

Ejemplo 22.1.—La figura 22.4 representa a un generador trifásico y equilibrado alimentando a una carga pasiva, trifásica, equilibrada y conectada en estrella a través de tres hilos, cuya impedancia por fase es $\mathcal{Z}_l = 1 + j$.

Sabiendo que el generador trabaja a 50 Hz, que cede una potencia $P_g = 21,2$ kW y que la carga pasiva consume $P_c = 20$ kW con un factor de potencia 0,8 inductivo, determinar:

- 1.º Intensidad de línea.
- 2.º Tensión de fase en la carga.
- 3.º Impedancia $\mathcal{Z}$ por fase de la carga.
- 4.º Tensión de línea en el generador.
- 5.º Capacidad por fase de la batería de condensadores, conectados en triángulo, en paralelo con la carga, que hace aumentar el factor de potencia del conjunto a 0,9.
- 6.º Idem, si los condensadores están conectados en estrella.
- 7.º Una vez conectados los condensadores según los apartados 5.º y 6.º, calcular la nueva intensidad de línea en cada uno de dichos casos para que las tensiones en la carga sean las mismas que antes de conectar los condensadores.

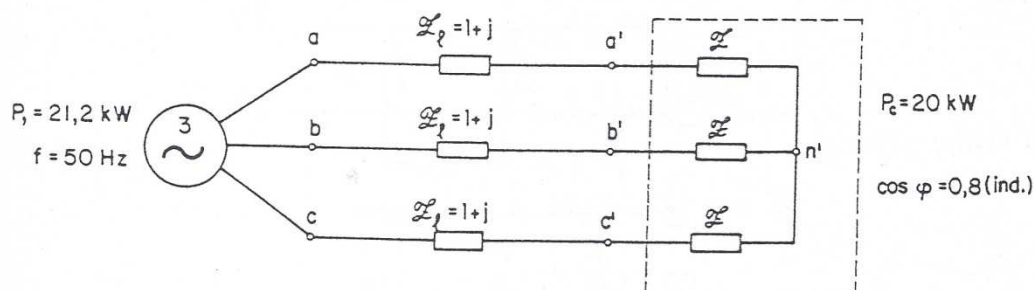


Figura 22-4

Como el circuito es totalmente equilibrado, para efectuar su estudio podemos reducir el problema a uno monofásico, tal como indica la figura 22.5. En este circuito, las potencias, consumidas por la carga y cedida por el generador, son las potencias por fase del circuito trifásico y, por tanto, la tercera parte de las totales.

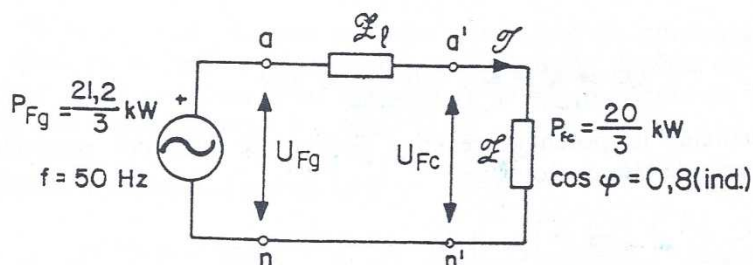


Figura 22-5

1.º Para el cálculo de la intensidad de línea basta observar que, por aplicación del teorema de Boucherot en el circuito monofásico, la potencia permitida en uno de los hilos de la línea es:

$$P_{F'} = P_{Fg} - P_{Fc} = 0,4 \text{ kW}$$

y como

$$P_{F'} = R_l I^2$$

tenemos para la intensidad de línea

$$I = \sqrt{\frac{P_{F'}}{R_l}} = \sqrt{\frac{400}{1}} = 20 \text{ A}$$

2.º En la carga monofásica se cumple:

$$P_{Fc} = U_{Fc} I \cos \varphi$$

de donde la tensión de fase en la carga será:

$$U_{Fc} = \frac{P_{Fc}}{I \cos \varphi} = \frac{20 \cdot 10^3/3}{20 \cdot 0,8} = \frac{1250}{3} = 417 \text{ V}$$

3.º El valor de la impedancia por fase de la carga es:

$$Z = \frac{U_{Fc}}{I} = \frac{1250/3}{20} = \frac{125}{6} \Omega$$

y, por tanto,

$$\begin{aligned} \underline{Z} &= Z \angle \varphi = Z (\cos \varphi + j \sin \varphi) = \\ &= \frac{125}{6} (0,8 + j 0,6) = \frac{25}{6} (4 + j 3) \end{aligned}$$

4.º Las potencias reactivas consumidas por fase en la carga y en la línea son:

$$Q_{Fc} = P_{Fc} \tan \varphi = \frac{20}{3} \cdot \frac{3}{4} = 5 \text{ kVAr}$$

y

$$Q_{F'} = X_l I^2 = 1 \cdot 20^2 = 400 \text{ VAr}$$

En consecuencia, la potencia reactiva cedida por fase del generador, por aplicación del teorema de Boucherot, será:

$$Q_{Fg} = Q_{Fc} + Q_{F'} = 5,4 \text{ kVAr}$$

La potencia aparente del mismo es

$$S_{F_g} = \sqrt{P_{F_g}^2 + Q_{F_g}^2} = \sqrt{\left(\frac{21,2}{3}\right)^2 + 5,4^2} = 8,9 \text{ kVA}$$

y como

$$S_{F_g} = U_{F_g} I$$

resulta para la tensión por fase en el generador

$$U_{F_g} = \frac{S_{F_g}}{I} = \frac{8,9 \cdot 10^3}{20} = 445 \text{ V}$$

Por tanto, la tensión de línea en el mismo será:

$$U_g = \sqrt{3} U_{F_g} = 445 \sqrt{3} = 770 \text{ V}$$

5.º Los condensadores a colocar vienen representados en la figura 22.6. La potencia reactiva que deben ceder dichos condensadores es la diferencia de las po-

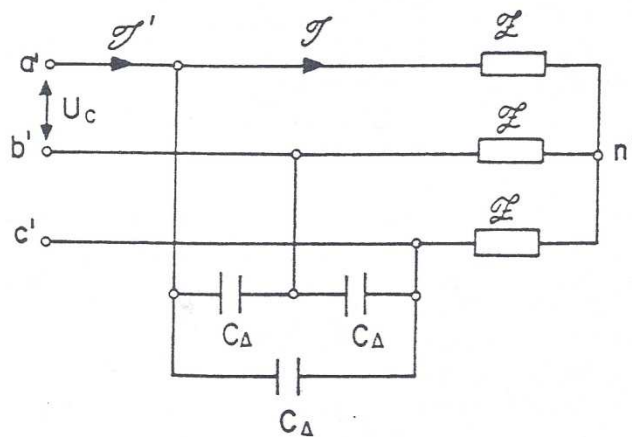


Figura 22-6

tencias reactivas consumidas por la carga por separado y por el conjunto carga + condensadores. Es decir,

$$Q_C = 3 Q_{Fc} = 3 \omega C_\Delta U_c^2 = P_c (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')$$

donde Q_{Fc} es la potencia reactiva por fase cedida por los condensadores; U_c , la tensión de línea en la carga, que coincide con la tensión de fase en los condensadores, ya que están conectados en triángulo, y φ' el argumento de la impedancia total del conjunto condensadores + carga.

Por tanto, la capacidad pedida será:

$$C_\Delta = \frac{P_c (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')}{3 \omega U_c^2} = \frac{20 \cdot 10^3 (0,75 - 0,484)}{3 \cdot 2\pi \cdot 50 (\sqrt{3} \cdot 417)^2} = 10,8 \mu\text{F}$$

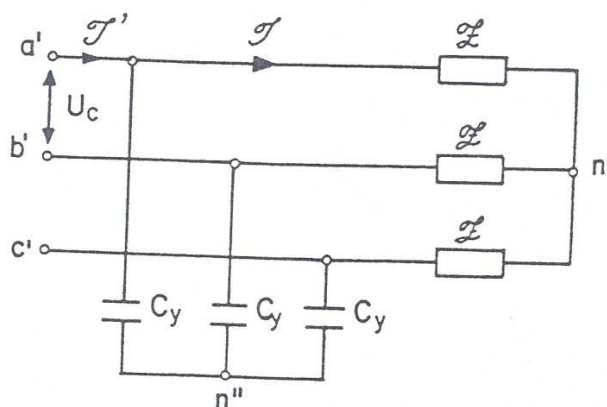


Figura 22-7

6.º Los condensadores conectados en estrella, figura 22.7, deben ceder la misma potencia reactiva que los conectados en triángulo. Además, como las tensiones de línea son las mismas en dichas conexiones, la configuración en estrella será la equivalente de la en triángulo. Ahora bien, como dicha equivalencia se resumía en

$$X_{\Delta} = 3 X_Y$$

donde X_{Δ} y X_Y son las impedancias conectadas en triángulo y estrella, respectivamente, y como, en nuestro caso, la impedancia de un condensador es inversamente proporcional a su capacidad, se cumplirá

$$C_Y = 3 C_{\Delta} = 3 \cdot 10.8 = 32.4 \mu F$$

Nota.—Es necesario observar que los condensadores en estrella sólo deben soportar la tensión de fase en la carga, mientras que los conectados en triángulo soportan la tensión de línea.

Estas observaciones, de mayor capacidad y menor tensión a soportar de las baterías de condensadores en estrella en relación con las de triángulo, han de tenerse en cuenta como criterio económico para mejorar el factor de potencia de una instalación trifásica.

7.º En ambos casos, las potencias consumidas por el conjunto carga + condensadores son:

$$P = P_c = 20 \text{ kW}$$

$$Q = P \operatorname{tg} \varphi' = 20 \cdot 0.484 = 8.7 \text{ kVAr}$$

La potencia aparente será, por lo tanto,

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 22.2 \text{ kVA}$$

Ahora bien, como

$$S = 3 U_{Fe} I'$$

la nueva intensidad de línea será en ambos casos

$$I' = \frac{S}{3 U_{Fc}} = \frac{22,2 \cdot 10^3}{3 \cdot 417} = 17,8 \text{ A}$$

Como se observa, al mejorar el factor de potencia, la intensidad de línea disminuye, con lo que también disminuirán las pérdidas en los hilos de la línea.

Se puede ver también que, al mejorar el factor de potencia del receptor, se requiere menor tensión en bornes del generador para mantener una misma tensión en bornes del receptor.