

Tantárgyi dosszié

Tárgy: ELEKTRONIKA I.
Tárgyjegyző: Dr. Gáti Attila Gábor egyetemi docens
Szak: Villamosmérnöki BSc alapszak
Szakirány: szakmai közös ismeretek

Tantárgykód: GEVEE507BN
Félév: őszi
ETF: -
Követelmény: 2 2 v/5

a) Tantárgyprogram

Hét	Tárgykör	Előadás	Gyakorlat
1.	Elektronika passzív alk.	Passzív és elektromos ellenállások fajtái, tulajdonságaik.	Kondenzátorok, tekercsek fajtái, tulajdonságaik.
2.	Félvezetők	Tekercsek. Logaritmikus egységek. Négypólusok alapjai.	Félvezetőelmélet alapjai, pn réteg tulajdonságai. Kétrétegű félvezetők. Dióda és tulajdonságai, alkalmazásai.
3.	Félvezetők	Zener-dióda tulajdonságai és alkalmazásai, speciális diódák. Számolás Zener diódával.	Tranzisztorok működése, tulajdonságai, jellemző paraméterei. Munkapontbeállítás.
4.	Tranzisztor	Tranzisztoros alapkapsolások, kis- és nagyjelű tulajdonságaik.	Számolás alapkapsolásokkal.
5.	Tranzisztor	Speciális tranzisztorok, Darlington kapcsolások	FET-ek fajtái, működése, tulajdonságai és jellemző karakterisztikáik.
6.	FET-ek	Félvezetők zaja, melegedése és kapcsolóüzemű tulajdonságaik.	Számolás tranzisztoros kapcsolásokkal
7.	Telj. félvezetető	Diszkrét teljesítmény félvezetők I.	Számolás FET-es kapcsolásokkal. Számolások MOSFET-es kapcsolásokkal
8.	Telj. félvezetető	Diszkrét teljesítmény félvezetők II.	Számolás FET-es kapcsolásokkal. Számolások MOSFET-es kapcsolásokkal
9.	Erősítők	Erősítők csoportosítása. Aszimmetrikus és szimmetrikus erősítők.	Negatív visszacsatolás fajtái, tulajdonságai.
10.	Erősítők	Kisjelű aszimmetrikus erősítők diszkrét félvezetőkel	Számolások aszimmetrikus erősítő kapcsolásokkal
11.	Telj. erősítők	Differenciálerősítők előadás. Erősítők alsó- és felső határfrekvenciái.	Teljesítményerősítők és fajtáik, tulajdonságaik.
12.	Műveleti erősítők	Műveleti erősítők felépítése, jellemző paraméterei. Lineáris üzemű alkalmazások. Erősítő alapkapsolások.	Összeadó, kivonó, integráló és deriváló kapcsolások
13.	Műveleti erősítők	PI és PD kapcsolások, jelformáló kapcsolások	Vezérelt áram és feszültség konverterek.
14.	Műveleti erősítők	Műveleti erősítők hibái.	Pótlások

b) Ajánlott irodalom:

- [1] U.Tietze-Ch.Schenk: Analóg és digitális áramkörök, Műszaki Könyvkiadó, 1991.
- [2] Zinke-Seither: Ellenállások, kondenzátorok, tekercsek, Műszaki Könyvkiadó, 1986.
- [3] Uray-Szabó: Elektrotechnika, Műszaki Könyvkiadó, 1974.
- [4] Millman,J-Grabel,A: Microelectronics, McGraw-Hill Int. Publ., 1987.
- [5] Kittel, Ch.: Bevezetés a szilárdtest fizikába, Műszaki Könyvkiadó, 1981.
- [6] Mayer,T-Vágó,I: Szilárdtestfizika, LSI Oktatóközpont, 1995.
- [7] Seymour,J: Electronic devices and components, Pitman Publ., 1981.
- [8] Savant-Roden-Carpenter: Electronic Design, The Benjamin-Cummings Publ. 1991.
- [9] Herpy: Analóg integrált áramkörök, Műszaki Könyvkiadó, 1973
- [10] Sheperd: Műveleti erősítők, Műszaki Könyvkiadó, 1985
- [11] Hainzmann-Varga-Zoltai: Elektronikus áramkörök, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2000.
- [12] Winzer: Linear Integrated Circuits, Saunders College Publishing, 1992
- [13] Kissel: Industrial Electronics, Prentice Hall, 1997

c) Félévi követelmények

A tantárgy lezárásának módja: aláírás, vizsga

Félév elismerésének módja:

Az aláírás megszerzésének feltétele: A félév során röpzárthelyikből megszerezhető 80 pontból legalább 33 pont (40%+1 pont) megszerzése.

A félévi tevékenység értékelése

A félév során 4 röpzárthelyi dolgozatot kell teljesíteni.

egy dolgozat időtartama 60perc

időpontja: a félév során elosztva a tárgy előrehaladása által meghatározott időpontokban.

tartalma:

I.zh: Elektronikai alapismeretek, ellenállások, kondenzátorok és tekercsek, Diszkrét alkatrészek működése, tulajdonságai, lineáris- és kapcsolóüzemű alkalmazásaik

II.zh: Félvezetők zaja, melege. Erősítők:aszimmetrikus és szimmetrikus kapcsolások. Teljesítményerősítők.

III.zh: Tranzistoros és FET-es áramkörök DC és AC analízise számolással.

IV.zh: Műveleti erősítők

a zárthelyik alapján megajánlott jegy szereshető (maximális megszerezhető pontszám:80 pont):

közepes 45-56 pont

jó 57-68 pont

jeles 69-80 pont

A megajánlott jegy feltétele legalább 3 eredményes (9 pont vagy annál jobb) dolgozat megírása!

Pótlások

A zárthelyik pótlása: amennyiben a hallgató félév során összegyűjtött pontszáma várhatóan nem éri el az aláírás megszerzéséhez szükséges 33 pontot, akkor a hallgató a 4. rpzh helyett az utolsó tanítási héten a teljes félév anyagából pótzárthelyit írhat. Az aláírás a sikeres pótzárthelyi (legalább a szereshető pontok 40%-a+1 pont) alapján megszerezhető, de megajánlott jegy nem.

Aláíráspótlás vizsgaidőszakban

Az aláírás a kar dékánja által meghatározott időszakban, a tanszék által kiírt időpontban írásbeli dolgozattal megszerezhető. A dolgozat terjedelme: a félév teljes előadási és gyakorlati anyaga, időtartama: 100 perc. Értékelés: 0-16 pont nincs aláírás, 17-40 aláírást megszerezte.

Vizsga

A vizsga írásbeli és szóbeli. Az írásbeli rész a félév teljes anyagából az előre kiadott tételjegyzék alapján három tétel részletes kidolgozásával teljesíthető. Amennyiben a három tételből kettő meghaladja az elégséges szintet, de a harmadik nem, akkor az adott anyagrészből póttétel kérhető. Póttétel esetén a vizsga minősítése legfeljebb elégséges lehet. A vizsga elégtelen, ha a póttétel vagy

egynél több tétel kidolgozottsági szintje nem éri el az elégséges szintet. A szóbeli rész a tételekhez fűzött kiegészítésekből és/vagy az anyag többi részét érintő kérdésekből tevődik össze. Megajánlott vizsgajegy szerzhető a félévközi teljesítmény alapján a fenti táblázatnak megfelelően.

c) Tételsor: -

I. tételcsoport

1. Jelek csoportosítása az értéktartományok folytonossága alapján, négypólusok, pozitív vonatkoztatási irány, tranziens paraméterek, logaritmikus egységek az elektronikában
2. Szűrő: fajtái, tulajdonságaik, gyakran alkalmazott polinomok alapvető tulajdonságai.
3. Az elektronika passzív alkatrészei: passzív ellenállások és tulajdonságaik
4. Az elektronika passzív alkatrészei: elektromos ellenállások fajtái és tulajdonságaik.
5. Kondenzátorok: polarizált és nempolarizált kondenzátorok és fajtáik, jellemzőik.
6. Valóságos kondenzátorok jellemzői (a kondenzátor helyettesítő-képe, jósági tényező, veszteségi tényező, feszültség terhelhetőség, szivárgó áram, hőmérséklet tartományok, értéktartomány és tűrés), Tekercsek fajtái és jellemző tulajdonságaik
7. Félvezető-elmélet alapjai: sávmélet, direkt-indirekt félvezetők, Fermi szint, szennyezett és saját szennyezésű félvezetők, degenerált félvezetők, tranzit hőmérséklet, elektron csapdák és rekombinációs központok
8. A pn átmenetben lezajló folyamatok, a pn réteg gerjesztése külső feszültséggel.
9. Letörési jelenségek a pn rétegben, fém-félvezető átmenet, termikus hatások félvezetőkben
10. Dióda működése, jellemzői, paraméterei, alkalmazása. Shottky dióda.
11. Zener-dióda működése, jellemzői, karakterisztika, paraméterek, a Zener-diódák alkalmazása

II. tételcsoport

12. A tranzisztor (BJT) működése normál üzemben, áramerősítő tényezők, nagyjelű helyettesítőkép.
13. A tranzisztor elvi alapkapcsolásai, bemeneti karakterisztikája és jellemzői, kimeneti karakterisztikája és a jellemző paraméterek telítési és lezárási tartományban.
14. A tranzisztor paraméterei aktív tartományban. Kisjelű helyettesítőképei.
15. Speciális tranzisztorok: Darlington-kapcsolás, Shottky-tranzisztor.
16. A tranzisztor működése lineáris üzemben: kis- és nagyjelű működés, statikus és dinamikus munkaegyenés, hőmérséklet hatása a munkapontra.
17. Munkapont-beállítás bázisosztóval és bázisárammal egyenáramú visszacsatolás nélkül.
18. Munkapont-beállítás bázisárammal egyenáramú visszacsatolással. Miller hatás. A tranzisztor működése kapcsolóüzemben.
19. Térvezérelt tranzisztorok fajtái. Záróréteges FET (JFET) működése, karakterisztikái, jellemzői.
20. JFET lineáris üzeme feszültségosztós és gate-levezető ellenállással felépülő munkapont-beállítással.
21. A Növekményes és a kiürítéses MOSFET működése, karakterisztikái, jellemzői. FET-alapú vezérelt- és aktív ellenállás.
22. Növekményes MOSFET lineáris üzeme feszültségosztós és gate-felhúzó ellenállással felépülő munkapont-beállítással.
23. A teljesítmény félvezetők csoportosítása. Teljesítménydióda. Teljesítménytranzisztor és Darlington tranzisztor.
24. Tirisztor (SCR), Triac, Teljesítmény MOSFET, IGBT működése, karakterisztikái és jellemzői.
25. Félvezetők melegedése és hűtése. Félvezetők zaja, zajszám, jel/zaj viszony.

III. tételcsoport

26. Erősítők csoportosítása. Aszimmetrikus és szimmetrikus erősítők jellemzői.
27. Negatív visszacsatolások jellemzői, fajtái, az egyes visszacsatolás típusok jellemzői.
28. Közös emitteres kapcsolások. Közös kollektoros kapcsolások.
29. Közös bázisú kapcsolások. Többfokozatú erősítők. Kaszkád és kaszkód erősítők.
30. Tranzisztoros differenciálerősítő és jellemzői. FET-es differenciálerősítő és jellemzői.
31. Erősítők nemlinearitása (torzítás). Erősítők határfrekvenciái.
32. Teljesítményerősítők: csoportosítás, optimális illesztés, ellenütemű végfokozatok A és B osztályban.
33. A osztályú erősítők jellemzői. B osztályú erősítők jellemzői. AB osztályú erősítők jellemzői.
34. Műveleti erősítők felépítése, jellemzői. Ideális műveleti erősítők jellemzői. Műveleti erősítők belső felépítése. A valóságos műveleti erősítő helyettesítőképe és jellemző paraméterei.

35. Műveleti erősítő transzfer karakterisztikája. Műveleti erősítő áramköri jelölése. Elhanyagolások a műveleti erősítők számolásánál. Invertáló erősítő.
36. Neminvertáló bemenetről vezérelt erősítő. Egységnyi erősítésű erősítő (feszültségkövető). Összegző- és kivonó erősítő kapcsolások és jellemzőik.
37. Integráló és differenciáló áramkör. PI- és PD alaptag egy műveleti erősítővel.
38. Exponenciális és logaritmikus erősítők Vezérelt generátorok. Feszültséggel vezérelt feszültséggenerátor.
39. Földfüggő- és földfüggetlen kimenetű feszültséggel vezérelt áramgenerátor. Áram-vezérelt feszültséggenerátor. Áramvezérelt áramgenerátorok.
40. Oszcillátorok csoportosítása, Barkhausen-kritérium. Wien-hidas oszcillátorok, amplitúdó stabilizálás. Kvarc- oszcillátorok.

d) Előadások anyaga

1. Elektronikai alapismeretek

- 1.1. Jelek csoportosítása az értéktartományok folytonossága alapján
- 1.2. Négypólusok
 - 1.2.1. A négypólusok pozitív vonatkoztatási irányai
- 1.3. Tranziens paraméterek
- 1.4. Logaritmikus egységek az elektronikában
- 1.5. Szűrő alapismeretek
 - 1.5.1. Aluláteresztő szűrő
 - 1.5.2. Felüláteresztő szűrő
 - 1.5.3. Sáváteresztő szűrő
 - 1.5.4. Sávkiró szűrő
 - 1.5.5. Gyakran alkalmazott polinomok alapvető tulajdonságai
 - 1.5.5.1. Butterworth-szűrő
 - 1.5.5.2. Csebisev, inverz-Csebisev szűrők
- 1.6. Az elektronika passzív alkatrészei
 - 1.6.1. Ellenállások
 - 1.6.1.1. Passzív ellenállások
 - 1.6.1.1.1. Szabványos ellenállások
 - 1.6.1.1.2. Az ellenállások helyettesítőképe
 - 1.6.1.1.3. Ellenállások zaja
 - 1.6.1.2. Elektromos ellenállások
 - 1.6.1.2.1. Nyúlásmérőbéllyeg
 - 1.6.1.2.2. Hőellenállás (termisztor)
 - 1.6.1.2.3. Feszültségfüggő ellenállás (varisztor, VDR)
 - 1.6.1.2.4. Fotoellenállások
 - 1.6.1.2.5. Mágnesesen vezérelhető ellenállások (Hall-ellenállások)
 - 1.6.2. Kondenzátorok
 - 1.6.2.1. Nem-polarizált kondenzátorok
 - 1.6.2.1.1. Fémezett papír kondenzátorok (MP)
 - 1.6.2.1.2. Műanyag dielektrikumú kondenzátorok
 - 1.6.2.1.3. Kerámia, csillám, kvarc kondenzátorok
 - 1.6.2.2. Polarizált kondenzátorok
 - 1.6.2.2.1. Alumíniumoxid elektrolit kondenzátorok
 - 1.6.2.2.2. Tantálpentoxid kondenzátorok
 - 1.6.2.2.3. Szuperkapacitások

- 1.6.2.3. Valóságos kondenzátorok jellemzői
 - 1.6.2.3.1. A valóságos kondenzátor helyettesítő-képe
 - 1.6.2.3.2. Jóság tényező, veszteségi tényező
 - 1.6.2.3.3. Feszültség terhelhetőség
 - 1.6.2.3.4. Szivárgó áram
 - 1.6.2.3.5. Hőmérséklet tartományok
 - 1.6.2.3.6. Kondenzátorok értéktartományai és tűrése
- 1.6.3. Tekercsek
 - 1.6.3.1. Légmagos tekercsek
 - 1.6.3.2. Vasmagos tekercsek

2.0. Diszkrét félvezetők és alkalmazásaik

- 2.1. Félvezető-elmélet alapjai
 - 2.1.1. A pn átmenet
 - 2.1.1.1. A pn réteg gerjesztése külső feszültséggel
 - 2.1.1.2. Letörési jelenségek a pn rétegben
 - 2.1.2. Fém-félvezető átmenet
 - 2.1.3. Termikus hatások félvezetőkben
- 2.2. Kétrétegű félvezetők
 - 2.2.1. Dióda
 - 2.2.1.1. Dióda karakterisztika, paraméterek
 - 2.2.1.2. Diódák alkalmazása
 - 2.2.2. Zener-dióda
 - 2.2.2.1. Karakterisztika, paraméterek
 - 2.2.2.2. Zener-diódák alkalmazása
 - 2.2.3. Speciális diódák
 - 2.2.3.1. Shottky dióda
- 2.3. Tranzisztor (BJT)
 - 2.3.1. A tranzisztor működése
 - 2.3.2. Nagyjelű helyettesítőkép
 - 2.3.3. Karakterisztikák, paraméterek
 - 2.3.4. Kisjelű helyettesítőkép
 - 2.3.4.1. Hibrid- π helyettesítőkép
 - 2.3.4.2. Tranzisztor paraméterek a négyfókus paraméterekkel kifejezve
 - 2.3.5. Speciális tranzisztorok
 - 2.3.5.1. Darlington-kapcsolás
 - 2.3.5.2. Shottky-tranzisztor
 - 2.3.6. Tranzisztor működése lineáris üzemben
 - 2.3.6.1. Tranzisztor kis- és nagyjelű működése
 - 2.3.6.2. Munkapont-beállító kapcsolások
 - 2.3.6.3. Munkapont-beállítás bázisárammal egyenáramú visszacsatolással
 - 2.3.7. Tranzisztor működése kapcsolóüzemben
- 2.4. Térvezérelt tranzisztor (Field Effect Transistor)
 - 2.4.1. Záróréteges FET (JFET)
 - 2.4.1.1. JFET működése
 - 2.4.1.2. JFET karakterisztikák, paraméterek
 - 2.4.1.3. A JFET lineáris üzeme
 - 2.4.2. MOSFET
 - 2.4.2.1. Növekményes MOSFET

- 2.4.2.2. Kiürítéses MOSFET
- 2.4.2.3. MOSFET lineáris üzeme
- 2.4.4. FET-alapú vezérelt és aktív ellenállás
- 2.5. Teljesítmény-félvezetők
 - 2.5.1. A teljesítmény félvezetők csoportosítása
 - 2.5.2. Teljesítménydióda
 - 2.5.3. Tirisztor (SCR)
 - 2.5.4. Triac
 - 2.5.5. Teljesítménytranzisztor és Darlington tranzisztor
 - 2.5.6. Teljesítmény MOSFET
 - 2.5.7. IGBT
- 2.6. Félvezetők melegedése, hűtése és zaja
 - 2.6.1. Félvezetők melegedése és hűtése
 - 2.6.2. Félvezetők zaja
- 2.7. Erősítők
 - 2.7.1. Erősítők csoportosítása
 - 2.7.1.1. Aszimmetrikus erősítők
 - 2.7.1.2. Szimmetrikus bemenetű erősítők
 - 2.7.2. Negatív visszacsatolás
 - 2.7.3. Aszimmetrikus kisjelű erősítők
 - 2.7.3.1. Közös emitteres kapcsolások
 - 2.7.3.2. Közös kollektoros kapcsolások
 - 2.7.3.3. Közös bázisú kapcsolások
 - 2.7.3.4. Többfokozatú erősítők
 - 2.7.3.4.1. Közvetlen csatolt erősítők (Direct Coupled)
 - 2.7.3.4.2. RC csatolt erősítők
 - 2.7.3.4.3. Transzformátoros csatolás
 - 2.7.4. Szimmetrikus erősítők
 - 2.7.4.1. Tranzisztoros differenciálerősítő
 - 2.7.4.2. FET-es differenciálerősítő
 - 2.7.5. Erősítők nemlinearitása (torzítás)
 - 2.7.6. Erősítők határfrekvenciája
 - 2.7.7. Teljesítményerősítők
 - 2.7.7.1. A teljesítményerősítők optimális illesztése
 - 2.7.7.2. Teljesítményerősítők ellenütemű végfokozatai
 - 2.7.7.3. A osztályú erősítők
 - 2.7.7.3. B osztályú erősítők
 - 2.7.7.5. AB osztályú erősítők

3.0 Műveleti erősítők

- 3.1. Műveleti erősítők felépítése, jellemzői
 - 3.1.1. Ideális műveleti erősítők jellemzői
 - 3.1.2. Műveleti erősítők belső felépítése
 - 3.1.3. A valóságos műveleti erősítő helyettesítőképe és jellemző paraméterei
 - 3.1.4. Műveleti erősítő transzfer karakterisztikája
 - 3.1.5. Műveleti erősítő áramkörü jelölése
- 3.2. Műveleti erősítők alapkapcsolások (lineáris üzem)
 - 3.2.1. Invertáló erősítő

- 3.2.2. Neminvertáló bemenetről vezérelt erősítő
- 3.2.3. Egységnyi erősítésű erősítő (feszültségkövető)
- 3.3. Alkalmazás-specifikus kapcsolások
 - 3.3.1. Műveletvégző kapcsolások
 - 3.3.1.1. Összegző kapcsolat (invertáló)
 - 3.3.1.2. Kivonó (differencia) erősítő
 - 3.3.1.3. Integrátor
 - 3.3.1.4. Differenciáló áramkör
 - 3.3.1.5. PI-alaptag egy műveleti erősítővel
 - 3.3.1.6. PD-alaptag egy műveleti erősítővel
 - 3.3.2. Jelformáló kapcsolások
 - 3.3.2.1. Exponenciális és logaritmikus erősítők
 - 3.3.3. Vezérelt generátorok
 - 3.3.3.1. Feszültséggel vezérelt feszültséggenerátor
 - 3.3.3.2. Feszültséggel vezérelt áramgenerátorok
 - 3.3.3.2.1. Földfüggetlen kimenetű feszültséggel vezérelt áramgenerátor
 - 3.3.3.2.2. Földfüggő kimenetű feszültséggel vezérelt áramgenerátor
 - 3.3.3.3. Áram-vezérelt feszültséggenerátor
 - 3.3.3.4. Áramvezérelt áramgenerátorok
 - 3.3.3.4.1. Áramvezérelt áramgenerátorok többszörös konvertálással
 - 3.3.4. Oszcillátorok
 - 3.3.4.1. Wien-hidas oszcillátorok
 - 3.3.4.2. Kvarc- oszcillátorok

e) Gyakorlatok anyaga

1.1. példa: Logaritmikus egységek gyakorlása

Határozzuk meg az alábbi mennyiségek értékeit V -ban illetve dB -ben:

- Egy erősítő feszültségerősítése 200-szoros, amely dB -ben? Megoldás: $20 \lg 200 = 46 \text{ dB}$
- Egy erősítő erősítése 62 dB . Mennyi az erősítés? Megoldás: $A_u = 10^{\frac{62}{20}} = 1258.9$
- Egy voltmérő (600Ω impedanciára vonatkoztatva) 28 dB -t mutat. Mennyi a mért feszültség értéke?
Megoldás: $U_m = 0.775 \times 10^{\frac{28}{20}} = 19.46V$
- Egy mérőműszer 7.9 V -t mutat. Ha átkapcsolunk dB mérésre mennyit fog a műszer mutatni (600Ω impedanciára vonatkoztatva)? Megoldás: $U_m = 20 \times \lg\left(\frac{7.9}{0.775}\right) = 20.17 \text{ dB}$

1.2. Példa: Rezgőkörök

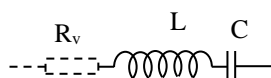
1.2.1. Határozza meg az alábbi soros rezgőkör rezonancia frekvenciáját és jósági tényezőjét!

Legyen:

$$R_v = 100 \Omega$$

$$L = 100 \text{ m}$$

A rezonancia frekvencia:



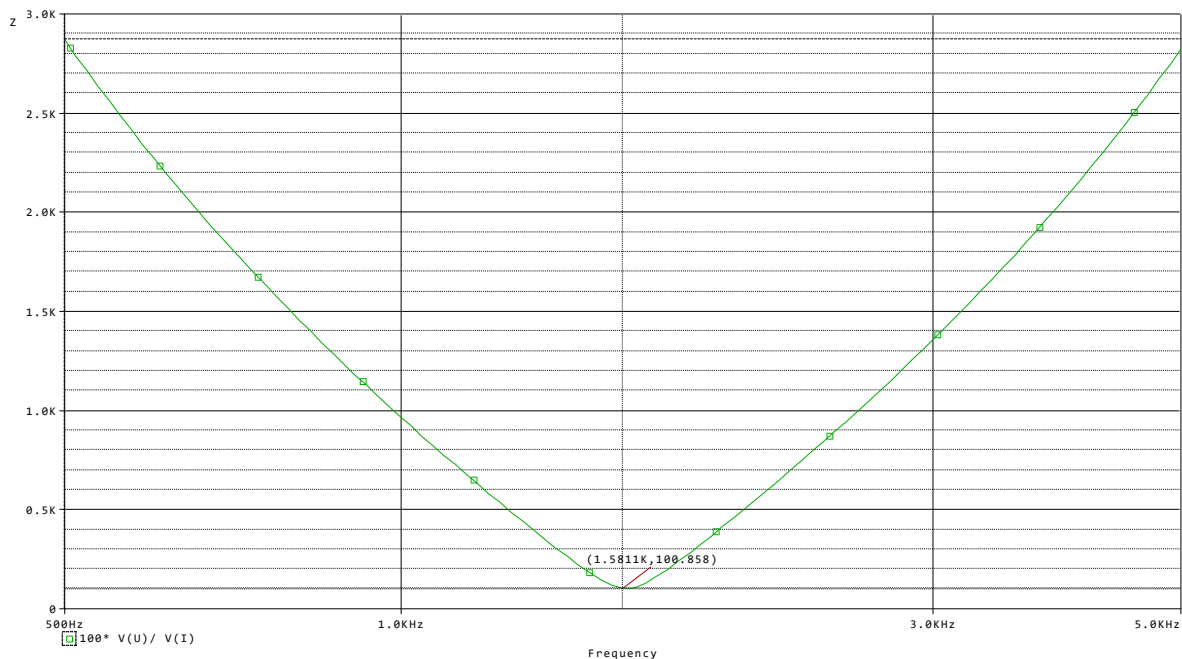
$$\bar{Z}(j\omega) = R_v + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = R_v + j \underbrace{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)}_{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{10^{-1} \times 10^{-7}}} = 10^4 \text{ r/s}$$

A jósági tényező:

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R_v} = \frac{10^4 \cdot 10^{-1}}{100} = 10$$

A sávszélesség:

$$B = \frac{\omega_0}{2\pi Q} = \frac{10^4}{20\pi} = 159.15 \text{ Hz}$$



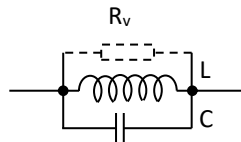
1.2.2. Határozzuk meg az alábbi párhuzamos rezgőkör rezonancia frekvenciáját és jósági tényezőjét

Legyen:

$$R_v = 100 \text{ k}\Omega$$

$$L = 100 \text{ m}$$

Rezonancia frekvencia:



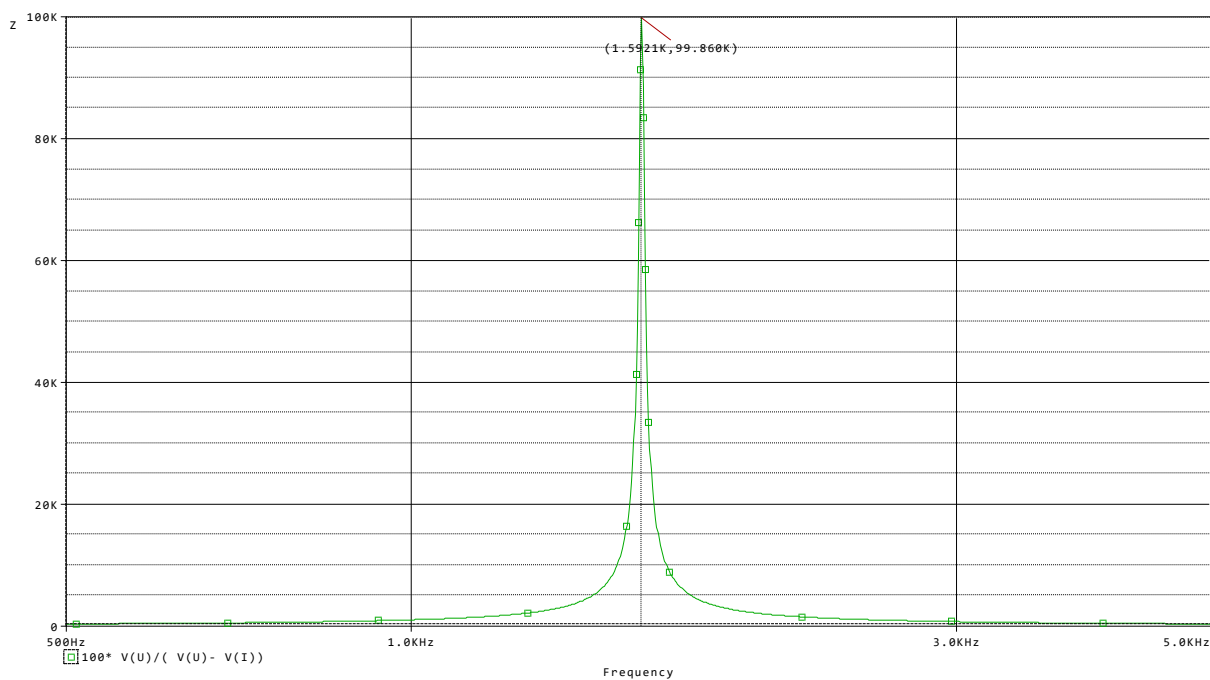
$$\bar{Z}(j\omega) = R_v * j\omega L * \frac{1}{j\omega C} = R_v * \frac{j\omega L}{\underbrace{1 - \omega^2 LC}_{\omega_0}} = R_v * j \frac{\omega L}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{10^{-1} \times 10^{-7}}} = 10^4 \text{ r/s},$$

Jósági tényező:


$$Q = \omega_0 C R_v = 10^4 \times 10^{-7} \times 10^5 = 100$$

A sávszélesség:

$$B = \frac{\omega_0}{2\pi Q} = \frac{10^4}{200\pi} = 15.9 \text{ Hz}$$



1.3. példa: Ellenállások jelölései

Rétegellenállások szinkódja: 

a) négycsíkos jelölés (E612,24 tipikusan)

Színek	Értéksávok	Szorzásáv	Tűréssáv
Nincs jel	-	-	$X 10^{-3} = 1 \text{ m}\Omega$ $\pm 20 \%$
Ezüst	-	-	$X 10^{-2} = 10 \text{ m}\Omega$ $\pm 10 \%$
Arany	-	-	$X 10^{-1} = 100 \text{ m}\Omega$ $\pm 5 \%$
Fekete	-	0	$X 10^0 = 1 \Omega$ -
Barna	1	1	$X 10^1 = 10 \Omega$ -
Vörös	2	2	$X 10^2 = 100 \Omega$ $\pm 2 \%$
Narancs	3	3	$X 10^3 = 1 \text{ k}\Omega$ -
Sárga	4	4	$X 10^4 = 10 \text{ k}\Omega$ -
Zöld	5	5	$X 10^5 = 100 \text{ k}\Omega$ -
Kék	6	6	$X 10^6 = 1 \text{ M}\Omega$ -
Ibolya	7	7	$X 10^7 = 10 \text{ M}\Omega$ -
Szürke	8	8	$X 10^8 = 100 \text{ M}\Omega$ -
Fehér	9	9	$X 10^9 = 1 \text{ G}\Omega$ -

Példa: vörös-ibolya-barna-arany= $27 \times 10 = 270 \Omega \pm 5\%$

b) ötcsíkos jelölés (E48,96, 192 tipikusan)

Színek	Értéksávok			Szorzosáv	Tűrésáv
Ezüst	-	-	-	$X 10^{-2} = 10 \text{ m}\Omega$	-
Arany	-	-	-	$X 10^{-1} = 100 \text{ m}\Omega$	-
Fekete	-	0	0	$X 10^0 = 1 \Omega$	-
Barna	1	1	1	$X 10^1 = 10 \Omega$	$\pm 1 \%$
Vörös	2	2	2	$X 10^2 = 100 \Omega$	$\pm 2 \%$
Narancs	3	3	3	$X 10^3 = 1 \text{ k}\Omega$	-
Sárga	4	4	4	$X 10^4 = 10 \text{ k}\Omega$	-
Zöld	5	5	5	$X 10^5 = 100 \text{ k}\Omega$	$\pm 0,5 \%$
Kék	6	6	6	$X 10^6 = 1 \text{ M}\Omega$	$\pm 0,25 \%$
Ibolya	7	7	7	$X 10^7 = 10 \text{ M}\Omega$	$\pm 0,1 \%$
Szürke	8	8	8	$X 10^8 = 100 \text{ M}\Omega$	-
Fehér	9	9	9	$X 10^9 = 1 \text{ G}\Omega$	-

Példa: kék-ibolya-szürke-arany-barna= $678 \times 0,1 = 67,8 \Omega \pm 1\%$

c) SMD ellenállások jelölései:



Különböző megoldások lehetnek, pl.

- Három karakteres kód: $123 = 12000 = 12 \text{ k}\Omega$. Ha az ellenállás értéke kisebb, mint 100Ω , akkor $120 = 12 \Omega$. Egy másik háromkarakteres kód: $1k5 = 1,5 \text{ k}\Omega$ (további jelölés R, M)
- Négykarakteres jelölések: $5100 = 510 \Omega$, $1000 = 100 \Omega$

A **nagypontosságú ellenállások** (tűrés $\leq 1\%$) esetén egy új jelölést alkalmaznak (EIA-96 jelölés). Ez egy három karakteres kód. Az első két karakter egy kódtábla alapján meghatározza az ellenállás három számjegyét, a harmadik kód a szorzótényezőt.

A kódtáblázat

kód	érték	kód	érték	kód	érték	kód	érték	kód	érték	kód	érték
01	100	17	147	33	215	49	316	65	464	81	681
02	102	18	150	34	221	50	324	66	475	82	698
03	105	19	154	35	226	51	332	67	487	83	715
04	107	20	158	36	232	52	340	68	499	84	732
05	110	21	162	37	237	53	348	69	511	85	750
06	113	22	165	38	243	54	357	70	523	86	768
07	115	23	169	39	249	55	365	71	536	87	787

08	118	24	174	40	255	56	374	72	549	88	806
09	121	25	178	41	261	57	383	73	562	89	825
10	124	26	182	42	237	58	392	74	576	90	845
11	127	27	187	43	274	59	402	75	590	91	866
12	130	28	191	44	280	60	412	76	604	92	887
13	133	29	196	45	287	61	422	77	619	93	909
14	137	30	200	46	294	62	432	78	634	94	931
15	140	31	205	47	301	63	442	79	649	95	953
16	143	32	210	48	309	64	453	80	665	96	976

A szorzótényező betűjelzése:

betű	szorzótényező	betű	szorzótényező
F	100000	B	10
E	10000	A	1
D	1000	X vagy S	0.1
C	100	Y vagy R	0.01

pl. 32A =210 Ω, 42B=2370 Ω, 56E=3740000 (3M74).

A 2-5 % ellenállások esetén hasonló az elrendezés, csak a szorzótényező a kód előtt van.

A kódtáblázat

2%				5%			
kód	érték	kód	érték	kód	érték	kód	érték
01	100	13	330	25	100	37	330
02	110	14	360	26	110	38	360
03	120	15	390	27	120	39	390
04	130	16	430	28	130	40	430
05	150	17	470	29	150	41	470
06	160	18	510	30	160	42	510
07	180	19	560	31	180	43	560
08	200	20	620	32	200	44	620
09	220	21	680	33	220	45	680
10	240	22	750	34	240	46	750
11	270	23	820	35	270	47	820
12	300	24	910	36	300	48	910

A fentiek alapján pl. C36= 30000= 30kΩ, 5% tűrés, B06= 1600= 1.6 kΩ 2 % tűréssel.

Az SMT ellenállások teljesítményt jelölő kódjai:

Max. veszteségi teljesítmény: 0402(1/16W), 0603(1/10W), 0805(1/8W), 1206(1/4W), 1210(1/3W), 2010(3/4W), 2512(1W), 3616(2W), 4022(3W)

A képen egy 1206 típusú (1/4W-os), régi jelölésű 1%-os, 1kΩ-os ellenállás látható

2.1. példa: Tervezzünk egy egyszerű Zener diódás feszültség stabilizátort

Feltételek:

$$8 < U_{be} < 12 \text{ V}$$

$$0 < I_t < 15 \text{ mA}$$

$$U_{ki} = 5,6 \text{ V}$$

Válasszuk a minimális Zener-áramot 5 mA-re (kisebb teljesítményű Zeneréknél 5 mA elegendő, nagyobb teljesítményű Zener esetén a 10 mA szükséges)!

A Zener feszültsége megegyezik a kimeneti feszültséggel, így:

$$R \leq \frac{8 - 5,6}{(15 + 5) \cdot 10^{-3}} = 120 \Omega$$

$$I_{z \max} \geq \frac{12 - 5,6}{R} = \frac{12 - 5,6}{120} = 53,3 \text{ mA}$$

$$P_{dz \max} = U_z I_{z \max} = 5,6 \cdot 0,0533 = 298 \text{ mW}$$

A fentiek alapján válasszuk a BZX84C5V6 (Farchild, SMT kivitel) Zener diódát, amelynek főbb adatai: $r_{dz} = 10 \Omega$ ($I_{dz} = 5 \text{ mA}$), $P_{dz \max} = 350 \text{ mW}$, $\alpha_Z = (-5 \dots +5) 10^{-4} / \text{C}^\circ$

Az ellenállás veszteségi teljesítménye:

$$P_{R \max} = \frac{(U_{be \max} - U_z)^2}{R} = \frac{(12 - 5,6)^2}{120} = 341 \text{ mW}$$

Válasszunk $P_{dR} = 1/2 \text{ W}$ -os teljesítményű ellenállást!

A kapcsolat stabilitása:

$$S_u = \frac{r_{dz}}{R + r_{dz}} = \frac{10}{120 + 10} = 0,077$$

A bemeneti feszültség $\Delta U_{be} = 4 \text{ V}$ -os megváltozására a kimeneti feszültség $\Delta U_{ki} = 0,3 \text{ V}$ -ot változik.

$$S_L = -r_{dz} = -10 \Omega$$

A terhelő áram $\Delta I_{ki} = 15 \text{ mA}$ -s változására a kimeneti feszültség $\Delta U_{ki} = -0,15 \text{ V}$ -ot változik.

A kimeneti feszültség maximális változása, ha mindkét paraméter egyidőben változik a legrosszabb esetet feltételezve:

$$|\Delta U_{ki}|_{\max} = 0,3 - (-0,15) = 0,45 \text{ V}$$

2.2 példa Egy teljesítmény tranzisztor hűtőfelületének kialakítása

Válasszuk a BD 246C pnp teljesítmény tranzisztort. Tokozása SOT-93 (lapos műanyag, fém hátoldallal).

Legyen a környezeti hőmérséklet $v_a = 25 \text{ C}^\circ$ (ez a félvezető közelében levő tér hőmérséklete).

Jellemző katalógus határadatok:

$$U_{CE} = 100 \text{ V}, I_C = 10 \text{ A}, P_{d \max} = 80 \text{ W}, v_{j \max} = 150 \text{ C}^\circ$$

Hőtechnikai jellemzők:

$$R_{thjc} = 1,56 \text{ K/W}, R_{thja} = 42 \text{ K/W}.$$

a) Határozzuk meg, hogy a félvezetőt külső hűtés nélkül maximálisan mekkora teljesítményre (P_{d1}) lehetne igénybe venni!

$$P_{d1} = \frac{V_{jmax} - V_a}{R_{thja}} = \frac{150 - 25}{42} = 2.97W$$

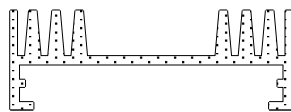
Ez a maximális veszteségi teljesítményének 3.7 %-a.

b) Határozzuk meg, hogy egy $R_{th\ hütő} = 0.76$ K/W hőellenállású, gyárilag méretre vágott, de felhasználható által kifűrható hűtőborda esetén (természetes hűtést alkalmazva, szigetelés nélkül) mekkora teljesítményig lehet igénybe venni a tranzisztort!

Az $R_{thca} \gg R_{th\ hütő}$, ezért elhanyagolható.

$$P_{d2} = \frac{V_{jmax} - V_a}{R_{thjc} + R_{th\ huto}} = \frac{150 - 25}{1.56 + 0.76} = 53.9\ W, \text{ ami } 67.3\ \% \text{-os kihasználást tesz lehetővé.}$$

A példában szereplő hűtőborda mérete: 47x128x250 mm, keresztmetszet szelvénye:



A maximális veszteségi teljesítmény végtelen hűtőfelülettel és alacsony környezeti hőmérséklet esetén érhető el. (pl. a fenti példában a 100%-os kihasználáshoz végtelen hűtőfelület kellett volna, ami technikailag kivihetetlen.)

2.3. példa: Bázisosztós munkapont-beállítású FE kapcsolás vizsgálata

Határozzuk meg az alábbi kapcsolás kis- és nagyjelű paramétereit az erősítési tartomány közepes frekvenciáján! Hanyagoljuk el a csatoló kapacitások hatását!

Legyen:

- $R_i \gg R_{ki}$
- $U_i = 15\ V$
- $R_1 = 39\ k\Omega$
- $R_2 = 1.8\ k\Omega$
- $R_C = 3.6\ k\Omega$
- $T = BC547B$

A tranzisztor paramétereit katalógusból:

- $U_{BE}(U_{CE} = 10V, I_C = 2\ mA) = 0.63\ V$
- $h_{21e} = 325 < 200:450 >$
- $h_{21E} = 0.92 \times h_{21e} \approx 300$

Megoldás:

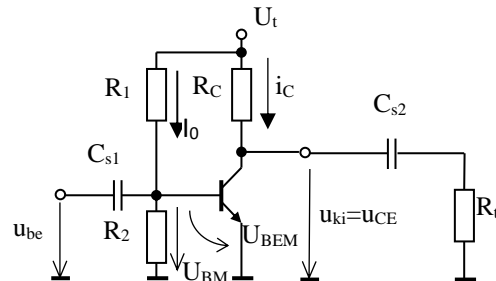
Nagyjelű paraméterek

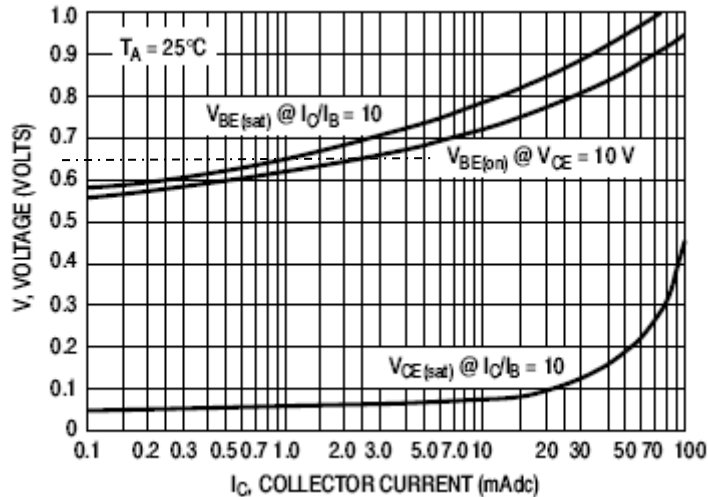
$$U_{BM} = U_{BEM} \cong U_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 15 \frac{1.8}{39 + 1.8} = 0.66V$$

$$I_o \cong \frac{U_i}{R_1 + R_2} = \frac{15}{39 + 1.8} 10^{-3} = 367\ \mu A$$

katalógusból

$$I_{CM} = f(I_{BM}) = f(U_{BEM} = 0.66V) \cong 2mA$$





számolással

$$I_{BM} = \frac{I_{CM}}{B} = \frac{0.002}{300} = 6.7 \mu A \ll I_0$$

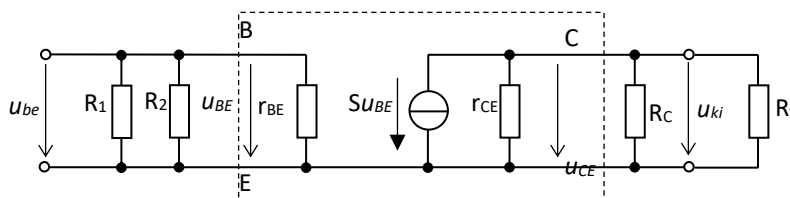
$$U_{CEM} = U_t - I_{CM} R_C = 15 - 2 \times 10^{-3} \times 3.6 \times 10^3 = 7.8 V$$

Szimulált munkaponti adatok:

$$U_{BEM} = 0.657 V, U_{CEM} = 11.8 V, I_{CM} = 0.889 mA, I_{BM} = 2.71 \mu A$$

Az eltérés oka a bemeneti karakterisztika érzékenysége. Néhány mV eltérés is jelentős kollektor áram változást okoz, ami nagyban befolyásolja a munkaponti adatokat. Védekezni csak negatív visszacsatolással lehet a munkaponti instabilitás ellen.

Kisjelű paraméterek:



Feszültségerősítés:

$r_{CE} \gg R_C$ (r_{CE} általában katalógusban nem adott, közelítőleg számolható, feltételezve $U_Y = 150 V$)

$$r_{CE} = \frac{U_Y + U_{CEM}}{I_{CM}} = \frac{150 + 7}{2 \times 10^{-3}} = 78.5 k\Omega \gg R_C$$

$$S = \frac{I_{CM}}{U_T} = \frac{2}{26} = 76.9 mS$$

$$A_u = -S(R_C * r_{CE}) = -76.9 \times 10^{-3} \times 3.44 \times 10^3 = -264$$

Az erősítés szimulációval (azonos kollektor munkaponti beállítás esetén): -242

Bemeneti ellenállás:

$$r_{BE} = \frac{U_T}{I_{BM}} = \frac{26 \times 10^{-3}}{6.7 \times 10^{-6}} = 3.9 k\Omega$$

$$R_{be} = r_{BE} * R_1 * R_2 = 9.6 * 39 * 1.8 = 1.19 k\Omega$$

Kimeneti ellenállás:

$$R_{ki} = r_{CE} * R_C = 78.5 * 3.6 = 3.44k\Omega$$

2.4. példa: bázisáramos munkapont-beállítású FE kapcsolás vizsgálata

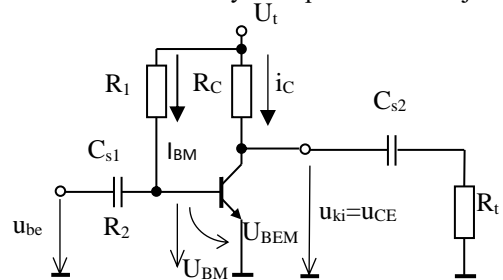
Határozzuk meg az alábbi kapcsolás kis- és nagyjelű paramétereit az erősítési tartomány közepes frekvenciáján! Hanyagoljuk el a csatoló kapacitások hatását!

Legyen:

$$\begin{aligned} R_i &\gg R_{ki} \\ U_i &= 15 \text{ V} \\ R_1 &= 2 \text{ M}\Omega \\ R_C &= 3.6 \text{ k}\Omega \\ T &= \text{BC547B} \end{aligned}$$

A tranzisztor paramétereit katalógusból:

$$\begin{aligned} U_{BE}(U_{CE}=10\text{V}, I_C=2 \text{ mA}) &= 0.63 \text{ V} \\ h_{21e} &= 325 < 200:450 > \\ h_{21E} &= 0.92 * h_{21e} \approx 300 \end{aligned}$$



Megoldás:

Nagyjelű paraméterek

$$U_{BM} = U_{BEM} \cong U_i - I_{BM} R_1$$

$$I_{CM} = B I_{BM}$$

katalógusból

$$I_{CM} = f(U_{BEM}) \cong 2.15 \text{ mA}$$

számolással

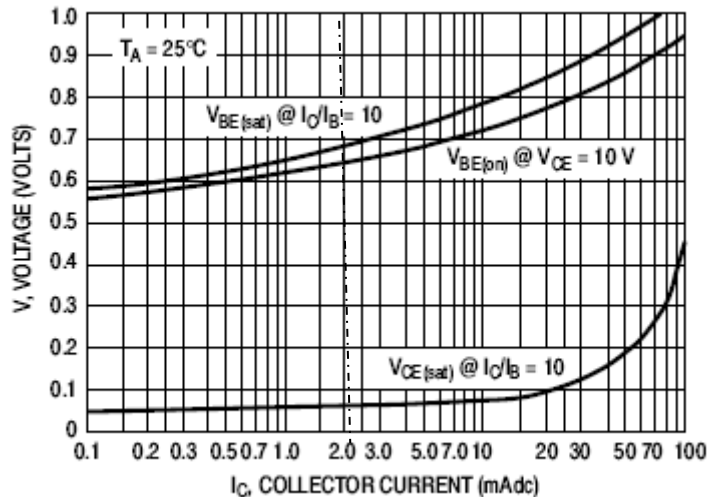
$$I_{BM} = \frac{I_{CM}}{B} = \frac{2.15 \times 10^{-3}}{300} = 7.2 \mu\text{A}$$

$$U_{CEM} = U_i - I_{CM} R_C = 15 - 2.15 \times 10^{-3} \times 3.6 \times 10^3 = 7.26 \text{ V}$$

$$U_{BEM} = 15 - 7.2 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^6 = 0.6 \text{ V}$$

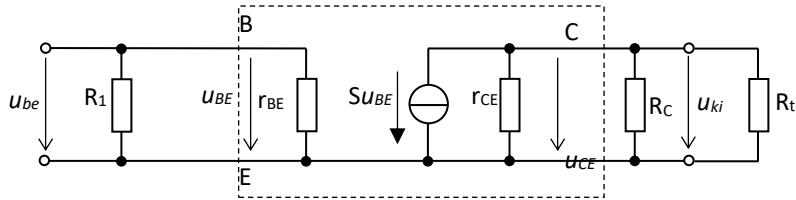
Szimulált munkaponti adatok:

$$U_{BEM} = 0.684 \text{ V}, U_{CEM} = 6.61 \text{ V}, I_{CM} = 2.33 \text{ mA}, I_{BM} = 7.16 \mu\text{A}$$



A szimulált eredmények jó közelítéssel megegyeznek a számolt eredményekkel. Az eltérések oka a bemeneti karakterisztika érzékenysége.

Kisjelű paraméterek:



Feszültségerősítés:

$r_{CE} \gg R_C$ (r_{CE} általában katalógusban nem adott, közelítőleg számolható, feltételezve $U_Y=150\text{ V}$)

$$r_{CE} = \frac{U_Y + U_{CEM}}{I_{CM}} = \frac{150 + 7.26}{2.15 \times 10^{-3}} = 73.1\text{ k}\Omega \gg R_C$$

$$S = \frac{I_{CM}}{U_T} = \frac{2.15}{26} = 82.7\text{ mS}$$

$$A_u = -S(R_C * r_{CE}) = -82.7 \times 10^{-3} \times 3.43 \times 10^3 = -284$$

Az erősítés szimulációval: -281

Bemeneti ellenállás:

$$r_{BE} = \frac{U_T}{I_{BM}} = \frac{26 \times 10^{-3}}{7.2 \times 10^{-6}} = 3.6\text{ k}\Omega$$

$$R_{be} = r_{BE} * R_1 = 3.6 * 2000 = 3.6\text{ k}\Omega$$

Kimeneti ellenállás:

$$R_{ki} = r_{CE} * R_C = 73.1 * 3.6 = 3.43\text{ k}\Omega$$

2.5. példa: FE kapcsolás vizsgálata bázisáramos munkapont-beállítással visszacsatolással

Határozzuk meg az alábbi kapcsolás kis- és nagyjelű paramétereit az erősítési tartomány közepes frekvenciáján! Hanyagoljuk el a csatoló kapacitások hatását!

Legyen:

$$R_t \gg R_{ki}$$

$$U_t = 15\text{ V}$$

$$R_1 = 1.1\text{ M}\Omega$$

$$R_C = 3.6\text{ k}\Omega$$

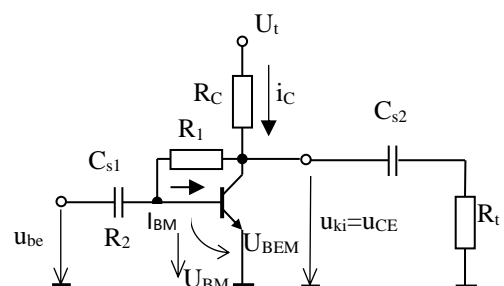
$$T = \text{BC547B}$$

A tranzisztor paramétereit katalógusból:

$$U_{BE}(U_{CE}=10\text{ V}, I_C=2\text{ mA})=0.63\text{ V}$$

$$h_{21e} = 325 <200:450>$$

$$h_{21E} = 0.92 \times h_{21e} \approx 300$$



Megoldás:

Nagyjelű paraméterek

$$U_{BM} = U_{BEM} \cong U_{CE} - I_{BM} R_1$$

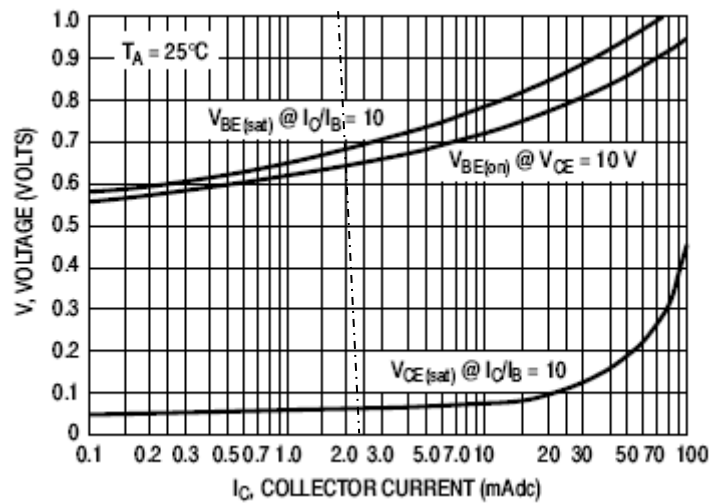
$$I_{CM} = B I_{BM}$$

$$U_{CEM} = U_t - I_{CM} R_C$$

$$I_{CM} = f(U_{BEM})$$

$$U_{BEM} = U_t - I_{CM} \left(R_C + \frac{R_1}{B} \right)$$

katalógusból



I_{CM} (grafikonról) ≈ 1.97 mA

számolással

$$I_{BM} = \frac{I_{CM}}{B} = \frac{1.97 \times 10^{-3}}{300} = 6.6 \mu A$$

$$U_{CEM} = U_t - I_{CM} R_C = 15 - 1.97 \times 10^{-3} \times 3.6 \times 10^3 = 7.9 V$$

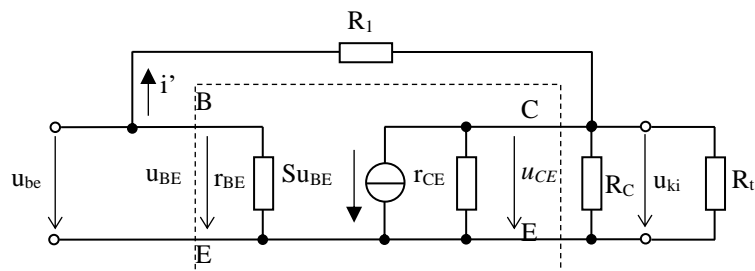
$$U_{BEM} = 7.9 - 6.6 \times 10^{-6} \times 1.1 \times 10^6 = 0.64 V$$

Szimulált munkaponti adatok:

$$U_{BEM} = 0.68 V, U_{CEM} = 7.57 V, I_{CM} = 2.06 mA, I_{BM} = 6.27 \mu A$$

A szimulált eredmények jó közelítéssel megegyeznek a számolt eredményekkel. Az eltérések oka a bemeneti karakterisztika érzékenysége.

Kisjelű paraméterek:



Feszültségerősítés:

$r_{CE} \gg R_C$ (r_{CE} általában katalógusban nem adott, közelítőleg számolható, feltételezve $U_Y=150\text{ V}$)

$$r_{CE} = \frac{U_Y + U_{CEM}}{I_{CM}} = \frac{150 + 7.9}{1.97 \times 10^{-3}} = 80.1\text{ k}\Omega \gg R_C$$

$$S = \frac{I_{CM}}{U_T} = \frac{1.97}{26} = 75.8\text{ mS}$$

$$A_u = -S(R_C * r_{CE}) = -75.8 \times 10^{-3} \times 3.44 \times 10^3 = -261$$

Az erősítés szimulációval: -252

Bemeneti ellenállás:

$$r_{BE} = \frac{U_T}{I_{BM}} = \frac{26 \times 10^{-3}}{6.6 \times 10^{-6}} = 3.94\text{ k}\Omega$$

$$R_{be} = r_{BE} * \frac{R_1}{1 + |A_u|} = 3.94 \times 10^3 * \frac{1.1 \times 10^6}{1 + 261} = 2\text{ k}\Omega$$

Kimeneti ellenállás:

$$R_{ki} = r_{CE} * R_C = 80.1 * 3.6 = 3.44\text{ k}\Omega$$

2.6 példa: JFET-es erősítő feszültségosztós munkapont-beállítással

Határozza meg az alábbi kapcsolás kis- és nagyjelű munkaponti adatait! Hanyagoljuk el a csatoló kapacitások hatását!
Legyen:

$$R_i \gg R_{ki}$$

$$R_D \ll \tau_{DS}$$

$$U_i = 15\text{ V}$$

$$R_1 = 100\text{ k}\Omega$$

$$R_G = 10\text{ k}\Omega$$

$$R_D = 1.5\text{ k}\Omega$$

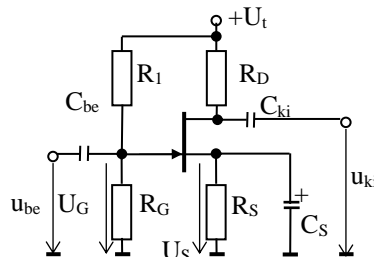
$$R_S = 750\ \Omega$$

$$T = \text{BF245C ncsat. JFET}$$

A tranzisztor paraméterei katalógusból:

$$I_{DSS} = 17\text{ mA} <12;25>$$

$$U_p = -5.4\text{ V} <-3.2;-7.5>$$



Megoldás:

A) Nagyjelű viselkedés számolással és szimulációval:

$$U_G = U_i \frac{R_G}{R_G + R_1} = 15 \frac{10}{100 + 10} = 1.36\text{ V}$$

$$U_S = I_{DS} R_S$$

$$U_{GS} = U_G - U_S = 1.36 - I_{DS} R_S$$

$$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_p} \right)^2 \Rightarrow 3.7\text{ mA}$$

$$U_S = 3.7 \times 0.75 = 2.77\text{ V}$$

$$U_{DS} = U_i - I_{DS} (R_D + R_S) = 15 - 3.7 \times (1.5 + 0.75) = 6.67\text{ V}$$

Szimulációs eredmények:

$$U_G=1.36 \text{ V}, U_S= 2.87 \text{ V}, I_{DS}= 3.83 \text{ mA}, U_{DS}=6.37 \text{ V}$$

A számolt és a szimulált eredmények jó közelítéssel megegyeznek.

B) Kisjelű viselkedés

Bemeneti ellenállás:

$$R_{be} = R_1 * R_G = 9.1k\Omega$$

Feszültségerősítés:

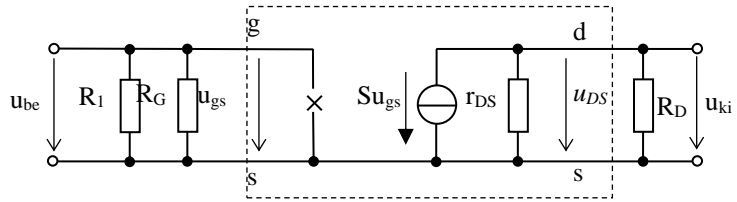
$$S = \frac{-2I_{DSS}}{U_p} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_p}\right) = \frac{-2 \times 17 \times 10^{-3}}{-5.4} \left(1 - \frac{-1.41}{-5.4}\right) = 4.65mS$$

$$A_u = -S(r_{DS} * R_D * R_t) \cong -SR_D = -4.65 \times 1.5 = 6.97$$

Szimulációval: -7.1

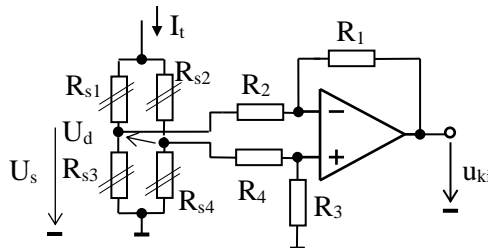
Kimeneti ellenállás:

$$R_{ki} = r_{DS} * R_D \cong R_D = 1.5k\Omega$$



3.1. példa: Határozzuk meg az alkatrészek eltéréséből adódó hibát differencia erősítőnél

A kapcsolás alkalmazása mérőerősítőként ellenállás típusú szenzorok esetén (teljes hidas kapcsolás):



Legyen $R_{ki0} = 50 \Omega$, $A_0 = 2 \cdot 10^5$ és $|A_u| = 20$

$R_{ki} = 50 \cdot 20 / 2 \cdot 10^5 = 5 \text{ m}\Omega$! ez érték összemérhető a nyomtatott-áramköri huzalozás ellenállásával.

$R_{s1} = R_{s2} = R_{s3} = R_{s4}$ ellenállás típusú érzékelők pl. nyúlásmérő-bélyeg, hőellenállás, stb.

I_t a híd tápárama

U_d a híd két ága között keletkező különbségi feszültség

U_s a hídágak nyugalmi feszültsége

Az $U_d = 0 \text{ V}$, amennyiben az érzékelő ellenállások nem kapnak jelet. Ilyenkor a hídágak feszültsége azonos. $U_s = I_t \cdot R_s / 2$

Legyen ΔR az egyes ellenállások megváltozásának értéke a mérés során! (Két-két átlósan levő ellenállás együtt változik és ellentétes előjellel.) Tételizzük fel, hogy az R_{s1} és R_{s4} értéke ΔR ellenállással nő a másik két ellenállás ugyanilyen mértékben csökken (teljes hidas megoldás).

$$U_d = \frac{I_t}{2} (R_{s4} + \Delta R) - \frac{I_t}{2} (R_{s3} - \Delta R) = I_t \Delta R$$

$$u_{ki} = I_t \Delta R \frac{R_1}{R_2}$$

A kapcsolás aszimmetriájának hatása a közösmódusú elnyomási tényezőre

Tételezzük fel, hogy az R_1/R_2 arány eltér az R_3/R_4 aránytól egy $\Delta\alpha$ értékkel. Ez a CMRR értékének leromlását eredményezi, amely mérőerősítők esetén - ahol a hasznos jel a differencia jel - jelentős hibát okozhat.

$$u_{ki} = -u_{be1}(\alpha + \Delta\alpha) + u_{be2}(1 + \alpha + \Delta\alpha) \frac{\alpha}{1 + \alpha} =$$

$$\underbrace{\alpha(u_{be2} - u_{be1})}_{\text{szimmetrikus_kimeneti_jel}} + \underbrace{u_{be2} \frac{\alpha\Delta\alpha}{1 + \alpha} - u_{be1}\Delta\alpha}_{\text{közösmódusú_kimeneti_hibajel}}$$

$$A_{us} = \alpha$$

$$A_{uk} \Big|_{u_{bes}=0} = \frac{\alpha\Delta\alpha}{1 + \alpha} - \Delta\alpha = \frac{-\Delta\alpha}{1 + \alpha}$$

$$CMRR = 20 \log \left(\left| \frac{A_{us}}{A_{uk}} \right| \right) = 20 \log \left(\frac{1 + \alpha}{\frac{\Delta\alpha}{\alpha}} \right)$$

Példa:

Legyen $R_s = 100 \Omega$

$I_t = 10 \text{ mA}$

$\varepsilon = \Delta R / R_s = 2 \cdot 10^{-4}$

$\alpha = 100$

$\Delta\alpha = 1$ azaz az ellenállások arányának hibája 1%

A hasznos jel a kimeneten

$$u_{kih} = I_t \Delta R \alpha = 0.01 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 100 = 20 \text{ mV}$$

A közös módusú (hiba) jel a kimeneten

$$u_{kik} = U_s \frac{-\Delta\alpha}{1 + \alpha} = 0.01 \cdot 100 \frac{-1}{1 + 100} = -9.9 \text{ mV}$$

A hibajel összemérhetően magas a hasznos kimeneti jellel!

A közösmódusú elnyomási tényező:

$$CMRR = 20 \cdot \lg(101 \cdot 100) = 80 \text{ dB}$$

Ahhoz, hogy a hiba a hasznos jelhez viszonyítva 1 % alatt legyen az ellenállásarányoknak jobbnak kell lenni, mint

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \leq \frac{\frac{\Delta R}{R}(1 + \alpha)}{100} = \frac{2 \cdot 10^{-4}(1 + 100)}{100} \approx 2 \cdot 10^{-4} !!$$

f) Minta rőpzárthelyik és értékelésük

I. rpzh. (A csoport)

- 1) Jelek jellemzése az értéktartományok folytonossága alapján (3 pont)
- 2) Sávszűrő karakterisztikája, jellemzői (4 pont)
- 3) Ellenállások zaja (4 pont)
- 4) Letörési jelenségek a félvezetőkben (3 pont)
- 5) Dióda (minden) (6 pont)

I. rpzh. (B csoport)

- 1) Butterworth polinom szűrési tulajdonsága és jellemzői (3 pont)
- 2) Aluláteresztő szűrő karakterisztikája, jellemzői (3 pont)
- 3) Termisztorok fajtái, jellemzői (4 pont)
- 4) Tekercsek fajtái, tulajdonságaik (4 pont)
- 5) Zener dióda és alkalmazása tápegységként, érzékenység paraméterek (6 pont)

I. rpzh. (C csoport)

- 1) Logaritmus egységek az elektronikában (4 pont)
- 2) Elektrolit kondenzátorok fajtái, jellemzői és a veszteségi tényező értelmezése (4 pont)
- 3) Szabványos ellenállások (4 pont)
- 4) pn átmenetben lezajló folyamatok, nyitó- és záróirányú gerjesztés (5 pont)
- 5) Shottky dióda és jellemzői (3 pont)

II. rpzh. (A csoport)

- 1) A tranzisztor kisjelű helyettesítő-képe (kis- és nagyfrekvenciás) és azok elemei (3 pont)
- 2) Tranzisztoros kapcsolás munkapont-beállítása bázisárammal visszacsatolás nélkül kis- és nagyjelű működés (6 pont)
- 3) Növekményes MOSFET jelölése, működése, jellemzői (3 pont)
- 4) Félvezetők zaja (4 pont)
- 5) Tirisztor működése, tulajdonságai, gyújtása (4 pont)

II. rpzh. (B csoport)

- 1) Tranzisztor nagyjelű helyettesítő-képe, normál és inverz működés (3 pont)
- 2) Tranzisztor kimeneti karakterisztikája, tartományai és jellemző paraméterei (4 pont)
- 3) JFET kapcsolás feszültségosztós munkapont-beállítással kis- és nagyjelű működés (6 pont)
- 4) Kiürítéses MOSFET működése és jellemzői (4 pont)
- 5) TRIAC jellemzői, karakterisztikája (3 pont)

II. rpzh. (C csoport)

- 1) Tranzisztor bemeneti karakterisztikája és jellemzői (3 pont)
- 2) Tranzisztoros kapcsolás munkapont-beállítása feszültséggel (bázisosztóval) kis- és nagyjelű működés (6 pont)
- 3) JFET működése, karakterisztikái, paraméterei (5 pont)
- 4) Félvezetők melegedése és hűtése (4 pont)
- 5) IGBT és tulajdonságai (2 pont)

III. rpzh. (A csoport)

- 1) Félvezetők zaja (4 pont)
- 2) Soros-feszültség negatív visszacsatolás tulajdonságai (3 pont)
- 3) Közös kollektoros kapcsolás (az R_E része a kapcsolásnak) kis- és nagyjelű jellemzői. (8 pont)
- 4) Ellenütemű végfokozatok tulajdonságai (A és B osztályú üzem esetén is) (5 pont)

III. rpzh. (B csoport)

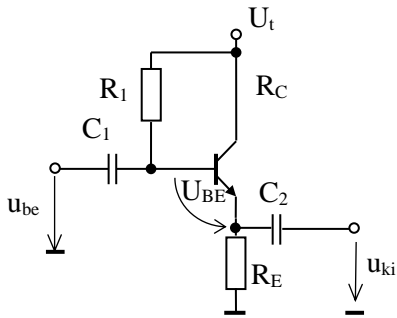
- 1) Soros-áram negatív visszacsatolás tulajdonságai (5 pont)
- 2) Szimmetrikus be- és aszimmetrikus kimenetű erősítők jellemzői és paraméterei (3 pont)
- 3) Közös bázisú kapcsolás kis- és nagyjelű jellemzői. (8 pont)
- 4) Teljesítményerősítők optimális illesztése (4 pont)

III. rpzh. (C csoport)

- 1) Félvezetők melegedése és hűtése (4 pont)
- 2) Párhuzamos-áram negatív visszacsatolás tulajdonságai (3 pont)
- 3) Közös emitteres kapcsolás az emitteren *osztott* ellenállással (kis- és nagyjelű jellemzők) (8 p)
- 4) B- és AB osztályú erősítők felépítése, jellemzői (5 pont)

IV. rpzh (minden csoport)

- 1) Határozza meg az alábbi kapcsolás nagyjelű (munkaponti) és kisjelű paramétereit (rajzolja fel a kisjelű helyettesítő-képet is), az alsó és a felső határfrekvenciát! (12 pont)!



Tranzisztor:

BC547C

Adatai:

$B \approx \beta \approx 300$

$C_{BE} = 11 \text{ pF}$

$C_{BC} = 1.5 \text{ pF}$

Legyen

$U_{BEM} = 0.7 \text{ V}$

$r_{CE} \gg R_C$

Adatok:

$C_1 = 680 \text{ nF}$

$C_2 = 220 \text{ nF}$

$R_1 = 680 \text{ k}\Omega$

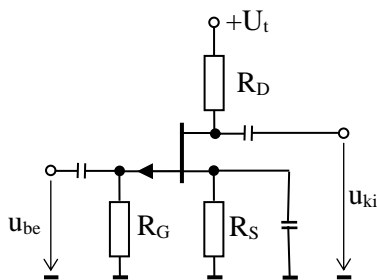
$R_E = 2.2 \text{ k}\Omega$

$U_t = 18 \text{ V}$

$R_g = 1 \text{ k}\Omega$

$R_t = 100 \text{ k}\Omega$

2) Határozza meg az alábbi kapcsolás nagyjelű és kisjelű paramétereit (a kondenzátorok hatásaitól tekintsen el)! A helyettesítőképet is rajzolja fel! (8 pont)



JFET: BC245C

Adatai:

$U_p = 6.5 \text{ V}$

$I_{DSS} = 17 \text{ mA}$

Legyen

$r_{ds} \gg R_D$

$R_t \gg R_{ki}$

Adatok:

$R_G = 470 \text{ k}\Omega$

$R_S = 1.2 \text{ k}\Omega$

$R_D = 2.7 \text{ k}\Omega$

$U_t = 30 \text{ V}$

Gyakorlati jegy:

Gyakorlati jegy: 0-20 elégtelen, 21-32 elégséges, 33-40 közepes

Gyakorlati jegy és aláírás együttes pótlása:

Alpótzh A csoport

1. Sáváteresztő szűrő karakterisztikája, jellemzői (4 pont)
2. Dióda és jellemzői (5 pont)
3. FET, mint vezérelhető és aktív ellenállás (5 pont)
4. Földelt emitteres erősítő emitterén osztott visszacsatolással, kis és nagyjelű üzem (12 pont)
5. Tranzisztoros differenciálerősítő és jellemzői (8 pont)
6. Neminvertáló bemenetről vezérelt erősítő kapcsolás és jellemzői. (6 pont)

Alpótzh. B csoport

1. Ellenállások zaja (4 pont)
2. Fém-félvezető átmenet és tulajdonságai (5 pont)
3. Zener-dióda jellemzői, paraméterei, alkalmazása stabilizátornak, stabilitási paraméterek (8 pont)
4. Földelt/közös kollektoros kapcsolás, kis-és nagyjelű üzem (10 pont)
5. Ellenütemű végfokozat A és B osztályú üzeme (5 pont)
6. Műveleti erősítős integrátor: működés, jellemzők, hibák (8 pont)

Alpótzh C csoport

1. Logaritmikus egységek az elektronikában (5 pont)
2. Dióda és jellemzői (6 pont)
3. FET, mint vezérelhető és aktív ellenállás (5 pont)

4. Földelt emitteres erősítő emitterén osztott visszacsatolással, kis és nagyjelű üzem (10 pont)
5. Erősítők alsó határfrekvenciája (6 pont)
6. Tranzistoros differenciálerősítő és jellemzői (8 pont)

Alpótzs D csoport

1. Egyszerű derivátor és jellemzői idő- és frekvenciatartományban. (8 pont)
2. Tekercsek és jellemzőik (4 pont)
3. JFET működése, karakterisztikái, paraméterei, tulajdonságai, helyettesítőkép. (6 pont)
4. Földeltbázisú kapcsolás valamint kis- és nagyjelű jellemzői (helyettesítőkép is) (10 pont)
5. Erősítők alsó határfrekvenciája (6 pont)
6. B és AB-osztályú teljesítményerősítők és jellemzőik (6 pont)

Alpótzs E csoport

1. Egyszerű derivátor és jellemzői idő- és frekvenciatartományban (8 pont)
2. Elektromos ellenállások fajtái, tulajdonságaik. (4 pont)
3. JFET működése, karakterisztikái, paraméterei, tulajdonságai, helyettesítőkép. (6 pont)
4. Földeltbázisú kapcsolás, kis- és nagyjelű jellemzői (helyettesítőkép is) (10 pont)
5. Erősítők nemlinearitása, torzítás, jellemző paraméterek (4 pont)
6. Tranzistoros differenciálerősítő és jellemzői (8 pont)

0-16 pont elégtelen gyakorlati jegy, 17-40 pont aláírás+elégséges gyakorlati jegy

Tantárgyi dosszié

Tárgy: **ELEKTRONIKA I.**

Tárgyjegyző: **dr. Kovács Ernő óraadó, c. egyetemi tanár**

Szak: **Villamosmérnöki levelezőBSc alapszak**

Szakirány: **szakmai közös ismeretek**

Tantárgykód: **GEVEE507BL**

Félév: **ősi**

ETF: **-**

Követelmény: **14 óra/félév v/5**

a) Tantárgyprogram

Oktatási alkalom	Előadás anyaga
1.	Elektronikai alapismeretek összefoglalása. Elektronika passzív alkatrészei: passzív és elektromos ellenállások, kondenzátorok, tekercsek.
2.	Félvezetők működése, letörési jelenségek, kétrétegű félvezetők, dióda és Zener és alkalmazásai, tranzisztor működése karakterisztikái, jellemzői. Lineáris alkalmazások
3.	Tranzisztor kapcsolóüzemű tulajdonságai. FET-ek működése, jellemzői, karakterisztikái, lineáris és kapcsolóüzemű alkalmazások. MOSFET-ek jellemzői, alkalmazása, meghajtása. Félvezetők zaja, melege és hűtése. Erősítők jellemzői. Negatív visszacsatolás. Szimmetrikus és aszimmetrikus erősítők. Differenciálerősítők. Teljesítményerősítők (A, AB, B és D osztály).
4.	Műveleti erősítők jellemzői. Lineáris üzem, alapkapcsolások. Műveletvégző és jelformáló kapcsolások. Aktív szűrők. Kapcsolóüzemű alkalmazások: komparátorok, multivibrátorok. Műveleti erősítők ofszet és frekvencia kompenzációja.

b) Kötelező irodalom:

Dr. Kovács E: Elektronika I. on-line jegyzet Villamosmérnöki BSc alapszak levelező hallgatóknak (<http://www.uni-miskolc.hu/~elkke>)

Ajánlott irodalom:

- [1] U.Tietze-Ch.Schenk: Analóg és digitális áramkörök, Műszaki Könyvkiadó, 1991.
- [2] Zinke-Seither: Ellenállások, kondenzátorok, tekercsek, Műszaki Könyvkiadó, 1986.
- [3] Uray-Szabó: Elektrotechnika, Műszaki Könyvkiadó, 1974.
- [4] Millman,J-Grabel,A: Microelectronics, McGraw-Hill Int. Publ., 1987.
- [5] Kittel, Ch.: Bevezetés a szilárdtest fizikába, Műszaki Könyvkiadó, 1981.
- [6] Mayer,T-Vágó,I: Szilárdtestfizika, LSI Oktatóközpont, 1995.
- [7] Seymour,J: Electronic devices and components, Pitman Publ., 1981.
- [8] Savant-Roden-Carpenter: Electronic Design, The Benjamin-Cummings Publ. 1991.
- [9] Herpy: Analóg integrált áramkörök, Műszaki Könyvkiadó, 1973
- [10] Sheperd: Műveleti erősítők, Műszaki Könyvkiadó, 1985
- [11] Hainzmann-Varga-Zoltai: Elektronikus áramkörök, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2000.
- [12] Winzer: Linear Integrated Circuits, Saunders College Publishing, 1992
- [13] Kissel: Industrial Electronics, Prentice Hall, 1997

c) Félévi követelmények

Félév elismerésének módja:

Az aláírás megszerzésének feltétele: az órákon való aktív részvétel.

Aláíráspótlás: A félév anyagából összeállított (minimum ismereteket ellenőrző) dolgozatból megszerezhető 20 pontból 9 pont elérése. A pótlásra a Kar által meghatározott időszakban kerülhet sor.

Vizsgakövetelmények: írásbeli és szóbeli vizsga kiadott tételjegyzék alapján. Eredményes vizsgához a kiadott 3 tétel mindegyikét elégséges szinten kell kidolgozni. Amennyiben egy tétel nem éri el az elégséges szintet, akkor abból az anyagrészből póttétel kérhető a vizsga elégséges szintű teljesítéséhez. Több elégtelenre minősített tétel esetén póttétel kiadására nincs lehetőség.

Tételsor: -

I. tételcsoport

1. Elektronikai alapismeretek: jelek csoportosítása az értéktartományok folytonossága alapján, tranziens paraméterek, logaritmus egységek az elektronikában
2. Szűrők fajtái, tulajdonságaik
3. Az elektronika passzív alkatrészei: passzív ellenállások és tulajdonságaik
4. Kondenzátorok: polarizált és nempolarizált kondenzátorok és fajtáik, jellemzőik.
5. Valóságos kondenzátorok jellemzői (a kondenzátor helyettesítő-képe, jósági tényező, veszteségi tényező, feszültség terhelhetőség, szivárgó áram, hőmérséklet tartományok, értéktartomány és túrés), Tekercsek fajtái és jellemző tulajdonságaik
6. Félvezető-elmélet alapjai: sávméret, direkt-indirekt félvezetők, Fermi szint, szennyezett és saját szennyezésű félvezetők, degenerált félvezetők,
7. Tranzit hőmérséklet, elektron és lyuk csapdák és rekombinációs központok A pn átmenetben lezajló folyamatok, a pn réteg gerjesztése külső feszültséggel.
8. Letörési jelenségek a pn rétegben, fém-félvezető átmenet.
9. Dióda működése, jellemzői, paraméterei, alkalmazása. Shottky dióda.
10. Zener-dióda működése, jellemzői, karakterisztika, paraméterek, a Zener-diódák alkalmazása

II. tételcsoport

11. A tranzisztor (BJT) működése normál üzemben, áramerősítő tényezők, nagyjelű helyettesítőkép.
12. A tranzisztor elvi alapkapcsolásai, bemeneti karakterisztikája és jellemzői, kimeneti karakterisztikája és a jellemző paraméterek telítési és lezárási tartományban. Kisjelű helyettesítőképei.
13. A tranzisztor paraméterei aktív tartományban.
14. Speciális tranzisztorok: Darlington-kapcsolás, Shottky-tranzisztor.
15. A tranzisztor működése lineáris üzemben: kis- és nagyjelű működés, statikus és dinamikus munkaegyen, hőmérséklet hatása a munkapontra.
16. Munkapont-beállítás bázisosztóval és bázisárammal egyenáramú visszacsatolás nélkül.
17. Munkapont-beállítás bázisárammal egyenáramú visszacsatolással. Miller hatás. A tranzisztor működése kapcsolóüzemben.
18. Térvezérelt tranzisztorok fajtái. Záróréteges FET (JFET) működése, karakterisztikái, jellemzői.
19. JFET lineáris üzeme feszültségosztós és gate-levezető ellenállással felépülő munkapont-beállítással.
20. A Növekményes és a kiűrtéses MOSFET működése, karakterisztikái, jellemzői. FET-alapú vezérelt- és aktív ellenállás.
21. Növekményes MOSFET lineáris üzeme feszültségosztós és gate-felhúzó ellenállással felépülő munkapont-beállítással.
22. Félvezetők melegedése és hűtése. Félvezetők zaja, zajszám, jel/zaj viszony.

III. tételcsoport

23. Erősítők csoportosítása. Aszimmetrikus és szimmetrikus erősítők jellemzői.
24. Negatív visszacsatolások jellemzői, fajtái, az egyes visszacsatolás típusok jellemzői.
25. Közös emitteres kapcsolások.
26. Közös kollektoros kapcsolások. Többfokozatú erősítők.
27. Tranzistoros differenciálerősítő és jellemzői. FET-es differenciálerősítő és jellemzői.
28. Erősítők nemlinearitása (torzítás). Erősítők határfrekvenciái.
29. Teljesítményerősítők: csoportosítás, optimális illesztés, ellenütemű végfokozatok A és B osztályban.
30. A osztályú erősítők jellemzői. B osztályú erősítők jellemzői. AB osztályú erősítők jellemzői.
31. Műveleti erősítők felépítése, jellemzői. Ideális műveleti erősítők jellemzői. Műveleti erősítők belső felépítése. A valóságos műveleti erősítő helyettesítőképe és jellemző paraméterei.
32. Műveleti erősítő transzfer karakterisztikája. Műveleti erősítő áramkörü jelölése. Elhanyagolások a műveleti erősítők számolásánál. Invertáló erősítő.
33. Neminvertáló bemenetről vezérelt erősítő. Egységnyi erősítésű erősítő (feszültségkövető). Összegző- és kivonó erősítő kapcsolások és jellemzőik.
34. Integráló és differenciáló áramkör.
35. Földfüggő- és földfüggetlen kimenetű feszültséggel vezérelt áramgenerátor. Áram-vezérelt feszültséggenerátor. Áramvezérelt áramgenerátorok.
36. Oszcillátorok csoportosítása, Barkhausen –kritérium. Wien-hidas oszcillátorok, amplitúdó stabilizálás. Kvarc- oszcillátorok.

c) Előadások anyaga

Az előadások teljes anyagát az internetről letölthető jelszóval védett pdf állományú jegyzet alkotja. A jelszót az első előadáson kapják meg a hallgatók. Az elérési útvonal a kötelező irodalomnál található meg.

Tartalomjegyzék

1. Elektronikai alapismeretek	2
1.1. Jelek csoportosítása az értéktartományok folytonossága alapján	2
1.2. Tranziens paraméterek	2
1.3. Logaritmus egységek az elektronikában	3
1.4. Szűrő alapismeretek	3
1.4.1. Aluláteresztő szűrő	4
1.4.2. Felüláteresztő szűrő	4
1.4.3. Sáváteresztő szűrő	5
1.4.4. Sávzáró szűrő	5
1.5. Az elektronika passzív alkatrészei	6
1.5.1. Ellenállások	6
1.5.1.1. Passzív ellenállások	6
1.5.2. Kondenzátorok	9
1.5.2.1. Nem-polarizált kondenzátorok	10
1.5.2.1.1. Fémezett papír kondenzátorok (MP)	11
1.5.2.1.2. Műanyag dielektrikumú kondenzátorok	11
1.5.2.1.3. Kerámia, csillám, kvarc kondenzátorok	11
1.5.2.2. Polarizált kondenzátorok	11
1.5.2.2.1. Alumíniumoxid elektrolit kondenzátorok	11
1.5.2.2.2. Tantálpentoxid kondenzátorok	12
1.5.2.3. Valóságos kondenzátorok jellemzői	12
1.5.2.3.1. A valóságos kondenzátor helyettesítő-képe	12
1.5.2.3.2. Jósági tényező, veszteségi tényező	12
1.5.2.3.3. Feszültség terhelhetőség	13
1.5.2.3.4. Szivárgó áram	13
1.5.2.3.5. Hőmérséklet tartományok	13

1.5.2.3.6.	Kondenzátorok értéktartományai és tűrése	13
1.5.3.	Tekercsek	13
1.5.3.1.	Légmagos tekercsek	13
1.5.3.2.	Vasmagos tekercsek	14
2.0.	Diszkrét félvezetők és alkalmazásaik	15
2.1.	Félvezető-elmélet alapjai	15
2.1.1.	A pn átmenet	18
2.1.1.1.	A pn réteg gerjesztése külső feszültséggel	19
2.1.1.2.	Letörési jelenségek a pn rétegben	20
2.1.2.	Fém-félvezető átmenet	21
2.2.	Kétrétegű félvezetők	21
2.2.1.	Dióda	22
2.2.1.1.	Dióda karakterisztika, paraméterek	22
2.2.1.2.	Diódák alkalmazása	23
2.2.2.	Zener-dióda	23
2.2.2.1.	Karakterisztika, paraméterek	23
2.2.2.2.	Zener-diódák alkalmazása	24
2.2.3.	Speciális diódák	25
2.2.3.1.	Shottky dióda	25
2.3.	Tranzisztor (BJT)	25
2.3.1.	A tranzisztor működése	26
2.3.2.	Nagyjelű helyettesítőkép	27
2.3.3.	Karakterisztikák, paraméterek	28
2.3.4.	Kisjelű helyettesítőkép	31
2.3.4.1.	Hibrid-□ helyettesítőkép	31
2.3.4.2.	Tranzisztor paraméterek a négypólus paraméterekkel kifejezve	32
2.3.5.	Speciális tranzisztorok	32
2.3.5.1.	Darlington-kapcsolás	32
2.3.5.2.	Shottky-tranzisztor	33
2.3.6.	Tranzisztor működése lineáris üzemben	34
2.3.6.1.	Tranzisztor kis- és nagyjelű működése	34
2.3.6.2.	Munkapont-beállító kapcsolások	37
2.3.6.3.	Munkapont-beállítás bázisárammal egyenáramú visszacsatolással	40
2.3.7.	Tranzisztor működése kapcsolóüzemben	42
2.4.	Térvezérelt tranzisztor (Field Effect Transistor)	43
2.4.1.	Záróréteges FET (JFET)	43
2.4.1.1.	JFET működése	43
2.4.1.2.	JFET karakterisztikák, paraméterek	44
2.4.1.3.	A JFET lineáris üzeme	45
2.4.2.	MOSFET	47
2.4.2.1.	Növekményes MOSFET	48
2.4.2.2.	Kiürítéses MOSFET	48
2.4.2.3.	MOSFET lineáris üzeme	49
2.4.3.	FET-alapú vezérelt és aktív ellenállás	51
2.5.	Félvezetők melegedése, hűtése és zaja	52
2.5.1.	Félvezetők melegedése és hűtése	52
2.5.2.	Félvezetők zaja	53
2.6.	Erősítők	54
2.6.1.	Erősítők csoportosítása	54
2.6.1.1.	Aszimmetrikus erősítők	54
2.6.1.2.	Szimmetrikus bemenetű erősítők	55
2.6.2.	Negatív visszacsatolás	56
2.6.3.	Aszimmetrikus kisjelű erősítők	59
2.6.3.1.	Közös emitteres kapcsolások	59
2.6.3.2.	Közös kollektoros kapcsolások	61
2.6.3.3.	Többfokozatú erősítők	63
2.6.3.3.1.	Közvetlen csatolt erősítők (Direct Coupled)	64
2.6.3.3.2.	RC csatolt erősítők	64
2.6.3.3.2.	Transzfórmátoros csatolás	64
2.6.4.	Szimmetrikus erősítők	64

2.6.4.1.	Tranzisztoros differenciálerősítő	64
2.6.4.2.	FET-es differenciálerősítő	66
2.6.5.	Erősítők nemlinearitása (torzítás)	66
2.6.6.	Erősítők határfrekvenciája	66
2.6.7.	Teljesítményerősítők	68
2.6.7.1.	A teljesítményerősítők optimális illesztése	69
2.6.7.2.	Teljesítményerősítők ellenütemű végfokozatai	69
2.6.7.3.	A osztályú erősítők	70
2.6.7.4.	B osztályú erősítők	71
2.6.7.5.	AB osztályú erősítők	72
3.0	Műveleti erősítők	74
3.1.	Műveleti erősítők felépítése, jellemzői	74
3.1.1.	Ideális műveleti erősítők jellemzői	74
3.1.2.	Műveleti erősítők belső felépítése	75
3.1.3.	A valóságos műveleti erősítő helyettesítőképe és jellemző paraméterei	75
3.1.4.	Műveleti erősítő transzfer karakterisztikája	77
3.1.5.	Műveleti erősítő áramköri jelölése	77
3.2.	Műveleti erősítős alapkapsolások (lineáris üzem)	77
3.2.1.	Invertáló erősítő	77
3.2.2.	Neminvertáló bemenetről vezérelt erősítő	78
3.2.3.	Egységnyi erősítésű erősítő (feszültségkövető)	79
3.3.	Alkalmazás-specifikus kapcsolások	79
3.3.1.	Műveletvégző kapcsolások	79
3.3.1.1.	Összegző kapcsolás (invertáló)	79
3.3.1.2.	Kivonó (differencia) erősítő	80
3.3.1.3.	Integrátor	81
3.3.1.4.	Differenciáló áramkör	82
3.3.2.	Vezérelt generátorok	84
3.3.2.1.	Feszültséggel vezérelt feszültséggenerátor	84
3.3.2.2.	Feszültséggel vezérelt áramgenerátorok	84
3.3.2.2.1.	Földfüggetlen kimenetű feszültséggel vezérelt áramgenerátor	84
3.3.2.2.2.	Földfüggő kimenetű feszültséggel vezérelt áramgenerátor	85
3.3.2.3.	Áram-vezérelt feszültséggenerátor	85
3.3.2.4.	Áramvezérelt áramgenerátorok	85
3.3.2.4.1.	Áramvezérelt áramgenerátorok többszörös konvertálással	85
3.3.3.	Oscillátorok	86
3.3.3.1.	Wien-hidas oszcillátorok	86
3.3.3.2.	Kvarc- oszcillátorok	87

d) Gyakorlatok anyaga (minta)

1.1. példa: Logaritmikus egységek gyakorlása

Határozzuk meg az alábbi mennyiségek értékeit V -ban illetve dB -ben:

- Egy erősítő feszültségerősítése 200-szoros, amely dB -ben? Megoldás: $20 \lg 200 = 46 \text{ dB}$
- Egy erősítő erősítése 62 dB . Mennyi az erősítés? Megoldás: $A_u = 10^{\frac{62}{20}} = 1258.9$
- Egy voltmérő (600Ω impedanciára vonatkoztatva) 28 dB -t mutat. Mennyi a mért feszültség értéke?
Megoldás: $U_m = 0.775 \times 10^{\frac{28}{20}} = 19.46V$
- Egy mérőműszer 7.9 V -t mutat. Ha átkapcsolunk dB mérésre mennyit fog a műszer mutatni (600Ω impedanciára vonatkoztatva)? Megoldás: $U_m = 20 \times \lg\left(\frac{7.9}{0.775}\right) = 20.17 \text{ dB}$

2.1. példa: Tervezzünk egy egyszerű Zener diódás feszültség stabilizátort

Feltételek:

$$8 < U_{be} < 12 \text{ V}$$

$$0 < I_t < 15 \text{ mA}$$

$$U_{ki} = 5,6 \text{ V}$$

Válasszuk a minimális Zener-áramot 5 mA-re (kisebb teljesítményű Zeneréknél 5 mA elegendő, nagyobb teljesítményű Zener esetén a 10 mA szükséges)!

A Zener feszültsége megegyezik a kimeneti feszültséggel, így:

$$R \leq \frac{8 - 5,6}{(15 + 5) \cdot 10^{-3}} = 120 \Omega$$

$$I_{z \max} \geq \frac{12 - 5,6}{R} = \frac{12 - 5,6}{120} = 53,3 \text{ mA}$$

$$P_{dz \max} = U_z I_{z \max} = 5,6 \cdot 0,0533 = 298 \text{ mW}$$

A fentiek alapján válasszuk a BZX84C5V6 (Farchild, SMT kivitel) Zener diódát, amelynek főbb adatai: $r_{dz} = 10 \Omega$ ($I_{dz} = 5 \text{ mA}$), $P_{dz \max} = 350 \text{ mW}$, $\alpha_z = (-5 \dots +5) 10^{-4} / \text{C}^\circ$

Az ellenállás veszteségi teljesítménye:

$$P_{R \max} = \frac{(U_{be \max} - U_z)^2}{R} = \frac{(12 - 5,6)^2}{120} = 341 \text{ mW}$$

Válasszunk $P_{dR} = 1/2 \text{ W}$ -os teljesítményű ellenállást!

A kapcsolat stabilitása:

$$S_u = \frac{r_{dz}}{R + r_{dz}} = \frac{10}{120 + 10} = 0,077$$

A bemeneti feszültség $\Delta U_{be} = 4 \text{ V}$ -os megváltozására a kimeneti feszültség $\Delta U_{ki} = 0,3 \text{ V}$ -ot változik.

$$S_L = -r_{dz} = -10 \Omega$$

A terhelő áram $\Delta I_{ki} = 15 \text{ mA}$ -s változására a kimeneti feszültség $\Delta U_{ki} = -0,15 \text{ V}$ -ot változik.

A kimeneti feszültség maximális változása, ha mindkét paraméter egyidőben változik a legrosszabb esetet feltételezve:

$$|\Delta U_{ki}|_{\max} = 0,3 - (-0,15) = 0,45 \text{ V}$$

2.2 példa Egy teljesítmény tranzisztor hűtőfelületének kialakítása

Válasszuk a BD 246C pnp teljesítmény tranzisztort. Tokozása SOT-93 (lapos műanyag, fém hátoldallal).

Legyen a környezeti hőmérséklet $v_a = 25 \text{ C}^\circ$ (ez a félvezető közelében levő tér hőmérséklete).

Jellemző katalógus határadatok:

$$U_{CE} = 100 \text{ V}, I_C = 10 \text{ A}, P_{d \max} = 80 \text{ W}, v_{j \max} = 150 \text{ C}^\circ$$

Hőtechnikai jellemzők:

$$R_{thjc} = 1,56 \text{ K/W}, R_{thja} = 42 \text{ K/W}.$$

a) Határozzuk meg, hogy a félvezetőt külső hűtés nélkül maximálisan mekkora teljesítményre (P_{d1}) lehetne igénybe venni!

$$P_{d1} = \frac{v_{j \max} - v_a}{R_{thja}} = \frac{150 - 25}{42} = 2,97 \text{ W}$$

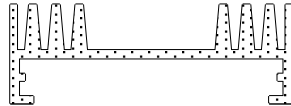
Ez a maximális veszteségi teljesítményének 3.7 %-a.

b) Határozzuk meg, hogy egy $R_{th \text{ hűtő}} = 0.76 \text{ K/W}$ hőellenállású, gyárilag méretre vágott, de felhasználható által kifűrható hűtőborda esetén (természetes hűtést alkalmazva, szigetelés nélkül) mekkora teljesítményig lehet igénybe venni a tranzisztort!

Az $R_{thca} \gg R_{th \text{ hűtő}}$, ezért elhanyagolható.

$$P_{d2} = \frac{V_{j \max} - V_a}{R_{thjc} + R_{th \text{ hűtő}}} = \frac{150 - 25}{1.56 + 0.76} = 53.9 \text{ W, ami 67.3 \% -os kihasználást tesz lehetővé.}$$

A példában szereplő hűtőborda mérete: 47x128x250 mm, keresztmetszet szelvénye:



A maximális veszteségi teljesítmény végtelen hűtőfelülettel és alacsony környezeti hőmérséklet esetén érhető el. (pl. a fenti példában a 100%-os kihasználáshoz végtelen hűtőfelület kellett volna, ami technikailag kivihetetlen.)

2.3. példa: Bázisosztós munkapont-beállítású FE kapcsolás vizsgálata

Határozzuk meg az alábbi kapcsolás kis- és nagyjelű paramétereit az erősítési tartomány közepes frekvenciáján! Hanyagoljuk el a csatoló kapacitások hatását!

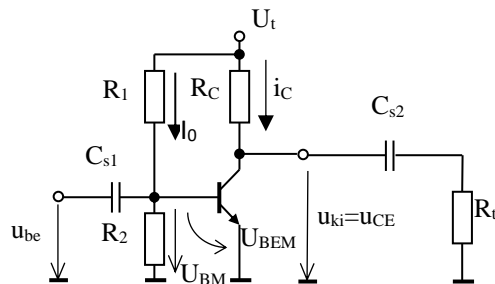
Legyen:

- $R_t \gg R_{ki}$
- $U_t = 15 \text{ V}$
- $R_1 = 39 \text{ k}\Omega$
- $R_2 = 1.8 \text{ k}\Omega$
- $R_C = 3.6 \text{ k}\Omega$
- $T = \text{BC547B}$

A tranzisztor paramétereit katalógusból:

- $U_{BE}(U_{CE} = 10 \text{ V}, I_C = 2 \text{ mA}) = 0.63 \text{ V}$
- $h_{21e} = 325 < 200:450 >$
- $h_{21E} = 0.92 \times h_{21e} \approx 300$

Megoldás:



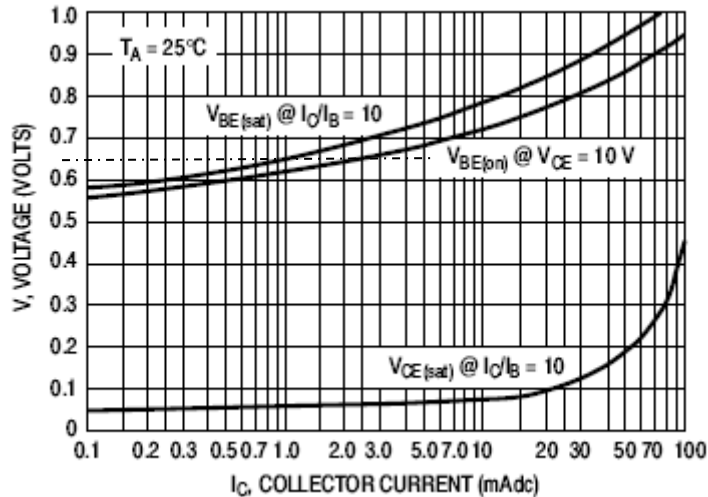
Nagyjelű paraméterek

$$U_{BM} = U_{BEM} \cong U_t \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 15 \frac{1.8}{39 + 1.8} = 0.66 \text{ V}$$

$$I_o \cong \frac{U_t}{R_1 + R_2} = \frac{15}{39 + 1.8} 10^{-3} = 367 \mu\text{A}$$

katalógusból

$$I_{CM} = f(I_{BM}) = f(U_{BEM} = 0.66 \text{ V}) \cong 2 \text{ mA}$$



számolással

$$I_{BM} = \frac{I_{CM}}{B} = \frac{0.002}{300} = 6.7 \mu A \ll I_0$$

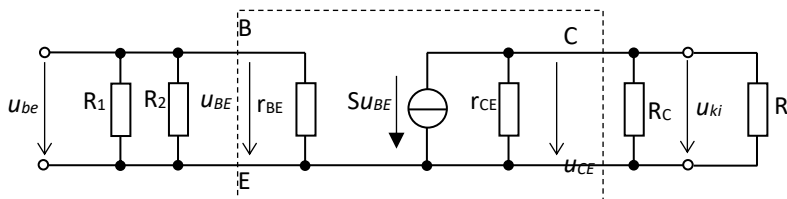
$$U_{CEM} = U_t - I_{CM} R_C = 15 - 2 \times 10^{-3} \times 3.6 \times 10^3 = 7.8 V$$

Szimulált munkaponti adatok:

$$U_{BEM} = 0.657 V, U_{CEM} = 11.8 V, I_{CM} = 0.889 mA, I_{BM} = 2.71 \mu A$$

Az eltérés oka a bemeneti karakterisztika érzékenysége. Néhány mV eltérés is jelentős kollektor áram változást okoz, ami nagyban befolyásolja a munkaponti adatokat. Védekezni csak negatív visszacsatolással lehet a munkaponti instabilitás ellen.

Kisjelű paraméterek:



Feszültségerősítés:

$r_{CE} \gg R_C$ (r_{CE} általában katalógusban nem adott, közelítőleg számolható, feltételezve $U_Y = 150 V$)

$$r_{CE} = \frac{U_Y + U_{CEM}}{I_{CM}} = \frac{150 + 7}{2 \times 10^{-3}} = 78.5 k\Omega \gg R_C$$

$$S = \frac{I_{CM}}{U_T} = \frac{2}{26} = 76.9 mS$$

$$A_u = -S(R_C * r_{CE}) = -76.9 \times 10^{-3} \times 3.44 \times 10^3 = -264$$

Az erősítés szimulációval (azonos kollektor munkaponti beállítás esetén): -242

Bemeneti ellenállás:

$$r_{BE} = \frac{U_T}{I_{BM}} = \frac{26 \times 10^{-3}}{6.7 \times 10^{-6}} = 3.9 k\Omega$$

$$R_{be} = r_{BE} * R_1 * R_2 = 9.6 * 39 * 1.8 = 1.19 k\Omega$$

Kimeneti ellenállás:

$$R_{ki} = r_{CE} * R_C = 78.5 * 3.6 = 3.44k\Omega$$

2.4. példa: bázisáramos munkapont-beállítású FE kapcsolás vizsgálata

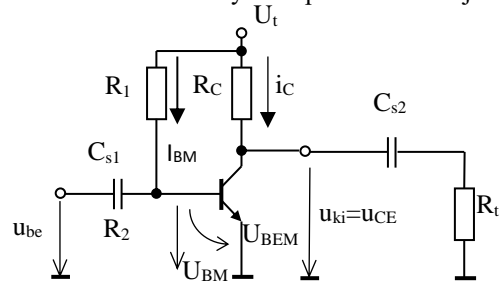
Határozzuk meg az alábbi kapcsolás kis- és nagyjelű paramétereit az erősítési tartomány közepes frekvenciáján! Hanyagoljuk el a csatoló kapacitások hatását!

Legyen:

- $R_i \gg R_{ki}$
- $U_i = 15\text{ V}$
- $R_1 = 2\text{ M}\Omega$
- $R_C = 3.6\text{ k}\Omega$
- $T = \text{BC547B}$

A tranzisztor paramétereit katalógusból:

- $U_{BE}(U_{CE}=10\text{V}, I_C=2\text{ mA})=0.63\text{ V}$
- $h_{21e} = 325 < 200:450 >$
- $h_{21E} = 0.92 \times h_{21e} \approx 300$



Megoldás:

Nagyjelű paraméterek

$$U_{BM} = U_{BEM} \cong U_i - I_{BM} R_1$$

$$I_{CM} = B I_{BM}$$

katalógusból

$$I_{CM} = f(U_{BEM}) \cong 2.15\text{ mA}$$

számolással

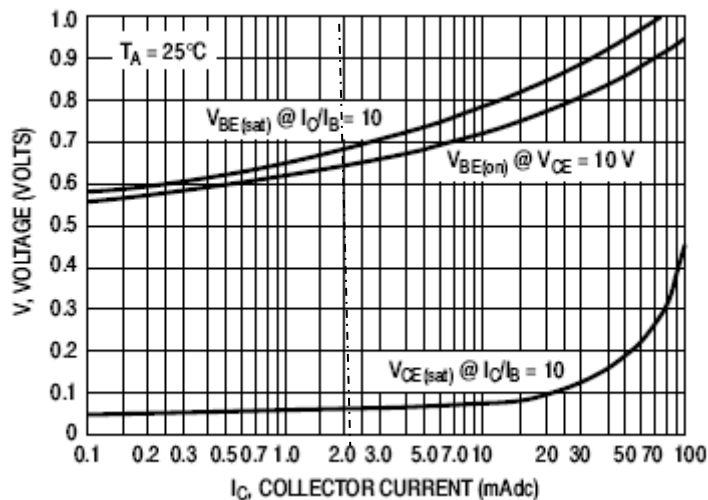
$$I_{BM} = \frac{I_{CM}}{B} = \frac{2.15 \times 10^{-3}}{300} = 7.2\mu\text{A}$$

$$U_{CEM} = U_i - I_{CM} R_C = 15 - 2.15 \times 10^{-3} \times 3.6 \times 10^3 = 7.26\text{ V}$$

$$U_{BEM} = 15 - 7.2 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^6 = 0.6\text{ V}$$

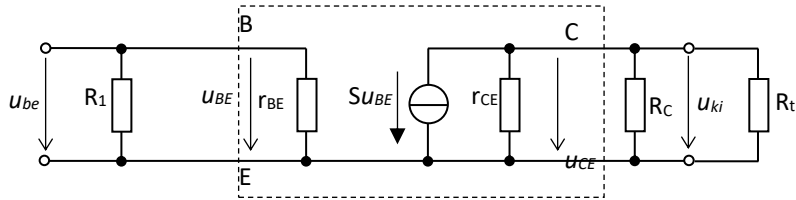
Szimulált munkaponti adatok:

$$U_{BEM} = 0.684\text{ V}, U_{CEM} = 6.61\text{ V}, I_{CM} = 2.33\text{ mA}, I_{BM} = 7.16\mu\text{A}$$



A szimulált eredmények jó közelítéssel megegyeznek a számolt eredményekkel. Az eltérések oka a bemeneti karakterisztika érzékenysége.

Kisjelű paraméterek:



Feszültségerősítés:

$r_{CE} \gg R_C$ (r_{CE} általában katalógusban nem adott, közelítőleg számolható, feltételezve $U_Y=150\text{ V}$)

$$r_{CE} = \frac{U_Y + U_{CEM}}{I_{CM}} = \frac{150 + 7.26}{2.15 \times 10^{-3}} = 73.1\text{ k}\Omega \gg R_C$$

$$S = \frac{I_{CM}}{U_T} = \frac{2.15}{26} = 82.7\text{ mS}$$

$$A_u = -S(R_C * r_{CE}) = -82.7 \times 10^{-3} \times 3.43 \times 10^3 = -284$$

Az erősítés szimulációval: -281

Bemeneti ellenállás:

$$r_{BE} = \frac{U_T}{I_{BM}} = \frac{26 \times 10^{-3}}{7.2 \times 10^{-6}} = 3.6\text{ k}\Omega$$

$$R_{be} = r_{BE} * R_1 = 3.6 * 2000 = 3.6\text{ k}\Omega$$

Kimeneti ellenállás:

$$R_{ki} = r_{CE} * R_C = 73.1 * 3.6 = 3.43\text{ k}\Omega$$

2.5. példa: FE kapcsolás vizsgálata bázisáramos munkapont-beállítással visszacsatolással

Határozzuk meg az alábbi kapcsolás kis- és nagyjelű paramétereit az erősítési tartomány közepes frekvenciáján! Hanyagoljuk el a csatoló kapacitások hatását!

Legyen:

$$R_t \gg R_{ki}$$

$$U_t = 15\text{ V}$$

$$R_1 = 1.1\text{ M}\Omega$$

$$R_C = 3.6\text{ k}\Omega$$

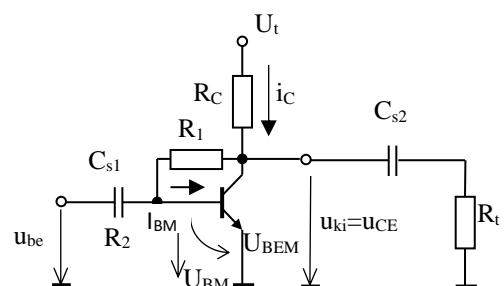
$$T = \text{BC547B}$$

A tranzisztor paramétereit katalógusból:

$$U_{BE}(U_{CE}=10\text{ V}, I_C=2\text{ mA})=0.63\text{ V}$$

$$h_{21e} = 325 <200;450>$$

$$h_{21E} = 0.92 \times h_{21e} \approx 300$$



Megoldás:

Nagyjelű paraméterek

$$U_{BM} = U_{BEM} \cong U_{CE} - I_{BM} R_1$$

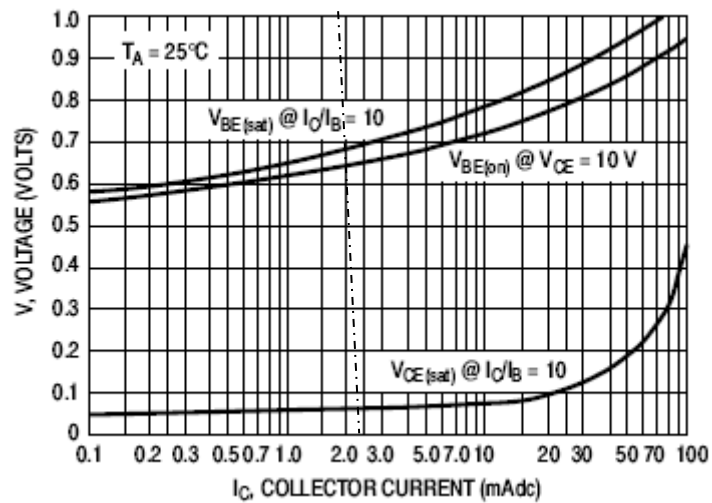
$$I_{CM} = B I_{BM}$$

$$U_{CEM} = U_i - I_{CM} R_C$$

$$I_{CM} = f(U_{BEM})$$

$$U_{BEM} = U_i - I_{CM} \left(R_C + \frac{R_1}{B} \right)$$

katalógusból



I_{CM} (grafikonról) ≈ 1.97 mA

számolással

$$I_{BM} = \frac{I_{CM}}{B} = \frac{1.97 \times 10^{-3}}{300} = 6.6 \mu A$$

$$U_{CEM} = U_i - I_{CM} R_C = 15 - 1.97 \times 10^{-3} \times 3.6 \times 10^3 = 7.9 V$$

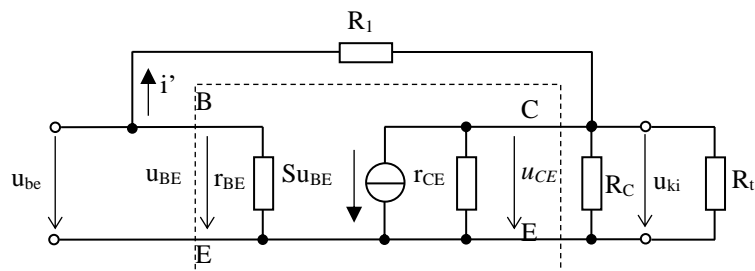
$$U_{BEM} = 7.9 - 6.6 \times 10^{-6} \times 1.1 \times 10^6 = 0.64 V$$

Szimulált munkaponti adatok:

$$U_{BEM} = 0.68 V, U_{CEM} = 7.57 V, I_{CM} = 2.06 mA, I_{BM} = 6.27 \mu A$$

A szimulált eredmények jó közelítéssel megegyeznek a számolt eredményekkel. Az eltérések oka a bemeneti karakterisztika érzékenysége.

Kisjelű paraméterek:



Feszültségerősítés:

$r_{CE} \gg R_C$ (r_{CE} általában katalógusban nem adott, közelítőleg számolható, feltételezve $U_Y=150\text{ V}$)

$$r_{CE} = \frac{U_Y + U_{CEM}}{I_{CM}} = \frac{150 + 7.9}{1.97 \times 10^{-3}} = 80.1\text{ k}\Omega \gg R_C$$

$$S = \frac{I_{CM}}{U_T} = \frac{1.97}{26} = 75.8\text{ mS}$$

$$A_u = -S(R_C * r_{CE}) = -75.8 \times 10^{-3} \times 3.44 \times 10^3 = -261$$

Az erősítés szimulációval: -252

Bemeneti ellenállás:

$$r_{BE} = \frac{U_T}{I_{BM}} = \frac{26 \times 10^{-3}}{6.6 \times 10^{-6}} = 3.94\text{ k}\Omega$$

$$R_{be} = r_{BE} * \frac{R_1}{1 + |A_u|} = 3.94 \times 10^3 * \frac{1.1 \times 10^6}{1 + 261} = 2\text{ k}\Omega$$

Kimeneti ellenállás:

$$R_{ki} = r_{CE} * R_C = 80.1 * 3.6 = 3.44\text{ k}\Omega$$

2.6 példa: JFET-es erősítő feszültségosztós munkapont-beállítással

Határozza meg az alábbi kapcsolás kis- és nagyjelű munkaponti adatait! Hanyagoljuk el a csatoló kapacitások hatását! Legyen:

$$R_i \gg R_{ki}$$

$$R_D \ll \tau_{DS}$$

$$U_i = 15\text{ V}$$

$$R_1 = 100\text{ k}\Omega$$

$$R_G = 10\text{ k}\Omega$$

$$R_D = 1.5\text{ k}\Omega$$

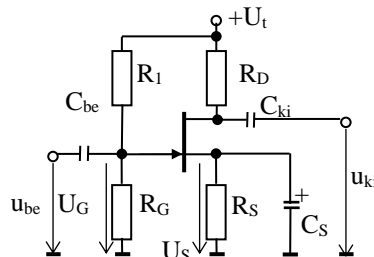
$$R_S = 750\ \Omega$$

$$T = \text{BF245C ncsat. JFET}$$

A tranzisztor paraméterei katalógusból:

$$I_{DSS} = 17\text{ mA} <12:25>$$

$$U_p = -5.4\text{ V} <-3.2:-7.5>$$



Megoldás:

A) Nagyjelű viselkedés számolással és szimulációval:

$$U_G = U_i \frac{R_G}{R_G + R_1} = 15 \frac{10}{100 + 10} = 1.36\text{ V}$$

$$U_S = I_{DS} R_S$$

$$U_{GS} = U_G - U_S = 1.36 - I_{DS} R_S$$

$$I_{DS} = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_p} \right)^2 \Rightarrow 3.7\text{ mA}$$

$$U_S = 3.7 \times 0.75 = 2.77\text{ V}$$

$$U_{DS} = U_i - I_{DS} (R_D + R_S) = 15 - 3.7 \times (1.5 + 0.75) = 6.67\text{ V}$$

Szimulációs eredmények:

$$U_G=1.36 \text{ V}, U_S= 2.87 \text{ V}, I_{DS}= 3.83 \text{ mA}, U_{DS}=6.37 \text{ V}$$

A számolt és a szimulált eredmények jó közelítéssel megegyeznek.

B) Kisjelű viselkedés

Bemeneti ellenállás:

$$R_{be} = R_1 * R_G = 9.1k\Omega$$

Feszültségerősítés:

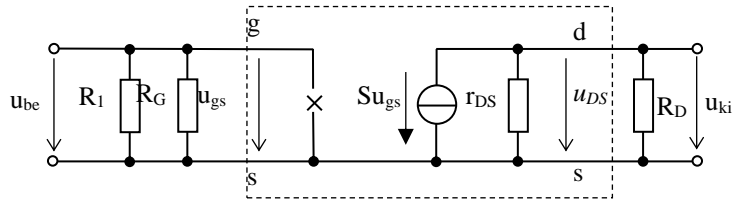
$$S = \frac{-2I_{DSS}}{U_P} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P}\right) = \frac{-2 \times 17 \times 10^{-3}}{-5.4} \left(1 - \frac{-1.41}{-5.4}\right) = 4.65mS$$

$$A_u = -S(r_{DS} * R_D * R_t) \cong -SR_D = -4.65 \times 1.5 = 6.97$$

Szimulációval: -7.1

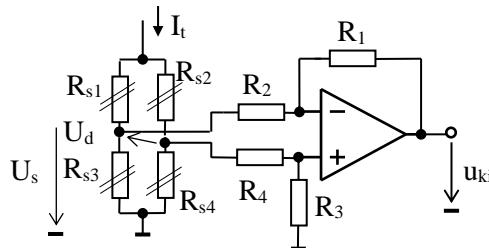
Kimeneti ellenállás:

$$R_{ki} = r_{DS} * R_D \cong R_D = 1.5k\Omega$$



3.1. példa: Határozzuk meg az alkatrészek eltéréséből adódó hibát differencia erősítőnél

A kapcsolás alkalmazása mérőerősítőként ellenállás típusú szenzorok esetén (teljes hidas kapcsolás):



Legyen $R_{ki0} = 50 \Omega$, $A_0 = 2 \cdot 10^5$ és $|A_u| = 20$

$R_{ki} = 50 \cdot 20 / 2 \cdot 10^5 = 5 \text{ m}\Omega$! ez érték összemérhető a nyomtatott-áramköri huzalozás ellenállásával.

$R_{s1} = R_{s2} = R_{s3} = R_{s4}$ ellenállás típusú érzékelők pl. nyúlásmérő-bélyeg, hőellenállás, stb.

I_t a híd tápárama

U_d a híd két ága között keletkező különbségi feszültség

U_s a hídágak nyugalmi feszültsége

Az $U_d = 0 \text{ V}$, amennyiben az érzékelő ellenállások nem kapnak jelet. Ilyenkor a hídágak feszültsége azonos. $U_s = I_t \cdot R_s / 2$

Legyen ΔR az egyes ellenállások megváltozásának értéke a mérés során! (Két-két átlósan levő ellenállás együtt változik és ellentétes előjellel.) Tételezzük fel, hogy az R_{s1} és R_{s4} értéke ΔR ellenállással nő a másik két ellenállás ugyanilyen mértékben csökken (teljes hidas megoldás).

$$U_d = \frac{I_t}{2} (R_{s4} + \Delta R) - \frac{I_t}{2} (R_{s3} - \Delta R) = I_t \Delta R$$

$$u_{ki} = I_t \Delta R \frac{R_1}{R_2}$$

A kapcsolás aszimmetriájának hatása a közösmódusú elnyomási tényezőre

Tételezzük fel, hogy az R_1/R_2 arány eltér az R_3/R_4 aránytól egy $\Delta\alpha$ értékkel. Ez a CMRR értékének leromlását eredményezi, amely mérőerősítők esetén - ahol a hasznos jel a differencia jel - jelentős hibát okozhat.

$$u_{ki} = -u_{be1}(\alpha + \Delta\alpha) + u_{be2}(1 + \alpha + \Delta\alpha) \frac{\alpha}{1 + \alpha} =$$

$$\underbrace{\alpha(u_{be2} - u_{be1})}_{\text{szimmetrikus_kimeneti_jel}} + \underbrace{u_{be2} \frac{\alpha\Delta\alpha}{1 + \alpha} - u_{be1}\Delta\alpha}_{\text{közösmódusú_kimeneti_hibajel}}$$

$$A_{us} = \alpha$$

$$A_{uk} \Big|_{u_{bes}=0} = \frac{\alpha\Delta\alpha}{1 + \alpha} - \Delta\alpha = \frac{-\Delta\alpha}{1 + \alpha}$$

$$CMRR = 20 \log \left(\left| \frac{A_{us}}{A_{uk}} \right| \right) = 20 \log \left(\frac{1 + \alpha}{\frac{\Delta\alpha}{\alpha}} \right)$$

Példa:

Legyen $R_s=100 \Omega$

$$I_t=10 \text{ mA}$$

$$\varepsilon=\Delta R/R_s=2 \cdot 10^{-4}$$

$$\alpha=100$$

$$\Delta\alpha=1 \text{ az az ellenállások arányának hibája } 1\%$$

A hasznos jel a kimeneten

$$u_{kih} = I_t \Delta R \alpha = 0.01 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 100 = 20 \text{ mV}$$

A közös módusú (hiba) jel a kimeneten

$$u_{kik} = U_s \frac{-\Delta\alpha}{1 + \alpha} = 0.01 \cdot 100 \frac{-1}{1 + 100} = -9.9 \text{ mV}$$

A hibajel összemérhetően magas a hasznos kimeneti jellel!

A közösmódusú elnyomási tényező:

$$CMRR=20 \cdot \lg(101 \cdot 100)=80 \text{ dB}$$

Ahhoz, hogy a hiba a hasznos jelhez viszonyítva 1 % alatt legyen az ellenállásarányoknak jobbnak kell lenni, mint

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \leq \frac{\frac{\Delta R}{R}(1 + \alpha)}{100} = \frac{2 \cdot 10^{-4}(1 + 100)}{100} \approx 2 \cdot 10^{-4} !!$$

Aláíráspótlás kérdések

- 1) Mit ábrázol a Bode-diagram?..... 2 pont
- 2) Hogyan értelmezi a feszültség és a teljesítmény dB-t?..... 2 pont
- 3) Értelmezze a kondenzátorok veszteségi tényezőjét ($\text{tg}\delta$)!..... 2 pont
- 4) Milyen zajok fordulnak elő jellemzően a félvezetőkben?..... 2 pont
- 5) Rajzolja fel egy n csatornás JFET transzfer karakterisztikáját!..... 2 pont
- 6) Rajzolja fel egy közös emitteres erősítő elvi rajzát!..... 2 pont
- 7) Rajzoljon fel egy tranzisztoros differenciál erősítőt?..... 2 pont
- 8) Hogyan értelmezzük a közösmódusú és a szimmetrikus jelet?..... 2 pont
- 9) Rajzoljon fel egy műveleti erősítés kivonó áramkört!..... 2 pont
- 10) Rajzoljon fel egy műveleti erősítés integráló áramkört!..... 2 pont
- 11) Mi a kisebbségi és mi a többségi töltéshordozó?..... 2 pont
- 12) Rajzolja fel a dióda karakterisztikáját!..... 2 pont
- 13) Rajzolja fel egy tranzisztor kimeneti karakterisztikáját a tartományok bejelölésével!..... 2 pont
- 14) Melyik kapcsolásnak kisebb a feszültség erősítése azonos kollektor áram esetén: FE vagy FC?..... 2 pont
- 15) Rajzoljon fel egy invertáló erősítőt műveleti erősítővel! ?..... 2 pont

- 16) Hogyan csoportosítjuk a jeleket az értéktartományok folytonossága szerint? 2 pont
- 17) Hogyan befolyásolja a kapcsolási frekvencia egy félvezető melegedését! 2 pont
- 18) Mi a CMRR? 2 pont
- 19) Rajzoljon fel egy egységnyi erősítésű erősítőt! 2 pont
- 20) Hogyan értelmezzük a négypólus pozitív vonatkoztatási irányait (rajz)? ? 2 pont
- 21) Mire vonatkozó logaritmikus egység a dekad (D)? ? 2 pont
- 22) Rajzolja fel egy Zener-dióda karakterisztikáját! ? 2 pont
- 23) Rajzolja le egy soros-áram visszacsatolás blokk-sémáját! ? 2 pont
- 24) Milyen paraméterrel jellemezzük az áramkörök harmonikus torzítását? ? 2 pont
- 25) Miben tér el egymástól az A és a B osztályban üzemeltetett ellenütemű végfokozat működése?
..... 2 pont
- 26) Rajzoljon fel egy invertáló bemenetről vezérelt erősítőt műveleti erősítővel! ? 2 pont
- 27) Rajzoljon fel egy műveleti erősítő összeadó kapcsolást! ? 2 pont