ESERCIZIO SUL COLLEGAMENTO IN PARALLELO DI TRASFORMATORI TRIFASE

Dato il trasformatore trifase A avente i seguenti dati di targa:

$S_{nA} = 250\ kVA$

$\Delta y5$

$\frac{V_{1nA}}{V_{20A}} = \frac{10000}{400}$

$v_{cc\%A} = 4.5\%$

$cos\varphi_{ccA} = 0.30$

$f_{nA} = 50\ Hz$

1) Si desidera collegare in parallelo un trasformatore B da 100 kVA. Si determinino i dati di targa di questo trasformatore.
2) Le prove sperimentali sul trasformatore B acquistato hanno dato i seguenti risultati:

$S_{nB} = 100\ kVA$

$\Delta y5$

$\frac{V_{1nB}}{V_{20B}} = \frac{10000}{396}$

$v_{cc\%B} = 4.0\%$

$cos\varphi_{ccB} = 0.40$

$f_{nB} = 50\ Hz$

Si determini la corrente di circolazione I_c e le correnti erogate dai due trasformatori quando è collegato al secondario un carico che assorbe una corrente $I_u = 400$ A con $cos\varphi_u = 0.9$.

SVOLGIMENTO DEL PUNTO 1

Per realizzare l'accoppiamento in parallelo, è necessario che il trasformatore B appartenga allo stesso gruppo del trasformatore A, abbia la stessa tensione nominale primaria e lo stesso rapporto di trasformazione. Il trasformatore B deve essere inoltre progettato per la stessa frequenza di alimentazione del trasformatore A.

Per fare in modo che il carico si ripartisca in ragione delle potenze apparenti, il trasformatore B deve avere la stessa tensione di corto circuito del trasformatore A. Infine, la condizione di accoppiamento in parallelo con il massimo rendimento si ottiene quando il fattore di potenza di corto circuito del trasformatore B eguaglia quello di A. In sintesi, la targa del trasformatore B da ordinare è la seguente:

$S_{nB} = 100\ kVA$

$\Delta y5$

$\frac{V_{1nB}}{V_{20B}} = \frac{10000}{400}$

$v_{cc\%B} = 4.5\%$

$cos\varphi_{ccB} = 0.30$

$f_{nB} = 50\ Hz$

SVOLGIMENTO DEL PUNTO 2

I parametri del circuito equivalente del trasformatore A sono:

$r''_{TA} = 0.0087\ \Omega$;

$X''_{TA} = 0.0275\ \Omega$.

La tensione di corto circuito al secondario del trasformatore B vale:

$$V_{cc2fB} = \frac{v_{cc\%B}}{100}\frac{V_{20B}}{\sqrt{3}} = 9.15\ \text{V} .$$

Si calcoli la corrente nominale di fase al secondario del trasformatore B:

$$I_{n2fB} = \frac{S_{nB}}{\sqrt{3}\ V_{20B}} = 145.80\ \text{A} .$$

Si può ricavare quindi il modulo dell'impedenza di corto circuito:

$$Z_{ccB} = \frac{V_{cc2fB}}{I_{n2fB}} = 0.0628\ \Omega .$$

Le componenti resistive e reattive dell'impedenza di corto circuito possono essere calcolate dalla conoscenza del fattore di potenza di corto circuito come segue:

$r''_{TB} = Z_{ccB}\, cos\varphi_{ccB} = 0.025\ \Omega$;

$X''_{TB} = Z_{ccB} sin\varphi_{ccB} = 0.058\ \Omega$.

Ne consegue che la corrente di circolazione vale:

$$I_c = \left|\frac{\boldsymbol{E}_A - \boldsymbol{E}_B}{\dot{Z}_{ccA} + \dot{Z}_{ccB}}\right| = \left|\frac{V_{20A}}{\sqrt{3}} - \frac{V_{20B}}{\sqrt{3}}\right| \frac{1}{\sqrt{\left(r''_{TA} + r''_{TB}\right)^2 + \left(X''_{TA} + X''_{TB}\right)^2}} = 25.13 \text{ A} .$$

Se si calcola la corrente di circolazione come percentuale della corrente nominale, si hanno i seguenti valori riferiti rispettivamente al trasformatore A e al trasformatore B:

$$I_{cA\%} = 100 \frac{I_C}{I_{n2fA}} = 7.0\%$$
$$I_{cB\%} = 100 \frac{I_C}{I_{n2fB}} = 17.2\%$$

Come si vede, uno squilibrio dell'1% sulle tensioni secondarie comporta una corrente di circolazione che è addirittura il 17.2% della corrente nominale del trasformatore più piccolo. Questa corrente è inaccettabile e, normalmente, si accetta un valore di corrente di circolazione che può arrivare al massimo all'1% della corrente nominale.

Dalle relazioni che esprimono i principi di Kirchhoff si ha:

$$\boldsymbol{I}_A + \boldsymbol{I}_B = \boldsymbol{I}_u \quad ;$$

$$\boldsymbol{E}_A - \dot{Z}_{ccA}\,\boldsymbol{I}_A = \boldsymbol{E}_B - \dot{Z}_{ccB}\,\boldsymbol{I}_B \quad ,$$

dalle quali si ricavano le correnti erogate dai due trasformatori:

$$\boldsymbol{I}_A = \frac{\dot{Z}_{ccB}}{\dot{Z}_{ccA} + \dot{Z}_{ccB}}\boldsymbol{I}_u + \frac{\boldsymbol{E}_A - \boldsymbol{E}_B}{\dot{Z}_{ccA} + \dot{Z}_{ccB}} \quad ;$$

$$\boldsymbol{I}_B = \frac{\dot{Z}_{ccA}}{\dot{Z}_{ccA} + \dot{Z}_{ccB}}\boldsymbol{I}_u - \frac{\boldsymbol{E}_A - \boldsymbol{E}_B}{\dot{Z}_{ccA} + \dot{Z}_{ccB}} \quad .$$

Le equazioni precedenti possono essere sviluppate nel modo seguente per determinarne il valore numerico:

$$\boldsymbol{I}_A = \frac{I_u\left(r''_{TB}\cos\varphi_u + X''_{TB}\sin\varphi_u\right) + j\,I_u\left(-r''_{TB}\sin\varphi_u + X''_{TB}\cos\varphi_u\right) + \dfrac{V_{20A}}{\sqrt{3}} - \dfrac{V_{20B}}{\sqrt{3}}}{\left(r''_{TA} + r''_{TB}\right) + j\left(X''_{TA} + X''_{TB}\right)} = 294\,e^{-j0.54} \quad ;$$

$$\boldsymbol{I}_B = \frac{I_u\left(r''_{TA}\cos\varphi_u + X''_{TA}\sin\varphi_u\right) + j\,I_u\left(-r''_{TA}\sin\varphi_u + X''_{TA}\cos\varphi_u\right) - \dfrac{V_{20A}}{\sqrt{3}} + \dfrac{V_{20B}}{\sqrt{3}}}{\left(r''_{TA} + r''_{TB}\right) + j\left(X''_{TA} + X''_{TB}\right)} = 110\,e^{-j0.21} \quad ,$$

cui corrisponde il diagramma fasoriale rappresentato in fig. 1.

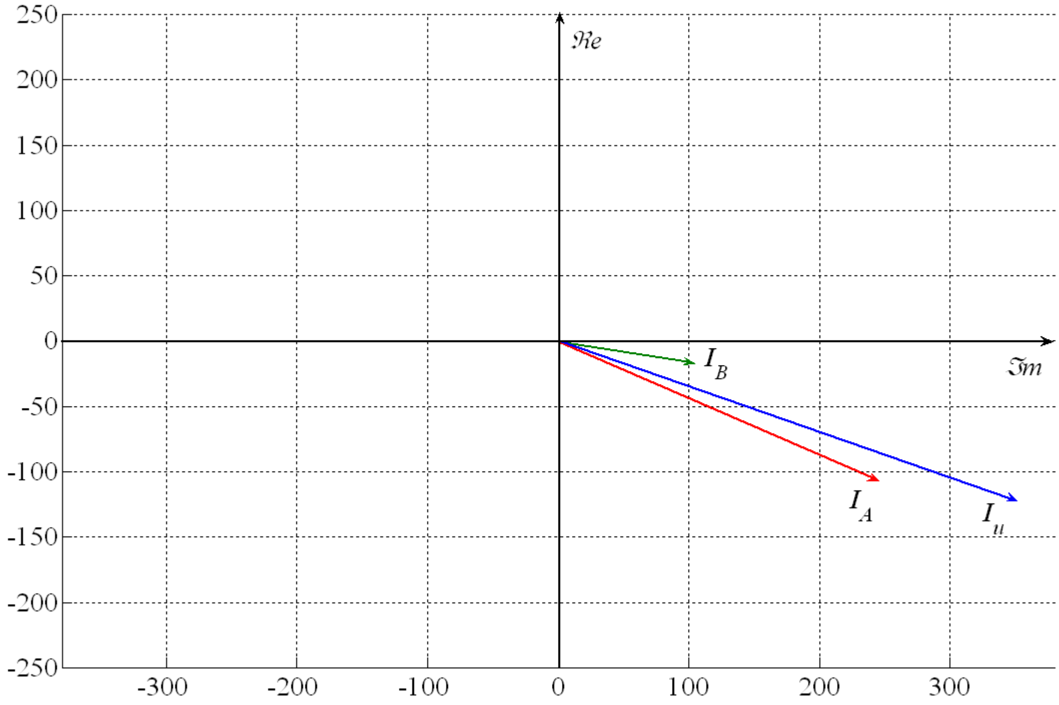

Fig. 1 – Diagramma fasoriale della corrente di carico e delle correnti erogate dai trasformatori