

GÜÇ KALİTESİ BOZULMALARININ HILBERT HUANG DÖNÜŞÜMÜ VE GABOR DÖNÜŞÜMÜ KULLANARAK SINIFLANDIRILMASI

M. İsmail GÜRSOY^{1*}, A. Serdar YILMAZ², S. Vakkas ÜSTÜN³

¹ Adiyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Elektrik ve Enerji Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, 46000, Türkiye

³ Adiyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adiyaman, 02040, Türkiye

Geliş tarihi: 26.09.2017 Kabul tarihi: 21.11.2017

ÖZET

Güç kalitesini etkileyen olayların belirlenmesi ve incelenmesi oldukça önemlidir. Gerilimlerdeki ani yükselmeler, gerilim çökmeleri ve gerilim harmonikleri Güç Kalitesindeki bozulmalardan bir kısmını ifade etmektedir. Bu çalışma ile güç kalitesindeki bozulmaları belirlemede, Görgül Kip Ayrışımı (GKA) ve Hilbert Dönüşümü (HD) metotlarının birleşiminden oluşan Hilbert Huang Dönüşümü (HHD) metodu ve Zaman Frekans analiz tekniklerinden spektrogram ve Gabor Dönüşümü metotları kullanılmıştır. Lineer olmayan sinyallerin analizinde kullanılan yeni bir sinyal işleme yöntemi olan GKA ile güç kalitesi bozulmalarının olduğu sinyal Öz Kip Fonksiyonu (ÖKF) bileşenlerine ayrılmaktadır. Bu ÖKF bileşenleri ile Güç Kalitesi bozulmalarının anlık frekans ve anlık genlik değerleri hesaplanmaktadır. Çalışma sonucu olarak, sinüzoidal dalga şeklindeki değişimleri belirlemede etkin olan HHD yönteminin, Güç Kalitesi Bozulmalarında da etkin olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç Kalitesi, Hilbert Huang Dönüşümü (HHD), Gabor Dönüşümü (GD)

CLASSIFICATION OF POWER QUALITY DISTURBANCES USING HILBERT HUANG TRANSFORM AND GABOR TRANSFORM

ABSTRACT

It's very important to identify and analysis the events that effect the Power Quality. Sudden increases in voltages, voltage sags and voltage harmonics express some of the disturbances in Power Quality (PQ). In this study, used to determine the disturbances in PQ, The Hilbert Huang Transform (HHT) method, which is a combination of the Empirical Mode Decomposition (EMD) and Hilbert Transform methods, Spectrogram and Gabor Transform methods from time frequency analysis techniques. EMD, which is a new signal processing method used in the analysis of nonlinear signal, decomposes the signals of PQ disturbances into IMF components. These IMF components are used in the calculation of the amplitude and frequency of PQ disturbances. As a result of HHT method which can detect the variations of the sinusoidal waveform is an efficient way of detecting PQ disturbances.

Keywords: Power Quality, Hilbert Huang Transform, Gabor Transform

* e-posta: mgursoy@adiyaman.edu.tr

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesi ile üretilen yeni cihazlar ve kullanılmakta olan eski cihazlar tüketicinin yaşam kalitesini arttırsa da, bu cihazlar beslendikleri şebekelerin güç kalitesinde ciddi bozulmalara yol açmaktadır. Güç sistemleri, arızalar ile karşılaştığında veya doğrusal olmayan yüklerin etkisinde kaldığında, şebeke gerilimi saf sinüs dalga şeklinden uzaklaşmaktadır[1]. Bu durum endüstride fabrikaların çalışmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca güç sistemlerindeki ekipmanların veya yüksek teknoloji içeren cihazların tahribatı gibi birçok soruna neden olmaktadır[2].

Güç kalitesinde meydana gelen bozulmalar, gerilimin genliği, frekansı veya dalga biçimi üzerindeki herhangi bir bozulma olarak ortaya çıkmaktadır[3]. Elektriksel güç kalitesini tanımlayan parametreler IEC 61000-4-30 standardında kısa süreli gerilim yükselmeleri / düşmeleri, frekans salınımları, yüksek ve düşük gerilimler, harmonikler, fazlar arası gerilim dengesizliği ve gerilim dalgalanmaları olarak sıralanmaktadır.[4].

Güç sistemleri, belirli genliğe ve frekansa sahip sinüzoidal gerilim referans alınarak tasarlanmıştır. Güç kalitesinde meydana gelen bozulmalar, gerilimin genliği, frekansı veya dalga biçimi üzerindeki herhangi bir bozulma olarak ortaya çıkmaktadır[3]. Elektriksel güç kalitesini tanımlayan parametreler IEC 61000-4-30 standardında kısa süreli gerilim yükselmeleri / düşmeleri, frekans salınımları, yüksek ve düşük gerilimler, harmonikler, fazlar arası gerilim dengesizliği ve gerilim dalgalanmaları olarak sıralanabilir[4].

Standartlar doğrultusunda güç kalitesi bozulmalarını belirlemek için, literatürde farklı analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bu analiz yöntemleri; Fourier Dönüşümü (FD), Kısa Dönem Fourier Dönüşümü (KDFD) ve Dalgacık Dönüşümü (DD) şeklinde sıralanabilir. FD analiz yöntemi çoğunlukla harmonik analizlerinde kullanılmaktadır. Ancak FD, yalnızca zamanla değişmeyen işaretlerde başarılı olmaktadır. KDFD yönteminde ise sabit bir pencere fonksiyonu kullanılmaktadır. Buda KDFD kullanımında fazla miktarda analiz işlemleri gerektirmektedir. DD yöntemi de durağan olmayan sinyallerin analizlerinde kullanılmaktadır. Fakat gürültülü sinyallerde DD yönteminin performansı azalmaktadır[5-6].

Güç sistemlerindeki kalitenin analizindeki amaç, tüketici ve yüklerin meydana getirdiği bozulmaların sebeplerinin belirlenmesidir.

2. Hilbert Huang Dönüşümü

HHD ilk olarak Norden E. Huang ve ark. tarafından geliştirilmiştir. HHD'nin doğrusal ve durağan olmayan sinyallerin analizinde yaygın kullanımı vardır. Bu yöntem, iki ana bölümden oluşmaktadır. Görgül Kip Ayrışımı ve Hilbert Dönüşümü [7].

2.1. Görgül Kip Ayrışımı (GKA)

GKA yöntemi ile sinyaller farklı frekanslardaki bileşenlerine ayrılmaktadır. Bu yöntem ile sinyal sıfır ortalamalı Genlik Modülasyonu ve Faz Modülasyonu bileşenlerinin toplamı şeklinde ifade edilmektedir.

GKA yöntemi ile elde edilen bu bileşenlere Öz Kip Fonksiyonu (ÖKF) denilmektedir. Huang'a göre, asıl sinyal ile aynı uzunluktaki ÖKF bileşenlerinin iki temel özelliği bulunmaktadır[8].

(1) Eksremum noktalarının sayısı ile sıfır noktasından geçiş sayısı birbirine eşittir ya da en fazla bir birim kadar farklıdır.

(2) Yerel maksimum ve Yerel minimum olarak tanımlanan zarfın ortalama değeri sıfıra eşittir.

İncelenen giriş sinyali $x(t)$ olmak üzere;

(1) $x(t)$ giriş sinyalindeki bütün maksimum ve minimum noktalar bulunarak işaretlenir. Bulunan alt ekstramum noktaları ve üst ekstramum noktaları ara değerlendirme yöntemi ile birleştirilerek bir alt zarf

ve bir üst zarf elde edilir. Elde edilen Zarfların ortalaması alınarak $x(t)$ giriş sinyalinin ortalama zarfı $m1 = [v1(t)+v2(t)]/2$ elde edilir.

(2) Ortalama zarf $x(t)$ sinyalinden çıkartılarak düşük frekanslı yeni bir sinyal $h1$ elde edilir. Elde edilen $h1$ sinyali ÖKF özelliklerini sağlamıyorsa ilk adım $h1$ sinyali üzerine tekrar uygulanır. Sonraki aşamada $h1$ veri olarak ele alınır ve $h11 = h1 - m11$ elde edilir. Bu şekilde işlemler tekrarlanır. $h1k = h1(k-1) - m1k$. Eğer ortalama zarf sinyali ÖKF özelliklerini sağlıyorsa eleme işlemi durdurulur. Eleme işlemini durdurma kriteri olarak iki farklı ölçüt kullanılabilir [10-12]. Bir kere durdurma ölçütü seçildikten sonra, ilk ÖKF bileşeni $c1=h1k$ elde edilmiş olur. $c1$ sinyalin en iyi ölçeğini veya en yüksek frekans bileşenini içermektedir.

(3) Giriş sinyalinden ilk ÖKF1 bileşeni çıkarılarak artık sinyal $r1$ elde edilir. $r1$ sinyali, giriş sinyalindeki düşük frekanslı bileşenleri içerdiğinden yeni bir veri olarak ele alınır yeni bir eleme işlemi başlatılır. $r2=r1-c2, \dots, rn=rn-1-cn$. Bu işlemler tüm sonraki rj 'ler için tekrarlanır. Geriye kalan sinyal ise artık sinyal olarak değerlendirilir (rn).

(4) Son aşamada eleme işlemi artık sinyal rn daha önceden belirlenen değerden daha küçük olduğunda veya monoton bir fonksiyon olduğunda durur.

Giriş sinyali, Denklem (1)'de ÖKF bileşenlerinin ve artık sinyalin toplamı olarak gösterilmektedir.

$$x(t) = r_n + \sum_{j=1}^n c_j \quad (1)$$

Burada $x(t)$ analiz edilen giriş sinyali, n ölçek sayısı, c_j ise j ninci ölçekteki ÖKF değeridir. r_n ise işlemler sonucunda geriye kalan artık sinyaldir.

2.2. Hilbert Dönüşümü (HD)

GKA işlemleri sonucunda oluşan ÖKF bileşenlerine HD işlemleri uygulanır. Bütün ÖKF bileşenlerine HD yöntemi uygulanarak yeni veri seti Denklem (2) ile elde edilir.

$$y_j(t) = \frac{1}{\pi} P.V. \int_{-\infty}^{\infty} \frac{c_j(\tau)}{t - \tau} dt \quad (2)$$

Denklem (2)'de verilen P.V. bu integralin Cauchy temel değerini ifade etmektedir. Bu tanımda analitik sinyal Denklem (3) ile oluşturulmaktadır.

$$z_j(t) = c_j(t) + jy_j(t) = a_j(t)e^{i\theta_j(t)} \quad (3)$$

Burada hesaplanan $z_j(t)$ değeri ile anlık genlik değerini Denklem (4), anlık açısal frekans değerini Denklem (6) ve anlık frekans Denklem (7) değerleri hesaplanabilir [8].

$$a_j(t) = \sqrt{c_j^2(t) + y_j^2(t)} \quad (4)$$

$$\theta_j(t) = \arctan \frac{y_j(t)}{c_j(t)} \quad (5)$$

$$w_j(t) = \frac{d\theta_j(t)}{dt} \quad (6)$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta_j(t)}{dt} \quad (7)$$

3. Gabor Dönüşümü (GD)

Gabor dönüşümü KDFD yönteminin geliştirilmiş bir fonksiyonudur. Giriş sinyali seçilecek olan bir zaman değişkeni ile oluşturulan pencere fonksiyonunun FD'si alınarak elde edilen zaman – frekans analizi olarak ifade edilir. GD genel olarak Denklem (8) ile ifade edilir.

$$G_z(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \overline{\phi_{t,f}(\tau)} d\tau \quad (8)$$

$$\phi_{t,f}(\tau) = \phi(\tau - t) e^{j2\pi f\tau}$$

Denklem (8) de üst çizgi, kompleks ifadenin eşleniği olarak gösterilmektedir.

GD'nin pencere fonksiyonu Gaussian fonksiyonu kullanılırsa Denklem (9) elde edilmiş olur.

$$G_z(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-\pi(\tau-t)^2} e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad (9)$$

Denklem (9) da; GD, Gaussian Pencere Fonksiyonu kullanılarak KDFD'nün özel bir hali elde edilmiş olur.

KDFD'de olduğu gibi GD'nin de önemli eksikliği zaman - frekans çözünürlüğü arasında uyuşma bulunmamasıdır. Eğer pencere kısa seçilirse, elde edilen bilgi zamana iyi yerleşmiş olacak fakat frekans çözünürlüğü zayıflayacaktır. Benzer şekilde daha büyük pencere kullanımı frekans çözünürlüğünü arttırırken zaman çözünürlüğünün zayıflamasını da beraberinde getirmektedir [9].

4. Araştırma Bulguları

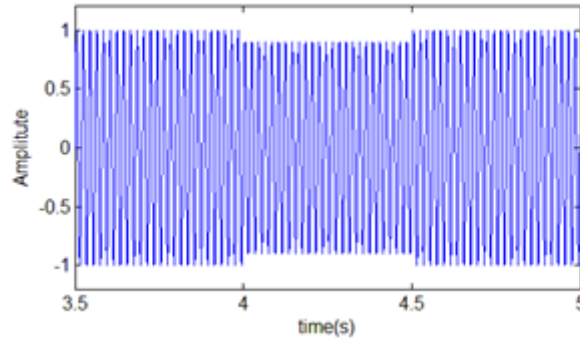
Güç Kalitesi analizlerinden en iyi analiz tekniği zaman-frekans analizleridir. Çünkü dünyadaki bütün güç sistemlerinin kaynakları sinüzoidal şekildedir. Bu dalga şeklinin de şiddeti ve frekansı standart ve değeri kesinlikle sabittir[10].

Bu bölümde, Güç Kalitesi olaylarından gerilim çökmesi, gerilim yükselmesi ve harmoniklerin HHD ve GD yöntemleri ile analiz edilmiştir. Bu analizler MATLAB programı ile gerçekleştirilmiştir.

4.1. Gerilim Çökmesi

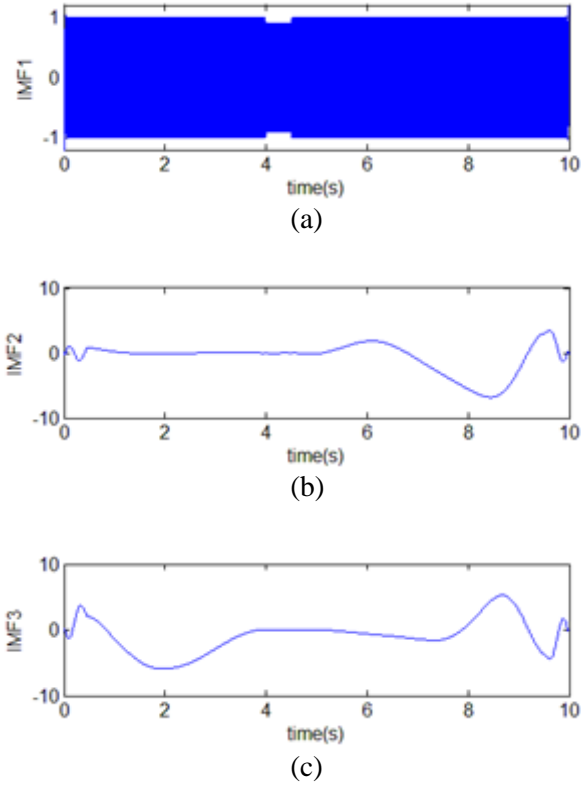
Gerilim çökmesi, güç şebekesi gerilimlerinin genliğinde, 0.5 peryot ile 1 dakika arasında meydana gelen olaylar kısa süreli bozulmalar olarak adlandırılmaktadır. Gerilimin genliğinde meydana gelen %10 düşüş sonucu gerilim çökmesi meydana gelmektedir. Giriş sinyali 10 kHz örnekleme

frekansına sahiptir. Toplamda 10 s olan giriş sinyalinin 4.0 s ve 4.5s arasında genliği 1 birimden 0.9 birime düşürülmüştür.



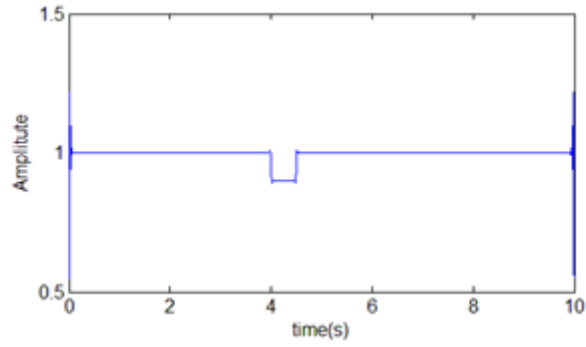
Şekil 1. Gerilim Çökmesi Sinyali (genlik %10, süre 0.5s)

Şekil 1. de gerilim çökmesi sinyali gösterilmektedir. Şekil 2’de Giriş sinyaline GKA uygulandıktan sonra oluşan ÖKF1, ÖKF2 ve ÖKF3 grafikleri gösterilmektedir.

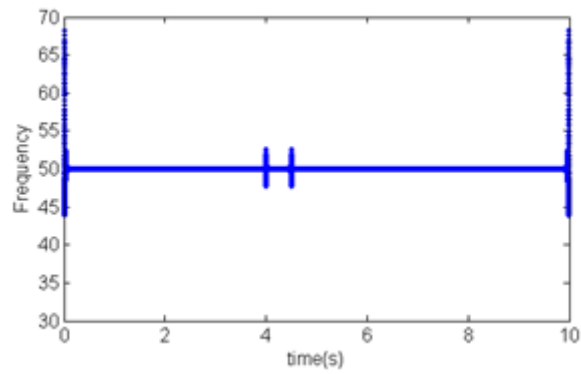


Şekil 2. Gerilim Çökmesi sinyaline GKA yöntemi uygulandıktan sonra oluşan ÖKF bileşenleri (a) ÖKF1; (b) ÖKF2; (c) ÖKF3

Elde edilen ÖKF sinyallerine HD uygulandığında; genlik ve frekans sinyalleri Şekil 3. ‘de gösterilmiştir.



(a)

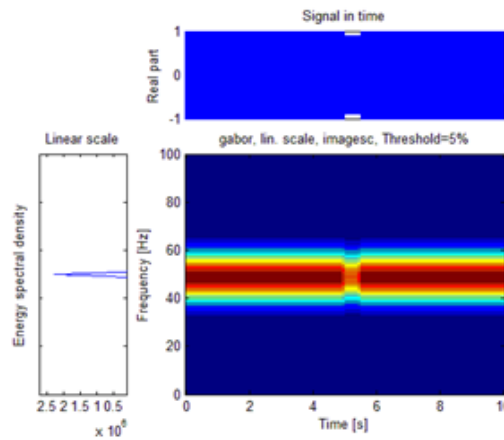


(b)

Şekil 3. (a) Giriş Sinyalinin anlık genliği; (b) giriş sinyalinin anlık frekans bileşeni

Şekil 3a'da, gerilim çökmesinin başlama ve bitiş anlarında meydana gelen genlik değişimi ve Şekil 3b de gösterilen frekans değişikliği Hilbert Huang Dönüşümü yönteminin gerilim çökmesi bozulmalarının tespit edilmesinde iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

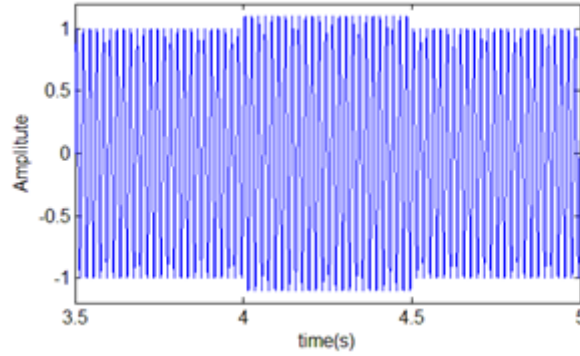
10 kHz örnekleme frekansına sahip toplamda 10 s olan giriş sinyalinin 5.0 s ve 5.5s arasında genliği 1 birimden 0.9 birime düşürülmüştür. Bu giriş sinyaline GD analizi uygulandıktan sonra oluşan spektrum grafiği Şekil 4' de gösterilmiştir.



Şekil 4. 0.1 s pencere genişliği kullanılarak Gerilim Çökmesi Sinyaline uygulanan GD

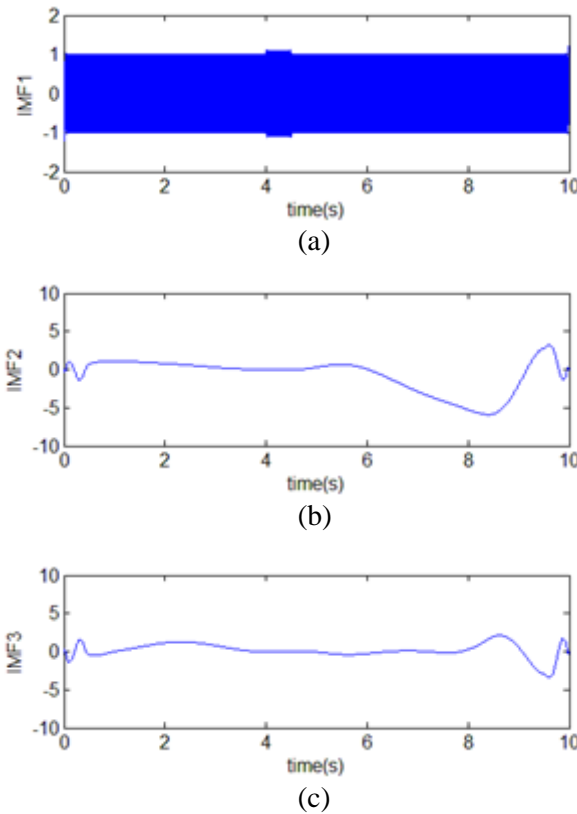
4.2. Gerilim Yükselmesi

Kısa süreli güç kalitesi olaylarından gerilim yükselmesi, Şebeke gerilim sinyallerinin genliğinde kısa süreli %10 artış olmasıyla meydana gelmektedir. Giriş sinyali 10 kHz örnekleme frekansına sahiptir. Toplamda 10 s olan giriş sinyalinin 4.0 s ve 4.5s arasında genliği 1 birimden 1.1 birime yükseltilmiştir.



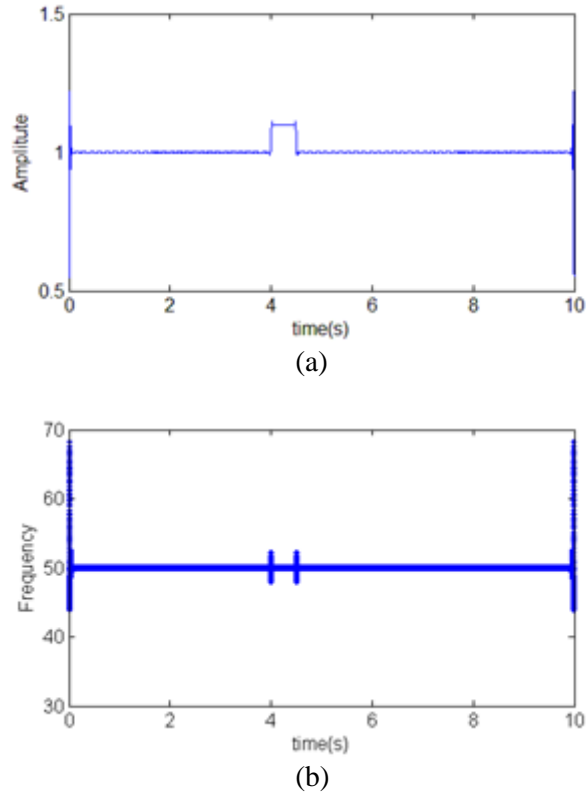
Şekil 5. Gerilim Yükselmesi Sinyali (genlik %10, süre 0.5s)

Şekil 6'da Giriş sinyaline GKA uygulandıktan sonra oluşan ÖKF1, ÖKF2 ve ÖKF3 grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 6. Gerilim Yükselmesi sinyaline GKA yöntemi uygulandıktan sonra oluşan ÖKF bileşenleri; (a) ÖKF1; (b) ÖKF2; (c) ÖKF3.

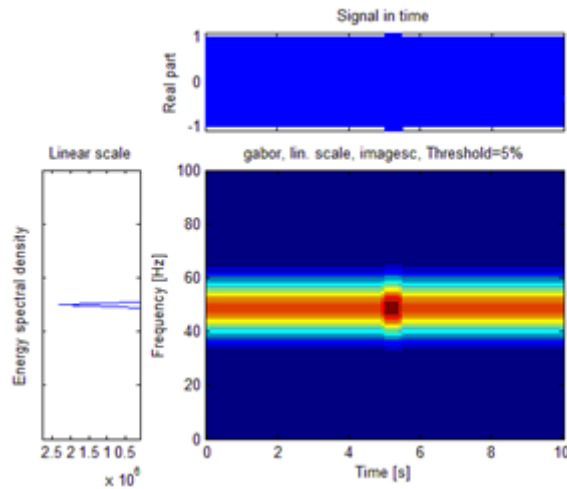
Elde edilen ÖKF sinyallerine HD uygulandığında; genlik ve frekans sinyalleri Şekil 7. 'de gösterilmiştir.



Şekil 7. (a) Giriş Sinyalinin anlık genliği; (b) giriş sinyalinin anlık frekans bileşeni.

Şekil 7a'da, gerilim yükselmesi sinyalinin başlama ve bitiş zamanlarında meydana gelen genlik değişimi gösterilmektedir. Şekil 7b'de 4. saniye ile 4.5 saniye arasında gerilim yükselmesi olayında meydana gelen frekans değişikliği görülmektedir. Yapılan analizlerde Hilbert Huang Dönüşümü yönteminin genlik ve frekans bilgileri ile gerilim yükselmesi bozulmalarının tespit edilmesinde iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

10 kHz örnekleme frekansına sahip toplamda 10 s olan giriş sinyalinin 5.0 s ve 5.5s arasında genliği 1 birimden 1.1 birime yükseltilmiştir. Bu giriş sinyaline GD analizi uygulandıktan sonra oluşan spektrum grafiği Şekil 8. de gösterilmiştir.

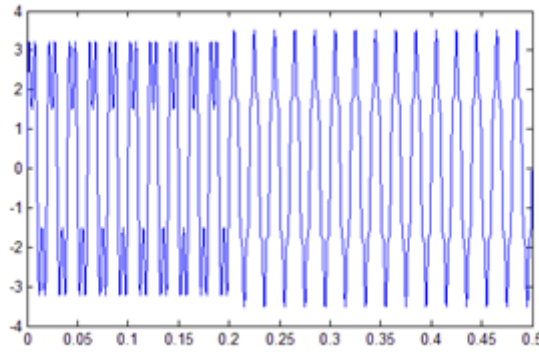


Şekil 8. 0.1 s pencere genişliği kullanılarak Gerilim Çökmesi Sinyaline uygulanan GD.

4.3. Harmonik

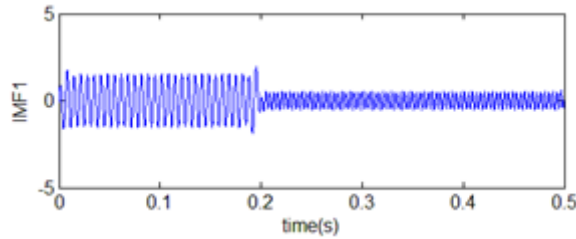
Giriş sinyali $x(t)$, 20 kHz örnekleme frekansına sahip ve 0-0.2 s aralığında 150 Hz ve 0.2 ile 0.5 aralığında ise 250 Hz bileşenlere sahiptir. $x(t)$ sinyali Denklem (10) 'da gösterilmiştir.

$$x(t) = \begin{cases} 3 \sin(2\pi 50t) + 1.5 \sin(2\pi 150t) & 0 \leq t \leq 0.2 \\ 3 \sin(2\pi 50t) + 0.5 \sin(2\pi 250t) & 0.2 \leq t \leq 0.5 \end{cases} \quad (10)$$

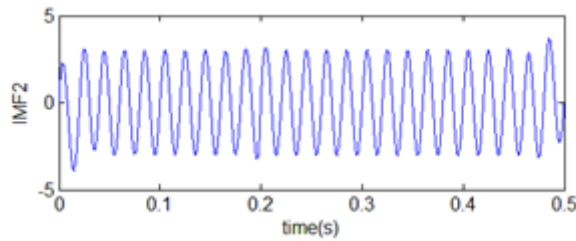


Şekil 9. Harmonik bileşen içeren giriş sinyali.

Giriş sinyali $x(t)$ GKA analizi sonucunda elde edilen ÖKF1 bileşeni giriş sinyalinde en yüksek frekansa sahip bileşendir. ÖKF2 bileşeni ise frekansı küçük olan bileşendir. Şekil.10.'de GKA işlemleri sonunda elde edilen ÖKF1 ve ÖKF2 bileşenleri gösterilmektedir.



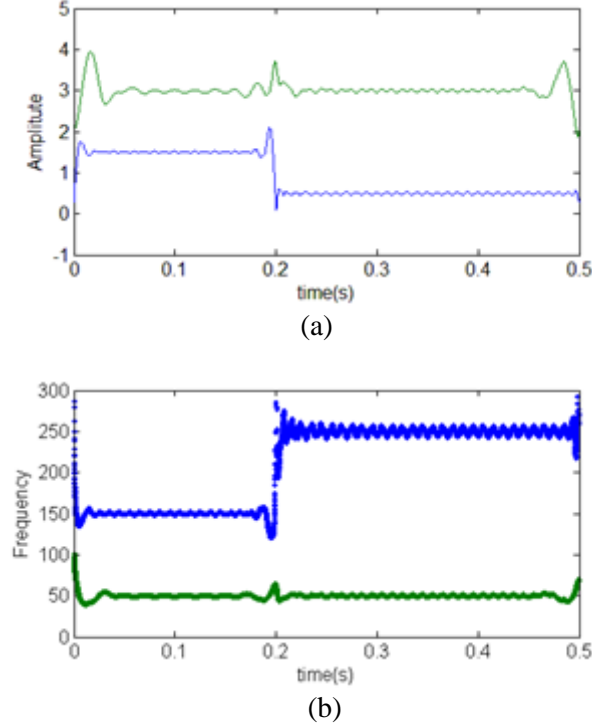
(a)



(b)

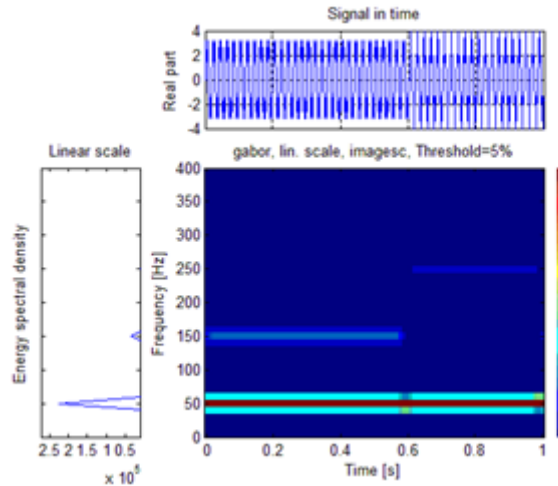
Şekil 10. Harmonik sinyale GKA yöntemi uygulandıktan sonra oluşan ÖKF bileşenleri; (a) ÖKF1; (b)ÖKF2

Giriş sinyalinin GKA analizi sonucu elde edilen ÖKF1 150 Hz ve 250 Hz yüksek frekansa sahip bileşenleri, ÖKF2 ise 50Hz düşük frekansa sahip bileşeni Şekil 10'da göstermektedir. Harmonikler ve temel sinyal GKA sonucunda ayrıştırılmaktadır. Şekil 11.'de HD kullanılarak ÖKF1 ve ÖKF2 bileşenlerinden sinyallerin genlikleri ve frekansları elde edilmektedir.



Şekil 11. (a) Giriş Sinyalinin anlık genliği; (b) giriş sinyalinin anlık frekans bileşeni

Giriş sinyali $x(t)$, 1 kHz örneklem frekansına sahip ve 0-0.6 s aralığında 150 Hz ve 0.6 ile 1 aralığında ise 250 Hz bileşenlere sahiptir. $x(t)$ sinyaline GD analizi uygulandıktan sonra oluşan spektrum grafiği Şekil 12. de gösterilmiştir.



Şekil 12. 0.1 s pencere genişliği kullanılarak Harmonik Sinyaline uygulanan GD

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada güç kalitesindeki olayları belirlemek ve değerlendirmek için HHD ve GD dayalı bir yöntem önerilmektedir. HHD durağan olmayan ve lineer olmayan verilerin analizinde güçlü bir yöntem olarak kullanılmaktadır. GD ise zaman – frekans analizlerinde çok kullanılan KZFD yönteminin gelişmiş bir formudur.

Güç Kalitesindeki olayları belirlemek için; GKA yöntemi kullanarak sinyalin ÖKF bileşenlerine ayrıştırılmaktadır. Daha sonra HT kullanılarak ÖKF den bozulmaların genliği ve frekansı belirlenmektedir. Çalışmalar sonucunda meydana gelen güç kalitesi olaylarının doğru bir şekilde tespit edilmesinde ve olayların başlangıç ve bitiş zamanlarının belirlenmesinde yöntemlerin başarılı olduğu görülmektedir.

Kaynaklar

- [1] Onal, Y., Ö.N. Gerek, D.G. Ece, Detection of Voltage Flicker and Voltage Harmonic Using Hilbert Huang Transform, 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, Antalya, September 2014, 805-810.
- [2] Erişti, H., Demir, Y., Gerçek Zamanlı Güç Kalitesi İzleme Sistemleri ile Elektrik Dağıtım Sistemlerindeki Güç Kalitesinin İncelenmesi, Elektrik – Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu 2011, Elazığ, 351-356.
- [3] Isıklı Esener, İ., Yüksel, T., Kurban, M., Wavelet Transform in Power System Analysis, II. Uluslararası Avrasya Matematik Bilimleri ve Uygulamaları Konferansı (IECMSA'13) Ağustos 2013, Saraybosna, Bosna-Hersek.
- [4] IEC 61000-4-30, Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques Section 30: Power quality measurement methods, International Electrotechnical Commission, Switzerland, 2003.
- [5] Poisson, O., Rioual, P. Meunier, M. “Detection and measurement of power quality disturbances using wavelet transform,” IEEE Trans. Power Del., vol. 15, no. 3, pp. 1039–1044, Jul. 2000.
- [6] Chandrasekar, P. Kamaraj, V. “Detection and Classification of Power Quality Disturbance Waveform Using MRA Based Modified Wavelet Transform and Neural Networks”, Elect. Engineering, vol. 61, no. 4, pp. 235–240, 2010.
- [7] Y. Onal, D.G. Ece, O.N. Gerek, “Analysis of voltage flicker using Hilbert-Huang Transform”, IEEE 19th Conf., Signal Processing and Communications Applications (SIU), 20 April 2011.
- [8] N. E. Huang, Z. Shen, S. R. Long, et al. “The Empirical Mode Decomposition and The Hilbert Spectrum for Nonlinear and Non- Stationary Time Series Analysis”, Proc R. Soc. Lond A., vol. 454, pp. 903-995, 1998.
- [9] Abdullah, A.R., Sha’ameri, A.Z., Saad, N.M., Power Quality Analysis Using Spectrogram and Gabor Transformation, Asia – Pacific Conference on Applied Electromagnetic Proceedings, Melaka, MALAYSIA, 2007.
- [10] Uyar, M., Yıldırım, S., Gençoğlu, M.T., “Güç Kalitesi Bozulmalarının Sınıflandırılmasında Dalgacık Dönüşümüyle Enerji Dağılımına Dayalı Özelliklerin İncelenmesi”, 12. Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi, 2007, S: 596-600.