



Tranzisztoros erősítő alapkapcsolások mérése

1. Bevezető

A mérés célja a tranzisztoros erősítő alapkapcsolások jellemzőinek összefoglalása és a földelt (közös) emitteres-, földelt (közös) bázisú-erősítő és a Miller-effektus vizsgálata.

1.1. Az alapkapcsolások fajtái

A tranzisztoros erősítő alapkapcsolások:

- földelt (közös) emitteres (FE, KE)
- földelt (közös) bázisú (FB, KB)
- földelt (közös) kollektoros (FK, KK vagy FC, KC)

Elnevezésüket a bemenet és a kimenet számára is közös elektródáról kapták. A továbbiakban NPN tranzisztorokkal felépített erősítőket vizsgálunk. A kapcsolások jellemzői PNP tranzisztorok esetén is azonosak.

1.2. Gyakorlati alkalmazások

Erősítési célokra hangfrekvenciákon általában a földelt emitteres kapcsolást használjuk, mivel nagy feszültség- és áramerősítést ad, a bemeneti ellenállása még nem túl kicsi, a kimeneti pedig nem túl nagy.

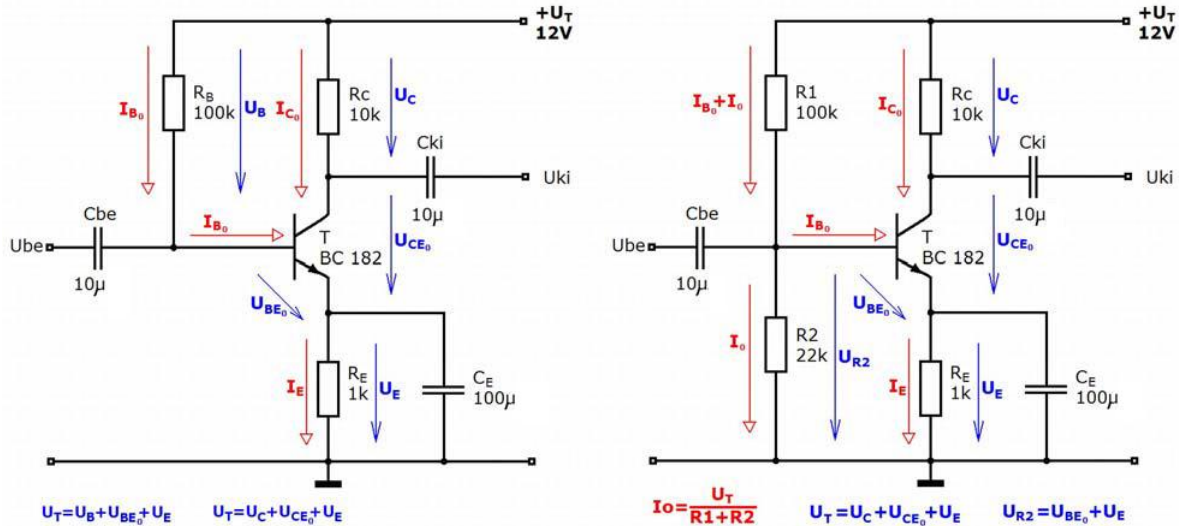
A földelt kollektoros erősítő nagy bemeneti és kis kimeneti ellenállását felhasználhatjuk illesztésre, ha nagy belső ellenállású generátorról kis bemeneti ellenállású fogyasztót kell táplálni. ($A_u \leq 1$)

A földelt bázisú kapcsolást viszonylag alacsony értékű teljesítményerősítése és nem túl jó bemeneti és kimeneti ellenállásai miatt, csak nagyfrekvenciákra alkalmazzuk, ahol a másik két kapcsolás már nem erősít.

A tranzisztor áramerősítési tényezője (β , illetve h_{21}) a frekvencia növelésével csökken és a tranzisztor típusától függő f_T tranzitfrekvencián 1 lesz. A földelt emitteres erősítőnél mind a feszültségerősítés, mind az áramerősítés függ h_{21} -től. Ugyanez a helyzet a földelt kollektoros erősítőnél is. Ezért ezeknek a kapcsolásoknak a teljesítményerősítése h_{21} négyzetével, meredeken csökken a frekvencia növekedésekor. A földelt bázisú erősítő feszültségerősítése viszont nem függ h_{21} -től. Ebből az következik, hogy ebben a kapcsolásban ugyanaz a tranzisztor h_{21} -szer akkora frekvencián éri el a felső határfrekvenciáját (ahol a teljesítményerősítés a közepes frekvencián mért érték felére csökken). A földelt bázisú erősítővel a TV készülékek és az FM rádiókészülékek bemeneti, nagyfrekvenciás előerősítő fokozataiban találkozunk a leggyakrabban.



2. Munkapontbeállítás



1. ábra – FE erősítő áramtáplálás és bázisosztós munkapontbeállítással

A bázisáram táplálású FE erősítő kapcsolási rajzát az 1. ábra bal oldalán láthatjuk. A bázisáramot az R_B ellenállás állítja be, mivel az alsó munkapont beállító és osztó ellenállás hiányzik. A kapcsolat hátránya, hogy nem biztosít megfelelő stabilitást, mert nem tartja állandó szinten a bázispont feszültségét, ezért ezt a típust ritkábban használják.

A bázisosztós munkapontbeállítás (1. ábra jobb oldalán) előnye, hogy a feszültségosztó terheletlennek tekinthető, azaz állandó leosztott bázisfeszültséget szolgáltat, függetlenül a bázisáram változásától. A bemeneti feszültségosztó méretezésénél arra kell figyelni, hogy az osztóáram (I_0) egy nagyságrenddel nagyobb legyen, mint a munkaponti bázisáram. A bemeneti feszültségosztóval (R_1 és R_2) állítják be a tranzisztor bázis-emitter feszültségét, amelynek tipikus értéke szilícium tranzisztor esetén 0,6-0,7 V. A kapcsolat munkaellenállása az R_C ellenállás. Az U_{CE} feszültséget méretezéskor a tápfeszültség felére kell beállítani, azért hogy ne legyen torzítás az erősítőben, azaz mindkét irányban azonosan tudjon mozogni a munkapont. A földelt emitteres kapcsolatban a be- és a kimeneti váltakozó feszültségek között maximális erősítés esetén 180°-os fázistolás van.

3. A bázisosztós FE erősítőkapcsolás működése

Az erősítő bementére pozitív irányba növekvő szinusz jelet kapcsolva az a csatoló kondenzátoron átjutva a bázis feszültségét növeli. Ez a növekedés jobban nyitja a tranzisztort és növekszik a bázisáram. Növekszik az emitter áram is, ezzel egyidejűleg nő a kollektor áram. Növekvő kollektor áram hatására növekszik R_C -n a feszültség és mivel a tápfeszültség állandó, így a kollektor feszültség csökken. Ez a csökkenés kijut a csatoló kondenzátoron át a kimenetre. Tehát a kimenő feszültség negatív irányba változik. A kapcsolat tehát fázist fordít. Csekély bázisáram változáshoz jelentős kollektor áram változás (áramerősítési tényező!) társul, ezért ez jelentkezik a kimenő feszültségváltozásban is.



4. A mérés leírása

4.1. A munkaponti adatok mérése

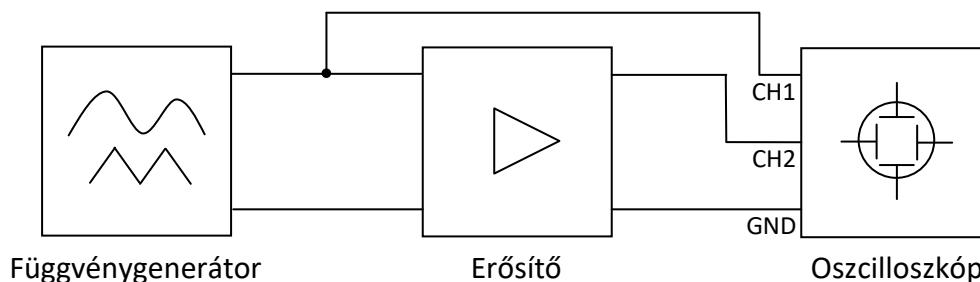
A tranzistoros erősítők szokásos működtető egyenfeszültsége 10..20V körüli érték. A munkaponti adatokat egyszerű feszültségméréssel állapítjuk meg multiméterrel. A mérés során ellenőrizni kell, hogy a tranzisztor kivezetésein a működéshez szükséges egyenfeszültségek jelen vannak-e. Amennyiben egy tranzisztort erősítésre kívánunk felhasználni, akkor a bázis-emitter diódáját nyitóirányban kell előfeszítenünk (Ge esetén 0,2..0,3 V, Si esetén 0,5...0,7V feszültséggel), a bázis-kollektor diódáját pedig a záróirányban (általában $U_T/2$, azaz néhány volt feszültséggel).

A mérést célszerű úgy végezni, hogy megmérjük és feljegyezzük mindhárom elektróda feszültségének értékét a közös ponthoz (föld) viszonyítva. Ebből az elektródák egymáshoz képesti feszültségei (a tényleges munkaponti feszültségek) egyszerűen számíthatóak ($U_{BE}=U_B-U_E$, $U_{CE}=U_C-U_E$, stb.).

A munkaponti adatok mérésekor az erősítőre AC jelet nem adunk, a bemenetet szabadon hagyjuk!

4.2. Kivezérelhetőség mérése, jelalak vizsgálat

Oszcilloszkóppal lehet pontosan meghatározni a kivezérelhetőséget, mert jól látható az, hogy mikor kezd el torzulni a jel. A kivezérelhetőség a felerősített kimeneti feszültség még nem vágott alakjához tartozó csúcstól-csúcsig vett bemeneti feszültség.



2. ábra – Kivezérelhetőség mérése

A híradástechnikában hivatkozási értékeknek az $f=1000\text{Hz}$ frekvencián mért adatokat tekintjük. Jegyezzük meg, hogy a továbbiakban, ha más érték nincs megadva, a méréseket mindig $f=1000\text{Hz}$ -es, szinuszos alakú jellel kell végezni! A generátor jelfeszültségét addig növeljük, amíg az erősítő kimenetére kapcsolt oszcilloszkópon a jel torzulását nem tapasztaljuk. Jegyezzük fel ezt a bemeneti feszültséget, mert ez az erősítő kivezérelhetősége! Figyeljünk arra, hogy az erősítő bármely jellemzőjének mérése során sem szabad ezt a bemeneti értéket túllépnünk! Túlvezérelt erősítőn minden mérés hamis eredményt ad.



4.3. Feszültségerősítés mérése

Az erősítő feszültségerősítését a kimeneti és bemeneti feszültség hányadosa adja meg. Adott terhelés mellett kell megmérni a bemeneti és a kimeneti feszültséget. A kimeneti jel nem lehet torz! A mérési eredményekből kiszámítható a feszültségerősítést.

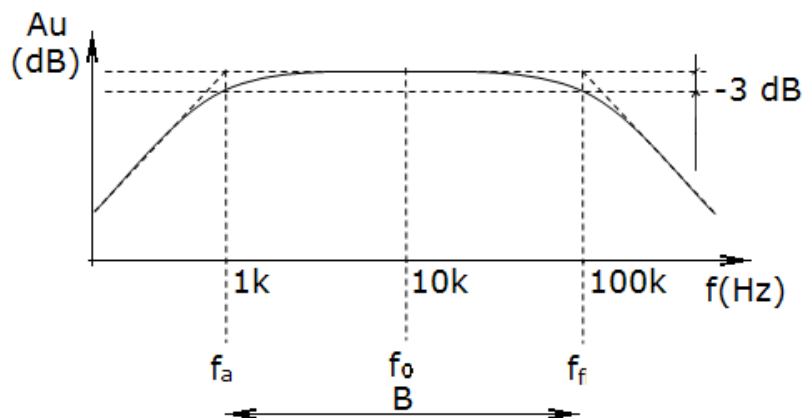
A mérési összeállítás ugyanaz, mint az előbbi pontban.

A feszültségerősítést (A_u) szokás megadni decibelben $a_u[\text{dB}]$ is. Ennek meghatározása:

$$a_u = 20 \log \left| \frac{U_{ki}}{U_{be}} \right| [\text{dB}]$$

4.4. Határfrekvenciák meghatározása

Miután meghatároztuk mely frekvenciákon ad az erősítő maximális erősítését megkereshetők a határfrekvenciák is. Melyeket úgy kapunk meg, hogy változatlan bemeneti jelamplitúdót biztosítva, a generátor jelének frekvenciáját addig változtatjuk (csökkentjük, majd növeljük), amíg 3dB-lel kisebb erősítést nem kapunk. Ez a két frekvencia az erősítő határfrekvenciája, itt csökken a feszültségerősítése (A_u) a maximális erősítéshez képest $\sqrt{2}$ -ed részére. Az erősítést az erősítő átviteli sávjának több pontján mérve kapjuk meg az átviteli karakterisztikát. (4.ábra)



3. ábra – Az erősítő Bode-diagramja

Az erősítők sávszélessége a frekvenciafüggő alkatrészek miatt alsó- (f_a) és felső (f_f) határfrekvenciák közötti tartomány. A frekvencia-független erősítési tartomány közepén értelmezett közepes frekvencián (f_o) mért értékhez képest kell megvizsgálni, hogy a jel mely frekvenciákon lép ki a 3dB-es sávból. A sávszélesség (B) az alsó és a felső határfrekvenciák segítségével számolássalhatározható meg. $B=f_f-f_a$

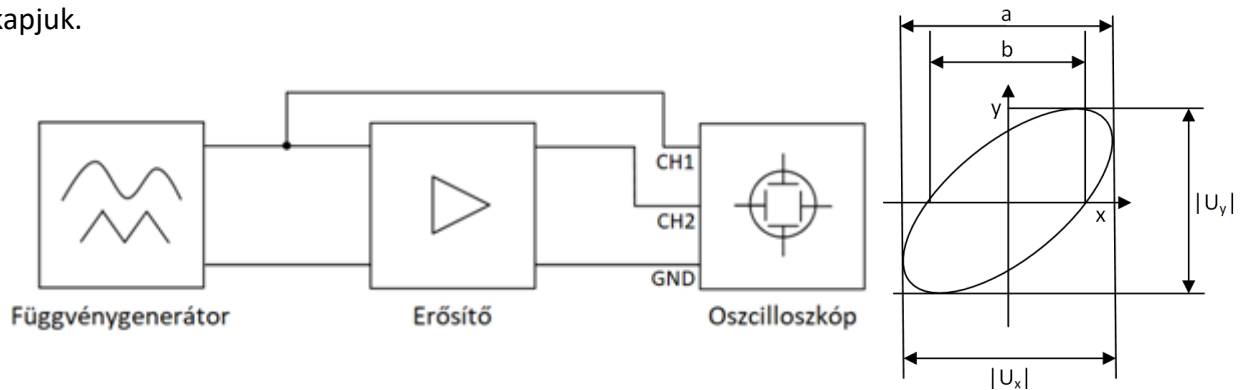


4.5. A fázisszög meghatározása (analóg oszcilloszkóp esetén)

Az erősítő alapkioscsolások közül a közös emitteres kapcsolás kimeneti feszültsége maximális erősítés esetén 180 fokos fáziseltérésben van a bemenetihez képest. Az alábbiakban két fázisszög mérést ismertetünk. **Digitális oszcilloszkóp esetén beállítható a fázisszög mérése.**

4.5.1. Lissajous-módszer

A javasolt mérési összeállítást az 5. ábra mutatja. Az oszcilloszkóp vízszintes eltérítését leállítjuk és az erősítő bemeneti jelét kapcsoljuk rá. A függőleges eltérítésre a kimeneti jelet csatlakoztatjuk. Ha a két jel között fáziseltérés van, akkor általában az 5.b. ábra szerinti képet kapjuk.



4. ábra – Fázisszög mérés Lissajous-módszerrel

A fázisszög ebben az esetben:

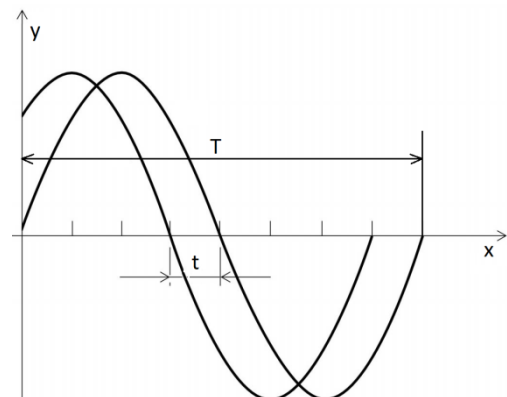
$$\sin \varphi = \frac{b}{a}, \text{ ha } |U_x| = |U_y|$$

A pontos mérést megnehezíti a metszéspontok leolvasása, valamint az oszcilloszkóp erősítőinek egymástól esetleg eltérő fázistolása.

4.5.2. Összehasonlításos módszer

Kétsugaras oszcilloszkóppal egyszerűen kivitelezhető. A két jel amplitúdóját azonosra állítva a képernyőn megjelenő jelet és a fázisszög meghatározását a 6. ábra mutatja. Javasolt a teljes periódust (T) az oszcilloszkópon 8 osztásra állítani.

$$\varphi = \frac{t}{T} \cdot 360^\circ$$



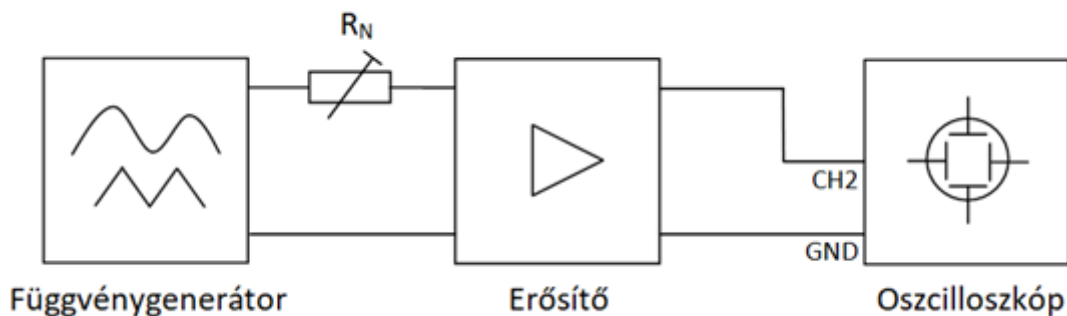
5. ábra – Fázisszög mérés összehasonlításos módszerrel



4.6. Bemeneti és kimeneti ellenállás mérése

Az erősítő bemenete sávközépi frekvencián egyetlen ellenállással helyettesíthető. Az erősítő bemeneti ellenállása az a része az erősítőnek, amely terheli a jelforrást, azaz a meghajtó fokozatot.

Az erősítők váltakozóáramú bemeneti ellenállásának meghatározására egyszerű mérési módszert mutat a 7. ábra.



6. ábra – Bemeneti ellenállás mérése

A mérést maximális erősítésnél a kivezélhetőségnél kisebb jellel végezzük! $R_N = 0\Omega$ esetén jegyezzük fel a kimeneti feszültség értékét! Ezután az R_N változtatható ellenállás értékét addig változtassuk, amíg a kimeneti feszültség az előbbi érték felére csökken! A változtatható ellenálláson beállított érték ekkor a keresett bemeneti ellenállással egyenlő.

Egy másik módszer, ha a meghajtó fokozat és az erősítő bemenete közé sorosan beiktatunk egy ismert értékű mérőellenállást. A soros ellenálláson keresztül hajtjuk meg az erősítőt. Ennél a módszernél mérjük az U_g és az U_{be} feszültségeket. Az ismeretlen bemeneti ellenállás a mérési eredményekből kiszámítható.

Az erősítő kimenete a bemeneti jel által vezérelt generátorral és egy ellenállással helyettesíthető. Az erősítő kimeneti ellenállása az az ellenállás, amelyre a terhelést kötjük.

A kimeneti ellenállást meghatározhatjuk feszültség-összehasonlítási módszerrel. Megmérjük az erősítő kimeneti feszültségét, majd a kimenetre kapcsoljuk az R_N dekádellenállást. Ennek értékét addig változtatjuk, amíg a kimeneten az előbbi értékelét nem mérjük. Ekkor R_N értéke megegyezik az erősítő kimeneti impedanciájával.

Egy másik módszerrel az erősítő kimeneti ellenállását két lépésben mérhetjük meg. A bemeneti feszültség megváltoztatása nélkül először megmérjük a kimeneti feszültséget (U_{ki0}) terhelés nélkül (üresjárásban), majd ezután (U_{kit}) terheléssel. Az erősítő kimeneti ellenállása (R_{ki}) az ismert terhelő ellenállás értéke és a két mérési eredmény alapján kiszámítható.



4.7. Jel-zaj viszony

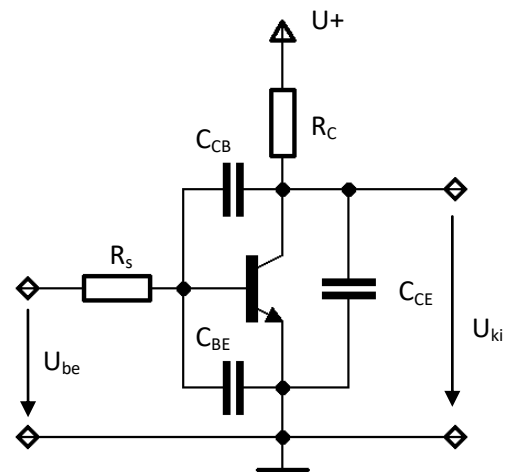
A „jel-zaj viszony” általánosan elterjedt megnevezés. A hasznos információ és a hibás, vagy nem releváns információ viszonyát adja meg. A jel-zaj viszony két teljesítmény hányadosát jelenti, azaz a jel (információ) és a háttér zaj hányadosa. A jel-zaj viszony mérésénél az erősítőnél a zajnak és a jelnek nem kell maximális teljesítményűnek lennie. Ezért a jel-zaj viszony mérésénél egy referenciajelet kell kijelölni, amely a mérések alapjául szolgál. Méréskor az erősítő U_{be} bemenetére a hangfrekvenciás generátorból 1 kHz frekvenciájú szinuszos jelet kell adni és a teljes kivezérlésig kell növelni a bemeneti jelet! A kimeneti jel értékét ekkor le kell olvasni. Ezután az erősítő bemenő jelét le kell csökkenteni nullára és meg kell mérni újra a kimeneti jelet, azaz a zaj értékét! A két jel hányadosa a jel-zaj viszony.

4.8. Torzítás

Egy erősítő nem lineáris átvitele abban nyilvánul meg, hogy a kimeneten megjelenő jel spektrumában olyan összetevők is megjelennek, amelyek a bemenetre adott jelben nem szerepeltek. A torzítás egy erősítő áramkörben áthaladó jel alakjának megváltozása az eredetihez képest. Jellegénél fogva többféle torzítást különböztetünk meg. Két fő csoportja a lineáris és a nemlineáris torzítás. A torzítás méréskor egy előre meghatározott frekvenciájú és amplitúdójú szinuszos jelet kötünk a mérendő erősítő bemenetére és a kimenetén megjelenő jelet egy torzításmérő műszerrel szelektíven mérjük. Az egy "f" frekvenciájú szinuszos mérőjellel végzett mérés a harmonikus torzítás mérés, ekkor a mérővevővel a kimeneti jel harmonikusait 2f, 3f stb. mérjük.

5. Miller-effektus

A tranzisztorok három kivezetése között mindig mérhető valamekkora kapacitás. A gyártás során ezeket igyekeznek minimalizálni, de mégis számolnunk kell egy nullától különböző értékkel. Jelentőssé válhat ezeknek a kapacitások hatása magasabb frekvenciákon. A 7. ábra szemlélteti egy tranzisztor kapacitásait. A kollektor-bázis átmenet kapacitásánál fellép az úgynevezett Miller-effektus. Ebben a kapcsolásban a bázisfeszültség növekedése a kollektor feszültség csökkenését vonja maga után, tehát itt a bemenet és kimenet között lévő kapacitásról van szó. Ez jelentősen befolyásolja a tranzisztor frekvenciamenetét.



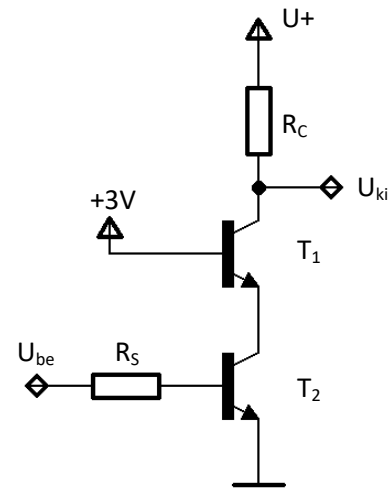
7. ábra – A tranzisztor kapacitásai



Tegyük fel, hogy tranzisztorunk feszültségerősítése A , akkor C_{CB} -t helyettesíthetjük egy $(1+A)C_{CB}$ értékű kapacitással a bázis és a föld között. Nagy erősítés mellett C_{CB} frekvencia korlátozó hatása jelentőssé válhat. Látható, hogy a Miller-kapacitás értékét az erősítés határozza meg, így - ha erősíteni akarunk - az időálló csökkentésére csak a bemeneti ellenállás csökkentése ad módot.

A 8. ábra megoldást mutat a Miller effektus csökkentésére. A kapcsolásban a kimenetről nincs közvetlen visszacsatolás a bemenetre, így az áramkör erősítése nem sokszorozza a tranzisztorok C_{CB} kapacitásait.

A kaszkád kapcsolás esetében a második tranzisztor beiktatása azt eredményezi, hogy a kimeneti feszültséget nem a T_2 tranzisztor kollektoráról vesszük. A T_1 tranzisztoron a Miller-hatást az védi ki, hogy a bázisa egyenfeszültségre van kötve, így itt a kapacitásnak nem jut szerep.



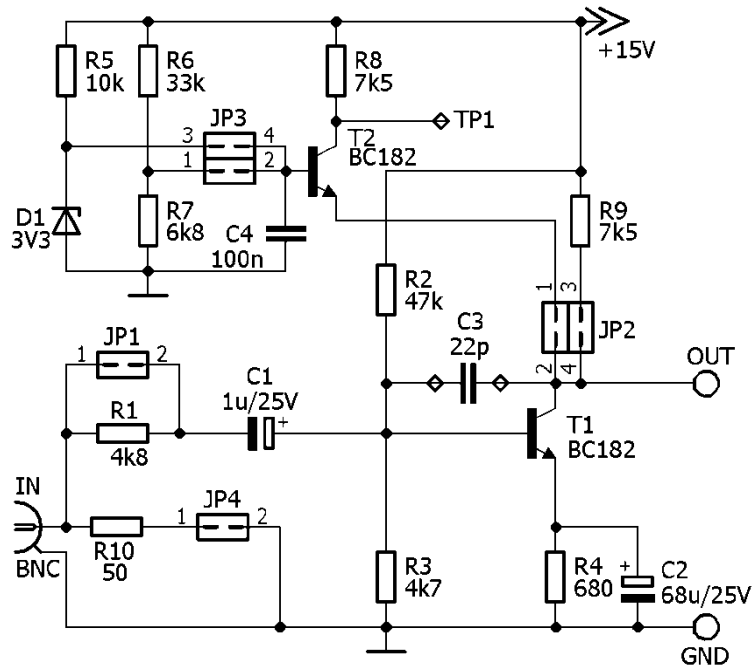
8. ábra – Kaszkád kapcsolás

Vannak megoldások a Miller-hatás csökkentésére, de a ténylegesen meglévő szórt kapacitásokat nem tudjuk kiküszöbölni. Ennek súlyos következményei vannak, amelyek például a számítástechnikában használt mikroprocesszoroknál nagyon jól megfigyelhetők. Az integrált áramkörök bonyolultságának növekedése, ennek következtében az alkatrész méretek folyamatos csökkenése folytán az alkatrészek és a vezetékek egyre közelebb vannak egymáshoz. A chipekben futó vezetékek szélessége például ma már a mikrométer tört része. A vezetékek közötti szigetelő réteg szélessége is ebbe a nagyságrendbe esik, és ez a folyamatos méretcsökkenés elkerülhetetlenül a szórt kapacitások növekedéséhez vezet. A megnövekedett szórt kapacitások lecsökkentik az áramkör maximális működési sebességét. Ezt csak úgy lehet kiküszöbölni, hogy lecsökkentik a meghajtó fokozatok kimeneti ellenállását. Az ellenállásokon átfolyó áramok Joule-hőt termelnek aminek mértéke I^2 -tel arányos, tehát a megnövekedett áramok jóval nagyobb fűtőteljesítményt jelentenek. A gyors, nagy frekvenciájú órajelekkel működő, nagy bonyolultságú mikroprocesszorok erőteljesen melegsznek, és a sebesség növelésével egyre erőteljesebb hűtést igényelnek.



6. Mérési feladat

M1. Földelt emitteres erősítő vizsgálata



9. ábra - Földelt emitteres erősítő az V. mérőpanel 3. blokkjában

Mielőtt az áramkört (9.ábra) tápfeszültségre csatlakoztatja a jumpereket (JP, fekete szögletes rövidzárt tartalmazó kupak) az alábbiak szerint állítsa be: JP₁ nyitva, JP₂ 3-4 zárva, JP₃ 3-4 zárva, JP₄ nyitva, C₃ nincs bekötve. A rajzon a jumperek melletti számok azonosak a panelen lévő jumperek számozásával és irányával. Ezt követően csatlakoztasson a panel tetején lévő banánhüvelyekre +15V feszültséget.

- Mérje meg az erősítő egyenáramú munkaponti feszültségeit (U_B , U_E , U_C) földhöz képest és a jegyzőkönyvben számítsa ki a bázis-emitter (U_{BE}) és a kollektor-emitter (U_{CE}) feszültségeket! Ennél a mérésnél vegye figyelembe, hogy a panel tartalmaz egy soros Si védődiódát, mely a tápfeszültséggel sorba kapcsolódik!
- Mérje meg az erősítő kivezérelhetőségét! A mérést oszcilloszkóppal végezze! Állítsa össze a 2.ábrán látható mérési elrendezést. A függvénygenerátoron beállított 1kHz frekvenciájú szinuszos jel amplitúdóját addig növelje nulláról indulva, amíg az oszcilloszkópon a kimeneti jel el nem kezd torzulni. Olvassa le az oszcilloszkópról a bemeneti jel maximális (V_{pp} , azaz csúcstól-csúcsig vett) értékét, ez lesz a kivezérelhetőség!



- c) Frekvenciamenet mérése ($A_u=f(f)$ és $\varphi=f(f)$ függvények felvétele) az erősítők frekvenciafüggését az amplitúdó és a fáziskarakterisztika adja meg. Minden megadott frekvencián számítsa ki dB-ben az erősítést. Készítse el az erősítő átviteli jelleggörbéjét a frekvencia függvényében. Az átviteli jelleggörbe ábrázolásánál a frekvencia átfogás miatt logaritmikus osztású frekvenciatengelyt alkalmazzon! A megadott táblázat szerint rögzítse a mérési és a számítási eredményeket! (U_{be} legyen nagyjából 50mV csúcstól-csúcsig vett érték)

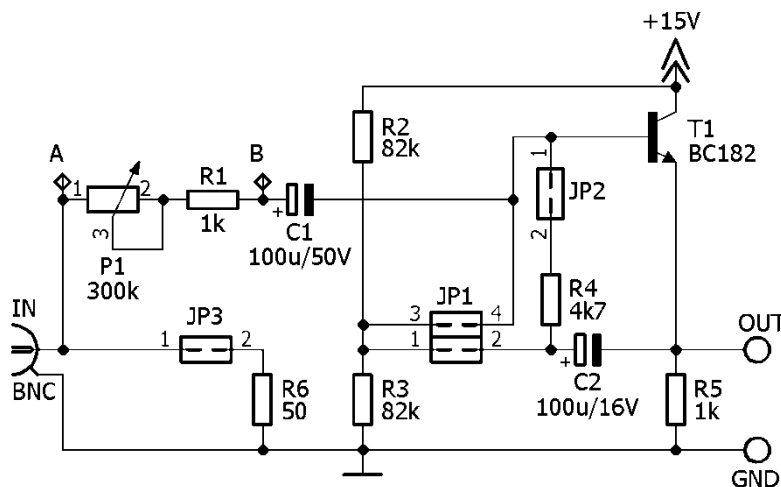
f [Hz]	50	100	200	500	1000	2000	5000	10000	20000	50000	100000
U_{be} [mV]											
U_{ki} [mV]											
A_u											
a_u [dB]											
φ [°]											

1. táblázat – Frekvenciamenet vizsgálatához

- d) Mérje meg az erősítő alsó és felső határfrekvenciáit és számítsa ki a sávszélesség (B)!
- e) Kapcsoljon egy 22pF-os kondenzátort (C_3) T_1 kollektora és bázisa közé. Hogyan módosítja C_3 a kapcsolat felső határfrekvenciáját?
- f) Módosítsa a kapcsolást T_2 bekapcsolásával JP2 1-2 zárva, 3-4 nyitva. Ez a kapcsolat egy kaszkád kapcsolat. Most is mérje ki a felső határfrekvenciát! Mi a határfrekvencia ilyen mértékű megváltozásának a magyarázata?

Megjegyzés: Ennél a feladatrésznél a TP1-en kell mérnie a kimeneti jelet! Keresse meg ezt a pontot a panelen, és használja az oszcilloszkóp csipeszes mérőfejét a mérőcsúcs fix rögzítéséhez a mérés alatt!

M2. Földelt kollektoros erősítő vizsgálata



10. ábra - Földelt kollektoros erősítő az V. mérőpanel 2. blokkjában



Mielőtt a mérést elkezdené az alábbi beállításokat végezze el a mérőpanel 2. blokkjában (10.ábra) lévő földelt kollektoros erősítő áramkörben: P_1 -et tekerje csavarhúzóval az óramutatóval ellentétes irányba ütközésig. JP_1 1-2 nyitva és 3-4 zárva, JP_2 nyitva, JP_3 nyitva.

- Adjon az erősítő bemenőre 1V csúcstól-csúcsig (V_{pp}) vett amplitúdójú 1kHz-es szinuszjelet. Vizsgálja meg az erősítő kimenetén megjelenő jelet és határozza meg az erősítést, fázistolást.
- Vizsgálja meg az erősítő működését (erősítés és fázistolás) az előző feladatban megadott amplitúdójú bemenő jellel 100 Hz, 10kHz, 100kHz és 1 MHz frekvenciákon.
- Állítsa vissza a bemenő jelet 1kHz-re. Forgassa a csavarhúzó segítségével a P_1 potmétert addig, amíg a kimeneten közel (V_{pp}) 500mV-os jelet nem lát. Csatlakoztassa le a tápfeszültséget és a bemenő jelet, majd multiméter segítségével mérje meg az A és B pontok közötti ellenállást. Mivel a sorba kapcsolt ellenállás felezte a korábbi kimeneti jelet ez az érték megegyezik az erősítő bemeneti ellenállásával (R_{be}).
- Alakítsa át a kapcsolást úgy, hogy a P_1 -et tekerje csavarhúzóval az óramutatóval ellentétes irányba ütközésig. Legyen JP_1 1-2 zárva és 3-4 nyitva, JP_2 zárva, JP_3 nyitva. Ekkor az úgynevezett feszültségutánhúzás, vagy más néven nagy bemenő ellenállású FK erősítő kapcsolást hozta létre. Változtassa a P_1 potméter értékét úgy, hogy az ebben az esetben a mért maximális kimeneti jel felét állítsa be a kimeneten. Ezt követően csatlakoztassa le a tápfeszültséget és a bemenő jelet, majd multiméter segítségével mérje meg az A és B pontok közötti ellenállást (R_{be}). Mit tapasztalt?

A jegyzőkönyvbe kerüljenek be tétélesen felsorolva a felhasznált mérőeszközök, generátorok, vezetékek és alkatrészek típusal-típusszámmal, darabszámmal és értékkel, ha ezek megtalálhatók az eszközökön! A fotók mérete olyan legyen, hogy a jegyzőkönyv ne haladja meg a 10 Mbyte-ot.

A jegyzőkönyv az alábbi formátumú legyen: M6_vezetéknev1_vezetéknev2.pdf