



EL 4001

Conversión de la Energía y Sistemas Eléctricos

Clase 5: Transformadores 2

AREA DE ENERGIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA



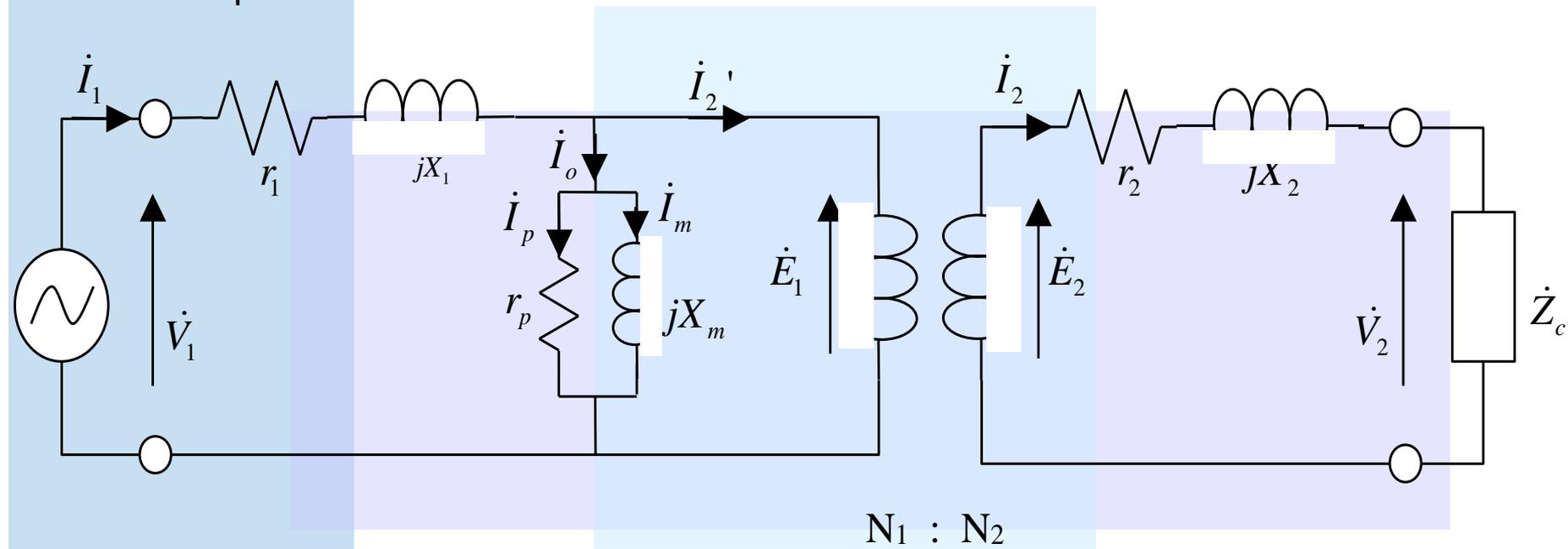
Temas

- Transformador Ideal
- Transformador Real
- Determinación de parámetros



TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL (NO IDEAL)

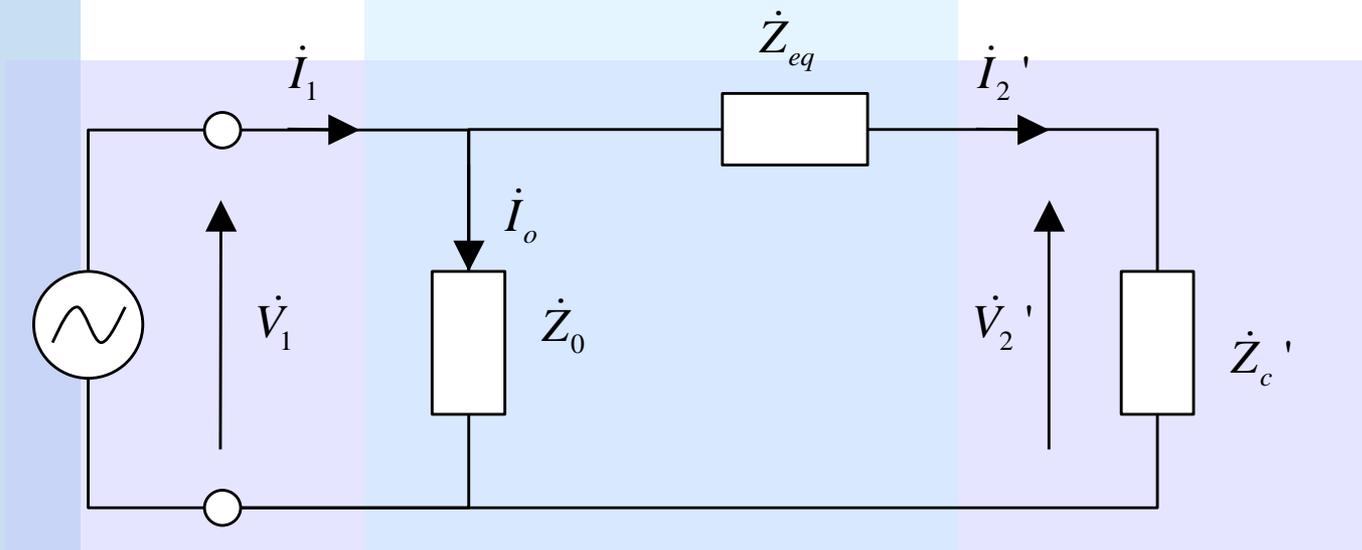
El circuito equivalente exacto es:





TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL (NO IDEAL)

El circuito equivalente aproximado:



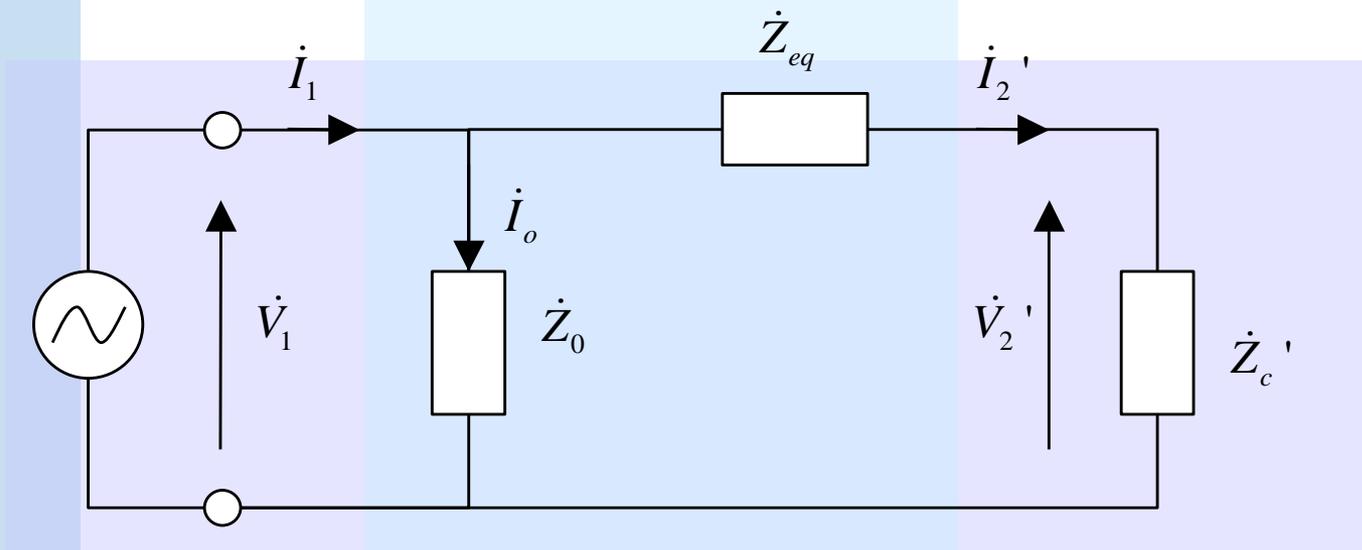
En donde:

$$\frac{1}{\dot{Z}_0} = \frac{1}{r_p} + \frac{1}{jX_m}$$



TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL (NO IDEAL)

El circuito equivalente aproximado:



En donde:

$$\frac{1}{\dot{Z}_0} = \frac{1}{r_p} + \frac{1}{jX_m}$$



TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL (NO IDEAL)

❑ DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS PARÁMETROS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

• PRUEBA DE CIRCUITO ABIERTO

Enrollado de BT a tensión y frecuencia nominal, el otro enrollado en circuito abierto.

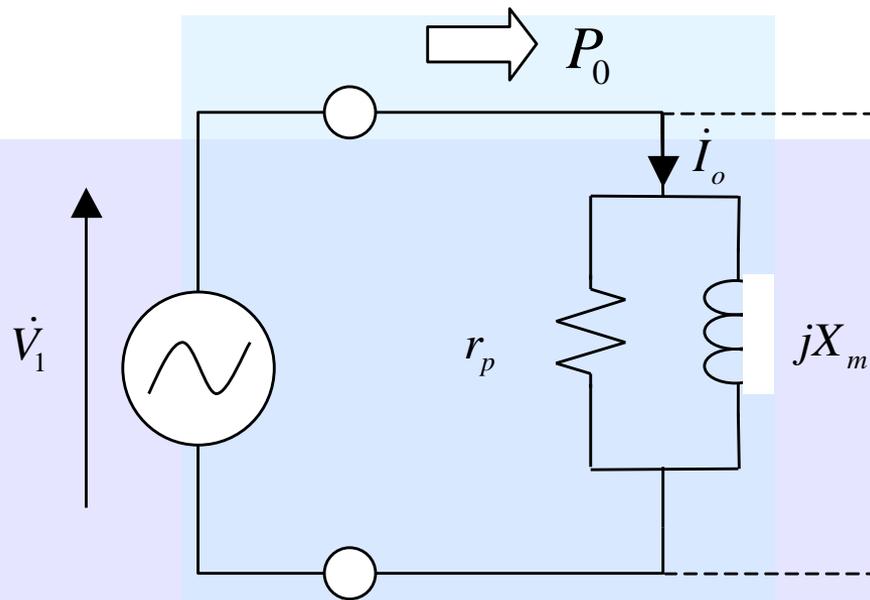
Mediciones:

- Voltaje V_1
- Corriente I_0
- Potencia activa P_0

Se determinan: r_p y X_m de la rama de excitación.



TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL



Los parámetros se calculan:

$$r_p = \frac{V_1^2}{P_0}, \quad X_m = \frac{V_1^2}{Q_0}, \quad Q_0 = \sqrt{(V_1 I_0)^2 - P_0^2}$$



TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL

• PRUEBA DE CORTOCIRCUITO

Un enrollado a tensión reducida, de modo que la corriente sea la nominal, el otro enrollado se cortocircuita.

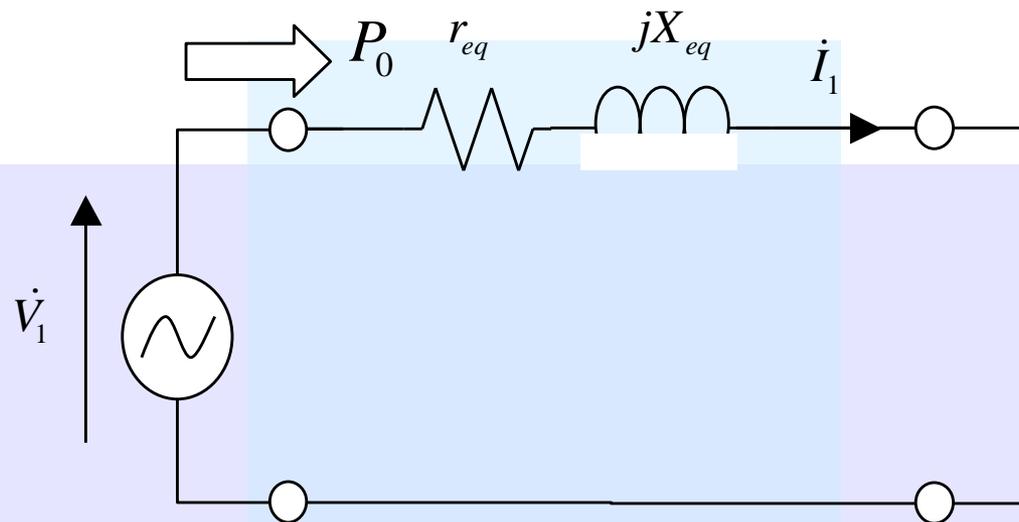
Mediciones:

- Voltaje V_1
- Corriente I_0
- Potencia activa P_c

Se determinan: r_{eq} y X_{eq} de la rama serie del ambos enrollados.



TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL



Los parámetros quedan:

$$r_{eq} = \frac{P_c}{I_1^2}, \quad X_{eq} = \frac{Q_c}{I_1^2}, \quad Q_c = \sqrt{(V_1 I_1)^2 - P_c^2}$$

Puede suponerse que:

$$r_1 = r_2' = 0,5 \cdot r_{eq} \quad \text{y} \quad X_1 = X_2' = 0,5 \cdot X_{eq}$$



TRANSFORMADOR MONOFÁSICO REAL

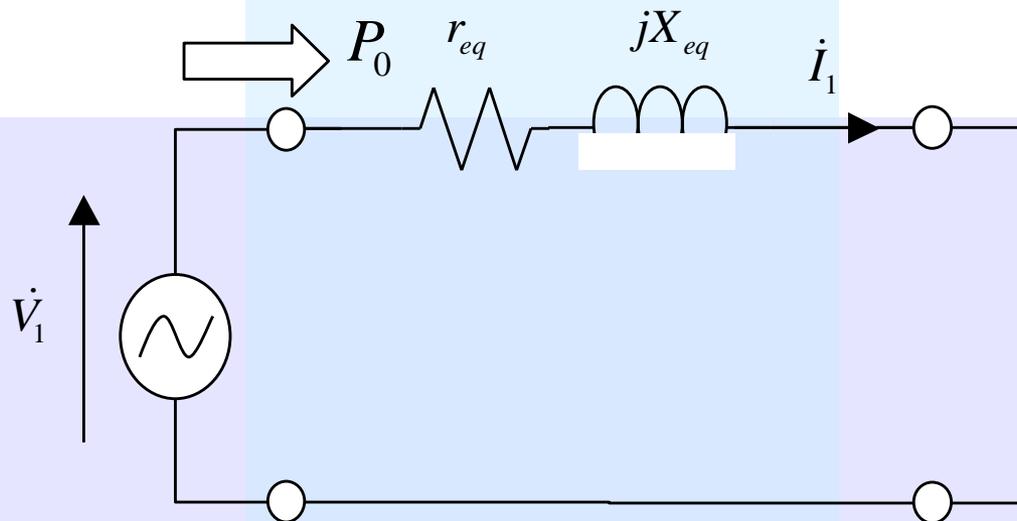
• MEDIDA DE RESISTENCIAS DE ENROLLADOS

La resistencia de los enrollados depende de la frecuencia, de la sección del conductor y de la temperatura. A dos temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) diferentes se tiene:

$$\frac{R(T_1)}{R(T_2)} = \frac{234,5 + T_1}{234,5 + T_2}$$

• OTRAS PRUEBAS

- Calidad de sus aislaciones.
- Curva de saturación.
- Razón de vueltas N_1/N_2



Los parámetros quedan:

$$r_{eq} = \frac{P_c}{I_1^2}, \quad X_{eq} = \frac{Q_c}{I_1^2}, \quad Q_c = \sqrt{(V_1 I_1)^2 - P_c^2}$$

Puede suponerse que:

$$r_1 = r_2' = 0,5 \cdot r_{eq} \quad \text{y} \quad X_1 = X_2' = 0,5 \cdot X_{eq}$$



• MEDIDA DE RESISTENCIAS DE ENROLLADOS

La resistencia de los enrollados depende de la frecuencia, de la sección del conductor y de la temperatura. A dos temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) diferentes se tiene:

$$\frac{R(T_1)}{R(T_2)} = \frac{234,5 + T_1}{234,5 + T_2}$$

• OTRAS PRUEBAS

- Calidad de sus aislaciones.
- Curva de saturación.
- Razón de vueltas N_1/N_2



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A PARTIR DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

• EFICIENCIA

$$\eta = \frac{\text{Potencia útil}}{\text{Potencia de entrada}} \cdot 100$$

del circuito equivalente aproximado, las pérdidas totales son:

$$w_p = (r_1 + r_2') \cdot (I_2')^2 + \frac{V_1^2}{r_p} = r_{eq} \cdot (I_2')^2 + \frac{V_1^2}{r_p}$$

Considerando que ψ es el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente en la carga, la eficiencia resulta:

$$\eta = \frac{V_2 \cdot I_2 \cos(\Psi)}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos(\Psi) + r_{eq} \cdot (I_2')^2 + \frac{V_1^2}{r_p}} \cdot 100$$



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A PARTIR DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

• REGULACIÓN

Es la variación del voltaje secundario al variar una carga, con el voltaje primario constante. Se define como:

$$\text{Reg} = \frac{V_{\text{vacío}} - V_{\text{carga}}}{V_{\text{vacío}}} \Rightarrow \text{Reg} = \frac{V_1 / a - V_2}{V_1 / a}$$

Del circuito equivalente referido al secundario, se tiene que:

$$\frac{\dot{V}_1}{a} = \dot{V}_2 + \dot{I}_2 \cdot (r_{eq}'' + jX_{eq}'')$$

Despreciando la parte imaginaria, la regulación resulta:

$$\text{Reg} = \frac{I_2 \cdot (r_{eq}'' \cos(\Psi) + X_{eq}'' \cdot \text{sen}(\Psi))}{V_2} \cdot 100$$

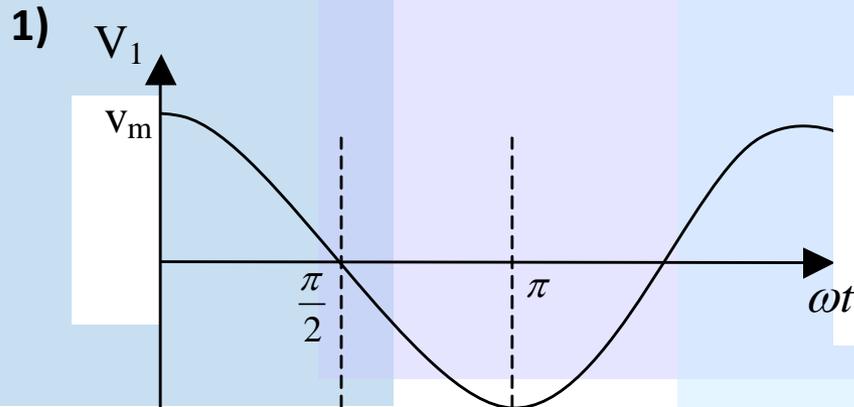


ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A PARTIR DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

• COMPORTAMIENTO TRANSIENTE

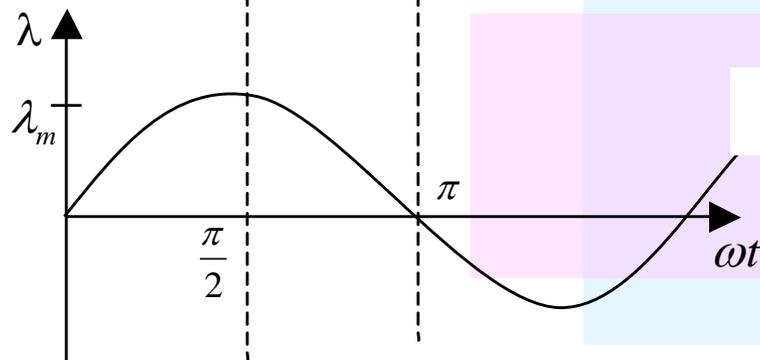
Ocurre en el instante en que el transformador se conecta a la red.

Dos casos principales:



$$v_1(t) = v_m \cos(\omega t) = d\lambda/dt$$

$$\Rightarrow \lambda = \lambda_0 + \int_0^t v_1 dt = \lambda_0 + \frac{v_m}{\omega} \cdot \text{sen}(\omega t)$$



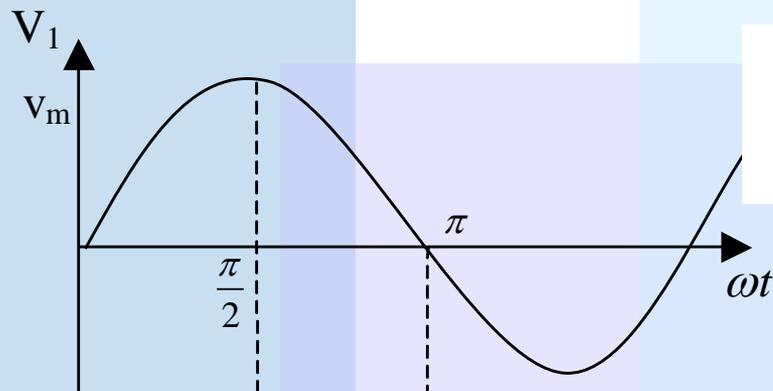
como $\lambda(t=0) = 0 \Rightarrow \lambda_0 = 0$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{v_m}{\omega} \text{sen}(\omega t) = \lambda_m \text{sen}(\omega t)$$



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A PARTIR DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

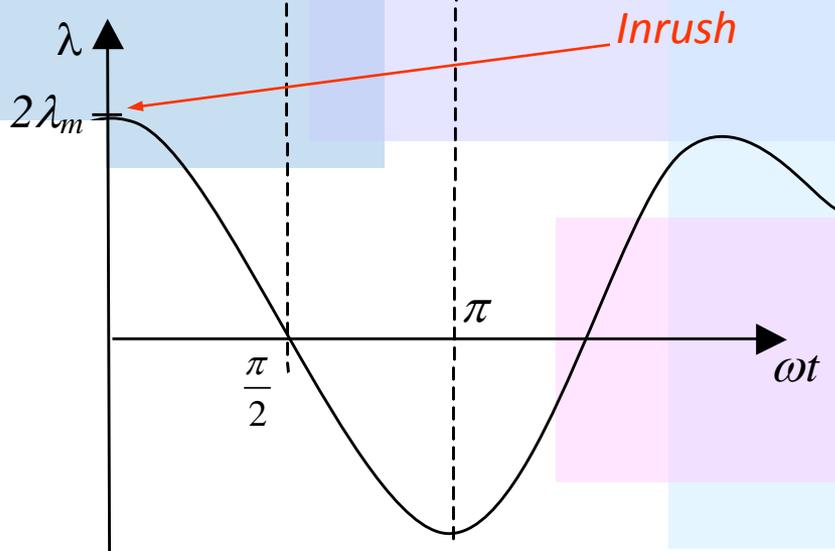
2)



$$v_1(t) = v_m \text{sen}(\omega t)$$

$$\Rightarrow \lambda = \lambda_0 - \frac{v_m}{\omega} \cos(\omega t) + \frac{v_m}{\omega}$$

como $\lambda(t=0) = 0 \Rightarrow \lambda_0 = 0$

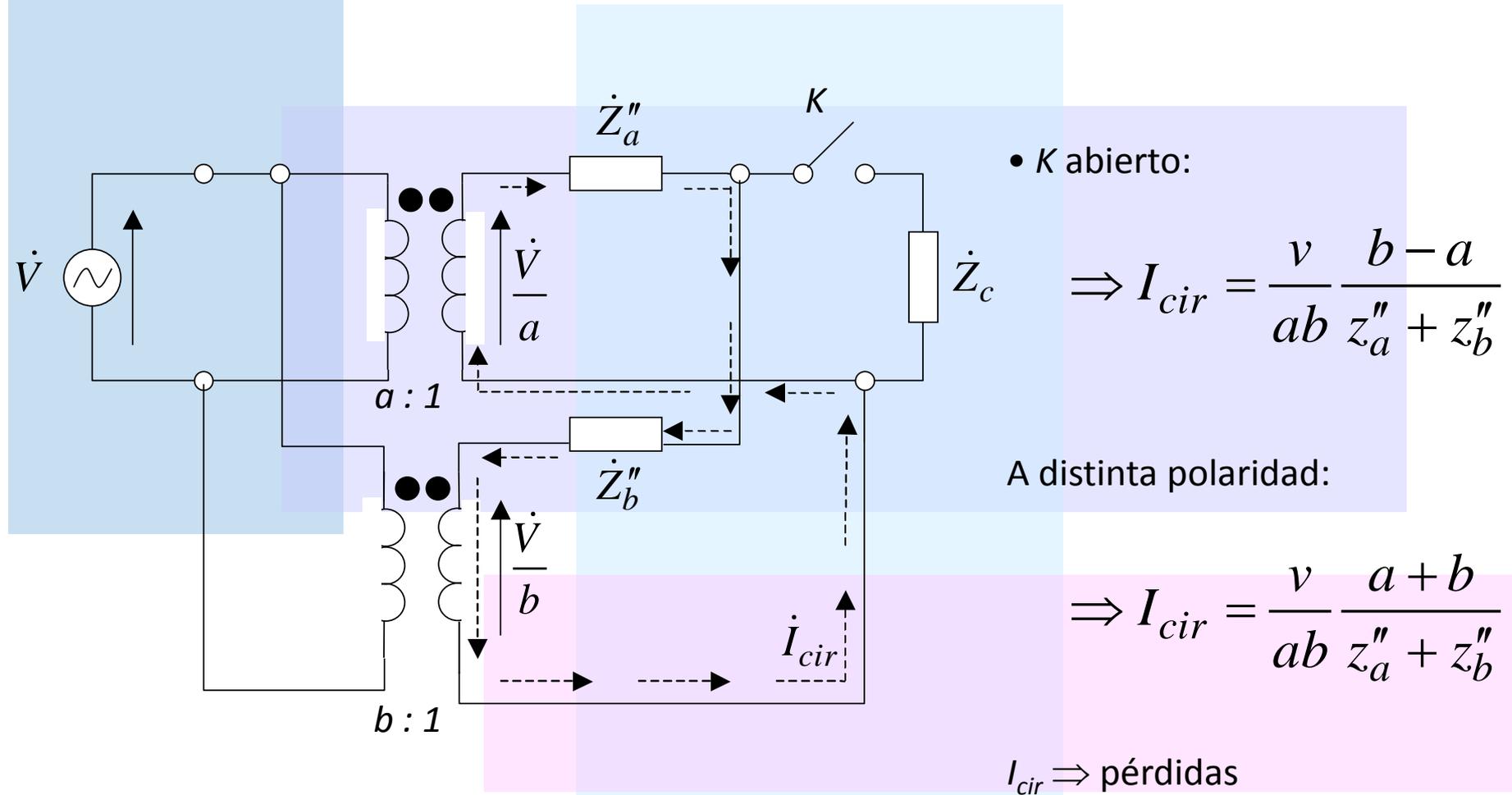


$$\Rightarrow \lambda = \frac{v_m}{\omega} [1 - \cos(\omega t)]$$

$$= \lambda_m [1 - \cos(\omega t)]$$



CONEXIÓN EN PARALELO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS





CONEXIÓN EN PARALELO DE TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS

Al tener $a = b$, las polaridades iguales y ambas tensiones nominales muy similares, resulta $I_{cir} = 0$.

- Si K cerrado e $I_{cir} = 0$, se obtiene:

$$z_a'' \cdot I_a' = z_b'' \cdot I_b' \quad \text{y} \quad \frac{\dot{S}_A}{\dot{S}_B} = \frac{\dot{V}_2 I_a'^*}{\dot{V}_2 I_b'^*} = \frac{\dot{Z}_b^*}{\dot{Z}_a^*}$$

donde la potencia total transferida es: $\dot{S}_T = \dot{S}_A + \dot{S}_B$

Para una máxima transferencia de potencia, debe cumplirse:

$$\frac{S_{Anom}}{S_{Bnom}} = \frac{Z_b}{Z_a}$$

en general,

$$S_{Anom} : S_{Bnom} : S_{Cnom} : \dots = \frac{1}{Z_a} : \frac{1}{Z_b} : \frac{1}{Z_c} : \dots$$