

8. Protecção contra sobreintensidades

8.1. Aspectos gerais

As redes de distribuição de energia eléctrica em baixa tensão poderão ser sujeitas a condições anormais de funcionamento que se traduzem, com frequência, em elevações do valor da intensidade de corrente veiculada pela canalização em relação ao valor da intensidade de corrente de serviço que foi utilizado como base para o dimensionamento da instalação.

Em termos regulamentares os regimes de funcionamento em que a intensidade de corrente é mais elevada que a intensidade de corrente de serviço são denominados de sobreintensidades sendo, por outro lado, subdivididos em sobrecargas e curto-circuitos. As sobrecargas correspondem a situações em que a sobrelevação da intensidade de corrente em relação ao valor de serviço é pequena. Em geral, as instalações eléctricas podem suportar estes regimes durante algum tempo sem sofrerem qualquer deterioração mas, em todo o caso, eles deverão ser detectados e interrompidos se persistirem. Nas situações de curto-circuito a intensidade de corrente assume valores bastante elevados pelo que os aparelhos de protecção deverão actuar muito rapidamente.

A secção II, Artigos 127 a 132, do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão é dedicada à protecção de instalações eléctricas contra sobreintensidades. Neste âmbito, o Artigo 127 indica que "os condutores de fase das redes de distribuição serão protegidos contra sobreintensidades por meio de curto-circuitos fusíveis ou disjuntores com características adequadas" e que "o neutro não deverá possuir qualquer aparelho de protecção". Os Artigos 128 e 129 são dedicados à protecção contra sobrecargas, os Artigos 130 e 131 referem-se à protecção contra curto-circuitos e o Artigo 132 contém um conjunto de indicações relativas à coordenação entre a protecção contra sobrecargas e a protecção contra curto-circuitos.

8.2. Condição de protecção contra sobrecargas

O Artigo 128 do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão estabelece as condições que deverão ser satisfeitas para que um aparelho de protecção proteja uma instalação contra sobrecargas. Assim, "as características de funcionamento dos aparelhos de protecção contra sobrecargas deverão satisfazer simultaneamente as seguintes condições:"

$$I_S \leq I_n \leq I_Z \quad (8.1)$$

$$I_f \leq 1,45.I_Z \quad (8.2)$$

Nestas expressões I_S , I_n , I_f e I_Z possuem o significado que tem vindo a ser utilizado ao longo deste texto. Estas condições traduzem-se graficamente no esquema representado na Figura 8.1.

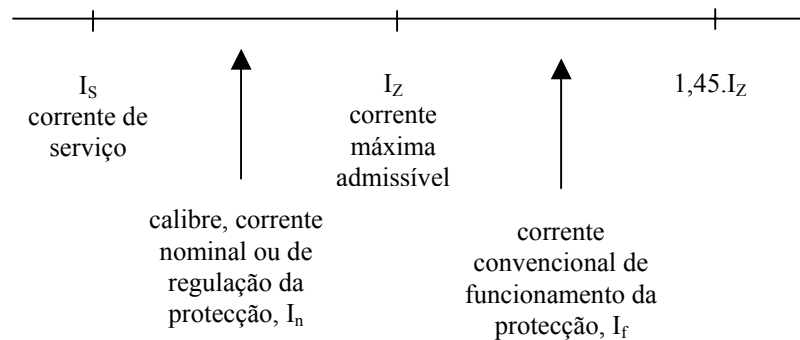


Figura 8.1. - Características dos aparelhos de protecção contra sobrecargas.

A imposição da primeira condição (8.1) deve-se à necessidade de detectar e considerar como anómalas situações em que a intensidade de corrente veiculada pela canalização é superior à intensidade de corrente de serviço, por um lado, e à necessidade de garantir que o aparelho de protecção não actua para o regime de funcionamento correspondente à corrente de serviço, por outro. Estes objectivos podem ser conseguidos se a corrente nominal ou calibre do aparelho de protecção, I_n for superior a I_s . Lembremo-nos, a propósito, que I_n corresponde ao valor da corrente que o aparelho de protecção pode suportar em regime permanente sem actuar. Por outro lado, I_n deverá ser inferior à corrente máxima admissível na canalização, I_Z . Com efeito, deverá assegurar-se que situações em que a corrente veiculada pela canalização sejam superiores a I_Z sejam consideradas anormais levando, portanto, à actuação do aparelho de protecção.

A segunda condição (8.2) corresponde a considerar que situações em a corrente veiculada pela canalização é 45% superior a I_Z correspondam a sobrecargas suficientemente importantes para se garantir que o aparelho de protecção actue num tempo não superior ao convencional. Repare-se, com efeito, que I_f corresponde exactamente à intensidade de corrente que deverá percorrer o aparelho de protecção de modo que este actue num tempo não superior ao tempo convencional.

Estas duas condições, a verificar em simultâneo, deverão ser avaliadas utilizando a corrente de serviço na canalização, I_s , e a corrente máxima admissível, I_Z , associada ao valor da secção dos condutores que resultou da verificação das condições de aquecimento e de queda de tensão e à consideração, eventual, dos aspectos económicos referidos no ponto 6. Isto significa que, chegados a este ponto do problema de dimensionamento encontram-se disponíveis valores para I_s e I_Z e portanto, também, para $1,45.I_Z$. Resta, assim, consultar as tabelas contendo as características normalizadas (I_n, I_{nf}, I_f) de fusíveis ou disjuntores e seleccionar o aparelho que possua um par de valores I_n, I_f que satisfaça em simultâneo as condições (8.1) e (8.2). A este respeito, as Tabelas 8.1 e 8.2 contêm os valores normalizados das características de fusíveis e disjuntores normalmente utilizados nas redes de distribuição de energia eléctrica.

Refira-se, por outro lado, que por vezes pode ocorrer que não existam aparelhos possuindo valores de I_n, I_f que satisfaçam em simultâneo as condições (8.1) e (8.2)

face aos valores de I_S e I_Z disponíveis na altura. Nestas condições, a secção do condutor deverá ser aumentada até que seja possível verificar essas condições.

I_n	I_{nf}	I_f
2	3	4
4	6	8
6	9	11
8	12	15
10	15	19
12	17	21
16	22	28
20	28	35
25	35	44
32	42	51
40	52	64
50	65	80
63	82	101
80	104	128
100	130	160
125	150	200
160	192	256
200	240	320
250	300	400
315	378	504
400	480	640
500	650	800
630	756	1008
800	960	1280
1000	1200	1600
1250	1500	2000

Tabela 8.1 - I_n , I_{nf} e I_f de corta circuitos fusíveis.

I_n	I_{nf}	I_f
2	-	-
4	-	-
6	6,3	8,1
8	8,4	10,8
10	10,5	13,5
12	12,6	16,2
16	16,8	21,6
20	21	27
25	26,3	33,8
32	33,6	43,2
40	42	54
50	53	68
63	66	85
80	84	108
100	105	135
125	131	169
160	168	216
200	210	270
250	263	338
315	331	425
400	420	540
500	525	675
630	662	851
800	840	1080
1000	1050	1350
1250	1313	1688
1600	1680	2160
2000	2100	2700
2500	2625	3375

Tabela 8.2 - I_n , I_{nf} e I_f de disjuntores.

Exemplo 5

Consideremos uma canalização enterrada constituída por um cabo tripolar de cobre possuindo os condutores de fase secção de 35 mm^2 . Nestas condições:

$$I_Z = 165 \text{ A} \quad (8.3)$$

$$1,45.I_Z = 239,25 \text{ A} \quad (8.4)$$

Se a protecção contra sobrecargas for assegurada por fusíveis, o calibre do elemento de substituição deverá ser de 125 A. Com efeito, o calibre seguinte, 160 A, possui $I_f=256 \text{ A}$ pelo que a condição (8.2.) já não é verificada.

Se a protecção contra sobrecargas for assegurada por disjuntores, a corrente nominal deverá ser de 160 A. Se se utilizasse o disjuntor com a corrente nominal seguinte, 200 A, a corrente de funcionamento respectiva $I_f=270$ A, já não verificava a condição (8.2).

8.3. Condição de protecção contra curto-circuitos

A condição a verificar para assegurar a protecção contra curto-circuitos encontra-se detalhada no Artigo 130 do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão. O número 1 deste artigo indica, de forma genérica, que esta condição de protecção fica assegurada se a intensidade nominal dos aparelhos de protecção contra curto-circuitos for determinada de modo que a corrente de curto-circuito seja cortada antes de a canalização poder atingir a sua temperatura limite admissível. Os condutores possuem, como se sabe, uma corrente máxima admissível em regime permanente que conduz à temperatura máxima. Esta corrente poderá ser ultrapassada por curtos períodos de tempo por forma que a temperatura limite admissível não seja ultrapassada. Com esta condição pretende-se, portanto, assegurar que, qualquer que seja o valor da corrente de curto-circuito, esta é interrompida antes de o condutor ver atingida a temperatura limite correspondente. Como se compreenderá, o tempo que o condutor pode suportar uma dada intensidade de corrente sem se degradar diminui à medida que o valor dessa intensidade de corrente aumenta.

O número 2 do artigo referido indica que esta verificação se deverá realizar comparando a característica de funcionamento tempo/corrente do aparelho de protecção com a característica de fadiga térmica da canalização. Assim, para qualquer valor da corrente de curto-circuito que possa sobrevir na instalação, deverá assegurar-se que o tempo de actuação do aparelho de protecção - lido na característica de funcionamento tempo/corrente referida - é inferior ao tempo ao fim do qual o condutor se começa a degradar - lido na característica de fadiga térmica da canalização - para o mesmo valor da corrente de curto-circuito.

O número 2 já referido considera que esta condição se encontra satisfeita se o tempo de actuação do aparelho de protecção, t_{ap} , verificar as condições (8.5) e (8.6) em que t_{ft} representa o tempo de fadiga térmica dado por (8.7). A título de exemplo, na Figura 8.2 apresentam-se as características de funcionamento tempo/corrente de fusíveis de diversos calibres.

$$t_{ap} \leq t_{ft} \quad (8.5)$$

$$t_{ap} \leq 5 \text{ s} \quad (8.6)$$

$$\sqrt{t_{ft}} = k \cdot \frac{S}{I_{cc}} \quad (8.7)$$

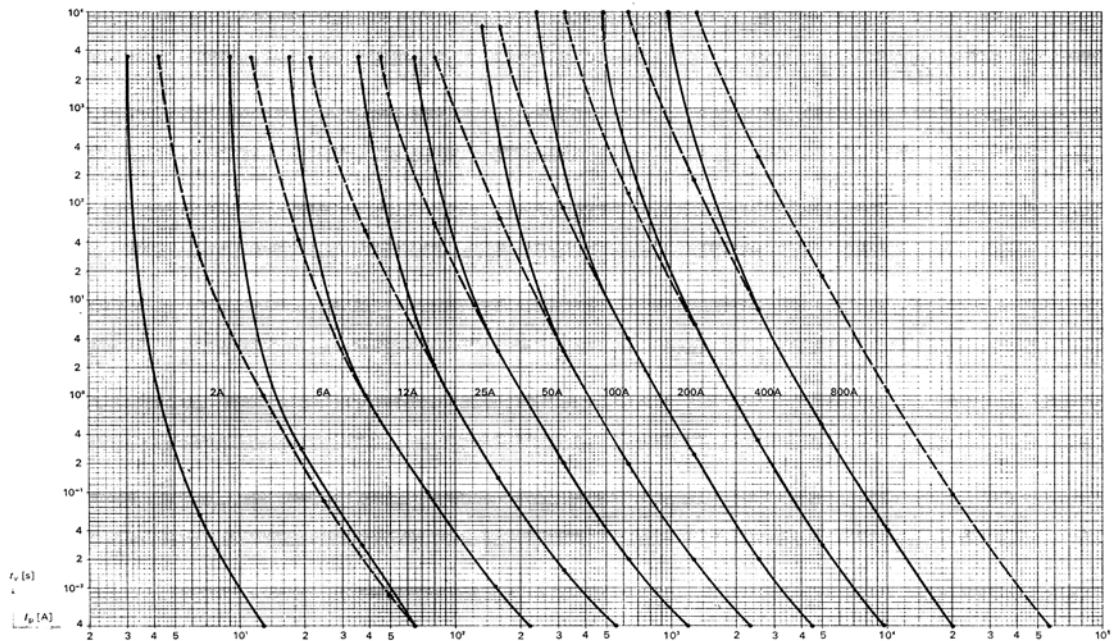


Figura 8.2. - Características tempo/corrente de fusíveis de diversos calibres.

Na expressão (8.7):

- k é uma constante cujo valor depende das características do material isolante e do material condutor. O seu valor é:
 - 115 - condutores com alma de cobre isolada a policloreto de vinilo;
 - 135 - condutores de alma de cobre isolada a borracha natural, borracha butílica, polietileno reticulado ou etileno-propileno;
 - 159 - condutores nus de cobre;
 - 74 - condutores com alma de alumínio isolada a policloreto de vinilo;
 - 87 - condutores de alma de cobre isolada a borracha natural, borracha butílica, polietileno reticulado ou etileno-propileno;
 - 104 - condutores nus de alumínio;
 - 97 - condutores nus de ligas de alumínio;
 - 115 - ligações dos condutores de cobre soldadas a estanho;
- S é a secção dos condutores expressa em mm^2 ;
- I_{cc} é a corrente de curto-circuito mínima, isto é, a corrente que resulta de um curto-circuito franco verificado no ponto mais afastado do circuito, em A;

A expressão (8.7) merece diversos comentários que se apresentam em seguida.

i) A intensidade de corrente de defeito a utilizar corresponde a um defeito fase-neutro no ponto extremo da canalização desde que o condutor neutro esteja distribuído. Se o neutro for isolado, o defeito a simular no ponto extremo da canalização é um curto-circuito fase-fase. Supondo que o neutro se encontra distribuído, verifica-se que, de entre os vários defeitos que podem ocorrer, são os curto-circuitos fase-neutro que originam os menores valores de I_{cc} . Esta intensidade de corrente origina portanto, de entre as associadas às várias situações possíveis de defeito, o mais elevado tempo de actuação do aparelho de protecção. Desta forma, a utilização desta intensidade de corrente corresponde à situação mais desfavorável do ponto de vista da verificação das condições (8.5) e (8.6).

De entre os possíveis pontos de localização deste defeito, I_{cc} assume o valor mínimo se a impedância desde o ponto de alimentação até ao local de defeito for máxima. Isto significa que o defeito fase-neutro deverá ser simulado no ponto extremo da canalização. O comentário 7 ao Artigo 130 do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão indica a expressão (8.8) para calcular o valor desta corrente de defeito.

$$I_{cc} = \frac{0,95.U}{\rho_F \cdot \frac{L_F}{S_F} + \rho_N \cdot \frac{L_N}{S_N}} \quad (8.8)$$

Nesta expressão:

- U representa a tensão entre condutores (230 V se houver condutor neutro na canalização e 400 V no caso contrário);
- ρ_F e ρ_N são as resistividades dos condutores de fase e neutro da canalização para a temperatura média durante o curto-circuito;
- L_F e L_N são os comprimentos dos condutores de fase e neutro;
- S_F e S_N são as secções dos condutores de fase e neutro;

Esta expressão pode ser reescrita considerando que são conhecidos os valores da resistência dos condutores de fase e neutro por unidade de comprimento à temperatura de 20°C - $R_F^{20^\circ C}$ e $R_N^{20^\circ C}$. Considerando que a temperatura média durante o curto-circuito é de 145°C, verifica-se que a correcção de temperatura de 20°C para 145°C conduz ao factor multiplicativo (8.9) em que α é o coeficiente de termoresistividade do cobre ou do alumínio.

$$f = 1 + \alpha.(145 - 20) \quad (8.9)$$

Admitindo que α assume o valor 0,004/°C quer para o cobre quer para o alumínio, então f assume o valor 1,5 pelo que o valor da corrente de curto-circuito fase-neutro é dado por (8.10).

$$I_{cc} = \frac{0,95.U}{1,5.(R_F^{20^\circ C} \cdot L_F + R_N^{20^\circ C} \cdot L_N)} \quad (8.10)$$

Esta expressão é de fácil utilização atendendo a diversas aproximações de que foi alvo a expressão de onde deriva, isto é, a expressão exacta da corrente de curto-circuito fase-neutro. A expressão exacta referida é dada por (8.11) e corresponde à intensidade de corrente de curto-circuito fase-neutro. Nesta expressão E representa a tensão simples disponibilizada pela rede, $\underline{Z}_{cc}$, $\underline{Z}_d$, $\underline{Z}_i$ e $\underline{Z}_o$ representam a impedância de curto-circuito circuito, e as impedâncias directa, inversa e homopolar do gerador.

$$I_{cc} = \frac{E}{\underline{Z}_{cc} + \frac{1}{3} \cdot (\underline{Z}_d + \underline{Z}_i + \underline{Z}_o)} \quad (8.11)$$

Em relação à expressão (8.11):

- admitamos que o defeito ocorre entre uma fase e o neutro de um condutor trifásico como o representado na Figura 8.3. As impedâncias directa, inversa e homopolar que figuram em (8.11) correspondem às impedâncias directa, inversa e homopolar desta linha de transmissão de energia. Por esta razão vamos analisar, com um pouco mais de detalhe, o funcionamento deste sistema. Em relação a esta Figura, $\underline{Z}_F$ e $\underline{Z}_N$ representam os valores das impedâncias dos condutores de fase e neutro sendo $\underline{I}_{F1}$, $\underline{I}_{F2}$, $\underline{I}_{F3}$ e $\underline{I}_N$ as intensidades de corrente nos condutores de fase e neutro.

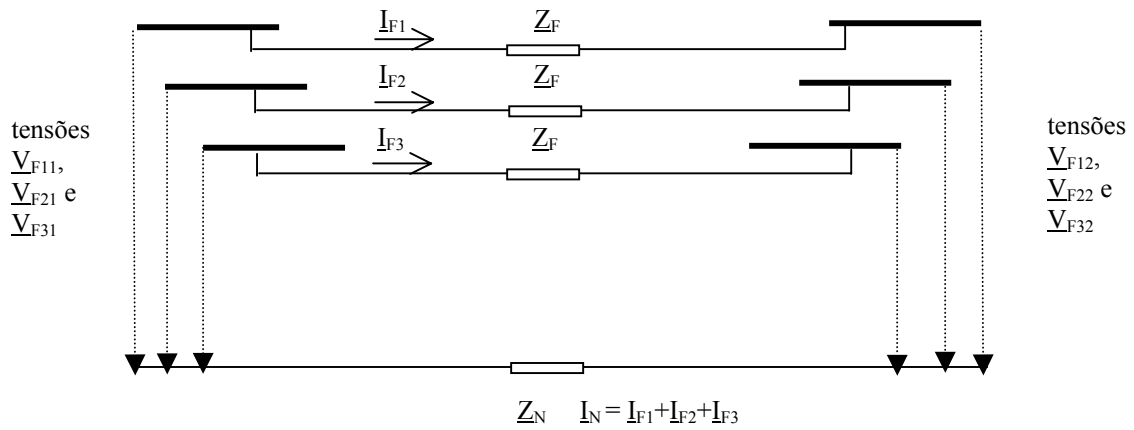


Figura 8.3 - Linha trifásica com condutor neutro.

A aplicação da lei das malhas permite obter as quedas de tensão nos condutores de fase, de acordo com (8.12). Repare-se, por outro lado, que a soma das intensidades de corrente nos três condutores de fase é igual à intensidade de corrente no condutor neutro. Assim, a expressão (8.12) dá origem à equação matricial (8.13).

$$\begin{cases} \underline{V}_{F11} - \underline{V}_{F12} = \underline{I}_{F1} \cdot \underline{Z}_F + (\underline{I}_{F1} + \underline{I}_{F2} + \underline{I}_{F3}) \cdot \underline{Z}_N \\ \underline{V}_{F21} - \underline{V}_{F22} = \underline{I}_{F2} \cdot \underline{Z}_F + (\underline{I}_{F1} + \underline{I}_{F2} + \underline{I}_{F3}) \cdot \underline{Z}_N \\ \underline{V}_{F31} - \underline{V}_{F32} = \underline{I}_{F3} \cdot \underline{Z}_F + (\underline{I}_{F1} + \underline{I}_{F2} + \underline{I}_{F3}) \cdot \underline{Z}_N \end{cases} \quad (8.12)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{V}_{F11} \\ \underline{V}_{F21} \\ \underline{V}_{F31} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \underline{V}_{F12} \\ \underline{V}_{F22} \\ \underline{V}_{F32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_F + \underline{Z}_N & \underline{Z}_N & \underline{Z}_N \\ \underline{Z}_N & \underline{Z}_F + \underline{Z}_N & \underline{Z}_N \\ \underline{Z}_N & \underline{Z}_N & \underline{Z}_F + \underline{Z}_N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{I}_{F1} \\ \underline{I}_{F2} \\ \underline{I}_{F3} \end{bmatrix} \quad (8.13)$$

Uma vez que o curto-circuito fase-neutro representa um regime assimétrico de funcionamento, será conveniente recorrer à Transformação em Componentes Simétricas por forma a obter a matriz das impedâncias do sistema em termos das componentes simétricas. Esta matriz será calculada utilizando a matriz de impedâncias presente em (8.13) e a expressão (8.14) em que T representa a matriz de transformação associada à Decomposição em Componentes Simétricas. Esta operação conduz à matriz diagonal (8.15). A partir dela podemos verificar que as

impedâncias directa, inversa e homopolar do cabo trifásico com neutro são dadas por (8.16), (8.17) e (8.18).

$$\underline{Z}_{CS} = T^{-1} \begin{bmatrix} \underline{Z}_F + \underline{Z}_N & \underline{Z}_N & \underline{Z}_N \\ \underline{Z}_N & \underline{Z}_F + \underline{Z}_N & \underline{Z}_N \\ \underline{Z}_N & \underline{Z}_N & \underline{Z}_F + \underline{Z}_N \end{bmatrix} T \quad (8.14)$$

$$\underline{Z}_{CS} = \begin{bmatrix} \underline{Z}_F & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z}_F & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_F + 3.\underline{Z}_N \end{bmatrix} \quad (8.15)$$

$$\underline{Z}_d = \underline{Z}_F \quad (8.16)$$

$$\underline{Z}_i = \underline{Z}_F \quad (8.17)$$

$$\underline{Z}_h = \underline{Z}_F + 3.\underline{Z}_N \quad (8.18)$$

- consideremos que o curto-circuito fase-neutro é franco. Nestas condições, $\underline{Z}_{cc}$ é nulo pelo que considerando as impedâncias directa, inversa e homopolar (8.16), (8.17) e (8.18) e a expressão (8.11), se pode obter (8.19).

$$I_{cc} = \frac{E}{\underline{Z}_F + \underline{Z}_N} \quad (8.19)$$

- consideremos que em redes de distribuição em baixa tensão, a resistência é em geral superior à reactância dos condutores pelo que as impedâncias dos condutores de fase e neutro são aproximadas pelas resistências respectivas. Em qualquer caso, a inclusão do factor multiplicativo 0.95 no numerador da expressão (8.10) representa uma diminuição de tensão e pode ser interpretado como destinado a compensar o facto de se desprezarem os termos associados a reactâncias no denominador de (8.11);
- finalmente, a correcção de temperatura de 20°C para 145°C permite obter a expressão indicada no Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão, isto é, (8.8) ou (8.10);

Como se verifica, a expressão indicada no Regulamento referido apresenta um suporte teórico evidente. As aproximações e simplificações de que foi alvo destinam-se a aumentar a sua operacionalidade sem comprometer a qualidade dos resultados;

- ii) O tempo até à fadiga térmica dado pela expressão (8.7) depende da secção S dos condutores. Consideremos, então, que estamos a dimensionar um ramal ligado ao quadro de baixa tensão de um Posto de Transformação. O valor da intensidade de corrente de curto circuito mínima deverá ser calculada para um defeito fase-neutro no extremo desse ramal. Isto significa que a corrente de curto-circuito percorre o condutor de fase da fase afectada e retorna, quando se atinge o extremo desse ramal, pelo condutor neutro. Por esta razão, as resistências destes condutores aparecem adicionadas - ligação série - no denominador de (8.8) ou (8.10). Uma vez que há dois condutores

possuindo secções diferentes envolvidos existirão também dois tempos de fadiga térmica diferentes. Sejam t_{ftF} e t_{ftN} esses tempos correspondentes ao condutor de fase e ao condutor neutro (8.20) e (8.21).

$$t_{ftF} = \left(\frac{k.S_F}{I_{cc}^{min}} \right)^2 \quad (8.20)$$

$$t_{ftN} = \left(\frac{k.S_N}{I_{cc}^{min}} \right)^2 \quad (8.21)$$

Uma vez que a secção SN é não superior à secção SF, o tempo de fadiga térmica t_{ftN} é não superior a t_{ftF} . Dado que este tempo constitui um dos limites superiores impostos ao tempo de actuação do aparelho de protecção conclui-se que a comparação de tempo deverá envolver t_{ftN} . De outro modo, o condutor de menor secção possui menor capacidade calorífica pelo que se degradará em primeiro lugar se for percorrido por uma intensidade de corrente com o mesmo valor no mesmo intervalo de tempo. Isto significa, ainda, que se a adequação da protecção for avaliada em relação ao condutor neutro, estará simultaneamente verificada a protecção do condutor de fase.

Consideremos, ainda, uma segunda situação. Consideremos que se está a dimensionar uma coluna montante de um edifício que é alimentada a partir de um quadro de colunas que, por sua vez, tem origem no quadro de baixa tensão de um Posto de Transformação. Neste caso, o defeito fase-neutro deverá ser simulado no extremo da coluna montante. Assim, a corrente de defeito percorre o condutor de uma fase do ramal R, o condutor da mesma fase da coluna montante CM e retorna pelo condutor neutro da coluna montante e pelo condutor neutro do ramal referido. Assim, a valor de I_{cc}^{min} é dado por (8.22).

$$I_{cc}^{min} = \frac{0,95.U}{1,5.(R_{F-R}^{20^\circ C} \cdot L_{F-R} + R_{F-CM}^{20^\circ C} \cdot L_{F-CM} + R_{N-CM}^{20^\circ C} \cdot L_{N-CM} + R_{N-R}^{20^\circ C} \cdot L_{N-R})} \quad (8.22)$$

Nesta expressão:

- $R_{F-R}^{20^\circ C}$ e $R_{N-R}^{20^\circ C}$ representam as resistências por unidade de comprimento dos condutores de fase e neutro do ramal de alimentação do Quadro de Colunas. Estes condutores têm comprimentos L_{F-R} e L_{N-R} ;
- $R_{F-CM}^{20^\circ C}$ e $R_{N-CM}^{20^\circ C}$ representam as resistências por unidade de comprimento dos condutores de fase e neutro da coluna montante referida. Estes condutores têm comprimentos L_{F-CM} e L_{N-CM} ;

Uma vez calculado o valor de I_{cc}^{min} deveremos calcular o tempo de fadiga térmica utilizando (8.23) em que S_{N-CM} representa a secção do condutor neutro da coluna montante, visto ser a menor das secções envolvidas.

$$t_{ft} = \left(\frac{k \cdot S_{N-CM}}{I_{cc}^{min}} \right)^2 \quad (8.23)$$

iii) O comentário 3a) ao Artigo 130 do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão fornece algumas indicações adicionais em relação à verificação das condições de protecção por fusíveis.

Assim, na Figura 8.4 encontram-se representadas a característica de funcionamento de um fusível, F, e a curva de fadiga térmica admissível na canalização protegida, C.

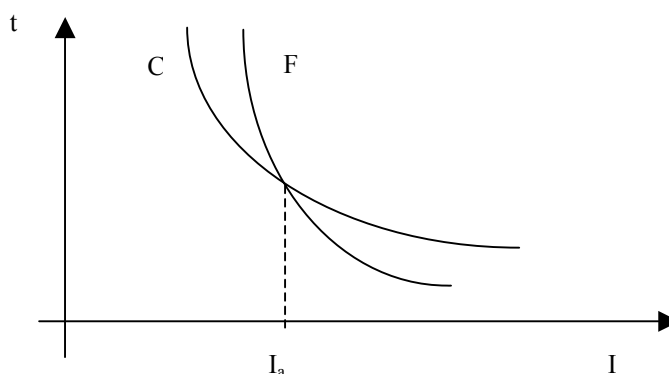


Figura 8.4 - Protecção por corta-circuitos fusíveis.

A curva C corresponde à representação gráfica de (8.7) e indica, para um dado valor de intensidade de corrente, o tempo que o condutor pode suportar essa corrente sem se degradar.

Admitindo que estas duas curvas se intersectam num ponto a que corresponde a intensidade de corrente I_a , pode concluir-se que o fusível F protege a canalização de forma adequada se a corrente de curto-circuito mínima exceder I_a . Com efeito, para intensidades de corrente superiores a I_a encontra-se, em primeiro lugar, a curva F e só depois a curva C. Isto significa que o tempo de fadiga térmica é superior ao tempo de actuação do aparelho de protecção pelo que este actua antes de o condutor se degradar. Desta forma, fica verificada a condição (8.5).

Se, simultaneamente, se garantir que a corrente de curto-circuito mínima tem um valor superior à intensidade de corrente que origina a actuação do aparelho de protecção em 5 s, fica assegurada a condição (8.6). Assim, as condições (8.5) e (8.6) são, afinal, equivalentes a (8.24) e (8.25) em que $I(5\text{ s})$ representa a intensidade de corrente que origina a actuação do aparelho de protecção em 5 s.

$$I_{cc}^{min} \geq I_a \quad (8.24)$$

$$I_{cc}^{min} \geq I(5\text{ s}) \quad (8.25)$$

iv) O comentário 3b) do mesmo artigo refere-se à protecção por disjuntores. Na Figura 8.5 encontram-se representadas a característica de funcionamento do disjuntor - D1 - e a curva C de fadiga térmica admissível na canalização protegida.

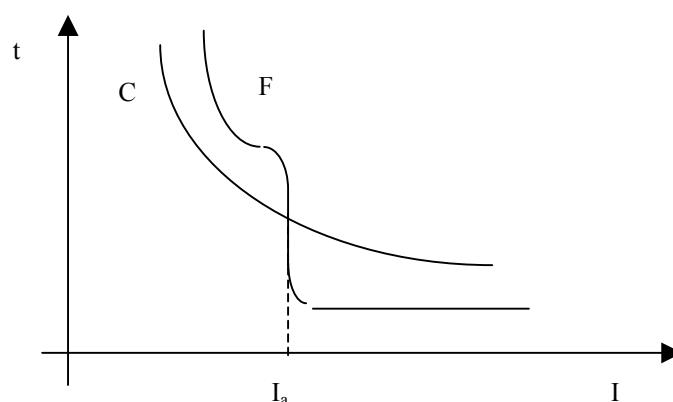


Figura 8.5 - Protecção contra curto-circuitos por disjuntores.

De forma análoga ao referido em iii) o aparelho de protecção actua antes de a canalização se degradar se o valor da corrente de curto-circuito mínima for superior a I_a .

Para além desta verificação, no caso da protecção por disjuntores temporizados torna-se, ainda, necessário verificar se, durante o tempo de funcionamento do aparelho de protecção, a passagem da corrente de curto-circuito prevista no ponto de instalação do disjuntor (corrente de curto-circuito máxima) não origina que os condutores na vizinhança do disjuntor fiquem sujeitos a uma temperatura excessiva.

De acordo com o comentário 3b) referido, esta verificação pode realizar-se utilizando as curvas C' e D2 representando a curva admissível $I^2.t$ dos condutores e a característica $I^2.t$ do disjuntor, tal como se mostra na Figura 8.6.

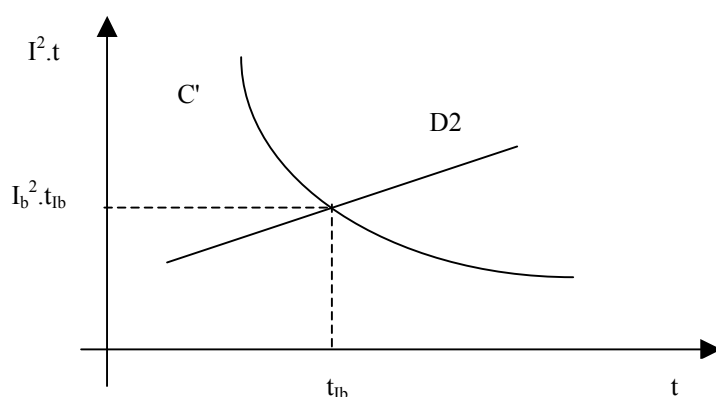


Figura 8.6 - Protecção contra curto-circuitos por disjuntores temporizados.

O comentário referido indica que a corrente de curto-circuito prevista no ponto de instalação do disjuntor deverá ser inferior a I_b , deduzida da intersecção das curvas C' e D2. Isto significa que, a partir do ponto de intersecção das duas curvas é possível ler os valores de t_{lb} e $I_b^2.t_{lb}$ pelo que, em seguida, se pode obter o valor I_b associado. Se a intensidade de defeito junto ao disjuntor for superior a I_b , a temporização do disjuntor

impõe um tempo de actuação mínimo. Nestas condições, o valor de $I^2.t$ poderá aumentar - I aumentou e t não diminuiu - para além do limite admissível podendo originar a degradação da instalação;

v) O Artigo 130 do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão fornece ainda pistas para analisar de outra forma as condições de protecção (8.5) e (8.6) e a expressão da corrente de curto-circuito mínima (8.10). Consideremos, então, uma canalização em que os condutores de fase e neutro possuem secção S_F e S_N e que se admite proteger por um aparelho de protecção de corrente nominal I_n . A partir da característica de funcionamento da protecção é possível obter a intensidade de corrente que origina o funcionamento da protecção em 5 s por forma a verificar a condição (8.6). Esta intensidade de corrente corresponderá à menor intensidade de corrente devida a um curto-circuito fase-neutro que, ainda assim, garante a actuação da protecção em 5 s. Considerando, agora, a expressão (8.10) pode verificar-se que I_{cc}^{min} , $R_F^{20^\circ C}$, $R_N^{20^\circ C}$ e U têm valores conhecidos pelo que é possível obter o valor L_F dado por (8.26). Admite-se que os condutores de fase e neutro seguem os mesmos trajectos pelo que L_F e L_N são iguais.

$$L_F = L_N = \frac{0,95.U}{1,5.(R_F^{20^\circ C} + R_N^{20^\circ C}).I_{cc}^{min}} \quad (8.26)$$

L_F ou L_N representam, assim, o comprimento máximo que o condutor de secção S_F ou S_N pode assumir por forma que o aparelho de protecção ainda proteja eficazmente a canalização, ou seja, de modo que ainda seja verificada a condição (8.6). Dito de outro modo, se o comprimento dos condutores de fase e neutro exceder L_F ou L_N a resistência dos condutores de fase e neutro aumentará pelo que o valor da intensidade de corrente de curto-circuito fase-neutro no extremo da canalização diminuirá. Nestas condições, o tempo de actuação do aparelho de protecção será superior a 5 s.

Este raciocínio permite concluir que, a cada par corrente nominal do aparelho de protecção/ secções S_F ou S_N se pode associar o comprimento máximo L_F ou L_N que essa canalização poderá ter se for estabelecida com condutores de fase e neutro possuindo as secções referidas. Os quadros 13.3 a 13.7 em anexo ao Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão indicam os comprimentos máximos que as canalizações podem assumir considerando que a protecção é assegurada por fusíveis APC de tipo gI para diversas condições de instalação e diversos tipos de condutores.

8.4. Localização dos aparelhos de protecção contra sobrecargas e contra curto-circuitos

Os Artigos 129 e 131 do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão fornecem indicações relativas à localização dos aparelhos de protecção contra sobrecargas e contra curto-circuitos. Assim:

- o Artigo 129 indica que "no ponto onde a intensidade de corrente máxima admissível de uma canalização sofrer redução em resultado de uma mudança da sua secção nominal, da natureza, do tipo ou do modo de estabelecimento deverão ser

colocados aparelhos de protecção contra sobrecargas, a não ser que a canalização de menor corrente máxima admissível esteja protegida contra sobrecargas e curto-circuitos por aparelhos colocados a montante";

- o ponto 1 do Artigo 131 estipula que "no ponto onde a intensidade de corrente máxima admissível de uma canalização sofrer redução em resultado de uma mudança da sua secção nominal, da natureza, do tipo ou do modo de estabelecimento deverão ser colocados aparelhos de protecção contra curto-circuitos";
- o ponto 2 do Artigo 131 indica "os aparelhos de protecção poderão ser colocados em qualquer ponto do percurso da canalização desde que se verifiquem, simultaneamente, as condições seguintes:
 - os aparelhos de protecção colocados a montante possuírem características de funcionamento tais que protejam contra curto-circuitos a canalização situada a jusante da mudança de secção nominal, da natureza, do tipo ou do modo de estabelecimento;
 - o comprimento da canalização situada a jusante de secção nominal S_2 não seja superior ao que é determinado pela Figura 8.7.

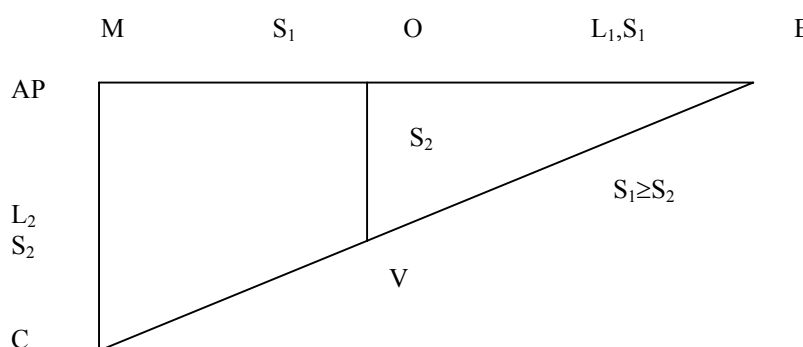


Figura 8.7 - Localização de aparelhos de protecção contra curto-circuitos.

Nesta figura:

- AP representa o aparelho de protecção;
- $MB=L_1$ é o comprimento máximo da canalização de secção nominal S_1 protegida contra curto-circuitos pelo aparelho AP colocado em M;
- $MC=L_2$ é o comprimento máximo da canalização de secção nominal S_2 protegida contra curto-circuitos pelo aparelho AP colocado em M;"

Nestas condições, "o comprimento máximo da canalização derivada em O, de secção nominal S_2 , protegida contra curto-circuitos pelo aparelho colocado em M é dada pelo comprimento OV".

Exemplo 6

A título de exemplo, e antes de se justificar o conteúdo deste artigo consideremos a rede cujo esquema unifilar se apresenta na Figura 8.8. Em relação a esta rede sabe-se que o ramal é constituído por um cabo em que os condutores de fase possuem 70 mm^2 de secção de nominal.

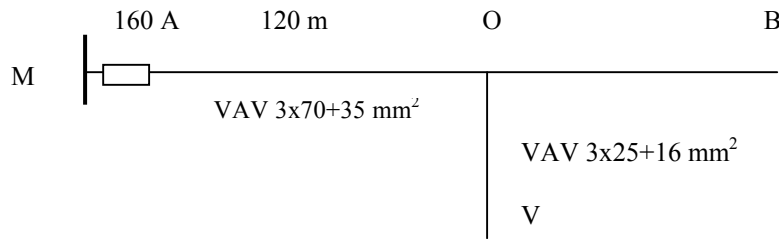


Figura 8.8 - Esquema unifilar de uma rede de distribuição.

Uma consulta ao quadro 13.6 em anexo ao Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão indica que esta canalização poderá ter, no máximo, um comprimento de 170 m. Isto significa que, de acordo com a Figura 8.6, $MB=170 \text{ m}$. Entretanto, a partir do ponto O situado a 120 m de M pretende-se derivar um ramal constituído por um cabo trifásico em que os condutores de fase possuem 25 mm^2 de secção nominal. Pretende-se saber o comprimento máximo que este ramal poderá possuir.

O quadro 13.6 já referido indica que o fusível com $I_n=160 \text{ A}$ protege de forma adequada um cabo com secção nominal de 25 mm^2 possuindo, no máximo, um comprimento de 75 m. Nestas condições, e atendendo à Figura 8.7, verifica-se que:

$$S_1 = 70 \text{ mm}^2 \quad (8.27)$$

$$MB = L_1 = 170 \text{ m} \quad (8.28)$$

$$S_2 = 25 \text{ mm}^2 \quad (8.29)$$

$$MC = L_2 = 75 \text{ m} \quad (8.30)$$

$$OB = 50 \text{ m} \quad (8.31)$$

Assim, o comprimento OV correspondente é dado por (8.33) pelo que a canalização derivada no ponto O poderá ter, no máximo, um comprimento de 22,06 m.

$$\begin{array}{l} OB \text{ ---- } OV \\ MB \text{ ---- } MC \end{array} \quad (8.32)$$

$$OV = \frac{OB \cdot MC}{MB} = \frac{50 \cdot 75}{170} = 22,06 \text{ m} \quad (8.33)$$

Nos parágrafos seguintes apresenta-se a justificação para este raciocínio. Consideremos dois condutores com secções de fase S_{F1} e S_{F2} e de neutro S_{N1} e S_{N2} tal que $S_{F2} < S_{F1}$. Como já foi referido, para uma dada corrente nominal do aparelho de protecção é possível determinar o valor da corrente que o deverá percorrer por forma que o tempo de actuação seja de 5 s. Seja esta corrente representada por $I_{cc}^{\min}$. Como foi referido no ponto v) de 8.3, a este valor de corrente estará associado um comprimento máximo, dependente da secção dos condutores, que não poderá ser ultrapassado. Se tal

ocorresse, a resistência da malha de defeito aumentava pelo que a corrente de curto-circuito para um defeito no ponto extremo da canalização seria inferior a $I_{cc}^{\min}$ originando que o tempo de actuação do aparelho de protecção fosse superior a 5 s. Os comprimentos máximos $L_1^{\max}$ e $L_2^{\max}$ associados a S_{F1}/S_{N1} , por um lado, e a S_{F2}/S_{N2} , por outro, são dados por (8.34) e (8.35).

$$I_{cc}^{\min} = \frac{0,95.U}{1,5.\rho_1^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F1}} + \frac{1}{S_{N1}} \right) \cdot L_1^{\max}} \quad (8.34)$$

$$I_{cc}^{\min} = \frac{0,95.U}{1,5.\rho_2^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F2}} + \frac{1}{S_{N2}} \right) \cdot L_2^{\max}} \quad (8.35)$$

Por outro lado, se num ponto da canalização de secção S_{F1} situado a uma distância $L_1 < L_1^{\max}$ do seu início for realizada uma derivação com um condutor de secção S_{F2} , o comprimento L_2 que este ramal poderá possuir será obtido a partir de (8.36). Esta expressão corresponde, aliás, à corrente de curto-circuito no ponto extremo do condutor de secção S_{F2} .

$$I_{cc}^{\min} = \frac{0,95.U}{1,5.\rho_1^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F1}} + \frac{1}{S_{N1}} \right) \cdot L_1 + 1,5.\rho_2^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F2}} + \frac{1}{S_{N2}} \right) \cdot L_2} \quad (8.36)$$

A análise das expressões (8.34), (8.35) e (8.36) permite concluir que o valor de $I_{cc}^{\min}$ poderá ser atingido considerando um único condutor de secção S_{F1} , ou um único condutor de secção S_{F2} , ou a série de dois condutores de secção S_{F1} e S_{F2} tal que os seus comprimentos L_1 e L_2 respeitem a condição (8.36). De outro modo, a um valor de $I_{cc}^{\min}$ está associado um valor máximo do denominador da expressão da corrente de curto-circuito fase-neutro que não poderá ser excedido apesar de poder ser atingido considerando diversas configurações da instalação. Assim, os denominadores de (8.34), (8.35) e (8.36) são afinal iguais resultando (8.37) ou, o que é equivalente, (8.38).

$$\begin{cases} \rho_1^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F1}} + \frac{1}{S_{N1}} \right) \cdot L_1^{\max} = \rho_2^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F2}} + \frac{1}{S_{N2}} \right) \cdot L_2^{\max} \\ \rho_1^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F1}} + \frac{1}{S_{N1}} \right) \cdot L_1^{\max} = \rho_1^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F1}} + \frac{1}{S_{N1}} \right) \cdot L_1 + \rho_2^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F2}} + \frac{1}{S_{N2}} \right) \cdot L_2 \end{cases} \quad (8.37)$$

$$\begin{cases} \rho_1^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F1}} + \frac{1}{S_{N1}} \right) \cdot L_1^{\max} = \rho_2^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F2}} + \frac{1}{S_{N2}} \right) \cdot L_2^{\max} \\ \rho_1^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F1}} + \frac{1}{S_{N1}} \right) \cdot (L_1^{\max} - L_1) = \rho_2^{20^\circ C} \cdot \left(\frac{1}{S_{F2}} + \frac{1}{S_{N2}} \right) \cdot L_2 \end{cases} \quad (8.38)$$

Dividindo membro a membro estas duas equações, obtém-se a relação (8.39) que corresponde à representação gráfica apresentada na Figura 8.7.

$$\frac{L_1^{\max}}{L_1^{\max} - L_1} = \frac{L_2^{\max}}{L_2} \quad (8.39)$$

8.5. Coordenação das protecções contra sobrecargas e contra curto-circuitos

Em algumas situações torna-se conveniente instalar aparelhos diferentes para protecção contra sobrecargas e contra curto-circuitos. Em todo o caso, o número 1 do Artigo 132 do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão estabelece que "se um aparelho de protecção contra sobrecargas possuir um poder de corte pelo menos igual à corrente de curto-circuito previsível no ponto da rede onde foi estabelecido, poderá assegurar igualmente a protecção contra curto-circuitos da canalização situada a jusante se obedecer ao disposto nos Artigos 130 e 131" já referidos neste texto.

Se tal não se verificar e houver necessidade de instalar aparelhos distintos para protecção contra sobrecargas e contra curto-circuitos deverá verificar-se o estipulado no número 2 do Artigo 132 já referido. Este número indica que se deverá "verificar se as curvas de funcionamento do aparelho de protecção contra curto-circuitos são tais que, para qualquer sobreintensidade de valor superior ao poder de corte do aparelho de protecção contra sobrecargas, o tempo de funcionamento do aparelho de protecção contra curto-circuitos é menor que o da protecção contra sobrecargas".

A este respeito, o comentário número 3 desse artigo apresenta a Figura 8.9 em que se representam as curvas de funcionamento de um disjuntor - D - e de um fusível - F - coordenadas de modo que o fusível actue primeiro se a intensidade de corrente for superior a um valor I_0 .

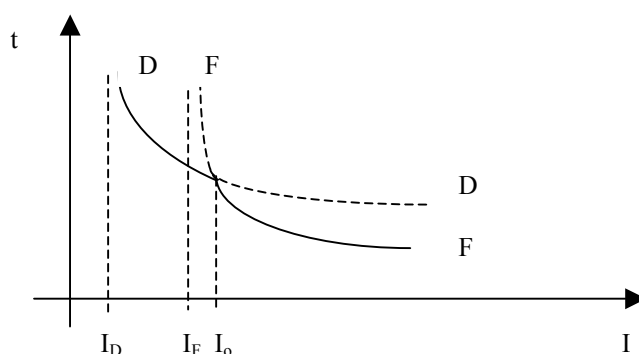


Figura 8.9 - Coordenação entre as protecções contra sobrecargas e curto-circuitos.

Este valor I_0 deverá ser não superior ao que está associado ao poder de corte do aparelho de protecção contra sobrecargas. Desta forma, assegura-se que se a intensidade de corrente de defeito for inferior a I_0 actua, em primeiro lugar, o disjuntor já que este tem poder de corte suficiente para cortar a intensidade de corrente de defeito em boas condições. Este facto decorre de I_0 ser não superior à intensidade de corrente correspondente ao poder de corte do disjuntor. Se a intensidade de corrente de defeito

for superior a I_0 , actuará, em primeiro lugar, o fusível, isto, é o aparelho de protecção contra curto-circuitos.

8.6. Selectividade das protecções

O comentário 1 ao Artigo 132 do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de energia Eléctrica em Baixa Tensão indica que "a selectividade das protecções consiste em assegurar que, em caso de defeito, apenas actua o aparelho de protecção situado imediatamente a montante do defeito". Para esclarecer este conceito e a sua importância consideremos a rede de distribuição de energia eléctrica esquematizada na Figura 8.10.

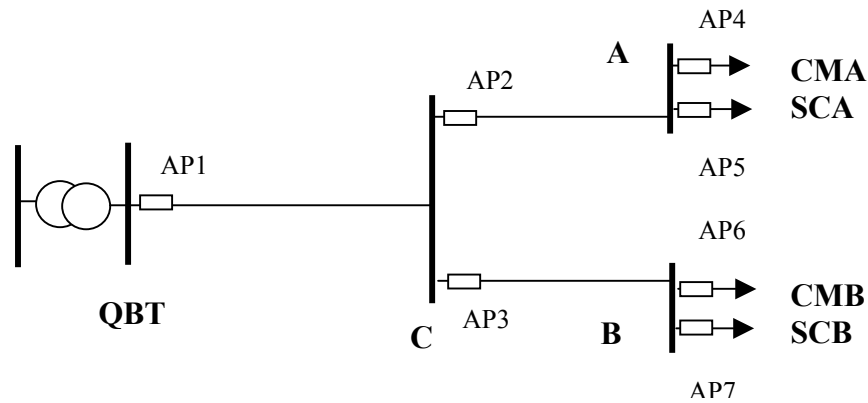


Figura 8.10 - Esquema unifilar de uma rede de distribuição de energia eléctrica.

Consideremos, agora, que ocorreu um defeito na coluna montante CMA originando uma intensidade de corrente de defeito I_{cc-CMA} . Nestas condições, fluirá uma corrente de curto-circuito pelos condutores QBT-C, CA e, finalmente, CMA. Assim, os aparelhos de protecção AP1, AP2 e AP4 serão percorridos por essa intensidade de corrente de defeito. Nestas condições, os aparelhos de protecção referidos deverão ter sido seleccionados por forma que se verifiquem as relações de tempos de actuação dadas por (8.40).

$$t_{AP4}(I_{cc-CMA}) < t_{AP2}(I_{cc-CMA}) < t_{AP1}(I_{cc-CMA}) \quad (8.40)$$

Se esta condição for verificada garante-se que actua o aparelho AP4 em primeiro lugar pelo que apenas serão interrompidas as cargas ligadas à coluna montante CMA. Por outras palavras, as cargas ligadas aos dois quadros de serviços comuns e à coluna montante CMB continuam a ser alimentadas contribuindo-se, assim, para diminuir a energia cortada, os tempos de interrupção e, de forma mais geral, para melhorar a qualidade de serviço.

Se, por qualquer razão, o aparelho AP4 não actuar, a condição (8.40) permite concluir que o aparelho AP2 será chamado a interromper a corrente de defeito. Repare-se que, neste caso, a corrente de defeito percorre a instalação durante um tempo mais longo, $t_{AP2}(I_{cc-CMA})$. Por outro lado, a actuação de AP2 origina, ainda, a interrupção da

alimentação a mais cargas - todas as cargas ligadas ao quadro A - quando comparado com o que ocorria se AP4 tivesse actuado.

Finalmente, se quer AP4 quer AP2 não actuassem então o aparelho AP1 seria chamado a actuar. Novamente, o tempo ao fim do qual a corrente de defeito era interrompida sofria um novo aumento, neste caso para $t_{AP1}(I_{cc-CMA})$ sendo agora interrompidas todas as cargas ligadas aos quadros A e B.

Como conclusão geral, pode verificar-se que a actuação de aparelhos instalados em locais mais afastados do local onde ocorreu o defeito origina que mais cargas sejam retiradas de serviço e que o tempo de eliminação do defeito aumente.

Ao longo dos parágrafos anteriores considerou-se que os aparelhos de protecção tinham sido seleccionados de forma adequada de modo que o seu funcionamento seja selectivo. Isto significa, por exemplo, que para a corrente de defeito no extremo de CMA o aparelho AP2 só actuará se, devido a uma situação de defeito em AP4, este não actuar e AP1 só actuará se tiverem ocorrido situações de defeito simultaneamente em AP4 e em AP2.

Em todo o caso, poderão actuar em primeiro lugar aparelhos de protecção instalados em locais mais afastados do local de defeito mesmo estando em boas condições o aparelho de protecção situado imediatamente a montante. Esta situação ocorre desde que os aparelhos de protecção não possuam selectividade. Em relação à situação que tem vindo a ser analisada, isto significava que a condição (8.40) não se verificava. Assim, a actuação de AP2 significava que $t_{AP2}(I_{cc-CMA})$ era inferior a $t_{AP4}(I_{cc-CMA})$ e a actuação de AP1 significava que $t_{AP1}(I_{cc-CMA})$ era inferior a $t_{AP2}(I_{cc-CMA})$ e a $t_{AP4}(I_{cc-CMA})$. Em qualquer destes casos, as actuações de AP2 ou de AP1 correspondiam a actuações intempestivas que importa evitar.

Os comentários 1, 2 e 3 ao Artigo 132 do Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão fornece algumas indicações relativas à obtenção de selectividade das protecções. Assim:

- "no caso de uma pequena sobreintensidade, o problema da selectividade é facilmente resolvido a partir do momento em que os aparelhos de protecção tenham intensidades de funcionamento decrescentes de montante para jusante". Garante-se, assim, que os aparelhos de protecção apresentam para a mesma intensidade de corrente que os percorra, tempos de actuação crescentes de jusante para montante;
- "por outro lado, em caso de curto-circuito, a corrente atravessa os aparelhos colocados em série e o seu valor é certamente suficiente para assegurar o seu funcionamento. Para que a selectividade seja assegurada é preciso que o tempo de funcionamento do aparelho colocado a montante seja maior que o do aparelho colocado a jusante". Para realizar esta verificação deverão ler-se nas curvas características dos aparelhos de protecção os tempos de actuação dos aparelhos envolvidos, para a mesma intensidade de corrente de defeito. Estes tempos deverão ser crescentes desde o aparelho situado imediatamente a montante do local de defeito até ao aparelho situado a montante no ponto mais afastado da instalação. Na

prática, as normas CEI relativas a este assunto indicam que esta condição é verificada se a corrente nominal, calibre ou regulação de um aparelho a montante for pelo menos o dobro da corrente nominal, calibre ou regulação do aparelho situado a jusante. A verificação desta regra garante que as curvas características dos dois aparelhos se encontram suficientemente afastadas de modo que o tempo de actuação do aparelho situado a jusante seja inferior ao do aparelho a montante;

- "se os dois aparelhos consecutivos são corta-circuitos fusíveis, o tempo de funcionamento depende do tempo de fusão do elemento de substituição e da temperatura à qual se encontra cada elemento de substituição no momento de ocorrência do defeito, temperatura essa que depende do valor da corrente que atravessa o fusível antes do defeito. Se, por exemplo, o aparelho situado a montante alimenta várias derivações, a corrente que o atravessa pode ser relativamente elevada, ao passo que o aparelho situado a jusante poderá não ser percorrido por qualquer corrente. Tais condições podem comprometer a selectividade e fazer funcionar, simultaneamente, os dois aparelhos";
- "o problema da selectividade torna-se mais difícil de resolver se se pretender assegurar a selectividade entre um disjuntor e um corta-circuitos fusível, sendo então preciso comparar as curvas de funcionamento dos dois aparelhos". Esta comparação destina-se a verificar se essas curvas características se encontram suficientemente afastadas, isto é, se para qualquer corrente de defeito o aparelho situado a jusante possui um tempo de actuação inferior ao assegurado pelo aparelho a montante. A título de exemplo, na Figura 8.10 encontra-se esquematizadas possíveis curvas características dos aparelhos AP1, AP2 e AP4 - incluídos na rede representada na Figura 8.10 - de modo que exista selectividade entre eles. Nesta representação considerou-se que AP1 e AP2 são fusíveis e AP4 é um disjuntor.

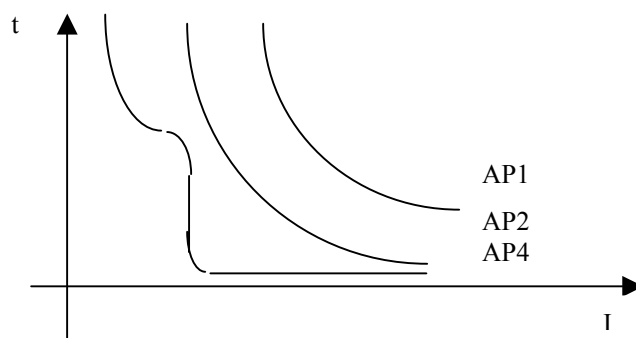


Figura 8.11 - Possíveis curvas características de AP1, AP2 e AP4.

8.7. Aspectos genéricos sobre protecção de motores

Os motores eléctricos apresentam características de funcionamento que justificam uma atenção especial em termos da sua protecção. Os motores normalmente utilizados em instalações de baixa tensão são máquinas de indução que requerem uma atenção especial tendo em conta os aspectos seguintes:

- aquecimento exagerado do motor causando a fadiga térmica dos isolamentos e a sua consequente destruição. Esta situação pode ser devida a sobrecargas mecânicas, a diminuição da tensão de alimentação, à falta de uma fase do circuito de alimentação ou a situações de curto-circuito;
- por outro lado, os motores de indução são caracterizados por possuírem intensidades de corrente de arranque por vezes bastante elevadas em relação ao valor nominal. Assim, este aspecto deverá ser considerado por a forma a não ocorrerem disparos intempestivos no período de arranque que, dessa forma, o inviabilizem;
- coordenação das protecções contra sobrecargas e contra curto-circuitos por forma a obter tempos de actuação adequados para estas situações;

Para responder de forma adequada a estes problemas é usual instalar um conjunto de aparelhos de protecção de entre os quais se contam:

- relés térmicos accionando disjuntores que sejam sensíveis à temperatura a que o motor se encontra. Para este efeito é necessário conhecer a temperatura limite dos enrolamentos do motor bem como a sua curva característica de aquecimento admitindo um funcionamento contínuo. Conhecendo estes elementos é possível seleccionar o relé de modo que a sua curva característica proteja o motor de forma adequada. Na Figura 8.12 encontram-se representadas a curva de aquecimento de um motor - M - e as curvas características de dois relés térmicos - RT1 e RT2. Como se pode verificar, o relé RT1 não protege o motor de forma adequada já que se este atingir a temperatura θ_1 assinalada, o relé actua ao fim de t_{RT1} e o motor pode suportar esta temperatura durante o tempo t_M . Devido ao posicionamento destas curvas, pode verificar-se que t_{RT1} é superior a t_M pelo que motor ficaria submetido à temperatura θ_1 um tempo excessivo. Pelo contrário, o relé RT2 confere uma protecção adequada ao motor;

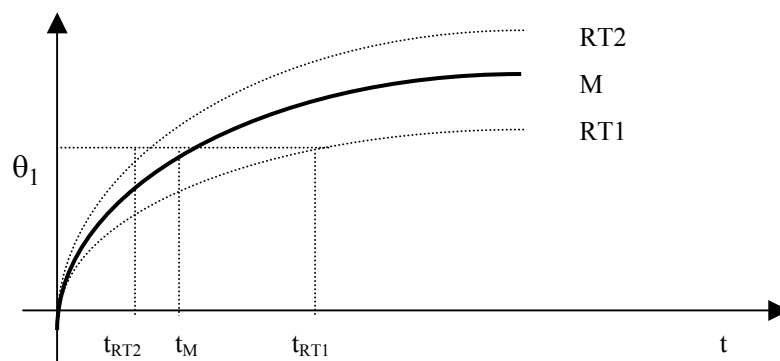


Figura 8.12 - Protecção de um motor contra sobrelevações de temperatura.

- por outro lado, repare-se que no parágrafo anterior se admitiu que o motor funciona de forma contínua. Se, pelo contrário, o motor funcionar de forma intermitente verifica-se que ficará sujeito a condições de aquecimento mais desfavoráveis. Neste caso, é usual seleccionar um relé térmico que, para uma mesma temperatura θ_1 , possua um tempo de actuação um pouco mais reduzido quando comparado com o

indicado no parágrafo anterior. Por outras palavras, o motor deverá ser ligeiramente sobreprotegido contra sobrelevações de temperatura;

- relés diferenciais que permitam detectar de forma rápida e segura situações em que falta uma fase ao sistema de alimentação de motores trifásicos. Nesta situação, pelo menos um dos enrolamentos do motor poderá ficar em sobrecarga e determinar, por isso, um aumento da temperatura. Os relés diferenciais baseam-se no facto de em serviço normal a soma das intensidades de corrente de alimentação ser nula. Quando um condutor de fase é interrompido, a soma das intensidades de corrente nas restantes duas fases é não nula sendo este facto interpretado como estando associado a uma situação anormal de funcionamento;
- durante o arranque, e como já foi referido, os motores de indução, ficam sujeitos a sobrelevações importantes da intensidade de corrente devidas à necessidade de absorver uma quantidade significativa de potência reactiva para proceder à magnetização dos circuitos magnéticos do motor. Se não forem tomadas quaisquer precauções, estas sobrelevações do valor da intensidade de corrente poderão ser suficientes para determinar a actuação do aparelho de protecção contra sobrecargas. Por esta razão, em situações de arranque directo, tal como se apresenta na Figura 8.13 por exemplo, é usual utilizar contactos temporizados de um contactor C2 que permitem curto-circuitar a protecção contra sobrecargas durante o período inicial de arranque. Esses contactos deverão abrir, colocando a protecção contra sobrecargas em serviço, alguns s antes de terminado o arranque.

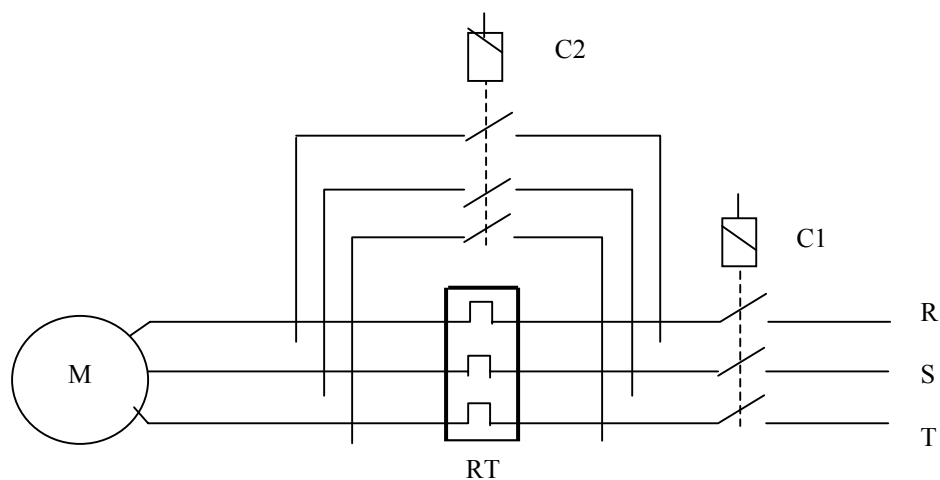


Figura 8.13 - Montagem do circuito de alimentação de um motor com arranque directo.

Noutras situações, pode optar-se por instalar dois relés de protecção contra sobrecargas sendo um deles regulado para uma menor intensidade de corrente e outro mais elevada. Neste caso, durante o período de arranque o relé com menor corrente de regulação está inactivo. Esta montagem tem a vantagem de estar sempre presente no circuito um aparelho de protecção, mesmo durante o período de arranque. Noutros casos, pode optar-se por utilizar o arranque estrela-triângulo. Este esquema de arranque permite diminuir a intensidade de corrente de arranque contribuindo, assim, para tornar mais fácil a regulação das protecções contra sobrecargas;

- finalmente, deve assinalar-se que as protecções contra sobrecargas e curto-circuitos deverão estar coordenadas. Nas Figuras 8.14 e 8.15 encontram-se esquematizadas duas situações típicas. Na Figura 8.14 estão assinaladas as curvas características do relé térmico de protecção contra sobrecargas - RT - e do fusível para protecção contra curto-circuitos - F. Na Figura 8.15 estão representadas as curvas características do relé térmico de protecção contra sobrecargas - RT - e do disjuntor para protecção contra curto-circuitos - D. Em ambas as Figuras estão representados o poder de corte - I_{C1} - do contactor C1, de acordo com o esquema da Figura 8.13, bem como o ponto P correspondente à característica de arranque do motor.

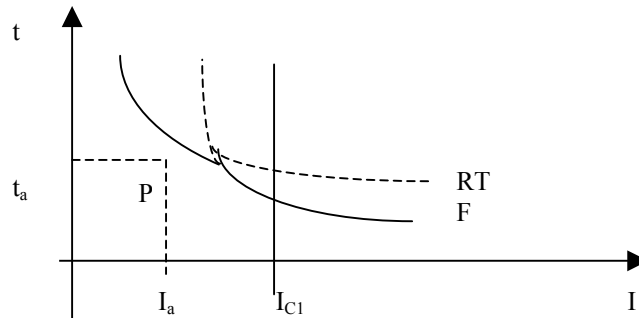


Figura 8.14 - Coordenação entre a protecção por relé térmico e por fusíveis.

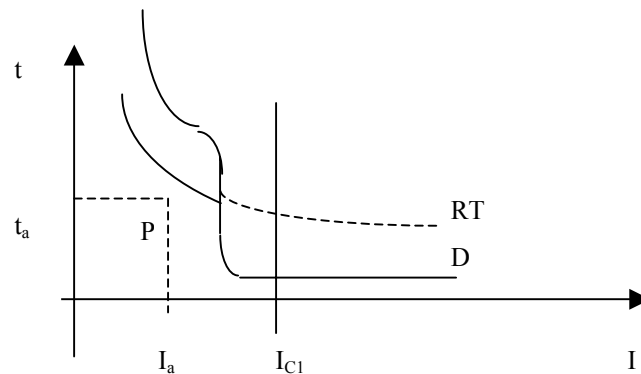


Figura 8.15 - Coordenação entre a protecção por relé térmico e por disjuntor.

Como se pode verificar em ambos os casos, a curva característica da protecção contra sobrecargas encontra-se posicionada de modo a não inviabilizar o arranque do motor. Com efeito, o tempo de actuação da protecção contra sobrecargas para a corrente de arranque, I_a , é superior ao tempo de arranque respectivo. Em qualquer caso, o contactor C1 teria capacidade para estabelecer em boas condições a corrente de arranque do motor dado que a corrente I_{C1} é superior a I_a .