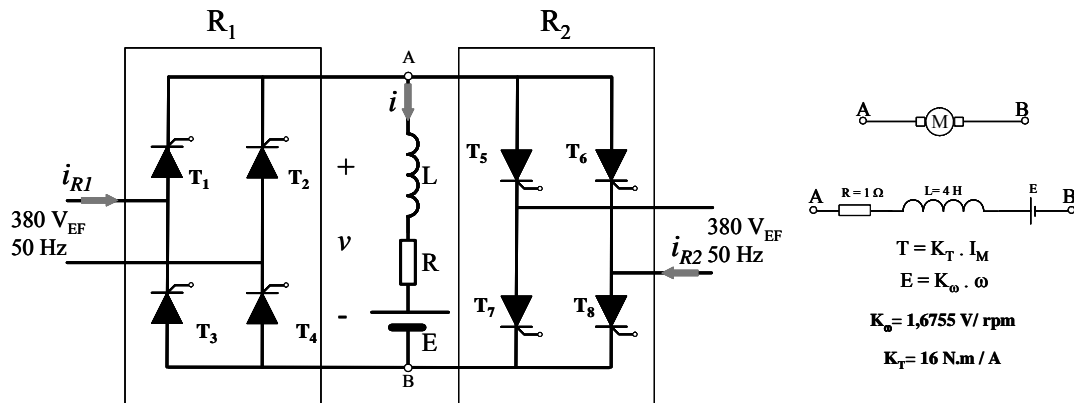


## Enunciado

En la Figura 1 se representa un convertidor doble que alimenta a un motor de CC, cuyas características también aparecen en la figura 14. Los rectificadores  $R_1$  y  $R_2$ , que forman el convertidor, operan de manera no simultánea. Los tiristores del rectificador  $R_1$  funcionan con un ángulo de disparo  $\alpha_1$  y los del rectificador  $R_2$  con un ángulo  $\alpha_2$ .



Si se pretende que el motor gire a 120 r.p.m., se pide:

1. Calcular el valor medio de la tensión en el motor ( $v$ ) en función de  $\alpha_1$  en el caso que opere  $R_1$  y en función de  $\alpha_2$  para cuando opere  $R_2$ . Determinar cual es el valor mínimo de  $\alpha_1$  para que se produzca el disparo de los tiristores de  $R_1$ .
2. Para  $\alpha_1 = 36^\circ$  (opera  $R_1$ ). Se pide:
  - a. Dibujar las formas de onda de  $v(t)$  e  $i_{R1}(t)$  en sendos oscilogramas con la misma base de tiempos, acotándolas debidamente.
  - b. Determinar el modo de operación del motor (motor o freno) y el par motor.
  - c. Calcular la potencia en el eje del motor, la potencia que cede la red y las pérdidas en los devanados del motor.
3. Para  $\alpha_2 = 120^\circ$  (opera  $R_2$ ). Se pide:
  - a. Dibujar las formas de onda de  $v(t)$  e  $i_{R2}(t)$  en sendos oscilogramas con la misma base de tiempos, acotándolas debidamente.
  - b. determinar el modo de operación del motor (motor o freno) y el par motor.
  - c. Calcular la potencia en el eje del motor, la potencia que cede la red y las pérdidas en los devanados del motor.

## Solución propuesta

### Apartado 1:

Se pretende que la máquina de C.C. gire a una velocidad constante de 120 r.p.m., por tanto, la tensión  $E$  que representa la F.C.E.M. del motor de viene dada por (1):

$$E = K_{\omega} \cdot \omega = 1,6755 \frac{V}{r.p.m.} \cdot 120 r.p.m. = 201V \quad (1)$$

La forma de onda de tensión  $v$  que el rectificador  $R_1$  aplica al motor durante su operación se representa en la figura 15.a, la suma de las áreas grises son proporcionales al valor medio de la tensión  $v$ .

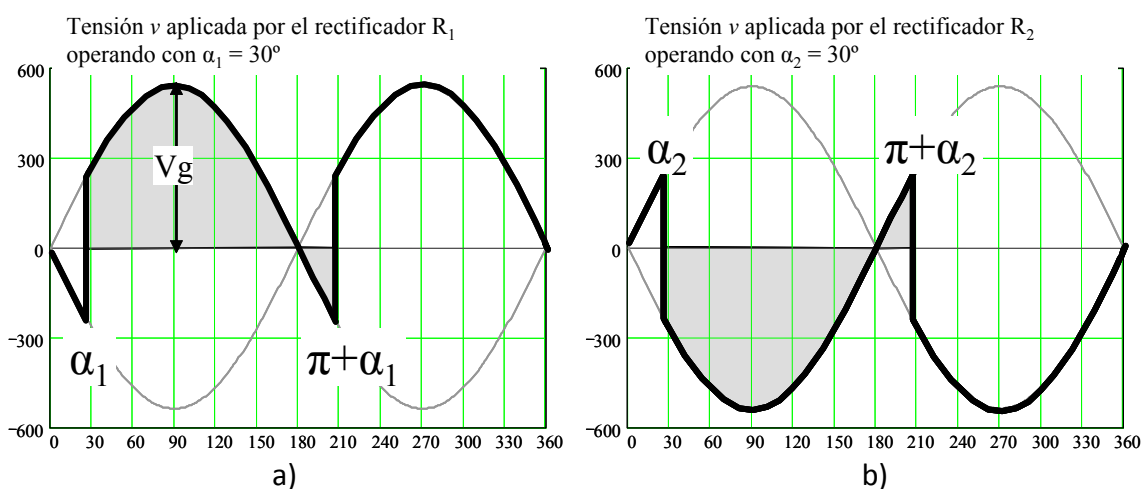


Figura 2

El valor medio de tensión aplicado sobre el motor por el rectificador  $R_1$ , viene dado por (2).

$$\overline{v(\alpha_1)} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_1}^{\pi+\alpha_1} Vg \cdot \text{Sen}(\omega t) \cdot d\omega t = \frac{Vg}{\pi} \cdot [\text{Cos}(\alpha_1) - \text{Cos}(\pi + \alpha_1)] = \frac{2 \cdot Vg}{\pi} \cdot \text{Cos}(\alpha_1) \quad (2)$$

La tensión que el rectificador  $R_2$  aplica al motor, según la polaridad que marca la tensión  $v$ , se representa en la figura 15.b, su valor medio se obtiene según (3). En esta expresión el signo  $-$  se debe a que el rectificador  $R_2$  aplica la envolvente negativa al motor.

$$\overline{v(\alpha_2)} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_2}^{\pi+\alpha_2} (-Vg) \cdot \text{Sen}(\omega t) \cdot d\omega t = \frac{-Vg}{\pi} \cdot [\text{Cos}(\alpha_2) - \text{Cos}(\pi + \alpha_2)] = \frac{-2 \cdot Vg}{\pi} \cdot \text{Cos}(\alpha_2) \quad (3)$$

Para que disparen los tiristores del rectificador  $R_1$ , es necesario que el ángulo de disparo,  $\alpha$ , sea tal, que el valor instantáneo de tensión, correspondiente a ese ángulo de red ( $\omega t = \alpha$ ), sea mayor que  $E$ . Por tanto:

$$Vg \cdot \text{Sin}(\alpha) > E \Rightarrow \alpha > \text{Sin}^{-1}\left(\frac{E}{Vg}\right) \Rightarrow \alpha_{MIN} = \text{Sin}^{-1}\left(\frac{201}{380 \cdot \sqrt{2}}\right) = 21.97^\circ$$

### Apartado 2:

Cuando el rectificador  $R_1$  opera con un ángulo de disparo  $\alpha_1 = 36^\circ$ , las formas de onda de la tensión aplicada al motor,  $v$ , y de la corriente que este rectificador absorbe de la red,  $i_{R1}$ , se representan en la figura 16.

Ya que la inductancia del motor posee un valor de 4H, puede despreciarse el rizado de la corriente por el motor,  $i$ , puede considerarse una continua pura de valor ( $i(t)=I$ ).

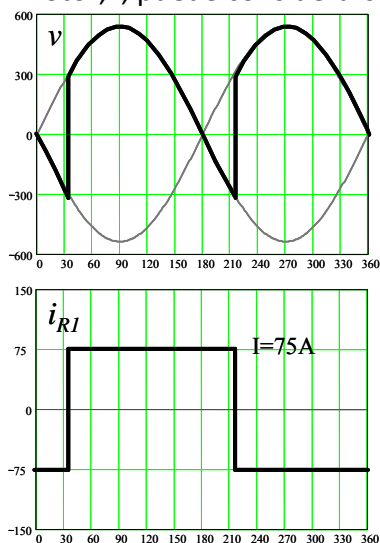


Figura 3

El valor medio de  $v$ , se calcula utilizando (2) y su valor numérico viene dado por (4):

$$V_M = \overline{v(\alpha_1)} = \frac{2 \cdot 380 \cdot \sqrt{2} V}{\pi} \cdot \cos(36) = 276V \quad (4)$$

El valor medio de la tensión en el motor,  $v$ , se ha denominado  $V_M$ .

En régimen permanente el valor medio de la tensión en la inductancia del motor es nulo, por tanto el valor medio de la tensión  $v$  se reparte entre la resistencia y la fuente  $E$ .

En consecuencia, el valor de corriente continua que circula por el motor viene dado por (5):

$$I_M = \frac{V_M - E}{R} = \frac{276V - 201V}{1\Omega} = 75A \quad (5)$$

Ya que la corriente por el motor ha resultado positiva según el criterio de signos que se presentaba en el enunciado, se está entregando potencia a la fuente de tensión  $E$ , que representa la F.C.E.M. y por tanto la máquina de continua funciona como motor. Esta máquina trabaja como motor en el primer cuadrante, ya que se cumple:

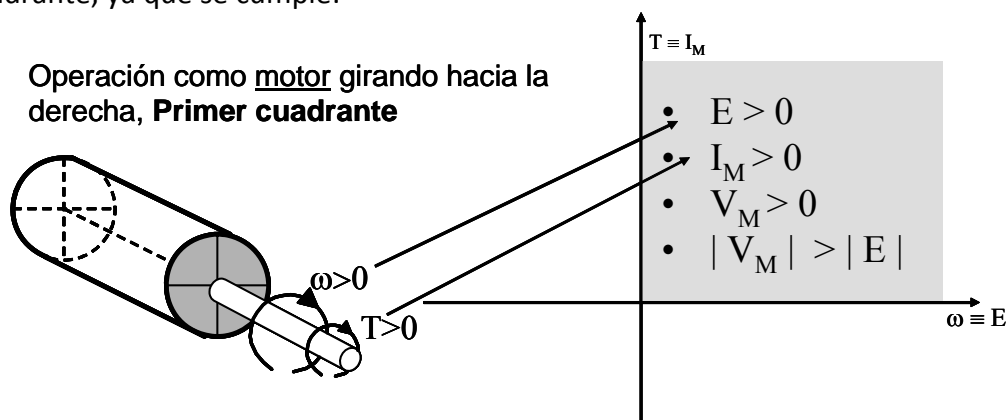


Figura 4

El par motor resulta:

$$T = K_T \cdot I_M = 16 \cdot \frac{N \cdot m}{A} \cdot 75A = 1200N \cdot m \quad (6)$$

El reparto de potencias viene dado por:

- Potencia cedida por el eje:

$$P_{EJE} = E \cdot I = 201V \cdot 75A = 15075W \quad (7)$$

- Potencia de pérdidas en el cobre:

$$P_{Cu} = R \cdot I^2 = 1\Omega \cdot 75A^2 = 5625W \quad (8)$$

- Potencia cedida por la red eléctrica:

$$P_{RED} = V_M \cdot I = 276V \cdot 75A = 20700W \quad (9)$$

- Balance de Potencia. Se verifica que:

$$P_{RED} = P_{EJE} + P_{Cu} \Leftrightarrow 20700W = 15075W + 5625W \quad (10)$$

### Apartado 3:

Cuando el rectificador  $R_2$  opera con un ángulo de disparo  $\alpha_2 = 120^\circ$ , las formas de onda de la tensión aplicada al motor,  $v$ , y de la corriente que este rectificador absorbe de la red,  $i_{R2}$ , se representan en la figura 18.

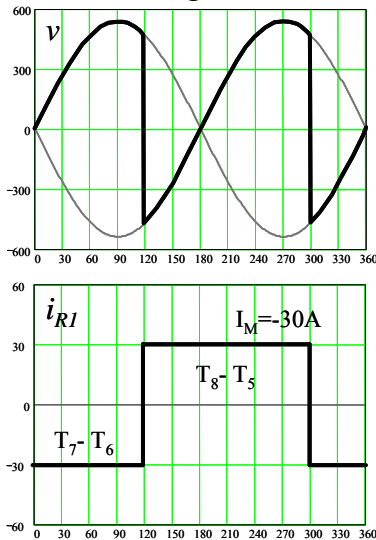


Figura 5

El valor medio de  $v$  se calcula utilizando (3) y se recoge en (11):

$$V_M = \overline{v(\alpha_2)} = \frac{-2 \cdot 380 \cdot \sqrt{2} V}{\pi} \cdot \cos(120^\circ) = 171V \quad (11)$$

El valor de corriente continua que circula por el motor viene dado por (12):

$$I_M = \frac{V_M - E}{R} = \frac{171V - 201V}{1\Omega} = -30A \quad (12)$$

Ya que la corriente por el motor resulta negativa según el criterio de signos que se presentaba en el enunciado, la fuente de tensión  $E$ , que representa la F.C.E.M., está entregando potencia y por tanto la máquina funciona como freno regenerativo.

También puede justificarse este funcionamiento, atendiendo a la figura 19:

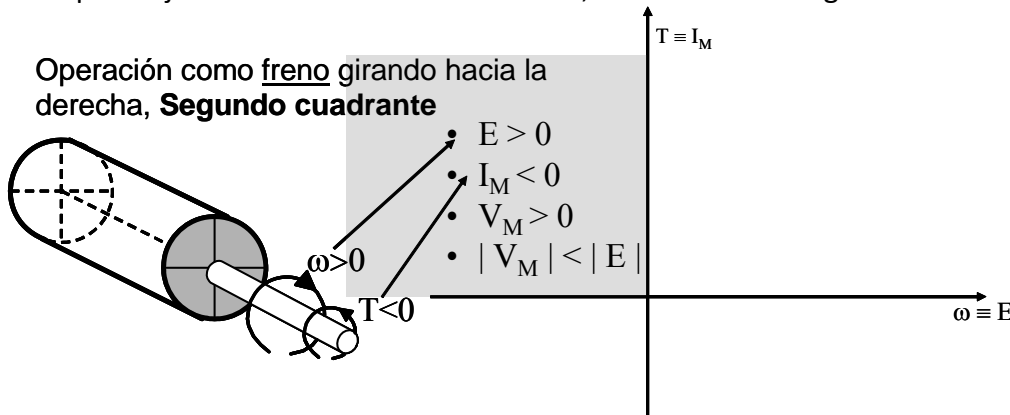


Figura 6

El par motor resulta:

$$T = K_T \cdot I = 16 \cdot \frac{N \cdot m}{A} \cdot (-30A) = -479N \cdot m \quad (13)$$

El reparto de potencias viene dado por:

- Potencia cedida por el eje:

$$P_{EJE} = E \cdot I = 201V \cdot (-30A) = -6030W \quad (14)$$

- Potencia de pérdidas en el cobre:

$$P_{Cu} = R \cdot I^2 = 1\Omega \cdot (-30A)^2 = 900W \quad (15)$$



- Potencia cedida por la red eléctrica:

$$P_{RED} = V_M \cdot I = 171V \cdot (-30A) = -5130W \quad (16)$$

- Balance de Potencia. Se verifica que:

$$P_{RED} = P_{EJE} + P_{Cu} \Leftrightarrow -5130W = -6030W + 900W \quad (17)$$