[1]

ELECTRÓNICA DE POTENCIA (66.27) – Primer parcial / 1ª op. / año 1999.

Alumno :
Padrón :
Fecha :
Cant. de hojas :

Problema único

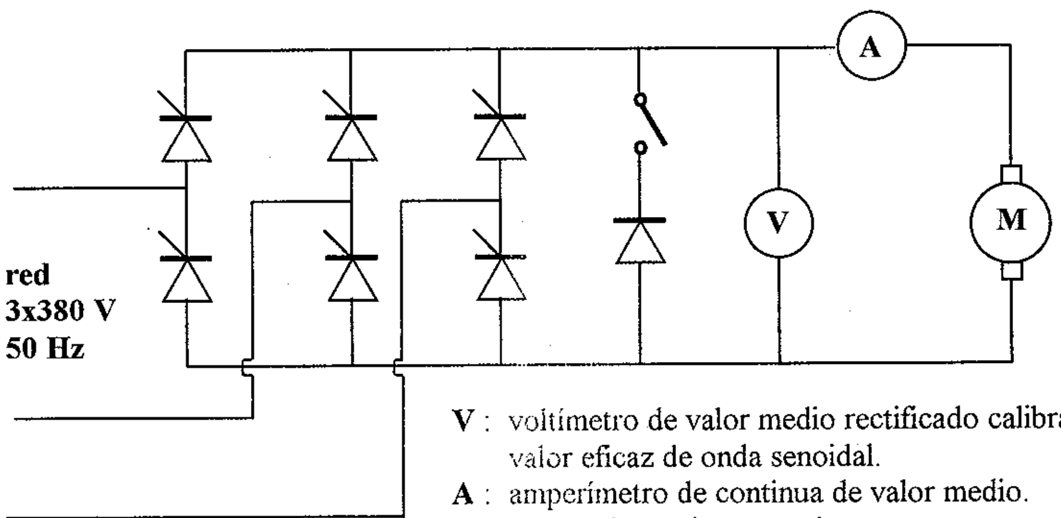
Un motor de corriente continua de 850 V, 150 A (de 150 CV) es conectado al rectificador trifásico, como se indica en la figura, para ser ensayado.

1) Con el diodo de rueda libre conectado, se hace el ensayo de rotor bloqueado y se encuentra como tensión leída en el voltímetro $V_{leido} = 50$ V para corriente nominal en el motor (150 A).
a) Hallar la resistencia serie. [0,5]
b) Calcular el factor de forma de la corriente por el diodo de rueda libre. [1]

2) Con el diodo de rueda libre desconectado, se hace un ensayo en vacío y mediante un osciloscopio con punta de corriente, se halla conducción crítica cuando la tensión leída es 138 V, siendo la corriente media en el motor 56 A.
a) Hallar la inductancia serie. [2]
b) Calcular las pérdidas mecánicas (fricción y ventilación) en esas condiciones. [1]

3) Con el diodo de rueda libre conectado y una tensión leída de 500 V, con una corriente media en el motor de 100 A:
a) Calcular el factor de potencia a la entrada. [1]
b) Estimar la ondulación de la corriente. [2,5]

4) Con el diodo de rueda libre conectado, calcular el ángulo natural de disparo para que durante el arranque la corriente no exceda de 2 veces la corriente nominal. [2]



V : voltímetro de valor medio rectificado calibrado en valor eficaz de onda senoidal.
A : amperímetro de continua de valor medio.
M : motor de corriente continua.

21

Electrónica de Potencia (66.27) - 1er parcial

1ª op. / año 1999

1

Solución

1) A rotor bloqueado $E_g = 0$ y habiendo diodo de rueda libre la conducción (con carga R-L) debe ser continua.

$$V_{o_{med}} = \frac{V_{leido}}{ff]_{sen}} = \frac{50}{1{,}111} V = 45 V \qquad ff]_{sen} = 1{,}111$$

a) $R_S = \frac{V_{o_{med}}}{I_{o_{med}}} = 0{,}3\ \Omega$

b) Para $V_{o_{med}} = 45V$ del gráfico de $V_{o_{med}}$ se verifica $\alpha > \pi/3$, por lo tanto rige la ecuación: $V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \left[1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right)\right]$

siendo, $V_m = \sqrt{2}\, V_{e_{ef}} = \sqrt{2} . 220V$

En consecuencia, se despeja: $\alpha = 95{,}86°$

El intervalo de rueda libre es $\alpha - \frac{\pi}{3}$ y el período de la tensión de salida (y también de la corriente en el diodo de rueda libre) es $\pi/3$. Por lo tanto: $I_{DL_{ef}}^2 = \frac{3}{\pi}\left(\alpha - \frac{\pi}{3}\right) I_o^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow I_{DL_{ef}} = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi/3} - 1}\ I_o$ y en forma similar se obtiene: $I_{DL\,med} = \left(\frac{\alpha}{\pi/3} - 1\right) I_o$, con lo cual resulta: $ff_{I_{DL}} = \frac{I_{DL\,ef}}{I_{DL\,med}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\alpha}{\pi/3} - 1}} = 1{,}2935 \cong 1{,}3$

a) $V_{o_{med}} = \frac{V_{eficaz}}{ff\rfloor_{sen}} = \frac{138}{1,111} V = 124,2 \ V$

$V_{o_{med}} = E_g + I_{o_{med}} R_s \Rightarrow E_g = 124,2V - 56A \cdot 0,3\Omega$
$\Rightarrow E_g = 107,4 \ V$ con lo cual el factor de tensión resulta: $a = \frac{E_g}{\sqrt{2}\sqrt{3} V_{ef}} = \frac{107,4}{\sqrt{6} \cdot 220} = 0,2$

Al tener conducción crítica es válida la ecuación para conducción continua:

$V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos \alpha_n \Rightarrow \alpha_n = 76°$

Ese valor es el ángulo natural de disparo. El valor absoluto del ángulo de disparo para el puente es: $\alpha_i = \alpha_n + \frac{\pi}{3} = 136°$ y el ángulo absoluto de extinción para el puente en conducción crítica es: $\alpha_{e_{abs}} = \alpha_{i_{abs}} + \frac{\pi}{3}$
$\Rightarrow \alpha_{e_{abs}} = 196°$

De las curvas de Puchlowsky para $a = 0,2$ $\alpha_i = 136°$ y $\alpha_e = 196°$ se obtiene $\cos\varphi = 0,2$
$\Rightarrow tg\,\varphi = 4,9 \Rightarrow \omega L_s = 4,9 R_s \Rightarrow L_s = 4,68 \ mH$

b) Las pérdidas mecánicas son:

$P_{mec} = I_{o_{med}} \cdot E_g = 56 \ A \cdot 107,4 \ V = 6014 \ W$

3) Resulta: $V_{o_{med}} = 500\,V/1,111 = 450\,V$

Del gráfico de $V_{o_{med}}$ puede verificarse que para esa tensión $\alpha < \pi/3$, por lo tanto no hay conducción de rueda libre y la ecuación válida es: $V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos\alpha$

de donde se despeja: $\alpha = 29^\circ$

a) Suponiendo corriente suficientemente alisada, puede estimarse:

$P \cong P_{dc} = V_{o_{med}} \cdot I_{o_{med}} = 450\,V \cdot 100\,A = 45000\,W$

Al no existir conducción de rueda libre:

$I_{L_{ef}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I_o = 81,65\,A \Rightarrow S = 3 V_{ef}\, I_{L_{ef}} = 53889\,VA$

$\Rightarrow FP = \frac{P}{S} = 0,835 \cong 0,83$

b) Aplicando el método del primer armónico para el puente totalmente controlado (pues no hay conducción de rueda libre y valen las expresiones deducidas para el puente sin diodo de rueda libre) se obtiene:

$$V_{o1_{ef}} = \frac{2}{\pi} \frac{3\sqrt{6}}{35} V_{e_{ef}} \cos\alpha \sqrt{1 + 36\, tg^2\alpha} = 89,3\,V$$

La impedancia (a 6ω) resulta:

$$Z_s = \sqrt{R_s^2 + (6\omega L_s)^2} = 8,827\,\Omega$$

$$\Rightarrow I_{o1_{ef}} = V_{o1_{ef}} / Z_s = 10{,}12\ A$$

La ondulación resulta del 10% de la corriente media de salida, lo que justifica la aproximación hecha para estimar el factor de potencia (punto 3−a).

Observación

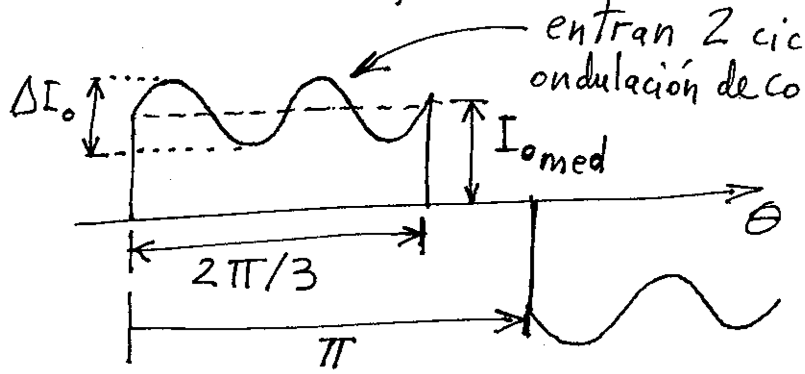
Una mejor aproximación en base al método del primer armónico es considerar:

$$I_{o_{ef}} = \sqrt{I_{o_{med}}^2 + I_{o1_{ef}}^2} = 100{,}511\ A$$

$$E_g = V_{o_{med}} - I_{o_{med}} \cdot R_s = 420\ V$$

$$\therefore\ P = E_g \cdot I_{o_{med}} + I_{o_{ef}}^2\, R_s = 45030{,}74\ W$$

La corriente de entrada en la línea tendrá superpuesta la ondulación de corriente de salida de frecuencia 6ω. En el tiempo de conducción $2\pi/3$ entran dos ciclos completos de ondulación de salida (con una fase que se desconoce pero que no influye al integrar).



corriente de línea

$$i_{o1}(\theta) = \sqrt{2}\, I_{o1_{ef}}\ \text{sen}\, 6\theta$$

siendo: $\theta = \omega t$

$$\omega = 2\pi f_{red}$$

Integrando para obtener la corriente eficaz de línea:

$$I_{L_{ef}}^2 = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi/3} \left[I_{o_{med}} + i_{o_1(\theta)}\right]^2 d\theta =$$

$$= \frac{2}{3} I_{o_{med}}^2 + \frac{2 I_{o_{med}}}{\pi}\int_0^{2\pi/3} i_{o_1}(\theta)\, d\theta + \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi/3} i_{o_1(\theta)}^2\, d\theta =$$

$$= \frac{2}{3}\left(I_{o_{med}}^2 + I_{o1_{ef}}^2\right) \Rightarrow I_{L_{ef}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{I_{o_{med}}^2 + I_{o1_{ef}}^2}$$

Por lo tanto: $I_{L_{ef}} = 82{,}067\ A \cong 82\ A$

Con lo cual: $S = 3 V_{ef} I_{L_{ef}} = 54164{,}146\ VA$

$$\therefore\ FP = \frac{P}{S} = \frac{45030{,}74}{54164{,}15} = 0{,}8314 \cong 0{,}83$$

Como se ve, la primera aproximación hecha no era mala.

4) Durante el arranque $E_g = 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow I_{o_{med}}\Big|_{arr} = \frac{V_{o_{med}}\Big|_{arr}}{R_S} \Rightarrow V_{o_{med}}\Big|_{arr} = R_S \cdot I_{o_{med}}\Big|_{arr}$$

$$\Rightarrow V_{o_{med}}\Big|_{arr} = 300A \cdot 0{,}3\Omega = 90V$$

Con esta tensión de gráficas se concluye que $\alpha > \pi/3$, por lo tanto la ecuación válida es: $V_{o_{med}}\Big|_{arr} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \left[1 + \cos\left(\alpha_{arr} + \frac{\pi}{3}\right)\right]$

de donde se despeja: $\alpha_{arr} = 85{,}6°$

ELECTRÓNICA DE POTENCIA (66.27) – Primer parcial / 2ª op. / año 1999 .

Alumno :
Fecha :

Padrón :
Cant. de hojas :

Problema único

Dos motores de corriente continua de imán permanente se excitan coordinadamente utilizando el esquema de la figura.

Suponiendo las corrientes que circulan por los motores idealmente alisadas y despreciando las pérdidas de Joule, calcular :

1) El valor de la tensión media en ambos motores. [1]

2) La potencia activa en cada motor. [2]

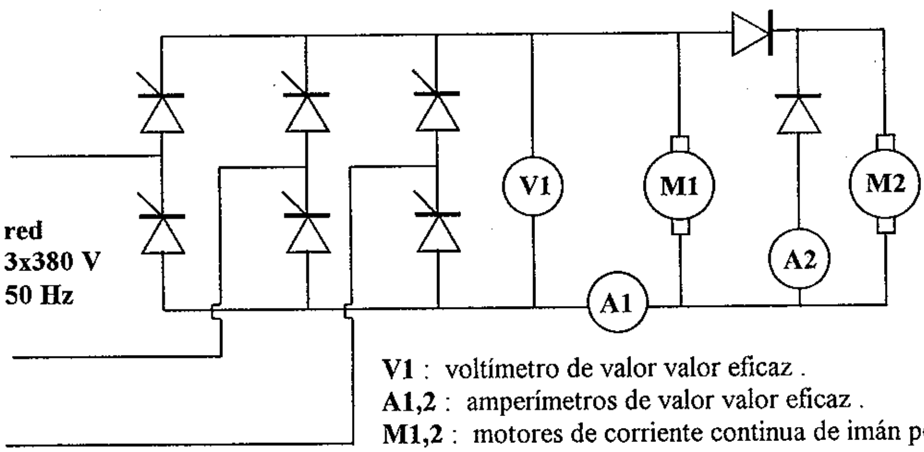
3) El factor de forma de la corriente de línea. [2]

4) El factor de potencia visto desde la red. [3]

Suponiendo ahora, una caída directa en los tiristores $v_{Th\,on} = 1{,}5$ V :

5) Calcular la potencia disipada en cada tiristor.[2]

NOTA : Considerar solamente el caso en que ambas máquinas actúan como motores.



V1 : voltímetro de valor valor eficaz .
A1,2 : amperímetros de valor valor eficaz .
M1,2 : motores de corriente continua de imán permanente.

V1 = 203 V(rms) ; A1 = 115 A(rms) ; A2 = 40 A(rms)

Solución ①

1) En la máquina 1, al no existir conducción de rueda libre:

$$V_{M1_{med}} = V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} V_{e_{ef}} \cos\alpha \qquad (1)$$

y en el voltímetro se lee:

$$V_{o_{ef}} = \sqrt{6}\, V_{e_{ef}} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}\cos 2\alpha} \qquad (2)$$

En el 2º motor, habiendo conducción de rueda libre:

$$V_{M2_{med}} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} V_{e_{ef}} \left[1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right)\right] \qquad (3)$$

De la ec. 2 se despeja: $\alpha = 75°$

Con lo cual: $V_{M1_{med}} = 133{,}2\ V$

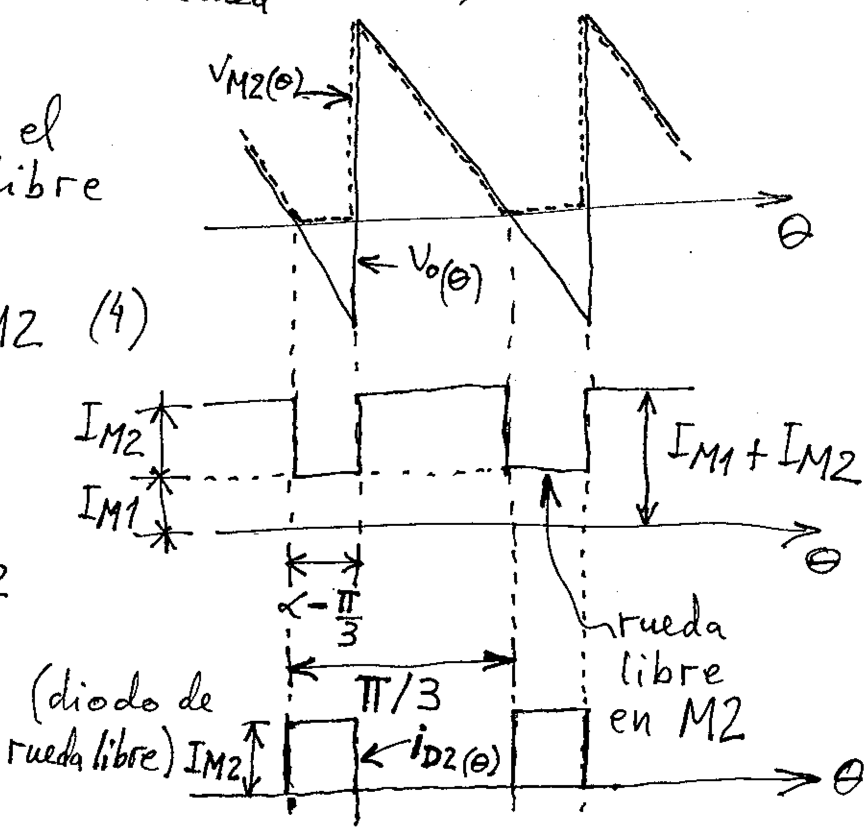
$V_{M2_{med}} = 150{,}7\ V$

2)
La corriente por el diodo de rueda libre es:

$$I_{D_{ef}} = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi/3} - 1}\; I_{M2} \qquad (4)$$

y la corriente media:

$$I_{D_{med}} = \left(\frac{\alpha}{\pi/3} - 1\right) I_{M2}$$



De la ec. 4 : $I_{M2} = \dfrac{I_{Def}}{\sqrt{\frac{\alpha}{\pi/3}-1}} = 80\,A$

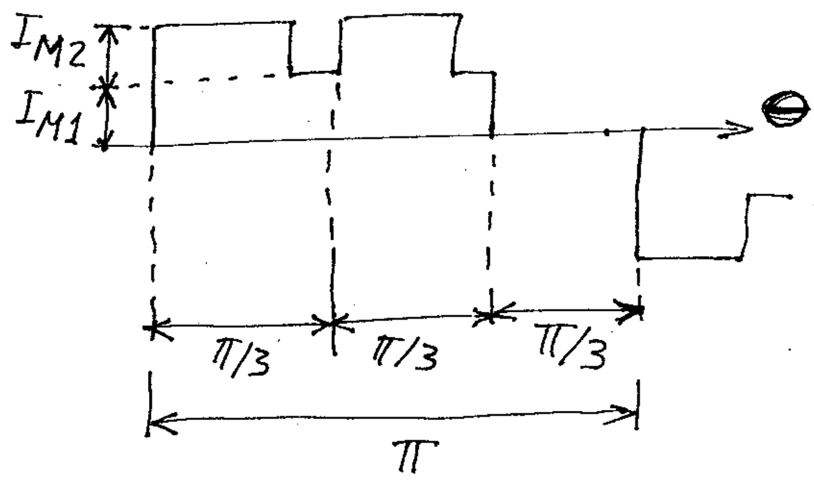
La corriente eficaz de salida del puente será:

$$I_{o_{ef}}^2 = \frac{3}{\pi}\left\{ I_{M1}^2\left(\alpha-\frac{\pi}{3}\right) + (I_{M1}+I_{M2})^2\left(\frac{2\pi}{3}-\alpha\right)\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_{o_{ef}}^2 = I_{M1}^2\left(\frac{\alpha}{\pi/3}-1\right) + (I_{M1}+I_{M2})^2\left(2-\frac{\alpha}{\pi/3}\right) \quad (5)$$

La forma de onda de la corriente de línea es:

de donde se despeja el valor de la corriente eficaz de línea como:



$$I_{L_{ef}}^2 = \frac{1}{\pi}\left\{2\left[I_{M1}^2\left(\alpha-\frac{\pi}{3}\right) + (I_{M1}+I_{M2})^2\left(\frac{2\pi}{3}-\alpha\right)\right]\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I_{L_{ef}}^2 = \frac{2}{3}\left[I_{M1}^2\left(\frac{\alpha}{\pi/3}-1\right) + (I_{M1}+I_{M2})^2\left(2-\frac{\alpha}{\pi/3}\right)\right] = \frac{2}{3} I_{o_{ef}}^2$$

$$\Rightarrow I_{L_{ef}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I_{o_{ef}} \quad (6)$$

$I_{L_{ef}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\,115\,A = 93{,}9\,A$

Para obtener I_{M1} de la ec. 5 se despeja:

$$I_{M1}^2 + 2\left(2-\frac{\alpha}{\pi/3}\right) I_{M2} I_{M1} + \left(2-\frac{\alpha}{\pi/3}\right) I_{M2}^2 - I_{o_{ef}}^2 = 0 \quad (7)$$

Ec. de 2º grado, en la que se tiene conocido α, $I_{o_{ef}}$, I_{M2}. Por lo tanto:

$$I_{M1} = -\left(2-\frac{\alpha}{\pi/3}\right) I_{M2} \pm \sqrt{\left(2-\frac{\alpha}{\pi/3}\right)^2 I_{M2}^2 - \left(2-\frac{\alpha}{\pi/3}\right) I_{M2}^2 + I_{o_{ef}}^2}$$

Como I_{M1} debe ser mayor que cero pues actua M1 como motor, se adopta el signo +. Con lo cual resulta:

$$I_{M1} = \left(2-\frac{\alpha}{\pi/3}\right)\left[\sqrt{1-\frac{1}{\left(2-\frac{\alpha}{\pi/3}\right)} + \left(\frac{I_{o_{ef}}/I_{M2}}{2-\frac{\alpha}{\pi/3}}\right)^2} - 1\right] I_{M2}$$

sustituyendo: $I_{M1} = 49,66\ A$

Estando las corrientes totalmente alisadas:

$$P_{M1} = V_{M1_{med}} \cdot I_{M1} \cong 6615\ W$$

$$P_{M2} = V_{M2_{med}} \cdot I_{M2} \cong 12056\ W$$

3) De manera similar a lo hecho para obtener la corriente eficaz de línea, se tiene:

$$I_{L_{med}} = \frac{2}{3} I_{o_{med}}$$

Por lo tanto: $ff_{I_L} = \dfrac{I_{L_{ef}}}{I_{L_{med}}} = \sqrt{\dfrac{3}{2}}\ \dfrac{I_{o_{ef}}}{I_{o_{med}}}$

siendo:

$$I_{o_{med}} = I_{M1}\left(\frac{\alpha}{\pi/3} - 1\right) + (I_{M1}+I_{M2})\left(2-\frac{\alpha}{\pi/3}\right) \Longrightarrow$$

$$\Rightarrow I_{o_{med}} = I_{M1} + \left(2 - \frac{\alpha}{\pi/3}\right) I_{M2} = 109{,}66\ A$$

Por lo tanto: $$ff_{I_L} = \sqrt{\frac{3}{2}}\ \frac{115}{109{,}66} = 1{,}2844$$

4) La potencia activa es:

$$P = P_{M1} + P_{M2} = 18671\ W$$

La potencia aparente:

$$S = 3\ V_{e_{ef}} \cdot I_{L_{ef}} = 3 . 220 . \sqrt{\frac{2}{3}} . 115\ .\ VA =$$

$$= 61972\ VA$$

$FP = P/S \Rightarrow$

$\Rightarrow FP = 0{,}3$

5) La corriente media por cada tiristor es:

$$I_{Th_{med}} = \frac{I_{o_{med}}}{3} = 36{,}55\ A$$

por lo tanto:

$$P_{Th} = V_{Th_{ON}} \cdot I_{Th_{med}} = 54{,}8\ W$$

Carpeta 172

12

ELECTRÓNICA DE POTENCIA (66.27) – Primer parcial / 1ª op. / año 2000.

Alumno : Padrón :
Fecha : Cant. de hojas :

Problema único

Un motor de corriente continua de imán permanente es conectado al rectificador trifásico, como se indica en la figura.

1) Con el diodo de rueda libre conectado (cerrando S_L), se miden las potencias en el watímetro con la llave S_W en las posiciones 1 y 2, obteniéndose las lecturas W1 y W2, tales que su suma aritmética vale 965 W. ¿Qué representa la cantidad W1+W2 ? Justificar. [0,5]

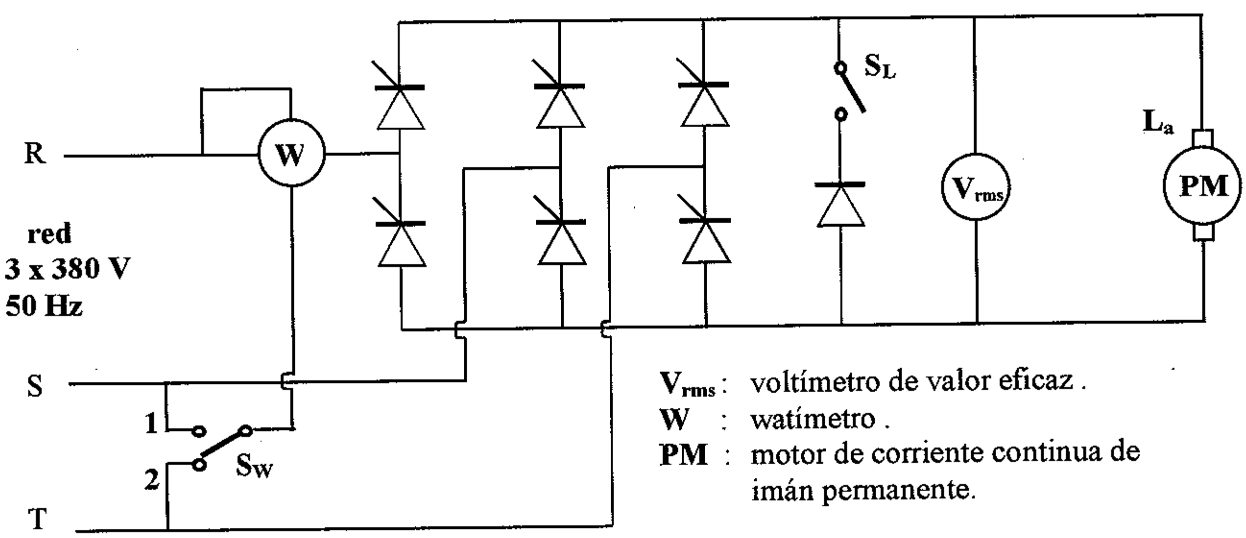
2) Con el diodo de rueda libre conectado, calcular la corriente media en el motor. [2,5]

3) Graficar las formas de onda de la tensión sobre el motor y de la corriente en el diodo de rueda libre. [2]

4) Con el diodo de rueda libre desconectado (S_L abierta), calcular el nuevo ángulo natural de disparo requerido para que el motor conserve su velocidad. [4]

5) En las condiciones de operación del punto 4 (con S_L abierta) : ¿Cómo será el factor de potencia resultante, respecto del correspondiente a la operación con diodo de rueda libre (punto 1) ? Dar una respuesta cualitativa. Justificar. [1]

DATOS : **W1 + W2 = 965 W** **V_{rms} = 112 V** (rms)
$L_a \to \infty$ (inductancia de armadura muy grande)
Suponer componentes semiconductores ideales.



V_{rms} : voltímetro de valor eficaz.
W : watímetro.
PM : motor de corriente continua de imán permanente.

SOLUCIÓN

1) $$W_1 + W_2 = \frac{1}{T}\int_0^T i_R\, u_{RS}\, dt + \frac{1}{T}\int_0^T i_R\, u_{RT}\, dt$$

Sustituyendo: $u_{RS} = V_R - V_S$ y $u_{RT} = V_R - V_T$

se obtiene:

$$W_1 + W_2 = 2\,\frac{1}{T}\int_0^T i_R\, V_R\, dt - \frac{1}{T}\int_0^T i_R\,(V_S + V_T)\, dt$$

siendo: $V_R + V_S + V_T = 0 \Rightarrow W_1 + W_2 = 3\,\frac{1}{T}\int_0^T i_R V_R\, dt$

Por lo tanto: $W_1 + W_2 = 3\,P_R = P$

2) La tensión con el diodo de rueda libre conectado tiene la misma forma de onda que con carga resistiva. Por lo tanto valen las mismas ecuaciones.

Para $\alpha = \pi/3 \Rightarrow V_{o_{ef}} = 203\ V \therefore \alpha > \pi/3$

En consecuencia:

$$V_{o_{ef}} = \sqrt{3}\, V_m \sqrt{1 - \frac{3}{2\pi}\alpha + \frac{3}{4\pi}\cos\left(2\alpha + \frac{\pi}{6}\right)} = 112\ V$$

de donde se despeja: $\alpha = \pi/2$

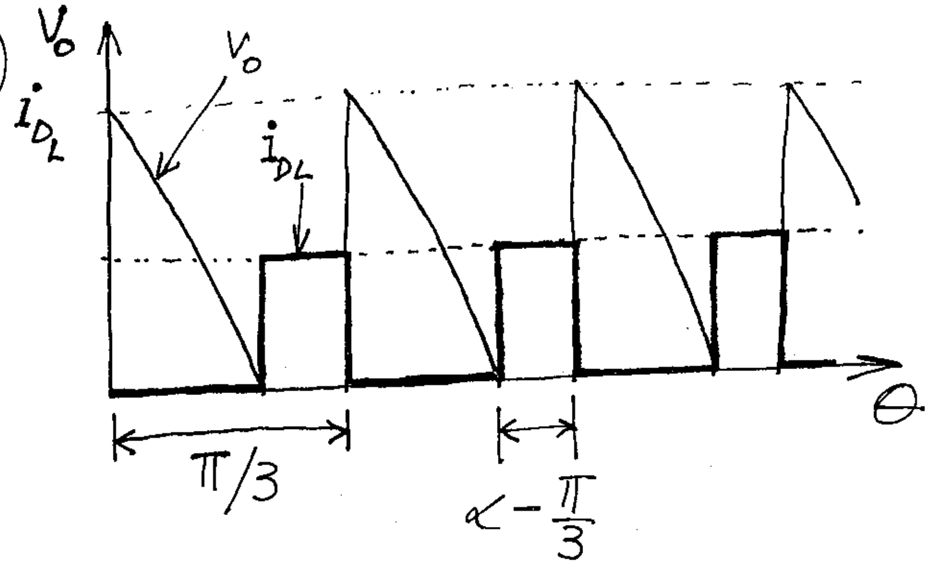
El valor medio de la tensión sobre el motor resulta:

$$V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \left[1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right)\right] \cong 69\ V$$

La potencia en el motor es: $P = 965\,W = V_{o_{med}} \cdot I_o$

$\therefore\quad I_o = 965\,W / V_{o_{med}} = 14\,A$

3)



$\alpha > \pi/3$

4) Con S_L abierta no hay conducción de rueda libre y es: $V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos\alpha = 68{,}943\,V \Rightarrow$

$\Rightarrow \alpha = 82{,}3^{\circ}$

5) La potencia activa es la misma en ambos casos, pero en el 1^{er} caso la corriente de rueda libre no circula por la línea, reduciendo así la potencia aparente. En consecuencia, el factor de potencia mejora al tener diodo de rueda libre.

Llamando, FP_1 : factor de potencia **sin diodo de** rueda libre

FP_2 : factor de potencia **con diodo de** rueda libre.

se obtiene:

$$\frac{FP_1}{FP_2} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{\left.I_{L_{ef}}\right]_2}{\left.I_{L_{ef}}\right]_1} = \frac{\sqrt{2}\, I_o \sqrt{\frac{2}{3} - \frac{\alpha}{\pi}}}{\sqrt{\frac{2}{3}}\, I_o} = 0{,}707$$

(siendo $\alpha = \pi/2$ cuando hay rueda libre)

ELECTRÓNICA DE POTENCIA (66.27) – Primer parcial / 3ª op. / año 2001.

Alumno :
Fecha :

Padrón :
Cant. de hojas :

Problema único

Con los datos suministrados para el puente rectificador de la figura, que opera con ángulo de disparo constante, se debe calcular:

1) El ángulo natural de disparo.

2) El factor de potencia a la entrada con el diodo de rueda libre conectado (S_L cerrada).

3) La potencia deformante (o de distorsión) a la entrada, con S_L cerrada.

4) La indicación del watímetro, estando S_L cerrada.

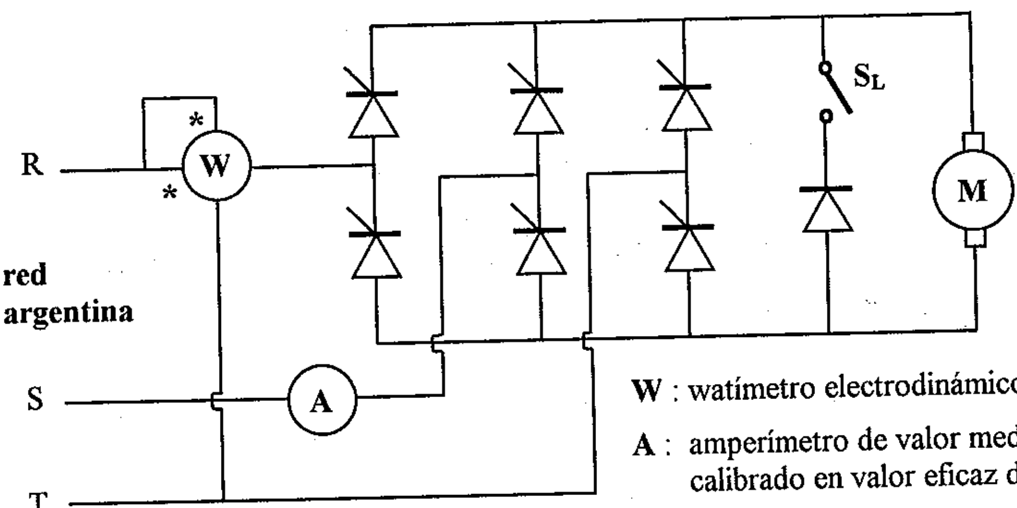
DATOS :

a) Con S_L abierta el watímetro indica $W = 3361$ W , y el amperímetro $A_1 = 11{,}85$ A

b) Con S_L cerrada el amperímetro indica $A_2 = 10$ A

NOTAS :

Considerar los componentes semiconductores como ideales. Despreciar la resistencia de armadura del motor. Suponer muy grande la inductancia de armadura (o sea, tendiente a infinito). Asumir que la red es perfectamente simétrica.



W : watímetro electrodinámico

A : amperímetro de valor medio rectificado, calibrado en valor eficaz de onda senoidal.

M : motor de corriente continua de imán permanente.

Solución :

1) Con S_L abierta se tiene un puente totalmente controlado sin diodo de rueda libre y carga totalmente alisada (pues $L_a \to \infty$).
El hecho de que al cerrar S_L, la corriente de entrada varíe, indica que hay conducción de rueda libre. Por lo tanto, será $\alpha \geq \pi/3$.
La tensión media de salida con S_L abierta es:
$V_{o_{med}}\rfloor_1 = U_{do} \cos\alpha$; donde: $U_{do} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m = 514{,}6\ V$
El valor medio rectificado de la corriente de línea es: $I_{L_{med}}\rfloor_1 = \frac{A1}{f_{f_{sen}}} = \frac{11{,}85}{1{,}1107} A = 10{,}67\ A$

Por otra parte:
$$I_{L_{med}}\rfloor_1 = \frac{2}{3} I_{o_1} \Rightarrow I_{o_1} = \frac{3}{2} I_{L_{med}}\rfloor_1 = 16\ A$$
La potencia activa resulta:
$$P_1 = V_{o_{med}}\rfloor_1 \cdot I_{o_1} = (8233{,}6 \cdot \cos\alpha)\ W$$
y la potencia reactiva de entrada:
$Q_1 = P_1 \cdot tg\ \varphi_1$ siendo: $\varphi_1 = \alpha$ (para un puente totalmente controlado con carga totalmente inductiva). O sea:
$$Q_1 = P_1 \cdot tg\ \alpha = (8233{,}6 \cdot sen\alpha)\ VAR$$

El watímetro se encuentra conectado como W_A en el método de Aaron. Es decir que deberá satisfacerse:

$$\left.\begin{aligned} P_1 &= W_A + W_B \\ \frac{Q_1}{\sqrt{3}} &= W_A - W_B \end{aligned}\right\}$$ donde $W_A = 3361\ W$ es la indicación del watímetro con la llave S_L abierta.

Por lo tanto, sumando m.a.m., resulta:

$$2W_A = P_1 + \frac{Q_1}{\sqrt{3}} \Rightarrow 6722 = 8233{,}6 \cos\alpha + 4753{,}67 \operatorname{sen}\alpha$$

dividiendo m.a.m. por $\sqrt{(8233{,}6)^2 + (4753{,}67)^2}$ se obtiene:

$$0{,}7070325 = 0{,}8660254 . \cos\alpha + 0{,}5 . \operatorname{sen}\alpha$$

que puede expresarse como:

$$0{,}7070325 = \operatorname{sen}\beta . \cos\alpha + \cos\beta . \operatorname{sen}\alpha = \operatorname{sen}(\alpha+\beta)$$

Siendo: $\operatorname{tg}\beta = \dfrac{\operatorname{sen}\beta}{\cos\beta} = \dfrac{0{,}8660254}{0{,}5} = 1{,}7320508$

de donde, $\beta = \pi/3$

En consecuencia: $\operatorname{sen}(\alpha+\beta) = \operatorname{sen}\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right) = 0{,}7070325$

Por lo tanto: $\alpha + \dfrac{\pi}{3} = \begin{cases} 45° & \text{(solución \#1)} \\ 135° & \text{(solución \#2)} \end{cases}$

La solución #1 se descarta pues se sabe que hay conducción de rueda libre y en tal caso debe ser $\alpha \geq \pi/3$. Por lo tanto:

$$\alpha + \frac{\pi}{3} = 135° \Rightarrow \alpha = 75°$$

(Además se sabía que $\alpha < \pi/2$ pues la potencia activa era positiva).

2) Con S_L cerrada, la tensión media de salida debe estar dada por la ecuación correspondiente al puente totalmente controlado con carga resistiva y conducción discontinua, pues las formas de onda de tensión de salida son las mismas. O sea:

$$V_{o_{med}}\Big]_2 = U_{do}\left[1 + \cos\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right)\right] = 150{,}7\ V$$

El valor medio rectificado de la corriente de línea está dado por:

$$I_{L_{med}}\Big]_2 = \frac{2}{3}\left(2 - \frac{\alpha}{\pi/3}\right) I_{o2}$$

y según el amperímetro: $I_{L_{med}}\Big]_2 = \frac{A2}{f_{f\,sen}} = 9\ A$

Por lo tanto:

$$I_{o_2} = \frac{I_{L_{med}}\Big]_2}{\frac{2}{3}\left(2 - \frac{\alpha}{\pi/3}\right)} = 18\ A$$

, con lo que la potencia activa resulta: $P_2 = V_{o_{med}}\Big]_2 \cdot I_{o2} \Rightarrow$

$P_2 = 2713\ W$

El valor eficaz de la corriente de línea es:

$$I_{Lef}\Big]_2 = \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{2 - \frac{\alpha}{\pi/3}}\ I_{o_2} = 12,73\ A$$

Por lo tanto, la potencia aparente es:

$$S_2 = 3\ V_{e_{ef}} \cdot I_{Lef}\Big]_2 = 8400,43\ VA$$

y el factor de potencia resulta:

$$FP\Big]_2 = \frac{P_2}{S_2} = 0,323$$

3) El desfasaje de la componente fundamental de la corriente de línea respecto de la tensión de fase, en caso de tener conducción de rueda libre, es: $\varphi_2 = \frac{1}{2}\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right)$

Por lo tanto:

$$Q_2 = P_2 \cdot tg\ \varphi_2 = P_2 \cdot tg\left[\frac{1}{2}\left(\alpha + \frac{\pi}{3}\right)\right] = 6549,76\ VAR$$

Siendo: $S_2^2 = P_2^2 + Q_2^2 + D_2^2$

resulta: $D_2 = \sqrt{S_2^2 - (P_2^2 + Q_2^2)} = 4506,4\ VAD$

4) Debe cumplirse que:

$$W_{A2} + W_{B2} = P_2 = 2713\ W$$

$$W_{A2} - W_{B2} = Q_2/\sqrt{3} = 3781,5\ VAR$$

Sumando m. a. m. ambas ecuaciones:

$$2\,W_{A_2} = P_2 + \frac{Q_2}{\sqrt{3}} = 6494{,}5 \text{ W}$$

y finalmente: $W_{A_2} = 3247{,}25 \text{ W}$

Con la llave cerrada, en el watímetro se leerían 3.247 W.

ELECTRÓNICA DE POTENCIA (66.27) – Primer parcial / 2ª op. / año 2001.

Alumno :
Fecha :

Padrón :
Cant. de hojas :

Problema único

Para el tren de laminación de la fig. 1, cuyo esquema eléctrico de potencia se da en la fig. 2, se pide calcular:

1) El ángulo natural de disparo para que las fuerzas de tracción sean iguales (Fm1 = Fm2), [2]

2) Las corrientes de armadura de cada motor, [1,5]

3) Los capacitores de compensación de potencia reactiva (C), [3]

4) La potencia de dimensionamiento de los diodos. [2]

5) ¿Cómo debería variarse el ángulo natural de disparo para que haya laminación (Fm2 > Fm1)? ¿Qué pasaría entonces, con la relación entre las tensiones de armadura de ambos motores? [1,5]

DATOS : W1 = + 5090 W (lectura de potencia con S_w en la posición 1) ; **W2 = - 150 W** (lectura de potencia con S_w en la posición 2). Los motores son iguales con $L_{a\,1,2} \to \infty$ (inductancias de armadura muy grandes). Despreciar las resistencias de armadura. Suponer componentes semiconductores ideales.

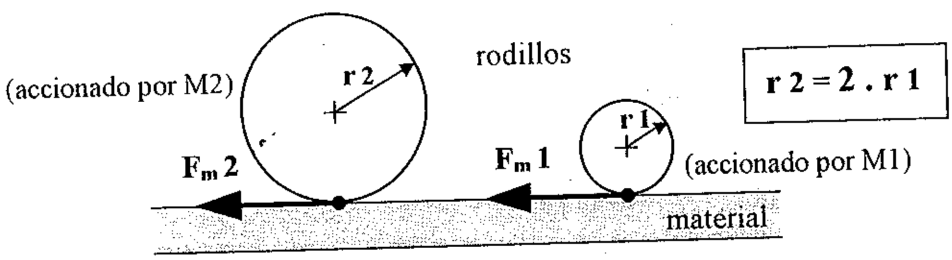


Fig. 1 : Esquema mecánico del tren de laminación

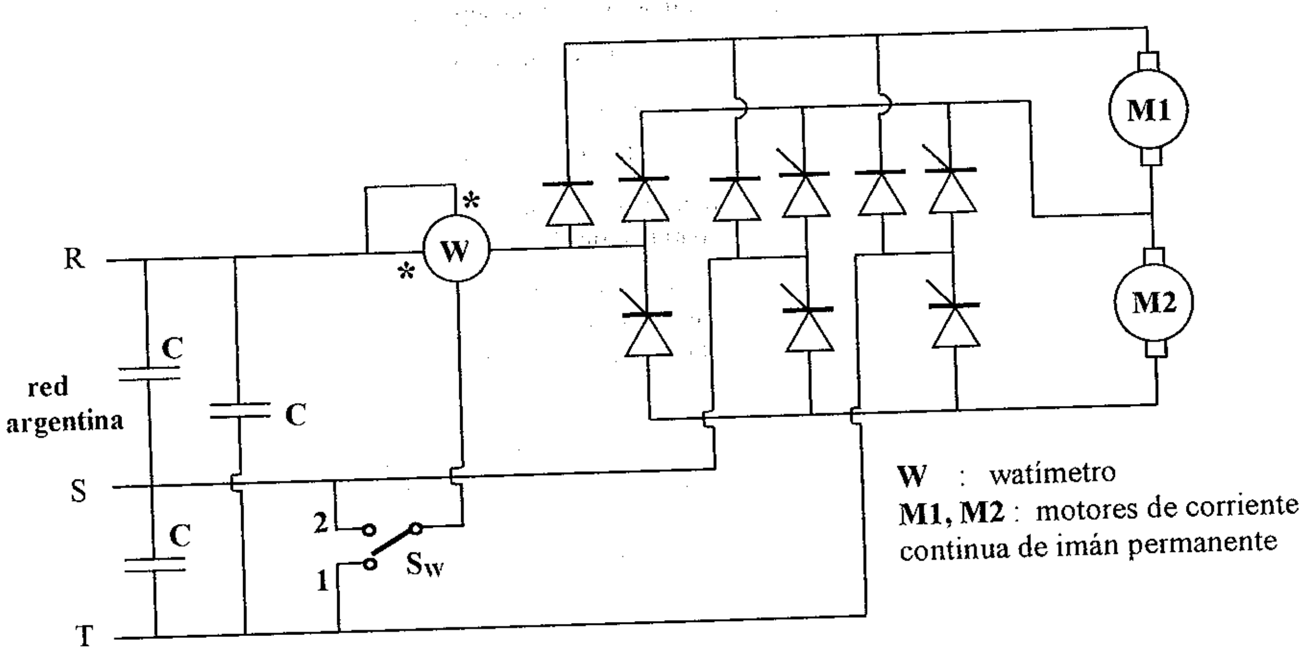


Fig. 2 : Esquema eléctrico de la etapa de potencia

Electrónica de Potencia (66.27) - 1^er^ P./2ª op./2001

SOLUCIÓN

Medición de potencia con un sistema y medio:

a) La suma de ambas lecturas de potencia es:

$$W_1 + W_2 = \frac{1}{T}\int_0^T u_{rt} \cdot i_r \cdot dt + \frac{1}{T}\int_0^T u_{rs} \cdot i_r \cdot dt =$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T \left[(v_r - v_t) + (v_r - v_s)\right] i_r \cdot dt =$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T \left[2 v_r - (v_s + v_t)\right] i_r \cdot dt$$

y siendo la fuente simétrica: $v_r + v_s + v_t = 0$

$\Rightarrow v_r = -(v_s + v_t) \quad \therefore$

$$W_1 + W_2 = 3 \cdot \frac{1}{T}\int_0^T v_r \cdot i_r \cdot dt = 3 P_r$$

y siendo la carga balanceada: $P = 3 P_r$

$\therefore \quad P = W_1 + W_2$

b) La diferencia entre las lecturas es:

$$W_1 - W_2 = \frac{1}{T}\int_0^T (u_{rt} - u_{rs})\, i_r \cdot dt =$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T u_{st} \cdot i_r \cdot dt$$

Siendo la fuente simétrica, u_{st} atrasa $\pi/2$ respecto de v_r, o sea, la situación es la misma que la encontrada en el método de Boucherot. En consecuencia, rige la misma ecuación:

$$W_1 - W_2 = \sqrt{3}\, Q_r = Q/\sqrt{3} \Rightarrow Q = \sqrt{3}\,(W_1 - W_2)$$

1) Con $F_{m1} = F_{m2}$ e iguales velocidades lineales, resulta: $P_{M1} = P_{M2} = P/2$

donde, P: potencia activa total.

La tensión media en el motor M2 es:

$$V_{M2\,med} = U_{do} \cos\alpha \quad ; \quad U_{do} = \frac{3\sqrt{3}\,V_m}{\pi}$$

(siendo $V_m = \sqrt{2}\, V_{ef} = 311\ V$)

La tensión media en M1 es:

$$V_{M1\,med} = \frac{U_{do}}{2}(1 + \cos\alpha) - V_{M2\,med} = \frac{U_{do}}{2}(1 - \cos\alpha)$$

Debido a que $r_2 = 2 . r_1$, será la velocidad de M1 el doble de la de M2, y tratándose de motores idénticos:

$$\frac{V_{M1\,med}}{V_{M2\,med}} = 2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - \cos\alpha}{\cos\alpha} \Longrightarrow \cos\alpha = \frac{1}{5} \Rightarrow \alpha = 78{,}46$$

2) La potencia total es: $P = W_1 + W_2 = 4940\ W$

$\therefore\ P_{M1} = P_{M2} = P/2 = 2470\ W$

$$U_{do} = 514{,}6\ V \Rightarrow \begin{cases} V_{M1\,med} = 205{,}84 V \\ V_{M2\,med} = 102{,}92\ V \end{cases}$$

de donde: $P_{M1} = V_{M1\,med} \cdot I_{M1} \Rightarrow I_{M1} = P_{M1}/V_{M1\,med}$

$\therefore \quad I_{M1} = 12\,A$, y de forma similar

$I_{M2} = P_{M2} / V_{M2med} = 24\,A$.

3) La potencia reactiva es: $Q = \sqrt{3}(W_1 - W_2) = 9076\ VAR$

Cada capacitor deberá proveer:

$Q_C = \frac{Q}{3} = 3025,3\ VAR$, siendo: $Q_c = U^2(\omega C)$

$\therefore \quad C = \frac{Q_c}{\omega . U^2} = 66,7\ \mu F$ (se adoptará un valor normalizado de $68\ \mu F$).

4) Con un tiristor en conducción la peor tensión inversa que puede aparecer en el diodo respectivo es: $\sqrt{3}\,V_m = 539\ V = V_{Dmax}$

La corriente máxima que puede atravesar un diodo es: $I_{Dmax} = I_{M1} = 12\,A$

Por lo tanto: $P_d = V_{Dmax} \cdot I_{Dmax} = 6468\ VA$

5) Para que haya laminación es preciso que $F_{m2} > F_{m1}$, y en tal operación, las velocidades lineales serán: $v_2 > v_1$. Amén de ser $P_{M2} > P_{M1}$, se requerirá que la relación V_{M1med} / V_{M2med} decrezca respecto de lo que antes valía. O sea: $\frac{V_{M1med}}{V_{M2med}} < 2$

Por lo tanto, deberá ser:

$$\cos\alpha > \frac{1}{5} \Rightarrow \alpha < 78{,}46^{\circ}.$$

O sea: <u>se</u> <u>deberá</u> <u>reducir</u> <u>α</u>

Problema 2.-

En el rectificador de la figura carga una batería (V_b) con una corriente media, $I_b$med= 20 A La resistencia equivalente serie total es R_s = 1 Ω:

Un sistema compensador automático de potencia reactiva ajusta las capacidades Cc para que la potencia reactiva tomada de la red sea nula.

Para los valores dados como datos en la figura, hallar:

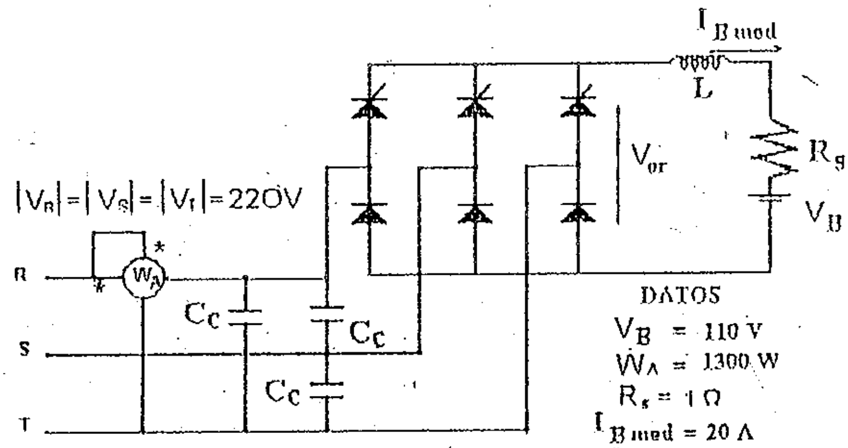
1) El factor de forma de la corriente de carga I_B. [½]

2) El valor eficaz de la tensión de salida Vor. [½]

3) El valor de la capacidad necesaria Cc para compensar la potencia reactiva. [1½]

4) El factor de potencia visto desde la red. [2]

5) Potencia de dimensionamiento de cada tiristor. [½]



DATOS

V_B = 110 V

W_A = 1300 W

R_s = 1 Ω

$I_{B\,med}$ = 20 A

f = 50 Hz

Solución problema 2 — 1ºP/1ª op./1er C/1995

1) $P = W_A + W_B$ (de acuerdo al método de Aaron)

$Q = \sqrt{3}\,(W_A - W_B) = 0$ (debido al compensador automático)

$Q = 0 \Rightarrow W_A = W_B \Rightarrow P = 2W_A \therefore P = 2600\ W$

Por otra parte:

$P = I_{Bmed} \cdot V_B + I_{Bef}^2 \cdot R_S \Rightarrow I_{Bef} = 20\ A$

El factor de forma de i_B es: $f_{fiB} = I_{Bef}/I_{Bmed} = 1 \Rightarrow$

$\Rightarrow$ la corriente de salida está perfectamente alisada.

2) $V_{omed} = V_B + I_{Bmed} \cdot R_S = 130\ V$; y por otra parte:

$$V_{omed} = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V_{eef}\left(1 + \cos\alpha\right) = 130\ V \Rightarrow \alpha = \frac{2\pi}{3}$$

$$\forall\,\alpha \geqslant \pi/3:\quad V_{oef} = \frac{3}{\sqrt{2}} V_{eef}\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi}\operatorname{sen} 2\alpha} = 206\ V$$

3) Por esta i_B perfectamente alisada: $\dfrac{Q}{P} = \operatorname{tg}\dfrac{\alpha}{2} \Rightarrow$

$\Rightarrow Q = P\operatorname{tg}\dfrac{\alpha}{2} = 4503\ VAR$; y debido a la compensación de potencias reactivas: $Q = 3\dfrac{U_L^2}{X_C} = 3U_L^2 \cdot 2\pi f \cdot C_c \Rightarrow$

$Q = 18\pi \cdot f \cdot V_{eef}^2 \cdot C_c \Rightarrow C_c = Q/18\pi \cdot f \cdot V_{eef}^2 \cong 33\ \mu F$

4) No habiendo potencia reactiva:

$FP = \dfrac{P}{\sqrt{P^2 + D^2}}$; La potencia aparente a la entrada del rectificador es: $S_r^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \Rightarrow$

$$\Rightarrow D^2 = S_r^2 - P^2 - Q^2 \Rightarrow FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + S_r^2 - P^2 - Q^2}} = \frac{P}{\sqrt{S_r^2 - Q^2}}$$

$S_r = 3V_{eef} \cdot I_{Lef}$, donde: $I_{Lef} = I_B\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}} = 11{,}55\ A$; (hay solapamiento)

$$\Rightarrow S_r = 7621\ VA \Rightarrow FP = \frac{2600}{\sqrt{7621^2 - 4503^2}} = 0{,}423$$

Problema 2

28

Para el rectificador mixto de la figura calcular:

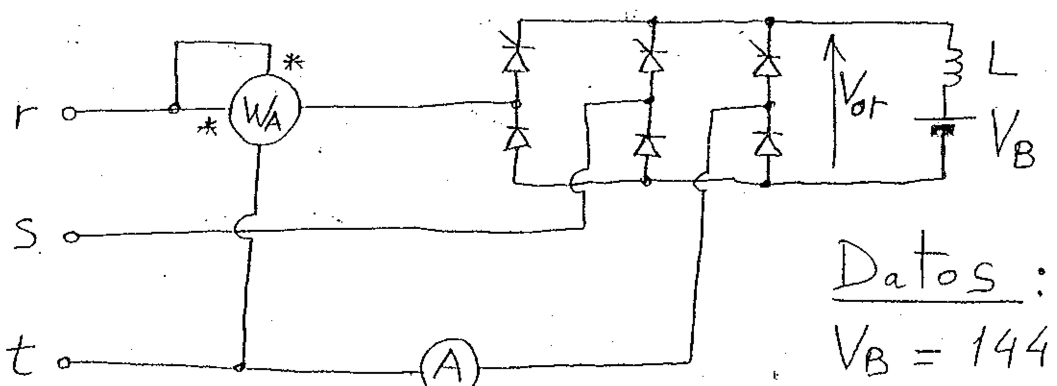
a) El factor de forma de la tensión de salida V_{or}. [1/2]

b) Verificar si la corriente de salida está perfectamente alisada. [2]

c) El factor de potencia de entrada. [1]

d) Calcular el valor eficaz de la componente fundamental de la corriente de entrada (de línea). [1]

e) La potencia de dimensionamiento de cada tiristor y la potencia disipada en cada uno de ellos. [1/2]



A: amperímetro de corriente alterna con bobina móvil.

Datos:

$V_B = 144\ V$

$W_A = 4222\ W$

$I_A = 12\ A$

$V_{ThON} = 1,5\ V$

Nota: El amperímetro A deflexiona según el valor medio rectificado, pero está calibrado en valores eficaces de onda senoidal. En su cuadrante indica 12 A.

Solución

$$V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \left(1+\cos\alpha\right) = 144\ V \Rightarrow \alpha = 116,126^{\circ} \cong 116^{\circ}$$

$$V_{o_{ef}} = \frac{3}{2} V_m \sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}+\frac{1}{2\pi}\operatorname{sen}2\alpha} = 223,3\ V$$

a) $f_{fV} = 1,551$

b) $$I_{e_{med}} = \frac{I_A}{f_{fs}} = 12\left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\right) = 10,8038\,A \cong 10,8\,A$$

$f_{fs} = \pi/2\sqrt{2} = 1,1107 \cong 1,111$. Se supone I_o totalmente alisada $\Rightarrow$ Siendo $\alpha > \pi/3$ hay solapamiento. Por lo tanto: $I_{e_{med}} = I_o\left(1-\frac{\alpha}{\pi}\right)$; (suponiendo corriente de salida totalmente alisada). O sea: $I_o = I_{e_{med}}/\left(1-\frac{\alpha}{\pi}\right) \Rightarrow$ $I_o = 30,44563\,A \cong 30,45\,A$ y la potencia activa sería: $P = V_B \cdot I_o = 4384,17\ W$

Del método de Aaron: $P = W_A + W_B \Rightarrow W_B = P - W_A \Rightarrow$

$\Rightarrow W_B = 162,17\ W \Rightarrow Q = \sqrt{3}(W_A - W_B) = 7031,83\ VAR$

Por suponerse la corriente perfectamente alisada:

$$\frac{Q}{P} = tg\frac{\alpha}{2} = \frac{7031,83}{4384,17} = 1,6039136 \Rightarrow \alpha = 116,115^{\circ} \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ el α obtenido suponiendo corriente totalmente alisada es igual al antes calculado, si así no fuese habría dado distinto, pues las ecuaciones para Iemed y Q/P no habrían sido válidas.

c) $$I_{e_{ef}} = I_o\sqrt{1-\frac{\alpha}{\pi}} = 18,14\ A \Rightarrow S = 3\,V_{e_{ef}} \cdot I_{e_{ef}} = 11970,6\ VA$$

$$F.P. = \frac{P}{S} = \frac{4384,17}{11970,6} = 0,366$$

d) $P = 3\,V_{ef} \cdot I_{e1_{ef}} \cdot \cos\varphi_1$

$\varphi_1 = \frac{\alpha}{2}$; (por estar la corriente totalmente alisada)

$\therefore\; P = 3 \cdot V_{ef} \cdot I_{e1_{ef}} \cdot \cos\frac{\alpha}{2} \Rightarrow I_{e1_{ef}} = \dfrac{P}{3 \cdot V_{ef} \cdot \cos\frac{\alpha}{2}} \Rightarrow$

$\Rightarrow I_{e1_{ef}} = \underline{12{,}556\ A}$

e) Potencia de dimensionamiento:

$\left.\begin{array}{l} I_{Th\,Max} = I_o = 30{,}45\,A \\ V_{Th\,Max} = \sqrt{6}\,V_{ef} = 538{,}89\,V \end{array}\right\} \cdot P_{dTh} = 16409\ VA \cong 17\,kVA$

Pérdidas de conducción:

$P_{Th} = V_{TON} \cdot I_{Th\,med}$; siendo $I_{Th\,med} = \frac{I_o}{3} = 10{,}15\ A$

$\Rightarrow P_{Th} = 1{,}5 \cdot 10{,}15 \cdot W = 15{,}22\ W$

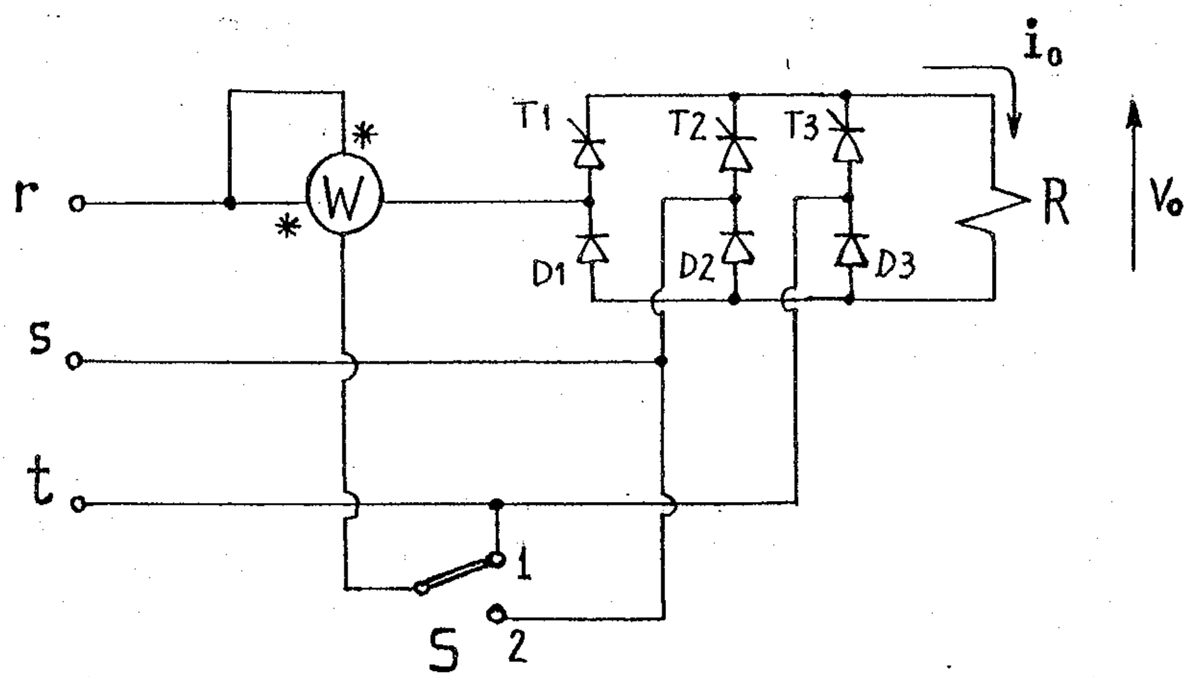
ELECTRONICA DE POTENCIA 66.27 - 1er PARCIAL / 1ª OPORTUNIDAD / 2º Cuatrimestre 1995.

2º PROBLEMA.

Para el circuito de la figura, calcular:

1) El ángulo natural de disparo. (1)
2) El valor eficaz de la componente fundamental de la corriente de línea. (1)
3) El factor de potencia de entrada. (1)
4) La potencia de deformación. (1/2)
5) El rendimiento de rectificación: $\eta = P_{dc} / V_{oef} . I_{oef}$, donde P_{dc} es la potencia de continua en la carga y V_{oef} e I_{oef} los valores eficaces de tensión y corriente en la carga. (1)
6) Graficar las formas de onda de una tensión de fase y su corriente de línea correspondiente. (1/2)

FIGURA:
Datos:
suministro de red 3x220 V - 50 Hz
R = 10 Ω
Indicación del wattímetro con la llave en la posición 1: W1 = 7450 W
Indicación del wattímetro con la llave en la posición 2: W2 = 3440 W



2º PROBLEMA

Solución 1er Parcial / 1ª op. / 2º cuatr. / 1995

En la posición 1 de la llave el wattímetro indicaría:

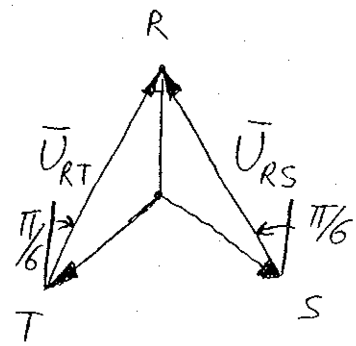
$$W_1 = \mathbb{R}\left\{\bar{U}_{RT} \cdot \bar{I}_R^*\right\} = \mathbb{R}\left\{\sqrt{3}\,\bar{V}_R \cdot e^{-j\pi/6} \cdot \bar{I}_R^*\right\} =$$

$$= \mathbb{R}\left\{\sqrt{3}\left(\frac{\sqrt{3}}{2} - j\frac{1}{2}\right)\bar{V}_R \cdot \bar{I}_R^*\right\}$$

En la posición 2:

$$W_2 = \mathbb{R}\left\{\bar{U}_{RS} \cdot \bar{I}_R^*\right\} = \mathbb{R}\left\{\sqrt{3}\,\bar{V}_R \cdot e^{j\pi/6} \cdot \bar{I}_R^*\right\} =$$

$$= \mathbb{R}\left\{\sqrt{3}\left(\frac{\sqrt{3}}{2} + j\frac{1}{2}\right)\bar{V}_R \cdot \bar{I}_R^*\right\}$$



Por lo tanto:

$$W_1 + W_2 = \mathbb{R}\left\{3\,\bar{V}_R \cdot \bar{I}_R^*\right\}$$

$$\bar{V}_R \cdot \bar{I}_R^* = P_R + jQ_R = \frac{P}{3} + j\frac{Q}{3}$$

siendo P la potencia activa y Q la potencia reactiva totales. En consecuencia:

$$W_1 + W_2 = P \qquad (1)$$

De la misma forma:

$$W_1 - W_2 = \mathbb{R}\left\{-j\sqrt{3}\,\bar{V}_R \cdot \bar{I}_R^*\right\} = \mathbb{R}\left\{-j\sqrt{3}\left(\frac{P}{3} + j\frac{Q}{3}\right)\right\} =$$

$$= \mathbb{R}\left\{-j\frac{P}{\sqrt{3}} - j^2\frac{Q}{\sqrt{3}}\right\} = \mathbb{R}\left\{-j\frac{P}{\sqrt{3}} + \frac{Q}{\sqrt{3}}\right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q = \sqrt{3}\left(W_1 - W_2\right) \qquad (2)$$

De la ecuación 1 se obtiene:

$$P = W_1 + W_2 = 10890\ W$$

y de la ecuación 2 resulta:

$$Q = \sqrt{3}\,(W_1 - W_2) = 6945{,}524\ \ VAR$$

1) Despreciando las pérdidas la potencia de salida es:

$$P_o = \frac{V_{oef}^2}{R} = P \Rightarrow V_{oef} = \sqrt{P.R} = 330\ V(rms)$$

En conducción continua la ecuación del valor eficaz de la tensión de salida es:

$$V_{oef} = \sqrt{3}\,V_m \sqrt{\frac{3}{4\pi}\left(\frac{2\pi}{3} + \sqrt{3}\cos^2\alpha\right)} \quad ; \quad \alpha \leq \pi/3 \ ; \ (3)$$

en cambio, para conducción discontinua:

$$V_{oef} = \sqrt{3}\,V_m \sqrt{\frac{3}{4\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{1}{2}\,sen 2\alpha\right)} \quad ; \quad \alpha \geq \pi/3 \ ; \ (4)$$

En el límite (conducción crítica) resulta:

$$\alpha = \frac{\pi}{3} \Rightarrow V_{oef}(\pi/3) = \sqrt{3}.\sqrt{2}\,V_{eef} \cdot \sqrt{\frac{3}{4\pi}\left(\frac{2\pi}{3} + \sqrt{3}\cos^2\frac{\pi}{3}\right)} = 418{,}59V$$

Como la tensión eficaz de salida es inferior a $V_{oef}(\pi/3)$ la conducción debe ser discontinua y se puede aplicar la ecuación 4 para despejar α:

$$\left(\frac{V_{oef}}{V_{eef}}\right)^2 = 6\left[\frac{3}{4\pi}\left(\pi - \alpha + \frac{1}{2}\,sen 2\alpha\right)\right]$$

o bien puede despejarse α del gráfico correspondiente. Se obtiene:

$\alpha = \pi/2$ y se verifica: $V_{oef} = \sqrt{6}.V_{eef} \cdot \sqrt{\frac{3}{4\pi}\left(\pi - \frac{\pi}{2}\right)} = 330V$

2) La potencia activa está dada por:

$$P = 3 \cdot V_{e_{ef}} \cdot I_{1_{ef}} \cdot \cos\varphi_1$$

Si se conociera φ_1 podría despejarse $I_{1_{ef}}$.

Aplicando:

$$\frac{Q}{P} = tg\,\varphi_1 \Rightarrow tg\,\varphi_1 = 0{,}6377891 \Rightarrow \varphi_1 = 32{,}53°$$

por consiguiente: $\cos\varphi_1 = 0{,}8431166 \Rightarrow$

$$\Rightarrow I_{1_{ef}} = \frac{P}{3 \cdot V_{e_{ef}} \cdot \cos\varphi_1} = 19{,}57\ A$$

3) La corriente eficaz de salida es: $I_{o_{ef}} = \frac{V_{o_{ef}}}{R} = 33A$

La corriente eficaz de línea es:

$$I_{e_{ef}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I_{o_{ef}} = 26{,}9444\,A \cong 27\,A$$

La potencia aparente de entrada resulta:

$$S = 3\, V_{e_{ef}} \cdot I_{e_{ef}} = 17783{,}3\ \ VA$$

El factor de potencia resulta:

$$F.P. = \frac{P}{S} = \frac{10890}{17783{,}3} = 0{,}6124 \cong 0{,}61$$

4) De acuerdo con la ecuación: $S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$

se despeja: $D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = 12223{,}5\ \ VAD$

y el factor de potencia deformante resulta

$$FPD = \frac{D}{S} = 0{,}687$$

5) La potencia de continua es: $P_{dc} = V_{o_{med}}^2 / R$

siendo: $V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m (1 + \cos\alpha)$

y siendo $\alpha = \pi/2 \Rightarrow V_{o_{med}} = 257{,}3\ V \Rightarrow P_{dc} = 6620{,}33 W$

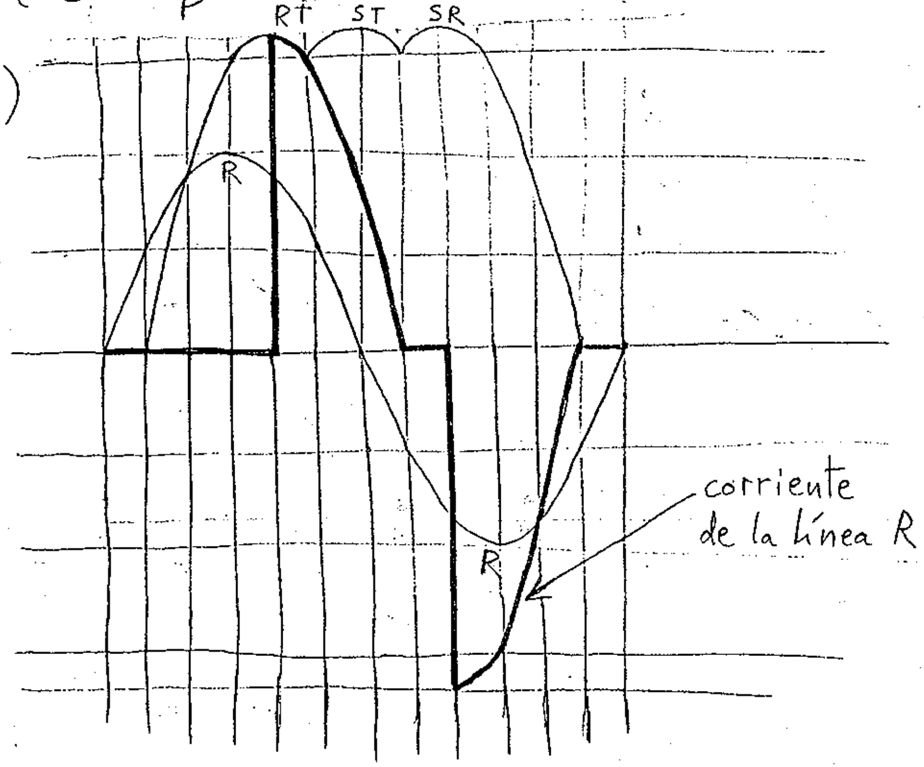
(1ª p/2º C/95)

35

El rendimiento de rectificación es:

$$\eta_{dc} = \frac{P_{dc}}{P} = 0,608 \cong 0,61$$

6)



Notas: (Verificación).

Si se hubiese desarrollado la corriente de entrada en serie de Fourier se habría obtenido para la fundamental:

$$RA_1 = \frac{\sqrt{3}\,V_m}{\pi}\left\{\int_{\pi/2}^{\pi} \operatorname{sen}^2\theta\, d\theta + \int_{7\pi/6}^{5\pi/3} \operatorname{sen}\left(\theta+\frac{\pi}{3}\right)\operatorname{sen}\theta\, d\theta\right\} =$$

$$= \frac{3\sqrt{2}}{8}\left[\sqrt{3} + \frac{2}{\pi}\right] V_{e_{ef}}$$

$$RB_1 = \frac{\sqrt{3}\,V_m}{\pi}\left\{\int_{\pi/2}^{\pi} \operatorname{sen}\theta\cos\theta\, d\theta + \int_{7\pi/6}^{5\pi/3} \operatorname{sen}\left(\theta+\frac{\pi}{3}\right)\cos\theta\, d\theta\right\} =$$

$$= \frac{3\sqrt{2}}{8}\left[1 - \frac{2}{\pi}\sqrt{3}\right] V_{eef}$$

$$\hat{I}_1 . R = \sqrt{RA_1^2 + RB_1^2} = \frac{3V_m}{4}\sqrt{1+\left(\frac{2}{\pi}\right)^2} \Rightarrow I_{1_{ef}} = \frac{3}{4R}\sqrt{1+\frac{4}{\pi^2}}\, V_{e_{ef}}$$

ELECTRÓNICA DE POTENCIA - 66.27 / 1er PARCIAL -1ª op. / 1er C - 1996.

2º PROBLEMA.

Para el circuito de la figura :

1) Graficar i_{T1} , i_{DL} y la tensión de salida v_0 . (1/2)

2) Calcular la potencia de salida. (1/2)

3) Hallar el valor del ángulo de disparo natural. (1)

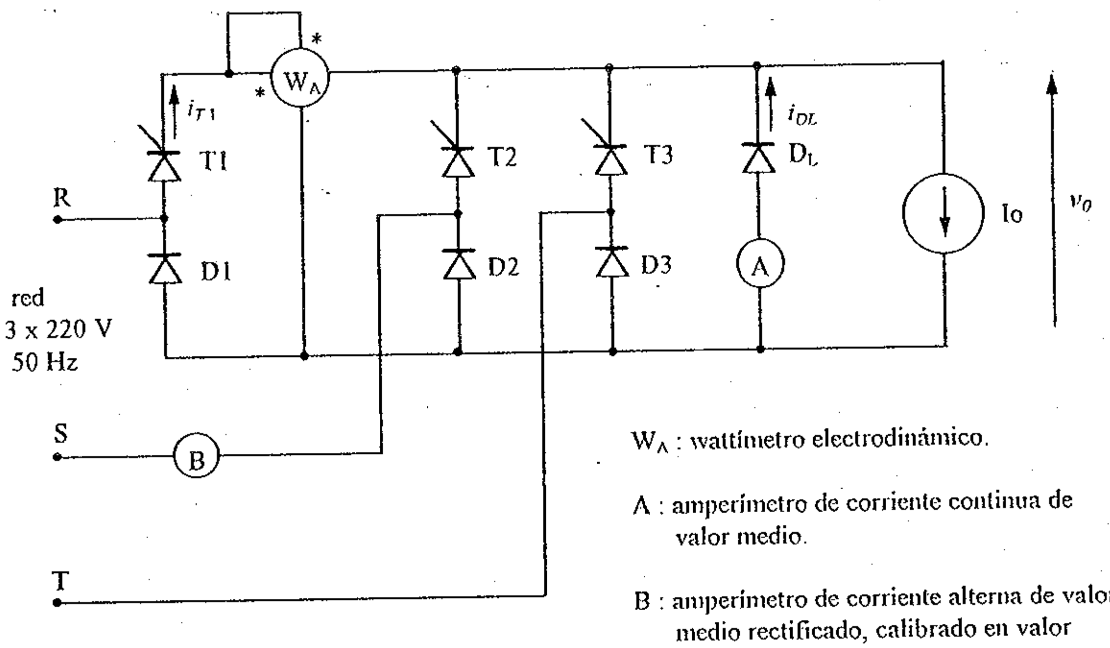
4) ¿Cuánto indicaría en su cuadrante el amperímetro B ? (1)

5) Calcular la potencia disipada en calor en el diodo D1. (1)

6) Calcular el factor de potencia deformante (FPD) a la entrada. (1)

DATOS :

$W_A = 5146$ W $\quad$ $I_A = 15$ A $\quad$ $V_{DON} = 1$ V



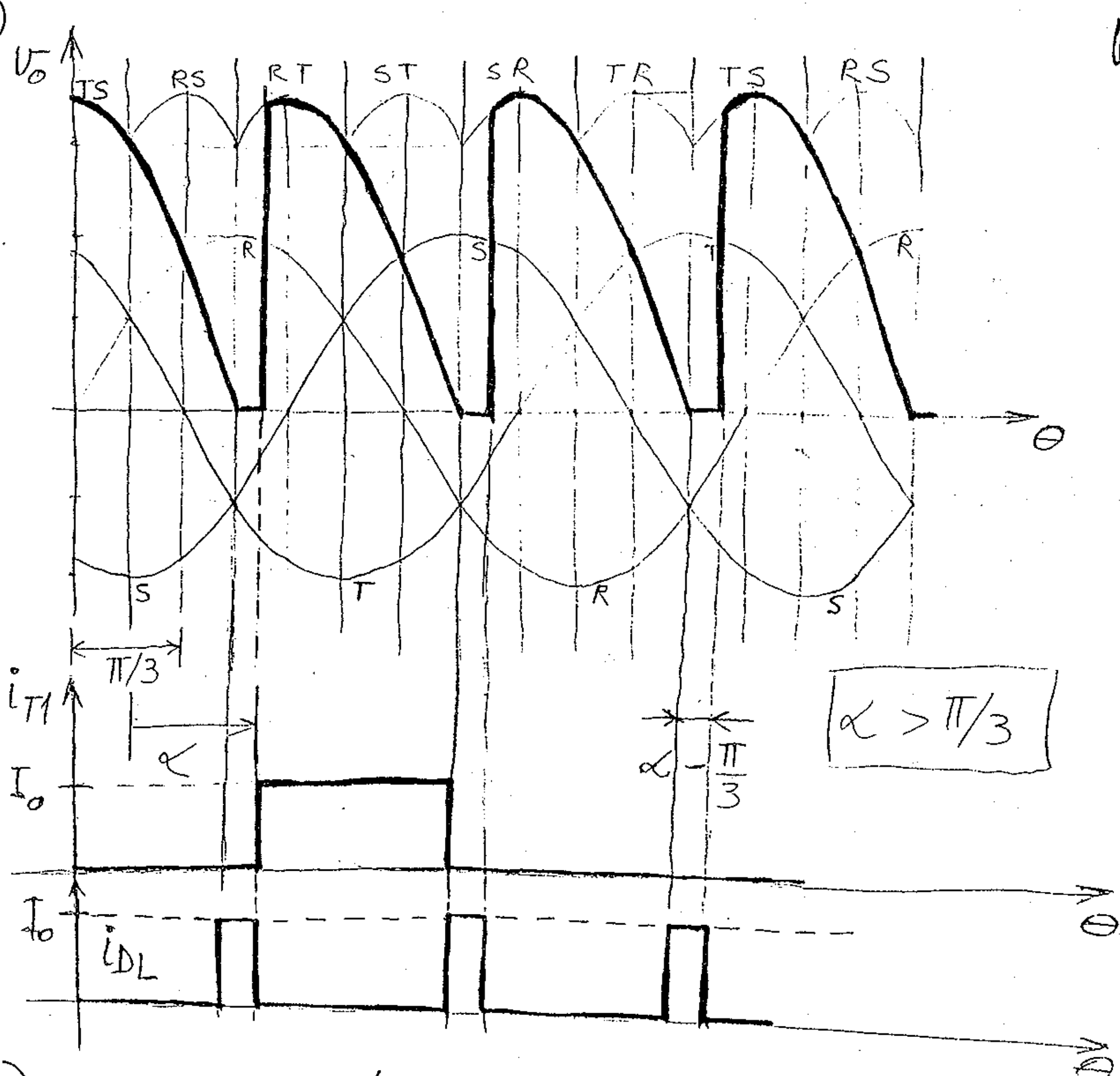
W_A : wattímetro electrodinámico.

A : amperímetro de corriente continua de valor medio.

B : amperímetro de corriente alterna de valor medio rectificado, calibrado en valor eficaz de onda senoidal.

37

1)



2)

$$W_A = \frac{I_o}{2\pi}\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{7\pi/6} U_{RT}(\theta)\, d\theta = I_o V_m \frac{\sqrt{3}}{2\pi}\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{7\pi/6} \operatorname{sen}\left(\theta - \frac{\pi}{6}\right) d\theta$$

$$\Rightarrow \quad W_A = I_o V_m \frac{\sqrt{3}}{2\pi}\left(1 + \cos\alpha\right)$$

El valor medio de la tensión de salida es:

$$V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \left(1 + \cos\alpha\right)$$

Por lo tanto: $P_o = I_o V_{omed} = 3\,\frac{\sqrt{3}}{2\pi} I_o V_m (1+\cos\alpha)$

O sea: $P_o = 3\, W_A = 15438\ W$

3) El valor medio de la corriente que atraviesa el diodo de rueda libre es:

$$I_{DL\,med} = \frac{3}{2\pi} I_o \left(\alpha - \frac{\pi}{3}\right) = \frac{I_o}{2}\left(\frac{\alpha}{\pi/3} - 1\right) \qquad (a)$$

Por otra parte:

$$W_A = \frac{I_o}{\pi} V_{ef} \sqrt{\frac{3}{2}} \left(1 + \cos\alpha\right) \qquad (b)$$

Debe resolverse el sistema de 2 ecuaciones con dos incógnitas formado por a y b.

Resulta: $\alpha = \pi/2$; $I_o = 60\ A$

4) $I_{B\,med} = I_o\left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right) = 30A$

$I_B = f_{fs} \cdot I_{B\,med} = 1{,}11\ I_{B\,med} = 33{,}3\ A$

5) $I_{D1\,med} = \frac{I_o}{2}\left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right) = 15\ A$

$P_{D1} = V_{DON} \cdot I_{D1\,med} = 15\ W$

6) La corriente eficaz de línea es:

$I_{Bef} = I_o \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}} = 42{,}426\ A$ con lo cual

resulta: $S = 3\ V_{ef} \cdot I_{Bef} = 28001{,}5\ VA$

Además: $\frac{Q}{P} = tg\frac{\alpha}{2} \Rightarrow Q = P \cdot tg\frac{\alpha}{2} = 15438\ VAR$

(y se había calculado $P = 15438\ W$)

Por lo tanto: $D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} = 17533{,}4\ VAD$

$\Rightarrow FPD = \frac{D}{S} = 0{,}626$

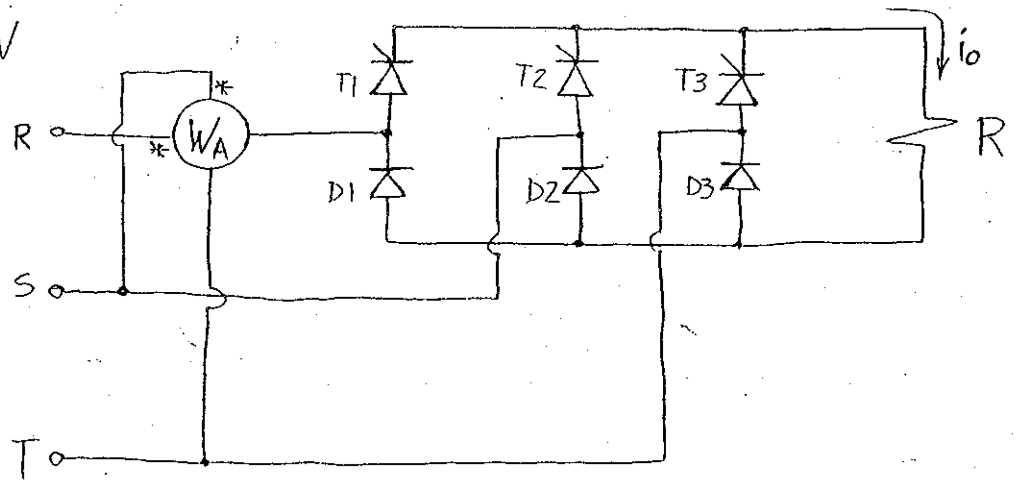
Problema

Datos: P_o: pot. activa a la salida.

$R = 10\Omega$

$P_o = 11\,kW$

$V_{eef} = 220V$



Para el circuito de la figura:

a) Calcular el rendimiento de rectificación (η_{dc}).

b) Calcular el factor de potencia.

c) Hallar la expresión de la potencia de deformación en función de V_{eef}, la potencia de salida P_o, R y W_A.

d) Graficar la corriente de línea.

Solución

Las ecuaciones del valor eficaz de salida son:

$$V_{oef} = \frac{3}{2} V_m \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi}\,\mathrm{sen}\,2\alpha} \qquad \forall\ \alpha \geq \pi/3$$

$$V_{oef} = \frac{3}{2} V_m \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{\sqrt{3}}{\pi}\cos^2\alpha} \qquad \forall\ \alpha \leq \pi/3$$

Para los valores medios:

$V_{omed} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m (1+\cos\alpha)$ para todo α..

$I_{omed} = V_{omed}/R$

La potencia de salida es: $P_o = V_{oef}^2/R$

Por lo tanto: $V_{oef} = \sqrt{P_o . R} = 331,7\ V$

Para $\alpha = \frac{\pi}{3} \Rightarrow V_{oef}\Big|_{\pi/3} = \frac{3}{2} V_m \sqrt{1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{2\pi}\operatorname{sen}\frac{2\pi}{3}} = 418,6\ V$

En consecuencia:

$V_{oef} < V_{oef}\Big|_{\pi/3} \Rightarrow \alpha > \pi/3 \Rightarrow$ conducción discontinua.

$\therefore V_{oef}^2 = \left(\frac{3}{2}\right)^2 2V_{eef}^2 \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi}\operatorname{sen}2\alpha\right) \Rightarrow$

$\frac{2}{9}\left(\frac{V_{oef}}{V_{eef}}\right)^2 = 1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi}\operatorname{sen}2\alpha \Rightarrow \alpha = \pi/2$

Ahora puede obtenerse el valor medio:

$V_{omed} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}\sqrt{2}.220.V = 257,3\ V$

y en consecuencia: $P_{dc} = V_{omed}^2/R = 6620\ W$

Por lo tanto: $\eta_{dc} = \frac{P_{dc}}{P_o} = 0,60$

La corriente eficaz es: $I_{oef} = V_{oef}/R = 33,17\ A$

La corriente eficaz de entrada es: $I_{eef} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I_{oef} = 27,08 A$

La potencia aparente: $S = 3\, V_{eef}\, I_{eef} = 17875\ VA$

y el factor de potencia: $F.P. = \frac{P}{S} = \frac{11000}{17875} = 0,615$

c) De acuerdo con el método de Boucherot:

$Q = \sqrt{3}\cdot W_A$ y por otra parte: $D^2 = S^2 - P^2 - Q^2$

Por lo tanto:

$$D^2 = \left(V_{ef} \cdot I_{ef}\right)^2 - P_o^2 - 3\,W_A^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D^2 = V_{ef}^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot I_{o_{ef}}^2 - P_o^2 - 3\,W_A^2 = V_{ef}^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{P_o}{R} - P_o^2 - 3W_A^2$$

Finalmente:

$$D = \sqrt{P_o\left[\left(\frac{2V_{ef}^2}{3R}\right) - P_o\right] - 3W_A^2}$$

ELECTRÓNICA DE POTENCIA - 66.27 / 1er PARCIAL -2ª op. / 1er C - 1996.

2° PROBLEMA.

Para el sistema sin neutro de la figura, alimentado desde la red trifásica de 220 V - 50 Hz , calcular:

1) El valor eficaz de la tensión de salida del puente mixto (Vo_{ef}). (1/2)

2) El valor eficaz de la tensión sobre el inductor de filtro. (1)

3) El valor de resistencia de R a la temperatura de trabajo. (1)

4) El factor de potencia de entrada. (1)

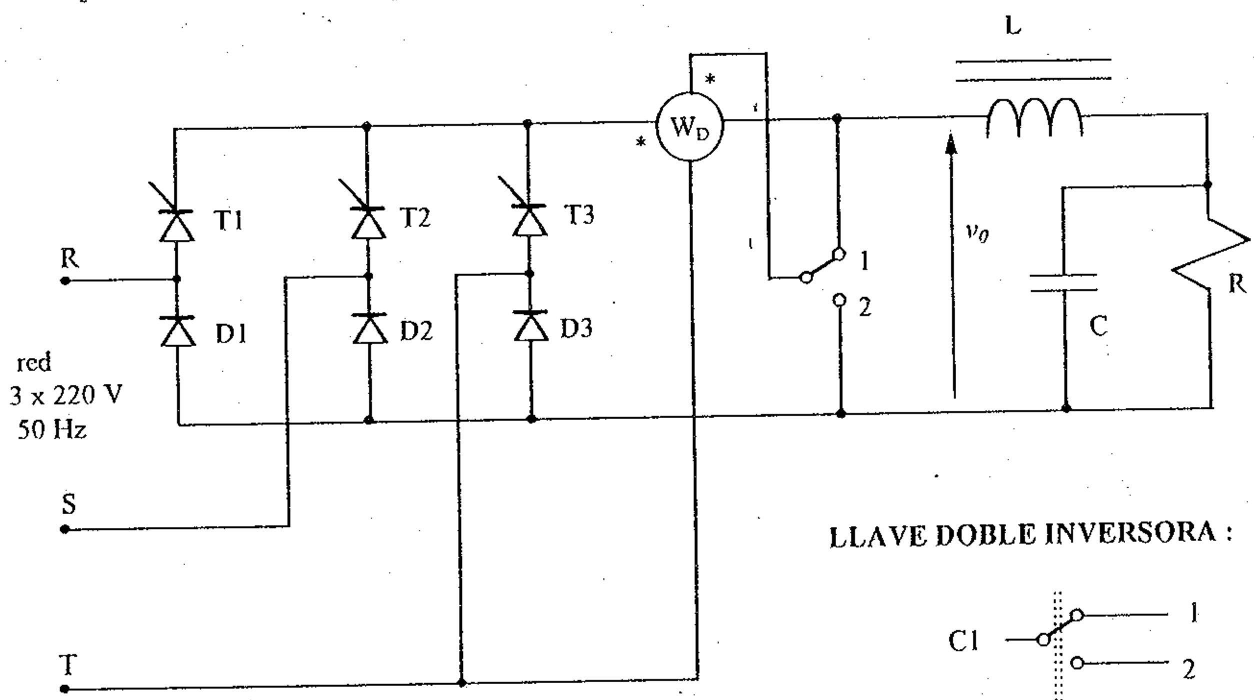
5) La potencia de dimensionamiento de cada tiristor (para el peor caso posible). (1)

6) Si el wattímetro fuese electrodinámico (de lectura sólo posible con signo positivo), pero se dispusiese de una llave doble inversora ¿Cómo conectaría la bobina de tensión para realizar la misma medición? (1/2)

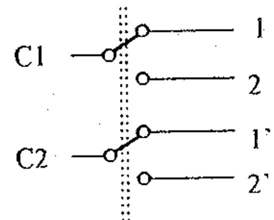
DATOS :

W_D : wattímetro digital W_1 = 1785 W W_2 = - 5778 W $L/R \to \infty$

W_1 : lectura con la llave en la posición 1.
W_2 : lectura con la llave en la posición 2.



LLAVE DOBLE INVERSORA :



1) Cálculo de I_o:

$$W_2 = -I_o \cdot \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \Rightarrow I_o = -\frac{W_2}{\frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m} = 22,456\ A$$

$$\Rightarrow I_o \cong 22,4\ A$$

Cálculo de α: $W_1 = I_o \cdot \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \cdot V_m \cos\alpha \Rightarrow$

$$\cos\alpha = \frac{W_1}{I_o \cdot \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \cdot V_m} = 0,30893 \Rightarrow \alpha = 72^\circ = \frac{2}{5}\pi$$

Cálculo de la tensión eficaz de salida del puente mixto:
Siendo $\alpha > \pi/3$ resulta,

$$V_{o_{ef}} = \sqrt{3} V_m \sqrt{\frac{3}{4}\left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \operatorname{sen} 2\alpha\right)} = 389\ V$$

2) La tensión instantánea sobre el inductor de filtro es: $v_L(t) = v_o(t) - v_{oR}(t)$

y siendo: $v_{oR}(t) = V_{o_{med}}$ $\forall t$, resulta:

$$v_L(t) = v_o(t) - V_{o_{med}}$$

Por lo tanto:

$$V_{L_{ef}}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T v_{L(t)}^2\, dt = \frac{1}{T}\int_0^T \left[v_o(t) - V_{o_{med}}\right]^2 dt =$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T v_{o(t)}^2\, dt - \frac{2}{T}\int_0^T v_o(t)\, V_{o_{med}}\, dt + \frac{1}{T}\int_0^T V_{o_{med}}^2\, dt =$$

$$= V_{o_{ef}}^2 - 2\, V_{o_{med}} \frac{1}{T}\int_0^T v_o(t)\, dt + V_{o_{med}}^2 =$$

$$= V_{o_{ef}}^2 - V_{o_{med}}^2 \Rightarrow V_{L_{ef}} = \sqrt{V_{o_{ef}}^2 - V_{o_{med}}}$$

$$V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m (1 + \cos\alpha) = 336,81\ V \Rightarrow V_{L_{ef}} = 194\ V$$

2º problema – Solución

Dado que $\frac{L}{R} \to \infty \Rightarrow I_o = Cte$

El wattímetro W_D con la llave en la posición 1 indicará:

$$W_1 = \frac{1}{T}\int_0^T v_1(t) \cdot I_o \cdot dt \; ; \text{ donde: } v_1(t) = v_{o(t)}^{(+)} + v_{T(t)}$$

siendo $v_{o(t)}^{(+)}$ la tensión de salida del rectificador trifásico de media onda totalmente controlado, formado por T1, T2 y T3, y $v_{T(t)}$ es la tensión de la fase T respecto al centro de estrella de la red.

Por lo tanto:

$$W_1 = I_o \left\{ \frac{1}{T}\int_0^T \left[v_{o(t)}^{(+)} + v_{T(t)} \right] dt \right\} =$$

$$= I_o \left\{ \frac{1}{T}\int_0^T v_{o(t)}^{(+)} \, dt + \frac{1}{T}\int_0^T v_{T(t)} \, dt \right\} = I_o \, V_{o_{med}}^{(+)}$$

siendo: $V_{o_{med}}^{(+)} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos\alpha$; donde: $V_m = \sqrt{2}\, V_{ef}$

De la misma forma resulta:

$$W_2 = -I_o \, V_{o_{med}}^{(-)} \; ; \text{con: } V_{o_{med}}^{(-)} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m$$

La tensión media de salida es:

$$V_{o_{med}} = V_{o_{med}}^{(+)} + V_{o_{med}}^{(-)} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m (1 + \cos\alpha)$$

y por otra parte: $I_o R = V_{oR_{med}} = V_{oR_{ef}} = V_{o_{med}}$

La potencia activa es:

$$P = I_o V_{o_{med}} = I_o \left[V_{o_{med}}^{(+)} + V_{o_{med}}^{(-)} \right] = W_1 - W_2 = 7563 \, W$$

45

3) $R = \dfrac{V_{omed}}{I_o} = 15\ \Omega$

4) Dado que $\alpha > \pi/3$ hay conducción de rueda libre, y la expresión apropiada para calcular la corriente de línea es:

$$I_{e_{ef}} = I_o \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}} \implies I_{e_{ef}} = 17,4\ A$$

por lo tanto, la potencia aparente resulta:

$$S = 3\, V_{e_{ef}} \cdot I_{e_{ef}} = 11480,27\ VA$$

y el factor de potencia: $FP = \dfrac{P}{S} = 0,66$

5) La potencia de dimensionamiento es:

$$P_d = V_{Tmax} \cdot I_{Tmax}$$

El peor caso para la corriente es: $\alpha = 0 \implies$

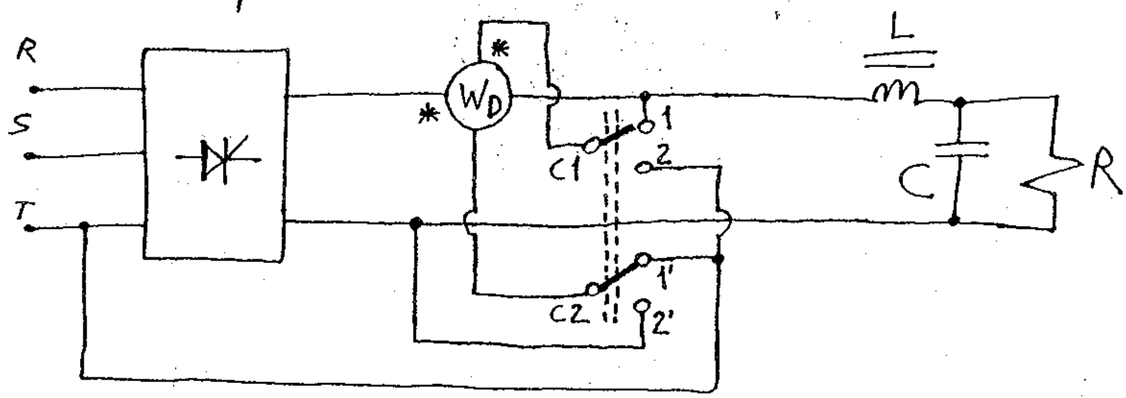
$$\implies I_{Tmax} = \frac{V_{omax}}{R} = \frac{V_{omed}\rfloor_{\alpha=0}}{R} = \frac{514,6}{15} = 34,31\ A$$

y para la tensión, con $\alpha = \pi$ resulta:

$$V_{Tmax} = U_L = \sqrt{3}\, V_m = 538,89\, V$$

por lo tanto: $P_d = 18,5\ kVA$

6) Se debe invertir la bobina de tensión al pasar a la posición 2.



Problema

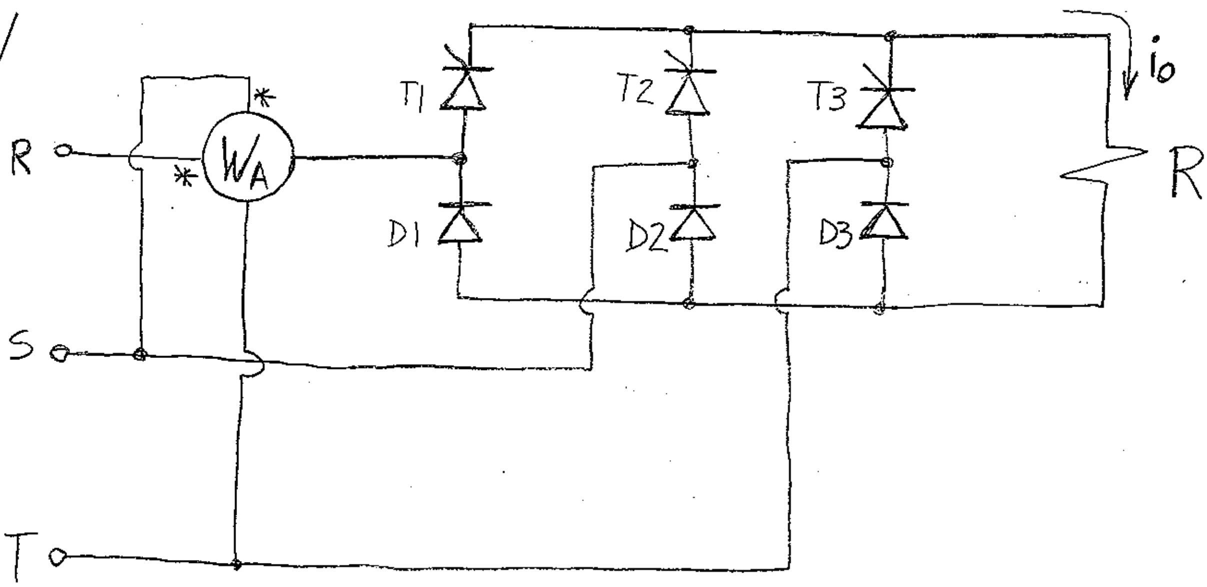
Datos:

$R = 10\Omega$

$P_o = 11\,kW$

$V_{ef} = 220V$

P_o: pot. activa a la salida.



Para el circuito de la figura:

a) Calcular el rendimiento de rectificación (η_{dc}).

b) Calcular el factor de potencia.

c) Hallar la expresión de la potencia de deformación en función de V_{ef}, la potencia de salida P_o, R y W_A.

d) Graficar la corriente de línea.

Solución

Las ecuaciones del valor eficaz de salida son:

$$V_{oef} = \frac{3}{2} V_m \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi}\,\text{sen}\, 2\alpha} \qquad \forall\ \alpha \geq \pi/3$$

$$V_{oef} = \frac{3}{2} V_m \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{\sqrt{3}}{\pi}\cos^2\alpha} \qquad \forall\ \alpha \leq \pi/3$$

Para los valores medios:

$$V_{omed} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m (1 + \cos\alpha) \quad \text{para todo } \alpha.$$

$$I_{omed} = V_{omed} / R$$

La potencia de salida es: $P_o = V_{oef}^2 / R$

Por lo tanto: $V_{oef} = \sqrt{P_o . R} = 331{,}7\ V$

Para $\alpha = \frac{\pi}{3} \Rightarrow V_{oef}\big]_{\pi/3} = \frac{3}{2} V_m \sqrt{1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{2\pi} \operatorname{sen} \frac{2\pi}{3}} = 418{,}6\ V$

En consecuencia:

$V_{oef} < V_{oef}\big]_{\pi/3} \Rightarrow \alpha > \pi/3 \Rightarrow$ conducción discontinua.

$$\therefore V_{oef}^2 = \left(\frac{3}{2}\right)^2 2 V_{eef}^2 \left(1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \operatorname{sen} 2\alpha\right) \Rightarrow$$

$$\frac{2}{9}\left(\frac{V_{oef}}{V_{eef}}\right)^2 = 1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \operatorname{sen} 2\alpha \Rightarrow \alpha = \pi/2$$

Ahora puede obtenerse el valor medio:

$$V_{omed} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \sqrt{2} . 220 . V = 257{,}3\ V$$

y en consecuencia: $P_{dc} = V_{omed}^2 / R = 6620\ W$

Por lo tanto: $\eta_{dc} = \frac{P_{dc}}{P_o} = 0{,}60$

La corriente eficaz es: $I_{oef} = V_{oef}/R = 33{,}17\ A$

La corriente eficaz de entrada es: $I_{eef} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I_{oef} = 27{,}08 A$

La potencia aparente: $S = 3\, V_{eef}\, I_{eef} = 17875\ VA$

y el factor de potencia: $F.P. = \frac{P}{S} = \frac{11000}{17875} = 0{,}615$

c) De acuerdo con el método de Boucherot:

$Q = \sqrt{3}\, W_A$ y por otra parte: $D^2 = S^2 - P^2 - Q^2$

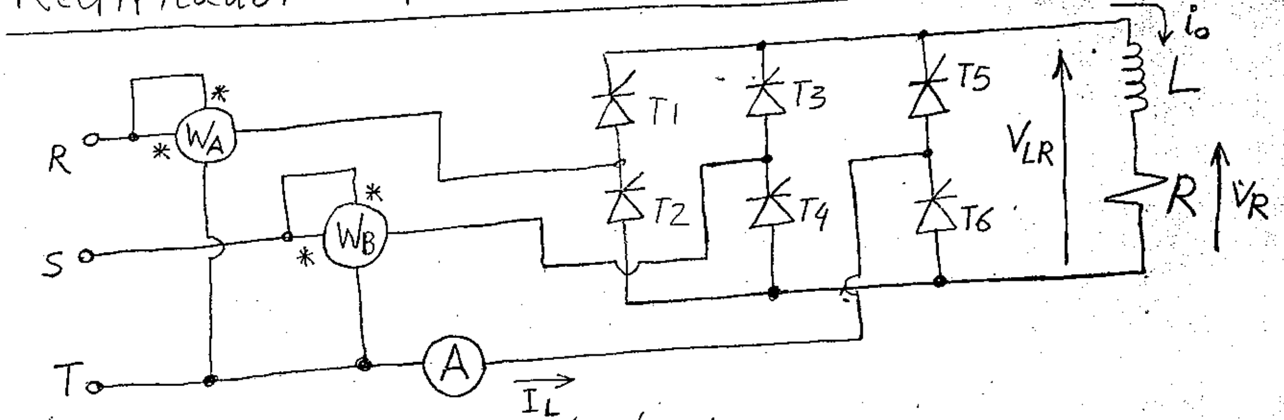
Por lo tanto: $D^2 = \left(V_{e_{ef}} \cdot I_{e_{ef}}\right)^2 - P_o^2 - 3\, W_A^2 \Rightarrow$

$$\Rightarrow D^2 = V_{e_{ef}}^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot I_{o_{ef}}^2 - P_o^2 - 3\, W_A^2 = V_{e_{ef}}^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{P_o}{R} - P_o^2 - 3 W_A^2$$

Finalmente: $D = \sqrt{P_o\left[\left(\frac{2 V_{e_{ef}}^2}{3R}\right) - P_o\right] - 3 W_A^2}$

Rectificador trifásico totalmente controlado

PROBLEMA 1



W_A, W_B : wattímetros electrodinámicos

A : amperímetro de valor medio calibrado en valor eficaz para onda senoidal.

$|\bar{V}_R| = |\bar{V}_S| = |\bar{V}_T| = 220\,V$

Para el circuito de la figura calcular:

1) El valor eficaz de la tensión sobre la resistencia R.
2) El factor de forma de la corriente de salida i_o.
3) La corriente eficaz en la línea (I_L).
4) El valor eficaz de la tensión rectificada V_{LR}.
5) El factor de potencia visto desde la red.
6) La componente fundamental de la corriente de línea.
7) Las pérdidas de conducción en cada tiristor.

Datos:

$W_A = 1360\,W$

$W_B = 670\,W$

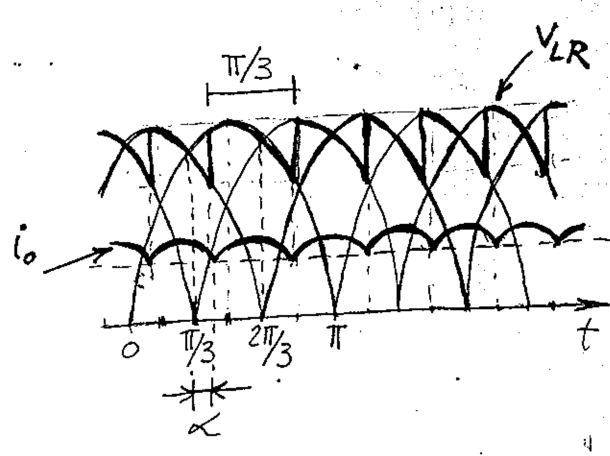
$I_A = 3{,}3\,A$

$R = 100\,\Omega$

$V_{TON} = 1{,}35\,V$

Nota: El amperímetro A indica en su cuadrante $I_A = 3{,}3A$, cifra que sería el valor eficaz de la corriente I_L si ésta fuese senoidal.

$$V_{LR_{med}} = \frac{3}{\pi}\int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} \sqrt{3}\, V_m \operatorname{sen}\theta \, d\theta$$



$$\Rightarrow V_{LR_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cos\alpha$$

$$L\frac{di_o}{dt} = v_L(t) \Rightarrow i_o = \frac{1}{L}\int_0^t v_L(t)\,dt + i_o(0)$$

$$\forall\ t = T \Rightarrow i_o(T) = i_o(0) = \frac{1}{L}\int_0^T v_L(t)\,dt + i_o(0) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 0 = \int_0^T v_L(t)\,dt \Rightarrow V_{L_{med}} = \frac{1}{T}\int_0^T v_L(t)\,dt = 0 \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ En estado de régimen periódico la tensión media de caída en la inductancia es nula. Por lo tanto: $V_{LR_{med}} = V_{R_{med}}$

Cálculo del valor medio de la corriente de línea:

$I_{L_{med}} = \frac{2}{\pi} I_m = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_A$ (en régimen senoidal I_A sería el valor eficaz).

El instrumento deflexiona según $I_{L_{med}}$ e indica I_A, siendo: $I_A = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_{L_{med}}$. Por lo tanto si se conoce I_A (valor leído) y se desea hallar $I_{L_{med}}$, debe aplicarse: $\boxed{I_{L_{med}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_A}$

En consecuencia: $I_{L_{med}} = 2{,}971$ A

Cálculo del valor medio de la corriente de salida:

$I_{o_{med}} = \frac{3}{2} I_{L_{med}} = 4{,}4565658 \cong 4{,}46$ A

Cálculo de las potencias activa y reactiva:

$$P = W_A + W_B = 2030\ W$$

$$Q = \sqrt{3}(W_A - W_B) = 1195{,}1151 \cong 1195\ W$$

Cálculo de la corriente eficaz de salida:

$$P = I_{o_{ef}}^2 R \Rightarrow I_{o_{ef}} = \sqrt{P/R} = 4{,}5055521 \cong 4{,}51\ A$$

3) Valor eficaz de la corriente de línea:

$$I_{L_{ef}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I_{o_{ef}} = 3{,}6787679 \cong 3{,}68\ A$$

1) Valor eficaz de la tensión V_R:

$$V_{R_{ef}} = I_{o_{ef}} R = 450{,}56\ V$$

2) Factor de forma de la corriente de salida:

$$f_{f_o} = \frac{I_{o_{ef}}}{I_{o_{med}}} = 1{,}011$$

Cálculo del ángulo de disparo:

La tensión media de salida es: $V_{LR_{med}} = I_{o_{med}} R$

(pues $V_{L_{med}} = 0$) $\therefore$ $V_{LR_{med}} = 445{,}66\ V$

Por otra parte: $V_{LR_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_m \cdot \cos\alpha \Rightarrow$

$$\Rightarrow \cos\alpha = \frac{\pi \cdot V_{LR_{med}}}{3\sqrt{3}\, V_m} = 0{,}8660254 \Rightarrow \alpha = 30^\circ = \pi/6$$

4) Valor eficaz de la tensión rectificada:

$$V_{LR_{ef}}^2 = \frac{3}{\pi}\int_{\frac{\pi}{3}+\alpha}^{\frac{2\pi}{3}+\alpha} (\sqrt{3} V_m \operatorname{sen}\theta)^2\, d\theta = \frac{3}{2} V_m^2 \left[1 + \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}\cos 2\alpha\right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{LR_{ef}} = V_m \sqrt{\frac{3}{2}} \sqrt{1 + \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}\cos 2\alpha} = 453\ V$$

5) Factor de potencia :

$$F.P. = \frac{P}{S} \quad ; \quad P = 2030\ W$$

$$S = 3\ V_{e_{ef}} \cdot I_{L_{ef}} = 2427,987 = 2428\ VA$$

$$\Rightarrow F.P. = 0,8361$$

6) Componente fundamental de la corriente de línea :

$$P = 3 \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot I_{1_{ef}} \cdot \cos \varphi_1$$

$$\frac{Q}{P} = tg\ \varphi_1 \Rightarrow \varphi_1 = 30,486456 \Rightarrow \cos \varphi_1 = 0,8617491$$

$$I_{1_{ef}} = P\ \sqrt{2} / 3\ V_m \cos \varphi_1 = 3,569\ A$$

Cálculo de la tasa de armónicas de la corriente de línea :

$$\sigma_I = \frac{\sqrt{I_{L_{ef}}^2 - I_{1_{ef}}^2}}{I_{1_{ef}}} = \sqrt{\left(\frac{I_{L_{ef}}}{I_{1_{ef}}}\right)^2 - 1} = 0,25$$

7) Pérdidas de conducción en los tiristores :

$$P_T = V_{TON} \cdot I_{T_{med}} = V_{TON} \cdot \frac{I_{o_{med}}}{3} = 2,005 = 2\ W$$

$$I_{T_{med}} = \frac{I_{o_{med}}}{3} = 1,4855219$$

Factor de forma de la corriente de entrada

$$f_{fe_1} = \frac{I_{L_{ef}}}{I_{L_{med}}} = \frac{3,67877}{2,971} = 1,23823$$

Para el rectificador controlado con filtrado ideal :

$$f_{fe_2} = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}}\ I_o}{\frac{2}{3}\ I_o} = \sqrt{\frac{3}{2}} = 1,22474$$

Es $f_{fe_1} > f_{fe_2}$ debido al rizado de la corriente.

(Primer parcial – 1994/2º C.)

Problema 4

En el circuito de la figura, obtener:

a) El valor eficaz de la tensión de salida $V_R(t)$. [1/2]

b) El ángulo de disparo α (referido al natural). [1]

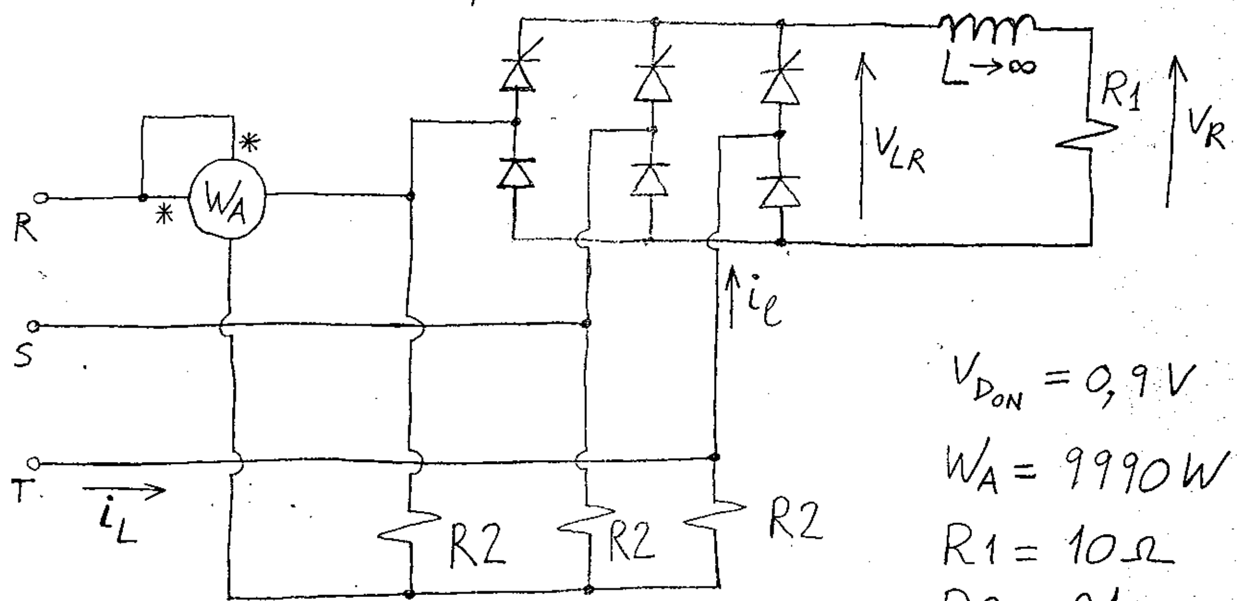
c) El valor eficaz de la corriente de línea del rectificador i_ℓ. [1]

d) El factor de potencia de entrada si se desconectan las resistencias R2. [1/2]

e) El factor de forma de la tensión V_{LR}. [1/2]

f) Graficar la tensión V_{LR} y la corriente de línea total i_L. [1]

g) La potencia disipada en los diodos. [1/2]



$V_{D_{ON}} = 0{,}9\ V$

$W_A = 9990\ W$

$R1 = 10\ \Omega$

$R2 = 21\ \Omega$

$|\bar{V}_R| = |\bar{V}_S| = |\bar{V}_T| = 220V$

La potencia medida es:

$$W_A = \frac{V_{ef}^2}{R_2} + \frac{1}{3}\frac{V_R^2}{R_1} \quad ; \text{ y la tensión eficaz sobre } R:$$

$$V_R = V_{LR\,med} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}\sqrt{2}\,V_{ef}\,(1+\cos\alpha)$$

Por lo tanto: $V_R = \sqrt{3R_1\left(W_A - \frac{V_{ef}^2}{R_2}\right)} = 480{,}164\ V \cong 480\ V$

$$\Rightarrow \cos\alpha = \frac{V_R}{\sqrt{2}\,V_{ef}}\frac{2\pi}{3\sqrt{3}} - 1 = 0{,}8661631 \Rightarrow \alpha = 29{,}984° \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \alpha = 30° = \pi/6$$

c) El valor eficaz de i_ℓ: $I_\ell = \sqrt{\frac{2}{3}}\,I_o = \sqrt{\frac{2}{3}}\frac{V_R}{R} = 39{,}2\ A$

d) Factor de potencia:

$$S = 3\,V_{ef}\,I_\ell = 25875{,}45\ VA$$

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{V_R \cdot I_o}{S} = 0{,}891$$

e) $V_{LR\,ef} = U_{ef}\sqrt{1+\frac{3\sqrt{3}}{2\pi}\cos^2\alpha} = 380\sqrt{1+\frac{3\sqrt{3}}{2\pi}\cos^2\frac{\pi}{6}} = 483{,}698\ V = 484\ V$

$$f_f = \frac{V_{LRef}}{V_{LRmed}} = 1{,}00736$$

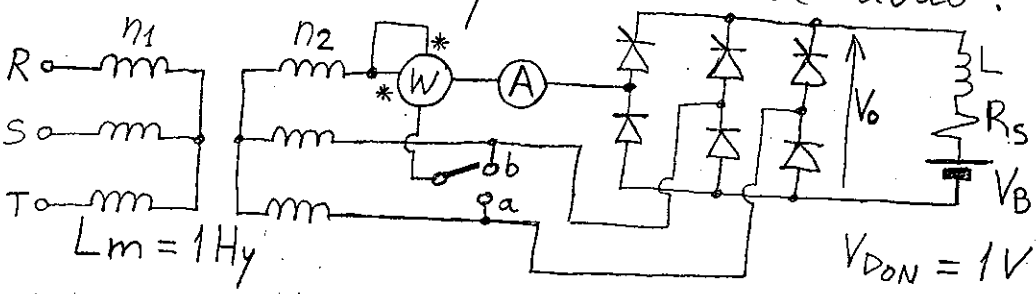
g) $P_D = V_{DON} \cdot I_{Dmed} = 0{,}9 \cdot 16\ W = 14{,}4\ W$

$$I_{Dmed} = \frac{1}{3}\,I_{omed} = \frac{48}{3}A = 16\ A$$

(1er problema) PROBLEMA 5

Para el cargador de baterías de la figura, calcular:

1) El valor eficaz de la tensión V_o.
2) El valor de la resistencia equivalente serie, R_S.
3) La corriente indicada por A en su cuadrante.
4) El factor de potencia visto desde la red.
5) La potencia disipada en cada diodo.



$V_B = 48 V$

$\cos\varphi_L \to 0$

$V_{DON} = 1V$

$\frac{n_1}{n_2} = 5$

A: Amperímetro de valor medio calibrado en valor eficaz de onda senoidal.

R_S: resistencia equivalente serie de la batería.

L_m: inductancia de magnetización referida al primario del transformador trifásico.

$\cos\varphi_L$: $\cos\varphi$ de la carga R-L-E

W_a: indicación del wattímetro con la llave en la posición a.

W_b: indicación del wattímetro con la llave en la posición b.

$W_a = 1200 W$; $W_b = 490 W$

$|\bar{V}_R| = |\bar{V}_S| = |\bar{V}_T| = 220 V$

1er Parcial / 2° cuatrimestre - 1994 / Recuperatorio

1er problema / Solución

Problema 5

$$W_a = \frac{1}{T}\int_0^T v_{RT}(t)\, i_R(t)\, dt = \overline{\langle v_{RT}\, i_R \rangle}$$

Por otra parte: $W_a = \frac{1}{T}\int_0^T v_R\, i_R\, dt - \frac{1}{T}\int_0^T v_T\, i_R\, dt \Rightarrow$

$$\Rightarrow W_a = \overline{\langle v_R\, i_R \rangle} - \overline{\langle v_T\, i_R \rangle} = P_R - \overline{\langle v_T\, i_R \rangle}$$

De la misma manera: $W_b = \overline{\langle v_{RS}\, i_R \rangle} = P_R - \overline{\langle v_S\, i_R \rangle}$

Sumando m.a m.:

$$W_a + W_b = 2P_R - \overline{\langle v_T\, i_R \rangle} - \overline{\langle v_S\, i_R \rangle} = 2P_R - \frac{1}{T}\int_0^T (v_T + v_S)\, i_R\, dt \Rightarrow$$

$\Rightarrow W_a + W_b = 3P_R$, si la fuente es simétrica y la carga equilibrada: $P = 3P_R \Rightarrow \boxed{P = W_a + W_b}$

(Nótese que el neutro podría estar conectado)

En forma similar:

$$W_a - W_b = \overline{\langle v_S\, i_R \rangle} - \overline{\langle v_T\, i_R \rangle} = \frac{1}{T}\int_0^T v_{ST}\, i_R\, dt$$

Con fuente simétrica y carga equilibrada:

$$W_a - W_b = \mathbb{R}\left\{\bar{V}_{ST}\, \bar{I}_R^*\right\} = \mathbb{R}\left\{-j\sqrt{3}\,\bar{V}_R\, \bar{I}_R^*\right\} = \mathbb{R}\left\{-j\sqrt{3}\,(P_R + jQ_R)\right\} =$$

$= \sqrt{3}\,Q_R$, si la fuente es simétrica y la carga está equilibrada: $Q_R = Q/3 \Rightarrow W_a - W_b = Q/\sqrt{3} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{Q = \sqrt{3}(W_a - W_b)}$

1) $P = W_a + W_b = 1690\,W$; $Q = \sqrt{3}(W_a - W_b) = 1229{,}7561\ VAR \cong 1230\ VAR$

Para un puente mixto, con $\cos\varphi_L \to 0$:

$$\frac{Q}{P} = tg\frac{\alpha}{2} \Rightarrow \alpha = 72{,}08424° \cong 72° = 2\pi/5$$

Con α se calcula el valor eficaz de la tensión de salida:

$$V_{o\,ef} = \sqrt{3}\frac{n_2}{n_1}V_m\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}\cos^2\alpha} = \frac{n_2}{n_1}\sqrt{3}\,V_{ef}\sqrt{1 + \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}\cos^2\alpha} = 79{,}136\ V$$

1^er^ parcial / 2^o^ cuatr. / continuación

2) $P = V_{omed} \cdot I_o \Rightarrow I_o = P/V_{omed}$

$$V_{omed} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi}\frac{n_2}{n_1}V_m(1+\cos\alpha) = \frac{336{,}45\,V}{5} = 67{,}29\ V$$

$\therefore\ I_o = 1690\,W/67{,}29V = 25{,}115173 \cong 25{,}1\ A$

Por otra parte: $V_{omed} = I_o R_S + V_B \Rightarrow$

$$\Rightarrow R_S = \frac{V_{omed} - V_B}{I_o} = 768\ m\Omega$$

3) Dado que $\alpha > \pi/3$, hay solapamiento. Por lo tanto:

$$I_{L\,med} = I_o\left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right) = 15{,}07\ A$$

$$I_{L\,med} = \frac{2}{\pi}\sqrt{2}\, I_A \Rightarrow I_A = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_{L\,med} = 16{,}7\ A$$

4) $S_{Tot}^2 = P_{Rect}^2 + Q_{Rect}^2 + D_{Rect}^2 + Q_{Tr}^2 = S_{Rect}^2 + Q_{Tr}^2$

$P_{Rect}^2 + Q_{Rect}^2 + D_{Rect}^2 = S_{Rect}^2$; $S_{Rect} = 3 I_{Lef} \cdot V_{sef} = 3\frac{n_2}{n_1} V_{ef} \cdot I_{Lef}$

$I_{Lef} = I_o\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi}} = 19{,}454\ A \Rightarrow S_{Rect} = 2567{,}95\ VA$

$$Q_{Tr} = \frac{3V_{ef}^2}{X_m} = \frac{3V_{ef}^2}{2\pi f L_m} = 462{,}186\ VAR$$

$$S = \sqrt{S_{Rect}^2 + Q_{Tr}^2} = 2609{,}21\ VA$$

$$F.P. = \frac{P}{S} = \frac{1690}{2609} = 0{,}648$$

5) La potencia disipada en cada diodo es:

$I_{Dmed} \cdot V_{DON} = P_D$; donde $I_{Dmed} = \frac{I_o}{3} \Rightarrow$

$$\Rightarrow P_D = 1V \cdot \frac{25{,}11\,A}{3} = 8{,}37\ W$$

2º Cuatrimestre 1994 _ 1º PARCIAL

2º Recuperatorio - 1er Problema

Para el circuito de la figura calcular:

a) El valor eficaz de la tensión V_D. [1]

b) La potencia perdida en el diodo D. [1/2]

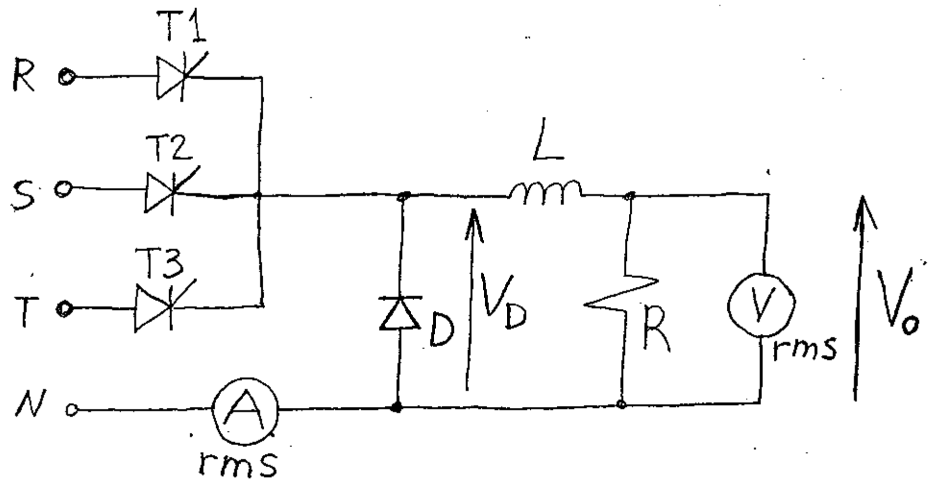
c) La potencia disipada en cada tiristor. [1/2]

d) El rendimiento de rectificación considerando las pérdidas en los semiconductores. [1]

e) El factor de potencia visto desde la red. [1]

f) Las potencias de dimensionamiento de D y T. [1/2]

g) Cuanto indicaría en su cuadrante un amperímetro de valor medio calibrado en valor eficaz de onda senoidal, insertado en línea. [1/2]



$$\frac{R}{\omega L} \to 0$$

Datos: $R = 10\,\Omega$; $I_A = 5{,}23\,A$; $V_{o\,rms} = 74\,V$

$|\bar{V}_R| = |\bar{V}_S| = |\bar{V}_T| = 220\,V$; $f = 50\,Hz$

$R/\omega L \to 0$

$V_{TON} = 1{,}9\,V$; $V_{DON} = 1{,}2\,V$

V_{TON}: caída pasante en el tiristor.

V_{DON}: caída pasante en el diodo.

1er problema – Solución

El valor medio de V_D es: $V_{Dmed} = V_{omed} = V_{orms}$

y por otra parte:

$$V_{Dmed} = \frac{3}{2\pi}\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi} V_m \operatorname{sen}\theta \, d\theta \Rightarrow V_{Dmed} = V_{omed} = \frac{3}{2\pi} V_m\left[1+\cos\left(\alpha+\frac{\pi}{6}\right)\right]$$

$$\Rightarrow \boxed{V_{Dmed} = \frac{3}{\sqrt{2}\pi} V_{ef}\left[1+\cos\left(\alpha+\frac{\pi}{6}\right)\right]}$$

$$V_{Dmed} = 74\ V \Rightarrow \cos\left(\alpha+\frac{\pi}{6}\right) = \frac{V_{Dmed}}{V_{ef}}\cdot\frac{\sqrt{2}\pi}{3} - 1 = -0{,}5018585$$

$$\therefore \alpha = 90{,}123^\circ \cong \pi/2$$

a) $$V_{Def}^2 = \frac{3}{2\pi}\int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\pi} V_m^2 \operatorname{sen}^2\theta\, d\theta = \frac{3}{2\pi}\frac{V_m^2}{2}\left[\frac{5\pi}{6} - \alpha + \frac{1}{2}\operatorname{sen}\left(2\alpha+\frac{\pi}{3}\right)\right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Def} = \frac{V_{ef}}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{5}{2} - \frac{3\alpha}{\pi} + \frac{3}{2\pi}\operatorname{sen}\left(2\alpha+\frac{\pi}{3}\right)} = 119{,}136\ V$$

$$V_{Def} = 119\ V$$

b) $$I_{Dmed} = \frac{3}{2\pi}\left(\alpha - \frac{\pi}{3}\right) I_o = \frac{I_o}{2}\left(\frac{3\alpha}{\pi} - 1\right)$$

$$I_o = V_{omed}/R = 7{,}4A \Rightarrow I_{Dmed} = \frac{I_o}{4} = 1{,}85\ A$$

$$P_D = V_{DON}\cdot I_{Dmed} = 2{,}22\ W$$

c) $$I_{Tmed} = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{5\pi}{6} - \alpha\right) I_o = \frac{I_o}{2}\left(\frac{5}{6} - \frac{\alpha}{\pi}\right) = 1{,}233\ A$$

$$P_T = V_{TON}\cdot I_{Tmed} = 2{,}343\ W$$

d) $$P_{TOT} = P_D + 3P_T = 9{,}25\ W$$

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P + P_{TOT}}\ ;\ \text{pero: } P_{dc} = P = \frac{V_{oef}^2}{R} = 547{,}6\ W \Rightarrow \eta = 0{,}9834$$

e) $I_{L_{ef}} = I_{T_{ef}} = \frac{I_o}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{5}{6} - \frac{\alpha}{\pi}} = 3{,}021\ A$

$S = 3\, V_{e_{ef}}\, I_{L_{ef}} = 1993{,}885\ VA$

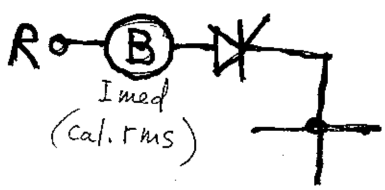
$F.P. = \frac{P + P_{TOT}}{S} = 0{,}279$

f) La tensión máxima sobre D puede ser:

$V_{D_{max}} = \sqrt{2}\, V_{ef} = 311\ V$; y la máxima corriente es $I_o = 7{,}4\ A \Rightarrow P_{D_{max}} = \sqrt{2}\, V_{e_{ef}}\, I_o = 2302\ VA$

En forma similar $\Rightarrow P_{T_{max}} = \sqrt{2}\sqrt{3}\, V_{e_{ef}}\, I_o = 3988\ VA$

g) $I_{L_{med}} = \frac{2}{\pi}\sqrt{2}\, I_B \Rightarrow I_B = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_{L_{med}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_{T_{med}} = 1{,}37\ A$



Problema 2

I) Se dispone de un circuito rectificador trifásico de media onda, no controlado, donde se desarrolla una potencia de continua sobre la carga de 13218 Watts, sobre una resistencia de 5 Ohms.
Se pide calcular:

a) La corriente media y eficaz sobre los diodos.

b) El factor de utilización del secundario.

II) Si contamos con un rectificador trifásico semicontrolado de onda completa, y se utiliza la misma alimentación, con el mismo transformador, hallar:

a) El ángulo de disparo para desarrollar la misma potencia de continua sobre la carga.

b) El nuevo factor de utilización del secundario.

c) La forma de onda de la tensión sobre los diodos y sobre los tiristores.

Solución

Para el puente de ½ onda no controlado con carga resistiva:

$$V_{o_{ef}} = V_{ef}\sqrt{1+\frac{3\sqrt{3}}{4\pi}} \text{, donde: } V_{ef} = V_m/\sqrt{2}$$

Por otra parte: $P_{dc} = I_{o_{med}}^2 R$; (P_{dc} = potencia de C.C.)

$$\therefore \quad I_{o_{med}} = \sqrt{\frac{P_{dc}}{R}} = 51{,}42\ A \Rightarrow V_{o_{med}} = I_{o_{med}} \cdot R = 257\ V$$

La tensión de entrada es:

$$V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m = \frac{3\sqrt{6}}{2\pi} V_{ef} \Rightarrow V_{ef} = \frac{2\pi}{3\sqrt{6}} V_{o_{med}} = 220V$$

I-a) $V_{o_{ef}} = V_{e_{ef}} \sqrt{1 + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi}} = 261,6 \text{ V}$

$I_{o_{med}} = 51,42 \text{ A}$; $I_{o_{ef}} = \frac{V_{oef}}{R} = 52,31 \text{ A}$

$I_{D_{med}} = \frac{I_{omed}}{3} = 17,14 \text{ A}$; $I_{D_{ef}} = \frac{I_{oef}}{\sqrt{3}} = 30,2 \text{ A}$

I-b) $F.U.S. = \frac{P_{dc}}{S} = \frac{13218}{3.6644} = 0,663$

$S = 3 . I_{e_{ef}} . V_{e_{ef}} = 3.6644 = 19932 \text{ VA}$

$I_{e_{ef}} = I_{D_{ef}} = 30,2 \text{ A}$; $V_{e_{ef}} = 220 \text{ V}$

II-a) $V_{o_{med}} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m (1 + \cos\alpha) = \frac{3}{\pi}\sqrt{\frac{3}{2}}\, V_{e_{ef}} (1 + \cos\alpha)$

$\Rightarrow \cos\alpha = \frac{V_{omed}}{V_{e_{ef}}} \cdot \frac{\pi}{3}\sqrt{\frac{2}{3}} - 1 = 0 \Rightarrow \alpha = \pi/2$

II-b) $\alpha > \pi/3 \Rightarrow V_{o_{ef}} = V_{e_{ef}} \cdot \frac{3}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(1 - \frac{\alpha}{\pi}\right) + \frac{1}{2\pi} \operatorname{sen} 2\alpha} \Rightarrow$

$\Rightarrow V_{o_{ef}} = \frac{3}{2} . 220 \text{ V} = 330 \text{ V}$

$I_{o_{ef}} = \frac{V_{oef}}{R} = 66 \text{ A} \Rightarrow I_{e_{ef}} = \sqrt{\frac{2}{3}}\, I_{o_{ef}} = 53,89 \text{ A}$

$\therefore S = 3 . I_{e_{ef}} . V_{e_{ef}} = 35566,6 \text{ VA}$

Finalmente: $F.U.S. = \frac{P_{dc}}{S} = \frac{13218}{35566,6} = 0,372$

Problema 3

Para el siguiente circuito, determinar

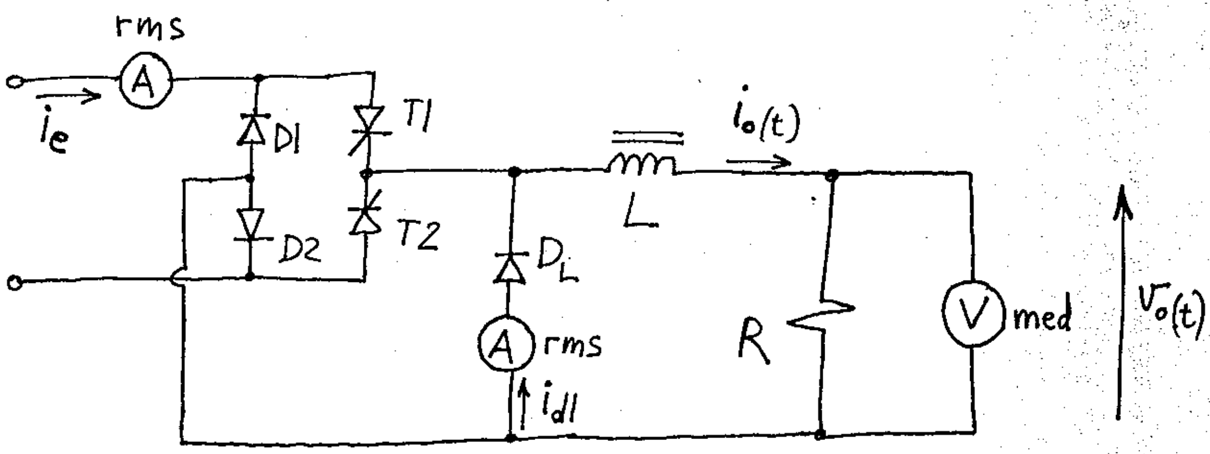
a) La tensión eficaz sobre la carga.

b) La potencia activa disipada en R.

c) El rendimiento de rectificación.

d) El factor de potencia.

e) El valor eficaz de la corriente en los tiristores y graficar la forma de onda.

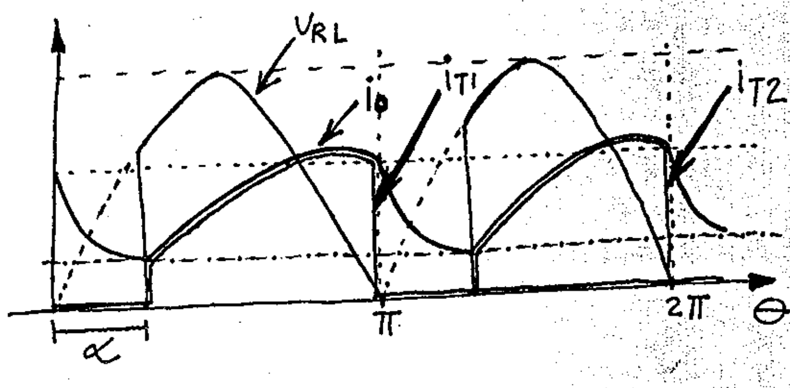


Datos: $V_{o_{med}} = 169\ V$ $\quad R = 2\ \Omega$

$I_{e_{ef}} = 88 A$ $\quad V_{T1on} = 1{,}3 V$

$I_{DL_{ef}} = 31 A$

Solución:



$$V_{o_{med}} = V_{LR\,med} = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m \operatorname{sen}\theta\, d\theta = \frac{V_m}{\pi}(1+\cos\alpha)$$

$$V_{LR\,ef}^2 = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \operatorname{sen}^2\theta\, d\theta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{LR\,ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}\sqrt{\left(1-\frac{\alpha}{\pi}\right)+\frac{1}{2\pi}\operatorname{sen}2\alpha}$$

Por otra parte: $I_{o_{ef}}^2 = I_{e_{ef}}^2 + I_{DL_{ef}}^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow I_{o_{ef}} = \sqrt{I_{e_{ef}}^2 + I_{DL\,ef}^2}$

$P_{dc} = V_{o_{med}}^2/R$; $P_{act} = I_{o_{ef}}^2 \cdot R$

Rendimiento de rectificación:

$\eta = P_{dc}/P_{act}$

Factor de potencia: $F.P. = P_{act}/S$

S: potencia aparente, $S = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \cdot I_{e_{ef}}$

Resultados:

$V_{o_{med}} = \frac{V_m}{\pi}(1+\cos\alpha) = 169\,V \Rightarrow \cos\alpha = \frac{\pi V_{o_{med}}}{V_m} - 1 = 0{,}7064$

$\Rightarrow \alpha = 45^{\circ}$

$\therefore V_{LR\,ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}\sqrt{\left(1-\frac{\alpha}{\pi}\right)+\frac{1}{2\pi}\operatorname{sen}2\alpha} = 209{,}74V \cong 210\,V$

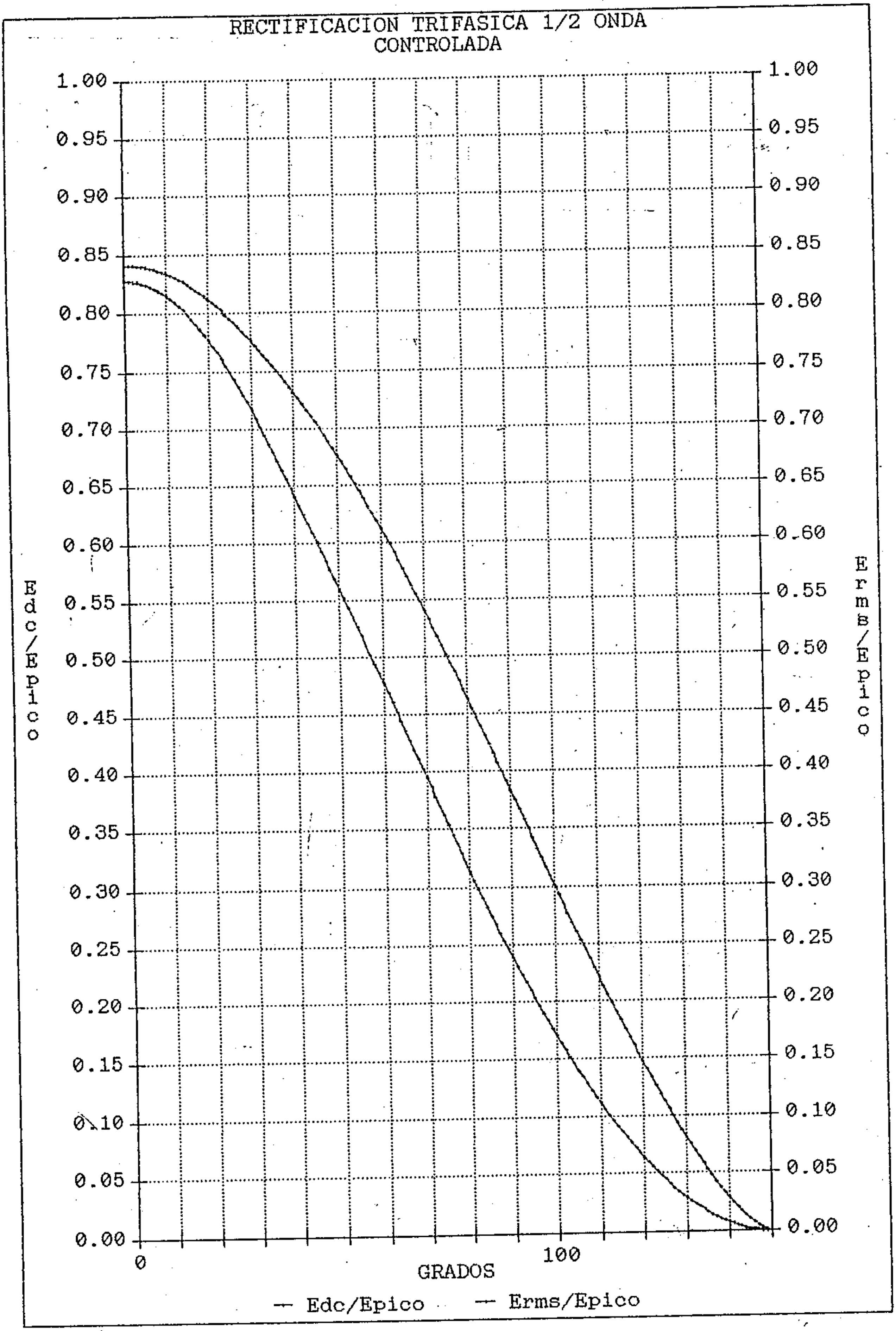
$I_{o_{ef}} = \sqrt{I_{e_{ef}}^2 + I_{DL_{ef}}^2} = 93{,}3\,A \Rightarrow P_{act} = 17{,}41\,kW$

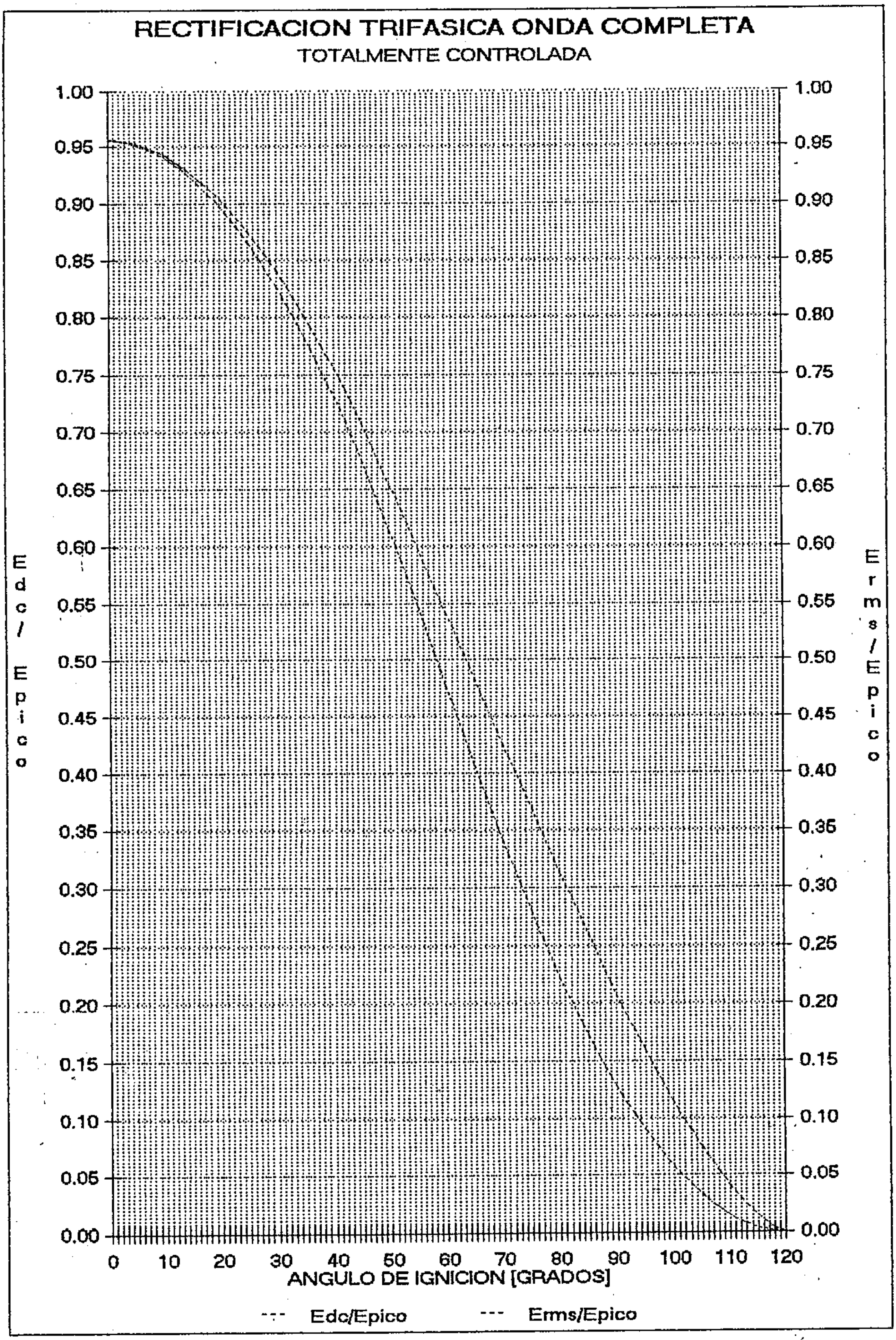
$P_{dc} = V_{o_{med}}^2/R = 14{,}28\,kW$; $S = 19{,}36\,kVA$

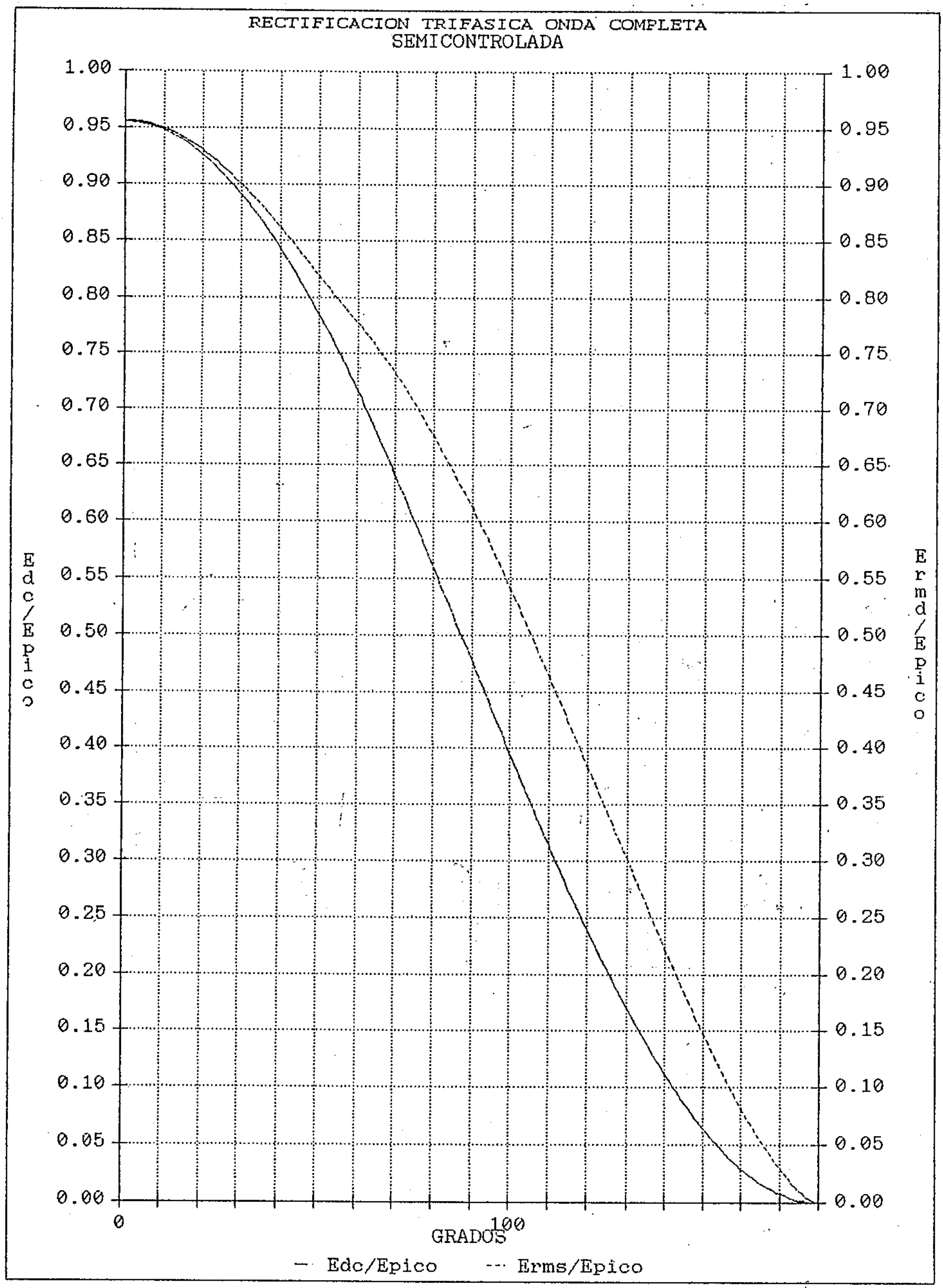
Por lo tanto: $\eta = 0{,}82$ y $F.P. = 0{,}90$

El valor eficaz de la corriente en los tiristores es:

$I_{T_{ef}} = \frac{I_{e_{ef}}}{\sqrt{2}} = 62{,}2\,A$; pues durante la fase de rueda libre la corriente no circula por el puente.


RECTIFICACION TRIFASICA 1/2 ONDA
CONTROLADA
Edc/Epico
Erms/Epico
GRADOS
0
100
1.00
0.95
0.90
0.85
0.80
0.75
0.70
0.65
0.60
0.55
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
— Edc/Epico
— Erms/Epico


RECTIFICACION TRIFASICA ONDA COMPLETA
TOTALMENTE CONTROLADA
1.00
0.95
0.90
0.85
0.80
0.75
0.70
0.65
0.60
0.55
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
Edc/Epico
Erms/Epico
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
ANGULO DE IGNICION [GRADOS]
Edc/Epico
Erms/Epico


RECTIFICACION TRIFASICA ONDA COMPLETA
SEMICONTROLADA
1.00
0.95
0.90
0.85
0.80
0.75
0.70
0.65
0.60
0.55
0.50
0.45
0.40
0.35
0.30
0.25
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
Edc/Epico
Ermd/Epico
0
100
GRADOS
— Edc/Epico
--- Erms/Epico