

# Intensidad de conexión de transformadores en vacío

Félix Redondo Quintela, Roberto Carlos Redondo Melchor y Juan Manuel García Arévalo  
Universidad de Salamanca

En ocasiones, al conectar a la red un transformador con núcleo ferromagnético, la intensidad por el primario puede ser muy alta en los primeros instantes. Incluso puede hacer saltar las protecciones si no se ha tenido cuidado de elegir las con el retardo adecuado. En este comentario se explica la causa de esta sobreintensidad.

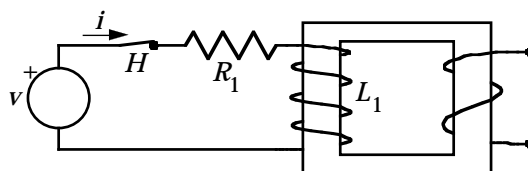


Figura 1.- Transformador con núcleo ferromagnético.

En la figura 1 se representa un transformador monofásico con núcleo ferromagnético y con el secundario abierto. Si en  $t = 0$  se cierra el interruptor  $H$ , la ecuación del único circuito que se forma es

$$v = R_1 i + N_1 \frac{d\phi}{dt} = R_1 N_1 \frac{\phi}{L_1} + N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$N_1$  es el número de espiras del primario y  $\phi$  el flujo magnético en cada una, que supondremos el mismo en todas. Coincide con el flujo magnético de cualquier sección del núcleo. De  $L_1 = N_1 \phi / i$  se ha despejado  $i = N_1 \phi / L_1$  y sustituido en las igualdades de arriba.

Supondremos inicialmente que  $L_1 = N_1 \phi / i$  es independiente de  $i$ . Si  $v = V_m \text{sen}(\omega t + a)$ , resulta

$$V_m \text{sen}(\omega t + a) = R_1 N_1 \frac{\phi}{L_1} + N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

Se obtiene el flujo resolviendo esa ecuación diferencial. Su ecuación homogénea

$$R_1 N_1 \frac{\phi}{L_1} + N_1 \frac{d\phi}{dt} = 0$$

tiene por solución

$$\phi_t = Ke^{-\frac{R_1}{L_1}t}$$

Una solución particular es  $\phi_p = \phi_m \text{sen}(\omega t + a - \theta)$ . Por tanto

$$\phi = \phi_m \text{sen}(\omega t + a - \theta) + Ke^{-\frac{R_1}{L_1}t}$$

Como  $i$  es una función continua por circular por  $L_1$ ,  $\phi = L_1 i / N_1$  también es una función continua. Si es 0 el flujo en  $t = 0$ , resulta:

$$0 = \phi_m \text{sen}(a - \theta) + K$$

de forma que

$$K = -\phi_m \text{sen}(a - \theta)$$

y

$$\phi = \phi_m \text{sen}(\omega t + a - \theta) - e^{-\frac{R_1}{L_1}t} \phi_m \text{sen}(a - \theta) \quad (1)$$

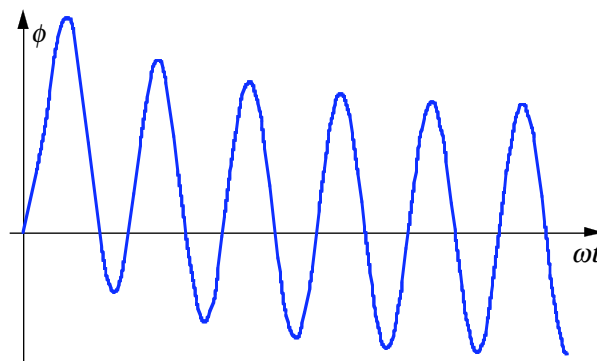


Figura 2.- Al cerrar el interruptor el flujo magnético puede ser superior al máximo del régimen permanente.

El ángulo  $\theta$  es una característica del circuito. El valor de  $a$  depende del instante en que se aplique la tensión al primario del transformador. Puede ser cualquier ángulo entre  $0$  y  $360^\circ$ . Por eso, cuando se cierre el interruptor en  $t = 0$ , puede ocurrir que  $\text{sen}(a - \theta)$  tenga cualquier valor entre  $-1$  y  $1$ . Si, por ejemplo,  $\text{sen}(a - \theta) = -1$  en  $t = 0$ , la exponencial del segundo miembro de la ecuación (1) parte de  $\phi_m$ . Si, además, decae lentamente porque  $L_1$  es muy grande y  $R_1$  pequeña, que es lo que ocurre en los transformadores, la función sinusoidal que es el primer miembro de esa fórmula oscila sobre la exponencial, desplazada, por tanto, por encima (o por debajo si  $\text{sen}(a - \theta) = -1$  en  $t = 0$ ) del eje del tiempo, con lo que el flujo  $\phi$  supera en algunos puntos a  $\phi_m$ . Desde luego, una cota superior de ese flujo es  $2\phi_m$ , que es el valor de  $\phi$  si los valores absolutos de los dos senos de la fórmula (1) alcanzaran la unidad en  $t = 0$  y tuvieran

signo distinto. Eso no ocurre nunca, por lo que es  $\phi < 2\phi_m$  siempre, pero puede alcanzar valores próximos a  $2\phi_m$ .

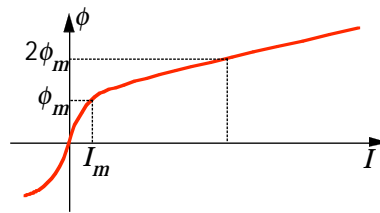


Figura 3.- A partir del codo de la curva los incrementos de la intensidad deben ser muy grandes para conseguir pequeños incrementos del flujo.

Los transformadores de potencia y, en general, los transformadores con núcleo ferromagnético, suelen construirse de forma que el flujo máximo de régimen permanente,  $\phi_m$ , esté próximo al correspondiente al codo de la curva de magnetización (fig. 3).

Si la curva de magnetización fuera una recta,  $L_1$  no dependería de  $i$ , que es lo que se ha supuesto en el cálculo anterior. Entonces, como se ha visto, en el periodo de conexión del transformador el flujo puede ser próximo a  $2\phi_m$  (fig. 2), por lo que el valor máximo de la intensidad por el primario que crea ese flujo sería también próximo al doble del valor máximo de la intensidad de régimen permanente en vacío. Pero, como la curva de magnetización no es recta, se ve en la figura 3 que cuando se duplica el valor máximo del flujo, la intensidad que circula por el primario del transformador es varias veces superior al valor máximo de la nominal.

Con esto hay que contar siempre que se conecte el primario de un transformador con núcleo ferromagnético a la red general: que el valor máximo de la intensidad inicial puede ser muchas veces superior al valor máximo de la intensidad nominal. Y que, al conectar el transformador, el valor máximo de la intensidad inicial será muy alto unas veces y otras no, dependiendo del valor de  $v$  en el momento de cerrar el interruptor (determinado por  $a$ ).