

6. Analóg áramkörök kapcsoló üzeme

A következő áramkörökben a műveleti erősítőket gyakran az $U_{ki\min}$ és $U_{ki\max}$ kivezrléshatárig vezéreljük. Az $U_d=0$ alapegyenlet csak abban a pillanatban teljesül, amikor a műveleti erősítő kimeneti feszültsége $U_{ki\max}$ -ról $U_{ki\min}$ -re, vagy fordított irányba változik.

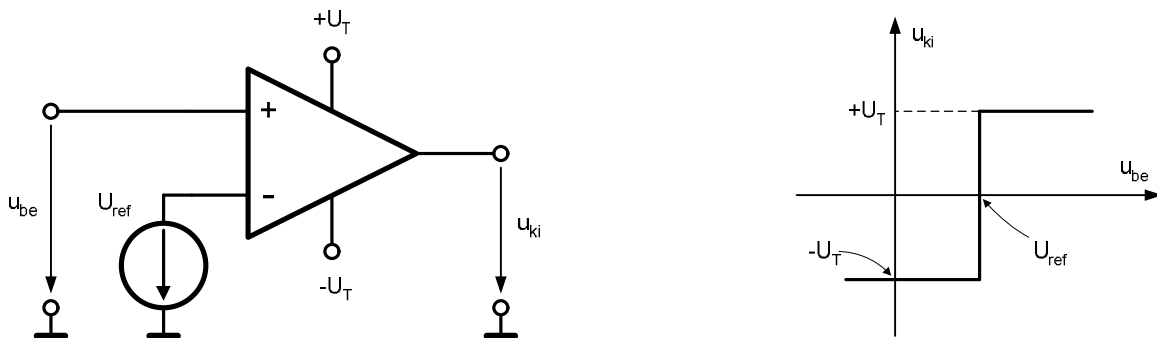
6.1 Feszültségkomparátorok

A műveleti erősítővel megvalósított komparátor áramkör a bemeneteire adott két analóg jel értékét hasonlítja össze és kétféle kimeneti jelet szolgáltat attól függően, hogy melyik bemeneti jel nagyobb. A két bemeneti jel közül az egyik rendszerint állandó értékű, ez az U_{ref} referenciafeszültség, a másik bemenetre kapcsolódik a változó u_{be} bemeneti feszültség. A komparátor akkor változtatja meg a kimenetét, amikor a bemeneti feszültség értéke megegyezik a referenciafeszültséggel. Mivel a bemeneti jel analóg, a kimeneti jel pedig digitális, ezért a komparátor analóg-digi-tális átalakítónak is tekinthető.

Komparátornak alkalmazható a normál műveleti erősítő, vagy a komparátor típusú erősítő, amelyre a gyorsabb működés és a logikai szintű kimenet a jellemző. A komparátorok működése a műveleti erősítő túlvezérlésén, tehát a nemlineáris működésén alapszik. Megfelelően kis értékű bemeneti jel esetén a komparátor egyszerű erősítőként működik.

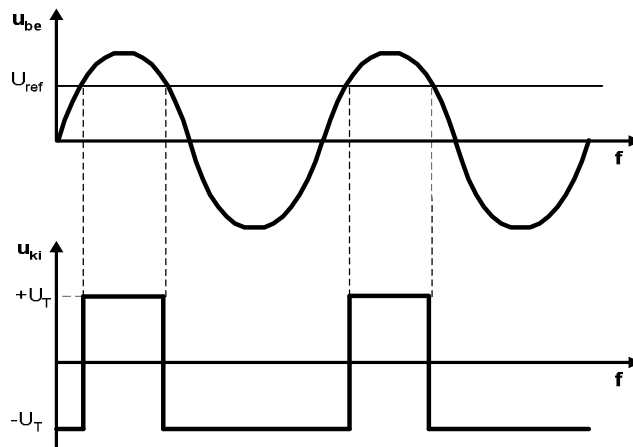
a.) Neminvertáló komparátor

Az ideális műveleti erősítővel megvalósított neminvertáló komparátor kapcsolása és transzfer karakterisztikája látható a 6.1 ábrán.



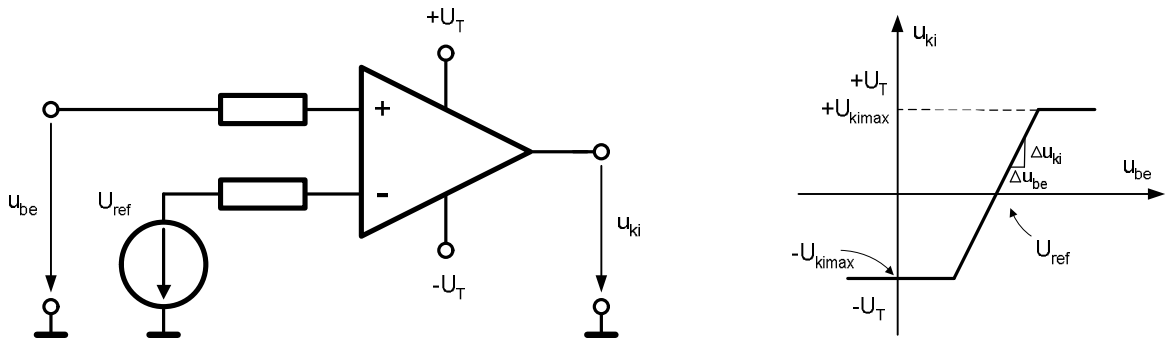
6.1 ábra Neminvertáló komparátor kapcsolása és transzfer karakterisztikája

Ha a komparátor neminvertáló bemenetének u_{be} feszültsége nagyobb, mint az U_{ref} referenciafeszültség, akkor az u_{ki} kimeneti feszültség a pozitív tápfeszültséggel, ha kisebb, akkor a kimenet a negatív tápfeszültség értékével egyezik meg. A 6.2 ábrán a neminvertáló komparátor bemeneti és kimeneti feszültség-időfüggvénye látható szinuszos bemeneti jel és pozitív értékű referenciafeszültség esetén.



6.2 ábra Neminvertáló komparátor bemeneti és kimeneti időfüggvénye

A valóságos műveleti erősítő véges erősítéssel, nullától eltérő értékű ofszet feszültséggel rendelkezik, és túlvezérlés esetén a $\pm U_T$ tápfeszültség értéknél mindig kisebb a kimeneti feszültség minimális és maximális értéke. A 6.3 ábrán a valóságos műveleti erősítővel megvalósított neminvertáló komparátor kapcsolása és a transzferkarakterisztikája látható.



6.3 ábra Valóságos komparátor kapcsolása és a transzferkarakterisztikája

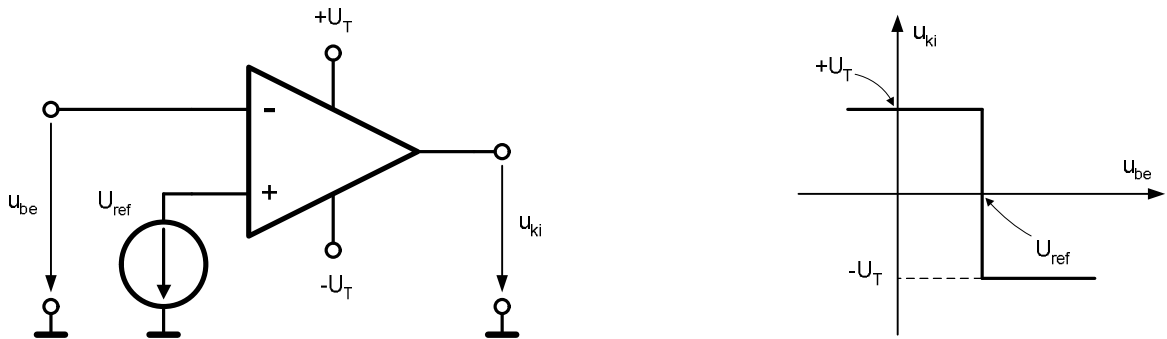
A valóságos műveleti erősítővel megvalósított komparátor transzfer karakterisztikája véges meredekségű, az erősítő A_{u0} erősítésének megfelelően:

$$A_{u0} = \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta U_{be}}$$

a billenési szint értékét pedig a műveleti erősítő ofszet feszültsége módosítja.

b) Invertáló komparátor

Az ideális műveleti erősítővel megvalósított invertáló komparátor kapcsolása és transzfer karakterisztikája látható a 6.4 ábrán.

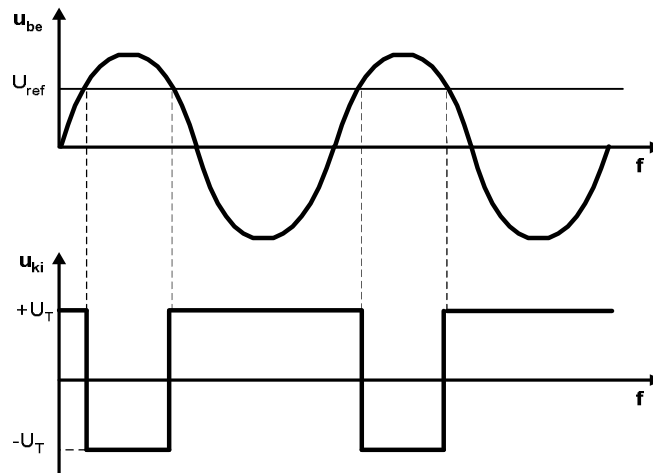


6.4 ábra Invertáló komparátor kapcsolása és transzfer karakterisztikája

A komparátor invertáló (-) bemenetére kell kapcsolni az u_{be} bemeneti feszültséget, a (+) neminvertáló bemenetére pedig az U_{ref} referenciafeszültséget. Ha a bemeneti feszültség nagyobb mint a referenciafeszültség, akkor az u_{ki} kimeneti feszültség a negatív tápfeszültséggel, ha kisebb, akkor a kimenet a pozitív tápfeszültség értékével egyezik meg.

A 6.5 ábrán az invertáló komparátor bemeneti és kimeneti feszültség-időfüggvénye látható szinuszos bemeneti jel és pozitív értékű referenciafeszültség esetén.

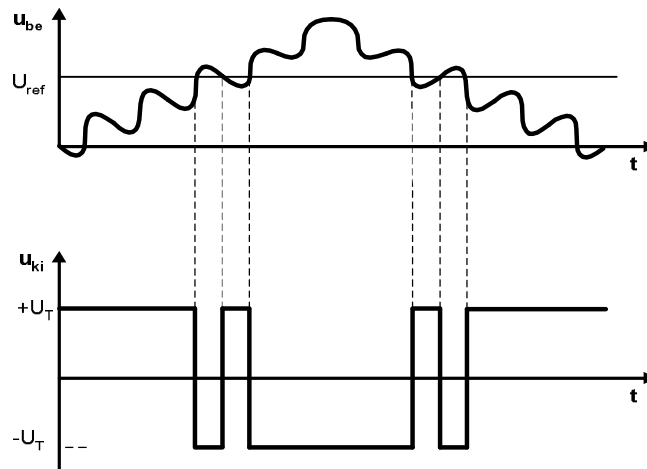
A valóságos műveleti erősítővel megvalósított invertáló komparátor transzfer karakterisztikája véges meredekségű, hasonlóan az előbbi esethez.



6.5 ábra Az invertáló komparátor bemeneti és kimeneti feszültség-időfüggvénye.

c.) Invertáló hiszterézises komparátor

Ha a bemeneti jelre zavarjel szuperponálódik, akkor a komparálási szintet a bemeneti jel mindkét irányban többször átlépi, ezért a komparátor kimeneti jele bizonytalanná válik (6.6 ábra). A bemeneti zavarjel hatása csökkenthető, ha a komparátor oda- és visszabilenési szintje különböző értékű, amely a komparátor kis mértékű pozitív visszacsatolásával valósítható meg.



6.6 ábra Zajos feszültség komparálása

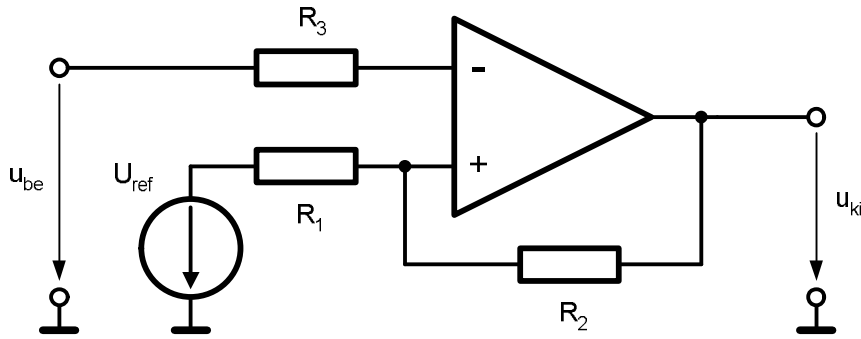
Az invertáló hiszterézises komparátor kapcsolása látható a 6.7 ábrán. A komparátor kimenete akkor billen át, amikor az invertáló bemenetre kapcsolt bemeneti feszültség pillanatértéke megegyezik a neminvertáló bemenet feszültségével. A neminvertáló bemenet feszültségét két tényező befolyásolja: egyrészt az U_{ref} referencia-feszültség, másrészt az u_{ki} kimeneti feszültség visszacsatolt értéke. Mivel a kimenet két értéket vehet fel, így a visszacsatolás miatt két (alsó és felső) komparálási szint jön létre. A komparátor akkor billen át, amikor a bemeneti feszültség először meghaladja a felső komparálási szintet, és csak akkor billen vissza, ha a bemeneti jel az alsó billenési szint értéke alá csökken. Ha a zajfeszültség csúcstól-csúcsig mért értéke kisebb, mint a felső és az alsó billenési szint különbsége, akkor elkerülhető a komparátor hibás működése.

Ha a bemeneti feszültség u_{be} negatív irányból pozitív irányba változik, a kimeneti feszültség értéke:

$$U_H = +U_{kimax}$$

A komparátor kimenete akkor változik meg, ha az invertáló és a neminvertáló bemenetek feszültsége megegyezik:

$$u_n = u_p$$



6.7 ábra Invertáló hiszterézises komparátor

Az invertáló bemenet feszültsége: $u_n = u_{be}$.

A bemeneti feszültség értéke, amikor a komparátor átbillen:

$$u_{be} = U_f$$

a felső billenési szint.

A neminvertáló bemenet u_p feszültségét két feszültség befolyásolja: egyrészt az u_{ki} kimeneti feszültség, másrészt az U_{ref} referenciafeszültség.

A neminvertáló bemenet u_p feszültsége a szuperpozíció alkalmazásával:

$$u_p = U_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + u_{ki} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Behelyettesítések után ($u_p = U_f$ és $u_{ki} = U_H$) a felső billenési szint az

$$U_f = U_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_H \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

összefüggés szerint határozható meg.

Ha a bemeneti feszültség u_{be} pozitív irányból negatív irányba változik, a kimeneti feszültség

$$U_L = -U_{ki\max}$$

értékű. A komparátor kimenete akkor változik meg, ha az invertáló és a neminvertáló bemenetek feszültsége megegyezik:

$$u_n = u_p$$

Az invertáló bemenet feszültsége: $u_n = u_{be}$.

A bemeneti feszültség értéke, amikor a komparátor átbillen: $u_{be} = U_a$, az alsó billenési szint.

A neminvertáló bemenet u_p feszültsége a szuperpozíció alkalmazásával:

$$u_p = U_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_L \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Behelyettesítések után ($u_p = U_a$ és $u_{ki} = U_L$) az alsó billenési szint az

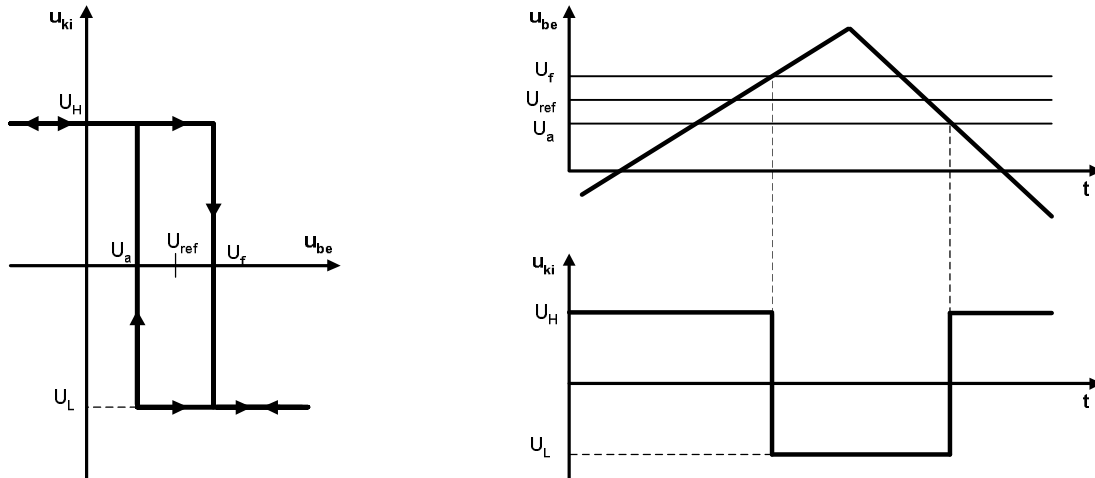
$$U_a = U_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_L \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

összefüggéssel határozható meg.

A két billenési szint különbsége a hiszterézistávolság:

$$U_h = U_f - U_a = (U_H - U_L) \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Az invertáló hiszterézises komparátor transzfer karakterisztikája és időfüggvényei a 6.8 ábrán láthatók.

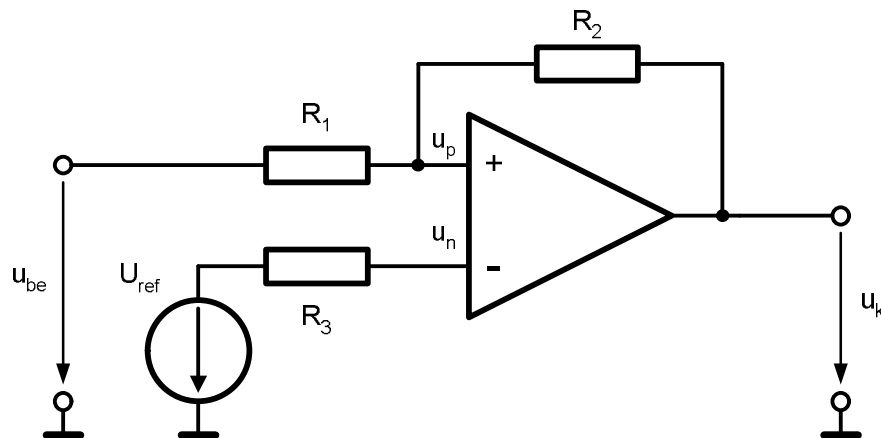


6.8 ábra Az invertáló hiszterézises komparátor transzferkarakterisztikája és időfüggvényei

A komparátor kimenete akkor alacsony szintű, ha a bemeneti feszültség pillanatértéke értéke nagyobb a felső billenési szint értékénél, és akkor billen át a magas szintre, ha a bemeneti feszültség az alsó billenési szint értéke alá csökken.

d.) Neminvertáló hiszterézises komparátor

Az invertáló hiszterézises komparátor bemenetén a bemeneti és a referenciafeszültséget megcserélve neminvertáló hiszterézises komparátor alakítható ki. A neminvertáló hiszterézises komparátor kapcsolása a 6.9 ábrán látható.



6.9 ábra Neminvertáló hiszterézises komparátor

Ha a bemeneti feszültség u_{be} negatív irányból pozitív irányba változik, a kimeneti feszültség

$$U_L = -U_{ki \max}$$

A komparátor kimenete akkor változik meg, ha az invertáló és a neminvertáló bemenetek feszültsége megegyezik: $u_n = u_p$

Az invertáló bemenet feszültsége: $u_n = U_{ref} = u_p$

A bemeneti feszültség értéke, amikor a komparátor átbillen, $u_{be} = U_f$, a felső billenési szint.

A neminvertáló bemenet feszültségét a bemeneti feszültség és a kimeneti feszültség együttesen határozza meg. A neminvertáló bemenet u_p feszültsége a szuperpozíció alkalmazásával:

$$u_p = u_{be} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + u_{ki} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Behelyettesítések után ($u_p = U_{ref}$, $u_{be} = U_f$ és $u_{ki} = U_L$) kapjuk:

$$U_{ref} = U_f \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_L \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Ebből az egyenletből meghatározható a felső billenési szint értéke:

$$U_f = \frac{U_{ref} - U_L \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2}} = U_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - U_L \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Ha a bemeneti feszültség u_{be} pozitív irányból negatív irányba változik, a kimeneti feszültség

$$U_H = +U_{ki \max}$$

értékű. A bemeneti feszültség értéke, amikor a komparátor átbillen, $u_{be} = U_a$, az alsó billenési szint.

A neminvertáló bemenet u_p feszültsége a szuperpozíció alkalmazásával:

$$u_p = u_{be} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + u_{ki} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Behelyettesítések után ($u_p = U_{ref}$, $u_{be} = U_a$ és $u_{ki} = U_H$) kapjuk:

$$U_{ref} = U_a \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} + U_H \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Ebből az egyenletből meghatározható az alsó billenési szint értéke:

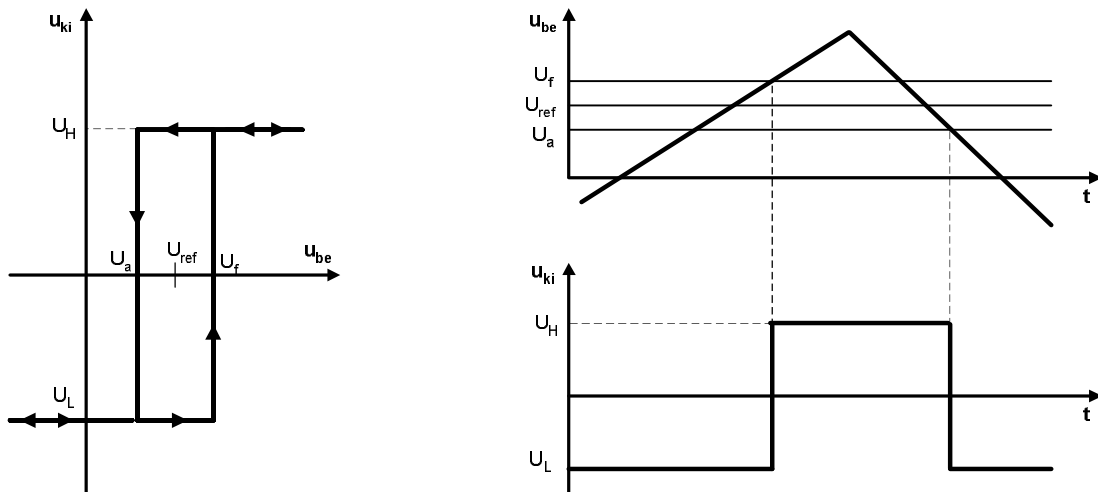
$$U_a = \frac{U_{ref} - U_H \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}}{\frac{R_2}{R_1 + R_2}} = U_{ref} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - U_H \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

A hiszterézis távolság:

$$U_h = U_f - U_a = (U_H - U_L) \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

a felső és az alsó billenési szint különbsége.

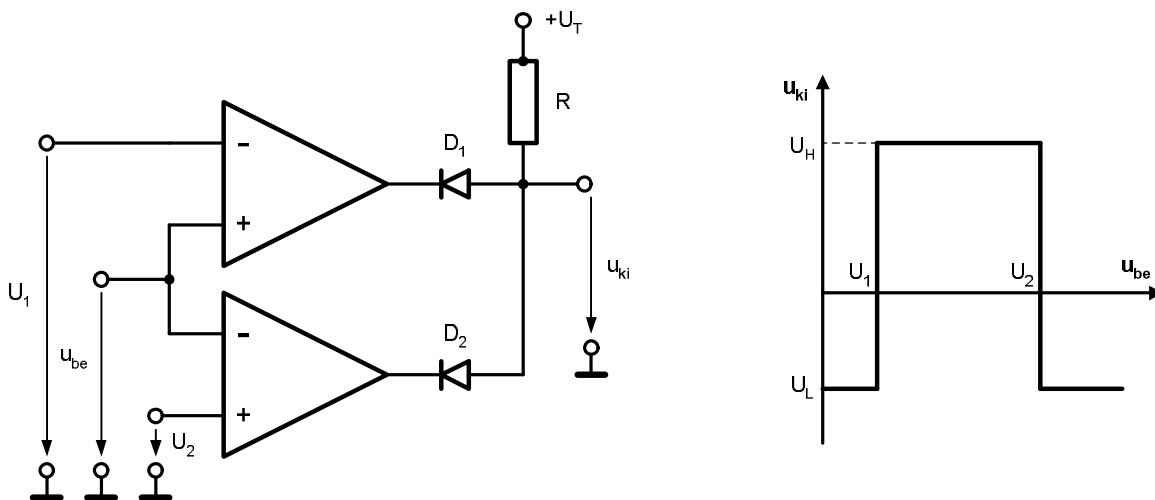
A kapcsolás transzfer karakterisztikája és időfüggvényei a 6.10 ábrán láthatók, háromszög jelformájú bemeneti feszültség és pozitív referenciafeszültség esetén.



6.10 ábra A neminvertáló hiszterézises komparátor transzferkarakterisztikája és időfüggvényei

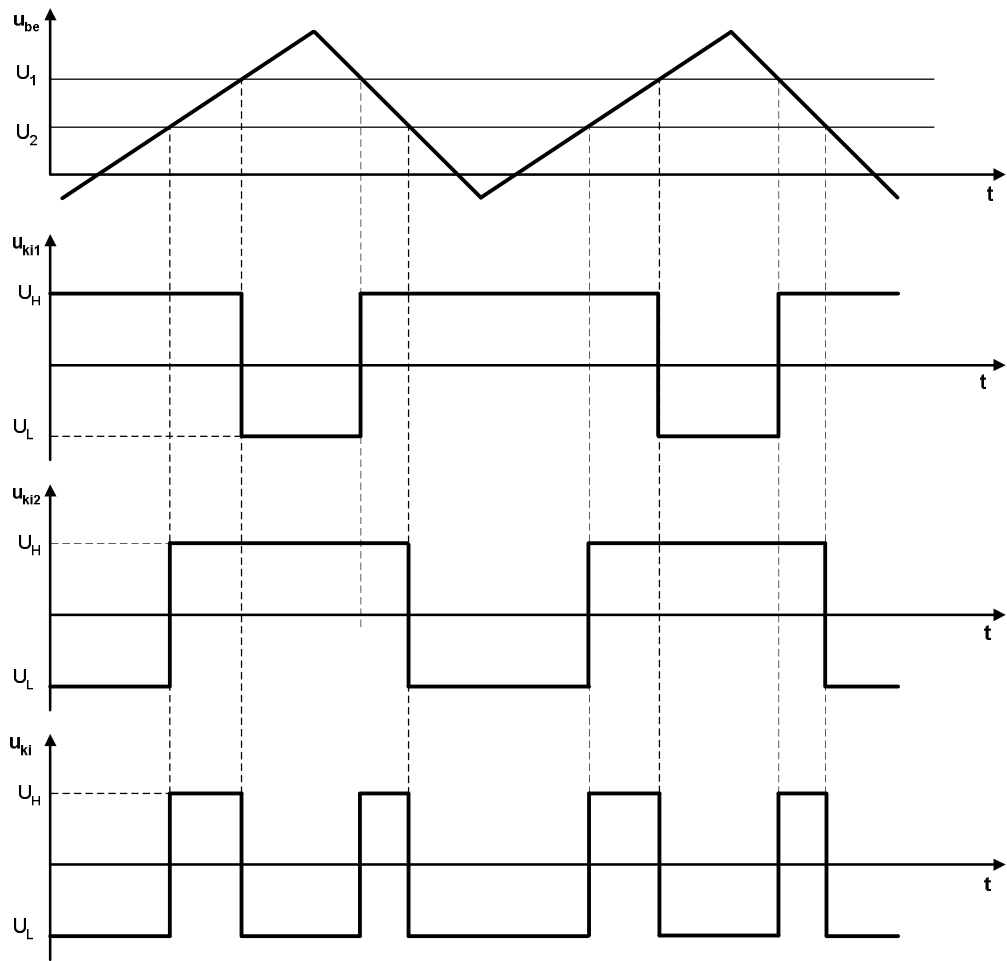
e.) Ablakkomparátor

Az ablakkomparátor két komparátorból felépített kapcsolás, amellyel eldönthető, hogy a bemenetére kapcsolt u_{be} feszültség az előírt határok között van-e, vagy azon kívül. A műveleti erősítők kimenetét diódákkal, vagy logikai kapukkal kell összekapcsolni. Az ablakkomparátor kapcsolása a 6.11 ábrán látható, a kimeneten diódás ÉS kapuval.



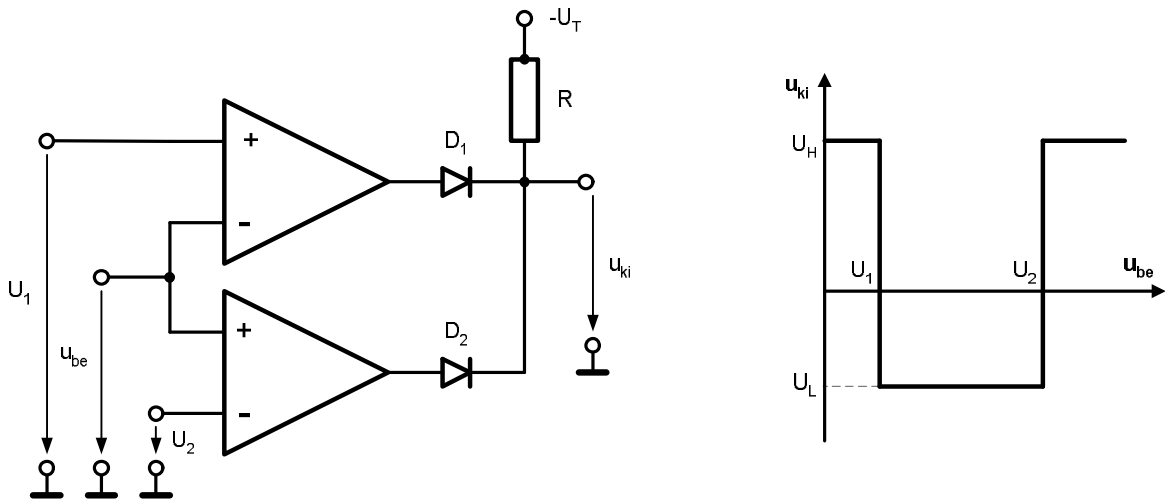
6.11 ábra ÉS ablakkomparátor kapcsolása és transzfer karakterisztikája

Az ablakkomparátor kimenete akkor U_H (magas) szintű, ha mindkét műveleti erősítő kimenete U_H értékű, tehát az u_{be} bemeneti feszültség az U_1 és U_2 feszültségértékek között van, minden más esetben U_L (alacsony) értékű. A kapcsolás jellemző időfüggvényei láthatók a 6.12 ábrán.



6.12 ábra Az ablakkomparátor időfüggvényei

A 6.13 ábrán látható ablakkomparátor kimenete logikai VAGY kapu. Ebben az esetben akármelyik műveleti erősítő kimenete U_H (magas) szintű, akkor a közös kimenet is U_H (magas) szintű. A közös kimenet csak akkor U_L (alacsony) szintű, ha mindkét kimenet U_L (alacsony) szintű, tehát a bemeneti jel értéke U_1 és U_2 között van.

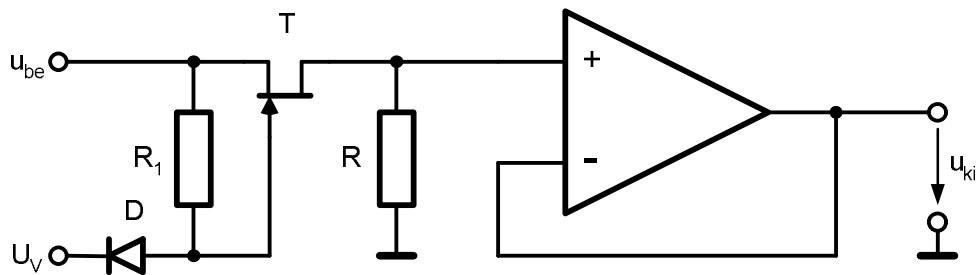


6.13 ábra VAGY ablakkomparátor kapcsolása és transzfer karakterisztikája

6.2 Analóg kapcsoló és mintavevő-tartó áramkörök

Az analógkapcsolók feladata, hogy az U_V vezérlőfeszültség függvényében kimeneti feszültségük 0, vagy $U_{be}=U_{ki}$ legyen. A mintavevő-tartó áramkörök ehez hasonlóan működnek: az U_V által meghatározott mintavételi idő alatt a kimeneti feszültség a bemeneti feszültséggel azonos értékűvé válik, mint az analóg kapcsolóknál. Ezután a kimeneti feszültség nem áll vissza nullára, hanem megtartja értékét a következő mintavételig.

A 6.14 ábra egy egyszerű analóg kapcsolóáramkört szemléltet. A JFET tranzisztor és az R ellenállás egy U_V vezérlőfeszültséggel szabályozható feszültségosztót alkot. Pozitív feszültségnél a D dióda lezár. Az R_1 ellenállás miatt $U_{GS}=0$ és a tranzisztor kinyit. Az $R \gg r_{DS\min}$ beállítással a kimeneti feszültség egyenlő a bemeneti feszültséggel. A feszültségkövető levélasztja a terhelést. Elég nagy negatív U_V feszültségnél a tranzisztor lezár: $u_{ki}=0$, ha $R \ll r_{DS\max}$.

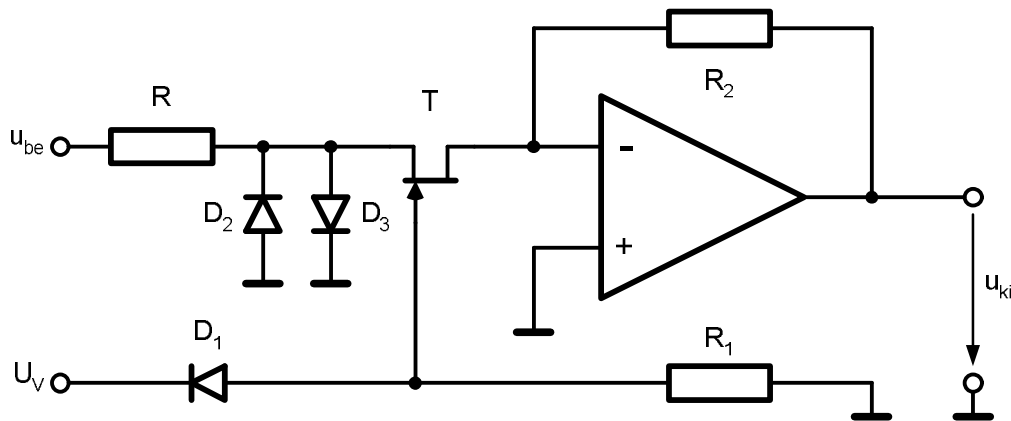


6.14 ábra Egyszerű analóg kapcsoló (nem-fázisfordító)

A 6.15 ábra egy fázisfordító analóg kapcsoló elrendezést szemléltet. Ebben a kapcsolásban a JFET vezérelhető soros ellenállásként működik. Az $U_V \geq 0$ feltétel mellett a térvezérlésű tranzisztor vezet és:

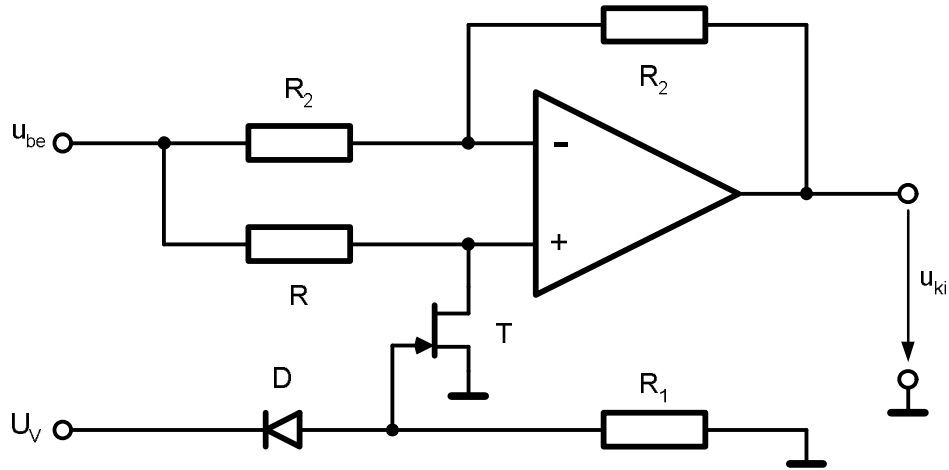
$$u_{ki} = -\frac{R_2}{R + r_{DS\min}} \cdot u_{be} = -\frac{R_2}{R} \cdot u_{be}, \text{ ha } r_{DS\min} \ll R.$$

Ebben az esetben a D_2 és D_3 diódán olyan kicsi a feszültség, hogy az erősítő működését nem zavarja. Ha az U_V vezérlőfeszültség negatívabb a tranzisztor U_P elzáródási feszültségénél, akkor a tranzisztor lezár: $u_{ki}=0$, ha $r_{DS\max} \gg R_2$. Ilyenkor a D_2 és D_3 dióda határol és a tranzisztorra kb. 0,6V csúcsertéki feszültség jut. Ezt a kapcsolást az előzőtől eltérően nagy bemeneti feszültségnél is használhatjuk.



6.15 ábra Fázisfordító analóg kapcsoló

Sok esetben az analóg kapcsoló kimeneti feszültségét nem 0 és u_{be} között kell kapcsolgatni, hanem u_{be} és $-u_{be}$ között. Egy egyszerű módszer a 6.16 ábra változtatható előjel és súlyozási együtthatójú kapcsolásán alapul. Ha a tranzisztor kinyit, akkor az erősítő fázisfordítóként működik és $u_{ki} = -u_{be}$. Ha a tranzisztor lezár, akkor $u_p = u_{be}$ és $u_n = u_{be}$. Az R_2 ellenálláson nem folyik áram és $u_{ki} = u_{be}$. Az egyenletek az előző $r_{DS\ min} \ll R \ll r_{DS\ max}$ feltételek mellett érvényesek.

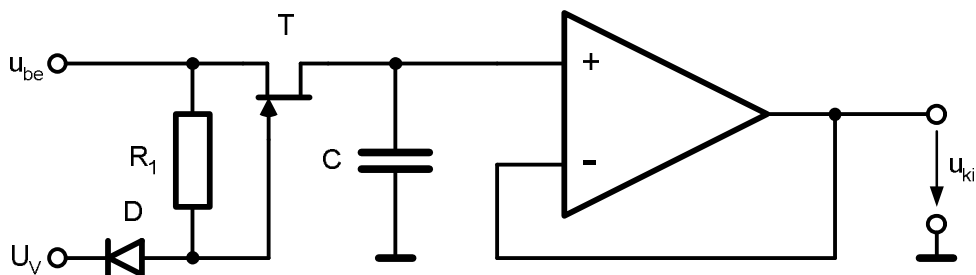


6.16 ábra Bipoláris analóg kapcsoló

A 6.14 ábrán látható kapcsolás könnyen átalakítható mintavevő-tartó áramkörre, ha az R ellenállást C kondenzátorral helyettesítjük (6.17 ábra). Az ábrán megfigyelhető, hogy ha a tranzisztor kinyit, akkor a C tárolókondenzátor u_{be} bemeneti feszültségre töltődik. A feltöltési időállandó:

$$\tau = (R_b + r_{DS\ min}) \cdot C$$

ahol R_b a jelgenerátor belső ellenállása. A gyors feltöltéshez szükséges, hogy R_b , $r_{DS\ min}$, és C minnél kisebb legyen.



6.17 ábra Mintavevő-tartó kapcsolás

Ha a tranzisztor lezár, akkor a kimeneti feszültség állandó marad. A tranzisztor záróárama és a műveleti erősítő I_{be} bemeneti árama miatt azonban a kondenzátor kisül. Mivel a JFET záróárama gyakorlatilag elhanyagolható, a kimeneti feszültségváltozásra az alábbi összefüggést kapjuk:

$$\frac{du_{ki}}{dt} = \frac{I_B}{C}$$

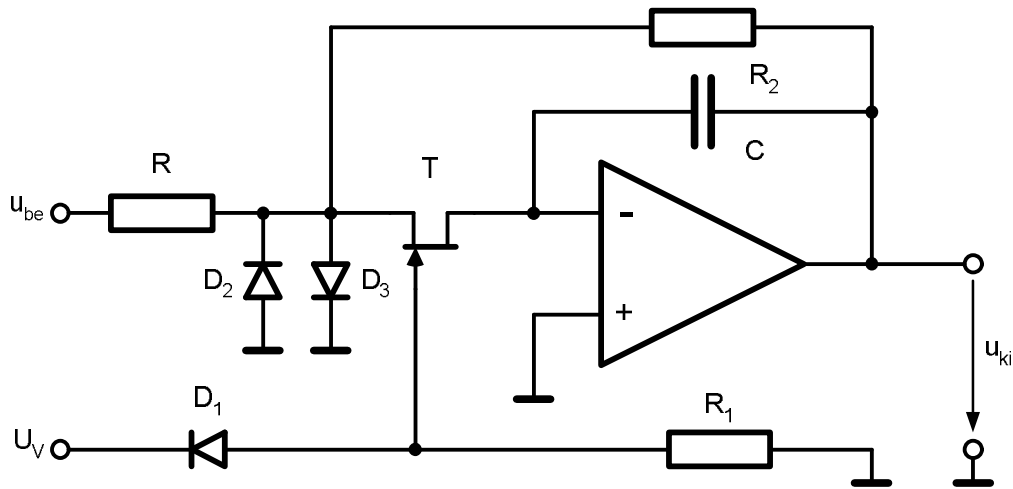
A hányados annál kisebb, minnél nagyobb a C kondenzátor. Ezért kompromisszumot kell kötni a feltöltés sebessége és a kimeneti feszültség változása között.

Nagy bemeneti jelnél a 6.18 ábrán látható kapcsolást használjuk. Ha a tranzisztor kinyit, akkor a C kondenzátor a negatív visszacsatolás miatt az

$$u_{ki} = -\frac{R_2}{R} \cdot u_{be}$$

feszültségre töltődik. Ha a tranzisztor lezár, akkor a kimeneti feszültség állandó marad, mivel a kondenzátor töltését csak a záróáram és a műveleti erősítő bemenő árama csökkenti. A kapcsolás feltöltési állandója: $\tau \approx R_2 \cdot C$

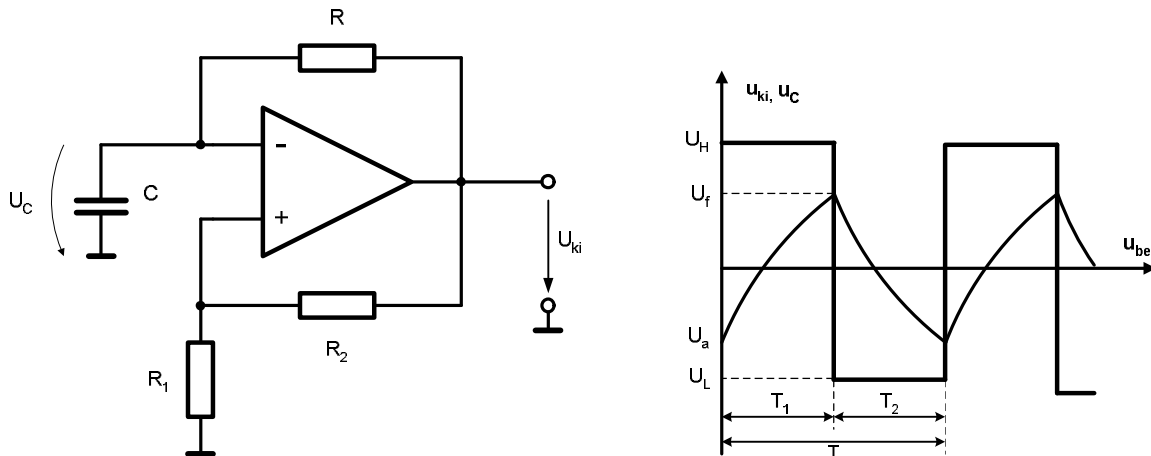
Tehát ez elvileg nagyobb mint az előző kapcsolásé, mert R_2 nem lehet olyan kicsi, mint R_b .



6.18 ábra Mintavevő-tartó kapcsolás nagy bemeneti jelhez

6.3 Multivibrátorok

Négyszög hullámformájú kimeneti feszültség állítható elő a 6.19 ábrán látható műveleti erősítővel megvalósított astabil multivibrátor kapcsolással.



6.19 ábra Astabil multivibrátor kapcsolása és időfüggvényei

A kapcsolás egy invertáló hiszterézises komparátor $U_{ref} = 0$ referenciafeszültséggel. A bemeneti feszültség a kondenzátor u_c feszültsége, amely a negatív visszacsatolás miatt a kimeneti feszültség polaritásának megfelelően (U_H vagy U_L) $\tau = RC$ idő-állandóval exponenciális függvény szerint változik. A hiszterézises komparátor felső billenési szintje:

$$U_f = U_H \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Az alsó billenési szintje:

$$U_a = U_L \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

ahol U_H a komparátor kimeneti feszültségének pozitív, U_L pedig a negatív maximális értéke. A komparátor akkor billen át, amikor a kondenzátor feszültsége megegyezik az alsó, vagy a felső

billenési szinttel: $u_c = U_a$, vagy $u_c = U_f$. Az astabil multivibrátor időfüggvényei a 6. ábrán láthatók.

Az astabil multivibrátor $T = T_1 + T_2$ periódusideje a kondenzátor feszültségváltozásának vizsgálatával határozható meg. A kondenzátor feszültség-időfüggvénye:

$$u_c(t) = -(U_a + U_H) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + U_H$$

Mivel a kondenzátor töltése és kisütése azonos időállandójú ($\tau = RC$), valamint feltételezve, hogy a billenési szintek abszolút értéke megegyezik, ezért állandósult állapotban a kimeneti feszültség a $t = T_1 = \frac{T}{2}$ időpillanatban változik meg. A feszültség időfüggvény pillanatértéke a $t = \frac{T}{2}$ időpillanatban:

$$u_c\left(\frac{T}{2}\right) = -(U_a + U_H) \cdot e^{-\frac{T}{2 \cdot RC}} + U_H$$

Állandósult állapotban a $t = \frac{T}{2}$ időpillanatban a kondenzátor feszültségének pillanatértéke az $u_c\left(\frac{T}{2}\right) = U_f$ felső billenési szinttel egyezik meg, ezért:

$$U_f = -(U_a + U_H) \cdot e^{-\frac{T}{2 \cdot RC}} + U_H$$

Következik:

$$U_H \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -\left(U_L \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_H\right) \cdot e^{-\frac{T}{2 \cdot RC}} + U_H$$

Feltételezve, hogy az alsó és a felső billenési szintben szereplő U_L és U_H értékek megegyeznek:

$$|U_H| = |U_f| = |U_{ki}|$$

következik:

$$U_{ki} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = -\left(U_{ki} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} + U_{ki}\right) \cdot e^{-\frac{T}{2 \cdot RC}} + U_{ki}$$

A kapcsolás periódusideje a

$$T = 2 \cdot R \cdot C \cdot \ln \frac{2 \cdot R_1 + R_2}{R_2}$$

összefüggéssel határozható meg.

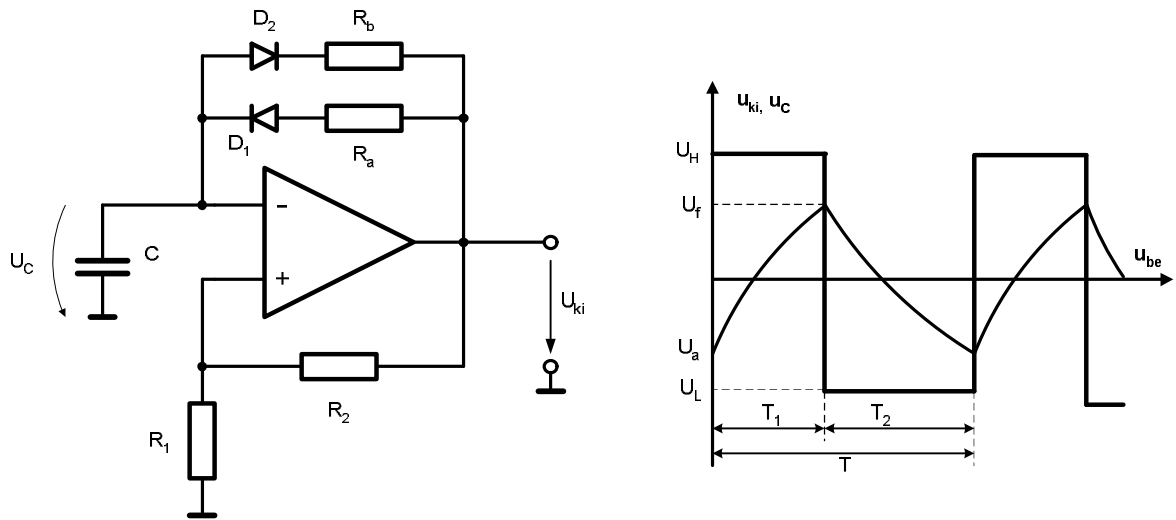
A kimeneti feszültség $a = \frac{T_1}{T}$ kitöltési tényezője változik, ha a negatív vissza-csatolást alkotó ellenállás és kondenzátor $\tau = RC$ időállandója a két periódusrészben (T_1 és T_2) nem azonos, a kondenzátor töltése az R_a , míg a kisütése az R_b ellenálláson keresztül történik (6.20 ábra). A periódusidő két összetevője:

$$T_1 = R_a \cdot C \cdot \ln \frac{2 \cdot R_1 + R_2}{R_2} \quad \text{és} \quad T_2 = R_b \cdot C \cdot \ln \frac{2 \cdot R_1 + R_2}{R_2}$$

feltételezve, hogy az U_L és U_H értékek megegyeznek.

A kapcsolás periódusideje állandósult állapotban:

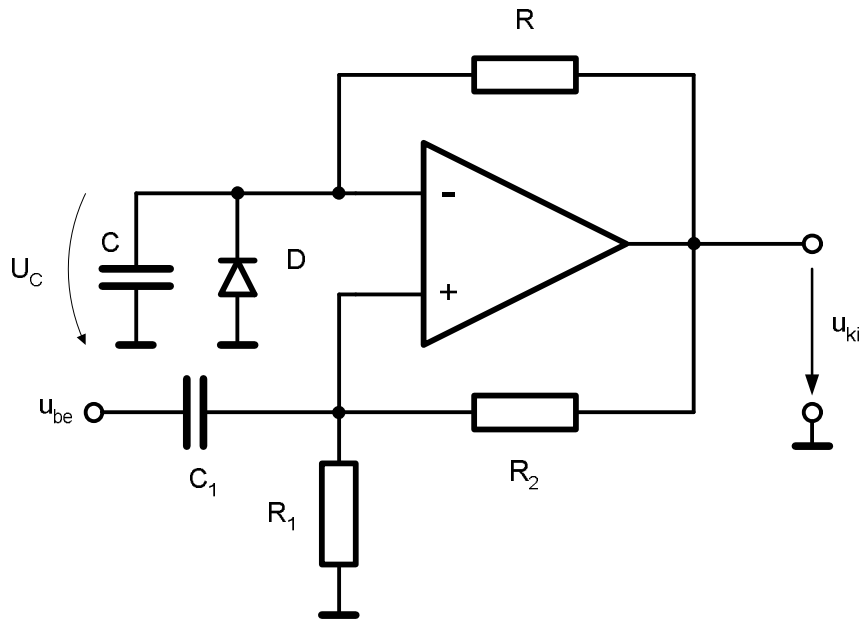
$$T = T_1 + T_2 = (R_a + R_b) \cdot C \cdot \ln \frac{2 \cdot R_1 + R_2}{R_2}$$



6.20 ábra Változtatható kitöltésű astabil multivibrátor kapcsolása és időfüggvényei

6.4 Időzítő áramkörök (monostabilok)

A monostabil multivibrátor kapcsolási rajza a 6.21 ábrán látható. A D dióda meggátolja, hogy u_n negatív legyen és az átbillenési szintet elérje. Emiatt az $u_{ki} = -U_{max}$ állapot stabil lesz.



6.21 ábra Monostabil multivibrátor

Ha a C_1 kondenzátoron keresztül pozitív impulzust adunk a nem fázisfordító bemenetre, akkor a műveleti erősítőt vezérlő differenciális feszültség pozitív értéke miatt a kimentei feszültség a pozitív kivezérlési határra billen. Ez az állapot addig tart, amíg u_{be} az $u_{be} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{max}$ szintre

változik. Közben: $\tau \approx R \cdot C \cdot \ln\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$ idő telik el. Tehát a kapcsolási idő:

$$\tau \approx R \cdot C \cdot \ln\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Ha $R_1=R_2$, akkor:

$$\tau = 0,7 \cdot R \cdot C$$

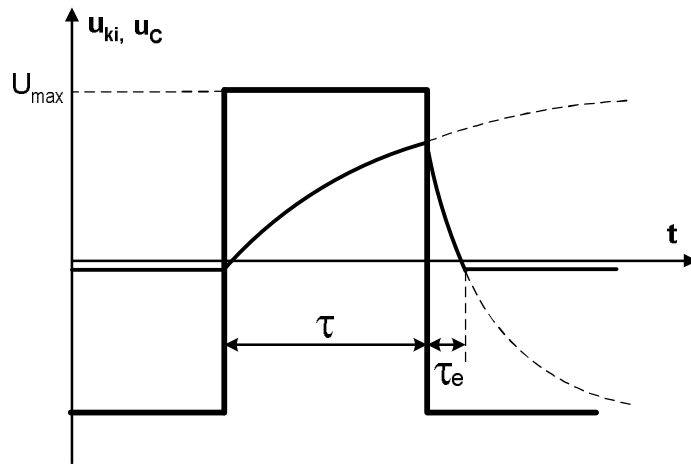
A monostabil feszültség-idő diagramját a 6.22 ábra szemlélteti. Látható, hogy az is időbe telik amíg az u_C feszültség ismét eléri nyugalmi értékét, miután a kimeneti feszültség negatívvá válik. A felélédesi idő:

$$T_e \approx R \cdot C \cdot \ln \frac{2 \cdot R_1 + R_2}{R_1 + R_2}$$

Ha $R_1 = R_2$, akkor:

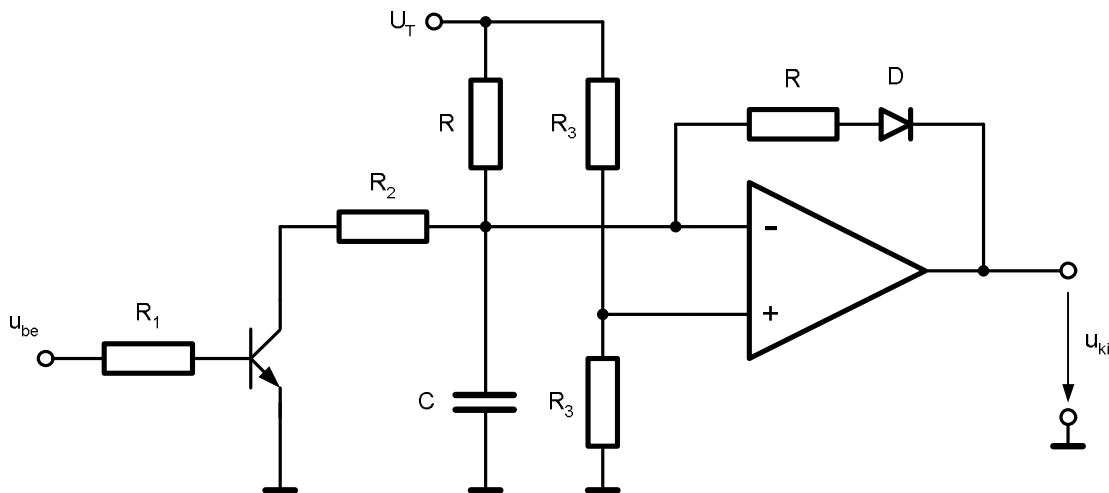
$$T_e \approx 0,4 \cdot R \cdot C$$

Ha a monostabilt a felélédesi idő eltelte előtt újra billentjük, akkor rövidebb kapcsolási időt kapunk. Ha a billentő impulzus után röviddel egy újabb billentés következik, akkor ez az utóbbi impulzus hatástalan marad, mert a monostabil bekapcsolt állapotban újabb pozitív bemenő impulzusra érzéketlen.



6.22 ábra Monostabil feszültségmenete

Van olyan kapcsolás is, amelynek kapcsolási idejét nem az első impulzus határozza meg, hanem az utolsó. Az ilyen típusú monostabil utánbillenthetőnek (újraindíthatónak) nevezzük. Ilyen kapcsolást szemléltet a 6.23 ábra.



6.23 ábra Utánbillenthető monostabil multivibrátor

Ha nem túlságosan rövid pozitív impulzust adunk a bemenetre, akkor a C kondenzátor kisül a tranzisztoron és az R_2 védőellenálláson keresztül. Ekkor a komparátor kimeneti feszültsége a

pozitív kivezérlési határra billen és a kondenzátor az R ellenálláson keresztül pozitív feszültségre töltődik. Ha a kondenzátor feszültsége túllépi az $\frac{U_T}{2}$ értéket, akkor a komparátor visszabilen és a D dióda kinyit. A stabilizáló negatív visszacsatolás miatt a kondenzátor feszültsége $\frac{U_T}{2}$ marad és a kimeneti feszültség -0,6 V-ra áll be. A kapcsolási idő megegyezik azzal az idővel, ami eltelik a kondenzátor feszültségének 0 V-ról $\frac{U_T}{2}$ -re való töltéséig. Ez az idő:

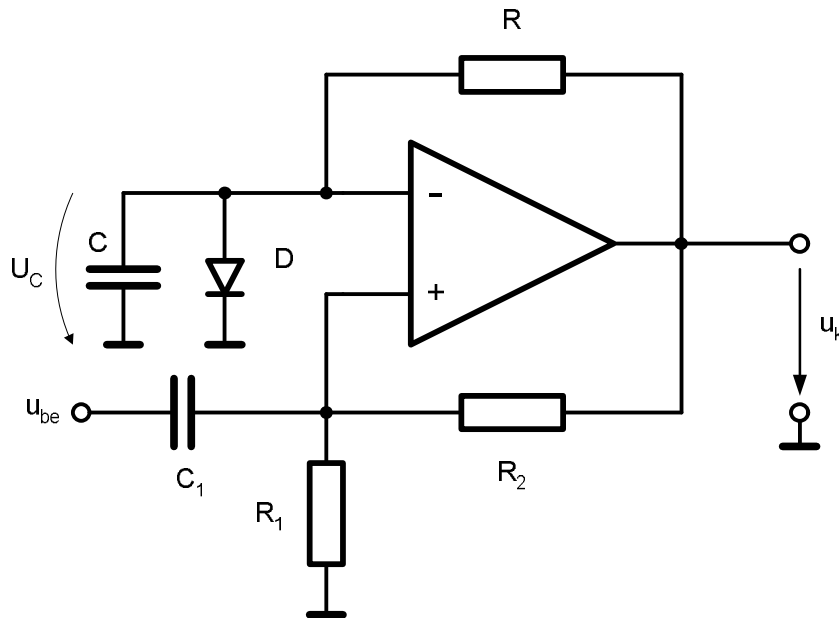
$$\tau = R \cdot C \cdot \ln 2$$

Ha a kapcsolási idő letelte előtt újabb impulzus kerül a bemenetre, akkor a kondenzátor újra kisül és a kimeneti feszültség változatlanul U_{\max} marad. A kimenet csak akkor billen vissza, ha τ időn belül nem kerül újabb billentő impulzus a bemenetre. Mivel a kondenzátor feszültsége a visszabilenés pillanatában már nyugalmi értékű, ezért a kapcsolás feléledési ideje nulla.

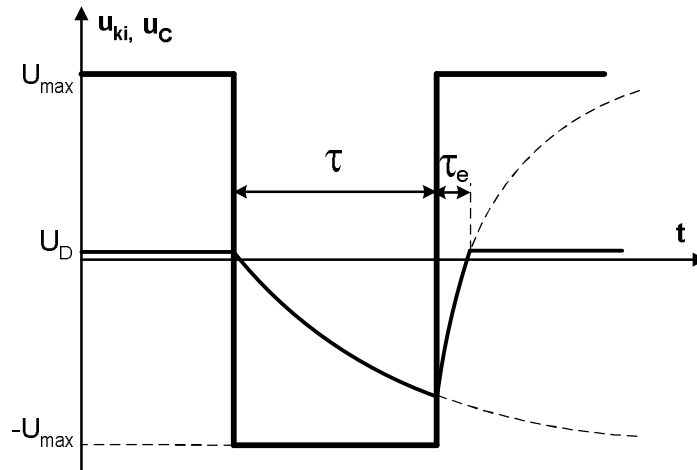
Végül a 6.24 ábrán, a 6.22 ábrán bemutatott monostabilhoz képest, ellenfázisú monostabil látható. Az áramkör stabil állapota az $U_{ki} = +U_{ki \max}$ kimeneti állapot. Az U_R referencifeszültség ilyenkor:

$$U_R = U_{ki \max} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

A helyes működés feltétele, hogy $U_R > U_D$. Az indító bemenetre adott negatív tüskeimpulzus lecsökkenti az U_R feszültség értékét a dióda nyitófeszültsége alá, ezért a kapcsolás átbillen és a kimeneten a feszültség $U_{ki} = -U_{ki \max}$ lesz. A monostabil kvázistabil állapotba kerül. A kondenzátort most a $-U_{ki \max}$ feszültség tölti, ugyanakkor a referencifeszültség is negatív értékre vált. Amikor U_C eléri U_R -t, akkor a kapcsolás visszabilen és a kondenzátor újra feltöltődik a dióda nyitófeszültségéig (6.25 ábra). Ebből az állapotból csak újabb indítójel hatására billen ki.



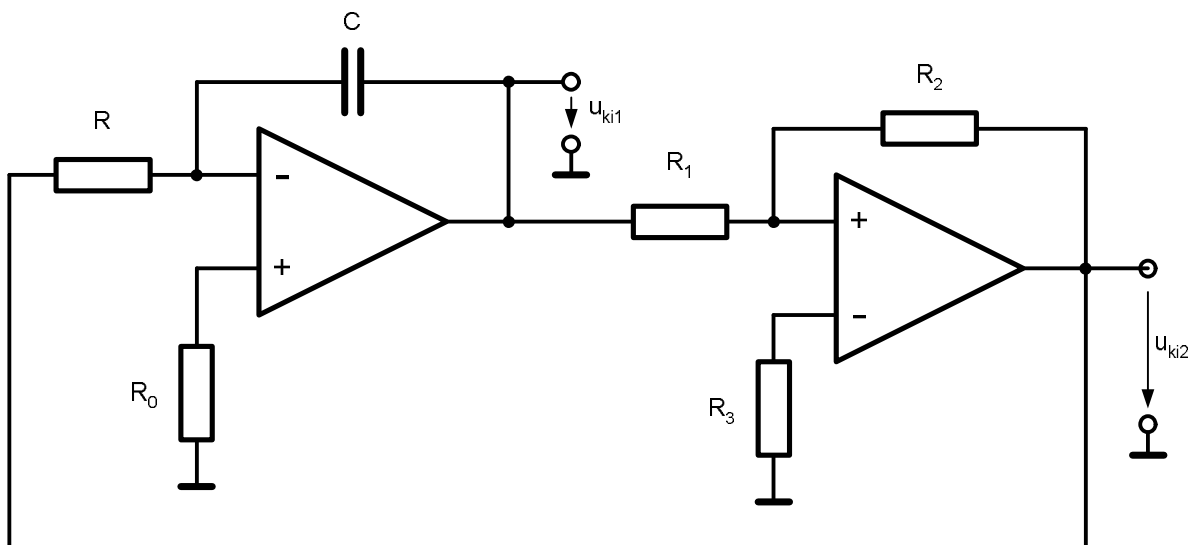
6.24 ábra Ellenfázisú monostabil kapcsolása



6.25 ábra Ellenfázisú monostabil jelalakjai

6.5 Függvénygenerátorok

A hullámformagenerátorok különböző hullámformájú (négyszög, impulzus, fűrész, háromszög, stb.) kimeneti jelek előállítására alkalmasak. Áramkörü kialakításuk alapja gyakran a 6.26 ábrán látható kapcsolás.



6.26 ábra Hullámforma generátor

Műveleti erősítővel megvalósított integrátor és hiszterézises komparátor alkalmazásával háromszög és négyszög hullámformájú jelek állíthatók elő. Az integrátor u_{ki1} kimeneti jele vezérli a hiszterézises komparátor bemenetét, amelynek u_{ki2} kimeneti jele egyben az integráló kapcsolás bemeneti jele is.

A bekapcsolás pillanatában a komparátor u_{ki2} kimenete a két lehetséges érték (U_H , U_L) egyike, például U_H . Ezt a feszültséget az integráló kapcsolás $\tau = RC$ idő-állandóval integrálja mindaddig, amíg u_{ki1} értéke meg nem egyezik a komparátor kimenetéről visszacsatolt feszültség negatív értékével, a példa szerint:

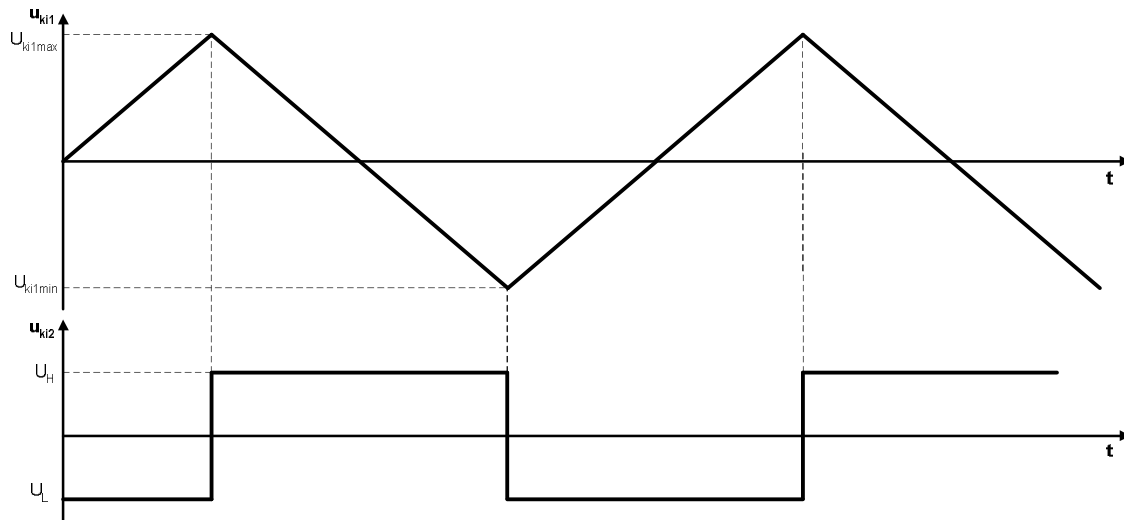
$$U_{ki1 \max} = -U_H \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Ekkor a komparátor kimenete megváltozik, átbillen az U_L értékre. Az integráló kapcsolás bemenetére ez a megváltozott feszültség (U_L) kerül, ezt integrálja a kapcsolás mindaddig, amíg az u_{ki1} feszültség el nem éri az

$$U_{ki1\min} = -U_L \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

értéket. Ekkor a komparátor kimenete ismét átbillen, így a folyamat periodikusan ismétlődik. A kapcsolás időfüggvényei a 6.27 ábrán láthatók.

Az u_{ki2} kimeneti feszültség amplitúdóját a műveleti erősítő maximális kimeneti feszültsége határozza meg (U_H és U_L).



6.27 ábra Hullámforma alapgenerátor időfüggvényei

A hullámforma generátor periódusideje az integrátor kimeneti jelének időfüggvényéből határozható meg. Az integrátor u_{ki1} kimeneti feszültségének időfüggvénye:

$$u_{ki1}(t) = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^t u_{ki2}(t) dt$$

Mivel az u_{ki2} kimeneti feszültség értéke a 0 - T/4 időtartományban állandó U_H értékű:

$$u_{ki1}\left(\frac{T}{4}\right) = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^{\frac{T}{4}} U_H(t) dt = -\frac{1}{R \cdot C} U_H \cdot \frac{T}{4}$$

A $t = \frac{T}{4}$ pillanatban az u_{ki1} feszültség pillanatnyi értéke megegyezik a komparátor kimenetéről visszacsatolt feszültség negatív értékével:

$$u_{ki1}\left(\frac{T}{4}\right) = -\frac{R_1}{R_2} \cdot U_H$$

Behelyettesítve kapjuk:

$$-\frac{R_1}{R_2} \cdot U_H = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot U_H \cdot \frac{T}{4}$$

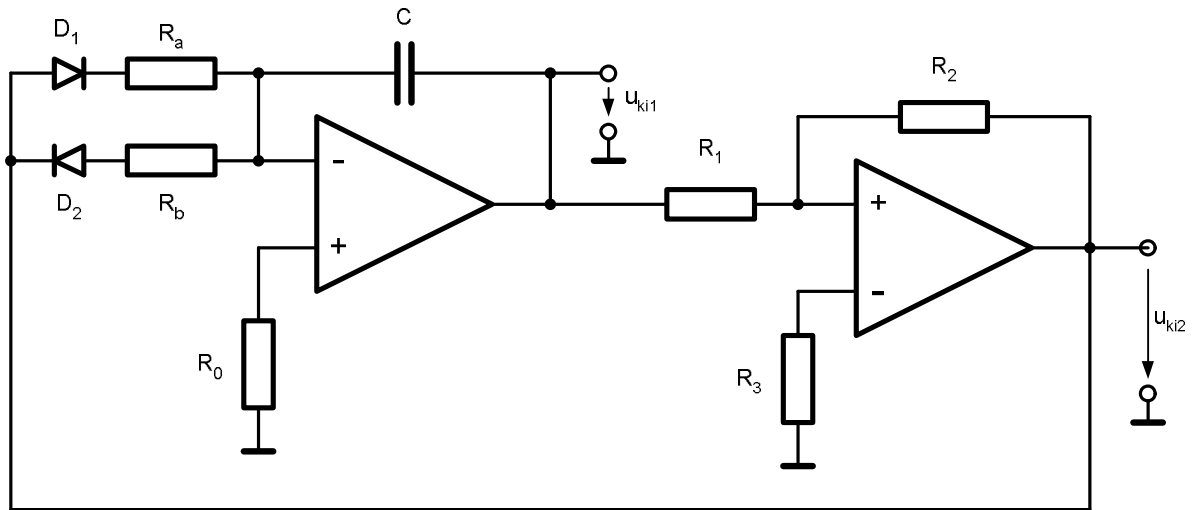
Ebből az összefüggésből a periódusidő:

$$T = 4 \cdot R \cdot C \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

és a működési frekvencia:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \cdot R \cdot C} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Mivel az integráló kapcsolás kondenzátorának töltő és kisütő ellenállása egyaránt az R ellenállás, ezért a periódus két egyforma félciklusra bontható. A 6.28 ábrán látható kapcsolásban a kondenzátor töltése és kisütése különböző értékű ellenálláson keresztül történik, így a különböző integrálási időállandók miatt az u_{ki2} kimeneti feszültség kitöltése az R_a és R_b ellenállások értékének függvényében változtatható.

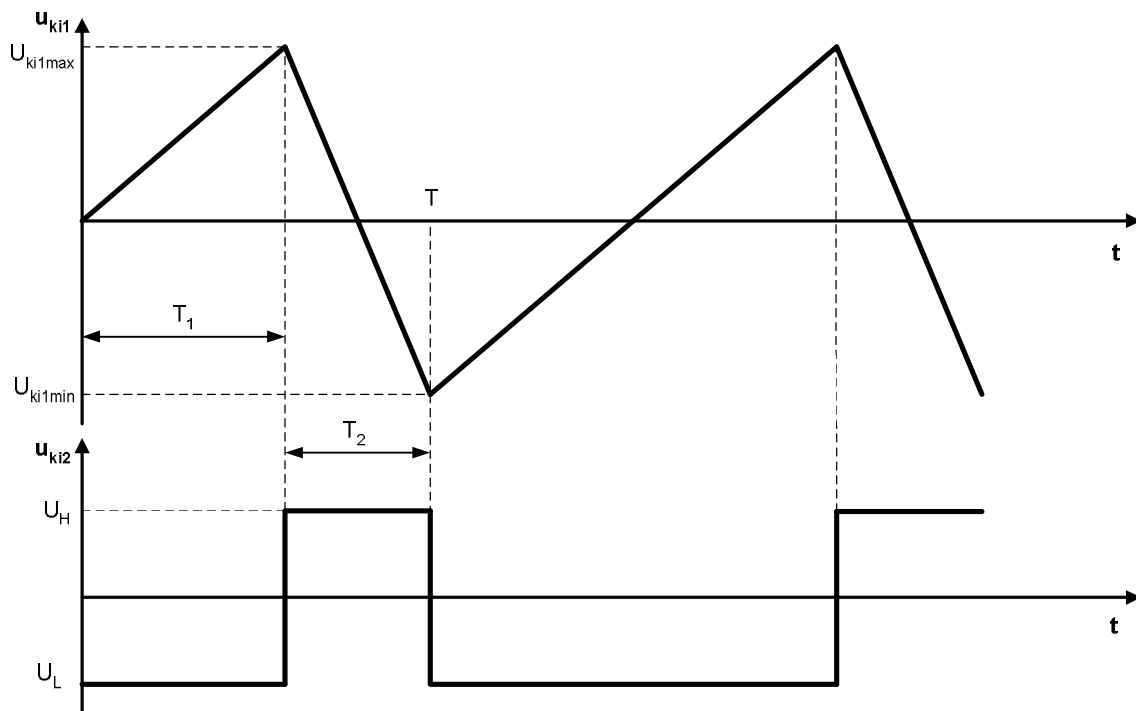


6.28 ábra Változtatható kitöltésű hullámforma generátor

A kapcsolás működési frekvenciája:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{T_1 + T_2} = \frac{1}{2 \cdot (R_a + R_b) \cdot C} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

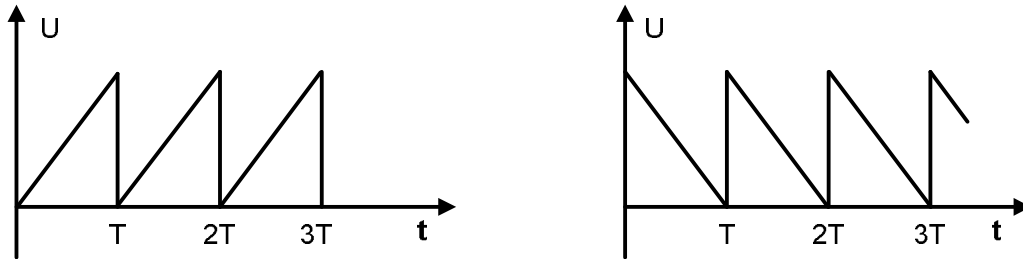
A változtatható kitöltésű hullámforma generátor időfüggvényei a 6.29 ábrán láthatók.



6.29 ábra Változtatható kitöltésű hullámforma generátor időfüggvényei

6.6 Fűrészjel generátorok

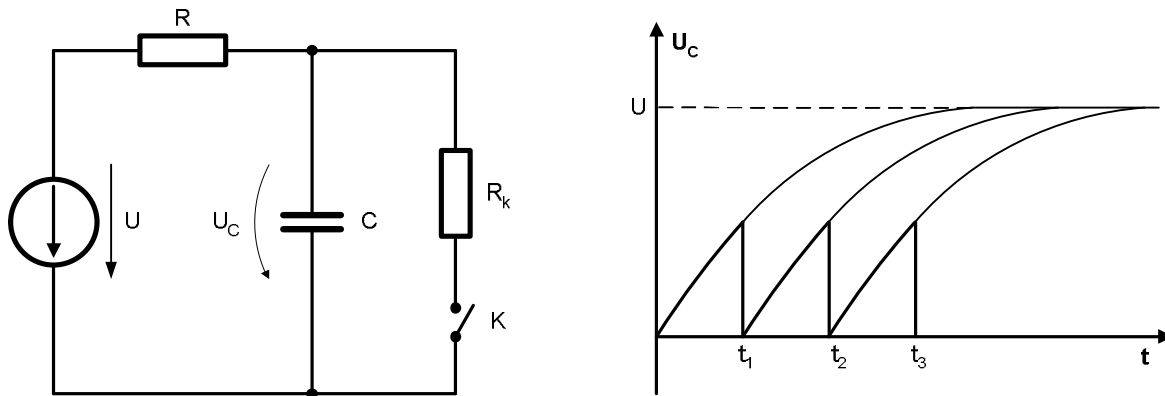
Időben lineárisan változó feszültség - fűrészjel - előállítása gyakori feladat, például oszcilloszkópok időeltérítésénél, A/D konvertereknél, impulzustechnikai időzítésekénél. A fűrészfeszültség alakját a 6.30 ábra szemlélteti. A fűrészjel jellemzői: T_f - felfutási idő, T_l - lefutási idő, T periódus, A amplitúdó.



6.30 ábra Az ideális fűrészjel alakja

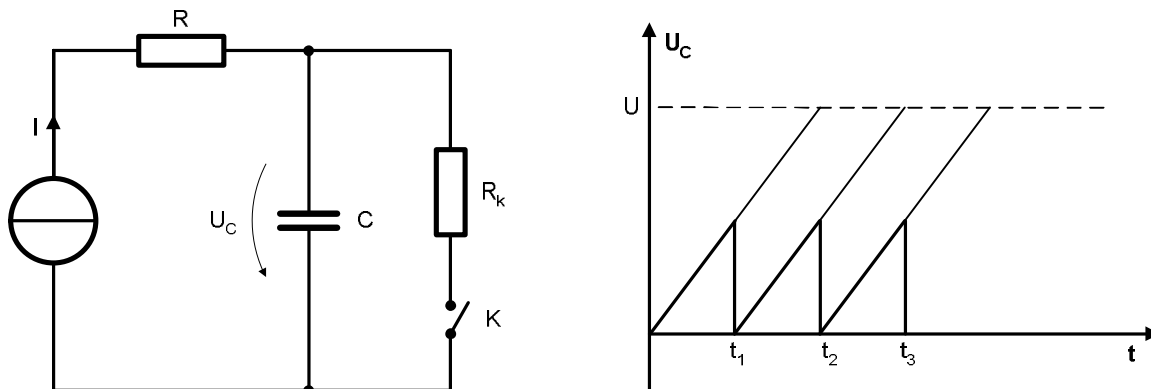
A fűrészjel generátor működésének alapelve az, hogy egy kondenzátort adott időállandó szerint állandó feszültséggel vagy árammal töltünk, majd a lehető leggyorsabban kisütünk.

Az állandó feszültséggel való töltés elvi megoldása és a kondenzátoron eső feszültség alakja a 6.31 ábrán látható.



6.31 Kondenzátor töltése állandó feszültséggel

Látható, hogy a kondenzátor töltése RC időállandóval történik. A t_i időpontokban zárva a kapcsolót, a kondenzátor kisül. A kisülés ideje az R_k ellenállástól függ. A töltési szakaszban a jel linearitása attól függ, hogy az exponenciális töltődési görbének milyen hosszú szakaszát vesszük igénybe. Az ideális jelalak megközelítéséhez, az exponenciális görbének csak a kezdeti szakaszán szabad a töltést engedni. Az állandó árammal való töltés elvi megoldása és a kondenzátoron eső feszültség alakja a 6.32 ábrán látható.



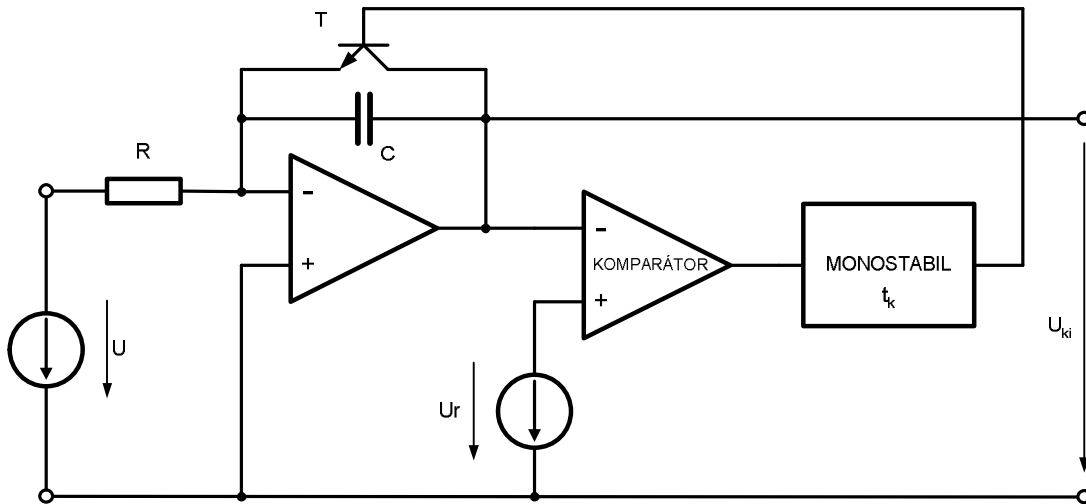
6.32 Kondenzátor töltése állandó árammal

Az állandó árammal való töltés azt jelenti, hogy a kondenzátorba időegység alatt mindig ugyanakkora töltés jut, ezért a kondenzátor feszültsége lineárisan növekszik:

$$U_c = \frac{Q}{C} = \frac{I}{C} \cdot t$$

A kondenzátor kisülése hasonló az előző esethez. Következik, hogy az áramgenerátorral való töltés a fűrészel linearitása szempontjából kedvezőbb, viszont bonyolultabb áramköri elrendezéssel valósítható meg.

Áramgenerátoros töltésű fűrészelgenerátor egy lehetséges kapcsolását szemlélteti a 6.33 ábra. A fűrészipulzusok t_k késleltetéssel követik egymást.



6.33 ábra Miller integrátoros fűrészelgenerátor

A kondenzátort egy műveleti erősítő visszacsatoló ágában helyezük el és az invertáló bemenetre állandó értékű feszültséget adunk. Az ilyen felépítésű kapcsolást Miller integrátornak nevezzük. A bemeneti feszültség negatív polaritása miatt, az invertáló erősítő kimeneti feszültsége a pozitív tápfeszültség irányába töltődik, olyan sebességgel, amit az RC időállandó határoz meg. Amikor a kimeneti feszültség növekedése eléri a komparátor referenciafeszültségének értékét, akkor a komparátor kimenetén feszültségváltozás következik be, amely billenti a monostabilt és a kimeneti feszültsége nyitja a tranzisztort. A nyitott tranzisztor kisüti a kondenzátort. A tranzisztor csak akkor kerül újra zárt állapotba, ha a monostabil kvázistabil ideje letelik és visszabilen alapállapotba. A kondenzátor töltődése is csak ekkor kezdődik újra. A kimeneti fűrészfeszültség amplitúdója a referenciafeszültség, frekvenciája beállítása az R ellenállás, vagy az U_r referenciafeszültség változtatásával lehetséges. Az impulzusok közötti késleltetési idő a monostabil kvázistabil idejének változtatásával állítható.

6.7 Az NE555 integrált időzítő áramkör

Az NE555 időzítő áramkör, a komparátorok és kapcsoló áramkörök egy speciális elrendezése, amely általános célú időzítés, astabil, monostabil, PWM és egyéb feladatok ellátására alkalmas. Az áramkör belső felépítésének tömbvázlatát a 6.34 ábra szemlélteti.

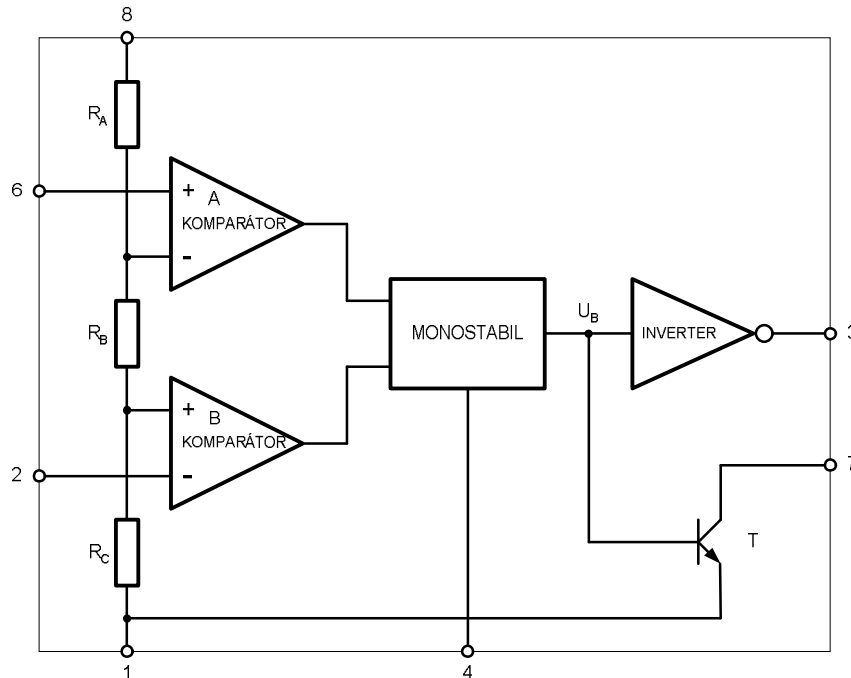
Az R_A , R_B , R_C ellenállásokból álló feszültségosztó a komparátorok referenciafeszültségét állítja elő a tápfeszültségből. Az A komparátor referenciafeszültsége $U_{rA} = \frac{2}{3} \cdot U_T$, a B komparátoré

$U_{rB} = \frac{1}{3} \cdot U_T$. Alapállapotban a bistabil kimenetén $U_B \approx 0V$ feszültség van, ami zárva tartja a T

tranzisztort. Az 555 kimenetén (3. láb) az inverter miatt a tápfeszültséghez közeli értékű magasszint jelenik meg. A bistabil akkor billen a másik állapotába, ha az A komparátor kimenete állapotot vált. Ez úgy idézhető elő, ha a komparátor bemenetére az időzítés bemeneten (6. láb)

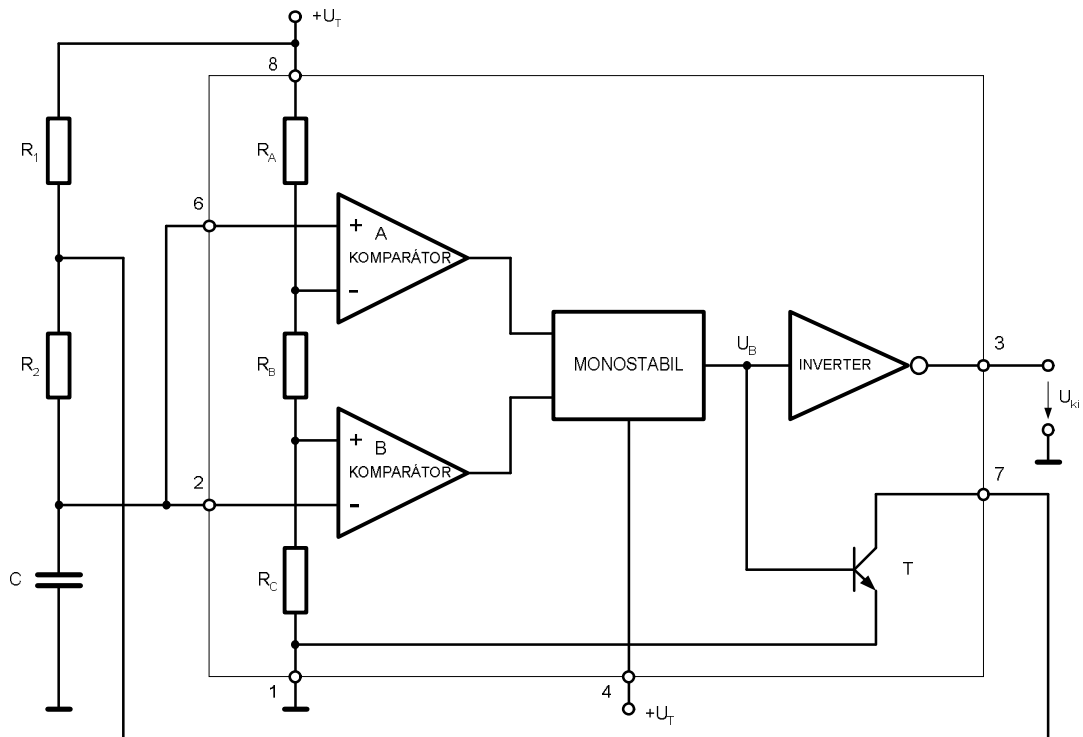
keresztül $\frac{2}{3} \cdot U_T$ értéket meghaladó feszültség kerül. A bistabil billenésével a tranzisztor bázisára

nyitófeszültség kerül, az időzítő kimenetére pedig az inverteren keresztül alacsony szint. A bistabilt a B komparátor billentheti vissza alapállapotba, akkor, ha az indítás bemenetére (2. láb) $\frac{1}{3} \cdot U_T$ feszültségnél kisebb feszültség kerül. Visszabillenés után a tranzisztor újra lezár és a kimeneten is az alapállapotra jellemző magas szint lesz. Ez az állapot a működés során bármikor beállítható, ha az időzítő törlő bemenetére (4. láb) impulzus érkezik. A törléshez egy négyszögjel lefutó álból előállított impulzus szükséges.



6.34 ábra Az 555 típusú időzítő áramkör belső felépítése

Az 555 áramkör felhasználásával megépíthető legegyszerűbb astabil multivibrátort a 6.35 ábra szemlélteti.



6.35 ábra Astabil multivibrátor

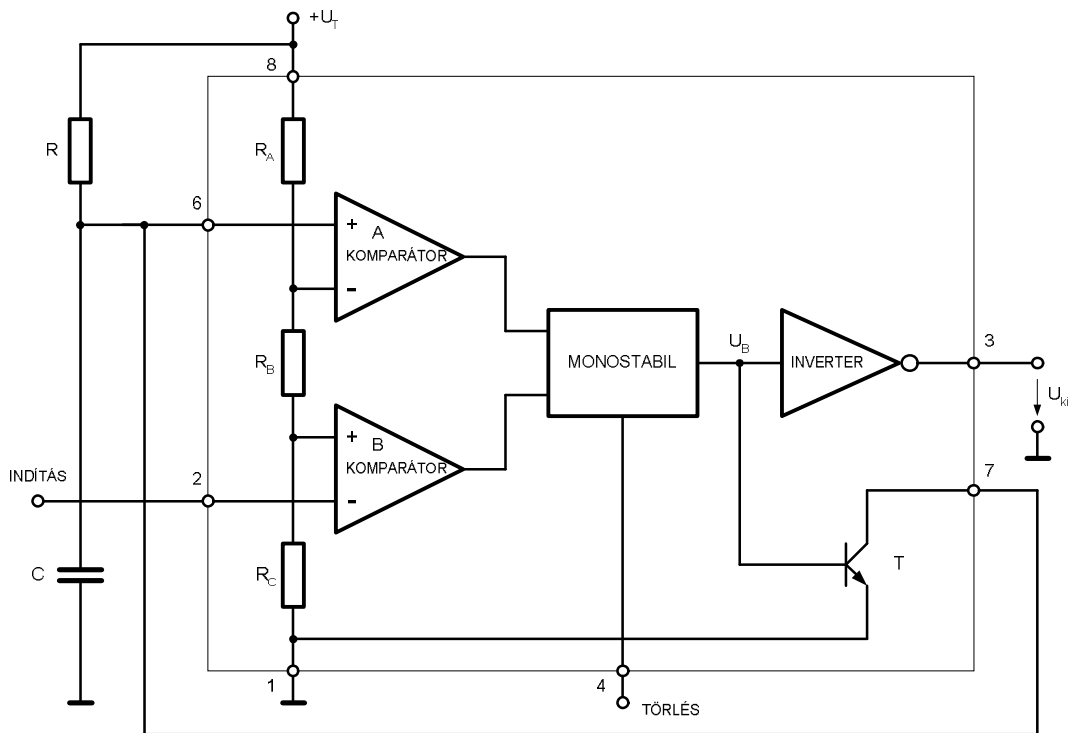
A C kondenzátor az R1 és R2 ellenállásokon keresztül töltődik, amíg a kondenzátor feszültsége eléri a $\frac{2}{3} \cdot U_T$ értéket. Ebben a pillanatban az A komparátor kimenete állapotot vált és billenti a bistabilt. A kimeneti feszültsége közel nulla lesz és kinyit a tranzisztor is. A nyitott tranzisztor az R2 ellenálláson keresztül kezdi kisütni a kondenzátort. A kisütés addig tart, amíg a kondenzátor feszültsége $\frac{1}{3} \cdot U_T$ alá csökken. A B komparátor visszabillenti a bistabilt, a kapacitás kisütése megszűnik, mert a tranzisztor lezár, a kimeneti feszültség pedig visszaáll magas szintre. A leírt folyamat periodikusan ismétlődik. Az astabil frekvenciáját a töltés és kisütés idejét meghatározó R1, R2 és C elemek értékeiből lehet kiszámítani a következő összefüggés szerint:

$$f = \frac{1,44}{C \cdot (R_1 + 2 \cdot R_2)}$$

Az előállított négyszögjel kitöltési tényezője:

$$k = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2 \cdot R_2} \quad , \quad 0,5 < k < 1$$

Az 555 áramkörrel felépíthető monostabil kapcsolási rajza a 6.36 ábrán látható.

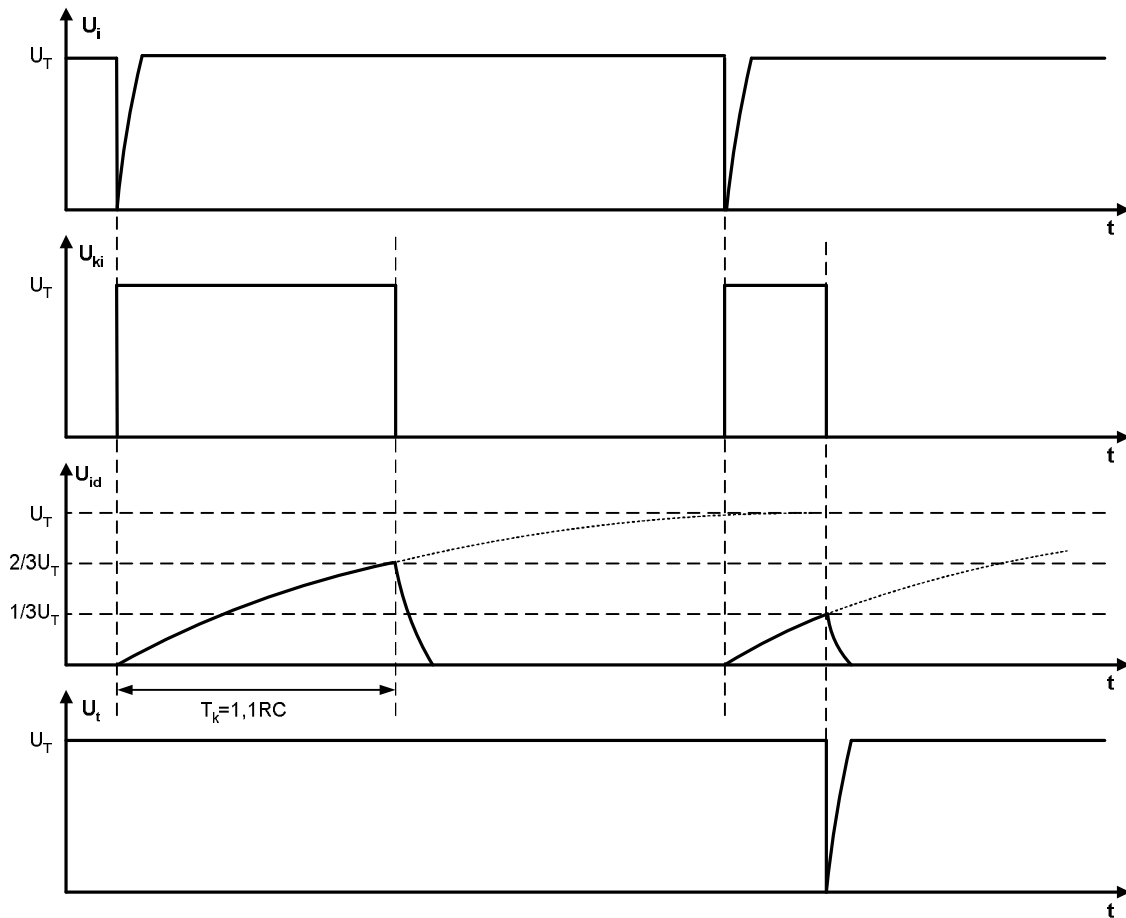


6.36 ábra Monostabil multivibrátor

Stabil állapotban, a kimeneten alacsony szint van (0 V), mert a belső bistabil U_B feszültsége magas szintű, ezért a tranzisztor nyitva van és nem engedi töltődni a kondenzátort. A monostabil az indító bemenetére adott impulzussal billenthető át kvázistabil állapotába. Olyan indítóimpulzus hatásos, amelyet egy négyszögjel lefutó éléből állítunk elő, mert ez képes a B komparátor billentéséhez szükséges $\frac{1}{3} \cdot U_T$ szint alá csökkenteni az indítóbemenet feszültségét. A B komparátor kimenetének állapotváltozása billenti a bistabilt, amelynek alacsony szintre csökkenő kimeneti feszültsége lezárja a tranzisztort és az inverteren keresztül magas szintet hoz létre a kimeneten. A lezárt tranzisztor miatt a C kondenzátor töltődni kezd, ami addig tart, amíg eléri az A komparátor billentéséhez szükséges $\frac{2}{3} \cdot U_T$ feszültség szintet. A komparátor billenésével a bistabil is

visszabillen, kinyitja a tranzisztort, ami kisüti a kondenzátort. A következő indítójel megérkezéséig a monostabil ebben az állapotban marad. A kvázistabil állapot ideje megegyezik a kondenzátor töltési idejével, amely a következő összefüggéssel számítható ki: $T_k = 1,1 \cdot R \cdot C$

A monostabil multivibrátor jelalakjai a 6.37 ábrán láthatók. Az ábrán megfigyelhető a törlő impulzus hatása is.



6.37 ábra A monostabil jelalakjai