



Tordai György

Villamos mérések, vizsgálati technológiák

NSZFI
NEMZETI SZAKKÉPZÉSI
ÉS FELNŐTTKÉPZÉSI INTÉZET

A követelménymodul megnevezése:
Elektronikai áramkörök tervezése, dokumentálása

A követelménymodul száma: 0917-06 A tartalomazonosító száma és célcsoportja: SzT-023-50

VILLAMOS MÉRÉSEK, VIZSGÁLATI TECHNOLOGIÁK

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Ön, mint leendő elektronikai technikus készül a szakmai írásbeli, szóbeli és gyakorlati vizsgára. Az a feladata, hogy szakmailag alaposan felkészüljön az írásbeli, a szóbeli és a gyakorlati vizsgára. A szóbeli vizsgára történő alapos felkészülés érdekében ki kell dolgoznia a 3. számú szóbeli vizsgatételt.

A 19/2008. (XII. 4.) SZMM rendelet 19. § 1. bekezdésében foglaltak alapján az elektronikai technikus szakmai vizsga szóbeli tételeit a 2042/2009. számon adták ki. A kidolgozandó 3. számú szóbeli tétel a 0917-06/4 Elektronikai szakmai alapismeretek modulhoz tartozik és a következőket tartalmazza:

3. Tétel

Magyarázza el új kollégájának a kapcsolási rajzon látható többfokozatú erősítő felépítését, működési elvét! Mutassa be a munkapont beállítását a tranzistoros és a műveleti erősítős kapcsolásban! Térjen ki a műveleti erősítő egytelepes táplálású munkapont beállításának sajátosságaira is! Mondja el, hogyan kell meghatározni az adott erősítő feszültségerősítését!

Felkészülése és felelete során használja az alábbi információkat!

- Tranzistoros erősítők munkapont beállítása,
- Földelt emitteres alapkapsolás, a váltakozó áramú jellemzők,
- Műveleti erősítők munkapont beállítási módja (egytelepes, kételepes),
- Nem invertáló kapsolás jellemzői, a feszültségerősítés meghatározása.

A szakmai tanára azt javasolja, hogy a szóbeli tételhez kapcsolódóan a vizsgatétel kidolgozása után gyakorlati feladatokon keresztül ismételje át és mérje meg a szóbeli vizsgatétel jobb megértése érdekében a földelt emitteres erősítő alapkapsolás (egyenáramú munkapont beállítás, váltakozó áramú jellemzők) elméletéhez szorosan kapcsolódó villamos méréseket és vizsgálati technológiákat.

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

A szóbeli tétel kidolgozásához az információtartalom vázlata:

1. Tranzisztoros erősítők munkapont beállítása.
2. Földelt emitteres alapkapsolás, a váltakozó áramú jellemzők.
3. Műveleti erősítők munkapont beállítási módja (egytelepes, kételepes).
4. Nem invertáló kapsolás jellemzői, a feszültségerősítés meghatározása.

A szaktanár által javasolt villamos mérések, vizsgálati technológiák témakörei:

5. Villamos mérések vizsgálati körülményei, előírások,
6. Mérési módszerek, vizsgálati technológiák,
7. Villamos méréshez használt műszerek,
8. Villamos méréshez használt egyéb eszközök.

TRANZISZTOROS ERŐSÍTŐK MUNKAPONT BEÁLLÍTÁSA

Az erősítő áramkörök vezérelt teljesítmény átalakítást végeznek, a tápegységből felvett egyenáramú teljesítményt alakítják át a terhelés számára.

Az erősítőt alkotó aktív elemek sokféle megoldásban kapcsolhatók össze. A bipoláris tranzisztoros erősítő alapkapsolásnak három típusa van:

- **Földelt emitteres (FE)** az emitter elektróda közös ponton van.
- **Földelt kollektoros (FC)** a kollektor elektróda közös ponton van.
- **Földelt bázisú (FB)** a bázis elektróda van közös ponton.

A leggyakrabban a földelt emitteres erősítőt alkalmazzák. A helyes munkapont beállításhoz tápfeszültséget kell az alapkapsolásra adni. A munkapont beállítás megértéséhez segítséget ad a FE erősítő alapkapsolás kapsolási rajza, amely az 1. ábrán látható. Itt a munkapont beállítását bázisosztóval végezték el.

Munkapont beállító elemek: R1 és R2 ellenállások

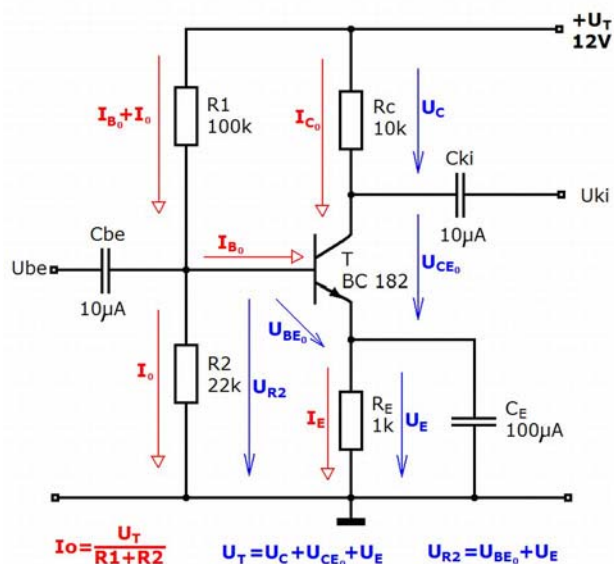
Munkapont beállító és stabilizáló elem: RE ellenállás

Munkapont beállító és munkaellenállás: Rc

A bementi feszültségosztóval (R1 és R2) állítják be a tranzisztor bázis-emitter feszültségét, amelynek tipikus értéke szilícium tranzisztor esetén 0,6–0,7V. A kapsolás munkaellenállása az Rc ellenállás. Az UCE feszültséget méretezéskor a kb. tápfeszültség felére kell beállítani, azért hogy ne legyen torzítás az erősítőben, azaz mindkét irányban azonosan tudjon mozogni a munkapont.

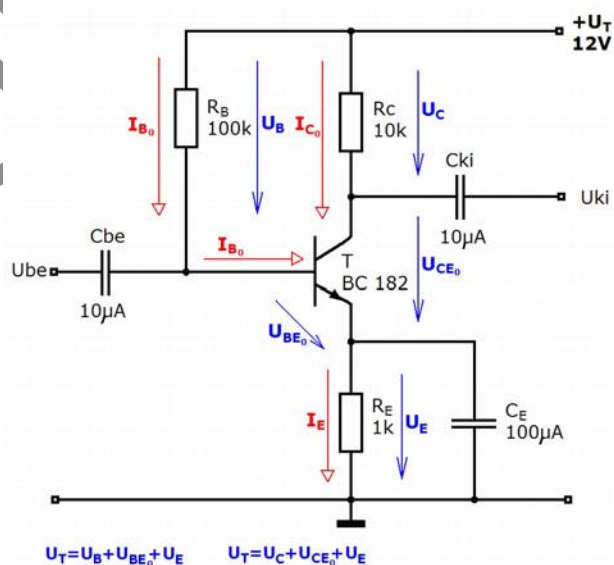
FE kapsolásban a be- és a kimeneti váltakozó feszültségek között 180°-os fáziseltolás van.

A **bázisosztós munkapont beállítás** előnye, hogy a feszültségosztó terheletlennek tekinthető, azaz állandó leosztott bázis feszültséget szolgáltat, függetlenül a bázisáram változásától. A bemeneti feszültségosztó méretezésénél arra kell ügyelni, hogy az osztóáram (I_o) jóval nagyobb legyen, mint a munkaponti bázisáram.



1. ábra. FE erősítő bázisosztós alapkapsolás

A **bázisáram táplálású** FE erősítő kapcsolási rajzát az 2. ábrán láthatjuk. A bázisáramot az RB ellenállás állítja be, mivel az alsó munkapont beállító és osztó ellenállás hiányzik. A kapcsolás hátránya, hogy nem biztosít megfelelő stabilitást, mert nem tartja állandó szinten a bázispont feszültségét, ezért ezt a típust ritkábban használják.



2. ábra. FE erősítő bázisáram táplálású alapkapsolás

FÖLDELT EMITTERES ALAPKAPCSOLÁS, A VÁLTAKOZÓ ÁRAMÚ JELLEMZŐK

Az erősítők váltakozó áramköri jellemzői közül a legfontosabbak a következők:

- Kivezérelhetőség,
- Erősítés,
- Bemeneti ellenállás,
- Kimeneti ellenállás,
- Frekvenciamenet,
- Torzítás,
- Jel-zaj viszony.

Kivezérelhetőség

Az erősítők kimeneti feszültsége nem teljesen lineáris. Oszilloszkóppal 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 feszültség.

Az erősítők kivezérelhetőségének a mérését közepes frekvencián ($f_k=1\text{ kHz}$) kell elvégezni. Méréskor addig kell növelni a szinuszos generátor által az erősítő bemenetére adott jelet, amíg az erősítő kimenetére csatlakoztatott oszcilloszkópon a felerősített kimeneti jel érzékelhetően torzulni nem kezd! Feszültségmérő műszerrel tudjuk megmérni a bemeneti ($U_{b\max}$) és a kimeneti ($U_{k\max}$) jel maximális értékét. Az $U_{b\max}$ lesz az a legnagyobb bemeneti jel, amit az erősítőre kapcsolhatunk.

Feszültségerősítés

Az erősítők teljesítmény átalakító áramkörök, ezért nagyon fontos annak meghatározása, hogy mekkora a feszültségerősítése.

Az erősítő feszültség erősítését a kimeneti és bemeneti feszültség hányadosa adja meg.

Az erősítők feszültségerősítésének a mérését közepes frekvencián ($f_k=1\text{ kHz}$) kell elvégezni. Adott terhelés mellett kell megmérni a bemeneti és a kimeneti feszültséget. A kimeneti jelnek a maximális kivezérelhetőség értékének a $2/3$ rész tartományába kell esnie méréskor. A mérési eredményekből kiszámítható a feszültségerősítést. A feszültségerősítés (A_u) értékét sokszor dB-ben is meg kell adni. Minden erősítőjellemző frekvenciafüggő!

Bementi ellenállás

Az erősítő bemenete sávközépi frekvencián (1 kHz) egyetlen ellenállással helyettesíthető.

Az erősítő bemeneti ellenállása az része az erősítőnek, amelyik terheli a jelforrást, azaz a meghajtó fokozatot.

Az erősítők bementi ellenállásának egyik mérési módszere az, hogy a meghajtó fokozat és az erősítő bemenete közé sorosan beiktatunk egy ismert értékű (R_s) mérőellenállást. Méréskor a soros ellenálláson keresztül hajtjuk meg az erősítőt. Ennél a módszernél mérjük az U_g és az U_{be} feszültségeket. Az ismeretlen bementi ellenállás a mérési eredményekből kiszámítható.

Kimeneti ellenállás

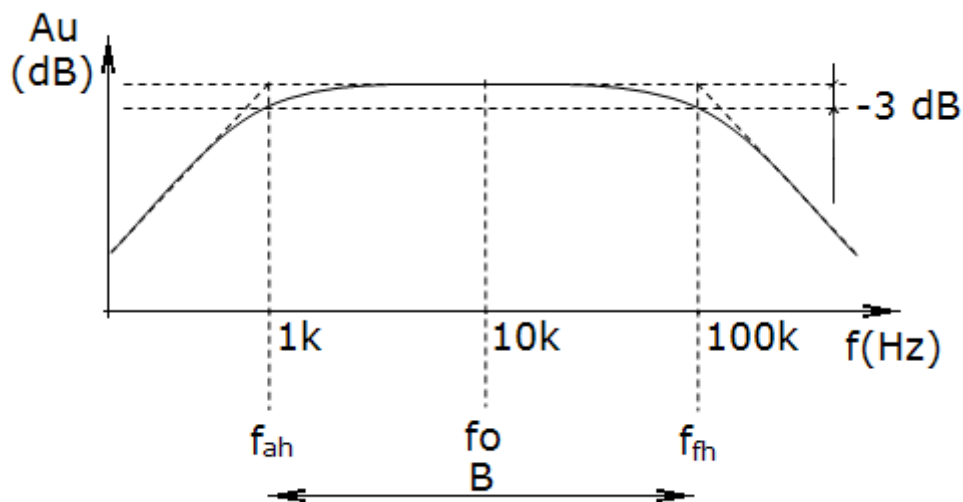
Az erősítő kimenete a bementi jel által vezérelt generátorral és egy ellenállással helyettesíthető.

Az erősítő kimeneti ellenállása az az ellenállás, amelyre a terhelést kötjük.

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_{ki1}) terheléssel. Az erősítő kimeneti ellenállása (R_{ki}) az ismert terhelő ellenállás értéke és a két mérési eredmény alapján kiszámítható.

Frekvenciamenet

Az erősítők frekvenciafüggését az amplitúdó és a fázis karakterisztika adja meg. 3. ábra.



3. ábra. Erősítő amplitúdó-fázis karakterisztikája

Az erősítők sávszélessége a frekvenciafüggő alkatrészek miatt egy alsó- (f_a) és a felső (f_f) határfrekvenciák közötti tartomány.

A frekvencia-független erősítési tartomány közepén értelmezett közepes frekvencián (f_0) mért értékhez képest kell megvizsgálni mérésakor, hogy a jel mely frekvenciákon lép ki a ± 3 dB-s sávból. A sáv szélesség (B) az alsó és a felső határfrekvenciák segítségével számolással határozható meg. $B = f_f - f_a$

Torzítás

Egy erősítő nem lineáris átvitele abban nyilvánul meg, hogy az erősítő kimenetén megjelenő jel spektrumában olyan összetevők is megjelennek, amelyek az erősítő bemenetére adott jelben nem szerepeltek.

A torzítás egy erősítő áramkörben áthaladó jel hullámalakjának a megváltozása az eredetihez képest.

Jellegénél fogva többféle torzítást különböztetünk meg. Két fő csoportja a lineáris és a nemlineáris torzítás. A torzítás mérésekor egy előre meghatározott frekvenciájú és amplitúdójú szinuszos jelet táplálunk a mérendő erősítő bemenetére és a mérendő erősítő kimenetén megjelenő jelet egy torzítás mérő műszer vevőegységével 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.

Jel-zaj viszony

A „jel-zaj viszony” általánosan elterjedt használata a hasznos információ és a hibás, vagy nem releváns információ viszonyát adja meg.

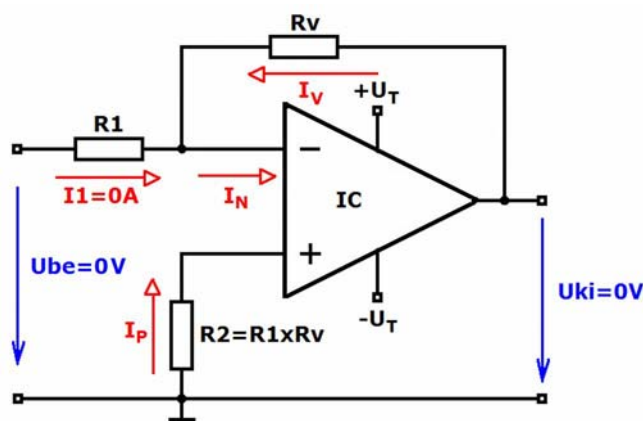
A jel-zaj viszony egy műszaki kifejezés és két teljesítmény hányadosát jelenti, azaz a jel (információ) és a háttér zaj hányadosa.

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. A kiválasztott referenciajel általában az 1 kHz-es szabványos szinuszos jel.

Mérésakor az erősítő U_{be} bemenetére a hangfrekvenciás (HF) generátorból 1 kHz frekvenciájú szinuszos jelet kell adni és a teljes kivezérlésig kell növelni a bemeneti jelet! Az oszcilloszkópon figyelni kell a kivezérlés határát! A kimeneti jel értékét ekkor le kell olvasni. Ezután a HF generátor 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.

MŰVELETI ERŐSÍTŐK MUNKAPONT BEÁLLÍTÁSI MÓDJA (EGYTELEPES, KÉTTÉLEPES)

A műveleti erősítők különleges tulajdonságokkal rendelkező erősítők. Eredetileg matematikai műveletek elvégzésére tervezték. A ma használatos integrált műveleti erősítők felhasználása igen gyakori a különböző analóg áramkörökben. A műveleti erősítők munkaponti beállítása három fizikai paraméter beállítására irányul. A bemeneti nyugalmi áram biztosítása, a bemeneti offset feszültség kompenzálása és a bemeneti offsetáram kompenzálása a kimeneti $U_{ki}=0V$ biztosítása érdekében.



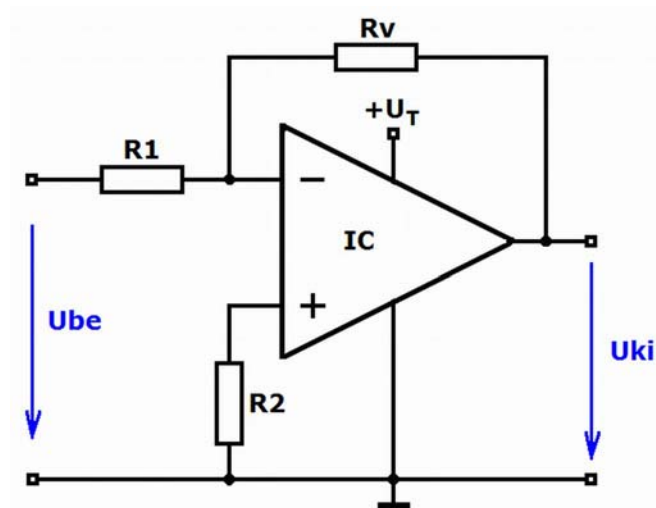
4. ábra. Invertáló műveleti erősítő munkapont beállítása

A bemeneti nyugalmi áram biztosítására 4. ábra az R_2 kompenzáló ellenállást használják. Az R_2 a nem invertáló (+) bemenet potenciálját az invertáló (-) bemenet potenciáljára emeli és ezzel biztosítja az $U_{ki}=0V$ értékét. A valóságos műveleti erősítők esetében U_{ki} soha nem lesz $0V$. Az offset feszültség kompenzálásnak is az a célja, hogy a kimeneti hibafeszültséget megszüntessük. A ma használatos műveleti erősítők esetén erre alkalmas csatlakozási pontok találhatók, amelyekre külső elemet (potenciométert) csatlakoztatva a kompenzálás elvégezhető. Az erősítő bemeneti ellenállása az R_1 . Az erősítő erősítését a visszacsatoló (R_v) és a bemeneti ellenállás (R_1) hányadosa határozza meg. Az invertáló erősítő fázist fordít.

A műveleti erősítők tápellátása szerint lehet egy vagy kéttélepes.

Egytélepes

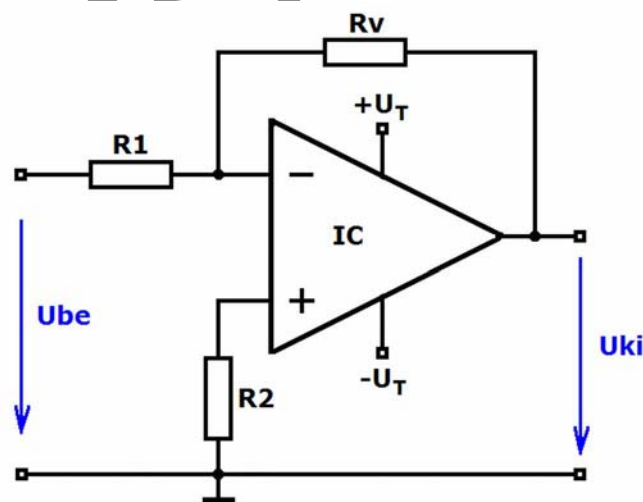
Az egytélepes 5. ábra (egy tápfeszültségű) táplálás esetén aszimmetrikus (pl. U_T+12V) tápfeszültséget használunk. Egytélepes tápfeszültség esetén az erősítő pozitív és negatív irányú kivezérelhetősége aszimmetrikus. Ebben az esetben a kimenet DC szempontból $U_T/2$ értékre áll be. Egytélepes táplálás esetén a komparátor üzemmód nem alkalmazható.



5. ábra. Egytelepes táplálású invertáló DC erősítő

Kételepes

A kételepes (kettős tápfeszültségű) táplálás esetén szimmetrikus (pl. $U_T = \pm 12V$) tápfeszültséget használunk. Kételepes tápfeszültség esetén az erősítő pozitív és negatív irányú kivezérelhetősége szimmetrikus. Ebben az esetben a műveleti erősítő a lineáris tartományában használható normál erősítőként. Ha viszont a bemeneti feszültség olyan mértékben emelkedik meg, hogy annak az A_u -szeres értéke a kimeneten a kivezérelhetőség határán túlmegy, akkor komparátorként fog működni és a $+U_T$ és a $-U_T$ között változik a kimeneti szint. A kételepes táplálású műveleti erősítőt a 6. ábrán láthatjuk.

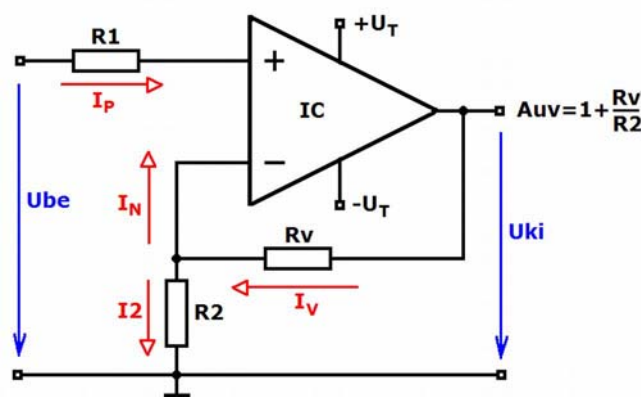


6. ábra. Kételepes táplálású invertáló DC erősítő

NEMINVERTÁLÓ KAPCSOLÁS JELLEMZŐI, A FESZÜLTSEGERŐSÍTÉS MEGHATÁROZÁSA

A + jellel jelölt bemenetet nem invertáló, vagy fázist nem fordító bemenetnek nevezik, mivel a rákapcsolt feszültség azonos polaritással, illetve azonos fázishelyzetben jelenik meg a kimeneten. Az erősítő a nem invertáló bemenetére kapcsolt feszültséget felerősíti, de nem fordítja meg a fázisát. A nem invertáló erősítő alapkapsolását a 7. ábrán látható.

A nem invertáló erősítő alapkapsolásában a bementi jelet a nem invertáló bementre kapcsoljuk. A bementre kapcsolt jel (U_{be}) fázisfordítás nélkül felerősítve jelenik meg a kimeneten. A nem invertáló műveleti erősítőben negatív visszacsatolást alkalmaznak. Az erősítés értékét a visszacsatoló hálózatban lévő ellenállások határozzák meg.



7. ábra. Nem invertáló műveleti erősítő munkapont beállítás

A műveleti erősítőket csaknem mindig visszacsatolt üzemmódban használják. Ez azt jelenti, hogy a kimenő feszültség egy részét visszavezetik az erősítő valamelyik bemenetére. Pozitív visszacsatolásról beszélünk, ha a kimenetről a nem invertáló (+) bemenetre csatolunk vissza. Ekkor a feszültség megváltozása (jel) önmagát növeli. Negatív a visszacsatolás, ha a kimenetről az invertáló (-) bemenetre csatolunk vissza. Hatása stabilizáló az erősítőre nézve.

A nem invertáló erősítők különleges alkalmazása a feszültségkövető kapcsolás. Ez egy olyan nem invertáló erősítő, amelynek a feszültségerősítése $A_u=1$. További előnye ennek a kapcsolásnak, hogy a bementi jelet nagy impedanciával ($R_{be}=\infty$) fogadja, míg a kimeneti ellenállása alacsony (R_{ki} közelít a nullához) impedanciájú.

VILLAMOS MÉRÉSEK VIZSGÁLATI KÖRÜLMÉNYEI, ELŐÍRÁSOK

Villamos mérések vizsgálati körülményei, előírások

A vizsgálati körülmények alatt azokat a környezeti viszonyokat értjük, (pl. hőmérséklet, relatív páratartalom, légnyomás stb.) amelyek lehetővé teszik a villamos mérések előírás szerinti elvégzését. A vizsgálati előírások megadják a mérőkörré vonatkozó előírásokat is pl. tápfeszültség előírt értéke, fő jellemzői, a bementi jel előírt formája és értéke, valamint a kimenti válaszjel nagysága, alakja és értéke. A mérés során felhasznált mérő műszerek és méréstechnikai segédeszközöknek biztonságosaknak kell lenniük, a villamos biztonságtechnikai és tűzvédelmi szabályoknak meg kell felelniük. Az elektronikai (analóg és digitális) méréseket villamos mérési feladatokra speciálisan kiépített és felszerelt villamos laboratóriumokban 8. ábra és villamos laborasztalokon 9. ábra végezzük.



8. ábra. Elektronikai labor



9. ábra. Villamos laborasztal

MÉRÉSI MÓDSZEREK, VIZSGÁLATI TECHNOLOGIÁK

A mérési módszerek, méréstechnikai alapfogalmak összefoglalása.

Mérés: összehasonlító tevékenység, amelynek során közvetlen, vagy közvetett módszerrel a mérhető mennyiséget az egységül választott mértékegységhez viszonyítjuk, azért, hogy meghatározzuk a mérőszámot.

Mérőszám: megmutatja, hogy az egységül választott mértékegység a mért mennyiségben hányszor van meg.

Mértékegység: a mérendő mennyiség meghatározását szolgáló egységül választott mennyiség a mértékegység.

Alapegység: az SI mértékegység rendszer alapegységeiből, kiegészítő és származtatott egységeiből alkotott összefüggő mértékegységrendszer. A villamos mértékegységek közül az áramerősség mértékegysége az Amper az SI mértékegység rendszer alapegysége.

Mérési eljárás a következő lépésekből áll:

1. Mérési feladat kiválasztása.
2. Mérési módszer kiválasztása.
3. Mérőműszerek és mérőeszközök kiválasztása.
4. Mérést végző tevékenységének a meghatározása.
5. Mérési eredmények kiértékelése és számítások elvégzése.
6. Jegyzőkönyvkészítés a mérésről.

Mérőeszköz: olyan eszköz, vagy készülék, amellyel méréskor a mérési eljárás okozta hibával meghatározható a mérőszám.

Mérőműszer: olyan mérőeszköz (műszer), amellyel méréskor a mérési eljárás okozta hibával meghatározzuk a mérőszámot, vagy annak kiszámításához szükséges mérési eredményt, de nem tartozik a mértékek fogalomkörébe.

Mért érték: a mérendő mennyiségnek méréssel meghatározott értéke.

Mérési eredmény: egy, vagy több mért érték, vagy a mért értékből számítással meghatározott mennyiség.

Arra a kérdésre, hogy méréskor biztosak lehetünk-e abban, hogy az általunk mért érték ténylegesen a valódi érték, erre csak a mérési módszerek és a méréskor használt műszerek adhatnak választ. Ideális méréstechnikai helyzet nincs, minden esetben valóságos körülmények között és valóságos műszerekkel dolgozunk.

Mérési módszer: azoknak az elveknek az összessége, amelyeknek a segítségével a mérés hiba nélkül és a legpontosabban elvégezhető.

Mérési módszerek csoportosítása:

1. Mérendő mennyiség meghatározási módja szerint:

Közvetlen: a mérendő mennyiséget közvetlenül a keresett mennyiséghez viszonyítjuk. Az etalon jelen van a mérésen és aktív szerepe tölt be.

Közvetett mérés: nem a keresett mennyiséget mérjük, hanem azzal arányos mennyiséget mérünk és a keresett mennyiséget számítással határozzuk meg. Ennél a módszernél az etalon nincs jelen, a mérendő mennyiséget más fizikai mennyiséggé alakítjuk át. Az analóg műszerek ezen a mérési elven működnek.

2. Egyszerre mért elemek száma szerint:

Elemenkénti (differenciált): alkatrészek (passzív és aktív) értékeit külön-külön mérjük.

Összetett (komplex): az áramkörben nem az elemeket mérjük külön-külön, hanem az összetett működést vizsgáljuk.

3. Gyártástechnológiai szempont szerint:

Passzív: mérést csak a gyártási folyamat végén végezzük el.

Aktív: a teljes gyártási folyamat közbeni tevékenysége a folyamatos mérés. A cél a gyártási fázisok alatti elektromos hibák kiküszöbölése és a minőség javítása.

4. Mérési eredmény megjelenítési módja szerint:

Analóg mérés: a mérendő mennyiséget egy vele arányos fizikai mennyiséggel hozzuk kapcsolatba. Az analóg mérőműszerek folyamatos átalakítást végeznek a mért villamos mennyiség és a kijelzett érték között.

Digitális mérés: a digitális mérőműszerek mintavételezés elvén működnek és a mérendő mennyiséget számjegy alakjában jelenítik meg. A kijelzőben megjelenő számérték egész számú többszöröse az elemi mennyiségnek. A kijelző és a mérendő mennyiség között nincs folyamatos kapcsolat.

MÉRÉSHEZ HASZNÁLT MŰSZEREK

Az elektronikában elvégzendő méréseket a mérés célja szerint csoportosítjuk:

- Elektronikai alkatrész (passzív, aktív) értékének, paramétereinek mérése,
- Elektronikai áramkör működésének ellenőrzése és a jellemzők meghatározása,
- Elektronikai készülék, részegység és berendezés működésének komplex vizsgálata méréssel,
- Hibakereső, hibajavító és szervizmunka során alkalmazott villamos mérés.

Az elektronikában elvégzendő villamos mérésekhez alapvetően négy fontos műszert, berendezést használunk.

1. Tápegység

Az elektronikai áramkörök működtetése a mérések során tápegységek segítségével történik. A legtöbb esetben a vizsgálatokhoz fix feszültségű, vagy változatható feszültségű stabilizált DC tápegységet 10. ábra használunk annak érdekében, hogy stabilizált egyenfeszültséget biztosítsunk a mérés pontos elvégzéséhez.

Az egyenfeszültségű stabilizált tápegység kettős feladatot lát el:

Nem engedi érvényesülni a kimeneti feszültségben a hálózati feszültség ingadozásait.

A terhelés változásától függetlenül a kimeneti egyenfeszültséget állandó értéken tartja.



10. ábra. Stabilizált DC tápegység

2. Digitális multiméter

A digitális mérés során a mért mennyiséghez számot rendelünk hozzá. A mérés teljes tartományát kis egységekre osztják fel és mérésakor azt vizsgáljuk, hogy a mért értékben az alapul választott egység hányszor van meg. A digitális műszer esetén ahány „digites” a műszer, annyi számjegyet jelez ki. A számjegyes kijelzésnek köszönhetően leolvasási hiba elvileg nincs. A digitális multiméterek mérőerősítőt tartalmaznak, ezért nagy a bementi ellenállásuk. A digitális multiméter a 11. ábrán látható. Ezek univerzális mérőműszerek, mert az egyen feszültség/áram, a váltakozó feszültség/áram és az ellenállás mérése mellett dióda tranzisztor szakadás és zárlat vizsgálatra, valamint kapacitás és frekvencia mérésre is alkalmasak.

A digitális műszer a mérési eredményt számjegyekkel jelzi ki (digit = számjegy)



11. ábra. Digitális multiméter

3. Jelgenerátor (funkciógenerátor)

Az elektronikus feszültségmérő műszerek mellett a leggyakrabban használt elektronikus eszközök a különböző jelgenerátorok. Hullámforma generátoroknak is nevezi őket a szakirodalom, mert többféle jelet (pl. négyszög-, háromszög-, szinusz jel) képesek előállítani. A funkciógenerátor fotóját a 12. ábrán láthatjuk, ez az egyik legalapvetőbb műszer az elektronikus áramkörök beméréséhez.

A funkciógenerátor kimeneti jele alacsony impedanciával rendelkezik, a kimeneti frekvencia és amplitúdó széles tartományban folyamatosan állítható és állandó értékű az egész frekvenciatartományon belül.



12. ábra. Funkciógenerátor

4. Oszilloszkóp

Az oszcilloszkóp villamos és nem villamos jelek időbeli változásainak a vizsgálatára alkalmas berendezés. Az oszcilloszkóp fotóját a 13. ábra mutatja. Ez egy speciális feszültségmérő műszer, ezért minden mérendő és megjelenítendő mennyiséget megfelelő feszültséggé kell alakítani. Nagy a bemeneti ellenállása és mindig párhuzamosan kapcsoljuk a mérőkörbe. Az oszcilloszkóp csak földhöz (testpont) képesti feszültséget tud megjeleníteni, ezért minden mérés előtt össze kell kötni a mérőkör és az oszcilloszkóp testpontját.

Az oszcilloszkóp feladata a villamos jelek vizuális megjelenítése.



13. ábra. Oszilloszkóp

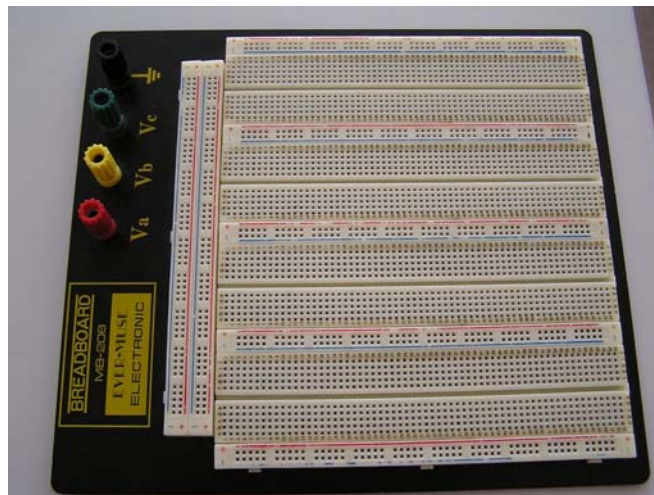
MÉRÉSHEZ HASZNÁLT EGYÉB ESZKÖZÖK

Mérőpanel

A kész áramköröket tartalmazó mérőpanelek, vagy TESZT próbapanellek, amelyekbe mi építjük össze az elektronikai áramköröket nagy segítséget nyújtanak az áramkörök mérés-technikai vizsgálatához.

BREADBOARD próbapanel

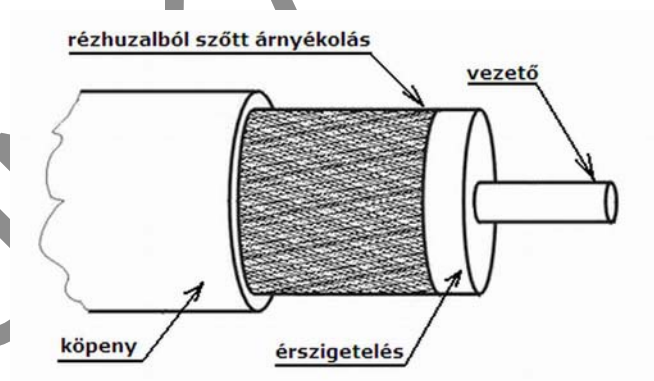
A breadboard próbapanel univerzális panel elektronikai alapáramkörök és kapcsolások összeállításához. Egy breadboard panelt láthatunk a 14. ábrán. A soros panel (+-) tápbuszt is tartalmaz. Az elektronikai alkatrészek, vezetékek csatlakoztatása dugaszolással történik, ezért nem igényel forrasztást. Az elektronikai alkatrészek többször is felhasználhatóak. Használata gyors és egyszerű. A raszter hálóban elhelyezett érintkezőkkel oldalirányban sorolható és bővíthető.



14. ábra. Breadboard panel – 3 soros

Mérőzsinór, mérővezeték

Az erősítők mérésekor villamos jelet vezetünk az erősítő bementére. A jelvezetést speciális kábel segítségével végezzük. A speciális kábel árnyékolt, azért, hogy a mérést megzavaró zavarójeleket kiküszöböljük. A zavaró jeleket okozhatják pl. nagyáramú hálózati vezetékek, légköri zavarok, mágneses erőterek stb. A zavarfeszültség igen kis értékű (1–10mV), de kis jelek mérésekor jelentős hibát okozhat. A zavarójelek csökkenthetők rövid mérővezetékek alkalmazásával, de legjobb ha árnyékolt mérővezetéket használunk. Az árnyékolt vezeték felépítését a 15. ábrán láthatjuk.



15. ábra. Árnyékolt vezeték felépítése

A BNC csatlakozóval ellátott mérővezeték (16. ábra) egy speciális csatlakozó a koaxiális kábel számára. A villamos kapcsolat biztosítása és a csatlakozók rögzítése rugó segítségével történik. Ha a jelet szállító vezeték elektromágneses erőterbe kerül feszültség indukálódik rajta. Ez a zavarfeszültség (a terhelésen mérve) a jelforrás által generált feszültségre szuperponálódik. Az ilyen zavarok kiküszöbölése céljából az aszimmetrikus jelet szállító mérővezeték (pl. generátor, oszcilloszkóp stb.) „meleg” erét egy vezető anyagból készült „árnyékolással” veszik körül, ez az árnyékolt kábel. A külső elektromágneses tér az árnyékolásban feszültséget indukál, amely olyan örvényáramokat hoz léte, melyek mágneses hatásukkal az árnyékolás belsejében semlegesítik a külső mágneses teret. Ezért az árnyékolt kábel „meleg” ere védett a külső mágneses terek által keltett zavarfeszültségekkel szemben.



16. ábra. BNC mérőkábel

Az ideális oszcilloszkóp mérőfej érzékeli és változatlanul továbbítja a mérőjelet. A minőségi mérőfejekkel a pontos átviteli- és visszaadási jellemzőknek köszönhetően kiváló mérési eredményeket lehet elérni. Kiemelkedő jellemzőjük a nagy sávszélesség, a kényelmes kezelhetőség és a célszerű tartozékkészlet. A tartozékkészlet általában a következőket tartalmazza: 2 db kapcsolható MF 312 mérőfej, hossz: 1,2 m, 2 db csíptető kampó, 2 db földvezeték, 1 db beállító szerszám, 1 db tartalék mérőhegy. Oszcilloszkóp mérőfejet láthatunk a 17. ábrán és hagyományos banándugós mérőszinórt a 18. ábrán.



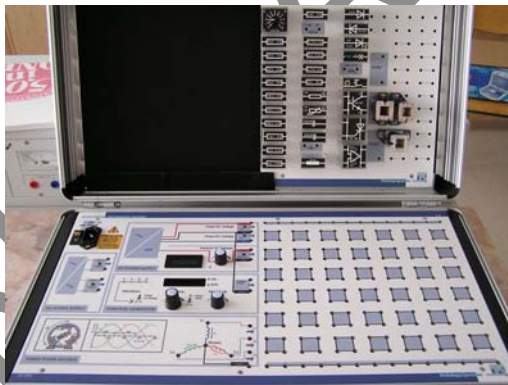
17. ábra. Oszcilloszkóp mérőfej



18. ábra. Hagyományos mérőzsinór

TrainingsSysteme AnalógTrainer oktatóbőrönd

Az elektronikai oktatóbőrönd legfőbb előnyei közé tartozik a bőrönd kialakítás, mert mindent egyben tartalmaz, pl. tápegység, aktív- és passzív elemek, stb., hordozható, tehát a tanterembe is bevihető, nincs helyhez pl. laborhoz kötve. A bőrönd tartalmazza az alapáramkörök megépítéséhez szükséges passzív és aktív elektronikai alkatrészeket. Alapkiépítésben 19. ábra megtalálható benne egy AC tápegység, egy szabályozható (0–30V) kettős DC és egy fix 5V-os DC tápegység és egy funkciógenerátor.



19. ábra. Elektronikai oktatóbőrönd

ESETFELVETÉS–MUNKAHELYZET

A 3. számú szóbeli tétel kidolgozása és a szóbeli tételhez kapcsolódó mérés technikai ismeretek átismétlése után végezze el a gyakorló mérés technikai feladatokat! Ezen feladatok alapján mutassa be a gyakorlatban, hogyan és milyen villamos mérésekkel és vizsgálati módszerekkel lehet megmérni a tranzisztoros erősítő FE alkapcsolás egyenáramú munkaponti áramait és feszültségeit, valamint a váltakozó áramú jellemzőit.

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

Az erősítő alapkapsolások mérés technikai vizsgálata előtt a működés megértése miatt az alábbi folyamatok szerint javasolt haladni: tanulmányozni kell a kapcsolási rajzt. A működés megértése után meg kell határozni, hogy milyen méréseket fogunk elvégezni és milyen módszerekkel. Ezután ki kell választani a villamos mérés elvégzéséhez szükséges elektronikai alkatrészeket, mérőpanelokat, mérőműszereket és mérővezetéseket. A mérési adatokat és számítási eredményeket jegyzőkönyvben kell rögzíteni. Állítsa össze a kapcsolási rajzoknak és mérési vázlatoknak megfelelően a következő mérési feladatokat és végezze el a mérési utasításokban leírtakat!

1. feladat

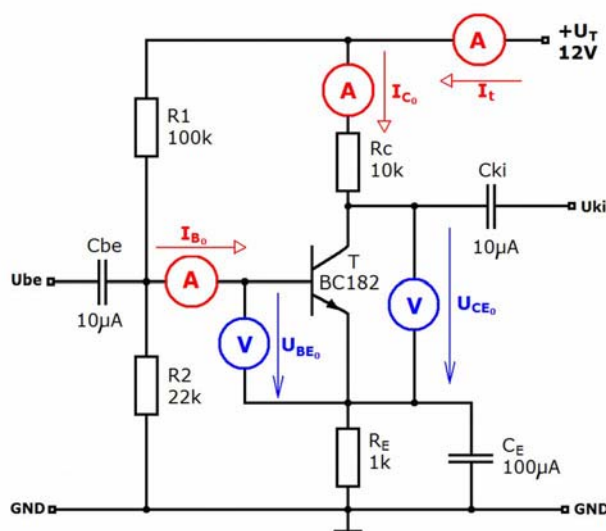
Munkaponti feszültségek és áramok mérése FE erősítő alapkapsolásban

Mérési feladatok

1. Állítsa össze próba panelon az 21. ábrán látható FE erősítő alapkapsolást!
2. A mérési összeállításhoz ajánlott alkatrészek értékeit a 21. ábrán látható kapcsolási rajz tartalmazza. Állítsa be és műszerrel ellenőrizze az előírt tápfeszültség értékét (+12V)! Csatlakoztassa a mérőkapcsolást a DC tápegységre árammérő műszeren keresztül! Mérje meg a kivezélés nélküli tápáram felvételt!
3. Mérje meg a tranzisztoros erősítő egyenáramú munkaponti Bázis-Emitter (U_{BEo}) és a Kollektor-Emitter (U_{CEo}) feszültségeket!
4. Mérje árammérő műszerrel a Bázis (I_{Bo}) és a Kollektor (I_{Co}) nyugalmi munkaponti áramát!
5. A mérési eredményeket rögzítse az 20. ábrán látható táblázatba!

Mérendő mennyiség	U_t	U_{BEo}	U_{CEo}	I_t	I_{Bo}	I_{Co}
Mértékegység	(V)	(V)	(V)	(mA)	(μ A)	(mA)
Mérési eredmény						

20. ábra. Mérési eredmények táblázata



21. ábra. FE erősítő alapkapsolás munkaponti áramok és feszültségek mérése

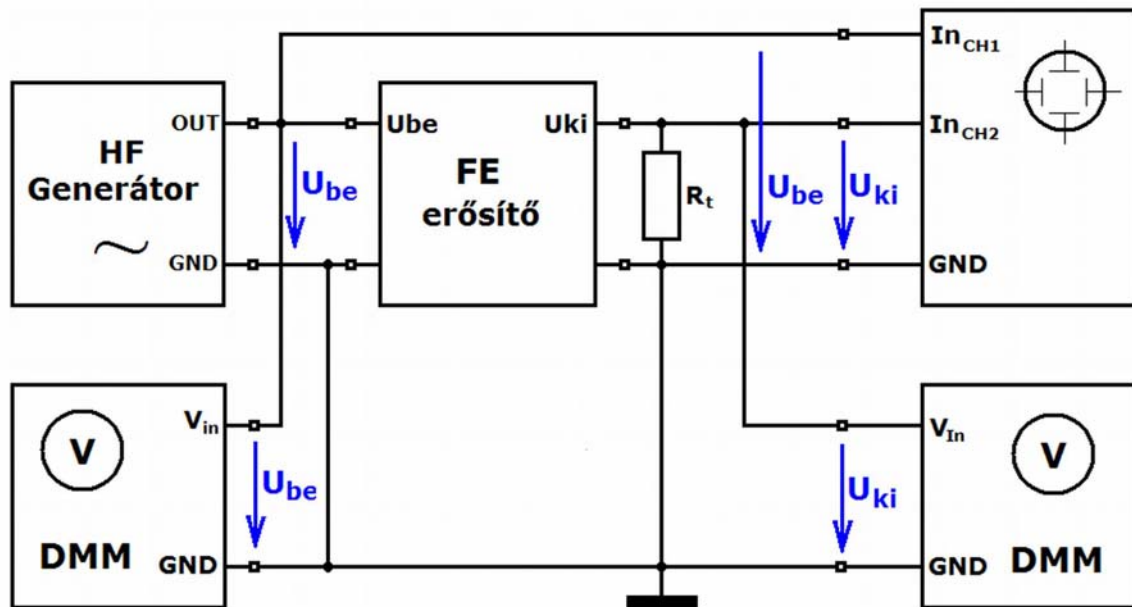
2. feladat

Kivezérelhetőség mérése FE erősítő alapkapsolásban

Mérési feladatok

1. Az erősítő egyenáramú munkaponti feszültségeinek és áramainak az ellenőrzése után az 22. ábra alapján végezze el a kivezérelhetőség mérést! Az erősítő helyes működése szempontjából elsőrendű feladat az egyenáramú táplálás beállítása. Kapcsoljon +12 V DC feszültséget a mérőpanelre és digitális feszültségmérővel ellenőrizze a tápfeszültség helyes értékét!

2. A 22. ábrán látható blokkvázlat alapján mérje meg az erősítő kivezérelhetőségét! A kivezérelhetőség az a legnagyobb jelfeszültség, amit az erősítő bemenetére kapcsolva, a kimeneti jel még nem vágott alakjához tartozó csúcstól-csúcsig feszültség. A mérést oszcilloszkóppal végezze! A HF generátoron beállított 1 kHz frekvenciájú szinuszos jelet addig növelje nulláról indulva, amíg az oszcilloszkópon a jel el nem kezd torzulni. Olvassa le a bemenetre kapcsolt digitális multiméterről, vagy az oszcilloszkópról a bemeneti jel maximális értékét! A maximális bementi jel értéke a kivezérelhetőség!



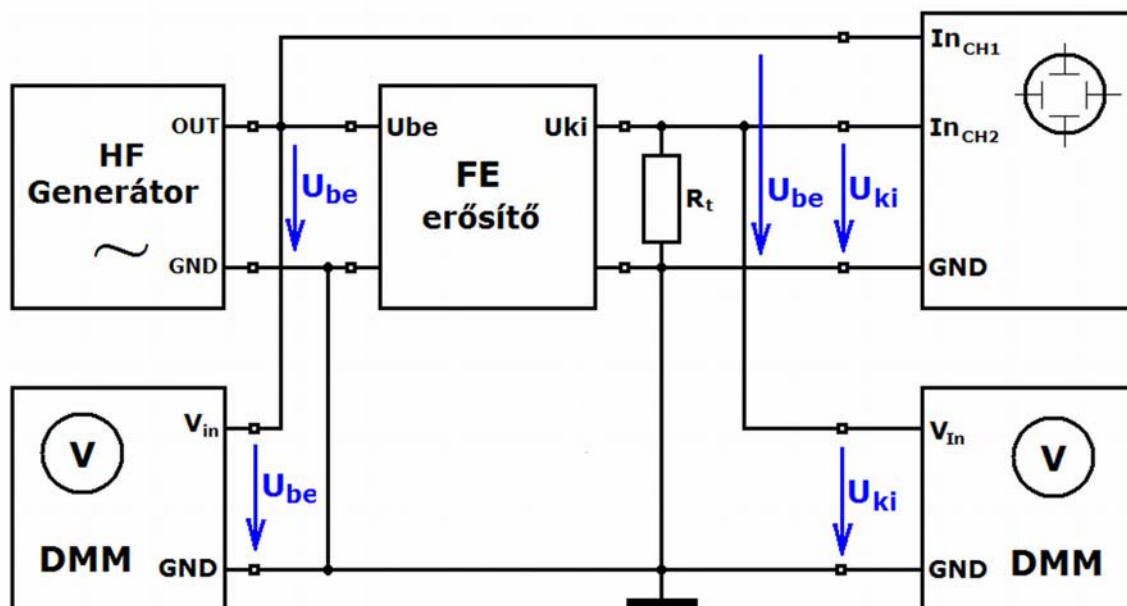
22. ábra. FE erősítő kivezérelhetőség mérése

3. feladat

Erősítés mérése FE erősítő alapkapsolásban

Mérési feladatok

1. Az erősítő egyenáramú munkaponti feszültségeinek és áramainak az ellenőrzése után az 23. ábra alapján végezze el az erősítés mérést! Az erősítő helyes működése szempontjából elsőrendű feladat az egyenáramú táplálás beállítása. Kapcsoljon +12 V DC feszültséget a mérőpanelre és digitális feszültségmérővel ellenőrizze a tápfeszültség helyes értékét!
2. Ellenőrizze oszcilloszkóppal az erősítő fázisfordítását! Kösse az oszcilloszkóp CH1-es csatornájára a bemeneti, a CH2-es csatornára a kimeneti jelet! A FE erősítő alapkapsolás 180° -os fázistolást hoz létre.
3. Méréssel határozza meg az FE erősítő feszültség erősítését! Az erősítés mérést a 23. ábra alapján, közepes frekvencián, 1 kHz végezze el! A mérést úgyhajtja végre, hogy a kimeneti jel a maximális kivezérelhetőség értékének $2/3$ rész tartományába essen! Oszcilloszkópon figyelje meg a kimeneti jel alakját! A bementre és a kimenetre kapcsolt digitális feszültségmérő műszerről olvassa le a bementi és a kimeneti jel értékét. Az erősítést a kimeneti és a bementi jel hányadosa adja meg. Számítsa ki az erősítést dB-ben is! A feszültségerősítés értékét dB-ben az alábbiak szerint kell meghatározni: $A_u(\text{dB}) = 20 \log A_u$



23. ábra. FE erősítő erősítés mérése

4. feladat

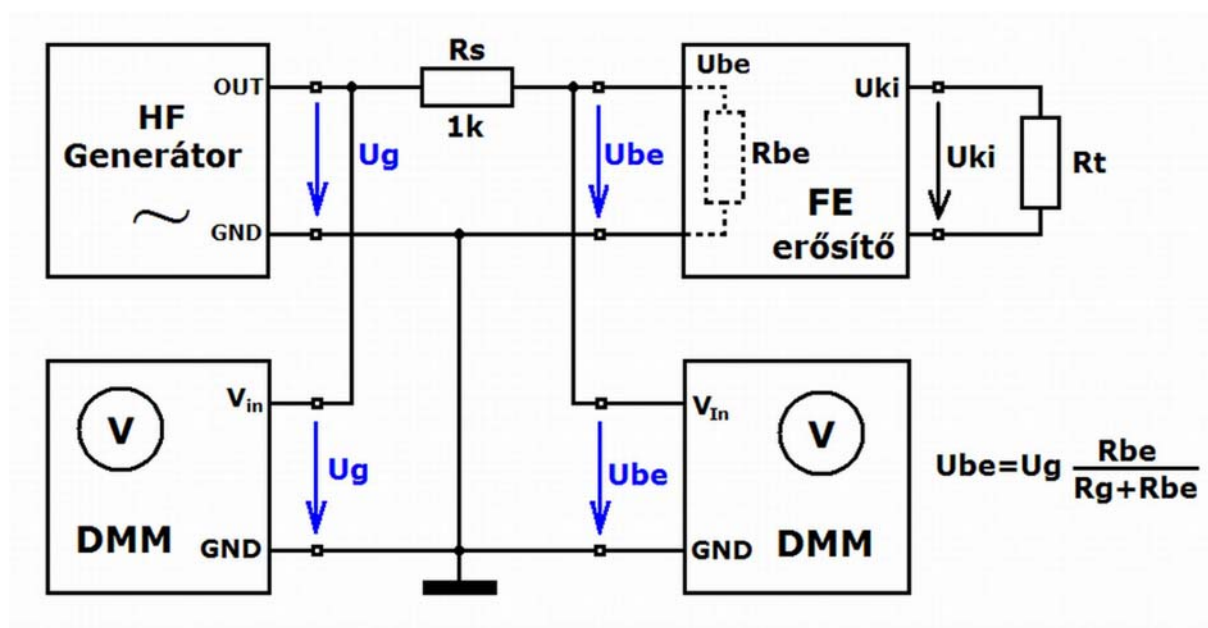
Bementi ellenállás mérése FE erősítő alapkapsolásban

Mérési feladatok

1. Az erősítők bementi ellenállásának mérési módszere az, hogy a meghajtó fokozat és az erősítő bemenete közé sorosan beiktatunk egy ismert értékű (R_s) mérőellenállást. Állítsa össze a 24. ábrán látható mérési elrendezési vázlat alapján a mérést! Iktassa be a jelgenerátor és az erősítő bemenete közé a rajzon megadott $1\text{ k}\Omega$ -os értékű mérőellenállást!

2. A bementi ellenállás mérésakor a soros ellenálláson keresztül hajtja meg az erősítőt! A bemeneti ellenállás mérést úgy végezze el, hogy a kimeneti jel a maximális kivezérelhetőség értékének $2/3$ rész tartományába essen! Az erősítés beállítása után mérje meg az U_g és az U_{be} feszültségeket! A jelgenerátor és az erősítő közé sorosan beiktatott mérőellenállás (R_s) és az erősítő bemeneti ellenállása (R_{be}) feszültségosztót alkot. A generátor kimenetén mért feszültségből (U_g) és az erősítőre jutó leosztott feszültségből (U_{be}) a bemeneti ellenállás (R_{be}) meghatározható.

3. Számítsa ki az erősítő bementi ellenállásának (R_{be}) értékét a mérési eredményekből!



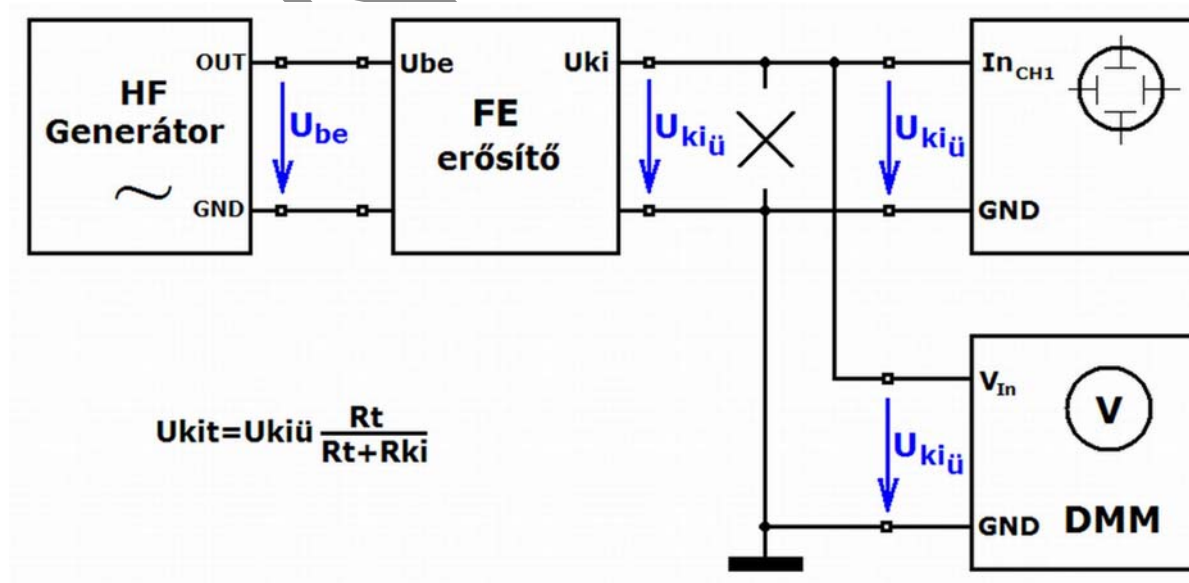
24. ábra. Bemeneti ellenállás mérés

5. feladat

Kimeneti ellenállás mérése FE erősítő alapkioscsolásban

Mérési feladatok

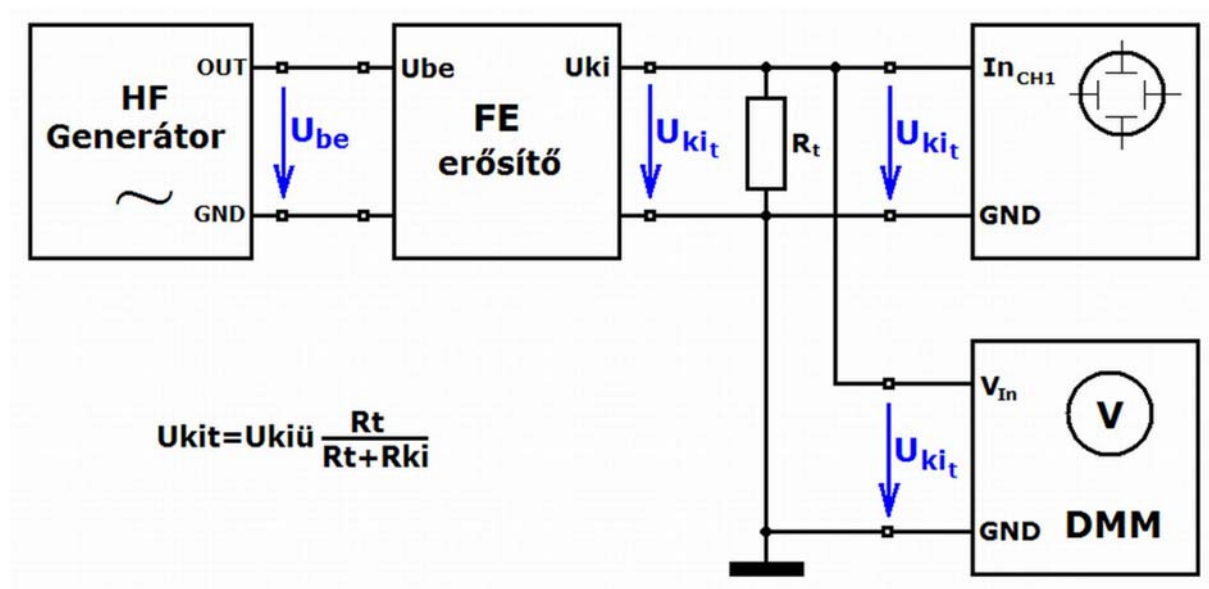
1. Az erősítő kimenete a bemeneti jel által vezérelt generátorral és egy ellenállással helyettesíthető. Az erősítő kimeneti ellenállása az az ellenállás, amelyre a terhelést kötjük. Az erősítő kimenete generátornak tekinthető. Első lépésben állítsa össze a 25. ábrán látható mérési összeállítást és mérje meg terhelés nélkül a kimeneti üresjárású feszültséget!



25. ábra. Kimeneti ellenállás mérése üresjárásban

2. A kimeneti ellenállás meghatározásához változtassa meg a mérési összeállítást a 26. ábra alapján! Az erősítő kimenetére kapcsoljon egy 4,7k Ω -os terhelő ellenállást! A bemeneti feszültség megváltoztatása nélkül először mérje meg a kimeneti üresjárási feszültséget ($U_{ki\ddot{u}}$). Ebben az összeállításban mérje meg a terhelő ellenállással a kimeneti feszültség értékét (U_{kit})! Az erősítő kimeneti ellenállása (R_{ki}) a feszültségosztásból kiszámítható.

3. Számítsa ki az erősítő kimeneti ellenállásának (R_{ki}) értékét a mérési eredményekből!



26. ábra. Kimeneti ellenállás mérése terheléskor

6. feladat

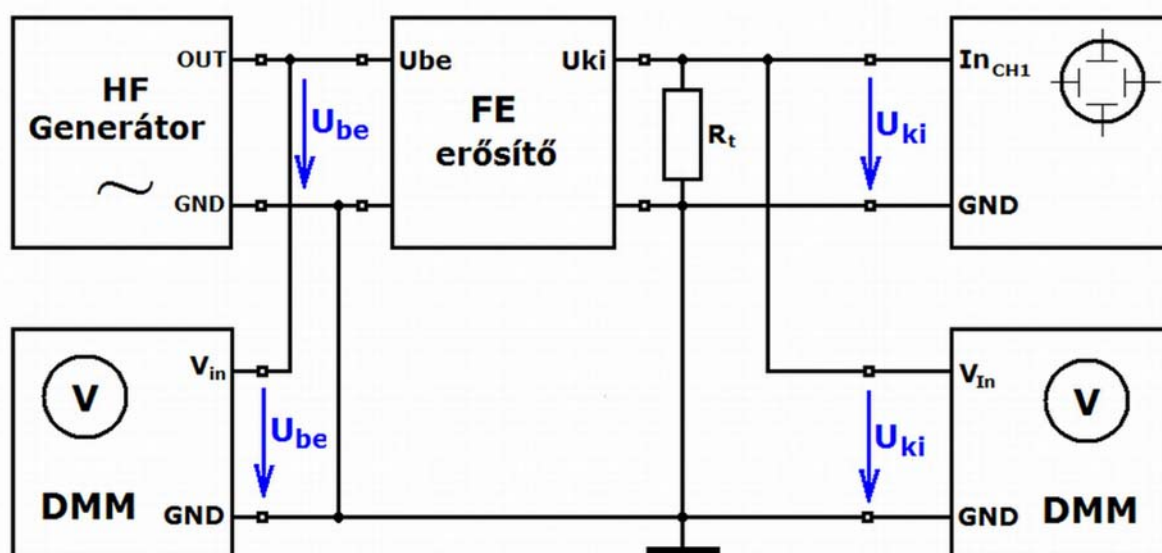
Frekvenciamenet mérése FE erősítő alkapcsolásban

Mérési feladatok

1. Az erősítők frekvenciafüggését az amplitúdó és a fáziskarakterisztika adja meg. Állítsa össze a mérési kapcsolást a megadott blokkvázlat alapján, majd hajtsa végre az adott mérési feladatot!

2. Mérje meg az erősítő határfrekvenciáit! Az 1kHz sávközépi frekvencián beállított erősítés értékét tartsa állandó értéken. A HF generátoron csökkentse a bemeneti jel frekvenciáját addig, amíg a kimeneti jel az eredeti érték 0,7 szerezére nem csökken! Ezen a frekvencián az erősítés -3dB értékkel csökken. Ez lesz az erősítő alsó határfrekvenciája. A felső határfrekvenciát hasonló módszerrel, 1kHz-ről kezdve a frekvencia növelésével állapítsa meg!

3. Számítsa ki az erősítő sávszélességét a mérési eredmények alapján! A sávszélesség a felső- és az alsó határfrekvencia különbsége.



27. ábra. Fázismenet mérése

4. Vegye fel méréssel az erősítő teljes átviteli karakterisztikáját! A mérési feladatot meghatározott frekvenciákon /20, 50, 100, 200, 500, 1k, 2k, 5k, 10k, 15k és 20 kHz/ végezze el! Minden megadott frekvencián számítsa ki dB-ben az erősítést! Rajzolja meg az erősítő átviteli jelleggörbét a frekvencia függvényében! Az átviteli jelleggörbe ábrázolásánál a frekvencia átfogás miatt logaritmikus osztású frekvenciatengelyt alkalmazzon! A 28. ábrán látható táblázatba rögzítse a mérési és a számítási eredményeket!

f [Hz]	20	50	100	200	500	1k	2k	5k	10k	15k	20k
U _{ki} [V]											
U _{be} [V]											
A _u											
A _u [dB]											

28. ábra. Táblázat az erősítő frekvenciamenetéhez

7. feladat

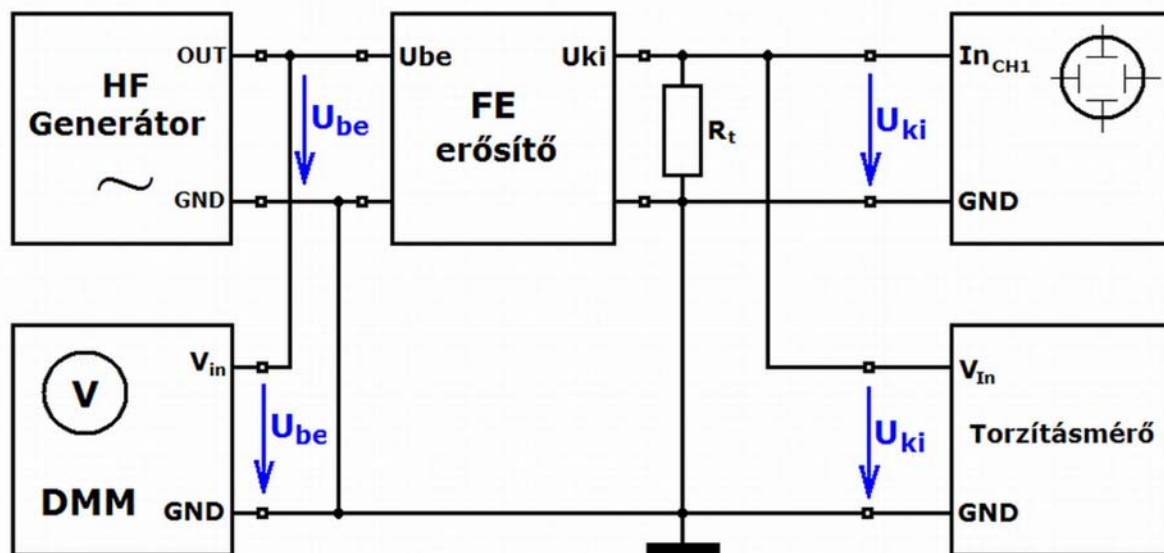
Torzítás mérése FE erősítő alkapcsolásban

Mérési feladat

1. Egy erősítő nemlineáris átvitele abban nyilvánul meg, hogy az erősítő kimenetén megjelenő jel spektrumában olyan összetevők is megjelennek, amelyek az erősítő bemenetére adott jelben nem szerepeltek. Állítsa össze a 29. ábrán látható mérési elrendezési vázlat alapján a torzítás mérést!

2. Torzítás mérő műszerrel végezve el a mérési feladatot, első lépésben egy előre meghatározott (1kHz) frekvenciájú és amplitúdójú szinuszos jelet tápláljon a mérendő erősítő bemenetére és a mérendő erősítő kimenetén megjelenő jelet a mérőkészülék vevőegységével mérje meg! A következő lépésben szelektíven mérje meg a jelet! Ekkor a szűrő az alapharmónikus jel kivételével átengedi a vizsgált jelet és a műszer kitérése a felharmónikusok értékével lesz arányos. A torzítási tényezővel definiált kivezérelhetőség az a maximális kimeneti feszültség, amelynél U_{ki} egy előre megadott torzítási tényező értékkel (pl. 2%) egyenlő.

3. Oszilloszkóppal is határozza meg 1 kHz-es frekvenciájú jel esetén a torzítást! Itt csak becsülje meg az oszcilloszkópon látható szinuszos jel torzítását! A torzítást a kimeneti jelben, akkor figyelje meg, amikor elkezdi túlvezérelni az erősítőt! Ekkor a kimeneti szinuszos jel aszimmetrikussá válik, azaz a pozitív és a negatív félperiódus eltérően változik, torzul.



29. ábra. Torzítás mérés

8. feladat

Jel-zaj viszony mérése FE erősítő alapkapcsolásban

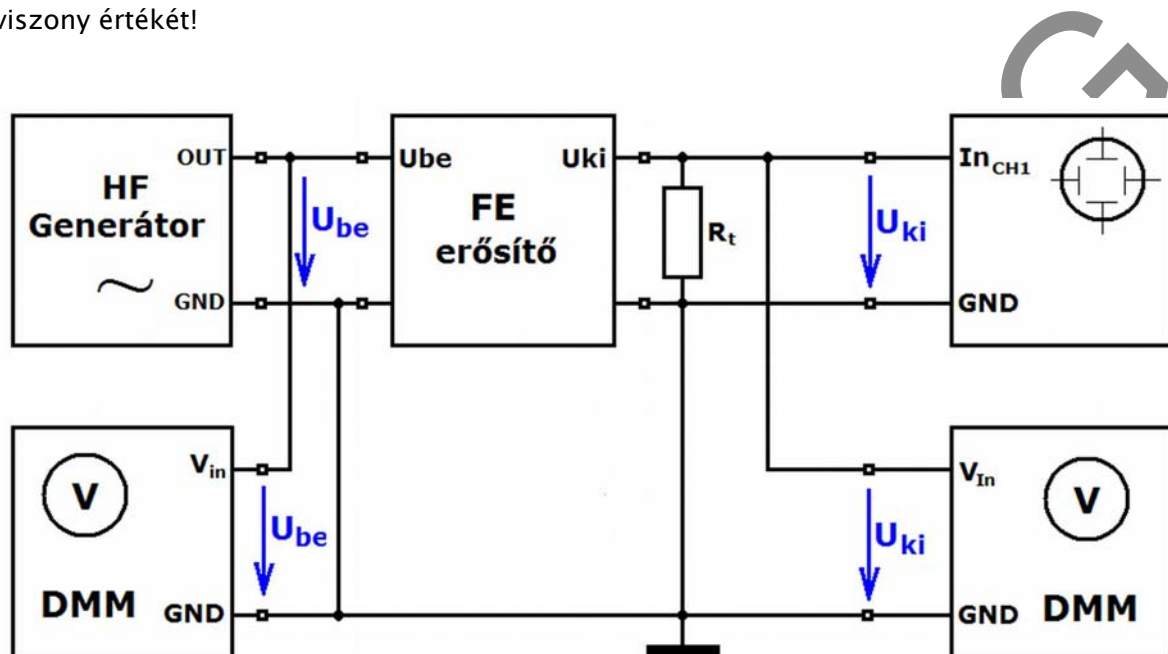
Mérési feladatok

1. Az erősítő jel-zaj viszony mérését a 30. ábra alapján végezze el! Állítsa össze a mérési kapcsolást! A jel-zaj viszony mérésénél egy referenciajelet kell kijelölni, amely a mérések alapjául szolgál. Válassza referenciajelnek az 1 kHz-es szabványos szinusz jelet!

2. Adjon az erősítő U_{be} bemenetére a HF generátorból 1 kHz frekvenciájú szinuszos jelet és a teljes kivezérlés határig növelje a bemenő jelet! Az oszcilloszkópon figyelje meg a kimenőjel esetén a kivezérlés felső határát! A digitális multiméterről olvassa le és jegyezze le a kimeneti jel értékét!

3. A HF generátor jelét csökkentse nullára és mérje meg a kimeneti jel, azaz a zaj értékét! A digitális multiméterről olvassa le és jegyezze le a kimeneti jel (zaj) értékét!

4. Számítsa ki a két jel hányadosaként a jel-zaj viszonyt! Számítsa ki dB-ben is a jel/zaj viszony értékét!



30. ábra. Jel/zajviszony mérés

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1. feladat

Rajzolja le a bázisosztós munkapont beállítású FE erősítőt! A kapcsolási rajzba jelölje be a munkaponti áramokat és feszültségeket!

2. feladat

Határozza meg számítással az 31. ábrán látható mérési kapcsolás mérőműszereinek az értékei alapján az FE erősítő bementi ellenállását! A soros ellenállás $R_s=1\text{ k}\Omega$ -os. Olvassa le és írja fel pontosan a műszereken látható mérési eredményeket. Számítsa ki a bemeneti ellenállás értékét!



31. ábra. Bementi ellenállásmérés eredményei soros ellenállással

$U_g =$

$U_{be} =$

$R_{be} =$

3. feladat

Az 32. és az 33. ábrán látható mérőműszerek értékei alapján számítsa ki az FE erősítő kimeneti ellenállását! A terhelő ellenállás $R_t=4,7k\Omega$ -os. Olvassa le és írja fel pontosan a műszereken látható mérési eredményeket és számítsa ki a bemeneti ellenállás értékét!



32. ábra. Kimeneti ellenállás mérés üresjárásban



33. ábra. Kimeneti ellenállás mérés terheléssel

$$U_{ki} =$$

$$U_{ki} =$$

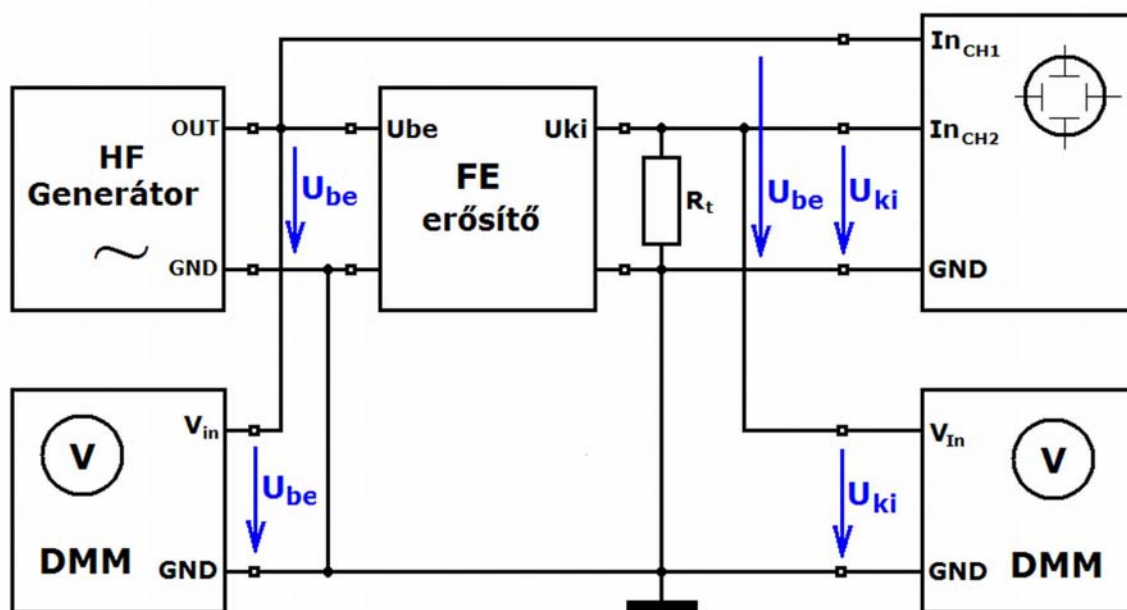
$$R_{ki} =$$

4. feladat

Sorolja fel az erősítők váltakozó áramköri jellemzői közül a legfontosabbakat!

5. feladat

A 34. ábrán látható mérési blokkvázlat alapján ismertesse röviden az erősítés mérésének és kiszámítását a menetét!



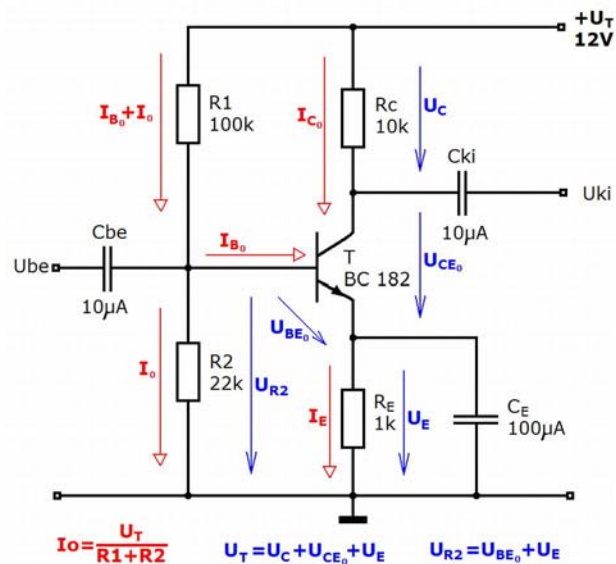
34. ábra. Erősítés mérése

Mérés menete: _____

MUNKANYAG

MEGOLDÁSOK

1. feladat



35. ábra. FE erősítő rajza a munkaponti áramokkal és feszültségekkel

2. feladat

Mérési adatok: $U_g=323\text{mV}$

$$U_{be} = 256 \text{ mV}$$

Számított érték: $R_{be} = 3,8k\Omega$

3. feladat

Mérési adatok: $U_{kiü}=2,84V$

$$U_{\text{kit}} = 2,08 \text{ V}$$

Számított érték: $R_{ki} = 1,7K\Omega$

4. feladat

Az erősítők váltakozó áramkörüi jellemzői:

- Kivezérelhetőség,
- Erősítés,

- Bemeneti ellenállás,
- Kimeneti ellenállás,
- Frekvenciamenet,
- Torzítás,
- Jel-zaj viszony.

5. feladat

1. Az erősítő mérőkapcsolásra rákapcsolom a +12V DC tápfeszültséget és leellenőrzöm az erősítő egyenáramú munkaponti feszültségeit és áramait.
2. Az oszcilloszkóp CH1-es csatornájára a bemeneti, a CH2-es csatornára a kimeneti jelet kötöm! A bemeneti jelet és a kimeneti jelet digitális multiméterrel is megmértem, ezért bekötöm mind a két digitális multimétert.
3. Az erősítő mérését közepes frekvencián 1 kHz kell elvégezni, ezért beállítom a funkciógenerátor hullámformáját szinuszosra és beállítom a frekvenciát 1kHz-re.
4. A generátor kimeneti jelét (amplitúdóját) lassan elkezdem növelni és közben figyelem az oszcilloszkópon a kimeneti jel formáját. Abban a pillanatban, amikor elkezd torzulni a kimeneti jel, visszaveszem a generátor jelét. Az erősítő erősítése akkor megfelelő, amikor a kimeneti jel a maximális kivezérelhetőség értékének 2/3 rész tartományába esik.
5. Méréskor ellenőrzöm oszcilloszkóppal az erősítő fázisfordítását, mert a FE erősítő 180°-os fázistolást hoz létre.
6. Az erősítő bemenetére és a kimenetére kapcsolt digitális feszültségmérő műszerről leolvasom a bemeneti és a kimeneti feszültség effektív értékét. Az erősítést a kimeneti és a bemeneti jel hányadosaként kiszámítom. A feszültségerősítés értékét dB-ben is meghatározom az alábbiak szerint: $A_u(\text{dB}) = 20 \log A_u$

IRODALOM JEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM

Tordai György: Elektronikus mérések. TANKÖNYVMESTER Kiadó, 2002

A tartalomelemben illusztrációként felhasznált fotók a szerző saját készítésű képei

A tartalomelemben illusztrációként felhasznált ábrák a szerző saját készítésű ábrái

AJÁNLOTT IRODALOM

Kovács Csongor: Elektronikus áramkörök. General Press Kiadó, 2004

Gergely István: Elektronikus műszerek. Műszaki Könyvkiadó, 1999

Major László: Villamos mérés technika. KIT Képzőművészeti Kiadó és Nyomda, 1999

A(z) 0917-06 modul 023-as szakmai tankönyvi tartalomeleme
felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

A szakképesítés OKJ azonosító száma:	A szakképesítés megnevezése
54 523 01 0000 00 00	Elektronikai technikus

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:
15 óra

MUNKANYAG

MUNKANYAG

A kiadvány az Új Magyarország Fejlesztési Terv
TÁMOP 2.2.1 08/1–2008–0002 „A képzés minőségének és tartalmának
fejlesztése” keretében készült.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.

Telefon: (1) 210–1065, Fax: (1) 210–1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató