



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ



MERANIE A SKÚŠANIE OBVODOV



Názov projektu
Informačné technológie
Efektívny nástroj
v Odbornom výcviku

ITMS kód projektu:
26110130129

Operačný program vzdelávanie
Moderné vzdelávanie pre vedomostnú
spoločnosť / Projekt je spolufinancovaný
zo zdrojov EÚ.
Dopytovo orientovaný projekt

SPOJENÁ ŠKOLA

Červenej armády 25, Martin



Ministerstvo školstva, vedy, výskumu a športu
Slovenskej republiky

Agentúra Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ



Prioritná os:	1. Reforma systému vzdelávania a odbornej prípravy
Opatrenie:	1.1 Premena tradičnej školy na modernú
Prijímateľ:	Spojená škola
Názov projektu:	Informačné technológie – efektívny nástroj v odbornom výcviku
Kód ITMS projektu:	26110130129
Aktivita, resp. názov seminára	4.1.6. Tvorca študijných materiálov 3 Meranie a skúšanie obvodov, nastavovanie režimov.

Meranie a skúšanie obvodov, nastavovanie režimov.

1. Popis elektronických meracích voltmetrov
2. Základné pojmy používané pri meraní s meracími prístrojmi
3. Číslicové meracie prístroje
4. Meranie odporov ohm metrami
5. Meranie vlastností integrovaných obvodov
6. Meranie vlastností NF zosilňovačov
7. Meranie na rozhlasových prijímačoch

ZÁKLADNÉ ELEKTRONICKÉ MERACIE PRÍSTROJE

Elektronické voltmetre

Pri overovaní činnosti elektrických obvodov sa najčastejšie stretávame s problematikou merania napätia. Merané napätie pritom môže dosahovať hodnoty od niekoľko μV až do kV. Napätie môže byť jednosmerné alebo striedavé s frekvenciou meniacou sa od niekoľko Hz do niekoľko GHz. Z tohto hľadiska môžeme elektronické analógové voltmetre rozdeliť na:

1. jednosmerné elektronické voltmetre,
2. striedavé elektronické voltmetre.

1. Jednosmerné elektronické voltmetre môžeme ďalej rozdeliť na:

- tranzistorové voltmetre v mostíkovom zapojení,
- elektronické voltmetre s operačným zosilňovačom,
- elektronické voltmetre s modulátorom.

2. Striedavé elektronické voltmetre rozdeľujeme na:

- striedavé elektronické voltmetre v zapojení zosilňovač – usmerňovač,
- striedavé elektronické voltmetre v zapojení usmerňovač – zosilňovač,
- impulzové voltmetre,
- heterodynové voltmetre.

Ako ukazovaciu čas používajú elektronické voltmetre magnetoelektrický mikroampérmeter, ktorého stsupnica je ciachovaná priamo vo voltoch. Ukazovacej časti je pridradená elektronická časť, ktorej úlohou je v závislosti od veľkosti meraného napätia vybudíť mikroampérmeter. Aj keď zapojenie elektronických voltmetroch je v porovnaní s elektromechanickými voltmetrami niekedy zložitejšie a ich presnosť je menšia, majú niektoré vlastnosti, ktoré ich predurčujú použiť v prípadoch, keď použitie elektromechanických voltmetroch naráža na ťažkosti.

Výhody elektronických voltmetrov: veľký vnútorný odpor, vysoká citlivosť, široké frekvenčné pásmo použitia, príp. veľmi úzke frekvenčné pásmo použitia. Preto je výber vhodného voltmetra podmienkou, aby sme získali spoľahlivú informáciu o veľkosti napätia v danom meranom mieste, v opačnom prípade môže vzniknúť veľká chyba a skreslenie nameranej hodnoty.

Jednosmerné elektronické voltmetre

Používame ich na meranie napätia na jednosmerných zdrojoch, v obvodoch, kde sa vyskytuje jednosmerné napätie súčasne so striedavým napätím a v obvodoch, kde sa mení jednosmerné napätie. Okrem veľkosti vstupného odporu sa môže v niektorých prípadoch uplatňovať aj vstupná kapacita týchto voltmetrov, najmä ak používame symetrický tienový vodič. Vplyv tejto kapacity možno potlačiť zapojením sériového odporu vo vstupnom obvode voltmetra.

Často sa stretávame aj s potrebou merania vysokého jednosmerného napätia. Pri meraní vysokých jednosmerných napätí používame najčastejšie deliče napätia zostavené z vysoko ohmových rezistorov – vysokonapäťové sondy.

Pri meraní musíme dodržiavať nasledujúce zásady:

- voltmeter aj pracovisko musí mať pri meraní vysokého napätia spoľahlivú uzemňovaciu sústavu,
- voltmeter aj sonda sa uzemňujú nezávislým vlastným uzemnením Z_1 a Z_2 ,
- meraného bodu sa dotýkame hrotom sondy, ktorú držíme v jednej ruke, druhá ruka je voľná,
- nedotýkame sa a ani nesmieme mať pri sebe kovové predmety, stojíme na dobre izolovanej podložke,
- podľa možnosti meriame za prítomnosti ďalšej osoby.

Pretože vysokonapäťová sonda má malú časovú stálosť, vnáša do merania väčšiu chybu, ako má vlastný voltmeter.

Tranzistorové voltmetre v mostíkovom zapojení

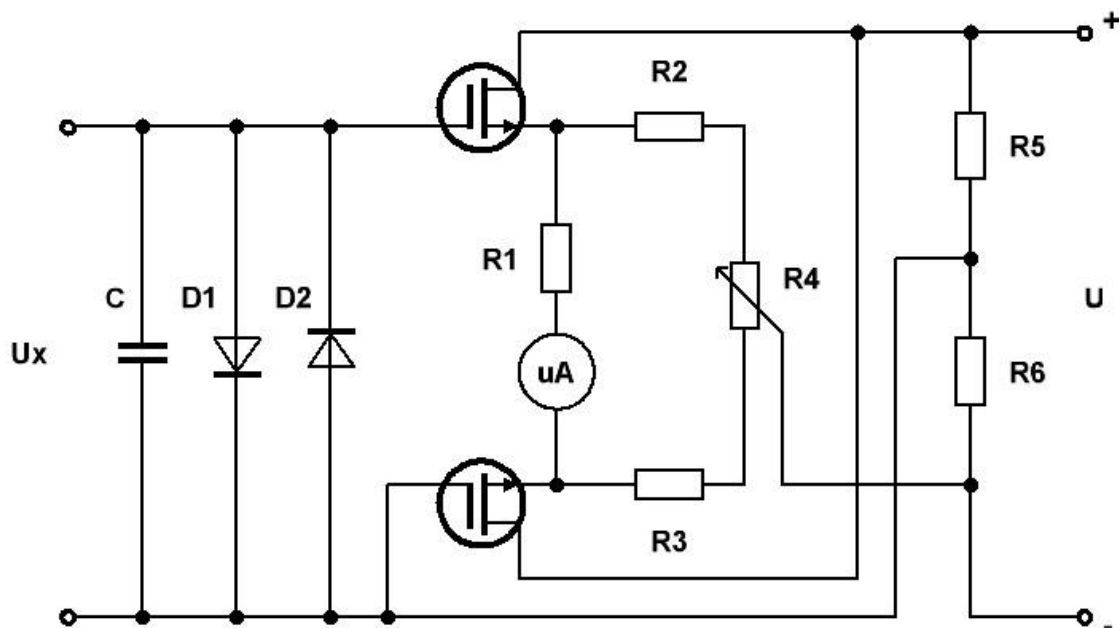
Používajú sa na meranie jednosmerných napätí v rozpätí 0,5 až 1 000 V. Vyznačujú sa jednoduchým zapojením a malými nárokmi na napájacie zdroje. Najjednoduchší je voltmeter s bipolárnymi tranzistormi v mostíkovom zapojení. Zapojenie vytvára jednoduchý štvoramenný mostík, ktorého jednotlivé ramená tvoria tranzistor T_1 , rezistory $(R_5 + R_4)$, rezistory $(R_4 + R_6)$ a tranzistor T_2 . Použité tranzistory majú mať rovnaké parametre. Ich pracovný bod sa nastavuje pomocou rezistora R_7 , rezistorom R_2 nastavujeme symetriu vstupného obvodu. Vnútorňý odpor voltmetra sa dostavuje rezistorom R_1 , citlivosť voltmetra rezistorom R_3 (maximálna výchylka mikroampérmetra pri vstupnom napätí U_x). Pred meraním sa bez pripojeného meraného napätia U_x nastaví rovnováha mostíka (vyvažuje sa voltmeter) rezistorom R_4 .

Meraným napätím U_x sa potom poruší rovnovážny stav mostíka, pričom prúd prekajúci mikroampérmetrom lineárne závisí od veľkosti meraného napätia U_x . To umožňuje stupnicu mikroampérmetra očíachovať priamo vo voltoch. Na meranie väčších napätí sa voltmeter doplní vstupným deličom napätia.

Vnútorňý odpor voltmetra môžeme jednoducho zistiť nasledujúco. Na vstupné svorky U_x pripojíme regulovateľný stabilizovaný zdroj napätia a nastavíme také napätie, ktoré zodpovedá základnému rozsahu, nap. 0,5 V. Zmenou R_3 dostavíme maximálnu výchylku mikroampérmetra. Potom do série s R_1 zapojíme premenlivý rezistor (napr. premenlivú odporovú súpravu), na ktorom nastavíme takú hodnotu odporu, aby výchylka mikroampérmetra klesla na hodnotu 50% z α_{\max} . Hodnota odporu súpravy sa potom rovná vnútorňému odporu voltmetra na základnom rozsahu. Tento odpor treba poznať pre návrh vstupného deliča napätia na zmenu rozsahu. Vstupný odpor voltmetra je na každom rozsahu iný, dosahuje však maximálnu hodnotu $1 \text{ M}\Omega \cdot \text{V}^{-1}$. Väčší vnútorňý odpor dosiahneme použitím unipolárnych tranzistorov. Príklad zapojenia takéhoto voltmetra je na obr.1a V zapojení sú použité tranzistory s kanálom N, ktoré pracujú so záporným napätím hradla vzhľadom na emitor a sú náchylné na prerez izolačnej vrstvy medzi kanálom a hradlom. Preto sa robí ochrana proti poškodeniu vstupných tranzistorov, napr. antiparalelným zapojením diód, príp. tlejivkou. Unipolárne tranzistory vyžadujú však vyššie napájacie napätie ako bipolárne tranzistory.

Zmena rozsahov tranzistorových voltmetrov sa realizuje najčastejšie vstupným deličom. Tento môže byť vyhotovený v zapojení s konštantným vstupným odporom, kedy má voltmeter na všetkých rozsahoch rovnaký vstupný odpor daný súčtom odporov v deliči.

Vyžaduje však veľký vnútorný odpor voltmetra na základnom rozsahu. Takéto zapojenie sa realizuje väčšinou s unipolárnymi tranzistormi.



Obr.1a

Jednosmerné elektronické voltmetre s operačným zosilňovačom

Tranzistorové voltmetre majú ohraničenú citlivosť rádovo stovky mV. Ich vyššia citlivosť je obmedzená použitým zosilňovacím prvkom – tranzistorom. Na meranie napätí rádovo mV treba zosilnenie okolo 1 000. Preto majú priemyselne vyrábané voltmetre integrované obvody – operačné zosilňovače, ktoré dosahujú napät'ové zosilnenie s rozpojenou slučkou spätnej väzby 10^5 až 10^6 . Operačný zosilňovač tu pracuje ako neinvertujúci zosilňovač so zápornou spätnou väzbou. Pre dané zapojenie môžeme napísať, za predpokladu že $A_0 \gg 1$, čo je pre operačný zosilňovač takmer vždy splnené, pretože A_0 je rádovo 10^5 , vzťah

$$\frac{A_0}{1 + \beta A_0} = \frac{1}{\beta}$$

Kde A_u je napät'ové zosilnenie so zápornou spätnou väzbou,

A_0 – napät'ové zosilnenie bez spätnej väzby,

β – činiteľ spätnej väzby

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

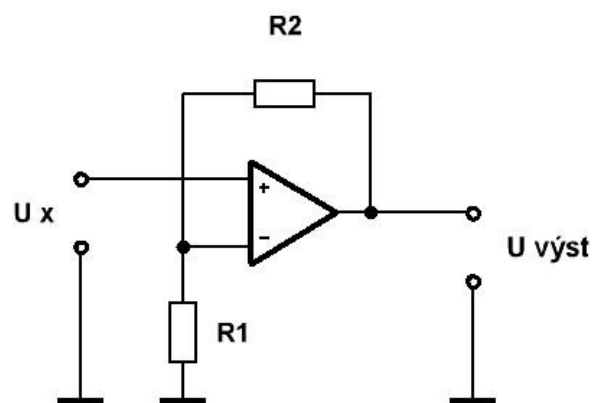
Pri zapojení operačného zosilňovača vo voltmetri je vždy splnené aj $R_1 \ll R_2$. Vtedy $\beta = R_1 / R_2$ a A_u je dané vzťahom

$$A_u = \frac{1}{\beta} = \frac{R_2}{R_1}$$

Pre zapojenie na obr. 10.6 teda platí

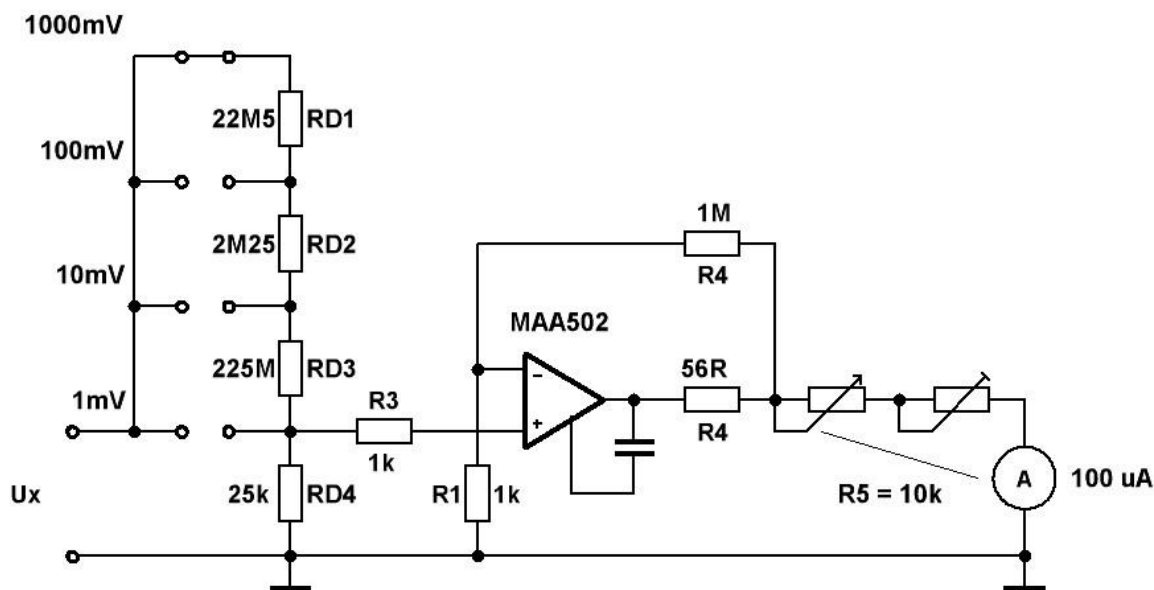
$$U_{\text{výst}} = A_u U_{\text{vst}}$$

To nám pri známom zosilnení A_u umožní vypočítať výstupné napätie a po doplnení zapojenia na obr.2a mikroampérom aj očiachovať magnetoelektrický mikroampérmeter vo voltoch.



Obr. 2a

Príklad zapojenia jednoduchého voltmetra s operačným zosilňovačom je na obr. 3a



Obr. 3a

Ak na najnižšom rozsahu pripojíme napätie $U_x = 1 \text{ mV}$, pri zosilnení operačného zosilňovača 60 dB dostaneme $U_{\text{výst}} = 1 \text{ V}$. Ak použijeme mikroampérmetr s citlivosťou 100 μA , zapojenie si vyžaduje pre maximálnu výchylku mikroampérmetra celkový zaťažovací odpor $R_z = 10 \text{ k}\Omega$. Maximálnu výchylku ampérmetra dostavíme pomocou $R_5 = 10 \text{ k}\Omega$. Operačný zosilňovač má však v uvedenom zapojení na výstupe napätie aj pri nulovom vstupnom napätí. Toto je spôsobené vstupnou napäťovou nesymetriou použitého operačného zosilňovača, ktorá by značne ovplyvňovala údaj voltmetra, a preto ju musíme kompenzovať. Spôsob kompenzácie vstupnej napäťovej nesymetrie závisí od použitého operačného zosilňovača. Cieľom však je vždy nastaviť nulové výstupné napätie pri nulovom vstupnom napätí. Preto používame operačné zosilňovače s malým driftom. Vnútorňý odpor voltmetra na milivoltových rozsahoch dosahuje hodnoty desiatky $\text{k}\Omega$. Ak chceme tento odpor zväčšiť, použijeme na vstupe tranzistory riadené poľom alebo elektrometrický operačný zosilňovač. Je to hybridný integrovaný obvod, ktorý má tranzistory riadené poľom spolu s operačným zosilňovačom v spoločnom puzdre.

Základné pojmy používané pri meraní s meracími prístrojmi

Rozsah meracích prístrojov

Merací rozsah prístroja je určitým špeciálnym spôsobom vyznačená časť rozsahu stupnice, kde môžeme merať s predpísanou presnosťou. Merací rozsah stupnice je celá dĺžka stupnice daná okrajovými hodnotami stupnice, ktoré sú určitým spôsobom označené. Merací rozsah prístroja je často totožný s meracím rozsahom stupnice.

Odlíšenie meracieho rozsahu od rozsahu stupnice sa vyznačuje na stupnici bodkami, farebnými alebo dlhými čiarami, spôsobom delenia stupnice, iným typom číslíc a pod. Najväčšia hodnota meracieho rozsahu je hodnota hornej hranice meracieho rozsahu pre prístroj s nulou na jednom konci delenia stupnice. Ak je nula vnútri delenia stupnice, najväčšia hodnota meracieho rozsahu je daná súčtom hodnôt oboch hraníc meracieho rozsahu.

V prístrojoch s potlačenou nulou je najväčšia hodnota meracieho rozsahu daná rozdielom hodnoty hornej a dolnej hranice meracieho rozsahu. Pre názornejšie pochopenie uvedieme príklad.

Presnosť meracieho prístroja a jeho trieda presnosti

Presnosť meracieho prístroja je daná hraničnou chybou a hraničnou zmenou údajov. Hraničná chyba (najväčšia dovolená chyba) ΔM , podľa ktorej sa vo väčšine prístrojov posudzuje presnosť prístroja, sa vyjadruje v percentách najväčšej hodnoty rozsahu. Je to v percentách vyjadrený pomer najväčšej absolútnej chyby ΔX_{\max} z najväčšej hodnoty meracieho rozsahu M . Táto chyba sa zisťuje pri vzťažných podmienkach.

$$\Delta M = \frac{\Delta X_{\max}}{M} \cdot 100(\%)$$

Vzťažné podmienky sú podmienky, pri ktorých bol prístroj nastavený, overený a vyskúšaný. Zo vzťažných podmienok sa na číselníku uvádza iba poloha prístroja. Ak sa neuvádzajú ostatné vzťažné podmienky, s dovolenými odchýlkami podľa triedy presnosti a pri vylúčení vplyvu vonkajších magnetických polí okrem zemského magnetického poľa. Pre prístroje určené na meranie striedavého prúdu musí byť priebeh meranej veličiny sínusový

s frekvenciou v rozpätí 45 Hz až 65 Hz a činiteľ celkového harmonického skreslenia môže byť maximálne 5 % (pre prístroje s usmerňovačom maximálne 1 %).

Ak je prístroj určený pre iné podmienky, musia byť na číselníku vyznačené. Podľa veľkosti hraničnej chyby ΔM , vyjadrenej v percentách z najväčšej hodnoty meracieho rozsahu, zaraďujeme prístroje do niekoľkých tried presnosti.

Trieda presnosti sa vyjadruje číslom zo zvoleného radu, ktoré klasifikuje presnosť meracieho prístroja, a je totožné s najväčšou dovolenou chybou v percentách:

0,1 % ; základné prístroje, ktoré sa používajú na kontrolu veľmi presných laboratórných prístrojov,

0,2 % ; veľmi presné laboratórne prístroje,

0,5 % ; presné laboratórne prístroje,

1 % ; montážne a laboratórne prístroje,

1,5 % ; niektoré montážne a presné rozvádzačové prístroje,

2,5 % ; rozvádzačové prístroje,

5 % ; iné menej presné prístroje.

Preťažiteľnosť meracích prístrojov

Všetky meracie prístroje musia trvale zniesť zaťaženie na hornú hranicu meracieho rozsahu pri vzťažných podmienkach a pritom vyhovieť ustanoveniam triedy presnosti. Pri prekročení hornej hranice meracieho rozsahu dochádza k preťaženiu meracieho prístroja.

Preťaženie môže byť trvalé alebo krátkodobé. Trvalé preťaženie, nazývané tiež tepelné, musia zniesť všetky prístroje bez poškodenia.

Pre ampérmetre a voltmetre s triedou presnosti 1 až 5, ďalej pre wattmetre, varmetre, fázomery a frekventomery je to 1,2-násobok menovitej hodnoty meranej veličiny.

Krátkodobé preťaženie, nazývané tiež dynamické, nastáva pri prudkom zvýšení prúdu alebo napätia na krátky čas.

Norma presnosti stanovuje pre každý typ prístroja a triedu presnosti násobky menovitej hodnoty a čas trvania, počas ktorého musia prístroje vydržať toto preťaženie bez následkov. Následkom preťaženia môže dôjsť k poškodeniu prístroja, a to buď nadmerným ohriatím, alebo mechanickým poškodením.

Elektrická pevnosť prístrojov

Elektrická pevnosť prístrojov sa skúša skúšobným napätím. Týmto napätím sa skúša elektrická pevnosť izolácie elektrických prístrojov.

Skúšobné striedavé napätie musí sínusový priebeh. Zapojí sa medzi všetky navzájom pospájané svorky a hliníkový kryt, ktorým sa obalí prístroj z izolantu. Skúšobné napätie sa postupne zvyšuje a udržuje sa počas 60 sekúnd. Hodnota skúšobného napätia sa určí v závislosti od menovitého napätia obvodu prístroja alebo príslušenstva prístroja.

Vlastná spotreba meracích prístrojov

Vlastná spotreba meracích prístrojov je príkon odoberaný prístrojom z obvodu na dosiahnutie plnej výchylky. Vlastná spotreba zaťažuje meraný obvod a spôsobuje oteplenie meracích prístrojov, preto má byť čo najmenšia.

Udáva sa vo wattoch pre jednosmerné prístroje a vo VA pre striedavé prístroje. Môže sa udať aj nepriamo číselným údajom na stupnici. Pri voltmetroch sa udáva prúdom tečúcim cez voltmeter pri menovitom napätí, ktorý vypočítame pomocou vnútorného odporu voltmetra. Tento odpor sa udáva na stupnici v hodnotách pripadajúcich na jeden volt rozsahu ($\Omega \cdot V^{-1}$, $k\Omega \cdot V^{-1}$). Pri ampérmetroch sa vlastná spotreba udáva úbytkom napätia na ampérmetri pre menovitý prúd.

Rušivé vplyvy pôsobiace na merací mechanizmus

Veľkosť výchylky prístrojov ovplyvňujú okrem meranej veličiny aj tzv. ovplyvňujúce veličiny (teplota, vlhkosť, cudzie magnetické polia a pod.). Ich veľkosť nesmie prekročiť hodnotu, pri ktorej by prístroj meral s chybou väčšou, ako je hraničná chyba stanovená triedou presnosti prístroja. Medzi veličiny ovplyvňujúce údaj meracích prístrojov patria:

1. Teplota - uplatňuje sa najčastejšie. Prístroje sú vyhotovené a nastavené tak, aby merali najpresnejšie pri teplote 20°C. Väčšie zmeny teploty môžu spôsobiť zmenu odporov meracích prístrojov a môžu zväčšiť rozmery otočných častí, čím sa zväčší trenie v ložiskách. Prehriatie prírodných špirálových pružín sa prejaví zmenou ich pružnosti a pod. Preto sa pre prístroj udáva menovitý teplotný rozsah použitia. V tomto rozsahu zmeny teplôt zmena údajov nesmie prekročiť hodnotu danú triedou presnosti prístroja. Vplyv teploty obmedzujeme prirodzeným chladením a tzv. teplotnou kompenzáciou

2. Cudzie magnetické polia, vytvorené prípadne aj inými prístrojmi, môžu značne ovplyvniť presnosť merania. Ich vplyv je tým väčší, čím je vlastné magnetické pole prístroja slabšie. Ochranou pred vplyvom cudzích magnetických polí je magnetické tienenie. Merací mechanizmus sa vloží do kovového krytu z magneticky dobre vodivého materiálu.
3. Elektrostatické pole môže tiež značne ovplyvniť presnosť merania napr. svojimi vírivými účinkami na ručičku alebo v prístrojoch s viacerými elektrickými okruhmi rozdielom potenciálov medzi nimi. Ochrana spočíva v elektrostatickom tienení; merací systém obalíme fóliou z neferomagnetického kovu, napr. hliníka. Tesne pred meraním alebo počas neho nie je vhodné čistiť sklo ochraňujúce stupnicu.
4. Presnosť merania sa môže zhoršiť aj mechanickými vplyvmi. Prudkým nárazom sa môže deformovať ručička, pri mechanických nárazoch sa môže poškodiť uloženie otočnej časti, a tým sa zväčší trenie. Nesprávne vyváženie otočnej časti a nesprávna poloha prístroja pri meraní spôsobujú prídavné momenty ovplyvňujúce údaj prístroja.
5. Zmena frekvencie spôsobuje zmenu údajov prístrojov tých systémov, kde moment sily priamo závisí od veľkosti frekvencie (napr. indukčný prístroj). Okrem toho zmeny frekvencie spôsobuje v prístrojoch pri meraní striedavých veličín zmenu údaja vplyvom zmeny fázového posunu na impedanciách napr. vplyvom indukčnosti predradených vinutých rezistorov a pod.

Základné analógové elektromechanické prístroje

Základné analógové elektromechanické prístroje využívajú pri meraní silové účinky magnetického alebo elektrického poľa.

Iba tepelný prístroj využíva zmenu dĺžky ohriatych vodičov, jeho praktický význam je však malý.

Pri odvodzovaní výchylky prístrojov v závislosti od hodnoty meranej veličiny môžeme využiť základné poznatky a zákonitosti pôsobenia magnetického poľa a elektrických nábojov elektrického poľa na vodiče alebo vychádzať zo zmien energie elektromechanického prístroja a meraného zdroja.

Tieto prístroje sú najstaršie zo skupiny meracích prístrojov; s ich výrobou sa začalo už koncom minulého storočia. Zlepšenie ich vlastností a podstatnú modernizáciu umožnilo použitie nových materiálov. Aj napriek tomu vývoj v súčasnosti smeruje k ich náhrade elektronickými prístrojmi, v ktorých sa realizujú celé zložité obvody pomocou integrovaných obvodov.

Vonkajšie rušivé vplyvy pôsobiace na magnetoelektrické prístroje

Vplyv teploty

Zmeny teploty sa najviac prejavíva zmenou odporu cievky, ktorá je z medi, ako aj zmenou odporu predradených rezistorov, bočníkov, direktívnych špirál a remanentného magnetizmu permanentných magnetov. Ohmický odpor medi sa mení s teplotou asi o +0,4 % na 1 K. Teplotná chyba deprézskych prístrojov sa kompenzuje použitím magnetického bočníka riadeného bimetálom, prípadne použitím materiálu, ktorého permeabilita klesá zvyšovaním teploty, ale najmä zapojením teplotne nezávislých rezistorov do série a paralelne, čím sa v určitom rozpätí teplôt vykompenzuje vplyv teploty na údaj prístroja.

Vplyv vonkajších magnetických polí

Pretože indukcia vo vzduchovej medzere je veľká, vplyv cudzích magnetických polí je zanedbateľný. Tento vplyv sa môže prejaviť iba pri veľmi silných poliach v tesnej blízkosti magnetického obvodu.

Ostatné vlastnosti magnetoelektrických prístrojov

Magnetoelektrické prístroje sú vhodné na meranie jednosmerného prúdu a napätia vo veľmi veľkých rozsahoch (prúdy od μA do kA , napätie od mV do kV). Majú malú vlastnú spotrebu (od μW do mW), sú však citlivé na hrubé mechanické a elektrické zaobchádzanie. Otrasy majú nepriaznivý vplyv na ložiská a pri preťažení sa prehrejú direktívne pružiny, čím sa zmení hodnota direktívneho momentu. Stupnica je lineárna, zmeny rozsahov realizujeme bočníkmi a predradnými rezistormi.

Vonkajšie vplyvy pôsobiace na feromagnetické prístroje

1. Vplyv teploty. Pri ampérmetroch je zanedbateľný, pri voltmetroch sa kompenzuje dostatočne veľkým odporom predradeného rezistora z manganínu. Pri malých rozsahoch sa však zvyšuje vlastná spotreba
2. Vplyv vonkajších magnetických polí. Tento vplyv je veľký , pretože prístroj vytvára vlastné magnetické pole v cievke s pomerne malou intenzitou. Uplatňujú sa jednosmerné aj striedavé polia, pričom rušia aj striedavé polia s odlišnou frekvenciou. Najúčinnějšía ochrana je dvojité tienenie z feromagnetického krytu.
3. Vplyv frekvencie. Zmenou frekvencie sa mení reaktancia cievky v ampérmetroch, a tým aj úbytok na nej. Na údaj ampérmetra to však nevplyva. Pri vyšších frekvenciách sa uplatňujú vírivé prúdy v plieškoch, prilahlých konštrukčných častiach a tieneniach. Pri voltmetroch sa zmena reaktancia cievky kompenzuje dostatočne veľkým odporom bezindukčného predradeného rezistora. Pri vyšších frekvenciách sa tiež uplatňujú vírivé prúdy. Preto sa feromagnetický voltmeter používa do frekvencie asi 100 Hz.
4. Feromagnetické prístroje sú veľmi rozšírené pre svoju jednoduchú konštrukciu a nízku cenu. Vydržia veľké preťaženie, pretože meraný prúd nepreteká žiadnymi pohyblivými časťami a nasýtením plieškov sa nezväčšuje pohybový moment. Vlastná spotreba je všeobecne asi 1 V.A. Najnovšia konštrukcia prístroja M L 21 má otočnú časť zavesenú na napnutých páskach so svetelným ukazovateľom, čím sa zníži vlastná spotreba na desatiny V.A.

Vonkajšie rušivé vplyvy pôsobiace na elektrodynamické prístroje

1. Vplyv teploty

- ak je dobrá teplotná kompenzácia, vplyv teploty na zmenu odporu je malý

2. vplyv vonkajších magnetických polí

- vonkajšie magnetické polia môžu mať veľký vplyv na údaj elektrodynamického prístroja, pretože magnetické pole prístroja sa uzatvára cez vzduch (má pomerne malú intenzitu). Vplyv cudzích magnetických polí sa znižuje tienením z feromagnetického krytu, ktoré môže byť aj niekoľkonásobné. Iný spôsob ochrany je tzv. astatizácia. Princíp astatizácie spočíva v tom, že rozdelíme systém na dve časti. Tieto musia pôsobiť na osičku momentu rovnakého smeru od meranej veličiny, ale protismerným momentom od ovplyvňujúceho rušivého vonkajšieho poľa. Tým sa na osičke prístroja vplyvy cudzích magnetických polí rušia. Rušivo sa uplatňuje iba tie polia, ktorých frekvencia súhlasí s frekvenciou prúdu otočnej cievky, a tiež jednosmerné vonkajšie polia (pri meraní jednosmerných veličín).

3. Vplyv frekvencie

- frekvencia sa neuplatňuje v ampérmetroch a prúdových cievkach wattmetrov. Vo voltmetroch a napät'ových cievkach wattmetra frekvencia spôsobuje zmenu fázového posunu a impedancie. Fázový posun sa musí kompenzovať, čo sa dá iba pre jednu frekvenciu, prípadne pre veľmi úzke frekvenčné pásmo.

4. Vplyv vonkajších elektrických polí

- vplyv vonkajších elektrických polí na údaj prístroja je prakticky zanedbateľný. Prídavná chyba však môže vzniknúť potenciálnym rozdielom medzi prúdovou a napät'ovou cievkou elektrodynamického wattmetra. Potenciálny rozdiel môže vzniknúť napr. nesprávnym pripojením predradeného rezistora do obvodu napät'ovej cievky. Môže nastať aj prieraz medzi cievkami, a tým aj zničenie prístroja.

5. Ostatné vlastnosti elektrodynamických prístrojov

Preťažiteľnosť elektrodynamických prístrojov je pomerne malá. Vo wattmetroch prúdová cievka krátkodobého znáša preťaženie až desaťnásobné, napät'ová cievka asi trojnásobné. Obidve cievky sa môžu trvalo preťažiť o 20 %. Presnosť prístrojov so svetelným ukazovateľom je až 0,1. Vlastná spotreba sa pohybuje pre ampérmetre a prúdové cievky wattmetrov do 4 V.A, pre napät'ové cievky wattmetrov 30 m A/V pre väčšie rozsahy, pre menšie rozsahy je ešte väčšia. Vlastná spotreba pri prístrojoch so svetelným ukazovateľom je menšia; používajú vzduchové tlmenie, pri dobre tienených systémoch magnetické tlmenie. Vyrábajú sa tiež wattmetre, ktoré dosahujú plnú výchylku pre U_N a I_N , ale pre $\cos \varnothing$ napr. 0,2 alebo 0,5. Tieto wattmetre sa používajú pri meraniach, kde sa vyskytuje veľký fázový posun.

Hodnotu konštanty získame potom tak, že vzťah $k_w = \frac{U_N I_N}{\alpha_{max}}$ vynásobíme hodnotou $\cos \varnothing$, ktorá je vyznačená na číselníku.

Číslicové meracie prístroje

Analógové elektronické voltmetre charakterizoval spoločný znak - pri zmene veľkosti meraného napätia sa spojitou menila aj výchylka ukazovateľa, celý proces merania bol spojitý. Aby sme zistili hodnotu meraného napätia, musí pozorovateľ odčítať polohu ručičky na stupnici, čím môže vzniknúť chyba merania (napr. nesprávnym odčítaním výchylky ručičky, chybou paralaxy a pod.). Ďalšia chyba môže vzniknúť nesprávnym prepočítaním výchylky ručičky na skutočnú hodnotu. Preto vznikla požiadavka vyvinúť taký merací prístroj, ktorý by tieto čiastkové operácie robil úplne automaticky, bez subjektívneho vplyvu pozorovateľa, a nameranú hodnotu navyše zobrazil na zobrazovacom zariadení ako číselný údaj v desiatkovej sústave. Elektronické prístroje, ktoré pracujú na takomto princípe, nazývame číslicové alebo digitálne prístroje. V týchto prístrojoch sa meraná analógová veličina na diskretný číslicový ekvivalent. Potom hovoríme o analógovo-číslícovom prevode.

Číslicový merací prístroj premení teda vstupný analógový signál na diskretný výstupný signál a vyhodnotí ho v číslicovej forme. Jeho základnou časťou je analógovo-číslícový prevodník. Pod diskretným signálom si musíme predstaviť signál, v ktorom sa informácia nenachádza vo forme amplitúdy signálu (napr. amplitúdy napätia), ale v počte elementov signálu (napr. v počte impulzov napätia) a ich vzájomnej polohy. Systém takýchto impulzov pre prenos informácií sa nazýva kód.

Proces premeny analógového signálu na číslicový údaj sa nazýva analógovo-číslícový prevodník. Analógovo –číslícové prevodníky majú veľký význam pri premene elektrických aj neelektrických veličín v spojení s číslicovými meracími prístrojmi, mikroprocesormi, meracími ústredňami a inými zariadeniami, kde sa zhromažďujú údaje a zaznamenávajú výsledky merania.

Analógovo-číslícové prevodníky majú najväčší význam zariadeniach pre automatickú reguláciu výrobných procesov v spojení s meracími ústredňami a riadiacimi počítačmi. Tieto zariadenia umožňujú merať rôzne veličiny (teplotu, tlak atď.) na rôznych miestach výrobného procesu. Namerané hodnoty sa premienia v meracej ústredni na číslicový tvar. Výrobný proces potom možno riadiť pomocou korelačných funkcií v číslicovom počítačom stroji, ktorý nájde optimálne vzťahy medzi očakávanými a skutočnými hodnotami v danom meracom mieste.

Analógovo-číslícové prevodníky sa s výhodou používajú aj na diaľkové meranie, pretože pri premene analógového signálu na číslicový kód sa neuplatňujú parametre vedenia, ktoré môžu skresliť analógový signál.

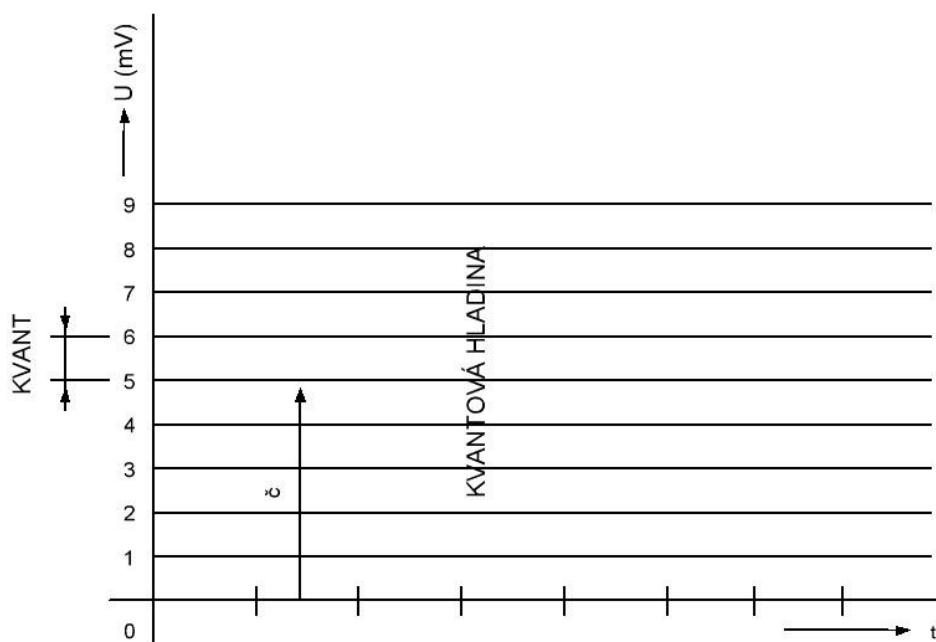
V číslicovej technike používame na zobrazovanie výsledkov merania desiatkovú číselnú sústavu. Pri medzioperáciách, pri spájaní číslicových meracích zariadení so zariadeniami pre záznam, spracovanie meranej veličiny a v procese kódovania, používame dvojkovú číselnú sústavu. Táto sústava je výhodná najmä preto, že obsahuje iba dve čísla, čo umožňuje použiť elektronické prvky s dvoma stabilnými stavmi.

V ostatnom čase sa robia pokusy s trojkovou sústavou, ktorá je omnoho výhodnejšia, vyžaduje však elektronické prvky s tromi stabilnými stavmi (napr. kladné napätie, nulové napätie, záporné napätie).

Dvojková sústava umožňuje jednoducho realizovať aritmetické operácie, a preto sa používa prakticky vo všetkých počítačoch a meracích prístrojoch. Na príklade si ukážeme prevod čísla z desiatkovej do dvojkovej sústavy: číslo 347_D v desiatkovej sústave bude mať v dvojkovej sústave tvar 101011011 . Postup prevodu je nasledujúci: $347_D = 1 \times 2^8 + 0 \times 2^7 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = 256 + 64 + 16 + 8 + 2 + 1 = 101011011_B$. Pri prevode z dvojkovej do desiatkovej sústavy postupujeme opačne, napr. dvojkovému číslu 100100010_B zodpovedá v desiatkovej sústave číslo 290. Postup je nasledujúci: $100100010_B = 2^8 + 2^5 + 2^1 = 256 + 32 + 2 = 290_D$. Vidíme, že prevod z desiatkovej sústavy do dvojkovej a naopak možno uskutočniť dostatočne rýchlo a jednoducho.

V číslicových meracích prístrojoch sa okrem dvojkovej sústavy používa aj dvojkovo-desiatková sústava, ktorá využíva prednosti dvojkovej desiatkovej sústave tvar 0011 0100 0111_B. V dvojkovo-desiatkovom kóde sa pripisujú všetky váhy rádom v poradí jeden po druhom obyčajne sprava doľava, pričom váhy sa rovnajú postupne narastajúcim mocninám čísla 2 a samostatné desiatkové číslo sa rovná súčtu súčinov týchto váh s príslušnou dvojkovou číslicou.

Číslicové meracie prístroje v procese merania vykonávajú samočinne operáciu kvantovania meranej veličiny, jej číslicové kódovanie a znázorňujú výsledky merania v číslicovom tvare priamo ako číslo alebo kód. Základom procesu merania číslicových meracích prístrojov je proces kvantovania. Môžeme ho jednoducho ukázať na obr.1, kde ide o kvantovanie podľa hladiny. V procese kvantovania dochádza vlastne k zaokrúhľovaniu meranej veličiny číslicovým prístrojom, ktorý má konečnú rozlišovaciu schopnosť porovnávania. Táto rozlišovacia schopnosť je vyjadrená vzdialenosťami dvoch susedných hladín, ktoré sa nazývajú digit alebo kvant. Kvantovanie podľa hladiny je spojené s určitou chybou, ktorá sa nazýva chyba diskretnosti. Táto chyba závisí od konštrukcie prístroja. Pretože merací prístroj má konečný počet hladín kvantovania, nahrádzame vlastne okamžitú hodnotu meranej veličiny najbližšou dovolenou hodnotou (napr. ak má meraná veličina hodnotu $X = 2,8$ jednotiek, merací prístroj ukáže 3 jednotky meranej veličiny). Z toho vyplýva, že chybu diskretnosti možno znižovať zvyšovaním počtu hladín a v najnepriaznivejšom prípade môžu dosiahnuť hodnotu 0,5 digit.



Obr. 1

Chyby číslicových meracích prístrojov

Chyby číslicových meracích prístrojov môžeme rozdeliť na:

- základné,
- doplnkové.

Základná chyba číslicového meracieho prístroja je daná súčtom chýb, ktoré môžeme rozdeliť do dvoch skupín:

- chyby nezávislé od údajov meracieho prístroja – pevné chyby spôsobené použitým zapojením a súčiastkami (napr. driftom vstupného kompenzačného zosilňovača, zvyškovým napätím spínačov a pod.); vyjadrujú sa v percentách menovitej hodnoty meracieho rozsahu; patrí sem aj chyba kvantovania,
- chyby úmerné údajom číslicového meracieho prístroja – patria sem chyby spôsobené nestabilitou generátora s etalónovou frekvenciou, nestabilitou zdrojov referenčného napätia, chyby vstupného deliča a pod.; vyjadrujú sa v percentách meraného údajov, pričom sa vzťahujú na menovitú hodnotu meracieho rozsahu; základná chyba číslicového meracieho prístroja v závislosti od hodnoty meranej veličiny, vzťahujúca sa na menovitú hodnotu meracieho rozsahu.

Doplnkové chyby vyjadrujú napr. vplyv zmien teploty, vlhkosti, rušivých napätí a pod. na presnosť merania. Tieto vplyvy môžu výrazne ovplyvniť presnosť merania.

Jednosmerné číslicové voltmetre

Z číslicových meracích prístrojov sú najrozšírenejšie jednosmerné voltmetre, ktoré umožňujú priame meranie jednosmerného napätia a v spojení s prevodníkmi (číslícové multimetre) umožňujú meranie striedavého napätia a prúdu, odporu, indukčnosti, kapacity, frekvencie a časových intervalov.

Integračné elektromechanické prístroje

Integračné meracie prístroje merajú integrál veličiny podľa času. Najtypickejším predstaviteľom tejto skupiny meracích prístrojov je v súčasnosti indukčný elektrometer, ktorá pracuje ako integrujúci wattmeter. Používa sa na meranie odberu elektrickej energie.

Elektromery môžeme rozdeliť podľa použitia na jednosmerné a striedavé.

Jednosmerné elektromery rozdeľujeme podľa veličiny, ktorú merajú, na ampérhodinové a watthodinové.

Elektromery na *striedavý* prúd rozdeľujeme na elektromery činnej energie a na elektromery jalovej energie.

Podľa počtu použitých meracích systémov môžu byť jednosystémové (používame ich na meranie v jednofázových rozvodoch) a dvoj- alebo troj – systémové (používame ich v trojfázových rozvodoch).

Elektrometer s indukčnou sústavou s postupným poľom, používaným ako jednofázový elektrometer činnej energie pracuje na princípe, ktorý bol odvodený pre indukčné prístroje. Z rovnice pre moment systému vyplýva, že elektrometer bude registrovať činnú prácu iba vtedy, ak dosiahneme fázový posun medzi Φ_I a Φ_U rovnajúci sa $\pi/2$, t. j. prúd musíme natočiť voči napätiu v napäťovej cievke o $\pi/2$. Pretože ideálne natočenie o $\pi/2$ nemožno dosiahnuť, robia sa úpravy ovplyvňovaním fázy magnetického toku. Merací systém jednofázového elektromeru má tieto hlavné časti:

- a) hnací mechanizmus,
- b) otáčavý mechanizmus,
- c) brzdiaci mechanizmus.

Hnací mechanizmus

Hnací mechanizmus sa skladá z jadra napätia a jadra prúdu.

Jadro napätia môže byť jednoduché (radiálne), ktoré je uložené radiálne vzhľadom na os otáčania, alebo dvojité (tangenciálne). Na jadre napätia je nasunutá napäťová cievka, ktorá má veľký počet závitov z tenkého drôtu (10 000 až 15 000 pre 220 V). Rozptylový tok, ktorý má spôsobiť ideálny fázový posun medzi Φ_U a Φ_I , sa dosahuje pomocou priečok, ktoré vytvárajú medzi jadrom napätia vzduchovú medzeru.

Do vzduchovej medzery sa potom vkladajú neferomagnetické pliešky, pomocou ktorých sa nastaví fázový posun.

Iný spôsob používa navinutie niekoľkých závitov nakrátko na jadro napätia, pričom ohmický odpor týchto závitov sa dá meniť pomocou skratovacej spojky. Jadro prúdu je dvojramenné (používa sa s tangenciálnym jadrom napätia).

Prúdová cievka s malým počtom závitov z hrubšieho drôtu je rozdelená na dve polovice; magnetický tok prechádza cez kotúč dvakrát.

Jadrá prúdu a napätia sú proti sebe priestorovo pootočené a v ich vzduchovej medzere je otočne uložený hliníkový kotúč. Pri malom zaťažení pôsobí proti momentu systému najmä trenie v ložiskách a počítacom strojčeku.

Preto sa kvôli ľahšiemu rozbehu používa tzv. desaťpercentné nastavovacie zariadenie. Jeden spôsob jeho realizácie spočíva v tom, že na jadro prúdu sa upevní jazýček, ktorý vytvorí prídavný pohybový moment. Aby sa kotúč neotláčal bez zaťaženia, musí mať nastavovacie zariadenie napríklad magnetický pliešok na oske.

Otáčavý mechanizmus

Otáčavý mechanizmus tvorí kotúč z hliníkového plechu s hrúbkou približne 1 mm, ktorý je uložený v ložiskách. Na hriadelí je tiež upevnený závitkový prevod na koliesko počítacieho strojčka.

Brzdiaci mechanizmus

Brzdiaci mechanizmus tvorí brzdiaci permanentný magnet, ktorý vytvára brzdný moment M_b od vírivých prúdov.

Zmenou polohy brzdiaceho magnetu (jeho posúvaním do stredu) sa nastavuje veľkosť hnacieho momentu. Ak zmena veľkosti hnacieho momentu posunom brzdiaceho magnetu nie je dostatočná, nastavuje sa jeho veľkosť zmenou šírky vzduchovej medzery medzi prúdovým a napäťovým jarom. Aby sa zabránilo chybnému zapojeniu elektromeru, a tam aj chybnej registrácií, majú svorkovnice všetkých elektromerov normalizované usporiadanie svoriek.

Na prvú svorku sa zapája fázový vodič (vstupná prúdová svorka).

Na druhú svorku (výstupná prúdová umiestnená medzi prúdovými svorkami, výstupná napäťová svorka je dvojitá a pripája sa na ňu nulový vodič.

Pri meraní spotreby elektrickej energie sú prúdové cievky zapojené do série so spotrebičom, napäťová cievka je trvale zapojená paralelne na sieťové napätie. Aby elektromer

nemeral aj vlastnú spotrebu napäťovej cievky, musí sa zapojiť pred prúdovú cievku na stranu zdroja. Dvojsystémový elektromer sa používa pre rovnomernú záťaž vo všetkých fázach, napr. v motorových vývodoch.

Jednofázové elektromery sa montujú zvyčajne v domácnostiach, trojfázové elektromery v závodoch. Jednofázové aj trojfázové elektromery môžu byť vyhotovené aj ako dvojsadzbové (pre denný a nočný odber). Dvojsadzbové elektromery majú normálne hnacie zariadenie s dvoma číselníkmi. Číselníky sú usporiadané tak, aby bol v činnosti vždy iba jeden. Jeden alebo druhý číselník prepína do záberu hodinový stroj, na ktorom je nastavený čas prepínania.

Metódy merania prúdu a napätia

Ak používame pri meraní zdroj, ktorý nie je regulovateľný, musíme na jeho reguláciu použiť regulačné prvky.

Najpoužívanejšie regulačné prvky sú regulačné rezistory, regulačné transformátory, autotransformátory a indukčné regulátory.

Na bežnú reguláciu sa najčastejšie používajú regulačné posuvné rezistory, ktoré používame na reguláciu jednosmerných prúdov a napätí a na reguláciu striedavých prúdov a napätí. Regulačné rezistory sú spravidla navinuté z jedného kusa odporového drôtu s konštantným prierezom. Drôt je navinutý na izolačnom valci. Konce odporového drôtu sa pripájajú na svorky. Regulačný rezistor má vyvedené tri svorky, z ktorých jedna je označená väčšinou písmenom J, alebo je červená. Na túto svorku sa pripája zberač, ktorým možno pohybovať vo vodorovnom smere po navinutom odporovom drôte, a tým meniť hodnotu odporu medzi zberačom a začiatkom, prípadne koncom odporového drôtu. To umožňuje zapojiť regulačný rezistor ako reostat alebo ako potenciometer. Pri používaní týchto rezistorov je dôležité neprekročiť ich prúdové zaťaženie, ktoré je na nich vyznačené výrobcom. Pri regulácií prúdu v širokom rozsahu zapájame do série dva regulačné rezistory, pričom odpory rezistorov volíme v pomere 1:5 až 1:10.

Rezistorom s väčšou hodnotou odporu regulujeme prúd nahrubo, presnú hodnotu nastavíme rezistorom s menšou hodnotou. Regulačné rezistory možno zapojiť aj paralelne; vtedy rezistorom s malou hodnotou regulujeme prúd nahrubo, presnú hodnotu prúdu nastavíme rezistorom s väčšou hodnotou. Toto zapojenie je výhodné pri regulácií prúdov väčších hodnôt. Pri regulácií napätia zapájame rezistory ako potenciometre. Tieto pracujú ako plynule regulovateľné deliče napätia. Jemnejšiu reguláciu napätia dosiahneme pomocou zapojenia dvoch potenciometrov, pomer odporov volíme asi 1:5. Dobré regulačné vlastnosti

dosiahneme aj kombináciou zapojenia potenciometra a reostatu. Treba si uvedomiť, že pri regulácii prúdu sa zároveň reguluje aj napätie a naopak, pretože obidve veličiny navzájom, úzko súvisia.

Na reguláciu striedavého napätia a prúdu možno použiť aj regulačné autotransformátory. Auto transformátory sa používajú aj v kombinácii s transformátorom. Pri použití samotného auto transformátora si treba uvedomiť, že tento nám galvanicky neoddeľuje meraný obvod, až potom napäťový obvod. Prúdový obvod od napäťového obvodu rozlišujeme v zapojení farbou vodičov alebo rôznymi typmi vodičov.

Prierezy vodičov zvolíme podľa veľkosti pretekajúceho prúdu a dovoleného úbytku napätia na vodičoch. Meracie prístroje rozmiestnime na laboratórnom stole tak, aby zapojenie bolo prehľadné. Pritom je účelné zoradiť meracie prístroje tak, ako sú zoradené v schéme zapojenia. Meracie prístroje, ktoré merajú regulovanú veličinu, zapájame do blízkosti regulačného prvku. Meracie prístroje citlivé na rušivé magnetické polia musíme umiestniť čo najďalej od zdrojov rušenia (transformátory, tlmivky a pod.). Pri zapájaní regulačných prvkov dodržíme určité zásady.

Regulačné transformátory a zariadenia, v ktorých sa veľkosť meranej veličiny nastavuje natáčaním, zapájame tak, aby sa natáčaním doprava veľkosť meranej veličiny zväčšovala. Ak používame na reguláciu posuvné rezistory, zapájame ich tak, aby sa regulovaná veličina (prúd alebo napätie) zväčšovala posúvaním zberača smerom k obsluhujúcej osobe. Preto rezistora s dvoma svorkami bolo bližšie k prednému okraju laboratórneho stola.

Meranie činných odporov

Pri meraní činných odporov sa stretávame s lineárnymi rezistormi, pri ktorých hodnota odporu nezávisí od veľkosti pripojeného napätia, prúdu, teploty a iných vplyvov, a s nelineárnymi rezistormi, pri ktorých hodnota odporu závisí od veľkosti pripojeného napätia.

Preto pri nelineárnych rezistoroch pri udaní hodnoty odporu treba vedieť aj veľkosť napätia, pri ktorom bol odpor nameraný, prípadne graficky vyjadriť závislosť odporu od napätia. Na meranie používame rôzne metódy, ktoré podľa použitých prístrojov rozdeľujeme na:

1. Výchylkové,

2. Nulové.

1. **Výchylkové** metódy môžu byť priame, pri ktorých výchylka ukazovateľa na stupnici prístroja ukáže veľkosť meranej veličiny (napr. voltmeter, ampérmeter), a nepriame, pri

ktorých sa veľkosť meranej veličiny určí výpočtom pomocou nameraných hodnôt (napr. odpor vypočítaný pomocou Ohmového zákona z nameraných hodnôt napätia a prúdu). Pri výchylkových metódach sa veľmi uplatňujú chyby meracích prístrojov, preto presnosť použitej metódy závisí od presnosti použitých meracích prístrojov.

2. **Nulové** metódy používajú na meranie vytvorenie určitých napätových a prúdových pomerov v obvode, pričom vytvorenie týchto pomerov sa kontroluje pomocou nulovej výchylky meracieho prístroja nazývaného nulový indikátor.

Veľkosť meraných odporov sa pohybuje vo veľmi širokom rozpätí (od 0,000 1 Ω do $10^6 \Omega$). Podľa veľkosti odporu volíme aj vhodnú meraciu metódu.

Meranie odporu uzemnenia

Uzemnenie je úmyselné vodivé spojenie živých alebo neživých častí so zemou. Podľa účelu môže byť:

1. ochranné- spojenie vodivých častí elektrického zariadenia alebo častí súvisiacich s elektrickým zariadením, ktoré nie sú súčasťou elektrického obvodu, so zemou za účelom ochrany pred nebezpečným dotykovým napätím;
2. pracovné- priame uzemnenie niektorej časti prúdového obvodu, napr. uzla transformátora, stredného vodiča v sieti, alebo nepriame uzemnenie cez vodiče prepätia v ľubovoľnom mieste siete, ktoré sa zriaďuje z dôvodu bezpečnosti prevádzky v rozvodnej sústave;
3. bleskozvodné- v podstate ochranné uzemnenie, ktoré však slúži ako ochrana voči účinku atmosférickej elektriny.

Pre jednotlivé uzemnenie predpisuje norma hodnoty uzemňovacích odporov, ktoré musíme po určitom čase kontrolovať, pretože vzrast hodnoty zemného odporu nad povolenú hodnotu môže spôsobiť v danom zariadení vážnu poruchu. Uzemnenie sa realizuje pomocou zemiča (kovové teleso uložené do zeme tak, aby vytvorilo vodivé spojenie so zemou). Pod pojmom odpor uzemnenia rozumieme súčet zemného odporu (odpor medzi zemničom a zemou) a odporu zemných zvodov, prípadne celého zemniaceho rozvodu. Vodivé spojenie elektrických obvodov alebo vodivých predmetov so zemou sprostredkujú uzemňovače. Uzemňovač je vodič alebo kombinácia vodičov pripojených na kovové teleso uložené do zeme tak, aby vytvorilo vodivé spojenie so zemou. Uzemňovače môžu byť vykonštruované alebo náhodné. Ich rozmery sú zanedbateľné v porovnaní s rozmermi zeme.

Celkový odpor zemniča závisí od jeho rozmerov, tvaru a od elektrických vlastností pôdy v jeho okolí. Zemnič musí mať čo najmenší odpor. Napätie v pôde okolo zemniča musí byť rozdelené tak, aby na povrchu pôdy nevznikali nebezpečné rozdiely potenciálov. Dosahujeme to predovšetkým vhodnými rozmermi zemniča a jeho usporiadaním. Prerušenie spojenia ochranného uzemnenia nie je zjavné v bežnej prevádzke. Až vtedy, keď dôjde ku skratu medzi živou a ochrannou časťou elektrického zariadenia, prípadne k zásahu bleskom, môže mať chybné uzemnenie vážne následky. Preto musíme odpor uzemnenia pravidelne merať v termínoch, ktoré udáva príslušná norma. Zemný odpor elektródy sa nedá priamo odmerať, pretože elektróda sa nedá osamostatniť. Meriame ho preto nepriamo. Používame na to pomocné elektródy, prúdovú a napäťovú. Pomocou prúdovej elektródy privádzame do obvodu zemniča meraný prúd, pomocou napäťovej sondy meriame napätie na zemniči.

Priebeh odporu a napätia rozdelený v okolí zemnej elektródy je znázornený napäťovým spádom v blízkosti zemnej elektródy. Napäťový spád je úmerný odporu zemnej elektródy. Pre praktické meranie z toho vyplýva, že elektródy musia byť umiestnené v takej vzdialenosti, v ktorej sa miesta napäťového spádu nedotýkajú ani nepretínajú. Napäťový spád sa vytvára tiež okolo napäťovej sondy. To znamená, že pre meraním musíme poznať tvar a polohu meraného zemniča. Takisto v priestore medzi zemničom, pomocnou prúdovou sondou a napäťovou sondou nesmú byť uložené zemi žiadne kovové predmety väčších rozmerov. Napäťový spád sa končí asi vo vzdialenosti 3- až 5-násobku najväčšieho rozmeru elektródy. Zemnič, pomocná sonda a pomocný zemnič môžu byť uložené v rade, vtedy musí napäťová sonda ležať medzi uzemňovačom a pomocnou prúdovou sondou. Usporiadanie môže byť aj v tvare rovnostranného trojuholníka. Pri meraní používame striedavý prúd, pretože pri použití jednosmerného prúdu vzniká prídavná chyba spôsobená polarizáciou elektród. Frekvenciu volíme takú, aby sme vylúčili vplyv blúdivých zemných prúdov, teda odlišnú od sieťovej frekvencie a jej násobkov. Na priame meranie uzemňovacích odporov možno použiť prenosný, priamo ukazujúci prístroj Terromet. Prístroj má pomerovú magnetoelektrickú sústavu. Zdroj prúdu je ručne poháňané jednosmerné dynamo.

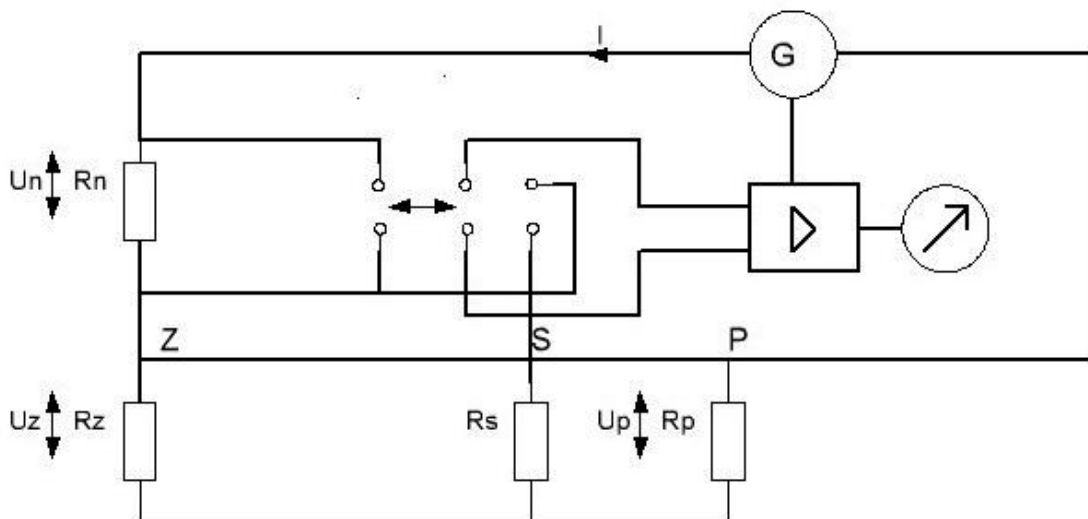
Pri otáčaní dynama sa súčasne otáčajú aj dva mechanické prepínače. Prvý prepínač mení jednosmerný prúd dynama na striedavý prúd, ktorý preteká zemou. Druhý prepínač mení striedavý prúd na jednosmerný prúd, čím sa zabráni vplyvu polarizačného napätia na meranie. Cievkami pomerového prístroja teda preteká iba jednosmerný prúd. Napäťová sonda musí byť pri meraní vzdialená od meraného uzemňovača minimálne 20 m, pomocná prúdová sonda minimálne 40 m. Pootáčaním kľuky dynama sa vychýli ručička prístroja a ukáže priamo hodnotu zemného odporu uzemňovača. Ak navzájom spojíme svorky pomocnej prúdovej

a napäťovej sondy, možno Terronet použiť ako priamo ukazujúci ohmmeter s rozsahom 0 až 100Ω. Modernejší prístroj na meranie zemných odporov je prístroj PU 430.

Dynamo je nahradené elektronickým generátorom, ktorý generuje signál s frekvenciou 135 Hz. Zemné odpory uzemňovača Z, pomocnej prúdovej sondy P a napäťovej sondy S sú znázornené tromi odpormi, ktoré spoločne nahradzujú pomery ideálnej zeme. Z generátora vyteká striedavý prúd I cez odpor R_n , uzemňovač s odporom R_z a cez pomocnú sondu s odporom R_p . Tento prúd vytvorí na odpore uzemňovača R_z úbytok napätia U_z , druhý pól sa meria sondou S. Meranie zemného odporu uzemňovača sa uskutočňuje pomocou porovnávacej metódy. Prúd I vytvára na odporoch R_n a R_z úbytok napätia.

$$U_n = I \cdot R_n$$

$$U_z = I \cdot R_z$$



Obr.2. Principiálna schéma prístroja PU 430 na meranie zemných odporov

Vyjadrením prúdu z prvého výrazu a dosadením do druhého dostaneme:

$$R_z = \frac{R_n}{U_n} \cdot U_z$$

Za predpokladu, že poznáme hodnotu I , môžeme merací prístroj na výstupe zosilňovača ociachovať priamo v hodnotách zemného odporu R_z .

Meranie odporov Ohm – metrami

Ohm metre sú prístroje na meranie odporov, ich stupnica je ciachovaná priamo v ohmoch. Sú to priamo ukazujúce prístroje vhodné na prevádzkové merania, majú obvykle vlastný zdroj napätia. Podľa systému meracieho prístroja ich rozdeľujeme na:

- ohm metre s magnetoelektrickým systémom,
- ohm metre s pomerovým magnetoelektrickým systémom.

Ohm metre s magnetoelektrickým systémom

Tieto ohm metre sa používajú na meranie stredných a veľkých odporov. Využívajú princíp voltmetrovej metódy. Zapojenie ohm metra je na obr. 3. Meraný odpor R_x zapojíme do série s voltmetrom a zdrojom napätia U . Voltmeter má vnútorný odpor R_v . V polohe 1 odmeriame voltmetrom napätie zdroja U . V polohe 2 je zapojený do série s voltmetrom meraný odpor R_x . Potom platí

$$\frac{U_x}{R_x} = \frac{U_v}{R_v}$$

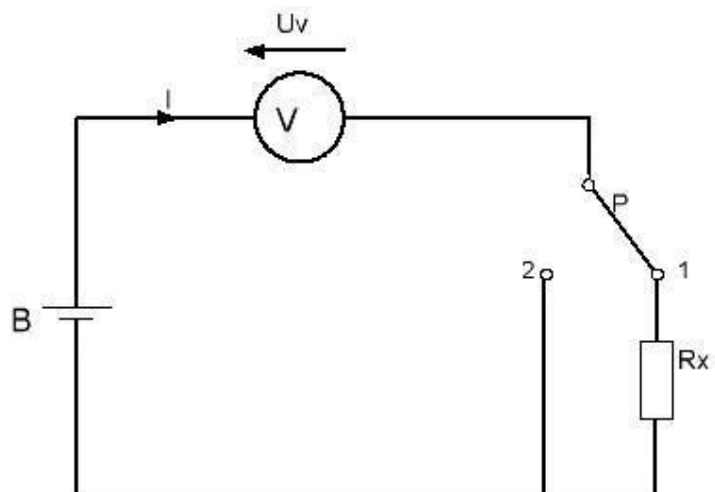
kde $U_x = U - U_v$

Obr.3.

Po dosadení za U_x dostaneme

$$\frac{U - U_v}{R_x} = \frac{U_v}{R_v}$$

a z toho platí pre R_x platí



$$R_x = R_v \cdot \left(\frac{U}{U_v} - 1 \right)$$

Z toho vyplýva, že ak poznáme hodnoty R_v , U a U_v , môžeme stupnicu voltmetra vyznačiť priamo v hodnotách R_x . Vyžadujeme zdroj s malým vnútorným odporom, aby sme mohli zanedbať voči R_x a R_v . Na meranie sú najvýhodnejšie rezistory, ktorých odpor je rádovo rovnaký ako vnútorný odpor voltmetra. Ako zdroj napätia U sa používajú obvykle suché články, pre ktoré sa nedá zaručiť konštantná hodnota napätia U . Preto sa skutočne zapojenie dopĺňa obvodom na vyrovnanie poklesu napätia sa používa magnetický bočník, ktorým sa mení citlivosť megnetoelektrického prístroja, alebo regulovateľný bočník zapojený paralelne k systému prístroja. Zmeny rozsahov ohm metra robíme prepínačom bočníc R_4 , R_5 a R_6 . Tieto sa zapájajú tiež paralelne k pôvodnému rozsahu ohm metra.

Pred meraním treba ohm metre správne nastaviť. Ak ručička neukazuje v pokoji nulovú výchylku, nastavíme ju korekčnou skrutkou. Potom pri skratovaných svorkách zvoleného meracieho rozsahu nastavíme bočníkom nulovú polohu ručičky. Ak sa to nepodarí, kde batéria vybitá a treba ju vymeniť. Pribeh stupnice je nelineárny, na ľavom okraji stupnice je maximálna hodnota odporu, na pravom okraji minimálna hodnota.

Ohm metre s pomerovým magnetoelektrickým systémom

Medzi pólovými nástavcami permanentného magnetu sa pomocou oválneho jadra vytvára vzduchová medzera, ktorá je najužšia vo vodorovnej osi, po obidvoch stranách osi sa potom rozširuje. Preto je hustota magnetického toku vo vodorovnej vzduchovej medzere najväčšia a znižuje sa so vzrastajúcim magnetickým odporom rozširujúcej sa vzduchovej medzery. Vo vzduchovej medzere sa otočne uložené dve cievky, navzájom pevne spojené a pripevnené na polos. Cievky navzájom zvierajú vzhľadom na zvislú os uhol väčší ako $\pi/2$. Na poloskách sú tiež izolovane pripevnené prírodné pružiny a ručička. Pružiny však nemajú direktívny moment, preto ak nie sú cievky napájané prúdom, otočná časť sústavy je v ľubovoľnej polohe. Obidve cievky sú paralelne zapojené na jednosmerný zdroj U , jedna cez porovnávací odpor R_n , druhá cez meraný odpor R_x . Zapnutím vypínača V_1 začnú cievkami pretekať prúdy. V obidvoch cievkach vzniknú krútiace momenty v závislosti od pretekajúcich prúdov a od hustoty magnetického poľa, v ktorom sa cievky práve nachádzajú. Cievka C_1 je zapojená tak, že jej krútiaci moment pôsobí proti krútiacemu momentu cievky C_2 . Väčší krútiaci moment pôsobí na otočnú časť tak, že cievka s väčším momentom dostáva do slabšieho magnetického poľa a jej moment sa znižuje. Naopak cievka s menším momentom sa dostáva do silnejšieho magnetického poľa a jej moment vzrastá. Keď sa momenty vyrovnajú, otáčanie sa

zastaví a ručička bude na stupnici ukazovať veľkosť meraného odporu R_x . Pre prúdy v cievkach a pre výchylku platí

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = f\left(\frac{R_n + R_{c2}}{R_x + R_{c1}}\right)$$

Ak predpokladáme, že $R_x \gg R_{c1}$ a $R_n \gg R_{c2}$, odpory cievok môžeme zanedbať a potom platí

$$\alpha = f\left(\frac{R_n}{R_x}\right)$$

a výchylka ohm metra je

$$\alpha = f\left(\frac{1}{R_x}\right)$$

Cievka teda natočí ručičku do polohy, ktorá je pre konštantnú hodnotu R_n úmerná hodnote odporu R_x .

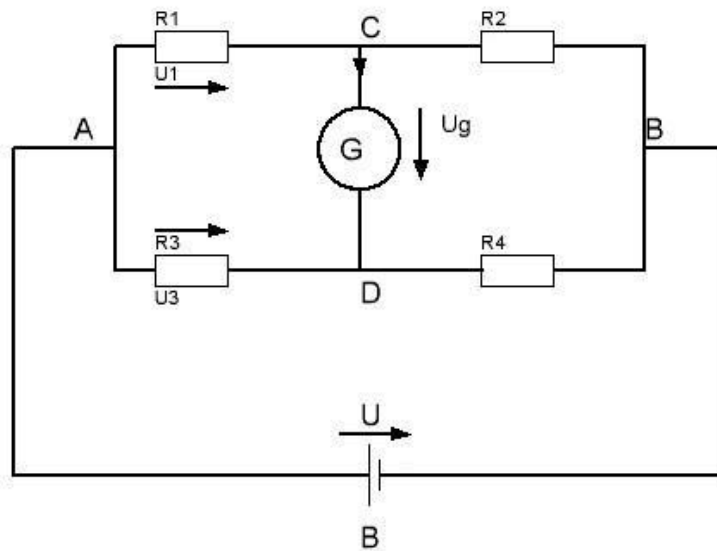
Nulové metódy merania odporov

Nulové metódy využívajú merací prístroj ako indikátor rovnovážneho stavu. Rovnovážny stav je podmienený splnením určitých prúdových a napäťových pomerov v danom zapojení. Hodnota meraného odporu sa potom vypočíta z hodnôt pasívnych súčiastok v danom zapojení. Vplyv presnosti meracieho prístroja na presnosť výsledku merania je vylúčený. Presnosť výsledkov merania je ovplyvnená najmä citlivosťou meracieho prístroja použitého ako indikátor, časovou stálosťou jeho nulovej polohy, presnosťou použitých súčiastok v zapojení a veľkosťou prúdu v obvode. Zapojenie jednoduchého štvoramenného mostíka je na obr. 4. Zapojenie obsahuje štyri ramená, indikátor nuly a zdroj prúdu B. Indikátor nuly (galvanometer G) sa zapája do jednej uhlopriečky a zdroj prúdu do druhej uhlopriečky mostíka. Mostík je vyvážený vtedy, keď cez nulový indikátor nepreteká prúd ($I_G=0$). Vtedy bez ohľadu na napätie zdroja U aj $U_{CD}=0$. Podľa II. Kirchhoffovho zákona platí pre slučku A, C, D

$$U_1 + U_G - U_3 = 0$$

Z toho

$$U_G = U_3 - U_1$$



Obr.4

Pre $I_G = 0$ platí

$$I_1 = I_2$$

$$I = I$$

$$U_{AC} = I_1 \cdot R_1$$

$$U_{AD} = I_3 \cdot R_3$$

$$U_{CB} = I_2 \cdot R_2 = I_1 \cdot R_2$$

$$U_{DB} = I_4 \cdot R_4 = I_3 \cdot R_4$$

Pretože $U_1 = U_{AC}$ a $U_3 = U_{AD}$, môžeme pre $U = 0$ vzťah (6.17) upraviť na tvar

$$I_1 \cdot R_1 = I_3 \cdot R_3$$

$$I_1 \cdot R_2 = I_3 \cdot R_4$$

Ak porovnáваме rovnice (6.18), dostaneme

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Uzemnenie je úmyselné vodivé spojenie živých alebo neživých častí so zemou. Podľa účelu môže byť:

- a. ochranné – spojenie vodivých častí elektrického zariadenia alebo častí súvisiacich s elektrickým zariadením, ktoré nie sú súčasťou elektrického obvodu, so zemou za účelom ochrany pred nebezpečným dotykovým napätím;
- b. pracovné- priame uzemnenie niektorej časti prúdového obvodu, napr. uzla transformátora, stredného vodiča v sieti, alebo nepriame uzemnenie cez vodiče prepätia v ľubovoľnom mieste siete, ktoré sa zriaďuje z dôvodu bezpečnosti prevádzky v rozvodnej sústave;
- c. bleskozvodné- v podstate ochranné uzemnenie, ktoré však slúži ako ochrana voči účinku atmosférickej elektriny. Pre jednotlivé uzemnenia predpisuje hodnoty uzemňovacích odporov, ktoré musíme po určitom čase kontrolovať, pretože vzrast hodnoty zemného odporu nad povolenú hodnotu môže spôsobiť v danom zariadení vážnu poruchu. Uzemnenie sa realizuje pomocou zemniča (kovové teleso uložené do zeme tak, aby vytvorilo vodivé spojenie so zemou).

Pod pojmom odpor uzemnenia rozumieme súčet zemného odporu (odpor medzi zemničom a zemou) a odporu zemných zvodov, prípadne celého zemniaceho rozvodu.

Vodivé spojenie elektrických obvodov alebo vodivých predmetov so zemou spostredkujú uzemňovače. Uzemňovač je vodič alebo kombinácia vodičov pripojených na kovové teleso uložené do zeme tak, aby vytvorilo vodivé spojenie so zemou. Uzemňovače môžu byť vykonštruované alebo náhodné. Ich rozmery sú zanedbateľné v porovnaní s rozmermi zeme. Celkový odpor zemniča závisí od jeho rozmerov, tvaru a od elektrických vlastností pôdy v jeho okolí. Zemnič musí mať čo najmenší odpor. Napätie v pôde okolo zemniča musí byť rozdelené tak, aby na povrchu pôdy nevznikali nebezpečné rozdiely potenciálov. Dosahujeme to predovšetkým vhodnými rozmermi zemniča a jeho usporiadaním.

Prerušenie spojenia ochranného uzemnenia nie je zjavné v bežnej prevádzke. Až vtedy, keď dôjde ku skratu medzi živou a ochrannou časťou elektrického zariadenia, prípadne k zásahu bleskom, môže mať chybné uzemnenia vážne následky. Preto musíme odpor uzemnenia pravidelne merať v termínoch, ktoré udáva príslušná norma. Zemný odpor elektródy sa nedá priamo odmerať, pretože elektróda sa nedá osamostatniť. Meriame ho preto nepriamo.

Používame na to pomocné elektródy, prúdovú a napät'ovú. Pomocou prúdovej elektródy privádzame do obvodu zemniča meraný prúd, pomocou napät'ovej sondy meriame napätie na zemniči. Priebeh odporu a napätia rozdelený v okolí zemnej elektródy je znázornený napät'ovým spádom v blízkosti zemnej elektródy. Napät'ový spád je úmerný odporu zemnej elektródy.

Pre praktické meranie z toho vyplýva, že elektródy musia byť umiestnené v takej vzdialenosti, v ktorej sa miesta napät'ového spádu nedotýkajú ani nepretínajú. Napät'ový spád sa vytvára tiež okolo napät'ovej sondy. To znamená, že pred meraním musíme poznať tvar a polohu meraného zemniča. Takisto v priestore medzi zemničom, pomocnou prúdovou sondou a napät'ovou sondou nesmú byť uložené v zemi žiadne kovové predmety väčších rozmerov.

Napät'ový spád sa končí ako vo vzdialenosti 3 – až 5 – násobku najväčšieho rozmeru elektródy. Zemnič, pomocná sonda a pomocný zemnič môžu byť uložené v rade, vtedy musí napät'ová sonda ležať medzi uzemňovačom a pomocnou prúdovou sondou. Usporiadanie môže byť aj v tvare rovnostranného trojuholníka.

Pri meraní používame striedavý prúd, pretože pri použití jednosmerného prúdu vzniká prídavná chyba spôsobená polarizáciou elektród.

Frekvenciu volíme takú, aby sme vylúčili vplyv budivých zemných prúdov, teda odlišnú od sieťovej frekvencie a jej násobkov.

Na priame meranie uzemňovacích odporov možno použiť prenosný, priamo ukazujúci prístroj **Terromet**. Prístroj má pomerovú magnetoelektrickú sústavu. Zdroj prúdu je ručne poháňané jednosmerné dynamo.

Pri otáčaní dynama sa súčasne otáčajú aj dva mechanické prepínače. Prvý prepínač mení jednosmerný prúd dynama na striedavý prúd, ktorý preteká zemou. Druhý prepínač mení striedavý prúd na jednosmerný prúd, čím sa zabráni vplyvu polarizačného napätia na meranie.

Cievkami pomerového prístroja teda preteká iba jednosmerný prúd. Napät'ová sonda musí byť pri meraní vzdialená od meraného uzemňovača minimálne 20 m, pomocná prúdová sonda minimálne 40 m. Pootáčaním kľuky dynama sa vychýli ručička prístroja a ukáže priamo hodnotu zemného odporu uzemňovača. Ak navzájom spojíme svorky pomocnej prúdovej a napät'ovej sondy, možno Terromet použiť ako priamo ukazujúci ohm meter s rozsahom 0 až 100 Ω .

Modernejší prístroj na meranie zemných odporov je prístroj PU 430. Dynamo je nahradené elektronickým generátorom, ktorý generuje signál s frekvenciou 135 Hz. Zemné odpory uzemňovača Z, pomocnej prúdovej sondy P a napät'ovej sondy S sú znázornené troma odpormi, ktoré spoločne nahrádzajú pomery ideálnej zeme. Z generátora vyteká striedavý prúd I cez odpor R_n , uzemňovač s odporom R_z a cez pomocnú sondu s odporom R_p . Tento prúd vytvorí na odpore uzemňovača R_z úbytok napätia U_z , druhý pól sa meria sondou S. Meranie zemného odporu uzemňovača sa uskutočňuje pomocou porovnávacej metódy. Prúd I vytvára na odporoch R_n a R_z úbytok napätia.

Meranie izolačného odporu elektrických strojov

Pri meraní izolačného odporu netočivých strojov sa musia dodržiavať tieto zásady:

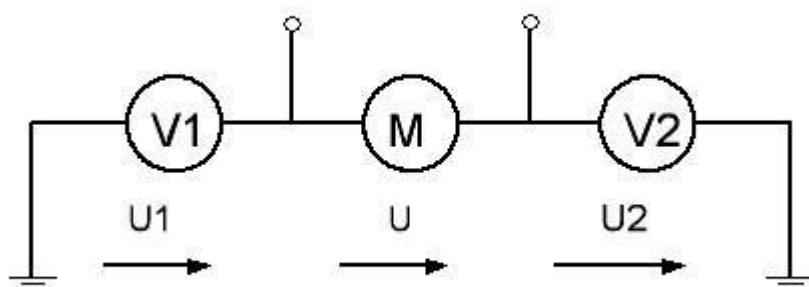
- izolačný odpor sa meria meracím prístrojom izolácie s napätím 500, 1 000, 2 500, 5 000 alebo 10 000 V,
- nesmie sa použiť merací prístroj izolácie s vyšším napätím, ako je polovica skúšobného napätia meraného vinutia,
- pre vinutia vvn sa použije merací prístroj izolácie s napätím najmenej 2 500 V; meraním izolačného odporu sa zisťuje veľkosť odporu medzi jednotlivými vinutiami a medzi vinutím a uzemnenými časticami stroja,
- v olejových transformátoroch sa izolačný odpor meria vždy za studena počas 1 minúty, odčíta sa po 15 a 60 sekundách; jeho hodnota na novom nepripojenom transformátore, meraná pri teplote okolia $20 \pm 5^\circ\text{C}$, musí byť $R_{iz} = 3 \cdot U(\text{M}\Omega; \text{kV})$ kde U je menovité napätie siete,
- pri transformátoroch v prevádzke nesmie izolačný odpor klesnúť pod hodnotu $R_{iz} = U$; pred meraním izolačného odporu sa odporúča, aby merané vinutie bolo uzemnené najmenej 2 minúty.

Pri meraní izolačného odporu točivých strojov platia pre jednotlivé meracie metódy tieto zásady:

- pri meraní meracím prístrojom izolácie sa používa prístroj s napätím 100, 500, 1 000, 2 500 alebo 5 000 V,
- stroje s menovitým napätím do 500 V sa skúšajú meracím prístrojom izolácie s napätím najmenej 1 000 V,
- napätie meracieho prístroja izolácie nikdy nesmie byť vyššie ako skúšobné napätie skúšaného stroja,
- pri meraní Wheatstonovým mostíkom možno merať len izolačné odpory do 0,1 M Ω ,
- izolačný odpor neuzemnených vinutí počas prevádzky možno merať v zapojení podľa obr.5. izolačný odpor sa vypočíta vo vzťahu

$$R_{iz} = R_v \cdot \left(\frac{U}{U_1 + U_2} - 1 \right) \quad (\text{M}\Omega; \text{M}\Omega, \text{V}, \text{V}, \text{V})$$

(použitý voltmeter má mať čo najväčší vnútorný odpor, minimálne 1 000 Ω na 1 V rozsahu.



Obr.5.

Meranie vlastností monolitických integrovaných obvodov

Monolitické integrované obvody majú na spoločnej kremíkovej platničke s rozmermi 1,5 x 3 x 0,8 mm súčiastky a spoje zhotovené epitaxne planárnou technológiou. Jednotlivé funkčné prvky sú navzájom prepojené naparenou hliníkovou vrstvou, ktorá je na povrchu alebo v otvoroch pasivačnej vrstvy z SiO₂. Izoláciu medzi funkčnými oblasťami prvkov zabezpečujú planárnou technológiou zhotovené priechody PN, ktoré sú vonkajším napájacím zdrojom polarizované v spätnom smere. Podľa oblasti použiteľnosti rozdeľujeme integrované obvody na lineárne (sú to najmä zosilňovače) a číslicové (tieto obsahujú niekoľko členov, príp. celý obvod).

Meranie vlastností lineárnych integrovaných obvodov

Meranie základných parametrov operačných zosilňovačov

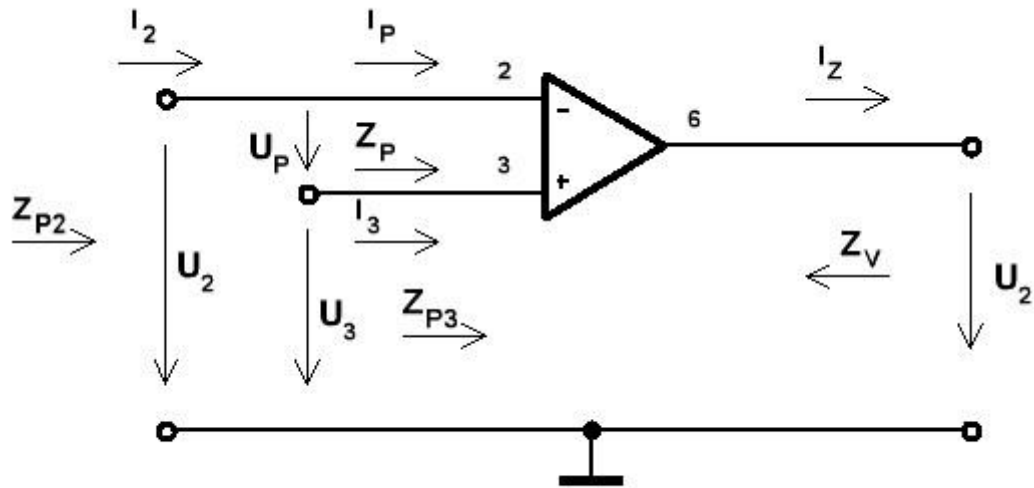
Operačný zosilňovač sa svojimi elektrickými vlastnosťami (veľký vstupný odpor, malý výstupný odpor, veľké zosilnenie, malý teplotný drift) pri určitých aplikáciách približuje k ideálnemu zosilňovaču. Tieto vlastnosti operačného zosilňovača spolu s vysokou spoľahlivosťou a nízkou cenou ho predurčujú na použitie ako univerzálny stavebný prvok v obvodoch oznamovacej, meracej a výpočtovej techniky.

Z obvodového hľadiska možno operačný zosilňovač definovať ako aktívny prvok, ktorý má najmenej tri vývody a spoločnú zem. Má dva vstupy; jeden natáča fázu vstupného napätia vzhľadom na výstupné napätie (označuje sa znamienkom – a nazýva sa invertujúci vstup), druhý vstup nenatáča fázu vstupného napätia (označuje sa znamienkom + a nazýva sa neinvertujúci vstup). Operačný zosilňovač sa napája z dvoch samostatných zdrojov opačných polarít (symetrický zdroj), pričom druhé póly zdrojov sú spojené so spoločnou zemou.

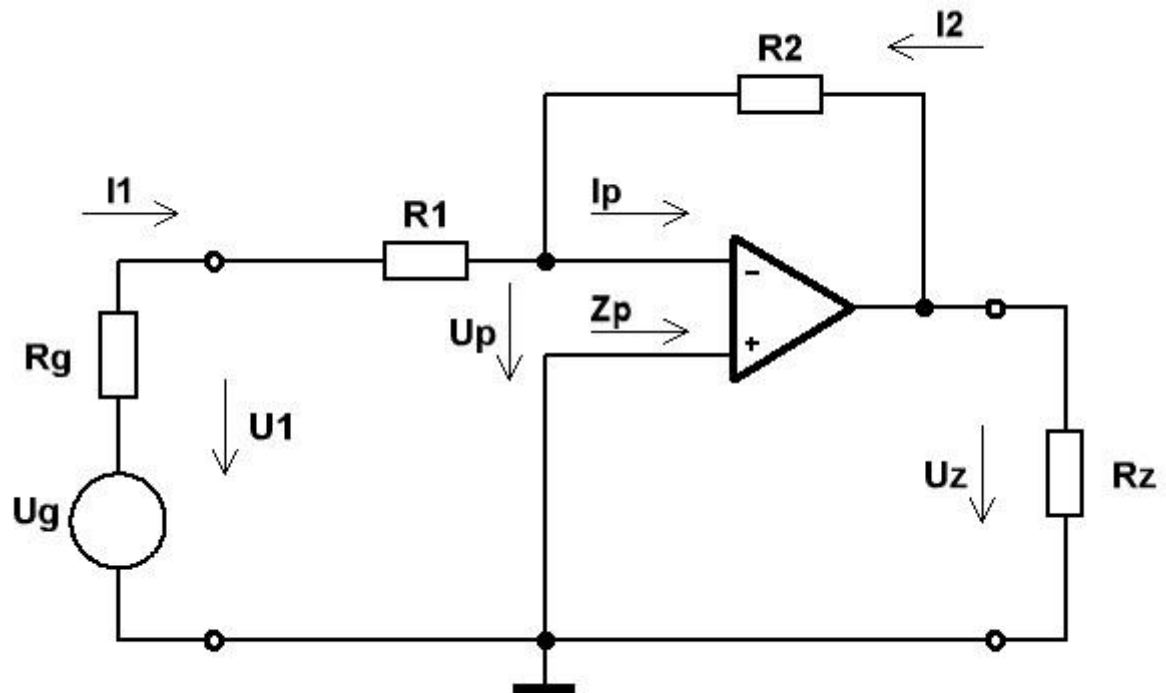
Svojou podstatou predstavuje operačný zosilňovač diferenciálny zosilňovač; zosilňuje iba rozdiel potenciálov obidvoch vstupov a potláča každý jednosmerný alebo striedavý signál, ktorý je spoločný pre obidva vstupy. Platí, že ak $U_2 = U_3$ (obr.6.), tak $U_z = 0$. Pre ideálny operačný zosilňovač platí: $U_p = U_2 - U_3$, $I_2 = -I_3$, a $U_z = -A_0 U_p$, kde A_0 je napät'ové zosilnenie bez spätnej väzby. Pre ideálny operačný zosilňovač ďalej platí: $A_0 = \infty$, vstupná impedancia $Z_p = \infty$. Znamená to, že vstupný prúd do rozdielového zosilňovača $I_p = 0$ a budiaci príkon $P_p = 0$, $Z_v = 0$. Operačný zosilňovač však môže pracovať ako zosilňovač iba vtedy, ak zavedieme vonkajšiu spätnú väzbu.

Pôsobením zápornej spätnej väzby (obr.7.) sa časť výstupného signálu privedie späť na vstup a plne kompenzuje vstupné napätie ($U_p = 0$). Preto pre operačný zosilňovač platí

$$I_1 + I_2 = \frac{U_1 - U_p}{R_1} + \frac{U_2 - U_p}{R_2} - I_p$$



Obr.6.



Obr.7.

Pre ideálny operačný zosilňovač však platí $I_p = 0$, $U_p = 0$ preto

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_z}{R_2} = 0$$

a teda

$$A_u = -\frac{U_z}{U_1} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Napät'ové zosilnenie ideálneho operačného zosilňovača so spätnou väzbou závisí iba od pomeru spätnoväzbového odporu R_2 a predradeného odporu R_1 .

Operačný zosilňovač reaguje iba na signál pripojený medzi vstupné svorky + a -. Ak pripojíme signál medzi jednu zo vstupných svoriek a zem, druhú svorku musíme spojiť so zemou, aby sa signál uzatvoril vstupnými svorkami zosilňovača. Vstupné obvody ideálneho operačného zosilňovača nie sú ovplyvňované napájacím zdrojom. Ak skratujeme vstupné svorky alebo ak k nim pripojíme ľubovoľnú impedanciu na zem, výstupné napätie ostáva nulové. Pretože reálny operačný zosilňovač sa k ideálnemu iba približuje, výstupné napätie nezávisí iba od rozdielu napätí $U_p = U_2 - U_3$, ale aj od veľkosti budiaceho signálu. Preto sa napät'ové zosilnenie A_u definuje ako pomer výstupného napätia signálu k vstupnému signálu. Treba však rozlišovať napät'ové zosilnenie so spätnou väzbou A_u a napät'ové zosilnenie bez spätnej väzby. Vzťah medzi A_0 a A_u reálneho zosilňovača definuje súčiniteľ potlačenia súčtového signálu

$$H = \frac{A_0}{A_u}$$

a miera potlačenia sufázového signálu

$$h = 20 \log \frac{A_0}{A_u} \quad (\text{dB})$$

Pod A_u rozumieme sufázové zosilnenie ako pomer výstupného napätia k vstupnému napätiu, ktoré privádzame s rovnakou amplitúdou a fázou súčasne na obidva vstupy. Pre reálny operačný zosilňovač tiež neplatí vzťah $I_p = 0$. Existujú dva nezávislé zdroje vstupného prúdu, aj keď vstupný signál je nulový ($U_g = 0$). Je to vstupný pokojový prúd I_0 a napät'ová nesymetria vstupov U_{10} . Ich veľkosť závisí od technologického vyhotovenia operačného zosilňovača. Vstupný pokojový prúd I_0 sa prejavuje rušivo iba vtedy, ak medzi vstupnými svorkami a zemou je zapojený rezistor alebo kondenzátor. Je teplotne závislý. Podľa jeho veľkosti sa posudzuje kvalita operačného zosilňovača.

Napät'ová nesymetria vstupov U_{10} závisí od veľkosti napájacieho napätia U_B , od zosilnenia a najmä od toho, či sú obidva vstupy operačného zosilňovača vyrobené úplne rovnako. Napätie $U_{10} = U_2 - U_3$, ak $U_z = 0$. Toto napätie musíme priviesť na vstupné svorky operačného zosilňovača, aby bolo jednosmerné napätie na výstupe nulové. Toto napätie sa v operačných zosilňovačoch kompenzuje vonkajším zdrojom.

Meranie napät'ového zosilnenia pri otvorenej slučke spätnej väzby

Napät'ové zosilnenie pri otvorenej slučke spätnej väzby A_u je definované ako pomer výstupného a vstupného signálu pri predpísanej záťaži, napájacom napätí, frekvencii, teplote a neskreslenom výstupnom signáli.

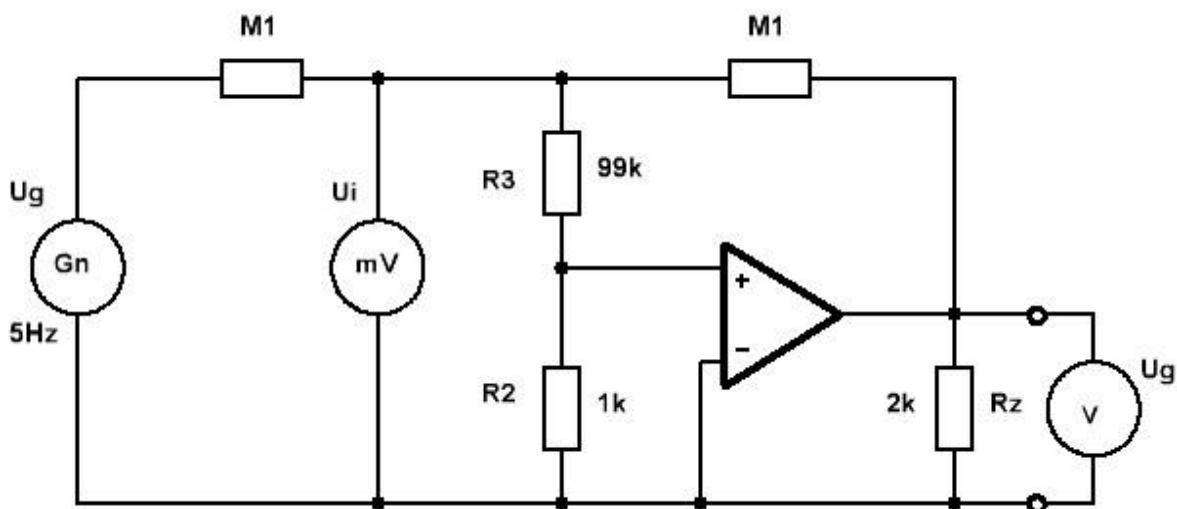
Pri meraní postupujeme tak, že signál z generátora nastavíme na takú úroveň, aby na výstupe bol rozkmit výstupného napätia $U_0 = \pm 10 \text{ V}$ pri napájacom napätí $U_{cc} = \pm 15 \text{ V}$ a zaťažovacom rezistore $R_z = 2 \text{ k}\Omega$. Ako výstupný voltmeter V použijeme nízkočfrekvenčný voltmeter so vstupným odporom minimálne $10 \text{ M}\Omega$.

Ak voltmeter má stupnicu ciachovanú v efektívnej hodnote, výstupné napätie nastavíme na hodnotu $U = 7,07 \text{ V}$, čo zodpovedá rozkmitu $\pm 10 \text{ V}$. Pretože zosilnenie A_0 sa pre daný operačný zosilňovač pohybuje v rozpätí 10^4 až 10^5 , nemôžeme použiť jednoduchú metódu merania v zmysle definície (roz kmit výstupného napätia by prekročil veľkosť napájacieho napätia a zosilňovač by sa stal nestabilným). Preto sa meria v zapojení podľa obr. 8.

kde je operačný zosilňovač zapojený so slučkou zápornej spätnej väzby, ale činiteľ spätnej väzby sa rovná 1. Na invertujúcom vstupe sa napätie U_1' delí deličom R_2, R_3 v pomere 1 : 100, takže platí $U_1 = U_1' : 100$. Potom pre zosilnenie A_u platí

$$A_u = \frac{U_o}{U_1} = 100 \cdot \frac{U_o}{U_1'}$$

Budiacie napätie má mať čo najnižšiu frekvenciu (5 Hz), aby sme sa čo najviac priblížili k jednosmerným pomerom. Vnútorý odpor generátora nesmie presiahnuť hodnotu $1 \text{ k}\Omega$. Použité rezistory majú mať toleranciu 0,5 %.



Obr.8.

Meranie vlastností číslicových integrovaných obvodov

Číslicové alebo logické obvody sú konštruované tak, že pracujú iba s dvoma možnými stavmi. Možno teda rozlíšiť iba dve hodnoty signálu alebo dva čiastkové rozsahy jeho hodnôt, ku ktorým možno priradiť informáciu. Za týchto podmienok možno použiť dvojkovú číselnú sústavu a informácie obsiahnuté v signáli spracovať s použitím dvojkových logických operácií. V zariadeniach číslicovej techniky, ktoré využívajú dvojkovú sústavu, sa teda pracuje so signálom, ktorý má iba dva stavy. Vstupy a výstupy číslicových integrovaných obvodov môžu nadobudnúť iba dva možné stavy (pod napätím – bez napätia je prúd – nie je prúd). Číslicový integrovaný obvod ako logický člen alebo obvod spracúva vstupné informácie vo forme logických premenných na logickú funkciu na výstupe. Táto logická operácia, ktorú vykonáva číslicový integrovaný obvod, využíva zákonitosti algebry. Najčastejšie sa používa Boolova algebra, kde úplný systém základných funkcií tvoria: logický súčet, logický súčin a negácia.

V Boolovej algebre jednou zo základných funkcií je logický súčin AND, definovaný tak, že funkcia nadobúda hodnotu logická 1 vtedy a len vtedy, ak každá nezávisle premenná tejto funkcie nadobúda hodnotu logická 1. Nezávisle premenná môže nadobudnúť iba dve hodnoty, ktoré označujeme ako hodnota logická 1 a logická 0. Druhou základnou logickou funkciou je logický súčet OR (alebo), definovaný tak, že funkcia nadobúda hodnotu logická 1, ak má aspoň jedna nezávisle premenná hodnotu logická 1. Poslednou základnou logickou funkciou je negácia INVERT, definovaná tak, že funkcia nadobúda hodnotu logická 1, ak hodnota nezávisle premennej je logická 0 a naopak. Okrem základných logických funkcií používame aj zložené logické funkcie. Tieto však možno rozložiť na základné logické funkcie. Najčastejšie sa používajú nasledujúce zložené logické funkcie.

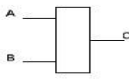
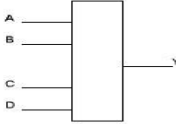
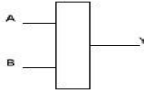
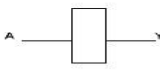
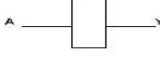
NAND – negácia logického súčinu. Funkcia nadobúda hodnotu logická 1, ak má aspoň jedna nezávisle premenná tejto funkcie hodnotu logická 0.

NOR – negácia logického súčtu. Hodnota funkcie je 1, ak má každá nezávisle premenná tejto funkcie hodnotu logická 0.

EXCLUSIVE-OR – nonekvivalencia. Funkcia nadobúda hodnotu logická 1 vtedy a len vtedy, ak jedna nezávisle premenná tejto funkcie je logická 1 a druhá nezávisle premenná tejto funkcie je logická 0.

IF – ak. Funkcia nadobúda hodnotu logická 1 vtedy a len vtedy, ak sú hodnoty nezávisle premenných tejto funkcie súčasne logická 1 alebo logická 0.

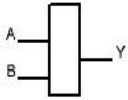
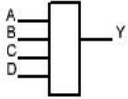
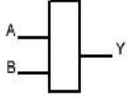
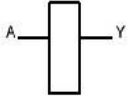
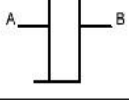
Logické schémy, logické funkcie a pravdivostné tabuľky základných logických členov a niektorých zložených logických členov sú v tab. 1 a tab. 2. Pravdivostná tabuľka jednoznačne stanovuje hodnotu funkcie pre všetky možné kombinácie vstupných hodnôt nezávisle premenných.

LOGICKÁ FUNKCIA	LOGICKÁ SCHÉMA	PRAVDIVOSTNÁ TABUĽKA																																																																																					
LOGICKÝ SÚČIN $Y = A \cdot B$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1																																																																						
A	B	Y																																																																																					
0	0	0																																																																																					
1	0	0																																																																																					
0	1	0																																																																																					
1	1	1																																																																																					
LOGICKÝ SÚČIN $Y = A \cdot B \cdot C \cdot D$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	C	D	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
A	B	C	D	Y																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																			
0	0	0	1	0																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																			
0	0	1	1	0																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																			
0	1	1	0	0																																																																																			
0	1	1	1	0																																																																																			
1	0	0	0	0																																																																																			
1	0	0	1	0																																																																																			
1	0	1	0	0																																																																																			
1	0	1	1	0																																																																																			
1	1	0	0	0																																																																																			
1	1	0	1	0																																																																																			
1	1	1	0	0																																																																																			
1	1	1	1	1																																																																																			
LOGICKÝ SÚČET $Y = A + B$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	C	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1																																																																						
A	B	C																																																																																					
0	0	0																																																																																					
1	0	1																																																																																					
0	1	1																																																																																					
1	1	1																																																																																					
NEGÁCIA $Y = \bar{A}$	 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	Y	0	1	1	0																																																																															
A	Y																																																																																						
0	1																																																																																						
1	0																																																																																						

tab. 1

Polovodičové prvky n. p. Tesla Rožnov, kremíkové planárne epitaxné obvody TTL radu MH 74, umožňujú realizáciu všetkých základných logických operácií. Sústava obvodov, ktorá sa skladá z niekoľkých hradiel, je vytvorená na jednej kremíkovej platničke a zapuzdrená v puzdre z plastu so 14 alebo 16 vývodmi. Všetky logické integrované obvody pracujú s dvojkovou sústavou v pozitívnej logike, t. j. sú citlivé iba na dva druhy signálov. Hodnota logická 1 predstavuje vstupný signál $U_1 \geq 2 \text{ V}$, ktorý nesmie byť väčší ako napájacie napätie U_{cc} (typická hodnota $3 \text{ V} \leq U_1 \leq 4 \text{ V}$). Hodnote logická 0 zodpovedá signál $U_1 = 0$ až $0,8 \text{ V}$.

Typickou vlastnosťou všetkých logických integrovaných obvodov je, že hradlá nereagujú na iné amplitúdy vstupných signálov. Výstupný signál U_0 má pri hodnote logická 0 hodnotu $U_0 = 0,4 \text{ V}$ a pri hodnote logická 1 hodnotu $U_0 \geq 2,5 \text{ V}$. Pri číslicových integrovaných obvodoch meriame množstvo parametrov, ktoré rozdeľujeme na statické a dynamické.

LOGICKÁ FUNKCIA	LOGICKÁ SCHÉMA	PRAVDIVOSTNÁ SCHÉMA																																																																																					
LOGICKÝ SÚČIN $Y = A \cdot B$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1																																																																						
A	B	Y																																																																																					
0	0	0																																																																																					
1	0	0																																																																																					
0	1	0																																																																																					
1	1	1																																																																																					
LOGICKÝ SÚČIN $Y = A \cdot B \cdot C \cdot D$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	C	D	Y	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
A	B	C	D	Y																																																																																			
0	0	0	0	0																																																																																			
0	0	0	1	0																																																																																			
0	0	1	0	0																																																																																			
0	0	1	1	0																																																																																			
0	1	0	0	0																																																																																			
0	1	0	1	0																																																																																			
0	1	1	0	0																																																																																			
0	1	1	1	0																																																																																			
1	0	0	0	0																																																																																			
1	0	0	1	0																																																																																			
1	0	1	0	0																																																																																			
1	0	1	1	0																																																																																			
1	1	0	0	0																																																																																			
1	1	0	1	0																																																																																			
1	1	1	0	0																																																																																			
1	1	1	1	1																																																																																			
LOGICKÝ SÚČET $Y = A + B$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	A	B	Y	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1																																																																						
A	B	Y																																																																																					
0	0	0																																																																																					
1	0	1																																																																																					
0	1	1																																																																																					
1	1	1																																																																																					
NEGÁCIA $Y = \bar{A}$	 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>A</th> <th>Y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	A	Y	0	1	1	0																																																																															
A	Y																																																																																						
0	1																																																																																						
1	0																																																																																						

tab. 2

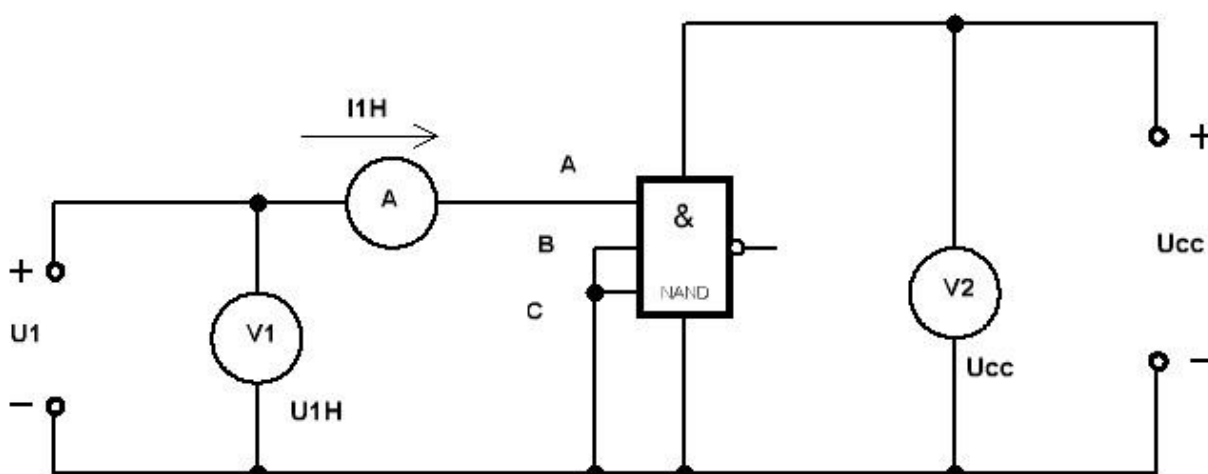
Merania statických parametrov číslicových integrovaných obvodov

Ako príklad merania statických parametrov číslicových integrovaných obvodov uvádzame meranie niektorých základných jednosmerných parametrov trojvstupového pozitívneho logického člena NAND, ktorý realizuje funkciu negovaného logického súčinu $Y = A \cdot B \cdot C$.

Meranie vstupného prúdu pre logický signál 1 (I_{IH}) a 0 (I_{IL})

Obidva prúdy meriame pri najväčšom prístupnom napätí zdroja U_{CC} , pre obvody radu MH 74 je to 5,25 V. Na ostatných vývodoch pri meraní vytvoríme najnepriaznivejšie podmienky, t. j. pripojíme ich na logický signál opačnej hodnoty, ako má meraný vstup. Vstupný prúd I_{IH} pre logický signál 1 je najväčší prúd, ktorý môže pretekať vstupom do obvodu, ak vstupné napätie má hodnotu log 1, teda $U_{IH} = 2,4$ až 5,5 V. Meriame v zapojení podľa obr.9. pre obidve krajné hodnoty vstupného napätia, t. j. pre 2,4 V a 5,5 V. Ostatné vstupy sú spojené a pripojené na spoločný vývod. Každý vstup meriame samostatne.

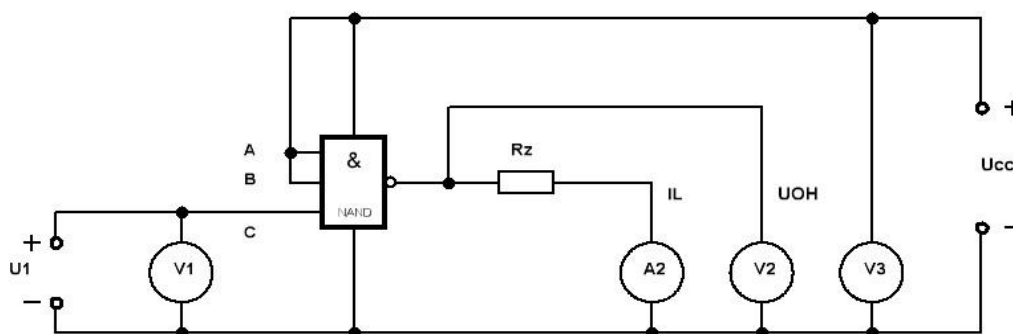
Vstupný prúd I_{IL} pre logický signál 0 je najväčší prúd, ktorý vyteká vstupom von z integrovaného obvodu pri vstupnom napätí U_{IL} , ktoré má hodnotu logického signálu 0, t. j. napätie najviac 0,4 V. Prúd I_{IL} sa meria podobne ako I_{IH} , ale s tým rozdielom, že vstupy, ktorých prúd práve nezisťujeme, sú pripojené na kladné napätie 4,5 V. Tiež musíme zmeniť polaritu ampérmetra A, ktorý má mať veľmi malý vnútorný odpor.



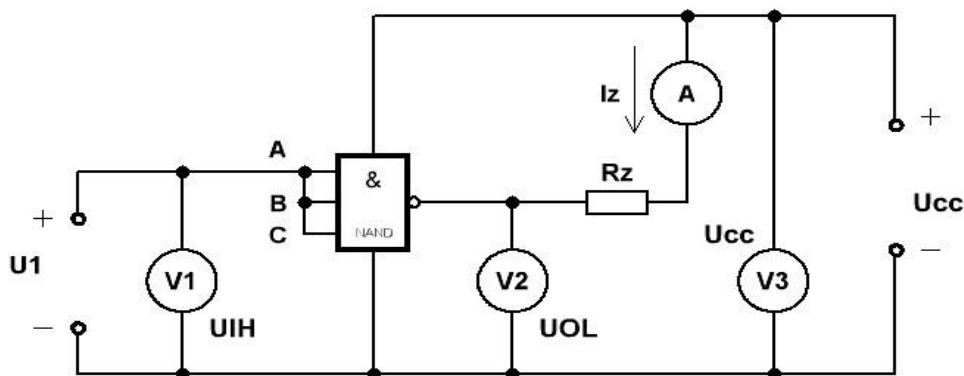
Obr. 9.

Meranie výstupného napätia pre logický signál 1 (U_{OH}) a 0 (U_{OL})

Výstupné napätie U_{OH} pre logický signál 1 sa meria tak, že sa postupne vždy jeden zo vstupov pripojí na napätie 0,8 V a ostatné vstupy sa spoja s kladnou svorkou zdroja. Meria sa pri najmenšom prípustnom napätí zdroja $U_{CC} = 4,75$ V (obr.10.a). Výstup sa zaťaží rezistorom, ktorý odoberá predpísanú hodnotu prúdu I_L . Výstupné napätie na tomto rezistore nesmie byť menšie ako 2,4 V, čo je najmenšia hodnota pre logický signál 1. Výstupné napätie U_{OL} pre logický signál 0 sa meria pre všetky vstupy súčasne. Meriame v zapojení podľa obr.10.b. Všetky vstupy zapojíme na zdroj s napätím 2,4 V a výstup napájame cez rezistor R_Z s takou hodnotou, aby ním tiekol predpísaný prúd I_Z . Tento prúd sa meria ampérmetrom A. Výstupné napätie meriame voltmetrom V_2 (toto napätie nesmie byť väčšie ako 0,4 V, čo je najväčšia hodnota pre logický signál 0).



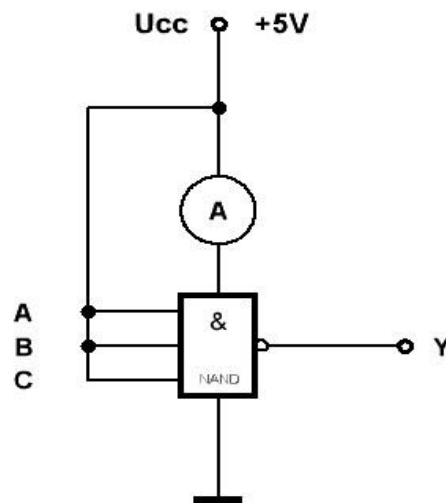
Obr.10.a



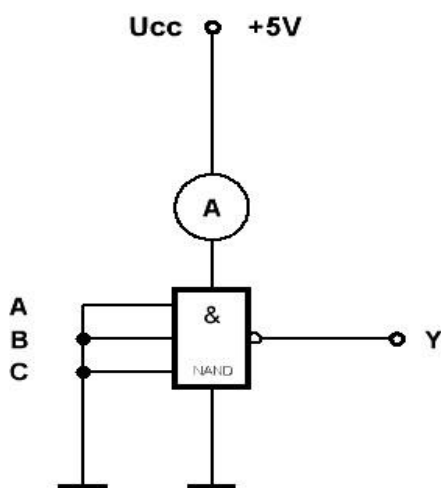
Obr. 10.b

Meranie veľkosti prúdu odoberaného z napájacieho zdroja pre výstupnú hodnotu log 0 I_{CCL} a log 1 I_{CCH}

Veľkosť prúdu odoberaného z napájacieho zdroja pre výstupnú hodnotu log 0 sa meria v zapojení podľa obr.11. Všetky vstupy pripojíme na napájacie napätie $U_{CC} = 5\text{ V}$, výstup ostáva nepripojený. Prúd I_{CCL} sa meria ampérmetrom A. Celkový prúd odoberaný zo zdroja pre výstupnú hodnotu log 1 meriame v zapojení podľa obr.12. Všetky vstupy sú pripojené na spoločný vývod. Napájacie napätie $U_{CC} = 5\text{ V}$, výstup ostáva nepripojený. Prúd I_{CCH} sa meria ampérmetrom A.



Obr. 11.



Obr.12.

Meranie dynamických parametrov číslicových integrovaných obvodov

Priebeh prechodného deja na výstupe číslicového integrovaného obvodu v závislosti od zmeny vstupného signálu možno dostatočne opísať dynamickými parametrami.

Pre hradlá NAND sa na vstup privedie presne definovaný signál, na ktorý reaguje hradlo s určitým oneskorením. Toto oneskorenie sa definuje dvoma veličinami: časom oneskorenia t_{d0} signálu pri prechode výstupného napätia z hodnoty log 1 na hodnotu log 0 a časom oneskorenia t_{d1} signálu pri prechode výstupného napätia z hodnoty log 0 na hodnotu log 1. Aritmetická stredná hodnota týchto oneskorení sa označuje ako čas oneskorenia číslicového integrovaného obvodu t_d . Meria sa impulzovým generátorom a osciloskopom.

Preklápacie obvody

Preklápacie obvody patria do skupiny sekvenčných logických obvodov, ktorých výstupné premenné sú určené nielen hodnotami vstupných premenných v danom stave, ale aj niektorými hodnotami z predchádzajúcich stavov. Preklápacie obvody sú základným pamäťovým prvkom číslicových zariadení. Na uchovanie jedného bitu treba jeden preklápací obvod. Okrem použitia ako čisto pamäťové prvky sa preklápacie obvody používajú napr. v čítačoch.

Dnes existujú rôzne typy preklápacích obvodov v integrovanom vyhotovení, často je v jednom puzdre viac preklápacích obvodov. Niekedy z ekonomických dôvodov zostavujeme preklápacie obvody z jednotlivých hradiel. Preklápacie obvody sú dvojakého druhu: synchronne (synchronizované hodinovými impulzmi) a asynchronne. Príslušný stav výstupnej premennej Q a \bar{Q} (inverzia Q) synchronneho preklápacieho obvodu, zodpovedajúci vstupným premenným a predchádzajúcemu stavu preklápacieho obvodu, je ešte podmienený prítomnosťou predpísanej úrovne hodinového impulzu. Vhodným zapojením synchronneho preklápacieho obvodu môžeme vytvoriť asynchronny preklápací obvod. Synchronne preklápacie obvody rozdelíme na dve skupiny:

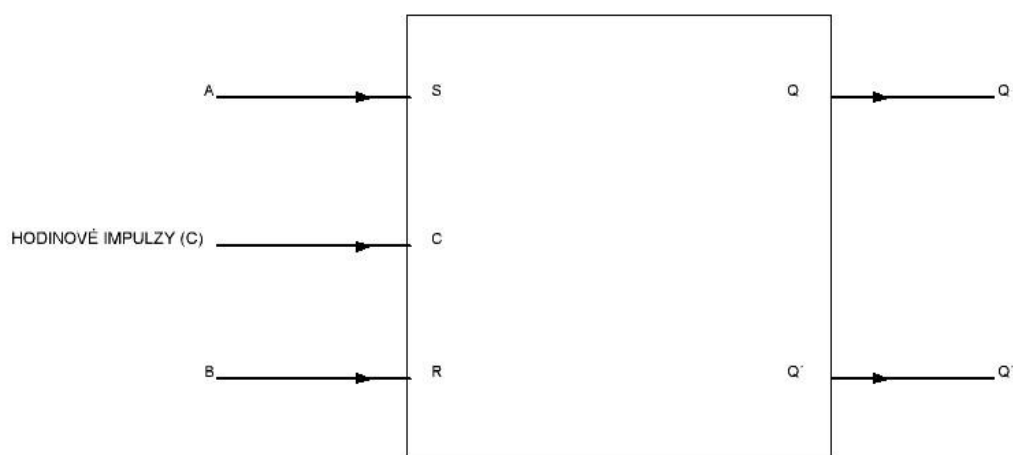
1. Jednoduchý preklápací obvod (niekedy nazývaný aj preklápací obvod riadený úrovňou hodinových impulzov). Príslušný stav tohto preklápacieho obvodu sa nastaví pri $C = 1$ alebo $C = 0$.
2. Preklápací obvod s vnútornou pamäťou. Tento obvod je zostavený z dvoch alebo niekoľkých preklápacích obvodov, ktoré tvoria jeden celok, pričom jeden z obvodov tvorí vnútornú pamäť. Zmena výstupných premenných Q a \bar{Q} preklápacieho obvodu

s vnútornou pamäťou môže nastať iba počas nábehu alebo dobehu hodinových impulzov. Ak je preklápací obvod s vnútornou pamäťou riadený počas nábehu aj dobehu hodinových impulzov (ale iba počas jedného z nich sa menia výstupné premenné Q a Q'), tento typ preklápacieho obvodu nazývame master – slave.

Z hľadiska vzájomného vzťahu medzi vstupnými a výstupnými premennými rozoznávame niekoľko typov preklápacích obvodov, z ktorých najznámejšie sú obvody RS, D, T a JK. Každý z týchto obvodov je charakterizovaný pravdivostnými tabuľkami, príp. tabuľkou budenia. Výrobcovia integrovaných obvodov používajú väčšinou pravdivostnú tabuľku, ktorá krátko a úplne vystihuje ich činnosť.

Pravdivostná tabuľka definuje výstupný stav ako funkciu vstupných premenných a vlastného stavu preklápacieho obvodu. Synchronný preklápací obvod nezmení stav, ak nenastane zmena logickej hodnoty synchronizačných (hodinových) impulzov. Stav pred príchodom hodinového impulzu označujeme Q_n , stav po príchode hodinového impulzu označujeme Q_{n+1} .

Pri použití pravdivostnej tabuľky prislúchajúcej určitému preklápaciemu obvodu treba uvážiť, či je zostavená pre kladnú alebo zápornú logiku. ďalej podľa údajov výrobcu treba zistiť, či zmena stavu preklápacieho obvodu nastáva počas nábehu alebo počas dobehu hodinových impulzov. Všeobecná schéma synchronného preklápacieho obvodu je na obr.13.. Obvod má jeden alebo dva riadiace vstupy A, B (napr. R, S) a jeden vstup pre hodinové impulzy C. Na výstupe je funkcia Q a jej inverzia Q'.



Obr. 13.

MERANIE VLASTNOSTÍ NÍZKOFREKVENČNÝCH ZOSILŇOVAČOV

Základné podmienky a požiadavky pri meraní na nízkofrekvenčných zosilňovačoch

Merania na nízkofrekvenčných zosilňovačoch uskutočňujeme pri týchto podmienkach:

- menovité prevádzkové podmienky,
- normálne prevádzkové podmienky,

Menovité prevádzkové podmienky sú:

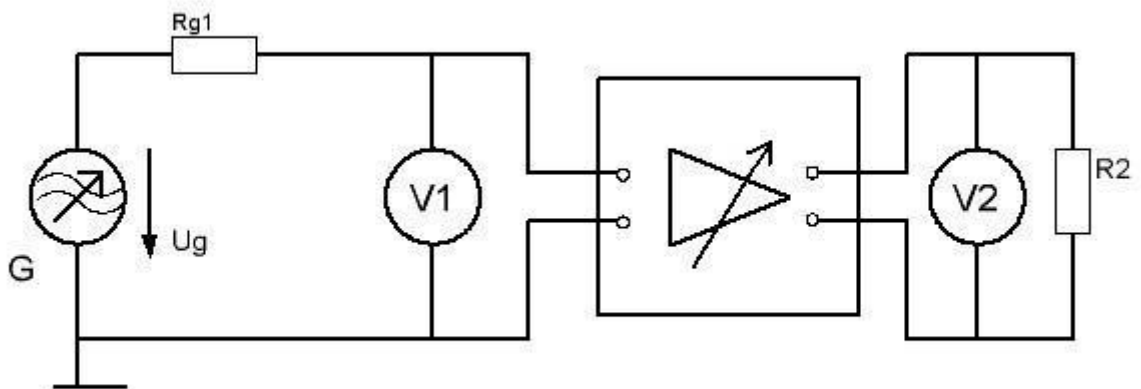
- napájacie napätie musí mať predpísanú hodnotu,
- na výstupe zosilňovača musí byť zapojený reproduktor, alebo môže byť miesto neho zapojený zaťažovací rezistor, ktorého hodnota sa rovná hodnote zaťažovacej impedancie, predpísanej výrobcom pre meraný zosilňovač,
- na vstup zosilňovača sa pripája budiace napätie požadovaného priebehu (harmonické alebo obdĺžnikové) s požadovanou frekvenciou.
- na meraný vstup zosilňovača sa pripája menovité napätie zdroja signálu (generátor) v sérii s menovitou impedanciou zdroja alebo náhradným odporom zdroja,
- ostatné vstupné a výstupné svorky sú zakončené podľa údajov výrobcu,
- frekvencia referenčného signálu je nastavená tak, aby sa čo najmenej uplatnil vplyv korektorov, ktoré sa používajú v meranom zosilňovači, ak nie sú osobitné dôvody použiť inú frekvenciu, používame referenčnú frekvenciu 1 000 Hz,
- frekvenčné korektory meraného zosilňovača nastavíme do takej polohy, ktorá zodpovedá rovnému frekvenčnému priebehu,
- regulátor zosilnenia je nastavené menovité výstupné napätie zosilňovača.

Normálne prevádzkové podmienky sú zhodné s menovitým prevádzkovými podmienkami, iba úroveň napätia zdroja signálu je nižšia o 10 dB. V lineárnom zosilňovači tomu zodpovedá aj úroveň výstupného napätia znížená o 10 dB.

Pri meraní na nízkofrekvenčných zosilňovačoch musíme splniť rad ďalších podmienok, najmä požiadavky na tienenie obvodom citlivých na cudzie magnetické polia. Jednotlivé časti tienenia sa musia pospájať tak, aby nevytvárali uzavreté slučky. Uzemňujú sa v jednom bode, najčastejšie na kostre zdroja meracieho signálu. Pripojením meracích prístrojov na zosilňovač sa nesmú zmeniť vlastnosti zosilňovača ani skresliť výsledky merania.

MERANIE ZOSILNENIA NÍZKOFREKVENČNÉHO ZOSILŇOVAČA

Zosilnenie meriame pri normálnych prevádzkových podmienkach v zapojení podľa obr. 14. Do série s generátorom sa zapojí menovitá impedancia zdroja R_g podľa normy. Výstupný odpor generátora nemá presahovať 10 % hodnoty celkovej menovitej impedancie zdroja signálu. vstupné napätie U_1 sa meria na stupne zosilňovača. Zosilňovač je na výstupe zaťažený predpísanou zaťažovacou impedanciou, na ktorej meriame výstupné napätie U_2 .



obr.14.

Napät'ové zosilnenie nízko-frekvenčného zosilňovača je dané pomerom výstupného napätia k vstupnému napätiu

$$A = \frac{U_2}{U_1}$$

alebo

$$A_u = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \text{ (dB)}$$

Frekvenciu zdroja referenčného signálu zvolíme 1 000 Hz. Voltmetre V_1 a V_2 sú striedavé elektronické voltmetre, ktoré svojimi vlastnosťami nesmú ovplyvňovať vlastnosti meraného zosilňovača.

Postup pri meraní je nasledujúci: Pomocou generátora budiaceho signálu G nastavíme výstupné napätie zdroja signálu U_G pre meraný vstup na nominálnu hodnotu, ktorú získame z dokumentácie výrobcu.

Rezistor R_g sa používa na nastavenie požadovanej impedancie zdroja signálu, ktorý má mať vnútorný výstupný odpor menší ako 10 % celkovej menovitej impedancie zdroja signálu.

Regulátorom zosilnenia nastavíme na zaťažovacom rezistore R_2 menovité výstupné napätie U_2 .

Pretože meranie má prebiehať pri normálnych prevádzkových podmienkach, musíme znížiť úroveň vstupného napätia zdroja signálu U_G o 10 dB. Tým poklesne aj výstupné napätie U_2 . Hodnotou napätia U_2 a hodnotu U_1 odpočítame pri znížení úrovne výstupného napätia zdroja signálu o 10 dB. Namerané hodnoty sú pokladom pre výpočet zosilnenia podľa uvedeného vzťahu.

Meranie napät'ovej frekvenčnej charakteristiky nízkofrekvenčného zosilňovača

Napät'ová frekvenčná charakteristika nízkofrekvenčného zosilňovača sa meria pri normálnych prevádzkových podmienkach. Meriame ju v zapojení podľa obr. 14. pre meranie napät'ového zosilnenia. Postup prípravy meranie je rovnaký ako pri meraní zosilnenia. Frekvenčné korektory zosilňovača sa vyradia z činnosti alebo sa nastaví do polohy, pri ktorej je nastavený rovný priebeh frekvenčnej charakteristiky.

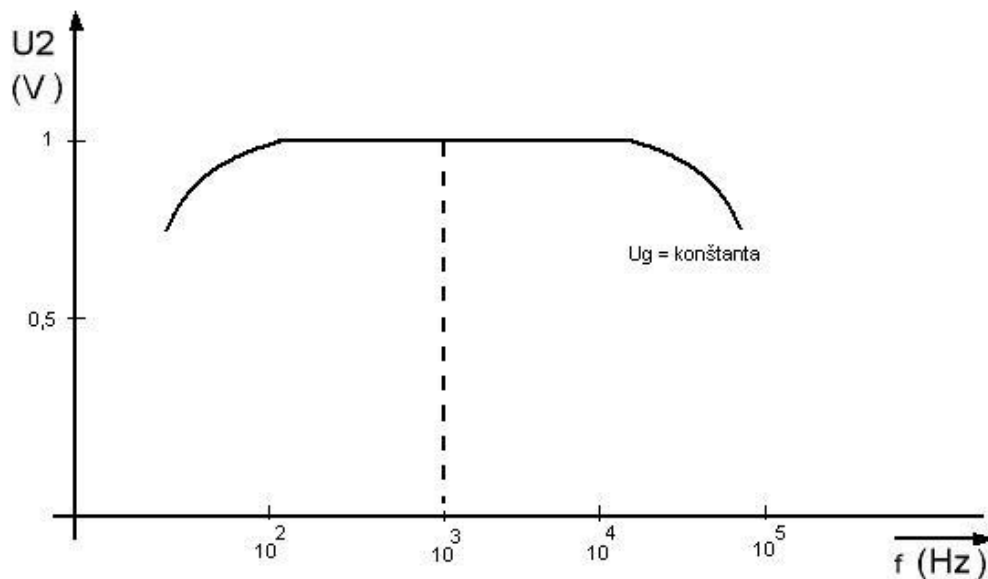
Meriame závislosť výstupného napätia U_2 od vstupnej frekvencie pri konštantnej hodnote vstupného napätia $U_G = k$ alebo $U_1 = k$ v predpísanom rozsahu frekvencií.

- skupina (P - profesionálne): 40 Hz až 16 000 Hz,
- skupina (S – štandardné): 63 Hz až 12 500 Hz,
- skupina (H – na hlásne účely): 100 Hz až 6 300 Hz.

Pri zosilňovaní I. skupiny zvolíme pri meraní frekvencie 30 Hz, 40 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 000 Hz, 5 000 Hz, 10 000 Hz, 16 000 Hz a 20 000 Hz.

Graficky sa napät'ová frekvenčná charakteristika vyjadruje ako závislosť výstupného napätia U_2 od vstupnej frekvencie (obr. 15.), pričom frekvencie sa vynáša na vodorovnú os a napätie na zvislú od. Frekvencia sa vynáša v logaritmickej mierke, napätie v lineárnej mierke.

Obr.15.



Z nameraných hodnôt možno zostrojiť aj prenosovú frekvenčnú charakteristiku, a to ako závislosť $Y_u = 20 \log \frac{U_2}{U_{20}}$ (dB)

(meriame pri $U_G = k$ alebo $U_1 = k$)

kde U_2 je výstupné napätie namerané pri normálnych prevádzkových podmienkach a všeobecnej hodnote vstupnej frekvencie f_x ,

U_{20} – výstupné napätie namerané pri rovnakých podmienkach, ale pri frekvencii 1 000 Hz (referenčná frekvencia).

Pri grafickom vyjadrení prenosovej charakteristiky zvolíme lineárnu mierku pre Y_u .

Potom odmeriame napät'ovú frekvenčnú aj prenosovú frekvenčnú charakteristiku so zaradenými korektormi, pričom volíme rôzne kombinácie polôh korektorov pre vysoké a nízke frekvencie tak, aby sme mohli zistiť vplyv zdôraznenia aj potlačenia jednotlivých korektorov na priebeh napät'ovej frekvenčnej a prenosovej frekvenčnej charakteristiky.

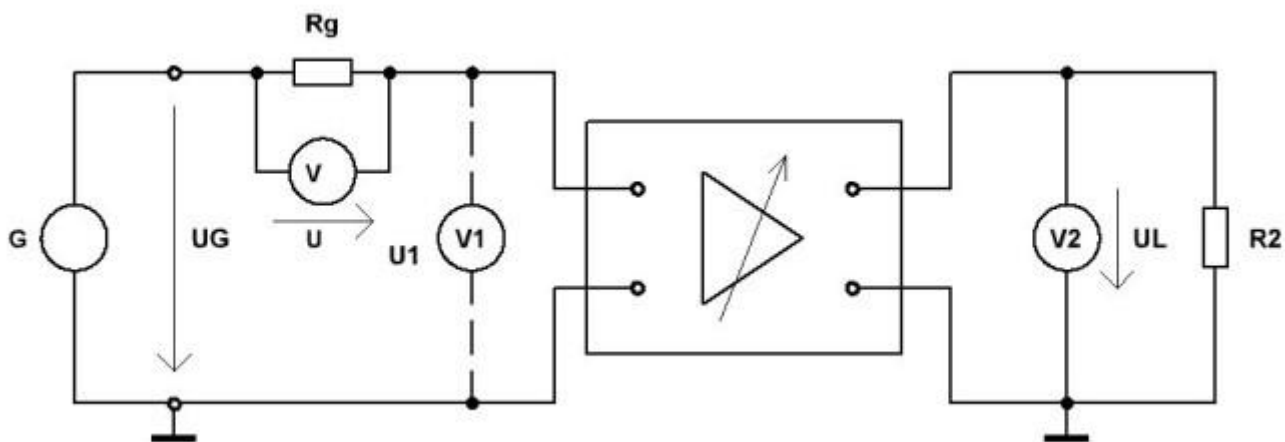
Pri uvedených meraniach výstupné napätie U_2 nesmie prekročiť hodnotu 50% menovitej hodnoty výstupného napätia U_{2m} pri žiadnom meraní. Ak by sa pri niektorom meraní táto hodnota prekročila (najmä v polohe korektorov pre maximálne zdôraznenie nízkych alebo vysokých frekvencií), musíme opäť znížiť hodnotu napätia budiaceho zdroja a celé meranie opakovať pri zníženom napätí v celom predpísanom rozsahu frekvencií podľa skupiny, do ktorej patrí meraný zosilňovač.

Merania vstupnej impedancie nízkofrekvenčných zosilňovačov

Absolútnu hodnotu vstupnej impedancie zisťujeme obyčajne meraním zosilnenia v zapojení podľa obr. 16. Predpokladáme, že vnútorný odpor zdroja meraného signálu je najviac 10% celkovej hodnoty impedancie zdroja G. Merame pri frekvencii 1 000 Hz. Na výstupe je zosilňovač zaťažovaný menovitým zaťažovacím odporom R_2 . Pre meranie predpisuje norma zvoliť odpor rezistora R_g podľa vzťahu $R_g = 0,1 Z_{vst}$, kde Z_{vst} je predpokladaná hodnota vstupnej impedancie. Na vstupe nastavíme menovité vstupné napätie U_1 určené výrobcom, ktoré kontrolujeme voltmetrom V_1 . Regulátorom zosilnenia nastavíme na výstupe menovité napätie U_{2m} ; merame pri menovitých prevádzkových podmienkach. Odmeriame napätie na rezistore R_g (voltmeter na meranie napätia R_g musí mať symetrický vstup), príp. ho určíme výpočtom pomocou hodnôt U_g a U_1 . Absolútnu hodnotu vstupnej impedancie potom vypočítame zo vzťahu

$$Z_{vst} = \frac{U_g}{U} R_g$$

Hodnotu napätia U_1 môžeme odmerať pri odpojení R_g pri nominálnej hodnote U_{2m} .



Obr. 16

Meranie výstupnej impedancie nízkofrekvenčných zosilňovačov

Meranie uskutočňujeme pri normálnych prevádzkových podmienkach. Výstupná impedancia nízkofrekvenčného zosilňovača je vnútorná impedancia meraná na výstupných svorkách zosilňovača. Meria sa v zapojení podľa obr. 17 a. Normálne prevádzkové podmienky nastavíme pri pripojenej záťaži R_2 a odmeriame výstupné napätie U_2 . Potom

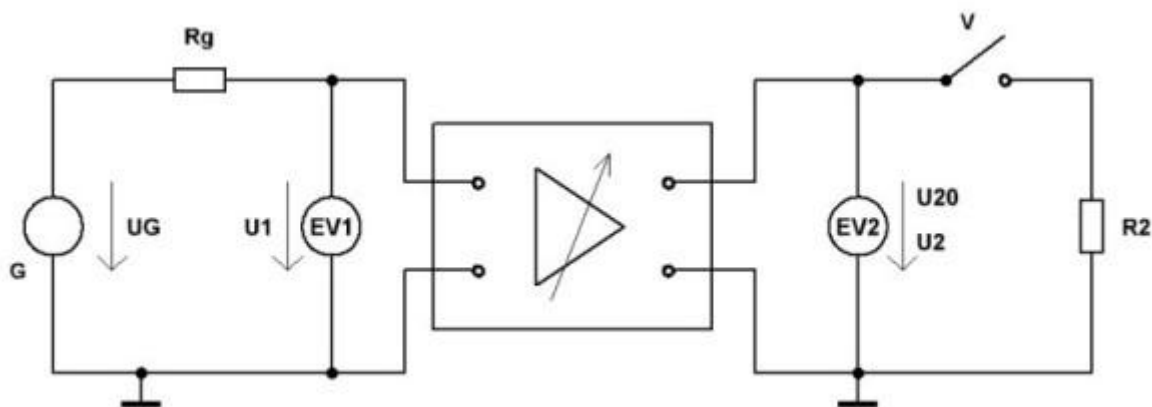
odpojíme záťaž R_2 vypínačom V a odmeriame napätie naprázdno U_{20} . Podľa náhradnej schémy na obr. 17 b platí

$$U_2 = U_{20} \frac{R_2}{R_2 + Z_{\text{výst}}}$$

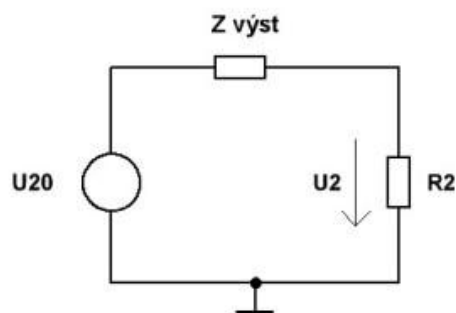
Potom

$$Z_{\text{výst}} = R_2 \frac{U_{20} - U_2}{U_2}$$

Podľa uvedeného zapojenia možno odmerať zmeny výstupného napätia pri odľahčení zosilňovača. Toto zvýšenie napätia je predpísané a pri zosilňovačoch I. a II. skupiny môže byť najviac 30% v rozsahu 63 Hz až 4 000 Hz a pri dvojčinných zosilňovačoch III. skupiny najviac 40% v rozsahu 125 Hz až 4 000 Hz.



Obr. 17.a



Obr.17.b

Meranie na rozhlasových prijímačoch

Rozhlasový prijímač sa skladá z pomerne veľkého počtu súčiastok, ktoré vstupná kontrola preverí, či sú bezchybné a či sú ich hodnoty v požadovanej tolerancii. Toto však ešte nezabezpečuje, že všetky prijímače vyrobenej série budú mať rovnaké vlastnosti. Preto vlastnosti rozhlasových prijímačov overujeme meraním ich charakteristických vlastností na hotových prijímačoch.

Podmienky, ktoré musíme dodržať pri meraniach, určujú štátne normy pre prijímače AM a FM. Základnou podmienkou je pripojenie prijímača na predpísané napájacie napätie (výrobca zaručuje správnu činnosť prijímača).

Ak meriame v mieste, kde je veľa porúch, ktoré môžu nepriaznivo ovplyvňovať meranie, meranie musíme uskutočniť v špeciálnej kabíne, tienenej proti vnikaniu elektromagnetických polí. Aj sieťový prívod do tejto kabíny musí byť realizovaný cez špeciálny filter, ktorý zabráni vnikaniu porúch z elektrickej siete do prijímača. Pri meraní musí byť celá meracia aparatúra dobre uzemnená v jednom bode. Uzemňovanie svorky všetkých prístrojov a prijímača sú navzájom prepojené, pričom dávame pozor na to, aby spoje netvorili slučky, v ktorých by sa mohli indukovať rušivé napätia. Spoje medzi signálnym generátorom, ktorý pri meraní vykonáva úlohu vysielacej stanice, a rozhlasových prijímačov musia byť z tienených vodičov, pričom tienenie zároveň slúži ako spoj medzi uzemňovacími svorkami. Na výstup prijímača sa väčšinou zapojí miesto reproduktora rezistor s odporom rovnajúcim sa impedancii kmitajúcej cievky reproduktora pri frekvencii 1 000 Hz. Paralelne k rezistoru sa pripojí elektronický striedavý voltmeter.

Pri meraní používame iba frekvencie, ktoré predpisuje norma (sú to štandardné frekvencie). Výstupný výkon prijímača sa vypočíta z efektívnych hodnôt napätia na záťaži a udáva sa v dB (mW) alebo vo W. V dB sa úroveň výstupného výkonu určuje vzhľadom na referenčnú hodnotu, ktorá je v zátvorke. Ak počítame hodnotu referenčného výkonu 1 mW, tak úroveň štandardného výstupného výkonu má hodnotu 17 dB (alebo 50 mW). Výkonu 50 mW zodpovedá napätie 0,447 V na zaťažovacom rezistore 4 Ω .

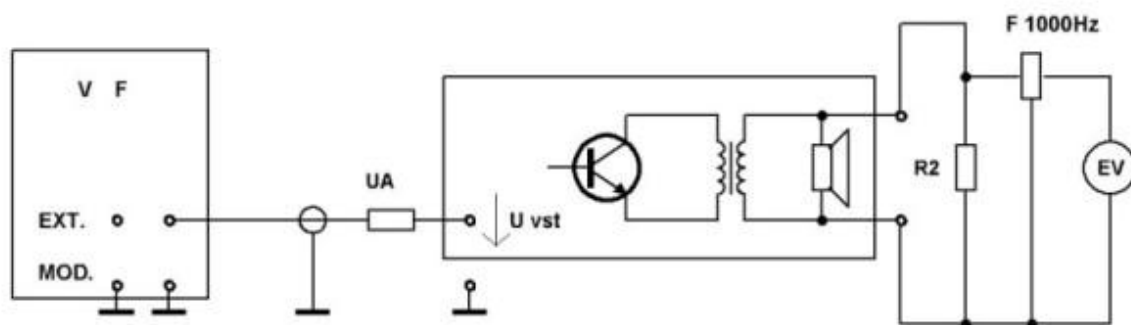
Meranie maximálnej citlivosti rozhlasového prijímača

Maximálna alebo anténová citlivosť rozhlasového prijímača je definovaná ako veľkosť vysokofrekvenčného napätia modulovaného nízkofrekvenčným napätím s frekvenciou 1 000 Hz (hĺbka modulácie je 30%), ktoré po privedení na vstupné svorky prijímača vybudí na výstupe nízkofrekvenčný výkon 50 mW.

Zapojenie na meranie citlivosti je na obr. 18. Napätie zo signálneho generátora VF sa privádza na vstup rozhlasového prijímača cez umelú anténu UA. Je to dvojbrána zložená z prvkov R, L a C, ktoré sa svojimi vlastnosťami približujú k hodnotám vonkajšej antény. Umelá anténa zabraňuje aj ovplyvňovaniu vstupného obvodu prijímača výstupnou kapacitou a odporom signálového generátora. Umelá anténa sa pripája tesne k vstupným svorkám rozhlasového prijímača a musí byť elektrostaticky tienená kovovým krytom. Toto tienenie je zasa dokonale spojené s tienením spojovacieho kábla. Meriame pri týchto frekvenciách:

- dlhé vlny: 100 kHz, 200 kHz, 250 kHz, 320 kHz, 360 kHz, 400 kHz,
- stredné vlny: 600 kHz, 800 kHz, 1 000 kHz, 1 200 kHz, 1 400 kHz, 1 600 kHz,
- krátke vlny (pásmo 1, 5 MHz až 5 MHz): 2 MHz, 2, 5 MHz, 3, 2 MHz, 4 MHz, 5 MHz
- krátke vlny (pásmo nad 5 MHz): 6, 1 MHz, 7, 2 MHz, 9, 6 MHz, 11, 8 MHz, 15, 2 MHz, 17, 8 MHz, 21, 6 MHz.

Citlivosť vyjadrujeme alebo graficky, alebo číselne. Pri grafickom vyjadrení vznášame na vodorovnú os frekvenciu v logaritmickej mierke, na zvislú od vynášame pri jednotlivých frekvenciách alebo v logaritmickej, alebo lineárnej mierke. Číselne vyjadrujeme citlivosť na každom vlnovom rozsahu tromi hodnotami (na obidvoch okrajoch a v strede pásma) alebo sa citlivosť vyjadruje ako aritmetický priemer z týchto troch hodnôt – priemerná citlivosť. Priemerná citlivosť na stredných vlnách je teda aritmetická stredná hodnota citlivostí na frekvenciách 600 kHz, 1 000 kHz a 1 600 kHz.



obr.18.

Pri meraní citlivosti postupujeme tak, že na signálnom generátore nastavíme zo štandardných frekvencií. na rozhlasovom prijímači nastavíme ovládacie prvky regulátora hlasitosti a tónovej clony na maximum. Zvolíme vlnový rozsah, na ktorom sa nachádza frekvencia nastavená na signálnom generátore. Úroveň výstupného napätia signálneho generátora, ktoré modulujeme frekvenciou 1 000 Hz pri hĺbke modulácie 30%, nastavíme na hodnotu 100 až 200 μV . Ladiacim prvkom rozhlasového prijímača nastavíme maximálnu výchylku v rezonancii so signálnym generátorom. Potom výstupným deličom signálneho generátora upravíme úroveň výstupného napätia tak, aby na výstupe prijímača bol štandardný výstupný výkon 50 mW. Hodnota výstupného vysokofrekvenčného napätia signálneho generátora je zároveň hodnota citlivosti na príslušnej frekvencii. Podobne meriame aj citlivosť na ostatných frekvenciách.

V pásme veľmi krátkych vln meriame na frekvenciách 66 MHz, 67, 5 MHz, 69, 5 MHz, 71, 5 MHz a 73 MHz. Maximálna citlivosť pre prijímače s frekvenčnou moduláciou je definovaná potom podobne ako pre prijímače s amplitúdovou moduláciou, ale s tým rozdielom, že príslušná štandardná frekvencia v pásme veľmi krátkych vln je modulovaná frekvenciou 1 000 Hz s frekvenčným zdvihom 22, 5 kHz (pre maximálny frekvenčný zdvih 75 kHz). Pri meraní musí byť vstupný obvod prijímača v pásme veľmi krátkych vln impedačne prispôsobený s výstupom signálneho generátora.

Meranie citlivosti na zrkadlovú frekvenciu

Zrkadlová frekvencia leží súmerne k frekvencii prijímaného signálu f_p , pričom stredom súmernosti je frekvencia oscilátora. Zrkadlová frekvencia je teda o dvojnásobnú hodnotu medzifrekvencie vyššia alebo nižšia ako frekvencia, na ktorú je naladený prijímač, teda $f_z = f_p + 2f_{mf}$. Prijímač musí byť veľmi málo citlivý na zrkadlovú frekvenciu a má ju potláčať. Potlačenie sa vyjadruje ako zrkadlový pomer. Číselne sa určuje napätium vstupného napätia zrkadlovej frekvencie f_z k vstupnému napätium frekvencie f_p (na ktorú je naladený prijímač) tak, aby sa v oboch prípadoch dosiahol na výstupe štandardný výstupný výkon 50 mW. Zrkadlový pomer sa meria na každom vlnovom rozsahu na koncoch stupnice, t. j. v pásme dlhých vln na frekvenciách 160 kHz a 360 kHz, v pásme stredných vln na frekvenciách 600 kHz a 1 400 kHz, v pásme krátkych vln na frekvenciách 6,1 MHz a 15,2 MHz. Schéma zapojenia je rovnaká ako pri meraní citlivosti. Regulátor hlasitosti musí byť na maxime. Na generátore nastavíme predpísanú frekvenciu f_p a zmeriame maximálnu citlivosť uvedeným spôsobom, pričom napätie na vstupe označíme U_{vst} . Potom preladíme frekvenciu signálneho

generátora na hodnotu f_z , ktorá je o dvojnásobok medzifrekvencie vyššia ako frekvencia f_p , na ktorú je naladený prijímač.

Výstupné napätie signálneho generátora nastavíme na takú hodnotu, aby na výstupe prijímača bol opäť štandardný výstupný výkon 50 mW. Ovládacie prvky prijímača musia však ostať nedotknuté. Ak toto napätie označíme U_{vstz} , zrkadlový pomer môžeme vyjadriť vzťahom

$$p = \frac{U_{vstz}}{U_{vst}}$$

Zrkadlový pomer je bezrozmerné číslo. Vyjadruje, koľkokrát väčšie napätie treba priviesť na vstupné svorky prijímača pri zrkadlovej frekvencii, ako pri maximálnej citlivosti prijímača. Zrkadlový pomer sa najčastejšie udáva v dB

$$p_{dB} = 20 \log \frac{U_{vstz}}{U_{vst}}$$

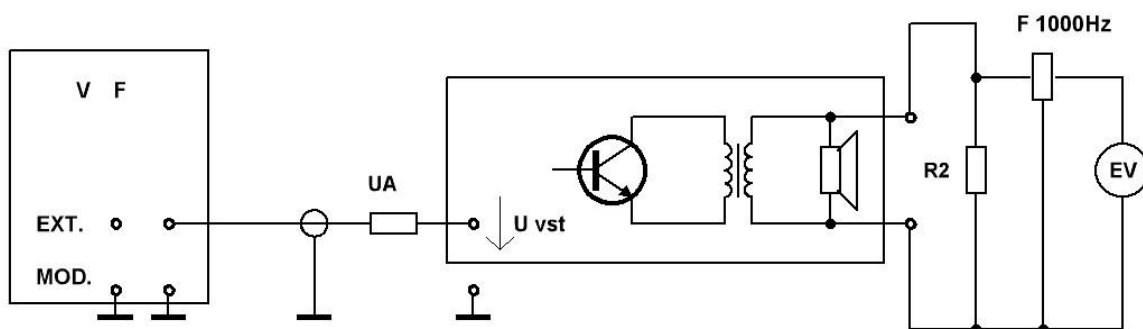
Hodnoty p sú veľmi rôzne a závisia od vlnového rozsahu. Na každom vlnovom rozsahu má p inú hodnotu, dokonca je rozdielne aj na začiatku a konci stupnice na tom istom vlnovom rozsahu. Zrkadlový pomer p v pásme dlhých vln nadobúda hodnoty 5 000 až 8 000, pásme stredných vln hodnoty 100 až 900 a v pásme krátkych vln hodnoty 5 až 20. Vidíme, že hodnota p sa so zvyšovaním frekvencie znižuje. Súvisí to s pomerným rozladením generátora z frekvencie znižuje. Súvisí to s pomerným rozladením generátora z frekvencie f_p na frekvenciu f_z . Na dlhých vlnách pre frekvenciu $f = 160$ kHz sa pomerné rozladenie frekvencie generátora pre $f_z = 1064$ kHz rovná 6,65 (pre $f_{mf} = 452$ kHz). na krátkych vlnách pre $f = 15,2$ MHz je pomerné rozladenie frekvencie generátora iba 1,062. Pri malom pomernom rozladení generátora stačí priviesť na vstup prijímača oveľa menšie napätie, aby sme vybudili štandardný výstupný výkon 50 mW.

MERANIE ELEKTRICKEJ FREKVENČNEJ CHARAKTERISTIKY ROZHLASOVÉHO PRIJÍMAČA

Elektrická frekvenčná charakteristika prijímača vyjadruje závislosť elektrického výstupného výkonu prijímača od modulačnej frekvencie, ak hĺbka modulácie a úroveň vysokofrekvenčného signálu ostávajú počas merania konštantné. Vyjadruje vlastnosti všetkých častí rozhlasového prijímača od vstupného obvodu, cez vysokofrekvenčný predzosilňovač a medzifrekvenčný zosilňovač až po výstup nízko-frekvenčného

zosilňovača. Vlastnosti reproduktora ju neovplyvňujú, pretože pri meraní sa nahrádza rezistorom.

Meriame podľa zapojenia na meranie maximálnej citlivosti (obr.19.), pričom na svorky „EXTERNÁ MODULÁCIA“ pripojíme vonkajší nízkočfrekvencný generátor. Úroveň výstupného napätia signálneho generátora nastavíme na hodnotu 5 mV. Na stredných vlnách nastavíme frekvenciu generátora na 1 MHz, ktorú modelujeme frekvenciou generátora na 1 MHz, ktorú modulujeme frekvenciou 1 kHz pri hĺbke modulácie $m=30\%$. Potom naladíme prijímač na frekvenciu 1 MHz. Po zladení prijímača so signálnym generátorom (maximálna výchylka elektronického volmetra EV) znížime úroveň výstupného výkonu prijímača vzhľadom na maximálny užitočný výstupný výkon o hodnotu 10 dB regulátorom hlasitosti. Maximálny užitočný výstupný výkon je výkon, pri ktorom vzniká nelineárne skreslenie 10%. Túto polohu regulátora už počas merania nemeníme. Potom postupne meníme hodnotu modulačnej frekvencie v takom rozsahu, kedy úroveň výstupného výkonu poklesne o 20 dBv rozsahu 30 Hz až 16 kHz. Z nameraných hodnôt zostrojíme grafickú závislosť, pričom na vodorovnú os nanášame modulačnú frekvenciu v logaritmickú mierku, na zvislú os vynášame úroveň výstupného výkonu v dB v relatívnej mierke vzhľadom na úroveň výstupného výkonu pri modulačnej frekvencii 1 kHz. Môžeme odmerať niekoľko elektrických frekvenčných charakteristík pri rôznych polohách ovládacích prvkov, pričom regulátor hlasitosti ostáva v nezmenenej polohe. Ak ich zakreslíme do spoločnej charakteristiky, môžeme dobre pozorovať vplyv ovládacích prvkov.



Obr.19.

Meranie krivky selektivity rozhlasového prijímača

Selektivita rozhlasového prijímača je jeho schopnosť vybrať z množstva signálov, ktoré sú na jeho vstupe, iba signál s tou frekvenciou, na ktorú je rozhlasový prijímač naladený, ostatné frekvencie musí čo najviac potlačiť.

Meranie krivky selektivity jedným signálom možno uskutočniť v zapojení na meranie maximálnej citlivosti. Selektivita sa meria v pásme dlhých vln na frekvenciách 160 kHz, 250 kHz a 300 kHz, v pásme stredných vln na frekvenciách 600 kHz, 1 MHz a 1,4 MHz alebo na každom vlnovom rozsahu na jednej frekvencii. Na krátkych vlnách sa selektivita nemeria, vyjadruje sa šírkou pásma medzifrekvenčného zosilňovača.

Používa sa modulačná frekvencia 1 kHz a hĺbka modulácie $m=30\%$. Pri meraní musíme odpojiť obvod AVC. Ak má rozhlasový prijímač prepínač na zmenu šírky pásma, selektivita sa meria pri úzkom aj širokom pásme. Regulátor hlasitosti a výšok je na maxime. Generátor naladíme na predpísanú frekvenciu a vstupný obvod prijímača tiež na túto frekvenciu. Výstupné napätie generátora upravíme na takú hodnotu, aby na výstupe prijímača bol štandardný výstupný výkon 50 mW. Až potiaľto je meranie rovnaké ako meranie maximálnej citlivosti. Teraz rozladíme generátor o malé hodnoty Δf (Δf zvolíme čo najmenšie, podľa možnosti rozladovania generátora). Po rozladiení generátora o hodnotu Δf poklesne výstupný výkon prijímača. Tento výkon musíme znova nastaviť na hodnotu 50 mW zvýšením výstupného napätia generátora, ktoré zodpovedá rozladieniu Δf . Získali sme tak jeden bod krivky selektivity. Potom rozladíme generátor o hodnotu $-\Delta f$ na druhú stranu a získame ďalší bod krivky selektivity. Takto postupne rozladíme o stále väčšie hodnoty Δf na obidve strany, ž získame dostatočný počet bodov na zostrojenie celej krivky selektivity. Meranie ukončíme vtedy, keď rozladienie Δf dosiahne hodnotu 90 kHz alebo keď pomer úrovne vstupných napätí dosiahne hodnotu 80dB, príp. vstupné napätie dosiahne hodnotu 1 V.

Činiteľ selektivity určíme zo vzťahu

$$S_{dB} = 20 \log \frac{U_{fx}}{U_{f_0}}$$

Kde U_{fx} je vstupné napätie prijímača pri rozladiení o Δf ,

U_{f_0} - vstupné napätie prijímača pri rezonancii ($\Delta f=0$).

KONTROLA ČINNOSTI OBVODU AUTOMATICKÉHO VYROVNÁVANIA CITLIVOSTI (AVC)

Úlohou obvodu automatického vyrovnávania citlivosti je udržiavať hodnotu výstupného výkonu prijímača na určitej konštantnej hodnote pri značných zmenách vstupného napätia. Obvod AVC znižuje citlivosť prijímača. Dnes sa používa oneskorené AVC, ktoré začne účinkovať až vtedy, keď hodnota vstupného napätia dosiahne určitú úroveň. Je to zároveň aj ochrana proti preťaženiu pri veľkých hodnotách vstupného napätia. Pri malej úrovni vstupného napätia sa AVC neuplatňuje.

Meranie môžeme uskutočniť v zapojení na meranie maximálnej citlivosti. Prijímač zapojíme na signálny generátor cez umelú anténu. Na generátore nastavíme frekvenciu 1 MHz modulovanú frekvenciou 1 kHz pri hĺbke modulácie $m = 30\%$ a prijímač naladíme na frekvenciu 1 MHz, pričom výstupné napätie generátora upravíme výstupným deličom na hodnotu 5 mV. Regulátor hlasitosti nastavíme do takej polohy, aby pri zvyšovaní vstupného napätia na hodnotu 1 V neprekročil výstupný výkon polovicu hodnoty maximálneho užitočného výstupného výkonu. Potom nastavujeme hodnoty výstupného napätia generátora, ktoré sú zároveň hodnotami vstupného napätia pre prijímač, v rozpätí od 1 μ V do 1 V. Hodnoty výstupného napätia prijímača odčítame na elektronickom voltmetri EV. Z nameraného napätia vypočítame výstupný výkon

$$P_{\text{výst}} = \frac{U_{\text{výst}}^2}{R_2}$$

kde R_2 je odpor rezistora, ktorý je pri meraní nahrádza impedanciu reproduktora.

Pomerná odchýlka výstupného výkonu sa vypočíta vzhľadom na výkon pri $U_{\text{vst}} = 1$ V a nezmenenej polohe regulátora hlasitosti. Činnosť obvodu AVC sa kontroluje na každom vlnovom rozsahu pri jeho strednej frekvencii.

Pôsobenie AVC môžeme vyjadriť graficky alebo číselne. Číselne sa vyjadruje pre stolové prijímače počtom decibelov, o ktoré treba znížiť vstupné napätie prijímača z hodnoty 100 mV, aby sa úroveň výstupného výkonu prijímača znížila o 10 dB. Pri grafickom vyjadrení vynášame na horizontálnu os hodnoty vstupného napätia v logaritmickej mierke, na zvislú os vynášame pomerné odchýlky výstupného výkonu Y vzhľadom na výstupný výkon pri vstupnom napätí 1 V.

Pre prijímače s frekvenčnou moduláciou sa pôsobenie AVC vyjadruje závislosťou výstupného výkonu od vstupného signálu. Meria sa rovnako ako prijímače s amplitúdovou

moduláciou. Rozdiel je však v definícii vstupného signálu – pre prijímače s frekvenčnou moduláciou je vstupným signálom vstupný výkon. Prijímač sa zapojí cez umelú anténu, príp. cez symetrizačný člen, na signálny generátor, na ktorom sme nastavili jednu zo štandardných frekvencií, napr. v pásme 94 MHz a v pásme CCIR. Táto štandardná frekvencia sa moduluje frekvenciou 1 kHz pri hĺbke modulácie $m = 30\%$, čomu zodpovedá frekvenčný zdvih 22,5 kHz. Pri úrovni vstupného signálu – 60 dB (mW) sa nastaví maximálny užitočný výstupný výkon (skreslenie 10%). Potom pri úrovni vstupného signálu polovičnú hodnotu maximálneho užitočného výstupného výkonu. Tým zabezpečíme, že prijímač (jeho nízkofrekvenčná časť) sa nepreťažuje. Úroveň vstupného signálu potom meníme od hodnoty 20dB (mW) smerom k nižším hodnotám, pričom odčítavame príslušný výstupný výkon.

Účinok AVC aj s prípadným pôsobením obvodu obmedzovača amplitúdy sa vyjadruje počtom decibelov, o ktoré treba znížiť úroveň vstupného signálu z hodnoty – 20 dB (mW), aby sa úroveň výstupného výkonu znížila o 10 dB (mW). Pri grafickom vyjadrení vynášame na horizontálnu os úroveň vstupného signálu v dB (mW) v lineárnej mierke a na zvislú os pomernú odchýlku výstupného výkonu.