

MŰVELETI ERŐSÍTŐS KAPCSOLÁSOK MÉRÉSE (DR. Kovács Ernő jegyzete alapján)

A **mérések célja:** megismerni a leggyakoribb alap- és alkalmazott műveleti erősítő kapcsolások jellemző tulajdonságait.

A **mérések elméleti háttérét** az előadások anyaga és a kiadott on line előadás jegyzet (Elektronika III.) tartalmazza. A mérési ismertető csak az elvégzendő mérési feladatok leírására korlátozódik. A mérések egy része két **feladatcsoportot tartalmaz (A és B)**. A B csoport részletesebb szakmai ismereteket tételez fel. A mérésvezető határozza meg, hogy a feladatok közül mely csoportot kell végrehajtani.

Mérő panel: a mérési feladatokat az előre elkészített mérő paneleken kell elvégezni, amelynek vázlatos előlapi képe a mérési leírásban megtalálható. A mérendő kapcsolásokat önállóan kell összeállítani a mérőpanel tápfeszültségének kikapcsolása után (szerviz-panelen található két kapcsoló kikapcsolásával). *Mérést bekapcsolni csak az összeállított mérési kapcsolat gondos ellenőrzése után szabad.* A tápellátáshoz szükséges $\pm 15\text{V}$ -os (és alkalmanként $\pm 5\text{V}$ -os) tápfeszültséget a mérődobozon kívüli forrásból, általában a laborasztalba beépített tápegységekből nyerjük.

A **szerviz panelen** (mérődoboz jobb szélső sáv) található:

- 2 db kis áram-terhelhetőségű (max. 15 mA-es) $-5 \dots +5 \text{ V}$ tartományban fokozatmentesen állítható belső stabilizált tápegység, amely a mérések során egyenfeszültség-forrásként szolgál. A kimeneti feszültség föld vezetéke a műveleti erősítő panel föld vezetékéhez belülről be van kötve, így azt kívülről csatlakoztatni nem kell.
- 2 db banándugó-BNC csatlakozó átalakító (az oszcilloszkóphoz és a jelgenerátorhoz történő egyszerűbb csatlakoztatás érdekében), ahol a BNC csatlakozók háza földpotenciálra van belül bekötve.
- 2 db, mindhárom pontján kivezetett potenciométer ($10 \text{ k}\Omega$), amelyet változtatható ellenállásként alkalmazhatunk.

A **mérések során rendelkezésre álló műszerek (V. labor mérőhelyei):**

- 1 db kétsugaras oszcilloszkóp
- 1 db funkciógenerátor (jelalak generátor)
- 1 db asztali digitális multiméter
- 1 db kézi digitális multiméter

A **mérésekről jegyzőkönyvet kell készíteni, amelynek tartalmaznia kell:**

- A mérés helyét és idejét,
- A mérést végzők nevét, tankörszámát
- A mérésben felhasznált mérőeszközök azonosítóit (típus, gyári szám)
- A mérési pontok rövid leírását és a mérés során kapott eredményeket
- A kapott eredmények kiértékelését, összevetését az elméleti eredményekkel, az esetleges eltérések részletes magyarázatát

1. A JELLEMZŐ PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZEREI

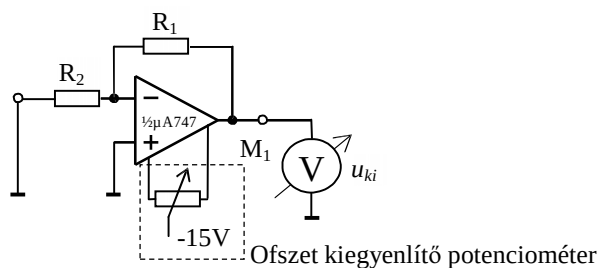
A **fejezet célja** összefoglalni azokat az ismereteket, amelyek minden elektronikus kapcsolás mérésekor közhözök. A mérések leírása konkrét kapcsolásoktól elvonatkoztatott és követi azt a rajzadási konvenciót, hogy a mérési kapcsolások bemenete a baloldalon, kimenete a jobboldalon található.

1.1 Ofszet kiegyenlítés

A műveleti erősítők **offset kiegyenlítésére** minden olyan mérés előtt szükség lehet, amelyek során a műveleti erősítő *lineáris üzemben* dolgozik.

Az offset kiegyenlítéshez kössük a *kapcsolás* bemeneteit a tápfeszültség földpontjára és a mérőpanelen rendelkezésre álló offset kiegyenlítő potenciométerrel a kimeneti feszültséget állítsuk nullára. Az offset kiegyenlítés után a bemeneti kapcsokat a megfelelő műszerekhez kell csatlakoztatni.

Pl. erősítő alapkapsolás esetén



Jelölés:

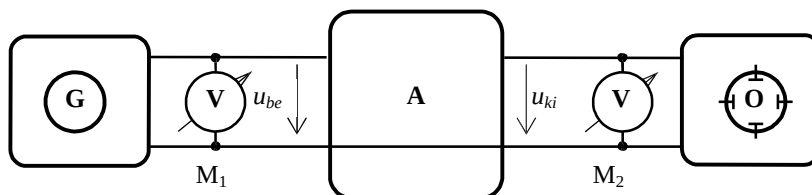
M_1 digitális voltmérő

Megjegyzés: az offset állító potenciométer mindhárom kivezetése belül bekötésre került, azt kívülről csatlakoztatni nem kell!

1.2 Kivezérelhetőség mérése

A **kivezérelhetőség mérése** célja meghatározni azt a ki- és bemeneti jeltartományt, ahol a kapcsolások még lineárisan működnek. A *lineáris üzemmód* paramétereinek (R_{be} , R_{ki} , A_u , $A(f)$, stb.) mérése csak az így meghatározott jeltartományon belül megengedett.

1.2.1 Kivezérelhetőség mérése váltakozó áramú jellel



Jelölések:

G	függvénygenerátor
M_x	voltmérők
A	mérendő áramkör
O	oszilloszkóp

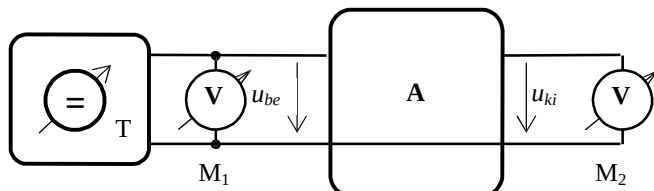
A mérés leírása

Az áramkör frekvencia-független átvitelének tartományában a közepes frekvencián végezzük a mérést (a mérési leírásokban megadott frekvencián).

1. Addig növeljük a bemeneti jelet, amíg a kimenetre csatlakoztatott oszcilloszkópon a jel érzékelhetően torzulni nem kezd (akár nemlinearitás, akár vágás miatt).
2. Megmérjük a bemeneti (U_{bemax}) és a kimeneti (U_{kimax}) jelet. A mérések során csak a $-U_{kimax} < u_{ki} < +U_{kimax}$ tartományban mérhetünk.

Megjegyzés: A maximális kimeneti feszültség nagysága kis mértékben változhat a terhelés a tápfeszültség és a hőmérséklet függvényében, de laboratóriumi körülmények között állandónak tekinthető. A megengedett maximális bemeneti feszültség azonban kapcsolásonként eltérő lehet! Különösen ügyelni kell a kivezérelhetőségre, ha az áramkör erősítése a frekvenciával változik, mert így változatlan bemeneti feszültség esetén is túlvezérlődhet az áramkör!

1.2.2 Kivezérelhetőség mérése egyenáramú jellel



Jelölések:

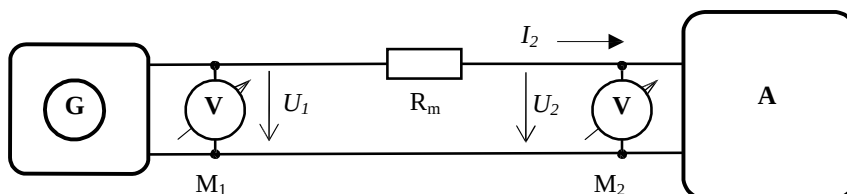
T	változtatható kimeneti feszültségű tápegység
A	mérendő áramkör
M_x	voltmérők

A mérés leírása

1. A bemeneti egyenfeszültséget (mindkét irányban) addig növeljük, amíg a kimenet már nem tudja követni a bemeneti feszültség változását.
2. Megmérjük a bemeneti ($\pm U_{bemax}$) és a kimeneti ($\pm U_{kimax}$) jelet. A mérések során a $-U_{kimax} < u_{ki} < +U_{kimax}$ tartományban mérhetünk csak.

Megjegyzés: kivezérelhetőség mérése egyenfeszültséggel csak DC és/vagy DC+AC erősítők esetén lehetséges. A kivezérelhetőség a frekvencia függvényében eltérhet az egyenáramon mért kivezérelhetőségtől!

1.3. Bemeneti ellenállás meghatározása méréssel



Jelölések:

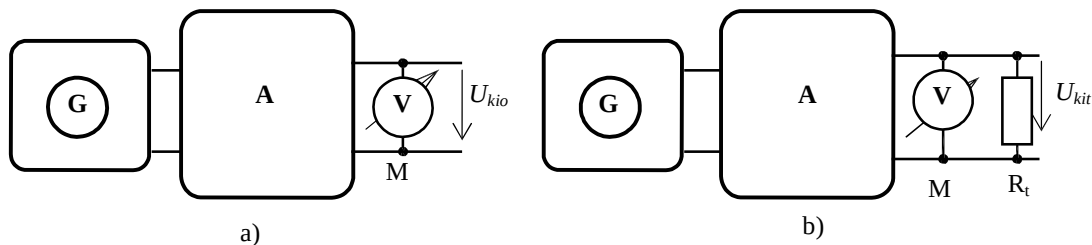
G	függvénygenerátor
M_x	voltmérők
A	a mérendő áramkör
R_m	ismert nagyságú ellenállás (a mérési leírásban adott)

A mérés leírása

1. Bemenetre feszültséget kapcsolunk és mérjük az U_1 és az U_2 feszültségeket. *Ügyeljünk arra, hogy a kimeneti jel a maximális kivezérelhetőség értékének 1/3..2/3 tartományában legyen !*
2. A bemeneti ellenállás meghatározása számítással (tisztán hatásos bemeneti ellenállású áramkör esetén):

$$R_{be} = \frac{u_2}{i_2} = \frac{u_2}{u_1 - u_2} R_m$$

1.4 Kimeneti ellenállás meghatározása méréssel



Jelölések:

G	függvénygenerátor
A	a mérendő áramkör
M	voltmérő
R_t	ismert nagyságú terhelő-ellenállás (a mérésleírásban adott)

Mérés leírása

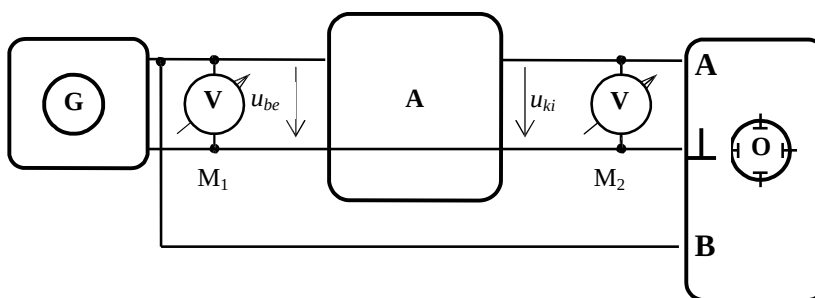
1. A bemeneti feszültség változtatása nélkül mérjük meg terhelés nélkül (**a** kapcsolás) és terhelés esetén is (**b** kapcsolás) a kimeneti feszültségeket. *Ügyeljünk arra, hogy a kimeneti jel a maximális kivezérelhetőség értékének 1/3..2/3 tartományában legyen terheletlen esetben is!*

2. A kimeneti ellenállás számítása (hatásos kimeneti ellenállás esetén):

$$R_{ki} = R_t \left\{ \frac{u_{ki0}}{u_{kit}} - 1 \right\}$$

1.5 Erősítés mérése

A mérés célja: az áramkör frekvencia-független átvitelének tartományában a közepes frekvencián meghatározni a kapcsolás erősítését.



Jelölések:

G	függvénygenerátor
A	a mérendő áramkör
M _x	voltmérők
O	oszcilloszkóp

Mérés leírása

Az áramkör frekvencia-független átvitelének tartományában a közepes frekvencián végezzük a mérést (ált. a mérésleírásban a konkrét frekvencia adott).

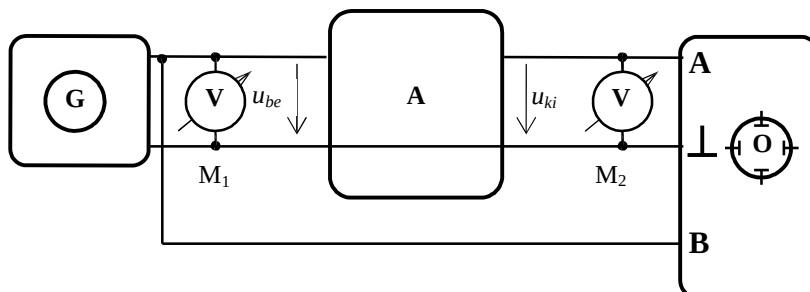
1. Mérjük meg egyidejűleg a kimeneti és a bemeneti jeleket. A kimeneti jelnek a maximális kivezérelhetőség értékének 1/3..2/3 rész tartományában kell lennie.
2. Az erősítés számolása

$$a) A_u = 20 \cdot \lg \left\{ \frac{u_{ki}}{u_{be}} \right\} \text{ [dB] (logaritmikus egységben)}$$

$$b) A_u = \pm \left\{ \frac{u_{ki}}{u_{be}} \right\} \text{ (abszolút értékben) Az előjelet a ki- és a bemenet közötti fázishelyzet alapján tudjuk meghatározni (pl. oszcilloszkóppal)!}$$

1.6 Amplitúdó-átviteli karakterisztika mérése

A mérés célja: meghatározni az áramkör viselkedését a *lineáris működés* szempontjából meghatározó frekvencia-tartományban.



Jelölések:

- G függvénygenerátor
- A a mérendő áramkör
- M_x voltmérők
- O oszcilloszkóp

Mérés leírása

A bemenetre kapcsolt jelgenerátor frekvenciáját változtatva több frekvencián (ált. 1, 2, $5 \cdot 10^n$ Hz, $n=1..4$) egyidejűleg megmérjük a kimeneti és a bemeneti feszültségeket. A mérés során a bemeneti feszültség nagyságát nem változtatjuk.

Figyelem! A bemenetre csak akkora feszültséget szabad kapcsolni, hogy a mérés során a teljes frekvencia-tartományban az áramkör ne vezérlődjön túl.

Az amplitúdó -karakterisztika számolása és ábrázolása

$$A(f) = 20 \cdot \lg \left| \frac{u_{ki}}{u_{be}} \right| \quad [\text{dB}]$$

Példa a táblázatos leírásra

f [kHz]	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	10	20	50	100
u_{ki} [V]													
u_{be} [V]													
$A_u(f)$ [dB]													

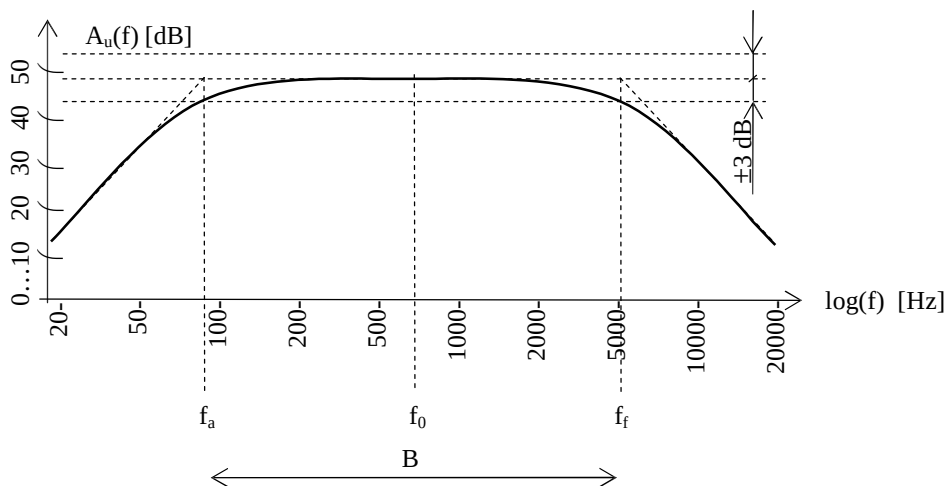
Megjegyzés: célszerűen a fenti frekvenciákon végezzük a mérést, mert így az ábrázolás egyszerűsödik. Az adott frekvenciák a logaritmikus skálán közel lineárisan helyezkednek el (a közöttük levő dekadikus távolság közel azonos).

A mérések során meghatározzuk az alsó- (f_a) és a felső (f_f) határfrekvenciákat is. A közel frekvencia-független erősítési tartomány közepén értelmezett közepes frekvencián (f_0) mért értékhez képest vizsgáljuk, hogy a jel mely frekvenciákon lép ki a ± 3 dB-s sávból. A

sávszélesség (**B**) az alsó és a felső határfrekvenciák segítségével számolással határozható meg.

$$B = f_f - f_a \text{ [Hz]}$$

Példa az ábrázolásra:



Lehetséges **közvetlenül dB-ben** meghatározni az amplitúdó-karakterisztikát (amennyiben a rendelkezésre álló műszerek alkalmasak dB skála szerinti mérésre).

A kimeneti feszültséget mérő műszer által mutatott érték (ha a dB 600 &-os impedanciára vonatkozik):

$$M_{ki} = 20 \lg(u_{ki}/0.7746) \quad [\text{dBm}]$$

A bemeneti feszültséget mérő műszer által mutatott érték (bár a bemeneti feszültséget a mérés során változatlanul tartjuk, a függvénygenerátor hibájából következően a bemeneti feszültség kis mértékben változhat):

$$M_{be} = 20 \lg(u_{be}/0.7746) \quad [\text{dBm}]$$

Az erősítés abszolút-értékben dB-ben

$$A(f) = M_{ki} - M_{be} \quad [\text{dB}]$$

Megjegyzés: lehetőség van az amplitúdó-karakterisztikát (csak a jellegét) illetve a határfrekvenciákat meghatározni **relatív frekvencia-karakterisztika** méréssel is. Ebben az esetben a közepes frekvencián a kimeneten mért feszültséget 0 dB-nek véve (függetlenül annak számszerű értékétől és a továbbiakban a bemeneti feszültséget változatlanul hagyva) változtatva a frekvenciát, az ehhez képesti kimeneti jel változást a műszeren dB-ben közvetlenül leolvashatjuk. A digitális műszerek egy része lehetővé teszi, hogy relatív 0 dB pontot vegyünk fel, így –és figyelembe véve, hogy a generátorok általában stabil kimeneti feszültséget biztosítanak a teljes frekvencia tartományban- a karakterisztika közvetlenül méréssel megállapítható.

2. MÉRŐHELYEK

A mérőhelyek tápellátásának be- és kikapcsolása

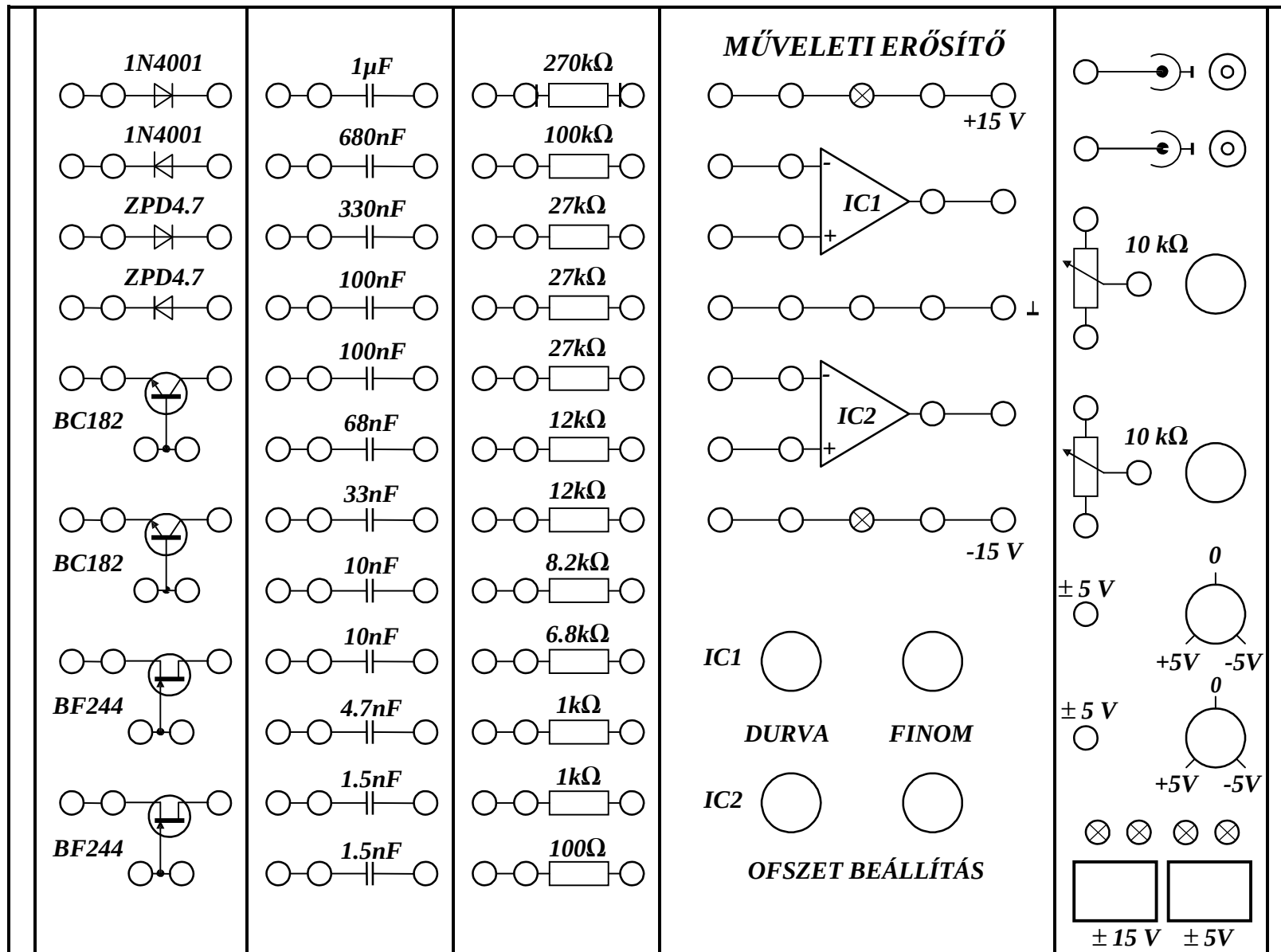
Bekapcsolási sorrend:

1. Helyezzük feszültség alá a mérőhelyet a kulcsos főkapcsolóval. Sikertelen bekapcsolási kísérlet esetén ellenőrizze, hogy az asztalban levő kismegszakító vagy az áramvédő-rele nincs-e leoldva. Egyéb esetekben a mérésvezetőt kell értesíteni.
2. Az asztali mérőműszerek a mérőhelyek betáp-sávjaihoz vannak csatlakoztatva. Kapcsolja be a betáp-sávot a billenő kapcsolójával. Kapcsolja be a mérőműszereket.
3. Az asztalok két beépített többcsatornás tápegységgel rendelkeznek. Az egyik többcsatornás egység egy fix 5V/3A és két 0..30V/1A változtatható beépített tápegységet tartalmaz. A másik egység /amelyben beépített panel-mérők vannak két fix 15V/1A tápegységet tartalmaz. Azt a tápegységet kapcsoljuk be az előlapon található kapcsolókkal, amelyik a mérés során a mérődobozt táplálja. *A fix ± 15 V feszültségű tápegység előlapján található "Hálózati kapcsoló" feliratú nyomógomb a tápegység belső egységeire kapcsol csak feszültséget, de tápfeszültség a kimenetre nem kerül. A kimenetre a tápfeszültség csak a "DC kapcsoló" bekapcsolása után kerül.*
4. A mérődoboz előlapján található ± 15 V és egyes mérések során az ± 5 V feliratú kapcsoló(k) bekapcsolásával adjunk feszültséget a mérőpanelre.

A **mérőpanel tápellátása** elsősorban a mérődobozon keresztül az asztalba beépített fix ± 15 V-os tápegységről történik. Mérések egyes fajtáinál $+5$ V-ra is szükség van, amelyet a másik beépített többcsatornás tápegység szolgáltat.

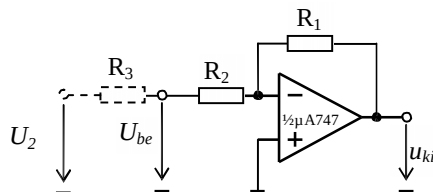
Kikapcsolási sorrend:

A mérés kikapcsolása az előzőek szerint a bekapcsolással fordított sorrendben történik.



3. MÉRÉSI FELADATOK

3.1 Invertáló erősítő kapcsolás



Mérési feladatok:

- A/1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékkel (R_3 ellenállást a mérés jelenlegi szakaszában nem kell beiktatni)!

$$R_1 = 270 \text{ k}\Omega, R_2 = 27 \text{ k}\Omega$$

- A/2. Végezze el az ofszet-kiegyenlítést!

- A/3. Mérje meg a kivezérelhetőség mértékét!

Csatlakoztassa a $\pm 5 \text{ V}$ tartományban változtatható egyenfeszültség-forrást (szerviz panelen) az erősítő bemenetére! Addig változtassa a bemeneti feszültséget, amíg a kimenet már nem követi lineárisan a bemenet változását! Végezze el a mérést ellenkező polaritású bemeneti feszültség esetén is!

- A/4. Mérje meg az erősítő erősítését!

Adjon kb. 1V egyenfeszültséget a bemenetre és mérje meg a kimeneti feszültséget! A mért adatok alapján számolással határozza meg az erősítést.

- A/5. Határozza meg a fáziskülönbség mértékét!

Adjon a funkciógenerátorból az erősítő bemenetére kb. $0.5 \text{ V}_{\text{eff}}$ értékű 1 kHz frekvenciájú szinuszos jelet! Egyidejűleg mérje a ki- és a bemeneti jelet oszcilloszkóp segítségével! Határozza meg a fáziskülönbség mértékét a két jel fáziseltérése alapján!

- A/6. Mérje meg az erősítő kapcsolás bemeneti ellenállását!

Csatlakoztasson a bemenet és az egyenfeszültségű jelforrás közé egy $27 \text{ k}\Omega$ -os (R_3) ellenállást. Adjon az U_2 bemenetre kb. 2V egyenfeszültséget és egyidejűleg mérje az U_{be} feszültséget is.

$$R_{be} = \frac{U_{be}}{U_2 - U_{be}} R_3$$

- B/1. Tervezzen egy invertáló erősítőt a rendelkezésre álló elemkészlet felhasználásával, az alábbi feltételekkel:

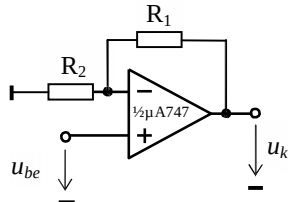
$$R_{be} \in 10 \text{ k}\Omega \text{ és } A_u \geq 2.25$$

- B/2. Állítsa össze a kapcsolást és az A/2-A/6 pontok szerint mérje meg a paramétereket!

B/3. *Jellemezze az erősítő tranziens-átvitelét!*

Adjon az erősítő bemenetére négyszög-alakú, ± 0.4 V amplitúdójú, 20 kHz frekvenciájú jelet! Vizsgálja meg oszcilloszkóppal a kimeneti jel alakját!

3.2 Neminvertáló erősítő kapcsolás



Mérési feladatok:

A/1. *Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékkel!*

$$R_1 = 270 \text{ k}\Omega, R_2 = 27 \text{ k}\Omega$$

A/2. *Végezze el az ofszet-kiegyenlítést!*

A/3. *Mérje meg a kivezérelhetőség mértékét!*

Csatlakoztassa a ± 5 V tartományban változtatható egyenfeszültség-forrást (szerviz panelen) az erősítő bemenetére! Addig változtassa a bemeneti feszültséget, amíg a kimenet már nem követi lineárisan a bemenet változását! Végezze el a mérést ellenkező polaritású bemeneti feszültség esetén is!

A/4. *Mérje meg az erősítő erősítését!*

Adjon kb. 0.5 V egyenfeszültséget a bemenetre és mérje meg a kimeneti feszültséget! A mért adatok alapján számolással határozza meg az erősítést.

A/5. *Határozza meg a fáziskülönbség mértékét!*

Adjon a funkciógenerátorból az erősítő bemenetére kb. 0.5 V_{eff} értékű 1 kHz frekvenciájú szinuszos jelet! Egyidejűleg mérje a ki- és a bemeneti jelet oszcilloszkóp segítségével! Határozza meg a fáziskülönbség mértékét a két jel fáziseltérése alapján!

B/1. *Tervezen egy neminvertáló erősítőt a rendelkezésre álló elemkészlet felhasználásával, az alábbi feltételekkel:*

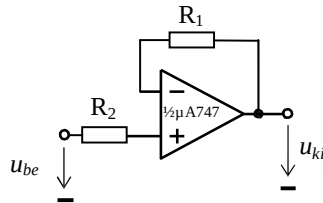
$$R_{be} \leq 1 \text{ M}\Omega, A_u \geq 9 \text{ legyen!}$$

B/2. *Állítsa össze a kapcsolást és az A/2-A/5 pontok szerint mérje meg a paramétereket!*

B/3. *Jellemezze az erősítő tranziens-átvitelét!*

Adjon az erősítő bemenetére ± 0.3 V amplitúdójú, 100 Hz frekvenciájú, négyszög alakú jelet! Vizsgálja meg az oszcilloszkóppal a kimeneti jel alakját. Értelmezze a kapott jelalakokat!

3.3 Egységnyi erősítésű erősítő (feszültségkövető) kapcsolás



Mérési feladatok

A/1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékkel:

$$R_1 = R_2 = 12 \text{ k}\Omega!$$

A/2. Végezze el az ofszet-kiegyenlítést!

A/3. Mérje meg az erősítő erősítését!

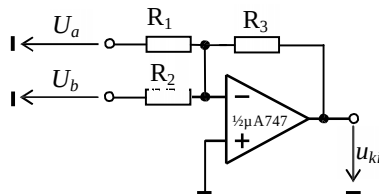
Adjon a +5 V...-5 V tartományban egyenfeszültséget a bemenetre 1V-os lépésekben és mérje meg a kimeneti feszültséget! Ábrázolja a transzfer karakterisztikát!

B/1. Végezze el az A/1-A/3 pont szerint a méréseket!

B/2. Jellemezze a kapcsolás tranziens átvitelét!

Adjon a bemenetre $\pm 2\text{V}$ amplitúdójú, 1 kHz majd 10 kHz frekvenciájú, négyszög alakú jelet és a mérések alapján jellemezze a kapcsolás tranziens átvitelét!

3.4 Invertáló bemenet felől vezérelt összegző erősítő



Mérési feladatok

A/1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékkel:

$$R_1 = R_3 = 27 \text{ k}\Omega, R_2 = 12 \text{ k}\Omega!$$

A/2. Végezze el az ofszet-kiegyenlítést!

A/3. Határozza meg, hogy a kimeneti jelben az "a" ill. a "b" bemenet jele mekkora "súllyal" részesedik!

Adjon az "a" bemenetre kb. 3V egyenfeszültséget. A "b" bemenetet kösse földre! A kimeneti feszültség méréssel határozza meg az "a" bemenet súlyát!

- f Adjon a "b" bemenetre kb. 3V egyenfeszültséget. Az "a" bemenetet kösse földre! A kimeneti feszültség mérésével határozza meg a "b" bemenet súlyát!
- f Adjon az "a" bemenetre kb. 3V, a "b" bemenetre kb. -4V egyenfeszültséget. Mérje meg a kimeneti feszültségeket! Mérje meg és értelmezze a kapott kimeneti feszültséget, figyelembe véve az előzőleg meghatározott súlyokat!
- A/4. Adjon a "b" bemenetre kb. 1 V_{eff}, 1 kHz-s szinusz alakú jelet, az "a" bemenetre pedig akkora egyenfeszültséget, hogy a kimenet *lückető egyenfeszültség* legyen (a kimeneti feszültség szinuszosan változik, de nem vált polaritást)! Mérje meg, hogy mekkora egyenfeszültséget kellett az "a" bemenetre adnia ennek az állapotnak az eléréséhez! *Indokolja meg a kapott eredményt!* Figyelje meg, hogy hogyan változik a kimeneti jel alakja, ha a bemeneti feszültséget az "a" ponton -5V...+5V tartományban változtatja! Amennyiben a kimeneti jel alakjában változást tapasztal, azt indokolja meg!
-

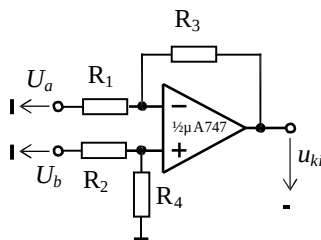
- B/1. Tervezzen egy neminvertáló összegző erősítőt a rendelkezésre álló elemkészlet felhasználásával, az alábbi feltételekkel:

$$R_{bea} \in 10 \text{ k}\Omega, R_{beb} \in 10 \text{ k}\Omega,$$

a kimeneti jelben az "a" bemenet 3.7-szer nagyobb súllyal szerepeljen, mint a "b" bemenet. Az "a" bemenet felől nézve az erősítés -10 legyen!

- B/2. Állítsa össze a kapcsolást és végezze el a méréseket az A/2 és A/4 pontok szerint. A bemeneti feszültségek $U_a=2 \text{ V}$, $U_b=-3 \text{ V}$ legyenek az A/3 mérés elvégzése során.

3.5 Kivonó erősítő



Mérési feladatok:

- A/1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel:

$$R_1=R_2=12 \text{ k}\Omega, R_3=R_4=27 \text{ k}\Omega!$$

- A/2. Végezze el az ofszet-kiegyenlítést!

- A/3. Határozza meg a kapcsolás erősítését!

Adjon az "a" bemenetre +2 V-ot, a "b" bemenetre +3 V-ot. Mérje meg a kimeneti feszültséget és számítsa ki az erősítést!

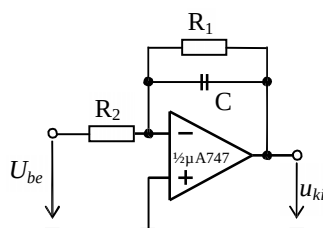
A/4. *Határozza meg a kapcsolás közösmódusú elnyomási tényezőjét!*

Kösse össze a két bemenetet és adjon a közös bemenetre a +5 ... -5 V tartományban egyenfeszültséget 1 V-os lépésenként! *Mérje meg a kimeneti feszültséget és számítással határozza meg a CMRR (KME) értékét!*

B/1. Végezze el a A/1-A/4. feladatokat!

B/2 Iktasson be az R_2 ellenállással sorba egy $R_5 = 1\text{ k}\Omega$ - os ellenállást. *Végezze el az A/4. pont szerinti feladatot!* Milyen változást tapasztal a közösmódusú erősítésnél (a CMRR-nél)?

3.6 Integrátor



Mérési feladatok:

A/1. *Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel:*

$$R_1 = 100\text{ k}\Omega, R_2 = 12\text{ k}\Omega, C = 10\text{ nF!}$$

A/2. *Végezze el az ofszet-kiegyenlítést!*

A/3. *Mérje meg és ábrázolja az amplitúdó-karakterisztikát!*

Adjon az integrátor bemenetére 1 V_{eff} értékű szinuszosan változó jelet a 20Hz...10kHz tartományban (célszerűen először a 20, 50, 100, 200, 500 Hz, 1, 2, 5, 10 kHz frekvenciákon végezze el a mérést, majd ahol eltérést tapasztal az ideális integrátor karakterisztikájától, ott sűrítse a mérési pontokat)! Ábrázolja az amplitúdó-karakterisztikát! Jelölje be azt a tartományt, amelyben a kapcsolás integrátorként használható! A karakterisztika alapján határozza meg az *integrálási időállandót*! A kapcsolási rajz alapján számítással *ellenőrizze a kapott érték helyességét*!

A/4. *Határozza meg a kapcsolás tranziens átvitelét!*

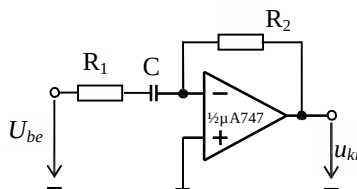
Adjon az integrátor bemenetére $\pm 1\text{ V}$ amplitúdójú négyszögjelet (ügyeljünk rá, hogy a lineáris középvérték kb. 0V legyen), amelynek frekvenciája 130 Hz; 1.3 kHz; 5 kHz legyen! Rajzolja le és *értelmezze a kimeneti jelalakokat*!

A/5. *Határozza meg a fáziseltérés mértékét!*

Adjon az integrátor bemenetére az integrálási időállandónak megfelelő frekvenciájú szinuszosan változó 1 V_{eff} értékű jelet! *Mérje meg oszcilloszkóppal a ki- és bemeneti jel közötti fáziseltérést!*

- B/1. Tervezzen az adott elemkészlet felhasználásával
 $\tau = 40,5 \text{ ms}$ időállandójú, $A_u(\text{DC}) = -10$ erősítésű *integrátort*!
- B/2. Végezze el a mérést az A/2-A/5. pontok szerint!

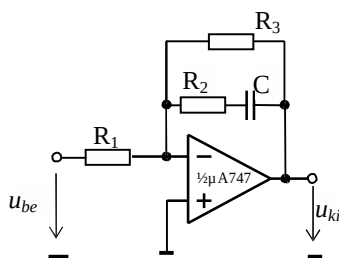
3.7 Differenciátor



Mérési feladatok:

- A/1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel:
 $R_1 = 12 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$, $C = 1.5 \text{ nF}$!
- A/2. Határozza meg az amplitúdó-karakterisztikát és a differenciálás időállandóját!
 Adjon a bemenetre 10 Hz...20 kHz frekvencia-tartományban (10, 20, 50, 100, 200, 500 Hz, 1, 2, 5, 10, 20 kHz) 1 V_{eff} értékű szinuszosan változó jelet! Mérje meg kimeneti jeleket! Ábrázolja az amplitúdó-karakterisztikát! A karakteristika alapján határozza meg a differenciálás időállandóját! Ellenőrizze a mért érték helyességét számolással!
- A/3. Határozza meg a kapcsolás tranziens átvitelét!
 Adjon a kapcsolás bemenetére $\pm 1\text{V}$ amplitúdójú 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz frekvenciájú négyszög alakú jelet! Rajzolja le és értelmezze a kimeneti jelalakokat!
-
- B/1. Tervezzen differenciátort a rendelkezésre álló elemkészlet felhasználásával az alábbi paraméterekre:
 $\tau_D = 0,27 \text{ ms}$, erősítés $= -10$ (az $f > 10 \cdot f_D$ frekvenciákon). B/2. Állítsa össze a kapcsolást és végezze el az A/2-A/3 feladatokat!
- B/3 Számítsa ki és mérje meg a bemeneti impedanciát 1 kHz frekvencián ($R_m = 100 \text{ k}\Omega$)!

3.8 PI-alaptag



Megjegyzés: Az R_3 ellenállás nem része a PI-kapcsolásoknak, kizárólag mérés technikai célból került beiktatásra.

Mérési feladatok:

A/1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel:

$$R_1=8,2 \text{ k}\Omega, R_2=12 \text{ k}\Omega, C=10 \text{ nF}, R_3=270 \text{ k}\Omega!$$

A/2. Végezze el az ofszet-kiegyenlítést!

A/3. Határozza meg az amplitúdó-karakterisztikát!

Adjon a bemenetre a 100Hz...20kHz tartományban $0,5 V_{\text{eff}}$ értékű szinuszosan változó jelet! Mérje meg a kimeneti jeleket! Ábrázolja az amplitúdó-karakterisztikát! A karakterisztika alapján határozza meg az arányos- és az integráló tartományt.

A/4. Határozza meg a tranziens átvitelt!

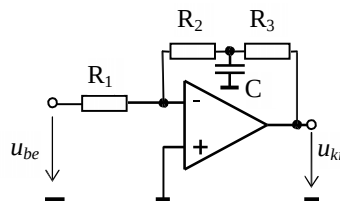
Adjon a bemenetre 100 Hz, 1 és 10 kHz frekvenciájú, $\pm 0,5 \text{ V}$ amplitúdójú négyszög alakú jelet, amelynek egyen-komponense 0 V! Ábrázolja a jelalakokat és értelmezze azokat!

B/1. Tervezzon egy PI-alaptagot az alábbi feltételekkel:

az arányossági tényező (P) = 20 dB, a P- és az I tartomány határa kb. 2.8 kHz.

B/2. Végezze el az A/2-A/4. pontok szerinti feladatokat!

3.9 PD-alaptag



Mérési feladatok:

A/1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel:

$$R_1 = 12 \text{ k}\Omega, R_2 = R_3 = 27 \text{ k}\Omega, R_4 = 12 \text{ k}\Omega, C = 10 \text{ nF!}$$

A/2. Végezze el az ofszet-kiegyenlítést!

A/3. Határozza meg az átviteli karakterisztikát!

Adjon a bemenetre az 50Hz..5 kHz frekvencia tartományban $0,2 V_{\text{eff}}$ értékű, szinuszosan változó jelet! Mérje meg a kimeneti feszültséget és ábrázolja az átviteli karakterisztikát! A karakterisztika alapján határozza meg a P és a D tartomány határát!

A/4. Határozza meg a tranziens átvitelt!

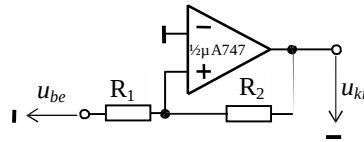
Adjon a bemenetre kb. $\pm 0,5 \text{ V}$ amplitúdójú 100 Hz és 1 kHz frekvenciájú négyszögjelet! Rajzolja le a kimeneti jelalakokat és magyarázza meg a jelalakok eltérésének okait!

B/1. Tervezzon PD alaptagot a rendelkezésre álló elemkészlet felhasználásával:

$$|_D = 0,13 \text{ ms, az arányos rész erősítése: } 13 \text{ dB.}$$

B/2. Állítsa össze a kapcsolást és végezze el az A/2-A/4. pontok szerinti feladatokat!

3.10 Neminvertáló bemenetről vezérelt komparátor



Mérési feladatok:

A/1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel:

$$R_1 = 12 \text{ k}\Omega, R_2 = 100 \text{ k}\Omega!$$

A/2. Határozza meg a komparátor transzfer karakterisztikáját!

Adjon a komparátor bemenetére a +5 ... -5 V tartományban egyenfeszültséget 0,5 V-os lépésközzönként! (A billenési pontok környékén növelje a mérési pontok számát!) Mérje a kimeneti feszültséget! Ábrázolja a komparátor transzfer karakterisztikáját és határozza meg a hiszterézis tartomány nagyságát!

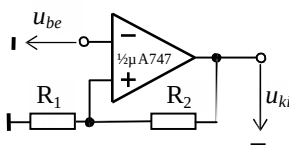
B/1. Végezze el az A/1-A/2 pontok szerinti feladatokat!

B/2. Határozza meg a transzfer karakterisztikát oszcilloszkóppal!

Iktasson be egy 10k Ω -os potenciométert (a szervizpanelen található) az R_1 és R_2 ellenállások közé! Az invertáló bemenetet kösse a $\pm 5\text{V}$ feszültségű tápegység kimenetére (a szervizpanelen található)! Adjon a kapcsolás bemenetére $\pm 4\text{ V}$ amplitúdójú, kb. 500 Hz-es háromszög-alakú jelet. Csatlakoztassa a kimeneti jelet az oszcilloszkóp A bemenetére, a bemeneti jelet a B bemenetre!

- Az oszcilloszkóp X-Y üzemmódjában rajzoltassa ki a transzfer karakterisztikát!
- Határozza meg a billenési pontokat és a hiszterézis tartomány nagyságát az oszcilloszkóp segítségével!
- Mérje meg, hogy a 10k Ω -os potenciométer állításával a hiszterézis tartomány hogyan változik!
- Mérje meg, hogy a $\pm 5\text{V}$ -os tartományban állítva a feszültséget a referencia pont hogyan változik!

3.11 Invertáló bemenetről vezérelt komparátor



Mérési feladatok:

A/1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel

$$R_1 = 8,2 \text{ k}\Omega, R_2 = 100 \text{ k}\Omega!$$

A/2. Határozza meg a komparátor transzfer karakterisztikáját!

Adjon a komparátor bemenetére a $+5 \dots -5 \text{ V}$ tartományban egyenfeszültséget $0,5 \text{ V}$ -os lépésközzel! (A billenési pontok környékén növelje a mérési pontok számát!) Mérje a kimeneti feszültséget! Ábrázolja a komparátor transzfer karakterisztikáját és határozza meg a hiszterézis tartomány nagyságát!

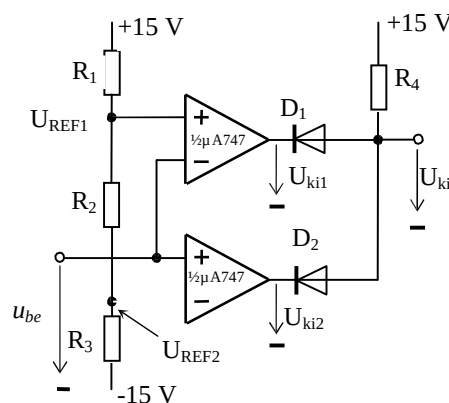
B/1. Végezze el az A/1-A/2 pontok szerinti feladatokat!

B/2. Határozza meg a transzfer karakterisztikát oszcilloszkóppal!

Iktasson be egy $10 \text{ k}\Omega$ -os potenciométert (a szervizpanelen található) az R_1 és R_2 ellenállások közé! Az R_1 ellenállás végét a földpont helyett csatlakoztassa a $\pm 5 \text{ V}$ feszültségű tápegység kimenetére (a szervizpanelen található)! Adjon a kapcsolás bemenetére $\pm 4 \text{ V}$ amplitúdójú, kb. 500 Hz -es háromszög-alakú jelet. Csatlakoztassa a kimeneti jelet az oszcilloszkóp A bemenetére, a bemeneti jelet a B bemenetre!

- Az oszcilloszkóp X-Y üzemmódjában rajzoltassa ki a transzfer karakterisztikát!
- Határozza meg a billenési pontokat és a hiszterézis tartomány nagyságát az oszcilloszkóp segítségével!
- Mérje meg, hogy a $10 \text{ k}\Omega$ -os potenciométer állításával a hiszterézis tartomány hogyan változik!
- Mérje meg, hogy a $\pm 5 \text{ V}$ -os tartományban állítva a feszültséget a referencia pont hogyan változik!

3.12 Ablak-komparátor



Mérési feladatok:

A/1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel

$$R_1 = 12 \text{ k}\Omega, R_2 = 6,8 \text{ k}\Omega, R_3 = 12 \text{ k}\Omega, R_4 = 8,2 \text{ k}\Omega!$$

A/2. *Határozza meg a komparátor transzfer karakterisztikáját!*

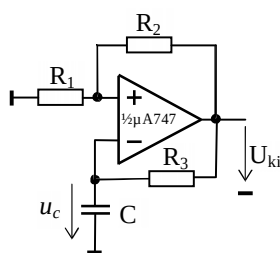
Mérje meg az U_{REF1} és U_{REF2} feszültségeket! Adjon a komparátor bemenetére a +5 ... -5 V tartományban egyenfeszültséget 0,5 V-os lépésközzönként! (A billenési pontok környékén növelje a mérési pontok számát!) Mérje a kimeneti feszültséget U_{ki} és a műveleti erősítő kimeneti feszültségeit U_{ki1} , U_{ki2} ! *Közös karakterisztikában ábrázolja az U_{ki} , az U_{ki1} és az U_{ki2} feszültségeket a bemeneti feszültség függvényében!*

B/1. *Végezze el az A/1-A/2 pontok szerinti feladatokat!*

B/2. *Határozza meg a transzfer karakterisztikát oszcilloszkóppal!*

Adjon a kapcsolás bemenetére ± 5 V amplitúdójú, kb. 500 Hz-es háromszög-alakú jelet. a Csatlakoztassa a kimeneti jelet az oszcilloszkóp A bemenetéhez, a bemeneti jelet a B bemenetehz! Az oszcilloszkóp X-Y üzemmódjában rajzoltassa ki a transzfer karakterisztikát! Iktasson be egy 10 k Ω -os potenciométert (szerviz panelen található) az R_2 és R_3 ellenállások közé! Vizsgálja meg, hogy milyen tartományban változik a kimeneti átlak szélessége!

3.13 Astabil multivibrátor (AMV)



Mérési feladatok:

A/1. *Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel:*

$R_1=12\text{ k}\Omega$, $R_2=27\text{ k}\Omega$, $R_3=12\text{ k}\Omega$, $C=68\text{ nF}$!

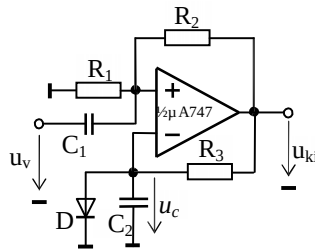
A/2. Oszcilloszkóp segítségével *határozza meg az AMV frekvenciáját!* Vizsgálja meg a kondenzátor feszültségének (u_c) jelalakját! *Ábrázolja a kimeneti feszültség és a kondenzátor feszültség jelalakját közös ábrában!* Határozza meg a kitöltési tényezőt az oszcilloszkóp segítségével!

B/1. Tervezen egy astabil multivibrátor kapcsolást az adott elemkészlet felhasználásával, az alábbi paraméterekkel:

a frekvenciája legyen 950Hz és 1 kHz között, az időállandó legyen 0.82 ms!

B/2. *Állítsa össze a kapcsolást és végezze el az A/1-A/2 mérési feladatokat!* Az AMV frekvenciáját mérje meg frekvenciamérő segítségével!

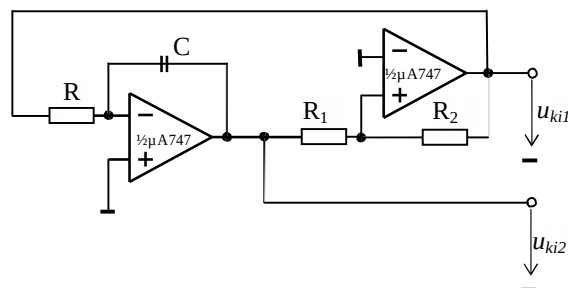
3.14 Monostabil multivibrátor (MMV)



Mérési feladatok:

1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel:
 $R_1=1\text{ k}\Omega$, $R_2=8.2\text{ k}\Omega$, $R_3=12\text{ k}\Omega$, $C_1=33\text{ nF}$, $C_2=100\text{ nF}$, $D=1N4001$!
2. Ábrázolja a kimeneti feszültség és a kondenzátor feszültség jelalakját közös ábrában! Adjon a bemenetre (u_v) kb. $\pm 2\text{ V}$ amplitúdójú, 1 kHz frekvenciájú, négyszögjelet! Oszilloszkóp segítségével vizsgálja a jelalakokat (u_{be} , u_{ki} , u_c)!
3. Határozza meg az MMV billenési idejét! Határozza meg azt a maximális vezérlési frekvenciát, amelynél a billenési idő még nem változik!

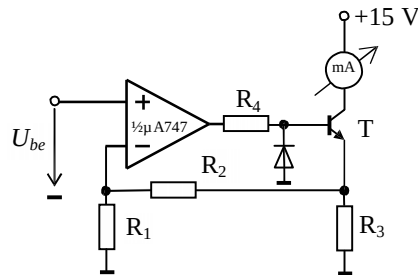
3.15 Hullámforma generátor



Mérési feladatok:

1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel:
 $R_1=12\text{ k}\Omega$, $R_2=27\text{ k}\Omega$, $R=27\text{ k}\Omega$, $C=33\text{ nF}$!
2. Ábrázolja a kimeneti feszültségeket közös ábrában! Határozza meg a rezgési frekvenciát!
3. Iktasson be egy $10\text{ k}\Omega$ -os potenciométert az R_1 és R_2 ellenállások közé! Határozza meg, hogy milyen határok között változik a frekvencia és hogyan alakul az u_{ki2} feszültség!

3.16 Földfüggetlen terhelésű vezérelt áramgenerátor növelt kimeneti terheléssel



Mérési feladatok:

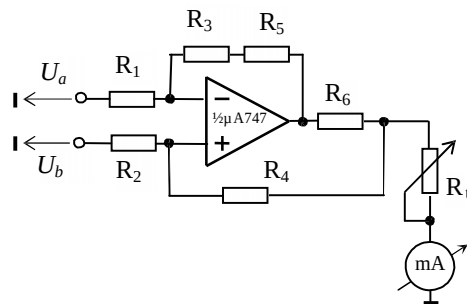
1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel:

$R_1=8.2 \text{ k}\Omega$, $R_2=12 \text{ k}\Omega$, $R_3=100 \text{ }\Omega$, $R_4=1 \text{ k}\Omega$, $T=BC182$, $D=1N4001$!

2. Határozza meg a konverziós tényezőt!

Adjon a bemenetre a 0..+5 V tartományban 1 V-os lépésként egyenfeszültséget és mérje meg a kimenet áramát! A mért értékek alapján ábrázolja az átviteli karakterisztikát! A karakterisztika alapján határozza meg a dI_{ki}/dU_{be} konverziós tényezőt!

3.17 Földfüggetlen terhelésű áramgenerátor



Mérési feladatok:

1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel

$R_1=R_2=12 \text{ k}\Omega$, $R_3=R_4=27 \text{ k}\Omega$, $R_5=R_6=1 \text{ k}\Omega$, $R_t=10\text{-os}$ potenciométer!

2. Ábrázolja az átviteli karakterisztikát!

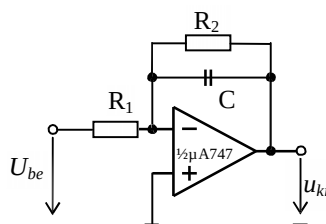
Állítsa a potenciométert az $R_t=0 \text{ }\Omega$ állásba! Kösse az "a" bemenetet a jelföldre! Adjon a "b" bemenetre a +5 ... -5 V tartományban 1 V-os lépésként egyenfeszültséget és mérje meg a kimeneti áramot! Határozza meg a konverziós tényezőt!

$$K = \frac{dI_{ki}}{dU_{be}}$$

- Végezze el a 2. feladatot úgy, hogy a "b" bemenetet kösse földpotenciálra és az "a" bemenet felől vezérelje az áramgenerátort! *Ábrázolja közös karakterisztikában a két mérés eredményeit!*
- Határozza meg a kimeneti terhelhetőség mértékét!*

Kösse az "a" bemenetet a jelföldre! Adjon a "b" bemenetre +5 V-ot! Az R_t terhelés állításával határozza meg, hogy mekkora maximális terhelő ellenállást lehet a kimenetre kötni anélkül, hogy a generátor árama $\pm 1\%$ -nál nagyobb mértékben megváltozna!

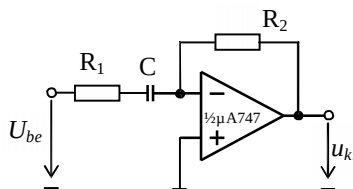
3.18 Elsőfokú aluláteresztő szűrő



Mérési feladatok:

- Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel
 $R_1 = 27 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 12 \text{ k}\Omega$, $C = 4,7 \text{ nF}$!
- Határozza meg a szűrő átviteli karakterisztikáját!
 Adjon a szűrő bemenetére 1 V_{eff} értékű, 20, 50, 100, 200, 500 Hz, 1, 2, 5, 10 kHz frekvenciájú szinusz alakú jelet! Mérje a kimeneti jelet! *Ábrázolja a szűrő amplitúdó karakterisztikáját!*
- Határozza meg a levágási frekvenciát!
 Állapítsa meg a -3 dB-es határfrekvenciát méréssel és grafikusán is! A -3 dB-es határfrekvencia közelében további négy mérési pont felvételével pontosabban mérje ki a karakterisztikát!

3.19 Elsőfokú felüláteresztő szűrő



Mérési feladatok:

- Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel
 $R_1 = 12 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 27 \text{ k}\Omega$, $C = 33 \text{ nF}$!

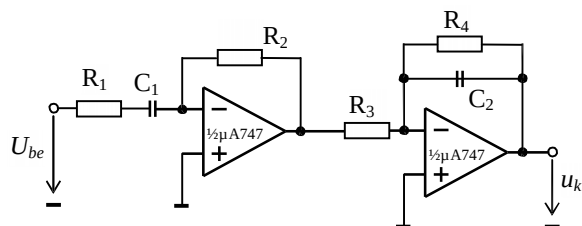
2. *Határozza meg a szűrő átviteli karakterisztikáját!*

Adjon a szűrő bemenetére $1 V_{\text{eff}}$ értékű 20, 50, 100, 200, 500 Hz, 1, 2, 5, 10 kHz frekvenciájú szinusz alakú jelet! Mérje a kimeneti jelet! *Ábrázolja a szűrő átviteli karakterisztikáját!*

3. *Határozza meg a levágási frekvenciát!*

Állapítsa meg a -3 dB-es határfrekvenciát méréssel és grafikusán is! A -3 dB-es határfrekvencia közelében további négy mérési pont felvételével pontosabban mérje ki a karakterisztikát!

3.20 Elsőfokú sáváteresztő szűrő



Mérési feladatok:

1. *Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel*

$$R_1 = R_3 = 12 \text{ k}\Omega, R_2 = R_4 = 27 \text{ k}\Omega, C_1 = 33 \text{ nF}, C_2 = 4,7 \text{ nF} !$$

2. *Határozza meg a szűrő átviteli karakterisztikáját!*

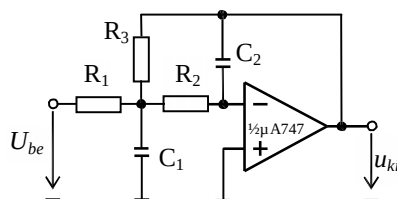
Adjon a sávszűrő bemenetére $1 V_{\text{eff}}$ értékű 20, 50, 100, 200, 500 Hz, 1, 2, 5, 10 kHz frekvenciájú szinuszosan változó jelet ! Mérje a kimeneti feszültséget! Méréssel határozza meg azt a frekvenciát, amelynél a legnagyobb a kimeneti feszültség (sávközepi frekvencia, f_0)! Méréssel határozza meg a -3 dB-es alsó- és felső határfrekvenciát! A két frekvenciaérték között további négy mérési pont felvételével pontosabban mérje ki az átviteli karakterisztikát! *Ábrázolja az átviteli karakterisztikát!*

3. *Határozza meg a sáv szélességet és a jósági tényezőt!*

Az alsó- és felső határfrekvencia alapján határozza meg a sáv szélességet (B)! Határozza meg a sávszűrő jósági tényezőjét!

$$Q = \frac{f_0}{B}$$

3.21 Másodfokú aluláteresztő szűrő (többszörösen visszacsatolt szűrő)



Mérési feladatok:

1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel:

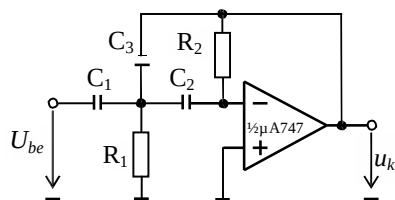
$$R_1 = R_3 = 12 \text{ k}\Omega, R_2 = 27 \text{ k}\Omega, C_1 = C_2 = 1,5 \text{ nF!}$$

2. Határozza meg a szűrő átviteli karakterisztikáját!

Adjon a szűrő bemenetére $1 V_{\text{eff}}$ értékű 20, 50, 100, 200, 500 Hz, 1, 2, 5, 10 kHz frekvenciájú szinuszosan változó jelet! Mérje a kimeneti jelet! A mért értékek alapján ábrázolja a szűrő átviteli karakterisztikáját! Állapítsa meg a -3 dB-es értékhez tartozó határfrekvenciát (levágási frekvenciát) méréssel és grafikusán is! A -3 dB-es határfrekvencia közelében további négy mérési pont felvételével pontosabban mérje ki az átviteli karakterisztikát!

3. Az R_2 ellenállással kössön sorba egy 10 k Ω -os potenciométert. A potenciométer állításával figyelje meg, hogy *hogyan változik a határfrekvencia*.

3.22 Másodfokú felüláteresztő szűrő (többszörösen visszacsatolt szűrő)



Mérési feladatok:

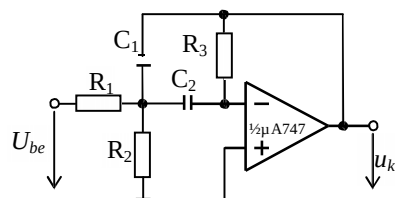
1. Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel

$$R_1 = 6,8 \text{ k}\Omega, R_2 = 27 \text{ k}\Omega, C_1 = C_3 = 100 \text{ nF}, C_2 = 10 \text{ nF!}$$

2. Határozza meg a szűrő átviteli karakterisztikáját!

Adjon a szűrő bemenetére $1 V_{\text{eff}}$ értékű 20, 50, 100, 200, 500 Hz, 1, 2, 5 kHz frekvenciájú szinusz alakú feszültséget! Mérje a kimeneti feszültséget! A mért értékek alapján ábrázolja a szűrő átviteli karakterisztikáját! Állapítsa meg a -3 dB-es értékhez tartozó határfrekvenciát méréssel és grafikusán is! A -3 dB-es határfrekvencia közelében további négy mérési pont felvételével pontosabban mérje ki az átviteli karakterisztikát!

3.23 Másodfokú sáváteresztő szűrő (többszörösen visszacsatolt szűrő)



Mérési feladatok

1. *Állítsa össze a kapcsolást az alábbi elemértékekkel*

$$R_1 = 12 \text{ k}\Omega, R_2 = 1 \text{ k}\Omega, R_3 = 27 \text{ k}\Omega, C_1 = C_2 = 10 \text{ nF!}$$

2. *Határozza meg a szűrő átviteli karakterisztikáját!*

Adjon a sávszűrő bemenetére $1 V_{\text{eff}}$ értékű 20, 50, 100, 200, 500 Hz, 1, 2, 5, 10, 20 kHz frekvenciájú szinuszosan változó jelet. Mérje a kimeneti feszültséget. Méréssel határozza meg azt a frekvenciát, amelynél legnagyobb a kimeneti feszültség. Ennek a feszültségnek az ismeretében határozza meg a -3 dB-es alsó- és felső határfrekvenciát! A két frekvenciaérték között további négy mérési pont felvételével pontosabban mérje ki az átviteli karakterisztikát! *Ábrázolja az átviteli karakterisztikát !* Határozza meg a sávszűrő jósági tényezőjét!

4. A FELKÉSZÜLÉSHEZ AJÁNLOTT IRODALOM

Magyar nyelven:

- [1] Dr. Kovács Ernő: Elektronika előadás jegyzetek (Elektronika III.) 2003.
- [2] Tietze-Schenk: Analóg és digitális áramkörök, Műszaki Könyvkiadó, 1990.
- [3] Herpy: Analóg integrált áramkörök, Műszaki Könyvkiadó, 1973
- [4] Sheperd: Műveleti erősítők, Műszaki Könyvkiadó, 1985
- [5] Herpy-Barka: Aktív RC szűrők, Akadémiai Kiadó, 1985

Idegen nyelven

- [6] Millmann: Microelectronics, McGraw-Hill, 1992
- [7] Winzer: Linear Integrated Circuits, Saunders College Publishing, 1992
- [8] Savant-Roden-Carpenter: Electronic Design, Benjamin/Cummings Publishing, 1991.

TARTALOMJEGYZÉK

MŰVELETI ERŐSÍTŐS KAPCSOLÁSOK MÉRÉSE	2
1. A JELLEMZŐ PARAMÉTEREK MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZEREI	3
1.1 Ofszet kiegyenlítés	3
1.2 Kivezérelhetőség mérése	3
1.2.1 Kivezérelhetőség mérése váltakozó áramú jellel	3
1.2.2 Kivezérelhetőség mérése egyenáramú jellel	4
1.3. Bemeneti ellenállás meghatározása méréssel.....	5
1.4. Kimeneti ellenállás meghatározása méréssel	5
1.5. Erősítés mérése.....	6
1.6. Amplitúdó-átviteli karakterisztika mérése	7
2. MÉRŐHELYEK	9
3. MÉRÉSI FELADATOK.....	11
3.1 Invertáló erősítő kapcsolás	11
3.2 Neminvertáló erősítő kapcsolás	12
3.3 Egységnyi erősítésű erősítő (feszültségkövető) kapcsolás.....	13
3.4 Invertáló bemenet felől vezérelt összegző erősítő.....	13
3.5 Kivonó erősítő	14
3.6 Integrátor	15
3.7 Differenciátor	16
3.8 PI-alaptag	16
3.9 PD-alaptag.....	17
3.10 Neminvertáló bemenetről vezérelt komparátor.....	18
3.11 Invertáló bemenetről vezérelt komparátor	18
3.12 Ablak-komparátor	19
3.13 Astabil multivibrátor (AMV)	20
3.14 Monostabil multivibrátor (MMV).....	21
3.15 Hullámforma generátor	21
3.16 Földfüggetlen terhelésű vezérelt áramgenerátor növelt kimeneti terheléssel	22
3.17 Földfüggő terhelésű áramgenerátor.....	22
3.18 Elsőfokú aluláteresztő szűrő.....	23
3.19 Elsőfokú felüláteresztő szűrő	23
3.20 Elsőfokú sáváteresztő szűrő	24
3.21 Másodfokú aluláteresztő szűrő (többszörösen visszacsatolt szűrő)	24
3.22 Másodfokú felüláteresztő szűrő (többszörösen visszacsatolt szűrő).....	25
3.23 Másodfokú sáváteresztő szűrő (többszörösen visszacsatolt szűrő).....	25
4. A FELKÉSZÜLÉSHEZ AJÁNLOTT IRODALOM.....	26