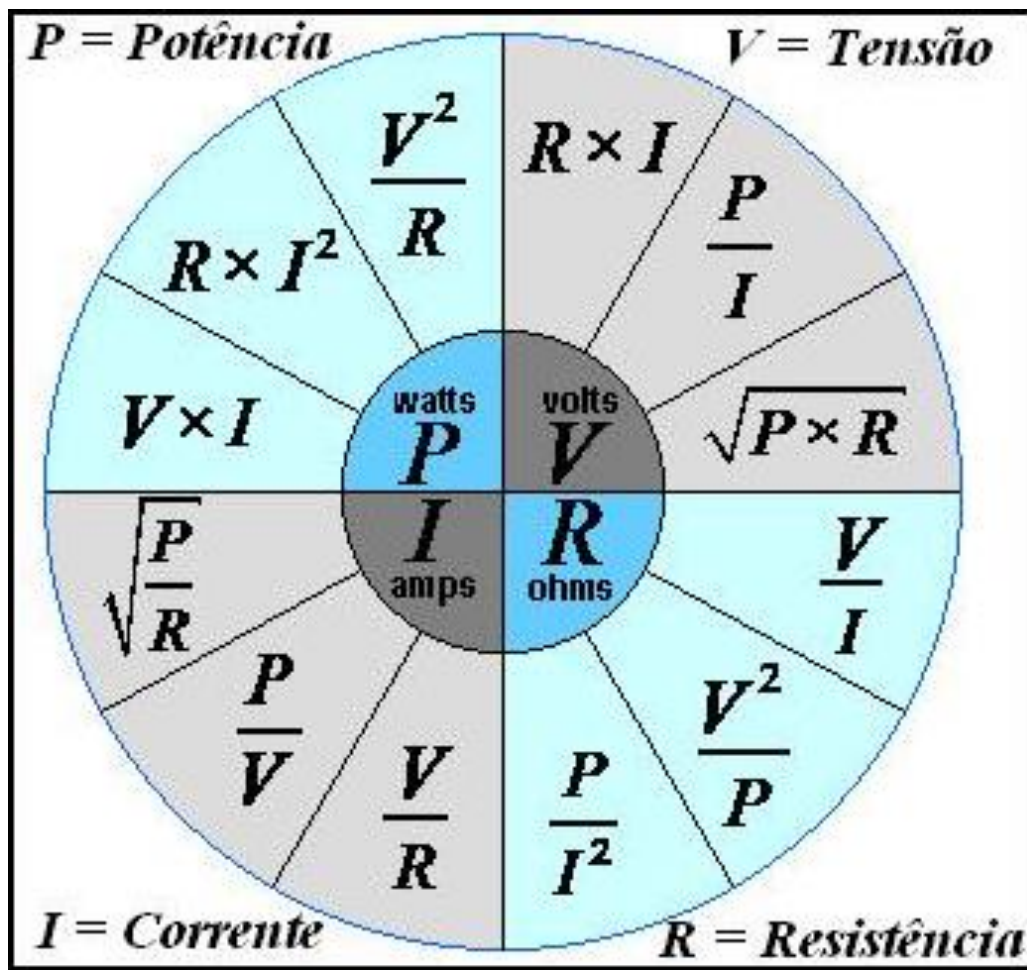


“Roda” das fórmulas da Lei de Ohm



Eletrotécnica

Noções gerais

S1

As grandezas elétricas fundamentais, as unidades importantes
e as leis fundamentais

s 1

Observação concernente às letras maiúsculas e minúsculas dos símbolos
de fórmulas

Em Eletrotécnica, utilizam-se as letras maiúsculas para as grandezas independentes do tempo e as minúsculas correspondentes para as grandezas variáveis, ou as letras maiúsculas com índice t.

Exemplos: Fórmulas s 8, s 9, s 13

Exceções: f , ω , $\hat{i}$, $\hat{u}$, p_{Fe10}

Energia elétrica W

A energia elétrica W é igual ao trabalho mecânico W explicado em M 1. Notem-se as perdas nas transformações de energia.

Unidades: W s (watt-segundo); kWh; MWh

$$1 \text{ W s} = 1 \text{ Joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ N m}$$

Fórmulas com as grandezas explicadas em S 1 e S 2:

s 2

$$W = I U t = \frac{U^2}{R} t = I^2 R t$$

Potência elétrica P

A potência elétrica P é igual à potência mecânica P explicada em M 1. Notem-se as perdas nas transformações de potência.

Unidades: W (Watt); kW; MW

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{N m}}{\text{s}}$$

Fórmulas com as grandezas explicadas em S 1 e S 2:

s 3

$$P = \frac{U^2}{R} = I^2 R$$

Frequência f: veja L 1

Período T: veja L 1

Pulsção ω ; velocidade angular ω : veja L 1

Intensidade de corrente I ou corrente I

É uma grandeza básica ; ver prefácio e explicações.

Unidades: A (ampère), mA, kA

O ampère é definido pela força de atração exercida por 2 condutores paralelos atravessados pela corrente de 1 A.

Continuação de S 1

s 4 Densidade de corrente J $J = \frac{I}{A}$

Fórmula válida se a corrente I é distribuída de uma maneira homogênea na secção A.

Unidades: A/m²; A/mm²

s 5 Tensão elétrica U $U = \frac{P}{I}$

Unidades: V (Volt); mV; kV

1 V é a tensão entre 2 pontos de um condutor elétrico atravessado por uma corrente constante de 1 A e cuja potência dissipada é de 1 W.

$$1 \text{ V} = \frac{\text{W}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s A}} = 1 \text{ A } \Omega = 1 \frac{\text{N m}}{\text{s A}}$$

s 6 Resistência elétrica R $R = \frac{U}{I}$ (Lei de Ohm)

Unidades: Ω (Ohm); k Ω ; M Ω

1 ohm é a resistência elétrica de um condutor atravessado por uma corrente de 1 A e submetido a uma tensão de 1 V.

$$1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 1 \frac{\text{W}}{\text{A}^2} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s A}^2} = 1 \frac{\text{N m}}{\text{s A}^2}$$

s 7 Condutância elétrica G $G = 1/R$

Unidades: S (Siemens); Mho

$$1 \text{ S} = 1/\Omega = 1 \text{ Mho}$$

s 8 Carga elétrica ou quantidade de eletricidade Q

$$q = \int i \, dt \quad (\text{v. s 1})$$

Sentido das flechas, veja s 55.

Para uma corrente constante I, tem-se:

s 9 $Q = I t$

As cargas elétricas são formadas de partículas carregadas: elétrons, prótons e a quantidade de eletricidade Q é também proporcional a essas partículas.

Unidades: C (Coulomb).

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A s}$$

Continua ver S 3

Continuação de S 2

Capacidade elétrica C

A capacidade elétrica C de um condensador é a relação entre a carga elétrica Q e a tensão U.

s 10

$$C = \frac{Q}{U}$$

Unidades:

F (Farad); μF ; nF; pF

1 farad é a capacidade de um condensador carregado com 1 coulomb sob a tensão de 1 volt.

$$1 F = 1 \frac{C}{V} = 1 \frac{A s}{V} = 1 \frac{A^2 s}{W} = 1 \frac{A^2 s^2}{J} = 1 \frac{A^2 s^2}{N m}$$

s 11

Fluxo magnético Φ

$$\Phi_t = \frac{1}{N} \int u_q dt \quad (\text{veja s 1})$$

N = número de espiras de uma bobina

u_q = tensão induzida na bobina se o fluxo Φ_t varia

Sentido da flecha, s 82

Unidades: Wb (Weber) = Vs = 10^8 M (Maxwell)

1 Wb é o fluxo magnético decrescente regularmente até zero que induz em uma bobina de uma espira, uma tensão de 1 V.

Densidade de fluxo magnético ou indução magnética B

A indução de fluxo magnético B em uma seção A vale:

s 12

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

A é a seção perpendicular ao fluxo magnético homogêneo Φ

Unidades: T (tesla); μT ; nT; Vs/m²; G (gauss)

$$1 T = 1 \frac{V s}{m^2} = 10^{-4} \frac{V s}{cm^2} = 10^4 G = 10^4 \frac{M}{cm^2}$$

1 tesla é a indução magnética se um fluxo magnético de 1 Wb atravessa perpendicularmente uma seção de 1 m².

Continua ver S 4

Continuação de S 3

Indutância L

s 13

$$L = N \frac{\Phi}{I} = N \frac{\Phi_t}{i} \quad (\text{veja S 1})$$

I : corrente que atravessa uma bobina de N espiras

Φ ; fluxo na bobina

Unidades: H (Henry); mH

1 henry é a indutância de uma bobina de 1 espira percorrida por uma corrente de 1 A e colocada no vácuo onde se encontra um fluxo magnético de 1 Wb.

$$1 \text{ H} = 1 \frac{\text{Wb}}{\text{A}} = 1 \frac{\text{V s}}{\text{A}}$$

Campo magnético H

s 14

$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu_r}$$

Unidades: A/m; A/cm; A/mm

Ampère-Espira θ

s 15

$$\theta = N I$$

Unidades: A; kA; mA

Tensão magnética V_i : na i-ésima parte de um circuito magnético

s 16

$$V_i = H_i \cdot l_i$$

l_i : Comprimento do fluxo magnético na i-ésima parte:

s 17

$$\sum_{i=1}^n V_i = \theta \quad \left(\text{Lei de um circuito magnético} \right)$$

Resistência magnética R_m de um circuito magnético homogêneo:

s 18

$$R_m = \frac{\theta}{\Phi} \quad \left(\text{Lei de Ohm do circuito magnético} \right)$$

Unidades: $1/H = \text{A/V s}$

Condutância magnética Λ de um circuito magnético homogêneo:

s 19

$$\Lambda = \frac{1}{R_m} = \frac{\Phi}{\theta}$$

Unidades: $H = \text{V s/A}$

Símbolos veja S 16

Leis fundamentais do circuito elétrico

Regras dos sentidos da corrente

s 20	Direção da corrente elétrica e do sentido	geradores:	- → +
s 21	positivo nos:	circuitos:	+ → -
s 22	Direção da tensão elétrica e sentido positivo das tensões somente:		+ → -

Direção dos sentidos de corrente e de tensão

	Propriedade dos geradores ou dos circuitos e polaridade	sentido das correntes e das tensões	exige cálculo valores positivos e negativos sentido das correntes ou das tensões e sentido escolhido	
s 23	conhecido	definir como acima	-	-
s 24	desconhecido	supor	o mesmo	sentido oposto

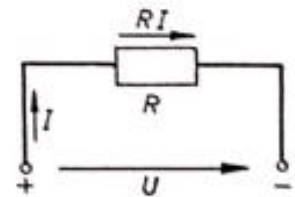
Recomendação:

Adotar o mesmo sentido das flechas para a corrente e a queda de tensão para os circuitos com resistências. O sinal da tensão e da corrente é o mesmo pois $R > 0$.

Lei de Ohm

Corrente em uma resistência

s 25
$$I = \frac{U}{R} \quad (\text{ver também s 6})$$



Resistência R de um condutor

s 26
$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{l}{\gamma A}$$

Resistência R em função da temperatura

s 27
$$R = R_{20} [1 + \alpha (\vartheta - 20^{\circ}\text{C})]$$

Aquecimento elétrico de um corpo de massa m

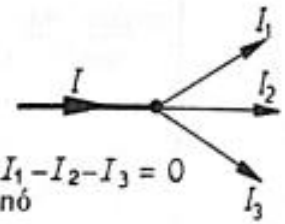
s 28
$$U I t \eta = c m \Delta \vartheta$$

α : coeficiente de temperatura	(ver Z 1)	$\Delta \vartheta$: variação da temperatura
γ : condutividade elétrica	(ver Z 1)	t : duração
ρ : resistividade	(ver Z 1)	R_{20} : Resistência a 20°C
c : calor específico	(ver o 9) e Z 5)	Continua ver S 6

Continuação de S 5

1ª lei de Kirchhoff (lei dos nós)*)

A soma algébrica das correntes é nula em um nó.



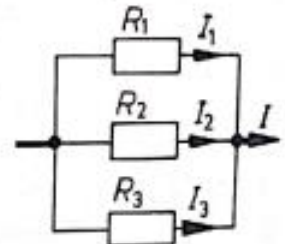
s 29

$$\sum I = 0 \quad I - I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

O sinal da corrente é $\left| \begin{array}{l} \text{positivo se } I \text{ entra no nó} \\ \text{negativo se } I \text{ sai do nó} \end{array} \right.$

Relação entre as correntes

Em um circuito de resistências em paralelo, a corrente total e as correntes parciais são inversamente proporcionais à resistência equivalente R e às resistências correspondentes.

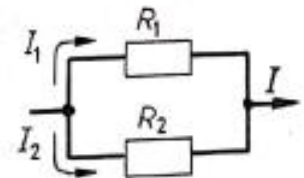


s 30

$$I : I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R} : \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

Caso de 2 resistências em paralelo

Valores das correntes I_1 e I_2 .

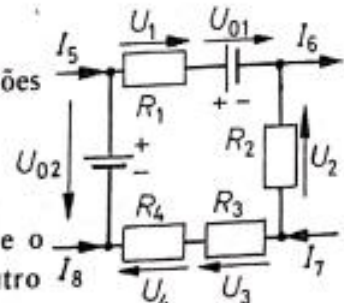


s 31

$$I_1 = I \frac{G_1}{G_1 + G_2} = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

2ª lei de Kirchhoff (lei das malhas)*)

Em uma malha fechada, a soma algébrica das tensões é nula:



s 32

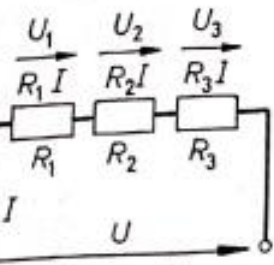
$$\sum U = 0$$

A tensão é positiva se o sentido é o mesmo que o sentido de rotação escolhido; negativa em outro caso.

$$U_1 + U_{01} - U_2 + U_3 + U_4 - U_{02} = 0$$

Relação das tensões

Em um circuito de resistências em série, as quedas de tensão nas resistências são proporcionais às resistências correspondentes.

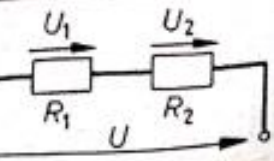


s 33

$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

Caso de duas resistências em série:

Valores das tensões U_1 e U_2 :



s 34

$$U_1 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

*) V. também obs. à pág. S 8.

Ligação em série *)

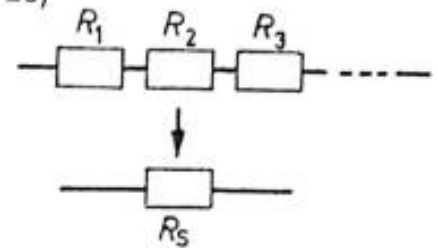
Resistência equivalente R_s (correspondente a s 26)

Caso geral

s 35 $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

Caso particular de n resistências iguais R

s 36 $R_s = n R$



Ligação em paralelo*

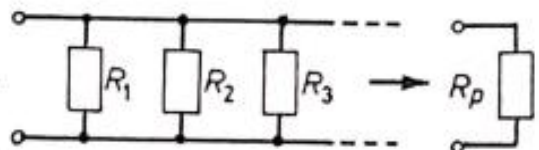
Resistência equivalente R_p (correspondente a s 30)

Caso geral

s 37 $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$

s 38 $G_p = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$

caso de 2 resistências diversas caso de 3



para n resistências iguais R

s 39 $R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

s 40 $= \frac{1}{\frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2}}$

$R_p = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$

$= \frac{1}{\frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} + \frac{1}{G_3}}$

$R_p = \frac{R}{n}$

$= \frac{1}{n G}$

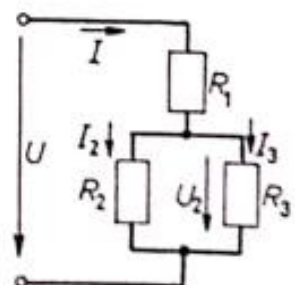
Ligação mista *)

Decompõe-se uma ligação mista de resistências conhecidas em vários circuitos em série e em paralelo que se calculam separadamente depois que se recompõem. Por exemplo:

s 41 $I = \frac{R_2 + R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} U = \frac{G_1 (G_2 + G_3)}{G_1 + G_2 + G_3} U$

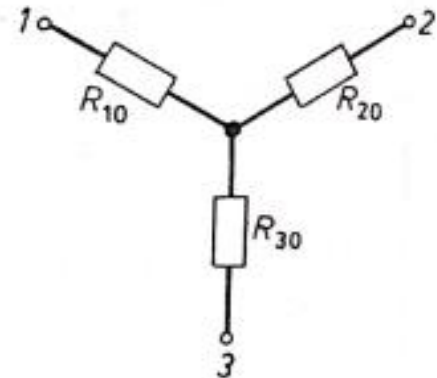
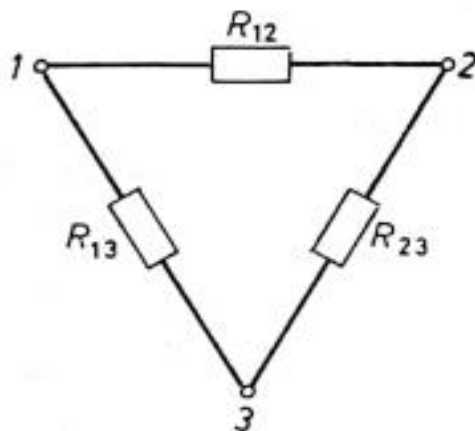
s 42 $I_3 = \frac{R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} U = \frac{G_1 G_3}{G_1 + G_2 + G_3} U$

s 43 $U_2 = \frac{R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} U = \frac{G_1}{G_1 + G_2 + G_3} U$



*) V. também obs. à pág. S 8.

Conversão
de uma Ligação Triângulo em Estrela, e vice-versa *)



$$R_{12} = \frac{R_{10} \cdot R_{20} + R_{10} \cdot R_{30} + R_{20} \cdot R_{30}}{R_{30}}$$

$$R_{13} = \frac{R_{10} \cdot R_{20} + R_{10} \cdot R_{30} + R_{20} \cdot R_{30}}{R_{20}}$$

$$R_{23} = \frac{R_{10} \cdot R_{20} + R_{10} \cdot R_{30} + R_{20} \cdot R_{30}}{R_{10}}$$

$$R_{10} = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{23} + R_{12} + R_{13}}$$

$$R_{20} = \frac{R_{23} \cdot R_{12}}{R_{23} + R_{12} + R_{13}}$$

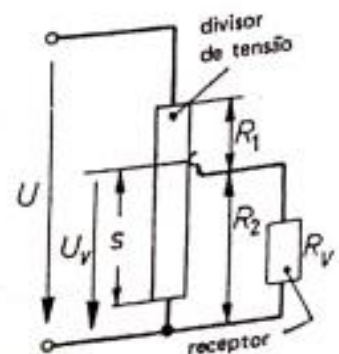
$$R_{30} = \frac{R_{23} \cdot R_{13}}{R_{23} + R_{12} + R_{13}}$$

Divisores de Tensão

Servem para obter várias tensões menores.

$$U_V = \frac{R_2 R_V}{R_1 R_2 + R_1 R_V + R_2 R_V} U$$

Se se necessita uma proporcionalidade aproximada entre U_V e s , para aplicação em técnica de medida, devemos ter $R_V \geq 10 (R_1 + R_2)$.



s : percurso do potenciômetro

*) Observação: Em todas as fórmulas das págs. 5 6 a 5 9 pode-se trocar a resistência R pela impedância Z e a condutância G pela admitância Y .

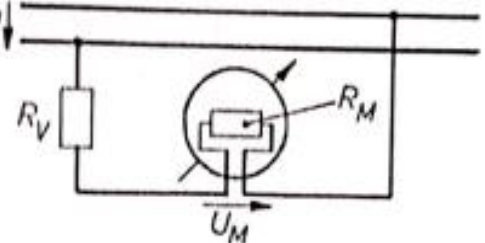
Aplicação técnica das medições *)

Resistência preliminar R_V de um voltímetro

a 49

$$R_V = R_M \left(\frac{U_{fin}}{U_{Mfin}} - 1 \right)$$

Valor final de medição | desejado U_{fin}
| existente U_{Mfin}

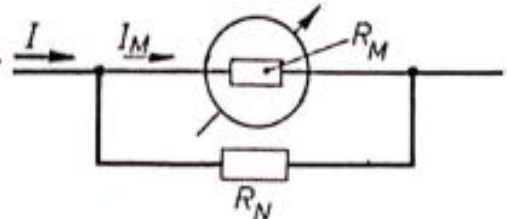


Shunt R_N de um amperímetro

a 50

$$R_N = R_M \frac{I_{Mfin}}{I_{fin} - I_{Mfin}}$$

Valor final de medição | desejado I_{fin}
| existente I_{Mfin}



Ponte de Wheatstone para medição de Resistências R_X

Utilizável para a medição de resistências de $0, 1 \dots 10^6 \Omega$. O fio calibrado leva uma escala gravada com os valores $a/(l - a)$. Desloca-se o cursor até o ponto em que a corrente da ponte seja nula $I_B = 0$.
Então:

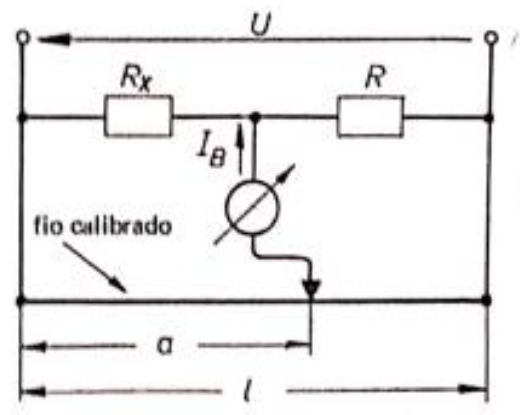
a 51

$$\frac{R_X}{R} = \frac{a}{l - a}$$

donde

a 52

$$R_X = R \frac{a}{l - a}$$



Ponte de Wheatstone como comparador de medidas

É utilizada como elemento de comparação para obter diferenças de tensões em vários circuitos de medição.

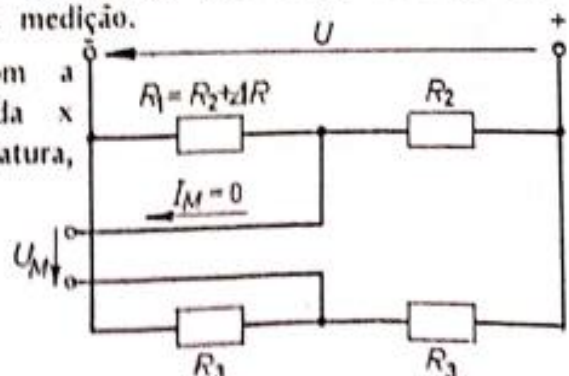
R_1 : resistência variando com a grandeza a ser medida x (por exemplo, temperatura, ângulo de rotação).

R_2 : valor residual de R_1

Relação aproximada:

a 53

$$U_M \sim \Delta R \sim x$$

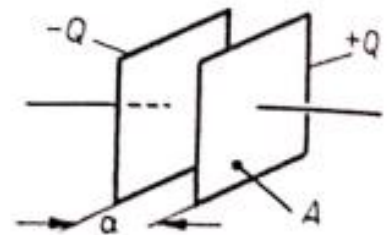


*) V. também obs. à pág. 58.

Capacidade C de um condensador

s 54

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{a}$$

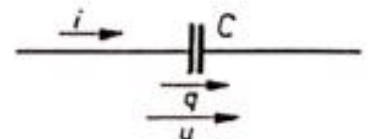


Quantidade de eletricidade Q (ver s 8)

Energia acumulada W_c no condensador

s 55

$$W_c = \frac{1}{2} C U^2$$

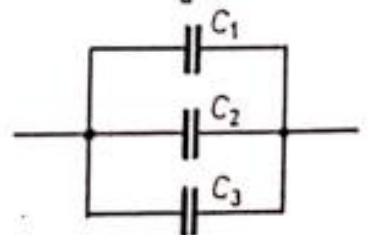


Ligação em paralelo de condensadores

Nesta ligação, a capacidade equivalente C aumenta.

s 56

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

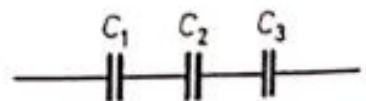


Ligação em série de condensadores

Neste tipo de ligação, a capacidade equivalente C diminui.

s 57

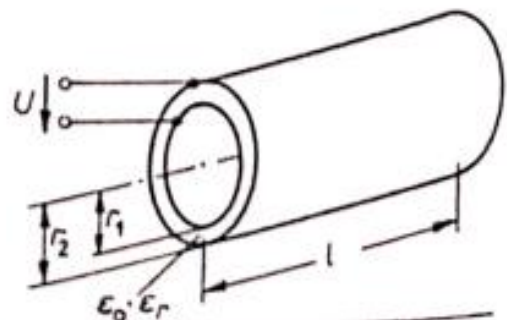
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$



Capacidade de 2 cilindros coaxiais

s 58

$$C = 2 \pi \epsilon_0 \epsilon_r \frac{l}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$



s 59

ϵ_r : constante dielétrica relativa (ver Z 2)

ϵ_0 : constante dielétrica no vácuo ($\epsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-12} \text{ A s/V m}$)

A : área de uma face da placa

a : espessura do dielétrico

r_1 : raio do cilindro interno

r_2 : raio do cilindro externo

l : comprimento do cilindro

s 60

Desvio duma agulha imantada

O pólo Norte duma agulha imantada é atraído por um pólo Sul e repellido por um pólo Norte.

s 61

Regras para os condutores e bobinas fixas

Fluxo magnético de um condutor percorrido por uma corrente

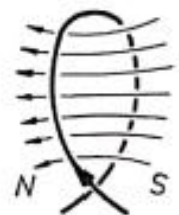
A direção do fluxo magnético é dada pelo sentido de rotação de um sacarroilhas introduzido no condutor no sentido da corrente.



s 62

Fluxo magnético numa bobina atravessada pela corrente

A direção do fluxo magnético que é dirigido do pólo Sul ao pólo Norte ao interior da bobina é dada pelo sentido do deslocamento de um saca-rolhas que se introduz na bobina girando no sentido da corrente.

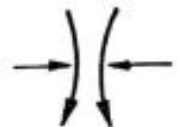


s 63

Regra para os condutores e bobinas móveis

Regra para condutores paralelos

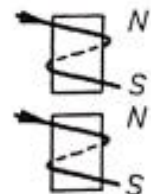
Dois condutores percorridos por correntes de mesmo sentido se atraem e se repelem se os sentidos são contrários.



s 64

Regra para 2 bobinas

2 bobinas coaxiais percorridas por correntes de mesmo sentido se atraem e se repelem se as correntes são de sentidos contrários.



s 65

Regras para as máquinas

Regra dos 3 dedos da mão direita

(Regra dos geradores) — O dedo indicador mostra o sentido da corrente se o dedo médio é dirigido no sentido do movimento e o polegar no sentido do fluxo magnético.



s 66

Regra dos 3 dedos da mão esquerda

(Regra dos motores) — O dedo indicador mostra o sentido do movimento se o dedo médio é dirigido no sentido da corrente e o polegar no sentido do fluxo magnético.



Grandezas do campo magnético	
s 67	<u>Fluxo magnético Φ</u> $\Phi = \frac{\Theta}{R_m} = \frac{N I}{R_m} \quad (\text{ver também s 11})$
s 68	<u>Densidade de fluxo magnético ou indução magnética B</u> $B = \frac{\Phi}{A} = \mu_r \mu_0 H \quad (\text{ver também s 12})$
s 69	<u>Indutividade L</u> $L = N \frac{\Phi}{I} = N^2 \Lambda = \frac{N^2}{R_m} \quad (\text{ver também s 13})$ Cálculo de L ver também s 140 ... s 146
s 70	<u>Campo magnético H</u> $H = \frac{B}{\mu_r \mu_0} = \frac{V_i}{l_i} \quad (\text{ver também s 14})$
s 71	<u>Ampères-Volta Θ</u> $\Theta = N I = \sum_{i=1}^n V_i \quad (\text{ver também s 15})$
s 72	<u>Tensão magnética V_i na i-ésima secção de um circuito magnético</u> $V_i = H_i l_i \quad (\text{ver também s 16})$
s 73	<u>Relutância magnética R_m de um circuito magnético homogêneo</u> $R_m = \frac{\Theta}{\Phi} = \frac{l}{\mu_r \mu_0 A} \quad (\text{ver também s 18})$
s 74	<u>Condutibilidade magnética Λ de um circuito magnético homogêneo</u> $\Lambda = \frac{1}{R_m} = \frac{\Phi}{\Theta} = \frac{\mu_r \mu_0 A}{l} = \frac{1}{N^2} L \quad (\text{ver também s 19})$
s 75	<u>Energia W_m acumulada no campo magnético</u> $W_m = \frac{1}{2} N I \Phi = \frac{1}{2} L I^2$
s 76	<u>Fluxo magnético de fuga Φ_s</u> Uma parte do fluxo magnético total Φ_0 atravessa o entreferro externo e é assim ineficaz. Φ_s se exprime em função do fluxo útil Φ. Definições:
s 77	Coeficiente de dispersão: $\sigma = \frac{\Phi_s}{\Phi} \quad (0,1 \dots 0,3)$ Fluxo total $\Phi_0 = \Phi + \Phi_s = \Phi(1 + \sigma)$
Fórmulas ver S 16	

Campo magnético

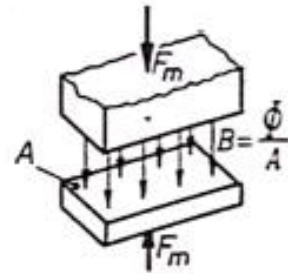
513

Campo Magnético e suas Forças

Força F_m entre Pólos Magnéticos

No sentido do fluxo magnético, estabelece-se uma força mecânica F_m :

s 78
$$F_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{B^2 A}{\mu_0} \quad \text{ou} \quad F_m \approx 40 \left(\frac{B}{T} \right)^2 \cdot \frac{A}{\text{cm}^2} \text{ N}$$



Força F_l num Condutor Percorrido por Corrente

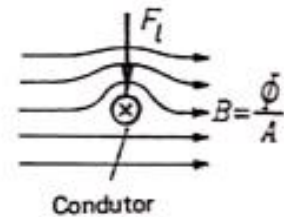
Um condutor percorrido por uma corrente I , sofre, ao longo de seu comprimento l atravessado por um campo magnético, uma força transversal F_l :

s 79
$$F_l = B l I \quad \text{ou} \quad F_l = \frac{B}{T} \cdot \frac{l}{\text{m}} \cdot \frac{I}{\text{A}} \text{ N}$$

Para o momento do rotor de um motor de CC:

s 80
$$M_i = \frac{1}{2 \pi} \Phi I \frac{p}{a} z$$

s 81 ou
$$M_i = \frac{1}{2 \pi} \cdot \frac{\Phi}{\text{Vs}} \cdot \frac{I}{\text{A}} \cdot \frac{p}{a} z \text{ N m}$$

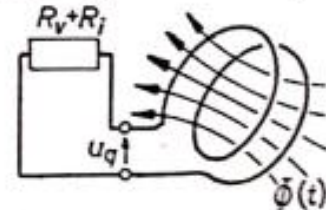


Tensão Induzida u_q (Lei da indução)

Se uma espira (com $n^\circ N$ de voltas, e resistência interna R_i) é atravessada por um fluxo magnético variável com o tempo, induz-se nela uma tensão que faz passar uma corrente

s 82
$$u_q = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{v. s 11})$$

pela resistência de carga.



Tensão induzida por

movimento de um condutor $\perp$ a Φ

rotação de uma espira através de um campo magnético

rotação de um enrolamento de rotor

s 83
$$u_q = B l v$$

s 84

$$u_q = \omega \Phi_{\text{max}} \cdot \sin(\omega t)$$

$$\Phi_{\text{max}} = l d B$$

$$U_q = \Phi n z \frac{p}{a}$$

$$= l d B \frac{z p}{2 \pi a} \omega$$

s 85 Tensão u_q gerada por Auto-Indução:

$$u_q = L \cdot di/dt$$

Explicação à pág. S 16

Nomenclatura, v. S 16

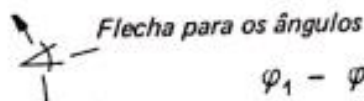
Corrente alternada

14

Noções gerais do circuito de corrente alternada

Sentido de rotação dos ângulos

O sentido de rotação positivo dos ângulos corresponde ao sentido contrário ao do movimento dos ponteiros do relógio (negativo no sentido do movimento dos ponteiros do relógio).

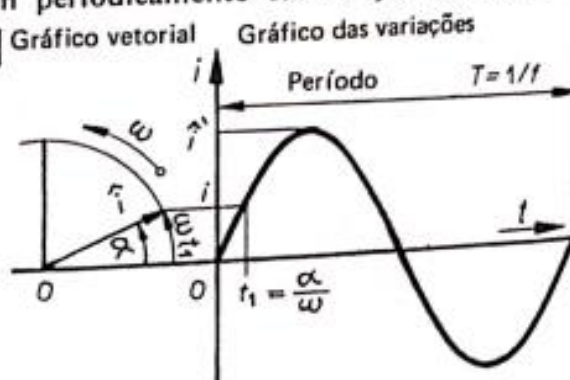
Exemplo:

$$\begin{aligned}\varphi_1 - \varphi_2 &= 360^\circ = 0 \\ \varphi_1 &= \varphi_2\end{aligned}$$

Valores de crista (ver também s 1)

A corrente i e a tensão u variam periodicamente em função do tempo t e mais freqüentemente em forma senoidal; os valores máximos são ditos valores de crista $\hat{i}$ e $\hat{u}$. O ângulo α vale em função do tempo se a freqüência é $\omega = 2\pi f$:

$$\alpha = \omega t = 2\pi f t$$



(Usualmente, em lugar de crista, usa-se pico)

Obtém-se, assim para:

$$\begin{aligned}\text{a corrente} \quad i &= \hat{i} \sin(\omega t) = \hat{i} \sin \alpha \\ \text{a tensão} \quad u &= \hat{u} \sin(\omega t) = \hat{u} \sin \alpha \quad (\text{se } \varphi = 0)\end{aligned}$$

Valores eficazes

Os instrumentos indicam freqüentemente estes valores; calcula-se com estes valores:

Caso geral	variação senoidal
$I = I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^T i^2 dt}$	$I = I_{ef} = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$
$U = U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T_0} \int_0^T u^2 dt}$	$U = U_{ef} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$

Com estes valores, obtém-se também para a potência alternada (se $\cos \varphi = 1$; veja s 105)

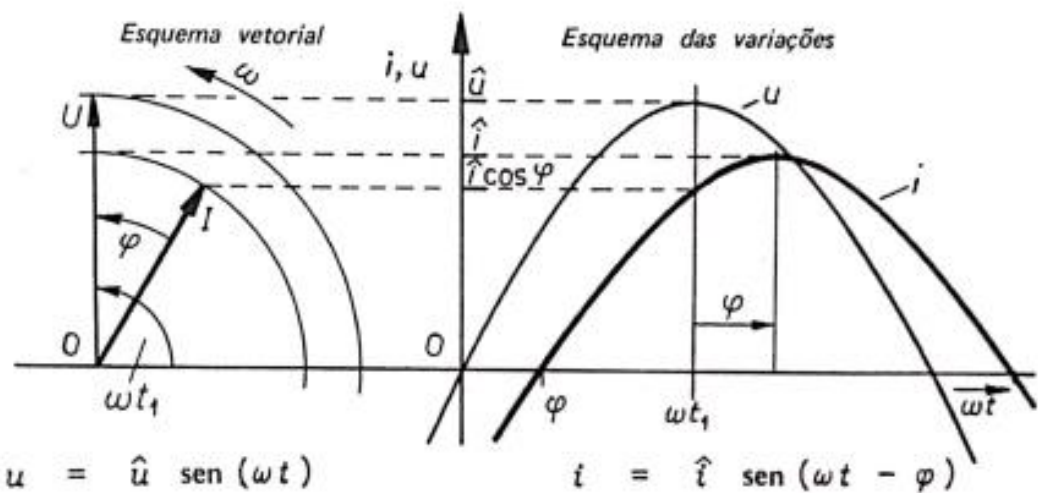
$$P = UI$$

Continuação veja S 15

Continuação de S 14

Defasagem, ângulo de fase φ

Uma defasagem (ângulo de fase φ) entre corrente e tensão se produz no circuito de corrente alternada contendo impedâncias diferentes (resistência, indutância e / ou capacidade). O ângulo φ é sempre da corrente para a tensão.



s 94

$$u = \hat{u} \sin(\omega t)$$

$$i = \hat{i} \sin(\omega t - \varphi)$$

Fator de qualidade Q, Fator de perdas $\tan \delta$ e ângulo de perdas δ

O fator de qualidade Q dum circuito é definido por:

s 95

$$Q = 2\pi \hat{W} / W_{VP}$$

onde:

$\hat{W}$: valor de crista da energia acumulada no circuito;

w_{VP} : perda de energia durante um período.

O inverso de Q é o fator de perda $\tan \delta$

s 96

$$\tan \delta = 1/Q \quad (\delta \text{ é o ângulo de perdas})$$

Relações simples para Q e $\tan \delta$ para uma bobina de filtragem (s 115 e s 118) e o condensador com resistência (s 118 e s 119):

s 97

s 98

s 99

$$\left. \begin{aligned} Q &= |\tan \varphi| \\ \delta &= 90^\circ - |\varphi| \end{aligned} \right| \quad \left. \begin{aligned} \tan \delta &= 1/Q = 1/|\tan \varphi| \\ &= |U_w / U_b| \text{ (em série)} \\ &= |I_w / I_b| \text{ (em paralelo)} \end{aligned} \right.$$

Fórmulas para $\tan \varphi$ veja S 17 e S 18.

Ver fórmulas s 128 e s 129 para os circuitos oscilantes.

Corrente alternada

10

Equações Básicas da Corrente Alternada (Monofásica)

	Impedância	Z	v. S 17 e S 18
s 100	Admitância	$Y = 1/Z$	
s 101	Tensão com a impedância Z	$U = I Z$	
s 102	Corrente com a impedância Z	$I = \frac{U}{Z}$	
s 103	Potência aparente	$P_S = U I = \sqrt{P^2 + P_q^2} = I^2 Z$	
s 104	Impedância reativa	$X = Z \sin \varphi$	
s 105	Potência ativa	$P = U I \cos \varphi = I^2 R$	
s 106	Potência reativa	$P_q = U I \sin \varphi = I^2 X$	
s 107	Fator de potência	$\cos \varphi = \frac{P}{U I} = \frac{P}{P_S}$	
s 108	Fluxo magnético alternado numa espira	$\hat{\Phi} = \frac{U_L}{4,44 N f}$	

- s 109 μ_0 : constante do campo magnético
 μ_r : coeficiente de permeabilidade magnética

(para o vácuo, fluidos e para a maioria dos sólidos, $\mu_r = 1$,
para substâncias magnéticas, toma-se μ_r de Z 3)

- a : nº de dipolos da armadura
 l : comprimento do percurso do fluxo
 N : nº de enrolamentos da espira
 p : nº dos pares polares
 z : nº de condutores

$\frac{R_R}{R_P}$	Resistência ativa em	série	Circuito equivalente do enrolamento
		paralelo	
$\frac{L_R}{L_P}$	Indutância em	série	
		paralelo	

Explicação da pág. S 13 (u_q , auto-indução)

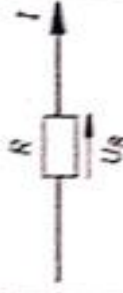
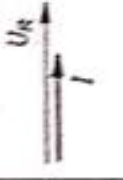
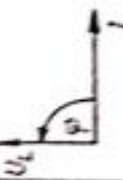
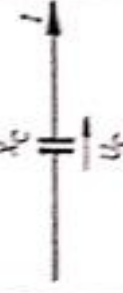
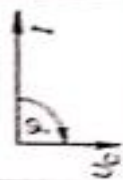
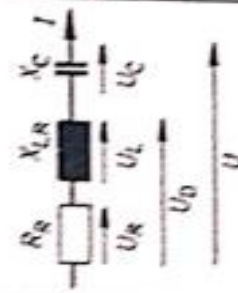
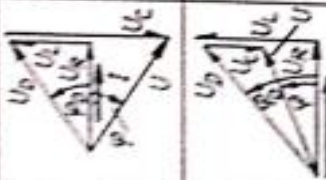
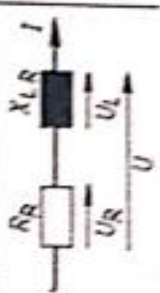
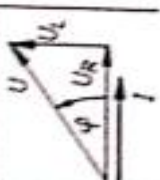
Se uma espira é atravessada por uma corrente i variável com o tempo, o campo magnético originado por esta corrente também varia. Donde se origina uma tensão u_q de auto-indução na espira. Ela é orientada de modo a agir sempre no sentido contrário à variação instantânea da corrente (Lei de Lenz).

Eletrotécnica

Corrente alternada

S17

Tipos de impedância, ligação em série e em paralelo
em um circuito de corrente alternada

Tipo de impedância	Ligação	Flechas	Ângulo de fase	Fase positiva	Impedância	$\operatorname{tg} \varphi =$
110 <u>Ôhmica</u> lâmpada, aquecimento bobina com enrolamento bifilar			I e U em fase	$\varphi = 0^\circ$	$Z = R$	0
111 <u>Indutiva</u> bobina Ideal			I e U em atraso de 90º	$\varphi = 90^\circ$	$Z = X_L = \omega L$	∞
112 <u>Capacitiva</u> Condensador perfeito			I e U em avanço de 90º	$\varphi = -90^\circ$	$Z = X_C = \frac{1}{\omega C}$	∞
113 <u>Ôhmica + Indutiva + Capacitiva em série</u> Bobina em série com o condensador			I em avanço sobre U	$-90^\circ < \varphi < 0^\circ$	$Z = \sqrt{R_g^2 + \left(\omega L_g - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$	$\frac{1}{R_g} \omega L_g - \frac{1}{\omega C}$
114 <u>Ôhmica + Indutiva em série</u> esquema de equivalência de uma bobina			I tem um atraso sobre U	$0^\circ < \varphi < 90^\circ$	$Z = \sqrt{R_g^2 + (\omega L_g)^2}$	$\frac{\omega L_g}{R_g}$

Continua veja S 18

Corrente alternada		Continuação de S17				
Tipo de impedância		Ligação	Flechas	Fase positiva	Ângulo de fase	Impedância
s 116	ôhmica + capacitiva em série			I em um avanço < 90° sobre U	$-90^\circ < \varphi < 0^\circ$	$Z = \sqrt{R_R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$
						$\text{tg } \varphi = -\frac{1}{R_R \omega C}$
s 117	ôhmica + indutiva + capacitiva em paralelo			I em avanço ou atraso sobre U	$-90^\circ < \varphi < 90^\circ$	$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_P}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega L_P} - \omega C\right)^2}}$
						$R_P \left(\frac{1}{\omega L_P} - \omega C \right)$
s 118	ôhmica + indutiva em paralelo			I em atraso sobre U	$0^\circ < \varphi < 90^\circ$	$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_P}\right)^2 + \left(\frac{1}{\omega L_P}\right)^2}}$
						$\frac{R_P}{\omega L_P}$
s 119	ôhmica + capacitiva em paralelo			I em avanço sobre U	$-90^\circ < \varphi < 0^\circ$	$Z = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R_P}\right)^2 + (\omega C)^2}}$
						$-R_P \omega C$
s 120	Os valores R e L de uma bobina de filtragem representam em geral os valores independentes da frequência R _P e L _P do circuito equivalente em série (s 115). Utiliza-se, entretanto, o esquema de equivalência em paralelo (s 118) se as bobinas e os condensadores são ligados em paralelo. Calcular, neste caso, os valores independentes da frequência R _p e L _p por meio de:					$R_p = R_R + \frac{(\omega L_R)^2}{R_R}$
s 121						$L_p = L_R + \frac{R_R^2}{\omega^2 L_R}$

Circuitos oscilantes		
	Circuito em série	oscilante em paralelo
Esquema e diagrama vetorial	Veja s 113	Veja s 117
diagrama para a ressonância		
s 122 s 123 s 124 condição de ressonância	$U_L = U_C$ $\omega_r L_R - \frac{1}{\omega_r C} = 0$ $\omega_r^2 L_R C = 1$	$I_L = I_C$ $\frac{1}{\omega_r L_P} - \omega_r C = 0$ $\omega_r^2 L_P C = 1$
s 125 Frequência de ressonância	$f_r = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L_R C}}$	$f_r = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L_P C}}$
Se a frequência da rede $f = f_r$, então tem-se ressonância		
s 126 s 127 corrente em ressonância	$I_r = \frac{U}{R_R}$ até $U_b = U_L - U_C = 0$ $\varphi = 0$	$I_r = \frac{U}{R_P} = \frac{R_R C U}{L_R}$ até $I_b = I_L - I_C = 0$ $\varphi = 0$
s 128 fator de qualidade	$Q_R = \frac{\omega_r L_R}{R_R} = \frac{1}{\omega_r C R_R}$	$Q_P = \omega_r C R_P = \frac{R_P}{\omega_r L_P}$
s 129 Ângulo de perdas δ	$\tan \delta_R = \frac{1}{Q_R} = \frac{R_R}{\omega_r L_R}$	$\tan \delta_P = \frac{1}{Q_P} = \frac{1}{\omega_r C R_P}$
s 130 comprimento de onda	$\lambda = \frac{c}{f_r} = \frac{300 \cdot 10^6 \text{ m}}{f_r \text{ s}}$	
s 131 Período de ressonância	$T_r = 2 \pi \sqrt{L_R C}$	$T_r = 2 \pi \sqrt{L_P C}$
Circuito de bloqueio		
Um circuito oscilante em paralelo tem a impedância máxima $Z_{\text{máx}}$ em ressonância. Ele forma um circuito bloqueado para as correntes tendo esta frequência.		
s 132	$Z_{\text{max}} = R_P = \frac{L_R}{R_R C}$	e corrente $I = \frac{U}{Z_{\text{max}}}$
Símbolos	veja S 16	

Sobre o Autor:



Alexandre Dezem Bertozzi

- Endereço para acessar este CV: <http://lattes.cnpq.br/2365177143973237>
- ID Lattes: **2365177143973237**
- Última atualização do currículo em 26/08/2021

CREA-MG: 64.784/D, CRT-MG: 10088748847, Esp. em Geoprocessamento e Georreferenciamento, pela Fac. Única (2019). Esp. em Topografia e Sensoriamento Remoto pela Fac. Única (2019), Esp. em Engenharia Ambiental pela U.C.Mendes (2019), Esp. em Engenharia de Produção pela U.C.Mendes (2018), Esp. em Agrimensura pela Escola Brasileira de Agrimensura (2014), Licenciado Pleno em Matemática pelo Centro Universitário Claretiano (2006), Esp. em Engenharia de Telecomunicações pela AWU-USA (2004), Esp. em Redes de Computadores pelo Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS (2003), Esp. em Engenharia de Segurança e Saúde do Trabalho, pela UNIFENAS (2000). Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica pela Universidade de Alfenas (1994). Téc. em Telecomunicações (1999). Téc. em Agrimensura (2019), Téc. em Edificações (2021). Tem experiência (Profissional e Acadêmica) nas áreas de Redes de Computadores, Arquitetura de Computadores, Eletrônica Digital, Matemática, Estatística, Telecomunicações, Tecnologia da Informação e Comunicação, e EAD. Engenheiro Projetista nas áreas Elétrica, Eletrônica, Telecomunicações, Radiodifusão, Teledifusão, Topografia / Levantamento Planialtimétrico e Informática, com mais de 36 anos de experiência prática. Professor Universitário da Faculdade Pitágoras - Unidade de Divinópolis - MG. Contato: alexandre.bertozzi@gmail.com