

CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO

MÉTODO SIMPLIFICADO

INTRODUÇÃO

- Para elaboração do projeto elétrico, dimensionamento da proteção e coordenação de seus elementos é necessário o conhecimento das correntes de curto circuito nos pontos da instalação.
- As correntes de curto-circuito são de valores elevados, e duração de frações de segundos. (tempo de atuação da proteção)
- Sua causa mais comum é a perda da isolação de elemento energizado do sistema elétrico.
- Os danos provocados pela corrente de curto circuito ficam limitados a atuação correta dos elementos de proteção.
- A corrente de curto circuito situa-se entre 10 e 100 vezes a corrente nominal.

APLICAÇÃO DAS CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

- CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO

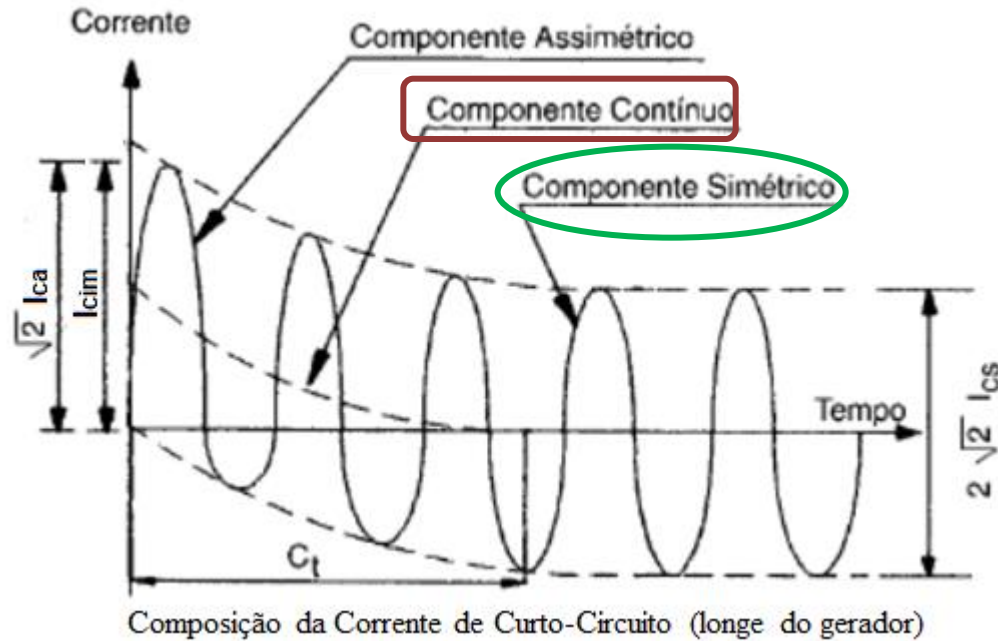
- ❖ Ajuste dos dispositivos de proteção contra sobrecorrentes;
- ❖ Capacidade de interrupção dos disjuntores;
- ❖ Capacidade térmica de cabos e equipamentos;
- ❖ Capacidade dinâmica dos equipamentos;
- ❖ Capacidade dinâmica de barramentos,

- CURTO-CIRCUITO FASE-TERRA

- Ajuste mínimo dos dispositivos de proteção contra sobrecorrente;
- Seção mínima dos condutores de uma malha de terra;
- Limite das tensões de passo e toque;
- Dimensionamento do resistor de aterramento (Sistema IT).

Fórmula da Corrente de Curto-Circuito

$$I_{CC} = \sqrt{2} \times I_{CS} \times \left[\text{sen}(\omega t + \beta - \theta) - e^{-t/C_T} \times \text{sen}(\beta - \theta) \right]$$



I_{cc} – valor instantâneo da corrente de curto-circuito num instante de tempo específico;

I_{cs} – valor eficaz da corrente de curto-circuito simétrica;

I_{cim} – valor de pico ou impulso da corrente de curto-circuito assimétrico;

I_{ca} – valor eficaz da corrente de curto-circuito assimétrica;

t – tempo de duração do defeito no ponto considerado da instalação;

C_t – constante de tempo

$$C_t = \frac{X}{2 \times \pi \times f \times R}$$

$R \rightarrow$ Resistência do circuito desde a fonte até o ponto de defeito;

$X \rightarrow$ Reatância do circuito desde a fonte até o ponto de defeito.

FATOR DE ASSIMETRIA

Em virtude da constante de tempo da componente contínua depender da Resistência (R) e Reatância (X) medida desde a fonte até o ponto de defeito, há uma relação entre aos valores eficazes das correntes simétricas e assimétricas, dado pela seguinte equação:

$$I_{ca} = I_{cs} \sqrt{1 + 2xe^{-(2t/c_t)}} \rightarrow \text{FATOR DE ASSIMETRIA (Fa)}$$

Onde,

$$c_t = \frac{X}{377xR}$$

O **Fa** pode ser calculado para diferentes valores da constante de tempo e do tempo. Como R e X deverão ser valores conhecidos, é usual, se definir um tempo e calcular Fa em função da relação X/R.

Na literatura é recomendado utilizar **t=4,16ms**, que corresponde a ¼ do ciclo de 60Hz, ou seja, o valor de pico do primeiro semi-ciclo da corrente assimétrica (corrente de impulso)

Fator de Assimetria - FA para t = 1/4 ciclo

Relação X/R	Fator de assimetria FA	Relação X/R	Fator de assimetria FA	Relação X/R	Fator de assimetria FA
0,40	1,00	3,80	1,37	11,00	1,58
0,60	1,00	4,00	1,38	12,00	1,59
0,80	1,02	4,20	1,39	13,00	1,60
1,00	1,04	4,40	1,40	14,00	1,61
1,20	1,07	4,60	1,41	15,00	1,62
1,40	1,10	4,80	1,42	20,00	1,64
1,60	1,13	5,00	1,43	30,00	1,67
1,80	1,16	5,50	1,46	40,00	1,68
2,00	1,19	6,00	1,47	50,00	1,69
2,20	1,21	6,50	1,49	60,00	1,70
2,40	1,24	7,00	1,51	70,00	1,71
2,60	1,26	7,50	1,52	80,00	1,71
2,80	1,28	8,00	1,53	100,00	1,71
3,00	1,30	8,50	1,54	200,00	1,72
3,20	1,32	9,00	1,55	400,00	1,72
3,40	1,34	9,50	1,56	600,00	1,73
3,60	1,35	10,00	1,57	1000,00	1,73

CORRENTE DE IMPULSO

Em termos de especificação da proteção, os disjuntores devem satisfazer à corrente de impulso. Sendo a corrente de impulso o valor de pico da corrente assimétrica, pode-se escrever:

$$I_{cim} = \sqrt{2}xI_{ca}$$

METODOLOGIA GERAL DO CÁLCULO

A determinação da corrente de curto-circuito, em qualquer ponto da instalação elétrica, é baseada nas IMPEDÂNCIAS envolvidas no sistema.

A premissa simplificadora é que se calculará a corrente de curto-circuito desconsiderando a impedância equivalente do sistema formado pela geração/transmissão/distribuição. Ou seja, apenas serão consideradas as seguintes impedâncias:

- Impedância dos Transformadores;
- Impedâncias dos Motores e Geradores;
- Impedâncias dos Cabos e Barramento.

Portanto, o primeiro passo para a realização dos cálculos das correntes de curto-circuito é transformar a instalação em seu equivalente em impedâncias, o qual pode ser obtido através do diagrama unifilar da instalação.

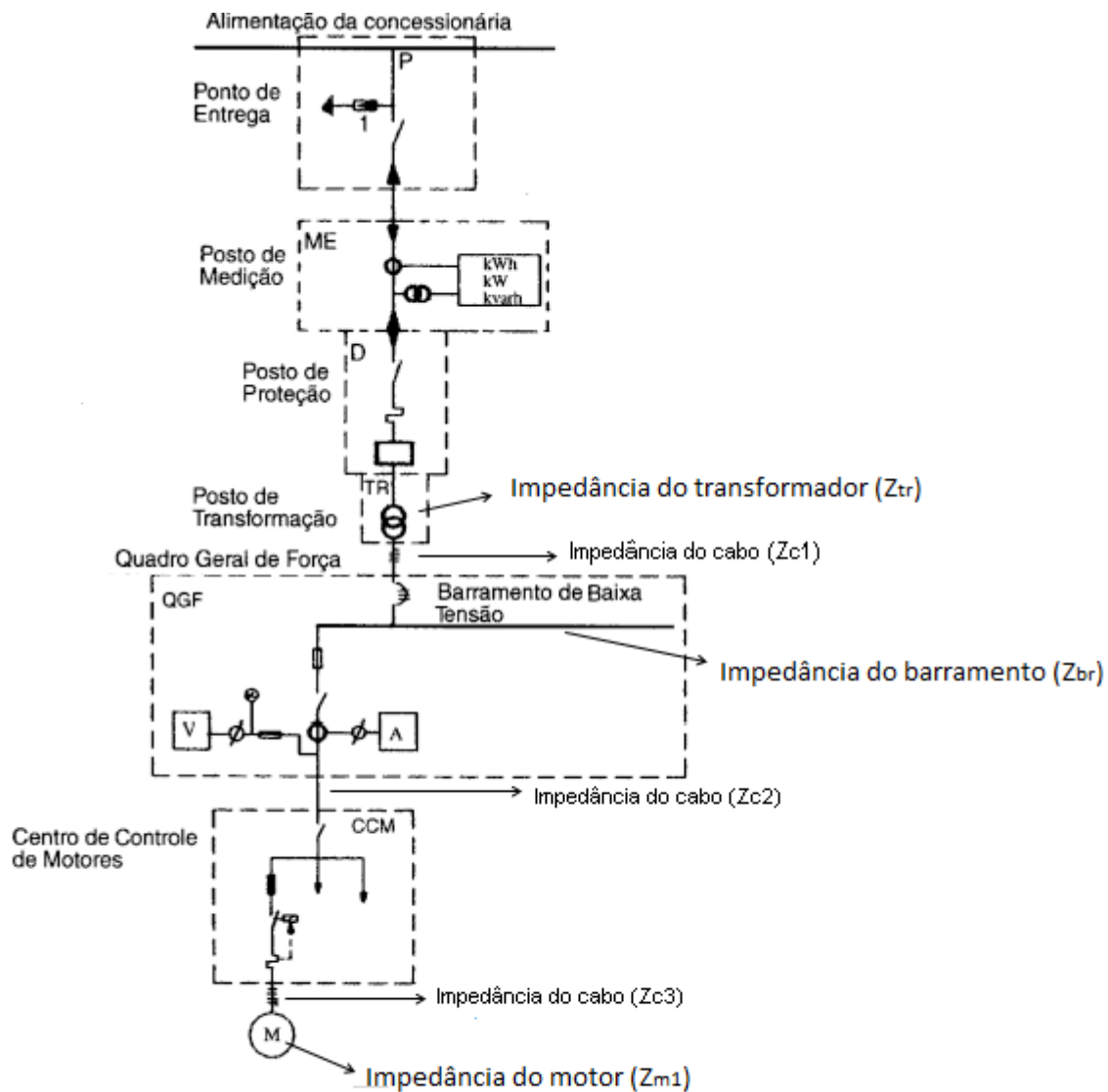
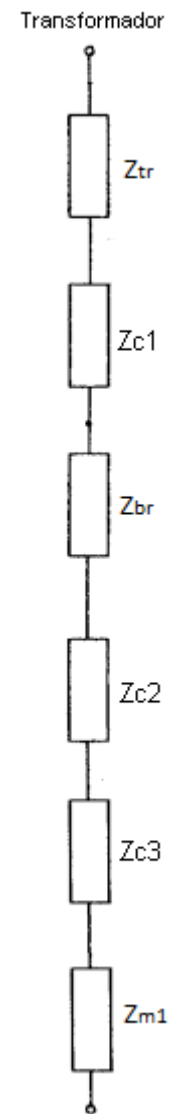


Diagrama Unifilar



Equivalente em Impedâncias

Impedância dos Componentes

- Transformadores

Potência kVA	Tensão V	Perdas em W		Rendimento	Regulação	Impedância
		A vazio	Cobre	(%)	(%)	(%)
15	220 a 440	120	300	96,24	3,32	3,5
30	220 a 440	200	570	96,85	3,29	3,5
45	220 a 440	260	750	97,09	3,19	3,5
75	220 a 440	390	1.200	97,32	3,15	3,5
112,5	220 a 440	520	1.650	97,51	3,09	3,5
150	220 a 440	640	2.050	97,68	3,02	3,5
225	380 ou 440	900	2.800	97,96	3,63	4,5
300	220	1.120	3.900	97,96	3,66	4,5
	380 ou 440		3.700	98,04	3,61	4,5
500	220	1.700	6.400	98,02	3,65	4,5
	380 ou 440		6.000	98,11	3,6	4,5
750	220	2.000	10.000	98,04	4,32	5,5
	380 ou 440		8.500	98,28	4,2	5,5
1.000	220	3.000	12.500	98,10	4,27	5,5
	380 ou 440		11.000	98,28	4,19	5,5
1.500	220	4.000	18.000	98,20	4,24	5,5
	380 ou 440		16.000	98,36	4,16	5,5

$$Z = Z_{\%} \times \frac{(V_n)^2}{S_n \times 100}$$

$$R = R_{\%} \times \frac{(V_n)^2}{S_n \times 100}$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$R_{\%} = \frac{P_w}{10 \times S_n}$$

Onde,

V_n - tensão nominal de linha

S_n - potência aparente nominal

P_w - perdas no cobre (enrolamento do trafo)

- Cabos

Seção	Impedância de seqüência positiva (mOhm/m)	
	Resistência	Reatância
1,5	14,8137	0,1378
2,5	8,8882	0,1345
4	5,5518	0,1279
6	3,7035	0,1225
10	2,2221	0,1207
16	1,3899	0,1173
25	0,8891	0,1164
35	0,6353	0,1128
50	0,4450	0,1127
70	0,3184	0,1096
95	0,2352	0,1090
120	0,1868	0,1076
150	0,1502	0,1074
185	0,1226	0,1073
240	0,0958	0,1070
300	0,0781	0,1068
400	0,0608	0,1058
500	0,0507	0,1051
630	0,0292	0,1042

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A \cdot n} \cdot 10^3$$

ρ - resistividade do cobre $0,017778 \Omega\text{mm}^2 / \text{m}$

L - comprimento do cabo em m

A - área da seção transversal do cabo

n - número de condutores por fase

$$X = X_t \cdot \frac{L}{n}$$

X_t - 0,096 mΩ/m para cabos

- Barramentos de Cobre

Dimensões		Corrente	Resistência	Reatância
Polegadas	Milímetros	(A)	mOhm/m	mOhm/m
1/2 × 1/16	12,7 × 1,59	96	0,8843	0,2430
3/4 × 1/16	19,0 × 1,59	128	0,8591	0,2300
1 × 1/16	25,4 × 1,59	176	0,4421	0,2280
1/2 × 1/8	12,7 × 1,59	144	0,4421	0,2430
3/4 × 1/8	19,0 × 3,18	208	0,2955	0,2330
1 × 1/8	25,4 × 3,18	250	0,2210	0,2070
1 1/2 × 1/8	38,1 × 3,18	370	0,1474	0,1880
1 × 3/16	25,4 × 4,77	340	0,1474	0,2100
1 1/2 × 3/16	38,1 × 4,77	460	0,0982	0,1880
2 × 3/16	50,8 × 4,77	595	0,0736	0,1700
1 × 1/4	25,4 × 6,35	400	0,1110	0,2100
1 1/2 × 1/4	38,1 × 6,35	544	0,0738	0,1870
2 × 1/4	50,8 × 6,35	700	0,0553	0,1670
2 1/2 × 1/4	63,5 × 6,35	850	0,0442	0,1550
2 3/4 × 1/4	70,2 × 6,35	1,000	0,0400	0,1510
3 1/2 × 1/4	88,9 × 6,35	1.130	0,0316	0,1450
4 × 1/4	101,6 × 6,35	1.250	0,0276	0,1320
1 × 1/2	25,4 × 12,70	600	0,0553	0,1870
2 × 1/2	50,8 × 12,70	1.010	0,0276	0,1630
3 × 1/2	76,2 × 12,70	1.425	0,0184	0,1450
4 × 1/2	101,6 × 12,77	1.810	0,0138	0,1300



<http://portuguese.alibaba.com>

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A \cdot n} \cdot 10^3$$

$$X = X_b \cdot L$$

X_b - 0,144 mΩ/m

SEQUÊNCIA DE CÁLCULOS

- CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO SIMÉTRICA (I_{cs})

$$I_{cs} = \frac{V_n}{\sqrt{3}xZ}$$

- CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO ASSIMÉTRICA (I_{ca})

$$I_{ca} = F_a x I_{cs} \quad F_a = \sqrt{1 + 2e^{-(2t/c_t)}} \quad C_t = \frac{X}{377xR}$$

- IMPULSO DA CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO (I_{cim})

$$I_{cim} = \sqrt{2}xI_{ca}$$

- CORRENTE BIFÁSICA DE CURTO-CIRCUITO (I_{cb})

$$I_{cb} = \frac{\sqrt{3}}{2} x I_{cs}$$

- Transformador

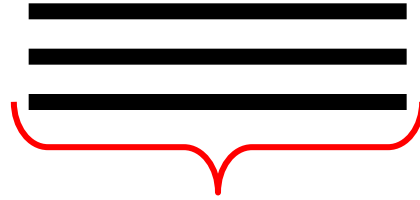
Se for desconsiderada a resistência do enrolamento, então:

$$I_{cs} = \frac{I_n}{Z_{\%}} x 100$$

EXEMPLO



150kVA
13,8kV/380V
Z% =3,5 e
Pw=2050W



1x120mm²/fase
Comprimento de 12m
R=0,1868mΩ/m
X=0,1076mΩ/m



QGD

-Transformador

$$Z = Z_{\%} \cdot \frac{V_n^2}{S_n \cdot 100} = 3,5 \cdot \frac{380^2}{150 \cdot 100} = 33,7 m\Omega$$

$$R_{\%} = \frac{P_w}{10 \cdot S_n} = \frac{2050}{10 \cdot 150} = 1,4\%$$

$$R = R_{\%} \cdot \frac{V_n^2}{S_n \cdot 100} = 1,4 \cdot \frac{380^2}{150 \cdot 100} = 13,5 m\Omega$$

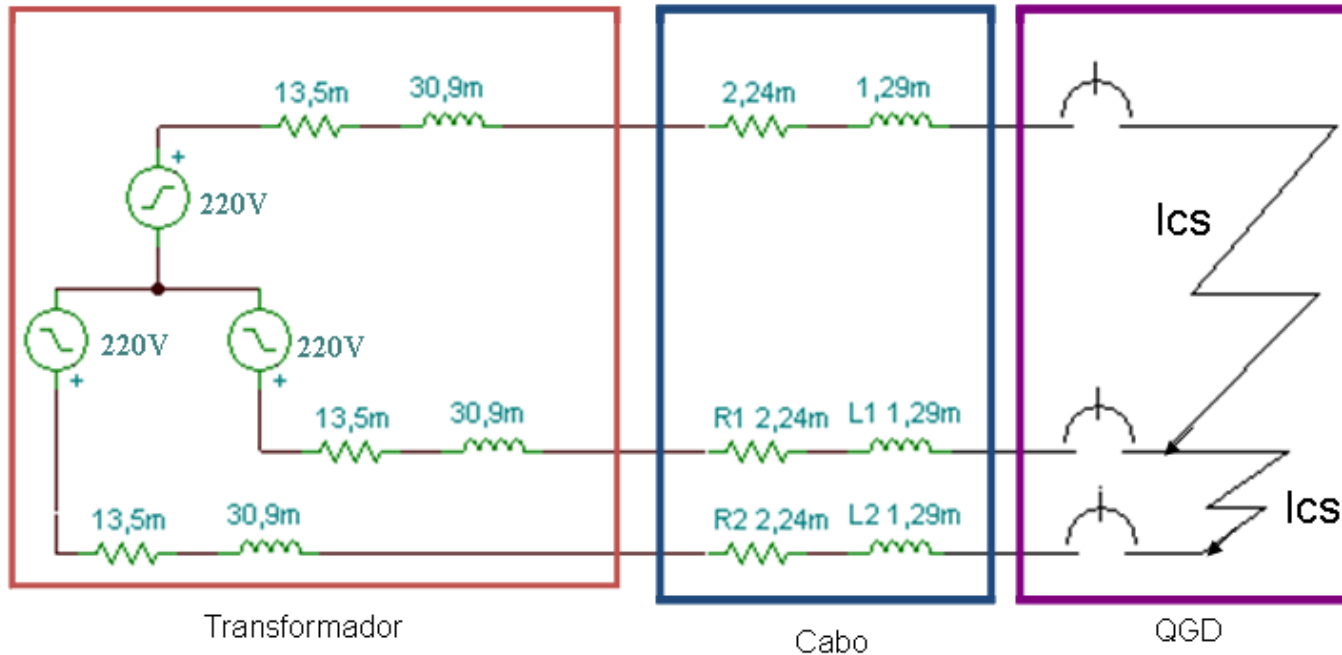
$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(33,7)^2 - (13,5)^2} = 30,9 m\Omega$$

- Cabo

$$R_c = R \cdot L = 0,1868 \cdot 12 = 2,24 m\Omega$$

$$X_c = X \cdot L = 0,1076 \cdot 12 = 1,29 m\Omega$$

CIRCUITO EQUIVALENTE



A impedância equivalente, por fase, vista no ponto de falta, será:

$$R_{eq} = 13,5m + 2,24m = 15,7m\Omega$$

$$X_{eq} = 30,9m + 1,29m = 31,2m\Omega$$

$$Z_{eq} = 15,7 + j31,2 (m\Omega) = 34,9 \angle 63,3^\circ (m\Omega)$$

CÁLCULO DAS CORRENTES

- I_{cs}

$$I_{cs} = \frac{V_n}{\sqrt{3}xZ} \quad I_{cs} = \frac{380}{\sqrt{3}x34,9} = 6,3kA$$

- I_{ca}

$$C_t = \frac{X}{377xR} = \frac{31,2x10^{-3}}{377x15,7x10^{-3}} = 5,3ms \quad F_a = \sqrt{1 + 2e^{-\frac{2t}{C_t}}} = \sqrt{1 + 2e^{\frac{-2x4,16m}{5,3m}}} = 1,2$$

$$I_{ca} = F_a x I_{cs} = 1,2 x 6,3x10^3 = 7,6kA$$

- I_{cim}

$$I_{cim} = \sqrt{2}xI_{ca} = \sqrt{2}x7,6kA = 10,7kA$$

- I_{cb}

$$I_{cb} = \frac{\sqrt{3}}{2} x I_{cs} = \frac{\sqrt{3}}{2} x 6,3x10^3 = 5,4kA$$

DIMENSIONAMENTO DO DISJUNTOR

Disjuntores 3VL

Manobra e proteção em instalações elétricas industriais

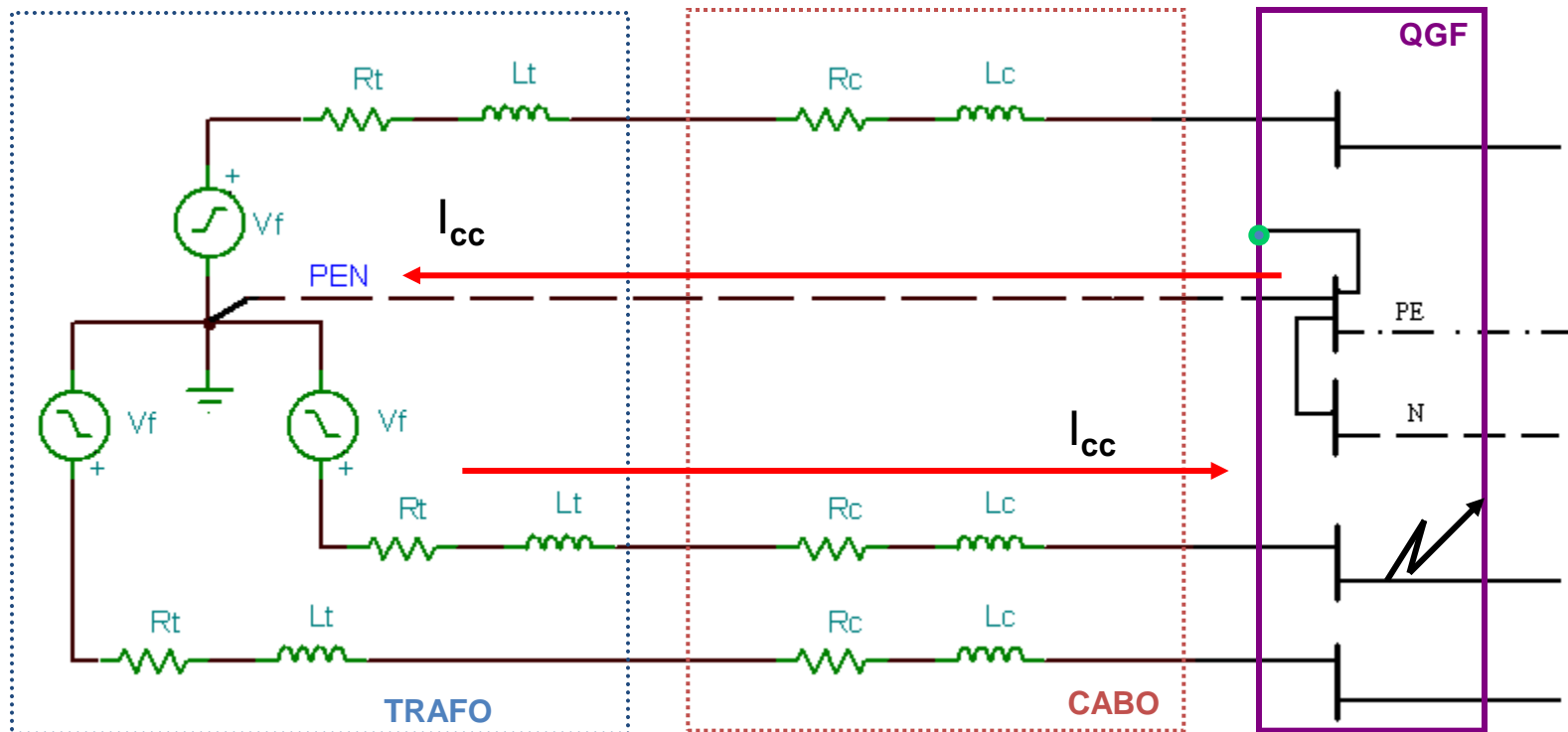


Correntes nominais ajustáveis (A)	Tipo ¹⁾ <i>tripolar</i>	Correntes nominais ajustáveis (A)	Tipo ¹⁾ <i>tripolar</i>	Correntes nominais ajustáveis (A)	Tipo <i>tripolar</i>	Correntes nominais ajustáveis (A)	Tipo <i>tripolar</i>
16 - 20	3VL1702 - □DD33-0AA0	40 - 50	3VL2705 - □DC33-0AA0	150 - 200	3VL3720 - □DC36-0AA0	250 - 315	3VL4731 - □DC36-0AA0
25 - 32	3VL1703 - □DD33-0AA0	50 - 63	3VL2706 - □DC33-0AA0	200 - 250	3VL3725 - □DC36-0AA0	315 - 400	3VL4740 - □DC36-0AA0
32 - 40	3VL1704 - □DD33-0AA0	63 - 80	3VL2708 - □DC33-0AA0				
40 - 50	3VL1705 - □DD33-0AA0	80 - 100	3VL2710 - □DC33-0AA0				
50 - 63	3VL1706 - □DD33-0AA0	100 - 125	3VL2712 - □DC33-0AA0				
63 - 80	3VL1708 - □DD33-0AA0	125 - 160	3VL2716 - □DC33-0AA0				
80 - 100	3VL1710 - □DD33-0AA0						
100 - 125	3VL1712 - □DD33-0AA0						
125 - 160	3VL1716 - □DD33-0AA0						
Corrente máxima de interrupção		Corrente máxima de interrupção		Corrente máxima de interrupção		Corrente máxima de interrupção	
ABNT NBR IEC 60947-2 Icu		ABNT NBR IEC 60947-2 Icu		ABNT NBR IEC 60947-2 Icu		ABNT NBR IEC 60947-2 Icu	
Completar o tipo	1 2	Completar o tipo	1 2 3	Completar o tipo	1 2 3	Completar o tipo	1 2 3
220 / 240 V	65 kA 100 kA	220 / 240 V	65 kA 100 kA 200 kA	220 / 240 V	65 kA 100 kA 200 kA	220 / 240 V	65 kA 100 kA 200 kA
380 / 415 V	55 kA 70 kA	380 / 415 V	55 kA 70 kA 100 kA	380 / 415 V	55 kA 70 kA 100 kA	380 / 415 V	55 kA 70 kA 100 kA
440 / 460 V ²⁾	25 kA 42 kA	440 / 460 V ²⁾	25 kA 50 kA 75 kA	440 / 460 V ²⁾	25 kA 50 kA 75 kA	440 / 460 V ²⁾	35 kA 50 kA 75 kA
500 V	18 kA 30 kA	500 V	25 kA 40 kA 50 kA	500 V	25 kA 40 kA 50 kA	500 V	25 kA 40 kA 50 kA
480 V ²⁾	18 kA 42 kA	480 V ²⁾	25 kA 50 kA 65 kA	480 V ²⁾	25 kA 50 kA 65 kA	480 V ²⁾	25 kA 50 kA 65 kA

CORRENTE FASE-TERRA DE CURTO-CIRCUITO

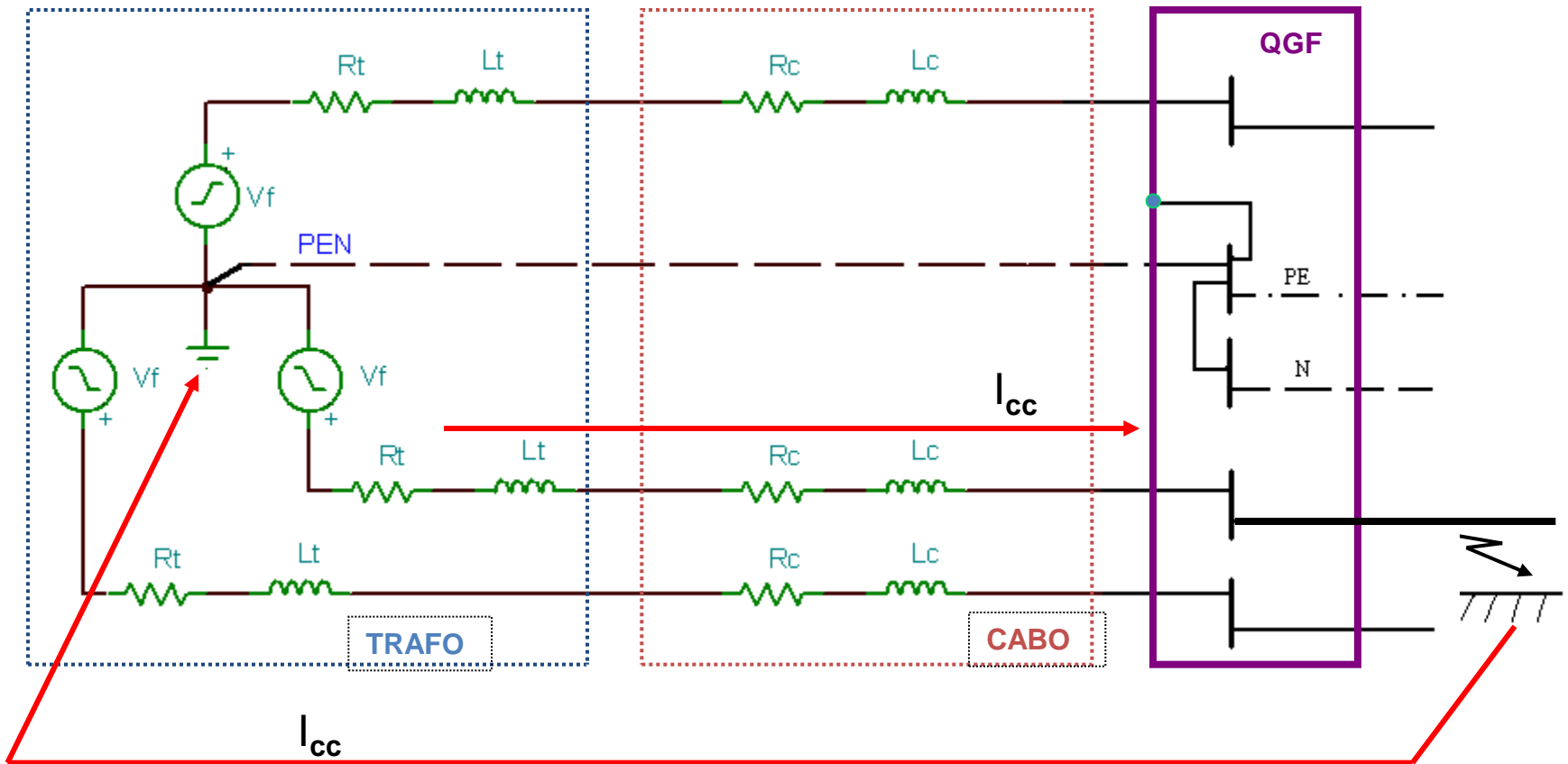
A corrente fase-terra de curto-circuito pode ocorrer de dois modos distintos:

a) Contato da Fase com o Condutor de Proteção (“TERRA”)



Neste caso, a limitação da corrente de curto se dará tão somente devido às impedâncias do transformador e do cabo, ou seja, percurso puramente metálico, o que acarreta na menor impedância e na maior corrente.

b) Contato da Fase é feita através do contato com o SOLO



Neste caso, a limitação de corrente se dará pela impedância do percurso constituído pela impedância do trafo, do cabo, do contato cabo/solo, do solo e da malha de aterramento, ou seja, tem-se máxima impedância e mínima corrente.

❖ Cálculo da Corrente de Curto-Circuito Fase-Terra Máxima

$$I_{cftmax} = \frac{3xI_b}{2xZ_{totpu} + Z_{tr0pu} + \sum Z_{cb0pu}} \quad I_b = \frac{P_b}{\sqrt{3}xV_b} \quad Z_b = \frac{1000xV_b^2}{P_b}$$

Onde,

$I_b \Rightarrow$ Corrente de base $P_b \Rightarrow$ Potência de base

$V_b \Rightarrow$ Tensão de base $Z_b \Rightarrow$ Impedância de base

$Z_{tot} \Rightarrow$ Impedância total desde o trafo até o ponto de falta (pu)

$Z_{tr0} \Rightarrow$ Impedância de sequência zero do trafo que é igual a impedância de sequência positiva (pu)

$Z_{cb0} \Rightarrow$ Impedância de sequência zero dos cabos desde o trafo até o ponto de falta (pu)

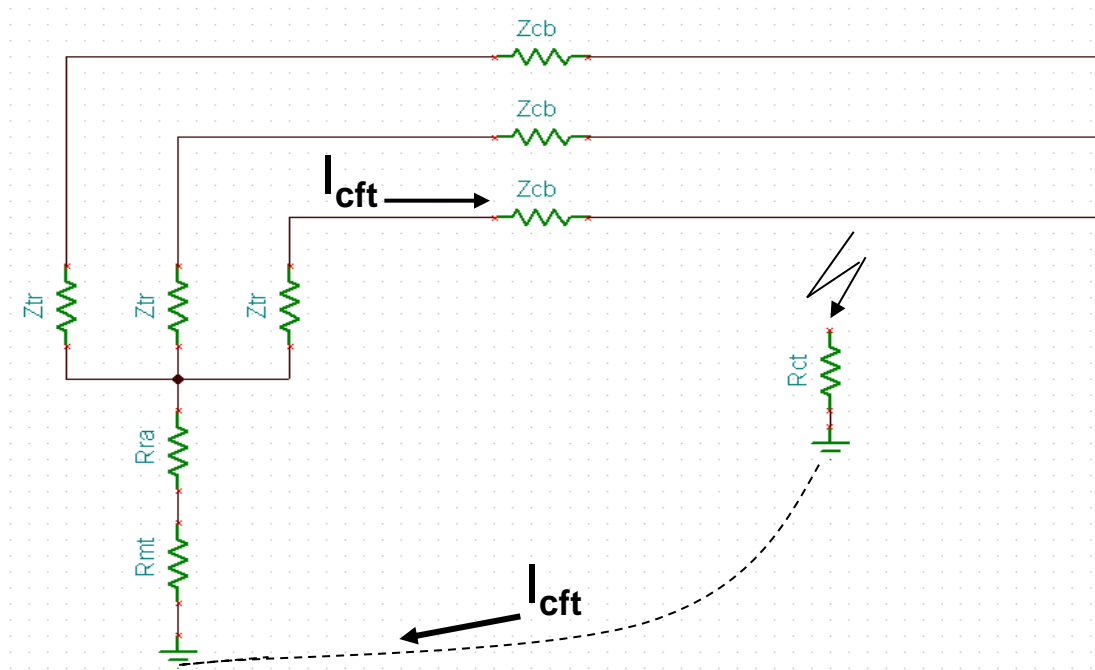
A impedância de seqüência zero dos cabos deve ser calculada, em **pu**, por:

$$Z_{cb0} = R_{cb0} + jX_{cb0} \quad R_{cb0} = R_{cb\Omega}/Z_b \quad X_{cb0} = X_{cb\Omega}/Z_b$$

Resistência e reatância dos condutores de PVC/70° C (valores médios)

Seção	Impedância de seqüência positiva (mOhm/m)		Impedância de seqüência zero (mOhm/m)	
	Resistência	Reatância	Resistência	Reatância
1,5	14,8137	0,1378	16,6137	2,9262
2,5	8,8882	0,1345	10,6882	2,8755
4	5,5518	0,1279	7,3552	2,8349
6	3,7035	0,1225	5,5035	2,8000
10	2,2221	0,1207	4,0222	2,7639
16	1,3899	0,1173	3,1890	2,7173
25	0,8891	0,1164	2,6891	2,6692
35	0,6353	0,1128	2,4355	2,6382
50	0,4450	0,1127	2,2450	2,5991
70	0,3184	0,1096	2,1184	2,5681
95	0,2352	0,1090	2,0352	2,5325
120	0,1868	0,1076	1,9868	2,5104
150	0,1502	0,1074	1,9502	2,4843
185	0,1226	0,1073	1,9226	2,4594
240	0,0958	0,1070	1,8958	2,4312
300	0,0781	0,1068	1,8781	2,4067
400	0,0608	0,1058	1,8608	2,3757
500	0,0507	0,1051	1,8550	2,3491
630	0,0292	0,1042	1,8376	2,3001

❖ Cálculo da Corrente de Curto-Circuito Fase-Terra Mínima



$$I_{cftmin} = \frac{3xI_b}{2xZ_{totpu} + Z_{tr0pu} + \sum Z_{cb0pu} + 3x(R_{ctpu} + R_{mtpu} + R_{rapu})}$$

Resistência de Contato Cabo-Solo $R_{ct} = R_{ct\Omega}/Z_b$ $R_{ct\Omega} = 40/3 \Omega$

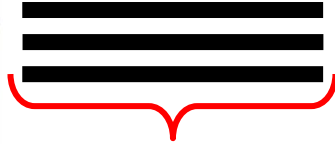
Resistência da Malha de Aterramento $R_{mt} = R_{mt\Omega}/Z_b$ $R_{mt\Omega} = 10 \Omega$

Resistor de Aterramento $R_{ra} = R_{ra\Omega}/Z_b$, valor a calcular em sistemas IT

EXEMPLO



1000KVA
13,8kV/380V
Z% 5,5 e
Pw=11KW



4x300mm²/fase
Comprimento de 15m
R=0,0781mΩ/m
X=0,1068mΩ/m
R₀=1,8781mΩ/m
X₀=2,4067mΩ/m



QGD
2 barras 2"x1/2" /fase
Comprimento de 5m
R=0,0273mΩ/m
X=0,1630mΩ/m



1x120mm²/fase
Comprimento de 130m
R=0,1868mΩ/m
X=0,1076mΩ/m
R₀=1,9868mΩ/m
X₀=2,5104mΩ/m



CCM

-Transformador

$$Z = Z_{\%} \cdot \frac{V_n^2}{S_n \cdot 100} = 5,5 \cdot \frac{380^2}{1000 \cdot 100} = 7,94 m\Omega$$

$$R_{\%} = \frac{P_w}{10 \cdot S_n} = \frac{11000}{10 \cdot 1000} = 1,1\%$$

$$R = R_{\%} \cdot \frac{V_n^2}{S_n \cdot 100} = 1,1 \cdot \frac{380^2}{1000 \cdot 100} = 1,6 m\Omega$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(7,94)^2 - (1,6)^2} = 7,8 m\Omega$$

- Cabo 300mm²

$$R_{c1} = R \cdot L = \frac{0,0781 \cdot 15}{4} = 0,29 m\Omega$$

$$X_{c1} = X \cdot L = \frac{0,1068 \cdot 15}{4} = 0,4 m\Omega$$

$$R_{c10} = R \cdot L = \frac{1,8781 \cdot 15}{4} = 7,04 m\Omega$$

$$X_{c10} = X \cdot L = \frac{2,4067 \cdot 15}{4} = 9,03 m\Omega$$

- Barramento do QGD

$$R_{b1} = \frac{R.L}{N_b} = \frac{0,0276 \times 5}{2} = 0,07 m\Omega$$

$$X_{b1} = X.L = \frac{0,1630 \times 5}{2} = 0,41 m\Omega$$

- Impedância Total

$$Z_{tot} = Z_{tr} + Z_{c1} + Z_{b1} + Z_{c2} = 1,6 + 0,29 + 0,07 + 24,28 + j(7,8 + 0,4 + 0,41 + 14)$$

$$Z_{tot} = 26,24 + j22,61 m\Omega$$

- Impedância Total de sequência zero dos cabos

$$\sum Z_{cb0} = Z_{c10} + Z_{c20} = 7,04 + 258,3 + j(9,03 + 326,4) = 265,34 + j335,43 m\Omega$$

- Cabo 120mm²

$$R_{c2} = R \times L = 0,1868 \times 130 = 24,28 m\Omega$$

$$X_{c2} = X.L = 0,1076 \times 130 = 14,0 m\Omega$$

$$R_{c20} = R \times L = 1,9868 \times 130 = 258,3 m\Omega$$

$$X_{c20} = X.L = 2,5104 \times 130 = 326,4 m\Omega$$

- Valores Base

$$I_b = \frac{P_b}{\sqrt{3}xV_b} = \frac{1000}{\sqrt{3}x0,38} = 1.519A \quad Z_b = \frac{1000xV_b^2}{P_b} = \frac{1000x(0,38)^2}{1000} = 0,1444\Omega$$

- Impedâncias em **pu**

$$Z_{totpu} = \frac{0,02624 + j0,02258}{0,1444} = 0,1817 + j0,1564 pu$$

$$\sum Z_{cbopu} = \frac{0,26534 + j0,33543}{0,1444} = 1,8375 + j2,3229 pu$$

$$Z_{tr0pu} = \frac{z_{tr}}{Z_b} = \frac{0,0016 + j0,0078}{0,1444} = 0,0111 + j0,0540 pu$$

$$R_{ctpu} = \frac{R_{ct\Omega}}{Z_b} = \frac{40/3}{0,1444} = 92,34pu$$

$$R_{mtpu} = \frac{R_{mt\Omega}}{Z_b} = \frac{10}{0,1444} = 69,25pu$$

R_{atpu} apenas para sistemas IT

- Corrente de Curto-Circuito Fase-Terra Máxima

$$I_{cftmax} = \frac{3xI_b}{2xZ_{totpu} + Z_{tr0pu} + \sum Z_{cb0pu}}$$

$$I_{cftmax} = \frac{3x1519}{0,3634 + j0,3128 + 1,8375 + j2,3229 + 0,0111 + j0,054} = 1,31kA$$

- Corrente de Curto-Circuito Fase-Terra Mínima

$$I_{cftmin} = \frac{3xI_b}{2xZ_{totpu} + Z_{tr0pu} + \sum Z_{cb0pu} + 3x(R_{ctpu} + R_{mtpu} + R_{rapu})}$$

$$I_{cftmin} = \frac{3x1519}{2,212 + j2,6897 + 3x(92,34 + 69,25 + 0)} = 9,4A$$