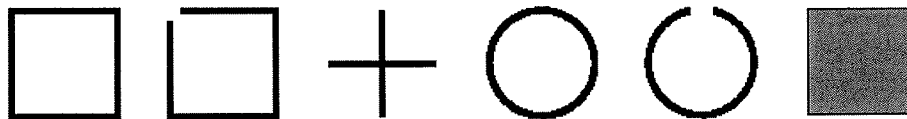


megjelenő gyors feszültségváltozást. Ezt úgy érzük el, hogy egy elegendően nagy ($10 \mu\text{F}$) kondenzátort kötünk a tápfeszültség és a földpont közé.

12.3.3. A fémdetektor érzékenysége

Ha elkészült a műszer, próbáljuk ki, milyen fémdarabokra mennyire érzékeny! A mérőhelyen található (esetleg saját kivitelezésű, vagy egyszerűen kezünkbe akadó) fémtárgyak közül vizsgáljunk pl. 12.13 ábrán látható alakúakat.



12.13. ábra. Tesztelésre használható fémtárgy-alakok.

A mérési jegykönyvben tüntessük fel hogy milyen alakú és anyagú (ferromágneses ill. nem ferromágneses) tárgyakat vizsgáltunk. A táblázatban elég szubjektív módon megítélni, hogy mekkora frekvenciaváltozást hallunk, és hogy melyik irányban (növeli-e vagy csökkenti-e az induktivitást a fémtárgy).

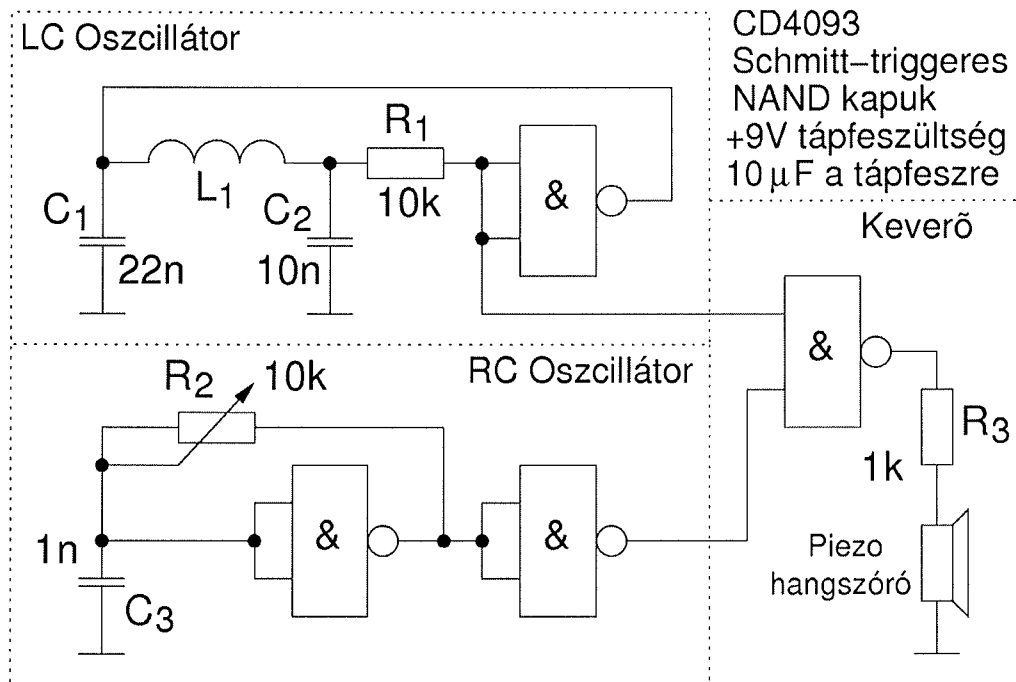
Próbáljunk magyarázatot adni a megfigyelt jelenségekre (pl. miért számít, hogy a fémgűrű körbeér, vagy csak egy majdnem zárt C alakú?)

12.3.4. Mérési feladatok

1. Tervezze meg az áramkört!

Használjon sablont az áramkör tervének elkészítésére (alkatrészek behelyezése és átkötések megvalósítása). Érdemes előbb piszkozatot készíteni, négyzetrácsos papíron.

2. Építse meg az áramkört! A tekercset ideiglenesen (ha esetleg időigényes az elkészítése) helyettesítheti egy már elkészített tekercsel.
3. Mérje meg, mekkora frekvencián rezeg az LC oszcillátor!
Mekkora az RC oszcillátor legalacsonyabb frekvenciája?
4. Vizsgálja meg, hogy különböző alakú fémtárgyakra mennyire érzékeny a fémdetektor, és hogy milyen irányban változik a tekercs induktivitása!
5. Magyarázza a lényegesebb jelenségeket!

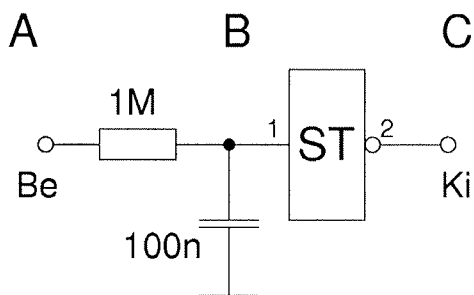


12.10. ábra. A teljes megépítendő áramkör kapcsolási rajza.

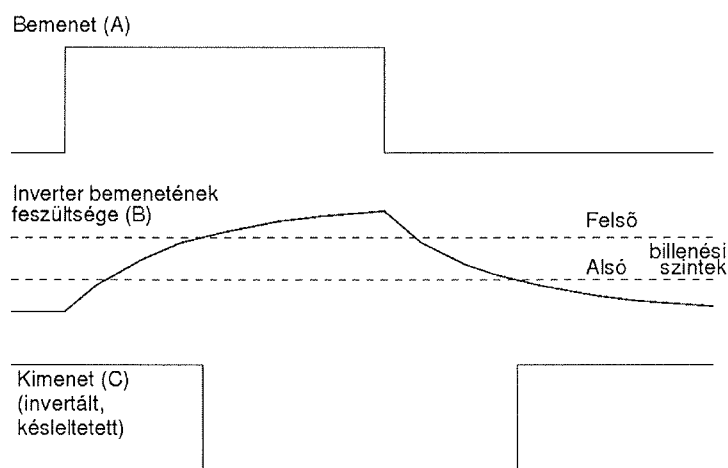
A tekercset tartalmazó oszcillátor frekvenciáját a tekercs (L1) illetve C1 és C2 közösen határozzák meg. A rezgés beindulásakor L1 „helyettesíti” az R2-nek megfelelő ellenállást. Miután viszont beindul a rezgés, az L1 – C1 – C2 mint rezgőkör rezeg, nagy amplitúdóval. Ez utóbbi (a C2 kondenzátoron a tápfeszültség kb. kétszerese, azaz 18 V_{pp}) veszélyes lehet a kapu bemenetére, ezért szükséges (az amúgy lényegtelen) R1 ellenállás.

A két jelet egy NAND kapuban egyesítjük. Ha az oszcillátorok azonos fázisban rezegnek, a kimeneten (az R3 ellenálláson illetve a piezo hangszórón) feszültség jelenik meg (100 kHz körüli négyszögjel). Ha ellentétes fázisúak, akkor a NAND kapu nem engedi tovább a jelet egyáltalán. Mivel a fázis a frekvenciák különbségével tolódik folyamatosan, a hangszórón ez megjelenik, jól hallható sípolás formájában.

A jelek alakját szemlélteti a 12.11 ábra: a két oszcillátor jele felül, a belőlük képzett ÉS (AND) kapcsolat, majd a piezo hangszórón, mint aluláteresztő szűrőn megjelenő fűrészjel. Az R2 potenciométer változtatásával állíthatjuk be a megfelelő hangmagasságot. Ha a hang hallható, az áramkör működőképes – erről meggyőződhetünk, ha fémdarabokat helyezünk a tekercs közelébe.



12.8. ábra. Egy invertáló elem felépítése.



12.9. ábra. Egy kapu időbeli működése.

A T értékét kiszámítva, a teljes körbefutási ciklus 5 késleltető elem esetén $10 T$ (mind az öt elemen fel- és lefele kell futnia a jelnek).

12.2.4. Mérési feladatok

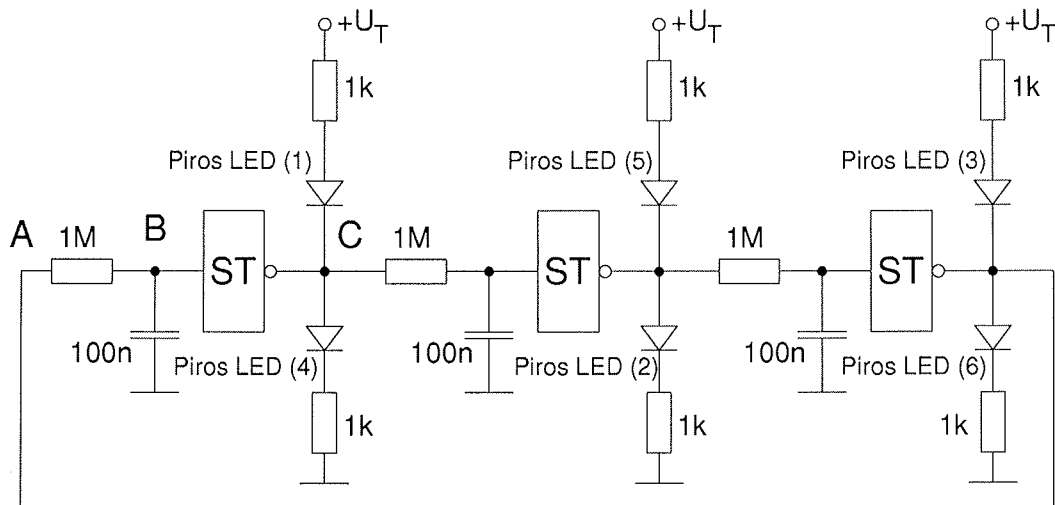
1. Tervezze meg az áramkört!

Használjon sablont az áramkör tervének elkészítésére (alkatrészek behelyezése és átkötések megvalósítása). Érdeemes előbb piszkozatot készíteni, négyzetrácsos papíron.

2. Építse meg az áramkört!

Először az integrált áramkör és a hozzá tartozó ellenállások illetve kondenzátorokból az oszcillátort állítsa össze, és tesztelje valamelyik kimeneten, hogy működik-e. Ezután állítsa össze a LED-eket a huzalozással. Ügyeljen a LED-ek sorrendjére

6 Schmitt-triggeres inverter (CD40106) vagy
4 Schmitt-triggeres NAND (CD4093) összekötött bemenetekkel



12.6. ábra. A teljes megépítendő áramkör kapcsolási rajza.

viszont, hogy ha az első inverter kimenete pozitív, akkor az egy idő után (feltöltve a következő inverter bemenetén levő kondenzátort) pozitívba viszi a következő inverter bemenetét. Emiatt az nulla lesz, ami egy idő után pozitívba viszi a rákövetkező inverter kimenetét - és így tovább, mikoris az utolsó inverter pozitív kimenete nullába viszi az első kimenetét, ami miatt a billenési folyamat tovább fut. Páratlan számú inverter használatával nincs stabil állapot, az áramkör „oszillál”, körbe-körbe fut.

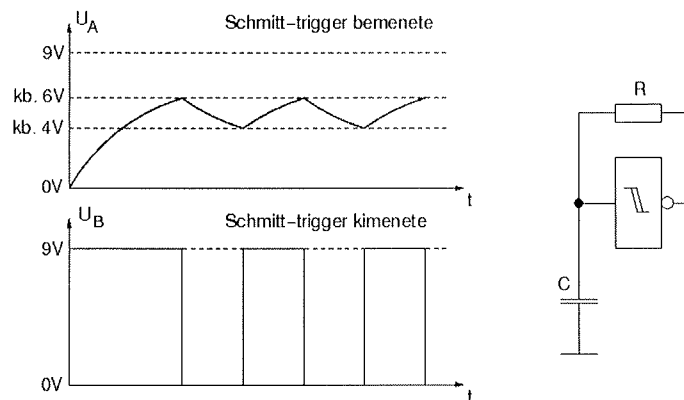
Mivel invertereket használunk, a LED-ek felvillanásának sorrendje kicsit furcsa – ez az ábrán számozással van jelölve. A kész áramkörnél figyelni kell erre a sorrendre, akárcsak a nulla és pozitív tápfeszültségek LED-ekhez való bekötésére.

12.2.2. Az áramkör megtervezése

A jelen mérésben használt CD40106-os IC inverterei pontosan úgy működnek mint a digitális mérések során megismert inverterek. 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.

A CD40106-os integrált áramkör lábkiosztása a 12.7 ábrán látható. A pozitív tápfeszültség



12.5. ábra. A Schmitt-trigger működése.

pont az R ellenálláson keresztül rákényszerít. Az exponenciális időállandója $\tau = RC$, azaz az időfüggés mindig $(const.) \exp(-t/\tau) + U_0$ alakú (itt nyilván U_0 a nagy időkre vett határérték, a konstans pedig az épp adott helyzetnek megfelelően van beállítva). A két billenés közötti időt az határozza meg, hogy az egyik billenési szinttől mennyi idő alatt jutunk el a másikig:

$$U_L = U_H \exp(-T_1/\tau) \quad (12.1)$$

$$U_H = U_T - (U_T - U_L) \exp(-T_2/\tau) \quad (12.2)$$

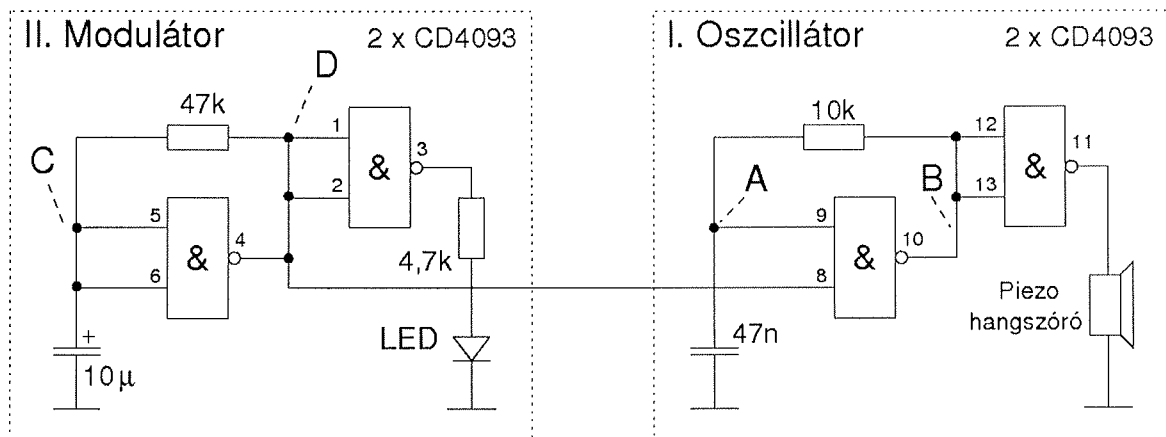
itt U_T a tápfeszültség, $U_T = 9V$. Meghatározva a Schmitt-trigger alsó és felső billenési szintjeit (U_L és U_H) a billenési idők (T_1 és T_2) szintén meghatározhatók. A periódusidő a két billenési idő összege, $T = T_1 + T_2$.

12.1.4. A modulátor megépítése

Az áramkörépítés utolsó lépése a modulátor összeállítása, ami a vezérlő feszültséget adja. A modulátor ugyanolyan Schmitt-triggeres oszcillátor, mint a hangszórót vezérlő oszcillátorkör, csak ezúttal az áramkör C pontjához csatlakozó 47 kohm-os ellenállás és a 10 μF -os kondenzátor határozza meg rezgési frekvenciáját. Működésének kijelzésére LED-et használhatunk.

12.1.5. Mérési feladatok

1. Az áramkör tervezése: használja a sablont az áramkör tervének elkészítésére (alkatrészek behelyezése és átkötések megvalósítása). Érdemes előbb piszkozatot készíteni, négyzetrácsos papíron.



12.2. ábra. A zűmmögő kapcsolási rajza

A labormérés során először az oszcillátort kell megépíteni, mely állandó hangmagasságon megszólal. Az első feladatok ennek vizsgálatához kapcsolódnak. A továbbiakban kell az egész áramkört összeállítani és az ehhez kapcsolódó feladatokat elvégezni.

12.1.2. 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, illetve szempont az is, hogy az érintőkapcsoló elférjen. A mérés során először az oszcillátort kell megépíteni és méréseket végezni rajta, majd a következő lépésben kiegészíteni a modulátorral. A tervezés viszont nyilván az egész áramkörre vonatkozik, az utólagos átszerelés mindig kényelmetlenséggel jár. Nem szerencsés tehát túl bőkezűen bánni a hellyel a mérés első felében.

A CD4093-as integrált áramkör lábkiosztása a 12.3 ábrán látható. A pozitív tápfeszültség a 14-es, a negatív (azaz a földpont) a 7-es láb.

12.1.3. Az oszcillátor megépítése

A kivitelezés első lépéseként építsük meg az oszcillátort! A hangszóró azonnal megszólal. Nézzük meg részletesen az áramkör működését a 12.4 ábra alapján! Az oszcillációt az A

építésével). Több alternatíváját vetették fel (és el) a következő sok-sok évtizedben, a módszer mégis túlélte a kiváltására irányuló próbálkozásokat, és minden előnyével – hátrányával együtt a fejlett építési eljárások szerves része maradt (különös belegondolni, hogy a modern mobiltelefonokba elviekben ugyanúgy forrasztják az antennát, mint ahogy Marconi tette a szikratávírójába).

A forrasztás igényel némi gyakorlatot – a labormérés éppen ezen minimális gyakorlat megszerzését célozza. A végeredmény legyen mindig egy “szépen” forrasztott panel: minden kontaktus láthatóan a helyén, rövidzár nélkül. Érdekes módon, nagyon határozott kapcsolat van a “szép” és a “jó” áramkörök között. – hiszen a “szép” munkán a hiba rögtön szemetszúrna.

A forrasztással érintkezést hozunk létre két fémes felület között, egy ón-ólom ötvözet segítségével. Akkor korrekt a forrasztás, ha a forrasztóon (folyékony állapotban) nedvesíti a fémfelületeket, tehát megszilárdulva tényleges fémes kémiai kötés alakul ki. Ennek fő akadálya hogy a fémfelületek szennyezettek: részben szerves szennyezőanyagok vannak jelen (akár védő olajréteg, vagy esetleg ujjlenyomatok), részben oxidált a fém felülete. Ezeket el kell távolítani forrasztás előtt. Sajnos a forrasztóon is nagyon gyorsan oxidálódik az olvadási hőmérsékletén (200-250 fok), ezért a tisztítást “egyidőben” kell végezni magával a forrasztással.

A tisztítást (oxidréteg redukálását) a forrasztóon drót belsejében található gyanta végzi. Régen ez tényleges fenyőgyanta volt, ma már speciális műgyantát használnak. A gyantaanyag megolvad és szétfut a fémfelületen, 1-2 másodpercre nagyon hatékonyan letisztítva azt. Fontos ezért, hogy a forrasztást úgy végezzük, hogy a forrasztópákát odaérintjük a forrasztandó felülethez, majd ekkor adagolunk egy kis forrasztóónt, melynek gyantája kifejti redukáló hatását. A rossz technika az, hogy forrasztóónt teszünk a pákára, majd ezt a kis cseppet próbáljuk a felületre vinni: a gyanta ekkor pillanatok alatt (enyhe füst kíséretében) elpárolog, a forrasztás pedig kivitelezhetetlen lesz. A forrasztóon, a fémfelület és a páka tehát mindig egyszerre legyen jelen a forrasztásnál. Mivel nincs három kezünk, a fémfelületet (forrasztandó áramkört) esetleg finoman fogjuk be satuba. A pákát tartjuk a megfelelő helyre, érintsük hozzá a forrasztóónt, majd 1-2 másodpercet várjunk, hogy szépen láthatóan körülfolysa a forrasztóon az alkatrészlábat.

A modern technika nyomtatott áramköri elemeket használ, ahogy jelen mérésben is tesszük. Itt egyik oldalon valamilyen (adott esetben egyszerű) mintázatú, forrasztható rézfólia található a lapkán, lyukakkal melyeken keresztül átvezethetők az alkatrészek lábai. A rézfóliával ellentétes oldalra helyezük az alkatrészelemeket, átkötéseket. Az alkatrészlábakat olyan hosszúra vágjuk le, hogy beültetés után (az alkatrészlábat átdugva a megfelelő lukon) a túloldal kb. 1–1,5 mm lógjon ki, és ezt a kis kilógó lábat forrasszuk a lapka rézfelületére. Ha kell ez a kilógó rövid láb lehajtható (ekkor hosszabbra is hagyhatjuk).

Gyakran kell átkötéseket megvalósítani a nyomtatott áramköri csíkok között. Ezt ne úgy tegyük, hogy egy nagy “cseppet” képezünk forrasztóónból, mert ez a sérülékeny, ügyetlen megoldás minden későbbi változtatáskor problémaforrás lehet. Ha közvetlen

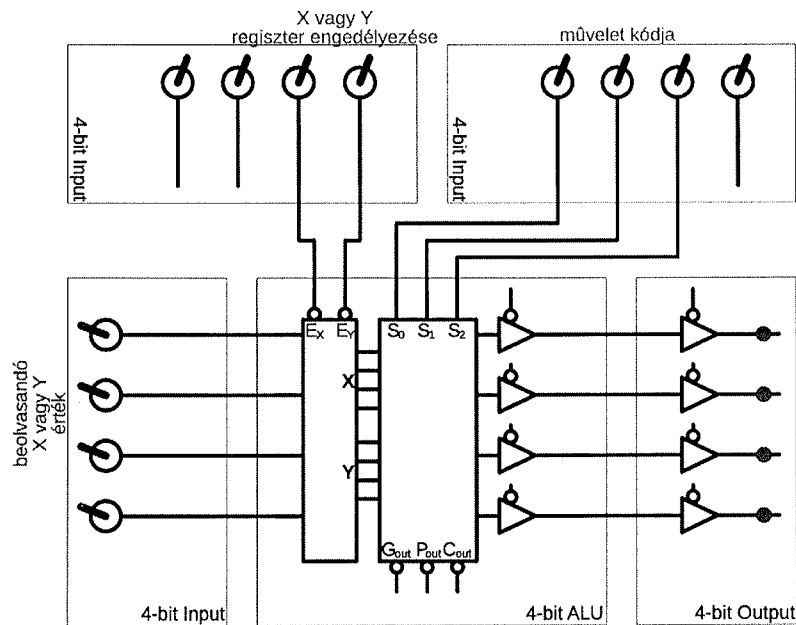
memóriacella	tartalom
0000	0000
0001	1000
0010	1100
0011	1110
0100	1111
0101	0111
0110	0011
0111	0001
1000	0000
1001	0001
1010	0011
1011	0111
1100	1111
1101	1110
1110	1100
1111	1000

11.4. táblázat. Futófényt megvalósító memória tartalma.

Az áramkörben (a könnyebb kezelhetőség érdekében) csak 16 memóriacellát használunk (ezért lett földelve az A_4 címbemenet).

Készítsen futófényt! Írja be a 11.4 táblázat tartalmát a memóriába! Beírásakor az órajelet a kézi nyomógombról adja, kiolvasáskor használja az Adapter/Clock egység 1Hz-es kimenetét!

A kész, működőképes áramkört mutassa be a laborvezetőnek!

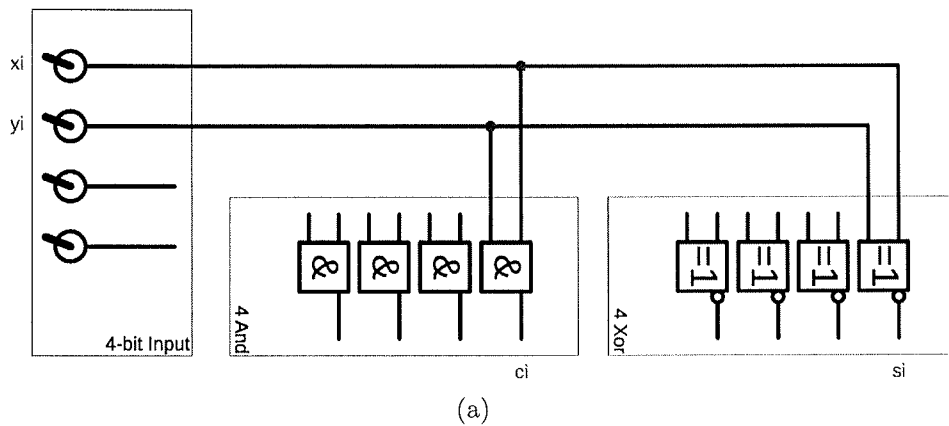


(a)

11.3. ábra. Az ALU használati módja.

11.4. Buszvonala és memória áramkör vizsgálata

Az alábbiakban egy RAM (írható/olvasható memória) vizsgálatával foglalkozunk. 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 tartalmi négybitesek. A memória adat be- és kimenetei közösek, a kimenetek háromállapotúak. Csatlakoztatásuk egy "minibuszvonala" kiépítését igényli. A memória két vezérlőbemenettel (E_R és E_W) is rendelkezik, ezek elnevezései az olvasás, ill. írás engedélyezése szavak rövidítéseiből származnak. Ha $E_R = 0$ a memória kimenete engedélyezett és a címbemenetek által kiválasztott cella tartalma jelenik meg rajtuk. Ha $E_W = 0$ a kimenetek magasimpedanciás állapotba kerülnek, ilyenkor a buszvonala állapotát más elem, pl. egy bufferen keresztül kapcsolódó kapcsolósor határozza meg (pl. itt a memóriába beírandó számmal). A buszvonala levő adat ilyenkor beíródik a címbemenetek által meghatározott memóriacellába. A memóriából való olvasáskor a buffer kimeneteit magasimpedanciás állapotba kell hoznunk, hogy a memóriából kiolvasott szám határozhassa meg a buszvonala állapotát. Ezt a célt szolgálja a buffer és a memória kimenetek felváltott üzemű (ellenfázisú) engedélyezése.



11.1. ábra. A félösszeadó felépítése kapukból.

C_{i-1}	x_i	y_i	C_i	S_i
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

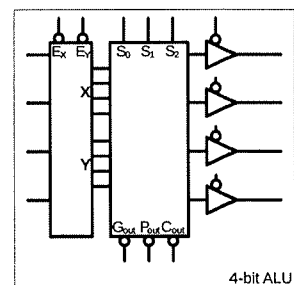
11.2. táblázat. A teljes összeadó igazságtáblázata

11.3. Aritmetikai logikai egység vizsgálata

A mérésben használatos aritmetikai logikai egység egy- ill. kétoperandusú műveletek végzésére alkalmas. Egyoperandusú pl. az inkrementálás (érték növelése eggyel), kétoperandusú pl. az összeadás. Az operandusok négybitesek. A művelet lehet aritmetikai ill. logikai. Aritmetikai pl. az érték növelése eggyel, az összeadás, míg 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 bevételét) egy-egy negált engedélyező bemenet (Ex és Ey) aktiválásával (azaz 0 logikai szint adásával) végezhetjük. A bemeneti regiszterek feltöltése után következhet a művelet kódjának megadása az S_2 , S_1 , S_0 bemeneteken, a 11.3 táblázat szerint.

Az ALU kimenetei háromállapotúak (three-state kimenetek), engedélyezésük a negált En aktiválásával (0 logikai szint adásával) végezhető.

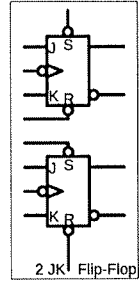
X	Y	S ₂ , S ₁ , S ₀	művelet	eredmény
0101	0011	000	inkrementálás	$E = Y + 1$
0101	0011	001	dekrementálás	$E = Y - 1$
0101	0011	010	kivonás	$E = X - Y$
0101	0011	011	összeadás	$E = X + Y$
0101	0011	100	kizáró vagy	$E = X \oplus Y$
0101	0011	101	vagy	$E = X \vee Y$
0101	0011	110	és	$E = X \wedge Y$
0101	0011	111	egyenlő	$E = Y$



(a)

10.8. ábra. Az ALU működési igazságtáblázata.

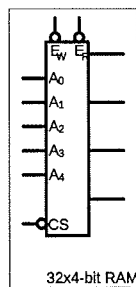
J	\downarrow	K	Q
0	\uparrow	0	előző állapot
0	\downarrow	0	előző állapot
0	\uparrow	1	előző állapot
0	\downarrow	1	törlés
1	\uparrow	0	előző állapot
1	\downarrow	0	beírás
1	\uparrow	1	előző állapot
1	\downarrow	1	ellentettjére vált



(a)

10.5. ábra. A JK kapu igazságtáblázata és a 2 JK modul jelölése.

jelenik meg rajtuk (a buszvonál állapotát a memória kimenetei határozzák meg). Ha $EW=0$ a kimenetek magasimpedanciás állapotba kerülnek, ilyenkor a buszvonál állapotát mások, pl. egy bufferen keresztül kapcsolódó kapcsolósor határozza meg (a memóriába beírandó számmal). A buszvonálon levő adat ilyenkor beíródik a címbemenetek által meghatározott memóriacellába.



(a)

10.6. ábra. A 32x4 RAM modul jelölése.

4-bit Register: 4 bites léptetőregiszter, amely M vezérlőbemenettől függően sorosan vagy párhuzamosan írható. Ha $M=0$ soros adatbemenetről (DS) írható, míg $M=1$ esetén, a párhuzamos bemeneteken levő adatot olvassa be egy órajelciklus lefutása után. 4-bit Latch: tulajdonképpen egy olyan 4 bites regiszter, amelyik csak párhuzamos beírási lehetőséggel rendelkezik. Az E engedélyező bemenetét le kell húznunk nullára (nullára aktív bemenet) ahhoz, hogy a regiszterbe írni tudjunk. Ha $E=1$ a regiszter tartalma megőrződik függetlenül attól, hogy mi történik a párhuzamos beíró bemeneteken. 4-

10.3. Alkatelemek

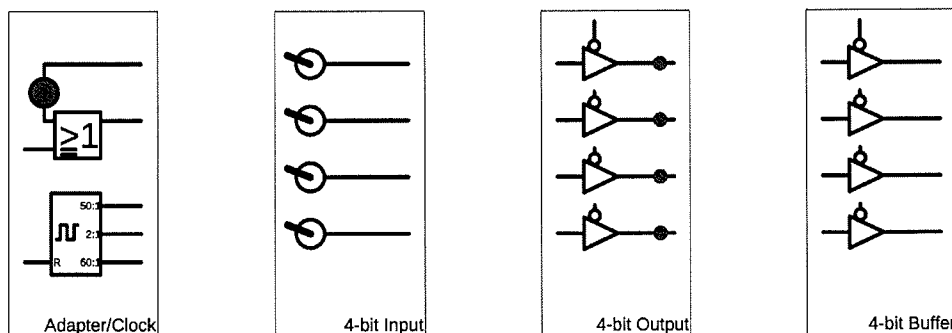
Adapter/Clock: kettős célt szolgál:

1. kapcsolatot teremt a tápegység és az alaplapp között (ezen keresztül jut el a tápfeszültség az alaplaphoz),
2. órajelet szolgáltat az ezt igénylő alkatelemek számára. Kétféleképpen tehetjük ezt: nyomógomb segítségével, vagy a beépített órajelgenerátorral 1Hz, 25Hz, 50/60-ad Hz. (Ezek a kimenetek könnyen azonosíthatóak!)

4-bit Input: egy kapcsolósor segítségével tudunk előállítani egy 4 bites szót más alkatelemek bemenetei részére.

4-bit Output: egy 4 bites szó megjelenítésére szolgál. Ha világít a LED az adott vonal logikai szintje magas, ha nem világít, akkor 0.

4-bit Buffer: 3 állapotú kimenetekkel rendelkező "logikai szint-ismétlő". Ha az alkatelem engedélyezett, a kimenetek logikai szintje egy az egyben megegyezik a bemenetek logikai szintjével, ellenkező esetben a kimenetek magas impedanciás állapotba kerülnek, ilyenkor más kapcsolódó kimenetek fogják meghatározni a logikai szinteket. Ezzel az alkatelemmel lehet buszvonalat alkotni (lásd: buszvonala fogalma). Az engedélyezés egy külön erre a célra szolgáló En (=enable) engedélyező bemeneten történik. A bemenet negált, azaz 0-ra aktív, vagyis ha En=0 a kimenetek engedélyezettek, ha En=1 a kimenetek magas impedanciásak.



(a)

10.2. ábra. Az Adapter/Clock, 4-bit Input, 4-bit Output és 4-bit Buffer modulok jelölése.

4 Inverter: 4 darab egybemenetű logikai negációt megvalósító kapuk.

4 AND, 4 NAND, 4 OR, 4 NOR, 4 XOR: ezek a blokkok 4 darab kétbemenetű kaput tartalmaznak, amelyek rendre az ÉS, NEMÉS, VAGY, NEMVAGY, KIZÁRÓVAGY logikai függvényeket valósítják meg.

10. fejezet

Digitális mérések

10.1. Ismerkedés az eszközparkkal

A felhasznált eszközök a német Leybold tanszergyártó cég termékei. A digitális mérések végzéséhez alapvetően a következőkre van szükségünk:

digitális alaplap: ezekbe lehet beilleszteni az egyes alkatelemeket, biztosítja a tápfeszültséget az alkatelemek számára

alkatelemek: különböző logikai funkciókat megvalósító be-, ki- és egyéb vezérlőbemenetekkel rendelkező "dobozkák" (a tápfeszültséget az alaplapból kapják)

összekötő vezetékek: a "logikai szintek" továbbítására. Különböző hosszúságban állnak rendelkezésre, mindig a megfelelőt használjuk. Két közeli pont összekötésére használjunk rövid vezetékot, hogy minél átláthatóbb legyen az összeállítás!

Fontos !!! Egy logikai kimenet egy vagy több (lásd: fan-out fogalma) bemenethez csatlakozik! Sohasem kössünk össze kimenetet kimenettel!!! Ez alól kivétel a "buszvonalak" esete, l. buszvonala fogalma.

A bekötetlen TTL bemeneteket úgy kell tekinteni, mintha logikai 1 csatlakozna hozzájuk!

10.2. Fogalmak

fan-out: Logikai kimenetek terhelhetőségét jelenti, azt, hogy egy logikai kimenet maximálisan hány bemenetet tud ellátni "biztonságosan" logikai szinttel. Ez alatt azt kell érteni, hogy az illető bemenet még biztosan el tudja dönteni, hogy vele logikai 0-át, avagy logikai 1-et szeretne volna közölni. TTL áramkörök esetén ez az érték 10. CMOS áramkörök fan-outja ennek az értéknek a sokszorososa (több 10-100 szorososa).

A mérési adatokat (azontúl, hogy jegyezze le a jegyzőkönyvbe!) a gnuplot program segítségével ábrázolhatja. A bevezető alapján világos, hogy érdemes logaritmikus ábrázolást választani, azaz, ahol a függőleges tengelyen (jelamplitúdó vagy beütésszám) az érték logaritmusát vesszük. Ezt a gnuplot program automatikusan számítja, a következő parancs alapján:

```
set logscale y
```

majd ezután ábrázoljuk a választott editor segítségével létrehozott adatsort:

```
plot 'beutes.txt'
```

Az ábrán várhatóan láthatóvá válik a meredek kezdeti szakasz kilaposodása, azaz a Geiger-szakasz megjelenése.

4. Mérje meg, hogyan változik a radioaktív forrás intenzitása a távolság függvényében legalább 8-10 különböző ponton! A méréshez állítsa a GM cső feszültségét a legmagasabb állásba, és távolítsa el az esetlegesen bekötött oszcilloszkópot a mérődobozról! (A DVM maradhat a D ponton, ahogy az előzőekben is.) A mérést segíti a forrást tartó állvány alján látható centiméter skála. Először tolja egészen közel a forrást a GM cső falához: legyen ez a 0 cm-es távolság, azaz, számítson mindent ehhez képest! A továbbiakban mindig egy-egy centiméterrel tolja távolabb a forrást, és mérje a beütésszámot a számítógép segítségével! Jegyezze is fel a mért adatokat a jegyzőkönyvbe, és ábrázolja a gnuplot program segítségével!

A radioaktív forrást ismerve, azt várjuk, hogy $1/r^2$ -tel, azaz a távolság négyzetének arányában csökken a beütésszám. A GM csőhöz való legközelebbi állapotában a forrás és a GM cső valós távolsága nem zérus (jóllehet mi ezt vettük annak), hiszen a forrás kicsit mélyebben van mint a tartó tok külső fala, illetve a GM cső is egy védőburkolat mögött található. Emiatt a valódi távolság kicsit nagyobb, mint az általunk leolvasott x távolság, a különbséget nevezzük d -nek. Azt várjuk tehát, hogy a mért távolságtól négyzetesen függ a mért intenzitás: $N \approx 1/(x + d)^2$.

Emellett van egy háttére is a mérésnek, pl. kozmikus részecskék melyek áthaladnak a GM csövön szintén jelet adnak. Ez ami nyilván a forrás távolságától független konstans beütésszámot eredményez. Mindezek alapján azt várjuk, hogy a távolságfüggést jól leírja a következő összefüggés:

$$N(x) = A/(x + d)^2 + H \quad (9.5)$$

, ahol H a háttér beütésszáma, az A pedig egy normalizációs konstans (ami a forrás intenzitásától függ).

Illessze ezt a függvényt a beütésszám mért távolságfüggésére! Ezt a gnuplot programban a fentiek alapján a fit paranccsal pl. így teheti meg:
fit A/(x+d)/(x+d)+H 'tavolsag.txt' via A,H,d

Az ábrázolandó adatsor mindig egy szöveges fájlban kell legyen, az ábrázolás a `plot` 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
```

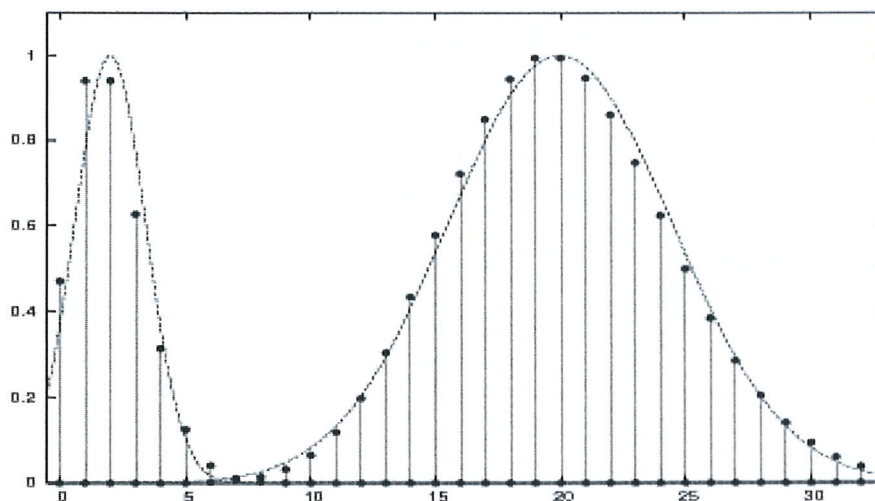
A parancs helyes lefutása után megkapjuk az illesztett paraméterek értékét, illetve ezek hibáját.

9.4. Mérési feladatok

1. A mérőrendszer nagyfeszültségű egysége egy oszcillátorra épül, aminek a jelét az `A` pontra vezettük ki. Mérje meg az `A` ponton mérhető szinuszjel frekvenciáját és amplitúdóját az oszcilloszkóp segítségével!

Mérje meg és rajzolja le a GM cső kimenetének jelét, azaz az `F` ponton mérhető jelet, a legnagyobb feszültségállásban! (A GM cső jele jellemzően impulzusszerű, tehát nem az `A` ponton is mérhető szinuszjel átszűrődő jele a lényeges! Az impulzusok sűrűsége nő ha a radioaktív forrást közelebb helyezzük a GM csőhöz,

2. Mérje meg, mekkora maximális feszültség kerül a GM csőre! A kapcsolási rajz (2. ábra) alapján látható, hogy ez két ponton mérhető: a `D` és `E` pontokon, melyek az `R21` és `R22` ellenállásokon keresztül kapcsolódnak a nagyfeszültségű tápegységre. A DVM belső ellenállása $R_b=10$ Mohm, ami nem elhanyagolhatóan nagy a mérésben. A feszültségosztó képlet alapján a GM cső feszültsége a `D` ponton mérve $U_{GM} = U (R_b+R_{21})/R_b$, az `E` ponton mérve $U_{GM} = U (R_b+R_{22})/R_b$ (itt U természetesen

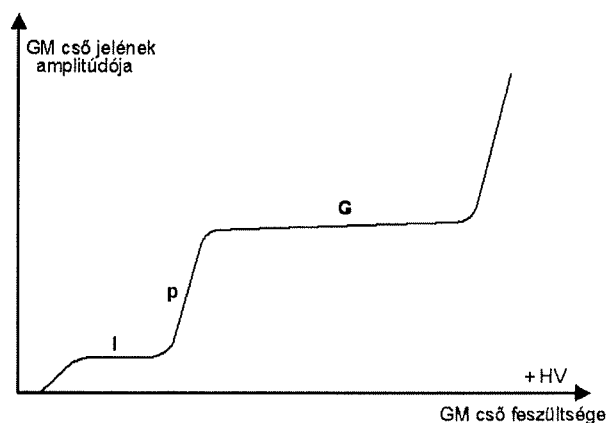


9.5. ábra. A Poisson- és a Gauss-eloszlás $k = 2$ -re és $k = 20$ -ra.

különböző módon elvégzett) mérésnek az eloszlását. Látszik, hogy amikor jóval nagyobb az eseményszám ($k = 2$ helyett 20), akkor már a Poisson-eloszlást jól közelíti a Gauss-eloszlás.

Az elméleti összefoglaló után vizsgáljuk meg, hogy milyen jellegzetessége van az általunk mért (statisztikus) radioaktív sugárzásnak. Az időben véletlenszerűen keletkező (de a GM cső által csak néhány százalékban detektált) impulzusokat megfelelő ideig begyűjtjük. Minden beérkező impulzusnak lejegyezzük az időpontját, így a memóriában kapunk egy eseménynaptárt (t_1, t_2, \dots, t_n) , amit mi idősortnak neveztünk el. Ebből az adathalmazból két különböző (időkülönbség, illetve beütésszám) eloszlást tudunk előállítani. Ez a két eloszlás nyilvánvalóan nem független: ha az események sűrűsödnek, akkor az időtávolságok csökkennek, viszont a beütésszám (azonos idő alatti eseményszám) növekszik. Az idő és beütésszám eloszlásának számítása, ábrázolása a következő részben, a mérő-kiértékelő sugjel.exe program leírásában megtalálható.

Ha kíváncsiak vagyunk arra, hogy mennyire pontos egy mérés, akkor azt úgy ellenőrizhetjük, hogy sokszor elvégezzük egymás után. Technikailag kényelmetlen lenne, hogy mondjuk egy egy másodperces mérést hatvanszor elvégzünk - a kiértékelő program ezt megteszi helyettünk. A program működési elve az, hogy nem csak számlál, hanem egy adott ideig tartó mérésnél az összes beütés időpontját regisztrálja, azaz a memóriában ténylegesen tárolja az idősort, így ezt később felbonthatjuk tetszőleges számú, általunk választott hosszúságú (fiktív) rész-mérésre.



9.4. ábra. A GM cső karakterisztikája.

9.1. A mérési adatok pontosságáról

A mérési hibákat jellemzően két csoportba soroljuk: a statisztikus (véletlenszerű) hibák, illetve szisztematikus (mindig ugyanúgy ható) hibák.

1. Szisztematikus hiba: oka, pl. a rossz (vagy már idővel megváltozott) műszerkalibrálás, illetve környezeti paraméterek (pl. hőmérséklet, légnyomás, tápfeszültség stb.) változásának hatása. Jellemző rájuk, hogy a mérések ismétlésekor ugyanaz a hiba, ugyanolyan módon rontja el az eredményt. A mérést tehát sokszor ismételve sem kapunk pontosabb eredményt.
2. Statisztikus (véletlen) hiba. Az jellemzi, hogy az azonos körülmények, és feltételek mellett kapott mérési eredmények a jó (várható, átlagos, közép, illetve valódi?) eredményhez képest mindkét irányba, nagyjából egyforma súllyal térnek el. A jelen mérés beütésszám-meghatározása tipikusan ilyen eset: véletlenszerű, hogy egy adott idő alatt hány beütést mérünk pontosan, de az átlagtól való eltérés felfelelefele ugyanolyan valószínűséggel történik. Jellemző, hogy, ha a mérést többször (sokszor) megismételjük, akkor a fent említett okok miatt, az eredményeink nem lesznek teljesen egyformák, más szóval a mérési adataink szórni fognak, viszont a sok mérés átlaga egyre pontosabb eredményt ad. A statisztikus hibák szinte bármely folyamatban, pl. észlelésnél (jeladók), erősítésnél, jelátalakításnál (AD, DA) szintén előfordulnak, ennek oka, hogy a zajok statisztikus hibát okoznak.

Mi ebben a mérésben csak a statisztikus hibák esetével foglalkozunk, mivel a radioaktív atommagok véletlenszerűen és egymástól függetlenül bomlanak.

Általánosságban vizsgáljunk meg egy N darabos mérési eredmény sorozatot, amelynél az egyes x_i adatok egy közepes érték \bar{x} körül véletlenszerűen szóródnak. Logikus, hogy minél

(szuperponálódik) az L2-n megjelenő váltójel. Ezt egyenirányítja a D20 és C21 alkatrészekből összeállított egyenirányító, és így még hozzáadódik a már előtte kialakult egyenfeszültséghez. Ezzel a módszerrel sokszorozhatjuk a bemenő feszültséget, ugyanis, amennyi a fokozatok száma, kb. annyszor lesz nagyobb a kimenő feszültség.

A kialakult nagy ($> 600\text{V}$) feszültséget – szabályozás szükségessége miatt – kettős potenciométerre vezetjük, ahová még egy szűrő kondenzátort (C22) tettünk. A potenciométer-páros segítségével a GM csőre jutó maximális, minimális feszültségek aránya kb. kétszeres, miközben a kapcsolási ötlet következtében, a legnagyobb kimenő feszültségnél terheljük le legkevésbé a sokszorozót.

Az illesztő fokozat elválasztja a nagyfeszültségű részt, - az esetleges károsodásokat elkerülendő - a PC érzékeny game portjától.

Az A, B, C, D, E, F, G pontokat azzal a szándékkal vezettük ki a mérődoboz oldalára, hogy miközben azokon mérhetjük az áramkör jellegzetes adatait, lehetőleg minimálisan zavarjuk meg annak működését. Ezekre a pontokra kötött ellenállások értékei ilyen szempont alapján lettek tervezve ($R_{10}=R_{30}=R_{31}=10\text{k}\Omega$, $R_2=R_{20}=R_{22}=10\text{M}\Omega$, $R_{21}=10\text{G}\Omega$). Ismert az a (elkerülhetetlen) tény, hogy a mérés, mindig befolyásolja a mért rendszert, mégis sokszor nem vesszük figyelembe ezt, pedig ettől eltekinteni csak akkor jogos, ha a hatás (elhanyagolhatóan) kis mértékű.

Az általunk, ebben a mérésben használt mérőműszerek (DVM, és a tízes osztóval ellátott oszcilloszkóp) bemenő ellenállása, gyári adatok szerint $10\text{M}\Omega$. Az elektronika alapjainak ismeretéből tudjuk, hogy a mérés befolyásoló hatása, a mért áramkör eredő belső ellenállása és mérőműszer bemenő ellenállásának arányából kiszámolható (feszültségosztó képlet). A GM cső feszültségét két ponton is, a D és E pontokon is mérhetjük, és mint látható, az E ponton sokkal jobban terheljük (R22-n keresztül), mint a D ponton (R21-en keresztül).

Amikor már izotóppal dolgozunk, a DVM-et fixen a D pontra kell csatlakoztatni, így a GM-cső tápfeszültségét folyamatosan le tudjuk olvasni.

A mérőműszer legfontosabb alkatrésze a GM-cső (Geiger és Müller, a feltalálók után elnevezve, 1908). Megfelelő gázzal, vagy gázokkal (pl. nemes gáz és alkohol molekulák keverékével) megtöltött hengeres, és elektromosan vezető cső közepébe egy vékony fémhuzalt helyezünk. A szátra, a külső hengerhez képest elegendő pozitív feszültséget adunk. A kialakult elektromos térerő, a radioaktív sugárzás hatására létrejött elektron-ion párokat különböző irányba gyorsítva mozgatja, és az ütközések miatt újabb töltés-párokat létrehozva, az elektron kaszkádból kialakul egy szál mentén végigterjedő elektromos mikro-kisülés.

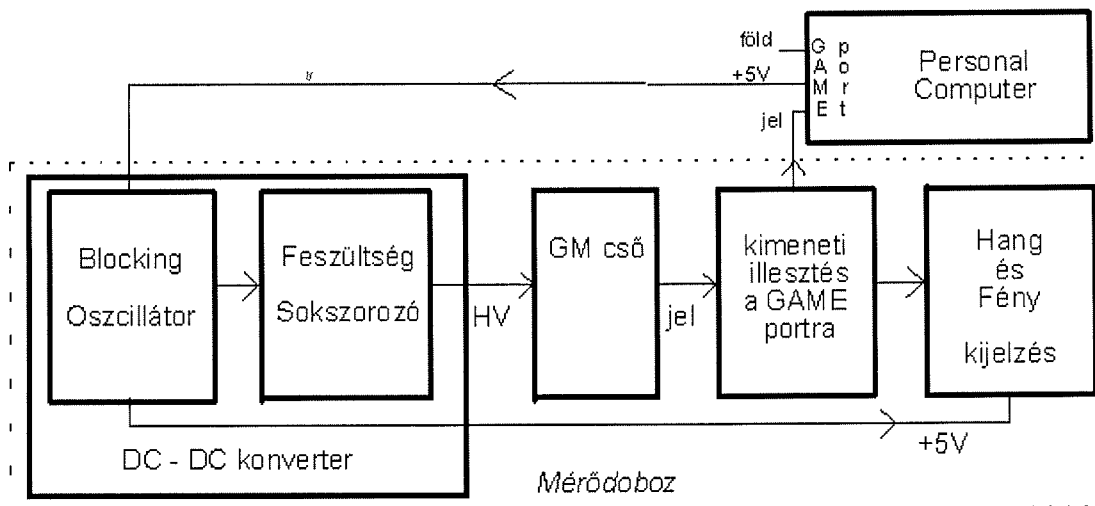
Az áram-impulzus a GM cső áramkörébe beépített munkaellenálláson akár több voltos feszültségimpulzusként megjelenve, már alkalmas közvetlen észlelésre, vagy további feldolgozásra. A mi áramkörünkben az R3-as ellenálláson keresztül bázisáramként vezérli a T3-as tranzisztort, és ezen keresztül a PC game portját.

A GM cső feszültségét növelve a 9.4 ábrán látható jellegzetes karakterisztikát kapjuk. Az ábra függőleges tengelye logaritmikus, mintegy 10 nagyságrendet ölel fel. Az első ún. ionizációs (i) szakaszban csak kis feszültség jut a csőre (néhány volt feszültség), ami

9. fejezet

Radioaktív sugárzás jellemzői

A mérés célja, hogy megismerkedjünk a radioaktív sugárzás detektálásának alapjaival, a radioaktív sugárzás statisztikus (véletlenszerű) viselkedésének törvényszerűségeivel. Ehhez egy olyan egyszerű áramkört használunk, amellyel radioaktív sugárzást tudunk detektálni. A mérés során vizsgáljuk az egyes részegységek működését (oszillátor, sokszorozó, Geiger-Müller cső). A mérési összeállítás egyes egységeit a 9.1 ábra szemlélteti.



9.1. ábra. A radioaktív sugárzást detektáló áramkör egységei.

Az összeállítás két részből áll:

1. Egy PC, amelynek a játék (game) portját két célra használjuk fel. Egyrészt ez szolgáltatja a +5 voltos tápfeszültséget, és a föld csatlakozást, másrészt ide adjuk be a detektorból kijövő, - illesztési okból kissé formált - statisztikus jeleket.

8.3.4. Illesztés

A program tartalmazza egy nemlineáris, a legkisebb eltérések négyzetének minimalizációjának módszerén alapuló illesztési lehetőséget, ami az ún. Marquardt-Levenberg eljárást használja. Az illesztési technikáról a következőkben röviden csak egy kis ízelítőt adunk, a korrekt és precíz tárgyaláshoz azonban feltétlenül egy statisztika könyvet érdemes felütni.

A minimalizáláskor a program minden lépésben lépésenként kiszámolja az x_i pontokban mért y_i adatok és a megadott $f(x_i)$ függvény különbségének négyzetét, súlyozva az y_i értékek δy_i hibájának négyzetével:

$$WSSR = \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i))^2 / \delta y_i^2 \quad (8.3)$$

A nagyobb hibájú pontok így kisebb súllyal esnek latba. A pontok hibája természetesen lehet ugyanaz (ez az alapértelmezés), ekkor praktikusán nincs súlyozás. Ezek után a program megváltoztatja az $f(x)$ függvényben szereplő paraméterek értékét (az $f(x)$ paraméterek szerinti numerikus parciális deriváltjainak felhasználásával) úgy, hogy a $WSSR$ értéke valamennyivel csökkenjen. Újra kiszámolja a $WSSR$ értékét, és folytatja az eljárást addig, amíg minimumot nem talál. Itt kiírja az illesztett paraméterek értékét, azok illesztésből eredő hibáját, valamint az ún. korrelációs mátrixot, amelyiknek 1 és -1 hez közeli értékei azt jelzik, hogy az adott két paraméter erősen korrelál/antikorrelál (azaz az egyik megváltozása mennyire növeli ill. csökkenti a másik értéket, ha ragaszkodunk a $WSSR$ minimumához).

A program által kiszámolt redukált $WSSR$ érték (ami a $WSSR$ a redukált szabadsági fokokkal elosztva) 1 körüli/alatti értéke megfelelő illeszkedést jelez, míg a lényegesen (akár nagyságrendekkel) magasabb érték rossz illeszkedésre utal.

Egy megadott $f(x)$ függvényt a következő parancs illeszt a `meres.dat` állomány adataira (most figyelembe vesszük a hibákat is (negyedik oszlop), ez a mező esetleg elhagyható)

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

Amennyiben a negyedik oszlop mérési adatok hibáját tartalmazza, akkor az ezt így vehetjük figyelembe:

```
fit f(x) "meres.dat" using 1:3:4 via b,c
```

Az illesztés iterációval közelíti meg a minimális eltérést adó értéket. Mivel csak az `b` és a `c` változókat adtuk meg, csak ezeket próbálja megváltoztatni a program. Az iterálás rossz kezdőpontból indulva nem fog megfelelően konvergálni, esetleg láthatóan rossz értéket ad (ezt azonnal leellenőrizhetjük a

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

utasítással). Ilyenkor más értékekről kell elindulni, esetleg csak egy változót kell először illeszteni, majd a másodikat `s.i.t.` Végül egyszerre lehet az összes változót illeszteni. A program által megadott értékek (konfidencia intervallumok, korrelációs mátrix) az illesztési történettel együtt a `fit.log` állományba végéig is hozzáíródnak.

A program többféle típusú rajzot tud készíteni, amit a `with` után adhatunk meg (pl. `dots`, `lines`, `linespoints`, `steps`, `boxes`). Az `xerrorbars` és `xyerrorbars` segítségével a hibákat is feltüntethetjük. Pl. a

```
plot 'meres.dat' using 1:2:(sqrt($1)) with xerrorbars
```

a hibákat a második oszlop gyökeként veszi (ez akkor hasznos, ha a második oszlop pl. beütésszámokat tartalmaz), míg a

```
plot 'meres.dat' using 1:2:($1-$3):($1+$3):4:5 with xyerrorbar
```

az `x` koordináták hibáját a harmadik oszlop, míg az `ymin` és `ymax` értékeket a negyedik és ötödik oszlop adja meg.

Az ábrát feliratozni a

```
set title "Szöveg"
```

paranccsal tudjuk, míg az egyes görbéket a `plot` sorban megadott `title` utasítással jelölhetjük meg. Pl. próbáljuk ki a

```
plot sin(x) notitle w lines, x**2 title 'negyzet' w l
```

utasítást!

Az aktuális időpontot is feltüntethetjük az ábrán a `set time` parancs segítségével.

8.3.2. Változók és függvények

A `gnuplot` változóknak értéket adni pl. a

```
a=1.1 ; b=0.01
```

parancsokkal tudunk, a lekérdezésre pl. a

```
print a, b
```

parancs szolgál.

Komplex változókat is használhatunk: pl. $-3 + 4i$ értéket `{-3,4}` alakban adhatunk meg. A `gnuplot` mind az integer, mind a real típusú változókat használja, ezért vigyázzunk: $5/2$ (ez 2) és az $5.0/2$ (ez 2.5) különböző értékeket jelöl! A programban a `pi` változó definiálva van.

Függvényeket mi is definiálhatunk, pl. a

```
f(x)=a*exp(-b*x)+c
```

parancs megadja az $f(x) = a \exp(-bx) + c$ függvényt.

A C nyelvből örökölt feltételes értékadással (ez `a ? b : c` alakú, ami `b`-t ad vissza, ha az a feltétel igaz, egyébként a `c`-t) egy függvényt több darabból is összerakhatunk, ezt a függvényt is tudjuk illeszteni!

Például függvényünk legyen egy cosinus hullám a $(-\pi/2, \pi/2)$ intervallumban, ezen kívül pedig 0:

```
g(x)= abs(x) < pi/2 ? cos(x) : 0
```

Az értékadást a rajzoláskor is használhatjuk: a

```
plot 'meres.dat' using 1:($4 > 0 ? 1/0 : ($2+$3)/2.0 )
```

8.3. A gnuplot program

A gnuplot egy parancsokkal vezérelt rajzoló és függvényillesztő program. A programnak a forráskódja is rendelkezésre áll, így az lefordítható számos operációs rendszerre, kisebb (elsősorban file elnevezési) eltérésektől eltekintve ezek a változatok ugyanúgy működnek.

A programot a gnuplot utasítással indíthatjuk el, kilépni belőle a quit paranccsal tudunk.

A parancsok értelmezésekor a program különbséget tesz a nagy és kisbetűk között (az utasítások általában kisbetűsek). A parancsokat rövidíthetjük az első egyértelműséget biztosító karakterig. Azaz pl. a két következő utasítás megegyezik:

```
p cos(x) w l
```

```
plot cos(x) with lines
```

A stringeket macskakörmök (") vagy aposztrófok (') között kell megadni. Ezek használata általában megegyezik, kivéve a DOS/Windows környezetet, ahol az állományok nevét aposztrófok (') között kell (érdemes) megadni, ha azok \ jelet is tartalmaznak.

A program támogatja a paranccsor szerkesztését és a korábbi parancsok visszahozatalát (l. felfele nyíl).

A program használatához segítséget a help utasítással kaphatunk.

Lehetőség van a parancsokat egy megadott állományból is beolvasni a

```
load "állomány"
```

parancs segítségével. Az állományokban a # jel megjegyzés sort jelöl (ez igaz a mérési adatokat tartalmazó állományra is).

A program állapotát a különböző utasításokkal (pl. set) állíthatjuk be. Egy adott állapotot a save paranccsal menthetünk el (ezt aztán visszatölthetjük a load utasítással). Pl.:

```
save 'munka.gpl'
```

elmenti a munka.gpl állományba a pillanatnyi állapotot. Ha csak a (később tárgyalandó) függvényeket ill. változók akarjuk elmenteni, akkor a functions ill. var módosítót kell használnunk: save functions 'fuggv.gpl' save var 'valtozo.dat'

Állományból való beolvasáskor hasznos lehet a pl.

```
pause 3
```

parancs, amelyik 3 másodpercet vár, vagy a

```
pause -1 "Nyomjd meg az Enter-t"
```

amelyik egy Enter lenyomására vár.

A trigonometrikus függvényeket radiánban (alapértelmezés) vagy fokban számolhatjuk. A két állapot között a set angles vált. Pl. fokora a set angles degrees, míg radiánra a set angles radians vált.

A programból a ! segítségével programot is indíthatunk, pl. a

```
! pend
```

utasítással kiugrunk a gnuplot-ból, lefuttatjuk a pend programot, majd folytatjuk a gnuplot használatát.

alapján a konstans meghatározása legegyszerűbben egy illesztési lépéssel történik a gnuplot programban, illetve az imént mentett állományt, ami így alakul:

```
fit C 'calib1.txt' using 1:2 via C
```

A meghatározott billenési időket (C paraméter) egy ASCII szöveges fájlba írja bele, megadva az első oszlopban a valódi szögkitérést, másodikban pedig az illesztett konverziós időt

Illessze az $a*x+b$ n lineáris függvényt billenési idő-szögelfordulás függvényre! Készítsen erről ábrát is, és sorszámozva csatolja a jegyzőkönyvhöz!

Adja meg az illesztés paramétereit és határozza meg, hogy mekkora a konverziós tényező (azaz hány μs -mal nagyobb billenési idő tartozik az 1 radián szögelforduláshoz, mint a 0 radiánhoz)!

A konverziós tényezőt fogjuk még használni a továbbiakban: ez lesz a váltószám a mért kitérés és a radiánban mért szögelfordulás között, tehát ez a kalibráció legfontosabb eredménye.

2. Mérje meg az inga mozgását egy alkalmas mintavételi gyakoriság esetén (pl. 10 msec), célszerűen pl. 10 másodperces időtartamra egy normál kitérésű lengés esetén!

Illessze az 8.1 összefüggés paramétereit a mérési adatokhoz (elmentve a file-t a programból, majd a gnuplot programban feldolgozva)!

A függvény definiálása és az illesztés a fentiek alapján így történhet:

```
f(x)=Fm*sin(x/T*2*PI-A)*exp(-x/tau)+FO
fit f(x) 'meres1.txt' via FO,Fm,A,tau,T
```

Itt nyilvánvalóan T a periódusidő, Fm a maximális kitérés (ϕ_{max}), A a kezdőfázis, tau a csillapítás időállandója, FO pedig a nyugalmi kitérés mért értéke.

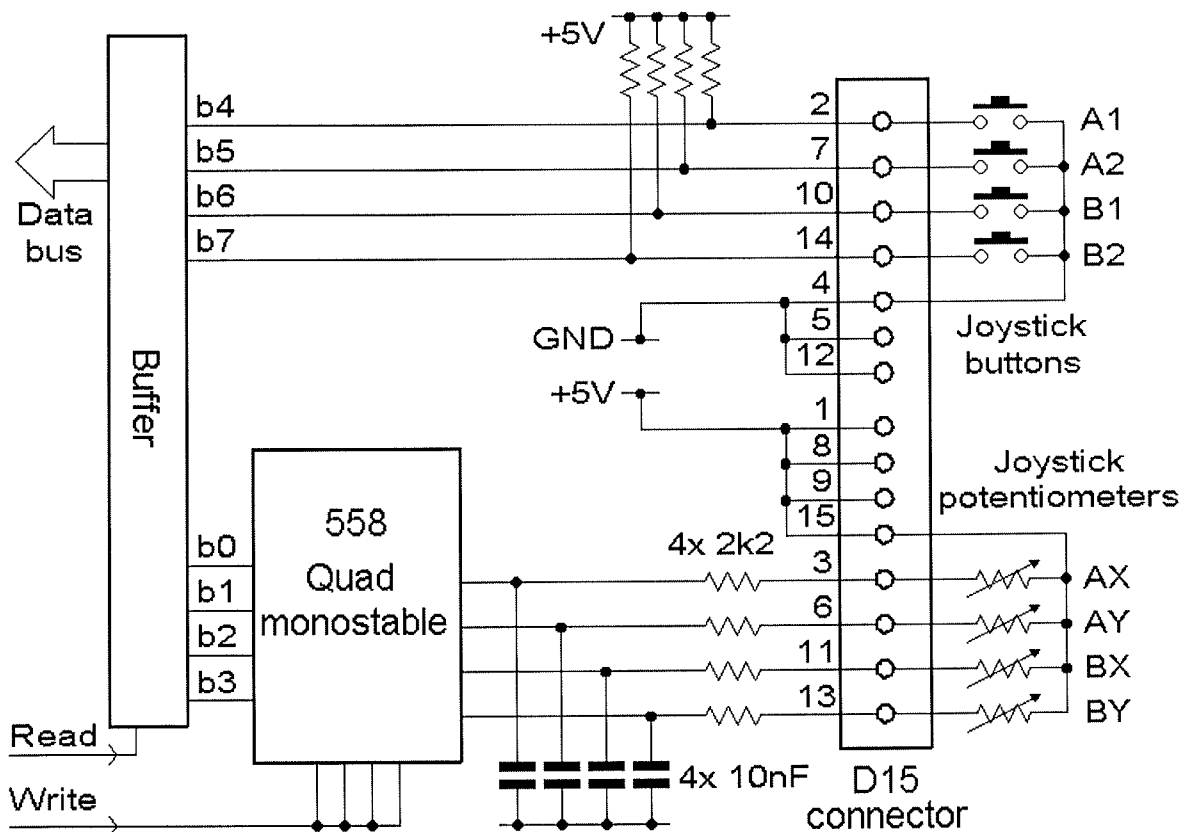
Fontos tudnivaló, hogy a program akkor találja meg könnyen a helyes illesztést, ha a függvény kezdeti paramétereit nagyjából helyesek, ami onnan látszik, hogy az illesztendő függvény nagyjából követi a mérési pontokat.

Ezért első lépésként adjon becsült értékeket a változóknak, majd ábrázolja a mérési adatokat és a függvényt együtt:

```
plot 'meres1.txt', f(x)
```

és miután meggyőződött arról hogy az illesztendő függvény közel helyes, indítsa az illesztést - a paramétereket akár fokozatosan bevonva az illesztésbe!

A T paraméter különösen fontos, az illesztendő függvény és a mérési adatok periódusideje ne legyen láthatóan különböző. A tau paraméter, azaz a csillapítás időállandója azt mondja meg, hogy mennyi idő alatt csökken az amplitúdó az e-ad részére – nyilván látható, hogy ez tipikusan 20-50 másodperc.



8.1. ábra. A PC joystick csatlakozójának kapcsolási rajza.

Az inga egy 220 k Ω -os potenciométer tengelyére van erősítve, ami az AX joystick csatornához csatlakozik. A potenciométer ellenállása nagyjából lineárisan változik az elfordulási szöggel, így ennek eredményeként a billenési idő - szög összefüggés közelítőleg lineáris lesz.

A port billenési idejének meghatározására az inga programot (ikonja a desktop-on található) használjuk a mérés során. A programban beállíthatjuk a mintavétel gyakoriságát és a mérés teljes idejét. A mérés végeredménye mindig megjelenik a képernyőn, kimenteni tetszőleges állományba tudjuk.

8.1. A adatok illesztése

A gnuplot egy általánosan használható, adatsorok ábrázolására, illesztésre, illetve egyéb kiértékelésre szolgáló program. Ebben a mérésben ezt a programot használjuk az illesztések elvégzésére.

Az ábrázolandó adatsor mindig egy szöveges fájlban kell legyen, az ábrázolás a plot

3. A középső leágazásnál vegye fel 1kHz-es lépésekben a rezonanciagörbét és határozza meg a rezgőkör paramétereit, (f_0 -ra illesztett B és Q paraméterek)!

Mérje meg a -3dB-es pontokhoz tartozó frekvenciákat (itt 100Hz-es lépésekben változtassa a frekvenciát), és határozza meg ebből is a Q -t!

A mért értékeket (hozzávéve a sávszélességhez tartozó pontokat is) ábrázolja gnuplotban és illesszen rá Lorentz-görbét! Nyomtassa ki! Adja meg az illesztett függvény alakját, az illesztés alapján a rezonanciafrekvenciát és a sávszélességet.

Határozza meg a rezgőkör jósági tényezőjét, miért különbözhet az illesztés alapján és a mérés alapján meghatározott Q ?

4. (szorgalmi feladat) Azt kaptuk, hogy a fénysebesség rádióhullámokra körülbelül ugyanakkora, mint a látható fényre. A relativitáselmélet jóslata szerint ez akkor igaz, ha az elektromágneses hullám, mint anyag, zérus tömegű. Becsülje meg, hogy legfeljebb mekkora lehet az elektromágneses anyag részecskéinek (kvantumainak) nyugalmi tömege a mérés alapján! (Megj.: a szorgalmi feladat helyes, teljes értékű megoldása egy jeggyel növeli a jegyzőkönyvre kapott érdemjegyet.)

7.4. A rezgőkör rezonanciájának vizsgálata

A rezgőkör rezonanciája körüli viselkedését vizsgáljuk. Válasszuk ki a korábbi táblázatból a középső leágazáshoz tartozó frekvenciát. A frekvencia-lépés nagyságát (δf) állítsuk 1kHz-re, így kellően nagy tartomány tudunk vizsgálni. Mérjük meg oszcilloszkóppal a kapott amplitúdót a rezonancia alatt és felett 6-6 pontban.

A rezgőkörök fontos jellemzője a sávszélesség, ami megmutatja, hogy a frekvenciát változtatva milyen gyorsan csökken a kimeneti amplitúdó. A gyakorlatban sávszélességnek azt a frekvencia-különbséget nevezzük, ami annak a két értéknek a különbsége, ahol a kimeneti feszültség -3dB-lel, azaz $\sqrt{2}$ -ed részére (≈ 0.707 -szeresére) csökken a rezonancián mért maximumhoz képest. Ezt a két értéket is vegyük fel az ábránkhöz!

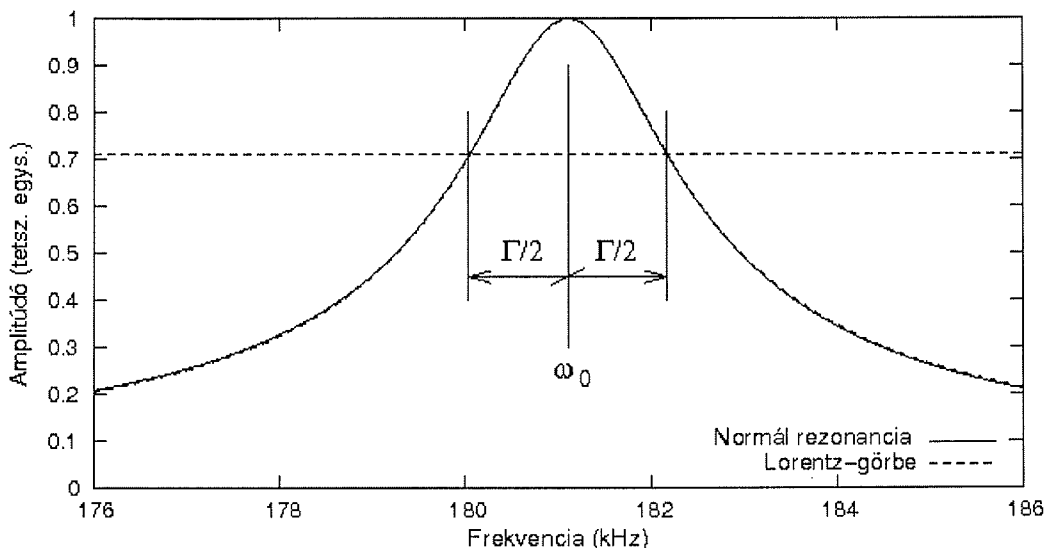
A rezgőköröket jellemezhetjük még az alakjukkal is (mennyire "lapos" vagy "hegyes"). Ezt fejezi ki a jósági tényező, ami a rezonanciafrekvencia és a sávszélesség hányadosa:

$$Q = \frac{f_0}{B} \quad (7.14)$$

Ha helyesen mértünk, akkor a mérési pontok Lorentz-görbéhez hasonló képet mutatnak.

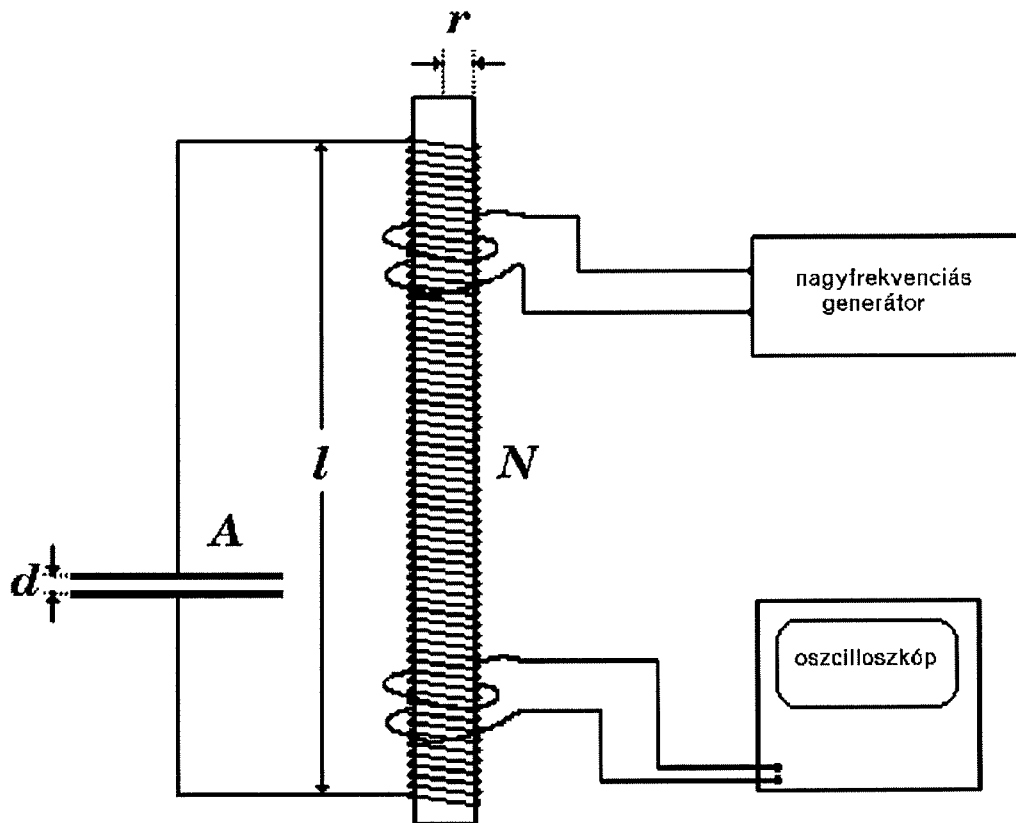
$$A = \frac{M}{\sqrt{(f - f_0)^2 + B^2/4}} \quad (7.15)$$

ahol A a mért amplitúdó, f a frekvencia, f_0 a rezonanciafrekvencia, B a sávszélesség, M pedig egy olyan szám, amivel figyelembe tudjuk venni a mért feszültség nagyságát.



7.2. ábra. Normál rezonancia és Lorentz-görbe a $Q = \Gamma$ jósági tényezővel.

Illesszünk a mérési pontokra megfelelő függvényt, és jegyezzük fel a görbe paramétereit!



7.1. ábra. A rezonáns rendszer mérési elrendezése.

A mérés során különböző tekercs-hosszak esetén megkeressük a hozzájuk tartozó 1 rezonanciafrekvencia értékeit, az adatsorból kiszámoljuk a $c_0 = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$ értéket, vagyis a fénysebességet.

7.3. A mérés menete

Vizsgáljuk meg a 7.1. ábrának megfelelő mérési összeállítást!

A kondenzátorlemezek mérete 150 x 300 mm, amiből kiszámolhatjuk az A felületet. A közöttük lévő távolság $d = 1.7\text{mm}$. Figyelem! 4 db lemezt használunk, így közöttük 3, teljesen azonos kondenzátor alakul ki; ezt legegyszerűbben 3-szoros felülettel vehetjük figyelembe.

A tekercs sugara $r = 16\text{mm}$, a teljes hossza $l = 360\text{mm}$ és $N = 760$ menetet tartalmaz. Az egységnyi hosszra eső menetek száma $n = 2088$. A leágazások 40 menetenként vannak elhelyezve.

A nyomógombos vezérlésű, precíziós jelgenerátort a következőképpen kezeljük:

kapacitás könnyen adódik:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d} \quad (7.2)$$

Tekintsünk egy l hosszúságú, r sugarú tekercset, melyben I áram folyik. Legyen a tekercs teljes menetszáma N , az egységnyi hosszra eső menetszám n (azaz $N = nl$). A tekercs belsejében keletkező B mágneses indukciót az Ampère-törvényből számolhatjuk (feltételezve, hogy csak a tekercsen belül van mágneses tér, kívül elhanyagolható):

$$Bl = \mu NI \quad (7.3)$$

ahol μ a tekercsen belüli térrész mágneses permeabilitása.

A tekercs induktivitását a gerjesztési törvényből kapjuk, ami szerint az indukált feszültség arányos a körüljárt fluxus változási sebességével. N menetszámú tekercs esetén a $Br^2\pi$ fluxust N -szer járjuk körül, tehát:

$$U = -Nr^2\pi \frac{dB}{dt} = -Nr^2\pi\mu \frac{N}{l} \frac{dI}{dt} \quad (7.4)$$

Mivel az induktivitás definíciója: $U = -LdI/dt$, fenti összefüggés szerint tehát:

$$L = \mu r^2 \pi n^2 l \quad (7.5)$$

Rezonanciafrekvencián a rezgőkörben lévő tekercs és kondenzátor impedanciája azonos nagyságú, így felírhatjuk:

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} \quad (7.6)$$

ahonnan az $\omega_0 = 2\pi f_0$ alkalmazásával megkapjuk a jól ismert Thomson-képletet:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (7.7)$$

Helyettesítsük be ebbe a fentiek alapján a tekercs és a kondenzátor geometriai paramétereit:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu r^2 \pi n^2 l \varepsilon A/d}} \quad (7.8)$$

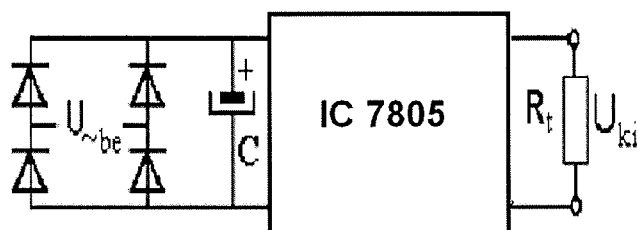
Látható, hogy a geometriai paraméterek mellett csak μ és ε szerepel. Mindkettő egy fizikai állandó és egy anyagi jellemző szorzatából áll: $\mu = \mu_0 \mu_{rel}$ illetve $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_{rel}$. Mivel a tekercs belsejében, illetve a kondenzátor lemezei között levegő van, ezért a $\mu_{rel} = 1$ és $\varepsilon_{rel} = 1$ értékeket használjuk (egészen pontosan ε_{rel} levegő = 1,00059, de ezt elhanyagolhatjuk.) A Maxwell-egyenletekből ismerjük, hogy a fény vákuumbeli sebességét

8. Állítsunk össze egy kétutas egyenirányító kapcsolást, az ún. Graetz típusú áramkört. Legyen a bemenőfeszültség 6V-os effektív értékű. Ábrázolja grafikonon a be és kimenő jelalakokat a kondenzátor nélkül és a C kondenzátort beépítve! Ugyanezen a grafikonon rajzolja fel az R_t ellenálláson mérhető kétféle kimeneti jelet. (Ne feledje le a tengelyekről a mérőszámokat és mértékegységeket sem!) Az $R_t = 500\Omega$ és $C = 100\mu\text{F}$ legyen! A mérésnél az oszcilloszkópot természetesen a DC állásban használja!
9. Vizsgálja meg a Zener diódás kapcsolás feszültségstabilizáló hatását. Az egyenfeszültséget az előbb összeállított Graetz kapcsolásból vesszük (kondenzátoros szűréssel, $C = 100\mu\text{F}$) a diódát Zener -módban (záró irányban) használjuk.
- A Z Zener diódát kérje az oktatótól! Legyen $R=220\ \Omega$ az R_t terhelésnek pedig állítson be $100\ \Omega$ - $1100\ \Omega$ közötti értéket a potenciométer segítségével. A bemenetre állítson be $U_{be} = 10\text{V}$ feszültséget, a Graetz-kapcsolásból. Ábrázolja a kimenő feszültséget 8 különböző terhelő ellenállás érték mellett. (pl. $R_t = 100, 200, 400, \dots$, stb.)
10. Állítsuk be a terhelő ellenállás értékét a maximális ($1100\ \Omega$ értékre és vizsgáljuk meg, hogy hogyan változik a kimenő feszültség miközben a bemenő feszültségértéket változtatjuk. Mérje meg az U_{ki} értékét az U_{be} 8 különböző (pl. $U_{be} = 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11\ \text{V}$) értékénél! (U_{be} értékét vegye a Graetz kapcsolásból)
- A fenti adatok alapján ábrázolja a be- és kimenő feszültség összefüggését $1100\ \Omega$ terhelés mellett.
11. Áramkorlátozós stabilizátor mérése. Építse be az kondenzátoros egyenirányító Graetz kapcsolás után az 7805-ös integrált áramkörös kapcsolást, az alábbi ábra alapján:
- Állítsa be a bemenő feszültséget úgy, hogy a stabilizátor bemenetén 9V feszültséget kapjon.
- Mekkora a kimeneten mérhető U_{ki} feszültség ekkor ?
- Mérje meg a kimenő feszültséget az R_t terhelés függvényében a legalább 8 ellenállásértéknél - készítsen táblázatot!
- Számolja ki az egyes terhelés-értékekhez tartozó kimenő áramot! Ábrázolja a kimenő áram függvényében a kimenő feszültséget! Próbáljon sűrűbben mérni a töréspont környékén, azaz, ahol az áramkorlátozás működni kezd!
- A grafikon alapján állapítsa meg, hogy mekkora I_{max} áram esetén illetve mekkora R_t terhelés mellett kezd csökkenni a kimeneti feszültség.

kimenő feszültség csökken kicsit – pont mintha egy kis értékű ellenállás lenne sorbakötve egy ideális tápegységgel. Ezt a kis értékű ellenállást nevezzük belső (kimenő) ellenállásnak: nem más ez tehát, mint a kimenőfeszültség változásának és a kimenő áram változásának aránya: $R_{\text{belső}} = \Delta U_{\text{ki}} / \Delta I_{\text{ki}}$

6.3.2. Áramkorlátozós stabilizátor

Ez a kapcsolás már egy tényleges, korszerű tápegységet eredményez, mely azontúl hogy pontos stabilizálást ér el, belső áramkorlátozással is rendelkezik. Ehhez a 78xx-as sorozat 5 V-os stabilizátor integrált áramkörét használjuk. A kondenzátoros egyenirányító Graetz kapcsolás után az 7805-ös integrált áramkörös kapcsolást az alábbi ábra alapján építhetjük fel. A kimenő áramot változtatva, a kimenő feszültség egyszerűen csak elkezd csökkenni: működésbe lép az áramkorlátozás. Ennek szerepe hogy túlterhelés ellen védje az áramkört. Jellemző, hogy a kimenő áram ekkor közel konstans, melyet a 7805-ös integrált áramkör a kimenő feszültség csökkentésével ér el.

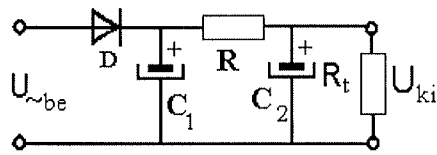


6.8. ábra. Áramkorlátozós stabilizátor 7805-ös integrált áramkörrel.

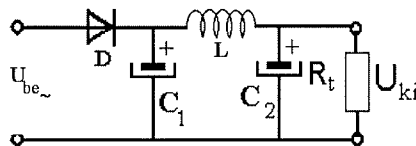
6.4. Mérési feladatok

1. Mérje meg az adott hálózati szabályozható (toroid) transzformátor szekunder tekercsének minimálisan és maximálisan beállítható kimeneténél az effektív (U_{eff} , ezt a DVM AC állásában mérheti) váltófeszültségét és amplitúdó maximumát (U_0 - ezt mérje oszcilloszkóppal) A maximális kimenetnél az oszcilloszkópon mért jelalakot ábrázolja alakhűen! Rajzolja fel a ezen grafikonra az effektív értéket is, vízszintes vonallal!

Határozza meg mi az arány szinuszos jelek esetén az U_{eff} és az U_0 mennyiségek között! (A minimálisan beállítható érték a transzformátor belső felépítése miatt



6.4. ábra. Egyutas egyenirányító, C-R-C szűréssel

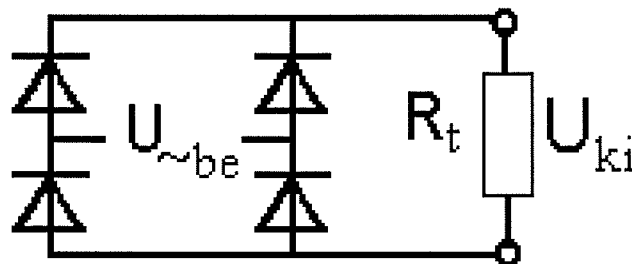


6.5. ábra. Egyutas egyenirányító, C-L-C szűréssel

Az R ellenálláson nyilván egyenfeszültség esik, ami felesleges veszteség, ezért érdemes az R helyett egy tekercset (L) használni: ezen egyenáramon nem esik feszültség, csak a váltófeszültség szempontjából képvisel ellenállást. Itt is meg kell mérni a kimenőfeszültség és a hullámosság értékét.

6.2.4. Kétutas egyenirányító kapcsolás

Hasznos lenne a transzformátor kimenetén megjelenő szinuszos feszültség mindkét félhullámát egyenirányítani: erre szolgál az ún. Graetz kapcsolás.



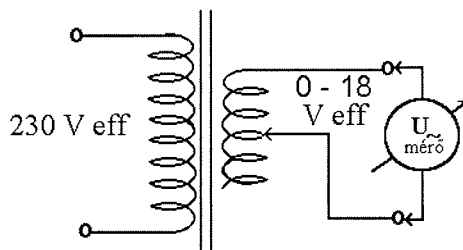
ábra!

6.6. ábra. A Graetz-kapcsolás.

A váltófeszültséget a diódapárok közé tesszük. Könnyen látható, hogy mindig lesz egy olyan diódapár, ami vezet, emiatt a kimeneten megjelenik mindkét fele a szinuszfélhullámoknak, helyes polaritással.

A Graetz-kapcsolás szűrőkondenzátorral.

feszültségérték körülire), majd egyenirányítani kell. Első lépésben vizsgáljuk a hálózati transzformátor kimenetét.



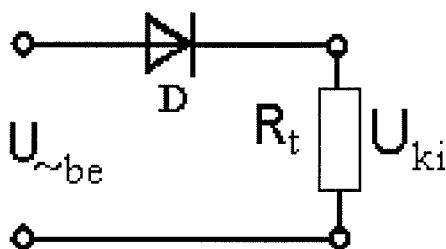
6.1. ábra. A hálózati transzformátor szekunder oldalának mérése.

A kimeneti feszültséget jól jellemzi amplitúdója, azaz a nullától való legnagyobb kitérése. Általában mégis a jelnek megfelelő effektív feszültséget használjuk, ami egyakkora egyenfeszültség értéke, melynek teljesítménye egyenlő az adott szinuszos jelével. Matematikailag az effektív feszültség négyzete a mérendő jel feszültségnégyzetének időátlaga. A feszültségmérők AC állásban mindig az effektív feszültséget mérik.

6.2. Egyenirányítás

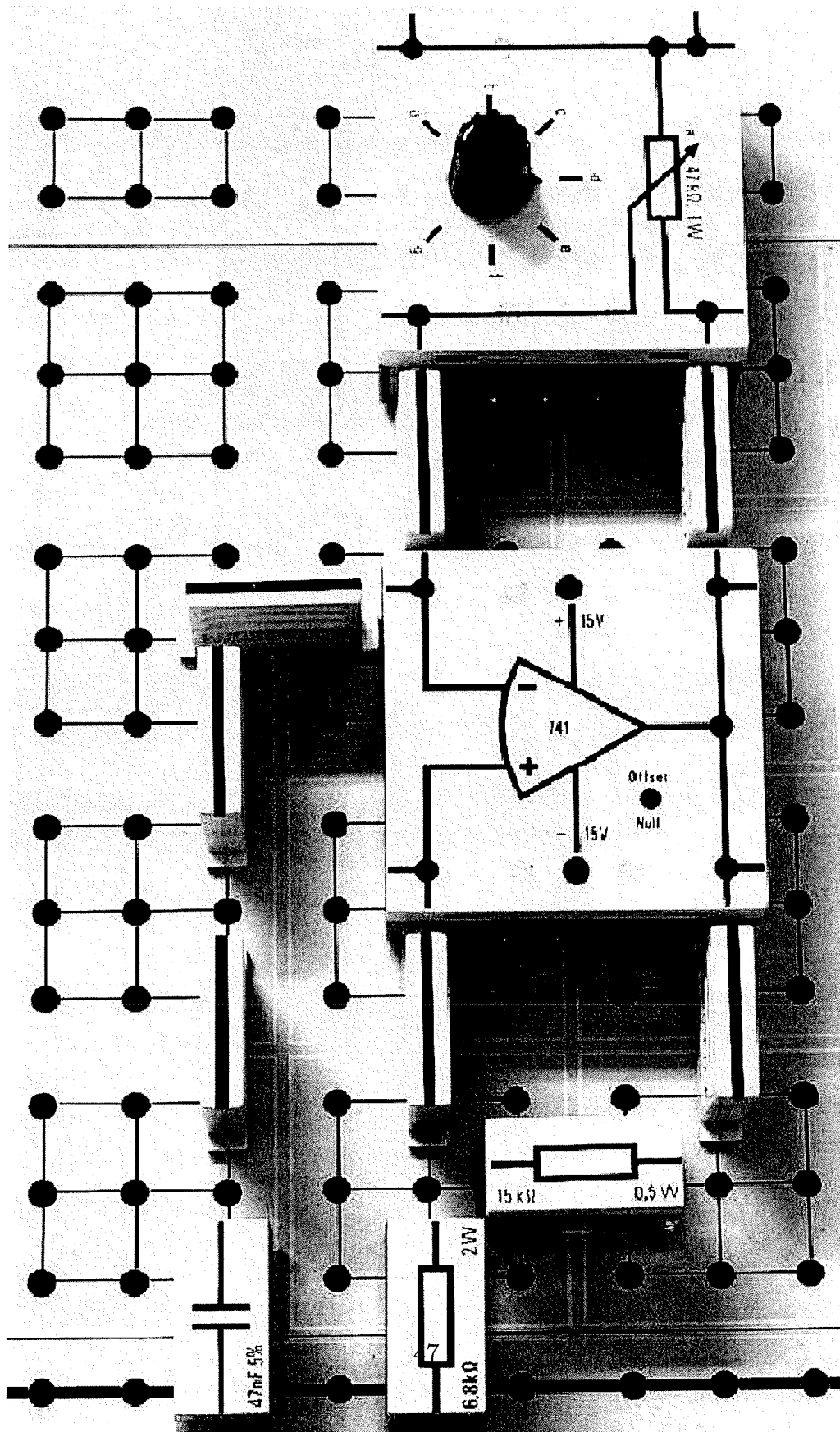
6.2.1. Egyutas egyenirányító

Az egyutas egyenirányító kapcsolást először szűrőkondenzátor és terhelés nélkül vizsgáljuk. A bemenő váltófeszültséget 10 V effektív értékre állítsuk be. Az ábrán D: Si dióda, R_t : pl. 470 Ω a terhelő ellenállás.

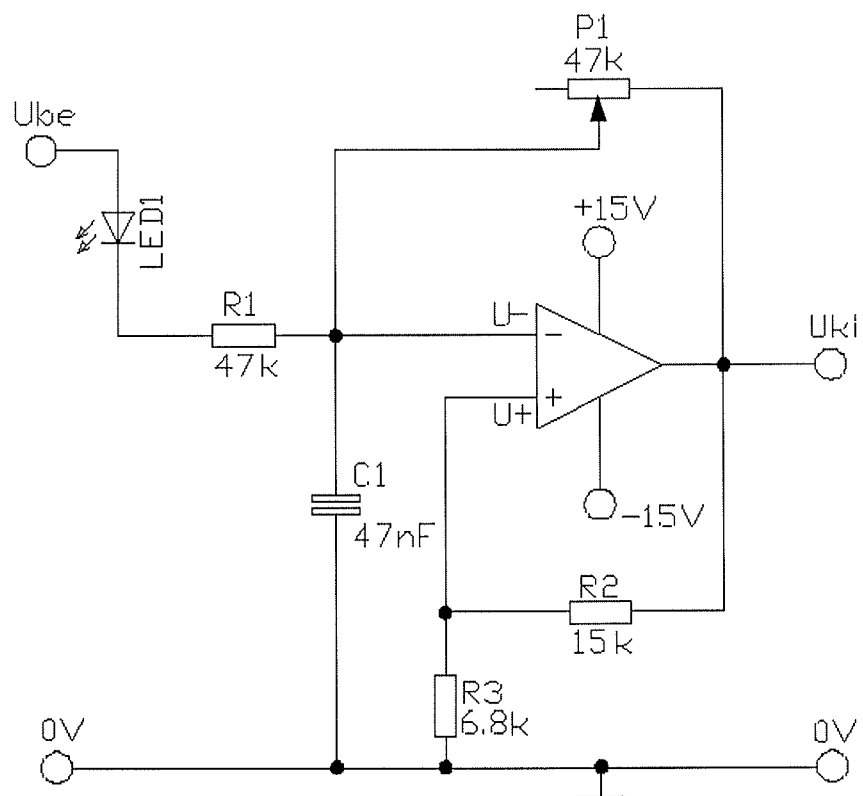


6.2. ábra. Egyutas egyenirányítás Si diódával.

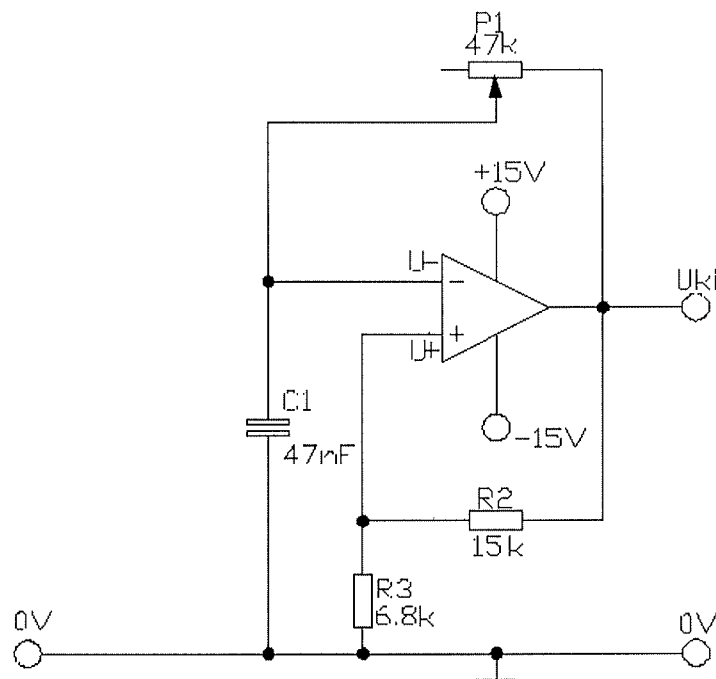
A dióda a valóságban nem ideális: rajta feszültség esik akkor, ha vezet. Ez azt jelenti, hogy a terhelő ellenálláson nem jelenik meg a teljes bemenőfeszültség. A be-



5.11. ábra. Schmitt-triggeres oszcillátor.



5.9. ábra. Schmitt-triggeres VCO oszcillátor kapcsolási rajza.



5.7. ábra. Schmitt-triggeres oszcillátor kapcsolási rajza.

Mekkora a periódusidő az oszcilloszkópon megmérve?

Mennyire egyezik meg ez a frekvenciamérővel mérhető értékkel?

13. Kösse az oszcilloszkóp egyik bemenetét ott az U_{ki} kimenetre, a másik bemenetet pedig az U₋ pontra (a műveleti erősítő invertáló bemenetére). Figyelje meg a két jelalakot, és rajzolja le.

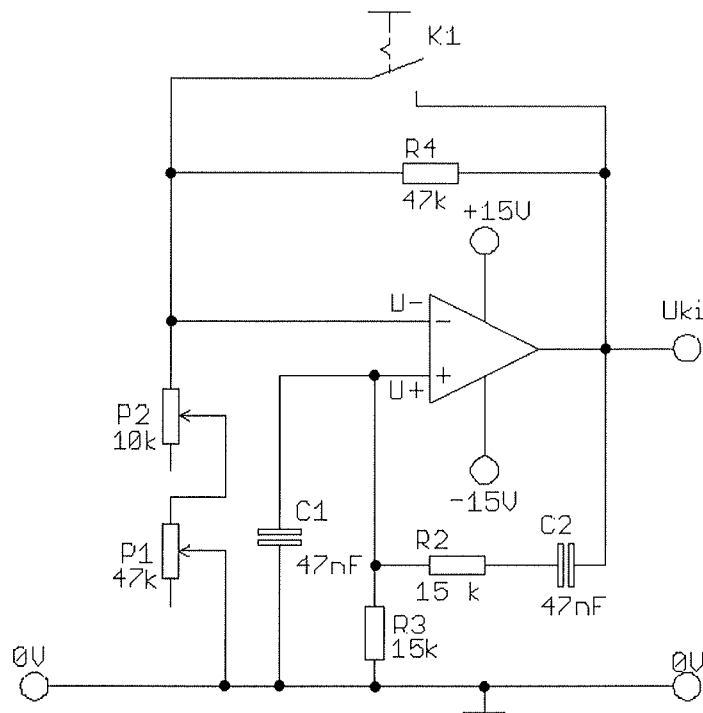
Mekkora a két jel szélessége, mekkora a minimális és a maximális feszültségek értéke – miért éppen ezeket mérí?

14. A műveleti erősítő tápfeszültségeit állítsa be +12V és -12V-ra, majd +6V és -6V-ra. Mérje meg ezekben az esetekben is a két jel amplitúdóját és a periódusidőt az oszcilloszkópon!

Magyarázza el, hogy miért mérte ezeket az értékeket!

15. A műveleti erősítő tápfeszültségeit állítsa vissza +15V és -15V-ra, és módosítsa a kapcsolást a 5.8 ábrán láthatóra! A kapcsolásban használt LDR ellenállás fény hatására változtatja az ellenállását.

Próbálja meg az LDR letakarásával minél kisebb frekvenciát elérni – mekkora ez az érték?



5.6. ábra. Wien-hidas oszcillátor kapcsolási rajza.

(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!

6. Kösse az oszcilloszkópot az Uki kimenetre, majd a P2 potenciométert állítsa középállásba, K1 legyen nyitva. Ezután lassan változtassa a P1 potencio métert, egészen addig, amíg a rezgés éppen el nem indul. Ekkor a P2 segítségével finoman beállíthatja a lehetőleg torzítatlan szinuszos jelet!

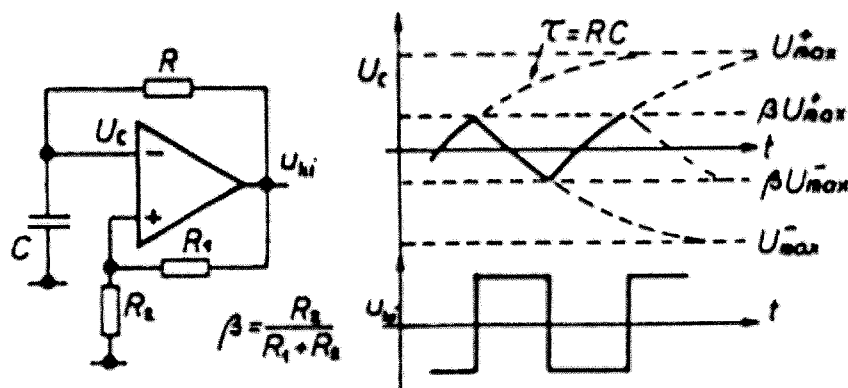
Mekkora a kimenő amplitúdó?

Mekkora a periódusidő az oszcilloszkópon megmérve?

Mennyire egyezik meg az elméletileg az RC tagból kiszámolt értékkel?

7. Az összeállításban szinuszos oszcillációnál (azaz a finoman beállított P1 és P2 potenciométer értékeknél, a határon) zárja a K1 kapcsolót: ekkor a negatív visszacsatolásban az erősítés 1-re csökken, ami nem elég az oszcilláció fennmaradásához, ezért a rezgés leáll.

így az első és második billenési szint - és vele az áramkör hiszterézise - egyszerűen meghatározható. Szimmetrikus tápfeszültség esetén a billenési szintek is szimmetrikusak.



5.5. ábra. Relaxációs oszcillátor Schmitt-kör visszacsatolásával: a kialakuló hullámalakot az RC kör határozza meg.

Az ábra szerinti áramkör lényegében egy astabil multivibrátor, abban az értelemben, hogy a kimeneten egy (szimmetrikus) négyszögjel áll elő. Alapeleme az előbbi Schmitt-kör, itt azonban egy kondenzátor töltődési/kisülési folyamatát befolyásolják a billenési szintek. A kondenzátor töltődik ill. kisül a U_{+max} és az U_{-max} értékekhez, a töltődési görbe a $\Delta U(1 - e^{-t/RC})$ alakú.

Amikor a C kondenzátor eléri a billenési szintet, akkor a kimenet átvált, megváltoztatva az a feszültséget, ahova a kondenzátor töltődik. Fontos látni, hogy a kondenzátoron fellépő jelalak nem háromszög alakú. A négyszög alakú kimenőjel frekvenciáját alapvetően az RC időállandó határozza meg, a felfutási idő a műveleti erősítő felső határfrekvenciájától függ.

Számos esetben szükség van arra, hogy egy oszcillátor frekvenciáját pl. egy feszültség segítségével megváltoztassuk (hasonló elvet használnak pl. bizonyos TV és rádió hangolóegységekben a kívánt állomás beállítására). Ezt a funkciót egy Schmitt-körös relaxációs oszcillátorban is megvalósíthatjuk, ha - a billenési szintek fixen hagyása mellett - megváltoztatjuk azt a feszültséget, amelyik felé a C kondenzátor töltődik.

5.3. Mérési feladatok

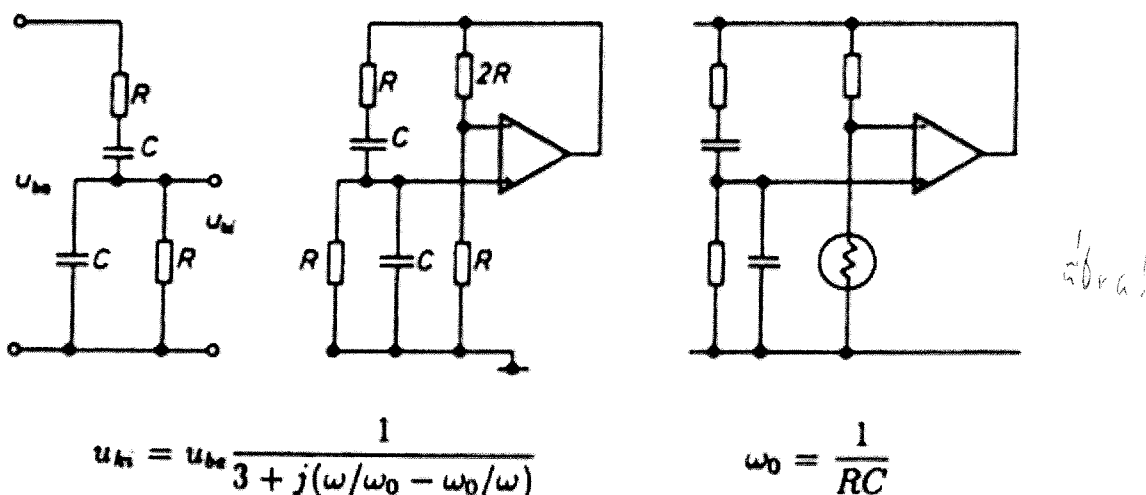
1. Függvénygenerátor használata

A laboratóriumi mérésekben nem csak szinuszos, hanem más jelalakokat is előállító oszcillátorokra is szükség lehet: ezek az eszközök pl. szinusz, négyszög, háromszög jeleket állítanak elő, sok esetben digitális skálával ellátva. A mérésben használt generátor egyben egy frekvenciamérő modul is tartalmaz, amelyet külön is használhatunk.

5.1. Wien-hidas oszcillátor

Ebben a mérésben szinuszos jelalakot adó oszcillátort vizsgálunk. Működésének feltétele, hogy pozitív visszacsatolás mellett folyamatosan és pontosan biztosítani kell az $A\beta=1$ hurokerősítést, ellenkező esetben a rezgés vagy leszakad, vagy benégyyszögeseedik. A pozitív visszacsatolás csak egyetlen, jól meghatározott frekvencián jöhet létre.

A 5.3 ábra bal oldalán egy nagyon egyszerű RC hálózat, az ún. Wien-híd rajza látható. Ez a hálózat arról nevezetes, hogy létezik egy olyan frekvencia, amelynél a kimenőjel fázisa megegyezik a bemenőjel fázisával. Ezen a frekvencián a hálózat erősítése $1/3$. Ha ehhez a hálózathoz olyan erősítőt kapcsolunk, aminek az erősítése 3 (vagy annál csak kicsivel nagyobb), és a kimenetet a bemenetre visszavezetjük, akkor rezgő rendszerhez jutunk:



5.3. ábra. A Wien-híd alapkapcsolása

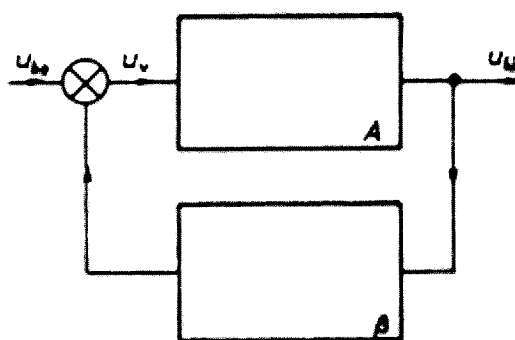
A háromszoros erősítőt legegyszerűbb egy műveleti erősítő negatív visszacsatolásával létrehozni. Így jutunk el a Wien-hidas oszcillátorhoz. Az elnevezés magyarázata: egy majdnem teljesen kiegyenlített Wien-híd ici-pici kimenőjelét erősíti a nagy erősítésű rendszer kimenőjellé, hogy az táplálja a híd bemenetét.

Fontos megérteni, hogy a fenti áramkör tetszőleges amplitúdón rezeghet – feltéve, ha az $A\beta$ hurokerősítés pontosan 1. Ez a gyakorlatban szinte sohasem következik be, ezért az áramkör egy gyakori változatában a negatív visszacsatolási ágban izzólámpát, termisztorokat, vagy egyéb negatív hőefficiensű ellenállásokat alkalmaztak. Ennek ellenállása ugyanis a rájutó teljesítmény hatására növekszik. Ha tehát növekszik a kimenőjel amplitúdója, akkor nő a negatív visszacsatolás mértéke, csökken az erősítés, ami lecsökkenti a kimenőjel amplitúdóját – azaz tehát egyfajta amplitúdó stabilizálást eredményez.

5. fejezet

Oscillátorok

Az oszcillátorok periodikus jelet előállító jelforrások, generátorok, azaz olyan áramkörök, amelyeknek nincs bemenete, csak kimenete. A jelgenerálás alapja a pozitív visszacsatolás. A visszacsatolásra példa, amikor egy A erősítésű erősítő kimenőjelenek β -szorosát visszavezetjük és a bemenőjelhez előjelesen hozzáadjuk. β általában kisebb mint egy, mivel nagyon sokszor ez a hálózat egy egyszerű ellenállás-osztó. Eléggé érdekes eset, amikor β egységnyi: ilyenkor a teljes kimenőjelet visszavezetjük és a bemenőjel és a kimenőjel közötti különbség vezérli az erősítőt. A visszacsatolás hatására az erősítő bemenetére jutó ún. vezérlőjel vagy nagyobb, vagy kisebb lesz, mint visszacsatolás nélkül lenne. Az előző esetet nevezzük pozitív visszacsatolásnak, az utóbbit negatívnak.



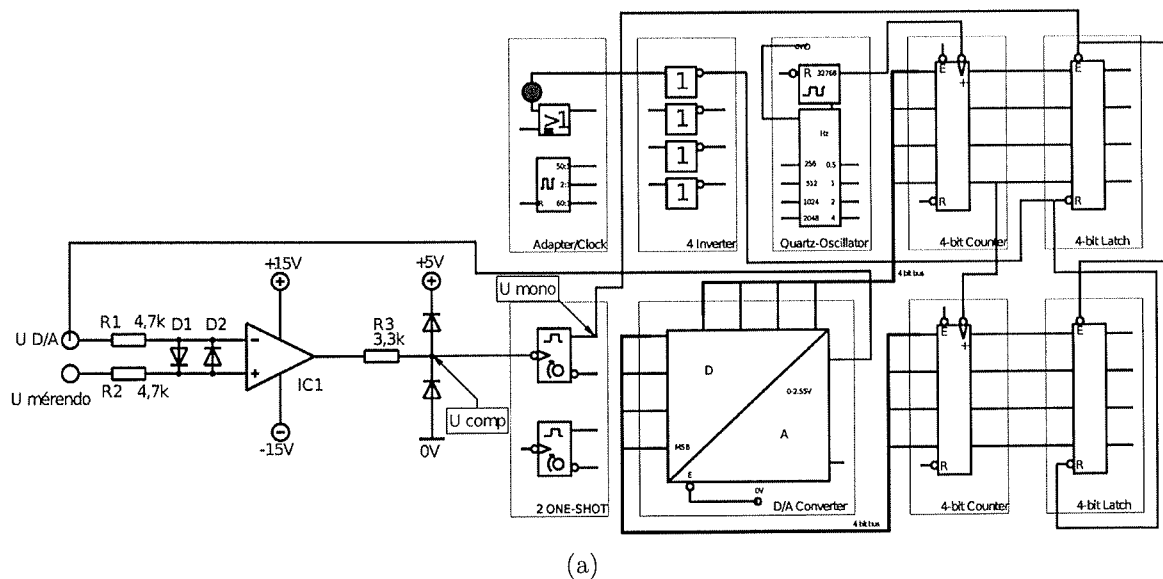
$$u_{ki} = Au_v$$

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

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

5.1. ábra. Erősítő blokkvázlata visszacsatolással. Az előjel függ az erősítő fázisfordításától; a kis körrel jelzett összegezőtől, amely esetleg különbségképző; a β hálózat előjelétől stb.

$$A' = \frac{A}{1 - \beta A} \quad (5.1)$$



4.10. ábra. A mérési elrendezés.

kimenetén pozitív tápfeszültség közeli érték jelenik meg. Ha a konverzió alatt a növekvő lépcsőfeszültség ($U_{D/A}$) eléri ill. meghaladja $U_{\text{méréndő}}$ -t a műveleti erősítő komparál, vagyis a kimenet egy lefutó éllel átbillen negatív feszültségre. A kimenet egy jelformáló áramkörre kerül, mely átalakítja digitális jelszintre (5 és 0 V). A lefutó él indítja a monostabil multivibrátort, amely egy állandó időtartalmú impulzus előállítására alkalmas eszköz. A monostabil kimenetén megjelenő rövid negatív impulzus a latch tároló párhuzamos adatbeolvasást engedélyező bemenetére (logikai nullára aktív) kerül. A tároló mintavételezi a számláló állását, ami a modul kimenetén binárisan jelenik meg. A monostabil, astabil, számláló, D/A converter és a lach Leybold digitális modulokból van összeépítve.

A mérési elrendezés össze van állítva, változtatni csak a mérendő feszültséget és az astabil frekvenciáját lehet. A különböző mérőpontokat a kapcsolási rajzon jelöltük. A mérendő feszültséget egy szabályozható tápegység szolgáltatja, ezt állítani egy potenciométerrel lehet és egy digitális kijelzőn olvasható le a pontos érték.

4.3. Mérési feladatok

1. Oszcilloszkópon vizsgálja meg és rajzolja le a digitális voltmérő fontosabb jelalakjait 32768 Hz astabil frekvencián. A mérést célszerű kétsugaras üzemmódban végezni, így könnyebb a jeleket összehasonlítani ill. ábrázolni ($U_{\text{méréndő}}$, $U_{D/A}$, U_{comp} , U_{mono} , U_{astab} ábrázolása).
2. Határozza meg az egy kvantumnak (egy lépcsőfok) megfelelő feszültséget, majd

feszültség polaritásának váltását általában a közvetett A/D átalakítóknál alkalmazzák.

A másik lehetőség szinteltolás alkalmazása az A/D átalakító előtt annak érdekében, hogy az átalakító bemenetére már unipoláris jel kerüljön. Ehhez a megoldáshoz az eltolt nullapontú vagy kettes komplementű bináris kódolás illeszkedik. A digitális kimenet bináris vagy BCD kódolású. Az áramkörök működésének ismertetésekor az esetek többségében alkalmazott bináris kódolást fogjuk feltételezni.

A legkisebb helyértékű bitet LSB-nek (Least Significant Bit), a legnagyobb helyértékű bitet MSB-nek (Most Significant Bit) nevezik.

A digitális kimeneten a párhuzamos és a soros adatmegjelenítés is előfordul, és a jelszintek TTL és/vagy CMOS kompatibilisek. Manapság egyre inkább a CMOS technológia az uralkodó, ezért az újabb típusoknál a TTL kompatibilitás csak esetleges.

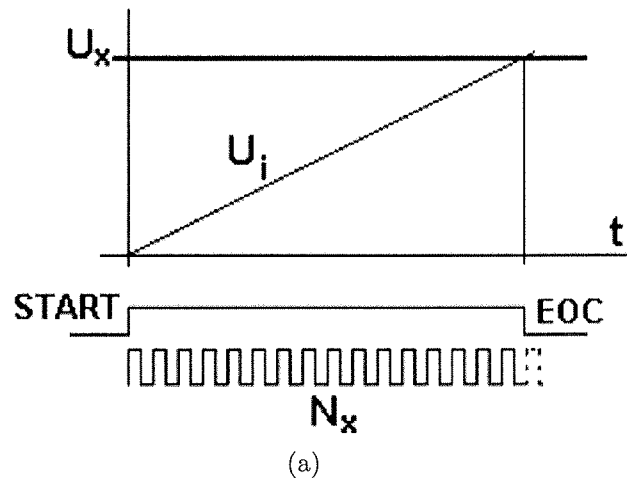
A párhuzamos kimenet egyszerűbbé teszi az illesztést a digitális rendszerekhez – a mi esetünkben egy két helyértékű hexadecimális kijelzőhöz. A soros kimenet esetén viszont kisebb kivezetés-számú tokozás alkalmazható, ami a gyártási költségeket csökkenti. A soros kimenet esetén emellett olcsóbban megvalósítható a galvanikus elválasztás a berendezés digitális részétől, vagy a jel nagyobb távolságra történő elvezetése. A digitális táblaműszerekhez, voltmérőkhöz gyártott átalakítók kimenete decimális kódolású, és párhuzamos vagy számjegyenként soros formájú. A számjegyenként soros kimenet a multiplexelt LED vagy LCD kijelzők meghajtását egyszerűsíti, és a kimenetek számát is csökkenti. Egyes átalakítók kimenete "hétsegmentes" kódolású, és a kijelzőket közvetlenül meg tudja hajtani.

A felbontóképesség (resolution) az a legkisebb analóg jelváltozás, ami az A/D átalakítóval még megkülönböztethető. Elvileg a felbontóképesség megegyezik a q kvantumnagysággal. Egy n bites bináris kódolású átalakító esetében $q = FSR/2^n$. Az adatlapon vagy a konkrét értékét adják meg, mint pl. felbontóképesség 1 mV, vagy az átalakító n bitszámával utalnak rá.

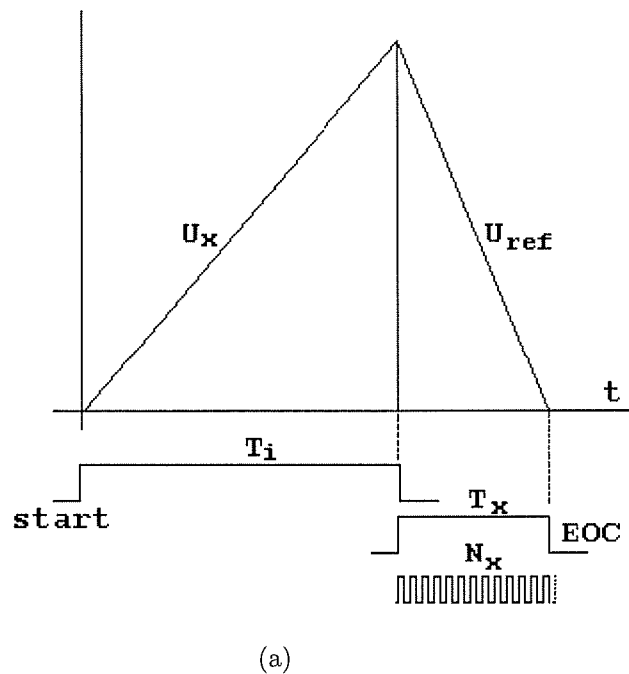
Gyorsan változó jelek átalakításánál fontos adat az elérhető átalakítási frekvencia (conversion rate, fcr), illetve ennek reciproka, a mintavételi periódusidő (T_s). Közönséges átalakítóknál a mintavétel ritkábban történik, mint a konverzió. A nagysebességű, pipeline szervezésű párhuzamos (flash) átalakítóknál a mintavételek közti idő rövidebb lehet a konverziós időnél, a szigma-delta átalakítók esetében pedig az átalakítási idő sokszorosa a mintavételi periódusidőnek.

4.2. A mérés során vizsgált áramkör működési leírása

A léptetőjel generátor folyamatos órajelet szolgáltat a számlálónak, melynek kimenetén egy folyamatosan növekvő digitális értéket kapunk. Ezt az értéket a digitál-analóg konverter (továbbiakban DAC) ugyancsak egy folyamatosan növekvő analóg jellé (lépcsőfeszültség) alakítja át. A referenciaszültség az átalakítás pontosságánál, valamint az analóg jel amplitúdójának meghatározásánál játszik szerepet. A komparátor a bemenetére jutó lépcsőfeszültséget összehasonlítja a mérendő feszültséggel, és akkor jelez ha a két érték

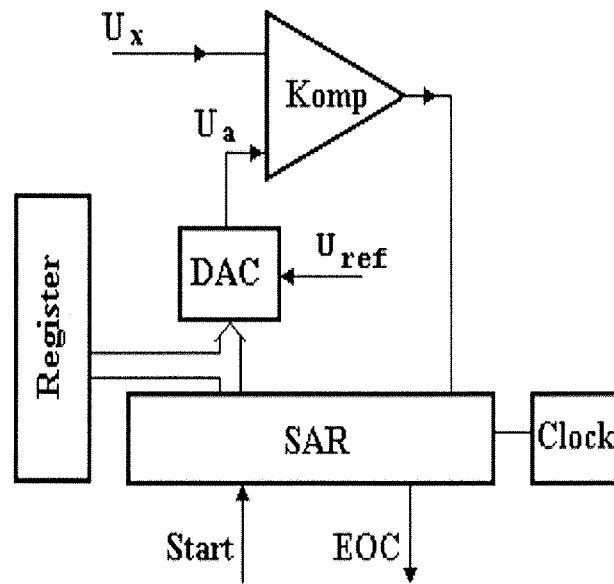


4.5. ábra. Egyszeresen integráló átalakító ADC időbeli működése.



4.6. ábra. Kétszeresen integráló átalakító (dual slope) ADC időbeli működése.

mekkora az A/D átalakító modul analóg bemenetének jeltartománya (amplitúdó-tartománya), és az A/D átalakító ezt milyen számtartományra, digitális jeltartományra képezi le. A



ábra minőség?

(a)

4.2. ábra. Kétoldali közelítéses (Successive Approximation) ADC vázlata.

4.1.3. Egyszeresen integráló átalakító

Az átalakítás az idő-paraméter közbeiktatásával történik. Az átalakítás az integrátor indításával indul, amelynek a konstans U feszültség integrálásával lineárisan növekvő kimeneti jele lesz. A START egyben elindítja egy számláló f_0 frekvenciájú impulzusokkal való töltését is. A komparátor folyamatosan összehasonlítja az U_x analóg jelet a növekvő U_i jellel. A megegyezés pillanatában generálódó STOP jel megállítja az integrálást és ezzel egyidejűleg a számláló töltését is.

számláló
előss?

4.1.4. Kétszeresen integráló átalakító (dual slope)

Az integrátor először az ismeretlen U_x analóg feszültséget integrálja $T_i = konst.$ ideig. Ezután az negatív előjelű, konstans értékű U_{ref} feszültség kapcsolódik az integrátorra, amely kisüti annak kondenzátorát. Ezzel egyidejűleg egy óragenerátor impulzusai tölteni kezdik a számlálót. A teljes kisütést egy nullkomparátor érzékeli, amely leállítja a számláló töltését.

A következőkben a fontosabb gyakorlati jellemzőket vesszük sorra, lineáris karakterisztikájú és feszültség bemenő jelű átalakítókat feltételezve. A kvantáló átalakítási konstansát ill. karakterisztikájának meredekségét közvetetten adják meg: ez azt adja meg, hogy

4. fejezet

Digitális voltmérő

4.1. Általános ismeretek

A mérésben vizsgált kapcsolás, egy számláló típusú analóg-digitál konverter modell. Az analóg-digitális (A/D) és a digitális-analóg (D/A) jelátalakítók kötik össze a digitális berendezéseket a "külvilág" folytonos analóg jeleket szolgáltató és igénylő részeivel. A számítógépek egyre kiterjedtebb alkalmazása, a digitális eljárások térhódítása az jelfeldolgozásban, átviteltechnikában, irányítástechnikában az A/D és D/A átalakítók fontosságát is növeli.

Az analóg/digitál átalakítókat a következőképpen csoportosíthatjuk:

- Közvetlen A/D átalakítók

A közvetlen átalakítók az analóg jelből azonnal digitális kódot képeznek. $P(1)$

- Párhuzamos (flash) átalakító
- Kétoldali közelítéses (Successive Approximation)

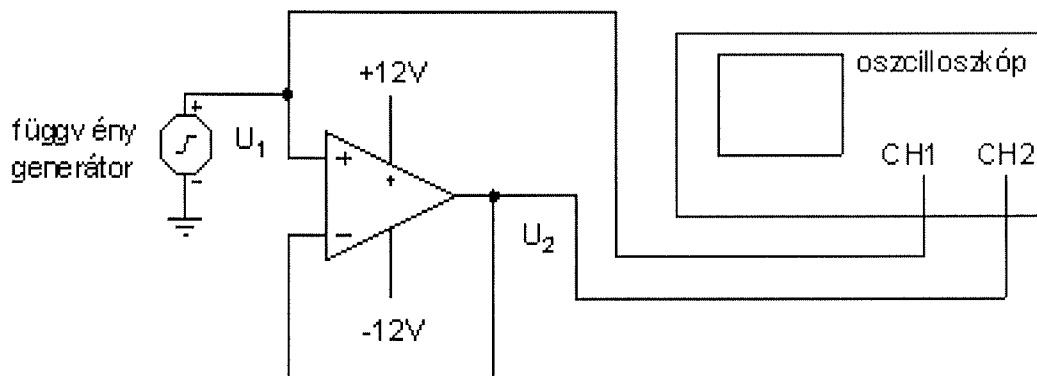
- Közvetett A/D átalakítók

Ezek az átalakítók az analóg jelből egy fizikai paraméter (pl. idő, frekvencia, villamos töltés stb) közbeiktatásával, két lépésben készítik el a digitális kódot. $P(1)$

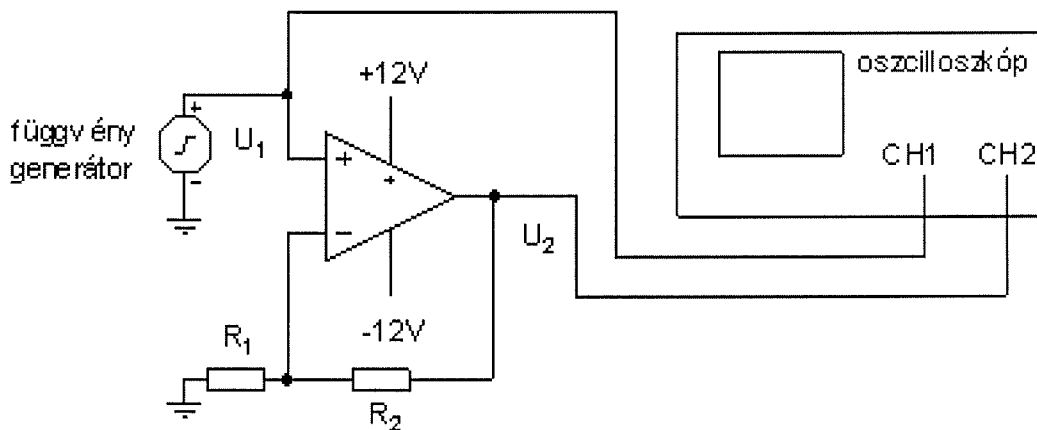
- Egyszeresen integráló átalakító
- Kétszeresen integráló átalakító (dual slope)

4.1.1. Párhuzamos (flash) átalakító

Ez a leggyorsabb, de egyben a legdrágább átalakító is. Digitális, tárolós oszcilloszkópokban használják. Az átalakítás egy órajel alatt megtörténik, de ehhez 2^n számú komparátor áramkör szükséges. (pl. 10 bites átalakítónál 1024 darab).



3.6. ábra. Egyszeres erősítő vizsgálata generátorral és oszcilloszkóppal.



3.7. ábra. Adott erősítésű erősítő vizsgálata generátorral és oszcilloszkóppal.

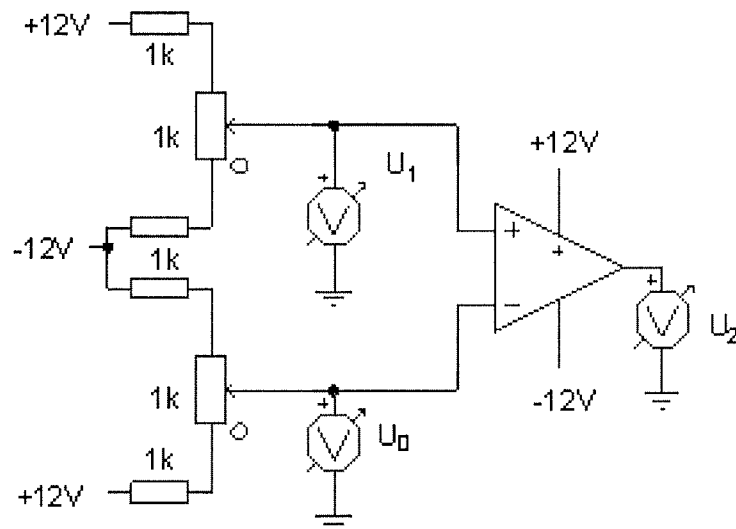
(rendes jelgenerátorhoz illően), addig a kimenőfeszültség változik, kétszeresére kétszeres frekvenciánál.

A mérésnél figyeljünk oda, hogy a kimenőjel ne torzuljon, azaz végig szinuszos maradjon (a tápfeszültséget elérve a kimenőjel torzulását a szinuszjel tetejének levágódásával vehetjük észre).

Oszcilloszkópon mérve a kimenő és bemenő feszültség arányát, mérje meg az áramkör erősítését a frekvencia függvényében 100 Hz és 50 kHz között 8-9 pontban (pl. 100 Hz, 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz és 50 kHz)! Ábrázolja az összefüggést kétszer logaritmikus ábrán (azaz mind a frekvenciát, mind az erősítést logaritmikusan; ezt a fajta ábrázolást Baude-diagramnak nevezzük, a függőleges tengely jellemzően decibelben, $20\lg(U_{ki}/U_{be})$ adható meg).

B. J. J.

2. Ismétélje meg a mérést úgy, hogy az invertáló bemenetet a föld helyett egy másik potenciométerre köti, amelynek segítségével állítson be $U_0 = 2V$ -ot az invertáló bemeneten, és újra végezze el a mérést az előbbi módon! Hol komparál most az erősítő?



3.4. ábra. A komparátor alapkapcsolás kibővítvé.

Mérje meg az invertáló és a nem-invertáló bemenet által meghatározott síkon azt a határvonalat (néhány pontban) amely elválasztja a pozitív, illetve negatív kimenőfeszültséget! Mennyire van ez közel a várt $x = y$ összefüggéshez?

3. Készítsen Schmitt triggert a gyakorlatvezető által megadott ellenállásokkal! (pl. 1,2k - 5,6k ; 2,2k - 10k ; 3,3k - 10k ; 1,5k - 10k)

Vegye fel a bemenőfeszültség - kimenőfeszültség függvényt növekvő és csökkenő bemenőfeszültség esetén! A bemenőfeszültséget a komparátornál is használt potenciométeres módszerrel állíthatja elő!

Határozza meg a felső billenési szintet, az alsó billenési szintet, a hiszterézist (a billenési szintek különbsége)!

Ábrázolja a kimeneti feszültséget a bemeneti feszültség függvényében!

4. Adjon a Schmitt trigger bemenetére függvénygenerátorról néhány száz Hz-es háromszögjelet, és növelje az amplitúdót, míg az erősítő kimenetén meg nem jelenik a négyszög alakú kimenőjel!

visszakötjük – egy általános differenciál-egyenletet oldhatunk meg!

Jellemző, hogy bonyolult differenciálegyenletek megoldását kihasználó analóg berendezések (analóg számítógépek) a katonai alkalmazásokban jelent meg a múlt század 60-as éveiben. Ilyet használtak például lövedékek pályájának másodperc töredéke alatti kiszámolására, figyelembe véve a légellenállást, a terepviszonyokat és a szélirányt - néhány potenciométer hangolásával és egy gombnyomással megadható volt a megfelelő irányzék.

Modern berendezésekben hasonló elemeket találunk a nagysebességű analóg jelfeldolgozási technikákban, radar- és ultrahangberendezések zajszűrésénél, illetve gyors jeltovábbító elemekben (pl. egy hosszú jelvezetéken torzult, romlott minőségű jel rekonstruálására).

3.1.5. Differenciáló áramkör

Differenciáló kapcsolásokban a műveleti erősítőnek azt a tulajdonságát használjuk ki, hogy az invertáló bemenet közel 0 potenciálon marad kivezérlés esetén is. Így a kondenzátor töltődése nem okoz az RC tag közös pontján - az invertáló bemeneten - számottevő feszültségváltozást. A kondenzátor feszültsége - amely a műveleti erősítő bemenőfeszültségével egyezik meg - az R ellenálláson átfolyó áram idő szerinti integrálja lesz. Ez az áram viszont az ohm törvény értelmében a kimenőfeszültséggel arányos. A bemenet arányos a kimenet integráljával – azaz a kimenet arányos a bemenet (időbeli) differenciáljával.

Differenciáló áramkör alapkapcsolása.

Az áramkör két passzív elemből áll, ezek határozzák meg a kör időbeli viselkedését. Az RC szorzat idő dimenziójú, értékét az áramkör időállandójának nevezzük. Reciproka a határfrekvenciát adja, $f_0 = 1/2\pi RC$.

Az áramkörre az lesz jellemző, hogy f_0 -on éppen egységnyi lesz az erősítése (emlékezzünk: a műveleti erősítő nélküli felüláteresztő szűrő átvitele f_0 -on -3 dB, azaz 0.71-szeres, l. a bevezető analóg mérést, illetve elektronika előadás jegyzetet).

3.1.6. Összeadó áramkör vizsgálata

Az összeadó áramkör két bemenettel rendelkezik, a kimenet a két bemenet lineárkombinációja. A nem invertáló bemenetet 0-ra kötjük Ekkor a közel 0 potenciálú invertáló bemeneten (a kimenet úgy változik, hogy az invertáló bemenet 0-nak adódjon) visszahatásmentesen összegződhetnek a bemenőáramok több bemenet esetén, és a kimeneten a bemenőfeszültségek súlyozott összegét kapjuk.

3.2. Mérési feladatok

1. Kösse az erősítő invertáló bemenetét a tápfeszültség 0 potenciálú kimenetére! Ezt nevezzük földnek. A nem invertáló bemenetre kösse egy potenciométer középső kivezetését, míg a potenciométer két végét egy-egy ellenálláson keresztül a +12

A műveleti erősítővel felépített kapcsolások megértésében segíthet néhány egyszerű szabály, ami következik az imént megismert tulajdonságokból:

1. ha a nem-invertáló bemenet (rajzjelen + jellel jelölve) kicsit is pozitívabb az invertáló bemenetnél (rajzjelen - jellel jelölve), a kimenet a pozitív tápfeszültség értékét veszi fel. Fordított esetben, ha a neminvertáló bemenet negatívabb az invertáló bemenetnél, a kimenet a negatív tápfeszültség értékéig billen. Ennek oka, hogy a nyílt hurkú erősítés értéke olyan nagy, hogy technikailag nem fordul elő a kimenetet véges értéken tartó, eléggé kicsi (néhány mikrovolt) feszültségkülönbség a bemenetek között.
2. negatív visszacsatolásnál a kimenetet úgy „igyekszik” vezérelni az áramkör, hogy a bemeneteket egyforma feszültségűre hozza. Például ha az egyik bemenetet földpotenciálra kötjük, a másik bemenet is földpotenciálra lesz normál működés esetén (azaz mikor a kimenet nem éri el a tápfeszültségek egyikének értékét, lásd előző pont).
3. pozitív visszacsatolás esetén a kimenet pozitív érték felé mozdulása növeli a bemenetek különbségét, ami tovább hajtja a kimenetet a pozitív irányba - ennek eredménye hogy a kimenet valamelyik tápfeszültség értékéig billen, és az áramkör (esetleg időlegesen) ennél az értéknél stabilizálódik.
4. a bemeneti ellenállás nagyon nagy, azaz a bemenetek felé nem folyik áram. Ez leegyszerűsíti bizonyos áramköri kapcsolások számolását.

3.1.1. Nyílthurkú erősítő --komparátor mérése

A visszacsatolás nélküli műveleti erősítőt – igen nagy feszültségerősítése miatt - két feszültség összehasonlítására használhatjuk. Ha a nem invertáló bemenetet U_0 potenciálra kötjük, és az invertáló bemenetre feszültséget adunk, az erősítő kimenetén $+U_T$ ill. $-U_T$ -közeli feszültséget kapunk, attól függően, hogy a bemenőfeszültség kisebb, vagy nagyobb-e U_0 -nál.

3.1.2. Pozitív visszacsatolás vizsgálata

A Schmitt-trigger olyan összetett áramköri elem, ami analóg bemenettel és digitális (csak két megadott szintű) kimenettel rendelkezik. A kimenet billenése akkor következik be, ha a bemenet elér egy bizonyos értéket. A komparátortól eltérően a növekvő bemenőjelhez tartozó billenési szint magasabb, mint a csökkenő bemenőjelhez tartozó. A jelenséget hiszterézisnek nevezzük.

A pozitív visszacsatolás miatt a kimenet körülbelül csak a maximális, $+U_T$ vagy $-U_T$ (tápfeszültség) értéket veszi fel. Ennek, a feszültségosztási szabály miatt, a $R_1/(R_2 + R_1)$ része jut a nem-invertáló bemenetre. Amíg az invertáló bemenet ezt el nem éri, addig a kimenet ezen a maximális értéken is marad - így alakul ki tehát a billenési szint.

Mérje meg a kváziintegráló RC kapcsolás átvitelét a frekvencia függvényében, 50 Hz és 50 kHz között: 50Hz, 100Hz, 200Hz, 500Hz, 1kHz, f_0 , 2kHz, 5kHz, 10kHz, 20kHz és 50kHz pontokban. Az adatokat ábrázolja a jegyzőkönyv ábráján, melyen szokás szerint mind a frekvencia, mind az átvitel logaritmikusan van felvéve. A függőleges tengelyen jelölve van az átvitel értéke decibelben is - az ilyen ábrázolást Bode-diagramnak nevezik.

- Mérje meg a műveleti erősítés integráló RC kapcsolás átvitelét a frekvencia függvényében, 50 Hz és 50 kHz között: 50Hz, 100Hz, 200Hz, 500Hz, 1kHz, f_0 , 2kHz, 5kHz, 10kHz, 20kHz és 50kHz pontokban. Az adatokat ábrázolja ugyanazon fenti Bode-diagramon, mint az előző feladatban.

Olvassa le az egységnyi erősítés (0 db) frekvenciáját a fenti diagramról, és jelölje is be az ábrán (ez lesz f_0 mért értéke valódi integráló esetén)!

- Mérje meg a kváziintegráló és a műveleti erősítés ("valódi") integráló kapcsolás fázistolását $f_0/10$, f_0 illetve $10 f_0$ frekvenciákon (a bevezető mérésekben megismert módszerek egyikével!)

Mekkora kellene legyen egy ideális integráló kapcsolás fázistolása?

A fenti hat eset közül ez mikor teljesül jó közelítéssel a vizsgált áramkörökre?

Emiatt tehát a C kondenzátor feszültsége (a kimeneti feszültség) az R ellenállás által szállított töltéssel, ez utóbbi a bemenőfeszültség integráljával arányos.

Annak érdekében, hogy a műveleti erősítő kimenete ne “akadjon” ki, azaz ne kerüljön az egyik vagy másik maximális tápfeszültségű szélső helyzetbe, párhuzamosan kössünk a C kondenzátorral egy nagy értékű, 1 Mohm-os ellenállást. Ez azért történhet, mert az ideális integráló kapcsolás a bemenet 0-tól való átlagos értékét “felintegrálja”, és egy idő után a kimenet az egyik tápegység-feszültség környékére kerül (a műveleti erősítő bemenetén egy kicsi offset feszültség van, ez általában nem zavaró, de hosszabb ideig integrálva már jelentős lehet). Ha a kimenet ugyanezen okból kényelmetlenül távol jut a 0-tól (nagy frekvencián már nem lehet az oszcilloszkópon könnyen középre hozni), két dolgot tehetünk. Vagy AC állásban használjuk az oszcilloszkóp megfelelő csatornáját (a csatlakozó feletti, DC – GND – AC kapcsolóval), vagy beállítjuk a jelgenerátor “DC offset” feszültségét, ez utóbbit általában engedélyezni kell a menürendszerben.

2.2. Az RC szűrők átvitele és fázistolása szinuszos jelek esetén

Amennyiben tiszta szinuszos jelet adunk a lineáris áramkörök bemenetére, akkor a kimenet is tiszta 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 (l. a bevezető méréseket).

Az átvitelt a frekvencia függvényében szokás szerint logaritmikusan ábrázoljuk: az átvitel értékét decibelben adhatjuk meg - az ilyen ábrázolást Bode-diagramnak is nevezik.

2.2.1. A kváziintegráló RC szűrő átvitele a frekvencia függvényében

Az RC körök működésének általános érvei igazak szinuszos jelekre is, tehát adott esetben a kváziintegráló kör integrálja a jelet jó közelítéssel, ha annak frekvenciája sokkal nagyobb f_0 -nál. Egy szinuszos jelnek az integrálja mínusz koszinuszos, azaz a kimenőjel maximuma később van mint a bemenőjelé: a kimenőjel “késik”, ideális esetben éppen 90 fokot.

2.2.2. A műveleti erősítő integráló RC szűrő átvitele a frekvencia függvényében

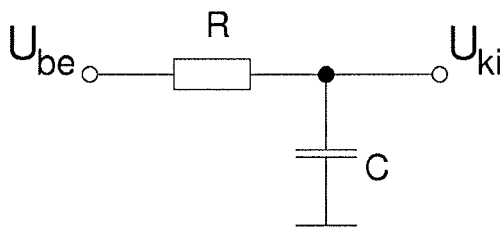
A kváziintegráló kapcsolással ellentétben a műveleti erősítő kapcsolás átvitele nem tér el az ideálistól f_0 -on és lejjebb, f_0 alatt például nagyobb lesz 1-nél (ennek csak az 1 Mohm-os ellenállás szab határt). Az f_0 -at ekkor nem a -3 db-es pont definiálja, hanem az a frekvencia, ahol az erősítés éppen egységyi ($U_{ki} = U_{be}$).

szakaszoknak csak a lineáris jellegű indulását látjuk (jóval mielőtt elérné a határértékét, a bemenőjel polaritást vált). Emiatt a kváziintegráló (kis amplitúdójú) háromszögjelle alakul, kvázidifferenciálónál viszont közelítőleg marad a négyszögjel.

Ezen szélsőséges esetek vizsgálata motiválja, hogy $f_0/10$ és $10f_0$ frekvenciákon is vizsgáljuk a rendszereket, ne csak f_0 -on. Figyeljük meg, hogy a fenti érvelés mennyire teljesül a mérések során.

2.1.1. A kváziintegráló RC szűrő átviteli jelalakjai

Ha a kváziintegráló kapcsolásra elegendően gyorsan változó jelet adunk (melynek változását leíró jellegzetes időskála sokkal kisebb τ -nál), a C kondenzátoron megjelenő feszültség arányos lesz az R ellenálláson keresztül szállított töltéssel – ez utóbbi éppen az áram időbeli integrálja. Az Ohm törvény miatt az R ellenálláson az áram (ha $U_{ki} \ll U_{be}$) a bemenő feszültséggel arányos, tehát a kimeneten a bemenőfeszültség időbeli integrálját kapjuk. Az érvelés igaz bármilyen bemenő feszültségre, azaz speciális esetben négyszögjelre (integrálja háromszögjel), vagy szinuszos jelre is (integrálja koszinuszos, azaz 90 fokos fázissal eltolt szinuszjel).

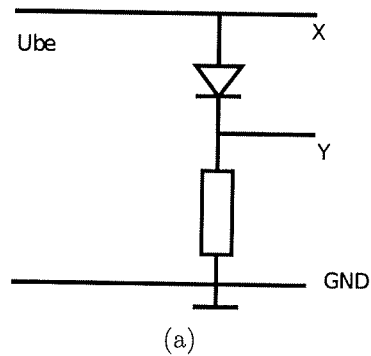


2.1. ábra. Kváziintegráló RC áramkör.

2.1.2. A kvázidifferenciáló RC szűrő átviteli jelalakjai

A fenti érvelés megfordítottja igaz a kvázidifferenciáló körre. Ez esetben is az $U_{ki} \ll U_{be}$ feltételt kell teljesíteni, elegendően lassú jelekre. Ekkor az R ellenálláson folyó áram időbeli integrálja adja a C kondenzátor töltését – ez esetben viszont az R ellenállás feszültsége méri a kimenő-, a C kondenzátor feszültsége a bemenő feszültséget. Emiatt a kimenőfeszültség integrálja arányos a bemenőfeszültséggel, azaz a bemenőfeszültség időbeli deriváltja lesz arányos a kimenőfeszültséggel. A feltétel az integráló kapcsolással ellentétben akkor teljesül jól, ha kicsi a frekvencia, azaz f_0 -nál sokkal kisebb.

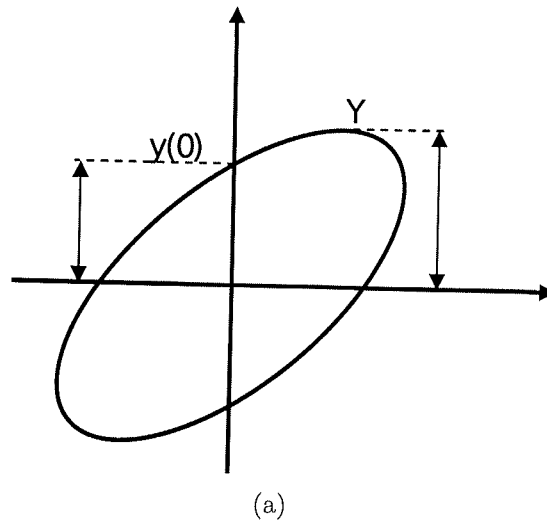
8. Mérje meg az 1.3 ábrán látható kapcsolás alapján dióda karakterisztikáját! A bemenetre 500 Hz 5 V amplitúdójú háromszögjelet kapcsoljon, amelyet az 1. csatornán mérhet, a dióda áramát egy vele sorbakötött kis $10\ \Omega$ ellenálláson eső feszültséggel mérheti meg, az oszcilloszkóp 2. csatornáján, az oszcilloszkópot XY üzemmódban használva. Vigyázat, a két csatorna földje közös!



1.3. ábra. Dióda karakterisztikájának mérése.

Rajzolja le a megjelenő karakterisztikát! Mekkora a nyitófeszültség?

A TIME időválasztó kapcsolónak van egy X-Y állása. Ekkor kikapcsoljuk az időbeli eltérítést adó fűrészelet és az 1. csatorna jelét az X tengelyre, a 2. csatorna jelét az Y tengelyre vezetve használhatjuk az oszcilloszkópot. Pl. a bemenőfeszültség függvényében a kimenőjelet ábrázolva karakterisztikákat jeleníthetünk meg.



1.1. ábra. Fáziskülönbség mérése oszcilloszkóppal: $\sin \phi = y(0)/Y$.

Ebben az állásban két azonos frekvenciájú szinuszjel közötti fáziskülönbség is könnyen meghatározható. A képernyőn a erőleges rezgésekre jellemző Lissajous ábrát, egy ellipszist kapunk, amelynek az $x(t) = 0$ helyhez tartozó $y(0)$ tengelymetszete és az Y amplitúdó hányadosából a ϕ fázisszög meghatározható: $\sin \phi = y(0)/Y$.

A fáziskülönbség a kétsugaras oszcilloszkóppal közvetlenül is meghatározható, ha megmérjük a két egymáshoz képest eltolt szinuszgörbe azonos fázisú pontjainak időkülönbségét (ΔT), pl. két csúcs vagy a két zérusátmenet távolságát, és a periódusidőt. A $\phi/360^\circ = \Delta T/T$ aránypárból a fázisszög meghatározható. Az oszcilloszkóp bemeneti csatlakozóinak egyik pólusa mindig a készülék fémháza, azaz nem szimmetrikus, nem felcserélhető, és a két csatorna Föld-je így közös, nem lehet két különböző potenciálú pontra kötni. (A csatlakozón általában piros a jel dugója és fekete a föld).

1.2. Mérési feladatok

1. Ismerkedés az eszközparkkal, jelek átvitele RC áramkörön

Az RC körökre vonatkozó ismeretek a RLC ÁRAMKÖRÖK XXXX fejezetében találhatóak.

szükséges tápfeszültségek szolgáltatása. A kémiai energiát felhasználók a telepek (galvánelem, akkumulátor), a hálózati energiával működők az elektronikus tápegységek. Ezek általában félvezetőket tartalmaznak, és nagyon stabil feszültséget állítanak elő kis kimenő-ellenállást biztosítva. Legtöbbször rövidzárás elleni védelemmel ill. terhelőáram korlátozással vannak ellátva. (Sokszor a maximális áram külön beállítható rajtuk.). A sok védelem ellenére egy dolgot tilos tenni velük: a kimenetükön beadni valamilyen feszültséget, (főleg ha az nagyobb, mint a kimeneté) - ez ellen általában nincsenek védve.

Az időben változó jelek keltésére az ú.n. függvénygenerátorokat (jelalak generátorokat) használjuk. Ezek közül a laborban található legegyszerűbbek legalább három alapvető jelalakot képesek előállítani: szinuszt, háromszöget és négyszöget. A jeleknek az amplitúdója és frekvenciája korlátozott. Az egyszerűbb kivitelűek 10 V_{pp} (pp= peak to peak, csúcstól csúcsig), azaz 5 V amplitúdójú jeleket képesek kiadni 10 Hz és 100 kHz közötti frekvenciatartományban 10-100 Ω nagyságrendű kimeneti ellenálláson. A „komolyabb” kivitelűek ezeket a jeleket mind amplitúdóban, mind frekvenciában képesek modulálni. Előállíthatók velük 50%-ostól eltérő kitöltési tényezőjű (nem szimmetrikus) impulzusok – impulzussorozatok is, és ezek oszcilloszkópon való megjelenítését elősegítő szinkronjelek is kivehetők a „profibb” jelalak generátorokból.

A laborban található generátorok 2 Hz – 6 MHz-es tartományban képesek kb. 6 V amplitúdójú jelek előállítására 50 Ω kimeneti ellenálláson, amely a beépített digitális frekvenciamérővel pontosan beállítható. A frekvenciamérő külső jelek mérésére önállóan is használható. Sok funkciója van még: asszimetrikus jelalakokat lehet előállítani, az offset állítással a váltójelek egyenfeszültség szintje eltolható, valamint lehetőség van a jelek modulációjára, oszcilloszkóphoz szinkronjelek kivételére, stb.

1.1.5. Oszcilloszkópok

Az időben változó jelek megjelenítésére – mérésére leggyakrabban a katódsugár oszcilloszkópot használjuk. Működési vázlata röviden a következő. A (középiskolai tanulmányokból már jól ismert) katódsugárcső katódjából kilépő elektronok fókuszálás, ill. párhuzamos nyalábbá – sugárrá alakítás után két - vízszintesen ill. függőlegesen elhelyezett lemezpár között haladnak át. Ezekre potenciálkülönbséget adva – a kialakuló elektromos tér hatására – az elektronsugár eltérül. A függőleges síkban elhelyezett lemezek terétől vízszintes irányban, míg a vízszintesen elhelyezett lemezek hatására függőleges irányban téríthető el az elektronsugár ill. a sugár hatására a képernyőn megjelenő világító pont. Ez a két eltérítés megfelel egy X-Y koordinátarendszer két tengelye irányának. Ha a vízszintes irányú eltérítést egy – az időben lineárisan változó - ú.n. fűrészfeszültséggel végezzük, a sugár vízszintes (X irányú) mozgása az idővel egyenesen arányos lesz, az X tengely így időtengelyként működik. Ha eközben a függőleges irányért felelős lemezpárra a vizsgálni kívánt feszültséget kapcsoljuk, a képernyőn megjelenik a jel időbeli lefutása (változása), az U(t) függvény. Természetesen a fűrészelő jel hossza, a képernyőn vizsgált jel időbeli lefutása sokkal rövidebb lehet (és általában így is van), mint amit az emberi

8.3.3.	Kimenetek és nyomtatás	72
8.3.4.	Illesztés	73
9.	Radioaktív sugárzás jellemzői	75
9.1.	A mérési adatok pontosságáról	79
9.2.	A sugjel mérő-kiértékelő program ismertetése	82
9.3.	A gnuplot ábrázoló és illesztő program használata	82
9.4.	Mérési feladatok	83
10.	Digitális mérések	87
10.1.	Ismerkedés az eszközparkkal	87
10.2.	Fogalmak	87
10.3.	Alkatelemek	89
11.	Digitális áramkörök vizsgálata	94
11.1.	Félösszeadó áramkör vizsgálata	94
11.2.	Teljes összeadó vizsgálata	94
11.3.	Aritmetikai logikai egység vizsgálata	95
11.4.	Buszvonala és memória áramkör vizsgálata	97
11.5.	Mérési feladatok	98
12.	Áramkörök építése	100
12.1.	Zűmmögő áramkörö építése	102
12.1.1.	Az áramkör kapcsolási rajza	102
12.1.2.	Az áramkör megtervezése	103
12.1.3.	Az oszcillátor megépítése	103
12.1.4.	A modulátor megépítése	105
12.1.5.	Mérési feladatok	105
12.2.	Futófény áramkör építése	106
12.2.1.	Az áramkör kapcsolási rajza	106
12.2.2.	Az áramkör megtervezése	107
12.2.3.	A késleltető áramköri elem működése	108
12.2.4.	Mérési feladatok	109
12.3.	Fém-detektor építése	110
12.3.1.	Az áramkör kapcsolási rajza	110
12.3.2.	Az áramkör megtervezése	112
12.3.3.	A fém-detektor érzékenysége	113
12.3.4.	Mérési feladatok	113

Tartalomjegyzék

1. Analóg mérések	4
1.1. Ismerkedés az eszközparkkal	4
1.1.1. Áramköri alaplap	4
1.1.2. Alkatrészek	4
1.1.3. Összekötő vezetékek	4
1.1.4. Generátorok	4
1.1.5. Oszcilloszkópok	5
1.2. Mérési feladatok	7
2. Lineáris áramkörök, RC szűrők vizsgálata	10
2.1. Az RC szűrők átviteli jelalakjai	10
2.1.1. A kváziintegráló RC szűrő átviteli jelalakjai	11
2.1.2. A kvázidifferenciáló RC szűrő átviteli jelalakjai	11
2.1.3. A műveleti erősítővel kiegészített integráló RC szűrő átviteli jelalakjai	12
2.2. Az RC szűrők átvitele és fázistolása szinuszos jelek esetén	13
2.2.1. A kváziintegráló RC szűrő átvitele a frekvencia függvényében	13
2.2.2. A műveleti erősítő integráló RC szűrő átvitele a frekvencia függvényében	13
2.3. Mérési feladatok	14
3. Műveleti erősítők	16
3.1. A műveleti erősítők működése	16
3.1.1. Nyílthurkú erősítő - komparátor mérése	17
3.1.2. Pozitív visszacsatolás vizsgálata	17
3.1.3. Nem invertáló erősítőkapcsolások	18
3.1.4. Műveleti erősítők alkalmazásokban	18
3.1.5. Differenciáló áramkör	19
3.1.6. Összeadó áramkör vizsgálata	19
3.2. Mérési feladatok	19