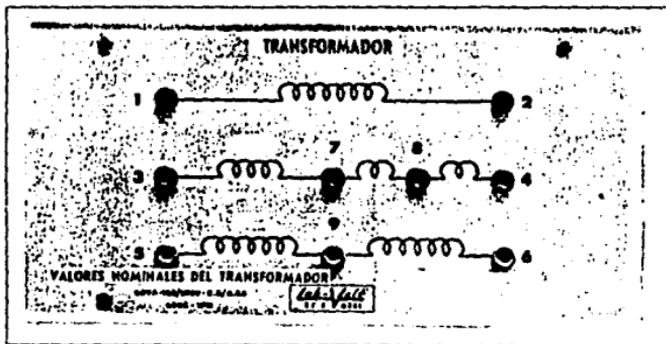


FIG. 7

3.- Conecte el circuito de la figura 8, observe que el medidor de corriente (amperímetro) I_1 , pone en cortocircuito al devanado 3 a 4. Conecte la fuente de alimentación y aumente el voltaje hasta que la corriente que pasa por el devanado primario I_1 , sea 0.4 Ac-a.

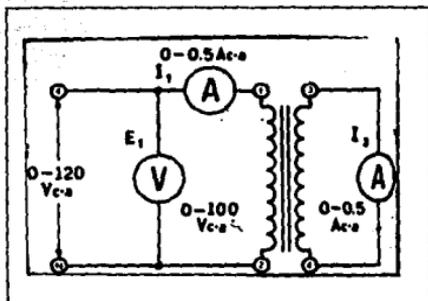


FIG. 8

Mida y anote I_1 y E_1 ,

I_1 = ----- A c-a

E_1 = ----- V c-a

Calcule la relación de corriente donde I_2/I_1 = -----

a) Considere esta relación de corriente, ¿ es la inversa de la relación de vueltas _____

Explique por qué _____

En el siguiente experimento se determinará el efecto de saturación del núcleo en la corriente de excitación de un transformador, se observará que la corriente de magnetización aumenta rápidamente después de alcanzar cierto voltaje de entrada.

4.- Conecte el circuito de la figura 9. Observe que las terminales 4 y 5 de la fuente de alimentación se van a utilizar ahora. Estas terminales proporcionan un voltaje variable de 0-208Vc-a. Conecte la fuente de alimentación y ajústela a 25Vc-a tomando esta lectura en el voltímetro conectado a las terminales 4 y 5 de la fuente de alimentación.

a) Mida y anote la corriente de excitación, I_1 , y el voltaje de salida E_2 , para cada voltaje de entrada que se indica en la tabla 10.

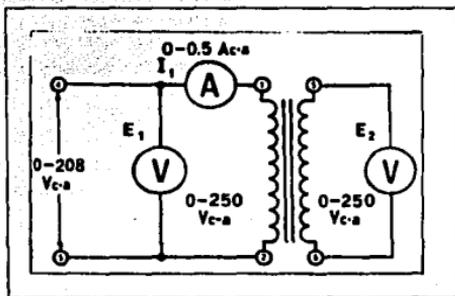


FIG.9

E_1 V c-a	I_1 mA c-a	E_2 V c-a
25		
50		
75		
100		
125		
150		
175		
200		
210		

TABLA 10

b) De acuerdo a los valores obtenidos en la tabla 10 grafique en la figura 11. Luego trace una curva continua que pase por todos los puntos marcados.

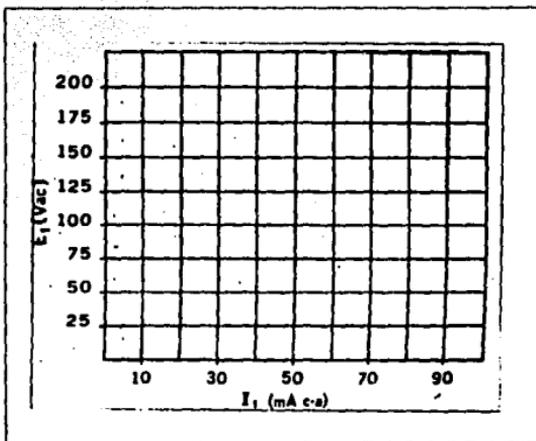


FIG. 11

5.- En los siguientes experimentos se aplicará lo ya antes mencionado sobre marcas de polaridad y sus propiedades (aditiva o substractiva). Conecte el circuito de la figura 12 utilizando los módulos de EMS de transformador, fuente de alimentación de c-d. Observe que el medidor de 200V c-d se conecta a las terminales 3 y 4.

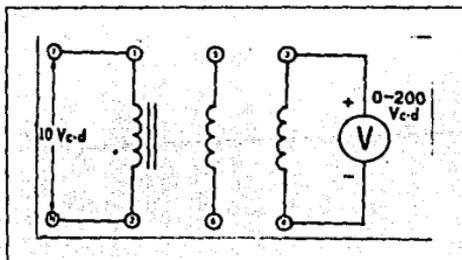


FIG. 12

a) Observe la deflexión de la aguja del voltímetro de c-d en el momento en que se cierra el interruptor de la fuente de alimentación. Si la aguja del voltímetro se desvía momentáneamente a la derecha, las terminales 1 y 3 tienen la misma marca de polaridad. (La terminal 1 se conecta al lado positivo de la fuente de alimentación en c-d, y la terminal 3 al polo positivo del voltímetro.)

b) ¿ Cuáles terminales son positivas en los devanados 1 a 2 y 3 a 4 ?

c) Desconecte el voltímetro de c-d del devanado 3 a 4, y conéctelo al devanado 5 a 6. Repita la operación (a).

d) ¿ Cuáles terminales son positivas en los devanados 1 a 2 y 5 a 6 ?

6.- En el siguiente experimento se conectarán en serie dos devanados de un transformador, al observar los efectos que estos produce, se apreciará la importancia de la polaridad.

a) Conecte el circuito de la figura 13 utilizando el módulo de medición de c-a. Observe que la terminal 1 se conecta con la 5. Conecte la fuente de alimentación y ajústela exactamente a 104 V c-a (la mitad del voltajes nominal del devanado 3 a 4). Mida y anote los voltajes en las terminales siguientes:

$E_{1,2} = \text{-----} V_{c-a}$

$E_{1,3} = \text{-----} V_{c-a}$

$E_{1,5} = \text{-----} V_{c-a}$

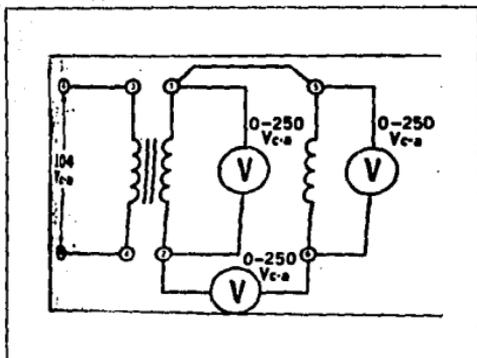


FIG. 13

b) Conecte el circuito de la figura 14. Conecte la fuente de alimentación y ajústela exactamente a 104 Vc-a. Mida y anote los voltajes en las siguientes terminales.

$E_{1,2} = \text{-----Vc-a}$

$E_{1,3} = \text{-----Vc-a}$

$E_{2,3} = \text{-----Vc-a}$

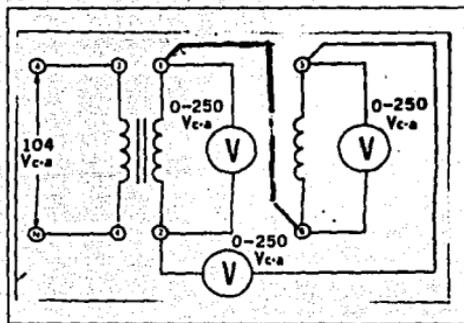


FIG. 14

7.- Observe el circuito de la figura 15 que el devanado 3 a 4 está conectado a una fuente de alimentación de 104 Vc-a. Si el devanado 1 a 2 se conecta en serie con el devanado 3 a 4, ¿cuáles son los tres voltajes de salida que se pueden obtener:

1.- _____ Vc-a

2.- _____ Vc-a

3.- _____ Vc-a

a) Quite la conexión entre las terminales 1 y 3 y conecte las terminales 1 y 4. Conecte la fuente de alimentación y ajústela a 104Vc-a. Mida y anote el voltaje entre las terminales 2 y 3 y 1 a 2.

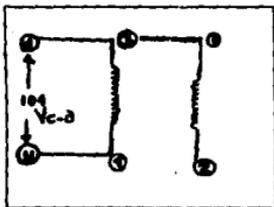


FIG.15

$E_{1..} = \text{_____ Vc-a}$ $E_{2..} = \text{_____ Vc-a}$

Reduzca el voltaje a cero y desconecte la fuente de alimentación ha sido todo un existo.

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

1.- Explique por qué el voltaje con dos devanados en serie es aproximadamente cero en un caso, y casi 120V c-a en el otro caso (experimentos 6a, 6b)

2.- ¿ Para que nos sirven las marcas de polaridad ?

3.- Los aspectos más importantes que deben considerarse en la construcción del transformador son:

4.- Suponga que tiene una fuente de alimentación de 120Vc-a y que todos los devanados del módulo de transformador desarrollan su voltaje nominal; a continuación dibuje como se conectaría los devanados para obtener los siguientes voltajes.

A) 240 VOLTS

A) 180 VOLTS

5.- Cuando se usa una conexión $\Delta - \Delta$ y cuando una Y - Y

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA 4

" TRANSFORMADOR TRIFASICO "



TRANSFORMADOR TRIFASICO

OBJETIVOS

- 1.- Aprender las diferentes conexiones en transformadores en delta y estrella (Δ - Y).
- 2.- Entender las relaciones de corriente y voltaje.

INTRODUCCION

A) CONSTRUCCION DEL TRANSFORMADOR.

La potencia trifásica puede ser transformada por un banco de transformadores monofásico. Básicamente un transformador trifásico son tres devanados de transformadores alrededor de un núcleo común. La geometría del núcleo es tal que los flujos de las fases comparten trayectorias comunes. Como resultado, el volumen de hierro es menor que el de tres transformadores monofásicos de la misma especificación total.

Los transformadores trifásicos no proveen la flexibilidad de un conjunto de transformadores monofásicos. Por ejemplo, un transformador monofásico en un banco puede tener una mayor especificación de KVA que los otros para mantener una carga desbalanceada. En caso de fallar un transformador que sirve a una fase, solamente ese transformador necesita sustituirse, en cambio, es más probable que un transformador trifásico que tenga una fase dañada se tenga que quitar completamente de servicio, por lo menos durante un tiempo.

Sin embargo, los transformadores trifásicos, además de ser más ligeros que los bancos equivalentes de unidades monofásicos, ocupan menos espacio, son menos costosos y requieren mucho menos cables externos. Su eficiencia es ligeramente mejor. Una mejor construcción y mejores medios de protección contra sobrevoltajes y cortos circuitos han hecho que la falla de un transformador monofásico rara vez se emplean en instalaciones nuevas, excepto en los circuitos de distribución en donde se tiene que atender una combinación de cargas monofásicas y trifásicas.

Los transformadores para circuitos trifásicos pueden construirse de dos formas. Una de ellas consiste en tomar tres unidades monofásicas y conectarlas en bancada trifásica. La otra alternativa es proveer un transformador trifásico constituido por tres juegos de devanados arrollados sobre un núcleo común. Estos dos tipos de construcción están mostrados en la figura 1 y 2. La unidad trifásica se prefiere hoy en día, ya que resulta más liviana, más pequeña, más barata y ligeramente más eficiente.

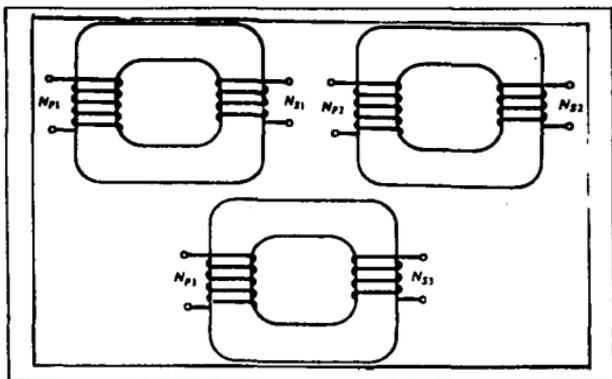


FIG. 1

Banco de transformadores trifásico compuesto por transformadores independientes.

A continuación se presentará brevemente un resumen de las características favorables y desfavorables de la operación del transformador trifásico para las varias combinaciones de conexiones. La diferencia de ángulo de fase entre los valores de fase y línea, o primario y secundario, generalmente no es importante para la utilización de potencia, pero sí lo es para las conexiones de los relays de protección del sistema.

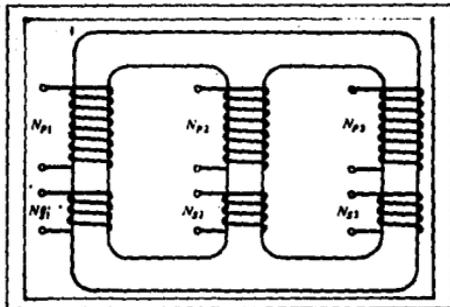


FIG.2
Transformador trifásico tipo nucleo de tres columnas

Una conexión delta - delta (Δ - Δ)

Se usa cuando: 1) Ni el primario ni el secundario requieren un neutro; 2) Los voltajes son bajos o moderados, y 3) Se requieren corrientes relativamente grandes. Los transformadores que se usan en un banco deben tener la misma relación de espiras. Una relación de espiras ligeramente diferentes conduce a grandes corrientes circulantes dentro del banco. Deben tener iguales impedancias equivalentes de dispersión puesto que esto afecta la división de la carga. Los voltajes del primario y del secundario están casi en fase. Por razones económicas o de emergencia, la conexión delta - delta se puede usar con solo dos transformadores. A esta se le llama una operación en delta abierta. La carga trifásica que se puede sacar de los dos transformadores es de el 86.6% de sus capacidades nominales combinadas; o sea un 57.7% de la capacidad del banco cuando se añade un tercer transformador idéntico.

La conexión en estrella - estrella (Y - Y).

Puede usarse con o sin conexiones entre los neutros. Se usan normalmente para sistemas de alta tensión con las corrientes menores resultantes. Bajo condiciones balanceadas, los voltajes del primario y del secundario están casi en fase, pero los voltajes de línea y de fase están desplazados 30° . Cuando se hacen conexiones sólidas del neutro con la fuente, los transformadores pueden cargarse independientemente y de esta manera suministran corriente para carga monofásica. La desventaja es que pueden presentarse interferencias con los sistemas de comunicación, para cargas desbalanceadas, o de la componente de tercera armónica de la corriente de excitación en el neutro. Para neutros aislados, los voltajes de fase no son senoidales cuando se usan tres transformadores monofásicos. Las cargas desbalanceadas conducen a voltajes muy desbalanceados cuando no se usan el neutro en el primario. Las conexiones que se usan más comúnmente son las Y - Δ ó Δ - Y.

B) CONEXIONES ESTRELLA Y DELTA (Δ - Y)

Un transformador trifásico está constituido por tres transformadores, que se encuentran separados o combinados sobre un sólo núcleo. Los primario y los secundarios de cualquiera de ellos conectarse independientemente en (Y) o en delta, dando lugar a un total de cuatro posibilidades de conexión en el transformador trifásico:

- 1.- Estrella - estrella
- 2.- Estrella - delta
- 3.- Delta - estrella
- 4.- Delta - delta

Conexión Y - Y. La fig.3 presenta la conexión Y - Y de transformadores trifásicos. En esta conexión el voltaje primario de fase es $V_p = V_{ll}/\sqrt{3}$, y está relacionada con el voltaje secundario de fase mediante la razón de espiras del transformador. El voltaje secundario de fase y el voltaje secundario de líneas guardan la relación es : $V_{ll} = \sqrt{3}V_{\phi s}$. En consecuencia, la relación de voltajes del transformador es :

$$V_{L_0} = \frac{\sqrt{3}V\phi p}{\sqrt{3}V\phi p} = a$$

La conexión Y - Y presenta dos inconvenientes serios:

- 1.- Si la carga del transformador es desbalanceada, produce fuertes desbalances en los voltajes de fase del transformador.
- 2.- Existe un problema con los terceros armónicos de voltaje.

Si se aplica un sistema trifásico de tensiones a un transformador Y - Y, los voltajes de las diferentes fases estarán apartados 120° entre si. No obstante, los componentes de tercer armónico de las tres fases están en fase entre si, ya que hay tres ciclos del tercer armónico por cada ciclo de transformador debido a la no linealidad del núcleo, y estos componentes se suman dando como resultado un componente mayor de voltaje de tercer armónico superpuesto al voltaje fundamental de 50 ó 60 Hz. Este tercer armónico de tensión puede llegar a ser mayor que el mismo voltaje fundamental.

Los problemas de desequilibrio de voltaje y de tercer armónico pueden solucionarse juntos mediante una de dos técnicas.

- 1.- Conectando sólidamente a tierra los neutros de los transformadores, especialmente el del primario. Esta conexión permite que los componentes de tercer armónico originen corrientes en el neutro en vez de causar sobrevoltajes. Igualmente, el neutro también provee trayectorias de retorno a cualquier desequilibrio de corriente de la carga.

- 2.- Agregar un tercer devanado (terciario) conectando en delta al banco del transformador. Si se añade el devanado terciario conectado en delta, los componentes de tercer armónico de tensión de la delta se suman dando lugar a la circulación de corriente por dicho devanado. Esto suprime los componentes de voltaje de tercer armónico de la misma forma que aterrizado los neutros del transformador.

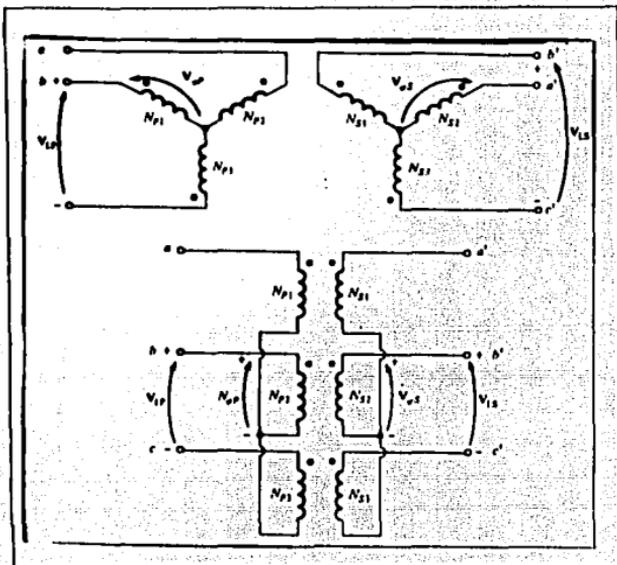


FIG.3
Conexión Y - Y

Como el terciario debe ser aún capaz de soportar las corrientes circulantes, normalmente su capacidad se hace aproximadamente igual a $1/3$ de la potencia nominal de los otros dos devanados.

Una u otra técnica de corrección debe proveerse siempre que se instale un transformador Y - Y. En la práctica la conexión Y - Y se usa muy poco ya que pueden lograrse iguales propósitos con tipo de transformador trifásico.

Conexión Y - Δ

La fig.4 muestra la conexión Y - Δ de transformadores trifásicos. En esta conexión los voltajes primarios de línea y de fase cumplen la relación $V_{Lp} = \sqrt{3}V_{fp}$, mientras que las tensiones secundarias de línea y de fase son iguales $V_{Ls} = V_{fs}$. Así que la relación entre los voltajes de línea del primario y del secundario del banco es :

$$\frac{V_{Lp}}{V_{Ls}} = \sqrt{3}a \quad (\text{Y} - \Delta)$$

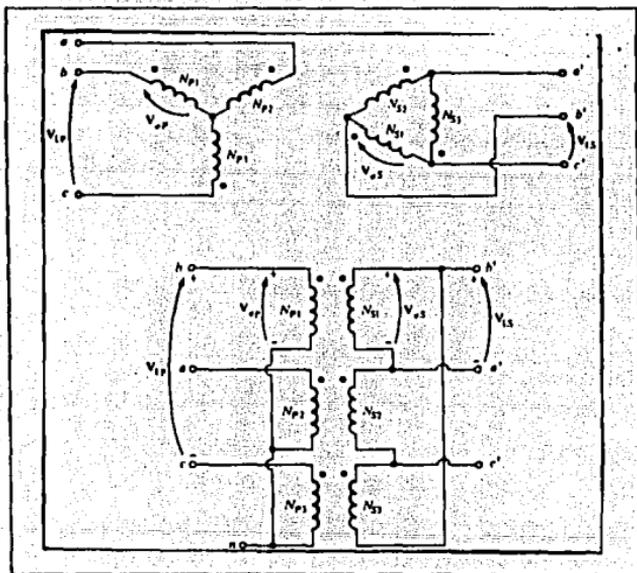


FIG.4
Conexión Y - Δ

La conexión Y - delta no tiene problemas con los componentes de tercer armónico de voltaje, puesto que estos se consumen en corriente circulante en el lado conectado en triángulo. La conexión también es más estable bajo carga desbalanceada, ya que la delta redistribuye el desequilibrio que se presente.

Sin embargo, esta disposición tiene el problema de que debido a la conexión delta, las tensiones secundarias sufren un desplazamiento de 30° con respecto a los voltajes del primario, lo cual puede causar inconvenientes al conectar en paralelo los secundarios de dos bancos de transformadores; los ángulos de fase de las tensiones secundarias deben ser iguales si los transformadores van a conectarse en paralelo. Esto significa que debe ponerse atención a la dirección de los 30° de desplazamiento de cada banco transformador cuando van a conectarse en paralelo.

En los Estados Unidos es costumbre hacer que el secundario atrase el primario en 30°. La conexión de la fig.4 atrasa el voltaje secundario. A pesar de que esto es lo usual, no siempre se ha tenido en cuenta, y las instalaciones antiguas deben verificarse muy cuidadosamente antes de conectarlas en paralelo un transformador nuevo con el fin de asegurarse que sus ángulos coinciden.

Conexión Delta .- En la conexión delta - estrella, los voltajes primario de línea y de fase son iguales $V_{L1} = V_{\phi p}$, mientras que las tensiones secundarias cumplen la relación $V_{L2} = \sqrt{3}V_{\phi s}$ por lo tanto, la relación entre los voltajes de la línea del transformador es :

$$\frac{V_{L1}}{V_{L2}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \dots \dots \dots (\Delta - Y)$$

Esta conexión presenta las mismas ventajas y el mismo desplazamiento de fase de la conexión estrella - delta. La conexión se indica en la fig. 5.

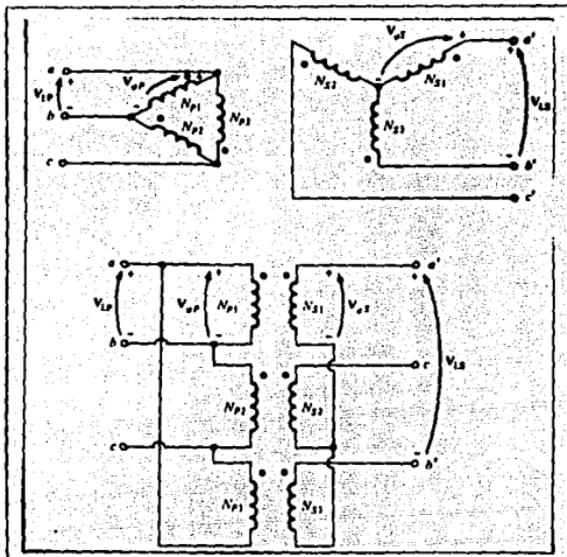


FIG. 5
Conexión $\Delta - \gamma$

Conexión Delta - delta. En la conexión delta - delta los voltajes de línea y de fase en el primario y en el secundario son iguales:

$$V_{lp} = V_{\phi p}$$

$$V_{ls} = V_{\phi s}$$

Así que los voltajes de primarios y secundarios guardan la relación.

$$\frac{V_{lp}}{V_{ls}} = \frac{V_{\phi p}}{V_{\phi s}} = a \quad (\Delta - \Delta)$$

Esta transformación no tiene desfases asociados con ella, y tampoco presenta problemas de armónicos ni de cargas desequilibradas. Su conexión se muestra en la figura 6.

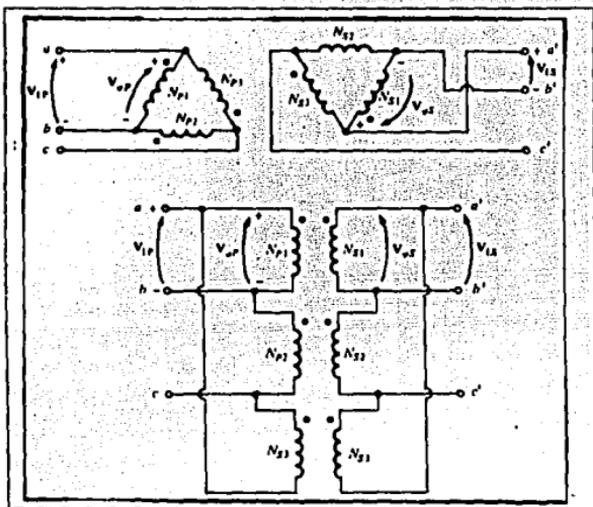


FIG. 6

Conexión $\Delta - \Delta$

C) SECUENCIA DE FASES

Sea cual fuere el método de conexión utilizado, los devanados deben conectarse en la forma que tengan las debidas relaciones de fase. Para determinarlas en un secundario conectado en estrella, el voltaje se mide a través de dos devanados, como se indica en la figura 7. El voltaje A a B debe ser igual a $\sqrt{3}$ veces el voltaje que haya a través de cualquiera de los devanados. Si el voltaje A a B es igual al de cualquiera de los devanados, uno de estos devanados debe invertirse. El tercer devanado, c, se conecta entonces como se indica en la figura 8, y el voltaje C a A ó B, también debe ser igual a $\sqrt{3}$ veces el voltaje de cualquiera de los devanados. Si no es así, habrá que invertir el devanado c.

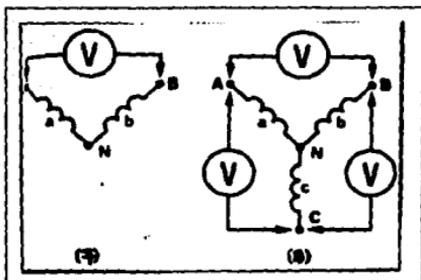


FIG.7 y 8

Para determinar la relaciones de fase apropiadas en un secundario conectado en delta, el voltaje se mide en los dos devanados, como se ilustra en la figura 9. El voltaje A a C debe ser igual al voltaje de cualquiera de los devanados. Si no es así, uno de los devanados se debe invertir. Entonces el devanado c se conecta como se indica en la figura 10, y el voltaje a través de los tres devanados C' y C, debe ser igual a cero. De no ser así el devanado, c se debe invertir. Las terminales abiertas (C' y C) se conectan entonces y el transformador tiene las relaciones de fase adecuadas para una conexión en delta, como se indica en la figura 11.

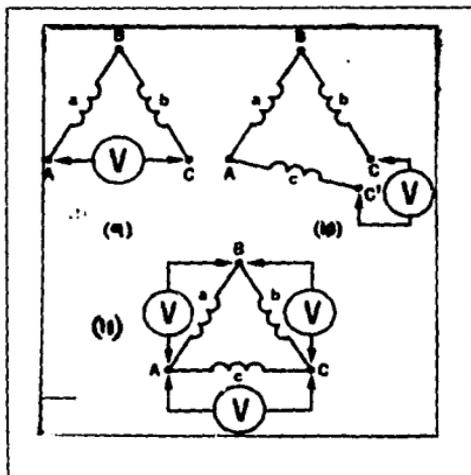


FIG.9,10 y 11

FALLA DE ORIGEN

NOTA: La delta nunca debe cerrarse antes de comprobar que el voltaje dentro de ella es cero. Si no es así, y la delta se cierra, la corriente resultante tendrá la magnitud de un corto circuito y dañará el transformador.

MATERIAL

- * Módulo de fuente de alimentación EMS 8821
- * Módulo de medición de c-a EMS 8426
- * 3 Módulos de transformadores EMS 8341
- * Cables de conexión EMS 8941

PROCEDIMIENTOS

1.- Alambre el siguiente circuito que aparece en la siguiente figura 12 en donde tiene tres transformadores conectados en una configuración estrella - estrella (Y - Y). Conecte la fuente de alimentación y aumente la salida a un voltaje de línea de 120V c-a.

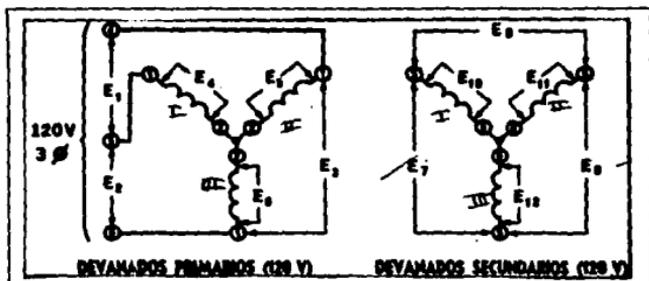


FIG. 12

a) Calcule los voltajes esperados y anote los valores en los espacios correspondientes.

b) Mida los voltajes indicados y anote los valores en los espacios correspondientes.

2.- Alambre el siguiente circuito que aparece en la siguiente figura 13 en donde tiene tres transformadores conectados en una configuración delta - estrella ($\Delta - Y$). Conecte la fuente y aumente lentamente la salida hasta un voltaje de línea a línea de 90 V c-a.

a) Calcule los voltajes esperados y anote los valores en los espacios correspondientes.

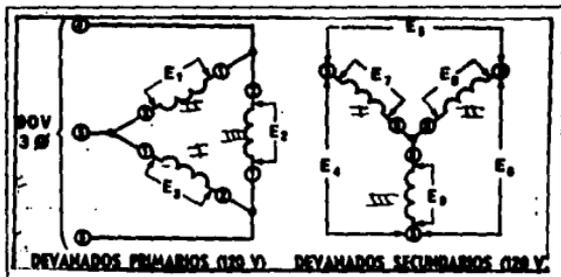


FIG.13

b) Mida los valores indicados y anote los valores en los espacios correspondientes.

3.- Alambre el siguiente circuito tal y como se indica en la figura 14. Abra el secundario conectado en delta en el punto "A" y conecte un voltímetro al circuito abierto. Conecte la fuente de alimentación y aumente lentamente el voltaje de salida. El voltímetro conectado a la delta abierta, en el punto "A" no debe indicar ningún voltaje apreciable si las conexiones en delta tienen la fase debida. Se tendrá un pequeño voltaje ya que, normalmente, no todos los voltajes trifásicos de una fuente trifásica son idénticos y, también, habrá pequeñas diferencias en los tres transformadores.

a) Conecte la fuente de alimentación hasta alcanzar un voltaje de línea a línea de 120 V c-a.

b) Calcule los voltajes esperados y anote los valores en los espacios correspondientes.

c) Mida los voltajes indicados y anote los valores en los espacios correspondientes.

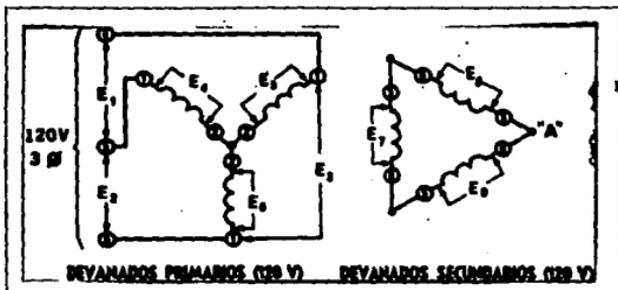


FIG. 14

4.- Alambre el siguiente circuito tal y como se indica en la figura 15. Abra el secundario conectado en delta en el punto "A" y conecte el voltímetro a través de la delta abierta. Conecte la fuente de alimentación y aumente lentamente el voltaje de salida. El voltímetro conectado a la delta abierta, en el punto "A" no indicará ningún voltaje apreciable si las conexiones en delta tienen la fase debida.

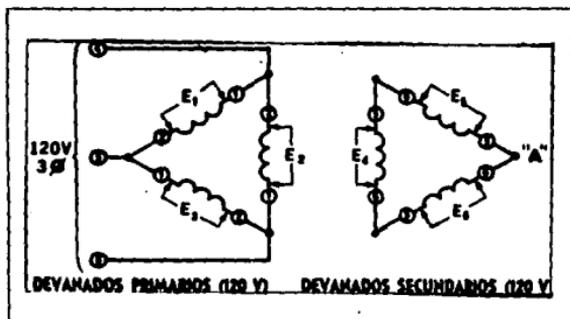


FIG. 15

a) Conecte la fuente de alimentación hasta alcanzar un voltaje de salida de línea a línea de 120V c-a.

b) Calcule los voltajes esperados y anote los valores en los espacios correspondientes.

c) Mida los voltajes indicados y anote los valores en los espacios correspondientes.

5.- Alambre el siguiente circuito tal y como se indica en la figura 16, tiene dos transformadores conectados en una configuración delta abierta. Conecte la fuente de alimentación y aumente lentamente la salida hasta obtener un voltaje de línea a línea de 120V c-a.

a) Calcule los voltajes esperados y anote los valores en los espacios correspondientes.

b) Mida los voltajes indicados y anote los valores en los espacios correspondientes.

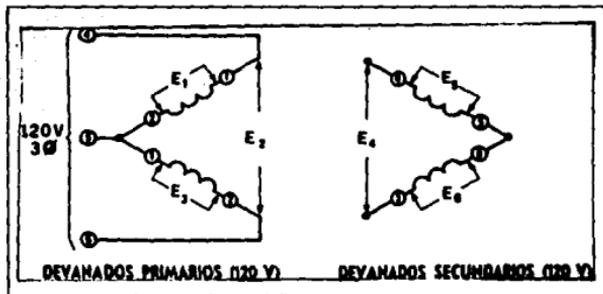


FIG.16

90 FALLA DE ORIGEN

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

1.- ¿Cuál es la diferencia que existe en un transformador trifásico con respecto a un monofásico?

2.- ¿ A que se le llama una conexión delta abierta?

3.- ¿Cuál es la desventaja de un transformador conectado en estrella - estrella?

4.- Si cada transformador tiene una capacidad de 60KVA, ¿Cuál es el total de potencia trifásica que se puede obtener en cada una de las cinco configuraciones?

ESTRELLA - ESTRELLA

ESTRELLA - DELTA

DELTA - ESTRELLA

DELTA - DELTA

5.- Explique como pueden solucionarse los problemas de desequilibrio de voltaje y de tercer armónico.

6.- Explique brevemente la secuencia de fases.

7.- Cuando debe usarse una conexión delta - delta.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA 5

" MOTORES DE INDUCCION "



MOTORES DE INDUCCION

OBJETIVOS

- 1) Observar como influye el campo giratorio y la velocidad del rotor en el voltaje inducido y el rotor.
- 2) Analizar las corrientes del rotor y el estator a diferentes velocidades del motor.
- 3) Observar las características del motor de inducción de rotor, en condiciones de plena carga.
- 4) Observar el control de velocidad mediante el uso de una resistencia externa variable.
- 5) Analizar la estructura de un motor trifásico de jaula de ardilla, así como las características de arranque a plena carga.

INTRODUCCION

La invención de las máquinas de inducción en la década de 1880 completó el sistema c-a de producción, transmisión y utilización de la energía eléctrica, el cual estaba en competencia con el sistema c-d por la aceptación general. El concepto total de la c-a polifásica, que incluye el motor de inducción, fue idea del gran ingeniero yugoslavo NICOLA TESLA (TESLA se nacionalizó norteamericano en 1889). El sistema se patentó en 1888. La primera aplicación en gran escala del sistema polifásico c-a de Tesla fue la planta hidroeléctrica de las Cataratas del Niágara, puesta en marcha en 1895.

Actualmente, la mayor parte de los motores industriales de un caballo de fuerza y los más potentes son máquinas trifásicas de inducción. Las máquinas de inducción no requieren ninguna conexión eléctrica hacia los devanados del rotor. En vez de ella, los devanados del rotor se ponen en cortocircuito. El flujo magnético que atraviesa el entrehierro acopla estos circuitos cerrados del rotor. Según la ley de Faraday, al moverse el rotor puestos en cortocircuito, haciendo fluir corrientes en ellos. El hecho de que la corriente del rotor se origine por inducción, es la base del nombre de esta clase de máquinas. También se les designa máquinas "asíncronas" (es decir, "no sincrónicas") porque su velocidad de operación es ligeramente menor que la velocidad sincrónica en el modo de motor y ligeramente mayor que la velocidad sincrónica en el modo de generador.

Las máquinas de inducción funcionan por lo general en el modo de motor por lo que frecuentemente se les llama "motores de inducción". Como generadores, sus características peculiares los hacen convenientes sólo para algunas aplicaciones especiales. Como motores, tienen muchas ventajas. Son resistentes, relativamente baratos y requieren muy poco mantenimiento. Su potencia puede ser desde los de pocos watts, hasta de 10,000 hp. aproximadamente. La velocidad de un motor de inducción es casi, pero no completamente, constante, pues disminuye un pequeño porcentaje al pasar de vacío hasta plena carga. Las principales desventajas de los motores de inducción son:

- Su velocidad no se controla con facilidad.
- Su corriente de arranque puede ser de cinco a ocho veces la corriente a plena carga.
- Su factor de potencia es bajo y atrasado cuando están ligeramente cargados.
- Para la mayoría de las aplicaciones, sus ventajas superan con mucho a sus desventajas.

A) PARTES CONSTITUTIVAS.

Entre las partes que componen los motores de inducción podemos tomar como referencia al motor de inducción jaula de ardilla, trifásico. Que se muestra en la fig. 5.1 y 5.2. Las partes que lo componen son las siguientes:

FIG. 5.1

SECCION DE UN MOTOR DE INDUCCION DE JAULA DE ARDILLA TRIFASICO.

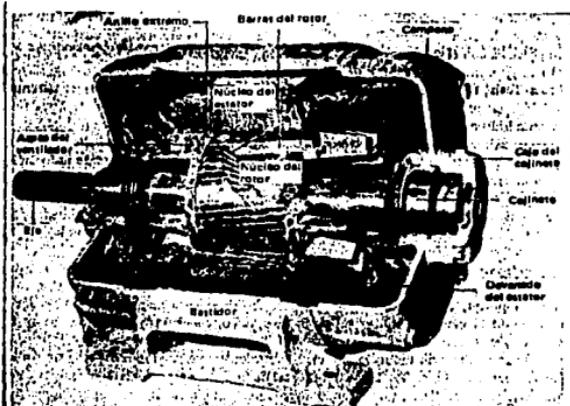
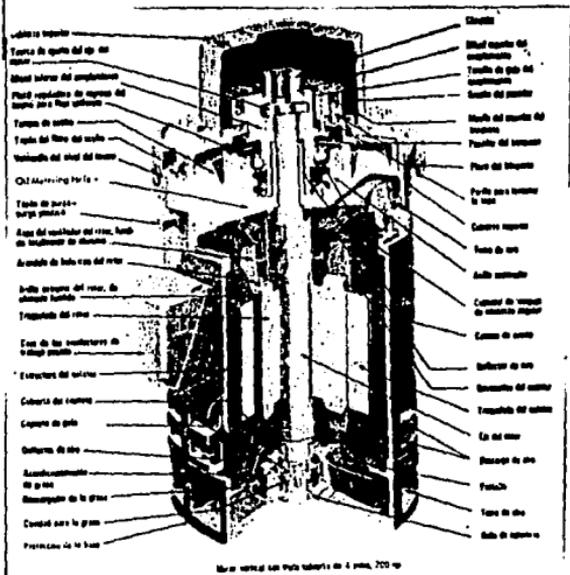


FIG. 5.2

SECCION DE UN MOTOR DE INDUCCION DE JAULA DE ARDILLA VERTICAL.



PARTES CONSTITUTIVAS

**ANILLO EXTREMO
ASPAS DEL VENTILADOR
EJE
BASTIDOR
DEVANADO DEL ESTATOR
COJINETE
CAMPANA
BARRAS DEL ROTOR
NUCLEO DEL ESTATOR
NUCLEO DEL ROTOR
CAJA DEL COJINETE
MITAD INFERIOR DEL ACOPLAMIENTO
PLACA REGULADORA DE REGRESO DEL ACEITE PARA FLUJO
UNIFORME.
TANQUE DE ACEITE
TAPON DEL FILTRO DEL ACEITE
VENTANILLA DEL NIVEL DE ACEITE
TAPON DE PURGA-PURGA POSITIVA
ASPA DEL VENTILADOR DEL ROTOR, FUNDIDO TOTALMENTE
DE ALUMINIO.
ARANDELA DE BALANCEO DEL ROTOR
ANILLO EXTREMO DEL ROTOR, DE ALUMINIO FUNDIDO
TROQUELADO DEL ROTOR
CAJA DE LOS CONDUCTORES DE TRABAJO PESADO
ESTRUCTURA DEL ESTATOR
CUBIERTA DEL COJINETE
COJINETE DE GUIA
DEFLECTOR DE AIRE
ACONDICIONAMIENTO DE GRASA
DESCARGADOR DE LA GRASA
CAVIDAD PARA LA GRASA
PROTECCION DE LA BASE
CHAVETA
MITAD SUPERIOR DEL ACOPLAMIENTO
TORNILLO DE GUIA DEL ACOPLAMIENTO
SOSTEN DEL PASADOR
MUELLE DEL PASADOR DEL TRINQUETE
PASADOR DEL TRINQUETE
PLACA DEL TRINQUETE
PERILLA PARA LEVANTAR LA TAPA
CUBIERTA SUPERIOR
TOMA DE AIRE
ANILLO SEPARADOR
COJINETE DE EMPUJE DE CONTACTO ANGULAR
CAMISA DE ACEITE
DEFLECTOR DE AIRE
DEVANADOS DEL ESTATOR
TROQUELADO DEL ESTATOR
EJE DEL ROTOR
DESCARGA DE AIRE
PANTALLA
TOMA DE AIRE
SELLO DE LABERINTO**

B) MOTOR DE INDUCCION ROTOR DEVANADO

El otro tipo de rotor es el denominado rotor devanado, que tiene un arrollamiento trifásico completo que es una imagen reflejada del devanado del estator. Las tres fases del arrollamiento de este rotor, usualmente se conecta en Y y sus extremos se conectan a unos anillos rozantes montados en el eje. Los devanados del rotor se pueden poner en cortocircuito a través de un conjunto de escobillas que están en contacto con los anillos rozantes. También se pueden insertar resistencias exteriores en el circuito del rotor, ya que en los motores de inducción de rotor devanado se tiene acceso a las corrientes del rotor a través de las escobillas. De este hecho es posible obtener ventajas para modificar la característica par-velocidad del motor.

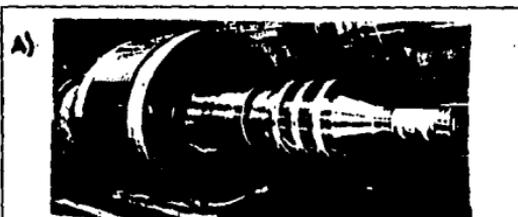
Si los devanados del rotor están en corto circuito el voltaje inducido producirá grandes corrientes circulantes en los devanados. Para suministrar esta corriente de rotor, la corriente del estator debe aumentar por encima del nivel ordinario de la corriente de excitación. La potencia (VA) consumida en los devanados del rotor (y los circuitos asociados), debe ser suministrada por los devanados del estator. Por lo tanto, debe suceder lo siguiente:

- 1) Cuando el motor está parado o abaja velocidad, las corrientes del rotor, las del estator y el par, serán elevadas.
- 2) A la velocidad síncrona, la corriente del rotor y el par serán cero, y el estator sólo llevará la corriente de excitación.
- 3) A cualquier velocidad del motor, las corrientes y el par desarrollado tomarán valores entre ambos extremos.

Si las escobillas se conectan a través de reóstatos, se puede desarrollar un par de arranque más elevado que el que se obtiene con un motor de jaula de ardilla. Conforme el motor se acerca a la velocidad normal de operación, la resistencia se reduce y queda fuera. Aunque el par de arranque es más alto, no es tan eficiente como el de jaula de ardilla a velocidad plena, debido a la resistencia de los devanados.

Una característica especial del motor de rotor devanado, es su capacidad para operar a velocidades variables. Si se hace variar la resistencia del reóstato, se puede hacer variar el deslizamiento y, por lo tanto, la velocidad del motor. En estos casos, la operación del motor a una velocidad menor que la plena significa que éste funciona a una eficiencia y potencia reducidas. Además, el motor se hace más susceptible a variaciones en velocidad cuando la carga varía, debido a la alta resistencia del rotor. Se muestra en la fig.5 .3

A) MOTOR DEVANADO TÍPICO PARA UN MOTOR DE INDUCCIÓN.



B) SE NOTAN LOS ANILLOS ROZANTES Y LAS BARRAS QUE CONECTAN EL DEVANADO DEL ROTOR CON LOS ANILLOS ROZANTES.

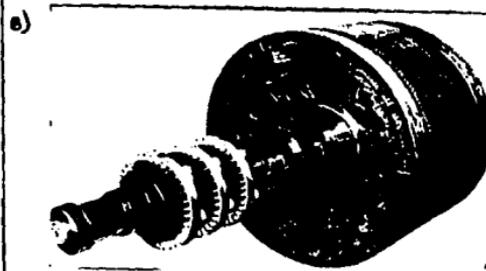
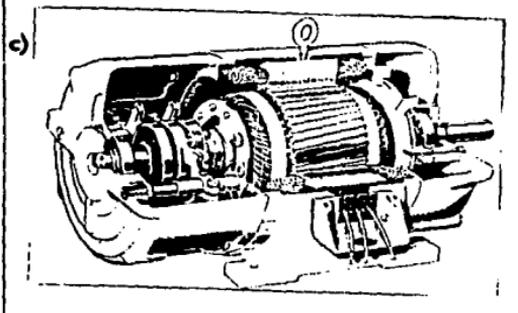


FIGURA 5.3

C) MOTOR DE INDUCCIÓN DE ROTOR DEVANADO.



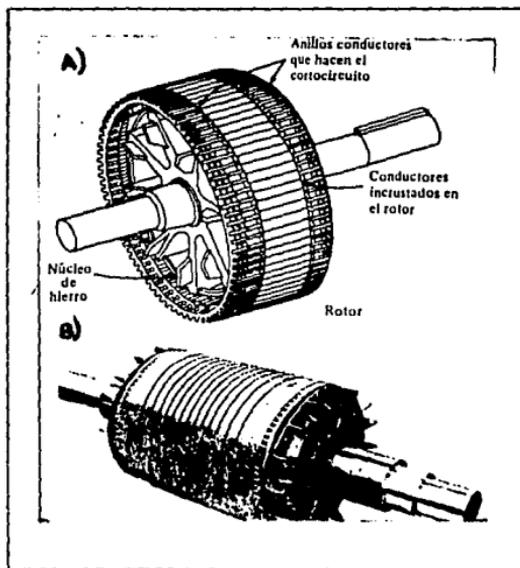
EN EL ROTOR DE JAULA DE ARDILLA

El rotor más sencillo y de mayor aplicación en los motores de inducción, es el que se denomina de jaula de ardilla. Los conductores rotóricos están cortocircuitados en cada extremo mediante anillos terminales continuos; de ahí el nombre "JAULA DE ARDILLA": Fig. 5.4(a) y (b). En los rotores grandes, los anillos de los extremos están soldados en lugar de fundidos con los conductores. Las barras del rotor de jaula de ardilla no siempre se mantienen paralelas a la longitud axial del rotor sino que pueden disponerse formando un cierto ángulo con el eje del rotor a fin de impedir el cosido electromagnético, para producir un par más uniforme y para reducir el zumbido magnético durante el funcionamiento del motor.

A) ROTOR JAULA DE ARDILLA.

FIG 5.4(a)

B) ROTOR JAULA DE ARDILLA TÍPICO



El rotor de jaula de ardilla se compone de un núcleo de hierro laminado que tiene ranuras longitudinales alrededor de su periferia. Barras sólidas de cobre o aluminio se presionan firmemente o se incrustan en las ranuras del rotor.

A) MOTOR DE
INDUCCION TIPICO
DE JAULA DE
ARDILLA DE TAMAÑO
PEQUEÑO.

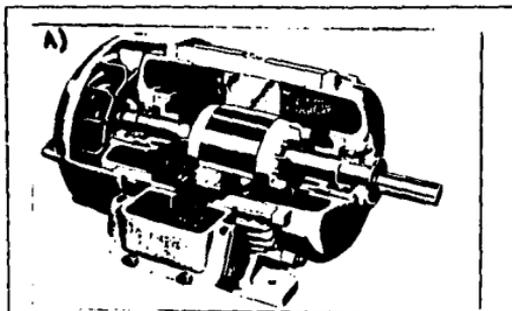
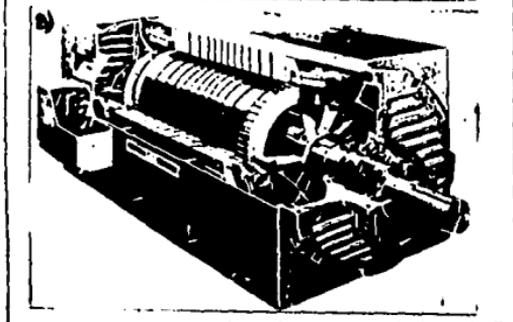


FIG. 5.4(b)

B) MOTOR DE
INDUCCION TIPICO
DE JAULA DE
ARDILLA DE TAMAÑO
GRANDE.



Cuando el campo comienza a girar, sus líneas de flujo cortan las barras de corto circuito que están alrededor de la superficie del rotor de jaula de ardilla y generan voltajes en ellas por inducción electromagnética. Estos campos locales de flujo del rotor producen sus propios polos magnéticos que son atraídos hacia el campo giratorio. Por lo tanto, el rotor gira con el campo principal.

El par de arranque del motor de inducción de jaula de ardilla es bajo, debido a que en reposo el rotor tiene una reactancia inductiva (X_r) relativamente grande con respecto a su resistencia (R). En estas condiciones, se podría esperar que la corriente del rotor tuviera un atraso de 90 grados en relación al voltaje del rotor. Por lo tanto, se puede decir que el factor de potencia del circuito es bajo. Esto significa que el motor es ineficiente como carga y que no puede tomar de la fuente de alimentación una energía realmente útil para su operación.

C) CAMPOS MAGNETICOS GIRATORIO

Mediante un grupo polifásico de devanados desplazados en el espacio sobre un inducido, puede producirse un campo magnético giratorio resultante y constante que gira a la velocidad de sincronismo ($S=120f/P$). Si las corrientes que circulan por los devanados también están defasadas temporalmente. Por ejemplo, si un devanado bifásico también está defasado físicamente en el estator en 90° , se producirá una excitación giratoria constante ya que las corrientes de fase también están defasadas en el tiempo. Todas las máquinas de inducción trifásica, por consiguiente, a fin de producir un campo magnético constante, requieren tres devanados idénticos defasados en el estator en 120° y por los que circulan corrientes defasadas también 120° en el tiempo. La figura 1.a muestra el diagrama vectorial de las corrientes que circulan en un inducido estatístico trifásico de secuencia de fase ABCA. En la figura 1.b puede verse la relación gráfica y la variación senoidal de cada corriente para un ciclo. La figura 1.c indica el desplazamiento en el espacio de un devanado trifásico concentrado típico, conectado en estrella

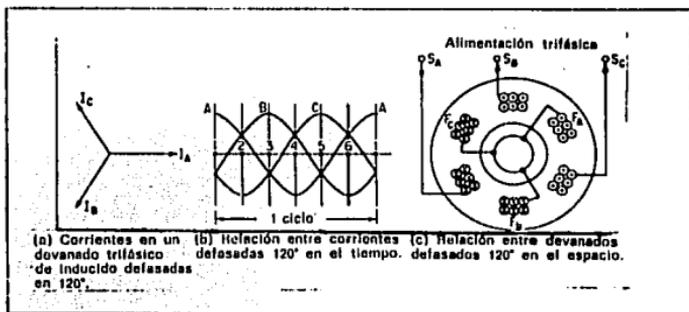


FIG. 1

PRODUCCION DE UN CAMPO MAGNETICO GIRATORIO CONSTANTE
 A UNA VELOCIDAD DE SINCRONISMO

Puesto que en el periodo o intervalo de tiempo de la variación senoidal de la corriente, indicado en la figura 1.b, es el mismo en los conductores, la velocidad del campo magnético giratorio varía en proporción directa con la frecuencia pero en proporción inversa con el número de polos. Una vez más ($S=120f/P$). Por lo tanto, la velocidad del campo giratorio en la figura 1 a la frecuencia de 60 Hz es de 3600 rpm. Análogamente, la velocidad del campo giratorio (con referencia a un polo N) en la figura 2.a es 1800 rpm y en la figura 2.b es 1200 rpm y así sucesivamente.

Podemos considerar, pues, que la naturaleza del devanado del estator, en relación a la frecuencia y el número de polos, producirá un campo magnético giratorio de magnitud constante de cuya velocidad de giro o de sincronismo se expresa mediante $S=120f/2n$. Como quiera que número de polos depende tan sólo de n (el devanado utilizado) la velocidad de sincronismo del campo magnético giratorio de una máquina asíncrona DETERMINADA es realmente función de la frecuencia.

El campo magnético giratorio producido que se indica en la figura 1 proporciona una rotación en el sentido de las agujas del reloj para la secuencia de fase ABCABC, dada en la figura 1.b.

Si dos conexiones CUALESQUIERA de las bobinas estáticas de la figura 1.c se intercambiasen, la secuencia de fase invertida determinaría la inversión del sentido de rotación del campo magnético. Al igual que en el caso del motor síncrono de c-a., veremos que el rotor gira en el MISMO sentido que el campo magnético giratorio, pero ello está basado ahora en el principio del motor de inducción. En consecuencia, el sentido de rotación de cualquier motor de inducción puede invertirse (invirtiendo simplemente la secuencia de fase) intercambiando dos cualesquiera de las tres conexiones a las barras de alimentación trifásica.

En el sistema trifásico se genera un campo magnético giratorio mediante tres fases, en lugar de dos. Cuando el estator de un motor trifásico se conecta a una fuente de alimentación trifásica, la corriente pasa por los tres devanados del estator y establece un campo magnético giratorio. Estas tres corrientes de excitación proporcionan la potencia reactiva para establecer el campo magnético giratorio. También proporcionan la potencia que consume el motor debido a las pérdidas en el cobre y en el hierro.

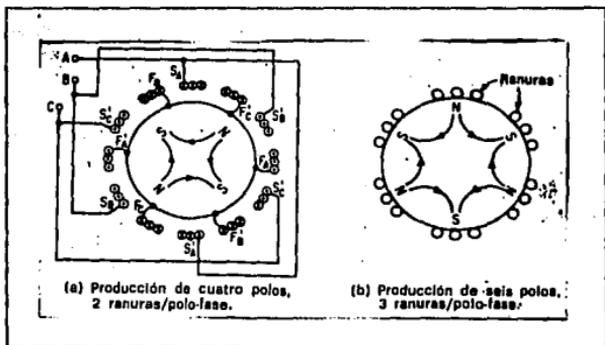


FIG. 2

CAMPOS GIRATORIOS TETRA Y HEXAPOLARES

La velocidad del campo magnético giratorio queda determinada por la frecuencia de la fuente de alimentación trifásica y se conoce como velocidad síncrona. El campo giratorio del estator induce un voltaje alterno en cada devanado del rotor. Cuando el rotor está estacionario, la frecuencia del voltaje inducido en el rotor es igual a la de la fuente de alimentación. Si el rotor gira en el mismo sentido que el campo giratorio del estator, disminuye la velocidad a la que el flujo magnético corta los devanados del rotor. El voltaje inducido y su frecuencia bajarán también. Cuando el rotor gira a la misma velocidad y en el mismo sentido, que el campo giratorio del estator, el voltaje inducido y la frecuencia caen a cero. (El rotor está ahora a la velocidad síncrona). Por el contrario, si el rotor es llevado a la velocidad síncrona pero en sentido opuesto al campo giratorio del estator, el voltaje inducido y su frecuencia serán el doble de los valores de los valores que se tienen cuando el rotor está parado.

A continuación se darán algunas características del módulo de inducción de rotor devanado (EMS 8231) el cuál se utilizará a lo largo de está practica:

- * La corriente nominal de los devanados del estator es de 1.5 A
- * El voltaje nominal de los devanados del estator es de 120V
- * Los tres devanados del rotor están conectados en ESTRELLA
- * El voltaje nominal de los devanados del rotor es de 60V
- * La corriente nominal de los devanados del rotor es de 2A
- * La velocidad nominal es de 1500 r/m
- * La potencia nominal es de 1/4HP

MATERIAL

- | | |
|--|----------|
| * Módulo de fuente de alimentación | EMS 8821 |
| * Módulo de motor de inducción de rotor devanado | EMS 8231 |
| * Módulo motor/generador de c-d | EMS 8211 |
| * Módulo de wattímetro trifásico | EMS 8441 |
| * Módulo de medición de c-a | EMS 8425 |
| * Módulo de medición de c-a | EMS 8426 |
| * Tacómetro de mano | EMS 8920 |
| * Módulo de electrodinamómetro | EMS 8911 |
| * Módulo de reóstato para el control de velocidad | EMS 8731 |
| * Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla | EMS 8221 |
| * Cables de conexión | EMS 8941 |
| * Banda | |

DESARROLLO

1) Conecte el circuito que se ilustra en la fig.3, utilizando los módulos EMS de motor/generador de c-d, motor de rotor devanado, wattímetro trifásico, fuente de alimentación y medición de c-a.

a) El réostato de campo se hace girar a su posición extrema en el sentido de las manecillas del reloj (para una resistencia mínima)

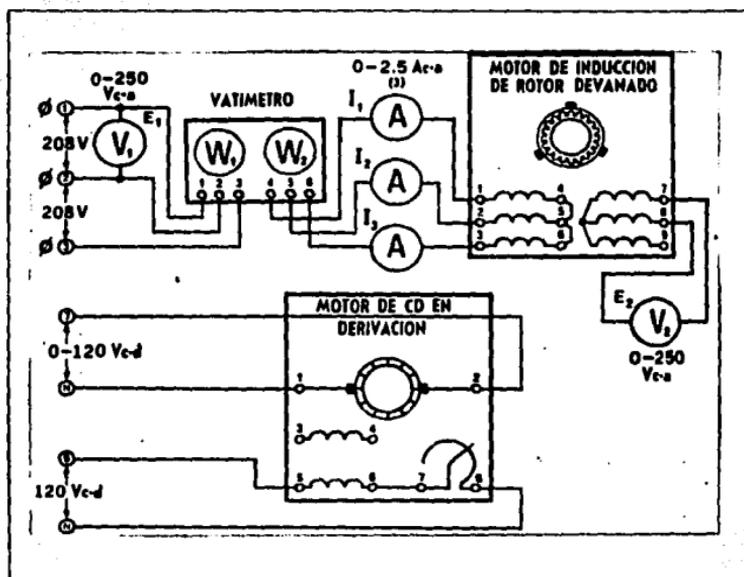


FIG. 3

b) Observe que el voltaje trifásico de entrada se mide por medio de V_1 y que el voltaje trifásico de salida del rotor se mide por medio de V_2 .

c) Acople el motor/generador de c-d al motor de rotor devanado, por medio de la banda.

d) Conecte la fuente de alimentación, mantenga en cero el control del voltaje variable de salida (el motor de c-d debe estar parada)

e) Mida anote y calcule los siguientes datos :

$E_1 =$ _____ $W_1 =$ _____ $W_2 =$ _____ $I_1 =$ _____

$I_2 =$ _____ $I_3 =$ _____ $E_2 =$ _____

Calcule lo siguiente:

a) Potencia aparente

b) Potencia real

c) Factor de potencia

d) Potencia reactiva

2) Conecte la fuente de alimentación y ajuste el voltaje de salida variable de c-d para una velocidad del motor de exactamente de 900r/m. Si el valor de E_1 es menor que el del procedimiento 1, desconecte la fuente de alimentación e intercambie dos de los tres cables del estator. Mida y anote los siguientes datos:

$E_1 =$ _____ $W_1 =$ _____ $W_2 =$ _____

$I_1 =$ _____ $I_2 =$ _____ $I_3 =$ _____

3) Aumente el voltaje variable de salida de c-d a 120V c-d, y ajuste el reóstato de campo a una velocidad del motor de exactamente 1800r/min. Mida y anote los siguientes datos:

$E_1 =$ _____ $W_1 =$ _____ $W_2 =$ _____

$I_1 =$ _____ $I_2 =$ _____ $I_3 =$ _____

a) En los procedimientos 2 y 3, ¿gira el motor en el mismo sentido o en sentido contrario al del campo giratorio del estator? _____ Explique porqué _____

4) Conecte el circuito que se ilustra en la fig. 4, utilizando los módulos EMS de motor con rotor devanado, electrodinamómetro, fuente de alimentación de c-a.

a) Acople el electrodinamómetro por medio de la banda.

b) Ajuste la perilla de control de dinamómetro a su posición extrema haciéndola girar en el sentido de las manecillas del reloj. (A fin de proporcionale al motor la máxima carga de arranque).

c) Conecte la fuente de alimentación y ajústela a un voltaje E_1 de 100V c-a. El motor debe girar con lentitud.

d) Mida y anote las tres corrientes del rotor y el par desarrollado.

$I_1 =$ _____ A c-a

$I_2 =$ _____ A c-a

$I_3 =$ _____ A c-a

Par = _____ lbf.plg

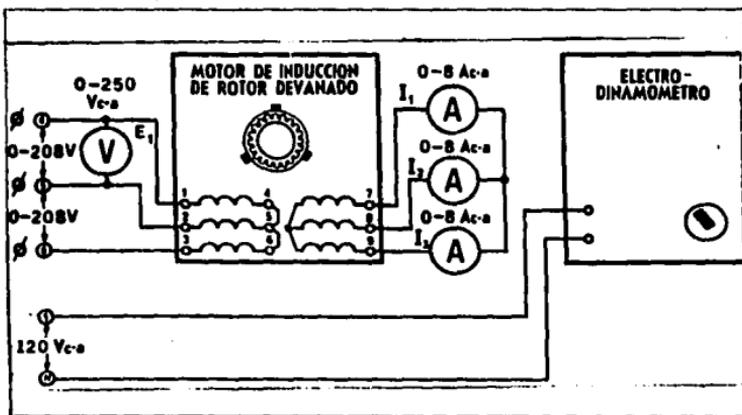


FIGURA 4

5) Conecte el circuito que se ilustra en la figura 5. Ajuste la perilla de control del dinamómetro en su posición extrema haciéndola girar en el sentido de las manecillas del reloj (para proporcionar una máxima carga en el arranque, al motor)

a) Conecte la fuente de alimentación y mida rápidamente E_1 , I_1 , I_2 , I_3 y el par desarrollado. Desconecte la fuente de alimentación.

$I_1 =$ _____ Ac-a $I_2 =$ _____ Ac-a

$E_1 =$ _____ V c-a Par = _____ Lbf.plg

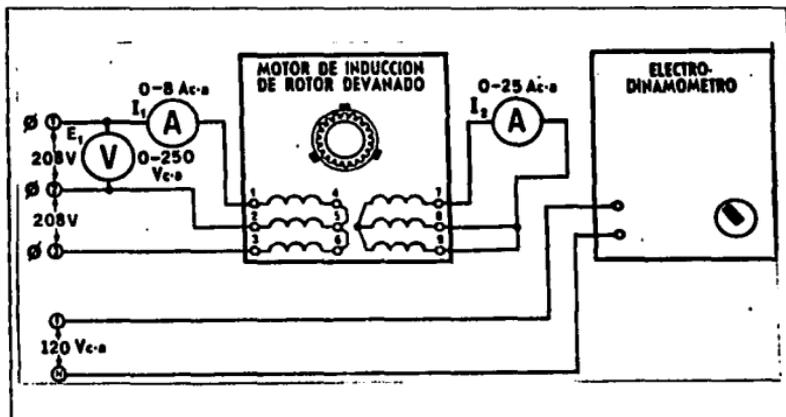


FIG. 5

b) Calcule la potencia aparente del motor para el par de arranque.

6) Examine la estructura del módulo EMS de reóstato de control de velocidad y observe el diagrama que aparece en la cara del módulo. Observe que los tres reóstatos están unidos y sus resistencias individuales varían simultáneamente, cuando se hace girar la perilla de control.

a) Conecte el circuito que se ilustra en la fig. 6 utilizando los módulos de motor de rotor devanado, electrodinamómetro, wattímetro, reóstato de control de velocidad, fuente de alimentación de c-a.

b) El reóstato de control de velocidad debe tener una resistencia de cero, la perilla de control del dinamómetro en su posición extrema haciéndola girar en el sentido contrario de las manecillas del reloj.

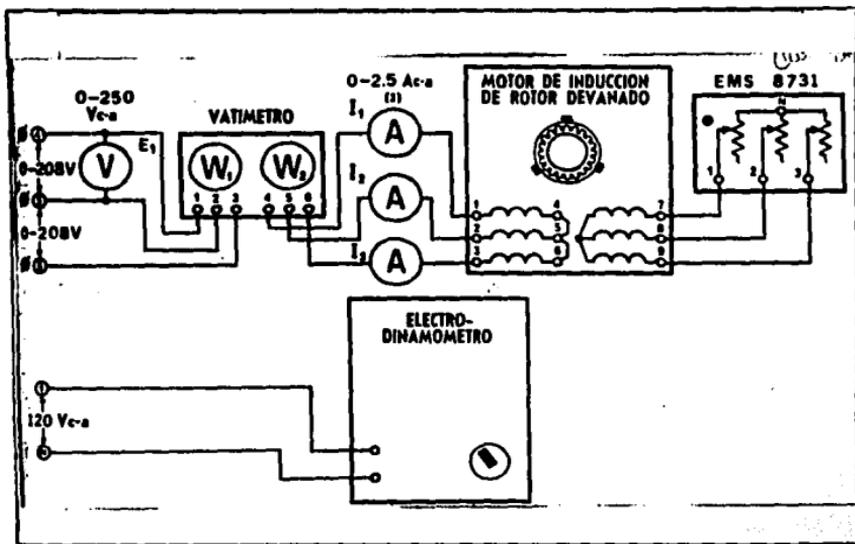


FIGURA 6

c) Conecte la fuente de alimentación y ajuste E_1 a 208V manteniendo el voltaje de entrada para cada uno de los pares indicados en la tabla 6.1. Mida y anote sus resultados en dicha tabla.

PAR (LBF. P LG)	I_1 (AMPS)	I_2 (AMPS)	I_3 (AMPS)	W_1 (WATTS)	W_2 (WATTS)	VEL. (R/MIN)
0						
3						
6						
9						
12						

TABLA 6.1

7) Del circuito anterior a continuación. Ponga la perilla de control de velocidad del reóstato en su posición extrema haciéndola girar en el sentido de las manecillas del reloj, para tener la resistencia máxima, ponga la perilla del control del dinamómetro en su posición extrema, haciéndola girar en el sentido contrario al de las manecillas del reloj.

a) Conecte la fuente de alimentación y ajuste E, a 208 manteniendo el voltaje de entrada para cada uno de los pares indicados en la tabla 6.2. Mida y anote sus resultados en dicha tabla.

PAR (LBF.PLG.)	I_1 (AMPS)	I_2 (AMPS)	I_3 (AMPS)	W_1 (WATTS)	W_2 (WATTS)	VEL. (R/MIN)
0						
3						
6						
9						

TABLA 6.2

b) Con un par de 9lbf-plg, haga girar la perilla de control de velocidad del reóstato dándole toda la vuelta desde una posición extrema, hasta la otra.

¿ Cambia la velocidad?

¿ Varía el par desarrollado?

8) En seguida se darán algunas características del módulo EMS 8221 de motor de inducción de jaula de ardilla el cual se utilizará a lo largo de esta practica.

* La corriente nominal de los devanados del estator es de

* el voltaje nominal de los devanados del estator es de 120V

* La velocidad nominal es de 1670 rev/min

* La potencia nominal 1/4 Hp

a) Conecte el circuito que se ilustra en la fig. 7 utilizando los módulos EMS de motor de jaula de ardilla, electrodinamómetro, wattímetro trifásico, fuente de alimentación y medición de c-a.

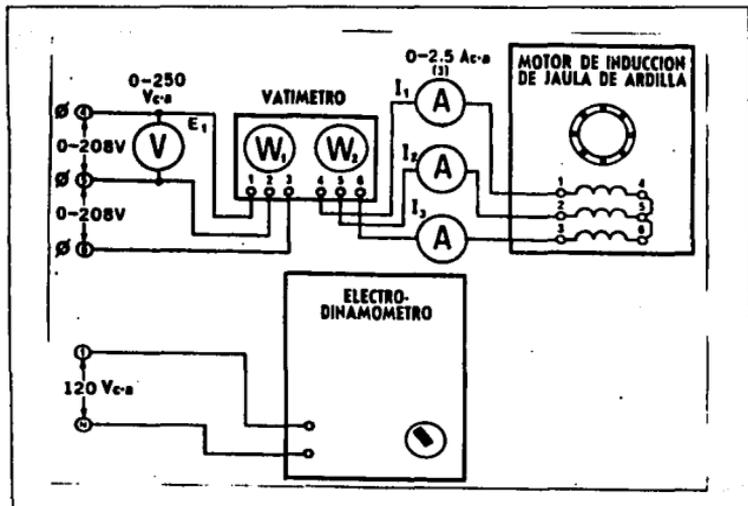


FIGURA 7

b) Gire la perilla de control del dinamómetro a su posición extrema haciéndola girar en el sentido contrario al de las manecillas del reloj.

c) Conecte la fuente de alimentación y ajuste E, a 208V, manteniendo, el voltaje de entrada para cada uno de los pares indicados en la tabla 7.1. Mida y anote sus resultados en dicha tabla.

PAR (LBF.P LG)	I_1 (AMPS)	I_2 (AMPS)	I_3 (AMPS)	W_1 (WATTS)	W_2 (WATTS)	VEL. (R/MIN)
0						
3						
6						
9						
12						

TABLA 7.1

9) Conecte el circuito que se ilustra en la fig. 8. Ponga la perilla de control de dinamómetro en su posición extrema haciéndola girar en el sentido de las manecillas del reloj (carga máxima en el arranque)

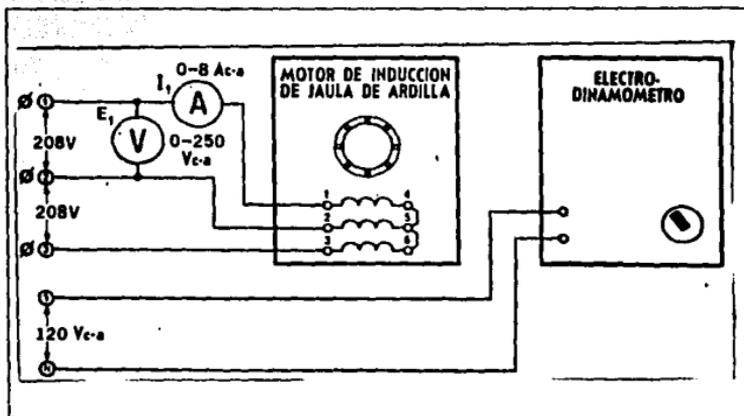


FIGURA 8

a) conecte la fuente de alimentación y mida rápidamente E_1 , I_1 y el par de arranque desarrollado.

$$E_1 = \text{-----} Vc-a \quad I_1 = \text{-----} Ac-a$$

$$\text{Par de arranque} = \text{-----} \text{Lbf.plg}$$

$$\text{Potencia aparente} = \text{-----} \text{VA}$$

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

- 1) ¿Determine el número de polos que tiene el motor de inducción de rotor devanado?

Utilizando la formula:

$$r/\text{min} = 120f/p$$

Donde :

r/min = velocidad síncrona

f = Frecuencia de la línea de potencia

p = número de polos del estator

-
-
-
- 2) ¿Qué tipo de potencia se necesita para producir el campo magnético en el motor?
-
-
-

- 3) ¿Que tipo de potencia se requiere suministrar para compensar las perdidas asociadas con la producción del campo magnético ?
-
-
-

4) Suponiendo que la velocidad del motor a plena carga (I_{hp}), es 1500 r/min, calcule el valor del par a plena carga utilizando la fórmula:

$$Hp = \frac{(r/min)(lbf.plg)(1.59)}{100000}$$

4a) Calcule la relación del par de arranque al par a plena carga:

5) De los resultados obtenidos en la tabla 6.1, calcule las características para 91bf.plg, del motor de rotor devanado (trabajando con una resistencia externa del motor de cero ohms)

a) Corriente media

b) Potencia aparente

c) Potencia real

d) Potencia reactiva

e) Factor de potencia

f) Potencia en (hp)

g) Eficiencia

6) De los resultados obtenidos en la tabla 6.2, calcule las características para 91bf.plg, del motor de rotor devanado (trabajando con una resistencia externa del motor de 16 ohms)

a) Corriente media

b) Potencia aparente

c) Potencia real

d) Potencia reactiva

e) Factor de potencia

f) Potencia en (hp)

g) Eficiencia

7) De los resultados obtenidos en la tabla 7.1 calcule las características a 9 lbf.plg del motor de jaula de ardilla.

a) Corriente media

b) Potencia aparente

c) Potencia real

d) Potencia reactiva

e) Factor de potencia

f) Potencia en (hp)

g) Eficiencia

8) Compare las características de operación de jaula de ardilla con las del motor de rotor devanado.

9) ¿Cuales son las principales desventajas de los motores de inducción?

10) La velocidad del campo magnético queda determinada por:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA 6

" MAQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA "



MAQUINAS DE CORRIENTE DIRECTA

OBJETIVOS

- 1.- Analizar las características del par en función de la velocidad de los motores: En derivación, compuesto y serie.
- 2.- Calcular la eficiencia de los motores : En derivación, compuesto y serie.

INTRODUCCION

Las primeras fuentes artificiales de corriente eléctrica fueron las baterías, y por lo tanto, las primeras máquinas electromagnéticas que se desarrollaron fueron las máquinas c-d. Thomas A. Edison estableció la primera planta central de energía para el suministro de una parte de la Ciudad de Nueva York, empleando generadores c-d. Cuando la corriente alterna reemplazó a los c-d en la generación y transmisión de energía eléctrica, las máquinas de inducción y síncronas sustituyeron en gran parte a las máquinas c-d como los motores y los generadores. Aún actualmente, las máquinas c-d representan del 25 al 30% del total en dólares de las ventas y la construcción de las máquinas eléctricas ¿Por qué? En primer lugar, la mayoría de los vehículos que transitan por carreteras usan baterías de plomo - ácido para almacenar la energía eléctrica. Los motores de arranque y los que accionan limpiadores de parabrisas, ventiladores y otros accesorios en los vehículos, son motores c-d. Literalmente, millones de motores c-d se fabrican cada año para estos fines. En segundo lugar, en las aplicaciones que requieren un control costo, relativamente alto, y de sus exigencias de mantenimiento, los motores c-d se eligen casi universalmente para mover las máquinas excavadoras de gran potencia, los talleres de laminación de acero y de aluminio de tierra. Todas estas aplicaciones requieren las características de control preciso propias de los motores c-d.

A) PARTES CONSTITUTIVAS.

Elementos de una máquina de c-d: Se muestran en la siguiente figura.

- 1.- Eje
- 2.- Cojinete
- 3.- Entrada de aire
- 4.- Bobina del campo
- 5.- Núcleo de la armadura (laminado)
- 6.- Bobinas de la armadura
- 7.- Conductores verticales del conmutador
- 8.- Conmutador
- 9.- Yugo y estructura del estator
- 10.- Soporte para la entrada de las escobillas
- 11.- Orejas
- 12.- Terminador de cable
- 13.- Placa de montaje para tacómetro y otros sensores de control
- 14.- Entrehierro
- 15.- Trayectoria de flujo
- 16.- Yugo del estator
- 17.- Zapata de polo
- 18.- Devanado de campo
- 19.- Núcleo de polo

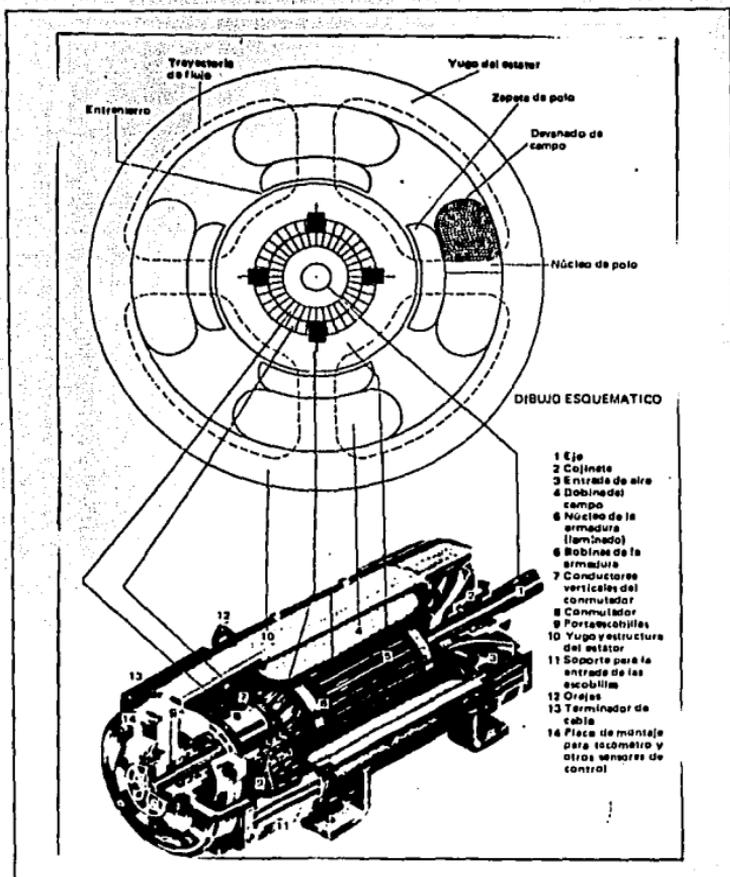
El devanado de la armadura : Se compone de bobinas encajadas en ranuras en el rotor.

La armadura: Tiene un núcleo cilíndrico de acero, que consiste de un apilamiento de láminas ranuradas. Las láminas ranuradas de las láminas se alinean para formar estrías axiales en la superficie cilíndrica exterior del núcleo, en las cuales se sitúan los lados de las bobinas del devanado de la armadura.

Los polos de campo : Están situados en el estator y se proyecta hacia adentro, desde la superficie interior del cilindro de hierro que forma el yugo del estator. Este sirve como una trayectoria de regreso para el flujo de polo.

Conmutador. El conmutador está formado por segmentos radiales de cobre, separados unos de otros por un material aislante, generalmente mica.

Escobillas. Las escobillas de carbón conducen la corriente hacia las bobinas de la armadura, dichas escobillas se mantienen apoyadas contra la superficie cilíndrica del conmutador por la fuerza de muelle.



ELEMENTOS DE MAQUINA DE CD

B) MOTOR EN DERIVACION

Un motor de cc en derivación es un motor cuyo circuito de campo toma su potencia directamente de las terminales de la armadura del motor.

La velocidad de cualquier motor de c-d depende directamente de su voltaje de armadura y de la intensidad del campo magnético. En un motor en derivación, el devanado de campo y el de la armadura se conectan en paralelo directamente a las líneas de alimentación de c-d.

Características terminales de un motor de cc en derivación

Para un motor, las cantidades de salida son el par en el eje y la velocidad. Cuando el par carga exceda el par producido rind en la máquina, el motor comenzará a ir más despacio. Cuando va más lento, el voltaje generado cae ($E_A = K \omega$) así que la corriente de armadura en el motor $I_a = (V_t - E_A) / R_a$ se incrementa. Como la corriente de armadura se eleva, incrementa el par producido en el motor y finalmente el par producido será igual al par de la carga a una menor velocidad mecánica de rotación.

$$\omega = \frac{V_t}{K\phi} - \frac{R_a}{(K\phi)^2} \tau_{load}$$

Esta ecuación es, en efecto, una línea recta. La característica resultante par-velocidad del motor en derivación se muestra en la figura 1.

Es importante aclarar que la velocidad del motor varía linealmente con el par, siempre y cuando los otros términos en esta expresión permanezcan constantes con la variación de la carga. Se asume que el voltaje en terminales suministrado por la fuente de cc, es constante; si no es constante, entoces las variaciones de voltaje afectarán la forma de la curva par-velocidad.

Otro efecto interno del motor que puede afectar la forma de la curva para velocidad, es la reacción de armadura. Si un motor tiene reacción entonces cuando se incrementa su carga, el efecto desmagnetizante reduce su flujo. El efecto de una reducción en el flujo, a cualquier carga dada, es un incremento de la velocidad del motor, con respecto a la velocidad que giraría sin reacción de armadura. En la figura 1 se muestra la característica par-velocidad de un motor en derivación con reacción de armadura. Si un motor tiene devanados de compensación por supuesto no habrá problemas por el efecto desmagnetizante en la máquina y su flujo permanecerá constante.

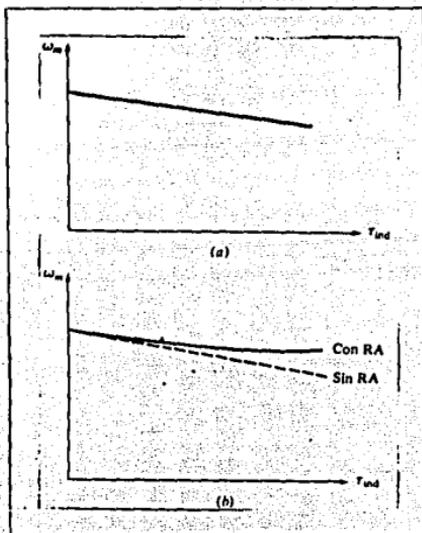


FIG.1

a) Característica par-velocidad de un motor de cc en derivación o excitado independientemente con devanados de compensación para eliminar la reacción de armadura.

b) Característica par-velocidad del motor con la reacción de armadura presente.

Control de velocidad en los motores en derivación de cc

Hay tres métodos de controlar la velocidad de máquinas de cc en derivación son:

- 1.- Cambiar la resistencia de campo R_f (y por consiguiente el flujo de campo)
- 2.- Cambiar el voltaje aplicado en las terminales de la armadura.
- 3.- Insertar una resistencia en serie con el circuito de la armadura.

Cambio en la resistencia de campo

La corriente de campo disminuye ($I_f = V_f/R_f \uparrow$), y como la corriente de campo decrece, el flujo disminuirá con ella. Una disminución en el flujo causa una disminución instantánea en el voltaje generado $E_a (= K\phi\omega)$, el cual ocasiona un gran incremento en la corriente de armadura de la máquina. Resumiendo el comportamiento causa - efecto comprendido en este método de control de velocidad:

- 1.- El incremento en R_f causa disminución en $I_f (= V_f/R_f \uparrow)$
- 2.- La disminución de I_f disminuye el ϕ
- 3.- La disminución de ϕ hace más pequeño el $E_a (= K\phi\omega \downarrow)$
- 4.- La disminución de E_a incrementa la $I_a = (V_t - E_a \downarrow) / R_a$
- 5.- El incremento en I_a incrementa el τ_{ind} ($= k\phi I_a$, con el cambio en I_a dominando sobre el cambio en flujo).
- 6.- El incremento en τ_{ind} hace a $\tau_{ind} > \tau_{crítico}$, la velocidad ω aumenta.
- 7.- El incremento en ω nuevamente incrementa $E_a = K\phi\omega \uparrow$
- 8.- El aumento de E_a disminuye I_a .
- 9.- La disminución de I_a decrementa en τ_{ind} hasta que $\tau_{ind} = \tau_{crítico}$ a una velocidad ω más alta.

En la figura 2 se muestra el efecto de incrementar la resistencia de campo sobre la característica de salida de un motor en derivación. Observe que cuando el flujo en la máquina disminuye, la velocidad sin carga del motor aumenta, mientras que la pendiente de la curva par-velocidad se hace más empinada. Naturalmente, la disminución de R , invertirá el proceso descrito, y la velocidad del motor caerá.

En el control mediante variación de la resistencia de campo, a la corriente de campo más baja de un motor de cc en derivación (o con excitación independiente) gira más rápido; y a la corriente de campo causa un decremento en la velocidad, siempre hay una velocidad mínima obtenible por control en el circuito de campo. Esta velocidad mínima ocurre cuando el circuito de campo del motor tiene fluyendo a través de él la corriente máxima permisible.

Si un motor opera con su voltaje en terminales, potencia y corriente de campo nominales, girará a su velocidad nominal, también conocida como velocidad base. El control de la resistencia de campo puede controlar la velocidad del motor por encima de la velocidad pero no por debajo de ella. Para alcanzar una velocidad más baja que la velocidad base por control en el circuito de campo se requiere una corriente de campo excesiva, posiblemente quemando los devanados de campo.

La resistencia de campo o control de la corriente de campo trabaja bien para velocidades por encima de la velocidad base. Por otra parte, cuando se usa el control de resistencia de campo, el flujo cambia. En esta forma de control, un incremento de velocidad lo causa un decrecimiento del flujo de la máquina. Para no exceder el límite de la corriente de armadura, el límite del par producido debe disminuir cuando se incrementa la velocidad del motor. Puesto que la velocidad del motor restá dada por $P = \tau \omega$, el par límite decrece cuando aumenta la velocidad del motor, la potencia máxima de salida de un motor de cc bajo control de corriente de campo es constante, mientras que el par máximo varía como el recíproco de la velocidad del motor.

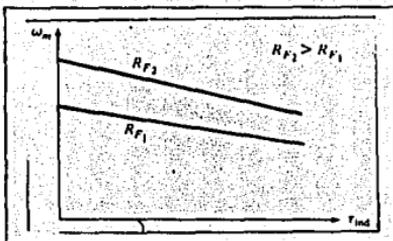


FIG.2

El efecto del control de velocidad por resistencia de campo, sobre las características par velocidad de un motor en derivación.

Cambio en el voltaje de armadura

Para controlar el voltaje de armadura, el motor se debe excitar independientemente. Si el voltaje V_a se incrementa, entonces la corriente de armadura se eleva. Como I_a aumenta, el par producido aumenta, haciendo $\tau_{ind} > \tau_{cruc}$, y la velocidad w del motor aumenta como se puede ver en la fig.2 Pero como la velocidad w aumenta, el voltaje generado $E_a = (k\phi w)$ aumenta, causando una disminución en la corriente de armadura. Este decremento en la I_a disminuye el par producido haciendo el τ_{ind} igual al τ_{cruc} , a una velocidad de rotación w más alta. Resumiendo el comportamiento causa-efecto involucrado en este método de control de velocidad.

- 1.- Un incremento en V_a incrementa $I_a = (V_a - E_a) / R_a$
- 2.- El incremento en I_a incrementa el $\tau_{ind} (= k\phi I_a)$
- 3.- El incremento en τ_{ind} hace que $\tau_{ind} > \tau_{cruc}$, incrementando w
- 4.- El incremento en w incrementa el $E_a (= k\phi w)$
- 5.- El incremento en E_a decreta $I_a = (V_a - E_a) / R_a$
- 6.- La disminución en I_a decreta el τ_{ind} hasta que $\tau_{ind} = \tau_{cruc}$ a una velocidad w más alta.

Insercción de una resistencia en serie con el circuito de la armadura

En el control de voltaje de armadura, al voltaje de armadura más bajo un motor de cc con excitación independiente gira más lento; y al voltaje de armadura más alto gira a mayor velocidad. Puesto que un incremento en el voltaje de armadura causa un incremento en la velocidad, siempre hay una velocidad máxima alcanzable por el control en el voltaje de armadura alcanza su nivel máximo permisible.

Si el motor opera con sus voltajes, corriente de campo y potencia nominales, girará a una velocidad, llamada velocidad base. El control de voltaje de armadura puede controlar la velocidad del motor por debajo de la velocidad base pero no por encima de ésta. Para alcanzar una velocidad más rápida que la velocidad base, mediante el control del voltaje de armadura se requiere un voltaje de armadura excesivo, posiblemente dañando el circuito de armadura. El control del voltaje de armadura trabaja bien para velocidades por debajo de la velocidad base, como se puede ver en la figura 3.

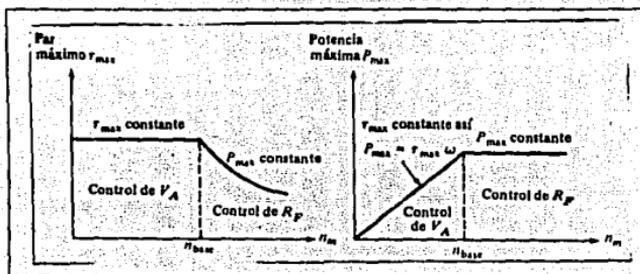


FIG. 3

Límites de par y potencia como una función de la velocidad para un motor en derivación, bajo control del voltaje de armadura y de la resistencia de campo.

La inserción de una resistencia es un método de control de velocidad excesivamente antieconómico, puesto que las pérdidas en la resistencia insertada son enormes. Por esta razón se usa muy raramente. Se encontrará solamente en aplicaciones en las cuales el motor pasa la mayor parte del tiempo operando a plena velocidad, o en aplicaciones demasiado económicas para justificar una mejor forma de control de velocidad.

Estas limitaciones del par y la potencia, para la operación segura de un motor en derivación se muestra en la figura 4.

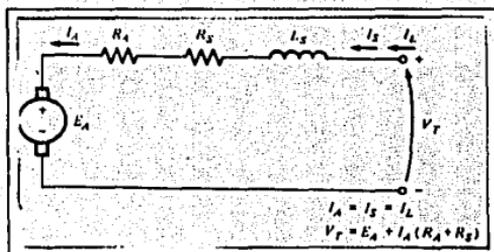


FIG.4
Circuito equivalente de un motor serie

C) MOTOR COMPUESTO

Un motor de cc excitación compuesta es un motor con ambos campos, en derivación y serie. Tal motor se muestra en la fig. 5. Nuevamente se utiliza la convención del punto: una corriente entrando al punto, corresponde a una fuerza magnetomotriz positiva y una corriente saliendo del punto corresponde a una fuerza magnetomotriz negativa. En la fig.5 los puntos redondos corresponden a excitación compuesta acumulativa del motor y los puntos cuadrados corresponden a excitación compuesta acumulativa del motor y los puntos cuadrados corresponden a excitación compuesta diferencial.

Es importante observar qué ocurre con un motor de excitación compuesta cuando la potencia fluye al revés. Si un motor de excitación compuesta acumulativa llega a ser un generador, su corriente de armadura fluye al revés, mientras que su corriente de campo permanece en la misma forma que antes. Entoces, un motor de excitación compuesta acumulativa llegará a ser un generador de excitación compuesta diferencial, y un motor de excitación compuesta diferencial llegará a ser un generador de excitación compuesta acumulativa.

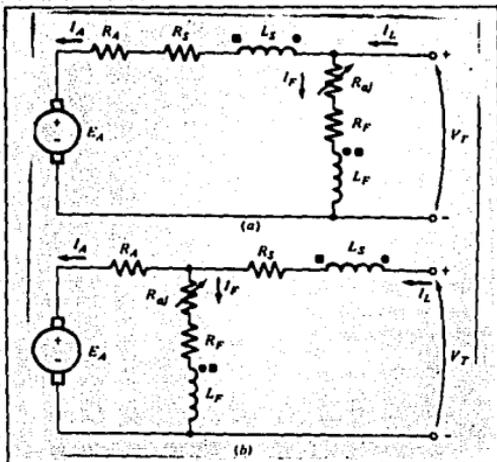


FIG.5
Circuito equivalente de motores con excitación compuesta

- a) Conexión en derivación larga
- b) Conexión en derivación corta

La característica par-velocidad de un motor de excitación compuesta acumulativa de cc.

En el motor de excitación acumulativa, tiene un par de arranque más alto que un motor en derivación (cuyo flujo es constante), pero un par de arranque más bajo que un motor serie (cuyo flujo total es proporcional a la corriente de armadura). En cierto sentido, el motor de excitación compuesta acumulativa de cc combina los mejores rasgos de los motores en derivación y serie.

La característica par-velocidad de un motor de excitación compuesta diferencial de cc.

En un motor de excitación compuesta diferencial de cc. la fuerza magnetomotriz derivación y la fuerza magnetomotriz serie se substraen una de otra. Esto significa que cuando la carga en el motor se incrementa, I_a aumenta y el flujo en el motor se reduce. Pero como el flujo decrece, la velocidad en el motor aumenta. Este incremento en la velocidad causa otro incremento en la carga, el cual incrementa más a I_a , produciendo una mayor disminución del flujo y otra vez incremento de la velocidad. El resultado es que un motor de excitación compuesta diferencial es inestable. Esta inestabilidad es mucho más perjudicial que aquella del motor en derivación con reacción de armadura. Es tan mala, que un motor de excitación compuesta diferencial es inapropiado para casi todas las aplicaciones.

En las condiciones de arranque la corriente de armadura y la corriente de campo serie son muy altas. Puesto que el flujo serie resta del flujo en derivación, el campo serie en ese momento puede reversar la polaridad magnética de los polos de la máquina. Típicamente, el motor permanecerá quieto o girará lentamente en la dirección equivocada mientras se quemá, a causa de la excesiva corriente de armadura. Cuando este tipo de motor se va arrancar, su campo serie debe cortocircuitarse, para que se comporte como un motor en derivación ordinario durante el período arranque. Por esta razón, si se usan generadores de cc. de excitación compuesta acumulativa para suministrar potencia a un sistema, ellos deberán tener un circuito de disparo de potencia para desconectarlo de la línea si la potencia fluye al revés.

Control de velocidad en el motor de cc de excitación compuesta acumulativa.

Las técnicas disponibles para el control en un motor de excitación compuesta acumulativa son las mismas para un motor en derivación.

- 1.- Cambio de la resistencia de campo R_f ,
- 2.- Cambio del voltaje de armadura V_a ,
- 3.- Cambio de la resistencia de armadura R_a .

D) MOTOR SERIE

Un motor serie es un motor de cc cuyo devanado de campo consta de unas relativamente pocas espiras conectadas en serie con el circuito de armadura. En la fig.4 se muestra el circuito equivalente de un motor serie. En un motor serie la corriente de armadura, la corriente de campo y la corriente de línea son todas la misma. La ley de voltajes de Kirchhoff para este motor es:

$$V_s = E_a + I_a (R_a + R_f)$$

Par producido en un motor de cc serie

El comportamiento básico de un motor de cc de serie es debido al hecho de que el flujo es directamente proporcional a la corriente de armadura, al menos hasta alcanzar la saturación. A medida que incrementa la carga sobre el motor, también incrementa su flujo, un incremento en el flujo causa un decremento en su velocidad. El resultado es que un motor serie tiene una característica par-velocidad con una caída brusca.

$$T_{ind} = K \phi I_a = K C I_a^2$$

El par en el motor es proporcional al cuadrado de su corriente de armadura. Como resultado de esta relación, es fácil ver que un motor serie da más por amperio que cualquier otro motor de cc. Por esto se utiliza en aplicaciones que requieren pares muy altos. Ejemplos de tales aplicaciones son motores de arranque en carros, motores de elevadores y motores de atracción en locomotoras.

La características terminales de un motor de cc serie

En cuanto a sus características podemos decir lo siguiente. Cuando el par en este motor va a cero, su velocidad va a infinito. En la práctica, el par no puede ser totalmente cero a causa de las pérdidas mecánicas del núcleo y adicionales que debe vencer. Sin embargo si no se conecta otra carga al motor, puede girar lo suficientemente rápido para dañarse a sí mismo. Un motor serie nunca debe estar completamente descargado y nunca conectado a una carga por una correa u otro mecanismo que se pueda romper. Si esto pudiera ocurrir y el motor llegar a estar sin carga mientras gira, el resultado podría ser serio. La relación obtenida par-velocidad es:

$$W = \frac{VT}{\sqrt{Kc}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\tau_{ind}}} \cdot \frac{RA + RS}{Kc}$$

En donde se puede apreciar por medio de la gráfica la característica par-velocidad de un motor serie en la fig.6.

En otras palabras podemos decir que en este motor, el campo magnético es producido por la corriente que fluye a través del devanado de la armadura, y a causa de esto es débil cuando la carga del motor es pequeña (el devanado de la armadura toma corriente mínima). El campo magnético es intenso cuando la carga es grande (el devanado de la armadura toma la corriente máxima). El voltaje de armadura es casi igual al voltaje de la línea de alimentación (como sucede en el motor con devanados en derivación) y se puede hacer caso omiso de la pequeña caída en el campo en serie.

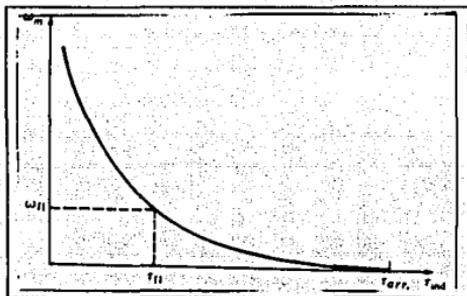


FIG.6
Característica par velocidad de un motor serie.

En consecuencia, la velocidad del motor con el campo en serie depende totalmente de la corriente de carga. La velocidad es baja con cargas muy pesadas, y muy alta en vacío. En efecto, muchos motores en serie, al funcionar en vacío, quedarían deshechos por la velocidad tan altas que desarrollan.

El par de cualquier motor de c-d depende del producto de la corriente de armadura y del campo magnético. En el caso del motor con devanados en serie, esta relación implica que el par será muy grande a corrientes de armadura intensas tales como las que produce durante el arranque.

El electrodinamómetro.

Es un dispositivo que se usa para medir con precisión el par desarrollado por motores de todos los tipos. En realidad, se trata de un freno eléctrico en el cual la fuerza de frenado se hace variar eléctricamente sin necesidad de usar fricción mecánica. El electrodinamómetro se compone de un estator, rotor y un autotransformador variable que va montado en la cara frontal del módulo. El efecto de frenado del electrodinamómetro se controla mediante la intensidad del campo magnético del estator, que es proporcional a la salida de c-d del puente rectificador, la cual se hace variar por medio del autotransformador variable. A diferencia de otros en éste el estator puede girar, aunque su movimiento está restringido mediante un resorte helicoidal.

El electrodinamómetro se conecta a la salida de c-a fija, suministrada por la fuente de energía, conectando las dos terminales de entrada del electrodinamómetro a las terminales 1 y N de la fuente.

El electrodinamómetro se calibra de 0 a 27 libras fuerzas-pulgadas (lbf-plg), que es una magnitud adecuada para probar motores de 1/4 de caballo de potencia (hp), incluso cuando se prueban en condiciones de sobrecarga.

La potencia de salida de un motor depende de su velocidad y el par que se desarrolla. Esta relación está dada por la siguiente ecuación:

$$\text{hp} = \frac{(\text{r/min})(\text{lbf.plg})(1.59)}{100,000} \dots\dots\dots (1)$$

En donde:

- hp = Potencia nominal en caballos de fuerza
- r/min = Velocidad en revoluciones por minuto
- lbf.plg = Par en libras-fuerza pulgadas
- 1.59 = Constante

MATERIAL

* Módulo de fuente de energía	EMS 8821
* Módulo de medición de c-d	EMS 8412
* Módulo de motor/generador	EMS 8211
* Módulo de electrodinamómetro	EMS 8911
* Tacómetro manual	EMS 8920
* cables de conexión	EMS 8941
* Banda	EMS 8942

DESARROLLO

A continuación se realizarán experimentos del motor en derivación.

Conecte el circuito que se ilustra en la fig.7 utilizando los módulos EMS de fuente de energía, motor/generador de c-d, medición de c-d y electrodinamómetro.

Observamos que en este circuito el motor está conectado para funcionar con su campo en paralelo. Acople el electrodinamómetro al motor/generador de c-d por medio de la banda.

1) Ajuste la perilla de control del reóstato de campo en derivación, haciéndolo girar en el sentido de las manecillas del reloj (máxima excitación del campo en derivación).

2) Ajuste la perilla de control del dinamómetro, haciéndolo girar en sentido contrario al de las manecillas del reloj (carga mínima en el arranque).

3) Ajuste el reóstato de campo en derivación a una velocidad en vacío de 1800r/min, según lo indique el tacómetro de mano.

4) Aplique la carga al motor de c-d haciendo variar la perilla de control del dinamómetro de acuerdo a la tabla 7A. Mida y anote la corriente de línea y la velocidad del motor para cada par indicados en esta tabla, manteniendo una entrada constante de 120V c-d.

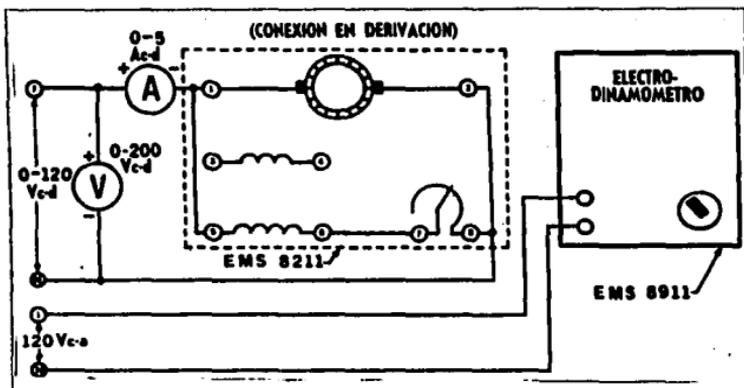
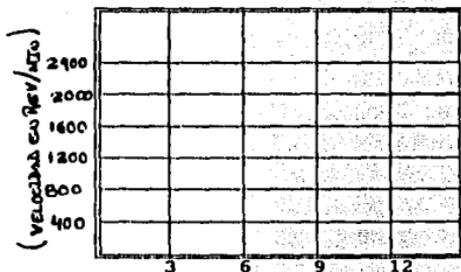


FIG. 7

E (VOLTS)	I (AMPS)	VELOCIDAD (R/MIN)	PAR (LBF. PLG)
120			0
120			3
120			6
120			9
120			12

TABLA 7A

5) De acuerdo a los resultados de la tabla 7A. Obtenga la gráfica que representa las características de velocidad en función del par. Grafique en la tabla 7b



P A R (LBF.PLG)
Tabla 7b

A continuación se llevarán acabo los experimentos del motor compuesto.

Conecte el circuito que se ilustra en la fig.8 utilizando los módulos EMS de fuente de energía, motor/generador de c-d, medición de c-d y electrodinamómetro.

1) Acople el motor compuesto de c-d por medio de la banda. Ajuste la perilla de control del dinamómetro, haciéndolo girar en sentido contrario al de las manecillas del reloj (carga mínima en el arranque).

2) Conecte la fuente de alimentación a 120V c-d. Si el motor desarrolla una velocidad esto significa que funciona en forma diferencial compuesta. Si éste es el caso, reduzca a cero el voltaje y desconecte la fuente de alimentación. Intercambie las conexiones del campo en derivación alas terminales 1 y 4, para obtener el modo de operación acumulativo.

3) Ajuste el reóstato de campo en derivación a una velocidad en vacio de 1800r/min, según lo indique el tacómetro de mano.

4) Aplique la carga al motor de c-d haciendo variar la perilla de control del dinamómetro de acuerdo a la tabla 8A. Mida y anote la corriente de línea y la velocidad del motor para cada par indicados en esta tabla, manteniendo una entrada constante de 120V c-d.

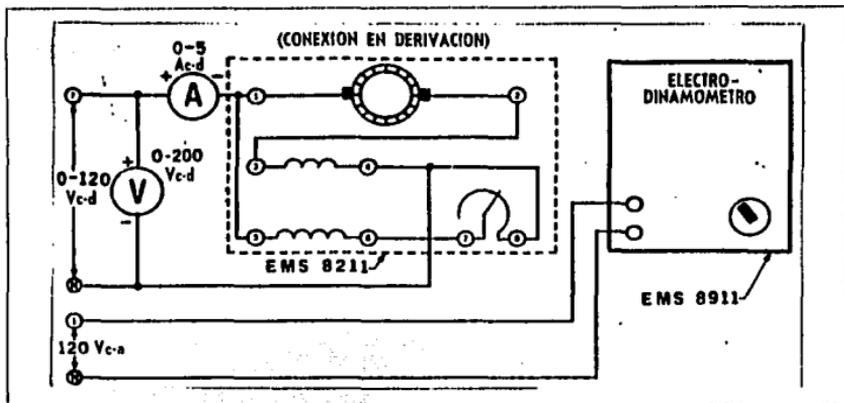
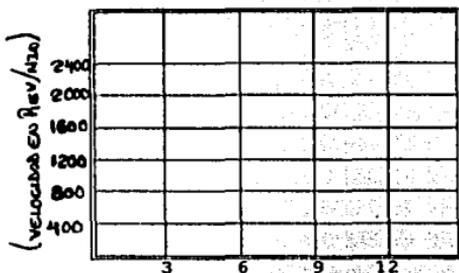


FIGURA 8

E (VOLTS)	I (AMPS)	VELOCIDAD (R/MIN)	PAR (LBF. PLG)
120			0
120			3
120			6
120			9
120			12

TABLA 8A

5) De acuerdo a los resultados de la tabla 8A. Obtenga la gráfica que representa las características de velocidad en función del par. Grafique en tabla 8b



P A R (LBF.PLG)
TABLA 8b

Por ultimo se llevará acabo el experimento del motor serie.

Conecte el circuito que se ilustra en la fig 9, utilizando los módulos EMS de fuente de energía, motor generador cd, medición de c-d y electrodinamómetro.

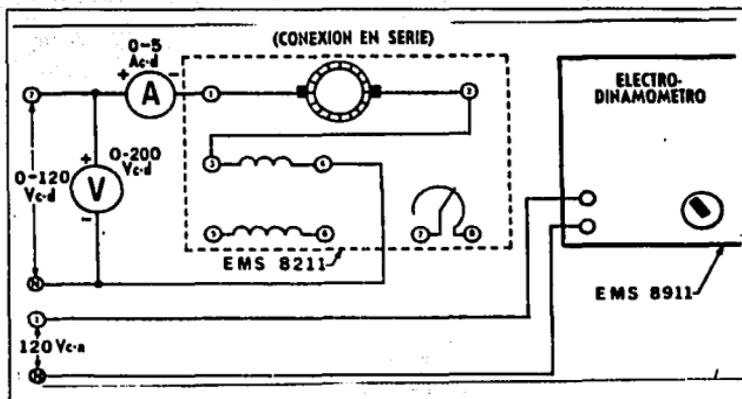


FIGURA 9

Observamos que el motor está conectado para una operación en serie. Acople el electrodinamómetro al motor/generador de c-d por medio de la banda.

1) Ajuste la perilla del dinamómetro a su posición media (para proporcionar una carga de arranque al motor de c-d).

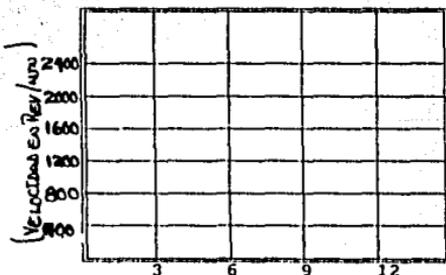
2) Conecte la fuente y aumente gradualmente el voltaje de c-d hasta que el motor comience girar. Si no es en el sentido de las manecillas del reloj, intercambie las conexiones de campo serie.

3) Ajuste la carga del motor serie de c-d haciendo girar la perilla del dinamómetro de acuerdo a la tabla 9A. Mida y anote la corriente de línea y la velocidad del motor para cada par indicados en esta tabla, manteniendo una entrada de voltaje constante de 120Vc-d.

E (VOLTS)	I (AMPS)	VELOCIDAD (R/MIN)	PAR (LBF.PLG)
120			0
120			3
120			6
120			9
120			12

TABLA 9A

4) De acuerdo a los resultados de la tabla 9A. Obtenga la gráfica que representa las características de velocidad en función del par. Grafique en la tabla 9b



P A R (LBF.PLG)
Tabla 9b

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

1.- Para cada uno de los motores utilizados en los experimentos anteriores (derivación, compuesto y serie). Calcular los hp que desarrolla cuando el par es de 9 lbf.plg. Usando la ecuación (1). Dando el resultado en watts (potencia de salida).

2.- Para cada uno de los motores indicados anteriormente calcular, ¿cuál es la potencia de entrada?. Cuando el par es de 9lbf.plg. Dando el resultado en watts.

3.- Si se conoce la potencia de salida y la potencia de entrada ¿cuál es la eficiencia de cada motor?, utilizando la formula :

$$\% \text{ de eficiencia } (\eta) = (\text{pot de salida} / \text{pot de entrada}) * 100$$

4.- Para cada uno de los motores indicados en la tabla 10, ¿calcule sus perdidas?. Cuando el par es de 9lbf.plg.

5.- De acuerdo a los resultados obtenidos llene en el espacio correspondiente de la tabla 10.

MOTOR	POT. (W) (SALIDA)	POT. (W) (ENTRADA)	EFICIENCIA (η)	PERDIDAS (W)
DERIVACION				
COMPUESTO				
SERIE				

TABLA 10

6.- Compare los motores : derivación, compuesto y serie, en base a sus características y diga ¿cuál es mejor?.

7.- Mencione cuales son los métodos de controlar la velocidad en maquinas de derivación.

8.- Mencione las técnicas de control de un motor de excitación compuesto acumulativo.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA 7

" MAQUINAS SINCRONAS "



7) MAQUINAS SINCRONAS

OBJETIVOS

- 1) Calcular las características de arranque del motor síncrono trifásico.
- 2) Analizar por que el motor síncrono puede comportarse como inductancia o capacitancia variables.
- 3) Determinar las características a plena carga del motor síncrono.
- 4) Obtener la curva de saturación en vacío del alternador.
- 5) Determinar las características de regulación de voltaje del alternador con carga resistiva, capacitiva e inductiva.

INTRODUCCION

Las máquinas síncronas se denominan así porque su velocidad está directamente relacionada con la frecuencia de la línea:

$$w_s = \frac{w_e}{p/2} = \frac{2\pi f}{p/2}, \text{ rad/s}$$

$$n_s = \frac{120f}{p}, \text{ rev/min.}$$

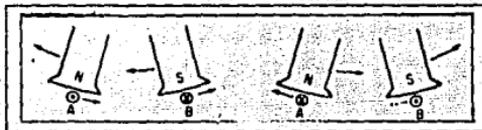
En donde, $p/2$ es el número de pares de polos magnéticos del diseño de cada máquina. En esta relación, w_s , es la velocidad angular del eje y w_e , es la frecuencia angular del sistema eléctrico. Entonces, cuando dos o más máquinas síncronas están conectadas a la misma línea c-a, se moverán en sincronismo, ya que todas están funcionando a la misma frecuencia y se llama w_s , la "velocidad síncrona" de una máquina de 14 polos corre precisamente a un séptimo de la velocidad de la máquina de dos polos. Como otras máquinas eléctricas, las máquinas síncronas operan ya sea como motores o como generadores.

A) PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.

El motor síncrono inherentemente no arranca por sí mismo, es decir, no puede arrancar por sí mismo sin un devanado amortiguador. Esto puede verse en la fig.1, en la que se aplica una corriente alterna al arrollamiento del estátor, y en la que se ve el sentido instantáneo de la corriente en los lados de una bobina dada del inducido, A y B. Tanto los polos norte como sur estarán sometidos a un par electromagnético (regla de la mano izquierda de los motores) que mueve los polos hacia la izquierda (conductores a la derecha). En el siguiente instante, 1/120 de segundo después, la frecuencia cambia el sentido de la corriente en la bobina, y los polos reciben un par en sentido opuesto, como se ve en la figura.

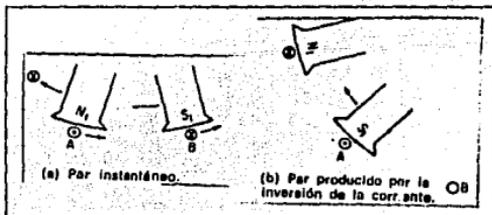
Debido a la elevada inercia del rotor, el par resultante producido en un segundo es cero, puesto que el rotor ha sido, realmente, empujado alternativamente en el sentido de las agujas del reloj y en sentido opuesto, 60 veces en ese segundo, suponiendo una frecuencia de 60 hz.

FIGURA 1.
PAR RESULTANTE CERO
DESARROLLADO POR LOS
CONDUCTORES DEL
ESTATOR DE UN MOTOR
SIBCRONO CUANDO EL
ROTOR ESTA EN REPOSO.



Sin embargo, si por algún medio hacemos mover el motor en el sentido de las agujas del reloj a la velocidad síncrona o a una velocidad cercana, como muestra la fig.2, se desarrollará un par en los lados de bobina A y B, lo que hará que el motor continúe moviéndose en el sentido del reloj. El desplazamiento en el espacio del polo en grados eléctricos para la velocidad síncrona se corresponde con la inversión de 180° del sentido de la corriente en la bobina del inducido, y el par resultante producido tiene el mismo sentido.

FIGURA 2.
PAR IGUAL SENTIDO
CUANDO EL ROTOR GIRA
A VELOCIDAD SIBCRONA.



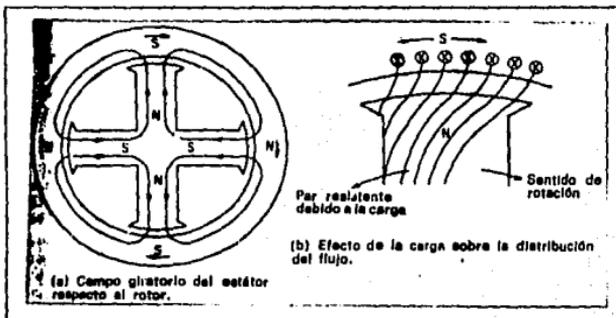
El arrollamiento del inducido consta de muchas bobinas en serie en cada fase de una maquina polifásica síncrona de c.a. La corriente trifásica en los conductores de inducido del estator produce un campo giratorio uniforme, que gira a una velocidad, $s = 120f/p$. La relación entre el campo giratorio del estator y los polos del rotor, que giran a una velocidad síncrona, quedan enclavados en sincronismo con el campo giratorio síncrono del inducido resultante del estator. Así, un polo N del rotor queda enclavado en sincronismo con un polo S del estator y viceversa, girando ambos en el mismo sentido que las agujas, en sincronismo a la velocidad síncrona.

Si se coloca una carga en el eje del motor síncrono, el par resistente de la carga hará que el motor disminuya de velocidad momentáneamente, pero continuará girando a la misma velocidad respecto al campo giratorio del estator. La velocidad del rotor continúa siendo la síncrona respecto al campo giratorio, pero el flujo de el rotor o el flujo mutuo en el entrehierro se reduce ligeramente, como muestra la fig.3 debido a la mayor reluctancia del entrehierro.

Si el par resistente es tan grande que supera el par máximo desarrollado y si el rotor "cae" fuera de sincronismo, el motor síncrono se parará. Así, un motor síncrono o gira a la velocidad síncrona o no gira. Por supuesto, cuando el rotor disminuye su velocidad, el campo giratorio del estator desliza, en relación con los polos del rotor, tan rápidamente que éstos son incapaces de reclavarse síncronicamente o "engancharse" con el campo giratorio del estator. Esta es la razón de que un rotor en reposo también sea incapaz de arrancar. En un instante dado, un polo N de un rotor está atraído por el polo S del estator que se está aproximando, reduciendo un par en sentido opuesto al de las agujas del reloj fig.3, y, en el siguiente instante, el mismo polo N se atraído en sentido opuesto por un polo S del rotor, que pasa produciendo un par resultante cero.

FIGURA 3.

C A M P O
M A G N E T I C O
G I R A T O R I O
D E F L U J O
C O N S T A N T E
P R O D U C I D O
P O R L A S
A R M A D U R A S
D E E S T A T O R
P O L I F A S E

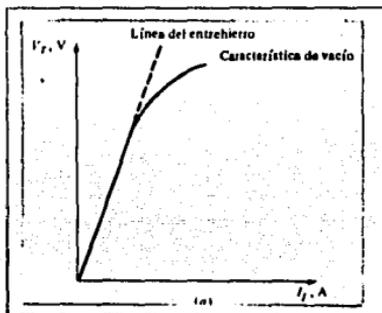


B) CURVA DE SATURACION EN VACIO Y EN CORTO CIRCUITO

El primer paso del proceso consiste en realizar el ensayo de vacío del generador. Para esto, se hace girar el generador a la velocidad nominal, se desconecta la carga y se reduce a cero la corriente de excitación; luego en terminales. En estas condiciones $I_a = 0$, tal manera que E_a es igual a V_t . De esta forma se puede trazar una gráfica de E_a o V_t VERSUS I_f , la cual se conoce como *característica de vacío* del generador. Con esta característica, es posible hallar el voltaje generado internamente para cualquier corriente de campo del generador. La figura (4a) presenta una característica de vacío típica. Nótese que al comienzo la curva es casi perfectamente lineal, hasta se evidencia algo de saturación a mayores corrientes de campo. El hierro no saturado de la armadura de la máquina sincrónica presenta una reluctancia varios miles de veces más pequeña que la reluctancia del entrehierro, así que al principio casi toda la fuerza magnetomotriz se establece sobre el entrehierro, dando como resultado el aumento de flujo en forma lineal. Cuando se satura el hierro, su reluctancia aumenta dramáticamente, y el flujo aumenta con mayor lentitud con el incremento de fuerza magnetomotriz. La región lineal de la curva de vacío se denomina *línea del entrehierro* de la característica.

FIGURA 4A.

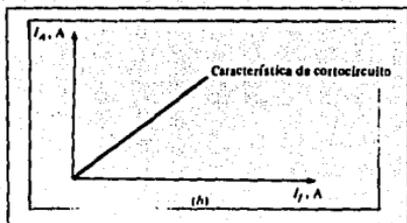
CARACTERÍSTICA DE VACIO DEL GENERADOR SINCRONICO.



La segunda etapa consiste en efectuar la prueba de corto circuito. Para realizar el ensayo, nuevamente se reduce a cero la corriente de campo y se ponen en cortocircuito las terminales del generador a través de un juego de amperímetros. Luego se mide la corriente de armadura I_a o la corriente de línea I_L , a medida que se incrementa la corriente de campo. La gráfica del ensayo se conoce como *característica de corto circuito*, y se presenta en la figura (4b), la cual es prácticamente rectilínea.

FIGURA 4B.

CARACTERÍSTICA DE CORTOCIRCUITO DEL GENERADOR SINCRÓNICO.



C) ARRANQUE DEL MOTOR SINCRONO

La acción del motor de inducción lleva a la máquina a una velocidad cercana a la síncrona. A la velocidad síncrona, no hay movimiento relativo entre los polos del campo en el entrehierro y en las barras en las caras de polos. No se induce corriente a la velocidad síncrona, y no produce par. Sin embargo, la velocidad máxima desarrollada en la acción como motor de inducción es tan cercana a la velocidad síncrona, que el rotor "toma el paso" cuando se conecta la corriente de campo de c-d.

Las terminales del devanado de campo se conectan en directo a través de una resistencia durante el arranque, hasta el momento de excitar el campo. Esto tiene dos ventajas: Primera, protege el aislamiento del anillo deslizante contra los altos voltajes de c-a que se inducen en el campo conectados en corto, contribuye con una pequeña cantidad adicional al par de aceleración.

Los "devanados" de barras pesadas en las caras de los polos sirven también para otro fin. Cuando hay un cambio súbito en la carga, δ , cambia para ajustarse a las nuevas exigencias del par. La atracción magnética entre el flujo en el entrehierro y los polos de la FMM del rotor tiene una calidad semejante a la de un resorte y el rotor tiene un momento considerable de inercia. En consecuencia, cualquier cambio en la carga produce un movimiento se le llama "persecución". En una máquina de polos salientes, poco se puede hacer para amortiguar esta oscilación, a menos que se tengan barras, conectadas en corto en las caras de los polos. Los cambios en δ , hacen que estas barras se muevan relativamente a ϕ , lo que dará como resultado corrientes inducidas que circulan a través de las barras y de las conexiones de los extremos. El campo originado por estas corrientes produce un par que se opone a cualquier cambio en δ , y la oscilación angular es rápidamente amortiguada. Por esta causa, las barras en las caras de los polos se llaman "barras de amortiguación" y el devanado que forman estas pesadas barras y sus conexiones en los extremos se denomina "devanado amortiguador".

Para entender la naturaleza del arranque nos vamos a basar en la figura 5. Esta figura muestra un motor sincrónico de 60 Hz en el momento en que se aplica la potencia a su devanado del estator. El rotor del motor está estacionario por lo cual el campo magnético B, está estacionario. El campo magnético del estator B_s comienza a girar alrededor del motor con velocidad sincrónica.

La figura (5a) muestra la máquina en el instante $t = 0$ seg, cuando B_s y B_r están exactamente alineados. El par producido en el eje del motor es cero. La figura (5b) muestra la situación en el instante $t = 1/240$ seg. En un tiempo tan corto, el rotor escasamente se ha movido, pero el campo magnético del estator ahora apunta a la izquierda, el par en el eje del rotor ahora está en sentido contrahorario. La fig.(5c) muestra la situación en el instante $t = 2/240$ seg. En este punto B_s y B_r apuntan en direcciones opuestas y Y_{ind} nuevamente es igual a cero. En el instante $t = 3/240$ seg, el campo magnético del estator apunta ahora a la derecha y el par resultante está en sentido horario.

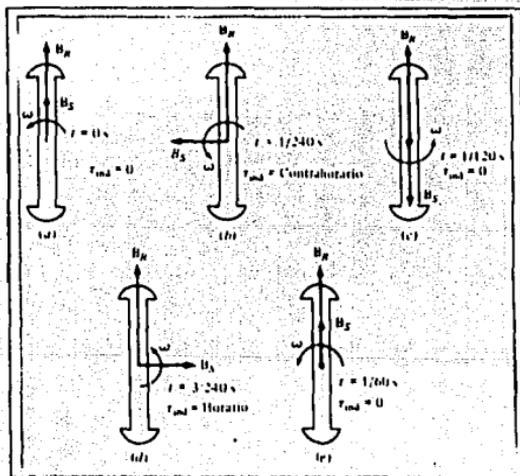


FIG. 5

EL PROBLEMA DEL ARRANQUE EN UN MOTOR SINCRÓNICO; EL PAR ALTERNÁ RÁPIDAMENTE EN MAGNITUD Y DIRECCIÓN, ASÍ QUE EL PAR DE ARRANQUE ES CERO.

Finalmente, en $t=4/240$ seg, el campo magnético del estator está nuevamente alineado con el campo magnético del rotor y $\gamma_{ind} = 0$. Durante un ciclo eléctrico, el par primero estuvo en sentido contrahorario y luego en sentido horario, y el promedio en el ciclo completo fue cero. Lo que pasa en el motor es que vibra fuertemente en cada ciclo eléctrico y finalmente se sobrecaliente.

Hay tres métodos básicos que pueden utilizarse para arrancar en forma segura un motor sincrónico:

1.- Reducir la velocidad del campo magnético del estator a un valor lo suficientemente bajo para que el rotor pueda acelerarse y enganchar con él en medio ciclo de la rotación del campo magnético. Esto puede hacerse reduciendo la frecuencia de la potencia eléctrica aplicada.

2.- Usar un primomotor externo para acelerar el motor sincrónico hasta la velocidad de sincronismo, ir a través de un procedimiento de paralelo y llevar la máquina ala línea como un generador. Luego, ajagando o desconectando el primomotor se hará de la máquina sincrónica un motor.

3.- Usar devanados amortiguadores.

Arranque del motor reduciendo la frecuencia eléctrica.

Si el campo magnético del estator en un motor sincrónico rota a una velocidad lo suficientemente baja, no habrá problemas para que el rotor acelere y se enganche con el campo magnético del estator. Entonces, la velocidad del campo magnético del estator se incrementa hasta la velocidad de operación, incrementando gradualmente fe hasta su valor normal de 50 ó 60 Hz.

Este método de arranque de motores sincrónicos tiene un gran sentido, pero también un gran problema. ¿De dónde obtener la fuente eléctrica de frecuencia variable? Los sistemas de potencia normales son cuidadosamente regulados a 50 ó 60 Hz, así hasta hace muy poco, una fuente de voltaje de frecuencia variable tenía que obtenerse de un generador dedicado especialmente para esto. Como es obvio, tal situación es impráctica excepto para circunstancias muy especiales. En estos casos se utilizan los dispositivos como el rectificador inductor y el cicloconvertidor, los cuales puede utilizarse para convertir una frecuencia constante de entrada en otra frecuencia deseada de salida. Con el desarrollo de tales paquetes de estado sólido

manejadores de frecuencia variable es perfectamente posible el control continuo de la frecuencia eléctrica aplicada al primotor, desde una fracción de Hertz hasta y por encima de la frecuencia total de la línea. Si tal unidad de manejo de frecuencia variable se incluye en un circuito de control de motores para alcanzar la velocidad de control, entonces el arranque del motor sincrónico es muy fácil; simplemente para arrancar, ajustar la frecuencia a un valor bajo y luego elevarla hasta la velocidad de operación deseada en funcionamiento normal.

Arranque del motor con un primomotor externo

El segundo método para arrancar un motor sincrónico, es acoplarlo a un motor externo de arranque y llevar la máquina hasta la velocidad plena con el motor externo. Entonces la máquina se puede conectar en paralelo, como un generador, con un sistema de potencia y el motor de arranque puede desacoplarse del eje de la máquina. Una vez que se apaga el motor de arranque, el eje de la máquina gira lento, el campo magnético del rotor B, cae detrás de B_{sinc} y la máquina sincrónica comienza a actuar como un motor. Tan pronto se complete el paralelo sincrónico se puede cargar en la forma normal.

Este procedimiento completo no es tan absurdo como parece, puesto que muchos motores sincrónicos hacen parte de conjuntos motores-generadores y la máquina utilizándola como un motor de arranque. Además, el motor de arranque sólo necesita vencer la inercia de la máquina sincrónica sin carga; la carga se acopla hasta que el motor esté en paralelo con el sistema de potencia. Como sólo debe vencer la inercia del motor, el motor de arranque puede tener un valor nominal mucho más pequeño que el del motor sincrónico.

Puesto que muchos motores sincrónicos grandes tienen sistemas de excitación sin escobillas montadas en su eje, a menudo es posible usar estos excitadores como motores de arranque.

Para muchos motores sincrónicos de tamaño medio a grande, un arranque con sin motor externo, o usando el excitador, puede ser la única solución posible, porque los sistemas de potencia a los cuales están no están capacitados para manejar las corrientes de arranque necesarias para usar el devanado amortiguador.

Arranque del motor utilizando devanados amortiguadores

Los devanados de amortiguamiento son barras especiales puestas dentro de ranuras talladas en la cara del rotor del motor sincrónico y luego cortocircuitadas en cada extremo por un anillo de corto.

Inicialmente asuma que el devanado principal de campo está desconectado y que un conjunto de voltajes trifásicos se aplica al estator de la máquina. Cuando se aplica la potencia por primera vez en el instante $t = 0$ seg, asuma que el campo magnético B , es vertical como se muestra en la Figura 6. Como el campo magnético B , gira en la dirección contrahoraria, induce un voltaje en las barras del devanado de amortiguamiento, dada por la ecuación.

$$e_{ind} = (V \times B) \cdot I \dots\dots\dots (A)$$

Donde.

- V Es la velocidad relativa de la barra, respecto al campo magnético
- B Es la densidad de flujo magnético
- I Es la longitud de la barra.

Las barras en la parte superior del rotor se están moviendo a la derecha en forma relativa al campo magnético, así la dirección resultante del voltaje inducido está saliendo de la página. De igual forma, el voltaje inducido está entrando en la página en las barras de abajo. Estos voltajes producen circulación de corriente, saliendo en las barras de la parte superior y entrando en las barras de abajo, lo cual induce un campo magnético B , en el devanado dirigido a la derecha de la ecuación del par producido.

$$\tau_{ind} = k B_r \times B_s$$

el par resultante en las barras (y en el rotor) está en sentido contrahorario. La Fig. 6 muestra la situación en $t = 1/240$ seg. Aquí el campo magnético del estator ha rotado 90° , mientras el rotor escasamente se ha movido (simplemente no puede moverse en un tiempo tan corto). En este punto, el voltaje inducido en el devanado amortiguador es cero, porque v está en paralelo con B . sin voltaje inducido no hay corriente en el devanado y el par producido es cero.

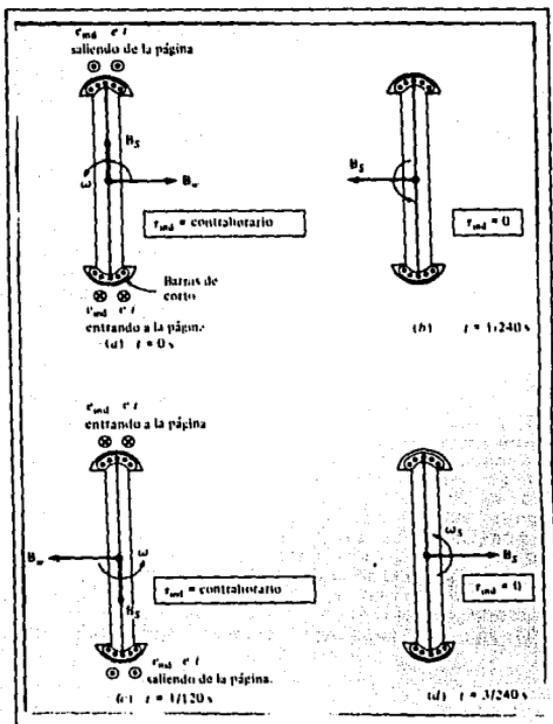


FIG. 6

EL DESARROLLO DE UN PAR UNIDIRECCIONAL CON LOS DEVANADOS DE AMORTIGUAMIENTO DE UN MOTOR SINCRÓNICO.

La Figura 6 muestra la situación en $t=2/240$ seg; ahora el campo magnético del estator ha rotado 180° y el rotor aún no se ha movido. El voltaje inducido dado por la ecuación (A) en el devanado amortiguador está saliendo de la página en las barras de abajo y entrando en la página en las barras de la parte superior. La corriente resultante fluye fuera de la página en las barras de abajo y dentro de la página en las barras de la parte superior, creando un campo magnético B_r dirigido a la izquierda.

El par producido resultante, dado por está en sentido contrahorario.

$$\tau_{ind} = KB_r \times B_r$$

La Figura 6 muestra la situación en el momento $t = 3/240$ seg. Aquí como en el instante $t = 1/240$ seg el par producido es cero. Observe que algunas veces el par está en sentido contrahorario y algunas veces es cero, pero siempre es unidireccional.

Puesto que hay un par neto en una sola dirección, la velocidad del motor aumentará. (Esto es completamente diferente a arrancara un motor sincrónico con su corriente de campo normal, puesto que en aquel caso, el par primero está en sentido horario y luego en sentido contrahorario, con promedio de cero. En este caso el par siempre está en la misma dirección, así que hay un par promedio diferente de cero)

Aunque la velocidad del motor aumentará, nunca podrá alcanzar la velocidad sincrónica. Esto es fácil de entender. Suponga que el rotor está girando a velocidad sincrónica. Entonces la velocidad del campo magnético del estator B_r es la misma velocidad del rotor y no hay movimiento relativo entre B_r y el rotor. Si no hay movimiento relativo, el voltaje inducido en los devanados será cero, la corriente será cero y el campo magnético en el devanado será cero. Por consiguiente no habrá par en el motor para mantenerlo girando. Aun cuando el rotor no pueda aumentar la velocidad hasta la sincrónica, si puede llegar muy cerca. Lo suficientemente cerca a la sincrónica para que la corriente de campo regular pueda conectarse, enganchando en un paso el rotor dentro del campo magnético del estator.

En la máquina real, los devanados de campo no están en circuito abierto durante el procedimiento de arranque. Si los devanados de campo estuvieran en circuito abierto, entonces podrían inducirse en ellos voltajes muy altos durante el arranque. Si se cortocircuitan los devanados de campo durante el arranque, se producen voltajes no peligrosos y la corriente de campo inductancia contribuye al motor con un par de arranque extra.

Para resumir, si la máquina tiene devanados amortiguadores, se puede arrancar mediante el siguiente procedimiento.

1.- Desconecte el devanado de campo de su devanado de campo de su fuente de potencia de cc y cortocircuitelo.

2.- Aplique un voltaje trifásico al estator del motor y permita que la aceleración del rotor lo lleve cerca de la velocidad sincrónica. El motor no deberá tener carga en su eje para que la velocidad pueda aproximarse a la sincrónica, tan cerca como sea posible.

3.- Conecte el circuito de campo de cc a su fuente de potencia. Una vez que esto se haga, el motor enganchará en un paso en su velocidad sincrónica y las cargas pueden acoplarse en su eje.

D) CURVA EN V

Se ha establecido anteriormente que, cuando la corriente de excitación de un motor sincrónico se reduce, absorbe una corriente de inducido inductiva que es superior a la corriente mínima para factor de potencia unidad, o sea a excitación normal. De manera parecida, cuando el motor está sobreexcitado, la corriente del inducido también aumenta y supera a la corriente necesaria, a excitación normal, para desarrollar el par necesario, correspondiente a una carga determinada. Aplicando una cierta carga constante al eje de un eje de un motor sincrónico y variando la corriente de excitación a sobreexcitación, y registrando la corriente del inducido en cada momento, se obtienen las curvas de la figura (7a). La corriente de inducido de c.a está dibujada en función de la corriente de excitación de c.c para valores de vacío, media carga y plena carga, respectivamente.

Así, como se observa en la figura (7b), el factor de potencia está dibujado en función de las corrientes de excitación para las distintas cargas dadas. Obsérvese que ambas curvas muestran que es necesaria una corriente de excitación ligeramente aumentada, para producir la excitación normal al aumentar la carga (puntos 1, 2 y 3 respectivamente). Obsérvese también que en vacío, la corriente del inducido para un factor de potencia unidad (excitación normal) no es cero, sino un cierto valor pequeño de la corriente de inducido de c.a por fase, necesario para producir el par para equilibrar las pérdidas mecánicas. Al aplicar carga (despreciando la reacción de inducido) no sólo aumenta la corriente de inducido, sino que también es necesario aumentar la de excitación a fin de que la corriente del inducido esté nuevamente en fase con la tensión de barras.

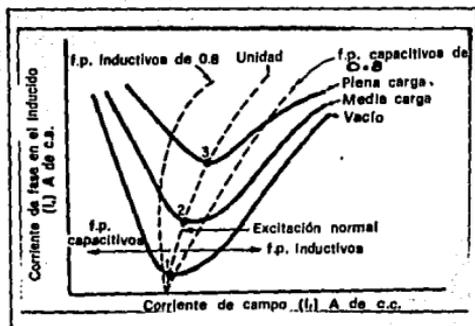


FIG. 7A

Relación entre la corriente en el inducido y la corriente de excitación para varias cargas.

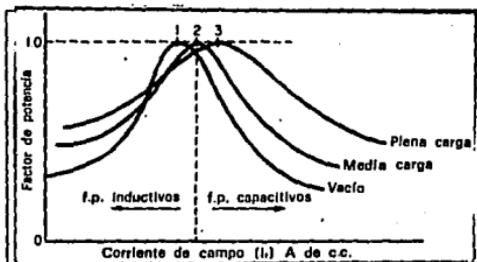


FIG. 7B

Relación entre el factor de potencia y la corriente de excitación para varias cargas

Cada una de las curvas de la familia, por tanto, tiene un desplazamiento hacia la derecha ala aumentar la carga, como muestran las figura (7a) para proporcionar la excitación necesaria para obtener el mismo factor de potencia (0.8 inductivo, unidad, ó 0.8 capacitivo) para una carga mayor. Así, las curvas en V representan los diagramas vectoriales, y viceversa, para las distintas condiciones de carga y factor de potencia.

En la curva V en el punto 2 de la de está se observa que si se aumenta la excitación aumenta la carga y se desarrolla más potencia. De manera parecida, si se disminuye la excitación del punto 2 de la figura (7a) la carga disminuye y se desarrolla menos potencia.

MOTOR SINCRONO COMO INDUCTANCIA O CAPACITANCIA VARIABLE

El motor síncrono requiere una considerable potencia reactiva cuando opera en vacío sin ninguna excitación en c-d aplicada al rotor. Actúa como una carga inductiva trifásica en una línea de potencia. Cuando el rotor se excita, se produce parte del magnetismo dentro del motor, dando como resultado que el estator tiene que proporcionar una menor cantidad y la potencia reactiva obtenida de la línea de alimentación disminuye. Si el rotor se excita hasta que produce todo el magnetismo, la línea de alimentación sólo tendrá que proporcionar potencia real al estator y el factor de potencia será igual a la unidad. En lo que respecta a la línea de alimentación, el motor síncrono se comporta ahora una carga resistiva trifásica.

Si el rotor se excita más todavía, tendiendo a crear más magnetismo que el que requiere el motor, entonces la línea de potencia comienza a proporcionar una potencia reactiva negativa al estator a fin de mantener constante el flujo total. Sin embargo, la potencia reactiva negativa corresponde a un capacitor y el motor síncrono actúa entonces como una carga capacitiva trifásica con relación a la línea de potencia.

El motor síncrono sobreexcitado toma corriente de la línea con un factor de potencia adelantado. Cuando no hay carga mecánica sobre el motor, la potencia de c-a de entrada es sólo la suficiente para vencer las pérdidas del motor (fricción, ventilación, pérdidas en el núcleo). Estas pérdidas son completamente pequeñas, y el factor de potencia de la máquina es prácticamente cero. El ángulo de potencia, $\delta = 0$ y $\theta_m = \pm 90^\circ$. Cuando I, se ajusta de modo que E , sea mayor que el voltaje terminal de fase, $0_m = +90^\circ$, la máquina funciona en forma muy semejante a un banco de capacitores. El control de la corriente de campo provee un control suave de los VAR adelantados. Una máquina síncrona diseñada para esta clase de trabajo se denomina "capacitor síncrono". Los condensadores síncronos, casi siempre están cubiertos totalmente. El eje no se extiende afuera de la cubierta de la máquina. Frecuentemente se encuentra que, si se necesita entregar un gran número de VAR a un sistema de energía, un capacitor síncrono es más económico que los capacitores ordinarios.

Cuando funciona en vacío, el motor síncrono tiene la propiedad de actuar como un capacitor variable/inductor variable, en donde el valor de la reactancia (X_s ó X_d) queda determinada por la intensidad de corriente directa que fluye por el rotor.

Cuando un motor síncrono se usa en el mismo sistema de potencia junto con motores de inducción, mejora el factor de potencia general del sistema.

PAR DE SALIDA DEL MOTOR SINCRONO

Los motores síncronos, al igual que los de inducción, se pueden sobrecargar en forma temporal. Sin embargo, a diferencia del motor de inducción, el síncrono mantendrá una velocidad constante hasta que las condiciones de sobrecarga no excedan determinado punto. El punto máximo de sobrecarga depende de la excitación de c-d del rotor. Cuando se sobrepasa este punto, los polos del rotor " se desacoplan " del campo giratorio del estator y el rotor pierde su sincronismo. Este punto de sobrecarga se denomina par de salida del motor. Si no fuera por los devanados de jaula de ardilla, dejaría de desarrollar par y, en consecuencia, se detendría rápidamente. Cuando un motor síncrono sale de sincronismo, hay que desconectarlo de la línea de alimentación tan rápidamente como sea posible.

EL ALTERNADOR

Los alternadores son la fuente más importante de energía eléctrica. Los alternadores generan un voltaje de c-a cuya frecuencia depende totalmente de la velocidad de rotación. El valor del voltaje generado depende de la velocidad, de la excitación del campo en c-d y del factor de potencia de la carga.

Si se mantiene constante la excitación de campo de c-d, el voltaje de salida, aumentarán en proporción directa a la excitación, el flujo alcanzará finalmente un valor lo suficientemente alto para saturar el hierro del alternador.

La saturación significa que, para un incremento dado de la corriente de campo de c-d, se tendrá un incremento menor en el flujo.

Las tres fases del alternador están espaciadas mecánicamente a intervalos idénticos unas de otras y, por lo tanto, los voltajes respectivos generados no están en fase, sino que están defasados entre sí en 120 grados eléctricos.

Cuando un alternador que trabaja produciendo su voltaje nominal de salida se somete repentinamente a un corto circuito, habrá momentáneamente corrientes de gran intensidad. Sin embargo, al subsistir el corto circuito, las corrientes intensas disminuirán rápidamente a valores seguros.

El voltaje de salida depende básicamente del flujo que se tenga en el entrehierro. Cuando está en vacío este flujo se establece y determina exclusivamente mediante la excitación de campos de c-d.

Sin embargo, cuando se tiene carga, el flujo en el entrehierro queda determinado por los amperes-vueltas del rotor y los amperes-vueltas del estator. Estos últimos pueden sumarse u oponerse a la FMM (fuerza magnetomotriz) del rotor, dependiendo del factor de potencia de la carga. Los factores de potencia adelantados magnetizan el rotor mientras los atrasados lo desmagnetizan.

Puesto que la fuerza magnetomotriz del estator tiene un efecto tan importante en el flujo magnético, la regulación de voltaje de los alternadores es bastante mala y la corriente de campo de c-d se debe regular continuamente para mantener un voltaje constante en condiciones de carga variables.

Si una fase tiene una carga grande, su voltaje se reducirá debido a las pérdidas por IR e IX, en el devanado del estator. Esta caída de voltaje no se puede compensar modificando la corriente de campo de c-d, debido a que los voltajes de las otras dos fases también variarían. Por consiguientes, es esencial que los alternadores trifásico no tengan cargas que estén muy desbalanceadas.

MATERIAL

Módulo de motor síncrono/generador	EMS 8241
Módulo de electrodinamómetro	EMS 8911
Módulo de fuente de alimentación	EMS 8821
Módulo de interruptor de sincronización	EMS 8621
Módulo de medición de c-a	EMS 8425
Módulo de medición de c-a (250V)	EMS 8426
Módulo de medición de c-d (0.5/2.5A)	EMS 8412
Módulo de wattímetro trifásico	EMS 8441
Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla	EMS 8221
Módulo de motor/generador de c-d	EMS 8211
Módulo de resistencia	EMS 8311
Módulo de capacitancia	EMS 8331
Módulo de inductancia	EMS 8321
Tacómetro de mano	EMS 8920
Cables de conexión	EMS 8941
Banda	EMS 8942

PROCEDIMIENTO

Examine la estructura del módulo EMS 8241 de motor síncrono generador, fijándose especialmente en el motor, los anillos colectores, el reostato, las terminales de conexión y el alambrado.

Observe desde la cara delantera las siguientes características del módulo. Los tres devanados independientes del estator están conectados a las terminales 1 y 4, 2 y 5, 3 y 6, el voltaje nominal del estator es de 120V, la corriente nominal de los devanados del estator es de 1A, la corriente nominal del devanado del rotor es de .6A dc, el voltaje nominal del devanado del rotor es de 120V dc, la velocidad nominal en r/min es igual a 1800 y la potencia hp es igual 1/4.

1.- conecte el circuito que se ilustra en la figura 8. Observe cómo está conectado el motor síncrono; ésta es la configuración normal de arranque (como un motor de inducción trifásico de jaula de ardilla)

a) Ajuste la perilla de control del dinamómetro en su posición extrema haciéndola girar en el sentido de las manecillas del reloj (afin de proporcionarle al motor síncrono la máxima carga en el arranque).

b) Si el motor síncrono tiene el interruptor S, ciérrelo al llegar a este paso.

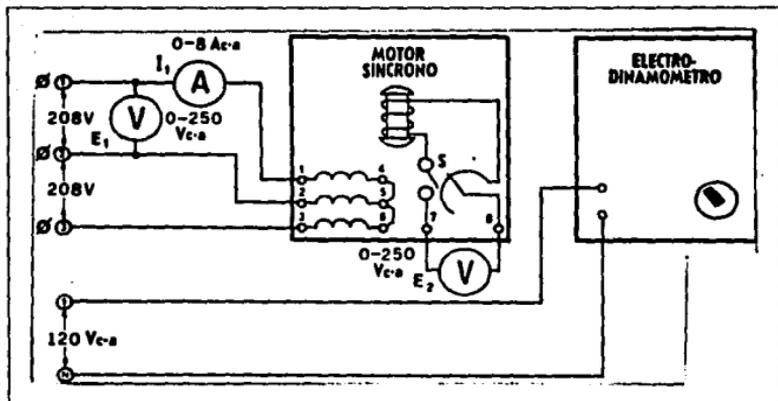


FIGURA 8

c) Conecte la fuente de alimentación y mida rápidamente E_1 , E_2 , I_1 y el par de arranque desarrollado. Desconecte la fuente de alimentación.

E_1 = -----Vc-a

E_2 = -----Vc-a

I_1 = -----Ac-a

Par de arranque = -----lbf-plg

2.- Sin cambiar el circuito, conecte la fuente de alimentación y, para reducir la carga, haga girar con lentitud la perilla de control del dinamómetro en sentido contrario al de las manecillas del reloj. El motor aumentará a velocidad plena y funcionará como motor de inducción de jaula de ardilla. Observe el efecto producido en el voltaje inducido E .

a) ¿ Por qué se reduce E , conforme se incrementa la velocidad del motor?

3.- Conecte el circuito que aparece en la figura 9 utilizando los módulos EMS de motor/generador síncrono, wattímetro, fuente de alimentación y módulos de medición.

a) Ajuste el campo del reóstato para una resistencia cero (haga girar totalmente la perilla en el sentido de las manecillas del reloj).

4.- Conecte la fuente de alimentación; el motor debe comenzar a funcionar. El motor toma potencia reactiva positiva de la fuente de alimentación a una excitación de c-d igual a cero, y funciona como un inductor.

a) Si el motor está equipado con un interruptor S, ciérrelo al llegar a este paso

b) Aumente gradualmente la excitación de c-d hasta que la corriente alterna I_1 esté en su valor mínimo. Los dos wattímetros deben indicar lecturas positivas idénticas y, en lo que respecta a la fuente de alimentación, el motor se comporta como una resistencia.

I_1 = -----A c-a

I_2 = -----A c-d

W_1 = -----W

W_2 = -----W

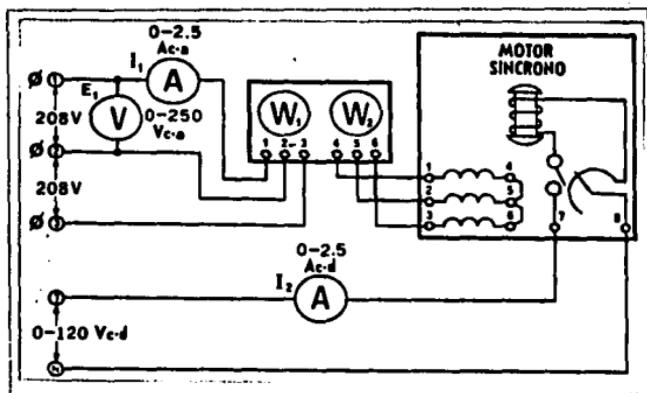
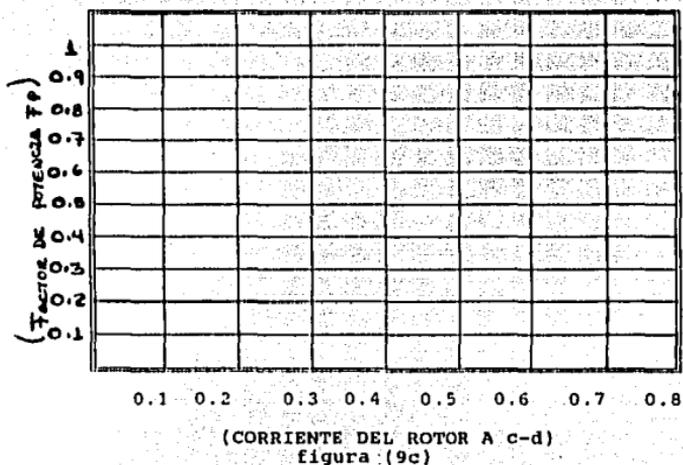


FIG. 9

c) Aumente gradualmente la excitación de c-d y observe que la corriente alterna I_1 comienza a aumentar nuevamente. El motor toma una potencia reactiva negativa de la fuente de alimentación y se comporta como un capacitor.

d) Reduzca la excitación de c-d a cero; mida y anote E_1 , I_1 , W_1 y W_2 en la tabla (9a). Repita esta operación para cada valor de corriente directa indicado en la tabla (9a). Cuando la excitación exceda de 0.6A c-d, tome las mediciones tan rápidamente como sea posible. Desconecte la fuente de alimentación y cambie la escala del amperímetro cuando la corriente descienda por debajo de 0.5A c-d. Recuerde que debe observar las indicaciones de polaridad del wattímetro.

De acuerdo con los resultados en la tabla (9a). Grafique en la fig.(9c). Los valores de factor de potencia en función de los valores de corriente directa y obtenga su gráfica.



5) Conecte el circuito que aparece en la figura 10 utilizando los módulos EMS de motor /generador síncrono, wattímetro, electrodinamómetro, fuente de alimentación y medición.

a) Acople el motor al electrodinamómetro utilizando la banda.

b) Gire la perilla de control del dinamómetro en su posición extrema haciéndola girar en sentido contrario al de las manecillas del reloj.

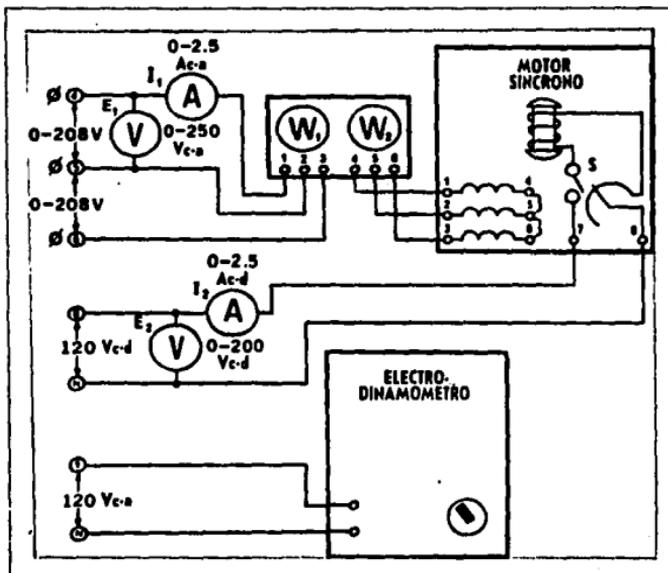


FIGURA.10

c) Ajuste el reóstato del motor sincrónico en su posición extrema haciéndolo girar en sentido contrario al de las manecillas del reloj, para obtener una resistencia máxima. (si el motor tiene un interruptor S, debe cerrarlo)

d) Conecte la fuente de alimentación y ajuste rápidamente a E, A 208V c-a. El motor debe comenzar a funcionar. Si el motor tiene un interruptor S, debe cerrarlo.

e) Aumente en forma gradual el par hasta llegar a 9 lbf.plg, en tanto que hace variar la excitación de c-d, hasta que la indicación en los dos wattímetros sea la misma, es decir, hasta que el factor de potencia sea igual a la unidad. (I, debe estar también en su valor mínimo).

Mida y anote $I_1, I_2, E_1, W_1, \text{ y } W_2$

$$I_1 = \text{-----} A \text{ c-a}$$

$$I_2 = \text{-----} A \text{ c-d}$$

$$E_1 = \text{-----} V \text{ c-d}$$

$$W_1 = \text{-----} W$$

$$W_2 = \text{-----} W$$

Con los resultados del procedimiento 5. Calcule las características cuando se tiene una carga de 91bf.plg del motor sincrónico.

* Potencia aparente

$$\text{-----}$$
$$\text{-----}$$
$$\text{-----} = \text{-----} VA$$

* Potencia real

$$\text{-----}$$
$$\text{-----}$$
$$\text{-----} = \text{-----} W$$

* Potencia reactiva

$$\text{-----}$$
$$\text{-----}$$
$$\text{-----} = \text{-----} VAR$$

* Factor de potencia

$$\text{-----}$$
$$\text{-----}$$
$$\text{-----} = \text{-----}$$

* Potencia en c-d

----- = ----- W

* Potencia (hp)

----- = ----- hp

* Eficiencia

----- = ----- %

6) Repita el procedimiento (5e), pero en esta ocasión aumente la excitación de c-d a 0.8 A c-d, en tanto que mantenga un par de 91bf.plg.

Mida y anote

I_c = ----- A c-a

E_c = ----- V c-d

W₁ = ----- W

W₂ = ----- W

7) Conecte el circuito que aparece en la figura 11 usando los módulos EMS de motor/generador síncrono, motor de jaula de ardilla, fuente de alimentación y medición. El motor de jaula de ardilla se usará para impulsar el motor/generador síncrono como alternador.

a) Acople el motor de jaula de ardilla al alternador, mediante la banda. Ajuste el reóstato del campo del alternador a su posición extrema moviendo el control en el sentido de las manecillas del reloj (para una resistencia cero).

b) La perilla de control del voltaje de la fuente debe estar en su posición extrema haciéndola girar en el sentido contrario a las manecillas del reloj (para un voltaje en c-d igual a cero).

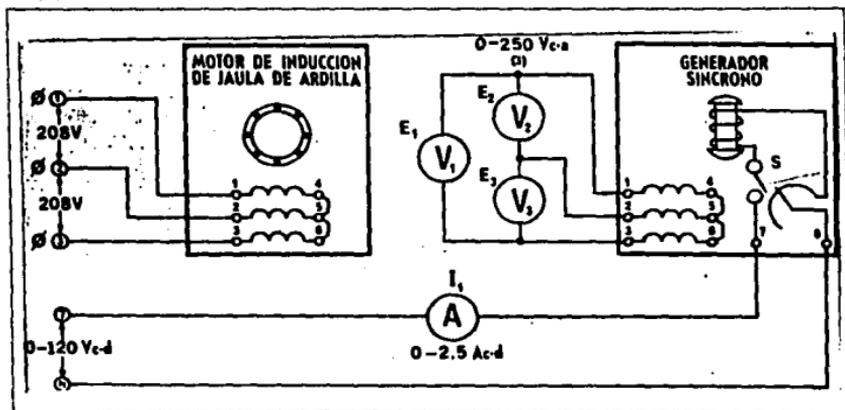


FIGURA 11

c) Conecte la fuente de alimentación. El motor debe comenzar a funcionar. Siendo nula la excitación de c-d, mida y anote E_1 , E_2 , y E_3 . (Use las escalas más bajas de los voltímetros).

E_1 = -----V c-a

E_2 = -----V c-a

E_3 = -----V c-a

Explique por qué se genera un voltaje de c-a cuando no hay excitación en c-d.

d) Si el motor tiene un interruptor S, ciérrelo al llegar a este paso. Aumente gradualmente la excitación de c-d a partir de 0 hasta como lo marca la tabla 11A, mida y anote los tres voltajes generados E_1 , E_2 y E_3 , para cada una de las corrientes directas indicadas en la tabla 11A

I_1 (AMPS)	E_1 (VOLTS)	E_2 (VOLTS)	E_3 (VOLTS)	E_{c-a} (PROMEDIO)
0				
0.1				
0.2				
0.3				
0.4				
0.5				
0.6				
0.7				
0.8				
0.9				

TABLA 11A

e) Calcule y anote en la tabla 11A el voltaje de salida promedio del alternador, para cada corriente directa indicada.

f) De acuerdo con los resultados en la tabla 11A. Grafique en la figura 11b. Los valores de voltaje generado(E_{c-a}) en función de corriente de rotor (A c-d) y obtenga su gráfica.

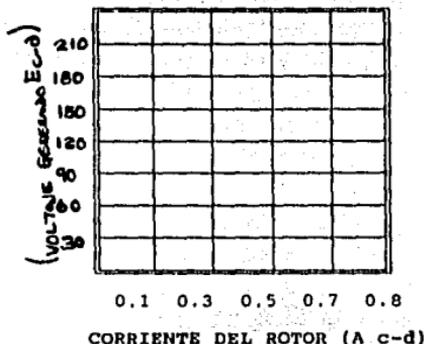


TABLA 11B

8) Conecte el circuito que se ilustra en la figura 12, Usando los módulos EMS de motor/generador síncrono, motor /generador de c-d, resistencia, fuente de alimentación y medición.

a) Acople el motor al alternador mediante la banda. Ajuste el reóstato de campo de c-d a su posición extrema haciendo girar su perilla de control en el sentido de las manecillas del reloj (resistencia mínima).

b) Ponga el reóstato de campo del alternador en la otra posición extrema haciendo girar su perilla de control en el sentido contrario al de las manecillas del reloj (para resistencia máxima).

e) Ajuste cada sección de resistencias a un valor de 300 ohms.

9) Conecte la fuente de alimentación y fijándose en el tacómetro de mano, ajuste el reóstato del motor de c-d para una velocidad de 1800r/min. (Esta velocidad se debe mantener constante durante el resto de este experimento de laboratorio).

a) Si el motor síncrono tiene un interruptor S, ciérrelo al llegar a este paso.

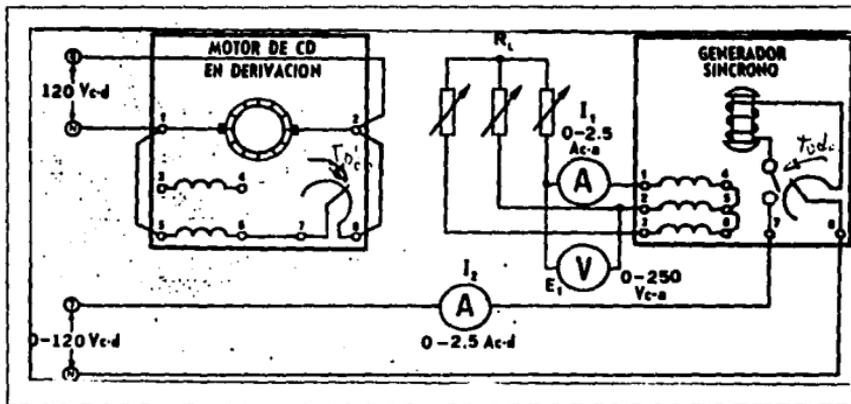


FIGURA 12

b) Ajuste la excitación de c-d del alternador hasta que el voltaje de salida $E_1 = 208 \text{ V c-a}$. Mida y anote I_1 e I_2 de plena carga.

$$I_1 = \text{-----A c-a}$$

$$I_2 = \text{-----A c-d}$$

c) Abra los interruptores de las 3 resistencias de carga, para que el alternador trabaje en vacío, y mida y anote E_1 e I_2 . Recuerde que debe comprobar la velocidad del motor y ajustarla a 1800 r/min, si fuera necesario.

$$E_1 = \text{-----V c-a} \quad I_2 = \text{-----A c-d}$$

d) Reduzca el voltaje a cero y desconecte la fuente de alimentación. Calcule la regulación del alternador con carga resistiva.

% regulación =

$$\frac{\text{volts en vacío} - \text{volts a plena carga}}{\text{volts a plena carga}} \times 100 \dots (1)$$

10) Reemplace la carga resistiva por una inductiva utilizando el módulo de inductancia

a) Ajuste cada sección de inductancias a un valor de 300 Ohms.

b) Ajuste la excitación de c-d del alternador hasta que el voltaje de salida $E_s = 208 \text{ V c-a}$. Mida y anote I_1 e I_2 de plena carga.

$$I_1 = \text{-----A c-a}$$

$$I_2 = \text{-----A c-d}$$

c) Abra los interruptores de las 3 inductancias de carga, para que el alternador trabaje en vacío, y mida y anote E_s e I_1 . Recuerde que debe comprobar la velocidad del motor y ajustarla a 1800 r/min, si fuera necesario.

$$E_s = \text{-----V c-a} \quad I_1 = \text{-----A c-d}$$

d) Reduzca el voltaje a cero y desconecte la fuente de alimentación. Calcule la regulación del alternador con carga inductiva, utilizando la fórmula (1).

11) Reemplace la carga inductiva por una capacitiva utilizando el módulo de capacitancia.

a) Ajuste cada sección de capacitancia a un valor de 300 Ohms.

b) Ajuste la excitación de c-d del alternador hasta que el voltaje de salida $E_s = 208 \text{ V c-a}$. Mida y anote I_1 e I_2 de plena carga.

$$I_1 = \text{-----A c-a}$$

$$I_2 = \text{-----A c-d}$$

c) Abra los interruptores de las 3 capacitancias de carga, para que el alternador trabaje en vacío, y mida y anote E_1 e I_1 . Recuerde que debe comprobar la velocidad del motor y ajustarla a 1800 r/min, si fuera necesario.

$$E_1 = \text{-----V c-a} \quad I_1 = \text{-----A c-d}$$

d) Reduzca el voltaje a cero y desconecte la fuente de alimentación. Calcule la regulación del alternador con carga capacitiva, utilizando la fórmula (1).

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

- 1.- ¿ Cuales son las características de la velocidad síncrona?
- 2.- ¿ En que consiste la prueba de cortocircuito?
- 3.- Indique dos razones por las que el devanado del rotor de un motor síncrono se conecta casi siempre a una resistencia externa durante el arranque.
- 4.- Del experimento 3 y 4 haga sus comentarios acerca de la forma que se tiene de ambas gráficas.
- 5.- El motor síncrono se denomina a veces capacitor síncrono.
- 6.- Compare los resultados de los procedimientos 5 y 6. Diga cual es la diferencia.
- 7.- Que es un alternador.
- 8.- Del procedimiento (7f) explique por qué el voltaje aumenta con menor rapidez cuando se incrementa la corriente de c-d.
- 9.- De los resultados de los procedimientos 8, 10 y 11 que puede decirse como conclusión.
- 10.- Del procedimiento 11 como se comporta el capacitor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA 8

" INTRODUCCION AL EQUIPO DE CONTROL "



INTRODUCCION AL EQUIPO DE CONTROL

OBJETIVOS

- 1) Conocer las características de los dispositivos de control.
- 2) Manejar y dominar la simbología, así como las abreviaturas.

INTRODUCCION

INTRODUCCION AL EQUIPO DE CONTROL

Entre los dispositivos de protección y control en las instalaciones se tienen aquellos que deben satisfacer las normas y recomendaciones dadas para las instalaciones y diseño en los circuitos. El controlador puede ser un simple desconectador para arrancar y parar el motor (switch), puede ser también una estación de botones para arrancar al motor en forma local o a control remoto o puede ser un dispositivo que arranque al motor por pasos o invirtiendo su sentido de rotación o bien haciendo uso de las señales de los elementos por controlar como pueden ser temperatura, presión, nivel de un líquido o cualquier otro cambio físico que requiera arrancar o parar un motor y que evidentemente le dan mayor grado de complejidad al circuito de control. En nuestro caso haremos estudio de los siguientes elementos:

- Interruptores termomagneticos
- Contactores
- Relevador de sobrecarga
- Relevador tiempo
- Relevador de secuencia
- Estación de botones
- Etc.

A) INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS

Estos interruptores están diseñados para abrir el circuito en forma automática cuando ocurre una sobrecarga accionado por una combinación de un elemento térmico y un elemento magnético.

El elemento térmico consta esencialmente de la unión de dos elementos metálicos de diferente coeficiente de dilatación, conocido también como partérmico. El cual al paso de la corriente se calienta y por lo tanto se deforma, habiendo un cambio de posición que es aprovechado para accionar el mecanismo de disparo del interruptor.

El elemento magnético consta de una bobina cuyo núcleo es movable y que puede operar o disparar el mecanismo del interruptor, el circuito se abre en forma instantánea cuando ocurre sobre una corriente, operan con sobrecarga con elemento térmico y por sobrecorrientes con el elementos magnético para fallas.

LOS INTERRUPTORES SE CLASIFICAN EN:

Interruptores termomagnéticos instantáneos.

Los interruptores termomagnéticos llamados instantáneos para uno de los dos tipos que usan normalmente en las instalaciones eléctricas, son energizados por el circuito magnético, de las corrientes de sobrecarga o de corto circuito y se usan normalmente como elemento de protección de los circuitos derivados de motores, ya que la protección contra sobrecarga del motor es el elemento térmico en un elevador, que se considera por separado. Los interruptores termomagnéticos especiales se diseñan para soportar un 100% de la corriente nominal de carga y para disparar entre 101 Y 120% de la corriente nominal de carga.

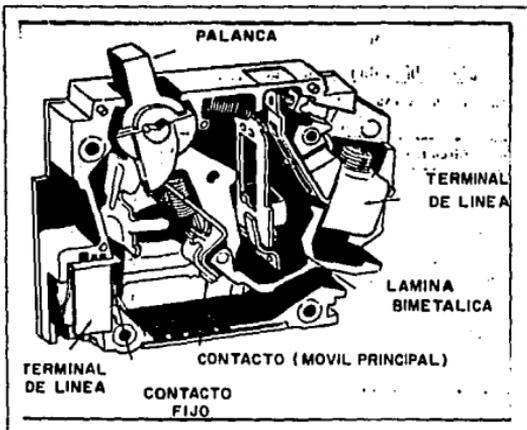
Interruptores termomagnético de tiempo inverso

Un interruptor termomagnético de tiempo inverso, es el tipo de interruptor termomagnético, equivalente al fusible de tiempo retardado tiene un elemento magnético que responde en forma instantánea a las corrientes de corto circuito severas o a valores excesivos de sobrecarga en el arranque. El elemento térmico proporciona protección para los circuitos derivados (a excepción de los circuitos derivados para motores grandes) cuando se presentan sobrecarga, esta protección la realiza por medio de dispositivos térmicamente activados, tal como ocurre con los elementos bimetalicos. Para los circuitos derivados de motores, la protección contra sobrecarga se separa frecuentemente.

Los interruptores termomagnéticos se fabrican según sus aplicaciones y capacidad para prestar servicio en:

- a) Tipo industrial
- b) Centros de carga
- c) Tableros de alumbrado.

Partes constitutivas de un interruptor termomagnético.



B) CONTACTORES MAGNETICOS

Un contactor magnético es esencialmente un relevador de control grande que está diseñado para abrir y cerrar un circuito de potencia, posee un relevador de bobina que activa a un conjunto de contactos y se usan para controlar motores desde 1/2 hp hasta varios cientos de hp y poseen por lo general un sistema de extensión de arco eléctrico por soplo magnético, para evitar que se dañen los contactos por las repetidas operaciones de apertura y cierre a que se ven sujetos.

Existen también contactores que operan con corriente alterna, que están sostenidos mecánicamente, estos son dispositivos electromecánicos que proporcionan un medio seguro y eficiente en los circuitos de interrupción.

C) RELEVADORES TERMICO

Un relevador térmico, también conocido como relevador de sobrecarga, es un dispositivo sensible a la temperatura cuyos contactos abren o cierran cuando la corriente del motor excede a un límite preestablecido. La corriente circula a través de un elemento de calentamiento pequeño que alcanza la temperatura del relevador. Los relevadores térmicos son dispositivos de retardo de tiempo en forma inherente debido a que la temperatura no puede seguir instantánea a los cambios de la corriente.

Existen relevadores del tipo aleación fusible que no se pueden graduar, pero que ofrecen una protección confiable contra sobrecarga. Estos fusibles existen en una gran variedad y son intercambiables alojándose en el arrancador.

El relevador de sobrecarga es el corazón de la protección del motor. Como fusible de doble elemento, un relevador de sobrecarga tiene características de tiempo inverso en el disparo o apertura, permitiendo mantener la conducción durante el período de aceleración. El relevador de sobrecarga no provee protección de corto circuito.

El relevador de sobrecarga: Pueden ser clasificados en términos y magnéticos, los relevadores de sobrecarga magnéticos reaccionan únicamente a los excesos de corriente y no son afectados por la temperatura. Como su nombre lo indica, en los relevadores de sobrecarga términos la operación depende de la elevación de temperatura causada por la corriente de sobrecarga, la cual hace operar el mecanismo de disparo. Los relevadores térmicos de sobrecarga pueden ser subdivididos en los tipos de aleación fusible y bimetálicos.

Relevador térmico de sobrecarga de aleación fusible

En estos relevadores de sobrecarga (también conocidos como "relevadores de crisol de soldadura"), la corriente del motor pasa por un pequeño devanado calefactor. Bajo condiciones de sobrecarga el calor causa que la soldadura especial se funda, permitiendo que una rueda de trinquete gire libremente, abriéndose los contactos. Cuando esto ocurre se dice que el relevador se dispara. Los relevadores térmicos de sobrecarga de aleación fusible se restablecen manualmente. Las unidades se designan en amperes y son seleccionados sobre la base de la corriente plena del motor y no en HP.

Crisol de soldadura (elemento sensitivo al calor) es una parte integral de la unidad térmica. Proporciona una respuesta exacta a la sobrecarga de corriente, previniendo ruidos molestos en el disparo.

Devanado calefactor (elemento productor de calor) está permanentemente unido al crisol, para que se asegure una adecuada transferencia de calor. No hay la posibilidad de desalineamiento posterior en el campo.

Relevadores térmicos de sobrecarga bimetalicos.

Estos relevadores emplean una tira bimetalica en forma de U, asociado con un elemento calefactor. Cuando ocurre una sobrecarga, el calor causará que el elemento bimetalico se desvíe y abra un contacto. Diferentes calentadores dan diferentes puntos de disparo. Además, la mayoría de los relevadores son ajustables en un rango de 85% a 115% del valor nominal del calentador.

Selección del relevador térmico de sobrecarga

La corriente de carga plena del motor, el tipo del motor y la posible diferencia en la temperatura ambiente entre el motor y el controlador deberá todo tomarse en cuenta al seleccionar las unidades térmicas de sobrecarga. Estas selecciones protegerán debidamente al motor y permitirán que éste desarrolle su capacidad plena en HP, según el factor de servicio, si la temperatura ambiente es la misma en el motor y el controlador. Si las temperaturas no resultan las mismas, o si el factor de servicio del motor es menor de 1.15, se requerirá seguir un procedimiento especial para seleccionar la unidad térmica adecuada.

D) ESTACION DE BOTONES

Una estación de botones es básicamente un desconectador (switch) que se activa por medio de la presión de los dedos de manera que dos o más contactos cierran o abren cuando se quita la presión de los botones. Normalmente se usan resortes en los botones para regresarlos a su posición original después de ser presionados.

En una instalación eléctrica se puede usar más de una estación de botones de manera que se puede controlar un motor desde tantos puntos como estaciones se tengan y se pueden fabricar para uso normal o para uso pesado, cuando se usan con mucha frecuencia.

Una estación de botones (estación de control) puede incluir botones de control, interruptores selectores y lámparas piloto. Los botones de control pueden ser de contacto momentáneo o mantenido. Las estaciones de servicio estándar tienen capacidad para manejar la corriente de las bobinas de los contactores de tamaño 4. Las estaciones de servicio pesado tienen capacidad mayor de corriente en sus contactos y proporcionan una mayor flexibilidad a través de una amplia variedad de operadores e intercambialidad de unidades.

MATERIAL

- Interruptores de botones de presión
- Interruptores de palanca
- Contactores electro magnéticos
- Relevador de tiempo
- Relevador de control
- Relevador de circuito
- Reloj secuencial
- Interruptores de tambor
- Interruptores de enchufe
- Frenos magnéticos
- Resistencia
- Capacitores y diodos
- Lámparas indicadoras
- Conjunto de cable remoto
- Transformador de control
- Zumbador de prueba
- Volantes
- Tablero de componentes
- Cables para conexión

DESARROLLO

Estudiar a fondo todos y cada uno de los materiales ya antes mencionados. Ya que en las siguientes practicas haremos uso de los dispositivos de control.

DEFINICIONES Y DESCRIPCIONES DE LOS CONTROLES

CONTACTOS

Un contacto consiste en partes conductoras que coactúan para completar o interrumpir un circuito eléctrico. Un contacto de una sola interrupción tiene un elemento fijo montado en un brazo conductor. Un contacto de doble interrupción tiene dos elementos fijos montados en una base aislada y un elemento conductor móvil montado en un brazo aislado, el elemento móvil actúa como conexión variable entre los dos contactos.

Un contacto está abierto o cerrado en el estado normal y se conoce como normalmente abierto (NO) o normalmente cerrado (NC). En el caso de contactos que funcionan magnéticamente, el estado normal ocurre cuando la bobina de operación no está energizada.

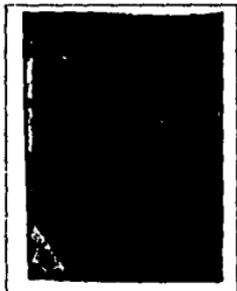
INTERRUPTORES

Un interruptor es un dispositivo para establecer, interrumpir o cambiar las conexiones en un circuito eléctrico. Todo los interruptores contienen uno o más polos. Un polo consiste en un conjunto completo de contactos que abre o cierra un circuito eléctrico. En consecuencia se utiliza un interruptor de un solo polo en los casos en que solo participa un circuito. Un interruptor de doble polo se utiliza para dos circuitos.

INTERRUPTORES DE BOTONES DE PRESION

Los botones de presión en la fig.1 son los dispositivos piloto que se utilizan más en el campo de control de motores. A manera de definición se puede decir que un botón de presión es un interruptor que funciona manualmente para establecer o interrumpir uno o más circuitos de control. Estos pueden hacer funcionar dispositivos de control magnético tales como arrancadores, contactores y relevadores.

FIG. 1



Los botones de presión de EMS, modelos 9102 (rojo) y 9103 (negro) son dispositivos de conmutación de dos circuitos. Tienen contactos de doble interrupción conectados a un émbolo, que cuando se oprime, interrumpe un circuito normalmente cerrado y lo hace un circuito normalmente abierto. Cuando se libera el botón de presión, un resorte regresa los contactos a su posición normal, a lo que se conoce como acción momentánea.

INTERRUPTORES DE PALANCA

El interruptor de palanca de EMS, modelo 9104, fig.2, tiene un contacto de una sola interrupción conectada a un brazo (palanca) que cuando se cambia de posición interrumpe un circuito normalmente cerrado y lo hace normalmente abierto. Cuando se regresa la palanca a su posición normal, los contactos se mantienen en su nuevo estado, lo que se conoce como acción mantenida.

Al interruptor de UPDT también se le puede llamar interruptor de transferencia ya que permite al usuario dirigir (transferir) la energía a cualquiera de dos cargas. Sin embargo, no opera ambas cargas al mismo tiempo. Se puede conectar dos de estos interruptores de tres terminales para controlar una carga desde dos lugares. Cuando se usan de esta manera se conocen como interruptores de 3 vías.

El interruptor de palanca EMS modelo 9105, fig.3 es un interruptor de tipo especial de DPDT que sólo contiene cuatro terminales en lugar de las seis normales. Todavía están presentes los contactos para el par de terminales faltantes, aunque internamente están puenteadas a sus oponentes diagonales. Con la palanca en una posición, la energía se pasa de una de las terminales de entrada a una terminal correspondiente de salida. Cuando la palanca se pasa a la otra posición, se envía la energía desde una de las terminales de entrada a la terminal de salida opuesta.

Es posible controlar una carga desde tres o más lugares colocando uno o más de estos interruptores entre dos interruptores de 3 vías. Cuando se utilizan así, se conocen como interruptores de 4 vías.

El interruptor de 4 vías también es útil en los circuitos de inversión de motores en que se requiere un cambio en la polaridad de la línea o la secuencia de fase.



FIG. 2

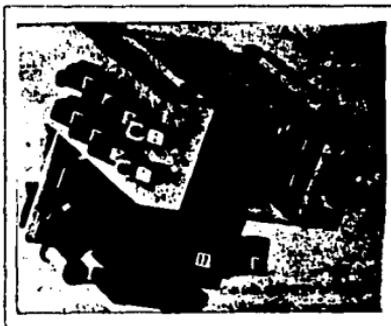


FIG. 3

CONTACTORES ELECTROMAGNETICO

Un contactor electromagnético es un relevador del tipo de potencia con contactos de trabajo pesado para interrumpir cargas industriales. El diseño del magneto de un contactor de c-a consiste en un núcleo estacionario y una armadura móvil. El magneto, hecho de acero laminado de alta permeabilidad, proporciona la trayectoria para el campo magnético que establece la corriente de la bobina. Este campo atrae la armadura hacia el núcleo. Los contactos móviles de la armadura hacen conexión con los contactos estacionarios, completando un circuito eléctrico. Cuando se interrumpe la corriente de bobina, el campo magnético desaparece y por gravedad o mediante resortes se regresa la armadura a su posición original, separando con ello los contactos. Los contactores pueden tener contactos auxiliares para hacer funcionar lámparas indicadoras, relevadores, otros contactores y para fines de retención o cierre de combinación.

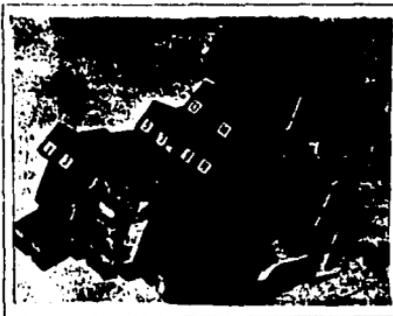
El contactor electromagnético de EMS modelo 9106 es un relevador universal de cuatro polos y tipo de potencia, que permite una diversidad de arreglos de contacto abierto y cerrado. Cada polo universal consiste en dos pares estacionarios de contactos de doble interrupción de plata sólida para trabajo pesado. Un par está normalmente cerrado y el otro normalmente abierto. La bobina del magneto (solenoides) funciona a 120Vca.



RELEVADOR DE TIEMPO

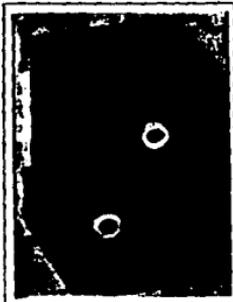
Un relevador de tiempo o de retraso es un dispositivo de circuito de control que suministra una función de conmutación con el paso del tiempo. Puede haber muchos tipos de relevadores de tiempo, tales como los operados por motor, hidráulicos, de decaimiento de flujo magnético, las características de construcción y comportamiento del relevador con retraso neumático hacen adecuado para la mayoría de las operaciones de control industrial. Un relevador con retraso neumático es un dispositivo de restablecimiento que utiliza el escape de un fluido o aire a través de un orificio ajustable. A los relevadores de tiempo que

provocan un retraso en la activación a la carga se les conoce como relevadores de retraso. El relevador de retardo de tiempo EMS modelo 9107 consta de una bobina de operación, una cabeza neumática y dos conjuntos de contactos. El conjunto inferior de cuatro polos de contactos de plata sólida de doble interrupción (dos normalmente cerrados y dos normalmente abiertos) actúa instantáneamente suministrando energía a la bobina de operación de 120Vc-a. La pareja superior de contactos (uno normalmente cerrado y uno normalmente abierto) se abre o cierra con un retraso de tiempo después de que se ha dado energía a la bobina. Girando la rueda de ajuste, se pueden obtener retrasos repetibles (dentro de 15%) entre 0.2 y 60 segundos.



RELEVADOR DE CONTROL

Los relevadores de control se diseñan para utilizarlos como dispositivos en circuitos piloto, en los circuitos de control de diferentes relevadores, contactores u otros dispositivos. Debido a sus requerimientos más bajos de corriente y voltaje de conmutación, los contactos pueden ser mucho más pequeños y tener menos separación. Su potencia de operación es relativamente baja y se pueden clasificar como relevadores de trabajo ligero, tipo sensible.



El relevador de control EMS modelo 9108 es un relevador de acción rápida de polo simple, donde tiro o vía con su bobina diseñada para funcionar con c-d. Aunque la especificación de la bobina es de 10Vc-d, la armadura atrae con un voltaje aplicado considerablemente menor. El voltaje de retención es inferior a un volt, lo que permite que este relevador también sea utilizable en determinadas aplicaciones como detector de pérdida de campo e indicador de velocidad cero.

RELEVADOR DE SOBRECARGA

El relevador de sobrecarga es un dispositivo de circuito de control, para proteger a un motor contra cargas excesivamente pesadas. En serie con los conductores de la línea del motor se conectan elementos térmicos o magnéticos sensibles a la corriente. Cuando se produce algún valor predeterminado de corriente de sobrecarga, el relevador se dispara y corta la energía a los controles de arranque, lo que para al motor. Se proporciona un botón de restablecimiento manual o automático para restablecer el funcionamiento del circuito de control.



El relevador de sobrecarga EMS modelo 9101 es un dispositivo bimetalico de tres elementos que actúa como un interruptor UPDT interconstruido cuando se sobrecalienta uno de los tres elementos. Se puede ajustar fácilmente el relevador para que se dispare dentro de un rango de 1.1 a 2.1 amperes haciendo girar el disco calibrado que está en la parte superior de la unidad.

Los elementos bimetalicos tienen una función de retraso incorporada que impide el disparo inconveniente durante el arranque del motor. Después del disparo se requiere un período de enfriamiento antes de que se restaure el relevador.

INTERRUPTOR DE CIRCUITO

El interruptor de circuito es un dispositivo diseñado para abrir y cerrar un circuito por medios no automáticos y de abrir automáticamente el circuito a una sobrecarga predeterminada de corriente, sin daño a sí mismo cuando se usa apropiadamente dentro de sus especificaciones.

El interruptor de circuito EMS modelo 9110 es un dispositivo de circuito de control magnético de tres polos que proporciona las siguientes funciones:

Interruptor de desconexión :
Proporciona la manera de aislar los conductores de un circuito de su fuente de energía. Una sola palanca controla los tres polos. Cuando se usa de esta manera también se puede llamar interruptor de seguridad o aislamiento.



Protector de circuito: Proporciona protección confiables contra sobrecarga del circuito. La estructura consiste en tres polos simples, cada uno capaz de soportar cinco amperes, y compuestos con un cierre de combinación mecánico interno que controla simultáneamente a todas las unidades, abriendo cada conductor de línea. La palanca simple se mueve a la posición de desconectado bajo sobrecarga, y no se puede forzar a que se cierre sino hasta eliminar la sobrecarga. Se dice que es " a prueba de disparo ". **Interruptor de control manual:** Sus características especiales de disparo en serie con retraso y alta capacidad de corriente de ruptura lo hacen útil como un interruptor de control de encendido-apagado de motor directo cuando se utiliza dentro de sus especificaciones. También se puede llamar interruptor de circuito de motor.

RELOJ SECUENCIAL

Un reloj secuencial del tipo de leva de recirculación operado por motor, es un dispositivo de control piloto que se utiliza cuando debe ocurrir un proceso definido de "encendido o apagado" o una secuencia de operaciones dentro de un intervalo dado. Los relojes secuenciales cíclicos abren y cierran interruptores de acuerdo con un programa fijo. El ciclo de funcionamiento se repite hasta abrir el circuito del motor que mueve el reloj.



El reloj secuencial EMS modelo 9111 tiene un pequeño motor síncrono de 120 volts, como los que se utilizan en los relojes eléctricos, que opera a un tren de engranajes. La flecha de baja velocidad (2r/min) del tren de engranajes lleva dos microinterruptores de un polo, doble tiro. Se puede ajustar cada leva para que proporcione un período de "encendido/apagado" desde 2% hasta 98% del ciclo de 50% de "encendido" y 50% de "apagado". Las levas también se fijan en la flecha para girar a 90° entre sí, dando una diferencial de tiempo de operaciones de 7.5 segundos.

INTERRUPTORES DE TAMBOR

Los interruptores de tambor están entre los dispositivos más conocidos y usados para controlar motores a mano. Son interruptores rotatorios formados por conjuntos de contactos, operados por una palanca. Girando la palanca es posible que un interruptor de tambor o controlador de tambor encienda, pare, invierta y controle la velocidad de un motor de c-a o c-d. El interruptor de tambor de tipo segmentado tiene sus contactos controlados por segmentos conductores en la periferia de un tambor rotatorio. El interruptor de tambor del tipo de leva tiene sus contactos controlados por levas que actúan soportadas por el tambor rotatorio.



El interruptor de leva EMS modelo 9112 es un interruptor rotatorio de uso pesado controlado manualmente que se puede utilizar para el control directo de motores. Tiene cinco conjuntos de contactos independientes de doble interrupción controlados por levas fijas a la flecha del interruptor. La secuencia de interrupción es la acción de los conjuntos de contactos que se hacen funcionar en un orden específico con respecto a otros conjuntos de contactos en el mismo interruptor. Ya que las levas están preajustadas, se debe proporcionar una tabla del funcionamiento de los contactos. La gráfica muestra el estado de cada conjunto de contactos para cada una de las posiciones del índice del interruptor, para este interruptor específico como se nota en la tabla 4.

CONTACTOS	H1	H2	OFF	L1	L2
1  2 	X	X			
3  4 				X	X
5  6 	X				
7  8 					X
9  10 			X		
X = CONTACTOS CERRADOS					

TABLA 4

INTERRUPTORES DE ENCHUFE

Un interruptor de enchufe es un dispositivo detector, conectado mecánicamente a una flecha de motor para proporcionar conmutación eléctrica independiente de la dirección en que trabaja el motor.

A veces se conoce como interruptor de velocidad cero y puede servir para parar automáticamente un motor en forma rápida. El interruptor impide la inversión rotacional después de que se ha enchufado eléctricamente el motor (como por ejemplo invirtiendo el voltaje el de línea o la secuencia de fases).

El interruptor de enchufe EMS modelo 9113 es un interruptor de tres terminales. El brazo móvil se conecta eléctricamente a la terminal central. Una banda conectada al brazo pasa sobre una flecha controlada por el motor. Si el motor comienza a girar en la dirección que siguen las manecillas del reloj, la banda empuja al brazo de contacto hasta que se cierran los contactos del lado derecho. Se impide que el brazo se mueva todavía más y la banda se desliza sobre la flecha, manteniendo cerrados los contactos por fricción. La rotación del motor en sentido contrario al de las manecillas del reloj abre los contactos de la derecha y cierra los contactos de la izquierda



FRENOS MAGNETICOS

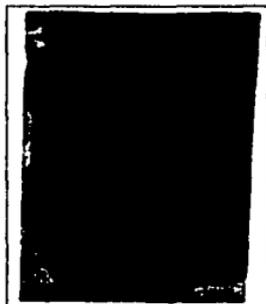
Los frenos mecánicos se utilizan en diversas aplicaciones de motores no sólo para conseguir la parada rápida de un motor, sino también para impedir que una carga estacionaria se mueva bajo la influencia de la gravedad, presión de viento u otras fuerzas; se pueden emplear en combinación con sistemas de frenado eléctrico (dinámico). El freno se aplica conforme el motor reduce su velocidad y actúa para retener al motor después de que ha cesado el movimiento.



El freno magnético EMS modelo 9114 es un freno electromagnético de tipo de disco que se monta directamente en cualquier placa frontal del módulo de motor EMS. Suministra torsión de retención cuando tiene energía. La bobina del magneto está sujeta a un plato fijo de fricción. El conjunto de disco y resorte de retención está montado en la flecha del motor y tiene libertad para girar. Cuando la bobina recibe energía a 120 volts, se establece un campo magnético que atrae al disco y lo pone en contacto con la placa de fricción. Cuando se interrumpe la energía a la bobina, se desvanece el campo magnético y la acción del resorte separa al disco de la placa de fricción, liberando al freno.

RESISTENCIAS

Las resistencias se utilizan en los circuitos de control se utilizan en los circuitos de control de motores para limitar el flujo de la corriente durante determinados periodos de funcionamiento. También se utilizan como divisores de voltaje o para limitar el voltaje aplicado a los dispositivos piloto. Contrario a los inductores o capacitores, las resistencias no pueden almacenar energía eléctrica sino que la disipan en forma de calor.



CAPACITORES Y DIODOS

Los capacitores se utilizan en los circuitos de control de c-d para suprimir los arcos entre los contactos de relevadores, para dar tiempo en la operación de relevadores, y disminuir el rizo de voltajes rectificadas.

Algunos dispositivos de control funcionan más eficientemente con c-d que con c-a. Los diodos permiten que la corriente sólo fluya en una dirección, por lo que tienen la habilidad de convertir (rectificar) la corriente alterna en corriente directa pulsante. La amplitud de las pulsaciones, u ondulación, se puede reducir conectando un capacitor de filtro a través de la carga. En operación a c-d, los diodos se pueden colocar en paralelo con las bobinas para reducir los altos voltajes inversos inductivos durante la conexión y desconexión.

El capacitor EMS de 100 μ F modelo 9118, consiste en un capacitor electrolítico polarizado de 1000 μ F, 150 V c-d con una resistencia de descarga de 27K Ω conectado directamente a través de sus terminales. La resistencia es un dispositivo de seguridad que no afecta materialmente el funcionamiento del capacitor.

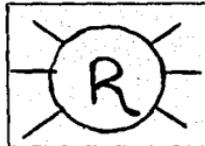


El capacitor EMS de 1 μ F y diodo, modelo 9119, consiste en un capacitor tubular de 1 μ F a 400V c-d, volts de pico inverso (PIV). El diodo puede manejar con seguridad por periodos breves impulsos de corriente de gran amplitud.



LAMPARAS INDICADORAS

Sirven para mostrar una condición de funcionamiento específica del motor tal como directa, reversa, rápido, lento, ascenso, descenso, sobrecarga, etc. Aunque generalmente son rojas o verdes las cuales también se utilizan como indicaciones de seguridad. Las lámparas piloto EMS modelos 9120 (rojo) y 9121 (verde) son lámparas incandescentes que funcionan con 120 V c-a o c-d. Tienen resistencias limitadoras de corriente interconstruidas para protegerlas contra los impulsos de voltajes elevados.



CONJUNTO DE CABLE REMOTO

El conjunto de cable remoto EMS modelo 9122 consiste en dos cajas de conexión de 8 terminales, interconectadas por un cable multiconductor de 6 metros de longitud. La capacidad de conducción de corriente de los conductores de calibre 18 es más que adecuada para los propósitos del circuito de control.



Las funciones de operación de un motor tal como arranque, parada, directa, reversa, rápido y lento generalmente se controlan desde una estación de interrupción controlada manualmente.

TRANSFORMADOR DE CONTROL

Los transformadores de control son diseñados para proporcionar bajo voltaje (usualmente a 120 V) en forma razonablemente constante y segura para relevadores, contactores y otros dispositivos electromagnéticos.

El transformador de control EMS modelo 9123 es un transformador de control de dos devanados con uno primario de 208V (terminales 3 y 6), un secundario de 120V (terminales 1 y 2). El devanado primario tiene una derivación a 50% de las vueltas (terminal 4) y a 86% de las vueltas (terminal 5) para usarse en aplicaciones de autotransformador y otras distintas.

Especificaciones:

Primario 208 V con:
Derivaciones para 180V y 104V
Taps
Secundario 120V
25VA - 60Hz



EL ZUMBADOR DE PRUEBA

El zumbador de prueba es un dispositivo de señales audibles que se utilizan para identificar los alambres y terminales interconectados directamente. Determina si los contactos de un interruptor están abiertos o cerrados tiene un corto circuito. A diferencia de un óhmetro, el zumbador no indica continuidad de circuito si hay resistencia muy grande.

El zumbador de prueba SEM modelo 9124 es un dispositivo autocontenido, de bajo voltaje, operado por batería. Como todos los instrumentos de prueba, se debe comprobar antes de utilizarlo. Al conectar un cable a las dos terminales polarizadas, se completa el circuito externo y se debe escuchar un zumbido débil indica una batería débil o muerta.



CIERRES DE COMBINACION MECANICA

Los cierres de combinacion, mecánica y eléctrica, se utilizan para impedir el cierre simultáneo de dos contactores.

El cierre de combinacion mecánica EMS modelo 9125 consiste en un brazo metálico articulado al centro con una abrazadera metálica. Cuando se monta entre dos contactores, los extremos del brazo traban cada armadura. Cuando cierra un contactor, su armadura se levanta jalando el brazo al mismo tiempo haciendo que el otro extremo del brazo se mueva hacia abajo e impida que cierre el otro contactor.



VOLANTES

Un volante es una rueda relativamente pesada sujeta a un eje o flecha. Su propósito es suavizar los cambios repentinos en la velocidad de la flecha provocados por las fluctuaciones de carga periódica tal como las que se encuentran en prensas de perforación, compresoras de aire del tipo de pistón y bombas de agua. Proporciona inercia para mantener a la flecha girando en forma uniforme durante los periodos de carga cíclica máxima. El volante absorbe energía del motor conforme se aproxima a la máxima velocidad y libera energía cuando la velocidad tiende a disminuir.

La rueda de inercia EMS modelo 9126 es un volante diseñado para almacenar 74.8 joules (550 libras-piel) de energía cuando gira a 1800 revoluciones por minuto. El motor debe suministrar esta energía total durante su aceleración desde el reposo a la velocidad máxima. Utilizando el volante como una carga simulada de alta inercia, se pueden observar y medir las características de arranque del motor. El volante de inercia se fija a la flecha del motor girando el tornillo.



TABLERO DE COMPONENTES

El tablero EMS modelo 9127 proporciona un método conveniente de armar los diferentes experimentos que se realizarán a lo de este manual. Los tableros también proporcionan un camino a tierra por el marco metálico de cada dispositivo de control. Este camino pasa por la pista metálica hasta la terminal de tierra ubicada en la esquina inferior izquierda. Durante cada experimento es necesario conectar esta terminal, mediante un cable apropiado, a una de las terminales "N" de la fuente de energía, la que a su vez está conectada internamente al conductor de tierra de energía de entrada.

CABLES PARA CONEXION

El conjunto de cables para conexión EMS modelo 9128 consiste en cables de conexión con clavijas de bananas de apilación. Estos cables son especialmente seleccionados de acuerdo a sus características, que requieren los diferentes experimentos que se llevarán a cabo a lo de este manual.

SIMBOLOGIA Y ESPECIFICACIONES DE LOS DISPOSITIVOS

Para todo circuito se utilizan diagramas, planos, gráficas y estos a su vez requieren símbolos en que representan los elementos básicos del circuito es decir, los contactos de relevadores, transformadores, interruptores, capacitores, diodos, etc. En los diagramas se utilizan abreviaturas para designar los dispositivos o las funciones del circuito, dichos símbolos y abreviaturas corresponden a los estándares de la National Electrical Manufacturers Association NEMA, American National Standards Institute ANSI y el Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE.

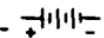
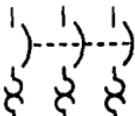
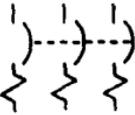
SIMBOLOGIA Y ESPECIFICACIONES DE LOS DISPOSITIVOS

DISPOSITIVO	ABREVIATURA
Amperímetro.....	AM
Armadura.....	ARM
Freno.....	B
Interruptor de leva.....	CS
Capacitor.....	C, CAP
Ruptor de circuito.....	CB
Relevador de control.....	CR
Diodo.....	D
Interruptor de desconexión.....	DS
Frenado dinámico.....	DB
Pérdida de campo.....	FL
Hacia adelante.....	F, FWD
Tierra.....	GND
Grúa.....	H
Instantáneo(a).....	INST
Marcha gradual.....	J
Interruptor de límite.....	LS
Reducción.....	L
Contactador principal(de línea).....	M
Relevador de control maestro.....	MCR
Interruptor maestro.....	MS
Motor.....	MOT
Normalmente cerrado.....	NC
Normalmente abierto.....	NO
Sobrecorriente.....	OC
Sobrecarga.....	OL
Interruptor de enchufe.....	PS
Interruptor de botón de presión.....	PB
Resistencia.....	R, RES
Reversa.....	R, REV
Interruptor secuencial.....	ST
Interruptor de selección.....	SS
Jaula de ardilla.....	SC
Interruptor.....	S
Síncrono(A).....	SYNCH
Bloque de terminales.....	TB
Relevador de retraso de tiempo.....	TD, TDR
Cierre de retraso de tiempo.....	TC, TDC
Abertura de retraso de tiempo.....	TD, TDO
Transformador.....	T
Voltímetro.....	V
Rotor bobinado.....	WR

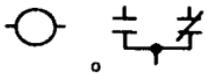
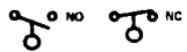
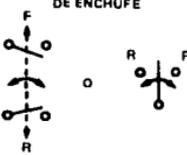
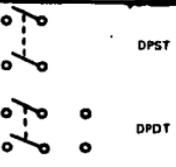
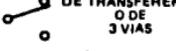
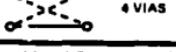
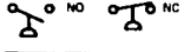
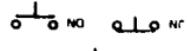
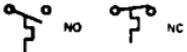
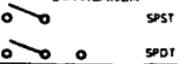
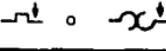
Terminales:

Freno (bobina).....	B1, B2
Campo (derivación).....	F1, F2
Línea (energía).....	L1, L2
Motor (estator).....	T1, T2
Motor (rotor).....	M1, M2
Transformador (alto voltaje).....	H1, H2
Transformador (bajo voltaje).....	X1, X2

SIMBOLOS GRAFICOS Y ESPECIFICACIONES DE LOS DISPOSITIVOS

<p style="text-align: center;">BATERIA</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>DE UNA CELDA</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>DE CELDAS MÚLTIPLES</p> </div> </div>	<p style="text-align: center;">CONDUCTORES</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>CRUZADOS. NO CONECTADOS</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>CONECTADOS</p> </div> </div>	<p style="text-align: center;">MEDIDORES</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>AMPERIMETRO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>VOLTIMETRO</p> </div> </div>
<p style="text-align: center;">BOBINA DE FRENO</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p style="text-align: center;">CONECTORES</p> <p style="text-align: center;">ELECTRICOS</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>MACHO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>HEMBRA</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">MECANICOS</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	<p style="text-align: center;">MOTORES</p> <p style="text-align: center;">MOTOR O GENERADOR DE CD</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>ARMADURA</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>CAMPO EN DERIVACION</p> </div> </div> <div style="text-align: center;">  <p>CAMPO EN SERIE</p> </div>
<p style="text-align: center;">ZUMBADOR</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p style="text-align: center;">CONTACTOS</p> <p style="text-align: center;">NORMALMENTE CERRADO</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">NORMALMENTE ABIERTO</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p style="text-align: center;">T1</p> <div style="text-align: center;">  <p>MONO FASICO</p> </div> <p style="text-align: center;">T1</p> <div style="text-align: center;">  <p>JAULA DE ARDILLA TRIFASICO 3Ø</p> </div> <p style="text-align: center;">T2</p> <div style="text-align: center;">  </div>
<p style="text-align: center;">CAPACITOR</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>OR</p>  <p>POLARIZADO</p> </div> </div>	<p style="text-align: center;">TDO</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">APERTURA DE RETRASO DE TIEMPO</p> <p style="text-align: center;">TDC</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">CIERRE DE RETRASO DE TIEMPO</p>	<p style="text-align: center;">ROTOR BOBINADO TRIFASICO 3Ø</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>T1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>T2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>T3</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>M1</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>M2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>M3</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">SINCRO, TRIFASICO 3Ø</p> <p style="text-align: center;">T1</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">T2</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">T3</p>
<p style="text-align: center;">RUPTOR DE CIRCUITOS</p> <p style="text-align: center;">TRES POLOS TERMICOS</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">TRES POLOS MAGNETICOS</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p style="text-align: center;">DIODO</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">INTERRUPTOR DE DESCONEXION</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p style="text-align: center;">RECTIFICADORES</p> <p style="text-align: center;">DE MEDIA ONDA</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">PUENTE DE FLONDAVE COMPLETA</p> <div style="text-align: center;">  </div>
<p style="text-align: center;">BOBINA DE OPERACION</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">3 POLOS</p>		

SIMBOLOS GRAFICOS Y ESPECIFICACIONES DE LOS DISPOSITIVOS

<p style="text-align: center;">RELEVADOR</p>  <p style="text-align: center;">RELEVADOR TERMICO</p> 	<p style="text-align: center;">NIVEL LIQUIDO</p>  <p style="text-align: center;">MAESTRO O CONTROL</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CONTACTOS</th> <th colspan="4">POSICION</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-2</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3-4</td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>5-6</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>7-8</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">X = CONTACTOS CERRADOS</p> <p style="text-align: center;">DE ENCHUFE</p> 	CONTACTOS	POSICION				A	B	C	D	1-2	X				3-4		X	X		5-6				X	7-8	X			X	 <p style="text-align: center;">DE TRANSFERENCIA O DE 3 VIAS</p>  <p style="text-align: center;">4 VIAS</p>  <p style="text-align: center;">BLOQUE DE TERMINALES</p>  <p style="text-align: center;">CON CONECTORES HEMBRAS</p>
CONTACTOS	POSICION																														
	A	B	C	D																											
1-2	X																														
3-4		X	X																												
5-6				X																											
7-8	X			X																											
<p style="text-align: center;">RESISTENCIA</p>  <p style="text-align: center;">FIJA</p> <p style="text-align: center;">VARIABLE</p>	<p style="text-align: center;">REOSTATO</p> 	<p style="text-align: center;">ELEMENTOS TERMICOS</p> 																													
<p style="text-align: center;">INTERRUPTOR ACTUADO POR FLUJO</p>  <p style="text-align: center;">OPERADO POR PEDAL</p> 	<p style="text-align: center;">DE PRESION O VACIO</p>  <p style="text-align: center;">DE BOTON</p>  <p style="text-align: center;">DE DOS CIRCUITOS</p>  <p style="text-align: center;">DE TEMPERATURA</p>  <p style="text-align: center;">DE PALANCA</p> 	<p style="text-align: center;">TERMOSTATO</p>  <p style="text-align: center;">TRANSFORMADOR</p>  <p style="text-align: center;">DOS DEVANADOS, NUCLEO DE HIERRO</p> <p style="text-align: center;">AUTOTRANSFORMADOR</p>																													

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA 9

" CONTROL DE UN MOTOR 3 ϕ A TENSION PLENA "



CONTROL DE UN MOTOR 3 ϕ A TENSION PLENA

OBJETIVOS

- 1.- Elaborar un arrancador de 3 ϕ a través de la línea.
- 2.- Determinar el tiempo en función de la sobrecarga para el relevador de sobrecarga térmica.

INTRODUCCION

Como su nombre lo indica, un arrancador de tensión plena o a través de la línea, directamente conecta al motor a las líneas. El arrancador puede ser manual o magnético.

Un motor conectado en esta forma, demanda una corriente alta transitoria de arranque y desarrolla un máximo par de arranque que acelera la carga a plena velocidad en el tiempo más corto posible. El arranque a través de la línea puede ser usado donde esta corriente elevada transitoria y el par de arranque no sean objetables.

Con algunas cargas, el alto par de arranque podría dañar las bandas, engranes y coples, así como el material que esté en proceso. Una alta corriente transitoria puede repetir altas y bajas de tensión en la línea, lo que causaría centellos y disturbios a otras cargas. Las corrientes de arranque más bajas y los pares de torsión son por lo tanto, requeridas a menudo y se lleva a cabo con arranque a tensión reducida.

El trabajo fundamental de un controlador, es el de arrancar y parar el motor, así como el dar protección al motor, máquina y operador.

El controlador podría ser aprovechado para proporcionar funciones suplementarias que pudieran incluir movimientos reversibles de pulsaciones e inversiones rápidas, operando a diversas velocidades o a niveles reducidos de corriente y par del motor.

Un controlador cubrirá algunas o todas de las siguientes funciones: arranque, paro, protección de sobrecargas, protección de sobrecorriente, movimientos reversibles, cambios de velocidad, pulsaciones, inversión rápida, control de secuencia, indicador de lámpara piloto. El controlador puede también servir de control para un equipo auxiliar, como por ejemplo: frenos, embragues, solenoides, calentadores y señales. Un controlador puede ser usado para control de un motor o grupo de motores.

Los términos de "arrancador" y "controlador" significan prácticamente la misma cosa. Estrictamente hablando, un arrancador es la forma más simple de controlador y es capaz de arrancar y parar el motor y darle protección de sobrecarga.

De una manera general, los elementos que forman los sistemas de control, pueden ser clasificados según su función en las siguientes categorías: de mando, básicos, de salida y auxiliares.

Elementos de mando

Son dispositivos que miden y/o convierten en acción, condición o cantidad física en señales eléctricas.

Elementos de básicos

Son aquellos que efectúan la parte de control del sistema. Reciben información de los elementos de mando y la procesan de tal manera que la señal de salida sea la adecuada en la secuencia de operación del proceso.

Elementos de salida

Toma la información de los elementos básicos y la amplifican al nivel adecuado de potencia para la operación de las máquinas.

Elementos auxiliares

Los más usuales: dispositivos de protección y de señalización, reostatos, reactancias, transformadores y autotransformadores, etc., los cuales se emplean para realizar funciones específicas en la operación y que son propios de diseño particulares.

FUNCIÓN	ELEMENTOS	USO
Mando	Estación de botones, interruptores de presión de límite, de flotador, termostatos, etc	Sensor o fuente de información
Básicos	Relevadores, tubos, transistores, válvulas hidráulicas y neumáticas, etc.	Actúan con la información de los elementos de mando. Toman decisiones y proporcionan señales adecuadas de salida.
Salida	Contactores electromagnéticos y electrónicos, solenoides, etc.	Amplifican la información básica al nivel deseado de potencia.
Auxiliares	Reóstatos, reactores, transformadores, autotransformadores, luces piloto, alarmas, dispositivos de protección, etc.	Realizan funciones específicas en el control.

Los relevadores manuales se usan generalmente en pequeñas máquinas de herramientas, ventiladores, sopladores, bombas, compresores y transportadores. Son los arrancadores manuales de motores los de más bajo costo; tienen un mecanismo bastante simple, operación silenciosa, sin zumbido del magneto de CA. Los arrancadores manuales no proveen protección por bajo voltaje o disparo voltaje. Si la energía falla los contactos permanecen cerrados y el motor se arrancará de nuevo cuando la tensión o energía vuelva. Esta es una ventaja en caso de las bombas, ventiladores, compresores, quemadores de aceite, etc. No así para otras aplicaciones en que puede resultar una desventaja y aún peligrosa al personal o equipo.

ARRANCADORES MAGNETICOS - TAMAÑOS NEMA Y CAPACIDADES

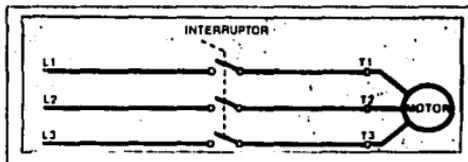
Los contactos del circuito de fuerza, manejan la carga del motor. La capacidad de los contactos de llevar la corriente de carga plena sin exceder la elevación de temperatura nominal y la de su aislamiento de partes adyacentes, corresponde a las normas NEMA establecidas, clasificar el tamaño de un arrancador.

El arrancador debe tener la capacidad de interrumpir el circuito del motor bajo las condiciones impuestas por la corriente del rotor bloqueado. Para ser más claro en el caso de una aplicación determinada, el arrancador magnético seleccionado debe igualar o exceder la potencia del motor y las capacidades de la corriente de carga plena. Por ejemplo : Un motor que debe ser controlado tiene un rango de 50 HP, el servicio es de 220 volts, polifásico y la corriente de carga plena del motor es de 125 amperes; refiérase a la tabla 1 donde se indica que se requerirá un arrancador NEMA tamaño 4, para un motor de trabajo normal. Si el motor fuera de un trabajo de pulsaciones o frenado sería escogido un arrancador NEMA tamaño 5.

Hay básicamente dos tipos de controladores de motor para funcionamiento a voltaje total: manuales y magnéticos. Para arrancar el motor sólo se necesita suministrar energía de c-a a sus terminales; para pararlo basta con interrumpir la energía de c-a y permitir que el motor reduzca gradualmente su velocidad.

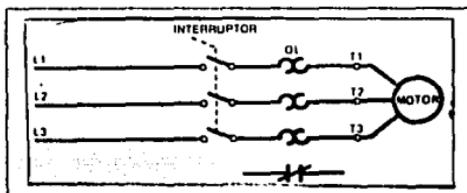
En consecuencia, todo lo que se requiere es un conjunto de contactos en el circuito del motor y la manera de abrirlos y cerrarlos se muestra en la figura 1. En un controlador manual, la manera de abrir y cerrar los contactos es simplemente un interruptor operado manualmente.

FIG. 1



En el circuito anterior uno de los componentes faltantes es alguna previsión para proteger al motor contra la sobrecarga. Una unidad de relevador (o protección) contra sobrecarga del motor es un dispositivo que detecta la cantidad de corriente que toma el motor; cuando la corriente excede un valor predeterminado, la unidad de protección responde y desconecta el motor de la línea como se muestra en la figura 2 dicha unidad de protección, compuesta por tres detectores de sobrecarga OL en serie con la línea de energía y un contacto de control normalmente cerrado. Este contacto de control responde a una condición de sobrecarga en los sensores.

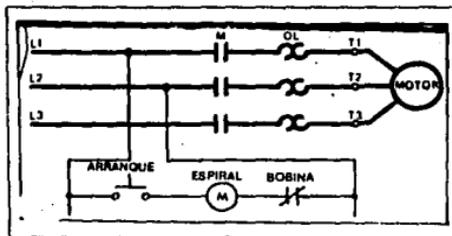
FIG. 2



Controlador magnético

El elemento de control es la bobina de operación del contactor, de allí el nombre de contactor electromagnético o arrancador magnético. Cuando se da energía a esta bobina, su campo magnético cierra los contactos del circuito del motor. Cuando se interrumpe la energía a la bobina, un resorte abre los contactos del circuito del motor. Para fines de control, se necesita una fuente de energía para la bobina, además de un medio de suministrar y cortar la energía a voluntad. En la figura 3 se muestra una de las maneras más simples de hacerlo.

FIG. 3



La energía para el circuito de control proviene de una derivación en las líneas L1 y L2 adelante de los contactos principales. La bobina de operación, el botón de arranque y el contacto de sobrecarga (OL) están conectados en serie a través de las dos terminales del circuito de control.

CONTROL CONTRA SOBRECARGA

Se conecta a los elementos de sobrecarga térmica en serie con cada línea de energía. El relevador de sobrecarga tiene un contacto normalmente cerrado (OL) conectado en serie con la bobina de operación. El sobrecalentamiento de cualquiera de los elementos térmicos hace que este contacto se abra, lo que corta la corriente a la bobina del contactor y abre los contactos principales (M). Con este circuito es necesario que el interruptor de control se mantenga cerrado durante el tiempo que esté encendido el motor, a lo que se conoce como circuito de "contacto mantenido" o control de dos hilos. Un método común que se utiliza para abrir y cerrar este contacto es un botón de presión de contacto mantenido.

En la figura 4 muestra este tipo de circuito. Cuando se oprime el botón de arranque, la corriente fluye en el circuito de control, dando energía a la bobina de operación. El flujo de corriente en la bobina forma un campo magnético que hace que se cierren los contactos M (más el contacto auxiliar " de retención ") del contactor principal. La corriente fluye en el circuito del motor y éste arranca. El motor sigue trabajando después de que se libera el botón de arranque debido a que el contacto auxiliar (que ahora está cerrado) proporciona una trayectoria para la corriente a través de la bobina de operación; Al oprimir el botón de presión de parada, se abre el circuito de la bobina de operación, lo que hace que se abran los contactos del contactor (más el contacto auxiliar " de retención "), que a su vez para el motor. El motor no puede arrancar de nuevo sino hasta que se oprima nuevamente el botón de arranque. A este tipo de circuito se conoce como circuito " de contacto momentáneo " o control de tres hilos.

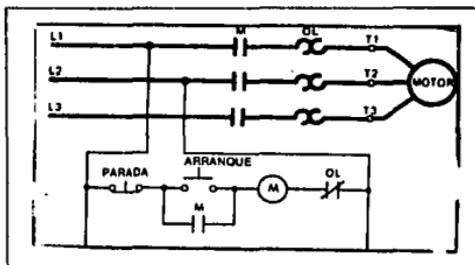
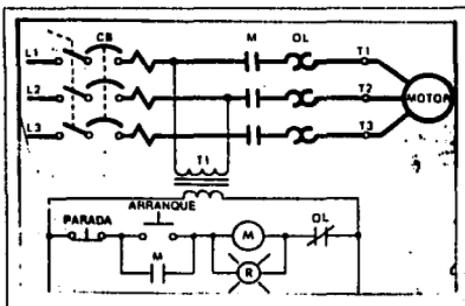


FIG. 4

Se necesitan dos características adicionales de control: la manera de desconectar el circuito de rama del motor del motor del circuito alimentador de distribución y un dispositivo de sobrecorriente para proteger al motor y su línea alimentadora contra corto circuito y tierras. Esto se muestra en la figura 5 El ruptor del circuito de tres polos, interrumpe en forma segura las corrientes extremadamente altas que fluirían en el circuito de rama si se desarrollara un corto circuito. El ruptor de circuitos de tres polos también actúa como interruptor de desconexión. Dos dispositivos adicionales de seguridad son el transformador de control y la lámpara piloto. El transformador permite que el circuito de control funcione a 120 volts en lugar de al voltaje más elevado de la línea de alimentación, en tanto que la lámpara piloto indica visiblemente al operador que el motor está funcionando.

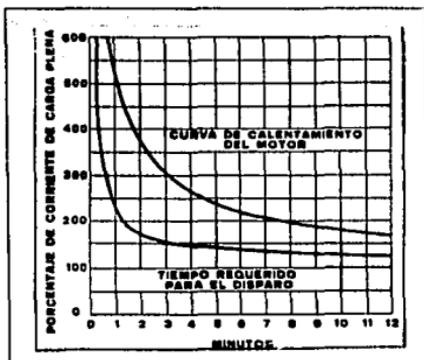
FIG. 5



Del estudio anterior se ve que todo el contralador del motor debe realizar cuatro funciones básicas:

- 1.- Proporcionar la manera de arrancar y parar el motor
- 2.- Dar protección contra corto circuitos
- 3.- Dar la manera de desconectar todo el circuito de rama del motor de su línea de alimentación.
- 4.- Dar protección contra sobrecarga del motor.

Curva característica corriente - tiempo que muestra la dependencia entre el tiempo del disparo y la magnitud de la sobrecarga. La figura siguiente muestra una curva típica de operación del relevador de sobrecarga.



MATERIAL

Botón rojo (2)	EMS 9102
Botón negro (2)	EMS 9103
Contactador electromagnético	EMS 9106
Relevador de sobrecarga	EMS 9109
Ruptor de circuito	EMS 9110
Lámpara piloto roja	EMS 9120
Lámpara piloto verde	EMS 9121
Conjuntos de cables remotos	EMS 9122
Transformador de control	EMS 9123
Tablero de componentes(2)	EMS 9127
Cables para conexión	EMS 9128
Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla (3φ)	EMS 8221
Módulo medidor de CA (2.5/8A)	EMS 8425
Módulo de fuente de energía	EMS 8821
Módulo de electrodinamómetro	EMS 8911
Banda de sincronización	EMS 8942

PROCEDIMIENTOS

1) a) Conecte el circuito arrancador magnético de control simple de dos hilos que se muestra en la figura 6. Conecte entre sí las terminales del motor de jaula de ardilla (4, 5 y 6). Conecte las terminales de entrada (1, 3 y 5) de su ruptor de circuitos a la salida fija de 208 V 3φ de la fuente, terminales 1, 2 y 3.

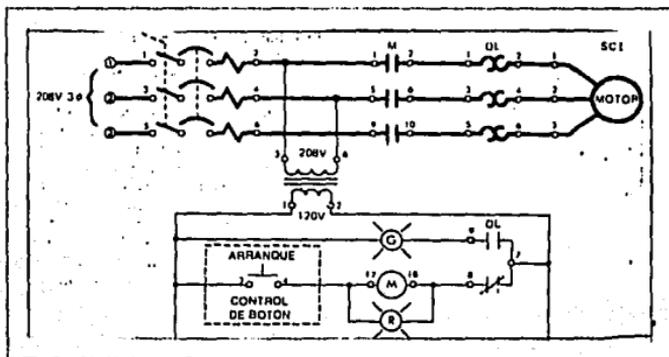
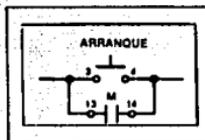


FIG. 6

- b) Ajuste el relevador de sobrecarga para que dispare a 1.1A dando vuelta al dial calibrado en la parte superior de la unidad.
- c) Cierre el interruptor de desconexión, encienda la fuente y oprima el botón de arranque.
- d) ¿ Arranca el motor? _____
- e) ¿ Se enciende la lámpara piloto roja ? _____
- f) Suelte el botón de presión.
- g) ¿ Se para el motor? _____
- h) ¿ Se enciende la lámpara piloto verde? _____
- i) Apague la fuente y abra el interruptor de desconexión.

2) a) Conecte el par de contactos restantes NO (del contactor electromagnético) en paralelo con el botón de arranque como se muestra en la figura 7.

FIG. 7



- b) ¿ Se cerrarán estos contactos cuando se oprime el botón de presión? _____
- c) ¿ Se abrirán cuando se libera el botón de presión? _____
- d) ¿ Actúan como contactos de retención? _____
- e) Cierre el interruptor de desconexión, encienda la fuente y oprima el botón de arranque.
- f) ¿ Enciende el motor? _____

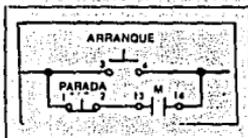
g) Suelte el botón de presión.

h) ¿ Se detiene el motor? _____

i) Apague la fuente de energía y abra el interruptor de desconexión.

3) a) Conecte el botón de presión rojo en serie con los contactos de retención como se muestra en la figura 8.

FIG. 8



b) ¿ Se parará el motor al oprimir el botón rojo? _____

c) Cierre el interruptor de desconexión, encienda la fuente y oprima el botón de arranque.

d) ¿ Arranca el motor? _____

e) Suelte el botón de arranque

f) ¿ Se para el motor? _____

g) Oprima el botón rojo.

h) ¿Se para el motor? _____

i) Oprima ambos botones a la vez.

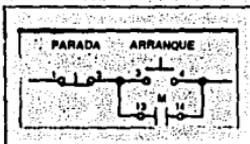
j) ¿Arranca el motor? _____

k) ¿ Es esto seguro? _____

l) Apague la fuente y abra el interruptor de desconexión.

4) a) Quite el botón rojo del circuito de contactos de retención y conéctelo en serie con el botón de arranque como se muestra en la figura 9.

FIG. 9



b) ¿ Arrancará el motor cuando se oprima el botón?

c) ¿ Se parará el motor cuando se oprime el botón rojo?

d) Cierre el interruptor de desconexión, encienda la fuente y oprima el botón de arranque.

e) ¿ Enciende el motor? _____

f) ¿Sigue trabajando después de soltar el botón de arranque?

g) Oprima el botón de parada.

h) ¿ Se para el motor? _____

i) Oprima ambos botones al mismo tiempo.

j) ¿Arranca el motor? _____

k) Con el motor trabajando, oprima simultáneamente ambos botones.

l) ¿ Se para el motor? _____

m) Apague la fuente y abra el interruptor de desconexión.

5 a) Para determinar las características de funcionamiento del relevador de sobrecarga es necesario sobrecargar el motor en pasos discretos, vigilando al mismo tiempo la corriente y el tiempo de disparo.

b) Acople el electrodinamómetro al motor de jaula de ardilla que contiene la banda de tiempo. Conecte las terminales de entrada del electrodinamómetro a la salida fija de 120 V c-a de la fuente, terminales 1 y N.

c) Ajuste el dial de control del dinamómetro en su máxima posición en el sentido de las manecillas del reloj (para dar máxima carga de arranque para el motor).

d) Inserte un medidor de corriente alterna, ajustando al rango de 8A, en serie con una de las terminales de entrada del relevador de sobrecarga.

e) Cierre el interruptor de desconexión y encienda la fuente.

f) Usando un reloj con segundero para observar el tiempo de disparo, oprima el botón de arranque y rápidamente mida la corriente de sobrecarga antes de que se dispare el relevador de sobrecarga.

$I_{sobrecarga} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

$I_{disparo} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ S}$

g) ¿ Se encendió el indicador verde de sobrecarga?

h) ¿ Se puede rearrancar el motor ?

i) Anote sus mediciones en la tabla 2

Corriente de línea	A	2.0 A	1.8 A	1.5 A
Sobrecarga %		82%	64%	36%
Tiempo de disparo	S	S	S	S

TABLA 2

j) Apague la fuente y abra el interruptor de desconexión.

k) Ajuste la perilla de control del dinamómetro en su máxima posición en sentido contrario al de las manecillas del reloj (para dar una carga mínima de arranque al motor).

l) Cambie el rango del medidor de corriente a 2.5A, deje pasar cinco minutos para que se enfríe el relevador de sobrecarga y luego encienda la fuente de energía, cierre el interruptor de desconexión y arranque el motor.

m) Ajuste la carga del dinamómetro hasta que el motor tome 2.0 A de corriente.

n) Observe y luego anote el tiempo de disparo en la tabla

o) Repita el proceso para corrientes del motor de 1.8 A y 1.5 A, dejando que el relevador de sobrecarga se enfríe cinco minutos entre cada prueba.

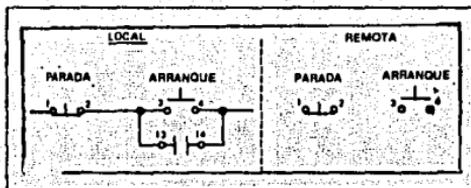
p) Apague la fuente de energía y abra el interruptor de desconexión, desconecte el electrodinamómetro del motor.

NOTA: Durante este experimento de laboratorio se utilizó el relevador de sobrecarga en su ajuste de 1.1A. Reajústelo al nivel de 1.6 A para el resto de esta experimento.

6 a) Agregando dos botones de presión adicionales y el conjunto de cables remotos se puede controlar desde dos lugares. Los botones de presión deben estar conectados de manera que el botón de presión adicional de arranque esté en paralelo con el existente de arranque, y el botón adicional de parada esté en serie con el botón existente de parada.

b) En este caso se usara un botón rojo y uno negro y sólo tres alambres de su conjunto de cables remotos, prepare una estación de control en la consola de su vecino. Dibuje sus conexiones directamente en el circuito de la figura 10, mostrando los números de las terminales de los tres hilos de conexión.

FIG.10



c) Cierre el interruptor de desconexión, encienda la fuente y arranque el motor.

d) Haga funcionar los botones de arranque y parada desde cada estación. ¿ Se controla el motor desde cada estación ?

e) Apague la fuente y abra el interruptor de desconexión.

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRUEBA DE CONOCIMIENTOS

1.- Liste cuales son las funciones básicas que debe realizar un controlador completo de motor.

2.- Por qué se permite al relevador de sobrecarga enfriarse cinco minutos entre cada prueba en el procedimiento 5

3.- ¿ Que es un controlador?

4.- Mencione los elementos que forman el sistema de control y su aplicación.

5.- ¿ Cuales son los dos tipos de controladores de motor de tensión plena.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGON

LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS

PRACTICA 10

" ARRANQUE RETRASADO DE UN MOTOR DE INDUCCION DE 3 ϕ "



ARRANQUE RETRASADO DE UN MOTOR DE INDUCCION DE 3 ϕ

OBJETIVOS

- 1.- Conocerá las operaciones secuenciales utilizando el relevador de retraso de tiempo.
- 2.- Construir un arrancador magnético de 3 ϕ de arranque retrasado

INTRODUCCION

En esta practica se examinarán cinco funciones de tiempo que pueden realizarse utilizando el mismo relevador de retraso de tiempo.

Examine la secuencia en el circuito simple de la fig.1(a). En donde los contactos están normalmente abiertos, tanto la bobina de operación como la carga están en su condición de apagado. El oprimir el botón se suministra energía a la bobina de operación, lo que arranca la secuencia. Después de un intervalo prefijado, se cierran los contactos TDC normalmente abiertos, lo que cierra el circuito de carga. Al soltarse el botón, se interrumpe la energía a la bobina de operación, lo que hace que, de inmediato, se abran los contactos del TDC y se desconecte el circuito de carga. En la fig.1(b) se muestra gráficamente esta secuencia de eventos.

Fig.1(a)

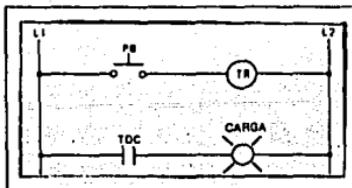


Fig.1(b)



El circuito de la fig.2(a) muestra la manera en que puede mantenerse conectada la carga cuando se suelta el botón. Esto se logra agregando un contacto de retención en paralelo con el botón de presión. Debido a que se utiliza un contacto de funcionamiento instantáneo, se puede soltar el botón de presión de inmediato sin alterar la secuencia de los eventos como se muestra en la fig.2(b).

Fig.2(a)

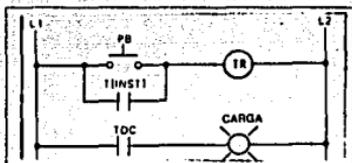
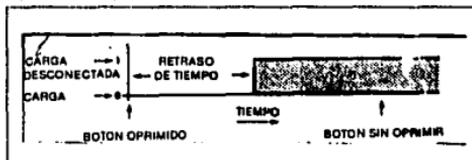


Fig.2(b)



Se puede obtener una nueva secuencia de eventos cambiando el contacto TDC de cerrado retrasado a un contacto TDO de apertura retrasada como se muestra en la fig.3(a). Normalmente la carga está encendida antes de oprimir el botón como se muestra en la fig.3(b).

Fig.3(a)

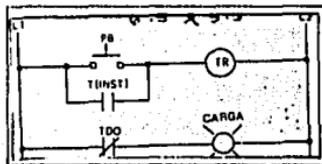
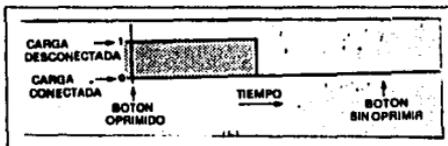


Fig.3(b)



El circuito de la fig.4(a) muestra la manera en que la carga puede encenderse al instante para un intervalo definido. Una vez oprimido el botón, ya no hay control adicional sobre la carga, lo que se representa gráficamente en la fig.4(b).

Fig.4(a)

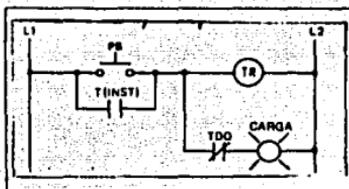
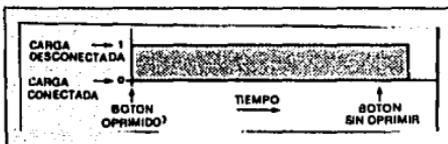


Fig.4(b)



Normalmente la carga está encendida en el circuito de la fig.5(a). Cuando se oprime el botón, la carga se apaga durante un intervalo definido y luego se enciende de nuevo. Este ciclo se repite mientras se mantenga oprimido el botón de presión. Al soltarse, la carga vuelve a su estado de encendido como se muestra en la fig.5(b).

Fig.5(a)

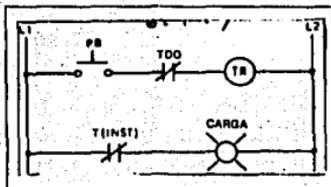
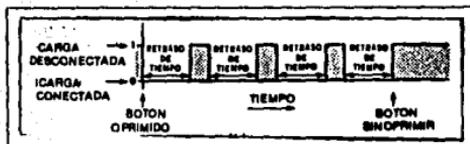


Fig.5(b)



Por seguridad del operador, cuando se arrancan cargas mecánicas complejas, tales como las que se encuentran en acerías, rotativas de periódicos y demás, con frecuencia es deseable preceder al arranque físico del motor con una señal de advertencia, lo que puede hacerse automáticamente si se hace que el control de arranque del motor active la señal de advertencia, que puede ser una campana, zumbador o lámpara, mientras se retrasa el arranque del motor durante algún intervalo predeterminado.

Para acelerar una carga, es necesario que el motor, desarrolle una torsión mayor que la de carga normal. Esta torsión excedente acelera la masa móvil de la carga movida. El tiempo que se requiere para acelerar una carga movida hasta su velocidad total depende de su inercia. El volante de inercia EMS 9126 simula una carga de alta inercia que permite observar las propiedades de aceleración y desaceleración del motor.

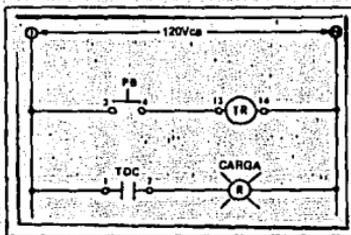
MATERIAL

Botón rojo	EMS 9102
Botón negro	EMS 9103
Contactador electromagnético	EMS 9106
Relevador de retardo de tiempo	EMS 9107
Relevador de sobrecarga	EMS 9109
Ruptor de circuitos	EMS 9110
Lámpara piloto rojo	EMS 9120
Lámpara piloto verde	EMS 9121
Transformador de control	EMS 9123
Zumbador de prueba	EMS 9124
Volante de inercia	EMS 9126
Tablero de componente (2)	EMS 9127
Cables para conexión	EMS 9128
Módulo de motor/generador de CD	EMS 8211
Módulo de motor de inducción de jaula de ardilla 3φ	EMS 8221
Módulo de medición de CA	EMS 8425
Módulo de fuente de energía	EMS 8821
Banda de sincronización	EMS 8942

PROCEDIMIENTOS

1.- Conecte el circuito de la fig.6. Observe que esta a 120Vca fijos de la fuente, o sea a las terminales 1 y N. Ajuste el retraso a cinco segundos.

Fig.6



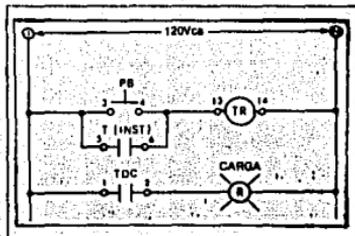
- a) Encienda la fuente de energía. Oprima el botón mientras observa el comportamiento de la lámpara piloto.
- b) Indique si la lámpara se enciende después de mantener oprimido el botón durante cinco segundos.

- c) Indique si la lámpara se apaga al soltar el botón de presión.

- d) Apague la fuente.

2.- Agregue un contacto de retención a su circuito como se muestra en la figura 7. Encienda la fuente. Oprima el botón mientras observa el comportamiento de la lámpara piloto.

Fig.7



a) Indique si la lámpara se enciende cuando se oprime el botón.

b) Indique si la lámpara se apaga cuando se suelta el botón.

c) ¿ Qué debe de hacerse para apagar la lámpara ?

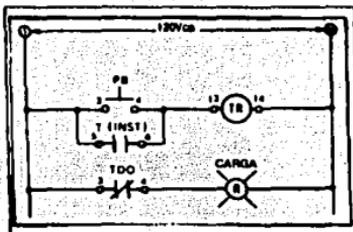
d) ¿ Llega a encenderse la lámpara aunque se suelte el botón antes de transcurridos los cinco segundos de retraso?

Explíquese respuesta

e) Apague la fuente.

3.- Cambie el contacto TDC a uno TDO como se muestra en la fig. 8 . Encienda la fuente. Oprima el botón mientras observa el comportamiento de la lámpara piloto.

Fig. 8



a) Indique si la lámpara se apaga cuando se oprime el botón

b) Indique si la lámpara se apaga cinco segundos después de haber oprimido el botón.

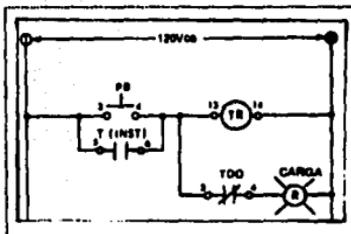
c) Indique si la lámpara llega a apagarse aunque se suelte el botón antes de transcurridos el periodo de retraso de cinco segundos

d) ¿ Se puede utilizar el botón de presión para encender la lámpara?

e) Apague la fuente.

4.- Cambie la conexión a la terminal 3 del contacto TDO como se muestra en la fig. 9. Encienda la fuente. Oprima el botón mientras observa el funcionamiento de la lámpara.

Fig.9



a) ¿ Se enciende la lámpara al oprimir el botón de presión?

b) ¿ Se apaga la lámpara cuando se suelta el botón?

c) ¿ Qué determina el tiempo de encendido de la lámpara?

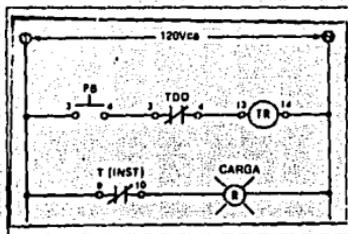
d) Indique si el botón controla la lámpara una vez que ésta ha pasado por un ciclo de encendido apagado.

Explique su respuesta

e) Apague la fuente.

5.- Conecte el circuito de la fig.10. Encienda la fuente. Oprima el botón mientras observa el comportamiento de la lámpara piloto.

Fig.10



a) ¿ Se apaga la lámpara cuando se oprime el botón?

b) ¿ Se mantiene apagada mientras se mantiene oprimido el botón?

c) Cuando se mantiene el botón en la condición de oprimido, ¿qué determina el tiempo de encendido?

d) ¿ Se podría llamar a este circuito un circuito oscilador de relevador?

Porque

e) Apague la fuente.

6.- Conecte el circuito de la fig.11. Conecte las tres terminales del motor de jaula de ardilla (4, 5 y 6). Ajuste el retraso a diez segundos.

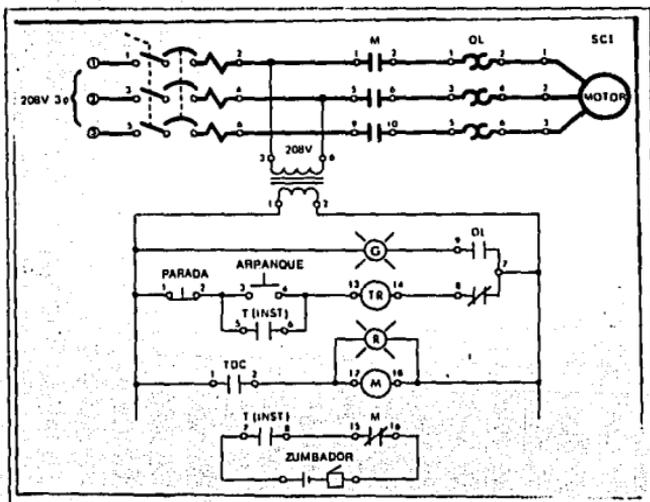


Fig.11

- Cierre el interruptor de desconexión y encienda la fuente
 - Oprima el botón de arranque y observe el funcionamiento del motor
 - Oprima el botón de parada.
 - ¿El circuito se comporta como lo espera?
-
- Apague la fuente y abra el interruptor de desconexión.

7.- A continuación se medirá el tiempo necesario para que un motor sin carga alcance la velocidad máxima cuando se arranca (aceleración) y el tiempo que necesita para pasarse (desaceleración) a partir de la velocidad máxima. Entonces se repetirán estas mediciones mientras el motor impulsa una carga de elevada inercia.

Un motor toma la máxima corriente en el arranque. Al acelerar, la corriente de arranque disminuye, y se estabiliza en cierto valor cuando el motor alcanza la velocidad máxima.

- a) Quite el zumbador de su circuito.
- b) Inserte un medidor de corriente alterna, ajustando en el rango de 2.5A en serie con una de las terminales de entrada al relevador de sobrecarga.
- c) Ajuste el retraso de tiempo a cero
- d) Cierre el interruptor de desconexión y encienda la fuente
- e) Usando un reloj para observar el tiempo de aceleración, oprima el botón de arranque mientras observa el medidor de corriente.

$t_{\text{aceleración}} = \text{-----seg.}$

- f) Oprima el botón de parada y mida el tiempo desaceleración.

$t_{\text{desaceleración}} = \text{-----seg}$

- g) Repita (e y f) anotando sus mediciones en la tabla 12

PRUEBA	TIEMPO DE ACELERACION		TIEMPO DE DESACELERACION	
	SIN CARGA	CON CARGA	SIN CARGA	CON CARGA
No.1				
No.2				
No.3				

Tabla 12

h) Apague la fuente y abra el interruptor de desconexión.

8.- Acople el motor/generador de cd/al motor de jaula de ardilla con la banda de sincronización. El motor/generador de cd/ servirá como carga pasiva para el motor de jaula de ardilla, por lo que no se deberá conectar eléctricamente.

a) Se utilizará el volante de inercia para simular una carga de alta inercia de arranque. Asegúrese de que este bien colocado.

b) Cambie el rango del medidor de corriente a 8A c-a.

c) Cierre el interruptor de desconexión y encienda la fuente

d) Usando un reloj, mida los tiempos de aceleración para el motor con cargas. Anote sus resultados en la tabla 12

e) Apague la fuente y abra el interruptor de desconexión.

CONCLUSIONES

Es un manual de tipo teórico - práctico dirigido a los estudiantes de laboratorio de maquinas electricas. Su contenido es útil para cualquier persona relacionada con esta materia.

Se tratan temas básicos como: normas de seguridad, instrumentos de medición, transformador monofasico y trifasico, motores de inducción, maquinas de corriente directa y sincronas, equipo de control etc; todos estos temas están apoyados por los fundamentos conceptuales, tablas de datos prácticos y un gran número de ilustraciones para una mejor comprensión de los temas.

Quiero mencionar un hecho importante que me parece trascendente y que se mencionó dentro del desarrollo de este documento. Todos los ingenieros, estudiantes y personal tecnico que se vean involucrados de cualquier manera en alguna cuestión de llegar a realizar cualquier practica, tendrán que adecuarse alguna de las normas de seguridad ya existente.

El éxito de cada practica depende de seguir todos y cada uno de los pasos que se mencionan, así también el buen manejo de los equipos de laboratorio. Nunca olvidar que tipo de corriente, voltaje se está utilizando en cada experimento ya que de esto depende la seguridad de los instrumentos de medición.

Por ultimo quiero hacer un llamado a todas las personas que tengan relación con estos equipos, de que cuiden todo el material con que cuenta el laboratorio ya que el buen uso permite el éxito de cada practica, así también permitiendo que nuevas generaciones hagan uso de este material.



MAQUINAS ELECTRICAS

BIBLIOGRAFIA

- 1.- LABORATORIO DE EQUIPO ELECTRICO
WILDI Y DE VITO
ED. LINUSA, 1982
- 2.- CONTROL DE MOTORES INDUSTRIALES
WILDI Y DE VITO
ED. LINUSA, 1987
- 3.- MAQUINAS ELECTRICAS
CHAPMAN
ED. MC. GRAWHILL, 1968
- 4.- MAQUINAS ELECTRICAS
SANJURJO
ED. MC. GRAWHILL, 1987
- 5.- MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES
I.L.KOSOV
ED. REVERTE S.A, 1987
- 6.- INTRODUCCION A MAQUINAS ELECTRICAS Y TRANSFORMADORES
GEORGE MCPHERSON
ED. LINUSA, 1987
- 7.- MAQUINAS ELECTRICAS
GEORGE J. THALER Y MILTON
ED. LINUSA, 1979
- 8.- EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELECTRICAS INDUSTRIALES
GILBERTO ENRIQUEZ HARPER
ED. LINUSA, 1988
- 9.- PREFACION CONTROL Y PROTECCION



MAQUINAS ELECTRICAS

HOPACIO BUITRON SANCHEZ
ED. LIBROS TECNICOS, SEGUNDA EDICION.

- 10.- INSTRUMENTACION ELECTRONICA Y MEDICIONES
COOPER
ED. PRETICE-HALL HISPANOAMERICA, 1984
- 11.- ANALISIS INTRODUCTORIO DE CIRCUITOS
ROBERT L. BOYLESTAD
ED. TRILLAS, 1988
- 12.- CONVERSION DE ENERGIA ELECTROMECHANICA
GOURISHANKAR
ED. REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA, S. A.
MEXICO, 1975
- 13.- APUNTES DE SQUARE DE MEXICO S.A.