

CASO DE ESTUDIO: *RESONANCIA INDUSTRIAL*

Escrito por Ing. Luis Alejandro Gólcher Barguil, 2023-07-31.

SINOPSIS

La resonancia industrial es un fenómeno eléctrico que puede generar daños en los equipos y peligros a la seguridad humana. El fenómeno se presenta cuando la carga eléctrica provoca la circulación de corrientes armónicas que coinciden con la frecuencia de resonancia conformada por el transformador de la subestación eléctrica y el banco de capacitores.

RESONANCIA INDUSTRIAL

En una red eléctrica industrial o edificio comercial, el transformador de la subestación eléctrica y el banco de capacitores conforman un circuito tanque de resonancia paralelo; en la Figura 1 se muestra un circuito de una subestación típica, así como un circuito tanque de resonancia paralelo. La resonancia es un fenómeno natural que ocurre entre un inductor y un capacitor. Ésta es una oscilación de energía entre ambos elementos que ocurre a la frecuencia de resonancia, f_o , establecida por la Ecuación (1).

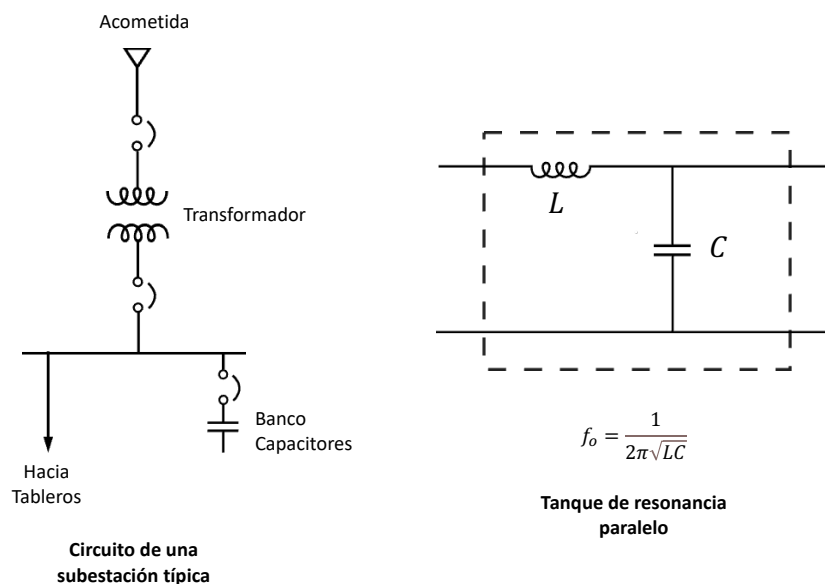


Figura 1. Circuito de una subestación típica y Tanque de resonancia paralelo

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

La resonancia se magnifica cuando la frecuencia eléctrica de suministro, f_e , se acerca a la frecuencia de resonancia del inductor-capacitor, f_o , provocando un aumento significativo en el voltaje del capacitor. La Figura 2 muestra un ejemplo. En la Figura 2.a, el tanque resonante paralelo se alimenta de una fuente AC de 100 Volts Pico y f_e (60Hz), la cual es considerablemente

distante de la frecuencia de resonancia, f_o (411Hz). En este caso el voltaje del capacitor se eleva solamente en un 2% del voltaje de suministro. En la Figura 2.b., se observa que el voltaje de salida se eleva 16 veces del voltaje de suministro al acercarse f_e (420Hz) a f_o (411 Hz), ocasionando un sobrevoltaje muy alto en la carga.

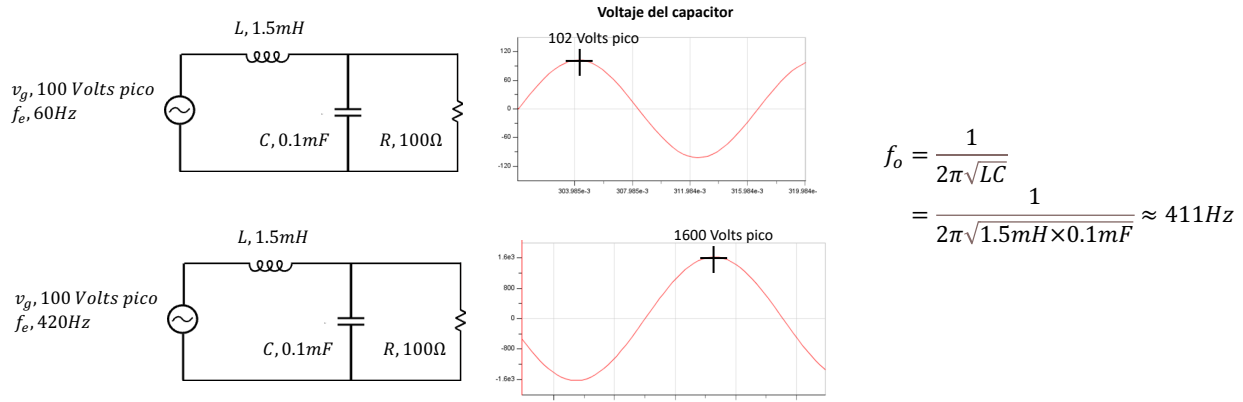


Figura 2. Sobrevoltaje en el capacitor ocasionado por resonancia

Para calcular la frecuencia de resonancia teórica del transformador de la subestación eléctrica y el banco de capacitores se puede utilizar la Ecuación 2. La frecuencia de resonancia real se desvía de la teórica dependiendo de la cantidad de inductancia y capacitancia adicional en ese punto.

$$f_o = 60 \sqrt{\frac{S_{SC}}{Q}} \quad (2)$$

donde

S_{SC} es la capacidad del cortocircuito a la salida del transformador y

Q es la potencia reactiva del banco de capacitores

CASO REAL

El transformador de la subestación tiene una potencia de 1500 kVA y una impedancia característica de 5.75%. El banco de capacitores es de 780 kVAR, divididos en doce etapas de 65 kVAR. El perfil de corrientes armónicas de la carga circulando por el transformador se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Perfil de Corrientes Armónicas

Número Armónica	I ₁ Amps	I ₂ Amps	I ₃ Amps
1	353.4	359.0	340.1
2	2.6	3.6	3.8
3	18.7	8.3	13.2
4	1.1	1.6	1.5
5	90.1	97.8	97.5
6	0.3	0.5	0.5
7	41.8	45.8	4.8
8	1.7	1.9	2.3
9	4.2	2.2	2.1
10	0.7	0.7	0.6
11	21.8	25.0	26.6
12	0.3	0.2	0.3
13	18.9	23.8	20.2
14	2.4	2.4	2.8
15	7.2	3.0	4.3

La capacidad de cortocircuito a la salida del transformador queda determinada por la Ecuación (3).

$$S_{sc} = \frac{1500 \text{ kVA}}{5.75\%} \approx 26,087 \text{ kVA} \quad (3)$$

Se construye la Tabla 2 para determinar la frecuencia resonante dependiendo del número de etapas conectas del banco de capacitores.

Tabla 2. Frecuencia de Resonancia

Etapas Conectadas (#)	Potencia Reactiva de las Etapas Conectadas (KVAR)	Potencia de Cortocircuito (KVAsc)	Frecuencia Resonancia (Hz)
1	65	26087	1202.0
2	130	26087	849.9
3	195	26087	694.0
4	260	26087	601.0
5	325	26087	537.6
6	390	26087	490.7
7	455	26087	454.3
8	520	26087	425.0
9	585	26087	400.7
10	650	26087	380.1
11	715	26087	362.4
12	780	26087	347.0

Se observa de la Tabla 2 que, con ocho y doce etapas, las corrientes armónicas número 7 y 5 de la carga respectivamente se acercan significativamente a la frecuencia de resonancia provocando un problema de sobrevoltaje que puede dañar al mismo banco de capacitores, al transformador y otros equipos de la carga.

La Figura 3 muestra el daño ocasionado real por la resonancia que ocurrió.



Figura 3. Daño en el banco de capacitores.

CONCLUSIÓN

La resonancia no se puede mitigar dado que es un fenómeno natural entre el inductor del transformador y la capacitancia del banco de capacitores. La frecuencia de resonancia sí se puede modificar al incluir un filtro en el banco de capacitores y así distanciarla de las corrientes armónicas presentes en la carga.

Se recomienda monitorear continuamente las corrientes armónicas de la carga y determinar si se acercan a la frecuencia de resonancia de la subestación eléctrica.