

# Bilgisayar ve DSP Destekli Harmonik Analiz Sistemi Geliştirilmesi ve Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisine Uygulanması

Metin Kesler<sup>1</sup>, Engin Özdemir<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi  
Elektrik Eğitimi Bölümü

<sup>1</sup>metinkesler@kocaeli.edu.tr, <sup>2</sup>eoazdemir@kocaeli.edu.tr

## Özet

*Bu çalışmada, güç sistemlerinde harmonikler ve etkileri hakkında kısa bilgi verilmekte, güç sistemlerinde elektrik enerjisinin verimliliğini ve yükün güç kalitesini artırmak için harmoniklerin yok edilmesinin gerekliliği açıklanmaktadır. Geliştirilen bilgisayar ve DSP tabanlı harmonik ölçüm sistemi ve Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisine (BGKD) uygulanması örnek ölçüm sonuçları ile verilmektedir. Geliştirilen bilgisayar destekli analiz ve izleme sistemi ile BGKD ait tüm akım ve gerilim bilgileri elde edilerek aşırı akım, aşırı gerilim ve herhangi bir hata oluşması durumunda müdahale ederek sistemin güvenli çalışması sağlanmaktadır.*

## 1. Giriş

Güç sistemlerinde ideal koşullarda alternatif akımın dalga şekli sinüs eğrisi biçimindedir. Güç elektroniğinde yaşanan gelişmelere paralel olarak; bilgisayarlar, ofis ekipmanları, doğrultucular, eviriciler, ayarlı hız kontrol cihazları, kesintisiz güç kaynakları ve anahtarlamalı güç kaynakları gibi doğrusal olmayan yüklerin kullanımı artmaktadır. Bu tip yüklerin kullanılmasından dolayı temel sinüs dalga şeklinde bir takım bozulmalar oluşmaktadır. Temel sinüs dalga şeklini bozan farklı genlik ve farklı frekanstaki bu sinüzoidal işaretler güç sistemlerinde harmonikler olarak adlandırılmaktadır. Yüksek değerli harmonikler genel olarak şebekede enerji kalitesinin bozulmasına yol açmakta, enerji taşıyıcı kablolarda ısınma, hat sonlarındaki gerilimlerin düşmesine, transformatörlerde ısınmalara, güç kondansatörlerinde aşırı ısınma ile ömrünün azalmasına ve kayıplara, elektromanyetik cihazlarda ısınma, mekanik cihazlarda titreşim ve gürültülü çalışma, şebekede güç faktörünün azalmasına, aşırı nötr akımlarına ve nötr iletkeni problemlerine, ateşleme devrelerinin anormal çalışmasına, hassas elektronik kartlarda arızalanma, elektrik motorlarında ısınmalara ve sargıların hasar görmesine, elektronik ölçüm cihazlarının doğru çalışmamasına ve enerji kayıplarına yol açmaktadır.

Akım harmoniklerinin görüldüğü işletmelerde sıkça rastlanan sorunlar; aktif güçte azalma ve kayıpların artması, güç faktörünün düşmesi hassas elektronik kartların arızalanması, üç faz sistemlerde nötr hattında aşırı akımların oluşumu ve nötr hattında ısınma, trafo ve jeneratörlerde aşırı ısınma, mekanik cihazlarda titreşim ve gürültülü çalışma, elektronik ölçüm cihazlarının doğru çalışmaması. Gerilim harmoniklerinin görüldüğü işletmelerde sıkça rastlanan sorunlar; trafo, jeneratör ve motorlarda aşırı ısınma, kondansatörlerde aşırı ısınma ve delinme, izolasyon sistemlerinde yalıtkan problemleri, rezonans ve yüksek gerilim delinmesi, endüksiyon motorlarda problemler, mekanik salınımlar ve gürültülü çalışma [1].

## 2. Harmonik Analiz

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 [2].

Harmonik analiz için en çok kullanılan yöntemlerden biri olan 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 frekanslardaki 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 domainine aktarma işlemine Fourier dönüşümü denilmektedir. Bu dönüşümden sonra fonksiyon trigonometrik ifadeler şekline dönüşür, analiz ve tasarımda büyük kolaylıklar sağlar [3,4,5].

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

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

Eşitlik (1)'de verilen dönüşüm fonksiyonu sabit  $\Delta T$  aralıklarla N kadar örnekleme de eşitlik (2)'de verilen (DFT-Discrete Fourier Transform) ayrık Fourier dönüşümü elde edilmektedir [4].

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

Eşitlik (2) Faz faktörü  $W = e^{-j2\pi/N}$  göre yazıldığında eşitlik (3) elde edilmektedir.

$$F[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} f[n] W^{kn} \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3)$$

Eşitlik (3)'de verilen ayrık Fourier dönüşümünde,  $N=8$  alınarak eşitlik  $F=Wxf$  matrisel formunda yazılabilmektedir.

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

Buradaki W matrisi  $7 \times 7 = 49$  değer almaktadır. W matrisinin 49 değerinden 46 değeri  $1, \frac{1}{2} + j\frac{1}{2}, j\frac{1}{2}$  sayıların eşleniğinden veya negatif değerlerinden oluşmaktadır. Harmonik analiz işlemlerinde ayrık Fourier dönüşümü kullanarak gereksiz hesaplamaların azaltılma işlemi (FFT- Fast Fourier Transform) hesaplamaların daha etkin ve kısa süre yapılmasını sağlamaktadır [4,5].

### 3. BGKD ve Harmonik Analizi

Birleşik güç kalite düzenleyicisi, seri aktif güç filtresi ile paralel aktif güç filtrelerinin birlikte kullanılması ile oluşturulmuş filtre sistemidir. Aktif güç filtrelerinin en gelişmiş ve en yeni uygulaması olan birleşik güç kalitesi düzenleyicisinin temel işlevi; şebeke gerilim harmonik kompanzasyonu, gerilimdeki yükselme ve düşme düzeltilmesi ve gerilim dengesizlikleri giderilmesidir. Yük akımı harmoniklerinin filtrelenmesi ve dengelenmesi, reaktif güç kompanzasyonu ve nötr akım yok edilmesi de gerçekleştirilmektedir [2].

### 3.1 DSP Harmonik Analiz Kartı

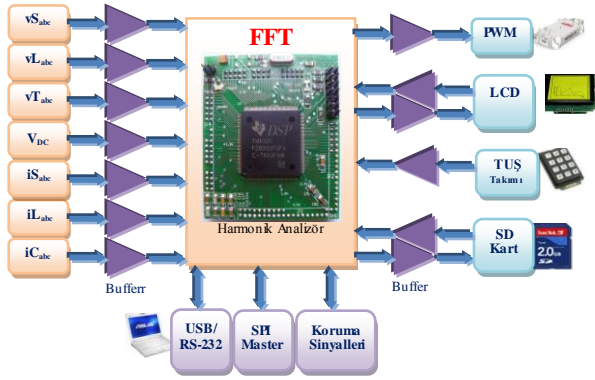
Sayısal işaret işlemciler (DSP), mühendislik tasarım ve analiz çalışmalarında, otomotiv sanayinde, sayısal haberleşme, görüntü işleme ve güç sistem uygulamalarında, deneysel çalışmalarda, laboratuvar prototip geliştirme çalışmalarında ve endüstriyel tasarımlarda çok sık kullanılmaktadır. Uygulamaya göre kullanılacak DSP'nin çevresel (peripheral) aygıtlarının, belleğinin (RAM) ve çalışma hızının yeterli olması gerekmektedir. Uygulamalarda en çok tercih edilen DSP'lerin mikro işlemcilerle 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 sahiptir [5].

Bu çalışmada, özel olarak tasarlanan F28335DSP uygulama geliştirme kartı kullanılmaktadır. F28335DSP uygulama geliştirme kartında, 32bit kayan noktalı (floating-point), saniyede 150 milyon işlem yapabilen TMS320F28335PGFA DSP yongası kullanılmıştır. 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 düşük maliyetli olarak geliştirilen F28335DSP uygulama geliştirme kartı resmi görülmektedir [5].

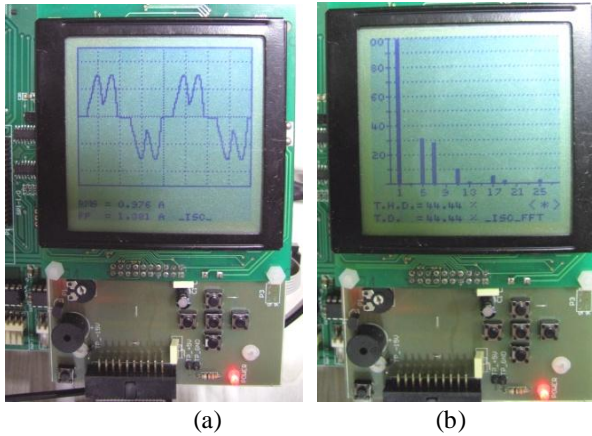


Şekil 1: Tasarlanan F28335DSP uygulama geliştirme kartı.

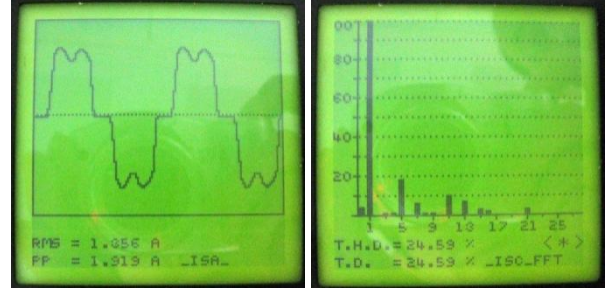
DSP uygulama katı ile şebeke gerilimleri ( $V_{Sabc}$ ), yük gerilimleri ( $V_{Labc}$ ), filtre tarfo gerilimleri ( $V_{Tabc}$ ), şebeke akımları ( $I_{Sabc}$ ), yük akımları ( $I_{Labc}$ ), filtre akımları ( $I_{Cabc}$ ) ve DC bara ( $V_{DC}$ ) gerilimi okunarak, birleşik güç kalitesi düzenleyicisi sisteminin tam analizi için FFT algoritmaları yürütülerek güç kalitesi analizi yapılmaktadır. DSP uygulama katı, sisteme ait tüm akım ve gerilim bilgilerini okuyarak aşırı akım, aşırı gerilim ve herhangi bir hata oluşması durumunda müdahale ederek sistemin güvenli çalışmasını sağlamaktadır. Bilgisayar ile veri alışverişi ve denetim amacı ile RS-232 seri veri iletişim portu kullanılmaktadır. FFT algoritmaları yürütülerek elde edilen sisteme ait harmonik bilgiler GLCD (Grafik LCD) katına aktararak görsel hale dönüştürülmektedir. Ayrıca SD kart vasıtasıyla istenilen akım veya gerilim bilgileri kayıt (log) tutularak saklanmaktadır. Şekil 2’de DSP katının genel blok şeması görülmektedir. Şekil 3’de DSP harmonik analiz katı fotoğrafı ve akım dalga şekli ile harmonik dağılımı gösterge görüntüsü verilmektedir. Şekil 4’de ise tek faz tam-dalga köprü diyot doğrultucu akım dalga şekli ve harmonik dağılımı ile üç faz tam-dalga köprü diyot doğrultucu akım dalga şekli ve şebeke gerilim dalga şekli görülmektedir.



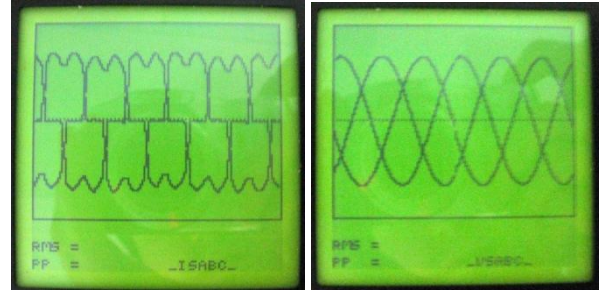
Şekil 2: Harmonik DSP katının genel blok şeması.



Şekil 3: DSP Harmonik analiz katı fotoğrafı  
(a)akım dalga şekli, (b) harmonik dağılımı.



(a) (b)



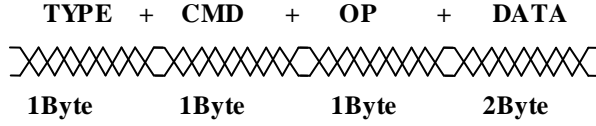
(c) (d)

Şekil 4: (a) tek faz tam-dalga köprü diyot doğrultucu akım dalga şekli (b) harmonik dağılımı (c) üç faz tam-dalga köprü diyot doğrultucu akım dalga şekli (d) şebeke gerilim dalga şekli.

### 3.2 Bilgisayar ile DSP iletişimi

İki sistem veya iki bilgisayar arasında haberleşme iletişim protokolleri ile sağlanmaktadır. İletişim protokollerin görevi haberleşme kurallarını düzenlemek, mesajlaşmak ve verilerin gönderilmesini sağlamaktır. Herhangi bir firmaya bağlı olmayıp geniş organizasyonlar, komiteler ve topluluklar tarafından oluşturulan, yönetilen ve kullanılan TCP/IP, GSM, GPRS, USB, RS-232, SPI, CAN, SCI ..vs standart iletişim protokolleri vardır. Bu standart protokolleri destekleyen farklı firmaların cihazları birbiri ile sorunsuz anlaşabilmektedirler. Bir firma tarafından kendi cihazları ve ürünleri için tasarlanmış protokoller standart olmayıp özeldirler. Bu tarz protokoller sadece o firmann ürünleri için geçerlidir.

Bu çalışmada bilgisayar yazılımı ile DSP kartı arasında iletişimi sağlamak amacıyla standart RS-232 iletişim protokolü kullanarak iki sistem arasında verileri düzenlemeye yarayan kurallar dizisi tanımlanmıştır. Bu bağlamda DSP kartın SCI(RS-232) ve bilgisayarın RS-232 portları kullanılmaktadır. Şekil 5’de DSP ile bilgisayar yazılımı iletişim yöntemi açıklanmakta, Tablo 1’de de DSP ile bilgisayar yazılımı iletişim komutları sıralanmaktadır. Tablo 2’de DSP ile bilgisayar yazılımı örnek iletişim komutları verilmektedir.



Şekil 5: DSP ile bilgisayar yazılımı iletişim yöntemi

Tablo 1: DSP ile bilgisayar yazılımı iletişim komutları

	Parametre	Sayısal Değeri	Açıklama
TYPE	LOG	2	DSP ile veri alama modu
	SCP	1	DSP ile veri izleme modu
	CTL	3	DSP ile süreç denetim modu
	SD	4	SD kart yönetim modu
CMD	START	1	DSP yi çalıştır
	STOP	2	DSP yi durdurur
	vSabc	9	vSabc gerilimin i izle
	iSabc	10	iSabc akımlarını izle
	Vdc	8	Vdc gerilimini izle
OP	+	40	Artı operatörü
	-	43	Eksi operatörü
	*	44	Çarpma operatörü

Tablo 2: DSP ile bilgisayar yazılımı örnek iletişim komutları

	KOMUT	DEĞER	AÇIKLAMA
ÖRNEK	SCP vSabc * 128	1 9 * 128	vSabc gerilimlerini 128 örnekleme ile izle
	LOG vLa * 256	2 11 * 256	vLa gerilimini 256 örnekleme ile LOG tut

### 3.3 Bilgisayar Yazılımı ile harmonik Analiz

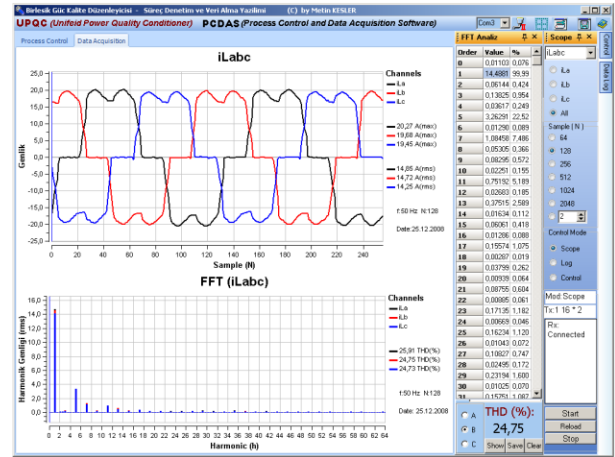
Geliştirilen F28335DSP uygulama geliştirme kartı ile yapılan örnek deneysel çalışmada, 3 fazlı tam dalga köprü doğrultucunun şebekeden çektiği akımın harmonik analizi incelenmektedir.

Laboratuvar ortamında kurulan 3 fazlı tam dalga köprü doğrultucunun şebekeden çektiği akım, örneklenerek DSP ortamına aktarılmaktadır. Örneklenen akım sinyali,

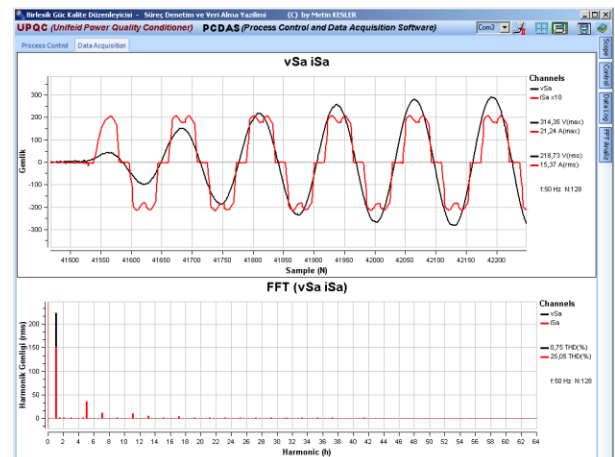
DSP ortamında hızlı Fourier dönüşüm (FFT) algoritması kullanılarak harmonik analizi gerçekleştirilmektedir.

Ayrıca elde edilen harmonik analiz sonucu ve sinyalin dalga şekli 128x128 çözünürlüğünde grafik LCD üzerinde çizdirilerek görselleştirilmektedir. 3 fazlı tam dalga köprü doğrultucunun şebekeden çektiği akımın 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 elde edilmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, Şekil 6'da üç fazlı tam dalga köprü diyot doğrultucu akım dalga şekli ve harmonik dağılımı görülmektedir. Şekil 7'de tam dalga köprü diyot doğrultucu akım ve şebeke gerilim dalga şekli ve harmonik verilmektedir. Deneysel BGKD sistemine ait tüm sistem parametre ve değişkenleri bilgisayar analiz yazılımı ve geliştirilen DSP kartı üzerinden izlenebilmektedir.

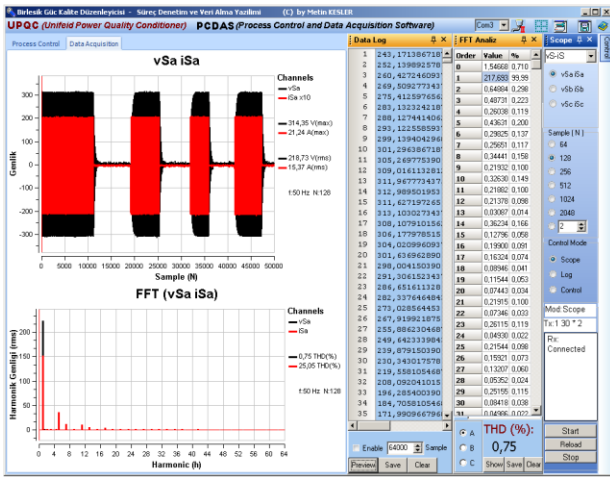


Şekil 6: üç fazlı tam dalga köprü diyot doğrultucu akım dalga şekli ve harmonik dağılımı.

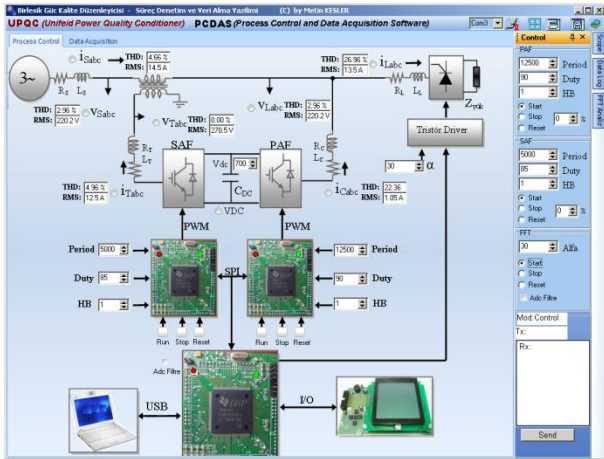


Şekil 7: Tam dalga köprü diyot doğrultucu akım ve şebeke gerilim dalga şekli ve harmonik dağılımı.

Bilgisayar yazılımı yardımıyla elde edilen veriler uzun süreli kayıt edilebilmekte ve daha sonra izlenerek zaman içerisinde sistemdeki değişimler kolaylıkla gözlenebilmektedir. Şekil 8'de tam dalga köprü diyot doğrultucu akım ve şebeke gerilimin zamana göre kayıt edilmesi görülmektedir. Uzun süreli kayıt işlemi sırasında sistem birkaç defa devreye girip çıkmaktadır. Böylece sistemin dinamik cevabı ve uzun süreli işletim sırasında meydana gelen geçici olaylar gözlenebilmektedir. Ayrıca Şekil 9'da görüldüğü gibi geliştirilen bilgisayar destekli haberleşme sistemi ile BGKD ait tüm denetim parametreleri izlenmekte ve anında değiştirilebilmektedir.



Şekil 8: Tam dalga köprü diyot doğrultucu akım ve şebeke gerilimin zamana göre kayıt edilmesi.



Şekil 9: BGKD sistemine ait tüm parametrelerin izlenmesi ve denetlenmesi.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, harmonikler ve etkileri hakkında kısa bilgi verilmekte, güç sistemlerinde elektrik enerjisinin verimliliğini ve yükün güç kalitesini artırmak için harmoniklerin yok edilmesinin gerekliliği açıklanmaktadır. Harmoniklerin yok edilmesi ve güç kalitesinin iyileştirilmesi için geliştirilen Birleşik Güç Kalite Düzenleyicisinde (BGKD) önerilen bilgisayar ve DSP tabanlı harmonik ölçüm sistemi ve uygulanması örnek ölçüm sonuçları ile verilmektedir.

Bilgisayar ve DSP destekli analiz ve izleme sistemi ile BGKD ve böylece 3 fazlı yüke ait tüm akım ve gerilim bilgileri elde edilerek aşırı akım, aşırı gerilim ve herhangi bir hata oluşması durumunda müdahale ederek sistemin güvenli çalışması sağlanmaktadır. Ayrıca geliştirilen bilgisayar destekli haberleşme sistemi ile BGKD ait tüm denetim parametreleri izlenmekte ve anında değiştirilebilmektedir.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Kesler M., "Paralel Aktif Güç Filtresi Tasarımı ve Vissim Yazılımı ile DSP Üzerinden Denetim" Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (Temmuz 2005).
- [2] 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).
- [3] A.V. Oppenheim, AS. VVilsky. I. T. Young "Signals and Systems", Prentice - Hall, 1983
- [4] Acha. E, Madrigal. M, "Power System Harmonics Computer Modeling and Analysis", Crc Press, (2002).
- [5] Kesler M., Sunan M., "Düşük Maliyetli DSP Uygulama Geliştirme Kartının Tasarımı ve Güç Sistemlerinde Harmonik Analizin Gerçekleştirilmesi", Elektrik, Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, ELECO 2008, Bursa, (2008).