5. mérés

3. Kapcsolási példák analóg integrált áramkörök alkalmazására

Szakirodalom

1. Herpy Miklós: Analóg integrált áramkörök. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1974. 2. kiadás

2. U. Tietze - Ch. Schenk: Analóg és digitális áramkörök. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1974. 2. kiadás

Műszerek és kellékek

Jelgenerátor
Digitális multiméter
Kettős tápegység
VT Voltmérő-erősítő
Oszcilloszkóp
Mérődoboz

1. Integrátor

Az ideális invertáló erősítőből a $Z_1 = R_1$ és a $Z_2 = 1/j\omega C$ választással ideális integrátor készíthető, amelynek kimeneti feszültsége a bemeneti feszültség időszerinti integráljával arányos:

$$U_{ki} \simeq -\frac{1}{T_i}\int u_{be}\,dt. \qquad T_i = RC.$$

Az 1. ábrán látható kapcsolásra alkalmazzuk a csomóponti törvényt az összegző pontra:

$$i_C + i_{be} = 0.$$

A kondenzátoron átfolyó áramra érvényesek az alábbi összefüggések:

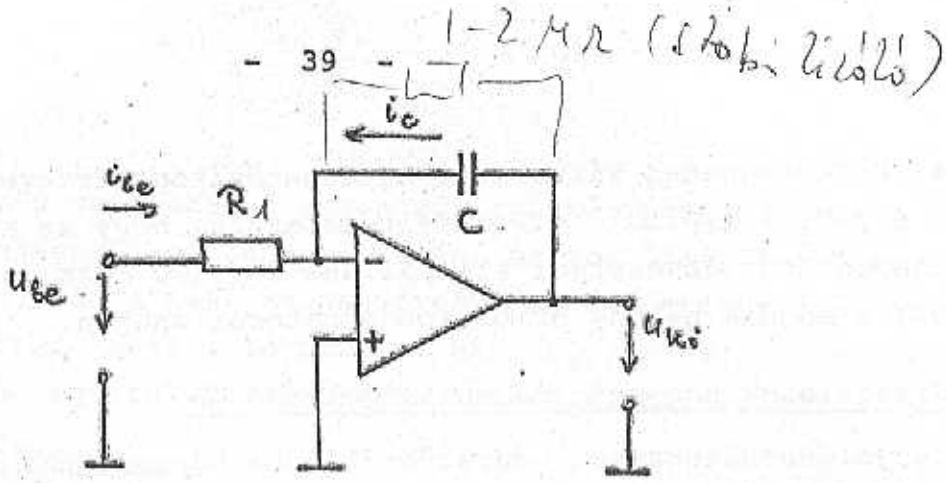
$$C = \frac{q}{u_{ki}} = \frac{\int i_C\,dt}{u_{ki}} \longrightarrow i_C = C\frac{du_{ki}}{dt}.$$

Behelyettesítés után

$$\frac{u_{be}}{R} + C\frac{du_{ki}}{dt} = 0,$$

$$U_{ki} = -\frac{1}{RC}\int_0^T u_{be}(t)\,dt + U_{ki}(t=0)$$

adódik. Az 1/RC szorzót arányossági tényezőnek, vagy integrálási időállandónak nevezik.



1. ábra

A műveleti erősítős integrátor működését az alább felsorolt tényezők határolják:

- a műveleti erősítő nyílt hurkú erősítésének frekvenciafüggése
- a műveleti erősítő véges hibafeszültsége és -árama
- a kondenzátor átvezetése (veszteségi tényezője).

A felsoroltak azt eredményezik, hogy az integrátor a kisfrekvenciás és a nagyfrekvenciás tartományban már pontatlanul működik. A kisfrekvenciás hibákat döntően a hibafeszültségek és -áramok okozzák, míg a nagyfrekvenciás hibát a másik két körülmény. Célszerű tehát kis hibajelű, általában FET bemenetű erősítőtípust választani, és annak ofszet feszültségét kompenzálni. A nagyfrekvenciás hibák elkerülése céljából széles frekvenciasávban alkalmazható műveleti erősítőt kell alkalmazni fóliaszigetelésű kondenzátorral. Elektrolitkondenzátor semmi szín alatt nem alkalmazható!

Az egyes hibaokok elemzése azt mutatja, hogy adott műveleti erősítővel felépített integrátor addig használható közel ideális integrátorként, amíg a

$$T_C > T_i > T_1$$

egyenlőtlenségek fennállnak. T_C a kondenzátor átvezetése okozat saját időállandó ($T_C = C.R_{átv}$) és $T_1 = 1/\omega_1$, az egységerősítéshez tartozó időállandó. A $T_i = R_1C$ értéket tehát a fentiek szerint kell megválasztani.

Mérésünkhöz LF 356 műveleti erősítőt alkalmazunk, ami a

/uA 741 FET-bemenetes változata. Egységerősítési frekvenciája 1 MHz, így $T_1 \cong 1{,}6.10^{-7}$ s. Ha feltételezzük, hogy az alkalmazott kondenzátor átvezetési ellenállása kb. 100 MOhm, akkor $T_C \sim 0{,}1$ s adódik néhány nF-os kondenzátorok esetén.

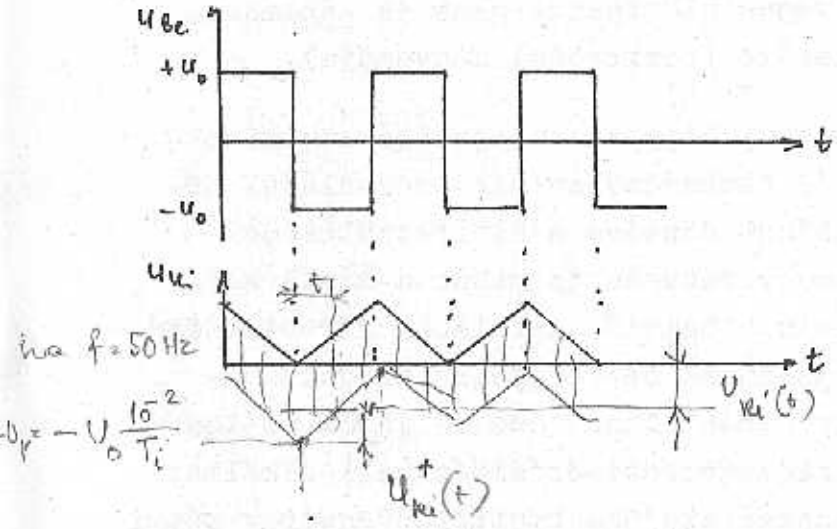
1.1. Vizsgálatok négyszög bemeneti jel esetén

Ha jelgenerátorunkat négyszög-állásba kapcsoljuk, akkor a periódusidő felében $+U_0$, míg a másik felében $-U_0$ amplitúdójú jelet kapunk. Integráltva a két konstans értéket a félperiódusokra:

$$U_{ki}^{-}(t) = -U_0 \frac{t}{T_i} \quad ; \quad U_{ki}^{+}(t) = U_0 \frac{t}{T_i} \qquad /1/$$

→ csak a lin. változó függv. szakok!

adódik. Ha az integrátor jól működik, a kimeneti jel két ellentétes dőlésszögű egyenes-szakaszból fog állni, ahogyan azt a 2. ábra szemlélteti.



$t = \frac{T_p}{2} = 10.10^{-3}$ s $= 10^{-2}$ s

$T_i = R.C$

$U = -U_p + U_0 \frac{t}{RC}$

ha $t = \frac{T_p}{2}$ $t = T_p$

$= -U_0 \frac{10^{-2}}{T_i} + U_0 \frac{10^{-2}}{T_i} = 0$

2. ábra

1.2. Vizsgálatok szinuszos bemeneti jel esetén

Ha a bemeneti feszültség szinuszos váltakozó feszültség, akkor

$$u_{ki}(t) = -\frac{1}{T_i}\int u_0 \sin\omega t \, dt = \left[\frac{u_0}{\omega T_i}\cos\omega t\right]_0^T$$

adódik, tehát a kimeneti feszültség amplitúdója fordítottan arányos az ω körfrekvenciával. Ha az

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = f(\omega)$$

frekvenciamenetet log-log mm-papíron ábrázoljuk, akkor

-6 dB/oktáv meredekségű egyenest kapunk. Várható, hogy a közepes frekvenciákon felvett mérési pontok "jól ülnek" az egyenesen, míg a kis- és nagyfrekvenciás pontok szóródnak. E módszerrel lehet a legpontosabban meggyőződni a kisfrekvenciás és a nagyfrekvenciás hibák frekvenciahatárairól!

Mérési feladatok:

1.1. Az integrátort mérjük ki kétféle R_1 és kétféle C érték különféle kombinációinál. Legyen R_1 20 k, ill. 4,7 k és C 6,8 nF, ill. 33 nF. Számítsuk ki az egyes értékkombinációk időállandóit. Teljesül-e az időállandókra előírt feltétel?

1.2. Válasszunk ki néhány értékkombinációt, és négyszögjel gerjesztést alkalmazva igazoljuk az /1/ összefüggéseket méréssel és számítással. Mérjünk az alábbi ismétlődési frekvenciáknál:

10 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz.

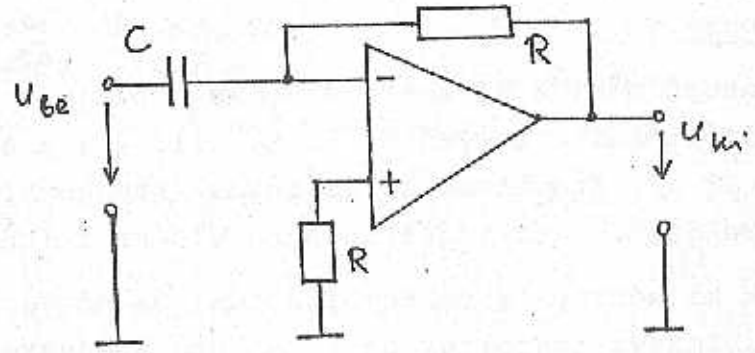
Ügyeljünk arra, hogy a frekvenciát növelve, csökken a jelamplitúdó. Úgy szabályozzuk a bemeneti jel nagyságát, hogy az oszcilloszkópon szép, szabályos alakú és jól leolvasható nagyságú jeleket kapjunk. Ügyeljünk a jelgenerátor Ofszet állítógombjára is. Ha ez nincs a megfelelő helyzetben, torzított lesz a kimeneti jel!

1.3. Adjunk az integrátor bemenetére szinuszjelet, és a kimenetet kapcsoljuk a ~~VT Voltmérőre~~. Annak kimenetét kapcsoljuk oszcilloszkópra, hogy ellenőrizzük, nem torzított-e a jel. Vegyük fel a kimeneti jel frekvenciafüggését 20 Hz.... 10 kHz tartományban többféle R_1-C értékkombinációk esetén. Az eredményeket ábrázoljuk log-log léptékű mm-papíron (különböző színnel az egyes RC-tagokhoz tartozókat) és olvassuk le a grafikonokról az integrálási hibák alsó és felső frekvenciáját.

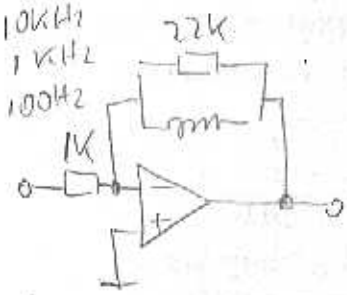
2. Differenciáló áramkör

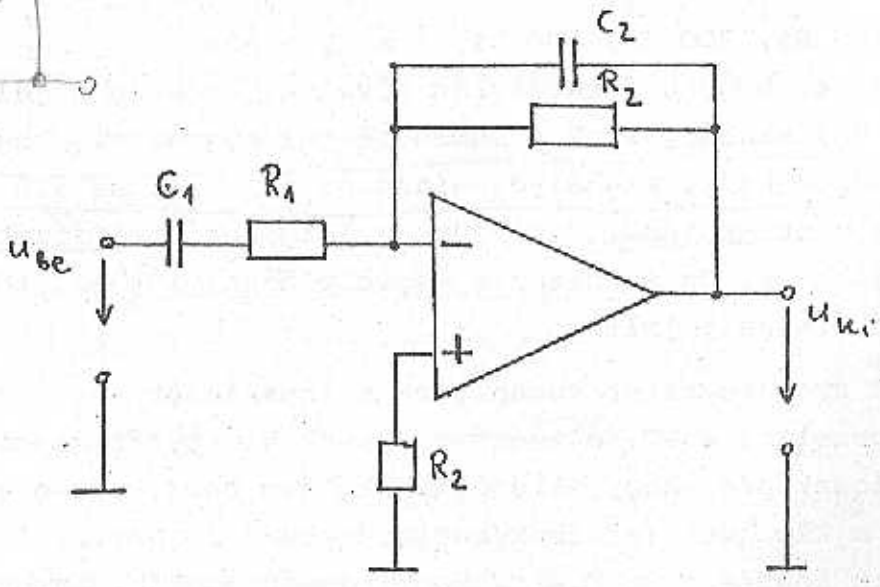
Az integrátorhoz hasonló meggondolással differenciáló áramkör is készíthető műveleti erősítő felhasználásával. Ekkor a kapcsolás a beadott időfüggő jel idő szerinti differenciálhányadosát állítja elő.

A differenciáló erősítőkapcsolás elvi vázlata a 3. ábrán látható. Nagyobb frekvenciákon azonban az $1/\omega C$ impedancia igen lecsökken, így a kapcsolás erősen leterheli a vezérlő generátort és gerjedésre is hajlamossá válik. Az alapkapcsolás tehát ebben a formában nem használható, helyette a gyakorlatban a 4. ábrán látható megoldás terjedt el.



3. ábra





4. ábra

A $\tau = R_1C_1 = R_2C_2$ időállandó-választással az feltétel mellett

$$U_{ki} \simeq - R_2C_1U_{be} \cong - \tau_d \frac{dU_{be}}{dt}$$

adódik, ahol ω a differenciálandó jel körfrekvenciáját jelenti. Az integrátorhoz hasonlóan a felső határfrekvenciát ebben az esetben is a műveleti erősítő szabja meg.

Négyszögjel esetében, ahol az U_1 és U_2 feszültségszintek váltják egymást, az $U_1 = U_2 =$ konst. miatt az idő szerinti differenciálhányados nulla. Ideális négyszögugrás azonban a valóságban nincs, a jelek mindig véges fel- és lefutási idővel rendelkeznek. A fel- és lefutó él differenciálásának következménye az a jól ismert jelalak, amelyet az 5.a. ábrán bemutatunk. Ha a differenciálás feltételei nem teljesülnek, az átvitel "alakhű" lesz, vagyis az 5.b. ábrán látható jeleket figyelhetjük meg.

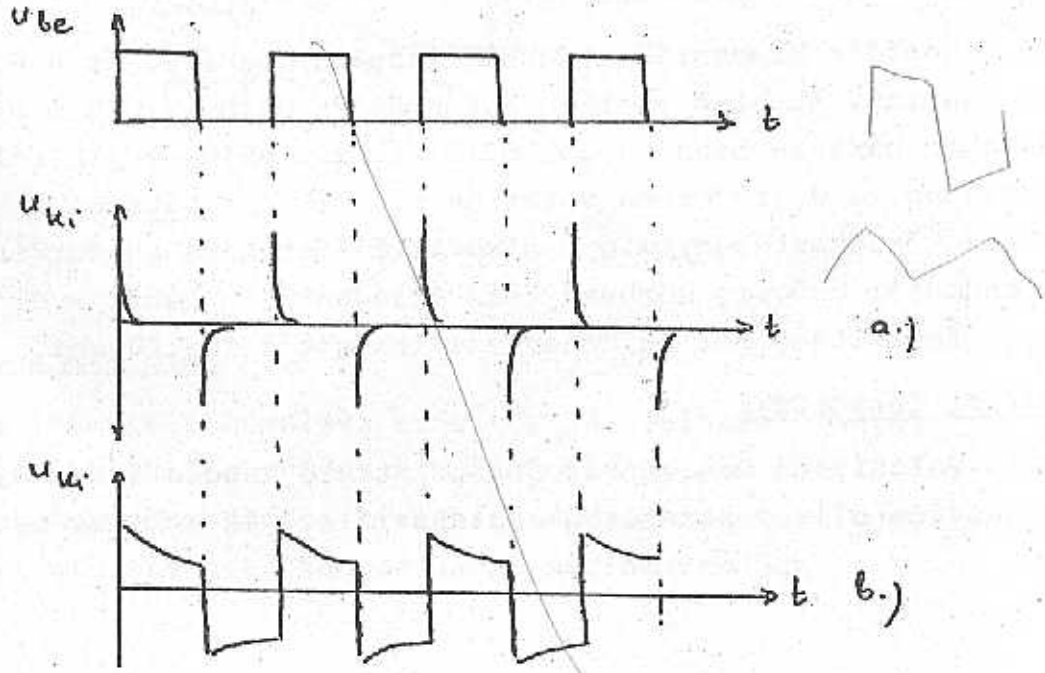
Szinuszjelnél az $U_{be} = U_o \sin \omega t$ differenciálhányadosa

$$U_{ki} = - \omega R_2 C_1 U_o \cos \omega t.$$

A visszacsatolt erősítés:

$$A_v = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \omega R_2 C_1 = \omega \tau.$$

Ha az erősítés frekvenciamenetét log-log papíron ábrázoljuk, +6 dB/oktáv meredekségű egyenest kapunk. Az integrátorhoz hasonlóan, ennél a kapcsolásnál is ezzel a módszerrel győződhetünk meg az ideális differenciálás frekvenciatartományáról.



5. ábra

Mérési feladatok:

2.1. Legyen $R_1 = R_2 = 2,2$ k és legyen $C_1 = C_2 = 6,8$ nF. Valósítsuk meg a 4. ábrán látható kapcsolást. Adjunk a bemenetre kb. 1 V nagyságú négyszögjelet a jelgenerátorból. Alkalmazzunk

10 Hz, 100 Hz, 1 kHz és 5 kHz

jelfrekvenciát és rajzoljuk le a jelalakokat.

2.2. Végezzük el szinuszos jelekkel a differenciáló áramkör vizsgálatát. Mérjünk a 10 Hz.... 10 kHz tartományban, és ábrázoljuk az eredményt log-log papíron. Jelöljük ki az ideális viselkedés frekvenciahatárait az 1.3. feladat mintájára. Ügyeljünk a jelnagyság helyes megválasztására, mivel az amplitudó a frekvencia növelésével nő! Célszerű 10 kHz-en beállítani a maximális, még torzítatlan jelnagyságot.

2.3. Cseréljük ki a kondenzátorokat 150 nF-ra és így is végezzük el a 2.1. és 2.2. méréseket.

3. Feszültséghatároló kapcsolások

Ha invertáló műveleti erősítő visszacsatoló ágába Zéner-diódákat helyezünk, azok határolják az erősítést. Ha a kimeneti szint eléri a Z-dióda letörési feszültségét, a dióda differenciális ellenállása igen kicsire lecsökken, és söntöli a visszacsatoló ellenállást.

Kétféle kapcsolást fogunk vizsgálni, a 6.a. és a 6.b. ábra szerint. Az első esetben a két dióda sorba-, míg a második esetben párhuzamosan kapcsolódik. A szinuszjel egyik félperiódusában az egyik dióda vezet és a másik fog határolni a letörés következtében, míg a második félperiódusban fordítva. Ha A csúcstól csúcsig mérhető feszültséghatár tehát a dióda nyitófeszültségétől és Zénerfeszültségétől fog függni.

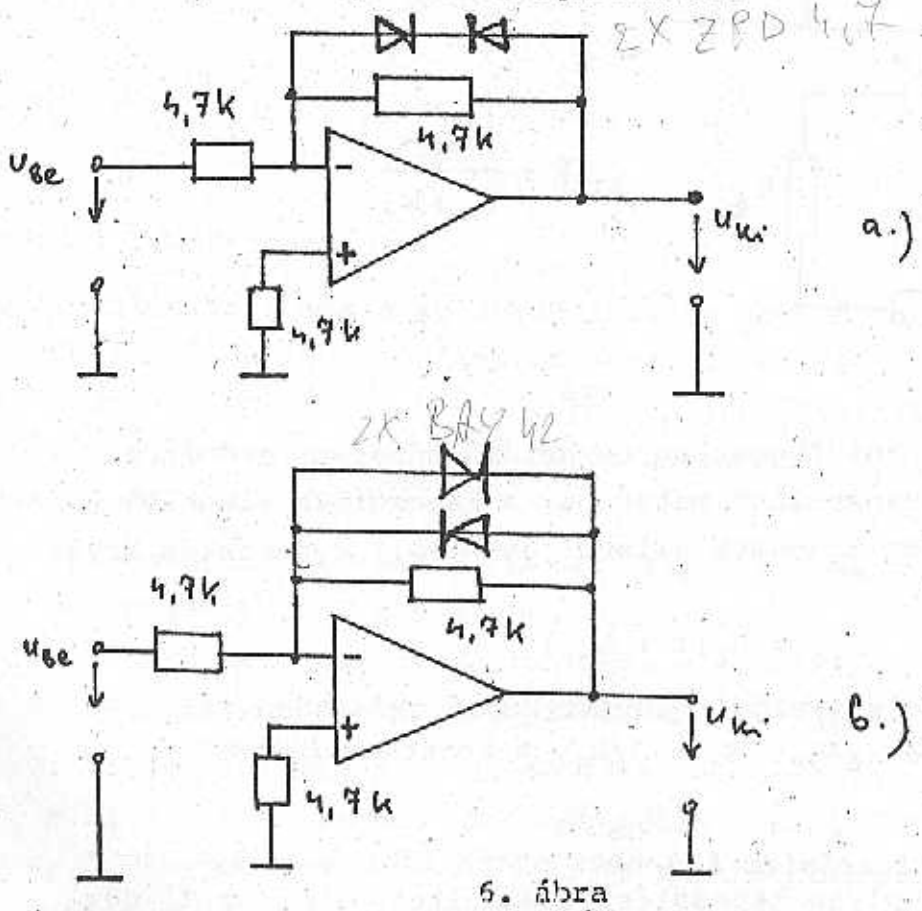
Mérési feladatok:

3.1. Valósítsuk meg a 6.a. ábrán látható kapcsolást. Adjunk a bemenetre a jelgenerátorból szinuszjelet, és a kimenetet kap-

csoljuk oszcilloszkópra. Növeljük a jelamplitúdót addig, amíg a határolás be nem következik. Ekkor a szinuszjelből a kimeneten legömbölyített sarkú négyszögjel lesz. Mérjük le ennek csúcstól csúcsig vett nagyságát, és hasonlítsuk össze a kiadott Z-dióda feszültséghatárával. Fűzzünk magyarázatot az eredményhez.

Az oszcilloszkóp egyik csatornájára vigyük fel a be- és a másikra a határolt, kimeneti jelet. Rajzoljuk le a két jelalakot.

3.2. Valósítsuk meg a 6.b. ábra kapcsolását és végezzük el az előző feladatban megadott vizsgálatokat.

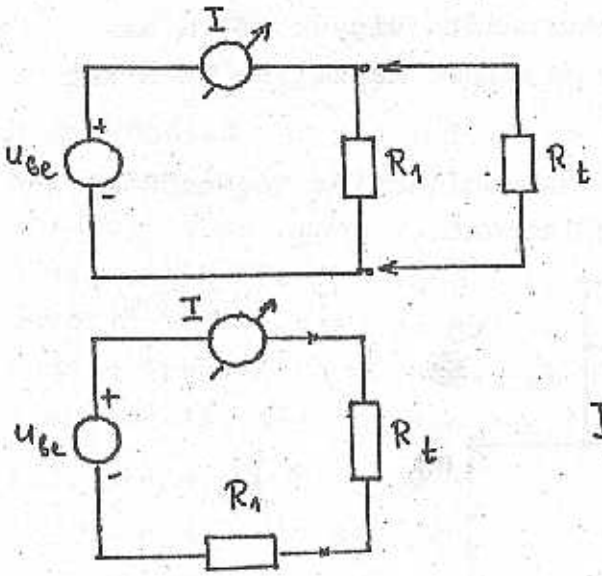


6. ábra

4. Áramgenerátorok

Az integrált műveleti erősítők jól felhasználhatók nagy, gyakorlatilag végtelen belső ellenállású feszültségvezérelt áramgenerátorok kialakításához. Mind földfüggetlen, mint földelt kimenetű kapcsolással megismerkedünk.

Elvileg igen egyszerűen készíthető áramgenerátor úgy, hogy a feszültséggenerátorral egy nagyértékű ellenállást sorba kapcsolunk. Ebben az esetben azonban, mint azt a 7. ábra szemlélteti, az R_t terhelőellenállás és annak esetleges megváltozása befolyásolja a körben folyó áramot.



$$I = \frac{U_{be}}{R_1 \times R_t}$$

$$I = \frac{U_{be}}{R_1 + R_t}$$

7. ábra

A 8. ábra földfüggetlen terhelésű műveleti erősítős áramgenerátor-kapcsolást mutat be. A kapcsolást elemezve adódik, hogy a generátor kimeneti ellenállása (amit a terhelés érez)

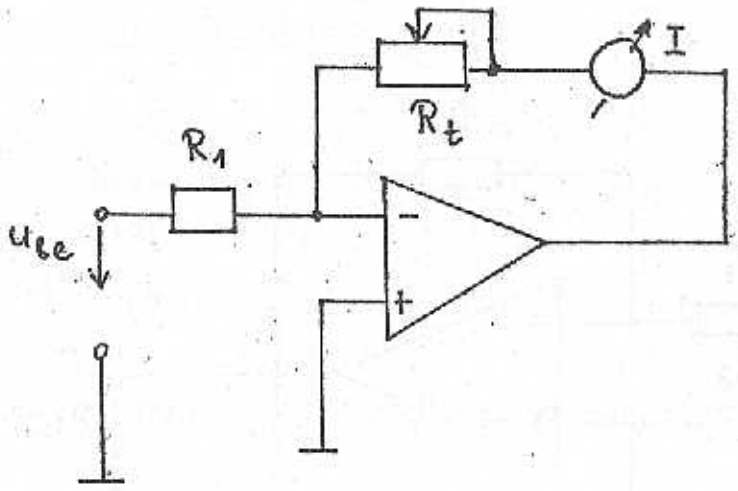
$$R_{kig} = R_1(1 + A_{ou})$$

ahol A_{ou} á műveleti erősítő nyilt hurkú erősítése. Az áramgenerátor meredeksége: $S_T = 1/R_1$. A konstans I áram:

$$I = U_{be}/R_1$$

max. a műveleti erősítő kimeneti árama (kb. 20 mA).

A 9. ábra olyan kapcsolást szemléltet, ahol az R_t terhelőellenállás földelhető. Ha az ellenállásokat szimmetrikusra választjuk (α =1) a generátor kimeneti ellenállása a végtelenhez tart. A kapcsolás érdekes tulajdonsága, hogy a kimeneti feszültség R_t-vel egyenesen arányos. Így az áramkör alkalmas állandó mérőárammal működő, lineáris skálájú ellenállásmérő kialakítására.



8. ábra

Mérési feladatok:

4.1. Valósítsuk meg a 8. ábrán látható kapcsolást. Az R_t terhelőellenállás legyen változtatható ellenállásnak kapcsolt 4,7 kOhm-os potméter. A körbe kapcsoljunk digitális árammérőt. Adjunk a bemenetre kb. 15 V DC feszültséget, R_1 legyen 1 k körüli érték.

Az áramgenerátor terhelése akkor minimális, ha R_t = 0. Mérjük le ebben a helyzetben a körben folyó áramot, majd növeljük R_t értékét. Határozzuk meg, mekkora ellenállásnál csökken le a körben folyó áram eredeti értékének 10 %-ával.

4.2. Valósítsuk meg a 9. ábrán látható kapcsolást. Legyen $R_1 = R_3$ = 1 k és legyen α = 1. Hasonlóan az előző feladathoz, R_t legyen ebben az esetben is változtatható ellenállás. Adjunk a bemenetre 1 V DC feszültséget, és mérjük meg az áramot R_t = 0 esetén. Növeljük R_t értékét, és határozzuk meg, mekkora terhelésnél csökken az áram eredeti értékének 10 %-ára?

Ellenőrizzük az

$$U_{ki} \cong R_t(1+\alpha)\frac{U_0}{R_3}$$

képlet helyességét kb. 1 k terhelő ellenállásnál. Mekkora U_0 bemeneti feszültségtartományban érvényes ez az összefüggés?