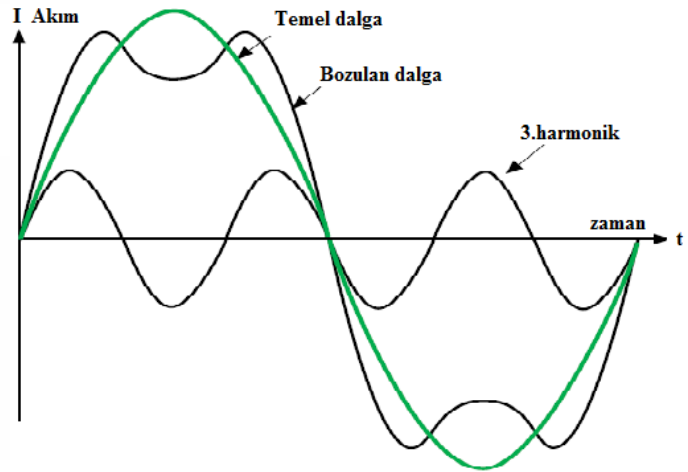
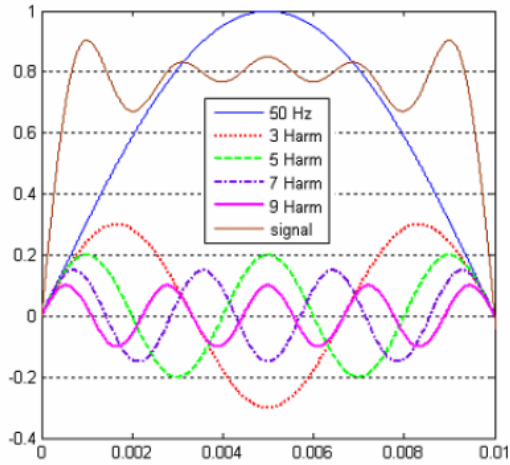


ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE PRATİK HARMONİK ÖLÇÜMLERİ ve DEĞERLENDİRİLMESİ ŞEBEKE ANALİZİ



Sürüm 1: Temmuz 2020

**Yazan: Elektrik Yük. Müh.
M. Kemal SARI**

ÖZET:

Bu yazı, harmonikler üzerine edindiğimiz bilgileri paylaşmak üzere kaleme alınmış olup, teorikten ziyade pratik deneyimlerimizi içermektedir. Yazımız, harmonik ölçüm ve şebeke analizi yapmak üzeri, pratik ölçümlere yeni başlayanlara yönelik olup, takip etmeleri gereken yol, kaleme alınmaya çalışılmıştır. Yeni başlayanların mutlaka bir deney devresi (demo) oluşturmaları tavsiye edilir. Ancak bu şekilde ve **kısa zamanda**, ölçüm cihazına ve yazılımına hakim olabilmeleri mümkündür. İş sahasında vakit kaybetmemek ve müşteri zerinde kötü izlenim bırakmamak için demo üzerinde cihazın nasıl ayarlandığı tam olarak kavranmalıdır. Umarım bu yazımız, okuyuculara faydalı olur.

Gelecekte elektrik enerjisinin büyük bir bölümünün rüzgar ve güneş enerjisinden üretileceği ve bu üreteçlerin devrelerinde de aşırı derecede harmoniklerin var oluşu nedeni ile yazımız ön sayfasına rüzgar gülü ve güneş panelleri sembolü konulmuştur.

M. Kemal SARI

YAZARIN ÖZGEÇMİŞİ

1945 Giresun doğumlu olan yazar liseden sonra yüksek tahsilini Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumundan aldığı bir burs ile Almanya'da Berlin Teknik Üniversitesinde tamamlamış ve 1972 yılında aynı Üniversitenin Elektroteknik Fakültesinden Elektrik Yüksek Mühendisi olarak mezun olmuştur. Yazar uzun yıllar Zonguldak'taki Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Maden Ocaklarında çalışmıştır. Yazar, harmonik çalışmalarına, TTK şebekelerinde yürüttüğü kompanzasyon tesisi kurma çalışmaları ile başlamış ve 2000 yılından sonra Ankara'ya yerleşen yazar, EMO Ankara Şubesinden gelen harmonik ölçüm ve şebeke analizlerini yürütmüş ve bu arada pratik deneyimlerini geliştirmiştir. Harmonikler üzerine edindiğimiz bilgileri paylaşmak ve meslektaşlarımıza aktarmak maksadı ile işbu yazı tarafımızdan kaleme alınmıştır.

Yazılarının düzeltilmesinde ve akıcı olmasında yardımcı olan ve beni her zaman yazmaya teşvik eden eşim Ayşe Sarı'ya da ayrıca teşekkürü borç bilirim.

M. Kemal SARI

ELEKTRİK ŞEBEKELERİNDE PRATİK HARMONİK ÖLÇÜMLERİ ve DEĞERLENDİRİLMESİ, ŞEBEKE ANALİZİ

Yazan: Elektrik Yük. Müh.
M. Kemal SARI

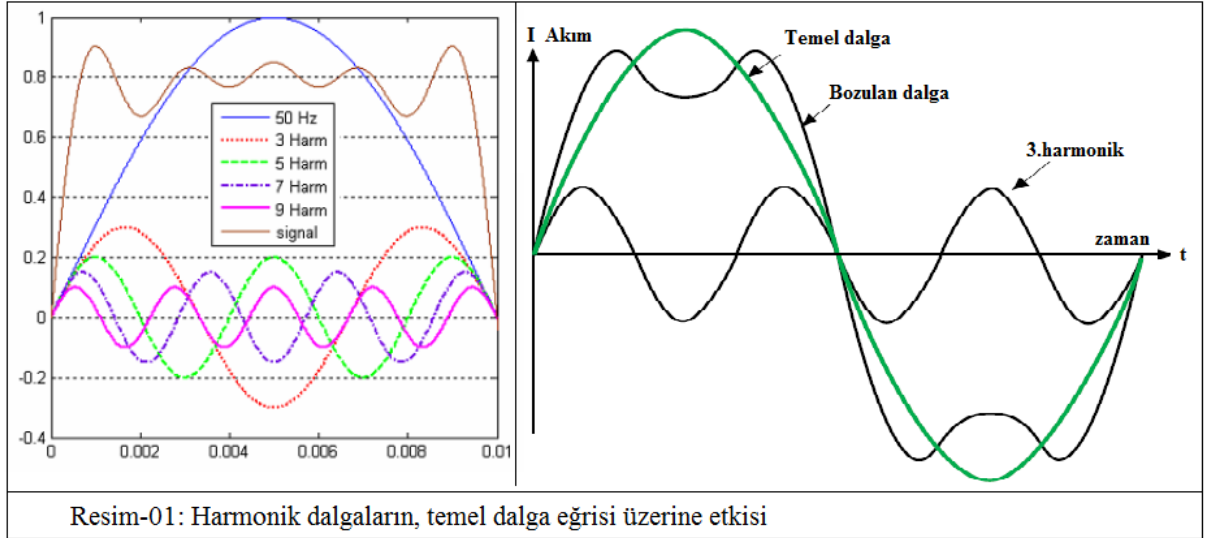
ÖZET:

Makalemizde,

- 1) Pratik hayatta harmoniklerin ölçümü, analizörün şebekeye bağlanması, yazılıma hakim olunması ve kullanma kılavuzlarında yazılı olmayan önemli püf noktaları,
 - 2) Harmonik seviyeleri, standart ve yönetmeliklerin müsaade ettiği sınır değerleri,
 - 3) Bazı tesislerde yapılan ölçü tecrübelerimiz ile harmonik problemlerin nasıl çözüldüğü,
- konuları ele alınmış ve aydınlatılmaya çalışılmıştır. Maksat, yıllar boyu edindiğimiz tecrübeleri meslektaşlarımızla paylaşmaktır.

1.0 HARMONİK NEDİR? ve HARMONİK TARİFİ

Görüntü olarak, harmonik sinüs eğrisi biçimi olan akım veya gerilim dalga şeklinin bozulmasıdır. Fiziksel olarak, akım veya gerilimin 50 Hz'in (temel frekans) dışındaki diğer frekanslarda da gerilim veya akım bileşenleri içermesidir. Resim-01 de görüldüğü gibi harmonik içeren akım içerisinde 50 Hz'in katları olan akımlar da mevcuttur. Enerji santrallerinde senkron jeneratörlerde üretilen akım (veya gerilim) 50 Hz frekansında zamana göre değişmektedir [alternatif akım $I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega t)$].



Senkron jeneratörler kendileri harmonik üretmezler. Besledikleri tüketicilerin yapısı enerjinin bozulmasına neden olur. Enerjiyi doğrusal olarak tüketmeyen kaynaklar harmoniklerin doğum noktasıdır. Bunların başında gelen doğru akım üreten adaptörlerdir. Çünkü aldıkları sinüs biçimi enerjiyi düz bir doğruya çevirmeye çalışırlar. Bunu tam olarak beceremedikleri için geriye doğru enerjinin kaynağından gelen akımın şeklinin bozulmasına yol açarlar. Bu olayın bir nedeni de elektrik enerjisinin tüketildiği an üretilmesi yani üretim ile tüketimin aynı anda vuku bulmasıdır.

Hemen akla gelen soru harmonikli elektrik enerjisi üreten jeneratör yok mudur? sorusudur. Bunların başında rüzgardan elektrik üreten jeneratörler gelmektedir. Çünkü değişken olan rüzgar hızı dolayısıyla 50 Hz dışında da akım üretilmektedir. Kapalı devre çalışan bir rüzgar enerji tesisinde örneğin yalnızca bir akü şarj ediliyor ise her hangi bir sorunla karşılaşılmaz veya varsa sorun kendi şebekesi içerisinde kalır. Fakat rüzgar enerji tarlası enterkonnekte şebekeye veya halka açık tüketim şebekesine bağlanmak istendiğinde bu harmonikler ister istemez problem olmaktadır. Konumuz rüzgar enerjisi ve yaşanan sorunlar değildir. Burada vurgulamak istediğimiz rüzgar tarlalarında üretim bazında harmoniklerle mücadele edildiği ve harmoniklerin önemli bir sorun olduğudur. Güneş panelleri ile elektrik elde

ederek şebekeye aktarılan tesislerde de aynı problem ile karşılaşmaktadır. Çünkü güneş panellerinde üretilen elektrik DC olup, şebekeye bağlanmak için AC ye değiştirilmesi gerekmektedir ki, çok sayıda harmoniğe gebe bir işlemdir.

Harmonik konusunu anlamak için bazı deyim, terim ve tarifleri bilmek gerekmektedir. Bu nedenle harmonik literatüründe adı geçen bazı deyim ve terimleri aşağıda açıklanmıştır. Yanlış anlaşılmayı önlemek için yanlarına İngilizceleri de yazılmıştır.

THD = THB : Total harmonic distortion = Toplam harmonik bozulmalar: Münferit harmonik bozulmaların efektif değerlerinin toplamının temel (50 Hz) harmonik değere oranıdır. Akım veya gerilimin yüzde kaçının bozulduğunu verir.

TDD = TTB : Total demand distortion, toplam talep bozulması: Münferit akım harmonikleri efektif değerleri toplamının talep edilen maksimum yük akımına oranıdır. Yük akımının ne kadar bozulduğunu gösterir. Yalnızca akımlarda TTB den söz edilir, gerilimde anlamı yoktur. Yıllık ortalama elde edilen maksimum akım değeri alınır. Ölçüler 15 veya 30 dakikalık kayıtlar ile yapılmış olmalıdır.

Pratik ölçümlerde o anki ölçüm içerisinde 50 Hz frekansına karşılık gelen gerilim veya akım belirlenerek oran hesap edilir. Talep bozulmasında ise yük akımının bilinmesi gerekir. Elektrikle çalışan bir aletin normal şartlardaki yük akımı biliniyor. Fakat bir şebekenin yük akımı ne alınmalıdır? Azami yük akımı mı yoksa o an ölçülen akım mı? Yıllık ortalama akım alınmaktadır. Fakat ölçü yaparken ya alete bu değer verilmeli veya ne yapılmalıdır? Bu nedenle analizör cihazları ile TTB ölçülememektedir. Ölçülen o anki değerler ve o anki akıma göre hesaplanan THDI değerleridir.

THD , total harmonic distortion, toplam harmonik sapma aşağıdaki formül ile tarif edilmektedir				
$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$	$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{h=H} \left(\frac{U_h}{U_1}\right)^2}$	$THD_{V_{rms}} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1}$	$THD_V = \frac{V_H}{V_1}$	$THD_I = \frac{I_H}{I_1}$

$$PWHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$$

PWHD, partial weighted harmonic distortion: Kısmi ağırlıklı harmonik sapma: 14 den başlayarak yüksek harmoniklerin toplam sapmalarını içerir. Daima THD den küçüktür.

PCC nedir : İngilizce "point of common coupling" sözünün baş harflerinden oluşan bu tabir elektrik dağıtım ile tüketicinin birleştiği noktayı, yani abone olunan noktayı ifade etmektedir. Genellikle IEEE-519'da verilen harmonik sınır değerleri PCC'ye indirgenmektedir. Burada, bir trafonun OG ve AG tarafında abone olmanın harmonikler açısından bir avantaj içerir mi sorusu akla gelmektedir. Trafonun AG tarafındaki harmonik OG ye göre biraz daha yüksek olacaktır. Örneğin trafonun primer sargılarında sıfırlanan 3.harmoniklerin etkisi OG de bulunan bir sayaçta gözükmeyecektir. Fakat unutulmamalıdır ki AG ile OG deki ve hatta YG deki harmonik sınır değerleri aynı değildir. AG de ki sınır değerler biraz daha yüksektir. Bu bakımdan trafonun OG tarafında abone olmak harmonikler açısından bir avantaj getirmeyecektir. Aşağıdaki tarif ve formüller de harmonik hesaplarında karşımıza çıkmaktadır.

S_{sc} =Kısa devre gücü S_{sc}=U²/Z formülü ile hesaplanır. Z= empedanstır.

S_{equ} = rated apparent power of the equipment= teçhizatın nominal görünür gücü

- a) S_{equ} = U_p x I_{equ} mono faz aletler için
b) S_{equ} = √3 U_i x I_{equ} dengeli üç faz cihazlar için

R_{sce} : short-circuit ratio: kısa devre oranı : kısa devre gücünün görünür güce oranıdır.

- a) R_{sce} = S_{sc}/(3.S_{equ}) mona faz aletler
b) R_{sce} = S_{sc}/ S_{equ} üç faz aletler

2.0 HARMONİK ÖLÇÜ ALETLERİ

Harmonik ölçü aletleri elektrik akım ve geriliminin çeşitli frekanslardaki değerlerini ölçer. Bu maksatla çeşitli filtre ve engelleme devreleri kullanılmırlar. Örneğin yalnızca 50 Hz frekansı geçiren devrede temel değerler ölçülürken, yalnızca 250 Hz i geçiren akım ve gerilimler 5.harmonik değerlerini verecektir. Panolarda sabit harmonik ölçerler genelde yalnızca toplam harmonik sapmayı THD'y verirler. Bu aletlerde, 50 Hz temel frekansı süzüp temel akım ve gerilimi ölçmek ve sonra geriye kalanı ölçerek toplam harmonik sapmayı belirlemek nispeten kolaydır. 50 harmoniğe kadar ve hatta 63.harmonik dahil ölçebilmek için her frekansı, ki 50.harmonik 50x50=2500 Hz yapmaktadır. 3x50 adet filtre ile tüm frekansları süzüp ölçmek ve hem de bunu üç faz akım ve gerilim için yapmak kolay değildir. Çok sayıda değer ile karşılaşılır. Tüm bu değerler çok kısa sürede ölçülüp kıyaslanacak ve zamana göre değerleri depolanacak ve üstelik faz farkları da depolanacaktır ki, bir bilgisayarsız ve geniş bir hafıza olmadan bu kadar değeri kumanda etmek

basit değildir. Buradan varmak istediğimiz nokta, harmonik ölçerlerin bir bilgisayardan üstün özellikte olması gerektiği hususudur.

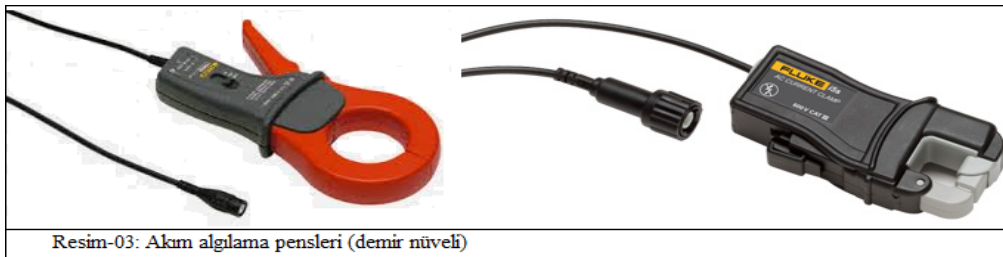


Resim-02: Harmonik ölçen cihaz örnekleri

Harmonik ölçerlerdeki asıl mühendislik, elektronik tasarımlarında ve imalatındadır. Uzmanlık sahamız olmadığı için detayına girilemeyecektir. Bu kadar becerinin küçük bir hacimde toplanması da yabana atılacak bir özellik değildir. Burada kat kat yapılan baskı devre teknolojisinin mahareti karşımıza çıkmaktadır. Unutmayınız ki harmonik ölçerler aynı zamanda ölçü aletidirler, hassas ve güvenilir sonuç vermeleri beklenmektedir. Burada bir harmonik ölçerin blok diyagramını göstermek isterdik. Fakat bir A4 sayfasına sığacak kadar anlaşılabilir diyagram elde etmenin mümkün olmayacağı kanaatindeyiz. Bu durumda resimlerine bakarak (resim-02) bu aletlerin yapısı, ihtisamı ve mahareti hakkında bir fikir vermekle yetineceğiz.

3.0 AKIM ALGILAMA PROBLARI, AKIM DUYARGALARI

Harmonik analizörlerin en önemli parçası akım algılayan penslerdir. Bu penslerin yapılarına biraz bakmakta yarar vardır. Teknik yapılarına göre bir kaç cins akım pensleri mevcuttur. Bunlar sırası ile yazımız devamında ele alınacaktır.



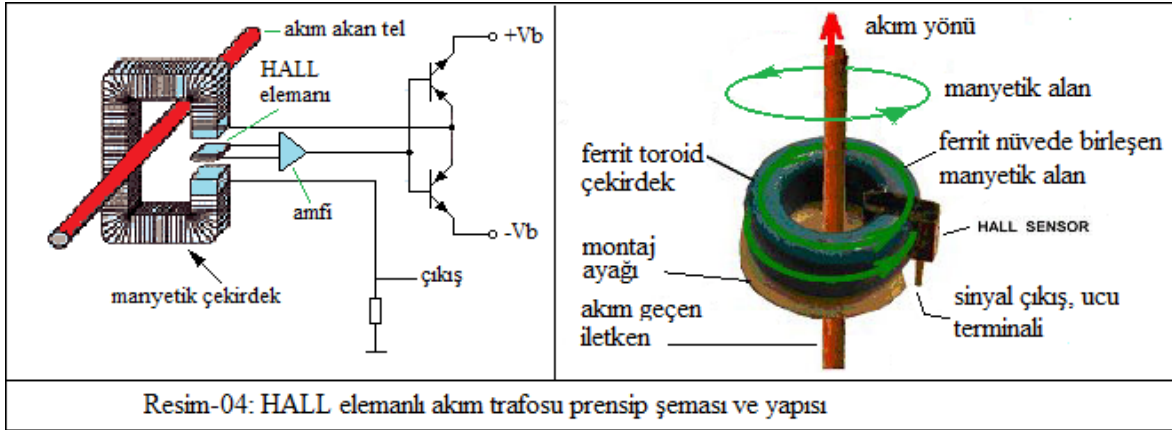
Resim-03: Akım algılama pensleri (demir nüveli)

a) Demir nüveli manyetik akım algılama pensleri.

Resim-03'de görüldüğü gibi olup pens ampermetrelere benzemektedir. Bunların, AC (alternatif akım) algılayan duyargalar ve DC+AC (doğru ve alternatif akım) algılayan problar olmak üzere iki tipi mevcuttur. Güç analizörü için AC+DC olmalıdır ki, DC güç kaynaklarını da ölçebilelim.

AC ölçen pens ampermetreler transformatör prensibine göre (Farady'nin endüksiyon kanununa göre) çalışırlar. DC ölçen ampermetreler ise Hall Etket prensibine göre çalışmaktadırlar. Edwin Hall tarafından 1879 yılında keşfedilen prensip yine Faradayın endüksiyon kanununun etkisinden başka bir şey değildir. Değişken manyetik alan içerisindeki iletkenlere gerilim indüklenmesi olayına dayanmaktadır. DC akan bir telin etrafında bu akıma dik yönlü bir manyetik

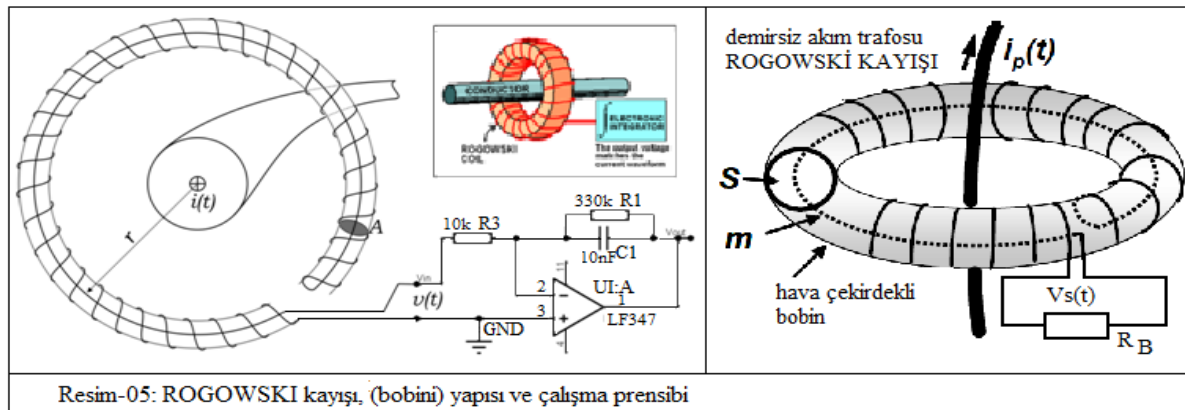
alan oluşur. Bu alan içerisinde akıma ve alana dik duran ikinci bir iletken var ise bu iletken içerisinde de bir gerilim indüklenir. Hall elemanı bir yarı iletken ve manyetik alanın elektronları itmesi ile oluşan gerilim farkı prensibine dayanmaktadır. DC akan telin etrafına demir nüveli bir halka geçirilerek manyetik alanın güçlenmesi sağlanır. Bu manyetik alanın içerisine ki, pens ampermetrenin ağzına yarı iletken konulduğunda, hem manyetik alana ve hem de akan DC akıma dik olan (resim-04'de görüldüğü gibi) çok küçük bir akım indüklenecek ve bir gerilim farkı oluşacaktır. Bu gerilim yükseltilecek ve kalibre edilerek ana taşıyıcı telden geçen akım hakkında hüküm verilmektedir.



b) ROGOWSKY KAYIŞI, ROGOWSKİ BOBİNİ veya MAXWELL SOLUCANI

Rogowski Belt, Rogowski Coil or Maxwell's Worms

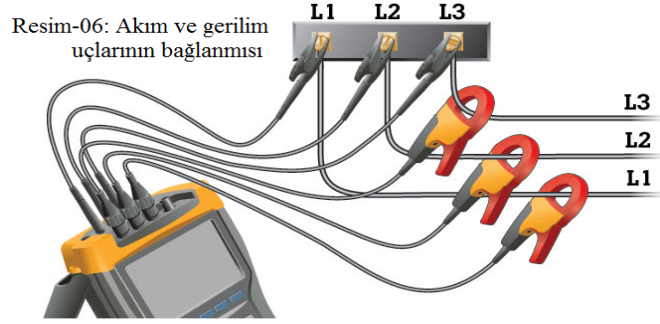
Bazı çevrelerce Maxwell solucanı olarak da adlandırılan Rogowski bobini, mucidi olan Alman bilim adamı Walter Rogowski ismi ile anılır. Kullanım şekli dolayısı ile Rogowski kayışı olarak da isimlendirilmektedir. Resim-05'de görüldüğü gibi esnek (plastik) bir çubuk üzerine sarılı bakır tellerden ibarettir. Zamana göre değişen akımın etrafındaki iletken parçalar içerisinde akım indükleme prensibine göre çalışmaktadır. Demir nüvesi bulunmadığı için hafiftir ve bobin tam kapalı olmadığı için de kemer bağlar gibi akım akan kablo veya baraların etrafına sarılabilmektedir. Ani değişen transient akımları da algılayabilmektedir. Bu avantajlarına karşılık DC algılayamaması dezavantajıdır. Diğer bir dezavantajı da entegratör devresi için 3-24 VDC beslemeye ihtiyaç duymasındır. Çünkü bobin içerisine indüklenen akımın yükseltilmesi gerekmektedir. Rogowski kayışının diğer bir dezavantajı da faz kaymasına neden olması ve sonuçları çok titreşim vermesidir. Kısaca Rogowski kayışı bilinen klasik demir nüveli akım trafoları kadar hassas değildir. Kullanımı kolay olduğu için tercih ediliyor ise de mecbur kalınmadıkça kullanılması tavsiye edilmez. Yeni bir analizör satın alınırken nasıl olsa çok az kullanılıyor gerekçesi ile demir nüveli pensler ihmal edilmemelidir. En azından 5 Amperlik küçük pens mutlaka manyetik olmalıdır.



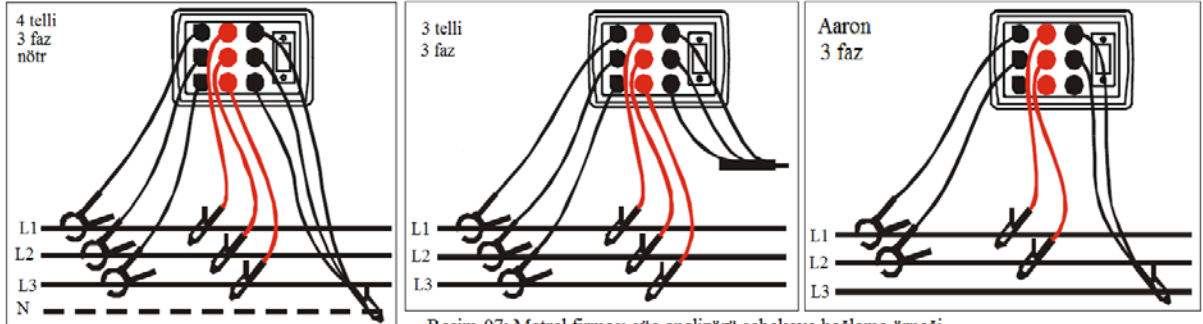
4.0 ÖLÇÜM YAPILMASI ve ANALİZÖRÜN ŞEBEKEYE BAĞLANMASI

4.1 Fazların denk getirilmesi:

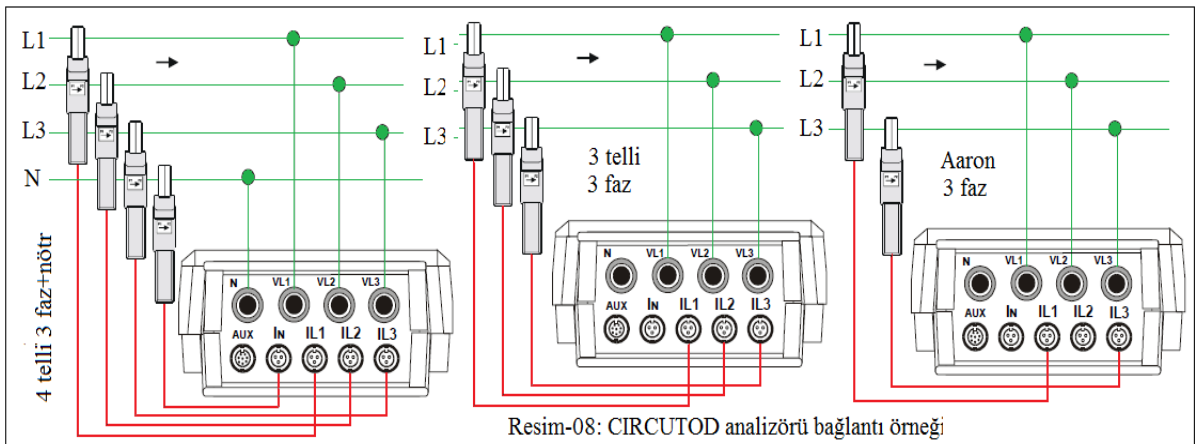
Ölçü uygulamanın en önemli yanı faz sıralarının denk getirilmesidir. Analizörlerin izahatlarında aşağıdaki resim-07 ve resim-08 deki gibi bağlama örneği verilmektedir. Fakat çoğu tesiste gerilimlerle akımların denk getirilmesi çok zor bir olaydır. Çünkü resimdeki gibi her şey göz önünde değildir. Baralar arasında pensler girmemekte ve gerilim uçları da resimde görüldüğü gibi bağlanamamaktadır. Bazı hallerde akım trafosu üzerinden, 5/1 Amper algılayıcılar vasıtasıyla ölçüm yapılması gerekmektedir ki bu durumlarda faz sırasını denk getirmek çok daha zorlaşmaktadır. Resim-06 da bir bağlama örneği verilmiş olup, pratik yaşamda her şey bu kadar berrak değildir.



Resim-07 de Metrel firmasının, resim-08 de de CIRCUTOR firmasının ürettiği analizör kullanma kılavuzundan alınan bağlama tavsiyesi görülmektedir. Circutor firması örneği 4 pensli bir cihaza göredir. Fakat piyasada 3 pensli olanları da mevcuttur. Bu durumda 4.pens yok kabul edilerek buna göre bağlantı gerçekleştirilecektir. Bağlanması gereken 4 adet gerilim (3 faz+1 nötr) ve 3 adet de akım pensli mevcuttur. Bunların resim-06, -07, -08 da görüldüğü gibi bağlanması basit değildir. Bir pano önüne gelindiğinde, kafadan rastgele L1, L2, L3 fazları adlandırılmaktadır. Verdiğimiz bu sıralamaya göre resim ile uygulama denk getirilmeye çalışılmaktadır.



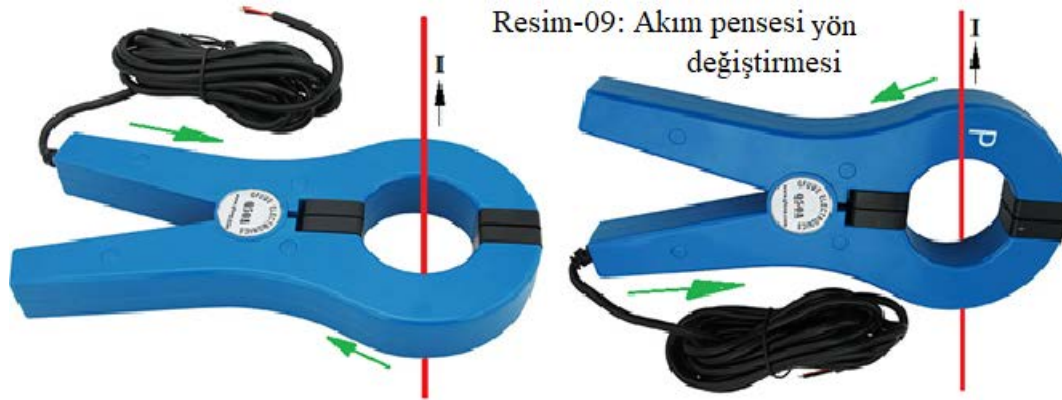
Resim-07: Metrel firması güç analizörü şebekeye bağlama örneği



Resim-08: CIRCUTOR analizörü bağlantı örneği

4.2 Kullanma kılavuzlarında yazılı olmayan önemli hususlar

1) Aktif güç asla negatif olmaz. Negatif bir değer hatalı bağlantıyı işaret etmektedir. Negatif gözüken aktif güçler akımlara yön değiştirilerek düzeltilmektedir. Akım pensi içerisindeki sargıların bir yönü vardır. Her üç pensede de bu yönler aynı olmak zorundadır. Bunu sağlamak için penslerin konumuna dikkat etmek gerekir. Resim-09 da görüldüğü gibi, pensler alt üst edilmekle, ölçülen aktif gücün yönü değişmektedir. Bu işlemler canlı fazlar altında yapılmak zorundadır. Çünkü işletmeciler elektriğin kesilmesine müsaade etmediği gibi tüketimin devreye girmesi için beklemek zaman alıcı olacaktır. Ayrıca bir operasyonla sonuca varılmamakta bazen bir kaç kez penslere yön değiştirmek ve gerilim uçlarını da çaprazlamak gerekmektedir. Pensler canlı elektrik altında değiştirileceği için bir kişinin ana şalterde beklemesi ve ters bir durumda elektriği kesmek için hazır beklemesinde yarar vardır. Hocam böyle iş mi olur, canlı baralar arasına el mi uzatılır demeyin. Elektriği açıp kapatarak çalışırsanız iş yeri sahibi sizi kovar. Kısaca harmonik ölçü çalışmasını elektriği kesmeden, üretime asla yansıtmadan yani kimse hissetmeden tesisin elektrikçisi ile başlayıp bitirmelisiniz.



2) Faz Sırası: Hemen her analizör faz sırası yanlış olduğu hususunda ikazda bulunmaktadır. Bu nedenle faz sıralarını denk getirmek sorun yaratmamaktadır. Gerilim uçlarına yer değiştirmek de kolaydır. Fakat bu arada güçlerin negatife geçip geçmediğine ve güç faktörünün de mantıksız bir hal almadığına dikkat etmek gerekmektedir.

3) Güç faktörü: İkinci önemli nokta da güç faktörüdür. Mantıksız güç faktörü olamaz. Örneğin fazın biri 0,95 iken diğer fazlar 0,5-0,6 olamaz. Hemen hemen aynı düzeyde olmalıdır. Her üç fazın birden aynı anda $\cos \phi = 0,55$ gibi çok küçük bir değer göstermesi de bizce mantıksızdır. Olamaz mı? Olabilir fakat düşünülmesi ve tesisin $\cos \phi$ seyri hakkında bilgi alınması gerekir. Bu konuda analizör kılavuzlarında her hangi bir ikaz yazılı değildir. Tecrübelerimizle edinilen bir olgudur. Faz yönleri doğru, aktif güçler pozitif olduğu halde, yani kullanma kılavuzuna göre herhangi bir hata yok gibi gözüktüğü halde, güç faktörünün hatalı olması nedeni ile (örneğin bir fazın 0,95 diğer iki fazın 0,55 göstermesi gibi) farkında olmadan yanlış ölçü yapabilirsiniz. Eğer yanınızda kompenzasyon panosu var ise rölenin değerleri ile kendi aletinizde okunan değerleri karşılaştırabilir, hüküm yürütebilirsiniz.

4.3 Akım ve Gerilim Ayarları

Analizörün en önemli ayarı gerilim ve akım ayarlarıdır. Bu işlemin nasıl yapılacağı cihazın kullanma kılavuzunda yazılıdır. Tabii ki kılavuz dikkatlice okunacak ve ölçüye başlamadan bir kaç gün önce cihazın çalışması tam olarak kavranacaktır. Analizörün akım ve gerilim oranları ayarlandıktan sonra ekranda mantıklı değerler okunmaya başlanabilir. Pens ampermetre ile fazın biri ölçülerek analizör ile yaklaşık aynı değeri gösterip göstermediği kontrol edilmelidir. Çok fark var ise akım çarpanı yanlış girilmiş olabilir. Eğer ölçü yapılan panoda sabit bir analizör veya ampermetre var ise yaklaşık aynı değerlerin gözükmüp gözükmeyeceği kontrol edilmelidir. Yanlış bir bağlantı tüm emekleri boşa çıkaracaktır. Çünkü şebeke analizörü bir kere bağlanıp çalıştırdıktan sonra kayda bırakılmakta, duruma göre bir kaç gün sonra gelinip hafızadaki değerler alınarak bilgisayarda değerlendirilmeye başlanmaktadır. Hatalı işlem tekrar ölçü yapılmasına ve zaman kaybına neden olur. Bunun için analizörü bağlarken çok dikkatli olunmalı ve hata yapmamaya özen gösterilmelidir.

4.4 Analizörün Kayıt Süresi

Genellikle 24 saatlik bir ölçüm her hangi bir şebeke hakkında karar vermeye yeterli olmaktadır. En iyi karar bir haftalık yük akışını takip etmek olur ise de her zaman bu kadar beklemeye fırsat olmamaktadır. Analizörün kayıt süresinin nasıl ayarlanacağı cihazın kılavuzunda yazılıdır ve her cihaz için aynı değildir. Çünkü her firmanın kendine göre farklı bir programı vardır. Cihazların kapasitesine ve hafızasına göre kayıt edebileceği süre değişmektedir. Örneğin elimizde bulunan Metrel analizörü kendisi ne kadar kayıt yapılabileceğini ekranda yazarak kullanıcıyı ikaz etmektedir. Bu cihazın uzun süreli kayıt kapasitesi var ise de 64 adet değerden fazla kayıt yapamamaktadır. Örneğin 50.harmoniğe kadar ölçü yapılmak isteniyor ise üç fazın 50 adet harmoniği 150 değer etmektedir. Akım ve gerilimi de aynı anda kaydedecek isek 300 veri yapmaktadır. Bunun üzerine şebekenin normal akım, gerilim, güç, ve saire gibi değerlerini de ilave eder isek karşımıza çok fazla bir veri registeri çıkmaktadır. Üç fazın normal değerlerinin yanı sıra maksimum ve minimum değerler de kaydedilmektedir. Bir şebekedeki tüm değerleri aynı anda kaydedecek isek 1800-2000 veriye yakın datalar hafızaya alınmalıdır. Bu kadar veriyi örneğin her 5 dakikada bir kayıt etmek istiyor isek acaba hafıza ne kadar sürede dolar? Buna cevap vermemiz ve buna göre cihazımızın ne zaman kaydının sona ereceğini bilmemiz gerekmektedir.

Elimizdeki Circutor analizörünün kılavuzunda kayıt süresi ile ilgili bir formül verilmektedir. Bu cihazın kayıt şekli 30 veya 50 harmonik pozisyonuna alındığında hem tüm şebeke değerleri ölçülüp kaydedilmekte ve hem de 50 veya 30 adet harmonik akım ve gerilimleri hafızaya alınmaktadır. Kullanıcı açısından fazla kafa yorma gerektirmeyen bir ayar şeklindedir. Eğer istenilen veriler seçilir ise çok detaylı bilgiye sahip olmak ve profesyonel olmak gerekir. Metrel cihazında ise böyle bir seçim şansımız yoktur. Her değer tek tek seçilmelidir. Çünkü 64 değerden fazla seçim şansımız yoktur. Metrel cihazının önemli özelliği EN 50160 a göre ölçü yapabilesidir. Bu seçenek alındığında yalnız gerilim harmonikleri ölçülmekte, akım harmonikleri kaydedilmemektedir.

4.5 Analizörü Kullanmakta Yeni ve İlk Defa Harmonik Analizi Yapacaklara Tavsiyeler

Harmonik veya şebeke analizörünü kullanmak ve sonuçlarını değerlendirmek basit değildir. Topraklama ölçümüne ve toprak megeri kullanmaya benzemez. Elektrik Mühendisleri Odası adına yaptığım ölçülerde yanıma öğrenmesi için birilerini vermek istediklerinde çoğu kez olmaz dememişimdir. Fakat gelen meslektaş aleti bağlarken seyretmiş, sonraki faaliyetlere katılamamış ve sonuçta da bir şey öğrenemediği gibi muhtemelen “ben bu işin altından çıkamam” gibi bir düşünceye de kapılmış olabilir. Öyleyse bu işi öğrenmek için yapılması gereken nedir? Sıra ile yazalım.

- 1) Hemen her işte olduğu gibi literatür takip edecek seviyede İngilizce bilmek şarttır. Çünkü kılavuzlar ve analizörün yazılımları neredeyse içi dışı hepsi İngilizcedir.
- 2) İş, analizörle sahada ölçü yapmakla bitmemektedir. PC, (bilgisayar) analizörün ayrılmaz bir parçasıdır. Satın alırken PC vermezler ve üzerinde de durmazlar. Fakat bir yazılım CD si hemen elinize sıkıştırılır. Analizörün ölçü kalitesi kadar yazılımın kullanılabilirliği de önemlidir. Her analizörün yazılımı ve dolayısı ile kullanması ve ayarları da bir birinden farklıdır.

Diyeceksiniz ki, hocam yazılım ve PC den söz ediyorsunuz, bu işe ölçerek sahada başlamayacak mıyız? Bizce müşterinin tesisinde değil bir örnek (demo) üzerinde evinizde veya ofisinizde çalışarak başlamalısınız. Çünkü aleti tanımayı ve yazılımı kullanmayı birkaç saat veya birkaç günde öğrenemezsiniz. Önceden benzeri bir alet kullandı iseniz, yeni aleti kısa zamanda belki kavrayabilirsiniz. Fakat hiç deneme yapmadan müşteriye gitmeniz tavsiye edilmez.

- 3) Önce analizörün kullanma kılavuzuna bir göz atmalısınız. Tam detaylı okumanıza gerek yoktur. Çünkü yaptığımız işler ve ayarlarla beraber kılavuza sık sık bakmanız gerekecektir.
- 4) 3-5 m tek damarlı ince (0,5-10 mm²) bir tesisat kablodan 10-20 turlu bir bobin yapmalısınız. Bobininizi, 5 Amperlik küçük akım pensesi kavrayabilmelidir. 5 Amper ölçü pensi aletle birlikte satılmaktadır. Evinizde veya ofisinizde, ya bir TV veya bilgisayarı besleyen uzatma kablusunun içinden geçen akımı ölçecek şekilde bobini araya seri girmelisiniz. Ölçeğiniz mono faz akım ve gerilimdir. Ölçüyü bobin olmadan da yapabilirsiniz. Fakat evinizdeki cihazın çektiği akım çok küçük olduğu için aletin duyarlılığını artırmak maksadı ile akımı yükseltmeniz yarar vardır. Bobinin başka bir amacı yoktur.
- 5) Evinizde veya ofisinizde bir yandan çay veya kahvenizi yudumlarken diğer taraftan denemelerinize devam edebilir veya günlük rutin işlerinizi takip edebilirsiniz.
- 6) Bilgisayarda yeteri değer görebilmek için cihazımızın kayıt süresini 1 saniye veya 1 dakikaya getirilebilirsiniz. Elde edilen değerleri bilgisayara yükleyerek analizlerin nasıl yapıldığını bir yandan kılavuzu okuyup diğer yandan bilgisayara bakarak yazılımın nasıl kullanıldığını ve sonuçlarının nasıl değerlendirildiğini öğrenebilirsiniz.

Hem cihazın ayarları ve hem de yazılımın kullanılması zaman aldığından evde veya ofiste bir demo üzerinde çalışılması önerilmiştir. Müşteri tesisinde yani müşterinin yanında deneme yapmak müşteri üzerinde “bir şey bilmiyor” gibi bir izlenim bırakabilir. Bu nedenle işe tam donanımlı gitmekte yarar vardır.

Bazı analizörlerin yazılımları, sonuçları doğrudan excell tablolarına dönüştürebilmektedir. Eski analizörlerde excelle geçmek için biraz uğraşmanız gerekebilir. Excell tablolarının faydası, sonuçları istediğiniz şekle sokmak ve müşteri bilgilerini de rahatça girebilmeniz açısından faydalıdır. Makalemizin devamında bir örnek analiz göreceksiniz. Bu veya benzeri örneklerle bakarak siz de kendinize göre bir raporlama şekli geliştirebilirsiniz.

4.6 TESİSTE YAPILMASI GEREKENLER

İlk yapmanız gereken müşterinin sorun ve sıkıntısını dinlemek ve sorgulamak olmalıdır. Genelde tesis sahipleri ne istediklerini tam olarak bilemiyor olabilir. Onlara yardımcı olacak şekilde yanaşmalısınız. Tesiste görülen arıza ve yaşanan olayları titizlikle dinleyip not almalısınız. Çünkü yazacağımız raporda bu olaylardan bahsetmeniz ve nasıl çözüleceğini de izah etmeniz gerekecektir. Müşterinin önüne ölçülen harmonikler budur EPDK sınır değerlerinin altında veya üstündedir demenin müşteri açısından bir anlamı yoktur. Bazı uzmanlar tarafından yapılan ölçülerde, analizörden çıkan sayılarınca harmonik grafiklerinin tesis sahibine verildiği ve EPDK sınır değerlerinden söz edildiği görülmüştür. Pahalı sayılan harmonik ölçümleri veya diğer bir tabir ile şebeke analizlerini kimse keyfi olarak “acaba ne kadar harmoniğim var” maksadı ile yaptırmaz. Mutlaka bir sorunu sıkıntısı veya arızası vardır. Analizi yapandan da bir öneri beklemektedir. Makalemizin devamında bu gibi örnekler verilecektir.

Bir tesiste ölçü yapmak günler almakta en az bir hafta sürmektedir. Raporun yazılarak müşteriye verilmesi normal şartlarda 10-15 günü bulmaktadır. Bu nedenlerle harmonik ölçümleri pahalıdır. Genelde müşterinin en yüklü olduğu en az 24 saati kaydetmek isteriz. Hafta sonları tesisler faal olmadığı için ölçü yapmanın pek anlamı yoktur. Bu nedenle cihazların hemen hepsinde bir tetikleme (trigger) zamanı ayarı yer almaktadır. Bu ayarları kullanmak ileri düzeyde tecrübe gerektirir. Cihaz yerine hafta sonu bağlanır. Fakat ölçüye pazartesi saat 06 da başlayabilir.

Mümkün ise her gün kontrole gidilmeli ve ölçüler PC ye kaydedilerek akıllı mantıklı sonuçlar elde edilip edilmediğine bakılmalıdır. Bir kütüphanede yaptığımız ölçülerde acayip sonuçlar ile karşılaşmış ve sebebini bulmak birkaç gün zaman almıştır. Önce harmonik ölçü cihazından şüphelenilmiş, başka bir cihaz bağlandığında da aynı hatalar görülmüştür. Tesadüfen elektriğin gece uzaktan kumanda ile kesildiği ve ölçü aletinin elektriksiz kalıp pilinin de deşarj olması ile yanlış ölçüler verdiği tespit edilince rahat bir soluk alınmıştır.

Başka bir yerde öğlen cihazı bağlayıp sabah geldiğimizde yarım saatlik bir kayıt olduğu görülmüştür. Saatler süren inceleme ve bağlantı kontrollerinden sonra elektrik odasından çıkarken ışık karartıldığında cihazı besleyen priz in elektriksiz kaldığı fark edilmiştir.

5.0 HARMONİKLERE GETİRİLEN SINIRLAMALAR ve SINIR SEVİYELERİ

5.1 GENEL AÇIKLAMA

Harmonikler konusunda her ülkenin kendi standart veya yönetmeliği var ise de Dünyada yaygın olan 2 uygulama mevcuttur ve Dünya ülkeleri hemen hemen bu iki standarda uygun hareket etmektedirler. Birincisi Amerikan IEEE-519 diğeri de IEC Standartlarıdır. İngilizlerin uyguladığı tavsiyelerden ve EN normlarından da söz ediliyor ise de bunların tamamı IEC ile aynı mantık ve paraleldedir. Türkiye'de EPDK tarafından yayınlanan konu ile ilgili yönetmeliklerde ise gerilim sınırlamaları yönünden IEC (EN) ye akım harmonikleri konusunda da IEEE-519'a uyulmaktadır. Makalemiz devamında söz konusu bu standartlardaki sınırlamalar açıklanmaya çalışılacaktır.

5.2 IEEE-519/ 1992

Harmonikler konusunda bilinen ve Dünyada en çok kabul bulan Amerikan IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) tarafından yayınlanan 519 nolu tavsiyedir. Bu tavsiye en son şekli ile 1992 yılında yayınlanmış ve 1993 yılında Amerikan standart kuruluşu ANSI (American National Standards Insitute) tarafından standart olarak kabul edilmiştir. 1992 den buyana pek az değişime uğramış olan IEEE-519 hem akım ve hem de gerilim için sınır değerler vermektedir. Konu ile ilgili diğer standartların aksine hemen her konuya parmak basmakta ve genel

olarak bakıldığında toplam akım ve gerilim harmonikleri için THD %5 sınır değerini ön görmektedir. Standartın detayına bakıldığında aşağıdaki tablolarda verilen sınır değerler görülecektir.

IEEE-519 Bölüm10'da (Recommended Practices for Individual Consumers) "Bireysel tüketiciler için pratik tavsiyeler" başlığı altındaki yazılarda toplam gerilim harmoniğinin THD V %5 ve münferit gerilim harmoniklerinin de %3 değerlerini geçmemesi önerilmektedir. Bu değerler PCC, enerji bağlantı noktası için geçerlidir ve diğer standartlardaki gibi münferit gerilim harmonikleri için ayrı ayrı sınır değerler vermemektedir.

Tablo-10.1 de bireysel ve küçük tüketiciler için tavsiye edilen münferit gerilim harmonikleri sınır değerleri verilmiş olup, değerler diğer tablolardaki gibi I_{sc}/I_L oranına göre değil kısa devre empedansına (SCR) göre sıralanmıştır. En düşük münferit gerilim harmoniği kısa devre empedansı SCR=1000 olan küçük ve müstakil aboneler için verilmiştir. Gerçekte jeneratörden uzakta bulunan tüketicilerin kısa devre empedansı yakın olanlardan daha büyüktür. Örneğin küçük tüketicilerden olan konutların kısa devre empedansları belki de 1000 Ohmın üzerindedir. Fakat burada dikkati çeken küçük tüketiciler için neden gerilim harmonikleri verilir de akım harmonikleri verilmez sorusudur. Küçük tüketicilere karşılık gelen IEC standartlarındaki 16 A ve altında akım çeken aletlerle ilgili IEC 61000-3-2 standardıdır. Bu standartta münferit akım harmonikleri için sınır değerler verilmekte, gerilim harmoniklerinden hiç söz edilmemektedir. İşte IEC ile IEEE arasındaki görüş farklılığı da bu noktada yatmaktadır.

Küçük tüketiciler için ön görülen IEEE-519 tablo 10.1 "akım harmoniği ne olur ise olsun, gerilim harmoniğinin bu seviyeyi aşmaması yeter" düşüncesine göre hazırlanmış olabilir. Çünkü gerilim harmoniklerini yaratan akım harmonikleridir ve harmoniklerle mücadelede akım harmonikleri yok edilerek sonuçta gerilim harmoniğinin düşmesi sağlanmaktadır. Akım harmoniği bir cihaza aittir ve o cihazın yapısı ve kalitesi ile ilgilidir. Gerilim harmoniği ise aynı şebekeden gerilim alan diğer tüketicileri rahatsız ettiğinden çok daha önemli ve üzerinde durulması gereken bir olaydır.

	Maximum Individual Frequency Voltage	← Maksimum münferit Gerilim harmonikleri	
SCR at PCC	Harmonic (%)	Related Assumption	Kabuller
10	2.5-3.0%	Dedicated system	Bilinen belli tesisler.
20	2.0-2.5%	1-2 large customers	1-2 büyük tüketici
50	1.0-1.5%	A few relatively large customers	Büyük sayılabilecek bir kaç tüketici
100	0.5-1.0% 5-20	medium size customers	Orta büyüklükteki tüketici
1000	0.05-0.10%	Many small customers	Birçok küçük tüketiciler.

PCC= elektrige abone olunan nokta, SCR: kısa devre oranı

Toplam gerilim harmonikleri ile ilgili Tablo-10.2 de genel şebekeler için %5 verilirken hastane ve hava alanı gibi özel tesislerde %3 ile sınırlama getirilmektedir.

	Special Applications * Özel uygulamalar	General System Genel sistemler	Dedicated System +) Bilinen sistemler.
Notch Depth	10%	20%	50%
THD (Voltage)	3%	5%	10%
Notch Area (An) **	16 400	22 800	36 500

Not: 480 Volt dışındaki diğer gerilimler için An değeri V/480 ile çarpılmalıdır.
*) Özel uygulamalara hastane ve hava alanları dahildir.
+) Bilinen tesislerde adaptör (converter)
**) Nominal akım ve gerilimde volt-mikrosaniye olarak

IEEE bölüm 10.4 de akım harmonikleri ile ilgili olarak aşağıdaki tablo-10.3'deki sınır değerleri verilmekte olup, bu tablo EPDK Yönetmeliğindeki Tablo-11 ile bire bir aynıdır. Yazımızda iletim hatları ile ilgili verilen sınır değerlere hiç girilmeyecektir. Çünkü bu makalemiz tüketicilere yöneliktir.

IEEE Tablo-10.3 ve EPDK Yönetmelik Tablo-11: Akım harmonikleri için maksimum sınır değerleri, yük akımına (I_L) göre % sınır değerleri						
Tek Harmonikler						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD =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
Çift harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değer %25'i ile sınırlıdır. TTB= Toplam talep bozulması \approx THDI, h= harmonik sayısı						
Isc = PCC noktasındaki kısa devre akımı, I_L = PCC noktasındaki azami yük akımı temel bileşeni						
Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed. DC kayması ile sonuçlanan (örneğin tek dalga adaptör gibi) akım bozulmalarına müsaade edilmez.						
*) Güç üreten tüm aletler (jeneratörler) I_{sc}/I_L oranına bakmaksızın bu satırda verilen akım harmoniği sınır değerine uymak zorundadırlar.						

Bölüm 11: Recommended Practices for Utilities başlığı altındaki bölümde gerilim harmonikleri için Tablo-11.1 deki sınır değerler verilmektedir.

Tablo-11.1: Gerilim bozulma sınırları		
PCC deki bara gerilimi	Münferit gerilim harmonikleri (%)	Toplam gerilim bozulmaları THD (%)
69 kV ve altı	3,0	5,0
69 kV 161 kV arası	1,5	2,5
161 kV ve üzeri	1,0	1,2
Not: HVDC terminallerinde tüketici çıkışlarında THD değeri %2 ye kadar müsaade edilir.		

5.3 EN 50160 /2010, TS EN 50160

Genel Elektrik şebekesi tarafından sağlanan elektriğin yani halka açık elektrik şebekesinin gerilim karakteristikleri ve elektrik kalitesi bu standartta belirlenmektedir. Elektrik dağıtım kuruluşları tarafından halka ve sanayiye sunulan elektrik EN 50160 şartlarına uygun olarak dağıtılmak ve satılmak zorundadır.

Avrupa standart kuruluşu CENELEC tarafından yayınlanan bu standart şebeke gerilim ve frekans özelliklerini içermekte olup, yalnızca gerilim harmoniklerine sınırlama getirmekte, akım harmoniklerinden hiç söz etmemektedir. IEEE-519'un aksine münferit gerilim harmonikleri için detaylı sınır değerler vermektedir. EPDK Yönetmeliğinde Tablo-10 ve EN 50160 da Çizelge-1 olarak verilen sınır değerler aşağıdaki tabloda görülmektedir. EN 50160 bölüm 4'de verilen çizelge-1 alçak gerilimden beslenen tüketiciler için geçerlidir. Aynı standart bölüm 5 çizelge-4 de OG şebekelerinde olması gereken gerilim harmonik değerleri verilmiş olup, AG den farkı yoktur. Bölüm 6 da yüksek gerilim şebekeleri için verilen Çizelge-7 de ise değerler değişmekte ve düşürülmektedir. Konumuz olmadığı için detaya girilmeyecektir.

Toplam gerilim sapmaları için önerilen değer IEEE-519 aksine % 5 değil, madde 4.2.5 de belirtildiği gibi % 8 THD olarak verilmektedir.

TS EN 50160 Çizelge-1 ve EPDK Yönetmelik Tablo 10: Gerilim Harmonikleri için Sınır Değerler, 50 Hz temel gerilime % olarak orantıları.					
Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
3'un Katları Olmayanlar		3'un Katları Olanlar			
Harmonik Sırası, h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası, h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası, h	Sınır Değer (%)
5	% 6	3	% 5	2	% 2
7	% 5	9	% 1,5	4	% 1
11	% 3,5	15	% 0,5	6.....24	% 0,5
13	% 3	21	% 0,5		
17	% 2				

19	% 1,5				
23	% 1,5				
25	% 1,5				
Not: 25'ten daha yüksek dereceli harmonikler genellikle küçük aynı zamanda rezonans etkileri sebebiyle önceden tahmin edilmesi oldukça zor olduğundan bunlar için hiç bir değer verilmemiştir.					

5.4 EPDK Yönetmeliği

EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) tarafından 21.12.2012 tarih ve 28504 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan "Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde harmoniklerle ilgili sınır değerler verilmektedir. Yönetmelik Tablo-10 TS EN 50160 Çizelge 1 ile bire bir aynıdır ve yine akım harmonikleri ile ilgili Tablo-11 de IEEE-519 Tablo-10.3 ile birebir aynıdır.

5.6 IEC 61000 SERİSİ STANDARTLAR

Elektromanyetik uyumluluk adı altında IEC (Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu) 61000 ile başlayan standartlar yayınlamıştır ve sürekli güncellemekte ve yeni seriler açıklamaktadır. Aşağıdaki tablo-01 de bu standart bölümlerinin hangi konuları kapsadığı ve kaç adet standart mevcut olduğu görülmekte olup, şebeke analizi ve sınır değerler için önemli olan bölüm 3 standartlar ayrıca tablo-02 de isimleri ile açıklanmıştır.

Bölüm	Tablo-01: IEC 61000 serisi standart bölümleri ve içerikleri	Sayı
Bölüm 1	IEC 61000-1- ... ile başlayan standart serileri ana prensipler, tanımlar ve terminoloji gibi genel konuları içermektedir.	5 adet
Bölüm 2	IEC 61000-2- ... ile başlayan seriler: çevresel tanımları, çevrenin sınıflandırılması ve uyumluluk seviyelerini içermektedirler.	15 adet
Bölüm 3	IEC 61000-3- ... ile başlayan standart serileri yayılma (emiyon) ve bağışıklık, muafiyet (immunity) sınır değerlerini içermektedirler. Tesisat incelemesinde kullanmamız gereken IEEE-19 ve EPDK Yönetmelikleri ile EN 50160 standartlarına karşılık gelen bölüm 3 standartlarıdır.	15 adet
Bölüm 4	IEC 61000-4- ... ile başlayan standart serileri: test ve ölçü tekniklerini içermektedirler. Ölçü aletleri bu standartlara göre üretilmekte ve ölçüm yaparken de bu standartlara dikkat edilmesi gerekmektedir.	23 adet
Bölüm 5	IEC 61000-5- ... ile başlayan standart serileri: Harmonikle mücadele, seviyesinin düşürülme veya azaltılması ve bu konu ile ilgili tesis kurulumu gibi hususlarda dikkat edilmesi gereken hususları içermektedir.	1 adet
Bölüm 6	IEC 61000-6-... ile başlayan standart serileri kendine özgü jenerik konuları içerir.	4 adet
Bölüm 9	IEC 61000-9-... ile başlayan standart serileri müteferrik konuları içermektedir.	

Tablo-02: Harmonik sınır seviyelerini veren IEC standartları	
TS EN 61000-3-2 (12.10.2006)	Elektromanyetik uyumluluk (EMU) - Bölüm 3-2: Sınır değerleri - Harmonik akım yayınları için sınır değerleri (donanım giriş akımı faz başına 16 A)
TS EN 61000-3-3 TS EN 61000-3-3/A2	Elektromanyetik uyumluluk (EMU)-Bölüm 3-3: Sınır değerler-Beyan Akımı Faz Başına 16 A (Dahil) olan ve şartlı bağlantıya tabi olmayan cihazlar için alçak gerilim besleme sistemlerindeki gerilim değişiklikleri, dalgalanmaları ve kırışma sınırları
TS EN 61000-3-12 2004	Elektromanyetik uyumluluk (EMU) - Bölüm 3-12: Sınır değerler - Faz başına 16 A ve 75 A giriş akımlı alçak gerilim sistemlerine bağlanan cihazın neden olduğu harmonik akımlar için sınır değerler
EN 61000-3-14 2011	Harmonik, ara harmonikler, voltaj dalgalanmaları ve dengesizlik gibi rahatsız edici tesislerin AG güç sistemlerine bağlanabilmesi için emisyon sınırlarının değerlendirilmesi
IEC 61000-2-2	Kamuya ait düşük gerilimli güç kaynağı sistemlerinde düşük frekanslı iletilen bozulmalar ve işaretleşme için uyumluluk seviyeleri.

5.6.1 Gerilim Harmonikleri Sınır Değerleri

IEC 61000-2-2 madde 4.2 tablo 1 de harmonik gerilimleri için aşağıda tablo-03 de görülen sınırlamalar getirilmektedir. Yeni yayınlanan IEC 61000-3-14 madde 4.2.2 deki tablo 1 ile tıpa tıpa aynıdır.

Tablo-03: IEC 61000-2-2 Tablo 1'de AG şebekeleri için verilen gerilim harmonikleri sınır değerleri.					
Tek Harmonikler THDV= %8				Çift Harmonikler (THD V = %8)	
3'ün Katları Olmayanlar		3'ün Katları Olanlar			
Harmonik Sırası, h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası, h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası, h	Sınır Değer (%)
5	% 6	3	% 5	2	% 2
7	% 5	9	% 1,5	4	% 1
11	% 3,5	15	% 0,4 (0,5)	6	% 0,5
13	% 3	21	% 0,3 (0,5)	8	% 0,5
17<h ≤49	2,27x(17/h)-0,27	21<h ≤45	0,2	10<h ≤50	0,25x(10/h)+0,25

Not: 3'ün katı olan harmonikler nötr hattı olan 4 veya 5 telli şebekelerde (TT, TN-S) uygulanır.

IEC 61000-2-2 Tablo 1 de AG şebekeler için verilen değerler ile EN 50160 çizelge 1 de verilen değerler hemen hemen aynıdır. Yalnızca 15 ve 21.harmonikler 0,5 yerine 0,4 ve 0,3 alınmıştır. Kısa süreli harmonikler için k katsayısı ($k=1,3+0,7.(h-5)/45$) kadar bir artışa müsaade edilmekte fakat kısa süre nedir belirtilmemekte yalnızca bu sürede THDV'nin %11 olabileceğinden söz edilmektedir.

IEC 61000-2-12 madde 4.3 de OG şebekeleri için tablo-04 de görülen gerilim harmonik sınır değerleri ön görülmektedir. AG de olduğu gibi THDV % 8 olarak kabul edilmektedir.

Tablo-04: IEC 61000-2-12 Tablo 1'de OG şebekeleri için verilen gerilim harmonik seviyeleri.					
Tek Harmonikler THDV= %8				Çift Harmonikler (THD V = %8)	
3'ün Katları Olmayanlar		3'ün Katları Olanlar			
Harmonik Sırası, h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası, h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası, h	Sınır Değer (%)
5	% 6	3	% 5	2	% 2
7	% 5	9	% 1,5	4	% 1
11	% 3,5	15	% 0,4	6	% 0,5
13	% 3	21	% 0,3	8	% 0,5
17<h ≤49	2,27x(17/h)-0,27	21<h ≤45	0,2	10<h ≤50	0,25x(10/h)+0,25

Not: 3'ün katı olan harmonikler nötr hattı olan 4 veya 5 telli şebekelerde (TT, TN-S) uygulanır.

AG de olduğu gibi anlık harmonik yükselmelerinde k faktöründen söz edilmekte ve bu süre içerisinde THDV nin %11 olabileceği kaydedilmektedir. Türkiyede AG şebekeyi besleyen 36 kV OG trafoların ayriyeten çekilmiş nötr hatları bulunmamaktadır. Trafoların nötrü 20 ohm bir direnç üzerinden toprağa bağlanmaktadır. Bazı büyük tesislerde 6 kV şebeke mevcuttur. Bildiğimiz kadarı ile bunların da tamamında ayrı bir nötr hattı çekme alışkanlığı yoktur. Çünkü daima faz gerilimine ihtiyaç duyulmaktadır.

5.6.2 Akım Harmonikleri Sınır Değerleri

IEC genelde harmoniklere alet bazında baktığı için IEEE-519 benzeri tavsiyeleri bulunmamaktadır. IEC 61000-3-12 de 16 Amperden büyük 75 Ampere kadar akım çeken aletlerle ilgili harmonik akım sınır değerleri verilmekte olup aşağıda tablo-05a, -05b, -05c de görülmektedir.

Tablo-05a: IEC 61000-3-12: Çektiği akım <75 A olan aletler için harmonik sınır değerleri								
Dengeli akım çeken üç faz aletler dışında kalan teçhizatlar için akım emisyon seviyeleri								
min R _{sce}	Münferit tek akım harmonikleri % I_h/I_1						Toplam harmonik	
	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	THD	PWHD
33	21,6	10,7	7,2	3,8	3,1	2	23	23
66	24	13	8	5	4	3	26	26
120	27	15	10	6	5	4	30	30
250	35	20	13	9	6	6	40	40
≥350	41	24	15	12	10	8	47	47

Not: Çift harmoniklerin değeri % 16/n'i aşmamalıdır. I_1 = temel frekansdaki (50 Hz) akım değeridir.

Tablo-05b: IEC 61000-3-12: Çektiği akım <75 A olan aletler için harmonik sınır değerleri Dengeli akım çeken üç faz aletler için akım emisyon seviyeleri						
min Rsce	Münferit tek akım harmonikleri % I_n/I_1				Toplam harmonik	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	THD	PWHD
33	10,7	7,2	3,1	2	13	22
66	14	9	5	3	16	25
120	19	12	7	4	22	28
250	31	20	12	7	37	36
≥ 350	40	25	15	10	48	46

Not: Çift harmoniklerin değeri % 16/n'i aşmamalıdır. I_1 = temel frekansındaki (50 Hz) akım değeridir.

Tablo-05c: IEC 61000-3-12: Çektiği akım <75 A olan aletler için harmonik sınır değerleri Dengeli akım çeken üç fazlı özel aletler için akım emisyon seviyeleri						
min Rsce	Münferit tek akım harmonikleri % I_n/I_1				Toplam harmonik	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	THD	PWHD
33	10,7	7,2	3,1	2	13	22
≥ 120	40	25	11,5	10	48	46

Not: Çift harmoniklerin değeri % 16/n'i aşmamalıdır. I_1 = temel frekansındaki (50 Hz) akım değeridir.

5.6.3 KÜÇÜK ALETLER

16 Amperden küçük akım çeken aletler IEC tarafından ayrıca ele alınmış ve bu gibi aletler ile ilgili IEC 61000-3-2 standardı yayınlanmıştır.

IEC 61000-3-2: Elektromanyetik uyumluluk (EMU) Bölüm 3:2 – Sınır değerler - Harmonik emisyonlar için sınır değerler (Faz başına donanımın giriş akımı ≤ 16 A)

Bu standartta verilen sınır değerlerin karşılığı IEEE'de tablo 10.1'deki gibi olabilir. IEC 6100-3-2 de elektrikli aletler dört gruba ayrılmaktadır.

Class A: Sınıf A:

- Dengelenmiş üç fazlı donanım,
- Ev aletleri, D sınıfına girenler hariç
- Tüm elektrikli takımlar, taşınabilir aletler hariç
- Akkor telli lambalar için dimerler (ışık ayarlayıcılar)
- Ses (audio) cihazları

Diğer üç sınıfa dahil edilemeyen aletler A sınıfı olarak kabul edileceklerdir.

Class B: Sınıf B: hareketli aletler ile elle taşınan evlerde ara sıra kullanılan ark kaynak cihazları.

Class C: Sınıf C: aydınlatma aletleri

Class D: Sınıf D: Personel bilgisayarlar ve personel bilgisayar monitörleri ile televizyon alıcıları.

HARMONİK SINIR DEĞERLERİ

Sınıf A: Standart tablo 1 ilgili sütunda verilmiştir.

Sınıf B: Standart tablo 1 ilgili sütundaki gibidir. A sütunundaki değerler 1,5 ile çarpılarak bulunmuştur.

Sınıf C: Sınır değerler alet cinsine göre aşağıdaki gibi farklı belirlenmektedir.

Gücü > 25 W altında olan aydınlatma aletlerinde harmonik akımları tablo-06 da C sınıfı aletler için verilen sınır değerleri aşmamalıdır.

Gücü ≥ 25 W ve üzerinde olan C sınıfı aletlerde sınır değerleri belirlemek biraz karışıktır. Burada detayına girilmeyecektir. İlgilenenlerin ve bu bilgilere ihtiyacı olanların standardı okumaları önerilir.

Sınıf D: Tablo-06 ilgili sütundaki değerleri aşmamalıdır. Hem güç ve hem de akım yönünden uygun olmalıdırlar. Standart tablo 3 de neden hem akım ve hem de güce göre değerler verilmiştir anlaşılabilir. Aydınlatma armatürlerinde genelde gerilim 220 Volttur ve dolayısı ile akım küçüktür. Yeni gelişen LED ampullerde ise giriş gerilimi 220 Volt ise de LED'in çalıştığı gerilim hem düşük ve hem de DC (doğru akım) olduğuna göre acaba nasıl

değerlendirilmelidir? Bizce 220 V bir adaptör gibi ele alınmalıdır. Unutmayınız, LED'ler yoğun harmonik kaynağıdır.

IEC 61000-3-2 standardı madde 7.4 de tablo 3 de verilen sınır değerlerin 75 Wattan büyük aletler için de geçerli olacağından söz edilmektedir. Bu bilgilere ihtiyacı olanların standardın ilgili maddelerini okumaları ve hangi aletlerin D sınıfı kapsamına girdiğine bakmaları tavsiye edilir.

Tablo-06: 16 Amperden küçük akım çeken aletlerde müsaade edilen akım harmonikleri IEC 61000-3-2:2008 (standart tablo 1-3)								
Harmonik Sırası	A sınıfı	B sınıfı	C Sınıfı		D Sınıfı			
	Standart Tablo 1		Standart Tablo 2		Standart Tablo 3			
n	[A]	[A]	n	% (**)	n	mA/W	A	
	Tekler	x1,5	2	2				
3	2,30	3,45	3	30.λ (*)	3	3,5	2,30	
5	1,14	1,71	5	10	5	1,9	1,14	
7	0,77	1,155	7	7	7	1,0	0,77	
9	0,40	0,60	9	5	9	0,5	0,40	
11	0,33	0,495	-	-	11	0,35	0,33	
13	0,21	-	-	-	-	-	-	
15≤n≤39	0,15x(15/n)	0,0225x(15/n)	11≤n≤39	3	13≤n≤39	3,85/n	0,15x(15/n)	
	Çiftler	1,62	(*) λ =Cos(φ) devrenin güç faktörüdür.					
2	1,08	1,62	(**) Müsaade edilen azami harmonik akımın, 50 Hz temel frekans giriş akımına oranı %					
4	0,43	0,645						
6	0,30	0,45						
8<n<40	0,23x(8/n)	0,345x(8/n)						

5.7 IEEE-519 ve IEC KIYASLAMASI

IEC standartları harmoniklere alet bazında bakmakta ve elektrik şebekeleri için akım harmonikleri kategorisinde bir sınırlama getirmemektedir. IEEE-519 da ise olaya küçük tüketici ve şebeke bazında bakılmakta ve buna göre önerilerde bulunmaktadır. Bizim incelememize göre, gerilim harmonikleri konusunda her iki kuruluş da hemen hemen aynı düşüncededir. IEEE toplam gerilim harmoniklerini %5 ile sınırlarken EN 50160 ve IEC 61000-3-14 de ise % 8 önerilmektedir. Akım harmoniklerinde IEEE-519 şebekeler için sınır değerler verirken IEC ise 16 Amper ve en fazla 75 A akım çeken aletlerle ilgili akım harmonikleri sınır değerleri vermektedir. Bazı yazarlar IEC ve IEEE arasında bir kıyaslama yapmaya çalışıyorlar ise de bu iki kuruluşun akım harmonikleri konusunda kıyaslanması bizce mümkün değildir.

5.8 SINIR DEĞERLERİ AŞMA SÜRELERİ

Yukarıda verilen harmoniklerle ilgili sınır değerler ne kadar süre ile aşılar ise tehlikeli sayılır? Bir anlık aşımın bir anlamı olmayacağı aşikardır. Bu sorunun cevabını vermemiz gerekmektedir.

Konu ile ilgili olarak EN 50160 madde 4.2.5 de "Normal çalışma şartları altında bir haftalık her bir periyot boyunca her bir münferit harmonik gerilimin 10 dakikalık ortalama etken değerlerinin %95 i Çizelge-1 de verilen değerlere eşit veya daha az olmalıdır" denilmektedir. Bu cümle bizce muğlaktır ve tarafımızdan kesin bir anlam çıkarılamamaktadır. İngilizce orijinal de aynı şekilde açık değildir. Anladığımız kadarı ile 10 dakikalık aralıklarla bir hafta süre ile kaydedilen münferit harmonik değerlerinin %95 i tabloda verilen sınır değerlere eşit veya altında olmalıdır. Bir hafta süre ile kaydedilen değerlerin %95 ile tamamı arasında bizce önemli bir fark yoktur. Yani tabloda verilen değerler 1 hafta süre ile aşıyor ise standarda uymuyor anlamı çıkmaktadır. Bir hafta süre bizce biraz uzundur.

EPDK Yönetmeliği madde 22 c) de "Dağıtım şirketi, TS EN 50160:2011 standardında tanımlanan ve Tablo 10'da gösterilen gerilim harmonik sınır değerlerine uymakla yükümlüdür. Tablo 10'daki değerler her bir gerilim harmoniğinin ana bileşene göre oransal değerlerini ifade eder. Ölçüm periyodu boyunca ölçülen her bir gerilim harmoniği etkin değerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az % 95'i, Tablo 10'da verilen değerlerden küçük veya bu değerlere eşit olmalıdır." ifadeleri okunmaktadır. Ayrıca aynı Yönetmelik Madde 22 ç) de akım harmonikleri ile ilgili olarak şu ifadeler yer verilmektedir: "ç) Dağıtım sistemi kullanıcıları IEEE Std.519-1992 standardında ya da bunun revizyonlarında belirtilen aşağıdaki harmonik sınır değerlerine uymakla yükümlüdür. Ölçüm periyodu boyunca ölçülen

her bir akım harmoniğinin etkin değerinin ve TTB'nin 3'er saniyelik ortalamalarının I_L 'ye göre (yük akımı) oransal değerleri Tablo 11'de verilen değerlerden küçük veya bu değerlere eşit olmalıdır." Akım ile ilgili sınır değer kıyaslamasında 3 saniyeden söz edilirken gerilimlerde 1 haftadan bahsedilmektedir. Bu anlamlı mıdır? Tarafımızdan anlaşılammıştır. Kısaca aşma süreleri açık seçik değildir.

5.9 TOPLAM GERİLİM ve AKIM HARMONİKLERİ YAKLAŞIK SEVİYELERİ

Genelde ve pratik hayatta, gerilim harmonikleri %3 ve altında ise İYİDİR. %3-5 arası ise fena sayılmaz ortadır, %5'den fazla ise kötüdür, şeklinde bilinir. Akım harmoniklerinde ise %10'a kadar iyidir, %10-20 arası fena sayılmaz ortadır, %20 üzeri kötüdür.

HARMONİK SINIR DEĞERLERİ PRATİK BİLGİLERİ:

Toplam gerilim sapmaları THDV			Toplam akım sapmaları THDI		
% 0-3 arası	% 3-5 arası	% 5 ve üzeri	% 0-10 arası	% 10-20 arası	%20 üzeri
İYİ	ORTA	KÖTÜ	İYİ	ORTA	ZAYIF

5.10 KISA DEVRE HESAPLARI

İnsanın aklına, kısa devre hesapları ile harmoniklerin ne alakası olabilir sorusu gelmektedir. Fakat hem IEEE-519 Tablo 11.3 de ve hem de IEC 61000-3-12'de akım harmonikleri kısa devre akımına bağlı olarak gruplandırılmaktadır. Ölçü yaptığımız bir şebekenin ölçü noktasındaki kısa devre akımını bilmemiz veya hesaplamamız gerekmektedir ki, bir kıyaslama yapalım. Tablo 10.3 de verilen I_{sc}/I_L paydasındaki I_L azami yük akımıdır. Yıllık ortalama yük akımıdır. IEC 61000-3-12 de verilen kısa devre oranında $R_{sc} = I_{sc}/I_{eq}$, I_{eq} aletin nominal akımıdır. Şebeke gibi düşünür ise hemen hemen I_L ile aynıdır. Sonuçta her iki standartta da kısa devre akımı veya gücü bilinmelidir. Kısa devre gücünün hesabı ise genelde muğlaktır. Kesin ve tam bir kısa devre hesabı yapabilmek kolay da değildir. Ancak iletim hatlarında belki bir hesap yapılabilir ise de dağıtım hatlarında epey güçtür. Buna karşılık uzmanlar jeneratörden uzak noktalar için bir yaklaşık hesap yöntemi geliştirmişlerdir ve hesaplar buna göre yapılmaktadır. Burada kısa devre hesaplarının detaylarına girilmeyecektir. Trafo empedansına göre yapılan yaklaşık bir hesap örneği verilecektir. Bu yöntem ile bulunan kısa devre akımı gerçeğinden biraz yüksek olacaktır.

Trafo değerleri: 1.600 kVA, 34,5/0,4 kV, $U_k = \%6,5$ OG akım $I_n = 26,8$ A AG akım $I_n = 2312$ A
 Trafo empedansı $X_{tr} = U_k \times U_n^2 / 100 \times S_n$, $U_k = \%6,5$ $U_n = 220$ V, $S_n = 1.600.000$ VA
 $X_{tr} = 6,5 \times 400^2 / (100 \times 1600000) = 0,00650$

Kısa devre akımı $I_{sc} = I_k = U_n / (1,73 \times X_{tr}) = 400 / (1,73 \times 0,0065) = 35,571$ kA olarak bulunur.
 Yük akımını 600 Amper alırsak, kısa devre akımı/yük akımı oranı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$I_{sc}/I_L = 35,571/600 = 58$ olarak bulunur ve Tablo 10.3 de "50-100" satırındaki sınır değerleri dikkate almamız gerekecektir.

Kısa devre akımı hesabının diğer bir basit formülü de $I_k = I_n / \%U_k$ şeklindedir. Örnek yaparsak:

$$I_k = I_n / \%U_k = 2312 / 0,065 = 35.569 \text{ A} \approx 36 \text{ kA}$$

Yük akımını $I_n = 600$ A = 0,6 kA kabul ettiğimizde buradan $I_k/I_L = 36/0,6 = 60$ hesaplanır.

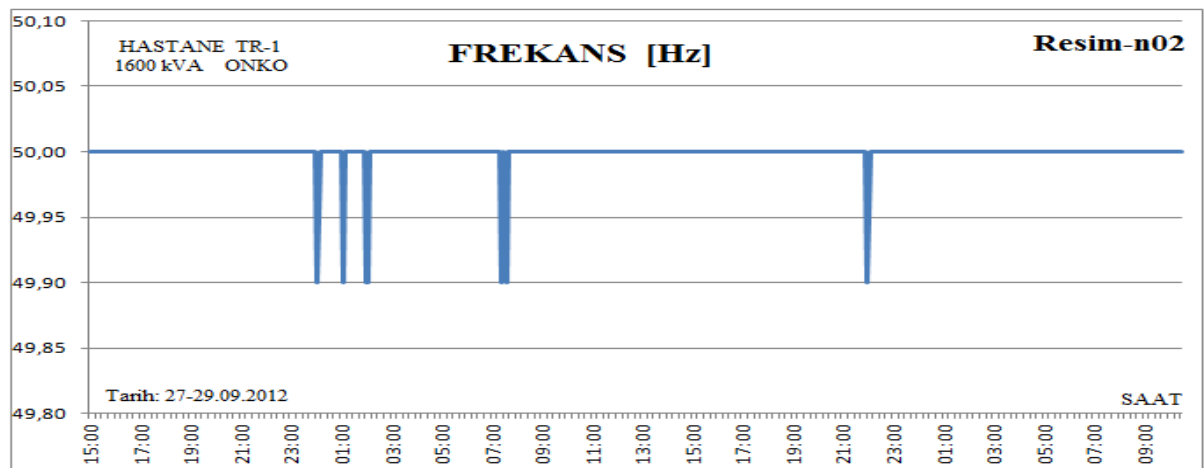
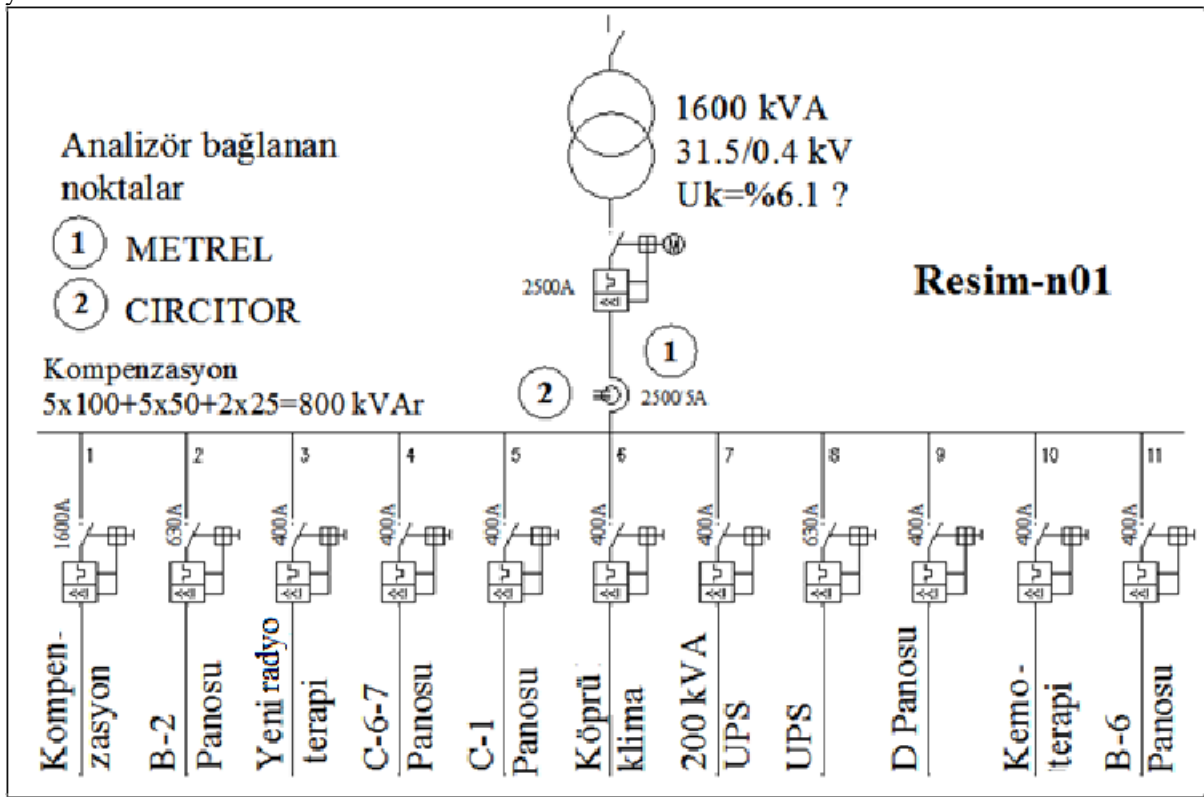
6.0 PRATİK BİR HARMONİK ÖLÇÜM ve ŞEBEKE ANALİZİ ÖRNEĞİ

6.1 ÖLÇÜM GAYESİ ve TESİSİN TEK HAT ŞEMASI

Yaptığımız harmonik ölçülerinden birine ait tam bir şebeke analizi örneği verilecek olup, diğer tesislerdeki ölçülerin de sonuçları ve çözüm önerileri açıklanarak okuyucuların bilgilenmesi sağlanacaktır.

Hastanede faal olan 1600 kVA kuru tip trafo yanmış ve muhtemel sebep olarak harmonikler olabilir mi sorusuna cevap aranmaktadır. Ölçülerin ana hedefi bu ise de genel anlamda elektrik şebekesinin harmonik durumunun tespiti istenmektedir. Tesiste 630 kVA ikinci bir trafo mevcut olup, bu noktada da ölçüler alınmış olmakla birlikte makalemizde yer verilmemiştir. Bu nedenle resim-n01 de yalnız 1600 kVA trafonun tek hat şeması görülmektedir. Tesis Devlete ait olduğu için tek hat şemasını ve detaylarını bulmak güç olmamıştır. Çoğu tesiste tek hat şemasını elektrikçileri sorgulayarak çıkarmaktayız ve zaman alıcı olmaktadır.

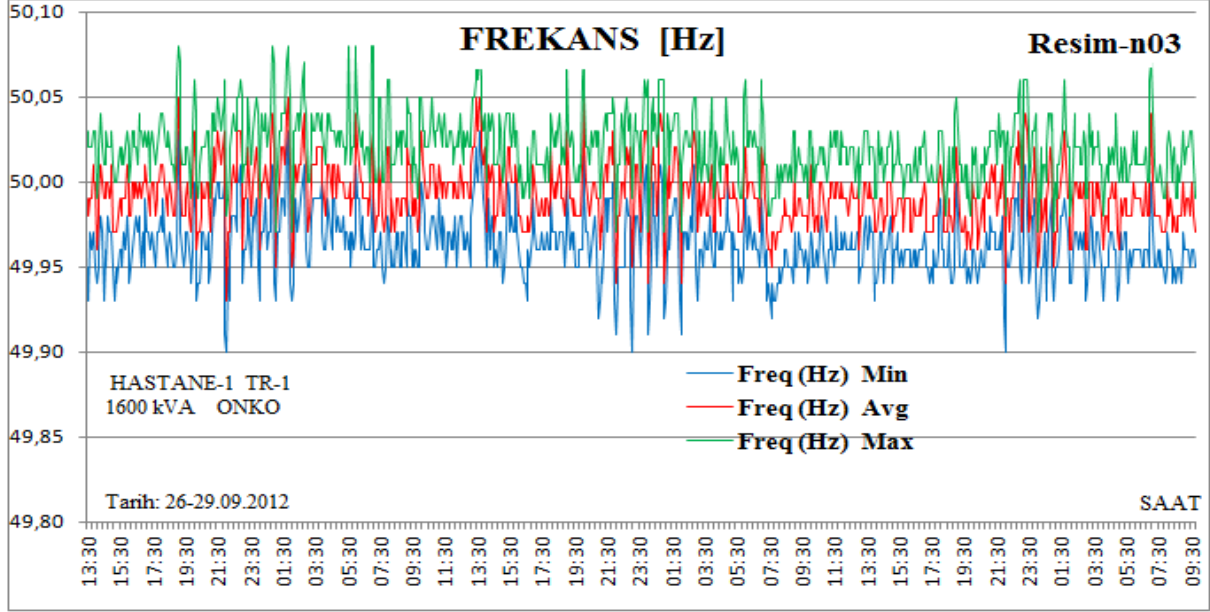
Örnek olarak iki farklı aletin kullanıldığı bir hastanede yapılan ölçümler ele alınmıştır. Maksat her iki tip alette de okuyucularımızı bilgilendirmektir. Makalemizin devamında şebeke değerleri tek tek analiz edilip sonuçlar yorumlanacaktır.



6.2 ŞEBEKE DEĞERLERİ

6.2.1 FREKANS

Analizörlerde kaydedilen frekans değerleri resim-n02 de görülmekte olup, şebeke frekansı 50 Hz sabittir ve hemen hemen hiç değişmemektedir. Resim-n03 de görülen frekans eğrisi METREL marka analizörün Rogowski kayışı akım algılayıcısı ile kaydedilmiş olup, eğrinin fazla değişken diğer bir deyişle "titrek" olması rogowski kayışı özelliğinden kaynaklanmaktadır. Gerçekte frekansın bu kadar değişmesi mümkün değildir. Rogowski bobini ile kaydedilen diğer değerler de aynı şekilde "titrek"tir.

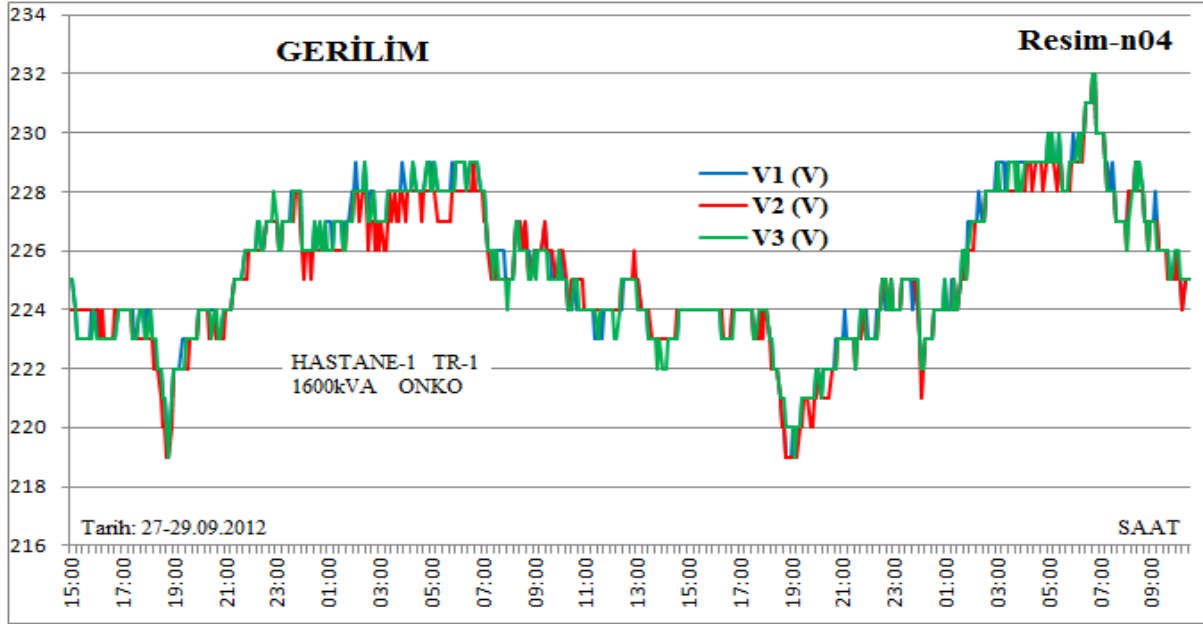


Elimizde iki farklı analiz cihazı mevcuttur. Circutor ile akım trafosu üzerinden 1-5 A çıkışından ölçüm yapılırken METREL marka analizörün Rogowski kayışı trafonun baraları üzerine dolanıp doğrudan algılama yapılmıştır ve daha etkili bir ölçüm beklenmektedir. Circutor analizörü 30 adet harmoniğe ayarlıdır, tek tek ayarlama yapılmamıştır. Metrel ise tek tek değerlerin girilmesini istemektedir. Her ne kadar frekansın maksimum ve minimum değerlerini de ölçer gibi bir detay verilmemiş ise de Metrel maksimum ve minimum frekans değerlerini verir iken Circutor marka cihaz tek bir değer vermektedir. Bu sonuçları anlayabilmek için cihazların kullanma kılavuzlarını detaylı ve ince noktalarına varana kadar okumak gerekmektedir. Ölçüm periyodu 5 dakika verilmiştir. Maksimum ve minimum değerler bu 5 dakikalık aralık içerisinde kaydedilen maksimum ve minimum değerlerdir. Ortalama değer ise 5 dakika içerisinde yapılan ölçümlerin ortalamasıdır. O zaman akla hemen şu soru gelmektedir. Bu cihaz hangi aralıklarla ölçer ve detaya girildiğinde nasıl ölçer? Analizörler aynı zamanda bir osiloskop gibi kullanılabilirler göre nerede ise aralıksız algılama yani ölçme yapmalıdırlar. Tabi bu mümkün değildir. Metrel cihazının kılavuzunda 25 kHz'lik sinyallerin yakalınıp kaydedildiği yazılı iken Circutor kılavuzunda ise her 500 µs (mikrosaniye) de bir numune alındığı ve 50 Hz'lik bir periyotta 40 adet değer kaydedildiği yazılıdır.

Frekans ile ilgili sınırlamalar EN 50160 madde 4.2.1 de 50 Hz \pm 1 olarak verilmektedir. Bu maddedeki frekans ile ilgili veriler bizce çok sıkıdır. Frekansın 10 saniyelik aralarda dahi bu sınırlar içerisinde kalması ve bir yıllık sürenin %99,5 i süresince de bu sınırları aşmaması istenmektedir. Kısaca frekans 50,5-49,5 Hz aralığının dışına taşmamalıdır. Her ne kadar 47-52 Hz den söz ediliyor ise de 10 saniye süresi ve yıllık %99,5 zaman dilimi 47-52 Hz kabullenmesini sınırlamaktadır.

Elektrik kalitesini belirleyen en önemli faktörlerin başında frekans ve frekansın sabit seyretmesi gelmektedir. Fakat bu olguyu ne elektriği kullanan ve ne de dağıtan kuruluşlar belirlemektedir. Doğrudan iletim şebekesini ve üretim santrallerini koordine eden kuruluşlarca ayarlanmaktadır. Bildiğimiz kadarı ile Ankara Gölbaşı'nda bulunan "Milli Yük Tevzi Merkezince" koordine edilmektedir. Frekans aynı zamanda elektrik enerjisi arz-talep miktarını doğrudan etkileyen bir faktördür. Şöyle ki, enerji tüketimi (talep) arttıkça ve santraller bu enerjiyi karşılamakta zorlanıyorlar ise frekans düşmeye meyleder. Üretim (arz) tüketimden fazla, yani tüketimin önüne geçiyor ise frekans yükselmeye başlar.

Ölçü yaptığımız hastane şebekesi örneğine gelirsek, yapılan ölçümlerden frekansın EN 50160 standardının ön gördüğü sınırlar içerisinde kaldığı ve uygun olduğu görülmektedir.

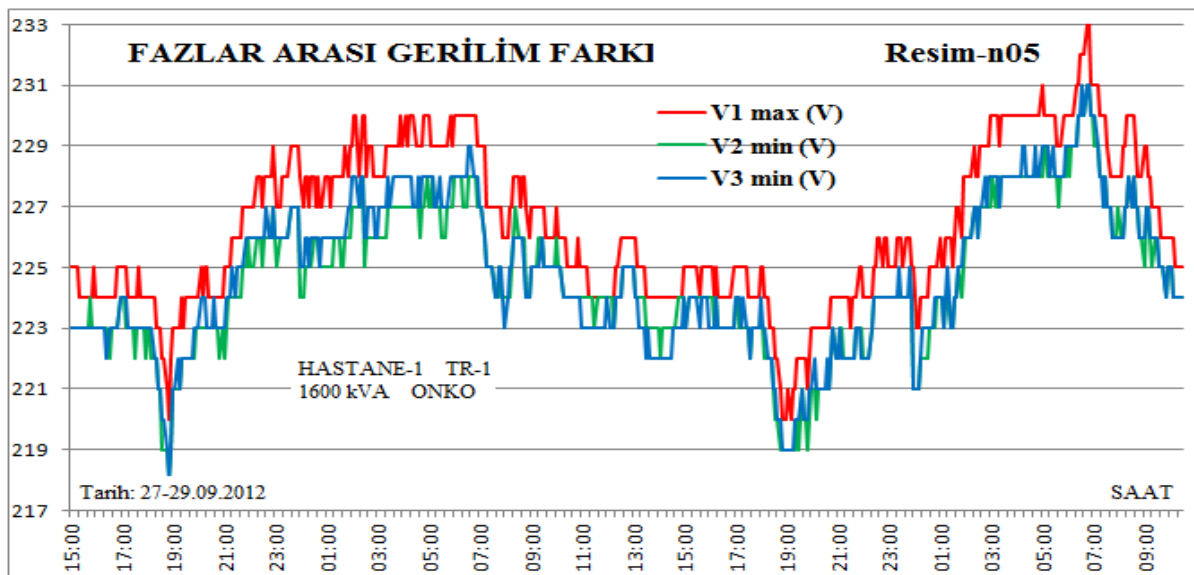


6.2.2 GERİLİMLERİN SEYRİ ve FAZLAR ARASI DENGESİZLİĞİ

Gerilimin seyri resim-n04 de ve fazlar arası gerilim farkı da resim-n05 de verilmiş olup gerilimin ve fazlar arası farkın normal olduğu ve standartların verdiği seviyeleri aşmadığı görülmektedir.

Gerilim seviyelerini belirleyen TS EN 60038 numaralı norma göre (uluslararası standart no: IEC 60038 Edition 6.2 2002-7 Standart Voltage) standart gerilim 380 Volt değil 400 Volt ve dolayısı ile mono faz gerilimler de 220 Volt değil 230 Volt olarak belirlenmiştir. Buna göre yapılan ölçümler gerilimlerin uluslararası standartlara göre ayarlandığını göstermektedir.

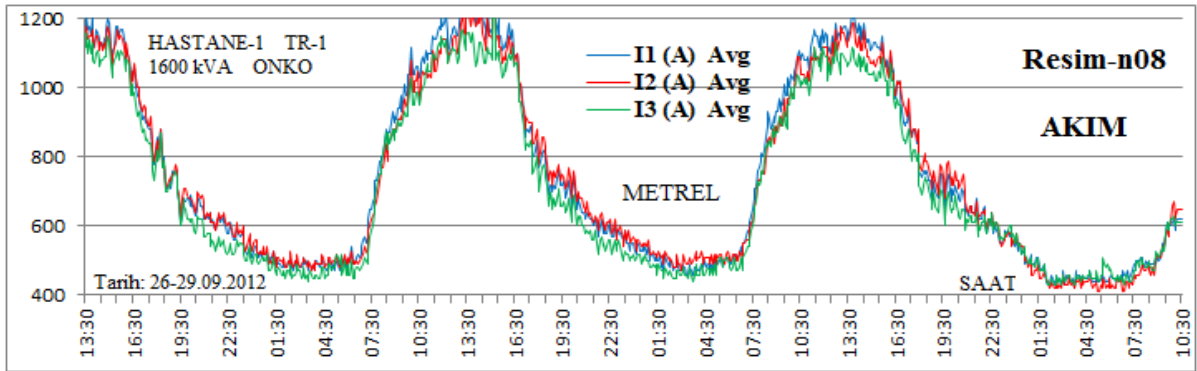
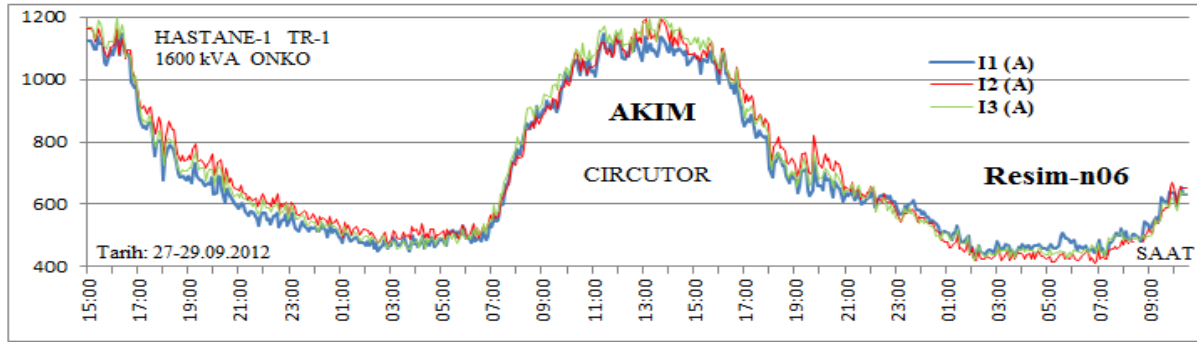
Gerilim kalitesini belirleyen TS EN 50160 madde 4.2.2.1'e göre gerilimin nominal değer \pm %10 etrafında dalgalanması normal kabul edilmektedir. Bunun anlamı piyasaya sürülen her nevi cihazın nominal gerilimin (230 Volt) \pm %10 değişmesi (\pm 23 Volt) durumunda normal çalışması gerektiğidir. Diğer taraftan IEC 61000-2-4'de, 1.Sınıf cihazlar için %8 gerilim dalgalanması (Class 1 equipment) ve fazlar arası dengesizliğin de %2'yi aşmaması ön görülmektedir. 230 Voltta %2 sapma $0,02 \times 230 = 4,6 \text{ V} \approx 4 \text{ Volt}$ kadardır.



Fazlar arası gerilim kaymasını görebilmek için ölçüm tablolarına bakmak ve bunun için de ölçüm sonuçlarını Excell tablolarına dönüştürmek gerekmektedir. Bazı analiz cihazlarının yazılım programında bu işlem çok basit iken bazı

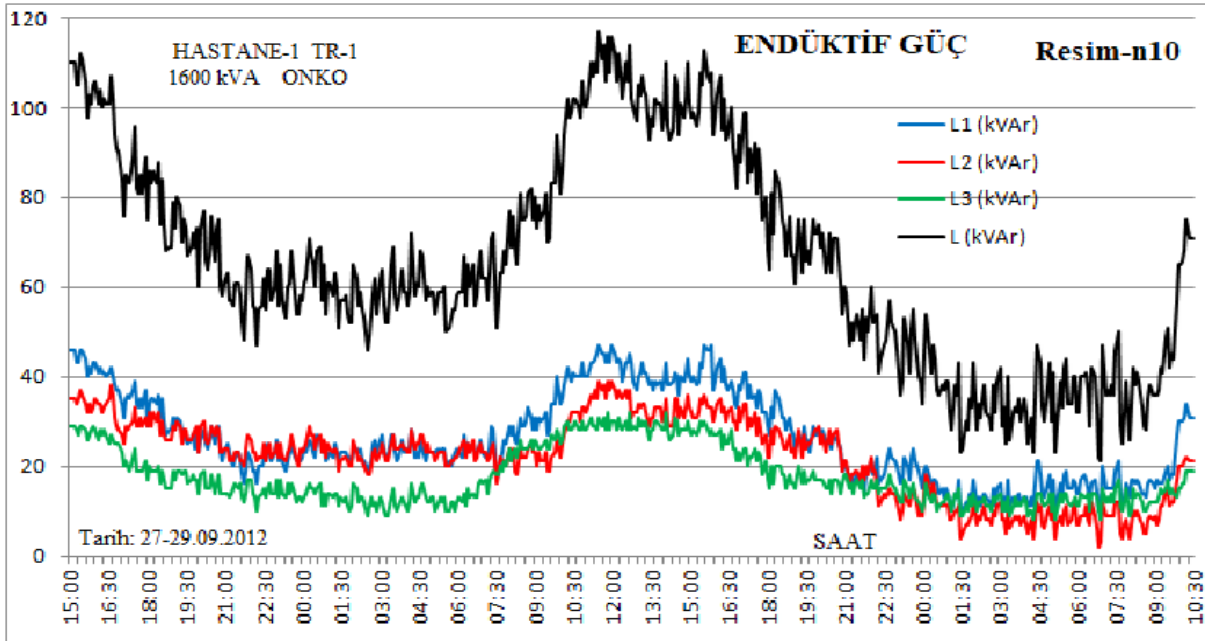
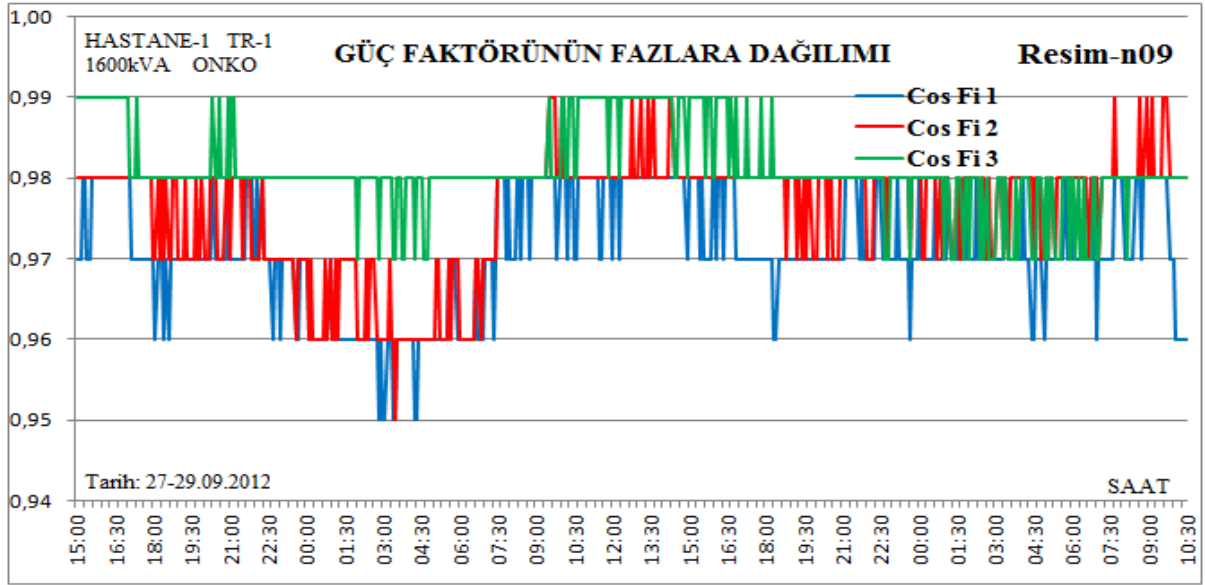
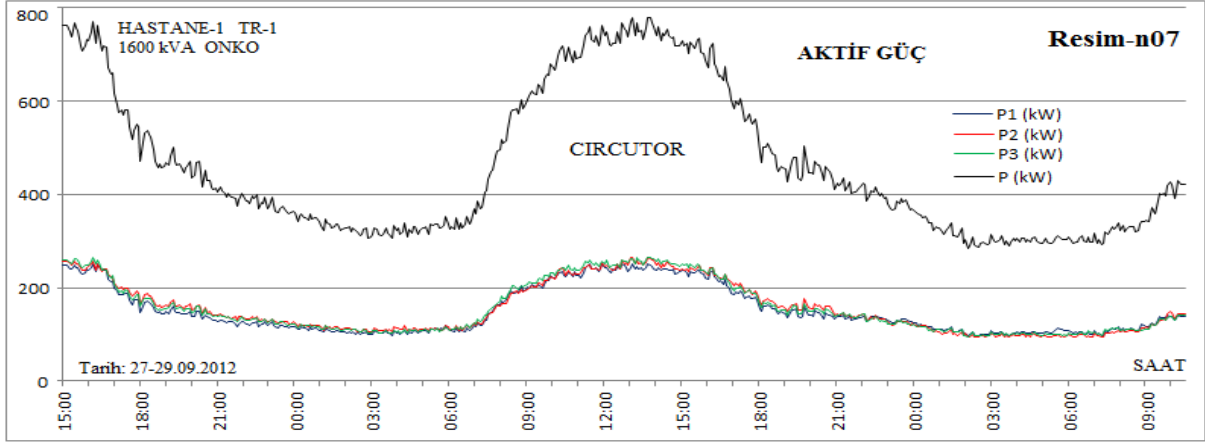
cihazlarda zor ve zaman alıcıdır. Resim-n05 de 1.fazın maksimum gerilimi baz alınarak diğer iki fazların minimum değerlerine ne kadar uzakta olduğuna ve aralarındaki farka bakılmıştır. Bu işlemi grafik olarak yapmaktan ziyade tablo halinde değerlere bakmak ve aşağıdaki Tablo-07'deki gibi bir tablo düzenlemek daha uygun olacaktır. Yalnız unutulmamalıdır ki, aynı andaki değerler bir birleri ile kıyaslanmaktadır. Bu tablo örnek olarak verilmiştir. Tüm ölçü süresini incelemek ve gözden geçirmek gerekmektedir.

Tablo-07: Gerilim verileri ve fazlar arası dengesizliğin belirlenmesi									
Saat	V1max	V2max	V3max	V1min	V2min	V3min	V1	V2	V3
	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt
03:00	228	227	228	226	226	226	227	226	227
03:15	228	227	228	227	226	227	227	226	227
03:30	229	228	229	227	227	227	228	227	228
03:45	229	228	229	227	227	228	228	227	228
04:00	229	228	229	227	227	228	228	227	228
04:15	230	229	229	228	227	228	228	228	228
04:30	229	228	229	227	227	227	228	228	228
04:45	229	228	229	228	227	228	228	228	228
05:00	230	229	230	228	227	228	229	228	228



6.2.3 AKIM, ve AKTİF GÜÇ

Akım ve aktif gücün fazlara dağılımı resim-n06, -n07 ve -n08 da görülmektedir. Bu başlık altında akım ve güçlerin seyri, gece gündüz yüklenmeler üzerine bir şeyler yazılabilir. Bu hastanede dikkati çeken akım ve güçlerin fazlara çok dengeli dağıtılmış olmasıdır. Sanki mono faz çalışan hiç bir alet yokmuş gibi bir görünüm ile karşılaşılmaktadır. Diğer hastane ve kurumlarda yapılan ölçümlerde daima fazlar arası yük farkı tespit edilmektedir. Yük dengesizliğinin görülmemesinin diğer bir nedeni de yüklerin yüksek olması olabilir mi sorusu akla gelebilir ise de gece yük 500 amper kadar indiğinde ve geceleyin de çoğunlukla aydınlatma yükü olduğuna göre varılan sonuç aydınlatmaların ve mono faz yüklerin fazlara çok iyi dağıtıldığını göstermektedir. Bu yönü ile tesisi kurarı takdir etmek ve diğer hastanelere de örnek gösterilmesi gereken bir durum olduğunu vurgulamak isteriz. Metrel cihazı ile yapılan akım ölçümleri resim-n08 de görülmekte olup, rogowski kayışı ile akım baraları kucaklanarak yapılan algılama ile akım trafosu üzerinden iki kere transfere uğrayan algılama arasında pek fark olmadığı görülecektir. Çünkü circutor cihazı tesiste mevcut 2500/5 akım trafosunun 5 Amper tarafından 5/1 Amper akım trafosu ile algılanmakta dolayısı ile iki kere transfer olmaktadır.



6.2.4 REAKTİF GÜÇLER ve GÜÇ FAKTÖRÜ

Yapılan ölçümlerde kapasitif güç hiç tespit edilmemiştir. Endüktif gücün seyri resim-n10 da görülmekte olup, ihtiyaç duyulan endüktif güç 10 ile 45 kVAr arasında değişmektedir. Bu durumda "acaba tesis cezaya düşüp reaktif enerji parası öder mi?" sorusuna cevap vermek gerekir. Yetkililerin verdiği bilgi ceza ödenmediği yönünde ise de resim-n09 a bakıldığında cezaya girmeye gebe olduğu aşıkardır. Güç faktörü 0,98 etrafında dönmekte ise de arada bir kapasitife geçmesi ve kosinusfi değerinin de negatife dönmesi gerekir idi (Çoğu tesiste $\cos \Phi=0,99$ etrafında dalgalanır). En azından 5 dakikalık ölçüm süresi içerisinde maksimum minimum değerler olarak bir kayıt alınmış olması gerekir idi. Burada tesis sahibi kompenzasyon konusunda ikaz edilmiş ve gerekli tedbirleri alması önerilmiştir. Kompenzasyon konusunda daha çok şeyler yazılabilir ve önerilerde bulunulabilir. Başka tesislerde yaptığımız ölçülerde ve özellikle fazlar arası yük farkının bulunduğu şebekelerde mono faz kondensatör bulundurulmasına kadar sonuçlar elde edilebilmekte ve analiz cihazı ile tesis sahibinin neler yaptığı ve yapması gerektiği konusunda verilere ulaşılmaktadır.

6.3 HARMONİKLER

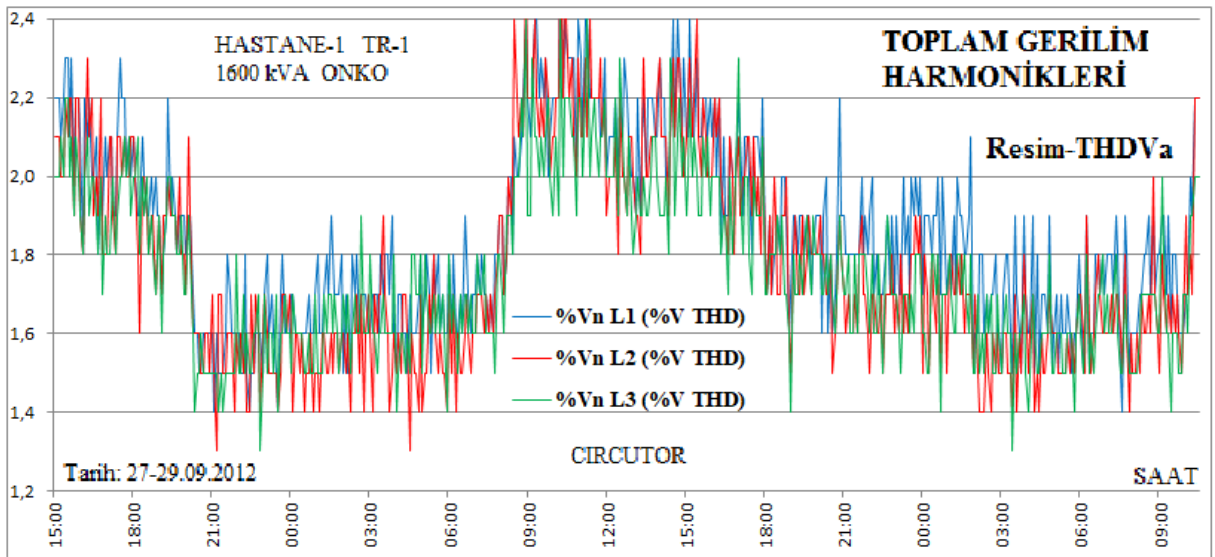
Tesiste bir rezonans yaşanmış mıdır sorusunun cevabı kolay değildir. Hastane yetkilileri yalnız harmoniklerin ölçümünü istemişler, rezonans hesaplarını başka bir şirket uzmanına yaptıracaklarından söz etmişlerdir. Dolayısı ile makalemizde rezonans olayından bahsedilmeyecektir. Bizce bu gibi olaylarda rezonans hesabı çok önemlidir ve ayrı bir makale konusudur.

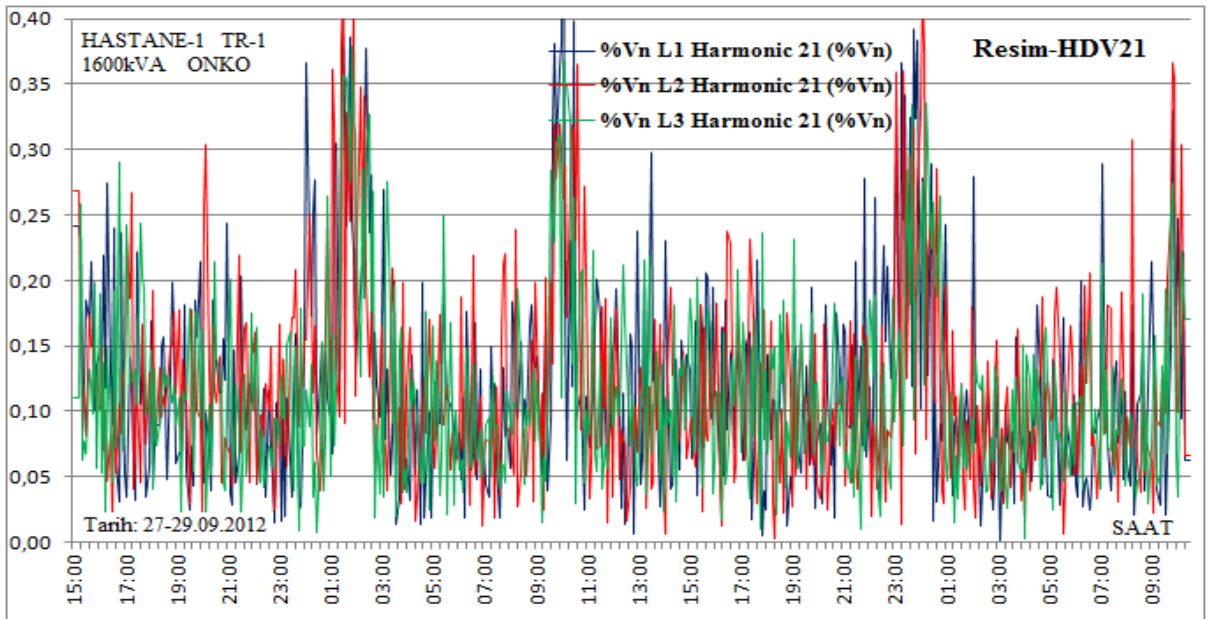
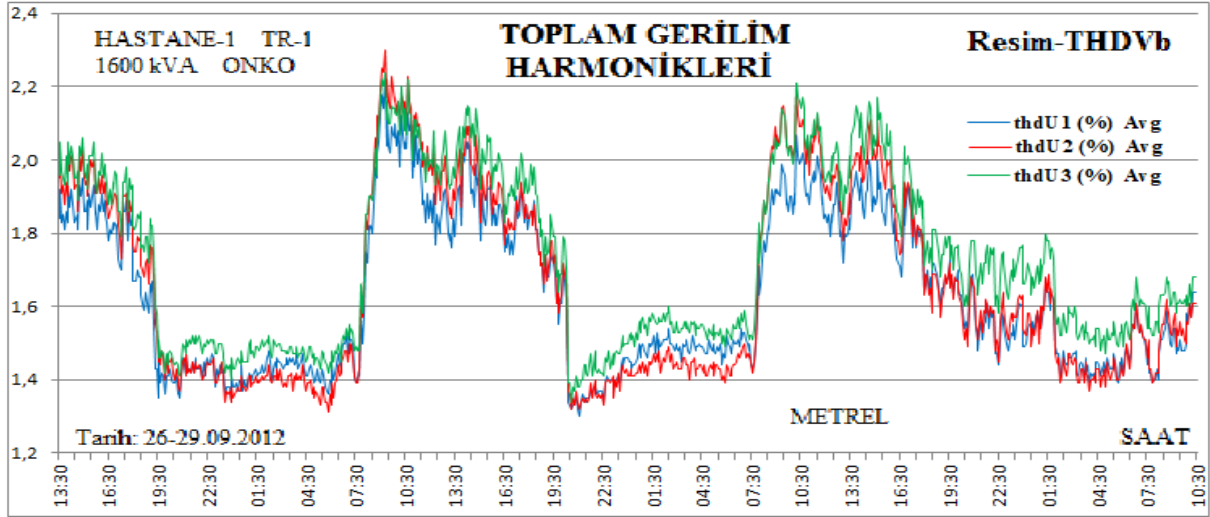
6.3.1 TOPLAM GERİLİM SAPMALARINI, GERİLİM HARMONİKLERİNİ

Toplam gerilim sapmaları resim-THDVa da görülmekte olup, THDV değerleri yaklaşık %1,4 ile %2,4 arası seyretmektedir ve bir hastane için mühimsenecek düzeyde değildir. IEEE-519 tablo 10.2 de Hastanelerde toplam gerilim harmoniğinin THDV %3 ü aşmaması ön görülmektedir. Buna göre THDV açısından bir sorun yok sayılır.

Harmonikler konusunda en önemli veri toplam gerilim sapmaları % THDV dir. Çünkü gerilim harmoniği geriye doğru şebekedeki başka tüketicileri rahatsız etmektedir. Diğer taraftan gerilim harmoniği ile doğrudan mücadele edilememekte, akım harmonikleri filtre edilerek gerilim harmoniklerinin düşmesi sağlanmaktadır.

Hastanede diğer Metrel marka cihaz ile yapılan ölçümler biraz farklıdır. Resim-THDVb de görüleceği gibi THDV değerleri % 1,3 ile %2,3 arasında seyretmektedir. Diğer alet ile %1,4-2,4 arası ölçü elde edildiğine göre sanki sonuçlar 0,1 kadar yukarı kaymış durumdadır. Sanki rogowski kayışı ile ölçüler 0,1 puan lehimize çalışmış gibi bir durum arz etmektedir. Bu sonucun sebebi rogowski kayışımıdır yoksa iki kere transfer olan akım trafosu üzerinden ölçümmüdür? Benzeri sonuca başka hastanelerde yapılan fakat rogowski kayışı kullanılmayan ölçülerde de rastlanmıştır. Buradaki farklılık aletlerden ve aletlerin kalibresinden kaynaklanmaktadır ve %0,1 gibi bir fark da can alıcı ve sonucu kökünden etkileyici bir fark değildir.



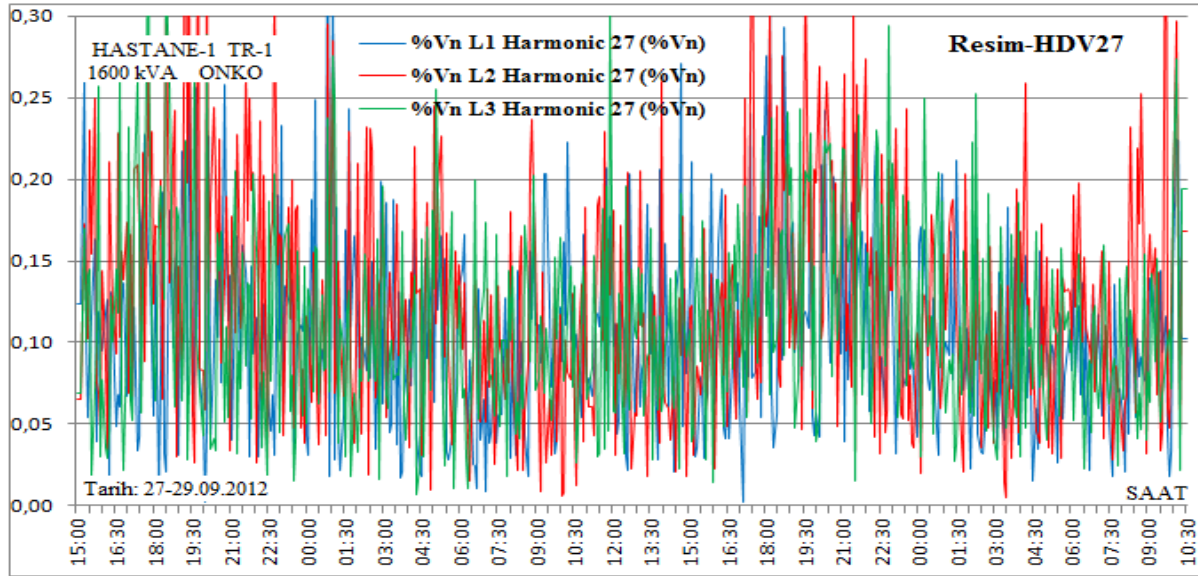


6.3.2 MÜNFERİT GERİLİM HARMONİKLERİ

Analizörde kaydedilen değerler excell tablolarına çevrilerek, harmoniklerin tek tek zamana göre grafikleri çizilip, ölçüm süresince kaydedilen maksimum ve minimum değerleri okunamaz gerekir. EPDK Yönetmeliği Tablo-10 aşağıdaki gibi düzenlenerek bir kıyaslama tablosu (tablo-08) oluşturulmuş ve okunan değerler de bu tabloya taşınmıştır. Tablo-08, IEC 61000-2-2 deki verilere bakılarak orijinal raporda 41.harmoniğe kadar genişletilmiş ise de makalemizde kısaltılarak 25 harmoniğe kadar yer verilmiştir.

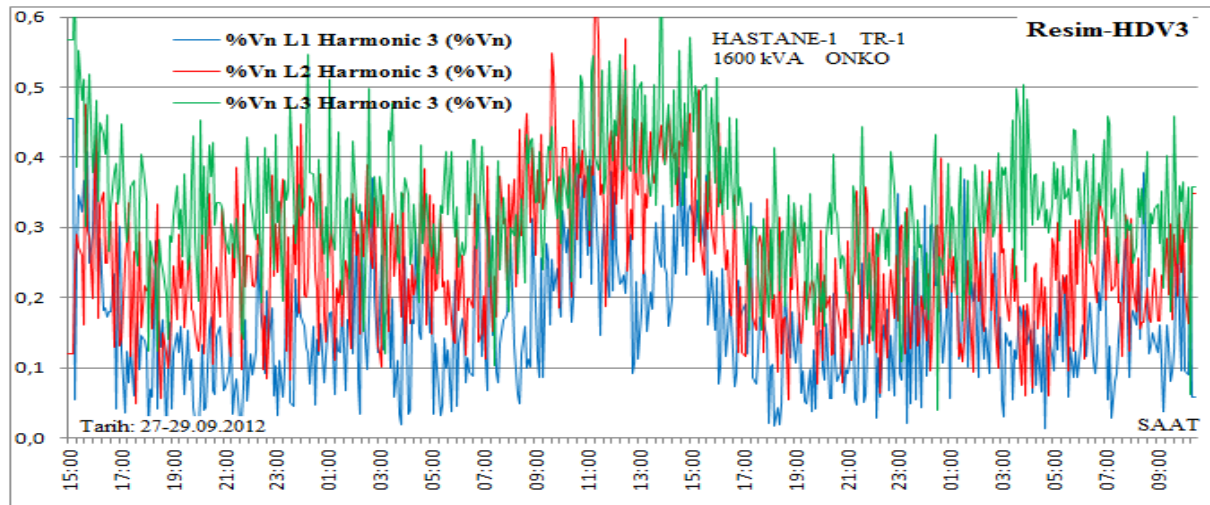
Tek harmonikler (3 ve katları dahil)				Çift harmonikler			
Harmonik sırası	Sınır değer	Ölçülen (max-min)	Sonuç	Harmonik sırası	Sınır değer	Ölçülen (max-min)	Sonuç
h	%	%		h	%	%	
h3	5,0	0,05-0,5	Uygun	h2	2,0	0,0-0,30	Uygun
h5	6,0	0,5-1,7	Uygun	h4	1,0	0,0-0,2	Uygun
h7	5,0	0,8-1,6	Uygun	h6	0,5	0,0-0,2	Uygun
h9	1,5	0,05-0,4	Uygun	h8	0,5	0,0-0,2	Uygun
h11	3,5	0,05-0,5	Uygun	h10	0,50	0,0-0,2	Uygun
h13	3,0	0,05-0,45	Uygun	h12	0,46		
h15	0,40	0,05-0,5	Uygun	h14	0,43		
h17	2,0	0,05-0,45	Uygun	h16	0,41		

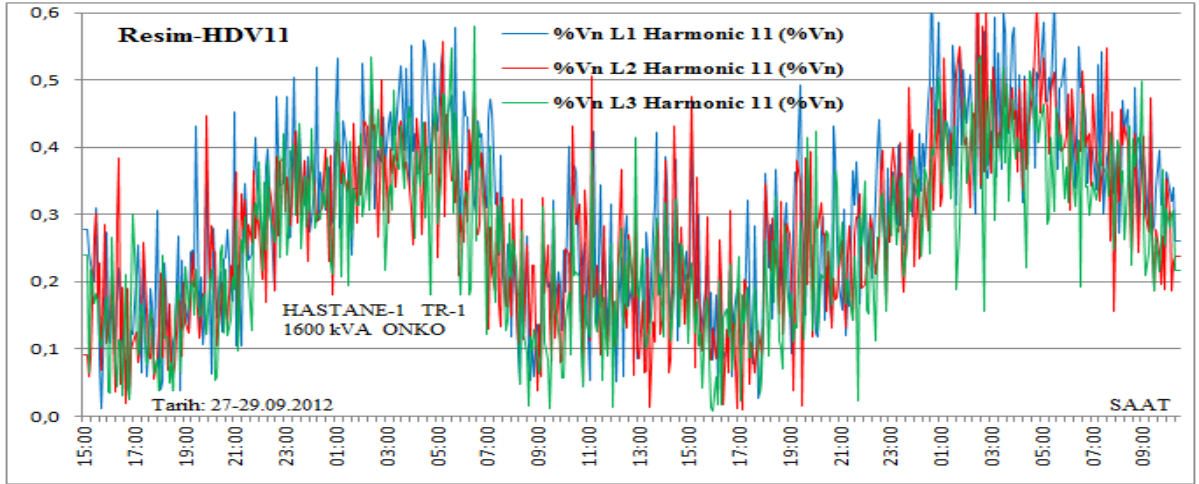
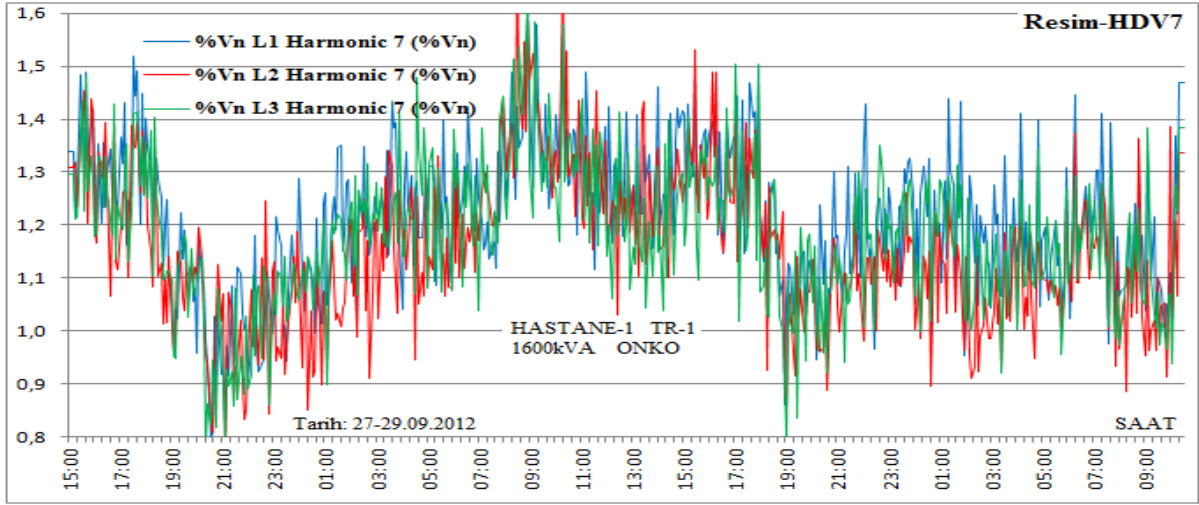
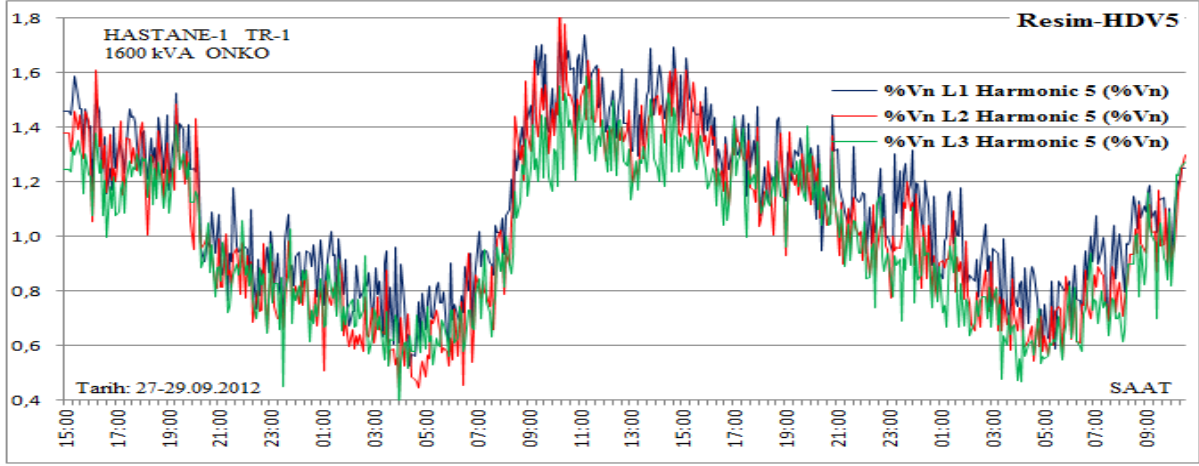
h19	1,5	0,05-0,35	Uygun	h18	0,39		
h21	0,3	0,0-0,40	Uygun	h20	0,38		
h23	1,5	0,05-0,40	Uygun	h22	0,36		
h25	1,5	0,05-0,40	Uygun	h24	0,35		



Çift harmonikler çok düşüktür ve 6.harmonikten sonra dikkate alınmayacak düzeydedir. Yüksek çıkması beklenen 3.harmonik, %0,5'i geçmemektedir. 3 ve katları harmonikler olması gereken seviyenin altındadır. Resim-HDV21 ve resim-HDV27 de 21 ve 27 harmonik serisinin grafiği görülmektedir. Grafiğe bakıldığında %0,2 olan sınır değerini aştığı aşıkâr gibi gözükmemektedir. Elde edilen harmonik grafikleri karışık çizgilerden oluşmakta ve karar vermekte zorluk çekilmektedir. Bizce bu gibi grafiklerde eğrinin gidişatına bakmak ve ona göre karar vermek daha doğru olacaktır. Tepe değerleri dikkate almadığımızda değerlerin 0,05 ile 0,20 arasında dalgalandığına karar verilebilir. Diğer taraftan Metrel analizörü ile alınan ölçülerde 21.harmoniklerin maksimum değerleri dahi sıfırdır. Denilebilir ki her zaman elimizde değişik marka aletler mi olacaktır. Bu gibi kritik durumlarda harmonik olayının geneline bakmak daha akıllıca olacaktır. Harmonik serilerinde önemli olan 5, 7, 11, 13 ve 17 harmoniklerdir. Bu serilerin yüksek olmadığı bir yerde kalkıp da 27.harmonik aşırı yüksek demek ve bu yönde karar vermek için çok düşünmek gerekir. Önemli harmoniklerin (3, 5, 7, 11) grafikleri aşağıda görülmektedir. Bu veriler neye yarar neden grafiğini çıkarıyorsunuz? Sorusunu sorabilirsiniz. Eğer bir filtre tesis edilecek ise bu veriler filtre tasarımcısına yardımcı olacaktır.

Özete ne toplam gerilim harmoniklerinde THDV ve ne de münferit gerilim harmoniklerinde EPDK ve standartların verdiği sınır değerleri aşan bir sonuç elde edilememektedir.



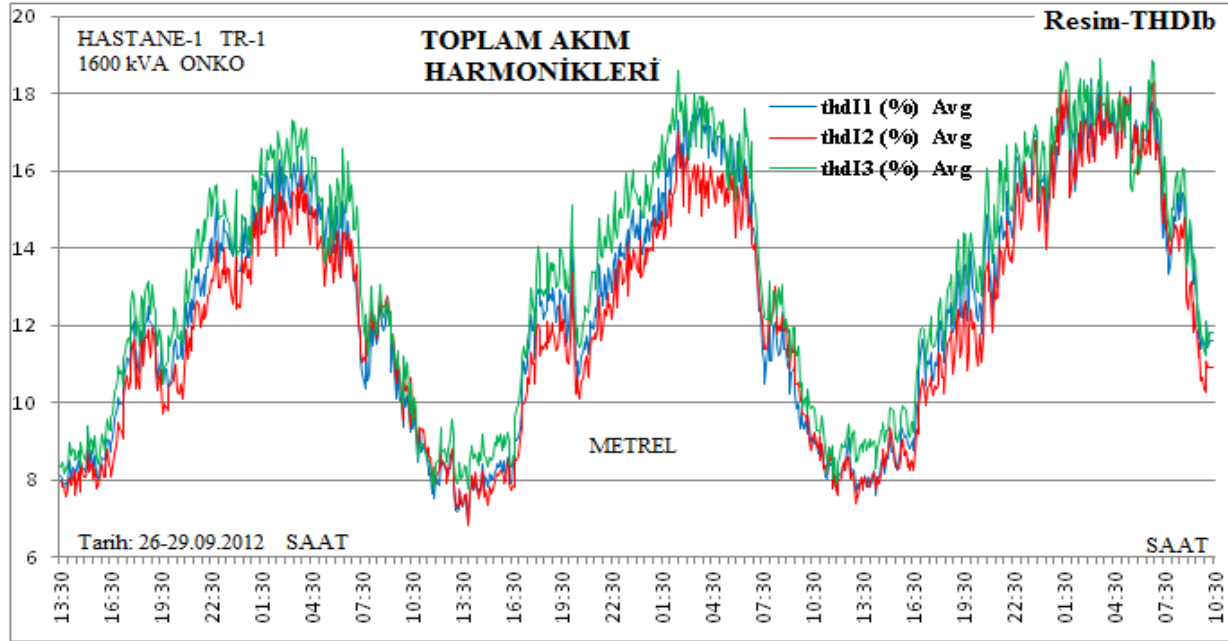
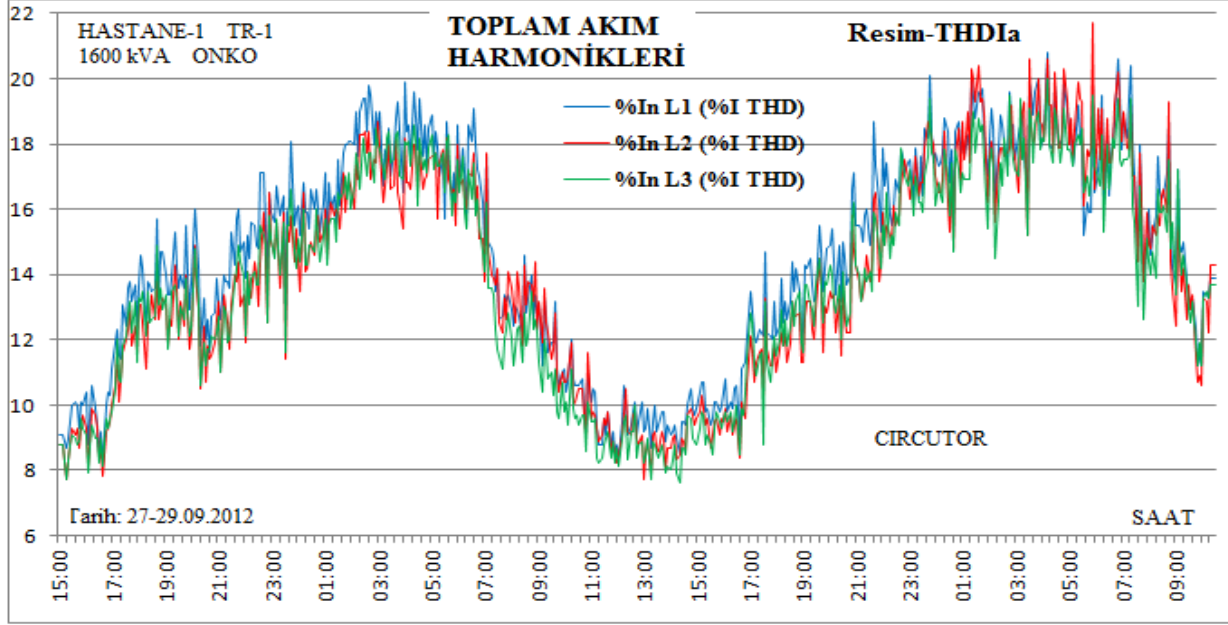


6.3.3 TOPLAM AKIM SAPMALARI, AKIM HARMONİKLERİ

Toplam akım harmonikleri resim-THDIa ve resim-THDIb’de gözükmekte olup değerler %8 ile %20 THDI arasında oynamaktadır. Bu harmonik seviyelerinin normal olup olmadıklarına karar verebilmemiz için EPDK Yönetmeliği Tablo-11 e bakmamız gerekecektir. Bu tabloda I_{sc}/I_L oranına göre sınır değerler verilmiştir. Bu durumda ölçü yaptığımız noktadaki kısa devre akımını hesaplamamız gerekecektir. Aşağıdaki gibi excell tablosu yardımı ile yaklaşık bir hesap yapılmıştır.

Trafo değerleri: $S=1600$ kVA, $U=31,5$ kV, $I_n=29,4$ A, $U_k=\%6,1$, $U_n=400$ V, $I_n=2312$ A

Trafo empedansı: $X_{tr} = \frac{U^2}{100 \times S_n} = 0,0061 \text{ m}\Omega$ = trafo OG tarafındaki eşdeğer empedans
 Kısa devre akımı $I_{sc} = \frac{U}{1,73 \times X_{tr}} = 37,9 \text{ kA}$. Bulunan kısa devre akımı bizce normal bir değerdir. Detaylı hesap yapılsa belki 25 kA bulunabilir. Yük akımı da esnek bir değerdir. Ne alınacaktır? Resim-n06 ve resim-n08 deki akım eğrilerine baktığımızda akım 1200 Ampere dayanmaktadır. Azami akımı 1200 Amper olarak alabiliriz. Buna göre tablo-20'deki gibi değişik yük ve kısa devre akımlarına göre excell tablosu yardımı ile hesaplar yaparak optimum bir karar verebiliriz.



Tablo-20'ye baktığımızda kısa devre akımını küçük almak bizi tablo 10.3 de daha düşük THDI değeri olan satıra göndermektedir. Burada maksat sınır değeri yüksek alabilmektir ki, sonuç uygun çıksın. Yük akımını düşük alırsak (600 A gibi) bir üst satıra çıkabilmekteyiz. Bu ise mantıklı değildir. Bizce en doğrusu yük akımını $I_L = 1200$ Amper ve kısa devre akımını da 35 kA olarak $I_{sc}/I_L = 29$ da karar kılmaktır. Bu durumda EPDK Yönetmeliği Tablo-11 deki "20<50" satırındaki verileri esas almamız gerekecektir ki, TTB %8 olarak verilmektedir. Diyebilirsiniz ki hocam bu noktada bir keyfilik yok mu? Maalesef var ve kesin bir hesap yapmak olası değildir. Eğer yük akımını 600 A ve kısa devre akımını da 40 kA alırsak TTB değerinin %12 olduğu satıra gelinecektir.

I _{sc}	I _L	I _{sc} /I _L =R _{sce}	I _{sc}	I _L	I _{sc} /I _L =R _{sce}	I _{sc}	I _L	I _{sc} /I _L =R _{sce}
A	A		A	A		A	A	
50000	1200	41,66	50000	1100	45,45	50000	600	83,33
40000	1200	33,33	40000	1100	36,36	40000	600	66,66
35000	1200	29,16	35000	1100	31,82	35000	600	58,33
30000	1200	25,00	30000	1100	27,27	30000	600	50,00
25000	1200	20,83	25000	1100	22,72	25000	600	41,66

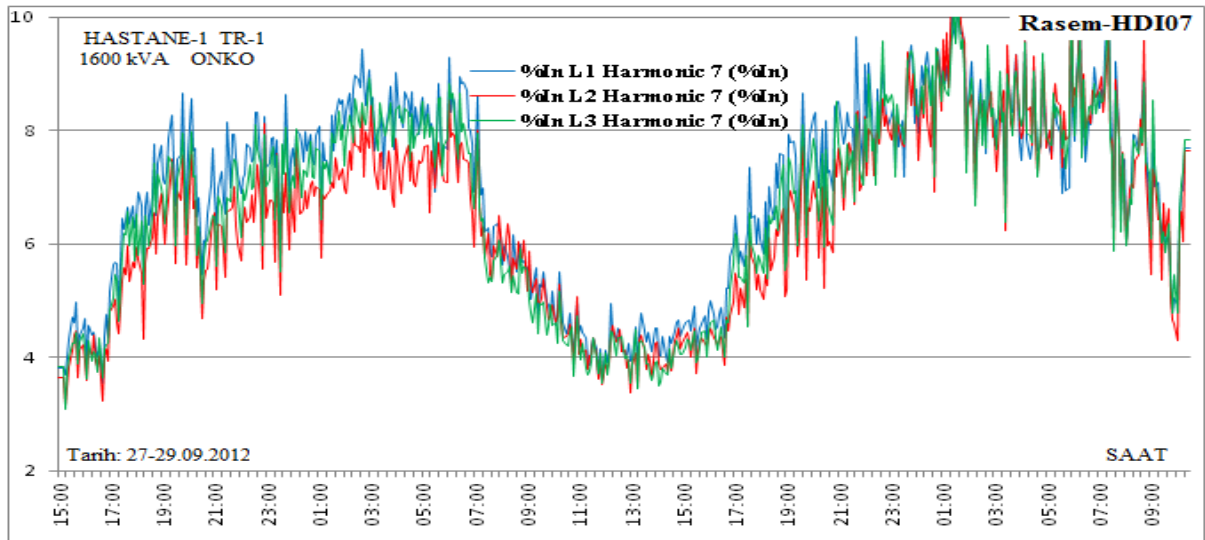
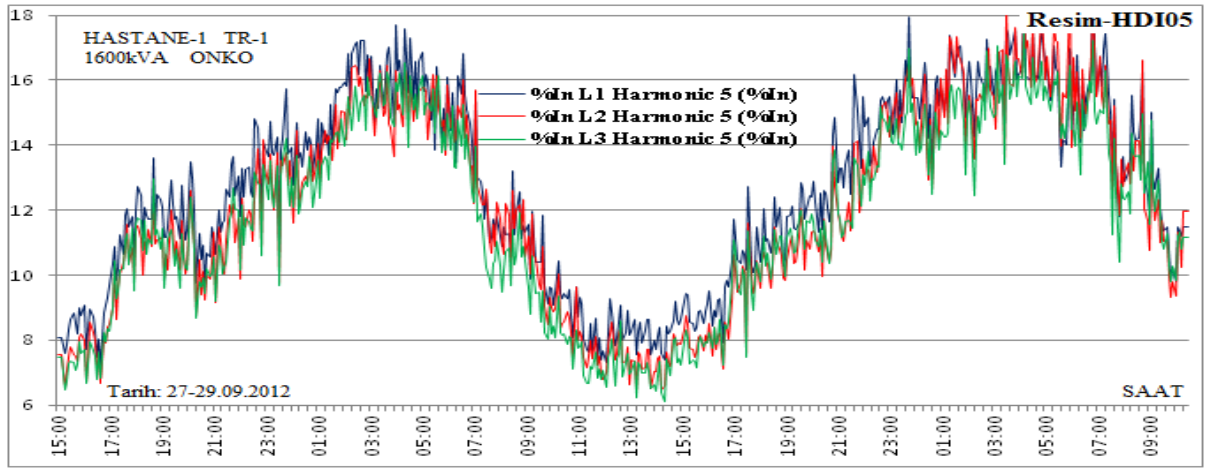
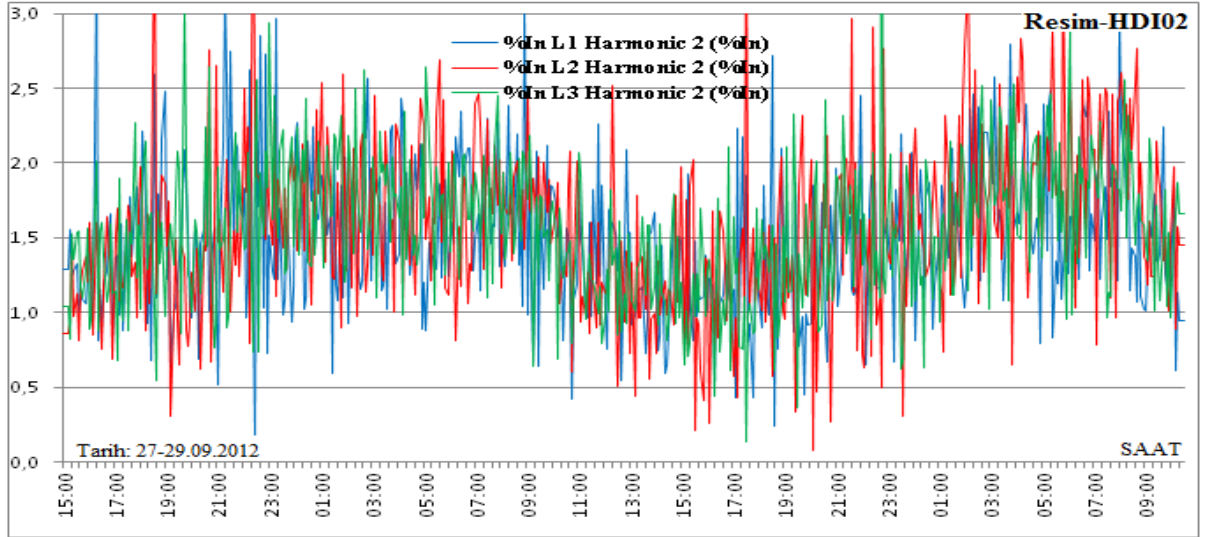
Tek Harmonikler						
I _{sc} /I _L	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD =TTB
<20 *)	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

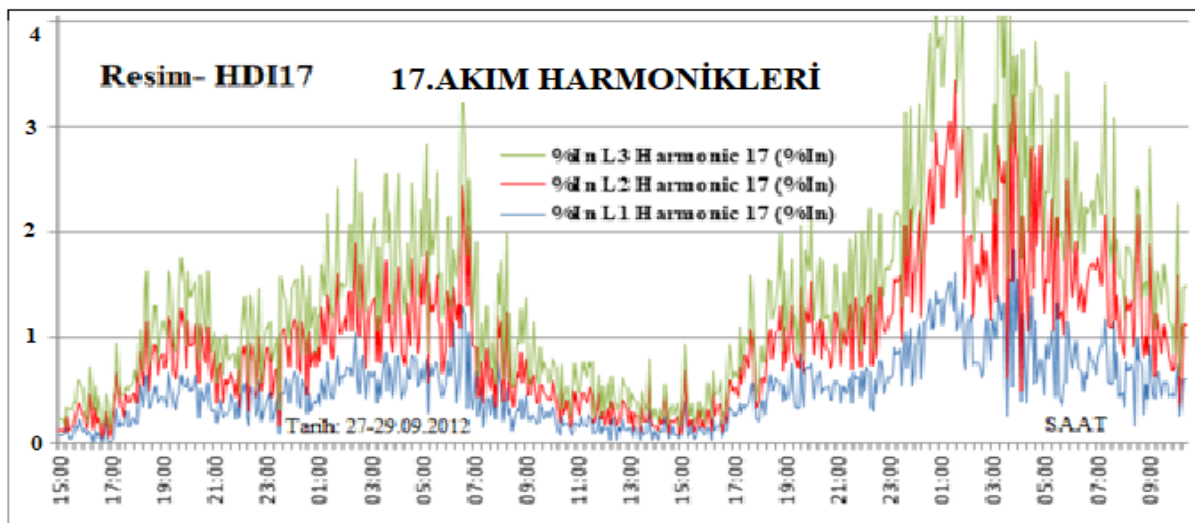
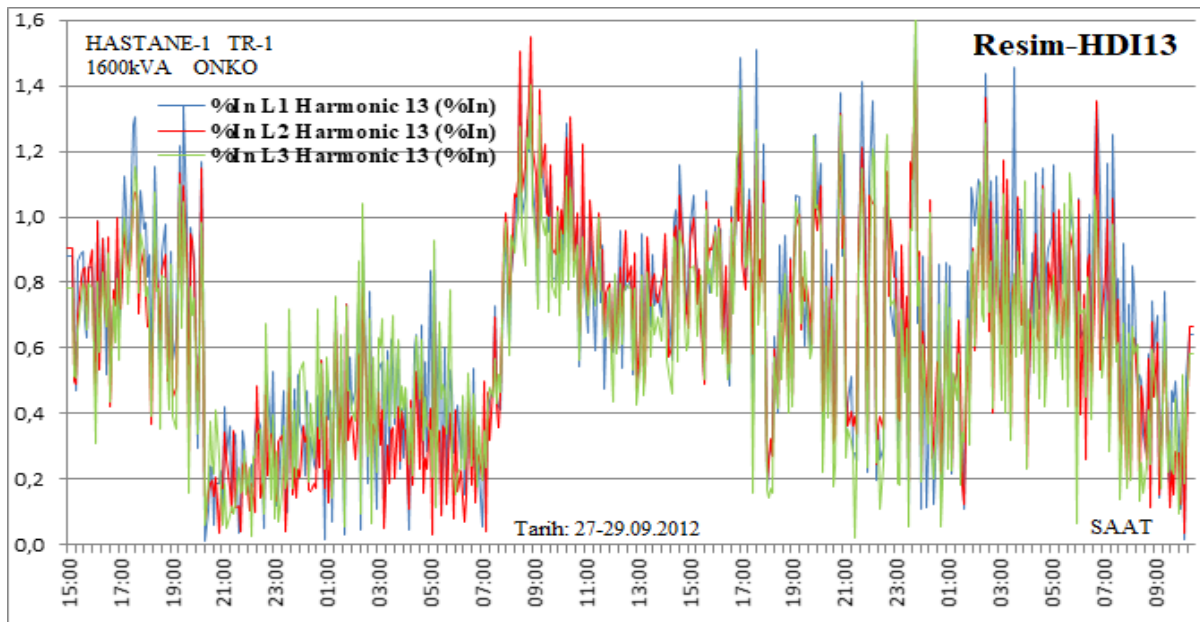
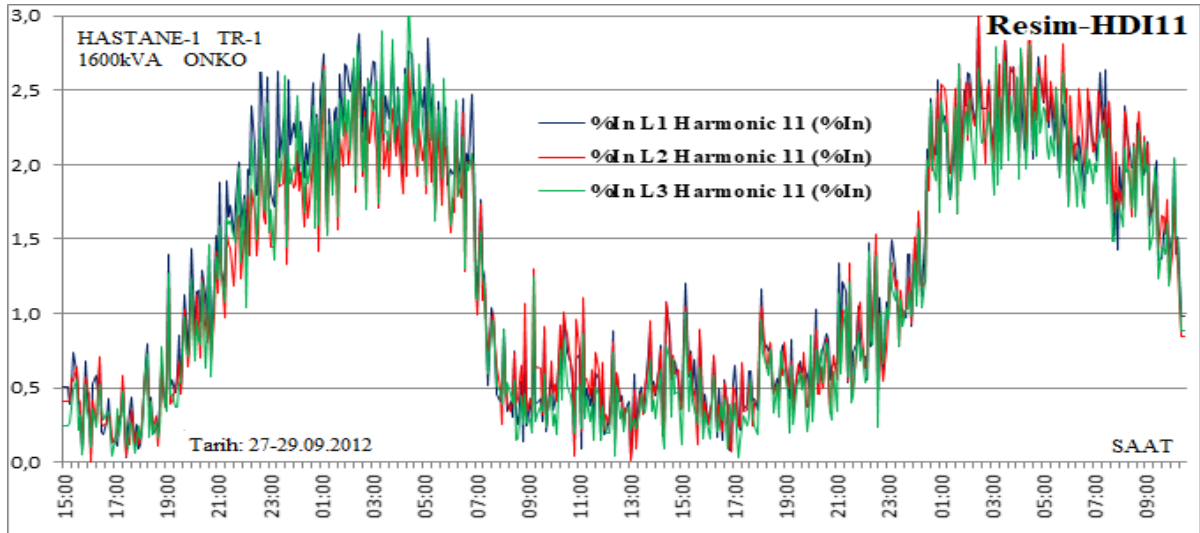
Resim-THDIa ve resim-THDIb grafiklerine baktığımızda her iki cihazda da toplam akım sapmalarının %8 ile %20 arası seyrettiği görülecektir. Bu ise sınır değerinin çok üzerindedir ve uygun sayılmaz. Fakat bölüm 5.9'da açıkladığımız parmak değerlerine göre %10-20 arası değişen bir THDI ORTA kabul edilmektedir. Bu durumda hastanenin toplam akım sapmaları gerilim sapmalarında olduğu gibi normal kabul edilebilir.

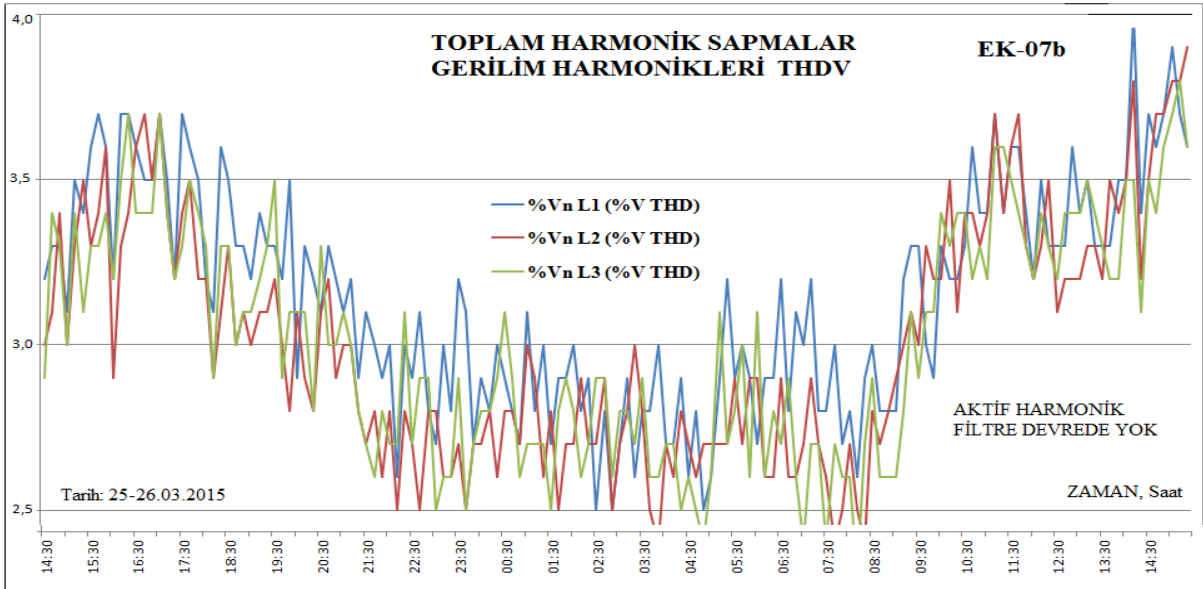
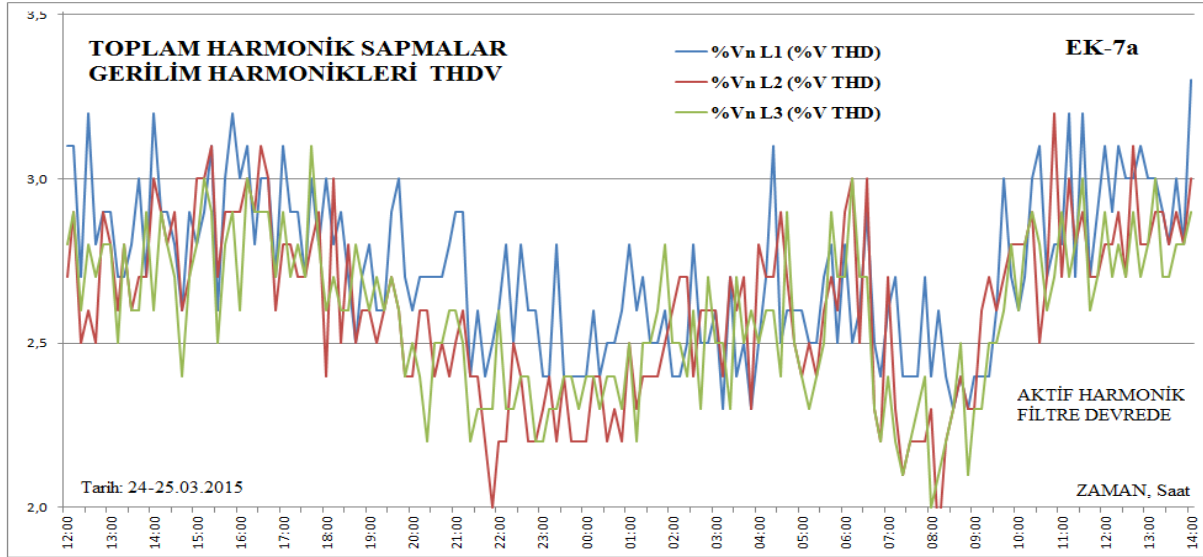
6.3.4 MÜNFERİT AKIM HARMONİKLERİ

Münferit gerilim harmoniklerinde olduğu gibi, akım harmonik serilerinin tek tek grafikleri çıkarılıp, değerler okunmuş ve maksimum minimum değerleri aşağıdaki tablo-21'e taşınmıştır. EPDK Yönetmeliği tablo-11'e göre düzenlenen bu tabloda 50 harmoniğe kadar seriler yer almalıdır. Buradaki bir örnektir ve 25 sapmaya kadar yer verilmiştir. Önemli harmoniklerin grafikleri resim-HDI02, HDI05, HDI07, HDI11, HDI13, HDI17'de yer almaktadır. Uygun değil olarak gözüken bu serilerin neden uygun olmadıklarını açıklamamız gerekecektir. Burada genel bir analiz örneği verilmiş olup, makalemizin devamında verilecek örnekler ile konu daha iyi anlaşılacaktır. Genelde 5, 7, 11 ve 13 harmonikler yüksek olabilmektedir.

Tek harmonikler			Çift harmonikler			
Sınır değer %	Ölçülen	Sonuç	Sınır değer [%]	Ölçülen *)	Sonuç	
THDI	8,0	8-20	I ₂	1,75	0,8-2,4	Uygun değil
I ₃	7,0	0,3-3	I ₄	1,75	0,3-1,5	Uygun
I ₅	7,0	7-17	I ₆	1,75	0-0,35	Uygun
I ₇	7,0	4-9	I ₈	1,75	0-0,35	Uygun
I ₉	7,0	0,3-0,9	I ₁₀	0,875	0-0,35	Uygun
I ₁₁	3,5	0,3-2,6	I ₁₂	0,875	0-0,25	
I ₁₃	3,5	0,1-1,1	I ₁₄	0,875	0-0,5	Uygun
I ₁₅	3,5	0-1,0	I ₁₆	0,625	0-0,9	Uygun değil
I ₁₇	2,5	0-4,0	I ₁₈	0,625	0-0,6	Uygun
I ₁₉	2,5	0-1,2	I ₂₀	0,625	0-0,6	Uygun
I ₂₁	2,5	0-0,8	I ₂₂	0,625	0-0,5	Uygun
I ₂₃	1,0	0-0,65	I ₂₄	0,25	0-0,25	
I ₂₅	1,0	0-0,8	I ₂₆	0,25	0-0,25	





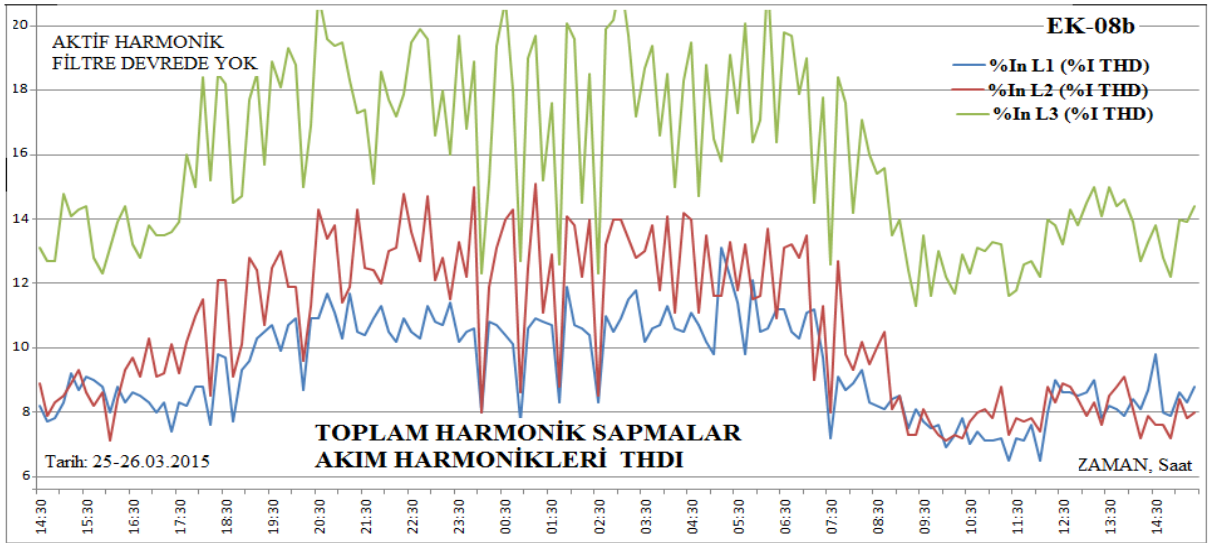
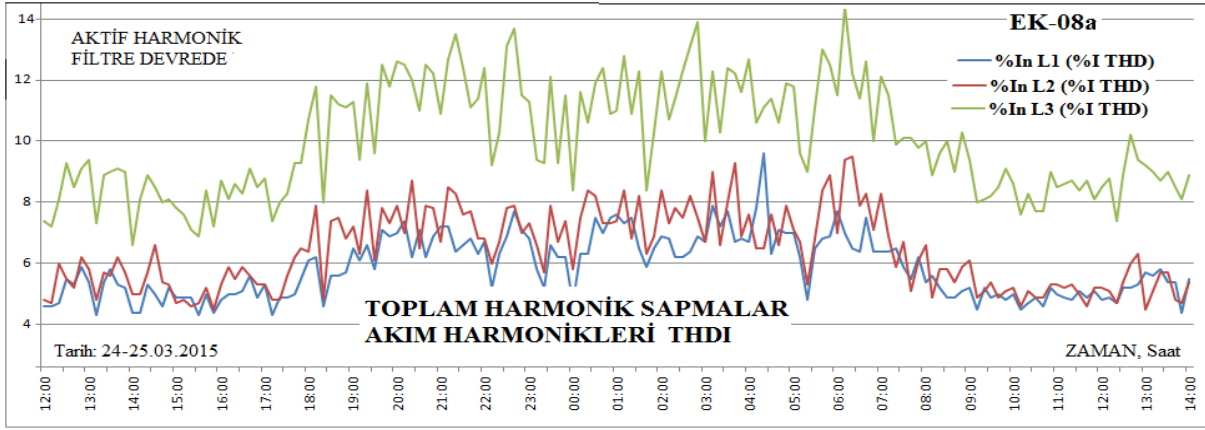


1) Toplam Gerilim Harmonikleri % THDV

Aktif harmonik filtre cihazı devrede ve faal iken ölçülen toplam gerilim harmonik % THDV verileri Ek-07a'da görülmekte olup, % THDV değerleri yüklenmenin yoğun olduğu çalışma saatlerinde %3 civarında ve genellikle %3'ün altında seyretmektedir. Yükün azaldığı gece saatlerinde ise THDV değeri %2'nin altına inmektedir.

Aktif harmonik filtrenin devreden çıkarıldığı durumda yapılan %THDV ölçümleri Ek-07b'de verilmiş olup, tesisin gündüz çalışma saatlerinde %THDV değerleri %3 üzerine çıkmakta ve %3.5 seviyesini de aşmaktadır. Yükün düşük olduğu gece saatlerinde %THDV değerleri %2.5 üzerinde seyretmekte ve hiç bir zaman %2 seviyesine inmediği görülmektedir.

Yukarıdaki tespitlerden "Aktif Harmonik Filtrenin" toplam gerilim harmoniklerini (%THDV) bariz bir şekilde düşürdüğü açıkça görülmektedir. Bu etki ise %0,5 kadardır. Gerilim harmoniğinde mühimsenmeyecek bir değer değildir. Dinamik filtrelerin çalışma prensibi, harmonik akımı üretip karşı yöne göndererek o harmoniği sıfırlamak şeklinde özetlenebilir. Mevcut cihazın kapasitesi 100 Amperdir. Bu değeri aşan harmonik akımları ister istemez şebekede kalacaktır.



2) Toplam Akım Harmonikleri %THDI

Aktif harmonik filtre devrede iken yapılan toplam akım harmonik sapma değerleri (%THDI) Ek-08a'da görülmekte olup, yükün yoğun olduğu gündüz saatlerinde faz L1 ve L2 de %5 civarında seyrederken, akımın düştüğü gece saatlerinde %7-8'e yükselmektedir. L3 fazında ise %THDI değerleri 3-4 puan daha yüksektir. Gündüz saatlerinde %8, gece saatlerinde ise %11-12'dir.

Aktif harmonik filtre devreden çıkarılarak yapılan ölçüler Ek-08b de görülmekte olup, gücün yüksek olduğu gündüz saatlerinde L1 ve L2 fazlarında toplam %THDI değerleri %8 etrafında dalgalanırken, gece saatlerinde %11-13 ve hatta %14 seviyelerine fırlamaktadır. L3 fazında ise, gündüz saatlerinde %14 etrafında dalgalanırken, gece saatlerinde %18-20 seviyelerine yükselmektedir. L3 fazında güç ve akım düşük olmasına rağmen harmoniklerin yüksek bulunmasının sebebi anlaşılmamaktadır. L3 fazının sürekli kapasitif yüklü olması belki harmonikleri artırıyor olabilir veya bu faza muhtemelen fazla harmonik üreten küçük elektronik cihazlar bağlanmış olabilir.

Yukarıdaki akım harmonikleri tespitlerinden "aktif harmonik filtrenin" akım harmoniklerini bariz bir şekilde düşürdüğü anlaşılmaktadır. Filtre görevini görüyor, acaba bulunan toplam akım harmonik değerleri standart ve yönetmeliklere uygun mudur? Bu sorunun cevabını verebilmemiz için EPDK Yönetmeliklerine bakmamız yeterli olacaktır. Adı geçen yönetmelik tablo-11'de aşağıdaki sınır değerlere yer verilmektedir.

Tablo-11 Akım Harmonikleri için maksimum yük akımına (II) göre sınır değerler						
Tek Harmonikler						
ISC/IL	<11	11<h<17	17<h<23	23<h<35	35<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	60,	2,5	1,4	20,0
Çift harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değerin %25'i ile sınırlandırılmıştır. TTB= Toplam talep bozulması = THDI						
Isc = Kısa devre akımı, IL = Yük akımı, h= harmonik sayısı						

Bu tablodan istifade edebilmemiz için ölçü yapılan noktadaki kısa devre akımını hesaplamamız gerekmektedir. Ölçü yapılan nokta jeneratörden çok uzaktadır ve yalnızca trafonun empedansını dikkate alarak aşağıdaki gibi yaklaşık bir kısa devre akımı hesabı yapabiliriz.

Trafo değerleri: 630 kVA, OG gerilim: 6,3 kV, OG akım: 57,8A, Uk= %4

AG gerilim: 400 V, AG akım: 910 A

$I_k = I_n / \%U_k$ yaklaşımı ile $I_k = 910 / 0,04 = 22.750$ A olarak bulunur ki, kabul edilebilir makul bir değerdir. Yük akımı olarak ölçülen en yüksek değer 400 A alınır ise: $I_k / I_y = I_{sc} / I_L = 22750 / 400 \approx 57$ bulunur. Bu durumda Tablo-11 de "50<100" satırına bakmamız gerekir ki, %THDI= %TTB sınır değeri olarak karşımıza %12 çıkmaktadır.

Ek-08a'ya baktığımızda, harmonik filtre devrede iken ölçülen %THDI değerlerinin %12'nin altında olduğu ve ancak L3 fazının bazen %12'yi aştığı görülecektir. Bu durumda harmonik filtre devrede bulunduğu zaman müşterek şebekedeki toplam akım harmonik değerlerinin Yönetmeliğe uygun düzeyde olduğunu söyleyebiliriz. Aktif harmonik filtrenin çalıştırılmadığı duruma, yani Ek-08b'ye baktığımızda %THDI değerlerinin %12 seviyesini aştığı görülecektir.

Tarafımızdan tam bir harmonik analizi değil, yalnızca aktif harmonik filtrenin çalışıp çalışmadığının belirlenmesi istendiği için münferit harmoniklerin detayına ve yorumlanmasına girilmemiştir.

Aslında tesis yetkililerinin yatırım yapmadan önce bir analiz yaptırmaları daha doğru olacak idi. Edindiğimiz bilgiye göre 100 A bir dinamik filtrenin maliyeti 15.000 € kadardır. 12 adet filtrelerin her birinin gücü tarafımızdan bilinmemekle beraber muhtemelen 150.000 € bir yatırım söz konusudur. Bu kadar yatırıma karar vermeden önce iyi bir analiz yapılması bizzet çok daha akılcı bir iş olacaktır. Filtre tesis eden firmalar da ölçüm ve analiz yapmaktadırlar. Fakat ticari gayesi olan bir firmanın görüşleri ne kadar objektif olabilir? Bazı kişiler bedava yapılan işe rağbet etmekte, fakat sonuçta ne kadar zarar ettiklerini bilememektedirler.

Bu tesiste yapılan ölçülerde akımın üç faza dengeli dağılmadığı, L1 ve L2 fazında hemen hemen eşit iken L3 fazında düşük olduğu tespit edilmiştir. Buna mukabil Ek-8a ve Ek-08b de görüleceği gibi akım harmoniklerinin L3 fazında yüksek seyretmesi dikkati çekmektedir. Muhtemelen L3 fazında harmonik üreten tek faz laboratuvar cihazları mevcuttur. Ayrıca L3 fazında kapasitif güç yüksektir. Yani kondensatör yükü mevcuttur. Belki kapasitörler harmonikleri artırıyor olabilir.

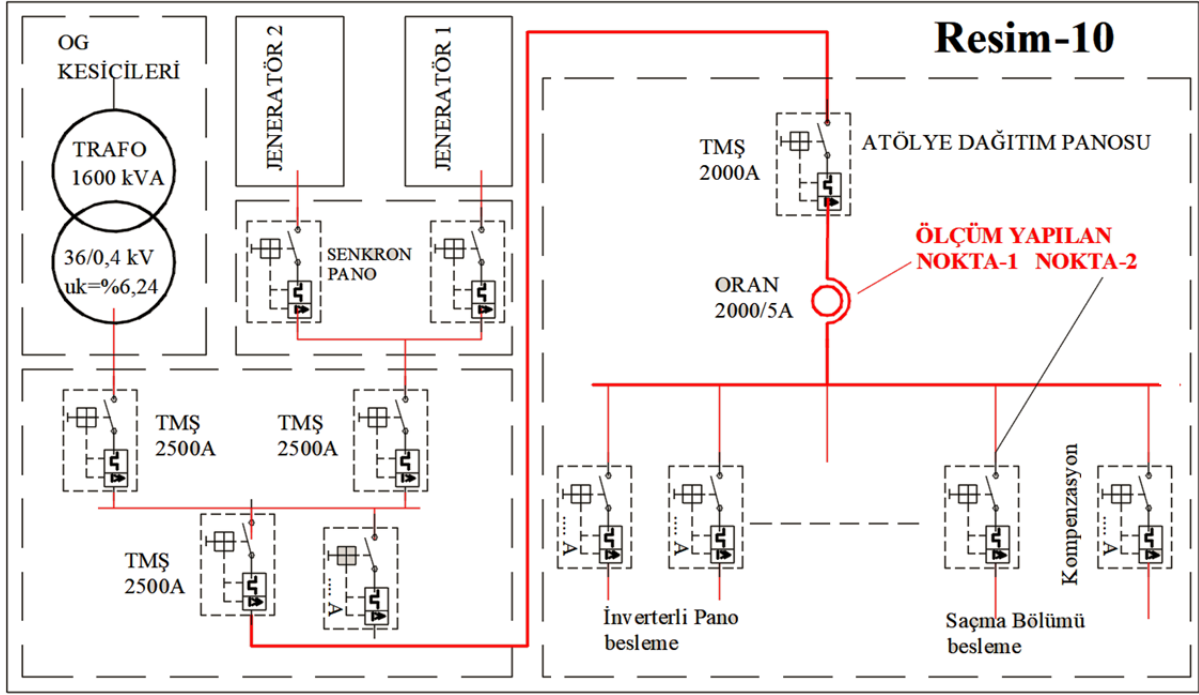
7.3 SANAYİ ÖRNEĞİ, MERKEZİ FİLTRE Mİ?, MÜNFERİT FİLTRE Mİ?

Eskişehir'in ilçelerinden birinde kırsalda kurulu olan bir izabe tesisi elektrik şebekesinin harmoniklerini ölçtürmek ve sık sık yaşadıkları inverter arızalarının nedenini öğrenmek istemektedirler. Harmonik filtre satıcıları uğramış ve kompenzasyon panosuna filtre tesis etmeyi önermişlerdir. Şirket yetkilileri böyle bir yatırımın faydalı olup olmayacağı da öğrenmek istemektedirler.

7.3.1 Tesis Bilgileri

Tesis kırsalda kurulu olup, enerji nakil hattı ile gelen 34,5 kV bir şebekeden beslenmektedir. Fazla stabil olmayan şebekedeki enerji kesilmelerine karşı iki adet jeneratör kuruludur. Senkron çalışan jeneratörler ile trafo arası bağlantı ve şebekenin genel yapısı resim-10 da görülmektedir.

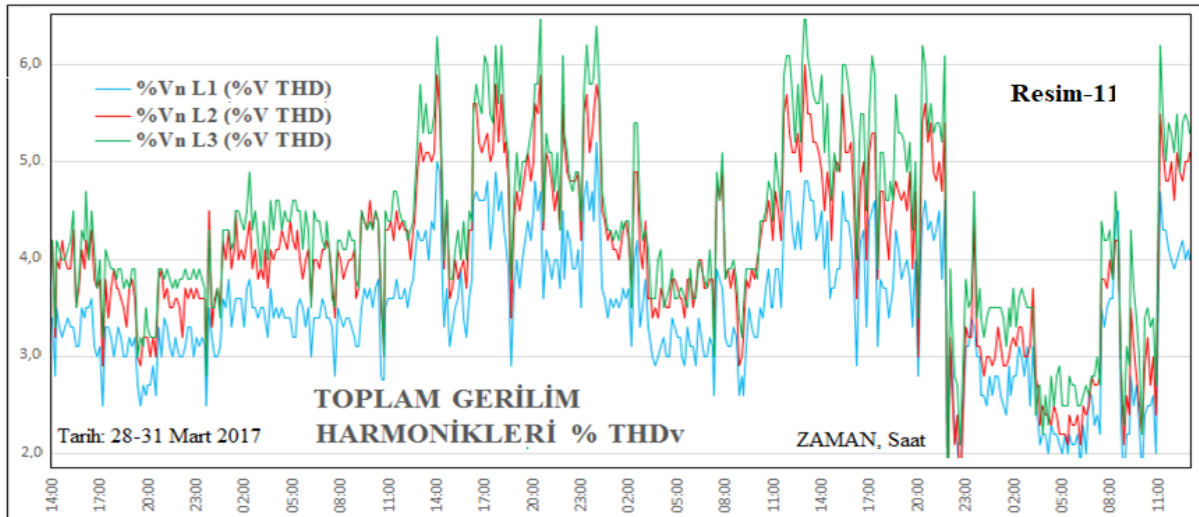
Tesiste ağırlıklı inverter tabir edilen motor devir regülatörleri, diğer bir tabir ile sürücüler (frekans konverterleri) kullanılmakta olup, aşırı harmonik üreten bu cihazların bazı sorunları da beraberlerinde getirmeleri normaldir. İnverterler alternatif akımı (AC) doğru akıma (DC) ve tekrardan istenilen frekansta alternatif akıma dönüştürmektedirler. Bu dönüşüm olayları geriye doğru besleme şebekesinin akım ve gerilim şeklini bozmakta yani harmonik üretmektedirler. Üretilen harmonikler ister istemez komşu cihazı etkilemekte, bir nevi elektrikli aletler bir birlerine zarar vermektedir. Bol miktarda elektronik alet içeren XXX A.Ş elektrik şebekesi kendi kendine zarar vermekte, diğer bir tabir ile kendi kendini yemektedir.



Elektrik şebekesinin tüm tüketicileri içine alan detaylı bir şebeke planı elimizde bulunmamaktadır. Yetkililerden edinilen bilgilere göre harmonik üreten kaynak olarak irili ufaklı bol miktarda sürücü (inverter) mevcuttur. Saçma bölümünde 100 Hz ile çalışan endüksiyon ocakları da yer almaktadır. Bunların dışında harmonik üreten UPS, bilgisayar ve aydınlatma armatürlerinden de söz edilebilir. Metaller doğal gazdan elde edilen ısı ile eritilmektedir. Tesiste metal eritme maksadı ile kullanılan ark ocağı gibi harmonik üreten ve elektrik şebekesinde sorun yaratan teçhizat bulunmamaktadır. Ayrıca şebekeden darbeli yük çeken büyük güçlü motorlar da mevcut değildir. Müşteride harmonik üreten kaynakların yanı sıra, bu gibi darbeli yük ve büyük güçlü motorların varlığı da sorgulanmalıdır.

Tesisi besleyen trafo bilgileri aşağıdaki gibidir:

Güç: 1600 kVA, Hermetik tip yağlı trafo $U_k = 6,24$
 Un: 36/0,4 kV, $I_n \text{ sec} = 2300 \text{ A}$ $I_n \text{ pri} = 28 \text{ A}$



7.3.2 Toplam Gerilim Harmonikleri, % THDv

Toplam gerilim harmonikleri resim-11'de görüldüğü gibi %2 ile %6 arası dalgalanmakta olup, elde edilen veriler TS EN 50160, ANSI/IEEE-519-1992 ve EPDK'nın ön gördüğü sınır değerinin (%5) üzerindedir. Harmonik değerlendirilmesi

açısından en önemli veri %THDV olup, sonuçların yüksek çıkması, şirketin elektrik şebekesinin dikkate değer düzeyde harmonikler içerdiğini ispatlamaktadır. Ofis ve hastane gibi yerlerde gece saatlerindeki harmonikler yüksek ölçülürken, incelediğimiz sanayi tesisinde düşük (%2) seyretmektedir. Bunun nedeni gece de olsa çekilen akımın 400 Amperin altına düşmemesidir. Gece vardiyasında hazırlık çalışmaları yapılmakta, bantlar ve saçma bölümü gibi güçlü harmonik üreten bölümler çalıştırılmamaktadır. Bu gibi konular iş yeri yetkilileri ile görüşülüp sorgulanması gereken önemli hususlardır. Diğer yerlerde gece saatlerinde harmoniklerin yüksek çıkması son yıllarda bol miktarda kullanılan LED ve tasarruflu aydınlatma armatürlerinden kaynaklanmaktadır. Harmonik değerlendirmesinde gece saatlerinde yani şebekeden çok az akım çekildiği saatlerde dikkate alınır mı alınmaz mı? Bizce alınmaz. Çünkü düşük akımlı harmonikler fazla etkili değildir.

7.3.3 Münferit Gerilim Harmonikleri: %THD Vh

Yaptığımız harmonik ölçümlerini EPDK yönetmeliğinde verilen değerlerle kıyaslayabilmemiz için, analizör kayıtları tek tek incelenerek sonuçlar aşağıdaki tablo-10'da özetlenmiş ve görülen maksimum ve minimum değer aralıkları kaydedilerek uygun olup olmadıkları yanlarına yazılmıştır. Münferit gerilim harmonikleri aşırı yüksek olmayıp, 23.harmonikten sonra çok küçük değerler kaydedilmektedir. Yüksek değerler h5, h7 ve h11 serilerinde görülmekte olup, sonuçlar da sınır değerleri aşmamaktadır.

Yönetmelik Tablo 10: GERİLİM HARMONİKLERİ							
Harmonik sırası	Sınır değer	Ölçülen değer (min-max)	Sonuç	Harmo-nik sırası	Sınır değer	Ölçülen değer (min-max)	Sonuç
h	%	%		h	%	%	
h5	6,0	2,0-4,5	Uygun	h2	2,0	0,1-0,5	Uygun
h7	5,0	1,0-2,75	Uygun	h3	5,0	0,1-0,5	Uygun
h11	3,5	0,5-2,0	Uygun	h4	1,0	0,1-0,5	Uygun
h13	3,0	0,1-0,45	Uygun	h6	0,5	0,0-0,2	Uygun
h17	2,0	0,1-0,40	Uygun	h9	1,5	0,0-0,2	Uygun
h19	1,5	0,0-0,35	Uygun	h15	0,5	0,0-0,2	Uygun
h23	1,5	0,0-0,25	Uygun	h21	0,5	0,0-0,2	Uygun
h25	1,5	0,0-0,1	Uygun	THDV	5,0	2,0-6,0	Uygun değil

Tablo-10'a bakıldığında münferit harmoniklerin sınır değeri aşmadığı buna mukabil toplam gerilim sapmasının bozuk olduğu görülmektedir. Bu sonuç bazılarında şaşırtıcı gelebilir ise de sonuç ortadadır ve münferitler sınırı aşmıyor ise toplandıklarında aşmaktadır.

IEEE-519 Bölüm 10 da bireysel tüketiciler (individual consumer) için madde 10.2 de (akım harmonik sapmaları sınır değerleri) toplam gerilim harmoniği % THDV değeri olarak %5 ve münferit gerilim harmonikleri için de %3 seviyelerinin aşılmaması önerilmekte ve küçük tüketiciler için de aşağıdaki tablo verilmektedir.

IEEE-519 Tablo-10.1 akım harmonikleri için temel veriler					
I_{sc}/I_L	10	20	50	100	1000
*)	2,5-3,0 %	2,0-2,5 %	1,0-1,5 %	0,5-1,0 %	0,05-0,1 %
*) Maksimum münferit gerilim harmonik değerleri THDVh %					

XXX A.Ş elektrik şebekesinde ölçülen bazı harmonik serileri yukarıda verilen sınır değerleri aşmaktadır ve küçük tüketici olmadığı için de bu tabloya uymak zorunda değildir. Harmoniklerle ilgili sınır değerlerin tamamı tavsiye niteliğinde olduğu için yukarıdaki küçük tüketici örneği verilmiştir.

7.3.4 Akım Harmonikleri Referans Değerleri

EPDK yönetmeliği eki Tablo-11 de akım harmonikleri ile ilgili sınır değerler verilmiştir. Bu tablodan istifade edebilmemiz için ölçü yapılan noktadaki kısa devre akımını hesaplamamız gerekmektedir. Ölçü yapılan nokta jeneratörden uzakta bulunduğu için yalnızca trafo empedansı dikkate alınarak aşağıdaki gibi yaklaşık bir kısa devre akımı hesabı yapılması yeterli olacaktır.

Trafo değerleri:

Güç: 1600 kVA, Hermetik tip yağlı trafo, Un: 36/0,4 kV Empedans Uk= 6,24

OG akım In pri=28 A , AG akım: In sec= 2300 A

$I_k = I_n / \%uk$ formülü yardımı ile yaklaşık bir kısa devre akımı hesaplayabiliriz.

$I_k = I_n / \%uk = 23000 / 0,0624 = 36.860 \text{ A} \approx 37 \text{ kA}$ hesaplanan bu değer bizce makul ve mantıklıdır.

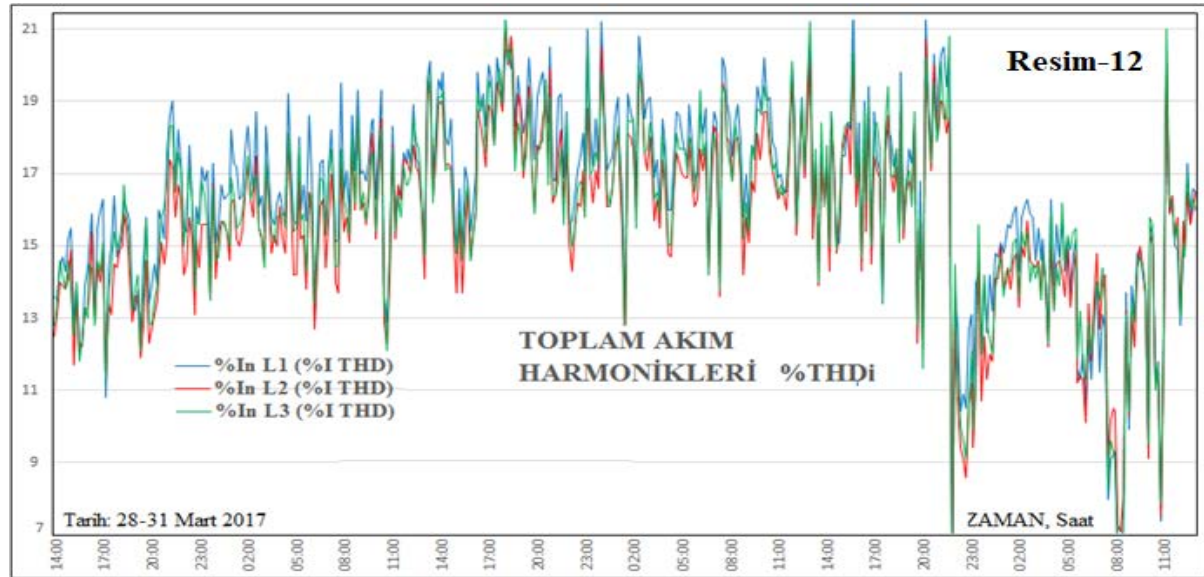
Bu değer trafonun AG tarafındadır. Ölçü yaptığımız noktanın önünde bir miktar kablo mevcut olup tam mesafesi bilinmemektedir. Tam bir kısa devre hesabı yaptığımızda I_k biraz daha düşecektir. Değişik değerler için yapılan hesaplar aşağıda tablo-0 da özetlenmiştir.

I_{sc}	I_L	$I_{sc}/I_L = R_{sce}$	I_{sc}	I_L	$I_{sc}/I_L = R_{sce}$	I_{sc}	I_L	$I_{sc}/I_L = R_{sce}$
A	A		A	A		A	A	
35000	1000	35	30000	1000	30	25000	1000	25
35000	1200	29	30000	1200	25	25000	1200	20,8
35000	1600	22	30000	1600	18,75	25000	1600	15,6
35000	1800	19	30000	1800	16,6	25000	1800	13,8
35000	2000	17,5	30000	2000	15	25000	2000	12,5

I_{sc}/I_L değerlerini değişik kısa devre akımı ve değişik yüklere göre hesapladığımız da bulunan değerler tablo-0'da görüleceği gibi kısa devre akımı $I_{sc}=35 \text{ kA}$ alındığında 20 ile 50 arasında kalmaktadır. Buna karşılık kısa devre akımı daha düşük, 25 kA kabul edildiğinde orantı 20 sayısının altına düşmektedir. Tesis kırsal kesimdeki enerji hatları ile beslenmektedir ve gerçek kısa devre akımı genelde düşüktür. Bu nedenle güvenilir tarafta kalmak ve harmonikler açısından daha sıkı davranmak adına tablo-11 deki "<20" satırında verilen değerleri referans almakta karar kılınmıştır. Bu durumda toplam akım harmoniklerinin sınır değeri %8 den %5'e inmiş olmaktadır ki, her iki durumda da sınır değerler aşılmaktadır.

Tek Harmonikler						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TTB= THDI
<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

Çift harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değerlerin %25'i ile sınırlandırılmıştır. TTB= Toplam talep bozulması \approx THDI
 I_{sc} = Kısa devre akımı, I_L = Yük akımı, h= harmonik sayısı



7.3.5 Toplam Akım Harmonik Bozulmaları, %THDi

Toplam akım harmonik değerleri resim-12'de görülmekte olup, ölçüler %7 ile %21 arası dalgalanmaktadır. Fazlar arası harmonik değerlerinde dikkat çekici bir fark görülmemektedir. Her üç fazın akım harmonikleri hemen hemen aynı düzeydedir. Bulunan değerler EPDK yönetmeliği Tablo 11 satır "<20" de verilen referans değeri (%5) aşmaktadır. Sonuç olarak toplam akım harmoniği " EPDK Yönetmeliğine uygun değildir. Bölüm 5.9'da açıkladığımız gibi, harmonik uygulamalarında genelde %10 THDI değeri normal ve %20 den sonrası da riskli kabul edilmektedir. İnceleme yaptığımız şirketin şebekesinde akım harmonik değerleri kabul edilebilir sınırları aşmış durumdadır. Ayrıca gerilim harmonikleri de %5 üzerindedir ve EPDK Yönetmeliğine uymamaktadır. Harmonik olayında en önemli parametre gerilim harmonikleridir. Bu nedenledir ki EN 50160 standardı akım harmoniklerinden hiç söz etmemektedir.

7.3.6 Münferit Akım Harmonikleri %THD I_n

Harmonik analiz cihazı kayıtları tek tek incelenerek kaydedilen minimum ve maksimum değer aralıkları ve sınır değerleri aşıp aşmadıkları aşağıda tablo-1 de özetlenmiştir. Münferit gerilim harmoniklerinin tersine h5, h7, h9 ve h11 serileri önerilen sınır seviyelerini aşmaktadır. Dikkati çeken h3 ve h5 serilerinin yüksek oluşudur. Bunun sebebi makalemiz devamında açıklanacağı gibi frekans konverterleri ve UPS dir.

Harmonik sırası	% Sınır değer	Ölçülen değer %	Sonuç	Harmonik sırası	% Sınır değer	Ölçülen değer %	Sonuç
THDI	5	7-21	Uygun değil	I ₂	1,0	0,2-0,75	Uygun
I ₅	4,0	11-18	Uygun değil	I ₃	1,0	0,5-1,75	Uygun değil
I ₇	4,0	3-8	Uygun değil	I ₄	1,0	0,1-0,55	Uygun
I ₉	0,5	0,5-1,75	Uygun değil	I ₆	1,0	0,2-0,6	Uygun
I ₁₁	2,0	1,5-3,5	Uygun değil	I ₈	0,5	0,1-0,4	Uygun
I ₁₃	2,0	0,3-1,5	Uygun	I ₁₀	0,5	0,1-0,45	Uygun
I ₁₇	1,5	0,1-0,9	Uygun	I ₁₂	0,5	0,05-0,4	Uygun
I ₁₉	1,5	0,05-0,35	Uygun	I ₁₄	0,375	0,1-0,25	Uygun
I ₂₃	0,6	0,05-0,35	Uygun	I ₁₅	0,375	0,05-0,15	Uygun
I ₂₅	0,6	0,05-0,37	Uygun	I ₁₆	0,375	0,05-0,175	Uygun

7.3.7 Harmoniklerin Etkisi Üzerine Genel Bilgiler

Burada genel bir teorik izahattan ziyade, ölçü yaptığımız firmada çalışanların, harmoniklerle mücadele faaliyetlerinde işlerine yarayabilecek bazı konular kısaca açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca harmonik üreten kaynaklardan ziyade var olan harmoniklerin mevcut aletler üzerindeki etkileri hakkında da bilgiler verilmiştir. Ölçü yaptığımız şirketin elektrik şebekesi harmonik üretmektedir ve şebeke bir nevi kendi kendini kemirmektedir. Olay bundan ibarettir. Enerji giriş noktasındaki kompenzasyon panosuna veya bu noktaya yerleştirilecek merkezi bir harmonik filtrelerin arızaları gidermesine her hangi bir faydası olmayacaktır.

HARMONİKLERİN CİHAZLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

1.0 Harmoniklerin JENERATÖRLER Üzerindeki Etkisi:

1.1 Jeneratörün ısınmasına neden olur. Bakır ve demir kayıpları artar. Eğer şebeke harmonik içeriyor ise jeneratör normal (harmoniksiz) gücünün üstünde seçilmek zorundadır.

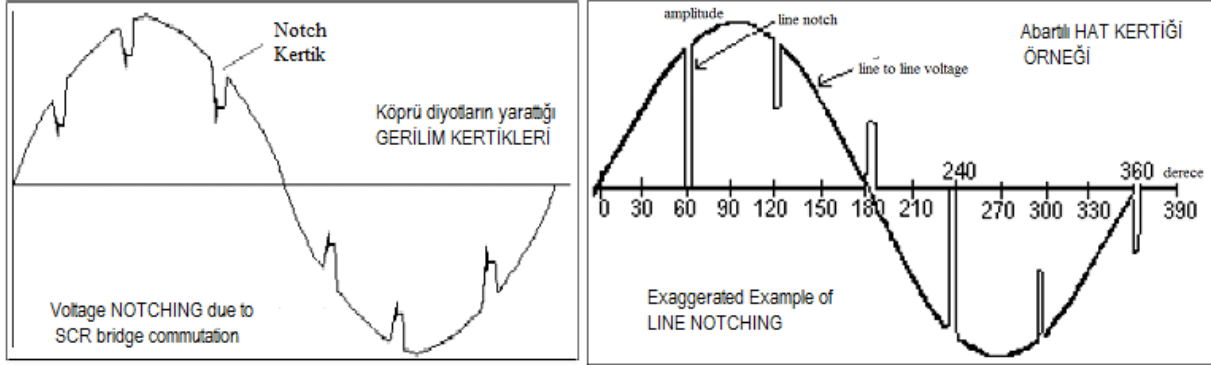
1.2 Faz yönüne tersi yönlü olan h5, h11 ve h17 harmonikleri (negatif harmonikler) jeneratör milinde titreşimlere neden olmaktadır. Yani jeneratör milinde titreşim tespit ediliyor ise 5.harmonik varlığı kuvvetle muhtemeldir.

1.3 Harmonikler gerilim düşümüne neden olmaktadır. Hesaplanandan daha fazla gerilim düşümü ile karşılaşılır. Çünkü hesaplar 50 Hz saf sinüs dalgasına göredir. Kablo seçiminde gerilim düşümüne dikkat edilmelidir.

1.3 Harmonik akımları jeneratör milinde dolayısı ile tahrik motoru milinde titreşimlere neden olmaktadır. Yani üretilen moment titreşimlidir. Aynı zamanda jeneratör içindeki gerilim düşümü de yüksektir. Jeneratörlerin devir regülatörleri mevcut olup, bu regülatörler harmoniklerden etkilenecek yanlış sinyal verebilir ve regülasyon sapıtabilir.

1.4 Hat çentikleri (line nothing) jeneratör devir ve gerilim kumandasının sapıtmasına neden olmaktadır. Gerilim regülesi sapıtmakta yanlış gerilim çıkışlarına ve dolayısı ile jeneratörün sebepsiz yere durmasına yol açmaktadır.

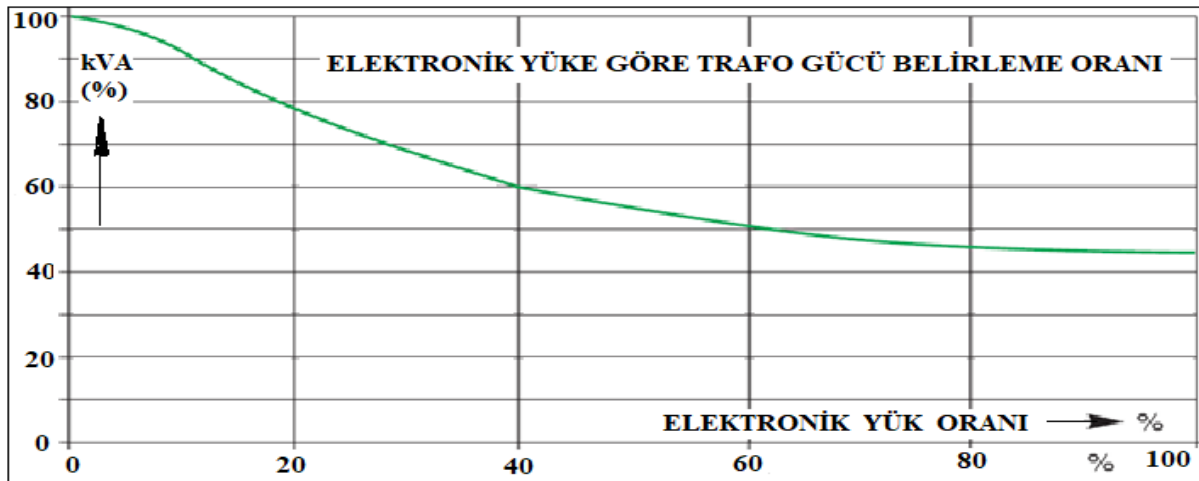
Hat çentikleri aşağıdaki resimlerde gösterildiği gibi olup, gerçekte tam bir harmonik sayılmazlar. Bir nevi “flicker” dir ki, bunların da ölçümü mümkündür. Tarafımızdan yapılan analiz kayıtlarında “hat çentikleri” (line notch) yoktur.



2.0 Harmoniklerin TRAFOLAR Üzerinde Etkisi

2.1 Enerji kaybına neden olur, demir ve bakır kayıpları artmaktadır. Bu nedenle trafo gücü olması gerekenden yüksek seçilmelidir. Üç ve katları (3, 6, 9, 15 gibi) harmonikler besleme trafosunun yıldız noktasında kendilerini sıfırlamadıklarından sargılar içerisinde dönerek lüzumsuz akım akmasına ve dolayısı ile sargıların ısınmasına yol açmaktadır. Ayrıca bu harmonikler nötr hattında sıfırlanmadıklarından nötr hattı akımını çok yükseltmektedirler. Nötr akımları %173 seviyelerine yükselebilmektedir. Çoğunluklar 3.harmonik (150 Hz) kendini göstermektedir.

2.2 Harmoniği yüksek olan şebekelerde trafo gücü normalden daha yüksek seçilir veya K- katsayısı transformatör (K-factor or K-rated transformer) kullanılır. İnceleme yaptığımız şirketin şebekesinde 1 adet 1600 kVA trafo mevcut olduğuna göre son gücüne kadar yüklenmemesi gerektiği unutulmamalıdır. Elektronik yükün miktarına göre aşağıdaki grafikte gösterildiği gibi bir seçim yapılmaktadır.



3.0 Harmoniklerin Endüksiyon Motorları Üzerindeki Etkileri

3.1 Harmonikler motorların kayıplarını artırdığı için ısınma sorunu ile karşılaşmaktadır. Fazla ısınma da motor sargıları izolasyonlarının ömrünü kısaltmaktadır.

3.2 Pozitif harmonikler (üç fazın dönme yönü ile aynı olanlar 7, 13, 19 gibi) moment üretilmesine katkıda bulunmaktadır. Negatif harmonikler (üç fazın dönme yönünün tersine olanlar 5, 11, 17 gibi) tersi yönde moment ürettiklerinden motorun titremesine neden olmaktadır. 3 ve katları harmonikler ise moment üretmezler, yalnızca sargılarda kayıplara neden olurlar. Motor etiketinde verileden fazla ısınma durumu olan motorlarda trafolarda olduğu gibi güç belli bir miktar yüksek seçilmektedir.

4.0 Harmoniklerin İNVERTERLER Üzerindeki Etkileri

Motorların ilk yol almalarını kolaylaştırmak ve ihtiyaca göre devir sayılarını değiştirmek maksadı ile kullanılan bu cihazlar genelde iki tip olarak karşımıza çıkmaktadır. Yumuşak yolvericiler ve Frekans konverterleri olarak da adlandırılan bu cihazlardan firmada çoğunlukla frekans konverterleri bulunmaktadır. İnverter de tabir edilen bu cihazlar alternatif akımı (AC) doğru akıma (DC) çevirmekte ve doğru akımı tekrardan istenilen frekansta alternatif akıma dönüştürerek gerekli regülasyonu sağlamaktadırlar.

Bir adı da sürücü olan “elektrikli değişken hız tahrik ünitelerinin” hemen tamamı AC akımı doğrultmak için güç elektroniği kullanılmaktadır. Bu cihazlar kendileri harmonik üreticisi kaynaklar oldukları gibi giriş hattı harmoniklerinden de etkilenmektedirler. Bu cihazları besleyen elektrik şebekesi eğer harmonik içeriyor ise arızalanabilmekte ve içerilerindeki parçalar hasar görmektedir. Sürücüler için harmonik içerikli şebeke bir nevi “yüksek tansiyon” anlamına gelmekte ve söz konusu cihazları rahatsız etmektedir.

Bununla birlikte, harmonikler, pik voltajın düzleşmesine yardımcı oldukları için sürücüler için yararlı da olabilmekte ve güç diodlarının gerilmesini hafifletmektedirler. Bunun tersine olarak, çok sayıdaki 2 pals sürücülerin (tek faz inverterler) bulunduğu şebekelerde voltajın tepeden tepeye (peak-to-peak) olan büyüklüğü artabilmekte ve dolayısı ile redresörler üzerindeki gerilim yükselmektedir.

Genellikle, sürücülerin olması gerekenden büyük seçilmiş olmaları, bu cihazların harmoniklere ve hat kertiklerine (line notch) karşı bağışıklıklarını artırmaktadır. Akım kaynaklı inverter olarak da adlandırılan hat değişmeli LCI tipi (line commutated inverters) sürücüler, küçük endüksiyon motorlara tatbik edildiklerinde normal seviyedeki harmoniklere karşı nispeten dayanıklıdır. Ayrıca 1500 kW'dan büyük motorlarda kullanılan siklo konverterler (cycloconverters) de dışarıdan yani şebekeden gelen harmoniklere karşı bağışıklıdır.

Hem harmonikler hem de hat çentikleri değişken hız sürücülerini etkilemektedirler. Sürücüler (frekans konverterleri, inverterler) düşük hız ve yüksek yükte çalıştığında kertikler (notch) çok daha etkili olmaktadır. Hat çentiklerinin yarattığı çınlama da önemli bir rahatsız edici sorun teşkil etmektedir.

Reaktörsüz mono faz (2 palslı) PWM sürücülerin toplam akım harmoniği THDi yüksektir ve genelde %130-140 arasındadır. Ayrıca 3.harmonik de belirgindir ve nötr iletkeninin ısınmasına yol açmaktadır. Nötr akımı normal akımın %172 si seviyelerine ulaşmaktadır. Bu durum nötr hattı ile toprak hattı arası gerilimin yükselmesine neden olmaktadır. Oluşan aşırı lokalize harmonik akımı, DC baraya yansıtılarak sürücü içerisindeki düzleştirici kapasitörler üzerinde aşırı ısınmaya ve sürücü kondensatörünün yanmasına neden olabilir. Hat çentiğinin yarattığı çınlama, DC barası üzerindeki gerilimin artmasına yol açmakta ve yüksüz veya hafif yüklü durumlarda aşırı gerilim dolayısı ile açmaya (off) neden olmaktadır.

Komütatör reaktörü veya izolasyon transformatörü bulunmayan 2 palslı (mono faz) sürücüler ile küçük 6 palslı SCR DC sürücüler, hat çentiklerinden ve/veya yüksek harmonik akım seviyelerinden dolayı tetiklenmeyebilirler, yani çalışmayabilirler.

Küçük güçlü, 6 palslı PWM (pulse with modulation= pals genliği modülasyonu) tipi sürücüler genelde 10 HP/7,5 kW güce kadar motorlarda kullanılmakta olup, bu sürücülerde genelde AC hat veya DC basbar reaktörleri bulunmamaktadır. Kertikli besleme durumunda ve sürücünün boşa veya hafif yükte olması halinde DC baradaki gerilim yükselir ve sistemin aşırı gerilimden açmasına neden olabilir. Basit köprü diyotlardan oluşan, AC hat veya DC baraya sahip olsun veya olmasın, büyük güçlü PWM sürücüler genelde iri yapıya sahip olup, şebekeden gelen harmonikli besleme ortamından pek etkilenmezler ve herhangi bir aksaklığa uğramadan çalışabilirler.

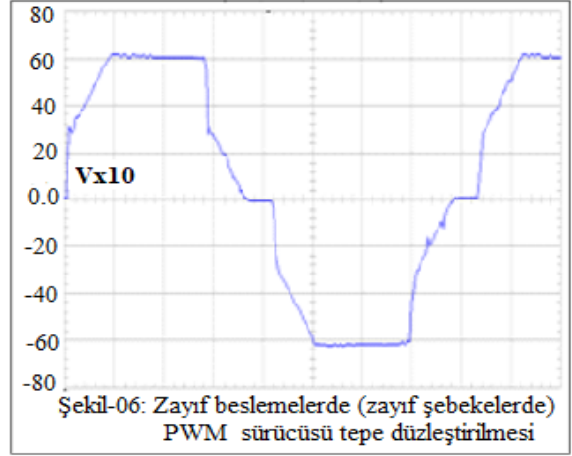
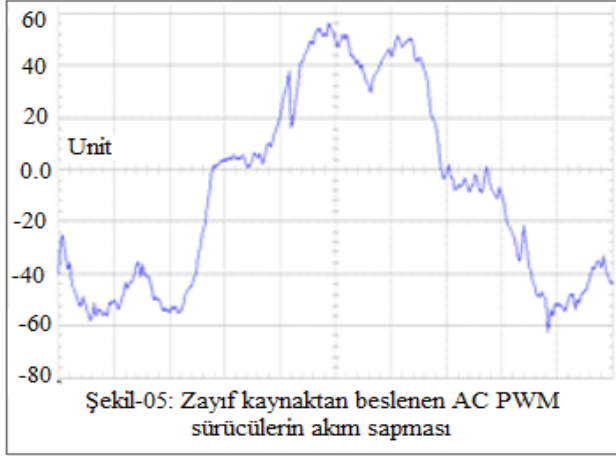
Yüksek seviyede harmonik içeren veya hat kertikli beslemelerde bazı tip sürücülerin DC basbar kapasitörleri ile düzleştirme bobinleri aşırı ısınmakta ve hatta bu elemanların arızalanmasına neden olmaktadır. Bu tip sürücüler SCR tipi (yumuşak yol verici) ön şarj ünitesi içeren AC PWM tipi inverterler olup, regülenenin sapıtması sonucu ısınma ve arıza yaşanmaktadır.

En çok kullanılan tip olan 6 palslı AC PWM tipi sürücüler nispeten iri yapılı ve sağlam olup, toplam harmonik gerilim sapması THDv %5 altında olan şebekelerden pek etkilenmezler. 10-15 HP (7,5-11 kW) üzerindeki çoğu sürücülerde, filtre mevcuttur. Hat reaktöründen ibaret olan bu passif filtreler akım harmoniklerinin sinüs dalga biçimine yansımını teşvik etmektedirler. Bazı hallerde özel filtreler tasarlanması gerekebilir.

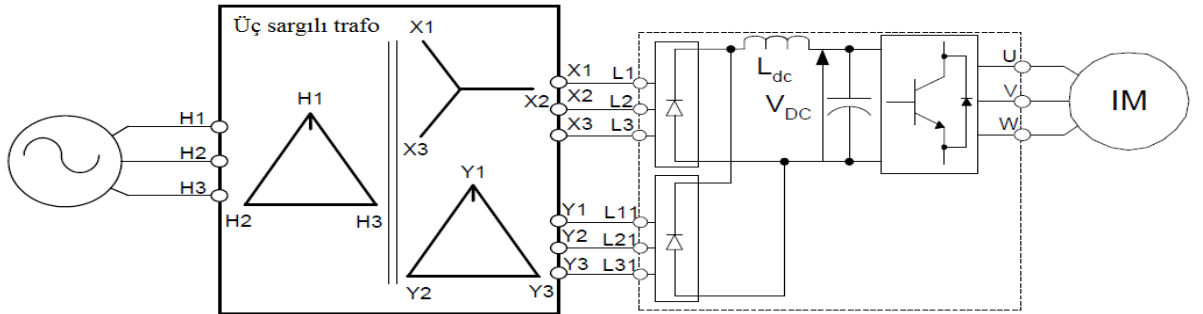
10 HP/7,5 kW üzerindeki 6 palslı SCR DC tipi sürücüler besleme tarafından gelen kertikleri (notch) azaltmak için AC değişmeli reaktör veya izolasyon trafolarına sahiptirler. Eğer şebekeden gelen harmonik ve kertik yüksek ise sürücünün sigortası atabilir, kesici açabilir dolayısı ile sürücü arızalanır.

12-, 18-, 24-palslı veya daha yukarı AC (yumuşak yol verici) veya DC (frenans konverter ve inverterli) sürücülerde kullanılan faz kaydırma transformatörleri harmoniklerin şebekeye doğru (geriye doğru) yayılmasını önlemekte ve ayrıca sürücü terminalindeki hat kertiklerinin etkisini zayıflatmaktadır.

Aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi zayıf yani yüksek kaynak empedanslı şebekelerde gerilimin tepe değerinin düzleştirilmesi DC baradaki gerilim seviyesinin düşmesine neden olabilir ve dolayısı ile sürücü çıkış gerilimi ve motor besleme gerilimi düşük olacaktır. Bu olay tahrik momentini düşürüp akımı artıracığından I^2R formülüne göre motor kayıpları artacak ve dolayısı ile motorun ısınmasına yol açacaktır.



Güç kablosu kontrol kablolarından yeterince ayrılmamış ise veya sinyal ve kontrol kablosu ekranlı değil ise ayrıca topraklama yeterli değil ise, sürücü sinyal ve kontrol kablolarına istenmeyen parazitler indüklenebilir (EMI gibi elektriksel gürültü). Bu durumda yanlış ve sahte komut ve geri besleme sinyallerinin sürücüye girmesine dolayısı ile sürücünün arızalanmasına neden olabilmektedir. Kabloların yeniden düzenlenmesi ve yer değiştirilmesi mümkün olmadığı ciddi durumlarda, düşük geçişli filtrenin (low pas filter) sürücü girişine uyarlanması gerekli olabilir. Kontrol röleleri düzgün çalışmayabilir ve ölçüm cihazı olumsuz şekilde etkilenebilir.



Üç sargılı 12 palslı sürücü şeması

Yukarıdaki konu biraz karışık anlatılmış ise de, frekans konverterleri ile çalışanlar bilir ki, sürücüden motora giden güç kablosu daima ekranlı seçilecek ve kablunun ekranı da iyice topraklanmış olacaktır.

7.3.8 ÖZET ve TAVSİYELER

Yukarıda detaylıca yaptığımız açıklamalar ışığında XXX A.Ş. elektrik şebekesinde öncelikle uygulanması gereken, cihazlara (sürücü, indüksiyon ocağı, UPS gibi) tek tek münferit harmonik filtre bağlanmasıdır. Böylece bir cihazın ürettiği harmonik yanındaki komşu aleti etkilemeyecektir. Yapılan bu münferit harmonik filitreler şebekenin abone noktasındaki harmoniklerini de düşürecek ve EPDK'nın ön gördüğü ceza seviyesinin altına indirecektir.

Yukarıda yaptığımız hesap ve açıklamalarda “rezonans” tabir edilen olaydan hiç söz edilmemiştir. Rezonans elektrik şebekesi empedansı ile besleme şebekesi empedansının denk gelerek tesise bir anlık yüksek akım ve gerilim girmesi, trafo, jeneratör, şalt tesisleri gibi aletleri tümünden hasar görme olayıdır ki, bir nevi felaket senaryosu sayılabilecek bu olayın az da olsa XXX Metal tesislerinde yaşanması yüksek olasılıkla muhtemeldir. Çünkü tesis ağırlıkla elektronik yüklüdür ve harmonik frekansları bir nevi “kol” gezmektedir. Bu ihtimale karşı tesisin analizi yapılmalı ve kompenzasyon panosuna harmonik filtre değil rezonans önleyici filtreler yerleştirilmelidir. Çünkü rezonans olayını tetikleyen öncelikle otomatik kompenzasyon tesisleridir. Önerimiz eğer tesiste bir kapasite artımı ve elektrik tesislerine ilave söz konusu ise, ister istemez kompenzasyon panosu da yenileneceğinden, bu yenileme ile birlikte rezonans olayına göre bir tasarlama yapılması yönündedir. Şu aşamada ilk yapılması gereken sürücülere münferit harmonik filtre takılmasıdır.

Kompenzasyon panosuna merkezi bir harmonik filtre yerleştirilmesi tavsiye edilmez. Harmoniklerle mücadele bir nevi güç faktörü düzenleme çalışmalarına benzemektedir. Şebekeye abone olunan noktaya yerleştirilen kompenzasyon panosu şirketin cezadan kurtarmakta ve güç faktörünü de ancak kompenzasyonun bağlandığı noktada düşürmektedir. Halbuki şebekenin gerisinde kosinüs fi (güç faktörü) değerleri düşüktür. Aynı şekilde abone olunan noktaya merkezi filtre yerleştirildiğinde EPDK’nın istediği yerine gelecek fakat şebeke çerisindeki harmoniklerin yarattığı zararlar önlenemeyecektir. Büyük balık küçük balığı yutar misali büyük güçlü sürücüler küçük güçlü sürücüleri arızalandırmaya devam edecektir. Bu nedenle merkezi değil münferit filtre tercih edilmeli ve tüm sürücülere filtre bağlanmalıdır. Ucuz ve uygulaması kolay olmayan bu çalışmalarda öncelikle büyük güçlü sürücülere filtre bağlanmalıdır. Ucuz ve uygulaması kolay gözüken küçüklerden başlanmamalıdır. Filtrelerin fiyatı sürücü fiyatına yakındır ve inverter panosu kadar da yer kaplamaktadır. Bu bakımdan tatbiki kolay değildir.

İncelediğimiz tesiste gerçekten küçük sürücüler arızalanmakta büyüklere bir şey olmamaktadır. Münferit harmonik kurulması işinde ise harmonik filtre üretici ve tesis kurucularından ziyade sürücü imalatçıları ile irtibata geçilmesi tavsiye edilir. Çünkü imal ettikleri sürücülerin harmoniklerinin nasıl süzüleceğini bilen ve aynı zamanda hazır filtre üreten sürücü üreticilerinin kendileridir.

7.4 HARMONİKLER ve DATA NAKLİ ÖRNEĞİ

7.4.1 GENEL İZAHAT

XXX Ankara Hastanesi elektrik şebekesinde harmonik varlığının ve özellikle UPS çıkışındaki harmoniklerin tespiti ve şebekenin genel bir analizini talep etmektedir. Yazılı talep bu ise de yetkililer ve çalışanlar ile görüşüldüğünde gerçek sorunun veri (data) iletişimde olduğu anlaşılmaktadır. Hasta odalarında kaydedilen, sıcaklık, tansiyon, ateş ölçümü, hemşire girdileri gibi bilgiler merkezi bilgisayara kesikli ve sıkıntılı gitmektedir. Tesisi kuran taşeron firma “Şebekede harmonikler var, otomasyonu ve iletişimi bozuyor. Bizim bir kusurumuz yok. Harmonik sorununu çözmelisiniz.” demektedir. Muhtemelen firmalar bir birlerine para kazandırmak yani başka bir taşeronu harmonik filtre panosu sattırmak maksadı ile böyle davranıyor olabilir. Makalemizin birkaç yerinde de yazdığımız gibi önemli olan müşterinin gerçek sıkıntısını sorgulamak ve bu yönde öneriler getirmektir.

Hastane, elektrik şebekesi 34,5 kV orta gerilim (OG) kademesinden abone olup, 1600 kVA gücünde iki adet trafoya sahiptir. Resim-13 deki elektrik şebekesi tek hat semasında görüleceği gibi tesiste kojeneratör sistemi mevcut olup, hastanenin ihtiyaç duyduğu elektriğin %60’dan fazlası kojenerasyon tesisi tarafından üretilmektedir. Bu nedenle transformatörün biri devrede, diğeri de sıcak yedek olarak beklemektedir. Her iki trafoya ait iki takım kompenzasyon panosu kurulu olup, üzerlerine 5.harmonikleri süzen filtre bobinleri de yerleştirilmiştir.

Tesiste harmonik üretici kaynak olarak klima, asansör gibi makinaların inverterli tahrikleri ile bol miktarda tıbbi cihazlar, bilgisayar ve LED aydınlatma gibi aletler yer almaktadır. Ayrıca her biri 500 kVA gücünde 3 adet UPS de mevcuttur ki, bu üniteler de genelde aşırı harmonik üreten kaynaklardır.

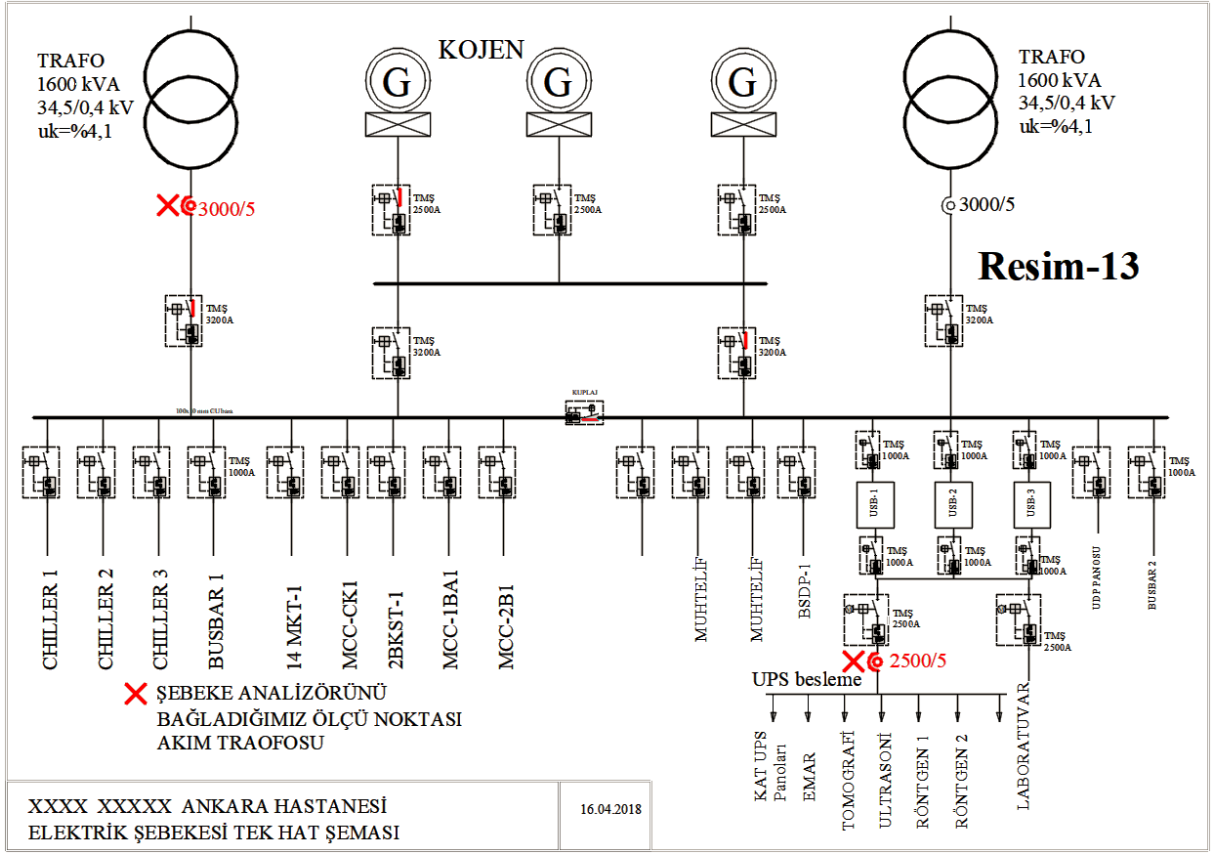
Müşteri her ne kadar yalnız UPS çıkışında ölçü istiyor ise de, doğrusu trafodan tümünü ölçmektir. Bu nedenle resim-13 teki tek şemasında görüleceği gibi, hem UPS ve hem de trafo çıkışı olmak üzere iki noktada ölçüm yapılmıştır. Makaleyi uzatmamak için şebeke değerlerinin analizine girilmeyecek doğrudan harmoniklerin değerlendirilmesine bakılacaktır.

7.4.2 GERİLİM HARMONİKLERİNİN ÖLÇÜLMESİ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

a) TR-1 Toplam Gerilim Harmonikleri, % THDv

Toplam gerilim harmonikleri THDv resim-14'de görüldüğü gibi %1,4 ile %2.1 arası dalgalanmakta olup, elde edilen veriler TS EN 50160, ve EPDK'nın ön gördüğü sınır değerini (%5) altındadır. Ayrıca ANSI/IEEE-519-1992 standardı tablo 10.2 de hastane ve hava alanı gibi özel tesislerde sınır değeri %3 olarak kabul edilmektedir ki, hastanede ölçülen toplam gerilim sapmaları bu değeri de altındadır. Harmonik değerlendirilmesi açısından en önemli veri %THDv olup, sonuçların düşük çıkması, ölçüm yaptığımız hastane elektrik şebekesinin tehlikeli derecede harmonikler içermediğini göstermektedir.

Resim-14 deki %THDv grafiğine bakıldığında, hastanenin elektrik tüketimi açısından yüklü olduğu 09-17 saatleri arasında harmoniklerin artması beklenirken düştüğü tespit edilmiştir. Bunun muhtemel nedeni aydınlatma ağırlıklı olan gece saatlerinde harmoniklerin bozuk olması olabilir ve nitekim incelememizin devamında gerçekte gece saatlerindeki akım harmoniklerinin çok bozuk olduğu görülecektir.



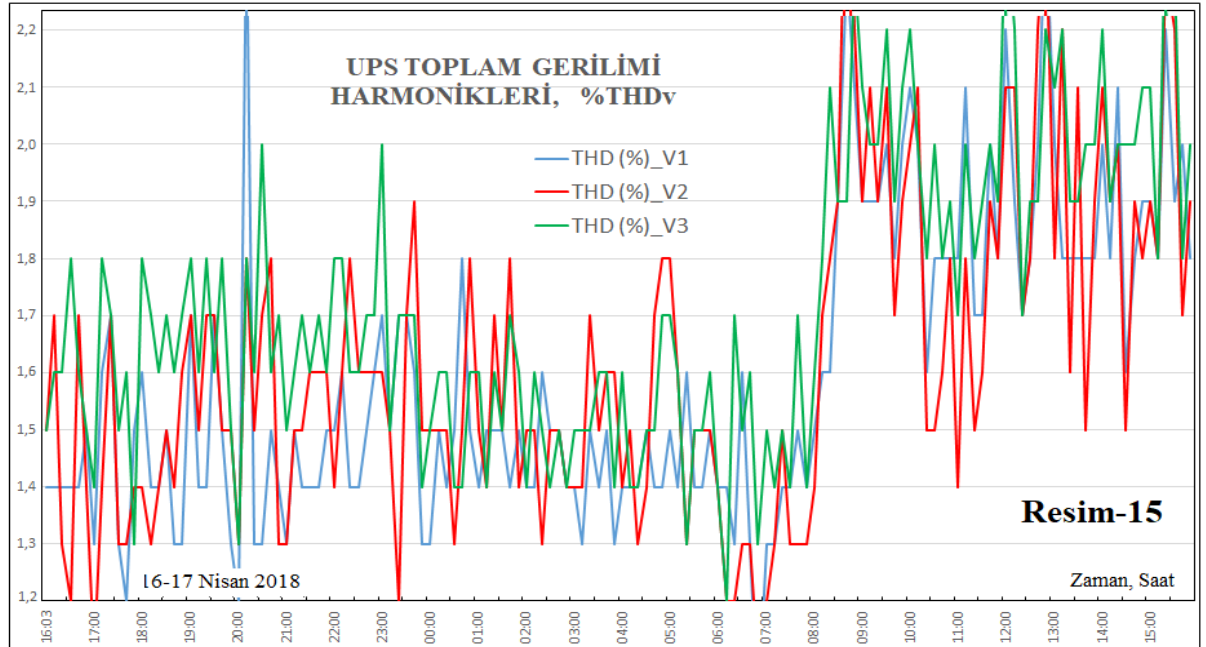
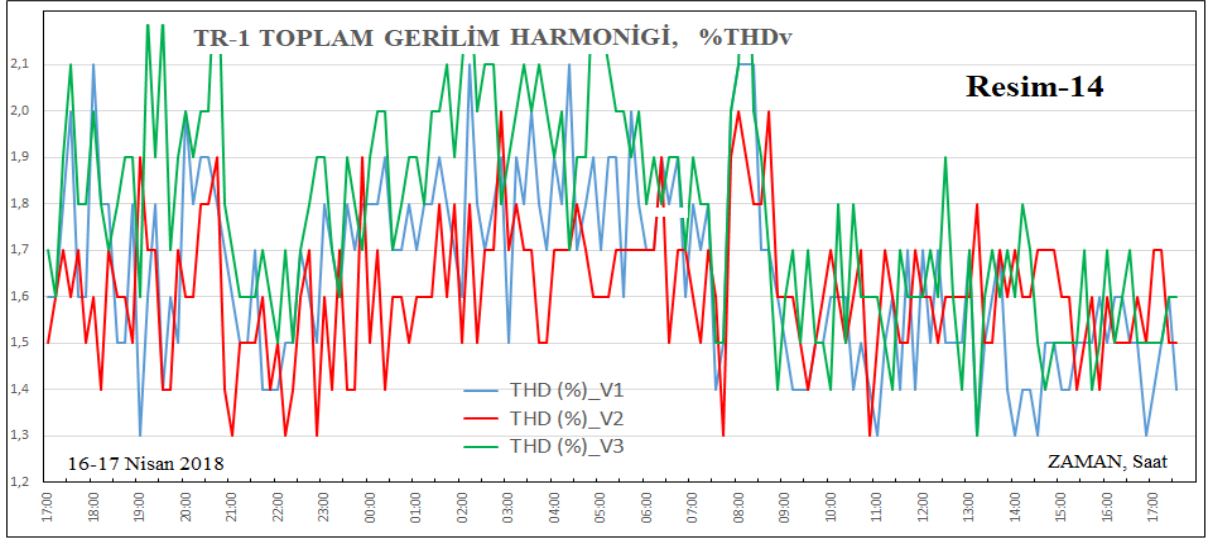
b) Münferit Gerilim Harmonikleri: %THD_v

Yaptığımız harmonik ölçümlerini yönetmelikte verilen değerlerle kıyaslayabilmemiz için, analizör kayıtları tek tek incelenerek sonuçlar aşağıdaki tablo-10a'da özetlenmiş ve görülen maksimum ve minimum değer aralıkları kaydedilerek uygun olup olmadıkları yanlarına yazılmıştır. Tablo-10a'ya bakıldığında ne toplam gerilim harmoniğinin ve ne de münferit harmoniklerin sınır değeri aştığı görülmektedir ki, bu durum hastane elektrik şebekesinin harmonik kalitesi açısından EPDK yönetmeliğine uygun olduğunu göstermektedir.

Yönetmelik Tablo 10a: TR-1 MÜNFERİT GERİLİM HARMONİKLERİ							
Harmonik sırası	Sınır değeri	Ölçülen değer (min-max)	Sonuç	Harmoni k sırası	Sınır değeri	Ölçülen değer (min-max)	Sonuç
h	%	%		h	%	%	
h5	6,0	0,2-0,9	Uygun	h2	2,0	0,1-0,4	Uygun
h7	5,0	0,1-0,45	Uygun	h3	5,0	0,2-0,8	Uygun

h11	3,5	0,3-1,6	Uygun	h4	1,0	0,01-0,1	Uygun
h13	3,0	0,4-0,8	Uygun	h6	0,5	0,01-0,1	Uygun
h17	2,0	0,1-0,3	Uygun	h9	1,5	0,1-0,4	Uygun
h19	1,5	0,05-0,2	Uygun	h15	0,5	0,1-0,5	Uygun
h23	1,5	0,1-0,9	Uygun	h21	0,5	0,05-0,1	Uygun
h25	1,5	0,05-0,6	Uygun	THDV	5,0	1,4 - 2,2	Uygun

Analizör kayıtları incelendiğinde 3, 7, 11, 23 ve 25 harmonik serilerinin baskın olduğu görülecektir. 23 ve 25 harmonikler yüklenmenin yüksek olduğu saatlerde artmaktadır ki, muhtemelen belli bir cihaz tarafından üretilmektedir. 5 ve 11 harmonikler ise yükün arttığı saatlerde düşmekte gece saatlerinde artmaktadır. Muhtemelen bu harmonikleri üreten aydınlatma cihazlarıdır.



c) UPS Toplam Gerilim Harmonikleri, THDv

UPS şebekesinde ölçülen toplam gerilim harmonikleri resim-15 de görülmekte olup, ölçülen değerlerin %1,2 ile %2,2 arasında seyrettiği görülmektedir. TR-1 de ölçüldüğü gibi verilen sınır değerlerin altındadır. TR-1 de ölçülenin aksine yükün arttığı 09-17 saatleri arasında harmoniklerin de arttığı görülmektedir. Ölçüm noktası UPS çıkışında bulunduğu

için veriler UPS'in kendi ürettiği harmonik bozulmaları içermemektedir. Sonuçlar hastaneler için tavsiye edilen %3 sınırının altındadır.

d) UPS Münferit Gerilim Harmonikleri, THD_v

Yaptığımız harmonik ölçümlerini yönetmelikte verilen değerlerle kıyaslayabilmemiz için, analizör kayıtları tek tek incelenerek sonuçlar aşağıdaki tablo-10b'de özetlenmiş ve görülen maksimum ve minimum değer aralıkları kaydedilerek uygun olup olmadıkları yanlarına yazılmıştır.

Tablo-10b'ye bakıldığında ne toplam gerilim bozulmalarının ve ne de münferit harmonik sapmaların sınır değeri aşmadığı görülmektedir ki, bu durum XXX hastanesi UPS şebekesinin harmonik kalitesi açısından EPDK yönetmeliğine uygun olduğunu göstermektedir.

Analizör kayıtları incelendiğinde 3, 7, 11 ve 13 serilerin baskın olduğu ve 19'dan sonra düşerek kaybolduğu görülecektir. TR-1 deki gibi 23 ve 25 harmonikler tespit edilmemektedir. Ölçülen değerler aşağıda tablo 10b'de özetlenmiştir.

Yönetmelik Tablo 10b: UPS MÜNFERİT GERİLİM HARMONİKLERİ							
Harmonik sırası	Sınır değer	Ölçülen değer (min-max)	Sonuç	Harmonik sırası	Sınır değer	Ölçülen değer (min-max)	Sonuç
h	%	%		h	%	%	
h5	6,0	0,1-0,5	Uygun	h2	2,0	0,05-0,4	Uygun
h7	5,0	0,3-1,2	Uygun	h3	5,0	0,2-0,7	Uygun
h11	3,5	0,1-1,1	Uygun	h4	1,0	0,1-0,3	Uygun
h13	3,0	0,2-1,4	Uygun	h6	0,5	0,05-0,3	Uygun
h17	2,0	0,05-0,2	Uygun	h9	1,5	0,1-0,8	Uygun
h19	1,5	0,05-0,2	Uygun	h15	0,5	0,05-0,1	Uygun
h23	1,5	0,05-0,1	Uygun	h21	0,5	0,05-0,1	Uygun
h25	1,5	0,05-0,1	Uygun	THDV	5,0	1,2 – 2,2	Uygun

7.4.3 AKIM HARMONİKLERİNİN ÖLÇÜLMESİ ve DEĞERLENDİRİLMESİ

a) TR-1 Akım Harmonikleri Referans Değerleri

EPDA yönetmeliği Tablo-11 den istifade edebilmemiz için ölçü noktasındaki kısa devre akımını bilmemiz gerekmektedir. Kısa devre hesabı "jeneratörden uzak noktaya göre yaklaşık olarak hesaplanacaktır. Resim-13 deki şebeke planına bakıldığında tesiste kojeneratör sisteminin var olduğu ve ihtiyacın %60'dan fazlasını karşıladığı görülecektir. Çoğunlukla kojenerasyon devrede olduğuna göre bizce kısa devre hesabı kojeneratöre göre yapılmalıdır. Hem konumuz ve hem de kolay olmayan kısa devre hesaplarına girilmeyecektir. Şunun bilinmesinde yarar vardır. Bizce bu gibi hastanelerde REZONANS ihtimali de dahil edilerek tam bir kısa devre hesabı yapılması çok daha önemlidir.

Trafo değerleri

Güç: 1600 kVA, Kuru tip trafo, Un: 36/0,4 kV Empedans Uk= %6

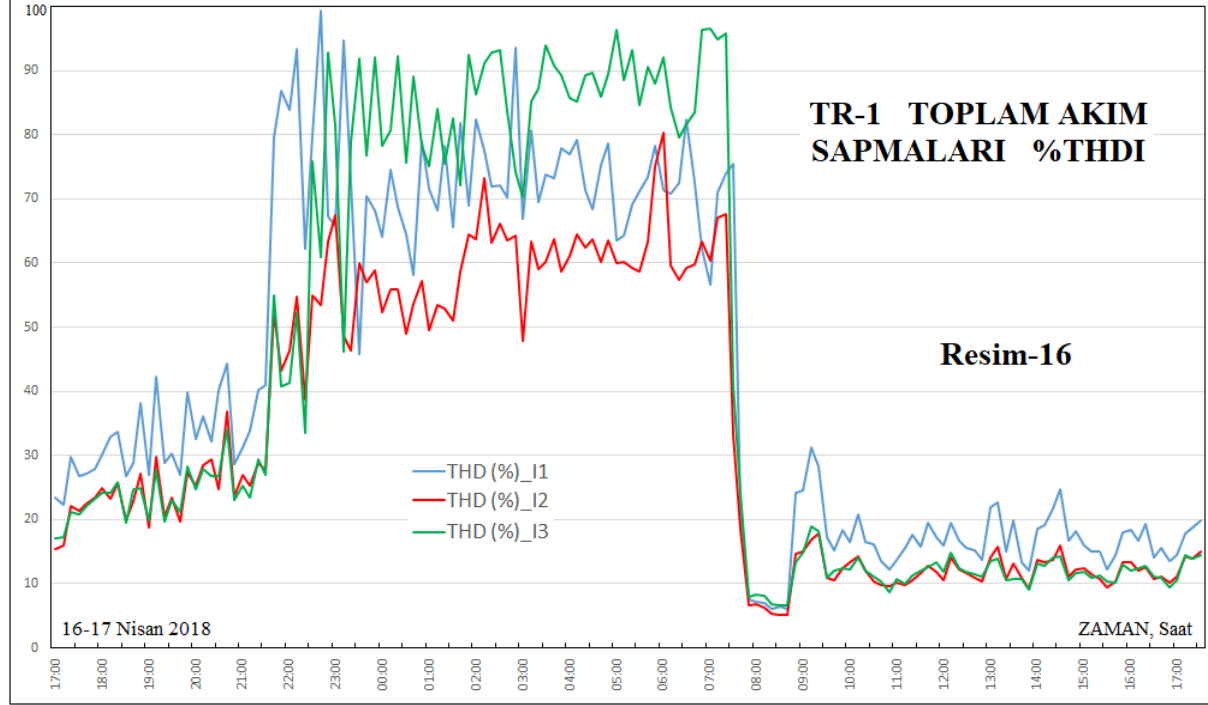
OG akım In pri=28 A , AG akım: In sec= 2300 A

$$I_k = I_n / \% u_k = 2300 / 0,06 = 36.333 \text{ A} = 36 \text{ kA}$$

Kojenerasyonun yakında olduğu düşüncesi ile kısa devre akımını 36 kA üzerinde $I_k=50 \text{ kA}$ almak bizce daha mantıklı olacaktır. Bu örnekte I_{sc}/I_k oranını belirlemek ve tablo-11 deki hangi satırın esas alınacağına karar vermek çok daha güçtür. Gündüz saatlerinde çekilen yaklaşık $I_L= 400 \text{ A}$ esas alındığında $I/I_L=50.000/400=125$ bulunmaktadır ki, bu durumda tablo-11 de "100<1000" satırı esas alınacaktır.

Yönetmelik Tablo-11: Akım harmonikleri için maksimum yük akımına (I_L) göre sınır değerler						
Tek Harmonikler						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TTB= THDI
<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	60,	2,5	1,4	20,0
Çift harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değerin %25'i ile sınırlanmıştır. TTB= Toplam talep bozulması ≈ THDI						
Isc = Kısa devre akımı, I _L = Yük akımı, h= harmonik sayısı						



b) TR-1 Toplam Akım Harmonik Bozulmaları, %THDi

Trafo-1 de ölçülen toplam akım harmonik değerleri resim-16 da görülmekte olup, ölçüler % 5 ile %95 arası geniş bir yelpazede seyretmektedir. Bunun nedeni gece harmoniklerin yüksek, gündüz çalışma saatlerinde ise düşük olmasıdır. Bizce önemli olan hastanenin ful yük çektiği gündüz saatlerindeki durumdur. Saat 09-17 arasındaki harmonikler resim-16 da görüleceği gibi %10 ile %20 arası değişmektedir ki bu değer tablo-11 satır "100<100" de verilen %15 THDi'nin üzerindedir. Gece saatlerindeki yüzde % harmonik değerleri yüksek ise de, bu görecelidir ve gerçek akım değerleri düşüktür.

Toplam gerilim harmonik sapmaları düşük ve kabule şayan iken, toplam akım sapmalarının yüksek çıkması bir tezat gibi gözüküyor ise de bizce önemli olan gerilim harmonikleridir. Harmonik uygulamalarında genelde %10 akım harmoniği THDi normal, %20 THDi ve üzeri ise riskli kabul edilmektedir. Bu bakımdan XXX hastanesi normal kabul edilebilir. Gece saatlerinde hem akım ve hem de gerilim harmonikleri bozuktur. Bu aralığı düzeltmek için bir yatırıma gerek var mıdır, sorusu akla geliyor ise de bizce şu aşamada gerek yoktur. Çünkü yapılacak bir yatırımın "haberleşme ve data iletimi hataları gibi" asıl sorunlarını çözebileceği garanti değildir.

c) TR-1 Münferit Akım Harmonikleri %THDi_h

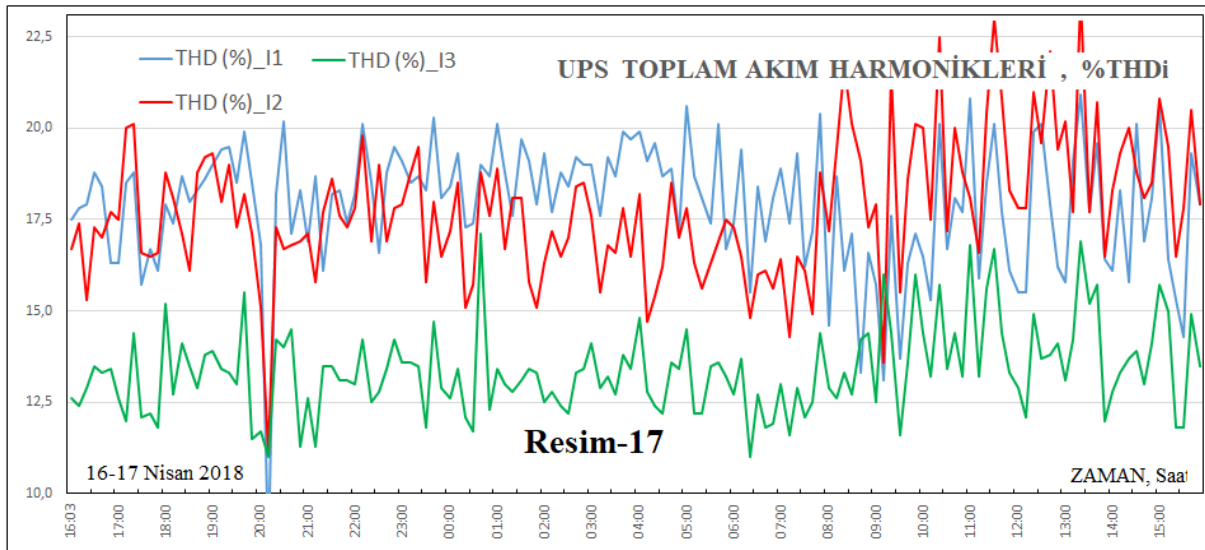
Harmonik analiz cihazı kayıtları tek tek incelenerek kaydedilen minimum ve maksimum değer aralıkları ve sınır değerleri aşım aşmadıkları aşağıda tablo-1a ve tablo-1b de gece ve gündüz saatleri birbirinden ayrılarak özetlenmiştir. Harmoniklerin gece saatlerindeki seyrine bakıldığında tablo-1a'da görüleceği gibi 13 harmoniğe kadarki tüm sapmalar yüksektir ve uygun durumda değildir. Tablo-1b'de gündüz saatleri seyrine bakıldığında ise yalnız 3 ve 9 sapmaların yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Münferit harmoniklerin zamana göre seyir grafikleri makalemize dahil edilmemiş ise de yorumları aşağıdaki gibidir.

Beşinci harmonik THDi5 gündüz saatlerinde %10 seviyesinde iken gece %100'lere kadar çıkmaktadır. Kompensasyon tesisinde 5.harmoniği süzen filtre olmasına rağmen, gece aşırı yükselmesi, akımın düşük olması nedeni ile kompensasyonun devreye girmemesinden kaynaklanıyor olabilir. Yedinci harmonik THDi7 gündüz %3-8 arası değişirken gece %100'e kadar fırlamaktadır. Bu artış muhtemelen aydınlatma aletlerinden kaynaklanıyor olabilir. 11

Harmonik aynı şekilde gece tavana vururken gündüzleri %3 seviyesinde kalmaktadır. Bu harmoniklerden özellikle 5, 11, 17 harmonikler üç fazın oluşturduğu döner alanın tersi yönde (negatif yönde) döndüklerinden frenleme etkisi yapmakta ve motorların titremelerine neden olmaktadır. Pozitif harmonik tabir edilen 7, 13 ve 19 harmonikler temel frekans (50 Hz) ile aynı yönde hareket ettiklerinden motor momentlerini artırıcı yönde, faydalı moment üretmektedirler.

Tablo 1a: EPDK Yönetmelik eki Tablo 11'e ve yukarıdaki hesap sonuçlarına göre elde edilen neticeler. TR-1 Saat 20-08 GECE SAATLERİ							
Harmonik sırası	% Sınır değer	Ölçülen değer %	Sonuç	Harmonik sırası	% Sınır değer	Ölçülen değer %	Sonuç
THD I	15	5-20	Uygun değil	I ₂	3,0	8-20	Uygun
I ₅	12	20-70	Uygun değil	I ₃	3,0	15-70	Uygun değil
I ₇	12	20-70	Uygun değil	I ₄	3,0	0,5-5,0	Uygun değil
I ₉	1,375	1,0-7,0	Uygun değil	I ₆	3,0	0,5-2,0	Uygun
I ₁₁	5,5	20-80	Uygun değil	I ₈	1,375	1,0-4,0	Uygun değil
I ₁₃	5,5	5-15	Uygun değil	I ₁₀	1,375	0,5-2,5	Uygun değil
I ₁₇	5,0	0,2-1,0	Uygun	I ₁₂	1,375	0,1-0,7	Uygun
I ₁₉	5,0	0,1-0,8	Uygun	I ₁₄	1,25	0,1-0,5	Uygun
I ₂₃	2,0	0,5-5,0	Uygun değil	I ₁₅	1,25	0,1-0,8	Uygun
I ₂₅	2,0	0,5-3,0	Uygun değil	I ₁₆	1,25	0,1-0,4	Uygun

Tablo 1b: EPDK Yönetmelik eki Tablo 11'e ve yukarıdaki hesap sonuçlarına göre elde edilen neticeler. TR-1 Saat 08-20 GÜNDÜZ SAATLERİ							
Harmonik sırası	% Sınır değer	Ölçülen değer %	Sonuç	Harmonik sırası	% Sınır değer	Ölçülen değer %	Sonuç
eTHD I	15	5-20	Uygun değil	I ₂	3,0	2-5	Uygun
I ₅	12	5-10	Uygun	I ₃	3,0	5-12	Uygun değil
I ₇	12	3-8	Uygun	I ₄	3,0	0-1,0	Uygun
I ₉	1,375	0,5-1,7	Uygun değil	I ₆	3,0	0,5-1,0	Uygun
I ₁₁	5,5	0,5-3,0	Uygun	I ₈	1,375	0,1-0,8	Uygun
I ₁₃	5,5	0,5-2,0	Uygun	I ₁₀	1,375	0,5-0,9	Uygun
I ₁₇	5,0	0,2-1,0	Uygun	I ₁₂	1,375	0,1-0,7	Uygun
I ₁₉	5,0	0,1-0,8	Uygun	I ₁₄	1,25	0,1-0,5	Uygun
I ₂₃	2,0	0,8-2,0	Uygun	I ₁₅	1,25	0,1-0,8	Uygun
I ₂₅	2,0	1,0-3,0	Uygun değil	I ₁₆	1,25	0,1-0,4	Uygun



d) UPS Toplam Akım Harmonikleri, %THDi

UPS şebekesinde EPDK sınır değerlerine göre bir kıyaslama yapmanın anlamı yoktur. Çünkü hastanenin kendi iç şebekesinde yer almaktadır. Toplam akım sapsmaları resim-17’de görülmekte olup, THDI değerleri %12 ile %20 arasında seyretmektedir. Akım harmoniklerinde:

- %10 THDI iyi,
- %10-20 THDI arası makul,
- > %20 THDI üzeri riskli” mantığına göre karar verebiliriz.

Buna göre UPS şebekesi akım harmonikleri makul yani kabul edilebilir seviyededir.

e) UPS Münferit Akım Harmonikleri, %THDi_n

Analizörümüzde kaydedilen 50 adet akım sapsmalarına baktığımızda 3, 5, 7 ve 9.harmoniklerin baskın olduğu ve bir miktar da 11 ve 13.harmoniklerin etkili olduğu görülmektedir. TR-1 deki gibi 23 ve 25.harmonikler hiç ortaya çıkmamaktadır. Tablo-1 benzeri harmoniklerin değişim aralığını gösterir bir tablo düzenlenerek aşağıda tablo-2 de özetlenmiştir.

Harmonikler			Harmonikler		
Sırası	% Ölçülen	Yorum	Sırası	% Ölçülen	Yorum
THD I	12-20	Makul	I ₂	0,20-2,5	Makul
I ₅	4,5-8,5	Yüksek	I ₃	8-18	Yüksek
I ₇	2,0-6,0	Yüksek	I ₄	0,20-0,80	Makul
I ₉	2,0-6,0	Yüksek	I ₆	0,20-1,50	“
I ₁₁	0,2-1,0	Makul	I ₈	0,05-1,75	“
I ₁₃	0,2-1,4	“	I ₁₀	0,05-1,25	“
I ₁₇	0,05-1,5	“	I ₁₂	0,05-0,80	“
I ₁₉	0,20-1,20	“	I ₁₄	0,05-0,80	“
I ₂₃	0,20-0,75	“	I ₁₅	0,50-1,75	“
I ₂₅	0,05-0,50	“	I ₁₆	0,05-0,70	“

7.5 ÖNERİLER

Harmoniklerin elektrik şebekesi üzerindeki etkileri ve yaptıkları zararları burada uzun uzun yazmanın ve saymanın anlamı yoktur. Harmonik gerilim ve akımları, diğer bir söz ile gerilim ve akım bozulmaları (sapsmaları) elektriğin doğası gereği her zaman mevcuttur. Ancak her hangi bir rahatsızlık duyulduğunda önlem alınmaktadır.

XXX Ankara Hastanesi yetkilileri “data kayıpları, iletişim ve haberleşme hataları gibi otomasyon sistemlerindeki arızalardan” şikayet etmektedirler. Bu tür şikayetler hastane, otel, AVM, ofis, gibi akıllı binaların tamamında mevcuttur. Kurulan otomasyon veya izleme tesisleri harmonik frekansların varlığına göre planlanmakta ve buna göre gereken yapılar kurulmaktadır. Diğer bir deyiş ile “otomasyon, izleme, haberleşme, internet ağı gibi” sistemleri kuran firmalar tesis sahibine “sizin elektrik şebekenizde harmonik var, aletlerimiz bu nedenle çalışmıyor ve arızalanıyor” gibi mazerette bulunamazlar. Bu gibi mazeretler mühendislik usul ve esaslarına aykırıdır. Çünkü diğer benzeri tesislerdeki harmonik frekansları belki adı geçen hastaneden çok daha yüksektir.

UPS şebekesinden beslenen DDC (direct digital control) panolarının bu şebekede var olan harmoniklerden etkilendiğini ve bu nedenle bağlı cihazların çalışmadığını düşünmek bizce yanlıştır. Bu durumda DDC panosunun öncelikle kendisinin arıza göstermesi gerekir. DDC ye bağlı zayıf akım cihazları fiziki bağlantıdan ziyade ortamda yani havada var olan harmonik akımların ürettiği manyetik alanlardan etkilenmekte ve indüklenen yüksek frekanslı gerilimler kablolardaki sinyalleri bozarak yanlış haberleşmeye yol açmaktadır. Yani akıllı binalarda haberleşme sistemi için riskli olan güçlü harmonik akımı üreten cihazlar ile bu cihazlardan beslenen aletlerdir. Örneğin frekans konverterleri (sürücü) ve bu sürücülerden beslenen elektrik motoru kabloları gibi yapılar ortama güçlü harmonik frekansı yaymaktadırlar. Bu nedenle sürücü çıkışlarında daima dışı metal kaplı (ekranla) kablo kullanılmaktadır. Burada vurgulamak istediğimiz UPS şebekesi harmoniklerinin filtreler ile süzülmesi, yok edilmesi veya azaltılması haberleşme sistemindeki şikayetleri bertaraf edemeyeceğidir.

Akıllı binalarda haberleşme sisteminin düzgün çalışması için İngilizce tabiri ile üç S sistemi uygulanmaktadır.

- 1) (Seperation) Ayırma: Zayıf akım kabloları ile güç kabloları ayrı tavalarda taşınır veya aynı tava içerisinde ise araya ayırma levhası yerleştirilir. Aşırı güç çeken aletler ile zayıf aletler aynı panodan beslenmez. Örneğin motorların kalkış anındaki yüksek akım ve gerilim düşümü aynı baradan güç çeken diğer panoda gerilim düşümüne ve arızaya neden olabilmektedir.
- 2) (Selection), Seçim. Güç kabloları harmoniklerin getirdiği ilave kayıplara dikkat edilerek seçilir. Haberleşme kablolarında ise bükülü (twisted), koaksiyal veya fiber optik kablo tercih edilir.
- 3) (Shielding), Ekran. Frekanslı güç kabloları ile haberleşme kablolarının tamamı ekranlı seçilmek zorundadır. Kablo ekranları panolarda toprağa bağlanmak zorundadır.

XXX hastanesinin kuruluşunda yukarıdaki hususlara dikkat edildiği söylenmekle birlikte yine de tesisin bir gözden geçirilmesinde yarar görülmektedir. Özellikle sürücü üzerinden çalışan motorların kablolarının ekranlı seçilip seçilmedikleri kontrol edilmelidir. Çünkü tesis kurucuları ucuz olması nedeni ile ekransız güç kablosu tercih etmektedirler. Kuruluş esnasında gözden kaçan bir yer olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bu nokta ihmal edilmemelidir. Çünkü motor beslemelerindeki harmonik frekansları güçlüdür ve otomasyon kabloları yakında olmasa dahi indüksiyon vasıtası ile havadan etkilemektedirler.

Haberleşme hatalarını düzeltmek maksadı ile aşağıdaki işlerin sırası ile uygulanması tarafımızdan tavsiye edilmektedir.

- 1) İlk yapılması gereken tüm DDC panoları kontrol edilerek varsa topraksız kablo ekranlarının toprağının tesisidir. DDC panolarından çıkan tüm haberleşme kabloları ekranlı seçilmiş olmalıdır. Uygulama esnasında ekransız ucuz kablo kullanılıp kullanılmadığı kontrol edilmeli ve varsa uygunsuz olanlar düzeltilmelidir.

DDC panosu gibi haberleşme ve zayıf akım panolarındaki tüm ekranlı kabloların ekranları panoda topraklanmalıdır. Cihaz tarafında topraklama tesis etmeye gerek yoktur. Ekranların topraklanması sinyalleri toprağa vererek kısa zamanda zayıflamasına sağlamakta ve bu yol ile parazitler önlenmektedir. Ölçümlerimiz esnasında DDC panosunun birinde ekranı topraklanmamış kabloların mevcudiyeti görülmüştür. Hastanenin tüm zayıf akım panoları gezilerek varsa eksiklik veya ihmaller düzeltilmelidir. Örneğin yangın panosu gibi tesisler ihmal edilmemeli ve gerekirse yalancı ikazlar gönderilerek haberleşmenin çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir.

- 2) İkinci yapılacak iş ise yukarıda bahsettiğimiz gibi sürücülerin çıkışındaki motor kablolarının ekranlı olup olmadıklarının ve ekranlarının panoda topraklanıp topraklanmadığının kontrolüdür. Hangi aletlerin frekans değişmeli sürücüler ile beslenip beslenmediği tarafımızdan bilinmemektedir. Tesisi tanıyan birileri tarafından denetlenmelidir.

Kablo ekranlarının topraklanmasından %99 bir sonuç alınması gerekir. Yine de sonuca ulaşamıyor ve haberleşme hataları halen devam ediyor veya arada bir arıza geliyor ise üçüncü kademe çalışma başlatılmalıdır.

- 3) Üçüncü kademe çalışma ise tesisin topraklamasının kontrolüdür. Bunun için iyi bir ölçüm yapılmalı ve özellikle hatalı sinyal gelen panolarda topraklamanın var olup olmadığı ölçtürülmelidir.

Hastanenin toprak hatları kontrol edilmeli ve kablo shaftı içerisindeki toprak hattında kopuk olup olmadığı ve varsa ek yerlerinde pas tutup tutmadığına bakılmalıdır. Ayrıca galvanizli şeritten bakır kabloya geçişler var ise kontrol edilmelidir. Normalde demirden bakıra geçişte özel ara bağlama elemanı kullanılıyor ise de tesisin kuruluşu esnasında unutulmuş noktalar var olabilir

Binanın kuruluşunda temel topraklaması var olup olmadığı tarafımızdan bilinmemektedir. Beton kolonlardan çıkan galvanizli şeritler var ise temel topraklaması kurulduğu anlamına gelir. Enerji tesislerinin topraklaması sonradan kuruldu ise güçlü bir topraklama tesis edilmemiş olabilir. Genellikle işin kolayına kaçılarak üç kazık çakıp toprak tesis edilmektedir. İlave topraklama yapılarak enerji tesislerindeki topraklama güçlendirilebilir. Kurulu tesiste uygulaması zor olduğundan bu ihtimal en son seçenek olarak alınmalıdır.

- 4) Trafoların nötr toprakları kontrol edilmelidir. TT veya TN şebeke uygulanıp uygulanmadığına bakılmalı ve TT şebeke uygulandı ise nötr direnci ölçtürülmelidir.

Tesiste sıfırlama yapıp yapılmadığı kontrol edilmelidir. Çünkü sıfırlamalı yani nötür hattı ile toprak hattının birleştirildiği şebekelerde parazit frekansları daha kolay yayılmaktadır. Bunun için nötür direnci ölçümü esnasında

trafodan ayrılan nötür damarının tesis tarafındaki toprak hattı ile birleştirilmiş olup olmadığı basit bir avometre veya toprak megeri ile llelebilmektedir.

- 5) Tüm bu çalışmalara rağmen bir sonuç alınmıyorsa ise harmonik akımların düşürülmesi yoluna gidilebilir. Bu maksat ile tesise dinamik harmonik filtre takılması tavsiye edilir.

Ekranlı kablo seçimi ve topraklama tedbirleri ile haberleşme sistemi düzeltilmiş olmalıdır. Eğer medikal cihazların harmoniklerden etkilendiğinden şüpheleniliyor ise ancak bu takdirde harmonik filtre takılması yolu tavsiye edilir. Her ne sebepten olur ise olsun bir harmonik filtre takılmasına gidiliyor ise jeneratörü etkileyip etkilemediği hususu, kojen tesisini kuran veya işleten firmaya danışılması tavsiye edilir.

Sonuç olarak, elektrik şebekesinin doğası gereği harmonikler her zaman mevcut olup, kabul edilebilir seviyededir. Medikal cihazlarda sorun yaşanmadığı sürece harmonik düzenlemesine gidilmesi tarafımızdan tavsiye edilmez. Otomasyon ve haberleşmelerde yaşanan problemlerin ise topraklama ve ekranlı kablo kullanımı ile önlenmesi gerekmektedir.

8.0 HARMONİKLER İLE İLGİLİ ÖNERİ ve SON SÖZ

Elektronik cihazların gelişmesi, iş ve ev ortamında hayatımızın hemen her yerinde yer alması harmonik sorunlarını beraberinde getirmektedir. Buna bir nevi teknoloji veya medeniyet hastalığı da diyebiliriz. Diğer taraftan aklımıza EDISON ve Westinghous arası yaşanan “doğru akım mı” alternatif akım mı” veya AC mi DC mi polemigi de gelmiyor değil. Harmonikleri doğuran, genelde AC’den DC’ye veya DC’den AC’ye geçişlerdir. Bu bakımdan harmonikleri DC’nin AC attığı tokat gibi de düşünebiliriz. Bunlar işin magazin yanı sıra de HARMONİKLER elektrikle ilgilenenlerin ayrılmaz bir parçasıdır. Harmonikler her zaman her yerde mevcuttur. Bunlarla barışık yaşamayı bilmek zorundayız.

Bu makalemizde vurgulamak istediğimiz nokta harmoniklerle savaşta MERKEZİ FİLTRE Mİ, MÜNFERİT FİLTRE Mİ sorusuna açıklık getirmektir. Bizce harmonikler, g faktörü (Cos Fİ) düzenlemesine birebir benzetilebilir. EPDK’nın konu ile ilgili yönetmelikleri şu an zorunlu değildir. İlk yayımlandığı yıllarda zorunlu imiş gibi zamanın elektrik dağıtım kuruluş TEDAş tarafından abonelere ikaz yazıları gönderilmiş ise de uygulamanın basit olmadığı görülünce üzerinde durulmamış bir nevi sumen altı edilmiştir. Muhtemelen peşinde koşan, kısa yoldan köşeyi dönmek isteyen holdingler olmadığı için de üzerinde durulmamış olabilir. Gün gelir birileri hortlatabilir. Kısaca g faktöründe olduğu gibi “cezadan kurtulmak” maksadı ile filtre yerleştirilecek ise ilk akla gelen merkezi filtre uygulamasıdır. Makalemizde verdiğimiz örnek ile açıklamaya çalıştığımız gibi eğer harmonikler sizi yani elektrik şebekenizi rahatsız ediyor ise uygulamanız gereken münferit filtredir. Bu işin en kestirme ve faydalı olan zm ise ekipman temininde EMC uyumluluk standartlarına (IEC 61000 serisi standartlar) dikkat etmek ve az harmonik üreten kaliteli cihazlar satın almaktan geçmektedir.

19 Mayıs 2020

Yazan: Elektrik Yük. Müh.
M. Kemal SARI

NOT: Soru sormak, bilgi almak veya vermek için kemalsari45@gmail.com veya kemal.sari@emo.org.tr

	LİTERATÜR, FAYDALANILAN KAYNAKLAR
1	TS EN 50160: Genel Elektrik Şebekesi Tarafından Sağlanan Elektrik Gerilim Karakteristikleri (Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity network)
2	6) ANSI/IEEE 519-1992: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems (Revision 2014)
3	7) EPDK Yönetmelikleri: a) 21.12.2012 tarihli ve 28504 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği" b) 10.11.2004 tarihli ve 25639 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği"
4	IEC 61000 serisi standartlar
5	Harmonic Analysis Using FFT and STFT Rajesh Ingale Department of Electrical Engineering V.D.F.School of Engineering and Technology, Latur, India International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition Vol.7, No.4 http://dx.doi.org/10.14257/ijsp.2014.7.4.33 , ISSN: 2005-4254 IJSIP Copyright © 2014 SERSC
6	Fluke Corporation Störungssuche bei Oberschwingungen: Störungssuche bei Oberschwingungen Grundlegende Fehlersuche mit Multimetern und Stromzangen Anwendungsbericht
7	SCHNEIDER, Cahier technique no. 152 Harmonic disturbances in networks, and their treatment C. Collombet, J.M. Lupin, J. Schonek, ECT 152 first issue, December 1999
8	SCHNEIDER, Harmonic mitigation Solution Handbook Schneider Electric Industries SAS, http://www.schneider-electric.com
9	Annex B2: Achieving quality and reliability of supply in modern buildings Paper taken from ERA Report 99-0560 Optimising Building Services: Making Business Sense, Selected Papers, September 1999, ISBN 0 7008 0699 7, available from ERA Technology Ltd
10	Power Quality Standards: Application and Enforcement Issues Hj Abdul Aziz Bin Hj Abdul Rahman, Deputy Director Electricity Supply Department
11	Six tough topics about harmonic distortion and Power Quality indices in electric power systems A white paper of the Schaffner Group, Written by Alexander Kamenka
12	ABB Technische Anleitung Nr.:6 Netzoberschwingungen bei AC-Antrieben Technical guide No. 6: Guide to harmonics with AC drives
13	Harmonic Design Considerations Michael Leporace – Specification Engineer, GE Consumer & Industrial
14	Practical Aspects of Rogowski Coil Applications to Relaying, IEEE Special Report 2010
15	Understanding Input Harmonics and Techniques to Mitigate Them Mahesh M. Swamy, Yaskawa Electric America
16	SCHNEIDER: Low voltage expert guide, Harmonic detection and filtering
17	Power Quality Requirements and Responsibilities at the Point of Connection, Sharmistha Bhattacharyya
18	Analysis of harmonic distortion limits in IEC and IEEE standarts Electrical power quality and utilisation Vol.V. No 2, 1999, A.Prudenzi, E.Tironi, D.Zaninelli