

Információfeldolgozás laboratórium
(BMEVIMIM322)

Tárgyfelelős: dr. Sujbert László

Az *NI 9263* DA és *NI 9239* AD kártyákra alapuló
mérések *NI cRIO-9074* platformon

Krébesz Tamás és dr. Sujbert László
(BME-MIT-Beágyazott Rendszerek Csoport)

© 2010. március 17.

1. A laborgyakorlat során alkalmazott eszközök

Jelen laboratóriumi gyakorlat során az *NI cRIO-9074* FPGA alapú, integrált vezérlővel ellátott keretbe beillesztett *NI 9263* digitál-analóg (DA) és *NI 9239* analóg-digitál (AD) modulok felhasználásával kell (i) impedanciamérő, valamint (ii) hálózatanalizátor funkciókat megvalósító virtuális műszereket "készíteni".

1.1. A keret és a modulok ismertetése

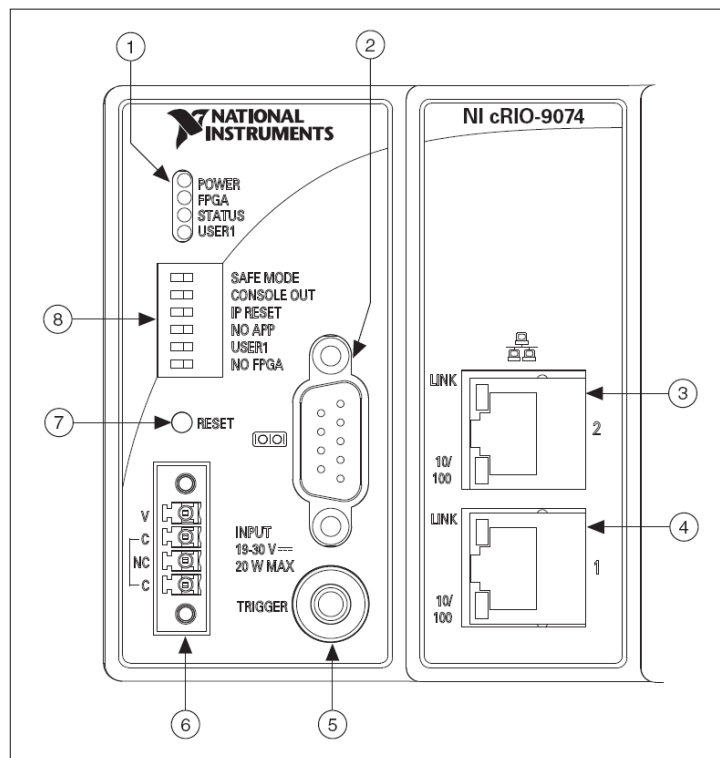
1.1.1. NI cRIO-9074

Az NI cRIO-9074 FPGA keret [1] egy olyan integrált rendszert alkot, amely önmagába foglal egy real-time processzort és egy újrakonfigurálható FPGA egységet ugyanabban a fizikai keretben. Maga a keret a 1. ábrán látható. A real-time fel-



1. ábra. NI cRIO-9074 keret fizikai megjelenése.

dolgozást egy 400 MHz-es processzor végzi, amely 128 MB DRAM-mal és 256 MB háttértárral rendelkezik. Az FPGA egy Xilinx típusú 2 M ekvivalens kapu komplexitású egység. A keret mindösszesen 8 db *NI C Series I/O* modul befogadására képes. Ahogy az a 2. ábrán látható, a keretbe integrálva található továbbá 2 db 10/100 Mb/s-os Ethernet port, amelyen keresztül történik a programozás. A mérés során erre a célra az 1-es portot fogjuk használni. Az Ethernet portokon keresztül lehetőség van még a rendszer bővítésére, további I/O modulok becsatlakoztatására akár egy másik CompactRIO rendszer vagy egyéb arra alkalmas Ethernet alapú eszköz segítségével.



2. ábra. NI cRIO-9074 kereten található kommunikációs- és tápcsatlakozások, valamint vezérlő elemek.

A 2. ábrán látható számozott elemek megnevezése:

1. Állapotkijelző LED-ek
2. RS-232 Soros Port
3. RJ-45 Ethernet Port #2 (csak a cRIO-9074 típuson)
4. RJ-45 Ethernet Port #1
5. SMB Connector digitális eszközök csatlakoztatására (csak a cRIO-9074 típuson)
6. Tápcsatlakozások
7. Reset gomb
8. Keretvezérlő DIP kapcsolók

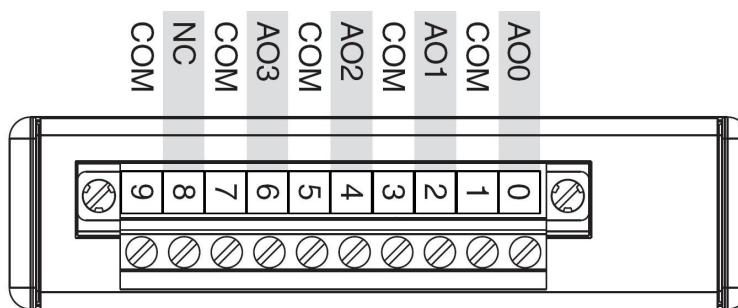
1.1.2. NI 9263

A National Instruments NI 9263 modul [2] egy 4 csatornás, max. 100 kSample/s frissítési sebességgel rendelkező DA egység, amely a 3. ábrán látható. A csatornánként 16 bites felbontású feszültségkimeneten maximálisan ± 10 V-os jelszint adható ki. A kimenetek nem differenciális, úgynevezett *single-ended*



3. ábra. Az NI 9263 DA modul fizikai megjelenése.

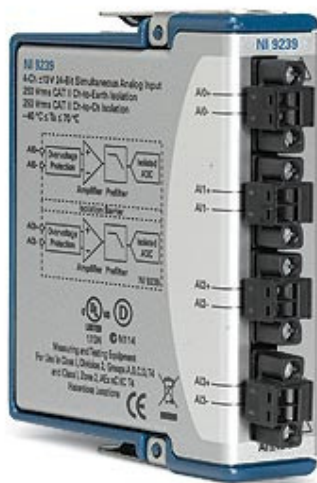
kimenetek, ami azt jelenti, hogy egy közös COMM, vagyis a modulon belüli izolált földpont képezi a referenciát a jelvonalak (AO0/.../AO3) számára. A kimenetek lábkiosztása a 4. ábrán látható.



4. ábra. Az NI 9263 DA modul lábkiosztása.

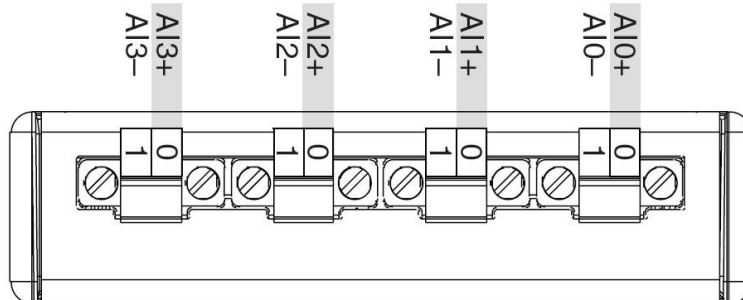
1.1.3. NI 9239

A National Instruments NI 9239 modul [3] egy 4 csatornás, min. 1,613 kSample/s, max. 50 kS/s mintavételezési sebességgel rendelkező AD egység, amely a 5. ábrán látható. A mintavételezési sebesség állítható a következő összefüggés alapján: $\frac{50 \text{ kS/s}}{n}$, $n = 1, 2, \dots, 31$. A csatornánként 24 bites felbontású feszültségbemenetre



5. ábra. Az NI 9239 AD modul fizikai megjelenése.

maximálisan ± 10 V-os jelszint adható be. A bemenetek differenciálisak, így földpont-referenciával rendelkező, illetve lebegő referenciával rendelkező jelek is köthetők a bemenetekre (AI0+;AI0-;/.../AI3+;AI3-). A bemenetek lábkiosztása a 6. ábrán látható.



6. ábra. Az NI 9239 AD modul lábkiosztása.

2. Elméleti háttér az impedanciaméréshez [4]

Az 1900-as évek elején Heaviside munkássága révén elterjedt a szinuszos áramú hálózatok időbeli változásainak $e^{j\omega t}$ alakú leírása, a feszültségek és áramok komplex amplitúdóinak használata. Ezeknek a komplex amplitúdóknak a hányadosa az impedancia. Konkrétan az impedancián egy hálózat két pontja között fellépő feszültség komplex amplitúdójának és a két pont között folyó áram komplex amplitúdójának hányadosát értjük:

$$\bar{Z} = \frac{\bar{U}}{\bar{I}}$$

Az impedancia olyan hálózatjellemző, amely az ω körfrekvencia függvényében írja le a hálózatot a két pont között. A definícióból következik, hogy az impedancia komplex mennyiség. Ideális esetben elképzelhető, hogy akár a képzetes összetevő, akár a valós összetevő zérus. Ekkor ideális ellenállásról, ill. ideális kapacitásról vagy ideális induktivitásról beszélünk.


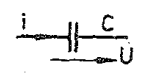

Bármennyire is törekszünk ilyen "tisztá", ideális elemek előállítására, a célba vett ún. fő komponens mellett gyakran nemkívánatos parazita komponensek is jelentkeznek. Egyes esetekben viszont éppen a parazita komponens megismerése a mérés elsődleges célja.

A mérés célszerűen megválasztott mérőhálózatban történik. Egy mérőhálózattal az ismeretlen impedancia annyi paraméterét lehet meghatározni, ahány független mérési eredményt szolgáltat a mérés.

Az impedanciák mérésére alkalmas mérőhálózatok nagy többsége szinuszos vizsgálójellel dolgozik. Ez a komplex periodikus jellel való vizsgálat speciális esete. Egy frekvencián történő mérésnél két eredményt lehet egyszerre megszerezni, miután a szinuszos jelnek két független paramétere van.

Az impedanciák helyettesítőképéből a 7. táblázat szerinti kétparaméteres helyettesítőképeket szokás lebontani.

Természetesen egy frekvencián a 8. táblázatban szereplő két leírás közül bármelyik használható, de amennyiben több frekvencián is mérni kívánunk, a fizikailag helyes képet az a helyettesítés adja, amelynek paraméterei frekvenciafüggetlenek. A teljes helyettesítőkép ismeretében ez az adott frekvenciatartományban domináló két paraméter figyelembevételét jelenti. Parazita komponensek szempontjából a legtisztább elemnek a kondenzátor tekinthető, mérés technikai célra felhasznált megvalósításainak szöghibája a $10^{-8} \dots 10^{-3}$ intervallumban van, az indukciós tekercsnél viszont a 10^{-2} -nél kisebb szöghiba ritkaság.

Név	Jel	Differenciál- egyenlet	$H(s)$	$H(f)$	$h(t)$	Megjegyzés
Ellenállás Vezetés		$u = Ri$ $i = Gu$	R G	R G	$R(t)$ $G(t)$	$G = \frac{1}{R}$
Kapacitás		$u = \frac{1}{C} \int_0^t i dt$	$\frac{1}{sC}$	$\frac{1}{j2\pi fC}$	$\frac{1}{C} 1(t)$	
Induktivitás		$i = \frac{1}{L} \int_0^t u dt$	$\frac{1}{sL}$	$\frac{1}{j2\pi fL}$	$\frac{1}{L} 1(t)$	

Név	Operátoros impedancia	Operátoros admittancia	Komplex impedancia	Komplex admittancia
Ellenállás	R	G	R	G
Kapacitás	$\frac{1}{sC}$	sC	$\frac{1}{j2\pi fC}$	$j2\pi fC$
Induktivitás	sL	$\frac{1}{sL}$	$j2\pi fL$	$\frac{1}{j2\pi fL}$

7. ábra. Az impedanciák helyettesítő képei.

2.1. A mérések fizikai elvei

Az impedanciák mérés technikájában a mérendő impedanciát ismert impedanciához vagy impedanciákhoz hasonlítjuk. Az összehasonlítás egyik legelterjedtebb változata a feszültségösszehasonlítás alapul, amelyre egy lehetséges megoldás a 9. ábrán látható. Az ismeretlen Z impedancián mérjük U_Z feszültséget, R_{ref} referencia-ellenálláson pedig U_{ref} feszültséget. Visszamérjük továbbá a mérőjelet, U -t is. Mivel az áramkörben az áram, I értéke állandó ($I_Z = I_{ref}$) egyszerű feszültségösszehasonlítást alkalmazhatunk, amiből a következőképpen kapjuk az ismeretlen Z impedanciát:

$$|Z| = R_{ref} \frac{U_Z}{U_{ref}}$$

	Ellenállás	Indukciós tekercs	Kondenzátor		
Helyettesítőképek					
A parazita elem leírása	$T = \frac{L}{R} - RC$ $\frac{L}{R} \gg RC$ $L_s = L - R^2C$ $RC \gg \frac{L}{R}$ $C_p = C - \frac{L}{R^2}$	$Q = \frac{\omega L_s}{R_s}$	$Q = \frac{R_p}{\omega L_p}$	$\text{tg } \delta = \omega R_s C_s$	$\text{tg } \delta = \frac{1}{\omega R_p C_p}$
A hibaszög	$\text{tg } \delta = \omega T$	$\text{tg } \delta = \frac{1}{Q}$	δ		

8. ábra. Az impedanciák helyettesítő képei (folyt.).

Az impedancia fázisára pedig a következő írható fel:

$$\cos \varphi = \frac{U^2 - U_{ref}^2 - U_Z^2}{2U_{ref}U_Z}$$

Ezen adatok ismeretében az ismeretlen impedancia elemei a következőképpen számíthatóak:

$$R_Z = Z \cos \varphi$$

$$X_Z = Z \sin \varphi$$

3. A mérési feladatok leírása

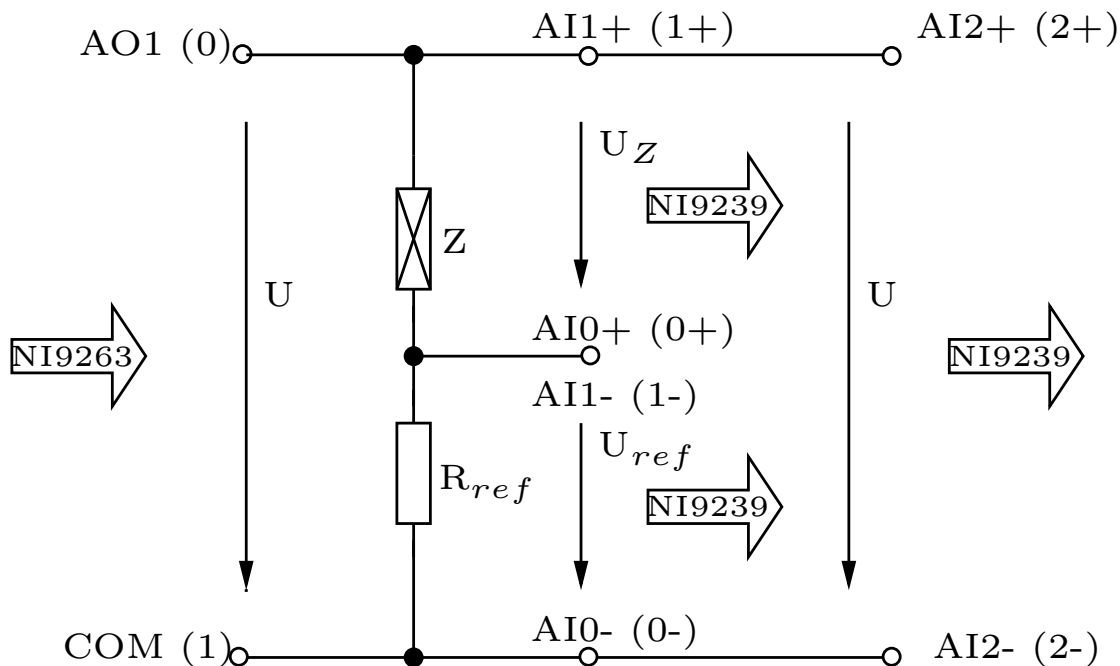
A laborgyakorlat során két mérési feladat elvégzésére alkalmas virtuális műszer implementálását tűzzük ki célul. Először egy impedanciamérést automatizáltan megvalósító virtuális műszert, majd ezt követően egy hálózatanalizátor alapvető funkcióját megvalósító eszközt implementálunk. Az ehhez szolgáló fejlesztői környezetként a LabVIEW, adatfolyam típusú grafikus szoftverrendszert használjuk, amelybe az FPGA és real-time működésért felelős SW komponensek is már integrálásra kerültek a laborgyakorlat számára.

A szoftverrendszer kezelésének megismertetése jelen mérésnek nem feladata, az egy másik laborgyakorlat részét képezi. Ha valaki szeretné feleleveníteni a szoftver-

rendszer kezelésének alapjait, annak figyelmébe ajánlom a [5] oktatási anyagot. Akit a téma bővebben érdekel annak az [6] anyag sok segítséget nyújthat.

3.1. Impedanciamérő implementálása

Adott egy impedancia, amely egy referencia (ismert értékű ellenállás) ellenállással sorosan kapcsolódik. Az impedancia a referencia ellenállással rendelkezésre áll a mérőhelyen. Az NI 9263 DA modul segítségével az AO0 és a hozzá tartozó COM kimeneten (az ábrán zárójelbe tett számok a kimenet sorszámát jelölik, amelyek szintén egyértelműen definiálják a kimenetet) tetszőleges, általunk definiált, csak az alkalmazott eszközök által korlátolt frekvenciájú és amplitúdójú mérőjelet adunk a mérendő hálózatra, ahogy azt a 9. ábra mutatja. Az NI 9239 AD modul segítségével visszamérjük a jeleket. Az AI0+ és AI0- differenciális bemenetet alkalmazva visszamérjük a referenciaellenálláson eső feszültséget, U_{ref} -et. Az AI1+ és AI1- differenciális bemeneten az impedancián eső feszültséget, U_Z -t, végül az AI2+ és AI2- differenciális bemeneten a mérőjelet (a DA AO1 és COM kimenete) mérjük vissza. Ha a gyakorlatban nem is tökéletesen pontosan, de egészen jó közelítéssel meghatározhatjuk az impedancia értékét, valamint a fázistolást.



9. ábra. Az impedanciamérés mérési elrendezése.

3.1.1. Soros RC tag elemeinek meghatározása

Egy impedanciát helyettesítő képekkel modellezhetünk. Minél bonyolultabb helyettesítő képet alkalmazunk, annál jobban közelítünk a valósághoz, azonban a számítási igény is növekedni fog. A mérési feladatban először soros RC taggal helyettesítjük az impedanciát és meghatározzuk az ellenállás (R_Z) és a kapacitás (C) értékét. Ne feledjük, hogy a kapacitív reaktancia a következő összefüggéssel határozható meg:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

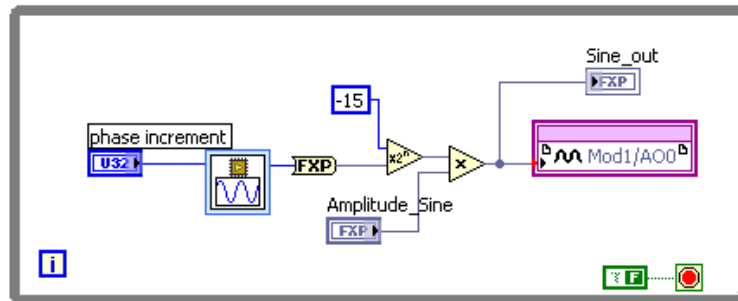
Csak emlékeztetőül: $Z = R_Z + jX_C$ és $|Z| = \sqrt{R_Z^2 + X_C^2}$, ill. $\varphi = \arctg \frac{X_C}{R_Z}$

3.1.2. FPGA kód az NI 9263 DA modul működtetéséhez

Először a legalsó absztrakciós szinten, az FPGA szinten szükséges az eszközöket felprogramozni, hogy az alapvető funkciókat, ki/bemeneteket inicializáljuk. A felhasználható LabVIEW elemkészlet meglehetősen szegényes az FPGA architektúrából adódóan. Nem lehet például direktben osztási műveletet implementálni, hanem 2 negatív egész kitevőjű hatványával történő szorzás segítségével végezhető osztási művelet. A másik problémaforrás a számábrázolásból fakad. Az FPGA-ban fix pontos számábrázolás van, aminek a tulajdonságait nekünk kell beállítani (hány biten történjen az egészek és hány biten a törtrész ábrázolása, stb.)

Első lépésként adjunk ki egy szinuszos jelet az NI 9263 DA modulra. Ez a hagyományos NI-DAQ kártyás világban, ahol a mérési adatgyűjtő kártyák PCI, PXI platformon keresztül kapcsolódtak a host egységhez, ami az esetek többségében egy PC nem volt gond. Az FPGA világban bonyolódik a helyzet az előbb leírtak miatt. Tekintsük a(z) 10. ábrát, ami első ránézésre nagyon egyszerű és az is, ha tudjuk hogyan kell beállítani az egyes ikonok paramétereit.

Kezdjük a vizsgálódást a szinuszos jel mintáit előállító VI-jal. Ha megnézzük a *Help*-jét (Ctrl+H) láthatjuk, hogy nincsen frekvenciabemenete, nincsen amplitúdóbemenete. Helyette van *phase increment* illetve a default beállítású full scale amplitúdókimenet (*sine out*), ami 32767,5-et ad. Ezen paraméterek beállítására több lehetőségünk is van. Mivel a a vizsgált szinuszos jelmintákat előállító VI ún. expressVI képesek vagyunk megnyitni és bizonyos paramétereket állítani, igaz csak statikusan. De állíthatjuk a paramétereket az FPGA-ra írt VI-on keresztül, vagy a real-time szinten is, de akár a host gépen futó legmagasabb szinten is. Mi részben az FPGA-ban, részben a host gépen fogunk dolgozni. A real-time szintet átugorjuk, ennek a mérés szempontjából nincs jelentősége.



10. ábra. Az NI 9263 DA működtetéséhez egy lehetséges FPGA kód.

A frekvenciát és az amplitúdót a következő összefüggésekből számíthatjuk:

$$\text{phase increment} = \frac{\text{frequency}}{\text{FPGA clock rate (40 MHz default)}} \cdot 2^{32}$$

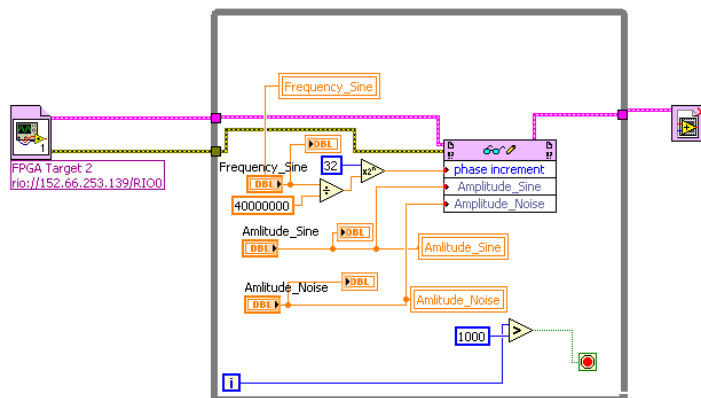
$$\text{sine out} = 32767,5 \cdot 2^n \implies n = \log_2 \left(\frac{\text{sine out}}{32767,5} \right)$$

Amennyiben n értékét -15 -re választjuk a kimenetet 1 V -ra skáláztuk. Ezután az amplitúdót ennek valahány szorosára már könnyen beállíthatjuk egy szorzással. Egy dologra nagyon ügyelni kell! A *sine out* kimenet egész típust ad. Ezt típuskonverzióval át kell alakítani fix pontosra (*FXP* feliratú ikon) úgy, hogy a szóhosszúság (default 32 bit) kb. fele (16 bit) legyen az egészeké, a többi a törtrészé (jobb katt + Properties). Ekkor az osztás (ne feledjük ez 2^{-x} -el való szorzás) már ilyen típust ad és nem kerekít egészé, ahogy tenné ha nem végeznénk típuskonverziót. Végül kikötjük a helyesen beállított amplitúdójú szinuszt a DA modulra. A frekvencia értékét nem tudjuk pontosan beállítani az FPGA szinten, mivel $40 \cdot 10^6$ -nal kelene osztani. Ehhez nem tartozik 2 egész számú hatványa, így a pontosság biztosítása végett ezt a host gépen futó programban tesszük majd meg. Végül az egészet egy *while* hurokba tettük, hogy a folyamatosan generálódó jelminták egyfolytában kerüljenek ki a kimenetre.

3.1.3. A host gépen futó programkód az NI 9263 DA modul működéséhez

A host gépen futó programkód lényegében leköveti az FPGA kódot, hiszen az FPGA kód bemeneteihez a host gépen futó programból hozzáférve tetszőlegesen bonyolult vezérlési szerkezetek is implementálhatóak, hiszen már nem köt minket az FPGA szegényes eszközkészlete. A frekvenciaérték megadását is ebben a részben

programozzuk le az FPGA osztási problémájának egyszerűbb kezelése miatt. Az amplitúdót már skáláztuk az FPGA részben, így azzal nem kell foglalkoznunk.



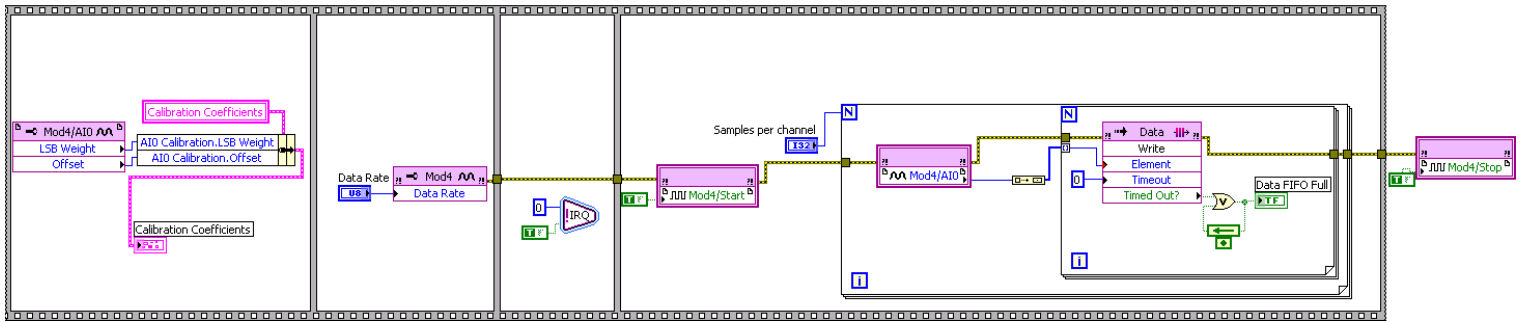
11. ábra. Az NI 9263 DA működtetéséhez egy lehetséges kód a host-on.

Miután definiáltuk melyik FPGA kódot szeretnénk futtatni, egy *while* hurokban átadjuk a kiküldendő szinuszos jel paramétereit az *NI 9263* egységnek. A végén pedig lezárjuk az FPGA kódot erre a feladatra. A hurok 1000-szer fut le, ennyi lefutás alatt elegendő ideig van kint a jel a kimeneten, hogy ne tranzienstben mintavételezzen az AD.

3.1.4. FPGA kód az *NI 9239* AD modul működtetéséhez

Az AD modul adott mintavételi frekvenciával adott számú mintát képes mintavételezni és letárolni azt a memóriájában. Ahogy látható a 12. ábrán a DA egységből először kiolvassuk a kalibrálási adatokat. (A modult a projekt ablakban átállítjuk *RAW* kalibrálási állapotra. Megjegyzem többféleképpen lehet a szinteket beskalázni, egy módszer volt a korábbi megoldás a jelgenerálásnál, ott *Calibrated* állapotú volt az egység, egy másik megoldás a kalibrációs értékek kiolvasása és azok felhasználása.)

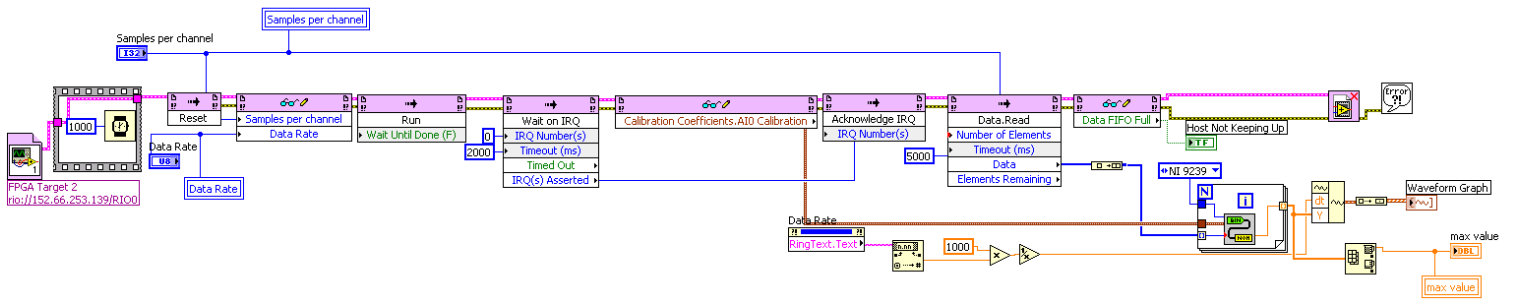
A kalibrálási értékek kiolvasása után a mintavételezési frekvenciát állítjuk be (Data Rate), majd egy megszakítást kérünk a host számára, amivel informáljuk, hogy a kalibrációs együtthatók kiolvasásra kerültek. Elkezdjük az adatgyűjtést és beállítjuk, hogy hány mintát gyűjtünk csatornánként. Kiolvassuk az AD bemeneti pontjait és beírjuk őket egy DMA FIFO-ba. A végén lezárjuk az adatgyűjtést.



12. ábra. Az NI 9239 AD működtetéséhez egy lehetséges FPGA kód.

3.1.5. A host gépen futó programkód az NI 9239 ADA modul működéséhez

A 13. ábrán lévő kódot kiértékelve elmondhatjuk, hogy gyakorlatilag megegyezik az FPGA-n lévő kóddal, kisebb eltérések vannak, illetve a mérési kiértékelés is itt történik. A SW meghívja az FPGA kódot, majd vár 1 s-ot, amíg beáll a DA jele. Ezt követően *Reset*-elődik az AD. Megadjuk a mintavételezési frekvenciát és a minták számát csatornánként, majd elindítjuk az adatgyűjtést (*run*).



13. ábra. Az NI 9239 AD működtetéséhez egy lehetséges kód a host-on.

Várunk az interrupt-ra, amit azért kértünk az FPGA kódban, hogy rendelkezésre álljanak a kalibrációs adatok. Kiolvassuk a kalibrációs adatokat, majd nyugtázzuk a megszakítást. Ezt követően az adatokat olvassuk ki, és ellenőrizzük, hogy nincsen-e tele a FIFO. Végül a kalibrációs adatok, a mért értékek és a mintavételi frekvencia felhasználásával felépítjük a hullámformát.

3.1.6. Mérési feladatok

A fenti kódok felhasználásával valósítson meg egy impedanciamérőt.

- Az FPGA szinten elvégezendő feladatok (ezzel tulajdonképpen inicializáljuk az eszközeinket egy feladatra):
 - Módosítsa az AD kódját úgy, hogy mind a 4 csatorna elérhető legyen mintavételezésre
 - Állítsa be a DA egységet úgy, hogy lehetőség legyen egy szinuszos jel folyamatos generálására az egyik csatornán (pl. AO0), illetve ezzel szimultán egy másik csatornán (pl. AO1) Gaussi zaj folyamatos generálására (ez egy következő feladathoz fog kelleni, de jó, ha az FPGA kód ezzel együtt fordul le)
- A Host szinten elvégezendő feladatok (az FPGA szinten inicializált eszközök feladatspecifikus alkalmazásának implementálása):
 - Az FPGA szinten elvégzett feladatokat ismétlje meg a Host szinten is.
 - Ne feledje implementálni a mintavételezett jelalakok megjelenítését egy *Waveform Graph* alkalmazásával (egyetlen ilyen *Waveform Graph* jelenjenek meg a jelek, hogy a fázistolás jól látható legyen)
 - Az előlapon beállíthatóak legyenek a frekvencia és amplitúdóértékek, a mintavételi frekvencia és a csatornánkénti mintavett pontok száma is meghatározható legyen
 - Mérje meg egy adott frekvenciaértékhez tartozó impedanciát (pl. $f=1500$ Hz)
 - Határozza meg a mérésvezető által megadott impedancia helyettesítő kép paramétereit (default value: soros RC), implementálja a szoftverben az automatizált számítást az R és C értékekre, valamint a fázisszámításra

3.2. Egyszerű hálózatanalizátor megvalósítása

Módosítsa úgy a kódokat, hogy egy Gaussi zajjal gerjesztett rendszer átviteli függvényének kvalitatív jellemzőit képes legyen megmondani. A hálózatanalizátorok alapjait rendkívül jól ismerteti az Agilent anyaga [8].

3.2.1. Mérési feladatok

- Ha még nem tette meg, az FPGA kódban implementálja a szinuszos jel mellé a zajt is a DA egységen, de azt az AO1-es (vagy tetszőleges másik csak) kimeneten szimultán az AO0-ás kimenet szinuszos jelével

- Kösse át úgy az impedanciahálózatot, hogy egy aluláteresztő szűrőt valósítson meg.
- Módosítsa az impedanciamérő kódját úgy, hogy a hálózatanalizátor funkciót megvalósítsa (a bemenetet gerjesztem a zajjal, a kimenetet visszamérem)
- A spektrumkép meghatározásához a mért adatokat dolgozza fel és rajzolja is ki a spektrumképet
- Tesztelje a hálózatanalizátor működését a soros hálózat segítségével, amelyet aluláteresztő szűrőként használjon
- Minősítse a mért spektrumot és becsülje meg a felső határfrekvenciát
- Számítással végezzen ellenőrzést a felső határfrekvencia becsült értékére.

3.3. Kiegészítő mérési feladatok

- Az impedancia hálózat mérőrendszerbe való bekötésének módosításával vizsgálja meg egy feluláteresztő szűrő átvitelét
- Vizsgálja meg az AD egység átvitelét úgy, hogy semmilyen jelet nem ad a bemenetére. Miért jelenik meg mégis jel a 50 Hz-en és miért van letörés 25 kHz-en?

Hivatkozások

- [1] *Az NI cRIO-9074 FPGA alapú integrált vezérlőjú keret leírása*
Operating instructions and specifications
CompactRIO cRIO-9072/3/4
on-line: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/203964>
- [2] *Az NI 9263 digitál-analóg átalakító modul leírása*
Operating instructions and specifications
NI 9263
on-line: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14170>
- [3] *Az NI 9239 analóg-digitál átalakító modul leírása*
Operating instructions and specifications
NI 9229/9239
on-line: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/203420>
- [4] Dr. Schnell László
Jelek és Rendszerek Méréstechnikája III.
- [5] Rendszerarchitektúrák laboratórium
Virtuális műszerek mérés sorozat v 0.1
on-line: http://www.mit.bme.hu/oktatas/targyak/vimim239/jegyzet/labview/labview_meresi_segedlet.pdf
- [6] CompactRIO Developers Guide
on-line: <http://www.mit.bme.hu/oktatas/targyak/vimim239/jegyzet/labview/criondevgudfull.pdf>
- [7] Impedance Measurement Handbook
on-line: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5950-3000.pdf>
- [8] Network Analyzer Basics
on-line: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5965-7917E.pdf>