

Düşük Maliyetli DSP Uygulama Geliştirme Kartının Tasarımı ve Güç Sistemlerinde Harmonik Analizin Gerçekleştirilmesi

Metin Kesler¹, Metin Sunan²

^{1,2}Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
Elektrik Eğitimi Bölümü

¹metinkesler@kocaeli.edu.tr, ²metinsunan@yahoo.com

Özet

Bu çalışmada, endüstriyel uygulamalarda, otomotiv sektöründe, ve laboratuvar prototip geliştirmelerde oldukça sık kullanılan, düşük maliyetli yeni bir Sayısal İşaret İşlemci (DSP-Digital Signal Processor-) uygulama geliştirme kartı tasarımı hakkında bilgi verilmekte ve hızlı Hartley dönüşümü (FHT-Fast Hartley Transform) yöntemi kullanılarak güç sistemlerinde harmonik analizin nasıl gerçekleştirileceği incelenmektedir. Bu bağlamda, öncelikli olarak harmonik analiz yöntemleri hakkında kısa bir bilgi verilerek genel açıklama yapılmakta ve harmonik analizin gerçekleştirildiği FHT dönüşümlerinin avantajları açıklanmaktadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen uygulama ve simülasyon sonuçları karşılaştırılmaktadır.

Abstract

At this study, presented and given information about a new low cost DSP (Digital Signal Processor) starter kit that mostly using at industrial application and implementation a laboratory prototype process. This DSP starter kit is used at harmonic analyzing study and compared application and simulation result.

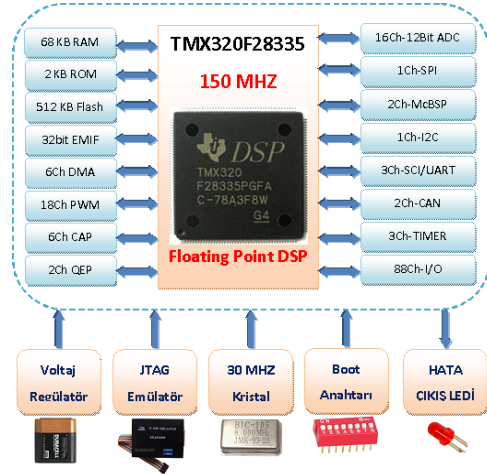
1. Giriş

Sayısal işaret işlemciler (DSP), mühendislik dizayn ve analiz çalışmalarında, otomotiv sanayinde, sayısal haberleşme, görüntü işleme ve güç sistem uygulamalarında, deneysel çalışmalarda, laboratuvar prototip geliştirme çalışmalarında ve endüstriyel tasarımlarda çok sık kullanılmaktadır. Tasarım esnasında bu denetleyicinin iyi seçilmesi, uygulamaların verimli olması açısından önemlidir. Çünkü merkezi denetim, karar verme ünitesi ve denetim algoritmalarının yürütüldüğü birimdir. Bu nedenle kullanılacak DSP'nin çevresel (peripheral) aygıtlarının, belleğinin (RAM) ve çalışma hızının yeterli olması gerekmektedir.

Yarı iletken teknolojide hızlı gelişmelere paralel olarak mikro işlemci (CPU) ve sayısal işaret işlemcilerde (DSP) büyük ilerlemeler kaydedilmektedir. DSP'lerin CPU'lara göre en önemli üstünlükleri ADC, PWM, SPI, FLASH, SCI vs. gibi farklı çevresel birimleri içermesidir. Ayrıca DSP'ler paralel işlem yapabilme ve güçlü matematiksel işlem birimlerine sahiptirler. Bu çalışmada, TI firması tarafından geliştirilen işaret işleme ve sistem kontrol alanının da yeni ve güçlü bir işlemci olan TMS320F28335 DSP yongası kullanılmaktadır

2. F28335DSP Uygulama Geliştirme Kartı

F28335DSP uygulama geliştirme kartı, TI C2000 DSP çekirdek ailesine ait 32bit kayan noktalı (floating-point), saniyede 150 milyon işlem yapabilen TMS320F28335PGFA DSP yongası kullanılarak tasarlanmıştır. Ayrıca bu DSP yongası, 16 adet 12bit 25.5Mhz örnekleme hızında ADC, 18 adet motor kontrol ve genel amaçlı PWM, 6 adet sinyal yakalama (CAP) ve 2 adet enkoder (QEP), 3 adet UART (SCI), 2 adet McBSP seri haberleşme protokolü, 1 adet SPI seri haberleşme protokolü, 3 adet 32bit Timer, 88 adet genel amaçlı giriş-çıkış (I/O) birimi, 512KB FLASH bellek, 68 KB RAM bellek, 2KB ROM bellek, 1 adet 6 kanallı DMA (Direct Memory Access) birimi ve 1 adet 32 veya 16 bit EMIF (External Memory Interface) özelliklerinde çevresel birimler içermektedir. Şekil 1 'de Tasarlanan F28335DSP uygulama geliştirme kartı genel blok şeması verilmektedir.



Şekil 1: Tasarlanan F28335 DSP uygulama geliştirme kartı genel blok şeması

Çoğu DSP yongaları farklı çevresel birimler için farklı gerilim seviyelerine ihtiyaç duymaktadırlar. Ayrıca farklı gerilim yükselme zamanlarında çalışmaktadırlar. Örneğin TI C2000 ailesine ait F281x ve F24xx serilerinde çevresel birim ve merkezi çekirdeğin besleme gerilim yükselme zamanları farklıdır. Merkezi birim nominal çalışma gerilim seviyesine çıktıktan 200ms sonra çevresel birimler beslenmelidir. Bu çalışmada kullanılan TI C2000 ailesinin yeni üyesi olan

TMS320F28335 DSP yongasında bu olumsuz durum ortadan kaldırılmıştır. Çevresel giriş/çıkış birimi (I/O) 3.3Volt gerilim seviyesinde ve analog sayısal dönüştürme (ADC) birimleri 1.9V ve 3.3Volt gerilim seviyesinde çalışabilmektedir. DSP merkezi işlem birimi maksimum 1.8V-1.9Volt gerilim seviyesi aralığında çalışmaktadır. Tasarlanan F28335 DSP kontrol kartında 5Volt luk sabit bir gerilim kaynağı ile ihtiyaç duyulan farklı gerilim seviyeleri gerilim düzenleyiciler kullanılarak elde edilmektedir.

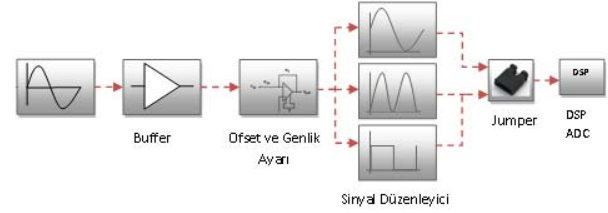
Tasarlanan F28335DSP uygulama geliştirme kartında DSP çekirdeğini programlama, hata ayıklama ve gerçek zamanlı veri alış-veriş işlemlerini yapabilmek için IEEE-1149.1 standardında tanımlanan JTAG portu kullanılmaktadır. Kart üzerinde DSP'nin çalışabilmesi için harici olarak 30Mhz kristal osilatör kullanılmaktadır. 30Mhz kristal frekansı, DSP içerisindeki PLL modülü vasıtasıyla 5 kat yükseltilerek DSP'nin 150Mhz frekansta çalışması sağlanmaktadır. Düşük frekanslı kristal kullanılmaktaki amaç; DSP'nin gürültü ve EMI girişimlerinden daha az etkilenmesini sağlamaktır. Şekil 2'de Tasarlanan F28335DSP kontrol kartının resmi görülmektedir.



Şekil 2: Tasarlanan F28335DSP uygulama geliştirme kartı

DSP çekirdeğindeki dahili ADC yalnızca 0-3V arası analog sinyalleri sayısal değerlere çevirebilmektedir. Bu yüzden AA (Alternatif Akım) sinyalinin negatif alternansı işlenememektedir. Bu sorun iki şekilde giderilebilir, birincisi, AA sinyali analog devreler vasıtasıyla, sinyalin tamamı pozitif olacak şekilde sıfır eksenine üzerine kaydırılarak DSP tarafından ölçüm alınabilir. Bu yöntemin dezavantajı örneklenecek sinyalin çözünürlüğünün düşmesi ve DSP içerisinde yazılımla tekrar alternatif akıma çevrilmesi için sinyalin sıfır noktasının iyi tespit edilmesinin gerekliliğidir. Aksi halde sinyal yanlış örneklenebilir. İkinci yöntem ise AA sinyalinin tam dalga doğrultucudan geçirilerek DA (Doğru Akıma) sinyaline çevirmektedir. DA'ya çevrilen bu sinyalin

pozitif ve negatif alternanslarını ayırt etmek için ayrı bir işaret sinyali üretilmektedir. Şekil 3'de analog sinyaller için ölçüm genel blok şeması görülmektedir. Tam dalga DA'ya çevrilen sinyaller DSP'nin analog girişlerine ve üretilen işaret sinyali ise DSP'nin sayısal girişlerine uygulanmaktadır.



Şekil 3: Analog sinyallerin ölçüm genel blok şeması

DSP yazılımı içerisinde ölçülen her sinyalin işaretine bakılarak sinyal tekrar AA sinyaline dönüştürülmektedir. Bu yöntemin avantajı sinyal örneklendiğinde çözünürlüğün korunmasıdır.

Tablo1'de tasarlanan F28335DSP uygulama geliştirme kartı ile Spectrum Digital firmasının aynı DSP yongasını kullanarak ürettiği eZdspF28335 DSK[1] ve piyasada en uygun temin edilebilen Microchip firmasının yeni 32bit işlemcisi kullanarak ürettiği PIC32 Starter kit[2] kartlarının karşılaştırılması verilmektedir. Karşılaştırma tablosunda önemli ve avantaj sağlayan özellikler koyu olarak işaretlenmiştir. Tablo 1'de verilen karşılaştırmaları fiyat ve performans kriterine göre değerlendirdiğimizde geliştirilen F28335DSP kartının avantajlı olduğu görülmektedir.

Tablo 1: Uygulama geliştirme kartlarının karşılaştırılması

	F28335DSP	eZdsp F28335	PIC32MCU
<i>Fiyat</i>	45 \$	515 \$	50 \$
<i>CPU</i>	32bit floating	32bit floating	32bit fixed
<i>Hız</i>	150 Mhz	150 Mhz	80 Mhz
<i>RAM</i>	68 Kb	68 Kb	32 Kb
<i>Flash</i>	512 Kb	512 Kb	512 Kb
<i>Harici RAM</i>	YOK	2Mb	YOK
<i>ADC</i>	16 adet -12bit 25 Mhz	16 adet -12bit 25 Mhz	16 adet-10bit 500 khz
<i>GPIO</i>	88 adet	88 adet	85 adet
<i>PWM</i>	18 adet	18 adet	5 adet
<i>DMA</i>	6 Adet	6 Adet	4 Adet
<i>TIMER</i>	3 Adet 32bit	3 Adet 32bit	5 Adet 16bit
<i>JTAG</i>	VAR-LPT	VAR-USB	VAR-USB
<i>SPI</i>	1 Adet	1 Adet	2 Adet
<i>UART</i>	3 Adet	3 Adet	2 Adet

3. Harmonik Analiz Yöntemleri

Güç sistemlerinde elektrik enerjisinin verimliliğini ve yükün güç kalitesini artırmak için harmoniklerin yok edilmesi gerekmektedir. Harmonikler, elektromanyetik cihazlarda ısınma, mekanik cihazlarda titreşim ve gürültülü çalışmaya, şebekede güç faktörünün azalmasına, aşırı nötr akımlarına ve nötr iletkeni problemlerine, ateşleme devrelerinin anormal çalışmasına, hassas elektronik kartların arızalanmasına,

elektronik ölçüm cihazlarının doğru çalışmamasına, güç kondansatörlerinde aşırı ısınma ile ömrünün azalmasına ve kayıplara, iletim hatlarında, kablolarda ısınma ve enerji kayıplarına yol açmaktadır[3].

Aşağıda harmonik analiz yöntemlerinde en çok kullanılan Fourier ve Hartley dönüşüm yöntemleri hakkında genel açıklama yapılmaktadır.

3.1. Fourier Dönüşümü (Fourier Transform)

Fourier dönüşümü, her frekansa ait sinüs dalgası için genlik ve evre hesaplayan bir fonksiyondur. Dönüşüm sürekli zaman fonksiyonlarına veya ayrık zaman fonksiyonlarına uygulanmaktadır. Eğer dönüşüm kesikli zaman aralıklı değerlerden oluşmuş ise ayrık frekanslar daki sinüzoidal fonksiyonların serisi şeklinde gösterilebilir. Bu frekanslar asıl frekansın iki, üç ve daha büyük katlarıdır. Bu şekildeki sinüslerin toplamına Fourier serisi denmektedir. Zaman domainindeki bir sinyali frekans domanine aktarma işlemine Fourier dönüşümü denilmektedir. Bu dönüşümden sonra fonksiyon karmaşık ve eksponansiyel ifadeler şekline dönüşür ve bize mühendislik, analiz ve dizayn konusunda büyük kolaylıklar sağlar[4].

Bir elektrik sinyali hakkında bilgi alabilmek (frekans, genlik ve evresini öğrenmek) için bu sinyal Fourier serisi ile yazılmaktadır. Aşağıdaki verilen (1) nolu eşitlikte Fourier serisinin açılımı verilmektedir.

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) \right) \quad (1)$$

Her bir harmonik frekansı için ayrı ayrı hesaplanan a_0, a_n, b_n katsayıları eşitlik (2)'de verilmektedir.

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) dt \quad a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) dt \quad (2)$$

Eşitlik (1) de verilen Fourier serisi gerekli sadeleştirmeler yapıldığında eşitlik (3)'teki gibi yazılabilmektedir. A_0 katsayısı sinyalin DA, seviyesini A_n katsayısı hesaplanan harmonik frekansa ait genliğini ve θ_n ise açısını vermektedir. Bu katsayıların eşitlikleri (4)'de verilmektedir.

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(A_n \cos\left(\frac{n2\pi t}{T} + \theta_n\right) \right) \quad (3)$$

$$A_0 = \frac{1}{2}a_0 ; A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} ; \theta_n = \arctan\left(-\frac{b_n}{a_n}\right) \quad (4)$$

$\omega t = 2\pi f t$ ve $e^{-i\omega t} = \cos \omega t - i \sin \omega t$ olmak üzere tanımlama yaptığımızda (5)'de Fourier dönüşüm eşitliği verilmektedir.

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (5)$$

Eşitlik (5)'de verilen dönüşüm fonksiyonu sabit ΔT aralıklarla N kadar örnekleğinde eşitlik (6)'da verilen (DFT-Discrete Fourier Transform) ayrık Fourier dönüşümünü elde edilmektedir[5].

$$F[k\omega] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f[n\Delta T] e^{-jk\omega n\Delta T} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (6)$$

3.2. Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)

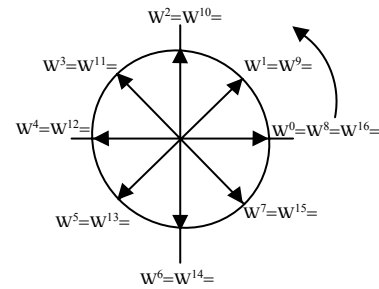
Faz faktörü $W = e^{-j2\pi/N}$ eşitliği ile ifade edilmektedir. Eşitlik (6) faz faktörüne göre tekrar yazıldığında eşitlik (7) elde edilmektedir.

$$F[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f[n] W^{kn} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (7)$$

Eşitlik (7)'de verilen DFT ayrık Fourier dönüşümünde, $N=8$ olarak alındığında eşitliği $F=Wx$ matris formunda yazılacak olursa,

$$\begin{bmatrix} F[0] \\ F[1] \\ F[2] \\ \vdots \\ F[N-1] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W^0 & W^0 & W^0 & \dots & W^0 \\ W^0 & W^1 & W^2 & \dots & W^{(N-1)} \\ W^0 & W^2 & W^4 & \dots & W^{2(N-1)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W^0 & W^{(N-1)} & W^{2(N-1)} & \dots & W^{(N-1)(N-1)} \end{bmatrix} X \begin{bmatrix} f[0] \\ f[1] \\ f[2] \\ \vdots \\ f[N-1] \end{bmatrix}$$

Buradaki W matrisi $7 \times 7 = 49$ değer almaktadır. Şekil 4'den de anlaşılaçağı gibi W matrisinin 49 değerinden 46 değeri $1, \frac{1}{2} + j\frac{1}{2}, j\frac{1}{2}$ sayılarının eşleniğinden veya negatif değerlerinden oluşmaktadır. Ayrık Fourier dönüşümün bu yöntem kullanarak gereksiz hesaplamaların azaltılma işlemine FFT (Fast Fourier Transform) hızlı Fourier dönüşümü denilmektedir[5].



Şekil 4: $N=8$ için W matrisinin aldığı değerler

3.3. Hartley Dönüşümü (Hartley Transform)

Güç sistemlerinde harmoniklerin analizinde kullanılan yöntemlerden biri olan Hartley dönüşümü, Fourier dönüşüm serileri kullanılarak üretilmektedir.

$\cos(x) = \cos(x) + \sin(x)$ şeklinde tanımlama yapıldığında eşitlik (1)'de verilen Fourier serisi eşitlik (7)'deki gibi yazılabilmektedir.

$$f(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{2}(a_n + b_n) \cos\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) + \frac{1}{2}(a_n - b_n) \cos\left(\frac{-n2\pi t}{T}\right) \right) \quad (7)$$

a_n ve b_n katsayıları eşitlik (2)'deki gibi hesaplanmaktadır. Bu katsayılar $a_{-n} = a_n$ ve $b_{-n} = -b_n$ değerlerini aldığından (7) 'de verilen eşitlik (9)'da ki gibi yazılabilmektedir.

$$f(t) = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \left((a_n + b_n) \cos\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) \right) \quad (8)$$

Eşitlik (8)'de verilen katsayılar $S_n = \frac{1}{2}(a_n + b_n)$ şeklinde tanımlanırsa, Fourier serileri kullanarak eşitlik (9)'da verilen Hartley serisi elde edilmektedir[5].

$$f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} S_n \cos\left(\frac{n2\pi t}{T}\right) \quad (9)$$

Eşitlik (9)'da verilen S_n katsayısı eşitlik (10)'da ki gibi hesaplanabilmektedir. Böylece $a_0 = 2S_0$, $a_n = S_{-n} + S_n$ ve $b_n = -S_{-n} + S_n$ şeklinde hesaplanabilmektedir[5].

$$S_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) dt \quad (10)$$

3.4. Hızlı Hartley Dönüşümü (Fast Hartley Transform)

Hızlı Hartley Dönüşümü (FHT), Hızlı Fourier Dönüşüm (FFT) yöntemine çok benzemektedir. FHT dönüşümünün FFT dönüşümünden ayıran önemli farklarından biri $\frac{1}{2}N \log_2 N$ karmaşık işleme karşılık FHT de $\frac{1}{2}N \log_2 N$ adet reel işlem yapılmaktadır. Diğer önemli avantajı ise aynı N örnekleme sayısında $\frac{1}{2}$ daha az hafıza alanı kullanmaktadır[5,6].

Hartley dönüşümün eşitliği (11)'de verilmektedir. Ayrık Fourier dönüşümünde olduğu gibi eşitlik (11)'de verilen Hartley dönüşüm fonksiyonu sabit ΔT aralıklarla N kadar örnekleştirmiş eşitlik (12)'de verilen (DHT-Discrete Hartley Transform) ayrık Hartley dönüşümünü elde edilmektedir.

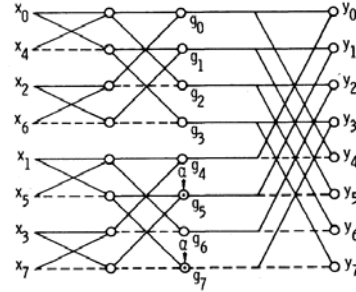
$$H(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cos(\omega t) dt \quad (11)$$

$$H[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f[n] \cos\left(\frac{nk2\pi}{N}\right) \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (12)$$

Eşitlik (12)'de $V = \cos\left(\frac{nk2\pi}{N}\right)$ şeklinde bir matris tanımlayacak olursak eşitlik (13) elde edilmektedir.

$$H[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f[n] V_{[k,n]} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (13)$$

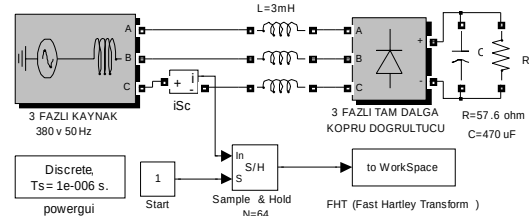
Eşitlik (13)'de verilen $V_{[k,n]}$ matrisini oluşturan elemanlar benzer gerçek sayılar ve bu sayıların negatif değerlerinden meydana gelmektedir. Hızlı Fourier dönüşüm yönteminde olduğu gibi ayrık Hartley dönüşüm yönteminde de bu şekilde gereksiz hesaplamaların kısaltılması işlemine hızlı Hartley dönüşümü (FHT- Fast Hartley Transform) denilmektedir. Şekil 5'de $\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ve N=8 için örnek bir FHT hesaplama algoritması verilmektedir[5].



Şekil 5: N=8 için FHT hesaplama algoritması

4. Deneysel Çalışma ve Sonuçlar

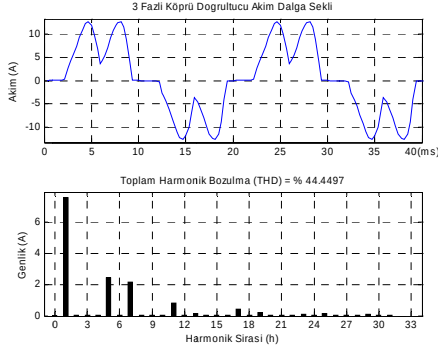
Geliştirilen F28335DSP uygulama geliştirme kartı ile yapılan örnek deneysel çalışmada, alternatif akımdan doğru akıma dönüşüm yapan, doğru akımın gerektiği birçok yerde kullanılan 3 fazlı tam dalga köprü doğrultucunun şebekeden çektiği akımın harmonik analizi incelenmektedir. Uygulama sonuçları ile simülasyon sonuçlarını karşılaştırma yapmak için doğrultucunun şebekeden çektiği akımın harmonik analizi Matlab/Simulink ortamında da yapılmaktadır. Laboratuvar ortamında kurulan doğrultucu sisteminin bağlantı şekli ve parametreleri Şekil 6'da Matlab/Simulink yazılımı ortamında blok diyagram olarak verilmektedir.



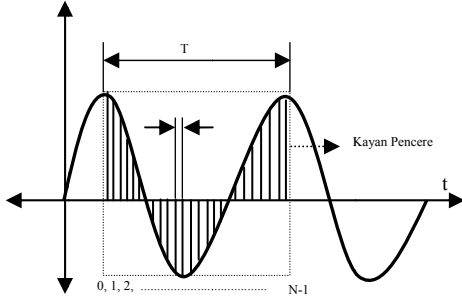
Şekil 6: 3 fazlı tam dalga köprü doğrultucunun Matlab/Simulink ortamında simülasyonu

Doğrultucunun şebekeden çektiği harmonikli akım Matlab/Simulink ortamında deneysel uygulamayla aynı olması için N=64 değerinde örnekleterek ayrık sinyale çevrilmekte ve harmonik analiz simülasyonu yapılmaktadır. Şekil 7'de harmonik analiz simülasyon sonucu verilmektedir.

Sayısal işaret işlemciler (DSP) sürekli zaman analog sinyallerini ayrık zaman sinyale çevirerek işlem yapmaktadırlar. Sürekli zaman analog sinyaller sabit (ΔT) aralıklarla kayıt edilerek ayrık zaman sinyaline dönüştürülmektedir. Örneğin bir analog sinyali saniyede 15 bin defa sabit (ΔT) aralıkla kayıt yaparsak 15Khz le örneklemiş oluruz. Şekil 8'de sürekli zaman sinyalin kayan pencere yöntemi ile örnekleterek ayrık sinyale çevirme tekniği verilmektedir.



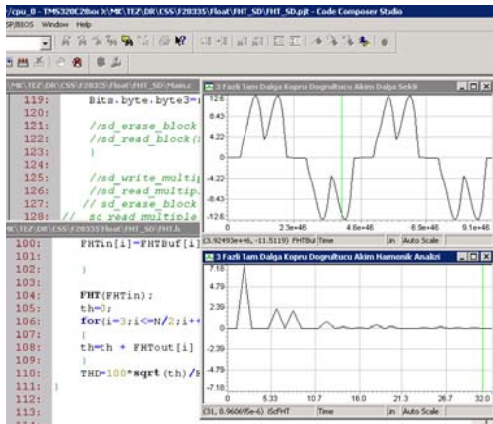
Şekil 7: 3 fazlı tam dalga köprü doğrultucu akımının Matlab ortamında harmonik analizi



Şekil 8: sürekli zaman sinyalin örneklenmesi.

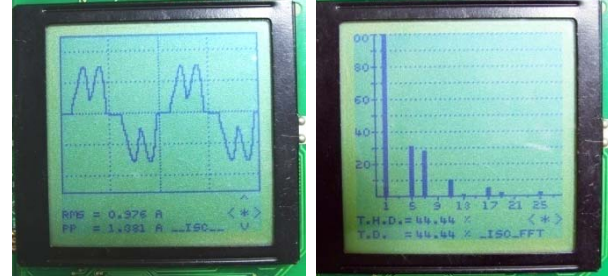
Laboratuar ortamında kurulan 3fazlı tam dalga köprü doğrultucunun şebekeden çektiği akım, Şekil 3'de verilen sinyal ölçüm yöntemi kullanılarak DSP ortamına aktarılmaktadır. Doğrultucunun çektiği akım, Şekil 8'de verilen kayan pencere yöntemi kullanılarak ve N=64 alınarak örneklenmektedir.

Örneklenen akım sinyali, DSP ortamında hızlı Hartley dönüşüm (FHT) algoritması[5,6] kullanılarak harmonik analizi gerçekleştirilmektedir. Elde edilen harmonik analiz sonucu ve sinyalin dalga şekli Şekil 9'da görüldüğü gibi TI C2000 Code Composer Studio yazılımı ortamında çizdirilmektedir.



Şekil 9: DSP ortamında 3fazlı tam dalga köprü doğrultucu akım dalga şekli ve harmonik analiz sonucu

Ayrıca elde edilen harmonik analiz sonucu ve sinyalin dalga şekli 128x128 çözünürlüğünde grafik LCD üzerinde çizdirilerek görselleştirilmektedir. Gerek Matlab ortamında gerekse DSP ortamında elde edilen sonuçlar aynı çıkmaktadır. 3 fazlı tam dalga köprü doğrultucunun şebekeden çektiği akımının toplam harmonik bozulumu (THD-Total Harmonic Distortion) %44,4 çıkmaktadır. Analiz sonuçlarına baktığımızda 5. harmonik %30, 7. harmonik %28, 11.harmonik %10 ve 17.harmonik %5 çıkmaktadır.



Şekil 10: harmonik analiz sonucu ve sinyalin dalga şeklinin grafik LCD üzerinde görselleştirilmesi.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, endüstriyel uygulamalarda ve laboratuar prototip çalışmalarda oldukça sık kullanılan, düşük maliyetli yeni bir DSP uygulama geliştirme kartı tasarımı açıklanmakta ve örnek bir uygulama için harmonik analiz çalışması verilmektedir. Tasarlanan F28335DSP kartının fiyat ve performans kriterlerine göre karşılaştırılması yapıldığında diğer uygulama geliştirme kartlarına göre oldukça avantajlı olduğu görülmektedir. Ayrıca bu deneysel çalışmada yapılan tasarım (F28335DSP ve grafik LCD kartı ile birlikte) harmonik analiz cihazı yerine kullanılabilir.

6. Kaynaklar

- [1] eZdspF28335 DSK
http://www.spectrumdigital.com/product_info.php?cPa th=31&products_id=198&osCsid=ce26303190978b433371fc9b76ca4856 (Ziyaret Tarihi: 5 Eylül 2008).
- [2] Microchip PIC32 Starter Kit
http://www.microchip.com/stellent/idcplg?IdcService=SS_GET_PAGE&nodeId=2591&link=Today'sFeatures (Ziyaret Tarihi: 5 Eylül 2008).
- [3] Kesler M., Uçar M., Özdemir E., Paralel Aktif Güç Filtresi İçin DSP Tabanlı Denetim Algoritmasının Otomatik Gömülü Kod Üretimi İle Hızlı Prototiplendirilmesi", Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO 2006, Bursa, 181-185, (2006)
- [4] A.V. Oppenheim, AS. VVillsky. I. T. Young 'Signals and Systems", Prentice - Hall, 1983
- [5] Acha. E, Madrigal. M, "Power System Harmonics Computer Modeling and Analysis", Wiley.J-Sons. Press 2002
- [6] R. N. Bracewell, "The Hartley transform,Oxford University Press",1986
- [7] R. N. Bracewell, "Discrete Hartley transform," J. Opt. Soc. Amer.,vol. 73, pp. 1832-1835, Dec. 1983.
- [8] R. N. Bracewell,, "The fast Hartley transform," Proc. IEEE, vol. 72, pp. 1010-1018, Aug. 1984.