

# Elektronika IV (Analóg és hírközlési áramkörök II)

## 8. mérés: AD és DA átalakítók

2017. október 4.

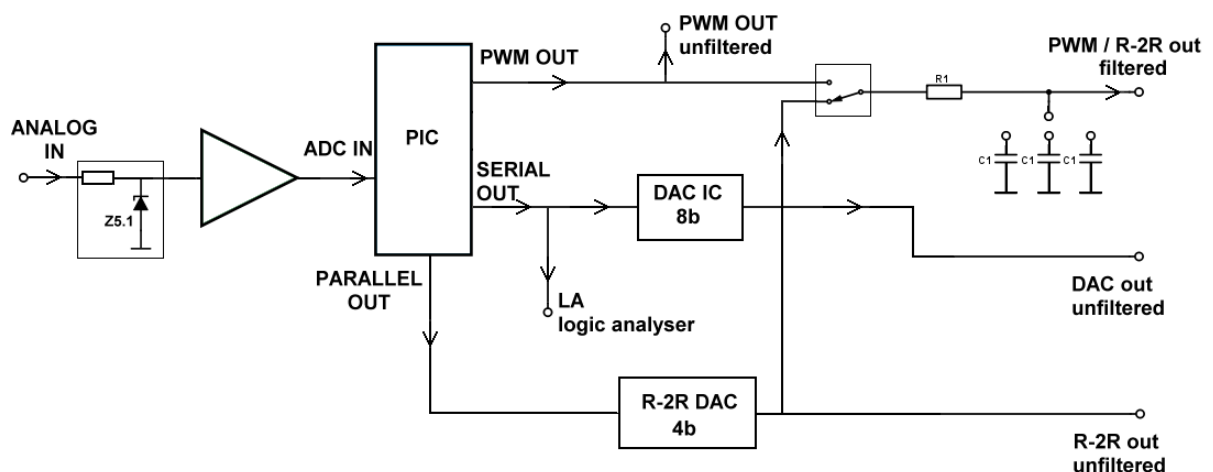
### A méréshez felhasznált eszközök:

- HAMEG HM400 analóg oszcilloszkóp
- RIGOL DS1054 digitális oszcilloszkóp
- LEAPTRONIX LA-2025 logikai analizátor
- HAMEG HM8040-3 kettős tápegység
- HAMEG HM8030-5 vagy HM8030-6 függvénygenerátor
- Mérőpanel
- Mérőkábel a logikai analizátorhoz

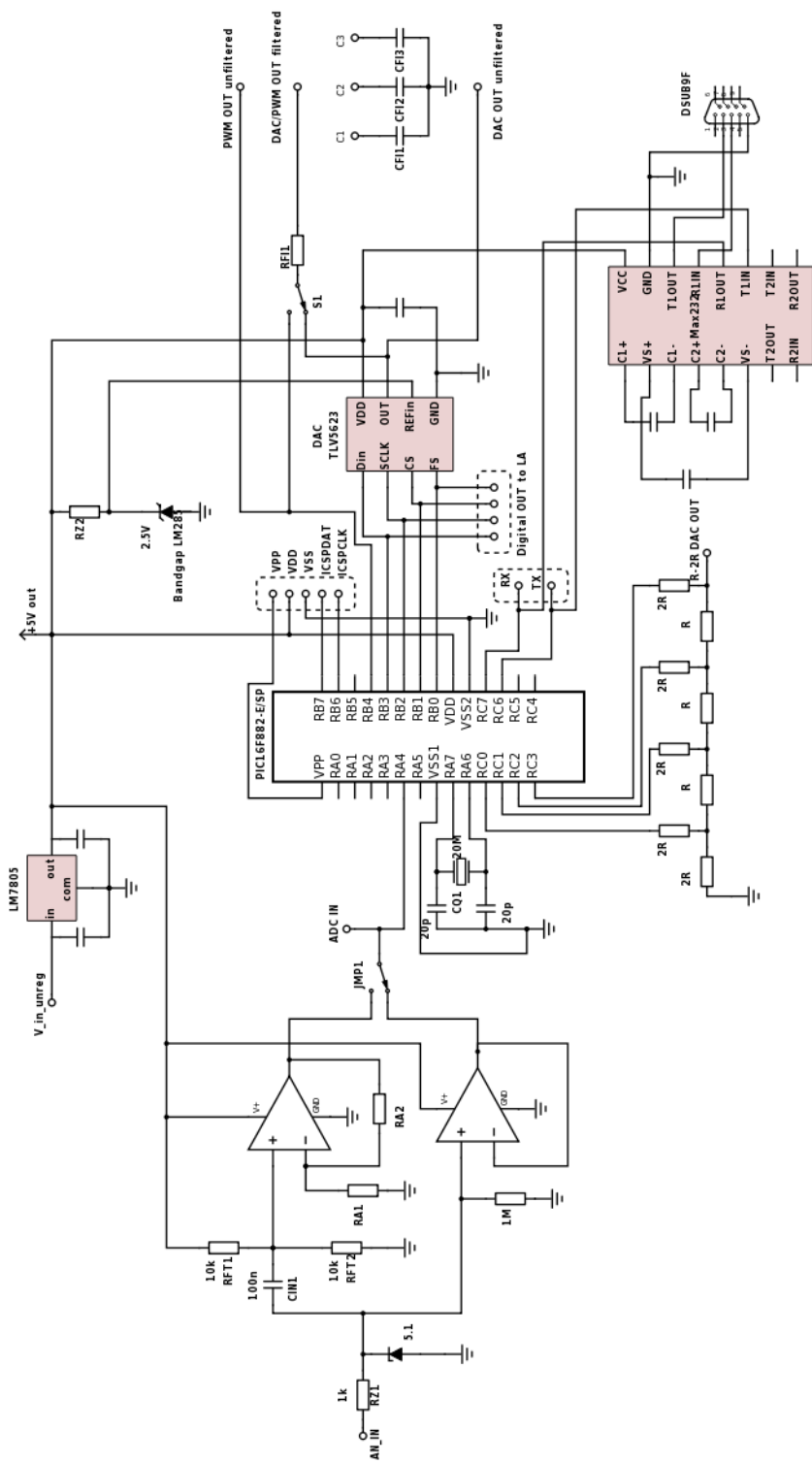
### Bevezetés

Jelen mérés célja az analóg-digitális és digitális-analóg átalakítókkal való ismerkedés.

A mérőpanelen található egy 8 bites PIC16F882 típusú mikrokontroller, ez tartalmaz egy 10 bites AD átalakítót (ebből 8 bitet fogunk használni). A PIC a digitalizált jelet sorosan egy TLV5623 típusú DA átalakítóba küldi, valamint párhuzamosan 4 bitre redukálva egy R-2R létraosztós DA átalakítóba, végül pedig a PIC impulzusszélesség modulált (PWM) kimenetét is ezzel vezérli. Mind a létra-DAC kimenetét, mind a PWM kimenetet három különböző időállandójú RC szűrőre lehet kapcsolni.



1. ábra: A mérőpanel blokkvázlata (csak a jelen mérésben használt részek feltüntetésével)



2. ábra: A mérőpanel teljes kapcsolási rajza

## ADC:

A mikrovezérlőbe épített analóg-digitális átalakító elve fokozatosan közelítő (SAR, successive approximation) eljárás. Az alkalmazott ADC felbontása 10bit, ezt 8+2 formában tároljuk, és az alsó 2 bitet figyelmen kívül hagyjuk, így igazodni fogunk a DAC 8 bites felbontásához. Jelen mérésben az egyik célunk az, hogy lássuk a jel kvantáltságát, ezt pedig 8 biten könnyebben látjuk, mint 10 vagy több biten (a 4bites létra-átalakítón pedig még könnyebben). A SAR eljárás futási ideje arányos a felbontással, így a 10 bites ADC 11 „ciklus” alatt fut le. Az ADC ciklus általában a mikrovezérlő órajelének leosztásából alakul ki. Jelen esetben a PIC a saját órajelét egy 20MHz-es kvarckristály segítségével állítja elő. Az ADC órajele  $f/32$ , azaz egy ADC ciklus 1,6 $\mu$ s, tehát 17,6 $\mu$ s alatt végez elvileg az átalakítással. Az ADC működéséhez igényel még két referencia potenciált. Jelen mérésben ebből egyik a nulla potenciál (föld), a másik pedig alapesetben a PIC 5V tápfeszültsége. Utóbbit egy 7805 állítja elő, melynek kimenete a jelen kapcsolásba (ahol kevés a zavaró tényező) a feladathoz elég stabilnak tekinthető. A program módosításával lehetőség van más referencia feszültség beállítására, e célból (is) a PIC kivezetései tükörsor csatlakozókkal vannak ellátva (erre a mérés során nem fog sor kerülni).

Az ADC (PIC) bemenete előtt egy kettős műveleti erősítő található. Alapesetben az egyik opampal megvalósított követő erősítő van bekötve. Jumper segítségével átállhatunk a másik opampra, amely erősítése két ellenállással az ismert módon beállítható, továbbá ennek bemenete egy kondenzátor segítségével DC-ben le van választva, majd két további ellenállás segítségével közel féltápra van emelve. Ezt használhatjuk akkor, ha pl. hangot (DC offszet nélküli AC jelet) akarunk a bemenetre kötni. Mindkét opamp bemenete közös, és egy 5,1V Zener-diódával van védve. Jelen mérésben a második opampot (egyelőre) nem használjuk.

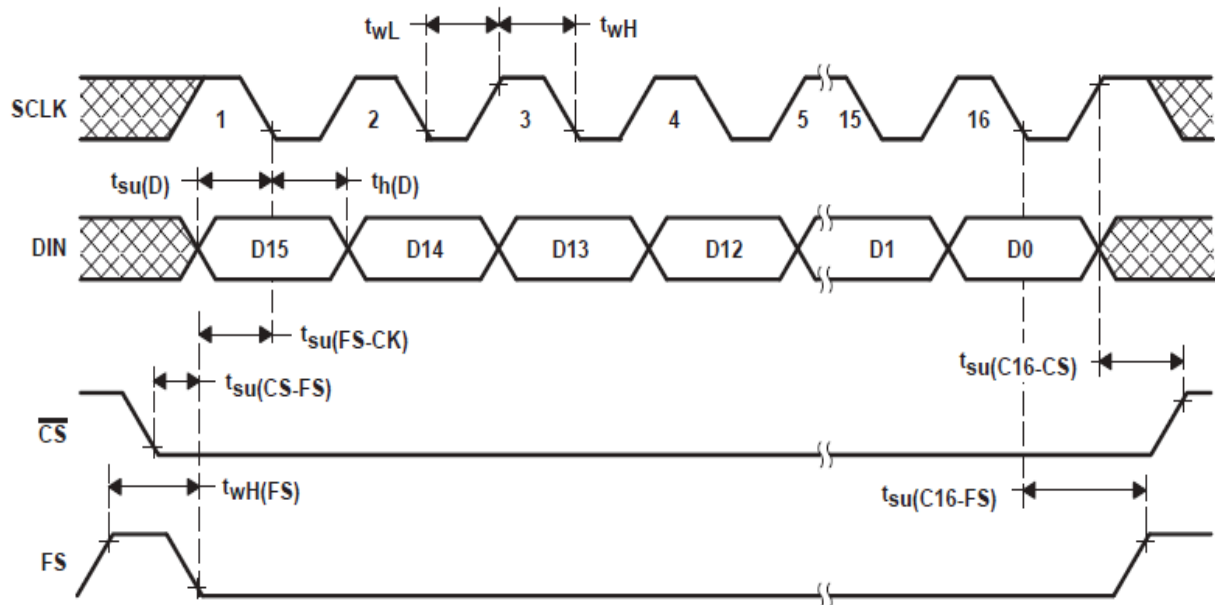
(Megjegyzés: a leírásban többször találkozhatunk nem használt elemekre, jelekre való hivatkozással, illetve a panelt tanulmányozva láthatunk rajta tartalék forrszemeket alkatrészek és IC-k beforsrasztására. Ezek egyrészt a panel jövőbeni bővíthetőségét biztosítják, másrészt érdeklődők számára tanórán kívüli demonstrációk lehetőségét is megadhatják.)

## DAC IC:

A mikrovezérlő 4 vezetékes soros porton kommunikál a DAC-kal. A DAC felbontása ugyancsak 8 bites. A DAC-nak fele akkora referencia-feszültségre van szüksége, mint az ADC-nek, ugyanis a DAC kimenetén egy kétszeres szorzó áramkör található, még az integrált áramkörön belül. A 2,5V referenciát egy LM285, ún. *bandgap reference IC* állítja elő. Ez kívülről úgy viselkedik, mint egy kis hőmérsékletfüggésű, kis dinamikus ellenállású, pontosan beállított letörési feszültségű Z-dióda.

A DAC bemenetei:

- DIN Data In, soros adatbemenet. A PIC az ADC által digitalizált jeleket erre a bemenetre juttatja.
- CS CHIP SELECT (negált). Engedélyezi az IC-t.
- SCLK SERIAL CLOCK. Az adatátvitel illetve átalakítás órajele.
- FS FRAME SYNCHRON. Az adatkeretek elején és végét jelzi.



3. ábra: A DAC kommunikáció idődiagramja (adatlap: Texas Instruments– TLV5623 – 2002)

A DAC kimenete szüretlen, azaz oszcilloszkópon megvizsgálva láthatjuk a kvantálási szinteket. A kapcsolásban található egy RC szűrő, fix ellenállással és háromféle választható kapacitással. Ezekre kötve a DAC kimenetét, megvizsgálhatjuk a digitalizált jel helyreállítási lehetőségeit. Ezen kívül a PIC a digitalizált jellel arányosan modulált négyyszögjelet (PWM) is előállít. A négyyszögjel frekvenciája állandó, a kitöltési tényező lesz arányos az ADC jellel (tehát kitöltési tényező modulációnak is nevezhetjük). A PWM kimenetet szintén ráköthetjük a szűrőre, amely kimenete megfelelő időállandó választás esetén az eredeti analóg jelhez kell, hogy közelítsen.

## A mérőpanel ismertetése

### Tápellátás:

„GND” és „+7V” feliratú banánhüvelyeken, kb. 30mA áramkorlát mellett. A panelen egy 7805 biztosítja az 5V tápot a PIC-nek, DAC-nak és az opamprának. A panel normál esetben kb. 14mA – 23mA közötti áramot vesz fel.

### Analóg bemenet:

Az analóg bemenet egy LM385 opampra van kötve, amely követő erősítőként szerepel, innen a PIC analóg bemenetére megy. Az opamp kb. 4V maximális szintet tud kiadni, ezért a bemenetet állítsuk be a függvénygenerátoron úgy, hogy 0..4V között legyen. Ehhez először kössük össze a függvénygenerátort a szkóppal és úgy állítsuk be a jelet (használjuk a DC offset opciót), majd T-elosztó segítségével vezessük a mérőpanelre is az analóg jelet.

### Bekötés:

Analóg bemenet: a panelen található „AN IN” feliratú BNC csatlakozó.

**Kimenetek:**

A panelen háromféle kimeneti lehetőség van:

- soros porton kommunikáló 8 bites DAC IC (TLV5624) kimenete:  
„DAC OUT” feliratú banánhüvely
- 4 bites R-2R létra DAC kimenete:  
„R-2R DAC OUT” feliratú banánhüvely
- a PIC PWM kimenete, a kitöltési tényezőt az ADC eredményéből állítja elő:  
„PWM OUT” feliratú banánhüvely

**Szűrt kimenet:**

A létra-DAC és a PWM kimenet egyaránt ráköthető a panelen található aluláteresztő RC szűrőre. A panelen egy R (10k) és három C (10nF, 100nF, 470nF) található, így az RC szűrőt háromféle időállandóval hozhatjuk létre.

**Bekötés:**

A szűrő kimenete a „FILTERED OUT” banánhüvely.

A panelen található kapcsolóval állíthatjuk be, hogy a PWM vagy a létra-DAC kimenete legyen a szűrőre kötve.

Alapállapotban csak a soros R van bekötve, a kondenzátorok nem, így a kimeneten a szűretlen jelet kapjuk (a PWM esetén már így is valamekkora szűrést láthatunk a szórt kapacitások ill. a kábelek és műszerek kapacitásai miatt).

A szűrő „bekapcsolásához” az „FILTERED OUT” kimenetet kössük össze banándugós vezetékkel a C1, C2, C3 feliratú banánhüvelyek egyikével.

**Logikai analizátor:**

A DAC IC soros kommunikációját logikai analizátorral is ellenőrizhetjük.

A logikai analizátor bekötése:

Channel 0 (barna): DAC Data In

Channel 1 (piros): DAC FS

Channel 3 (sárga): DAC CLK

(A channel 2 (narancs) jelet a DAC IC CS chip select jelének tartottuk fenn. Ez akkor használatos, ha a PIC más IC-vel is akar ugyanezen a buszon kommunikálni, ilyenkor a DAC ezzel a jellel lekapcsolható. Korábbi verzióban szerepelt külső ADC IC, ezt a jelenlegi verzió nem tartalmazza, így az egyszerűség kedvéért a CS jelet nem használjuk, értéke fix.)

**Előre elvégzendő feladatok:**

1. Számolja ki az ADC kvantálási szintjét! Az ADC a 0..5V közötti tartományt osztja fel egyenletesen 8 bites felbontással (helyesebben ennyit használunk jelen mérésben).
2. Számolja ki a három lehetséges kimeneti RC szűrő törésponti frekvenciáit!

## Mérési feladatok:

1. Helyezzük tápfeszültség alá a mérőpanelt a fentebb leírt módon.
2. Kössünk egy T-elosztót a függvénygenerátor analóg kimenetére. Egyik végét kössük az oszcilloszkóp egyes csatornájára. Állítsunk be  $U_{be}=4V_{pp}$  szinuszjelet 2V ofszettel (azaz a jel a 0..4V tartományban maradjon). Állítsunk be kezdetnek 1kHz frekvenciát. Ezután az elosztó másik végéből vezessük a jelet a mérőpanel AN IN bemenetére.
3. Vizsgáljuk meg oszcilloszkópon a 8 bites DAC IC kimenetét (kétszatornás módban, a másik csatornán az előzőleg bekötött analóg jellel). A trigger forrásának állítsuk be az analóg jelet. Vizsgáljuk meg a kimenő jelet különböző frekvenciák mellett (pl. 10Hz, 100Hz, 1kHz, 5kHz, 10kHz) valamint különböző amplitúdók mellett (ügyeljünk arra, hogy benne maradjunk a 0..4V tartományban). Ha azt találjuk, hogy a kimenő jel „le van vágva”, akkor a bemenő jel amplitúdóját megfelelően csökkentjük. (Érdeemes egyébként megfigyelni, hogy mi történik, ha enyhén 4V fölé visszük az amplitúdót.) Javasolt mind az analóg, mind a digitális oszcilloszkópot kipróbálni, egyes mérési feladatokra egyik vagy másik célszerűbb lehet.
4. A kimenő jelet vizsgálva azt tapasztalhatjuk, hogy az „fut”, akármilyen trigger beállítással próbálkozunk. Magyarázzuk meg a jelenséget! A jel ábrázolásához hasznos lehet a digitális szkóp STOP gombját használni (többszöri próbálkozás is szükséges lehet, hogy „szép” jelet kapjunk). Mérjük meg a bemenet és kimenet közötti időeltérést (ehhez célszerű lehet négyszögjel bemenetet igénybe venni).
5. Szinuszjelnél láthatjuk, hogy a kimeneti lépcsők nem egyenletesek. Kapcsoljuk át a függvénygenerátort 1kHz háromszögjelre, ekkor már egyenletes lépcsők lesznek. Ha megmérjük a lépcsők nagyságát, láthatjuk, hogy azok jóval nagyobbak a számolt kvantálási szinteknél. Ez azért van, mert a mintavételi idő alatt a bemenő jel több lépcsőnyit változik. Ha a bemenő frekvenciát elég kicsire választjuk, akkor a lépcsők nagysága meg fog egyezni a kvantálási szinttel; ekkor azonban a szkópon látható kép nem feltétlenül jól leolvasható. A kvantálási szint mérésére ezért másik módszert választunk. Kössünk kb. 2V DC jelet az analóg bemenetre a tápegység szabadon maradt feléből. Most kihasználjuk, hogy a rendszerünk zajelnyomási szempontból elég rossz – a DAC kimeneten látható egyenszintben időnként láthatunk egy ugrást. Ennek nagysága megadja a kvantálási szintet (mivel a zaj elég kicsi). Hasonlítsuk össze a mért és a számolt kvantálási szintet! Másik módszer, ha a digitális szkópon az egyik kurzort beállítjuk a kimeneti szintre, majd nagyon finoman úgy növeljük a bemenő jelet, hogy épp egy szintet ugorjon a kimenő jel, majd a második kurzort is felhasználva megmérjük a különbséget.
6. Vizsgáljuk meg oszcilloszkópon az R-2R létra DAC kimenetét. Vizsgáljuk meg a kimenő jelet különböző frekvenciájú szinuszjel mellett (pl. 10Hz, 100Hz, 1kHz, 5kHz, 10kHz) valamint különböző amplitúdók mellett (ügyeljünk arra, hogy benne maradjunk a 0..4V tartományban). Mérjük meg a kvantálási szintet. Ehhez alacsony

frekvenciájú (pl. 100Hz) háromszögjel használata javasolt. Számoljuk is ki a kvantálási szintet. Számoljuk meg a szinteket csúcstól-csúcsig. Hasonlítsuk össze a számolt és mért eredményeket! Mérjük meg a bemenet és kimenet közötti időeltérést!

7. Használjuk az RC szűrőt a létra DAC kimenetével, szinuszbemenettel. Vizsgáljuk meg a kimenő jelet különböző időállandók ( $RC_1$ ,  $RC_2$ ,  $RC_3$  – számoljuk is ki ezeket és a hozzájuk tartozó törésponti frekvenciákat!) illetve különböző frekvenciák (10Hz, 100Hz, 1kHz) mellett. A látottakat magyarázzuk meg! (Ha nem tudjuk, hogy melyik C melyik értéknek felel meg a fentebb felsoroltak közül, a mérésből egyszerűen ki fog derülni!)
8. Az előző mérést végezzük el háromszög bemenettel is. Láthatjuk, hogy a háromszögjel helyreállítása sokkal rosszabbul sikerül, mint a szinuszjelé. Magyarázzuk ezt meg!
9. Vizsgáljuk meg a PWM kimenetet AC bemenet esetén (javasolt a digitális szkóp használata stop gombbal, majd nagyítva). Nézzük meg a kitöltési tényezőt (itt nem kell mérni) a szinuszjel pozitív és negatív csúcsánál is! Ezután kapcsoljuk rá a PWM kimenetet a szűrőre és vizsgáljuk meg a szűrt kimenetet az előző feladathoz hasonlóan!
10. Kössünk DC jelet az analóg bemenetre! (Használjuk a tápegység szabadon maradt állítható felét, 0..4V közötti értékekkel.) Jelenítsük meg oszcilloszkópon a bemenetet (DC módban!) és a szűretlen PWM kimenetet. Vizsgáljuk meg, hogy változik a kitöltési tényező a bejövő feszültség függvényében. Mérjük meg 0;1;2;3;4V feszültségek esetén a kitöltési tényezőt! Ezután kapcsoljuk a PWM kimenetet a szűrőre és hasonlítsuk össze a bemenetet a kimenettel (állítsuk a két csatornát azonos GND (illetve vertical position) szintre és V/div szintre, majd állítsuk finoman a bemenő feszültséget). (Ennél a mérésnél előfordulhat, hogy a digitális szkóp nem tud elég jól triggerelni a jelre, míg az analóg szkópnak nincs ilyen gondja.)
11. Vizsgáljuk meg a DAC IC soros kommunikációját a logikai analízátorral. Mérjük meg a soros kommunikáció időtartamát. Ez az az időtartam, ami alatt  $2 \cdot 8$  bit információt átvissz a DIN kivezetésen (azért két bájt, mert van egy parancsbájt is). Láthatjuk, hogy két adatátvitel között egy kis ideig szünetel a kommunikáció. Ezt az időtartamot is mérjük meg. A két időtartam összege egyenlő a mintavételi periódusidővel (hiszen, mint említettük, mindig egyszerre egy mintát vesz és utána kiküldi. Annyi csalás van a dologban, hogy a program elindítja az ADC átalakítást, miközben az előző eredményt küldi ki a DAC felé, de a periódusidőn ez jelen esetben nem fog változtatni). A létra-DAC kimenetén (oszcilloszkópon) mérjük meg két szomszédos minta közötti időkülönbséget (ehhez javasolt nagyobb frekvenciát használni, hogy ne tartózkodjon több ideig ugyanazon az értéken). Ennek egyenlőnek kell lennie az analízátoron előbb kimért periódusidőnek, egyúttal a bemenő jel és a létra-DAC kimenete közötti késleltetéssel is (azaz egy mintavételi periódus a késleltetés). Ha viszont a DAC IC kimenetét nézzük, a periódusidő ugyanannyi, de a késleltetés nagyobb lesz. Ennek az az oka, hogy miután a DAC IC megkapta a soros portján az adatot, még időbe telik, míg abból analóg jelet csinál (de eközben a mikrovezérlő már továbblépett).

12. Kísérletképp köthetünk DC jelet is az analóg bemenetre. Az analóg jelet lassan növelve a nullától a Data In csatornán megfigyelhetjük a növekvő bináris nyolcbites számot.
13. Az előzőekben kimért mintavételi frekvencia ismeretében számoljuk ki a maximális bemeneti jelfrekvenciát, ami mellett még teljesül a mintavételi tétel (azaz ahol legalább két mintát tartalmaz még egy periódus). Ellenőrizzük oszcilloszkópon!

### **Felkészüléshez használható irodalom:**

- Zsom Gyula: Digitális technika 2. (199-250)
- Zsom Gyula: Elektronikus áramkörök 1.A. (164-168)
- Molnár Ferenc: Elektronikus áramkörök 1.B. (189-208)

### **Beugró kérdések**

1. 5V referencia mellett egy 8 bites ADC-nek mekkora a felbontása (kvantálási szintje)?
2. Mi és mekkora a kvantálási hiba?
3. Mik az elvi feltételei annak, hogy a mintavett jel helyreállítható legyen?
4. Mekkora mintavételi frekvenciát kell használnom audio jeleknél, hogy az eredeti jel helyreállítható legyen?
5. Mi a sorozatos közelítéses ADC működési elve?
6. Mitől függ egy sorozatos közelítéses (SAR) ADC futási ideje (egy minta átalakításához szükséges idő)?
7. Ismertesse a PWM segítségével megvalósított DAC működési elvét!
8. Mi a feltétele annak, hogy a PWM jelből az RC szűrővel helyreállítható legyen az eredeti analóg jel?
9. Mi a feltétele annak, hogy a DAC IC „lépcsős” kimenetéből RC szűrővel helyreállítható legyen az eredeti analóg jel?