

Měření vlastností rozdílového zesilovače (diferenčního stupně)

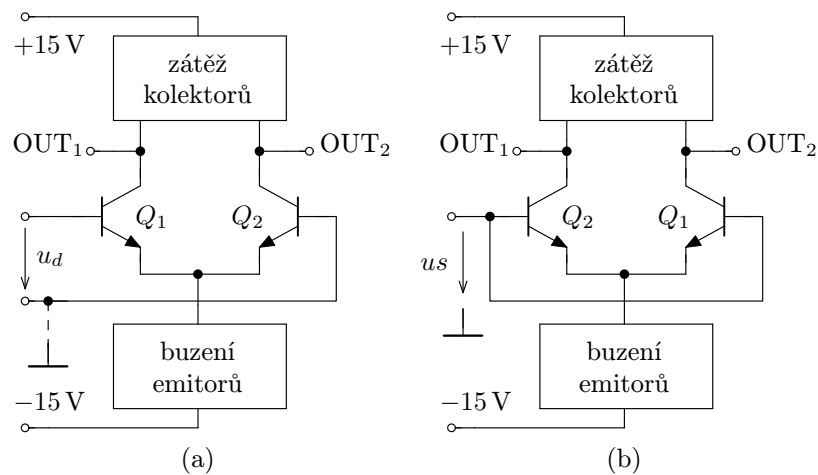
Návod k přípravku pro laboratorní cvičení v předmětu EO.

Cílem měření je seznámit se s funkcí a základními vlastnostmi diferenčního zesilovače, pracujícího jak do odporové, tak do aktivní dynamické zátěže a s různými typy napájecích obvodů v emitorech. Hlavními úkoly jsou: (a) vykreslení převodní charakteristiky (charakteristik) a zjištění rozsahu linearity zesilovače pro různé typy napájecích obvodů v emitorech, (b) zjištění velikosti rozdílového a souhlasného zesílení pro různé typy napájecích obvodů v emitorech (případně i pro dynamickou zátěž v kolektorech).

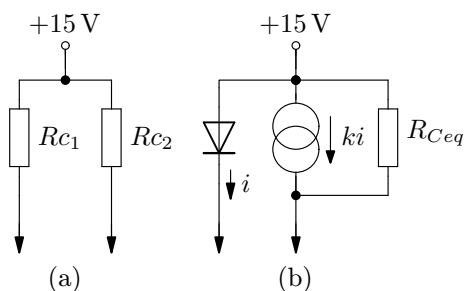
Tato úloha předpokládá základní znalosti z teorie obvodů a z elektronických obvodů (linearizace zapojení s tranzistory a jeho následnou analýzu).

1. Popis přípravku

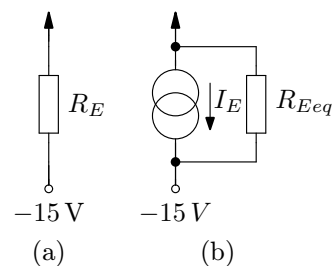
Principiální zapojení přípravku pro měření rozdílového zesílení je na obrázku 1 (a), pro měření zesílení souhlasného na obrázku 1 (b).



Obrázek 1: Princip měření (a) rozdílového a (b) souhlasného zesílení



Obrázek 2: Typy kolektorových zátěží: (a) odporová a (b) aktivní dynamická



Obrázek 3: Typy emitorových obvodů: (a) odporový, (b) proudový zdroj

Jak je patrné z těchto zapojení, lze zesilovač rozdělit do tří základních částí – vlastní zesilovač, obvod zátěže kolektorů a napájení emitorů, jejichž principiální zapojení je na obrázcích 2 a 3.

Konkrétní zapojení přípravku je uvedeno obrázku 5 v závěru návodu na straně 6. Plošný spoj přípravku a rozložení součástek pak na straně 5. Proudové zdroje mají konečnou hodnotu vnitřního odporu, který je dán konkrétním zapojením. Zde je vyjádřen odpory R_{Ceq} a R_{Eeq} . Proud dynamické zátěže je navíc řízený, což vede na aktivní dynamickou zátěž.

Aby tranzistory Q_1 a Q_2 vlastního zesilovače měly shodné parametry a pracovaly při stejné teplotě jsou realizovány integrovaným obvodem CA3086 (IO1). Přepínání kolekto-

rových zátěží je umožněno přepínacími spojkami J3 a J4. Mezi rozdílovým a souhlasným buzením zesilovače lze přepínat spojkou J2 (pozice 1 a 2).

Napájení emitorů lze přepínat spojkou J5. Lze připojit odpor R5 (R_E), který nastaví proud tranzistoru asi na 2 mA (2×1 mA). Dále lze zapojit napájení pomocí proudového zdroje I_E , realizovaného zapojením s tranzistorem Q5 IO1. Proud pak lze měnit spojkou J6 mezi hodnotami cca 2 mA (poloha 1-2) a cca 1 mA (poloha 2-3).

Dynamická zátěž je realizována proudovým zrcadlem (T1 – T3), jehož proudový přenos lze „dostavovat“ trimrem R10. Při měření s dynamickou zátěží je vhodné stabilizovat pracovní bod zesilovače ($U_{CE}^{Q_1}$). To lze uskutečnit pomocí stejnosměrné záporné zpětné vazby (ZZV), kterou lze zapojit přes oddělovací zesilovač (T4) spojkou J2 ve třetí pozici při měření rozdílového zesílení. Výstupní napětí je potom měřeno na výstupu OUT3, aby měření nebylo ovlivněno vnitřním odporem měřicího přístroje.

Pro měření rozdílového zesílení je přípravek doplněn vstupním děličem, který lze zkratovat spojkou J1. Přípravek je dále vybaven ochranou proti vysokému napájecímu napětí a přepřelování.

Jelikož je vstupní signál pro všechna měření střídavý, je výstupním signálem míněn vždy signál střídavý, resp. jeho střídavá složka.

2. Postup měření

2.1. Měření převodních charakteristik

4 b

Měření provádějte pro odporovou zátěž kolektorů a pro dvě různé hodnoty napájecího proudu emitorů.

Generátor budicího signálu připojte na kanál X osciloskopu, který je přepnut do X-Y módu (horizontálně externě rozmítán místo čas. základny). Odsud veďte signál (např. pomocí T-BNC) do vstupu IN přípravku. Y kanál zapojte na výstup OUT2, případně na OUT1. Na přípravku zapojte vstupní dělič (J1 rozpojen), přepněte na rozdílové buzení (J2 do polohy 1), zapojte odporovou zátěž do kolektorů – zkratujte piny 1 a 2 spojek J3 (J3 1-2) a J4 (J3 1-2, J4 1-2). Emitory napájejte v prvním případě přes odpor R_E (J5 1-2), v druhém případě zdrojem $I_E = 1$ mA (J5 2-3, J6 2-3). Na generátoru nastavte trojúhelníkový průběh a minimální výstupní amplitudu. Nyní můžete připojit napájecí napětí, jehož velikost **nesmí přesáhnout ± 15 V** a zapnout generátor a osciloskop. Kmitočet rozmítání volte asi 200 Hz.

Zvyšujte amplitudu buzení a sledujte, kdy nastane omezení výstupního signálu. Zobraze a zakreslete převodní charakteristiku v měřítku tak, aby byla velmi dobře určitelná hodnota maximálního buzení, kdy zesilovač ještě pracuje v lineární oblasti. Z této hodnoty a z hodnoty rozkmitu výstupního signálu určete rozdílové zesílení. Při výpočtu nezapomeňte na vliv dělicího poměru vstupního děliče. Do stejného obrázku vynesete i charakteristiku, je-li výstupní signál odebírán z OUT1. V jakém případě je fáze přenosu obrácená? Měření opakujte pro $I_E = 1$ mA a výsledky opět zaznamenejte.

Pozn.: Pověšimněte si, že výsledky tohoto měření nezávisí na typu napájení emitorů, ale na velikosti klidového proudu I_E (při $I_E = 2$ mA dostaneme stejné výsledky jako pro napájení emitorů přes R_E).

2.2. Měření rozdílového zesílení

2 b

J1 ponechte rozpojen a měření opět provádějte při rozdílovém buzení (J2 pol. 1), dále při odporové zátěži kolektorů a pro všechny typy napájení emitorů (R_E , $I_E = 2$ mA a $I_E = 1$ mA). Výstupní signál odebírejte z výstupu OUT2. Na výstup vždy připojujte kromě měřicího přístroje i osciloskop ke kontrole tvaru výstupního signálu.

Na generátoru zvolte sinusový tvar výstupního signálu, který budete již používat pro všechny zbývající úkoly. Velikost výstupního signálu generátoru nastavte na 1 V a kmitočet asi na 1 kHz. Pro všechny tři případy vypočtete hodnotu rozdílového zesílení A_d .

$$A_d = 100 \frac{u_{OUT2}}{u_{IN}} \quad (1)$$

Z rozdílu vypočteného údaje ze vztahu (1) a teoretické hodnoty zesílení A_d (známe R_C a $I_C|_{P_0}$, tj. g_m) vypočtete velikost Earlyho napětí tranzistoru Q2.

Pozn.: I když je výše uvedeno, že měření je prováděno při „rozdílovém buzení“, ve skutečnosti není zesilovač buzen pouze rozdílovým signálem. Za jakého předpokladu platí tedy vypočtené výsledky A_d ?

2 b

2.3. Měření souhlasného zesílení

Zkratujte spojku J1 a měření provádějte při souhlasném buzení (J2 pol. 2), při odporové zátěži kolektorů a pro všechny typy napájení emitorů (R_E , $I_E = 2 \text{ mA}$ a $I_E = 1 \text{ mA}$). Výstupní signál odebírejte z výstupu OUT2.

Velikost vstupního signálu nastavte na 2 V a kmitočet opět asi na 1 kHz. Pro všechny tři případy vypočtete ze změřených hodnot velikost rozdílového zesílení A_s a činitel potlačení souhlasného signálu CMRR:

$$A_s = \frac{u_{OUT2}}{u_{IN}}, \quad \text{CMRR} = 20 \log \frac{A_d}{A_s} [\text{dB}]. \quad (2)$$

1 b Pozn.: Při napájení emitorů z proudového zdroje je výsledek zatížen větší chybou. Je to způsobeno nízkou úrovní výstupního signálu (i jednotky mV) a zároveň nízkou hodnotou odstupů signál/šum. Abychom tento vliv eliminovali, lze v nejjednodušším případě, měření provádět pro stejnosměrné buzení. Na vstup zapojte postupně stejnosměrné napětí cca +2 a -2 V z odděleného zdroje. Změřte pro obě varianty výstupní napětí a výsledné zesílení určete jako podíl diferencí $A_s = \Delta U_{OUT2} / \Delta U_{IN}$.

1 b Z naměřených hodnot zesílení A_s vypočtete přibližnou velikost ekvivalentního emitorového odporu R_{Eeq} pro měření s proudovým zdrojem pro obě velikosti I_E . Vysvětlete rozdílné hodnoty tohoto odporu pro rozdílné proudy I_E . Je vypočtená hodnota odporu R_{Eeq} skutečně pouze výstupním odporem emitorového proudového zdroje? Co ovlivňuje její skutečnou velikost?

2.4. Měření s dynamickou zátěží

1 b

Pro měření rozdílového zesílení rozpojte J1. Měření provádějte při rozdílovém buzení, ale se zavedenou stejnosměrnou ZZV (J2 pol. 3), dále pro dynamickou zátěž kolektorů (J3 2-3, J4 2-3) a pouze pro případ napájení emitorů přes odpor R5 (J5 1-2). Výstupní signál odebírejte z výstupu OUT3, jak bylo napsáno v popisu přípravku. Velikost výstupního signálu generátoru nastavte na 100 mV a kmitočet asi na 1 kHz.

Hodnotu rozdílového zesílení opět vypočtete podle vztahu (1), kde místo u_{OUT2} bude figurovat u_{OUT3} . Dále určete přibližnou hodnotu R_{Ceq} , do něhož bude zahrnuta i velikost výstupního odporu tranzistoru Q1.¹

1 b

Pro měření souhlasného zesílení zkratujte J1. Měření provádějte při souhlasném buzení (J2 pol. 2), opět pro dynamickou zátěž kolektorů (J3 2-3, J4 2-3) a pouze pro případ napájení emitorů přes odpor R5 (J5 1-2). Velikost vstupního signálu nastavte na 2 V a kmitočet opět volte asi 1 kHz.

¹Obecný vztah pro výpočet A_d (ne vztah (1)) při zatížení aktivní dynamickou zátěží podle obr. 2 (b) není shodný se vztahem pro A_d při zatížení buď pasivní dyn. zátěží nebo prostým odporem R_C ($A_d \neq \frac{g_m R_{Ceq}}{2}$).

Při tomto měření není zavedena stejnosměrná ZZV. Pracovní bod obvodu lze nastavit vyvažovacím trimrem R10 tak, že všechny tranzistory budou pracovat v aktivním režimu ($U_{OUT2} \in \langle 2, 13 \rangle$ V=, tj. např. 12 V=). Potom lze změřit přímo střídavou složku napětí, stejně však jako v předchozím případě na výstupu OUT3, aby výstup OUT2 nebyl zatěžován. Výsledné zesílení vypočítat opět podle vztahu (2), kde místo u_{OUT2} bude opět figurovat u_{OUT3} .

3. Zpracování výsledků

Převodní charakteristiky zakreslete do sešitu v měřítku, které je dáno nastavením zesílení obou kanálů osciloskopu a dělicím poměrem vstupního děliče.

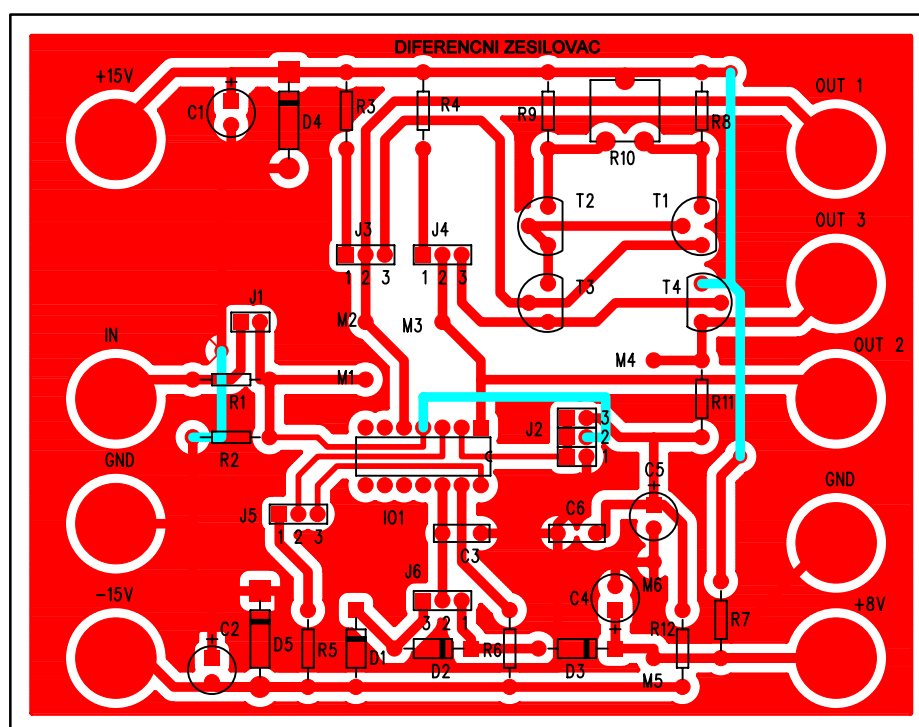
Všechny vypočtené hodnoty uveďte na závěr v přehledové tabulce.

zátěž kolektorů	napájení emitorů	A_d	A_s	$CMRR$ [dB]
R_C	R_E			
	$I_E = 2$ mA			
	$I_E = 1$ mA			
dynam.	R_E		()	()
dynam. $R_z = 6k8$	R_E			

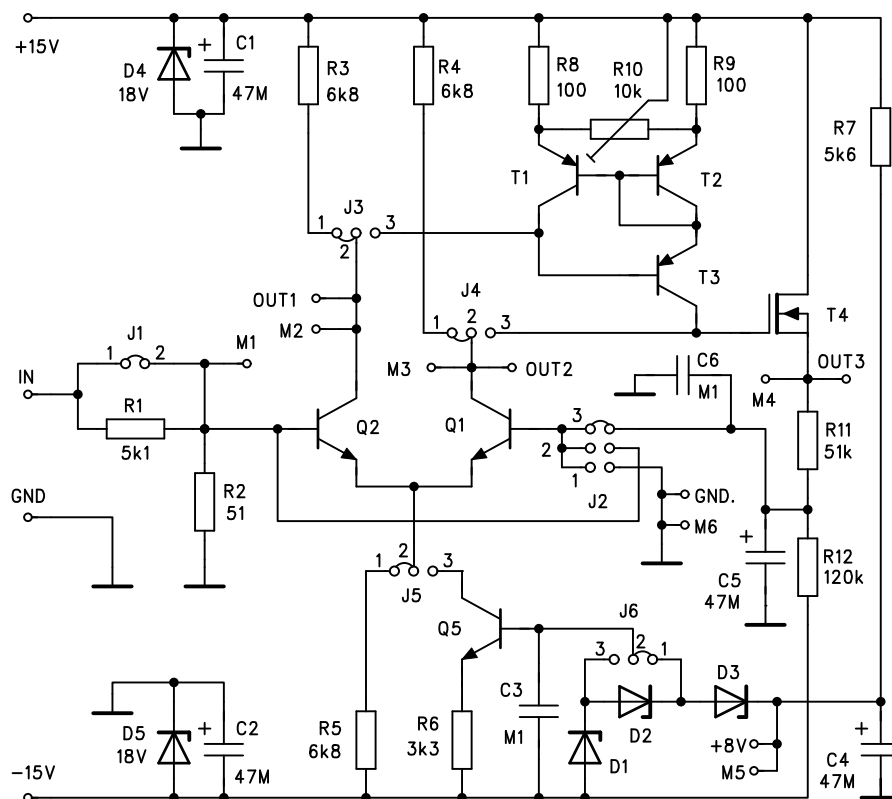
Pod tabulku uveďte ostatní vypočtené hodnoty: A_d určené z převodních charakteristik pro R_E a $I_E = 1$ mA, R_{Eeq} pro $I_E = 2$ mA a $I_E = 1$ mA a hodnotu R_{Ceq} .

V závěru komentujte dosažené výsledky měření a odpovězte na otázky kladené v návodu.

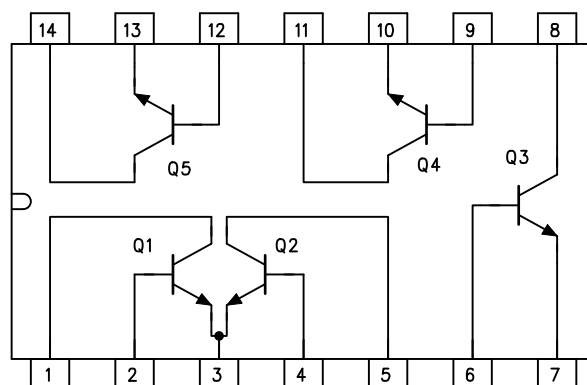
4. Dokumentace



Obrázek 4: Plošný spoj přípravku s rozložením součástek



Q1, Q2, Q5 = CA3086 T1, T2, T3 = BC327-25 T4 = BS170
D1: 4.3V D2: 3.3V D3: 16V



Obrázek 5: Celkové zapojení přípravku a vnitřní zapojení integrovaného obvodu CA3086