

LABWINDOWS/CVI-BAN FEJLESZTETT WAVELET TRANSZFORMÁCIÓS MODUL ALKALMAZÁSA LABVIEW KÖRNYEZETBEN

Tóth Lajos¹, Szabó Norbert²

egyetemi docens¹, mérnök-tanár², Miskolci Egyetem, Villamosmérnök intézet,
Elektrotechnikai- Elektronikai Tanszék
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros,
e-mail: elklll@uni-miskolc.hu¹, elkszabo@uni-miskolc.hu²

Összefoglalás

Ebben a cikkben bemutatjuk, hogyan lehet mérési- és jelfeldolgozási feladatok esetében a National Instruments (NI) mérésadatgyűjtő kártyáit szoftveresen támogató fejlesztő környezetét komolyabb feladatokra hatékonyan felhasználni. A viszonylag egyszerűbb mérési feladatokat ellátó programot LabVIEW környezetben készítettük el. A bonyolultabb matematikai összefüggéseket felhasználó Wavelet transzformációs modult LabWindows/CVI környezetben valósítottuk meg és lehetővé tettük annak LabVIEW környezetben történő alkalmazását. Az elkészült mérőrendszert használhatóságát egy rövidre zárt forgórészű aszinkron motor rudazat törésének, a motor felvett áramából történő kimutatásán (Motor Current Signature Analysis – MCSA) keresztül mutattuk be.

Kulcsszavak: LabWindows/CVI, LabVIEW, Wavelet analízis, jelfeldolgozás, MCSA

Abstract

This paper considers the use of National Instrument's (NI) software development environment supporting its data acquisition cards for measurement and signal processing tasks effectively. We created a part of our program performing a relatively simple measurement task in LabVIEW environment. The more sophisticated part using complex mathematical formulas of Wavelet decomposition was created in LabWindows/CVI environment. We made it possible for the LabVIEW to use this module. We show the applicability of our measurement system through the Motor Current Signature Analysis (MCSA) of a squirrel-cage induction motor with broken rotor bar.

Keywords: LabWindows/CVI, LabVIEW, Wavelet analysis, Signal Processing, MCSA

1. Bevezetés

A wavelet analízis módszereket felhasználó cikkek szerzői az esetek többségében eltérő szoftvereket használnak mérés-adatgyűjtési és jelfeldolgozási feladatokra. A wavelet transzformációs eljárások alkalmazásának legkézenfekvőbb eszköze még mindig a Matlab[®] toolbox. Ebben a szoftvercsomagban a legkülönbözőbb transzformációs eljárások és jelfeldolgozási módszerek kaptak helyet. Tudományos alap kutatási feladatokra ez és hozzá hasonló, ám vele ellentétben ingyenes programcsomagok (Scilab, Octave stb.) vagy a szimbolikus számítási műveletek végrehajtására képes programok a legalkalmasabbak. A Matlab[®],

Scilab, Octave, Maple[®], Maxima, Sage stb. mind interpreter alapú rendszerek. Ezek közös jellemvonása, hogy a begépett matematikai művelet a sorvégét jelző billentyű leütésekor azonnal kiértékelődik. Nincs szükség típusdeklarációra vagy a választott programozási nyelv kötött formai eleminek - pl. main függvény vagy objektum orientált rendszerekben osztályok - definiálására esetleg típuskonverziókra. Az eredmények szöveges, két- vagy háromdimenziós, forgatható, nagyítható megjelenítése egyetlen parancssor kiadásával már lehetséges. Ilyen rendszerek esetében az a fontos, hogy mit akarunk megvalósítani és nem az, hogy hogyan. A kutatás nagymértékben felgyorsul, hiszen nincsenek felesleges programozási feladatok. A kész és letesztelt eljárás átadható egy informatikusnak, aki már csak azzal foglalkozik, hogy hogyan ültesse át azt a gyakorlatba. Ez viszont már programozói feladat. Ilyen módon tehát szétválasztható ez elméleti kutatás a gyakorlati programozástól.

A mérés-adatgyűjtési feladatok elvégzésére a National Instruments termékei kézenfekvő megoldást nyújtanak. A NI a mérésadatgyűjtő kártyáit szoftveresen támogató programsomagokat fejleszt, melyekkel a mérés-adatgyűjtés és jelfeldolgozás egy rendszeren belül elvégezhető. Ez a szoftver inkább alkalmazott kutatási feladatok céljára megfelelő. Ez nem matematikai programsomag. A hangsúly ebben az esetben a mérési adatok gyűjtésén, különböző eszközök kommunikációján, adatok feldolgozásán és megjelenítésén van. A LabWindows/CVI és LabVIEW szoftverekhez megvásárolható a Signal Processing Toolkit nevű kiegészítés. Ez tartalmaz többek között Wavelet transzformációs eljárásokat is. A National Instruments LabVIEW grafikus programozói környezete széles körben alkalmazható az egyedi célmérések esetében. A rendszer nagy előnye, hogy a programozás alapszintű elsajátítása kevés időráfordítást igényel. Jól használható olyan esetekben, amikor valamilyen egyedi dolgot kell lemérnünk, vagy speciális érzékelők jelét kell feldolgoznunk. A LabVIEW-ban a grafikus programozás mellett lehetőség van szöveges alapú programozási nyelven megírt kódok futtatására a Code Interface Node (CIN) felhasználásával. A LabWindows/CVI integrált fejlesztői környezete segítségével gyorsan fejleszthetünk mérési, tesztelési, vezérlési vagy szabályozási feladatokat ellátó alkalmazást. A programot ebben az esetben ANSI C nyelven kell megírunk.

A C nyelvű algoritmus leírásnak előnye a grafikus programozással szemben a platform függetlenségben rejlik. A kód gyorsan átültethető bármilyen processzorra, jelprocesszorra vagy komolyabb mikrovezérlőre. A jelfeldolgozó algoritmus implementálhatóvá válik androidos tableten vagy akár telefonon is és nem vagyunk hozzá láncolva egyetlen programrendszerhez sem.

Cikkünkben azt szeretnénk bemutatni hogyan, lehet egy jelfeldolgozási algoritmust úgy megvalósítani, hogy különböző rendszereken fejlesztett alkalmazások egyaránt felhasználhassák. Külön fejlesztettük mérési és a jelfeldolgozási részt. Az algoritmust egy matematikai programsomagban fejlesztettük, hiszen itt a cél ez elmélet helyességének igazolása volt. Az algoritmust úgy készítettük el, hogy alkalmas legyen LabWindows/CVI, LabVIEW vagy bármilyen C fejlesztő környezettel rendelkező számítógépen történő futtatásra. Mint már korábban említettük a LabVIEW és LabWindows/CVI tartalmaz Wavelet dekompozíciós eljárást, de egy kutatási feladat során gyakran előfordul, hogy nem áll rendelkezésre az adott eljárás. Ráadásul, minket jobban érdekel a jelfeldolgozási módszerek mögötti elmélet háttér minél alaposabb megismerése annál, hogy csak alkalmazzunk egy kész módszert, ezért létrehoztuk a saját Wavelet modulunkat. A mi modulunk bármikor bővíthető új funkciókkal, futási sebessége optimalizálható és javítható. A modult LabVIEW környezetben használtuk bemutatva ezzel a fejlesztői környezetek közötti átjárhatóságot és fejlesztési feladatok megosztásának előnyeit.

2. Wavelet transzformáció

A *Wavelet transzformáció* egy olyan eszköz, amely a jelet "wavelet"-eknek (hullámocskák-nak) nevezett bázis függvények összegére bontja fel. A waveletek olyan normalizált $\|\psi\| = 1$ függvények, melyeket egy "mother wavelet"-nek nevezett $\Psi(t)$ bázis függvényből eltolással és nyújtással állítunk elő (1). A *Folytonos Wavelet Transzformáció (Continuous Wavelet Transform -CWT)* a jel wavelet-tel vett belsőszorzatként definiálható, azaz

$$CWT\{f(a,b)\} = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) dt, a > 0 \quad (1)$$

ahol "a" a nyújtásért és zsugorításért felelős *skálaparaméter*
 "b" az *eltolási paraméter* [1].

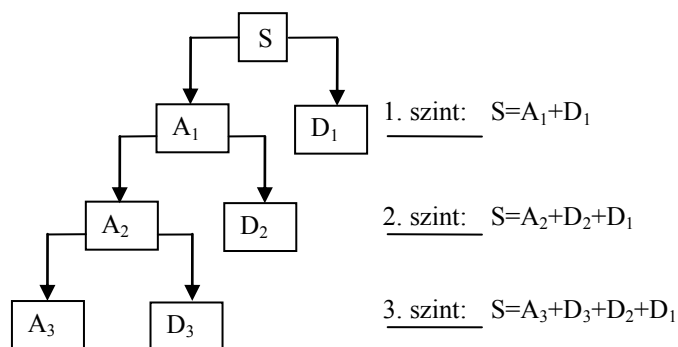
A *Diszkrét Wavelet Transzformáció (Discrete Wavelet Transform - DWT)* (2) hasonló módon definiálható, mint a CWT. A CWT a *skálaparaméter* összes lehetséges értékét, a DWT viszont csak annak meghatározott értékeit veheti fel,

$$DWT\{f(k \cdot 2^{-s}, 2^{-s})\} = 2^{\frac{s}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(n) \cdot \psi(2^s n - k) dt \quad (2)$$

ahol "2^{-s}" a nyújtásért és zsugorításért felelős *diszkrét, diadikus skálaparaméter*
 "k" a *diszkrét eltolási paraméter* $k, s \in Z [1]$.

2.1. Wavelet dekompozíciós eljárás

Egy jel DWT szerinti felbontása többlépcsős folyamat [2]. A jelet (S) átvezetve egy megfelelően kiválasztott, frekvencia-sávban szeparált szűrő csoporton, az felbontható „alacsony frekvenciás” *közéltés-* és „nagyfrekvenciás” *részlet* jelkomponensekre (A_n, D_n) (1. ábra).

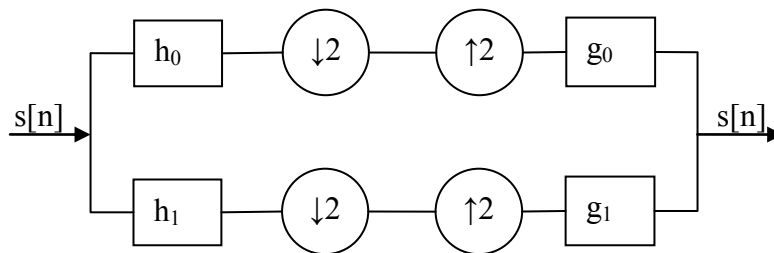


1. ábra. A jel többszintű felbontása

A felbontás következő szintjén az előzőleg kapott „alacsony frekvenciás” jelkomponenst tovább bontjuk „alacsony frekvenciás” és „nagyfrekvenciás” jelkomponensekre. Az eljárás

rekurzív módon tovább folytatható a megkívánt felbontási szintig. A megfelelő felbontási szintek számát valamilyen kritérium, legtöbbször az *entrópia* alapján határozzák meg [2].

Egy felbontási szintet a *Perfect Reconstruction Two-channel Filter Bank (PRFB)* analízis szűrői segítségével állítjuk elő (2. ábra). A h_0 és h_1 jelöli az analízáló-, a g_0 és g_1 a szintetizáló szűrők együtthatóit. A lefele mutató nyíl az alul-mintavételezés- a felfelé mutató pedig a sűrítés operátora.



2. ábra. Perfect reconstruction Two-channel Filter Bank

A jel wavelet együtthatókból történő visszaállítása az előzővel ellentétes folyamat. A szintézis szűrőket az analízis szűrőkből lehet előállítani.

3. Wavelet transzformációs modul fejlesztése

A Wavelet dekompozíciós algoritmus fejlesztése Scilab-ban történt. A jól működő algoritmust ezek után átültettük ANSI C-nyelvre. A kipróbált C kódot már csak a LabWindows/CVI 7.0 fejlesztő környezetét felhasználva dinamikus csatolású könyvtári modul formátumba kellett lefordítanunk. A DLL formátum alkalmazásának több célja is volt. Egyrészt védeni akartuk valamelyes saját kódunkat, másrészt lehetővé akartuk tenni LabWindows/CVI vagy LabVIEW környezetben való felhasználását.

A LabWindows/CVI környezetben a C-nyelven megírt függvények bináris végrehajtható állomány, statikus könyvtár vagy dinamikus csatolású könyvtár (Dynamic Link Library – DLL) formátumba fordíthatók le. [3] A fájl készülhet hibakeresési (debug) vagy végleges (release) módban. Hibakeresési módban lehetőségünk van a program lépésenkénti végrehajtására. Ha CVI-on keresztül fordítunk DLL könyvtárat, akkor a fejlesztői környezet két fájlt hoz létre. Az egyiket „lib” a másikat „dll” kiterjesztéssel. Az ún. „import library” a DLL könyvtárhoz való csatolást segíti elő. Ez tartalmazza a címtáblát (import address table) amelyek az egyes DLL függvényekre hivatkoznak.

Az adatok eléréséhez címszerinti paraméterátadást használtunk. A függvény második paramétere az analizálandó adatok mennyiségét adja meg. A DLL függvényhez grafikus felhasználói interfészt készítettünk, ahol beállíthatók az analízis és a megjelenítés paramétere.

4. Labwindos/CVI-ban fejlesztett modul alkalmazása LabVIEW környezetben

Az általunk megvalósított program mérésadatgyűjtési és jelfeldolgozási funkciókat lát el. A program felhasználás területe az indukciós motorok kalicka hibáit, a felvett áram frekvencia

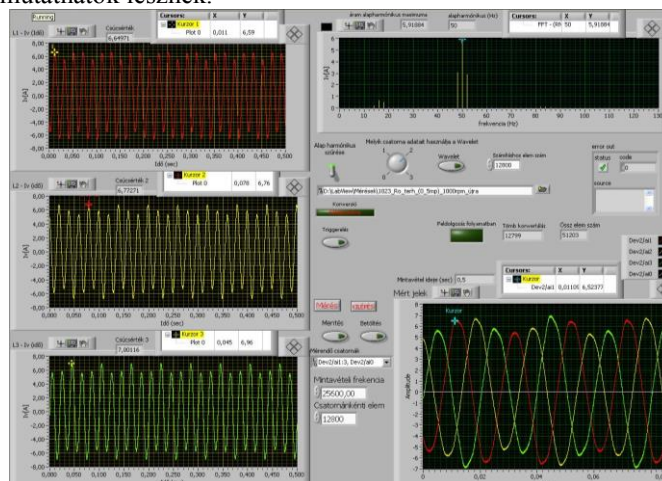
komponensei alapján kimutató eljárás, a Motor Current Signature Analysis - MCSA alkalmazása.

Egy aszinkron motor, állórészének háromfázisú tekercselését, háromfázisú szimmetrikus hálózatra kapcsolva az állórészben f_1 frekvenciával forgó mágneses mező generálódik. A forgó fluxus a forgórészben áramot hajt, melynek frekvenciája a „s” szlip segítségével számítható $f_2 = s \cdot f_1$. Ha a forgórész aszimmetrikus, például törött az egyik rudazat, akkor ez a mágneses mezőn keresztül visszahat az állórész áramára. A törött rudazatú forgórész tartalmazó motor állórész áramának frekvenciája a következőképpen számítható [4],

$$f_{sb} = f_1(1 \pm 2ks) \quad (3)$$

ahol, „s” a slip, f_1 a hálózati frekvencia és $k = 1, 2, 3..$

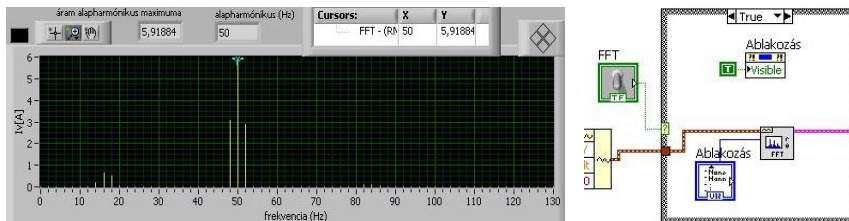
Méréseink során mintavételeztük a három vonali áramot. A háromcsatornás mérés forgórész meghibásodások esetében felesleges, mivel a hiba mind a három vonali áramban ugyanazt a torzulást okozza [4]. Mi azonban olyan általánosan használható mérőrendszert kívántunk fejleszteni ahol az állórész tekercsrendszerében kialakuló meghibásodások is fázisonként kimutathatók lesznek.



3. ábra. Az adatgyűjtő rész felhasználói felülete

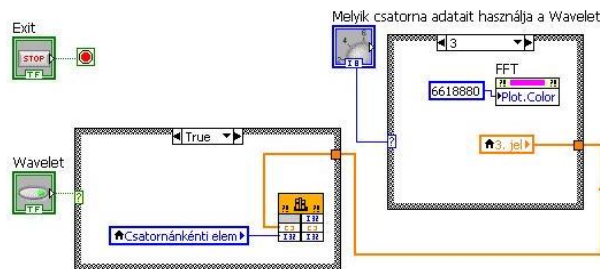
Az általunk fejlesztett mérésadatgyűjtő program kezelő felülete a 3. ábrán látható beállítható a mintavételezési frekvencia, a mintaszám és az erősítés mértéke. A mért adatok lementhetők és visszatölthetők a későbbi feldolgozás esetére. Külön fájlban tároljuk az egyes mérések alkalmával használt beállításokat. A program megjeleníti a három csatorna mintavételezett jeleit. Ezek értékei kurzor segítségével pontról-pontra lekérdezhetők. Ugyancsak a kurzor segítségével kijelölhető a mintavételezett jel azon része, melyet tovább analizálhatunk a frekvencia tartományban.

LabVIEW program környezet már tartalmaz több jelfeldolgozási lehetőséget, amelyek közül a Fourier transzformációt alkalmaztuk közvetlenül a mintavételezés után. A program automatikusan számolja a kiválasztott csatornán az FFT értékét. A felhasználó több ablakozó függvény közül választhat. A nagyítási (Zoom) és kurzor funkciókkal – 4. ábra bal felső sarok – az adatok kiértékelésének megkönnyítését segítjük.



4. ábra. Az amplitúdó karakteristika megjelenítése és számítása

A program által nyújtott szolgáltatásokhoz csatlakozik a már LabWindows/CVI-ban megírt Wavelet együtthatók szerinti felbontás alkalmazása is. CVI forráskódból fordított DLL-t a LabVIEW program csak meghívja, az 5. ábrán látható módon. Ehhez a LabVIEW-ban csak egyetlen egy ikont kell beilleszteni. A mért vagy visszatöltött adatokat hozzáférhetővé kell tennünk e programrész számára is. Így lehetőségünk van a már korábban lementett adatok újra számítására, elemzésére is.



5. ábra. A jel Wavelet együtthatók szerinti felbontását számító DLL meghívása a kívánt csatorna adatai alapján

A Wavelet analízist számító modulnak átadandó tömb, egy vonali áram adatait tartalmazza. A Wavelet modul jelenleg a jel *Daubechies10* és *Symmet5* ortogonális Waveletek szerinti felbontását támogatja. Más szűrő együtthatók beírásával és a DLL újrafordításával azonban a modul bármikor továbbfejleszthető. A Wavelet modulnak saját felhasználói interfésze van (10-11. ábrák). Kiválasztható a Wavelet függvény valamint a megkívánt felbontási szint. A felhasználói felületen található nyomógombok segítségével a megjelenítésre kerülő felbontási szintek között lépkedhet a felhasználó.

5. A KIÉRTKELŐ FUNKCIÓK TESZTELÉSE

Az általunk fejlesztett analízáló modul teszteléséhez egy FEVILL gyártmányú FVM 80-3-4/1.5 típusú háromfázisú aszinkron motort használtunk (6. ábra). A motor adatai a következők: 400/230V Y/Δ 50Hz 4,2 /7,3A 1,5kW 1360 1/min.



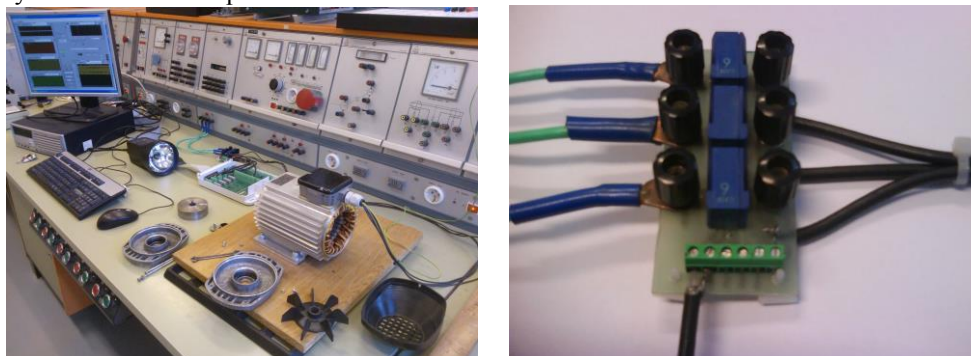
6. ábra. A vizsgált kalickás forgórészű aszinkron motor

A motort két forgórészrel szállították. Az egyik forgórész hibátlan-, a másikat szándékosan eltört rudazattal készítették. (7. ábra)



7. ábra. Forgórészek (bal oldali ábra), a hibás forgórész (jobb oldali ábra)

A motor állapotának meghatározásához megterveztük a 8. ábrán látható áramváltós nyomtatott áramköri panelt és azt felhasználó mérési összeállítást.



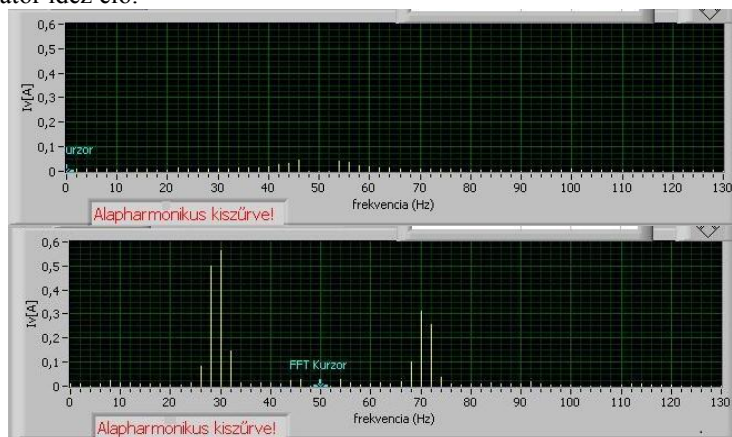
8. ábra. Mérési összeállítás (bal oldali ábra), áramváltós panel (jobb oldali ábra)

A vonali áramokat LEM CASR 6-NP zárt hurkú áramváltók segítségével mértük. A primer névleges áram értéke 6A. Az áramváltó feszültség kimenetű és működtetéséhez csak 5V-os unipoláris egyenfeszültséget igényel. Az áramváltó kialakítása olyan, hogy közvetlenül szerelhető nyomtatott áramköri lemezre. Fogyasztása 18,5mA, ami lehetővé teszi NI SCC-68 I/O csatlakozó blokkról történő közvetlen táplálását.

A mérendő csatornákat a National Instruments PCI-6052E DAQ kártya segítségével mértük. A mérőkártyát saját LabVIEW szoftverrel vezéreltük. A forgórész sebességét Testo 476 típusú stroboszkóppal mértük.

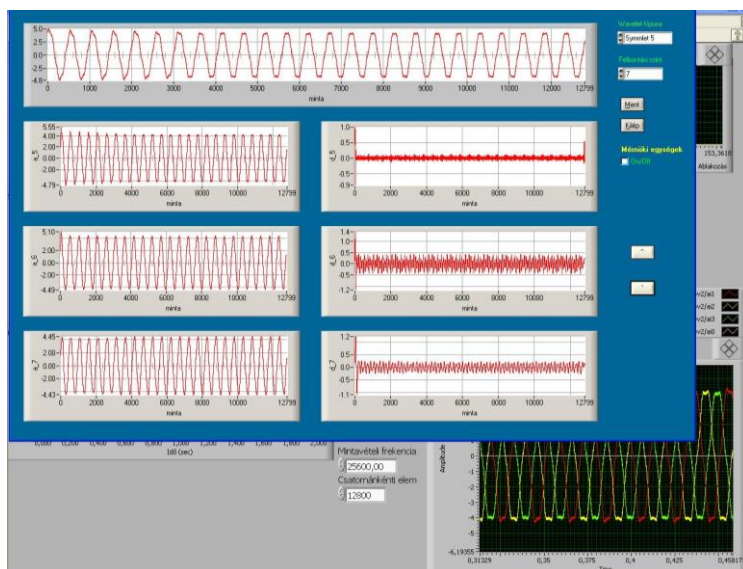
A motort névleges feszültségről tápláltuk és mértük a vonali áramok értékét. A motor üresjárás fordulatszáma jó forgórész esetében 1499 min^{-1} volt. Ez az érték $1487\text{-}1493 \text{ min}^{-1}$ között ingadozott a törött pálcájú forgórész esetében. A mintavételi frekvenciát az [5] publikációban javasolt 6400Hz-re állítottuk be.

A vonali áramok amplitúdó spektruma (9. ábra) jól mutatja a jó és a hibás forgórész árama közötti különbséget. A vonali áramban megjelennek a rudazattörésre utaló frekvencia komponensek az 50Hz-es hálózati frekvenciára szimmetrikusan. A jobb kiértékelhetőség érdekében az 50Hz-es hálózati frekvenciát megtestesítő harmonikust a spektrumból eltávolítottuk. Az alsó oldalfrekvenciás összetevő nagyobb amplitúdóval jelentkezik az áram jelalakban, mint a felső oldalfrekvenciás jelkomponens. Ennek oka lehet a hálózati feszültség torzulása, amit nem-lineáris elemnek tekinthető vasmagot tartalmazó hálózati transzformátor idéz elő.



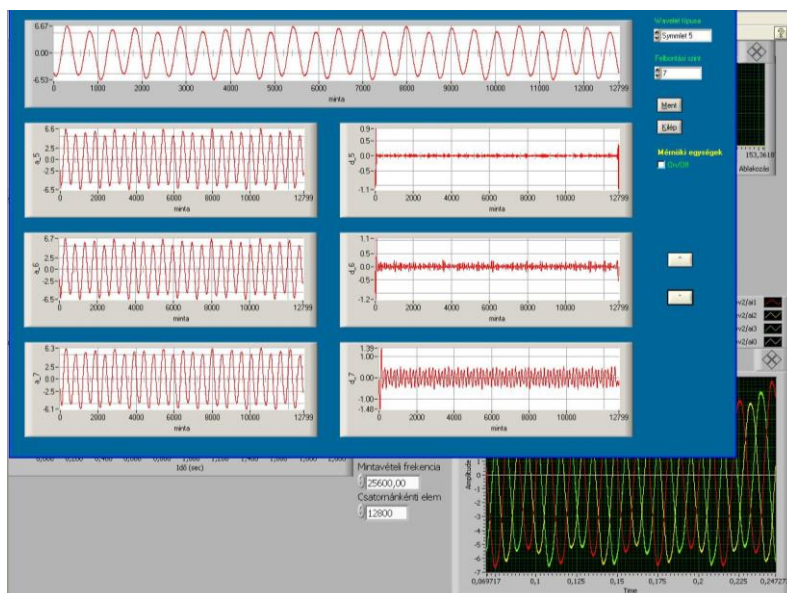
9. ábra. Vonali áramok amplitúdó spektruma, alapharmonikus kiszűrve, jó forgórész- (felső ábra), és hibás forgórész esetén (alsó ábra)

A mintavételezett vonali áramok symmet5 Wavelet szerinti felbontását a hetedik felbontási szintig állítottuk elő. Az alacsony frekvenciás közelítés együtthatókból visszaállított jel a 10. ábra a_7-, a részlet együtthatókból visszaállított jel pedig a d_7 grafikonon látható. A Wavelet szerinti felbontással a hálózat nem-linearitása kiszűrhető és nincs nyoma a forgórész aszimmetriája okozta harmonikusoknak.



10. ábra. Vonali áramok Symmetlet5 Wavelet szerinti felbontása a jó forgórész esetében

A 11. ábrán a rossz forgórészrel szerelt motor vonali áramai láthatók. Ugyanezen a felbontási szinten az alacsony frekvenciás jelkomponensek még mindig tartalmaznak a rotor aszimmetriából adódó frekvencia összetevőket annak ellenére, hogy a nagyfrekvenciás összetevőket kiszűrtük. Ez a hiba jelenlétére utal.



11. ábra. Vonali áramok Symmetlet5 Wavelet szerinti felbontása a rossz forgórész esetében

6. Összefoglalás

A cikk bemutatja, hogyan lehet összetett mérési és jelfeldolgozási feladatokat elvégezni a National Instruments mérésadatgyűjtő kártyáit szoftveresen támogató fejlesztő környezetben. Bonyolultabb feladatok esetében általában többen dolgoznak egy adott probléma megoldásán. A feladatokat fel kell bontani részfeladatokra és azokat a nekik legmegfelelőbb eszköz segítségével kell elvégezni. A viszonylag egyszerűbb mérési feladatokat ellátó programot LabVIEW grafikus programozói környezetben készítettük el. Ha minden rendelkezésre áll, akkor a program egyszerűen elkészíthető. Ha ezek a bonyolultabb matematikai összefüggéseket felhasználó jelanalizáló modulok nem állnak rendelkezésre, akkor azok leírása valamilyen programozási nyelven a legcélszerűbb. Mi a Wavelet transzformációs modult Scilab környezetben fejlesztettük és LabWindows/CVI valósítottuk meg lehetővé téve annak LabVIEW környezetben történő alkalmazását. Az elkészült mérőrendszert használhatóságát egy rövidre zárt forgórészű aszinkron motor rudazat törésének kimutatásán keresztül, a motor áramanalízise segítségével (MCSA) mutattuk be.

7. Köszönetnyilvánítás

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0008 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

8. Irodalom

- [1] STEPHANE MALLAT: A Wavelet tour of signal processing, Academic Press, 1998
- [2] J.C. GOSWAMI, A.K.CHAN: Fundamentals of Wavelets, John Wiley & Sons, Inc., 1999
- [3] National Instruments: „Using Dynamic Link Libraries with LabWindows/CVI”
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3341>
- [4] TÓTH F. – FEKETE G. – KOVÁCS E. – SZABÓ L.: Indukciós motorok kalicka hibáit kimutató módszerek összehasonlítása, SzámOKt ENELKO '2007, az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság Számítástechnika az Oktatásban és Energetika-Elektrotechnika Nemzetközi Konferenciája, Nagyvárad, 2007, pp. 184-193. ISSN:1842-4546.
- [5] N. Mehala, R. Dahiya, Rotor Faults Detection in Induction Motor by Wavelet Analysis, International Journal of Engineering Science and Technology, Vol.1(3), 2009, 90-99