



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO NORTE

Consequências para os equipamentos de baixa tensão e todas as massas, dos defeitos fase-terra, na parte de alta tensão dos postos de transformação

Phase to ground faults on high voltage side of distribution transformers – consequences to low-voltage equipment

Ribeiro Fernandes
Engenheiro Electrotécnico

RESUMO

Os efeitos das sobretensões nas instalações eléctricas, nomeadamente as que resultam de um defeito (curto-circuito), entre a parte de alta tensão e a "terra das massas" (protecção) de um posto de transformação, podem ser muito perigosas para as pessoas e equipamentos.

Nesta conformidade, é objecto deste trabalho apresentar a correlação destes defeitos com os vários valores de resistência das massas do posto de transformação, pois estes (valores de resistência), são factor importante na elevação do potencial das massas, em relação à terra (tensão de defeito e tensão de contacto).

São também considerados neste trabalho, o tipo de subestações alimentadoras dos postos de transformação e o tipo de esquemas usados nas ligações à terra das instalações de utilização de energia em baixa tensão (TT; TN; IT).

ABSTRACT

The overvoltage effects resulting from short-circuit between the high-voltage phase and **protective earth** terminal of electrical installations can be very hazardous for people and equipment.

This paper intends to demonstrate the correlation between the above defects with the several **resistance values** of the earth ground which are a key factor on elevating the potential values with regards to earth ground potential (**fault-voltage and contact-voltage**).

The type of electrical substations which feed the step-down transformer post and the type of earthing system (**TT; TN; IT**) used on low-voltage electrical installations are also considered on this paper.

1

INTRODUÇÃO

Quando se produz um defeito de isolamento na parte de alta tensão de um posto de transformação, a tensão de defeito (**Ud**) aparece também aplicada aos materiais de baixa tensão, pois estes também estão ligados à terra das massas (**Rp**) do posto de transformação. (Ver figura 1A)

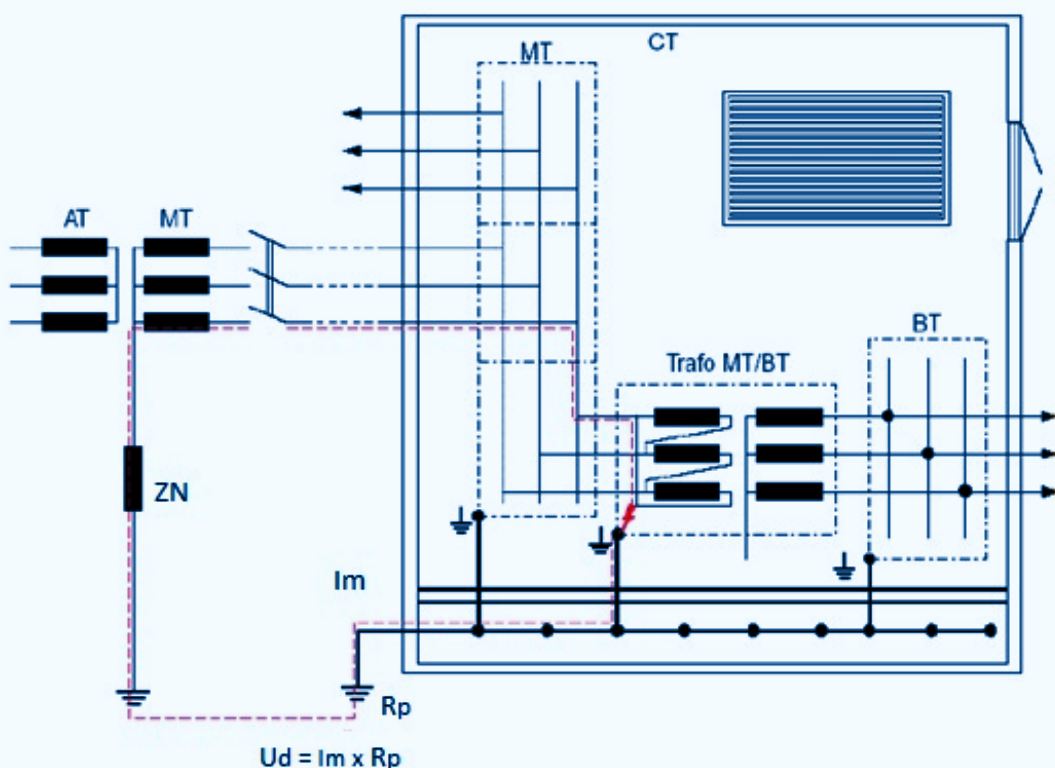


Figura 1A

O valor da resistência da terra das massas (**Rp**) é muito importante no valor das tensões de contacto e de defeito que aparecem entre o eléctrodo de ligação à terra e um ponto do terreno a potencial zero, quando há uma passagem de corrente de defeito (**Im**) pelo respectivo eléctrodo de terra.

O valor da tensão de defeito é $U_d = I_m \times R_p$ que se mantém enquanto houver circulação de corrente **Im**.

2

CONFIGURAÇÕES MAIS USUAIS DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE MÉDIA TENSÃO EM PORTUGAL

2.1

REDES M.T. DE NEUTRO ISOLADO

Nesta configuração a corrente de defeito Fase - Terra, é capacitiva e é directamente proporcional ao comprimento da rede.

O cálculo da "corrente máxima de defeito" é obtida segundo a fórmula:

$$I_m = \frac{\sqrt{3} U (w C_a L_a + w C_c L_c)}{\sqrt{1 + (w C_a L_a + w C_c L_c)^2 + (3 R_p)^2}}$$

sendo:

I_m : corrente de defeito máxima (A);

U: tensão composta da rede (V);

C_a : capacidade homopolar da linha aérea (F/Km);

L_a : comprimento total das linhas aéreas MT, oriundas da mesma Subestação (Km);

C_c : capacidade homopolar dos cabos subterrâneos (F/Km);

L_c : comprimento total dos cabos subterrâneos, oriundos da mesma Subestação (Km);

R_p : Resistência do eléctrodo de terra das massas do posto de transformação;

(Actualmente este tipo de redes MT, são em número reduzido as existentes em Portugal)

2.2

REDES MT DE NEUTRO LIGADO À TERRA ATRAVÉS DE UMA IMPEDÂNCIA

Neste tipo de redes, o valor da corrente de defeito fase-terra é inversamente proporcional ao valor da impedância.

Supondo nula a impedância homopolar das linhas e cabos subterrâneos, o valor da corrente de defeito (**I_m**), obtêm-se da expressão seguinte:

$$I_m = \frac{U}{\sqrt{3} \sqrt{(R_n + R_p)^2 + X_n^2}}$$

sendo:

I_m : corrente de defeito máxima (A);

U: tensão composta da rede (V);

R_n : Resistência de ligação à terra do neutro da rede MT (Ω);

R_p : Resistência do eléctrodo de terra das massas do posto de transformação (Ω);

X_n : Reactância da ligação à terra do neutro da rede MT (Ω);

No caso português, este tipo de redes (**neutro impedante**) é actualmente o mais usado nas redes de Média Tensão do distribuidor público de energia (EDP DISTRIBUIÇÃO).

Nas Subestações AT/MT de **neutro impedante**, a EDP Distribuição utiliza os seguintes valores de reactâncias homopolares limitadoras:

a) - 300 A, para redes predominantemente aéreas;

b) - 500 e 1000 A, utilizadas para redes mistas e subterrâneas;

3

TENSÕES DE DEFEITO E CORRENTES MÁXIMAS HOMOPOLARES DE UM DEFEITO FASE-TERRA EM FUNÇÃO DO VALOR DA RESISTÊNCIA DE PROTECÇÃO DO POSTO DE TRANSFORMAÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

Considerando nula a impedância homopolar das linhas e cabos subterrâneos da Rede de Distribuição MT, temos no caso das redes de 15 KV;

$$\text{Corrente máxima de defeito } I_m = \frac{15 \text{ KV}}{\sqrt{3} \sqrt{R_p^2 + X_n^2}}$$

Desprezando o valor de R_n e fazer $Z_n \approx X_n$

3.2 REDES AÉREAS

Para o valor da impedância de ligação à terra do neutro da rede MT limitadora a 300 A (28,86 Ω), os valores máximos instantâneos da corrente de defeito homopolar na origem da linha que alimenta o PT, desprezando obviamente o valor da resistência (R_n). Temos neste caso, os valores máximos das tensões de defeito instantâneas indicados no QUADRO N.º 1.

QUADRO N.º 1**Valores instantâneos das correntes e tensões de defeito em redes aéreas mt (15 kv)**

Valor de (Rp) no PT	Valor de (Xn)	$I_m = 15000 / (\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_p^2 + X_n^2})$ (A)	$U_d = I_m \cdot R_p$ (V)
20,0	28,8	247,0	4.939,8
19,0	28,8	251,0	4.769,0
18,0	28,8	255,0	4.589,9
17,0	28,8	259,0	4.402,2
16,0	28,8	262,9	4.205,8
15,0	28,8	266,7	4.000,5
14,0	28,8	270,4	3.786,2
13,0	28,8	274,1	3.563,0
12,0	28,8	277,6	3.330,9
11,0	28,8	280,9	3.090,0
10,0	28,8	284,1	2.840,7
9,0	28,8	287,0	2.583,1
8,0	28,8	289,7	2.317,9
7,0	28,8	292,2	2.045,4
6,0	28,8	294,4	1.766,3
5,0	28,8	296,3	1.481,4
4,0	28,8	297,8	1.191,4
3,0	28,8	299,1	897,3
2,0	28,8	300,0	600,0
1,0	28,8	300,5	300,5



3.3

REDES SUBTERRÂNEAS

Para o valor da impedância de ligação à terra do neutro da rede MT limitadora a 1000 A ($8,6 \Omega$), os valores máximos instantâneos da corrente de defeito homopolar na origem da linha que alimenta o PT, desprezando obviamente o valor da resistência (R_n), temos neste caso, os valores máximos das tensões de defeito instantâneas indicados no QUADRO N.º 2.

QUADRO N.º 2**Valores instantâneos das correntes e tensões de defeito em redes subterrâneas mt (15 kv)**

Valor de (Rp) no PT	Valor de (Xn)	$I_m = 15000 / (\sqrt{3}) * (\sqrt{R_p^2 + X_n^2})$ (A)	$U_d = I_m * R_p$ (V)
20,0	8,6	397,8	7.955,9
19,0	8,6	415,2	7.889,7
18,0	8,6	434,1	7.814,2
17,0	8,6	454,6	7.727,7
16,0	8,6	476,8	7.628,2
15,0	8,6	500,9	7.513,0
14,0	8,6	527,1	7.379,2
13,0	8,6	555,6	7.222,8
12,0	8,6	586,6	7.039,2
11,0	8,6	620,2	6.822,6
10,0	8,6	656,6	6.566,1
9,0	8,6	695,7	6.261,3
8,0	8,6	737,3	5.898,5
7,0	8,6	781,0	5.467,0
6,0	8,6	825,9	4.955,2
5,0	8,6	870,6	4.352,8
4,0	8,6	913,1	3.652,3
3,0	8,6	950,8	2.852,4
2,0	8,6	980,8	1.961,7
1,0	8,6	1.000,3	1.000,3

4

PARAMETRIZAÇÃO DAS PROTECÇÕES NAS SUBESTAÇÕES

Neste trabalho, vamos somente analisar a protecção contra defeitos à terra e a função "Máxima Intensidade Homopolar".

4.1

REDES COM TOPOLOGIA TIPO (A)

PROTECÇÃO CONTRA DEFEITOS À TERRA;

MIH - Máxima Intensidade Homopolar;

$I_{op} = 90 \text{ A}$ (corrente operacional de operação)

$T_{op} = 150 \text{ ms}$ (tempo operacional de operação)

4.2

REDES COM TOPOLOGIA TIPO (B)

PROTECÇÃO CONTRA DEFEITOS À TERRA;

MIH - Máxima Intensidade Homopolar;

$I_{op} = 90 \text{ A}$ (corrente operacional de operação)

$T_{op} = 200 \text{ ms}$ (tempo operacional de operação)

4.3

REDES COM TOPOLOGIA TIPO (C)

PROTECÇÃO CONTRA DEFEITOS À TERRA;

MIH - Máxima Intensidade Homopolar;

$I_{op} = 40 \text{ A}$ (corrente operacional de operação)

$T_{op} = 500 \text{ ms}$ (tempo operacional de operação)

No capítulo das parametrizações das protecções e no futuro, a tendência nas Redes de MT em 10, 15 e 30 KV, será para aplicar o tipo (A). A tipologia do tipo (C) é actualmente em número reduzido.

Nesta conformidade, e dado que as correntes operacionais de actuação (I_{op}), são iguais nas duas tipologias (A) e (B), vamos considerar o (**Top**) de 200 ms e o (**Iop**) de 90 A, no presente trabalho.

5

NORMAS LEGAIS APLICÁVEIS À LIGAÇÃO À TERRA NOS POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO

5.1

INTRODUÇÃO

O valor e a duração da tensão de defeito ou da tensão de contacto, resultantes de um defeito à terra nas instalações de alta tensão, não devem ser superiores aos valores determinados a partir das curvas (F) e (T) da figura 44A, respectivamente. (ponto 442.12 das Regras Técnicas)

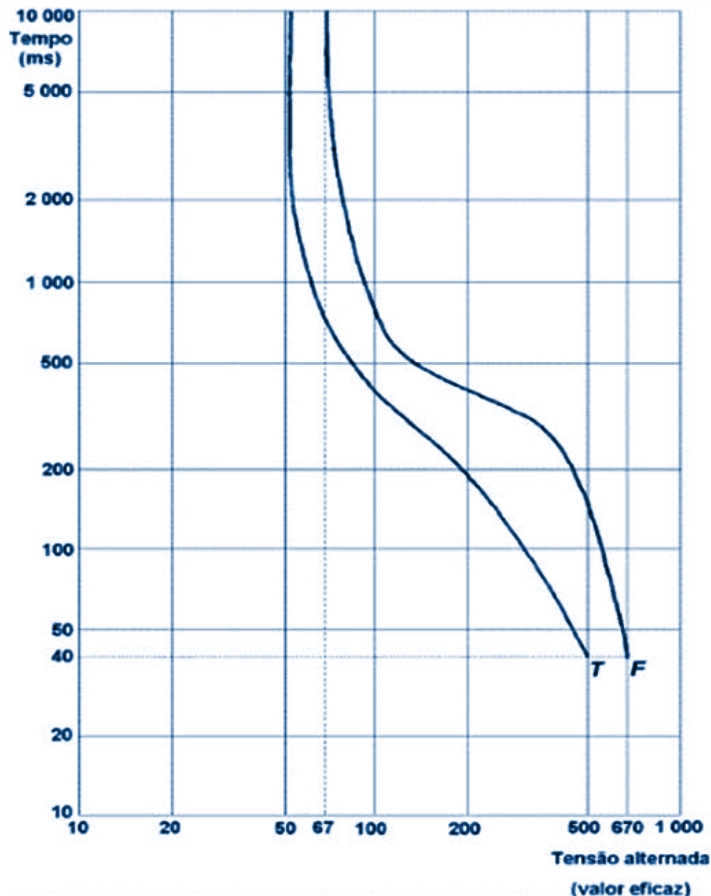


Figura 44A (Duração máxima da tensão de defeito (F) e da Tensão de contacto (T), resultante de um defeito à terra nas instalações de alta tensão)

5.2 INTRODUÇÃO

O valor e a duração da tensão de esforço à frequência industrial nos equipamentos das instalações de baixa tensão, resultantes de um defeito à terra nas instalações de alta tensão, não deve ser superior aos valores indicados no Quadro 44A. (ponto 442.1.3 das Regras Técnicas).

Tensão de esforço admissível nos equipamentos

Tensão de esforço admissível nas instalações de baixa tensão (V)	Duração (s)
$1,5 U_n$	> 5
$1,5 U_n + 750$	≤ 5

U_n - tensão nominal entre fase e terra da rede de baixa tensão

Quadro 44A (Tensão de esforço admissível nos equipamentos)



6

VERIFICAÇÃO DAS REGRAS APLICÁVEIS À LIGAÇÃO À TERRA, NOS POSTOS DE TRANSFORMAÇÃO

De acordo com o esquema de ligação à terra, vamos utilizar a seguinte simbologia:

I_m - é a parte da corrente de defeito à terra na instalação de alta tensão, que se escoia pela ligação à terra das massas do posto de transformação;

R_p - é a resistência do eléctrodo de terra das massas do posto de transformação;

U_0 - é a tensão entre fase e neutro da instalação de baixa tensão;

U - é a tensão entre fases da instalação de baixa tensão;

U_f - é a tensão de defeito na instalação de baixa tensão, entre massas e a terra;

U_1 - é a tensão de esforço nos equipamentos de baixa tensão do posto de transformação;

U_2 - é a tensão de esforço nos equipamentos de baixa tensão da instalação;

U_L - é a tensão limite convencional de contacto;

6.1

ESQUEMA TN

a) Valores da tensão de defeito eliminados, num tempo inferior ao da curva (T) da figura 44A.

Vamos utilizar a curva (T) e não a (F) da figura 44A, pois sendo a tensão de defeito sempre superior à tensão de contacto, haverá sempre com esta opção, aumento de segurança.

O valor da corrente de defeito é suprimida aos 90A, em 200 ms, pela parametrização atrás exposta para subestações de tipologia (A) e subestações de tipologia (B).

Tensões de defeito eliminadas dentro das temporizações impostas;

$R_p = 1 \Omega \rightarrow U_f = 90 \times 1 = 90 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$

$R_p = 2 \Omega \rightarrow U_f = 90 \times 2 = 180 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$

Para estes valores da resistência do eléctrodo de terra das massas num posto de transformação, as tensões de defeito são eliminadas em tempos inferiores aos impostos pela respectiva curva (T) da figura 44A, podendo o condutor neutro, ser ligado ao eléctrodo da terra das massas do posto de transformação, conforme figura (44B TN - a).

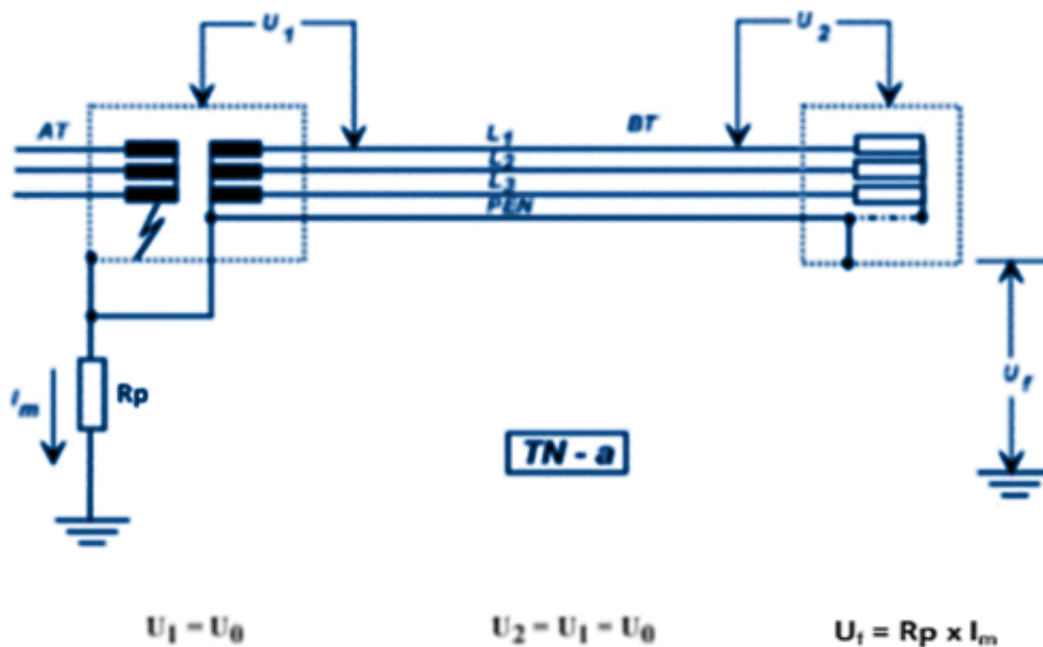


Figura (44B TN - a)

Assim, temos:

$U_1 = U_0;$

$U_2 = U_1 = U_0;$

$U_f = 180 \text{ V, eliminada em } 200 \text{ ms.}$

b) Valores da tensão de defeito originadas por resistência das massas com valores desde 3Ω e até 20Ω , não são verificados os tempos de eliminação impostos pela curva (T) da figura 44A.

$R_p = 3 \Omega \rightarrow U_f = 90 \cdot 3 = 270 \text{ volts} \rightarrow$ não satisfaz;

$R_p = 4 \Omega \rightarrow U_f = 90 \cdot 4 = 360 \text{ volts} \rightarrow$ não satisfaz;

$R_p = 5 \Omega \rightarrow U_f = 90 \cdot 5 = 450 \text{ volts} \rightarrow$ não satisfaz;

$R_p = 6 \Omega \rightarrow U_f = 90 \cdot 6 = 540 \text{ volts} \rightarrow$ não satisfaz;

$R_p = 7 \Omega \rightarrow U_f = 90 \cdot 7 = 630 \text{ volts} \rightarrow$ não satisfaz;

$R_p = 20 \Omega \rightarrow U_f = 90 \cdot 20 = 1800 \text{ volts} \rightarrow$ não satisfaz;

Nestas condições, o condutor neutro da instalação de baixa tensão, deve ser ligado a um eléctrodo de terra eléctricamente distinto, conforme figura (44B TN - b).

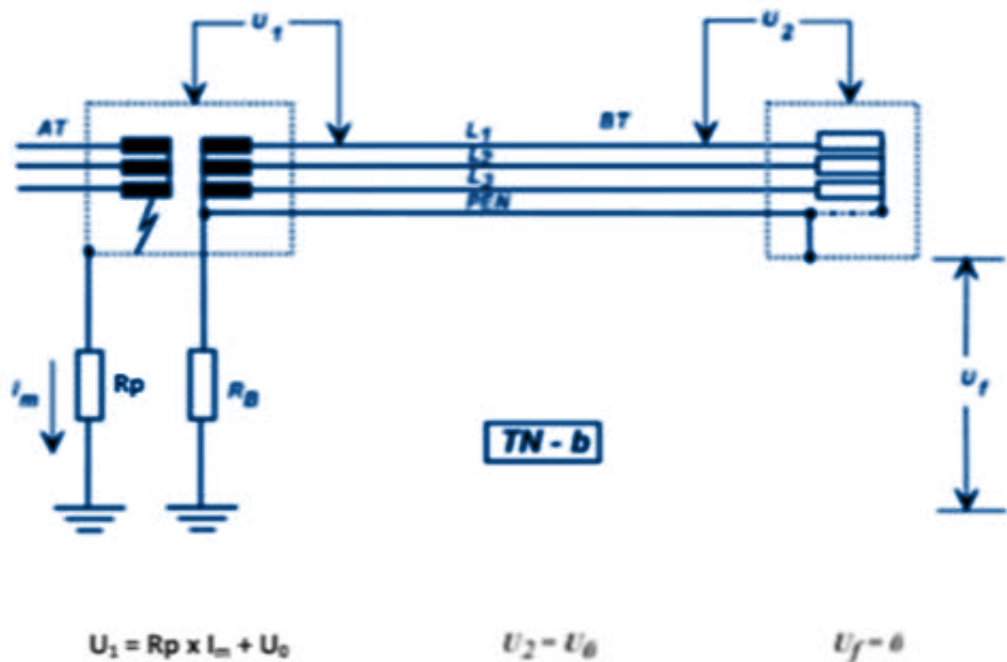


Figura (44B TN - b)

Neste caso temos:

$$U_2 = U_0;$$

$$U_f = 0;$$

$$U_1 = R_p \times I_m + U_0;$$

A tensão de esforço máxima nos equipamentos de baixa tensão, no posto de transformação, será neste caso:

$U_1 = 20 \times 90 + 231 = 2031$ volts; (Nota: $R_p = 20 \Omega$, máximo valor permitido pelo Regulamento de Segurança das Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento).

Esta tensão de esforço é suprimida em 200 ms. Por outro lado, os equipamentos de baixa tensão de um posto de transformação, devem suportar uma tensão estipulada de 6 a 10 KV, à frequência industrial, durante 1 minuto.

6.2 ESQUEMA TT

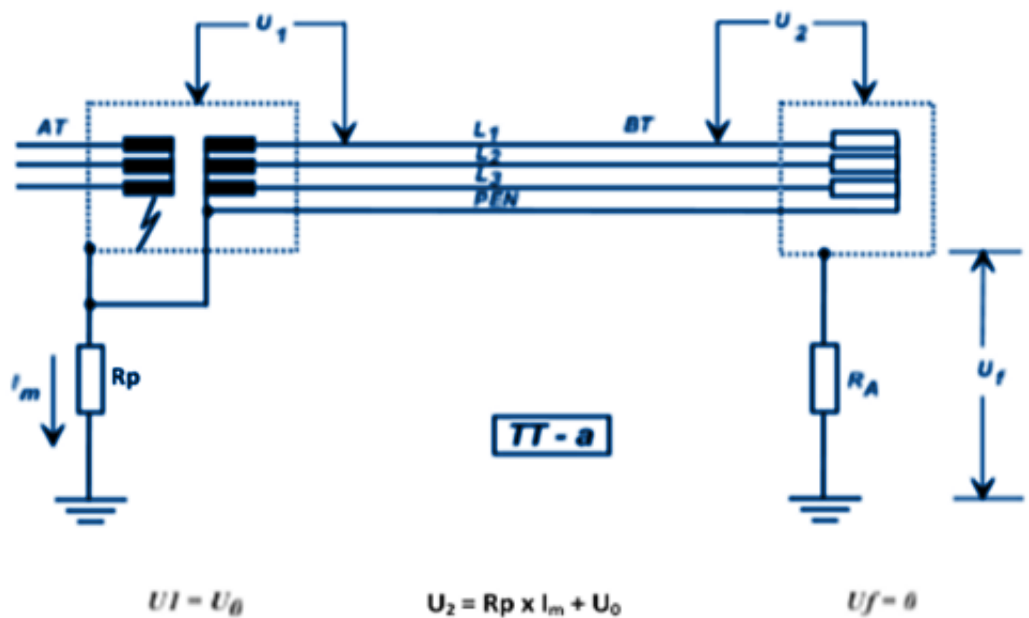


Figura (44C TT - a)

$$U1 = Uo; \quad U2 = R_p \times I_m + Uo; \quad Uf = 0;$$

a) - Neste esquema, como o da figura (44C TT - a), neutro do posto de transformação ligado à terra das massas do posto de transformação, temos de verificar quais os valores das tensões de esforço nos equipamentos da instalação de baixa tensão que satisfazem a condição imposta pelo Quadro 44A (ponto 442.1.3 das Regras Técnicas).

$$U2 = 1 \times 90 + 231 = 321 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$$

$$U2 = 2 \times 90 + 231 = 411 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$$

$$U2 = 3 \times 90 + 231 = 501 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$$

$$U2 = 4 \times 90 + 231 = 591 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$$

$$U2 = 5 \times 90 + 231 = 681 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$$

$$U2 = 6 \times 90 + 231 = 771 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$$

$$U2 = 7 \times 90 + 231 = 861 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$$

$$U2 = 8 \times 90 + 231 = 951 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$$

$$U2 = 9 \times 90 + 231 = 1041 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$$

$$U2 = 10 \times 90 + 231 = 1131 \text{ volts} \rightarrow \text{não satisfaz};$$

Logo, até ao valor de 9 Ω da terra das massas do posto de transformação, podemos ligar o condutor neutro, ao eléctrodo da terra das massas do respectivo posto de transformação.

b) - Para valores superiores da terra das massas do posto de transformação, isto é, de 10 até 20 Ω , o condutor neutro da instalação de baixa tensão deve ser ligado a um eléctrodo de terra eléctricamente distinto.

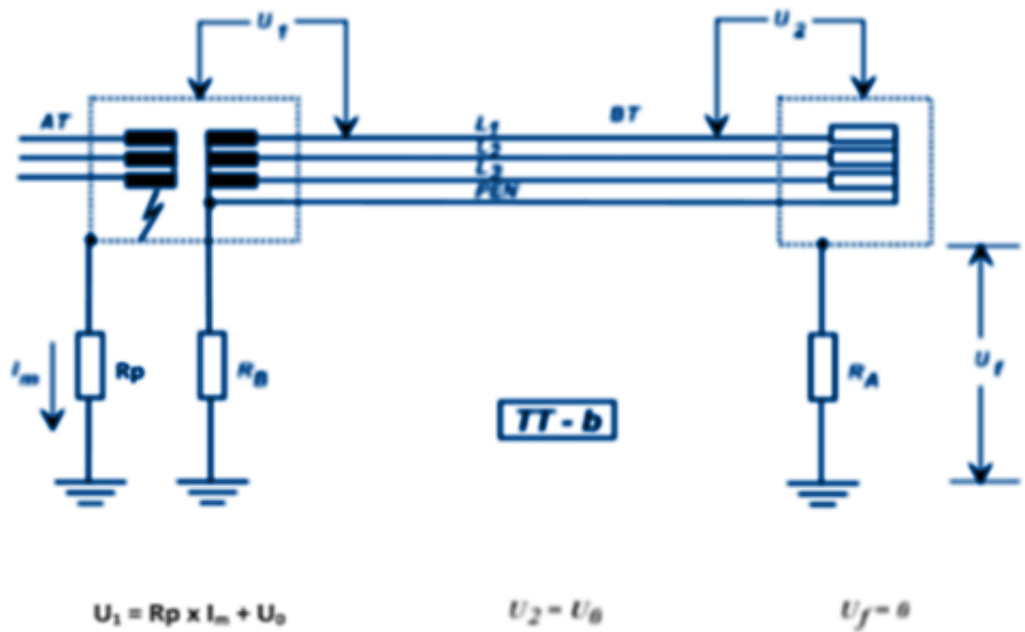


Figura (44C TT - b)

$$U_1 = R_p \times I_m + U_0;$$

$$U_2 = U_0;$$

$$U_f = 0;$$

Também neste caso, tem de ser verificada a tensão de esforço máxima nos equipamentos de baixa tensão no posto de transformação que será igual:

$$U_1 = 20 \times 90 + 231 = 2031 \text{ volts};$$

(Nota: $R_p = 20 \Omega$, máximo permitido pelo Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento)

Esta tensão de esforço é suprimida em 200 ms. Por outro lado, os equipamentos de baixa tensão de um posto de transformação, devem suportar uma tensão estipulada de 6 a 10 KV, à frequência industrial, durante 1 minuto.

6.3 ESQUEMA IT

a) - Quando a tensão de defeito, é eliminada num tempo inferior ao determinado pela curva (T) da figura 44A, que é originada pelos seguintes valores de resistência R_p iguais a 1 e 2 ohms:

$$R_p = 1 \Omega \rightarrow U_d = 90 \times 1 = 90 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$$

$$R_p = 2 \Omega \rightarrow U_d = 90 \times 2 = 180 \text{ volts} \rightarrow \text{satisfaz};$$

As massas da instalação de baixa tensão, podem ser ligadas ao eléctrodo de terra das massas do posto de transformação, conforme esquemas a seguir indicados das figuras (44D IT - Ausência de defeito na BT); (44D IT - Primeiro defeito na BT); (44J IT - Ausência de defeito na BT); (44J IT - Primeiro defeito na BT); (44K IT - Ausência de defeito na BT) e (44K IT - Primeiro defeito na BT).

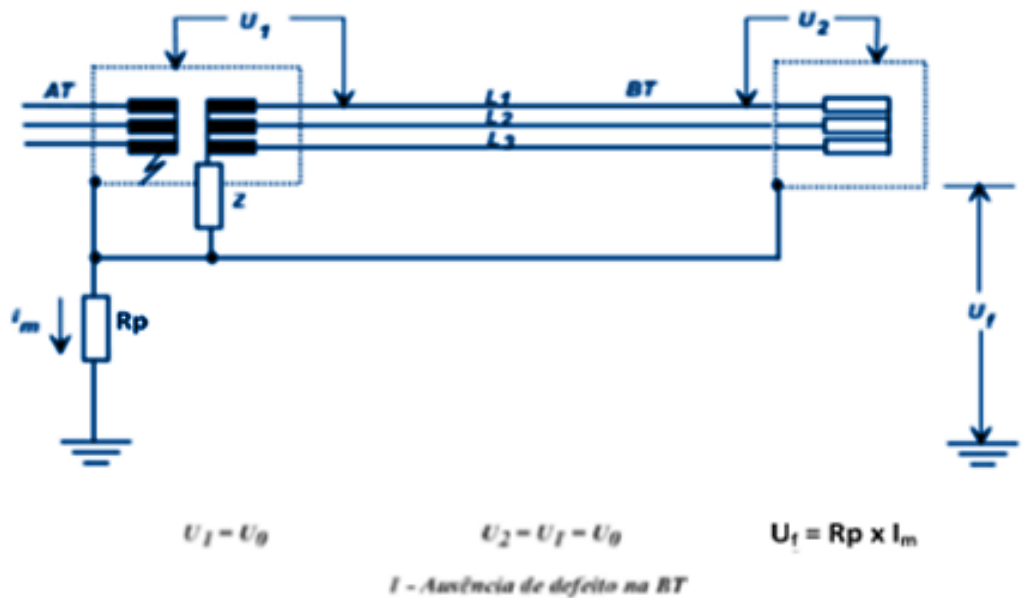


Figura (44D IT - Ausência de defeito na BT)

$$U_1 = U_0;$$

$$U_2 = U_1 = U_0;$$

$U_f = R \times I_m = 90 \times 2 = 180 \text{ volts}$, que é eliminada em 200 ms.

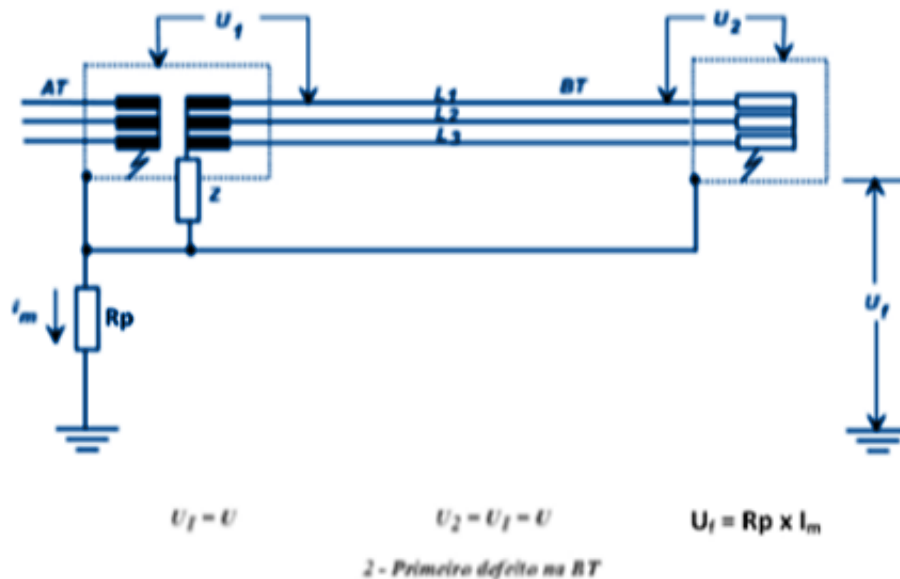


Figura (44D IT – Primeiro defeito na BT)

$$U_1 = U;$$

$$U_2 = U_1 = U;$$

$$U_f = R \times I_m;$$

Neste caso as massas do posto de transformação e da instalação de baixa tensão, ficam submetidas à tensão de esforço composta $U = 400$ volts, satisfazendo o ponto 442.1.3 das Regras Técnicas.

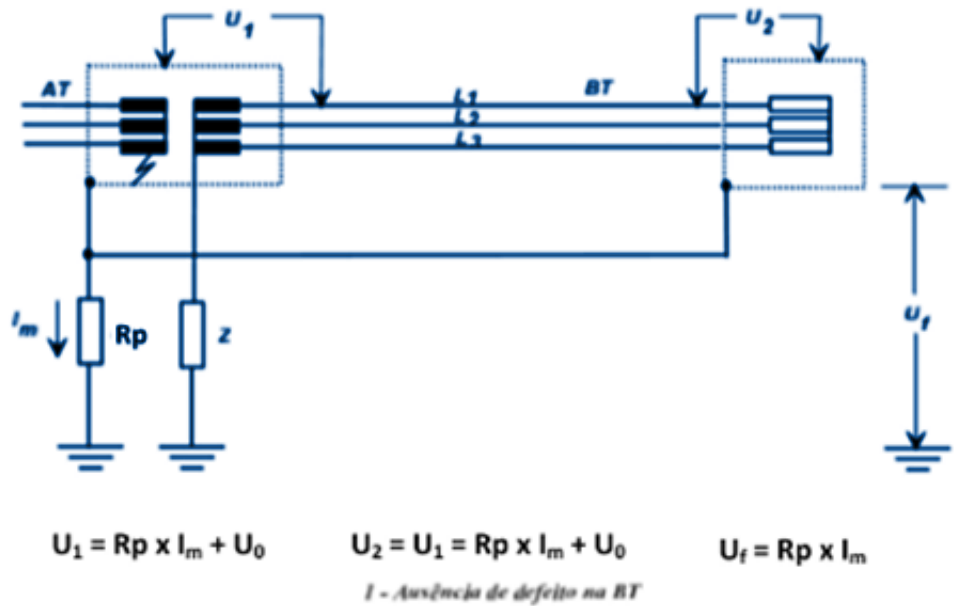


Figura (44J) IT – Ausência de defeito na BT)

$$U_1 = R \times I_m + U_0; \quad U_2 = U_1 = R \times I_m + U_0; \quad U_f = R \times I_m;$$

Aqui as massas do posto de transformação e da instalação de baixa tensão, ficam submetidas a uma tensão $180 + 231 = 411$ volts, satisfazendo o ponto 442.1.3 das Regras Técnicas.

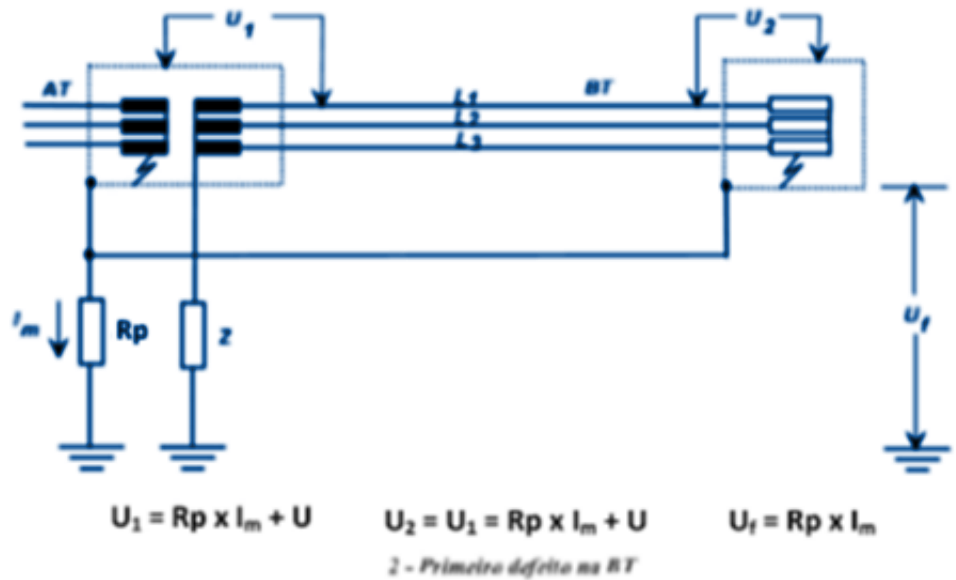


Figura (44J) IT – Primeiro defeito na BT)

$$U_1 = R \times I_m + U;$$

$$U_2 = U_1 = R \times I_m + U;$$

$$U_f = R \times I_m;$$

Também nesta situação as massas do posto de transformação e da instalação de baixa tensão, ficam submetidas a uma tensão de $180 + 400 = 580$ volts, satisfazendo o ponto 442.1.3 das Regras Técnicas.

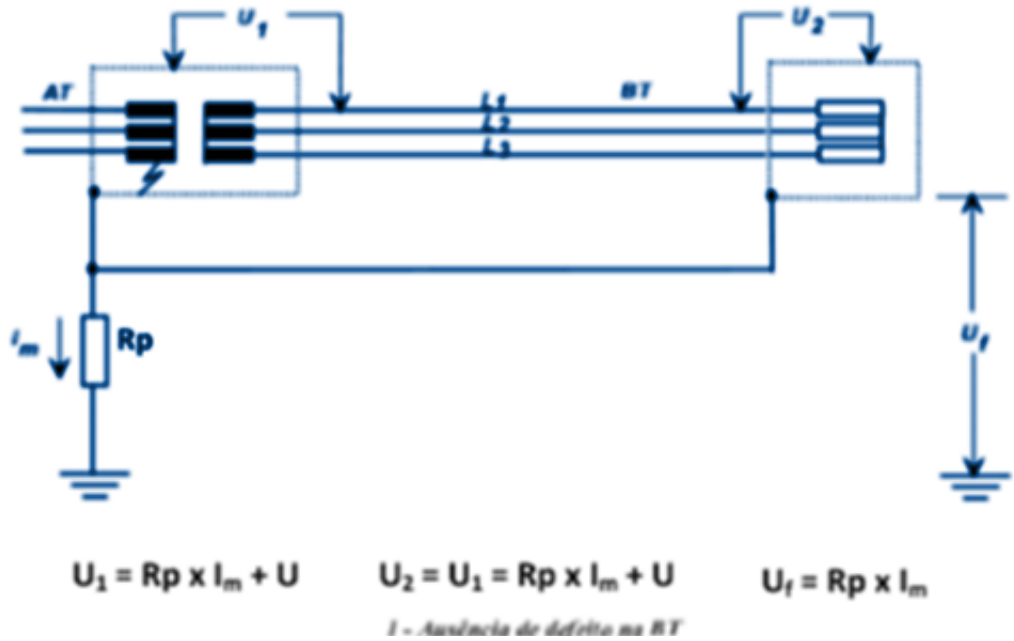


Figura (44K IT – Ausência de defeito na BT)

$U_1 = R \times I_m + U;$ $U_2 = U_1 = R \times I_m + U;$ $U_f = R \times I_m;$

A mesma situação neste caso, com as massas do posto de transformação e da instalação de baixa tensão a ficarem submetidas a uma tensão de $180 + 400 = 580$ volts, satisfazendo o ponto 442.1.3 das Regras Técnicas.

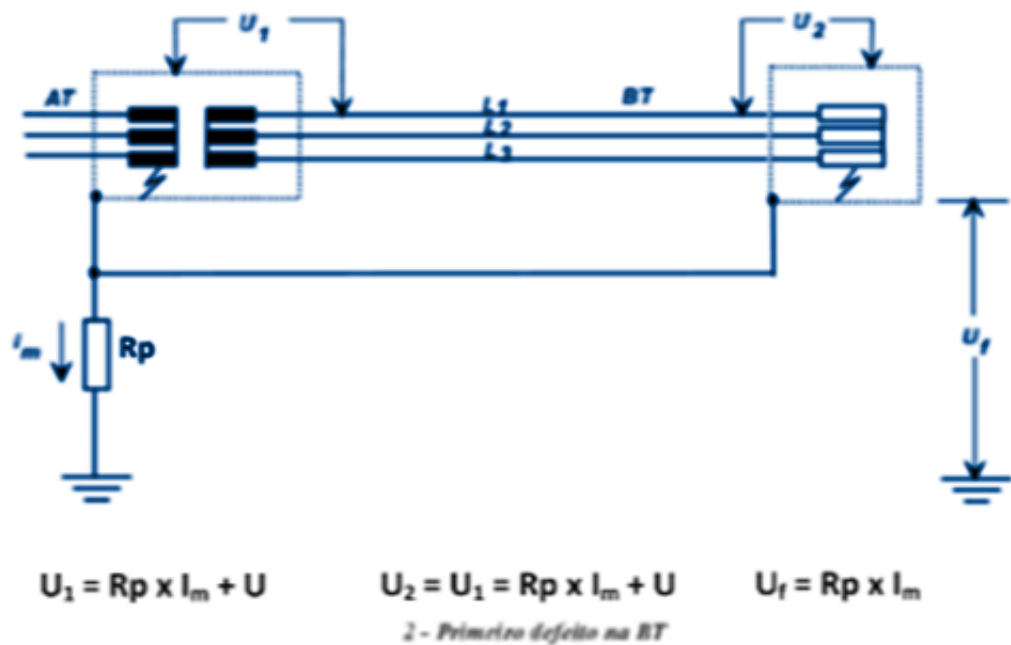


Figura (44K IT – Primeiro defeito na BT)

A mesma situação neste caso, com as massas do posto de transformação e da instalação de baixa tensão a ficarem submetidas a uma tensão de $180 + 400 = 580$ volts, satisfazendo o ponto 442.1.3 das Regras Técnicas.

b)- Para valores superiores da resistência da terra das massas do posto de transformação, isto é, de 3 a 20 Ω , dado que a tensão de defeito não é eliminada num tempo inferior ao determinado pela curva (T) da figura 44A, as massas da instalação de baixa tensão devem ser ligadas a um eléctrodo de terra eléctricamente distinto do das massas do posto de transformação, conforme figuras (44E IT Ausência de defeito); (44E IT Primeiro defeito na BT); (44F IT Ausência de defeito); (44F IT Primeiro defeito na BT); (44G IT Ausência de defeito na BT); (44G IT Primeiro defeito na BT); (44H IT Ausência de defeito na BT) e (44H IT Primeiro defeito na BT).

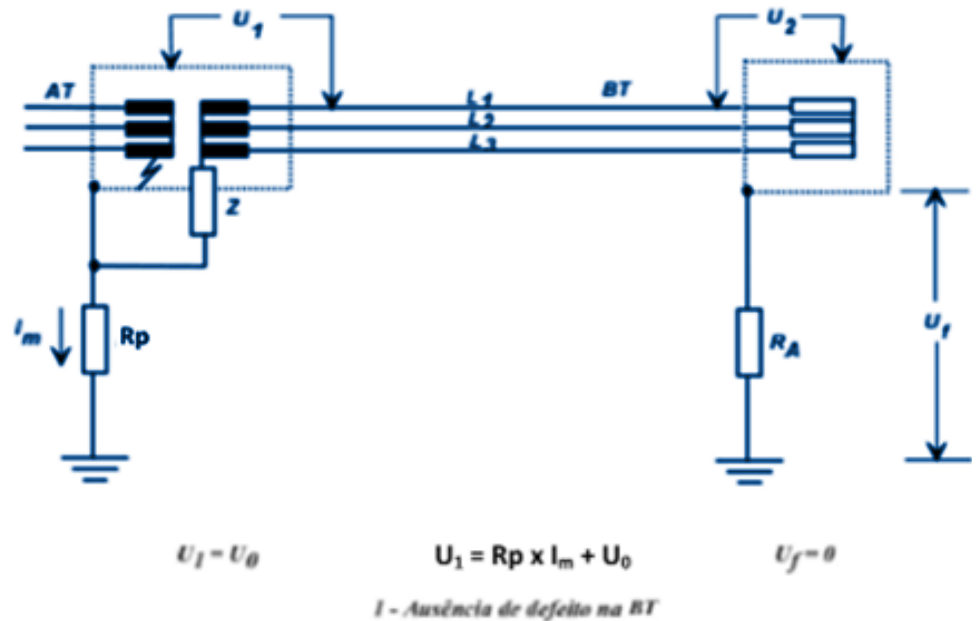


Figura (44E IT – Ausência defeito na BT)

Neste caso, e para valores de resistência do eléctrodo de terra das massas do posto de transformação de 3 a 9 Ω , as massas da instalação de baixa tensão, ficam sujeitas a uma tensão máxima de $U_2 = 90 \times 9 + 231 = 1041 \text{ V}$, que satisfazem o ponto 442.13 das Regras Técnicas. Para valores de 10 a 20 Ω , não é verificado o ponto 442.13 das Regras Técnicas, e este esquema não pode ser usado.

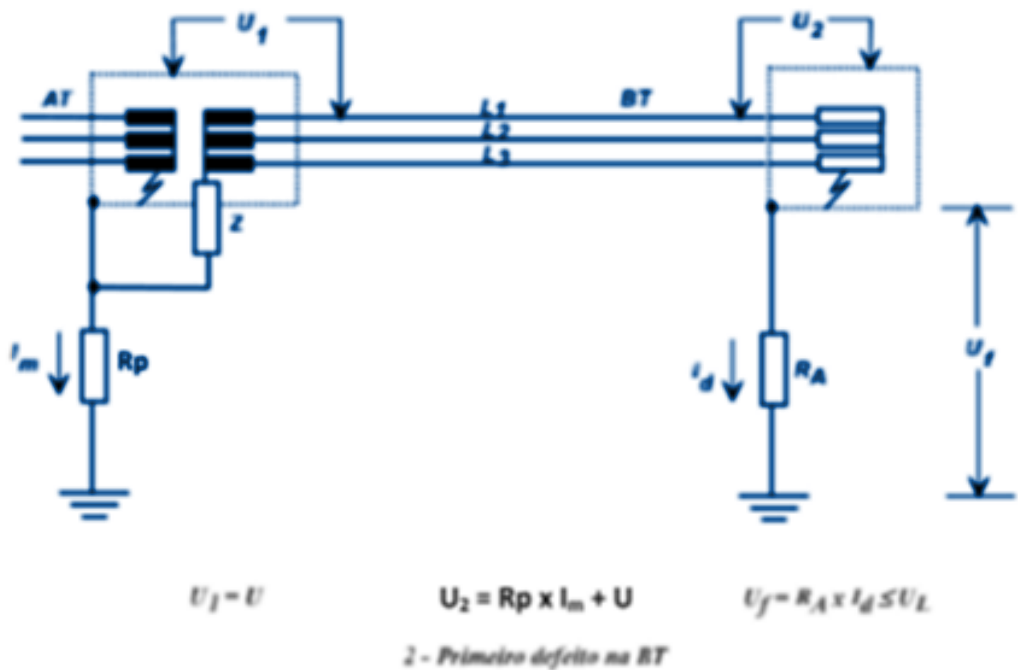


Figura (44E IT – Primeiro defeito na BT)

Também nesta situação, e para valores de resistência do eléctrodo de terra das massas do posto de transformação de 3 a 7 Ω, as massas da instalação de baixa tensão, ficam sujeitas a uma tensão máxima de $U_2 = 90 \times 7 + 400 = 1030 \text{ V}$, que satisfazem o ponto 442.1.3 das Regras Técnicas. Para valores de 8 a 20 Ω, não é verificado o ponto 442.1.3 das Regras Técnicas, e este esquema não pode ser usado. Por outro lado, a tensão de contacto nas massas da instalação de baixa tensão, tem que satisfazer a tensão limite $U_L \leq 50 \text{ V}$, ou seja $R_A \leq 50/I_d$, sendo I_d a corrente de defeito na instalação de BT.

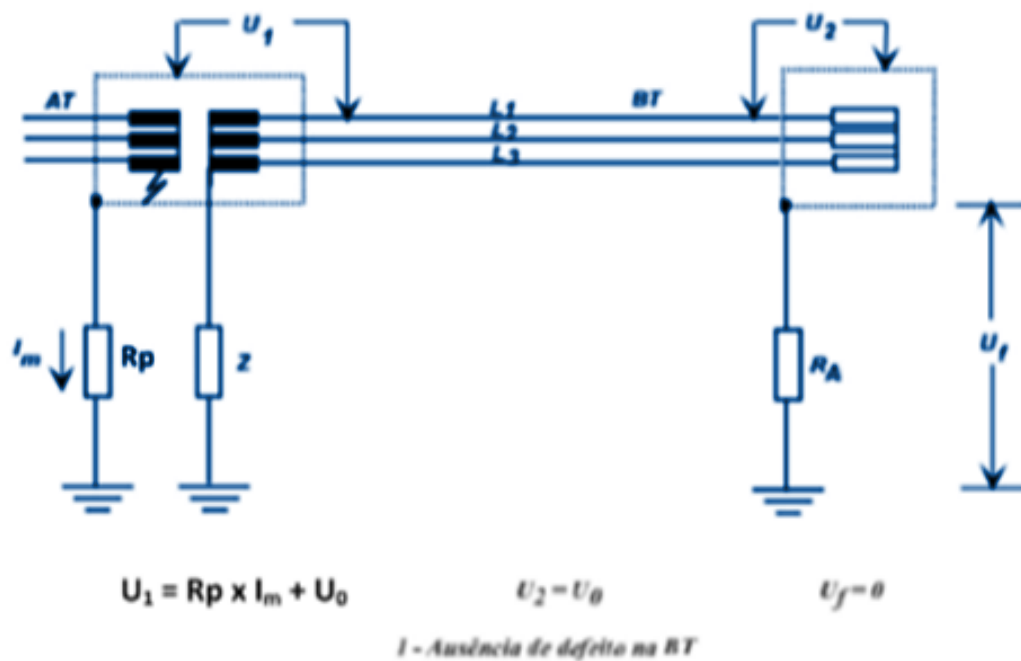


Figura (44F IT – Ausência defeito na BT)

As massas do posto de transformação, ficam submetidas a uma tensão $U_1 = 20 \times 90 + 231 = 2031 \text{ V}$. Esta tensão de esforço é suprimida em 200 ms. Por outro lado, os equipamentos de baixa tensão de um posto de transformação, devem suportar uma tensão estipulada de 6 a 10 KV, à frequência industrial,

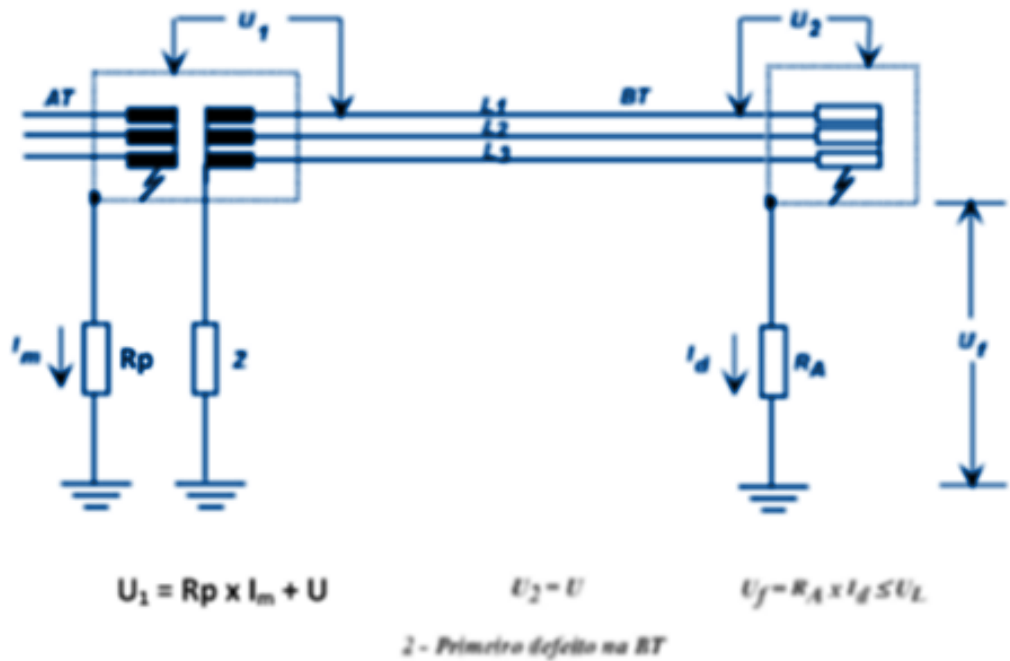


Figura (44F IT – Primeiro defeito na BT)

durante 1 minuto.

As massas do posto de transformação, ficam submetidas a uma tensão $U_I = 20 \times 90 + 400 = 2200 \text{ V}$. Esta tensão de esforço é suprimida em 200 ms. Por outro lado, os equipamentos de baixa tensão de um posto de transformação, devem suportar uma tensão estipulada de 6 a 10 KV, à frequência industrial, durante 1 minuto. Também neste caso, temos que assegurar que a tensão de contacto nas massas da instalação de baixa tensão, tem que satisfazer a tensão limite $U_L \leq 50 \text{ V}$, ou seja $R_A \leq 50/I_d$, sendo I_d a corrente de defeito na instalação de BT.

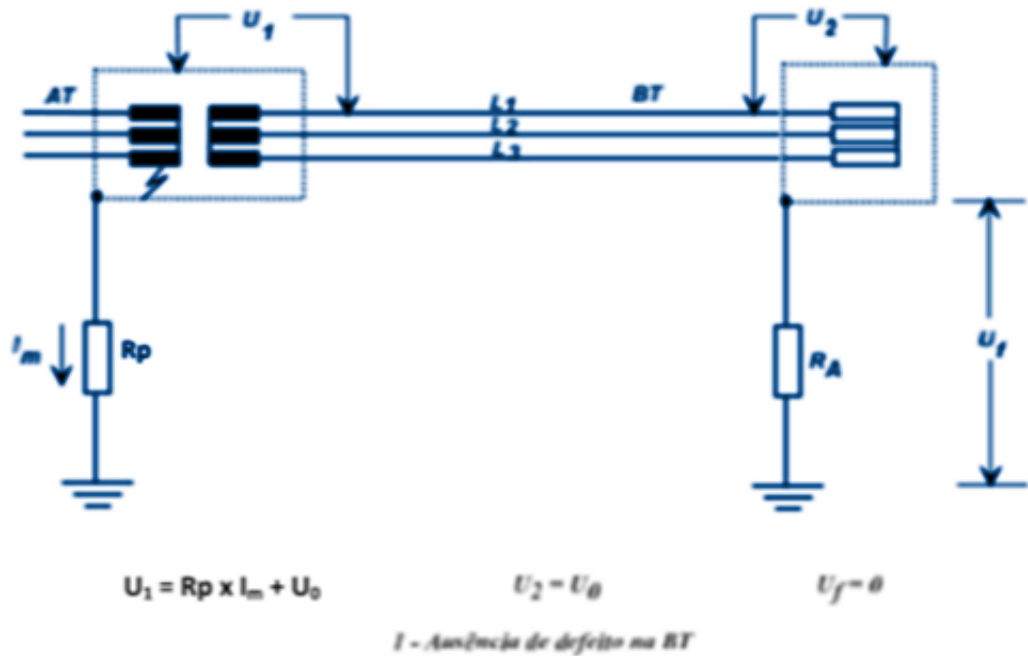


Figura (44G IT – Ausência defeito na BT)

Também nesta situação as massas do posto de transformação, ficam submetidas a uma tensão $U1 = 20 \times 90 + 231 = 2031 \text{ V}$. Esta tensão de esforço é suprimida em 200 ms. Por outro lado, os equipamentos de baixa tensão de um posto de transformação, devem suportar uma tensão estipulada de 6 a 10 KV, à frequência industrial, durante 1 minuto.

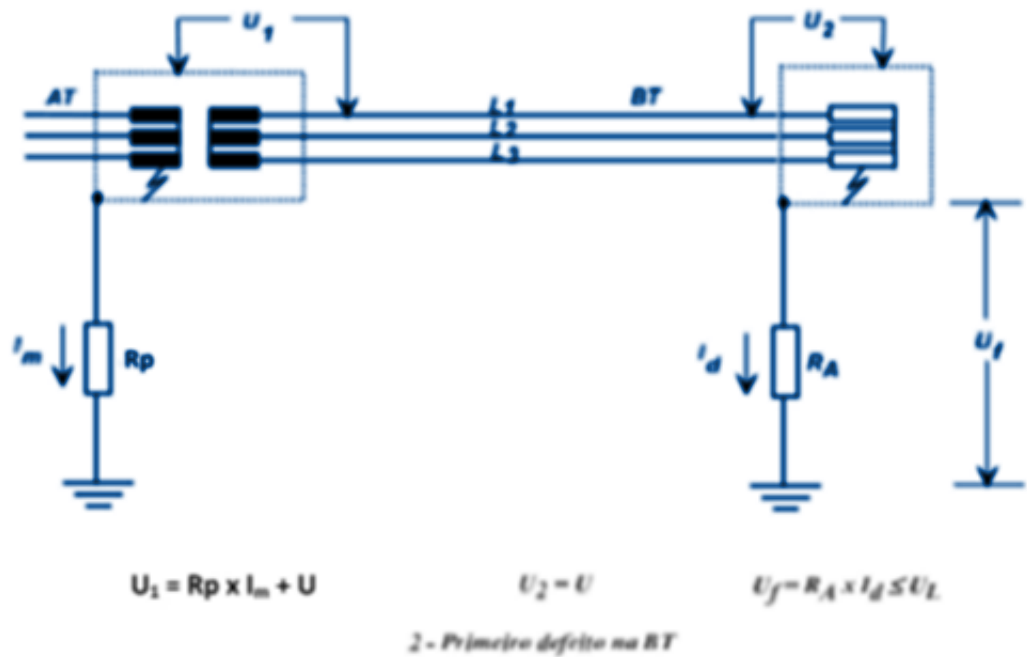


Figura (44G IT – Primeiro defeito na BT)

Neste caso, as massas do posto de transformação, ficam submetidas a uma tensão $U_1 = 20 \times 90 + 400 = 2200 \text{ V}$. Esta tensão de esforço é suprimida em 200 ms. Por outro lado, os equipamentos de baixa tensão de um posto de transformação, devem suportar uma tensão estipulada de 6 a 10 KV, à frequência industrial, durante 1 minuto. Entretanto, também temos que assegurar, que a tensão de contacto nas massas da instalação de baixa tensão, tem que satisfazer a tensão limite $U_L \leq 50 \text{ V}$, ou seja $R_A \leq 50/I_d$, sendo I_d a corrente de defeito na instalação de BT.

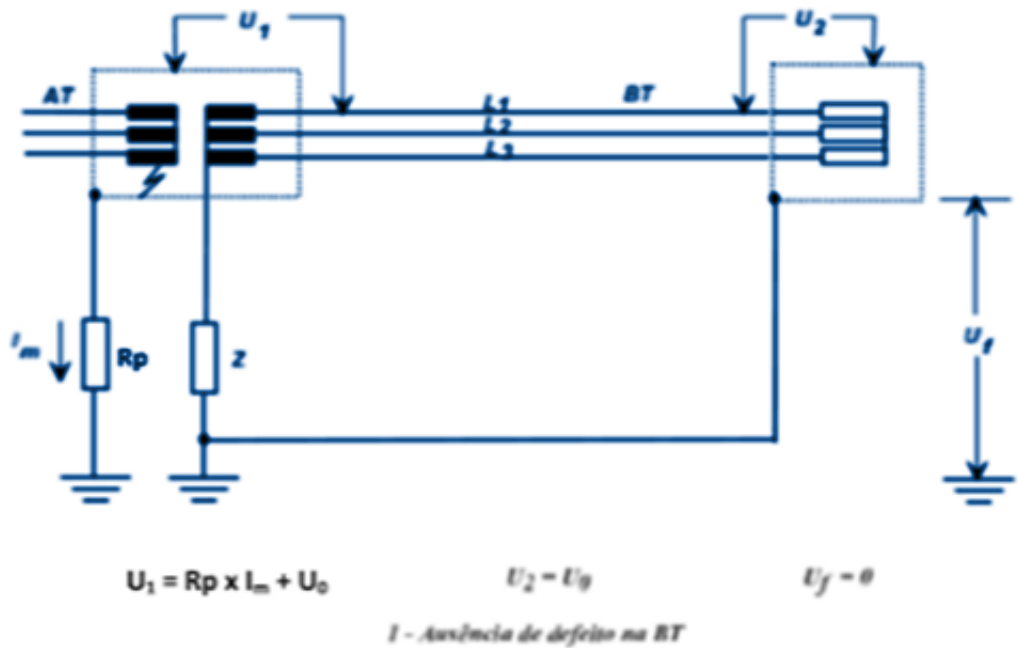


Figura (44H IT – Ausência defeito na BT)

Neste caso, as massas do posto de transformação, ficam submetidas a uma tensão $U_1 = 20 \times 90 + 231 = 2031 \text{ V}$. Esta tensão de esforço é suprimida em 200 ms. Por outro lado, os equipamentos de baixa tensão de um posto de transformação, devem suportar uma tensão estipulada de 6 a 10 KV, à frequência industrial, durante 1 minuto.

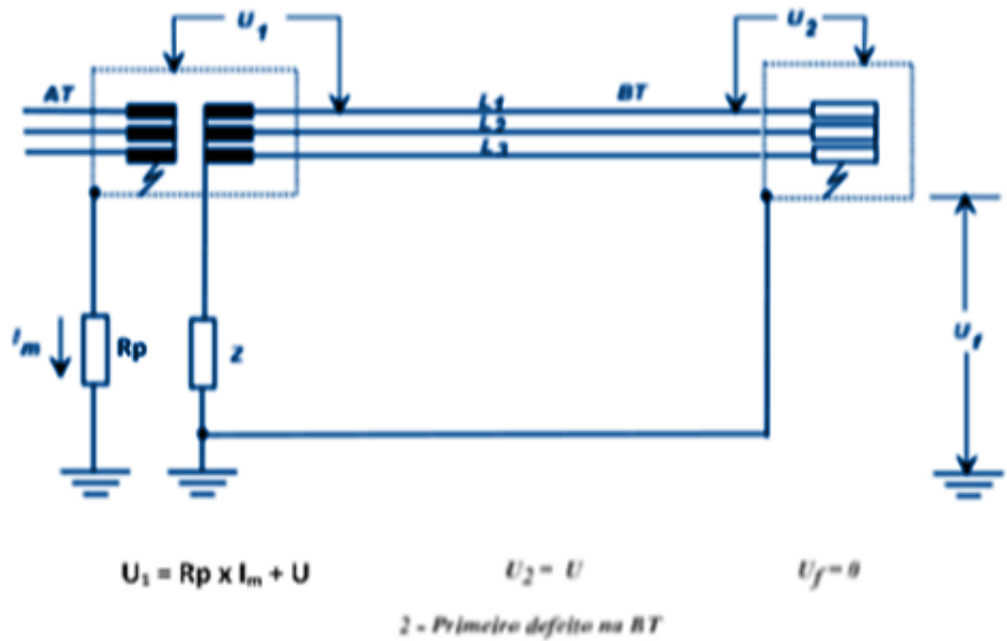


Figura (44H IT – Primeiro defeito na BT)

Também nesta situação as massas do posto de transformação, ficam submetidas a uma tensão $U1 = 20 \times 90 + 400 = 2200 \text{ V}$. Esta tensão de esforço é suprimida em 200 ms. Por outro lado, os equipamentos de baixa tensão de um posto de transformação, devem suportar uma tensão estipulada de 6 a 10 KV, à frequência industrial, durante 1 minuto.



7 CONCLUSÕES

No presente trabalho e no intuito de obter maior segurança de pessoas e equipamentos, foi decidido não ultrapassar os valores da curva da tensão de contacto (T), em detrimento da curva da tensão de defeito (F).

No cálculo dos valores máximos das tensões de esforço nos equipamentos de baixa tensão, quer do posto de transformação, quer da instalação de baixa tensão, foi utilizado o valor máximo de 20Ω , da terra de protecção do posto de transformação, de acordo com o Regulamento de Segurança das Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (Decreto-Lei n.º 42895 de 31 de Março de 1960, alterado pelo Decreto Regulamentar n.º 14/77 de 18 de Fevereiro e Portaria n.º 37/70 de 17 de Janeiro).

7.1

ESQUEMA TN

Neste esquema, verifica-se que para valores de 1 e 2 Ω , da resistência do eléctrodo de terra das massas (R_p) do posto de transformação, podemos ligar o condutor neutro, ao eléctrodo de terra das massas do posto de transformação.

As tensões de esforço nos equipamentos de baixa tensão do posto de transformação e nos equipamentos de baixa tensão da instalação, são iguais à tensão simples ($U_1 = U_2 = U_0 = 231 \text{ V}$). A tensão de defeito na instalação de baixa tensão é igual 180 V, sendo eliminada em 200 ms.

Para valores superiores, desde 3 até 20 Ω , e como não são verificados os tempos de eliminação da tensão de defeito pela curva (T) da figura 44A, o neutro da instalação de baixa tensão, deve ser ligado a um eléctrodo eléctricamente distinto.

A tensão de defeito é igual a $U_f = 0$, assim como, a tensão de esforço nos equipamentos de baixa tensão da instalação que é também igual a $U_2 = 0$.

A tensão de esforço nos equipamentos de baixa tensão do posto de transformação atinge o valor de $U_1=2031 \text{ V}$, sendo que estes equipamentos devem suportar uma tensão estipulada de 6 a 10 KV, à frequência industrial durante 1 minuto.

Resumindo, o condutor neutro só deve ser ligado ao eléctrodo de terra das massas do posto de transformação, para valores de resistência (R_p) até 2 Ω . Acima destes valores de (R_p) de 3 a 20 Ω , o condutor neutro deve ser obrigatoriamente ligado a um eléctrodo eléctricamente distinto.

7.2

ESQUEMA TT

Também neste esquema e para valores da resistência do eléctrodo de terra de protecção (R_p), do posto de transformação de 1 a 9Ω , podemos ligar o neutro do posto de transformação à terra das massas do posto de transformação.

A tensão de defeito é igual a $U_f = 0$, e a tensão de esforço nos equipamentos de baixa tensão da instalação é neste caso igual a $U_1 = 1\,041 \text{ V}$, cumprindo o imposto no ponto 442.1.3 das Regras Técnicas.

Para valores superiores, desde 10 a 20Ω , e como a tensão de esforço nos equipamentos de baixa tensão na instalação, ultrapassa os valores permitidos, temos que ligar o condutor neutro da instalação de baixa tensão a um eléctrodo de terra eléctricamente distinto.

A tensão de defeito é igual a $U_f = 0$. A tensão de esforço nos equipamentos de baixa tensão do posto de transformação $U_1 = 20 \times 90 + 231 = 2\,031 \text{ V}$, sendo que estes equipamentos devem suportar uma tensão estipulada de 6 a 10 KV, à frequência industrial durante 1 minuto.

Como resumo, podemos também afirmar que para valores de resistência do eléctrodo de terra das massas do posto de transformação até 9Ω , o condutor neutro pode ser ligado ao eléctrodo de terra das massas do respectivo posto de transformação.

7.3

ESQUEMA IT

Neste esquema IT, e para valores de resistência do eléctrodo da terra de protecção (R_p), do posto de transformação de 1 e 2 Ω , as massas dos equipamentos da instalação de baixa tensão, podem ser ligadas ao eléctrodo de terra das massas do posto de transformação.

A tensão de defeito na instalação de baixa tensão é $U_f = 180$ V e eliminada em 200ms, conforme figuras 44D, 44J e 44K.

As tensões de esforço nas massas do posto de transformação e nas massas dos equipamentos da instalação de BT, são de valor 231 V, 400 V, 411 V e 580 V, conforme as mesmas figuras atrás indicadas.

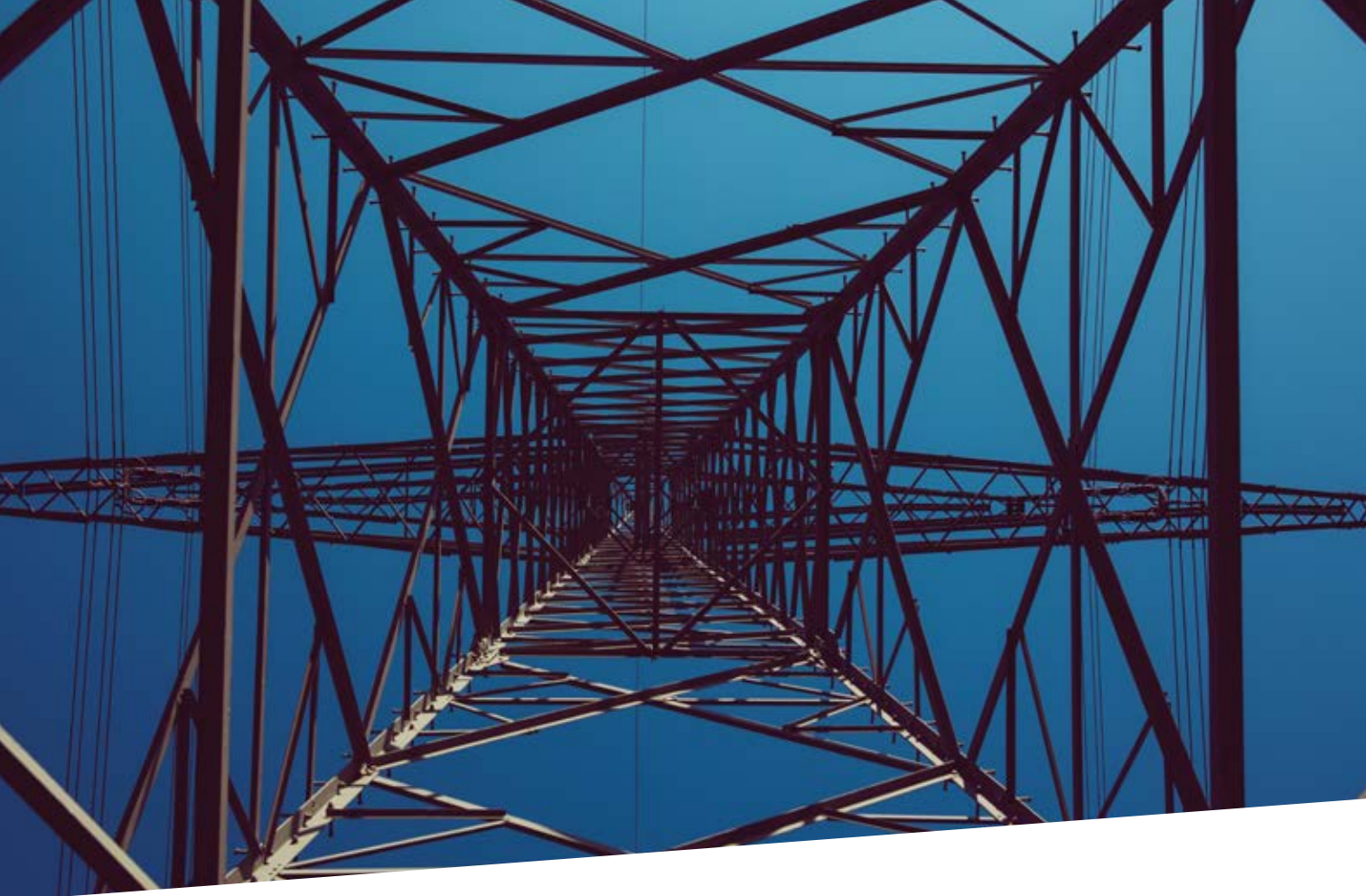
Para valores superiores da terra das massas do posto de transformação, desde 3 a 20 Ω , a tensão de defeito não é eliminada num tempo inferior ao determinado pela curva (T), e portanto as massas da instalação de baixa tensão, devem ser ligadas a um eléctrodo de terra eléctricamente distinto do das massas do posto de transformação.

As tensões de esforço nos equipamentos de baixa tensão do posto de transformação e nas massas dos equipamentos da instalação BT, tomam os valores máximos de 231, 400, 2031 e 2200 volts.

Neste esquema, e para valores de resistência da terra das massas do posto de transformação de 3 a 9 Ω , e quando as massas da instalação de BT possuírem eléctrodo de terra distinto do das massas do posto de transformação, a impedância de ligação do neutro à terra da instalação BT, pode ser ligada ao eléctrodo de terra das massas do posto de transformação (figuras 44E-IT – Ausência de defeito na BT e 44E-IT – Primeiro defeito na BT).

Resumindo, também aqui e para valores de resistência do eléctrodo da terra de protecção (R_p) do posto de transformação e até 2Ω , podemos ligar as massas dos equipamentos da instalação BT, ao respectivo eléctrodo da terra das massas do posto de transformação. Para valores superiores de resistência do eléctrodo da terra de protecção (R_p) de 3 a 20Ω , temos que ligar as massas dos equipamentos da instalação BT, a um eléctrodo eléctricamente distinto.

Nota: Não podemos deixar de expressar os nossos agradecimentos aos colegas do Despacho e Condução Norte da EDP Distribuição, pela sua amável e prestimosa colaboração na explicação do funcionamento e valores da parametrização das protecções das Subestações AT 60/30/15 KV.



BIBLIOGRAFIA

Decreto – Lei n.º 42895, de 31 de Março de 1960, alterado pelo Decreto Regulamentar n.º 14/77, de 18 de Fevereiro e Portaria n.º 37/70, de 17 de Fevereiro (Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento);

Decreto Regulamentar n.º56/85 de 6 de Setembro (Alteração do Regulamento de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento);

Portaria n.º 949-A/2006 de 11 de Setembro – Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão;

Decreto Regulamentar n.º90/84 de 26 de Dezembro (Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de energia em Baixa Tensão);

Guia Geral de Protecção e Automação da RND;

Documento Técnico n.º1 da Schneider Electric;