**Parametry nízkofrekvenčních zesilovačů**

Základní zapojení přístrojů pro měření většiny parametrů zesilovačů je uvedeno na obr. 1.1. Při měření frekvenčně závislých parametrů upřednostňujeme kmitočty ležící ve středu třetinooktávových pásem pokrývajících celý rozsah, jsou to: 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000; 12500 a 16000 Hz.

Obsah obrázku hodiny, podepsat, kreslení

Popis byl vytvořen automaticky

Obr. 1.1: Základní zapojení přístrojů pro měření většiny parametrů zesilovačů.

**Přenosová kmitočtová charakteristika**

Je rozdělena na amplitudovou a fázovou kmitočtovou charakteristiku. **Amplitudová** **charakteristika** zobrazuje přenos (zesílení), který je dán poměrem hodnoty výstupní veličinyku veličině vstupní při výstupu naprázdno nebo nakrátko a je frekvenčně závislý. Přenosová charakteristika je tedy závislost zesílení na frekvenci.



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *A*[dB] 20.log | *X*2 | , | (1.1) |
|  |



*X*1



kde *X*1 je vstupní a *X*2 výstupní veličina pro kterou přenos počítáme. Dolní mezní kmitočet je ovlivněn konečnými kapacitami vazebních a blokovacích kondenzátorů, horní mezní kmitočet pak parazitními kapacitami spojů a také poklesem zesilovacích vlastností tranzistorů na vysokých kmitočtech. Oba mezní kmitočty jsou určeny poklesem zesílení o 3 dB oproti lineární části. Šířka pásma audiozesilovače by měla být nejméně 40 Hz – 16 kHz a referenční kmitočet 1 kHz, pro který se udává zmiňovaný pokles zesílení.

Při jejím měření je výstup zatížen jmenovitou zátěží, na vstupy jsou připojeny náhradní vstupní impedance jednotlivých vstupů (univerzální vstup – 47 kΩ/250 pF). Např. pro napěťovou přenosovou charakteristiku je na vstup zesilovače připojen sinusový generátor a je měřeno napětí pomocí voltmetrů (osciloskopu) na jeho vstupu a výstupu. Dále je možné pro měření použít také vhodný spektrální analyzátor, který měří výstupní úroveň signálů buď v dBm (výkon) či dBµV (napětí). Napětí na vstupu, nebo výstupu musí být udržováno konstantní v celém kmitočtovém rozsahu a měřeno je tedy jen výstupní, nebo vstupní napětí v jednom.

S přenosovou kmitočtovou charakteristikou je spojena i **fázová kmitočtová** **charakteristika.** Protože vstupní a výstupní veličiny jsou střídavé a tedy obecně komplexní,je tato charakteristika definována jako závislost rozdílů mezi fázovým posuvem výstupní a vstupní veličiny na kmitočtu. Fázový posuv je také závislý na způsobu zapojení tranzistoru, např. zapojení se společným emitorem SE vykazuje fázový posuv 180º výstupního signálu oproti vstupnímu. K měření této charakteristiky se používají fázoměry, nebo osciloskopy. U více kanálových zesilovačů musí být fázový posuv ve všech kanálech stejný. Jedna z možností zapojení přístrojů pro měření obou charakteristik zároveň je uvedena na obr. 1.2.

Obsah obrázku hodiny, kreslení

Popis byl vytvořen automaticky

Obr. 1.2: Zapojení přístrojů pro měření amplitudové i kmitočtové charakteristiky.

**Vstupní citlivost**

Citlivost udává velikost vstupního napětí, které je nutné k dosažení jmenovitého napětí, nebo výkonu na výstupu zesilovače. Tato hodnota se pohybuje od jednotek po stovky milivoltů. Při nedodržení vstupní citlivosti dochází ke značnému zhoršení odstupu signálu od šumu.

**Dynamický rozsah**

Zesilovač nedokáže zpracovat neomezeně velký signál, slabé signály zaniknou v šumu, případně brumu a velké signály jsou omezeny napájecím napětím zesilovače, parametry a zapojením aktivních prvků. Dynamický rozsah je tedy podíl maximální a minimální hodnoty vstupního napětí, při kterých ještě nedojde k nedovolenému zkreslení na výstupu:



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *DR*[dB] 20.log | *U*1max | . | (1.2) |
|  |



*U*1min



**Vstupní impedance**

Tento parametr je nutné znát pro optimální přizpůsobení zdroje signálu ke vstupu zesilovače, protože přetížení zdroje vede ke snížení dodávaného napětí a tím i zhoršení poměru SNR, je definován jako

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *Z*1 | *U*1 | , | (1.3) |
|  |
|  | *I*1 | |  |



kde *U*1 je napětí na vstupu zesilovače, *I*1 je proud tekoucí do zesilovače. Tyto veličiny jsou kmitočtově závislé, ale tuto závislost ve většině teoretických výpočtů zanedbáváme. I když jsou obecně napětí a proud komplexní, téměř vždy převládá reálná složka vstupní impedance označovaná jako vstupní odpor. Normovaná vstupní impedance vysokoohmových vstupů je 47 kΩ/250 pF. Ve většině případů se používá připojení „naprázdno“, tzn., že zdroj by neměl být vstupem zesilovače podstatněji zatěžován, proto je doporučeno, aby byla vstupní impedance 5-10 krát vyšší než výstupní impedance připojeného zdroje signálu.

Pro měření vstupní impedance lze použít několik metod. Ke vstupu zesilovače je připojen funkční generátor a pomocí něho nastavené určité výstupní napětí. V dalším kroku tento generátor připojíme na vstup zesilovače, přes sériově zapojený proměnný odpor. Pomocí tohoto odporu snížíme velikost výstupního napětí na polovinu a změříme hodnotu nastaveného odporu, což odpovídá vstupnímu odporu zesilovače.

Druhá možnost je například ta, že zesilovač zapojíme podle obr. 1.2. Hodnota odporu Rg by se měla rovnat 1/10 očekávaného vstupního odporu. Výstupní napětí je opět nastaveno na určitou hodnotu a měřeno je napětí na odporu Rg a napětí na vstupu zesilovače, z toho lze vstupní odpor vypočítat jako

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Z*1 |  |  |  | U | | |  |  | .*Rg* , | | | (1.4) | |
|  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  | *u* |  | | |  |  |  | |  | |
|  |  |  |  |  | | |  |  |
|  |  |  |  |  |  | | |  | | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  | | |  |  |  | |  | |



kde *U* odpovídá napětí na vstupu zesilovače a *u* napětí na odporu Rg.

**Výstupní impedance**

Optimální výkonové přizpůsobení nastane tehdy, když výstupní impedance zdroje je stejně veliká jako impedance zátěže. V katalozích jsou udávány výstupní výkony zesilovačů pro určitou zatěžovací impedanci. Typické velikosti zátěže v audio technice jsou 4, 8, 16 nebo 100 Ω].

Měření probíhá obdobně, jako měření vstupní impedance s tím rozdílem, že funkční generátor je připojen k výstupu zesilovače. Je možné tedy použít obě předchozí uvedené metody. Mezi vstupní svorky zesilovače je zapojen normovaný vstupní odpor. Připojíme funkční generátor k výstupu zesilovače s rezistorem R v sérii, viz obr. 1.3 .

Na generátoru je nastaveno určité napětí a odečítáme napětí na výstupu zesilovače a napětí na rezistoru R. Pro výpočet výstupní impedance lze použít podobný vzorec jako pro vstupní impedanci



|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Z*2 |  |  | *u* | .*R* , | (1.5) |
|  |
|  |  |  |
|  |  |  | *u*1 | |  |

Obsah obrázku kreslení

Popis byl vytvořen automaticky

kde *u* je napětí na výstupu zesilovače a *u*1 napětí na odporu R.

Obsah obrázku hodiny, objekt, kreslení, kov

Popis byl vytvořen automaticky

Obr. 1.3: Zapojení přístrojů pro měření výstupní impedance.

**Vnitřní odpor (impedance)**

Vnitřní odpor (impedance) je dán zápornými zpětnými vazbami zesilovače. Pokud je vnitřní odpor menší jsou více zatlumovány reproduktory, což má příznivý dopad na jakost reprodukce. Podle normy může být vnitřní odpor zesilovače maximálně 1/3 impedance zátěže.

S tímto parametrem je spojen **činitel tlumení** zesilovače, což je poměr zatěžovací a vnitřní impedance zesilovače. A podle normy musí být činitel tlumení maximálně 3.

Měření vnitřního odporu se provádí tak, že je připojen funkční generátor, který zesilovač vybudí na jmenovité výstupní napětí „naprázdno“. Následně je připojena zátěž a změřeno výstupní napětí se zátěží. Výsledný vnitřní odpor je dán vztahem



|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Z* |  |  | *U*20 *U*2 | .*R* |  | , | (1.6) |
| i |  | Z |
|  |  | *U*2 | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |



kde je *U*20 napětí při výstupu naprázdno, *U*2 napětí při zatíženém výstupu a RZ zatěžovací odpor zesilovače.

**Odstup cizích napětí**

Udává poměr jmenovitého výstupního napětí a napětí zbytkového – rušení vyjádřený většinou v decibelech. U zesilovačů s malým poměrem SNR může být slabý signál zcela znehodnocen. Musí být známa také vstupní citlivost, vstupní impedance a vstupní napětí, při kterých je tato hodnota uvedena. Předzesilovače by měly mít SNR větší než 50 dB, výkonové zesilovače potom více než 60 dB.

Při měření by měla být zařazena pásmová propust (například 32,5 až 20 000 Hz), aby byly vyloučeny vlivy z mimoakustické oblasti, ovšem v naprosté většině případů jsou rozdíly oproti měření bez pásmové propusti zanedbatelné. Na vstup tedy přivedeme signál, který odpovídá minimálnímu vstupnímu signálu daného vstupu. Pro korekční zesilovače by měly být regulátory hlasitosti nastaveny tak, aby napětí na výstupu odpovídalo vybuzení 2×50 mW (stereo) nebo 100 mW (mono).

Dále je udáván parametr odstup **rušivých napětí**. Tento parametr je v principu shodný s odstupem cizích napětí, ale před měřič zbytkového napětí se váhový filtr A, který respektuje vlastnosti lidského sluchu při malých hlasitostech .

**Jmenovitý výstupní výkon a výkonová šířka pásma**

**Jmenovitý výstupní** (trvalý) **výkon** je výkon, který může zesilovač dodávat do zátěžepo dobu alespoň 10 minut, při vstupním signálu o frekvenci 1 kHz a při dodržení činitele harmonického zkreslení, který nesmí překročit hodnotu 0,7 % pro koncové zesilovače a 1 % pro výkonové zesilovače. Výstupní výkon lze vypočítat podle vzorce

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *P* |  | *U*2 |  | , | (1.7) |
|  |  |  |
| 2 |  | *R*Z | |  |  |
|  |  |  |  |



kde je *U*2 napětí na zátěži a RZ je zatěžovací impedance.

**Výkonová šířka pásma** je frekvenční rozsah, ve kterém poklesne výstupní výkonzesilovače na polovinu – o 3 dB, za podmínky dodržení jmenovité hodnoty činitele harmonického zkreslení. Podle normy je stanoveno, že minimální výkonová šířka pásma je od 40 do 12500 Hz. Měří se shodně se jmenovitým výkonem a stanovují se mezní kmitočty poklesu výstupního výkonu na polovinu.