

## VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA COM A TEMPERATURA

Algumas substâncias apresentam variação de resistência tão pequena que, dentro de limites, têm resistências praticamente constantes, sendo usadas na fabricação de resistores.

Em geral a resistência elétrica dos materiais aumenta quando há elevação de temperatura. O carvão, o vidro, o quartzo, a grafita e a porcelana são exceções; suas resistências diminuem quando a temperatura aumenta, e vice-versa. O conhecimento da variação da resistência com a temperatura é absolutamente necessário, e como o cobre é das substâncias mais usadas em eletrotécnica, estudemos primeiro o seu comportamento.

Os dados obtidos da observação da variação da resistência do cobre com a temperatura permitem construir uma curva, marcando-se no eixo das abscissas os valores de temperatura e no eixo das ordenadas os valores de resistência.

De acordo com o gráfico, à temperatura  $t_2$  corresponde uma resistência  $R_2$  e à temperatura  $t_1$  corresponde uma resistência  $R_1$ , e verifica-se que a variação de resistência entre esses dois limites de temperatura é representada praticamente, por uma linha reta, isto é, a resistência diminui uniformemente, fato este que pode ser observado até um

ponto da curva que corresponde à temperatura de aproximadamente  $-100^\circ\text{C}$ . É oportuno salientar que entre  $-50^\circ$  e  $+200^\circ\text{C}$  a resistência de quase todos os condutores metálicos é praticamente proporcional à temperatura.

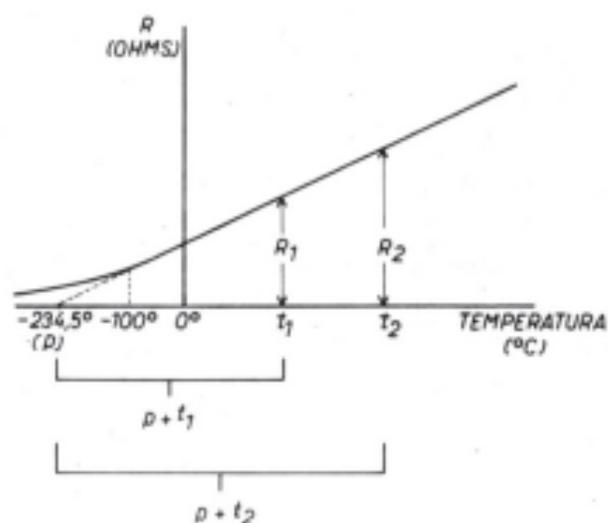


FIG. XV-1

Em temperaturas muito baixas, o conhecimento exato da razão de variação da resistência com a temperatura não é estritamente necessário, e podemos supor que a resistência do cobre continua diminuindo de modo uniforme, à medida que a temperatura diminui. Tal suposição é representada no gráfico pela linha pontilhada, que encontra o eixo das abscissas num ponto correspondente à temperatura de  $-234,5^\circ\text{C}$ . Assim, consideramos nula a

resistência do cobre no ponto (p) onde se admite que a curva encontra o eixo das abscissas. Este ponto é chamado de RESISTÊNCIA ZERO INFERIDA do cobre.

A semelhança de triângulos permite-nos estabelecer a seguinte expressão:

$$\frac{R_1}{p+t_1} = \frac{R_2}{p+t_2}$$

p = valor absoluto da resistência zero inferida (234,5).

com que podemos determinar a resistência do cobre em qualquer temperatura sendo conhecido o seu valor em uma dada temperatura, bem como calcular a temperatura a que foi submetido um condutor de cobre, sendo conhecida sua resistência na mesma e numa temperatura dada.

A expressão em apreço pode ser usada também em problemas referentes a outros metais ou ligas, desde que seja conhecido o valor de "p" (temperatura em que a resistência é considerada nula), e que a variação de suas resistências seja praticamente uniforme.

### **Coefficiente de Temperatura da Resistência**

Coefficiente de temperatura da resistência é a razão com que a resistência de uma substância varia por ohm e por grau de temperatura.

Para melhor compreensão dessa definição, acima, suponhamos que a resistência de um condutor de cobre a 0° C é de 1 ohm. De acordo com o que vimos, essa resistência se anulará se formos diminuindo a temperatura do condutor, até ser atingido o valor de -234,5° C.

Considerando uniforme essa va-

riação de resistência, como temos feito até o momento, podemos dizer que o decréscimo de resistência por grau Celsius será de

$$\frac{1}{234,5} = 0,00427 \text{ ohm aprox}$$

A resistência do condutor se anularia qualquer que fosse o seu valor a 0° C, e podemos generalizar o exposto, dizendo que o decréscimo de resistência por grau Celsius seria de

$$R_0 \times \frac{1}{234,5} = 0,00427 R_0 \Omega$$

Assim, concluímos que o coeficiente de temperatura do cobre é sempre igual a 0,004 27 ohm, por ohm, por grau Celsius, para uma dada resistência a 0° C, isto é, 0,004 27 é o coeficiente de temperatura do cobre para uma resistência inicial de um ohm a 0° C.

O coeficiente de temperatura da resistência é representado geralmente pela letra  $\alpha$  (alfa) do alfabeto grego.

O exposto permite-nos escrever a expressão abaixo, com que podemos determinar o valor do COEFICIENTE DE TEMPERATURA DA RESISTÊNCIA DE QUALQUER SUBSTÂNCIA cuja resistência varie, praticamente, de modo uniforme, ao ser variada a sua temperatura:

$$\alpha_0 = \frac{1}{p}$$

$\alpha_0$  = coeficiente de temperatura da resistência a 0° C. Em ohm, por ohm, por grau Celsius

p = temperatura em que a resistência da substância é considerada nula. Raciocinamos, anteriormente,

considerando a temperatura inicial do condutor igual a 0° C. Consideremo-la, agora, igual a um valor qualquer “t”, acima de 0° C.

Para anular a resistência do condutor seria necessário diminuir sua temperatura de 234,5 + t graus. Esta conclusão permite-nos escrever a expressão

$$\alpha_t = \frac{1}{234,5 + t}$$

ou, generalizando, para qualquer substância

$$\alpha_t = \frac{1}{p + t}$$

Com o auxílio da expressão acima podemos determinar o coeficiente de temperatura da resistência de qualquer substância, sendo conhecida a temperatura em que sua resistência se anula.

O coeficiente de temperatura da resistência de um material pode ser positivo ou negativo. É positivo quando a resistência do material aumenta com o aumento da temperatura; é negativo no caso contrário.

O TERMISTOR é uma aplicação, em Eletrônica, de materiais de coeficientes de temperatura negativos. Trata-se de um resistor cuja resistência diminui à medida que sua temperatura aumenta.

**CÁLCULO DO COEFICIENTE DE TEMPERATURA DA RESISTÊNCIA DE UM TIPO DE COBRE QUALQUER (K%) À TEMPERATURA DE 20° C, SENDO CONHECIDO O VALOR DO COEFICIENTE DE TEMPERATURA DA RESISTÊNCIA, A 20° C, DO COBRE PADRÃO**

$$\frac{\alpha'_{20}}{\alpha_{20}} = \frac{K\%}{100}$$

$\alpha'_{20}$  = coeficiente de temperatura de um cobre qualquer, a 20° C

$\alpha_{20}$  = coeficiente de temperatura, a 20° C, do cobre K 100%.

K% = condutividade percentual do cobre de  $\alpha'_{20}$ .

100 = condutividade do cobre K 100%.

### Outras Conclusões

A variação da resistência com a temperatura pode ser determinada, também, com o auxílio de outras fórmulas, de acordo com o seguinte raciocínio:

Sabemos que cada ohm de resistência a 0°C varia  $\alpha_0$  ohm por grau Celsius; logo, podemos escrever:

$$R_t = R_0 + R_0 \alpha_0 t$$

$R_0$  = resistência a 0° C

$R_t$  = resistência a “t” graus Celsius

ou

$$R_t = R_0 (1 + \alpha_0 t)$$

Esta expressão pode ser generalizada de modo que possamos calcular a resistência de um condutor numa temperatura “t” qualquer sendo conhecida sua resistência noutra temperatura “t”:

$$R_t = R_t (1 + \alpha_t \theta)$$

$R_t$  = resistência a “t” graus

$R_t$  = resistência a “t” graus

$\alpha_t$  = coeficiente de temperatura da resistência a “t” graus

$\theta$  = variação de temperatura

## Equações para a Resistividade

Evidentemente, a resistividade de um material também varia com a temperatura.

Todas as equações já estudadas para a determinação de resistências numa temperatura qualquer podem ser utilizadas, com a necessária substituição dos símbolos, para calcular a resistividade de um material em qualquer temperatura, observadas as mesmas limitações consideradas no cálculo com resistência:

$$\frac{\rho_1}{\rho + t_1} = \frac{\rho_2}{\rho + t_2}$$

$$\rho_r = \rho_t (1 + \alpha_t \theta)$$

## Supercondutividade

A supercondutividade é um fenômeno observado desde 1911, mas ainda pouco conhecido. Muitas pesquisas teóricas e experimentais estão sendo feitas atualmente sobre este fenômeno, que promete uma verdadeira revolução no campo da Eletrotécnica e da Eletrônica.

Trata-se da propriedade apresentada por um limitado número de materiais, que consiste na perda total de resistência elétrica em temperaturas bem próximas do zero absoluto (-273° C).

A TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO, isto é, a temperatura em que o material passa a ser supercondutor, depende da estrutura íntima do mesmo e da sua pureza, e pode variar de alguns décimos de grau até mais de uma dezena de graus absolutos. São conhecidos cerca de 22 elementos supercondutores, porém muitas ligas e compostos também apresentam esta importante pro-

priedade, com algumas características interessantes, entre as quais destacamos:

- a) suas temperaturas de transição são mais altas do que as das substâncias simples;
- b) em geral, uma liga supercondutora é formada por elementos supercondutores ou com a participação de pelo menos um elemento supercondutor em grande quantidade;
- c) certos compostos são supercondutores, embora na sua constituição não entrem elementos supercondutores.

A supercondutividade de um material pode ser destruída por um campo magnético. Quanto mais baixa for a temperatura de transição de um material, maior a intensidade do campo magnético necessário para eliminar sua supercondutividade.

Este é um fato que limita, dentro dos conhecimentos atuais do homem, uma das prováveis aplicações da supercondutividade. Com efeito, se a resistência de um supercondutor é realmente zero, abaixo da sua temperatura de transição, é possível (e já foi conseguido experimentalmente) manter uma corrente no mesmo sem consumo de energia. Infelizmente, a intensidade dessa corrente é limitada a um certo valor, pois o campo criado por ela pode destruir a supercondutividade do material, assim que é atingido um valor de intensidade de campo que depende da substância submetida à experiência.

Muitas são as possibilidades de utilização dos supercondutores e magníficos resultados já têm sido obtidos nas pesquisas efetuadas, mas são grandes ainda as dificuldades tecnológicas a serem vencidas.

### EXEMPLOS:

1 – Admite-se que a resistência do tungstênio se anula a  $-180^{\circ}\text{C}$ . Determinar o seu coeficiente de temperatura a  $0^{\circ}\text{C}$ .

SOLUÇÃO:

$$\alpha_0 = \frac{1}{p}$$

$$\alpha_0 = \frac{1}{180} = 0,005\Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$$

2 – Calcular a resistência de um condutor de cobre a  $200^{\circ}\text{C}$ , sabendo que sua resistência a  $30^{\circ}\text{C}$  é de 5 ohms. A resistência zero inferida do cobre é  $-234,5^{\circ}\text{C}$ .

SOLUÇÃO:

$$\frac{R_1}{p + t_1} = \frac{R_2}{p + t_2}$$

$$\frac{5}{234,5 + 30} = \frac{R_2}{234,5 + 200}$$

$$R_2 = \frac{5 \times 434,5}{264,5} = 8,2 \Omega$$

3 – A resistência de um condutor de cobre, a  $20^{\circ}\text{C}$ , é 30 ohms. Calcular sua resistência a  $50^{\circ}\text{C}$ . A resistência zero inferida do cobre é  $-234,5^{\circ}\text{C}$ .

SOLUÇÃO:

$$\alpha_t = \frac{1}{p + t}$$

$$\alpha_{20} = \frac{1}{234,5 + 20} = 0,00393\Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$$

$$R_t = R_t (1 + \alpha_t \theta)$$

$$R_{50} = R_{20} (1 + \alpha_{20} \theta)$$

$$R_{50} = 30 (1 + 0,00393 \times 30)$$

$$R_{50} = 33,537 \Omega$$

### PROBLEMAS

#### VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA COM A TEMPERATURA

1 – Uma linha de transmissão de 80 km de comprimento é constituída por condutores de alumínio nº 00 B & S. Determinar a resistência elétrica, a  $20^{\circ}\text{C}$ , de um dos condutores, sabendo que a resistividade do alumínio a  $20^{\circ}\text{C}$  é igual a 17,10 ohm. CM/pé e que o fio em apreço tem 133.100 CM de seção.

R.: 34,2 ohms

2 – Utilizando os dados do problema anterior, determinar a resistência a  $50^{\circ}\text{C}$ , sabendo que o coeficiente de temperatura da resistência do alumínio a  $20^{\circ}\text{C}$  é igual a 0,0039.

R.: 38,2 ohms

3 – Determinar o comprimento de um fio nº 20 de cobre, com  $K = 100\%$ , de modo a se obter uma resistência de 23 ohms a  $80^{\circ}\text{C}$ . Sabe-se que

$$\rho_{20} = 10,68 \Omega.\text{CM}/\text{pé}$$

$$\alpha_{20} = 0,00393 \Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$$

$$S = 1.022 \text{ CM}$$

R.: 534 m

4 – A resistência de um fio de cobre de condutividade  $100^\circ$ , a  $10^\circ \text{C}$ , é 100 ohms, sendo seu coeficiente de temperatura, a  $20^\circ \text{C}$ , igual a  $0,003\ 93\ \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$ . Qual a sua resistência a  $60^\circ \text{C}$ ?

R.: 120 ohms

5 – A resistência das bobinas de campo de um motor de corrente contínua é 480 ohms, a  $25^\circ \text{C}$ . Qual é a resistência das bobinas a  $65^\circ \text{C}$ ? As bobinas são de fio de cobre.

R.: 554 ohms

6 – As bobinas de campo de um motor de corrente contínua solicitam 0,5 A

quando ligadas a uma fonte de 240 V. A temperatura das bobinas é de  $23^\circ \text{C}$ . Qual é a temperatura das bobinas, quando solicitam 0,44 A da mesma fonte?

R.:  $58^\circ \text{C}$

7 – A resistência de uma bobina de um transformador (feita de fio de cobre) é de 1,6 ohm, quando a temperatura ambiente é de  $20^\circ \text{C}$ . Após várias horas de funcionamento, a resistência é medida novamente e acha-se 1,9 ohm. Qual o aumento de temperatura?

R.:  $47,72^\circ \text{C}$