

ELEKTRİK ARK OCAKLARINDAKİ HARMONİKLERİN ENERJİ SİSTEMİ ÜZERİNE BOZUCU ETKİSİ

Güneş BECERİK

Hacer ŞEKERCİ

Yaşar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik - Elektronik Mühendisliği

ÖZET

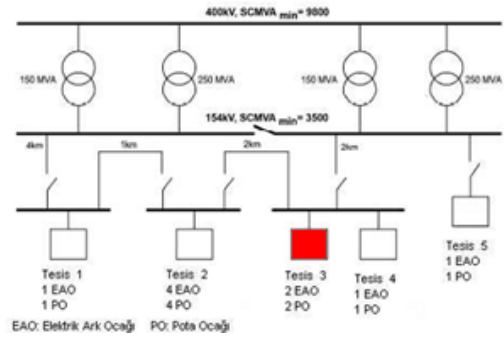
Bu çalışmada, demir çelik fabrikalarının elektrik sistemine verdiği bozucu etkiler araştırılmıştır. Bir demir-çelik tesisinde eş zamanlı olarak yapılan akım ve gerilim ölçümlerinin verileri kullanılarak, ark ocaklarının sisteme verdiği harmonik etkiler detaylı bir şekilde incelenmiştir. Mevcut akım ve gerilim değerleri MATLAB (Matrix Laboratory) programı kullanılarak analiz edilmiş ve tesiste harmonik etkiler gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Harmonik, Elektrik Ark Ocakları, Güç Kalitesi

1.GİRİŞ

Demir-çelik endüstrisi ülkemizde hızla gelişen endüstriler arasındadır. Ülkemizin kurulu gücünün (58.042 MW) yaklaşık onda bir'lik oranı demir-çelik endüstrisi tarafından kullanılmaktadır. Ark ocaklarının neden olduğu harmonikleri inceleyen birçok çalışma literatürde bulunmaktadır.[1-6] Ayrıca sadece güç kalitesi sorununu inceleyen birçok çalışmaya rastlanmaktadır.[7-12]

Bu çalışmada TÜBİTAK tarafından desteklenen Güç Kalitesi Milli Projesi kapsamında İzmir Aliaga bünyesinde yoğun olarak bulunan demir- çelik endüstrisi tesislerinin birinde eş zamanlı olarak yapılan akım ve gerilim ölçüm verileri kullanılmıştır. Gerçek akım ve gerilim değerleri kullanılan fabrikanın aynı hattan beslediği demir-çelik tesisleri tablo-1'de verilmiştir. Bölgede farklı güçlere sahip işletmeler de bulunmaktadır. 3 nolu tesis verilerinin incelendiği çalışmanın analiz kısmında; demir-çelik fabrikasının değişik noktalarından eş zamanlı olarak akım ve gerilim değerleri üzerinde harmonik analizi yapılmıştır.



Tablo 1- Bölgenin tek hat şeması

$$f(t) = f(t + T) \quad (1)$$

$t \rightarrow$ zaman , $T \rightarrow$ fonksiyonun periyodu

(1) kullanılarak yapılan iterasyonda

$$f(t) = f(t + hT) \text{ for } h = 0, \pm 1, \pm 2.. \quad (2)$$

(2) trigonometrik fonksiyon olarak ifade edilirse

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n * \cos(n\omega t) + b_n * \sin(n\omega t) \quad (3)$$

Fourier Serileri elde edilir.

$$F(k\Delta\Omega) = \sum_{n=0}^{N-1} f(n\Delta T) * e^{-\frac{j2kn}{N}} \quad (4)$$

$$f(n\Delta T) = \sum_{k=0}^{N-1} F(k\Delta\Omega) * e^{\frac{-j2kn}{N}} \quad (5)$$

$$k, n = 0, 1, \dots, N - 1 ; (\Delta\Omega) = \frac{2}{\Delta T} ; \Delta T = \frac{T}{N} \quad (6)$$

4,5 ve 6 denklemler fourier analizinde frekans bulmaya yarayan denklemlerdir.[13]

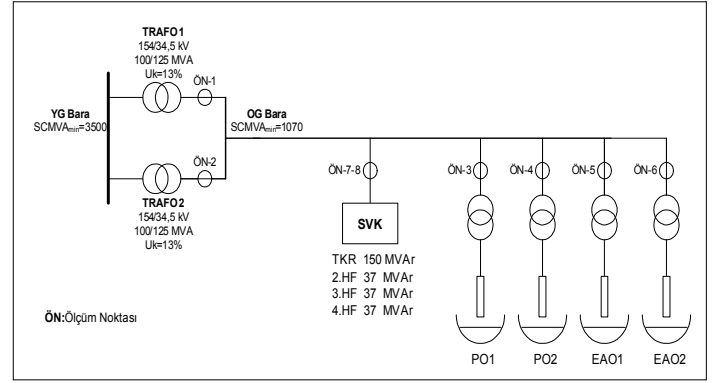
Bu çalışmanın 2. bölümünde tesis 3'ün içerdiği 1 trafo, 1 pota ocağı, statik var kompanzasyon sistemi ve 1 elektrik ark ocağının harmonik analizi yapılmıştır. 3. bölümde ise tesisin aktif ve reaktif gücü incelenerek, bozucu etkiler araştırılmıştır. Son olarak 4. bölümde sistemden alınan sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. ELEKTRİK ARK OCAĞININ HARMONİK ANALİZİ

Hurda metalden elektrik arkı yardımıyla ergimiş sıvı formda metal ark ocakları ile edilirken, bu sıvı metalin içindeki diğer yabancı maddelerin ayrıştırılması ise pota ocaklarında olmaktadır. Pota ocağından sonra ergimiş metal kalıplara dökülerek işlenmeye başlamaktadır.

Bölgenin tek hat şeması incelendiğinde farklı sayıda ark ocağı ve pota ocağı bulunan tesisler görülmektedir. Şekil 1'de Tesis-3 yakından incelendiğinde sistemi besleyen yüksek gerilim barasından sonra 2 adet, 154 / 34,5 kV oranında indiren düşürücü trafo olduğu gözlenmektedir. Trafonun sekonder tarafında ise 2 adet pota ocağı, 2 adet ark ocağı, tristör kontrollü reaktör ile harmonik filtreler bulunmaktadır.

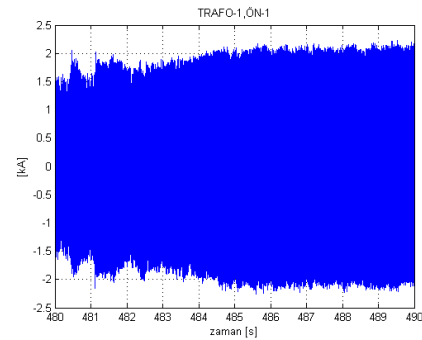
TÜBİTAK projesinde şekil'de görülen, tüm fabrikalar için diğer 4 fabrikanın duruş verdiği 10 dakikalık ve kendi fabrikasının içerisinde ark, pota ocakları ile harmonik filtreler ve trafo çıkışlarından eş zamanlı ölçümler alınmıştır. Bu çalışmada söz konusu ölçüm verileri kullanılarak, 60 dakika civarındaki ölçümlerin küçük bir kısmı analiz edilmiştir. Bununla birlikte akım ve gerilim verileri kullanılarak eş zamanlı aktif ve reaktif güç verileri elde edilmiştir. Sonuç olarak sistemdeki bozulmalar incelenmiştir.



Şekil 1- Tesis 3'ün tek hat şeması

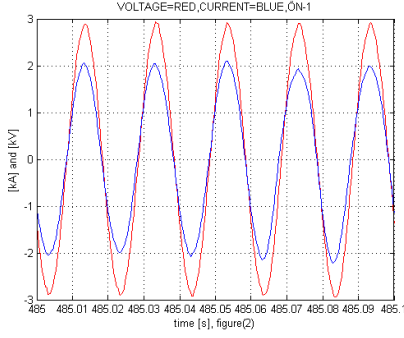
2.1. TRANSFORMATÖR-1

Tek hat şemasında görüldüğü üzere sistemde bulunan 2 adet trafodan kaydedilen değerler ÖN1 ve ÖN2 olarak adlandırılan noktalardan alınmıştır. Şekil-2'de görülen trafo 1 akımı verileri ÖN1'den alınmıştır. Akımın ortalama değeri yaklaşık 2 kA'dır.



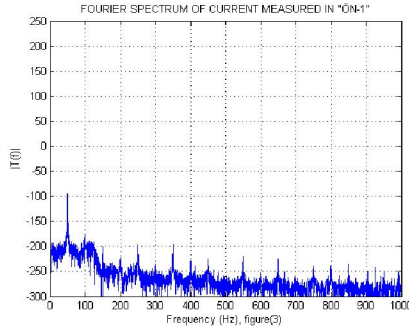
Şekil 2- Trafo 1 akımı [kA]

485. Saniyenin büyütülmüş hali görülmektedir. Kırmızı dalga şekli gerilim, mavi ise akım dalga şeklini göstermektedir. Şekil-3'teki T(f) fonksiyonu trafonun akım genliğinin, T₁(f) fonksiyonu ise gerilimin genliğinin logaritmik ölçekte desibel biriminden gösterilmesidir.

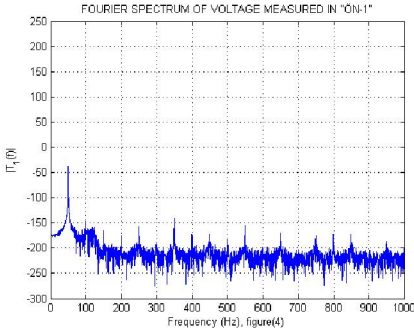


Şekil 3- 485.saniyenin büyütülmüş hali [kA , kV]

Harmonik analizi sonrası Şekil-4 ve 5 incelendiğinde bozucu etkilerin özellikle tek harmonikler olduğu saptanmıştır. Ara harmoniklerin etkisi açıkça görülmektedir.



Şekil 4- Akım değerlerinin fourier Analizi [dB]



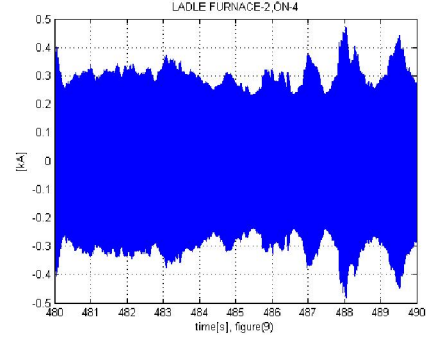
Şekil 5- Gerilim değerlerinin fourier Analizi [dB]

2.2. POTA OCAĞI – 2

Metali ergimiş formda koruyan ve kimyasal çökelmelerin olduğu pota ocakları tek hat şeması üzerinde pota ocakları “PO1” ve “PO2” adlandırılmıştır. Ölçümler eş zamanlı olarak ÖN-3 ve ÖN-4’ten alınmıştır.

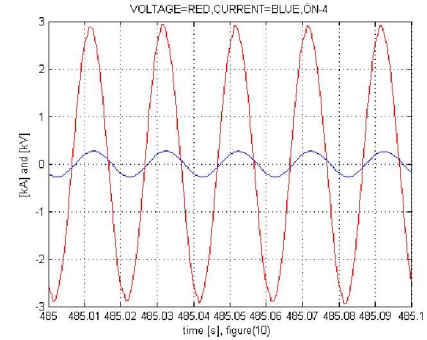
ÖN-4’ten alınan veriler doğrultusunda şekil-6’da pota ocağı-2’nin çektiği akım gösterilmektedir. Bu veri alınırken pota

ocağı çalışma durumundadır. Bu nedenle çekilen akım dengesizdir.



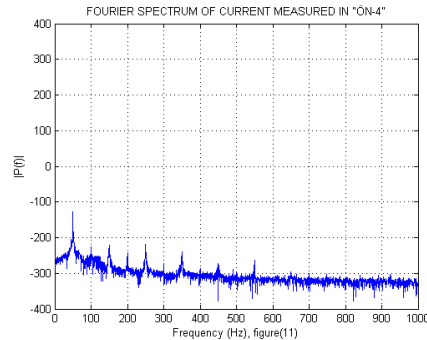
Şekil 6- PO2 akımı [kA]

Şekil-7’de kırmızı dalga şekli gerilim, mavi ise akım dalga şeklini göstermektedir. $P(f)$ fonksiyonu pota ocağının akım genliğinin, $P_1(f)$ fonksiyonu ise gerilimin genliğinin logaritmik ölçekte desibel biriminden gösterilmesidir.



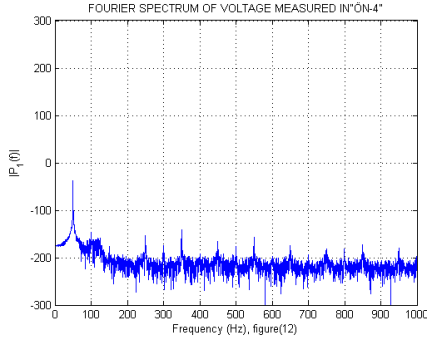
Şekil 7- 485.saniyenin büyütülmüş hali [kA , kV]

Harmonik analizi sonucunda şekil-8 incelendiğinde pota ocağı-2’de özellikle 3,5, ve 7. harmoniklerin etkisi görülmektedir. Ara harmoniklerin etkisi diğer elemanlara göre daha azdır.



Şekil 8- Akım değerlerinin fourier Analizi [dB]

Şekil-9’da ise gerilimin özellikle tek harmoniklerden 5 ve 7. harmonik nedeniyle bozulduğu görülür. Ara harmoniklerin etkisi büyüktür.

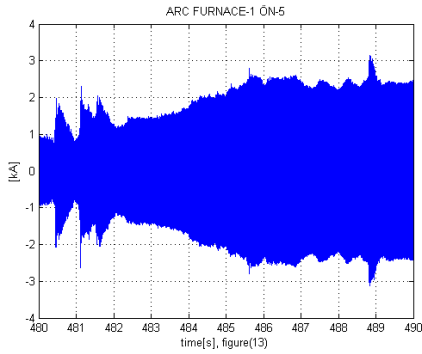


Şekil 9- Gerilim değerlerinin fourier Analizi [dB]

2.3 ELEKTRİK ARK OCAĞI-1

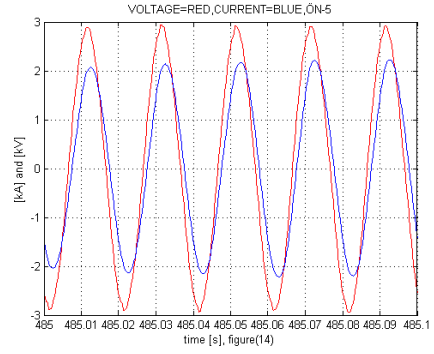
Sistemde bulunan 2 adet ark ocağı tek hat şemasında “EAO1” ve “EAO2” adlandırılmıştır. Ölçümler eş zamanlı olarak ÖN-5 ve ÖN-6’den alınmıştır.

Şekil-10’da ark ocağı-1’in ÖN-5’ten alınan akım verileri görülmektedir. Bu veri alınırken ark ocağı çalışır durumdadır. 480. Saniyede ark ocağı yaklaşık 1 kA çekerken, metallerin alınıp kapağın kapatılmasıyla beraber 484. Saniyede akım yaklaşık 2 kA kadar çıkmıştır.



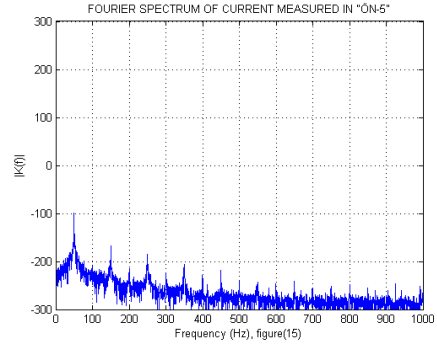
Şekil 10- EAF1 akımı [kA]

Kırmızı dalga şekli gerilim, mavi ise akım dalga şeklini göstermektedir. $K(f)$ fonksiyonu elektrik ark fırını akım genliğinin, $K_1(f)$ fonksiyonu ise gerilimin genliğinin logaritmik ölçekte desibel biriminden gösterilmesidir.



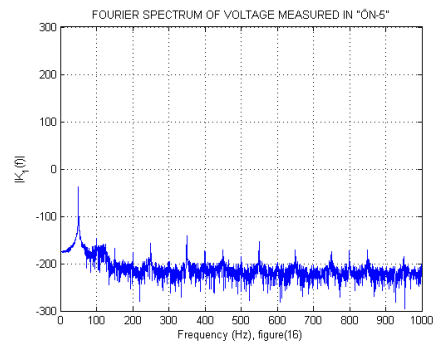
Şekil 11- 485.saniyenin büyütülmüş hali [kA , kV]

Akımdaki dengesizlik şekil-12’de görüldüğü gibi tek harmoniklerin oluşmasına neden olmuştur. 3, 5, 7 ve 9. harmoniklerin etkisi akım harmoniklerinde açıkça görülmektedir.



Şekil 12- Akım değerlerinin fourier Analizi [dB]

Şekil-13’de ise gerilim harmonikleri görülmektedir. Tek harmoniklerden özellikle 5. ve 7. harmoniğin etkisi saptanmıştır. Ara harmoniklerin etkisi gözlenmektedir.



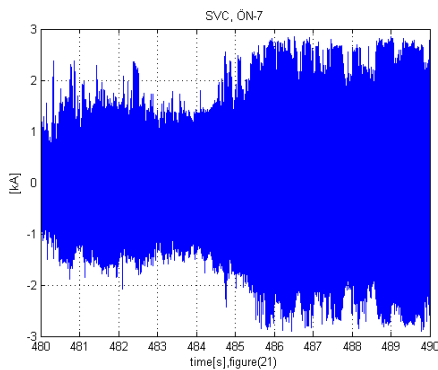
Şekil 13- Gerilim değerlerinin fourier Analizi [dB]

2.4. STATİK VAR KOMPANZASYON SİSTEMLERİ

Endüstriyel sistemlerde kullanılan enerjinin sürekli olması kadar, kaliteli olması da oldukça önemlidir. Ayrıca reaktif gücün yasal olarak izin verilen limitler içinde kalması da bir başka dikkat edilmesi gereken noktadır. Bu nedenle en yüksek genlikli olan 2inci, 3üncü ve 4üncü harmonik filtrelerin fabrika tarafından kurulmasının yanı sıra, reaktif güç kompanzasyonu da gene işletme tarafından yapılmaktadır. Bu kısımda SVK ve filtrelerin hep birlikte çektiği akım dalga şeklinin harmonik analizi yapılmaktadır. Tüm bu akım harmoniklerinin elektrik iletim sistemi arz güvenilirliği ve kalitesi yönetmeliğinde verilen kabul edilebilir akım harmonikleri limitlerinin altında olması beklenmektedir.

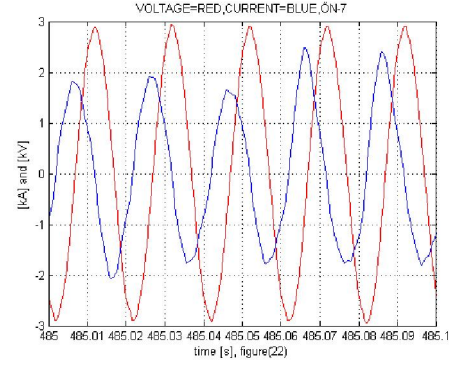
Bu çalışmada incelenen tesisin mevcut gerilim seviyesi için limit değerleri: 3, 5, 7 ve 9. harmonik için %5; 11,13 ve 15. harmonikler için %2,3 ve 17, 19, 21. harmonikler için %2 olarak verilmektedir. Çift harmonikler ise izleyen tek harmoniğin 0.25 katı ile sınırlandırılmıştır. Tüm bu veriler ışığında toplam talep bozulumu (THD) %6'dan büyük olmamak durumundadır.

Şekil-14'te SVK'nın çektiği akımın dalga şekli görülmektedir. 480-485. saniyeye arasında yükler bekleme durumundadır. Çektikleri akım ortalama 1,5 kA'dır. 485. Saniyeden sonra yükler devreye girmiştir ve görüldüğü gibi akım 2,5 kA kadar çıkmıştır.



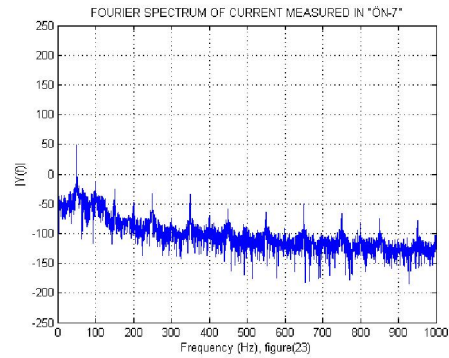
Şekil 14- SVK Akımı [kA]

Kırmızı dalga şekli gerilim, mavi ise akım dalga şeklini göstermektedir. $Y(f)$ fonksiyonu SVK akım genliğinin, $Y_1(f)$ fonksiyonu ise gerilimin genliğinin logaritmik ölçekte desibel biriminden gösterilmesidir.

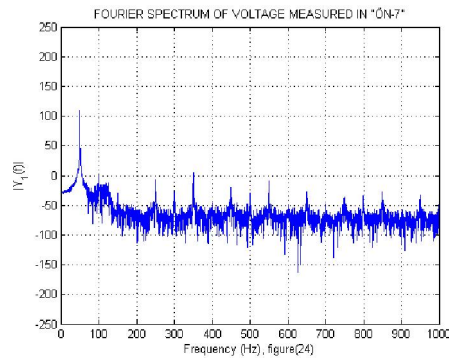


Şekil 15- 485.saniyenin büyütülmüş hali[kA , kV]

Dalga şeklindeki ani değişimler ve devreye yüklerin girip çıkması nedeniyle Şekil 16 ve 17'deki harmonik analizinde hem tek hem çift harmonikler görülmüştür. Dalga şeklindeki sinüzoidalite bozulmaya başlamıştır.



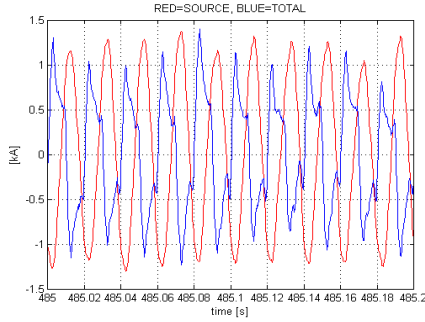
Şekil 16- Akım değerlerinin fourier Analizi [dB]



Şekil 17- Gerilim değerlerinin fourier Analizi [dB]

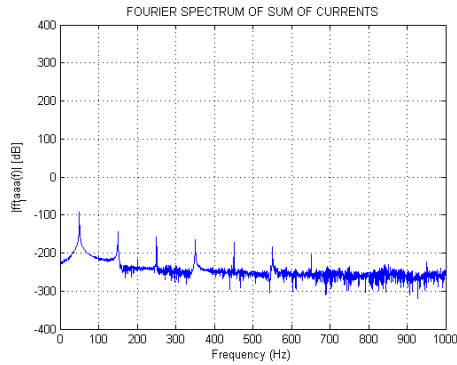
3. AKTİF VE REAKTİF GÜÇ

Aktif ve reaktif güç analiz edilmeden önce sistemdeki akım dalga şekillerine bakılmalıdır. Kırmızı renkte olan dalga şekli ON1 ve ON2'den ölçülen akımların toplamıdır. Mavi renkte olan ise toplam akımdır. Toplam akım; elektrik ark fırını, pota ocağı, tristör kontrollü reaktör, 2-3-4. harmonik filtrelerden akan akımların toplamına eşittir



Şekil 18- kaynak ve toplam akım

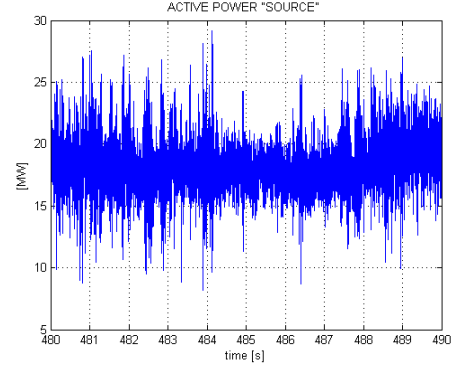
Şekil 18'teki toplam akımın fourier analizi yapıldığında sinüzoidalılığı bozan etkinin tek harmoniklerden kaynaklandığı gözlenmiştir.



Şekil 19- Toplam akımın fourier analizi

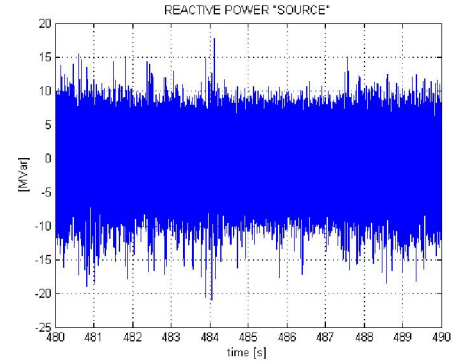
Lineer olmayan yükler, sinüzoidal olmayan dalga şekilleri yaratır. Yükteki ani değişimler nedeniyle aktif ve reaktif güçte bozulma olur.

Şekil-20 ON1 ve ON2'den çekilen aktif güç grafiğidir. Sürekli değişim içinde olan güç değeri için ortalama değer 17 MW'tır. Şekil-21 ise ON1 ve ON2'den çekilen reaktif gücü göstermektedir. Reaktif güç 10 MVar'lık tepe değerinde salınmaktadır.



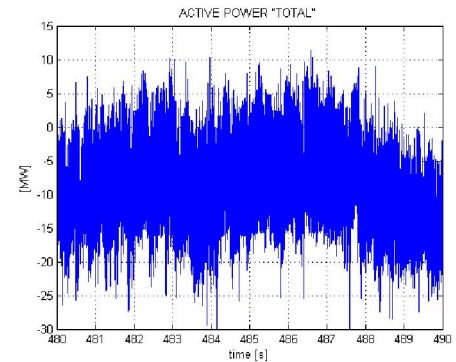
Şekil 20- ON1,2 ölçülen aktif güç

Sistemdeki toplam aktif ve reaktif güç hesaplanırken şekil-18'teki toplam akım değerleri kullanılır.

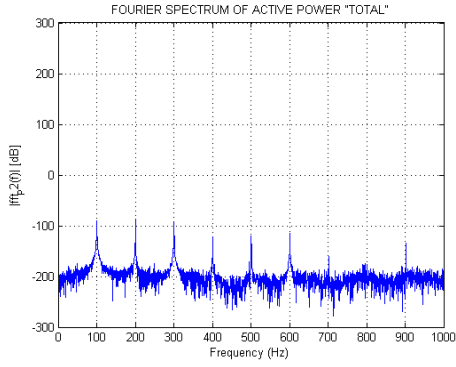


Şekil 21- ON1,2 ölçülen reaktif güç

Şekil-22'de görüldüğü üzere harmoniklerin etkisi ile güçte bozulmalar oluşmuştur. Şekil-23'te toplam aktif gücün fourier analizi yapıldığında bozulmanın çift harmoniklerden kaynağını belirlenmiştir.

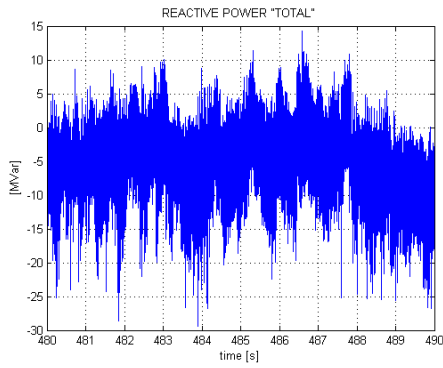


Şekil 22- Toplam aktif güç

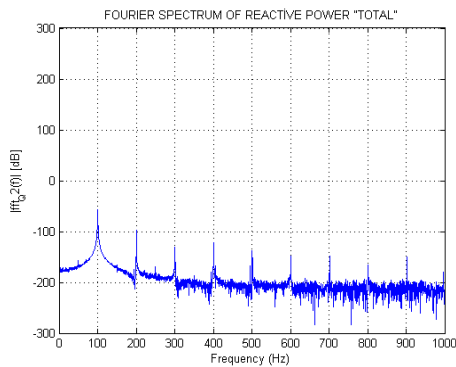


Şekil 23- Toplam aktif gücün fourier analizi

Şekil-24'te toplam reaktif güc görülmektedir. Bozulmanın nedeni şekil-25'te görüldüğü üzere çift harmoniklerdir. Aktif ve reaktif güçteki değişimler zamana göre incelendiğinde yüklerin devreye girip çıktığı zamanlarda eşit zamanlı ani değişimler görülmektedir.



Şekil 24- Toplam reaktif güç



Şekil 25- Toplam reaktif gücün fourier analizi

4. SONUÇ

Endüstri tesisleri için güç kalitesi çok önemlidir. İdeal bir sistemde her türlü gerilim artış – azalışı (sag,swell), kırışma

ve harmonikten arınmış sinüzoidal dalga şekilleri üretilmelidir; Ancak sistemdeki kaçınılmayan doğrusal olmayan yükler nedeniyle tüketicilere sağlanan enerji kalitesinde bozulmalar görülmektedir. Her tüketicinin yasal limitler dahilinde harmoniği sisteme verecek ve sistemden gene yasal limitler dahilindeki istemeden reaktif gücü çekecek şekilde tesislerini kurması, işletmesi, filtre ve kompanzasyon yapması gerekmektedir. Öncelikle fourier analizi kullanılarak sistemdeki kirlilik tespit edilir ve harmonik filtreler yardımıyla sistemdeki etkileri kaldırılmaya çalışılır.

Fabrika içerisinde yapılan eş zamanlı ölçümler sonucunda sistemdeki her bir eleman için harmonik analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda ark ocağı ve pota ocağında tek harmoniklerin etkili olduğu, SVK üzerinde ise hem tek hem çift harmoniklerin etkili olduğu tespit edilmiştir. Güç hesabında ise yükler devreye girdiği zaman bozulmanın görüldüğü ve güçteki bozulmaya çift harmoniklerin neden olduğu görülmüştür. Analiz grafiklerinde harmoniklerin yanı sıra ara harmoniklerinde etkisi saptanmıştır.

5. REFERANSLAR

[1] Hacer Şekerci, Eyüp Akpınar, “Ark Ocaklarının Enerji Sistemi Üzerindeki Bozucu Etkilerinin Analizi”,2007

[2] J. Sousa, M.T. Correia de Barros, M. Covas, A. Simoes, “Harmonics and Flicker Analysis in Arc Furnace Power Systems”

[3] I. Vervenne, K. Van Reusal, R. Belmans, “Electric Arc Furnace Modelling from a “Power Quality” point of view”, 3rd IEEE Benelux UX Young Researchers Symposium in Electrical Power Engineering, 27-28 April 2006, Ghent, Belgium

[4] J.A.T. Jones, B. Bowman, P.A. Lefrank, "Electric Furnace Steelmaking", in The Making, Shaping and Treating of

Steel, R.J. Fruehan, Editor. 1998, The AISE Steel Foundation: Pittsburgh. p. 525–660.

[5] Zhao Hui Tang Wei , Yue You-jun, “Simulations of Harmonic Analysis OF Arc Furnace Electrical Arc Model”, Information Engineering and Computer Science (ICIECS), 2010 2nd International Conference, p.1-4, ISBN: 978-1-4244-7939-9

[6] Loredana Ghiormez, Manuela Panoiu, Caius Panoiu, “Harmonics Analysis of the 3-Phase Electric Arc Furnace Using Models of the Electric Arc”, AWERProcedia Information Technology and Computer Science, Vol 3 (2013): 3rd World Conference on Information Technology (WCIT-2012),

[7] Ö. Salor, B. Gültekin , S. Buhan , B. Boyrazğlu, T. İnan, T. Atalik, A. Açık, A.Terciyanlı, “Türkiye’deki Demir-Çelik Endüstrisinin Elektrik Güç Kalitesi”

[8] S. Sathiakumar, “Power Quality Study Using Matlab”

[9]Horia Andrei, Costin Cepisca, Sorin Grigorescu, "Power Quality and Electrical Arc Furnaces", retrieved April 2013

[10] A. De Almeida, L. Moreira, J.Delgado, “Power Quality Problems and New Solutions”

[11]Hans De Keulenaer, “Power quality Self Assessment Guide”, Copper Development Association, IEE Endorsed Provider, retrieved March 2013

[12]A. De Almeida, L. Moreira, J.Delgado, “Power Quality Problems and New Solutions”, retrieved May 2013

[13] Taneja, HC (2008), "Chapter 18: Fourier integrals and Fourier transforms", Advanced Engineering Mathematics; Volume 2, New Delhi, India: I. K. International Pvt Ltd, ISBN 8189866567.