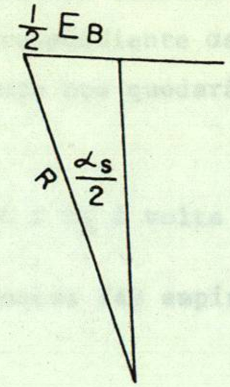


Fig. 4-9

$$\frac{1}{2}\,E_B = R\ \mathrm{SEN}\ \frac{\alpha s}{2}$$

$$E_B = 2\ R\ \mathrm{SEN}\ \frac{\alpha s}{2}$$

entonces, el factor de distribución nos quedaría:

$$Kd = \frac{2R\ \mathrm{SEN}\ \dfrac{q\alpha s}{2}}{q\ 2R\ \mathrm{SEN}\ \dfrac{\alpha s}{2}} = \frac{\mathrm{SEN}\ \dfrac{q\alpha s}{2}}{q\ \mathrm{SEN}\ \dfrac{\alpha s}{2}}$$

$$Kd = \frac{\mathrm{SEN}\ \dfrac{q\alpha s}{2}}{q\ \mathrm{SEN}\ \dfrac{\alpha s}{2}} \qquad \text{ecuación 4-a}$$

Esta ecuación, tendrá aplicación también para las armónicas, cuidando sólo de poner el correspondiente αs para cada armónica.

El voltaje inducido por grupo nos quedará entonces:

$$E_G = q\ E_B\ Kd \qquad \Phi \quad \text{webbers}$$

$$= q\ Kd * 4.44\ f\ N_B\ \Phi \text{ volts} \qquad N_B \quad \text{espiras/bobina}$$

Realmente, $q\ N_B$ serían entonces las espiras por grupo (N_G) entonces tendremos:

$$E_G = 4.44\ f\ N_G \Phi \text{ volts}$$

Si hacemos N el número de espiras por fase, la ecuación de voltaje por fase nos quedaría:

$$E_F = 4.44\ f\ N\Phi\ \ Kd\ \underline{\text{volts}}$$

f - cps

N - espiras/fase

Φ - flujo/polo (web)

Esta fórmula supone que todas las espiras de una fase están conectadas en serie. Si hubiera "a" trayectorias en paralelo por fase, la ecuación nos quedaría:

$$E_f = \frac{4.44\ \ f N\Phi\ Kd}{a} \qquad \text{ecuación 4-b}$$

En seguida, en la fig. 4-10 aparece una tabulación con los valores de los factores de distribución para fundamental y algunas armónicas.

El Devanado de Paso Fraccionario.- Si hacemos el ancho de la bobina igual al paso polar, lograremos que los voltajes inducidos-

$q = 2$	2	3	4	5	6	7	8	9
FASE $Q = 6$	6	9	12	15	18	21	24	27
k_{d1}	**0,966**	**0,960**	**0,958**	**0,957**	**0,957**	**0,957**	**0,956**	**0,955**
k_{d3}	0,707	0,667	0,654	0,646	0,644	0,642	0,641	0,640
k_{d5}	0,259	0,217	0,205	0,200	0,197	0,195	0,194	0,194
k_{d7}	—0,259	—0,177	—0,158	—0,149	—0,145	—0,145	—0,141	—0,140
k_{d9}	—0,707	—0,333	—0,270	—0,247	—0,236	—0,299	—0,225	—0,222
k_{d11}	**—0,966**	—0,177	—0,126	—0,110	—0,102	—0,097	—0,095	—0,095
k_{d13}	**—0,966**	0,217	0,126	0,102	0,092	0,086	0,085	0,081
k_{d15}	—0,707	0,667	0,270	0,200	0,172	0,158	0,150	0,145
k_{d17}	—0,259	**0,960**	0,158	0,102	0,084	0,075	0,070	0,066
k_{d19}	0,259	**0,960**	—0,205	—0,110	—0,084	—0,072	—0,066	—0,062
k_{d21}	0,707	0,667	—0,654	—0,247	—0,172	—0,145	—0,127	—0,118
k_{d23}	**0,966**	0,217	**—0,958**	—0,149	—0,092	—0,072	—0,065	—0,057

Fig. 4-10 Factores de Distribución para Devanados Trifásicos con q = número entero.

por los 2 lados activos de la bobina estén siempre en fase. Sin embargo, si acortamos el paso del devanado, los voltajes inducidos por los lados activos de la bobina se desfasarán de manera - que provoquemos justo el mismo efecto que el devanado distribuído. Es decir, vamos a sacrificar un poco de voltaje de la onda-fundamental pero lograremos disminuír mucho más, la amplitud de-algunas armónicas.

Vamos a poner un ejemplo para ser más ilustrativos:

Tenemos un devanado con un paso polar τ = 6 ranuras y, decidimos hacer el ancho de la bobina w = 5 ranuras. Entonces, como el paso polar vale 180°, 6 ranuras son igual a 180°. Por supuesto, - el ángulo entre ranuras valdrá 30°, esto quiere decir, que los - lados activos de la bobina en cuanto a la onda fundamental estarán corridos 30° (pusimos 5 ranuras en lugar de 6).

La 5a. armónica sin embargo, se desfasará 5*30 o sean 150°. La - 7a. armónica 210°, es decir, ambas se desfasarán un ángulo cercano a 180° lo que hará que al sacar la resultante en los lados activos de las bobinas de la 5a. y 7a. armónicas, se aproximará a- cero (ver fig.4.11).

EFECTO DEL PASO FRACCIONARIO.

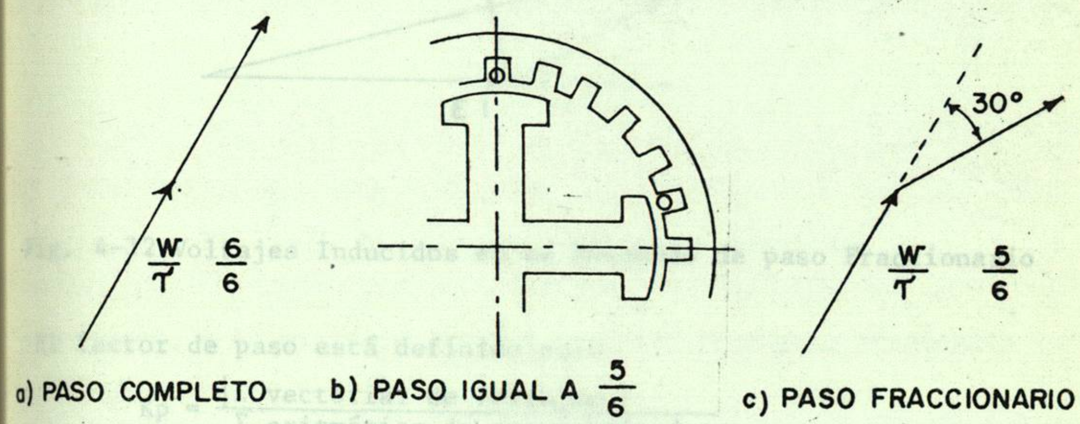


Fig.4-11 Efecto del Paso Fraccionario

El devanado de paso fraccionario puede hacerse con un número de- ranuras mayor o menor a las correspondientes al paso polar, produciendo iguales resultados. Sin embargo, se prefiere el paso - acortado porque requiere menor cantidad de cobre.

6 Factor de Paso.- Los voltajes inducidos por los 2 lados activos- de una bobina con paso acortado y su resultante, aparecen en la- fig. 4-12

VOLTAJE INDUCIDO EN UN DEV. DE PASO FRACCIONARIO.

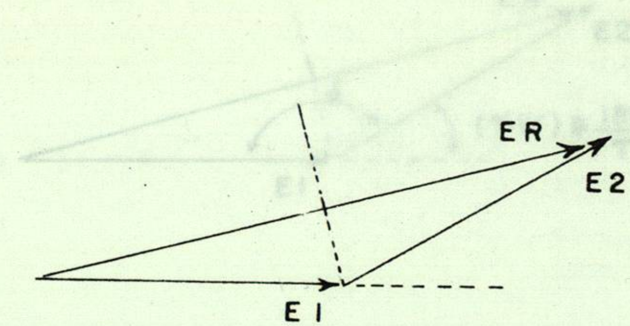


Fig. 4-12 Voltajes Inducidos en un Devanado de paso Fraccionario

El factor de paso está definido por:

$$Kp = \frac{|\Sigma \text{ vectorial de voltajes }|}{\Sigma \text{ aritmética de sus magnitudes}}$$

$$Kp = \frac{|E_R|}{|E_1| + |E_2|}$$

. . . τ es el paso polar y $(\tau - w)$ es el desfasamiento entre ambos lados de la bobina. Para expresar el desfasamiento en grados eléctricos será:

$$(\tau - w) * \frac{180°}{\tau} \quad \text{donde}$$

$(\tau - w)$ es el desfasamiento en ranuras y $\frac{180°}{\tau}$ es el ángulo entre ranuras. Entonces, el diagrama vectorial más detallado nos quedará como en la figura 4-13.

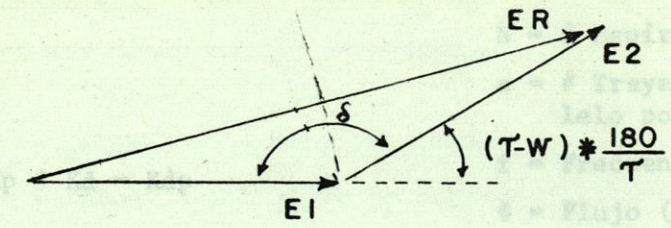


Fig. 4-13 Diagrama Vectorial más Detallado

Entonces, a la mitad de E_R formaremos un triángulo rectángulo -- donde un ángulo vale $\frac{\delta}{2}$:

$$\frac{E_R}{2} = E_1 \text{ sen } \left(\frac{\delta}{2} \right)$$

$$\delta = 180 - (\tau - w) * \frac{180}{\tau} = 180 - 180 + \frac{w}{\tau} * 180$$

$$\delta = \frac{w}{\tau} * 180$$

$$E_R = 2\ E_1 \text{ sen } \left(\frac{w}{\tau} * 90° \right)$$

$$Kp = \frac{2\ E_1 \text{ sen } \left(\frac{w}{\tau} * 90° \right)}{2E_1} = \text{sen } \left(\frac{w}{\tau} * 90° \right)$$

$$Kp = \text{sen } \frac{w}{\tau} * 90°$$

Entonces, tomando en cuenta el factor de paso y el factor de dis tribución, la fórmula de voltaje inducido por fase nos quedará:

$$Ef = 4.44\ f\ \frac{N}{a}\ \Phi\ Kd\ Kp \quad \text{volts}$$

N = # Espiras por fase

a = # Trayectorias en paralelo por fase.

f = Frecuencia (Hz)

Φ = Flujo (webbers)

Ef = Voltaje inducido por fase

$$Kp * Kd = Kdp$$

Entonces:

$$Ef = 4.44\ f\ \frac{N}{a}\ \Phi\ Kdp$$

Enseguida, en la figura 4-14 aparecen los factores de paso para la fundamental y para algunos armónicos de algunos devanados de paso fraccional:

Relación de paso $(\frac{w}{\tau})$	A R M O N I C A				
	1a.	3a.	5a.	7a.	11a.
2/3	.866	.000	.866	.866	.866
4/5	.951	.588	.000	.588	.951
5/6	.966	.707	.259	.259	.966
6/7	.975	.782	.434	.000	.782

Fig. 4-14 Factores de Paso para las Armónicas

Se nota, en la fig. 4-14 que una relación de paso de 5/6 logra - reducir la 5a. y 7a. armónica a casi 1/4 de su valor mientras -- que la fundamental casi no sufre merma. Por ésto, esta relación de paso es muy común en los devanados.

Ejemplo.-

Se tiene un generador sincrónico trifásico, cuyos grupos se han-conectado formando 3 estrellas en paralelo y tiene los siguien-- tes datos:

P = 24 polos

f = 60 Hz

m = 3 fases

Q = 216 ranuras

2 capas

18 conductores/ranura

$\frac{W}{\tau} = 0.778$

E vacío = 2300 volts (líneas

a)¿cuánto vale el Φ por polo en vacío

b)¿Si se forman 2 deltas en paralelo cuál sería el voltaje de línea?

Solución

Q = 216 ranuras = 216 bobinas

$\#$ espiras totales $= \frac{18}{2}$ cond/ranura * 216 ran.

$\#$ espiras totales = 1944 espiras

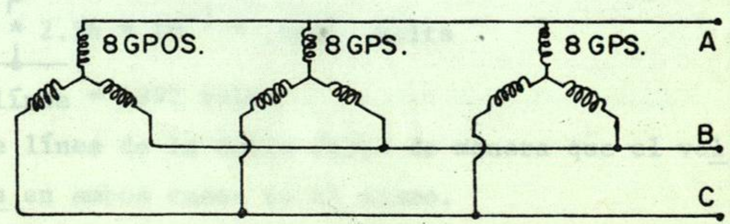
$\frac{N}{\text{fase}} = \frac{1944}{3} = 648$ esp/fase

$E\text{fase estrella} = \frac{2300}{\sqrt{3}}$

$Kp = \text{sen}\ \frac{W}{\tau} * \frac{\pi}{2} = \text{sen}\ (.778 * 90°)$

$= \text{sen}\ 70°$

$Kp = 0.94$



$$Kd = \frac{\text{sen } q \left(\frac{\alpha s}{2} \right)}{q \text{ sen } \frac{\alpha s}{2}} \qquad \alpha s = \frac{180*P}{Q} = \frac{180*24}{216}$$

$$\alpha s = 20°E$$

$$Kd = \frac{\text{sen } 3\ (10)°}{3 \text{ sen } 10°} = \frac{.5}{3(.174)} \qquad q = \frac{Q}{m*p} = \frac{216}{3*24} = 3\ \frac{\text{bob.}}{\text{gpo.}}$$

$$Kd = 0.96 \qquad Kdp = .94 * .96 = .9024$$

$$\Phi = \frac{Efase}{4.44\ f\ \frac{N}{a}\ Kdp} \text{ webb}$$

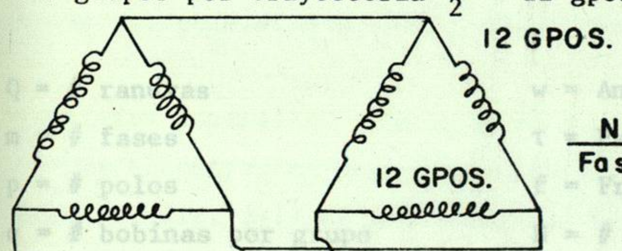
$$= \frac{2300}{4.44 * \sqrt{3} * 60 * \frac{648}{3} * .9024}$$

a) $\Phi = 2.56 * 10^{-2}$ webbers

b) # grupos = m*p = 3*24 = 72

grupos por fase = $\frac{72}{3}$ = 24

grupos por trayectoria $\frac{24}{2}$ = 12 gpos.



$$\frac{N}{Fase} = 648$$

$$E = 4.44 * 60 * \frac{648}{2} * 2.56 * 10^{-2} * .9024 \text{ volts}$$

$$E_{fase} = E_{línea} = 1992 \text{ volts}$$

Este sería el voltaje de línea de la doble delta de manera que el voltaje inducido por bobina en ambos casos es el mismo.

RESUMEN CAPITULO IV

$$Q = \#\ \text{bobinas por grupo} = \frac{Q}{m*p}$$

$$\alpha s = \text{Desfasamiento entre ranuras adyacentes} = \frac{180°*P}{Q}$$

$$Kd. = \text{Factor de Distribución} = \frac{\text{sen}\left(\frac{q\alpha s}{2}\right)}{q\,\text{sen}\left(\frac{\alpha s}{2}\right)}$$

$$Kp = \text{Factor de Paso} = \text{sen}\left(\frac{w}{\tau} * 90°\right)$$

$$E_{fase} = 4.44\ f * \frac{N}{a} * \Phi\ Kdp$$

Q = # ranuras
m = # fases
p = # polos
q = # bobinas por grupo
αs = Desfasamiento entre ranuras

w = Ancho de Bobina (ranura)
τ = Paso Polar (ranuras)
f = Frecuencia
N = # espiras por fase
a = # Trayect. en paralelo por fase.
Φ = Flujo por polo (webbers)
Kpd = Factor del Devanado