

Pérdidas de potencia en los Sistemas Eléctricos

Juan Alvaro Fuentes Moreno
juanalvaro.fuentes@upct.es

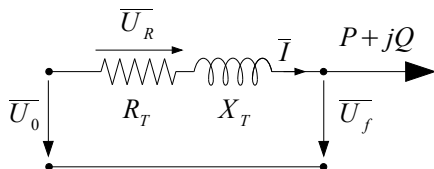
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad Politécnica de Cartagena

febrero 2012

Índice

- 1** Pérdidas de potencia en las líneas
- 2 Ubicación de condensadores
- 3 Importancia económica
- 4 Corrección del factor de potencia
- 5 Pérdidas en los transformadores

■ Línea con carga concentrada



$$P_{per} = U_R \cdot I = R_T \cdot I^2 \text{ W/fase} \implies P_{per} = R_T \cdot \frac{(P^2 + Q^2)}{U_f^2} \text{ W/fase}$$

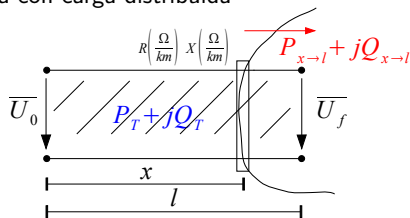
$$P_{per}^{tri} = R_T \cdot \frac{(P_{tri}^2 + Q_{tri}^2)}{U_l^2} \text{ W}$$

■ ¿Cómo podemos disminuir las pérdidas?

- Reducir R_T ?
- Aumentar U_n ?
- Reducir $Q \leftarrow$

Pérdidas de potencia en las líneas: carga distribuida

■ Línea con carga distribuida



$$P_{\text{perd}} = \frac{R_T}{3} \left[\frac{P_T^2}{U_N^2} + \frac{Q_T^2}{U_N^2} \right] \text{ W/fase}$$

- Modela cargas en zonas de alta densidad
- ¿Pérdidas de potencia?

$$dP_{\text{per}} = R \left[\frac{P_{x-l}^2}{U_x^2} + \frac{Q_{x-l}^2}{U_x^2} \right] dx \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} P_{x-l} &= \int_x^l \frac{P_T}{l} dx = P_T \frac{(l-x)}{l} \\ Q_{x-l} &= \int_x^l \frac{Q_T}{l} dx = Q_T \frac{(l-x)}{l} \end{aligned}$$

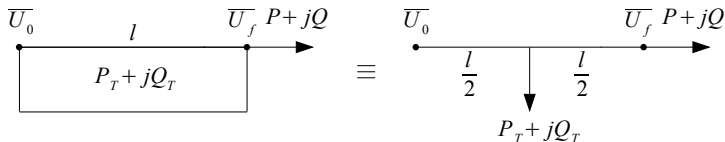
$$P_{\text{perd}} \approx \int_0^l \frac{R}{l^2 \cdot U_N^2} \left[P_T^2 (l-x)^2 + Q_T^2 (l-x)^2 \right] dx \quad \Leftarrow$$

$$P_{\text{perd}} = R \cdot \frac{l}{3} \left[\frac{P_T^2}{U_N^2} + \frac{Q_T^2}{U_N^2} \right]$$

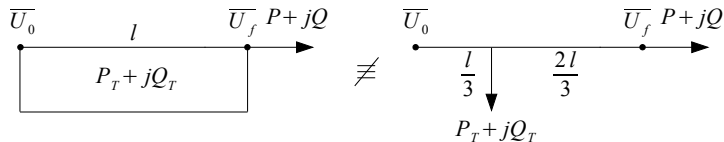
Pérdidas de potencia en las líneas: aplicación de superposición

- No se puede aplicar superposición en el caso de cálculo de pérdidas de potencia pero si para caídas de tensión

- Para caídas de tensión



- Para pérdidas de potencia



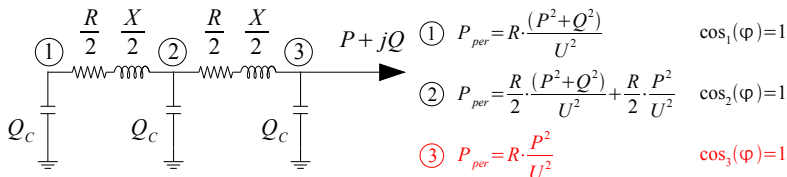
- ¿Demostración?

Índice

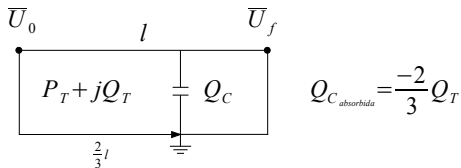
- 1 Pérdidas de potencia en las líneas
- 2 Ubicación de condensadores
- 3 Importancia económica
- 4 Corrección del factor de potencia
- 5 Pérdidas en los transformadores

Ubicación óptima de condensadores

- Dada una línea ℓ dónde minimizo las pérdidas con carga concentrada?



- Dada una línea ℓ dónde minimizo las pérdidas si la carga es única y está distribuida a lo largo de su longitud?



- Solución:

- El banco de condensadores debe ser colocado a 2/3 del origen
- La potencia reactiva debe ser 2/3 de Q_T
- ¿Deducción?

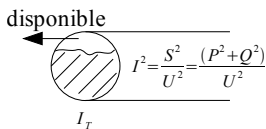
Índice

- 1 Pérdidas de potencia en las líneas
- 2 Ubicación de condensadores
- 3 Importancia económica**
- 4 Corrección del factor de potencia
- 5 Pérdidas en los transformadores

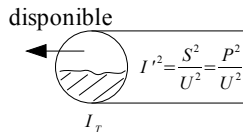
■ Interesa minimizar Q

- Mejorar el rendimiento del sistema
- Optimizar la capacidad del sistema para suministrar energía eléctrica al máximo número de usuarios

a) Sin compensar



b) Compensando



■ Para conseguir este objetivo

- Penalización en las tarifas
- ¿Como se mide el factor de potencia si varía con el tiempo?

- $\cos_{\text{medio}}(\varphi) = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 + W_r^2}}$

Índice

- 1 Pérdidas de potencia en las líneas
- 2 Ubicación de condensadores
- 3 Importancia económica
- 4 Corrección del factor de potencia**
- 5 Pérdidas en los transformadores

■ Individual (CI)

- El condensador se conecta directamente a los bornes de la máquina
- Es adecuada si:
 - Grandes consumidores, P_{cte} y $f_{dp\ cte}$
 - Gran cantidad de horas de servicio
- Ventajas
 - Disminuyen las P_{per} de la instalación
 - Disminuyen las caídas de tensión de la instalación

■ Centralizada (CC)

- Se compensa la potencia reactiva de toda la instalación
- Es adecuada si:
 - Gran cantidad de pequeñas cargas con potencias diversas
 - Diferente cantidad de horas de servicio
 - Dificultad de instalación de baterías en el lugar de emplazamiento
- Ventajas
 - Revisión y mantenimiento fáciles de realizar
 - Facilidad para ampliaciones
 - Mejor control de la reactiva
 - Menor potencia reactiva total instalada

Corrección del factor de potencia: formas de compensación (II)

■ En grupo (CG)

- Se compensan conjuntamente varias cargas

■ Compensación en alta tensión (CA)

- Suele emplearse en grandes industrias con distribución en 3, 6 o 10kV y que suelen tener grandes motores que se compensan individualmente a esas tensiones
- También suele emplearse en la compensación de la reactiva de los transformadores de distribución mediante condensadores fijos

■ Compensación estática continua

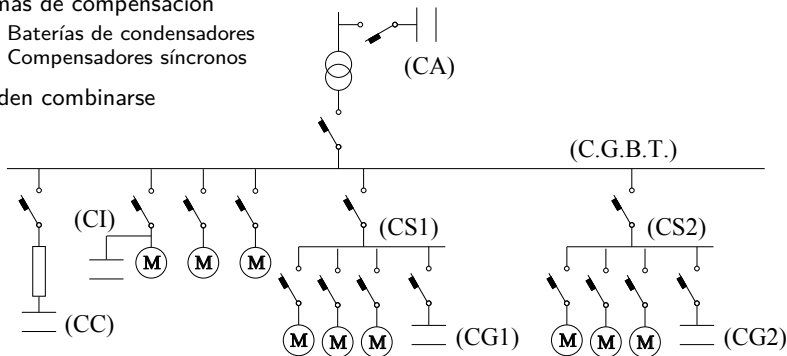
- Es la asociación de condensadores y bobinas mandadas por contactores estáticos (tiristores)
- Es adecuada si:
 - Se desea un control continuo de la reactiva
 - Compensación de cargas con fluctuaciones rápidas y apreciables (hornos de arco)
 - Para regulación de tensión en las líneas de interconexión
- Ventajas:
 - Compensación continua de la reactiva
 - Se pueden controlar muy rápidamente

Corrección del factor de potencia: formas de compensación (III)

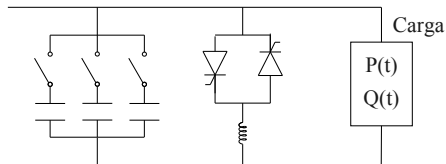
■ Formas de compensación

- Baterías de condensadores
- Compensadores síncronos

■ Pueden combinarse



■ Compensación estática



Índice

- 1 Pérdidas de potencia en las líneas
- 2 Ubicación de condensadores
- 3 Importancia económica
- 4 Corrección del factor de potencia
- 5 Pérdidas en los transformadores**

■ Consumo de activa

- $$P_{abs} = \frac{1}{R_{mag}} \cdot V_{1n}^2 + 3R_{cc} \cdot I_1^2$$

- Término independiente de I

$$P_o = \frac{1}{R_{mag}} \cdot V_{1n}^2$$

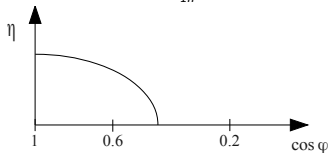
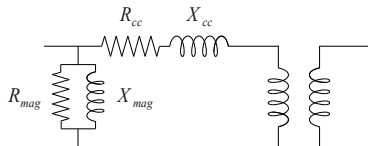
- Término dependiente de I

$$P_I = 3R_{cc} \cdot I_1^2 = 3R_{cc} \cdot I_1^2 \frac{V_{1n}^2}{V_{1n}^2} = R_{cc} \frac{S^2}{V_{1n}^2}$$

■ Rendimiento

$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{P_{salida}}{P_{salida} + P_{abs}} = \frac{P_{salida}}{P_{salida} + P_o + R_{cc} \frac{S^2}{V_{1n}^2}} = \frac{P_{salida}}{P_{salida} + P_o + R_{cc} \frac{P_{salida}^2 + Q_{salida}^2}{V_{1n}^2}}$$

- ¿Rendimiento máximo? \Rightarrow Cuando $P_o = P_I$



■ Consumo de reactiva

- $$Q_{abs} = \frac{1}{X_{mag}} \cdot V_{1n}^2 + 3X_{cc} \cdot I_1^2$$

- Término independiente de I (compensación fija)

$$Q_o = \frac{1}{X_{mag}} \cdot V_{1n}^2$$

- Término dependiente de I (compensación variable)

$$Q_I = 3X_{cc} \cdot I_1^2 = 3 \frac{\epsilon_{cc}}{100} \frac{V_{1n}/\sqrt{3}}{I_{1n}} \cdot I_1^2 = \frac{\epsilon_{cc}}{100} \frac{S}{I_{1n}} I_1 = \frac{\epsilon_{cc}}{100} \frac{S}{V_{1n} I_{1n}} V_{1n} I_1 = \frac{\epsilon_{cc}}{100} \frac{S^2}{S_n}$$