

Mikrovezérlők programozásának oktatása Matlab Simulink segítségével

Teaching of programming micro-controllers with the help of Matlab Simulink

Tóbel Imre

Dunaújvárosi Főiskola

Informatikai Intézet

Számítógéprendszerek és Irányítástechnika Tanszék

cím: 2400 Dunaújváros, Táncsics Mihály út 1/A.

e-mail: tobeli@mail.duf.hu

Összefoglaló

A mérnök informatikus képzés fontos része a hardver ismeretek elsajátítása. Ezt alapozza meg a villamosságtannal, elektronikával és digitális technikával összefüggő tantárgyak. Ezen tantárgyak témaköreivel összefüggésben számos területen megjelennek a programozható eszközök, melyek a beágyazott rendszerek vonatkozásában elsősorban mikrovezérlőket vagy speciális jelfeldolgozó processzorokat jelentenek. Ezen speciális eszközök programozása többlet tudást igényel, azonban egyes feladatok megoldására ma már rendelkezésre állnak olyan fejlesztőrendszerek, melyek az úgynevezett rapid prototyping témakörét ölelik fel, Ezt támogatja a MATLAB Simulink környezete is, mely az oktatásban is hasznos lehetőséget nyújt a rapid prototyping technológia bemutatására.

Kulcsszavak: mikrovezérlő, MATLAB, Simulink, gyakorlati oktatás

Abstract

Learning hardware knowledge is an important part of engineer-IT education. It is grounded by subjects related to electricity, electronics and digital technologies. Regarding these subjects, programmable tools are showing up in several fields, which means micro-controllers or special signal-processing processors regarding embedded systems. Programming of these special tools requires some additional knowledge, but for solving some tasks, such development systems are available, which covers the so-called rapid prototyping. It is also supported by MATLAB Simulink environment, which provides useful help in the education to introduce rapid prototyping technology.

Keywords: microcontroller, MATLAB, Simulink, practical tasks

1. Bevezetés

A mérnök informatikus képzés fontos része a hardver ismeretek elsajátítása. Ezt alapozza meg a villamosságtannal, elektronikával és digitális technikával összefüggő tantárgyak. Ezen tantárgyak témaköreivel összefüggésben számos területen megjelennek a programozható eszközök, melyek a beágyazott rendszerek vonatkozásában elsősorban mikrovezérlőket (Gere, Kővári, 2015) (Gelencser, Kutschi, Doszkocs, Kővári, 2015) (Ferde, Papp, Kővári, 2015) vagy speciális digitális jelfeldolgozó processzorokat (DSP) jelentenek, melyeket az iparban, beágyazott rendszerekben széleskörűen alkalmaznak. Ezen speciális eszközök programozása többlet tudást igényel, azonban egyes feladatok megoldására ma már rendelkezésre állnak olyan fejlesztőrendszerek, melyek az úgynevezett rapid prototyping témakörét ölelik fel, Ezt támogatja a MATLAB Simulink környezete is, mely az oktatásban is hasznos lehetőséget nyújt a rapid prototyping technológia bemutatására. A cikk a mikrovezérlők MATLAB Simulink rendszer segítségével történő programozásának lehetőségét, valamint egy konkrét példán keresztüli alkalmazását mutatja be.

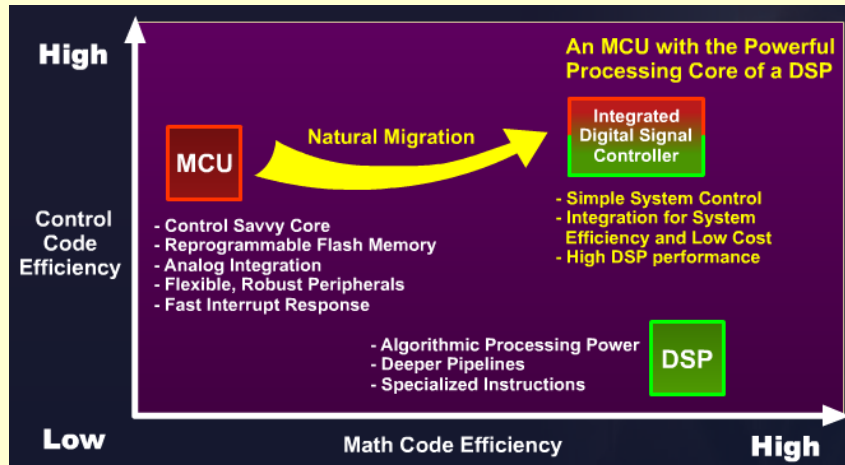
2. Mikrovezérlők programozása

A mérnök informatikus képzésben a hardver közeli programozás terén igen fontosak a beágyazott rendszerek. Ezen rendszerek legtöbbször programozható mikrovezérlőt vagy speciális jelfeldolgozó processzort (Katona, Farkas, Ujbanyi, Dukan, Kovari, 2014) tartalmaz. A hardver közeli programozás elsajátítására számos fejlesztőkörnyezet és prototípus kártya áll rendelkezésre. A következőkben egy ilyen fejlesztőkártya kerül bemutatásra.

2.1. C28x-es DSP család és az eZdsp F2812 DSP kártya

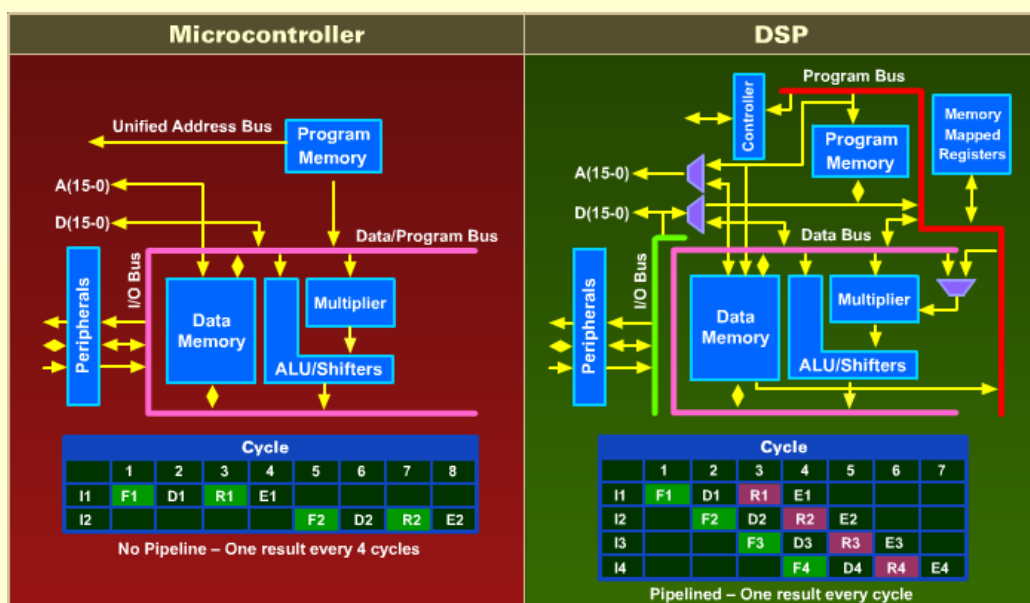
A Texas Instruments digitális szabályozási alkalmazásokra tervezett és optimalizált processzorai közül a C28x DSP család az egyik legnagyobb számítási teljesítményű, 150MIPS utasítás-végrehajtási sebességű processzora. A mikrovezérlő kiválóan alkalmas villamos motor szabályozási feladatok. A 32 bites F2812 típus 150MHz-es órajelű, FLASH memóriával rendelkező processzor, mely alkalmassá teszi számos modern szabályozási algoritmus valós idejű futtatására, mint például az érzékelők nélküli motorszabályozás vagy a teljesítménytényező javítás megvalósítására (Kovari, Kadar, Halasz 2004) (Kovari, 2009c) (Kovari, Kádár, 2010). A C2000-es DSP család tagjai egyesítik a mikrokontrollerek és a DSP-k előnyeit. A mikrokontrollerek egy chipes kialakításának (integrált memória, I/O, A/D, D/A,

kommunikációs interfész), könnyű programozhatóságának előnyeit ötvözték a DSP-k bonyolult matematikai műveletek végrehajtását segítő speciális utasítások és megnövelt algoritmus feldolgozásával, párhuzamos utasítás-végrehajtási képességével (1. ábra).



1. ábra Mikrokontrollerek és DSP-k kombinációja

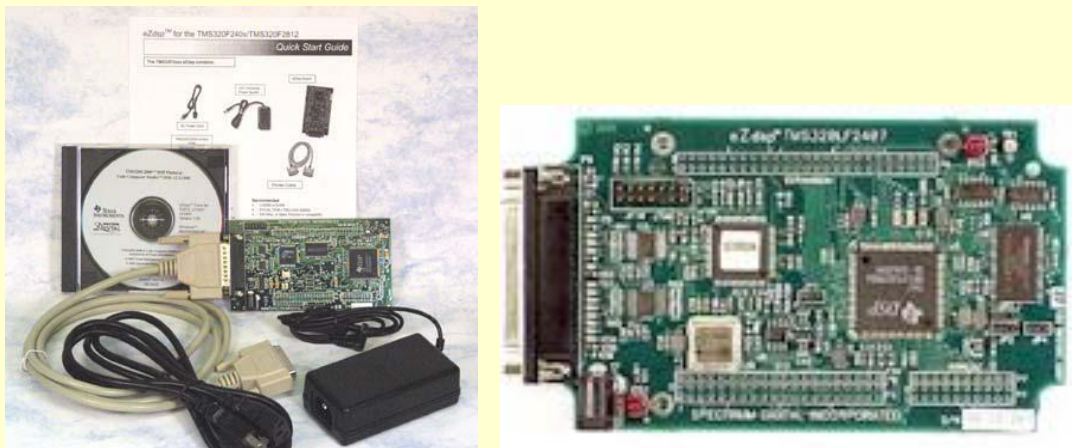
Mikrokontrollerek egyetlen belső busszal rendelkeznek az adat és a program memória elérésére, mely azt eredményezi, hogy a processzor utasítás-végrehajtási ciklusa négy lépésből áll: utasítás betöltés, dekódolás, adat betöltés, eredmény meghatározása. Ennek következtében mikrokontroller esetén minden negyedik ciklusban jön létre az utasítás eredménye. A DSP-k esetén azonban számos utasítás hajtódik párhuzamosan végre és különálló belső adat és program busszal rendelkeznek (2. ábra).



2. ábra Mikrokontroller és DSP architektúrája, utasítás-végrehajtása

Ennek az architektúrának a következtében minden egyes ciklusban képes utasítás eredményének előállítására. Ez a megoldás ugyanazon az órajelen 4x-es teljesítménynövekedést eredményez. A számítási teljesítmény további növelésének céljából speciális utasításokat és megnövelt órajelet alkalmaznak, így akár komplex rendszerek részelemeként is alkalmazható (Katona, 2014ab), (Katona, Ujbanyi, Kovari, 2014) (Katona, Dukan, Ujbanyi, Kovari, 2014) (Katona, Kovari, 2015) (Farkas, Dukan, Katona, Kovari, 2014).

Az eZdsp F2812-es DSP fejlesztőkártyán (3. és 4. ábra) lévő processzor 18kszó RAM-ot, 128kszó (1szó=16bit) Flash memóriát tartalmaz, ezen felül további 64kszó külső RAM-ot helyeztek el, mely lehetőséget ad a fejlesztők számára az F2812-es DSP megismerésére, programok fejlesztésre, használatára.



3. és 4. ábra eZdsp F2812-es fejlesztőeszköz és fejlesztőkártya

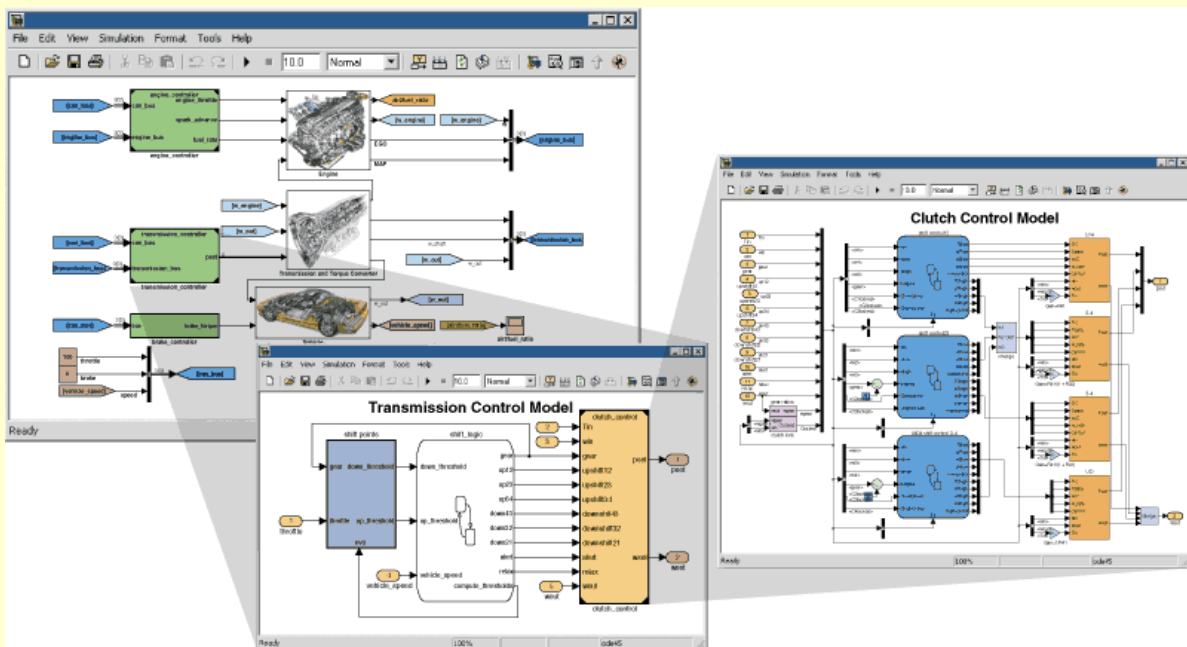
A kártyához a Texas Instruments által fejlesztett programozási környezetet a Code Composer Studio -t mellékelik, mely a DSP assembly és C/C++ nyelvű programozását támogatja. A kártyán elhelyezett - a PC-vel párhuzamos vagy USB porton keresztül elérhető - JTAG interfész lehetőséget ad a program futásának nyomon követésére (Debug), mely az alkalmazásfejlesztést nagymértékben megkönnyíti.

3. MATLAB Simulink és Target for TI C2000 toolbox

MATLAB program azok számára nyújt hatékony megoldást, akik lineáris algebrai (mátrix) numerikus számítási módszereket alkalmaznak. MATLAB egy programcsomag, mely számos

eszközkeszlettel (toolbox) rendelkezik, ezzel alkalmassá téve a mérnöki és kutatási tevékenység különböző területein használt számítási feladatok megoldására.

Simulink egy olyan grafikus programozási környezet, mely a MATLAB programcsomag részeként, egyszerű és gyors blokkdiagramos modell alapú programozási lehetőséget nyújt a fejlesztők számára, amely merőben eltér a hagyományos kódolási eljárástól (Katona, Kővári, 2015). Simulink a legelterjedtebb programcsomag a valós lineáris és nemlineáris szabályozástechnikai feladatok modellezésében, analízisében, szimulációjában. Egyszerűen kezelhető grafikus felhasználói felületet biztosít, melyben könnyen kezelhető, paramétereztető, egymásba ágyazható blokkokból felépített modellt lehet készíteni. A blokkok ki- és bemenetei közötti kapcsolatokat összeköttetések jelképezik (5. ábra).

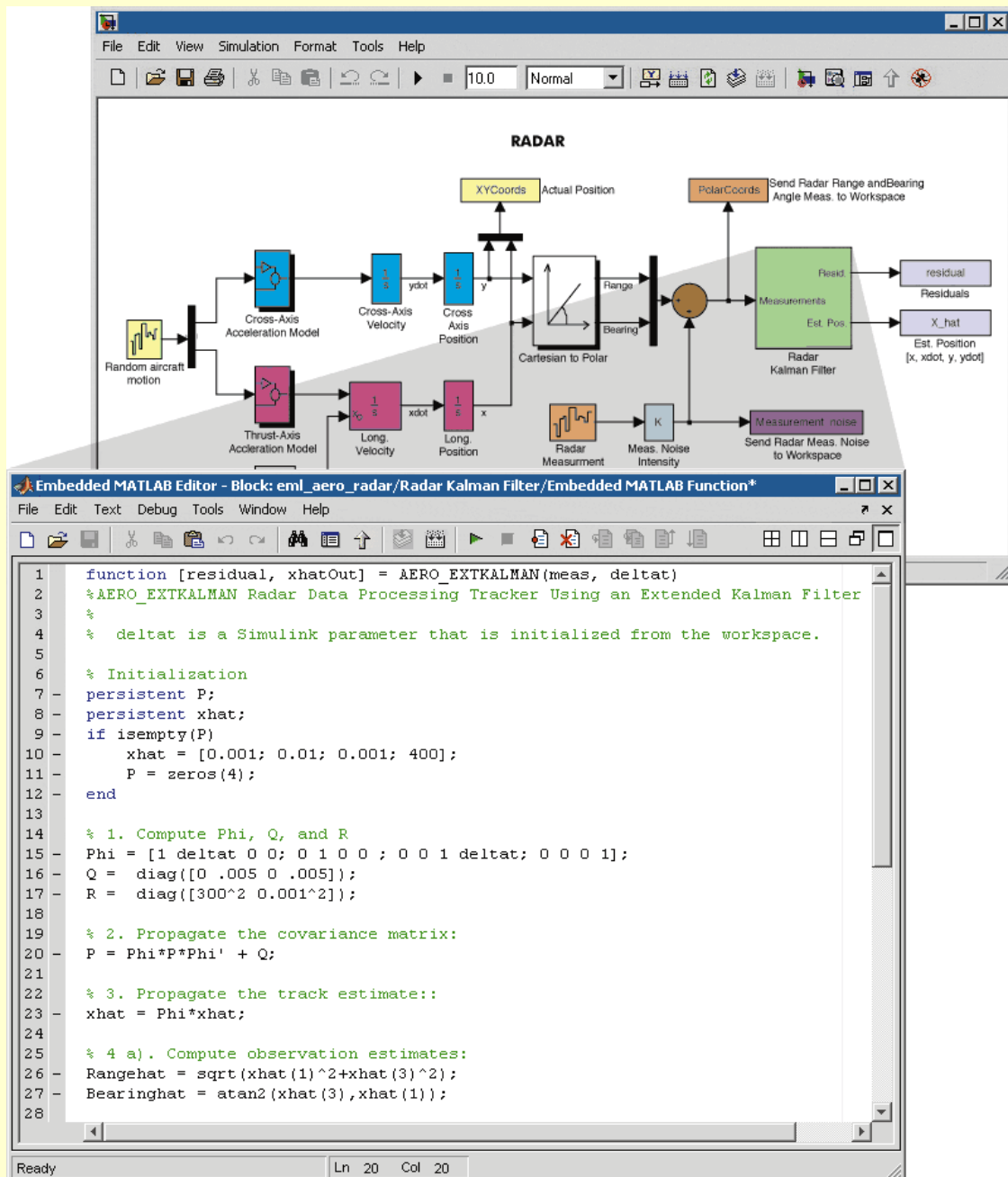


5. ábra Simulink blokkdiagramos programozása

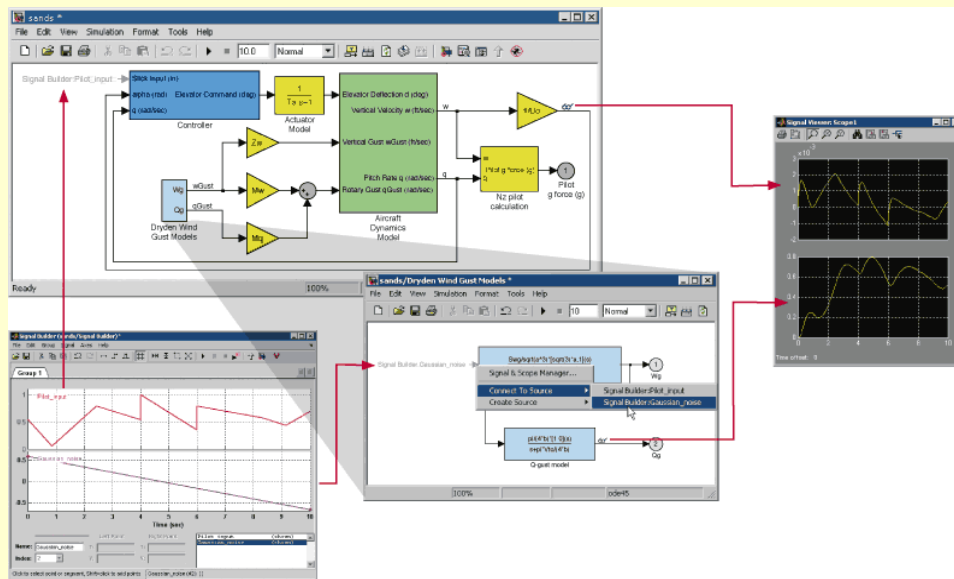
Simulinkben természetesen lehetőség nyílik egyedi blokkok fejlesztésére (MATLAB programozási nyelven vagy C-ben írt kód segítségével) (6. ábra), és speciális kiegészítő blokkok alkalmazásával valós fizikai mechanikus és elektromos rendszerek is egyszerűen modellezhetők (pl.: SimMechanics, SimPowerSystems).

Simulinkben felépített modell egyszerűen szimulálható, különböző időléptéket (folytonos, mintavételezett) és megoldási algoritmust választva. A modell működésének vizsgálatára, és az eredmények megjelenítésére számos lehetőség adott a számszerű megjelenítéstől az

idődiagram felrajzolásáig (7. ábra), sőt háromdimenziós képmegjelenítés is lehetséges. Természetesen az eredmények fájlban is tárolhatók és feldolgozhatók.



6. ábra Egyedi blokk fejlesztése MATLAB programkód segítségével



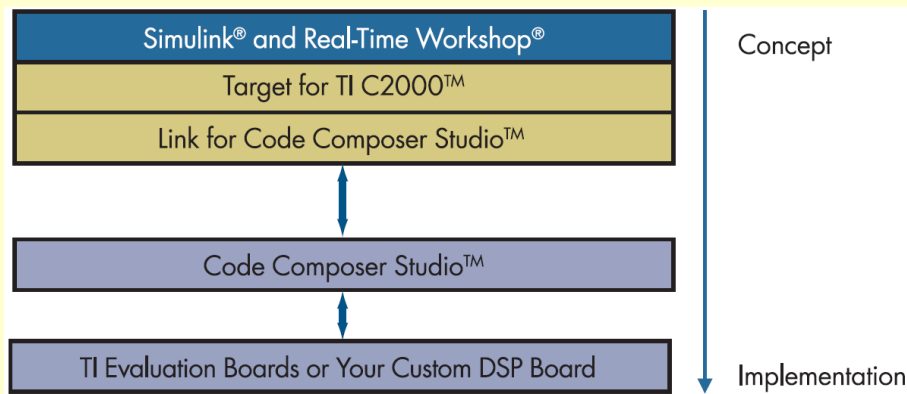
7. ábra Eredmények megjelenítése Simulinkben

Simulink blokkdiagrammal megadott modellből a Real-Time Workshop segítségével közvetlenül C kódot lehet előállítani, melynek segítségével a modell számos számítógépes rendszeren futtatható, a valós idejű rendszereket is beleértve. Simulink és a Real-Time Workshop segítségével lehetőség nyílik a gyors prototípusfejlesztésre, beágyazott valós idejű szabályozások kifejlesztésére és valós idejű szimulációk (Katona, 2015) egyszerű és gyors elvégzésére, így a fejlesztőrendszer akár valós idejű tesztek, Hardware-in-the-Loop alapú vizsgálatokra is alkalmas (Kovari, 2009) (Kovari, 2010a,b,c) (Kovari, 2012a,b) (Kovari, Fodor, 2012) (Kovari, 2015a,b,c).

3.1. Kódgenerálás a Target for TI C2000 toolbox és Link for Code Composer Studio segítségével

A Target for TI C2000 toolbox a Real-Time Workshop segítségével a Simulink blokk szintű modelljéből, mely a DSP perifériáit kezelő blokkokat is tartalmazza, C-nyelvű, valós idejű rendszeren futtatható kódot állít elő (Real-Time Workshop Embedded Codert használva). A Link for Code Composer Studio a generált C nyelvű kódból a Code Composer Studio segítségével elvégzi a kód lefordítását, összefűzését, a DSP-re történő letöltését és futtatását. Simulink modellből a felsorolt eszközök alkalmazásával egyetlen lépésben lehet a C-nyelvű kódot előállítani, lefordítani, összefűzni, letölteni és futtatni, mely nagymértékben megkönnyíti a fejlesztő dolgát.

A Target for TI C2000 toolbox C kódu a Code Composer Studio formátuma szerinti projektet hoz létre, mely megkönnyíti a generált kód szerkesztését Code Composer Studio segítségével.



8. ábra Kódgenerálás és DSP-n történő futtatás Simulinkből

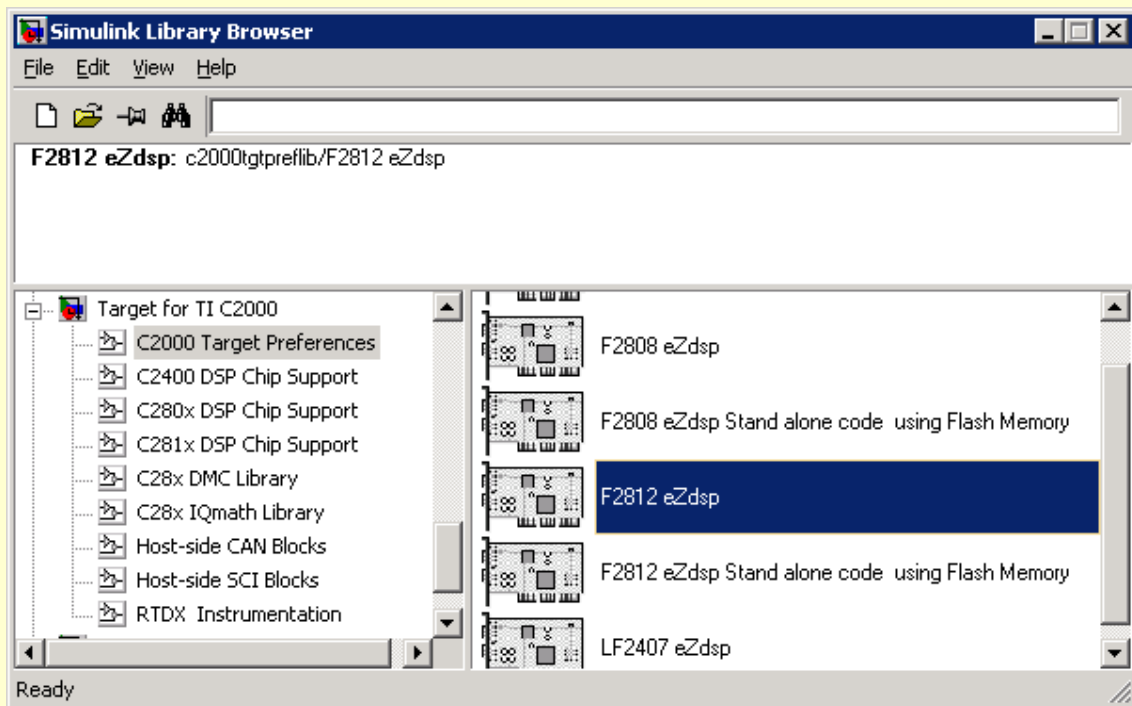
4. Példa A/D bemenet és PWM kimenet használatára

Ipari alkalmazásokban használt szabályozó berendezések nagyon sok esetben tartalmaznak kapcsolóüzemű konvertereket, melyeket impulzusszélesség modulációval (PWM) vezérelnek. Az F2812-es DSP PWM kimeneteket tartalmaz ezen feladatokban történő alkalmazásának megkönnyítésére. Természetesen a szabályozások a külvilágból gyűjtött információk alapján végzik a berendezés irányítását. A külvilágból jövő információkat mérőátalakítók alakítják át a szabályozó berendezések által feldolgozható általában analóg vagy digitális feszültségértékké. A DSP számára az A/D átalakítók alakítják át az analóg feszültségértéket a DSP számára feldolgozható, adott mintavételi idejű kódsorozattá. A DSP ezen két legfontosabb perifériájának használatát mutatja be az alábbi egyszerű feladat, mely külső feszültségforrás feszültség szintje alapján változó kitöltési tényezőjű PWM jelet állít elő.

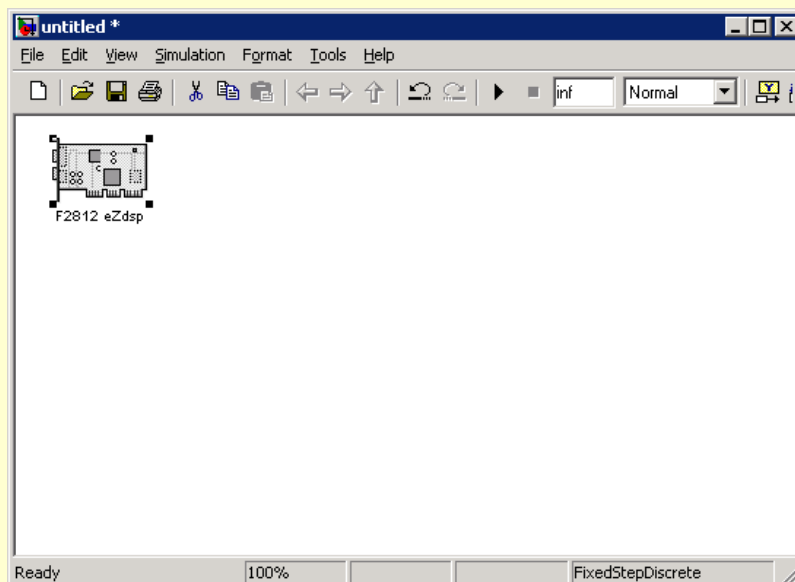
A MATLAB és a Simulink Library Browser elindítása után a Target for TI C2000 toolbox alatt találjuk a DSP kártya használatához szükséges konfigurálást (C2000 Target Preference), DSP perifériáinak kezelését (C281x DSP Chip Support), C28x digitális motor szabályozását, egyéb matematikai műveleteket és kommunikációt végző blokkjait.

A DSP kártya és processzor paramétereit beállító blokkok között többféle kártya is megtalálható, így az F2812 eZdsp is (9. ábra). A blokkot drag&drop átvéve a Simulink modellkészítő ablakába (10. ábra), a kártya használatához szükséges beállítások megadása

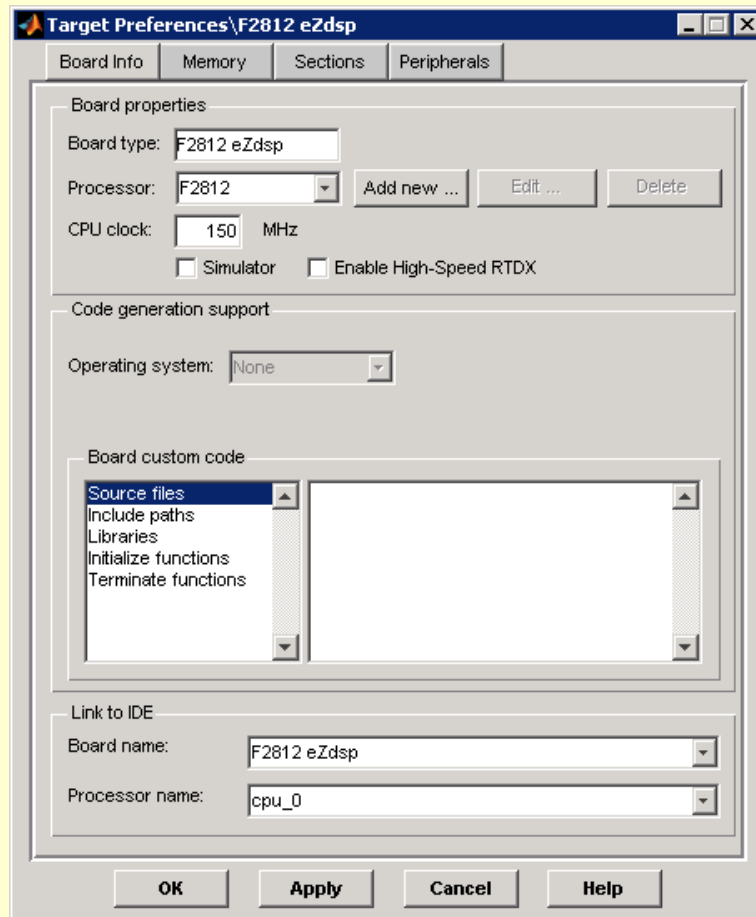
meg is történt, mert a blokk alapbeállításai ezeket tartalmazzák (11. ábra). Természetesen a beállítások módosíthatók, ha szükséges.



9. ábra Megfelelő DSP kártya kiválasztása

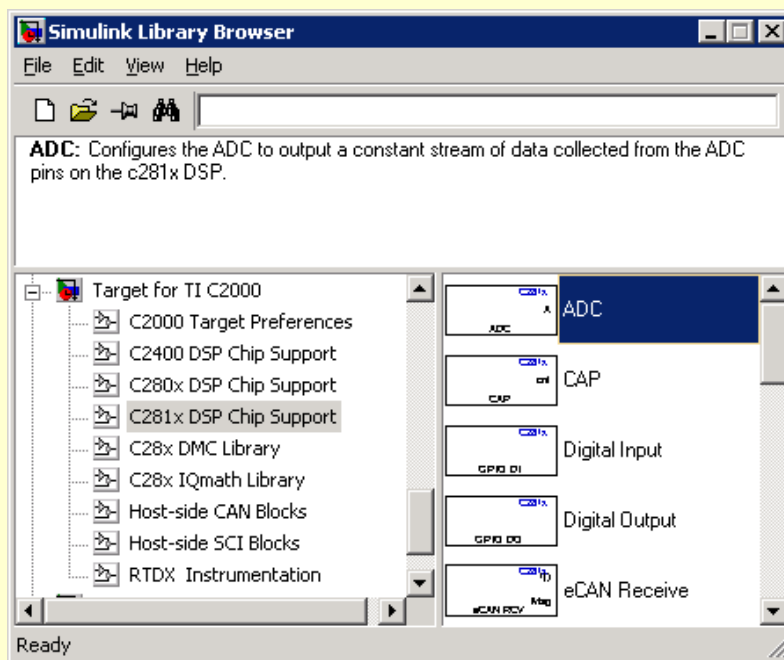


10. ábra DSP kártya beállítását lehetővé tevő blokk



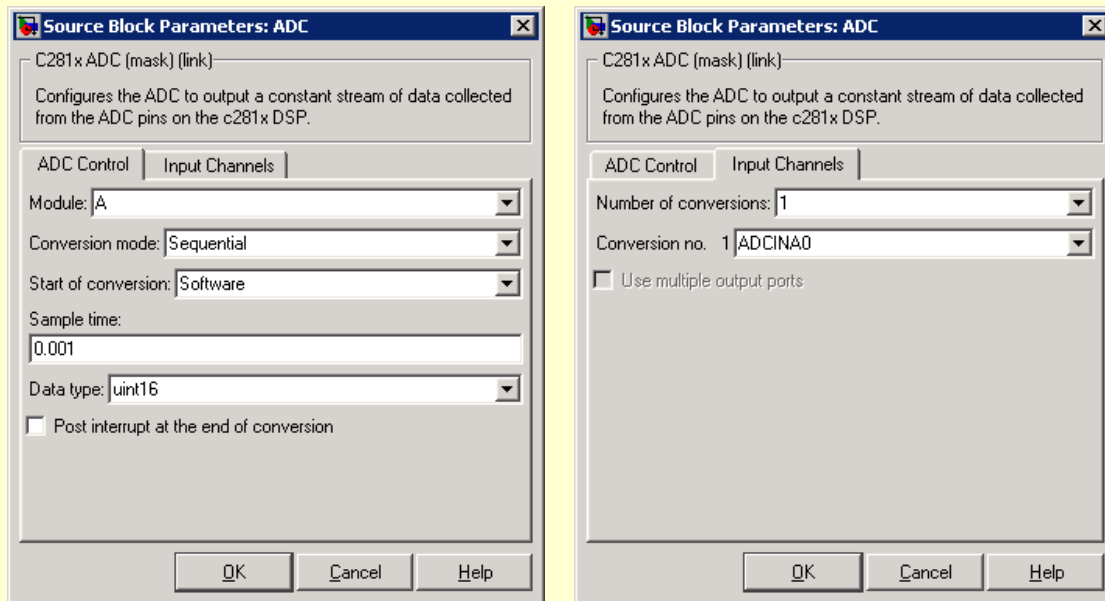
11. DSP kártya alapbeállításai

A megadott feladat elkészítéséhez szükség van az A/D átalakító és a PWM kimenet kezelésére. Ezek a blokkok a C281x DSP Chip Support könyvtárban találhatóak (12. ábra).



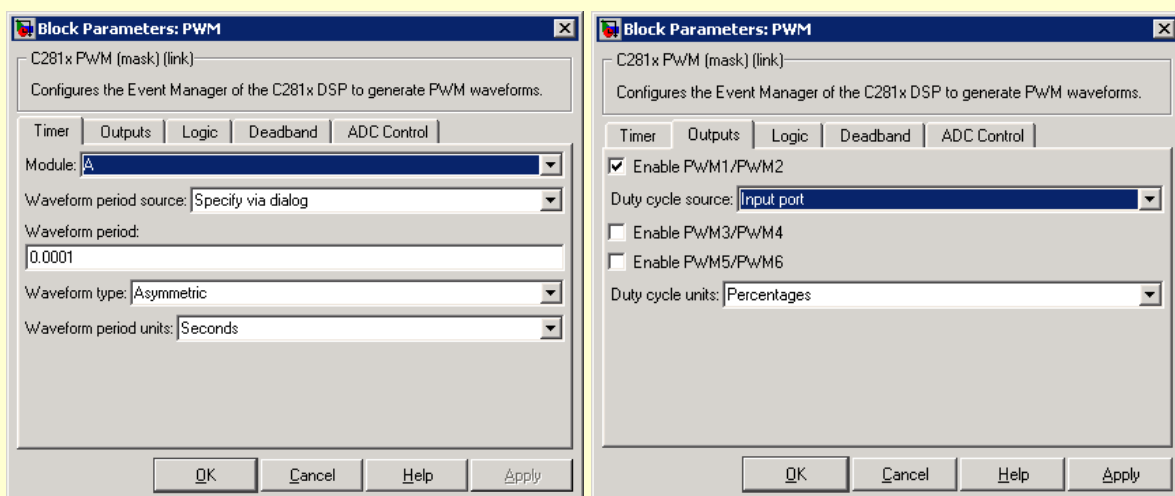
12. ábra DSP perifériái

A DSP A/D átalakítója 12 bites, bemeneti feszültségtartománya 0...3V. A DSP-ben két modulból (A és B) álló A/D átalakító található, 2x8 összesen 16 bemenettel. A mintavétel időpontja lehet szoftveres vagy időzítő vezérelt. A feladat megvalósításához az A modul 1-es csatornája kerül felhasználásra, melyen a bemeneti feszültség 1kHz-en kerül mintavételezésre (13. és 14. ábra).



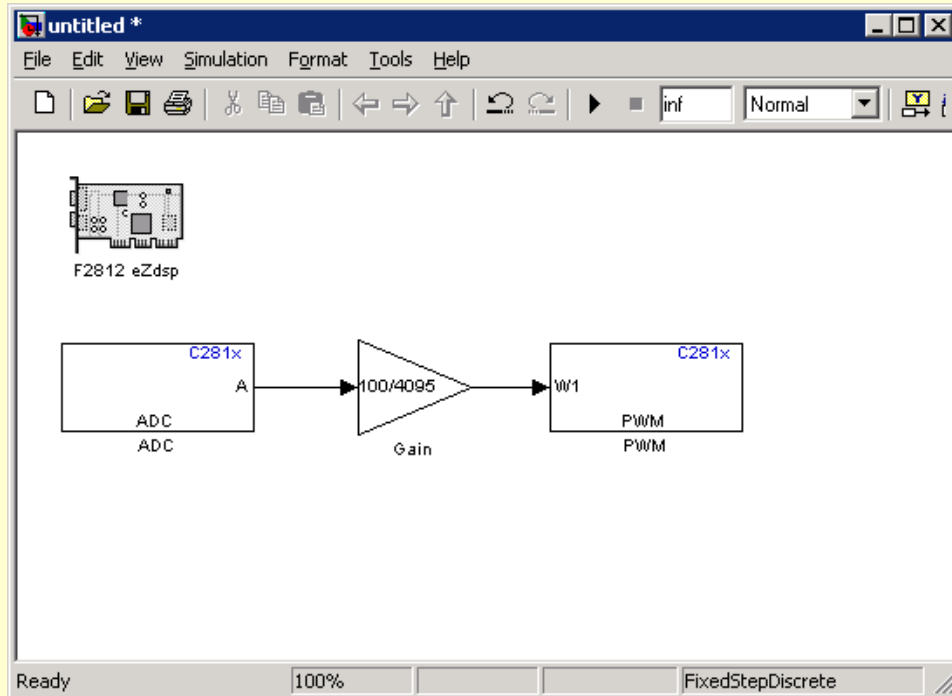
13. és 14. ábra A/D átalakító blokk paraméterező ablakai

A DSP-ben 6 pár PWM kimenet van, melyek segítségével a kapcsolóüzemű átalakítók kapcsolópárjai vezérelhetők. A feladat elkészítéséhez az 1-es PWM kimeneten, 10kHz frekvenciájú PWM jel kerül előállításra (15 és 16. ábra). A kitöltési tényező értékét a PWM blokk bementén százalékban kell megadni.



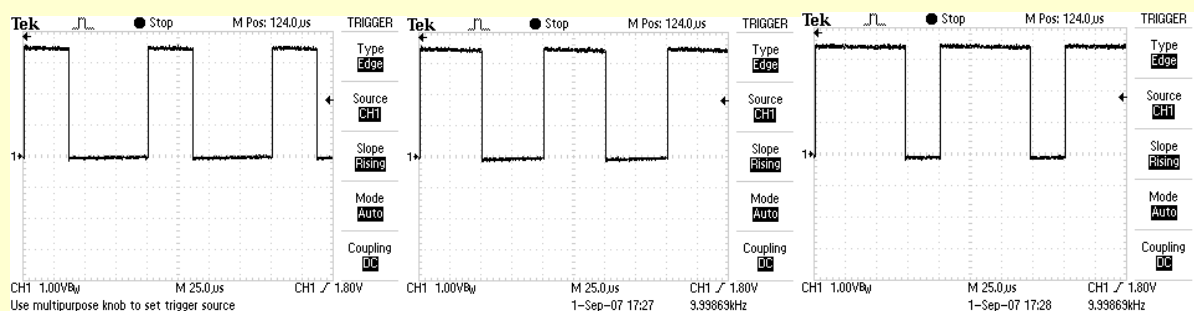
15. és 16. ábra PWM kimeneti blokk paraméterező ablakai

Mivel a PWM kitöltési tényező értékét százalékban kell megadni, így a 12 bites A/D átalakító eredményét át kell alakítani, a $0 \dots 2^{12}-1$ tartományt $0 \dots 100$ tartományra, melyet a két blokk közé helyezett erősítő blokk végez (17. ábra).



17. ábra Simulink blokkból felépített program

A Simulinkból történő program lefordítást, letöltést, futtatást a Tools/Real-Time Workshop/Build Model menüpontban, vagy a CTRL-B gombok egyidejű lenyomásával lehet indítani. A program letöltése után a bemenetre különböző nagyságú egyenfeszültségeket kapcsolva (1,1V, 1,5V, 2,2V) a PWM kimenetén megjelenő jel jelalakjai a 18. ábrán láthatók. Az ábrákon jól megfigyelhető a négyszögjel kitöltési tényezőjének változása a bemenő feszültség függvényében.



18. ábra PWM jel kitöltési tényezője 1,1V, 1,5V és 2,2V bemenet esetén

5. Összefoglalás

A mérnök informatikus képzés fontos része a hardver ismeretek elsajátítása, a hardver közeli programozás megismerése. A hardver közeli programozás területének talán legfontosabb része a beágyazott rendszerek programozása. Ezen speciális eszközök programozása többlettudást igényel, azonban egyes feladatok megoldására ma már rendelkezésre állnak olyan fejlesztőrendszerek, melyek segítségével magas szintű alkalmazásfejlesztés valósítható meg. A MATLAB Simulink az oktatás szempontjából is jól alkalmazható DSP vagy mikrovezérlők programjának fejlesztésére, mivel a hallgatók korábban például a matematika tárgy keretében a környezettel már megismerkedtek. A bemutatott egyszerű példa alapján láthatók a fejlesztés lépései, mely jól implementálható labor gyakorlatok formájában is az oktatásban.

Irodalom

Ferde O., Papp D., Kővári A. (2015). Arduino vezérelt mozgásérzékelős galambriasztó fejlesztése. *Informatikai terek. DUF Press*, 52-61.

Farkas, I., Dukan, P., Katona, J., Kovari, A. (2014). Wireless sensor network protocol developed for microcontroller based Wireless Sensor units, and data processing with visualization by LabVIEW. *2014 IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*. 95-98. doi:10.1109/sami.2014.6822383

Gelencser S., Kutschi Z., Doszkocs N., Kővári A. (2015). Olesó távvezérelt riasztó kialakítása. *Informatikai terek. DUF Press*, 167-174.

Gere A., Kővári A. (2015). Költséghatékony moduláris napelemes prototípusrendszer fejlesztése. *Szimbolikus közösségek. DUF Press*, 155-166.

Katona J. (2014) a. Agy-számítógép interfészek kialakításának, tervezésének szempontjai. *Az Informatika Korszerű Technikái*. (pp. 198-204) Budapest: DUF Press.

Katona J. (2014) b. Examination and comparison of the EEG based Attention Test with CPT and T.O.V.A. *2014 IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (CINTI)*. 117-120 doi:10.1109/CINTI.2014.7028659

Katona J., Ujbányi T., Kővári A. (2014). Agy-számítógép interfészek rendszerbe történő illesztése, *Dunakavics vol. 2 (6)*, pp. 29-38.

Katona J, Farkas I, Ujbanyi T, Dukan P, Kovari A. (2014). Evaluation Of The Neurosky MindFlex EEG Headset Brain Waves Data. *2014 IEEE 12th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*. 91-94. 10.1109/sami.2014.6822382

Katona J., Dukán P., Ujbanyi T., Kovari A. (2014). Control of incoming calls by a Windows Phone based Brain Computer Interface. *15th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics. CINTI*. 121-125. doi: 10.1109/CINTI.2014.7028661

Katona J. (2015). Aszteroida becsapódások hatásának összehasonlító elemzése szimulációs szoftver segítségével. *Informatikai terek*. (pp. 145-156) Dunaújváros: DUF Press.

Katona, J., & Kovari, A. (2015). EEG-based Computer Control Interface for Brain-Machine Interaction. *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, 11(6), 43-48. doi:10.3991/ijoe.v11i6.5119

Katona József, Kővári Attila (2015). *Objektumorientált szoftverfejlesztés alapjai: Gyakorlatorientált szoftverfejlesztés C++ nyelven Visual Studio Community fejlesztőkörnyezetben*, Budapest: Publio Kiadó.

Kovari, A., Kadar, L., & Halasz, S. (2004). The influence of inverter control algorithm and DC link voltage on the inverter switching loss. *2004 IEEE International Conference on Industrial Technology, 2004. IEEE ICIT '04*. 590-595. doi:10.1109/icit.2004.1490141

Kovari A. (2009). Hardwer-in-the-Loop Testing of an Electrohydraulic Servo System. *10th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics, CINTI 2009*. 631-642.

Kovari, A. (2009). Influence of cylinder leakage on dynamic behavior of electrohydraulic servo system. *2009 7th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics*. 375-379. doi:10.1109/sisy.2009.5291129

Kovari, A. (2009). Hybrid Current Control Algorithm for Voltage Source Inverters. *2009 First IEEE Eastern European Conference on the Engineering of Computer Based Systems*. 65-70. doi:10.1109/ecbs-eerc.2009.17

Kovari, A., & Kádár, I. (2010). Reduction Possibilities of Electrical Losses in Plastic Working Equipments. *Materials Science Forum*, 659, 505-510.

doi:10.4028/www.scientific.net/msf.659.505

Kovari, A. (2010). Real-Time HIL Closed Loop System of Rolling Mill's Electro-Hydraulic Gap Adjustment. *Materials Science Forum*, 659, 417-422.

doi:10.4028/www.scientific.net/msf.659.417

Kovari, A. (2010). Dynamic Model of Rolling Mill's Electro-Hydraulic Gap Adjustment System. *Materials Science Forum*, 659, 411-416. doi:10.4028/www.scientific.net/msf.659.411

Kóvári, A. (2010). Real-Time Modeling of an Electro-hydraulic Servo System.

Computational Intelligence in Engineering, 301-311. doi:10.1007/978-3-642-15220-7_24

Kóvári, A. (2012). Observer Based Leakage Detection of Hydraulic Cylinder Applied in Rolling Mills Electro-Hydraulic Gap Adjustment System. *Materials Science Forum*, 729, 424-429. doi:10.4028/www.scientific.net/msf.729.424

Kovari, A., & Fodor, D. (2012). Simulation of rolling mill's electro-hydraulic gap adjustment system. *2012 IEEE 13th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)*. 377-380. doi:10.1109/cinti.2012.6496793

Kovari, A. (2015). Effect of Leakage in Electrohydraulic Servo Systems Based on Complex Nonlinear Mathematical Model and Experimental Results. *Acta Polytechnica Hungarica*, 12(03), 129-146. doi:10.12700/aph.12.3.2015.3.8

Kovari, A. (2015). Real-Time Test Environment for Hydraulic Gap Adjustment System in Hot Rolling Mill. *Materials Science Forum*, 812, 125-130.

doi:10.4028/www.scientific.net/msf.812.125

Kovari, A. (2015). Influence of Internal Leakage in Hydraulic Capsules on Dynamic Behavior of Hydraulic Gap Control System. *Materials Science Forum*, 812, 119-124.

doi:10.4028/www.scientific.net/msf.812.119

Texas Instruments (2015). The Essential Guide to Getting Started with DSP. Link: <http://www.go-dsp.com/2005-fet/essentialguide/index.html> (2015.10.12)

Spectrum Digital (2015): Starter Kits.

Link: <http://www.spectrumdigital.com/> (2015.10.12)

Texas Instruments (2015). TMS320F2810, TMS320F2811, TMS320F2812, TMS320C2810, TMS320C2811, TMS320C2812 Digital Signal Processors Data Manual, SPRS1740 Link: <http://www.ti.com/lit/gpn/tms320f2812> (2015.10.12)

The Mathworks (2015): Simulink.

Link: <http://www.mathworks.com/products/simulink/> (2015.10.12)

The Mathworks (2015): Target for TI C2000™.

Link: <http://www.mathworks.com/products/tic2000/> (2015.10.12)