

EL4001 – Conversión de la Energía y Sistemas de Eléctricos

Ejercicio 4

Problema 1

Se desea diseñar un transformador monofásico que permita reducir la tensión de 220 [V] a 15 [V], en 50 [Hz], para alimentar un equipo que consume 500 [W] con $\cos\varphi = 1$. Se dispone de láminas E - I de acero silicoso de 0,5 [mm] de espesor, con las dimensiones en [cm] que se indican en la figura 1.

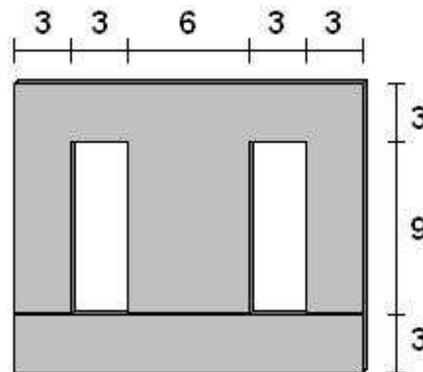


Figura 1: Láminas E - I.

Asuma que la curva B - H de este material ferromagnético se comienza a saturar en 1,6 [T], siendo su permeabilidad magnética $\mu = 1100 \cdot \mu_0$ en zona lineal.

- Considerando ecuaciones de diseño simplificadas (del transformador ideal), encuentre la solución de mínimo costo. Para ello asuma valores razonables de densidad de corriente, densidad de flujo, etc., justificándolos adecuadamente.
- Calcule los parámetros del circuito equivalente del transformador diseñado. Para ello utilice las relaciones de los anexos. Luego evalúe el rendimiento del transformador y la tensión del secundario con carga nominal (500 [W]), cuando el primario se alimenta con 220 [V] a 50 [Hz].
- Rediseñe el transformador para tener exactamente 15 [V] en el secundario con carga nominal. Calcule y compare su rendimiento con el calculado en (b) para la solución anterior.

Antecedentes

- Densidad del cobre : 9,0 [kg/dm³]
- Densidad del acero : 7,6 [kg/dm³]
- Costo del cobre : 18.000 [\$/kg]
- Costo del acero : 3.500 [\$/kg]

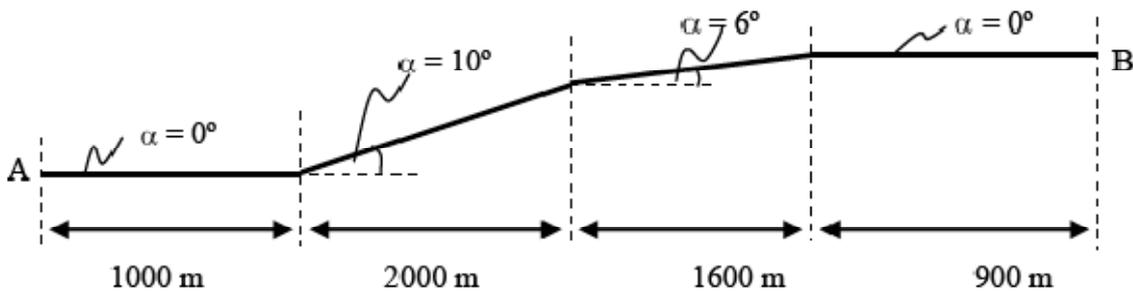
N° AWG	Sección [mm ²]
6	13,30
7	10,55
8	8,36
9	6,63
10	5,26
11	4,17
12	3,30
13	2,62
14	2,03
15	1,65
16	1,31
17	1,04
18	0,82
19	0,65
20	0,51

Tabla 1: Conductores de cobre esmaltados de sección normalizada AWG.

Si lo considera necesario, para resolver este ejercicio utilice los apuntes de diseño de transformadores que se pondrán a disposición; si lo desea, utilice las curvas B – H y B – pérdidas de las laminaciones de acero silicoso que ahí se entregan.

Problema 2

Un tren minero debe subir carga desde el yacimiento ubicado en A, hasta el lugar de descarga ubicado en B. Las longitudes y las pendientes de los tramos de dicha trayectoria se indican en la figura siguiente:



El tren utiliza 2 motores serie idénticos, que suman sus torques para mover el eje de las ruedas, cada uno de voltaje nominal de 600 [V] y con $R_A = 0,03$ [Ω], $R_C = 0,05$ [Ω] y $G = 0,014$ [H]. La red de voltaje continuo de la vía es de 600 [V] y existe la posibilidad que los motores se conecten en serie o en paralelo entre sí a esta fuente de voltaje. El torque resistente a nivel del eje de los motores, que deben vencer los motores del tren, depende de la pendiente de la trayectoria y de la velocidad ω [rad/s] del tren en la forma:

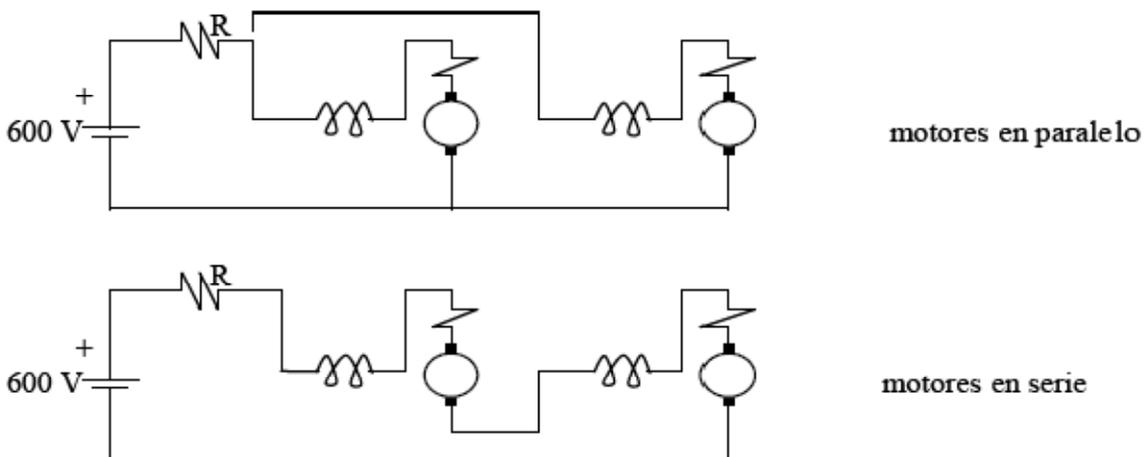
$$T_R \text{ [Nm]} = 300 \cdot (1 + 100 \cdot \text{sen}(\alpha)) + 30 \cdot \omega$$

La velocidad del tren se relaciona con la velocidad ω' del eje de los motores mediante:

$$v_{tren} \left[\frac{km}{hr} \right] = 0,085 \cdot \omega'$$

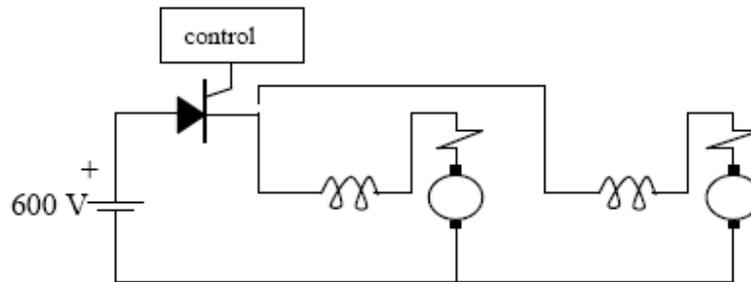
Donde ω' es la velocidad del eje en [rpm].

- Calcule la velocidad de régimen permanente del tren en cada tramo si los motores funcionaran conectados en paralelo, y si los motores funcionaran conectados en serie a la fuente de 600 [V] (asuma que no se utiliza ninguna resistencia adicional en serie con los motores). En ambos casos, calcule el tiempo aproximado en viajar desde A hasta B (desprecie los transitorios de cambio de velocidad al inicio de cada tramo).
- Se desea que el tren viaje de A a B a una velocidad constante de 40 [km/h]. Para ello, la velocidad se puede ajustar en cada tramo, manteniéndolos ambos conectados en serie entre sí o en paralelo entre sí, y si es necesario, conectando resistencias en serie con los motores, como muestra la figura siguiente:



Se pide, para cada tramo: Decidir si es más adecuado conectar los motores en serie o en paralelo, y calcular la resistencia R necesaria para que la velocidad del tren sea de 40 [km/h].

- c) Para lograr el mismo objetivo anterior, se trabajará con los motores conectados siempre en paralelo entre sí, pero utilizando un circuito chopper para regular el voltaje continuo que recibe el motor, como ilustra la figura siguiente.



Si la frecuencia de pulsos de disparo del tiristor se mantiene en 2 [kHz] para toda la trayectoria, determine los tiempos de conducción necesarios del chopper, para mantener en cada tramo una velocidad de 40 [km/h].

- d) Calcule el costo por consumo de electricidad que significa un viaje de A a B con la solución reostática que Ud. propuso en (b) o con la solución electrónica indicada en (c). Considere 100 [\$/kWh]. Comente los resultados.

Indicaciones generales

- Se deberá entregar un informe escrito para el día martes 9 de noviembre, en horario y lugar por definir (atentos al foro).
- Se evaluará presentación, metodología y resultados. El informe debe contener al menos el planteamiento claro del problema, directrices sobre su resolución o desarrollo, presentación de resultados, y comentarios.
- La tarea se realizará en GRUPOS DE 2 PERSONAS.

Anexos: Parámetros del transformador monofásico (tipo acorzado)

❖ Resistencia de los enrollados

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S_C}$$

R : resistencia del enrollado [Ω]

L : longitud del enrollado [m]. $L = (\text{número de vueltas}) \cdot (\text{longitud media por vuelta})$

ρ : resistividad del cobre a temperatura de operación = 0,020 [$\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$]

S_C : sección transversal del conductor [mm^2]

❖ Reactancias de fuga

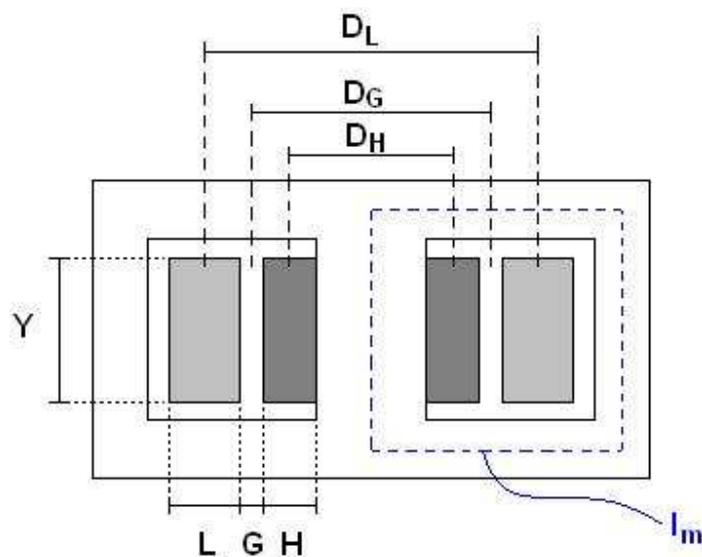
$$X_1 + X_2' = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot 3,546 \cdot \mu_0 \cdot \frac{L \cdot D_L + 3G \cdot D_G + H \cdot D_H}{3Y + L + G + H}$$

$X_1 + X_2'$: reactancia de fuga referida al primario [Ω]

f : frecuencia = 50 [Hz]

μ_0 : permeabilidad del espacio libre = $4\pi \cdot 10^{-7}$ [Wb / A · m]

Las demás dimensiones (en [m]) se indican en la figura:



❖ **Reactancia de magnetización**

$$X_M = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot N_1^2 \cdot \mu_{Fe} \cdot \frac{A}{l_m}$$

X_M : reactancia de magnetización [Ω]

A : área transversal de la columna central del núcleo [m^2]

N_1 : número de vueltas del primario

μ_{Fe} : permeabilidad magnética del núcleo [$Wb / A \cdot m$]

l_m : trayectoria media indicada en la figura [m]

❖ **Resistencia de pérdidas en el núcleo**

$$R_{Fe} = \frac{V_1^2}{m_{Fe} \cdot (W/kg)}$$

R_{Fe} : resistencia de pérdidas en el núcleo [Ω]

m_{Fe} : masa del núcleo [kg]

V_1 : tensión del primario [V]

W/kg : pérdidas específicas del núcleo a frecuencia de operación [W / kg]. A 50 [Hz] considere:

B_{max} [T]	0,0	0,3	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
W/kg [W / kg]	0,0	0,25	0,70	1,30	1,70	2,30	2,75	3,20	3,70	4,30	4,80