

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

FUNDADA Y SOSTENIDA POR EL CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Redactor-Presidente... Excmo. é Ilmo. Sr. D. Leonardo de Tejada, Inspector general del Cuerpo
Redactores..... Los Sres. Presidentes de las Comisiones regionales de Ingenieros.
 D. Antonio Santer, Profesor de la Escuela de Caminos.
 D. Manuel Maluquer, Ingeniero del mismo Cuerpo, *Secretario*.
Colaboradores..... Todos los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

SE PUBLICA LOS JUEVES

Redacción y Administración: Puerta del Sol, 9, pral.

DINAMOS CONMUTATRICES

(Continuación.)

Número de periodos ó frecuencia de la corriente.

La frecuencia por segundo de las corrientes alternas producidas por una conmutatriz es igual al producto del número de vueltas por el número de polos de la máquina, como en todo alternador.

Capacidad de las conmutatrices.

Llamando W_c la potencia de una conmutatriz considerada como dinamo de corriente continua, veamos cuál será su potencia, como generatriz de corrientes alternas, en los diversos casos que pueden presentarse y que antes hemos examinado.

Si recogemos en dos puntos diametralmente opuestos del devanado una corriente alterna simple, cada una de las dos mitades, conectadas en paralelo sobre los anillos de fricción, sobre lleva una mitad de la corriente exterior, y á igualdad de amperes por unidad de sección, tendremos:

$$I_a = I_c.$$

Como, por otra parte, hemos visto que

$$V_a = 0,707 V_c,$$

y por definición sabemos que

$$W_c = I_c V_c$$

resulta:

$$W_a = I_a V_a = I_c \times 0,707 V_c = 0,707 W_c.$$

Las dos capacidades W_a y W_c de la conmutatriz están, pues, en la relación de 0,707, en la hipótesis previamente establecida de que no existen sobre el circuito exterior de la corriente alterna resistencias inductivas. Si las hubiere, tendríamos:

$$\cos \varphi < 1$$

y habría que multiplicar por el valor correspondiente de $\cos \varphi$ la cifra anterior, resultando:

$$\frac{W_a}{W_c} \cos \varphi < 0,707.$$

En el caso de las corrientes difásicas tendremos dos circuitos exteriores alimentados por dos corrientes alternativas y retrasadas de 90°. De suerte que, la suma I_a de sus intensidades tendrá por expresión

$$I_a = 2 I \text{ sen. } 45^\circ = 1,414 I.$$

Para que se tenga el mismo número de amperes por unidad

de sección que para la corriente continua, es necesario que la corriente en el arrollamiento sea:

$$I = 0,5 I_c$$

de donde

$$I_a = 0,5 \times 1,414 \times I_c = 0,707 I_c.$$

Pero la tensión en cada circuito es:

$$V_a = 0,707 V_c;$$

así es que el número de Watts en los dos circuitos será:

$$W_a = 2 \times 0,707 I_c \times 0,707 V_c = I_c V_c = W_c;$$

es decir, que las dos capacidades W_a y W_c son iguales en este caso.

En el de las corrientes trifásicas cada uno de los tres conductores exteriores será alimentado por dos corrientes alternas que presentan un retardo de á 120°; de suerte que la suma de ellas que le recorren es:

$$I_a = 2 I \text{ sen } 60^\circ = 1,732 I;$$

pero como tenemos también

$$I = 0,5 I_c,$$

es claro que

$$I_a = 0,5 \times 1,732 I_c = 0,866 I_c.$$

La capacidad total de la máquina, será:

$$W_a \sqrt{3} I V_a = 1,732 \times 0,866 \times I_c \times 0,612 V_c = 0,917 W_c;$$

es decir:

$$\frac{W_a}{W_c} = 0,917.$$

Continuando esta investigación M. Friese ha establecido el cuadro siguiente, en el cual se ve que la relación entre la capacidad de una conmutatriz como dinamo de corriente continua y su capacidad como generatriz alternativa, tiene un valor creciente cuando aumenta el número n de las corrientes alternas que se recogen. Tratando analíticamente esta cuestión, veríase que el máximo

$$W_a = 1,111.$$

Se presenta para un valor de $n = \infty$

n	W_a
1	0,707 W_c
3	0,917 "
2 — 4	1 "
5	1,042 "
6	1,061 "
8	1,084 "
12	1,098 "
∞	1,111 "

Considerando arrollamientos abiertos, llegaríamos á los mis-

mos coeficientes que hemos encontrado anteriormente para los devanados cerrados.

Es sabido que lo que pudiéramos llamar la potencia específica de la máquina (es decir, la producción en vatios por kilo de máquina), es de un modo general mayor en los alternadores que en las dinamos de corriente continua, á partir de un número de fases inferior á 4, es decir, para valores de n inferiores al que en el cuadro figura enfrente de $W a = W c$.

Por esto conviene observar que los resultados en éste consignados se aplican al caso en que se recogen una ó más corrientes alternas producidas por una máquina de corriente continua. Pero fuera erróneo, por la consideración que antecede, generalizarlo, aplicándolo á la comparación de máquinas distintas.

Arranque de las conmutatrices.

Las transformaciones de corriente que pueden resolverse con las conmutatrices son muy varias, y según los casos la conmutatriz alimentada por un manantial de energía eléctrica exterior funcionará como motor de corriente continua ó como electromotor de corriente alterna.

Las condiciones de arranque son distintas en estos diversos casos y también los medios empleados para poner las máquinas en marcha.

Cuando se trata de producir corriente alterna simple ó polifásica, recibiendo en la conmutatriz corriente continua, el arranque no ofrece ninguna dificultad y se efectúa para la conmutatriz como para un motor de corriente continua ordinario.

Algunas veces cuando la transformación es inversa de la anterior, es decir, cuando la conmutatriz debe transformar en continua la corriente alterna que recibe, sucede que la máquina trabaja en paralelo con una batería de acumuladores.

Este caso se presenta, por ejemplo, si se utiliza una fuerza motriz limitada, ya sea en duración, ya sea en magnitud que exija la acumulación de su trabajo durante determinadas horas de carga reducida. La corriente de la batería puede entonces utilizarse durante breves minutos para el arranque, y la conmutatriz se pone en marcha como motor de corriente continua.

En los demás casos es necesario arrancar con la corriente alterna lo que es factible con las corrientes polifásicas.

En opinión de M. Ritter, el arranque por medio de corrientes polifásicas de una conmutatriz, ó lo que es lo mismo de un motor sincrónico, puede asimilarse al de un motor asíncrono; pero así como éste contiene un arrollamiento inductor exterior fijo y un arrollamiento inducido móvil en corto-circuito, el motor sincrónico tiene su arrollamiento inductor móvil ó interior (representado por el devanado del inducido), mientras que su armadura es fija y se encuentra formada por las masas metálicas de la corona exterior de la máquina, en las cuales se producen las corrientes de Foucault necesarias al arranque.

Se comprende, pues, que el campo magnético giratorio, formado por las corrientes de arranque que recorren el inducido de un motor sincrónico tiende á inmovilizarse con relación á las masas polares que permanecen fijas, obligando al inducido á moverse sincrónicamente por las mismas razones que impulsan la armadura de un motor asíncrono á seguir el movimiento del campo giratorio en el devanado del inductor por las corrientes que en él circulan.

La frecuencia de las corrientes alternas inducidas de esta suerte en las masas metálicas de la corona fija, es variable y tiende hacia cero. Si ω es la velocidad angular del campo giratorio secundario que se forma como llevamos dicho, Ω la del campo giratorio primario y ω' la velocidad angular de la parte móvil, tendremos entre estas tres cantidades la relación:

$$\omega = \Omega - \omega'$$

Cuando la máquina principia á arrancar $\omega' = 0$ y siendo Ω

constante, $\omega = \Omega$. Pero al aumentar ω' disminuye ω para igualarse finalmente á cero cuando $\omega' = \Omega$, es decir, al alcanzar el sincronismo.

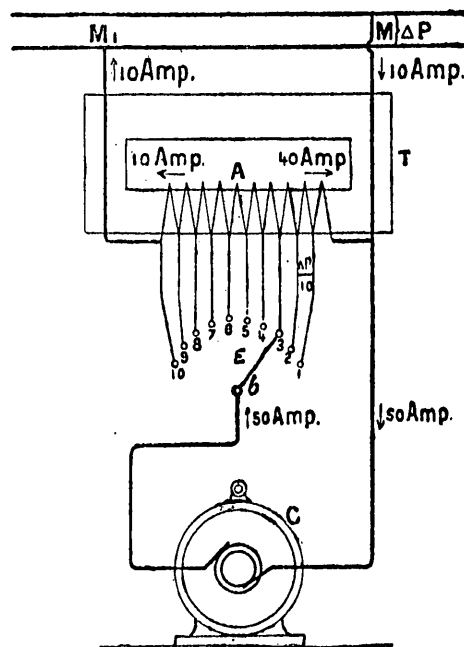
Es necesario, si se quieren evitar sobre el circuito un fuerte retraso de fase y una caída de tensión muy sensible, dotar las conmutatrices de aparatos especiales que permitan reducir la energía distraída momentáneamente por el arranque, energía que podrá ser bastante pequeña si se emplea una corriente del número de amperios conveniente, pero con una tensión reducida.

La mayor parte de los aparatos de arranque empleados hasta aquí no llenan esta condición, porque se fundan en el empleo de una resistencia óhmica intercalada antes del receptor, por medio de la cual la tensión en las bornas del motor se reduce en la proporción que se requiere para conseguir una intensidad suficiente.

Como la intensidad que se necesita para la puesta en marcha es grande, y esta corriente ha de pasar también por la resistencia de arranque, se origina una absorción de energía considerable sobre el circuito.

La Sociedad Alioth, preocupándose de vencer este inconveniente, ha estudiado un aparato cuya disposición permite suministrar la gran intensidad de corriente que se necesita reduciendo el consumo de energía á la cantidad indispensable.

Fig. 11



La figura 11 representa en esquema este transformador de arranque, que para mayor sencillez supondremos construido para utilizar corriente alterna simple, pero que sin dificultad pudiera estarlo para emplear corrientes trifásicas.

El transformador lleva un devanado único que está dividido en un número determinado de partes iguales ó desiguales. Cada una de estas secciones del arrollamiento está reunida á los contactos de un conmutador E . Los extremos del carrete A se hallan en conexión con el circuito $M. M.$ La receptriz C se encuentra por su parte unida, por un lado, á uno de dichos extremos, y por otro á la manecilla del conmutador. El devanado único del transformador se encuentra, pues, dividido en dos partes, que pueden considerarse, una como carrete primario (recorrido sólo por la corriente de excitación), y la otra como devanado secundario, que da paso á una corriente igual á la diferencia entre la corriente de arranque y la de excitación; el movimiento del conmutador hace variar el número respectivo de carretes parciales en las dos secciones del devanado ó la relación entre las fuerzas electromotrices que se desarrollan en ellas.

Supongamos que el arrollamiento se encuentra dividido en 10 secciones iguales; mientras el conmutador no esté sobre alguno de los contactos que á éstas corresponden, la diferencia de po-

tencial entre dos teclas consecutivas del conmutador (si ΔP es la tensión sobre la red) será $\frac{\Delta P}{10}$.

Si la manecilla del conmutador se coloca en el contacto número 1, la receptriz C tomará del circuito general la corriente que corresponde á su resistencia á la diferencia de potencial $\frac{\Delta P}{10}$ que existe entre sus bornas, á cuya corriente hay que añadir la de marcha en vacío del transformador, que es reducidísima.

La receptriz al arrancar produce una fuerza electromotriz contraria e_1 ; si se coloca, pues, la palanca en el contacto 2, la diferencia de potencial en las bornas del motor, será:

$$\frac{2 \Delta P}{10}$$

disminuída de la fuerza electromotriz e_2 , de opuesto signo, ya adquirida por el motor y la intensidad de la corriente, vendrá expresada por

$$\frac{1}{R} \left(\frac{2 \Delta P}{10} - e_2 \right)$$

Para el contacto n esta intensidad será:

$$\frac{1}{R} \left(\frac{n \Delta P}{10} - e_n \right)$$

Debe observarse que e es una variable que aumenta sin cesar y que por consiguiente, la resistencia aparente aumenta también con la velocidad, de suerte que á partir de cierto límite (próximo del instante en que se consigue alcanzar el sincronismo), la corriente mengua aunque el número de teclas del conmutador intercaladas aumenta.

De este modo la energía que la receptriz toma á la red aumenta lentamente al principio hasta alcanzar un valor máximo, que siempre es reducido, y se anulan los efectos perturbadores sobre los demás receptores y las generatrices.

Es evidente que esta disposición puede extenderse á las corrientes polifásicas, disponiendo para cada fase un devanado único, con conmutadores de manecillas acopladas que recorren simultáneamente los contactos múltiples correspondientes á las secciones de devanado de cada fase.

Cuando se trata de producir corriente continua alimentando la conmutatriz con corriente alterna simple, y sólo se dispone de ésta para producir el arranque, hay que renunciar á efectuar esto eléctricamente y apelar á medios mecánicos. Una solución consiste en valerse de un pequeño motor asíncrono que se pone en marcha con ayuda de una fase auxiliar. En el árbol de la conmutatriz se dispone un disco ó plato de fricción de gran diámetro; una rueda de fricción, cónica, está montada sobre el eje del electromotor, el cual descansa sobre carriles. Cuando el electromotor está en marcha, se establece el contacto entre las ruedas de fricción y el disco, cerca de la periferia de éste, imprimiendo al árbol de la conmutatriz una rotación lenta, cuya velocidad se acelerará gradualmente á medida que, haciendo progresar sobre sus carriles el electromotor, acerquemos su piñón de fricción al centro del disco, hasta que lanzada la conmutatriz á su velocidad de sincronismo, se la pueda alimentar con la corriente alterna, y se retira el pequeño electromotor de arranque.

Sobre esta y otras soluciones volveremos al ocuparnos de algunos casos particulares.

Entre los diferentes tipos de dinamos de corriente continua, las máquinas con el inducido devanado en tambor son las que ofrecen mayor facilidad para el arranque como conmutatrices. La auto-inducción de una máquina semejante, es menor que la de una máquina con el inducido forma de anillo.

Excitación.—Desde el instante en que la conmutatriz alcanza la velocidad de sincronismo, puede recogerse en su colector co-

rriente continua que sirva para excitarla, funcionando entonces aquélla como un motor síncrono. El retardo de fase disminuye súbitamente con la reducción correspondiente en los amperios absorbidos. Véase, en efecto, la aguja del amperímetro de fase retroceder hasta un valor bajo; y se regula entonces la excitación por medio de su reostato tanteando hasta conseguir en los amperímetros la indicación mínima. A partir de este momento no hay que tocar la excitación, y si por medio de ella se intentara regular la tensión de la conmutatriz, veríase en seguida que es imposible, porque la tensión de la corriente de salida depende únicamente de la tensión de la corriente de entrada.

El retardo de fase producido por la conmutatriz depende, pues, de la excitación; máximo cuando ésta es nula, disminuye cuando la excitación crece, para anularse cuando aquélla adquiere su valor normal.

Sobrexcitando la conmutatriz, ésta desempeña el papel de una capacidad introducida sobre el circuito y provoca un avance de fase.

Sentido de rotación y polaridad.

El sentido de rotación de una conmutatriz depende naturalmente de sus conexiones con el manantial de energía eléctrica que la alimenta, salvo si ésta llega en forma de corriente alterna simple; en este caso la máquina gira en el sentido del impulso inicial que recibió.

Pudiera creerse á simple vista que la polaridad en el colector depende del sentido de rotación de la máquina; no hay tal cosa, sin embargo, aunque se halle determinado con firmeza el sentido de rotación de la conmutatriz, la polaridad en el colector no lo está y puede variar cada vez que la máquina se pone en marcha. Un caso de esta índole se observó en una conmutatriz de 100 kilovatios instalada en la exposición de Ginebra de 1896 para alimentar lámparas de arco ó incandescencia. La primera noche las conexiones se establecieron normalmente, polo positivo con el carbón positivo de los arcos. Al día siguiente la polaridad había cambiado y hubo que invertir las conexiones; dos días después nueva inversión de polaridad.

La polaridad de la máquina depende de las corrientes de Foucault inducidas en las masas metálicas en el momento de sincronizarse la conmutatriz.

Para ponerse al abrigo de estas variaciones que puedan ser molestas si se emplea la corriente en cargar acumuladores ó alimentar lámparas de arco, basta establecer un conmutador bipolar sobre los conductores de salida de la corriente continua, que permitirá con gran sencillez invertir las conexiones si es preciso.

La polaridad de una conmutatriz cambia si se invierte el sentido de la corriente de excitación, y por consiguiente si aquél permanece invariable, se mantendrá asimismo constante, la polaridad. De ahí que sea ventajoso excitar la conmutatriz con una corriente de origen exterior, si se puede.

Corrientes de tensión variable.

En determinadas aplicaciones conviene que la corriente producida por la conmutatriz tenga una tensión variable entre ciertos límites. Este caso se presentará, por ejemplo, en la alimentación de una red de alumbrado donde el consumo en las distintas horas del servicio sea muy variable y también por consiguiente la pérdida en los feeders alimentadores, mientras que por necesidad la tensión en las lámparas permanece constante. Otro caso hallamos en la carga de las baterías de acumuladores que exige una corriente de tensión creciente á medida que se efectúa la carga de los elementos y aumenta con élla su fuerza electromotriz contraria.

Los medios que permiten alcanzar este resultado en una conmutatriz son diversos: unos modifican la tensión de la corriente alterna que penetra en la conmutatriz; otros hacen variar la tensión de la corriente continua que sale de aquélla.

Entre los primeros, uno de los medios que desde luego se

presentan á la imaginación, es el empleo de un transformador con relación de transformación variable, como el que hemos descrito anteriormente hablando del arranque de las conmutatrices, que permitiría graduar la tensión de la corriente alterna como se quisiera. Pero el funcionamiento de estos aparatos, suficientemente seguro para llenar bien su cometido en el período relativamente breve del arranque, no se adaptaría con tan buen resultado á una marcha seguida, porque sus contactos de fricción ó resbalamiento, dispuestos para la inserción de carretes sucesivos, no resistirían el paso constante de corrientes muy intensas.

Pudiera también cargarse la mayoría de los elementos de la batería con una conmutatriz de tensión constante y de suficiente potencia para ello, y cargar los elementos restantes con una segunda máquina menor, reduciendo la tensión por medio de un pequeño transformador.

La Sociedad Alioth ha obtenido una patente por una disposición preferible á la que acabamos de indicar. Consiste en conectar, en serie con el inducido de la conmutatriz, una pequeña generatriz de corrientes alternas, cuya tensión se varía por la excitación. De este modo las tensiones se suman, advirtiéndose que una de ellas es variable y puede ser negativa.

Hay que tener en cuenta que el alternador de sobretensión debe tener igual número de polos que la máquina principal y hallarse rígidamente acoplado con ella. De ahí que la forma más sencilla y elegante de conseguirlo consista en disponer el primero sobre la prolongación del árbol de la conmutatriz, del mismo modo que las excitatrices sobre el eje de su alternador. Las figuras 12, 13 y 14, representan en esquema estas disposiciones para diversos casos.

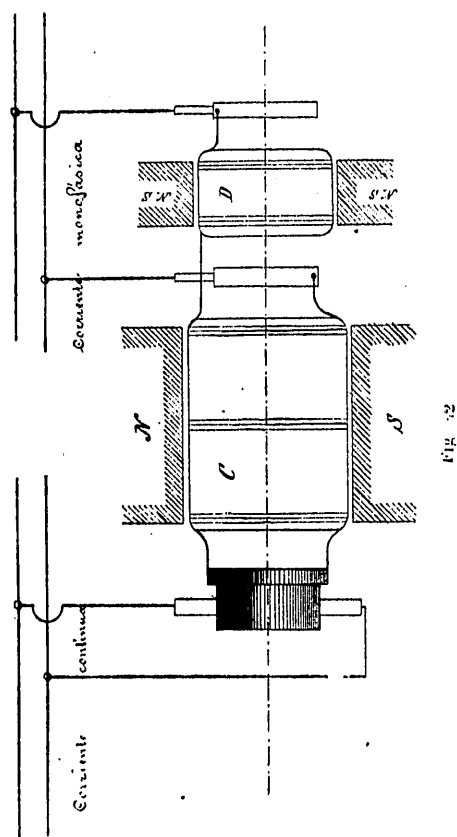


Fig. 12

El empleo de dos máquinas permite hacer variar la tensión de la corriente continua, elevándola ó bajándola. Para esto basta emplear una pequeña generatriz de corriente continua, cuyo colector esté en serie con el de la conmutatriz. Variando la excitación de la máquina adicional se modifica su tensión y, por consiguiente, la del grupo en conjunto en la proporción que se desea.

Esta dinamo de sobretensión puede ponerse en movimiento por la misma conmutatriz con una correa ú otro medio de transmisión; pero la disposición más sencilla y preferible, consiste, como en el caso anterior, en colocarla sobre la prolongación del árbol de la conmutatriz.

En estas soluciones, fundadas sobre el empleo de dos máqui-

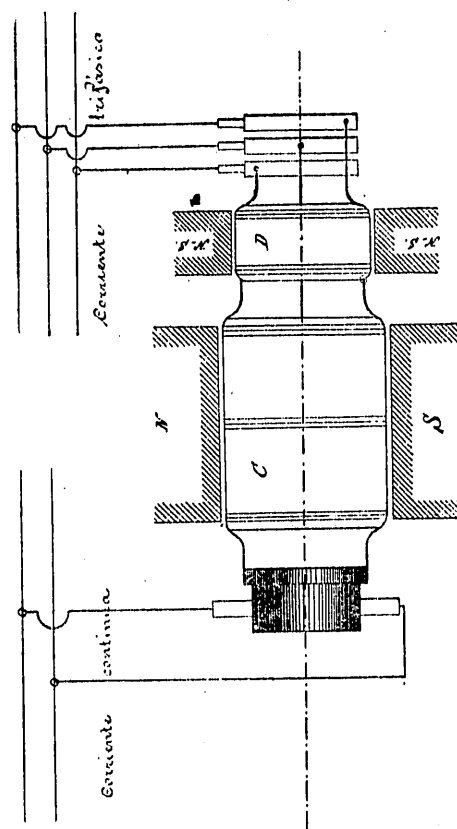


Fig. 13

nas, la tensión de la máquina adicional puede restarse de la tensión de la conmutatriz en vez de sumarse á ella; aquélla funciona entonces como un motor alimentado por la conmutatriz, sin que esto afecte sensiblemente el rendimiento del grupo.

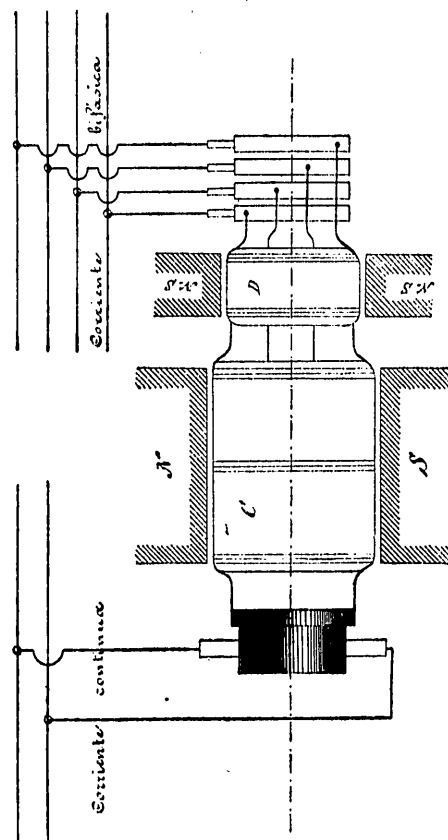


Fig. 14

Las mismas soluciones permitirían obtener de las conmutatrices corrientes alternas de tensión variable, en lugar de corriente continua de tensión variable.

MANUEL CRUSAT.

(Continuará.)