

DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE ARK OCAĞI AKIM VE GERİLİM HARMONİK ANALİZİ

G. Gülden Köktürk
Dokuz Eylül Üniversitesi
gulden.kokturk@deu.edu.tr

Hacer Şekerci Öztura
Dokuz Eylül Üniversitesi
hacer.oztura@deu.edu.tr

Özet : Bu çalışma, demir çelik fabrikalarının ark ocaklarının gerilim ve çektiği akımların harmoniklerinin dalgacık dönüşümü kullanılarak analiz edilmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle Tubitak tarafından desteklenen Güç Kalitesi Milli Projesi kapsamında İzmir Aliğa bölgesinde yoğun olarak bulunan demir çelik endüstrisi tesislerinin içlerinde akım ve gerilimin eş zamanlı olarak yapılan ölçüm verileri kullanılmıştır. Ölçüm noktalarında IEEE 519-1992, IEC 61000-4-7, 61000-4-15 ve 61000-4-30 standartlarına uygun olarak veri alınmıştır. Ölçümler saniye 3200 örnek alınarak ham veri olarak kaydedilmişlerdir. Elde edilen veri üzerine 2. ve üzeri harmoniklerin hesaplanması için hızlı Fourier dönüşümü (HFD) ve dalgacık paket dönüşümü (DPD) uygulanmıştır. Ayrıca, sonuçların karşılaştırılabilmesi için birikimli dağılım işlevleri her iki yöntemi için de çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Demir-çelik endüstrisi, ark ocağı, harmonik ve ara harmonik, dalgacık paket dönüşümü.

1.Giriş

Son yıllarda ülkemizde demir çelik endüstrisinde hızlı bir gelişme gözlenmiştir. Şu anda kurulu gücünün yaklaşık onda biri gibi bir oranı demir çelik endüstri tesisleri tarafından kullanılmaktadır [1]. Güç Kalitesi Milli Projesinde iletim sisteminin gözlenerek sorunların tespiti ve çözümlerinin üretilmesi hedeflendiğinden, genel güç kalitesi üzerinde bu ark ocaklarının harmonik, ara-harmonik, voltaj kırışması gibi bozucu etkilerinin uluslar arası standart değerlere göre incelenmesi gerekmektedir. Ark ocaklarının neden olduğu güç kalitesini problemlerini [2-5] ve sadece ark ocaklarından kaynaklanan harmonik ve ara-harmonikleri inceleyen çalışmalara [6-9] da sıkça rastlanmaktadır.

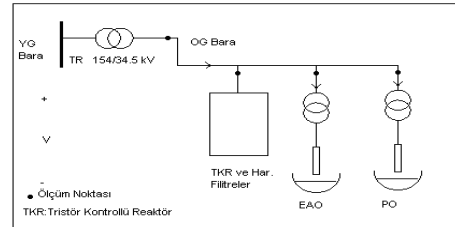
Harmonik temel bileşenin tam katları olan frekanslarda görülen alternatif akım veya voltaj sinyalleri olarak bilinir. Ara harmonik tanımı ilk olarak 1990 yılında IEC-1000-2-1'de yapılarak bu tanım IEC-61000-2-2'de ve IEEE 519'da yenilenmiştir. Ara harmonik alternatif voltaj ve akımın temel frekansının tam sayı olmayan katlarında görülen harmonikler olarak tanımlanmaktadır [10]. Harmoniklerden küçük olan ara-harmoniklerin standartlarca tanımlanmış bir limit değerleri yoktur. Ara-harmonikler ağırlıklı olarak

ark ocakları, kaynak makineleri, statik frekans converter, cycloconverter, ve hızlı değişen motor converter sürücüler tarafından üretilir. Aşırı ısınma, kullanım ömründe azalma gibi harmoniklerin neden olduğu problemlere ek olarak ara-harmoniklerin dezavantajları voltaj dalgalanmaları, alt-senkron osilasyon ve kırışma olarak verilmektedir [11].

2.Harmonik Analizi

2.1 Bölge Demir-Çelik Endüstrisi

İzmir Aliğa bölgesinde beş adet demir-çelik tesisi bulunmaktadır. Güç Kalitesi Milli Projesinde kapsamında ilk önce TEİAŞ trafo merkezlerinin içinde 7 gün kesintisiz süren ölçümler alınmıştır. Bu ölçümlerden trafo merkezlerinde demir-çelik endüstrilerini besleyen fiderlerde TDD (toplam talep bozulması)'lerin yasal limitleri neredeyse sürekli olarak geçtiği belirlenmiştir. Bunun üzerine her bir fabrikanın içinden ölçüm alınmış ve ölçüm sürelerinin bir kısmında da diğer dört fabrika duruş vermiştir. Şekil 1'de fabrikaların içerisinden ölçüm alınan tüm noktalar gösterilmektedir.

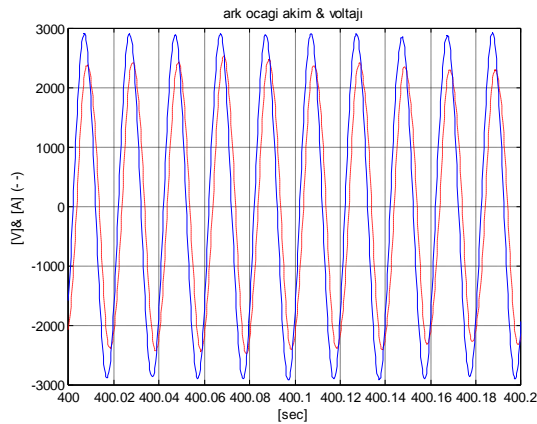


Şekil 1 Fabrikalarda ölçüm alınan noktalar

Genelde 60 dakika civarında süren bu ölçümlerin yaklaşık 15 dakikalık kısımlarında diğer fabrikalar üretimi durdurmuştur [1]. Bu 15 dakikalık sürede var olan fabrikanın üretimi ve buna bağlı olarak harmonik süzgeçleri ile tristör kontrollü reaktör (TKR) çalışması devam ettiğinden her bir fabrika için süzgeçlerin gerçekte ne kadar görevini yerine getirdiğini belirlemek mümkün olabilecektir.

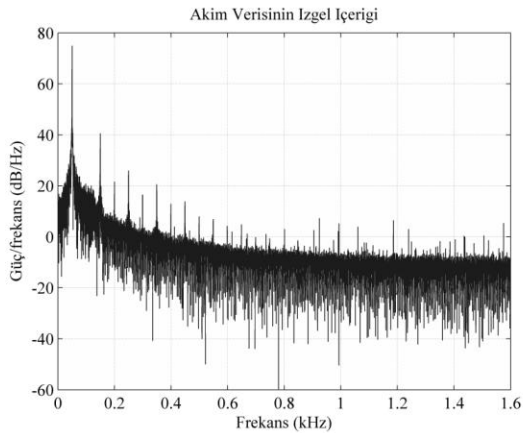
Bu çalışmada demir-çelik fabrikalarından sadece birisi için diğer fabrikaların duruş verdiği anda elektrik ark ocağı trafosunun primerinden kaydedilen veriler kullanılmıştır. Analizler sırasında kullanılan diğer fabrikaların çalışmadığı anda alınan akım ve gerilim verileri Şekil 2'de görülmektedir. Kesikli çizgi ile verilen grafik akım bilgisidir ve her iki grafik üst üste

verildiğinden gerilimin genliği onda biri olarak çizdirilmiştir.



Şekil 2 Ark ocağı trafosundan kaydedilen orijinal veri

Genel olarak elektrik ark ocaklarının akım ve gerilim dalga şekilleri zamanla değişen sinyallerdir. Bu dalga şekilleri harmonik ve ara-harmonik bileşenleri içermektedir. Şekil 3'de akım dalga şeklinin izgel içeriği gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, alt harmonik ve ara-harmonik bileşenler temel frekansa yakındır. Bu değerler akım dalga şeklinin 300 çevrimi için HFD kullanılarak bulunmuştur.



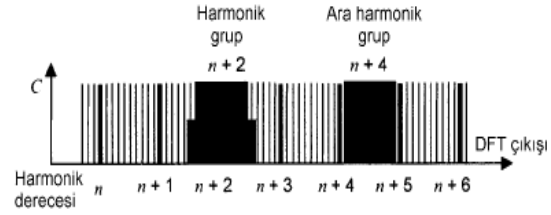
Şekil 3 Akım dalga şeklinin izgel içeriği

2.2 Harmonik Çeşitleri ve Hesaplama Yöntemleri

IEC-61000-4-7 standardında farklı harmonik ve ara harmonik hesaplama yöntemleri tanımlanmıştır [12]. Birbirine yakın ama farklı sonuçlar veren harmonik ve ara-harmonik hesaplama yöntemleri aşağıdaki gibi verilebilir:

Tek hat harmonik frekansı: 5 Hz çözünürlüğündeki Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) örneklerinden doğrudan elde edilen akım ve gerilimin 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, gibi tam katlarında olan harmonik bileşeninin ölçümüdür.

Harmonik grup ve ara harmonik grupları: Bir harmoniğin kendisine bitişik olan izgel bileşenlerinin karelerinin toplamının kareköküne eşittir. Şekil 4'de görülen harmonik grup tanımı Eşitlik 1'de, ara harmonik grup tanımı ise Eşitlik 2'de verilmiştir.



Şekil 4 Harmonik ve ara harmonik gruplarının gösterilmesi

$$G_{g,n}^2 = \frac{C_{k-5}^2}{2} + \sum_{i=-4}^4 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+5}^2}{2} \quad (1)$$

Benzer şekilde, ara-harmonik grubu da, iki harmonik (n ve n+1) arasında kalan 5 Hz çözünürlük bileşenlerini içermektedir.

$$C_{ig,n}^2 = \sum_{i=1}^9 C_{k+i}^2 \quad (2)$$

Bu denklemlerde, C_{k+i} , AFD'nin bir çıkış birimine karşılık gelen izgel bileşenin rms değeri iken, $G_{g,n}$ harmonik grubun hesaplanan rms değeridir.

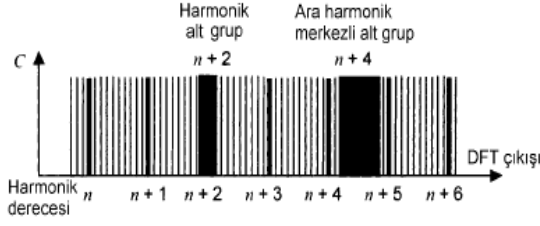
$$G_{g,n}^2 = \frac{C_{k-5}^2}{2} + \sum_{i=-4}^4 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+5}^2}{2} \quad (1)$$

Benzer şekilde, ara-harmonik grubu da, iki harmonik (n ve n+1) arasında kalan 5 Hz çözünürlük bileşenlerini içermektedir.

$$C_{ig,n}^2 = \sum_{i=1}^9 C_{k+i}^2 \quad (2)$$

Bu denklemlerde, C_{k+i} , AFD'nin bir çıkış birimine karşılık gelen izgel bileşenin rms değeri iken, $G_{g,n}$ harmonik grubun hesaplanan rms değeridir.

Harmonik alt grup ve ara harmonik alt grup: Şekil 5'den görüleceği gibi harmonik alt gruplama, harmonik bileşeninin çevresindeki AFD bileşenlerinden yalnızca bir önceki ve bir sonrakini kapsar. Ara-harmonik alt grubunda ise, harmonik frekanslarına bitişik olan bileşenler dışındakiler alınarak dalgaların etkisi kısmi olarak azaltılabilir.



Şekil 5 harmonik ve ara harmonik alt grupların gösterilmesi

Sistem frekansı 50 Hz iken, çözünürlük 5 Hz alınarak hesaplanan harmonik alt grup Eşitlik 3'de verilirken, ara-harmonik alt grup Eşitlik 4'de görülmektedir.

$$G_{sg,n}^2 = \sum_{i=-1}^1 C_{k+i}^2 \quad (3)$$

$$C_{isg,n}^2 = \sum_{i=2}^8 C_{k+i}^2 \quad (4)$$

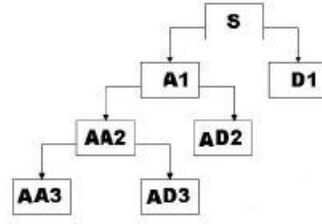
3. Dalgacık Dönüşümü

Fourier dönüşümü bir sinyalin izge çıkarımında en çok kullanılan araçlardan biridir. Fourier analizinin temelini, zaman sinyali $f(t)$ 'nin genlik izge yoğunluğunun hesaplandığı Fourier integrali oluşturur. Ancak Fourier dönüşümü ile izge çıkarımında yerel bir frekans değeri elde etmek yöntemin yapısından dolayı olanaklı değildir. Bu nedenle sinyal işlemede yerel frekans ve zaman değerlerinin elde edilebileceği yeni bir yöntem, dalgacık dönüşümü, geliştirilmiştir. Dalgacık dönüşümünün en genel tanımı Eşitlik 5'te verilmiştir [13, 14].

$$\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cdot \varphi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (5)$$

Burada; $\varphi(t)$ ana dalgacık işlevi, τ öteleme katsayısı ve s ise ölçek katsayısıdır. $\frac{1}{\sqrt{s}}$ parametresi enerji normalizasyonu için kullanılmıştır.

Doğal olarak sürekli dalgacık dönüşümü olarak adlandırılan Eşitlik 5'teki işlevi, zaman ve ölçek parametreleri yoluyla sayısallaştırmak mümkündür. Bu durumda elde edilen dönüşüme ayrık dalgacık dönüşümü adı verilir. Ayrık dalgacık dönüşümünde sinyal alt bantlara ayrılarak süzgeçleme yöntemiyle analiz edilir. Şekil 6'da 3.seviye ayrık dalgacık dönüşümü, ayrık dalgacık dönüşümünün genel yapısının anlaşılabilmesi için örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 6 3.seviye ayrık dalgacık dönüşümü (A: yaklaşım katsayıları, D: detay katsayıları)

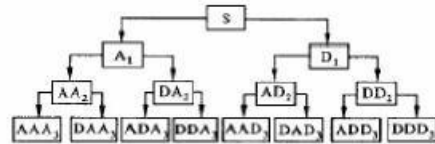
DPD ayrık dalgacık dönüşümünün detaylanmış formudur. Her seviyede sinyali düşük frekans ve yüksek frekans bileşenlerine ayrıştırır. Böylece oldukça detaylandırılmış zaman-ölçek analizi gerçekleştirilir ve farklı alt bant frekanslarında daha doğru yerel sinyal içeriği bulunur. Birimlik dalgacık paket dönüşümü Eşitlik 6'da tanımlanmıştır [15].

$$u_{2n}(t) = 2^{1/2} \sum_{k \in Z} h_k u_n(2t-k) \quad (6)$$

$$u_{2n+1}(t) = 2^{1/2} \sum_{k \in Z} g_k u_n(2t-k)$$

Burada h_k düşük frekans süzgeç katsayıları ve g_k yüksek frekans süzgeç katsayılarıdır.

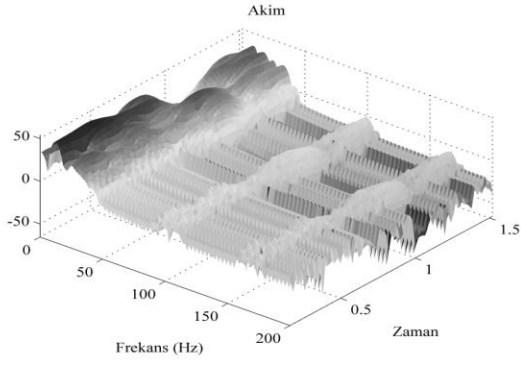
Dalgacık paket ayrıştırma ile tüm frekans bantlarında sinyal eşit genişlikte analiz edilir. İlk seviyede, alçak frekans ve yüksek frekans olmak üzere iki alt banda bölünür. İkinci seviyede, alçak frekans bandı alçak ve yüksek frekans parçalarına ayrılır. Benzer işlem yüksek frekans bandına da uygulanır ve bu işlem tüm seviyeler için tekrar edilir (Şekil 7).



Şekil 7 Dalgacık paket dönüşümü (A: yaklaşım katsayıları, D: detay katsayıları)

3. Dalgacık Paket Dönüşümü Kullanılarak Yapılan Hesaplamalar

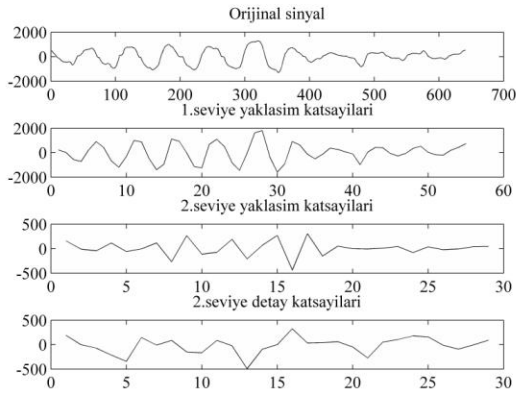
Bu çalışmada, MATLAB Wavelet Toolbox kullanılarak demir-çelik fabrikasında bulunan elektrik ark ocağı trafosunun primerinden kaydedilen veriler için DPD analizleri yapılmıştır. 800 Hz'de örneklenmiş verinin 10 çevrimi alınarak "Daubechies 20 (db20)" dalgacık işlevi ile sinyal ayrıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. DPD'de alt bant sayısı 3'tür. Kullanılan örnekleme hızında, 100 Hz frekans bantı her seviye için elde edilmiştir. Şekil 8'de akım dalga şekli için 3 boyutlu frekans-genlik grafiği verilmiştir.



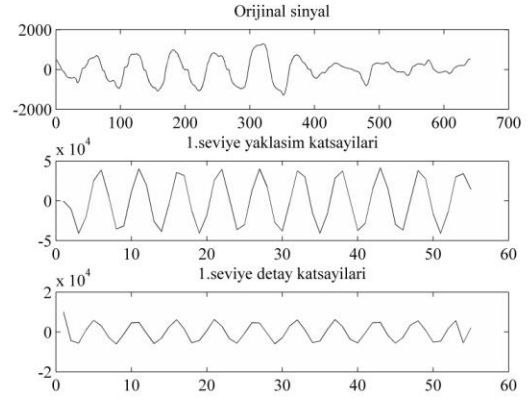
Şekil 8 Ark ocağı trafosundan alınan akım dalga şeklinin DPD gösterimi

Ark ocağı trafosundan alınan veriler 3200 Hz örnekleme hızında kaydedilmiştir. Harmonik ve harmonik grupları 10 çevrim alınarak hesaplanmıştır. Daha sonra sonuçların karşılaştırılabilmesi için harmonik grupların etkin değerlerine DPD uygulanmıştır. Ancak, yapılan analizlerin uygunluğu için önce veri örnek seyreltme işlevine sokularak her altı örnekte bir değer alınması ile örnek seyreltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki adımda bu veri 3.seviyeden DPD'ye sokulmuştur. Elde edilen frekans bantları şu şekilde sıralanmaktadır; alt harmonik elemanları için 0-30 Hz, temel için 30-82,5 Hz, 2.harmonik ve 3.harmonik için sırasıyla 82,5-112,5 Hz ve 112,5-180 Hz. Son olarak, her harmonik grubuyla bağlantılı frekans bantları için her alt banttaki sinyal ters DPD'ye sokularak yeniden elde edilmiştir.

Şekil 9 ve Şekil 10'da sırasıyla akım ve gerilim dalga şekillerinin harmonik grupları için ters DPD sonucu, yeniden elde edilen dalga şekilleri gösterilmektedir.

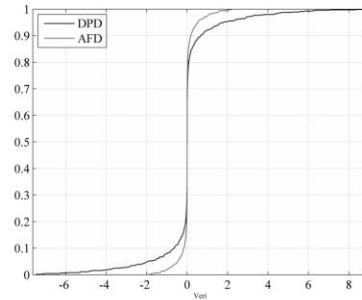


Şekil 9 Akım dalga şekli için yeniden elde edilen DPD katsayıları

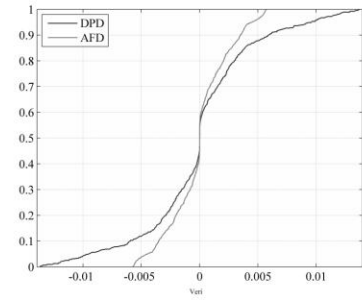


Şekil 10 Gerilim dalga şekli için yeniden elde edilen DPD katsayıları

HFD ve DPD'yi karşılaştırabilmek için birikimli dağılım işlevi (cumulative distribution function) kullanılmıştır. Şekil 11'de akım dalga şeklinin 2. ve 3.harmonik grupları için birikimli dağılım işlevleri verilmiştir. Her iki harmonik grup içinde sonuçlar için görülen farklılık, yöntemlerin farklı hesaplama yordamlarından kaynaklanmaktadır. Hem 2. hem de 3.harmonik grup için HFD'li hesaplamanın değeri DPD'ye göre daha yüksektir. Şekil 12'de gerilim dalga şekli için birikimli dağılım işlevi gösterilmiştir.

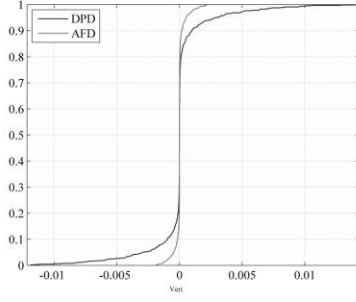


(a)

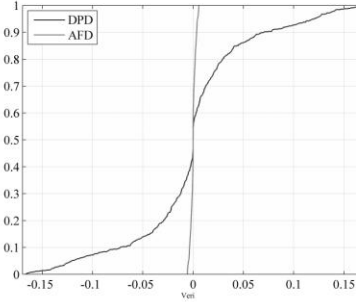


(b)

Şekil 11 Akım dalga şekli için birikimli dağılım işlevi (a) 2.harmonik grup için, (b) 3.harmonik grup için



(a)



(b)

Şekil 12 Akım dalga şekli için birikimli dağılım işlevi (a) 2.harmonik grup için, (b) 3.harmonik grup için

4. Sonuç

Bu çalışmada, 2 ve üzeri harmonik gruplar için simülasyon sonuçları HFD ve DPD için hesaplanmıştır. Ark ocağı trafosunun verileri üzerine uygulanan bu yöntemlerden 2.ve 3. harmonik için HFD değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu farkın 3.harmonikte daha belirgin olduğu görülmektedir. Ayrıca HFD ve DPD için hesaplama süresine bakıldığında DPD'nün daha iyi sonuç verdiği hesaplanmıştır. Sonuç olarak, DPD HFD'e yakın sonuçlar vermesi nedeniyle kullanılabilir bir yöntem olarak görünmektedir.

Referanslar

- [1] Salor O., Gültekin B., Buhan S., et.al., "Electrical Power Quality of Iron and Steel Industry in Turkey" Industry Applications Conference, 42. IAS Annual Meeting, p: 403-423, 23-27 September 2007
- [2] Issouribehere P.E., Issouribehere F., Barbera G.A., "Power Quality and Operating Characteristics of Electric Arc Furnaces", IEEE PES General Meeting, p: 784-791, 12-16 June 2005.
- [3] Issouribehere P.E., Barbero J.C., Barbera G.A., et.al., "Compatibility between Disturbance Emission and Argentinian Power Quality Regulations in Iron and Steel Industries", IEEE/PES Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, p:1-6, August 2006
- [4] Andrews D., Bishop M. T. & Witte F. J., "Harmonic Measurements, Analysis, and Power Factor Correction in a Modern Steel Manufacturing

Facility", IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 32, No. 3, p:617-624, May- June 1996

[5] Cepisca C., Andrei H., Ganatsisos S., & Grigorescu S. D. "Power Quality and Experimental Determinations of the Electrical Arc Furnaces", The 14 th IEEE Mediterranean Electromechanical Conference (MELECON2008), p:567-572

[6] Carpinelli G., Di Manno M., Verde P., Tironi E., Zaninelli D. "AC and DC Arc Furnaces: a Comparison on Some Power Quality Aspects" IEEE p:499-506, 1999

[7] Barros J., Perez E., Pigazo A., Diego R. I., "Simultaneous Measurement of Harmonics, Interharmonics and Flicker in Power System for Power Quality Analysis", Conference of Power System Management and Control, 17-19 April 2002, IEE 2002, p:100-105

[8] Keppler T., Watson N. R., Arrillaga J., Chen S., "Theoretical Assessment of Light Flicker Caused by Sub- and Interharmonic Frequencies", IEEE Tran. On Power Delivery, Vol:18, No:1 Jan. 2003, p: 329-333

[9] Prieto A. M. A., Ramos N. A. B. & Garcia M. F. "Arc Furnace Current and Voltage Harmonics Analysis Using The Wavelet Packet Transform", 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power 2008 (ICHQP 2008) p:1-6

[10] Chun L., Wilsun X., Thavatchai T., "Interharmonic: basic concepts and techniques for their detection and measurement", Electric Power Systems Research 00 (2003), p:1-10

[11] Gallo D., Langella R., Testa A., "Interharmonic Part 1: Aspect Related to Modeling and Simulation", L' Energia Elettrica- Vol:81 (2004), p:168-173

[12] IEC 61000-4-7, Testing and Measurement Techniques- General Guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected there to.

[13] R.R. Coifman and M.V. Wickerhauser, "Entropybased algorithms for best basis selection", IEEE Trans. Inform. Theory, Vol. 38, pp. 713-718, March 1992.

[14] C. K. Chui, "An Introduction to Wavelets", Academic Press, 1992.

[15] M. Vetterli and J. Kovačević, "Wavelets and Subband Coding", Prentice Hall, 1995.

[16] M. V. Wickerhauser, "Adapted Wavelet Analysis from Theory to Software", Wellesley, MA: A. K. Peters, 1994.