

13.B Tranzisztoros alapáramkörök – Többfokozatú erősítők, csatolások

Ismertesse a többfokozatú erősítők csatolási lehetőségeit, a csatolások gyakorlati vonatkozásait és azok alkalmazási korlátait!

Rajzolja fel a többfokozatú erősítők helyettesítő képeit!

Hasonlítsa össze a közvetlen, az RC és a transzformátoros csatolás gyakorlati vonatkozásait!

Definiálja az előerősítőt, a főerősítőt és a teljesítményerősítőt fogalmát!

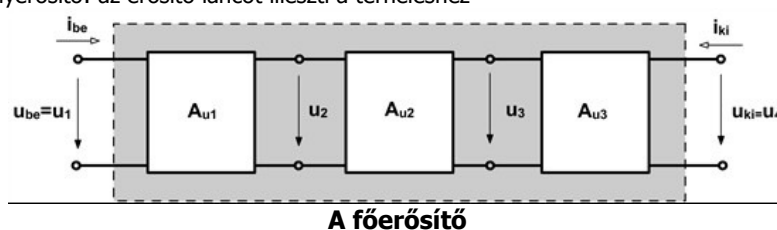
Értelmezze a többfokozatú erősítők váltakozó áramú jellemzőit!

Többfokozatú erősítők felépítése

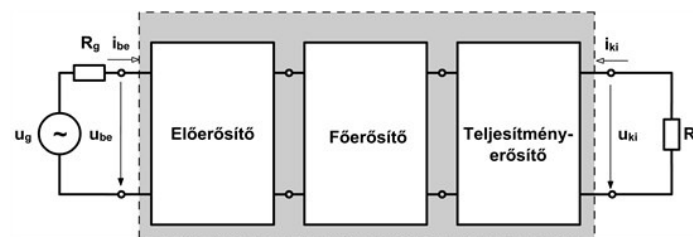
Az alkalmazott elektronika gyakran megköveteli a nagy feszültségerősítést, amit egyetlen erősítőfokozattal nem vagyunk képesek megvalósítani. Ez csak több megfelelő típusú erősítőfokozat láncba kapcsolásával valósítható meg. A fokozatok tulajdonképpen nem mások, mint egymás után kapcsolt négyfókusok.

Három, funkcionálisan különböző egységre bonthatóak:

- Előerősítő: a jelgenerátort optimálisan illeszti az erősítő láncba, feszültségerősítése általában kicsi.
- Főerősítő: a kellő feszültségerősítést biztosítja.
- Teljesítményerősítő: az erősítő láncot illeszti a terheléshez



A főerősítő



Többfokozatú erősítő

Főerősítő felépítése

A főerősítő általában két vagy három erősítő fokozat összekapcsolásából áll. Három erősítőfokozat összekapcsolása esetén, ha A_{u1} , A_{u2} és A_{u3} az egyes fokozatok erősítései:

$$A_{u1} = \frac{u_2}{u_1},$$

$$A_{u2} = \frac{u_3}{u_2},$$

$$A_{u3} = \frac{u_4}{u_3}.$$

Az eredő feszültségerősítés, az egyes erősítések szorzatával egyenlő:

$$A_u = A_{u1} \cdot A_{u2} \cdot A_{u3}.$$

Ha a feszültségerősítést decibelben adjuk meg:

$$a_u = a_{u1} + a_{u2} + a_{u3}.$$

Az erősítő bemeneti ellenállása az első fokozat bemeneti ellenállása:

$$R_{be} = R_{be1}$$

Az erősítő kimeneti ellenállása az utolsó fokozat kimeneti ellenállása:

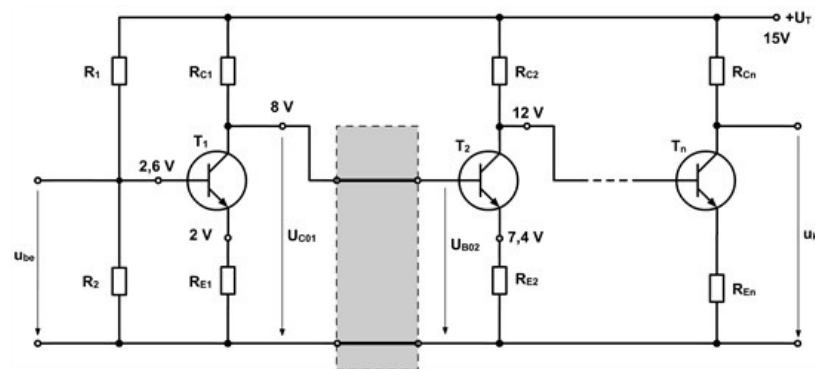
$$R_{ki} = R_{ki3}$$

Az erősítőfokozatok csatolása, közvetlen csatolású erősítők, közvetlen csatolás szinteltolóval

Közvetlen csatolás rövidzárral

A félvezető erősítőben a leggyakrabban alkalmazott csatolási mód. Ez az egyetlen csatolási mód egyenfeszültségű jelek erősítésére, viszont váltakozó feszültségű jelek erősítésére is alkalmas. A közvetlen csatolt erősítőket DC-erősítőknek (Direct Current Amplifier - egyenáramú erősítő) is nevezik.

Megfigyelhető, hogy a második erősítőfokozat munkapontját az első fokozat állítja be, mivel $U_{C01} = U_{B02}$. Ha a két tranzisztor azonos munkapontban működik, ez csak úgy állítható be ha $R_{E2} > R_{E1}$ és $R_{C2} < R_{C1}$. Ennek eredménye a második fokozat erősítéscsökkenése az elsőhöz viszonyítva. Kettőnél több fokozat esetén az erősítés fokozatonként csökken.



Többfokozatú közvetlen csatolású erősítő

Ha a fokozatok munkapont-beállító elemei megegyeznek $R_{E1} = R_{E2}$ és $R_{C1} = R_{C2}$, akkor a második fokozat munkapontja eltolódik és csökken kivezérelhetősége. Az ábrán látható feszültségértékek az ebben az esetben kialakuló feszültségviszonyokat szemléltetik. Ha az erősítő kettőnél több fokozatból áll a kivezérelhetőség egyre nagyobb csökkenése jelentkezik.

A rövidzárral való közvetlen csatolás előnye:

- a jel a fokozatok között csillapítás nélkül kerül továbbításra,
- csak az első fokozat tranzisztora igényel bázispotenciál-beállító ellenállásokat R_1, R_2 .

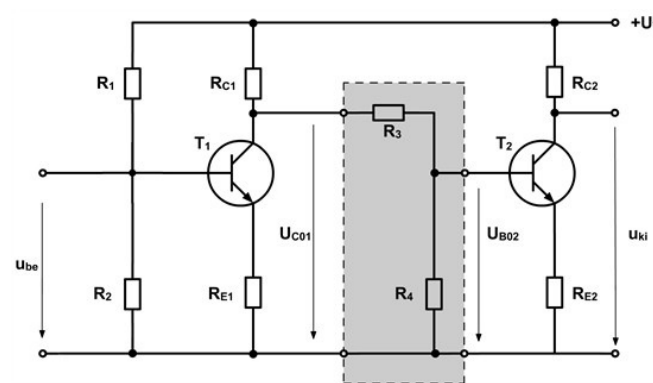
A csatolás hátrányai kiküszöbölhetők a szinteltolónak nevezett áramkörü megoldásokkal.

Erősítő fokozatok csatolása

Erősítőfokozatok csatolásának nevezzük azt amikor, az egyik fokozat kimenetéről villamos jelet viszunk át a másik fokozat bemenetére. A csatolási négypólus segítségével valósítható meg, amelyet a két fokozat közé kapcsolunk. A csatoló négypólus belső felépítése alapján különböző csatolási módokat különböztetünk meg:

- Közvetlen (galvanikus) csatolás
- RC-csatolás
- Transzformátoros csatolás

A következőkben a csatolási módokat emitterkapcsolású erősítők segítségével mutatjuk be.



Közvetlen csatolás

Közvetlen csatolás szinteltolóval

A szinteltolók olyan négyfókusok, amelyek az egyes fokozatok közé kapcsolva hozzák létre a szükséges egyenfeszültség-esést. Mindezt úgy valósítják meg, hogy az erősítendő jelet nem vagy csak minimális mértékben csillapítják. A legegyszerűbb közülük a feszültségosztós szinteltoló.

Az egyenfeszültség megfelelő leosztását az R_3 , R_4 ellenállásokból álló feszültségosztó biztosítja. A ΔU feszültségeltolás: $\Delta U = U_{C01} - U_{B02}$. Hátránya ennek a kapcsolásnak, hogy az erősítendő jelet is osztási arányának függvényében leosztja.

A legeredményesebben kis egyenfeszültség-különbségek esetén használható. Ezek a szinteltolók a dióda nyitóirányú tartományának lineáris szakaszát használja ki. Az R ellenállás a dióda munkapontbeállítását szolgálja. A szinteltolás mértéke megegyezik a dióda nyitóirányú feszültségeseésével, ami a Si diódák esetén ez kb. $0,6 \div 0,8$ V. Több diódát sorba kapcsolva kb. $2 \div 3$ V-ig hozható létre szinteltolás az átviteli jellemzők jelentősebb romlása nélkül.

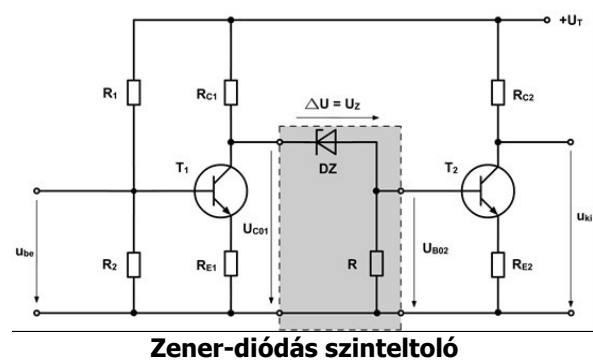
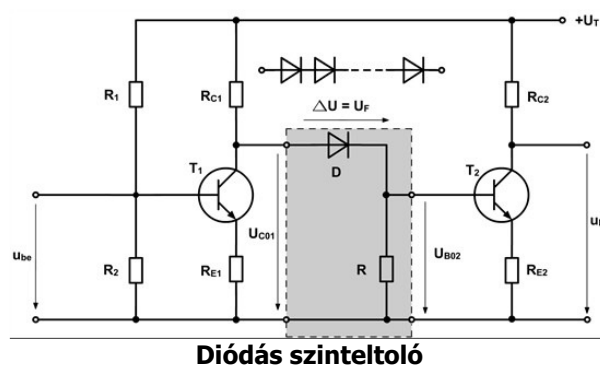
A diódás szinteltoló előnye:

a T_1 kollektor feszültség változását csillapítás nélkül továbbítja a T_2 tranzisztor bázisára, mivel a dióda kis értékű differenciális ellenállásán elhanyagolható feszültségeseés jön létre, nagyobb szinteltolás megvalósítására alkalmas.

A Zener- diódás szinteltoló

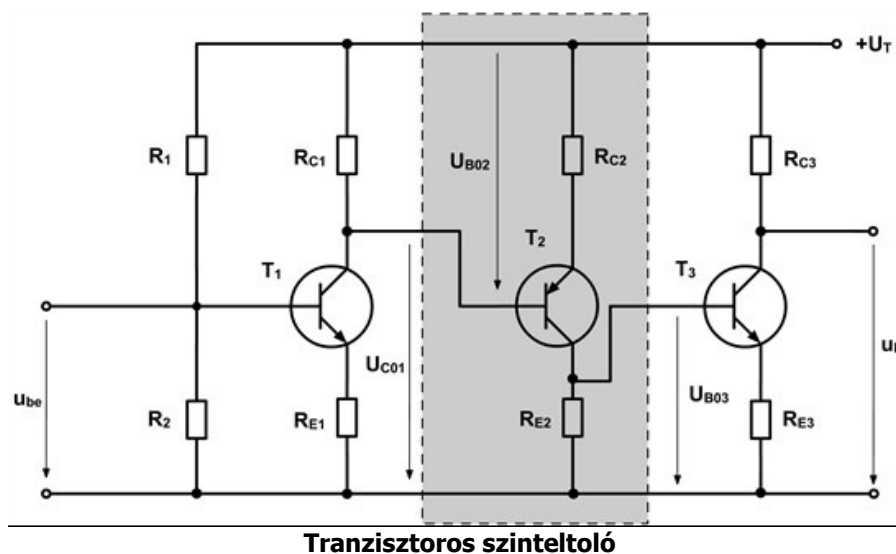
A Zener-dióda munkapontját az R ellenállás, a letörési tartományban állítja be. Ebben az esetben a diódán a Zener-feszültséggel azonos feszültségeseés jön létre. A Zener-dióda differenciális (váltakozó áramú) ellenállása nagyon kicsi, ezért a hasznos jelet csillapítás nélkül viszi át a T_2 bázisára.

A kapcsolás hátránya, hogy a Zener-dióda működése a letörési jelenségek következtében nagy zajtényezővel rendelkezik, ezért nagy erősítésű fokozatoknál alkalmazása nem célszerű.



Tranzisztoros szinteltolók elemzése

Magasabb minőségi követelményeket elégítenek ki a tranzisztoros szinteltolók. A T_2 PNP tranzisztor a T_1 kollektorfeszültségét ellentétes irányba tolja az R_{C2} és R_{E2} ellenállások értékeinek függvényében, így a T_3 tranzisztor bázisának előfeszítése megfelelően alacsony szintű lesz.



RC csatolású erősítők

RC csatolású erősítő kapcsolási rajza

Az erősítő fokozatok csatolása esetén ez a leggyakrabban alkalmazott csatolási mód váltakozó feszültségű jelek erősítésére. A jelforrásnak a bemenethez, valamint a terhelésnek a kimenethez csatolására általában csatoló kondenzátort alkalmazunk. Az ilyen típusú erősítőket AC-erősítőknek (Alternating Current Amplifier) is nevezik. Az RC csatolás elnevezés annak tulajdonítható, hogy a C_{cs2} két fokozat közé beillesztett csatoló kondenzátor reaktanciája az első fokozat kimeneti ellenállásával és a második fokozat bemeneti ellenállásával feszültségosztót képez. Ahhoz, hogy a csatoló kondenzátor ne befolyásolja a hasznos jel átvitelét, reaktanciája sokkal kisebb kell legyen a második fokozat bemeneti ellenállásánál. Kapacitása, a még megengedhető 3 dB szintcsökkenés esetén:

$$C_{cs2} = \frac{1}{2\pi \cdot f_a \cdot (R_{ki1} + R_{be2})}$$

A bipoláris tranzisztoros erősítő fokozatok bemeneti ellenállása csupán $10^3 \div 10^4 \Omega$ nagyságrendű, a tervezérlésű tranzisztoros fokozatok $10^5 \div 10^6 \Omega$ bemeneti ellenállásához viszonyítva. Ezért a bipoláris tranzisztoros erősítők $2 \div 3$ nagyságrenddel nagyobb kapacitású csatoló kondenzátorokat igényelnek. Az első fokozat terhelő ellenállása:

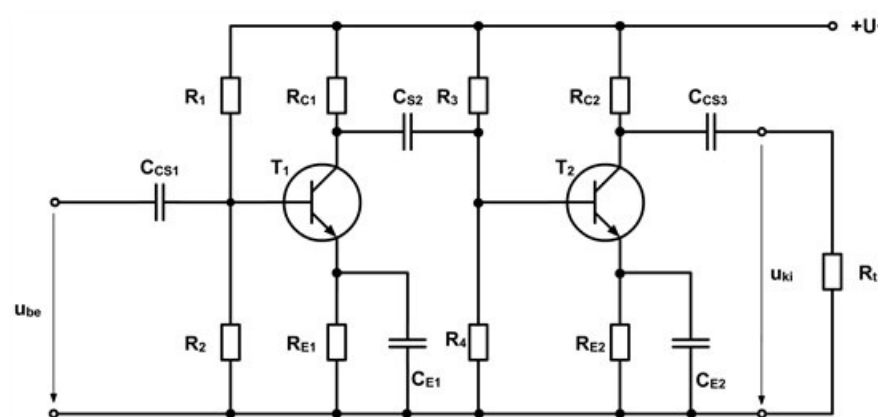
$$R_{be2} = h_{11e2} \times R_3 \times R_4$$

Az első és második fokozat feszültségerősítése:

$$A_{u1} = -\frac{h_{21e1}}{h_{11e1}} \cdot \left(\frac{1}{h_{22e1}} \times R_{C1} \times R_{be2} \right)$$

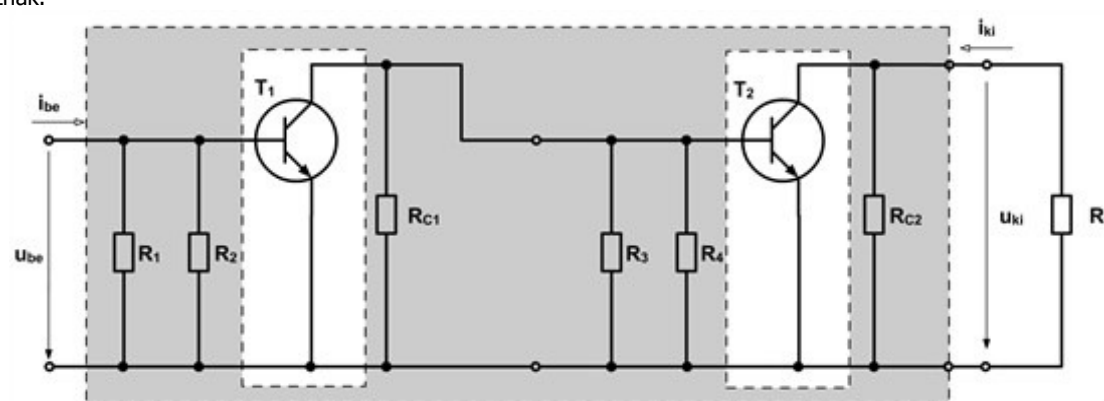
$$A_{u2} = -\frac{h_{21e2}}{h_{11e2}} \cdot \left(\frac{1}{h_{22e2}} \times R_{C2} \times R_t \right)$$

Az RC csatolás előnye: hogy a fokozatok munkapontjai nem hatnak egymásra és egymástól függetlenül beállíthatók, mivel a csatoló kondenzátor egyenáramú szempontból elválasztja a fokozatokat.



Kétfokozatú RC csatolású erősítő

Hátránya: ennek a csatolásnak a viszonylag sok szükséges alkatrész: munkapont-beállító elemek és csatoló kondenzátorok fokozatonként. A csatoló kondenzátorok kisméretű jelcsökkenést és bizonyos torzításokat okoznak.



Váltakozó áramú helyettesítő kép

Transzformátoros csatolású erősítők

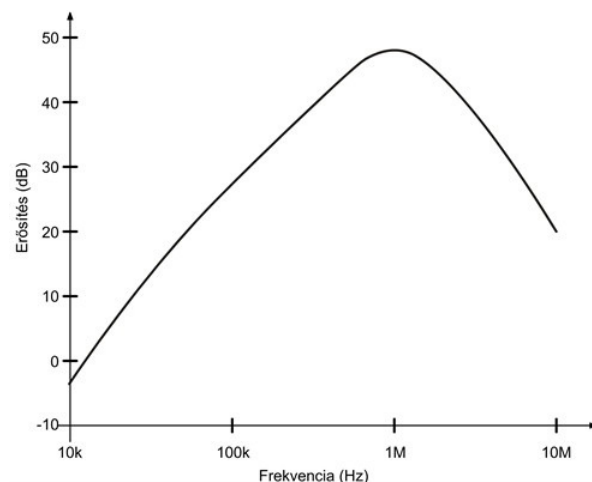
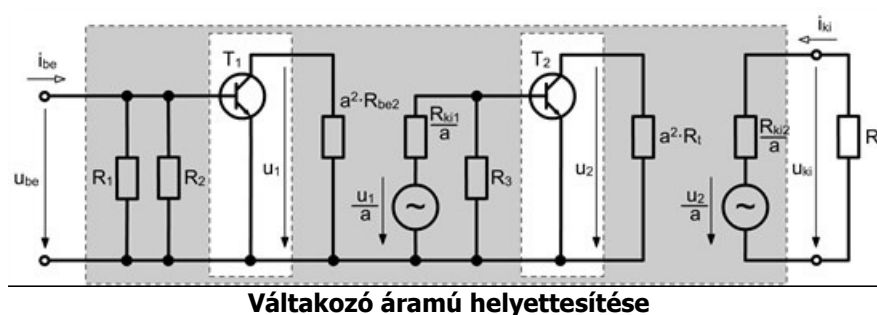
A transzformátorok impedancia áttétele

Feltételezzük, hogy a két transzformátor áttétele

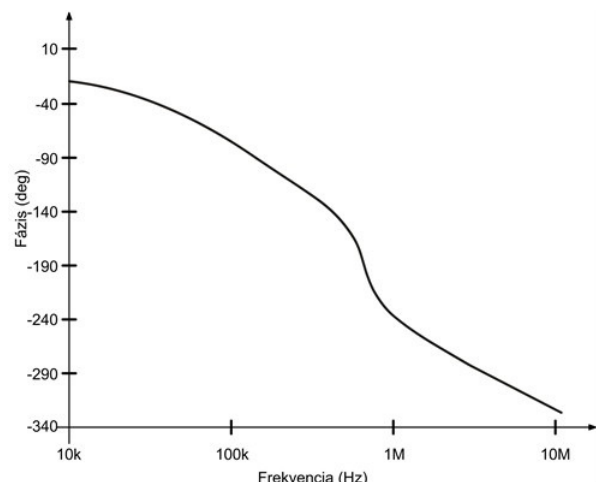
$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

A transzformátoros csatolást elsősorban magas frekvenciás váltakozó feszültségű erősítőkben használják. Alkalmazása azért jár nagy előnnyel, mert illesztést valósít meg az erősítő fokozatok között. Nagy stabilitás érhető el vele és a transzformátor tekercseiben nem nagy az egyenáramú veszteség. A tekercsekkel párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok alkalmazásával, hangolt erősítőként is használható.

Hátránya a transzformátoros csatolásnak, hogy kisteljesítményű üzemben rossz a hatásfoka és frekvencia-átvittele nem megfelelő. Ezen kívül a transzformátor a legnehezebb, a legnagyobb méretű és a legdrágább áramköri elem. A transzformátorok kedvezőtlen tulajdonsága miatt, kisfrekvenciás erősítőkben nem alkalmazzák.



Az erősítő frekvenciamenete



Az erősítő fázistolásának vizsgálata

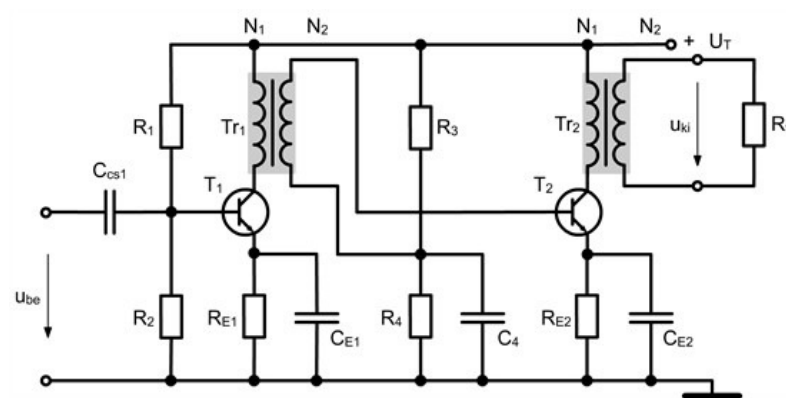
Transzformátoros csatolású erősítők kapcsolási rajza

Feltételezzük, hogy a két transzformátor áttétele

$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

A transzformátoros csatolást elsősorban magas frekvenciás váltakozó feszültségű erősítőkben használják. Alkalmazása azért jár nagy előnnyel, mert illesztést valósít meg az erősítő fokozatok között. Nagy stabilitás érhető el vele és a transzformátor tekercseiben nem nagy az egyenáramú veszteség. A tekercsekkel párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok alkalmazásával, hangolt erősítőként is használható.

Hátránya a transzformátoros csatolásnak, hogy kisteljesítményű üzemben rossz a hatásfoka és frekvencia-átvittele nem megfelelő. Ezen kívül a transzformátor a legnehezebb, a legnagyobb méretű és a legdrágább áramköri elem. A transzformátorok kedvezőtlen tulajdonsága miatt, kisfrekvenciás erősítőkben nem alkalmazzák.

**Kétfokozatú transzformátoros csatolású erősítő**