



Dienes Zoltán

Impulzustechnikai áramkörök szimulációja és dokumentálása



A követelménymodul megnevezése:

Elektronikai áramkörök tervezése, dokumentálása

A követelménymodul száma: 0917-06 A tartalomlelem azonosító száma és célcsoportja: SzT-028-50



IMPULZUSTECHNIKAI ESZKÖZÖK SZIMULÁCIÓJA ÉS DOKUMENTÁLÁSA

ESETFELVETÉS – MUNKAHELYZET

Ön egy elektronikai szervizben dolgozik. Főnökétől azt a feladatot kapja, hogy a szervizelés során használt impulzustechnikai áramkörök működését tesztelje le. A szervizben csak korlátozott műszerpark áll rendelkezésre. Főnöke nem szeretné, ha a tesztelés miatt a szervizmunka állna, ezért az áramkörök tesztelését a legköltséghatékonyabban (szimulációval) valósítsa meg! Az eredményeket oly módon (mérési jegyzőkönyv) dokumentálja, hogy azokat a többi kollégája is használhassa!

SZAKMAI INFORMÁCIÓTARTALOM

Impulzustechnikán azon módszerek, eszközök, áramkörök rendszerét nevezzük, amelyek segítségével különböző alak impulzusokat állíthatunk elő, azokat formálhatjuk, mérhetjük.

A szinuszos jelek áramköri technikája mellett nagy jelentősége van a nem szinuszos jeleket előállító és feldolgozó ún. impulzustechnikai áramköröknek. Impulzustechnika az elektronika olyan részterülete, amely két nyugalmi állapot között ugrásszerűen változó mennyiségeket előállító, átalakító, valamint e mennyiségek mérésére alkalmas áramkörökkel foglalkozik. Az impulzusokat előállító áramkörök jellemzői nagymértékben függenek az áramkörök felépítő alkatrészek értékeitől. Egy-egy impulzustechnikai áramkör működésének vizsgálatára a legjobb módszer a szimuláció. Ez anélkül ad képet egy-egy áramkör működéséről, hogy meg kellene építenünk.

Szimulációs szoftverek segítségével az analóg és a digitális áramkörök működése egyszerűen ellenőrizhető és jellemzőik meghatározhatók. Szimuláció során az adott jelenséget matematikai modellek segítségével írják le és a kimenet számítások eredményeként jön létre. A szimulációs szoftverek alkalmazása során tulajdonképpen egy komplett elektronikai laboratórium áll rendelkezésünkre elektronikus mérőműszerekkel és alkatrészekkel felszerelve.

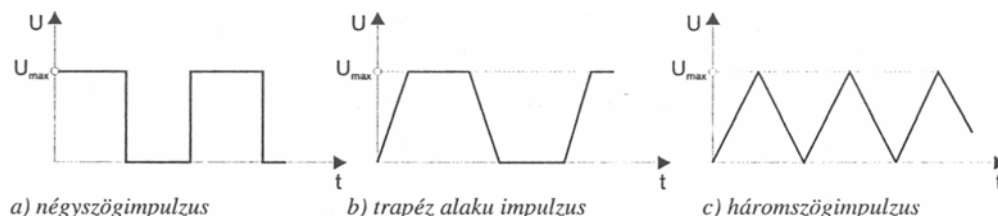
A szimulációs szoftverek használatánál az áramkörök működése csak modell, ahol az eszközök virtuálisak, de jól közelítik a valóságos működés legfontosabb jellemzőit.

IMPULZUSTECHNIKAI ALAPISMERETEK

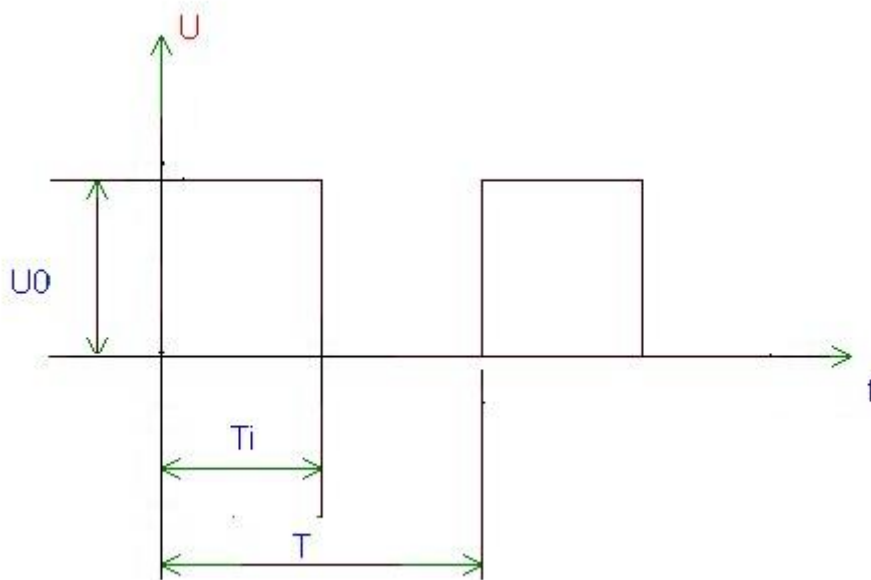
IMPULZUSTECHNIKAI ALAPFOGALMAK

Impulzus: Olyan feszültség- vagy áramlökés, amely két nyugalmi állapot között ugrásszerűen változik és ami csak egy meghatározott ideig áll fenn.

A gyakorlatban általában nem egyedi impulzusokkal, hanem impulzus sorozatokkal találkozunk. Az impulzusok alakja sokféle lehet (fűrész, négyszög, háromszög, trapéz stb.)



1. ábra. Szabályos impulzusok¹



2. ábra. Ideális négyszög impulzussorozat¹

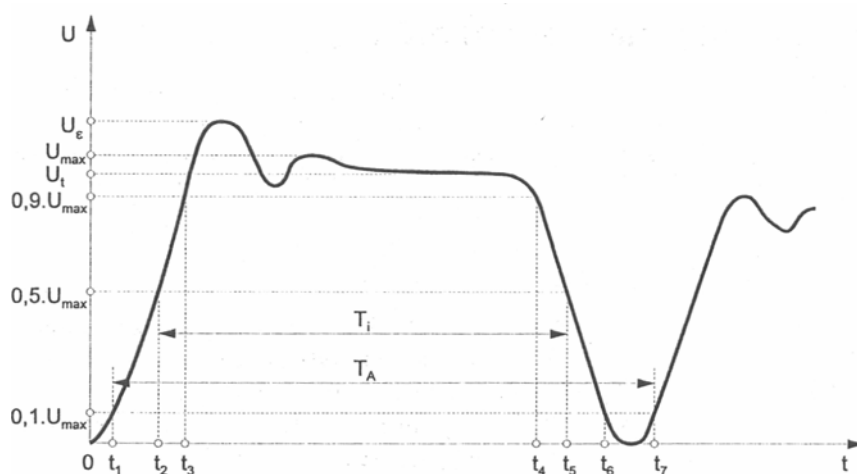
A leggyakrabban négyszögimpulzusokkal foglalkozunk. Az ideális négyszög impulzus sorozat.

Jellemzői

¹ Forrás : Kovács Csongor : Elektronika General Press Kiadó, 2000

- U_0 - Az impulzus amplitúdója
- T_i - Az impulzus szélessége
- T - Az impulzus periódusideje
- $f = 1/T$ (Hz) - Az impulzus ismétlődési frekvenciája

A valóságban az ideális négyszög impulzussorozatot csak megközelíteni tudjuk mivel az elektronikus áramkörök állapotának bármilyen megváltozása rezgési, lecsengési folyamatokkal jár együtt. Egy valóságos négyszög impulzus ábrázolására alkalmas jelalakot mutat a 3. ábra



3. ábra. Valóságos impulzussorozat²

Jellemzői:

- **Impulzus amplitúdó** (jelölése U_{max}) Az impulzus maximális értéke
- **Impulzus periódusidő** (jelölése (T_A) - a $0,1 \cdot U_{max}$ amplitúdó értékhez tartozó időtartam ($T_A = t_7 - t_1$)
- **Impulzus idő** (jelölése (T_i) - a $0,5 \cdot U_{max}$ amplitúdó értékhez tartozó időtartam ($T_i = t_5 - t_2$)
- **Felfutási idő** (jelölése (T_f) - Azon időtartam ami alatt az impulzus amplitúdója 10%-os értékéről 90%-os értékre változik. ($T_f = t_3 - t_1$)
- **Lefutási idő** (jelölése (T_l) - Azon időtartam ami alatt az impulzus amplitúdója 90%-os értékéről 10%-os értékre változik. ($T_l = t_6 - t_4$)
- **Felfutási meredekség** (jelölése v_f) A felfutási idő alatt bekövetkezett amplitúdó változás. Az impulzus felfutó élén az amplitúdó 10 és 90% közötti feszültségnövekedés és a közben eltelt idő hányadosa.

$$v_f = (0,9 \cdot U_{max} - 0,1 \cdot U_{max}) / T_f$$

² Forrás: Kovács Csongor: Elektronika General Press Kiadó, 2000

- **Lefutási meredekség** (jelölése v_f) A lefutási idő alatt bekövetkezett amplitúdó változás. Az impulzus lefutó élén a 90 és 10% közötti feszültség csökkenés és a közben eltelt idő hányadosa.

$$V_f = (0,1 \cdot U_{max} - 0,9 \cdot U_{max}) / T_f$$

- **Tetőesés:** (jelölése ε_2) U_t és U_{max} viszonya %-ban kifejezve

$$\varepsilon_2 = (U_{max} - U_t) / U_{max} \cdot 100$$
- **Túllövés:** (jelölése ε_1) U_ε és U_{max} viszonya %-ban kifejezve

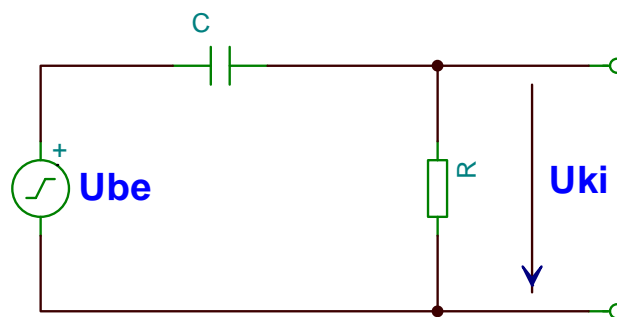
$$\varepsilon_1 = (U_\varepsilon - U_{max}) / U_{max} \cdot 100$$
- **Kitöltési tényező** (jelölése k)– Azt mutatja , hogy az impulzus hány százalékban tölti ki az impulzust . Az impulzus és a periódusidő viszonya $k = T_i / T_A$

IMPULZUSFORMÁLÓ ÁRAMKÖRÖK

Az impulzussorozatok jellemzőit (pl. amplitúdóját, jelalakját) jelformáló áramkörök segítségével lehet módosítani. A jelformálás aktív és passzív áramkörök segítségével oldható meg .

DIFFERENCIÁLÓ ÁRAMKÖR

Ha a differenciáló áramkörre tetszőleges alakú impulzus sorozatot kapcsolunk a kimenő jel a bemenő jel differenciál hányadosával lesz arányos. A kapcsolás működésének megértéséhez az ábrán látható RC kör működését kell elemeznünk. 4. ábra



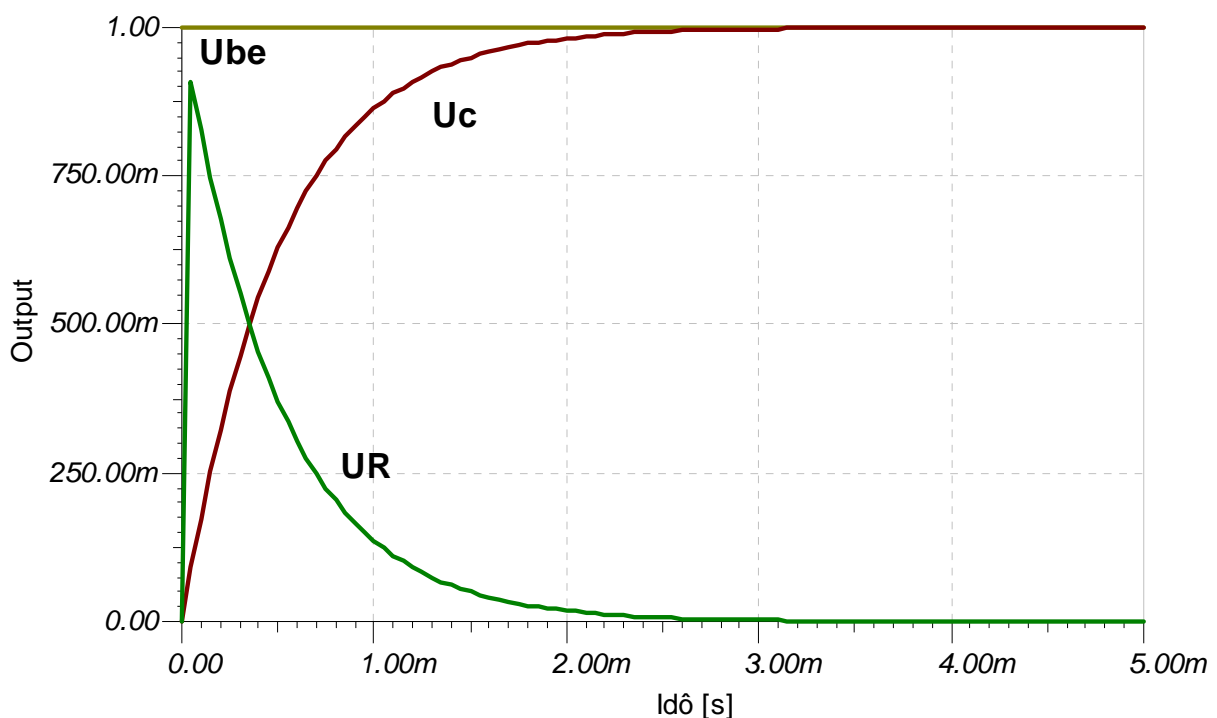
4. ábra. Differenciáló áramkör

A működés megértéséhez a bemenetre adjunk egy egységugrás függvényt . 5.ábra

Ezzel tudjuk modellezni azt, hogy az áramkörre egy adott pillanatban feszültséget kapcsolunk. A bekapcsolás pillanatában a kondenzátor rövidzárként viselkedik. A feszültség akadálytalanul a kimenetre jut. Ezután a kondenzátor elkezd tölteni egy állandó értékű U feszültséggel. A töltődés exponenciális jellegű. Töltődés közben a kimeneten a kondenzátor pillanatnyi feszültsége levonódik az állandó U bemenő feszültségből, ezért a kimenetre exponenciális jelleggel csökkenő feszültség jut (U_R).

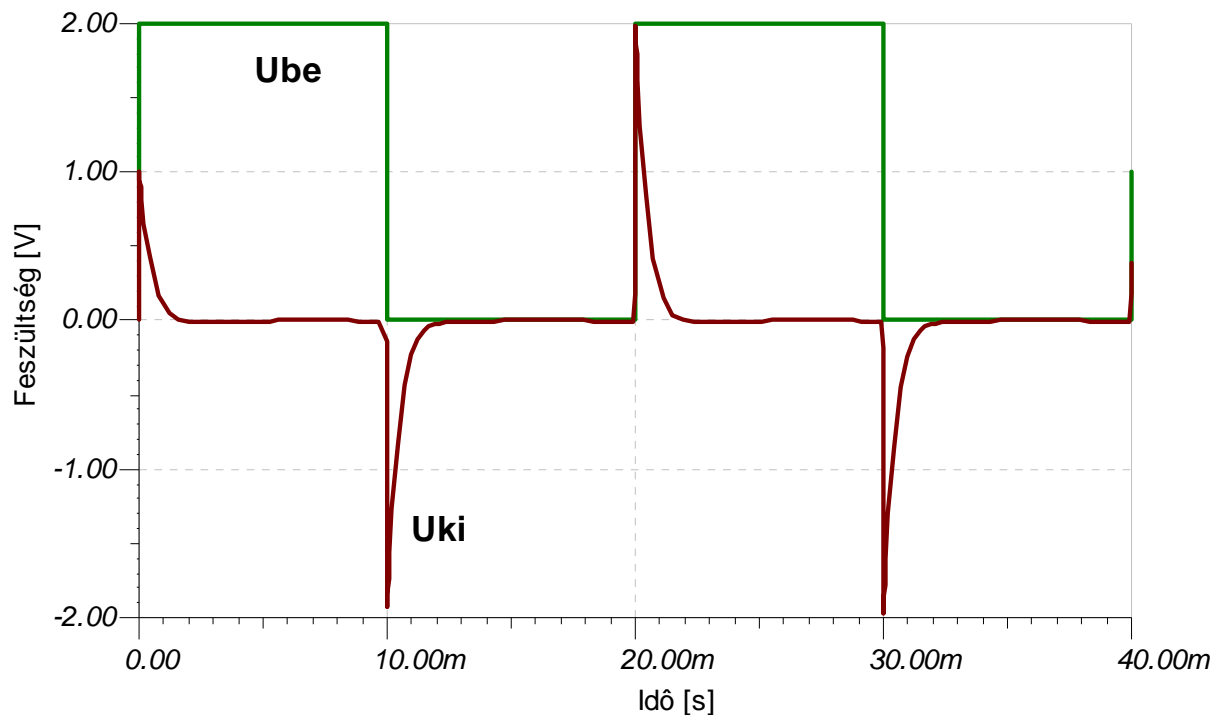
A kondenzátor $\tau = RC$ alatt töltődik fel a rákapcsolt feszültség 63%-ra. Ezt az áramkör időállandójának nevezzük. 5τ idő alatt a kondenzátor feszültsége eléri a rákapcsolt feszültség 95%-t. Ekkor a kondenzátort teljesen feltöltöttnek tekintjük.

Jelen esetben a differenciáló áramkör kondenzátora $C = 1 \mu\text{F}$, az ellenállása $R = 500 \Omega$. Ekkor az áramkör időállandója $\tau = 0,5 \text{ ms}$ jön ki.



5. ábra. Differenciáló áramkör jelalakjai egységugrás bemenő jel hatására

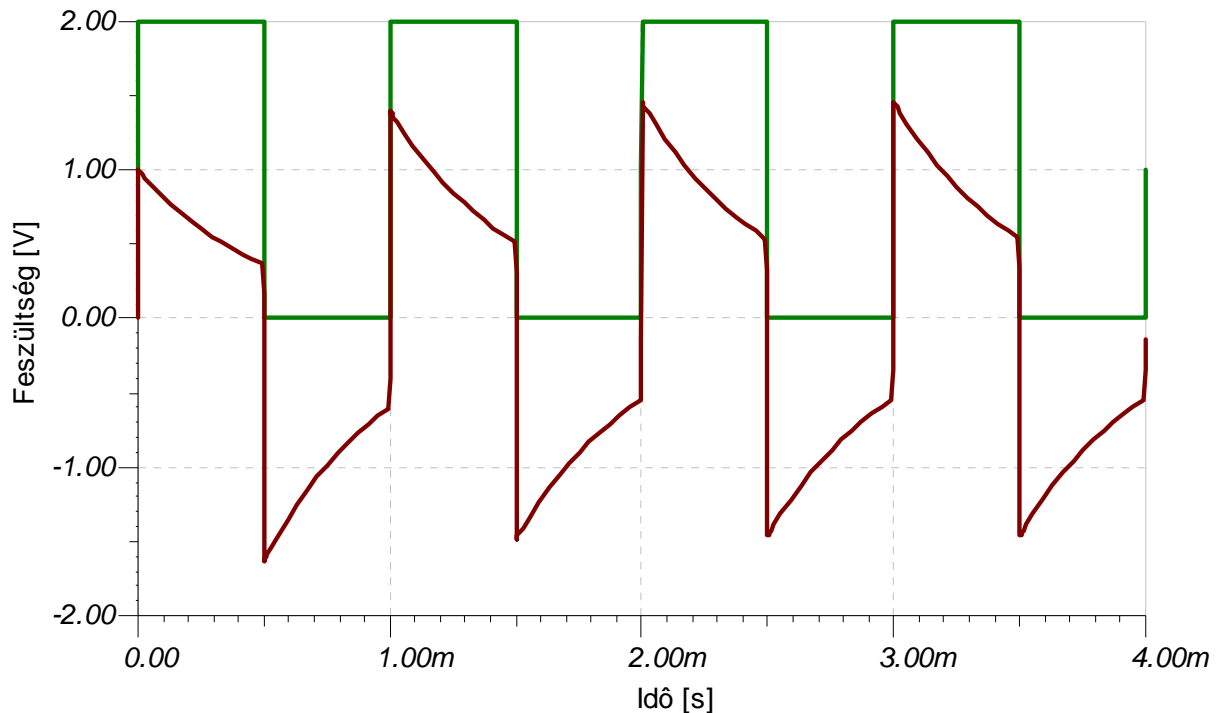
Ha az áramkörre négyzetjelet kapcsolunk a kimenő jel alakja a négyzetjel impulzusideje T_i és az időállandó viszonyától függ. Csak akkor kapunk jól differenciált jelképet, ha az áramkör időállandója sokkal kisebb, mint az impulzus T_i időtartalma.



6. ábra Differenciáló áramkör jelalakja

A gyakorlatban $T_i \geq 20 \tau$ szükséges. Ebben az esetben a 6. ábrának megfelelő jelalakot kapjuk. Jelen esetben a négyzetjel frekvenciája $f=50$ Hz így $T_i=10$ ms ($T/2$). Mivel $\tau=0,5$ ms így teljesül a $T_i \geq 20 \tau$ feltétel.

Helytelen időállandó esetében a 7. ábrának megfelelő jelalakot kapjuk. Jól látható, hogy a kondenzátornak nincs ideje feltöltődni illetve kisülni.



7. ábra. Differenciáló kimeneti jele helytelenül megválasztott időállandónál

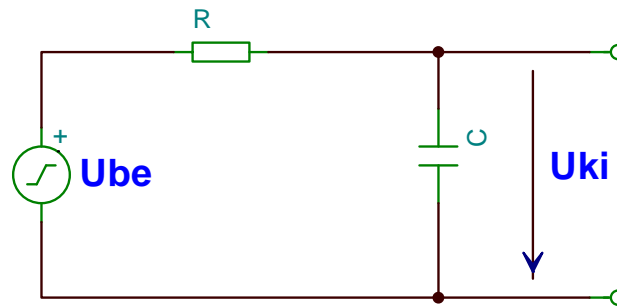
A bemenő jel frekvenciája a 7. ábra esetében $f_{be} = 1 \text{ kHz}$. Így $T_i = 0,5 \text{ ms}$ ($T/2$).

Az áramkör időállandója nem lehet tetszőlegesen kicsi a következők miatt:

- Az áramkör kimenetén megjelenő szórt kapacitások a meghajtó generátoron keresztül C-vel párhuzamosan kapcsolódva az időállandót növelik. Ez a differenciálás pontosságát rontja. A gyakorlatban C értékét úgy kell megválasztani, hogy értéke a szórt kapacitások értéke felett legyen. Így annak hatása elhanyagolható.
- A generátor R_b belső ellenállása az R ellenállással sorba kapcsolódva az időállandót növeli. R értékét úgy kell megválasztani, hogy R_b nagyságrendje felett legyen.

INTEGRÁLÓ ÁRAMKÖR

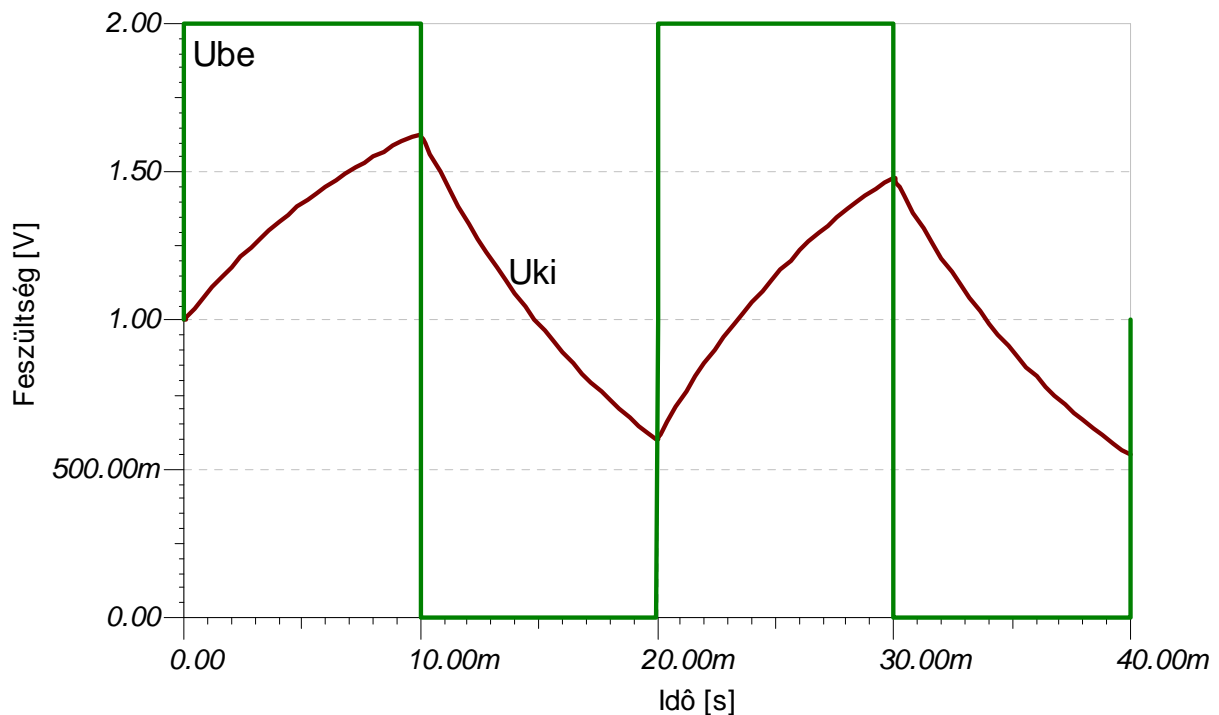
Ha az R és C elemek helyét felcseréljük a 8. ábrán látható integráló kapcsolást kapunk. Az R és C elemek viselkedése az 5. ábrának megfelelő. Ez a négy pólus onnan kapta a nevét, hogy a kimeneti jele a bemenő jel integráltjával arányos.



8. ábra. Integráló áramkör

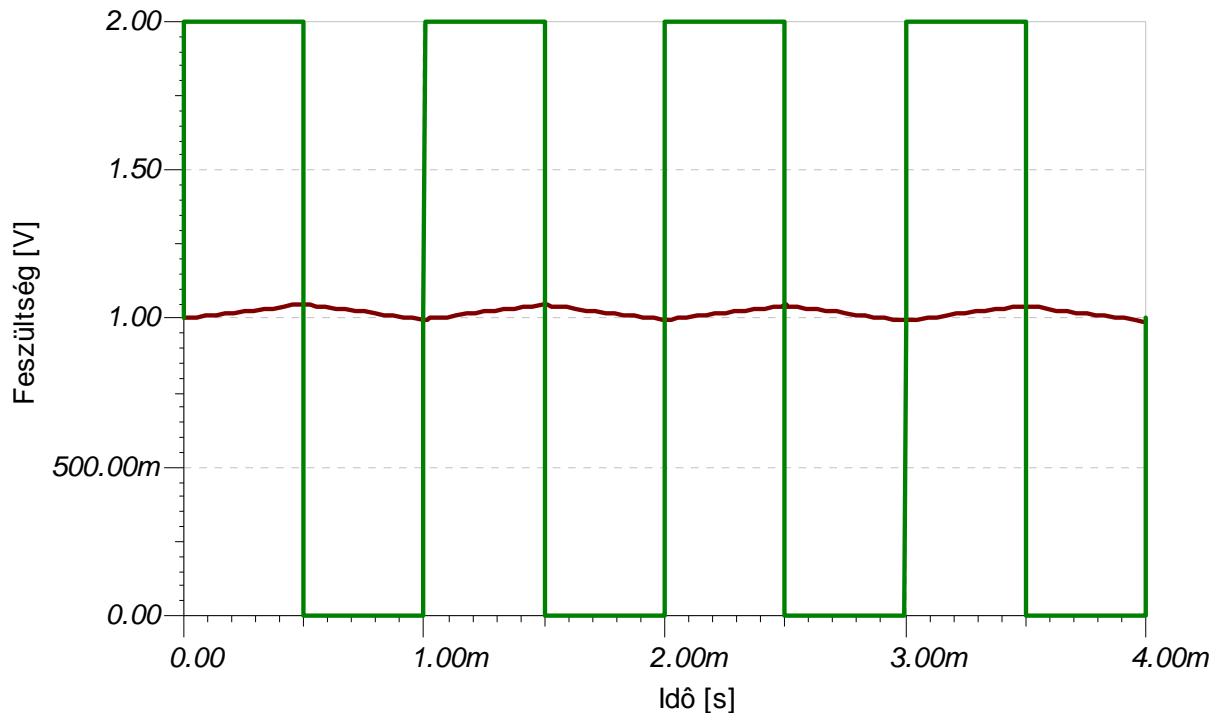
A négyzöggel felfutásának időpontjától kezdve a kondenzátor az RC időállandónak megfelelő sebességgel, exponenciális jelleggel töltődik. Az áramkör akkor működik helyesen, ha az áramkör időállandója τ a bemenő jel impulzusszélességéhez T_i képest nagy. A gyakorlatban $\tau \geq 20T_i$ választás a megfelelő arány. A 9.ábra esetében a bemenő A leggyakrabban négyzögimpulzusokkal foglalkozunk. Ideális négyzög impulzus sorozat.

jelfrekvencia $f_{be} = 50 \text{ Hz}$. $T_i = 10\text{ms}$ ($T/2$) $R=1\text{kHz}$, $C=1\mu\text{F}$ esetében $\tau=1\text{ms}$.



9. ábra. Integráló áramkör jelalakja

HA T_i -t csökkentjük a kondenzátornak kevesebb ideje lesz feltöltődni és kisülni. A kimenő jel amplitúdója csökken. A 10. ábra esetében $f_{be}=1\text{kHz}$ $T_i=0,5\text{ms}$ $\tau=1\text{ms}$.



10. ábra. Integráló áramkör helyesen megválasztott időállandónál

DIÓDÁS VÁGÓÁRAMKÖRÖK

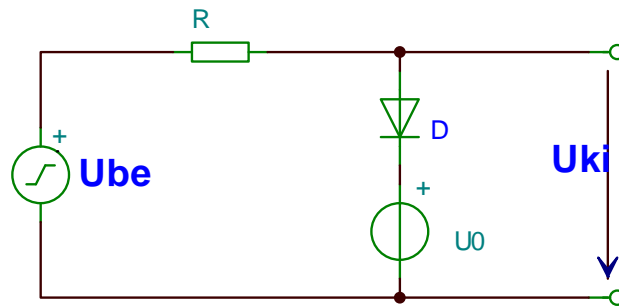
A diódás vágóáramköröket az elektronika számos területén használják jelformálásra, vágásra, jelszint beállítására illetve korlátozására. Olyan impulzusformáló négypólusok amelyek az impulzusok amplitúdó-határolását valósítják meg.

A vágóáramkörök működését az egyszerűség kedvéért szinuszos bemenő jelek esetén vizsgáljuk de tetszőleges bemenő jelek formálására is alkalmasak.

Diódás vágókapcsolás

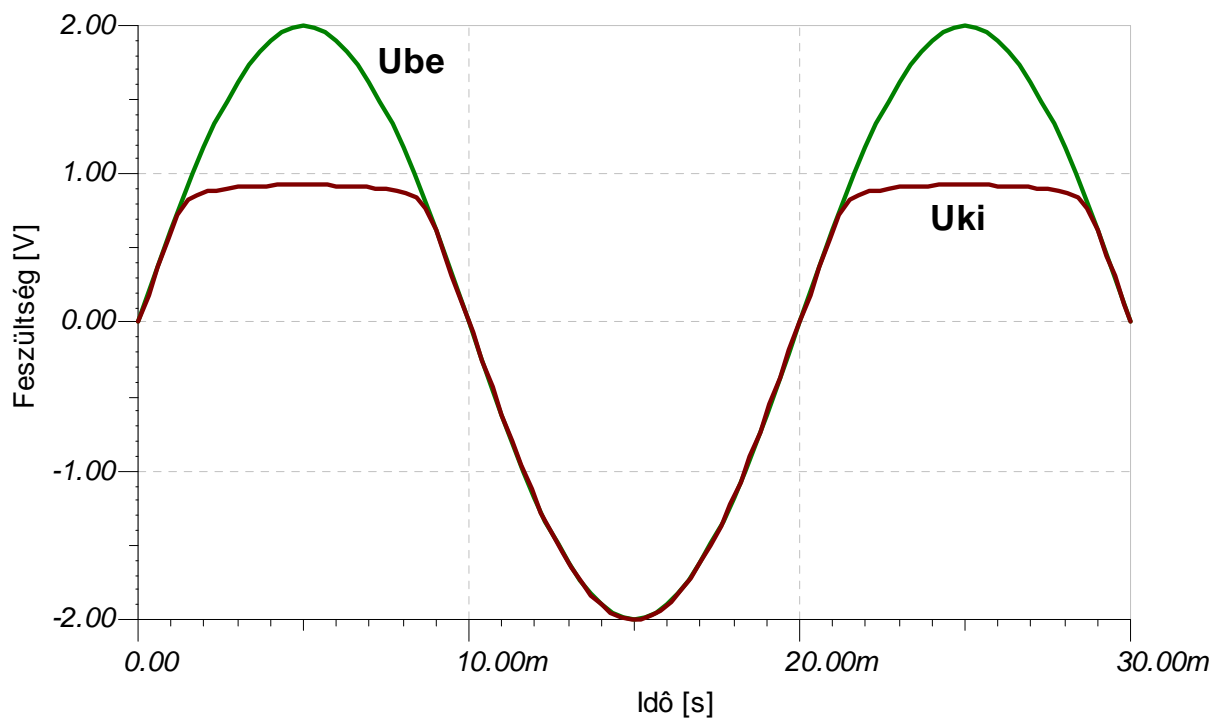
Ebben a kapcsolásban (11.ábra) a dióda kapcsolóelemként viselkedik. A nyitóirányban előfeszített dióda úgy viselkedik, mint egy kis értékű ellenállás (*rövidzárral helyettesíthető*). A záró irányban előfeszített dióda pedig úgy viselkedik, mint egy nagy értékű ellenállás (*szakadással helyettesíthető*).

A kapcsolásban az U_0 feszültséggel állítjuk be a vágási szintet. A dióda átengedi a bemenő jelet, ha az anódján a katódhoz képest U_D nyitó feszültség van. U_0 értéke a vágási szintet határozza meg.



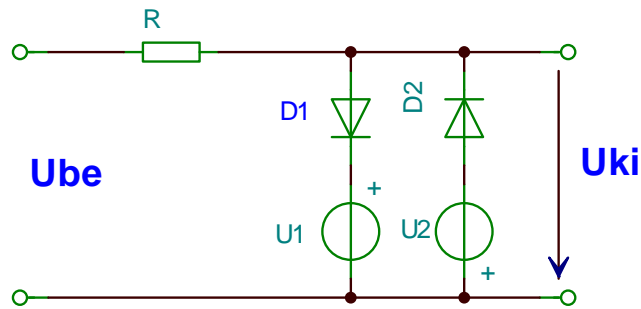
11. ábra. Diódás vágókapcsolás

A 11. ábra kapcsolásában az U_0 feszültség a diódát záró irányban feszíti elő. A dióda kinyit, ha a bemenetén megjelenő feszültség $U > U_0 + U_D$. Ilyenkor a dióda elkezd vezetni és a bemenő jel többi részét levágja. 12. ábra



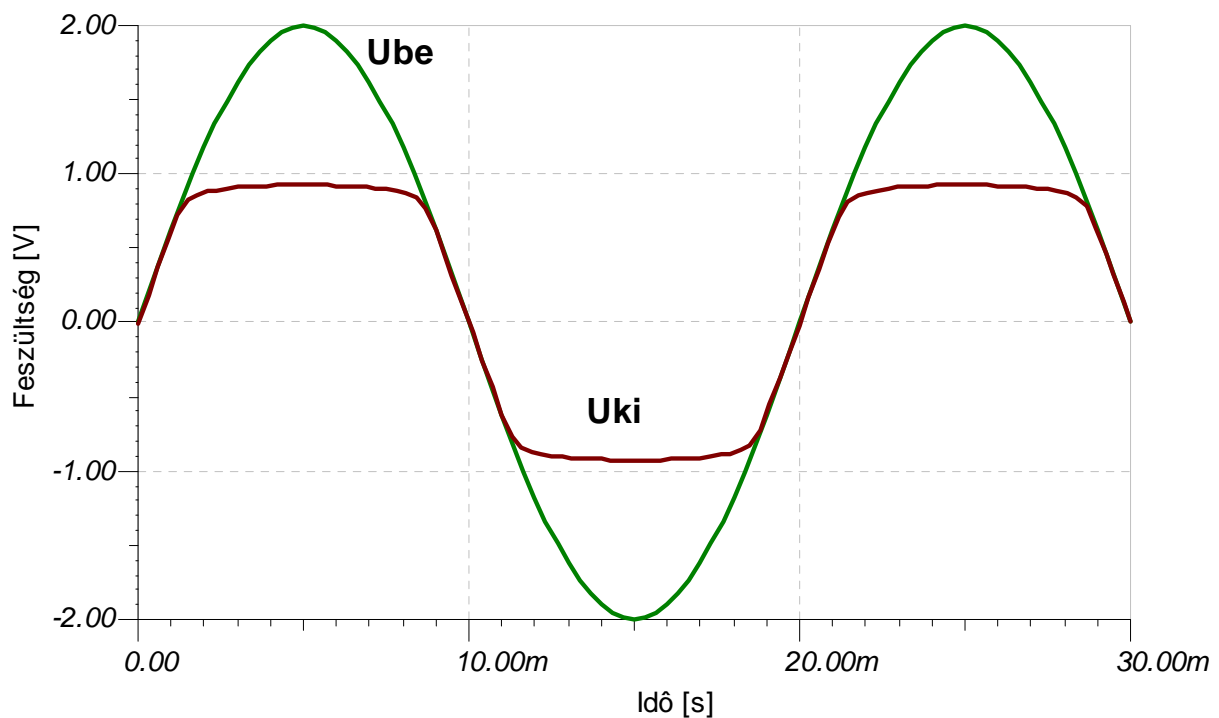
12. ábra. Diódás vágóáramkör jelalakja

A kettős **diódás vágóáramkör** bemenő jel mindkét félperiódusát képes vágni. 13. ábra.



13. ábra. Kettős vágóáramkör kapcsolás

A kapcsolás egy felülvágó és egy alülvágó párhuzamos diódás vágókapcsolás egyesítésével valósítható meg. A kimeneti jel csak az U_1 és U_2 segédfeszültségek által meghatározott vágási szintek között lesz arányos a bemeneti jellel. 14. ábra.



14. ábra. Kettős vágókapcsolás jelalakja

Az U_1 és U_2 segédfeszültségek beállításával a vágási szintek külön-külön beállíthatók mindkét fél periódusban.

A gyakorlati kapcsolásokban az U_1 , U_2 segédfeszültségek előállítására nem külön telepet, hanem feszültségosztót alkalmaznak.

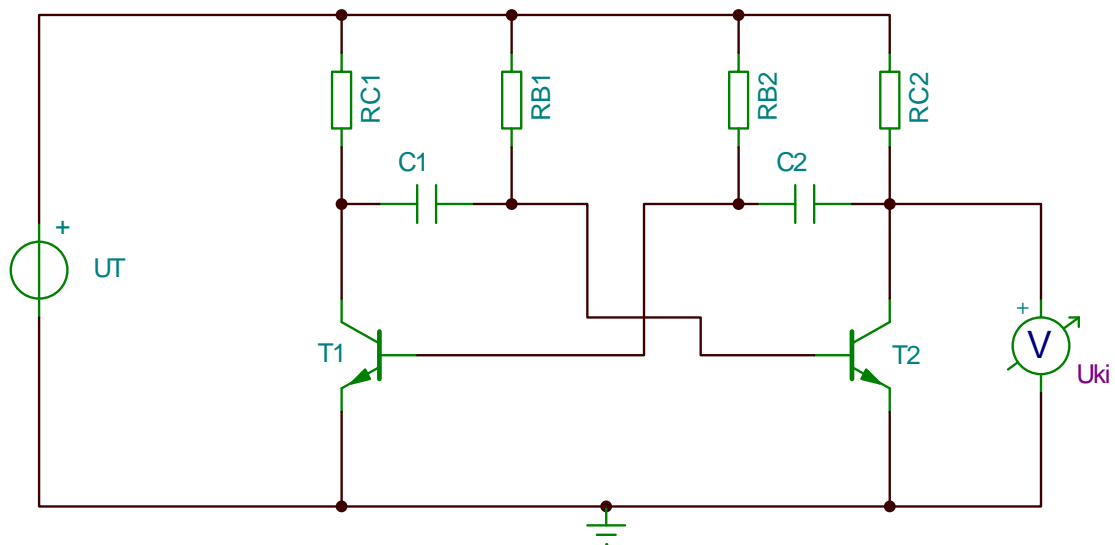
IMPULZUSELŐÁLLÍTÓ ÁRAMKÖRÖK

Az impulzuselőállító áramkörök (*billenőkapcsolások*) pozitívan visszacsatolt digitális áramkörök. Lényeges különbségük a pozitívan visszacsatolt lineáris áramkörökhöz (oszillátorokhoz képest, hogy kimeneti feszültségük nem folyamatosan változik hanem két meghatározott érték (magas-H és alacsony-L) között ugrál. Az átmenet a két állapot között nagyon gyorsan valósul meg.

Az impulzust előállító áramkörökben (multivibrátor) a tranzisztor kapcsoló üzemben működik.

1. Astabil billenőfokozat (astabil multivibrátor)

Az astabil multivibrátorok egyetlen stabil állapottal sem rendelkeznek. A kimenetükön folyamatosan négyyszögjelet állítanak elő. A kimeneten a négyyszögjel a tranzisztorok folyamatos nyitásával és zárásával állítják elő. Az áramkör nem rendelkezik stabil állapottal innen az astabil elnevezés. 15. ábra



15. ábra. Astabil multivibrátor

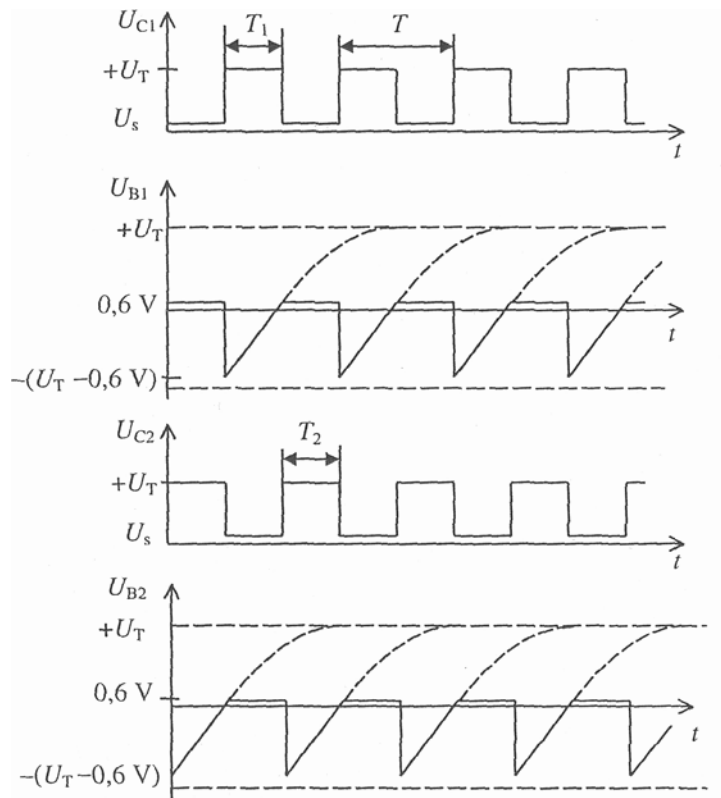
Működés: A kapcsolás egy olyan kétfokozatú földelt emitteres erősítő, aminek a kimeneti jelét (két 180 fokos fázisfordítás miatt) azonos fázisban csatolják vissza a bemenetre (pozitív visszacsatolás). Mivel a kapcsolás sem amplitúdó határoló elemeket nem tartalmaz a túlvezérelt oszcillátor kimeneti jele négyyszögjel. A tranzisztorok kollektorain keletkező feszültségugrások amplitúdója gyakorlatilag a telepfeszültséggel egyenlő.

A T_1 , T_2 tranzisztorok felváltva vezetnek.

Tegyük fel, hogy a T_1 tranzisztor vezet és a T_2 tranzisztor zár. Ilyenkor a C_1 kondenzátor R_{B1} ellenálláson keresztül tápfeszültség felé töltődik. A töltődés addig tart amíg feszültsége el nem éri a T_2 tranzisztor nyitófeszültségét. Ekkor a T_2 tranzisztor nyit és lezárja a másik T_1 -es tranzisztort. A kapcsolás átbillen a másik állapotába.

A T_2 -es tranzisztor csak addig vezet, amíg a C_2 az R_{B2} ellenálláson keresztül akkora feszültségre nem töltődik, hogy a T_1 tranzisztor kinyit és lezárja a T_2 tranzisztort. A kapcsolás újra átbillen. A kapcsolás e között a két állapot között billeg.

A billenési időtartam az időzítő elemek értékétől függ. $T_1 = 0,7R_{B1}C_1$ $T_2 = 0,7R_{B2}C_2$. A jelek periódusideje $T \approx 0,7(R_{B1}C_1 + R_{B2}C_2)$. Ha az $R_{B1}C_1$ időállandó megegyezik $R_{B2}C_2$ -vel a kapcsolás kimeneti jele szimmetrikus. Aszimmetrikus esetben 1:10-nél nagyobb impulzusidő-arány nem valósítható meg. A működés alapfeltétele, hogy a C kondenzátoroknak a jel szüneteiben U_T nagyságú feszültségre kell töltődni. A kollektor ellenállások értéke $k\Omega$ nagyságrendű. Az áramkör jelalakjai a 16. ábrán láthatók.



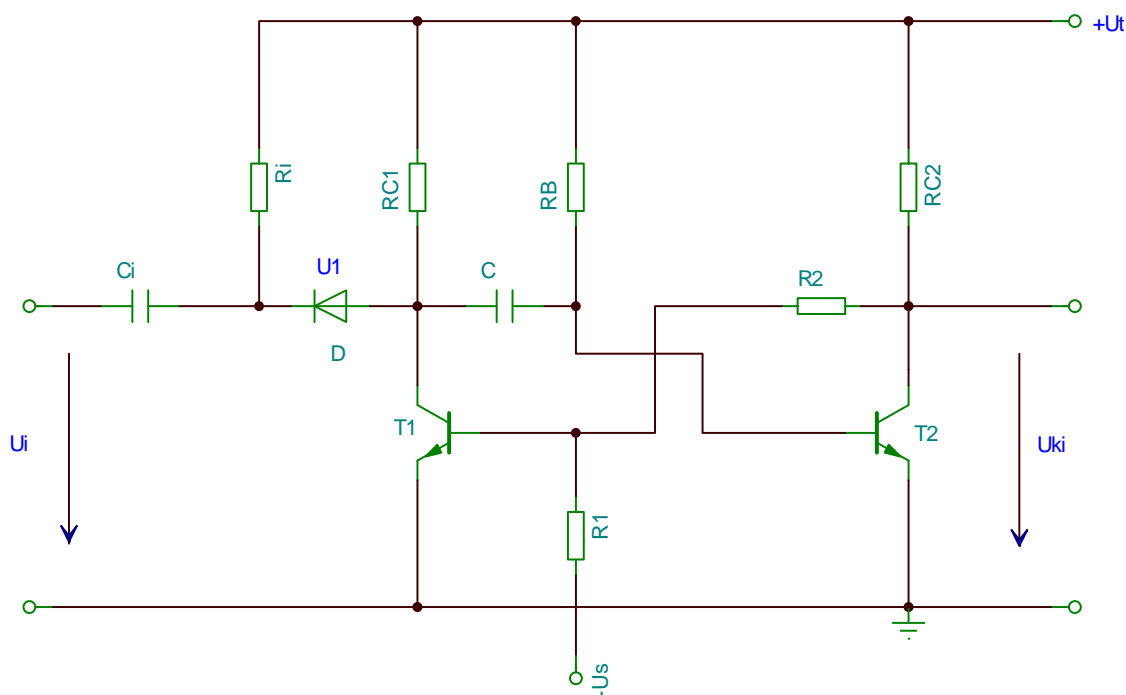
16. ábra. Astabil multivibrátor jelalakjai³

³ Forrás: Zombori Béla : Az elektronika alapjai Nemzeti Tankönyvkiadó – Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 1999

2. Monostabil multivibrátor

Egy stabil állapottal rendelkező áramkör. Ebből az állapotból egy bemeneti impulzus hatására saját áramköri elemeitől függő időtartamra bekapcsol, majd a vezérlőjeltől függetlenül a nyugalmi állapotba tér vissza. (A monostabil multivibrátor egy indító jel hatására a kimenetén egy négyszögimpulzust állít elő.)

A négyszögimpulzust előállító monostabil áramkör kapcsolási rajza a 17. ábrán látható.



17. ábra. Monostabil multivibrátor kapcsolás

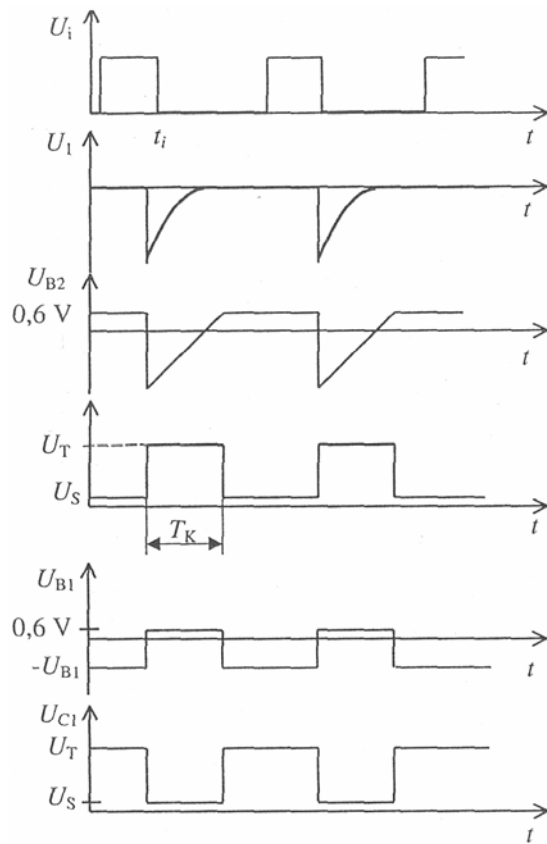
Működés:

Nyugalmi állapotban a T_2 tranzisztor vezet. Bázisa R_B -n keresztül a tápfeszültségre kapcsolódik, ezért nyitva van. Kollektor feszültsége a kis értékű U_s ami az R_1, R_2 feszültségosztón leosztva zárva tartja a T_1 tranzisztort. C egyik fegyverzete $0,6V$ -on van a nyitott tranzisztor miatt. Másik fegyverzete a $+U_t$ -re kapcsolódik. A kondenzátor $U_t - 0,6V$ -ra töltődik. Az R_i, C_i, D elemekből álló áramkör az indító áramkör. Az U_{be} -re adott négyszögjelből a differenciáló áramkör ($R_i - C_i$) állít elő impulzusokat. A negatív impulzus C -n keresztül egy rövid időre lezárja a T_2 tranzisztort így annak kollektor feszültsége U_t -re nő ami az R_1, R_2 osztón keresztül nyitja a T_1 tranzisztort.

C feszültsége eltolva (negatív polaritással) T_2 tranzisztor bázisát lezárva tartja. T_2 addig marad zárva ameddig a C kondenzátor R_B -n keresztül $0,6V$ -ra töltődik. Ekkor T_2 újra kinyit és visszaáll az eredeti állapot.

Az átmeneti (kvázi stabil) állapot időtartalma $T_k = 0,69 \cdot R_B \cdot C$

A működést a 18. ábra jelalakjai alapján követhetjük nyomon.



18. ábra. Monostabil multivibrátor jelalakjai⁴

A monostabil áramköröket időzítő áramkörként használják. Az időzítés időtartalma az R_B és C elemek segítségével állítható be.

3. Bistabil multivibrátor

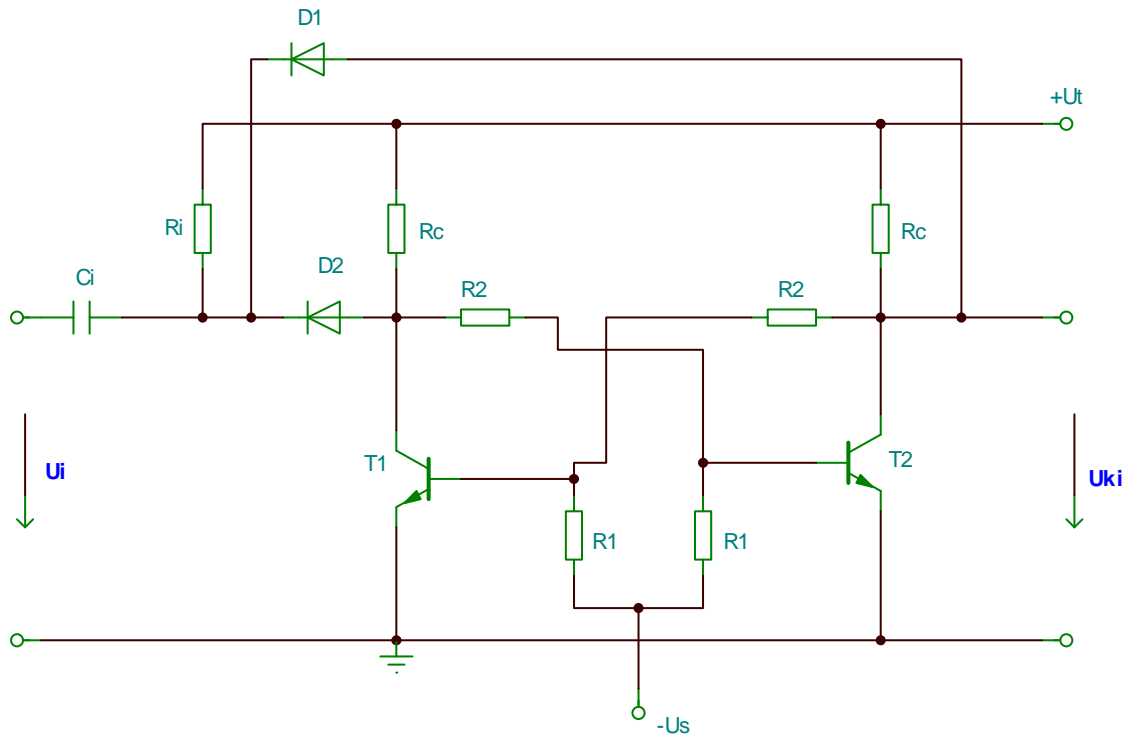
A bistabil multivibrátornak (Flip-Flop) két stabil állapota van. A bistabil billenő kapcsolásoknál a kimenet állapota csak akkor változik meg, ha a folyamatot egy bemenő jel aktiválja, aminek a hatására átbillen egy másik stabil állapotába. 19. ábra

Működés:

T_1, T_2 tranzisztorok közül az egyik nyitva a másik zárva van. Pl. Ha T_1 nyitva van akkor a kollektor feszültségét az R_1, R_2 osztók által leosztva a T_2 tranzisztor bázisára a nyitáshoz szükséges bázisfeszültségnél kisebb bázisfeszültség jut. Ezért T_2 zárva van.

⁴ Forrás: Zombori Béla: Az elektronika alapjai Nemzeti Tankönyvkiadó – Tankönyvmester Kiadó, Budapest, 1999

Ha az U_i bemenetre egy indító négyszögjel érkezik, akkor az indító áramkör ebből olyan indító tüskéket hoz létre, amiből a negatív polaritásúakat a D_1 , D_2 diódák a T_1 , T_2 tranzisztorok bázisára vezet. Ez a lezárt tranzisztorra hatástalan, de a nyitott tranzisztort lezárja és az osztókon keresztül megtörténik az átbillenés.

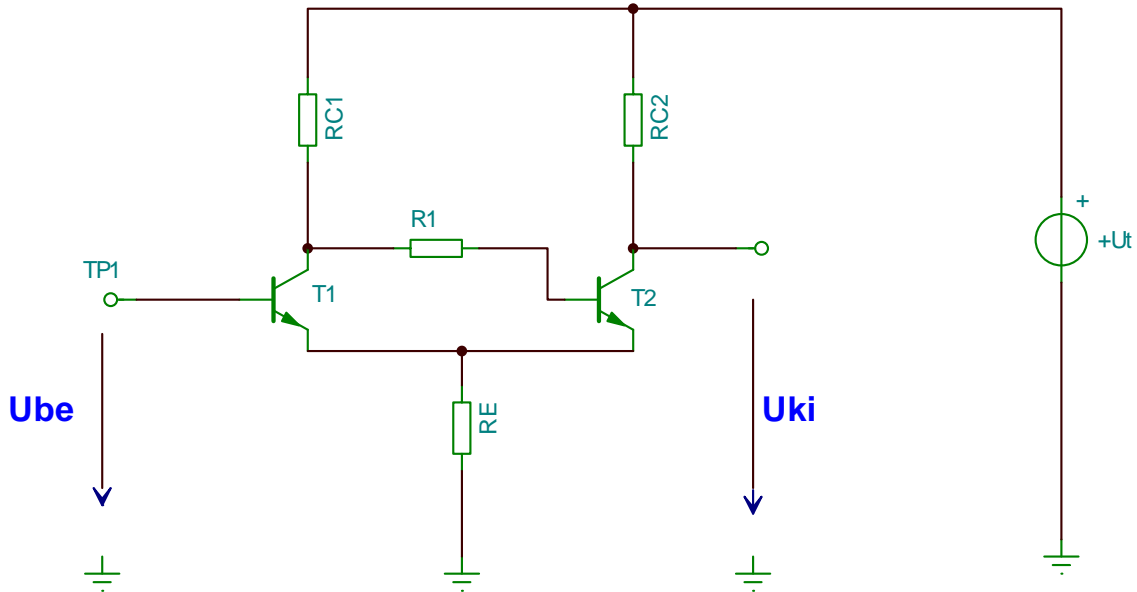


19. ábra. Bistabil multivibrátor kapcsolás

4. Schmitt-trigger

Egy olyan speciális bistabil multivibrátor, ami az átviteli karakterisztikájának hiszterézise miatt kiválóan alkalmas a bemenő jelre szuperonálódott zavarjelek kiszűrésére. 20. ábra

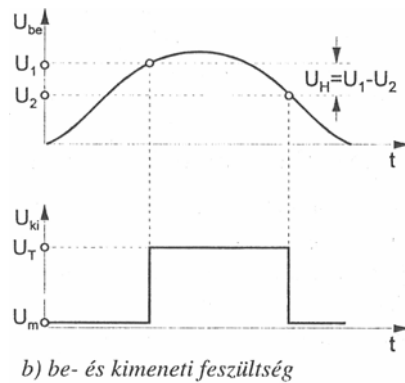
A bemeneti feszültség csökkentésekor csak az előző szintnél jóval alacsonyabb (U_2) szintnél csökken a T_1 kollektor árama olyan mértékben, hogy kollektor emitter feszültsége meghaladja a 0,6V-ot, T_2 bázis emitter nyitófeszültségét. Ekkor T_2 ismét vezet, megemeli a közös emitter pontot és lezárja a T_1 -t így a schmitt-trigger ismét visszaáll alaphelyzetbe.



20. ábra Schmitt trigger kapcsolás

Mivel a billenések nem ugyan azon a feszültség szinten következnek be az áramkörnek hiszterézise van.

Hiszterézisen azt a feszültségkülönbséget értjük, ami az U_1 bekapcsolási és U_2 kikapcsolási küszöbérték között fennáll. $U_H = U_1 - U_2$

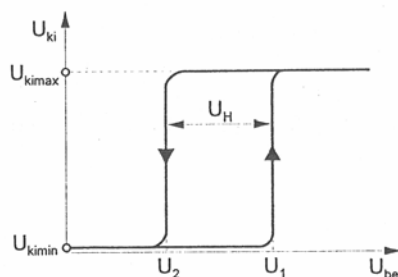


21. ábra. Schmitt-trigger be-és kimeneti jelalakja⁵

Az áramkörnek ezt a tulajdonságát zavar szűrésre használhatjuk. A kapcsolás a hiszterézis feszültségnél, U_H kisebb zavarjelekre érzéketlen.

A schmitt-trigger hiszterézisét szemlélteti az áramkör átviteli karakterisztikája.

⁵ Forrás: Kovács Csongor: Elektronika General Press Kiadó, 2000



22. ábra. Schmitt-trigger átviteli karakterisztikája⁶

A schmitt-trigger a másik alkalmazási területénél (jelformálás) azt a tulajdonságát használják ki, hogy lassú felfutású és lefutású jelekből gyors fel-lefutású négyzetjelet állít elő kimenetén.

SZIMULÁCIÓ

A szimulációnál az adott jelenségeket matematikai modell segítségével írják le.

Az áramköri szimuláció előnyei:

- Segíti az elméleti ismeretek elsajátítását és fejleszti az alkalmazási készséget.
- Érthetőbbé válik az áramköri elemek paramétereinek jelentése.
- Egyszerűen és biztonságosan gyakorolható a műszerek kezelése.
- Látványosan jeleníti meg a mérési eredményeket.
- Új megoldások, létező drága rendszerek elemzésénél jelentős költségmegtakarításokat eredményez.

Az áramköri szimuláció korlátai:

- Nem vesz figyelembe minden hatást, ami a gyakorlatban érvényesül
- A program által kezelhető bonyolultsági szint korlátozott.

Többféle szimulációs szoftver van a piacon. Ezek közül az egyik legelterjedtebb otthoni és fejlesztési célokra is egyaránt alkalmazható szoftver a **TINA** (*Toolkit for Interactive Network Analysis*)

⁶ Forrás: Kovács Csongor: Elektronika General Press Kiadó, 2000

A TINA program segítségével analóg, digitális illetve vegyes típusú áramkörök felrajzolása, analízise és mérése lehetséges. A korszerű menüvezérelt, grafikus programmal az áramkörök bevitele és az azt követő analízis kényelmes és hatékony folyamat. A TINA segítségével elvégzett előzetes analízis jelentősen csökkenti a deszkamodellek beépítéséből és beindításából származó fejlesztési költségeket. A szimulációk számítási eredményei megjeleníthetők akár diagramok formájában, akár valamilyen virtuális mérőműszeren. A jegyzőkönyvek elkészítéséhez saját szöveg, és egyenletszerkesztője áll rendelkezésre. Az elektromos alkatrészek katalógusa több mint 20 000 alkatrészt tartalmaz és tovább bővíthető. A programba beépített mérőszoftver az opcionális TINA-Lab mérőkártya és a próbapad segítségével lehetővé teszi a megtervezett áramkörök bemérését is.

A kapcsolási rajzok egyszerűen használható kapcsolási rajz-szerkesztővel hozhatók létre. Az alkatrész eszköztárból választott alkatrészjelek az egér segítségével elhelyezhetők, áthelyezhetők, tükrözhetők, és/vagy forgathatók a képernyőn. A kapcsolási rajzok könnyű módosítását, ún. „gumivezeték” teszi lehetővé. Tetszőleges számú áramkör, alapáramkör megnyitható, és az áramkörök vagy áramköri részletek a vágólap segítségével bármelyik másik megnyitott áramkörbe átmásolhatóak. Lehetőség van a kapcsolási rajz további finomítására vonalak, ívek, nyilak rajzolásával, keret és cím mezők hozzáadásával.

Az Áramkör Ellenőrzés (ERC - Electrical Rules Check), automatikusan megvizsgálja a kérdéses összekötéseket és megjeleníti az ERC ablakban, így az esetleg hiányzó összekötések, még a hálózat analízise előtt feltárhatóak.

A TINA segítségével egyszerűsíthetjük a kapcsolási rajzokat, részáramkörökké változtatva azok egyes részeit. Ezen kívül új TINA alkatrészeket készíthetünk bármely SPICE részáramkörből. A TINA ezeket a részáramköröket automatikusan téglalapokként ábrázolja a kapcsolási rajzon, de a felhasználó tetszés szerinti formát is létrehozhat helyettük a Schematic Symbol Editor (SSE) rajzjel-szerkesztő programjával. A TINA programban a nagyobb félvezetőgyártók (Analog Devices, Texas Instrument, National Semiconductors, etc) által rendelkezésre bocsátott SPICE modelleket tartalmazó könyvtárak vannak. A könyvtárakba mi is felvehetünk új modelleket, de létrehozhatunk saját könyvtárakat is a Library Manager (LM - könyvtárkezelő) programja segítségével.

A TINA Parameter Extractor (paraméter beállító, SLM) programja segítségével -a mérési vagy katalógusadatokat modellparaméterekké alakítva- új modelleket készíthetünk.

A TINA beépített szövegszerkesztőt is tartalmaz, hogy szövegeket és képleteket adhassunk a kapcsolási rajzokhoz, számításokhoz és mérésekhez.

A kapcsolási rajzok és a számított vagy mért eredmények kinyomtathatók vagy szabványos. wmf formátumban fájlba menthetők. A hálózatlisták Pspice formátumban exportálhatók, importálhatók és felhasználhatók számos nyomtatott-áramkörtervező programban (ORCAD, TANGO, PCAD,... stb.).

A DC és tranziens analízis lineáris és nemlineáris analóg és digitális áramkörök analízisét egyaránt megengedi. A DC analízis analóg áramköröknél, az egyenáramú munkapont, ill. transzfer karakterisztika számítását végzi, digitális esetben pedig megoldja a logikai állapotegyenletet. Tranziens üzemmódban hét megengedett paraméterezhető analóg bemeneti jelforma (impulzus, egység-ugrás, szinusz, koszinusz, háromszög, négyszög, trapézjel), illetve digitális jelgenerátor és programozható órajel közül választhatunk. Lehetőség van a felhasználó által definiált tetszőleges gerjesztés analitikus, ill. táblázatos megadására a beépített interpreter (fordító) segítségével. A hálózat válaszána számítása és ábrázolása mellett lehetőség van az eredmény Fourier sorának ill. folytonos spektrumának kiszámítására és ábrázolására, valamint torzítási tényező meghatározására.

Digitális áramkörök analíziséhez a TINA egy gyors digitális szimulátort is tartalmaz. Az áramkörök vizsgálata akár a digitális áramköröknél szokásos logikai diagramban, akár pedig lépésenkénti módban is lehetséges, mely során, az áramkör rajzán követhető a logikai állapotok változása.

Az AC analízis során amplitúdó-, fázis- és futási idő karakterisztika, fazorábra valamint Nyquist diagram felrajzolása, komplex feszültség, áram, impedancia és teljesítmény számítása lehetséges. Nemlineáris hálózatok esetén a program a munkaponti linearizálást automatikusan elvégzi.

A hálózatanalízis (Network Analysis) segítségével a vizsgált áramkörök kétkapú paramétereinek (S, Z, Y, H) meghatározása lehetséges. Ez a vizsgálat különösen fontos nagyfrekvenciás (RF) áramkörök vizsgálatánál. Az eredményeket Smith, polár vagy egyéb diagramok segítségével ábrázolhatjuk. A hálózatanalízis a TINA program hálózat-analizátor műszere segítségével végezhetjük el. A nagyfrekvenciás modellek akár parazita komponensekkel kiegészített Spice modellek, akár pedig lineáris frekvencia-függő S-paraméteres modellekkel is megadhatók.

A zajanalízis segítségével meghatározhatjuk a vizsgált áramkörök zajspektrumát a kimenetre és a bemenetre vonatkoztatva. Meghatározható a zajteljesítmény és a jel/zaj viszony.

A szimbolikus analízis segítségével lehetőség van analóg lineáris áramkörök átviteli függvényének, valamint adott gerjesztésre adott válaszána zárt képlet formájú előállítására DC, AC, és tranziens üzemmódban egyaránt. A program által előállított megoldás ábrázolható és összehasonlítható a numerikus, vagy mért eredménnyel. A beépített interpreter segítségével tetszőleges függvény felrajzolható és a számított vagy mért eredmények további feldolgozása (integrálás, differenciálás, konvolúció,...stb.) is lehetséges.

Lehetőség van toleranciák megadására, Monte-Carlo és worst-case analízisre. Az eredmények statisztikailag kiértékelhetők, meghatározható a várható érték, szórás és a kihozatal.

A programhoz nagyméretű analóg, digitális és félvezető katalógus tartozik, amelyet a felhasználó tovább bővíthet.

Valamennyi analízis eredmény nyomtatható és .wmf formában exportálható, lemezre menthető, visszatölthető.

A TINA program lehetővé teszi analóg áramkörök válaszának (feszültség, áram, teljesítmény) tetszőleges áramköri paraméter, illetve hőmérséklet függvényében való ábrázolását, valamint egy vagy több áramköri paraméter adott célfüggvények melletti automatikus meghatározását (optimalizálás). Az optimalizálás az elektronikus tervezés mellett ideális eszköz példák, feladatok konstruálására. Definiálhatunk például különböző DC munkaponti értékeket, és a TINA segítségével megkereshetjük az ezek megvalósításához szükséges áramköri paramétereket.

A TINA virtuális műszereken is lehetővé teszi az áramkörök vizsgálatát. A rendszer egyedülálló tulajdonsága, hogy a műszerek akár szimulált, akár pedig –ha a TINA kiegészítő hardver installálva van–, valóságos mérési eredményeket is mutathatnak. A virtuális műszerek a T&M menün találhatóak. Behívásuk esetén automatikusan átveszik a kapcsolási rajzon található generátorok ill. mérőműszerek, kimenetek szerepét. A műszereken azonnal látható bármilyen változás, amit a generátorokon illetve az áramkörön végrehajtunk. Ha a TINA kiegészítő hardver installálva van, akkor ugyanazon műszerekkel és beállításokkal a mérések a valóságos áramkörön is elvégezhetők.

Új hatékony eszköz a TINA-ban a poszt-processzor. A poszt-processzor segítségével tetszőleges csomópont vagy komponens feszültségét és áramát is hozzáadhatjuk egy már létező diagramhoz.

Ezen kívül már meglévő görbék is tovább processzálhatók, pl. összeadhatók, kivonhatók illetve matematikai műveletek segítségével tovább alakíthatók. Lehetőség van karakterisztikák rajzolására is, azaz pl. egy feszültségnek a hozzá tartozó áram függvényében való felrajzolására.

Amikor a szimulált áramkör már alapvetően működik a végső teszt az áramkör „életszerű” interaktív próbája a vizsgált áramkörben található esetleges kapcsolók és billentyűk használatával és a kijelzők figyelésével. Ez a TINA program interaktív üzemmódjában lehetséges. Ebben az üzemmódban nemcsak az interaktív kapcsolókat állíthatjuk, hanem a komponensek értékét is változtathatjuk a számított feszültségek és áramok azonnali kijelzésével. A komponens értékek változtatásához és a kapcsolók váltásához billentyűket is rendelhetünk a számítógép billentyűzetén (Hot-Key), így a változtatást gyorsabban el tudjuk végezni a kijelölt billentyű lenyomásával.

DOKUMENTÁLÁS

Az elektromos áramkörök tervezésénél és vizsgálatánál nagyon fontos szerepe van a dokumentációnak. A dokumentálás az elektronikában mérési jegyzőkönyv készítését jelenti. Az elektromos áramkörök tervezésének és vizsgálatának gyakorlati munkája két lényeges részre oszlik:

- A vizsgálat, vagy mérés és
- A jegyzőkönyv elkészítése.

A jegyzőkönyv szerepe, hogy minden lényeges mérési és észlelési eredményt rögzítsen, amelyhez a vizsgálatot (mérést) végző személy e munkája során hozzájutott. A vizsgálati eredmények között fel kell sorolni minden olyan körülményt, amely később lényegessé válhat, olyan időpontban, amikor a mérési szituáció már megismételhetetlen, rekonstruálhatatlan, a vizsgálati anyagokat kidobták, és esetleg a műszereket javították, vagy ismételten hitelesítették.

A jegyzőkönyvnek fejezet, vagy bejegyzés formájában a következőket kell tartalmaznia:

- Címlap (név, dátum)
- A mérés elméleti alátámasztása (röviden)
- A mérésnél felhasznált eszközök (mérőeszközök, etalonok, vizsgált anyagok) felsorolása
- A mérés menete, a tevékenységek sorrendje, a mérési elrendezés ismertetése
- A mérési eredmények táblázatai (indokolt esetben bővíthető a számítási eredmények rovataival)
- A számítások módja és eredménye
- Az eredmények kiértékelése (elemzés, észrevételek megjegyzések)

A számításokhoz felhasznált adatok forrását közölni kell.

Különösen súlyos jegyzőkönyvi hibák:

- Hiányzik a jegyzőkönyv valamelyik része
- Tévedés az alkalmazott műszert illetően
- Tévedés a vizsgált anyag (vizsgálati tárgy) vonatkozásában
- Nem logikus, vagy hiányos okfejtés a mérés leírásában
- A táblázatok rovatainak elcserélése
- Téves számítás végzése
- Nem engedélyezett mértékegység használata

TANULÁSIRÁNYÍTÓ

A témakörhöz tartozó ismeretek gyakorlati alkalmazásához szükséges az alábbi készségek és képességek fejlesztése:

- Az informatikai eszközök használata
- Mérőműszerek használata
- Számolási készség
- Mennyiségérzék

A témakörhöz tartozó ismeretek gyakorlati alkalmazásához szükséges az alábbi személyes (SZe), társas (Tá) és módszer (Mo) kompetenciák fejlesztése:

- Logikus gondolkodás (Mo)

- Látás (Tá)

Az ajánlott tevékenységforma tananyag feldolgozása során:

- Olvassa el figyelmesen a tananyag impulzus előállító és impulzusformáló áramkörök című fejezeteket!
- Elemezze a különböző impulzus előállító és impulzusformáló kapcsolások működését!
- Tanulmányozza a TINA áramköri szimulációs szoftver működését. Állítson össze egyszerű kapcsolásokat a szoftver segítségével és szimulációval elemezze azok működését!

Önállóan oldja meg az "*önellenőrző feladatok*" című fejezet feladatait és ellenőrizze tudását a "*megoldások*" című fejezet alapján!

Bővítse tudását!

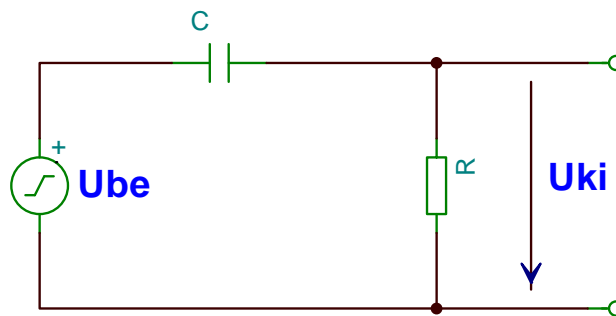
Végezzen kutatómunkát az alábbi témakörökben!

- Impulzustechnikai áramkörök alkalmazási lehetőségei
- Impulzus előállításának lehetőségei MSI-áramkörökkel

ÖNELLENŐRZŐ FELADATOK

1.feladat

Vizsgáljuk meg a 23. ábrán látható áramkör kimenetén lévő feszültséget, ha a bemenetre 1[V] amplitúdójú 500[Hz] frekvenciájú négyszögjelet adunk!



23. ábra. Differenciáló áramkör

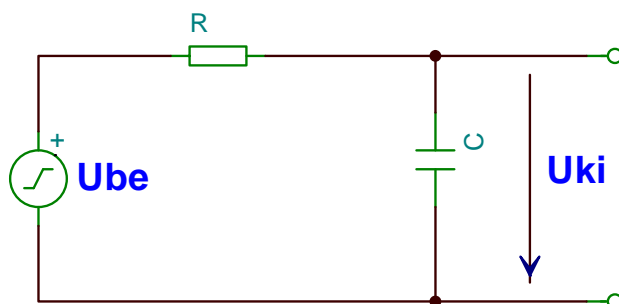
Ismételjük meg a feladatot különböző frekvencián, terhelő ellenálláson és kapacitáson.

- A kimeneti hullámforma megjelenítéséhez válasszuk a Tranziens analízist!
- Az eredményt az oszcilloszkópon is megjeleníthetjük. Válasszuk ki az Oszcilloszkópot a T&M menüről, kattintsunk a Run, majd az Auto gombra. A szinkronizáláshoz állítsuk a TrigerMode-ot Normal-ra!
- Az AC transzfer karakterisztika ábrázolásához válasszuk az AC transzfer karakterisztika menüpontot az Analízismenüről vagy hozzuk be a Jel-analízátort a T&M menüről és kattintsunk a Run gombra!



2. feladat

Vizsgáljuk meg az ábrán megadott integráló áramkör kimenetén lévő feszültséget, ha a bemenetre 1[V] amplitúdójú 500[Hz] frekvenciájú négyszögjelet adunk!



24. ábra. Integráló áramkör

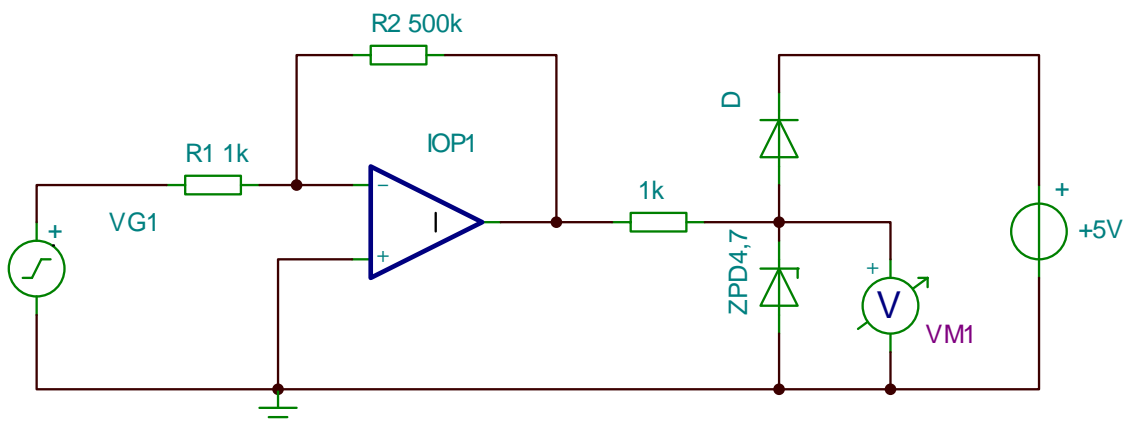
Ismételjük meg a feladatot különböző frekvencián, terhelő ellenálláson és kapacitáson!

- A kimeneti hullámforma megjelenítéséhez válasszuk a Tranziens analízist!
- Az eredményt az oszcilloszkópon is megjeleníthetjük. Válasszuk ki az Oszcilloszkópot a T&Mmenüről, kattintsunk a Run majd az Autogombra. A szinkronizáláshoz állítsuk a Trigger Mode-ot Normal-ra!
- Az AC transzfer karakterisztika ábrázolásához válasszuk az AC transzfer karakterisztika menüpontot az Analízis menüről vagy hozzuk be a Jel-analízátort a T&M menüről és kattintsunk a Run gombra!



3. TTL áramkör bemenetét védő áramkör vizsgálata.

Vizsgálja meg a 25. ábra kapcsolását!



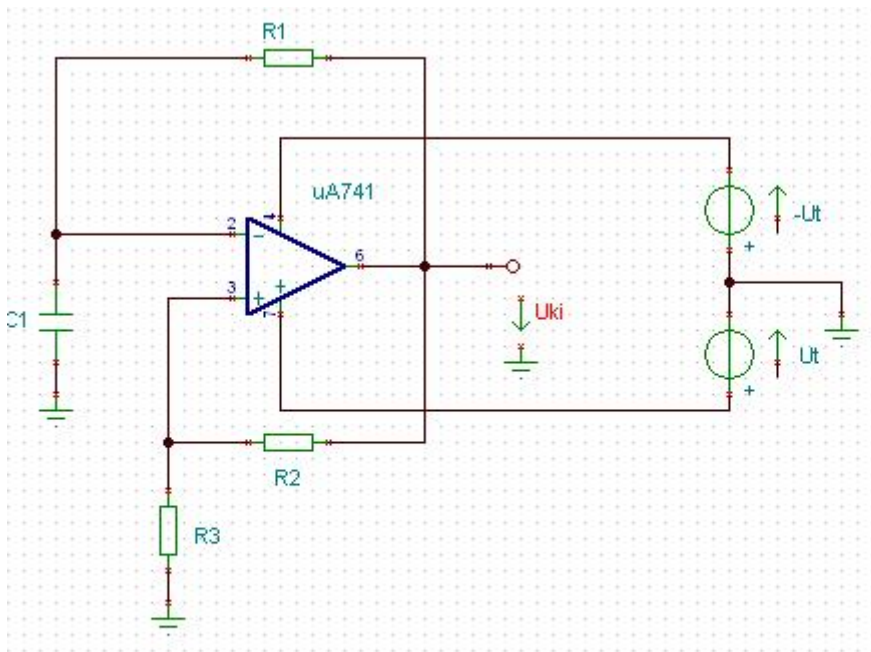
25. ábra. TTL áramkör bemeneti áramkörének védelme

- Szimuláció segítségével elemezze a kapcsolás működését!
- Tranziens analízis segítségével vegye fel az áramkör kimeneti jelét $U_{be}=10\text{mV}$ és 1V csúcsertékű bemenő jel esetén (Válassza meg az analízis idejét, válaszát indokolja)!
- Mérje meg az erősítő kivezérelhetőségét!
- Az U_{be} , U_{ki} értékekből számolja ki a kapcsolás az erősítő erősítését!



4.feladat

A 26. ábrán egy műveleti erősítővel megvalósított astabil billenő kapcsolás látható.



26. ábra. Műveleti erősítővel megvalósított astabil kapcsolás

- Elemezze a kapcsolás működését!

- Mi az R_1, R_2, R_3 ellenállások szerepe?

- Mi határozza meg a kimenő jel frekvenciáját?

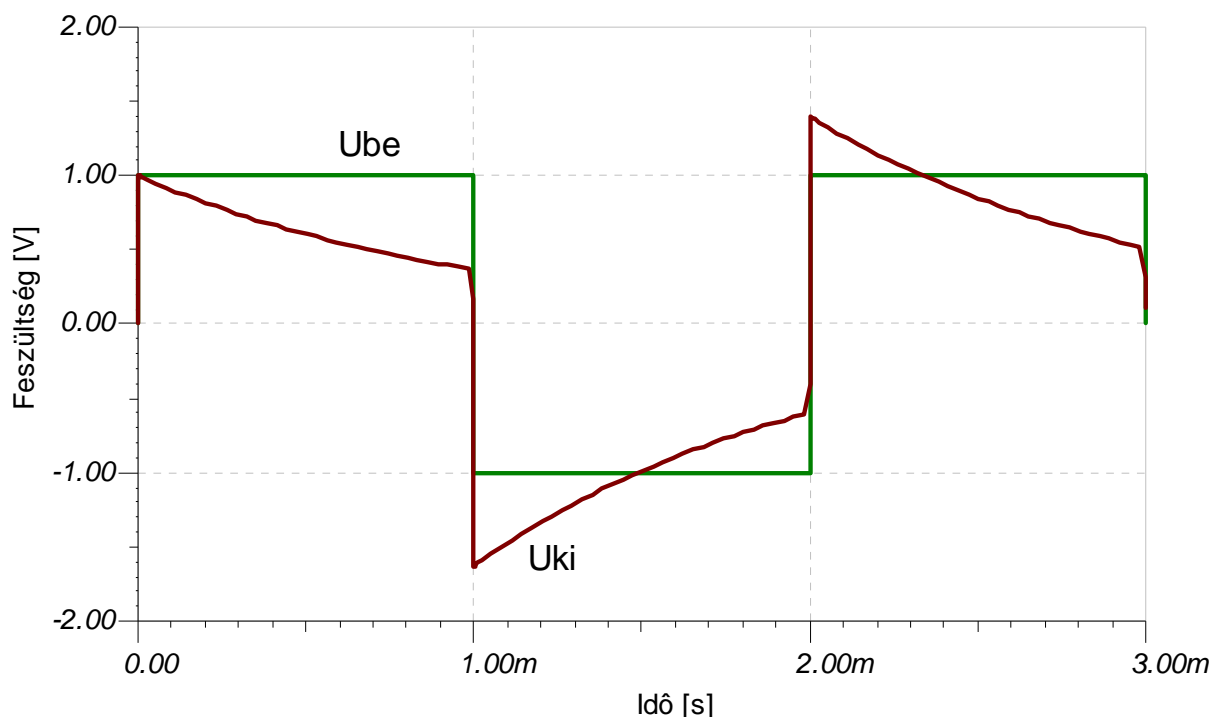
- Ábrázolja a kimenő jelet különböző R és C elemek esetén! Határozza meg a kimenő jel frekvenciáját!

MEGOLDÁSOK

1. feladat

A differenciáló áramkör kimenő jele $R=1\text{ k}\Omega$, $C=1\text{ }\mu\text{F}$ $f=500\text{ Hz}$ az analízis ideje 3 ms .

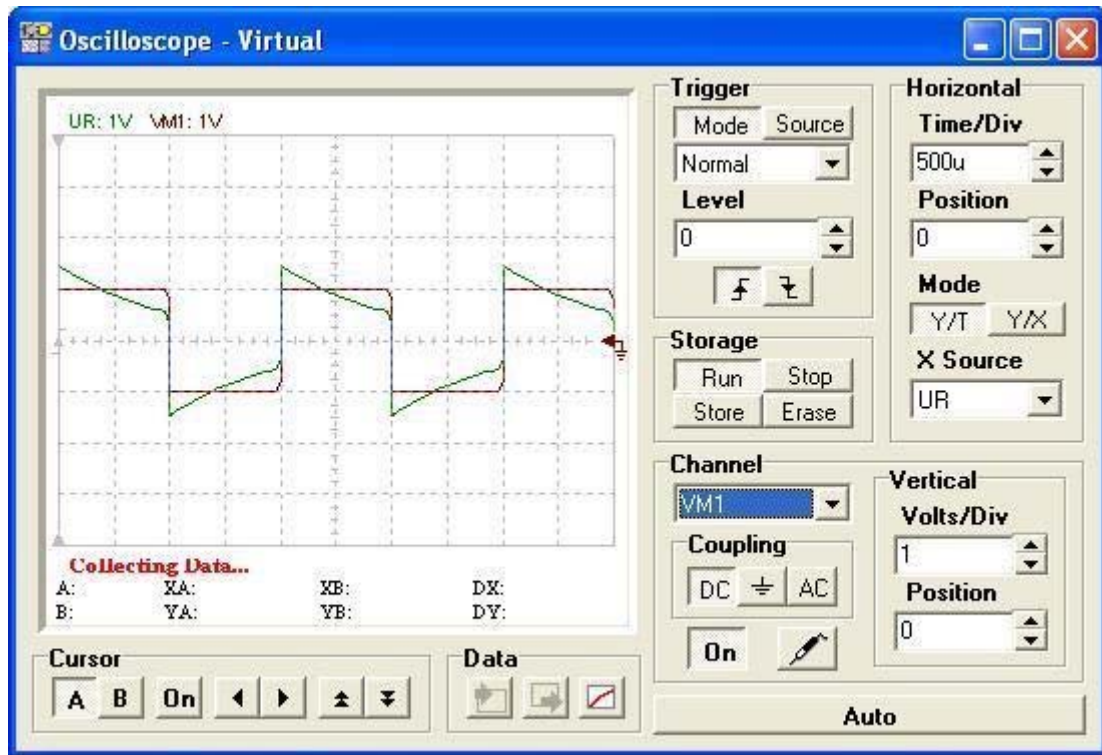
A tranziens analízis jele:



27. ábra. Differenciáló áramkör jelalak

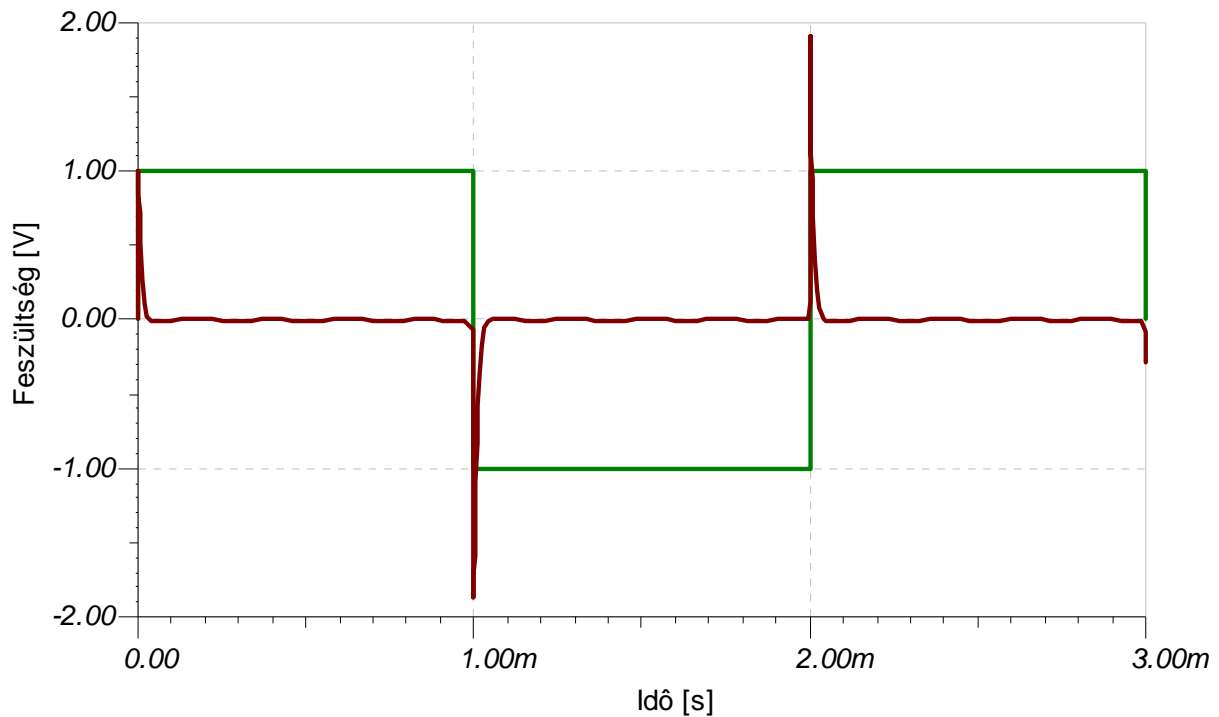
A kimenő jelet a bemenő jel függvényében a TINA virtuális oszcilloszkópja segítségével megkaphatjuk.

Az oszcilloszkóp kezelő szerveinek beállítása a valódi oszcilloszkópéval megegyezik. A Volts/Div kapcsoló a függőleges erősítés beállítására szolgál. A Time/Div kapcsoló a vízszintes eltérítést szabályozza. A megfelelő beállítások a jel amplitúdójától és frekvenciájától függenek. Helyes beállítások esetén, az oszcilloszkóp kimenetén megjelenő jel megegyezik a tranziens analízis jelalakjával.



28. ábra. Differenciáló oszcilloszkóp jelalak

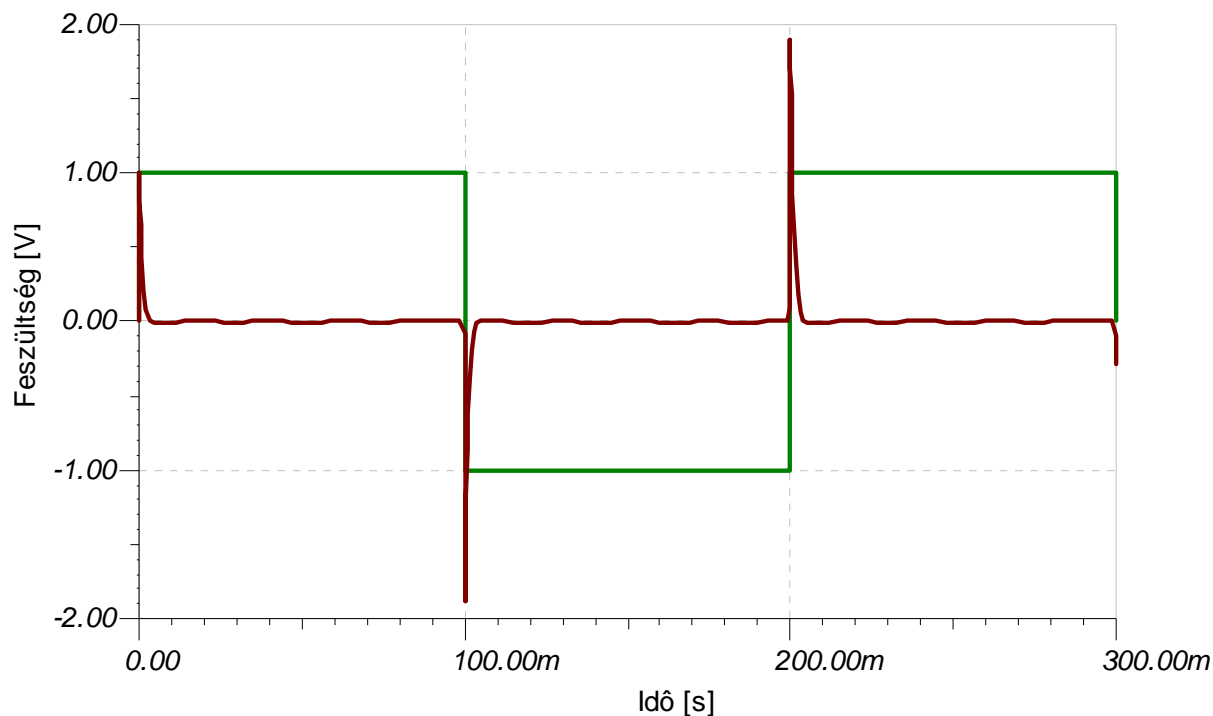
A differenciáló áramkör kimenő jele $C=100\text{nF}$, $R=100\ \Omega$, $f=500\ \text{Hz}$, analízis ideje 3ms. A tranziens analízis jele:



29. ábra. Differenciáló jelalak

Ugyan ilyen kimenő jelhez jutunk, ha differenciáló áramkör $R=1\text{k}\Omega$ és $C=1\mu\text{F}$ -os értékeit változtatlanul hagyjuk és a bemenő jel frekvenciáját csökkentjük $f=5\text{Hz}$ -re.

Ilyenkor az analízis ideje 300ms.



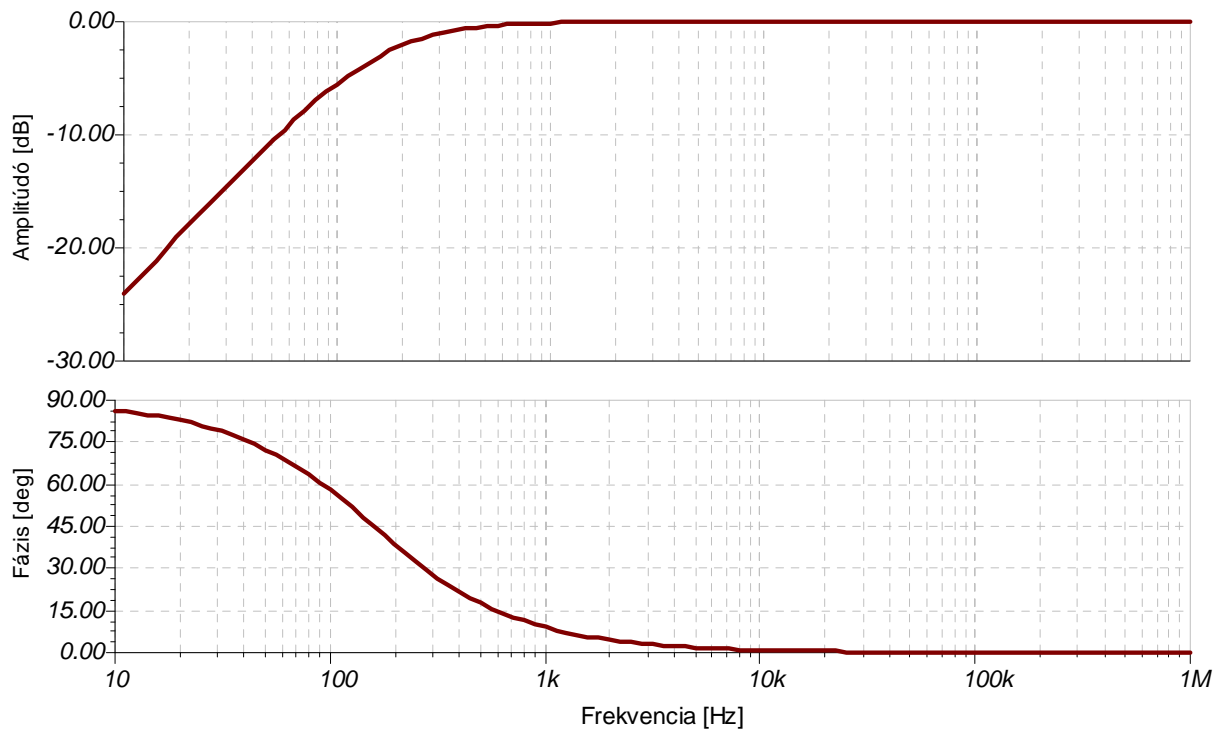
30. ábra. Differenciáló jelalak

A differenciáló áramkör kimenő jelét az áramkör időállandójának és az impulzus idejének aránya határozza meg.

Az AC transzfer karakterisztika (BODE diagram) a differenciáló áramkör átvitelét és fázistolását ábrázolja a bemenő jel frekvencia függvényében a beállított frekvenciatartományban. A karakterisztikából kiolvasható, hogy alacsony frekvencián a kapcsolás átvitele csökken.

Azt a frekvenciát ahol az átvitel 3dB-el csökken a sávközépi értékhez képest, határfrekvenciának nevezzük. Attól függően, hogy ez milyen frekvencia tartományban következik be, megkülönböztetünk alsó és felső határfrekvenciát.

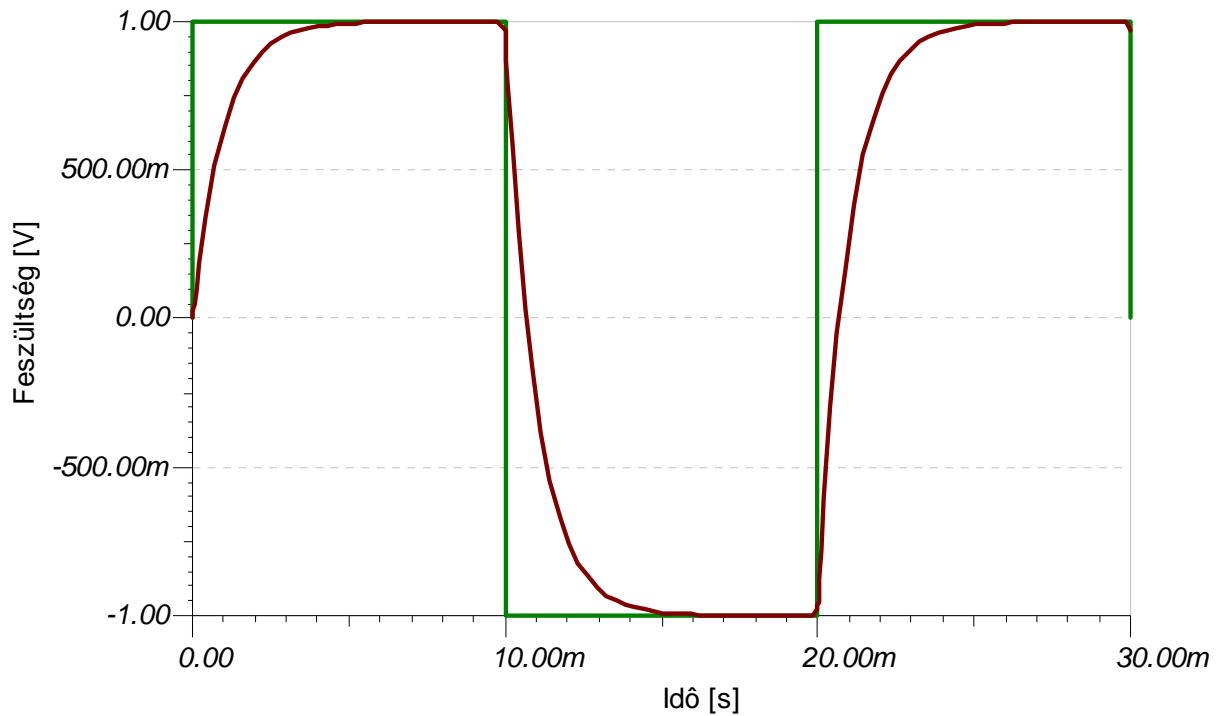
Az AC transzfer karakterisztikából ez az érték könnyen meghatározható.



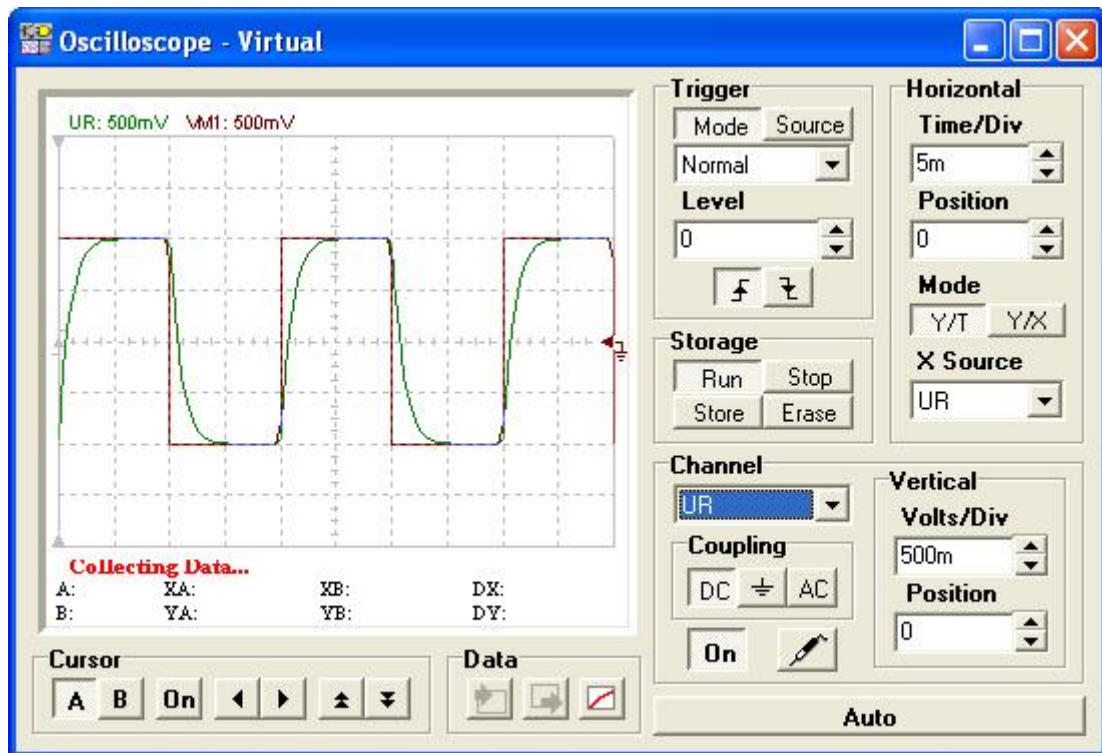
31. ábra Differenciáló transzfer karakterisztika

2. feladat

Az integráló áramkör tranziens analízis jele ha $R=1\text{k}\Omega$, $C=1\mu\text{F}$, $f=50\text{ Hz}$, az analízis ideje 30ms. A kimenő jelalak:



32. ábra. Integráló jelalak



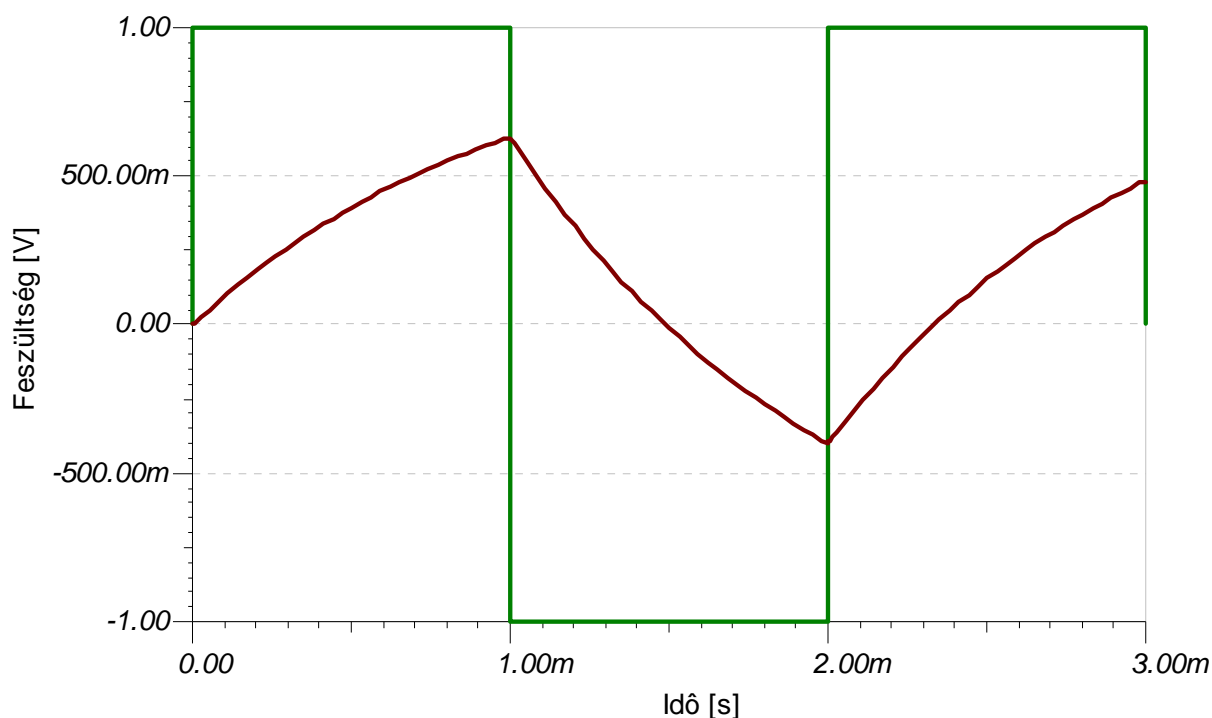
33. ábra. Integráló jelalak oszcilloszkóppal

A kapcsolás a idődiagramját a tranziens analízis mellett megkaphatjuk a TINA beépített virtuális oszcilloszkópjá segítségével is.

Az oszcilloszkóp függőleges (Volts/Div) és vízszintes eltérítő rendszerét (Time/Div) eltérítő rendszerét úgy kell beállítanunk, hogy a képernyőn kiértékelhető ábrát kapjunk.

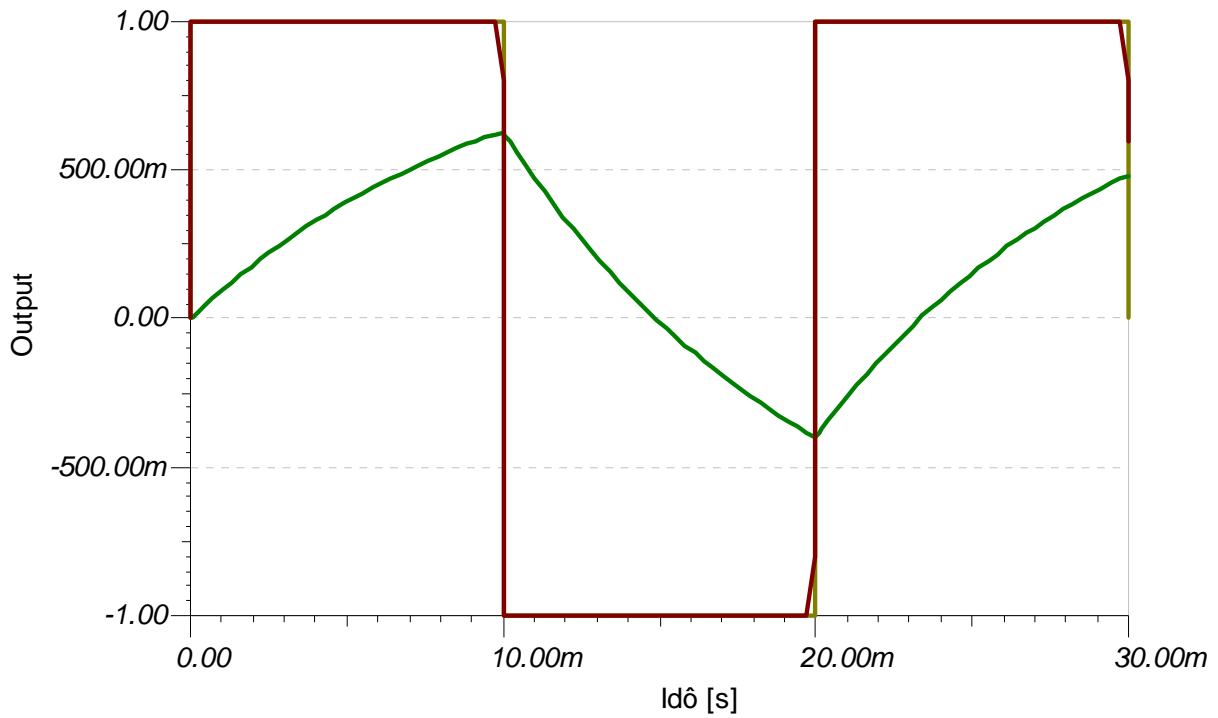
Az oszcilloszkóp rajzolása a Run billentyű lenyomásával indul.

Ha a bemenő jel frekvenciáját növeljük a kimenő jel amplitúdója lecsökken. A kondenzátornak nincs ideje feltöltődni illetve kisülni. Az integráló kapcsolás kimenő jele $R=1\text{k}\Omega$, $C=1\text{uF}$, $f=500\text{ Hz}$ az analízis ideje 3ms



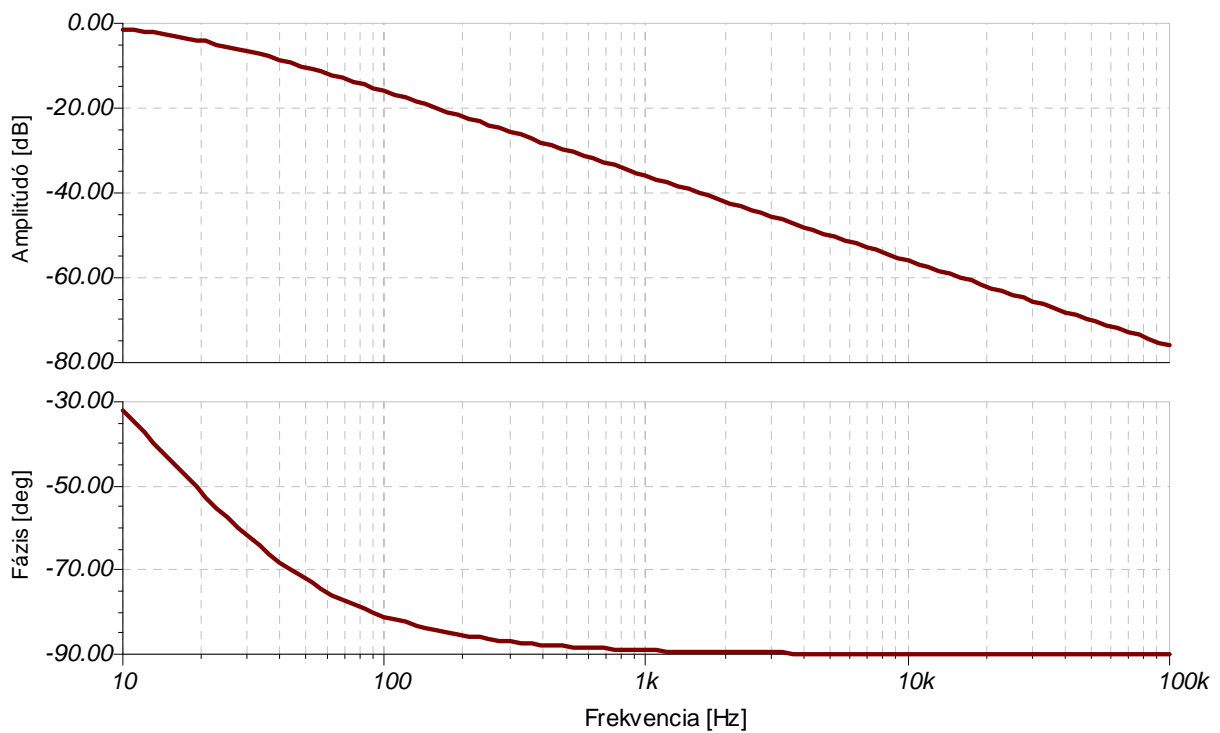
34. ábra. Integráló jelalak

Ugyan ezt a jelalakot kapjuk akkor is ha a bemenő jel frekvenciáját változatlanul hagyjuk, de az R , C elemek értékét megnöveljük. A bemenő jel $f=50\text{Hz}$, $R=10\text{k}\Omega$, $C=1\text{uF}$ az analízis ideje 30ms . Látható, hogy a két jelalak megegyezik. A két idődiagram alapján megállapítható, hogy az integráló áramkör kimenő jele az impulzus idejének és az időállandónak az arányától függ.



35. ábra. Integráló jelalak

Az integráló áramkör AC transzfer amplitúdó és fázis karakterisztikája (Bode diagram).



36. ábra. Integráló kapcsolás transzfer karakterisztika

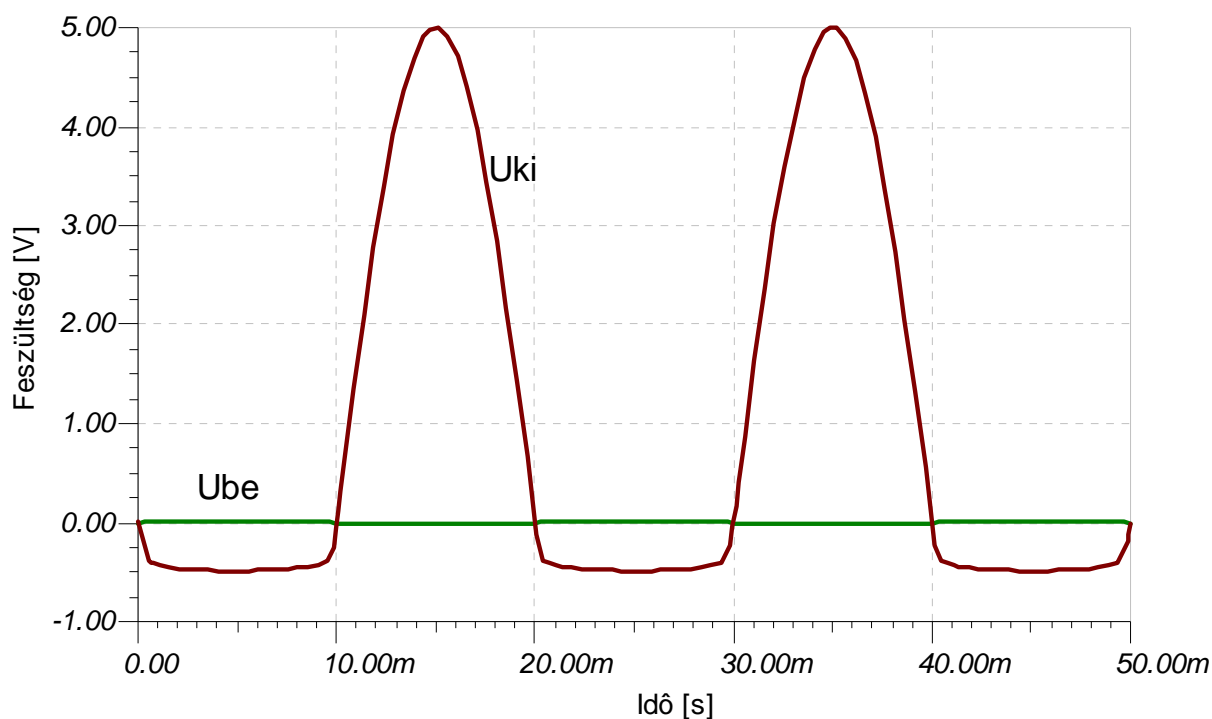
Az AC transzfer karakterisztikából látható, hogy az integráló áramkör átvitele a frekvencia növekedésével csökken.

Az AC transzfer karakterisztikából megállapítható, hogy az integráló és a differenciáló áramkör a frekvencia növekedésével ellentétesen viselkedik.

3. feladat

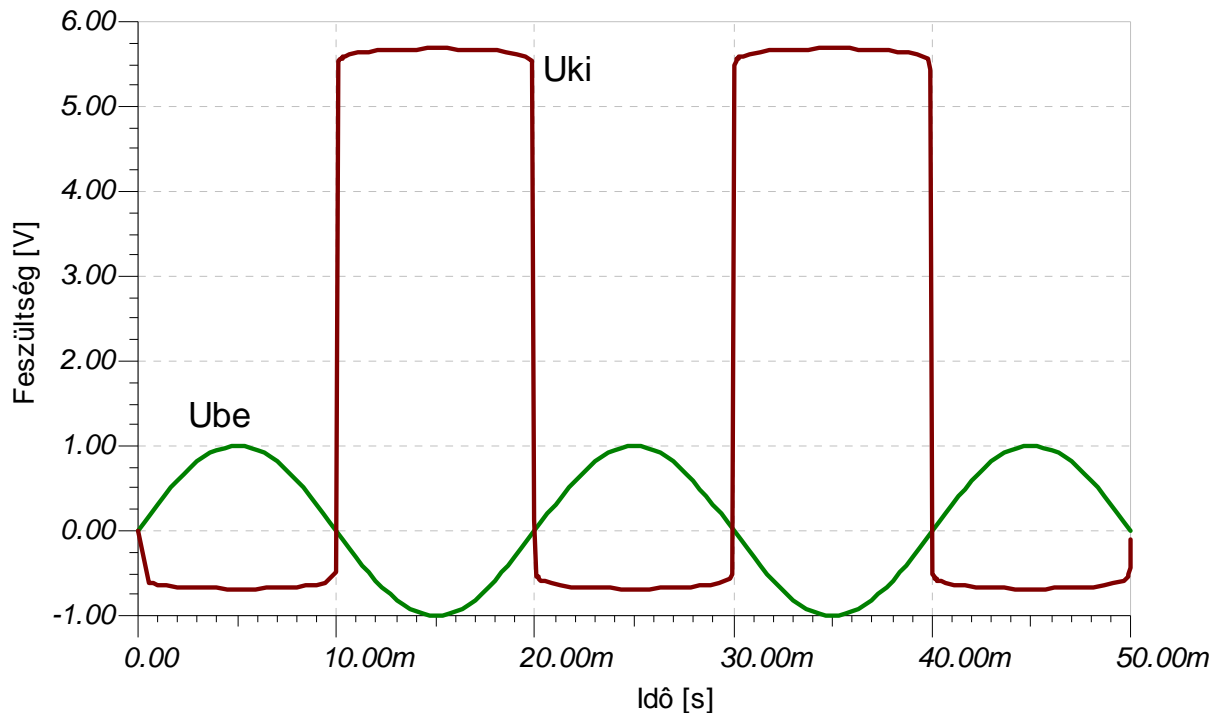
Az áramkör szinuszos bemenő jelből TTL szintű impulzusokat állít elő. A TTL szint eléréséhez a legkisebb bemeneti feszültségre kell méretezni az erősítőt. Nagyobb amplitúdójú bemeneti jel esetén a TTL áramkörök bemenetére jutó jel a megengedettnél nagyobb és ez meghibásodásokat okozhat az áramkörben.

Az áramkör kimenő jele tranziens analízis segítségével 10mV-os bemeneti jel estén.



37. ábra. TTL áramkör bemenetét védő áramkör jelalakja 10mV-os bemenő jel esetén

Az analízis ideje 50ms. Ha bemenő jel frekvenciája $f_{be}=50\text{Hz}$ a jel periódus ideje $T=20\text{ms}$ ($T=1/f$). Az analízis idejét úgy kell megválasztani, hogy legalább 2 periódus látható legyen. Az áramkör két Si diódája az áramkör kimeneti jelét $-0,6\text{V}$ és $+5,6\text{V}$ közötti értékre korlátozza. Ha a bemenő jel értékét jelentősen (100 szoros) megnöveljük $U_{be}=1\text{V}$. A kimenő jel a 38. ábrának megfelelően változik.



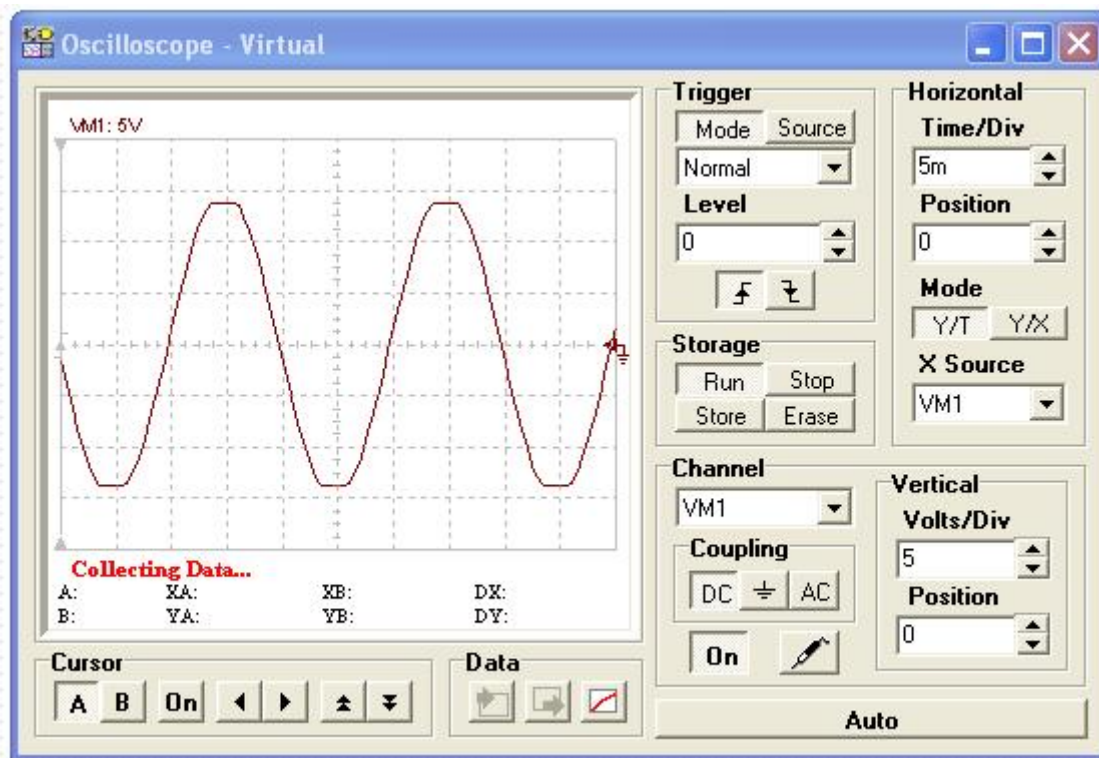
38. ábra. TTL áramkör bemenetét védő áramkör jelalakja 1V-os bemenő jel esetén

A kivezérelhetőséget a TINA virtuális Oszilloszkópja segítségével mérhetjük.

Az erősítő kivezérelhetőségét a tápfeszültség korlátozza.

Kivezérelhetőség: Az erősítő bemenetére adható legnagyobb bemeneti feszültség, ami az erősítő kimenetén torzítatlan kimeneti jelet hoz létre.

A mérés menete: A bemenő jel folyamatos változtatása mellett az erősítő kimenő jelét vizsgáljuk. A kivezérelhetőség határa az a legnagyobb bemeneti jel lesz ahol az erősítő torzítani kezd. Az erősítő $U_{be}=30\text{mV}$ -nál kezd el torzítani $U_t=\pm 15\text{V}$ esetén. (39.ábra.)



39. ábra. TTL bemenetet védő kapcsolás kivezélhetősége

Az erősítő erősítése: Az erősítést egy invertáló műveleti erősítővel valósítjuk meg. Az erősítést az R2 és az R1 ellenállások aránya határozza meg $A_u = - R_2/R_1$.

A mérést kimeneti és bemeneti feszültségek mérésére vezetjük vissza. $A_u = U_{ki}/U_{be}$

Az erősítést a kivezélhetőséghez szükséges bemeneti feszültségnél kisebb bemeneti jelnél kell megmérni!

A feszültségerősítést a legegyszerűbben az AC analízis csomóponti feszültségének mérésével határozhatjuk meg. Ilyenkor a műszerek a feszültség effektív értékét mutatják. $U_{bep} = 20\text{mV}$ esetén.

A bemenő jel effektív értéke $U_{be} = 14,14 \text{ mV}$.

A kimeneti feszültség effektív értéke $U_{ki} = 7,07 \text{ V}$.

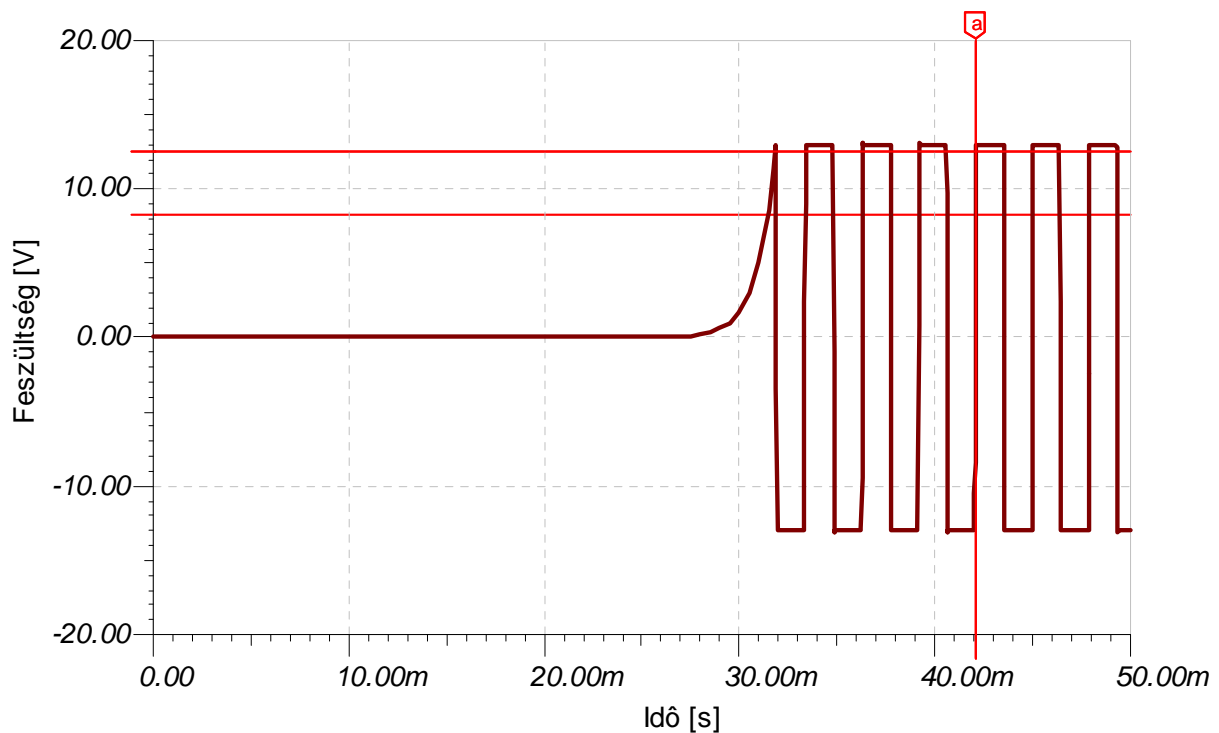
Az erősítés, **$A_u = 500$** .

4. feladat

Működés: A műveleti erősítő neminvertáló bemenetén a kimenet leosztott értéke jut. Ha a z $U_{ki} = +U_{ki\max}$ akkor a pozitív bemenetre jutó feszültség $U_1 = + U_{ki\max} * R_3/R_3+R_2$.

Az R_1 ellenálláson keresztül $C_1 + U_{kimax}$ felé töltődik. A töltődés addig tart amíg a kondenzátor feszültsége el nem éri az U_1 feszültséget. Ha a kondenzátor feszültsége kismértékben túllépi U_1 -t, akkor az erősítő (hiszterézises komparátor) átbillen és kimeneti feszültsége $-U_{kimax}$ lesz. Ekkor a neminvertáló bemenet feszültsége $U_2 = -U_{kimax} \cdot R_3 / (R_3 + R_2)$. Ezt követően a kondenzátort a negatív feszültség tölti az előzővel ellentétes irányban. Ez addig tart, amíg feszültsége eléri (kismértékben meghaladja) U_2 -t. Ekkor a kapcsolás átbillen, kimenete U_{kimax} értéket veszi fel. A folyamat kezdődik előről.

- Az R_2 , R_3 ellenállások a kimeneti feszültséget osztják le. Ezzel az U_1 , U_2 feszültség szintet határozzák meg, amire a C kondenzátornak töltődnie kell az átbillenéshez. Az R_1 ellenálláson keresztül töltődik a kondenzátor az U_1 , U_2 szintekre.
- Az astabil multivibrátor kimenő jelének frekvenciáját az határozza meg, hogy az erősítő kimenetén a billenések milyen időközönként következnek be. Ez két dologtól függ:
 - A leosztott U_1 , U_2 feszültségek nagyságától (R_2 , R_3 által meghatározott)
 - A kondenzátor töltődésének sebességétől ($\tau = R_1 C_1$)

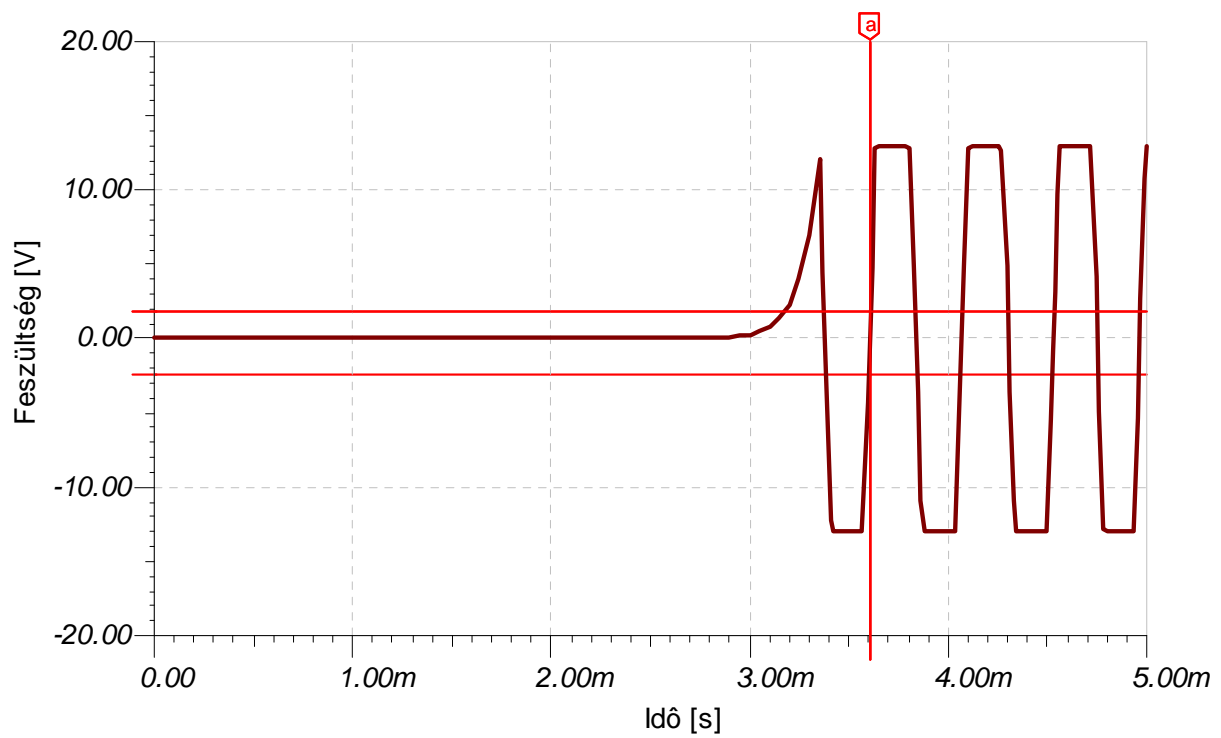


40. ábra. Műveleti erősítővel megvalósított astabil jele

A kimenő jelalak $R_1 = 22\text{k}\Omega$, $R_2 = 22\text{k}\Omega$, $R_3 = 10\text{k}\Omega$, $C_1 = 100\text{nF}$

A periódus idő $T = 3\text{ms}$ a frekvencia $f = 333,333\text{ Hz}$ ($f = 1/T$) Ha az R_2 értékét növeljük és az R_1 értékét csökkentjük a leosztás nő a töltődés gyorsabb lesz, így a kimeneten nagyobb frekvenciát kapunk.

A kimenő jel $R_1=10k\Omega$, $R_2=100k\Omega$, $R_3=10k\Omega$ és $C1=100nF$ esetén. A periódus idő $T=0,75ms$ ami $f=1/T$ $f=1333,333$ Hz-es kimenő frekvenciát eredményez.



41. ábra. Műveleti erősítővel megvalósított astabil jele

IRODALOMJEGYZÉK

FELHASZNÁLT IRODALOM

Kovács Csongor: Elektronika General Press Kiadó, Budapest, 2000

Zombori Béla: Az elektronika alapjai Nemzeti Tankönyvkiadó – Tankönyvmester kiadó, Budapest, 1999

Gyeván Károly: Elektronikus mérések Nemzeti Tankönyvkiadó – Tankönyvmester kiadó, Budapest, 2000

TINA: Elektronikai tervező és oktató program – Felhasználói kézikönyv, DesignSoft

Gárdus Zoltán: Digitális áramkörök szimulációja Bíbor Kiadó, 2006

A(z) 0917-06 modul 028-as szakmai tankönyvi tartalomeleme felhasználható az alábbi szakképesítésekhez:

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

A szakmai tankönyvi tartalomelem feldolgozásához ajánlott óraszám:
15 óra

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

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

Kiadja a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet
1085 Budapest, Baross u. 52.
Telefon: (1) 210–1065, Fax: (1) 210–1063

Felelős kiadó:
Nagy László főigazgató