

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz

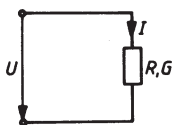


4. Základní zákony elektroniky

4.1 Odpor a jeho zapojení

4.1.1 Ohmův zákon

$$I = \frac{U}{R}$$



$$I = \frac{U}{R} = U \cdot G$$

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

U = napětí ve [V]

I = proud v [A]

R = odpor v [Ω]

G = vodivost v [S]

4.1.2 Odpor drátu

$$R = \frac{l}{\kappa \cdot A} = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

$$\rho = \frac{1}{\kappa}$$

$$\kappa_{\text{Cu}} = 56 \quad \rho_{\text{Cu}} = 0,0178$$

$$\kappa_{\text{Ag}} = 62 \quad \rho_{\text{Ag}} = 0,0161$$

$$\kappa_{\text{Al}} = 33 \quad \rho_{\text{Al}} = 0,0303$$

$$\kappa_{\text{Fe}} = 7,7 \quad \rho_{\text{Fe}} = 0,13$$

l = délka drátu v [m]

A = průřez drátu v [mm^2]

κ = specifická (měrná) elektrická vodivost v [$\text{S} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2}$]

ρ = specifický (měrný) elektrický odpor v [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$]

Cu → měď

Ag → stříbro

Al → hliník

Fe → železo

4.1.3 Proudová hustota

$$S = \frac{I}{A}$$

S = proudová hustota v [$\text{A} \cdot \text{mm}^{-2}$]

I = proud v [A]

A = průřez drátu v [mm^2]

4.1.4 Změna odporu při zahřátí

$$R_{\vartheta} = R(1 + \alpha \Delta \vartheta)$$

$$R = \frac{R_{\vartheta}}{1 + \alpha \Delta \vartheta}$$

$$\Delta \vartheta = \frac{R_{\vartheta} - R}{\alpha \cdot R}$$

$$\alpha = \frac{R_{\vartheta} - R}{\Delta \vartheta \cdot R}$$

$$\Delta R = R \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta$$

$$\alpha_{\text{Cu}} = 3,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_{\text{Al}} = 3,8 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_{\text{Fe}} = 4,6 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_{\text{konstantan}} = 0,01 \cdot 10^{-3}$$

R = hodnota odporu při 20 °C v [Ω]

R_{ϑ} = hodnota odporu při ϑ °C v [Ω]

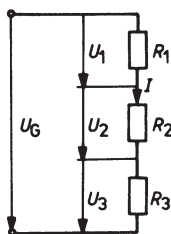
$\Delta \vartheta$ = změna teploty v [K]

α = teplotní koeficient v [K^{-1}]

ΔR = změna odporu v [Ω]

$$I = \frac{U}{R}$$

4.1.5 Sériové spojení odporů



R_G = celkový odpor v [Ω]

$R_1 \dots R_n$ = dílčí odpory v [Ω]

U_G = celkové napětí ve [V]

$U_1 \dots U_n$ = dílčí napětí ve [V]

n = počet odporů [R]

$$R_G = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Při n-stejných odporech

$$R_G = n \cdot R$$

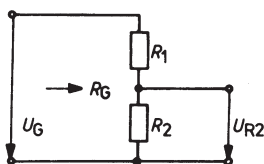
$$U_G = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

$$I = \frac{U_G}{R_G} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \dots = \text{konstantní}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$I = \frac{U}{R}$$

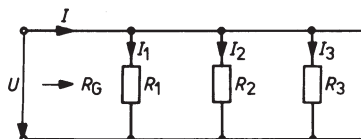
4.1.6 Dělič napětí



$$\frac{U_{R2}}{U_G} = \frac{R_2}{R_G}$$

$$U_{R2} = U_G \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

4.1.7 Paralelní spojení odporů



G = vodivost v [S]

$$\frac{1}{R_G} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots, \quad \text{nebo: } G_G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$$

Pro dva odpory:

$$R_G = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow R_1 = \frac{R_2 \cdot R_G}{R_2 - R_G},$$

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_G}{R_1 - R_G}$$

Pro n -stejných odporů

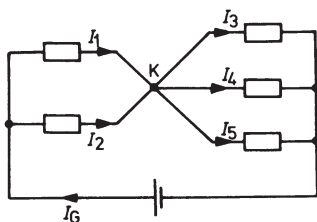
$$R_G = \frac{R}{n}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

$$U = I \cdot R_G = I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 = \dots$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

4.1.8 Kirchhoffovy zákony



Pro uzlový bod K platí:

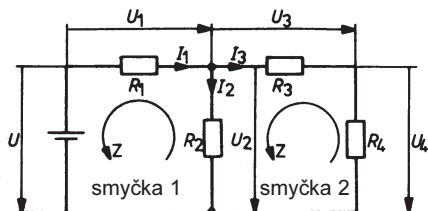
$$\sum I_{\text{do bodu K}} = \sum I_{\text{z bodu K}}$$

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

1. Kirchhoffův zákon

Součet všech proudů v uzlovém bodu je roven nule.



$$I = \frac{U}{R}$$

$$U - U_1 - U_2 = 0,$$

$$U_2 - U_3 - U_4 = 0,$$

$$U - I_1 \cdot R_1 - I_2 \cdot R_2 = 0$$

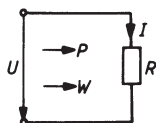
$$I_2 \cdot R_2 - I_3 \cdot R_3 - I_4 \cdot R_4 = 0$$

2. Kirchhoffův zákon

Součet všech napětí je v každém proudovém okruhu roven nule. Pro sestavení smyčkových rovnic se zvolí libovolná orientace šipky označující směr proudu ve smyčce. Všechna napětí a proudy, jejichž směr s touto orientací souhlasí, získají znaménko kladné, při směru opačném znaménko záporné.

Má-li vypočtená hodnota proudu nebo napětí záporné znaménko, je jejich skutečný směr opačný ke zvolené orientaci.

4.1.9 Elektrický výkon, elektrická práce



$$P = U \cdot I$$

$$P = \frac{U^2}{R} \rightarrow U = \sqrt{P \cdot R}$$

$$P = I^2 \cdot R \rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$W = P \cdot t = U \cdot I \cdot t$$

P = elektrický výkon ve [W]

U = napětí ve [V]

I = proud v [A]

W = elektrická práce ve [Ws]

t = čas v [s]

4.1.10 Účinnost

$$P_{ab} = P_{zu} - P_v$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

P_{ab} = odevzdaný výkon
(užitečný výkon) ve [W]

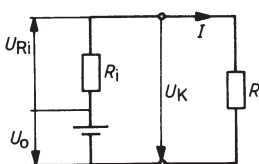
P_{zu} = přiváděný výkon ve [W]

P_v = ztrátový výkon ve [W]

η = účinnost (vždy <1)

$$I = \frac{U}{R}$$

4.1.11 Zatížený zdroj napětí, přizpůsobení



U_0 = napětí naprázdno ve [V]

U_{Ri} = úbytek napětí na vnitřním odporu
zdroje napětí ve [V]

U_K = svorkové napětí = úbytek napětí
na zatěžovacím odporu ve [V]

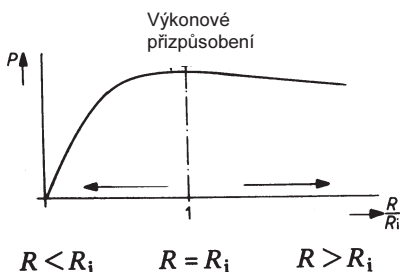
$$U_0 = U_{Ri} + U_K$$

$$U_0 = I \cdot R_i + I \cdot R$$

$$I = \frac{U_0}{R_i + R}$$

$$\frac{U_K}{U_{Ri}} = \frac{R}{R_i}, \text{ nebo } \frac{U_K}{U_0} = \frac{R}{R_i + R}$$

Přizpůsobení



$$I = \frac{U_K}{R}$$

$$P = U_K \cdot I = \frac{U_K^2}{R}$$

Je-li $R = R_i$, je na zatěžovacím odporu odevzdáván maximální výkon

Potom je:

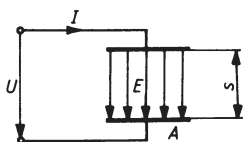
$$U_K = \frac{U_0}{2} = U_{Ri}$$

$$P = P_{\max} = \frac{\left(\frac{U_0}{2}\right)^2}{R} = \frac{U_0^2}{4R}$$

P = výkon odevzdávaný na zatťažovacím odporu ve [W]

$$I = \frac{U}{R}$$

4.2 Elektrické pole



$$E = \frac{U}{s}$$

E = intenzita elektromagnetického pole
ve $[V \cdot m^{-1}]$

U = elektrické napětí ve [V]

s = vzdálenost v [m]

A = plocha desek v $[m^2]$

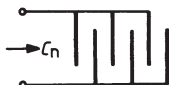
4.2.1 Kapacita deskového kondenzátoru

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{s}$$

C = kapacita ve $[F = As \cdot V^{-1}]$

ϵ_0 = dielektrická konstanta vakua =
 $= 8,85 \cdot 10^{-12} [F \cdot m^{-1}]$

$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ = dielektrická konstanta
v $[F \cdot m^{-1}]$



$$C_n = C(n - 1)$$

$\epsilon_{\text{vzduchu}} = 1$

ϵ_r = relativní dielektrická konstanta

n = počet desek

4.2.2 Náboj kondenzátoru

$$Q = C \cdot U = I \cdot t$$

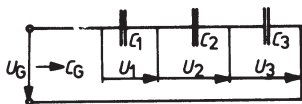
Q = náboj v As

U = napětí nabíjecího průběhu
v čase t ve [V]

I = konstantní nabíjecí proud
v průběhu v čase t v [A]

t = čas v [s]

4.2.3 Sériové spojení kondenzátorů



$$\frac{1}{C_G} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Pro dva kondenzátory:

$$C_G = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \rightarrow C_1 = \frac{C_2 \cdot C_G}{C_2 - C_G}, \quad C_2 = \frac{C_1 \cdot C_G}{C_1 - C_G}$$

Pro n-shodných kondenzátorů:

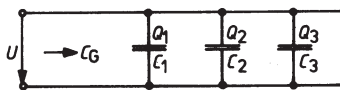
$$C_G = \frac{C}{n}$$

n = Počet kondenzátorů C

$$U_G = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

$$Q = C \cdot U = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2 = \dots$$

4.2.4 Paralelní spojení kondenzátorů



$$C_G = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Pro n-shodných kondenzátorů:

$$C_G = n \cdot C$$

$$Q_G = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$$

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{Q_2}{C_2} = \dots$$

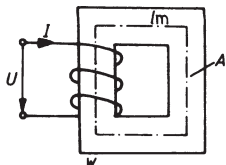
4.2.5 Energie nabitého kondenzátoru

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} Q \cdot U$$

W = uložená elektrická energie (práce) ve [Ws]

U = napětí kondenzátoru odpovídající náboji Q ve [V]

4.3 Magnetické pole



$$\Theta = I \cdot w$$

$$H = \frac{I \cdot w}{l_m}$$

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$$

$$\Phi = B \cdot A = \frac{\Theta}{R_m}$$

$$R_m = \frac{l_m}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$$

Θ = magnetické napětí v [A]

w = počet závitů

H = intenzita magnetického pole v [A · m⁻¹]

l_m = střední délka siločáry v [m]

μ_0 = permeabilita vakua =
= 1,257 · 10⁻⁶ [H · m⁻¹]

μ_r = relativní permeabilita

B = magnetická indukce v [T] = $\frac{[Vs]}{[m^2]}$

Φ = magnetický tok ve [Wb] = [Vs]

A = plocha v [m²]

R_m = magnetický odpor v [A · V⁻¹ · s⁻¹]

$$I = \frac{U}{R}$$

4.3.1 Indukční zákon

$$u = -w \cdot \frac{d\Phi}{dt} \approx -w \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

u = indukované napětí ve [V]

$d\Phi$, $\Delta\Phi$ = změna toku

dt , Δt = změna času

4.3.2 Indukčnost cívek

$$L = w^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{A}{l_m}$$

$$L = \text{indukčnost v [H]} = \frac{[Vs]}{[A]}$$

4.3.3 Indukčnost konstrukčních prvků

přímý vodič

$$L_{NF} = 2 \cdot l \left(\ln \frac{2 \cdot l}{r_D} - 0,75 \right) \cdot 10^{-9}$$

L_{NF} = indukčnost při nízkém
kmtočtu* v [H]

L_{HF} = indukčnost při vysoké
kmtočtu* v [H]

* Nízkofrekvenční pásmo je charakterizováno tím, že zde může ještě být zanedbán skin efekt. Ve vysokofrekvenčním pásmu teče proud v podstatě jen povrchem vodiče.

$$I = \frac{U}{R}$$

$$L_{\text{HF}} = 2 \cdot l \left(\ln \frac{2 \cdot l}{r_{\text{D}}} - 1 \right) \cdot 10^{-9}$$

Dvojité vedení

$$L_{\text{NF}} = l \left(4 \cdot \ln \frac{a}{r_{\text{D}}} + 1 \right) \cdot 10^{-9}$$

$$L_{\text{HF}} = l \left(4 \cdot \ln \frac{a}{r_{\text{D}}} \right) \cdot 10^{-9}$$

Koaxiální vedení

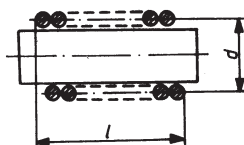
$$L_{\text{NF}} = 2 \cdot l \left(\ln \frac{r_{\text{M}}}{r_{\text{D}}} + 0,25 \right) \cdot 10^{-9}$$

$$L_{\text{HF}} = 2 \cdot l \left(\ln \frac{r_{\text{M}}}{r_{\text{D}}} \right) \cdot 10^{-9}$$

Vodič proti zemi

$$L = 2 \cdot l \cdot \ln \frac{2 \cdot h}{r_{\text{D}}} \cdot 10^{-9}$$

Jednovrstvá válcová cívka



$$L = \frac{d}{2} \cdot w^2 \cdot F \cdot 10^{-9}$$

l = délka vodiče v [cm]

$r_{\text{D}} = \frac{d}{2}$ poloměr drátu v [cm]

a = střední vzdálenost vodiče v [cm]

r_{M} = vnitřní poloměr pláště v [cm]

h = vzdálenost vodiče od země v [cm]

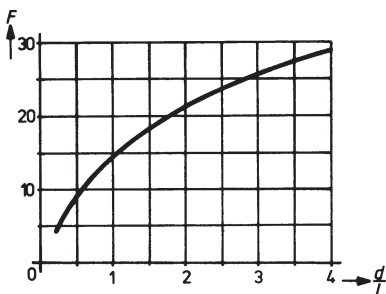
L = indukčnost v [H]

l = délka cívky v [cm]

d = průměr cívky v [cm]

w = počet závitů

F = výpočtový činitel



Hrníkové jádro, práškové jádro

$$L = w^2 \cdot A_L$$

L = indukčnost v [nH]

A_L = činitel jádra (A_L - činitel, indukční činitel) v [nH], z katalogových listů

Cívky s uzavřenými jádry (transformátorový plech)
(nízkofrekvenční tlumivky)

$$L = \frac{w^2}{R_m} = w^2 \cdot \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}{l_m}$$

R_m = magnetický odpor v [$A \cdot V^{-1} \cdot s^{-1}$]
viz kap. 4.3

μ_0 = $1,257 \cdot 10^{-6}$ [$H \cdot m^{-1}$]

μ_r = permeabilita plechu jádra

l_m = střední délka siločáry v [m]

A = plocha jádra v [m^2]

R_{mL} = magnetický odpor vzduchové mezery

R_{mFe} = magnetický odpor jádra

l_L = délka vzduchové mezery v [m]

Cívky se vzduchovou mezerou

$$R_{mL} > R_{mFe}$$

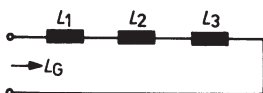
$$L \approx w^2 \cdot \frac{\mu_0 \cdot A}{l_L}$$

4.3.4 Indukované napětí

$$u = -L \cdot \frac{di}{dt} \approx -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

di , ΔI = změna proudu

4.3.5 Sériové spojení cívek



L_G = celková indukčnost v [H]

$$L_G = L_1 + L_2 + L_3 + \dots$$

$$I = \frac{U}{R}$$