

Hordozható adatgyűjtő

Témalaboratórium jegyzőkönyv

2016/17. I. félév

Vagner Jázon

Konzulens: Dr. Kovácsházy Tamás

Tartalomjegyzék

Specifikáció	2
Bevezetés	2
A téma értelmezése	2
Az elvégzendő feladatrészek	2
A kapcsolás	3
1-es csatorna	3
2-es csatorna	5
Az analóg tápfeszültség előállítása	5
Hőmérő	5
A nyomtatott áramkör	6
A szoftver	6
Mérési eredmények	7
5 kHz szinusz, $f_s = 400$ kHz	7
1 kHz négyszög, $f_s = 400$ kHz	8
Mellékletek	10
Felhasznált segédanyagok	10

Specifikáció

- Két analóg csatorna beállítható érzékenységgel
- Mérés határok: 0,5V / 1V / 5V / 10V
- 5kHz-es sávszélesség
- 100V tartós elviselése meghibásodás nélkül

Bevezetés

A feladat megvalósításához egy STK3700 (Giant Gecko) fejlesztőpanelt használtam.

A téma értelmezése

Az adatgyűjtés azt takarja, hogy mintavételezni kell a két csatorna feszültségét valamilyen mintavételi frekvenciával, és kiolvashatóan tárolni a mért értékeket. (Az elkészített tesztprogram rögtön elküldi UART-on az eredményeket a mérés után, de ezt minimális kódváltoztatással meg lehetne változtatni.)

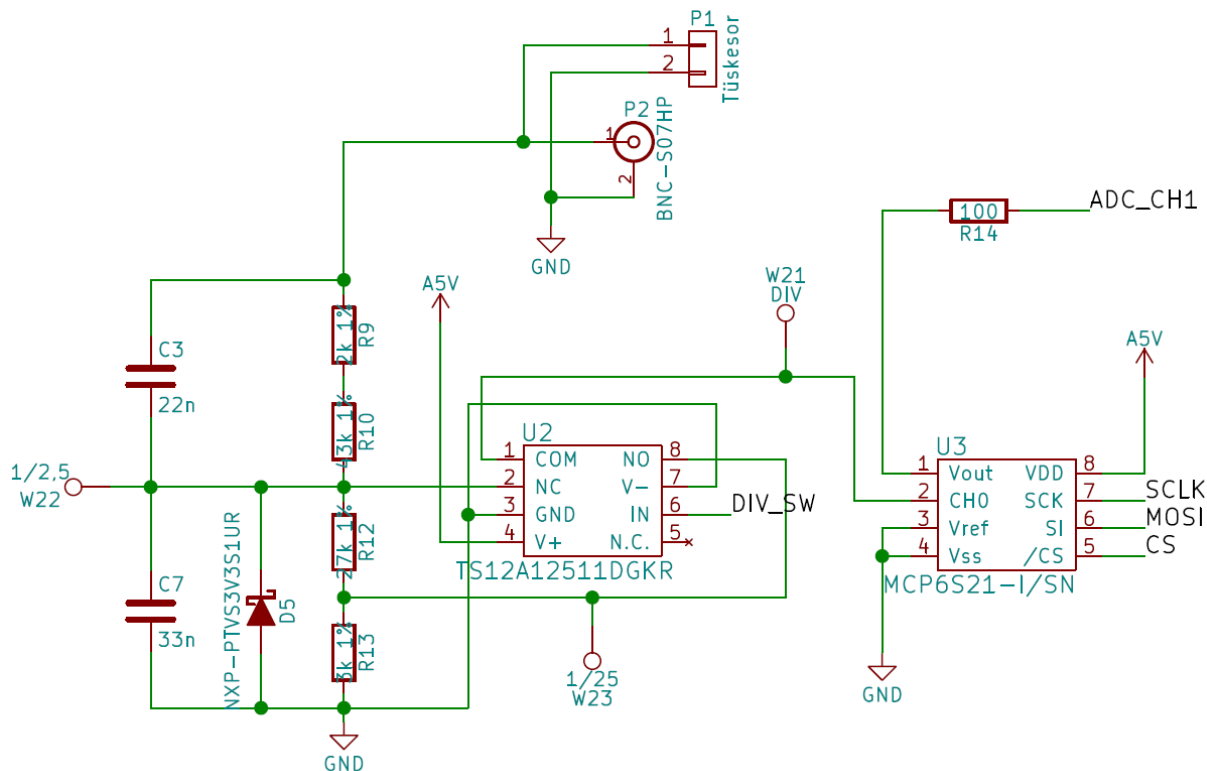
Az elvégzendő feladatrészek

- Kapcsolás tervezése a specifikáció alapján
- Nyomtatott áramkör tervezése
- Szoftver írása a Simplicity Studio fejlesztőkörnyezetben C nyelven a fejlesztőpanelen lévő mikrovezérlőre

A kapcsolás

A méréshez a mikrovezérlő belső ADC perifériáját használom, így külső ADC IC-t nem használok, a tervezett áramkör csak a jelkondicionálást végzi el.

1-es csatorna



A bemeneti fokozatnak a fő részei az osztó, az analóg kapcsoló IC, és a PGA (programmable gain amplifier). Mintavevő-tartó áramkör nincs a kapcsolásban, viszont az ADC-ben van (először beállítható ideig mintát vesz (acquisition phase), majd átalakít (approximation phase)).

Az analóg kapcsoló és a PGA áramkörök kimenete rail-to-rail. Mivel az ilyen kimenet is csak megközelíteni tudja a feszültségtartomány határait, 0V bemenő feszültségnél nagyjából 7mV-ot mértem a PGA kimenetén. A felső, V_{MCU} -s határral nincs ilyen gond, mert ezek az IC-k 5V-ról járnak. Ez viszont probléma is lehetne egyben, hiszen így – ha a bemeneti feszültség nagyobb a beállított méréshatárnál – a V_{MCU} -nál nagyobb feszültség is kerülhet az ADC bemenetre. Ezt oldja meg a kimeneten a soros 100Ω-os ellenállás, amely ilyen esetben korlátozza az áramot a mikrokontroller vágódiodáin.

Az osztónak 25-ös és 2,5-es leosztású kimenete van, ez a két pont az analóg kapcsolóval kapcsolható a PGA-ra. A választott TS12A12511DGKR típus R_{on} vezetési ellenállása aszimmetrikus 5V-os tápfeszültségen legfeljebb 12,5Ω, de mivel a PGA bemenő árama DC feszültségre a teljes működési hőmérséklettartományon legfeljebb 250pA (szobahőmérsékleten 1pA), az okozott feszültségesés elhanyagolható (<3,125nV). A PGA bemeneti kapacitása 15pF.

A PGA-t SPI-n lehet beállítani. Itt elkövettem azt a hibát, hogy nem jutott eszembe a szintillesztés. Mivel MISO vonal nincs, ezért csak a 3,3V -> 5V iránnyal lehetne gond, de a 3,3V-os magas szintet a PGA már magasnak érzékeli, ezért így is működik a kapcsolás.

Analóg kapcsoló IC helyett relét is lehetne használni, de a feladat szempontjából nem lenne előnye, cserébe sokkal nagyobb, többet fogyaszt, és további elemek kellenek a működtetéséhez, ezért nem azt választottam.

Az előírt méréshatárokhoz úgy határoztam meg az alkatrészeket, hogy a bemenő feszültségtartomány a PGA kimenetén a 0 - 3,2V tartományba képződjön le. Az ADC referenciasfeszültségének a V_{DD} -t használok (a panelen V_{MCU}), amely névlegesen 3,3V, így tehát a teljes tartomány nagy részét kihasználom, valamint így az ellenállásértékek hibájából adódó esetleges eltérések miatt sem éri el a 3,3V-ot (1%-os tűrésű ellenállásokkal). Sajnos csak utólag derült ki, hogy a 3,3V-osnak feltételezett V_{MCU} valójában 3,2V-os, így az 5V-os méréshatárban például nem lehet teljesen 5V-ig mérni.

Egyenfeszültségen az összes méréshatárban megmértem, hogy mennyit mér az ADC a FS értéknél, ezen értékek felhasználásával számolja ki az eszköz a mért feszültséget. A fentebb említett „3,2V probléma” miatt az 5V-os méréshatárban már 4,976V-nál 4095 a mérési eredmény, ebből következtetve 5V-on 4115-nek kellene lennie – ez 12 biten nyilván lehetetlen.

Az MCP6S21 típusú PGA lehetséges erősítései 1; 2; 4; 5; 8; 16; $32 \frac{V}{V}$, az ezekből és lehetséges osztásokból adódó méréshatárok [V]-ban:

$$U_{határ} = \frac{3,2V * leosztás}{PGA erősítés}$$

	1x	2x	4x	5x	8x	10x	16x	32x
2,5	8	4	2	1,6	1	0,8	0,5	0,25
25	80	40	20	16	10	8	5	2,5

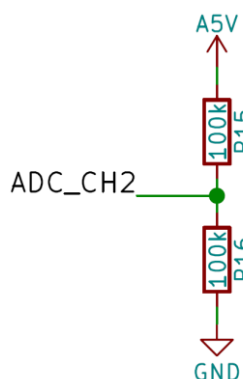
Zöld háttérrel emeltem ki a specifikációban szereplő értékeket, a pirossal áthúzottak nem lehetségesek a védelem miatt, a fennmaradó 8 további méréshatár szintén használható. Ebből a 8-ból csak 7 különbözik, a 8V-os határnál volt választásom, hogy melyiket használjam. Azért nem a piros 8-ast választottam, mert a PGA erősítéshibája 1x-es erősítés esetén csak 0,1%, míg a többi esetben 1%, továbbá a kisebb leosztástól és a kisebb erősítéstől azt remélem, hogy a kimenet kevésbé lesz zajos.

A kompenzált osztó azért szükséges, hogy kompenzálható legyen a jelvezeték kapacitása, ha ez szükséges. Ezen kívül a TVS diódának van – ráadásul feszültségfüggő – töltés-kapacitása, de ezt nem vettem figyelembe, így a kondenzátorértékeket csak az osztó ellenállásaihoz méreteztem úgy, hogy teljesüljön a $22nF * 45k\Omega = 33nF * 30k\Omega$ egyenlőség.

A TVS dióda a 2,5-es osztópont feszültségét korlátozza. A választott típus 3,3V-os, ez alatt a tipikus szivárgási árama $5\mu A$. 10mA-hez legalább 5,2V kellene. A 10V-os méréshatárban itt legfeljebb 4V lehet, ezért nem meglepő, hogy a méréstartomány felső része nemlineáris. Ezt már a tervezéskor tudtam, de azért nem 5V-os diódát választottam, mert akkor az analóg kapcsolóra 5,5V-nál nagyobb feszültség is juthatna, ennyi viszont a maximum az adatlap szerint.

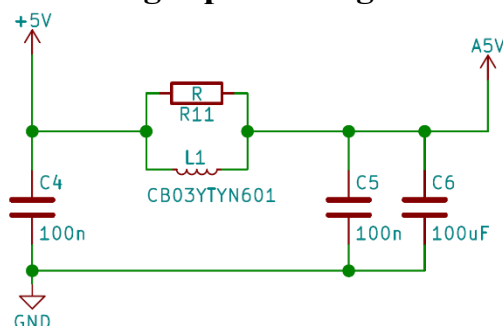
100V-os bemenő feszültségnél az osztó felső ellenállásai (R_9 és R_{10}) korlátozzák az áramot. A legnagyobb teljesítmény ekkor a $43k\Omega$ -os ellenálláson disszipálódik, ez a diódán eső feszültséget 3V-nak véve (így van némi ráhagyás) $P_d \approx \frac{(100-3) * \frac{43}{45}}{43} \cong 200mW$. Emiatt 1206-os tokozású ez az egy ellenállás.

2-es csatorna



Nem kellett, hogy a 2-es csatornát is a specifikáció szerint tervezzem meg, a szoftvernek viszont tudnia kell kezelni két csatornát, ezért ide egy egyszerű osztót tettem. Ennek kimenete elvben konstans 2,5V. A fejlesztőpanel dokumentációjában a bővítő csatlakozó lábkiosztásánál sajnos nem szerepelt, hogy a PD6-os lábra tették a fényérzékelőként használt fototranzisztort, így ez a csatorna fényérzékeny lett. Mivel ez a csatorna nem olyan fontos, ez nem jelent nagy gondot.

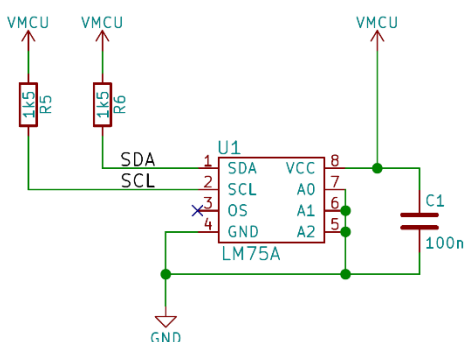
Az analóg tápfeszültség előállítása



Mivel a digitális áramkörök tápfeszültsége a kapcsolások miatt zajos, az analóg tápfeszültség ebből szűréssel állítható elő, ehhez LC szűrőt használtam. Az L_1 alkatrész kimondottan erre a célra való ferrit bead.

Az analóg oldalon a 100 μ F-os elektrolitkondenzátor a kisfrekvenciás, a 100nF-os kerámia a nagyfrekvenciás zajok szűrésére alkalmas, az előbbinek ugyanis jelentősen csökken a kapacitása a frekvencia növelésével.

Hőmérő

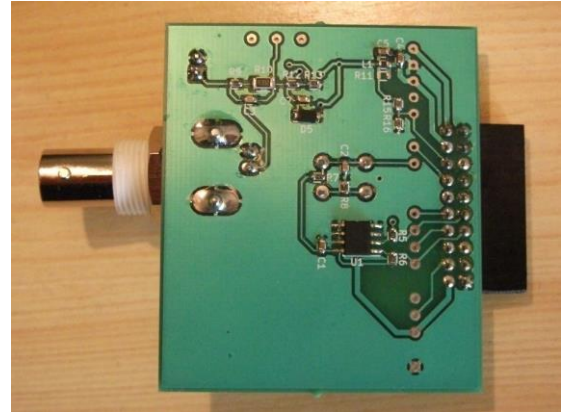
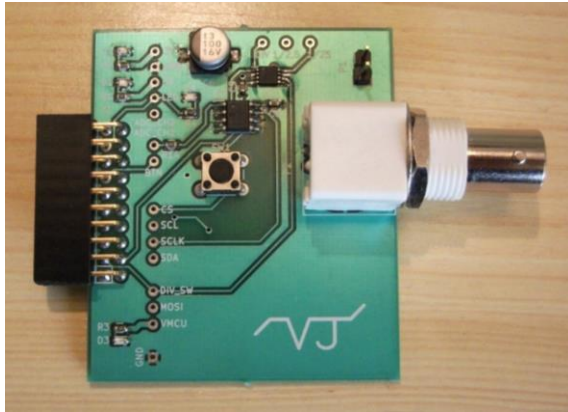


Bár nem tartozik a feladatomhoz, egy LM75A típusú, I²C buszra illeszthető hőmérő IC-t is terveztem a panelre, így megismerkedhettem mind a hőmérőnek, mind az I²C-nek a használatával.

A nyomtatott áramkör

A tervezéshez a KiCAD programot használtam. Az alkatrészek elhelyezésekor törekedtem arra, hogy az analóg részek egymáshoz közel legyenek.

Az elkészült panel:



A szoftver

Az ADC-t scan módban használom, ami azt jelenti, hogy szoftveres beavatkozás nélkül egymás után mintavételezi a megadott csatornákat. A konverziós parancsot a mintavételi frekvenciával kell kiadni, ehhez egy timer-t használtam. Hogy a CPU-t tehermentesítsem, a konverziót nem megszakításból indítom, erre a célra a legjobb a PRS (peripheral reflex system). Ezt használva az ADC közvetlenül a timer-től kapja (túlcsordulásakor) a konverziós parancsot.

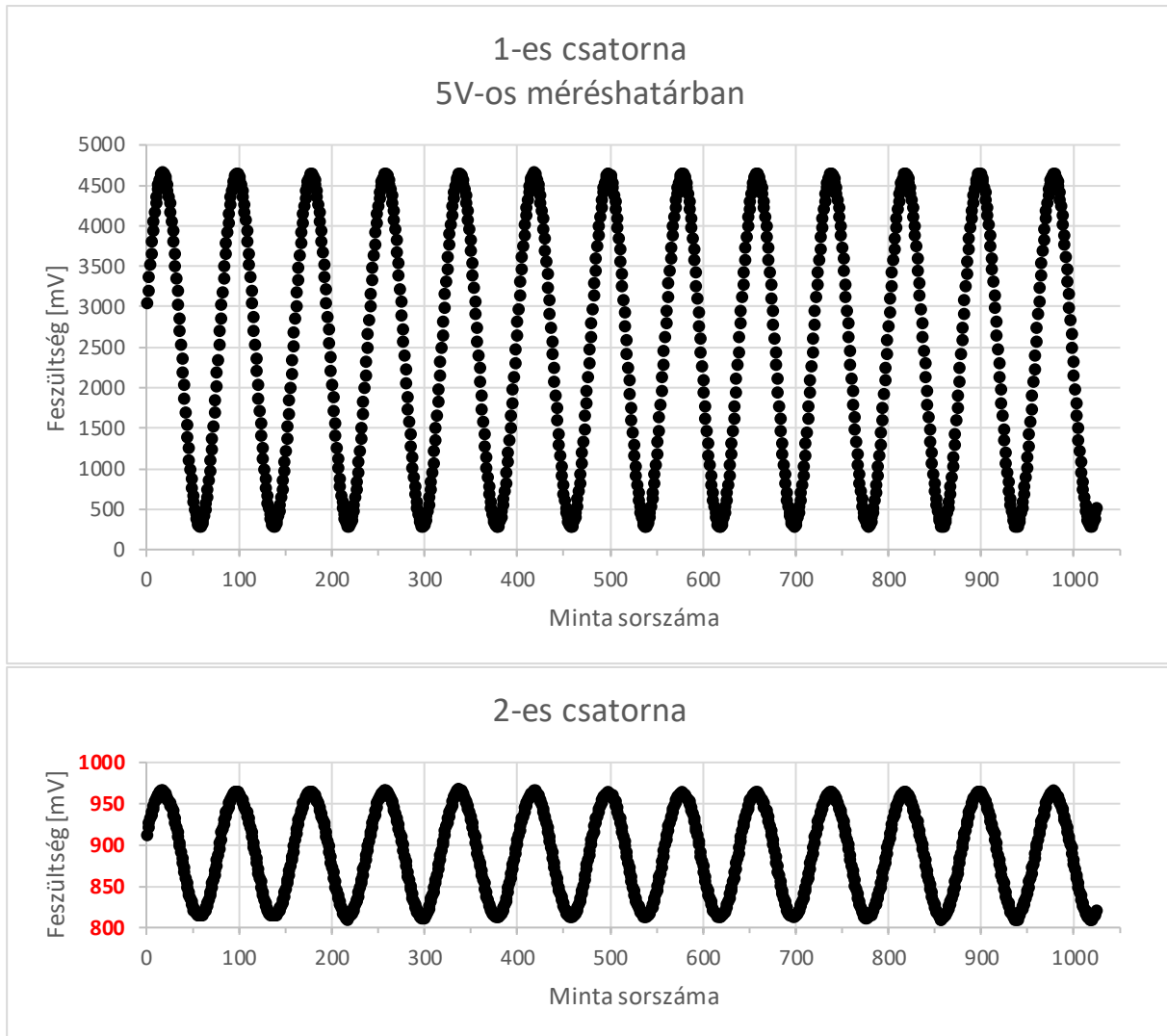
A scan mód miatt a 2-es csatornán kis késéssel történik a mintavétel az 1-eshez képest. Az ADC órajele 12 MHz, az acquisition time 2 órajelciklus, és 12 bites felbontást használlok, így egy mintavétel ideje $\frac{12+2}{12 \text{ MHz}} \approx 1,17\mu\text{s}$. Ennyit késik a 2-es csatorna mérése. Ha az alkalmazásban ekkora a késés nem engedhető meg, akkor 2db külső, különálló AD átalakítót kellene használni.

Az eredményeket DMA vezérlővel olvasom ki. Ha a mérés elkészült, a DMA megszakításában tiltom a timert. Így a CPU a mintavételezés kezdetétől a végéig szabad. Az eredmények elküldése UART-on történik, ezt is meg lehetne oldani DMA-val, de mivel ez nem időkritikus, ezzel nem foglalkoztam.

Mérési eredmények

Ezeket a méréseket 5V-os méréshatárban végeztem, és az oszcilloszkóp által kijelzett értékeket tekintettem referenciának.

5 kHz szinusz, $f_s = 400$ kHz



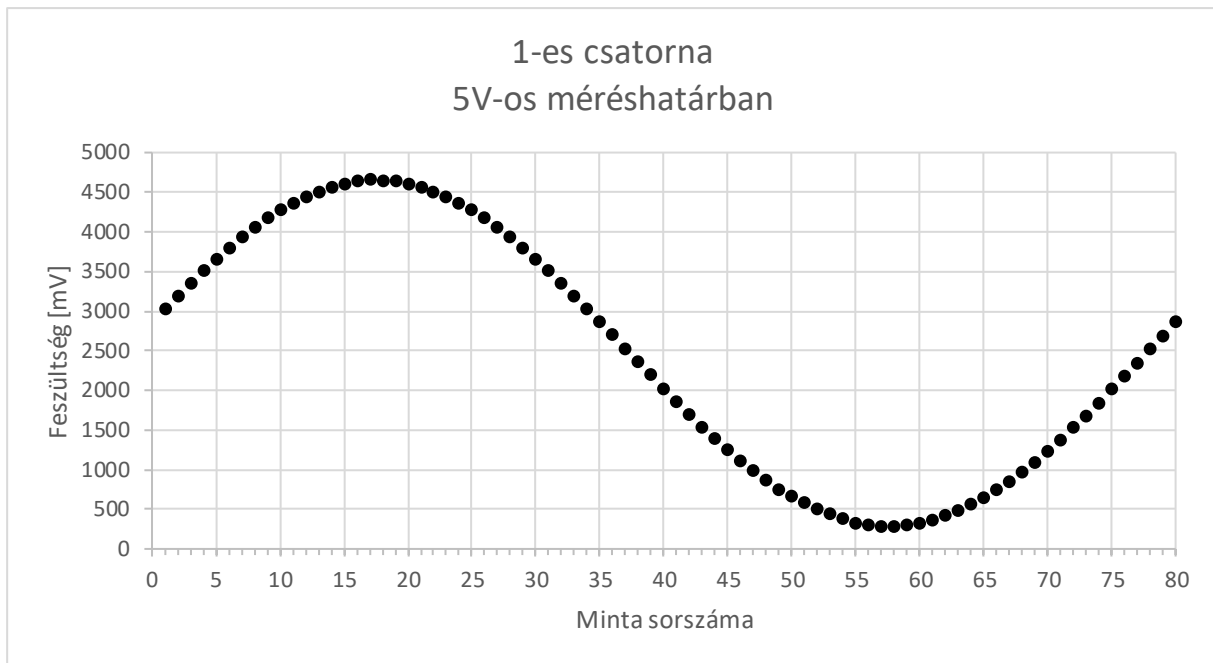
Az áthallás a 2-es csatornára -29dB.

$$U_{\text{off}} = 2,56\text{V}; U_{\text{pp}} = 4,43\text{V}; U_{\text{offmért}} = 2,457; U_{\text{ppmért}} = 4,379\text{V}$$

A középérték mérési hibája $\frac{2,56-2,457}{2,56} * 100\% \cong 4\%$

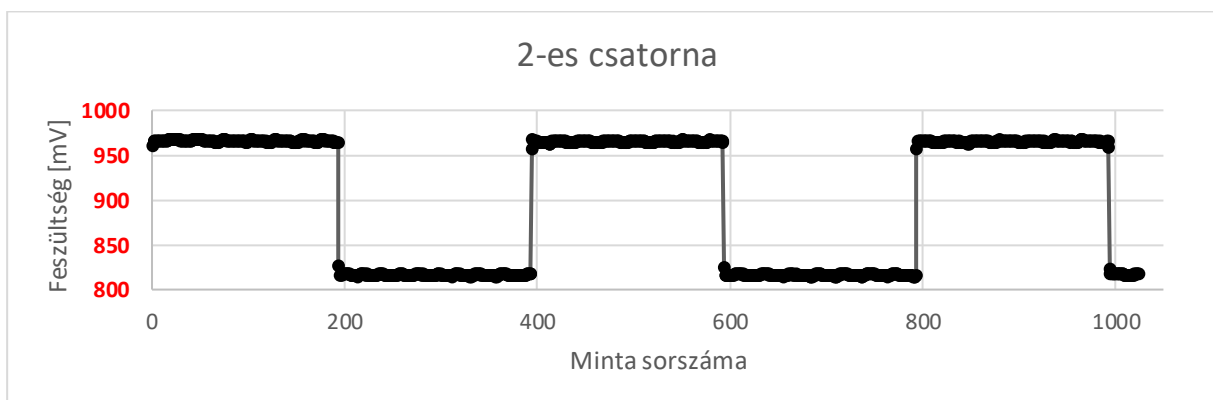
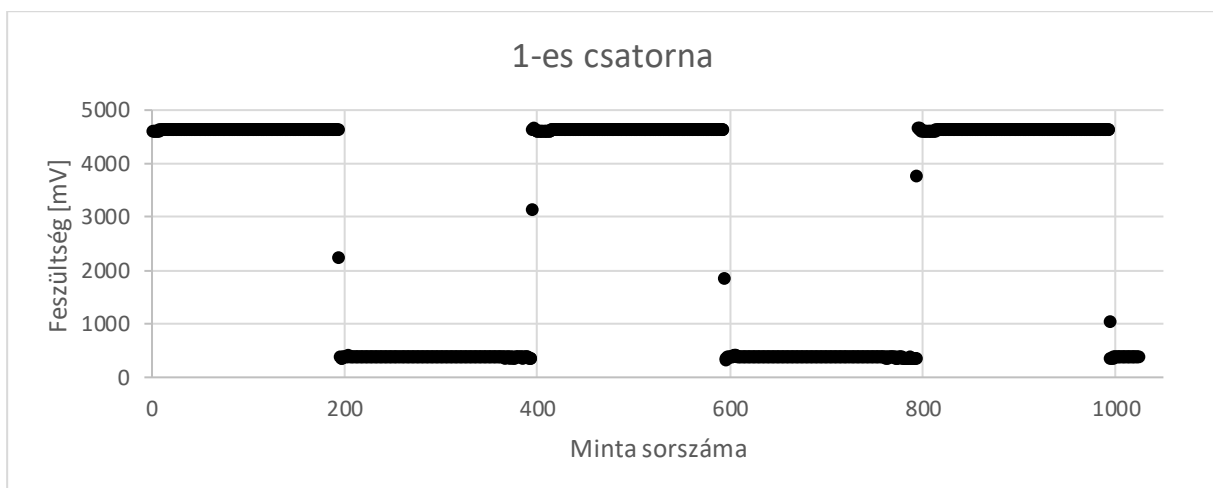
A peak-to-peak mérési hibája $\frac{4,43-4,379}{4,43} * 100\% \cong 1,15\%$

A specifikáció szerinti 5kHz-es sávszélességet teljesíti.



Egy periódusnyi minta a regisztrátum elejéről. Ez a várakozásnak megfelelően $\frac{400\text{kHz}}{5\text{kHz}} = 80$ mintából áll.

1 kHz négyszög, $f_s = 400\text{ kHz}$



$$U_{\text{off}} = 2,57\text{V}; U_{\text{pp}} = 4,51\text{V}; U_{\text{offmért}} = 2,493; U_{\text{ppmért}} = 4,329\text{V}$$

A középérték mérési hibája $\frac{2,57-2,493}{2,57} * 100\% \cong 3\%$

A peak-to-peak mérési hibája $\frac{4,51-4,329}{4,51} * 100\% \cong 4\%$

Az áthallás itt is -29dB, és láthatóan frekvenciafüggetlen, tehát valamilyen rezisztív osztás állhat a háttérében. Ennek még nem sikerült megtalálni az okát.

Mellékletek

- „KiCAD_project” mappa: a teljes hardverterv KiCAD projectje.
- „TLAB” mappa: a szoftver Simplicity Studio projectje.
- schematic.pdf: a teljes kapcsolási rajz

Felhasznált segédanyagok

- Használtam fel mintakódokat a Simplicity Studio mappájából
(C:\SiliconLabs\SimplicityStudio\v3\developer\sdk\efm32\v2\an)
 - /an0021_efm32_adc/main_adc_timer_prs.c
 - /an0021_efm32_adc/main_adc_calibration.c
 - /an0013_efm32_dma/memory_scatter_gather.c