

Velocidad a 60 Hz (Rango)	Tipo de Devanado	de
3600, 1800 RPM	Concéntrico	Indicador
Menos de 1200 (Salvo Mds. Pedueñas)	Concéntrico	Indicador
6 ó más (Mds. pedueñas pueden tener 4)		

CAPITULO IV

METODOS DE DISMINUCION DE ARMONICAS

CONEXION EN ESTRELLA DE LA ARMADURA

4-1 Introducción.- Debido a que la distribución de la densidad de flujo en los polos de la máquina no es senoidal, el voltaje que induce en las bobinas de armadura tampoco lo es. Según el desarrollo de Fourier, la onda de voltaje (no senoidal) se considera formada por una onda senoidal de la misma frecuencia llamada fundamental sumada a otras de mayor frecuencia y menor amplitud llamadas armónicas. Según la cualidad de la función original (par ó impar) aparecen ó no las armónicas pares. En este caso, solo existirá la fundamental y las armónicas nones (3a., 5a., 7a., -- 9a., etc.). Si logramos eliminar estas armónicas, prácticamente convertiríamos a la onda original de voltaje en una onda puramente senoidal (la fundamental). Esto se busca principalmente porque se conoce que los voltajes armónicos pueden producir efectos nocivos en las cargas y en las líneas tales como pérdidas, ruido, vibraciones y hasta pares parásitos en el caso de motores.

4-2 Conexión en Estrella.- La conexión en estrella del devanado de --

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
CARILLA ALFONSIANA

Introducción. - Debido a que la distribución de la densidad de flujo en los polos de la máquina no es senoidal, el voltaje que induce en las bobinas de armadura tampoco lo es. Según el desarrollo de Fourier, la onda de voltaje (no senoidal) se considera formada por una onda senoidal de la misma frecuencia llamada fundamental sumada a otras de mayor frecuencia y menor amplitud llamadas armónicas. Según la cualidad de la función original (par o impar) aparecen o no las armónicas pares. En este caso, solo existirá la fundamental y las armónicas impares (3a., 5a., 7a., 9a., etc.). Si lográramos eliminar estas armónicas, prácticamente convertiríamos a la onda original de voltaje en una onda puramente senoidal (la fundamental). Esto se busca principalmente porque se conoce que los voltajes armónicos pueden producir efectos nocivos en las cargas y en las líneas tales como pérdidas, ruidos, vibraciones y hasta partes parásitas en el caso de motores.

Conexión en Estrella. - La conexión en estrella del devanado de

armadura del generador es un recurso para que la 3a. armónica (la de mayor amplitud) no aparezca entre los voltajes de línea. - Esto se debe a que como los voltajes entre líneas van desfasados 120° , las 3eras. armónicas (triple frecuencia) se desfasarán $120 \times 3 = 360^\circ$ entre sí, lo que significa que irán en fase (ver -- figs. 4-1 y 4-2).

CONEXION EN ESTRELLA DE LA ARMADURA.

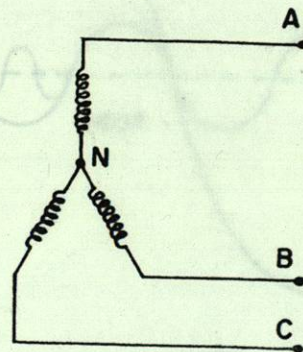


Fig. 4-1 Conexión en Estrella de la Armadura

Como es fácil apreciar en la figura 4-2, mientras que las "fundamentales" van desfasadas, las 3eras. armónicas van en fase por lo que no provocan ninguna diferencia de potencial entre línea y línea.

Debemos aclarar también que la 3era. armónica no aparecería para cargas trifásicas o monofásicas de línea a línea, pero si se manifiesta en cargas monofásicas de línea a neutro.

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
CARILLA ALFONSINA

armadura del generador es un recurso para que la 3a. armónica
 (la de mayor amplitud) no aparezca entre los voltajes de línea.
 Esto se debe a que como los voltajes entre líneas van desfasados
 120°, las 3ras. armónicas (triple frecuencia) se desfasarán
 360° = 0° entre sí, lo que significa que irán en fase (ver
 figs. 4-1 y 4-2).

CONEXION EN ESTRELLA DE LA ARMADURA

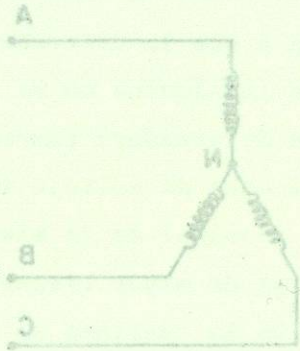


Fig. 4-1 Conexión en Estrella de la Armadura

Como es fácil apreciar en la figura 4-2, mientras que las "fundas
 mentales" van desfasadas, las 3ras. armónicas van en fase por
 lo que no provocan ninguna diferencia de potencial entre líneas
 y líneas.
 Debemos aclarar también que la 3ra. armónica no aparecerá para
 cargas trifásicas o monofásicas de línea a línea, pero sí se ma-
 nifiesta en cargas monofásicas de línea a neutro.

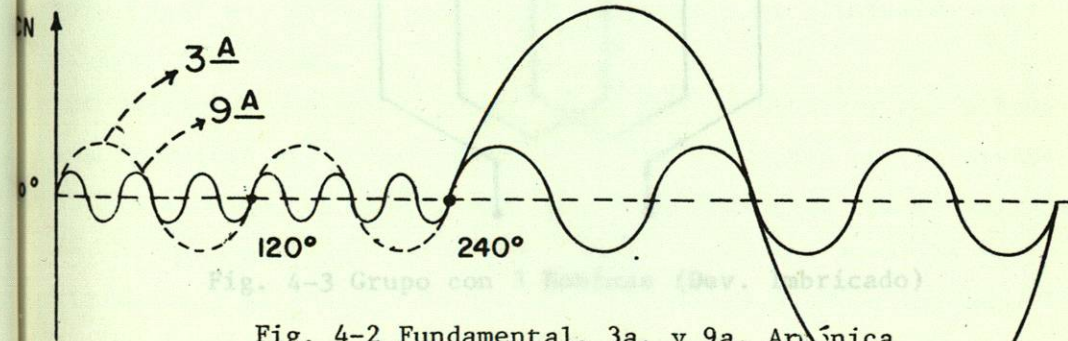
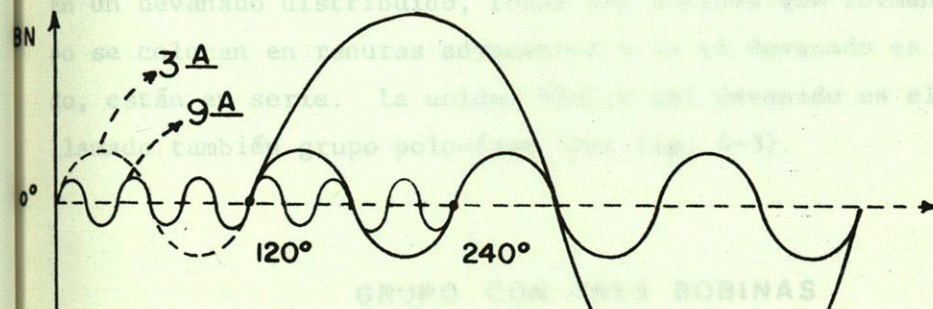
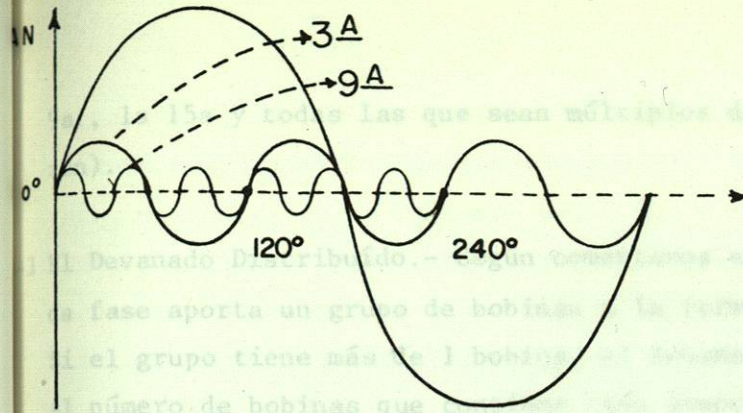


Fig. 4-2 Fundamental, 3a. y 9a. Armónica

Finalmente, del anterior análisis concluimos que no sólo la 3a.-
 armónica desaparece de los voltajes de línea, sino también la --

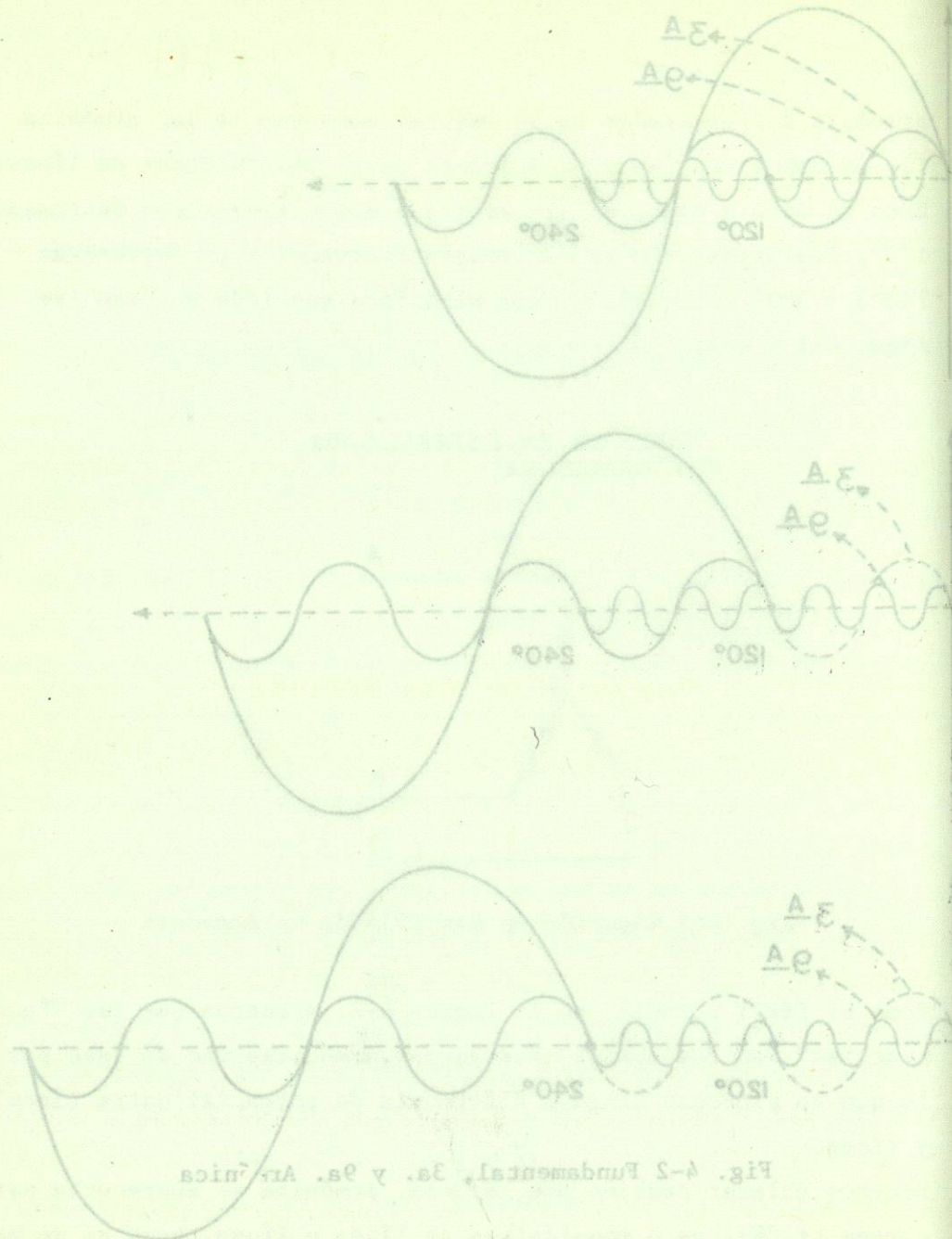


Fig. 4-3 Fundamental, 3a y 9a Armónica

9a., la 15a y todas las que sean múltiplos de 3 (por la misma razón).

3 El Devanado Distribuido.- Según comentamos en el capítulo II, cada fase aporta un grupo de bobinas a la formación de cada polo.- Si el grupo tiene más de 1 bobina, el devanado será distribuido. Al número de bobinas que contiene cada grupo le llamamos "q". En un devanado distribuido, todas las bobinas que forman el grupo se colocan en ranuras adyacentes y si el devanado es imbricado, están en serie. La unidad básica del devanado es el grupo - llamado también grupo polo-fase (ver fig. 4-3).

GRUPO CON TRES BOBINAS

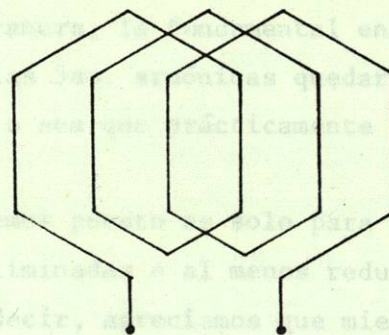


Fig. 4-3 Grupo con 3 Bobinas (Dev. Imbricado)

Como las bobinas que forman el grupo ocupan lugares geométricos-diferentes y como en cada lugar del estator (entre 2 polos) existe, en un momento dado, una densidad de flujo diferente, los vol-

tajes inducidos por las bobinas de un mismo grupo, estarán ligeramente desfasados (ondas fundamentales). La suma vectorial de estos voltajes, en un instante dado, nos dará el voltaje resultante por grupo. Esto explica porqué, el voltaje máximo inducido por grupo siempre es menor que el voltaje máximo de bobina -- multiplicado por q (# bob/gpo.)

Sin embargo, si hablamos del voltaje inducido en las bobinas en función de sus componentes (fundamental y armónicas), podremos observar algo interesante, y es que mientras la fundamental se desfasa un pequeño ángulo entre bobina y bobina (ángulo de ranura), la 5a. y 7a. armónicas se desfasarán 5 y 7 veces más respectivamente lo que puede llevar a que automáticamente el voltaje -- de la 5a., ó 7a. armónicas de una bobina se elimine con el de la siguiente que está en serie con ella. Por ejemplo, si tuviéramos un devanado de $q = 2$ bob/gpo. en donde hubiera un ángulo de 36° entre ranura y ranura, la fundamental entre ambas bobinas se desfasará 36° pero las 5as. armónicas quedarán desfasadas un ángulo igual a: 36×5 o sea que prácticamente se eliminarán entre sí (ver fig. 4-4).

Este ejemplo, que hemos puesto es solo para ilustrar que pueden las armónicas ser eliminadas o al menos reducidas con un devanado distribuido, es decir, apreciamos que mientras que el voltaje de las fundamentales sufre una pequeña merma (al sumarlos vectorialmente), el voltaje de las 5as. armónicas quedó eliminado. No es preciso hacer esta eliminación de un solo paso, es decir con 2 bob/gpo. sino que podemos hacerlo con más bobinas, sin perder de vista que lo importante es buscar que la resultante de la armónica que queremos eliminar se aproxime a cero en las termina-

GRUPO CON TRES BOBINAS

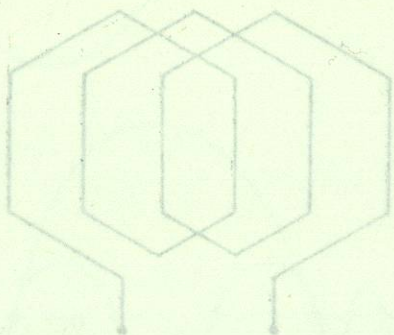


Fig. 4-3 Grupo con 3 bobinas (Dev. Imbricado)

Como las bobinas que forman el grupo ocupan lugares geométricos diferentes y como en cada lugar del estator (entre 2 polos) existe, en un momento dado, una densidad de flujo diferente, los vol-

VOLTAJES INDUCIDOS EN UN CASO SUPUESTO DE 2 BOBINAS

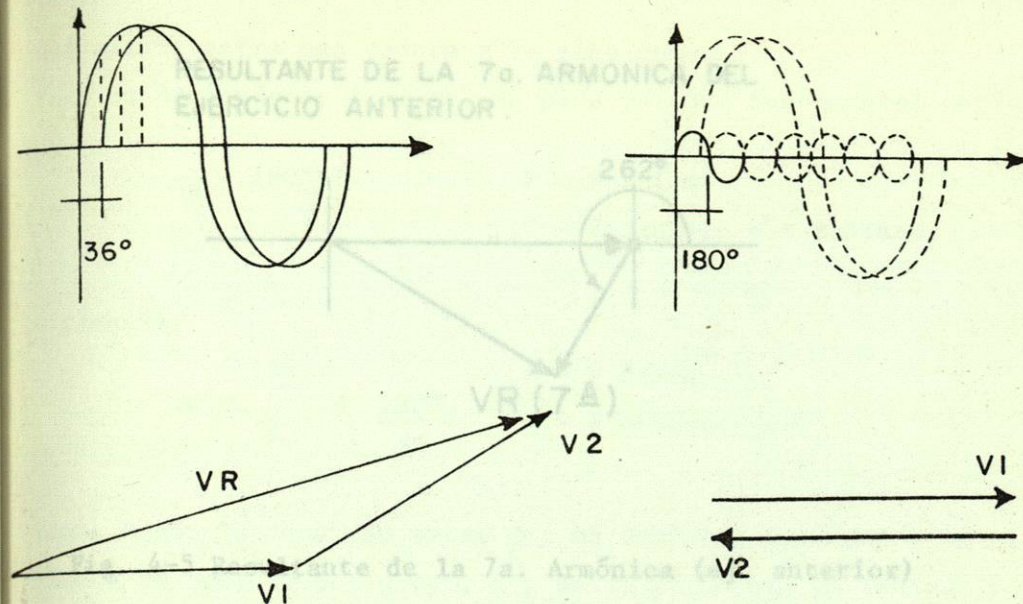


Fig. 4-4 Voltajes inducidos en un caso supuesto con 2 bob/gpo.

les del grupo polo-fase.

También podemos revisar lo que sucedió con otras armónicas en el ejemplo anterior, por ejemplo la 7a.

El voltaje entre bobina y bobina de la 7a. armónica se hubiera desfasado un ángulo igual a: 36×7 , o sean 252° eléctricos, es decir se reduciría pero no tanto como la 5a. (ver fig. 4-5).

Normalmente, se busca que la distribución del devanado si acaso no elimina la 5a. y la 7a. armónicas, al menos logre reducir ambas en forma importante.

Factor de Distribución.- El voltaje inducido por grupo, para un devanado distribuido deberá ser menor que el voltaje inducido por bobina (E_B) multiplicado por q (# bob/gpo.). O sea que tene

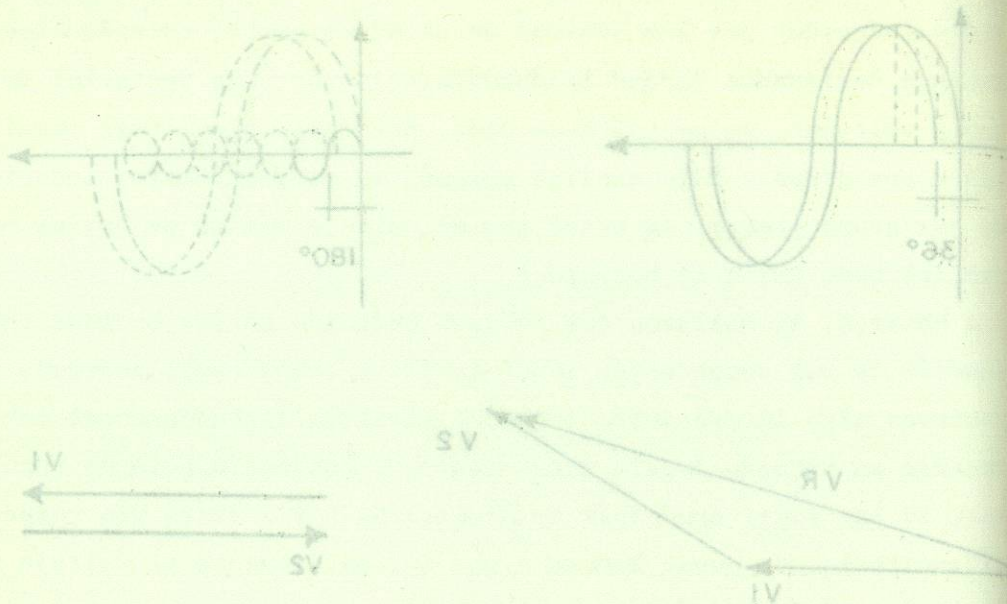


Fig. 4-4 Voltajes inducidos en un caso supuesto con 2 bobinas.

... del grupo por fase. También podemos revisar lo que sucedió con otras armónicas en el ejemplo anterior, por ejemplo la 7a. El voltaje entre bobina y bobina de la 7a. armónica se hubiera desfasado un ángulo igual a: $36^\circ \times 7$, o sean 252° eléctricos, es decir se reduciría pero no tanto como la 5a. (ver fig. 4-5). Normalmente, se busca que la distribución del devanado si acaso no elimina la 5a. y la 7a. armónicas, al menos logre reducir en forma importante.

Factor de Distribución - El voltaje inducido por grupo, para un devanado distribuido deberá ser menor que el voltaje inducido por bobina (E_B) multiplicado por p ($\frac{1}{2}$ bob/gpo.). O sea que tiene

RESULTANTE DE LA 7a. ARMÓNICA DEL EJERCICIO ANTERIOR.

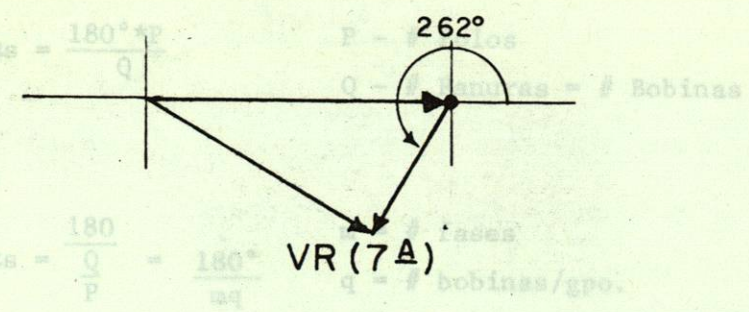


Fig. 4-5 Resultante de la 7a. Armónica (ej. anterior)

mos que afectar el voltaje qE_B por un Factor de Distribución -- "Kd" (menor que la unidad). Es decir, el voltaje por grupo nos quedaría:

$$E_G = qE_B * Kd$$

Es fácil comprender, que el factor de distribución "Kd" tiene -- distinto valor para la onda fundamental que para las armónicas, -- y precisamente lo que intentamos con la distribución del devanado es que Kd se aproxime más a la unidad para la onda fundamen-- tal mientras que para las armónicas que deseemos eliminar, se -- aproxime lo más posible a cero. El voltaje inducido en una vuel-- ta de una bobina está en fase con las otras vueltas de la misma-- bobina (prácticamente ocupan el mismo lugar). Y, por otro lado, los voltajes inducidos en bobinas de un mismo grupo van desfasa-- dos uno de otro. Vamos a llamarle α_s al ángulo de desfasamiento

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
CARILLA ALFONSINA

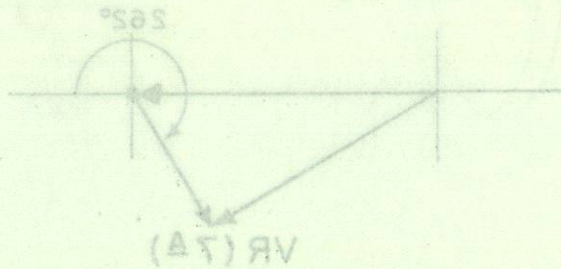


Fig. 4-5 Resultante de la 7ª Armónica (ej. anterior)

que alectar el voltaje de un grupo por un factor de distribución "Kd" (menor que la unidad). Es decir, el voltaje por grupo nos

$$K_d = \frac{E_c}{P} = \frac{E_g}{P} * K_d$$

fácil comprender, que el factor de distribución "Kd" tiene un valor para la onda fundamental que para las armónicas, precisamente lo que intentamos con la distribución del devanado es que Kd se aproxime más a la unidad para la onda fundamental. Mientras que para las armónicas que deseamos eliminar, se aproxime lo más posible a cero. El voltaje inducido en una vuelta de una bobina está en fase con las otras vueltas de la misma bobina (prácticamente ocupan el mismo lugar). Y, por otro lado, los voltajes inducidos en bobinas de un mismo grupo van desfasados uno de otro. Vamos a llamarle de al ángulo de desfasamiento

que existe entre una ranura y la siguiente:

Para un devanado de 2 capas, α_s para la onda fundamental sería:

$$\alpha_s = \frac{180^\circ * P}{Q} \quad \begin{array}{l} P - \# \text{ Polos} \\ Q - \# \text{ Ranuras} = \# \text{ Bobinas} \end{array}$$

o también:

$$\alpha_s = \frac{180}{\frac{Q}{P}} = \frac{180^\circ}{mq} \quad \begin{array}{l} m = \# \text{ fases} \\ q = \# \text{ bobinas/gpo.} \end{array}$$

Hemos hecho la igualdad entre $\frac{Q}{P}$ y mq debido a que como q es el número de bobinas por grupo, $q * P$ sería el número de bobinas por fase y, el número de bobinas totales:

$$Q = qmP$$

Ejemplo: Calcular los grados eléctricos que existen entre ranuras para la fundamental de fuerza magnetomotriz o de voltaje para un devanado de 3 fases con 4 bobinas por grupo.

$$\begin{array}{l} m = 3\phi \\ q = 4 \text{ bob/gpo.} \end{array} \quad \alpha_s = \frac{180}{3 * 4} = 15^\circ$$

Si tuviéramos, por ejemplo, 3 bobinas por grupo, los voltajes -- nos podrían quedar como en la figura 4-6.

El factor de distribución para cualquier devanado está definido por:

$$K_d = \frac{|\sum \text{vectorial de voltajes}|}{\sum \text{aritmética de voltajes}}$$

que existe entre una ranura y la siguiente:
 Para un devanado de 2 capas, se para la onda fundamental sería:

$$\alpha_s = \frac{180 \cdot p}{q} \quad p = \text{Polos} \quad q = \text{Ranuras} = \text{Bobinas}$$

también:

$$\alpha_s = \frac{180}{p} \quad m = \text{Lazos} \quad p = \text{Bobinas/gpo.}$$

Hemos hecho la igualdad entre $\frac{q}{p}$ y se debe a que como p es el número de bobinas por grupo, $p \cdot q$ sería el número de bobinas por fase y, el número de bobinas totales:

$$q = \frac{m \cdot p}{p}$$

Ejemplo: Calcular los grados eléctricos que existen entre ranuras para la fundamental de fuerza magnetomotriz o de voltaje para un devanado de 3 lazas con 4 bobinas por grupo.

$$\alpha_s = \frac{180}{3 \cdot 4} = 15^\circ \quad m = 3 \quad p = 4 \text{ bob/gpo.}$$

Si tuviéramos, por ejemplo, 3 bobinas por grupo, los voltajes nos podrían quedar como en la figura 4-6. El factor de distribución para cualquier devanado está definido:

$$K_d = \frac{\sum \text{vectorial de voltajes}}{\sum \text{aritmética de voltajes}}$$

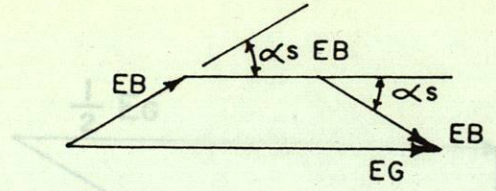


Fig. 4-6 Vectores para un Grupo de 3 Bobinas

vamos, de esta definición de K_d , a tratar de determinar una expresión más concreta y más general:
 para q bobinas:

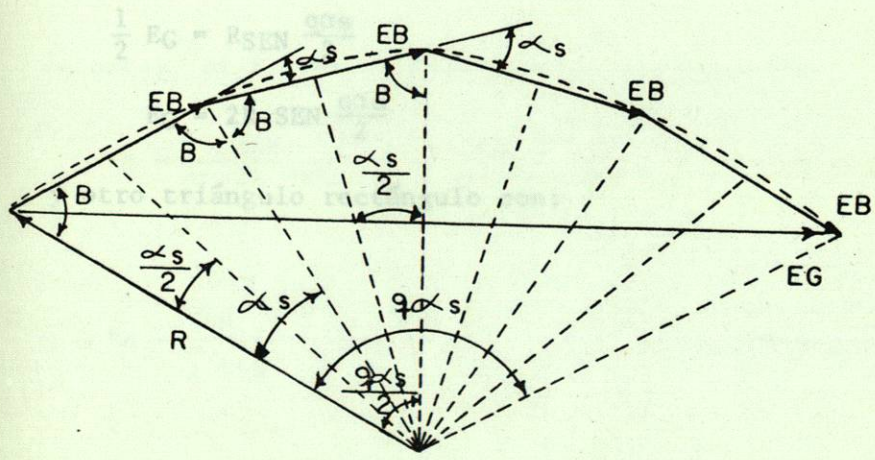


Fig. 4-7 Polígono de Tensiones en un Grupo

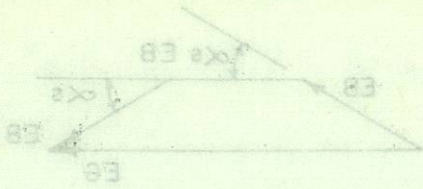


Fig. 4-6 Vectores para un Grupo de 3 bobinas

mos, de esta definición de K_d , a tratar de determinar una ex-
 presión más concreta y más general:
 para p bobinas:

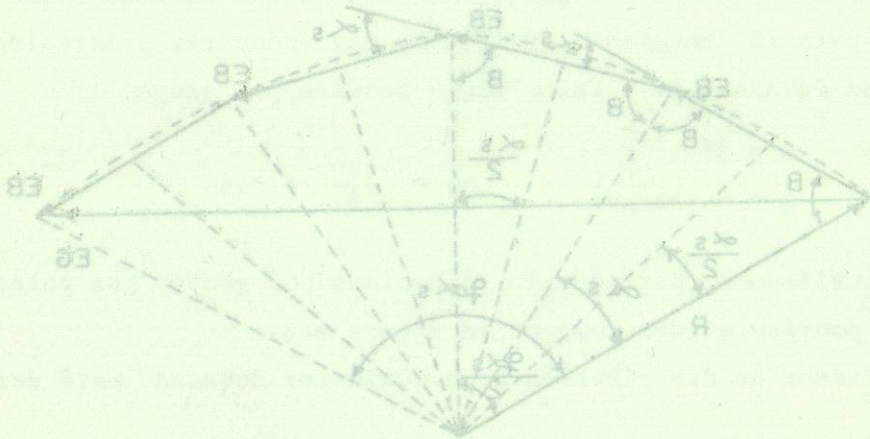


Fig. 4-7 Polígono de Tensiones en un Grupo

Podemos formar un triángulo rectángulo con los siguientes valo-
 res:

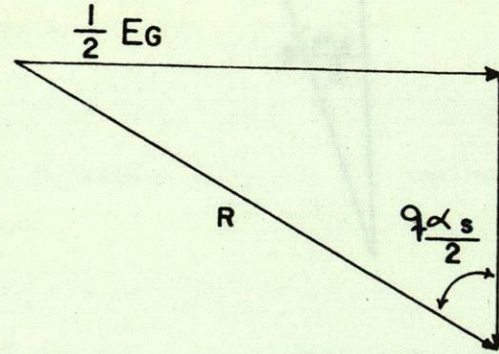


Fig. 4-8

$$\frac{1}{2} E_G = R \text{SEN} \frac{q\alpha_s}{2}$$

$$E_G = 2R \text{SEN} \frac{q\alpha_s}{2}$$

... y otro triángulo rectángulo con:

$$K_d = \frac{\text{SEN} \frac{q\alpha_s}{2}}{q \text{SEN} \frac{\alpha_s}{2}}$$