PROBLEMA 12.11

Un generador trifásico cuya tensión de fase es de 220 V_{ef} y "$0.9 + j\,4.5\ \Omega$" de impedancia interna, se encuentra conectado en triángulo y se quiere:

a) determinar el equivalente estrella del generador,
b) demostrar que en circuito abierto el equivalente estrella tiene la misma tensión compuesta que el circuito original en triángulo,
c) hacer un cortocircuito en los terminales del generador conectado en triángulo y hallar el valor de las corrientes en el corto circuito,
d) idem que el anterior pero para el equivalente en estrella.

PROBLEMA 12.12

Un generador trifásico conectado en triángulo tiene una impedancia interna "$0.6 + j\,6$ Ω/fase". Cuando se le desconecta la carga, la tensión medida en terminales es de 13800 V. La carga que alimenta el generador está dada por "$Z = 140 + j\,20\ \Omega$", es equilibrada y está conectada en triángulo a través de un circuito alimentador que tiene una impedancia por fase de "$z = 0.8 + j\,5\ \Omega$. Se quiere:

a) Hacer la representación por fase del circuito.
b) Resolver el circuito equivalente por fase.
c) Obtener por simetría el resultado para las otras fases.

XIII

POTENCIA EN SISTEMAS TRIFÁSICOS

1. INTRODUCCIÓN

La potencia "*P*" en corriente contínua o también potencia real, media o activa en corriente alterna, puede ser definida como la velocidad con que la energía eléctrica se transforma en otro tipo de energía útil. Del mismo modo, de la potencia reactiva "*Q*" (ficticia) puede decirse que representa la cantidad de potencia que sin transformarse en otro tipo de energía, queda entretenida en el circuito. Esta potencia reactiva es válida sólo para circuitos de corriente alterna.

En condiciones ideales, una vez producida la energía reactiva inherente a todo circuito de corriente alterna, mientras el circuito se encuentre en funcionamiento, permanece entretenida en el circuito como "energía eléctrica" que va y viene de un elemento reactivo al generador o de un elemento reactivo a otro. Por tal motivo a esta energía sólo es necesario generarla una sóla vez, en el primer cuarto de ciclo cada vez que se ponga en funcionamiento el circuito.

Según se vio en punto 1.3 del capítulo 10 para determinar estas potencias se recurrió al concepto de potencia compleja dada por:

$$\overline{S} = \overline{V} \cdot \overline{I}^{*} = V \cdot I \cdot e^{j\varphi} = S \cdot e^{j\varphi} \tag{13.1}$$

$$\overline{S} = V \cdot I \cdot \cos\varphi + jV \cdot I \cdot sen\varphi = P + jQ \tag{13.2}$$

Las expresiones (13.1) y (13.2) son válidas tanto para impedancias de carga como para generadores simples, o sea para elementos de circuito de dos terminales. Cuando se trata de impedancias de carga se puede hacer uso de la ley de Joule para corriente alterna

$$\overline{S} = \overline{Z} \cdot I^{2} \tag{13.3}$$

La (13.3) es válida sólo para ser aplicada a impedancias (recuérdese que se llama así sólo por su aspecto formal).

En los circuitos trifásicos, tanto el generador como la carga pueden ser vistos como elementos (dependiendo de su conexión), de tres y cuatro terminales, con lo que el objeto de este capítulo es el tratamiento de la potencia viendo a estos elementos de tres y cuatro terminales como elementos trifásicos.

2. POTENCIA EN CIRCUITOS TRIFÁSICOS

La potencia absorbida por una carga trifásica, cualquiera sea su tipo de conexión, vendrá dada por la suma de la potencia demandada por cada impedancia simple constitutiva de la carga trifásica. Sea por ejemplo el circuito de la figura 13.1 siguiente:

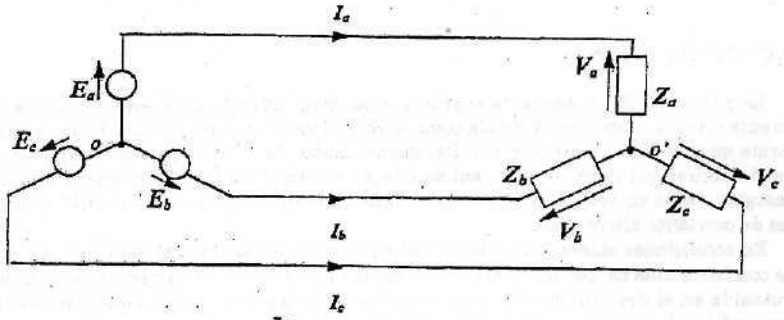


Figura 13.1

Según lo dicho la potencia total absorbida por la carga trifásica o potencia trifásica absorbida será:

$$\overline{S}_L = \overline{S}_{La} + \overline{S}_{Lb} + \overline{S}_{Lc} = \overline{V}_a \cdot \overline{I}_a^* + \overline{V}_b \cdot \overline{I}_b^* + \overline{V}_c \cdot \overline{I}_c^* \tag{13.4}$$

Del mismo modo la potencia total "S_S" entregada por la fuente trifásica que por ley de conservación de la energía debe ser igual a la absorbida por la carga "S_L", se puede calcular también por:

$$\overline{S}_S = \overline{S}_{Ea} + \overline{S}_{Eb} + \overline{S}_{Ec} = \overline{E}_a \cdot \overline{I}_a^* + \overline{E}_b \cdot \overline{I}_b^* + \overline{E}_c \cdot \overline{I}_c^* \tag{13.5}$$

3. POTENCIA EN CIRCUITOS TRIFÁSICOS PERFECTAMENTE EQUILIBRADOS

3.1 Conexión estrella

Supóngase que en el circuito de la figura 13.1 "$E_a = E_f \cdot e^{j90°}$", "$E_b = E_f \cdot e^{-j30°}$" y "$E_c = E_f \cdot e^{-j150°}$" y que las impedancias de carga son iguales "$Z_a = Z_b = Z_c = Z\, e^{j\varphi}$". Dado que el sistema está perfectamente equilibrado o balanceado y no se considera caída en los conductores de la línea de alimentación, se acepta sin resolver que "$V_a = E_a$", "$V_b = E_b$" y "$V_c = E_c$" y aunque no haya vinculación galvánica los potenciales de "o" y "o'" serán iguales. En tal caso las corrientes serán:

$$\overline{I}_a = \frac{\overline{V}_a}{\overline{Z}_a} = \frac{V_f \cdot e^{j90}}{Z \cdot e^{j\varphi}} = \frac{V_f}{Z} \cdot e^{j(90°-\varphi)} = I \cdot e^{j(90°-\varphi)} \tag{13.6}$$

$$\overline{I}_b = \frac{\overline{V}_b}{\overline{Z}_b} = \frac{V_f \cdot e^{-j30}}{Z \cdot e^{j\varphi}} = \frac{V_f}{Z} \cdot e^{j(-30°-\varphi)} = I \cdot e^{j(-30°-\varphi)} \tag{13.7}$$

$$\overline{I}_c = \frac{\overline{V}_c}{\overline{Z}_c} = \frac{V_f \cdot e^{-j150}}{Z \cdot e^{j\varphi}} = \frac{V_f}{Z} \cdot e^{j(-130°-\varphi)} = I \cdot e^{j(-150°-\varphi)} \tag{13.8}$$

Donde "V_f" corresponde al módulo de la caida de potencial de fase en cualquiera de las tres impedancias que constituyen la carga del sistema. El módulo "I" de las corrientes resulta ser por el mismo motivo igual para cualquiera de las fases y por el tipo de conexión utilizado "Y", las corrientes de fase y de línea también son iguales.

Potencia total o trifásica absorbida por la carga

Las potencia absorbidas por cada una de las impedancias de fase será:

$$\overline{S}_{La} = \overline{V}_a \cdot \overline{I}_a^* = V_f \cdot e^{j90} \cdot I \cdot e^{-j(90°-\varphi)} = V_f . I \cdot e^{j\varphi} \tag{13.9}$$

$$\overline{S}_{Lb} = \overline{V}_b \cdot \overline{I}_b^* = V_f \cdot e^{-j30} \cdot I \cdot e^{-j(-30°-\varphi)} = V_f . I \cdot e^{j\varphi} \tag{13.10}$$

$$\overline{S}_{Lc} = \overline{V}_c \cdot \overline{I}_c^* = V_f \cdot e^{-j150} \cdot I \cdot e^{-j(-150°-\varphi)} = V_f . I \cdot e^{j\varphi} \tag{13.11}$$

La potencia total o trifásica puede obtenerse por

$$\overline{S}_L = \overline{S}_{La} + \overline{S}_{Lb} + \overline{S}_{Lc} = 3 \cdot V_f . I \cdot e^{j\varphi} \tag{13.12}$$

Ahora por estar el sistema conectado en estrella "$V = \sqrt{3} . V_f$", despejando "V_f" y sustituyendo en (13.12) se tiene:

$$\overline{S}_L = 3 \cdot \frac{V}{\sqrt{3}} . I \cdot e^{j\varphi} = \sqrt{3} \cdot V . I \cdot e^{j\varphi} = S_L \cdot e^{j\varphi} \tag{13.13}$$

La última expresión permite, cuando la carga trifásica es equilibrada y conectada en estrella, calcular la potencia absorbida por el elemento trifásico en forma directa por una sóla expresión (13.13), similar a como se lo hacía para cualquier impedancia simple.

Donde:
S_L: potencia aparente, es el módulo de la potencia compleja trifásica absorbida por las tres impedancias que forman la carga trifásica,
φ: argumento de la potencia compleja, como ya fue dicho coincide con el de cualquiera de las tres impedancias de carga,
V: valor eficaz de la tensión de línea o compuesta, e
I: valor eficaz de la corriente de línea que en este caso coincide con la de fase.

Desarrollando la (13.13) se obtinen las potencias totales o trifásicas activas y reactivas:

$$\overline{S}_L = \sqrt{3}\cdot V.I\cdot e^{j\varphi} = \sqrt{3}\cdot V.I\cdot \cos\varphi + j\sqrt{3}\cdot V.I\cdot sen\varphi \qquad (13.14)$$

$$\overline{S}_L = \sqrt{3}\cdot V.I\cdot \cos\varphi + j\sqrt{3}\cdot V.I\cdot sen\varphi = P_L + jQ_L \qquad (13.15)$$

Donde:

$P_L = \sqrt{3}.V.I$. cos φ: es la potencia trifásica activa y (13.16)
$Q_L = \sqrt{3}.V.I$. sen φ: es la potencia trifásica reactiva. (13.17)

Cuando se determina la potencia absorbida por una carga trifásica pasiva, como el caso desarrollado, se puede recurrir también a la analogía de la ley de Joule y queda:

$$\overline{S}_L = 3\cdot Z\cdot e^{j\varphi}.I^2 = 3\cdot Z.I^2\cdot e^{j\varphi} = 3\cdot V_f.I\cdot e^{j\varphi} \qquad (13.18)$$

$$\overline{S}_L = 3\cdot \frac{V}{\sqrt{3}}.I\cdot e^{j\varphi} = \sqrt{3}\cdot V.I\cdot e^{j\varphi} = S_L\cdot e^{j\varphi} \qquad (13.19)$$

Se llega a idéntico resultado que él de la expresión (13.13).

Potencia total o trifásica suministrada por la fuente

Para obtener la potencia trifásica suministrada por la fuente se puede efectuar un razonamiento similar al de la carga, partiendo de:

$$\overline{S}_{Ea} = \overline{E}_a\cdot \overline{I}_a^* = E_f\cdot e^{j90}\cdot I\cdot e^{-j(90°-\varphi)} = E_f.I\cdot e^{j\varphi} \qquad (13.20)$$

$$\overline{S}_{Eb} = \overline{E}_b\cdot \overline{I}_b^* = E_f\cdot e^{-j30}\cdot I\cdot e^{-j(-30°-\varphi)} = E_f.I\cdot e^{j\varphi} \qquad (13.21)$$

$$\overline{S}_{Ec} = \overline{E}_c\cdot \overline{I}_c^* = E_f\cdot e^{-j150}\cdot I\cdot e^{-j(-150°-\varphi)} = E_f.I\cdot e^{j\varphi} \qquad (13.22)$$

y siguiendo la misma metodología se llega a:

$$\overline{S}_S = \sqrt{3}\cdot E.I\cdot e^{j\varphi} = S_S\cdot e^{j\varphi} \qquad (13.23)$$

Donde ahora:
S_S: es el módulo de la potencia compleja trifásica suministrada por la fuente trifásica o potencia aparente total o trifásica,
φ: el argumento de la potencia compleja,
E: valor eficaz de la tensión de línea o compuesta en los terminales de la fuente e
I: valor eficaz de la corriente de línea con identica consideración que antes.

Tambien el "cos φ" corresponde al factor de potencia de la carga que en este caso, dado el equilibrio de la carga, es único y coincidente con el de la fuente.

3.2 Conexión triángulo

Como será demostrado, cuando el sistema es perfectamente equilibrado y está conectado en triángulo como se muestra en la figura 13.2, para el cálculo de la potencia trifásica, se llega a la misma expresión que la (13.13) de la conexión en estrella.

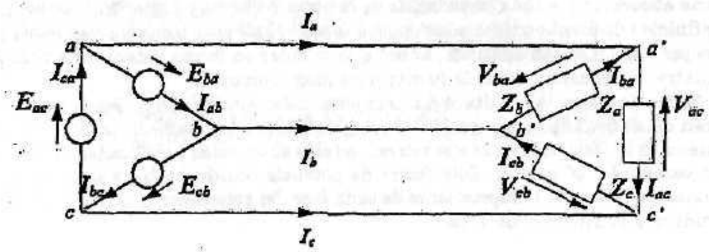


Figura 13.2

Sin entrar en detalles debido a la simplicidad del circuito y también a que ya fue estudiado en capítulo 12, las corrientes de cada fase en la carga y también las homólogas del generador serán:

$$\begin{aligned} I_{ac} &= V_{ac}/Z_a = V\,.\,e^{j\,90°}/Z\,e^{j\varphi} = I_f\,.\,e^{j(90°-\varphi)} = I_{ca} \\ I_{ba} &= V_{ba}/Z_b = V\,.\,e^{-j\,30°}/Z\,e^{j\varphi} = I_f\,.\,e^{j(-30°-\varphi)} = I_{ab} \\ I_{cb} &= V_{cb}/Z_c = V\,.\,e^{-j\,150°}/Z\,e^{j\varphi} = I_f\,.\,e^{j(-150°-\varphi)} = I_{bc} \end{aligned} \qquad (13.24)$$

Por el tipo de conexión y como no hay caída en los conductores de la línea de alimentación, se puede asegurar que "$V_{ac} = E_{ac}$", "$V_{ba} = E_{ba}$" y "$V_{cb} = E_{cb}$". En consecuencia para la determinación de las corrientes se usaron las expresiones indicadas en (13.24). Las potencia absorbidas por cada una de las impedancias de fase ahora será:

$$\overline{S}_{La} = \overline{V}_{ac}\cdot \overline{I}_{ac}^* = V\cdot e^{j90}\cdot I_f\cdot e^{-j(90°-\varphi)} = V.I_f\cdot e^{j\varphi} \qquad (13.25)$$

$$\overline{S}_{Lb} = \overline{V}_{ba}\cdot \overline{I}_{ba}^* = V\cdot e^{-j30}\cdot I_f\cdot e^{-j(-30°-\varphi)} = V.I_f\cdot e^{j\varphi} \qquad (13.26)$$

$$\overline{S}_{Lc} = \overline{V}_{cb}\cdot \overline{I}_{cb}^* = V\cdot e^{-j150}\cdot I_f\cdot e^{-j(-150°-\varphi)} = V.I_f\cdot e^{j\varphi} \qquad (13.27)$$

Igual que en (13.12) la potencia trifásica total será:

$$\overline{S}_L = \overline{S}_{La} + \overline{S}_{Lb} + \overline{S}_{Lc} = 3\cdot V.I_f\cdot e^{j\varphi} \qquad (13.28)$$

Para la conexión triángulo "$I = \sqrt{3}\,.\,I_f$", despejando "I_f" y reemplazando en (13.28) se tiene:

$$\overline{S}_L = 3\cdot V.\frac{I}{\sqrt{3}}\cdot e^{j\varphi} = \sqrt{3}\cdot V.I\cdot e^{j\varphi} = S_L\cdot e^{j\varphi} \qquad (13.29)$$

Idéntica expresión que para calcular la potencia trifásica cuando el circuito estaba conectado en estrella que era lo que se quería demostrar. Lo mismo puede decirse de la potencia suministrada por la fuente y de las consideraciones hechas de (13.14) a (13.19).

4. POTENCIA EN CIRCUITOS TRIFÁSICOS NO EQUILIBRADOS

En estos casos, poco comunes en la práctica, no queda más remedio que determinar la potencia absorbida por cada impedancia de la carga trifásica y sumarlas. También, aunque por definición de fuente trifásica las tensiones sean simétrica, como las corrientes suministradas por cada fase son distintas, habrá que calcular en forma independiente la potencia suministrada por cada fase de la fuente para luego sumarlas.

El factor de potencia resultará distinto para cada impedancia de fase y puede resultar también distinto al de la misma fase correspondiente a la fuente. Una vez determinadas las potencias trifásicas, activas y reactivas, totales absorbidas y generadas, se puede calcular un coseno de "φ" común. Este factor de potencia común no tiene sentido, ya que no representa la situación independiente de cada fase del generador ni de la carga. Un ejercicio ayudará a clarificar conceptos.

Ejercicio 13.1 (de apoyo a teoría)

Sea un circuito trifásico como el de la figura 13.3 en el que la fuente trifásica, conectada en estrella genera la siguiente estrella fasorial de tensiones:

$$E_a = E_f \,.\, e^{j90°} = 100 \,.\, e^{j90°} \text{ V}$$
$$E_b = E_f \,.\, e^{-j30°} = 100 \,.\, e^{-j30°} \text{ V} \qquad (13.30)$$
$$E_c = E_f \,.\, e^{-j150°} = 100 \,.\, e^{-j150°} \text{ V}$$

La carga trifásica conectada está compuesta de

$$Z_a = 10\,\Omega, \qquad Z_b = j\,10\,\Omega \;\text{ y }\; Z_c = -j\,10\,\Omega \qquad (13.31)$$

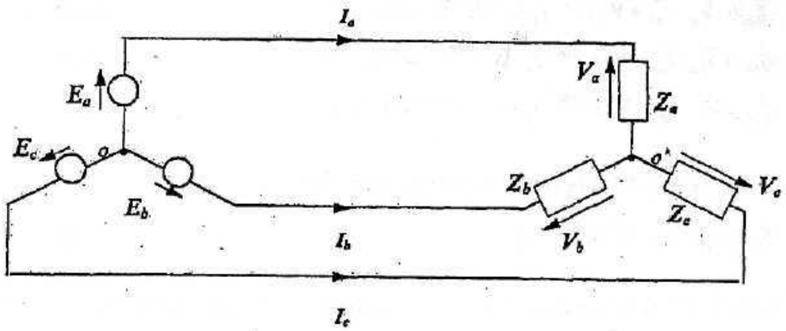


Figura 13.3

Si se aplica el método nodal convirtiendo primero las fuentes reales de tensión a sus equivalentes de corriente ver figura 13.4:

$$I_1 = E_a / Z_a = 10 \,.\, e^{j(90°-0°)} = 10 \,.\, e^{j90°} \text{ A}$$
$$I_2 = E_b / Z_b = 10 \,.\, e^{j(-30°-90°)} = 10 \,.\, e^{-j120°} \text{ A} \qquad (13.32)$$
$$I_3 = E_c / Z_c = 10 \,.\, e^{j(-150°+90°)} = 10 \,.\, e^{-j60°} \text{ A}$$

La ecuación del nodo "o'"

$$I_1 + I_2 + I_3 = (1/Z_a + 1/Z_b + 1/Z_c)\, V_{o'}$$

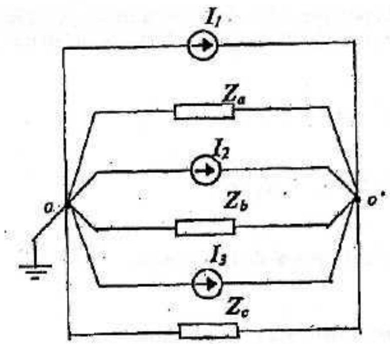


Figura 13.4

Donde la suma de las fuentes de corriente será:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 7.3205 \,.\, e^{-j90°} \text{ A}$$

y la suma de las admitancias que convergen al nodo "o'":

$$1/Z_a + 1/Z_b + 1/Z_c = 0.1 - j0.1 + j0.1 = 0.1$$

con lo que el potencial nodo "o'" será:

$$V_{o'} = 7.320 \,.\, e^{-j90°} / 0.1 = 73.205 \,.\, e^{-j90°}$$

Observar como una carga desequilibrada puede originar un elevado potencial del centro de estrella de la carga. La diferencia de potencial en cada fase será:

$$V_a = E_a - V_{o'} = 100 \,.\, e^{j90°} - 73.205 \,.\, e^{-j90°} = 173.2050 \,.\, e^{j90°} \qquad (13.33)$$

$$V_b = E_b - V_{o'} = 100 \,.\, e^{-j30°} - 73.205 \,.\, e^{-j90°} = 89.6575 \,.\, e^{j15°} \qquad (13.34)$$

$$V_c = E_c - V_{o'} = 100 \,.\, e^{-j150°} - 73.205 \,.\, e^{-j90°} = 89.6575 \,.\, e^{j165°} \qquad (13.35)$$

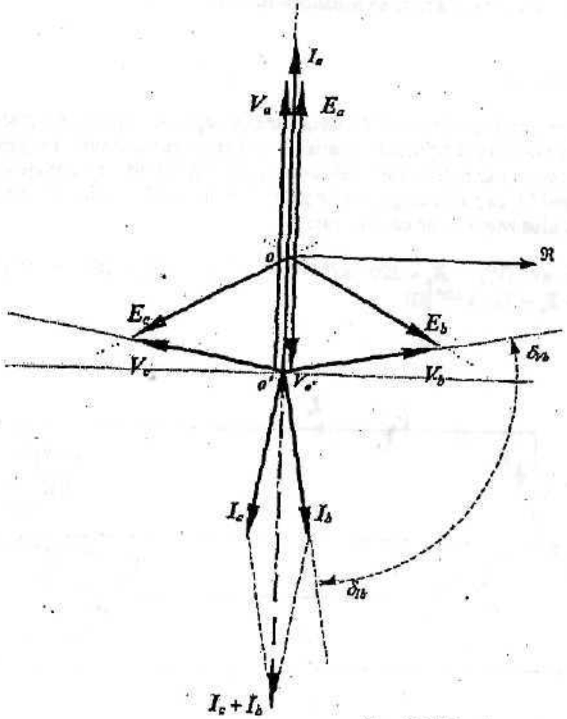
Con la diferencia de potencial en cada fase de la carga se puede ahora hallar la corriente de fase que por estar conectada en estrella será igual que la de línea.

$$\overline{I}_a = \frac{\overline{V}_a}{\overline{Z}_a} = \frac{173.2050\cdot e^{j90^\circ}}{10\cdot e^{j0}} = 17.3205\cdot e^{j90^\circ} \qquad (13.36)$$

$$\overline{I}_b = \frac{\overline{V}_b}{\overline{Z}_b} = \frac{89.6575\cdot e^{j15^\circ}}{10\cdot e^{j90}} = 8.96575\cdot e^{-j75^\circ} \qquad (13.37)$$

$$\overline{I}_c = \frac{\overline{V}_c}{\overline{Z}_c} = \frac{89.6575\cdot e^{j165^\circ}}{10\cdot e^{-j90}} = 8.96575\cdot e^{-j105^\circ} \qquad (13.38)$$

la representación fasorial resulta como se muestra en la figura 13.5



Esc. de V @ 3.175 V/mm
Esc. de I @ 0.273 A/mm

Figura 13.5

Resuelto el circuito se puede ahora calcular la potencia que es el objetivo planteado:

Potencia absorbida por las impedancias de carga

$$\overline{S}_{La} = \overline{V}_a\cdot \overline{I}_a^* = 173.2050\cdot e^{j90}\cdot 17.3205\cdot e^{-j90^\circ} \cong 3000\cdot e^{j0^\circ} \qquad (13.39)$$

$$\overline{S}_{Lb} = \overline{V}_b\cdot \overline{I}_b^* = 89.6575\cdot e^{j15^\circ}\cdot 8.96575\cdot e^{j75^\circ} \cong 803.85\cdot e^{j90^\circ} \qquad (13.40)$$

$$\overline{S}_{Lc} = \overline{V}_c\cdot \overline{I}_c^* = 89.6575\cdot e^{j165^\circ}\cdot 8.96575\cdot e^{j105^\circ} \cong 803.85\cdot e^{-j90^\circ} \qquad (13.41)$$

$$S_L = S_{La} + S_{Lb} + S_{Lc} \cong 3000\ \text{W} \qquad (13.42)$$

Potencia suministrada por la fuente

$$\overline{S}_{Ea} = \overline{E}_a\cdot \overline{I}_a^* = 100\cdot e^{j90}\cdot 17.3205\cdot e^{-j90^\circ} \cong 1732.05\cdot e^{j0^\circ} \qquad (13.43)$$

$$\overline{S}_{Eb} = \overline{E}_b\cdot \overline{I}_b^* = 100\cdot e^{-j30}\cdot 8.96575\cdot e^{j75^\circ} = 896.575\cdot e^{j45^\circ} \qquad (13.44)$$

$$\overline{S}_{Ec} = \overline{E}_c\cdot \overline{I}_c^* = 100\cdot e^{-j150}\cdot 8.96575\cdot e^{j105^\circ} = 896.575\cdot e^{-j45^\circ} \qquad (13.45)$$

$$S_g = S_{Ea} + S_{Eb} + S_{Ec} \cong 3000\ \text{W} \qquad (13.46)$$

Como se observa de las expresiones anteriores la potencia compleja que absorbe cada fase de la carga, no es la misma que suministra cada fase del generador, tampoco coinciden los factores de potencia de cada fase del generador con el de la fase homóloga de la carga y obviamente no hay un factor de potencia común a cada fase de la carga ni del generador, aunque de las expresiones (13.42) y (13.46) el factor de potencia trifásico resulte unitario.

Mientras que la potencia trifásica suministrada y absorbida resulta puramente resistiva, las fases "*b*" y "*c*" del generador ponen en juego tanto potencia activa como reactiva y como es lógico las fase "*b*" y "*c*" de la carga absorben potencia reactiva pura, todo lo cual quede perfectamente demostrado en la figura 13.5.

Potencias reactivas generadas

$$\overline{Q}_{Eb} = \Im\left(896.575\cdot e^{j45^\circ}\right) \cong j633.97 \qquad (13.47)$$

$$\overline{Q}_{Ec} = \Im\left(896.575\cdot e^{-j45^\circ}\right) \cong -j633.97 \qquad (13.48)$$

Potencias reactivas absorbidas

$$\overline{Q}_{Lb} = \Im\left(803..85\cdot e^{j90^\circ}\right) \cong j803.85 \qquad (13.49)$$

$$\overline{Q}_{Lb} = \Im\left(803..85\cdot e^{-j90^\circ}\right) \cong -j803.85 \qquad (13.50)$$

Estas potencias reactivas diferentes pueden interpretarse: 1) la producida por el generador, como están en oposición, entretenida entre ambas fases "*b*" y "*c*" del generador se cancelan mutuamente y la absorbida por la carga, como también están en oposición, el mismo concepto. Es conveniente recordar que el concepto de potencia reactiva es ficticio.

Otro aspecto destacable resultante de este ejercicio, es que si se pone atención a la potencia total trifásica, tanto suministrada por el generador, como absorbida por la carga (como el factor de potencia trifásico es uno), podría concluirse que no habrá componente reactiva en la corriente total del circuito. Sin embargo de los cálculos efectuados se observa que si habrá componente reactiva en las corrientes de las fases "*b*" y "*c*" del circuito.

PROBLEMAS PROPUESTOS
CAPITULO 13

OBJETIVO PRINCIPAL:

Hacer uso de los conceptos de potencia compleja aplicados conjuntamente con las particularidades que caracterizan a los sistemas trifásicos y considerando las características específicas de la carga, o sea si es equilibrada o no.

PROBLEMA 13.1

Para el circuito de la figura P13.1 demostrar y explicar por qué la potencia compleja que absorbe cada fase es exactamente la misma que entrega cada fase del generador. Comprobar que la potencia trifásica, tanto absorbida como generada, se podría haber obtenido de multiplicar por "3" la potencia generada y/o absorbida en el circuito equivalente monofásico. Para los cálculos requeridos considerar:

$E_a = 220 \,.\, e^{j0°}$ [V], $E_b = 220 \,.\, e^{j240°}$ [V] y $E_c = 220 \,.\, e^{j120°}$ [V]
$Z_a = Z_b = Z_c = 11 \,.\, e^{j30°}$ [Ω]

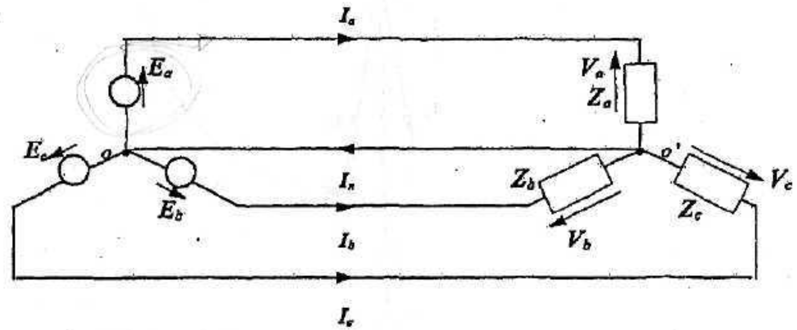


Figura P13.1

PROBLEMA 13.2

Calcular la potencia trifásica absorbida por la carga, si en el circuito del problema anterior la impedancia de carga fuera desequilibrada:

$Z_a = 11 \cdot e^{j30°}\,[\Omega]$,
$Z_b = 11 \cdot e^{j30°}\,[\Omega]$
$Z_c = 5.5 \cdot e^{j30°}\,[\Omega]$

PROBLEMA 13.3

Para los dos problemas anteriores demostrar y explicar por qué el argumento de la potencia compleja absorbida por la carga coincide exactamente con los de cada fase de la fuente.

PROBLEMA 13.4

Sea el circuito del problema 13.1 pero sin el retorno común "o' - o" que vincula los centros de estrella de la carga con el generador, tal como se muestra en la figura P13.2. Se desea obtener:

a) La potencia trifásica absorbida por la carga.
b) La potencia trifásica suministrada por el generador.
c) La potencia trifásica absorbida por cada fase de la carga.
d) La potencia trifásica entregada por cada fase del generador.

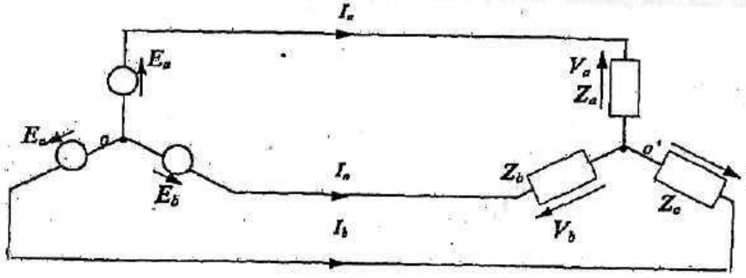


Figura P13.2

PROBLEMA 13.5

Si las fases del generador y las fases de la carga están conectadas en triángulo, encontrar:

a) Idem a lo requerido para el problema 13.1.
b) Idem a lo requerido para el problema 13.2.

Analizar la comparación de estos resultados con aquellos y escribir conclusiones.

329

PROBLEMA 13.6

Demostrar que independientemente de como se encuentren conectadas las fases del generador y/o la carga de un circuito trifásico equilibrado, la potencia trifásica compleja se obtiene de:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I^*$$

Donde V e I son valores de tensión y corriente de línea o compuesta.

PROBLEMA 13.7

Un generador trifásico se encuentra vinculado a una carga trifásica equilibrada a través de un circuito alimentador cuya impedancia es "$z = 0.6 + j\,4\ \Omega$". Con una tensión de línea en terminales de carga de "6600 V" (que deberá ser considerada constante a lo largo de la resolución del problema) la potencia trifásica absorbida por ésta, es de 1240 kW con un factor de potencia en retraso de 0.6. Como para esta condición de funcionamiento la caída resulta excesiva, se decide verificar si conectando en triángulo un banco de capacitores capaz de suministrar con 6600 V, 550 kVAr/fase la caída de tensión resulta aceptable. Además se quiere encontrar:

a) Sin el banco de capacitores, tensión necesaria en el extremo emisor del circuito.
b) Idem anterior pero habiendo corregido el factor de potencia.
c) Pérdidas del circuito alimentador en ambos casos.

PROBLEMA 13.8

La demanda de una instalación está dada por 1020 kW con un factor de potencia en atraso de 0.85 que resulta de la potencia magnetizante necesaria para el funcionamiento de los motores. Haciendo uso de la ley de Joule y su analogía para potencias reactivas, se requiere modelar esta demanda de las siguientes formas:

a) Como resistencia e impedancia conectadas en paralelo.
b) Como resistencia e impedancia conectadas en serie.
c) Como conductancia y susceptancia conectadas en paralelo.
d) Como conductancia y susceptancia conectadas en serie.

PROBLEMA 13.9

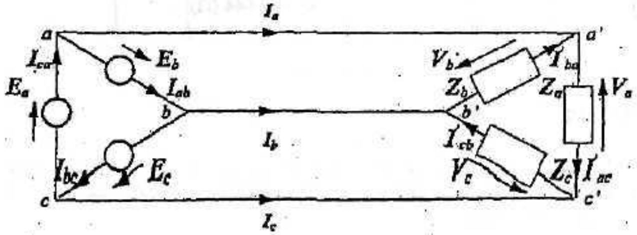


Figura P13.9

Los datos del circuito de la figura P13.3 son:

$E_a = 220 \,.\, e^{j0°}$ $[V_{ef}]$, $E_b = 220 \,.\, e^{j240°}$ $[V_{ef}]$ y $E_c = 220 \,.\, e^{j120°}$ $[V_{ef}]$
$Z_a = 2.6 \,.\, e^{j16°}$ $[\Omega]$, $Z_b = 9.0 \,.\, e^{j36°}$ $[\Omega]$ y $Z_c = 20 \,.\, e^{j0°}$ $[\Omega]$

Se quiere determinar la potencia absorbida: activa, reactiva, factor de potencia y de reactivo asociados, para la impedancia de cada fase de la carga y la potencia por fase que suministra el generador.

PROBLEMA 13.10

Como serían afectados los resultados del problema 13.9, si los parámetros de los conductores de vinculación entre el generador y la carga fueran "$r = 0.5\ \Omega$" y "$x = 2.5\ \Omega$". ¿Cómo resultará la potencia compleja de pérdida por fase en el circuito de vinculación? ¿Cómo resultará la potencia absorbida por cada fase de la carga?.

PROBLEMA 13.11

Una carga equilibrada conectada en triángulo con impedancia de "$Z = 220 + j\,55\ \Omega$/fase" se conecta en paralelo con otra carga conectada en estrella cuya impedancia por fase tiene como módulo "$40\ \Omega$" y 0° de argumento. La tensión simple en el extremo emisor del circuito alimentador, cuya impedancia es "$z = 0.5 + j\,4\ \Omega$/fase", es de 750V. Calcular:

a) Tensión de fase en terminales de las cargas.
b) Corrientes de línea.
c) Corrientes de fase de la carga.
d) Factor de potencia de cada fase del generador.
e) Factor de potencia de cada fase de la carga.

PROBLEMA 13.12

El modelo "π" equivalente por fase de una línea trifásica en vacío está dado por el circuito de la figura P13.4. Si la tensión de línea aplicada en el extremo de suministro es de 500 kV. ¿Cuánto vale la potencia trifásica compleja absorbida por la línea?.

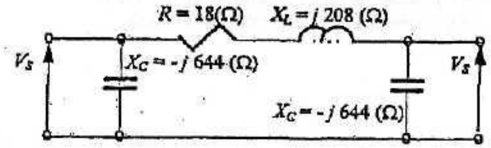


Figura P13.4

PROBLEMA 13.13

Si la potencia reactiva capaz de ser absorbida por cada generador (potencia capacitiva) fuera de "100 MVAr", ¿cuántas unidades serán necesarias para energizar la línea del problema 13.12 estando en vacío?.

PROBLEMA 13.14

¿Qué dispositivo, qué potencia reactiva y qué arreglo circuital, harán falta para compensar y poder energizar la línea del problema 13.12 con un sólo generador?.

PROBLEMA 13.15

Un generador trifásico conectado en estrella en secuencia inversa, cuya tensión nominal por fase es de 240 V, suministra a través de una línea con caída de tensión despreciable, una potencia de 100 kVA y 80% de factor de potencia en atraso, a dos cargas equilibradas, de configuración estrella, conectadas en paralelo. Si una de las cargas, puramente resistiva, absorbe una potencia de 65 kW, ¿cuánto valdrá la impedancia por fase de la otra carga?.

PROBLEMA 13.16

La fuerza motriz esencial de una fábrica absorbe por fase $S_f = 187.5\ e^{j36.8699°}$ kVA. Esta, en condición de emergencia, es suministrada a través de un circuito con pérdidas despreciables, por un generador trifásico conectado en triángulo cuyas características nominales son:

a) 380 $V_{fase\text{-}fase}$ (conectado para secuencia positiva),
b) 50 Hz,
c) 990 kVA y
d) cos ζ = 1.

¿Cuánto vale la potencia total suministrada?. Si fuera necesario (y se pudiera), desconectar una fase, ¿cuánto vale la potencia compleja aportada por cada fase del generedor?.