

Elektrik Ark Fırını Besleyen Elektrik Şebekelerinde Gerilim Sapmalarının Deneysel İncelenmesi

Experimental Investigation of Voltage Deviations on Electrical Power Network Supplying Electric Arc Furnace

Mustafa ŞEKER¹, Arif MEMMEDOV²

¹Divriği Nuri DEMİRAĞ MYO
Cumhuriyet Üniversitesi
mustafaseker@cumhuriyet.edu.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği
İnönü Üniversitesi
arif.memmedov@inonu.edu.tr

Özet

Elektrik ark fırınları(EAF) dengesiz, lineer olmayan ve zamanla değişen yüklerdir. Ark fırınları bu özelliğinden dolayı bağlı oldukları şebekelerde gerilim sapmalarına neden olmaktadır. Bu nedenle EAF bulunan tesislerde şebekede meydana gelecek gerilim sapmalarını incelemek ve onları küçültme yoluna gitmek oldukça önemlidir. Bu çalışmada, Sivas Demir Çelik İşletmesinde(SİDEMİR) bulunan elektrik ark fırını besleyen DEÇEKO trafo merkezine güç analizörü bağlanarak gerekli ölçümler yapılmıştır ve EAF' nin çalışması durumunda meydana gelen gerilim sapmaları istatistiksel olarak incelenmiştir.

Abstract

Electric arc furnaces (EAF) is unstable, non-linear and time-varying loads. Arc furnaces are connected to networks because of this feature is caused by the voltage deviations. For this reason, the network will occur in any facility where EAF to examine the voltage deviations and Seek to reduce them is very important. In this study, DEÇEKO transformer station supplying the electric arc furnace in Sivas Iron and Steel Firm (SİDEMİR) the necessary measurements were made by connecting the power analyzer and EAF 's were statistically analyzed voltage deviations occurring in the case study.

1. Giriş

Günümüzde elektrik enerjisi metalürjide oldukça fazla kullanılan enerji türlerinden biridir. Özellikle 2.dünya savaşından sonra yaygın olarak kullanılan elektrik ark fırınlarının temeli; faz ile hurda arasında oluşan elektrik arkının 3000-4000 C⁰'lık ısısından yararlanılarak ergitme işlemi yapmasıdır. Bir faz ve iki faz oldukları gibi günümüzde genellikle üç faz olarak kullanılırlar. EAF' larının beslenmesi içinde genellikle sanayi frekanslı AC gerilimler kullanılır[1].

EAF' ları dengesiz, lineer olmayan ve zamanla değişen yüklerdir. Bu özelliklerinden dolayı EAF' ları bağlı oldukları şebekelerde enerji kalitesinde bozulmalara neden olurlar. Elektrik ark fırınlarındaki gelişmeler özellikle son 30-35 yıl içerisinde olmuştur. Transformatör güçlerinin büyümesi,

kapak ve yan duvarların soğutma sistemleri geliştirilerek daha uzun süre dayanabilme özelliği sağlanması, soğuk bölge olarak tanımlanan kısımlarda ergitme işleminin sağlanabilmesi için O₂ brülörlerin kullanılması ve gelişen teknolojiye paralel olarak bilgisayarlı denetleme ve optimizasyon sistemlerinin geliştirilmesi ile ark fırınlarının şebeke üzerindeki etkileri en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Bu gelişmelere paralel olarak elektrik ark fırınları demir-çelik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Demir-çelik endüstrisi özellikle son 10-15 yılda Türkiye' de giderek büyüyen bir sektör haline gelmiştir. Sektörün günümüzdeki elektrik talebi 2007 yılı itibari ile 40 GW' lık kurulu üretim gücünün yaklaşık onda biri kadardır[2].

EAF' ları değişken parametrelili direnç özelliğine sahip olduğundan bağlı olduğu şebekede gerilim sapmaları üretir ve bu sapmalar şebekeden beslenen diğer yüklerin normal çalışmasına engel olur. Belirtilen bu duruma karşılık EAF' larının diğer çelik eriten fırınlara göre pek çok üstünlükleri vardır[3-4]. Bu özellikleri arasında yüksek alaşımli alet çeliklerini, ısıya dayanıklı ve ateşe devamlı ve aynı anda birkaç konstrüksiyon çeliğini eritebilme özelliğini gösterebiliriz.

Bu konu hakkında yapılan çalışmalar EAF' ları ile yüksek alaşımli alet çeliklerin eritilme maliyeti, marten fırınlarda hemin çeliklerin eritilme maliyetinden çok daha düşüktür.

EAF' larının çalışmasında gerilim sapsması, yüksek harmonikli bileşenler, simetrik olmayan durumlar, güçlük katsayısının küçük olması gibi durumlar fırın çalışmasını zorlaştırır.

EAF' larında işlemler stokastik olduklarından, araştırmalarda olasılık teorisi yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada, Sivas Demir Çelik İşletmesinde(SİDEMİR) bulunan elektrik ark fırını besleyen DEÇEKO trafo merkezine güç analizörü bağlanarak gerekli ölçümler yapılmıştır ve EAF' nin çalışması durumunda meydana gelen gerilim sapmaları istatistiksel olarak incelenmiştir.

2. EAF' larının Bazı Özellikleri ve Deneysel İşlemler

2.1. EAF' larının Bazı Özellikleri

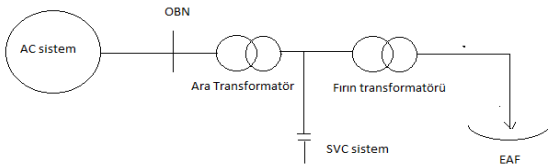
EAF' larında ark aralığının iyonlaşmasındaki değişim, eritilen metalin buharı, metalin ve curufun erime zamanı hareketi, eritilen metalin yüzeyindeki elektrik alan şiddetinin değişimi etkisiyle arkın yer değiştirmesi, arkın elektromanyetik kuvvetlerin etkisiyle hareketi, elektrotların titreşmesi v.b. olaylar ark akımının değişmesine neden olan faktörlerdir. Bu faktörler değişken karakteristikler sahip olduğundan akımın değişimi de değişken karakteristikli olur ve;

$$U_{ark} = f(I_{ark}) \quad (1)$$

olduğundan gerilim değişimi de değişken karakteristikli olur. Bu nedenle EAF' larındaki elektriksel işlemlerin yapılması için deneysel işlemlerin yapılması gereklidir. Bu deneysel işlemler sonucunda olasılık teorisi kullanılarak EAF' larında meydana gelen değişken karakteristikli gerilim sapmalarının belirlenmesi amaçlanmıştır[5-6].

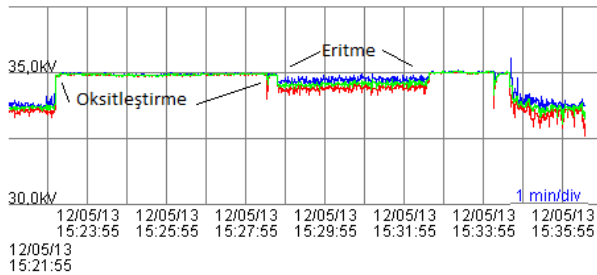
2.2. Deneysel İşlemler

Elektrik ark fırınının diyagramı Şekil1'de gösterildiği gibidir.

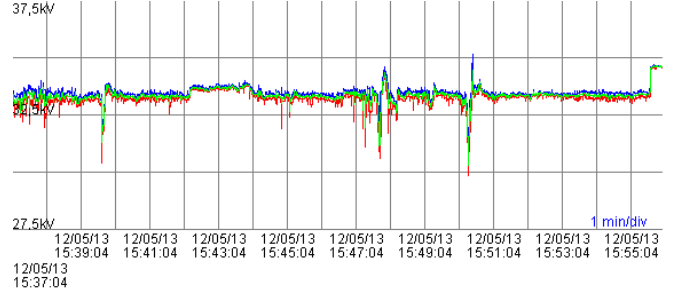


Şekil 1. Elektrik ark fırını diyagramı

Ara transformatör 380/34,5 kV-100 MVA gücünde, 34,5/0,719 kV-60 MVA gücündedir ve harmonik etkileri azaltmak için Statik Voltaj Kpasitör(SVC) sistem kullanılmıştır. Çalışmada şebekeye bağlı ara transformatörün seconder ölçüm trafosuna HIOKI 3197 model güç analizör bağlanarak 10,24kHz (saniyede 204,8 nokta) örnekleme frekansı ile fırının çalıştığı ve fırının çalışmadığı durumlarda 1 sn aralıklarla ölçülen gerilimin etkin değerleri analizde kullanılmıştır.



Şekil 2. C fazına ait OBN' da gerilimin değişimi(mavi maksimum, yeşil ortalama, kırmızı minimum gerilim değerleridir)



Şekil 3. Fırın eritme işlemi yapıyorken OBN' da C fazına ait gerilimin değişimi(mavi maksimum, yeşil ortalama, kırmızı minimum gerilim değerleridir)

Şekil 2' de fırının çalıştığı ve çalışmadığı durum için C fazına ait gerilim değişimi verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi fırının çalışması durumunda gerilim değerinde düşmeler olduğu görülmektedir. Şekil 2 de saat 15:23 ile 15:28 arasında yaklaşık beş dakika sürecinde fırın çalışmamaktadır ve gerilim seviyesinin nominal gerilim seviyesi civarında olduğu gözlemlenmiştir(Oksitleştirme). Şekil 3 de fırın çalışırken gerilim seviyesinin nominal değerinin altında olduğu gözlemlenmiştir.

Eritme sırasında, metal eridikçe elektrotlar etrafında kuyular oluşur. Bu kuyuların duvarları yıkıldığında ise elektrotla metal kısa devre olur ve üç fazlı ark fırınlarını besleyen şebekeler hem simetrisizlik hem de akım sapmaları olduğundan ark gerilimlerinde büyük sapmalar alınır. Oksitleştirmede ise fazlar kısmen simetrik olduğundan büyük gerilim sapmaları alınmamaktadır. Ayrıca fırın transformatörünün Y/Δ bağlandığında 3 ve 3' e bölünen harmonikler şebekeye iletilmez[7]

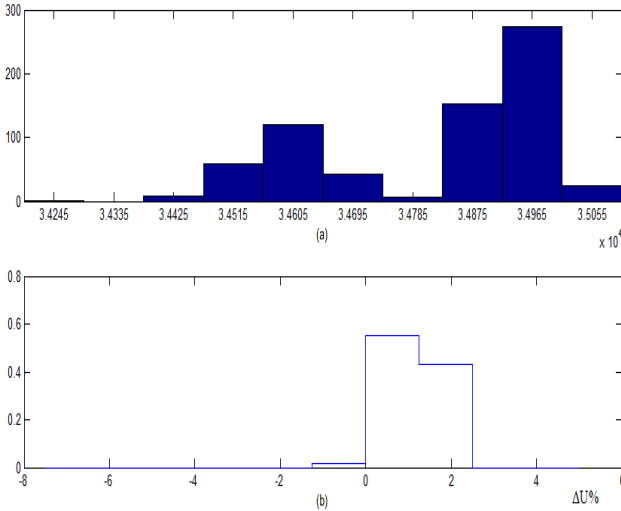
2.2. Deneysel İşlemlerin İncelenmesi

Gerilim sapmalarının şebekeye olan etkilerini bulmak için gerilim değişimlerinin histogram eğrilerinden faydalanılır. Elde edilen histogram eğrisinden histogramın sayısal değerleri olasılık teorisine göre hesaplanır. Fırının eritme işlemi sürecinde ve oksitleştirme sürecinde ölçülen gerilim değerlerinin histogram eğrileri ve sapma olasılıkları sırasıyla Şekil4 ve Şekil5' de verilmiştir.

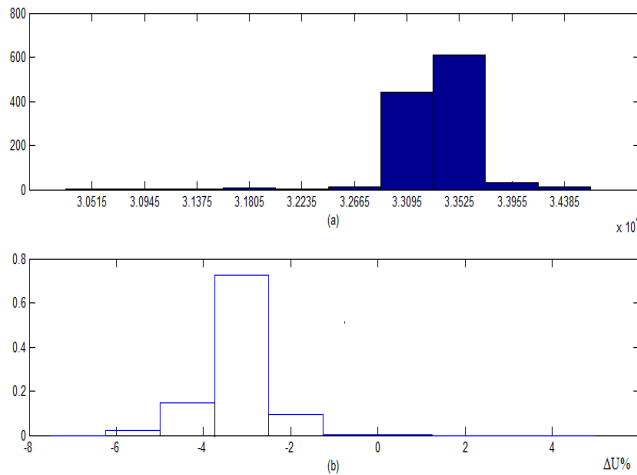
Elde edilen histogram eğrilerinden her bir aralık için olasılık değerleri;

$$P_i = \frac{M_i}{\sum_{i=1}^9 n_i} \quad (2)$$

İfadesi ile tanımlanır. Burada Pi aralık olasılık değeridir, Tablo1 ve Tablo2' de sınırlar aralık değerlerine bağlı olarak sırasıyla eritme ve oksitleştirme süresinde meydana gelen gerilim sapmalarının olasılık değerleri verilmiştir.



Şekil 4. C fazına ait oksitleştirme süresince elde edilen gerilimin a)RMS değerlerine ait histogramı, b) yüzde gerilim sapmalarına ait olasılık değerleri



Şekil 5. C fazına ait eritme süresince elde edilen gerilimin a)RMS değerlerine ait histogramı, b) yüzde gerilim sapmalarına ait olasılık değerleri

Tablo 1: Eritme işlemi süresince elde edilen histogram eğrisinden hesaplanan olasılık değerleri

Sınırların Aralık Değerleri (ΔU)	Olasılık (p)
-6.25	0
-5	0
-3.75	0
-2.5	0
-2.25	0
0	0.0145
1.25	0.5538
2.5	0.4317
3.75	0

Tablo 2: Oksitleştirme işlemi süresince elde edilen histogram eğrisinden hesaplanan olasılık değerleri

Sınırların Aralık Değerleri (ΔU)	Olasılık (p)
-6.25	0
-5	0
-3.75	0
-2.5	0
-2.25	0
0	0.0145
1.25	0.5538
2.5	0.4317
3.75	0

Histogramın sayısal değerlerini hesaplamak için $\Delta U\%$ nin oraya yakın değerleri sıfır olacak şekilde belirlenir. Eritme durumu için histogramın sayısal değeri olasılıklara bağlı olarak Tablo3' de verilmiştir.

Tablo 3: Eritme işlemine ait histogramın sayısal değerleri

Aralık Numaraları (W)	Olasılık (P)	Aralık Ortalama Değeri
-4	0.0197	-5.625
-3	0.1494	-4.375
-2	0.7272	-3.125
-1	0.0948	-1.875
0	0.0045	-0.625
1	0.0045	0.625
2	0	1.875
3	0	3.125
4	0	4.375

Bazı aralık değerlerin hesaplaması;

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^9 P_i W_i = -4 \times 0.0197 - 3 \times 0.1494 - 2 \times 0.7272 - 1 \times 0.0948 + 1 \times 0.045 \quad (3)$$

$$\bar{A} = -2.03$$

$$\bar{D}_a = \sum_{i=1}^9 P_i W_i^2 - (\bar{A})^2 = -0.0197 \times 16 - 0.1494 \times 9 - 4 \times 0.7272 - 1 \times 0.0948 + 0.045 - (2.03)^2 \quad (4)$$

$$\bar{D}_a = 0.6184$$

$\% \sigma^2$ de gerilimin matematiksel ifadesi ;

$$A = \bar{U}_o + \Delta U \cdot \bar{A} = -0.625 + 1.25 \times -2.03 = -3.16\% \quad (5)$$

%²'de gerilim sapma dispersiyonu;

$$D = \Delta U^2 \cdot D_a - \frac{1}{12} = 1.25^2 \times 0.6184 - 0.083 = 1.0996\% \quad (6)$$

%' de standart sapma;

$$\sigma = \sqrt{D} = 1.04\% \quad (7)$$

%²' de gerilim değişimi;

$$N = D + A^2 = 1.0996 + (-3.16)^2 = 10.996\% \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemlerde U₀% lerler sıfır aralığının ortasındaki değer, ΔU% ler aralığın genişliğidir. Bu yöntemle tüm aralık değerler için istatistiksel sonuçlar hesaplanabilir.

3. Sonuçlar

Yapılan deneysel inceleme neticesinde en büyük sapma metalin eritilmesi sürecinde elde edilir ve sapma değeri +1.25/-6.25% aralığındadır. Oksitleştirme süresinde belirlenen gerilim sapması -1.25/2.5% aralığında değişmektedir. Gerilim sapmasının %-5' den küçük olma olasılığı 0.0197 olarak belirlenmiştir. Gerilim sapmaları standart değer etrafında salımlı olarak değiştiğinden bağlı buldukları şebekelerdeki diğer kullanıcıların bu durumdan etkilenmemeleri için gerilim dalgalanmalarına karşı önlem alınmalıdır.

4. TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmaya İÜBAP-2011-135 no'lu proje ile destek veren İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederler.

4. Kaynaklar

- [1] Orhon, K.M., *Ark Ocakları Elektrigi*, Asil Çelik, Bursa, 1986.
- [2] Electrical Power Quality of Iron and Steel Industry in Turkey; Salor et al; *IEEE Transactions on Industry Applications*; Vol.46; Issue 1; Jan/Feb 2010; pp. 60-80
- [3] Leuşin, A.I., *Ark Yanması(Rusça)*, Metalurji basım evi, Moskova, 1975.
- [4] “Ark Isınması ve Yeni Isınma Türleri(Rusça)”, Elektrikle Isınma.VII. Uluslararası Kongresi, Moskova, 1975.
- [5] Memmedow, A., Özgüven, Ö.F., Gulzade, R., “Elektrik Şebekelerinde Gerilim Kalitesinin İncelenmesi”, *Kaynak Elektrik Dergisi*, 104-107, Temmuz,2002.
- [6] Memmedov, A., Huseynov, R., Şeker, M., “Elektrik Ark Fırınlarını Besleyen Şebekelerde Gerilim Dalgalanmaları”, 4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu(EVK), Kocaeli, 2011.
- [7] Arrillage, J., Brandly, D.A., and Bodler, P.S., “Power System Harmonics”, Wohm Willey, S. Sons, 1985