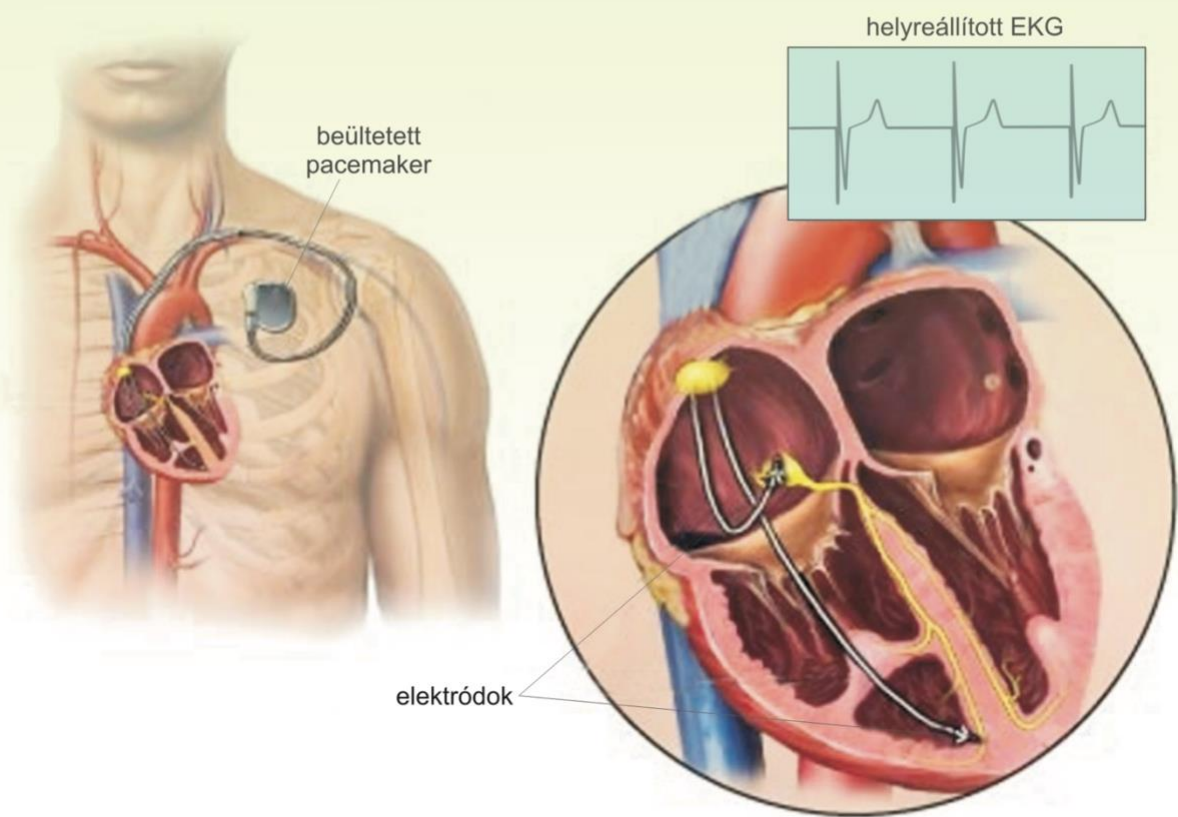
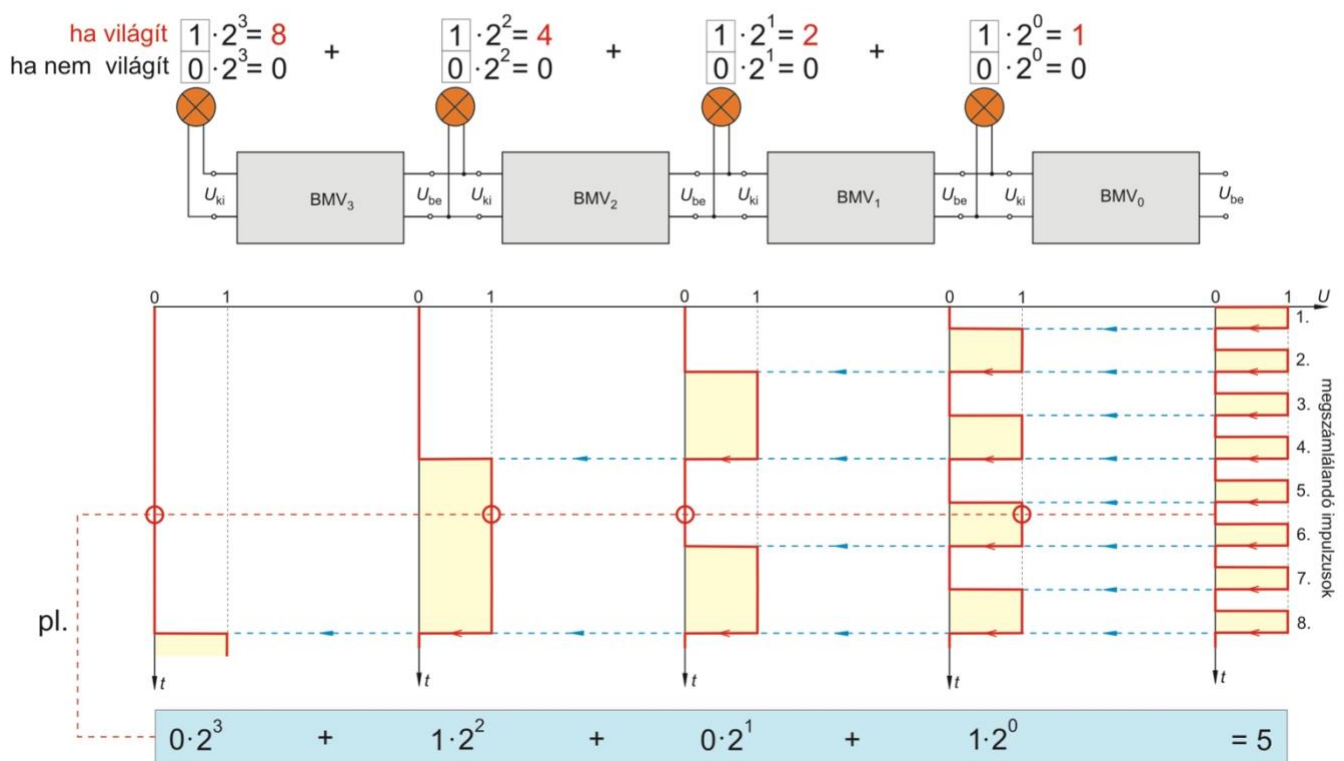


IMPULZUSGENERÁTOR

ELEKTROMOS IMPULZUSOK ELŐÁLLÍTÁSA; IMPULZUSSZÁMLÁLÁS



BINÁRIS SZÁMLÁLÓLÁNC



ÖSSZEFOGLALÁS:

MONOSTABIL MULTIVIBRÁTOR: Olyan impulzusgenerátor, melyben egy küszöb feletti aktiváló impulzus (trigger) hatására egyetlen, meghatározott ideig tartó impulzus keletkezik.

ASTABIL MULTIVIBRÁTOR: Olyan impulzusgenerátor, mellyel impulzus-sorozat állítható elő. Megvalósítható pl. két monostabil multivibrátor gyűrűbe kapcsolásával.

BISTABIL MULTIVIBRÁTOR: Olyan „impulzusgenerátor”, melynek bármely irányú állapotváltozásához aktiváló impulzusra (trigger) van szükség. Több bistabil multivibrátort sorba kapcsolva bináris számlálólánc alakítható ki.



Az orvosi gyakorlatban mind diagnosztikai, mind terápiás célokra alkalmaznak elektromos impulzusokat. Az idegek, izmok különböző időtartamú és amplitúdójú impulzusokra adott válasza egészséges, vagy kóros működésre utal. A károsodott vázizmok ingerlésére is gyakran használnak elektromos impulzusokat. Ugyancsak alkalmazhatóak a szívizomzat ingerlésére. A hiányzó, vagy elégtelen ingerképzés illetve vezetés pótlására pacemakert (szívritmuskeltőt), a kórosan szapora, de a vér továbbítása szempontjából nem kielégítő szív működés megszüntetésére defibrillátort használnak. Ezen alkalmazások során különböző alakú impulzusokat lehet felhasználni. A továbbiakban azonban a legegyszerűbben jellemezhető ún. négyszögimpulzusokkal foglalkozunk.

ELMÉLETI ÖSSZEFOGLALÁS

Az ún. kétállapotú (digitális) rendszerek — **nyugalmi, ill. aktivált állapot** közötti gyors átmenetekkel — jellemzően **négyszög alakú impulzusformákat** hoznak létre. Csak a **nyugalmi**-, ill. az **aktivált állapotokat** vehetik fel, a két állapot között (tiltott állapot) nem tartózkodhat a rendszer, onnan mindig valamelyik megengedett állapotba billen. Ezen megengedett állapotok lehetnek stabilak, vagy nem stabilak. A nyugalmi, és aktivált állapotok szokásos elnevezései, jelölései:

aktivált állapot	aktív	gerjesztett	be	ON	high (H)	B	1
nyugalmi állapot	passzív	alapállapotú	ki	OFF	low (L)	A	0

A fenti állapotok jelentését bármilyen fizikai paraméter betöltheti (pl. elektromos feszültség szint), de biológiai, élettani állapotok is léteznek (pl. az idegsejt passzív, ill. aktív állapota, pislogás, stb.). Az egyes állapotok közötti **átmenetet** valamilyen küszöb feletti **aktiváló jel**, egy impulzus, vagy pl. annak lefutó éle válthatja ki. Ez az ún. **trigger impulzus**, ami a puska ravaszáról kapta elnevezését (1. ábra).

IMPULZUSGENERÁTOROK

Az impulzusgenerátorok fajtái: monostabil-, astabil-, és bistabil multivibrátor. Elnevezésük szerint rendre 1, 0, ill. 2 stabil állapot jellemzi működésüket.

MONOSTABIL MULTIVIBRÁTOR (PL. DEFIBRILLÁTOR)

Egy **aktiváló impulzus (trigger)** hatására egyetlen, **meghatározott ideig tartó impulzus** (általában négyszögimpulzus) keletkezik (2. ábra). A négyszögimpulzus felfutó élét a triggerimpulzus váltja ki, az alapállapotba való visszatérés (lefutó él) azonban trigger nélkül, az ún. időállandó (τ) elteltével magától keletkezik. A rendszer mindaddig nyugalmi állapotban marad, amíg újabb trigger impulzus nem érkezik.

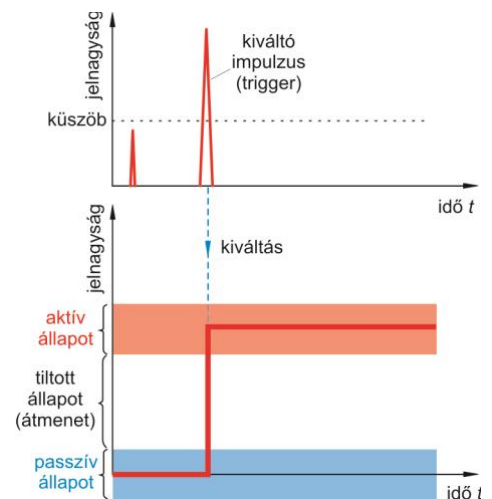
Példák:

- A ravasz (trigger) minden egyes meghúzásakor egy golyót lő ki a pisztoly (one shot).
- Dallamcsengő: a csengőgomb megnyomására (trigger) a csengő aktív állapotba (dallam lejátszása) kerül.
- Az idegsejt egy bizonyos küszöb feletti transzmembrán potenciál (trigger) hatására egy rövid ideig tartó akciós potenciállal válaszol.
- **Defibrillátor:** a mellkasra helyezett elektródák az indító gombok megnyomásakor (trigger) egy feltöltött kondenzátor elektromos töltését vezetik a szívbe.

A defibrillátor példája kapcsán vizsgáljuk meg az elektronikus időzítés (azaz a τ beállításának) lehetőségét (3. ábra). Az elektródok közötti mellkas R ellenállást képvisel, amelyen keresztül egy U_0 feszültségre feltöltött C kapacitású kondenzátor töltését sűjtjük ki. Az R ellenálláson exponenciálisan csökkenő I áram folyik, azon hasonló jellegű U feszültséget keltve. A folyamat **időállandóját** (τ) az határozza meg, hogy mennyi idő alatt csökken a feszültség U_0/e értékre. Az exponenciálisan lefutó impulzus „szélessége”, időtartama, azaz az időállandója pedig az ellenállás és a kapacitás értékétől függ:

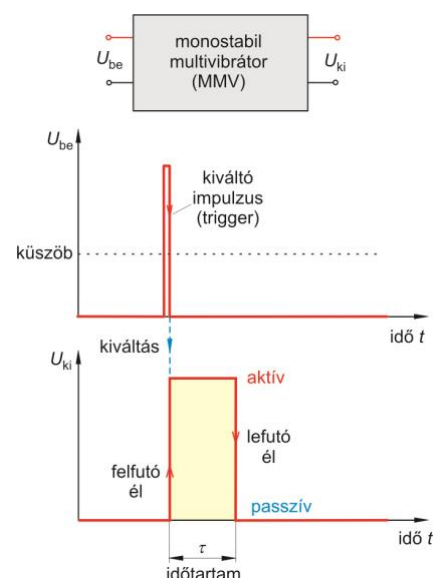
$$\tau = R \cdot C. \quad (1)$$

Kapcsolódó részek:
Damjanovich-Fidy-Szőllősi:
VII / 1. 7., IX / 4.

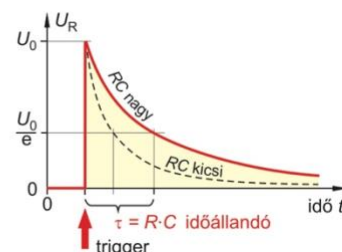
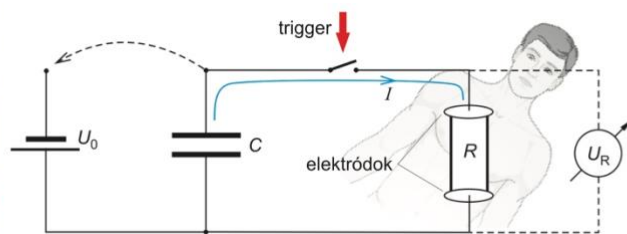


1. ábra. Kétállapotú rendszer jellemző állapotai, és az átmenet kiváltása küszöb feletti trigger impulussal.

monostabil multivibrátor
one-shot, monoflop
monostabil Multivibrátor, Monoflop

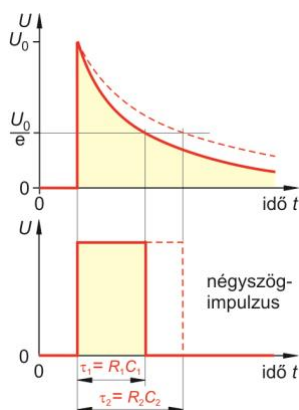


2. ábra. A monostabil multivibrátor a trigger hatására egy meghatározott ideig aktív állapotba kerül.



3. ábra. A defibrillátor és működési elve. Az impulzus időállandóját az R és C elemekkel tetszőlegesen befolyásolhatjuk.

A 21. BŐRIMPEDANCIA gyakorlaton ugyan megtanultuk, hogy a bőrt, ill. az emberi testet párhuzamosan kapcsolt R , és C elemekkel modellezhetjük, a defibrillátor esetén azonban amiatt, hogy a feszültség viszonylag lassan változik, az ohmos ellenállás (R) dominál. A 3. ábrán már csak ezt tüntettük fel.



4. ábra. Négyzetimpulzus előállítása.

astabil multivibrátor
 free running multivibrator, relaxation oscillator
 astabiler Multivibrator, Rechteckgenerator

Egy beültethető pacemaker $U = 5\text{ V}$ amplitúdójú, és $\tau = 2\text{ ms}$ időtartamú négyzetimpulzusokat állít elő. Az elektrodok közötti szövetek ellenállása $R = 2\text{ k}\Omega$. A tervezett átlagos szívritmus $f = 70/\text{min}$. Az impulzusok az összes felhasznált energia 25%-át használják fel. Hány amperórás (Ah), 5,6 V feszültségű lithium elem szükséges a pacemaker 10 éven keresztül üzemben tartásához?

Egy impulzus energiája:

$$E_p = \frac{U^2}{R} \tau = \frac{(5\text{ V})^2}{2\text{ k}\Omega} 2\text{ ms} = 25\text{ }\mu\text{J}.$$

Az impulzusok száma 10 év alatt:

$$N = 70 / \text{min} \cdot 60 \text{ min/h} \cdot 24 \text{ h/d} \cdot 365 \text{ d/év} \cdot 10 \text{ év} = 3,68 \cdot 10^8 \text{ impulzus.}$$

Ezek összes energiája:

$$E_t = N \cdot E_p = 3,68 \cdot 10^8 \cdot 25\text{ }\mu\text{J} = 9,2\text{ kJ.}$$

Az elemnek 4-szer ennyi energiát kell szolgáltatnia:

$$E_e = 4 \cdot E_t = 4 \cdot 9,2\text{ kJ} = 36,8\text{ kJ.}$$

Az 5,6 V feszültségű elemből Q töltést kell kinyernünk:

$$Q = \frac{W}{U} = \frac{36,8\text{ kJ}}{5,6\text{ V}} = 6571\text{ As.}$$

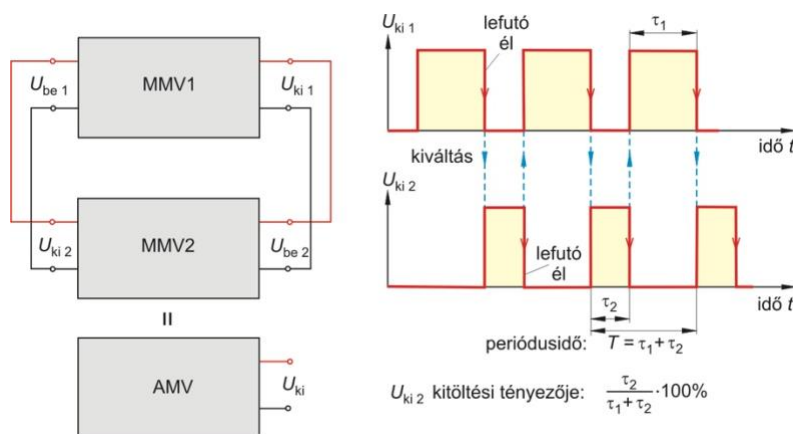
Így az elem „kapacitása” (töltésmennyisége) Ah-ban:

$$\frac{6571\text{ As}}{3600\text{ s/h}} = 1,82\text{ Ah} \approx 2000\text{ mAh}$$

Az elektronikában megvalósított monostabil multivibrátorok időzítését legtöbbször a 3. ábrához hasonló RC -áramkörökkel valósítják meg. Az exponenciális lefutású görbe egy kapcsolót is vezérelhet, amely pl. egy bizonyos feszültség szint felett bekapcsol, így időzített (az R és C elemekkel szabályozott) szélességű négyszögimpulzus nyerhető (4. ábra).

ASTABIL MULTIVIBRÁTOR (PL: PACEMAKER)

Két monostabil multivibrátor (MMV) gyűrűbe kapcsolásával (5. ábra) ún. **astabil multivibrátorhoz** (AMV) jutunk. Az egyik MMV kimenőjele (lásd 2. ábra, lefutó él) ui. triggerként beindítja a második MMV-t, azután a második az elsőt, majd a folyamat újra, és újra megismétlődik. Könnyen belátható, hogy ilyenformán periodikus négyzetjel-generatorhoz jutunk. Az összekapcsolt ki-, és bemenetek bármelyike használható az AMV kimeneteként.



5. ábra. Astabil multivibrátor előállítása két monostabil multivibrátorból.

A periódusidő a két MMV impulzusidőtartamának az összege lesz:

$$T_{AMV} = \tau_1 + \tau_2. \quad (2)$$

Az egyes MMV-k impulzusszélességei természetesen egymástól függetlenül állíthatók RC -elemeikkel, így tetszőleges **kitöltési tényezőjű** négyzetimpulzus-sorozat állítható elő. A kitöltési tényező megmutatja, hogy a teljes periódusidő hányad részét (százalékát) teszi ki az impulzus, vagyis az aktivált állapot. Pl. az 5. ábra U_{ki2} jelsorozatára nézve:

$$\text{kitöltési tényező} = \frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Az egészséges szív több, AMV-nak megfelelő ingerképző anatómiai képletet tartalmaz (szinuszcsomó, atrioventrikuláris-csomó (AV-csomó)), valamint a kamrai izomzat maga is tartalmaz ingerületképző, ún. pacemaker sejteket. Pl. a szinuszcsomó kóros kiesése esetén az AV-csomó lassabb ütemben, de átveszi az ingerképzést. Ha ez sem működik, vagy az ingerület vezetése nem funkcionál, akkor jóval lassabb ütemben (bradycardia) a kamrai pacemaker sejtek vezérlik a kontrakciót. Ilyen esetekben a normális szívritmus helyreállítására mesterséges szívritmusszabályozót, **pacemakert** alkalmaznak.

A pacemaker olyan AMV, amelynek nyugalmi állapota kb. 0,8 - 1 s ideig tart (τ_1), aktív állapota pedig 0,05 - 2 ms ideig (τ_2). Az aktív állapot kimenőfeszültsége (U_{ki} ,

ez ingerli a szív izmait) 0,8 - 5 V között beállítható érték. A hosszú élettartamú elemmel, vagy kívülről induktív úton tölthető akkumulátorral táplált pacemakert általában bőr alá ültetik be. A speciális elektródokat valamelyik vénán keresztül vezetik a szív üregeibe, ahol megfelelő helyen lehorgonyozzák (lásd a címlap felső ábráját).

Tulajdonképpen maga a pacemaker mesterséges trigger funkciót tölt be egy túl lassan, vagy szabálytalanul működő „biológiai astabil multivibrátor” (ti. a szív) megfelelő ütemben történő kontrakciójának kiváltásában. A modern pacemakerek ezt a funkciót csak akkor valósítják meg, ha a szív saját ingerképzése nem megfelelő.

A pacemakerek funkcióit egy nemzetközileg elfogadott kódtáblázat tartalmazza (1. táblázat).

I.	II.	III.	IV.	V.
Szabályozott üreg	Érzékelt üreg	Érzékelésre adott válasz	Ritmus moduláció	Többhelyes ritmus-szabályozás
0 = Nincs	0 = Nincs	0 = Nincs	0 = Nincs	0 = Nincs
A = Pitvar	A = Pitvar	I = Nincs inger	R = Ritmus moduláció	A = Pitvar
V = Kamra	V = Kamra	T = Inger		V = Kamra
D = Duális (A+V)	D = Duális (A+V)	D = Duális (I+T)		D = Duális (A+V)

Régebbi eszközöknél a IV. kód esetében alkalmazták még a „C” jelölést, ami a külső kommunikációra utal. A mai eszközök ezt a funkciót már mind tartalmazzák, ezért nem kerül külön feltüntetésre.

1. táblázat A jelenleg hatályos (2019) pacemaker kódok és azok jelentése.

A szívritmusszabályozókon az elérhető funkciók minden esetben fel vannak tüntetve az ismertetett kódokkal. Az általunk kiválasztott pacemakeren (6. ábra) a VVIR/AAIR kód látható, így ez az eszköz két lehetséges üzemmódban működhet.



- I. Az első kód az **ingerlés helyét** adja meg (I. Szabályozott üreg). Ezek az A=pitvar, a V=kamra vagy mindkettő D=Duális(A+V) lehetnek. Példánkban ez a kód (V/A) tehát kamrai vagy pitvari ingerlés választható.
- II. A második kód az **érzékelés helyét** (II. Érzékelt üreg) adja meg. Ezek az A=pitvar, a V=kamra vagy mindkettő D=Duális(A+V) lehetnek. Példánkban ez a kód (V/A) tehát kamrai vagy pitvari érzékelés választható.
- III. A harmadik kód (III. Az érzékelésre adott válasz) a szív elektromos aktivitására adott **pacemaker-választ** jelenti. Az I=Nincs inger inhibitoros választ jelent, vagyis normális szívritmus esetén a pacemaker le van tiltva és csak kimaradó szívritmus esetében ad le ingerlő impulzusokat. A T=Inger jelzése a triggerelt válaszra utal (ennek pitvar-kamrai ingerület-átvezetés károsodásakor (AV-blokk) van jelentősége). Példánkban ez a kód (I/I), így mindkét lehetséges üzemmódjában a pacemaker funkciója inhibitoros.
- IV. A negyedik kód (IV. Ritmus moduláció) a **szívritmus moduláció** képességére utal. Az R=Ritmus moduláció funkciójával az ingerlés frekvenciája a páciens fizikai terhelésének függvényében változtatható. A külön beépített szenzorok (pl. vér O₂ szenzor) jelzik a páciens fizikai aktivitását és a pacemaker ezen információ alapján állítja be az optimális szívritmust. Példánkban ez a kód (R/R), így mindkét esetben elérhető a moduláció.
- V. Az ötödik kód (V. Többhelyes ritmus-szabályozás) az egy vagy több üregben történő **többhelyes ingerlés** (több aktív elektród alkalmazásával) lehetőségét jelenti. Mivel példánk pacemakerkódja nem tartalmaz ötödik karaktert, így az nem rendelkezik ilyen funkcióval.



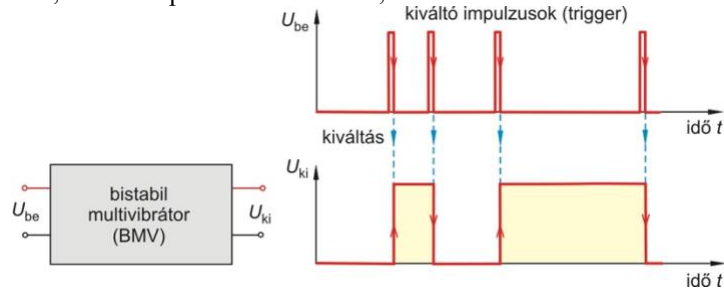
6. ábra A pacemakeren feltüntetett kódok

A pacemakeren az alkalmazható elektródák típusa is megtalálható (unipolar/bipolar). Az unipoláris elektróda egyik pólusa a pacemaker háza, a másik pedig az elektróda ami be van vezetve a szívbe. Bipoláris elektródánál mindkét pólus a szívbe vezetett elektródán található.

BISTABIL MULTIVIBRÁTOR (PL. MEMÓRIAELEM)

 bistabil multivibrátor
 biflop, flip-flop
 bistabiler Multivibrator, Flipflop

Egy aktiváló impulzus (trigger) hatására a **bistabil multivibrátor állapota megváltozik** (7. ábra). Ha az A állapotban volt, akkor a B-be, ha a B állapotban volt, az A-ba kerül, és további trigger bekövetkeztéig ott is marad. Ez esetben tehát két, egyenértékű, stabil állapotról beszélhetünk, a bistabil elnevezés is innen eredhet.



7. ábra. A bistabil multivibrátor állapota trigger hatására megváltozik.

Példák, megjegyzések:

- kapcsolók: a kapcsoló átkapcsolása (trigger) megváltoztatja a kapcsolt készülék állapotát (ki, be, ki, és így tovább),
- memória: a beírás, vagy törlés (trigger) megváltoztatja a memóriaelem tartalmát ($0 \rightarrow 1$, vagy $1 \rightarrow 0$), és mivel az állapot fennmarad, memorizálásról beszélhetünk. A digitális számítógépek memóriáját BMV-ok alkotják.
- figyeljük meg a 7. ábrát: a kimenőimpulzusok száma mindig fele lesz a bemenőimpulzusok számának, ezért a BMV frekvenciaosztásra is használható.
- több BMV-t sorbakapcsolva bináris számlálólánc alakítható ki (lásd címlap ábráját). A digitális számítógépek aritmetikai egységében is BMV-ok találhatók.

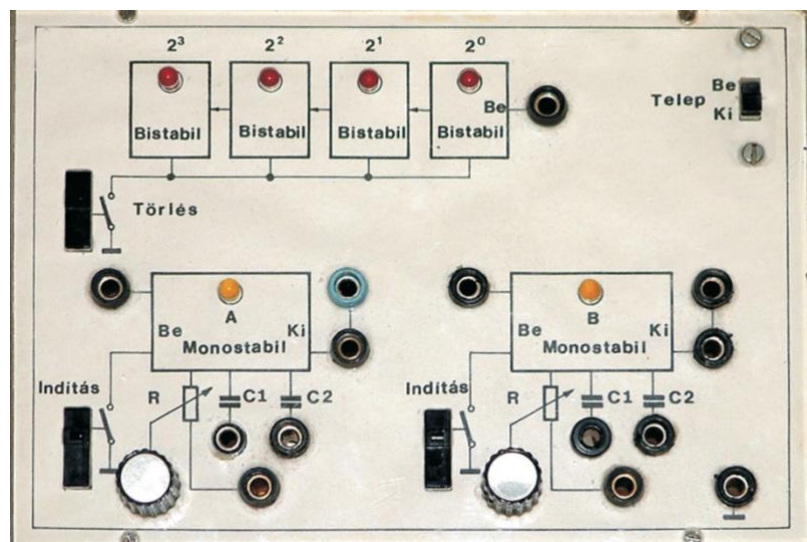
A MÉRÉS

BEMUTATÁS

1. A pacemaker impulzusainak bemutatása digitális oszcilloszkópon.
2. MINISTIM ingerterápiás generátor impulzusformáinak bemutatása digitális oszcilloszkópon.

FELADATOK:

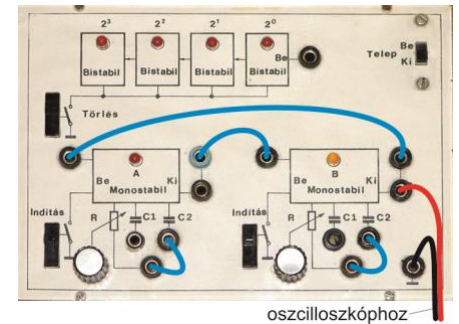
A gyakorlatunk egyéni mérési feladataiban alkalmazott mérődobozban (8. ábra) 2 db azonos felépítésű monostabil multivibrátor (MMV) van. Ezek RC - köreiben az R ellenállás értéke folyamatosan kb. 1 és 10 kohm között változtatható; kondenzátorból pedig két különböző kapacitásút ($C_1 \cong 100 \mu F$, $C_2 \cong 1 \mu F$) választhatunk. Aktiválásuk (trigger) a másik MMV kimenetéről, vagy pedig az indítókapcsoló (indítás) felengedésével történhet. Van a mérődobozban egy számlálólánc is, amely 4 db bistabil multivibrátort (BMV) tartalmaz.



8. ábra. A mérődoboz különböző összeállításában tanulmányozhatjuk a monostabil, az astabil, és a bistabil multivibrátorok működését.

MONOSTABIL MULTIVIBRÁTOR

1. A nagyobb kapacitású (C_1) kondenzátorral, az R ellenállás különböző értékei esetén figyeljük meg az aktivált állapot időtartamát!
2. Ismételjük meg az előző feladatot úgy is, hogy DC bemenetű digitális oszcilloszkópon (ajánlott beállítás **X**: 1 ms/DIV és **Y**: 1 V/DIV) figyeljük meg az alap- és az aktivált állapothoz tartozó feszültségek változását, és mérjük meg a kettő különbségét (a négyszögimpulzus amplitúdóját)!
3. Kössük a MMV kimenetét a bistabil osztóláncra, és kísérjük figyelemmel néhány impulzus megszámlálását!
4. Kössük mindkét MMV RC - körébe a nagyobb kapacitású (C_1) kondenzátort! Kapcsoljuk az egyik (A) MMV kimenetét a másik (B) MMV bemenetére! Ismételjük meg az 1.-beli feladatot úgy, hogy az (A) MMV-t indítjuk!



9. ábra. Az astabil multivibrátor kapcsolása.

ASTABIL MULTIVIBRÁTOR ÉS BISTABIL MULTIVIBRÁTOR LÁNC

5. Állítsunk elő AMV-t úgy, hogy kössük mindkét MMV kimenetét a másik bemenetére (9. ábra)! Használjuk mindkét MMV RC - körében a nagyobb kapacitású (C_1) kondenzátort! Az ellenállások értékeit variálva **szabad szemmel figyeljük meg** a jelzőlámpák változásait! Az osztóláncot is használva, kövessük végig lassú impulzus-sorozat tagjainak számlálását!

PACEMAKER IMPULZUSAINAK MÉRÉSE ÉS SZIMULÁLÁSA

6. Mérje meg a kapott pacemaker impulzusainak aktív és passzív időtartamát a digitális oszcilloszkóp segítségével. Határozza meg a periódusidőt és a frekvenciát, számolja ki a kitöltési tényezőt! A pacemaker kódok alapján (1. táblázat) azonosítsa a pacemaker elérhető funkcióit!
7. A mérődoboz segítségével állítson elő egy olyan impulzusgenerátor kapcsolást, amellyel a pacemaker impulzusokat a legjobban meg tudja közelíteni. Mérje meg az aktív, passzív időket! Határozza meg a periódusidőt és a frekvenciát, valamint a kitöltési tényezőt! Hasonlítsa össze a valós pacemakert a mesterségesen előállított pacemaker impulzusokkal! Számolja ki egy impulzus elektromos energiáját, és az impulzus alatt átfolyt töltést, annak feltételezésével, hogy az impulzust $R = 2000 \Omega$ ellenállású testszövetre kapcsoljuk!