Maquinas sincrona.

F.e. inducida de un alternador monofasico.

$e = B\ell \cdot v$

$B = B_{max} \cos \Omega t.$ $\quad B_{max} = \dfrac{\phi}{D\ell}.$

ℓ = longitud axial de un conductor
v = velocidad tangencial
B = inducción instantanea a la que esta sometido ese conductor
D = diametro interno del estator

$v = \pi D N$

$\Omega = 2\pi N.$

$$e = B\ell \cdot v = \left[B_{max} \cos\Omega t\right] \cdot \ell \left[\pi D N\right] = \left[\frac{\phi}{\cancel{D\ell}} \cos\Omega t \cdot\right] \cancel{\ell}\left[\pi \cancel{D} N\right] =$$

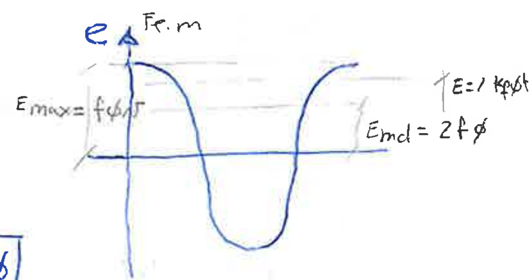
$$\boxed{e = \phi \pi N \cos\Omega t}$$

$E_{max} = \phi \pi N.$

F.e. inducida de un alternador tetrapolar.

$$\left.\begin{array}{l} e = p\phi \pi N \cos p\Omega \cdot t \\ pN = f \\ p\Omega = w \end{array}\right\} \quad \boxed{e = f\phi\pi \cos wt}$$

$E_{max} = f\phi\pi.$



($\frac{1}{2}$ vuelta) en el caso de que $p=1$

el valor medio: $\boxed{E_{md} = \frac{2}{\pi} E_{max} = \frac{2}{\cancel{\pi}} f\phi\cancel{\pi} = 2f\phi}$

valor eficaz o RMS: $\boxed{E = E_{eff} = E_{rms} = K_f E_{md} = 2K_f f\phi}$

valor instantaneo

— o —

$E_c = 2K_f f\phi$ = f.e.m eficaz en conductor son conduct. activos.

$E_s = 2E_c$ = f.e.m eficaz en 1 espira.

$E_b = E_s \cdot n_b$ = f.e.m. eficaz en bobina. $\quad E_b = 4K_f f \cdot \phi\, n_b$ – nº de espiras

en una maquina tetrapolar: cada par de p de polos voy a poner una bobina.

$$\left.\begin{array}{l} E = pE_b = 4K_f f\phi \overbrace{p\, n_b}^{n} \\ n = p\, n_b \text{ nº de espiras que tenga la maquina.} \end{array}\right\} \quad \boxed{E = 4K_f f\phi n}$$

considerando que dos conductores activo forma una espira

z = nº conductores perifericos $\quad Z$ = nº conduct. activos $2n$

$$\boxed{E = 2K_f f\phi Z} \times 10^{-8} \ (c.g.s)$$

es una maquina monofasica
es la f.e.m.

CONCEPTO FACTOR DE DISTRIBUCIÓN

$$\boxed{E_g = E_s \cdot \frac{\operatorname{sen} \frac{q\gamma}{2}}{\operatorname{sen} \frac{\gamma}{2}}}$$ para el debanado de distribución.

E_g = f.e.m. geométrica. $\gamma = \frac{t}{Q}$

q = nº ranuras utilizadas por polo = 2

Q = nº ranuras por polo. = 3

$\gamma = \frac{t}{3} = \frac{180}{3} = 60°$ ancho con el mismo valor modular pero desplazado 60°

En el caso de debanado concentrado E_a = f.e.m aritmética. $E_a = q E_s$

$$K_d = \frac{E_g}{E_a} = \frac{\cancel{E_s}\, \operatorname{sen}\frac{q\gamma}{2} / \operatorname{sen}\frac{\gamma}{2}}{q \cdot \cancel{E_s}} = \boxed{\frac{\operatorname{sen}\frac{q\gamma}{2}}{q \operatorname{sen}\frac{\gamma}{2}}}$$

$E = 2 K_f K_d f \phi Z$

$K_d \leq 1$

$\gamma = \frac{180}{3} = 60°$ $\qquad K_d = \frac{\operatorname{sen}\frac{2 \cdot 60}{2}}{2 \operatorname{sen}\frac{60}{2}} = \frac{\sqrt{3}/2}{1} = 0'866$

$q = 2$

cuando $K_d = 1$ el factor es mas fuerte.

FACTOR DE ACORTAMIENTO $\rightarrow K_p = \frac{E_g}{E_a} = \frac{2E_c \cos\frac{\alpha}{2}}{2E_c} = \cos\frac{\alpha}{2} = \operatorname{sen}\frac{\beta}{2}$

Fuerza electromotriz real de un alternador

$E = 2 K_f \cdot K_d \cdot K_p \; f \phi \cdot Z$ viene dado en voltios.

factor de onda · factor de debanado · factor de acortamiento

$E = 2 K_f \cdot K_d \cdot K_p \cdot f \phi Z \cdot 10^{-8}$ (voltios) $\qquad K = K_f K_d K_p$

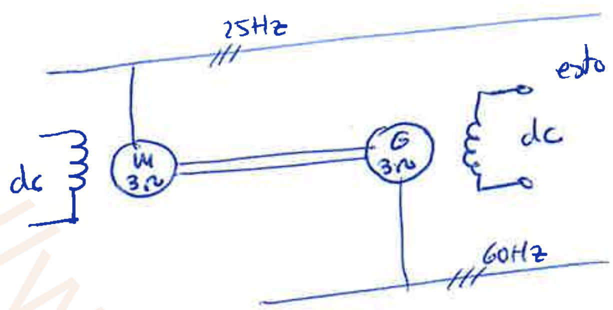
$\boxed{E = 2 K f \phi Z \; (V)}$ $\qquad \boxed{1'9 < K \leq 2'6}$ la K oscila entre 1'9 y 2'6.

29.3. Hallar las tres mayores velocidades a las que podría girar un conjunto motor sincronono-generador para enlazar un sistema de 25c/s con otro de 60c/s.

Solución [300, 150, 100]

— o —

la maquina sincrona siempre gira a velocidad cte.



esto es convertidor electromecanico.

$$N = \frac{60f}{P}$$

motor $\quad N = \dfrac{(60)\cdot(25)}{P_m}$ (pares de polos del motor)

Generador $\quad N = \dfrac{60\cdot 60}{P_g}$ (pares de polos del generador)

por igualación.

$$\frac{60\cdot 25}{P_m} = \frac{60\cdot 60}{P_g} \qquad \frac{P_g}{P_m} = \frac{60}{25}$$

$$P_g = P_m \frac{60}{25} = P_m \frac{12}{5}$$

nº de pares de polos nunca puede ser fraccionario.

para $P_m = 5 \Rightarrow P_g = 12$

para $P_m = 10 \Rightarrow P_g = 24$

para $P_m = 15 \Rightarrow P_g = 36$

Si el motor tiene 5 pares de polo la velocidad de giro es:

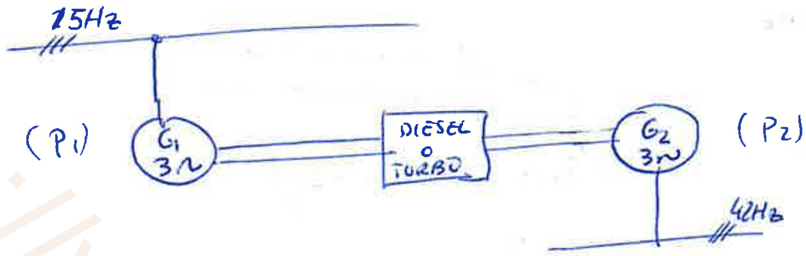
$P_m = 5 \qquad \boxed{N = \dfrac{60\cdot f}{P_m} = \dfrac{60\cdot 25}{5} = 300 \text{ RPM.}}$

$P_m = 10 \qquad \boxed{N = \dfrac{60\cdot 25}{10} = 150 \text{ RPM.}}$

$P_m = 15 \qquad \boxed{N = \dfrac{60\cdot 25}{15} = 100 \text{ RPM.}}$

29.4. Hallar la velocidad maxima y el numero correspondiente de pares de polos de dos alternadores directamente acoplados que necesitan dar frecuencias de a) 15 y 42 c/s b) 42 y 50 c/s.

Solucion. a) 10 y 28; 180 rev por min. b) 42 y 50; 120 rev por min.



$$N = \frac{60 f_1}{P_1} = \frac{60 f_2}{P_2} \qquad \frac{f_1}{P_1} = \frac{f_2}{P_2} \qquad \frac{15}{P_1} = \frac{42}{P_2}$$

$$\frac{42}{15} = \frac{P_2}{P_1} \qquad P_2 = P_1 \frac{42}{15} \quad / \; P_1 = 5 \qquad P_2 = 5 \cdot \frac{42}{15} = 14 \qquad 2P_1 = 10 \text{ polos}$$

$$2P_2 = 28 \text{ polos.}$$

$$N = \frac{60 \cdot f_1}{P_1} = \frac{(60)\cdot(15)}{5} = \underline{180 \text{ r.p.m.}}$$

$$N = \frac{60 \cdot f_2}{P_2} = \frac{60 \cdot 42}{14} = \underline{180 \text{ rpm.}}$$

b) se hace igual que el caso (a)

29.10 Un alternador trifásico de 16 polos tiene un devanado conectado en estrella de 144 ranuras y 10 conductores por ranura. El flujo por polo de es 3 megamaxwells (0'03 Wb), distribución sinusoidal y la velocidad es de 375 rev por min. Hallar la frecuencia y las fuerzas electromotrices de fase y de lmea.

[50 c/s; 1330 V; 2650 V]

— o —

$K_f = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1'11$

$K_p = 1$

• $f = \frac{p \cdot N}{60} = \frac{8 \cdot 375}{60} = 50\,Hz$

• Número de ranuras por fase $K_f = K/3 = 144/3 = 48$ ranuras/fase.

• Numero de ranuras por polo $Q = K/2p = 144/16 = 9$ ran/polo.

• Numero de ranuras por polo y fase. $q = \frac{K}{(3)(2p)} = \frac{144}{48} = 3$ ran/polo y fase.

• Nº de conductores por fase - $Z_f = K_f \cdot 10 = 48 \cdot 10 = 480$ conduct/fase.

• Factor de distribución:

Angulo de fase $\gamma = \frac{\pi}{Q} = \frac{180°}{9} = 20°$ $K_d = \frac{\operatorname{sen} \frac{q\gamma}{2}}{q \operatorname{sen} \frac{\gamma}{2}} = \frac{\operatorname{sen} \frac{3 \cdot 20}{2}}{3 \operatorname{sen} \frac{20}{2}} = 0'96$

• Fe.m. inducida por fase.-

$E_f = 2 K_f \cdot K_d \cdot K_p \, f \cdot \phi_{max} \, Z_f \cdot 10^{-8}$ (V) (cgs)

$E_f = 2 \cdot (1'11)(0'96)(3 \cdot 10^6) \cdot (50)(480)(10^{-8}) = 1534'464$ V $E_f = 1534'464$ V f.e.m. simple.

• Fem. inducida de linea.-

$\boxed{E_l = \sqrt{3}\, E_f = \sqrt{3} \cdot 1534'464 = 2657'770\,V}$

2911 Hallar el número de conductores del inducido en serie, por cada fase, que necesita tener el inducido de un alternador trifásico de 50c/s, 10 polos, con 90 ranuras. El devanado debe conectarse en λ para dar una tensión de línea de 11000V. El flujo por polo es de ~~16~~ mas 16 megalíneas (0'16 Wb). [solución 360]

$\longrightarrow K = K_f K_d K_p . \qquad K_f = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \qquad K_p = 1$

aplicando la expresión: $E_f = 2K \phi f \cdot Z_f$

- nº ranuras por polo: $Q = \frac{K}{2p} = \frac{90}{10} = 9$ ranu./polo.
- nº ranura por polo y fase: $q = \frac{K}{3(2p)} = \frac{90}{3 \cdot 10} = 3$ ran/polo y fase.
- factor de distribución: $\gamma = \frac{\pi}{Q} = \frac{180}{9} = 20°$ $\quad K_d = \frac{\operatorname{sen} \frac{q\gamma}{2}}{q \operatorname{sen} \frac{\gamma}{2}} = \frac{\operatorname{sen} \frac{3 \cdot 20}{2}}{3 \operatorname{sen} \frac{20}{2}} =$

$K_d = 0'96$.

- F.e.m $\quad E_f = \frac{11000}{\sqrt{3}} = 6350'85^V$

sustituyendo

$E_f = 2 K_f K_d K_p f \phi_{max.} Z_f$ (SI)

$$\frac{11000}{\sqrt{3}} = 2 \cdot \left(\frac{\pi}{2\sqrt{2}}\right) \cdot (0'96) \cdot (1) \cdot (50) (0'16) Z_f \qquad \boxed{Z_f = 372 \text{ conductores}}$$

$\qquad\qquad\qquad\qquad || $

$\qquad\qquad\qquad 16 \cdot 10^6 \cdot 10^{-8}$ cgs

29.12. Un alternador trifásico de 10 polos, conectado en λ gira a 600 r.p.m. En el estator tiene 120 ranuras con 8 conductores por ranura, y los conductores de cada fase están conectados en serie. Determinar las fuerzas electromotrices de fase y de línea si el flujo por polo es de 5'6 megalíneas (56 mWb). ¿qué armónicos podrían presentarse debido a las ranuras en las tensiones de fase y de línea?

Solución [1900 V, 3290 V ; 23° y 25°]

— o —

$$f = \frac{p \cdot N}{60} = \frac{5 \cdot 600}{60} = 50\,Hz.$$

- Número ranuras por fase $\quad K_f = \frac{K}{3} = \frac{120}{3} = 40$ ran/fase.
- Número ranuras por polo $\quad Q = \frac{K}{2p} = \frac{120}{10} = 12$ ran/polo.
- " " " " y fase : $\quad q = \frac{K}{3(2p)} = \frac{120}{3 \cdot 10} = 4$ ran/polo y fase.
- Número de conductores por fase $\quad z_f = K_f \cdot 8 = 320$ cond./fase.
- Factor de distribución:

$$\gamma = \frac{\pi}{Q} = \frac{180}{12} = 15° \qquad K_d = \frac{\operatorname{sen} \frac{q\gamma}{2}}{q \operatorname{sen} \frac{\gamma}{2}} = \frac{\operatorname{sen} \frac{4 \cdot 15}{2}}{4 \cdot \operatorname{sen} \frac{15}{2}} = 0'958.$$

siendo $K_f = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1'11$ $\quad K_p =$ factor de acortamiento $= 1$.

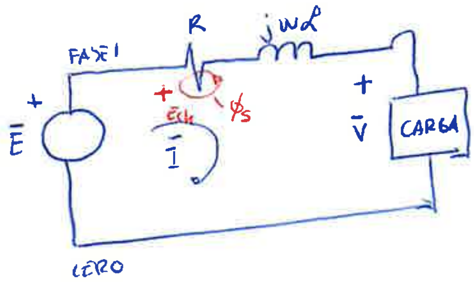
- F.e.m. por fase.

$$E_f = 2 K_f K_p K_d \phi f \cdot Z = 2 \cdot (1'11)(1) \cdot (0'958) \cdot (5'6 \cdot 10^6) \cdot (50) \cdot (320) \cdot 10^{-8} \; \overset{V}{cgs}$$

$E_f = 1905'5^V$ es f.e.m. simple.

- F.e.m. de línea: $\boxed{E_p = \sqrt{3} E_f = 3300'8^V}$

CIRCUITO EQUIVALENTE DE UN ALTERNADOR.



ϕ_s = flujo dispersión armadura.

coef. ciclico de inducción.

$\mathcal{L} = L + \lambda$

$\bar{E} = \bar{V} + R\bar{I} + jw\mathcal{L}\bar{I}$

$\bar{E} = \bar{V} + \bar{I}\,[R + jw\mathcal{L}]$ $\quad \bar{E} = \bar{V} + \bar{Z}\,\bar{I}$

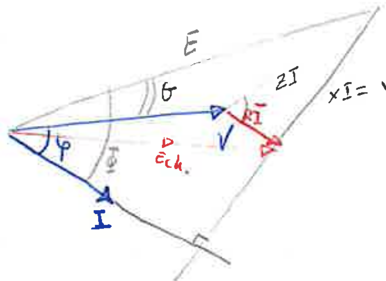
$Z = R + jw\mathcal{L}$ impedancia sincrona

R = reactancia sincrona.

$jw\mathcal{L}$ = inductancia sincrona.

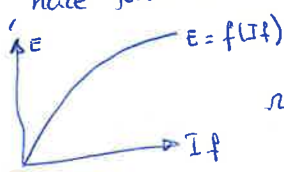
$e_{ch} = v + Ri$ $\quad \bar{E}_{ch} = \bar{V} + R\bar{I}$

diagrama.



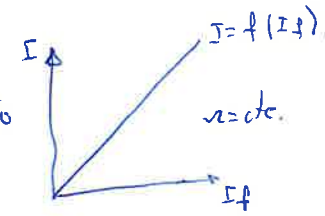
para determinar la reactancia o la impedancia sincrona, hace falta dos ensayos:

a) ensayo en vacio.



n = cte

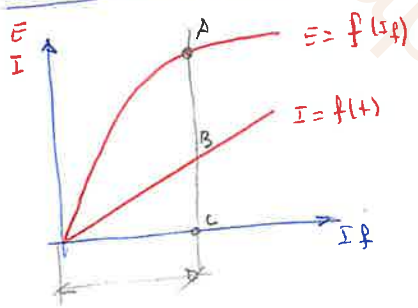
b) ensayo en corto



n = cte.

$E_{cc} = I \cdot Z$

GRAFICA DEL ENSAYO EN CORTO Y EN VACIO.



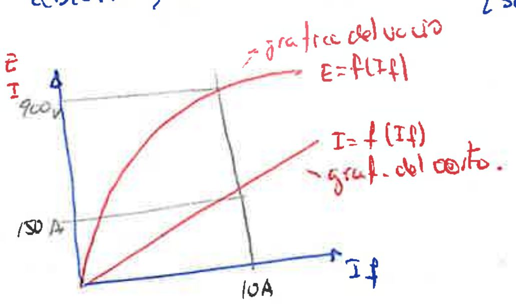
impedancia sincrona.

$$Z = \frac{E_{cc}}{I} = \sqrt{R^2 + (w\mathcal{L})^2} = \frac{AC}{BC}$$

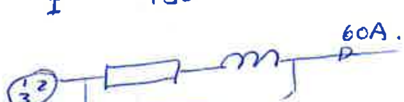
$w\mathcal{L}$ sabiendo R y E_{cc} se puede calcular la reactancia sincrona.

PROBLEMA. 29.33. Si una corriente ~~efectiva~~ de campo de 10A produce en cierto alternador una corriente de 150A en cortocircuito, y una tensión terminal de 900V en circuito abierto, hallar la caída de tensión interna con una corriente ~~resistencia~~ de carga de 60A.

[solución 360V]



$$Z = \frac{E_{cc}}{I} = \frac{900}{150} = 6\,\Omega$$ $\boxed{Z = 6\,\Omega}$ impedancia sincrona.



$\sqrt{R^2 + (w\mathcal{L})^2} = 6$

$$\boxed{V = I\sqrt{R^2 + (w\mathcal{L})^2} = 60 \cdot 6 = 360\,V}$$

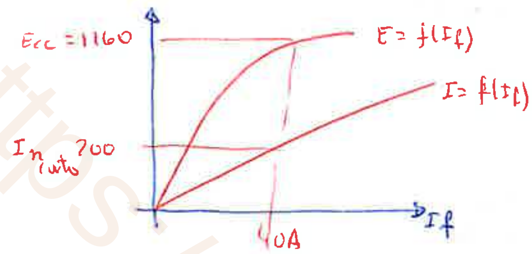
10 A = If

150 A = I (Reg. corto)

900 V = E (Reg. vacio)

60 A = I (Reg. nominal).

29.32. La resistencia efectiva de un alternador monofásico de 2200V, 50 c/s, 440KVA, es de 0'5Ω. En cortocircuito una corriente de campo de 40A produce la corriente a plena carga de 200 A. La fuerza electromotriz en circuito abierto con la misma excitación de campo es de 1160V. Calcular la impedancia y la reactancia síncronas. [solución 5'80Ω, 5'77Ω]



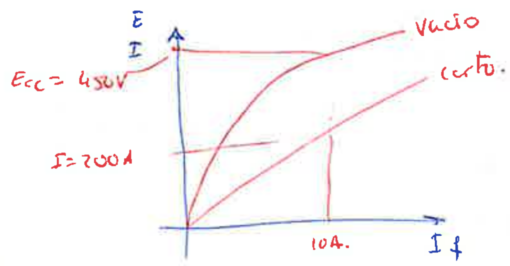
$$\boxed{Z = \frac{E}{I_{n\,corto}} = \frac{116\cancel{0}}{20\cancel{0}} = \boxed{5'8\,\Omega}}$$ impedancia síncrona.

$$\boxed{w\mathcal{L} = X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{5'8^2 - 0'5^2} = \boxed{5'78\,\Omega}}$$ reactancia síncrona.

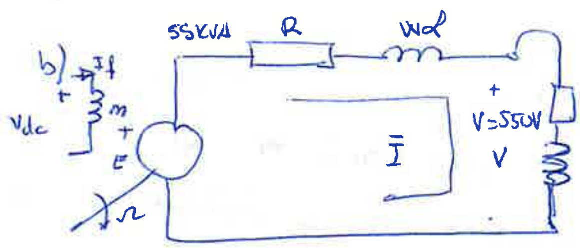
29.34. Un alternador monofásico de 550V, 55KVA, tiene una resistencia efectiva de 0'2Ω. Una corriente de 10A produce una corriente en el inducido de 200A, en cortocircuito, y una fuerza electromotriz de 450V en circuito abierto. Calcular a) la impedancia y reactancia síncronas y b) la regulación a plena carga con factor de potencia de 0'8 en retardo.
solución [a) 2'25Ω, 2'24Ω, b) 31%]

a) $\boxed{Z = \frac{E_{cc}}{I} = \frac{450}{200} = \boxed{2'25\,\Omega}}$ impedancia síncrona.

$\boxed{X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{2'25^2 - 0'2^2} = \boxed{2'24\,\Omega}}$ reactancia síncrona.



$\bar{E} = \bar{V} + \bar{Z}\cdot\bar{I}$ $\qquad I = \frac{S}{V} = \frac{55\cdot 10^3}{550V} = 100A.$



$\bar{E} = 550\,\angle 0^\circ + \bar{I}\cdot 2'25\,\angle \varphi_{cc} = 550\,\angle 0^\circ + 2'25\,\angle \varphi_{cc} = 84'90 \cdot 100\,\angle -36'87 = 550\,\angle 0^\circ + 225\,\angle 48'03$

$\varphi_{cc} = \cos^{-1}\frac{R}{Z} = \frac{0'2}{2'25} = 0'09 \qquad \varphi_{cc} = 84'90.$

$\bar{E} = 700'47 + j\,167'29 = 720'17\,\angle 73'43^\circ\ V$

$$\boxed{Reg\,\% = \frac{E - V}{V}\cdot 100\,\%} = \frac{720'17 - 550}{550}\cdot 100 = \boxed{30'94\,\%}$$

el coef. de regulación es muy elevado.