

H. Càlcul dels corrents de curtcircuit

Per calcular les corrents de curtcircuit, s'utilitza l'esquema de la Fig. H.1, en el qual apareixen tots els elements clau que contribueixen en un possible curtcircuit en la subestació elevadora. Degut a què no tots els paràmetres dels diferents elements són coneguts, els que no ho són, es prendran com valors aproximats segons les indicacions que dóna G.G. Seip [24] en les seves recomanacions pel càlcul de corrents de curtcircuit.

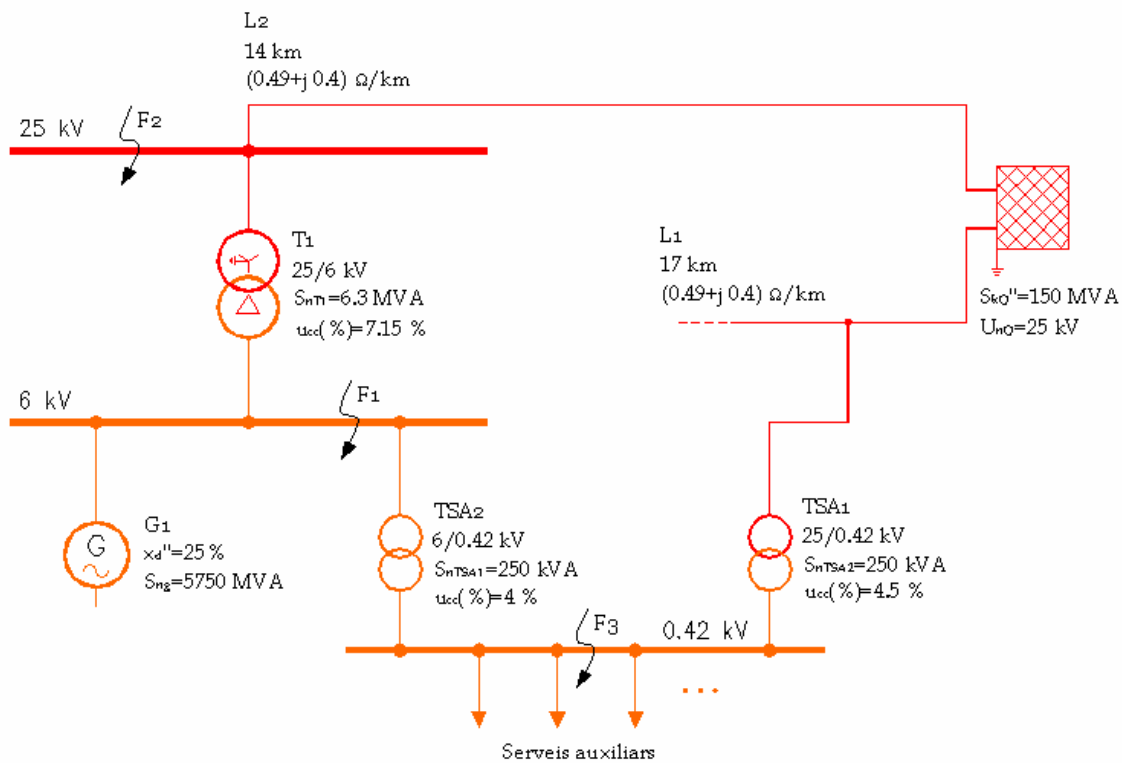


Fig. H.1 Esquema de la subestació per al càlcul de curtcircuits

Es consideraran 3 casos de curtcircuit: en els punts F_1 , F_2 i F_3 . A continuació es presenten els càlculs per cada un d'aquests casos.

H.1 Curtcircuit trifàsic en barres de 6 kV

- En primer lloc, es calcula l'aportació de la xarxa al curtcircuit. La impedància equivalent que aporta la xarxa s'expressa tal i com indica l'(Eq. H.1.1):



$$Z_Q = 1.1 \cdot \frac{U_{nQ}^2}{S_{kQ}''} \quad (\text{Eq. H.1.1})$$

On U_{nQ} és la tensió nominal de la xarxa, en kV. Concretament, és 25 kV.

S_{kQ}'' és la potència inicial de curtcircuit de la xarxa, en aquest cas, és de 150 MVA.

Com a primera aproximació, es considera que la part inductiva d'aquesta impedància de xarxa (X_Q) és:

$$X_Q = 0.995 \cdot Z_Q \quad (\text{Eq. H.1.2})$$

Substituint els valors que es tenen, la impedància, expressada a 25 kV, que aporta la xarxa al curtcircuit és:

$$\underline{Z}_{Q25kV} = 0.456 + j \cdot 4.56 \Omega \quad (\text{Eq. H.1.3})$$

Aquesta impedància, expressada a la tensió on es produeix el curtcircuit, és a dir, a 6 kV és:

$$\underline{Z}_{Q6kV} = (0.456 + j \cdot 4.56) \cdot \left(\frac{6}{25}\right)^2 = (0.0263 + j \cdot 0.263) \Omega \quad (\text{Eq. H.1.4})$$

- A continuació es calcula la impedància que aporta la línia de 14 km:

$$\underline{Z}_{L225kV} = (0.49 + j \cdot 0.4) \cdot 14 = (6.86 + j \cdot 5.6) \Omega \quad (\text{Eq. H.1.5})$$

I expressada a 6 kV:

$$\underline{Z}_{L26kV} = (6.86 + j \cdot 5.6) \cdot \left(\frac{6}{25}\right)^2 = (0.3951 + j \cdot 0.3226) \Omega \quad (\text{Eq. H.1.6})$$



- El transformador T_1 també aporta impedància de curtcircuit de la manera següent:

$$X_{cc6kV} \cong j \cdot \varepsilon_{cc} \cdot \frac{U_{n2}^2}{S_{nT1}} \quad (\text{Eq. H.1.7})$$

On ε_{cc} és la tensió de curtcircuit en tant per cent.

U_{n2} és la tensió nominal del transformador en el secundari, és a dir, 6 kV.

S_{nT1} és la potència nominal del transformador, en MVA.

Substituint valors, s'obté una impedància $X_{cc6kV} \cong j \cdot 0.4086 \Omega$.

- Per altra banda, la impedància de la línia de 17 km (L_1) segueix la mateixa expressió que per la línia L_2 .

$$\underline{Z}_{L125kV} = (0.49 + j \cdot 0.4) \cdot 17 = (8.33 + j \cdot 6.8) \Omega \quad (\text{Eq. H.1.8})$$

I expressat a 6 kV:

$$\underline{Z}_{L26kV} = (8.33 + j \cdot 6.8) \cdot \left(\frac{6}{25}\right)^2 = (0.4798 + j \cdot 0.3917) \Omega \quad (\text{Eq. H.1.9})$$

- Com ja s'ha dit, també es consideren els transformadors de serveis auxiliars, TSA_1 i TSA_2 . Pel que fa al primer, la impedància de curtcircuit al cantó de 420 V és:

$$X_{cc0.42kV} \cong j \cdot \varepsilon_{cc} \cdot \frac{U_{n2TSA1}^2}{S_{nTSA1}} \quad (\text{Eq. H.1.10})$$

On U_{n2TSA1} és la tensió nominal del secundari expressada en kV, és a dir, 0.42 kV.

S_{nTSA1} és la potència nominal del transformador, en MVA.



Pel que fa al transformador TSA₂, s'opera exactament de la mateixa manera, però la impedància ja queda expressada en el cantó del primari, és a dir, el de 6 kV. En definitiva, substituint els valors per cada un, s'obtenen les següents impedàncies expressades a la tensió de 6 kV:

$$\underline{Z}_{TSA16kV} = j \cdot 6.48 \Omega \quad (\text{Eq. H.1.11})$$

$$\underline{Z}_{TSA26kV} = j \cdot 5.76 \Omega \quad (\text{Eq. H.1.12})$$

- Per la seva part, el generador també aporta la seva impedància de curtcircuit, que segueix l'expressió següent:

$$X_{G16kV} = j \cdot x_d'' \cdot \frac{U_{ng}^2}{S_{ng}} \quad (\text{Eq. H.1.13})$$

On x_d'' és la reactància subtransitòria del generador, en tant per cent.

U_{ng} és la tensió nominal del generador, en kV.

S_{ng} és la seva potència nominal, en MVA.

Substituint valors, s'obté una impedància $X_{G16kV} = j \cdot 1.5652 \Omega$.

En aquest punt del càlcul dels corrents de curtcircuit es tenen ja totes les impedàncies que hi intervenen. La corrent tripolar de curtcircuit (I_{k3p}^{nF1}) aconsegueix l'(Eq. H.1.14):

$$I_{k3p}^{nF1} = \frac{1.1 \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\underline{Z}|} \quad (\text{Eq. H.1.14})$$

On U_n és la tensió nominal de les barres on es produeix el curtcircuit, és a dir, 6 kV.

$|\underline{Z}|$ és la impedància de tots els elements que intervenen en el curtcircuit, expressada a la tensió de les barres de 6 kV. Es pot calcular fàcilment sabent que l'esquema d'impedàncies equivalent a 6 kV queda resumit tal i com presenta la Fig. H.1.1.



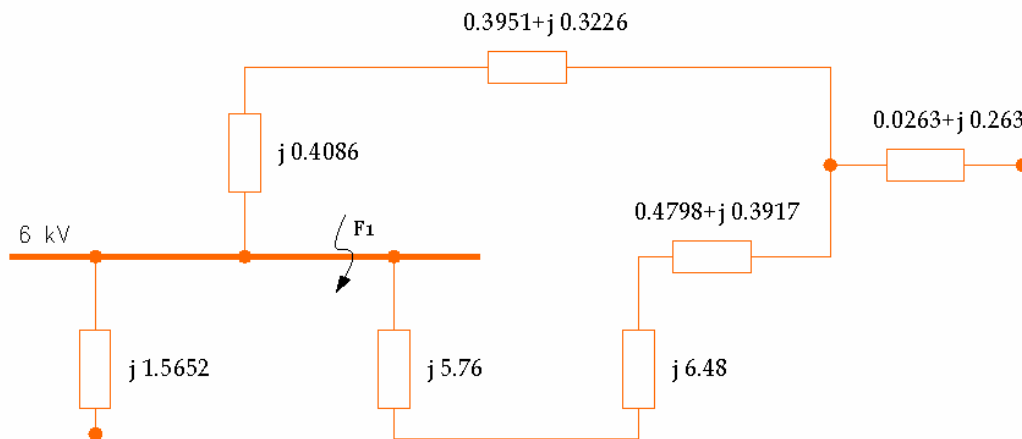


Fig. H.1.1 Esquema equivalent d'impedàncies que intervenen en un curtcircuit tripolar (6 kV)

Així doncs, si es calcula la impedància equivalent d'aquests tres ramals, s'obté un valor de $|\underline{Z}| = (0.1498 + j \cdot 0.61067) \Omega$. Amb aquest valor, es pot calcular ja la intensitat $I_{k3p}''^{F1}$, que té per valor 6.01 kA.

H.2 Curtcircuit trifàsic en barres de 25 kV

Suposat ara al cas de produir-se un curtcircuit trifàsic en barres de generació (6kV), només cal expressar totes les impedàncies a 25 kV multiplicant pel factor $(25/6)^2$. Realitzant aquests càlculs, s'obtenen les impedàncies següents:

$$\underline{Z}_{Q25kV} = (0.456 + j \cdot 4.566) \Omega$$

$$\underline{Z}_{L225kV} = (6.86 + j \cdot 5.6) \Omega$$

$$X_{ccT125kV} \cong j \cdot 7.093 \Omega$$

$$\underline{Z}_{L125kV} = (8.33 + j \cdot 6.8) \Omega$$

$$X_{ccTSA125kV} \cong j \cdot 112.5 \Omega$$

$$X_{ccTSA225kV} \cong j \cdot 100 \Omega$$



$$X_{G125kV} = j \cdot 27.1736 \Omega$$

I s'opera de la mateixa manera que pel cas anterior però amb el esquema d'impedàncies següent:

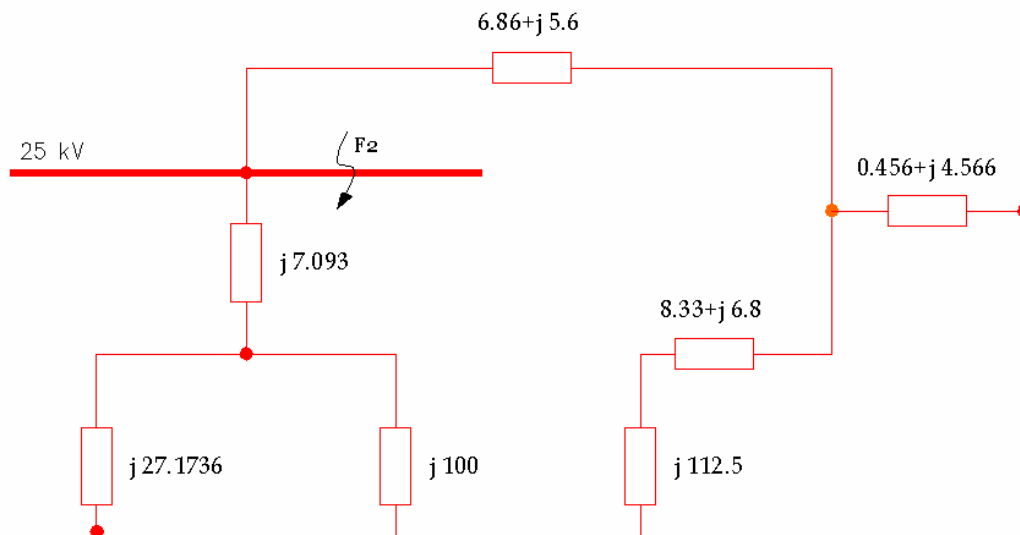


Fig. H.2.1 Esquema equivalent d'impedàncies que intervenen en un curtcircuit tripolar (25 kV)

Aplicant l'(Eq. H.1.14) corresponent al càlcul del corrent de curtcircuit trifàsic amb les impedàncies expressades a 25 kV, es té un corrent d'1.7 kA .

H.3 Curtcircuit trifàsic en barres de 0.42 kV

Finalment, de la mateixa manera que s'ha operat amb els dos casos anteriors, es considera el cas de curtcircuit en barres de serveis auxiliars, és a dir, a 420 V. En aquest cas, cal multiplicar totes les impedàncies expressades a 6 kV pel factor $(0.42/6)^2$ per expressar-les a la tensió de les barres de serveis auxiliars. Realitzant aquests càlculs, s'obtenen les impedàncies següents:

$$\underline{Z}_{Q0.42kV} = 0.000129 + j \cdot 0.001289 \Omega$$

$$\underline{Z}_{L20.42kV} = (0.00193 + j \cdot 0.00158) \Omega$$

$$X_{ccT10.42kV} \cong j \cdot 0.002 \Omega$$



$$\underline{Z}_{L10.42kV} = (0.00235 + j \cdot 0.001919) \Omega$$

$$X_{ccTS410.42kV} \cong j \cdot 0.03175 \Omega$$

$$X_{ccTS420.42kV} \cong j \cdot 0.02822 \Omega$$

$$X_{G10.42kV} = j \cdot 0.00767 \Omega$$

I s'opera de la mateixa manera que pel cas anterior però amb el esquema d'impedàncies següent:

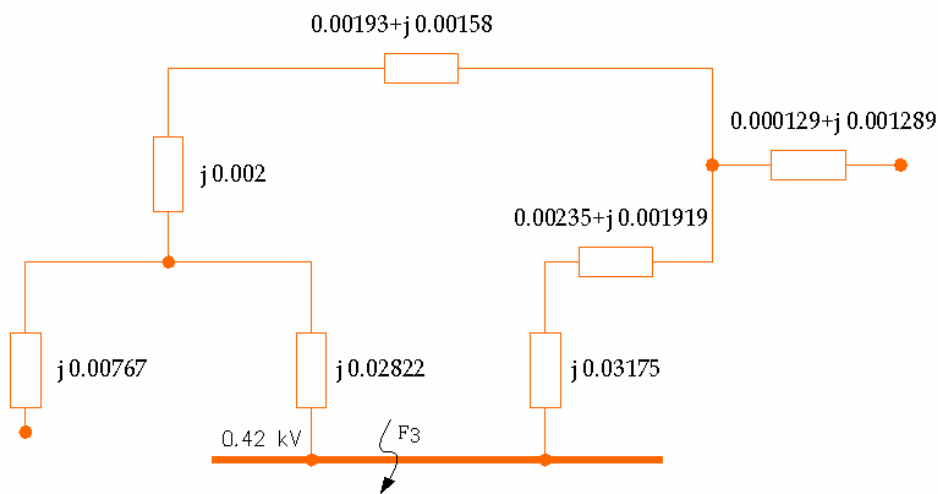


Fig. H.2.1 Esquema equivalent d'impedàncies que intervenen en un curtcircuit tripolar (420 V)

Aplicant l'(Eq. H.1.14) corresponent al càlcul del corrent de curtcircuit trifàsic amb les impedàncies expressades a 0.42 kV, es té un corrent d' 15.8 kA.

H.4 Càlcul dels corrents de curtcircuit bipolar i unipolar a terra en barres de 25 kV.

Per dissenyar correctament les malles de terra és necessari conèixer els màxims corrents de curtcircuit a terra en el cas de tenir un curtcircuit unipolar o bipolar a terra. Es calcularan ambdós corrents i s'escollirà el que tingui el valor més elevat per assegurar que el disseny de la malla de terra és el correcte.



Tal i com es pot veure en la Fig. H.1 de l'inici d'aquest annex, el transformador T_1 té el neutre del devanat de 25 kV posat rígidament a terra, així com la xarxa de 25 kV i de 150 MVA de potència de curtcircuit.

Per calcular aquests corrents, cal saber les impedàncies directes, inverses i homopolars dels elements que intervenen en aquest possible curtcircuit. En primer lloc, les impedàncies directa i inversa es consideren iguals. Pel que fa a les impedàncies homopolars s'han considerat els valors següents:

- En el transformador T_1 , $\left(\frac{X_{0T1}}{X_{1T1}}\right) = 0.8$ [24].
- En la línia L_2 , $\left(\frac{X_{0L2}}{X_{1L2}}\right) = 3.83$ [24].
- En la xarxa Q, $\left(\frac{X_{0Q}}{X_{0Q}}\right) = 2$, valor pres per analogia amb altres instal·lacions.

Sabent aquests valors, es procedeix al càlcul dels corrents, considerant primer l'esquema equivalent de les impedàncies expressades a 25 kV de la Fig. H.4.1:

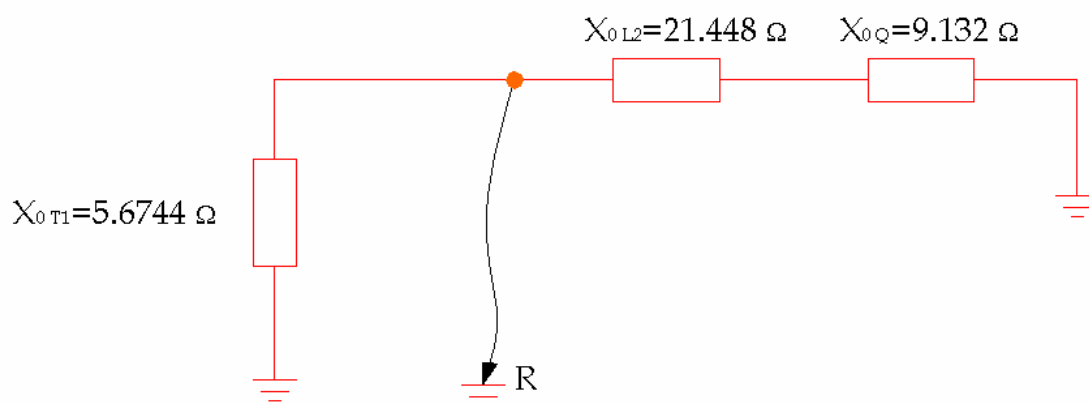


Fig. H.4.1 Esquema equivalent d'impedàncies homopolars en cas de curtcircuit a 25 kV)



En cas de curtcircuit unipolar a terra, l'expressió utilitzada per calcular el corrent de defecte (I_{k1e}'') en kA és la següent **[21]**:

$$I_{k1e}'' = \frac{3 \cdot |E''|}{|Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3 \cdot R|} \quad (\text{Eq. H.4.1})$$

On Z_1 és la impedància del sistema directe, en Ω .

Z_2 és la impedància del sistema invers, que es considera igual que el directe, en Ω .

Z_0 és la impedància del sistema homopolar, en Ω .

R és la resistència de falta a terra, en Ω . En el cas del dimensionament de la malla de terra, aquesta resistència és la resistència de la malla de terra, que té per valor 1.58Ω (en l'apartat 9.8 de la memòria hi ha descrit el procediment de càlcul d'aquesta resistència).

$|E''|$ és la tensió entre fase i neutre del generador en el moment de produir-se el curtcircuit, en kV. Degut a la no coneixença d'aquest valor, s'estima de la manera següent:

$$|E''| = \frac{1.1 \cdot U_n}{\sqrt{3}} \quad (\text{Eq. H.4.2})$$

On U_n és la tensió entre fases de la xarxa on es produeix el curtcircuit, en kV.

Substituint valors, s'obté un valor de 3.4 kA .

Per altra banda, el corrent que passa per terra en cas de curtcircuit bipolar a terra ve donat per:

$$I_{k2eE}'' = 3 \cdot |E''| \cdot \frac{1}{\left| Z_1 + (Z_0 + 3 \cdot R) \cdot \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right) \right|} \quad (\text{Eq. H.4.3})$$

Substituint valors, s'obté un valor de 2.9 kA .



