

Elektrotechnika, otázky na státnice

30. června 2002

Obsah

1	Veličiny popisující elektrické pole φ, E, D, ε, Gaussova věta	7
1.1	Intenzita elektrického pole a elektrický potenciál	7
1.2	Elektrická indukce	7
1.3	Permitivita	7
1.4	Gaussova věta	7
1.5	Elektrické pole v dielektriku	7
1.6	Podmínky na rozhraní dvou prostředí	8
1.7	Maxwellovy rovnice v integrálním tvaru	8
2	Elektrostatické pole jednoduchých těles (rovina, koule, válec)	10
2.1	Metody výpočtu	10
2.1.1	Přímá metoda	10
2.1.2	Použití Gaussovy věty	10
2.2	Pole rovnoměrně nabitého válce	11
2.2.1	Vně válce	11
3	Kondenzátor, kapacita, energie nabitého kondenzátoru a elektrického pole	12
3.0.2	Kapacita vodiče	12
3.0.3	Kapacita kondenzátoru	12
4	Vedení proudu v kovech, polovodičích, elektrolytech, plynech. Výpočet odporu kovového vodiče	13
4.1	Vedení proudu v kovech	13
4.2	Vedení proudu v elektrolytech	13
4.3	Vedení proudu v plynech	14
4.3.1	Druhy výbojů v plynech	14
5	Elektrické zdroje, náhradní schémata. Výpočet stejnosměrných proudů a napětí v elektrických obvodech, metody výpočtu	15
6	Magnetické veličiny H, B, μ, základní vztahy (Ampérův zákon)	16
7	Magnetické obvody, výpočet obvodů složených z různých materiálů	17
8	Elektromagnetická indukce, Faradayův zákon. Indukčnost vlastní a vzájemná. Vířivé proudy a skin efekt	18
9	Přechodové jevy v obvodech s R, L, C	19

10 Střídavé proudy a napětí v lineárních obvodech, charakteristické veličiny (I_{ef}, I_{st}). Symbolický počet, obvody s R, L, C. Fázorové diagramy	20
11 Jednofázové a vícefázové soustavy	21
12 Rozvodné sítě, požadavky a výpočet základních typů	22
12.1 Vedení	22
12.1.1 Indukčnost vedení	22
12.1.2 Kapacita vedení	22
12.1.3 Svodový odpor	23
12.2 Vodiče	23
12.2.1 Svazkové vodiče	23
12.2.2 Dimenzování vodičů	24
12.3 Rozvodné soustavy	25
12.3.1 Druhy rozvodných soustav	25
13 Vlastnosti lineárních dvojbranů, význam prvků matic a určování jejich hodnot	26
13.1 Dvojbrany	26
13.1.1 Charakteristiky dvojbranů	26
13.1.2 Spojování dvojbranů	27
14 Lineární jednobrany a dvojbrany, pozitivně-reálná funkce. Základní typy dvojbranů (normovaná dolní propust)	29
14.1 Bruneho pozitivně-reálná funkce	29
14.2 Pasivní lineární dvojpóly	29
14.2.1 Normování	30
14.3 Syntéza dvojpólu	30
14.4 Základní typy dvobranů	30
14.4.1 Horní propust	30
14.4.2 Dolní propust	30
14.4.3 Pásmová propust	30
14.4.4 Pásmová zádrž	30
15 Homogenní vedení, telegrafní rovnice, primární a sekundární charakteristiky, činitel odrazu, přenosu, odrazu a útlumu	31
15.1 Homogenní vedení	31
15.1.1 Telegrafní rovnice	31
15.1.2 Sekundární konstanty vedení	31
15.1.3 Zvláštní případy vedení	31
15.2 Styk dvou vedení	32
16 Usměrňovače, vyhlazovací filtrace, regulace a stabilizace napětí	33
16.1 Usměrňovače	33
16.2 Filtrace	33
16.3 Stabilizace napětí	33
16.3.1 Pasivní stabilizátory	33
16.3.2 Aktivní stabilizátory	33

17 Principy a funkce snímačů, převodníků a čidel používaných k převodu fyzikální veličiny na elektrické veličiny (teplota, tlak, síla, osvětlení, zvuk)	34
17.1 Měření délky	34
17.1.1 Odporové snímače	34
17.1.2 Indukční snímače	34
17.1.3 Kapacitní snímače	34
17.2 Měření síly	35
17.2.1 Odporové tenzometrické snímače	35
17.2.2 Polovodičové tenzometrické snímače	35
17.2.3 Piezoelektrické tenzometrické snímače	35
17.2.4 Magnetoelastické snímače	35
17.3 Měření úhlové výchylky	35
17.3.1 Drátové odporové snímače	35
17.3.2 Rtuťové odporové snímače	36
17.4 Měření průtoku	36
17.4.1 Klapkový průtokoměr	36
17.4.2 Lopatkový průtokoměr	36
17.4.3 Plováčkový průtokoměr	36
17.4.4 Diferenční průtokoměr	36
17.4.5 Indukční průtokoměr	36
17.4.6 Kalorimetrický průtokoměr	36
17.5 Měření teploty	37
17.5.1 Dilatační teploměry	37
17.5.2 Odporové teploměry	37
17.5.3 Bezdotykové teploměry	37
17.5.4 Vlákonnové teploměry	38
17.6 Měření otáček	38
17.6.1 Techometrické dynamo	38
17.6.2 Techometrický generátor	38
17.6.3 Magnetické otáčkoměry	38
17.6.4 Bezdotykové otáčkoměry	38
17.7 Měření osvětlení	38
17.8 Měření viskozity	38
17.9 Měření pH	38
17.10 Měření teploty rosného bodu	38
17.10.1 Rotační viskozimetr	38
17.10.2 Tělisový viskozimetr	38
17.10.3 Kapilární viskozimetr	38
17.11 Měření absorpce záření	38
17.11.1 Kalorimetrický analyzátor	38
17.12 Měření vlastností tuhých látek	38
17.13 Měření vad materiálu	38
17.14 Měření složení plynů a kapalin	38

18	Magnetoelektrické měřiče proudu a napětí, rozsah, citlivost, změna rozsahu, měření napětí a proudu	39
18.1	Magnetoelektrické měřiče	39
18.2	Měřiče stejnosměrného proudu	39
18.2.1	Bočníky	39
18.3	Měřiče stejnosměrného napětí	40
18.3.1	Předřadníky	40
18.4	Magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem	40
18.4.1	Voltmetr s usměrňovačem	40
18.4.2	Univerzální přístroje	40
18.5	Magnetoelektrické přístroje s termoelektrickým článkem	40
18.6	Magnetoelektrické galvanometry	41
18.7	Magnetoelektrické poměrové přístroje	41
18.8	Přístroje s otočným magnetem	41
18.9	Analogové měřicí přístroje s mechanickým měřicím ústrojím	41
18.10	Měření stejnosměrného napětí	42
18.10.1	Měření velmi malých stejnosměrných napětí	42
18.11	Měření stejnosměrného proudu	42
18.11.1	Měření velkých stejnosměrných proudů	42
18.11.2	Komparátory stejnosměrného a střídavého proudu	42
18.12	Měření střídavých napětí	43
18.12.1	NF mV-metry	43
18.13	Elektromagnetické přístroje	43
18.13.1	Elektromagnetické ampérmetry	43
19	Elektrodynamické měřiče, měření výkonu stejnosměrného a střídavého proudu	45
19.1	Elektrodynamické měřiče	45
19.1.1	Elektrodynamické wattmetry	45
19.2	Měření výkonu	45
19.2.1	Měření činného výkonu	45
19.2.2	Měření jalového výkonu	45
19.2.3	Měření výkonu ve trojfázových sítích	46
19.2.4	Symetrická soustava napětí a souměrná zátěž.	46
20	Můstkové metody měření odporů, kapacit a indukčností	47
20.1	Měření odporů	47
20.1.1	Wheastonův můstek	47
20.1.2	Thompsonův můstek	47
20.2	Měření kapacit	47
20.2.1	Sautyho můstek	47
20.2.2	Schöringův můstek	47
20.2.3	Carey-Fosterův můstek	47
20.3	Měření indukčností	47
20.3.1	Maxwell-Wienův můstek	47
20.3.2	Transformátorový můstek	47

21 Rezonanční metody měření	48
21.1 Princip Q-metody	48
21.2 Campbellův můstek	48
22 Převodníky pro měření součtu, rozdílu, součinu a podílu veličin	49
22.1 Převodníky pro měření součtu	49
22.1.1 Sčítací obvody	49
22.1.2 Sčítací zesilovač	49
22.1.3 Převodník součtu proudů	49
22.2 Převodníky pro měření rozdílu	49
22.2.1 Pomocí měřících transformátorů	49
22.3 Převodníky pro měření součinu	49
22.4 Převodníky pro měření podílu	50
22.5 Integrovační články	50
23 Číslicové voltmetry, AD a DA převodníky	51
23.1 Číslicový voltmetr	51
23.1.1 Parametry číslicového voltmetru	51
23.2 Analogově-číslicové převodníky	51
23.2.1 Převodní charakteristika ideálního a skutečného AD převodníku	51
23.2.2 Analogově-číslicový převodník kompenzačního typu	52
23.2.3 Analogově-číslicový převodník s dvojí integrací	52
23.2.4 Analogově číslicové převodníky s mezipřevodem na kmitočty	52
23.2.5 Komparační analogově-číslicové převodníky	52
23.3 Číslicově-analogové převodníky	53
23.3.1 Číslicově-analogový převodník s odporovou žebříčkovou sítí R-2R	53
24 Osciloskopy: blokové schéma, popis, funkce, použití	54
24.1 Analogové osciloskopy	54
24.1.1 Blokové schéma laboratorního osciloskopu	54
24.1.2 Současné zobrazení více průběhů	55
24.1.3 Časová základna	55
24.1.4	55
24.2 Použití osciloskopů	55
Rejstřík	55

Kapitola 1

Elektrické pole

1.1 Intenzita elektrického pole a elektrický potenciál

Síly mezi dvěma elektrickými náboji Q_a a Q_b vyplývá ze vzájemného působení Q_b a pole náboje Q_a v místě Q_b a naopak. Můžeme tedy definovat *intenzitu elektrického pole* \vec{E} v bodě jako sílu, která působí na jednotkový náboj, umístěný v tomto bodě. Celková síla, která působí na náboj Q_b se pak rovná $\vec{F}_{ab} = Q_b \cdot \vec{E}_a$. Proto ve vzdálenosti \vec{r} od náboje Q_a je

$$\vec{E}_a = \frac{\vec{F}_{ab}}{Q_b} = \frac{Q_a}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{r}_{ab}^0.$$

Zvolíme-li jako referenční bod $R(x_0, y_0, z_0)$, pak můžeme definovat v bodě A skalární funkci φ_A , která se nazývá *elektrický potenciál* jako

$$\varphi_A = \int_A^R \vec{E} d\vec{l}.$$

Rozdíl potenciálů $U = \varphi_A - \varphi_B$ mezi body A a B se nazývá *napětí* a rovná se křivkovému integrálu

$$U = \varphi_A - \varphi_B = - \int_A^B d\varphi = \int_A^B \text{grad } \varphi d\vec{l} = \int_A^B \vec{E} d\vec{l}.$$

1.2 Elektrická indukce

1.3 Permitivita

Permitivita volného prostoru $\epsilon_0 \doteq 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$. Pro lineární a izotropní dielektrika platí pro vektor elektrické indukce $\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$, kde ϵ je permitivita (lineárního) prostředí s rozměrem F/m a ϵ_r je relativní permitivita, která je bezrozměrná.

1.4 Gaussova věta

1.5 Elektrické pole v dielektriku

V dielektriku jsou všechny náboje vázány k atomům a molekulám a mohou se pod vlivem pole pohybovat pouze omezeně. Dielektrikum při takovém vychýlení se nazývá polarizované. Rozeznáváme tři základní typy polarizace: elektronovou (v molekule se nepatrně přesouvají elektrony vzhledem k jádrům), orientační (molekuly se orientují v prostoru vlivem elektrického pole) a atomovou (ionty

s různými znaménky se pohybují do různých směrů). Je-li \vec{s} vzdálenost dvou stejných nábojů Q s opačnými znaménky (elektrický dipól), pak *dipólový moment* $\vec{p} = Q\vec{s}$ je vektor, který směřuje od záporného ke kladnému náboji. Je-li v okolí daného bodu průměrně N molekul v m^3 , pak $\vec{P} = N\vec{p}$ je *elektrická polarizace* v tomto bodě.

Vektor elektrické indukce $\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$.

1.6 Podmínky na rozhraní dvou prostředí

Potenciál φ je spojitý při přechodu rozhraní mezi dvěma prostředími, neboť jinak by diskontinuita mohl způsobovat nekonečně velkou intenzitu \vec{E} , což je fyzikálně nemožné.

Rozdíl $D_{2n} - D_{1n}$ mezi normálovými složkami \vec{D} se rovná plošné hustotě volného náboje σ_f . Tečné složky intenzity \vec{E} jsou stejné ($E_{1t} = E_{2t}$).

1.7 Maxwellovy rovnice v integrálním tvaru

1. rovnice

Integrál intenzity magnetického pole H přes uzavřenou dráhu l je roven součtu proudů I_s a časové změny elektrického indukčního toku Ψ , které prochází plochou určenou uzavřenou dráhou l .

$$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = \sum_{s=1}^N I_s + \frac{d\Psi}{dt} \quad [\text{A}\cdot\text{m}^{-1}, \text{m}; \text{A}, \text{C}, \text{s}]$$

2. rovnice

Integrál intenzity elektrického pole E přes uzavřenou dráhu l je roven záporné změně magnetického indukčního toku Φ , procházejícího plochou určenou uzavřenou dráhou l .

$$\oint_l \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d\Phi}{dt} \quad [\text{V}\cdot\text{m}^{-1}, \text{m}; \text{Wb}, \text{s}]$$

3. rovnice

Integrál elektrické indukce D přes uzavřenou plochu S je roven součtu nábojů Q_s uvnitř této plochy.

$$\iint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_{s=1}^N Q_s \quad [\text{C}\cdot\text{m}^{-2}, \text{m}^2; \text{C}]$$

4. rovnice

Integrál magnetické indukce B přes uzavřenou plochu S je nulový (všechny indukční čáry se uzavírají).

$$\iint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad [\text{T}, \text{m}^2]$$

5. rovnice

Síla působící na náboj Q má složku elektrickou F_e úměrnou intenzitě elektrického pole E a složku magnetickou F_m , úměrnou vektorovému součinu rychlosti v pohybu náboje a magnetické indukci B .

$$\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m = Q\vec{E} + Q[\vec{v} \times \vec{B}] \quad [\text{N}; \text{C}, \text{V}\cdot\text{m}^{-1}, \text{C}, \text{m}\cdot\text{s}^{-1}, \text{T}]$$

6. rovnice

V homogenním izotropním prostředí je intenzita (hustota) elektrického proudu J je rovna k oduktivitě γ a intenzitě elektrického pole E .

$$\vec{J} = \gamma\vec{E} \quad [\text{A}\cdot\text{m}^{-2}; \text{S}\cdot\text{m}^{-1}, \text{V}\cdot\text{m}^{-1}]$$

7. rovnice

V homogenním izotropním prostředí je elektrická indukce D je rovna součinu elektrické konstanty $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$, poměrné permitivity prostředí ε_r a intenzity elektrického pole E .

$$\vec{D} = \varepsilon_0\varepsilon_r\vec{E} \quad [\text{C}\cdot\text{m}^{-1}; \text{F}\cdot\text{m}^{-1}, 1, \text{V}\cdot\text{m}^{-1}]$$

8. rovnice

V homogenním izotropním prostředí je magnetická indukce B je rovna součinu magnetické konstanty $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$, poměrné permeability prostředí μ_r a intenzity magnetického pole H .

$$\vec{B} = \mu_0\mu_r\vec{H} \quad [\text{T}; \text{H}\cdot\text{m}^{-1}, 1, \text{A}\cdot\text{m}^{-1}]$$

Kapitola 2

Elektrostatické pole

2.1 Metody výpočtu

2.1.1 Přímá metoda

Využívá se vztahu

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho_v}{r} dV,$$

kde ρ_v je hustota veškerého náboje včetně nábojů indukovaných na povrchu vodičů i dielektrik. V prostředí s homogenním dielektrikem s relativní permitivitou ϵ_r stačí v tomto vztahu zaměnit ϵ_0 za $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$ s hustotu všech nábojů ρ_v za hustotu nábojů ρ_1 v níž už nefigurují náboje indukované na povrchu dielektrik.

Obecně je nutno k tomuto vztahu přidat ještě podmínky na rozhraní dielektrik $E_{t_1} = E_{t_2}$, $D_{n_1} = D_{n_2}$ a podmínku na povrchu vodičů $\varphi = \text{konst}$.

Jde o soustavu integrálních rovnic, která se dá řešit jednoduše pouze ve zcela výjimečných případech. Metoda je vhodná pro počítač a používá se k řešení geometricky komplikovaných polí a polí v nehomogenních prostředích.

2.1.2 Použití Gaussovy věty

$$\iint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{Q_v}{\epsilon_0},$$

kde Q_v je veškerý náboj uvnitř uzavřené plochy S včetně indukovaných nábojů na rozhraní dielektrik a na povrchu vodičů.

V prostředí s homogenním dielektrikem s relativní permitivitou ϵ_r stačí v tomto vztahu zaměnit ϵ_0 za $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$ a náboj Q_v za náboj Q_1 , v němž už nefiguruje náboj indukovaný na povrchu dielektrik. Lze použít i tvar

$$\iint_S \vec{D} d\vec{S} = Q,$$

kde Q je pouze volný náboj uvnitř uzavřené plochy S .

2.2 Pole rovnoměrně nabitého válce

2.2.1 Vně válce

Zvolíme gaussovskou plochu S jako válce o poloměru r , který obepíná původní válec. Intezita elektrického pole \vec{E} má radiální směr, $|\vec{E}|$ závisí pouze na r .

Kapitola 3

Kapacita

3.0.2 Kapacita vodiče

3.0.3 Kapacita kondenzátoru

Kapitola 4

Vedení proudu

Na záporný elektrický náboj v elektrickém poli o intenzitě E působí síla F proti směru intenzity a platí pro ni $F = qE$. Tentýž elektrický náboj se bude pohybovat se zrychlením $a = \frac{qE}{m}$. Rychlost náboje v tedy bude $v = at$. Průměrný čas mezi jednotlivými srážkami záporného elektrického náboje (elektronu) s atomy mřížky si označíme τ_{stred} . Střední rychlost nosičů náboje se vypočítá

$$v_{stred} = a \tau_{stred} = \frac{qE}{m} \tau_{stred} = \left(\frac{q}{m} \tau_{stred} \right) E = \mu E,$$

kde μ je pohyblivost nosičů.

Mějme vodič délky l a průřezu S . Za dobu dt projde plochou S náboj $dQ = qnSv_{stred}dt = qnS\mu E dt$. Odtud $I = \frac{dQ}{dt} = qnS\mu E = Uqn\mu \frac{S}{l}$. Práce, kterou vykoná elektrické pole při přemístování nábojů ve vodiči $dA = dQ\varphi_1 - dQ\varphi_2 = U dQ$. Výkon dodávaný elektrickým polem $P = \frac{dA}{dt} = UI$.

Schéma předávání energie: energie elektrického pole \rightarrow kinetická energie nosičů \rightarrow tepelná energie mříže.

4.1 Vedení proudu v kovech

Obecný vztah pro proud ve vodiči

$$I = U \frac{S}{l} n q \mu = U \frac{S}{l} \sigma = U \frac{S}{l} \frac{1}{\rho},$$

kde σ je měrná vodivost a ρ měrný odpor. *Kovová vazba* – jeden elektron od každého atomu mřížky je pohyblivý od jednoho atomu ke druhému pod vlivem vnějších sil. Tedy pohyblivé nosiče jsou elektrony ($|q| = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C) a jejich hustota se rovná hustotě atomů a je tedy konstantní $n = \text{konst.}$ Proto i měrná vodivost $\sigma = nq\mu = \text{konst.}$ Pro napětí U tedy platí

$$U = I \frac{l}{S} \frac{1}{\sigma} = IR,$$

kde R je elektrický odpor a platí pro něj

$$R = \frac{l}{S} \frac{1}{nq\mu}.$$

4.2 Vedení proudu v elektrolytech

Elektrolyty jsou kapalné nebo tuhé roztoky polárních látek () obsahující ionty kladné (kationty) nebo záporné (anionty). Protože jsou zastoupeny dva druhy nosičů náboje, vztah pro výpočet proudu bude mít dva členy

$$I = n_k q_k S v_k + n_a q_a S v_a = U_i \frac{S}{l} n_k q_k (\mu_k + \mu_a).$$

Ve vztahu součin $n_k q_k$ s teplotou roste, ale při konstantní teplotě je stálý. Součet $\mu_k + \mu_a$ s teplotou klesá, ale při konstantní teplotě je stálý. Tedy uvnitř elektrolytu platí Ohmův zákon.

Na elektrodách se vylučují kationty a anionty \rightarrow dochází k chemickým reakcím a vytvářejí se napěťové vrstvy \rightarrow mění se podmínky vedení proudu \Rightarrow ve vnějším obvodu neplatí Ohmův zákon.

Využití

Galvanické pokovování, rozklad látek elektrickým proudem (elektrolýza), galvanické články – primární a sekundární (akumulátory).

4.3 Vedení proudu v plynech

Za normálních podmínek je v plynu přítomno velmi malé množství iontů a volných elektronů. Proto je za normálních podmínek a při nízké intenzitě pole vodivost plynů $\sigma = n q \mu$ velmi malá. Střední volná dráha l_{st} elektronů i iontů je však v plynech, díky jejich malé hustotě, mnohem větší než v kovech nebo polovodičích. Pro energii W , kterou elektron získá na volné dráze l_{st} během svého urychlování platí $W = e(\varphi_2 - \varphi_1) = e E l_{st}$. Při poměrně malé intenzitě pole E , může dosáhnou energie W takové hodnoty, že při srážce s molekulou plynu uvolní další elektron a zбудe kladný iont (nárazová ionizace) – oba se pak účastní dalšího vedení proudu i další ionizace \Rightarrow proud lavinově vzrůstá – vznikne *výboj* v plynu .

4.3.1 Druhy výbojů v plynech

Tichý výboj

K nárazové ionizaci dochází v celém průřezu plynového sloupce. V důsledku kladného náboje pomalu se pohybujících kladných iontů se však vyšší intenzita pole, potřebná pro ionizaci udržuje pouze u katody. To se projevuje světélkováním (plápoláním) okolo katody – korona, Eliášův oheň, doutnavky (při sníženém tlaku).

Jiskrový výboj

Ionizace nenastává v celé šíři mezi elektrodami, ale vznikne pouze velmi úzká ionizovaná cesta, která se silně zahřívá. Je klikatá a nestabilní. Výboj je doprovázen praskotem (jiskření motoru, ve spínačích, blesk).

Obloukový výboj

Ionty a elektrony, dopadající na elektrody, rozžhaví elektrody tak, že ty samy začínají emitovat ionty, které se pak účastní přenosu proudu plynem. Dochází k význačnému úbytku materiálu elektrod. S rostoucím proudem se zvyšuje teplota a tím i počet emitovaných iontů \Rightarrow s rostoucím proudem klesá napětí. Obloukového výboje se využívá při obloukovém sváření, v obloukových pecích a jako intenzivního zdroje světla. Nežádoucí efekty jsou opalování a svařování kontaktů spínacích zařízení.

Kapitola 5

Kapitola 6

Magnetické veličiny

Kapitola 7

Magnetické obvody

Kapitola 8

Elektromagnetická indukce

Kapitola 9

Přechodové jevy

Kapitola 10

Střídavé proudy

Kapitola 11

Jednofázové a vícefázové soustavy

Kapitola 12

Rozvodné sítě

12.1 Vedení

Venkovní vedení se skládají často z více materiálů

tvrdá měď	0,018 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
hliník	0,029 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
dural	0,033 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
ocel	0,13 ÷ 0,2 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

12.1.1 Indukčnost vedení

Celková indukčnost je dána součtem vlastní a vzájemné indukčnosti. Pro jednofázovou soustavu platí empirický vzorec pro výpočet indukčnosti

$$L_c = 0,46 \cdot \log \frac{d}{r} + 0,05 \quad [\text{mH}/\text{km}; \text{mm}],$$

kde d je vzdálenost os vodičů a r poloměr vodiče. Pro ocel nebo feromagnetické materiály platí obdobný vzorec

$$L_c = (0,46 \cdot \log \frac{d}{r} + \mu_r \cdot 0,05) \quad [\text{mH}/\text{km}; \text{mm}].$$

V případě trojfázové soustavy platí stejné vzorce, jen se místo d dosazuje střední vzdálenost d_s , což je geometrický průměr vzdáleností vodičů, takže se vypočítá $d_s = \sqrt[3]{d_{12} d_{23} d_{31}}$. Indukčnost kabelů je asi třetinová proti vekovnému vedení (vodiče jsou blíže u sebe, menší plocha smyčky).

12.1.2 Kapacita vedení

Pro kapacitu vedení platí empirický vzorec

$$C = \frac{0,0242}{\log \frac{d_s}{r}} 10^{-6} \quad [\mu\text{F}/\text{km}; \text{mm}],$$

kde d_s je opět střední vzdálenost mezi vodiči. Pro koaxiální kabely platí vzorec

$$C = \frac{0,0242}{\log \frac{r_1}{r_2}} 10^{-6} \quad [\mu\text{F}/\text{km}; \text{mm}],$$

kde ε_r je relativní permitivita izolačního materiálu, r_1 poloměr vnitřního vodiče a r_2 poloměr vnějšího vodiče.

12.1.3 Svodový odpor

Ztráty svodem mají činný charakter a u venkovních vedení jsou způsobeny zejména mechanickým znečištěním izolátorů, vlhkem, deštěm, znečištěním izolátorů povrchovým výbojem nebo korónou (vyzařováním). Ke koróně dochází při překročení kritického napětí závisícího na povětrnostních podmínkách, drsnosti povrchu vodičů, jejich vzájemné vzdálenosti a poloměru.

Svodový proud z vodiče přes izolátory a sloupy do země je ve fázi s napětím jej vyvolávajícím, tj. mezi vodiči s napětím sdruženým a vůči zemi s napětím fázovým.

U kabelových vedení jsou ztráty svodem způsobeny zejména dielektrickými ztrátami.

Měření svodových proudů je obtížné, protože ztráty svodem se objevují spolu se ztrátami dielektrickými. Rozvodné soustavy NN s venkovními vedeními se vyznačují tím, že v porovnání se svodem je u nich možno zanedbat kapacitu vodičů k zemi. U kabelových vedení NN a venkovních vedení VN se musí uvažovat jak svod, tak i kapacita vodičů. U venkovních vedení má být za vlhkého počasí izolační odpor: pro NN alespoň $24 \text{ k}\Omega/\text{km}$, pro VN do 20 kV alespoň $80 \text{ }\Omega/\text{V}\cdot\text{km}$ a 1 V, pro VN nad 20 kV cca $1,6 \text{ M}\Omega$.

Koróna

Koróna je neúplný samostatný výboj ve vzduchu nebo v plynech vyššího tlaku, který vzniká po překročení kritického napětí, resp. kritické intenzity pole v silně nehomogenních polích mezi značně zakřivenými a poměrně vzdálenými elektrodami. Projevuje se tak, že se elektrody obalí slabě svítící vrstvou obalovou korónou, případně doprovázenou zvukovými efekty. Skutečný průměr koróny je asi $1,9\times$ větší než průměr viditelný okem, přičemž neviditelná část vysílá jen ultrafialové záření.

Kritické napětí závisí na povětrnostních podmínkách, drsnosti povrchu vodičů, jejich vzájemné vzdálenosti a poloměru. Stav povrchu elektrod má rozhodující vliv na počáteční stadia koróny. Drobné nečistoty a nerovnosti povrchu se stávají nejprve ohnisky malých nestabilních výbojů a stanovení napětí, při kterém koróna začíná je obtížné. Proto se kritické napětí U_{kr} koróny definuje pro ideální hladké vodiče. Na lanách vedení VVN se vlivem nerovnosti povrchu objevuje hrotová koróna již při $0,4 U_{kr}$ zejména při záporné půlplně. Při napětích $0,5-0,6 U_{kr}$ vznikají na dešťových kapkách trsové výboje doprovázené zvukovými efekty. Při kritickém napětí nastává již obalová koróna. V tomto stádiu narůstá kapacita vedení a tím i nabíjecí proud vedení.

Koróna způsobuje na vedeních VVN dodatečné ztráty a ruší telekomunikační zařízení. Na druhé straně však snižuje energii přepěťových vln, které se šíří po vedení od místa zásahu atmosférického výboje.

Technicky se fenomén koróny využívá u elektrostatických odlučovačů pro odlučování tuhých i kapalných částic (uhelného, kychtového, cementového prachu, popílku, olejové mlhy apod.) ze vzduchu, z kouřových a jiných plynů tam, kde se má zabránit znečištění ovzduší, a to buď vnější atmosféry nebo vzduchu v uzavřených prostorách.

Způsobuje ztráty, které jsou menší než $1 \text{ kW}/\text{km}$. Vzniká při překročení určité kritické hodnoty, která závisí na teplotě, tlaku, vlhkosti.

12.2 Vodiče

12.2.1 Svazkové vodiče

Svazkový vodič je druh vodiče venkovního vedení s jednotným geometrickým uspořádáním paralelních vodičů tvořících jednu fázi nebo jeden pól vedení.

Je tvořen několika vodiči, nejčastěji lany AlFe, umístěnými ve vrcholech rovnostranného n -úhelníku a tvořícími svazek. Nejčastěji se používá dvousvazek pro napětí 220 kV, dvousvazek nebo trojsvazek pro napětí 400 kV a pro napětí vyšší se používá čtyřsvazek. Pro napětí nad 1000 kV byly navrženy šesti a osmismazkové vodiče.

Vodiče svazku jsou navzájem vzdáleny 40–45 cm a jsou spojeny po určitých vzdálenostech kovovými rozpěrkami. Ve svazkových vodičích je nižší povrchový gradient a tím ztráty korónou a rušení telekomunikací. Při výpočtu parametrů vedení je nutné dosazovat za poloměr vodiče tzv. účinný neboli ekvivalentní poloměr svazku r_e , který lze odvodit z potenciálních koeficientů svazku vodičů. Symetrický svazkový vodič obsahující n vodičů je ekvivalentní s takovým vodičem, jehož poloměr je:

$$r_e = \sqrt[n]{r \cdot (a_{12} \cdot a_{13} \cdot a_{14} \cdot \dots \cdot a_{1n})},$$

kde r_e je poloměr jednoho vodiče, a_{1n} je vzdálenost středů ostatních vodičů od středu jednoho vodiče a n je počet vodičů ve svazku.

Dalším důsledkem svazkových vodičů je zmenšení podélné indukčnosti vedení asi o 15 %, zvětšení provozní (příčné) kapacity, zvětšení proudové zatížitelnosti, zmenšení náchylnosti ke kmitání, zvětšení přídatného zatížení námrazou a větrem, zvětšení investičních nákladů a montážní náročnosti.

12.2.2 Dimenzování vodičů

Pro dimenzování vodičů elektrických rozvodných soustav platí jiná pravidla než např. u motorů.

- Úbytek napětí nesmí překročit dovolenou mez.
- Ztráty na vedení nesmí přesáhnout stanovenou hodnotu.
- Vedení musí mít náležitou mechanickou pevnost.
- Vedení musí odolávat dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů.
- Nesmí být překročena pracovní teplota.
- Musí být zabezpečena správná funkce před nebezpečným dotykovým napětím.

Porovnání hustot proudu ve vodičích: motory 2–4 A/mm², rozvod elektřiny ve stěně 10–15 A/mm², VN vedení 1 A/mm².

Na vodiče jsou kladeny požadavky často protichůdné, například:

- malá hmotnost z hlediska dopravy a zatížení stožárů, ale velká hmotnost z hlediska vychylování větrem,
- velký průměr z důvodu ztrát korónou a rušení, ale malý průměr vzhledem k námraze a tlaku větru,
- velká pevnost,
- odolnost proti chemickým vlivům prostředí,
- odolnost proti kmitání,
- odolnost proti poškození při montáži, malý odpor,
- malé pořizovací náklady.

12.3 Rozvodné soustavy

12.3.1 Druhy rozvodných soustav

Vedení napájené z jedné strany

Jednoduchá, ale porucha může způsobit výpadek až celé sítě.

Paprsková síť

Má zvýšenou spolehlivost. Vedení po paprscích jsou kratší, takže menší úbytky.

Vedení napájené ze dvou stran

Při poruše zůstane v provozu.

Okružní síť

Při poruše se rozpadne na dvě sítě, menší kolísání napětí.

Mřížová (uzlová) síť

Především kabelový rozvod, velkoměsta s odběrem 5–10^{mW}/km. Nejdražší.

Kapitola 13

Lineární dvojbrany

13.1 Dvojbrany

U dvojbranů se volí vstupní i výstupní proud zpravidla směrem dovnitř.

13.1.1 Charakteristiky dvojbranů

Bez ohledu na vnitřní strukturu dvojbranu můžeme vyjádřit jeho vlastnosti vztahy mezi napětími $u_1(t)$, $u_2(t)$ a proudy $i_1(t)$, $i_2(t)$ jeho bran.

Impedanční rovnice

$$U_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2$$

$$U_2 = Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2$$

$$\begin{vmatrix} U_1 \\ U_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \end{vmatrix}$$

$$\mathbf{U} = \mathbf{Z} \cdot \mathbf{I}$$

Admitanční rovnice

$$I_1 = Y_{11}U_1 + Y_{12}U_2$$

$$I_2 = Y_{21}U_1 + Y_{22}U_2$$

$$\mathbf{I} = \mathbf{Y} \cdot \mathbf{U}$$

Smíšené rovnice

sériově paralelní

$$\begin{vmatrix} U_1 \\ I_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} I_1 \\ U_2 \end{vmatrix}$$

paralelně sériové

$$\begin{vmatrix} I_1 \\ U_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} U_1 \\ I_2 \end{vmatrix}$$

Kaskádní a zpětně-kaskádní rovnice

Získáme je volbou výstupního (resp. vstupního) napětí a proudu za nezávisle proměnné. Záporné znaménko u proudů je proto, že zvolený směr proudu je dovnitř dvojbranu. Proto se někdy volí v tomto případě opačný smysl výstupního (resp. vstupního) proudu.

$$\begin{vmatrix} U_1 \\ I_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} U_2 \\ -I_2 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} U_2 \\ I_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} U_1 \\ -I_1 \end{vmatrix}$$

Nelze náhradní zapojení (obě veličiny vstupní nebo výstupní).

Princip reciprocity

Lze zaměnit vstupní a výstupní svorky. Princip reciprocity musí platit u dvojbranů složených pouze z pasivních prvků. Proto musí být například výstupní napětí dvojbranu naprázdno při buzení na vstupu zdrojem proudu I stejné jako vstupní napětí naprázdno při buzení dvojbranu týmž zdrojem na výstupu. Vyjádříme-li tuto skutečnost pomocí impedančních rovnic, dostaneme v prvním případě $U_2 = Z_{21}I$ a ve druhém $U_1 = Z_{12}I$. Pro reciprocity dvojbrany tedy platí

$$\begin{array}{lll} Z_{12} = Z_{21} & H_{12} = -H_{21} & \|\mathbb{A}\| = 1 \\ Y_{12} = Y_{21} & K_{12} = -K_{21} & \|\mathbb{B}\| = 1. \end{array}$$

Souměrnost

Souměrný je takový dvojbran, u něhož se záměnou bran nezmění poměry. Jeho vlastnosti jsou tedy stejné z hlediska vstupní i výstupní brány. Reciprocity souměrné dvojbrany jsou tedy určeny pouze dvěma nezávislými parametry.

$$\begin{array}{lll} Z_{11} = Z_{22} & \|\mathbb{H}\| = 1 & A_{11} = A_{22} \\ Y_{11} = Y_{22} & \|\mathbb{K}\| = -1 & B_{11} = B_{22} \end{array}$$

Obrazová impedance

Obrazová impedance souměrných dvojbranů je impedance, kterou je třeba zapojit na výstup dvojbranu, aby jeho vstupní impedance byla této impedancí rovna. Proto musí platit

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{-I_2} = Z_0.$$

13.1.2 Spojování dvojbranů

Sériové Vstupy i výstupy v sérii; $Z = Z' + Z''$.

Paralelní Vstupy i výstupy paralelně; $\mathbb{Y} = \mathbb{Y}' + \mathbb{Y}''$.

Sériově-paralelní $\mathbb{H} = \mathbb{H}' + \mathbb{H}''$.

Paralelně-sériové $\mathbb{K} = \mathbb{K}' + \mathbb{K}''$.

Kaskádní $\mathbb{A} = \mathbb{A}' \cdot \mathbb{A}''$.

Ideální transformátor

indextransformátor!ideální Je charakterizován pouze jedním parametrem, kterým je převod n .

$$\kappa = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} = 1 \qquad n = \frac{N_1}{N_2} \qquad n^2 = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Ideální gyrátor

$$u_1 = s i_2 \qquad i_1 = \frac{u_2}{s},$$

kde s je gyrační konstanta. $u_1 i_1 = u_2 i_2$, takže prvek je bezztrátový. Pro převod impedancí platí

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{s I_2}{\frac{U_2}{s}} = s^2 \frac{1}{Z_2}.$$

Dochází k inverzi impedance. Kapacita zapojená na výstupu se jeví na vstupu jako indukčnost a naopak. Prakticky lze realizovat obvody s řízenými zdroji.

Kapitola 14

Lineární jednobrany a dvojbrany

14.1 Bruneho pozitivně-reálná funkce

Definice Buď $F(p)$ funkce komplexní proměnné p , pro kterou platí

- (1) $F(p)$ je racionální funkce proměnné p
- (2) pro p , $\operatorname{Re}(p) > 0$ je $\operatorname{Re}(F(p)) > 0$
- (2) pro p , $\operatorname{Im}(p) = 0$ je $\operatorname{Im}(F(p)) = 0$.

Potom nazveme $F(p)$ Bruneho funkcí.

Vlastnosti F_1 a F_2 jsou Bruneho funkce.

- $F_1 + F_2$ je Bruneho funkce
- $F_1 - F_2$ nemusí být Bruneho funkce (kladné složky)
- $F_1 \cdot F_2$ nemusí být Bruneho funkce
- $\frac{1}{F_1}$ je Bruneho funkce.

Bruneho pozitivně-reálná funkce se používá proto, aby se zjistilo, že daná funkce je realizovatelná nějakým zapojením. Po tomto zjištění se nasazují další metody (Cauer, Foster).

14.2 Pasivní lineární dvojpóly

Jedná se o lineární soustavy, které jsou připojeny pouze dvěma svorkami. Vstupní impedance dvoupólu se vypočítá

$$Z(p) = \frac{U(p)}{I(p)} = \frac{A_r(p)}{B_s(p)},$$

kde $p = \sigma + j\omega$ a $A_r(p)$ a $B_s(p)$ jsou polynomy, které můžeme zapsat jako

$$\begin{aligned} A_r(p) &= a_r p^r + a_{r-1} p^{r-1} \cdots a_1 p + a_0 & a_i, b_j &\in \mathbb{R} \\ B_s(p) &= b_s p^s + b_{s-1} p^{s-1} \cdots b_1 p + b_0 & r &= s+1, r = s, r = s-1. \end{aligned}$$

Jiný možný zápis vychází z rozložení polynomů na součin kořenových činitelů

$$Z(p) = k \cdot \frac{\prod_{i=1}^r p - p_{0i}}{\prod_{j=1}^s p - p_{\infty j}},$$

kde $k = \frac{a_r}{b_s}$, p_{0i} jsou nulové body a $p_{\infty j}$ póly funkce $Z(p)$.

14.2.1 Normování

$$z(p) = \frac{Z(p)}{k} \quad p_i = \sigma_i + j\omega_0, \sigma_i \leq 0,$$

kde $Z(p)$ je vstupní impedance dvojpólu a $z(p)$ je normovaná impedance.

$$z(p) = \frac{Z(p)}{R_0} \quad y(p) = \frac{Y(p)}{G_0},$$

kde $R_0 \in \mathbb{R}^*$ a $G_0 = \frac{1}{R_0}$.

Příklad Mějme impedaci $Z(p) = R + pL + \frac{1}{pC}$. Nechť $p_n = \frac{p}{\omega_0}$, $\omega_0 \in \mathbb{R}$. Potom normovaná impedance $z(p_n) = \frac{R}{R_0} + \frac{p_n \omega_0 L}{R_0} + \frac{1}{p_n \omega_0 C R_0}$. Zavedeme-li si $r = \frac{R}{R_0}$, $l = \frac{\omega_0 L}{R_0}$ a $c = \omega_0 C R_0$, dostaneme $z(p_n) = r + p_n l + \frac{1}{p_n c}$.

14.3 Syntéza dvojpólu

14.4 Základní typy dvobranů

14.4.1 Horní propust

14.4.2 Dolní propust

14.4.3 Pásmová propust

14.4.4 Pásmová zádrž

Kapitola 15

Vedení

15.1 Homogenní vedení

15.1.1 Telegrafní rovnice

$$U_p = U_k \cosh \gamma l + Z I_k \sinh \gamma l$$

$$I_p = I_k \cosh \gamma l + \frac{U_k}{Z} \sinh \gamma l$$

15.1.2 Sekundární konstanty vedení

Konstanta přenosu (míra šíření)

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \beta + j\alpha,$$

kde β je konstanta útlumu a α je fázová konstanta.

Charakteristická impedance (vlnový odpor)

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \frac{X}{Y},$$

kde X je podélná impedance a Y příčná admitance

15.1.3 Zvláštní případy vedení

Z telegrafních rovnic

Vedení naprázdno $I_k = 0$

$$\left. \begin{aligned} U_p &= U_k \cosh \gamma l \\ I_p &= \frac{U_k}{Z} \sinh \gamma l \end{aligned} \right\} \frac{U_{p0}}{I_{p0}} = Z_0 = Z \operatorname{cotgh} \gamma l$$

Vedení nakrátko $U_k = 0$

$$\left. \begin{aligned} U_p &= Z I_k \sinh \gamma l \\ I_p &= I_k \cosh \gamma l \end{aligned} \right\} \frac{U_{pk}}{I_{pk}} = Z_k = Z \operatorname{tgh} \gamma l$$

Venkovní vedení

Větší průřez $\Rightarrow R \ll \omega L, G \ll \omega C$, takže

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\beta = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\alpha = \omega \sqrt{LC}$$

Tato zjednodušení lze užít i pro kabelová vedení se zvětšenou indukčností.

Kabelová vedení

Menší průřez, velká izolace, malá vzdálenost vodičů $\Rightarrow R \gg \omega L, G \ll \omega C$

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{R}{\omega C}}$$

$$\beta = \sqrt{0 + \frac{1}{2} \sqrt{R^2 \omega^2 C^2}} = \sqrt{\frac{1}{2} R \omega C}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} R \omega C}$$

15.2 Styk dvou vedení

Pro místo styku platí

$$u_{p1} + u_{z1} = u_{p2} \qquad i_{p1} + i_{z1} = i_{p2},$$

kde u_{p1} je přímá a u_{z1} zpětná vlna napětí na prvním vedení a u_{p2} přímá vlna na druhém vedení. Podobně tomu je i u proudu. Dále platí

$$\frac{u_{p1}}{i_{p1}} = R_{01} \qquad \frac{u_{z1}}{i_{z1}} = -R_{01},$$

kde R_{01} je vlnový odpor prvního vedení. Podobně to platí i pro druhé vedení. Potom *činitelé prostupu* pro vlnu napětí a proudu jsou

$$\frac{u_{p2}}{u_{p1}} = \frac{2R_{02}}{R_{01} + R_{02}} = \tau_u \qquad \frac{i_{p2}}{i_{p1}} = \frac{2R_{01}}{R_{01} + R_{02}} = \tau_i.$$

Podobně *činitelé odrazu* pro vlnu napětí a proudu jsou

$$\frac{u_{z1}}{u_{p1}} = \frac{R_{02} - R_{01}}{R_{01} + R_{02}} = \rho_u \qquad \frac{i_{z1}}{i_{p1}} = \frac{R_{01} - R_{02}}{R_{01} + R_{02}} = \rho_i.$$

Kapitola 16

Usměrňovače, stabilizátory

16.1 Usměrňovače

16.2 Filtrace

16.3 Stabilizace napětí

16.3.1 Pasivní stabilizátory

Realizovány pomocí Zenerových diod.

16.3.2 Aktivní stabilizátory

Pro stabilizaci napětí využívají aktivní prvky, nejčastěji tranzistory

Kapitola 17

Snímače, převodníky, čidla

17.1 Měření délky

17.1.1 Odporové snímače

Proměnný odpor s přímočarým pohybem lze snadno využít pro měření délky. Stačí spojit běžec proměnného odporu se zařízením, které chceme měřit a velikost posunutí bude plynout za změny proudu nebo napětí.

17.1.2 Indukční snímače

Magnetický obvod je složený z plechů je přerušen vzduchovou mezerou o šířce $\frac{\theta}{2}$, celková mezera je tedy θ . Pohybem kotvy se mění vzduchová mezera a tím i magnetický odpor obvodu.

Pro zjišťování menších mechanických posuvů je vhodný indukční snímač s otevřeným magnetickým obvodem. Je to v podstatě solenoid, jehož indukčnost se mění zasouváním železného jádra.

Použití indukčního snímače s nepohyblivým jádrem. Kolem cívky se přesouvá měděná trubka, která je elektricky dobře vodivá, takže působí jako závit nakrátko. Proto indukované proudy vytvářejí magnetický tok, který zeslabuje magnetický tok cívky. Menšímu magnetickému toku pak odpovídá menší indukčnost.

Všechny výše uvedené snímače jsou jednoduché, ale nejsou vhodné pro regulační účely, kde žádáme, aby klidové poloze snímacího orgánu odpovídal nulový proud nebo napětí. Proto se tyto snímače kombinují do páru, čímž vzniká tzv. diferenciální zapojení, které se často používá v regulační technice. Jsou to dva stejné indukční snímače s vnořeným magnetickým obvodem a společnou kotvou. V klidové poloze kotvy jsou indukčnosti obou snímačů shodné, a proto jsou stejné i indukční reaktance. Takže napětí na obou snímačích jsou rozdělena v poměru 1:1. Posunujeme-li kotvu nahoru, zvětší se indukčnost horního snímače a současně se zmenší indukčnost dolního snímače. Posuneme-li kotvu dolů, objeví se na svorkách napětí v opačné fázi.

Indukční snímač diferenciální má dva stejné indukční snímače se společnou kotvou. Je-li kotva uprostřed mezi oběma snímači, napětí transformátorů se rozdělí na obou snímačích v poměru 1:1, takže napětí na sekundárním vinutí transformátoru jsou stejně velká a nebude jimi téci žádný proud. U polohových transformátorů se mění pohybem kotvy vazba mezi jednotlivými sloupky. Rozdíl mg. toků indukuje do společného vinutí napětí úměrné velikosti pohybu kotvy.

17.1.3 Kapacitní snímače

Jsou to vlastně kondenzátory, u kterých se mění kapacita v závislosti na mechanickém posunutí.

17.2 Měření síly

Provádí se odporovými, piezoelektrickými nebo magnetoelastickými snímači. Při měření se zjišťuje mechanické napětí (tenze), a proto hovoříme o tenzometrických snímačích.

17.2.1 Odporové tenzometrické snímače

Drát délky l je podroben účinkům síly F tak, že se prodlouží o hodnotu Δl . Využívá se vztahu $R = \rho \frac{\Delta l}{l}$. Poměr $\frac{\Delta l}{l}$ se nazývá poměrná deformace (prodloužení) a nesmí přesáhnout určitou velikost (nemá-li dojít k poškození drátku). V oblasti pružných deformací platí Hookův zákon $\nu = E \frac{\Delta l}{l}$, kde ν je mechanické napětí a E modul pružnosti v tahu. Platí $\Delta R = k_1 \nu$.

Drátek je nalepen na tenký podklad z papíru nebo plastické hmoty. Vlastní drátek se vyrábí odleptáváním tenké odporové fólie. Používá se můstkové zapojení, kdy v jedné větvi je tenzometrický snímač vystaven síle F , ve druhé větvi je kompenzační tenzometrický snímač stejných vlastností, který eliminuje vliv teploty (musí být nalepen v blízkosti prvního snímače, ale nesmí být vystaven namáhání). Můstek je napájen střídavým napětím, takže lze použít střídavé zesilovače, které jsou dostatečně stabilní a vyloučí se jimi vliv parazitního napětí.

17.2.2 Polovodičové tenzometrické snímače

Mají velkou citlivost ($k = 150 \div 175$). Používají se germaniová nebo křemíková vlákna.

17.2.3 Piezoelektrické tenzometrické snímače

Z krystalů křemene nebo Seignettovy soli (larochellská sůl, tetrahydrát vlnanu draselno-sodného $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) se vyřízen rovnoběžně s optickou osou krystalu destička, jejíž protilehlé stěny se opatří vodivými elektrodami. Vznikne tak kondenzátor, jehož dielektrikem je sůl. Působí-li na takovýto snímač síla F , objeví se na elektrodách náboj $Q = kF$. Protože piezoelektrický snímač představuje zdroj napětí s velkým vnitřním odporem, nelze měřit napětí bez vložení zesilovače (impedanční transformátor).

17.2.4 Magnetoelastické snímače

Feromagnetická tyčka, která je mechanicky namáhána, změní původní magnetický tok z hodnoty ϕ na hodnotu $\phi + \Delta\Phi$. Tato změna může být kladná nebo záporná, podle materiálu tyčky. Tento jev nazýváme *magnetoelasticita*. Používají se pásky z permaloie, transformátorové oceli nebo i obyčejné oceli (efekt není tak značný). Změnou mechanického namáhání se bude měnit permeabilita pásku a tím i indukčnost vinutí.

Kolem magnetizačního pásku jsou dvě vinutí – magnetizační vinutí (připojeno na zdroj střídavého napětí) a snímací vinutí (slouží k získávání indukovaného napětí – závisí přímo na mechanickém namáhání).

Pro měření kroutícího momentu se využívá *Wiedmannova jevu* – tyč vetknutá do stěny, okolo navinuto vinutí o určitém počtu závitů.

17.3 Měření úhlové výchylky

17.3.1 Drátové odporové snímače

V podstatě drátové potenciometry, u nichž je odporové vinutí obvykle z konstantanu nebo manganinu tvořeno velkým počtem závitů o velmi malém průměru. Na vinutí dosedá platino-iridiový kon-

takt sběrače. Přechodový odpor kontaktu pokud možno velmi malý, stejně jako třecí odpor potřebný k otáčení jezdce. Vliv kolísání napájecího napětí u těchto snímačů lze omezit použitím poměrového přístroje.

17.3.2 Rtuťové odporové snímače

Odstranit choulostiví třecí kontakt potenciometru. Jedná se o skleněnou trubici, jíž prochází tenký odporový drátek, který je veden pomocí tří zátavů na pohyblivé vývody. Kruhová trubice je z části naplněna rtutí, která pak zkretuje ponořenou část drátku. Odpor mezi horními svorkami a rtutí se mění v závislosti na úhlu natočení. Úlohou běžce pak zastává rtuť.

17.4 Měření průtoku

Pro průtok Q platí vztah $Q = S \cdot v$, kde S je průřez trubice a v rychlost proudění kapaliny.

17.4.1 Klapkový průtokoměr

V trubici je zabudována otočná klapka, kterou nadzvedává proud kapaliny tím víc, čím je rychlost proudění kapaliny větší. Tento pohyb se přenáší na běžec potenciometru.

17.4.2 Lopatkový průtokoměr

Proudící kapalina uvádí do pohybu lopatkové kolo. To se otáčí tím rychleji, čím je rychlost proudění kapaliny větší. Na kole jsou permanentní magnety, které vně potrubí indukují napěťové pulzy. Tímto způsobem lze měřit nejen průtokovou rychlost, ale stálou integrací impulzů i objem.

17.4.3 Plováčkový průtokoměr

Trubka v jednom místě kuželově zúžená, tam plováček ve tvaru olovnice. Kapalina proudí rychlostí v vzhůru kolem plováčku. Čím je rychlost proudění větší, tím více plováček vystoupí vzhůru (průtokový průřez se musí zvětšit). Plovák je v horní části opatřen zářezy – plovák v kapalině volně rotuje, osa se udržuje svisle. Proto jim říkáme též *rotametry*.

17.4.4 Diferenční průtokoměr

Vlastní průtok se zjišťuje pomocí *Venturiho trubice*. V nejužším místě je rychlost proudění největší, tlak nejmenší (rovnice kontinuity proudění kapaliny $v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2$). Rozdíl tlaků je mírou rychlosti proudění.

17.4.5 Indukční průtokoměr

Proud kapaliny představuje pohybující se vodič, takže se do něj indukuje proud. Plášť potrubí musí být mezi póly z neferomagnetického materiálu. Napětí je snímáno pomocí dvou elektrod zabudovaných do stěn potrubí kolmo na směr magnetického pole.

17.4.6 Kalorimetrický průtokoměr

Pracuje na kalorimetrickém principu – v potrubí je umístěn teplotně závislý odpor R_θ vytápěný z baterie. Tento odpor tvoří jednu větev Wheastonova můstku. Množství kalorií, které přechází z od-

poru do protékající látky bude záviset na rychlosti průtoku. Jako odporová sonda se používá platinový drátek žhavený na teplotu několika set °C. V poslední době se místo něj používají termistory.

17.5 Měření teploty

17.5.1 Dilatační teploměry

Využívají toho, že většina látek mění objem s teplotou. Změnu objemu lze snadno převést na změnu délky nebo změnu tlaku. Pro roztažnost v malém rozsahu teplot platí $V_\vartheta = V_0(1 + \gamma\vartheta)$, kde V_0 je objem při teplotě 0 °C a γ součinitel objemové roztažnosti. Pro měření teploty lze využít i dilataci pevných látek $l_\vartheta = l_0(1 - \beta\vartheta)$, kde l_0 je délka při teplotě 0 °C a β součinitel délkové roztažnosti (velké β má například měď nebo mosaz, malé invar).

Stonkový dilatační teploměr

Prodloužení mosazné trubky se prostřednictvím invarové tyče přenesena na vhodný mžikový spínač. Regulačním šroubkem se nastaví teplota, při které pohyblivý kontakt přeskočí na dolní pevný kontakt.

Dvojkovové teploměry

Dvojkov (bimetal) vznikne spojením dvou kovů různé délkové roztažnosti (např. pevné svaření dvou tenkých plechů různých kovů nebo sválcování za tepla). Pro měrný průhyb pásku h platí vztah $h = h_s \frac{l}{s} \cdot \vartheta \cdot 10^{-4}$, kde h_s je měrný průhyb pásku při teplotě ϑ je teplota.

17.5.2 Odporové teploměry

Pro malé rozdíly teplot platí vztah $R_\vartheta = R_0(1 + \alpha\vartheta)$, pro větší rozdíly $R_\vartheta = R_0(1 + \alpha\vartheta + \beta\vartheta^2)$. Proud skrz odpor R_ϑ nesmí být příliš velký, aby se jeho průchodem odpor nezahříval. Ve skutečnosti bývá R_ϑ umístěn daleko od můstku, spojovací vedení často prochází prostředím, které se značně mění. Proto se používá *třídrátová kompenzace*.

Termoelektrické teploměry

Spojení dvou drátů Fe, Cu

17.5.3 Bezdotykové teploměry

Pro měření velmi vysokých teplot. Využívá toho, že těleso vysílá elektromagnetické vlny, jejíž vlnová délka je úměrná teplotě tělesa. Celková energie vysílaná tělesem se nazývá úhrnná zářivost.

Pyrometry – radiační teploměry

Záření je soustředěno na konec termoelektrického článku – měří mV, je cejchován v K. Ke správnému zaměření teploměru na zdroj záření slouží okulár umístěný v rovině čočky (speciální sklo propouštějící infračervené záření). Lze použít již od 500 °C. Pro nižší teploty je vhodné místo spojných čoček použít konkávního zrcadla, které soustřeďuje dopadající záření na měrný konec termoelektrického článku. Chceme-li získat vyšší termoelektrické napětí, zapojujeme několik termoelektrických článků do série.

17.5.4 Vlákonové teploměry

Použijeme-li vhodný optický filtr, získáváme záření o jedné vlnové délce, a tedy je možné měřit spektrální zářivost. Používá se zde tzv. komparační metoda. Srovnává se jas zdroje s jasnem rozžhaveného wolframového vlákna. Z tepelného zdroje o teplotě ϑ vychází záření, které prochází přes objektiv, srovnávací žárovku, barevný filtr a okulár do oka pozorovatele. Nastaví se svítivost vlákna stejná jako pozorovaného (vlákno „zmizí“). Bude-li teplota vyšší, bude se jevit vlákno tmavé, je-li teplota zdroje nižší, bude vlákno světlejší na pozadí.

17.6 Měření otáček

17.6.1 Techometrické dynamo

17.6.2 Techometrický generátor

17.6.3 Magnetické otáčkoměry

17.6.4 Bezdotykové otáčkoměry

17.7 Měření osvětlení

17.8 Měření viskozity

17.9 Měření pH

17.10 Měření teploty rosného bodu

17.10.1 Rotační viskozimetr

17.10.2 Tělišový viskozimetr

17.10.3 Kapilární viskozimetr

17.11 Měření absorpce záření

17.11.1 Kalorimetrický analyzátor

17.12 Měření vlastností tuhých látek

17.13 Měření vad materiálu

17.14 Měření složení plynů a kapalin

Kapitola 18

Měření magnetoelektrickými přístroji

18.1 Magnetoelektrické měřiče

Magnetoelektrický systém se nazývá též „deprézský“. Cívka se otáčí ve vzduchové mezeře mezi válcovými feromagnetickými pólovými nástavci. Pro sílu působící na jeden vodič platí $F_1 = BIl$, kde l je aktivní délka vodiče. Celková síla $F = BlNI$. Pro pohybový moment platí $M_p = 2Fr = k_p I$, kde koeficient 2 je proto, že síla působí na obě strany cívky (sílová dvojice) a r je poloměr cívky.

18.2 Měřiče stejnosměrného proudu

μA -metry Rozsah $1 \mu\text{A}$ až stovky μA . Otočné ústrojí na napjatých vláknech, světelný ukazatel. Přesnost menší než u mA-metru.

mA metry Rozsah mA až stovky mA. Pro zvětšení rozsahu se užívá bočníků. Dosažitelná třída přesnosti 0,2 až 0,1.

A-metry Rozsah 1 A až několik desítek A. V principu to jsou mV metry, které měří úbytek napětí na bočniku, který zde funguje jako převodník proudu na napětí.

18.2.1 Bočníky

Bočník je zhotoven z odporového materiálu s velmi malým teplotním součinitelem odporu. Porovnáme-li napětí na odporu bočniku R_b a odporu měřáku R_m , platí $(I - I_m)R_b = I_m R_m$, kde I_m je proud měřákem a I celkový měřený proud. Z toho plyne

$$I_m = I \frac{R_b}{R_b + R_m} \approx I \frac{R_b}{R_m} \approx \frac{U_b}{R_m},$$

kde U_b je napětí na bočniku. Odpor cívky se s teplotou zvyšuje asi o 0,4 % na 1°C . Proto se do série s cívkou zapojuje teplotně nezávislý odpor R_p zhotovený z manganinu – zmenšuje teplotní závislost přístroje. Proto zavádíme odpor $R'_m = R_m + R_p$. Pro změnu měřicího rozsahu platí

$$n = \frac{I}{I_m} = \frac{R_b + R'_m}{R_b} \Rightarrow R_b = \frac{R'_m}{n - 1}.$$

Ayrtonův bočník. Jedná se o přepínatelný bočník, který používají vícerozsahové přístroje. Vykazuje na všech rozsazích stejnou impedanci $R_p + R_b$.

18.3 Měřiče stejnosměrného napětí

Rozsah mV-metrů je od mV po stovky mV. Rozsah V-metrů je asi . U V-metrů se udává hodnota odporu na 1 V rozsahu. Tento odpor bývá 100 až 10 000 $\frac{\Omega}{V}$, nebo u přístrojů s velmi malou spotřebou 100 000 $\frac{\Omega}{V}$.

18.3.1 Předřadníky

Slouží ke zvětšení rozsahu V-metru. Nechť samotný přístroj má rozsah U_m . Pro změnu měřicího rozsahu platí

$$n = \frac{U}{U_m} = \frac{R_m + R_p}{R_m} \Rightarrow \boxed{R_p = (n - 1)R_m}.$$

18.4 Magnetoelektrické přístroje s usměrňovačem

Měřicí převodník (usměrňovač) může být jednocestný nebo dvoucestný (Grätzův můstek). Můžou být použity křemíkové nebo germaniové diody. Jednocestné usměrnění lze použít pouze pro malá napětí (napětím je pak namáhán přístroj). Deprézské přístroje měří *střední hodnotu*. Pro měření střídavých proudů je nutné oceňování v efektivních hodnotách $U_{ef} = 1,11U_s$.

V případě měření malých napětí musí být nelineární stupnice (vliv oblasti „kolena“ charakteristiky diody). V lineární oblasti charakteristiky tento problém již nenastává. Aby se snížila nerovnoměrnost dělení stupnice, musí být úbytek na odporu předřadníku R_p alespoň 2 V.

Měřicí transformátor proudu

Při jeho použití je podstatně menší spotřeba přístroje. Chová se jako zdroj proudu, takže usměrňovač pracuje s vnučeným proudem a lze jím dosáhnout rovnoměrného dělení stupnice. Kmitočtový rozsah 20 Hz až desítky kHz.

18.4.1 Voltmetr s usměrňovačem

Měřicí ústrojí s usměrňovačem je připojeno na napětí přes rezistor R_p . Jeho největší velikost je dána požadavky na omezení nerovnoměrnosti dělení stupnice jakož i omezení teplotní citlivosti. Proto jsou u V-metru nejmenší rozsahy 1 až 2 V. Pro napětí 20 až 40 V má V-metr prakticky rovnoměrné dělení stupnice.

18.4.2 Univerzální přístroje

Jsou to kombinované magnetoelektrické přístroje s mnoha rozsahy napětí a proudů stejnosměrných i střídavých. Mohou též pracovat jako přímo ukazující Ω -metry nebo měřiče kapacity.

18.5 Magnetoelektrické přístroje s termoelektrickým článkem

Termoelektrický měnič. Skládá se z termoelektrického článku (dva drátky z různých kovů) a vlastního topného vodiče, jímž prochází měřený proud. Důležitý je rozdíl teplot $\vartheta - \vartheta_0$. Drátky jsou spojeny svařením nebo spájením. Jejich druhé konce jsou zapojeny do obvodu přístroje – srovnávací spoj. Ohřeje-li se topný drát, vznikne termoelektrické napětí U_t , pro které platí

$$U_t = k_t(\vartheta - \vartheta_0) = k_t \cdot \Delta\vartheta.$$

Kromě těchto *neizolovaných* termoelektrických měničů se používají též *izolované*. U nich je topný článek spojen s termoelektrickým článkem topnou perličkou (dobrý převod tepla, elektricky izoluje). Termoelektrické měniče se zapojují do série, čímž se zvyšuje vlastní termoelektrické napětí. Výkon ztracený v odporu R topného vodiče závisí na efektivní hodnotě procházejícího proudu. Proto pro výchylku platí $\beta_u = f(RI_f^2)$.

Měřicí rozsah proudu je od několika desetin mA do několika A. Ampérmetry pro nižší rozsahy lze použít do 10^5 Hz, amérmetry v řádu A asi do 10^4 Hz – vliv skin-efektu – zvětšení odporu. Použijeme-li přístroj s termoelektrickým měničem jako V-metr s předřadným odporem, bude mít vždy nižší kmitočtový rozsah než jako mA-metr.

18.6 Magnetoelektrické galvanometry

V současné praxi jsou nahrazovány analogovými přístroji číslicovými přístroji. Moderní provedení – cívka na napjatých vláknech, vyrábí se se světelným ukazatelem. Vlastní výchylka zrcátka se zavěšuje použitím optického zvětšení – několik odrazů od zrcadel. Citlivost takového přístroje je velká, přesnost velká není.

Abychom dosáhli kritického tlumení, musí velikost vnějšího odporu odpovídat kritickému odporu, který udává výrobce. Ke změně citlivosti se používá Ayrtonův bočník, jehož celkový odpor odpovídá právě kritické hodnotě.

18.7 Magnetoelektrické poměrové přístroje

Jedná se o přímé měření poměru dvou proudů. Charakteristickým znakem poměrových přístrojů je, že *nemají řídicí moment* (vyrovnán pružinami nebo závěsnými vlákny). Ustálená výchylka je dána dvěma pohybovými momenty $M_{p_1} + M_{p_2} = 0$. Výchylka $\beta_u = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$. Tato poměrová ústrojí se používají k měření odporu.

18.8 Přístroje s otočným magnetem

Mají pevnou cívku, kterou prochází měřený proud. V cívce je uložen permanentní magnet. Pohybový moment je přímo úměrný měřenému proudu a řídicí moment je vyvozován dalším pevným magnetem nebo pružinkami. Používá se u motorových vozidel jako palubní přístroj. Přesnost těchto přístrojů je menší.

18.9 Analogové měřicí přístroje s mechanickým měřícím ústrojím

Elektromechanické ústrojí převádí měřenou veličinu X na výchylku α . Princip rovnováhy mezi pohybovým momentem M_p (uvádí ručku do pohybu) a řídicím (direktivním) momentem M_d . Pro ideální přístroj platí $M_p + M_d = 0$. $M_d = -k_d\beta$, $M_p = k_p\beta$, závislost obecně nelineární.

Citlivost přístroje. Pro výchylku ukazatele platí $\alpha = C_{X_1}X_1$, kde α je ustálená výchylka v dílcích, C_{X_1} je *citlivost přístroje* pro měřené veličiny (počet dílků na jednotku měřené veličiny) a X_1 je měřená fyzikální veličina.

Konstanta měřicího přístroje je počet jednotek měřené veličiny, které připadají na 1 dílek. Platí pro ni $k_{X_1} = \frac{X_1}{\alpha} = \frac{1}{C_{X_1}}$.

Navíc se u měřicích přístrojů uplatňuje moment setrvačnosti otočného ústrojí M_J a moment brzdící M_b . Součet všech momentů musí být (podle D'Alambertova principu) roven nule ($M_J + M_b + M_d + M_p = 0$). Nejrychlejšímu ustálené odpovídá kritické tlumení, kdy přechází pohyb periodický na aperiodický. Tento případ nazýváme *mez aperiodicity*.

Třída přesnosti je číslo, které udává maximální přípustnou chybu maximální hodnoty použitého měřicího rozsahu. Je to současně mez dovolené chyby v %. Běžné velikosti třídy přesnosti: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5.

18.10 Měření stejnosměrného napětí

Vstupní odpor ideálního voltmetru $\rightarrow \infty$. Není-li tomu tak, zatěžuje voltmetr svým vnitřním odporem R_V měřený obvod, jehož výstupní odpor je R_i . Pro absolutní chybu metody platí $\Delta_M = U_V - U_0 = \frac{R_V}{R_V + R_i} U_0 - U_0 = -\frac{R_i}{R_i + R_V} U_0$, kde U_V je naměřená hodnota napětí a U_0 skutečná hodnota napětí. Pro relativní chybu platí $\delta_M = \frac{\Delta_M}{U_0} = -\frac{R_i}{R_i + R_V}$.

18.10.1 Měření velmi malých stejnosměrných napětí

... pokračování ...

18.11 Měření stejnosměrného proudu

$$\text{Absolutní chyba metody } \Delta_M = I_A - I_X = \frac{U}{R_i + R_A + R_Z} - \frac{U}{R_i + R_Z} = -\frac{R_Z}{R_i + R_Z + R_A}.$$

18.11.1 Měření velkých stejnosměrných proudů

Pomocí přesytek

Na vodiči s měřeným proudem navlečena dvě jádra (přesytky), na každém stejný počet závitů v opačném směru. Těmito závity a ampérmetrem teče střídavý proud ze zvláštního zdroje. Zvětšuje-li se měřený stejnosměrný proud, jádra se stejnosměrně sytí. Tím klesá jejich permeabilita a tedy i impedance cívek. Napájíme-li cívky ze zdroje střídavého napětí U_{2st} , bude střídavý proud protékající cívkami přímo úměrný stejnosměrnému měřenému proudu I_X .

S využitím hallových sond

Stejnoseměrné napětí na výstupu je úměrné magnetické indukci B , která působí na sondu. Tato magnetická indukce je úměrná stejnosměrnému proudu protékajícího vodičem. Hallové sondy jsou zapojeny tak, že jejich napětí (úměrné magnetické indukci B) se sčítají a napětí úměrná rušivým vlivům se odečítají.

18.11.2 Komparátory stejnosměrného a střídavého proudu

Porovnávají tepelné účinky ss. st. proudu. Vlastní měření probíhá ve dvou krocích:

- Je-li přepínač v poloze 1, topným vodičem bude procházet proud I_{st} – měříme jeho efektivní hodnotu. Termoelektrické napětí na výstupu termoelektrického článku U_t vykompenzujeme pomocným napětím U_p tak, aby výchylka indikátoru vyvážení (galvanometru) byla nulová.

- Přepneme do polohy 2, takže topným vodičem bude procházet proud I_N ze ss. zdroje. Změnou ss. proudu I_N dosáhneme stavu, kdy výchylka indikátoru vyvážení bude nulová. Pak platí, že tepelné účinky ss. a st. proudu jsou stejné a velikost ss. proudu, který prochází topným vodičem je rovna efektivní hodnotě střídavého proudu.

18.12 Měření střídavých napětí

Měřicí přístroje zpravidla kalibrovány v efektivních hodnotách pro harmonický průběh, ale ve skutečnosti měří střední hodnotu.

18.12.1 NF mV-metry

Mají analogový nebo číslicový výstup. Měření střední hodnotu, jsou však kalibrovány v efektivních hodnotách. Oddělovací kondenzátor propouští pouze střídavou složku měřeného napětí. Kmitočtový rozsah bývá od desítek Hz do stovek kHz. Nejnižší napěťový rozsah je asi 1 mV. Změna rozsahu se provádí kmitočtově kompenzovaným děličem, kde parazitní kapacita C_p vysokohmového odporu R_1 je kompenzována korekční kapacitou C_k (paralelně k R_2).

Nižší střídavé napětí není možné měřit širokopásmovými mV vzhledem k přítomnosti rušivých indukovaných napětí. Proto se většinou používají selektivní mV-metry. Nejnižší rozsah se pohybuje v desítkách nV.

Pro měření vysokých kmitočtů (až 1 GHz) lze při napětí stovek mV použít VF sondu, která je v podstatě jednocestný usměrňovač s kondenzátorovým výstupem umístěným co nejbližší k měřicímu hrotu. Pro měření nižších VF napětí ($1 \mu\text{V}$ až 1 V) se používá selektivní VF μV -metr, který pracuje na *heterogenním principu*.

V některých případech je třeba zajistit i fázový rozdíl vůči referenčnímu napětí. K tomu používáme tzv. *vektorvoltmetry*. Nejdůležitějším jeho obvodem je řízený usměrňovač, který je řízen napětím u (získává se tvarováním referenčního napětí). Výstupní napětí řízeného usměrňovače prochází dolnofrekvenční propustí. Jeho střední hodnota je úměrná té složce napětí, která je ve fázi s řídicím napětím. Výstupní napětí ze řízeného usměrňovače je násobeno napětím obdélníkového průběhu $u(t) = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^{\infty} \sin(k\omega t)$ pro $k = 2n - 1$. Po odfiltrování dolnofrekvenční propustí zůstane na výstupu pouze stejnosměrná složka, která je úměrná fázovému posunu mezi vstupním napětím U_X a referenčním napětím U_{ref} .

18.13 Elektromagnetické přístroje

V dutině válcové cívky je uložen jeden pevný plíšek, druhý plíšek je otočně uložený na společné ose s ukazatelem. Plíšky mají tvar válcové plochy. Otočná část je v hranatých ložiscích nebo na napjatých vláknech (malé proudy). Po zavedení proudu do pevné cívky nastane zmagnetování plíšků. Plíšek, který je na otočné ose se snaží oddálit od plíšku na pevné ose (jsou souhlasně magnetovány). Moment měřicího přístroje $M_p \sim I_{ef}^2$, tzn. že nezávisí na polaritě proudu, takže přístroje měří proud stejnosměrný i střídavý. Stupnice přístroje bude mít na počátku nerovnoměrné dělení, od $\frac{1}{10}$ až $\frac{1}{5}$ rozsahu pak dělení rovnoměrné. Brzdící moment je vyvozován vzduchovým tlumením (praporek v trubici).

18.13.1 Elektromagnetické ampérmetry

V rozsahu do 1 mA se používá uložení na napjatých vláknech. Přístroje s většími rozsahy mají vlastní hrotové uložení. Rozsah se mění sériovým, paralelním nebo sério-paralelním spojováním elektricky a magneticky rovnocenných sekcí. Stupnice je jediná, platí pro stejnosměrný i střídavý proud.

Kmitočtovou závislost způsobují vířivé proudy indukované polem cívky do vodivých částí ústrojí. Magnetické pole těchto proudů působí proti příčině vzniku – bude zeslabovat proudové pole cívky. Při zvyšování kmitočtu záporné změny výchylky. ... pokračování ...

Kapitola 19

Elektrodynamické měřiče, měření výkonu

19.1 Elektrodynamické měřiče

Do otočné cívky je přes řídicí pružiny (vlákna) přiváděn proud I_2 . Pevnou cívku teče proud I_1 . Pro moment platí $M_p = f(\beta)I_1I_2$. Mohou být zapojeny jako A-metry, V-metry nebo W-metry. U ampérmetru pro proudy menší než desetiny A může celý měřený proud procházet otočnou cívku. Proto jsou obě cívky zapojeny do série. Proto platí $I_1 = I_2 = I \Rightarrow M_p = f(\beta)I^2 \Rightarrow$ kvadratická stupnice. Pro větší proudy se cívky zapojují paralelně a otočnou cívku prochází pouze menší část měřeného proudu. Elektrodynamické ampérmetry mohou měřit stejnosměrné i střídavé proudy. Elektrodynamické voltmetry mají sériově zapojené cívky s předřadným rezistorem.

19.1.1 Elektrodynamické wattmetry

Pevná cívka zpravidla proudová, zapojuje se do série se zátěží. Otočná cívka napěťová, připojuje se paralelně k zátěži. Pro odpor napěťového obvodu R_n platí $R_n = R_m + R_p$, kde R_m je odpor měřáku a R_p odpor předradníku. Pro moment platí $M_p = \frac{1}{R_n}f(\beta)P$. Pro výchylku wattmetru platí $\alpha = f(\beta)P\frac{1}{R_n} = \frac{1}{k_W}P$, kde k_W je konstanta wattmetru.

19.2 Měření výkonu

19.2.1 Měření činného výkonu

Ručkový wattmetr

$M_p = k\frac{1}{R_N}(P_Z + P_N)$, kde P_N je spotřeba napěťového rozsahu W-metru. Pro ustálené výchylky platí $\beta = \frac{M_p}{k_d}$ [rad], kde k_d je direktivní konstanta, nebo $\alpha = \frac{P}{k_W}$ [dílký], kde k_W je konstanta wattmetru.

Elektronický wattmetr

Napětí a proud se převedou na dvě napětí a potom se vedou do násobičky. Výstupní signál z násobičky je přes filtr převeden na měřicí přístroj, který udává výkon na zátěži.

19.2.2 Měření jalového výkonu

Platí $Q = UI \sin \varphi = k_W \alpha$. Měří se wattmetrem, pouze napětí se otočí o 90° .

19.2.3 Měření výkonu ve trojfázových sítích

Symetrická soustava napětí a souměrná zátěž

Měří se v jedné fázi proti vodiči N a znásobí se třemi. V případě, že vodič N není k dispozici, vytvoří se umělý střed. Udělá se to tak, že do zbývajících dvou fází se připojí odpory stejné hodnoty jako má odpor napěťové cívky wattmetru a spojí se do uzlu.

Měření třífázového jalového výkonu. Napěťová cívka se připojí mezi zbývající dvě fáze.

Aronovo zapojení

Symetrická soustava napětí a nesouměrná zátěž

Činný výkon Tři wattmetry, do každé fáze jeden. Cívky napětí jedním koncem na N. Není-li N, spojí se do uzlu.

Jalový výkon. Tři wattmetry, do každé fáze jeden. Cívky napětí na druhých dvou fázových vodičích.

19.2.4 Symetrická soustava napětí a souměrná zátěž.

Měří se v jedné fázi proti vodiči N a znásobí třemi.

Symetrická soustava napětí a souměrná zátěž. Měří se v jedné fázi proti zemi a znásobí třemi.

Kapitola 20

Můstkové metody

20.1 Měření odporů

20.1.1 Wheastonův můstek

20.1.2 Thompsonův můstek

Používá se pro měření malých odporů.

20.2 Měření kapacit

20.2.1 Sautyho můstek

20.2.2 Schöringův můstek

20.2.3 Carey-Fosterův můstek

20.3 Měření indukčností

20.3.1 Maxwell-Wienův můstek

20.3.2 Transformátorový můstek

Kapitola 21

Rezonanční metody

Podle Thompsonova vzorce pro výpočet rezonanční frekvence lze usoudit, že rezonačními metodami je možné měřit kapacitu, indukčnost a kmitočet. U tzv. absolutních metod vytvoříme sériový nebo paralelní rezonační obvod, seřídíme stav rezonance změnou jedné nebo i dvou zmíněných veličin a neznámou veličinu určíme za zbývajících dvou známých. Stav rezonance se zjišťuje indikátorem rezonance, kterým bývá elektronický voltmetr. Rezonanci poznáme podle největší nebo nejmenší výchylky.

Rezonanční měřiče se hodí pro měření malých kapacit a indukčností v pásmu vysokých kmitočtů.

21.1 Princip Q-metody

Q-metry umožňují měřit indukčnost cívek včetně činitele jakosti a kapacitu kondenzátorů včetně ztrátového úhlu, zejména na vyšších kmitočtech.

Měřená cívka R_X , L_X tvoří se vzduchovým kondenzátorem C_N sériový rezonanční obvod. Změnou kapacity C_N naladíme obvod do rezonance na maximální výchylku voltmetru V_2 . Při rezonanci bude platit $\frac{U_2}{U_1} = Q = \frac{\omega L_X}{R_X}$. Dosadíme ze vztahu $\omega L_X = \frac{1}{\omega C_N}$ a dostaneme $L_X = \frac{1}{\omega^2 C_N}$.

Pro měření kapacity C_X používáme pomocnou cívku L_p , kterou zapojíme místo měřené cívky L_X , R_X . Měření provádíme ve dvou krocích:

- Vyladíme obvod bez zapojeného měřeného kondenzátoru C_X . Tomu bude odpovídat kapacita C_{N_1} a činitel jakosti Q_1 .
- Připojíme měřený kondenzátor C_X paralelně k C_N a opět vyladíme obvod. Tomu stavu bude odpovídat kapacita C_{N_2} a činitel jakosti Q_2 .

Protože ωL_p je při obou měřeních stejné, platí $\frac{1}{\omega C_{N_1}} = \frac{1}{\omega(C_{N_2} + C_X)}$. Z toho pro měřenou kapacitu platí $C_X = (C_{N_1} - C_{N_2})$. Pro ztrátový úhel platí $\text{tg } \delta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 Q_2} \frac{C_{N_1}}{C_{N_1} - C_{N_2}}$.

Při větších frekvencích se začíná uplatňovat i vlastní kapacita cívky C_L . Tuto kapacitu můžeme změřit přímo rezonanční metodou. Měření provádíme při kmitočtech ω_1 a ω_2 . Bude platit

$$\omega_{1,2} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot (C_{N_{1,2}} + C_L)}}.$$

$$L'(\omega) = \frac{L}{1 - \omega^2 LC_L} \qquad R'(\omega) = \frac{R}{(1 - \omega^2 LC_L)^2}$$

21.2 Campbellův můstek

Slouží pro měření vzájemné indukčnosti.

Kapitola 22

Měřicí převodníky

22.1 Převodníky pro měření součtu

22.1.1 Sčítací obvody

22.1.2 Sčítací zesilovač

22.1.3 Převodník součtu proudů

22.2 Převodníky pro měření rozdílu

Můžeme získat rozdíl napětí U_1 a U_2 použitím sčítacího zesilovače, když polaritu jednoho napětí obrátíme pomocí invertoru. Dosáhneme tedy napětí $U_v = U_2 - U_1$.

22.2.1 Pomocí měřících transformátorů

Pro sčítání střídavých napětí můžeme použít též měřící transformátory napětí nebo proudu. Převod těchto traf volíme 1. Změníme-li polaritu sekundárního vinutí jednoho transformátoru, dostaneme místo součtu rozdíl.

22.3 Převodníky pro měření součinu

Dnešní násobičky zpracovávají napětí v obou polaritách. V tomto případě může bod o souřadnicích $[U_1, U_2]$ ležet v libovolném kvadrantu roviny U_1U_2 . Těmto násobičkám říkáme čtyřkvadrantové. Pokud jedno napětí bude mít pouze jednu polaritu, jde o dvoukvadrantovou násobičku. Budou-li obě dvě vstupní napětí mít jen jednu polaritu, pak se příslušná násobička nazývá jednokvadrantová. Spojíme-li oba vstupy násobičky, realizuje příslušná násobička vztah $U_2 = kU_1^2$ – tzv. kvadrátor.

Trigonometrický funkční měnič

Využívá vztah $u_v = \cos u_1 \cos u_2 = \frac{1}{2} [\cos(u_1 + u_2) + \cos(u_1 - u_2)]$.

Logaritmická násobička

Využívá vztah $u_v = u_1 u_2 = \exp \ln u_1 + \ln u_2$.

Kvadrátorová násobička

Využívá vztah $u_v = \frac{1}{4} [(u_1 + u_2)^2 - (u_1 - u_2)^2] = \frac{1}{4} (u_1^2 + 2u_1u_2 + u_2^2 - u_1^2 + 2u_1u_2 - u_2^2) = u_1u_2$.

Násobička s řízeným činitelem přenosu**Hallova násobička**

Využívá Hallův jev $U_H = kBI_Z$. Nutno převést jednu veličinu na magnetickou indukci a druhou na elektrický proud.

Násobička s amplitudově šířkovou modulací

Jedním napětím ovlivňujeme šířku a druhým výšku pulzu. Potom měříme střední hodnotu, pro kterou platí $U_{v_0} = k \frac{1}{T} \int_0^T u_1u_2 dt$.

22.4 Převodníky pro měření podílu**22.5 Integrační články**

Pasivní integrační článek

Aktivní integrační článek

Kapitola 23

AD a DA převodníky

23.1 Číslicový voltmetr

Zobrazuje výsledek na číslicovém tablu. Základní funkcí je měření stejnosměrného napětí. Používáme-li převodník proudu na napětí, odporu na napětí, převodník střídavého napětí, ... → pak je nazýváme číslicové multimetry (rozšířené voltmetry). Číslicové voltmetry měří samočinně.

23.1.1 Parametry číslicového voltmetru

1. počet míst číslicového zobrazovače (odpovídá chyba voltmetru), nepřesnější chyba 10^{-4}
2. počet měřících rozsahů 4 až 6, základní rozsah 1 V nebo 10 V
3. rozlišovací schopnost – velikost napětí na vstupu voltmetru, která způsobí na výstupu změnu údaje voltmetru o jedničku na posledním místě číslicového zobrazovače
4. rychlost měření – charakterizuje ji počet měření za 1 s; starší 1 měření za 30 s, dnešní 1 měření za 1 s
5. odolnost proti rušení – sériové nebo souhlasné ; proti sériovému rušení síťové frekvence a jejímu násobku jsou odolné integrační voltmetry
6. vstupní impedance $\sim 10 \text{ M}\Omega$, pro malé rozsahy $\sim 10^9 \Omega$, pro střední rozsahy $\sim 1 \text{ M}\Omega$
7. typ použitého AD převodníku – určuje přesnost, rychlost, odolnost proti rušení – dnes převodníky s dvojí integrací a postupnou aproximací
8. kmitočtový rozsah – měření střídavých napětí – horní mezní frekvence bývá 50 kHz až 1 MHz

23.2 Analogově-číslcové převodníky

23.2.1 Převodní charakteristika ideálního a skutečného AD převodníku

Skutečné převodníky jsou zatíženy chybou nuly – nenulový výstup pro nulové vstupní napětí. Chyba konstanty – jiný sklon charakteristiky. Chyba linearity – průměrná charakteristika není lineární. Chyba nuly a konstanty lze před měřením odstranit převodníku. Parametry převodníku se mění s časem a teplotou.

Chyba linearity převodníku

Integrální nelinearita vyjadřuje největší odchylku skutečné průměrné charakteristiky od ideální charakteristiky. *Diferenciální nelinearita* udává, jak se liší šířka jednotlivých schodů skutečné charakteristiky od ideální.

23.2.2 Analogově-číslicový převodník kompenzačního typu

Měřené napětí se zde porovnává s kompenzačním napětím, které je vyrobeno ve zdroji kompenzačního napětí. Po připojení napětí U_x na vstup převodníku bude růst napětí $U_k(t)$ od nuly tak dlouho, pokud nebude $U_x = U_k(t)$. Pak se růst zastaví a počet „schodů“ bude úměrný U_x . Je-li výška „schodu“ ΔU_k , je údaj voltmetru $N = \frac{U_x}{\Delta U_k}$, čili doba převodu je přímo úměrná napětí U_x .

23.2.3 Analogově-číslicový převodník s dvojitou integrací

Jedná se o převodník integračního typu, v němž p dobu T_1 integruje měřené napětí a naintegrované hodnotě je pak úměrný údaj voltmetru. Zvolíme-li dobu T_1 rovnu celistvému násobku doby periody harmonického rušivého napětí, neprojeví se toto rušivé napětí vůbec v údají voltmetru.

Po dobu T_1 je připojeno napětí U_x a na výstupu integrátoru je napětí $U_v = \frac{1}{RC} \int_0^{T_1} U_x dt = \frac{1}{RC} T_1 U_x$. Pak se přepojí na U_R o opačné polaritě, než je napětí U_x a integruje se po dobu T_2 , až klesne výstupní napětí na nulu.

23.2.4 Analogově číslicové převodníky s mezipřevodem na kmitočt

Měřené napětí se přivádí na vstup integrátoru, na výstupu integrátoru bude napětí U_A . Po dosažení napětí U_2 je spuštěn impulzový generátor, který vyrobí impulz U_k . Délka tohoto impulzu je T_k a je volena tak, aby se kondenzátor C nabil na napětí U_0 . Cyklus se opakuje po celou dobu T_i , během níž počítá čítač impulzy. Čím bude U_x vyšší, tím více proběhne integračních cyklů v době periody T_i . Tedy údaj čítače je přímo úměrný měřenému napětí U_x . Napětí na výstupu integrátoru je $U_A = U_x \frac{t}{T}$. Bude-li $U_A = U_2$, bude generován impulz U_k délky T_k , který částečně vybije (a to na hodnotu U_2) kondenzátor C . Náboj při nabíjení i vybíjení bude stejný.

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_1} \int_0^{T_x} U_x dt &= \frac{1}{R_2} \int_0^{T_k} U_k dt \\ \frac{U_x T_k}{R_2} &= \frac{1}{R_1} U_x T_x \\ f_x &= \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{U_k T_k} U_x \end{aligned}$$

23.2.5 Komparační analogově-číslicové převodníky

Jedná se o nejrychlejší AD převodníky s dobou převodu asi 10 ns. Zde se porovná v jednom taktu měřené napětí s řadou referenčních napěťových úrovní vzhledu k měřenému napětí U_x a převede se do dvojkového kódu. Každé referenční úrovni je přiřazen jeden napěťový komparátor, takže pro n -bitový převodník je třeba $2^n - 1$ napěťových komparátorů.

Dekodér převede jedničku na příslušné číslo. V podstatě se jedná o převod z kódu 1 z n na přímý dvojkový kód. Jelikož však reakce všech komparátorů nejsou stejné, mohlo by při přímém připojení komparátorů k dekodéru vzniknout chyba převodu zejména tehdy, pokud by se napětí U_x během převodu měnilo. Proto se mezi komparátory a dekodér vkládá soustava paměťových členů D, které si zapamatují výstupní signály komparátorů a nejednou tyto předají do dekodéru. Předávání se uskuteční impulzem CLK.

23.3 Číslicově-analogové převodníky

Tyto převodníky slouží k převedení číselné hodnoty D obvykle ve dvojkové soustavě na odpovídající hodnotu výstupního napětí. Jednotlivým bitům vstupního čísla odpovídají stavy spínačů převodníku. Číslo ve dvojkové soustavě můžeme napsat

$$D = z_n 2^n + z_{n-1} 2^{n-1} + \dots + z_1 2^1 + z_0 2^0 = \sum_{i=0}^n z_i 2^i.$$

Pak bude i -tý bit odpovídat i -tému spínači převodníku. Pro $z_i = 1$ je tento spínač sepnut, pro $z_i = 0$ rozepnut. Čili pomocí řady rezistorů o hodnotách odporů odstupňovaných ve dvojkové soustavě odvodíme z referenčního zdroje U_R proudy příslušné velikosti, které se přivedou do sčítacího bodu invertorového zesilovače. Výstupní napětí U_V je úměrné součtu těchto proudů. Které proudy se sčítají, to určuje stav spínačů. Napětí na spínačích se mění z hodnoty U_R při rozeznutí na hodnotu 0 při sepnutí. To zmenšuje jejich rychlost – spínač vykazuje parazitní kapacitu a navíc se mění zatížení podle hodnoty vstupního čísla.

Všechny tyto nev7hody odstraňuje jiné provedení převodníku. Místo spínačů je zde použito přepínačů. Hodnotě $z_i = 0$ odpovídá i -tý přepínač přepnutý na zem a hodnotě $z_i = 1$ odpovídá přepínač přepnutý na invertující vstup zesilovače. Zdroj referenčního napětí je v tomto případě zatěžován konstantním odporem, který je tvořený paralelní kombinací všech náhradních odporů převodníku. V našem případě je tento odpor $R_Z = \frac{1}{15} R_1$. Protože je konstantní, nemusí mít zdroj U_R malý vnitřní odpor.

23.3.1 Číslicově-analogový převodník s odporovou žebříčkovou sítí R-2R

U DA převodníku se obtížně realizují rezistory nejvyšších řádů s požadovanou přesností. Z toho důvodu se realizuje další typ převodníku, kde se hodnot odporů dosahuje dělením referenčního napětí pomocí odporového děliče. Odstupňované napětí působí na vstupech stejně velikých odporů o hodnotě $2R$ a druhé konce těchto odporů jsou připojeny do sčítacího bodu OZ. I zde se používají přepínače. Při tomto zapojení je zdroj zatěžován stálým odporem o velikosti R .

Kapitola 24

Osciloskopy

Osciloskop slouží ke sledování časového průběhu napětí. Tomuto režimu říkáme režim x-t. Režimu závislosti dvou napětí říkáme režim x-y. Před vlastním zobrazením můžeme pomocí vhodných převodníků převést na napětí nejrůznější fyzikální veličiny. Lze tedy měřit řadu jiných veličin než je průběh napětí, ale také frekvenci, fázový posuv, průběhy dynamické hysterezní smyčky, příslušné charakteristiky tranzistorů, ... \Rightarrow osciloskop patří k nejuniverzálnějším měřicím přístrojům.

24.1 Analogové osciloskopy

Univerzální osciloskopy – NF, $f_h \leq 10$ MHz. Laboratorní osciloskopy – VF, $f_h > 10$ MHz. Speciální osciloskopy – paměťové, vzorkovací; pro využití v lékařství, nulové indikátory pro můstky. Všechny osciloskopy jsou schopny zobrazovat i stejnosměrné signály \Rightarrow musí obsahovat stejnosměrný zesilovač.

Osciloskopy posuzujeme podle

1. počet současně zobrazitelných průběhů – 1, 2, 3, 4, 8
2. šířka kmitočtového pásma – charakterizuje ji horní mezní frekvence f_h (pokles o 3 dB)
3. doba náběhu t_n – doba od 10 % do 90 % napětí, $t_n = \frac{0,35}{f_h}$; je-li $f_h = 400 \div 500$ MHz, pak $t_n \approx 0,1$ ns; běžný osciloskop $f_h = 10$ MHz $\Rightarrow t_n = 0,1$ μ s
4. počet časových základen – běžné osciloskopy jednu časovou základnu, lepší osciloskopy dvě časové základny – hlavní a zpožděná; druhá časová základna umožňuje podrobné zkoumání vybraných úseků zobrazovaného průběhu
5. přesnost zesílení vertikálního kanálu – charakterizuje ji chyba zesílení
6. přesnost časové základny – jak přesně lze měřit čas doby náběhu, délky periody, frekvence, ... ; řádově 3 až 5 %
7. vertikální citlivost – ve voltech na dílek
8. tlačítko samočinného nastavení – autoset, autoscale – po jeho stisku se zesílení vertikálního kanálu samočinně nastaví tak, aby na stínítku vznikl stojící obrázek

24.1.1 Blokové schéma laboratorního osciloskopu

Vstupní signál U_1 je přiváděn do vstupního děliče a dále do vertikálního zesilovače. Signál U_4 z generátoru spouštění jde do časové základny. Napětí U_5 do horizontálního zesilovače a na horizontální

vychylovací destičky – dostaneme časový rozvoj signálu. U osciloskopů se používá elektrostatické vyhylování. Aby měření napětí bylo minimálně ovlivňováno osciloskopem → vysoká vstupní impedance $1\text{ M}\Omega$, 20 pF . Pro VF signály s vnitřní impedancí $50\ \Omega$ je nutné použít osciloskopů se vstupní impedancí $50\ \Omega$. Nelze-li zaručit impedanční přizpůsobení vstupu, přivádí se signál k osciloskopu přes sondu. Sondy jsou buď aktivní (aktivní elektronické prvky pro získání širokého frekvenčního pásma, potřebují napájecí napětí, dražší) nebo pasivní (frekvenčně kompenzovaný odporový dělič). Signál U_G se vede na řídicí elektrodu a slouží k ovládání jasu.

Označíme-li si dobu náběhu osciloskopu t_{n_o} , dobu náběhu sondy t_{n_s} a dobu náběhu měřeného signálu t_{n_m} , platí pro dobu náběhu obrázku t_{n_r} vztah $t_{n_r} \approx \sqrt{t_{n_o}^2 + t_{n_s}^2 + t_{n_m}^2}$.

24.1.2 Současné zobrazení více průběhů

Toto umožňují dva typy osciloskopů.

Dvoupaprskové osciloskopy

Mají speciální obrazovku se dvěma paprsky a dvěma systémy elektrod. Horizontální vychylovací destičky jsou společné pro oba paprsky, vertikální kanály jsou kompletně oddělené. Osciloskopy jsou to dobré, ale příliš drahé.

Dvoukanálové osciloskopy

Liší se od běžného osciloskopu obvody, které umožňují přepínat kanály. Tyto obvody lze umístit do zvláštní zásuvky, takže pomocí těchto obvodů je možné sledovat více dějů. Obvody obsahují předzesilovače PZA a PZB pro kanály A a B. Přepínání mezi nimi provádí elektronický přepínač, jehož přepínání je řízeno astabilním multivibrátorem (napětí obdélníkového průběhu). Jedná se o podstatně levnější řešení, je vhodnější pro porovnávání průběhů. Neumožňuje zobrazení dvou průběhů v různých měřítkách. Při použití dvou nebo tří elektronických přepínačů lze získat čtyř nebo osmi kanálový osciloskop.

24.1.3 Časová základna

24.1.4

Paměťové osciloskopy

Slouží ke zobrazování pomalých periodických průběhů a rychlých jednorázových průběhů. Mají speciální obrazovku, která využívá zachycení průběhu sekundární emise elektronů v rovinné mřížce rovnoběžné se stínítkem a pokryté vhodným dielektrikem. Průběh může být uchován v osciloskopu po značně dlouhou dobu (i několik dní).

Vzorkovací osciloskopy

Umožňují zobrazit velmi rychlé periodické průběhy. Zobrazí se velké množství vzorků z různých period a tím získáme představu o celém průběhu.

24.2 Použití osciloskopů

Rejstřík

- AD převodní
 - kompenzačního typu, 52
- AD převodník, 51
 - komparační, 52
 - s dvojí integrací, 52
 - s mezipřevodem na kmitočet, 52
- atomová polarizace, 7
- bočník
 - Ayrtonův, 39
- Bruneho funkce, 29
- charakteristická impedance, 31
- citlivost měřícího přístroje, 41
- DA převodník, 53
 - s odporovou žebříčkovou sítí R-2R, 53
- diferenciální nelinearita, 52
- dipólový moment, 8
- doutnavky, 14
- elektrická polarizace, 8
- elektrický odpor, 13
- elektrický potenciál, 7
- elektrolyt, 13
- elektronová polarizace, 7
- Eliášův oheň, 14
- funkce
 - Bruneho, 29
 - pozitivně-reálná, 29
- gyrátor, 28
- Hallova násobička, 50
- Hallova sonda, 42
- Hallův
 - jev, 50
- integrální nelinearita, 52
- intenzita elektrického pole, 7
- kompence
 - třídrátová, 37
- konstanta měřícího přístroje, 42
- konstanta přenosu, 31
- korona, 14
- koróna, 23
 - hrotová, 23
 - obalová, 23
- kovová vazba, 13
- kvadrátor, 49
- kvadrátorová násobička, 50
- logaritmická násobička, 49
- magnetoelasticita, 35
- Maxwellovy rovnice, 8
- mez aperiodicity, 42
- moment
 - brzdící, 42
 - pohybový, 41
 - setrvačnosti otočného ústrojí, 42
 - řídící, 41
- měníč
 - termoelektrický, 40
 - izolovaný, 41
 - neizolovaný, 41
- měřící komparátory, 42
- měřící přístroj
 - citlivost, 41
 - konstanta, 42
 - třída přesnosti, 42
- napětí, 7
- nelinearita
 - diferenciální, 52
 - integrální, 52
- normovaná impedance, 30
- normování, 30
- nulové body, 29
- násobička
 - dvoukvadrantová, 49
 - Hallova, 50

- jednokvadrantová, 49
 - s amplitudově šířkovou modulací, 50
 - čtyřkvadrantová, 49
- obrazová impedance, 27
- orientační polarizace, 7
- osciloaskop
 - dvoukanálový, 55
- osciloskop, 54
 - analogový, 54
 - dvoupaprskový, 55
 - laboratorní, 54
 - paměťový, 55
 - univerzální, 54
 - vzorkovací, 55
- permitivita, 7
- polarizace dielektrika, 7
- pozitivně-reálná funkce, 29
- průtokoměr, 36
 - diferenční, 36
 - indukční, 36
 - kalorimetrický, 36
 - klapkový, 36
 - lopatkový, 36
 - plováčkový, 36
- pyrometr, 37
- póly, 29
- Q-metoda, 48
- reciprocita, 27
- rotametr, 36
- rovnice
 - admitanční, 26
 - impedanční, 26
 - kaskádní, 27
 - Maxwellovy, 8
 - smíšené, 26
 - zpětně-kaskádní, 27
- snímač
 - indukční
 - diferenciální, 34
- snímače
 - induktivní, 34
 - kapacitní, 34
 - magnetoelastické, 35
 - odporové, 34
 - tenzometrické
 - odporové, 35
 - piezoelektrické, 35
 - polovodičové, 35
- souměrnost, 27
- střední rychlost nosičů náboje, 13
- sítě
 - mřížková, 25
 - okružní, 25
 - paprsková, 25
 - uzlová, 25
- telegrafní rovnice, 31
- teploměr
 - dilatační, 37
 - stonkový, 37
 - dvojkovový, 37
 - odporový, 37
 - radiační, 37
 - termoelektrický, 37
 - vláknový, 38
- termoelektrický měnič, 40
 - izolovaný, 41
 - neizolovaný, 41
- transformátor
 - měřicí, 49
 - proudu, 40
- trigonometrický funkční měnič, 49
- trubice
 - Venturiho, 36
- třída přesnosti, 42
- třídrátová kompenzace, 37
- vedení
 - kabelová, 32
 - nakrátko, 31
 - naprázdno, 31
 - napájené z jedné strany, 25
 - napájené z obou stran, 25
 - venkovní, 32
- vedení proudu
 - v elektrolytech, 13
 - v kovech, 13
 - v plynech, 14
- vektorvoltmetr, 43
- Venturiho trubice, 36
- vlnový odpor, 31
- vodič

- svazkový, 23
- výboj
 - jiskrový, 14
 - obloukový, 14
 - tichý, 14
 - v plynu, 14
- Wiedmannův jev, 35
- ztráty
 - dielektrické, 23
 - svodem, 23
- činitel odrazu, 32
- činitel prostupu, 32