

Gerilim Ve Akım Harmoniklerinin Ölçümü Ve Elektrik Enerji Kalite Standartları Açısından Değerlendirilmesi

Hasan Demirel ve Kadri Ballı

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Doğu Akdeniz Üniversitesi, Gazimağusa,
Eposta: hasan.demirel@emu.edu.tr
KTTMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Sanayi Bölgesi,
Lefkoşa,
Eposta: kadri.balli@ktemo.org

ÖZET

Bu çalışmada endüstriyel bir binanın elektrik sisteminde oluşan akım ve gerilim harmoniklerinin ölçümü bir güç kalitesi analizörü ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler enerji kalitesi ile ilgili uluslararası standartlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar bu binada bulunan doğrusal olmayan yüklerin oluşturduğu akım harmoniklerinin Toplam Talep Bozulumu (TTB) ve bazı tek harmonik seviyeleri açısından standartlar tarafından belirlenmiş olan kabul edilebilir sınırları aştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, sistemdeki gerilim harmonikleri de incelenmiş ve Toplam Harmonik Bozulumu (THB) kabul edilebilir sınırdan altında olduğu halde 9. harmonik değerinin belirtilen sınırı aştığı tespit edilmiştir.

1. GİRİŞ

Son yıllarda elektrik sistemlerinde artan doğrusal olmayan yüklerden dolayı ortaya çıkan sorunlar dolayısıyla, elektrik enerji kalitesi önemli bir kalite faktörü haline gelmiştir. Özellikle, elektrik dağıtım kurumları, elektrikli cihaz ve sistem üreticileri ve son kullanıcılar arasında kaliteli elektrik enerjisi önemli bir konu haline gelmiştir. Dugan ve diğerleri [1] enerji kalitesini “Son kullanıcılara ait cihazların çalışmasını bozan veya yanlış çalışmasına sebep olan, akım, gerilim veya frekansta meydana gelen herhangi bir sapma enerji kalitesi problemidir” şeklinde açıklamıştır. En

yaygın enerji kalitesi sorunları: harmonik bozulmalar, gerilimde artış veya azalma, enerji kesintileri, gerilim ve faz dengesizlikleri gürültü, modülasyon ve frekans sapmaları olarak sıralanabilir.

Günümüzde kullanılmakta olan birçok hassas cihazın doğru ve tutarlı bir şekilde çalışabilmesi için kullanılan elektrik enerji kalitesi oldukça önem taşımaktadır. Enerji kalitesinin hassas cihazlar üzerinde yarattığı sorunların giderilebilmesi için örneğin Ercan Devlet Havaalanında önemli bir çalışma yapılmış ve aktif filtre ve kompanzasyon sistemleri kullanılarak harmonik ve güç faktörü sorunları ortadan kaldırılmıştır. Benzer çalışmaların artarak devam etmesi ülkemizde kullanılan elektrik enerji kalitesini arttıracak ve dolayısıyla uluslararası standartları yakalamamıza hizmet edecektir.

Bu çalışmada 800 KVA büyüklüğünde bir trafo ile beslenen ve bünyesinde birçok 3 faz cihazlar, bilgisayarlar ve UPS sistemi bulunan endüstriyel bir binanın Ana Dağıtım Tablosu girişinde 3 Fazlı Güç Kalitesi Analizörü (Fluke 434/435) kullanılarak harmonik ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda elde edilen gerilim harmonikleri EN 50160:2001[2] (Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems) standardına göre ve akım harmonikleri ise IEEE Std.519-1992 [3] (IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems) standardına göre değerlendirilmiştir.

Alçak gerilim (AG) şebekeleri ($AG \leq 1000V$) için kararlı durumlarda gerilim ve akım harmonikleri ile ilgili yukarıda bahsedilen standartlar kullanılarak ölçüm değerlerinin standartlara uygun olup olmadığı incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre ölçüm yapılan

binadaki akım harmonikleri TTb ve 3. , 5. , 7. ve 11. tek harmonikler açısından, standartlar tarafından belirlenmiş olan kabul edilebilir sınırları aşmaktadır. Sistemdeki gerilim harmonikleri de incelenmiş ve THb kabul edilebilir sınırın altında olduğu halde 9. harmonik değeri kabul edilebilir sınırı aşmaktadır.

2. GERİLİM VE AKIM HARMONİKLERİ

Harmonik, doğrusal olmayan yükler veya gerilim dalga şekli ideal olmayan kaynaklardan dolayı bozulmaya uğramış bir alternatif akım veya gerilimde, ana bileşen frekansının tam katları frekanslarda oluşan sinüsoidal bileşenlerin her birini ifade eder.

2.1 Toplam Harmonik Bozulma (THB)

THb gerilim harmonik bileşenlerinin etkin değerlerinin (RMS) kareleri toplamının karekökünün, ana bileşenin etkin değerine oranını ifade eder. Bu değer gerilim dalga şeklindeki bozulmayı ifade eden değerdir. THb(%) aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$THb(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} V_h^2}}{V_1} \times 100$$

Denklem (1)'de: V_h gerilim harmonik bileşeninin etkin değerini, h harmonik sırasını ve V_1 ise gerilim ana bileşeninin etkin değerini göstermektedir.

2.2 Toplam Talep Bozulma (TTB)

TTb harmonik bileşenlerinin etkin değerlerinin kareleri toplamının karekökünün, maksimum yük akımına oranı olan ve dalga şeklindeki bozulmayı ifade eden değerdir. TTB(%) aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$TTb(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_L} \times 100$$

Denklem (2)'de: I_b akım harmonik bileşeninin etkin değerini, h harmonik sırasını ve I_L ise maksimum yük akımını göstermektedir.

3. HARMONİK STANDARDLARI

Harmonikler değerlendirilirken gerilim harmonikleri için EN 50160:2001 ve akım harmonikleri için IEEE Std.519-1992 standartları kullanılmaktadır.

3.1 Gerilim Harmonik Standardı

EN 50160:2001 standardına göre AG şebekeleri için kararlı durumlarda gerilim harmonikleri aşağıdaki kriterlere uygun olmalıdır.

Tablo 1'deki değerler her bir gerilim harmoniğinin ana bileşene göre oransal değerlerini ifade eder. Tabloda, h harmonik sırasını ve θ ise maksimum sınır değerini göstermektedir.

Ölçüm periyodu boyunca ölçülen her bir gerilim harmoniğinin etkin değerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az %95'i, Tablo 1'de verilen değerlerden küçük veya bu değerlere eşit olmalıdır.

Bununla birlikte, THb değeri en fazla %8 olmalıdır.

Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
3'ün Katları Olmayanlar		3'ün Katları Olanlar			
h	θ (%)	h	θ (%)	h	θ (%)
5	%6.0	3	%5.0	2	%2.0
7	%5.0	9	%1.5	4	%1.0
11	%3.5	15	%0.5	6.....24	%0.5
13	%3.0	21	%0.5		
17	%2.0				
19	%1.5				
23	%1.5				
25	%1.5				

3.2 Akım Harmonik Standardı

IEEE Std.519-1992 standardına göre AG şebekeleri için kararlı durumlarda akım harmonikleri aşağıdaki kriterlere uygun olmalıdır:

- Ölçüm periyodu boyunca ölçülen her bir akım harmoniğinin etkin değerinin ve TTB'nin 3'er saniyelik ortalamalarının I_L 'ye göre oransal değerleri Tablo 2'de verilen değerlerden küçük veya bu değerlere eşit olmalıdır.

- Maksimum yük akımı (I_L): Yük akımı ana bileşeninin etkin değerinin, 15 veya 30

dakikalık ortalama değerlerinin maksimumu şeklinde bulunan akım değerini göstermektedir.

- I_{SC} şebeke bağlantı noktasındaki en yüksek kısa devre akımını göstermektedir. Trafo gücü ile bağlantılı olan bu değer [4]'de gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir.

Tablo 2: Akım Harmonikleri için sınır değerleri.

I_L akımı üzerindeki en yüksek akım harmonik bozulumu (%)						
Tek Harmonikler (h) için sınır değerleri						
I_{SC}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TTB
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

4. YAPILAN HARMONİK ÖLÇÜMLERİ

Bu çalışmada 3 Fazlı Güç Kalitesi Analizörü (Fluke 434/435) kullanılarak binanın Ana Dağıtım Tablosu girişinde harmonik ölçümleri yapılmıştır. THB ve TTB yanında 1., 3., 5., 7., 9., 11., ve 13. gerilim ve akım harmonikleri ölçülerek bu konu ile ilgili standartlara göre değerlendirilmiştir. Ölçümler süresi boyunca, sistem tam yük, ortalama yük ve en az yük durumlarında farklı yük seçenekleriyle çalıştırılmıştır.

4.1 Gerilim Harmonik Ölçümleri

Yapılan ölçümler sonunda, gerilim harmonikleri ile ilgili olarak elde edilen sonuçlar Tablo 3 ve Tablo 4'de gösterilmektedir. Tablo 3'de gerilim harmonikleri etkin değerlerinin 10'ar

dakikalık ortalamalarının, Ω_h (h= harmonik sırası), tüm ölçümlere göre sınır değeri altında olma oranları (%) gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre 3, 5, 7, 11 ve 13 numaralı gerilim harmoniklerinin 100%'ü kabul edilebilir sınır değerleri içersisinde yer almaktadır. Fakat 9 numaralı harmonik tüm ölçümlerin %48.13'ü (100.0-51.87) oranında kabul edilebilir sınırların üzerine çıkmıştır. 9. gerilim harmoniğinde %1.5 olarak verilen sınır değerini aşan en yüksek değeri %4.09'a kadar yükselmektedir.

Öte yandan THB (%) değerinin en fazla %8 olması gerekmektedir. THB değeri %4.46 olarak ölçülmüştür ve bu değer (%4.46 < %8.00) kabul edilebilir sınırlar içersindedir.

4.2 Akım Harmonik Ölçümleri

Maksimum yük akımı (I_L) 364A olarak ölçülmüştür. Şebeke bağlantı noktasındaki en yüksek kısa devre akımını gösteren, I_{SC} , ise 17,390A olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında, I_{SC}/I_L katsayısı, 47.77 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla, Tablo 2'deki 20<50 aralığına denk gelen sınır değerleri seçilmiştir.

Yapılan ölçümler sonunda elde edilen akım harmonik değerleri ve standartta belirtilen sınır değerleri Tablo 5'de gösterilmektedir.

İlgili sınır değerleri ve akım harmonik bozulumu (%) değerleri dikkate alındığında 3., 5., 7., 11. ve TTB kabul edilebilir sınır değerlerini aşmaktadır. Ölçümlere göre sadece 9. ve 13. harmonikler kabul edilebilir sınırlar içersindedir.

Tablo 3: Gerilim harmonik ölçümlerinin Tablo 1'deki sınır değerleri ile kıyaslanması.

Tek Harmonikler (h) ile THB için sınır ve ölçüm değerleri (%)													
3		5		7		9		11		13		THB	
Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen değer
5.0	1.47	6.0	2.74	5.0	1.93	1.5	2.04	3.5	1.33	3.0	0.99	8.0	4.46

Tablo 4: Gerilim harmonik ölçümlerinin Tablo 1'e ve EN 50160:2001 standardına göre değerlendirilmesi.

Gerilim harmonikleri etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının, Ω_h (h = harmonik sırası), tüm ölçümlere göre sınır değeri altında olma oranları (%)						THB(%)	
$\Omega_3 < \%5.0$	$\Omega_5 < \%6.0$	$\Omega_7 < \%5.0$	$\Omega_9 < \%1.5$	$\Omega_{11} < \%3.5$	$\Omega_{13} < \%3.0$	Sınır değeri	Ölçülen değer
%100.0	%100.0	%100.0	%51.87	%100.0	%100.0	%8.0	%4.46

Tablo 5: Akım harmonik ölçümlerinin Tablo 2'deki sınır değerleri ile kıyaslanması.

Tek Harmonikler (h) ile TTB için sınır ve ölçüm değerleri (%)													
3		5		7		9		11		13		TTB	
Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen değer	Sınır değeri	Ölçülen Değer
7.0	7.89	7.0	14.41	7.0	9.63	7.0	6.74	3.5	3.83	3.5	2.91	8.0	18.67

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Sonuç olarak, elde edilen ölçüm değerlerine göre, 3, 5, 7, 11, 13 ve THB gerilim harmonikleri kabul edilebilir sınır değerleri içerisinde yer almaktadır. %2.04 olarak ölçülen, 9 numaralı harmonik %1.5 olarak verilen sınır değerini aşmaktadır. Akım harmonik bozulumu değerleri dikkate alındığında ise 3, 5, 7, 11 ve TTB akım harmonikleri kabul edilebilir sınır değerlerini aşmaktadır.

Ölçülen bu harmonikler sonucunda, sistemde risk oluşturacak bir gerilim harmonik seviyesinin olmadığı anlaşılmaktadır.

Öte yandan, sistemde sınır değerler üzerinde akım harmoniklerinin varlığı açıkça görülmektedir. Bu harmonikler, bahse konu binada bulunan ve doğrusal olmayan yüklerden kaynaklanmaktadır.

Söz konusu akım harmonikleri sistemi besleyen trafo gücü ve mevcut yük arasındaki ilişkiyi dolayı, ciddi bir gerilim harmoniği oluşturmasalar dahi, bu akımların sistemde dolaşıyor olmaları; kablo, trafo, endüktör, reaktör ve kondansatör gibi temel elektrik elemanlarının gereksiz yere fazladan ısınmalarına neden olmaktadır.

Bu saptamalardan hareketle, özellikle akım harmoniklerini, ilgili standartlar tarafından belirlenen sınır değerlerin altına indirecek uygun harmonik filtreleme düzeneklerinin tesis edilmesi yerinde olur.

Ayrıca bu harmonik filtreleme, zaten ciddi bir bozulmanın olmadığı gerilim harmonik değerlerinin de daha ideal seviyelere indirilmesine yardımcı olacaktır.

6. KAYNAKÇA

Dugan, R.C., McGranaghan, M.F. and Beaty, H.W. *Electrical Power Systems Quality*, McGraw-Hill, 1996.

EN 50160:2001. European Standard, *Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems*, 2001.

IEEE SM 519:1992, American National Standard (ANSI), *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, 1992.

Kısa Devre Akım Hesabı, Federal Elektrik, Şubat 2009 döneminde ziyaret edilmiştir, http://www.federal.com.tr/tr/urun.php?pd_id=54&pg_id=130&lan=tr