



Eng.º Ribeiro Fernandes



**ALGUNS ASPECTOS SOBRE SISTEMAS DE
PROTEÇÃO DE PESSOAS E BENS**

TERRAS NAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

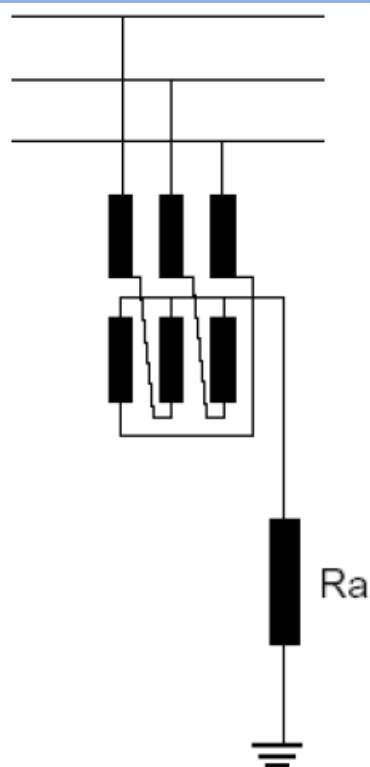


Fig. A.8: Reactância homopolar e resistência adicional.



Art. 53.º *Ligação à terra dos circuitos de alta tensão.* — Os pontos neutros ou terminais dos circuitos de alta tensão ligados directamente a circuitos exteriores à zona de influência da terra de protecção, se a natureza da instalação exigir que sejam ligados à terra, sê-lo-ão à terra de serviço de alta tensão.

Comentário. — Considera-se que os circuitos estão directamente ligados quando tiverem pontos comuns. Assim, um transformador de enrolamentos separados não estabelece uma ligação directa.

§ 1.º Do disposto no corpo do artigo exceptuam-se os casos seguintes, em que poderá utilizar-se a terra de protecção para esse fim:

- a) A resistência da terra de protecção não ultrapassa normalmente 1Ω ;
- b) Existem dispositivos adequados para limitar a corrente de terra, em caso de defeito;

Comentário. — Utilizam-se na prática impedâncias (bobina de Petersen, por exemplo), inseridas entre o ponto neutro e o eléctrodo de terra, que permitem limitar a corrente de terra a valores da ordem das dezenas de amperes.

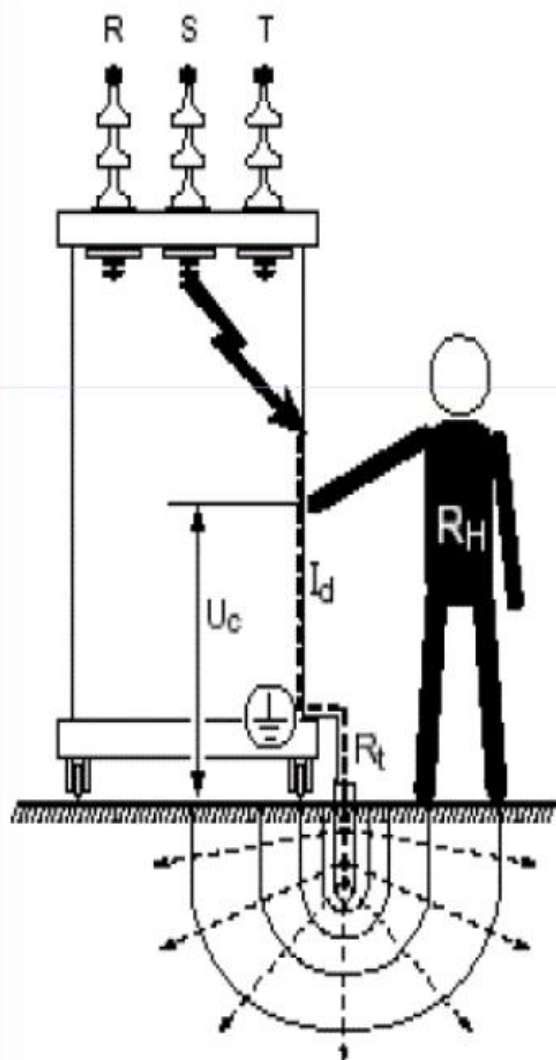
Art.º 54.º

PT's PÚBLICOS

§ 3.º Nos postos de transformação ligados a redes subterrâneas de baixa tensão, quando a resistência da terra de protecção não ultrapasar 1Ω , poder-se-á ligar o ponto neutro da baixa tensão, contrariamente ao estabelecido no corpo do artigo, à terra de protecção.

§ 4.º A ligação do ponto neutro à terra de protecção será, porém, obrigatória quando se verificarem as condições do parágrafo anterior e nas instalações particulares servidas pela rede de baixa tensão a ligação à terra se fizer pelo neutro.

TENSÃO
DE
CONTACTO



$$\begin{aligned} 5 \geq t > 3s &\Rightarrow V_{ca} = 64 \text{ V} \\ t > 5s &\Rightarrow V_{ca} = 50 \text{ V} \end{aligned}$$

fig. 19-Tensão de contacto originada pela passagem da corrente.

**TENSÃO
DE
PASSO**

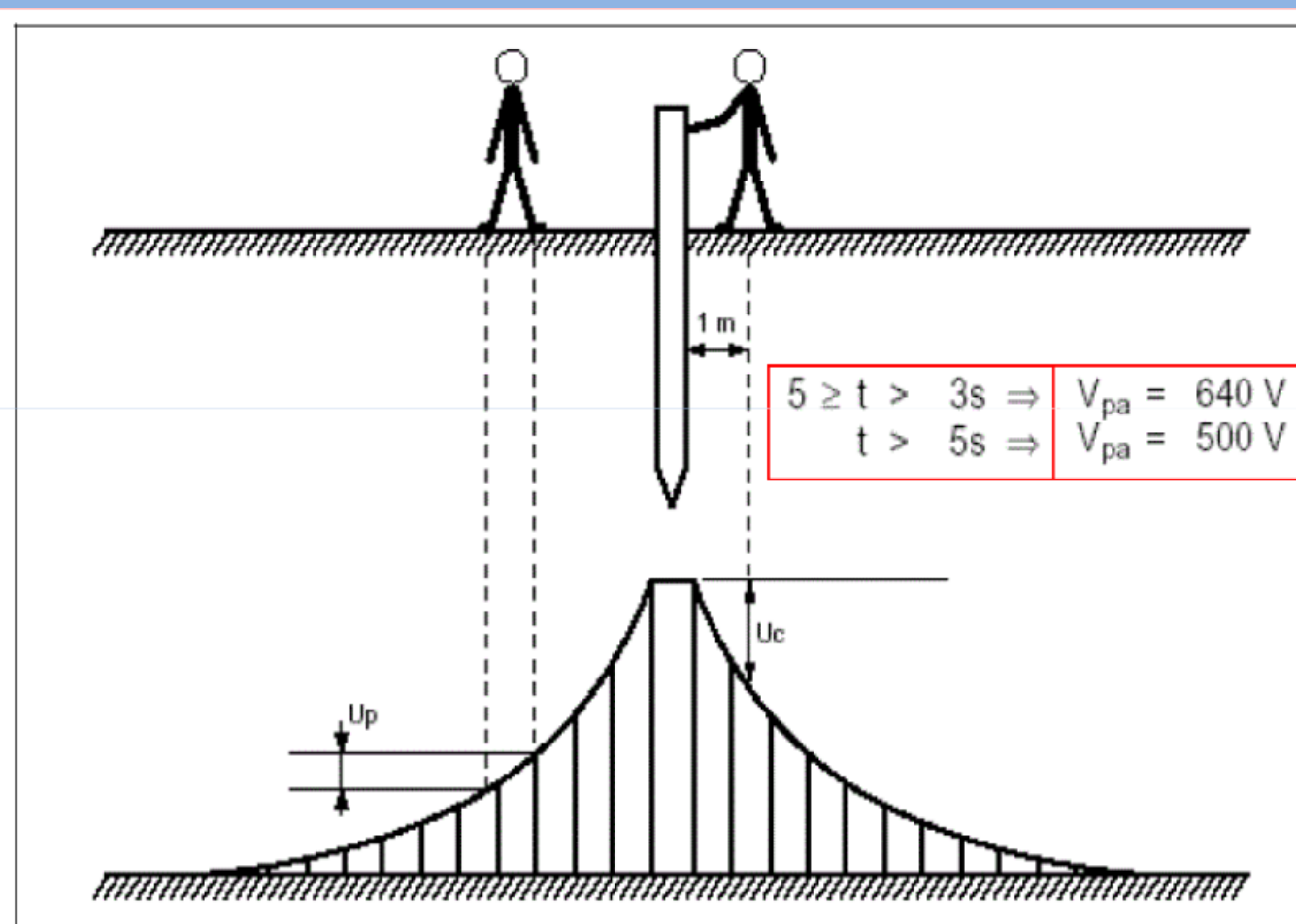


fig.18 - Tensão de contacto (U_c) e tensão de passo (U_p)

413.1.1.1 Corte da alimentação

Deve existir um dispositivo de protecção que separe automaticamente da alimentação o circuito ou o equipamento quando surgir um defeito entre uma parte activa e uma massa.

tensões limites convencionais (U_L) seguintes :

50 V corrente alternada
(valor eficaz)

120 V em corrente lisa

QUADRO 41GA

Duração máxima da tensão de contacto presumida para
 $U_L = 50 \text{ V}_{ac}$ ou $U_L = 120 \text{ V}_{dc}$.

Tensão de contacto presumida U_c (V)	Tempo de corte máximo do dispositivo de protecção t (s)	
	Corrente alternada [a]	Corrente continua [b]
≤50	5	5
75	0,60	5
90	0,45	5
120	0,34	5
150	0,27	1
220	0,17	0,40
280	0,12	0,30
350	0,08	0,20
500	0,04	0,10

Tensão limite convencional absoluta U_L

É a tensão máxima à qual pode ser, indefinidamente submetida, uma pessoa nas condições dadas

U_L depende da resistência do corpo humano que é, notavelmente, função do estado de humidade da pele (código BB)

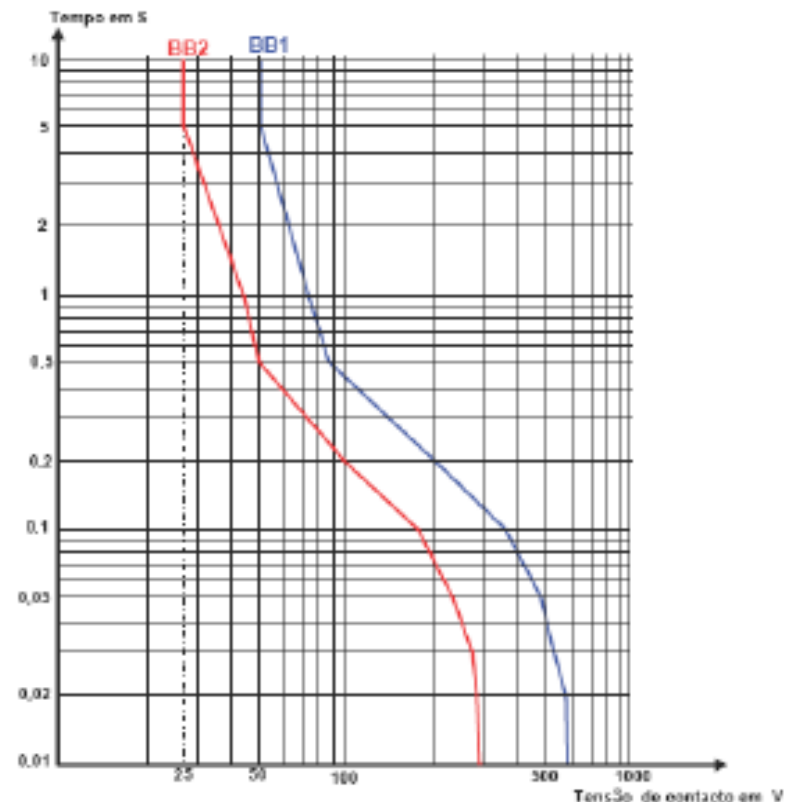
- Por convenção, são definidos três estados para o corpo humano
- RTIEBT – secção 322.2- resistência eléctrica do corpo humano

Código	Estado do corpo humano	Tensão limite Convencional absoluta U_L em Volts		
		Corrente Alternada (AC)	Corrente Contínua não Lisa (DC)	Corrente Contínua lisa (DCL)
BB1	Pele seca ou húmida por suor – Normal	RTIEBT -413.1 50	75	120
BB2	Pele molhada – baixa	RTIEBT -481.3 25	36	60
BB3	Pele imersa – muito baixa	12	18	30

Tensão Limite convencional relativa $UL(t)$ = curvas de segurança

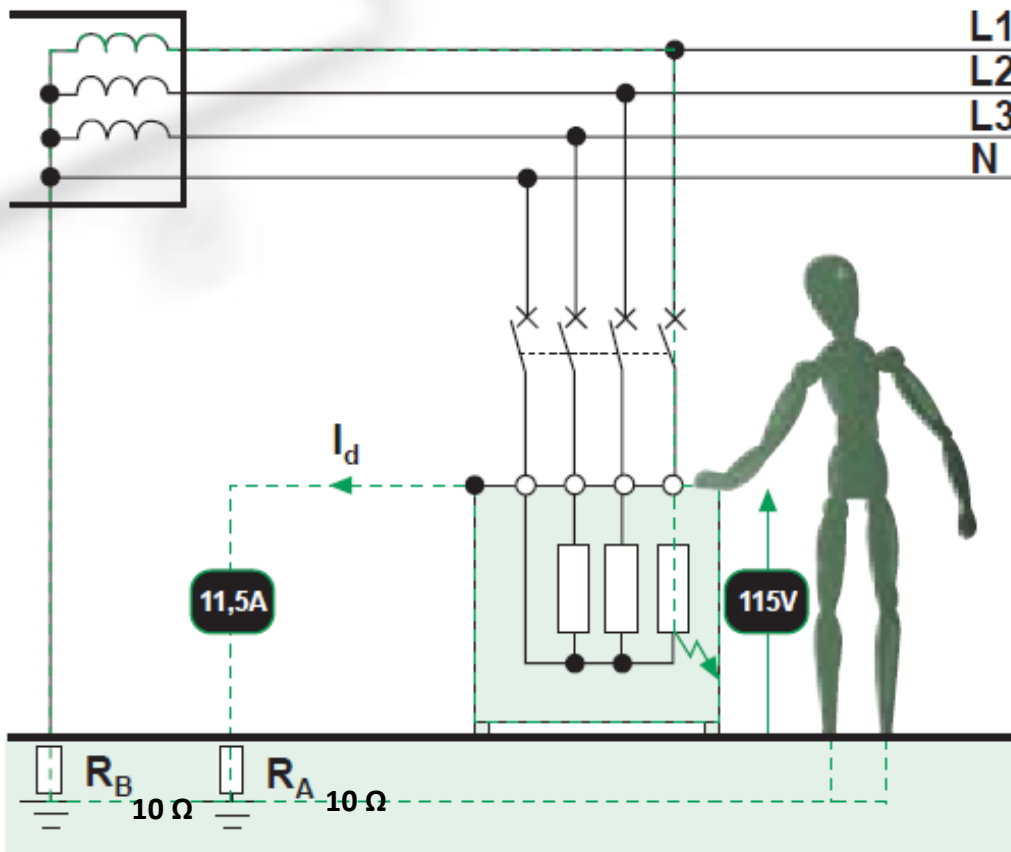
Indica o tempo máximo durante o qual uma pessoa pode ser submetida a uma dada tensão.

Tempo máximo (s)	$U_L(t)$ (V)	
	BB1 AC	BB2 AC
∞	< 50	< 25
5	50	25
1	72	43
0,5	87	50
0,2	207	109
0,1	340	170
0,05	465	227
0,03	520	253
0,02	543	263
0,01	565	275



A tensão de contacto é muito maior que Tensão limite U_L e representa perigo para as pessoas expostas durante mais de 0.355s.

Um disjuntor magneto-térmico não dispara neste tempo para esta corrente de 11,5 A



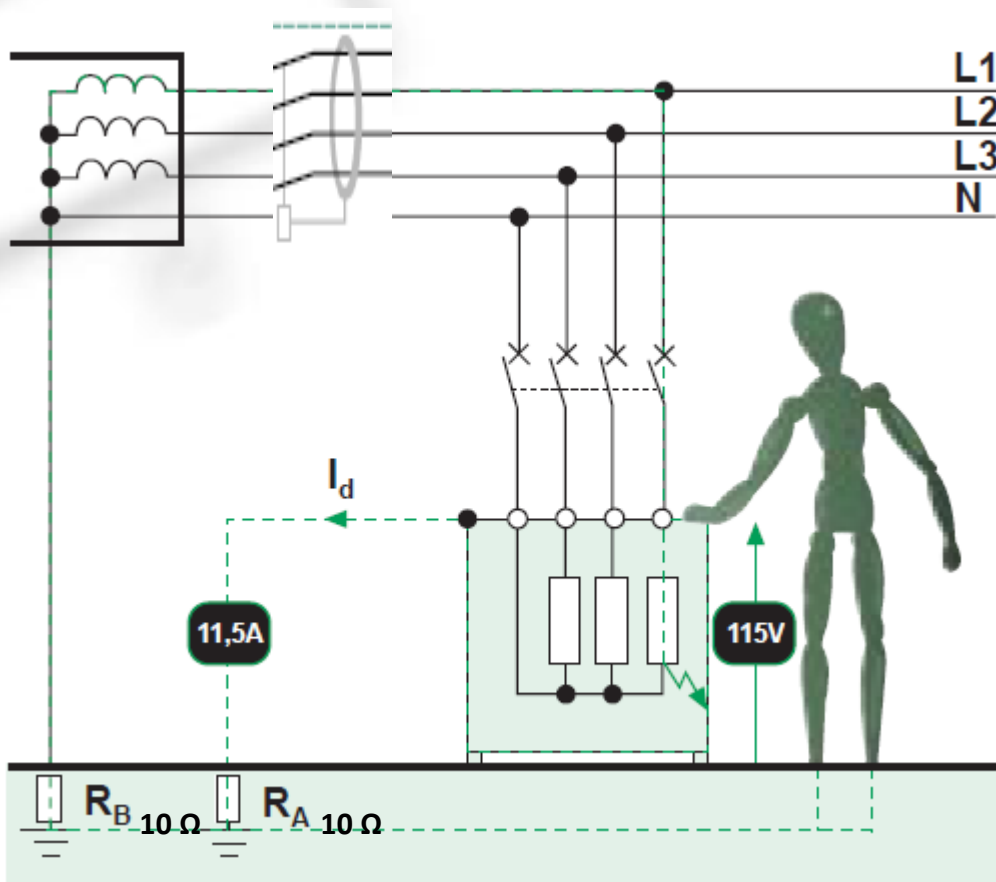
$$U = 230\text{ V}; \quad R_A = R_B = 10\ \Omega$$

$$I_d = 230 / 10 + 10 = 11,5\text{ A}$$

$$U_c = I_d \times R_A = 11,5 \times 10 = 115\text{ V}$$

$$U_L = 50\text{ V} \ll U_c = 115\text{ V}$$

Utilizando um dispositivo diferencial Residual **obtem-se uma tensão de contacto inferior à tensão limite convencional UL.**



$$I\Delta n \leq UL/RA$$

$$300\text{ mA} \times 10 \leq 3\text{ V} \leq 50\text{ V}$$

Tensão limite convencional absoluta U_L

É a tensão máxima à qual pode ser, indefinidamente submetida, uma pessoa nas condições dadas

U_L depende da resistência do corpo humano que é, notavelmente, função do estado de humidade da pele (código BB)

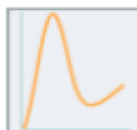
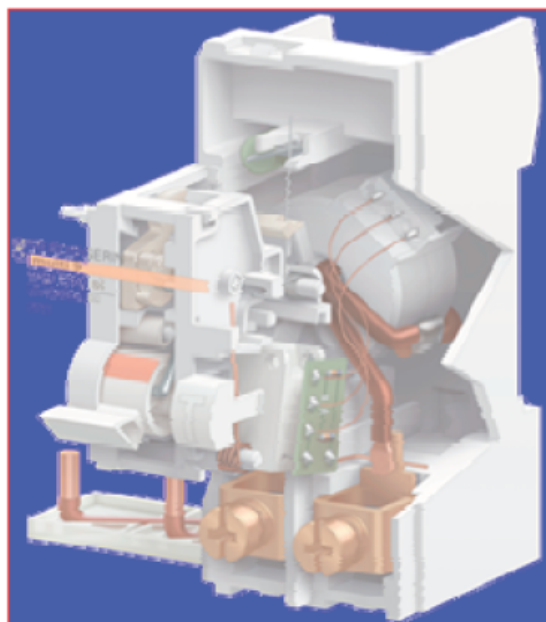
TEMPOS DE FUNCIONAMENTO E NÃO FUNCIONAMENTO
DOS EQUIPAMENTOS DIFERENCIAIS

– Dispositivos diferenciais – secção 539-3

Valores normalizados do tempo de funcionamento máximo e do tempo de não funcionamento de acordo com a CEI 61008 e CEI 61009 :

Tipo	I_n A	$I\Delta n$ A	Valores normalizados do tempo (s) de funcionamento e de não funcionamento (em segundos) a :				
			$I\Delta n$	$2I\Delta n$	$5I\Delta n$	$500 A$	
Geral	Não importa qual o valor	Não importa qual o valor	0,3	0,15	0,04	0,04	Tempo de funcionamento máximo
Selectivo	≥ 25	$> 0,030$	0,5	0,2	0,15	0,15	Tempo de funcionamento máximo
			0,13	0,06	0,05	0,04	Tempo de não funcionamento mínimo

DISPAROS INTEMPESTIVOS DOS EQUIPAMENTOS DIFERENCIAIS



☐ *Reduzir os problemas de disparos intempestivos devidos a:*

☐ correntes de fuga de AF

☐ correntes transitórias de origem atmosférica (raio)

☐ correntes transitórias causadas pelas sobretensões de manobra da aparelhagem eléctrica

☐ correntes de fuga permanentes a 50 Hz (filtros antiparasitas)

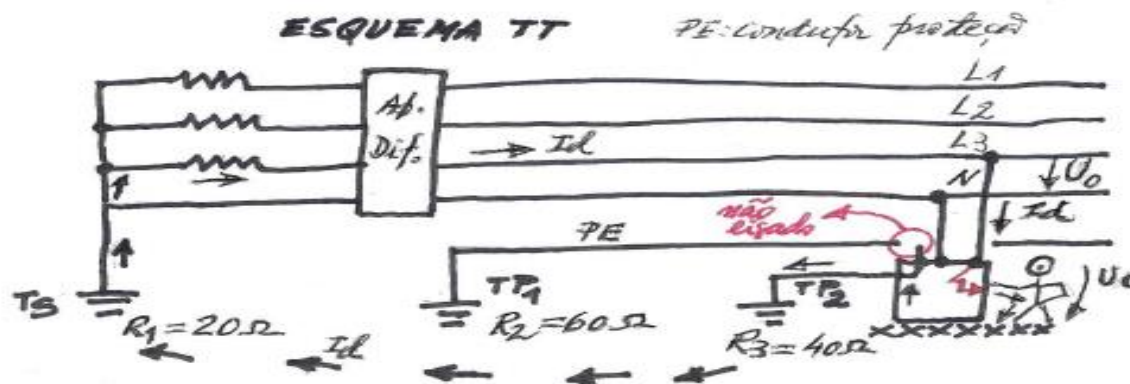
☐ *Reduzir os problemas de “cegueira” dos diferenciais devida a:*

☐ correntes de fuga de AF

☐ correntes de fuga à componente contínua

☐ baixas temperaturas

Exemplo de 2 elétrodos de terra de proteção protegidos pelo mesmo equipamento diferencial



Hipótese 1: Situação do Condutor PE desligado;
Para os valores das resistências previstas temos:
Id - corrente de defeito temos:

$$I_d = \frac{U_0}{R_1 + R_3} = \frac{230}{20 + 40} = \frac{230}{60} = 3,84 \text{ A}$$

Tensão de contacto na massa do equipamento:

$$U_R = 3,84 \times R_3 = 3,84 \times 40 = 153,6 \text{ V}$$

Hipótese 2: Situação do condutor PE, ligado;
Corrente de defeito na malha que inclui R2 e R3 em paralelo;

$$I_{d1} = \frac{230}{20 + (R_2 \parallel R_3)} = \frac{230}{44} = 5,23 \text{ A}$$

Tensão de contacto na massa do equipamento e em todas as massas.

$$U_{c1} = 5,23 \times R_3 = 5,23 \times 40 = 209,2 \text{ V}$$

Exemplo de 2 elétrodos
de terra de proteção
protegidos pelo mesmo
equipamento diferencial

As Regras Técnicas no ponto 413.1.4.1 dizem:
(Sistema TT)

"Todas as massas dos equipamentos elétricos protegidos por um mesmo dispositivo de proteção devem ser interligadas por meio de condutores de proteção e ligados ao mesmo electrodo de terra."

Condição susceptível de ferir o corpo humano em contacto c/a massa;

$650 \Omega \rightarrow$ resistência média do corpo humano c/ pele molhada;

$$I_R = 153,6 / 650 = 0,236 A = 236 mA$$

$$I_{R1} = 2092 / 650 = 0,322 A = 322 mA$$

Se o aparelho diferencial usado for de $I_{\Delta n} = 300 mA$, o seu tempo máximo de actuação é de 300 ms e a tensão de contacto é de $40 \Omega \times 300 mA = 12 V$ tensão não perigosa para as pessoas.

No entanto, o importante é a fiabilidade do equipamento e não a ligação ou não do condutor de proteção, para os valores das resistências considerado.

Espero ter ajudado.



Exemplo da execução de Terras com furos verticais

EXECUÇÃO DE TERRAS COM FUROS VERTICAIS ①

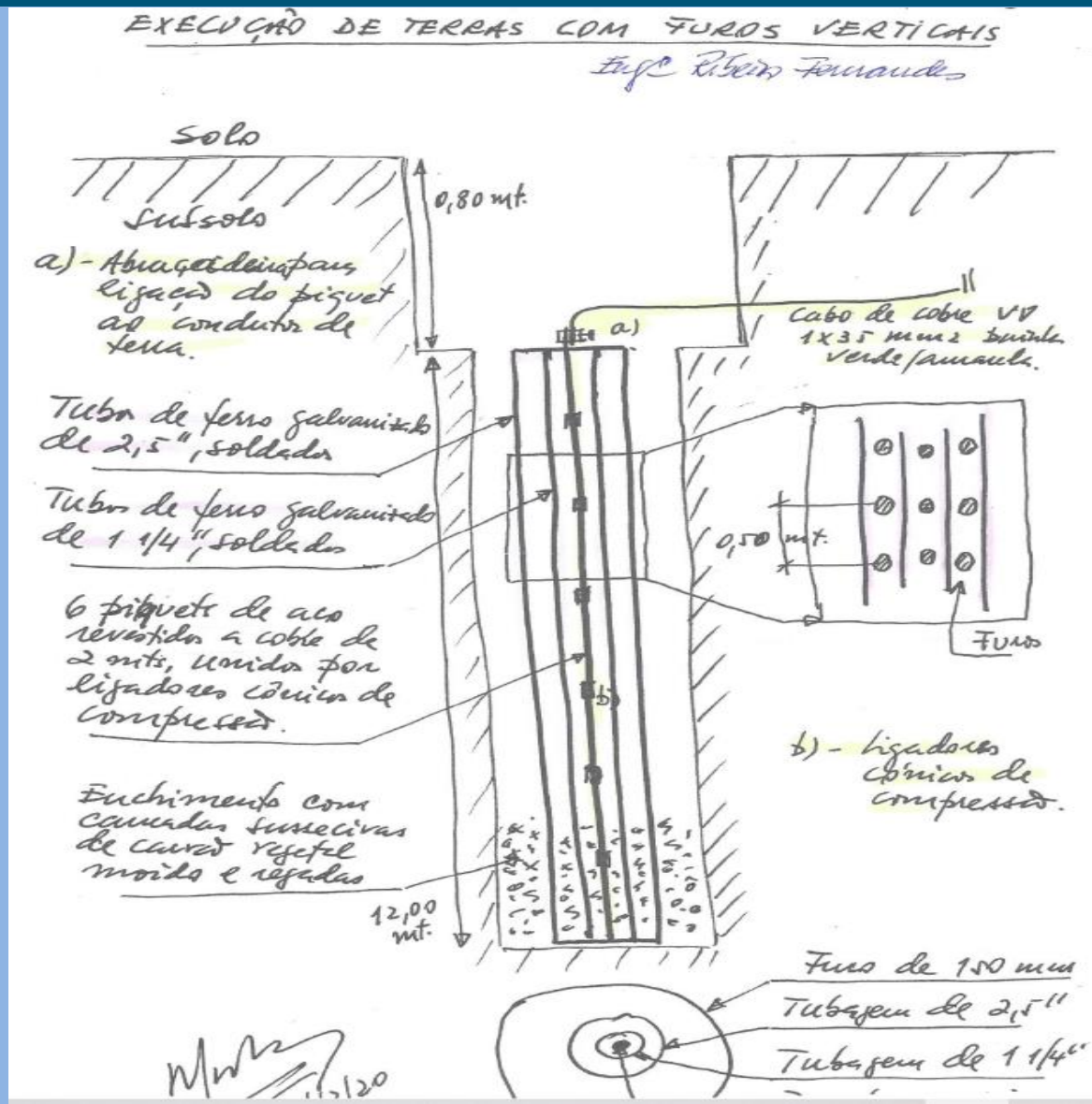
Eng.º Ribeiro Fernandes

- Neste sistema (Electrodo de profundidade), utiliza-se o método da "BEOLABEM", que consiste na abertura de um furo artesianos de 12 mts de profundidade com 150 mm de ϕ , no fundo de uma cova com 9,80 mts de profundidade.
- O furo será executado com (2) duas tubagens de ferro galvanizado de 2,5" e 1 1/4", perfuradas com (2) linhas verticais, com distância de 0,50 mts entre furos. Dentro desta última tubagem (1 1/4"), coloca-se o electrodo de ferro, constituído por seis (6) varões do tipo AARDING de aço revestidos a cobre e interligados, através de ligadores cônicos de compunção.
- Todo o espaço restante do furo, será preenchido com camadas sucessivas de casca vegetal moída (0,10 mts) e devidamente compactadas e regadas.

NOTA: ver desenhos anexos

R. Ribeiro Fernandes
2003/03/20

Exemplo da execução de Terras com furos verticais



Exemplo do CÁLCULO dos VALORES DAS CORRENTES DE I_{cc} FASE/CONDUTOR de PROTEÇÃO, para obter os valores mínimos das secções

CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO NOS QUADROS DE ENTRADA (QE1; QE2) E PARCIAIS																			
		Rcc	Xcc	$Za=(Uo)^2/Pcc$				cc mín.		cc máx.	cc máx.								
								p	PVC	XLPE									
Scc MVA Mín.	224	0,1060	0,7064					Cu	26,0	p	20,6					22,0			
Scc MVA Máx.	417	0,0569	0,3794					Al	42,0	p	34,0					36,2			
REDE MONTANTE		TRANSFORMADOR (KVA)		LIGAÇÃO QUADRO GERAL - QUADROS PARCIAIS															
Scc MVA	224	S =	2x630	Icc (kA)	DESIGNAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DOS CABOS													
R (mΩ)	X (mΩ)	Rtr (mΩ)	Xtr (mΩ)	BT	TROÇO	CABO		Tipo		Rcabo	Xcabo	Rtotal	Xtotal	Icc (tri)	Icc (mono)	S, mín.	I(kA)	vt² (s)	(K)
						L (mt)	S (mm²)	Cabo	Cond.	(mΩ)	(mΩ)	(mΩ)	(mΩ)	(kA)	(kA)				
0,1060	0,7064	1,445	5,41	40,91	TRAFO's - QE1//QE2	27	555	TRI	CU	0,632	2,160	2,183	8,276	26,98	15,6	62,05	15,60	0,7	176
2,1830	8,2764				QE1+QE2_QUAD_SALA_MÁQ.	18	240	TRI	CU	1,950	1,440	4,133	9,716	21,87	12,6	50,11	12,60	0,7	176
2,1830	8,2764				QE1+QE2_QUAD_ENT_ANTIGO	60	480	TRI	CU	3,250	4,800	5,433	13,076	16,31	9,4	37,38	9,40	0,7	176

Scc MVA	417	S =	2x630	Icc (kA)															
0,0569	0,3794	1,445	5,41	41,15	TRAFO's - QE1//QE2	27	555	TRI	CU	0,535	2,160	2,037	7,949	28,14	16,2	64,43	16,20	0,7	176
2,0369	7,9494				QE1+QE2_QUAD_SALA_MÁQ.	18	240	TRI	CU	1,650	1,440	3,687	9,389	22,89	13,2	52,50	13,20	0,7	176
2,0369	7,9494				QE1+QE2_QUAD_ENT_ANTIGO	60	480	TRI	CU	2,750	4,800	4,787	12,749	16,96	9,8	38,98	9,80	0,7	176

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

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

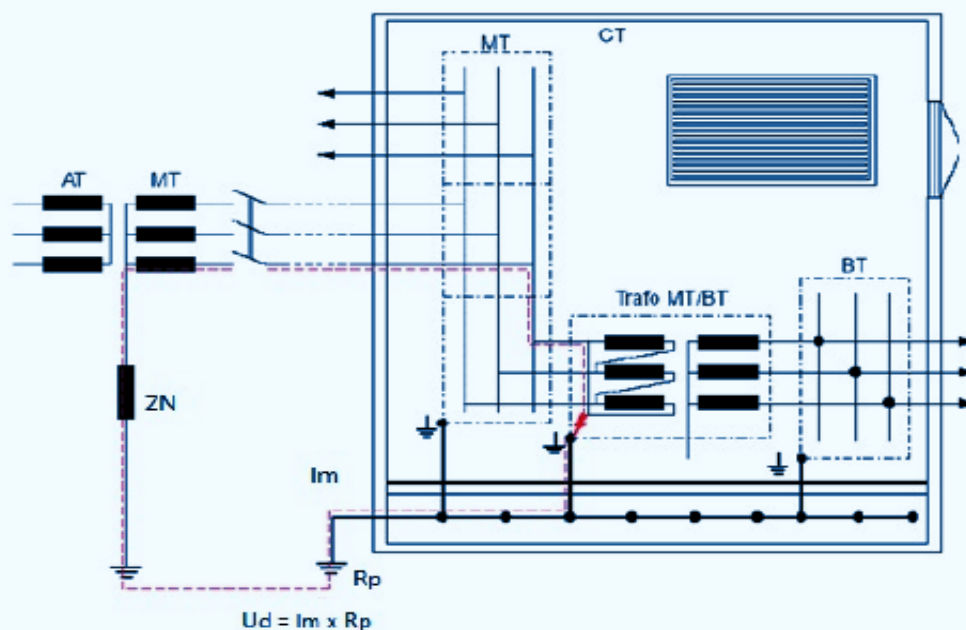


Figura 1A

O valor da resistência da terra das massas (R_p) 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 (I_m) 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 I_m .

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), obtém-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;

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)

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)

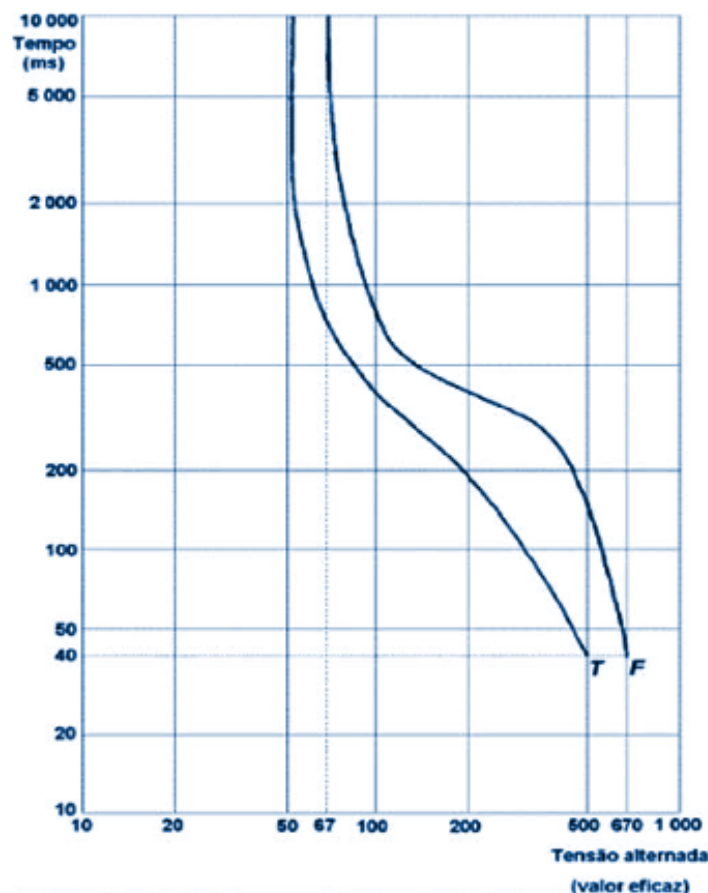


Figura 44A (Duração máxima da tensão de defeito (F) e da Tensão de contacto (T), resultante de um defeito à terra nas instalações de alta tensão)

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
<i>U_n - tensão nominal entre fase e terra da rede de baixa tensão</i>	

Quadro 44A (Tensão de esforço admissível nos equipamentos)

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;

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

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

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).

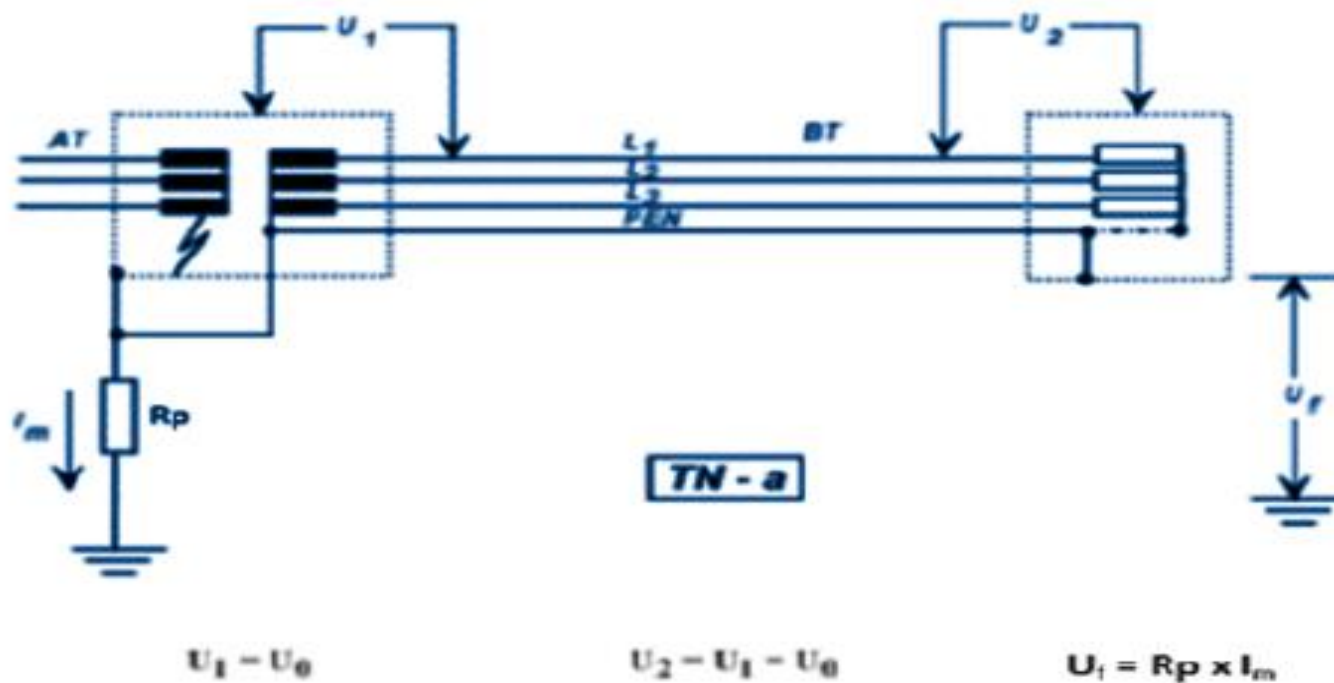


Figura (44B TN - a)

Assim, temos:

$$U_1 = U_0;$$

$$U_2 = U_1 = U_0;$$

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

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

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

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

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

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

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

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).

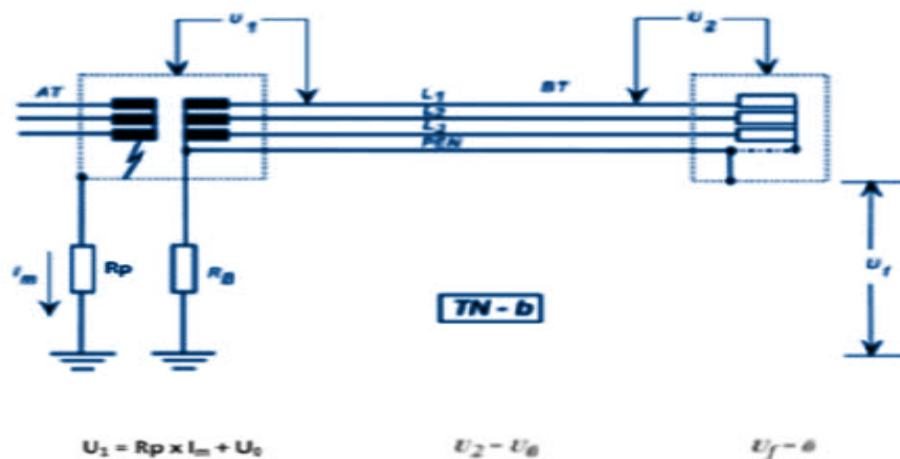


Figura (44B TN - b)

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:

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

ESQUEMA TT

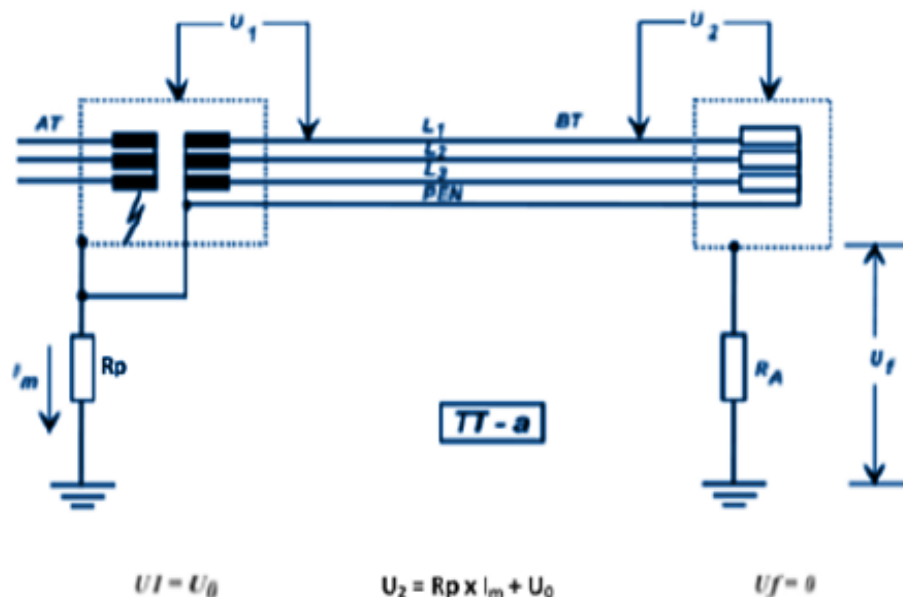


Figura (44C TT - a)

$$U1 = U0; \quad U2 = R_p \times I_m + U0; \quad U_f = 0;$$

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.

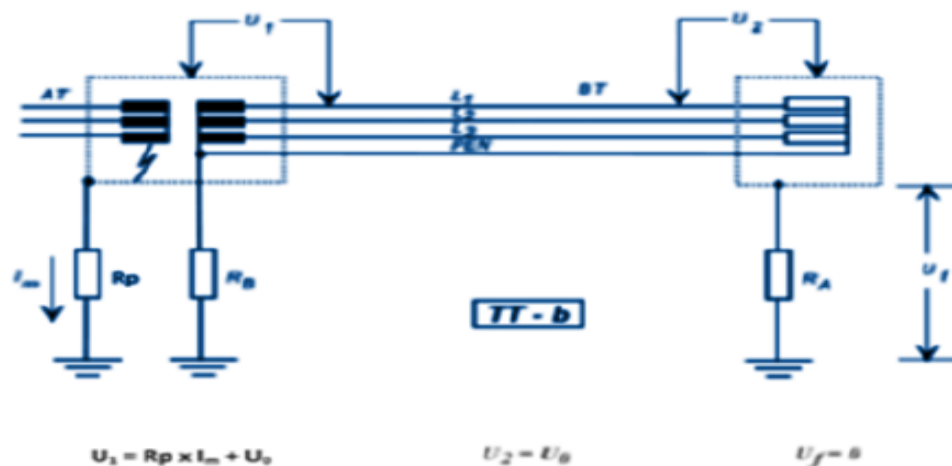


Figura (44C TT - b)

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

$$U_2 = U_0;$$

$$U_f = 0;$$

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.

Eng.º Ribeiro Fernandes



Obrigado pela vossa atenção.