

Transformador.

Balance de Potencia y Rendimiento.

Si el transformador toma de la red una potencia activa P_1 y entrega en su secundario una potencia activa P_2 tenemos.

$$P_1 = P_{cu1} + P_{cu2} + P_o + P_2$$

Siendo:

P_{cu1} pérdidas en el cobre en el primario.

P_{cu2} pérdidas en el cobre en el secundario.

P_o pérdidas en el hierro.

$$P_{cu1} = R_1 \cdot I_1^2$$

$$P_{cu2} = R_2 \cdot I_2^2$$

$$P_o = \frac{E^2}{R_o} \cong \frac{V^2}{R_o}$$

I_1 corriente primaria.

I_2 corriente secundaria.

R_1 resistencia de cortocircuito primaria.

R_2 resistencia de cortocircuito secundaria.

V es la tensión de alimentación del transformador la cual a menos de la caída de tensión en la impedancia de cortocircuito primaria es la tensión inducida E .

Asumiendo que el transformador es alimentado a tensión próxima a su valor de tensión nominal, de valor constante, se puede considerar que las pérdidas en el hierro son constantes.

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2} = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 \cong (R'_1 + R_2) \cdot I_2^2$$

Donde R'_1 es la resistencia de cortocircuito primaria a nivel secundario.

Se observa que las pérdidas de cortocircuitos son variables y dependen del estado de carga del transformador.

Se define:

$$C = \frac{S}{S_N} = \frac{V_2 I_2}{V_{N2} I_{N2}} \cong \frac{I_2}{I_{N2}} = \frac{I_1}{I_{N1}}$$

La aproximación anterior se fundamenta en que se asume que la tensión secundaria será muy próxima a la nominal.

C es una medida del estado de carga del transformador en potencia aparente o corriente en las hipótesis mencionadas.

Se define rendimiento:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{cu} + P_o}$$

Siendo P_2 la potencia activa que está entregando el transformador en su secundario.

$$P_2 = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos\varphi_2 = C \cdot S_N \cdot \cos\varphi_2$$

Análogamente es posible poner las pérdidas en el cobre en función de C.

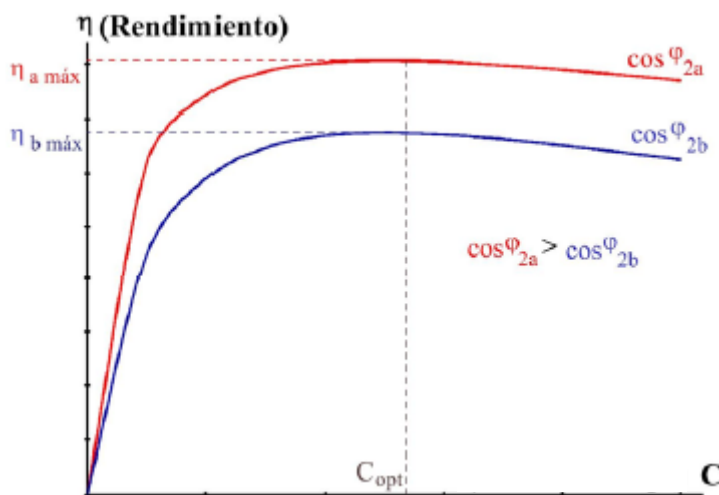
$$P_{cu} = (R'_1 + R_2) \cdot I_2^2 = C^2 \cdot I_{N2}^2 \cdot (R'_1 + R_2) = C^2 \cdot P_{cuN}$$

Donde P_{cuN} son las pérdidas en el cobre a corriente nominal.

Entonces:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{C \cdot S_N \cdot \cos\varphi_2}{C \cdot S_N \cdot \cos\varphi_2 + C^2 \cdot P_{cuN} + P_o}$$

Esta última ecuación pone claramente de manifiesto que el rendimiento depende del estado de carga C y del factor de potencia de la carga.



En la gráfica se puede observar que existe un rendimiento máximo y que el mismo crece con el factor de potencia de la carga; o sea que para dos factores de potencia de carga dados el rendimiento será mayor para la carga que presente mayor factor de potencia.

Una consecuencia de lo anterior es que el rendimiento máximo se conseguirá para un factor de potencia de la carga igual a 1.

Para un factor de potencia dado, la potencia aparente secundaria a la cual se da el rendimiento máximo será:

$$S_{\eta \text{ max}} = C_{opt} \cdot S_N$$

Falta determinar el valor de C_{opt} .

Para esto partimos de:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{C \cdot S_N \cdot \cos\varphi_2}{C \cdot S_N \cdot \cos\varphi_2 + C^2 \cdot P_{cuN} + P_o} = \frac{S_N \cdot \cos\varphi_2}{S_N \cdot \cos\varphi_2 + C \cdot P_{cuN} + \frac{P_o}{C}}$$

Para facilitar el cálculo derivamos el denominador: $F(C) = S_N \cdot \cos\varphi_2 + C \cdot P_{cuN} + \frac{P_o}{C}$

$$F'(C) = P_{cuN} - \frac{P_o}{C^2}$$

Esta derivada se anula para:

$$C_{opt} = \sqrt{\frac{P_o}{P_{cuN}}}$$

Observar que para este valor de C se cumple:

$$P_{cu} = C_{opt}^2 \cdot P_{cuN} = \frac{P_o}{P_{cuN}} \cdot P_{cuN} = P_o$$

O sea que el rendimiento máximo del transformador se da cuando se igualan las pérdidas en el hierro con las pérdidas en el cobre.

El valor del rendimiento es:

$$\eta_{max} = \frac{S_{\eta max} \cdot \cos\varphi_2}{S_{\eta max} \cdot \cos\varphi_2 + 2 \cdot P_o}$$

Observaciones:

1. Se debe evitar que el transformador trabaje a baja carga (C chico) pues en esa situación el rendimiento es malo.
2. Lo deseable es que el transformador trabaje en valores cargas cercanas a C_{opt} .
3. Si la carga de un transformador fuera constante entonces lo deseable sería $C_{opt}=1$.
4. La mayoría de los transformadores trabajan a carga variable por esto $C_{opt} < 1$.
5. Cuanto más alto sea el factor de potencia de la carga mayor rendimiento máximo se consigue; por esto lo deseable es que los transformadores operen sobre cargas con factor de potencia alto.