

TERMÉSZETES CIRKULÁCIÓ SEBESSÉGÉNEK MÉRÉSE, HŐMÉRSÉKLET FLUKTUÁCIÓK FELHASZNÁLÁSÁVAL.

Motiváció

Azt már számtalan fizikai kísérlet során megszoktuk, hogy egy fizikai rendszerben mérhető paraméterekkel le lehet írni a rendszert. A fizikai változók időbeni változásának mérésével pedig a rendszer dinamikájára következtethetünk, - a fizikai rendszer dinamikai egyenleteiben szereplő paraméterek meghatározását így végezhetjük el. A dinamikai paraméterek mérésénél legtöbbször a rendszerre egy külső hatást bocsátunk (valamely bemenetére a rendszert gerjesztő jelet, erőt adunk), és mérjük a rendszer időbeni változását. Az ezt leíró egyenletekben szereplő paramétereket így szokás meghatározni.

Az már kevésbé közismert, hogy a rendszerben fellépő fluktuációk mérésével ugyanez a feladat elvégezhető. Ezek a fluktuációk az átlagértéktől való véletlenszerű eltérések. (Ne a méréskor elkövetett véletlenszerű mérési hibára tessék gondolni! Ebben az esetben arról van szó, hogy például egy 22 fokos átlaghőmérsékletű szobában a hőmérséklet nem állandóan ugyanaz, még hosszú idő eltelte után sem, hanem az átlagérték körüli ingadozást mutat. Ezt tanultuk már a statisztikus fizikában, csak arról nem volt szó, hogy ez az átlag körüli ingadozás mérhető és felhasználható a rendszer fizikai, dinamikai paramétereinek meghatározására). Az egyes pontokban mérhető lokális fluktuációkat tekinthetjük (nagyon kicsiny) gerjesztésnek, - ha úgy tetszik egy lokális, véges amplitúdójú delta függvénynek (térben is időben). Erre felírhatók a rendszer dinamikai egyenletei, és ez a lokális maximum ezen egyenletek alapján fog szétterülni, - éppúgy mintha valóban külső gerjesztés hozta volna létre a lokális maximumot (és nem ilyen kicsinyt). Természetesen végtelen sok ilyen kis fluktuáció gerjesztődik minden időpillanatban. Ennek megfelelően végtelen sok ilyen is szétterjedés indul el. Lineáris rendszerben ezeket a kis gerjesztéseket lineárisan összegezhethetjük és átlagolhatjuk. Az így kapott átlagértékeket mérhetjük is.

Mi az előnye annak, ha a rendszer dinamikai paramétereit ilyen fluktuációk mérésére alapozott eljárással határozzuk meg? Nyilvánvaló, hogy a rendszerbe nem avatkozunk be, a rendszerben létező, inherens fluktuációkat mérjük csak, és nem kényszerítünk a rendszerre semmiféle, a rendszert munkapontjából kibillentő külső erőt. A mai mérésben azt fogjuk látni, hogy mivel, kis lokális fluktuációk méréséről van szó, ezért eleve olyan mérőeszközök használtára kényszerülünk, amelyek minimális beavatkozást jelentenek a rendszer fizikájába. Mint látni fogjuk, olyan kis áramlásnak fogjuk megmérni a sebességét, amelyet semmiféle más áramlásmérővel nem lehetne megmérni, mert azok súlyosan megzavarnák az áramlási profilt.

Eleve lehetetlen volt korábban ilyen méréseket végezni, mert mint látni fogjuk nagyon érzékeny, kis érzékelőkre van szükség, és ami még fontosabb, olyan kis áram illetve feszültségfluktuációk méréséről (és továbbításáról) van szó, amelyeket a chip-technológia

megjelenése előtt nem mérhettünk, mivel az erősítők saját zaja nagyságrendekkel meghaladta a jelenség által kiváltott fluktuációkat.

Mi a hátránya ennek a módszernek? A kis, véletlenszerű fluktuációk értékelése a statisztikus fizikában és mérés technikában megismert módszerek alkalmazását kívánja meg. Ez statisztikus átlagértékek képzésével jár, amelyek becslési pontossága jelentős mértékben függ az átlagolások számától. Azaz a paraméterek becsléséhez szükséges mérési idő jelentősen megnövekedik. (Ráadásul e mérési idő alatt stacioner rendszerrel kell rendelkezünk, amelynek (főleg a mérendő) paraméterei időben nem változnak. Mint látni fogjuk mérési módszerünket a sebességmérésre alkalmazzuk. Ha a mérés közben a sebesség változik, akkor ennek követésére a módszer nem alkalmas, hiszen átlagértékeket állítunk csak elő.

Mivel ismerkedünk meg ebben a mérésben?

Először különféle eszközökkel:

- termoelemet ismerjük meg, annak különböző kapcsolását és illesztését az erősítőhöz,
- a teljes jel mérést (teljes hőmérséklet mérés) és az azon ülő hőmérséklet fluktuáció leválasztását.
- A leválasztott fluktuációs részt tovább erősítjük és mintavételezés után (ADC) alkalmazzuk a korábban már megismert autokorrelációs, keresztkorrelációs függvények, spektrumok, koherencia és fázisfüggvény számítási módszereket. Sztochasztikus fluktuációkat mérünk. Ez a jelek másik osztályát képviseli, ezért kezelésük során, és főleg a jelfeldolgozás során, más eljárásokat kell választani. Már említettük, hogy átlagolásra van szükség, és a becslés pontossága jelentősen függ az átlagolások számától, de még fontosabb, hogy más ablakfüggvényeket kell használnunk. (Válaszoljunk majd arra a kérdésre (lásd a kérdéseknél), hogy mennyi átlagolásra van szükségünk a kívánt pontosság eléréséhez és milyen ablakfüggvényeket ismerünk és melyiket mikor érdemes használni!)

Korábban nem fordítottunk túl nagy figyelmet, a keresztspektrum fázisának frekvencia függésére, és nem foglalkoztunk az impulzus válaszfüggvény kiszámításával a mérhető spektrumfüggvények alapján. Most ezt is meg fogjuk megismerni és alkalmazni a repülési idő mérésnek javítására (a keresztkorrelációs függvénnyel meghatározott késleltetési időhöz képest)

A mérés célja (a mérési feladat): Határozzuk meg a fűtőelem felületétől 1 mm-re kialakuló természetes cirkulációs áramlás sebességét!

A fűtőelem ebben a kísérletben egy mosógépből kiszertelt, U alakú, elektromos fűtésű „gyorsforraló”, de nem nehéz a helyébe képzelni akár a Paksi Atomerőmű fűtőelem pálcáit sem, amelyek vastagsága teljesen megegyezik a modellünkkel, sőt, még a felületi fűtési teljesítmény is hasonló.

A fűtőelemből kiváló hő, az 5 literes edényben természetes cirkulációt hoz létre. A fűtőelem felületének közelében, egy viszonylag vékony (néhány milliméteres) rétegben a víz felfelé áramlik. A cirkuláció nem egyenletes, és visszatérő, határozottan lefelé haladó, állandó áramlásnak híján van, mivel nincs jól definiált hűtőfelületünk, de a felfelé áramlás jól megfigyelhető szabad szemmel is a fűtőelem felső részén, ahol az átlaghőmérséklet már eléri, vagy közel van az aláhűtött forrás határához.

Termoelemeinket nem a jól látható áramlás részbe helyezzük, hogy ne érhesen bennünket az a vád, hogy ott akár vizuális úton is meg lehetne mérni a sebességet, hanem sokkal lentebb, ahol szabad szemmel nem látható a vízáramlás. **A feladat éppen az, hogy a mérés segítségével ezt hitelessé tegyük (mármint az áramlás meglétét), és meg is határozzuk a terjedési sebességet.**

Mivel az áramlás útjába eső termoelemek között a távolság jól ismert (mi helyeztük be a termoelemeket az adott távolságra

- alsó-középső között 3 mm,
- középső-felső között 4 mm,
- természetesen alsó és felső között 7 mm,

elégsges a terjedési időket meghatározni ahhoz, hogy megkapjuk a terjedési sebességet szokásos képlettel:

$$v = \frac{d}{t}$$

Tehát feladatunk a terjedési idő meghatározása a termoelem párok között.

A mérési eljárásban használt elvek és módszerek

Azt tudjuk, hogy a termoelem az őt körülvevő közeg hőmérsékletét méri. Ha ez a hőmérséklet fluktuál, akkor, - bizonyos korlátozásokkal – a kilépő feszültségingadozás ennek a hőmérséklet fluktuációnak a leképezése feszültséggé, - a termoelem konverziós tényezőjével. Az ún. „K” típusú Króm-Alumínium (Chromel-Alumel) termoelemek konverziós tényezője: 41 mikrovolt/fok.

Amennyiben a hőmérséklet fluktuációk a vízáramlással utaznak, úgy az áramlás útjába helyezett második termoelem egy bizonyos idő után ugyanazokat a fluktuációkat fogja mérni. Természetesen nem mindegyik hőmérséklet csomag éri el a második termoelemet, és lesz néhány olyan, amely a két termoelem között keletkezett. Számunkra az értékes információt hordozó rész az, amely mindkettőben közös. Éppen ennek kiválasztására szolgál a korábbi években már mind elméletileg, mind a gyakorlatban is megismert korrelációs függvény számítása. Ha a közös részt $L(t)$ -vel jelöljük, és a két jelben nem közös részeket, (beleértve a detektálási, és elektronikus zajokat is, amelyek szintén függetlenek a két detektorra nézve) w_1 és w_2 -fel, akkor a két jel

$$f_1(t) = L(t) + w_1(t)$$

$$f_2(t) = L(t + \theta) + w_2(t)$$

közötti keresztkorreláció

$$CCF(\tau) = ACF_L(\tau + \theta),$$

ahol az ACF alsó indexe az L folyamatra utal, tehát annak az autokorrelációs függvénye. Emlékeztetünk arra, hogy független, véletlen folyamatok közötti korreláció várható értéke zérus, tehát az L és w függvények között képzett korrelációs szorzatok nem adnak járulékot a CCF-hez. Mivel minden ACF függvény maximuma a zérus helyen van, a fent levezetett CCF függvényé tehát a θ időpontban lesz. Leolvasva tehát a maximumnak az abcisszáját megkaphatjuk a θ terjedési időt, ami pont a feladatunk.

Ne sajnáljuk erre az időt! Aki ezt is kiszámítja, az tapasztalni fogja, hogy nemcsak egy maximumot talál, illetve azt, hogy a keresett maximum igen gyakran összeolvad más

maximum értékekkel. Több olyan közös módus is jelen lehet a két jelben, amely módosítja a fenti egyszerű képet. Az egyik például azoknak a zajoknak a csoportja, amelyek egyidejű fluktuációt hoznak létre mindkét jelben. Példaképpen említhetjük:

- a hálózati frekvenciát (50 Hz), ami részben azért van jelen, mert mindkét jel erősítőjét a hálózatról tápláljuk, ami egyenirányított és szűrt, mégis összemérhető komponenssel van jelen a század és ezredfokos hőmérsékletfluktuációk által kiváltott feszültség-ingadozásokkal összehasonlítva, részben a környezeti zavaroként ül rá a mért jelre,
- vagy egy másik közös módust, a fűtőelem sugárzásos hőjét, amely a fűtésteljesítmény ingadozását követi,
- de számtalan egyéb, mindkét antennaként meredő termoelemet érő elektronikus környezeti zajt is.

Mindezek már járulékot adnak a CCF-hez, hiszen mindkét jelben fellépnek. Az esetek többségében azonos idejű fluktuációkról van szó (fáziskésésük zérus), de előfordulhatnak itt is fázis és időkésések.

$$f_1(t) = L(t) + w_1(t) + \sum_i E_i(t)$$

$$f_2(t) = L(t + \theta) + w_2(t) + \sum_i E_i(t)$$

és a keresztkorrelációs függvényben már több tag van

$$CCF_{12}(\tau) = ACF_L(\tau + \theta) + \sum_i ACF_i(\tau)$$

Az azonos idejű összetevők a zérus eltolásnál adnak maximális járulékot. Ennek szélességet a CCF függvényben az összetevő sáv szélességétől függ (annak reciprokával arányos). Számtalan esetben ez a szélesség eléri, sőt meghaladja az általunk leolvasni kívánt Théta időhöz tartozó eltolási értéket. Ha csak megközelíti azt, már akkor is szisztematikus hibához vezet, mivel az általunk keresett csúcs a központi csúcs oldalán „ül”. De néha akkor az összeg járuléka, hogy elvesz a mi csúcsunk. Ha a jelek nem szélessávúak, hanem periodikusak (a gyakorlat számára a keskenysávú zaj is periodikusként tűnik fel), akkor a korrelációs függvényben periódus-időnként újra és újra maximum jelentkezik. Ezt láthatjuk a mért korrelációs függvényekben úgy, mint egy le-fel mozgó ingadozást a várható érték körül. Ez jelentős szórást eredményez a becsült értékekben, és megnehezíti a maximum keresését.

Többféle módszer is létezik az említett nehézségek elkerülésére. Általánosan ismert és használt módszer a keresztkorrelációs függvény helyett, a keresztspektrum fázisának frekvenciafüggését vizsgálni. Megmutatható, (és a hallgató feladata, hogy ezt le is vezesse) hogy azokon a frekvenciákon, ahol a terjedés uralkodik ez a függvény lineárisan függ a frekvenciától, amelynek a meredekségét a terjedési idő határozza meg. Ha az 50 Hz vagy egy szélessávú fehér zaj zavarja a CCF maximumának keresését, akkor ez jól járható út.

Mi, még egy harmadik módszerrel is megismerkedünk a mérés keretében. A módszer lényege, hogy az impulzus válaszfüggvényt határozzuk meg a fluktuációk méréséből, és ebből olvassuk le a késleltetési időt. Az alapelv világos. Ha az első érzékelő egy vékony, tűszerű impulzust mérne, akkor a második a többi, fent említett zavaró körülmény miatt ugyan egy szétfolyó, és kicsit elmosódó, de jól kivehető csúcsot produkálna, és ezekből jól lehetne meghatározni a késleltetési időt. Fogjuk fel ezt az átviteli függvény nyelvén. Ha a két jelet úgy tekintjük, mint a bemeneti és a kimeneti jelet, akkor a két jel közötti kapcsolatot (a frekvencia térben) az átviteli függvény írja le. (Kérdés, amire a hallgatónak kell válaszolnia korábbi tanulmányai alapján, hogy mi ennek az időtérbeli megfelelője). A fenti kijelentés

mind a valójában mérhető fluktuációkra igaz, mind az előbb elképzelt, hipotetikus impulzus bemeneti függvényre.

Nincs tehát más dolgunk, mint a fluktuációk alapján minél pontosabban meghatározni a két jel közötti átviteli függvényt, és ebből feltételezve az impulzus bemenetet kiszámítani a válaszjelet, azaz az impulzus válaszfüggvényt.

Csak ismétlésként, az átviteli függvény helyes mérési eljárása:

$$XRF_{12} = \frac{CPSD_{12}}{APSD_1},$$

ahol CPSD a keresztspektrum, APSD az autospektrum (a jel teljesítmény sűrűség függvénye). (Második kérdésként a hallgató, korábbi tanulmányai alapján próbálja meg elmagyarázni, hogy miért nem a kimenet és a bemenet hányadosaként becsüljük meg az átviteli függvényt!)

Az impulzus válaszfüggvényt ezek alapján úgy kapjuk, hogy:

$$IMP_{12}(\tau) = FFT^{-1} \left\{ \frac{CPSD_{12}}{APSD_1} \right\}.$$

Ebből az is láthatóvá válik, ami egyáltalán nem közismert, hogy az IMP a CCF-nek egy olyan normálásából jön ki, amelynek során a bemenő jel spektrumával normáljuk a keresztspektrumot és az így normált mennyiségből inverz Fourier transzformációval kapjuk az IMP-t. Ebből érthetővé válik, hogy valamennyi széles csúcs, amelynek szélességét a spektrum végessége határozta meg, lényegesen keskenyebben jelentkezik az IMP-ben, tehát sokkal jobb felbontást kapunk.

A gyakorlati teendők

A mérés számos részét (részben biztonságtechnikai okokból) előkészítettük. Az 5 literes üvegedénybe merülő gyorsforralóhoz a hallgatók nem nyúlhatnak. A termoelemek beállítását is veszélyesnek és túl hosszadalmasnak ítéltük. A hallgatók feladata itt csak az, hogy a mérés elején, mielőtt bármit bekapcsolnának, (a rendelkezésre álló szűk hely ellenére), minél részletesebben ismerkedjenek meg a kísérlet felépítésével. Javasoljuk, hogy több irányból is nézzék a behelyezett termoelemeket! Miután részletes rajzot készítettek a mérés felépítéséről, ismerkedjenek meg az elektronikával. Ezt az ismerkedést lehetőleg a vonatkozó leírások (lásd a függeléseket) otthoni elolvasása előzze meg.

2. Gyakorlati teendők

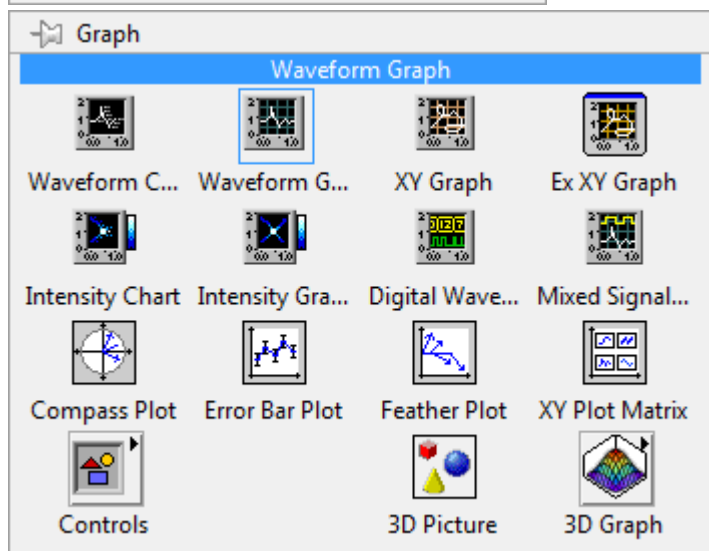
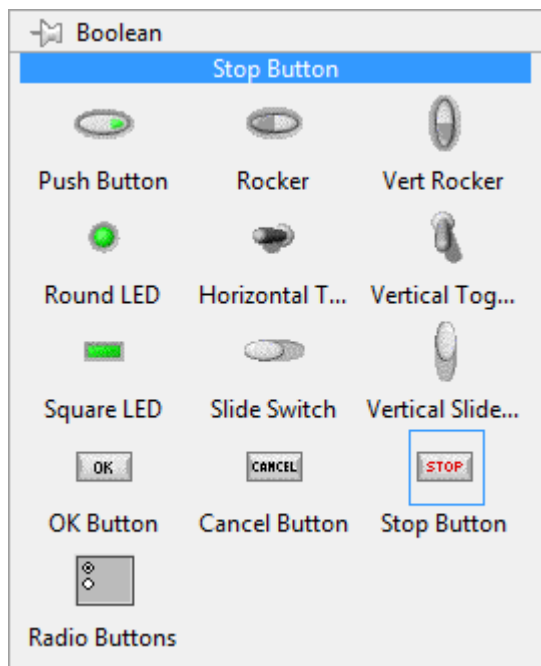
2.1) **A mérés áramlástan részét** (érintésvédelmi és biztonságtechnikai okokból) előkészítettük. A 7 literes üvegedénybe merülő fűtőszálhoz hallgatók nem nyúlhatnak! A hallgató feladata itt csak az, hogy a mérés elején, mielőtt bármit bekapcsolnának, minél részletesebben ismerkedjen meg a kísérlet felépítésével. Javasoljuk, hogy több irányból is nézze meg a behelyezett termoelemeket. Miután részletes rajzot készített a mérés

felépítéséről, ismerkedjen meg az erősítővel, és az ADC kártyával. Ezt az ismerkedést lehetőleg a vonatkozó leírások (lásd a függelékeket) otthoni elolvasása előzze meg.

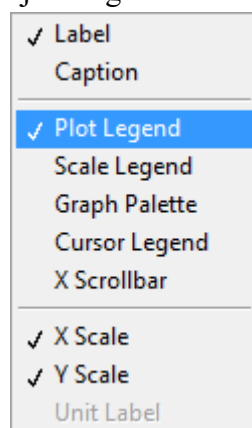
LabVIEW mérési útmutató

A mérések során a Documentumok\ellab\meres könyvtárban hozzunk létre egy alkönyvtárat a mérést végzők vezetékneveivel (pl. Kovács-Szabó), s ezek után csak ebben a könyvtárban dolgozzunk!

1. Indítsuk el a LabVIEW-t az asztalon található ikonra való kattintással!
2. Válasszuk a címsor alatt található File menüből az Open parancsot!
3. A megjelenő ablakban tallózzuk a *ThermoCouple_measurement.VI*-t!
(C:\Documentumok\ellab\meres\ThermoCouple_measurement.VI)
Megnyitáskor a program ún. Front Panel-ja jelenik meg, amely minden kezelőelemet tartalmazni fog.
4. A megnyitott programot mentsük el másként a vezetéknevével ellátott mappába (*File/Save As/ Open additional copy*). A program alapértelmezett neve mögé írjuk be a vezetékneveket szintén, tehát pl. *ThermoCouple_measurement_Kovács-Szabó*. Mivel az eredeti példány megnyitva maradt, ezért azt be lehet zárni úgy, hogy annak Front Panel-jén a jobb felső sarokban található x-re kattintsunk!
5. Hozzuk létre a kezelő elemeket! Helyezzünk el a Front Panelon egy *Stop* gombot, valamint 5 darab *Waveform Graphot*, melyeket nevezzünk elé rendre : *Sampled Signals, Selected Signal Pair, Spectral Magnitude, Spectral Phase, Spectral Coherence!*
A Front Panelen jobb gombbal kattintva a *Stop* gomb az alábbi helyen található:
Modern/Boolean/Stop Button
A Front Panelen jobb gombbal kattintva a *Waveform Graph* az alábbi helyen található:
Modern/Graph/Waveform Graph



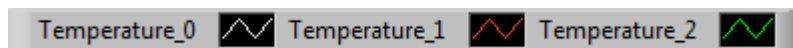
A *Sampled Signals* grafikonra jobb gombbal kattintva válasszuk a *Visible Items/Plot Legend* pontot! Ekkor megjelenik a grafikon jobb felső sarka felett az adatsor neve, valamint az ábrázolt adatsor vizualizációjának tulajdonságai.



Ahhoz, hogy az összes adatsor tulajdonsága elérhető legyen, ki kell szélesíteni ezt az elemet. Ehhez kattintsunk rá bal egérgombbal, majd mozgassuk az egeret a bal széléig, amíg az alábbi szerint nem változik a kijelölés! Ekkor a bal középső négyzetre az egér bal gombját lenyomva, majd balra húzva kiszélesedik az elem. Jelenítsünk meg 3 „Plot-ot”!

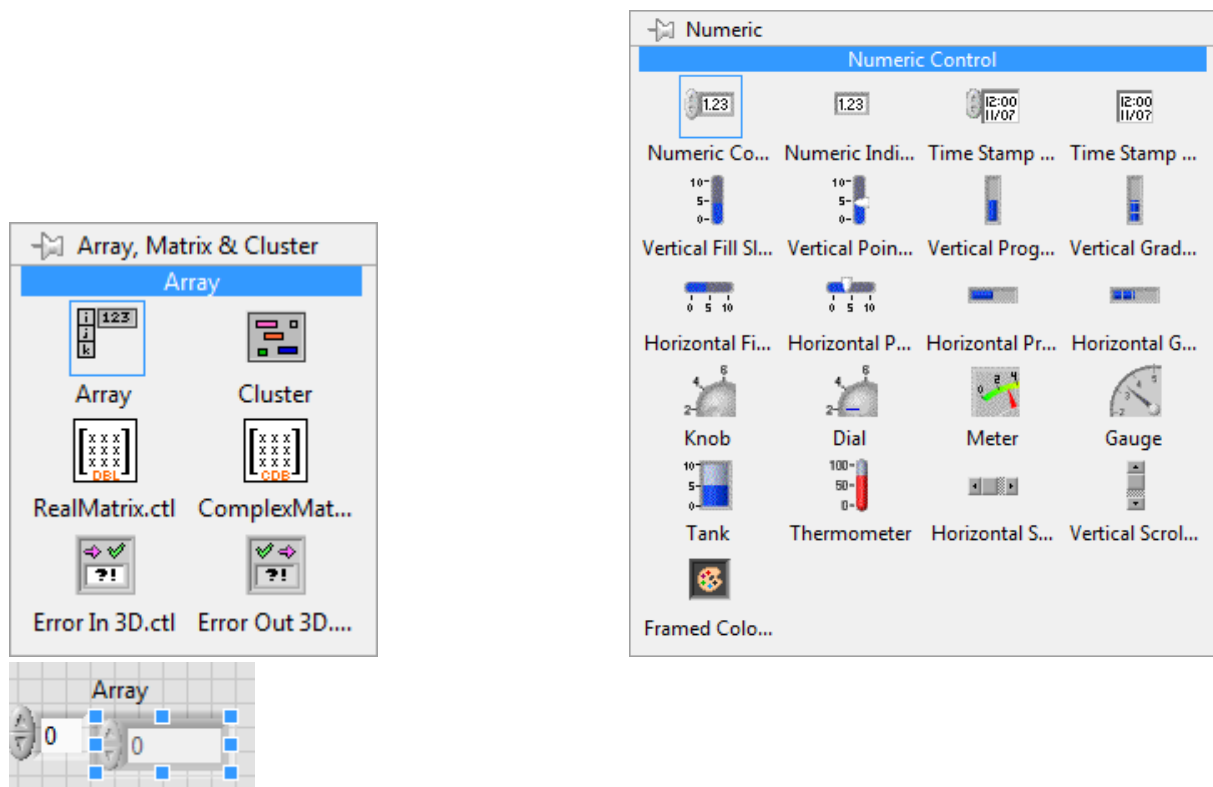


Egy adott adatsor vonalára bal egérgombbal kattintva lehet azt testreszabni (szín, vastagság stb.). Az adatsor neveit átírhatjuk, ha belekattintunk a névbe. Az adatsorok nevei legyenek rendre: Temperature_0, Temperature_1, Temperature_2!

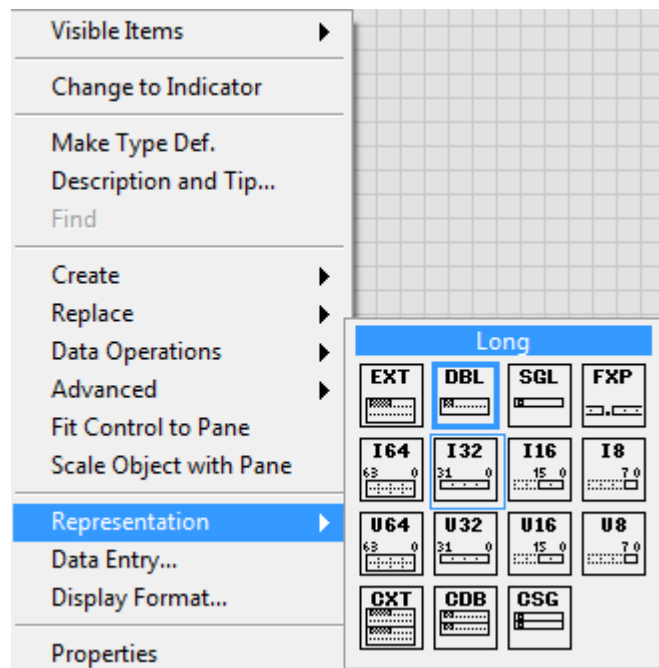


Ha akarjuk, a többi megjelenítő elem adatsorait is testre szabhatjuk. Ne tévesszen meg az senkit, hogy jelenleg a spektrum alapú grafikonok x tengelyének elnevezése *Time*. Ezt könnyedén átírhatjuk *Frequency*-re, ha belekattintunk a feliratba. Ugyanilyen módon tudjuk a grafikonok X és Y tengelyeit skálázni.

6. Helyezzünk el egy kezelőelemet, mely lehetővé teszi, hogy kiválasszuk a jelpárokat! Jobb gombbal kattintsunk a Front Panel-re, majd a *Modern/Array, Matrix & Cluster/Array* elemet helyezzük le! Ezt követően szintén jobb gombbal kattintás a Panelre és a *Modern/Control/Numeric Control* elemet helyezzük le! Ezt a lerakott elemet bal egérgomb nyomvatartása mellett húzzuk bele az imént lerakott *Array*-be! Ezzel egy numerikus tömböt hoztunk létre.



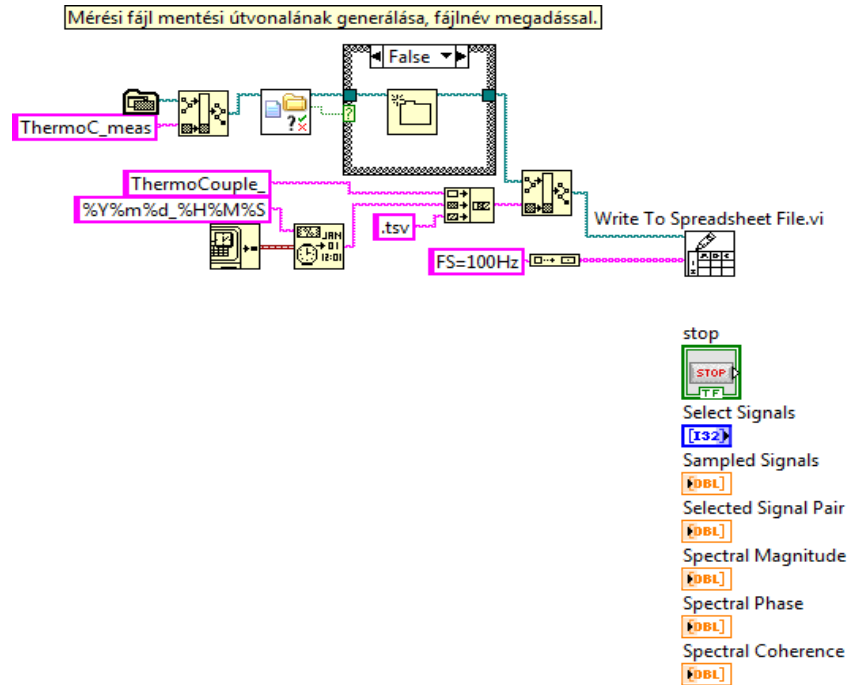
A tömböt ki tudjuk szélesíteni, úgy hogy 2 eleme látszódjon, ehhez pl. a jobb oldalára mozgatva az egeret, majd a megjelenő négyzetre bal egérgombbal nyomva húzzuk jobbra a tömböt! Az *Array* nevet írjuk át *Selected Signals*-ra! Mivel ezekkel az elemekkel indexelni fogunk, hogy mely jelpárt kívánjuk megjeleníteni, így egyszerű egészszámú reprezentációra van szükségünk. Kattintsunk jobb gombbal a numerikus kezelőeleltre, majd a *Representation* almenüben jelöljük ki az I32-es adattípust!



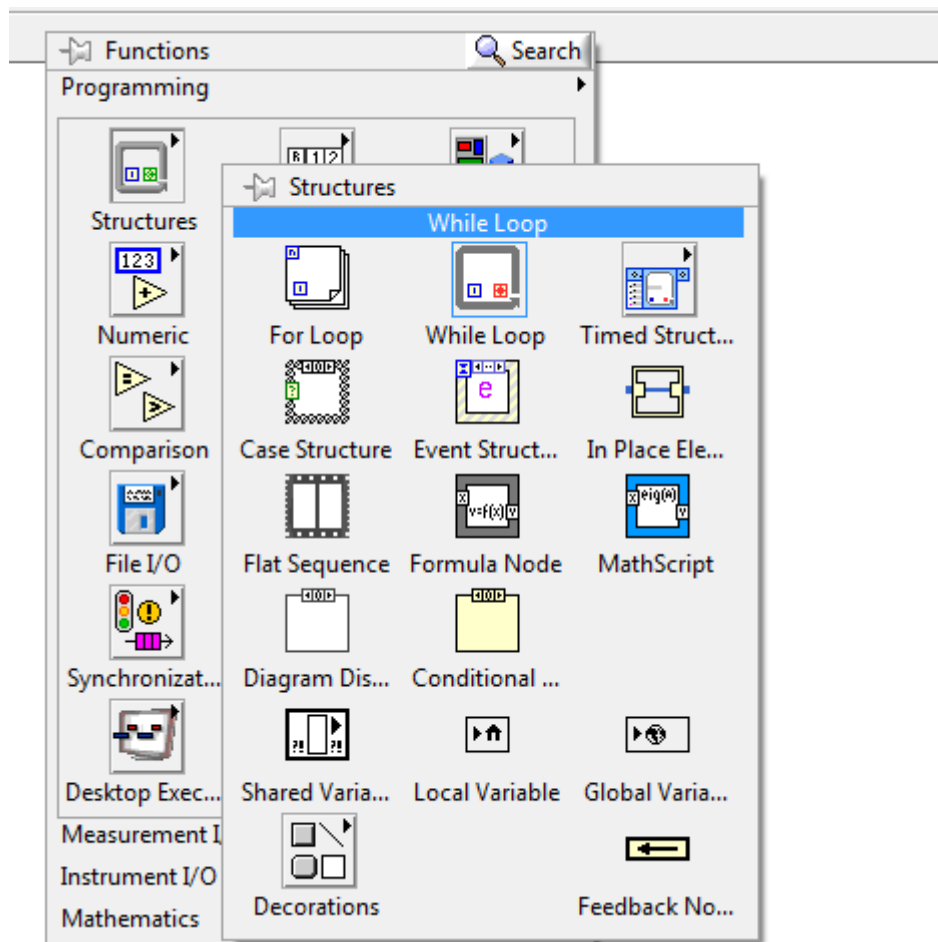
Ha elkészültünk ezekkel a lépésekkel, a Front Panelnek az alábbiak szerint kell kinéznie!



7. Control+E-vel váltsunk át a Block Diagram ablakra! (A Block Diagramon már található néhány elhelyezett függvény, melyek a mérési adatok mentési helyét definiálják és létrehozzák a mérési fájlt). Jelenleg így néz ki:



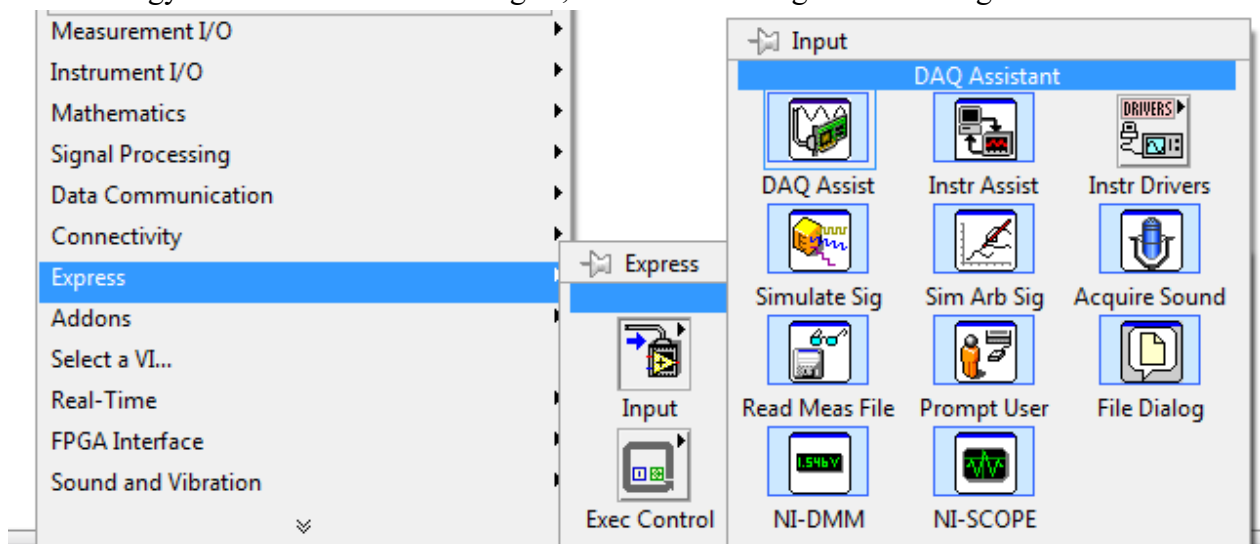
8. Jobb egérgombbal kattintsunk a Blokk Diagram felületére!
9. Válasszuk ki a legördülő menüből a *Programming/Structures/While Loop* ikont!



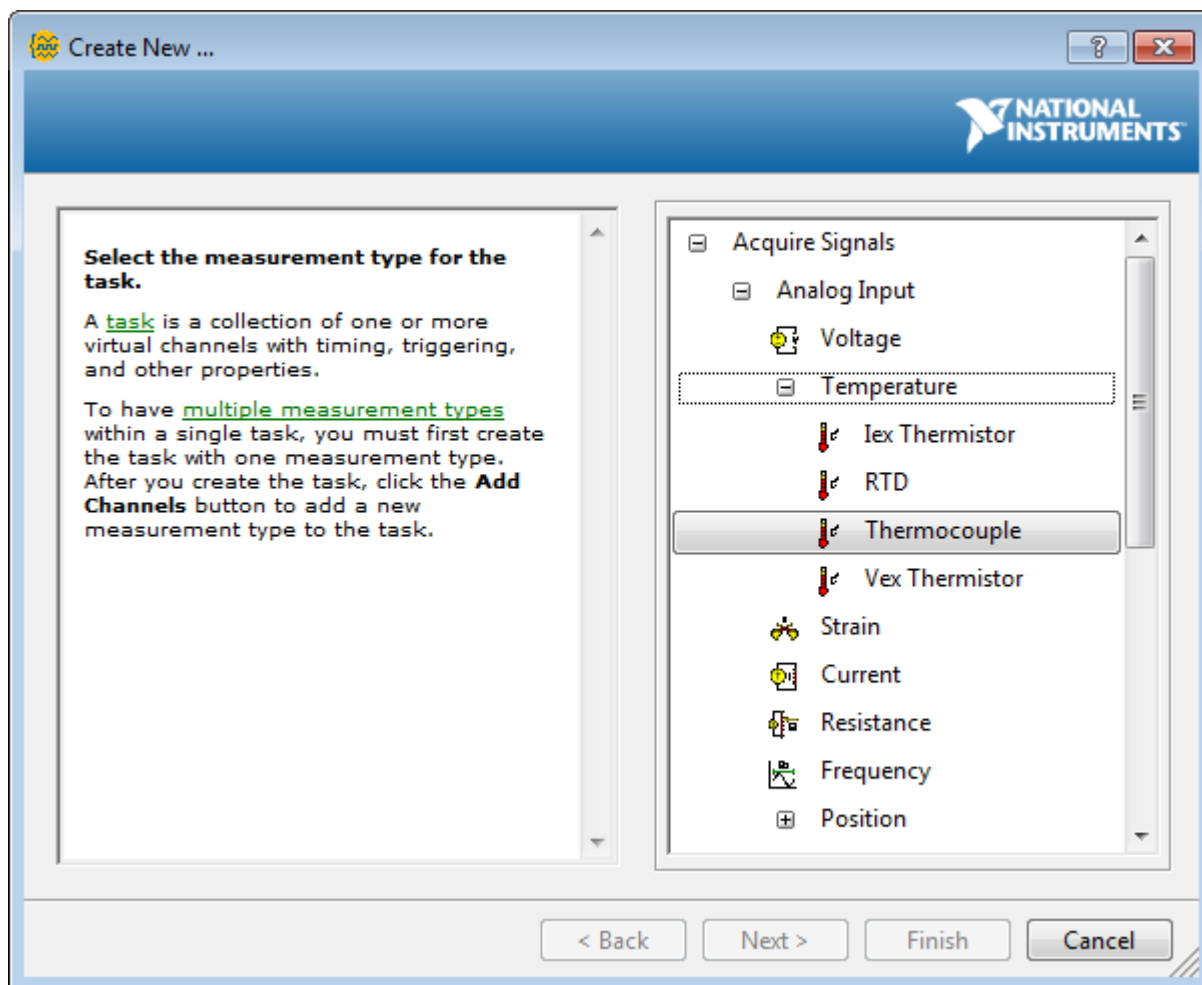
10. Helyezzünk el egy négyzetet kattintással és húzással a Block Diagramon!



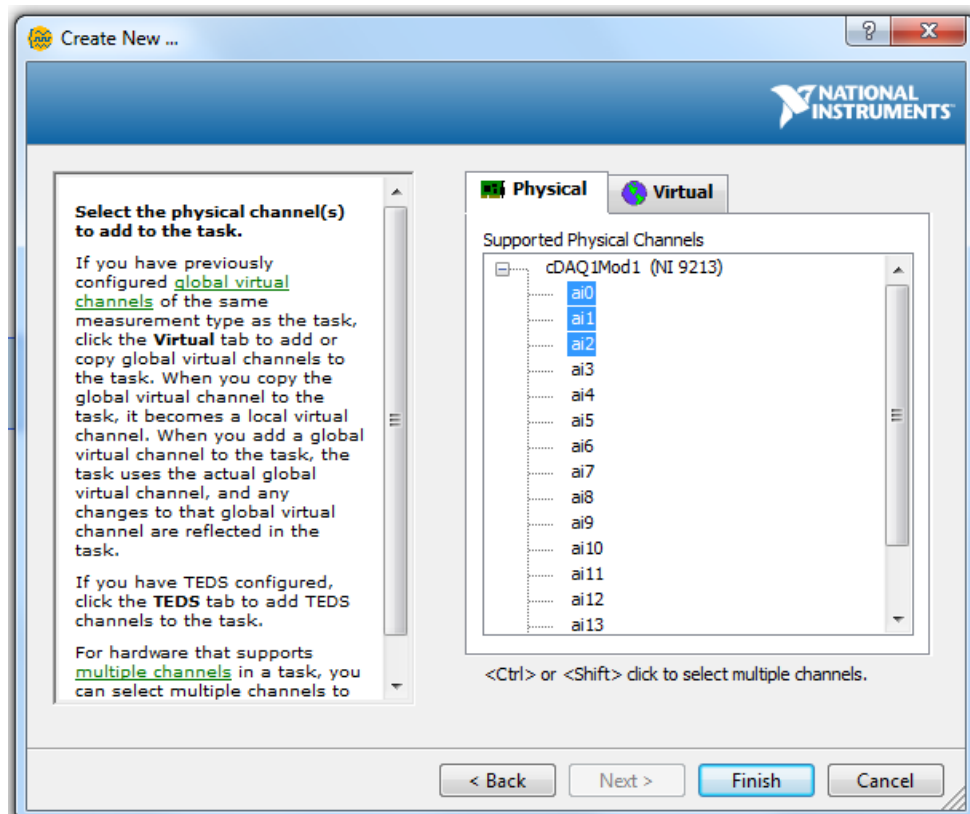
11. Kattintsunk a *DAQ Assistant* ikonra, melyet a *Functions/Express/Input* almenüből érhetőn el, s helyezzük el az ikont a létrehozott *While Loop*-on belülre. Az elhelyezést követően egy ablak automatikusan felugrik, ahol a VI-t konfigurálni szükséges.



12. Nyissuk le az *Acquire Signals/Analog input* menüt és egy kattintással válasszuk ki a *Temperature* menün belül a *Thermocouple*-t!



13. A következő ablakban szükséges kiválasztani azokat a bemeneti csatornákat, melyekről az adatokat begyűjteni kívánjuk. A Shift gombot lenyomva tartva válasszuk ki az *ai0*, *ai1* és az *ai2* csatornákat!



Kattintsunk a Finish gombra, majd a következő ablakban konfiguráljuk a csatornákat!

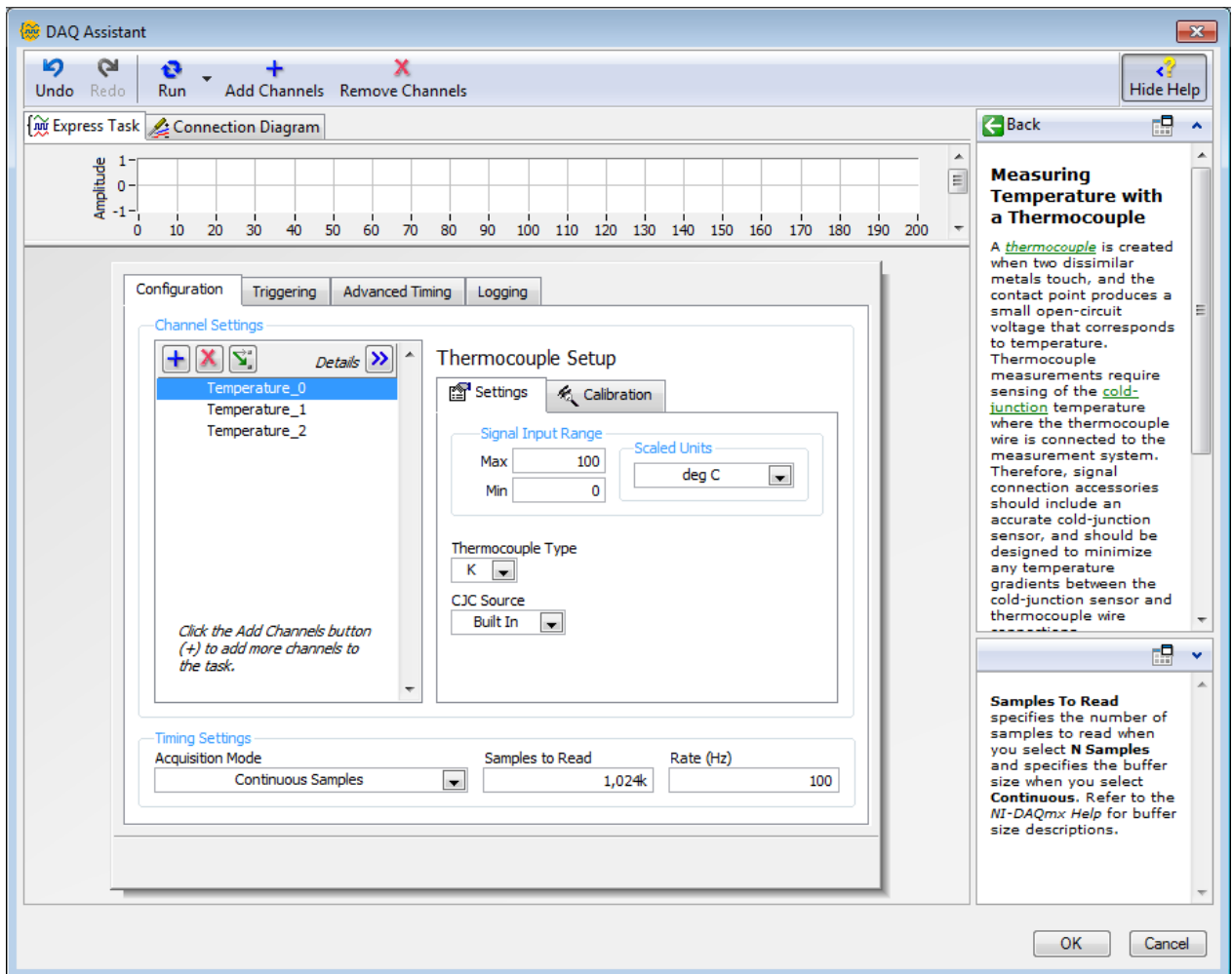
14. A *Signal Input Range* paramétereket mindegyik csatorna esetében állítsuk Max: 100 és Min: 0-ás értékre!

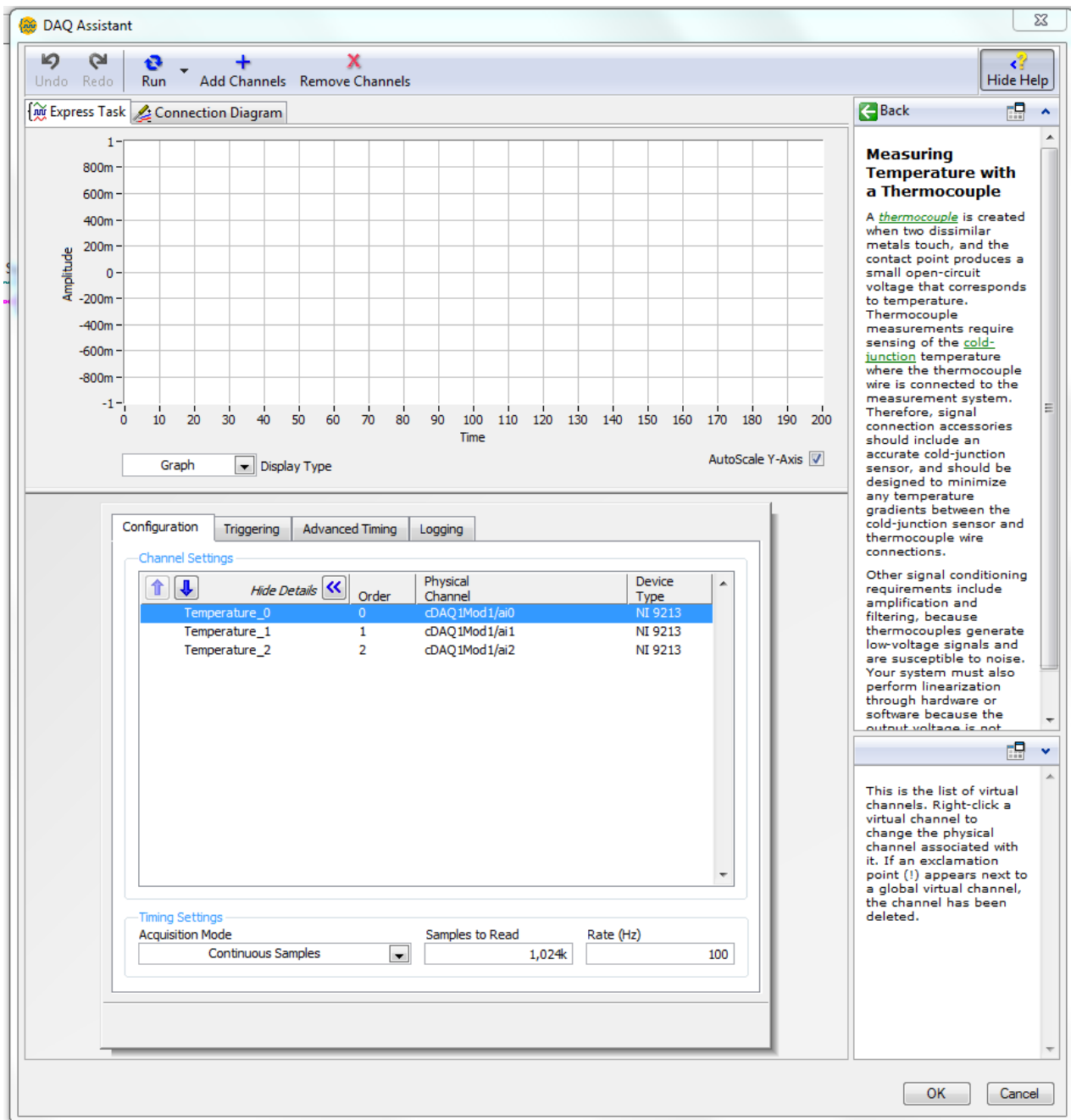
15. Mindegyik csatorna esetében a mértékegységet (*Scaled Units*) állítsuk be *deg C*-nek!



16. Mindegyik csatorna esetében a *Thermocouple Type* legördülő menüből válasszuk ki a *K* típust! (Ezen kívül a *CJC Source* paraméter legyen *Built In!*)

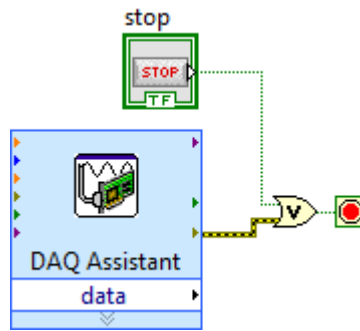
17. Az alább található *Timing Settings*-ben az *Acquisition Mode* legördülő menüben válasszuk ki a *Continous Samples* esetet, a *Samples to Read* (tömbhosszúság) paramétert állítsuk 1024-re, valamint a *Rate(Hz)* (mintavételezési frekvencia) paramétert állítsuk 100-ra!

Kérdés: Vajon mit befolyásol a tömbönként venni kívánt 1024 minta? Mi történik, ha többet/kevesebbet állítunk be? Miért pont 100 Hz-et állítunk be mintavételi frekvenciának? Mi köze ennek a laborban mindenhol jelenlévő 50 Hz-hez? Válaszait írja le a jegyzőkönyvbe!

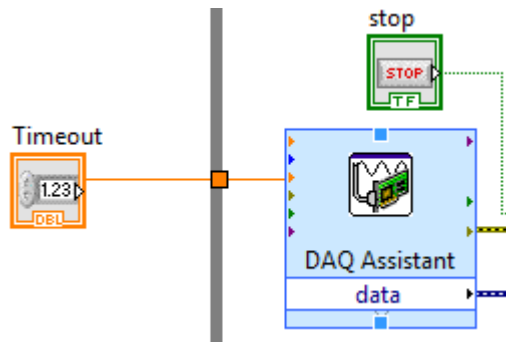




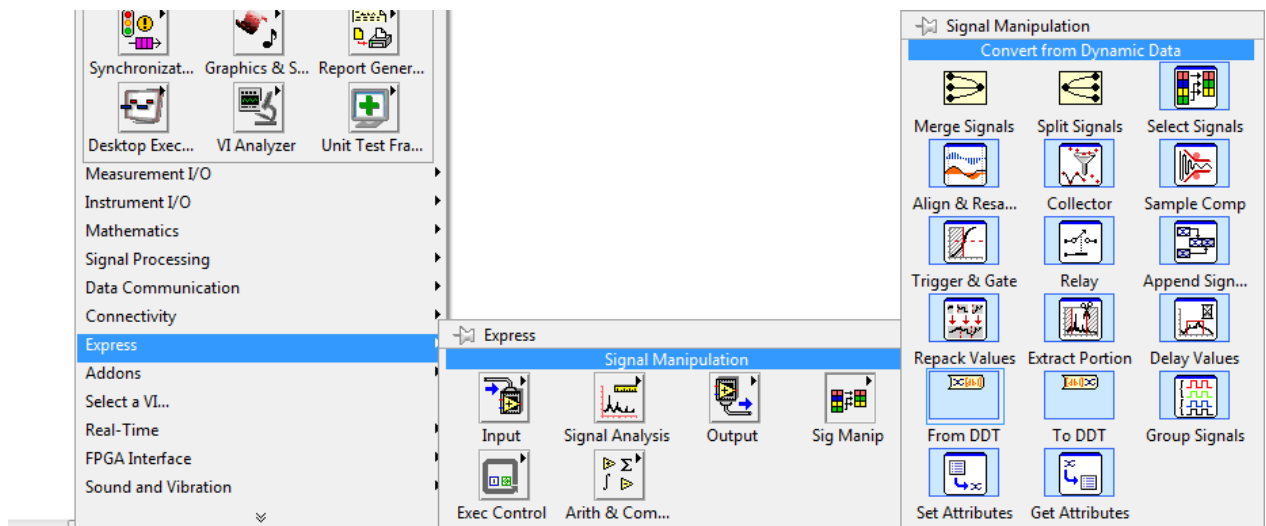
18. A *While* ciklusnak leállító terminálját  minden esetben szükséges bekötni. A leállító funkciót egy már létrehozott *Stop* gomb, valamint a *DAQ Assistant error out* kimenete fogja szolgáltatni. A *Functions/Boolean* almenüből válasszuk ki az *Or*  függvény és helyezzük el a *While* cikluson belülre! Az *Or* függvény két bemenetére kössük rá a *Stop* gombot, valamint a *DAQ Assistant error out* kimenetét!



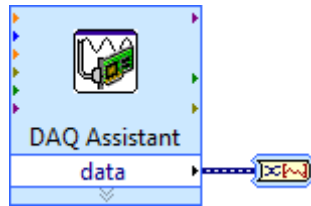
19. A *DAQ Assistant timeout (s)* bementére kattintsunk jobb gombbal és válasszuk a *Create Control* elemet! Ezzel várakozási időtúllépési limitet tudunk beállítani. Helyezzük el cikluson kívülre és adjunk neki 10-es értéket!



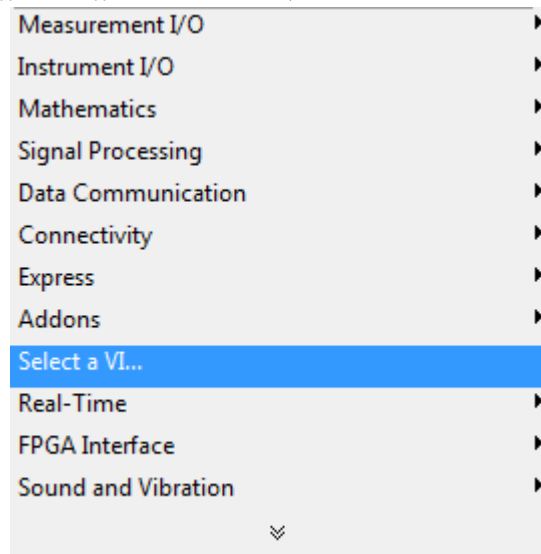
20. A *DAQ Assistant*-ból érkező adatok feldolgozásához egy *Convert from Dynamic Data* függvényt szükséges elhelyezni a cikluson belülre, melyet *Functions/Express/Sig manip* almenüben találhatunk meg *From DDT* néven!



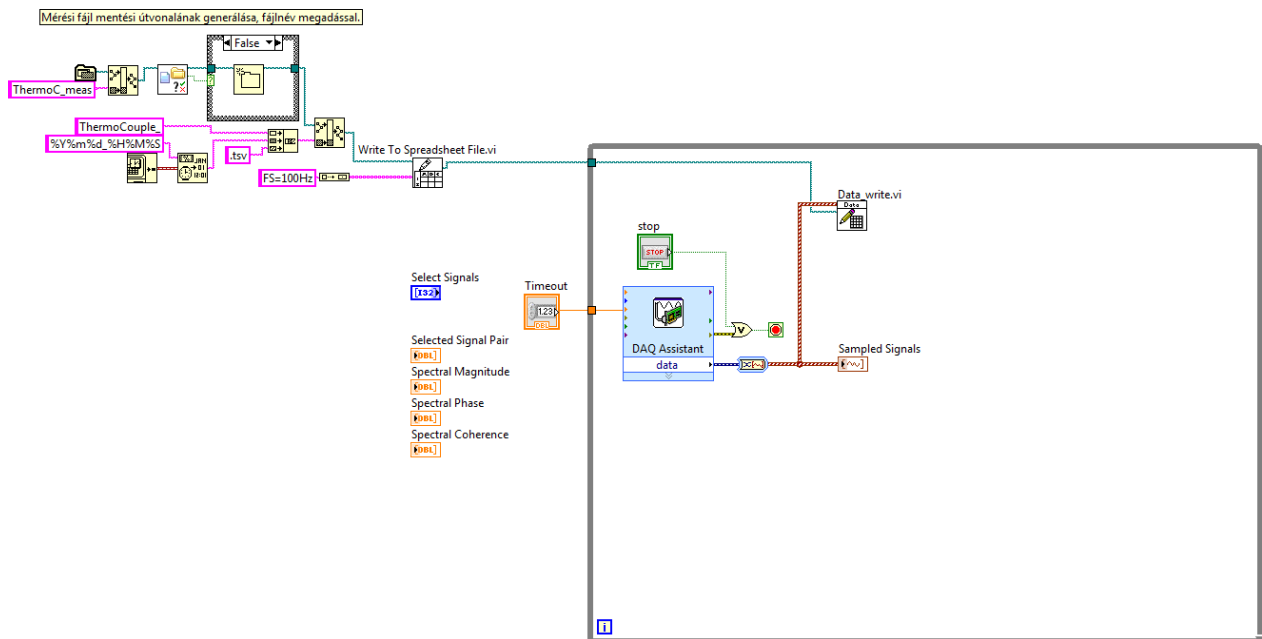
21. Az elhelyezést követően egy felugró ablak jelenik meg, ahol a menüből a *ID array of waveform* típust válasszuk ki! Ezt követően a *DAQ Assistant data* kimenetét kössük a *Dynamic Data Type* bemenetre!



22. Az adatok kimentését megvalósító rutin egy már előre elkészített program, melynek a beillesztése most szükséges. A Block Diagram-ra jobb gombbal kattintva keressük meg a *Select a VI...* menüpontot. Erre kattintva egy tallózó ablak nyílik meg, ahol az alábbi elérési útvonalon található *Data_write.VI*-t szükséges kiválasztani, majd a *While* ciklusba elhelyezni!
C:\Documentumok\ellab\meres\Data_write.VI



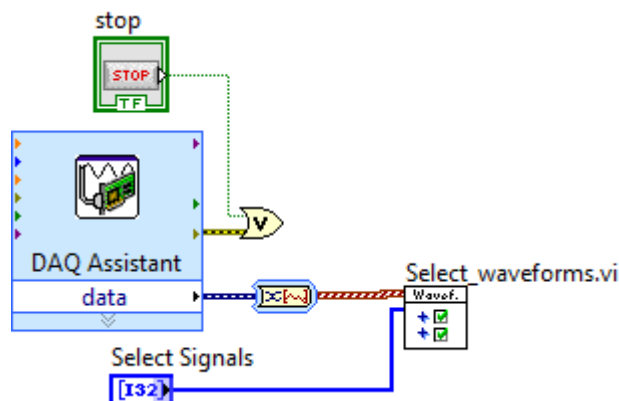
23. A harmadik lépésben megnyitott programban már található volt egy kisebb rutin. Ennek a rutinnak az utolsó VI-a a *Write to Spreadsheet File.VI*, melynek jobb felső (*new file path*) kimenetét először a *While* ciklus bal oldalára kell kötni, majd ezt tovább kötve a *Data_write.VI new file path* bemenetére kell csatlakoztatni. A 18. lépésben elhelyezett függvény *Array of Waveform* kimenetét a *Data_write.VI Array of Waveform* bemenetére szükséges kötni. A mintavételezett jelek megjelenítésének céljából húzzuk a *Sampled Signals* megjelenítőt a cikluson belülré és kössük összes az *Array of Waveform* kimenetével. A programnak jelenleg így szükséges kinéznie!



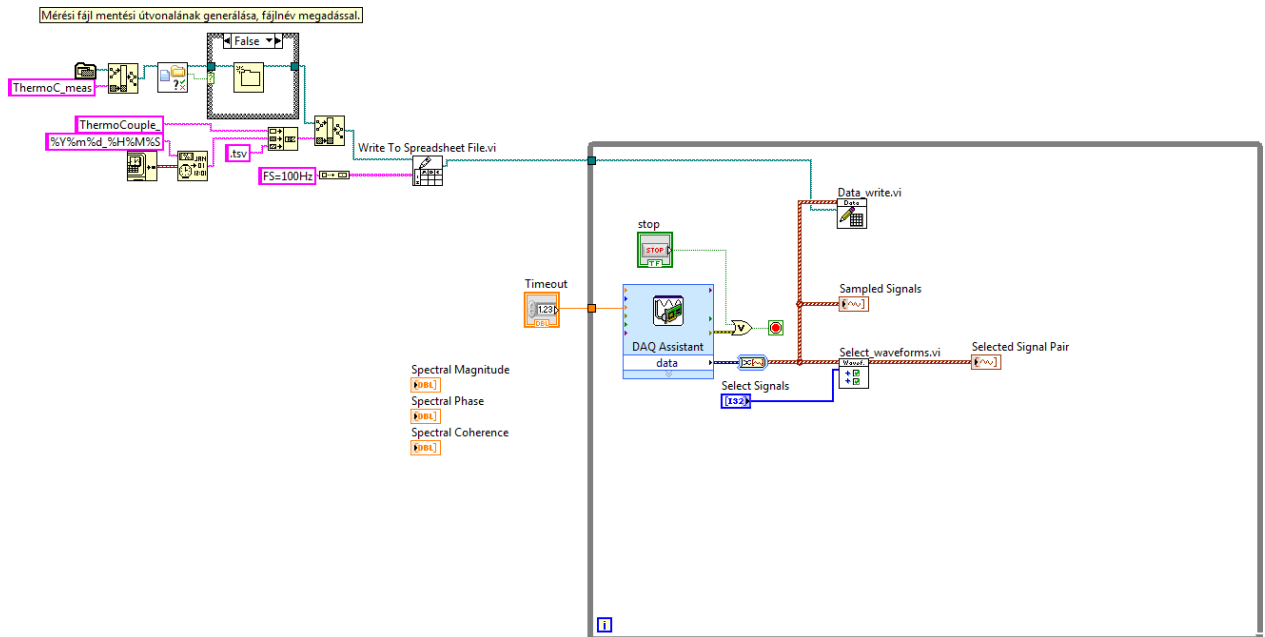
24. Ezen lépésben a begyűjtött adatsorok (waveformok) párba állításának megvalósítása következik. A 19. lépéshez hasonlóan, először a Block Diagram-ra jobb gombbal kattintva keressük meg a *Select a VI...* menüpontot. Erre kattintva egy tallózó ablak nyílik meg, ahol az alábbi elérési útvonalon található *Select_waveforms.VI*-t szükséges kiválasztani, majd a *While* ciklusba elhelyezni!

C:\Dokumentumok\ellab\meres>Select waveforms.VI

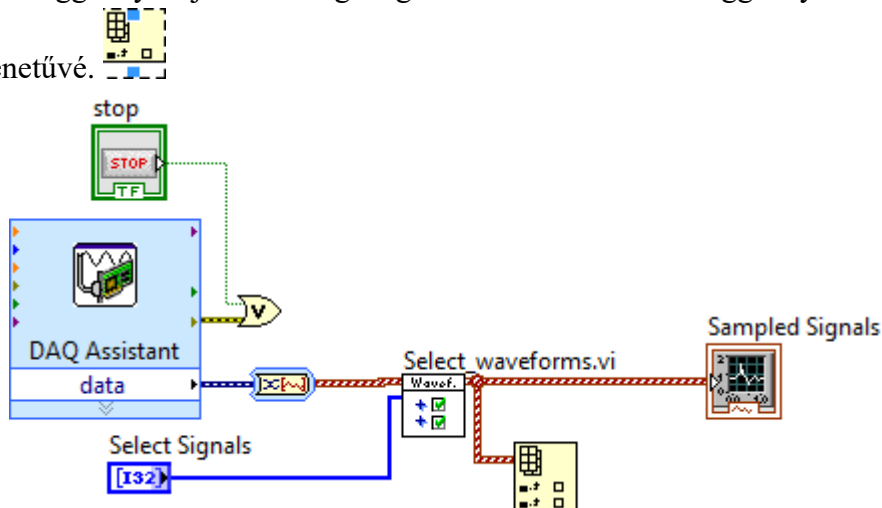
25. A VI bal felső *Array of Waveform* bemenetére szükséges rákötni a 18. lépésben elhelyezett függvény *Array of Waveform* kimenetét. Ezen kívül a *Select Signals* kezelőelemet a *While* cikluson belülre kell húzni, majd rákötni a *Selected Signals* bemenetre.



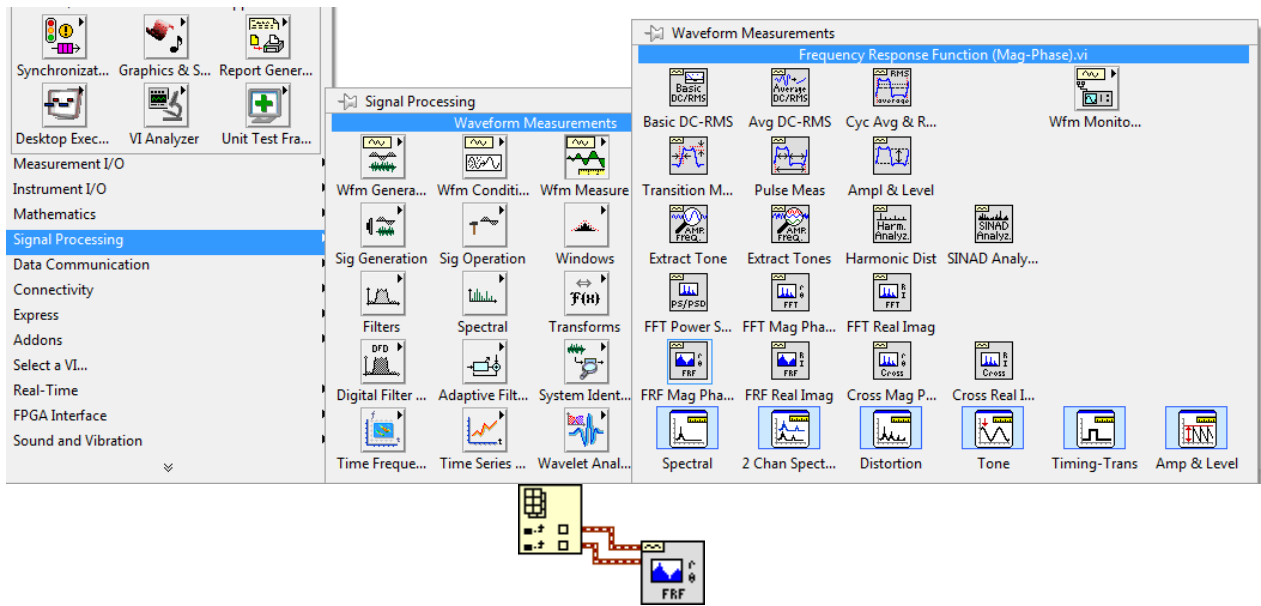
26. A *Selected Signal Pair* kijelző elemet húzzuk a *While* cikluson belülre, amennyiben még nincs azon belül, majd kössük össze a *Select_waveform.VI* jobb felső (*Waveform pair*) kimenetével. Így válik láthatóvá a begyűjtött adatsor.



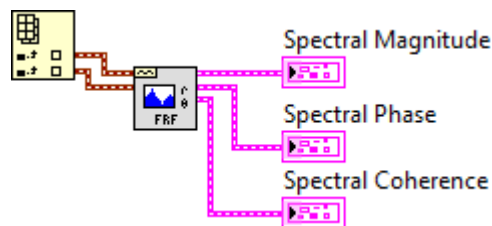
27. A *While* cikluson belülre helyezzünk el a *Functions/Array/Index array* függvényt, majd bal oldali bemenetére kössük rá a *Select_waveforms.VI* kimenetét. Az *Index array* függvény aljára bal egér gombbal kattintva a függvény bővítsük ki két kimenetűvé.



28. Helyezzük el a *While* ciklusban a *Functions/Signal Processing/Wfm Measure* almenüben található *FRF Mag Phase.VI*-t (*Frequency Response Function Mag-Phase.VI*), majd a *VI time signal X* és *time signal Y* bemenetére kössük rá az előbb lerakott *Index array* funkció két kimenetét!



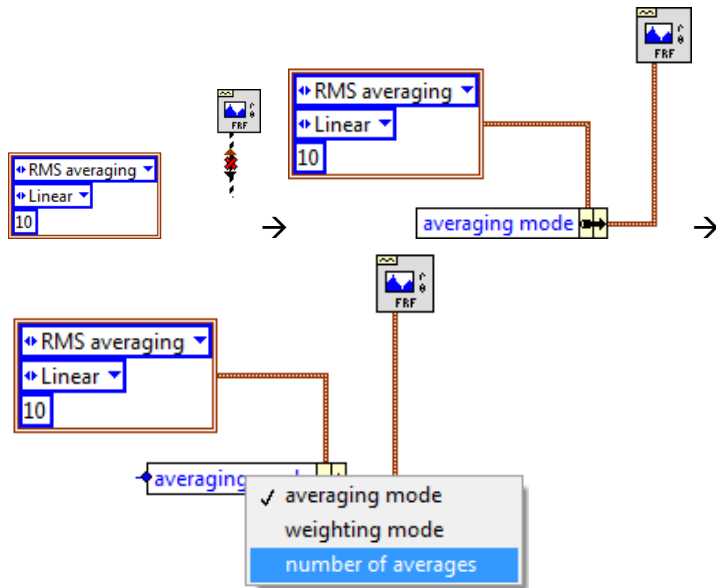
29. A Block Diagramon található *Spectral Magnitude*, *Spectral Phase* és *Spectral Coherence* kijelzőket húzzuk be a *While* ciklusba, majd kössük össze az *FRF Mag Phase.VI* megfelelő kimeneteivel! A *magnitude* kimenetet a *Spectral Magnitude*-ba, a *phase* kimenetet a *Spectral Phase*-be, valamint a *coherence* kimenetet a *Spectral Coherence*-re szükséges kötni!



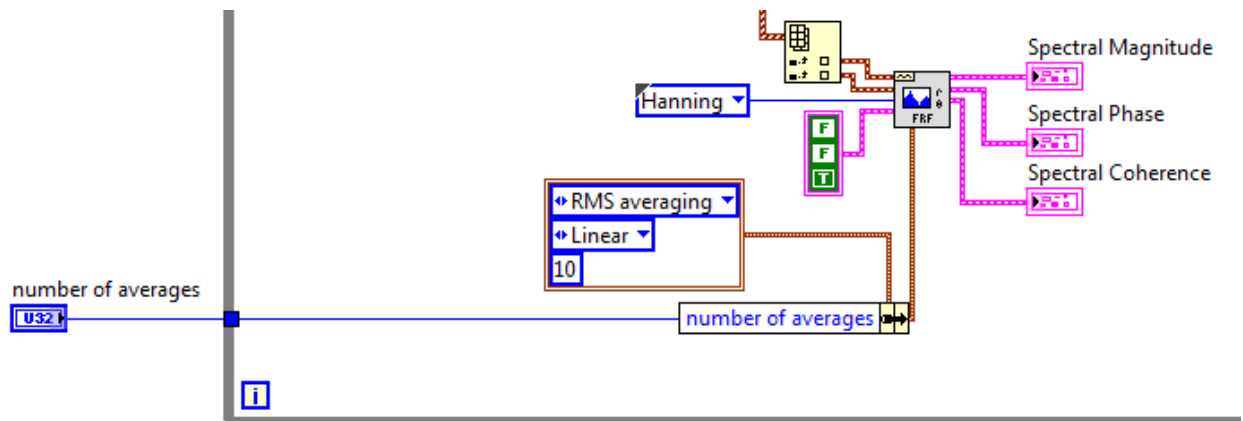
30. Az *FRF Mag Phase.VI* *window* bemenetére jobb gombos kattintást követően válasszuk a *Create/Constans* menüpontot! A lerakott választó elemből a *Hanning* elemet szükséges kiválasztani!

31. Az *FRF Mag Phase.VI* *view* bemenetére jobb gombos kattintást követően válasszuk a *Create/Constans* menüpontot! A lerakott, három logikai értéket tartalmazó csoportból (*Cluster*), az alsó logikai értéket bal egérgombos kattintással állítsuk *TRUE* értékre!

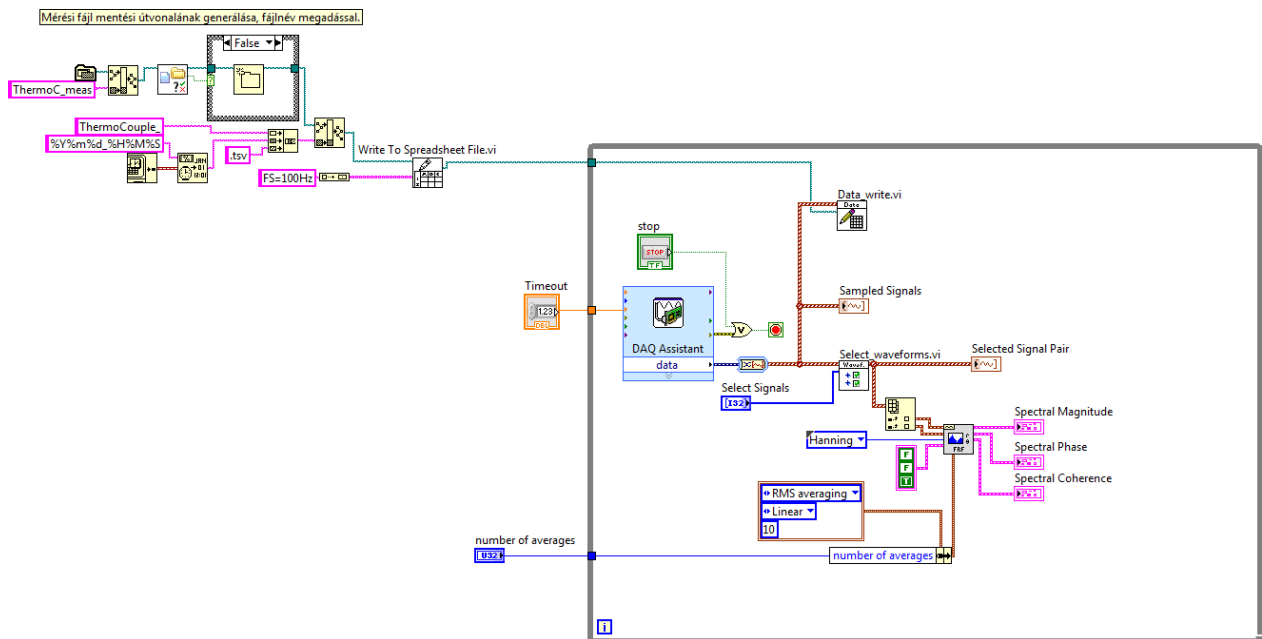
32. Az *FRF Mag Phase.VI* *averaging parameters* bemenetére jobb gombos kattintást követően válasszuk a *Create/Constans* menüpontot! A lerakott, három elemet tartalmazó csoportból az elsőben válasszuk ki az *RMS averaging* pontot, a másodból a *Linear* pontot. A harmadik elemet felül kell írni egy kezelőelemből, melyet a következő módon lehet megtenni. Jobb gombbal kattitva a *Cluster, Class & Variant* palettából helyezzük le a *Bundle by Name* elemet! Ezzel az elemmel Clusterek egyes elemeit lehet felülírni úgy, hogy egy minta beadása után csak a kiválasztott elem(ek) íródnak felül. Jelen esetben a *number of averages* elemet kell felülírni! Szakítsuk meg a vezetékét az imént konstansként lerakott *Cluster* és az *FRF Mag Phase.VI* között. Kössük bele a konstanst a *Bundle by Name* VI felső inputjába, mely a minta, és az outputot pedig vissza az *FRF Mag Phase.VI* –ba! Ez után váltsunk át a *number of averages* elemre a *Bundle by Name*-re bal egérgombbal kattintva!



Ezután jobb gombbal ezen bementre kattintva készítsünk egy konstanst és vigyük a cikluson kívülre, majd kössük a megfelelő helyre! Ügyeljünk arra, hogy indításnál mindig 1000-res érték legyen megadva átlagolási számnak!



33. A program az alábbi ábra szerint alakult.



34. Control+E kombinációval váltsunk át a Front Panel-re!
35. A menüsor alatt található fehér nyíl megnyomásával a program futása elkezdődik. Leállítani a Stop gombbal, vagy a megnyomott nyíl mellett található piros, stop alakú gombbal lehet a mérést.
36. Mérés közben a *Select Signals* kezelő elembe 1-1 értéket beírva lehet a mért csatornákból a beírtak szerint párokat alkotni. A lehetséges kombinációk:



3. Adatgyűjtés

A mérés során lépésről lépésre az alapoktól felépítünk egy adatgyűjtő rendszert a LABVIEW szoftver segítségével. Ehhez a részletes használati útmutatót az előző pontban találja meg, és azt kell realizálnia. Természetesen, az elkészült kapcsolásról ctrl-prt-screen paranccsal készítsünk másolatot a jegyzőkönyv számára!

FIGYELEM! A fűtést önhatalmúan bekapcsolni tilos! Bármilyen veszélyhelyzet (üvegtörés, vízkiömlés, vízkiforrás stb.) esetén először az áramtalanítást végezzük el! Gyakorlati tanácsok és útmutatások a méréshez: Végezzünk próbamérést! (Arra vigyázzunk, hogy ne adjunk meg olyan paramétereket, amely több órás mérést definiál!). Mivel a fűtőszál még nem működik, nagyon kicsiny, szinte zérus hőmérsékletfluktuációt fogunk látni, de ezzel begyakorolhatjuk a mérést, és az adatok megtekintését. (Ha fűtés közben gyakorolnánk, akkor a gyors vízmelegedés miatt elveszíthetünk a 20-80 °C-os vízhőmérsékletre tartozó idő intervallumból egy jelentős hányadot.) Ha már úgy tűnik, hogy a szoftvert biztosan tudjuk kezelni, akkor kérjük meg a felügyelő tanárt, hogy kapcsolja be a fűtést! : mindig tekerjük nullára az autotranszformátort. A víz további (intenzív) fűtését így meg tudjuk szüntetni arra az időszakra, amíg a mért jellel foglalkozunk. Még egyszer felhívjuk a figyelmet arra, hogy ha

a hőmérséklet meghaladja a 80 °C-ot, akkor a méréssel le kell állni, és meg kell várni hogy a víz legalább 20 °C-ot hűljön. A mérést csak ezután lehet folytatni.

Vizsgáljuk meg a mért jeleket! Azt tapasztalhatjuk, hogy a mért hőmérséklet fluktuációk amplitúdója jelentősen megnövekedett. A feladat az, hogy a fűtőteljesítményt akkorára állítsuk be, hogy jelentős amplitúdót mérjünk, de ne menjen telítésbe a mérőkártya jele. Az ADC kártya 12 bites, maximális felbontása 4096 feszültség szint, azaz a 5 V -ot 4096 részre osztja. Ha a jel amplitúdója meghaladná a 2048 értéket (azaz az 5 V -ot), akkor az ADC túlsordul. Egyes ADC kártyák túlsordulás esetén a negatív oldalról újra növekvő értékeket adnak. A mi kártyánk nem ilyen. Túlsordulás esetén telítődik, azaz amíg a jel nagyobb mint 5 V , addig mindig „2048” értéket mutat.

Ellenőrző kérdés:

E6:Hogyan torzul a spektrum abban az esetben, ha a kártya ADC-je túlsordul? A feladatunk tehát olyan mérési állapotot létrehozni, amikor a jel maximális amplitúdója a maximum érték 10% és 90%-a között van. Ezeket rövid próbaméréssel állítsuk be. Amikor biztosak vagyunk abban, hogy jó a beállításunk, akkor végezzünk egy normál mérést. A hosszú mérés időtartamát válasszuk meg úgy, hogy az autospektrum várható pontossága 25%-nál jobb legyen! A mérőprogram paraméterezésekor az alábbiakat vegyük figyelembe: - Az utólagos adatfeldolgozás (FFT) gyorsabb, ha a minták száma 2 valamely hatványa. Mi 1024 adatpontot tartalmazó minta-blokkokat használunk. - A minta-blokkok számának növelése a mérés hosszát növeli; a hosszabb mérés viszont hosszabb átlagolást is jelent, ami a mérés pontosságát növeli!

- Egy sztochasztikus jel szórása a Fourier-transzformáció során nem változik meg

Ellenőrző kérdés:

E7:Milyen hosszú mérést kellene végezni ahhoz, hogy az impulzusválasz-függvény várható pontossága 5%-nál jobb legyen? Ha sikerült egy megfelelő felvételt készítenünk (természetesen fűtés közben, hiszen ehhez kerestük az optimális amplitúdót), akkor lényegében készen is vagyunk a méréssel és következhet az adatfeldolgozás. **NE FELEJTSÜK EL szabad szemmel megtekinteni fűtés közben az üvegben a fűtőfelület közelében kialakuló felfelé tartó áramlást! FIGYELEM! NE érnünk az üveghez!**

4. Kiértékelések

Az adatfeldolgozást valamilyen adatfeldolgozó segítségével végezzük. Tudjuk ajánlani a MATLAB programot.

Segítségképpen, a helyszínen rendelkezésre áll egy IDL program alapú gyorskiértékelő program. Futtassuk le, és értékeljük a kapott CCF, Phase és Impulse Response függvényeket! Ezek megmutatják, sikeres volt-e a mérés. De ezek grafikus képek. Ezekből pontosan leolvasni a csúcsok helyét, vagy a lineáris fázismenet meredekségét, nehézkes. Elfogadjuk, ha ezt használja a kiértékelésben, de akkor pontosan le kell írnia, hogyan végezte ezek leolvasását, és milyennek értékeli a leolvasásból származó mérési bizonytalanságot.

Többre értékeljük, ha otthon önmaga végzi el a kiértékelést pl MATLAB vagy más programozással, amiből sokkal pontosabb leolvasást és hibák értékelését tudja végezni.

A létrehozott állomány struktúráját az 1. Melléklet tartalmazza.

A kiértékelés során:

- Az időfüggvényeket elemezve, a fluktuációk időbeli eltolódásából becsülje meg az áramlási sebességet
- Számítsa ki a három termoelem pár közötti keresztkorrelációs, és impulzusválaszfüggvényeket, keresse meg bennük az időkéséshez tartozó csúcst, olvassa le az időkéséseket, végül számítsa ki az áramlás sebességét. Értelmezze a többi csúcst is, és magyarázza el mit hogyan kapott meg!
- Ábrázolja együtt a kereszt spektrum fázisfüggését és koherenciáját! Mindkét függvényt lineáris skálán ábrázolja (fázis: -180:180°, koherencia: 0:1 között)! Keresse meg a fázis függvény olyan lineáris szakaszát, ahol a koherencia függvény 1-hez közeli, majd határozza meg a szakasz meredekségét, és ezzel a módszerrel is számítsa ki az áramlás sebességét!

Kérjük, hogy a beszámoló tartalmazza a mért jelek autokorrelációs- és keresztkorrelációs függvényeit, impulzusválaszfüggvényeit, valamint a kereszt spektrum fázisfüggését (a frekvenciától), és a koherencia függvényeket is! Minden ábra jelentését kérjük, magyarázzák meg néhány mondattal! Ezek alapján a mérés pontosságát már nemcsak nagyságrendileg (elvileg) lehet meghatározni, hanem pontosan is. Ehhez vegyük figyelembe, hogy a koherencia a szórás (1/koherencia) értékkel növeli meg! A spektrumok szórását egyszerűen az átlagolás alapján számítsuk (nem várjuk el a negyedik momentummal történő mérési bizonytalanság becslését).

A teljes kiértékelés

Ne feledjük! A feladat az áramlási sebesség meghatározása volt, és nem a függvények ábrázolása, illetve a késési idők leolvasása! Tehát ne feledjük a 3x2 termoelem pár háromféle módszerrel megkapott késleltetési ideiből kiszámítani a sebességeket. Jó esetben akár 9 sebesség értéket is kaphatunk. Jogunk van kidobni ebből azokat, amelyek nem felelnek meg az elmélet elvárásainak (pl. nem lineáris a fázis, vagy leolvashatatlan a késési idő). De indoklás nélkül nincs jogunk kizárni egy-egy értéket az átlagolásból!

Az átlaghoz számítsuk ki a várható érték szórását és a mérés eredményét a szabványban megadott formában közöljük!!! Tehát ebben az esetben nem a fizikusok körében olyan széles körben elterjedt átlag és egyszeres szórás értékének közlését várjuk, hanem ismerkedjünk meg a szabványban elfogadott közlési módszerekkel! Válasszuk a 95%-os megbízhatósági szintnek megfelelő eredmény közlést! És elvárás, hogy az ipari szabvány szerint a kiterjesztett mérési bizonytalanságot két értéke jegyben közöljük, és a várható érték (a mérés legjobb becslésének) tizedesjegy hosszát a mérési bizonytalansághoz illesszük. Valamint a mérés végeredményét teljes mondatban és kétszer aláhúzva tüntessük fel mérési jegyzőkönyvünkben.

És ne feledkezzünk meg arról, hogy ez mérési jegyzőkönyv! Annak attribútumai: fejléc, hol, mikor ki végezte, a mérés pontos leírása, és körülményei, a teljes kiértékelés menete és a végeredmény, és a legvégén az aláírás is kötelező.

A mérőpároktól lehetőleg két mérés elvégzését várjuk a laborban (ha belefér az időbe!). Az egyik mérést az egyik fél végzi a másikat a másik!! Ha közös jegyzőkönyvet adnak be, mert nem tudták a két mérést elvégezni, akkor már csak 4-4 lehet a legjobb jegy.

1. Melléklet

A LABVIEW szoftver segítségével gyűjtött adatok szerkezete

Az alábbiakban az adatfájl fejléce, és az első 3 adatsor látható. A további feldolgozáshoz nekünk csak az adatsorokra van szükségünk, vagyis az első 23 sort el kell hagyni. Az adatok a beállításaink szerint szöveges formátumúak, tabulátorral vannak elválasztva, és csak 1 fejléc szerepel a fájlban.

```
LabVIEW Measurement
Writer_Version 0.92
Reader_Version 1
Separator Tab
Multi_Headings No
X_Columns No
Time_Pref Absolute
Operator ellab
Date 2007/08/27
Time 12:32:20,167131
***End_of_Header***
Channels 3
Samples 2500 2500 2500
Date 2007/08/27 2007/08/27 2007/08/27
Time 12:32:30,223217 12:32:30,223217 12:32:30,223217
Y_Unit_Label Volts Volts Volts
X_Dimension Time Time Time
X0 0.0000000000000000E+0 0.0000000000000000E+0
0.0000000000000000E+0
Delta_X 0.004000 0.004000 0.004000
***End_of_Header***
X_Value Voltage Voltage0 Voltage1 Comment
-0.012207 0.024414 0.092773
-0.012207 0.021973 0.095215
-0.012207 0.024414 0.092773
```

OTTHONI Kiértékelések

Mindkét adatmező (file) jól olvasható a MATLAB segítségével. Ezzel pedig előállíthatók a kért függvények.

A DOS-os program mellett egy speciális feldolgozó szoftvercsomagot is találunk. Ennek neve KERET.bat. Kezelése és elsajátítása nem túl bonyolult. Aki tehát nem járatos a MATLAB-ban, az lehet, hogy jól teszi, ha a helyszínen ezzel kiértékeli az első mérés csomagot. Az így elmentett ábrákkal, és a fenti kérdésekre adott teljes értékű válaszokkal is el lehet érni a 4-es osztályzatot.

Mit várunk? Feltétlenül meg kell számítani a három termoelempár közötti impulzus válaszfüggvényeket és meg kell találni bennük az időkéséshez való csúcsot, ebből leolvasni az időkéséseket, kiszámítani az áramlás sebességét. Értelmezni kell a többi csúcsot is, és elmagyarázni mit miért kapunk.

A jobb beszámoló tartalmazza a mért jelek autospektrumát, a kereszt spektrum fázisfüggését (a frekvenciától), valamint a koherencia függvényeket is. Ezek alapján már a mérés pontosságát nemcsak nagyságrendileg (elvileg) lehet meghatározni, hanem pontosan is. Ehhez vegyük figyelembe, hogy a koherencia a szórást $1/\text{koherencia}$ értékkel növeli meg! A többit már tanultuk a korábbi kurzusokon.

A MATLAB-bal történő kiértékelésnél a hallgató szabad kezet kap a függvények előállítására és a sebességek becslésére, de természetesen jól követhető kiértékelési leírást elvárunk, a használt *.m programokat pedig kérjük a függelékben megadni!