

Mérések

7. Előadás

Analóg elektronikus alapáramkörök

Ebben a pontban ismertetésre kerülő alapáramkörök sok mérőműszerben és mérési kapcsolásban szerepelnek.

Műveleti erősítők

A műveleti erősítő alapvető jellemzői:

- nagy bemeneti ellenállás ($M\Omega$ - $G\Omega$ nagyságrend)
- kis kimeneti ellenállás
- nagy feszültségerősítés ($A_0 = 10^4$ - 10^7 illetve 80 - 140 dB)

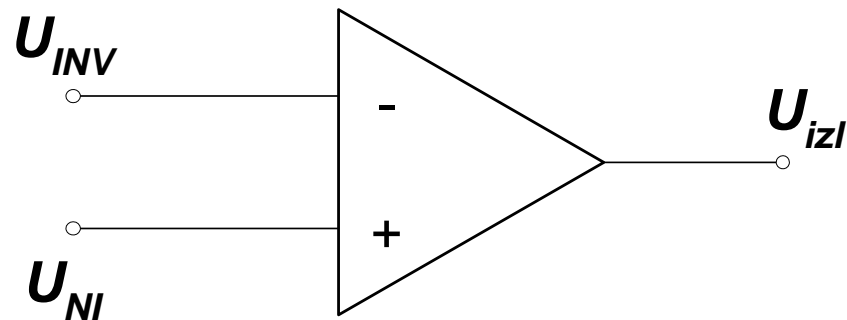
A valós műveleti erősítő megközelíti az „ideális feszültségerősítő” kritériumait, ahol frekvenciától függetlenül a:

- bemeneti ellenállás $R_{ul} = \infty$
- kimeneti ellenállás $R_{izl} = 0$
- feszültségerősítés $A_0 = \infty$

A műveleti erősítőket ma kis méretben, olcsón, nagy sorozatokban gyártják. Megbízhatóságuk nagy. A műveleti erősítőknek tápfeszültségre van szükségük. A műveleti erősítőnek két bemenete van: invertáló (*INV* -vel is jelöljük) és a neminvertáló (*NI* -vel is jelöljük). Feladatuk a bemenőfeszültségek különbségének erősítése, az U_{izl} kimenő feszültség létrehozása.

$$U_{izl} = A_0 (U_{NI} - U_{INV})$$

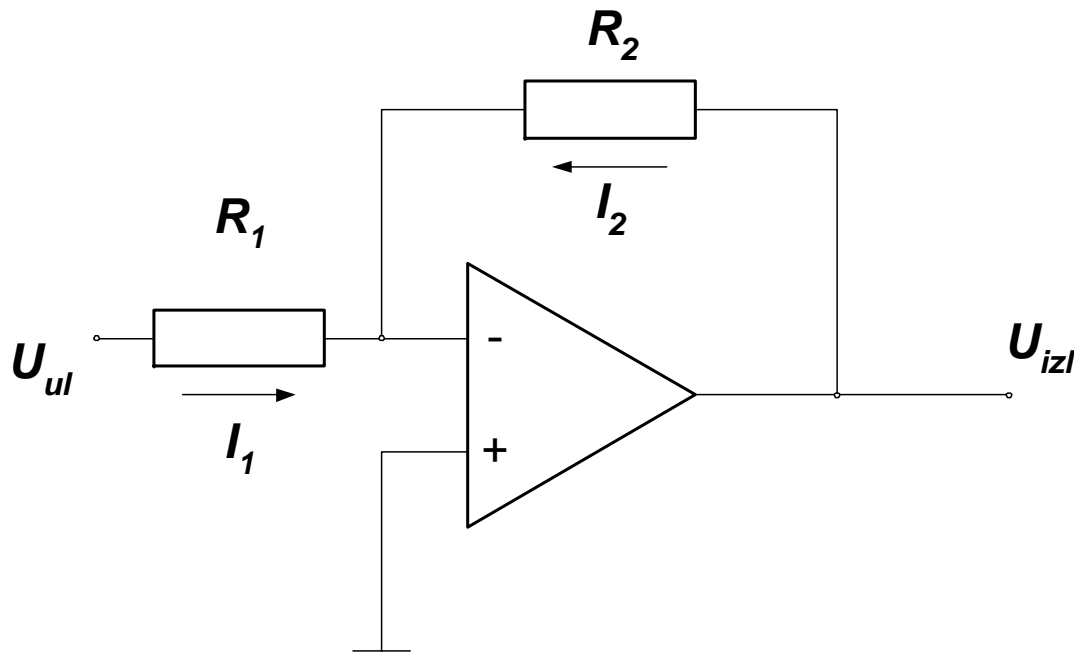
A műveleti erősítő egyik bemenetét föld potenciálra is köthetjük, amíg a másik bemenetre az erősítendő jelet vezetjük. Pozitív jel a neminvertáló bemeneten pozitív kimenetet hoz létre, míg pozitív jel az invertáló bemeneten negatív kimenőjelet hoz létre.



Műveleti erősítőkkel különböző tulajdonságú áramkörök hozhatók létre. Többek közt: Invertáló (jelfordító) erősítő, neminvertáló erősítő, differenciaerősítő, összegező áramkör, bemeneti feszültség követő erősítő, integrátor, differenciátor, különböző szűrők, komparátorok, hiszerézissel rendelkező komparátorok, mintavevő áramkör, áramot feszültséggé, feszültséget árammá valamint áramot árammá (áramerősítő) átalakító áramkörök stb....

Invertáló (jelfordító) műveleti erősítő

Az invertáló erősítőnél az erősítendő feszültséget a műveleti erősítő (-) invertáló bemenetére vezetjük. A kimeneti feszültség arányos a bemenettel, csak ellentétes polaritású.



Ha feltételezzük hogy a műveleti erősítő erősítése végtelenül nagy, a bemenetek közötti feszültség nullával egyenlő. Szem előtt tartva ezt a feltételezést a műveleti erősítő neminvertáló bemenetén is 0 V lesz a feszültség, így az ellenállásokon folyó áramok:

$$I_1 = \frac{U_{ul}}{R_1} \quad I_2 = \frac{U_{izl}}{R_2}$$

Mivel az ideális műveleti erősítő bemeneti ellenállása végtelen, az erősítő (-) bemenetén nem folyik semilyen áram, így az I_1 és I_2 áramok egyenlő nagyságúak csak ellentétes polaritásúak:

$$I_1 = -I_2$$

Behelyettesítéssel, az invertáló erősítő erősítése:

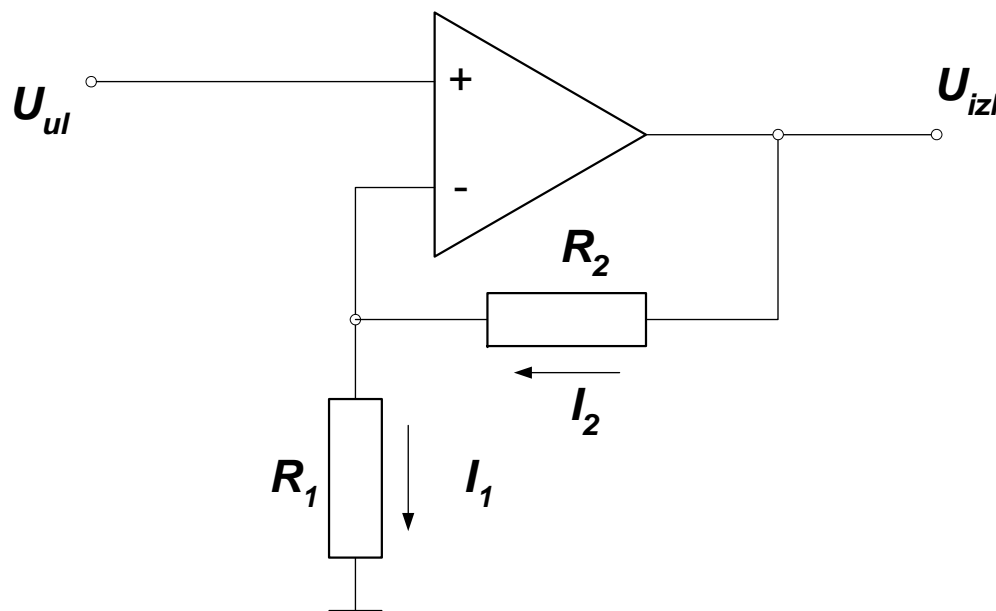
$$U_{izl} = -\frac{R_2}{R_1} U_{ul} \quad A = \frac{U_{izl}}{U_{ul}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Az erősítés kifejezésében megjelenő (-) a fázisfordítást mutatja. Az R_1 és R_2 ellenállások megfelelő kombinációjával tetszőleges A erősítést érhetünk el még 1-nél kisebbet is. Meg kell jegyezni, hogy az invertáló erősítő erősítése csak az R_1 és R_2 ellenállások értékétől függ.

Az invertáló erősítő bemenő ellenállása ideális műveleti erősítőt feltételezve R_1 , a kimenő ellenállás pedig egyenlő nullával.

Fázist nem fordító (nem invertáló) műveleti erősítő

A neminvertáló erősítőnél az erősítendő feszültséget a műveleti erősítő (+) neminvertáló bemenetére vezetjük. A kimeneti feszültség arányos a bemenettel, és bemenő jellel azonos polaritású.



Ha feltételezzük hogy a felhasznált műveleti erősítő ideális, a (+) és (-) bemenetek közötti feszültség nullával egyenlő, így mindkét bemeneten U_{ul} feszültség lesz. Az invertáló bemenet U_{ul} feszültsége kiszámítható, ha figyelembe vesszük hogy R_1 és R_2 potenciométerként vannak bekötve.

$$U_{ul} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{izl}$$

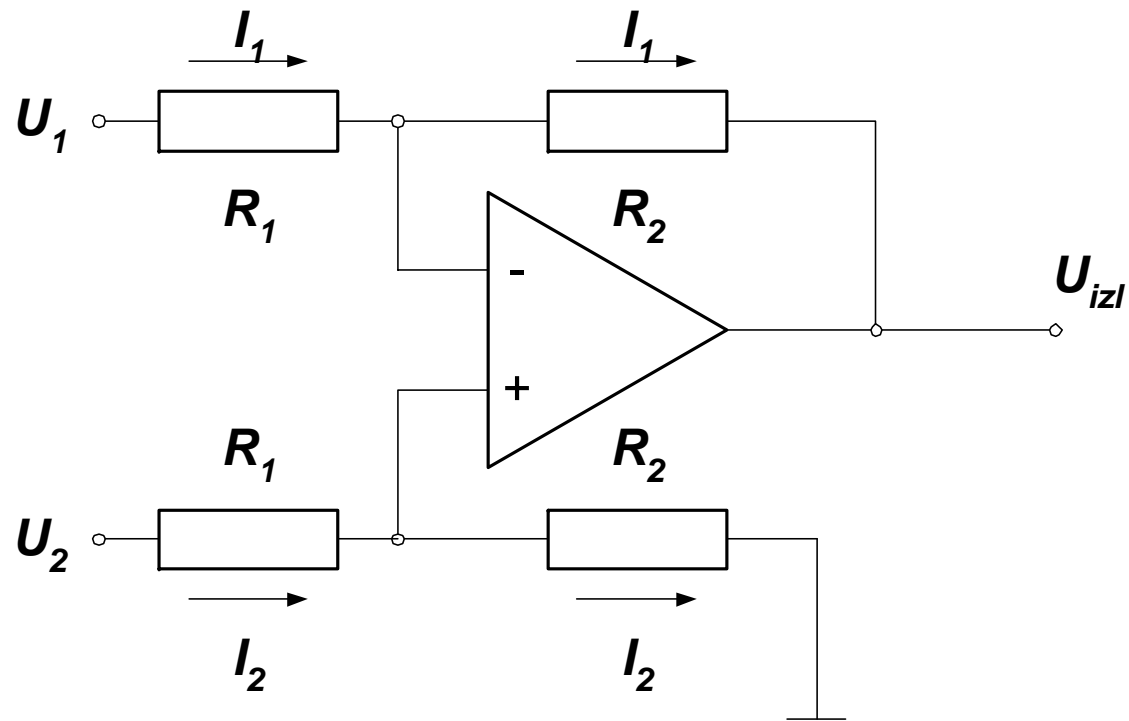
Innen a neminvertáló műveleti erősítő erősítése meghatározható mint:

$$U_{izl} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} U_{ul}$$

$$A = \frac{U_{izl}}{U_{ul}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Diferencia erősítő

A differencia erősítőnél a műveleti erősítő mindkét bemenetére jelet vezetünk. A kimenő feszültség a bemeneteken lévő feszültségek különbségével arányos amennyiben ideális műveleti erősítőt használunk.



Az erősítő működését a szuperpozíció elméletének alkalmazásával tanulmányozhatjuk. Az U_{izl1} feszültség mely az U_1 bemenőjel hatására jön létre, (ha $U_2 = 0$):

$$U_{izl1} = -\frac{R_2}{R_1} U_1$$

Az U_{izl2} feszültség mely az U_2 bemenőjel hatására jön létre, (ha $U_1 = 0$):

$$U_{izl2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_2 = \frac{R_2}{R_1} U_2$$

A szuperpozíció elmélete szerint, az eredő kimenő feszültség egyenlő a bemenetektől egyenként származó feszültségek összegével.

$$U_{izl} = U_{izl1} + U_{izl2}$$

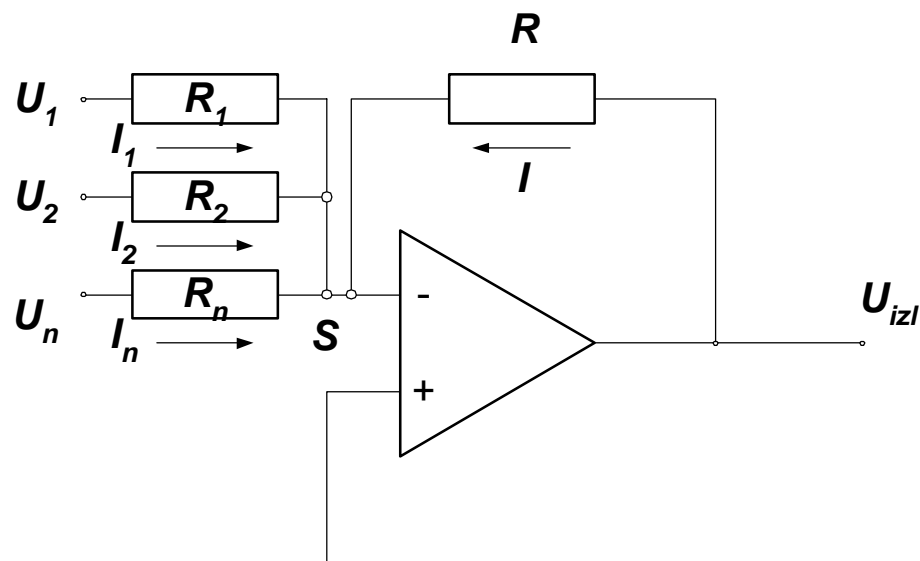
$$U_{izl} = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1)$$

Ha az $(U_2 - U_1)$ feszültséget tekintjük bemenő jelnek akkor a differencia erősítő erősítése a következő kifejezéssel adott:

$$A_d = \frac{U_{izl}}{U_2 - U_1} = \frac{U_{izl}}{U_d} = \frac{R_2}{R_1}$$

A differencia erősítő a bemeneteire csatolt feszültségek különbségét erősíti, tekintet nélkül a feszültségek teljes értékére.

Összegezõ áramkör



Az S csomópontban az áramok összege:

$$I_1 + I_2 + \dots + I_n + I = 0$$

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} = -\frac{U_{izl}}{R}$$

Rendezve:

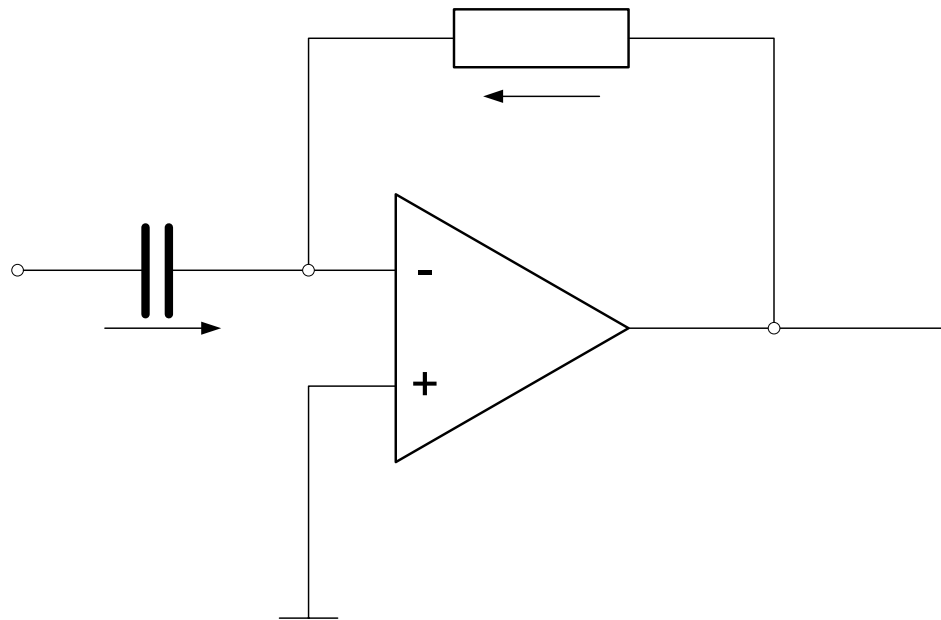
$$U_{izl} = - \left[\frac{R}{R_1} U_1 + \frac{R}{R_2} U_2 + \dots + \frac{R}{R_n} U_n \right]$$

súlyozott összegző kapcsolást kapunk ahol a nagyobb ellenállású bemenet kisebb súlyal szerepel az összegben. Egyszerű összegezónél $R_1 = R_2 = \dots = R_n$ és ekkor:

$$U_{izl} = - \sum_{x=1}^n U_x$$

Differenciáló áramkör

A differenciáló áramkör a differenciálás matematikai műveletének végzésére szolgál. A differenciáló áramkör kimenő feszültsége arányos a differenciáló áramkör bemenetére csatolt feszültség differenciálhányadosával.



Amennyiben a felhasznált műveleti erősítő ideális, az S pont feszültsége 0 V. Az ellenálláson és a kondenzátoron folyó áram értéke:

$$I_C = C \frac{dU_{ul}}{dt}$$

$$I_R = \frac{U_{izl}}{R}$$

Ideális műveleti erősítőt feltételezve, a műveleti erősítő (-) bemenetén nem folyik áram így az I_R és I_C áramok egyenlők.

Behelyettesítve megkapjuk a kimenő feszültséget:

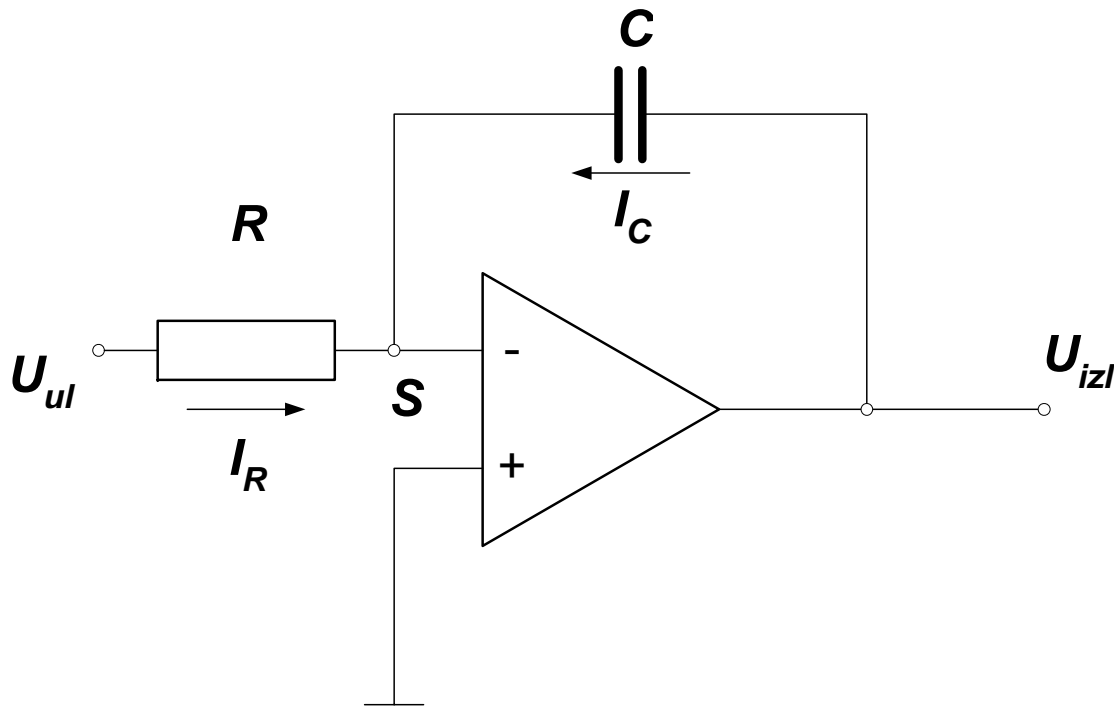
$$\frac{U_{izl}}{R} = -C \frac{dU_{ul}}{dt}$$
$$U_{izl} = -RC \frac{dU_{ul}}{dt}$$

Amennyiben R -t és C -t úgy választjuk hogy $RC = 1$ akkor a kimenő feszültség a bemenet differenciálhányadosával lesz egyenlő:

$$U_{izl} = -\frac{dU_{ul}}{dt}$$

Integráló áramkör

Az integráló áramkör az integrálás matematikai műveletének végzésére szolgál. Az integráló áramkör hasonló a differenciáló áramkörhöz azzal a különbséggel, hogy az R és C helyet cseréltek.



Amennyiben a felhasznált műveleti erősítő ideális, az S pont feszültsége 0 V. Az ellenálláson és a kondenzátoron folyó áram értéke:

$$I_R = \frac{U_{ul}}{R}$$

$$I_C = C \frac{dU_{izl}}{dt}$$

Ideális műveleti erősítőt feltételezve, a műveleti erősítő (-) bemenetén nem folyik áram így az I_R és I_C áramok egyenlőek.

Behelyettesítve megkapjuk a kimenő feszültséget:

$$\frac{U_{ul}}{R} = -C \frac{dU_{izl}}{dt}$$

$$U_{izl} = -\frac{1}{RC} \int U_{ul} dt$$

Amennyiben R -t és C -t úgy választjuk hogy $RC = 1$ akkor a kimenő feszültség a bemenet integráljával lesz egyenlő:

$$U_{izl} = -\int U_{ul} dt$$

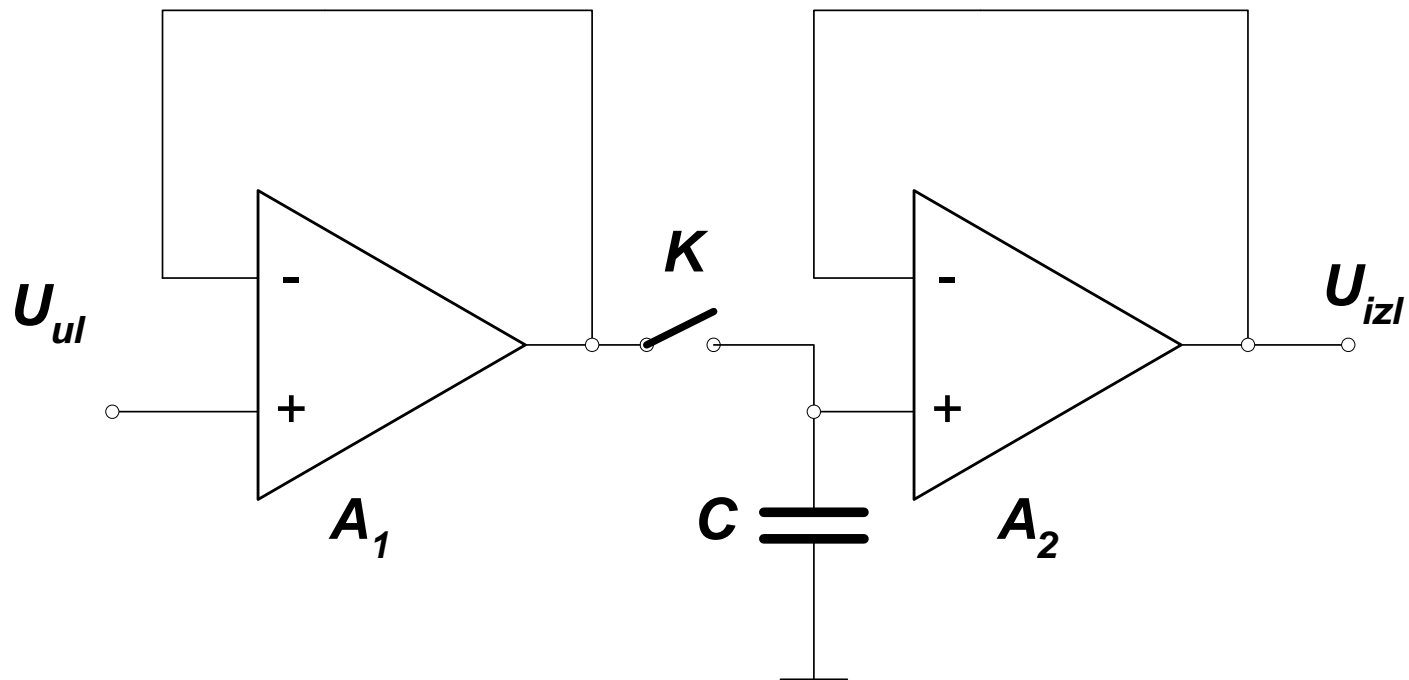
A kifejezésekben jelentkező (-) jel az integráló áramkör fázisfordítására utal.

Komparátor

A komparátor kimenő jelének ugrásszerű változásával érzékeli, ha a folyamatosan változó bemenő feszültség egy előre beállított U_K komparálási szintet túllép. A kimenő feszültség pozitív és negatív maximuma gyakorlatilag az erősítő tápfeszültségével egyenlő.

Ha az erősítő invertáló és nem invertáló bemenetét felcseréljük a kimenő jel változása ellentétes lesz.

Mintavevő-tartó áramkör



Feladata időben változó jelből adott időpillanatban (t_0) mintát venni és a mintavételkor meglévő feszültséget tartani (tárolni). A tárolás (T) ideje alatt lehetőség van a jel (minta) feldolgozására.

Az A_1 erősítő arra szolgál, hogy a C kapacitás töltőárama ne terhelje a bemenő feszültséget, az A_2 erősítő pedig arra, hogy a kimenő feszültségen lévő terhelés a kapacitás (kondenzátor) töltését ill. feszültségét ne csökkentse.

A/D és D/A átalakítók

Az analóg jel alapvető hiányosságai: nem továbbítható nagy távolságra, érzékeny a zavarokra, nehézkesen csatolható a számítógépre, nem stabilak a statikus és dinamikus jellemzői. A digitális jelek lehetővé teszik ezen hiányosságok kiküszöbölését vagy hatásuk gyengítését.

Az analóg jelet digitálissá átalakító berendezést általában mikroprocesszor alapúra építik, ami magas metrológiai minőséget biztosít, és lehetővé teszi a mért információ feldolgozását mielőtt azt a vezérlő rendszerbe vezetnénk

Az analog-digitális (A/D) átalakító olyan elektronikus kapcsolás amely az analóg nagyságot digitálissá alakítja. Azon műszerek jellegzetes alkotórésze amelyek digitális alakban végzik a mérést és a méréseredmények feldolgozását.

Működési elvük szerint a következőképpen oszthatók fel:

- Pillanatérték mérők
- Átlagérték mérők

Pillanatérték mérők:

Diszkrét pillanatértéket mérők:

- Automatikus kompenzátorok
- Feszültség idő átalakítók

Folytonos pillanatérték mérők

- Szimultán átalakítók (flash A/D konverter)
- Követő számlálós átalakítók

Átlagérték mérők:

- Digitálisan átlagoló
- Sztochasztikus adiciónális A/D átalakító
- Analóg módon átlagoló

Az átalakításhoz két jellegzetes folyamat tartozik:

- $u(t)$ analóg nagyság mintavételezése diszkrét időintervallumonként (időbeni felosztás (számosítás)) diszkretizálás,
- A minta egy előre meghatározott fix skála legközelebbi értékére kerekítése (amplitúdó szerinti számosítás) kvantálás.

Ahhoz hogy megkapjuk a mérés eredményét kódolni kell az amplitúdó szerint számosított értéket.

Az A/D átalakítók jellemzői

Statikus jellemzők

Számosítási hiba(Greška kvantovanja)

A Statikus jellemző a kimenő és bemenő jel viszonyát írja le állandósult állapotban. Az A/D átalakítók esetében ez a jellemző: digitális-analóg, mivel a mért nagyság állandósult értékének $x_i \in [x_{min}, x_{max}]$ egy x_{Ni} kódolt kimenet felel meg.

$$x_{Ni} = i \cdot \Delta x \approx x_i$$

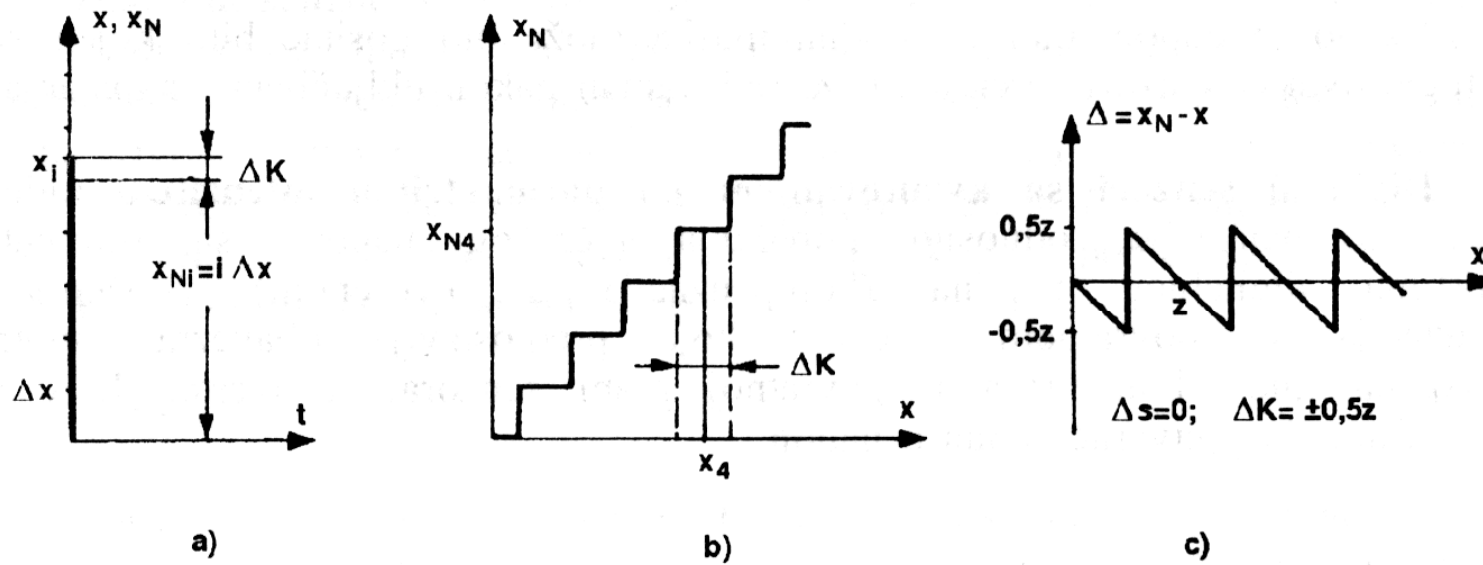
Csak ritkán történik meg hogy $x_{Ni} = x_i$, mivel jellege miatt minden mért nagyságnak az $[x_i - \Delta x, x_i + \Delta x]$ intervallumból ugyanaz az x_{Ni} digitális kimenet felel meg.

Ezzel ΔK hibát követünk el:

$$\Delta K = |x_{Ni} - x_i|$$

amit kvantálási (számosítási) hibának hívunk, így a valódi statikus hiba:

$$x_{Ni} = i \cdot \Delta x = x_i \pm \Delta K_i \quad i = 1, 2, \dots, n.$$



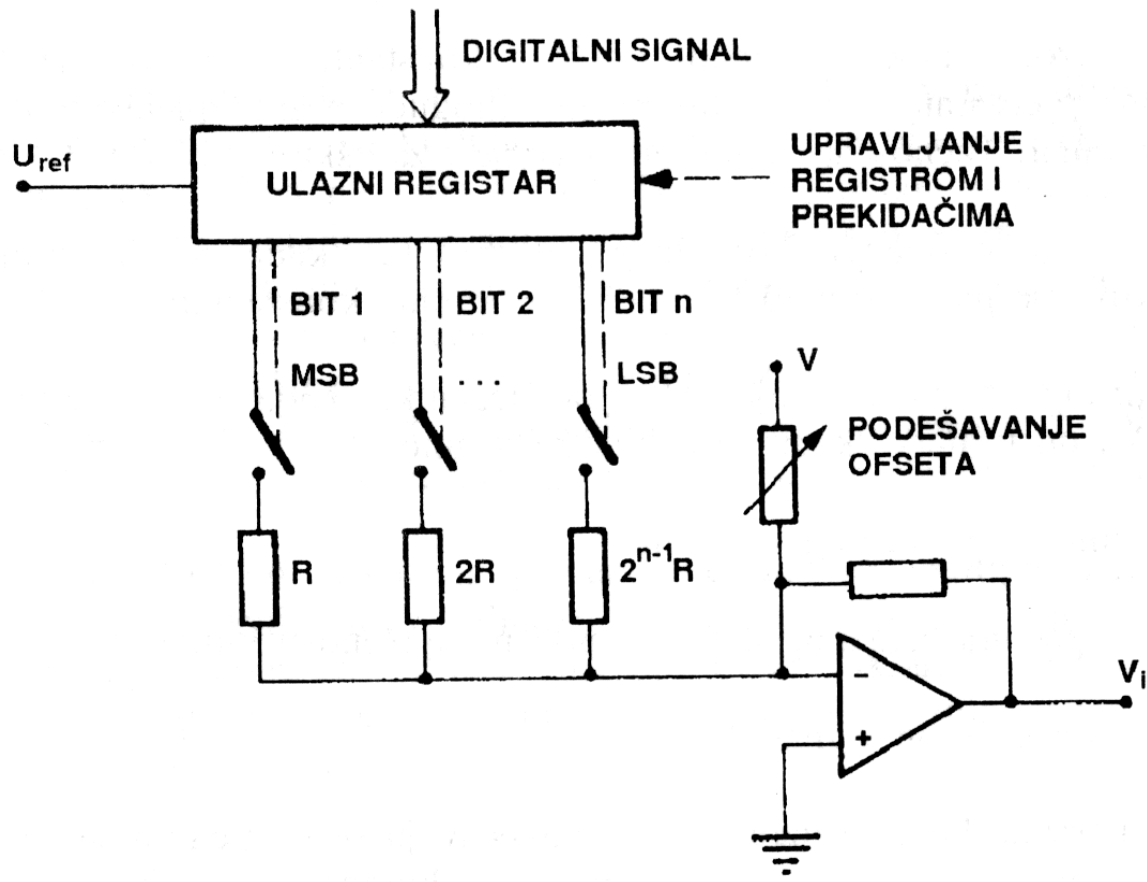
Slika 14.6. Statička karakteristika: a) greška kvantovanja, b) realna statička karakteristika, c) dijagram greške

Dinamikus hiba

Az A/D átalakító úgy működik, hogy a $t = t_1$ pillanatban rögzíti az $x(t_1)$ értéket. Az átalakítás végén a mért nagyság $x(t_1 + t_p)$ értékű, ami általános esetben különbözik a kezdeti értéktől.

Digitális-analóg átalakítók

A digitális-analóg (D/A) átalakítók olyan elektronikus áramkörök, amelyek a soros vagy párhuzamos digitális jeleket analóg áram vagy feszültségjellé alakítják. Mivel a bemenő jel egy szám, minden D/A technika alapja hogy a számjegyeket helyi értéküknek megfelelő árammá vagy feszültséggé alakítjuk, amelyeket végül összeadunk.



Slika 14.15. Osnovna šema D/A pretvarača

Analóg-digitális átalakítók

Az analóg-digitális (A/D) átalakító olyan elektronikus áramkör, melynek diszkrétizációs feladata van. Segítségével meghatározható a mért analóg mennyiségnek megfelelő diszkrét egységek száma.

Az A/D átalakító megválasztásánál lényeges:

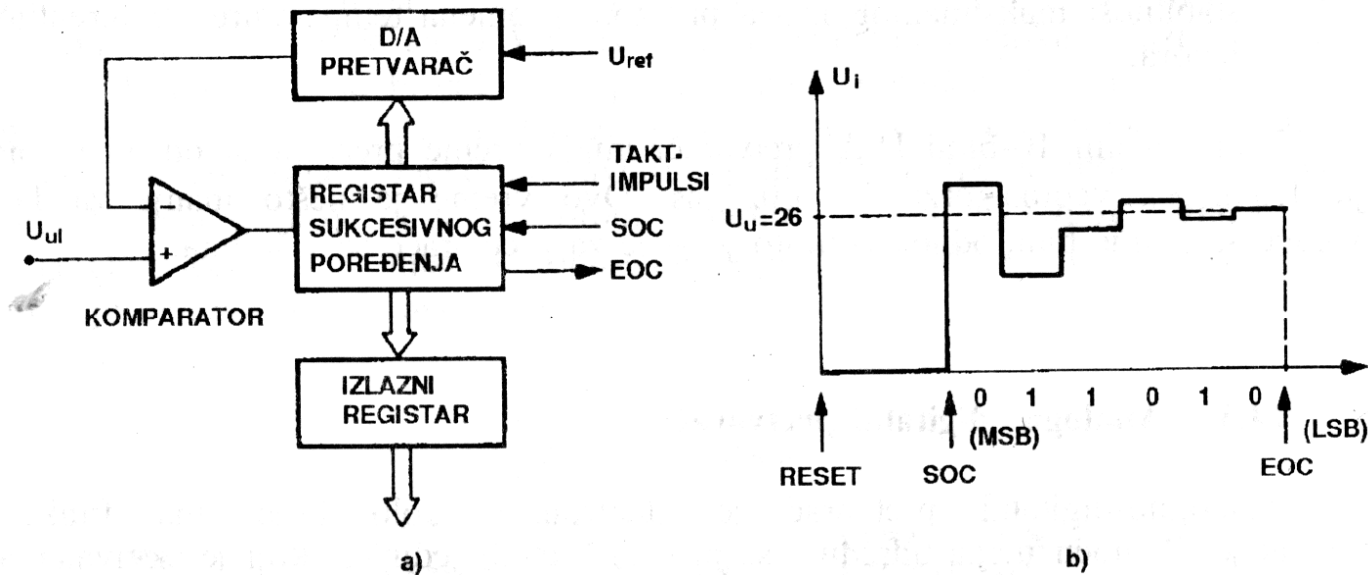
- a mérendő analóg jel tartománya és felbontása,
- az átalakító statikus jellemzőinek állandósága és pontossága,
- külső behatások, különösen a külső hőmérséklet hatása
- az átalakítás időtartama,
- a referens feszültség típusa (fix, változó állítható),
- tápforrás,
- a bemenő zajok jellege és
- az A/D átalakító jellemzőinek hatása a bemenő kanálisra.

Szukcesszív approximációs A/D átalakító

Az A/D átalakítás szukcesszív approximációs technikájának a lényege abban rejlik hogy az ismeretlen analóg jelet összehasonlítjuk egy belsőleg gerjesztett kompenzációs jellel. Eltérés esetén, az eltérés előjelétől függően a vezérlő módosítja a regiszter tartalmát mindaddig, amíg a komparátor egyenlőséget nem jelez.

A legcélszerűbb, a minimális számú lépést igénylő „felezéses” módszer. Ennek megfelelően első lépésként a legnagyobb bitet (MSB) állítja elő a regiszter. Amennyiben az így előálló szint a D/A kimenetén túl nagy, akkor a legnagyobb bit kikapcsolódik és a következő, fele akkora súlyú bit bekapcsolása következik. Ellenkező esetben az MSB meghagyása mellett történik a következő bit bekapcsolása. A folyamat a továbbiakban értelemszerűen fut az egyre kisebb biteken keresztül.

- A kompenzációs jel a D/A átalakítón jön létre és a SOC kezdőjel beérkezésével indul. Az átalakítás végét az EOC jel vétele jelzi.



Slika 14.16. A/D pretvarač sukcesivnog tipa: a) principijelna šema, b) dijagram aproksimacije

- Az A/D átalakítók elé gyakran mintavevő-tartó áramkört adunk, amely a gyorsan váltakozó bemenőjelet a mintavételezés pillanatában rögzíti.

Integrációs típusú A/D átalakítók

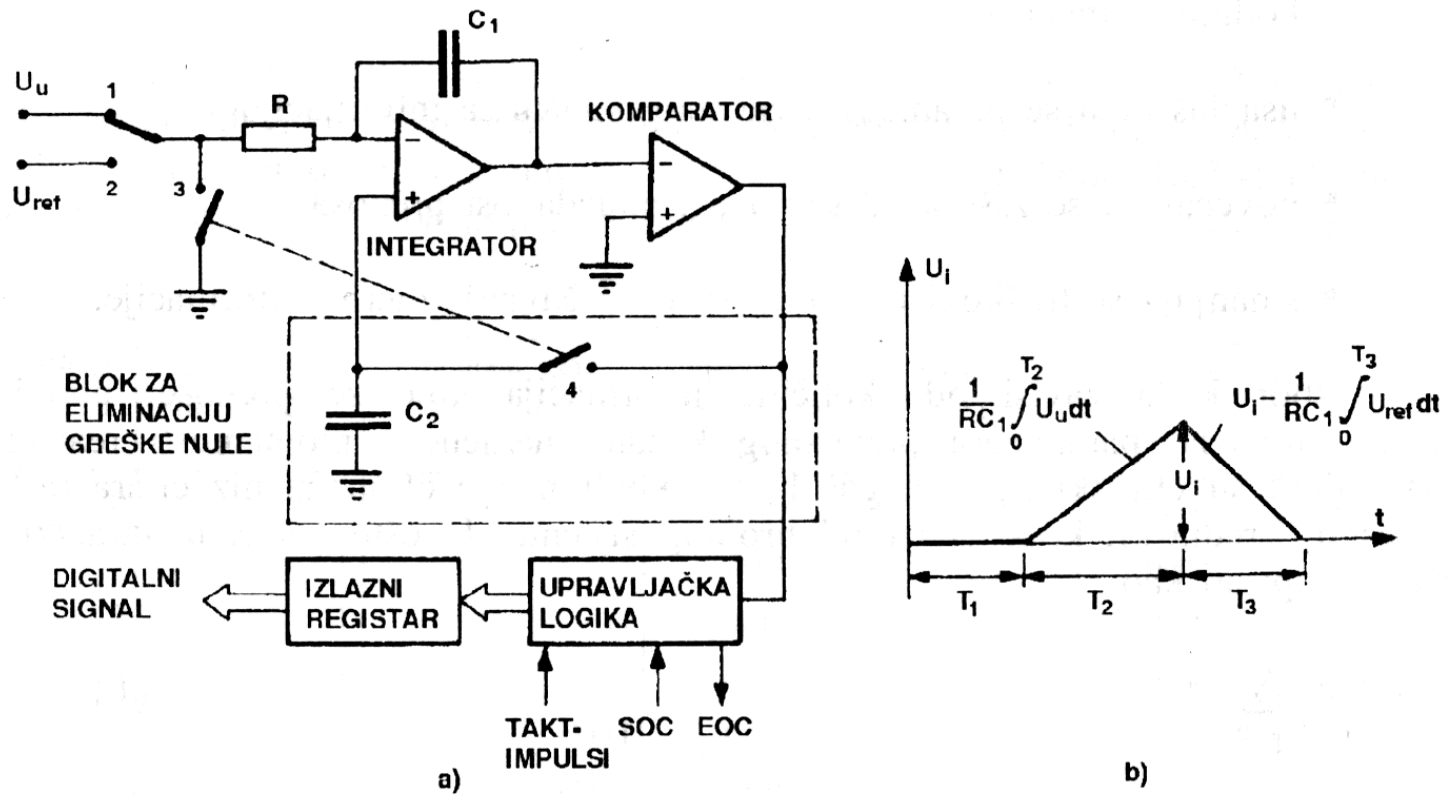
Leginkább az analóg módon átlagoló, kettős meredekségű, A/D átalakítót használjuk. Munkaperiódusa három részre osztható:

- Az első részben (a bemenet rövidre zárva, a 3 és 4 kapcsolók bezárva) a C_2 kondenzátoron a nulla hibának megfelelő feszültség jön létre.
- A második részben (az 1 kapcsoló zárva, a 3 és 4 nyitva) a bemenő analóg jelet integráljuk. A T_2 periódus végén, ami meghatározott számú órajellel van definiálva, az integrátor kimenetén a bemenő jellel arányos feszültség lesz: $U_i = U_u (T_2/RC)$.

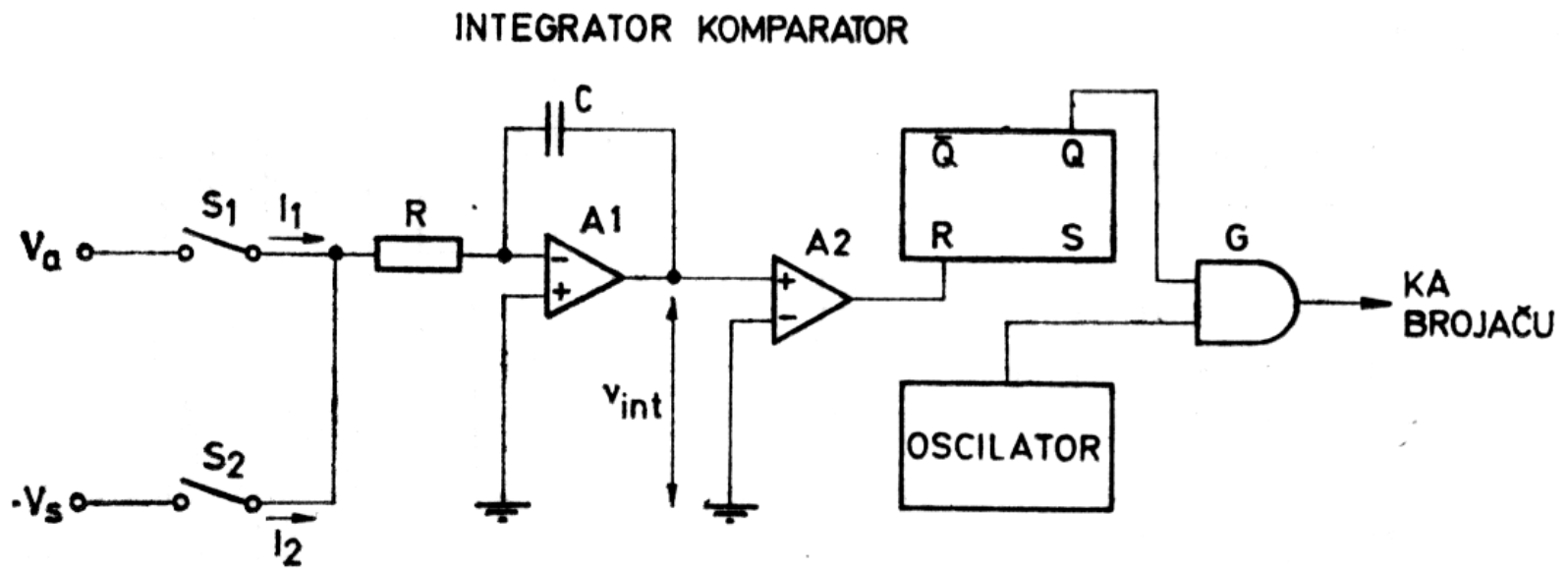
- A ciklus harmadik részében, (a 2 kapcsoló zárva) az integrátor bemenetére a mérendő jellel ellentétes polaritású referens feszültséget kapcsolunk, így a kimenő feszültség csökken. A kimenő feszültség csökkenése T_3 ideig tart, vagyis addig míg a komparátor nullát nem regisztrál..
- A bemenő feszültség digitális ekvivalense a következő egyenletből határozható meg:

$$U_u = (T_3 / T_2) U_{ref}$$

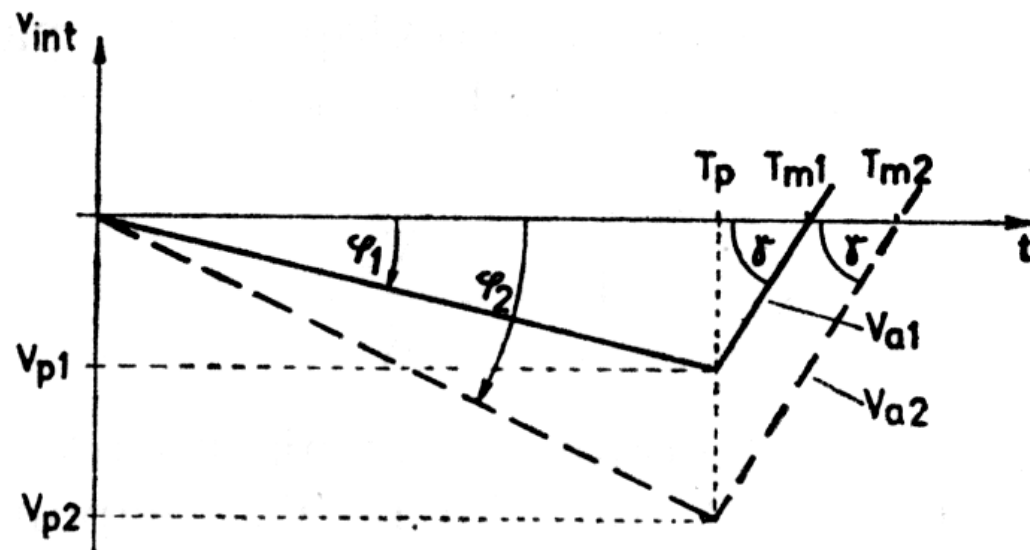
- Az integrációs típusú A/D átalakítók előnye a nagy pontosság, a zajok alacsony hatása, hiányosságuk az átalakítás relatív lassúsága



Slika 14.17. A/D pretvarač na principu integracije: a) principijelna šema, b) vremenski dijagram



Sl. 14.11 — A/D pretvarač sa dvojnim nagibom



Sl. 14.12 — Promena napona na izlazu integratora

Feszültség- frekvencia (idő) átalakítású A/D átalakító

Kitűnik egyszerűségével, relativ olcsó, alkalmas a gyorsanváltozó analóg jelek átalakítására valamint az adatok nagyobb távolságra való továbbítására. Hibája a viszonylag alacsony pontosság.