

Os Perigos da Corrente Eléctrica e os Sistemas de Protecção



PIEL2

HJJRS

Os perigos da electricidade

O ser humano corre graves riscos ao ser percorrido pela corrente eléctrica

Limites da periculosidade da corrente eléctrica

Intensidade da corrente e tempo de duração à sua exposição

Frequência

Género

Idade

Estado de saúde

Percurso da corrente

Os perigos da electricidade

Reacções do corpo humano à passagem da corrente

Tetanização muscular

Paragem da respiração

Fibrilação cardíaca

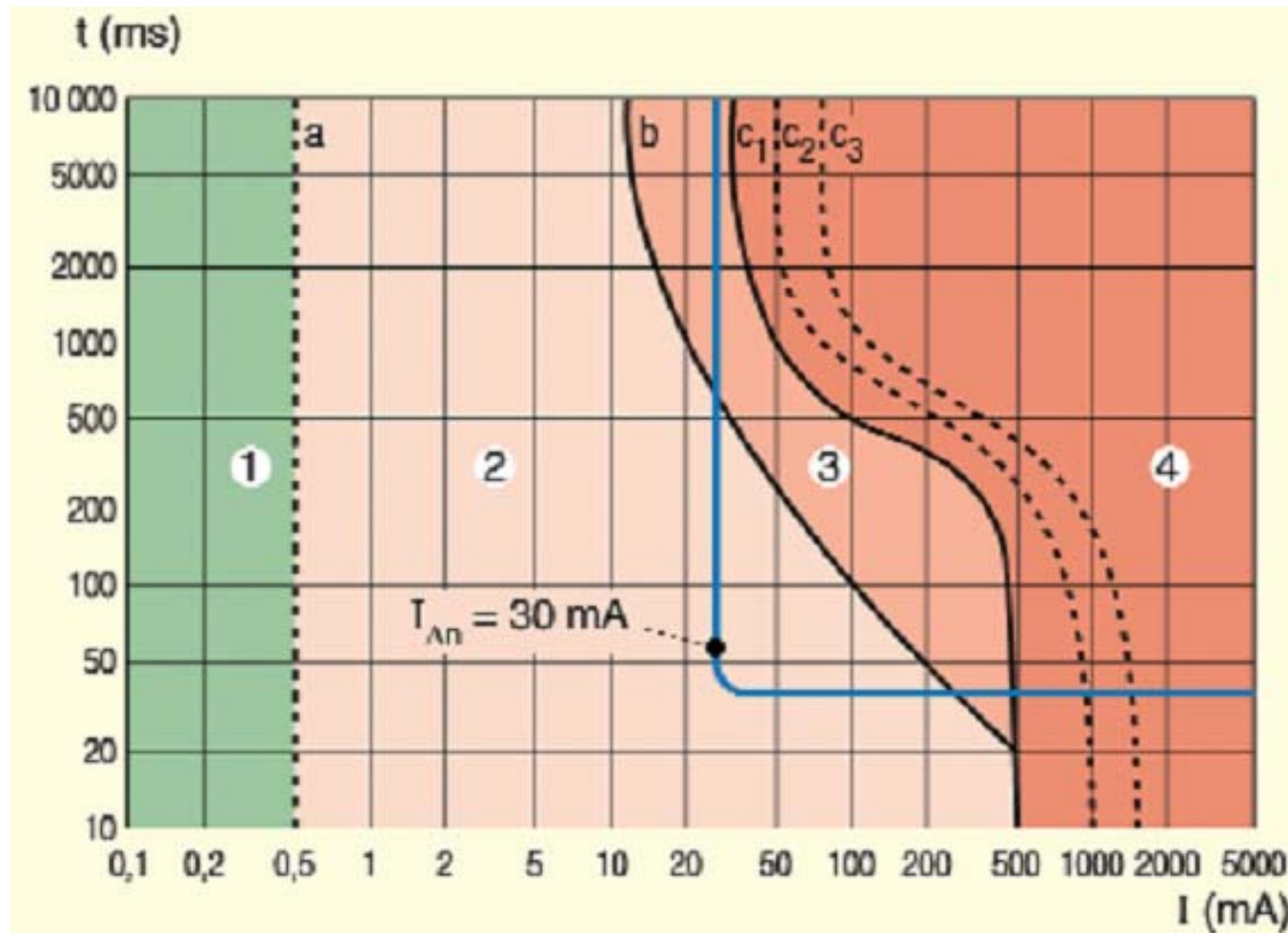
Os perigos da electricidade

Tetanização – contracção persistente e dolorosa dos músculos voluntários do corpo

Fibrilação ventricular – contracção desordenada dos ventrículos originando ondas reflectidas que os impedem de assegurar a circulação sanguínea

Os perigos da electricidade

Zonas de periculosidade da corrente eléctrica para frequências entre 15 e 100 Hz – CEI 60 479



Os perigos da electricidade

Zona 1 ($\leq 0,5$ mA) – Normalmente, nenhum efeito perceptível

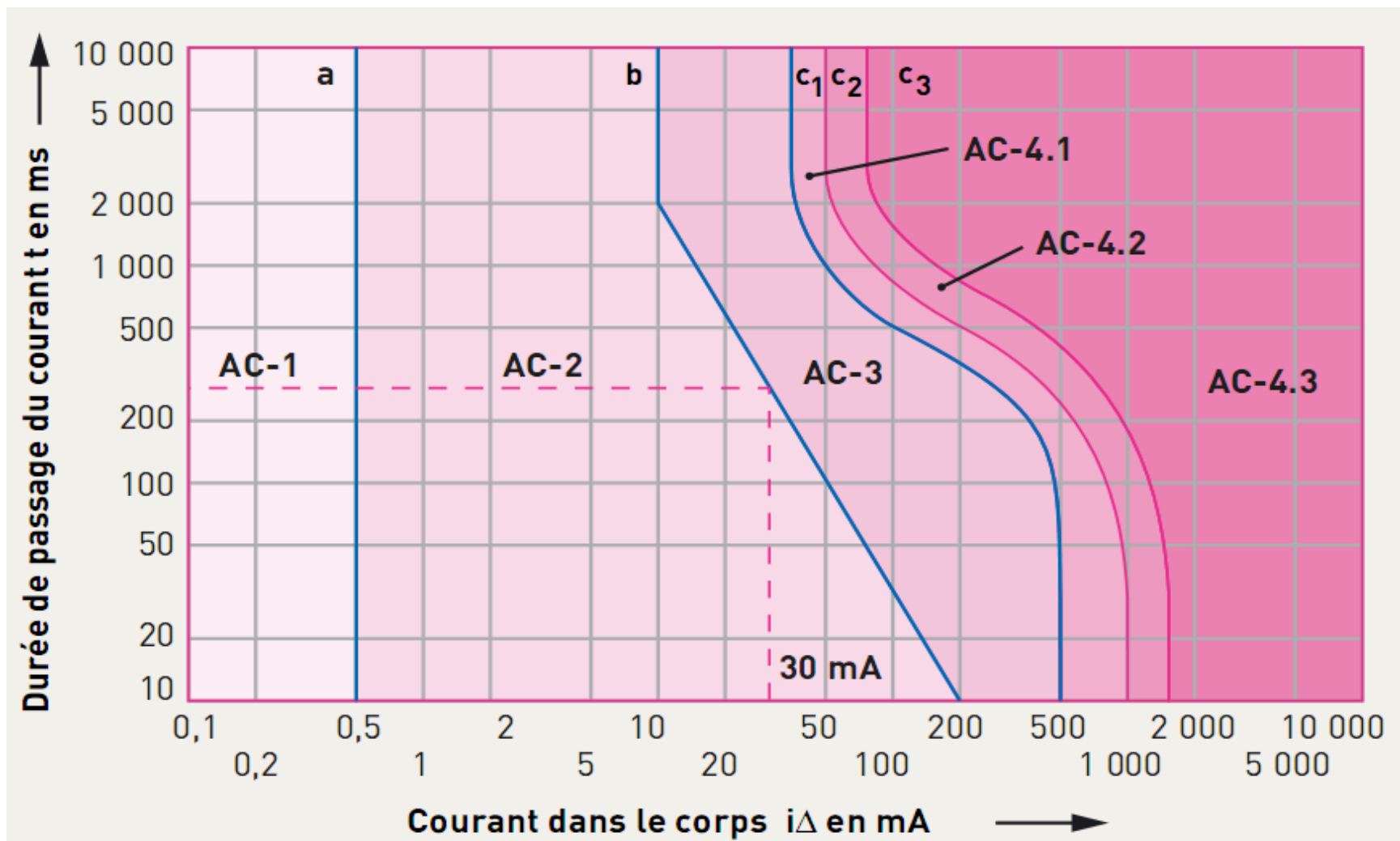
Zona 2 – Sente-se a passagem da corrente, mas não se manifesta qualquer reacção do corpo humano

Os perigos da electricidade

Zona 3 – Zona em que se manifesta o efeito de agarramento: uma pessoa empunhando o elemento causador do choque eléctrico já não consegue largá-lo. Contudo, não há sequelas após a interrupção da corrente.

Zona 4 - Probabilidade, crescente com a intensidade e duração da corrente, de ocorrência do efeito mais perigoso do choque eléctrico, que é a fibrilação ventricular

Os perigos da electricidade



Os perigos da electricidade

CEI 60 479-1

Zona	Efeitos fisiológicos
AC-1	Habitualmente nenhuma reacção
AC-2	Habitualmente nenhum efeito fisiológico perigoso
AC-3	Habitualmente nenhuma lesão orgânica; probabilidade de contracções musculares e dificuldades respiratórias para durações superiores a 2 s. Perturbações reversíveis nos impulsos cardíacos, sem fibrilação ventricular, aumentando com a intensidade da corrente e a duração da passagem da mesma

Os perigos da electricidade

AC-4	Com o aumento da intensidade e do tempo ocorrem efeitos patofisiológicos tais como: paragem do coração, paragem da respiração e queimaduras graves em complemento dos efeitos da zona 3
AC-4.1	Probabilidade de fibrilação ventricular até cerca de 5%
AC-4.2	Probabilidade de fibrilação ventricular até cerca de 50%
AC-4.3	Probabilidade de fibrilação ventricular superior a 50%

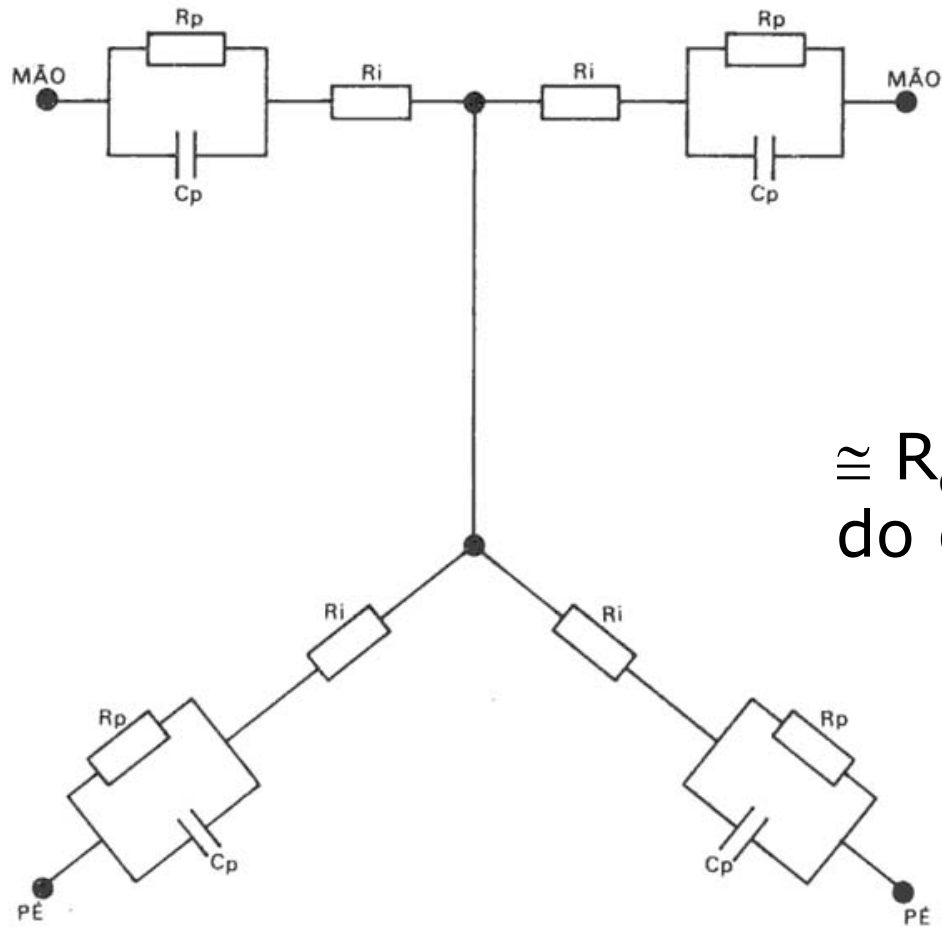
Resistência eléctrica do corpo humano

Modelo eléctrico do corpo humano

O corpo humano comporta-se como uma impedância hómica-capacitiva.

À frequência de 50 Hz é desprezável a componente capacitiva e o corpo humano pode ser representado por uma resistência R_c

Circuito equivalente do corpo humano



$\cong R_c$ - resistência
do corpo humano

Resistência do corpo humano

A resistência do corpo humano depende do:

- . Estado da pele
- . Superfície de contacto
- . Pressão de contacto
- . Duração do contacto
- . Tensão aplicada
- . Percurso da corrente

Resistência de terra

O terreno como dispersor

Um dispersor percorrido por uma corrente I desenvolve uma tensão U_T , relativamente a um ponto do infinito, dada por:

$$U_T = R_T \cdot I$$

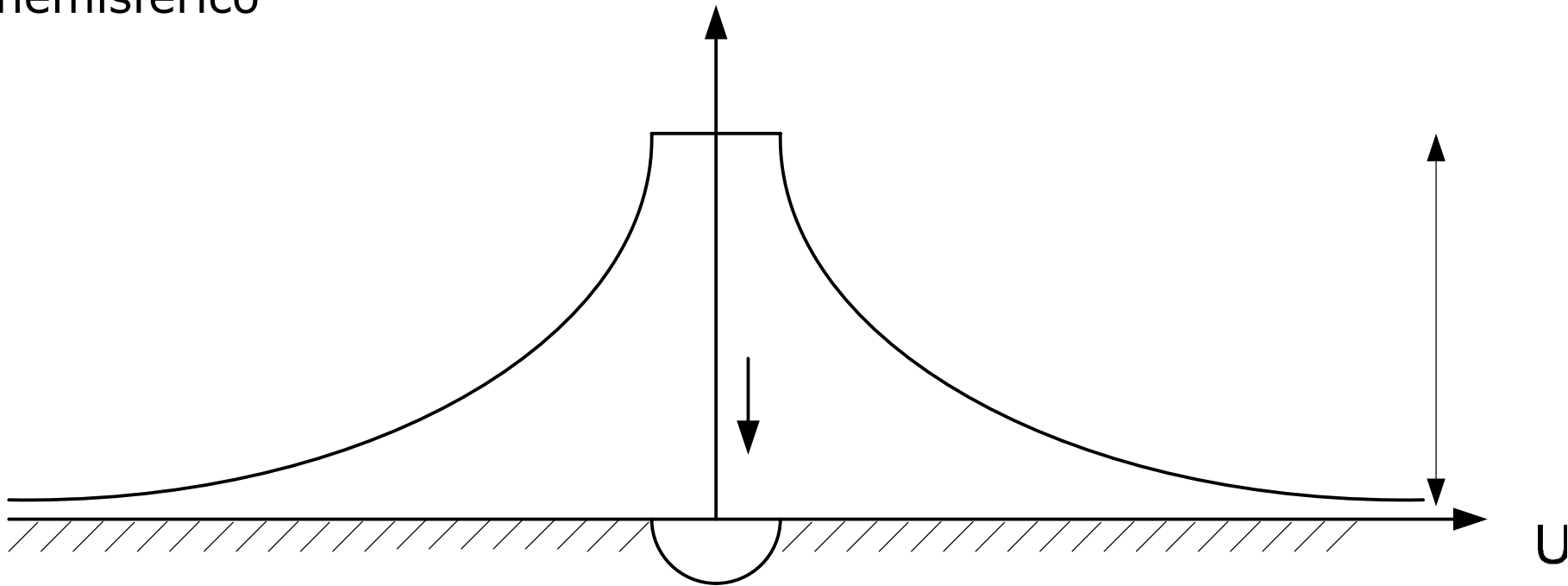
Tensão total da terra

$$R_T$$

Resistência da terra

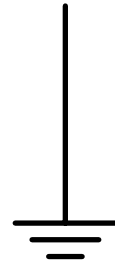
Tensão total de terra

Variação do potencial com
a distância para um eléctrodo
hemisférico



O terreno como condutor

Símbolo para um ponto ao potencial zero
(ponto no infinito)



Símbolo para a resistência de terra



Os pés atravessados por uma corrente fazem de dispersor tendo, portanto, uma resistência de terra

R_{TC}

O terreno como condutor

Curvas de segurança para as tensões admissíveis

$$U_C = (R_C + R_{TC}) I_d$$

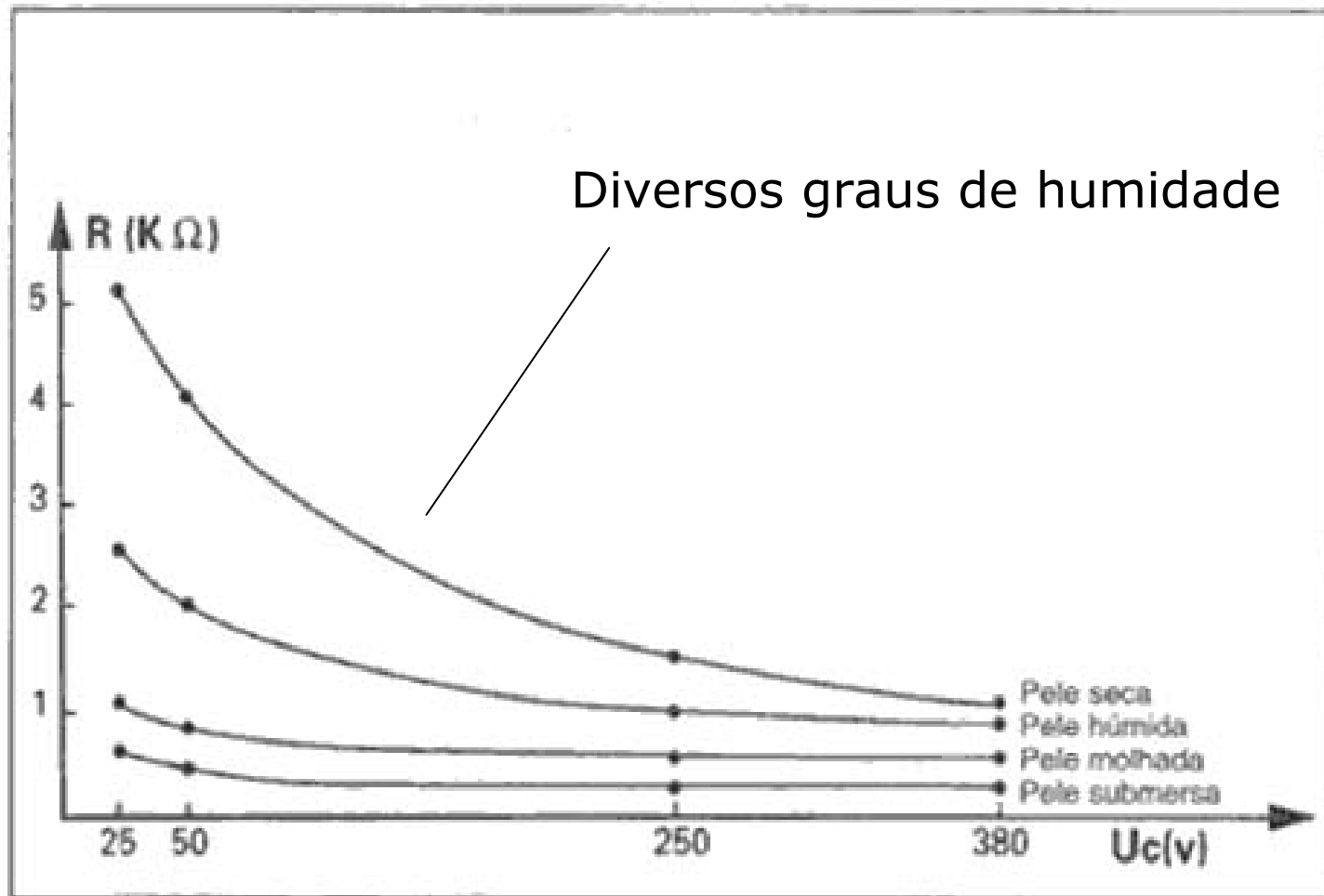
$$R_C = 1450 \, \Omega \text{ para } 50 \, V$$

$$\text{a } 650 \, \Omega \text{ para } 1000 \, V$$

$$R_{TC} = 1000 \, \Omega \text{ para condições normais}$$

$$= 200 \, \Omega \text{ em condições especiais}$$

Variação da resistência R_c com a tensão



Tensão de contacto e de passo

Tensão de contacto:

Tensão à qual pode estar sujeito o corpo humano em contacto com partes simultaneamente acessíveis em resultado de uma falha de isolamento

Tensão de passo:

Tensão aplicada aos pés de uma pessoa à distância de um passo (1 m) em caso de falha de isolamento

Tensão de contacto e de passo

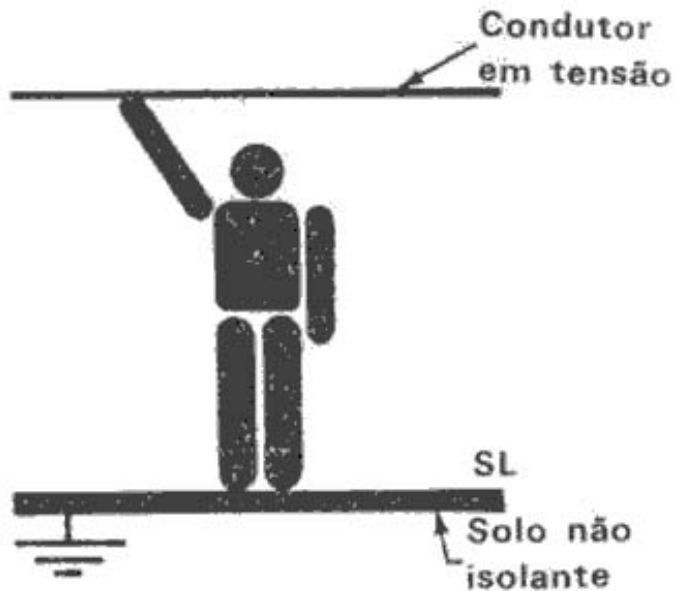
Valores e durações da tensão de contacto e de passo para sistemas de classes superiores à 1ª

Tempo (s)	Tensão (V)
≥ 2	50
1	70
0,8	80
0,7	85
0,6	125
$\leq 0,5$	160

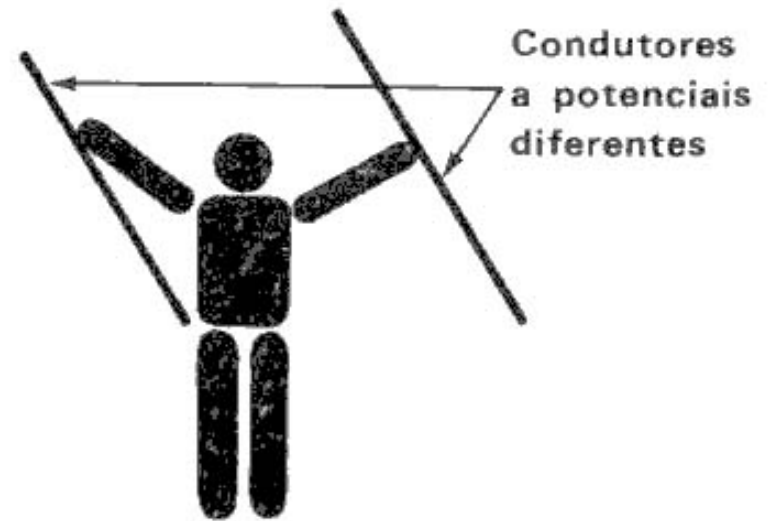
Contactos directos e indirectos

Contacto directo:

Contacto de uma pessoa com uma parte activa do equipamento



Contacto unipolar

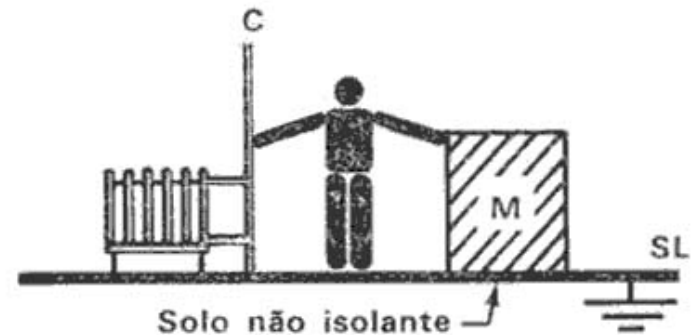
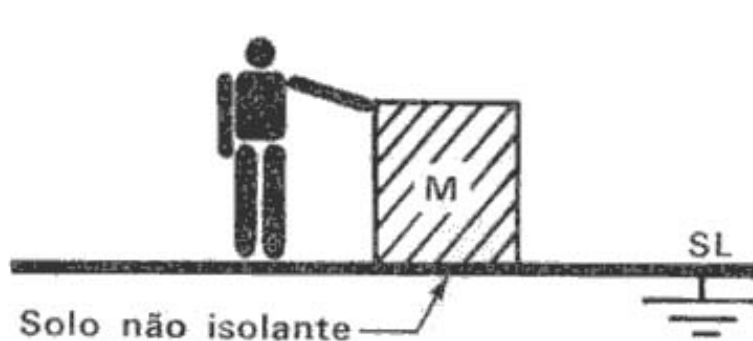


Contacto bipolar

Contactos directos e indirectos

Contacto indirecto:

Contacto de uma pessoa com uma massa em tensão em virtude de um defeito de isolamento



Contactos directos

Protecção contra os contactos directos

Medidas passivas (preventivas):

Sistemas de tensão nominal não superiores a 50 V
- sistemas TRS e TRP (protecção contra contactos directos e indirectos)

Sistemas de Tensão Reduzida

TRS – tensão reduzida de segurança (SELV – safety extra-low voltage)

TRP – tensão reduzida de protecção (PELV – protection extra-low voltage) - tensão reduzida de segurança, com um ponto do circuito do secundário ligado à terra

TRF – tensão reduzida funcional (FELV – Functional extra-low voltage)– tensão reduzida que não obedece às regras TRS nem TRP

Tensão Reduzida Funcional

TRF – Sistema em que:

1. Se utiliza, por questões de funcionalidade, uma tensão do domínio I
2. Não puderam ser verificadas todas as prescrições relativas à TRS ou à TRP
3. Não é necessária uma TRS ou uma TRP

Tensão Reduzida Funcional

Para este tipo de sistema, a norma CEI 60 364-4-41 descreve medidas a serem tomadas para garantir a protecção contra os contactos directos e indirectos, em função do local e utilização destes circuitos

Exemplo: circuitos com equipamentos, tais como transformadores, relés, interruptores de comando à distância e contactores, insuficientemente isolados relativamente a circuitos de tensões mais elevadas

Tensão Reduzida Funcional

Protecção contra os contactos directos:

- a. Utilização de barreiras ou invólucros com características apropriadas (IP 2X mínimo)
- b. Isolamento correspondente à tensão mínima exigida para o primário

Tensão Reduzida Funcional

Protecção contra os contactos indirectos (considerar um dos seguintes meios):

- a. Ligação das massas dos equipamentos do circuito TRF ao condutor de protecção do circuito primário, desde que este circuito satisfaça a uma das medidas de protecção por corte automático da alimentação
- b. Ligação das massas dos equipamentos do circuito TRF ao condutor de equipotencialidade, não ligado à terra, do circuito primário, quando neste último for aplicada a medida de protecção por separação eléctrica

Alimentação de Sistemas TRS e TRP

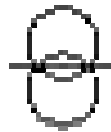
1. Transformador de segurança que satisfaça a norma EN 60 742
2. Fonte de corrente que garanta um grau de segurança equivalente ao de um transformador de segurança (motor-gerador, cujos enrolamentos apresentem uma separação equivalente)
3. Uma fonte electroquímica (pilhas ou acumuladores) ou qualquer outra fonte que não dependa de circuitos com tensão mais elevada (grupo gerador accionado por motor de combustão)

Alimentação de Sistemas TRS e TRP

4. Dispositivos electrónicos em relação aos quais tenham sido tomadas medidas para garantir que, mesmo em caso de defeito interno, a tensão aos terminais de saída não possa ser superior aos limites indicados, i.e., 50 V CA, 120 V CC.
5. Fontes móveis, tais como transformadores de segurança ou grupos motor-gerador, seleccionadas ou instaladas de acordo com as regras inerentes à medida de protecção por utilização de equipamentos da classe II ou por isolamento equivalente

Transformadores

Transformadores com separação de circuitos:
Transformadores em que o primário é isolado do secundário por um isolamento eléctrico:

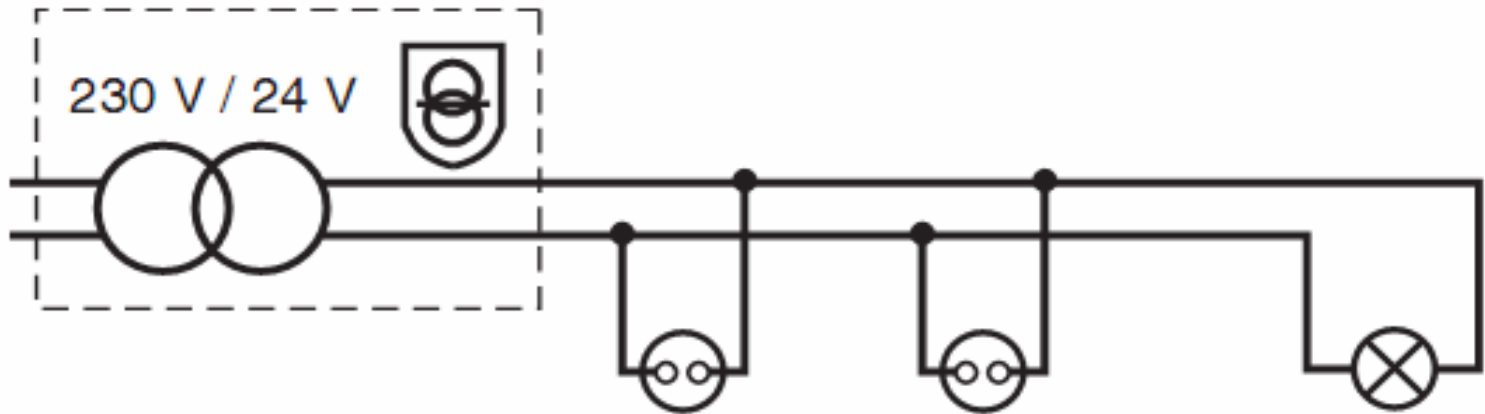


Transformadores de segurança: Transformadores de separação em que a tensão do secundário em vazio é inferior a **50V**



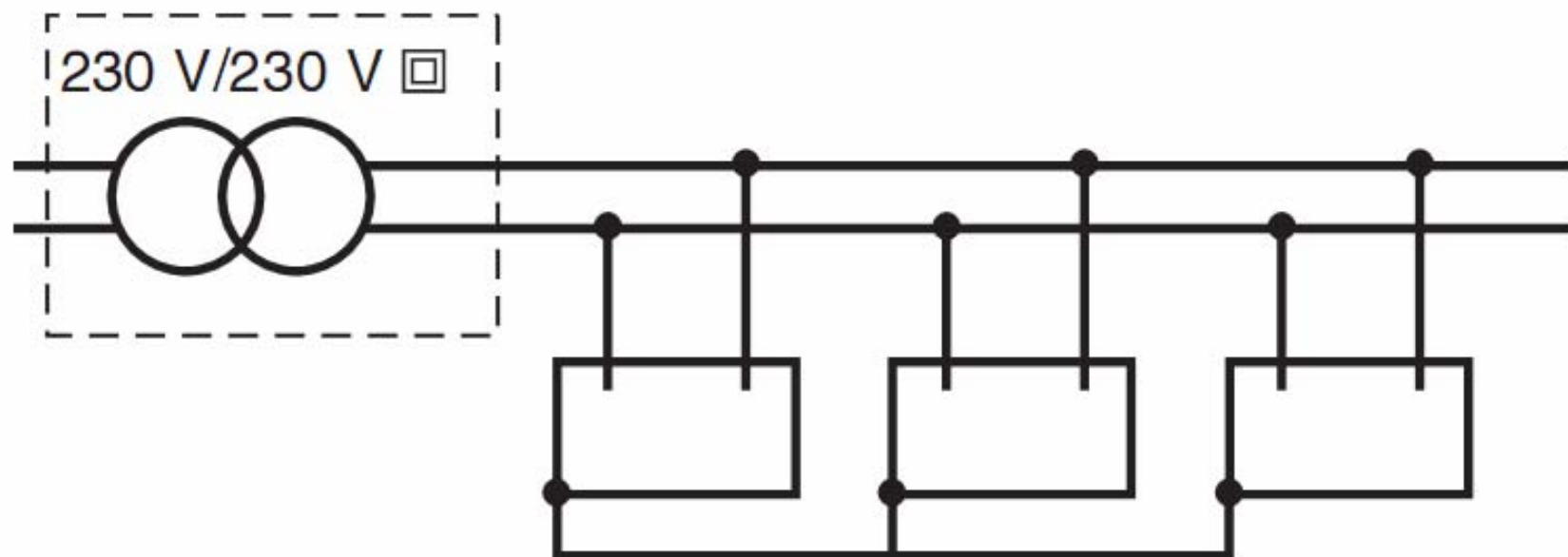
Tensão Reduzida de Segurança

Alimentação de um circuito com transformador de segurança



Isolamento dos Circuitos

Alimentação de um circuito através de transformador de isolamento da classe II



Para ligações relativamente curtas com elevado valor de resistência de isolamento – preferencialmente alimentando uma só carga

Protecção contra Contactos Directos

Isolamento principal adequado

Invólucros e barreiras com graus de protecção adequados (IP 2X mínimo)

Afastamento e interposição de obstáculos

Protecção complementar por dispositivos sensíveis à corrente diferencial-residual (DDRs ou diferenciais) – DDRs com $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$

Protecção contra Contactos Indirectos

Corte automático da alimentação

Tensão limite convencional U_L :

a. 50 V Corrente alternada

b. 120 V Corrente contínua

Sistemas de Protecção

1ª letra

T - ligação do neutro do sistema à terra

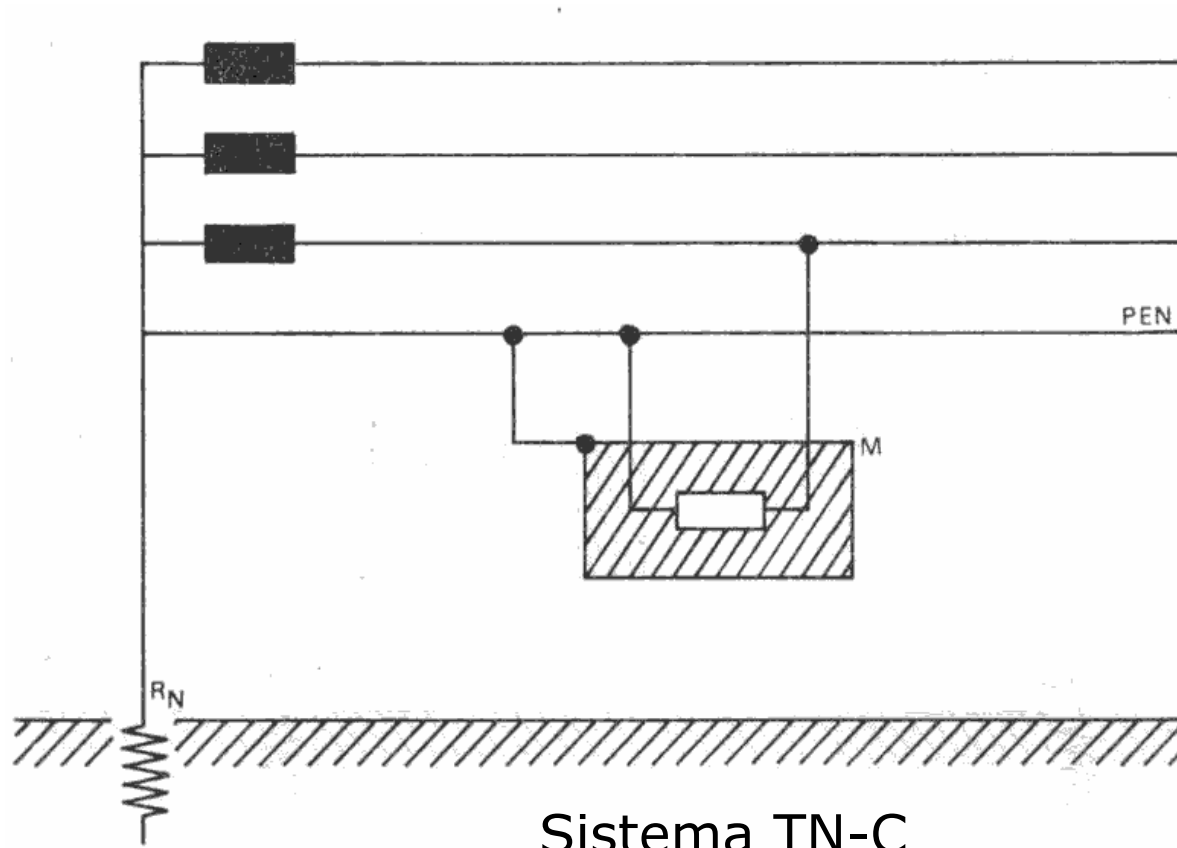
I – neutro isolado da terra ou ligado através de impedância

2ª letra

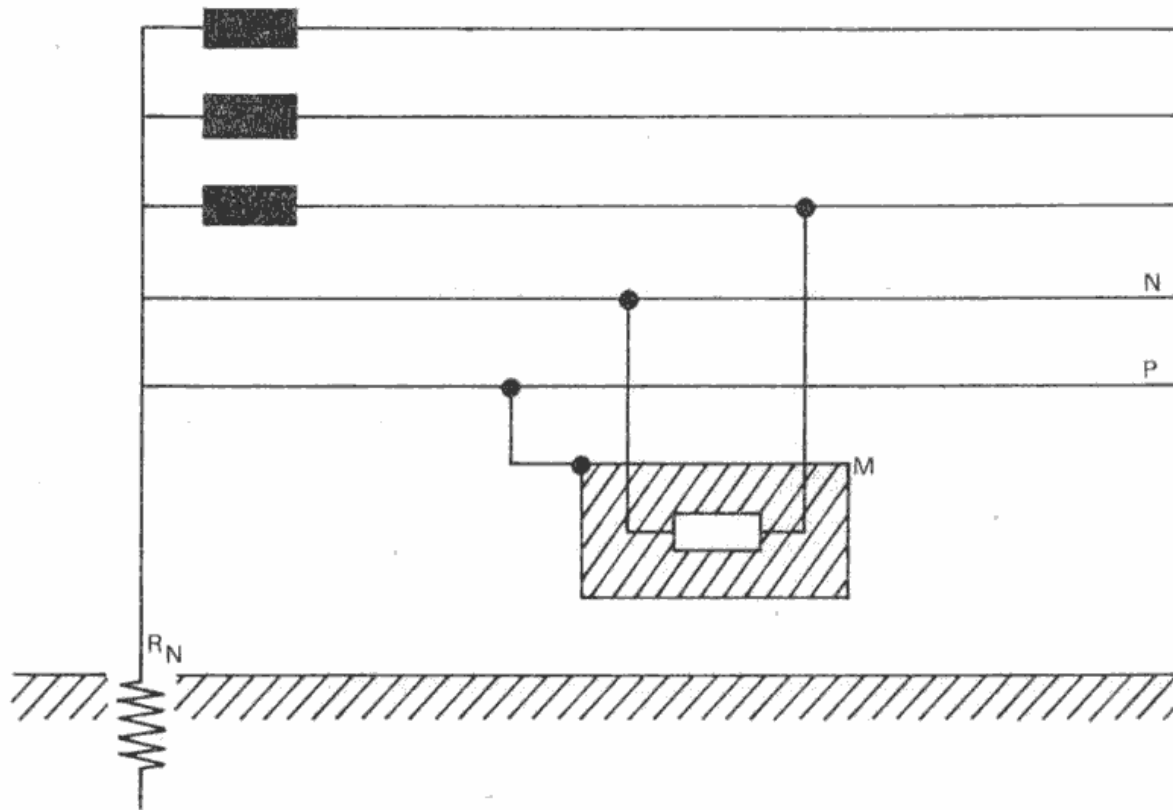
T – massas ligadas a uma terra própria

N – massas ligadas ao neutro do sistema

Sistemas de protecção

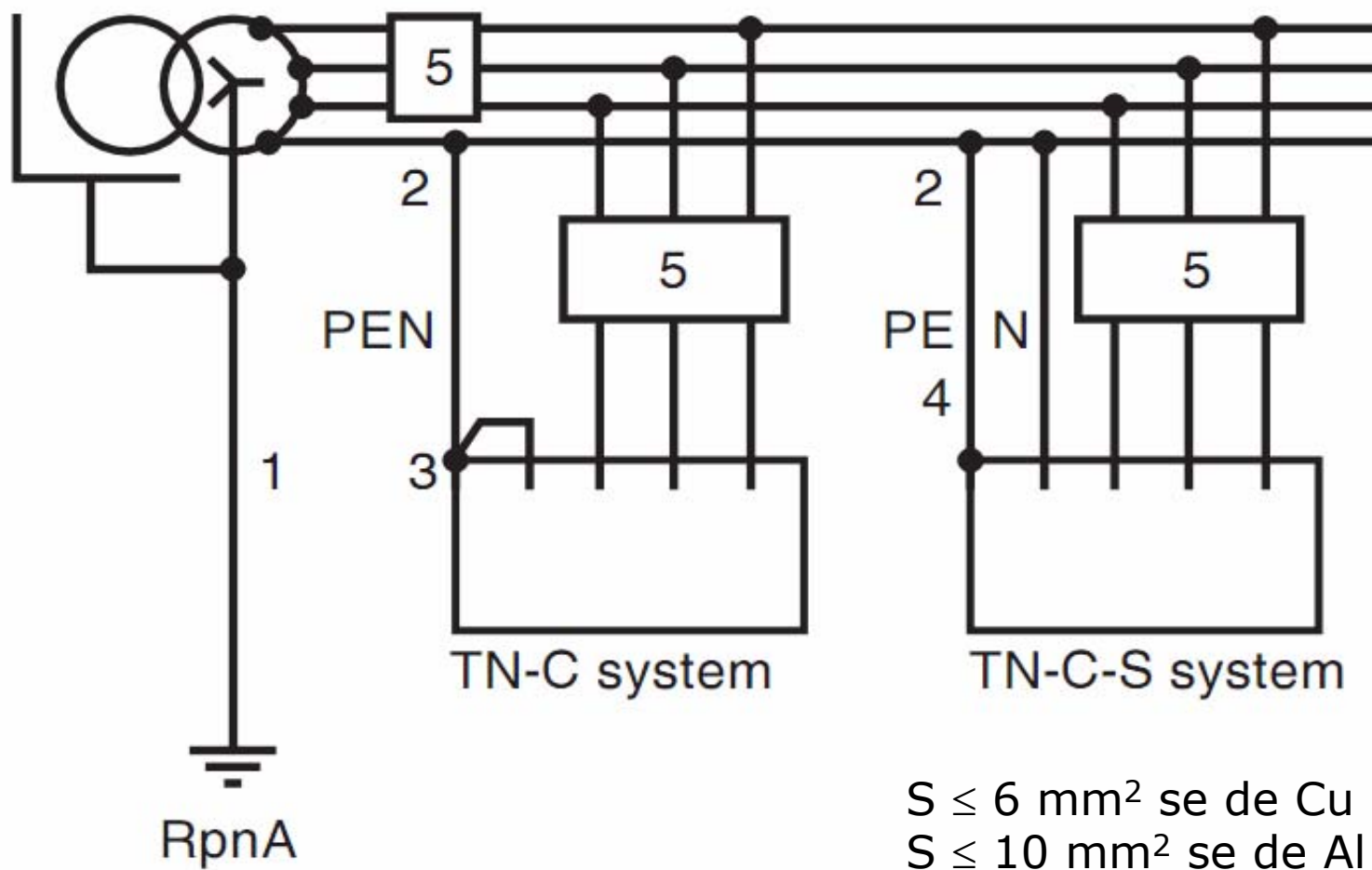


Sistemas de protecção



Sistema TN-S

Sistemas de Protecção



Sistema TN

Tempos de corte máximos no esquema TN

Tensão nominal U_o (V)	Tempos de corte t (s)
120	0,8
230	0,4
277	0,4
400	0,2
>400	0,1

Sistema TN

$$Z_s I_a \leq U_0$$

Z_s impedância da malha de defeito

I_a corrente que garante o funcionamento do dispositivo de protecção no tempo especificado na tabela e não superior a 5 s (quando a protecção for assegurada por DDR será a corrente diferencial-residual nominal)

U_0 é a tensão nominal entre fase e terra

Sistema TN

Influência da reactância na impedância total do cabo

Core size (mm ²)	Value of resistance
S = 150 mm ²	R+15%
S = 185 mm ²	R+20%
S = 240 mm ²	R+25%

Sistema TN

Advertências!

No sistema TN-C não devem ser utilizados dispositivos diferenciais

No sistema TN-C-S quando se utilizarem dispositivos diferenciais não deve existir condutor PEN a jusante desses dispositivos

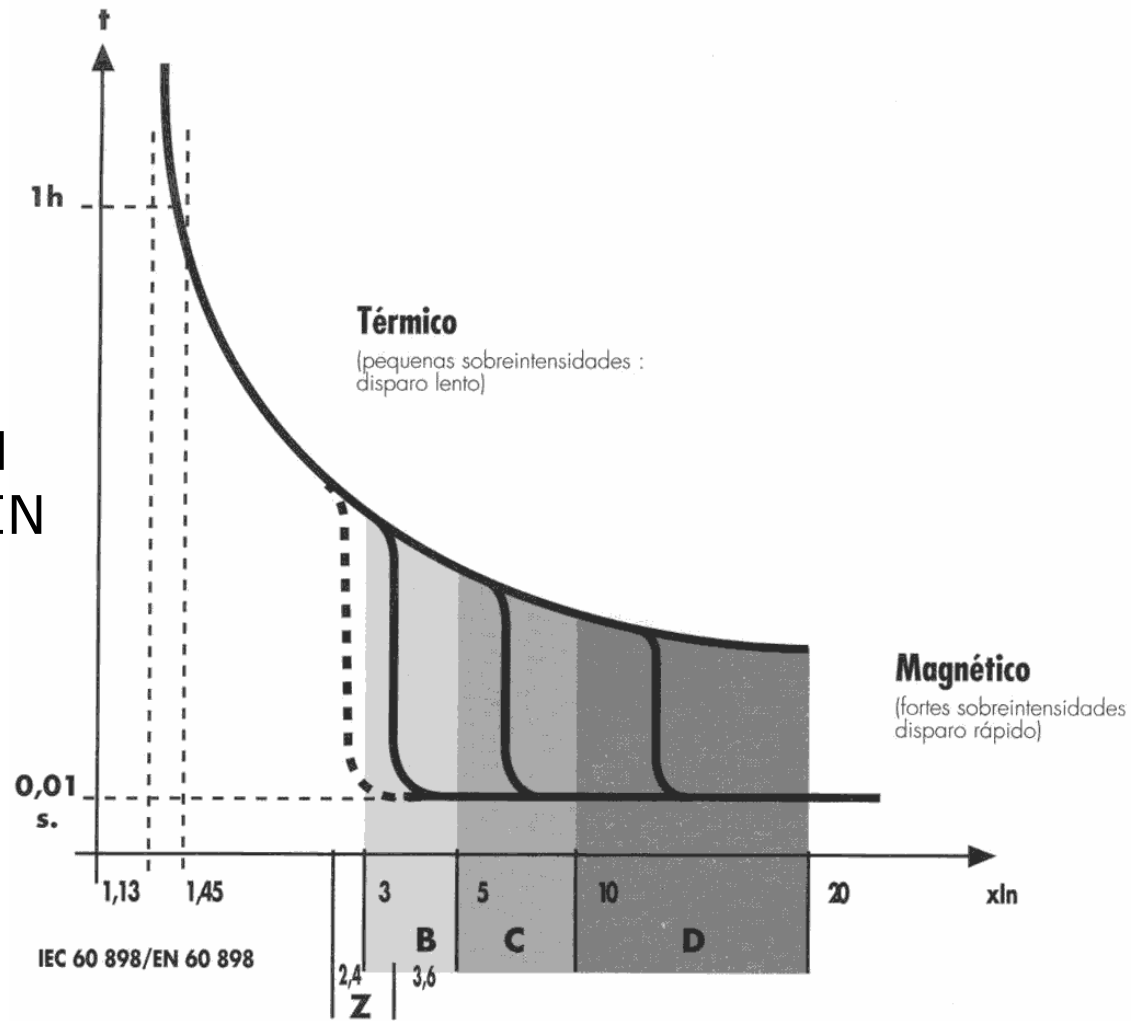
Sistema TN

Disjuntores norma EN
60 898

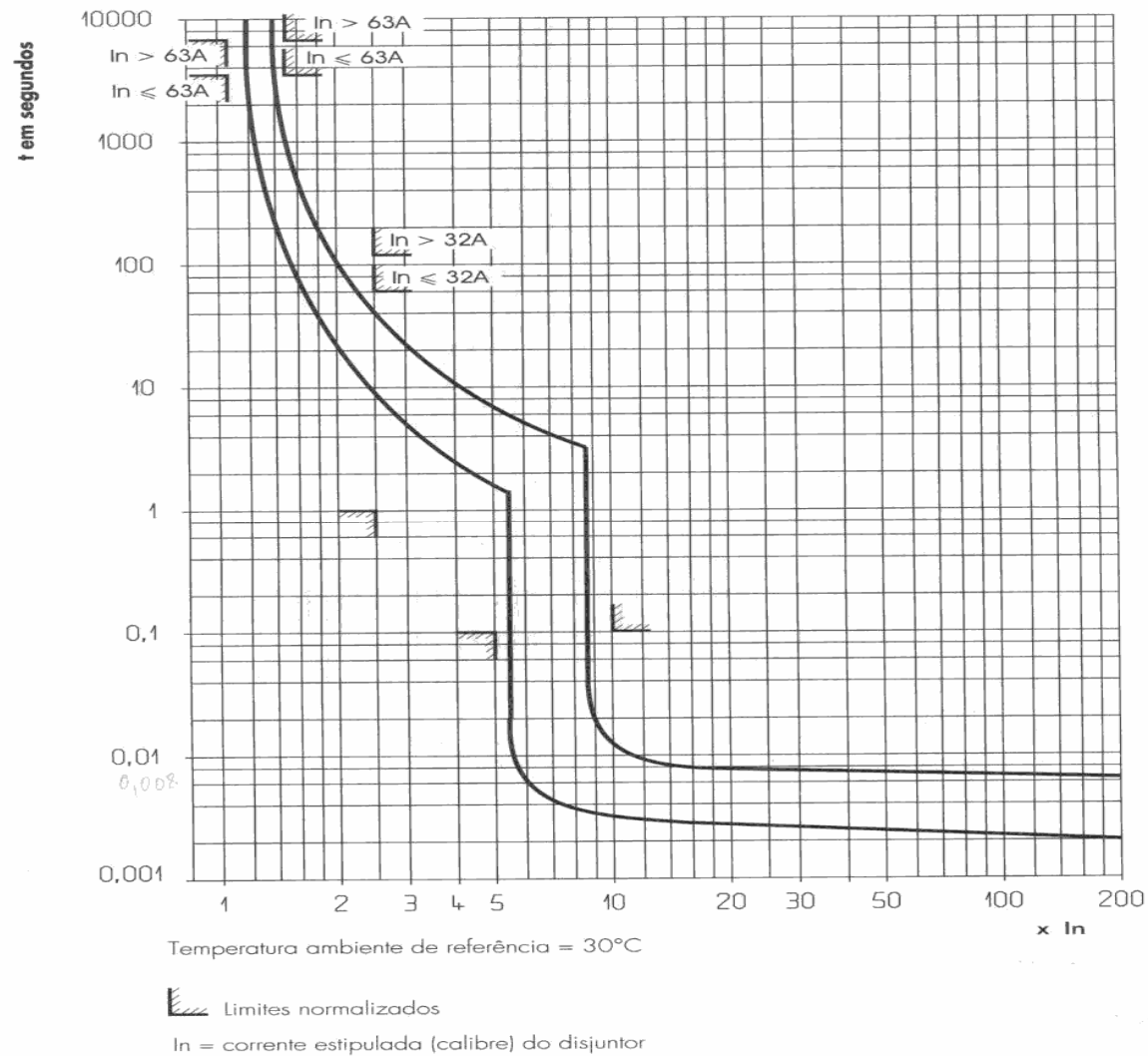
Curva B $I_m = 3 - 5 I_N$

Curva C $I_m = 5 - 10 I_N$

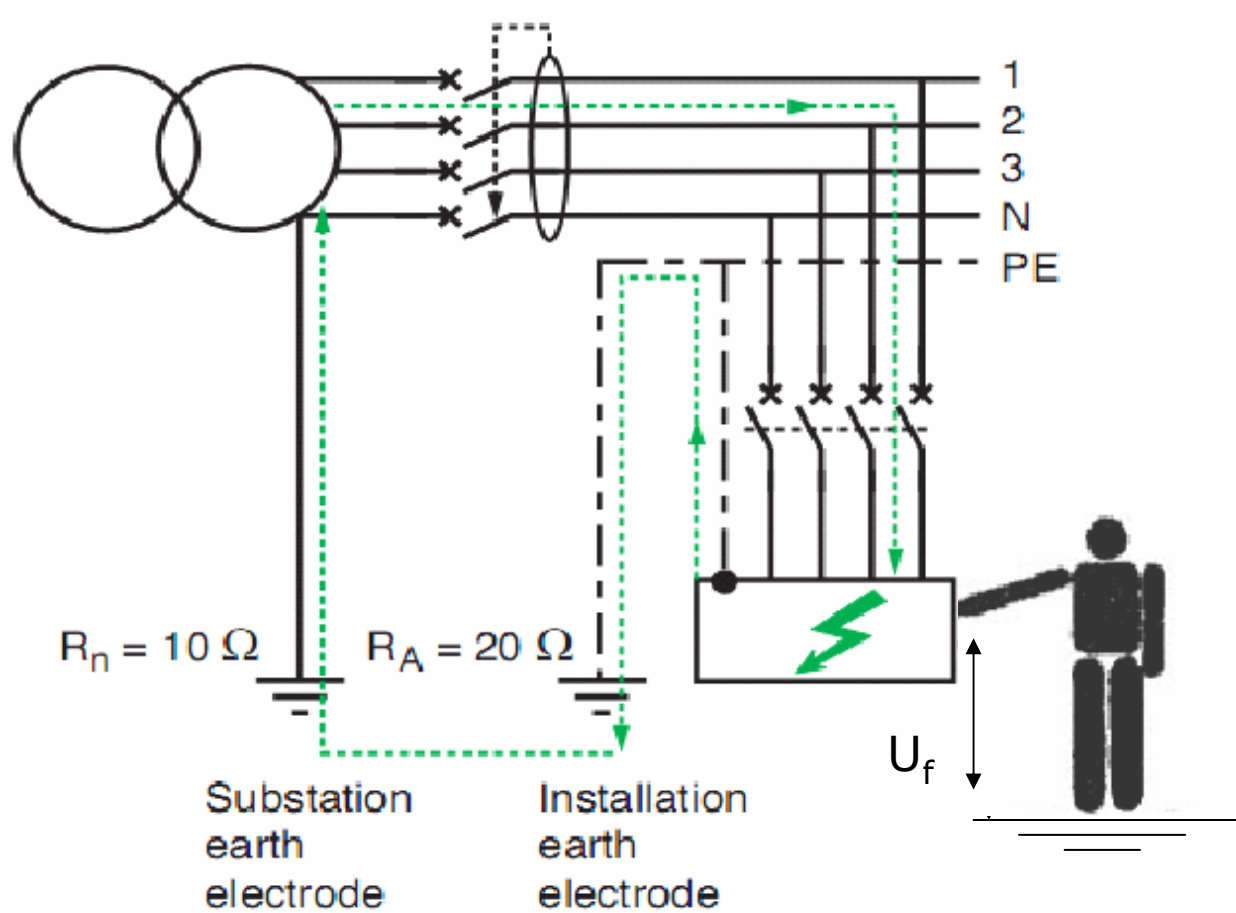
Curva D $I_m = 10 - 20 I_N$



Sistema TN



Sistema TT



Sistema TT

Condição de segurança:

$$R_A I_a \leq 50$$

R_A – soma das resistências do eléctrodo de terra e dos condutores de protecção das massas

I_a – corrente que garante o funcionamento automático do dispositivo (igual a $I_{\Delta N}$ para aparelhos diferenciais)

Sistema TT

Tempos máximos de actuação para diferentes U_0

$U_0^{(1)}$ (V)	T (s)
$50 < U_0 \leq 120$	0.3
$120 < U_0 \leq 230$	0.2
$230 < U_0 \leq 400$	0.07
$U_0 > 400$	0.04

(1) U_0 is the nominal phase to earth voltage

Sistema TT

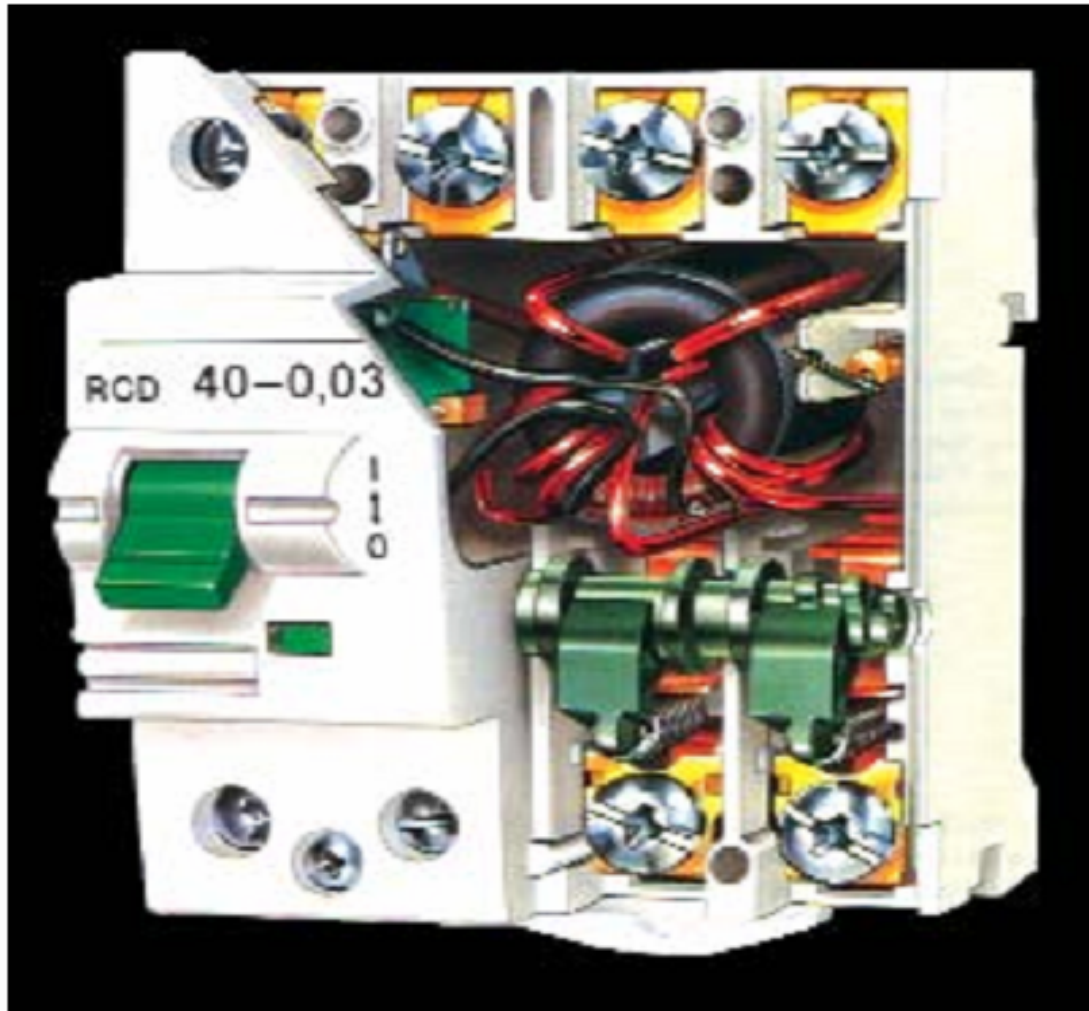
Tempos de actuação em função da corrente de defeito

$x I_{\Delta n}$		1	2	5	> 5
Domestic	Instantaneous	0.3	0.15	0.04	0.04
	Type S	0.5	0.2	0.15	0.15
Industrial	Instantaneous	0.3	0.15	0.04	0.04
	Time-delay (0.06)	0.5	0.2	0.15	0.15
	Time-delay (other)	According to manufacturer			

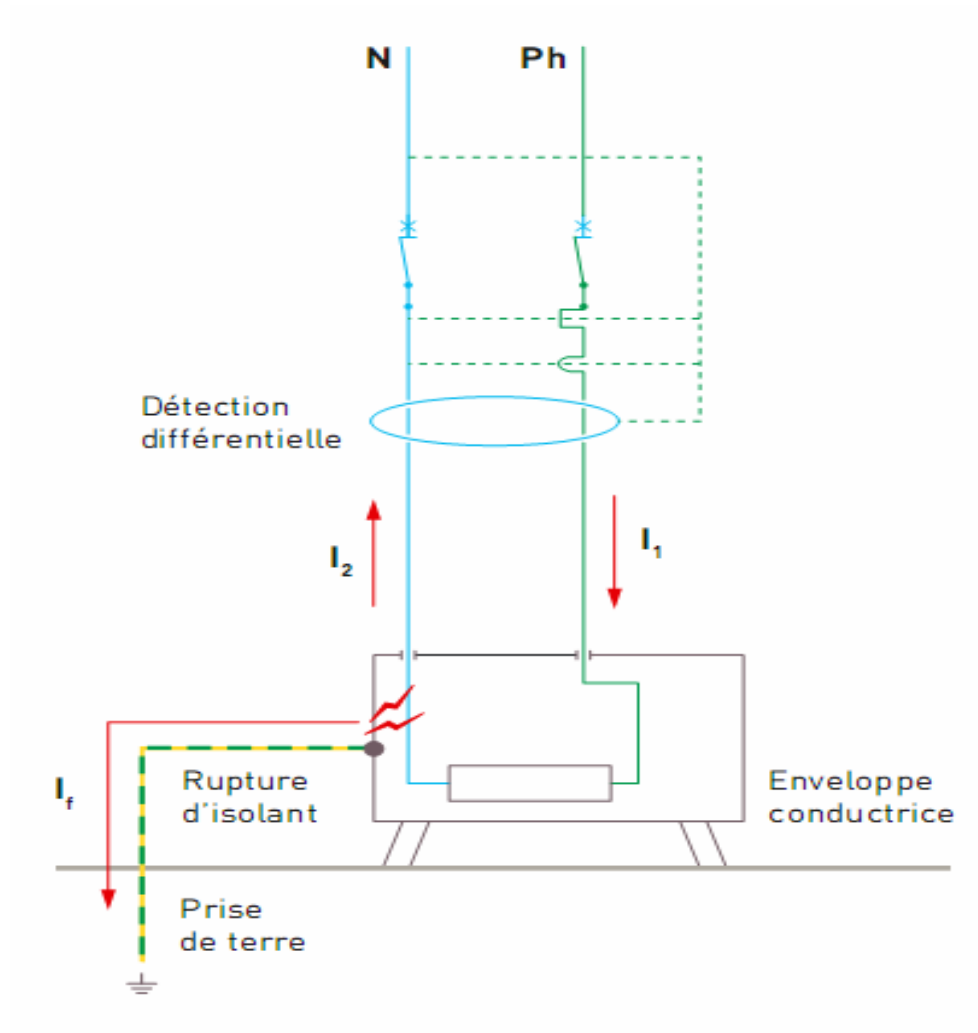
Sistema TT

$I\Delta n$	Maximum resistance of the earth electrode	
	(50 V)	(25 V)
3 A	16 Ω	8 Ω
1 A	50 Ω	25 Ω
500 mA	100 Ω	50 Ω
300 mA	166 Ω	83 Ω
30 mA	1666 Ω	833 Ω

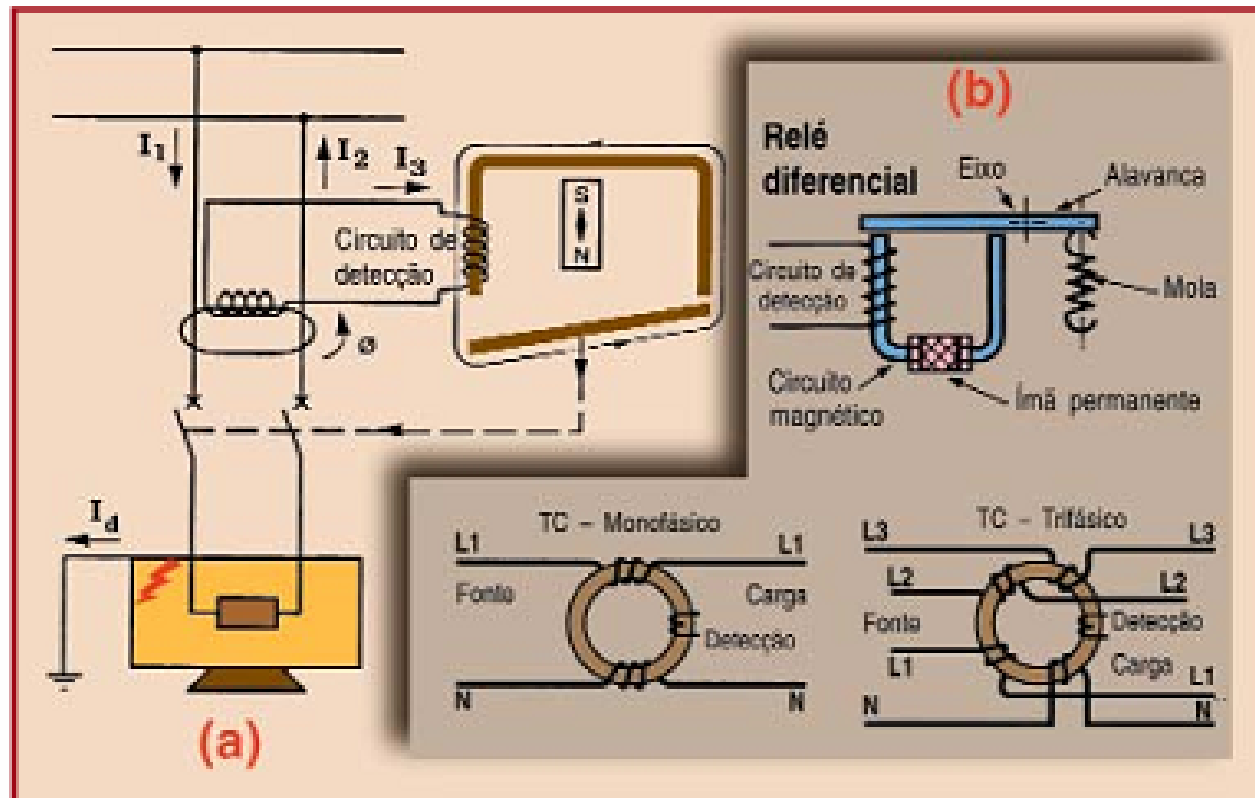
Constituição de um DDR



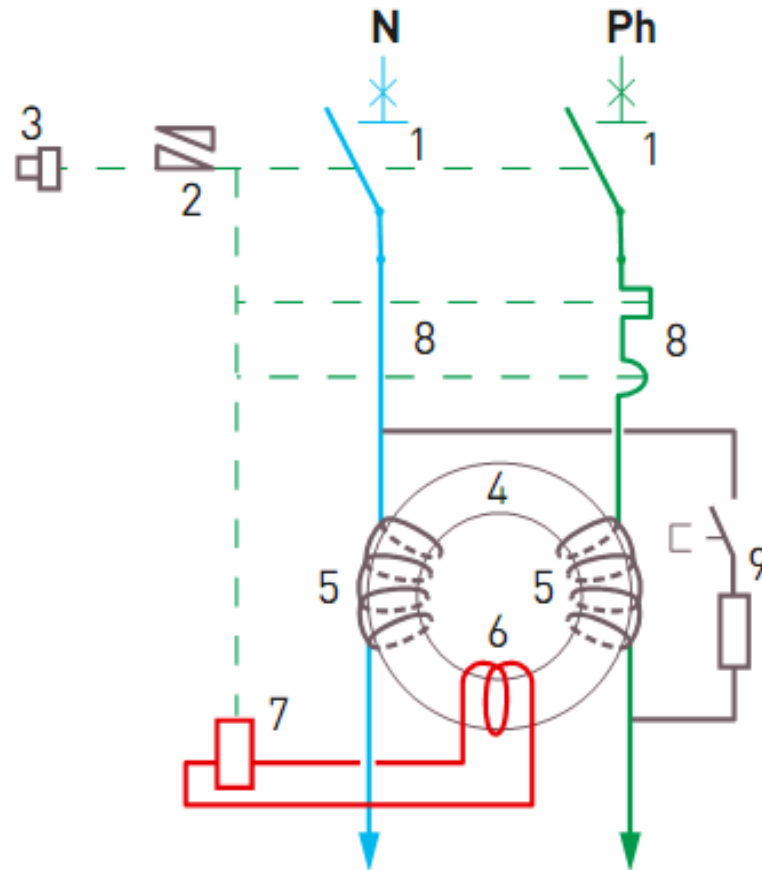
Actuação de um DDR (Disjuntor)



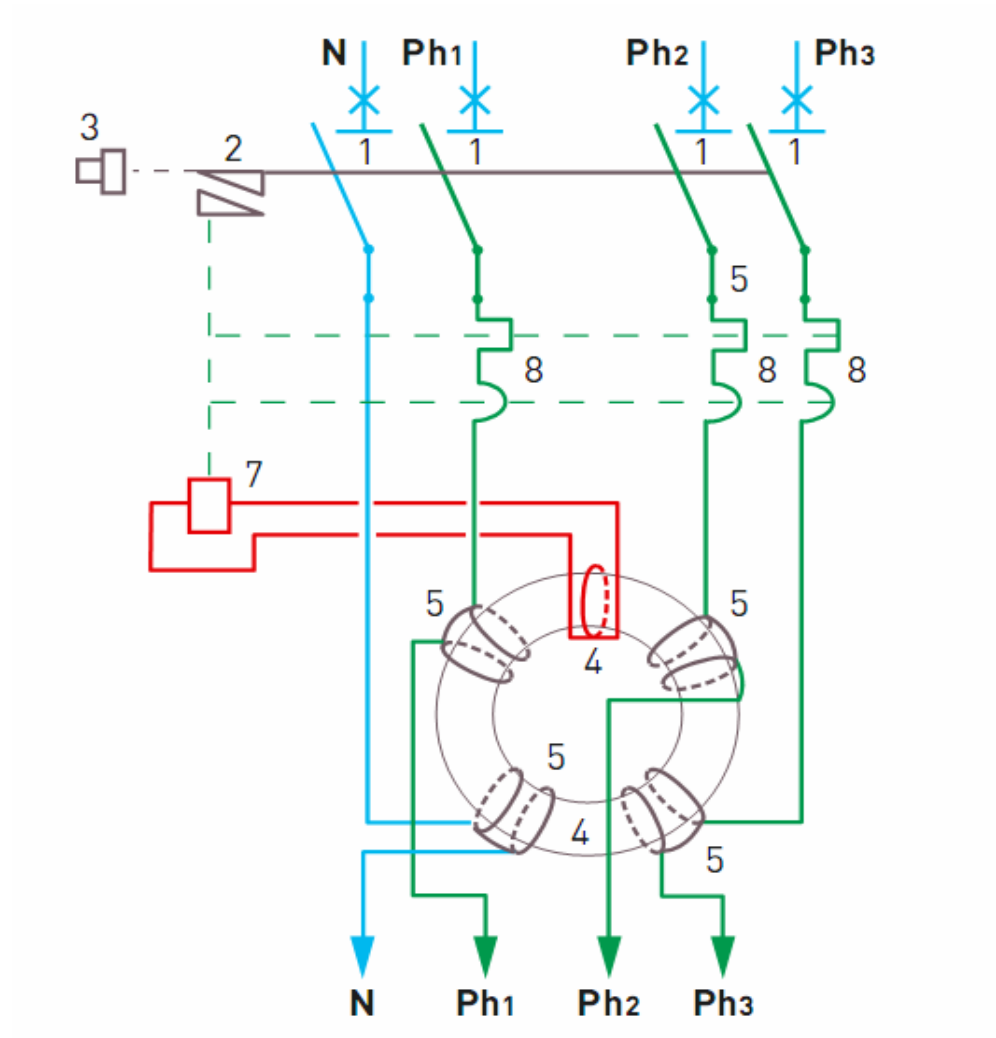
Princípio de Funcionamento



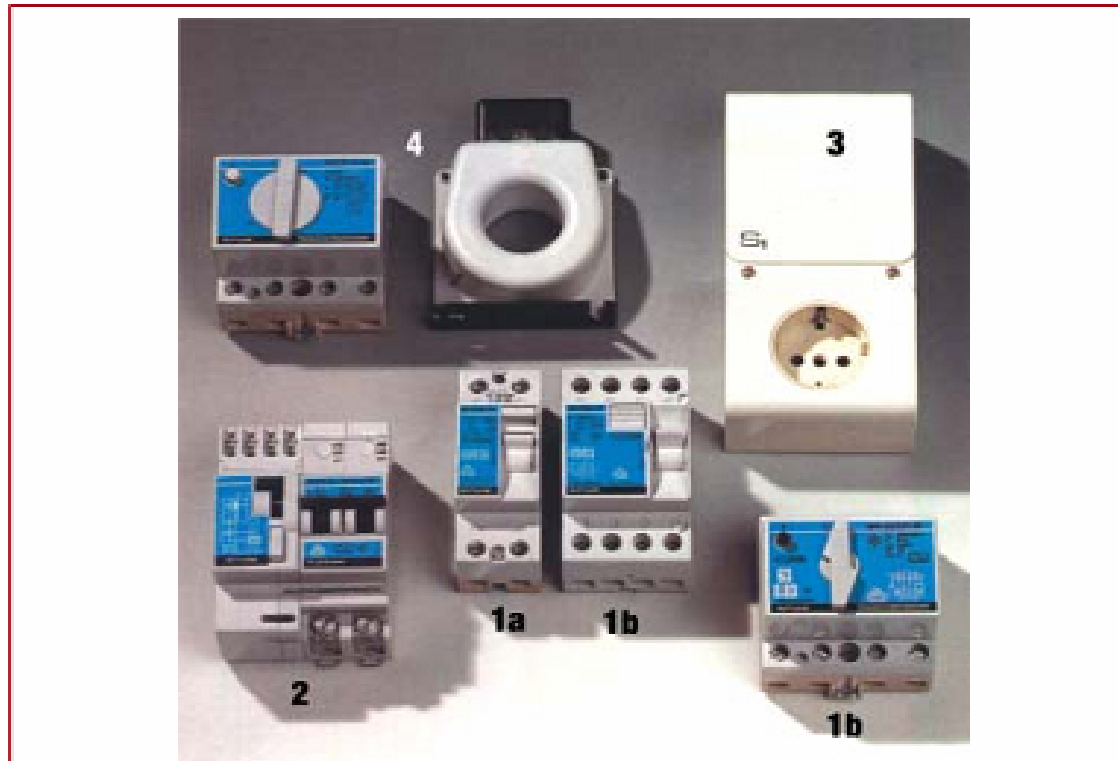
DDR Bipolar



DDR Tetrapolar





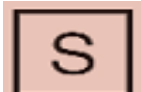



Tipos de DDRs

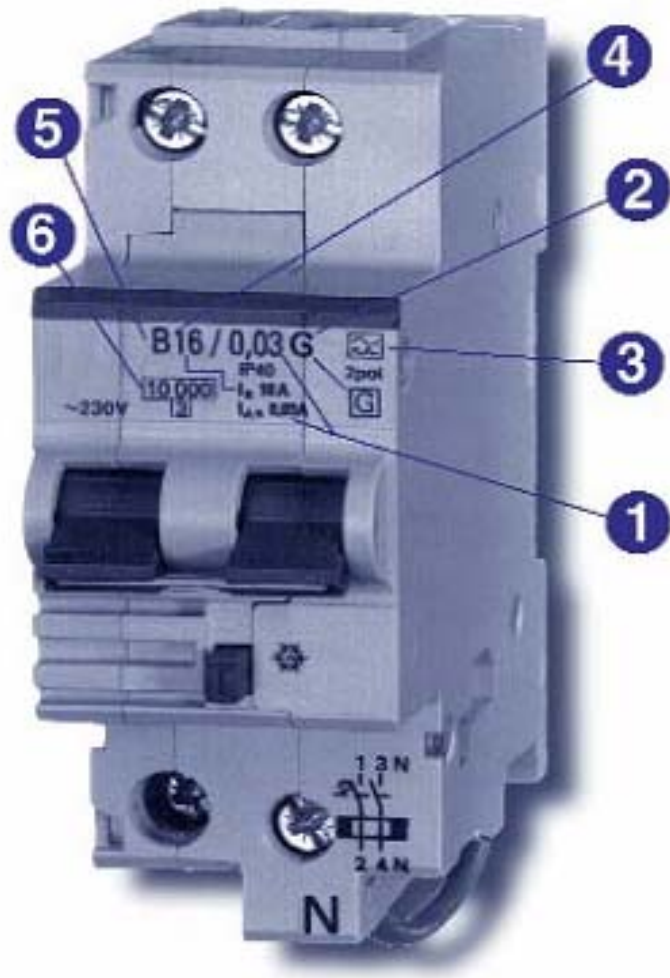


As normas referem-se a "dispositivos diferenciais" de forma genérica. Isso significa que o "dispositivo" pode ser um interruptor diferencial (bipolar, 1a, ou tetrapolar, 1b), um disjuntor diferencial (2), uma tomada diferencial (3) ou, ainda, um relé diferencial e respectivo TC toroidal (4) — associados, neste último caso, ao disparador de um disjuntor ou contator

Símbolos

	DDR do tipo AC, sensível a correntes alternadas
	DDR do tipo A, sensível à CA e correntes contínuas pulsantes
	DDR do tipo B, sensível a CC constantes ou praticamente constantes (lisas)
	Instantâneo ou de uso geral G
	Tipo S ou selectivo, com atraso
	Imunidade garantida contra actuação incorrecta devido a transitórios (até um certo nível)

Símbolos



1. Sensibilidade 30 mA
2. Tipo G (instantâneo)
3. Tipo A (sensível a CA e CC pulsante)
4. Corrente nominal 16 A
5. Disjuntor diferencial (curva B de disparo magnético 3 a $5 \times I_N$)
6. Poder de corte 10 kA

Sistema TT

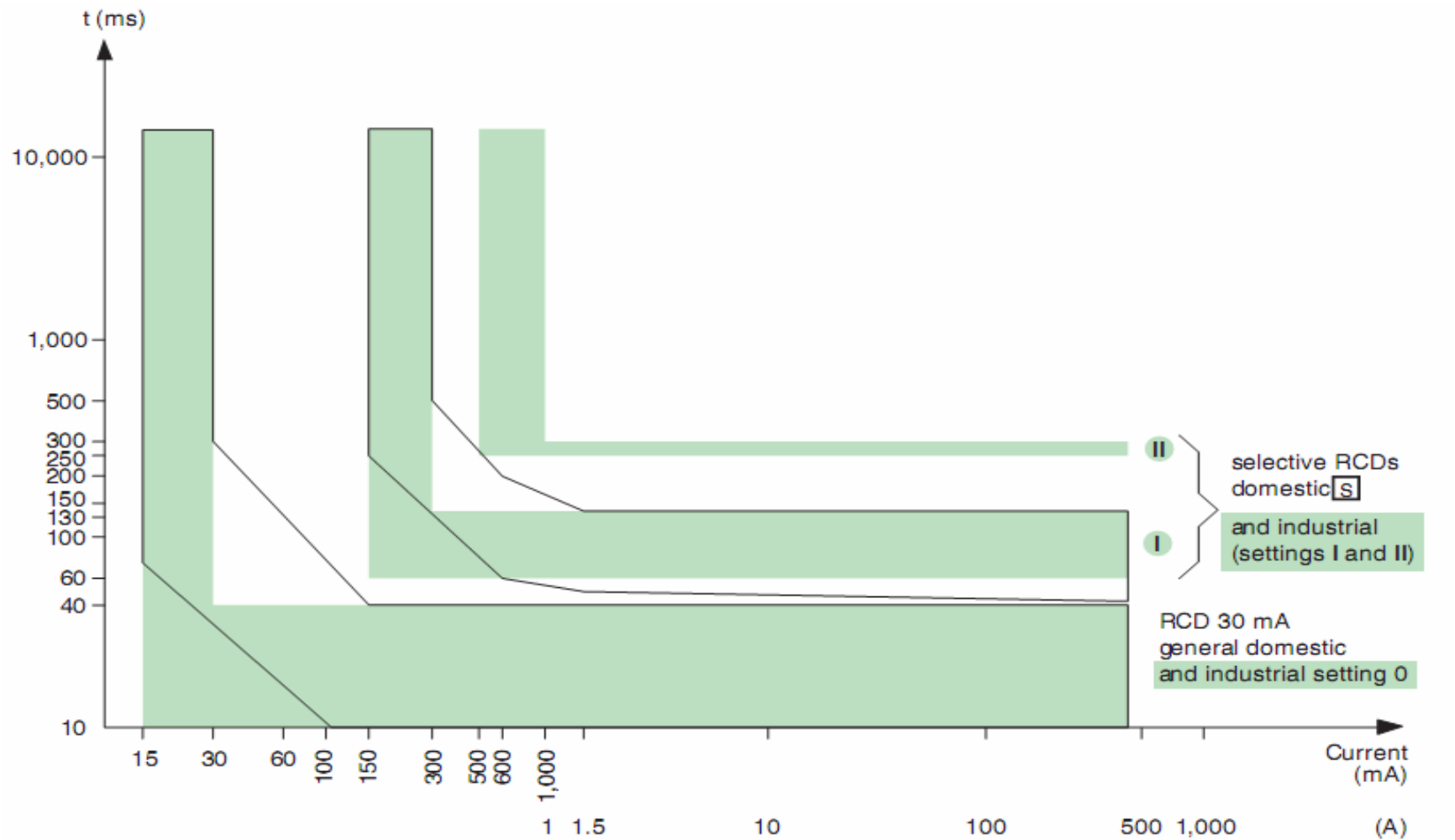
Sensibilidade:

Baixa sensibilidade $I_{\Delta N} > 1 \text{ A}$

Média sensibilidade $0,030 < I_{\Delta N} \leq 1 \text{ A}$

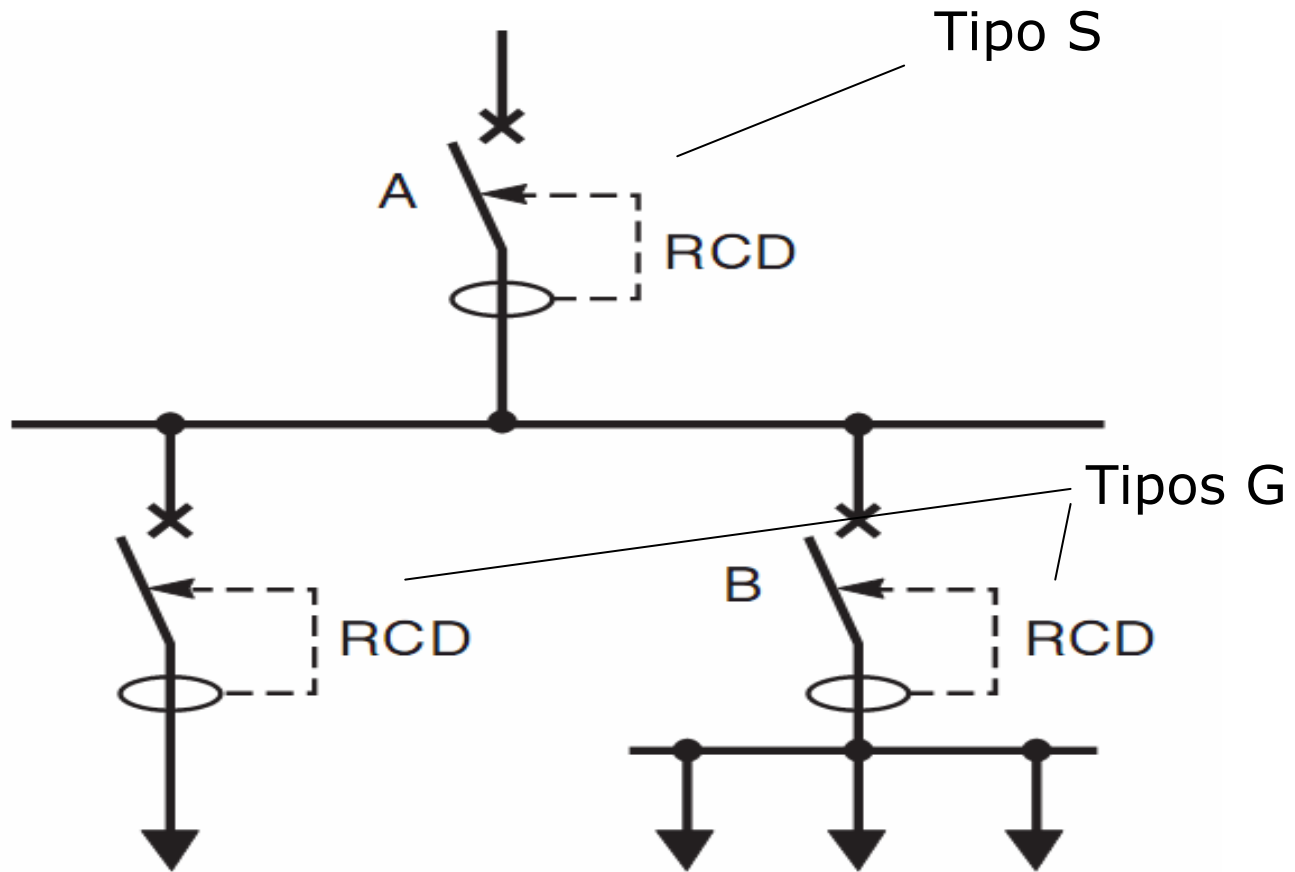
Alta sensibilidade $I_{\Delta N} \leq 30 \text{ mA}$

Sistema TT



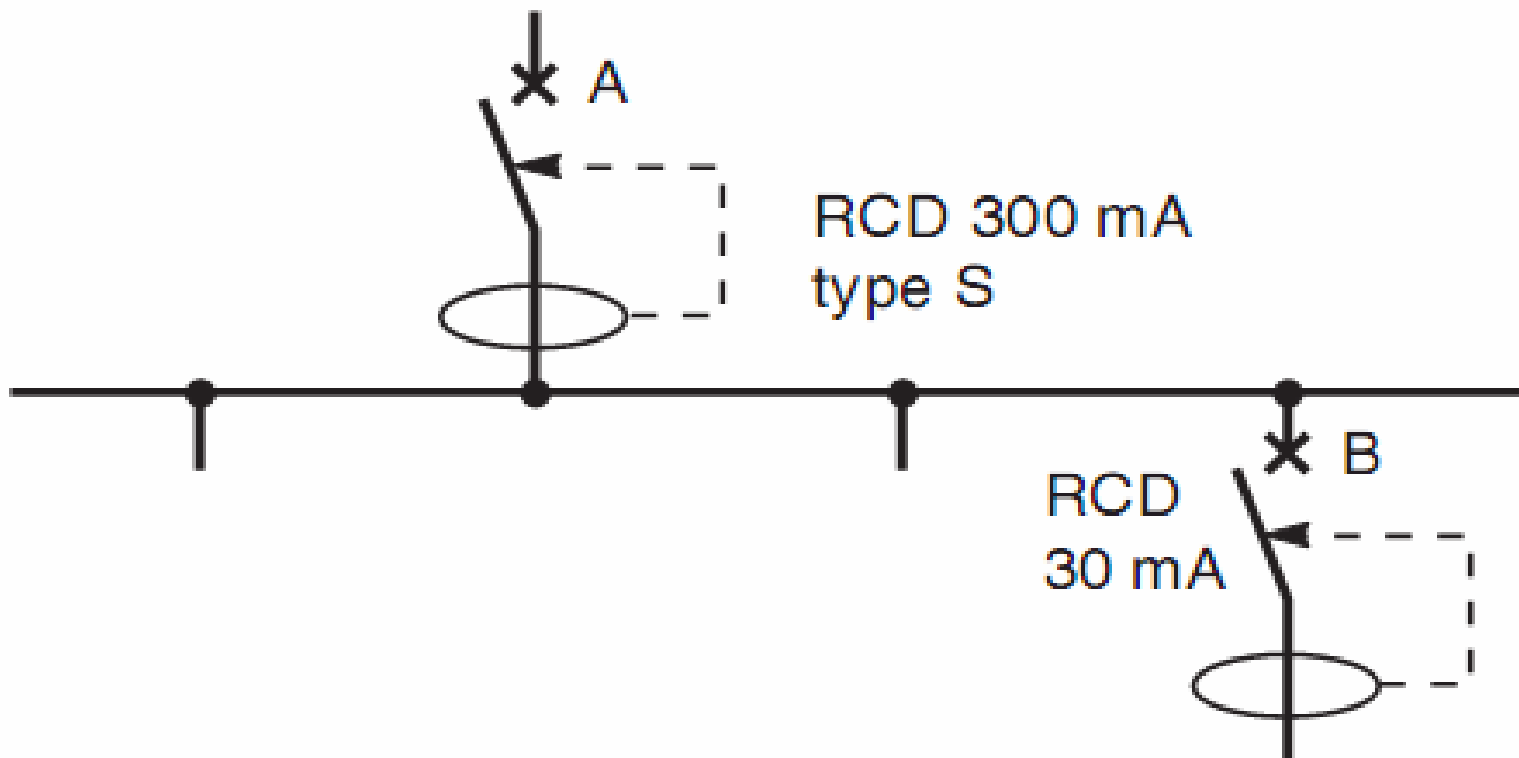
Sistema TT

Selectividade

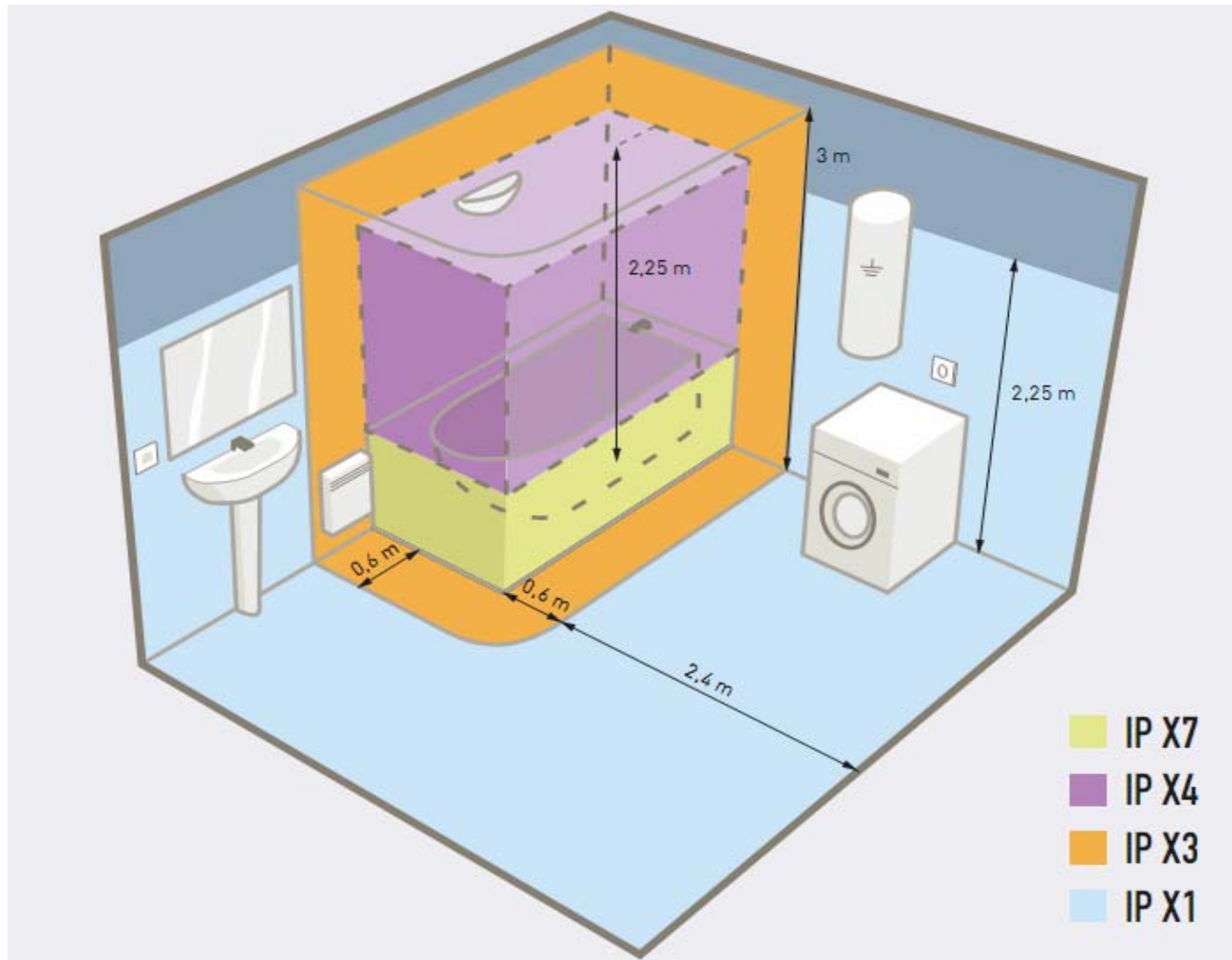


Sistema TT

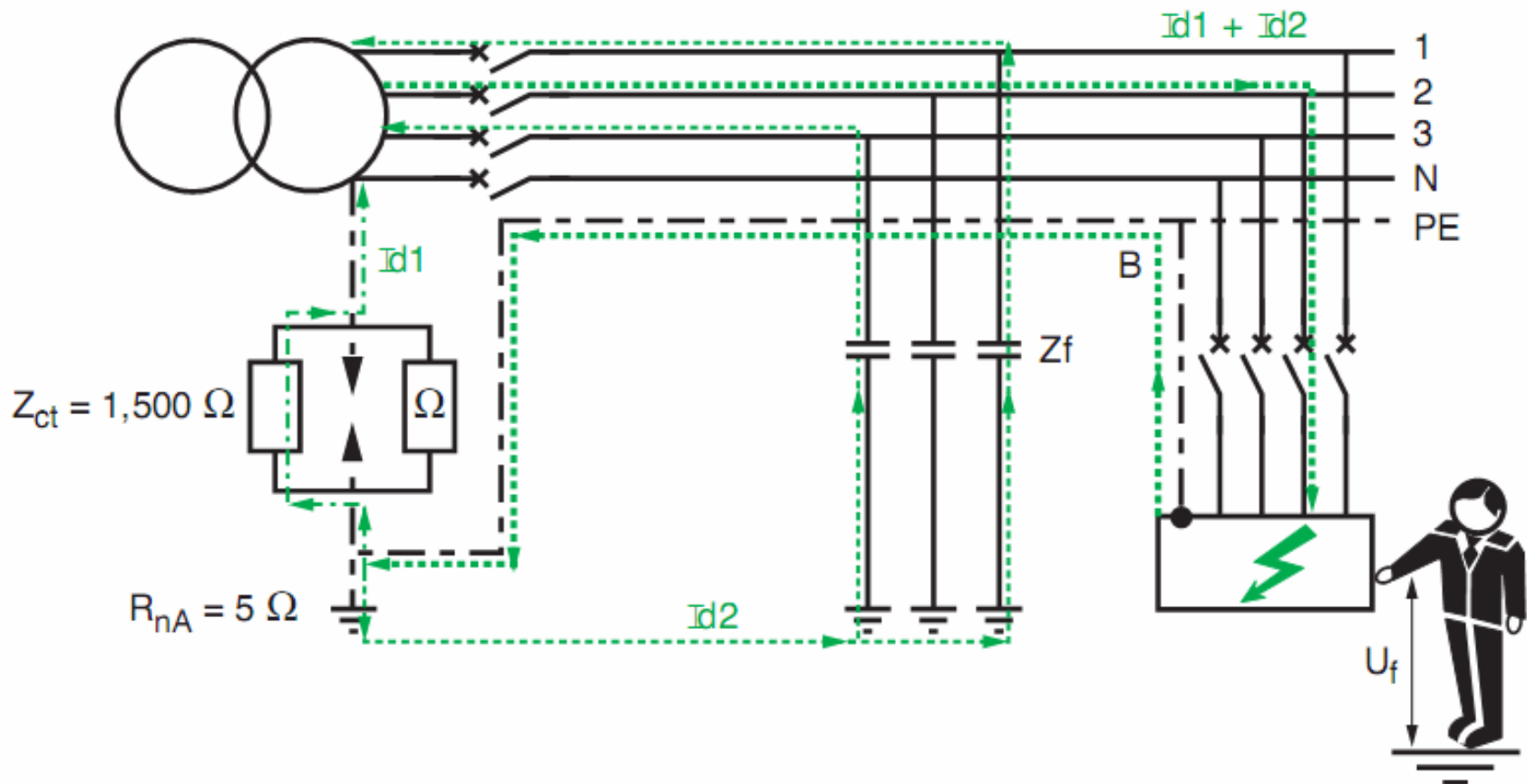
Selectividade



Zonas de Protecção



Sistema IT



Sistema IT

Condição de segurança:

$$R_A I_d \leq 50$$

R_A é a soma das resistências do eléctrodo de terra e dos condutores de protecção das massas

I_d é a corrente de defeito no caso de um primeiro defeito franco de um condutor de fase à massa

Sistema IT

Ocorrência do 2º defeito:

Massas ligadas à terra individualmente ou por grupos – sistema TT

Massas interligadas – sistema TN

Sistema IT

Instalação com o neutro não distribuído

$$Z_s \leq \frac{\sqrt{3} \times U_o}{2 \times I_a}$$

Instalação com o neutro distribuído

$$Z_s' \leq \frac{U_o}{2 \times I_a}$$

Sistema TT

Z_s – impedância da malha de defeito, constituído pelo condutor de fase e condutor de protecção

Z'_s - impedância da malha de defeito, constituído pelo condutor neutro e condutor de protecção

I_a - corrente que garante o funcionamento do aparelho de protecção no tempo t dado na tabela

U_0/U – tensões simples e composta, respectivamente

Sistema IT

Tempos máximos de corte no esquema IT (segundo defeito)

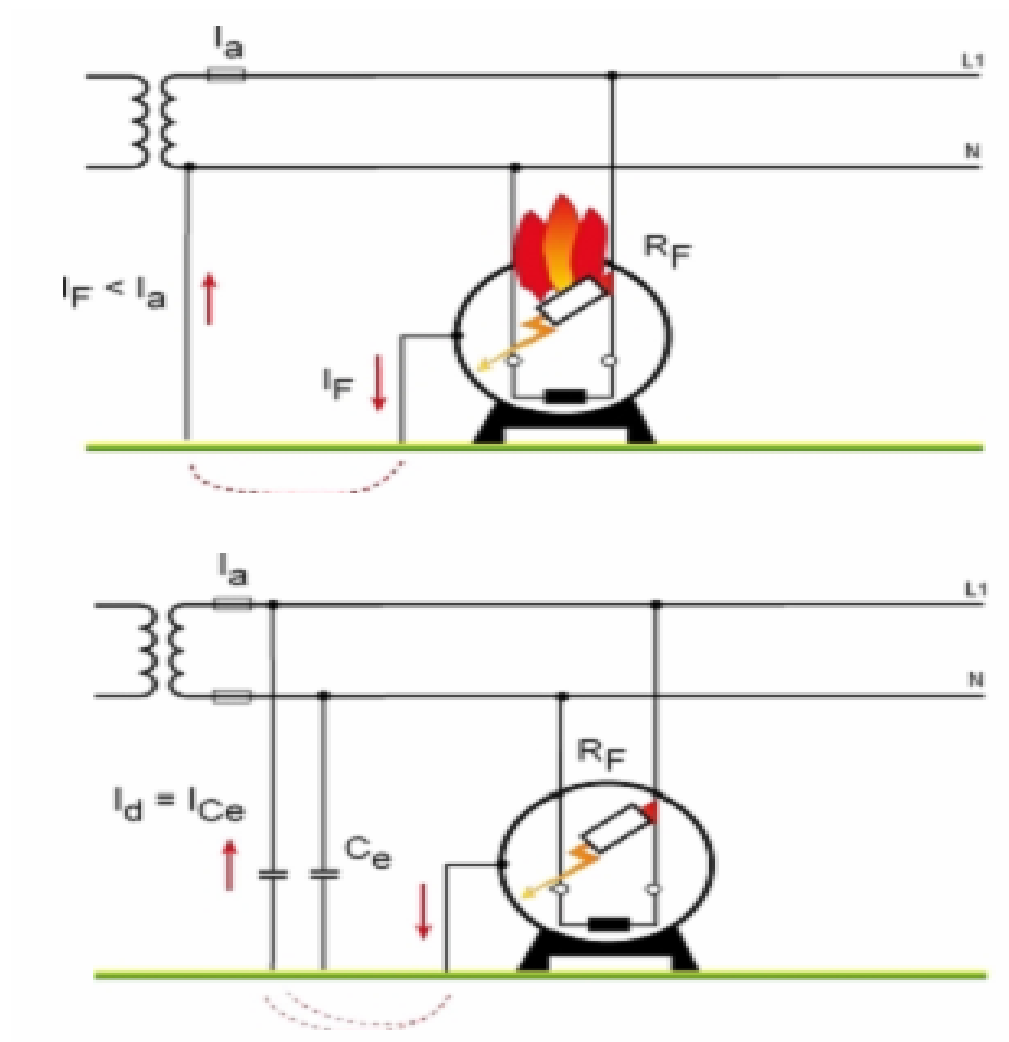
Tensão nominal U_o / U (V)	Tempos de corte t (s)	
	Neutro não distribuído	Neutro distribuído
120-240	0,8	5
230/400	0,4	0,8
400/690	0,2	0,4
580/1000	0,1	0,2

The diagram shows a transformer with a primary winding connected to an AC source. The secondary winding is connected to a load consisting of a resistor R_F and a lamp. A fault, represented by a lightning bolt, is shown on the secondary winding. The fault current is labeled $I_F = I_K$. The primary current is labeled I_a . The secondary current is labeled $I_F = I_K$. The fault is located on the secondary winding, and the fault current $I_F = I_K$ flows through the secondary winding and the load resistor R_F .

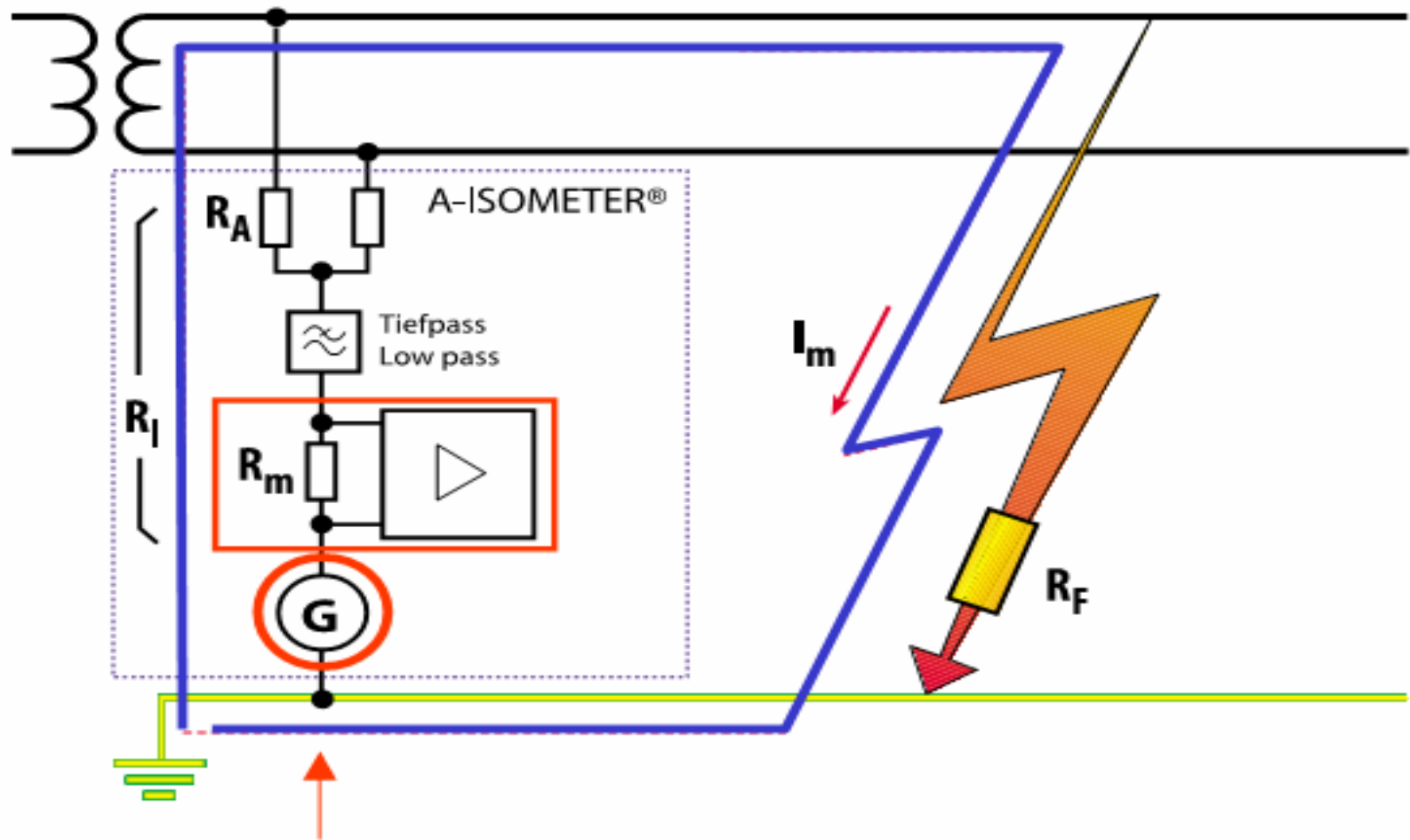
HJJRS

70

Sistema IT

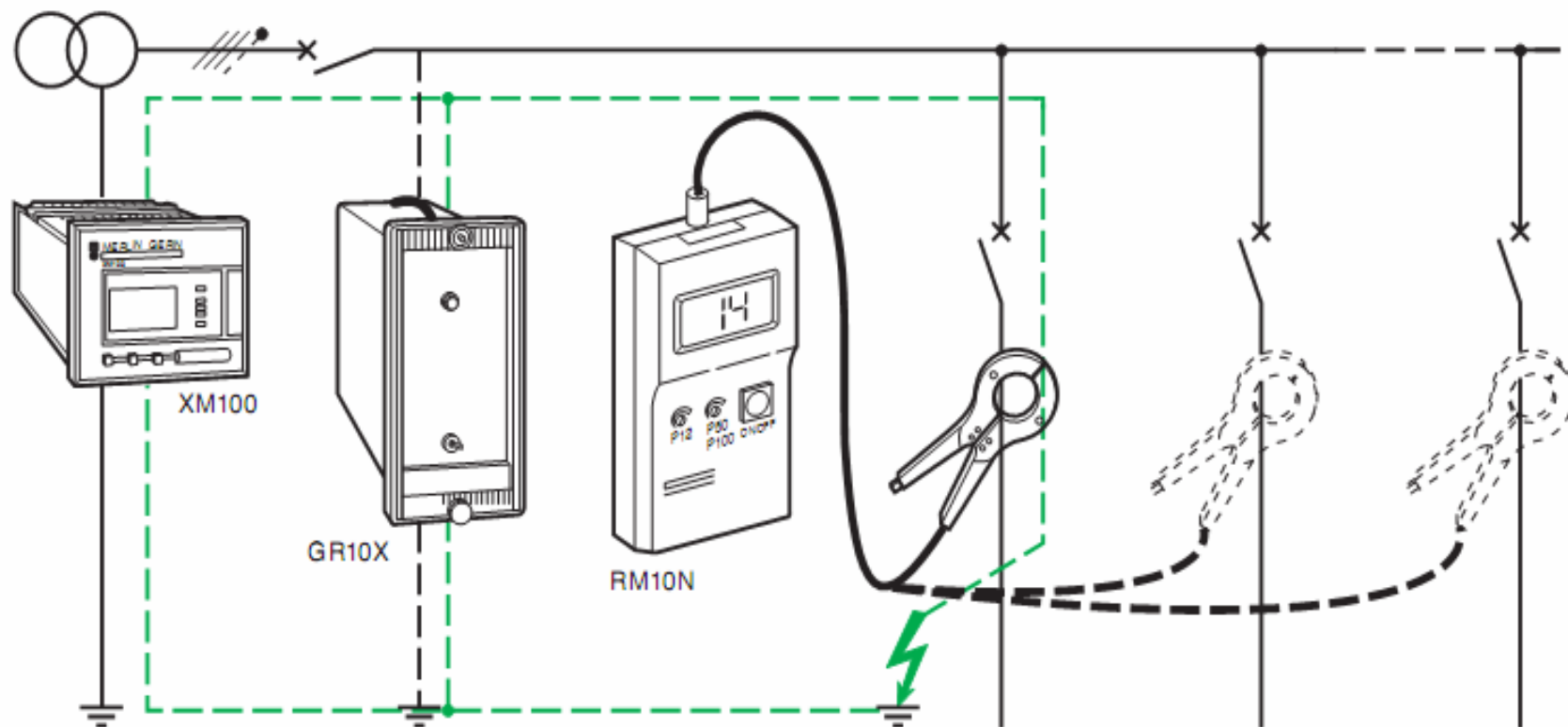


Sistemas IT



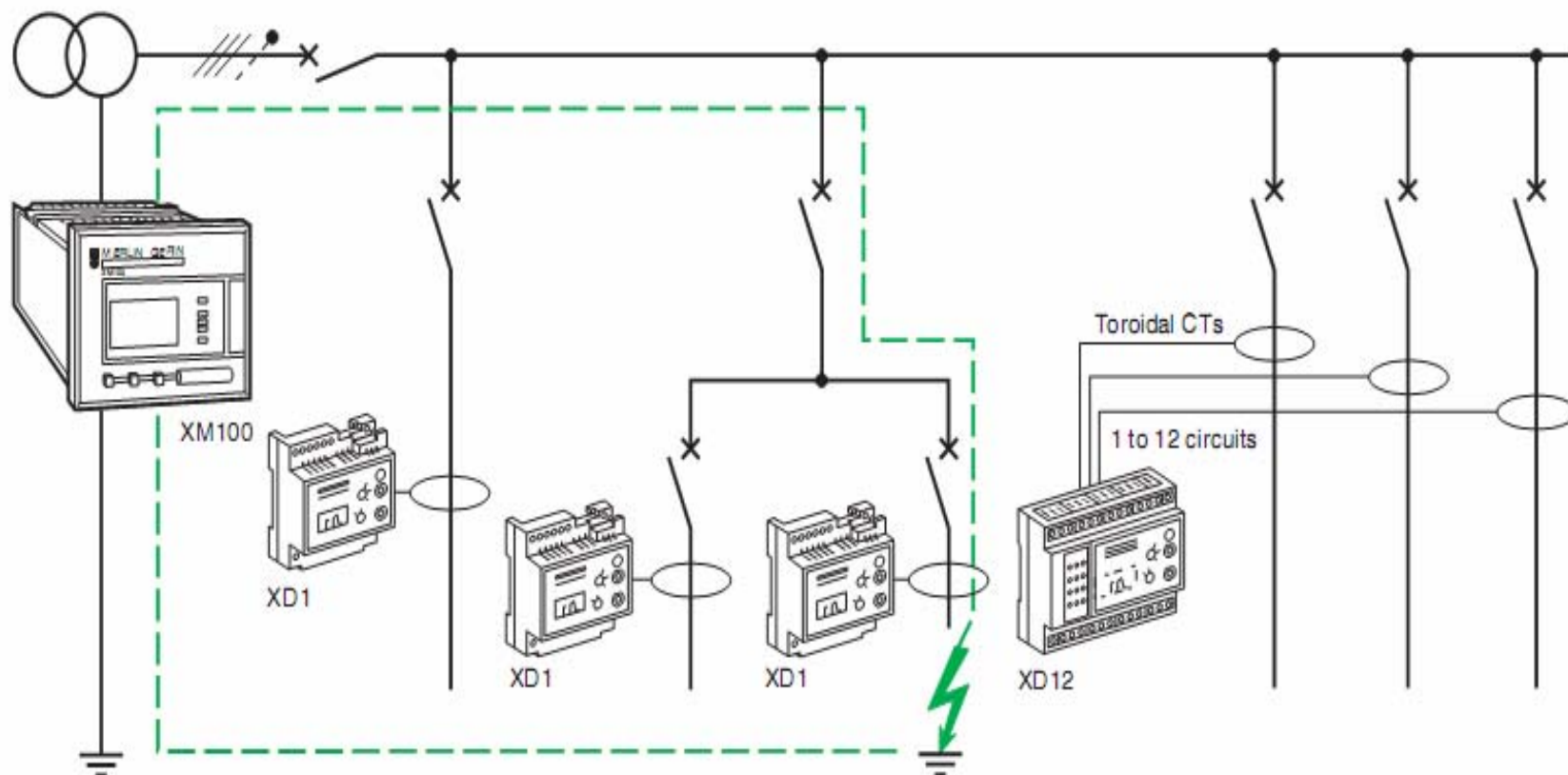
Sistemas IT

Monitorização manual



Sistemas IT

Monitorização automática



Protecção Contra os Contactos Indirectos

Protecção por utilização de equipamento da classe II de isolamento ou equivalente

Protecção por recurso a locais não-condutores

Protecção por ligações equipotenciais não ligadas à terra

Protecção por separação eléctrica