

escuela **INTEGRAL** **AUTONOMA** **DE ENSEÑANZA**

“ #” E' ° ~ #

Unidad 4

MOTORES MONOFÁSICOS CON ROTOR BOBINADO

Si bien, hasta el momento hemos considerado motores monofásicos que utilizan rotores tipo de jaula de ardilla, debemos tener en cuenta que también existen maquinas con rotor bobinado. Para su consideración procederemos a clasificarlas en motores universales o serie y motores de repulsión.

MOTOR SERIE O UNIVERSAL

Los llamados motores serie o universales presentan una propiedad muy interesante en lo que respecta a su alimentación, en efecto, pueden funcionar indistintamente con corriente continua o alterna, de allí proviene la denominación «universales». Estas

maquinas, por la condición recién mencionada han alcanzado amplia difusión sobre todo en aparatos hogareños tales como licuadoras, batidoras, encendedoras, maquinas de agujerear, etc.

El lector habrá observado que estas maquinas también son denominadas «motores serie», esto se debe a que consideradas bajo el aspecto de su conexionado resultan ser muy similares a los motores serie de corriente continua. Por ese motivo le resultara familiar el esquema que muestra la figura 1 ya que se trata de un motor bipolar universal que guarda exacta similitud con un motor serie de corriente continua.

En primera instancia debe notarse que nuestro motor elemental lleva colector, detalle que resulta una novedad ya que en los motores de corriente alterna estudiados hasta el momento no era necesaria su utilización por tener el rotor en cortocircuito, esto significa que para

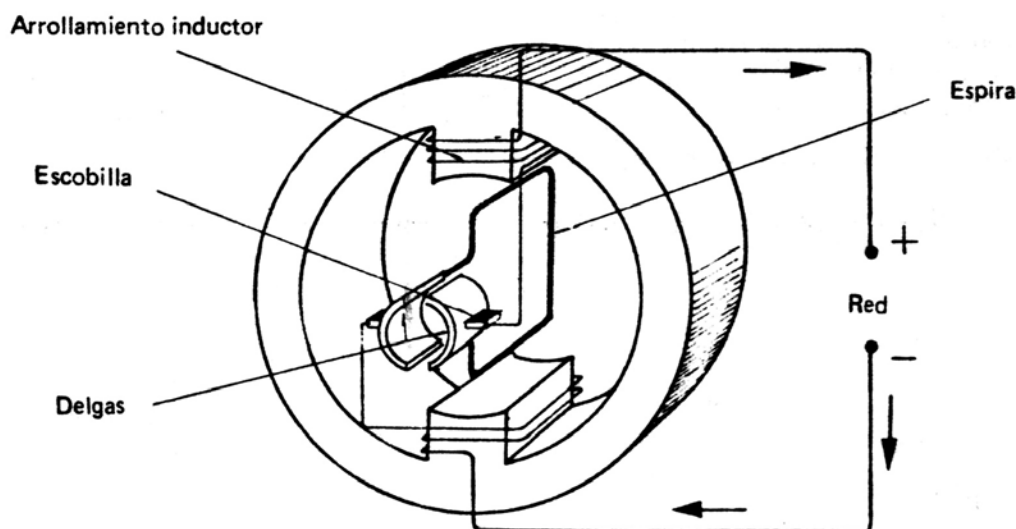


FIGURA 1 - ESQUEMA DE LAS CONEXIONES DE UN MOTOR UNIVERSAL

su funcionamiento estas maquinas deben recibir en su rotor corriente proveniente de la red de alimentación lo que se logra mediante una disposición serie, ya que si analizamos el circuito partiendo del conductor inferior de la red tiene un solo camino a seguir para cerrar el circuito. En efecto, considerando que la red de alimentación presenta en determinado momento la

polaridad indicada en la figura, vemos que la corriente parte del negativo, recorre el arrollamiento de campo inferior llegando a la espira a través de la escobilla izquierda y la delga correspondiente. La corriente recorre la espira y sale de la misma pasando por la delga ubicada a la derecha y la escobilla desde donde se dirige

el polo positivo de la red circulando previamente por el arrollamiento de campo superior.

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Como se recordara, en un motor de corriente continua, en caso de invertir la polaridad de la tensión aplicada se mantiene el sentido de giro ya que por tratarse de un circuito serie la polaridad magnética del inductor se modifica al mismo tiempo que la del inducido. Este detalle tiene importancia dado que debemos considerar el funcionamiento el mismo motor cuando se le aplica una tensión alterna de alimentación.

Para interpretar rápidamente el funcionamiento del motor universal cuando se le aplica una tensión alterna recurrimos a la figura 2, en ella consideramos el comportamiento de la maquina para los semiciclos de tensión aplicada. Cuando se hace presente el semiciclo positivo, la corriente entra por el arrollamiento del polo izquierdo saliendo por el arrollamiento inductor derecho. Este sentido de circulación de la corriente determina las polaridades magnéticas señaladas en la figura, es la regla de la mano izquierda quien nos indica que el polo norte inductor se ubica a la izquierda mientras que el polo sur a la derecha, pero además, la espira se comporta como un imán quedando su polo norte en el plano superior y el sur en el inferior.

La reacción de ambos campos magnéticos produce el giro de la espira en el sentido de las agujas del reloj lo que queda determinado por la simple aplicación de la regla de mano derecha.

¿Qué ocurre en el semiciclo negativo? Al circular la corriente en sentido inverso por los arrollamientos inductores y la espira, los campos magnéticos de ambos se invierten, pero la espira mantiene el mismo sentido de gira lo que resulta perfectamente explicable si aplicamos nuevamente las reglas correspondientes.

Vemos que el motor serie puede funcionar con corriente continua o alterna, esto puede llevamos a suponer que no se hace necesaria ninguna modificación para lograr idéntico rendimiento bajo una u otra condición. Pero no es así, diversos factores influyen haciendo que un motor serie preparado para funcionar con corriente continua presente apreciables pérdidas cuando se lo somete a

una corriente alterna, por esa razón consideramos necesario analizar los motivos teóricos que justifican dichas pérdidas y las soluciones que se adoptan en la practica para evitarlas o atenuarlas al máximo.

PÉRDIDAS EN EL HIERRO

En esto motores, de no tomarse ciertas precauciones constructivas, se produce un aumento excesivo de la temperatura en el hierro que es motivado fundamentalmente por dos causas, una de ellas es originada por las ya conocidas corrientes de Foucault o parasitas y la otra esta determinada por la llamada histeresis magnética.

Con referencia a las corrientes de Foucault es sabido que se producen cuando el hierro de la maquina esta sometido a la acción de un flujo magnético variable. Efectivamente, el hierro al cortar líneas de fuerza (o ser cortados por las mismas) recibe una tensión inducida que establece corrientes que no representan ninguna utilidad ya que se limitan a desplazarse por la masa del metal.

Las corrientes de Foucault cobran mayor intensidad cuando el moto es alimentado con corriente alterna, esto se debe a que el flujo magnético varía permanentemente, incluso podemos agregar que las pérdidas que ellas ocasionan son proporcionarles al volumen del hierro, al cuadrado de la frecuencia influyendo también la inducción máxima y la resistividad del metal.

Para atenuar las corrientes de Foucault se acude a la utilización de laminas de hierro silicio en la construcción del rotor y estator, de esta manera las pérdidas se reducen siendo mínimas cuando el campo magnético inductor está aplicado en el sentido del laminado de las planchas. Con respecto a este detalle, el esquema de la figura 3 es suficientemente ilustrativo, en él puede observarse que el núcleo y las masas polares están formados por laminas se encuentran paralelas al campo, por ese motivo las corrientes inducidas son pequeñas evitándose un calentamiento excesivo. Como se recordará, para que el conjunto de laminas no forme eléctricamente un solo bloque, cada plancha de metal se encuentra aislada del resto para ello, durante la fabricación se las somete a un proceso de oxidación

FIGURA 2 - AL MODIFICARSE LA POLARIDAD ELECTRICA SE INVIERTEN LOS CAMPOS MAGNETICOS DEL INDUCTOR E INDUCIDO PERMANECIENDO CONSTANTE EL SENTIDO DEL GIRO DE LA ESPIRA.

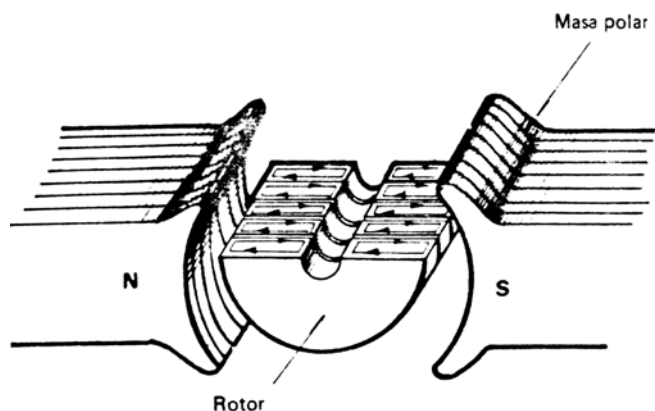
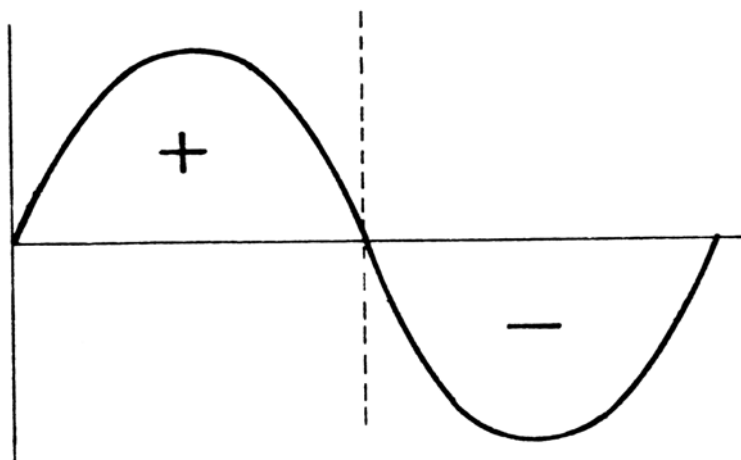
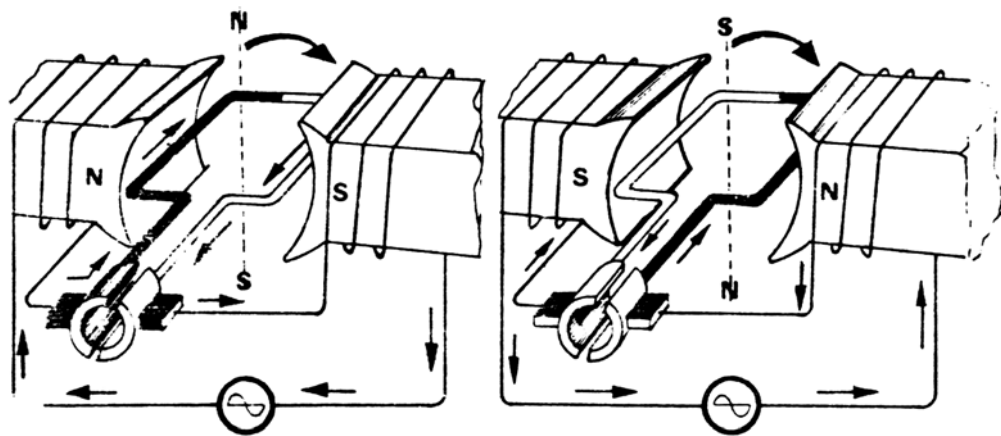


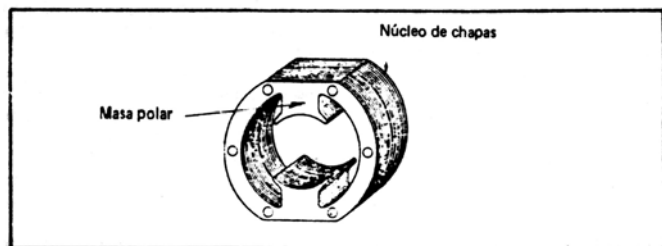
FIGURA 3 - LOS NÚCLEOS DE LAMINADOS REDUCEN LAS CORRIENTES DE FOUCAULT.

artificial (el óxido actúa como aislante) o bien se las esmalta.

La importancia práctica de las corrientes de Foucault queda perfectamente aclarada en la figura 4, en ella se observa que el estator o inductor consiste en un paquete de chapas de forma adecuada fuertemente prensadas y fijadas mediante remaches o pernos, además las mismas chapas forman las expansiones polares.

La otra causa determinante de pérdidas en el núcleo, tal como se anticipó en la histeresis magnética; se trata de un fenómeno fácil de interpretar, consiste en lo siguiente: supongamos que se aplica una fuerza

FIGURA 4 - ESTATOR DE UN MOTOR BIPOLAR UNIVERSAL.



magnetizante as un trozo de hierro que no fue sometido hasta el momento a campo magnético alguno, en estas condiciones el hierro toma propiedades magnéticas hasta un limite conocido como punto de saturación. Si luego se disminuye paulatinamente la fuerza magnetizante hasta anularla, podemos creer que el trozo de hierro pierde totalmente el magnetismo que había adquirido, pero no ocurre así. El hierro mantiene un pequeño campo a pesar que ha cesado sobre él toda acción magnetizante remanente. Para eliminar el magnetismo remanente se hace necesario aplicar una fuerza magnética en sentido inverso al anterior, recién a partir de esta situación se puede magnetizar nuevamente al trozo de hierro para lograr en el mismo una polaridad opuesta a la lograda en el comienzo del proceso.

Resumiendo este proceso podemos apreciar que una fuente alterna al producir un campo que magnetiza a un bloque de hierro se ve obligada a «gastar» parte de su energía en desmagnetizarlo para lograr recién la inversión del campo. Esto representa una pérdida de importancia cuando el flujo de un circuito magnético debe ser invertido muchas veces por segundo, cosa que ocurre precisamente en los motores de alterna, por ese motivo se eligen materiales que presentan mínimo campo remanente.

LOS ARROLLAMIENTOS EN CORRIENTE ALTERNA

A las pérdidas producidas por calor recientemente explicadas se suman otras de carácter distinto, ocurre que el comportamiento de los arrollamientos de la maquina no es el mismo cuando están sometidos a corriente continua que si por ellos circula corriente alternada. En los bobinados sometidos a corriente continua, uno de los factores limitativos de la corriente

era la resistencia óhmica del alambre, pero esos mismo bobinados trabajando con corriente alterna presentan además de la resistencia una nueva opción a la corriente que se conoce Reactancia Inductiva.

Dada la importancia de esta nueva oposición haremos una breve referencia a la misma sin abundar en detalles teóricos. Comenzaremos por recordar que toda bobina impone una cierta demora al crecimiento o decremento de la corriente que por ella circula, esto significa que si se la conecta a una fuente de corriente alterna, en forma permanente la bobina se opone a los cambios de valor de la corriente, es justamente esta oposición la que llamamos Reactancia Inductiva.

Como toda oposición a la corriente, la reactancia inductiva se la considera en ohm, pero ocurre que una bobina determinada no ofrece en todos los casos la misma oposición, veamos a que se debe ese comportamiento tan especial. En la figura 5 se muestran dos bobinas idénticas conectadas a fuentes de corriente alterna de distinta frecuencia; en principio, si las dos bobinas son iguales, presentarán la misma demora al crecimiento de la corriente por sus efectos inductivos. Pero existe otro factor importante, la frecuencia con que la corriente tiende a variar no es la misma en ambos casos, observe que una de las fuentes entrega 50 c/s y la otra 25 c/s.

Es evidente que en el primer caso (mayor frecuencia) la bobina se opone al crecimiento de la corriente mayor cantidad de veces en la unidad de tiempo que en el segundo caso, por lo tanto el resultado será una mayor reactancia cuando la frecuencia también es mayor.

Sintetizando, a causa de la reactancia de los circuitos inductor e inducido, para una misma tensión aplicada será menor la corriente circulante por el motor cuando se utiliza una tensión alterna que una continua conspirando esto contra el buen funcionamiento de la maquina.

Es evidente la necesidad de mantener la reactancia de los bobinados dentro de un valor relativamente bajo, pero debe tenerse en cuenta que no todas las soluciones teóricas pueden ser llevadas a la practica con facilidad, tal es el caso de la frecuencia de alimentación. Decíamos que la reactancia inductiva aumenta con frecuencia, por lo tanto para alimentar a

nuestro motor conviene una fuente de baja frecuencia, esto no es fácil de conseguir ya que la red de alimentación domiciliaria mantiene una frecuencia fija, generalmente del orden de los 50 ciclos por segundo. Tal es así que en algunos casos muy especiales, cuando se deben accionar motores universales de potencia relativamente alta, se acude a generadores destinados específicamente a tal fin que entregan corriente alterna a razón de 25 c/s.

Los motivos anteriores señalan la necesidad de reducir la inductancia de los arrollamientos, por ejemplo, en los campos esto se consigue con núcleos de polos cortos y bobinados de pocas vueltas, aunque esto último tiene sus límites ya que el flujo magnético del circuito de excitación del motor se necesita para lograr el giro del mismo. Otro factor importante consiste en mantener una reluctancia de bajo valor lo que se consigue dejando espacios libres entre el estator y el rotor lo más pequeño posible dentro de los límites necesarios para el funcionamiento mecánico del motor, incluso en muchos casos, en lugar de utilizar estatores con polos salientes se acude a los de forma de anillo de hierro similares a los que se utilizan en las máquinas de fase partida.

Con referencia a los arrollamientos del inducido son válidas las consideraciones referentes al inductor, o sea, dentro de límites aceptables se reduce su inductancia para no presentar excesiva oposición a la corriente circulante.

CONMUTACIÓN

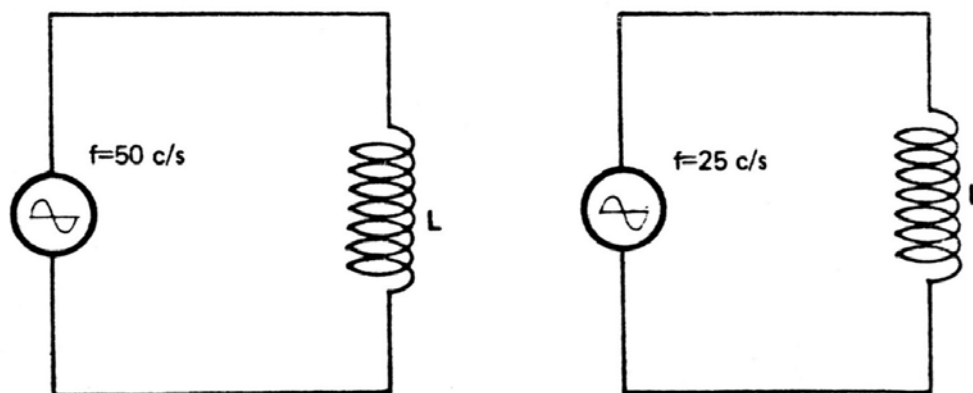


FIGURA 5 - A MEDIDA QUE AUMENTA LA FRECUENCIA UNA BOBINA PRESENTA MAYOR REACTANCIA INDUCTIVA A LA CORRIENTE.

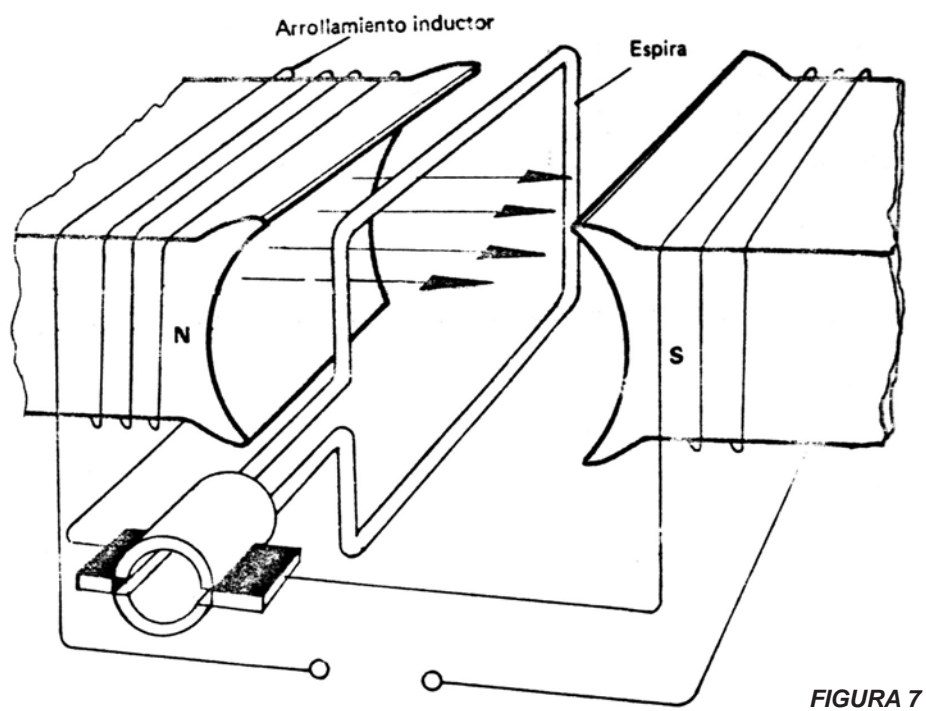
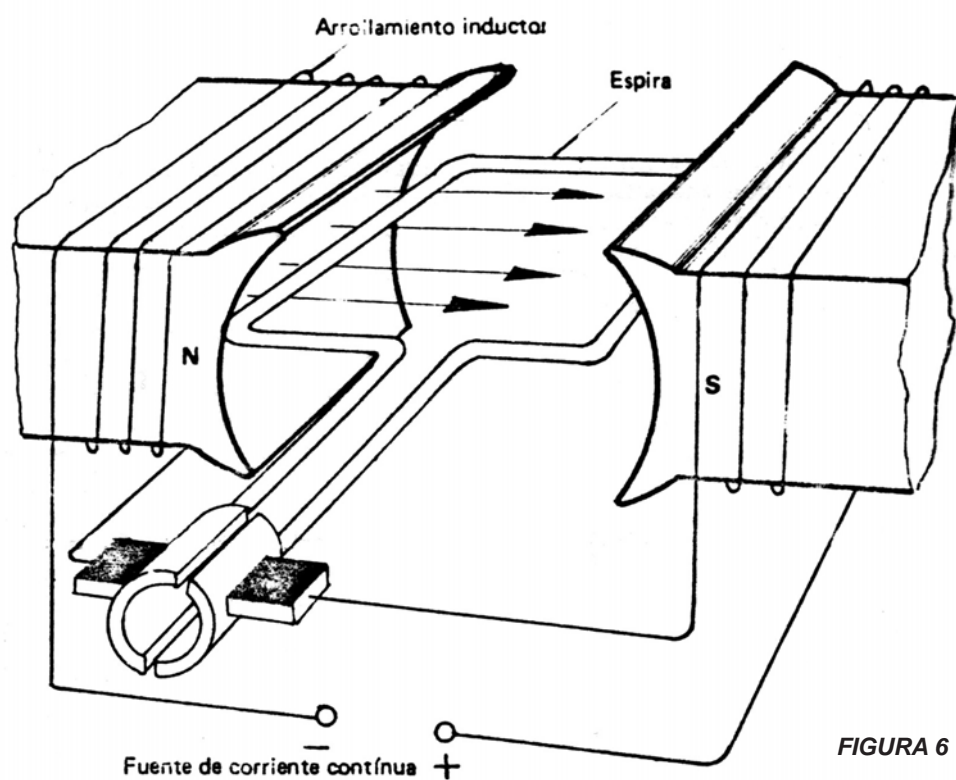
Al utilizar un motor universal con corriente alterna se comprueba que los arrollamientos que quedan en cortocircuito por medio de las escobillas reciben corrientes más intensas que da lugar a la producción de un intenso chisporroteo en el colector siempre que no se tomen las debidas precauciones para atenuar este efecto.

Debemos recordar que en corriente continua el chisporroteo se producía fundamentalmente por la autoinducción de los arrollamientos que ponían en cortocircuito por la acción de las escobillas; este efecto se debía a la inercia electrónica que tiene la corriente circulante en el arrollamiento y se la compensaba en muchos casos disponiendo polos auxiliares de manera tal que sus campos establecen una f.e.m. de sentido contrario a las de autoinducción.

Por supuesto que estos efectos también se manifiestan cuando el motor es alimentado con corriente alterna, pero además aparece una nueva dificultad que pasamos a considerar.

En la figura 6 se ha representado el instante en que una espira giratoria corta perpendicularmente las líneas de fuerza del campo inductor, como hemos indicado en repetidas oportunidades, en esta situación la cantidad de líneas cortadas por unidad de tiempo es mayor y en consecuencia también le será la fuerza electromotriz inducida en la espira.

Lo contrario ocurre en el instante ilustrado en la figura 7, donde la espira se desliza en forma paralela a las



líneas de campo, en este caso la tensión inducida es nula ya que no se produce «corte» de líneas de fuerza.

Las dos situaciones indicadas se cumplen siempre que el campo inductor sea generado por una corriente continua, pero en el caso que nos ocupa (el motor funciona con corriente alterna), a estos efectos se suma la tensión inducida en la espira como consecuencia del campo magnético alterno. Volviendo a la figura 7 y teniendo en cuenta que el flujo inductor es alterno, resulta claro que la espira abarca en esa posición la máxima variación de flujo por lo que se establece en ella una tensión inducida. Dado que esa posición de la espira se produce la conmutación, es evidente que esta tensión inducida colabora en la producción de chispas entre las escobillas y el colector.

Dado que la presencia de esta fuerza contraelectromotriz es inevitable se acude a disminuir el número de espiras en cada una de las secciones del arrollamiento del rotor debe aumentarse proporcionalmente el número de secciones lo que obliga al uso de un colector con mayor número de delgas.

En los motores universales de mayor potencia es necesario controlar eficientemente un chisporroteo excesivo, por lo tanto se acude a la ubicación de resistencias dispuestas en la forma indicada en la figura 8. De esta manera se limita la corriente únicamente en la sección conmutada permitiendo esto evadir pérdidas de calor demasiado elevadas.

DESCRIPCIÓN DE UN MOTOR UNIVERSAL

Dado que el motor universal es muy parecido en varios aspectos al motor serie de corriente continua procederemos a continuación a efectuar una breve descripción de sus partes componentes. En la figura 9 se muestran las principales partes componentes del motor, refiriéndonos a la carcasa podemos decir que por lo general es de acero laminado, de aluminio o de fundición, siendo sus dimensiones las adecuadas para mantener firme las chapas, construyéndose con frecuencia carcasas de una sola pieza con los soportes o patas del motor.

El estator consiste en un paquete de chapa fuertemente prensada, que se fijan por medio de remaches o pernos,

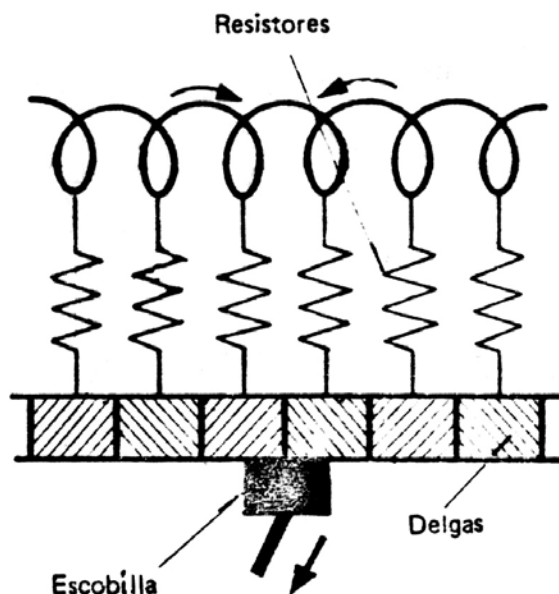


FIGURA 8 - INCLUSION DE UNA RESISTENCIA PARA DISMINUIR EL CHISPORROTEO.

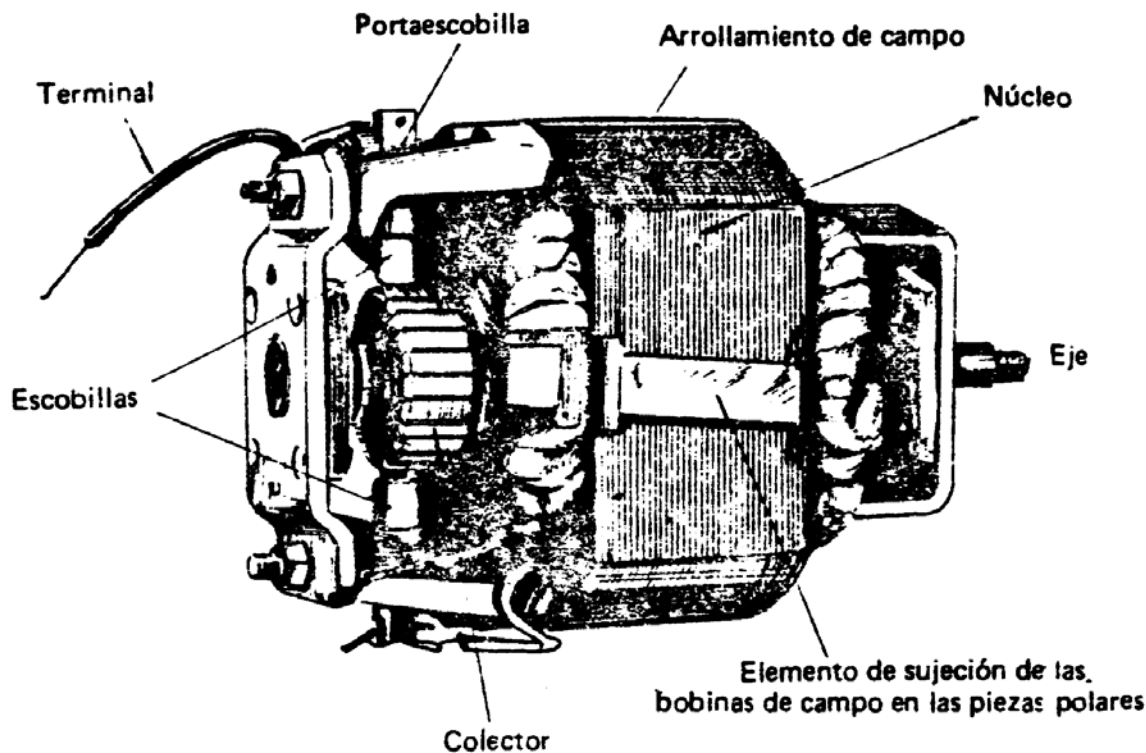
cabe aclarar que las masas polares no son separables ya que las propias chapas del estator les dan forma.

El rotor o inducido es similar al de un motor de corriente continua pequeño; consiste en un paquete de chapas formando un núcleo compacto ranurado y un colector al que van conectados los terminales del arrollamiento. Tanto el núcleo como el colector van solidamente afimados al eje.

Los escudos, como en todos los motores van montados en los frentes de la carcasa y en ellos van ubicados los bujes o cojinetes en los que descansan los extremos del eje. Pueden encontrarse los motores universales en los que puede desmontarse un solo escudo ya que el otro va fundido junto con la carcasa, los porta escobillas, por lo general están ubicados en el escudo frontal.

En la figura 10 se muestra el despiece de un motor universal pudiéndose notar que el estator presenta gran similitud con los utilizados en los motores de fase partida, los componentes restantes no presentan diferencia apreciables con los ya estudiados.

FIGURA 9 - ASPECTO FÍSICO DE UN MOTOR UNIVERSAL.



VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MOTORES UNIVERSALES

A continuación comentaremos en forma abreviada las ventajas e inconvenientes de estos motores; ellas son:

Velocidad de giro variable. En el caso de motores universales pequeños la regulación de velocidad puede lograrse colocando una resistencia en serie. Un caso típico es el utilizado en las máquinas de cose en las que una resistencia variable se intercala como lo muestra en el esquema de la figura 11, en estos motores el reostato se encuentra en el interior de un pedal permitiendo regular la velocidad en forma permanente y proporcionar una aceleración y parada instantánea. Vale destacar que en ausencia de carga la velocidad no alcanza límites peligrosos porque tratándose de máquinas de poca resistencia, buena parte de ella se emplea en vencer los rozamientos del eje con sus cojinetes y el producido por las aletas del ventilador con aire, por esa razón no puede decirse en forma absoluta que el motor trabaja sin carga.

Par de arranque elevado. Tal como se indicó al estudiar los motores serie de corriente continua, al iniciarse el arranque en el rotor no se establece una fuerza contraelectromotriz elevada por cuya razón la corriente que circula a través de los arrollamientos es apreciable lo que determina una gran intensidad de campo en los arrollamientos inductores e inducidos dando como resultado un elevado par motor.

Velocidades elevadas. Estos motores pueden construirse para velocidades de giro muy elevadas ya que si trabajan con una carga pequeña (poco par resistente) la magnitud de los campos inductor e inducido permiten el desplazamiento del rotor a gran velocidad. Esto no ocurría en los motores de inducción, por ejemplo los de fase partida, porque en ellos la velocidad depende únicamente de la velocidad de giro del campo inductor.

Funcionan con corriente continua o abierta. Si bien estos motores pueden funcionar con ambas corrientes, de acuerdo a lo explicado al comenzar esta lección se puede interpretar que las máquinas que en la industria o el hogar funcionan como motores universales no se

CURSO DE BOBINADO Y REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

emplean indiscriminadamente con corriente alterna o continua, sino que se trata de motores a los que se ha alterado el diseño básico por los motivos ante-dichos, en consecuencia, los motores universales funcionan con menor rendimiento que los motores serie de corriente alterna o de continua puros, motivo por el que se los fabrica generalmente de pequeño tamaño.

Con referencia a las desventajas que presentan los motores universales, podemos sintetizarlas como se indica a continuación.

Requieren control eficiente. Estas máquinas contienen elementos delicados que requieren una revisión periódica, se hace necesario controlar el desgaste del colector, de las escobillas, el envejecimiento de los muebles, etc.

Chispas bajo las escobillas. Ya que el rotor es recorrido por la corriente de alimentación, por efectos de autoinducción se establecen chispas que tienden a acortar notablemente la vida útil de las escobillas y del colector.

Ruidos. Dados que estos motores alcanzan fácilmente una velocidad elevada es casi imposible conseguir de ellos un funcionamiento silencioso.

Vistas las ventajas y desventajas de los motores universales pasamos a considerar otra clase de motores asincrónicos, llamados de repulsión, que presentan como principal característica la de desarrollar un par de arranque elevado con corrientes relativamente bajas permitiendo estos conectarlos directamente a la red de alimentación.

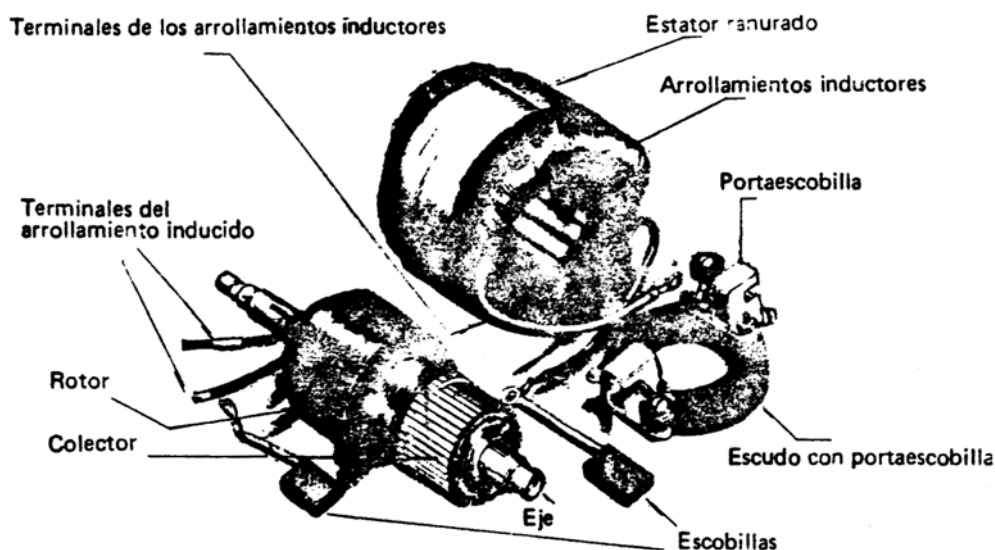


FIGURA 10 - PARTES COMPONENTES DE UN MOTOR UNIVERSAL.

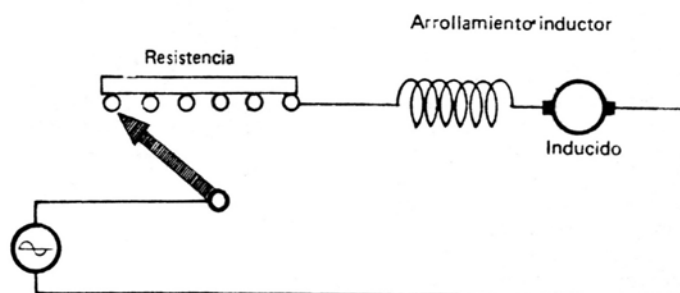


FIGURA 11 - REGULACION DE UN MOTOR UNIVERSAL INTERCALANDO UNA RESISTENCIA VARIABLE EN SERIE.

MOTORES DE REPULSIÓN

Estas máquinas basan su funcionamiento en un efecto electromagnético muy interesante, para interpretarlo fácilmente acudimos a la figura 12 en la que se ha representado una fuente de tensión de alterna alimentando los arrollamiento de campo, entre ambos polos se ubica una espira rectangular que puede girar libremente sobre un eje perpendicular a las líneas de fuerza.

Al circular corriente por los campos inductores se observa que la espira se orienta de manera tal que adopta una posición perpendicular a las líneas de fuerza, o sea, la superficie imaginaria que limita la espira es atravesada de «lleno» por el campo inductor.

Si intentamos modificar la posición de la espira notamos que ofrece una apreciable resistencia inicial, o sea, debemos realizar un considerable esfuerzo para

desviarla cumpliéndose esta situación dentro de unos 15 grados de giro a partir de la posición primitiva. Pero luego la resistencia de la espira decrece a medida que se acerca a una posición paralela a las líneas de fuerza.

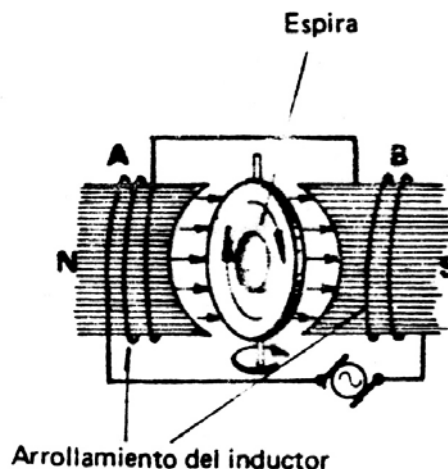


FIGURA 12 - MOTOR DE REPULSION ELEMENTAL.

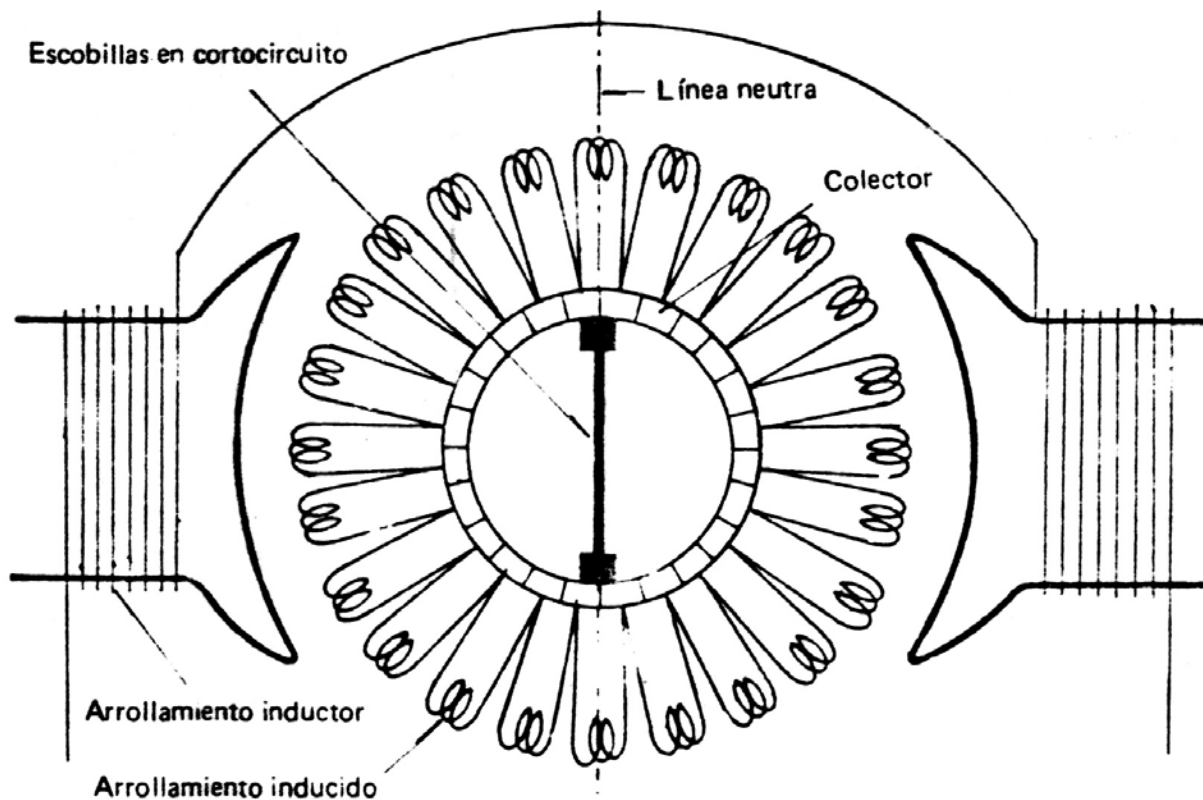


FIGURA 13 - POR ESTAR UBICADAS LAS ESCOBILLAS SOBRE LA LINEA NEUTRA, EL ROTOR NO GIRA.

¿Qué ocurre si soltamos la espira? Al dejar libre la espira se verifica que por si misma vuelve a ubicarse perpendicularmente al campo inductor. La orientación perpendicular de la espira con respecto al campo se debe a que al inducirse este ultimo una corriente aparece un nuevo campo magnético que reacciona con el flujo inductor obligando a la espira a buscar la posición ya indicada. Esta propiedad de la espira es la que se toma como base para el funcionamiento del motor de repulsión; básicamente estas maquinas llevan un inductor fijo alimentado por la corriente de línea y un rotor bobinado con colector similar a los estudiados en las maquinas de corriente continua.

El estator o inductor esta provisto de ranuras en las cuales se alojan los arrollamientos, estos últimos son similares a los utilizados en los motores de fase partida. El rotor consiste en un núcleo ranurado en el que van dispuesto arrollamientos cuyos terminales son conectados a las delgas del colector. Las ranuras suelen estar dispuestas en forma oblicua con relación al eje del motor con el fin de lograr siempre el mismo par de arranque cualquiera sea la posición de arranque del rotor.

Poco podemos agregar con respecto a los escudos ya que cumplan igual misión que en otras maquinas eléctricas ya estudiadas, además estos motores llevan escobillas (generalmente de carbón) alojadas en los portaescobillas correspondientes, aunque referente a esto ultimo nos encontramos con la novedad que las escobillas van unidas entre si por causas que explicaremos mas adelante.

FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR A REPULSIÓN

Para explicar el funcionamiento del motor a repulsión nos remitimos al esquema de la figura 13 en el que se ha representado al rotor bobinado recibiendo un campo magnético creciente producido por los arrollamientos del estator. El campo creciente determina en las espiras del rotor tensiones inducidas que se representan mediante flechas, debiéndose observar además que de acuerdo a lo anticipado las escobillas se encuentran unidas entre si y están ubicadas sobre la línea neutra. Para la situación mostrada en la figura 13 no circulará corriente por las espiras del rotor ni entre las escobillas

ya que las tensiones inducidas en las bobinas ubicadas a ambos lados del eje imaginario Norte-Sur tienen sentido contrario.

Precisamente esto es lo que representa el esquema de la figura 14 donde las tensiones recién mencionadas se indican mediante pilas; un simple análisis de este circuito deja ver que las polaridades se presentan de manera tal que la corriente no puede circular por ningún punto del circuito. De esto se deduce que al no existir corriente alguna en el rotor tampoco se origina campo magnético capaz de reaccionar con el flujo inductor para producir el giro del motor.

¿Qué ocurre si ubicamos las escobillas sobre el eje del campo inductor? Al colocar las escobillas en la posición indicada en la figura 15, el conjunto de bobinas ubicado en la zona superior se comporta como una pila haciendo lo propio el conjunto inferior, de esta manera (tal como lo señala el esquema equivalente de la misma figura) las dos pilas alimentan simultáneamente las escobillas.

Si el lector recuerda que las escobillas se encuentran unidas eléctricamente entre si, deducirá de inmediato que se establece una corriente de valor apreciable lo que a la vez da lugar a un campo magnético de igual dirección que el flujo inductor imposibilitando esto ultimo el giro del rotor.

La aparente complejidad de lo expuesto se puede resumir en forma practica señalando que: si las escobillas cortocircuitadas se colocan sobre la línea neutra

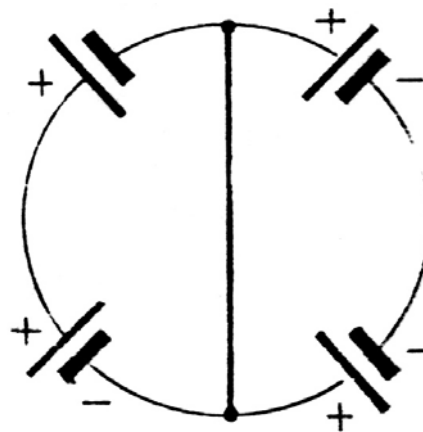


FIGURA 14 - CIRCUITO EQUIVALENTE DEL INDUCIDO CUANDO LAS ESCOBILLAS SE UBICAN SOBRE LA LÍNEA NEUTRA.

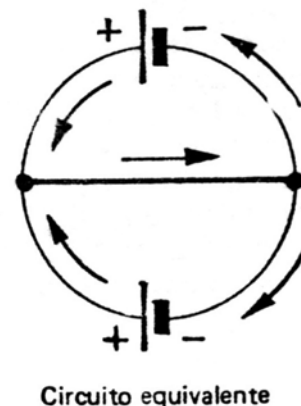
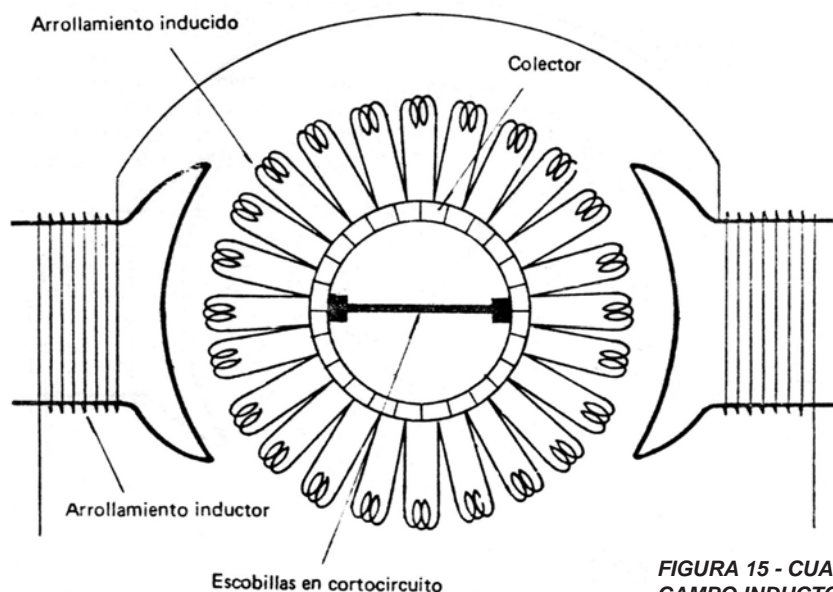


FIGURA 15 - CUANDO LAS ESCOBILLAS SE UBICAN SOBRE EL EJE DEL CAMPO INDUCTOR EL MOTOR NO GIRA.

o sobre el eje del campo inductor el motor no puede iniciar su marcha.

La solución a este problema consiste entonces en ubicar las escobillas en una posición intermedia, o sea, entre la línea neutra y el eje de los polos inductores, de esta manera la corriente circulante en el rotor producirá un campo que mantiene un cierto ángulo con el flujo inductor lo que permite iniciar el arranque y mantener luego el giro ya que durante la rotación las escobillas van poniendo sucesivamente en cortocircuito las bobinas siguientes del inducido.

Es interesante tener que el sentido del giro es inverso al del ángulo de desvío de las escobillas, además estos motores necesitan un dispositivo de arranque capaz de limitar la corriente inicial que demanda el motor por ser esta muy elevada.

También es posible (aunque menos práctico) entregar la tensión de alimentación ubicando previamente las escobillas en la zona neutra desviándolas luego lentamente hacia los polos.

Con respecto a la regulación de la velocidad del motor a repulsión es fácil interpretar de acuerdo a lo visto que la misma dependerá de la posición que ocupan las escobillas con respecto a los polos inductores, es decir, la velocidad del motor será mayor cuando las escobillas

a 15 grados de la línea neutra, tal como lo indica la figura 16.

MOTORES DE REPULSIÓN EN EL ARRANQUE Y DE INDUCCIÓN EN RÉGIMEN

Estos motores se caracterizan por tener un elevado par de arranque y trabajar a una velocidad prácticamente constante, por esos motivos se los suele utilizar en refrigeradoras industriales, compresores, bombas, etc. Estas máquinas presentan dos variantes, pueden llevar escobillas que se separan automáticamente del colector cuando el motor alcanza las tres cuartas partes de su velocidad de régimen o bien escobillas que permanecen continuamente en contacto con el colector. Dado que los principios de funcionamiento de ambos tipos de motores son similares, nos limitaremos a explicar brevemente el que utiliza escobillas «levantables».

La característica más importante de este motor reside en que para obtener un elevado par de arranque trabaja en el momento inicial como un motor de repulsión, mientras que al alcanzar una velocidad equivalente al 75% de la de régimen, se comporta como un motor con rotor en jaula de ardilla.

Para lograr que el motor funcione como de repulsión en el arranque y de inducción a plena marcha, se hace necesario utilizar un dispositivo que primeramente

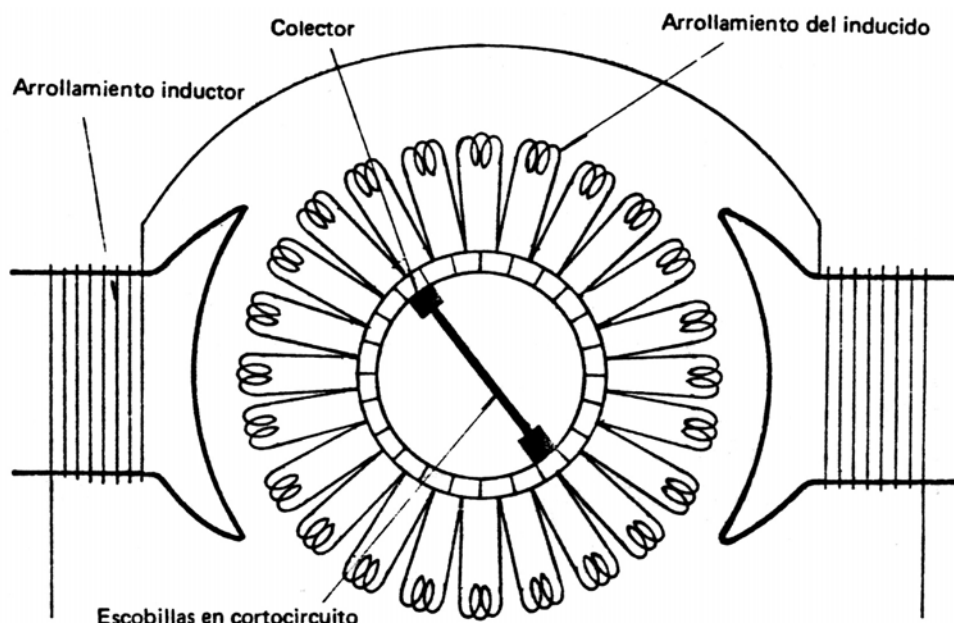


FIGURA 16 - LA VELOCIDAD DEL MOTOR VARIA SEGUN LA POSICION QUE ADOPTA LAS ESCOBILLAS CON RESPECTO A LA LINEA NEUTRA.

mantenga las escobillas en contacto con el colector y luego las separe y cortocircuite además las delgas del colector.

Dado que los principios de funcionamiento de los motores de inducción y los de repulsión ya fueron explicados oportunamente, nos ocuparemos en analizar el dispositivo recién mencionado. Para ello acudimos a la figura 17 en la que se observa el despiece del mecanismo centrífugo pudiéndose apreciar que esta formado por las siguientes piezas dispuestas en el rotor: masas reguladoras o centrífugas, collar de cortocircuito, casquillo-muelle, resorte, bielas, portaescobillas, y arandelas de presión.

Partiendo del momento de arranque, a medida que el motor cobra velocidad, la fuerza centrífuga actúa sobre las masas respectivas haciendo que las bielas se desplacen hacia adelante. Estas a su vez presionan al casquillo muelle obligando al collar a poner las delgas en cortocircuito, simultáneamente los portaescobillas quedan separados del colector, evitándose de esa forma el desgaste inútil de las escobillas.

Es importante tener en cuenta que al montar el mecanismo centrífugo debe ubicarse cada pieza en su posición correcta siguiendo el orden indicado en la

figura. Considerando que el buen funcionamiento de este motor se debe fundamentalmente a la precisión con que actúa el mecanismo centrífugo, debemos tener en cuenta que de no producirse el levantamiento de las escobillas en el momento adecuado, el motor no puede alcanzar su velocidad normal de funcionamiento.

Esto puede ocurrir en el caso de que las escobillas dejarán de hacer contacto con las delgas del colector antes del tiempo previsto, por ese motivo el motor no llega a la velocidad de régimen, por el contrario, la disminuye hasta que nuevamente las escobillas apoyan en el colector repitiéndose el proceso en forma indefinida.

El levantamiento prematuro de las escobillas puede ser debido a escasa presión del muelle aunque es posible el caso inverso, o sea, cuando el muelle presenta excesiva tensión las escobillas no se separan del colector y en consecuencia el motor se comportará siempre como de repulsión presentando un funcionamiento ruidoso y con chispas.

Llamará la atención que el inducido de estos motores lleve con un colector de conformación distinta a la considerada hasta el momento, se trata de un colector «radial» en el que las escobillas apoyan horizontalmente.

Estos colectores, por su reducido espesor permiten fabricar inducidos de corta longitud, además, en el caso que nos ocupa posible colocar un mecanismo centrífugo sin aumentar innecesariamente las dimensiones del motor.

Como ultima referencia a los motores de repulsión podemos decir que el cambio de sentido de rotación puede lograrse desviando las escobillas en sentido de rotación puede lograrse desviando las escobillas en sentido inverso respecto a la línea neutra.

MOTORES ASINCRONICOS POLIFASICOS

Consideraciones previas

Hasta el momento hemos considerado motores de corriente alterna de distintos tipos, en ellos el giro del motor se mantenía gracias a la acción de un campo magnético originado por un solo juego de bobinas. Por supuesto estas no son las únicas máquinas que pueden funcionar con corriente alterna, lo que ocurre sencillamente es que su amplia difusión se debe a que

la mayoría presta servicios en sitios donde la única fuente de energía es la corriente alterna monofásica.

Pero ocurre que en lecciones anteriores, al referimos a la generación de corrientes alternas se hizo una referencia muy breve a la posibilidad de dos (o más) corrientes alternas que no se encuentran en fase, dado que abundan los motores alimentados por dichas corrientes, es conveniente realizar una pequeña ampliación del tema para facilitar la interpretación del funcionamiento de las máquinas que hoy nos ocupan.

CORRIENTES ALTERNAS MONOFASICAS, BIFASICAS Y TRIFASICAS

Como se recordará, iniciamos el estudio de la corriente alterna mediante un generador elemental en el que una espira al girar dentro de un campo magnético recibía una tensión inducida cuyo valor y polaridad variaba en el tiempo. Estas características la diferenciaban netamente de la corriente continua, por ejemplo, la producida por una batería, dado que esta última determina en un circuito un desplazamiento de electrones con sentido constante. Tal es así que en los

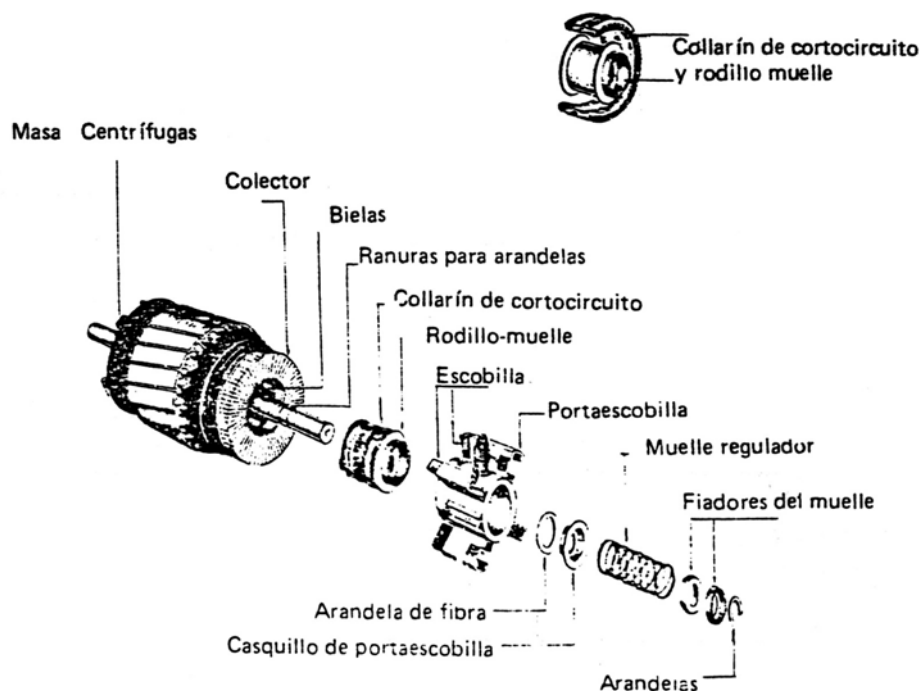


FIGURA 17 - DESPIECE DEL INDUCIDO DE UN MOTOR DE REPULSION EN EL ARRANQUE E INDUCCIÓN EN REGIMEN.

circuitos de corriente continua podemos hablar con toda propiedad de un conductor de «salida» y otro de «entrada» de corriente identificando incluso los bornes del generador como positivo y negativo. Pero en una corriente alterna denominar a los bornes del generador en esa forma no tiene sentido, dado que el flujo electrónico cambia de dirección constantemente. Por ejemplo, en la tensión alterna domiciliaria, cuya frecuencia es de 50 c/s, el conductor que en un instante determinado actúa como «entrada», se habrá convertido pasado un brevísimo tiempo en conductor de «salida». Por ese motivo en corriente alterna se utilizan otros términos, a los conductores que transportan la corriente eléctrica en uno u otro sentido, al ritmo que marca la frecuencia, se les llama fases.

La palabra fase, no lo dudamos, es muy utilizada al hablar de redes de alimentación, son comunes expresiones como «corriente monofásica», pero, ¿qué es una corriente monofásica o una trifásica?, veamos. La corriente monofásica podemos considerarla a aquella producida por una sola espira, tal como lo hemos estudiado anteriormente, por ese motivo no consideramos necesario abundar detalles.

CORRIENTES BIFASICAS

En la figura 18 se muestra un generador elemental de corriente bifásica, se trata sencillamente de dos espiras ubicadas perpendicularmente entre sí que pueden girar dentro de un campo magnético a la misma velocidad. Los terminales de cada espira están conectados a anillos metálicos sobre los que apoyan las respectivas escobillas (no mostradas en la figura), de manera tal que se disponen cuatro conductores para alimentar en forma independiente a dos cargas, en nuestro ejemplo se trata de simples lámparas eléctricas.

Vale observar que durante el giro los lados activos de las espiras no se encuentran en igual posición dentro del campo, en el caso ilustrado en la figura 1, la espira conectada a los dos anillos de la izquierda está «cortando» máxima cantidad de líneas de fuerza, por lo tanto su tensión inducida es máxima recibiendo alimentación la lámpara derecha.

Todo lo contrario ocurre con la otra espira, en ese instante no corta líneas del campo inductor, su intención

inducida es nula y la lámpara izquierda no recibe alimentación.

Por supuesto que durante el giro las situaciones se invierten de manera tal que recibirá alimentación la lámpara izquierda y no así la derecha, de todas maneras el lector debe interpretar que para la explicación hemos elegido dos instantes muy especiales, ya que en cada uno de ellos una carga quedaba sin alimentación, pero es sabido que las corrientes alternas se anulan un tiempo brevísimo, por tal motivo, y con el fin de no extendernos demasiado en el tema, hemos representado acompañando al esquema del generador una representación vectorial de las corrientes obtenidas acompañada por otra representación gráfica obtenida permitiendo esta última observar que el instante en que

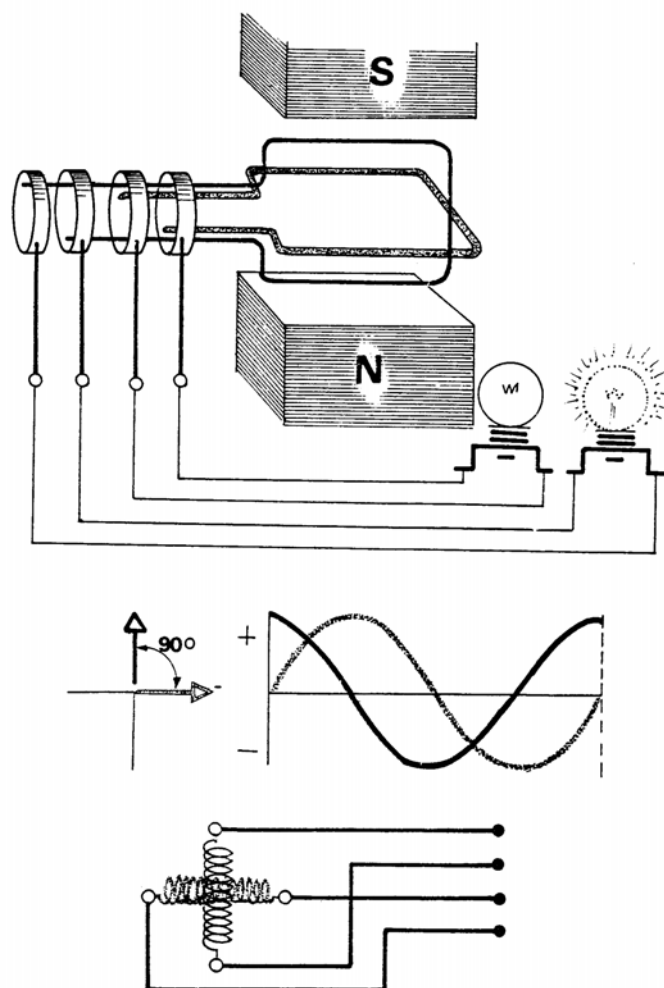
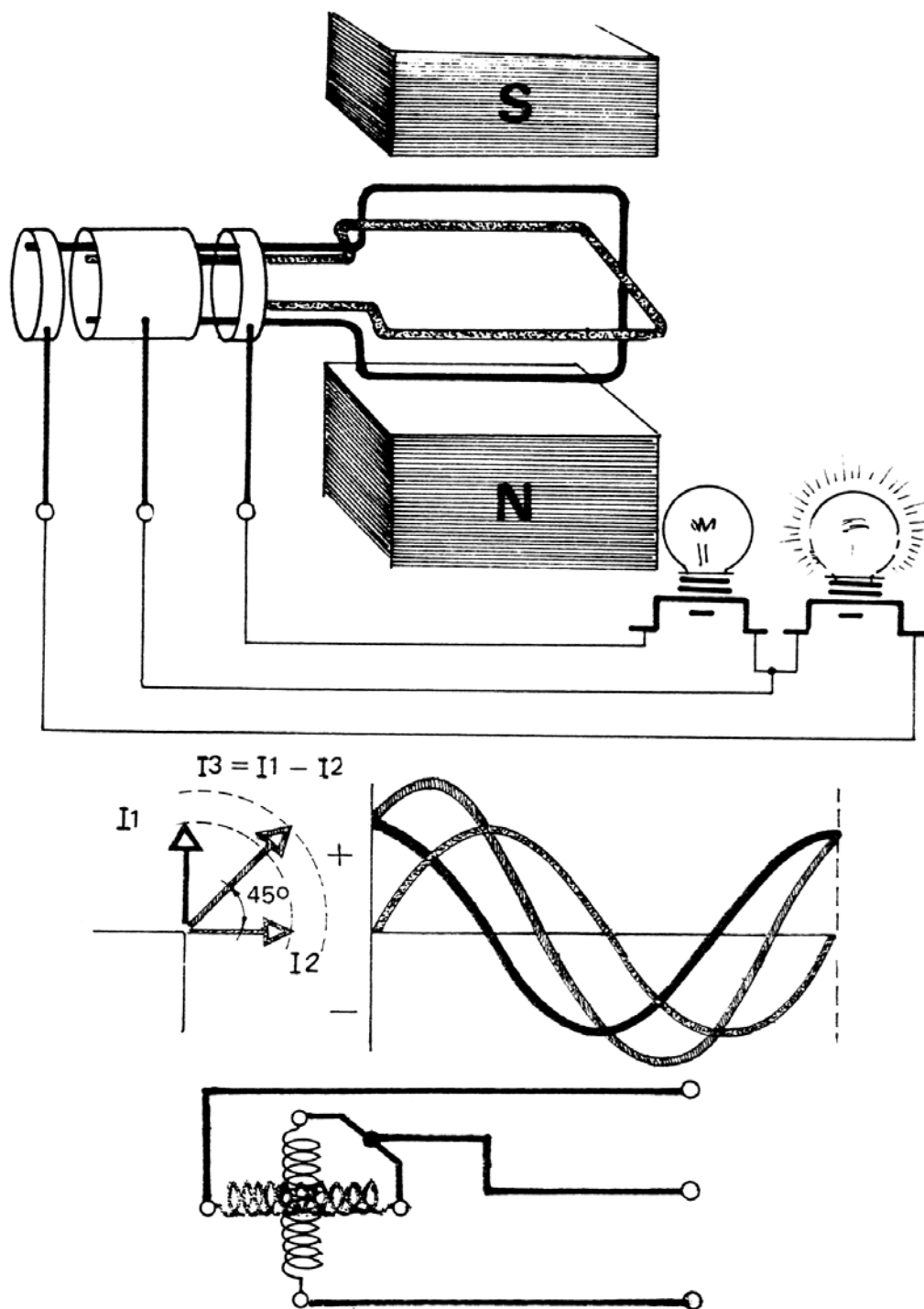


FIGURA 18 - GENERADOR ELEMENTAL DE CORRIENTE BIFASICA DE CUATRO CONDUCTORES.

FIGURA 19 - GENERADOR ELEMENTAL DE CORRIENTE BIFASICA DE TRES CONDUCTORES.



una espira entrega máxima corriente la otra presenta un valor nulo y de acuerdo a lo ya estudiado sabemos que esto equivale a un desfase de 90 grados.

Ya que las espiras no hacen contacto eléctrico entre si podemos considerar que se trata de dos circuitos monofásicos, pero al circuito resulta ser en cierta forma antieconómico ya que necesitamos cuatro conductores para alimentar a las lámparas, por ese motivo existe una variante que es la mostrada en la figura 19 donde se hace posible la alimentación de las cargas utilizando únicamente tres conductores.

Observe que la espira horizontal lleva un terminal conectado al anillo de la derecha y al central. Una imagen más simplificada aún lo da el esquema que acompaña la figura observándose que la central actúa como conductor de retorno por el que circularán las corrientes (defasadas) hacia cada bobina.

No nos preocupa profundizar la explicación de las corrientes bifásicas ya que son poco utilizadas, en el mejor de los casos el generador que acabamos de considerar puede alimentar dos cargas (dos lámparas) necesitando para ello como mínimo tres conductores. Ocurre que con igual cantidad de conductores se pueden alimentar tres cargas simultáneamente utilizando corrientes trifásicas, por ello pasamos a considerarlas con más detenimiento.

CORRIENTES TRIFÁSICAS

Un generador elemental de corriente trifásica está formado como lo muestra la figura 20 por tres espiras separadas 120° entre sí, pudiendo girar dentro de un campo inductor. Ya que durante el giro las espiras mantienen la misma separación, se logran tres corrientes que defasan 120° , circunstancia ésta que representa una gran ventaja como veremos de inmediato.

En la figura, cada espira está conectada a un par de anillos e manera tal que para alimentar tres cargas utilizaremos seis conductores (dos para cada carga) que no es precisamente la ventaja que anticipó con respecto a las corrientes bifásicas. Sin embargo dicho inconveniente se supera fácilmente, ya que si sumamos

geométricamente las corrientes obtenidas, en cualquier momento de giro, el resultado es cero.

¿Cómo puede ser esto? No es difícil. En principio debemos recordar que estamos obligados a sumar geométricamente las corrientes, ya que las mismas no se encuentran en fase, tenemos que acudir entonces a una representación vectorial como la indicada en la figura 21. En ella cada corriente está representada por un vector, si por ejemplo tomamos las corrientes 1 y 3 para obtener su resultante, vemos que la misma tiene igual longitud y sentido opuesto a la corriente 2, de manera tal que se anulan. Por supuesto que a igual conclusión se hubiera llegado obteniendo la resultante

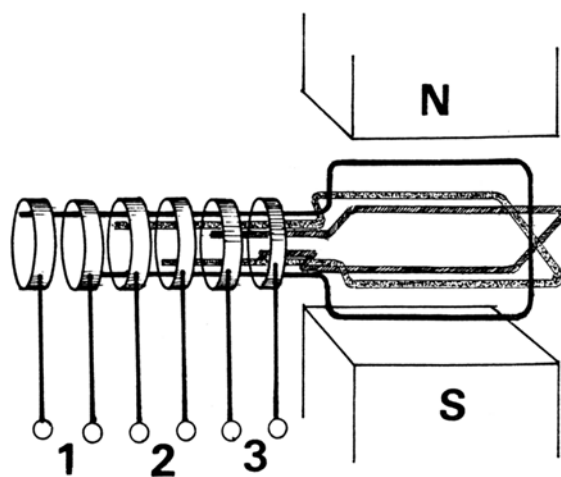


FIGURA 20 - GENERADOR ELEMENTAL DE CORRIENTE TRIFÁSICA.

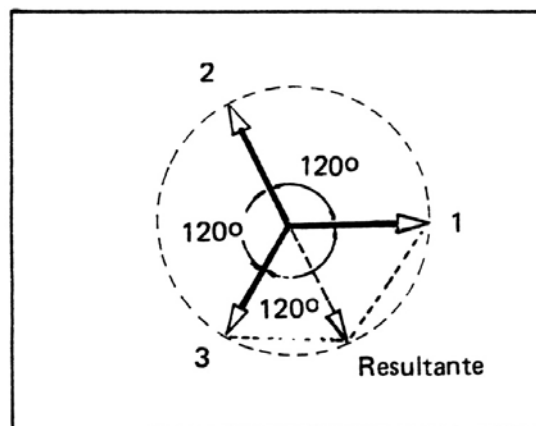


FIGURA 21 - LA RESULTANTE DE LAS CORRIENTES 1 Y 3 ES IGUAL Y OPUESTA A LA CORRIENTE 2.

de un par cualquiera de corrientes pues siempre se lograría un vector igual y contrario a la corriente restante.

En conclusión se ha obtenido partiendo de un diagrama vectorial que en cierta forma nos aleja un poco de la realidad, por ello insistimos en observar la figura 22 donde las tres espiras numeradas y sus gráficos correspondientes señalan los valores y polaridades de las corrientes durante un ciclo. Cabe destacar que para

mayor claridad, las espiras fueron representadas una a continuación de la otra, lo que permite observar la posición que ocupan en determinado momento dentro del campo inductor; en efecto, la espira N°1 no corta líneas de fuerza, por lo tanto el gráfico correspondiente se inicia con un valor de corriente cero.

No ocurre lo mismo con las espiras 2 y 3 ya que las mismas se encuentran cortando al campo inductor

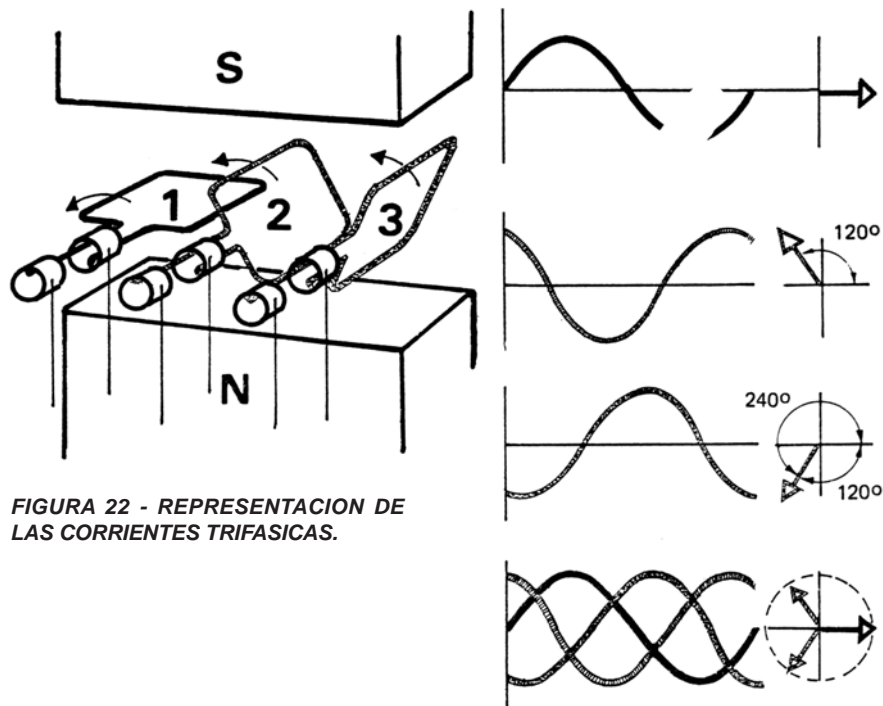


FIGURA 22 - REPRESENTACION DE LAS CORRIENTES TRIFASICAS.

aunque destacamos que la N° 2 disminuye su corriente mientras la N° 3 la aumenta con sentido inverso.

El resultado práctico de lo explicado consiste en que siendo la corriente resultante de las tres espiras igual a cero, se las puede unir por uno de sus extremos permitiendo esto, distribuir la corriente en las tres fases y un conductor neutro. Esta disposición se muestra en la figura 23 y se la conoce como conexión «en estrella», puede apreciarse la unión de las tres bobinas en un punto central desde donde parte el conductor neutro.

Vale aclarar que no es ésta la única conexión «en estrella» que puede encontrarse, pero las disposiciones que lleva el conductor neutro se utilizan cuando las cargas en cada fase no son iguales, circulando por dicho conductor una corriente que es la resultante vectorial de las intensidades que circulan por cada fase. Cuando

las cargas a alimentar son iguales, como en el caso de los motores que estudiaremos en esta lección, no se utiliza conductor neutro ya que por el mismo no circulará corriente por los motivos explicados anteriormente.

Las corrientes trifásicas pueden lograrse conectando las bobinas «en triángulo», tal como lo indica el esquema de la figura 24, por supuesto que en la práctica los arrollamientos no tienen esa posición, pero se dibujan en esa forma por ser un método conveniente para indicar las conexiones, al igual que en el caso anterior las corrientes defasan 120°.

Podemos resumir las características relativas a las tensiones de los generadores en la siguiente forma: La disposición en estrella entrega entre los bornes correspondientes a cada fase, una tensión equivalente

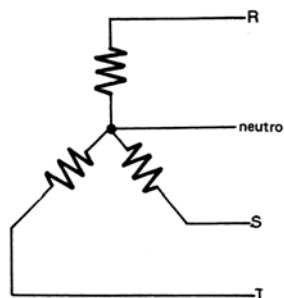


FIGURA 23 - CONEXION EN ESTRELLA.

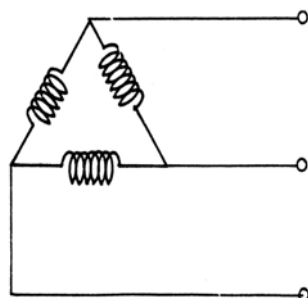


FIGURA 24 - CONEXION EN TRIANGULO.

a multiplicar la tensión de dicha fase por 1,73. Un caso típico se muestra en la figura 25 donde cada fase entrega 220v, dando esto como resultado, una tensión de 220v entre cualquier fase y el conductor neutro, además, la tensión entre conductores de línea es de 380 volt que resultan de multiplicar la tensión de fase de 220 volt por 1,73.

Con referencia a la disposición triángulo indicamos solamente que la tensión entre dos conductores cualesquiera de salida, equivale a la tensión de la fase. Es importante tener presente el resumen anterior ya que es la base para interpretar el funcionamiento de los motores trifásicos, tal es así que gracias a estas corrientes se consigue el campo giratorio imprescindible para la marcha de la máquina.

CAMPO GIRATORIO

Para lograr el funcionamiento de un motor asincrónico de inducción, es necesario disponer de un campo

magnético giratorio, veamos como se consigue esto analizando un experimento llamado de Arago que sirvió en su momento como punto de partida para la obtención de los motores que se utilizan en la actualidad.

Se trata de colocar un imán con forma de herradura que puede girar alrededor de su eje cuando se acciona una manivela, tal como lo indica en forma esquemática al figura 26. Un cilindro de cobre (hueco para que sea más liviano) está ubicado entre las ramas del imán y suspendido de un hilo por intermedio de un soporte que le permite libertad de movimiento de manera tal que gira alrededor de su eje cuando se hace girar el imán por medio de la manivela. Cabe destacar que el cilindro de cobre es de menor diámetro que la separación que existe entre las ramas del imán, de manera tal que entre ambos no existe rozamiento alguno, esto nos lleva a preguntar por que razón al girar el imán también gira el cilindro, aunque lo hace a una velocidad menor.

En la figura 27, encontramos contestación a nuestra pregunta, al girar el imán en el sentido de las agujas del reloj, sus líneas de fuerza inducen corrientes en le cilindro de cobre, dichas corrientes tienen el sentido indicado en la figura, en consecuencia determinan un campo magnético perpendicular al flujo del imán.

La posición relativa de los dos campos magnéticos, es invariable cualquiera sea la velocidad del imán con respecto a la del cilindro de cobre de forma tal que le polo norte del imán lleva adelante el polo norte del cilindro, lo que posibilita el giro del mismo.

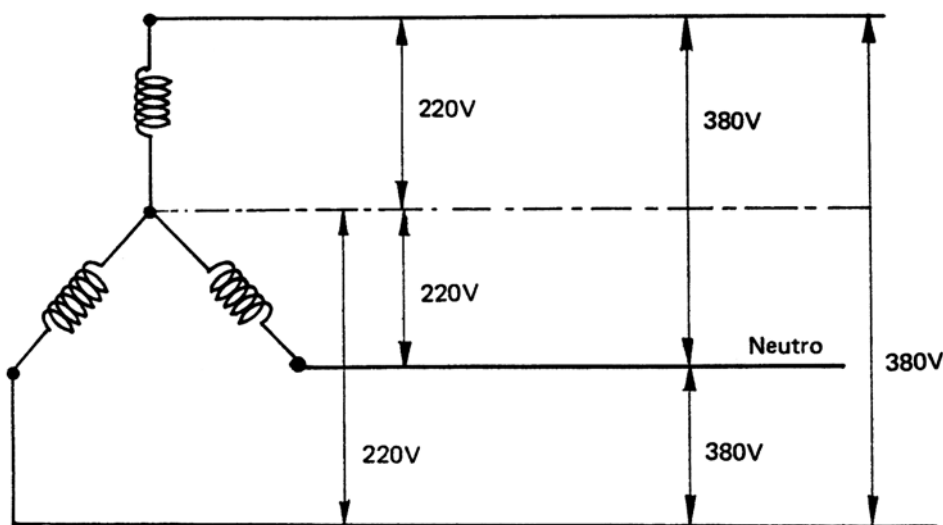


FIGURA 25 - TENSION EN LOS BORNES DE UN GENERADOR TRIFASICO EN CONEXION ESTRELLA CON NEUTRO.

El experimento de Arago no representa exactamente el principio de funcionamiento de un motor asincrónico ya que un motor eléctrico transforma la energía eléctrica suministrada por la red de alimentación en energía mecánica, mientras que en este experimento se suministra energía mecánica en el eje del cilindro. Sin embargo la similitud de la experiencia de Arago con el funcionamiento del motor asincrónico es apreciable, por esa razón consideramos necesario agregar algunas consideraciones al respecto.

¿La velocidad del cilindro puede alcanzar a la del imán? ¡No!, porque para que haya corriente inducida en el cilindro es preciso que exista una velocidad relativa entre el cilindro y el imán ya que se giraran en el mismo sentido y a la misma velocidad no habría corriente en el cilindro y por consiguiente su campo magnético sería nulo.

Pero si el cilindro, que es muy liviano, está montado sobre un eje de forma tal que el frotamiento sea mínimo, puede casi alcanzar la velocidad del imán, como en el caso de un motor que no acciona ninguna carga. Por supuesto que en esta situación las corrientes en el cilindro son muy pequeñas, pero si lo frenamos, su velocidad se reduce, lo que da lugar a un aumento de las corrientes inducidas tanto más intenso cuando mayor sea la diferencia de velocidad con respecto al

imán. De esto se deduce que la reacción de los dos campos será mayor cuando la diferencia de las velocidades aumenta, lo que determina un par motor elevado.

TEORIA DEL CAMPO MAGNETICO GIRATORIO

En la práctica, el campo giratorio se obtiene utilizando corrientes trifásicas. En la figura 28 se muestra el esquema del bobinado de un estator compuesto por seis bobinas respondiendo a una disposición «en triángulo». La ubicación física de las mismas se puede apreciar en el detalle correspondiente.

Cabe destacar que los arrollamientos de cada fase, están bobinados en el mismo sentido a los efectos de conseguir que las polaridades magnéticas sean distintas en cada par de polos diametralmente opuestos, además, se ha elegido, pero advertimos que para la explicación hubiera sido lo mismo considerar una disposición «en estrella».

Para analizar el comportamiento del campo giratorio debemos tener presente que la intensidad de campo de cada una de las bobinas depende en todo momento de la corriente que circula por ellas y en consecuencia por la fase que le corresponda. El campo de cada bobina

FIGURA 26 - MONTAJE DEL IMAN Y CILINDRO DE COBRE PARA EL EXPERIMENTO DE ARAGO.

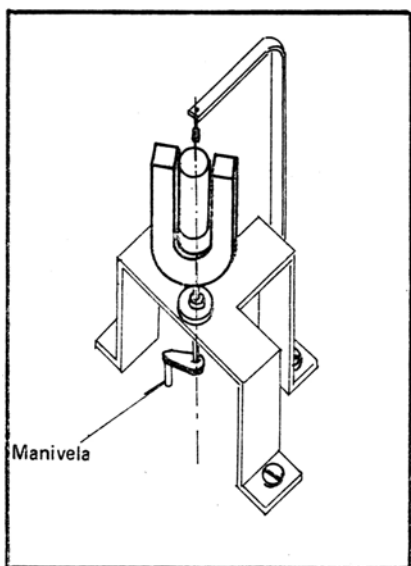
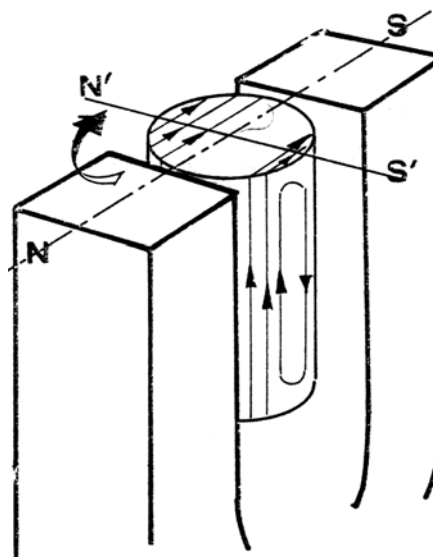


FIGURA 27 - EL IMAN ARRASTRA EN SU ROTACION AL CILINDRO DE COBRE.



aumenta y disminuye siguiendo las fluctuaciones de la corriente que circula por su fase.

Ahora bien: debido a que las corrientes de una línea trifásica están defasadas 120° entre sí, es natural que los campos magnéticos producidos en las bobinas actúan con un desfase también de 120° . La acción simultánea de las corrientes de cada fase al actuar sobre todas las bobinas, produce un campo magnético que «gira», o sea, varía permanentemente su posición cumpliendo revoluciones completas o ciclos de 360° .

Veamos como se produce este campo giratorio. En la figura 29, se han representado gráficamente las variaciones de corriente de las fases R, S y T durante el tiempo equivalente a un ciclo, en la parte inferior, se señalan los sentidos de los campos magnéticos correspondientes a siete instantes determinados, que para mejor identificación se los ha indicado numéricamente sobre el eje tiempo.

Instante 1- En ese momento la fase R y la fase T, tienen el mismo valor pero sentido contrario, en consecuencia la corriente que circula por ellas crea polaridades distintas en los polos afectados por esas fases. En el esquema del estator puede notarse la ausencia de polaridad en las bobinas conectadas a la fase S, dado que la misma tiene valor nulo. Como los campos son de igual valor, el campo magnético resultante estará comprendido entre los mismos y tendrá el sentido indicado en la figura.

Instante 2- La fase R, está en valor nulo, mientras que las fases S y T tienen valores iguales y de signo contrario; por las mismas razones expuestas en el instante 1, el flujo habrá girado 60° .

Instante 3- En esta situación las fases R y S alcanzan valores negativos y positivos respectivamente, mientras que la corriente de la fase T es nula. El campo se establece de acuerdo al sentido indicado, lo que equivale a un giro de 60° .

Instante 4- En esta situación, la fase es de valor nulo y en consecuencia el giro del campo estará determinado por las corrientes de las fases R y T.

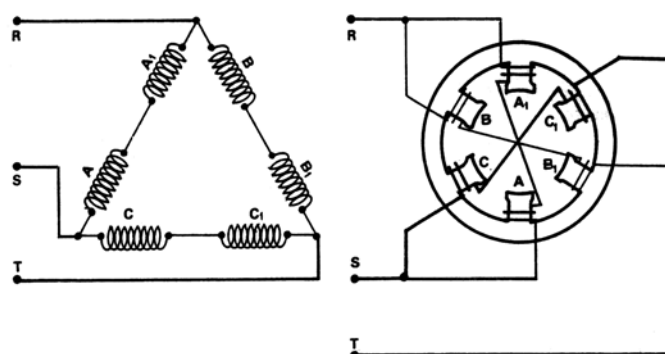


FIGURA 28 - POLARIDADES OPUESTAS EN UN ESTATOR TRIFÁSICO CON SEIS POLOS.

Instante 5- El nuevo giro del campo magnético, le posibilita la corriente que circula a través de las fases T y S ya que es nula la de R.

Instante 6- Nuevamente la fase T pasa por el valor cero, el campo gira 60° por efectos de las corrientes circulantes a través de las fases S y R.

Instante 7- Tal como se puede observar, el campo magnético ha girado 360° , lo que queda reflejado en el esquema correspondiente.

Naturalmente, no pretendemos que el lector recuerde de memoria el comportamiento de cada fase, lo importante es tener presente que el campo magnético

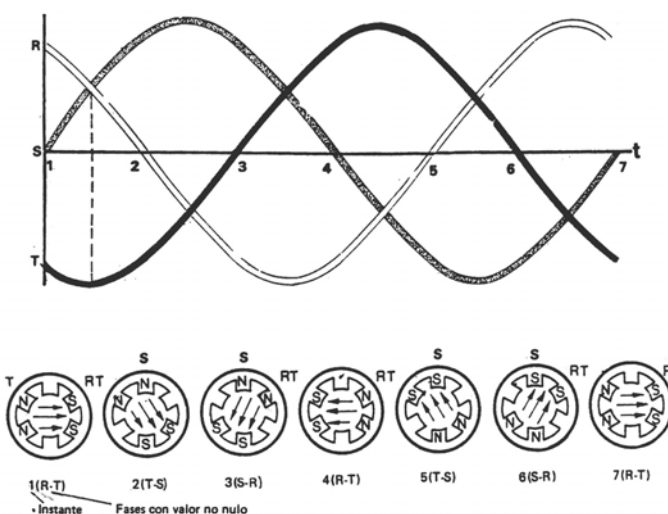


FIGURA 29 - OBTENCIÓN DE UN CAMPO GIRATORIO MEDIANTE UNA CORRIENTE TRIFÁSICA.

resultante gira permanentemente, siendo esto imprescindible para lograr el funcionamiento del motor.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR ASINCRONICO

Hemos considerado en que forma se produce un campo magnético giratorio utilizando corrientes trifásicas, es oportuno aprovechar estos conocimientos para explicar como se logra el giro del rotor.

En principio debemos llegar a un acuerdo que permita simplificar la explicación, este consiste sencillamente en suponer que el campo giratorio es producido por un imán que se desplaza circularmente en el sentido de las agujas del reloj. Sabemos que en realidad las cosas no ocurren de esa manera, o sea, el campo giratorio se obtiene con corrientes trifásicas como acabamos de explicar, pero ocurre que las figuras se complicarían sin necesidad.

Comenzaremos por observar la figura 30 en la que se ha representado un par de polos magnéticos que rota, se trata evidentemente de un campo giratorio cuyas líneas de fuerza «cortan» al rotor, es fácil apreciar la similitud de este fenómeno con el experimento de Arago explicado al comenzar esta lección

Supongamos que el rotor está compuesto por una sola espira (para mayor simplicidad en la explicación) y veamos que ocurre: al girar el campo sus líneas inducen

una corriente en la espira a la que consideraremos inicialmente quieta, ya que nuestro motor elemental recién comienza a funcionar. Automáticamente la corriente inducida en la espira genera su propio campo magnético que presenta la polaridad señalada en la figura.

En cierta forma, podemos considerar que la espira se comporta como una brújula que presenta su polo norte en la parte superior y el polo sur, en la parte inferior; para esa situación, la espira trata de alinear su campo magnético con el campo giratorio, esto es fácil de entender volviendo a la figura 30, observe que el polo norte del imán, rechaza al norte de la espira (igual ocurre con los polos sur), de manera tal que la espira también tiende a girar en el sentido de las agujas del reloj «acompañando» al imán inductor.

En la figura 31, el campo inductor continúa su giro y en la espira se desarrolla por supuesto la corriente inducida. Para señalar el campo magnético en la espira, la hemos representado vista de frente señalando en sus lados activos, el sentido de la corriente. En efecto, el lado derecho lleva en su centro un punto para indicar que la corriente se dirige hacia el lector, mientras que en el lado izquierdo una x señala que la corriente «penetra» en el papel (valga la frase), de manera tal que el campo resultante presenta su polo norte en la parte superior y el sur en la inferior.

Podemos justificar el comportamiento del rotor recordando que por Ley de Lenz, todas las corrientes inducidas se oponen al campo que las produce, por

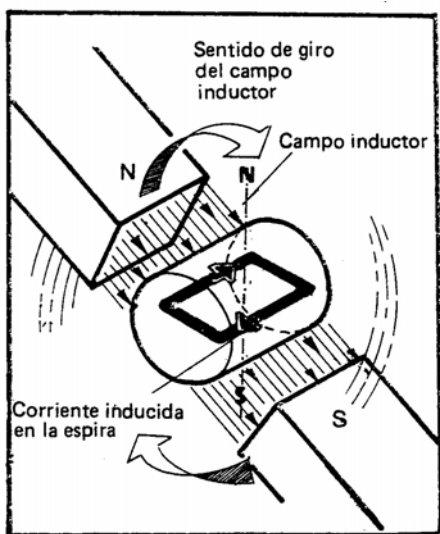


FIGURA 30 - LA ESPIRA INICIA SU GIRO.

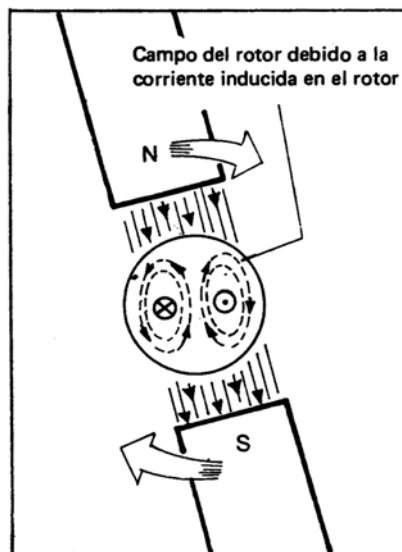


FIGURA 31 - CAMPO MAGNETICO DE LA ESPIRA DETERMINADO POR LA CORRIENTE INDUCIDA.

ese motivo el rotor trata de ubicarse oponiendo sus polos a los del imán, es decir, gira tratando de enfrentar su polo norte con el sur del campo inductor, igualmente ocurre con los polos restantes.

Puede deducir el lector que es imposible que la espira gire a la misma velocidad que el campo giratorio, si esto ocurriera no se produciría movimiento relativo entre el campo y la espira a la que en esas condiciones no recibe tensión inducida. Es evidente que al no presentar la espira campo magnético alguno, no se produce la reacción necesaria para el giro, razón que determina una pérdida de velocidad de la espira con respecto al campo inductor.

La situación recién explicada se muestra en la figura 32, donde se supone que la espira por girar a la misma velocidad que el campo inductor, no recibe tensión inducida.

Debemos entender que la velocidad del rotor, depende en cierta forma de la carga, si esta aumenta, es necesario una mayor fuerza de giro para accionar el motor. Esta fuerza sólo puede incrementarse si aumenta la corriente inducida y para ello el campo giratorio debe tener más velocidad que el rotor. Es evidente que con

cargas más pesadas, el motor gira a menos velocidad que con cargas livianas, pero solo se requiere una leve diferencia de velocidades para producir la variación de corriente que compensa los cambios de carga, por ello a estas máquinas se las considera de velocidad constante.

DESCRIPCION DE UN MOTOR ASINCRONICO TRIFASICO

Los motores trifásicos se construyen para diversas potencias, desde una fracción de HP hasta varios miles caballos de fuerza; se caracterizan por su velocidad prácticamente constante; en lo referente al par de arranque, se los fabrica con muy diversas características, elevado o reducido de acuerdo a la aplicación que se desee. Estas máquinas se usan para el accionamiento de ascensores, grúas, montacargas, etc, pero en lo referente a su construcción, poco podemos agregar ya que son similares a los motores de fase partida, aunque no llevan interruptor centrífugo.

El estator se muestra en la figura 33, está compuesto por una carcasa de fundición, un núcleo de chapas de hierro silicio y un arrollamiento formado por varias bobinas alojadas en sus correspondientes ranuras. El inducido o rotor, puede ser una jaula de ardilla o bobinado. En la figura 34 se muestra el primero de los mencionados sobre el que no realizaremos mayores comentarios ya que sus propiedades eléctricas y

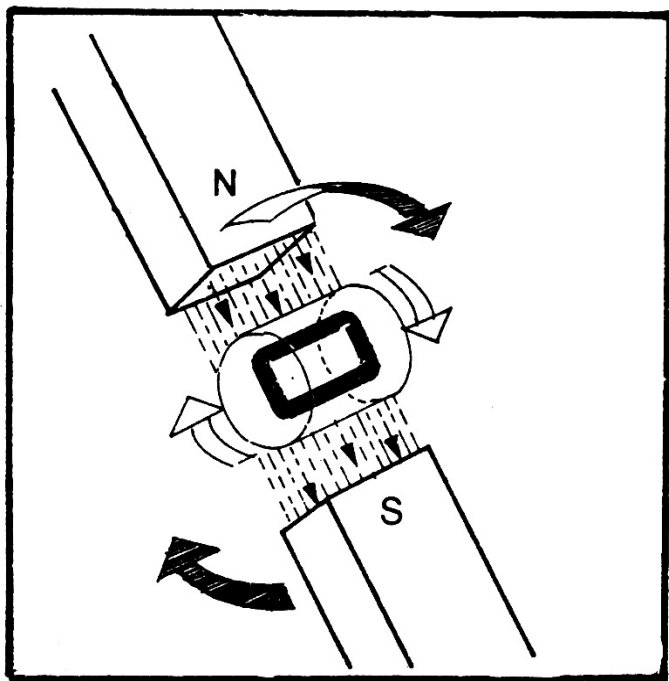


FIGURA 32 - AL GIRAR LA ESPIRA Y EL CAMPO INDUCTOR A LA MISMA VELOCIDAD DESAPARECE LA CORRIENTE INDUCIDA.

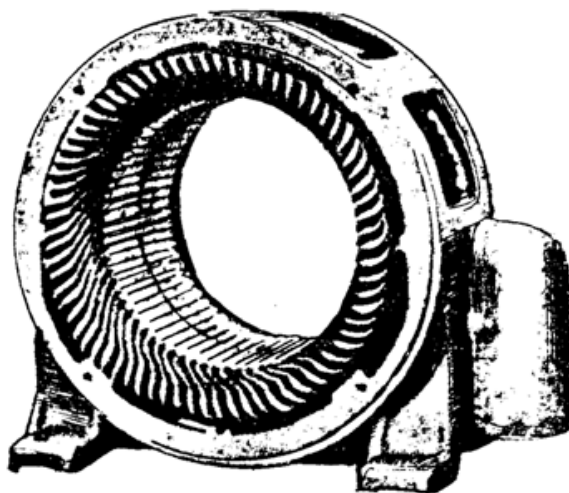


FIGURA 33 - ESTATOR DE UN MOTOR TRIFASICO MOSTRANDO LA UBICACION DE LAS BOBINAS.

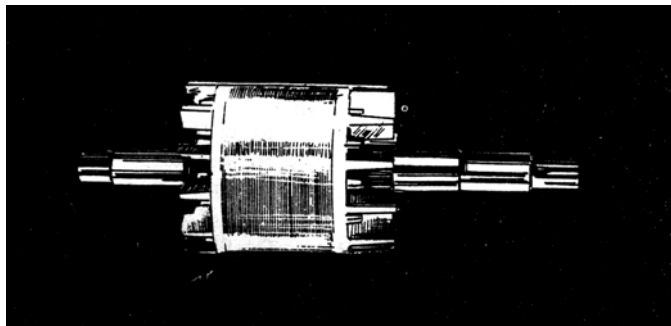


FIGURA 34 - ROTOR EN JAULA DE ARDILLA DE UN MOTOR TRIFÁSICO.

características constructivas fueron debidamente explicadas en lecciones anteriores.

Con referencia a los rotores bobinados, podemos decir que constan de un arrollamiento formado por conductores aislados montados en estrella; los extremos libres de este arrollamiento están unidos con anillos rozantes fijados al eje del rotor en forma mecánica pero aislados eléctricamente del mismo.

Sobre los anillos apoyan escobillas, a través de las cuales el arrollamiento del rotor puede variar su resistencia por medio de un reóstato para producir el arranque de la máquina, bajo condiciones normales de funcionamiento. En la figura 35, se muestra el aspecto físico de un rotor con anillos rozantes. Con referencia a los escudos o tapas, al igual que en otros tipos de motores, van fijados a la carcasa y en ellos se ubican los cojinetes en los que apoya el eje del rotor.

Con respecto a la aplicación de estos motores en el caso de llevar jaula de ardilla, podemos decir que por llevar conmutador ni escobillas u otros contactos deslizantes, pueden emplearse en sitios donde el medio ambiente es favorable a la producción de combustiones y explosiones. Conviene tener presente que por ejemplo el aserrín, el polvo del carbón, almidón, etc. pueden comportarse como explosivos cuando están mezclados con el aire en proporciones determinadas. Para evitar el peligro de incendio, se emplean motores con rotor en jaula de ardilla en las fábricas modernas, que por cualquier motivo utilizan materiales como los citados anteriormente.

MOTORES TRIFÁSICOS ASÍNCRONICOS CON ANILLOS DESLIZANTES

Considerando el motor con jaula de ardillas en lo referente a la posibilidad de variar su velocidad, frecuentemente sabemos que no se adaptan a esa exigencia, podemos agregar incluso que esto se encuentra relacionado con las características del campo giratorio. En efecto, el término velocidad de sincronismo en los motores de alterna significa la velocidad que toma el campo giratorio (en r.p.m) esta depende de la frecuencia de la corriente que alimenta a la máquina y el número de polos del arrollamiento del estator.

Puede indicarse la velocidad del campo giratorio mediante la siguiente fórmula, cuyo origen trataremos más adelante.

$$\text{r.p.m} = \frac{120 \times \text{frecuencia}}{\text{número de polos}}$$

Sabemos que en los motores asincrónicos, el motor gira a una velocidad inferior a la del campo, a esto se le llama resbalamiento y su valor no es constante pues aumenta con la carga del motor, es decir, funcionando en vacío, el resbalamiento toma valores muy pequeños que son del orden del 1%, pero a plena carga llega hasta al 6%. Un sencillo ejemplo permite interpretar esto, es el caso de un motor de cuatro polos funcionando con una red de 50 c/s, para esa condición la velocidad del campo giratorio es

$$\text{r.p.m} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500$$

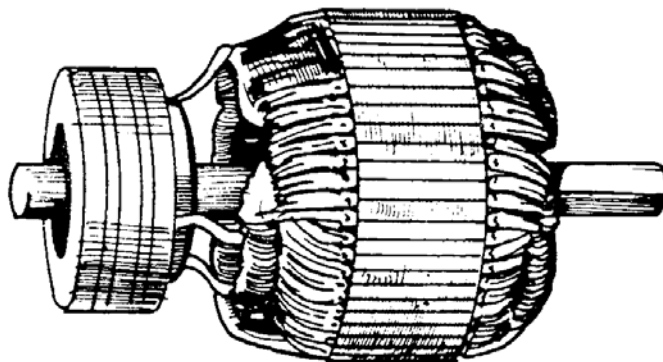


FIGURA 35 - ROTOR CON ANILLOS ROZANTES.

como el motor gira a un 5 % más despacio que el campo, la velocidad del motor resulta ser 1424 rpm. Estas consideraciones permiten deducir que no es práctico variar la velocidad del motor modificando la frecuencia, ya que ésta es generalmente la co-rrespondiente a la red de alimentación. Se puede acudir entonces a variar el número de polos. Si el cambio de velocidad es definitivo, puede reconectarse el estator para un número diferente de polos, pero si la velocidad debe cambiar frecuentemente, estaremos obligados al uso de un aparato conmutador que varíe rápidamente el número de polos.

Estos argumentos son más que suficientes para interpretar la necesidad de introducir algunas variantes en el rotor, lo que nos lleva a considerar los llamados motores con anillos rozantes. Estos motores, tiene el estator y sus arrollamientos del mismo tipo de los empleados en los de jaula ardilla, pero el rotor presenta alambres o barras de cobre aislado similares en parte a los utilizados en máquinas de corriente continua.

Por lo general los arrollamientos están dispuestos en estrella ya que además de su fácil instalación permiten buena resistencia mecánica y adecuado equilibrio estático y dinámico; los arrollamientos van conectados a dos anillos rozantes, durante el funcionamiento unas escobillas resbalan sobre los anillos y proporcionan una conexión para que las corrientes inducidas puedan pasar desde el devanado del rotor a una resistencia de control, lo que permite fácilmente variar la velocidad.

ARRANQUE Y CONTROL DE VELOCIDAD

En la figura 36, se muestra un esquema de las conexiones para el estator, el rotor y la resistencia de arranque y control de velocidad de un motor con anillos deslizantes. La resistencia está conectada en estrella, al igual que los devanados del rotor y si se sigue desde cada sección del devanado del rotor se comprobará que dos secciones de reóstato regulador se encuentran en serie con él.

Los tres cursores son brazos de contacto deslizante que se encuentran unidos en el punto central y están dispuestos para disminuir la resistencia cuando se hacen girar en sentido horario. Esta resistencia se utiliza para producir el arranque sin excesiva corriente y

también para controlar la velocidad del motor; antes de poner en marcha la máquina cerrando el interruptor de línea, es necesario disponer el regulador de forma tal que quede intercalada en el circuito del rotor la máxima resistencia. Luego se disminuye gradualmente la resistencia a medida que el motor va adquiriendo velocidad.

Si la resistencia se emplea solamente para el arranque, puede ser mucho más pequeña que en el caso de usársela también para el control de velocidad. En este último, caso las resistencias deben poder disipar continuamente la temperatura soportando cómodamente la corriente del rotor a plena carga. Una vez que el motor ha alcanzado su velocidad normal, si se intercala nuevamente resistencia en el circuito del rotor disminuye la velocidad en proporción a la resistencia intercalada.

La disposición de un reóstato trifásico, permite que los motores de anillos rozantes presenten un par de arranque dos veces y media mayor que el par a plena carga. Esta capacidad de producir un buen par de arranque con corrientes no muy altas, hace necesario evitar extracorrientes cuatro a seis veces mayores a la marcha normal. Es evidente que las características mencionadas favorecen el accionamiento de la máquina cuando debe ponerse en marcha y detenerse con frecuencia o cuando el arranque es difícil por la naturaleza de la carga incluyendo los casos en que debe variarse la velocidad entre límites mayores de los que puede obtenerse cambiando el número de polos de los motores de jaula de ardilla.

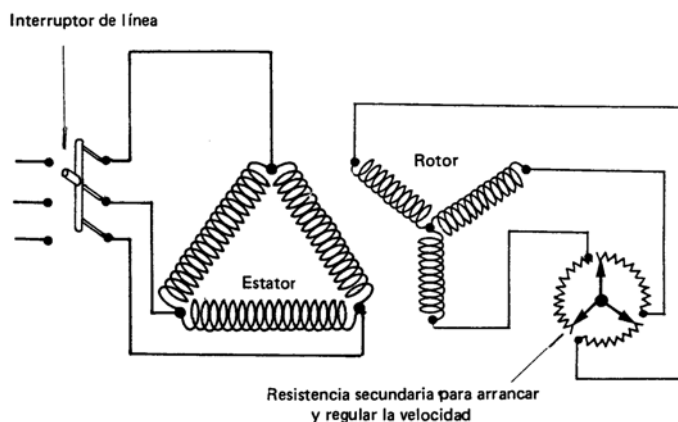


FIGURA 36 - REOSTATO CONECTADO A UN MOTOR TRIFÁSICO DE ANILLOS ROZANTES PARA CONTROL DEL ARRANQUE Y VELOCIDAD.

ARRANCADOR ESTRELLA TRIANGULO

Este sistema se utiliza para motores cuya potencia supera los 3 HP, consiste en proveer al motor de un dispositivo externo que permita conectar sus devanados en estrella o en triángulo. El dispositivo no es más que un sistema de conmutación de tres posiciones; estrella triángulo y paro. Es importante destacar la que la disposición que estamos considerando, es adecuada para motores cuyos devanados están calculados para trabajar en triángulo, cuando la máquina trabaja en las condiciones de régimen, cada fase recibe toda la tensión de la línea, pero si cambiamos la conexión triángulo por la posición estrella, cada fase recibe una tensión 1,73 veces menor, lo que trae aparejado una disminución de la corriente.

Este cambio de conexiones, puede hacerse en la placa de bornes de la máquina. Para familiarizarnos con la mencionada caja de bornes, acudimos a la figura 37 en la que se muestran dos variantes ya conocidas, o sea, en triángulo y en estrella. Podemos observar que cada borne mantiene una misma separación con los bornes inmediatos, esto se cumple tanto en sentido vertical como en el horizontal, de esta manera pueden efectuarse las conexiones con unos puentes metálicos con dos orificios que guardan la misma separación que los bornes.

Para interpretar prácticamente como se pueden variar los conexiones de los arrollamientos del estator para pasarlo de triángulo a estrella o viceversa, le aconsejamos observar detenidamente la figura 38 analizándola de acuerdo al siguiente detalle.

Los conductores R, S y T son por supuesto los correspondientes a la red de alimentación trifásica y como vemos alimentan a los extremos A, B y C de arrollamientos.

Desde el punto A, un devanado llega al terminal E y queda unido eléctricamente al extremo B del segundo devanado por intermedio del puente metálico central.

Desde el punto B, parte el segundo devanado que finaliza en el punto F; el puente metálico de la derecha une los puntos F y C partiendo de este último el devanado que llega al punto D del puente metálico izquierdo.

Debajo de la caja de bornes dispuesta en triángulo, se ha representado el símbolo correspondiente donde en

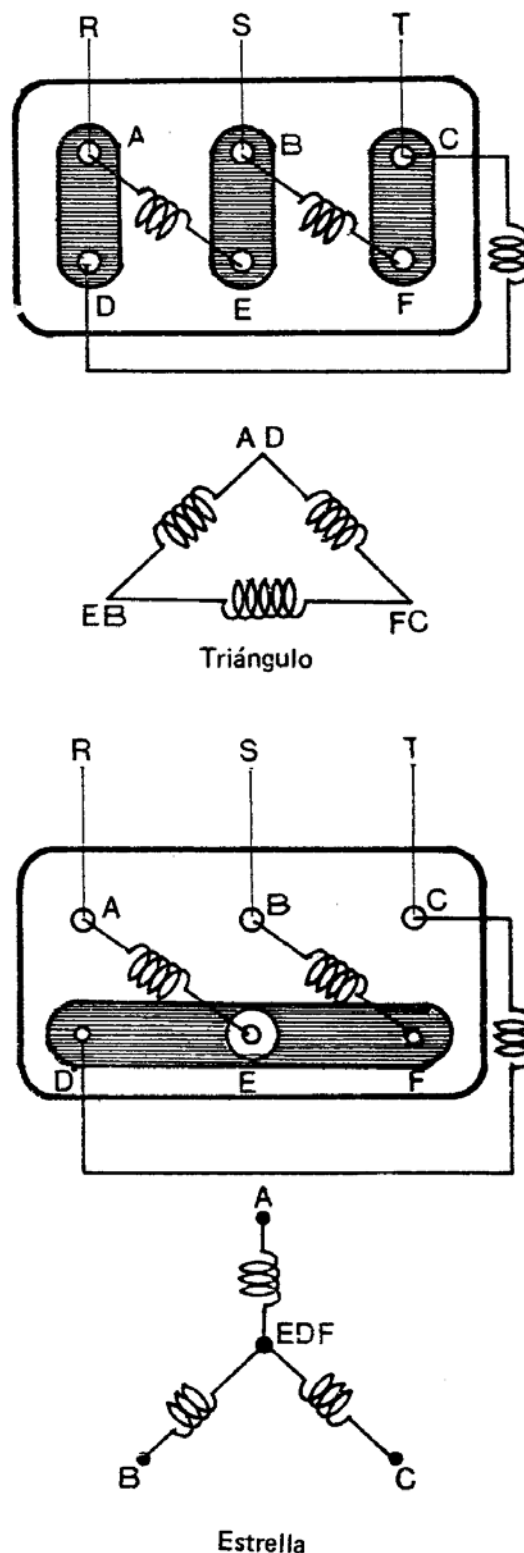


FIGURA 37 - AL VARIAR LA POSICION DE LOS PUENTES METALICOS SE OBTIENE CONEXION EN TRIANGULO O ESTRELLA.

cada vértice figuran dos letras correspondientes justamente a los puentes de unión, puede observarse que la unión eléctrica de los devanados coincide totalmente con la disposición indicada en la caja. Si nos referimos a la caja que muestra la disposición estrella, vemos que también coinciden las conexiones con el símbolo correspondiente, en efecto el centro de la estrella lleva las letras E D F señalando el punto común de los arrollamientos. Exactamente eso señala la caja ya que los puentes metálicos unen esos puntos de las bobinas. Por sus extremos opuestos los arrollamientos finalizan en los puntos A, B Y C como lo indica el esquema.

De acuerdo a lo visto al comenzar esta lección, resulta claro que las conexiones recién indicadas permiten que un motor pueda trabajar con tensiones distintas, por ejemplo, si la red de alimentación trifásica entrega 380 volt, el bobinado del estator deberá conectarse en estrella; en caso de que la red sea trifásica de 220 volt los bobinados del estator se conectarán en triángulo.

En la figura 38 se indica el esquema de conexiones necesario para pasar de conexión estrella a triángulo, puede observarse que desde los conductores de línea interruptora tripolar permite conectar o desconectar el motor; con dicha llave en posición de contacto la tensión de los conductores de la red «llega» a los extremos de los arrollamientos. Pero además el comportamiento del circuito depende la posición de la llave inferior. En la figura sus contactos móviles están desplazados hacia la derecha lo que equivale a conexión «en estrella» del estator. En efecto, puede notarse que los terminales internos de los arrollamientos quedan en cortocircuito ya que los bornes de la derecha de la llave están eléctricamente unidos.

Cuando la llave se pasa a la izquierda, la conexión del estator queda en triángulo ya que cada uno de los arrollamientos es alimentado directamente por dos de las fases de la línea.

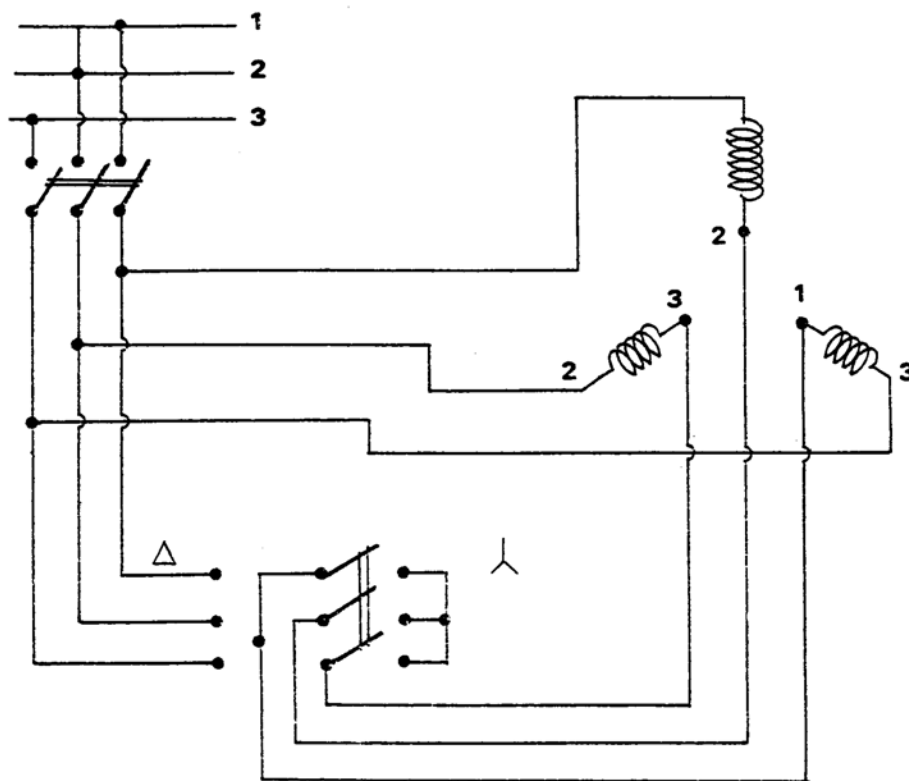


FIGURA 38 - ESQUEMA DE CONEXIONES PARA PASAR DE DISPOSICION ESTRELLA A TRIANGULO.

EJERCICIOS DE AUTOEVALUACION BOBINADOS

- 1) **El conexionado de los motores universales es similar al de**
- a) Los motores shunt de corriente continua. ()
 - b) Los motores serie de corriente continua. ()
- 2) **En un motor serie de corriente continua, al invertir la polaridad de la tensión aplicada.**
- a) El rotor invierte su giro. ()
 - b) El rotor mantiene su sentido de giro. ()
- 3) **Una elevada histeresis magnética**
- a) Favorece el funcionamiento del motor. ()
 - b) Disminuye el rendimiento del motor. ()
- 4) **Los motores de repulsión logran desarrollar un par de arranque elevado**
- a) Con corrientes relativamente bajas. ()
 - a) Con corrientes elevadas. ()
- 5) **En los motores de repulsión, las escobillas deben estar**
- a) Perfectamente aisladas entre sí. ()
 - b) Unidas eléctricamente mediante un cortocircuito. ()
- 6) **En los motores de repulsión, el giro del rotor se produce cuando**
- a) Las escobillas se ubican sobre la zona neutra. ()
 - b) Las escobillas se ubican desplazadas unos 15 grados de la línea neutra. ()
- 7) **Los motores de repulsión en el arranque e inducción en régimen se caracterizan por**
- a) Su pequeño par de arranque. ()
 - a) Su elevado par de arranque. ()
- 8) **En los motores de repulsión en el arranque e inducción en el régimen, la utilización del colector radial permite**
- a) Colocar el mecanismo centrífugo sin aumentar innecesariamente las dimensiones del motor. ()
 - b) Evitar el chisporroteo bajo las escobillas. ()

CURSO DE BOBINADO Y REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

9) En los motores asincrónicos trifásicos con jaula de ardillas, el rotor gira

- a) a menor velocidad con carga que en vacío. ()
- b) a igual velocidad con carga que en vacío. ()

10) Cuando el lugar donde trabaja un motor es posible que se produzcan explosiones o incendios, conviene utilizar

- a) un motor con anillos rozantes. ()
- b) un motor con rotor en jaula de ardilla. ()

11) Cuando se desea variar a voluntad en una amplia gama la velocidad, es conveniente utilizar

- a) un motor con rotor en jaula de ardilla. ()
- b) un motor con anillos rozantes. ()

12) Los reostatos trifásicos de arranque sirven

- a) para reducir la corriente de arranque únicamente. ()
- b) para reducir la corriente de arranque y regular la velocidad del motor. ()

13) En el rotor de un motor asincrónico trifásico la corriente inducida es máxima cuando

- a) la velocidad del campo giratorio es igual a la del rotor. ()
- b) es máxima la diferencia de velocidades entre el campo giratorio y el rotor. ()

14) En los motores con anillos rozantes, los arrollamientos del rotor generalmente están dispuestos

- a) en estrella. ()
- b) en triángulo. ()

15) En el motor asincrónico trifásico con jaula de ardilla

- a) el rotor gira a igual velocidad que el campo giratorio. ()
- b) el rotor gira a menor velocidad que el campo giratorio. ()

16) En corriente trifásica la conexión en estrella equivale a

- a) la unión de tres bobinas en un punto central. ()
- b) la unión de tres bobinas por sus extremos. ()

