

Como mejorar el factor de potencia de los motores de inducción

Un motor de inducción con rotor bobinado puede usarse a la velocidad del sincronismo aplicando corriente continua a su enrollamiento usado normalmente como secundario. Esto hace posible emplear motores sincrónicos de tamaño pequeño

POR

R. G. WARNER Y A. E. KNOWLTON,

Universidad de Yale.

No es muy conocido el hecho de que prácticamente toda planta industrial en la cual existen motores de inducción con su rotor bobinado, tiene un medio sencillo de mejorar su factor de potencia. Suministrando al rotor del motor de inducción corriente continua para la excitación, éste pasa a ser un motor sincrónico de inducción y sobre excitado puede ser usado para corregir el factor de potencia. Sus características, sin embargo, no son idénticas a las de un motor sincrónico de la misma potencia, consistiendo una de las diferencias en que el motor de inducción sincrónicamente operado tiene la estabilidad requerida solo cuando funciona con factor de potencia negativo.

Otra diferencia está en la tendencia a absorber una corriente constante, con excitación constante y carga variable. Por otra parte puede evitarse en un motor de esta clase la necesidad de tener una excitatriz en el local donde está instalado el motor.

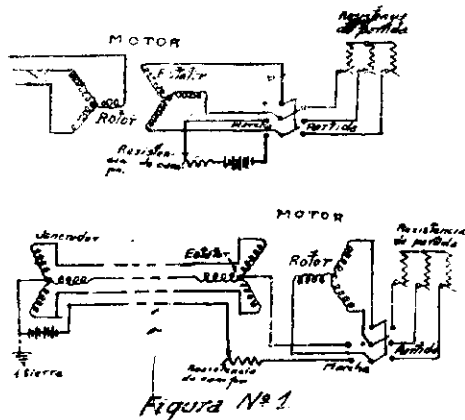
El funcionamiento como motor sincrónico de un motor con su rotor enrollado en estrella es fácilmente practicable. Además para hacer funcionar este motor solo es necesario hacer cambios en las conexiones externas, sin tocar los enrollamientos, siempre que el punto neutro del stator sea accesible. Con motores de voltajes moderados, no se necesita una excitatriz separada porque ha llegado a demostrarse que la corriente continua para el campo puede ser suministrada simultáneamente con la corriente alternativa, por los tres conductores usuales, mas un hilo adicional, que desde luego existe en las distribuciones trifases a cuatro conductores.

El motor usado en las experiencias hechas por los autores, era un motor de 10 HP. 220 volts, 60 períodos por segundo, trifases, conectado en estrella, de 1 140 revoluciones por minuto; la corriente de plena carga por terminal del estator era 27,3 y por terminal del rotor, 23,05. amperes.

La corriente alternativa fué primero aplicada a los enrollamientos del rotor, de manera que los enrollamientos del estator pudieran ser reconectados con mayor facilidad, mientras se hacían las medidas del valor relativo de la corriente continua en la tercera rama de la estrella puesta en serie o en paralelo con los dos primeros o puesta en corto circuito.

Las primeras pruebas fueron hechas con estas conexiones y se encontró que no había ventaja en cambiar las conexiones del campo. Por esa razón los ensayos siguientes se hicieron con corriente alternativa aplicada al estator con menores pérdidas en el hierro.

La disposición para la partida como motor de inducción con las conexiones de la línea al rotor y con resistencias insertadas en el circuito del estator, está indicada en la figura 1.



Después que el motor ha llegado a la velocidad de régimen se cambian las conexiones, colocando el interruptor en su posición de marcha; en esta condiciones el motor toma la velocidad del sincronismo. Solo dos (en serie) de los tres enrollamientos del estator se emplearon en el campo de corriente continua, después de haber determinado por las pruebas que había poco que ganar, ya sea usando el tercer enrollamiento en paralelo con uno de los otros, ya sea empleándolo cerrado en corto circuito, como amortiguador para impedir las posibles oscilaciones de la velocidad alrededor de la velocidad del sincronismo.

Las características de rendimiento y de factor de potencia con estas con-

xiones y variando la excitación de corriente continua a diversas cargas, se encuentra en las figuras 2 y 3. Estas curvas comprenden prácticamente toda la región dentro de la cual el motor puede funcionar; los puntos de la izquierda indican el mínimum de corriente de excitación que permitiría al motor marchar con una carga dada. La corriente de excitación queda limitada naturalmente por la elevación de temperatura de los enrollamientos.

Las curvas V de los motores sincrónicos están indicadas en la figura 3; cada curva corresponde a una carga determinada y ellas muestran la extensión de la zona en que el motor puede funcionar con una carga dada y con excitación variable.

El examen de estos resultados indica que para plena carga se requiere una gran corriente de excitación y que los factores de potencia y los rendimientos a cargas reducidas no cambian apreciablemente por efecto de la mayor corriente de excitación exigida cuando el motor de inducción funciona como sincrónico.

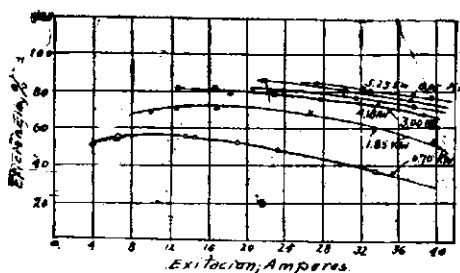


Fig. 2.

Eficiencia y factor de potencia del motor sincrónico de inducción para 10 HP, 7500 rpm, 60 ciclos por segundo, rotor bobinado.

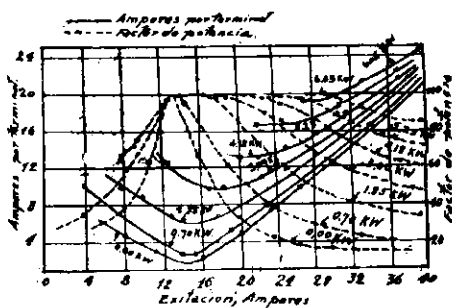


Fig. 3.

El valor de la corriente de excitación para dar las mismas pérdidas en el cobre del estator (usando dos enrollamientos para la corriente continua) que las que se producirían en los tres enrollamientos, funcionando como motor de inducción, es aproximadamente 33,5 amperes, valor que se conservó en los ensayos siguientes al determinar las características con carga variables y excitación constante. Además de los ensayos indicados, se hicieron los correspondientes al funcionamiento con el estator alimentado por corriente alternativa y el rotor por corriente continua.

Para facilitar la comparación de los dos métodos de funcionamiento sincrónico (rotor conectado con la red o estator conectado con la red) y el funcionamiento como motor de inducción, se ha agrupado las características correspondientes en la figura 4. En la figura 4 A se indican los rendimientos con los tres métodos de funcionamiento enumerados, y una cuarta curva muestra los rendimientos máximos que pueden obtenerse con la marcha como motor sincrónico.

co y con la excitación que permite obtener el mejor rendimiento con cada carga. Uno y otro método de funcionamiento sincrónico tienen mejor rendimiento que el que corresponde a la marcha como motor de inducción. La figura 4 C demuestra que la corriente alternativa absorbida a igualdad de potencia es también menor con el funcionamiento sincrónico, para cargas mayores que la mitad de la plena carga del motor.

La figura 4 D indica los valores de la corriente dewattada, con decalaje en avance en el caso de la marcha como motor sincrónico, y en retardo en el caso de motor de inducción. No solo se consigue eliminar la corriente decalada en retardo mediante la operación del motor como sincrónico, sino que gracias a la absorción de corriente decalada en avance, llega a obtenerse una compensación muy conveniente cuando existen motores de inducción que funcionan como tales en la red. La curva 5 de la figura 4 D indica los valores máximos de la corriente decalada en avance que pueden obtenerse a diversas cargas y con la excitación mas conveniente para este fin, con el motor de 10 HP. ensayado.

La máquina fué puesta en marcha varias veces durante las pruebas con cargas de freno correspondiente a un 50% de exceso sobre la carga normal y la partida se efectuó en buenas condiciones. Además, dentro de los regímenes de marcha correspondiente a las curvas, el funcionamiento del motor tuvo lugar sin oscilaciones y las lecturas de los instrumentos de medida fueron muy fijas.

Después de realizados los primeros ensayos, los autores concibieron la idea de suministrar al motor la corriente alternativa trifase y la corriente continua, desde el tablero de la central, empleando solo cuatro conductores: los tres requeridos por la corriente trifase y un conductor extra.

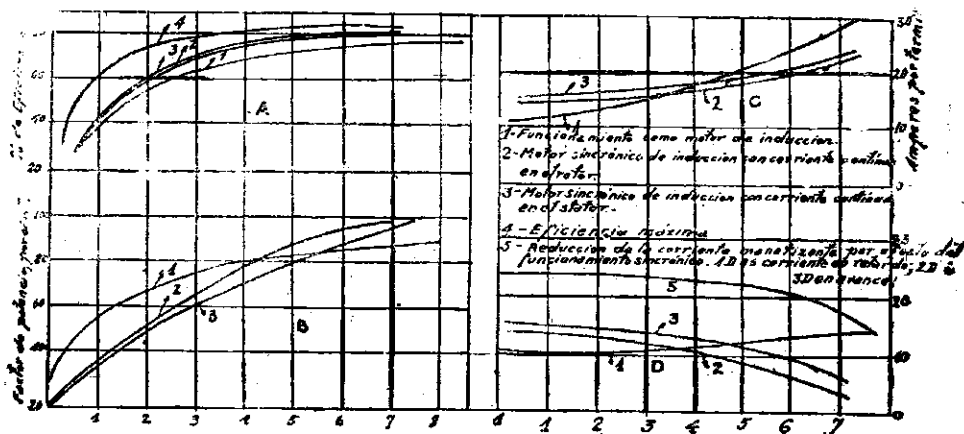


Fig. 4
Característica del motor sincrónico de inducción comparado con el motor de inducción normal.

Las experiencias hechas con estas conexiones efectuadas en la forma indicada en la figura 1 demostraron la completa practicabilidad de ella. La corriente absorbida por faz a plena carga es de 27,3 amperes y los correspondientes watts por ohm de resistencia de la línea, es por lo tanto 745 watts por conductor 2235. watts en total.

Con el funcionamiento sincrónico, la corriente de plena carga es solo de 22,5 amperes por faz, y cada uno de los tres conductores tiene además que transportar un tercio de 33,5 o sea 11,2 amperes de corriente continua para la excitación. Como es sabido el valor eficaz de la corriente formada por la superposición de la corriente alternativa y la corriente continua, es igual a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la corriente continua y de la corriente alternativa eficaz; por consiguiente, la pérdida total en el cobre por ohm de cada uno de los tres conductores es en este caso $22,5^2 + 11,2^2 = 630$ watts, y la pérdida adicional originada por la corriente continua en el cuarto conductor es $33,5^2 = 1\ 120$ watts por ohm. La pérdida total por ohm es $3 \times 630 + 1\ 120 = 3\ 010$ watts, contra $3 \times 22,5^2 + 2 \times 1\ 120 = 3\ 758$ watts por ohm que resultan de la transmisión independiente de la corriente alternativa y de la corriente continua requerida por el motor para funcionar como sincrónico. La economía en pérdidas en el cobre es por lo tanto, de 20% y empleando este procedimiento para alimentar el rotor con corriente continua, se elimina la exitatriz que de otra manera sería necesaria, y uno de los dos conductores que habría que utilizar con este objeto.

Las ventajas que se obtienen de la transformación del motor de inducción en motor sincrónico, con corriente continua generada en una exitatriz especial, son las siguientes:

- 1.º La potencia del motor es la misma que la que puede desarrollar como motor de inducción, y aún se puede aumentar la capacidad de sobre carga empleando una mayor corriente en la excitación.
- 2.º Una favorable combinación del buen par de arranque del motor de inducción, con las características de velocidad constante del motor sincrónico.
- 3.º Estabilidad de funcionamiento con cargas variables.
- 4.º Aumento del factor de potencia del sistema, porque el motor de inducción empleado como motor sincrónico absorbe corriente adelantada en avance.

Las ventajas adicionales que pueden obtenerse transmitiendo la corriente continua por los mismos conductores que transmiten la corriente alternativa, son las siguientes:

- 1.º No se necesita una exitatriz separada en el sitio donde está instalado el motor.
- 2.º Solo se requiere un conductor extra, además de los tres que alimentan el motor de inducción. En caso de una transmisión por cuatro conductores no es necesario hacer ninguna instalación especial.