

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MESSINA
Dipartimento di Ingegneria
Contrada Di Dio I, 98166 – Villaggio S. Agata Messina

Appunti Corso di Elettrotecnica

Sistemi Trifase

Capitolo 5 – Rifasamento nei Sistemi Trifase

Anno Accademico 2022-2023

prof. ing. Bruno Azzerboni

Fonti:

Lezioni di Elettrotecnica Generale - Giulio Battistini

Colombo Corsi Pisa

M. Fauri “Electrical Systems Engineering” Lezione 9

5 Rifasamento nei sistemi trifase

Rifasare un carico trifase vuol dire inserire in parallelo al carico una batteria di condensatori in modo che la potenza reattiva complessiva del carico e dei condensatori soddisfi la condizione:

$$\tan \varphi' = \frac{Q'_g}{P_g} = \frac{Q_{CA} - Q_{Cond}}{P_{CA}}$$

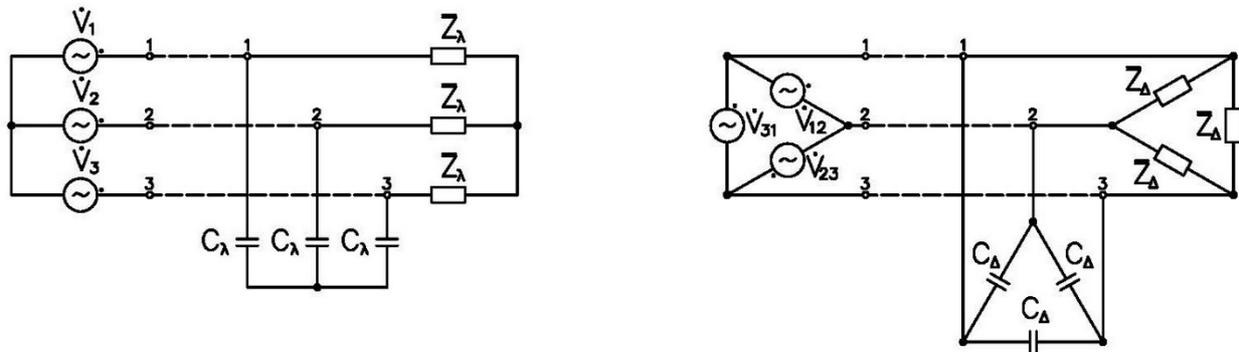


Figura 41

Si presentano due casi:

- I. Carico equilibrato, collegato a stella (λ) o a triangolo (Δ), e tensioni simmetriche o dissimmetriche

- Tensioni dissimmetriche

$$P_{CA} = \frac{R_\lambda}{Z_\lambda^2} (V_{1b}^2 + V_{2b}^2 + V_{3b}^2) = \frac{R_\Delta}{Z_\Delta^2} (V_{12}^2 + V_{23}^2 + V_{31}^2)$$

$$Q_{CA} = \frac{X_\lambda}{Z_\lambda^2} (V_{1b}^2 + V_{2b}^2 + V_{3b}^2) = \frac{X_\Delta}{Z_\Delta^2} (V_{12}^2 + V_{23}^2 + V_{31}^2)$$

$$Q_{Cond} = \omega C_\lambda (V_{1b}^2 + V_{2b}^2 + V_{3b}^2) = \omega C_\Delta (V_{12}^2 + V_{23}^2 + V_{31}^2)$$

Quindi

$$\tan \varphi' = \frac{\frac{X_\lambda}{Z_\lambda^2} (V_{1b}^2 + V_{2b}^2 + V_{3b}^2) - \omega C_\lambda (V_{1b}^2 + V_{2b}^2 + V_{3b}^2)}{\frac{R_\lambda}{Z_\lambda^2} (V_{1b}^2 + V_{2b}^2 + V_{3b}^2)} = \frac{\frac{X_\lambda}{Z_\lambda^2} - \omega C_\lambda}{\frac{R_\lambda}{Z_\lambda^2}}$$

$$\tan \varphi' = \frac{\frac{X_\Delta}{Z_\Delta^2} (V_{12}^2 + V_{23}^2 + V_{31}^2) - \omega C_\Delta (V_{12}^2 + V_{23}^2 + V_{31}^2)}{\frac{R_\Delta}{Z_\Delta^2} (V_{12}^2 + V_{23}^2 + V_{31}^2)} = \frac{\frac{X_\Delta}{Z_\Delta^2} - \omega C_\Delta}{\frac{R_\Delta}{Z_\Delta^2}}$$

In definitiva sia che i condensatori siano a stella o a triangolo, il valore della loro capacità è indipendente dalle tensioni.

➤ Tensioni simmetriche

$$P_{CA} = 3 \frac{R_{\lambda}}{Z_{\lambda}^2} (V_{\lambda}^2) = 3 \frac{R_{\Delta}}{Z_{\Delta}^2} (V_{\Delta}^2)$$

$$Q_{CA} = 3 \frac{X_{\lambda}}{Z_{\lambda}^2} (V_{\lambda}^2) = 3 \frac{X_{\Delta}}{Z_{\Delta}^2} (V_{\Delta}^2)$$

$$Q_{Cond} = 3\omega C_{\lambda} V_{\lambda}^2 = 3\omega C_{\Delta} V_{\Delta}^2$$

Quindi

$$\tan \varphi' = \frac{3 \frac{X_{\lambda}}{Z_{\lambda}^2} (V_{\lambda}^2) - 3\omega C_{\lambda} V_{\lambda}^2}{3 \frac{R_{\lambda}}{Z_{\lambda}^2} (V_{\lambda}^2)} = \frac{\frac{X_{\lambda}}{Z_{\lambda}^2} - \omega C_{\lambda}}{\frac{R_{\lambda}}{Z_{\lambda}^2}}$$

$$\tan \varphi' = \frac{3 \frac{X_{\Delta}}{Z_{\Delta}^2} (V_{\Delta}^2) - 3\omega C_{\Delta} V_{\Delta}^2}{3 \frac{R_{\Delta}}{Z_{\Delta}^2} (V_{\Delta}^2)} = \frac{\frac{X_{\Delta}}{Z_{\Delta}^2} - \omega C_{\Delta}}{\frac{R_{\Delta}}{Z_{\Delta}^2}}$$

Anche in questo caso il valore della capacità dei condensatori di rifasamento è indipendente dalle tensioni.

2. Carico squilibrato (conviene sempre riportare il carico con collegamento a triangolo, rifasare con condensatori pure a triangolo) e tensioni simmetriche o dissimmetriche

➤ Tensioni dissimmetriche

$$P_{CA} = R_{12} \left(\frac{V_{12}}{Z_{12}}\right)^2 + R_{23} \left(\frac{V_{23}}{Z_{23}}\right)^2 + R_{31} \left(\frac{V_{31}}{Z_{31}}\right)^2$$

$$Q_{CA} = X_{12} \left(\frac{V_{12}}{Z_{12}}\right)^2 + X_{23} \left(\frac{V_{23}}{Z_{23}}\right)^2 + X_{31} \left(\frac{V_{31}}{Z_{31}}\right)^2$$

$$Q_{Cond} = \omega C_{\Delta} (V_{12}^2 + V_{23}^2 + V_{31}^2)$$

Quindi

$$\tan \varphi' = \frac{X_{12} \left(\frac{V_{12}}{Z_{12}}\right)^2 + X_{23} \left(\frac{V_{23}}{Z_{23}}\right)^2 + X_{31} \left(\frac{V_{31}}{Z_{31}}\right)^2 - \omega C_{\Delta} (V_{12}^2 + V_{23}^2 + V_{31}^2)}{R_{12} \left(\frac{V_{12}}{Z_{12}}\right)^2 + R_{23} \left(\frac{V_{23}}{Z_{23}}\right)^2 + R_{31} \left(\frac{V_{31}}{Z_{31}}\right)^2}$$

In questo caso il valore di C_{Δ} dipende dal valore delle tensioni.

➤ Tensioni simmetriche ($V_{12} = V_{23} = V_{31} = V$)

$$P_{CA} = R_{12} \left(\frac{V}{Z_{12}}\right)^2 + R_{23} \left(\frac{V}{Z_{23}}\right)^2 + R_{31} \left(\frac{V}{Z_{31}}\right)^2$$

$$Q_{CA} = X_{12} \left(\frac{V}{Z_{12}}\right)^2 + X_{23} \left(\frac{V}{Z_{23}}\right)^2 + X_{31} \left(\frac{V}{Z_{31}}\right)^2$$

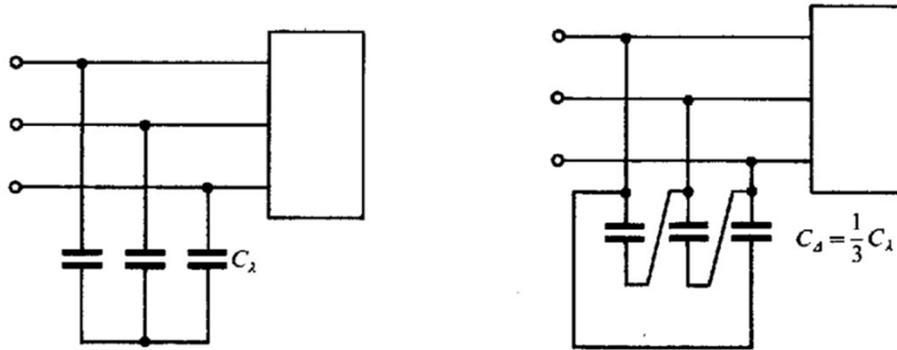
$$Q_{Cond} = 3\omega C_{\Delta} V^2$$

Quindi

$$\tan \varphi' = \frac{X_{12} \left(\frac{V}{Z_{12}}\right)^2 + X_{23} \left(\frac{V}{Z_{23}}\right)^2 + X_{31} \left(\frac{V}{Z_{31}}\right)^2 - 3\omega C_{\Delta} V^2}{R_{12} \left(\frac{V}{Z_{12}}\right)^2 + R_{23} \left(\frac{V}{Z_{23}}\right)^2 + R_{31} \left(\frac{V}{Z_{31}}\right)^2} = \frac{\frac{X_{12}}{Z_{12}^2} + \frac{X_{23}}{Z_{23}^2} + \frac{X_{31}}{Z_{31}^2} - 3\omega C_{\Delta}}{\frac{R_{12}}{Z_{12}^2} + \frac{R_{23}}{Z_{23}^2} + \frac{R_{31}}{Z_{31}^2}}$$

Anche in questo caso il valore della capacità dei condensatori di rifasamento è indipendente dalle tensioni.

Come qualsiasi altro carico, in regime sinusoidale trifase un banco di rifasamento può presentare due configurazioni, secondo che i banchi delle singole fasi siano collegati a stella o a triangolo.



Nel caso di collegamento a stella, i condensatori sono sottoposti alla tensione di fase, che è $\sqrt{3}$ volte minore della tensione di linea, mentre nel caso di collegamento a triangolo i condensatori sono sottoposti all'intera tensione di linea. Si modificano di conseguenza le espressioni delle potenze reattive impegnate nelle due configurazioni. Nel caso del collegamento a stella, la potenza reattiva è data da

$$Q_n = 3 \left(\frac{V_n}{\sqrt{3}} \right)^2 \omega \cdot C_\lambda = V_n^2 \cdot \omega \cdot C_\lambda \quad \text{da cui} \quad C_\lambda = \frac{Q_n}{V_n^2 \cdot \omega}$$

Nel caso del collegamento a triangolo, la potenza reattiva si calcola invece

$$Q_n = 3 \cdot V_n^2 \cdot \omega \cdot C_\Delta \quad \text{da cui} \quad C_\Delta = \frac{1}{3} \cdot \frac{Q_n}{V_n^2 \cdot \omega}$$

Si verifica immediatamente che a parità di potenza reattiva il collegamento a stella richiede una capacità 3 volte maggiore che nel collegamento a triangolo.

$$C_\lambda = 3 \cdot C_\Delta$$

Nel collegamento a stella ciascun condensatore è sottoposto alla tensione stellata V_λ , nel collegamento a triangolo, invece, sul condensatore insiste la tensione concatenata $V_\Delta = \sqrt{3} \cdot V_\lambda$, quindi

$$\begin{array}{l} \text{Collegamento a stella} \\ \text{Collegamento a triangolo} \end{array} \quad \begin{cases} V_\lambda \\ C_\lambda = 3 \cdot C_\Delta \\ \\ V_\Delta = \sqrt{3} \cdot V_\lambda \\ C_\Delta = \frac{1}{3} \cdot C_\lambda \end{cases}$$

Quindi nel collegamento a stella sul condensatore insiste minore tensione e, quindi, al condensatore necessita minore isolamento e, di conseguenza, il condensatore ha un costo minore; in conclusione, quindi, è per questo motivo che in media o alta tensione si preferisce il collegamento a stella.

Alla luce di queste considerazioni, si preferisce adottare una configurazione a triangolo nel caso di rifasamento in bassa tensione, mentre si riserva la configurazione a stella nel caso di rifasamento in media o alta tensione.