

Ejercicio 8 - Solución

Nicolás Gammarano

a) Cálculo de la corriente de salida del puente:

$$I_d = \frac{P}{E} = \frac{20 \text{ kW}}{220 \text{ V}} = 90,9 \text{ A}$$

Cálculo de la reactancia de cortocircuito:

$$X_{cc} = x_{cc} \frac{U_n^2}{S} = (5\%) \frac{(230 \text{ V})^2}{(500 \text{ kVA})} = 5,29 \text{ m}\Omega$$

Para que la corriente por la inductancia de armadura de la máquina de continua esté en régimen permanente, se requiere que la tensión media entre sus bornes sea nula, es decir $U_d - E = 0$, y entonces $U_d = E$.

$$E = U_d = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} U \cos(\alpha) - \frac{3}{\pi} X_{cc} I_d$$

$$\alpha = \arccos \left(\frac{E + \frac{3}{\pi} X_{cc} I_d}{\frac{3}{\pi} \sqrt{2} U} \right) = \arccos \left(\frac{(220 \text{ V}) + \frac{3}{\pi} (5,29 \text{ m}\Omega) (90,9 \text{ A})}{\frac{3}{\pi} \sqrt{2} (230 \text{ V})} \right) = 44,78^\circ$$

$$u = \arccos \left(\cos(\alpha) - \frac{2 X_{cc} I_d}{\sqrt{2} U} \right) - \alpha = \arccos \left(\cos(44,78^\circ) - \frac{2 (5,29 \text{ m}\Omega) (90,9 \text{ A})}{\sqrt{2} (230 \text{ V})} \right) - (44,78^\circ) = 0,24^\circ$$

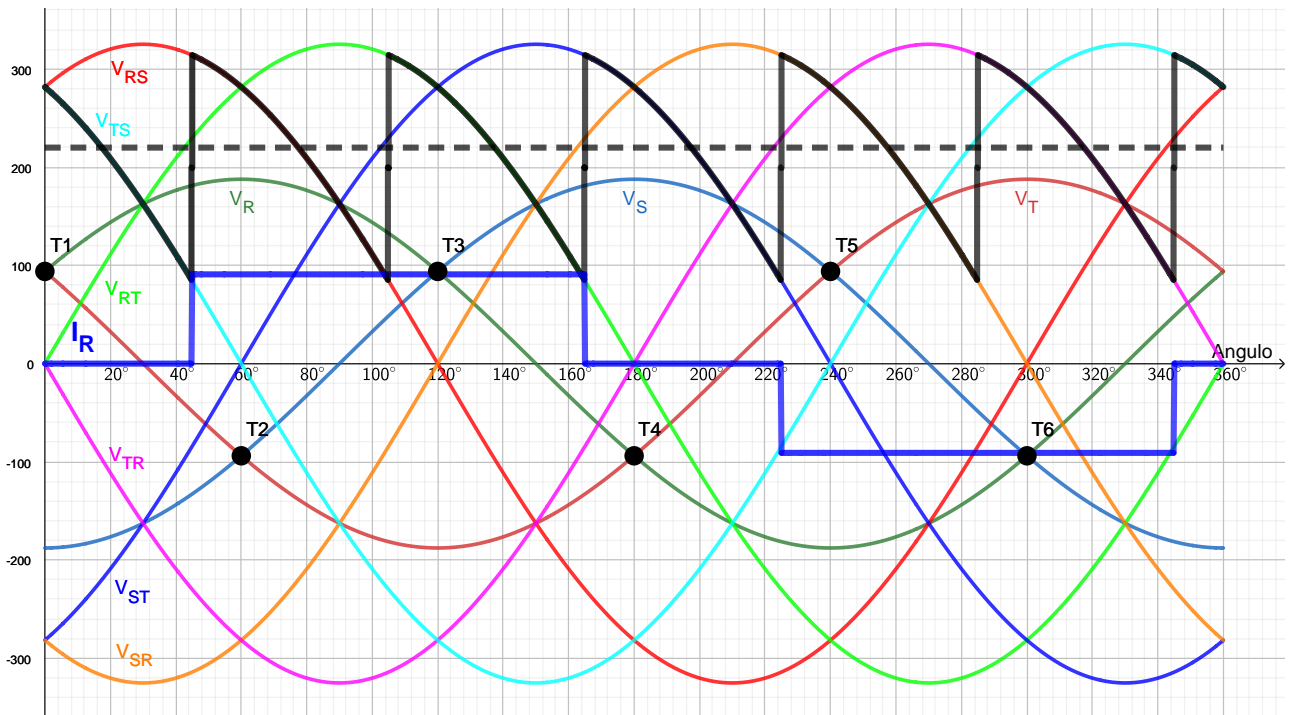


Figura 1: Tensiones de fase, tensiones de línea, tensión de salida del convertidor, tensión media de salida y corriente por la fase R. El ángulo de conmutación u es tan pequeño que prácticamente no se aprecia en la figura.

b) Las tensiones de fase de la instalación de 230 V tendrán *notches*.

Durante las conmutaciones T5→T1 y T2→T4, la tensión de la fase R de la instalación de 230 V vale $\frac{V_R+V_T}{2}$. Durante las conmutaciones T1→T3 y T4→T6, la tensión de la fase R de la instalación de 230 V vale $\frac{V_R+V_S}{2}$. Durante las conmutaciones T3→T5 y T6→T2, la tensión de la fase R de la instalación de 230 V vale V_R .

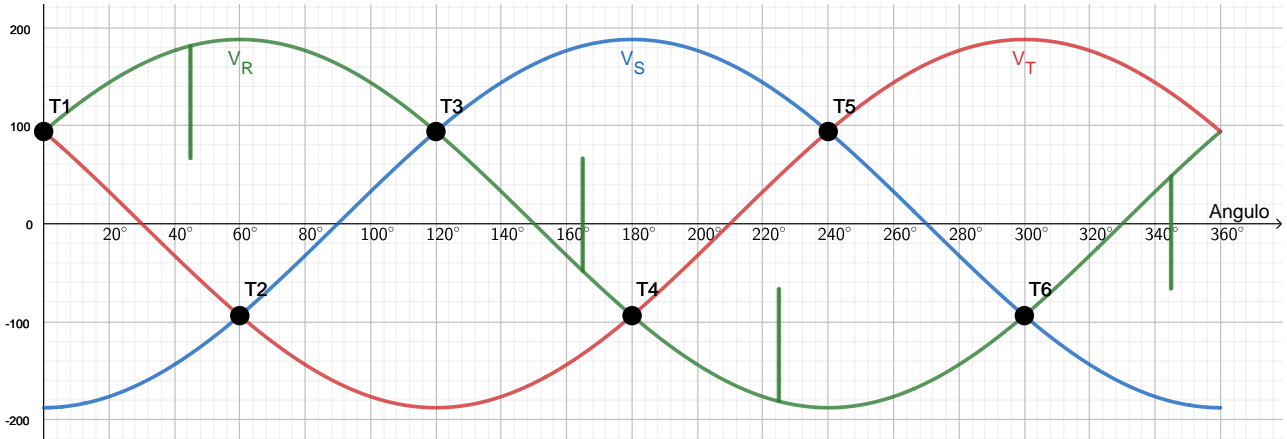


Figura 2: Tensiones de fase. Para la fase R, se muestra la tensión de fase de la instalación de 230 V. Se pueden apreciar los *notches* durante las conmutaciones que involucran a los tiristores T1 y T4.

c) Al conectar el puente de tiristores a la red a través de una inductancia trifásica, se está agregando una reactancia X a la reactancia de cortocircuito X_{cc} . De este modo, los ángulos de conmutación estarán determinados por el mismo razonamiento de la parte a) aplicado a $X'_{cc} = X_{cc} + X$.

Las tensiones de fase de la instalación de 230 V resultan de un divisor inductivo entre las tensiones de fase de la red y las tensiones de fase en bornes del puente de tiristores.

$$\frac{U_R - U_{R'}}{jX_{cc}} = \frac{U_{R'} - U_{Rnotch}}{jX}$$

$$U_{R'} = \frac{U_R X + U_{Rnotch} X_{cc}}{X_{cc} + X}$$

Si se quiere disminuir a un 20% el efecto en tensión de conectar el puente, entonces se quiere que

$$U_{R'} - U_R = 0,2 (U_{Rnotch} - U_R)$$

$$\frac{U_R X + U_{Rnotch} X_{cc}}{X_{cc} + X} - U_R = 0,2 (U_{Rnotch} - U_R)$$

$$\frac{X_{cc}}{X_{cc} + X} (U_{Rnotch} - U_R) = 0,2 (U_{Rnotch} - U_R)$$

$$\frac{X_{cc}}{X_{cc} + X} = 0,2$$

$$X = \left(\frac{1 - 0,2}{0,2} \right) X_{cc} = 4X_{cc} = 4(5,29 \text{ m}\Omega) = 21,16 \text{ m}\Omega$$

$$L = \frac{X}{\omega} = \frac{(21,16 \text{ m}\Omega)}{2\pi(50 \text{ Hz})} = 67,35 \text{ mH}$$

Los nuevos ángulos de conmutación habiendo agregado la inductancia trifásica quedan:

$$E = U_d = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} U \cos(\alpha') - \frac{3}{\pi} X'_{cc} I_d$$

$$\alpha' = \arccos \left(\frac{E + \frac{3}{\pi} X'_{cc} I_d}{\frac{3}{\pi} \sqrt{2} U} \right) = \arccos \left(\frac{(220 \text{ V}) + \frac{3}{\pi} (5,29 \text{ m}\Omega + 21,16 \text{ m}\Omega) (90,9 \text{ A})}{\frac{3}{\pi} \sqrt{2} (230 \text{ V})} \right) = 44,30^\circ$$

$$u' = \arccos \left(\cos(\alpha') - \frac{2 X'_{cc} I_d}{\sqrt{2} U} \right) - \alpha'$$

$$u' = \arccos \left(\cos(44,30^\circ) - \frac{2 (5,29 \text{ m}\Omega + 21,16 \text{ m}\Omega) (90,9 \text{ A})}{\sqrt{2} (230 \text{ V})} \right) - (44,30^\circ) = 1,20^\circ$$

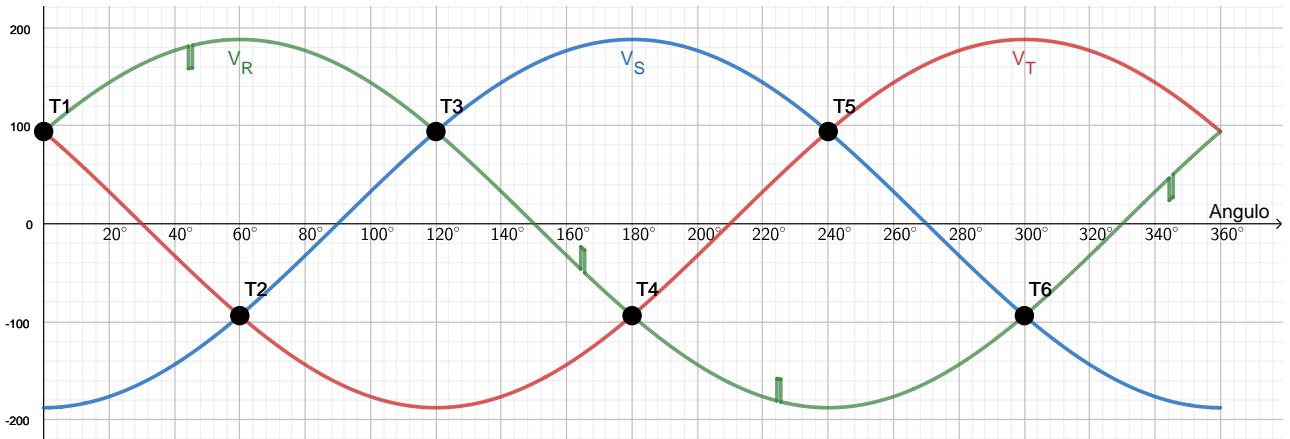


Figura 3: Tensiones de fase. Para la fase R, se muestra la tensión de fase de la instalación de 230 V luego de agregar la inductancia trifásica $L = 4L_{cc}$. Se pueden apreciar los *notches* durante las conmutaciones que involucran a los tiristores T1 y T4.