

Conexión triángulo abierto

OBJETIVO DEL EJERCICIO

Después de completar este ejercicio, usted será capaz de conectar dos transformadores en configuración triángulo abierto para alimentar una carga trifásica balanceada. Usted también será capaz de demostrar que en la configuración triángulo abierto, la potencia máxima es el 57,7% ($1/\sqrt{3}$) de la correspondiente a una configuración triángulo-triángulo normal.

PRINCIPIOS

La conexión triángulo abierto permite alimentar cargas trifásicas balanceadas empleando sólo dos transformadores. Esta configuración resulta útil cuando la cantidad de potencia a suministrar no es excesiva o cuando se debe sacar de servicio, a causa de una avería o por otra razón, uno de los transformadores. Lo más importante para observar es que la capacidad de potencia en la configuración triángulo abierto es del 57,7% de la correspondiente a una configuración triángulo-triángulo normal o del 86,6% de la capacidad de los dos transformadores restantes. La razón de esto es simple y se puede utilizar la figura 9-11, para ilustrar la explicación.

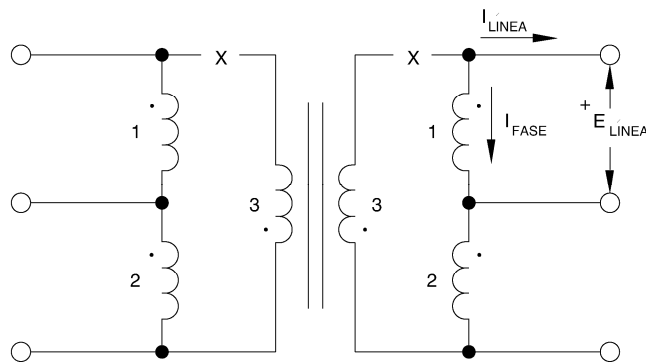


Figura 9-11. Configuración triángulo abierto.

En una configuración triángulo estándar, la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente que circula en el arrollamiento de fase. Cuando uno de los transformadores no está presente, la totalidad de la corriente de línea circula a través del arrollamiento de fase debido a que, en una configuración triángulo abierto, las corrientes de línea y fase son las mismas. Un gran incremento de la corriente causará el sobrecalentamiento de los arrollamientos de fase y dañará al transformador, a menos que la potencia de la carga sea reducida. Por lo tanto, se debe reducir la corriente de línea en $\sqrt{3}$ veces, considerando que la capacidad de potencia en una configuración triángulo abierto está limitada al 57,7% de la correspondiente a una configuración triángulo-triángulo normal. El siguiente ejemplo ilustra el cálculo de la potencia máxima. Cuando se conectan tres transformadores de 50 kVA cada uno en configuración triángulo-triángulo, la capacidad de potencia total del banco es la suma de las tres, o sea 150 kVA. Para dos transformadores en configuración triángulo abierto, la capacidad

es $150 \text{ kVA} / \sqrt{3} = 86,6 \text{ kVA}$, que es lo mismo que 86,6% de la capacidad total de los dos transformadores ($0,866 \times 100 \text{ kVA} = 86,6 \text{ kVA}$).

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de aparatos que se necesitan para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO



Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de tensiones elevadas. No realice ni modifique ninguna conexión con las fichas tipo banana en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

1. Dentro del puesto de trabajo EMS, instale la Fuente de alimentación, el módulo para la adquisición de datos, la Carga resistiva y el Transformador trifásico.
2. Asegúrese de que el interruptor principal de la Fuente de alimentación se encuentra en la posición O (apagado) y que la perilla de control de tensión ha sido girada completamente a la izquierda. Ajuste el selector del voltímetro en la posición 4-5 y asegúrese de que la Fuente de alimentación esté enchufada a una toma mural trifásica.
3. Asegúrese de que el cable USB de la computadora está conectado al módulo para la adquisición de datos.

Conecte la ENTRADA ALIMENTACIÓN del módulo de Adquisición de datos a la salida de 24 V – ca de la Fuente de alimentación. Ajuste el interruptor de 24 V – ca en la posición I (ON).

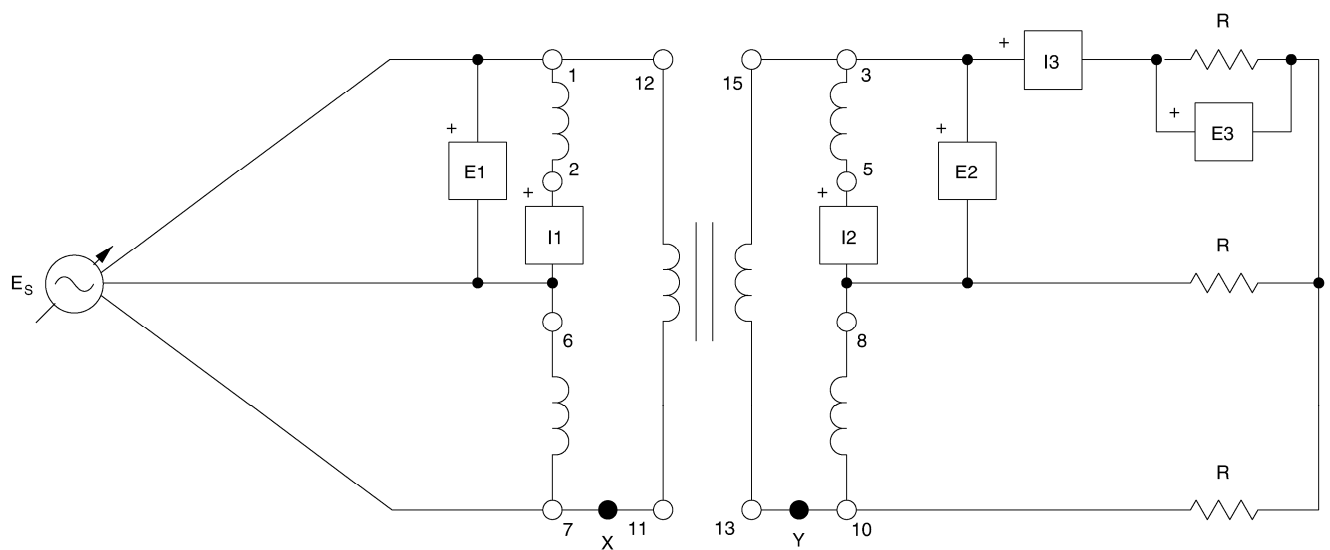
4. Inicie el software Adquisición de datos (LVDAC o LVDAM). Abra el archivo de configuración *ES19-11.dai*.



Si está utilizando el software LVSIM-EMS en LVVL, para abrir el archivo de configuración debe utilizar la opción IMPORTAR (IMPORT) en el menú File.

Asegúrese que el modo Regeneración continua está seleccionado.

5. Conecte el módulo Transformador trifásico en configuración triángulo-triángulo, como lo muestra la figura 9-12 (no conecte por ahora la carga resistiva). Cierre los terminales 7 y 11 (punto X) del primario y los 10 y 13 (punto Y) del secundario. Utilice conductores diferentes para realizar esas conexiones. Conecte las entradas E1 e I1 en el primario y las entradas E2, I2 e I3 en el secundario, como se muestra. Antes de alimentar el circuito, asegúrese de que la corriente en el interior del triángulo secundario es igual a cero.



Red local de potencia ca		E_s (V)	R (Ω)
Tensión (V)	Frecuencia (Hz)		
120	60	120	171
220	50	220	629
220	60	220	629

Figura 9-12. Demostración de una configuración triángulo abierto.

6. Conecte el módulo Carga resistiva como se muestra. Ajuste R con los valores indicados, colocando todos los interruptores en la posición I (encendido). Conecte E3 en paralelo con uno de los resistores, como lo ilustra la figura 9-12. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste el control de tensión para obtener la tensión línea a línea E_S de la misma figura. Anote los valores de línea y fase (arrollamiento) indicados por los medidores, así como las potencias aparentes indicadas por los medidores, así como los valores de potencia aparente (S_1 , S_2 , y S_3).

$$E_{PRI} \text{ (tensión 1)} = \underline{205.9} \text{ V}$$

$$E_{SEC} \text{ (tensión 2)} = \underline{201.4} \text{ V}$$

$$E_{CARGA} \text{ (tensión 3)} = \underline{116.0} \text{ V}$$

$$I_{PRI} \text{ (corriente 1)} = \underline{0.515 \text{ A}}$$

$$I_{SEC} \text{ (corriente 2)} = 0.395 \text{ A}$$

$$I_{CARGA} \text{ (corriente 3)} = \underline{0.679} \text{ A}$$

$$S_{PRI}(S_1) = 106.1 \text{ VA}$$

$$S_{SEC} (S_2) = \underline{79.53} \text{ VA}$$

$$S_{CARGA} (S_3) = \underline{78.96} \text{ VA}$$

7. ¿Encuentra usted que los medidores muestran que las tensiones de línea primaria y secundaria E_{PRI} y E_{SEC} son iguales, así como las corrientes que fluyen en los arrollamientos primario y secundario I_{PRI} y I_{SEC} ?

☐ Sí ☒ No

8. La corriente de línea en la carga I_{CARGA} , ¿es aproximadamente $\sqrt{3}$ veces mayor que la corriente de fase del arrollamiento secundario I_{SEC} ?

☒ Sí ☐ No



Observe también, que la tensión en la carga E_{CARGA} es $\sqrt{3}$ veces menor que la tensión de línea secundaria E_{SEC} .

9. Abra cuidadosamente el triángulo primario en el punto X, desconectando el conductor del terminal primario 11 y observe el cambio en las corrientes de línea y fase.



Abra el triángulo con mucha precaución, dado que en este momento hay alta tensión en el conductor.

10. Las corrientes de fase primaria y secundaria I_{PRI} y I_{SEC} , así como los valores de potencia aparente S_1 y S_2 , ¿tuvieron un incremento importante?

☒ Sí ☐ No

11. ¿Resulta ese incremento aproximadamente igual a $\sqrt{3}$?

☒ Sí ☐ No

12. En la configuración triángulo abierto, la actual corriente de fase secundaria, ¿es igual a la corriente en la carga?

☐ Sí ☒ No

13. Cierre el triángulo primario en el punto X y abra el secundario en el punto Y, desconectando el conductor del terminal 13.



Una vez más, abra el triángulo con mucha precaución, dado que en este momento hay alta tensión en el conductor.

¿Observa el mismo resultado que en la etapa anterior?

☐ Sí ☒ No

14. Apague la Fuente de alimentación sin modificar el ajuste del control de tensión. Desconecte completamente los conductores entre los terminales primarios 7 y 11 y secundarios 10 y 13.

15. Encienda la Fuente de alimentación. Dado que el requerimiento de potencia de la carga no ha cambiado, las corrientes en los arrollamientos primario y secundario, ¿están aún en el mismo nivel?

☒ Sí ☐ No

16. Para bajar las corrientes de los arrollamientos a los valores medidos en la etapa 6, ¿en cuánto habría que incrementar la resistencia de la carga? Observe que aumentando la resistencia de la carga, la corriente que circula en la misma disminuye, por lo tanto, la potencia de la carga también disminuye.

Raíz de tres veces la resistencia.

17. Ajuste los resistores de carga para obtener la misma corriente en el arrollamiento que se midió en la etapa 6. ¿Qué valor obtiene?



Inicialmente, el módulo Carga resistiva se ajustó con los tres resistores en paralelo para obtener el valor de la figura 9-12. Como usted ha observado, al seleccionar el único valor más bajo del módulo se obtiene una resistencia de carga incrementada en $\sqrt{3}$. Por consiguiente, la corriente en el arrollamiento se reduce en el mismo factor y debería igualar su valor anterior.

La corriente de la carg se ha reducido e igualado al segundo enrollamiento.

18. Anote las potencias aparentes S_1 y S_3 que indican los medidores.

$$S_1 = \underline{85.44} \text{ VA}$$

$$S_3 = \underline{43.38} \text{ VA}$$

19. El valor de la potencia aparente S_3 , ¿es aproximadamente 57,7% menor que el medido en la etapa 6, lo que confirma que la potencia de la carga se tiene que reducir para evitar exceder la corriente nominal del transformador?

☒ Sí ☐ No

20. Apague la Fuente de alimentación sin modificar el ajuste del control de tensión. Para cerrar los triángulos, conecte nuevamente los terminales 7 y 11 y los terminales 10 y 13. Conecte las entradas E1, E2, E3, I1, I2 e I3 para medir las tensiones de línea y las corrientes de línea del secundario.

21. Encienda la Fuente de alimentación y luego utilice la aplicación *Analizador de Fasores* para observar los fasores de tensión y corriente. Una vez más, abra el triángulo primario y luego el secundario, con la misma secuencia de las etapas 9 y 13.

22. Lo que muestra la aplicación *Analizador de Fasores*, ¿confirma que no hay cambios en las tensiones y corrientes de la carga trifásica?

☒ Sí ☐ No

23. Asegúrese de que la Fuente de alimentación ha sido apagada, que la perilla de control de tensión se encuentra girada completamente a la izquierda y que todos los cables han sido desconectados.

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, usted conectó un transformador trifásico en configuración triángulo abierto y observó que el mismo puede alimentar una carga trifásica con tensiones y corrientes cuyas relaciones de fases son las apropiadas. Además, demostró que para evitar exceder la corriente nominal en los arrollamientos de fase, se debe reducir 57,7% ($1/\sqrt{3}$) la potencia de la carga.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Un transformador trifásico, en configuración triángulo abierto, puede alimentar
 - a. la misma potencia de carga que la configuración triángulo-triángulo.
 - ☒ b. sólo 57,7% de la potencia de una configuración triángulo-triángulo.
 - c. sólo 86,6% de la potencia de una configuración triángulo-triángulo.
 - d. sólo 67% de la potencia de dos transformadores.
2. En un transformador trifásico en configuración triángulo-triángulo, uno de sus arrollamientos se desconecta de la línea. ¿Qué sucederá con las corrientes en los arrollamientos?
 - ☒ a. Nada.
 - b. Decrecen.
 - c. Aumentan 33,3%.
 - d. Aumentan alrededor de 1,73 veces el valor anterior.
3. La principal ventaja de una configuración triángulo abierto es que
 - ☒ a. se pueden alimentar cargas trifásicas balanceadas, pero reduciendo la potencia.
 - b. sólo se necesitan dos transformadores para suministrar la misma potencia.
 - c. es muy simple comprenderla.
 - d. las tensiones de línea, a través de los arrollamientos, se reducen en $\sqrt{3}$.
4. Una carga conectada en estrella se alimenta mediante una configuración triángulo abierto. Las tensiones a través de cada rama de la carga son
 - ☒ a. $\sqrt{3}$ veces mayores que en una configuración triángulo-triángulo.
 - b. $\sqrt{3}$ veces menores que en una configuración triángulo-triángulo.
 - c. los mismos que en una configuración triángulo-triángulo.
 - d. los mismos que en una configuración estrella-triángulo.
5. Dos transformadores monofásicos, de 100 kVA y 7200 V: 1000 V, se conectan en configuración triángulo abierto para alimentar una carga trifásica. La máxima potencia que podrán suministrar a la carga será
 - a. 100 kVA
 - b. 200 kVA
 - c. 300 kVA
 - ☒ d. 173 kVA

Conclusión:

Las conexiones triángulo abierto son muy útiles para alimentar una carga trifásica si en caso tal se daña uno de los enrollamientos, pero a costa de reducir la potencia a 57.7%. Este hecho se comprobó en la experiencia del laboratorio en donde las tensiones de mantenían en un rango muy parecidos en todo momento.