3. mérés

2. Analóg integrált áramkörök alapegységeinek vizsgálata

Szakirodalom:

1. Herpy Miklós: Analóg integrált áramkörök. Műszaki Könyvkiadó Bp. 1974. 2. kiadás

2. Sipos Gyula: Integrált áramkörös elektronika. Műszaki Könyvkiadó Bp. 1977.

3. Zsom Gyula:

Műszerek és kellékek:

Kettős tápegység 2 db
Jelgenerátor
Oszcilloszkóp
Digitális multiméter 2 db
VT Voltmérő-erősítő
3 db mérődoboz, potenciométer

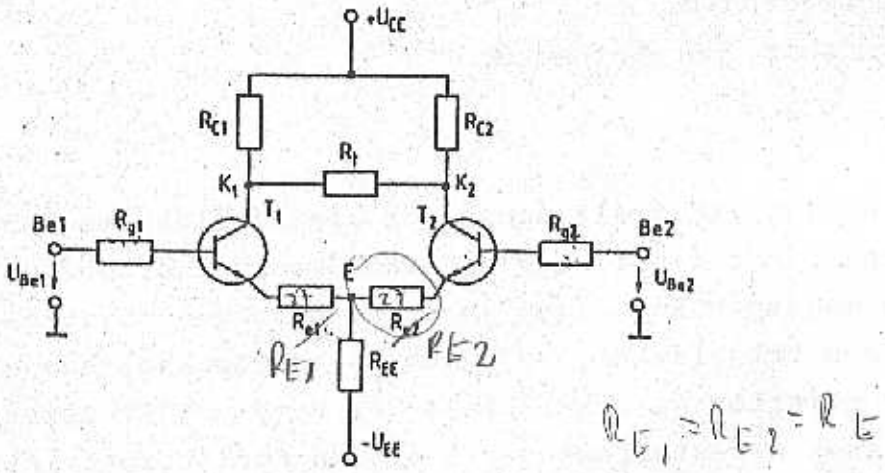
Elmélet

Az analóg integrált áramkörök elemkészlete meglehetősen szűk választékot kínál, így az áramkörtervezés metódusa is eltérő a megszokottól. Igen jó paraméterekkel megvalósítható elem az npn tranzisztor, gyöngébb paraméterekkel rendelkezik a pnp tranzisztor és a különféle FET vagy MOSFET eszköz. Az ellenállások értéktartománya is erősen korlátozott, általában néhány kOhm-ig terjed. Kondenzátorokból áramkörönként legfeljebb 1-2 db-ot alkalmaznak néhányszáz pF-ig, míg induktivitás egyáltalán nem készíthető. Diódákat és Zéner-diódákat npn tranzisztorokból alakítanak ki.

Tekintve, hogy a monolit integrált áramkörökben az egyes áramköri részegységek nem vizsgálhatók, ha azok jellemzőit akarjuk meghatározni, diszkrét elemekből kell felépíteni az egyes blokkokat. Mérésünkben diszkrét alkatrészekből felépített áramkörmodelleket fogunk vizsgálni, amelyek felvilágosítást nyújtanak az analóg integrált áramkörök felépítéséről és belső sajátosságairól.

1. Differenciálerősítő

A szimmetrikus felépítésű differenciálerősítő az analóg integrált áramkörök alapvető kapcsolási eleme. A műveleti erősítők bemeneti fokozata szintkivétel nélkül differenciálerősítő. Egyik fő előnye, hogy a közvetlen csatolt kivitel miatt váltakozó és egyenszintű jelekkel egyaránt vezérelhető, és feleslegessá teszi a bemeneti kondenzátor alkalmazását. A differenciálerősítővel szemben támasztott egyik legfontosabb követelmény a két oldal minél tökéletesebb szimmetriája, ami éppen a monolit integrált áramköri technológiával biztosítható. Differenciálerősítők készülnek bipoláris tranzisztoros, FET-es, Komplementer tranzisztorpáros, Darlingtonpáros, stb. kivitelben. Mérésünk során a legegyszerűbb alapkapcsolást fogjuk vizsgálni, ami a működés egyszerű áttekinthetőségét adja. A differenciálerősítőalapkapcsolás az 1. ábrán látható.



1. ábra

Az erősítő kettős táplálást kíván: $+U_{CC}$ pozitív, és $-U_{EE}$ földhöz képest negatív polaritással. A differenciálerősítő működtetésénél megkülönböztetjük a

- szimmetrikus (differenciális) és a
- közös üzemmódot.

A kétféle erősítés meghatározásához a differenciálerősítőt szimmetriatengelye mentén két fél-erősítőre (földelt emitteres) bontjuk és így végezzük el a számításokat.

Szimmetrikus vezérlésnél a két tranzisztor emitterárama azonos mértékben, de ellentétes fázisban változik. Igy a 2.a. ábrán feltüntetett "E" pont potenciálja is állandó marad, tehát a differenciálerősítő két tranzisztora mint két független földelt emitteres fokozat működik. Mivel szimmetrikus erősítő esetében az R_t terhelő ellenállásra jutó feszültség is szimmetrikus, az egy földelt emitteres fokozat által "látott" terhelő ellenállás $R_t/2$ értékű. A fél erősítő helyettesítő képe a 2.b. ábrán látható. Az ebből számítható szimmetrikus erősítés közelítő értéke:

Ez az R_E a 27Ω!! lásd 1. ábra

$$A_s \simeq \frac{R_c \times \frac{R_t}{2}}{R_E + r_E},$$

ahol r_E a dinamikus ellenállás (U_T/I_e). A többi elem az ábrán látható: $R_{E1} = R_{E2} = R_E$ értelmezéssel. Feltételeztük, hogy a bázisban fellépő ellenállások eredője sokkal kisebb, mint R_E.

Közös vezérlés esetén a két tranzisztor emitterárama azonos mértékben és azonos fázisban változik, tehát a differenciálerősítő mint két párhuzamosan kapcsolt földelt emitteres fokozat működik. Ezek egyikét szemlélteti a 2.c. ábra. $2R_{EE}$ úgy értelmezhető, hogy a két fél-erősítőt szembekapcsolva, $2R_{EE}$ párhuzamos eredője R_{EE} nagyságú lesz. A közös erősítés:

lásd 1. ábra R_{E1} in R_{E2}

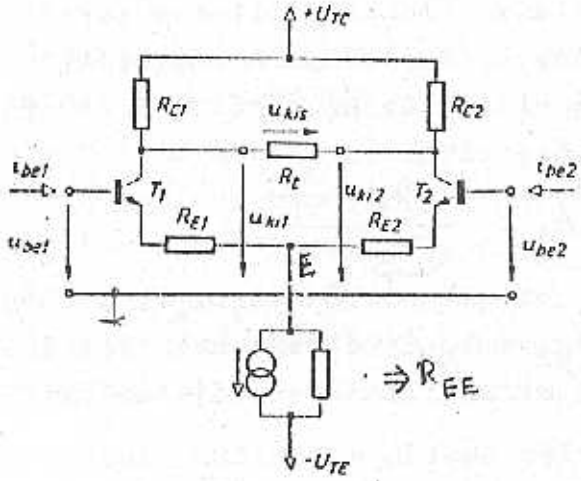
$$A_k \simeq \frac{R_c}{R_E + r_E + 2R_{EE}}$$

→ közös emitter ellenállás

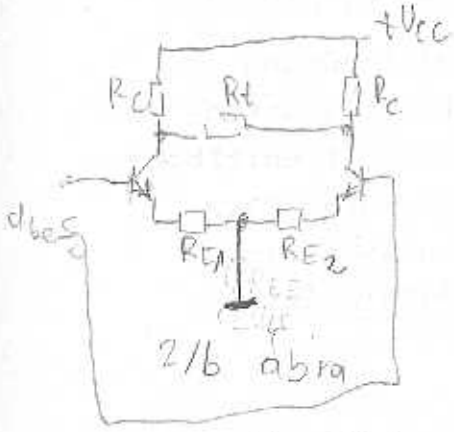
értékű lesz. A két erősítés hányadosa, D_u az ún. feszültség diszkriminációs tényező:

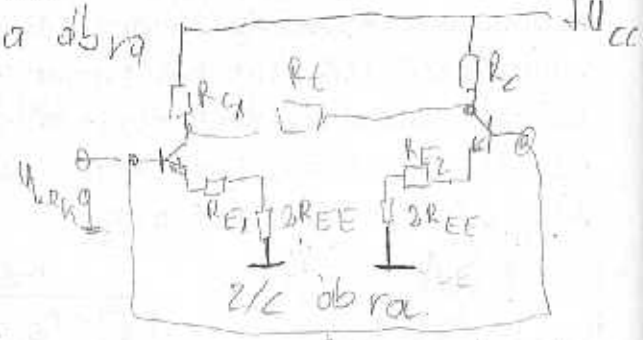
$$D_u = \frac{A_s}{A_k} \simeq \frac{2R_{EE} + R_E + r_E}{R_E + r_E}.$$

Ideális esetben $R_{EE} \longrightarrow \infty$, így $A_k \longrightarrow 0$ és $D_u \longrightarrow \infty$ adódik. A gyakorlatban R_{EE} = 100 k.....1 M értéktartományú, és $A_k < 1$ adódik. A túl nagyértékű emitterellenállás azonban - a tápfeszültségek korlátozott értéke miatt - erősen lecsökkenti a munkaponti áramot, és így a tranzisztorok munkapontja az optimálistól eltérő lesz. Ennek elkerülése érdekében az R_{EE} ellen-



2/a ábra





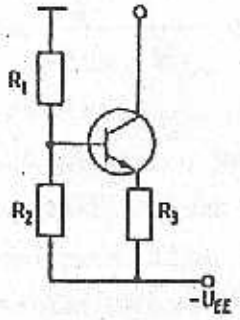
$$A_{S_1} = \frac{R_{C_1} \times R_t/2}{r_e + R_{E_1}}$$

Fokozatonként!

2. ábra

$$A_k = \frac{R_{C_1}}{r_e + R_{E_1} + 2R_{EE}}$$ (Fokozatonkénti

$R_{E_1} = R_{E_2}$



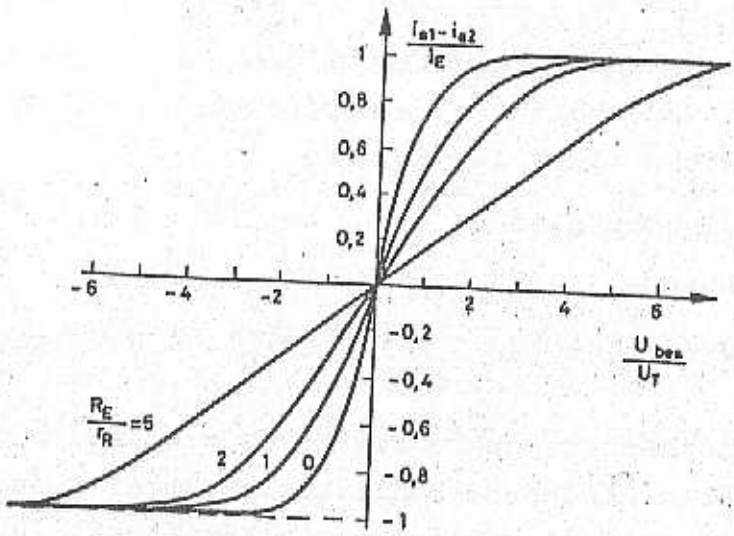
3. ábra

állást áramgenerátorral helyettesítik. Az áramgenerátor forrásárama viszonylag széles tartományban szabályozható korlátozott értékű ellenállások alkalmazásával úgy, hogy kimeneti ellenállása elegendően nagy legyen. Mérésünkben a 3. ábrán látható, igen egyszerű kapcsolást fogjuk alkalmazni. Az áramgenerátor kimeneti ellenállása (ami valójában R_{EE}-nek felel meg)

$$R_{EE} = R_{ki} \simeq \beta \cdot R_3 .$$

β az alkalmazott tranzisztor áramerősítési tényezője, tipikusan 200...300 értékű.

A differenciálerősítő alkalmazásának egyik problémája, hogy igen kicsiny az erősítő bemeneti kivezérelhetősége, vagyis $u_{bemax} \ll U_t$ (U_t a tápfeszültséget jelenti). A bemeneti kivezérelhetőség növelhető úgy, hogy megnöveljük az 1. ábrán feltüntetett R_{E1} és R_{E2} emitterellenállásokat. Ekkor a negatív visszacsatolású földelt emitteres erősítőhöz hasonlóan nő ugyan az erősítő lineáris tartománya, azonban csökkeni fog az erősítés. A szimmetrikus vezérlés $u_{ki} = f(u_{be})$ jelleggörbe-seregét a 4. ábra szemlélteti. A paraméter az emitterellenállás. Kicsiny emitterellenállásoknál a bemeneti kivezérelhetőség kb. U_T-vel (szobahőmérsékleten 26 mV-tal) fog megegyezni. Erre a körülményre ügyeljünk a mérések során!

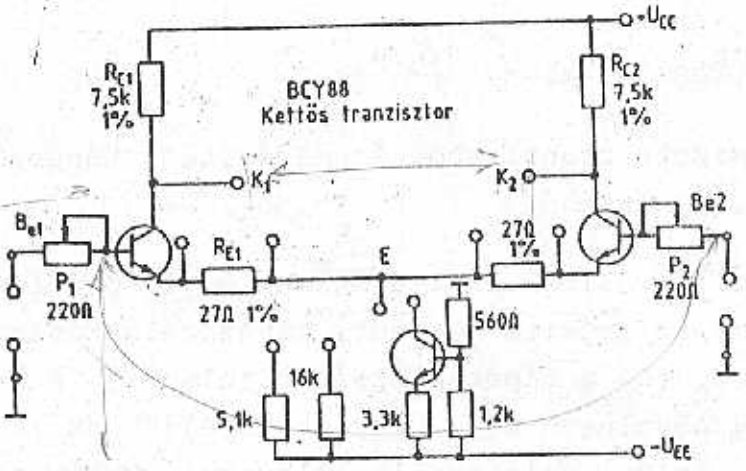


Differenciálerősítő átviteli függvénye az $\frac{R_E}{r_e}$ ellenállásviszonnyal paraméterezve

4. ábra

Mérési feladatok:

A differenciálerősítőt tartalmazó mérődoboz bekötési rajza az 5. ábrán látható. A kapcsolásokat forrasztással állítjuk össze, mivel a dugaszolások okozta bizonytalan érintkezések a nagyon érzékeny differenciálerősítőt zavarják.



5. ábra

Az erősítő BCY 88 kettős tranzisztort tartalmaz, ami az integrált áramköri tranzisztorokkal azonos szimmetrikus paraméterekkel rendelkezik. Az egyes mérések előtt a Be1 és Be2 pontokat kössük földpontra és a kimenetek közé kapcsoljunk digitális voltmérőt (DC állásban!). A P1 és P2 potenciométerekkel kíséreljük meg nulláni a kimenetet. Így küszöbölhetjük ki a differenciálerősítő ofszet feszültségének és áramának hatását.

Mint látható, különféle R_{EE} ellenállások, ill. áramgenerátor alkalmazásával végezhetjük el a méréseket. Az U_{CC} tápfeszültség minden esetben +12 V legyen, míg

R_{EE} = 5,1 kOhm esetén U_{EE} = - 6 V,

R_{EE} = 16 kOhm esetén U_{EE} = - 18 V

áramgenerátor esetén U_{EE} = - 6 V legyen.

A különféle tápfeszültségekre azért van szükség, hogy a munkaponti emitteráram mindhárom beállításban közel azonos legyen. A méréseknél terhelőellenállást nem alkalmazunk, így $R_t = \infty$ vehető.

1.1. A_s, A_k és D_u meghatározása

Iktassuk ki a 27 Ohmos emitterellenállásokat (rövidzárral), majd egymást követően három mérési sorozatot végezzünk a különféle R_{EE} emitterellenállásoknál a már ismertetett beállításban.

Először az A_s szimmetrikus erősítést mérjük. Ennél a mérésnél - megfelelő szimmetrikus kimenettel rendelkező jelgenerátor és voltmérő hiányában - a földponthoz viszonyítva mérünk úgy, hogy mind a be-, mind a kimeneti jelet a földhöz képest mérjük.

Kössük a Be2 bemenetet a földre és adjunk a Be1 bemenetre a jelgenerátorból kb. 5 kHz-es, 10 mV-os jelet. Mérjük ki a K1 kimenet és a ~~föld~~ K2 között U_{ki1} értékét ~~VM voltmérővel~~ oszcilloszkóppal. Ezután Be1-et a földre kötve, Be2-re adjuk a generátor jelét és K2 kimenetén mérünk. Végeredményben:

és a K1 kimenet között is.

$$u_{kis} = \frac{U_{ki1} + U_{ki2}}{2}$$

és

$$A_s = \frac{u_{kis}}{u_{bes}}$$

lesz a szimmetrikus erősítés.

A közös erősítés (A_k) mérésénél a Be1 és Be2 bemeneteket összekötjük, és ezek, valamint a földpont közé adjuk a generátor jelét. Figyelem! Mivel $A_k < 1$ várható, alkalmazzunk legalább ~~0,5~~ 2V-os V-os bemeneti jelet. A jel frekvenciáját ne változtassuk. Mérjük meg K1 és a föld között, majd K2 és a föld között a kimeneti jelet.

$$u_{kik} = \frac{U_{ki1} + U_{ki2}}{2} \quad \text{és} \quad A_k = \frac{u_{kik}}{u_{bek}}.$$

A_s és A_k hányadosából számítsuk ki D_u értékét. Foglaljuk táblázatba a háromféle esetben mért erősítés- és D_u-értékeket. Figyelem! A mérések előtt ne feledkezzünk meg a nullázásról!

R_{EE}	A_s	A_k	D_u
5,14	150		
16K	156		
∞			

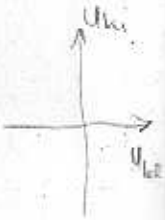
1.2. Az átviteli jelleggörbe meghatározása

Határozzuk meg a szimmetrikus kimeneti feszültséget a szimmetrikus bemeneti feszültség függvényében. R_{EE} helyébe iktassunk áramgenerátort. A bemeneti feszültség most legyen egyenfeszültség, amelynek nagyságát

-100 mV.....+ 100 mV

tartományban változtassuk. Osszuk le az erre a célra szolgáló tápegység jelét potenciómáterrel a finomszabályozás céljából. Mind a be-, mind a kimeneti feszültséget egy-egy digitális multiméterrel mérjük.

Végezzük el a méréseket úgy is, hogy feloldjuk a rövidzárakat, vagyis emitterellenállásokat iktatunk be. A két jelleggörbét ábrázoljuk mm-papíron a ~~4. ábra mintájára~~.



A nullázást az első mérési sorozat előtt végezzük el, ezt követően ne nyúljunk a P1, P2 potméterekhez!

A grafikonokból határozzuk meg mindkét esetben az erősítő lineáris tartományát (a bemeneti kivezérelhetőséget), és a görbék meredekségéből a kisjelű erősítést!

2. Állandó feszültségű kétpólus

Az integrált áramkörökben gyakran van szükség közel állandó feszültség beállítására, vagy két, nem földelt pont közötti potenciálkülönbség fix értékére. Ideális esetben ehhez olyan kétpólus szükséges, amelynek feszültsége az átfolyó áramtól független. A gyakorlatban általában megelégszünk olyan kétpólussal is, ami ezt csak közelítőleg teljesíti. Készíthetők Zéner-diódák az npn tranzisztorok emitter-bázis átmenetének felhasználásával letörésbe vezérelve azt. Ekkor 6...7 V Zénerfeszültség érhető el. Hasznosítható a diódák nyitófeszültsége, n számú diiódát sorbakötve n.0,7 V feszültség biztosítható.

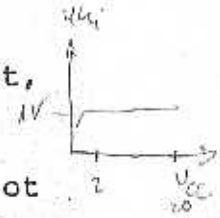
Egyszerű és széles tartományban változtatható kimeneti feszültség biztosítható a 6. ábrán látható kapcsolással. Ha a bázisáram elhanyagolható az R_1-R_2 osztón átfolyó áramhoz képest,

$$U_{ki} = U_{BE}\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

adódik, ahol U_{BE} a nyitófeszültség (kb. 0,7 V). A kimeneti feszültség természetesen hő- és áramfüggő. A hőmérsékletfüggés $-2(1 + R_1/R_2)$ mV/°C.

Mérési feladat:

2.1. Az erősítőket tartalmazó mérődoboz segítségével állítsuk össze a 6. ábrán látható kapcsolást. Legyen U_{CC} = + 5 V, és a P2 potméterrel állítsunk be 1 V kimeneti feszültséget. Ezt követően 2 V.....20 V tartományban változtassuk U_{CC} nagyságát, és mérjük a kimeneti feszültséget.



Ismételjük meg a mérési sorozatot úgy, hogy most 1,4 V-ot állítunk be kezdeti értéknek. A két mérés eredményét ábrázoljuk mm-papiron, tehát vegyük fel u_{ki} tápfeszültségfüggését. Ellenőrizzük számítással is u_{ki} értékét. A P2 potméter osztásarányát a mérőpanelon külön is megmérhetjük, mivel annak A,B és C kivezetéseit külön is megtaláljuk.

3. Szintáttevő áramkör

A monolit integrált áramköri egységek döntően egyencsatoltak és npn tranzisztorokból állnak. Ennek következtében jelentős egyenfeszültség szinteltolódások lépnek fel, amelyeket tranzisztoros egységekkel helyre kell állítani. Az alapvető követelmények:

- a szinteltolás könnyen beállítható legyen
- a váltakozó jelekre nézve a szinteltoló ne jelentsen csillapítást.

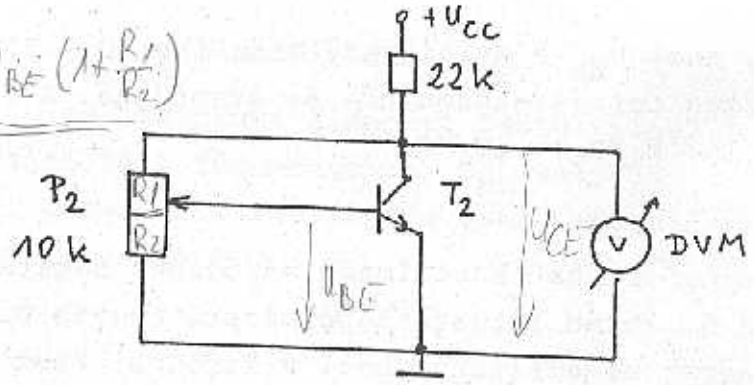
Egy lehetséges megoldást kínál a 7. ábrán látható egyszerű kapcsolás, amelyet ki fogunk próbálni. A kapcsolásban szereplő npn tranzisztor olyan párhuzamos feszültségvisszacsatolt földelt emitteres erősítőként működik, amelynek bemeneti feszültsége a tranzisztor U_{BE} bázis-emitter nyitófeszültségével egyezik meg. A kollektorpont feszültsége az R_1/R_2 viszonnyal szabályozható

$$U_{ki} \approx \frac{R_2}{R_1} U_{BE}$$

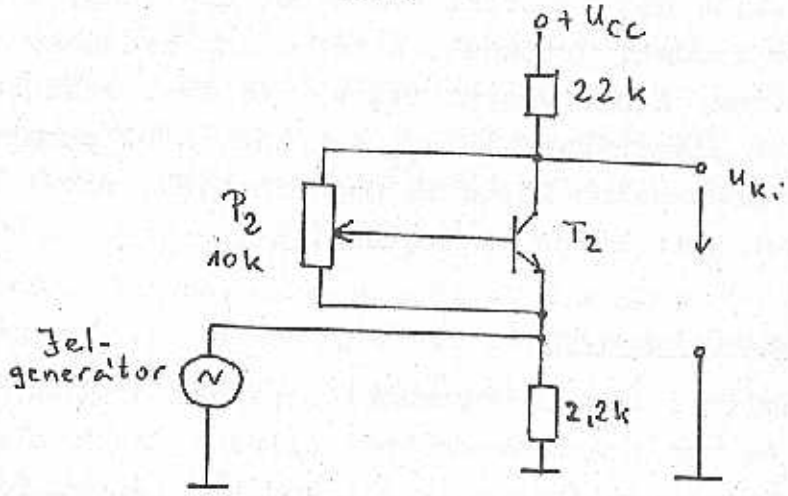
értelmében.

$$U_{BE} = U_{CE}\frac{R_2}{R_1+R_2}$$

$$U_{CE} = U_{BE}\frac{R_1+R_2}{R_2} = U_{BE}\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)$$



6. ábra



7. ábra

Mérési feladat:

3.1. Kapcsoljuk a jelgenerátort a bemenetre, és állítsunk be néhány kHz-es, 1..2 V-os szinuszjelet. A tápfeszültséget +15 V-ra válasszuk. A kimenetre kapcsoljunk oszcilloszkópot, azonban DC állásban! A szkóp erősítését állítsuk be úgy, hogy a szinuszjel kb. 1 cm nagyságú legyen a képernyőn. A P_2 potméterrel a jel egyenszintje eltolható. Mérjük ki azt az egyenszint-tartományt, amelyen belül a jel amplitúdója még nem csökken és nem torzul. Ez lesz a szinteltolás tartománya.

4. Komplementer tranzisztoros végerősítő

A komplementer tranzisztoros végerősítők alkalmazásával elérhető, hogy az analóg áramkör a két tápfeszültség tartományában kivezérelhető legyen. Pl. a 741 műveleti erősítő, ami ± 15 V tápfeszültséget igényel, terhelés nélkül csaknem 30 V csúcstól csúcsig mérhető feszültséget képes szolgáltatni a kimenetén.

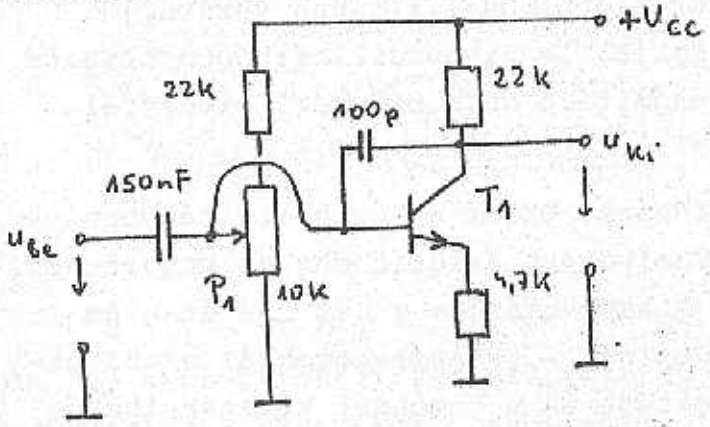
Komplementer tranzisztorpárnak nevezik az azonos paraméterű npn és pnp tranzisztorokat. Diszkrét változatban ilyen pl. a BC 301 és a BC 303. Bár az integrált áramkörökben kialakítható pnp tranzisztorok meg sem közelítik az npn típusokat, mégis eléggé kedvező végfokozatok készíthetők. A következőkben meghajtó fokozatot és komplementer végfokozatot tartalmazó kapcsolást fogunk vizsgálni, amely diszkrét elemekből felépítve modellezi a műveleti erősítős áramköröket. A kapcsolás legjobban a μA 709 végerősítőjére hasonlít.

4.1. A meghajtó fokozat vizsgálata

Valósítsuk meg a 8. ábrán látható kapcsolást. A bemenetre adjunk kb. 5 kHz-es szinuszjelet és a kimenetet vezessük oszcilloszkópra.

Mérési feladat:

4.1. Mérjük meg az erősítő kimeneti kivezérelhetőségét, és határozzuk meg a feszültségerősítést.

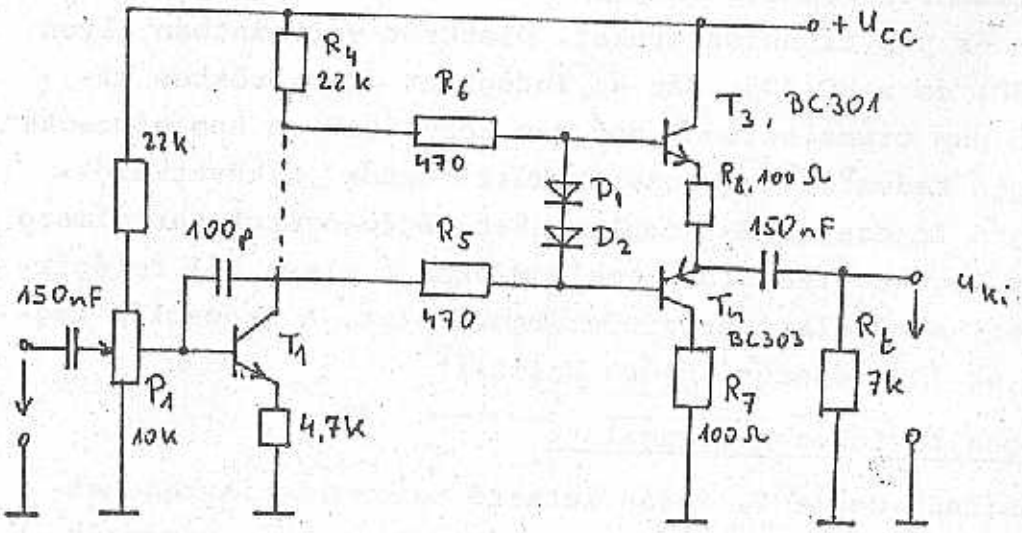


8. ábra

A P_1 potenciómétert szabályozva, keressük meg az erősítő optimális munkapontját (ahol max. a kimeneti kivezérelhetőség!).

4.2. A keresztezési torzítás vizsgálata

Állítsuk össze a 9. ábrán látható kapcsolást. Ekkor a T_1 meghajtó tranzisztorral vezéreljük a komplementer végfokozatot. Alkalmazzuk az ábrán szaggatott vonallal jelölt rövidzárat a két bázisellenállás között. Ebben az esetben az eredő karakterisztikában mintegy 2x0,7 V-os nagyságú holtzóna keletkezik, ami a kimeneti jelen egy sajátságos, ún. keresztezési torzítást okoz.



9. ábra

Mérési feladatok:

4.2. Állítsuk össze a 9. ábrán látható kapcsolást a bejelölt rövidzár alkalmazásával. Az előbbi beállításban vezéreljük az erősítőkapcsolást. Rajzoljuk le az oszcilloszkópon látható jelalakot! Mérjük meg az erősítést és a kimeneti kivezérelhetőséget.

4.3. Szüntessük meg a rövidzárt! Ekkor a két nyitóirányban előfeszített dióda szintáthelyezést valósít meg és megszünteti a keresztezési torzítást. A kapcsolásban a két diódát - az integrált áramkörökhöz hasonlóan - tranzisztorokból alakítottuk ki. Mérjük meg az erősítést és a kimeneti kivezérelhetőséget az előbbi beállításban és rajzoljuk le a jelalakot!