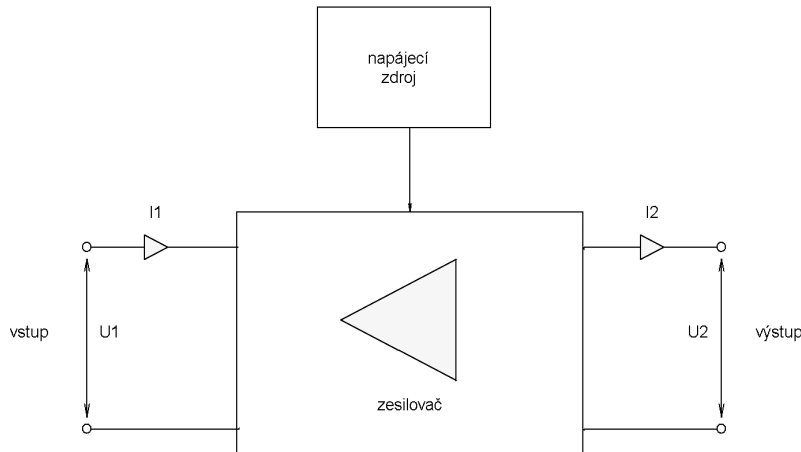


Nízkofrekvenční zesilovače

Zesilovač je elektronické zařízení, jehož *úkolem je zesílení signálu na požadovanou úroveň*. Má vstup a výstup, je to tedy čtyřpól, na jehož vstupní svorky přivádíme signál, který chceme zesílit. Blokové schéma zesilovače je na obr. 1.1



Obr.1.1 Blokové schéma zesilovače

Zdrojem signálu může být např.

- mikrofón (elektrodynamický, elektrostatický, piezoelektrický,...),
- přenoska (elektromagnetický, magnetodynamická, elektromechanická),
- tuner (rozhlasový přijímač),
- magnetofon (kasetový, cívkový, digitální),
- přehrávač (CD, SACD, DVD...),
- zvukový výstup (TV přijímače, videorekordery, záznamník...)

Zdrojem signálu je v širším smyslu nejen převodník akustického signálu na elektrický, ale i výstup jiného zařízení.

Rozlišujeme ***nízkoúrovňový zdroj signálu*** – stovky μV až mV . Je nutná vysoká vstupní citlivost zesilovače nebo předzesilovače.

Vysokoúrovňový zdroj signálu – od stovek mV až do $1,5\text{V}$ – běžná vstupní citlivost zesilovače.

Úroveň výstupního signálu některých zdrojů signálu:

Tuner - rozhlasový přijímač bez dalších zesilovacích stupňů, výstup nf signálu obvykle $100\text{--}250\text{mV}$

Gramofon – přenoska – nutný předzesilovač korekce RIAA, výstup nf signálu $1\text{--}20\text{mV}$

Přehrávač CD, SACD, DVD – linkový výstup obvykle $0,775\text{V}$

Magnetofon – výstupní nf signál $100\text{--}500\text{mV}$

Zvukový výstup – normalizovaný linkový výstup $0,775\text{V}$ z TV, SAT, HDD rekorderů, kapesních přehrávačů.

Zesilovač ke své činnosti vyžaduje ***napájecí napětí***. Část přivedené elektrické energie se mění ve ztrátové teplo a mluvíme tedy o jeho účinnosti. Tato vlastnost je podstatná zejména u výkonových zesilovačů. Vstupní i zesílený výstupní signál mají určitou velikost

napětí a mohou dodávat určitý proud. Součin výstupního napětí a proudu udává výkon, který je zesilovač schopen odevzdat do zátěže.

Vlastností a parametry zesilovačů

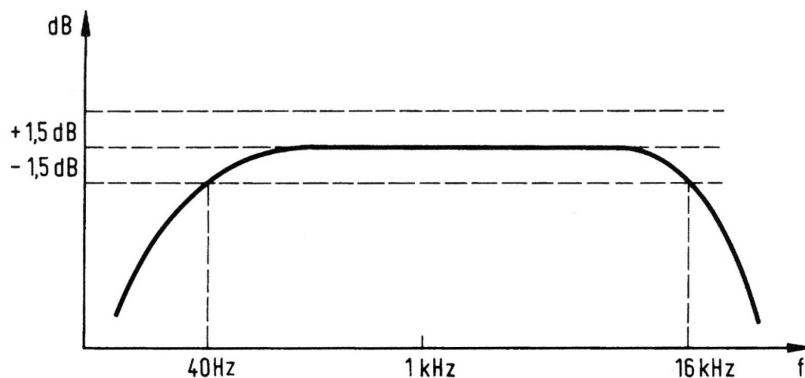
Nejdůležitější charakteristiky uváděné u zesilovačů jsou:

- Vstupní citlivost
- Vstupní impedance
- výstupní impedance,
- kmitočtová a fázová charakteristika a přenosové pásmo,
- jmenovitý výstupní výkon a hudební výstupní výkon,
- odstup cizích a rušivých napětí,
- přeslechy mezi kanály a jednotlivými vstupy,
- činitel lineárního, harmonického a intermodulačního zkreslení,
- výkonová šířka pásma,
- dynamika,
- činitel tlumení ... a další.

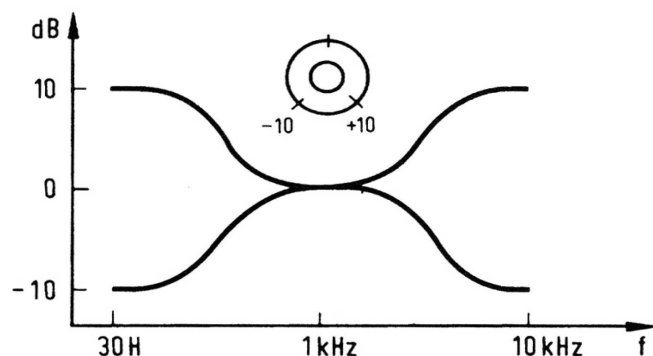
Vstupní citlivost – udává velikost vstupního napětí, které je nutné k dosažení jmenovitého napětí na výstupu, případně jmenovitého výstupního výkonu. Pokud zesílíme signál, který je menší než udávaná vstupní citlivost, zhoršuje se poměr signál/šum (S/N). Důležitou hodnotou je velikost maximálního vstupního napětí, které je zesilovač schopen zpracovat bez většího zkreslení – **přebuditelnost**.

Vstupní impedance – pro optimální přizpůsobení zdroje signálu ke vstupu zesilovače je důležité znát vstupní impedanci. Reálná složka impedance R většinou převládá, pak mluvíme o vstupním odporu. **Normovaná impedance vstupu je většinou $47\text{ k}\Omega/250\text{ pF}$** . Vstupní impedance zesilovačů by měla být 5 – 10 x větší než výstupní impedance zdroje. Zdroj pak pracuje „naprázdno“ a zesilovač jen málo ovlivní jeho vlastnosti.

Kmitočtová charakteristika – nf zařízení by mělo věrně přenášet signály v min. rozsahu (40 Hz – 16 kHz) a u kategorie HiFi by odchylka charakteristiky v tomto pásmu neměla překročit toleranční pole $\pm 1\text{ dB}$. Na obr. 1.2 je kmitočtová charakteristika zesilovače



Obr.1.2 Kmitočtová charakteristika zesilovače
[obrázek převzat z Tutoriálu 1 (KNFE) VUT Brno, Úvod do nízkofrekvenční techniky]



Obr. 1.3 kmitočtová charakteristika pásmového korektoru
[obrázek převzat z Tutoriálu 1 (KNFE) VUT Brno, Úvod do nízkofrekvenční techniky]

Odstup cizích napětí – udává poměr mezi maximálním užitečným signálem a signálem zbytkovým a udává se v dB. Parametrem měření je vstupní citlivost, impedance, kmitočet (zpravidla 1 kHz) a vstupní napětí, na kterém je odstup rušivých signálů udán. Charakteristika se měří se v pásmu (32,5 Hz – 20 kHz). Předzesilovače a výkonové zesilovače s výstupním výkonem pod 20W by měly mít odstup cizích napětí větší než 50 dB (1:300), výkonové zesilovače nad 20W pak více než 60 dB (1:1000). Velmi přísné nároky jsou kladeny na studiové a profesionální zařízení, odstup >100 dB.

Zkreslení – zpravidla se udává činitel harmonického a intermodulačního zkreslení. U lineárního zkreslení nejsou věrně reprodukovány amplitudy, ale frekvence zůstávají nezměněny. Naopak nelineární zkreslení ovlivňuje spektrum signálu.

Činitel harmonického zkreslení k – je objektivní mírou posouzení velikosti nelineárního zkreslení. Udává se v [%] a představuje údaj, kolik procent užitečného harmonického signálu představuje směs vyšších harmonických složek, generovaných zesilovačem (THD - Total Harmonic Distortion). Činitel harmonického zkreslení je závislý na velikosti výstupního napětí, resp. na výkonu a na kmitočtu. Pro výkonové zesilovače je maximální přípustný činitel harmonického zkreslení 3 % na kmitočtech 62,5 Hz a 4 kHz a 2 % při 1 kHz (pro jmenovitý výkon). Měření se provádějí také na (40, 100, 400, 1k a 6,3k) Hz. U předzesilovače se vyžaduje maximální zkreslení 0,7 % v kmitočtovém pásmu (40 Hz - 4 kHz), u koncového zesilovače se vyžaduje pro plné vybuzení maximální zkreslení 0,7 % v kmitočtovém pásmu (40 Hz - 12,5 kHz) a výkonové zesilovače mají mít celkové harmonické zkreslení pod 1 %.

Zesílení je bezrozměrnou jednotkou a udává, kolikrát se změní příslušný parametr (napětí, proud, výkon).

Napětíové zesílení:
$$A_u = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}$$

Proudové zesílení:
$$A_I = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}$$

Výkonové zesílení:
$$A_p = \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1}$$

V praxi se zesílení udává v **decibelech [dB]**. Je to poměrová veličina, která vyjadřuje poměr dvou čísel – míra zesílení – a je definován v logaritmickém měřítku pomocí výkonu, napětí nebo proudu.

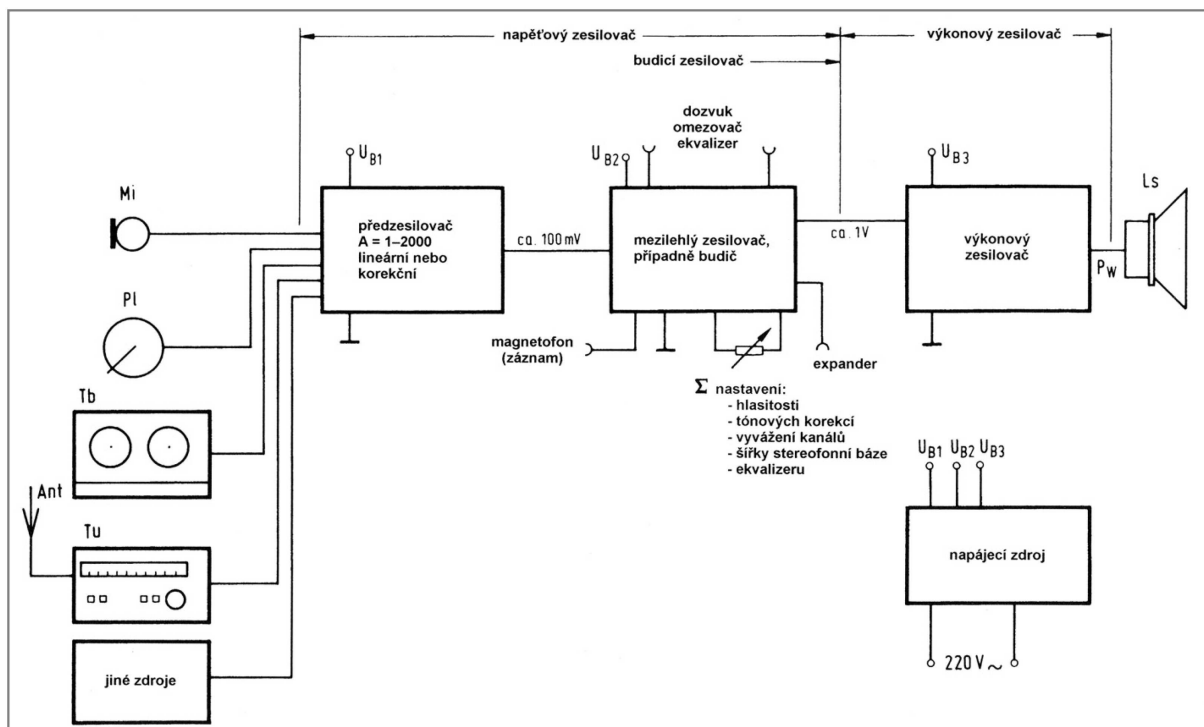
$$\text{Zesílení výkonu: } A_p = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$

$$\text{Zesílení napěťové: } A_U = 20 \log \frac{U_2}{U_1}$$

$$\text{Zesílení proudové: } A_I = 20 \log \frac{I_2}{I_1}$$

Hodnoty vyjádřené v dB se používají v nízkofrekvenční elektronice k definování zesílení (označení +), útlumu (označení -), frekvenční charakteristiky, odstupů signálu od šumu, přeslechů ...

Na obr. 1.4 je zobrazený **nízkofrekvenční přenosový řetězec**, kde jsou zobrazeny a propojeny jednotlivé zesilovací stupně.



Obr. 1.4 Blokové schéma nízkofrekvenčního přenosového řetězce [obrázek převzat z Tutoriálu 1 (KNFE) VUT Brno, Úvod do nízkofrekvenční techniky]

Nízkofrekvenční zesilovače v přenosovém řetězci

Napěťový zesilovač – předzesilovač, mezifrekvenční a budící zesilovač.

Korekční předzesilovač (Preamplifier) – nastavení hlasitosti, hloubek a výšek, fyziologická regulace hlasitosti, stereofonní vyvážení.

Pásmový korektor (Equalizer) – kmitočtová korekce v jednotlivých pásmech kanálů, grafický equalizer, oktávový equalizer, úprava nedostatků frekvenčního rozsahu přehrávaného signálu nebo poslechového prostoru.

Výkonový zesilovač - koncový zesilovač (Power Amplifier) Napětově proudový (výkonový) měnič, který vybudí membránu reproduktoru na potřebný elektrický výkon, který se z části přemění na akustický výkon. Výstupní výkon od několika mW (pro sluchátka) až po kW (ozvučovací zařízení). Výkonové prvky (bipolární a MOSFET tranzistory, elektronky) musí snést velké proudové zatížení a je nutné dostatečné chlazení (odvod ztrátového výkonu). Průměrná účinnost 50 až 65 %.

Základní rozdělení zesilovačů

Zesilovače můžeme rozdělit podle různých kritérií, například na *zesilovače napětí, proudu a výkonu, nízkofrekvenční, vysokofrekvenční a širokopásmové, dále podle nastavení pracovního bodu a principu činnosti do tříd A, AB, B, C, D, G, H, S a T nebo na předzesilovače a výkonové (koncevé) zesilovače.*

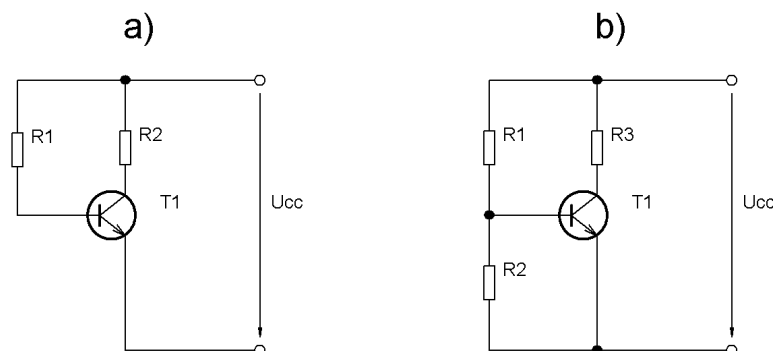
Nízkofrekvenční zesilovače slouží k zesilování slyšitelného pásma kmitočtů, tj. zhruba 20 Hz až 20 kHz. Vysokofrekvenční zesilovače se používají pro zesílení kmitočtů vyšších než 20 kHz. Nalezneme je nejčastěji v rozhlasových a televizních přijímačích, vysílačích nebo mobilních telefonech. Širokopásmové zesilovače se používají především v měřicích přístrojích (osciloskopy, měřiče kmitočtu, milivoltmetry apod.), kde je třeba pracovat se širokým spektrem kmitočtů.

Zesilovače, pracující ve třídě A, mají pracovní bod nastaven na střed lineární části převodní charakteristiky, mohou tedy s minimálním zkreslením zpracovat kladná i záporná napětí, a proto se používají k zesílení střídavého napětí. Výkonové nízkofrekvenční zesilovače pracují velice často ve třídě AB, s malým klidovým proudem, nebo B s nulovým klidovým proudem. Hlavní výhodou je zvýšení účinnosti. Aby bylo možno zesilovat obě půlvlny střídavého napětí, používá se komplementárních tranzistorů (viz. dále). Další třídy zesilovačů nejsou běžně využívány, a proto se jimi dále zabývat nebudeme.

V současné době se převážně setkáte se specializovanými integrovanými obvody a zesilovače s diskrétními součástkami se používají jen v jednoduchých aplikacích. Můžeme se však také setkat s elektronkovými zesilovači či digitálním zpracováním signálu.

Nastavení a stabilizace pracovního bodu tranzistoru

Nastavením pracovního bodu tranzistoru rozumíme určení vhodné hodnoty stejnosměrného proudu do báze I_B . Tento proud ovlivňuje proud kolektoru I_C a tím i úbytek napětí na kolektorovém rezistoru a napětí na kolektoru U_{CE} . Abychom dosáhli co největší amplitudy výstupního napětí, mělo by U_{CE} být přibližně polovinou napájecího napětí. Následující obrázek ukazuje nejjednodušší možnosti nastavení pracovního bodu.



a) Proud I_B vytváří na rezistoru R_1 úbytek napětí a současně určuje jeho velikost.

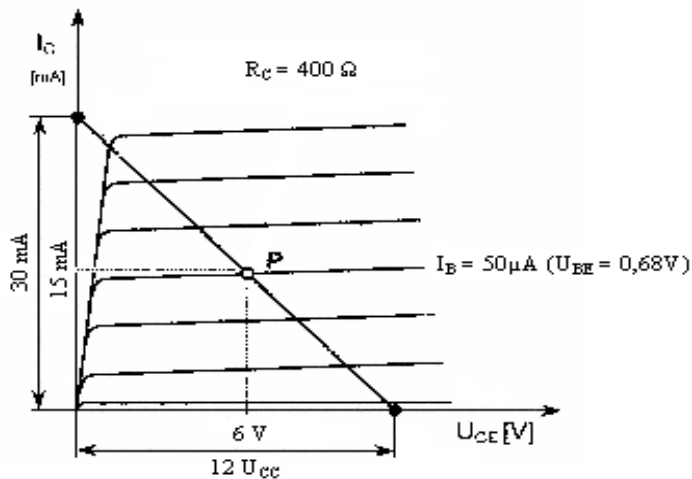
b) V tomto případě je k nastavení pracovního bodu použito děliče napětí, jehož příčný proud je několikanásobně větší než proud báze (tvrdý dělič napětí). Napětí na bázi je stabilní a nekolísá. Nevýhodou takového řešení je, že rezistor R_2 , který je připojen paralelně ke vstupu, snižuje vstupní odpor zesilovače a zatěžuje zdroj vstupního signálu. Měkký dělič napětí s většími hodnotami R_1 a R_2 volíme u takového zapojení, kde prochází malý I_C a v kolektoru je velká hodnota rezistoru R_3 .

Počtení příklad nastavení pracovního bodu tranzistoru:

Tranzistor NPN např. BC546. Tranzistor zapojený se SE a odporovým děličem v bázi.

Pracovní bod tranzistoru určuje napětí U_{CC} , U_{BE} , U_{CE} , I_B , I_C .

Použití odporové přímky:



Přímku zakreslíme do výstupní charakteristiky tranzistoru. Odporová přímka svými konci určuje na ose U_{CE} napájecí napětí zapojení tranzistoru (napětí $U_{CE} = U_{CC}$).

Na ose I_C určuje proud tekoucí tranzistorem, jestliže bude otevřený do saturace.

Připojíme-li na bázi tranzistoru napětí $U_{BE} = 680\text{mV}$, bude zároveň vyvolán proud báze

$I_B = 50\mu\text{A}$. Protože má jít o zesilovač střídavého výkonu, buzený sinusovým signálem, musí být zaručeno, že budou zpracovány kladné i záporné signálové změny (půlvlny). Proto je účelné aby pracovní bod ležel pokud možno ve středu pracovní oblasti – zesilovač pracující ve třídě A. **Pracovní bod je vhodné umístit tak aby napětí tranzistoru U_{CE} bylo poloviční napájecího napětí U_{CC} .**

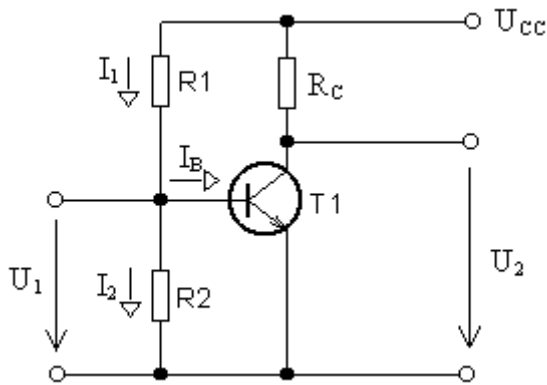
Celkový stratový výkon – výkon odvedený ve formě tepla.

$P_{tot} = I_C \cdot U_{CE}$ [mW nebo W]; záleží na výkonu tranzistoru.

$P_{tot} = 300\text{mW}$. Pro tranzistor BC546

Je nutné zjistit katalogový údaj celkového stratového výkonu daného typu tranzistoru. V našem případě pracovní bod leží v přípustné oblasti výkonů.

$P_{tot} = I_C \cdot U_{CE} = 15\text{mA} \cdot 6\text{V} = 90\text{mW}$



K tomu musí být prostřednictvím odporového děliče v bázi zajištěno, aby z napájecího zdroje $U_{cc} = 12V$ vzniklo kladné napětí báze proti emitoru $680mV$, přičemž proud báze bude $0,05mA$. Odpor, z kterého bude odebráno napětí, zde odpor R_2 , musí být malý v poměru k zatěžovacímu odporu. V tomto případě je to stejnosměrný vstupní odpor tranzistoru.

V praxi volíme proto R_2 ve vztahu k R_{BE} takto:

$$R_2 = \left(1 \text{ až } \frac{1}{10}\right) R_{BE}$$

to znamená, že proud I_2 musí ležet v následujících mezích:

$$I_2 = (1 \text{ až } 10)I_B$$

V praxi volíme $I_2 = 5I_B$

Odporový dělič musí splňovat následující parametry:

$$I_B = 0,05mA; U_{BE} = 0,68mV; U_{CC} = 12V$$

I_2 vypočítáme: $I_2 = 5I_B = 5 \cdot 0,05 = 0,25mA$

$$\underline{\underline{I_2 = 0,25mA}}$$

Při napětí $U_{BE} = 0,68V$ má odpor R_2 hodnotu:

$$R_2 = \frac{U_{BE}}{I_2} = \frac{0,68}{0,25 \cdot 10^{-3}} = 2720\Omega$$

$$\underline{\underline{R_2 = 2720\Omega}}$$

Na odporu R_2 je úbytek napětí $U_{R2} = 0,68V$ a na odporu R_1 se musí vytvořit napětí $U_{CC} - U_{BE} = 12 - 0,68 = 11,32$ přičemž proud I_1 tekoucí rezistorem je $I_1 = I_B + I_2 = 0,05 + 0,25 = 0,3mA$

Vypočítáme odpor R_1 :

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_1} = \frac{11,32}{0,3 \cdot 10^{-3}} = 37800\Omega$$

$$R_1 = 37800\Omega$$

Pracovní bod je tedy daný těmito hodnotami

$$\begin{array}{ll} U_{BE} = 680 \text{ mV} & I_B = 0,05 \text{ mA} \\ U_{CE} = 6 \text{ V} & I_C = 15 \text{ mA} \end{array}$$

Nesmíme přitom zapomínat, že odpor R_C má rozhodující podíl na stanovení pracovního bodu, neboť při $U_{CE} = 6 \text{ V}$ určuje proud

$$I_C = \frac{U_{CE}}{R_C} = \frac{6}{400} = 0,015 = 15 \text{ mA}$$

Zpracovává se:

Zpětná vazba

Jednostupňový zesilovač – cvičení

Dvoustupňový zesilovač – cvičení

Korekční zesilovače

Výkonové zesilovače – tranzistorové, integrované

Předzesilovače s OZ – invertující a neinvertující se symetrickým a nesymetrickým napájecím napětím

Oscilátory – Nf – RC, LC; Vf – stručně; krystalové