
ELEKTRONIKAI TECHNIKUS KÉPZÉS

2013

DIGITÁLIS ELEKTRONIKA I.

IMPULZUSTECHNIKA

ÖSSZEÁLLÍTOTTA
NAGY LÁSZLÓ
MÉRNÖKTANÁR

Tartalomjegyzék

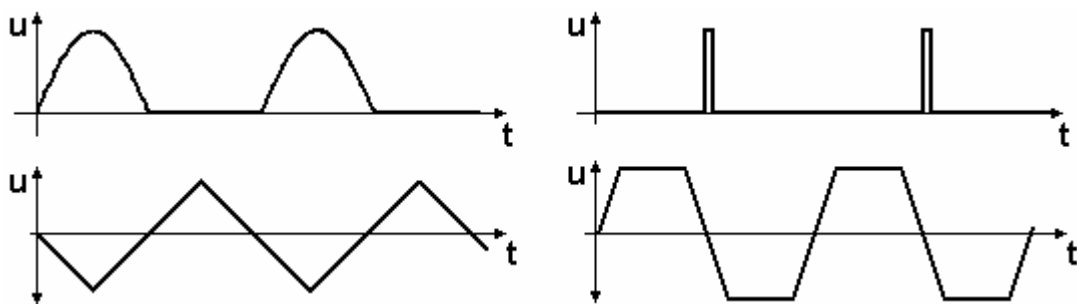
Impulzus fogalma.....	3
Impulzus megadása, impulzus jellemzők.....	3
Az impulzusok alaki jellemzői	4
Fourier tétel.....	4
Jelformáló áramkörök	5
Integráló és differenciáló jellegű jelformáló áramkörök.....	5
Műveleti erősítő integráló és differenciáló áramkörök.....	6
Vágóáramkörök.....	6
A tranzistor kapcsoló üzeme	8
Multivibrátorok.....	10
Astabil multivibrátor	10
Astabil multivibrátor műveleti erősítővel.....	12
Monostabil multivibrátor.....	12
Monostabil multivibrátor műveleti erősítővel	14
Bistabil multivibrátor	14
Schmitt trigger	17
Művelet erősítő Schmitt-trigger	18
Fűrészfeszültség generátorok.....	18
Feszültség utánhúzó fűrészfeszültség generátor.....	19
Miller integrátoros fűrészgenerátor.....	19
Blocking oszcillátor	20

Impulzus fogalma

Az impulzustechnika a nem szinuszos lefolyású, elsősorban két vagy több érték között ug-rásszerűen változó feszültségek illetve áramok előállításával, átalakításával, erősítésével, átvitelével és alkalmazástechnikájával foglalkozik. Impulzus fogalma alatt szűkebb érte-lemben, meghatározott ideig fennálló feszültség illetve áram lökést értünk. Általános érte-lemben, minden nem szinuszos lefolyású változó illetve váltakozó feszültség és áram, im-pulzus jellegű mennyiségnek tekintjük, például az egyenirányított szinuszos jel, fűrészel, háromszögjel, négyszögjel, trapézjel, négyszögimpulzus, tüimpulzus, stb. Impulzus sorozat az impulzusok periodikus vagy valamilyen szabály szerinti ismétlődése.

Impulzus megadása, impulzus jellemzők

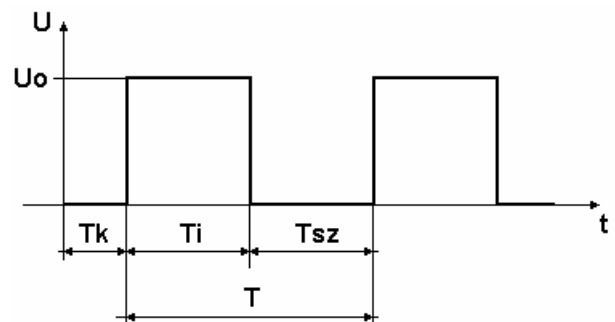
Az impulzusok időfüggvénnyel vagy impulzus jellemzőkkel adhatók meg. Az időfüggvény-nyel az impulzus időbeli lefolyását mutatjuk be grafikusán. Például:



Az impulzus jellemzők az amplitúdó és időbeli adatokra vonatkozó értékeket tartalmazzák.

Az ideális impulzus jellemzői:

- U_o, I_o impulzus tető
- T_i impulzus idő
- T_{sz} szünet idő
- T ismétlődési idő
- T_k késleltetési idő
- k kitöltési tényező = T_i / T 100 %



Az ideális impulzus esetén a tető értéke állandó. Az impulzus felfutó és lefutó élei nulla időtartamúak, azaz végtelenül gyorsan történik az átváltás. Az impulzus fennállásának idő-tartama az impulzus idő és két impulzus közötti időtartam a szünet idő. Az ismétlődési idő fogalmilag teljesen megegyezik a váltakozó áramnál megismert periódus idővel. Az impul-zus technikában is használatos jellemző a frekvencia, azaz az időegység alatt lejátszódó im-pulzusok száma. A késleltetési idő egy általunk nullának választott időpillanattól mérve, az impulzus felfutásáig eltelt időtartamot jelenti. Használatos az angol nyelvű jelölése is T_{delay} . A kitöltési tényező az impulzus idő és az ismétlődési idő arányát mutatja %-ban, másképpen fogalmazva az impulzus mennyire tölti ki az ismétlődési időt.

A valóságos impulzus jellemzői:

Az impulzusok a különféle áramkörökön áthaladva, azok állapotát megváltoztatják. Az állapotváltozások visszahatnak az impulzusok időbeli lefolyására. Ideális bemeneti impulzus esetén a kimeneten valóságos impulzus jelenik meg.

U_0 impulzus tető

U_c túllövés

$\varepsilon_1 = U_c - U_0 / U_0$ (100%)

U_t tetőesés

$\varepsilon_2 = U_0 - U_t / U_0$ (100%)

T ismétlődési idő

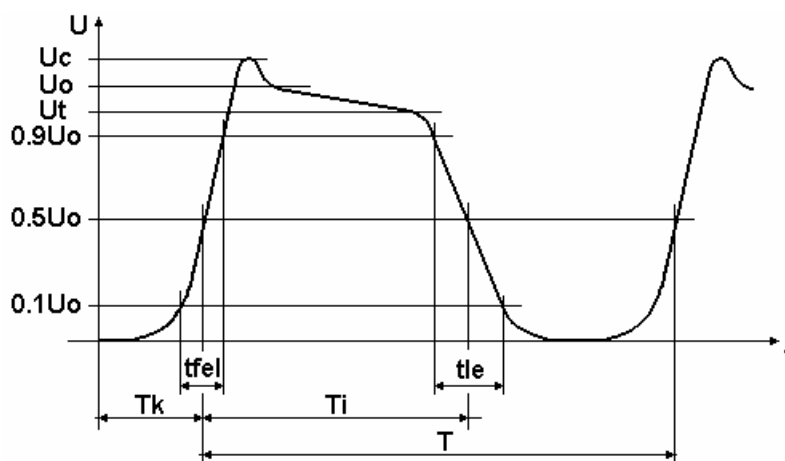
T_i impulzus idő

T_k késleltetési idő

t_{fel} felfutási idő

t_{le} lefutási idő

k kitöltési tényező



A szakirodalom definiálja még a fel- és a lefutási meredekséget is, melyek a fel- és a lefutási idő alatt bekövetkezett amplitúdó változás hányadosa.

Az impulzusok alaki jellemzői

A feszültség- és áramimpulzusok hő és elektrolitikus hatását az időbeli lefolyásuk határozza meg, ezért ezeket a jellemzőket alaki jellemzőknek nevezzük.

Csúcsérték: az impulzus legnagyobb és legkisebb feszültség- illetve áramértékének különbsége.

Átlagérték: az impulzus görbe és az időtengely által bezárt területtel arányos feszültség illetve áramérték. Definíció szerűen a pillanatértékek összegének az átlaga, egy periódusra vonatkoztatva.

Effektív érték: az impulzus átlagteljesítményével azonos teljesítményt létrehozó feszültség- illetve áramérték. Definíció szerűen a pillanatértékek négyzetösszegének az átlaga, egy periódusra vonatkoztatva.

Fourier tétel

Fourier tétel szerint, bármilyen időbeli lefolyású periodikus impulzus sorozat előállítható megfelelően megválasztott amplitúdójú és fázishelyzetű alap és felharmonikusok összegéből. Az alapharmonikus frekvenciája az impulzus sorozat frekvenciájával, a felharmonikusok frekvenciája az alapharmonikus frekvenciájának egészszámu többszöröseivel egyezik meg. Az impulzusok torzításmentes átviteléhez végtelen sáv szélességű átviteli csatorna szükséges.

Jelformáló áramkörök

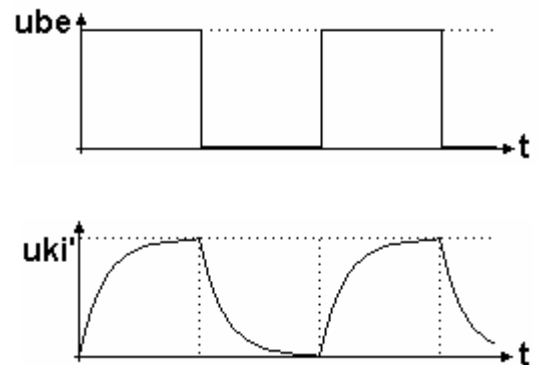
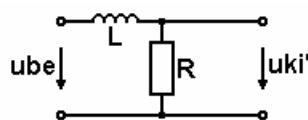
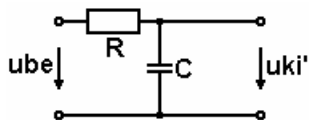
Jelformáló áramköröknek nevezzük azokat a négypólusokat, melyek a bemenetükre kapcsolt impulzust úgy viszik át, hogy annak időbeli lefolyása megváltozik. A jelformáló áramkörök a tartalmazott alkatrészek alapján csoportosíthatók:

passzív:	ha csak passzív elemeket tartalmaz
aktív:	ha aktív elem(ek)et is tartalmaz
lineáris:	ha csak lineáris elemeket tartalmaz
nemlineáris:	ha nemlineáris elem(ek)et is tartalmaz.

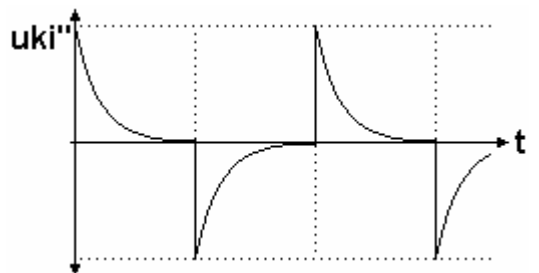
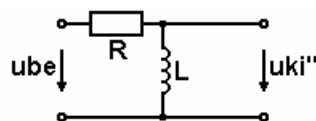
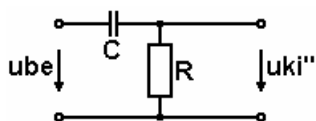
Integráló és differenciáló jellegű jelformáló áramkörök

A passzív lineáris jelformáló négypólusok R és C illetve R és L elemekből álló feszültségosztók. A reaktív elemek elhelyezkedésétől függően integráló vagy differenciáló jellegű négypólus keletkezik.

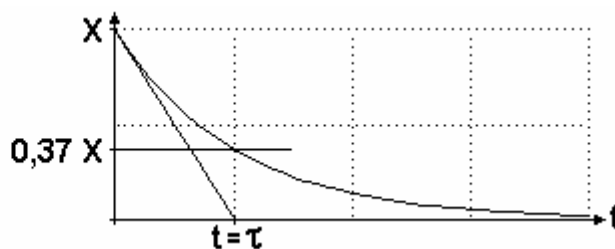
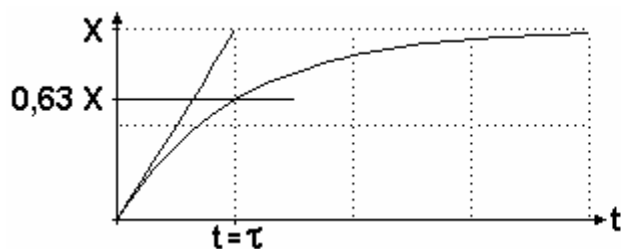
Integráló jellegű passzív jelformáló áramkörök az RC és az LR négypólusok. Az elnevezésük arra utal, hogy a kimeneti feszültségük kezdeti szakasza a bemeneti feszültség és az időtengely által bezárt területtel, azaz a bemenőjel integráltjával arányos. A kondenzátor a töltődése a töltőáramot csökkenti. Az RC elemeken folyó áram $t=0$ -nál u_{be}/R és $t=\infty$ -nél 0. A tekercs indukciós feszültsége az áram kialakulását akadályozza. Az LR elemeken folyó áram $t=0$ -nál 0 és $t=\infty$ -nél u_{be}/R . Az u_{ki}' $t=0$ -nál 0 és $t=\infty$ -nél u_{be} .



Differenciáló jellegű passzív jelformáló áramkörök a CR és az RL négypólusok. Az elnevezésük arra utal, hogy a kimeneti feszültségük kezdeti szakasza a bemeneti feszültség változásával, azaz a bemenőjel differenciál hányadosával arányos. A kondenzátor a feszültség változásra nézve rövidzár. Az CR elemeken folyó áram $t=0$ -nál u_{be}/R és $t=\infty$ -nél 0. A tekercs a feszültség változásra nézve szakadás. Az RL elemeken folyó áram $t=0$ -nál 0 és $t=\infty$ -nél u_{be}/R . Az u_{ki}'' $t=0$ -nál u_{be} és $t=\infty$ -nél 0.



A kimeneti jel időbeli lefolyása csak a passzív elemek értékétől függ. Az időállandó a $\tau = RC = L/R$, az állandósult állapothoz tartozó végérték 63%-nak eléréséhez szükséges időtartam. A kimeneti jel pillanatértékét leíró összefüggések és az időállandó szerkesztése:



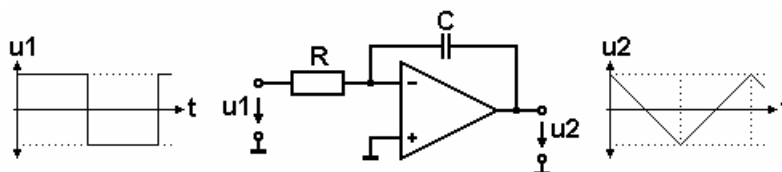
Az X lehet feszültség vagy áram, attól függően, hogy mit vizsgálunk. Az X pillanatértékét leíró összefüggések azonosak a kondenzátor töltése és kisütése illetve a tekercs be- és ki- kapcsolása című, az elektrotechnikában már ismertetésre került fejezetekkel.

$$X(t) = X \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

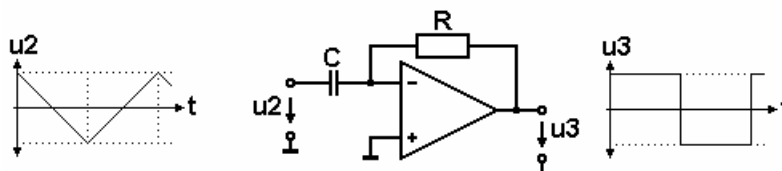
$$X(t) = X \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Műveleti erősítős integráló és differenciáló áramkörök

Műveleti erősítős invertáló integrátor a bemeneti feszültség idő szerinti integráltját állítja elő. Jellemzője az $A_i = RC$ integrálási idő - szabályozástechnikában után állási idő - az az időtartam mely alatt a kimeneti feszültség abszolút értéke eléri az egységugrás bemeneti feszültség értékét. Négyyszögjel bemenet esetén a kimeneten háromszögjel jelenik meg.



Műveleti erősítős invertáló differenciátor a bemeneti feszültség idő szerinti differenciál hányadosát, állítja elő. Jellemzője az $A_d = RC$ differenciálási idő - szabályozástechnikában



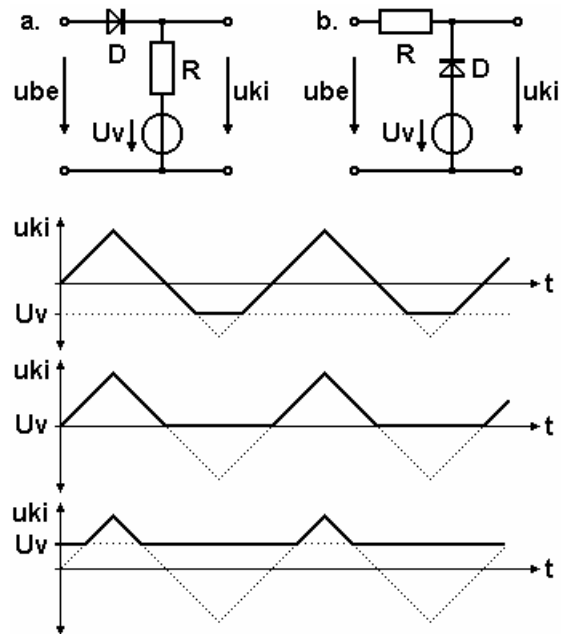
elébe vágási idő - az az időtartam mely alatt az egység-sebességugrás bemeneti feszültség abszolút értéke eléri a kimeneti feszültség értékét. Háromszögjel bemenet esetén a kimeneten négyyszögjel jelenik meg.

Vágóáramkörök

A vágóáramkörök a passzív nemlineáris jelformáló áramkörök csoportját alkotják. A vágóáramkörök olyan feszültségosztók, melyekben az osztó egyik tagja egy kapcsoló üzemen működő dióda. A vágóáramkörök elemzése során a dióda működését ideálisnak tételezzük fel, azaz nyitóirányban rövidzárnak, záróirányban szakadásnak tekintjük. A vágóáramkörök a bemenetükre kapcsolt impulzust úgy viszik át, hogy annak amplitúdóját egy meghatározott szintnél, az ún. U_v vágófeszültség értékénél határolják. Soros diódás vágóáramkörben a dióda nyitóirányú, párhuzamos diódás vágóáramkörben a dióda záróirányú előfeszítése esetén a bemeneti jel, ellenkező esetben az U_v vágófeszültség jelenik meg a kimeneten. A

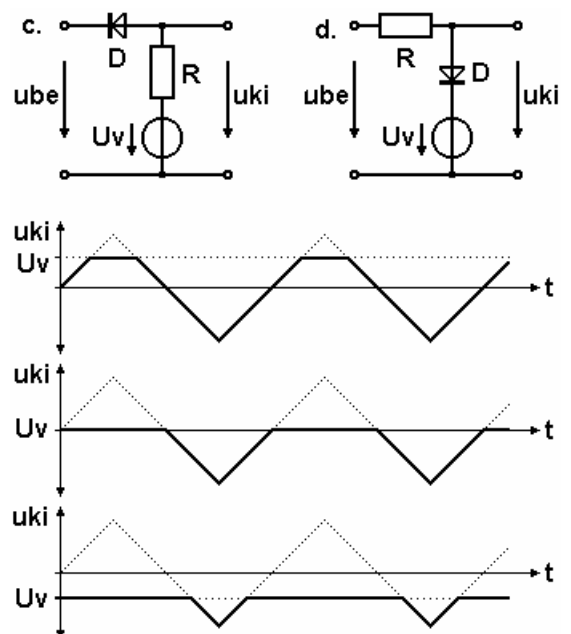
diódák bekötésétől függően lehetnek alulvágók vagy felülvágók.

Az "a." jelű kapcsolásban $U_v = 0$ V esetén, a soros dióda, a pozitív félperiódusokat átengedi, pozitív félhullámú, egyutas egyenirányítóként működik. A kapcsolás tehát alulvágó. A kimeneten csak akkor jelenik meg a bemenőjel, ha a dióda ki tud nyitni, azaz a bemeneti feszültség pozitívabb mint a vágófeszültség. A vágófeszültségnél negatívabb bemeneti feszültség a diódát lezárja és a kimeneten a vágófeszültség jelenik meg. A "b." jelű kapcsolásban $U_v = 0$ V esetén, a párhuzamos dióda a negatív fél-periódusokat rövidre zárja, a pozitív félperiódusokat átengedi, tehát pozitív félhullámú egyutas egyenirányítóként működik. A kapcsolás szintén alulvágó. A kimeneten csak akkor jelenik meg a bemenőjel, ha a dióda le tud zárni, azaz a bemeneti feszültség pozitívabb, mint a vágófeszültség.



A vágófeszültségnél negatívabb bemeneti feszültség a diódát kinyitja és a kimeneten a vágófeszültség jelenik meg.

A "c." jelű kapcsolásban $U_v = 0$ V esetén, a soros dióda, a negatív félperiódusokat átengedi, negatív félhullámú, egyutas egyenirányítóként működik. A kapcsolás tehát felülvágó. A kimeneten csak akkor jelenik meg a bemenőjel, ha a dióda ki tud nyitni, azaz a bemeneti feszültség negatívabb mint a vágófeszültség. A vágófeszültségnél pozitívabb bemeneti feszültség a diódát lezárja és a kimeneten a vágófeszültség jelenik meg. A "d." jelű kapcsolásban $U_v = 0$ V esetén, a párhuzamos dióda a pozitív félperiódusokat rövidre zárja, a negatív félperiódusokat átengedi, tehát negatív félhullámú egyutas egyenirányítóként működik. A kapcsolás szintén felülvágó. A kimeneten csak akkor jelenik meg a bemenőjel, ha a dióda le tud zárni, azaz a bemeneti feszültség negatívabb, mint a vágófeszültség.

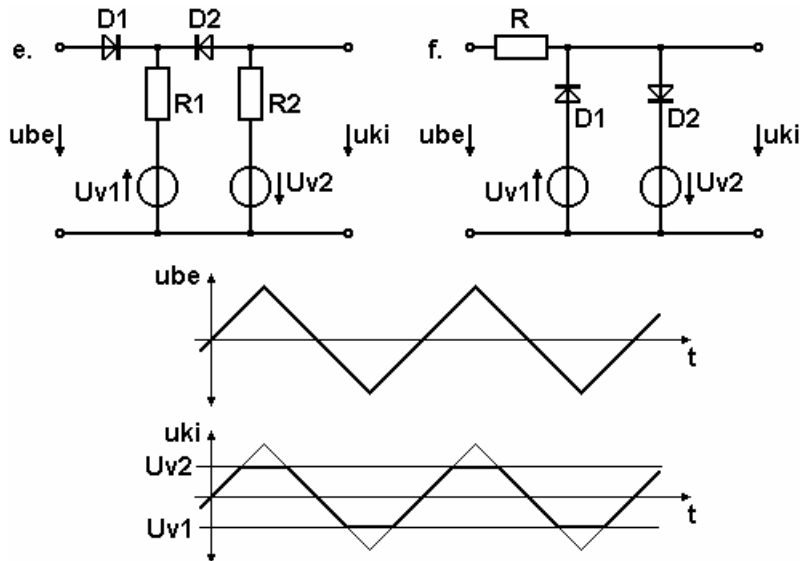


A vágófeszültségnél pozitívabb bemeneti feszültség a diódát kinyitja és a kimeneten a vágófeszültség jelenik meg.

A kapcsolások bemeneti feszültsége bármilyen lefolyású váltakozó feszültség vagy impulzus sorozat lehet, a háromszög jelre a működés egyszerűbb bemutatása érdekében esett a választás. A diódák elhanyagolt nyitófeszültsége módosítja a kimeneti feszültséget. A kimeneten megjelenő bemenő feszültség az "a." kapcsolásnál U_f -el kisebb, a "c." kapcsolás-

nál U_f -el nagyobb és a kimeneten megjelenő vágófeszültség a "b." kapcsolásnál u_f -el kisebb, a "d." kapcsolásnál U_f -el nagyobb. Az ellenállások a diódák áramát korlátozzák.

Vágóáramkörök soros vagy párhuzamos kapcsolásával kettősvágókat lehet létrehozni. Az "e." jelű ábra egy soros-soros diódás kettősvágó áramkört mutat. A D1, R1, Uv1 alkatrészek a bemenőjel negatív, a D2, R2, Uv2 alkatrészek a bemenőjel pozitív félperiódusait vágják. A kimenetre csak akkor jut el a bemenőjel, ha mindkét dióda előfeszítése nyitóirányú, melyet az $U_{v1} < U_{v2}$ esetén lehet biztosítani. Az "f." jelű



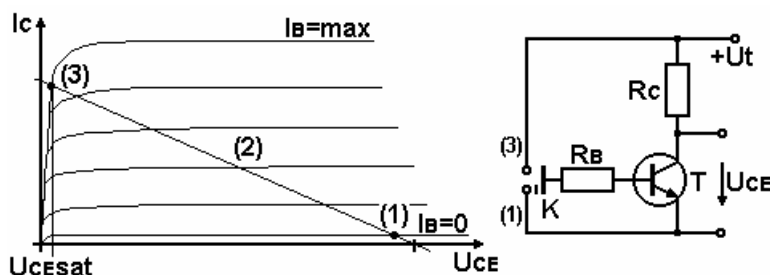
ábra párhuzamos-párhuzamos diódás kettősvágót mutat. A D1, Uv1 a bemenőjel negatív, a D2, Uv2 alkatrészek a bemenőjel pozitív félperiódusait vágják. A kimenetre csak akkor jut el a bemenőjel, ha mindkét dióda előfeszítése záróirányú, melyet az $U_{v1} < U_{v2}$ esetén lehet biztosítani. A vágóáramkörök működési tartományát a diódák be- és kikapcsolási ideje, a záróréteg kapacitása befolyásolja, de különféle műszerek áramköreiben, impulzusok amplitúdó szerinti szétválasztásában, indító körökben és még sok helyen fontos szerepük van.

A tranzisztor kapcsoló üzeme

A bipoláris rétegtranzisztoroknak a kimeneti karakterisztikájuk alapján, háromféle, a lezárási, az aktív és a telítési üzemi állapotuk van. Az üzemi állapotokat a kimeneti karakterisztikával és a legegyszerűbb tranzisztoros impulzusteknikai áramkörrel az inverterrel lehet bemutatni. Az inverter végső soron egy földelt emitteres erősítő alapkioscsolás, a bázis és a kollektor ellenállások a kapcsolóüzemű működéshez vannak megválasztva.

Lezárási tartomány (1): A K jelű kapcsoló feltüntetett állásánál a CB és a BE dióda is záróirányú feszültséget kap. A bázisáram és így a kollektoráram is nulla, a kollektor ellenálláson csak a CB záróirányú dióda elhanyagolhatóan kis értékű I_{CB0} visszára-ma folyik. A kollektorban az R_c -n keresztül az U_t tápfeszültség jelenik meg. A lezárt tranzisztor szakadásnak tekinthető.

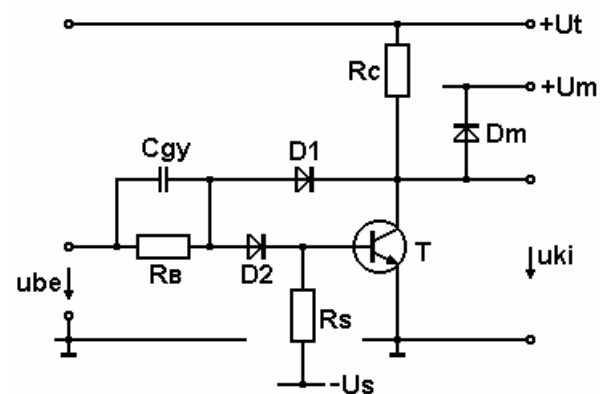
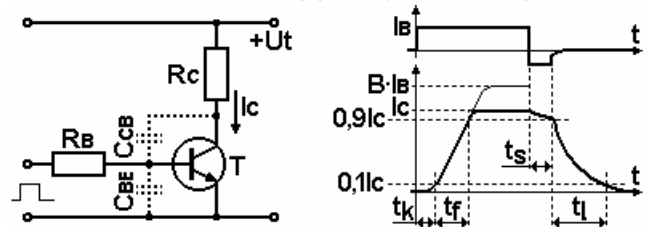
Aktív tartomány (2): A BE nyitóirányú, a CB záróirányú feszültséget kap. A munkapont ebben a tartományban csak rövid ideig tartózkodik, a P_{Dmax} -ot is átlépheti.



Telítési tartomány (3): A BE és a CB dióda is nyitóirányú feszültséget kap. A CE feszültség kisebb, mint BE, a kollektor potenciál a bázis potenciál alá kerül. A túlvezérlés miatt a bázisáram lényegesen nagyobb lehet, mint amekkora az adott kollektoráramhoz lenne szükséges. A kollektoráramot a tápfeszültség és a kollektor ellenállás határozza meg. A telítésbe vezérelt tranzisztoron csak az $n \times 100 \text{ mV}$ értékű U_{CEsat} maradék feszültség mérhető. A tranzisztor az áramköri elemzések során, rövidzárnak tekinthető.

Impulzustechnikai szempontból csak a telítési és lezárási tartománynak van jelentősége. A két tartomány között az átkapcsolási időt a töltéshordozók véges mozgási sebessége határozza meg. A lezárt tranzisztor kinyitásához a rétegátmeneteket el kell árasztani töltéshordozókkal, míg a nyitott tranzisztor lezáráshoz a töltéshordozóknak el kell hagyni a rétegátmeneteket. Mindkét folyamathoz időre van szükség, ami a gyors le- és felfutású impulzusok esetén kedvezőtlen. Az átkapcsolások időbeli lefolyásáért a tranzisztor belső kapacitásai a felelősek. Az ábra a be- és kikapcsolás, méréssel felvett időfüggvényét mutatja be. A bemeneti impulzus felfutó élének megjelenése után elsőként a C_{BE} rétegkapacitás töltődik fel az R_B -én keresztül. Ez t_k késleltetési tart, majd elkezdődik a bázisáram és így a kollektoráram kialakulása. A kollektorban létrejövő negatív túimpulzus a C_{CB} (Miller) kapacitáson visszacsatolódik a bázisra és az áramok kialakulását korlátozza. Ez a t_f felfutási idő az állandósult kollektoráram 10%-tól a 90%-káig tart. Az I_C kollektoráram a telítésbe vezérlés miatt kisebb, mint a bemeneti bázisárammal arányos $B \cdot I_B$ kollektoráram. Kikapcsoláskor a bázisellenállás bemeneti oldalára nulla vagy néhány voltos negatív feszültség kerül. A rétegátmenetből távozó töltéshordozók egy rövid időre megfordítják a bázisáram irányát, majd a bázisárammal együtt a kollektoráram is nullára csökken. A tranzisztor bekapcsolási idejét a bemeneti impulzus felfutó élétől a kollektor áram 90%-ának, a kikapcsolási idejét az impulzus lefutó élétől a kollektoráram 10%-ának eléréséig értjük. Az egyszerű inverter kapcsolás működése áramköri kiegészítésekkel javítható.

Javított kivitelű inverter működéséhez a $+U_t$ -n kívül egy néhány V-os, $-U_s$ negatív segéd és egy $+U_m < +U_t$ szintfogó tápfeszültségre is szükség van. Az R_B és az R_s ellenállások osztáspontján jön létre a tranzisztor bázisfeszültsége. Ha a bemeneti feszültség 0 V, akkor a negatív segéd feszültség egy biztonságos és zajra érzéketlen záróirányú bázis-emitter feszültséget hoz létre. Ha a bemeneti feszültség egy pozitív impulzus tető vagy esetleg a $+U_t$, akkor az osztásponton ki tud alakulni a tranzisztor nyitásához szükséges bázis-emitter nyitófeszültség. A C_{gy} kondenzátor a bemeneti impulzus fel- és lefutó éleiből állít elő túim-



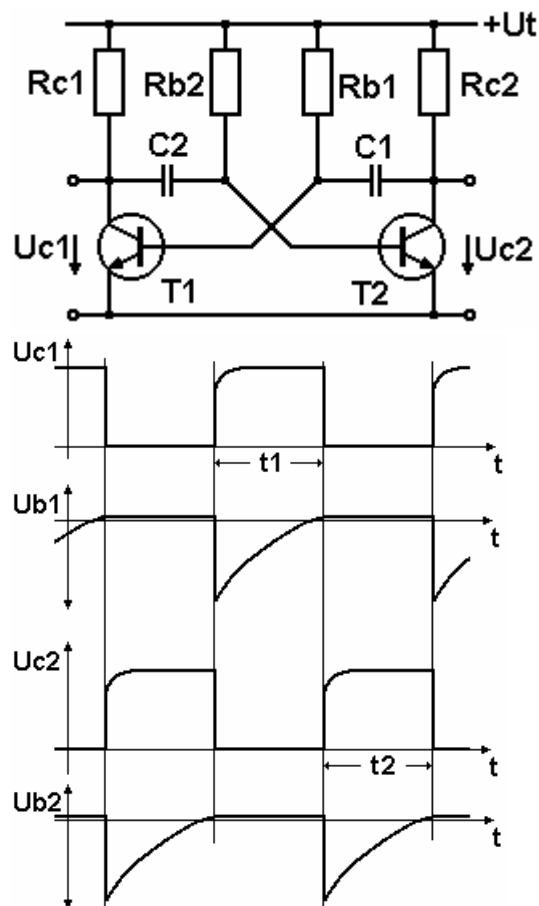
pulzusokat, melyek túlvezérlik a bázist és a gyorsítják az átkapcsolást. A D_1 és D_2 dióda a tranzisztor telítésbe jutását akadályozzák meg. Ha a tranzisztor zárt, akkor D_1 dióda szakadésként viselkedik. Ha a tranzisztor kinyit, akkor a D_1 dióda is ki tud nyitni. Mivel a két dióda anódja azonos potenciálon van, így egymástól függetlenül a katódok is azonos potenciálra kerülnek ($0,6-0,6=0$!). Ennek az a következménye, hogy a bázis és a kollektor potenciál is azonos lesz, azaz a kollektor feszültség nem csúszik a bázis feszültség alá, tehát a tranzisztor nem kerül telítésbe. A tranzisztor kikapcsolásakor, a $+U_t$ és a $+U_m$ különbségi feszültsége kinyitja az U_m szintfogó diódát és az R_C -n keresztül áramot indít meg az $+U_m$ felé. Az inverter kimenete ekkora árammal terhelhető úgy, hogy a kimeneti feszültség tehát az $U_m - 0,6 \text{ V}$, állandó marad. Ha a tranzisztor kinyit, akkor a D_m dióda lezár és kimeneten kb. $0,7 \text{ V}$ jelenik meg.

Multivibrátorok

A multivibrátorok alapelve egy pozitívan visszacsatolt kétfokozatú földelt emitteres erősítő-re vezethető vissza. A fokozatok közötti egyenáramú vagy váltakozó áramú csatolási mód határozza meg a multivibrátor működését és típusát.

Astabil multivibrátor

Az astabil multivibrátor két, azonos felépítésű, RC csatolt és visszacsatolt inverterből áll. A munkapont-beállítás miatt, a tranzisztorok kapcsoló üzemben működnek. Az azonos fázisú visszacsatolás és a hurokerősítés >1 teljesülése miatt, az áramkör oszcillátorként működik. A túlvezérlés következménye, hogy a kimenő jel periodikus impulzus sorozat lesz. Bekapcsoláskor az alkatrészek eltéréséből adódó aszimmetria és a pozitív visszacsatolás hatására az áramkör valamelyik oldalra "elbillen". Ez azt jelenti, hogy az egyik tranzisztor lezár, a másik kinyitott állapotba kerül. Az áramkör tehát öninduló. A működés az időfüggvények alapján követhető. A nyitott tranzisztort, a bázisellenállásán keresztül folyó bázisáram tartja nyitva. A nyitás előtti pillanatában a kollektor feszültsége a tápfeszültségről közel 0 V -ra csökkent. Ezt a változást a kollektorba csatlakozó kondenzátor -ami a hozzá kapcsolt R_b -vel egy differenciáló jellegű jelformálót alkot- negatív túimpulzusként átviszi a másik tran-



zisztor bázisába, amire ez záróirányban hat. A zárt tranzisztort a bázisára csatlakozó $-U_t$ -re töltődött kondenzátor tartja zárásban. A kondenzátor az R_b -n keresztül $+U_t$ felé töltődik és ha a feszültsége eléri a zárt tranzisztor nyitófeszültségét akkor az áramkör ellenkező állapotba billen át. Az áramkör két kimenetén ellenfázisú impulzussorozat jelenik meg. Az ismétlődési idő a két impulzusidő összegéből számítható, azaz $T = t_1 + t_2$. A t_1 és a t_2 a kondenzátor be- illetve kikapcsolását leíró exponenciális függvény alapján határozható meg:

$$u = U_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$U_t = 2 \cdot U_t \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$0,5 = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

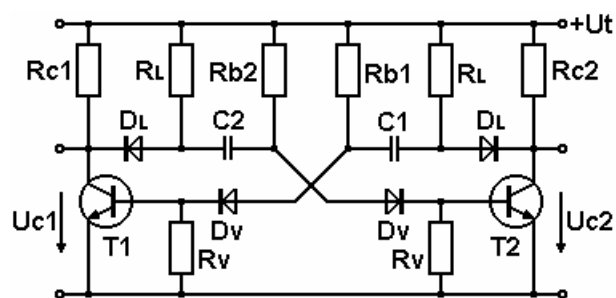
$$2 = e^{\frac{t}{\tau}}$$

$$t = \tau \cdot \ln 2 = R \cdot C \cdot 0,69$$

A levezetett adatokkal az ismétlődési idő:

$$T \approx 0,7 (R_{b1} \cdot C_1 + R_{b2} \cdot C_2)$$

A C_1 , C_2 aránya a kitöltési tényezőt fogja meghatározni, mivel az $R_{b1} = R_{b2}$. A kapcsolással $0,5\text{Hz} \div 500\text{kHz}$ frekvenciájú $10\% \div 90\%$ kitöltési tényezőjű két ellenfázisú impulzus sorozat állítható elő. A tranzisztorok kikapcsolásakor a kollektor feszültség 0 V -ról a tápfeszültségre változik. A kondenzátorok kollektor felőli fegyverzetét a kollektor ellenállás tölti az U_t -re, ami a kimeneti impulzusok felfutó élét az $R_{c1} \cdot C_2$ illetve $R_{c2} \cdot C_1$ időállandókkal exponenciális lefolyásúvá teszi. A felfutó élek csaknem ideális alakúak, sarkosak lesznek a javított kivitelű astabil multivibrátorba beépített alkatrészekkel. A kondenzátorok a javított kapcsolásban az $R_L \approx R_C$ leválasztó ellenállásokon ugyanúgy töltődnek. A töltődés alatt a D_L leválasztó diódák zártak így ez az exponenciális töltődés nem jelenik meg a kimeneten. A kimeneti felfutó él határozott, meredek, kapcsolószerű lesz. A tranzisztorok bázisára közel tápfeszültségnyi negatív túimpulzus kerül a lezárásakor. Ez a nagy záróirányú bázis-emitter feszültség ha túllépi az $U_{EB\max}$. értéket, tönkre teheti a rétegátmenetet, a kapcsolás működésképtelenné válik. A D_V dióda a kondenzátoron átjutó negatív túimpulzus hatására lezár és megvédi a rétegátmenetet a nagy záróirányú feszültségtől. A dióda zárásakor az R_V ellenállás biztosítja a a tranzisztor zárását. A kapcsolás a kiegészítésekkel együtt ugyanúgy működik mint az előző. A frekvencia a tápfeszültség ingadozására érzékeny, de $10^{-3} \div 10^{-4}$ frekvencia stabilitás elérhető. Ha a két bázisellenállást, az U_t -től független és változtatható feszültségforrásra kötjük, akkor a rezgési frekvencia széles tartományban változtatható lesz. Ez az egyik elve a feszültségvezérelt oszcillátorok-



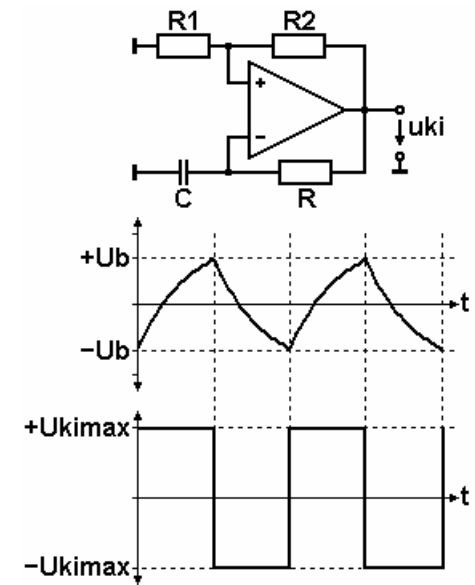
nak (VCO). Szükség esetén az astabil multivibrátor az egyik tranzisztor bázisába vezetett a rezgési frekvenciánál $4x \div 6x$ nagyobb frekvenciájú, kis amplitúdójú túimpulzusokkal szinkronizálható.

Astabil multivibrátor műveleti erősítővel

Astabil multivibrátor műveleti erősítővel is felépíthető. A pozitív visszacsatolást a neminvertáló bemenetre kötött R2 és R1 ellenállásokból álló feszültségosztó hozza létre. Az osztó a műveleti erősítő telítésbe vezérelt maximális kimeneti feszültségéből táplálkozik. A leosztott feszültség a műveleti erősítő kimenetét valamelyik irányban mindig telítésbe vezérli. Az átbillenés akkor következik be, ha az invertáló bemeneten a C kondenzátor az R ellenálláson keresztül exponenciálisan töltődve vagy kisülve megfordítja a bemenetek különbségi feszültségének irányát. Ha a műveleti erősítő kimenetén a feszültség $+U_{kmax}$, akkor a kondenzátor erre a feszültségre igyekszik feltöltődni. Az osztásponti $+U_b$ billenési feszültség túllépésekor a kimeneti feszültség $-U_{kmax}$ -ra vált és a kondenzátor most már erre a feszültségre töltődik. A $-U_b$ elérésekor ismét átfordul a kimeneti feszültség és a folyamat ismétlődik. A kimeneti impulzussorozat ismétlődési ideje:

$$T = 2 \cdot R \cdot C \cdot \ln \frac{1+a}{1-a} \quad a = \frac{R1}{R1 + R2}$$

Előfordulhat, hogy a műveleti erősítő maximális kimeneti feszültségei között kisebb eltérés van. Ebben az esetben valamilyen szintfogó vagy vágóáramkörrel kell a kimeneti feszültséget korrigálni. Ha a töltőellenállást egy potenciométerre cseréljük, akkor az ismétlődési idő változtatható lesz. Ha a töltőellenállás helyett soros diódákkal kiegészített két ellenállást alkalmazunk, akkor a töltés és kisülés időtartama eltérő lehet, azaz a kimeneti négyszögjel kitöltési tényezője is tervezhető. Egy potenciométer beépítésével a kitöltési tényező állíthatóvá tehető. A kapcsolást, egyszerű felépítése és üzembiztos működése miatt sok helyen alkalmazzuk $nx10Hz \div nx10kHz$ tartományban.

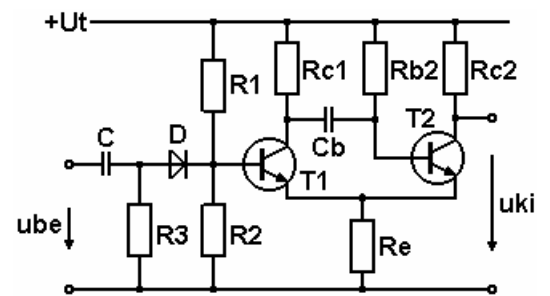
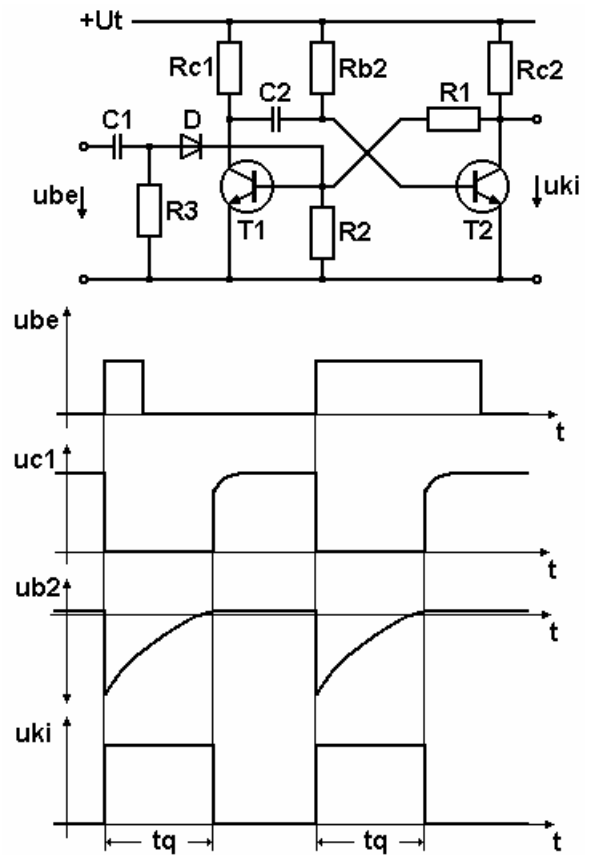


Monostabil multivibrátor

A monostabil multivibrátorok jellegzetessége, hogy egy bemeneti trigger (indító) jel hatására egy meghatározott t_q szélességű impulzust állítanak elő. Alkalmazási területük az időzítés, a késleltetés és a jelformálás. A tranzisztoros monostabil multivibrátor az astabil multi-

vibrátor átalakításával, az egyik RC csatolás helyett galvanikus vagy egyenáramú csatolás alkalmazásával származtatható. A munkapont-beállítás miatt, a tranzisztorok kapcsoló üzemben működnek. Alaphelyzetben a T2-t az Rb2 nyitásban tartja, így a kimeneten közelítőleg 0V van. A T1 zárt mivel a T2 kollektorából az R1 és R2 osztó szintén 0V-ot küld a bázisra. A bemenetre érkező impulzus felfutó éléből a C1, R3 és D alkatrészekből álló differenciáló és vágó áramkör pozitív tüimpulzust állít elő, ami a T1 tranzisztort kinyitja. A kollektor feszültség közel tápfeszültségnyi csökkenését a C2 kondenzátor, negatív tüimpulzusként viszi át a T2 bázisára. Ennek következtében a T2 kollektorában megjelenik a tápfeszültség. Az R1 és R2 osztó ezt leosztva nyitva tartja a T1-t. A kondenzátor a $-U_t$ -ről az Rb2 ellenálláson a $+U_t$ felé töltődik, de a nyitófeszültség elérésekor kinyit a T2 és lezáródik a T1, azaz az áramkör alaphelyzetbe kerül. A kimeneti impulzus szélessége az ún. kvázi stabil idő, $t_q = 0,7 R_{b2} \cdot C_2$ összefüggéssel határozható meg. A 0,7 azonos az astabil multivibrátornál levezetett értékkel. Az áramkör kedvezőtlen tulajdonsága, hogy a bemenő jel közvetlenül egy viszonylag nagy terhelést jelentő, bázis-emitter rétegátmenetet hajt meg. Az R1, R2 visszacsatolást emitterkörü visszacsatolással helyettesítve, a bemeneti ellenállás lényegesen nagyobb lesz. A gyakorlatban az emitterkörü negatív visszacsatolással ellátott monostabil az elterjedtebb.

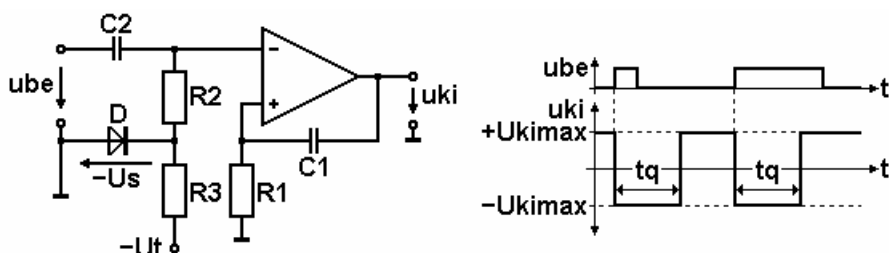
Az előző kapcsoláshoz viszonyítva az eltérés, hogy a tranzisztorokat nem csak bázisban, hanem emitterben is vezéreljük. A működés feltétele, hogy a T2 kollektor árama nagyobb legyen, mint a T1-é. Alaphelyzetben a T2-őt az Rb2 nyitva tartja. Az R1 és R2 osztáspontján az emitternél kisebb a feszültség, így a T1 lezárt állapotban van. A bemenetre érkező impulzus, az előző kapcsoláshoz hasonlóan kiváltja az átbillenést. A T1 a kisebb kollektor árama miatt marad nyitva. Az időzítés letelte után a T2 nagyobb kollektor árama megemeli az emitter feszültséget, a T1 lezár, azaz az áramkör alaphelyzetbe billen. Ezeknek az áramköröknek két fontos jellemzője, hogy az időzítési idő alatt érkező újabb indító impulzus hatástalan, tehát az áramkör nem retriggerelhető, és a megkezdett időzítést nem lehet megszakítani. Lehetséges a negatív tüimpulzussal kiváltani a billenést, de ez ritkán használatos indítási mód. A kapcsolásokkal jól reprodukálható időzítés kb. $1 \text{ ms} \div 1 \text{ s}$. Az integrált digitális



áramkörök között találhatók újraindítható működésűek és alaphelyzetbe állító vezérlési lehetőséggel is rendelkeznek.

Monostabil multivibrátor műveleti erősítővel

A monostabil működésre számos műveleti erősítős kapcsolás található a szakirodalomban. Egy lehetséges egyszerű felépítésű kapcsolás látható az ábrán. Alaphelyzetben a műveleti erősítő kimenete $+U_{kmax}$ feszültségen tartózkodik, mivel a neminvertáló bemenetére $0V$, az invertáló bemenetére pedig az $R2$ ellenálláson keresztül a $-U_s$ segédfeszültség



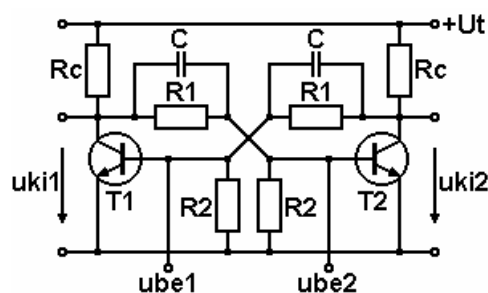
jut. A segédfeszültség a D dióda kb. $0,7 V$ nyitófeszültsége, amit a $-U_t$ -ről az $R3$ ellenállás tart fenn. A bemenetre érkező impulzus felfutó élét a $C2$ túimpulzussá alakítja. Ha a keletkező pozitív túimpulzus csúcsa $-0,7 V$ -ról indulva, átlépi a $0 V$ -t, akkor a műveleti erősítő kimenete $-U_{kmax}$ -ra vált. A kimeneti feszültség $+U_{kmax}$ -ról a $-U_{kmax}$ -ra változik és mivel a $C1$ kondenzátor ugyanakkora negatív túimpulzust hoz létre a műveleti erősítő neminvertáló bemenetén illetve az $R1$ ellenálláson, ezért a pozitív visszacsatolás fenntartja a kimeneten a negatív telítési feszültséget. A kondenzátor az $R1$ ellenálláson töltődik a negatív $2 \cdot U_{kmax}$ -ról a $0 V$ felé. Ha a kondenzátor feszültsége eléri a $-U_s$ -t, a kimenet átvált $+U_{kmax}$ -ra, azaz az áramkör felveszi az alap vagy nyugalmi helyzetet. Ha az U_s feszültséget $-1, -2, \text{ stb } V$ -ra csökkentjük, akkor a visszabillenés előbb következik be, tehát a segédfeszültség értékével változtatható az időzítés. A kimeneti impulzus szélessége:

$$t_q = R1 \cdot C1 \cdot \ln \frac{U_{ki \max}^+ - U_{ki \max}^-}{U_s}$$

Az időzítési időn belül érkező újabb indító impulzus hatástalan, tehát az áramkör nem újraindítható.

Bistabil multivibrátor

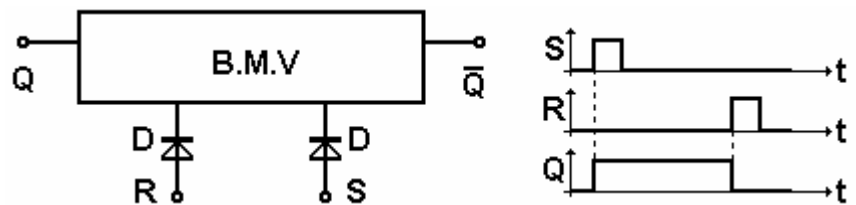
A bistabil multivibrátor az astabil multivibrátor átalakításával, mindkét RC csatolás helyett galvanikus vagy egyenáramú csatolás alkalmazásával származtatható. A munkapont-beállítás miatt, a tranzisztorok kapcsoló üzemben működnek. Az áramkörnek két vezérlő bemenete és két ellenfázisú kimenete van. A szimmetrikus felépítés miatt bekapcsolás után bármelyik stabil helyzetet fel-



veheti az áramkör, azaz valamelyik tranzisztor vagy zárt vagy nyitott állapotú lesz, míg a másik tranzisztor ellenkező állapotú. Az átbillenést a bemenetre adott vezérlőjellel lehet kiváltani. Az R1 ellenállásokkal párhuzamosan kapcsolt általában $10 \div 100$ pF értékű kondenzátorok az átbillenést gyorsítják. A bistabil multivibrátor emlékszik, hogy melyik bemenetén volt utoljára vezérelve. A vezérlési lehetőségek bemutatása, - az egyszerűsítés érdekében - az áramkört magába foglaló sematikus ábra segítségével történik.

A bistabil multivibrátor vezérlése szinttel vagy éllel lehetséges. Szint vagy statikus vezérlés esetén a vezérlőjel az impulzus időtartama alatt folyamatosan fennáll. Az áramkör állapotát csak a korábbi vezérlő jel megszűnése után lehet megváltoztatni. Él vagy dinamikus vezérlés esetén az áramkör állapotát az impulzus fel vagy lefutó éle változtatja meg. A felfutó élre történő vezérlést pozitív, a lefutó élre történő vezérlést negatív élvezérlésnek nevezzük. Az élvezérléshez nagy meredekségű, rövid fel- és lefutási idejű impulzusok szükségesek.

Szintvezérlést a két bemenetre kapcsolt egy-egy soros nyitóirányú diódával lehet létrehozni. A tranzisztorok védelme érdekében a bázisáramot a diódákkal sorba



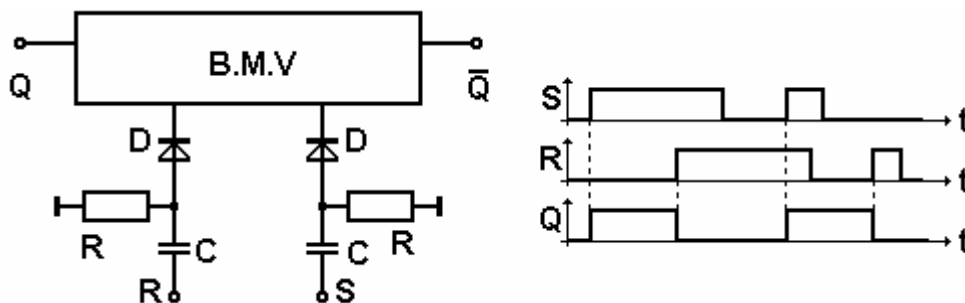
kötött ellenállásokkal korlátozni kell. A pozitív feszültségű bemeneti impulzus a zárt tranzisztort nyitja, a nulla feszültségű impulzus mindkét bemenetre hatástalan lesz, mert a diódák előfeszítése záróirányú lesz. Az ube2-re érkező impulzus a T2-t nyitja, a kollektorán közel 0 V jelenik meg. Az osztón keresztül T1 bázisa is 0 V-t kap, így a kollektorán a +U_t jelenik meg. Megállapodás szerint, jelöljük az uki1-t Q-val, az ezzel ellentétes állapotú uki2-t Q negálttal. A negálást a karakter feletti vonal a felülvonás jelzi. A Q azt az állítást jelenti vagy helyettesíti, hogy az "uki1 kimeneten a tápfeszültség jelen van". Ez az állítás lehet igaz vagy hamis. Ha igaz, akkor az uki1 kimeneten fennáll az impulzus és ha hamis akkor nem áll fenn az impulzus. A Q negált azt az állítást jelenti vagy helyettesíti, hogy az "uki2 kimeneten a tápfeszültség nincs jelen". Ez az állítás is lehet igaz vagy hamis. Ha igaz, akkor az az igaz, hogy uki2 kimeneten nem áll fenn az impulzus, is ha hamis, akkor az az állítás, hogy az uki2 kimeneten nem áll fenn impulzus hamis. A bemenetekhez hasonló módon rendelhetünk jelöléseket. Ha az ube2 bemenetre adott impulzus az uki1-en jelenít meg impulzust, akkor ezt úgy lehet megfogalmazni, hogy a Q kimenetre a S(et) vagy beíró bemeneten lehet az impulzust beírni. Ha az ube1 bemenetre adott impulzus az uki1-n szünteti meg az impulzust, akkor ezt úgy lehet megfogalmazni, hogy a Q kimeneten az R(eset) bemeneten lehet törölni az impulzust. A kapott áramkör elnevezése RS tároló, egyik bemenetén beírható, a másik bemenetén törölhető. A vezérlésre valójában négy lehetőség van:

1. nincs beírás és nincs törlés: a tároló tárol,
2. csak beírás: a tároló bebillen,
3. csak törlés: a tároló visszabillen,
4. beírás és törlés egyszerre: a tároló mindkét kimenete törlődik.

A 4. számú vezérlés esetén, ha a két bemeneti impulzus egyszerre, például az R és S bemenetek közösítése mellett szűnik meg, akkor a tároló oda fog beállni ahová ő akar. A tároló működése ebben az esetben nem határozható meg, ezért a kettős vezérlés tiltott.

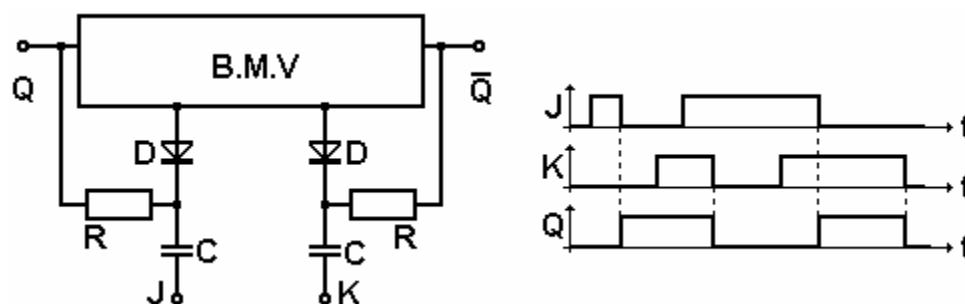
Az élvezérléshez egy indító áramkör szükséges, mely a bemeneti impulzusból pozitív vagy negatív tüket állít elő.

Az indítókör egy differenciáló és egy vágó-áramkörből áll. A diódák bekötésétől függ, hogy felfutó vagy lefutó élre fog billenni a



bistabil multivibrátor. Az ábrán látható kapcsolás pozitív élvezérlésű RS tároló, mert a diódák a pozitív tüket engedik át. A negatív élvezérléshez a diódákat ellenkező irányba kell bekötni. A pozitív tük a zárt tranzisztort nyitják a negatív tük a nyitott tranzisztort zárják. Az átbillenés pozitív tük esetén a bemeneti impulzus kezdetén, a negatív tük esetén az impulzus megszűnésekor következik be. A negatív élvezérlés időfüggvénye a JK tárolónál követhető. Negatív élvezérléskor az R és S bemenetek felcserélődnek, tehát az ubel lesz az S bemenet. Az időfüggvényből látszik, hogy egyik bemeneten fennálló impulzust nem kell megszüntetni ahhoz, hogy a másik bemenet vezérelhető legyen. A kettős vezérlés ezeknél az áramköröknél is tiltott.

A negatív élvezérelt JK tárolót kapunk, ha az ábrán látható módon az RS tároló kimeneti feszültséget visszavezetjük az indítókörre. A működés a vezérlő bemenetekre nézve azonos marad a negatív élvezérlésű RS tárolóéval. A J bemenetre érkező negatív tük beírja, a K bemenetre érkező negatív tük pedig törli a Q kimeneten az impulzust. A visszacsatolás következtében a kettős vezérlés esetén a tároló állapotot vált, tehát nem kell tiltani ezt a vezérlési módot. A működés lényege, hogy a bemenetekre érkező negatív tük

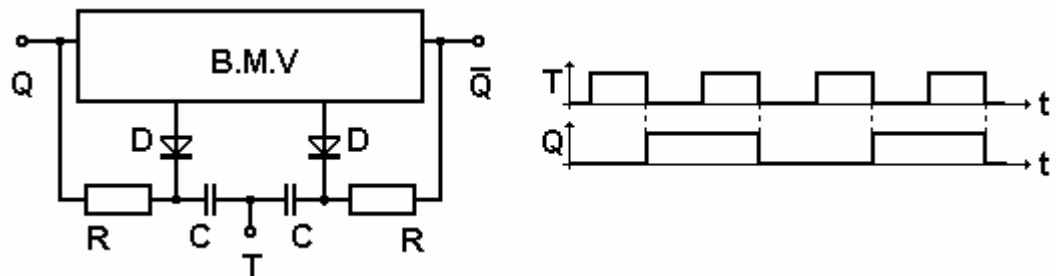


csak akkor tud átjutni a diódákon, ha a kondenzátor dióda felőli fegyverzete 0 V-on van. Az R ellenálláson keresztül a +U_t-re feltöltött fegyverzeten a bemeneti -U_t-nyi vezérlőjel hatására csak 0 V-ig csökken a feszültség, ami nem elég a dióda nyitásához. A vezérlőjel tehát csak arra a tranzisztorra hatásos, amelyik vezérelhető, a másikra hatástalan. Ha a T1 tranzisztor nyitva van, akkor a J bemenetre érkező lefutó él a diódán átjutva le tudja zárni és tárolót átbillenteni, de ettől kezdve csak a K bemenetre érkező vezérlőjel lesz hatásos. Kettős vezérlés esetén emiatt minden lefutó él átbillenti a tárolót. Az indítókör RC időállandóját úgy kell megválasztani, hogy összemérhető legyen a bistabil átkapcsolási idejével, másképp-

pen fogalmazva, a bemeneti tüimpulzus energiájának akkorának kell lennie, amit a tranzisztor bázisköre fel tud venni. Pozitív élvezelésű JK tároló is felépíthető, de további külső elemek és segéd feszültségek szükségesek.

A negatív élvezérelt JK tároló bemeneteinek összekötésével keletkező bemenetet T-nek, a keletkező áramkört T tárolónak nevezzük. A tároló tehát üzemszerűen és kizárólag kettős-

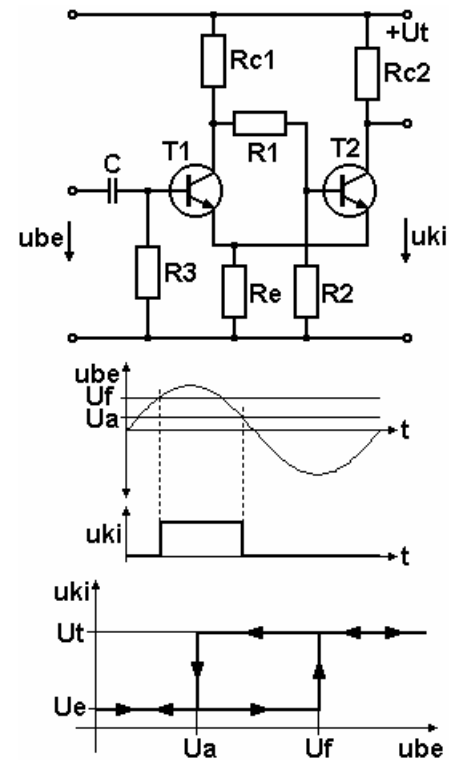
vezérlési módban működik, ami az időfüggvény alapján követhető. Az áramkör minden befejezett bemeneti



impulzus hatására állapotot vált. Ez azt jelenti, hogy két bemeneti impulzus estén keletkezik egy kimeneti impulzus. Ha a bemenőjel periodikus, akkor a kimeneten a bemeneti frekvencia fele jelenik meg. Több tároló sorba kapcsolásával, tehát egy Q kimenet a következő tároló T bemenetére csatlakoztatásával, minden tároló felezi fogja a bemenetére érkező frekvenciát. Az egyes kimeneteken tehát a bemeneti frekvencia fele, negyede, nyolcada, tizenhatoda, stb. jelenik meg. Az ilyen összekapcsolás legnagyobb jelentősége, hogy a keletkező hálózat egy bináris aszinkron számláló lesz.

Schmitt trigger

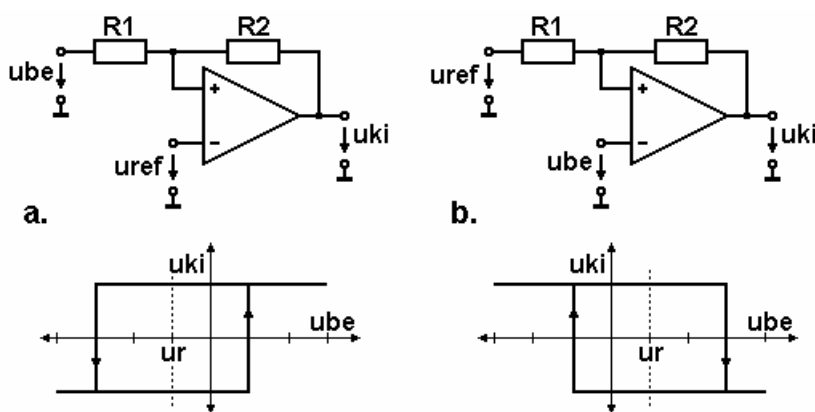
A Schmitt-trigger áramkörök jellemzője, hogy a kimeneti feszültségük, a bemeneti feszültség szintjétől függően, két stabil állapotot vehet fel. Ha az áramkör bemeneti feszültsége elér egy értéket, akkor bekövetkezik egy billenés, és a bemeneti feszültség egy másik értékénél következik be a visszabillenés. Tranzisztoros Schmitt trigger két, közös emitter ellenállással ellátott, egyen csatolt FE fokozatból épül fel. A munkapont-beállító alkatrészek úgy vannak megválasztva, hogy a tranzisztorok vagy teljesen nyitva, vagy teljesen zárva vannak. Alaphelyzetben a T1 zárva, a T2 nyitva van, így a kimeneten kb. az emitter feszültség jelenik meg. Ha a növekvő u_{be} eléri az $U_e + U_{BE1}$ értéket, akkor a T1 kinyit, a T2 lezár, azaz az áramkör átbillen, a kimeneten a $+U_t$ jelenik meg. Az átbillent állapot mindaddig fennmarad, amíg a csökkenő bemenő feszültség a T1-et nyitásban tudja tartani. Az átbillenés az R_e ellenálláson kialakuló pozitív visszacsatolás miatt, gyorsan, kapcsolószerűen következik be. A biztos működéshez az $I_{c1} < I_{c2}$ munkapont-beállítás szükséges. Az áramkör egy bebillentéshez szükséges felső és egy visszabil-



lenteshez szükséges alsó küszöbfeszültséggel jellemezhető. A két feszültség közötti intervallum a hiszterézis. A Schmitt-trigger transzfer karakterisztikája a bemeneti és a kimeneti feszültség közötti kapcsolatot mutatja be. Fő felhasználási területe a zajos, torzult impulzusok regenerálása, szinuszos vagy más időbeli lefolyású jel négyszögesítése.

Művelet erősítős Schmitt-trigger

Schmitt-trigger működés műveleti erősítővel is létrehozható. Ahhoz, hogy a két stabil állapot közötti az átváltás gyorsan, kapcsolószerűen történjen, a műveleti erősítőt pozitív visszacsatolással kell ellátni. A visszacsatoló hálózat az R2, R1 ellenállásokból álló feszültségosztó, mely a műveleti erősítő $\pm U_{ki\max}$ leosztott feszültségét vezeti vissza a neminvertáló bemenetre, így a műveleti erősítő saját magát vezérli telítésbe. A vezérlés helyétől függően invertáló és neminvertáló Schmitt-trigger alakítható ki. Ha az u_{be} vezérlőfeszültség az "a." ábra szerint, az ellenállásosztó "talpára" csatlakozik, akkor neminvertáló, ha a "b." ábra szerint, az invertáló bemenetre, akkor invertáló Schmitt-trigger jön létre. Az u_{ref} feszültséggel a billenési feszültségeket lehet beállítani. Az átbillenés, akkora u_{be} értéknél következik be, amely az u_p és az u_n feszültségek irányát megfordítja.

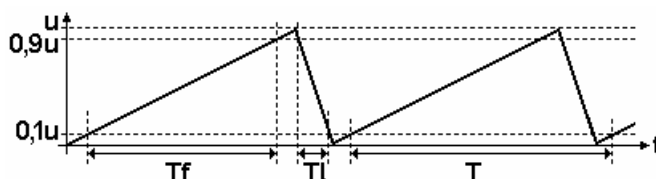


neminvertáló	billenési feszültség	invertáló
$u_{be} = u_{ref} \frac{R_1 + R_2}{R_2} \pm U_{ki\max} \frac{R_1}{R_2}$	$u_{be} = u_{ref} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \pm U_{ki\max} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$	

A $\pm U_{ki\max}$ értéke kb. a tápfeszültség 85 %-a és általában szimmetrikus. Ha a szimmetria nem áll fenn, akkor valamilyen szintfogó áramkörrel kell a feszültségosztó vonatkozási feszültségét biztosítani. A Schmitt-trigger alkalmas bármilyen lefolyású váltakozó feszültségből határozott négyszögjel előállítására, zajos bemeneti feszültség regenerálására.

Fűrészfeszültség generátorok

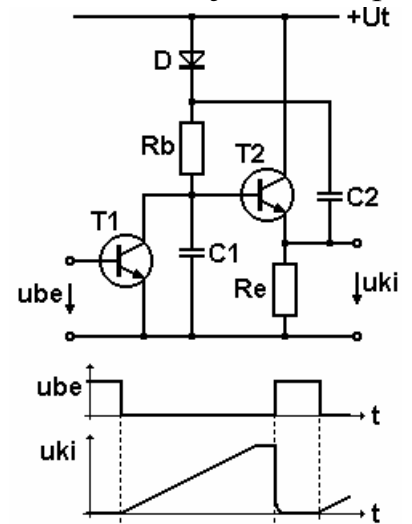
Fűrészfeszültség generátorok feladata, nagy linearitású, egyenletesen változó feszültség előállítása. Az elnevezését a fűrészfogakra hasonlító időbeli lefolyása miatt kapta. Az ideális fűrészfeszültség lefutási ideje nulla. A valóságban ilyen nem állítható elő. Időbeli



jellemzői a T ismétlődési idő, a T_f felfutási idő, a csúcsfeszültség 10 %-tól a 90 %-ig terjedő időtartam és a T_l lefutási idő, a csúcsfeszültség 90 %-tól a 10 %-ig terjedő időtartam. A szakirodalom definiálja a felfutási és lefutási meredekségeket is, mely az előző adatokból számítható sebesség mennyiségek. További fontos jellemző a linearitás, ami a felfutó él egyenességére vagy attól való eltérésére vonatkozik. A felfutás akkor lineáris, ha bármely időpillanatban a $\Delta u / \Delta t = \text{állandó}$. Fűrészfeszültségre elsősorban az oszcilloszkópokban, A/D átalakítókban és még számos áramkörben van szükség.

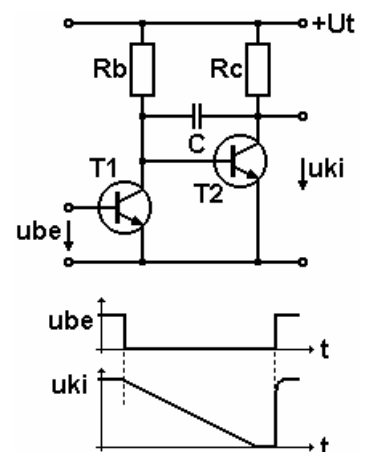
Feszültség utánhúzó fűrészfeszültség generátor

Feszültség utánhúzó fűrészfeszültség generátor egy emitterkövető fokozatból áll, melynek vezérlő jelét az R_b és C_1 alkatrészekből álló, integráló jellegű jelformáló állítja elő. Alaphelyzetben a nyitott T_1 a C_1 -et tartja kisütve, így a T_2 zárt és a C_2 $+U_t$ -re töltődik. Az u_{be} vezérlőjel nullára váltásakor zárásakor a T_1 lezár, és a C_1 az R_b -n keresztül töltődik kezd. A kondenzátor feszültségét az emitterkövető másolja. Az emelkedő emitter feszültség a nagy értékű C_2 miatt a töltőfeszültséget is emeli azaz utánhúzza, az R_b -n a feszültség közel állandó, így a C_1 -et töltő áram is. Mivel a C_2 kondenzátor nagyságrendileg 1000-szer nagyobb a C_1 -nél, ezért a fűrészjel ciklusa alatt alig veszít a töltéséből. A D dióda a $+U_t$ -t választja le a pozitívabb töltőfeszültségtől. A kimeneten lineárisan emelkedő feszültség jelenik meg, majd kb. a tápfeszültség elérésekor a töltődés megáll, a C_2 -t csak a bázisáram terheli. A T_1 -re érkező impulzus nyitja a T_1 tranzisztort, ami kisüti a C_1 kondenzátort. Ezek után új ciklus kezdhető.



Miller integrátoros fűrészgenerátor

Miller integrátoros fűrészgenerátor, ahogy erre az elnevezése is utal, egy erősítő be- és kimenete közé kapcsolt ún. Miller kapacitást hasznosítja fűrészfeszültség előállítására. Alaphelyzetben a T_1 tranzisztor nyitott, a T_2 zárt, a C kapacitás kollektor oldali fegyverzete tápfeszültségre töltődik. A bemeneti vezérlő impulzus megszűnésekor a T_1 lezár, az R_b ellenálláson folyó áram kisebb része ezután a T_2 bázisába folyik be. A T_2 csökkenő kollektor feszültségét a C Miller kapacitás csatolja vissza a bázisba, ezért az u_{ki} csökkenése lineáris lesz. Amikor T_2 telítésbe kerül a visszacsatolás megszűnik, a folyamat megáll. A fűrészfeszültség meredekségét az R_b és a C határozzák meg. A bemeneti impulzus felfutó éle nyitja a T_1 , zárja a T_2 -t, a



kondenzátor az R_c ellenálláson keresztül töltődik exponenciálisan a tápfeszültségre. A bemeneti impulzus lefutása újra indítja a ciklust.

Blocking oszcillátor

A blocking vagy más néven záró oszcillátor egy aktív elemet tartalmaz. A pozitív visszacsatoláshoz szükséges kétszeres fázisfordítást egyrészt az aktív elem, másrészt egy megfelelően bekötött, $n_2:n_1=1:3 \div 1:5$ áttételű transzformátor hozza létre. Bekapcsolás után a C kondenzátor az R_b keresztül töltődik. A mikor a növekvő feszültség eléri a T nyitófeszültségét, a meginduló kollektoráram átfolyik a transzformátor primer tekercsén és a báziskörbe kapcsolt szekunder tekercsben feszültséget indukál. A transzformátor bekötése miatt a szekunder feszültség a tranzisztort további nyitásba, egészen a telítésig vezérli. A telítésbe vezérléshez a szekunder tekercs a kondenzátorból "húzza" ki a töltést, a kondenzátor földpontnál negatívabb feszültségre töltődik.

A telítésbe vezérelt tranzisztor kollektor áramának változása és így a szekunder tekercs feszültsége is megszűnik, a kondenzátor negatív feszültsége lezárja a tranzisztort. A R_b ellenálláson a kondenzátor exponenciálisan töltődik az U_t felé és ha eléri a T nyitófeszültségét, új ciklus kezdődik. Az ismétlődési időt az R_b és a C alkatrészek határozzák meg. A blocking oszcillátor tipikus felhasználási területe a képcsöves televízió vevőkben a kb. 16 kHz-es sorszinkron jel előállítására volt. A transzformátoron elhelyezett külön nagyfeszültségű tekercs állította elő a képcsőhöz szükséges több kV-os anódfeszültséget.

