

## PSI 3263 – Práticas de Eletricidade e Eletrônica I – 2016

### **Relatório da Experiência 6 – Condutores e Dispositivos de Proteção**

**Nomes:** \_\_\_\_\_ **NºUSP:** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

#### **1. Procedimento experimental**

1.1 - Levantamento de curva de aquecimento de um fio de cobre, isolado, de seção nominal 1,5 mm<sup>2</sup> ao ar livre.

##### 1.1.1 - Dados

Diâmetro externo do condutor  $D_{cond} = 1,4 \text{ mm}$   
Diâmetro externo do fio  $D_{fio} = 2,7 \text{ mm}$   
Temperatura máxima de operação (PVC)  $T_{cond \text{ máx}} = 70^\circ\text{C}$   
Resistividade elétrica do cobre a 20°C  $\rho_{20^\circ\text{C}} = 0,017241 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$   
Coef. de variação da resistividade a 20°C  $\alpha_{20^\circ\text{C}} = 0,00393 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$   
Resistividade térmica do isolante  $\rho_{iso} = 6,0^\circ\text{Cm/W}$   
Calor específico do cobre  $c_{cond} = 3,45 \cdot 10^6 \text{ J/}^\circ\text{Cm}^3$   
Calor específico do isolante  $c_{iso} = 1,70 \cdot 10^6 \text{ J/}^\circ\text{Cm}^3$   
Constantes da geometria da instalação para  
um fio isolado ao ar livre (Tabela IEC)  $E = 3,94$  ;  $g = 0,60$  ;  $z = 0,21$

1.1.2 - Calcule os valores abaixo solicitados (não é necessário executar nenhuma conversão de unidades; cada valor calculado deve ser transportado diretamente aos passos subsequentes)

- Resistência ôhmica do condutor à temperatura máxima de operação

$$S_{cond} = \pi \cdot \left(\frac{D_{cond}}{2}\right)^2 = \dots\dots\dots \text{mm}^2$$

$$R_{cond}(T_{cond \text{ máx}}) = \frac{\rho_{20^\circ\text{C}}}{S_{cond}} \cdot [1 + 0,00393 \times (T_{cond \text{ máx}} - 20)] = \dots\dots\dots \Omega / \text{m}$$

- Resistência térmica do isolante

$$R_{tiso} = \frac{\rho_{iso}}{2\pi} \ln \frac{D_{fio}}{D_{cond}} = \dots\dots\dots ^\circ\text{Cm} / \text{W}$$

- Resistência térmica do ar

$$T_{amb} = \dots\dots\dots \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$h = \frac{z}{(10^{-3} D_{fio})^g} + E = \dots\dots\dots$$

$$\theta_s = T_{sup iso} - T_{amb} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (valor adotado)}$$

$$R_{tar} = \frac{10^3}{\pi \cdot D_{fio} \cdot h \cdot \theta_s^{0,25}} = \dots\dots\dots \text{ }^{\circ}\text{Cm} / \text{W}$$

$\theta_s$  = elevação de temperatura da superfície da isolação sobre o ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ );

$h$  = coeficiente de dissipação de calor.

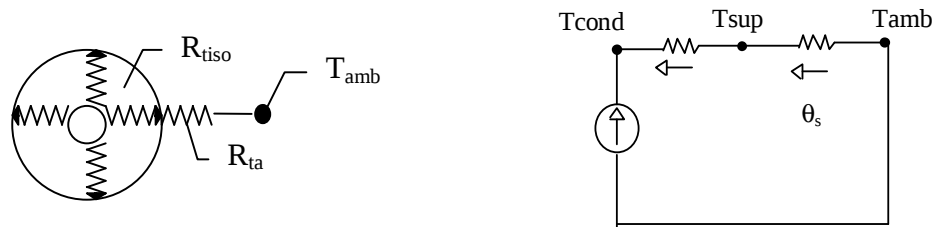


Figura 1.1

- Capacidade térmica do condutor

$$Q_{cond} = 10^{-6} \times c_{cond} \times S_{cond} = \dots\dots\dots \text{J}/^{\circ}\text{Cm}$$

- Capacidade térmica da isolação

$$Q_{iso} = 10^{-6} \times c_{iso} \times S_{iso} = 10^{-6} \times c_{iso} \times \frac{\pi}{4} \times (D_{fio}^2 - D_{cond}^2) = \dots\dots\dots \text{J} / ^{\circ}\text{Cm}$$

- Corrente admissível

A curva de aquecimento do condutor é dada por:

$$\theta(t) = T_{cond}(t) - T_{amb} = R_{cond} \times I^2 \times (R_{tiso} + R_{tar}) \times [1 - e^{-\frac{t}{(R_{tiso} + R_{tar}) \times (Q_{cond} + Q_{iso})}}]$$

Decorrido um intervalo de tempo suficientemente grande ( $t \rightarrow \infty$ ), resulta:

$$I_{adm}^2 = \frac{T_{cond\ max} - T_{amb}}{R_{cond} \times (R_{tiso} + R_{tar})}$$

$$I_{adm} = \dots\dots\dots A$$

### 1.1.3 - Procedimento

Faça a montagem apresentada na Figura 1.2. Esta montagem permite obter elevadas correntes no secundário do transformador (da ordem de 50A) sem prejudicar a rede elétrica, que fornece em torno de 1A ao primário do transformador. O VARIAC nada mais é que um transformador com relação de transformação variável: o ajuste da tensão de saída no VARIAC permite controlar indiretamente a corrente aplicada ao corpo de prova.

#### ATENÇÃO:

A plataforma onde se encontra o transformador possui 2 disjuntores de 6A, os quais controlam a alimentação do VARIAC. Frequentemente estes disjuntores abrem o circuito devido ao pico de corrente durante a energização do VARIAC, cuja indutância é elevada. Se isto ocorrer, efetue diversas tentativas de ligação dos disjuntores até conseguir energizar o VARIAC.

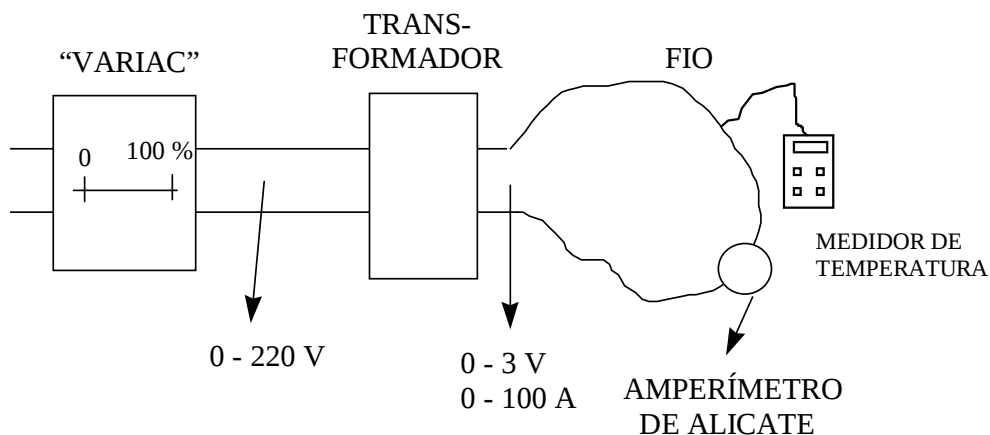


Figura 1.2

- a) Levantar a curva de elevação de temperatura do fio  $\theta(t)$ , para 1 fio ao ar livre, impondo a corrente constante e igual a  $I_{adm}$  calculada no item anterior. Completar a primeira coluna da Tabela 1.1.

**ATENÇÃO:**

- (1) Ao ajustar a corrente calculada em 1.1.2, o fio irá se aquecer. Portanto, após realizado o ajuste de corrente e antes de iniciar as medições, é necessário aguardar que o fio volte à temperatura ambiente.
- (2) Como a resistência do fio aumenta com a temperatura e a tensão aplicada ao fio é baixa, o aquecimento do fio causará uma redução sensível na corrente. Para manter a corrente no valor especificado será necessário verificar e compensar a corrente durante o levantamento da curva, atuando-se no controle do VARIAC.
- (3) Se a qualquer momento a temperatura medida for superior à temperatura máxima suportável pelo condutor ( $70^{\circ}\text{C}$ ), o experimento deve ser interrompido. Deve-se então ajustar e medir a corrente que mantém o condutor nessa temperatura, anotando o valor da corrente no item (b), a seguir.

Tabela 1.1

| Tempo (s) | Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )  |                                |                                        |
|-----------|-------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------|
|           | 1 fio ao ar livre<br>(experimental) | 1 fio ao ar livre<br>(teórico) | 2 fios em eletroduto<br>(experimental) |
| 0         |                                     |                                |                                        |
| 10        |                                     |                                |                                        |
| 20        |                                     |                                |                                        |
| 30        |                                     |                                |                                        |
| 40        |                                     |                                |                                        |
| 50        |                                     |                                |                                        |
| 60        |                                     |                                |                                        |
| 90        |                                     |                                |                                        |
| 120       |                                     |                                |                                        |
| 150       |                                     |                                |                                        |
| 180       |                                     |                                |                                        |
| 210       |                                     |                                |                                        |
| 240       |                                     |                                |                                        |
| 270       |                                     |                                |                                        |
| 300       |                                     |                                |                                        |
| 330       |                                     |                                |                                        |
| 360       |                                     |                                |                                        |

- b) Determinar experimentalmente a corrente que resulta em temperatura de regime de 70°C (1 fio ao ar livre). Para isto, variar o valor da corrente com o uso do VARIAC, até que a temperatura medida se estabilize em torno de 70°C.

$$I_{\text{EXP adm}(1 \text{ fio})} = \dots\dots\dots \text{A}$$

- c) Com a aplicação da expressão teórica, completar a segunda coluna da Tabela 6.1. (Substituir, na expressão abaixo, os valores de tempo  $t$  da Tabela 6.1, calculando os valores correspondentes de  $T_{\text{cond}}(t)$ . Utilizar  $I = I_{\text{adm}}$  calculada anteriormente.)

$$\theta(t) = T_{\text{cond}}(t) - T_{\text{amb}} = R_{\text{cond}} \times I^2 \times (R_{\text{tiso}} + R_{\text{tar}}) \times [1 - e^{-\frac{t}{(R_{\text{tiso}} + R_{\text{tar}}) \times (Q_{\text{cond}} + Q_{\text{iso}})}}]$$

- d) Comentar os resultados, comparando os resultados dos itens (a), (b) e (c):

.....  
 .....  
 .....  
 .....

## 1.2 - Levantamento de curva de aquecimento de dois fios isolados em eletroduto

Observação: a expressão da elevação de temperatura do fio utilizada no item anterior foi deduzida para 1 fio ao ar livre, não sendo aplicável a 2 fios em um eletroduto.

- 1.2.1 - Levantar a curva de elevação de temperatura do fio, para 2 fios isolados em eletroduto, impondo a corrente constante igual a  $I_{\text{adm}}$  calculada no item 1. Completar a terceira coluna da Tabela 1.1.

- 1.2.2 - Ajustar a corrente para que, em regime permanente, os fios operem a 70°C.

$$I_{\text{EXP adm}(2 \text{ fios})} = \dots\dots\dots \text{A}$$

- 1.2.3 - Comparar:

- a)  $I_{\text{EXP adm}(1 \text{ fio})}$  e  $I_{\text{EXP adm}(2 \text{ fios})}$

.....  
 .....  
 .....

b)  $I_{EXP adm}$  (2 fios) e Corrente Admissível (Tabela C - Anexo 2)

.....

.....

.....

1.2.4 - Comentar os resultados.

.....

.....

.....

1.3 - Levantamento da curva de Tempo x Corrente de disjuntor de baixa tensão

Faça a montagem apresentada na Figura 1.3.

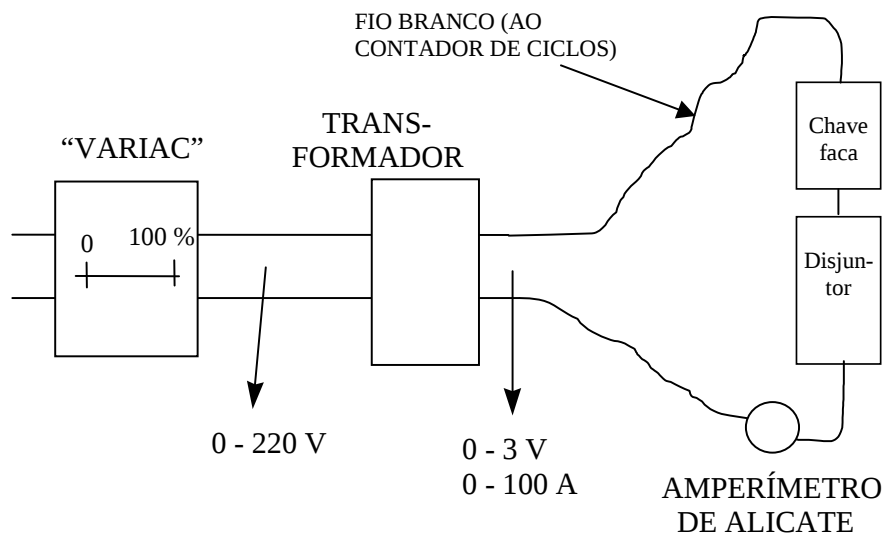


Figura 1.3

Nesta montagem o tempo que o disjuntor leva para interromper o circuito é determinado pelo contador de ciclos.

O contador é ativado pela própria corrente que passa no fio branco. Identifique o visor e a chave de "reset" do contador de ciclos, a qual serve para zerar o conteúdo do visor.

Os valores de corrente e tempo deverão ser lançados na Tabela 1.2 e na Figura 1.4. Para cada ponto proceda da seguinte forma:

- Ajuste o controle do VARIAC na corrente especificada (30A para o primeiro ponto da tabela). Proceda a este ajuste o mais rápido possível, para minimizar o aquecimento do disjuntor. Após alcançar o valor especificado de corrente, interrompa a mesma abrindo a chave faca (não mexa mais no ajuste do VARIAC);
- Zere o contador de ciclos e coloque-o de volta no modo de contagem;
- Feche a chave faca. A corrente no circuito ativará o contador. Quando o disjuntor interromper o circuito, o contador exibirá o número de ciclos transcorridos desde o início de circulação da corrente. Para determinar o tempo de abertura em segundos, divida o número de ciclos por 60 (frequência da rede).

**ATENÇÃO:** Para cada ponto obtido, permitir o resfriamento do disjuntor por um tempo mínimo de 2 minutos.

Tabela 1.2

| Corrente (A) | Número de ciclos | Tempo (s) |
|--------------|------------------|-----------|
| 30           |                  |           |
| 35           |                  |           |
| 40           |                  |           |
| 45           |                  |           |
| 50           |                  |           |

#### 1.4 - Conclusões

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

#### 1.5 - Questões adicionais

- 1.5.1 - Sabendo-se que o custo de um rolo (100 m) de condutor de cobre de 2,5 mm<sup>2</sup> com cobertura de PVC é de aproximadamente R\$ 50,00 e assumindo-se que o condutor tenha resistência de 14  $\Omega$ /km, qual será o valor da energia dissipada (em kWh) por efeito Joule em um período de 30 dias, considerando que a instalação tem 2 condutores ao ar livre de 15 m cada um nos quais circula uma corrente de 15 A durante 24 horas por dia? Assumindo-se que o custo da energia seja igual a 0,12 R\$/kWh, em quanto tempo o custo dessa energia será igual ao do investimento na compra do cabo?

1.5.2 - Determine a capacidade de condução de corrente do mesmo condutor que foi utilizado no Anexo 1, considerando agora que o condutor é de alumínio. Neste caso, tem-se  $\rho_{20^{\circ}\text{C}} = 0,02828 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$  e  $\alpha_{20^{\circ}\text{C}} = 0,00403 \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

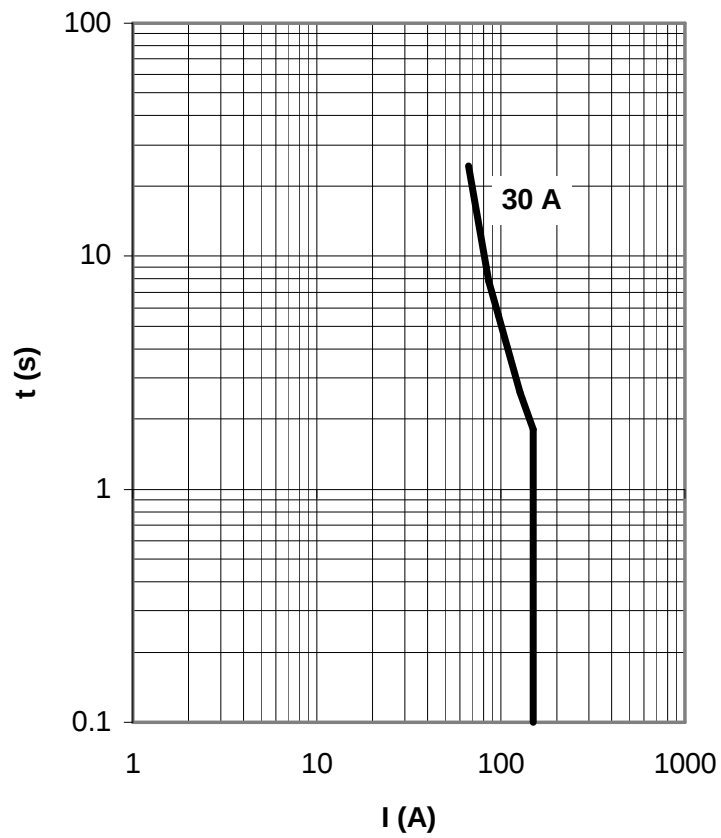


Figura 1.4