

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA-ELECTRÓNICA

LABORATORIO DE CIRCUITOS ELÉCTRICOS III
INFORME No. 3

**CIRCUITOS TRIFÁSICOS DESEQUILIBRADOS
CON FUENTE ESTRELLA Y CARGA ESTRELLA**

Estudiante:

Caballero Burgoa, Carlos Eduardo.

Carrera:

Ing. Electromecánica.

Docente:

Ing. Marco Antonio Vallejo Camacho.

Grupo: 2F (Martes).

Fecha de entrega: 2 de Octubre del 2024.

1. Cálculos teóricos

Considerando un circuito trifásico estrella-estrella desequilibrado con las siguientes cargas:

- **Carga A:** $R_1 = 1[k\Omega]$.
- **Carga B:** $R_2 = 250[\Omega]$ y $L = 1[H]$.
- **Carga C:** $R_3 = 500[\Omega]$ y $C = 10[\mu F]$.

Con voltaje de fase $U_L = 220[V]$ y con frecuencia de $50[Hz]$, se hallan las corrientes de línea para los siguientes casos:

1.1. Sin línea de neutro

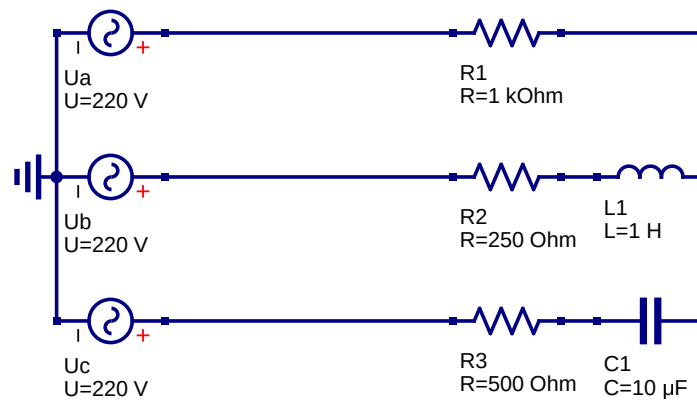


Figura 1: Circuito trifásico desequilibrado sin línea de neutro.

1.1.1. Secuencia positiva

Se calcula la frecuencia angular (ω):

$$\begin{aligned}\omega &= 2\pi f \\ &= 2\pi(50) \\ &= 100\pi[\text{rad/s}]\end{aligned}$$

Se hallan las impedancias en el dominio de frecuencia:

$$\begin{aligned}Z_1 &= R_1 \\ &= 1000[\Omega]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z_2 &= R_2 + j\omega L \\ &= 250 + j100\pi[\Omega]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z_3 &= R_3 + \frac{1}{j\omega C} \\&= 500 - j\frac{1000}{\pi} [\Omega]\end{aligned}$$

Considerando una secuencia positiva:

$$\begin{aligned}U_a &= 220/\underline{0^\circ} [\text{V}] \\U_b &= 220/\underline{-120^\circ} [\text{V}] \\U_c &= 220/\underline{120^\circ} [\text{V}]\end{aligned}$$

Se calcula el voltaje entre neutros con el teorema de *Millman*:

$$\begin{aligned}U_0 &= \frac{\frac{U_a}{Z_1} + \frac{U_b}{Z_2} + \frac{U_c}{Z_3}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}} \\&= \frac{\frac{220/\underline{0^\circ}}{1000} + \frac{220/\underline{-120^\circ}}{250 + j100\pi} + \frac{120/\underline{120^\circ}}{500 - j(1000/\pi)}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{250 + j100\pi} + \frac{1}{500 - j(1000/\pi)}} \\&= 159.99/\underline{-173.20^\circ} [\text{V}]\end{aligned}$$

A partir del voltaje de neutro se calculan las corrientes de línea:

$$\begin{aligned}I_{L_1} &= \frac{U_a - U_0}{Z_1} \\&= \frac{200/\underline{0^\circ} - 159.99/\underline{-173.20^\circ}}{500} \\&= 0.38/\underline{2.86^\circ} [\text{A}] \\I_{L_2} &= \frac{U_b - U_0}{Z_2} \\&= \frac{200/\underline{-120^\circ} - 159.99/\underline{-173.20^\circ}}{250 + j100\pi} \\&= 0.44/\underline{-125.59^\circ} [\text{A}] \\I_{L_3} &= \frac{U_c - U_0}{Z_3} \\&= \frac{200/\underline{120^\circ} - 159.99/\underline{-173.20^\circ}}{500 - j(1000/\pi)} \\&= 0.36/\underline{109.35^\circ} [\text{A}]\end{aligned}$$

1.1.2. Secuencia negativa

Considerando una secuencia negativa:

$$U_a = 220/0^\circ \text{ [V]}$$

$$U_b = 220/120^\circ \text{ [V]}$$

$$U_c = 220/-120^\circ \text{ [V]}$$

Se calcula el voltaje entre neutros con el teorema de *Millman*:

$$\begin{aligned} U_0 &= \frac{\frac{U_a}{Z_1} + \frac{U_b}{Z_2} + \frac{U_c}{Z_3}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3}} \\ &= \frac{\frac{220/0^\circ}{1000} + \frac{220/120^\circ}{250 + j100\pi} + \frac{120/-120^\circ}{500 - j(1000/\pi)}}{\frac{1}{1000} + \frac{1}{250 + j100\pi} + \frac{1}{500 - j(1000/\pi)}} \\ &= 111.57/32.36^\circ \text{ [V]} \end{aligned}$$

A partir del voltaje de neutro se calculan las corrientes de línea:

$$\begin{aligned} I_{L_1} &= \frac{U_a - U_0}{Z_1} \\ &= \frac{200/0^\circ - 111.57/32.36^\circ}{500} \\ &= 0.14/-25.40^\circ \text{ [A]} \\ I_{L_2} &= \frac{U_b - U_0}{Z_2} \\ &= \frac{200/-120^\circ - 111.57/32.36^\circ}{250 + j100\pi} \\ &= 0.60/95.87^\circ \text{ [A]} \\ I_{L_3} &= \frac{U_c - U_0}{Z_3} \\ &= \frac{200/120^\circ - 111.57/32.36^\circ}{500 - j(1000/\pi)} \\ &= 0.54/-96.74^\circ \text{ [A]} \end{aligned}$$

1.2. Con línea de neutro

1.2.1. Secuencia positiva

Considerando una secuencia positiva:

$$U_a = 220/0^\circ \text{ [V]}$$

$$U_b = 220/-120^\circ \text{ [V]}$$

$$U_c = 220/120^\circ \text{ [V]}$$

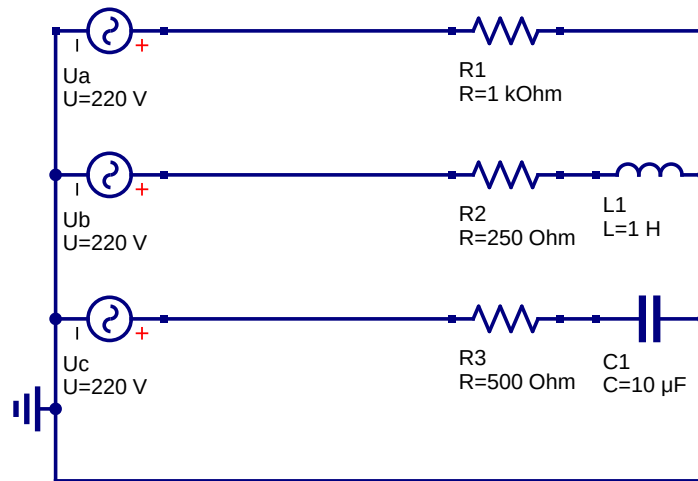


Figura 2: Circuito trifásico desequilibrado con línea de neutro.

Se calculan las corrientes de línea:

$$\begin{aligned}
 I_{L_1} &= \frac{U_a}{Z_1} \\
 &= \frac{200\angle 0^\circ}{500} \\
 &= 0.22\angle 0^\circ [\text{A}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{L_2} &= \frac{U_b}{Z_2} \\
 &= \frac{200\angle -120^\circ}{250 + j100\pi} \\
 &= 0.55\angle -171.49^\circ [\text{A}]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{L_3} &= \frac{U_c}{Z_3} \\
 &= \frac{200\angle 120^\circ}{500 - j(1000/\pi)} \\
 &= 0.37\angle 152.48^\circ [\text{A}]
 \end{aligned}$$

Con las corrientes de línea se calcula la corriente de neutro:

$$\begin{aligned}
 I_0 &= I_{L_1} + I_{L_2} + I_{L_3} \\
 &= 0.22\angle 0^\circ + 0.55\angle -171.49^\circ + 0.37\angle 152.48^\circ \\
 &= 0.66\angle 172.10^\circ [\text{A}]
 \end{aligned}$$

1.2.2. Secuencia negativa

Considerando una secuencia negativa:

$$U_a = 220/0^\circ [\text{V}]$$

$$U_b = 220/120^\circ [\text{V}]$$

$$U_c = 220/-120^\circ [\text{V}]$$

Se calculan las corrientes de línea:

$$\begin{aligned} I_{L_1} &= \frac{U_a}{Z_1} \\ &= \frac{200/0^\circ}{500} \\ &= 0.22/0^\circ [\text{A}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{L_2} &= \frac{U_b}{Z_2} \\ &= \frac{200/120^\circ}{250 + j100\pi} \\ &= 0.55/68.51^\circ [\text{A}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{L_3} &= \frac{U_c}{Z_3} \\ &= \frac{200/-120^\circ}{500 - j(1000/\pi)} \\ &= 0.37/-87.52^\circ [\text{A}] \end{aligned}$$

Con las corrientes de línea se calcula la corriente de neutro:

$$\begin{aligned} I_0 &= I_{L_1} + I_{L_2} + I_{L_3} \\ &= 0.22/0^\circ + 0.55/68.51^\circ + 0.37/-87.52^\circ \\ &= 0.46/17.66^\circ [\text{A}] \end{aligned}$$

1.3. Resumen de resultados

		$I_{L_1} [\text{A}]$	$I_{L_2} [\text{A}]$	$I_{L_3} [\text{A}]$	$U_0 [\text{V}]$	$I_0 [\text{A}]$
(+)	SN	0.38/2.86°	0.44/-125.59°	0.36/109.35°	159.99/-173.20°	—
	CN	0.22/0°	0.55/-171.49°	0.37/152.48°	0	0.66/172.10°
(-)	SN	0.14/-25.40°	0.60/95.87°	0.54/-96.74°	111.57/32.36°	—
	CN	0.22/0°	0.55/68.51°	0.37/-87.52°	0	0.46/17.66°

2. Simulación

Se utilizó el software *Electronic Workbench v5.12*. para simular los circuitos, estos pueden verse en las figuras: (2), (??), (??), (??), (??) y (??).

3. Tablas y mediciones

En las tablas siguientes, se presentan los resultados obtenidos con las mediciones realizadas en laboratorio.

3.1. Carga Resistiva

I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}
0.75[A]	0.76[A]	0.76[A]

	Z_1	Z_2	Z_3
U_{FASE}	225[V]	227[V]	225[V]
I_{FASE}	0.42[A]	0.42[A]	0.42[A]

3.2. Carga Resistiva-Inductiva

I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}
0.70[A]	0.71[A]	0.71[A]

3.3. Carga Resistiva-Capacitiva

I_{L_1}	I_{L_2}	I_{L_3}
0.73[A]	0.74[A]	0.74[A]

	Z_1	Z_2	Z_3
U_{FASE}	226[V]	228[V]	227[V]
U_R	219[V]	217[V]	216[V]
U_C	67.5[V]	67[V]	65.9[V]
I_{FASE}	0.42[A]	0.42[A]	0.41[A]

4. Cuestionario

1. Los voltajes de fase medidos, ¿son perfectamente equilibrados? ¿A qué se debe el desequilibrio?

Los valores de los voltajes de fase medidos difieren levemente, considerando que la variación máxima es de 2[V] para una medición de 225[V] o superior, se puede considerar un error despreciable; causado por los instrumentos de medición, al proceso de medida y al leve desbalance de las cargas conectadas.

2. Con los datos de laboratorio determine las relaciones entre corrientes de línea y de fase. ¿Este factor cumple las relaciones establecidas en teoría?. Explique las variaciones en ambos casos claramente si los hubiera.

Considerando los siguientes datos obtenidos:

	Corriente de línea (Promedio)	Corriente de fase (Promedio)	Relación L/F
Carga resistiva	0.7567[A]	0.42[A]	1.8017
Carga resistiva-inductiva	0.7067[A]	0.4067[A]	1.7376
Carga resistiva-capacitiva	0.7367[A]	0.4167[A]	1.7679

La relación teórica de $\sqrt{3}$ (1.7321) varía ligeramente en las mediciones de laboratorio con respecto a la teoría y a la simulación; nuevamente son cantidades despreciables de error.

3. Verificar con las tensiones medidas, la ley de voltajes de *Kirchhoff* en cada impedancia $R-L$ y $R-C$. Dibuje el diagrama fasorial para cada caso y determine el ángulo de desfase entre la tensión de fase en la carga y la corriente de fase.

$R-L$:

$$\begin{aligned}\sum V &= 227/0^\circ + 227/-120^\circ + 225/120^\circ \\ &= 2/-60^\circ \approx 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I &= \frac{V}{Z} \\ &= \frac{227/0^\circ}{500 + j50\pi} \\ &= 0.433/-17.44^\circ [\text{A}]\end{aligned}$$

El ángulo de desfase es -17.44° .

$R-C$:

$$\begin{aligned}\sum V &= 226/0^\circ + 228/-120^\circ + 227/120^\circ \\ &= 1.732/-150^\circ \approx 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I &= \frac{V}{Z} \\ &= \frac{226/0^\circ}{500 - j\frac{500}{\pi}} \\ &= 0.431/17.66^\circ [\text{A}]\end{aligned}$$

El ángulo de desfase es 17.66° .

4. Investigue cuáles son las ventajas y/o desventajas de este sistema delta frente al sistema estrella.

Conexión estrella-estrella:

Ventajas:

- Posibilidad de sacar un neutro, lo cual permite obtener dos tensiones o bien conectar a tierra como medida de seguridad.
- Buen funcionamiento en pequeñas potencias.

Desventajas:

- Si las cargas en el circuito de transformador no están equilibradas, entonces los voltajes en las fases pueden llegar a desequilibrarse severamente.

Conexión delta-delta:

Ventajas:

- No tiene desplazamiento de fase.
- No tiene problemas con cargas desequilibradas o armónicos.

Desventajas:

- No dispone de salida de neutro.

5. Conclusiones

Se demostró experimentalmente la relación entre voltajes de línea y fase para un circuito trifásico fuente delta con carga delta equilibrada, comprobándose la relación hallada en la teoría de circuitos eléctricos.

Se calcularon también las corrientes de línea y fase con diferentes impedancias y también se comprobó que los valores teóricos, simulados, y hallados experimentalmente no difieren más allá de lo aceptable.

Referencias

- [1] Rangel, Stephani (2017, Octubre).
Ventajas y Desventajas de los diferentes tipos de conexiones para transformadores trifásicos.
Extraído el 24 de Septiembre del 2024, de:
<https://es.scribd.com/document/362503390/Ventajas-y-Desventajas-de-Los-Diferentes-Tipos-de-Conexiones-Para-Transformadores-Trifasicos>