

Ejercicio 3

Para un rectificador trifásico puente totalmente controlado con carga r, L, E siendo $L=10$ mH. **Parte 1)** Si $V_{d_{med}}=E$ (con $r=0$) tomando la carga 2573 W e $I_d=10$ A. ¿En qué modo de conducción de corriente se encuentra? ¿Cuánto vale el ángulo de disparo? **Parte 2)** Suponiendo ahora que $r=2\Omega$ con la misma L que antes y el mismo ángulo de disparo α que antes (calculado en 1)) y $E=311$ V analizar si se encuentra en modo de conducción discontinuo de corriente. **Parte 3)** Con $r=2\Omega$, con la misma L que antes y el mismo ángulo de disparo α que antes y $E=110$ V analizar si se encuentra en modo de conducción continua de corriente.

Solución:

Parte 1) Sea $r=0$ en esta parte (puesto que según el dato $V_{d_{med}}=E$), entonces como $P_d=2573$ W e $I_d=10$ A resulta:

$$V_{d_{med}} = \frac{P_d}{I_d} = \frac{2573 \text{ W}}{10 \text{ A}} = 257,3 \text{ V} \quad y \quad V_{d_{med}} = E$$

Para determinar el modo de conducción de corriente de salida se utiliza el método del 1^{er} armónico de corriente (de 6ω para un rectificador puente trifásico):

Se calcula el ángulo de disparo usando la fórmula de conducción continua

$$\cos \alpha = \frac{V_d}{V_{do}} = \frac{257,3 \text{ V}}{514,16 \text{ V}} = 0,5 \quad \therefore \quad \alpha = 60^\circ$$

Con una inductancia de carga de $L=10$ mH y con $r=0 \Omega$ la impedancia a 6ω es

$$Z_{6\omega} = 6\omega L = 6 \cdot (314,16) \cdot (10 \cdot 10^{-3}) = 18,849 \Omega$$

Entonces

$$I_{d_{6\omega}} = \frac{V_{d_{6\omega}}}{Z_{6\omega}} = \frac{153,5}{18,849} = 8,143 \text{ A}$$

Al comparar el 1^{er} armónico de 6ω con respecto al valor medio de la corriente de salida $I_{d_{6\omega}} = 8,143 \text{ A} \approx I_d = 10 \text{ A}$

Resultando que se encuentra en el límite entre la conducción continua y la discontinua, denominado “modo crítico”. •

Parte 2) Sea $E=311$ V, entonces

$$i(\theta_f) = i(\theta_i) + \frac{V_{LL}}{\omega L} (\sin \theta_f - \sin \theta_i) - E(\theta_f - \theta_i)$$

Con $i(\theta_f) = 0$ y θ_f a determinar.

Además, dado que $E > V_{d_{med}}$ (para el mismo ángulo α), estamos en conducción discontinua en corriente; por lo tanto, la condición inicial es 0, o sea

$$i(\theta_i) = 0, \quad \theta_i = \alpha - \frac{\pi}{6}$$

entonces

$$0 = 0 + \frac{V_{LL}}{\omega L} \left[\text{sen } \theta_f - \text{sen} \left(\alpha - \frac{\pi}{6} \right) \right] - \frac{E}{\omega L} \left(\theta_f - \left(\alpha - \frac{\pi}{6} \right) \right)$$

Es decir, finalmente

$$\frac{V_{LL}}{\omega L} \left[\text{sen } \theta_f - \text{sen} \left(\frac{\pi}{6} \right) \right] = \frac{E}{\omega L} \left(\theta_f - \frac{\pi}{6} \right)$$

Reordenando

$$\frac{V_{LL}}{E} \left[\text{sen } \theta_f - \frac{1}{2} \right] - \theta_f + \frac{\pi}{6} = 0$$

y siendo $\frac{V_{LL}}{E} = 1,732758$

$$1,7328 \cdot \left[\text{sen } \theta_f - \frac{1}{2} \right] - \theta_f + \frac{\pi}{6} = 0$$

Se resuelve numéricamente (usar cualquier graficador para obtener la raíz). En este caso resulta $\theta_f = 1,34662 \text{ rad}$ ($77,155^\circ$)

Al calcular $V_{d_{med}}$ se tiene

$$V_{d_{med}} = \frac{3}{\pi} \left[V_{LL} \left(\text{sen } \theta_f - \text{sen} \frac{\pi}{6} \right) + E \left(\theta_f - \frac{\pi}{6} \right) \right]$$

$$V_{d_{med}} = \frac{3}{\pi} [\text{raiz}(6) \cdot 220,047498 + 311,0823] = 488,85 \text{ V}$$

Notar que

$$V_{d_{med}} = 488,85 \text{ V} > V_{do} \cdot \cos \alpha = 257,3 \text{ V}$$

Puesto que, como se dijo al principio en esta parte 2), está en modo de conducción discontinua en corriente. •

Parte 3) Sea $E=110 \text{ V}$, con el mismo ángulo α . Debe verificarse en que modo de conducción en corriente se encuentra, entonces se utiliza el método del 1er armónico:

Siendo el valor medio de corriente:

$$I_d = \frac{V_{d_{med}} - E}{r} = \frac{257,3 - 110}{2} = 73,65 \text{ A}$$

El 1er armónico de corriente (de frecuencia 6ω) se calcula en base al 1er armónico de tensión de salida y la impedancia a esa frecuencia:

$$V_{6\omega} = V_{do} \cos \alpha \frac{2}{35} \sqrt{1 + 36 \cdot \tan^2 \alpha} = 153,5 \text{ V}$$

$$Z_{6\omega} = \sqrt{2^2 + (6 \cdot (314,16) \cdot (10 \text{ e} - 3))^2} = 18,955 \Omega$$

Por lo tanto

$$I_{d_{6\omega}} = \frac{V_{d_{6\omega}}}{Z_{6\omega}} = \frac{153,5}{18,955} = 8,098 \text{ A}$$

Se compara para la corriente de salida el valor del 1er armónico con respecto al valor medio:

$$I_{d_{6\omega}} = \frac{V_{d_{6\omega}}}{Z_{6\omega}} = \frac{153,5}{18,955} = 8,098 \text{ A} \ll I_d = 73,65 \text{ A}$$

Resultando que se encuentra en modo de conducción continua en corriente. •