

MERANIE ZOSILŇOVAČOV

V zosilňovačoch signálu sa zosilňuje energia prenášaného signálu, pričom potrebná energia sa odoberá z napájacích zdrojov.

Zosilňovače elektrického signálu možno rozdeliť podľa:

- druhu zosilňovaných signálov na **napät'ové, prúdové a výkonové**,
- závislosti medzi vstupným a výstupným signálom na **lineárne a nelineárne**,
- režimu práce na **spojité a impulzové**.

Zväčša sa používajú **lineárne spojitó pracujúce napät'ové a výkonové zosilňovače**. Meraním zosilňovačov zisťujeme, prípadne overujeme, ich základné vlastnosti. Pri meraní zosilňovačov treba **dodržiavať všeobecné požiadavky** a pre niektoré zosilňovače aj osobitné podmienky merania.

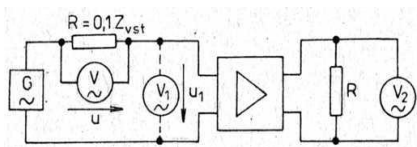
Musíme dodržať **najmä**

- hodnotu určeného **napájacieho napätia**,
- **impedanciu budiaceho generátora**,
- predpísanú **hodnotu záťaže zosilňovača**,
- predpísaný **tvár a frekvenciu budiaceho signálu**,
- najvyššiu povolenú **hodnotu rušivých signálov okolia**,
- **vhodnosť použitých meracích prístrojov** z hľadiska **frekvenčného rozsahu** a vstupnej **impedancie**.

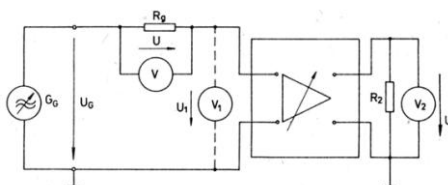
MERANIE VSTUPNEJ A VÝSTUPNEJ IMPEDANCIE

Pri meraní vstupnej impedancie zosilňovača treba dodržať **menovité prevádzkové podmienky**. Znamená to, že zosilňovač pracuje tak, že

- je pripojený na **menovité napájacie napätie**,
- **na vstup** je pripojené **menovité napätie zdroja signálu**,
- **na výstup** je pripojená **menovitá záťaž**,
- frekvencia vstupného signálu sa zvolí **$f = 1\,000\text{ Hz}$** ,
- **regulátorom zosilnenia** sa nastaví **menovité výstupné napätie**, to znamená, že zosilňovač dodáva do menovitej záťaže menovitý výkon.



Obr. 3.39. Zapojenie na meranie vstupnej impedancie Z_{vst}

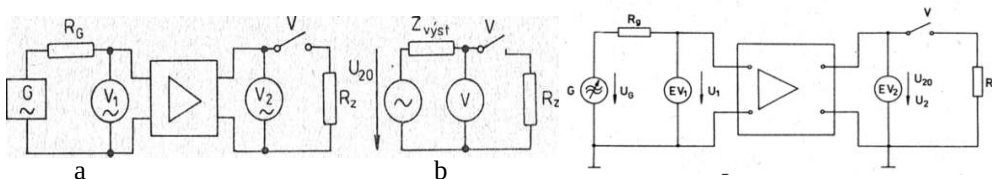


Absolútnu hodnotu vstupnej impedancie zisťujeme zväčša meraním napät'ového zosilnenia podľa schémy na obr. 3.39.

Do série s generátorom vstupného signálu sa zapája rezistor **R** , ktorého **impedancia je asi 10 % očakávanej vstupnej impedancie Z_{vst}** . Merame napätie U na rezistore R pri menovitom vstupnom napätí U_1 . Absolútna hodnota vstupnej impedancie zosilňovača

$$|Z| = \frac{U_1}{U} R$$

Pri meraní treba zabezpečiť minimálny vplyv meracích prístrojov na výsledky merania (veľký odpor voltmetra).



Obr. 3.40. Zapojenie na meranie výstupnej impedancie Z_{vyst}

Výstupná impedancia zosilňovačov je vnútorná impedancia meraná na výstupných svorkách zosilňovača pri bežných prevádzkových podmienkach.

Bežné prevádzkové podmienky definujeme rovnako ako menovité, avšak **úroveň napätia zdroja signálu je znížená o 10 dB proti menovitej hodnote**. Schéma merania výstupnej impedancie je na obr. 3.40a.

Po nastavení bežných prevádzkových podmienok merame výstupné napätie U_2 pri zopnutom vypínači V a napätie U_{20} pri rozpojenom vypínači V (obr. 3.40b). Ak odpor voltmetra $R_v \gg Z_{vyst}$, potom platí $Z_{vyst} = R_z \frac{U_{20} - U_2}{U_2}$

MERANIE ZÁKLADNÝCH VLASTNOSTÍ ZOSILŇOVAČA

Okrem vstupnej a výstupnej impedancie, frekvenčných charakteristík a skreslenia merame na zosilňovačoch ich **zosilnenie, citlivosť, menovitý výkon, rušivé napätia, stabilitu a presluchy**.

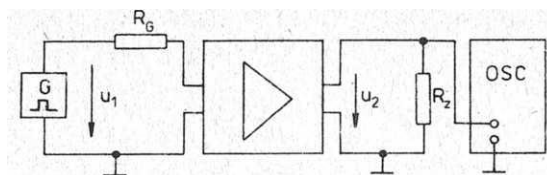
Pri **meraní napät'ového zosilnenia A_u** zosilňovač pracuje pri menovitých prevádzkových podmienkach. Pomer napätí U_2/U_1 pri $f = 1000\text{ Hz}$ merame striedavými voltmetrami V_1 a V_2 . Generátorom G sa nastavuje menovité napätie zdroja signálu U_s pre meraný vstup. Sériový rezistor R_G dopĺňa výstupnú impedanciu generátora na veľkosť požadovanú pre meraný vstup zosilňovača. Regulátorom zosilnenia v zosilňovači nastavíme na výstupe menovité výstupné napätie U_{2n} na záťaži R_z . Na **meranie pri bežných prevádzkových podmienkach** treba znížiť úroveň výstupného napätia generátora o **10 dB** (na veľkosť **0,316 pôvodnej hodnoty**). Potom odčítame vstupné napätie U_1 aj výstupné napätie U_2 a vypočítame veľkosť napät'ového zosilnenia A_u

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

Veľkosť vstupného napätia U_1 je súčasne *citlivosťou* zosilňovača na meranom vstupe.

Pri **meraní rušivých napätí** (napätie pozadia), ktoré vznikajú v zosilňovači ako šum, odpojíme generátor signálu a vstupné svorky zosilňovača spojíme nakrátko, alebo ich premostíme ohmickým odporom predpísanej hodnoty $h_{dB} = 20 \log \frac{U_{zš}}{U_2}$ $h_{dB} = 20 \log \frac{U_{zš}}{U_2}$

Pri **meraní stability** sa s výhodou používa impulzová metóda merania s osciloskopickým vyhodnotením výstupného signálu (obr. 3.41). Meraný zosilňovač sa buď **zdrojom signálu s obdĺžnikovým napätím** a na výstupe zosilňovača zistujeme tvar obdĺžnikových impulzov.



Obr. 3.41. Zapojenie na meranie základných vlastností zosilňovačov

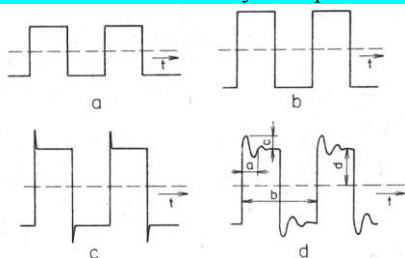
Frekvenciu skúšobného signálu zvolíme ako geometrický stred prenášaného pásma zosilňovača

$$f_s = \sqrt{f_h f_d}$$

Kde f_h je horná hraničná frekvencia,

f_d - dolná hraničná frekvencia. Sú to frekvencie, pri ktorých nastáva pokles zosilnenia o 3 dB.

Podľa tvaru obdĺžnikových impulzov možno hodnotiť stabilitu zosilňovača.



Obr. 3.42. Tvar obdĺžnikového signálu pri meraní zosilňovačov nf

Na obr. 3.42a je priebeh skúšobného signálu, na obr. 3.42b je nakreslený signál na výstupe. Priebeh na obr. 3.42c vyjadruje, že zosilňovač má sklony kmitať na vysokých frekvenciách. Ak je frekvencia nižšia, objavujú sa prekmity podľa obr. 3.42d. Frekvenciu prekmityv môžeme zistiť pomocou vzťahu

$$f = f_s \frac{b}{a}$$

Presluchy meriame pri **viackanálových zosilňovačoch**. Pred meraním sa meraný kanál zosilňovača nastaví na bežné pracovné podmienky, potom sa zdroj signálu nahradí jeho impedanciou. Aj ovplyvňujúci kanál zosilňovača sa nastaví na bežné pracovné podmienky. Meriame výstupné napätie na záťaži meraného kanála v závislosti od frekvencie signálu, ktorý buď ovplyvňujúci kanál. Odstup presluchu vypočítame podľa vzťahu

$$D_{dB} = 20 \log \frac{U_{2n}}{U_{2p}}$$

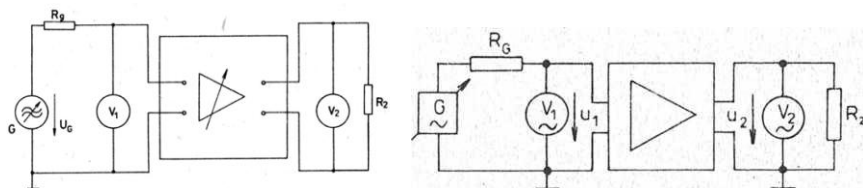
kde U_{2n} - výstupné napätie budeného kanála,

U_{2p} - výstupné napätie meraného kanála.

MERANIE FREKVENČNÝCH CHARAKTERISTÍK ZOSILŇOVAČOV

Amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku meriame pri normálnych prevádzkových podmienkach. Do série s generátorom meracej frekvencie pripojíme menovitú impedanciu príslušného zdroja definovaného STN. Vnútny odpor generátora nemá byť väčší ako 10 % hodnoty impedancie. Vstupné napätie U_1 meriame na vstupe zosilňovača. Výstupné napätie U_2 meriame na predpísanej záťaži. Úroveň napätia zdroja je nižšia o 10 dB oproti menovitej hodnote.

Zapojenie meracieho obvodu na meranie amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky je na obr. 3.43. Meriame závislosť výstupného napätia U_2 pri frekvencii f a konštantnej hodnote vstupného napätia U_1 v určenom rozsahu frekvencií. **$U_2 = f(f)$**



Obr. 3.43. Zapojenie na meranie amplitúdovej frekvenčnej charakteristiky

$$y_u = 20 \log \frac{U_2}{U_{20}} = f(f)$$

Závislosť sa zobrazuje ako amplitúdová frekvenčná charakteristika.

Napätie U_{20} je referenčné výstupné napätie merané pri bežných prevádzkových podmienkach **pri referenčnej frekvencii - zvyčajne 1 kHz**. Závislosť $U_2 = f(f)$ znázorňujeme v logaritmickom merke, závislosť $y_u = f(f)$ znázorňujeme v semilogaritmickom merke y_u , má lineárne súradnice, f má logaritmické súradnice.

Pri zosilňovačoch s frekvenčnými korektormi sa odporúča merať amplitúdovú frekvenčnú charakteristiku so zaradenými korektormi v rôznych polohách regulačných prvkov. Pritom však výstupné napätie pri akejkoľvek frekvencii nesmie prevýšiť 50 % menovitého výstupného napätia. Inak musíme znížiť napätie generátora. Odporúča sa overiť priebeh charakteristiky aj pre nastavenie regulátora zosilnenia (ak ho zosilňovač má) na 0, —6, —20 dB.

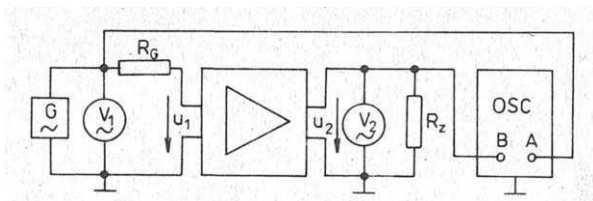
Meraním **fázovej charakteristiky** zisťujeme fázový posun medzi napätím zdroja signálu a výstupným napätím zosilňovača v závislosti od frekvencie signálu. Meria sa spravidla pri bežných prevádzkových podmienkach. Nameraný fázový rozdiel $\Delta\varphi$ vyjadríme alebo v radiánoch alebo v stupňoch a graficky ho znázorníme ako **$\Delta\varphi=f(f)$** . Fázový rozdiel možno prepočítať na časový posun pomocou vzťahov

$$\tau = \frac{\Delta\varphi}{2\pi f} 10^6 \text{ (}\mu\text{s)} \quad (\mu\text{s; rad, } ^\circ, \text{ Hz})$$

$$\tau = \frac{\Delta\varphi}{360 f} 10^6 \text{ (}\mu\text{s)} \quad (\mu\text{s; } ^\circ, \text{ Hz})$$

V prvom vzťahu je $\Delta\varphi$ vyjadrený v rad, v druhom v $^\circ$. Závislosť časového posunu znázorňujeme graficky ako funkciu frekvencie **$\tau=f(f)$**

Namerané výsledky závisia najmä od presnosti merania fázového posunu $\Delta\varphi$ medzi napätím zdroja signálu a výstupným napätím zosilňovača. S výhodou možno použiť **osciloskopické metódy merania** obr. 3.44.



Obr. 3.44. Zapojenie na meranie fázovej charakteristiky priamym meraním posuvu signálu

Pri meraní dvojkanalovým osciloskopom jedna stopa zobrazuje signál zdroja a druhá výstupný signál zosilňovača. Výhodné je nastaviť zosilnenie jednotlivých kanálov tak, aby obidva zobrazené signály mali rovnakú amplitúdu. Pri prechode signálov rovnakou zobrazovacou úrovňou (najlepšie nulovou) odmeriame priamo časový posun medzi vstupným a výstupným signálom. Vzdialenosť prechodov signálu násobíme údajom časovej základne (obr. 3.45).

Obr. 3.45. Určenie fázového posuvu

$$\tau = a m_t$$

a - vzdialenosť v dielikoch rastra,
 m_t - horizontálny vychýľovací činiteľ.

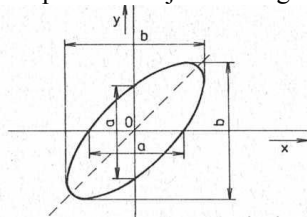


Fázový posun možno vypočítať pomocou predchádzajúcich vzťahov, alebo priamo z nameraných priebehov v radiánoch alebo v stupňoch

$$\Delta\varphi = \frac{a}{l} 2\pi \quad \Delta\varphi = \frac{a}{l} 360 \quad \boxed{\varphi = 360^\circ \Delta t / T}$$

kde l je vzdialenosť najbližších prechodov signálu danou úrovňou v rovnakom smere (obyčajne nulovou a v smere od zápornej do kladnej hodnoty signálu).

Synchronizáciu osciloskopu odvodzujeme od signálu z generátora.



Obr. 3.46. Vyhodnotenie merania fázového posuvu metódou elipsy

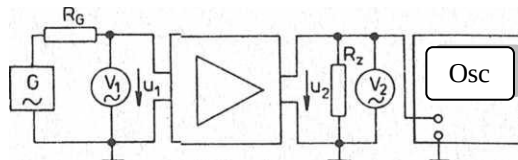
Osciloskopické meranie fázového posunu striedavých signálov metódou elipsy vyžaduje osciloskop s možnosťou vertikálneho aj horizontálneho vstupu. Signál z generátora privádzame na horizontálny vychýľovací stupeň a výstupný signál zo zosilňovača na vertikálny stupeň. Na obrazovke osciloskopu sa vytvorí vo všeobecnom prípade elipsa, z rozmerov ktorej môžeme určiť fázový posun $\Delta\varphi$ medzi vychýľovacími napätiami. S výhodou možno nastaviť zosilnenie vstupov osciloskopu tak, aby amplitúda signálov v horizontálnom aj vertikálnom smere bola rovnaká. Vtedy pre meranie podľa obr. 3.46 platí

$$\sin \Delta\varphi = \frac{a}{b} \quad \Delta\varphi = \arcsin \frac{a}{b}$$

MERANIE SKRESLENIA

Zmena tvaru časového priebehu výstupného signálu v porovnaní so vstupným signálom sa nazýva skreslením. Skreslenie môže byť **amplitúdové**, alebo **fázové**. Zväčša sa sleduje **amplitúdové skreslenie**, ktoré sa vyjadruje ako

- celkové harmonické skreslenie,
- harmonické skreslenie n -tého rádu,
- skreslenie rozdielovým signálom (diferenčné skreslenie) druhého alebo tretieho rádu,
- celkové intermodulačné skreslenie,
- intermodulačné skreslenie n -tého rádu.



Obr. 3.47. Zapojenie na meranie celkového harmonického skreslenia

Súčiniteľ *celkového harmonického skreslenia* vyjadruje pomer efektívnej hodnoty súčtu harmonických zložiek k efektívnej hodnote výstupného napätia U_2

$$d_h = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_{nf}^2}}{U_2} = \frac{\sqrt{U_{2f}^2 + U_{3f}^2 + U_{4f}^2 + U_{5f}^2 + \dots}}{\sqrt{U_f^2 + U_{2f}^2 + U_{3f}^2 + U_{4f}^2 + \dots}} 100 \%$$

kde U_{nf} je výstupné napätie jednotlivých harmonických zložiek nf , ak $n \geq 2$. Meria sa podľa zapojenia na obr. 3.47, pričom na výstup objektu sa zapája merač skreslenia. Meria sa pri menovitých prevádzkových podmienkach.

Merač skreslenia meria v súlade s definíciou celkového harmonického skreslenia tak, že potláča základnú harmonickú zložku a meria efektívnu hodnotu ostatného frekvenčného spektra. Skreslenie vstupného signálu generátora musí byť najmenej 3krát nižšie ako je nameraná hodnota harmonického skreslenia zosilňovača.

Harmonické skreslenie n -tého rádu sa môže merať selektívnym voltmetrom ako pomer efektívnej hodnoty n -tej harmonickej zložky k efektívnej hodnote výstupného napätia.

Lit.: Matej Štepina a kol.: Elektrotechnické meranie