

AEC1. Prácticas de máquinas eléctricas.

Simulación y circuitos equivalentes

Alexander Sebastian Kalis

9 de noviembre de 2024

Índice

1. Problema 1	3
1.1. a) Circuito equivalente	3
1.1.1. Ensayo de vacío	3
1.1.2. Ensayo de cortocircuito	3
1.1.3. Resumen del circuito equivalente	4
1.2. b) Tensión de alimentación	4
2. Problema 2	6
2.1. a) Ensayo de vacío	6
2.2. b) Ensayo de cortocircuito	6
3. Problema 3	7
4. Problema 4	8

1. Problema 1

Un transformador monofásico de 1 MVA, relación de tensiones 10000/1000 V y 50 Hz, ha dado los siguientes resultados en unos ensayos:

- **Ensayo de vacío** (lado de baja tensión): $U_0 = 1000$ V, $I_0 = 30$ A, $P_0 = 10$ kW.
- **Ensayo de cortocircuito** (lado de alta tensión): $U_{cc} = 540$ V, $I_{cc} = 90$ A, $P_{cc} = 12$ kW.

1.1. a) Circuito equivalente

Dibuja el circuito equivalente del transformador e indica los valores numéricos de las resistencias y reactancias calculadas:

A partir de los datos obtenidos en los ensayos de vacío y cortocircuito, determinamos los parámetros del circuito equivalente del transformador.

1.1.1. Ensayo de vacío

Datos del ensayo de vacío en el lado de baja tensión:

$$U_0 = 1000 \text{ V}, \quad I_0 = 30 \text{ A}, \quad P_0 = 10,000 \text{ W}$$

Para calcular el factor de potencia en vacío:

$$\cos \phi_0 = \frac{P_0}{U_0 \cdot I_0} = \frac{10,000}{1000 \times 30} = 0,333$$

y el ángulo de fase:

$$\phi_0 = \cos^{-1}(0,333) \approx 70,53^\circ$$

Descomponemos la corriente de vacío I_0 en sus componentes activa I_{Fe} y reactiva I_m :

$$I_{Fe} = I_0 \cos \phi_0 = 10 \text{ A}, \quad I_m = I_0 \sin \phi_0 \approx 28,29 \text{ A}$$

Calculamos los valores de la rama en paralelo:

$$R_{Fe} = \frac{U_0}{I_{Fe}} = \frac{1000}{10} = 100 \Omega$$

$$X_m = \frac{U_0}{I_m} = \frac{1000}{28,29} \approx 35,35 \Omega$$

1.1.2. Ensayo de cortocircuito

Datos del ensayo de cortocircuito en el lado de alta tensión:

$$U_{cc} = 540 \text{ V}, \quad I_{cc} = 90 \text{ A}, \quad P_{cc} = 12,000 \text{ W}$$

Calculamos la resistencia y reactancia en serie total:

$$R_{cc} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2} = \frac{12,000}{90^2} \approx 1,48 \Omega$$

$$Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_{cc}} = 6 \Omega$$

$$X_{cc} = \sqrt{Z_{cc}^2 - R_{cc}^2} = \sqrt{6^2 - 1,48^2} \approx 5,81 \Omega$$

Distribuimos estos valores entre R_1 , X_1 , R_2 , y X_2 suponiendo que:

$$R_1 = R_2 = \frac{R_{cc}}{2} = 0,74 \Omega, \quad X_1 = X_2 = \frac{X_{cc}}{2} = 2,905 \Omega$$

1.1.3. Resumen del circuito equivalente

Los parámetros obtenidos para el circuito equivalente del transformador son:

- Resistencia en paralelo (pérdidas en el núcleo): $R_{Fe} = 100 \Omega$
- Reactancia de magnetización: $X_m = 35,35 \Omega$
- Resistencia en el lado primario: $R_1 = 0,74 \Omega$
- Reactancia en el lado primario: $X_1 = 2,905 \Omega$
- Resistencia en el lado secundario: $R_2 = 0,74 \Omega$
- Reactancia en el lado secundario: $X_2 = 2,905 \Omega$

Estos valores conforman el circuito equivalente completo del transformador.

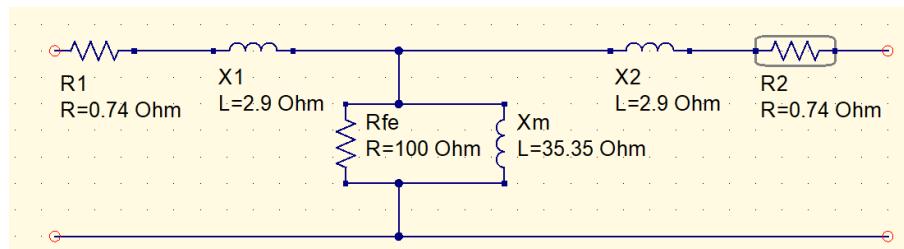


Figura 1: Circuito equivalente del transformador

1.2. b) Tensión de alimentación

Calcula la tensión con la que se debe alimentar el transformador en el primario para proporcionar la tensión nominal en el secundario al suministrar a una carga de 800 kVA con un factor de potencia 0.8 inductivo.

Para determinar la tensión en el primario U_1 que permite obtener la tensión nominal en el secundario bajo una carga de 800 kVA con un factor de potencia de 0.8 inductivo, seguimos el procedimiento descrito.

1. Cálculo de la corriente en el secundario

Dado:

- Potencia aparente de la carga: $S = 800 \text{ kVA} = 800,000 \text{ VA}$
- Tensión nominal en el secundario: $U_{sec} = 1000 \text{ V}$

- Factor de potencia: $\cos \phi = 0,8$ (inductivo)

La corriente en el secundario se calcula como:

$$I_{\text{sec}} = \frac{S}{U_{\text{sec}}} = \frac{800,000}{1000} = 800 \text{ A}$$

2. Reflexión de la corriente al primario

Usamos la relación de transformación $rt = \frac{10000}{1000} = 10$ para reflejar la corriente al lado primario:

$$I'_2 = \frac{I_{\text{sec}}}{rt} = \frac{800}{10} = 80 \text{ A}$$

3. Cálculo de la tensión en el primario

Aplicamos la segunda ley de Kirchhoff en el circuito equivalente reflejado al lado primario, despreciando la rama en paralelo. La ecuación para la tensión en el primario es:

$$U_1 = I'_2 \cdot (R_{\text{cc}} + jX_{\text{cc}}) + U'_2$$

Donde:

- $R_{\text{cc}} = 1,48 \Omega$
- $X_{\text{cc}} = 5,81 \Omega$
- $U'_2 = U_{\text{sec}} \times rt = 1000 \times 10 = 10,000 \text{ V}$
- $I'_2 = 80 \text{ A}$

Calculamos la caída de tensión en la impedancia serie:

$$\begin{aligned} I'_2 \cdot (R_{\text{cc}} + jX_{\text{cc}}) &= 80 \times (1,48 + j5,81) = 80 \times 1,48 + j(80 \times 5,81) \\ &= 118,4 + j464,8 \text{ V} \end{aligned}$$

Convertimos esta expresión a forma polar:

$$\begin{aligned} |I'_2 \cdot (R_{\text{cc}} + jX_{\text{cc}})| &= \sqrt{118,4^2 + 464,8^2} \approx 478,65 \text{ V} \\ \theta &= \tan^{-1} \left(\frac{464,8}{118,4} \right) \approx 75,7^\circ \end{aligned}$$

Finalmente, sumamos esta caída de tensión a U'_2 en forma polar para obtener U_1 :

$$U_1 \approx 10,000 + 478,65 \angle 75,7^\circ$$

El resultado de U_1 en forma polar proporciona la tensión requerida en el primario para mantener la tensión nominal en el secundario bajo carga.

2. Problema 2

2.1. a) Ensayo de vacío

Simula el circuito equivalente del ensayo de vacío en QUCS y determina la intensidad de vacío I_0 y sus componentes de la rama en paralelo.

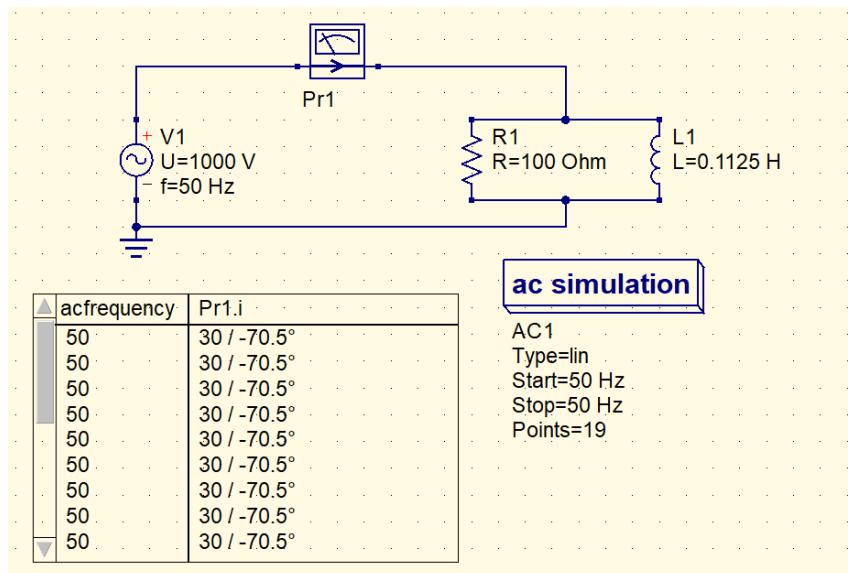


Figura 2: Simulación del circuito de vacío en QUCS

2.2. b) Ensayo de cortocircuito

Simula el circuito equivalente del ensayo de cortocircuito en QUCS y verifica el valor de la intensidad de cortocircuito I_{cc} .

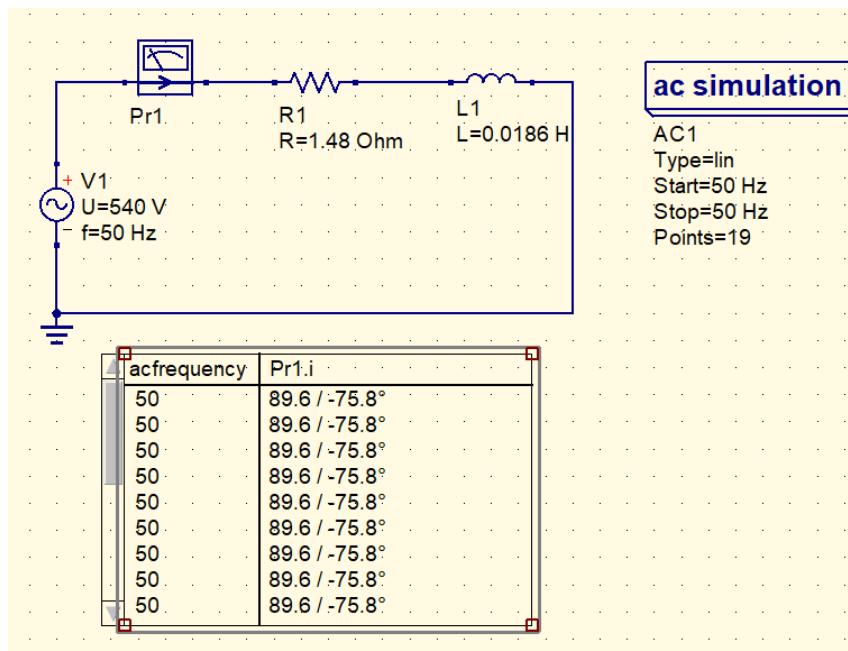


Figura 3: Simulación del circuito de cortocircuito en QUCS

3. Problema 3

Un generador trifásico conectado en estrella con una potencia de 4500 kVA y conectado a una red de 6000 V tiene una reactancia síncrona de $j0,7\Omega/\text{fase}$. Calcular el valor de la f.e.m. resultante y la f.m.m. necesaria para una carga con factor de potencia 0.85 inductivo, interpolando en la tabla dada.

E (V)	2028	3005	3580	3959	4227	4427	4582
F (Av/polo)	5000	10000	15000	20000	25000	30000	35000

Nota: Para valores intermedios interpolar linealmente.

1. Cálculo de la corriente de línea I_L

Dado:

- Potencia aparente del generador: $S = 4500 \text{ kVA} = 4500000 \text{ VA}$
- Tensión de línea: $U_L = 6000 \text{ V}$
- Factor de potencia: $\cos \varphi = 0,85$

La corriente de línea en un sistema trifásico es:

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_L} = \frac{4500000}{\sqrt{3} \cdot 6000} \approx 433 \text{ A}$$

2. Conversión a tensión de fase

La tensión de fase en un sistema conectado en estrella se calcula como:

$$U_{\text{fase}} = \frac{U_L}{\sqrt{3}} = \frac{6000}{\sqrt{3}} \approx 3464,1 \text{ V}$$

3. Cálculo de la fuerza electromotriz (f.e.m.)

La reactancia síncrona del generador es $X_s = 0,7\Omega$. Con la carga inductiva ($\cos \varphi = 0,85$), descomponemos la corriente en componentes activa y reactiva:

$$I_{\text{act}} = I_L \cos \varphi = 433 \times 0,85 \approx 368,05 \text{ A}$$

$$I_{\text{react}} = I_L \sin \varphi = 433 \sin(\cos^{-1}(0,85)) \approx 233,92 \text{ A}$$

Calculamos la caída de tensión debido a la reactancia:

$$\Delta V = I_{\text{react}} \cdot X_s = 233,92 \times 0,7 \approx 163,74 \text{ V}$$

Finalmente, la fuerza electromotriz E se calcula como:

$$E = \sqrt{U_{\text{fase}}^2 + (\Delta V)^2} = \sqrt{3464,1^2 + 163,74^2} \approx 3471,97 \text{ V}$$

4. Interpolación para la fuerza magnetomotriz (f.m.m.)

Con $E \approx 3471,97 \text{ V}$, interpolamos en la tabla. Los valores más cercanos son:

$$E (\text{V}) = 3005 \rightarrow F = 10000 \quad \text{y} \quad E (\text{V}) = 3580 \rightarrow F = 15000$$

Aplicando la interpolación lineal:

$$F = 10000 + \left(\frac{3471,97 - 3005}{3580 - 3005} \right) \cdot (15000 - 10000)$$

$$F \approx 10000 + \frac{466,97}{575} \cdot 5000 \approx 14062 \text{ Av/polo}$$

- Fuerza electromotriz $E \approx 3472 \text{ V}$
- Fuerza magnetomotriz $F \approx 14062 \text{ Av/polo}$

4. Problema 4

Calcular el rendimiento de un motor asincrónico trifásico de 4 polos que absorbe una potencia de 5,5 kW y está conectado a una red de 50 Hz, girando a 1470 r.p.m., con pérdidas en el estator y otros componentes.

1. Datos:

- Potencia eléctrica absorbida: $P_{\text{el}} = 5,5 \text{ kW}$
- Frecuencia de la red: $f = 50 \text{ Hz}$
- Velocidad del rotor: $n_r = 1470 \text{ r.p.m.}$
- Número de polos: $p = 4$
- Pérdidas en el estator: 3 % de P_{el}
- Pérdidas por rozamiento y ventilación: $P_{\text{rv}} = 180 \text{ W}$

2. Cálculo de la velocidad síncrona n_s :

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} = \frac{120 \times 50}{4} = 1500 \text{ r.p.m.}$$

3. Cálculo del deslizamiento s :

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,02$$

4. Pérdidas en el estator:

$$P_{\text{estator}} = 0,03 \times P_{\text{el}} = 0,03 \times 5500 \text{ W} = 165 \text{ W}$$

5. Cálculo de la potencia que llega al rotor P_{rotor} :

$$P_{\text{rotor}} = P_{\text{el}} - P_{\text{estator}} = 5500 - 165 = 5335 \text{ W}$$

6. Pérdidas en el cobre del rotor $P_{\text{cobre, rotor}}$:

$$P_{\text{cobre, rotor}} = P_{\text{rotor}} \cdot s = 5335 \times 0,02 = 106,7 \text{ W}$$

7. Cálculo de la potencia útil P_{out} :

$$P_{\text{out}} = P_{\text{rotor}} - P_{\text{cobre, rotor}} - P_{\text{rv}}$$

$$P_{\text{out}} = 5335 - 106,7 - 180 = 5048,3 \text{ W}$$

8. Cálculo del rendimiento η :

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{el}}} \times 100 = \frac{5048,3}{5500} \times 100 \approx 91,78 \%$$