

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA COM A TEMPERATURA E FREQUÊNCIA.

1

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA COM A TEMPERATURA E FREQUÊNCIA.

TÓPICOS

- Introdução
- Variação da resistência com a temperatura
- Variação da resistência com a frequência
- Encordoamento
- Efeito de proximidade

2

INTRODUÇÃO

A resistência é definida como a sendo a oposição à passagem de corrente eléctrica, CA ou CC. A unidade é o Ohm, cujo símbolo é o $[\Omega]$.



**Símbolo da
resistência e sua abreviação.**

Essa oposição à condução da corrente eléctrica é provocada principalmente, pela dificuldade dos electrões livres de se movimentarem pela estrutura atômica dos materiais.

3

INTRODUÇÃO

Os múltiplos e sub-múltiplos mais usuais na medição da resistência são: m (mili 10^{-3}), k (quilo 10^3), M (Mega) 10^6 e G (giga 10^9).

As equações que relacionam tensão sobre a resistência, a corrente que percorre a resistência e a potência dissipada sobre a resistência são:

$$V = IR$$

$$P = I^2 R$$

Onde a tensão é expressa em [V], a corrente em [A] e a potência em [W].

4

INTRODUÇÃO

A resistência de qualquer material de secção recta uniforme é determinada pelos quatro seguintes factores:

- Material;
- Comprimento (encordoamento);
- Área da secção recta;
- Temperatura;
- Frequência (Skin Effect – Efeito peculiar);
- Proximidade.

5

INTRODUÇÃO

A resistência dos condutores é a principal causa de perda de energia das linhas de transmissão, enrolamentos das máquinas eléctricas, etc.

O termo resistência, excepto quando especificamente indicado, significa resistência efectiva. A resistência efectiva é a resistência em corrente alternada de um condutor, definida pela relação:

$$R_{CA} = \frac{\text{Potencia perdida no condutor}}{I^2} = \frac{P}{I^2} [\Omega]$$

Sendo:

P em [W], I em [A] e R_{CA} em [Ω]

6

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA COMA TEMPERATURA

A resistência em corrente continua é dada por:

$$R_{cc} = \rho \frac{l}{S} [\Omega]$$

Onde:

R_{cc} =Resistência eléctrica em corrente continua [Ω]

ρ =Resistividade eléctrica do material [Ωm] ou [$\Omega mm^2/m$]

l =Comprimento do circuito

S =Secção transversal do condutor eléctrico

7

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA COMA TEMPERATURA

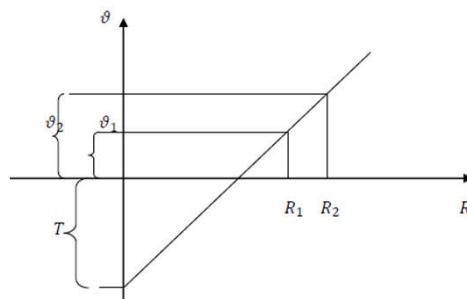
Na faixa normal de operação, a variação da resistência de um condutor metálico com a temperatura é praticamente linear.

No gráfico da temperatura em função da resistência, um prolongamento da porção rectilínea fornece um método conveniente de correcção da resistência para variações da temperatura.

O ponto de intersecção do prolongamento da recta com o eixo da temperatura para resistência zero é a constante de temperatura do material, simbolizada por T .

8

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA COMA TEMPERATURA



$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T + \vartheta_2}{T + \vartheta_1}$$

Onde R_1 e R_2 são as resistências do condutor às temperaturas ϑ_1 e ϑ_2 , respectivamente, em graus celsius e T é a constante determinada pelo gráfico.

Os valores da constante T são os seguintes:

234.5 para cobre recozido com 100% de condutividade

241.5 para cobre tempera dura com 97.3% de condutividade

228.1 para alumínio tempera dura com 61% de condutividade

9

EFEITO ESPIRAL HELICOIDAL SOBRE A RESISTENCIA DOS CONDUTORES

A resistência em corrente contínua de condutores de forma espiral helicoidal é maior porque o encordoamento helicoidal das camadas torna os condutores mais longos do que o próprio cabo.



10

EFEITO ESPIRAL HELICOIDAL SOBRE A RESISTENCIA DOS CONDUTORES

Para cada quilômetro de cabo, a corrente em todas camadas com exceção da camada central percorre mais de um quilômetro de condutor.

Devido a este efeito estima-se um aumento de 1 a 2% do valor da resistência.

11

COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA EM CORRENTE CONTINUA E EM CORRENTE ALTERNADA – Variação da frequência

Resistência em corrente continua

Se conectamos uma fonte de corrente continua a um dado circuito eléctrico, de acordo com a Lei de Ohm, circulará no circuito uma corrente continua constante, já que tanto a tensão como a resistência do circuito o são, de acordo com a expressão:

$$I = \frac{V}{R} [A] \Rightarrow \text{Constante}$$

12

COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA EM CORRENTE CONTINUA E EM CORRENTE ALTERNADA – Variação da frequência

Resistência em corrente continua

A corrente eléctrica cria por sua vez uma tensão magnética ou força magnetomotriz também constante, já que a corrente e o numero de espiras também o são:

$$FMM = IN [Ae] \Rightarrow \text{Cons tan te}$$

13

COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA EM CORRENTE CONTINUA E EM CORRENTE ALTERNADA – Variação da frequência

Resistência em corrente continua

De acordo com a Lei de Hopkinson o fluxo magnético provocado por esta corrente será também constante:

$$\Phi = \frac{FMM}{\mathfrak{R}} [Wb] \Rightarrow \text{Cons tan te}$$

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu S} [Ae / Wb] \Rightarrow \text{Cons tan te}$$

Sendo μ a permeabilidade do material. Esta depende do tipo de material e da temperatura, mas em oscilações normais de temperatura, em geral, o valor de μ pode ser considerado como sendo constante.

14

COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA EM CORRENTE CONTINUA E EM CORRENTE ALTERNADA – Variação da frequência

Resistência em corrente continua

A tensão induzida no condutor será dada pela lei Faraday-Lenz.

Depende do número de espiras e da variação do fluxo, portanto, em corrente continua teremos:

$$E = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0$$

Ou seja, não ha correntes induzidas no condutor em corrente continua.

15

COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA EM CORRENTE CONTINUA E EM CORRENTE ALTERNADA – Variação da frequência

Resistência em corrente alternada

Se conectarmos agora, o circuito a um fonte de corrente alternada e aplicando as mesmas formulas anteriores teremos:

$$I = \frac{V}{R} [A] \Rightarrow \text{variavel}$$

A intensidade da corrente variável criará também uma força magnetomotriz também variável:

$$FMM = IN [Ae] \Rightarrow \text{variavel}$$

16

COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA EM CORRENTE CONTINUA E EM CORRENTE ALTERNADA – Variação da frequência

Resistência em corrente alternada

Pela Lei de Hopkinson, se a FMM for variável o fluxo magnético criado pelo condutor também o será, logo haverá tensão induzida de acordo com a Lei de Faraday-Lenz:

$$E = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \neq 0 [V]$$

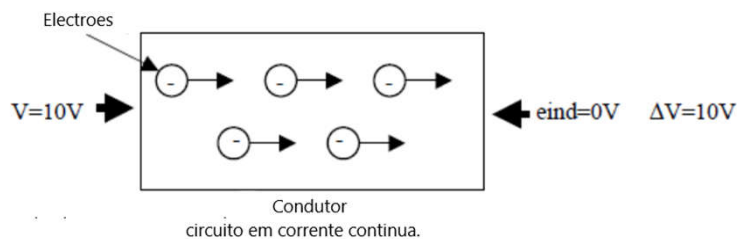
Ou seja, a corrente alternada criará uma tensão induzida que será contrária à tensão que a originou (princípio de efeito e causa).

Os efeitos dessa tensão induzida serão sentidos na quantidade de corrente que fluirá através do condutor. Assim, com corrente contínua, como nenhuma tensão induzida ocorre, a corrente no condutor somente será afectada pela resistência do próprio material.

17

COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA EM CORRENTE CONTINUA E EM CORRENTE ALTERNADA – Variação da frequência

Supondo que a tensão aplicada é de 10 V.

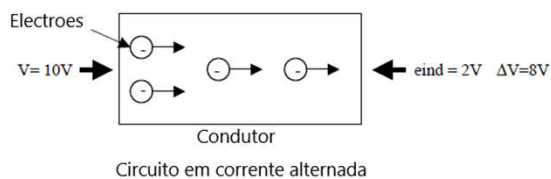


A quantidade de electrões livres depende apenas da tensão aplicada e das características do material.

18

COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA EM CORRENTE CONTINUA E EM CORRENTE ALTERNADA – Variação da frequência

Ocorre uma diminuição da tensão que afecta a circulação dos electrões, ou seja, a intensidade, sendo menor para o mesmo condutor e tensão aplicada.



Tudo acontece como se a resistência aumentasse, embora permanecesse constante, mas como o efeito que observamos é uma diminuição na intensidade para o mesmo valor de tensão aplicada, podemos expressá-lo como um aumento de R.

19

COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA EM CORRENTE CONTINUA E EM CORRENTE ALTERNADA – Variação da frequência

O aumento da tensão induzida (aparentemente de resistência), dependerá da velocidade com que o fluxo varia (de acordo com a lei de Faraday-Lenz), e essa variação do fluxo é diretamente proporcional à frequência.

Portanto, quanto maior a frequência, maior a variação do fluxo, mais tensão induzida e mais oposição ou resistência à passagem de corrente eléctrica.

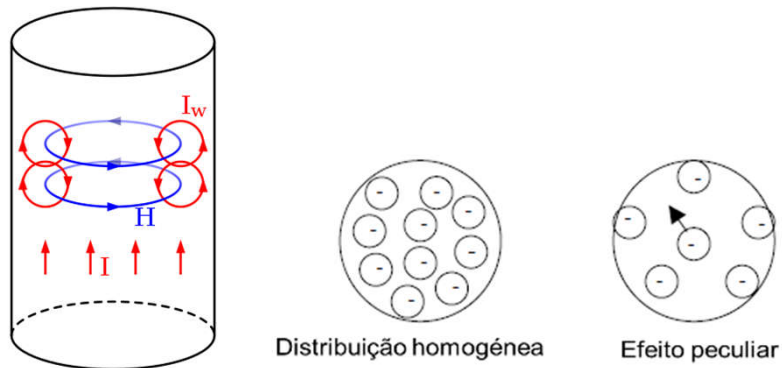
Assim, a resistência em corrente alternada (resistência dinâmica) é maior que a resistência em corrente contínua, para as mesmas condições de operação e material.

$$R_{CA} > R_{CC}$$

20

COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA EM CORRENTE CONTINUA E EM CORRENTE ALTERNADA – Variação da frequência

Efeito Skin ou efeito peculiar

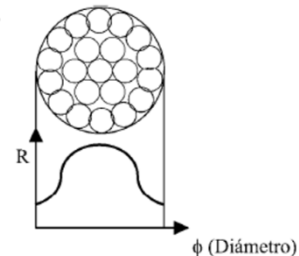


21

COMPORTAMENTO DA RESISTÊNCIA EM CORRENTE CONTINUA E EM CORRENTE ALTERNADA – Variação da frequência

Efeito Skin ou efeito peculiar

- Em corrente contínua, como não há tensão induzida, a resistência de um condutor será a mesma em toda a sua superfície. Os electrões serão distribuídos uniformemente por todo o condutor.
- Em corrente alternada, há tensão induzida, e é mais intensa no centro do condutores. Os electrões tendem a se mover em direcção à periferia, deixando o centro praticamente livre de electrões.



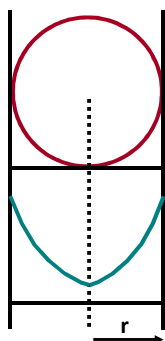
22

EFEITO SKIN OU EFEITO PECULIAR

Pode-se considerar que toda a corrente circula por uma parte da periferia do condutor, denominada de profundidade de penetração do efeito pelicular (δ)

Densidade de corrente

Circula mais corrente na parte externa



$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\sigma \cdot \mu_0 \cdot \omega}} [m]$$

Escolhendo-se um fio cujo raio seja menor ou igual a profundidade de penetração do efeito pelicular, pode-se admitir que a corrente se distribui uniformemente por toda a secção do condutor.

23

EFEITO SKIN OU EFEITO PECULIAR

Considerando que a resistência do condutor em baixa frequência é igual a R_{cc} e que a resistência do mesmo em alta frequência é igual a R_{ca} , a relação entre as duas é dada pela expressão abaixo:

$$\frac{R_{ca}}{R_{cc}} = \frac{\left(\frac{d}{2\delta}\right)^2}{\left(\frac{d}{2\delta}\right)^2 - \left(\frac{d}{2\delta} - 1\right)^2}$$

Onde:

d é o diâmetro do condutor e

δ é a profundidade de penetração

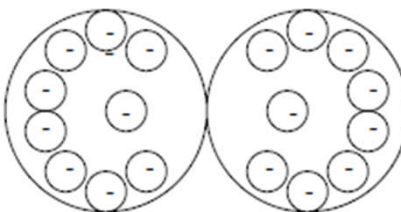
Quando a forma de onda da corrente for não senoidal, considera-se a profundidade de penetração como sendo a média da profundidade de penetração dos três primeiros harmônicos.

24

EFEITO DE PROXIMIDADE

Embora de menor importância, nos condutores também tem lugar o efeito de proximidade.

Ocorre quando dois cabos paralelos estão muito próximos dos que se dá o efeito peculiar.



Efeito proximidade

25

RESISTÊNCIA APARENTE EM CORRENTE ALTERNADA

Tomando em consideração de todos factores acima mencionados, a resistência em corrente alternada a uma dada temperatura ϑ , é calculada a partir da resistência em corrente contínua obtendo-se a seguinte relação:

$$R_{CA} = R_{CC\vartheta} (1 + Y_S + Y_P + Y_E) \text{ ou}$$

$$R_{CA} = R_{20^\circ C} (1 + \alpha_T (T - 20)) (1 + Y_S + Y_P + Y_E)$$

Onde:

$R_{20^\circ C}$ = resistência a 20°C

α_T = coeficiente térmico de resistividade

$R_{CC\vartheta}$ = a resistência em cc a temperatura de referencia

Y_S = coeficiente que representa o efeito Skin

Y_P = coeficiente que representa o efeito de proximidade

Y_E = coeficiente que representa o encordoamento

26

RESISTÊNCIA APARENTE EM CORRENTE ALTERNADA

O aumento da resistência é mais sensível no cobre que no alumínio, é tanto mais importante quanto maior é a frequência da rede, o diâmetro e a aproximação do cabo.

Como primeira aproximação, podemos considerar que ele é desprezável até uma secção de 300 mm² em cobre ou 500 mm² em alumínio nas frequências industriais usadas.

27

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA COMA TEMPERATURA

Comparação de sistema internacional de unidades e Inglês para o cálculo de resistência

Quantidade	Simbolo	Unidades no SI	Unidade no Sistema Inglês
Resistividade	ρ	Ωm	$\Omega - cmil/ft$
Comprimento	l	m	ft
Área de Secção transversal	A	m^2	$cmil$
Resistência de corrente contínua	$R_{cc} = \frac{\rho l}{A}$	Ω	Ω

28

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA COMA TEMPERATURA

% de Condutividade, Resistividade, e Temperatura constante de metais condutores

Material		% Condutividade	$\rho_{20^{\circ}\text{C}}$		ϑ
			Resistividade a 20°C		Temperatura constante
			$\Omega\text{m} * 10^{-8}$	$\Omega\text{-cmil/ft}$	°C
Cobre	Recozido	100%	1.72	10.37	234.5
	Têmpera dura	97.3%	1.77	10.66	241.5
Alumínio Têmpera dura		61%	2.83	17.00	228.1
Bronze		20-27%	6.4-8.4	38-51	480
Ferro		17.2%	10	60	180
Prata		108%	1.59	9.6	243
Sódio		40%	4.3	26	207
Aço		2-14%	12-88	72-530	180-980

29

FIM

MUITO OBRIGADO

30