

# Elektronika és mérés technika laboratórium jegyzet

Összeállította: Bagoly Zsolt és Varga Dezső

Mon Jun 10 20:11:30 CEST 2013

- Ábra legyen világos h. hozzá tartozik.
- DAC legyen előbb mint ADC.
- 4.1.3 Számítógép előbb mint Wilkinson ADC?
- 4. ábra minőségét (nem bles)
- CS. — k —

<b>4. Digitális voltmérő</b>	<b>25</b>
4.1. Általános ismeretek . . . . .	25
4.1.1. Párhuzamos (flash) átalakító . . . . .	25
4.1.2. Kétoldali közelítéses (Successive Approximation) átalakító . . . . .	26
4.1.3. Egyszeresen integráló átalakító . . . . .	27
4.1.4. Kétszeresen integráló átalakító (dual slope) . . . . .	27
4.2. A mérés során vizsgált áramkör működési leírása . . . . .	31
4.3. Mérési feladatok . . . . .	33
<b>5. Oszcillátorok</b>	<b>35</b>
5.1. Wien-hidas oszcillátor . . . . .	37
5.2. Schmitt-triggeres oszcillátor . . . . .	38
5.3. Mérési feladatok . . . . .	39
5.4. Lehetséges áramköri összeállítások . . . . .	44
<b>6. Egyenfeszültségű tápegységek</b>	<b>48</b>
6.1. A hálózati transzformátor . . . . .	48
6.2. Egyenirányítás . . . . .	49
6.2.1. Egyutas egyenirányító . . . . .	49
6.2.2. Egyutas egyenirányító szűrőkondenzátorral és változó terheléssel . . . . .	50
6.2.3. Egyutas egyenirányító, C-R-C vagy C-L-C szűréssel . . . . .	50
6.2.4. Kéttutas egyenirányító kapcsolás . . . . .	51
6.3. Feszültségstabilizálás . . . . .	52
6.3.1. Zener diódás feszültségstabilizáló . . . . .	52
6.3.2. Áramkorlátozósos stabilizátor . . . . .	53
6.4. Mérési feladatok . . . . .	53
<b>7. Fénysebesség mérése rezonanciával</b>	<b>56</b>
7.1. Bevezetés . . . . .	56
7.2. A mérési elrendezés . . . . .	58
7.3. A mérés menete . . . . .	59
7.4. A rezgőkör rezonanciájának vizsgálata . . . . .	61
7.5. A fény anyagi természetéről . . . . .	62
7.6. Mérési feladatok . . . . .	62
<b>8. Inga mérése</b>	<b>64</b>
8.1. A adatok illesztése . . . . .	65
8.2. Mérési feladatok . . . . .	66
8.3. A gnuplot program . . . . .	69
8.3.1. Rajzolás . . . . .	70
8.3.2. Változók és függvények . . . . .	71

# 1. fejezet

## Analóg mérések

### 1.1. Ismerkedés az eszközparkkal

#### 1.1.1. Áramköri alaplapp

Az áramköri alaplapp a Leybold német tanszergyártó cég terméke. Az alaplapon 9 galvanikusan (fémesen) összekötött csatlakozó pontból álló „szigetek” vannak kialakítva. Ezeken állítható össze a megépítendő áramkör amely geometriailag is jól követi az elvi kapcsolási rajzot.

#### 1.1.2. Alkatrészek

Az alkatrészek ellenállások, kondenzátorok, diódák, tranzisztorok, potenciométerek, stb.. A műanyag házbam elhelyezett elemek dugaszoló lábtávolsága megegyezik két szomszédos sziget távolságával, és a műanyag ház tetején az alkatrész kapcsolási rajzban is használt rajzjele található, valamint a rá jellemző érték (pl. 10k, 22n, azaz 10 kiloohmos ellenállás, 22 nanofarados kapacitás)

#### 1.1.3. Összekötő vezetékek

Az összekötő vezetékek rövidzárdugók két szomszados „sziget” összekapcsolására, ú.n. bekötőhuzalok (banándugóval ellátott vezetékek) a műszerek és nagyobb távolságban lévő csatlakozó pontok összekötésére.

#### 1.1.4. Generátorok

Egy áramkörben generátorok (telepek) hatására jönnek létre áramok, feszültségek. Ezek időben állandóak, vagy változóak lehetnek. A konstans feszültséget létrehozó generátorok általában a telepek, vagy a tápegységek. Feladatuk az elektronikus áramkörök működéséhez

szem követni képes. Ezért az egyszer lejátszódó (egyszer végigfutó) jelek vizsgálatához ú.n. tárolószkóp szükséges.

A katódsugár oszcilloszkóp periodikus jelek vizsgálatára alkalmas, így ha sokszor egymásután ugyanazon a helyen fut végig az elektronsugár, álló képet kapunk. Ahhoz azonban, hogy a fűrészelés (a vízszintes eltérítés) a periodikus jelnek mindig ugyanazon a helyén induljon, szinkronizálni kell a fűrészelés generátort. Egy komparátor figyeli a mért jelet, hogy mindig ugyanakkor, a periódus azonos helyén indítsa a vízszintes eltérítő jelet, így kerül fedésbe az előzővel a képernyőn megjelenő újabb jelalak. A komparálási szintet a szinkron beállító potenciométerrel szabályozhatjuk.

Szükség van arra is, hogy a vízszintes eltérítés időtartama olyan hosszú legyen, hogy a vizsgált jeltől mindent lássunk, ami szükséges, de ne sok periódust rajzoljunk fel, mert ilyenkor a részletek elveszhetnek. Ezt az eltérítési időtartam megfelelő megválasztásával érhetjük el. A képernyő előtt egy négyzetrács beosztás van elhelyezve, amely 1 cm-es raster tartalmaz. Ezért az időtartamot a TIME kezelőgombbal időtartam [s]/cm (ill. osztás = div) -ban választhatjuk ki. Pl. a 0.5 ms/div-et választva a képernyőn vízszintesen végigfutó elektronsugár a teljes képernyő szélességet (a 10 cm-t) 5 ms alatt teszi meg. Ha egy 200 Hz frekvenciájú jelet vizsgálunk, akkor a képernyőn 1 teljes periódus jelenik meg. Lehetőség van az időtartam folyamatos változtatására is a két egymásutáni időtartam között (pl. 5 ms és 10 ms közt). de ilyenkor nem tudjuk pontosan meghatározni az időt, csak becsülni. Ezért, ha valami miatt nem szükséges, hagyjuk a folyamatos változtatást lehetővé tévő potenciométert a végállásában, az ú.n. kalibrált állásban (cal. jelzéshez tekerve), mert így igaz csak a beállított idő/cm skála.

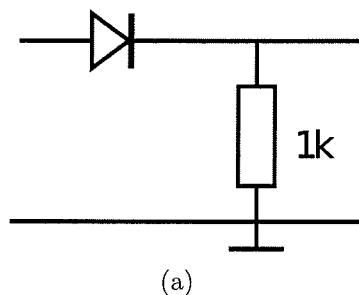
A vizsgált jelek nagysága (amplitúdója) is különböző lehet, ezt az amplitúdó erősítést beállító gombbal állíthatjuk megfelelő állásba, kiválasztva, hogy a rasternek megfelelően hány voltos feszültség feleljen meg 1 cm-nek. (Pl. 0,5 V/div-re állítva, a 2 V amplitúdójú jel csúcstól csúcsig 8 cm nagyságú lesz a képernyőn). Ha a jel csúcsa kilógna a képernyőről, lehetőség van az erősítést folyamatosan csökkenteni az előző állásnak megfelelő (pl. 1 V/cm) értékig. Ilyenkor természetesen csak becsülni lehet az amplitúdó értékét, ezért ha nem szükséges, ezt a potenciométert is hagyjuk a kalibrált állásban.

Két jelet vizsgálhatunk egyszerre a kétsugaras oszcilloszkópon, amelynek két bemenő csatornája van. Így lehetőség van pl. az áramkör bemenő és kimenő jelének együttes megjelenítésére azonos időtengelyen. A két csatorna erősítése egymástól függetlenül állítható.

Egy mérésnél úgy állítsuk be az idő és feszültség skálát, hogy a képernyőn legalább egy, de legfeljebb két periódus jelenjen meg, és az amplitúdó legalább a képernyő felét érje el de ne „lógjon” ki. Így tudjuk legpontosabban megmérni a vizsgált jel paramétereit (periódusidő, amplitúdó, ..)

A bemeneteken egy kapcsoló van három állással: DC, GND, AC. A DC állásban a bemenetre közvetlenül kerül a mérendő jel, a GND állásban a bemenetet a földre kapcsoljuk, így feszültség kerül rá, míg AC állásban egy kondenzátoron keresztül vezetjük a jelünket a bemenetre, így csak annak váltófeszültség része jelenik meg a képernyőn.

2. Állítson össze a Leybold panelon található ellenállás és kondenzátor segítségével egy aluláteresztő (kváziintegráló) RC kört! Számolja ki az R és C értékéből a kör időállandóját és a határfrekvenciát ( $\tau, f_0$ ).
3. Adjon az áramkör bemenetére a függvénygenerátorról  $10 V_{pp}$  amplitúdójú  $f_0$  frekvenciájú szinuszjelet. A frekvenciát a generátor frekvenciamérőjével állíthatja be pontos értékre, míg az amplitúdó értékét az oszcilloszkóppal mérheti meg.  
A kétsugaras oszcilloszkóp 1. csatornájára a bemeneti, a 2. csatornára a kimenő (a kondenzátoron lévő) feszültséget kapcsolja. Rajzolja le a jelalakokat az idő és feszültség skála feltüntetésével (t/div, V/div, nullpont)!
4. Mérje meg a kimenőjel amplitúdóját, és számolja ki az átvitel értékét ( $A = U_{ki}/U_{be}$ )! Mekkora ez dB-ben?
5. Állapítsa meg a két szinuszjel közötti fáziskülönbséget mind az eltolódás időkülönbségéből ( $\phi_1$ ), mind az XY állás esetén megjelenő ellipszis segítségével ( $\phi_2$ )!  
Mennyire egyezik a két érték?
6. Változtassa meg a jelalakot szinuszról négyszögjelre! A frekvencia továbbra is  $f_0$  és az amplitúdó  $10 V_{pp}$  maradjon. Rajzolja le a be és kimenőjelet az idő és feszültség skála feltüntetésével (t/div, V/div, nullpont).
7. Állítsa össze a 1.2 ábrán látható egyutas egyenirányítót, és adjon a bemenetére a generátorról 500 Hz-es szinuszos 1 V amplitúdójú jelet! Rajzolja le a be és kimenő jelalakot!  
Hasonlítsa össze a be és kimenőjel amplitúdóját! Mi az oka a kimenőjel kicsi amplitúdójának?



1.2. ábra. Egyszerű egyutas egyenirányító kapcsolási rajza.

A diódákról bővebben a XXX JEGYZET FÉLVEZETŐ DIÓDÁK ÉS A DIÓDÁK ALKALMAZÁSAI fejezetében található információk.

## 2. fejezet

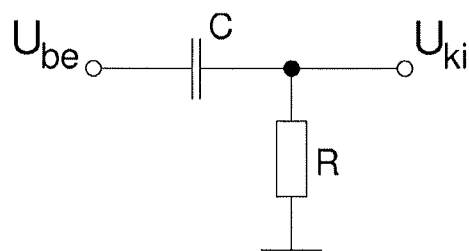
# Lineáris áramkörök, RC szűrők vizsgálata

A bevezető mérések során illetve az elektronika előadáson vizsgáltuk az egyszerű RC kapcsolások alaptulajdonságait. A két elem egyetlen időállandót határoz meg (ez dimenzióanalízisből is látható), melyet  $\tau$ -val szokás jelölni,  $\tau = RC$ . Ennek megfelelően az RC tag határfrekvenciája  $f_0 = 1/(2\pi RC)$ . A határfrekvencia két szempontból érdekes: kvalitatívan ez az a frekvencia, ami fölött (alatt) a kváziintegráló (kvázidifferenciáló) kapcsolat integrálni (differenciálni) kezd. Ezen a frekvencián ez utóbbi még nem pontosan igaz, jelentősen, tipikusan 5-10-es faktossal kell  $f_0$  fölé (alá) menni. Kvantitatívan az  $f_0$  frekvencián mindkét RC kör átvitele  $1/\sqrt{2} \approx 0.71 = -3$  dB lesz, ezen a frekvencián a fázistolás 45 fok. A fenti ok miatt  $f_0$ -t nevezik -3 dB-es pontnak is: általános értelemben, ahol egy frekvenciafüggő áramkör átvitele a konstansból csökkenőbe hajlik, és -3 decibelt csökken az átvitel a konstanshoz képest.

### 2.1. Az RC szűrők átviteli jelalakjai

Az alábbiakban négyszögjelet adunk az RC kör bemenetére, és vizsgáljuk a kimenetet. Ismert, hogy ilyenkor (konstans szakaszokból álló bemenőfeszültség esetén) a kimenet a konstans szakaszokban exponenciális,  $e^{-t/\tau}$ +konstans lefutású, a konstans értéke mindig az ellenállás egyik oldalán megjelenő konstans feszültség (kváziintegráló esetén a bemenőfeszültség, kvázidifferenciáló esetén zérus). Ezeket az exponenciális szakaszokat figyelhetjük meg az oszcilloszkópon.

Mindig érdekes bizonyos szélsőséges eseteket vizsgálni. Amennyiben a négyszögjel periódusideje jóval nagyobb, mint tau (azaz a frekvenciája jóval kisebb, mint  $f_0$ , az exponenciális lefutás / felfutás eléri aktuális határértékét. Emiatt azt látjuk, hogy kváziintegrálónál a kimenet is közel négyszögjel (lekerekített le/felfutással), kvázidifferenciálónál "tüskeszerű". Fordított esetben, ha a frekvencia jóval nagyobb  $f_0$ -nál, az exponenciális

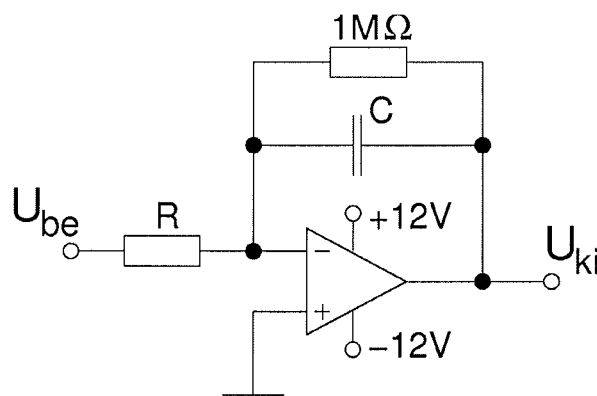


ábra kvázidifferenciál

2.2. ábra. Kvázidifferenciáló RC áramkör.

### 2.1.3. A műveleti erősítővel kiegészített integráló RC szűrő átviteli jelalakjai

Annak érdekében, hogy ne kelljen a fenti feltételeket betartani ( $f_0$ -nál sokkal nagyobb illetve sokkal kisebb frekvenciákat adva az RC szűrőkre) kiegészíthetjük az áramkört az előadásról ismert műveleti erősítővel. Ez utóbbiról részletes információ található a "Műveleti erősítők" c. mérés bevezetőjében. Ami adott esetben lényeges: a műveleti erősítő egy közel végtelen erősítésű differenciál-erősítő. Negatívan visszacsatolva ha az egyik bemenetet földpontra (0-ra) kötjük, akkor a kimenet úgy változik, hogy a másik bemenet is (közel) 0 feszültségen legyen - ezt használjuk ki a kapcsolásban.



ábra kvázidifferenciál

2.3. ábra. Integráló áramkör műveleti erősítővel.

A mérésben csak az integráló kapcsolást vizsgáljuk, a differenciáló kapcsolás a fent említett "Műveleti erősítők" mérés részét képezi. A jel a kváziintegráló kapcsoláshoz hasonlóan az R ellenálláson keresztül jut a műveleti erősítő invertáló bemenetére. A kimenetet a C kondenzátor köti vissza ugyanide. A C kondenzátort csak az R ellenállás árama tölti (a differenciálerősítő bemenetén ideális esetben nem folyik áram). A fenti érvek alapján az invertáló bemenet, azaz az R és C közös pontja, 0 potenciálon van.

## 2.3. Mérési feladatok

A mérés során olyan RC szűrőket vizsgálunk, ahol a C kondenzátor 10 nF kapacitású, az R ellenállás pedig 10 k $\Omega$  értékű (esetlegesen ettől el lehet térni fel vagy le valamennyire, pl. oktatói kérésre).

1. Számítsa ki a használt RC tag határfrekvenciáját és időállandóját! Adja meg ezek képletét is!
2. Az alábbiakban négyszögjelet adunk az RC kör bemenetére, és vizsgáljuk a kimenetet. A kapcsolások időbeli viselkedését az  $f_0$  (illetve  $\tau$ ) határozza meg, ezért minden frekvenciát ezekhez képest adunk meg.

Mérési feladatként vizsgálja meg, hogy a kváziintegráló RC kapcsolás átviteli jelalakja milyen (1V körüli) négyszögjelek esetén! Kétsugaras oszcilloszkóppal mérje a be- illetve kimenő feszültséget, és rajzolja le az alábbi ábrán az időfüggést! A négyszögjel frekvenciáját válassza  $f_0/10$ -nek,  $f_0$ -nak illetve  $10f_0$ -nak!

3. Vizsgálja meg a kvázidifferenciáló RC kapcsolás átviteli jelalakját négyszögjel esetén! Kétsugaras oszcilloszkóppal mérje a be- illetve kimenő feszültséget, és rajzolja le az időfüggést! A négyszögjel frekvenciáját válassza  $f_0/10$ -nek,  $f_0$ -nak illetve  $10f_0$ -nak!

Vizsgálja meg azt is, hogy mennyire “differenciál” az áramkör: adjon  $f_0/10$  frekvenciájú háromszögjelet az áramkörre, és rajzolja le a be- és kimeneti jelalakokat az ábrába! Milyen jelet vár kimeneti jelalaknak? Indokolja is a választ röviden!

4. Vizsgálja meg, hogy a “valódi” integráló, műveleti erősítővel kiegészített RC kapcsolás átviteli jelalakja milyen négyszögjelek esetén!

Figyeljen arra, hogy a kimeneti jel ne torzuljon: ha a bemenő feszültséget növeli, a kimenő jel csúcsa “levágódik”, azaz az áramkör már nem működik helyesen. Csökkentse annyira a bemeneti feszültséget, hogy a jelenség ne alakuljon ki.

Kétsugaras oszcilloszkóppal mérje a be- illetve kimenő feszültséget, rajzolja le az időfüggést! A négyszögjel frekvenciáját válassza  $f_0/10$ -nek,  $f_0$ -nak illetve  $10f_0$ -nak!

Milyen jelalakokat lát a fenti frekvenciákon? Indokolja röviden, hogy mit vár “elméletileg”.

5. Az alábbi mérésekben adjon szinuszos jelet az áramkörök bemenetére! Ilyenkor a kimenet is szinuszos jellegű, mint az ismert a lineáris áramkörök (Fourier-transzformáció) általános elméletéből. Az átvitel alatt ekkor mindig az  $U_{ki}/U_{be}$  arányt (amplitúdók számarányát) értjük, a fázistoláson pedig a ki- illetve bemenő, egymáshoz képest eltolt szinuszjel fokban mért fáziskülönbségét (ld. a bevezető mérések leírását).



## 3. fejezet

# Műveleti erősítők

### 3.1. A műveleti erősítők működése

Ebben a mérésben az univerzális analóg erősítőelem, az ún. műveleti erősítő működésének alapvető ismereteit sajátíthatjuk el: a nyílthurkú erősítővel (komparátor), a pozitív és negatív visszacsatolások hatásával, (a Schmitt triggerrel és az invertáló ill. nem invertáló erősítőkapcsolásokkal, összeadó áramkörrel) ismerkedünk meg.

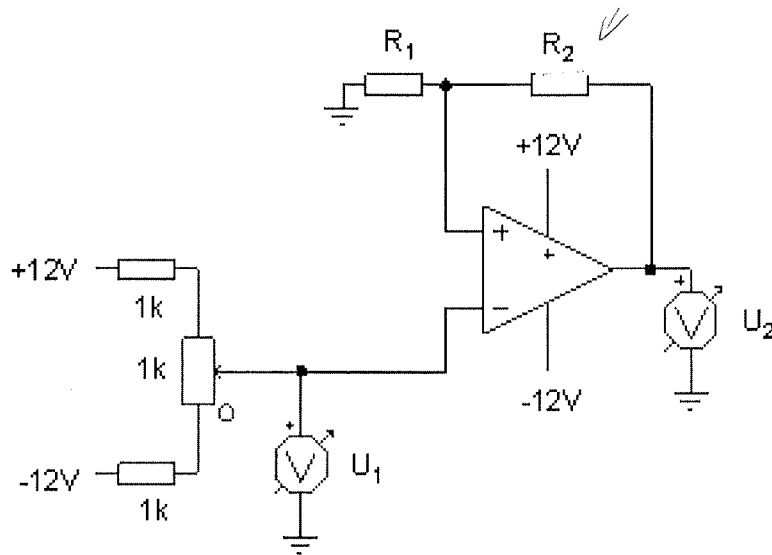
A műveleti erősítő egy nagy erősítésű differenciál-erősítő: ennek megfelelően két bemenete és egy kimenete van. A kimenet feszültsége ideális esetben csak a bemenetekre jutó feszültségek különbségétől függ, ez utóbbi különbséget egy nagyon nagy faktorial (5 $\cdot$ 10<sup>5</sup> körüli értékkel) erősíti, a bemenetek együttes, azonos értékkel való változásakor a kimenet nem változik.

A műveleti erősítő nagyon nagy erősítése miatt könnyen gerjedhet: a kimenet az alkatrészek hozzávezetéseinek szórt kapacitásai miatt mint egy rádióantenna visszacsatolhatja a jelet a bemenetre, ami nem kívánt oszcillációt okozhat. Ennek elkerülésére a differenciális erősítést nagy frekvencián egy belső áramkörü elemmel lerontják (valójában a fázistolást állítják). A levágás módja és értéke típusfüggő, a 741-es integrált változatnál egyetlen kondenzátorral oldják ezt meg.

A műveleti erősítőt a fentiek alapján a következő paraméterekkel jellemezzük:

- differenciális erősítés: értékét nyílthurkú erősítésnek nevezzük. Az elnevezés oka, hogy általában műveleti erősítőt valamilyen visszacsatolással használunk, a visszacsatolás nélküli – nyílthurkú – erősítés a gyakorlatban csak speciális esetekben jelenik meg.
- be- és kimeneti ellenállás: a valóságos differenciálerősítő bemeneti ellenállása véges, nagy érték, ellentétben az ideális végtelen nagy bemenő ellenállással. Hasonlóan a kimenő ellenállás is véges, kis érték az ideális zérus helyett.
- sáv szélesség: megadja, hogy a műveleti erősítő erősítése mekkora frekvencián csökken 1-re.

ábra kiegészítést a szövegben!



3.1. ábra. Schmitt-trigger kapcsolás a billenési szintek meghatározására.

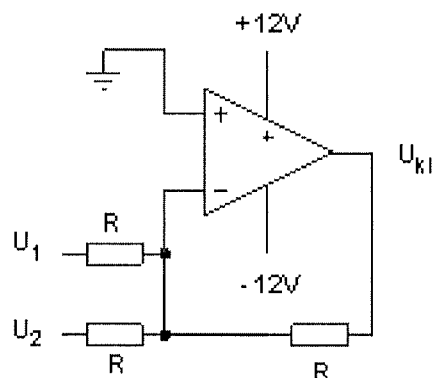
### 3.1.3. Nem invertáló erősítőkapcsolások

Nem invertáló erősítőkapcsolásokra az a jellemző, hogy a nem invertáló bemenetre adunk jelet, így azzal azonos fázisú lesz a kimenőjel. Az áramkör működése a korábbi szabályok alapján megérthető: a műveleti erősítő úgy „igyekszik” vezérelni a kimenetet, hogy a bemenetek egyforma feszültségűek legyenek. Az áramkör erősítését a feszültségosztás szabálya szerint határozhatjuk meg, hiszen a kimenőfeszültség az  $R_1$  és  $R_2$  ellenállásokon keresztül jut az invertáló bemenetre.

### 3.1.4. Műveleti erősítők alkalmazásokban

A fentiekben megismerkedtünk a műveleti erősítők működésének alapjaival. Ezek mind olyan kapcsolások voltak, melyek a jelek időbeli lefutását nem változtatták meg (vagy ami ezzel ekvivalens, átvitelük illetve erősítésük frekvenciafüggetlen). Az elektromos jelekkel kapcsolatos műveletek során ennél bonyolultabb műveleteket is meg szeretnénk valósítani: ezek tipikus esete egy jel időbeli differenciáljának vagy integráljának meghatározása, azaz egy olyan elem, aminek bemenetére adva egy tetszőleges feszültséget, a kimeneten a jel nagy pontosságú differenciálja / integrálja jelenik meg.

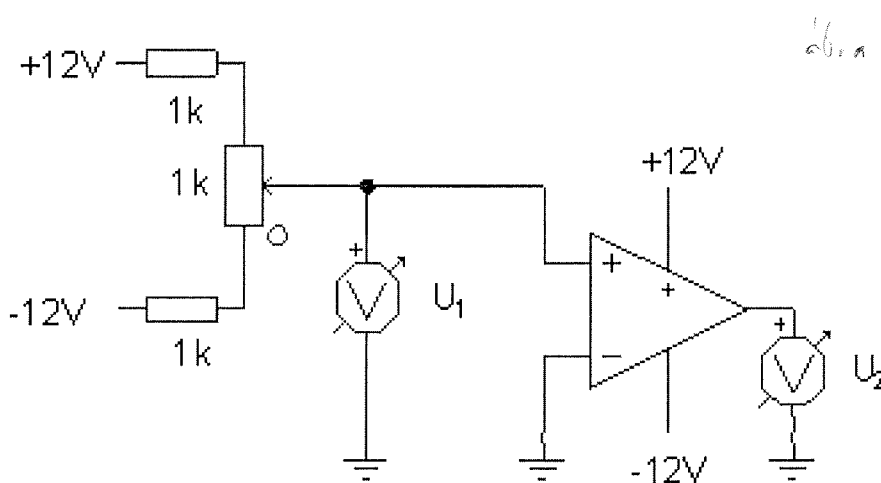
Az alábbi mérésben a differenciáló esetét vizsgáljuk. Az áramköri összeállítás (itt nem vázolt) egyszerű átalakításával, exponenciális karakterisztikájú alkatrész (tranzisztor) beiktatásával exponenciális / logaritmikus karakterisztikájú erősítő is előállítható. Ha egy bemeneti feszültség differenciáljaiból, exponenciális / logaritmikus függvényéből, ill. ezek lineárokombinációiból előállítunk egy kimeneti feszültséget, és ezt a bemenetre



*ábra hivatkozás.*

3.2. ábra. Két feszültséget összeadó áramkör kapcsolása.

V és a -12 V-os tápfeszültségre. Így a potenciométerrel egy +/- néhány voltos feszültségtartományban szabályozhatja a nem invertáló bemenet feszültségét.

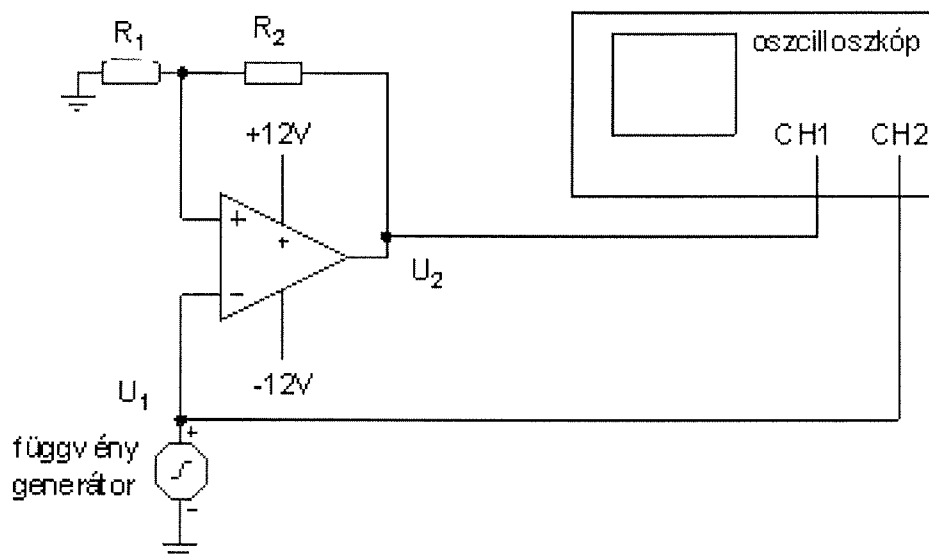


*ábra hivatkozás*

3.3. ábra. Komparátor kapcsolása.

Mérje az erősítő be és kimenőfeszültségét digitális voltmérővel. A különböző bemenőfeszültségek mekkora kimenőfeszültség tartozik? A mérést végezze először a teljes elérhető tartományon, majd finomabb lépésekben, a komparációs szint 1V-os környezetén belül!

Milyen bemenőfeszültségnél "komparál" a műveleti erősítő?

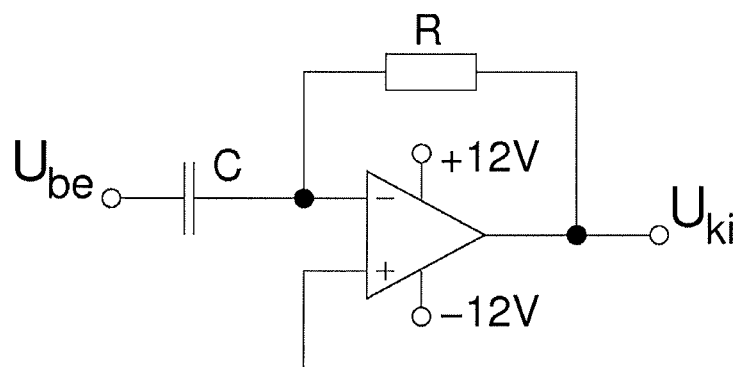


3.5. ábra. Schmitt-trigger billenési szintek meghatározására oszcilloszkóppal.

Hasonlítsa össze a be és a kimenőjelet kétsugaras oszcilloszkóp segítségével! Rajzolja le a jeleket! Ábrázolja le a jelek időbeli lefutását! Jelölje be az alsó és felső billenési szintnek megfelelő feszültséget!

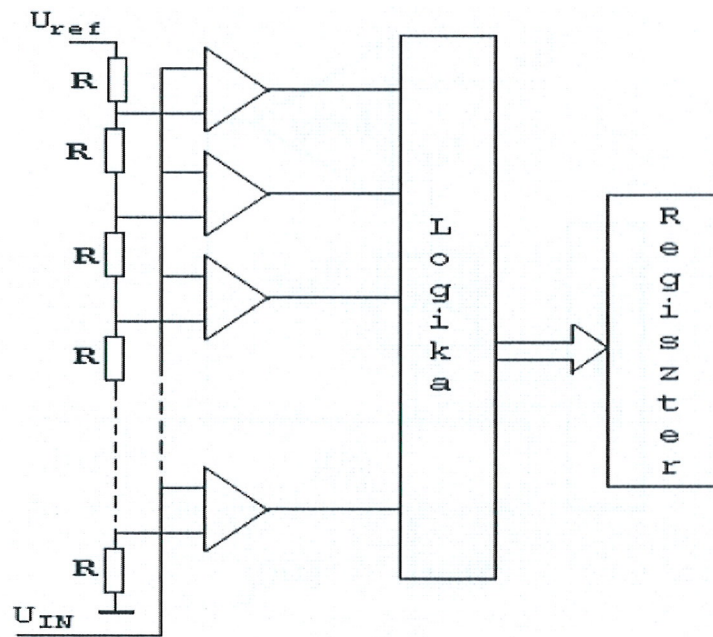
Hol billen át a Schmitt trigger? Vesse össze az előző egyenfeszültségű karakterisztika billenési szintjeivel! Vizsgálja a jeleket az oszcilloszkóp XY módjában is (X a bemenő, Y a kimenő feszültség)!

5. Nem invertáló erősítő: vezesse vissza a teljes kimenőjelet ellenkező fázisban a bemenetre (azaz az invertáló bemenetre)! Kösse össze az erősítő kimenetét az invertáló bemenettel és adjon a nem invertáló bemenetre függvénygenerátorról néhány voltos 1kHz-es szinuszos feszültséget! Oszcilloszkóppal mérje a be és kimenőfeszültséget! Határozza meg a feszültségerősítés értékét!
6. Készítsen a gyakorlatvezető által megadott erősítésű áramkört, (pl. 8-szorost)! A bemenőfeszültséget úgy válassza meg, hogy az erősítő ne vezérlődjön túl! (Ez onnan látszik, hogy a kimenet ugyanúgy szinuszos, mint a bemenőjele, azaz nem látszik a szinuszjel csúcsának levágása) Mérje meg az előzőekhez hasonló módon az erősítést!
7. Differenciáló áramkör: az áramkör bemenetére először adjunk 1V körüli, közel 1kHz frekvenciájú szinuszos jelet, ellenőrizzük hogy valóban közel szinuszos a kimenőjele! A frekvenciát változtatva látható, hogy míg a bemenőfeszültség amplitúdója változatlan



3.8. ábra. Differenciáló áramkör műveleti erősítővel.

8. Mekkora a fent mért erősítési görbe alapján az  $f_0$  értéke (azaz hol egységnyi az erősítés)? Hasonlítsa ezt össze  $f_0$ -nak az  $R$  és  $C$  értékéből számolt értékével! Mérje meg  $f_0$ -on, hogy mekkora a fáziseltérés (fokban mérve) a be- és kimenőjel között. Miért ekkora? Határozza meg a fázistolást  $10 f_0$ -on és  $f_0/10$ -en is!
9. Összeadó áramkör vizsgálata: készítsen azonos súlyozású összeadó áramkört, a visszacsatoló ellenállást is válassza  $R$  értékűre! A komparátornál használt potenciométeres feszültségosztóval kiegészítve az áramkört, adjon a két bemenetre különböző értékű (pozitív és negatív előjelű) legfeljebb néhány voltos feszültséget (kéziműszerrel mérje) és mérje meg a kimenőfeszültség értékét!
10. Keresse meg, hogy a két bemenőfeszültségnek konkrétan milyen függvénye adja a kimenet értékét! „Összead”-e az áramkör?



(a)

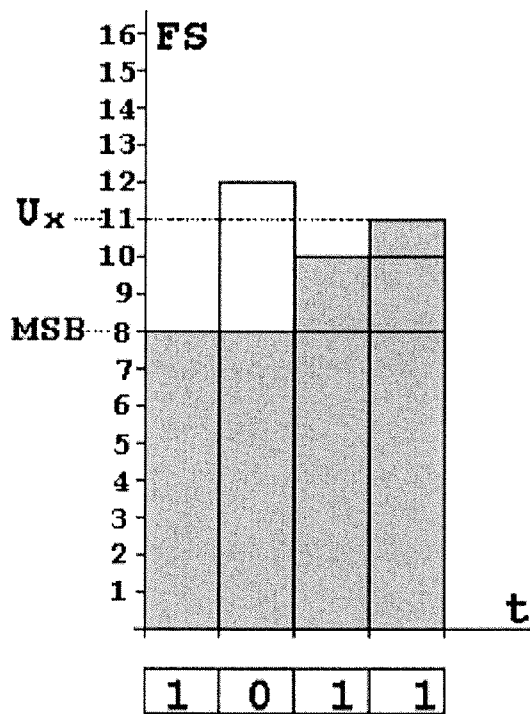
4.1. ábra. Párhuzamos (flash) átalakító működése

#### 4.1.2. Kétoldali közelítéses (Successive Approximation) átalakító

Az egyik legelterjedtebb átalakító a számítógépes mérésadatgyűjtő berendezésekben. Az átalakító egy nagy pontosságú  $U_{ref}$  feszültségforrásból etalon analóg feszültségmintákat állít elő egy DAC áramkörrel. Ezeket a mintákat sorra összehasonlítja az ismeretlen  $U_x$  ismeretlen analóg jellel egy komparátor áramkör segítségével. Az első minta az MSB (legnagyobb helyiértékű) digitális értéknek felel meg. Ezzel mindjárt eldől, hogy az analóg jel a tartománya alsó vagy felső felébe esik. Amennyiben a minta nagyobb, mint az analóg jel, a vezérlést végző Successive Approximation Register a mintát visszaveszi. Ha a minta kisebb az analóg jelnél, akkor a minta bekapcsolva marad. A továbbiak során a SAR a bináris számrendszer egyes helyiértékeinek megfelelő arányú mintákat kapcsol be. A kiértékelés a fentieknek megfelelő. A próbák száma megegyezik a kód szóhosszúságával (tehát 10 bit esetén 10 órajel).

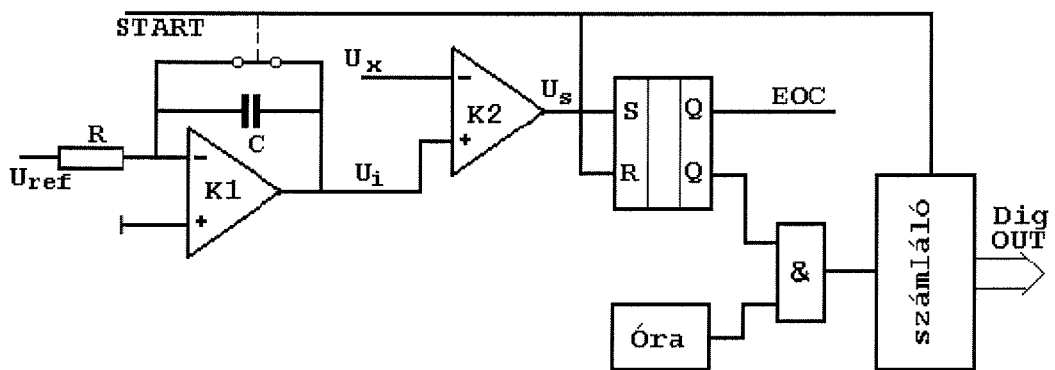
A végeredmény, az analóg jelnek megfelelő digitális kód a DAC kapcsolóinak állását tükrözi. A bekapcsolva maradt kapcsolók logikai 1-et, a kikapcsolt kapcsolók logikai 0-t jelentenek a kódban. Az átalakítást a számítógép kezdeményezheti egy START jellel. Az átalakítás befejeződését az átalakító End of Conversion (EOC) jellel jelzi a számítógép felé.

akkor hon, kdcn előbb DAC-t fargyalni?



(a)

4.3. ábra. Kétoldali közelítéses (Successive Approximation) ADC időbeli működése.

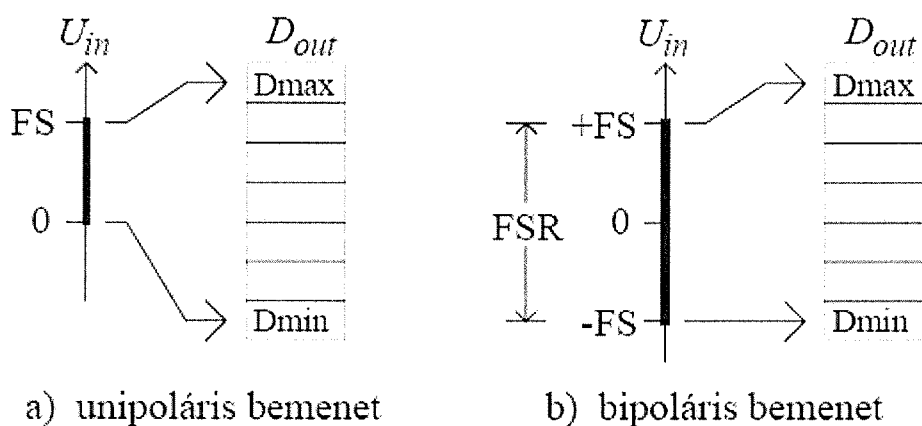


(a)

4.4. ábra. Egyszeresen integráló átalakító ADC blokkvázlata.

kvantumnagyság helyett a felbontóképesség fogalmat használják.

Az A/D átalakító csak az analóg jeltartományba eső amplitúdó-értékeket alakítja át helyesen digitális értékek sorozatává. Az analóg jeltartomány lehet unipoláris vagy bipoláris. Az unipoláris jeltartományú átalakító vagy csak pozitív, vagy csak negatív – az általunk vizsgált kapcsolás is ilyen - bemenő jelet tud konvertálni. Az unipoláris jeltartomány egyik szélé általában a nulla, a másik szélét végértéknek, méréshatárnak nevezik, és FS-sel (FS = Full Scale) jelölik.



(a)

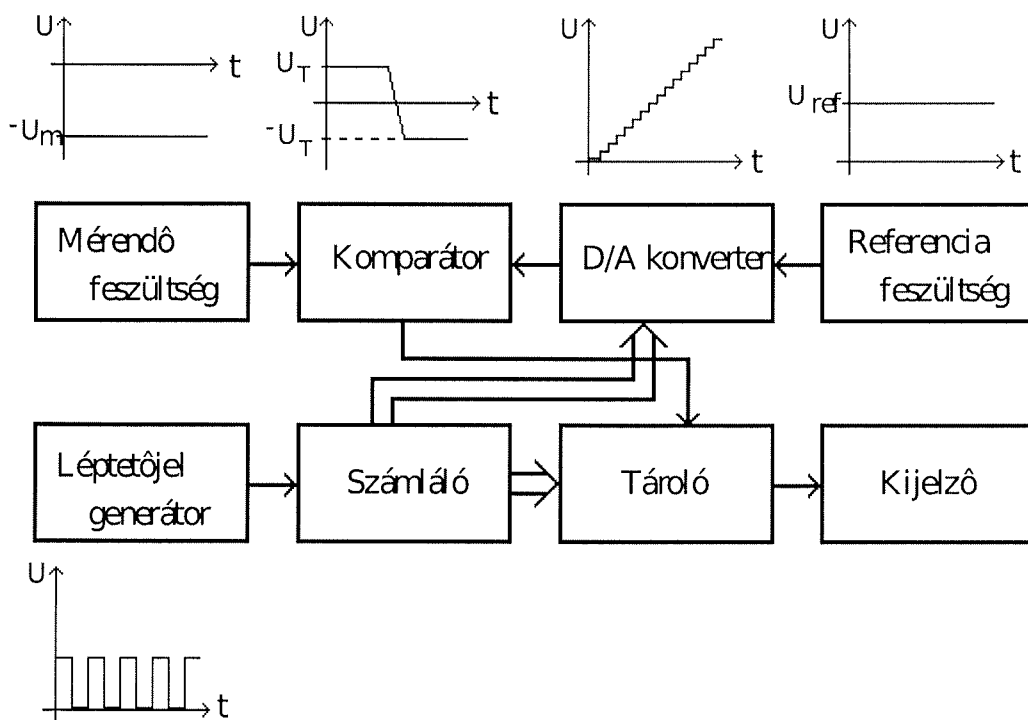
4.7. ábra. Az A/D átalakító méréshatárának értelmezése.

A bipolárisnak nevezett jeltartomány közrefogja a nulla értéket, és általában nullára szimmetrikus: egyik határa a  $-FS$  a másik a  $+FS$ . A jeltartomány nagyságát általában FSR-rel (FSR = Full Scale Range) jelölik. A zérus kezdőpontú unipolárisjeltartománynál  $FSR = FS$ . Az A/D átalakító (kvantáló) egység átalakítási tartományának végértéke (FS) általában az alkalmazott referencia-feszültség értékével egyezik meg. Ha a referencia-feszültség kívülről adható rá az átalakító modulra (external reference), akkor annak változtatásával az FS érték is változtatható.

Az A/D átalakító áramkörök általában ún. nagyszintű analóg jelek átalakítására vannak kialakítva, mert az A/D átalakító elektronika relatív hibája nagyobb jelszinteknél kisebb. A szokásos jeltartományok, pl.:  $-10V \dots +10V$ ,  $0 \dots +10V$ ,  $-5V \dots +5V$ ,  $0 \dots +5V$ ,  $-1V \dots +1V$ .

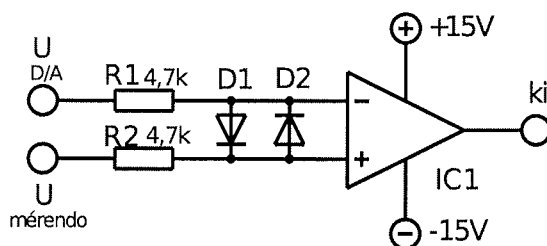
Az A/D átalakító többsége alapvetően unipoláris átalakításra képes. Egyszerű kiegészítésekkel azonban bipoláris jelek fogadására is alkalmassá tehetők. Az egyik megoldásnál a bemenő jel pillanatnyi polaritásának megfelelően változtatják az átalakító referencia-feszültségének polaritását. Ez esetben a kimenő digitális jel külön hordozza a polaritásra és az abszolút értékre vonatkozó információt, ami előjel+abszolút érték kódolást jelent. A referencia





(a)

4.8. ábra. Digitális voltmérő blokkvázlata.



(a)

4.9. ábra. A komparátor áramkör.

megegyezik. E jelzés hatására a tároló mintavételezi a számláló aktuális értékét, ez az érték fog megjelenni a hexadecimális kijelzőn.

Az általunk összeállított áramkör elviekben az előbb leírtaknak megfelelően működik. A mérőáramkörben használt komparátor áramkör a ábrán látható. A műveleti erősítő két bemenetére kapcsolt diódák a bemenetek túlfeszültség elleni védelmét szolgálják.

A konverzió kezdetén  $U_{D/A} = 0$ , azaz  $U_{D/A}$  kisebb mint  $U_{m\acute{e}rend\acute{o}}$  ezért a komparátor

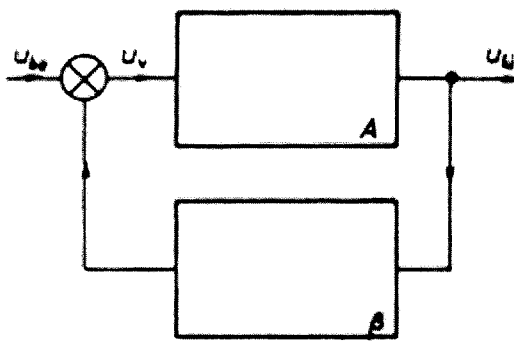
a műszer méréstartományát különböző ( 256Hz, 2046Hz és 32768 Hz ) stabil frekvenciáknál. Oszilloszkóppal mérje is meg a kvantumnak megfelelő feszültségeket és hasonlítsa össze a számított értékkel.

3. Mi a komparátor kimenetén található 3.3 k $\Omega$ -os ellenállás és a két szembekapcsolt dióda szerepe?
4. Vegye fel és ábrázolja a digitális voltmérő feszültség-kijelzett szám karakterisztikáját, és ábrázolja!
5. Hogyan lehetne  $+U_{be}$  és váltakozó feszültséget mérni a DVM-mel ?

$\beta$  előjelének megfelelően különböztessük meg a pozitív és negatív visszacsatolásra vonatkozó összefüggéseket.

A pozitív visszacsatolásra vonatkozó képlet "veszélyes" - a nevező lehet zérus, és eredményül végtelen nagy erősítést kaphatunk (közel 0 jelet erősítünk fel mérhető értékre!).

Végezzünk egy gondolat kísérletet: adjunk a visszacsatolás nélküli erősítő bemenetére akkora (pl. szinuszos) jelet, hogy a lehető legnagyobb kimenőjelet kapjuk meg. A kimenőjel amplitúdója nyilván korlátos, ha más nem is, de a tápfeszültség bízvást behatárolja. Kezdjük nagyon óvatosan, kicsiny lépésekben haladva pozitív visszacsatolást alkalmazni. Nyilván az erősítés növekszik, azonos nagyságú kimenőjelhez egyre kisebb bemenőjel szükséges. Egy kis gondolati szaltó: ha az  $A\beta=1$ -et elérjük, kimenőjelet zérus bemenőjel mellett is kapunk: vagyis a rendszer oszcillátorrá vált.



$$u_{ki} = Au_v$$

$$u_v = u_{be} + \beta u_{ki}$$

$$A' = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{A}{1 - \beta A}$$

*ez ismétlődik*

5.2. ábra. Oszcillátorrá vált erősítő.

Rezgés akkor jön létre, ha az  $A\beta$  hurokerősítés abszolút értéke eléri az egységnyi értéket, az  $A\beta$  hoz tartozó fázisszög pedig  $2\pi$  egészszámú többszöröse. Regzés azon a frekvencián jön létre, ahol ezek a feltételek teljesülnek. Az oszcillátorok tehát erősítőből, valamint visszacsatoló hálózatból állnak.

Az esetek többségében a visszacsatoló hálózatba kerülnek azok az elemek, amelyek a rezgésfrekvenciát megszabják. Az oszcillátorok kimenőjel-amplitúdója azonban mindig korlátos, így az oszcillátorok általános sémájához elengedhetetlenül hozzátartozik egy amplitúdó limitáló fokozat is - ez rendszerint az erősítő végfokozata. Az oszcilláció feltételi egyenleteiből nem lehet a rezgés amplitúdójáról információt kapni, erre csak eléggé nehézkes módszerek állnak rendelkezésre. További fontos gyakorlati tény, hogy a keletkező jel annál szinuszosabb, minél jobban megközelíti  $A\beta$  értéke az egységet, persze felülről.

Szintén fontos megjegyezni, hogy a frekvencia elméletben NEM függ a tápfeszültségtől (természetesen csak ha a működőképes a műveleti erősítő).

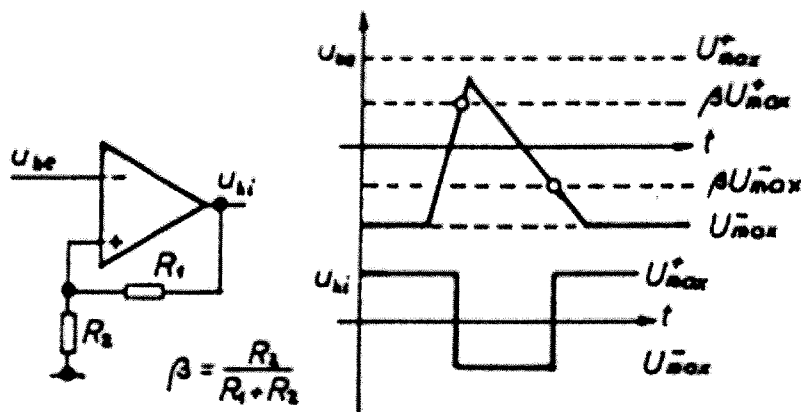
Az oszcilláció elindulásakor az egyes periódusokban az amplitúdó folyamatosan nő, mígnem eléri a stabilizált értéket. Ezt a folyamatot bekapcsolási jelenségnek nevezzük, és ennek ideje szoros kapcsolatban áll az  $A\beta$  hurokerősítéssel: minél jobban megközelíti  $A\beta$  az 1-et, annál hosszabb ideig tart a jel felfutása.  $N$  periódus múlva az eredeti amplitúdó exponenciálisan,  $(A\beta)^N$ -szeresére változik.

Folyamatos oszcilláló rendszereknél a visszacsatolás (vagy erősítés) változásának hatása változhat a jel periódusa vagy alakja, de a bekapcsolási jelenséghez hasonlóan itt is késleltetés van a paraméterek változtatása és a jel megváltozása között. Ezért is nehéz pl. a klímaváltozás mértékét pontosan megjósolni: a bonyolult visszacsatolások és a mérési zaj miatt bizonytalanok a pontos számértékek, csak a trend világos. *ez a végtelen körhöz hasonló.*

## 5.2. Schmitt-triggeres oszcillátor

A relaxációs oszcillátorok négyszög alakú jelet adnak ki. A rezgés feltétele a pozitív visszacsatolás és az egységnyi értékű hurokerősítés. Limitálásra általában nincs szükség, a tápfeszültség egyben meghatározza a maximális értékeket.

A 5.4 ábrán egy Schmitt-kör látható: az áramkörben pozitív visszacsatolás érvényesül, tehát a kimenet kizárólag a maximális, illetve minimális kimeneti feszültséget veszi csak fel (ezek megközelítőleg a pozitív és negatív tápfeszültség értékei.)



5.4. ábra. Egy Schmitt-kör viselkedése a bemenet változására

A Schmitt-kör visszacsatolásával relaxációs oszcillátort hozhatunk létre.

Az áramkör működése az előzőek alapján könnyen követhető: a műveleti erősítő pozitív és negatív maximális kimenőfeszültségeinek arányos részei visszajutnak a bemenetre,

A generátorral való ismerkedéshez csatlakoztassa a generátor kimenetére a hangszórót és a LED-et!

Állítson be szinuszos jelalakot, 1 kHz frekvenciát, és maximálisához közeli akkora amplitúdót, hogy jól hallja a jelet! Lassan emelje a frekvenciát, egészen addig, amíg már éppen nem hallja.

Mekkora a kimenő amplitúdó?

Mekkora ez a frekvencia a digitális skálán, és mekkora a periódusidő az oszcilloszkópon megmérve?

Mennyire egyezik meg a két érték?

2. Állítson be négyszög jelalakot 50%-os kitöltési tényezővel, 10 Hz frekvenciát, és maximálisához közeli akkora amplitúdót, hogy jól lássa a LED villogását (ehhez esetleg kissé el kell takarnia a kezével a külső fényt)! Lassan emelje a frekvenciát, egészen addig, amíg már éppen nem látja a villogást.

Figyelem: az itt megmért értékek teljesen szubjektív, nem hitelesített értékek, és nem alkalmasak semmiféle, a kísérletben résztvevő mentális és egészségi állapotára vonatkozó következtetés levonására!

3. Az oszcilloszkópon próbálja ki a tároló üzemmódot: a Real/Store gombbal kapcsolhat át tároló üzembe, és a Pause gombbal állíthatja meg a képet. A két kurzor a fehér nyilacskákkal és a Select gombbal állítható.

Mekkora a kimenő amplitúdó?

Mekkora ez a frekvencia a digitális skálán, és mekkora a periódusidő az oszcilloszkópon megmérve?

Mennyire egyezik meg a két érték?

4. Számolja ki, hogy mekkora lesz a Wien-áramkörrel felépített oszcillátor frekvenciája és periódusideje elméletileg, ha  $C=47 \text{ nF}$  és  $R=15 \text{ kohm}$ ?

5. Állítsa össze a 5.6 ábrán látható kapcsolást, ügyeljen a műveleti erősítő tápfeszültségeire és az invertáló-nem invertáló bemenetek helyére! (A fejezet végén egy lehetséges összeállítás képét láthatja, ha úgy érzi, szüksége van rá).

*A műveleti erősítő tápfeszültségeit állítsa be +15V és -15V-ra. A műveleti erősítő SOHASEM kaphat ennél nagyobb tápfeszültséget!*

*A tápfeszültség beállítása során MINDIG KÖTELEZŐ a következőképpen eljárni:*

- (a) *Húzza ki a műveleti erősítő tápfeszültség csatlakozásait!*
- (b) *Állítsa be a kívánt tápfeszültséget a tápegységen!*

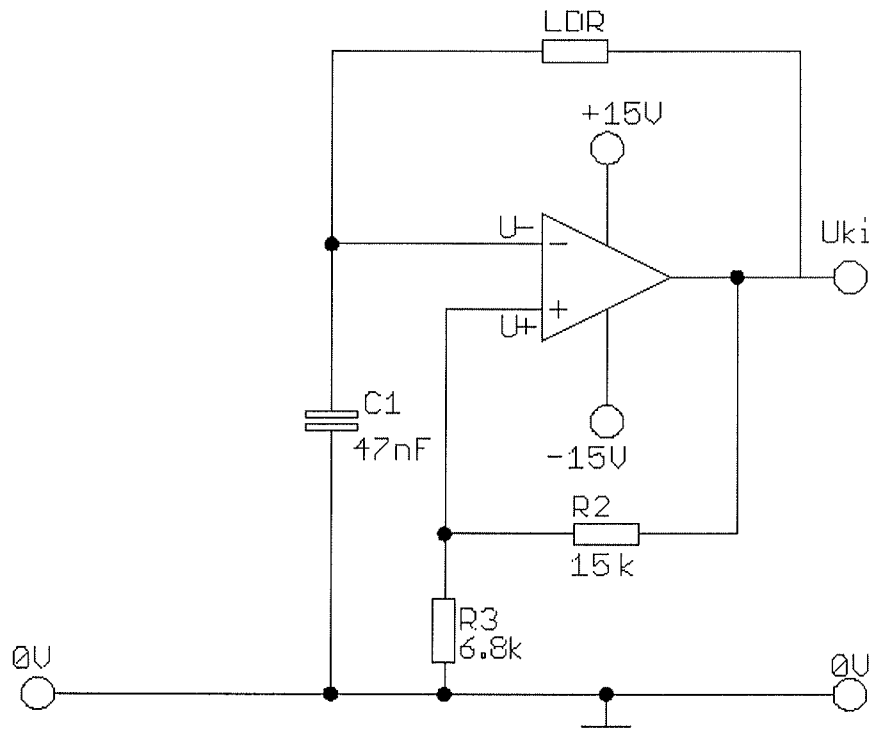
8. Kapcsolja át az oszcilloszkópot tároló (Store) üzemmódra, az időbázist pedig állítsa 0.5 s-ra. Ezután nyissa a K1 kapcsolót, és az oszcilloszkóp Pause gombjával állítsa meg a jelet, akkor, amikor az induló rezgés kb. a kép közepén van. A Position gomb kihúzásával kinagyíthatja a képet. Ügyeljen arra, hogy a P1-P2 eléggé finoman legyen beállítva ahhoz, hogy több (akar 20-30) periódus is megjelenjen a bekapcsolási jelenségnél!

Milyen képet lát?

Hogyan változik az amplitúdó periódusról periódusra?

Milyen alakú a burkológörbe?

9. Próbálja meg a bekapcsolástól a stabilizált állapotig kb. 8-10 pontban megmérni az amplitúdót. Ennek egy módja pl. minden n.-edik szinusz hullám amplitúdójának megmérése (a periódusidőt változatlanul vehetjük első közelítésben), így készíthet egy idő (azaz hányadik hullámot nézi a bekapcsolás óta) - amplitúdó táblázatot. Ábrázolja ezeket az időamplitúdó adatokat gnuplot-ban, lineáris-logaritmikus skálán (l. *set log y* parancs)! Milyen alakú lesz a görbe, mennyire hasonlít ahhoz, amit vár? Ha tud, illesszen rá függvényt (pl.  $f(x) = a \exp(-(x - x_0)/\tau) + b$ )! Az adatokat és a görbét nyomtassa ki és csatolja a jegyzőkönyvhöz!
10. Állítsa össze a 5.7 ábrán látható kapcsolást, ügyeljen a műveleti erősítő tápfeszültségeire és az invertáló-nem invertáló bemenetek helyére! (A fejezet végén egy lehetséges összeállítás képét láthatja, ha úgy érzi, szüksége van rá).
- A műveleti erősítő tápfeszültségeit állítsa be +15V és -15V-ra. A műveleti erősítő SOHASEM kaphat ennél nagyobb tápfeszültséget!*
- A tápfeszültség beállítása során MINDIG KÖTELEZŐ a következőképpen eljárni:*
- (a) *Húzza ki a műveleti erősítő tápfeszültség csatlakozásait!*
  - (b) *Állítsa be a kívánt tápfeszültséget a tápegységen!*
  - (c) *Csatlakoztassa a műveleti erősítő tápfeszültségeit!*
- Ha nem tartják be a fenti lépéseket, akkor a műveleti erősítő tönkremehet, a tápegység max. +/-36V feszültsége tönkreteszi az áramkört!
11. Kösse az oszcilloszkópot az Uki kimenetre, majd lassan változtassa a P1 potenciométert, és figyelje meg a kijövő rezgés frekvenciáját! Figyelje meg a kimeneten a jelalakot: magas frekvenciánál már lecsökken a műveleti erősítő erősítése, ezért megváltozik a jelalak. Mit tapasztal, hol következik ilyen be, és milyen lesz a jelalak?
12. Állítsa be a P1 potenciométer körülbelül középállásban egy értékre, ezután már NE állítsa el a frekvenciát. Mekkora a kimenő amplitúdó?

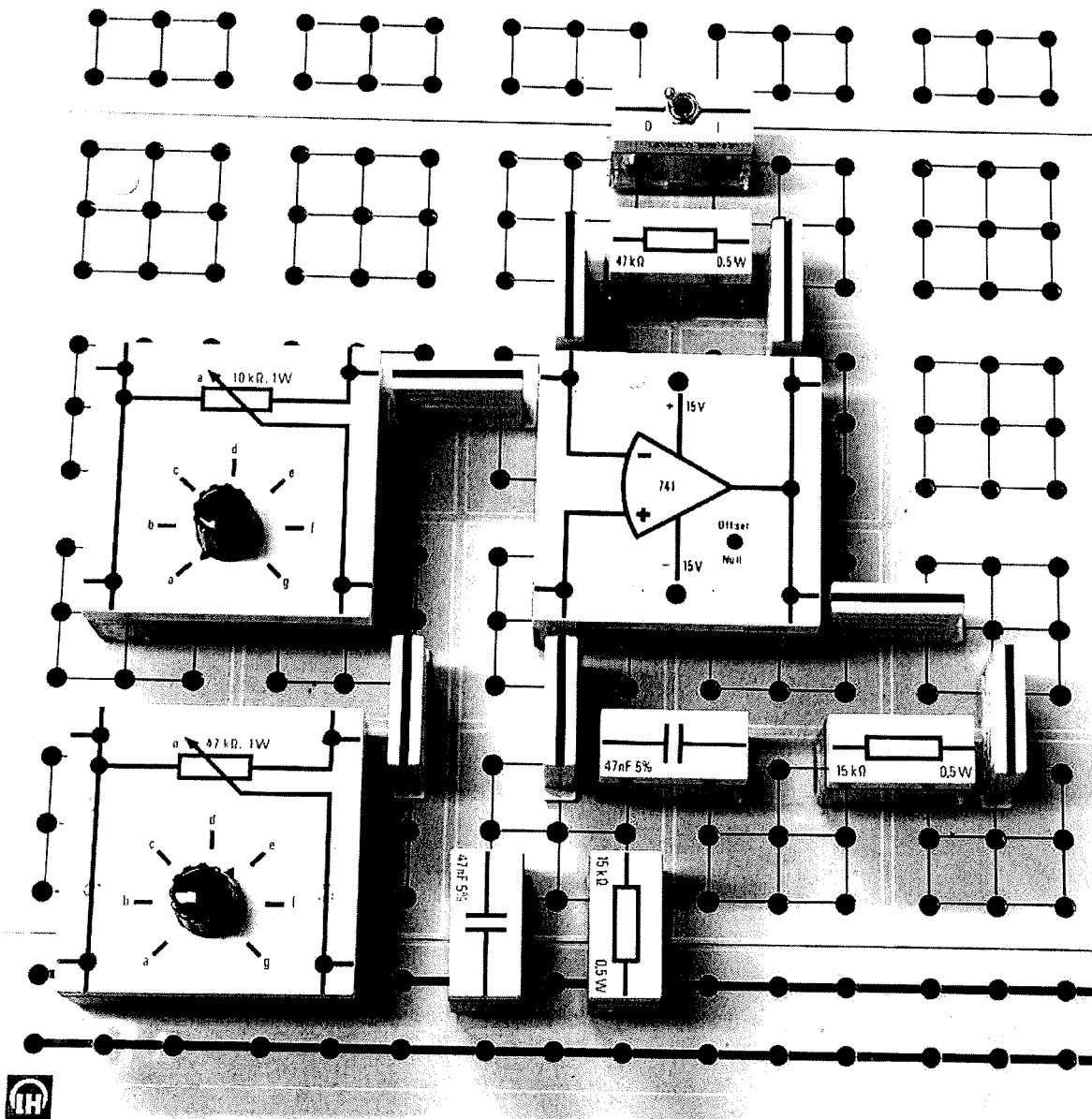


5.8. ábra. Schmitt-triggeres oszcillátor fényérzékeny ellenállással.

Állítson be 5 kHz-es jelet, és ezt mutassa be az oktatóknak!

16. A VCO összeállításához az egyszerűség kedvéért csak az  $U_-$  maximális értékét változtatjuk meg a külső feszültséggel. Módosítsa a kapcsolást a 5.9 ábrán láthatóra, ügyeljen a műveleti erősítő tápfeszültségeire és az invertáló-nem invertáló bemenetek helyére! Ellenőrizze a műveleti erősítő tápfeszültségét, aminek +15V és -15V-nak kell lennie.
17. Változtassa az  $U_{be}$  pont feszültségét +15V és -15V között, miközben az  $U_{ki}$  pontban oszcilloszkóppal nézi a jelalakot. Mekkora feszültségnél és hogyan kezd változni a jel periódusideje az  $U_{be}$  feszültséggel?
18. Válasszon 1-1 végpontot, valamint 4-6 „érdekes” pontot abban a tartományban, ahol a  $U_{be}$  feszültség változtatása láthatóan változtatja a periódusidőt. Készítsen erről  $U_{be}$ -frekvencia táblázatot, és ábrázolja gnuplot-ban!

## 5.4. Lehetséges áramköri összeállítások



5.10. ábra. Wien-hidas oszcillátor.



## 6. fejezet

# Egyenfeszültségű tápegységek

Az elektronikus (elektroncsöves, tranzisztoros, integrált áramkörös stb.) berendezések áramkörei egyenfeszültségű tápellátást igényelnek. A tápellátást biztosító ún. tápegységek lehetnek stabilizálás nélküliek, vagy egyszerűen (pl. Zener diódával) stabilizáltak, illetve visszacsatolással stabilizáltak. Ebben a mérésben mi az ún. analóg tápegységekkel foglalkozunk és csak később a haladó laboratóriumban ismerkedünk meg a bonyolultabb működésű, kapcsoló üzemű tápegységekkel.

Jelen mérés feladata, hogy a gyakorlatban is megismertesse az egyenfeszültségű tápegységekkel kapcsolatos fogalmakat: pl. effektív feszültség, hullámosság (brumm), egyenirányítás. A legfontosabb tulajdonságokat kiemelve, az általános követelmények egy jó tápegységgel szemben, hogy

1. minél kisebb legyen a belső ellenállása (ideális esetben zérusértékű lenne!), hiszen így nem függ a kimenő feszültség a terhelésen folyó áramtól
2. minél kisebb legyen az egyenfeszültségen a zavar szint (zaj, hullámosság, brumm stb.)
3. a kimenő feszültség lehetőleg ne függjön a bemenő feszültség ingadozásaitól sem, azaz stabilizált legyen a kimeneten mérhető feszültség
4. a tápegység védve legyen egy kimeneti oldalon bekövetkező túl nagy áramoktól ill. rövidre zárástól (ld. áramkorlátozásos tápegység). A fenti pontok alapján vizsgáljuk néhány egyszerű tápegység-kapcsolás jellemzőit.

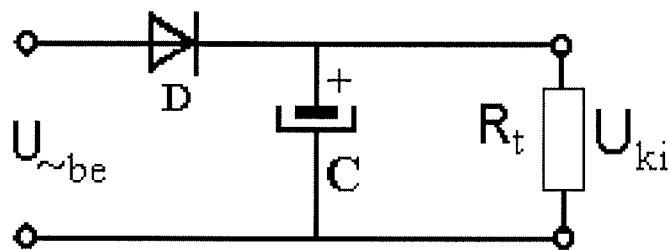
### 6.1. A hálózati transzformátor

A hálózati feszültség Európában 230 V-os, szinuszos váltakozó, 50 Hz-es frekvenciájú. Ezt először használható alacsony feszültségre kell transzformálni (a tápegység által célzott

és kimenőfeszültség különbsége (a pozitív félhullámban) épp a dióda nyitófeszültségének felel meg.

### 6.2.2. Egyutas egyenirányító szűrőkondenzátorral és változó terheléssel

Az egyutas egyenirányító kimenetén szinuszfélhullámok jelentek meg, ami nem is lehetne messzebb a kívánt egyenáramtól. Annak érdekében, hogy a kapcsolás a 0 bemeneti feszültségű időszakokban is adjon ki valamit, egy egyszerű szűrőkondenzátort alkalmazhatunk. Ez a kondenzátor fel lesz kicsit töltve akkor is, ha nincs a bemeneten feszültség.



6.3. ábra. Egyutas egyenirányítás Si diódával és szűrőkondenzátorral.

Nyilván minél nagyobb a terhelés (minél kisebb a terhelő ellenállás), annál gyorsabban sül ki a kondenzátor, azaz annál nagyobb lesz a kimenet hullámossága. Az is várható, hogy ha a kondenzátor kapacitása kisebb, ismét csak gyorsul a kisülés, egyre nagyobb hullámzás jelenik meg a kimeneten. Terhelésként egy 100 és 1100 ohm között folyamatosan változtatható ellenállás használható.

A hullámosság vagy brumm az a váltókomponens, ami az egyenfeszültségre van szuperponálva. Nagyságát az oszcilloszkópon mérhetjük meg. A relatív nagyságot százalékban megkapuk, ha elosztjuk a brummfeszültség csúcsértékét az átlag egyenfeszültséggel (ezt méri az egyenfeszültségű voltmérő), és megszorozzuk 100-al.

*Fontos megjegyzés: a kapcsolásban elektrolit kondenzátorokat használunk, melyek csak egy adott polaritás irányában használhatóak, a másik irányban gyorsan (és látványos robbanás kíséretében) tönkremennek! Figyelni kell a helyes polarításra, melyet egy kis + jel jelöl a kapcsolási rajzokon.*

### 6.2.3. Egyutas egyenirányító, C-R-C vagy C-L-C szűréssel

A hullámosságot csökkenthetjük, ha további szűrést építünk az áramkörbe.

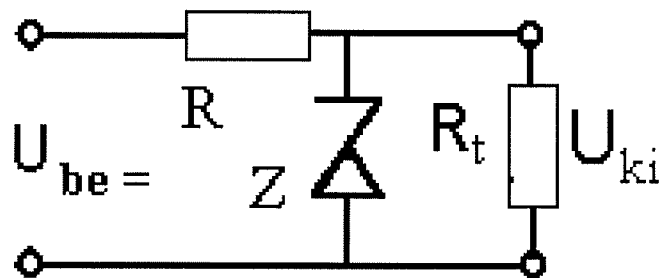
Az előző kapcsolást kiegészíthetjük egy aluláteresztő szűrővel, amit a 6.4 ábrán R és C képvisel. Ekkor az R terhelő ellenálláson megjelenő feszültség változása kisebb lesz, közelebb kerülünk az egyenfeszültséghez.

A kapcsolást kiegészíthetjük szűrőkondenzátorral, amivel a félhullámokból „simított” feszültség lesz. A kimeneten természetesen csak akkor kapunk mérhető feszültséget, ha a diódák nyitva vannak. A Graetz-kapcsolásban ráadásul két diódának is ki kell nyitnia egyszerre, ezért a kimenő maximális feszültség a transzformátor feszültségénél két nyitófeszültséggel alacsonyabb.

## 6.3. Feszültségstabilizálás

### 6.3.1. Zener diódás feszültségstabilizáló

A tápegységek tényleges megvalósításakor egyenirányításra általában Graetz-kapcsolást használnak. A további mérésekben ezt megtartjuk, tehát a feszültséget a C kondenzátorral kiegészített Graetz-kapcsolásból vesszük. A következő feladat tehát a kimenő feszültség stabilizálása. Ennek legegyszerűbb módja a Zener-diódás kapcsolás.



6.7. ábra. Zener diódás feszültségstabilizáló kapcsolás.

A Zener-diódás kapcsolás a Zener-effektust használja ki. Ennek lényege, hogy egy záróirányban kapcsolt dióda egy bizonyos, elég nagy feszültségnél mintegy „átüt”: visszafordítható áram-lavina alakul ki benne, ami miatt a rajta eső feszültség közel állandó (ezt nevezik Zener feszültségnek). Normál diódáknál ez több ezer Volt lehet, de speciálisan stabilizálási célra gyártanak olyan diódákat, melyeknek a Zener feszültsége jelentősen alacsonyabb, pl. 3-20 V közötti. Jelen mérésben is ilyet használunk.

Figyelni kell tehát arra, hogy a diódát záróirányban helyezzük a kapcsolásba!

A kapcsolásban a bemenő áram szétoszlik a Zener-dióda és a terhelő ellenállás között. Ha a terhelő ellenálláson túl nagy áram folyik, és a Zener dióda árama nullára csökken, a kimeneten megjelenő feszültség csökkenni kezd, innentől megszűnik a kapcsolás stabilizáló hatása. A kimenő áram növekedhet egyrészt azért, mert csökken a terhelő ellenállás értéke. Az is lehetséges, hogy a bemenő feszültség (ami tehát a Graetz-kapcsolás kimenetén jelenik meg!) lecsökken. Mindkét esetet meg kell vizsgálni a labormérés során.

A stabilizálás azt jelenti, hogy a kimenő feszültség független a kimenő áramtól. Ez csak idealizált eset, a valóságban nem teljesül tökéletesen. Ha nő a kimenő áram, a

néhány voltos értékű. A maximális értéknél, mivel ekkor az amplitúdó nagyobb, mint az oszcilloszkóp legnagyobb függőleges átfogása, helyezzen el egy osztót, két azonos ellenállásból felépítve, ami felére csökkenti a jel nagyságát.)

Mekkora az  $U_0 / U_{\text{eff}}$  elméleti aránya?

Mekkora a mért átlagos  $U_0 / U_{\text{eff}}$  arány?

2. Olvassa le az oszcilloszkóp beállításait és a hálózati feszültség periódusidejét! Az ábrázolásnál jelölje az mértékegységeket !
3. Vizsgáljuk az egyutas egyenirányító kapcsolást szűrőkondenzátor nélkül! A bemenő váltófeszültséget  $U_{\text{eff}} = 6\text{V}$ -ra állítsuk be (azaz a DVM AC állásában mérve) és rajzoljuk le a beés a kimenő jelalakot. (D: Si dióda,  $R_t = 500\Omega$  A jelalakokat úgy érdemes mérni, hogy az oszcilloszkóp 1-es csatornáján a bemenőjelet, a 2-esen a kimenőjelet nézzük. Ezáltal fázishelyes lesz az ábra (azaz időben egymáshoz képest helyesek a jelek). Az oszcilloszkópot DC állásban használja!
4. Az egyutas egyenirányító kapcsolás vizsgálata szűrőkondenzátorral és változó terheléssel. Adjon a bemenetre 6 V váltófeszültséget és mérje meg a kimenő egyenfeszültséget a terhelés függvényében, legalább 8 különböző értéknél! Az  $R_t$  terhelésként használja a 100  $\Omega$  és 1100  $\Omega$  között változtatható potenciométert!
5. Ábrázolja egy ábrán a jelalakokat közepes terhelés mellett, úgy, hogy egyszer legyen bent az eredeti szűrőkondenzátor (C1), másodszor meg időlegesen tegyen be egy jóval kisebb értéket, (C2 tized nagyságút). Ügyeljen az elektrolit kondenzátor helyes polaritására!
6. Mérje meg mindkét esetben a hullámosság (brumm) abszolút és relatív nagyságát is,  $R_t = 500 \Omega$  terhelő ellenállás mellett! (A relatív nagyságot százalékban megkapja, ha elosztja a brummfeszültség csúcserékét az átlag egyenfeszültséggel (ezt méri az egyenfeszültségű voltmérő), és megszorozza 100-al.) Legyen a C kondenzátor kapacitása először C1= 100  $\mu\text{F}$ , majd C2=10  $\mu\text{F}$ .
7. Az előző kapcsolást bővítse ki egy RC szűrővel, és mérje meg a kimenőfeszültséget ( $U_{\text{ki}}$ ) egy közepes,  $R_t=500\Omega$ os terhelésnél ! Legyen az R= 22  $\Omega$  a C1=100  $\mu\text{F}$ , és a C2=47  $\mu\text{F}$ . Az  $U_{\text{ki}}$  értékét a DVM-mel, DC állásban mérje!

Ezután az R-et cserélje át az adott L inuktivitásra (vasmagos tekercs), és végezze el a mérést így is!

Rajzolja le a kimeneten (oszcilloszkóppal, DC állásban) mérhető jelalakokat mindkét esetben (R-rel és L-lel)! A mérést úgy végezze, hogy az oszcilloszkóp 1-es csatornáján a a bemenőjelet, a 2-esen a kimenőjelet nézze!. Ezáltal fázishelyes lesz az ábra (azaz időben egymáshoz képest helyesek a jelek). Az ábrán legyen rajta mindhárom jelalak ( $U_{\text{be}}$ , illetve az  $U_{\text{ki}}$  az R és L esetében).

## 7. fejezet

# Fénysebesség mérése rezonanciával

A fénysebesség egyike a legfontosabb természeti állandóknak. Értéke annyira pontosan mérhető, hogy ez az SI mértékegységrendszer egyik alapmennyisége, ezzel határozzuk meg a métert. Definíció szerint egzaktul 299792458 m/s. A fény, mint minden elektromágneses hullám, ilyen sebességgel terjed - innen ered a neve. Jelentőségét az is emeli, hogy a téridő szerkezetét leíró relativitáselmélet alapmennyisége, mintegy váltószám a távolság és az idő között. (Az, hogy értéke éppen ennyi, a véletlennek köszönhető: az elektromágneses hullámnak, mint anyagnak zérus a nyugalmi tömege. A legutolsó (szorgalmi) feladat erre irányul.) *← Azért fontos, mert a feladat szempontjából.*

Értékének megmérése a legkézenfekvőbb megoldás, ha egy fényimpulzus terjedését közvetlenül vizsgáljuk; laborméreteken megvalósítható néhány száz 10 méteres távolságot a mikro-szekundum töredéke alatt futja be, így a meghatározásához ennek megfelelő időkülönbség-mérésre van szükségünk. Ebben a mérésben más utat választunk: közvetett módszerrel, ismert fizikai összefüggések felhasználásával számoljuk ki a nagyságát. Ismert paraméterű kondenzátorból és tekercsből felépített rezgőkör rezonanciafrekvenciáját megmérve meghatározhatjuk azokat a fizikai állandókat, amiből a fénysebesség számolható.

### 7.1. Bevezetés

Adott egy ismert geometriájú tekercs, illetve egy adott geometriájú kondenzátor. Tekintsük át az ezekből kialakított rezgőkör rezonanciafrekvenciájának kiszámítását - ezt fogjuk használni a fénysebesség meghatározásához!

Ha egy  $A$  felületű, egymástól  $d$  távolságra levő lemezpáron  $Q$  töltés található, akkor az  $E$  elektromos térerősség a Gauss-törvényből:

$$EA = \frac{1}{\epsilon} Q \quad (7.1)$$

ahol  $\epsilon$  a lemezek közötti szigetelő dielektromos állandója. A kapacitás a kondenzátor töltéstároló képességét jellemzi:  $Q = CU$ . Mivel a lemezek közötti feszültség  $U = Ed$ , a

megkaphatjuk az előbbi két konstansból:

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad (7.9)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 910^9} \frac{As}{Vm} = 8.8410^{-12} \frac{As}{Vm} \quad (7.10)$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \quad (7.11)$$

Maxwell-t éppen ez az összefüggés vezette arra a felismerésre, hogy a fény elektromágneses hullám. Mérésünkben a tekercs és a kondenzátor geometriai paraméterei egy redukált, hosszúsággal mérhető méretet adnak, ami a rezgésidővel osztva megkapjuk a fénysebességet. Amikor a rezgésidőt mérjük, akkor valójában az határozzuk meg, hogy a tekercs belsejéből mennyi ideig tart a kondenzátorba (és viszont) az energiát átvinni, az elektromos ill. a mágneses teret felépíteni - ennek sebessége pedig pontosan a fénysebesség!

## 7.2. A mérési elrendezés

A generátorból jövő jelet néhány menetes tekercssel vezetjük a szolenoidra, és ugyancsak néhány menetes tekercssel vezetjük ki az oszcilloszkópon történő detektáláshoz. Ezzel a módszerrel hatunk a legkevésbé a rezgőkörre.

A mérés során 4 lemezből összeállított síkkondenzátort használunk, vagyis a teljes felületet meg kell szorozni 3-al. A kapacitás meghatározásakor elhanyagoljuk a kondenzátor szélei és külső burkolata körüli inhomogén teret (a fenti számolás végtelen nagy felületű kondenzátort feltételez!).

A tekercs esetén nem hanyagolhatjuk el a külső teret, figyelembe kell venni, hogy a tekercs véges hosszúságú. Ha a tekercs véges, de elég hosszú, a belsejében homogénnek tekinthető a mágneses tér, kivéve a végek környékét, annak is olyan tartományát, ami a sugarának nagyságrendjébe esik. Ha a tekercset kettévágnánk, és a közepébe illeszténénk egy tekercsdarabot, akkor az a végek mágneses terét nem változtatná meg. Emiatt helyettesítsük a valós tekercset egy olyan tekercssel, amiben feltételezzük a homogén teret mindenhol (ahogy ezt a számolásban tettük), de hossza nem pontosan a valós tekercs geometriai hosszával egyenlő, hanem annál kisebb egy  $\alpha r$  értékkel:

$$L = \mu r^2 \pi n^2 (l - \alpha r) \quad (7.12)$$

Az  $\alpha$  értéke adódhat negatívnak is, ha az effektív tekercshossz valójában nagyobb. Azért ilyen,  $\alpha r$  formában vettük figyelembe az effektív hosszát, mert azt várjuk, hogy az effektus arányos a tekercs sugarával, tehát  $\alpha$  univerzális, minden tekercsre. Ez alapján tehát a rezonanciafrekvencia:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0 \mu_{rel} \varepsilon_{rel} r^2 \pi n^2 (l - \alpha r) \frac{A}{d}}} \quad (7.13)$$

1. Állítsuk be a jel amplitúdóját 20V-ra: Main Ampl 2 0 V
2. Állítsuk be a frekvenciát 100 kHz-re: Main Freq 1 0 0 kHz
3. Állítsuk be a frekvencia változtatának léptékét: Delta Freq 1 0 0 Hz  
Ezzel azt határoztuk meg, hogy a beállító-gomb elforgatására milyen mértékben változzon a frekvencia.

Ahhoz, hogy a jelgenerátor kimenetén megjelenjen a beállított értékeknek megfelelő jel, nyomjuk meg az OFF-ON gombot. Ekkor az előlapon világító LED jelzi, hogy engedélyeztük a kimenetet. Működés közben ez a LED villogással jelzi, ha túlterheltük a kimenetet - ekkor kapcsoljuk ki, majd ismét be. Az oszcilloszkópon meg kell jelennie a generátor 100 kHz-es szinuszjelének az 1-es csatornán, miközben a 2-es csatornán (ahova jel a rezgőkörön keresztül jut), csak néhány mV-os zajt látunk.

A vezeték végén lévő banándugót helyezük a legutolsó, a legtöbb menetet beiktató hüvelybe. (A legnagyobb menetszám, a legnagyobb induktivitást, így a legalacsonyabb frekvenciát jelenti.) Kezdjük el növelni a frekvenciát addig, míg el nem érjük a rezonanciafrekvenciát. Ezt úgy vesszük észre, hogy a visszajövő jel frekvenciája és fázisa megegyezik a generátor-jellel, miközben a legnagyobb az amplitúdója. Miután feljegyeztük az értéket, helyezük át a banándugót a következő aljzatba, és keressük meg az új rezonanciát. Mivel egyre kevesebb lesz a használt menetek száma, így a frekvencia mindig egyre magasabb lesz.

Miután megtaláltuk az összes leágazáshoz tartozó rezonancia-értéket, ábrázoljuk gnuplot program segítségével a tekercshossz függvényében a rezonanciafrekvenciát! Illesszünk a pontsorra az effektív tekercshosszt figyelembe vevő képletnek megfelelő függvényt. Használjuk a  $c_0 = 1/\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$  helyettesítést!

Illesztési paraméterként az  $\alpha$  és a  $c_0$  változókat alkalmazzuk. Az illesztett ábrát nyomtassuk ki!

A gnuplot programmal az összetartozó értékek kirajzolása, amennyiben az első oszlopban a hossz, a másodikban a frekvencia szerepel:

```
plot "adatsor.txt"
```

Definiáljuk az  $f(x)$  függvényt (mivel a hossz függvényében szeretnénk ábrázolni, ezért a korábbi képletben szereplő  $l$  legyen az  $x$

```
f(x)=1/2/PI/c0/...
```

Adjunk meg kezdeti értéket az  $\alpha$  és a  $c_0$  változóknak, ügyeljünk a helyes dimenziókra (érdemes SI-t használni)!

A pontsorunk és az illesztendő függvény közös ábrán történő kirajzolása:

```
plot "adatsor.txt", f(x)
```

Ezután elindíthatjuk az illesztést:

```
fit f(x) "adatsor.txt" via alfa, c0
```

Az illesztés eredményeül kapott  $c_0$  értékéből számoljuk ki a fénysebességet, és a mérés hibáját!

## 7.5. A fény anyagi természetéről

A relativitáselmélet szerint bármilyen anyagi objektum vagy információ legfeljebb a fény sebességével terjed. A relativitáselmélet alapjaiban azonban nem az elektromágneses hullámokról szól: felmerül a kérdés, hogy az elmélet határsebessége, nevezzük  $c$ -nek, ténylegesen megegyezik-e az elektromágneses hullámok sebességével. A relativitáselmélet szerint a test energiája, sebessége és nyugalmi tömege között a következő az összefüggés:

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (7.16)$$

itt  $m$  a nyugalmi tömeget jelenti: azt a tömeget, amit akkor mérünk, ha a test hozzánk képest áll. Az összefüggés mutatja  $c$  határsebesség-jellegét:  $v$  megközelítheti, de véges  $E$  energia mellett nem érheti el. Az összefüggés rámutat arra is, hogy ha egy objektum nyugalmi tömege zérus, akkor a sebessége mindig a fénysebesség lesz:  $v = c$ . Az elektromágneses hullám a kvantummechanika méréseinek tapasztalata szerint kvantumokból, részecskékből áll, melyeknek energiája:

$$E = hf \quad (7.17)$$

ahol  $f$  az elektromágneses hullám frekvenciája,  $h$  a Planck-állandó,  $h = 6,6310 \cdot 10^{-34} \text{Js}$ . ←

Méréseink tapasztalata, hogy a mért fénysebesség ugyanakkora a (jelen mérésben) rádióhullámokra, mint a látható fényre: még a legkisebb frekvencián sem tapasztaltunk eltérést a  $c = v$  összefüggéstől. Eltérést akkor látnánk, ha a részecske nyugalmi tömege körülbelül  $E/c^2$  lenne, ez ad felső becslést.

## 7.6. Mérési feladatok

1. Keresse meg a rezonanciafrekvenciát minden leágazásban mérve! Jegyezze fel az egyes leágazásokhoz tartozó tekercshosszokat! Érdemes a 15 pozíciótól kezdeni, mert így a frekvenciát folyamatosan növelni kell a következő rezonanciáig.
2. A gnuplot program segítségével illessze az elméleti görbét a pontokra! a használt tekercshosszak függvényében.

Illessze a jegyzetben megadott függvényt, nyomtassa ki az illesztést az adatokkal!

Adja meg a függvény gnuplot-os alakját is  $f(x) = \dots$

Határozza meg a  $c_0$  és az  $\alpha$  paraméterek értékét, hibával együtt!

A geometriai adatok alapján számolja ki a kondenzátor kapacitását és a legnagyobb menetszám esetén a tekercs induktivitását! Számolja ki ezen adatok felhasználásával a rezonanciafrekvenciát, és vesse össze a mért értékkel!



## 8. fejezet

### Inga mérése

A mérés során egy inga időben csillapodó harmonikus rezgőmozgását vizsgáljuk a számítógép segítségével úgy, hogy az idő függvényében megmérjük a pillanatnyi kitérést megadó  $\phi(t)$  szöget. A mérés elméleti alapjai megtalálhatók pl. Budó Á.: Kísérleti fizika I. könyv 24. és 88.§-ában (86. és 294. o.).

A  $\phi(t)$  kitérést a következő elméleti görbével közelítjük:

$$\phi(t) = \phi_{max} e^{-t/\tau} \sin(2\pi t/T + \alpha_0) + \phi_0 \quad (8.1)$$

ahol  $\phi_{max}$  a maximális kitérés,  $\tau$  a csillapítást jellemző időállandó,  $T$  a periódusidő,  $\alpha_0$  a kezdőfázis és  $\phi_0$  a nyugalmi helyzethez tartozó szög.

Az elméleti megfontolások alapján a  $T$  periódusidő függ a  $\phi_{max}$  a maximális kitéréstől (azaz a mozgás nem tökéletesen harmonikus rezgőmozgás). A mozgás differenciálegyenlete elliptikus integrálhoz vezet, amelyet  $\phi_{max}$  szerint sorbafejtve közelíthetünk.

Viszonylag kis kitérésekre a sorfejtés alapján

$$T = T_0(1 + \phi_{max}^2/16 + o(4)) \quad (8.2)$$

adódik, ahol  $T_0$  a harmonikus rezgés periódusideje ( $\phi_{max}$ -t itt radiánban mérjük, és elhanyagoljuk a  $\phi_{max}$ -ban negyed és annál magasabb rendű tagokat).

A mérés során megpróbáljuk ellenőrizni a fenti összefüggés helyességét, és ezáltal az elméleti jóslatot.

A  $\phi(t)$  szög mérésére egy, közvetlenül az inga tengelyére erősített potenciométert használunk. A PC a joystick csatlakozóján keresztül olvassa be a potenciométer állását. A joystick port vázlatát a következő ábra mutatja:

A joystick potenciométerek beolvasása a 4 db 555-ös időzítőt tartalmazó 558 monostabil IC-n keresztül történik, és a PC belső időzítőjén alapul.

A mérési ciklus kezdetekor a PC a portra való írással kisüti a 10 nF-os kondenzátorokat. Ezután méri azt az időt, amíg az egyes csatornákhöz tartozó monostabil multivibrátorok átbillennek, ami addig tart, amíg a joystick potenciométeren keresztül az adott kondenzátor fel nem töltődik a +5V tápfeszültség kétharmadára (ui. ez az 555-ös belső triggerszintje).

paranccsal történik. Az ábrázolandó adatsort idézőjelek közé kell tenni. Ezután meg kell adni hogy az adatsor melyik oszlopának függvényében melyik oszlopot ábrázoljuk, amit a using kulcsszó utáni, kettősponttal elválasztott számpár fejez ki. Ha több adatsort, vagy függvényeket is szeretnénk ábrázolni, az ábrázolandó dolgokat vesszővel választjuk el.

Pl.: az a.dat adatsor második oszlopának függvényében ábrázolva a negyedik oszlopot, és emellett ábrázolva a  $\sin x$  függvényt, az ábrázoló parancs tehát így alakul:

```
plot "a.dat" using 2:4, sin(x)
```

Változókat és függvényeket az értékük megadásával definiálunk, tehát az  $A=5.2$  parancs definiálja az A változót (kis és nagybetű különböző!) és egyben az 5.2 értéket adja neki (a tizedesvessző helyét ponttal kell jelölni, az adatfájlban is!)

Az  $f(x)=A*x*x+C$  definiálja az  $f(x)$  függvényt. Paraméterekkel definiált függvényeket illeszthetünk egy adatsorra a fit paranccsal, ez esetben meg kell adni az illesztendő függvényt, az adatsor nevét, az illesztendő oszlopok számát (using kulcsszó) és hogy milyen paramétereket akarunk illeszteni (via kulcsszó). A függvény többi változója változatlan marad. Pl:

```
fit f(x) "a.dat" using 2:4 via A,C
```

Természetesen csak már definiált függvény illeszthető, de megadható a függvény aritmetikailag a fit parancs után is:

```
fit h*x+g "b.dat" using 1:2 via h,g
```

A parancs helyes lefutása után megkapjuk az illesztett paraméterek értékét, illetve ezek hibáját.

## 8.2. Mérési feladatok

1. A kalibrálás a fizikai mérésekben használt berendezések, detektorok hitelesítését, a mérési eredmény és a "valóság" közötti kapcsolat megkeresését jelenti. A lépéshosszal lemért szabványos focikapu kijelölésénél a kalibrálás az egyéni lépéshossz meghatározásának felel meg. A kalibrálásba beleértjük a mérőeszköz pontosságának, esetleges szisztematikus hibáinak megbecslését is. Adott esetben a kérdés a számítógép által regisztrált belső billenési idő és az inga szögkitérése közti kapcsolat.

Legalább 7-8, a szögtartományt jól lefedő álló pozícióban mérje meg a program által mért billenési időt (itt elegendő csak kevés pl. 5 másodpercig tartó adatsor mérése egy-egy pozícióban, pl. 10 msec gyakorisággal, hiszen az inga nem mozog, tehát várhatóan nagyjából ugyanazt az értéket regisztrálja sokszor egymásután a számítógép). Becsülje meg (szemmel, nagyságrendileg) a konverzió hibáját (azaz az egyes pontok szórását!)

Az inga szögelfordulásának méréséhez segítséget ad az állványra rögzített mérőszalag. A fix, álló pozícióban felvett adatsort mentse el (pl. `calib1.txt` néven). A fentiek

Az illesztés lefutása után ismét ábrázolja együtt a függvényt és a mérési pontokat, amelyeknek ekkor már szinte tökéletesen egybe kell esniük. (Megjegyzés: a felfele nyíl gomb visszahozza a már begépett parancsokat a gnuplot programon belül).

Készítsen ábrát is és csatolja a jegyzőkönyvhöz! Adja meg az egyes illesztés paramétereit!

3. A lengésidő amplitúdófüggése igazolásához mérje meg az inga mozgását pl. 10 msec-os mintavételi gyakoriság esetén körülbelül 5-10 másodpercen át, legalább 6-7 jelentősen különböző  $\phi_{max}$  induló értéknél!

Mivel egy kis, az amplitúdó négyzetével arányos effektust szeretnénk látni, érdemes a legnagyobb amplitúdót legalább 0.7 - 0.9 radián nagyságúra választani.

Illessze és adja meg az 8.1 összefüggés paramétereit az egyes mérésekben!

A feladatot úgy érdemes végrehajtani, hogy előbb minden mozgási szakaszt lemérünk, majd ezeket egymás után illesztjük - a gnuplot programból való kilépéskor ugyanis a már betáplált függvény-definíciók elvesznek, melyek újradefiniálása idővesztéssel jár. Érdemes tehát az egész mérés (kalibráció, normál lengés) során benne maradni a gnuplot programban.

Hasonló amplitúdók esetén először csak a kezdőfázist érdemes illeszteni (meghagyva az összes többi paramétert), majd utána az összeset lehet - ha kicsi az eltérés, a gnuplot robotsztusan konvergál.

A mérést úgy végezze, hogy minden mérősorozat nagyjából ugyanannyi ideig tartson (például 8 másodperc – ennél sokkal rövidebb idő pontatlanabb mérést okoz (kevesebb pont!)), sokkal hosszabb idő alatt pedig az inga jelentősen csillapodik)!

Ábrázolja az adatokat, azaz a  $\phi_{max}$  függvényében a  $\tau$  és a  $T$  értékeket (ezeket egy editorral létrehozott ASCII fájlba másolhatja a gnuplot képernyőjéről, amikor illeszti az egyes méréseket)!

Illesszen  $T_0*(1+x*x*H)$  alakú, tehát szimmetrikus parabolát a  $T - \phi_{max}$  pontokra! Készítsen ezekről ábrát is, és sorszámozva csatolja a jegyzőkönyvhöz!

Adja meg az  $T - \phi_{max}$  illesztés paramétereit!

Hasonlítsa össze ennek eredményét a 8.2 összefüggéssel!

Mennyire teljesül az elméleti várakozás?

Fontos észrevenni, hogy a fenti „elméleti várakozás” nem csak azt jelenti, hogy a szimmetrikus parabola kvalitatíve leírja a görbét – fontos az is, hogy a  $H$  paraméter értéke megfeleljen az elméleti várakozásnak (azaz az  $1/16$ -nak). Az illesztésből, ha  $x$ -et nem radiánban mérjük,  $H$  nagyon kicsinek adódik. Számolja ki  $H$  értékét arra az esetre, ha radiánban mérjük a szögkitérést!

A `gnuplot` program a következőkben említetten kívül más lehetőséget is biztosít a rajzolásra és számolásra (pl. felületek és kontúrok rajzolása, gömbi- és hengerkoordináták használata, parametrikus görbék használata, másodlagos tengelyek, stb.). Ezekről a program beépített `help`-je és a programhoz mellékelt mintaprogramok adnak értékes információt.

### 8.3.1. Rajzolás

A rajzoláshoz a program elfogadja a C / Fortran / Pascal szintaxisban megadott kifejezéseket (ez alól a hatványozás kivétel, jele itt a `**`). A

```
plot sin(x)
```

parancs kirajzolja az  $y = \sin(x)$  függvényt az alapértelmezésben megadott határok között. Ha -5 és 5 közötti  $x$  tartományra vagyunk kíváncsiak, akkor kiadhatjuk a

```
set xrange [-5:5]
```

parancsot. Ekkor a rajzból csak az  $-5 < x < 5$  tartomány jelenik meg. Hasonlóan ehhez, az  $y$  és a háromdimenziós rajznál használt  $z$  tengelyt is beállíthatjuk a `set yrange` és a `set zrange` utasításokkal. Az automatikus skálázást a `set autoscale` parancs állítja vissza. Lehetőség van logaritmikus skála beállítására is: pl. az  $x$  tengelyen a `set log x` utasítással. Az `unset log x` parancs visszaállítja a lineáris skálát.

A program állományban található adatokat is képes kirajzolni, ha azok soronként tartoznak össze, és a sorban található adatokat szököz vagy tabulátor választja el. Például egy `meres.dat` file harmadik oszlopában található adatokat az első függvényében a

```
plot "meres.dat" using 1:3 with linespoints
```

parancs rajzolja ki, vonalakkal összekötött pontokkal. Ha a negyedik oszlop tartalmazza a harmadik oszlop hibáit, akkor a

```
plot "meres.dat" using 1:3:4 with errobars
```

kirajzolja a pontokat a hibákkal együtt. Egyszerre több `plot` parancsot is kiadhatunk, pl.

```
plot sin(x),"meres.dat" using 1:3:4 with errobars
```

a `sin(x)` függvényt is odarajzolja a mérési adatok mellé.

Az adatállományban a `#` karakter után megjegyzéseket tehetünk, az üres sorokkal pedig egy görbe különböző szakaszait választhatjuk el a kirajzolásnál.

Az oszlopok megadása helyett egy kifejezést is írhatunk `()` között. Például a

```
plot "data.1" using (tan($2)):(($3/$4) with lines 5 3
```

a `data.1` állomány második oszlop tangensének függvényében rajzolja ki a harmadik és negyedik oszlop hányadosát (5 3 típusú) vonallal.

Amennyiben az adatállomány pl. vesszővel elválasztott számokat tartalmaz, akkor ezt -a `gnuplot` számára speciális formátumot - külön jeleznünk kell. Pl.

```
plot "data.1" using 1:($2+$3) '%1f,%1f,%1f'
```

az első (vesszővel elválasztott) oszlop függvényében kirajzolja a második és harmadik oszlop összegét.

kirajzolja az első oszlop adatai függvényében a második és harmadik oszlop átlagát, ha a negyedik oszlop pozitív (az 1/0 kifejezést nem tudja értelmezni a gnuplot, ezért nem rajzol ki semmit).

A plot helyett az `splot` parancsot kell (kétdimenziós) felületek rajzolásánál használnunk. Ekkor lehetőség van színtvonalak megadására is (`set contour`).

A `replot` parancs megismétli a legutolsó rajzolást.

### 8.3.3. Kimenetek és nyomtatás

A program kimenete (az, ahova rajzol) különböző típusú lehet: pl. DOS esetén (alapértelmezésben) megpróbál közvetlenül az (SVGA) képernyőre rajzolni, míg Unix rendszerben ez az X11 felület. Amennyiben nincs grafikus felületünk, ne essünk pánikba: a

```
set term dumb
```

paranccsal beállított dumb kimenet ASCII karakterekkel rajzolja ki a grafikont (a program minden más funkciója változatlan).

A kimenet típusát egy adott nyomtatónak megfelelőre is beállíthatjuk a

```
set term KimentíAdatTípus
```

paranccsal. A `set term` kilistázza a program által ismert kimeneti adattípusokat.

Például PostScript nyomtató esetén a

```
set term postscript
```

beállítást kell használnunk. A

```
set terminal gif transparent xffffff x000000 x202020 x404040 x606060 x808080  
xA0A0A0 xC0C0C0 xE0E0E0
```

parancs fehér transzparens háttéren fekete ábrát állít elő GIF formátumban.

A `set term table` utasítással kiírathatjuk a grafikont létrehozó pontok koordinátáit is, ez akkor hasznos pl., amikor képletet használunk a változótranszformációnál.

A `set term` parancs használata csak azt jelenti, hogy a program által létrehozott ábra kimeneti adatformátuma megfelel a beállított eszköznek. Külön meg kell adnunk a nyomtatási adatok kimeneti helyét - célszerű először a `set term` paranccsal a kimeneti formátumot beállítani, majd a `set output` utasítással a kimenet helyét. Pl. a

```
set output "kimenet.kim"
```

parancs irányítja át a rajz adatait a `kimenet.kim` kimeneti állományba. A `set output` parancs önmagában lezárja a kimenetet (és elindítja a nyomtatást).

Windows használata esetén a PrtSc gomb segítségével közvetlenül is nyomtathatunk.

Összefoglaló példaként vegyük a következő utasításokat, amelyekkel kinyomtathatjuk a  $\sin(x)$  függvényt egy HP DeskJet nyomtatón egy DOS-os gépen:

```
set terminal hpdj 150
```

```
set output 'LPT1'
```

```
plot sin(x) w lines
```

```
set output
```

Amennyiben az illesztendő függvény paraméterei nem függetlenek egymástól, akkor az illesztés nem fog működni.

Pl. az  $a \cdot \exp(x+b)$  illesztése nem sikerülhet, mivel  $a \cdot \exp(x+b) = a \cdot \exp(b) \cdot \exp(x)$ . E helyett akár az  $a \cdot \exp(x)$  akár az  $\exp(x+b)$  függvényt használhatjuk. Ugyanígy gondot okozhat, ha a változóink egész számok (emlékezzünk arra, hogy az  $a=1$  és az  $a=1.0$  különböző értékeket jelöl!).

Természetesen a `plot` parancshoz hasonlóan a `fit` esetében is használhatunk az oszlopok jelölésénél függvényeket. Pl. a

```
fit f(x) "meres.dat" using 1:(sin($3)) via b,c
```

az  $f(x)$  függvényt a harmadik oszlop színuszához fogja illeszteni.

Az illesztés kezdeti adatait és az illesztendő változókat egy állományba (pl. `valtozok.dat`) is beleírhatjuk. Ekkor a `via a,b,c` kifejezés helyett egyszerűen csak megadjuk az állomány nevét

```
fit f(x) "meres.dat" using 1:3:4 "valtozok.dat"
```

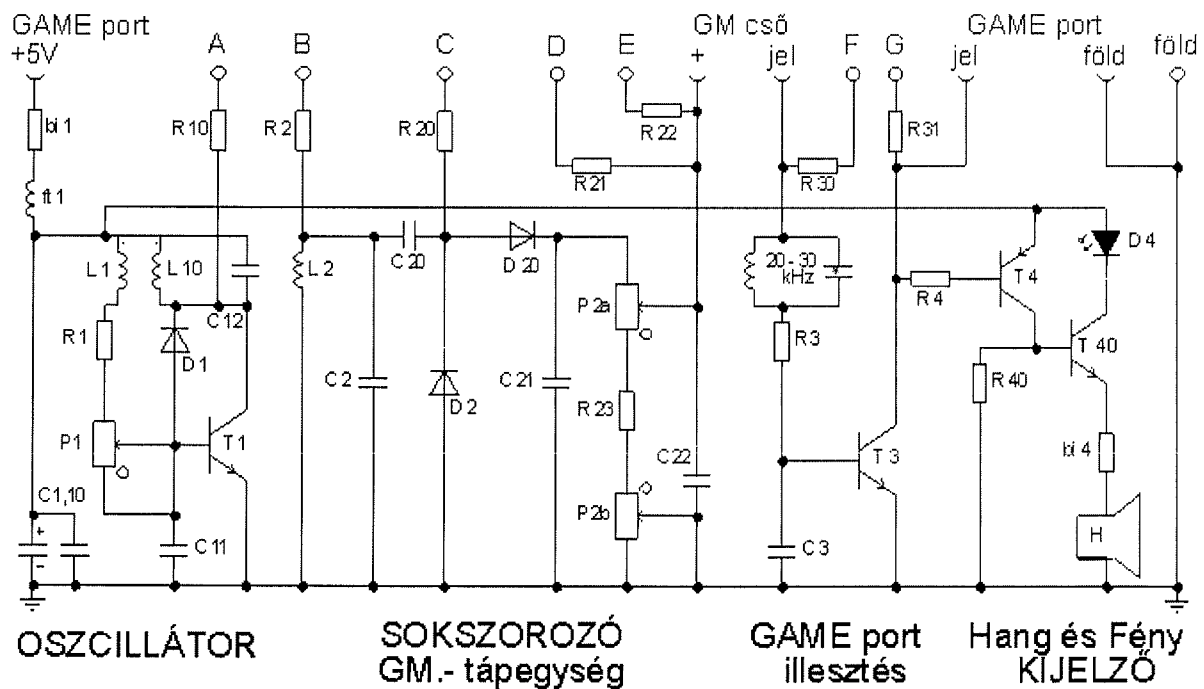
Az `update "valtozok.dat"` utasítással az illesztendő változók állományában írhatjuk újra bele a változók éppen aktuális értékeit.

Természetesen az állományba íráskor ügyelnünk kell az integer és a real írásmód közötti különbségre. Azokat a változókat, amelyeket nem akarunk egy ilyen állomány felhasználásakor illeszteni, az állományban a sor végére illesztett `# FIXED` jelöléssel lássunk el.

2. Mérődoboz, amely tartalmazza a DC/DC konvertert, és a PC-hez illesztő áramkört. A konverter 5 voltból állítja elő a Geiger-Müller (szokásos rövidítéssel GM) cső működéséhez szükséges néhány száz voltos nagyfeszültséget (High Voltage, HV).

A GM cső a megfelelő típusú és energiájú radioaktív sugárzásból elektromos impulzusokat állít elő. Ennek a közelébe, egy megfelelően kialakított tartóba, helyezük a radioaktív izotópot, amely esetünkben gamma sugarakat bocsát ki. A detektor és a sugárforrás egymáshoz képest elmozdíthatóak. Az elmozdítás mértéke, egy rögzített centiméter skálán, leolvasható. A kijelző egység optikailag és akusztikusan is jelzi a radioaktív sugárzás aktuális erősségét (intenzitását), melynek szerepe csak annyi, hogy azonnal érzékelteti a radioaktív sugárzás detektálását, azaz hogy a GM cső működik.

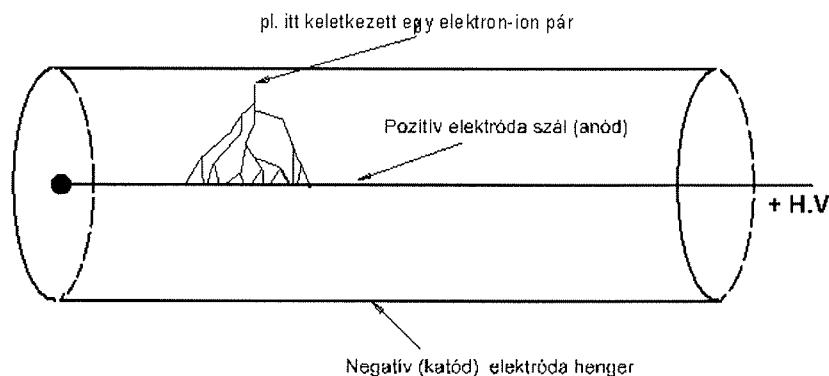
Ismerkedjünk meg a mérődobozban található áramkörökkel!



9.2. ábra. A radioaktív sugárzást detektáló áramkör kapcsolási rajza.

A DC/DC átalakító első fokozata egy ún. tranzisztoros blocking oszcillátor, amelyik megfelelő pozitív induktív visszacsatolással, (az L1 és L10 között), néhány tíz kHz-es frekvenciájú jelet állít elő. Ez a jel a kollektor körü rezgőkör megfelelő kihangolása miatt közelítőleg szinuszos alakú. Ezt – a veszteségektől eltekintve - a menetszámok arányában (L2/L10) felszorozza a transzformátor.

Ezt a közel szinuszos jelet a C20 és D2 alkatrészekből álló csúcs egyenirányítóra vezetjük. A kialakult egyenfeszültségre a C20 kondenzátoron keresztül ismét "ráül"



9.3. ábra. A GM cső felépítése.

még nem kelt elegendő elektromos térerősséget az ütközéses sokszorozáshoz, így csak a radioaktív sugárzás által közvetlenül létrejött elektron-ion párok, elmozdulva az anódra (középső szál), és katódra (külső henger) ionizációs áramot hoznak létre.

Egyetlen detektált gamma foton tipikusan néhány száz elektront kelt, ami ezzel a technikával bőven a detektálhatóság határa alatt van. A feszültséget tovább növelve, általában néhány száz volt környékén következik a második,  $p$ -vel jelölt proporcionális szakasz. Az elektronok, melyeket az anódszál pozitív feszültsége gyorsít, a gázmolekulákkal való ütközésük során újabb elektronokat (ionokat) keltenek, és ez a folyamat, mint egy lavnina, ismétlődik. Ez a sokszorozási jelenség az eredetileg keltett elektronok  $10^8$ -szorosát is keltheti.

Jellemzője, hogy az amplitúdó gyorsan nő az anódszál feszültségének függvényében, 100 V feszültségnövelés 10 - 100 -szoros amplitúdónövekedést is jelenthet. Ezek után következik egy majdnem vízszintes, de legalábbis lapos szakasz (G Geiger szakasz), amikor már a sokszorozási jelenség telítésbe kerül, és ezért a keletkezett impulzus amplitúdója majdnem független a csőre adott feszültségtől. Ekkor az anódszál mint kapacitás teljes töltését leadja, tehát a keletkezett jel amplitúdója csak amiatt nő, mert a tárolt töltés is nő, ennek megfelelően 100 V feszültség 10-20%-kal növeli csak a jel amplitúdóját. Egy adott, még nagyobb feszültség esetén a Geiger szakasz végén kialakul a szikrakisülés, ami jellemzően tönkreteszi a GM csövet.

Felmerül az a kérdés, hogy mitől szűnik meg a kisülés? Legegyszerűbb, az adott mérésben is használt lehetőség az, ha a GM csővel sorba elegendően nagy munkaellenállást rakunk. Mivel így az átfolyó impulzusáram a csövön feszültségcsökkenést okoz (a cső kapacitása kisül), a sokszorozás leáll.



több adatot gyűjtünk be és átlagolunk annál pontosabban, közelíthetjük meg a várható értéket:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (9.1)$$

A hibaszámítás összefüggéseit felhasználva az egyes mért adatok hibája (szórása:  $\sigma$ ) az alábbi:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (9.2)$$

A szórás tehát az adatok átlagtól való eltérés négyzeteinek átlagát jelenti, ami egy nagyon jó mérőszáma annak, hogy milyen messze is van általában egy mérési pont a valóságtól.

Abban az esetben, ha valami egymástól független véletlen eseményeket számlálunk (beütésszámot radioaktív bomlásból, autóbalesetet egy útszakaszon, esőcseppeket egy macskaköven), akkor a valószínűségszámítás és kombinatorika megfelelő törvényeit alkalmazva, valamint felhasználva néhány matematikai összefüggést, az alábbi összefüggéshez jutunk:

$$p(k, \bar{x}) = \frac{\bar{x}^k}{k!} e^{-\bar{x}} \quad (9.3)$$

A képlet azt mondja meg, hogy mekkora  $p$  valószínűsége van annak, hogy éppen egy  $k$  értéket mérjünk, miközben az  $\bar{x}$  a várható érték. Természetesen  $p$  a 0 (0% valószínűség) és az 1 (100% valószínűség) közötti értékeket veheti fel. Ezt az összefüggést nevezik Poisson-eloszlásnak (az ?? ábra mutatja teli karikákkal és függőleges vonalakkal, az két értékre,  $k = 2$ -re és  $k = 20$ -ra)

A részletesebb számításokból azt is megkaphatjuk, hogy a  $\sigma$  (szórás) egyenlő a mért érték gyökével, és így az alábbi módon írhatjuk le egyszerre a mért értéket, és annak a hibáját (egyszeres szórását):  $x_i \pm \sqrt{x_i}$ .

relatív hiba:  $\sqrt{x_i}/x_i = 1/\sqrt{x_i}$ . Ha tehát egy számolt eseményből 100-at látunk, akkor ennek szórása 10, és ugyanennyi a hibája:  $100 \pm 10$ . Ha sokszor elvégezzük a mérést, akkor várható, hogy ennél sokkal többel csak ritkán fognak eltérni a mért számok. Ha 10000 eseményt detektálunk, ennek szórása 100, relatív hibája tehát csak 1%.

Amennyiben a mérések (események) száma jelentősen növekszik, akkor a Poisson összefüggést mind jobban közelíti az ún. Gauss-eloszlás:

$$p(k, \bar{x}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\bar{x}}} e^{-(k-\bar{x})^2/2\bar{x}} \quad (9.4)$$

Ezt a függvényt is láthatjuk az 9.4 ábrán folytonos vonallal jelölve. Ezen az ábrán a szemléletes összehasonlíthatóság kedvéért együtt ábrázoltuk ugyanannak (de nyilvánvalóan

## 9.2. A sugjel mérő-kiértékelő program ismertetése

A program a számítógép game-portjára csatlakoztatott GM csöves beütésszám-mérő szoftver oldali része. A program mérő, feldolgozó és megjelenítő funkciókat lát el.

Feldolgozás / Monitor: Ezzel a menüponttal ki ill. bekapcsolhatjuk az aktuális beütésszám-megjelenítést. Ez a funkció inkább diagnosztikai és ellenőrzési célokat szolgál, mérési feladatokra inkább a következő menüpontot használjuk.

Feldolgozás / Adatgyűjtés (idősor) menüpont hatására egy újabb ablak nyílik, ahol beállíthatjuk a mérés időtartamát (óra:perc:másodperc). Start gomb megnyomásával indul a mérés, ami lényegében az egyes beütések időpillanatainak feljegyzését jelenti. Ennek eredménye a  $t_1, t_2, \dots, t_n$  idősor. A mérés addig tart, amíg:

- le nem telik az előre beállított időtartam
- vagy az „S” gombbal le nem állítjuk,
- vagy a beütésszámok száma el nem éri (az ini.-ben beállított) pl. az 500 ezres értéket.

Az így nyert idősor File / Idősort fileba ment menüponttal fileba menthető, későbbi kiértékelésre. File / Idősort fileból betölt művelettel egy korábban lementett idősor tölthető vissza ismételt feldolgozás céljából.

A Feldolgozás / Idősort konvertál  $\rightarrow$  Beütésszámok eloszlásává menüpont használata: először a beütések pillanatainak  $t_1, t_2, \dots, t_n$  tömbjéből beütésszámokat készít a program úgy, hogy miközben végig megy a fenti tömbön, megnézi, hogy a felhasználó által megadott kapuidőn belül hány beütést talál. A program meghatározza a beütésszámok minimum és maximum értékeit. Ugyancsak a felhasználó dolga megadni, hogy mekkora felbontással készüljön az eloszlás. A felbontás csak annyit jelent, hogy hány értéket ábrázoljon a program; egész számok esetén nyilván ez annyi kell legyen, ahány számot látunk. Tehát a beütésszámok eloszlásánál a felbontás legyen a minimum és a maximum különbsége plusz 1 (mivel az alsó és felső pontot is ábrázoljuk, összesen tehát a különbség plusz egy darabot)!

A Számold! gomb megnyomására indul az eloszlás számítás, befejezéséről a grafikon felbukkanása tájékoztat. Mind a beütésszámok tömbje, mind pedig az eloszlás eredménye fileba menthető a Beütésszámok fileba mentése ill. Beütéseloszlások fileba mentése gombokkal.

## 9.3. A gnuplot ábrázoló és illesztő program használata

A gnuplot egy általánosan használható, adatsorok ábrázolására, illesztésére, illetve egyéb kiértékelésére szolgáló program.

a DVM által mutatott érték az adott ponton). Határozza meg UGM-et mindkét pontból! Mennyire különbözik a két érték, és miért?

Tekintve, hogy R21 nagyon nagy értékű (10 Gohm, l. a műszer leírásánál) ezért a D ponton mérve nem terheljük le a nagyfeszültségű tápegységet. Sőt, mivel R21 az Rb értéknél is sokkal nagyobb, az  $UGM = R21 / Rb U = 1000 U$  közelítés nagy pontossággal teljesül. A mérés további részében a DVM-et végig kössük a D pontra, és a GM cső feszültségét ennek alapján (mint a mutatott érték 1000-szerese) adjuk meg!

3. A mérőrendszerben használható GM cső a 9.4 ábrának megfelelő Geiger-szakasz elején üzemel. A feladat a beütésszám és a jelamplitúdó meghatározása a feszültség függvényében.

A mérésnél helyezze a forrást közel a GM csőhöz, hogy minél nagyobb beütésszámot kapjunk, tehát hogy adott idő alatt minél pontosabb legyen a mérés!

A jelamplitúdó méréséhez, akárcsak az 1. mérésben, az oszcilloszkópot használhatjuk, az F ponton. A legnagyobb feszültségtől indulva mérje meg a jelamplitúdót a GM cső feszültségének függvényében 8-10 különböző feszültség esetén! A feszültséget egyre csökkentve (kb. 50 V-os lépésekben), a jelamplitúdó csökken, de az oszcilloszkóppal még akkor is mérhető, ha már a hangszóró nem adja ki a karakterisztikus kattogó jelet. Mérje az amplitúdót még a kis jelek tartományában is, 0,05 - 0,1 V még mérhetőnek bizonyul! A jeleket a kis amplitúdó tartományában kicsit zavarja az oszcillátor által okozott nagyfrekvenciás jel, de az ezen felüli GM beütések ekkor is elkülöníthetők. Az oszcilloszkóp szinkronizációs szintjét finoman állítva javítható a kép minősége.

A beütésszámot a számítógép segítségével mérheti. Ekkor vegye le az oszcilloszkópot a mérődobozról (ez ugyanis terhelést jelent a számítógép illesztő egységének), és csak a DVM-et csatlakoztassa a D pontra (ezen mérhető, az előzőek szerint, a GM cső valódi feszültsége, 1000-es osztásban)! Ezúttal is érdemes a legnagyobb feszültségű állásból indulva folyamatosan csökkenteni a feszültséget (kb. 50 V-os lépésekben). Az egyes mérések idejét úgy válassza, hogy kb. 1000-2000 beütés legyen a legnagyobb feszültségű állásban (ezzel a statisztikus hiba elegendően alacsony lesz), tipikusan 30-60 másodperc várhatóan elég. A továbbiakban nem érdemes növelni a mérések idejét, különben nagyon hosszúra nyúlik a mérés ideje (jóllehet pontossága növekedne). A mérés eredménye a beütésszám és a mérési idő hányadosa, azaz a másodpercenkénti átlagos beütésszám.

A fentiek alapján a beütésszám hibáját mint a beütésszám négyzetgyökét kapjuk. A másodpercenkénti átlagos beütésszám hibája természetesen a beütésszám négyzetgyökének és a mérési időnek a hányadosa. Ezeket a hibákat minden esetben fel kell tüntetni a jegykönyvben, minden releváns mérésben.

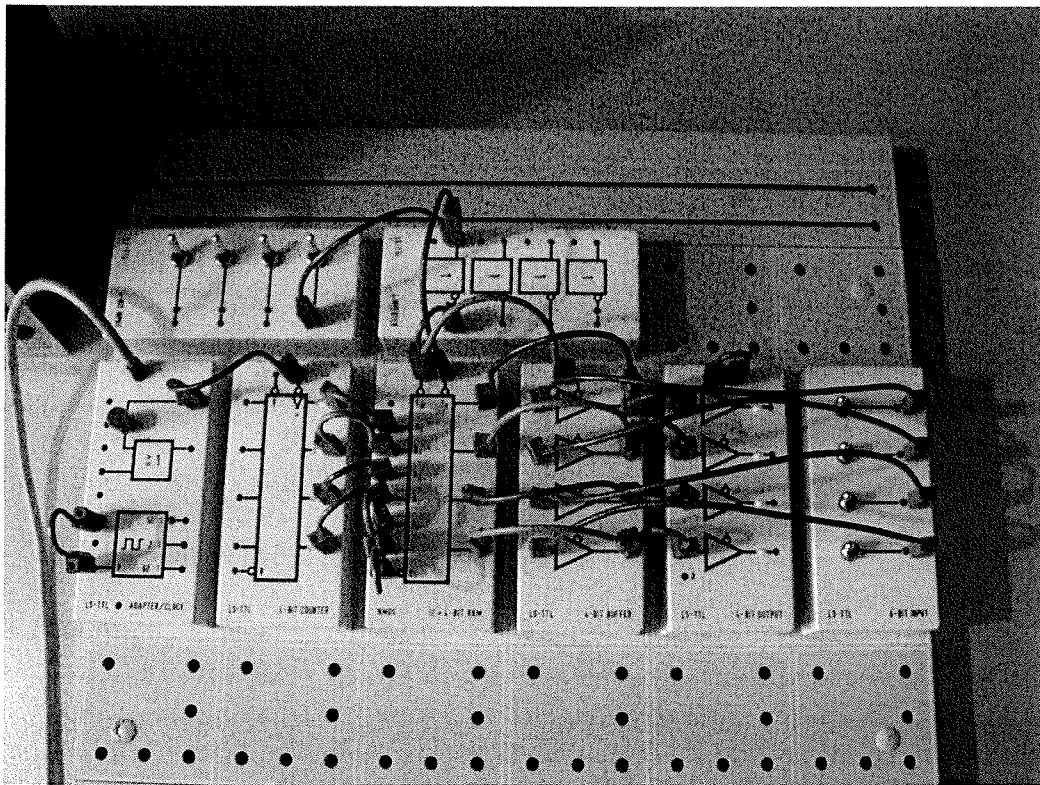
Az illesztési parancs kiadása előtt esetleg érdemes a  $d$ -nek értéket adni (pl.  $d=1$ ) és először csak az  $A$  és  $H$  értékeit illeszteni (a `via` kulcsszó után csak az  $A$  és  $H$  jelenjen meg, majd ezután egy újabb `fit` paranccsal mindhárom paramétert illeszteni. Az illesztett értékeket (amiket a `fit` parancs lefutása után kiír a képernyőre) jegyezze fel a jegyzőkönyvbe! Az adatokat az illesztett görbével együtt ábrázolja, és a jegyzőkönyvvel együtt adja be! A `gnuplot` programban a függvényt és az adatsort együtt így lehet ábrázolni:

```
plot "tavolsag.txt", A/(x+d)/(x+d)+H
```

5. A sokszor egymásután elvégzett mérések statisztikus viselkedésének vizsgálatához készítsen egy hosszú, 5 perces adatsort (a `sugjel.exe` program Adatgyűjtés menüpontjában), a GM cső legnagyobb feszültségállásában, úgy, hogy a forrás egészen közel legyen a GM csőhöz! Ennyi idő alatt összesen tipikusan 15-20000 beütést gyűjt a számítógépes rendszer. Jegyezze fel ezt az értéket, amit nevezünk  $N$ -nek! A program fentiekben ismertetett 'Idősor konvertál - beütésszámok eloszlásává' menüpontja alapján ez az 5 perces mérés felosztható fiktív, rövidebb időtartamokra, és a program kiszámítja, hány beütést mért volna az egyes időtartamokon belül. A fiktív időtartamot 'kapuidőnek' nevezi, és a kiértékelés első lépésében kéri ennek értékét.

A feladat: készítsük el két, fiktív (a kapuidő által megadott) hosszúságú mérés beütésszám-eloszlását. Egyiknek az átlagos beütésszáma legyen 2, a másiknak 20! A fentiek alapján ezt a következőképpen tehetjük meg. A mérésben a másodpercenkénti átlagos beütésszám (300 másodperc alatt)  $N/300$ , tehát az az időtartam, ami alatt pl. 2 beütésünk lenne átlagosan,  $2/(N/300) = 600/N$  másodperc. Hasonlóan, ahhoz, hogy 20 beütés legyen átlagosan, az időtartam (kapuidő)  $20/(N/300) = 60/N$  másodperc.

Állítsa be így (a fenti módon kiszámolva) a kapuidőket, és határozza meg a beütésszám-eloszlásokat! Az adatokat mentse fájlba, és ezeket ábrázolja a `gnuplot` program segítségével, az ábrákat adja be a jegyzőkönyvhöz csatolva!

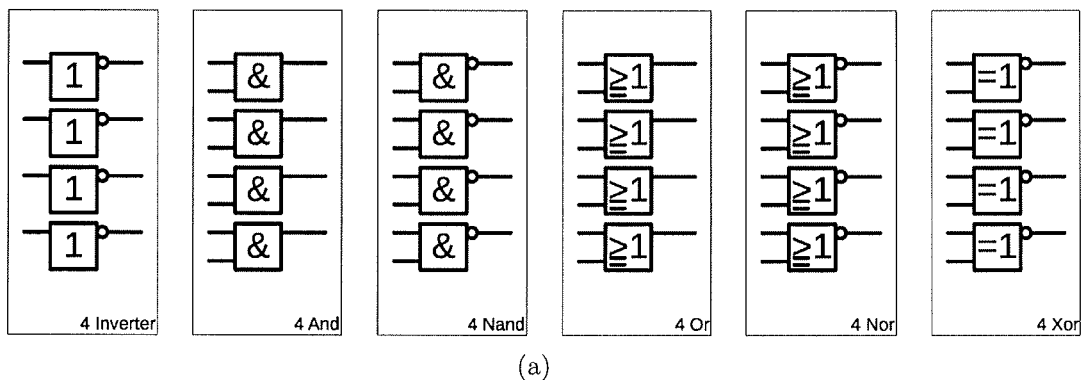


(a)

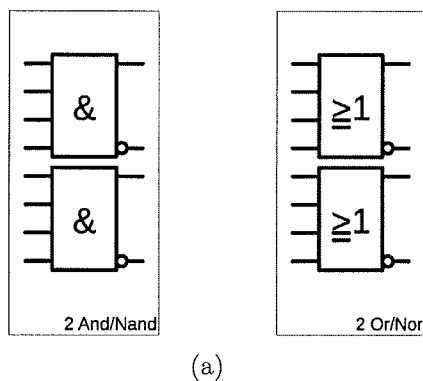
10.1. ábra. A laborgyakorlatok során használt digitális panel.

**buszvonat:** több, párhuzamosan futó, logikai szintek közvetítésére szolgáló vezeték. A vezetékek száma a buszvonat szélességét (4, 8, 16, 32, 64 stb.) határozza meg. Ezáltal egyidőben közvetíthető egy 4, 8, 16, 32, 64 bitből álló információ (szó). A buszvonalak sajátossága, hogy nem csak két részegység közötti egyirányú (adóés vevőegység közötti) kommunikációt valósít meg, hanem az információáramlás két- v. sokirányú miközben több egység is csatlakozhat a buszvonalhoz. Ehhez viszont az szükséges, hogy a kapcsolódó egységek kimenetei 3 állapotúak legyenek, és egyszerre, egyidőben csak egy egység határozza meg a buszvonat állapotát (logikai 0 vagy 1 szintjét), az összes többi csatlakozó kimenet "magasimpedanciás" állapotban kell legyen. (l. 3 állapotú kimenetek).

**3 állapotú (three-state) kimenet:** olyan kimenetek, amelyek egy vezérlőjeltől függően vagy meghatározzák a hozzájuk csatlakozó vonal állapotát (logikai 0 vagy 1 szintjét), vagy pedig nem, ilyenkor úgynevezett magasimpedanciás állapotba kerülnek. Ez utóbbi esetben a vonal állapotát más csatlakozó kimenet szabja meg.



10.3. ábra. A 4 Inverter, 4 AND, 4 NAND, 4 OR, 4 NOR és 4 XOR kapuk jelölése.



10.4. ábra. A 2 AND/NAND és 2 OR/NOR kapuk jelölése.

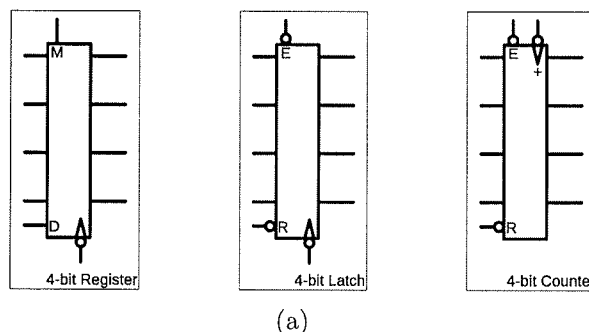
*2 AND/NAND, 2 OR/NOR*: 2 darab négybemenetű ÉS, illetve VAGY kapuk. Ezen függvények negált kimenetei is rendelkezésre állnak.

*2 JK Flip-flop*: 2 darab JK tároló. Az órajel lefutó élén válthat tartalmat a tároló kimenete, a 10.5 igazságtáblázat szerint (második oszlop az órajel):

A tároló aszinkron módon (órajeltől függetlenül) is beírható, ill. törölhető az S és R bemenetek segítségével. Figyelem: ez utóbbi két bemenet 0-ra aktív, azaz szabadon hagyva őket (bekötetlen TTL bemenet logikai 1 szintnek felel meg, 1. feljebb) hatástalanok!

*32x4-bit RAM*: a memória 32 darab négybites szó tárolására alkalmas. Az egység  $A_4A_3A_2A_1A_0$  címbemenetein választjuk ki a kívánt tárolócellát (5 biten 32 különböző cím adható meg). Az egyes cellák tartalmai négybitesek. A memória adat be- és kimenetei közösek, a kimenetek háromállapotúak. Csatlakoztatásuk egy "minibuszvonallal" kiépítését igényli. A memória két vezérlőbemenettel (ER és EW) is rendelkezik, ezek elnevezései az olvasás, ill. írás engedélyezése szavak rövidítéseiből származik. Ha ER=0 a memória kimenete engedélyezett és a címbemenetek által kiválasztott cella tartalma

bit Counter: 4 bites, más néven moduló 16 számláló (0..15). Az órajelbemeneten (>) megjelenő impulzusok hatására a számláló tartalma egyet-egyét lép fölfelé. A számláló tartalma törölhető az R bemenetre adott alacsony logikai szinttel (R=0), vagy beírható a párhuzamos beíró bemeneteken, ha E=0-val engedélyezzük ezeket.



10.7. ábra. A 4-bit Register, a 4-bit Latch és a 4-bit Counter modulok jelölése.

*4-bit ALU*: aritmetikai logikai egység egy- ill. kétoperandusú műveletek végzésére alkalmas. (Egyoperandusú pl. az inkrementálás=értékléptetés, kétoperandusú pl. az összeadás.) Az operandusok négybitesek. A művelet lehet aritmetikai ill. logikai. (Aritmetikai pl. az értékléptetés, összeadás, logikai művelet az és, a kizáró vagy, stb.) Az operandusok fogadására két (X-el és Y-al jelzett) négybites regiszter áll rendelkezésre. A regiszterekbe való párhuzamos beírást (az operandusok bevitelét) egy-egy engedélyező bemenet (Ex és Ey) aktiválásával (azaz 0 logikai szint adásával) végezhetjük. A bemeneti regiszterek feltöltése után következhet a művelet kódjának megadása az S2, S1, S0 bemeneteken, a 10.8 táblázat szerint.

Az ALU kimenetei háromállapotúak (lásd feljebb: 3 állapotú kimenetek), engedélyezésük az En aktiválásával (0 logikai szint adásával) végezhető.

# 11. fejezet

## Digitális áramkörök vizsgálata

### 11.1. Félösszeadó áramkör vizsgálata

Az 11.1 ábra egy ún. félösszeadó-t ábrázol. A felépítése rendkívül egyszerű: egy XOR kapuval képezünk egy összeg-, míg egy AND kapuval egy átvitel bitet. A 11.1 igazságtáblázat foglalja össze a félösszeadó működését.

$x_i$	$y_i$	$c_i$	$s_i$
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

11.1. táblázat. A félösszeadó igazságtáblázata

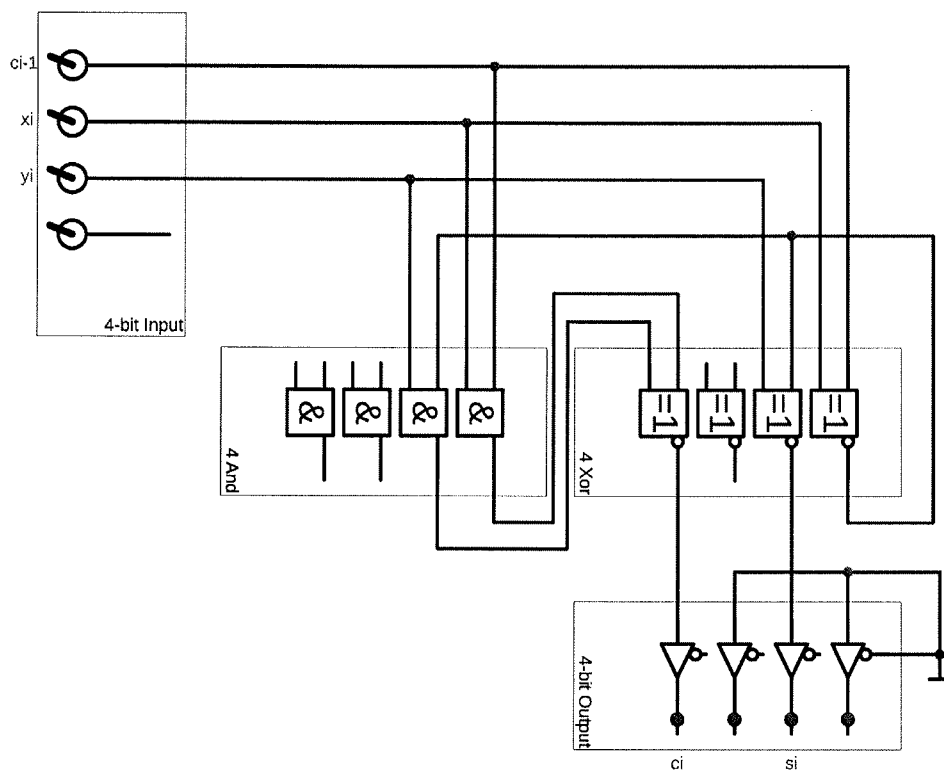
A  $c_i$   $s_i$  oszlopokat bináris számként összeolvasva láthatjuk, hogy valóban  $x_i$  és  $y_i$  bitek összegeit kaptuk eredményül.

### 11.2. Teljes összeadó vizsgálata

Mit tegyünk, ha nem két bitet, hanem két bináris számot szeretnénk összeadni? Adjuk össze a két számot bitenként, figyelembe véve az áthozatal és átvitel biteket is!

Félösszeadókkal a feladat csak a legkisebb helyértékű (0-ik) biten oldható meg, hisz ott nincs áthozatal! Az összes többi biten egy-egy teljes összeadóra lesz szükségünk, amely bemeneti oldalon, a két (aktuális) bit értéke mellett figyelembe veszi az előző biten képződött átvitel értékét is. Ezt a két fogalmat ne keverjük: egy előző (kisebb helyértékű) bit átvitele, az aktuális bit számára áthozatal! A teljes összeadó működését leíró igazságtáblázat a 11.2 táblázatban látható.





(a)

11.2. ábra. A teljes összeadó megvalósítása logikai kapukkal.

$X$	$Y$	$S_2 S_1 S_0$	művelet	eredmény
0101	0011	000	inkrementálás	$E=Y+1$
0101	0011	001	dekrementálás	$E=Y-1$
0101	0011	010	kivonás	$E=X-Y$
0101	0011	011	összeadás	$E=X+Y$
0101	0011	100	kizáró vagy	$E=X \oplus Y$
0101	0011	101	vagy	$E=X \vee Y$
0101	0011	110	és	$E=X \wedge Y$
0101	0011	111	egyenlő	$E=Y$

11.3. táblázat. Az ALU műveleti táblázata az  $S$  utasításra



## 12. fejezet

# Áramkörök építése

### CMOS logikai kapuk

A CMOS (komplementer MOS, tervezérelt tranzisztorokból felépített IC) bemeneti ellenállása nagyon nagy, több 100 Mohm nagyságrendű, sokkal nagyobb mint a TTL testvéreiké, ami miatt a CMOS alkatrészek bemenete nem egyértelmű ha nincsenek bekötve. A TTL áramköröknél a be nem kötött bemenet logikai 1-nek számított, itt most ezt nem használhatjuk ki. Normál áramkörök építésénél ez figyelembe veendő, és a nem használt bemeneteket is egyértelmű szintre kell kötni.

A CMOS alkatrészek tápfeszültsége széles tartományban változhat (A TTL pontosan 5V-ot igényelt). Már 3V-on működni kezdenek, és általában 18V-ig használhatók. Jelen építésben 9V-os tápfeszültséget fogunk használni.

Ha egy CMOS kapu határozott állapotban van, és nem éppen billen a két állapot között, saját fogyasztása nagyon alacsony, akár mikroamper alatti. Ezzel nagyon könnyen megvalósítható egy bonyolult logikai rendszer pihenő (stand-by) állapota, amikor a rendszer nincs teljesen kikapcsolva, azaz rögtön aktiválható, fogyasztása mégis nagyon kicsi.

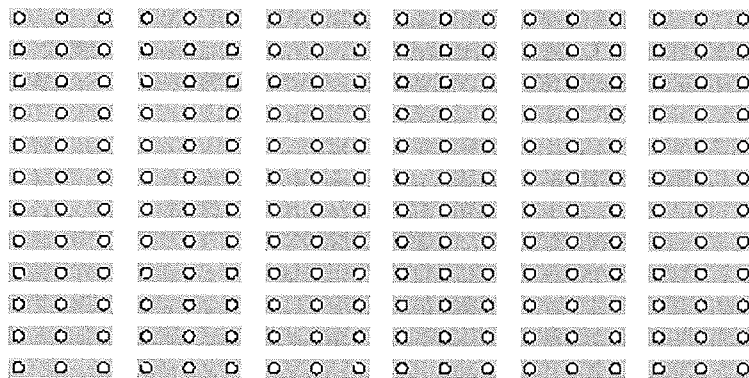
Végül egy fontos technikai szempont: a nagyon nagy bemenő ellenállás miatt a környezetünkben létrejövő sztatikus elektromos terek (melyek normálisan nagyon kicsi áramot tudnak áthajtani egy vezetőn) nagy feszültségesést okoznak a CMOS alkatrészek bemenetén, és így tönkre is tehetik őket! CMOS alkatrészeknél figyelembe kell ezt venni, az alkatrészekkel óvatosan kell bánni, és lehetőség szerint vezető szivacsban vagy vezető (antisztatikus) tokban tartani őket. A CDXXXX sorozat bemenetei valamennyire szerencsére védve vannak a sztatikus feltöltődésektől.

### Hasznos tanácsok forrasztáshoz

A forrasztás az áramköri elemek összekötésének legbiztonságosabb, napjainkban legelterjedtebb módja. A 19. század végén találták ki (gyakorlatilag egyidőben az első "áramkörök")

közeli szigeteket szeretnénk összekötni, jó megoldás, ha az áramkörü elem kilógó kivezetését lehajtjuk, és ezt forrasztjuk a megfelelő helyre. A már felhasznált áramkörü elemek levágott lábait is használhatjuk átkötésre, ekkor ezt az alkatrészek oldalán tegyük. Távolabbi pontokat mindenképp szigetelt dróttal kössünk át az alkatrész-oldalon.

A tervezésnél használjon sablont az áramkör tervének elkészítésére (alkatrészek behelyezése és átkötések megvalósítása). Érdemes előbb piszkozatot készíteni, négyzetácsos papíron.



12.1. ábra. Tervezésnél használható sablon.

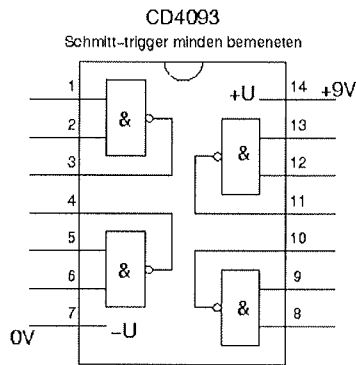
## 12.1. Zümmögő áramkörö építése

A mérési feladatban egy ki-be kapcsolódó, adott frekvenciájú feszültséget kiadó áramkört építünk fel, mely egy piezo-hangszórót szólaltat meg, illetve egy LED-et villogtat. A kapcsolás két egyszerű, Schmitt-triggeres oszcillátorból áll, az egyik a hangszórót működteti kb. 2-3 kHz-es frekvenciával, a másik modulálja az elsőt. A mérés során megismerkedünk ennek az oszcillátortípusnak a működésével és vezérlési lehetőségeivel.

A Schmitt-triggeres oszcillátor szerepel az oszcillátorokat tárgyaló mérésben is. Jelen feladatban sokkal egyszerűbb, speciálisabb változatát építjük meg. Az összeállítás alapja egy CMOS alapú NAND kapu lesz, melynek minden bemenete Schmitt-triggerként működik. A CD4093-as integrált áramkör négy ilyen kétbemenetű NAND kaput tartalmaz egyetlen áramkörü tokban, kényelmessé, kompakttá és elegánssá téve a konstrukciót.

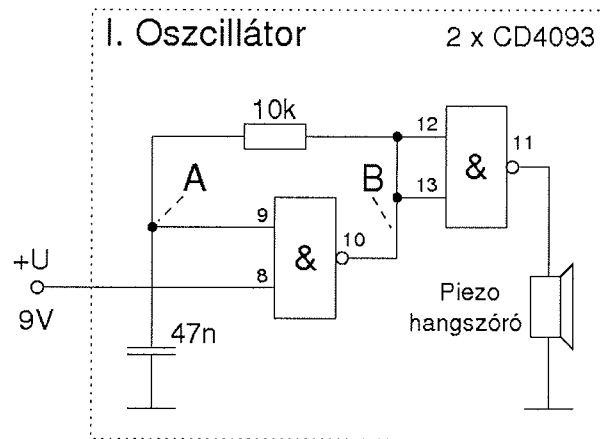
### 12.1.1. Az áramkör kapcsolási rajza

A teljes megépítendő áramkör kapcsolási rajza a 12.2 ábrán látható. A kapcsolás jobb oldali blokkja a hangszórót megszólaltató oszcillátor. Bal oldalon látható a modulátor, mely az oszcillátort néhány Hertz frekvenciával ki-be kapcsolja.



12.3. ábra. A CD4093-as integrált áramkör lábkiosztása.

ponthoz kapcsolódó  $R = 4.7\text{k}\Omega$  és  $C = 47\text{ nF}$  elemek határozzák meg. Ha az A pont, azaz a Schmitt-trigger bemenete alacsony, akkor a kimenet (B pont) magas (hiszen egy NAND, azaz invertáló kaput használunk).



12.4. ábra. Az oszillátor működése.

Ekkor az  $R$  ( $10\text{ k}\Omega$ ) ellenálláson keresztül elkezd töltődni a  $C$  ( $47\text{ nF}$ ) kondenzátor,  $\tau = RC$  időállandóval. Ha a bemenet elég magas értéket ér el (a Schmitt-trigger felső küszöbszintjét,  $U_H$ ), a kimenet negatív lesz, ami miatt a kondenzátor elkezd kisülni. Ha csökken a feszültsége a Schmitt-trigger alsó billenési szintje ( $U_L$ ) alá, a kimenet vált – kialakul az oszcilláció. A körülbelüli jelalakokat az alábbi ábra szemlélteti. A második kapuáramkörre csak azért van szükség, hogy leválasszuk a hangszórót az oszcillátorról, azaz a teljesítményt ez a második kapu adja le.

Az oszcillátor frekvenciáját könnyen kiszámíthatjuk annak ismeretében, hogy az A pont feszültsége az idő függvényében mindig exponenciális alakú, és oda tart, amit a B

2. Állítsa össze az oszcillátort! Rajzolja le az A és B pontokon, illetve a piezo hangszórón mért jeleket, mérje meg mekkora a B ponton megjelenő jel kitöltési tényezője!

Mennyire és miért tér(het) el a kitöltési tényező 0,5-től?

3. 9V-os tápfeszültség mellett mérje meg mekkorák a Schmitt-trigger billenési szintjei (ezt az A ponton lehet jól mérni).

Jelezzé egyértelműen az előző feladat ábráján, hogy mi alapján mérhetők a billenési szintek.

Határozza meg számítással, hogy mekkora oszcillációs frekvenciát vár ilyen billenési szintek mellett.

Mennyire egyezik ez meg az előző feladatban mért értékkel?

4. Építse fel a teljes áramkört. Határozza meg a modulátor frekvenciáját (akár oszcilloszkópról, akár a LED felvillanásainak leszámllálása alapján).

Az áramkör elkészítését és működését ellenőriztesse a laborvezetővel!

## 12.2. Futófény áramkör építése

Futófényt általában úgy építenek, hogy egy oszcillátor adja az órajelet, a fényfelvillanásokat pedig (bonyolultabb esetben) egy memória vagy shift-regiszter tartalmából olvasnak ki. Tíz, körbefutó LED, mint a jelen kapcsolásban, már a bonyolultabb kategóriának felel meg. Mégis, egy kapcsolástechnikai trükkel egyetlen integrált áramkörrel váltjuk ki az oszcillátort és a shiftregisztert.

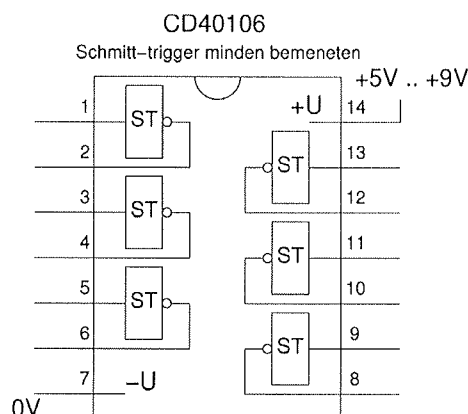
A kapcsolat elvi felépítése valójában nagyon egyszerű, öt késleltető elemet tartalmaz, melyek adott időeltolással körbeküldik az előző fokozat invertált jelét. Páratlan számú ilyen elemet összekapcsolva, oszcillációt kapunk, ahol az elemek egymás után kapcsolnak.

A kapcsolatban minden CMOS inverter kapuáramkör egy pár LED-et hajt meg. A LED-ek közvetlenül vannak a kapuáramkörre kötve, áramkorlátozó ellenállás nélkül: emiatt csak 3V feszültségen használható. Nagyobb feszültség használatakor ki kell egészíteni a kapcsolást egy-egy, a LED-ekkel sorba kötött ellenállással.

A kész eszköz úgy látványos, ha a LED-eket egy külön lapra, pl. hullámkarton lemezre rakjuk, majd vezetékekkel kötjük az áramkörhöz. Ennek elkészítése is a mérési feladat része.

### 12.2.1. Az áramkör kapcsolási rajza

Az áramkör első ránézésre bonyolult, valójában az alap áramköri elem ötszöri ismétlése. Az alábbiakban a késleltető áramkör működését még részletesen vizsgáljuk. Látható



12.7. ábra. A CD40106-os integrált áramkör lábkiosztása.

a 14-es (most csak 3V !), a negatív (azaz a földpont) a 7-es láb.

A LED-eket külön tartószerkezetre, pl. hullámkarton papírra érdemes rögzíteni (a LEDek lábaival átszúrva a papírt, amire a LED a lehajtott lábaival rögzül). Ez azért szerencsés, mert egyrészt szép körben helyezhetjük el így őket, másrészt, mert minden másodikat kell pozitív tápfeszültségre kötni, minden közöttük levő másodikat nullára. A huzalozást ügyesen kivitelezhetjük a LED-ek hosszú lábaiból, ami munkát (huzal csupasolás, ónozás) spórol meg.

### 12.2.3. A késleltető áramköri elem működése

A 12.8 ábra mutatja az áramkör működésének alapját képező késleltető (és egyben invertáló) elem kapcsolási rajzát. Ha a bemenet nullából pozitívba változik, a kondenzátor feszültsége nőni kezd. Ha eléri a Schmitt-trigger felső küszöbszintjét, billenti a kaput – a kimenet pozitívból nullába vált. Invertált esetben ugyanez játszódik le. Mindez azt jelenti, hogy az áramkör egy határozott értékű késleltetéssel rendelkezik, melyet az ellenállás és a kondenzátor időállandója határoz meg.

A bemenet (A), a Schmitt-trigger bemenetének (B) és kimenetének (C) feszültségét mutatja vázlatosan az idő függvényében a 12.9 ábra. A B pont az aluláteresztőkből ismert módon (l. „Lineáris áramkörök” mérés) exponenciális függvénynek megfelelően tart a pozitív tápfeszültséghez, illetve a nullához. A feszültség időfüggését (amennyiben nulláról indul) a következő függvény írja le:

$$U(t) = U_T(1 - e^{-t/\tau}) \quad (12.3)$$

ahol  $\tau$  természetesen az  $R$  és  $C$  alkatrészekből képzett időállandó,  $\tau = RC$ . A késleltetés  $T$  idejét az határozza meg, amikor a fenti  $U(t)$  eléri a felső billenési küszöbszintet:

$$U_H = U_T(1 - e^{-T/\tau}) \quad (12.4)$$

(különben összevissza villognak, nem körben. Amennyiben nagyon időigényesnek ítélik, elkészíthető az áramkör 6 LED-et tartalmazó (3 késleltető elemes) változata is.

3. Mérje meg a Schmitt-trigger billenési szintjeit oszcilloszkóppal!
4. Mérje meg a körbefutás frekvenciáját (javasolt stopperórával, néhány körbefutást leszámítva)!
5. Határozza meg számítással is ezt a frekvenciát, és hasonlítsa össze a mért értékkel!

## 12.3. Fém-detektor építése

Az építendő áramkör egy fém-detektor – közvetve egy tekercs inductívitásának megváltozását jelzi valamilyen fémdarab közelébe kerülésekor. Az inductívitás mérését egy rezgőkör frekvenciájának megváltozásával érjük el. Adott esetben az inductívitás megváltozása nagyon kicsi, néhány ezrelék. Ilyen kis frekvenciaváltozást nehéz mérni közvetlenül egyszerű eszközökkel (irreális lenne ha az áramkör részének tekintenénk egy digitális frekvenciamérőt!), ezért egy régi trükkhöz folyamodunk. A mérendő tekercsel egy oszcillátort hajtunk meg, kb. 100-200 kHz frekvencián. Emellett az áramkörbe építünk egy másik, referencia oszcillátort, állandó, közel ugyanekkora frekvencián. A két rezgés jelét „összeadjuk”, majd a kettő közötti lebegést (a két frekvencia különbségét) egy piezo hangszóróra vezetjük. Ha a tekercset tartalmazó oszcillátor 101 kHz-en, a referencia oszcillátor 100 kHz-en rezeg, akkor a különbségi frekvencia sokat változik, ha az oszcillátor frekvenciája csak kicsit változik. Technikailag nehéz eltalálni az oszcillátor frekvenciáját, ezért a referencia oszcillátort változtathatóra tervezzük, frekvenciáját egy potenciométerrel állíthatjuk ugyanakkorára, mint a tekercset tartalmazó oszcillátort.

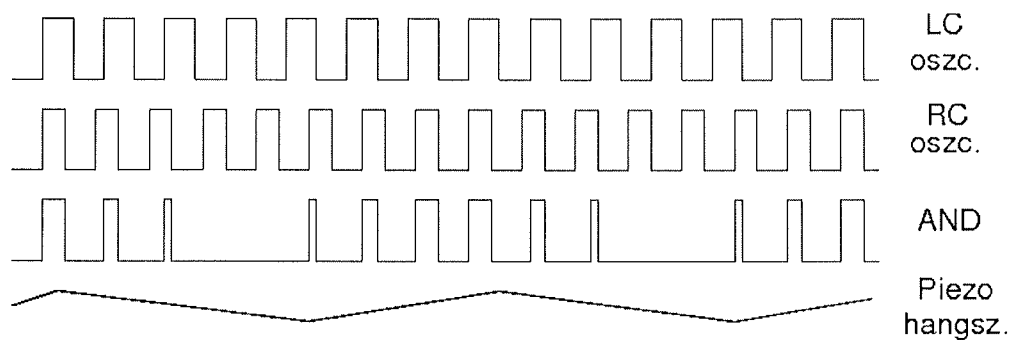
Az áramkör oszcillátorainak felépítése hasonló a Schmitt-triggeres áramkörökhöz, a tekercset tartalmazó oszcillátor esetén közelítőleg arról van szó, hogy a tekercsel helyettesítjük a megfelelő ellenállást. Az áramkör megépítése mellett el kell készíteni a tekercset, ami kb. 8 cm átmérőjű, 25 menetes. Az ehhez tartozó csévetest és tekercs összeállítását a mérést végző vállalkozó szellemű hallgató fantáziájára bízunk.

### 12.3.1. Az áramkör kapcsolási rajza

A teljes megépítendő áramkör kapcsolási rajza a 12.10 ábrán látható.

Az ábra alapján jól elkülöníthetők az egyes áramköri blokkok. A referencia RC oszcillátor frekvenciáját a benne levő két alkatrész (C3 és R2 potenciométer) időállandója határozza meg. Ebben az esetben a NAND kapuk bemenetei össze vannak kötve, tehát mint egyszerű Schmitt-triggeres inverterek működnek.



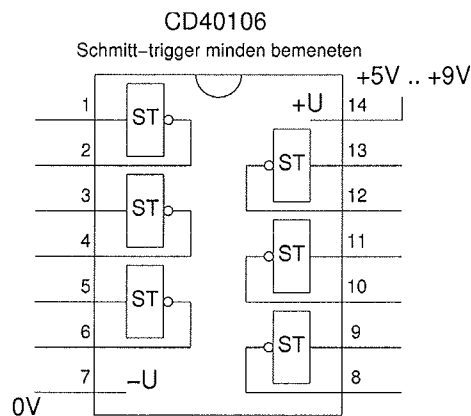


12.11. ábra. A detektorban használt keverő.

### 12.3.2. Az áramkör megtervezése

A jelen mérésben használt CD4093-as IC NAND kapui pontosan úgy működnek mint a digitális mérések során megismert NAND kapuk. Az ott használt TTL (tranzisztor-tranzisztor logika, hagyományos tranzisztorokból felépített integrált áramkör) alkatrészekkel összehasonlítva találunk azért különbségeket.

A kivitelezés első lépése az áramköri elemek elhelyezésének gondos megtervezése. A jegyzőkönyvben erre biztosított helyen le is kell rajzolni a megtervezett áramkört, ami segít a későbbi kivitelezésben. A kivitelezés során figyelni kell arra, hogy az IC áramköri lábai eléggé közel vannak egymáshoz.



12.12. ábra. A CD40106-os integrált áramkör lábkiosztása.

A CD40106-os integrált áramkör lábkiosztása a 12.12 ábrán látható. A pozitív tápfeszültség a 14-es (most csak 3V !), a negatív (azaz a földpont) a 7-es láb. Fontos apróság: mivel az áramkör nagyfrekvencián dolgozik, el kell kerülni a tápfeszültségen