

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Güç Kalitesi Ölçüm ve Değerlendirme Raporu

Adana BTÜ, Elektrik-Elektronik Mühendisliği (EEM) Bölümü tarafından hazırlanan bu rapor, Firmanızın/Şirketinizin yetkililerini şebekeden aldığı elektrik hizmet kalitesi ve tesisinizin şebekeye verdiği veya dışarıdan etkilendiği gerilim ve akım harmonikleri hakkında bilgilendirmek amacı ile hazırlanmıştır. Ölçüm sırasında güç kalitesi cihazı olarak “HIOKI PW3198” kullanılmıştır. Bu cihaz “Trafo Merkezleri OG-AG Güç kalitesi Ölçüm Teknik Şartnamesinde” yer alan “IEC61000-4-30 Sınıf A” standardına göre ölçüm yapmakta ve raporlamaktadır. Sunulan bu rapor 9 sayfadan oluşmakta olup, ilk 6 sayfası teknik bilgi ve öneriler sonraki 3 sayfası ölçüm sırasında elde edilen verilerin ve grafiklerin ölçüm sırasına göre sunulmasıyla hazırlanmıştır.

EEM Bölümü tarafında sunulan güç kalitesi ölçüm ve raporlama hizmetinin resmi kurumlarda kullanılabilmesi için ölçümlerin aynı şartnamede belirtilen 7 günlük süre boyunca ölçümler kesintisiz, etkin değerlerin minimum, maksimum ve ortalama olarak bir saniyelik ortalamalar olarak kaydedilecektir. Kaydedilen birer saniyelik verilerden ölçülen değişkenin etkin değerlerinin onar dakikalık ortalama değerlerinin değişimi raporda sunulması ve grafiksel olarak gösterilmesi gereklidir.

Saygılarımızla.

Yrd. Doç. Dr. Lütfü SARIBULUT

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Öğretim Üyesi

1. Harmonik Kavramı ve Nedenleri

Elektrik enerjisi, temiz, kullanımı ve kontrolü kolay olan enerji türlerinden birisidir. Su gücü (hidrolik), rüzgâr, güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilebildiği gibi fosil ya da nükleer yakıtlardan da elde edilebilmektedir. Genelde yerleşim yerlerinin uzağında bulunan kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi, kayıpları azaltmak amacıyla yüksek gerilimlere çıkarılarak dağıtılır, Türkiye’de elektrik enerjisi AC şeklinde iletilmekte ve dağıtım noktasında alçak gerilimlere indirilerek dağıtılmaktadır. **Güç kalitesi olgusu**, şebeke geriliminin genlik ve frekans değerlerini, anma değerlerinde tutması ve gerilim dalga şeklinin sinüs biçimini bozmadan muhafaza etmesi olarak tanımlanmaktadır. Başlıca güç kalitesizliği biçimleri olarak gerilim genliğinin dalgalanması, kesintiler, darbesel değişimler, frekansın değişimi, kırışma ve üç faz dengesizlikleri olarak görülmektedir. Genelde güç kalitesi, şebekeden enerji çeken kullanıcılar (yükler) tarafından bozulmaktadır. Gerilim dalga şeklinin sinüs biçiminden sapması ve dalga formu bozulmaları başta harmonikler olmak üzere istenmeyen etkiler göstermektedir.

Elektrik dağıtım şebekesinde gerilimin dalga formu sinüs şeklindedir. Aynı şekilde, şebekeden çekilen akımın da sinüs şeklinde olması beklenir. Ancak günümüzde elektrik şebekelerinde saf sinüs şeklindeki gerilim ve akım dalga şekilleri çeşitli nedenler ile sinüs şekline farklı bir duruma gelmeye, yani harmonik içermeye başlamıştır. **Harmonik kavramı**, temel **Fourier Teoremine** göre, herhangi bir periyodik (kendini tekrar eden) dalga şeklini temel bileşen frekansındaki bileşen ve temel bileşenin katlarındaki frekanslardaki bileşenlerin toplamı olarak matematiksel ifade edilebilir. Dağıtım şebekesindeki gerilimin frekansı 50Hz’dir. Bu durumda elektrik şebekesinde karşılaşılabileceğimiz herhangi bir dalga şeklini 50Hz frekansındaki bir temel bileşen ve 50Hz’in katları olan frekanslardaki çeşitli bileşenlerin toplamı olarak karşımıza çıkar. Elektrik şebekelerindeki dalga şekillerinin simetri özellikleri nedeni ile çift katsayılı harmonik bileşenler ile (2. harmonik, 4. harmonik gibi) genellikle karşılaşmaz.

Günümüzde harmoniklerin oluşmasının temel nedeni modern enerji dönüşüm teknikleri kullanan güç elektroniği cihazlarının sayısındaki hızlı artıştır. Örneğin birçok uygulamada verimlilik ve kontrol olanakları gibi nedenler ile elektrik motorları, motor sürücüler tarafından kontrol edilmektedir. Bir güç elektroniği cihazı olan motor sürücüsü, şebekeden harmonik içerikli akım çekmektedir. Endüstriyel tesislerde ve iş merkezlerinde yoğun olarak karşılaşılabilecek harmonik içerikli akım çeken cihazlara motor sürücüsü, kesintisiz güç kaynakları, doğrultucular (redresörler), akü şarj cihazları, endüksiyon ocakları, bilgisayarlar ve ofis cihazları ve elektronik balastlı deşarj lambaları örnek verilebilir. Ayrıca, ark ocakları ve dengesiz yüklenmiş motorlar gibi güç elektroniği devreleri içermeyen devre elemanları da harmonik üretirler. Şebekeden harmonik içerikli akım çekilmesi sonucunda şebeke empedansı üzerinde harmonik frekanslarında gerilim düşümleri oluşur ve bu şekilde gerilim de harmonik içerikli duruma gelir.

Harmoniklerin olumsuz etkileri kısaca şu şekilde sıralanabilir:

- Kompanzasyon kondansatörlerinin çok kısa sürede bozulması,
- Kompanzasyon kademe sigortalarının veya kompanzasyon şalterinin açması,
- Şalterlerde ve diğer koruma sistemlerinde anlamsız açmalar,
- Dağıtım transformatörünün beklenenden fazla ısınması,
- Özellikle hassas elektronik cihazlarda hatalar, anlamsız arıza kodları ve duruşlar,
- Ölçüm sistemlerinde hatalar,
- İletişim sistemlerinde parazitler,
- Rezonans oluşturarak şebekeden aşırı akım ve gerilimlerin oluşması,
- Enerji taşıma hatlarında dalgalanmalar meydana gelmesi,
- Röle sinyallerinin bozulması ve anormal çalışması,
- Makinalarda mekanik titreşimler,
- Nötr-toprak arası gerilimlerin yükselmesi,
- PLC programların silinmesi,
- Hassas cihazların gerilim veya frekans arızası gibi nedenler ile durması veya arıza durumuna geçmesi.

2. Ölçüm Yapılan Şirket / Firma ile İlgili Bilgiler

Şirket İsmi: Muhtelif Firma

Şirket Temsilcisi: Muhtelif Kişi

Şirket Adresi: ADANA

Şirket/ Temsilcisi Telefonu: 0 322 000 00 00

3. Ölçüm Hizmeti ile İlgili Bilgiler

Ölçümün Konusu: Güç Kalitesi Ölçüm ve Raporlama Hizmeti

Ölçüm Nedeni: Ölçüm yapılan noktalarda bulunan harmoniklerin tespiti

Ölçüm Tarihleri: .../.../2014

Ölçümde Kullanılan Cihaz: HIOKI PW3198

Ölçüm Referansı: 0000000

Adana-Mersin yolu üzerinde faaliyetini sürdüren Muhtelif Firması'na ait fabrika içerisinde bulunan trafonun alçak gerilim tarafında bulunan akım ve gerilim trafolarında, faz-nötr gerilimleri ve hat akımlarının ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler iki aşamada gerçekleştirilmiş olup, sonuçlar bu iki aşamaya göre incelenmiştir. Birinci aşamada kompanzasyon sistemi beşer dakikalık sürelerle devre dışı bırakılmış, ikinci aşamada kompanzasyon tekrar devre alınarak uzun süreli ölçümler yapılmış ve sonuçlar sunulmuştur.

4. Sonuçlarda Verilen Tabloların Yorumlanması

Raporda sunulan altı adet ölçümün verileri, kompanzasyon sistemi devre dışı ve devrede olma durumuna göre alınmış olup, gerekli matematiksel değerlendirmelerden sonra tablolar halinde yukarıda sunulmuştur. Bu ölçümlerin dört âdeti trafoların alçak gerilim tarafında, bir âdeti trafonun yüksek gerilim tarafında bulunan akım ve gerilim trafolarında ve bir âdeti ise evireç (inverter) çıkışı üzerinden yapılmış olup, sunulan tüm ölçüm değerleri, son kayıt anındaki verilerin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

Her ölçüm için ikişer adet tablo sunulmuş olup, diğer ölçüm tablolarıyla özdeş yorumlar yapılabilir. Ölçüm sonuçlarının birinci tablolarında (Tablo-1.3.5.7.9.11.), ilk iki satır hat akım ve faz gerilimlerinin temel birleşen değerleri verilmiştir. Üçüncü satırında Görünür Güç (S) sunulmuştur. Görünür güç değerinin içinde, harmoniklerin sisteme verdiği olumsuz reaktif güç birleşeni de bulunmaktadır. Dördüncü satırda Aktif Güç (P), beşinci satırda Reaktif Güç (Q) ve altıncı satırda Harmonik Bozunum Gücü (B) verilmiştir. Tablodaki değişkenlerin tamamı cihaz tarafından sunulan veriler olmayıp, tarafımızdan hesaplanmaktadır. Ayrıca, ölçüm cihazı tarafından hesaplanan reaktif güç " Q^2+B^2 " değerinin kareköküne eşittir. Yedinci satırda Güç Faktörü (Pf) sunulmuştur. Aynı tablo içerisinde ölçüm yapılan trafonun (*Trafo*) sütununda birinci ve ikinci sargı gerilim oranları, gücü ve Kısa Devre Akımı (I_{kisa}) değerleri de sunulmuştur.

Toplam Talep Bozunumunun (TTB) yasal sınırları I_{kisa} 'nın yük akımına oranının ($I_{kisa}/I_{yük}$); EPDK'nın "*Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmeliği'nde*" sunulan Tablo-11'deki karşılığına göre değerlendirilmektedir. Ölçüm sonuçlarının ikinci tablolarında (Tablo-2.4.6.8.10.12), akım-gerilim harmonik ölçümlerinin yüzdelik değerleri (%) sunulmuştur. Bu tabloların gerilim değerlerine ait olan kısmındaki ilk sütunu, harmoniklerin derecelerini (N_0), ikinci ve beşinci sütunları (V_a , V_b ve V_c) arasında her faz için harmoniklerin yüzdeleri verilmiştir. En son sütün da ise her harmoniğin yine aynı EPDK yönetmeliğindeki Tablo-10'da belirlenen sınıra eşit veya küçük olması gerekmektedir. En alt satırda ise her faz için Toplam Harmonik Bozunum (THB) ve yasal sınırı verilmiştir.

Ölçüm sonuçlarının ikinci tablolarında, akım değerlerine ait olan kısmındaki iki ve beşinci sütunlar (I_a , I_b ve I_c) arasında harmonikler Tablo-11'e göre gruplanmış olup, her grubun TTB değeri paralelinde verilmiştir. Yine gerilim için verilen tablodakiyle aynı olarak sınır TTB ve toplam TTB değerleri de verilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Raporun EK'ler kısmında EPDK'nın yönetmeliğinde verilen Tablo-10 ve Tablo-11'de sunulmuştur.

Ölçüm Noktası (A-fazı için)

- Kompanzasyon Devre Dışı (KDD) durumda Harmonik Bozunumun (B), Görünür Güce (S) oranı (B/S) %17 iken Kompanzasyon Devre İçi (KDİ) durumda %35 olması sistemin B değerini azaltamayıp artırıcı etkisi olduğu rahatlıkla görülmektedir. Ayrıca, Q değerinin 0,272'den 0,061'e düşmesi kompanzasyon sisteminin görevini yaptığı ancak var olan B değeri kadar yetersiz olduğunu göstermektedir.
- Evireçli sistemlerde bulunan gerilim harmonikleri görülmekte olup, KDİ durumundayken hem 5. ve 7. harmoniklerin bireysel olarak hem de THB 'nin yasal sınırları aştığı görülmektedir.
- Evireçli sistemlerde bulunan akım harmonikleri görülmekte olup, hem grup harmonikleri olarak hem de TTB olarak yasal sınırları aştığı görülmektedir.
- Harmonik içeriklerde, trafoya bağlı cihaz veya cihazların KDD ve KDİ durumundayken %1-%3 değerleri arasında 3. ve 9. harmonikleri ürettiği görülmüş olup, değerinin en kısa zamanda azaltılması gerekmektedir.
- 1.ölçüm noktasında ".../.../2014" tarihinde sırasıyla 08.52, 20.23 ve 20.30 saatlerinde gerilim kesintisi ve buna bağlı olarak frekans ve seviye değişimleri meydana gelmiştir.

5. Öneriler

- Genel olarak yüklerinizin yaydığı harmonik seviyeleri EPDK'nın standartları üzerinde olup, kompanzasyon sisteminde kullanılan kondansatörlerle yüksek oranda rezonansa girme ihtimali bulunmaktadır. Bu durumda hem kondansatörler hem de hassas yüklerinize zarar görecektir.
- Ölçüm sonuçlarına bakıldığında, tarafımızdan ilk düşünülen kompanzasyon sisteminin var olan B değerlerinden olumsuz etkilendiğinden dolayı randımanlı olarak çalışmadığıdır. Çözüm önerisi olarak var olan pasif kompanzasyon yerine, yüksek seviyeli harmoniklere dayanabilecek, harmoniklerde rezonansı bastırarak şekilde yapılacak filtreleme ile THD seviyesini EPDK'nın sınırları altına indirecek güçlendirilmiş tip **Pasif Harmonik Filtreli Kompanzasyon Sistemi** uygun görülmektedir.
- Eğer, önerilen metot tarafınızdan uygun bulunmazsa, muhakkak var olan harmoniklerinizi azaltacak aktif veya pasif filtreli sistemler kurularak seviyelerinin düşürülmesi, daha sonra var olan kompanzasyon sistemin revize edilmesi gerekecektir.
- Gerilim ve akımda bulunan harmonik içerikler benzer olduklarından dolayı fabrikanızda bulunan yükler ve cihazlar harmonik kaynağı olarak davranmakta olup, dışarı şebekeden gelen herhangi bir harmonik birleşen olmadığı düşünülmektedir.
- Harmonik içeriklerde 3., 9. ve 15. harmoniklerin olduğu görülmüş olup, değerinin en kısa zamanda azaltılması için filtreleme sistemin kurulması gerekmektedir.
- Genelde fabrikalarda ve tesislerde trafoların tam yükte çalışmadığı görülmektedir. Bu da trafolarla bağlı noktalarda harmonik değerleri arttıracak yönde olumsuz etki yapacaktır. Bu sebepten trafolarınızın yüklenme oranlarını tam yükte olacak şekilde düzenlenmesi tarafımızdan tavsiye edilir.
- Motor sürücülerini için giriş ve çıkış reaktörleri kullanılması halinde kendi ürettikleri harmoniklerin seviyeleri de azaltılmış ve böylece, fabrikadan veya dışarıdan gelen harmoniklerin etkileri böylelikle azaltılmış olacaktır.
- Sistemde yapılacak revizyonlardan sonra dışarıdan gelen harmoniklerden etkilenip etkilenmediğini tespiti için düzenli ölçümler yapılması tarafımızdan önerilmektedir.

İş bu rapor, Firmanızın/Şirketinizin yetkililerini şebekeden aldığı elektrik hizmet kalitesi ve tesisinizin şebekeye verdiği veya dışarıdan etkilendiği gerilim ve akım harmonikleri hakkında bilgilendirmek amacı ile hazırlanmış olup, 9 sayfadan oluşmaktadır. İlk 6 sayfası teknik bilgi ve öneriler sonraki 3 sayfası ölçüm sırasında elde edilen verilerin ve grafiklerin ölçüm sırasına göre sunulmasıyla hazırlanmıştır.

Lütfü SARIBULUT
Elektrik-Elektronik Yüksek Mühendisi

6. EKLER

TABLO 10-Gerilim Harmonikleri için Sınır Değerler

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				

TABLO 11-Akım Harmonikleri için Maksimum Yük Akımına (IL) göre Sınır Değerler

Tek Harmonikler						
I_{sc}/I_L	<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	6.0	2.5	1.4	20.0

Çift harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değerlerin %25'i ile sınırlandırılmıştır.

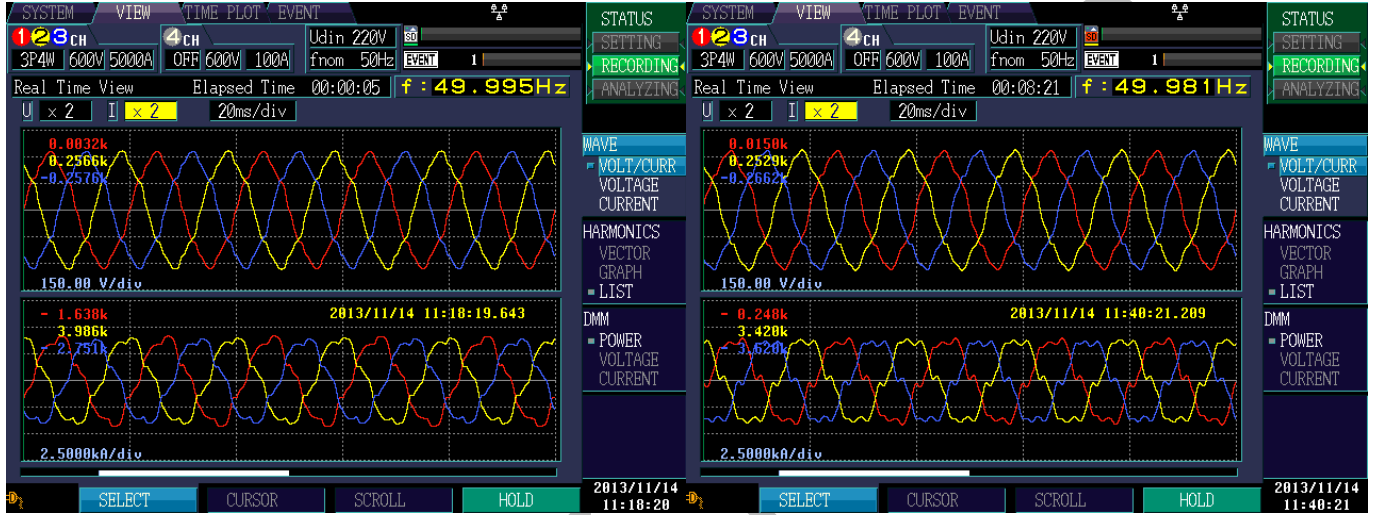
7. KISALTMALAR

- S* – Görünür güç
- P* – Aktif Güç
- Q* – Reaktif Güç
- B* – Harmonik Bozunum Gücü
- P_f* – Güç faktörü
- TTB* – Toplam Talep Bozunum
- THB* – Toplam Harmonik Bozunum
- KDD* – Kompanzasyon Devre Dışı
- KDİ* – Kompanzasyon Devre İçi
- FFT* – Hızlı Fourier Analizi

8. Ölçümlerden elde edilen veriler

a. 1. Ölçüm Noktası Sonuçları

“Trafo -1” noktasında kompanzasyon beş dakikalık süre boyunca devre dışı bırakılarak ilk ölçüm, daha sonra devreye alınarak uzun süreli olan ikinci ölçüm tamamlanmıştır. Bu ölçümlere ait ilk andaki akım ve gerilimin görüntüleri Şekil 1’de ve trafon oranları Tablo 1’de verilmiştir. Ölçüm cihazının son kayıt anındaki hat-akımları ve faz-gerilimlerinden elde edilen verilere göre, güç değerleri ve güç faktörleri Tablo 1’de, aynı veriler kullanarak Fourier Analiz (FFT) yardımıyla hesaplanan ve sisteme zarar verebileceği düşünülen harmoniklerin yüzdeleri Tablo 2’de sunulmuştur. Sisteme ait parametrelerin (S , P , Q , P_f , THB ve TTB) ikinci ölçüm süresi boyunca ortalama değişimleri grafiksel olarak Şekil 2’de verilmiştir.



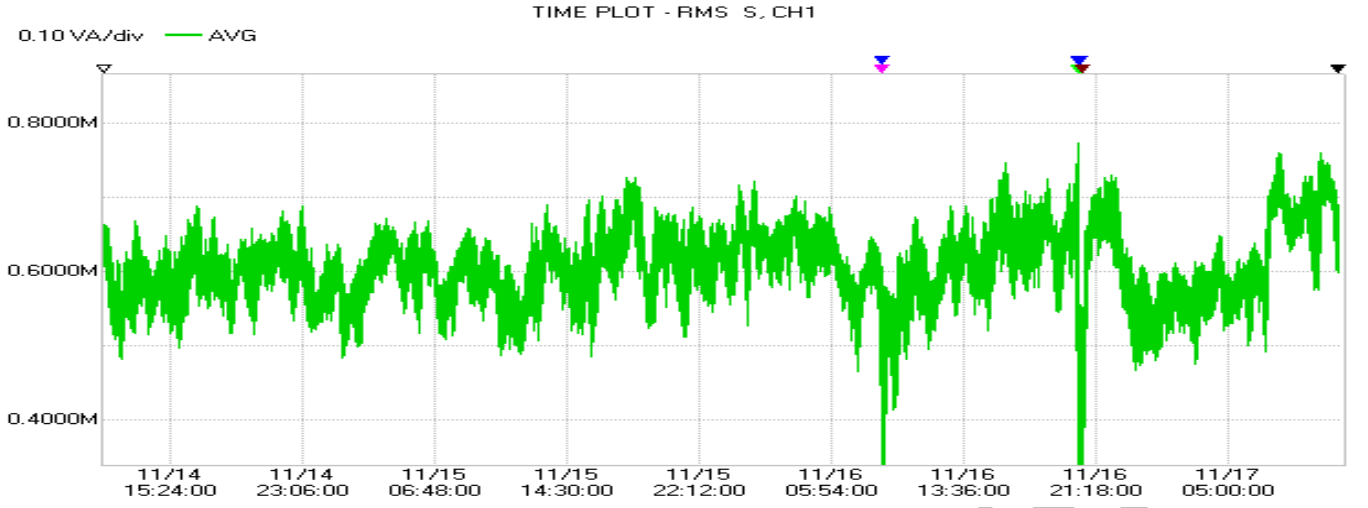
Şekil 1: Kompanzasyon devre dışıyken (solda) ve devredeyken (sağda) cihazdan alınan anlık görüntüler

Tablo 1. Kompanzasyon devre dışıyken ve devredeyken tesisin şebekeden çektiği güç değerleri ve trafo oranları

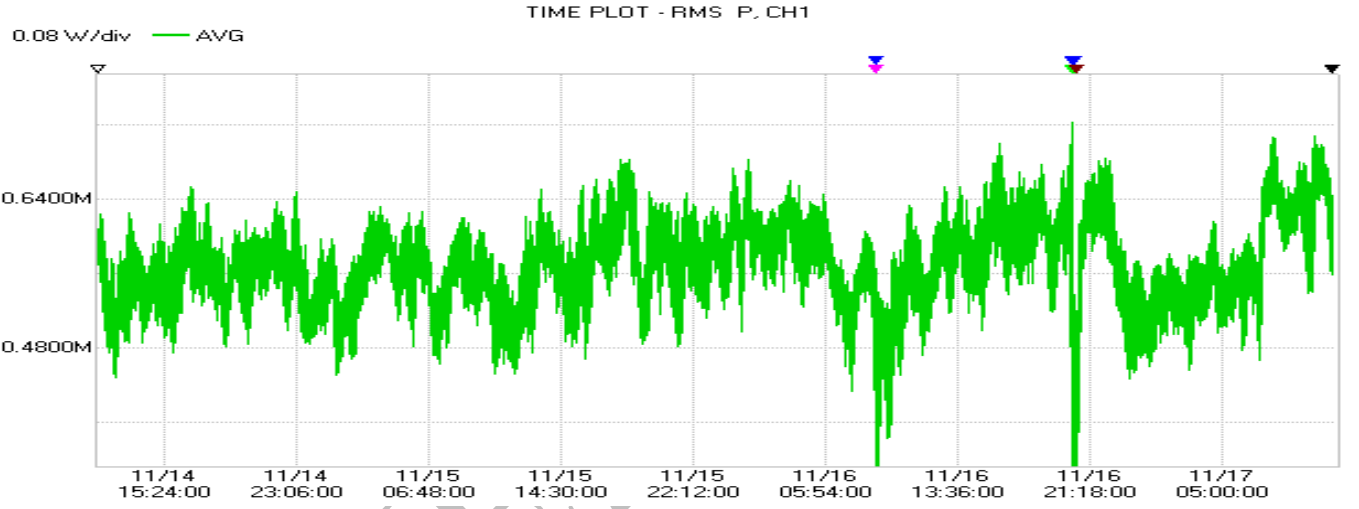
Sistem Verileri (Kompanzasyon Devre Dışı)					Sistem Verileri (Kompanzasyon Devrede)				
	A Fazı	B Fazı	C Fazı	Trafo		A Fazı	B Fazı	C Fazı	Trafo
V(kV)	0,221	0,223	0,221	30,00 0,40	V(kV)	0,228	0,230	0,227	30,00 0,40
A(kA)	2,844	2,825	2,753	41,24 (Ikısa)	A(kA)	2,763	2,804	2,665	41,24 (Ikısa)
S(MVA)	0,630	0,630	0,608	2,00	S(MVA)	0,629	0,644	0,606	2,00
P(MW)	0,557	0,577	0,554	P _{top} = 1,69	P(MW)	0,585	0,604	0,567	P _{top} = 1,76
Q(MVAr)	0,272	0,228	0,225	Q _{top} = 0,73	Q(MVAr)	0,061	0,007	0,004	Q _{top} = 0,07
B(MVAr)	0,111	0,111	0,107	B _{top} = 0,33	B(MVAr)	0,223	0,223	0,215	B _{top} = 0,66
Pf	0,884	0,915	0,912	Top. Kul. Güç	Pf	0,930	0,938	0,935	Top. Kul. Güç
Ikısa/Iyük	14,502	14,601	14,982	1,87 (MVA)	Ikısa/Iyük	14,928	14,710	15,477	1,88 (MVA)

Tablo 2. Kompanzasyon devre dışıyken ve devredeyken harmoniklerin değerleri ve yasal sınırları

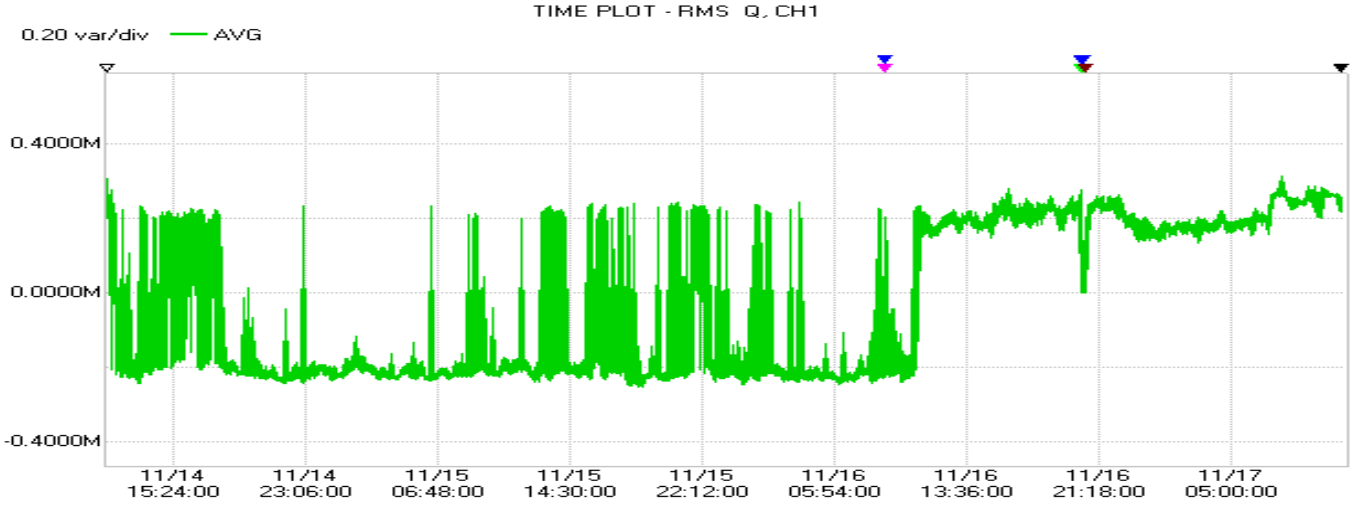
Kompanzasyon Öncesi Gerilim THB (%)					Kompanzasyon Sonrası Gerilim THB (%)					Kompanzasyon Öncesi Akım TTB (%)					Kompanzasyon Sonrası Akım TTB (%)					
No	VA	VB	VC	Sınır THB	No	VA	VB	VC	Sınır THB	No	IA	IB	IC	Sınır TTB	No	IA	IB	IC	Sınır TTB	
3	0,249	0,409	0,254	≤ 5,0	3	0,411	0,601	0,425	≤ 5,0	3	1,661	1,359	0,992		3	2,882	2,295	1,394		
5	5,835	5,904	5,929	≤ 6,0	5	10,613	10,926	11,317	≤ 6,0	5	10,880	10,936	10,992		5	28,222	28,034	30,080		
7	0,856	1,074	0,953	≤ 5,0	7	5,048	5,332	4,839	≤ 5,0	7	2,476	11,282	2,599	11,336	≤ 4,0	7	15,965	32,566	15,922	32,334
9	0,186	0,445	0,413	≤ 1,5	9	0,482	0,206	0,558	≤ 1,5	9	0,149	0,503	0,381		9	0,899	0,821	0,938		
11	2,019	2,080	2,052	≤ 3,5	11	0,924	1,281	1,108	≤ 3,5	11	3,187	3,284	3,436		11	2,132	2,445	2,511	2,475	
13	1,480	1,388	1,448	≤ 3,0	13	0,336	0,316	0,279	≤ 3,0	13	2,199	3,884	1,918	3,815	≤ 2,0	13	0,575	0,551	0,416	2,511
17	0,919	0,422	0,912	≤ 2,0	17	0,097	0,149	0,124	≤ 2,0	17	0,974	0,456	0,929		17	0,289	0,289	0,372		
THB	6,53	6,65	6,66	≤ 8,0	THB	11,81	12,25	12,38	≤ 8,0	18	0,007	1,144	0,011	0,929	≤ 1,5	18	0,008	0,308	0,022	0,304
										20	0,007	0,007	0,007	≤ 1,5	20	0,011	0,308	0,007	0,304	
										21	0,216	0,146	0,055		21	0,030	0,015	0,016	0,378	
										TTB	11,99	12,00	12,03	≤ 5,0	TTB	32,64	32,43	33,64	≤ 5,0	



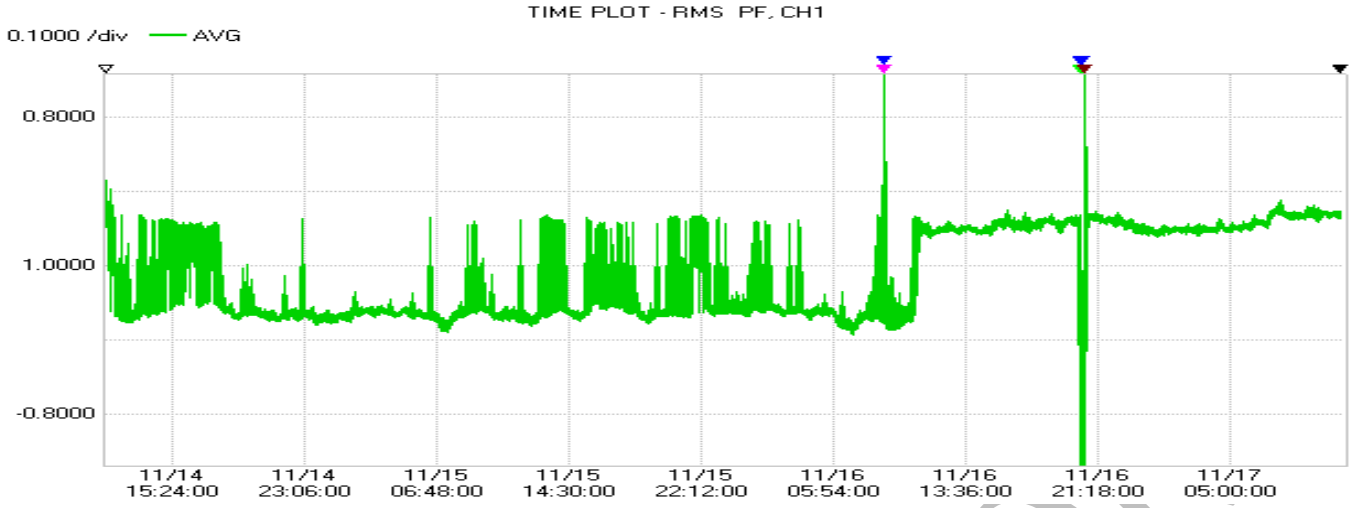
Şekil 2.a) Görünür Güç (S_a)



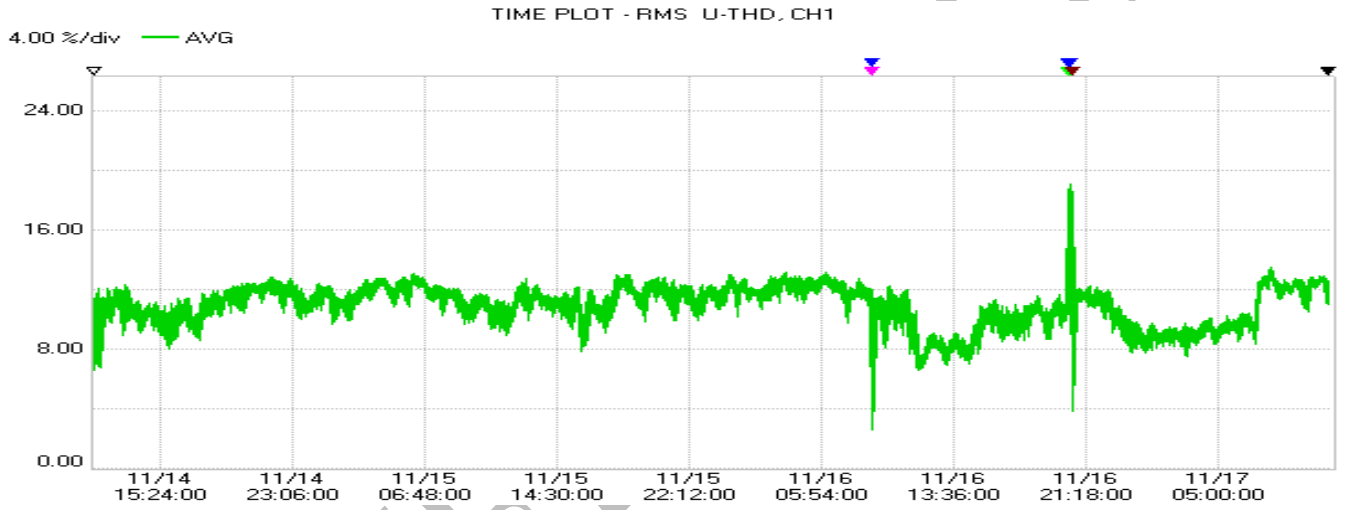
Şekil 2.b) Aktif Güç (P_a)



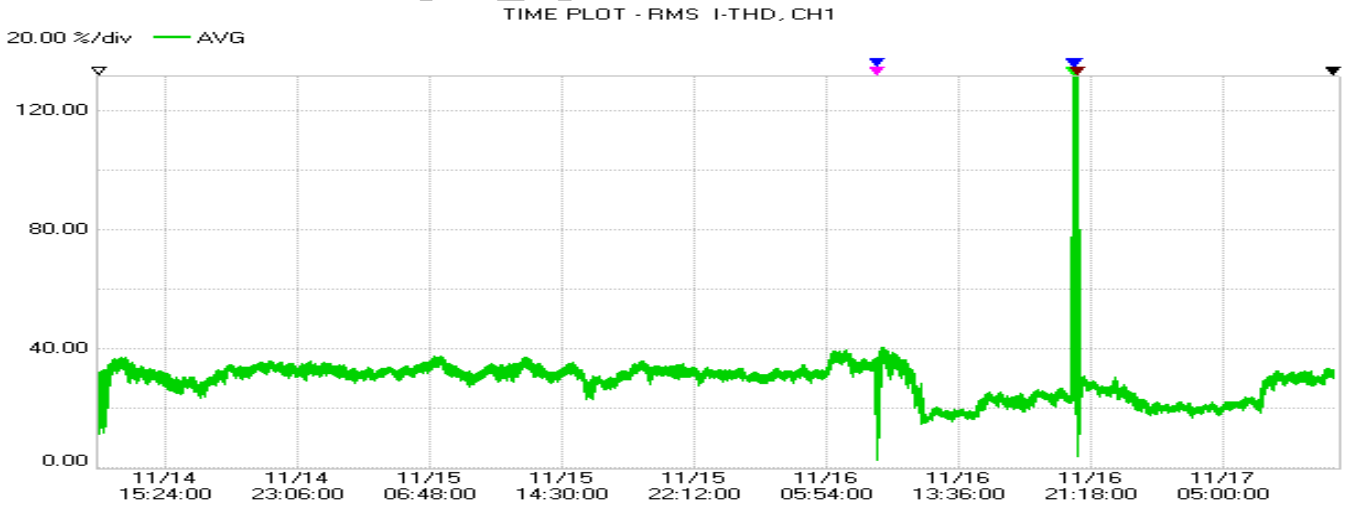
Şekil 2.c) Reaktif Güç (Q_a)



Şekil 2.d) Güç Faktörü (Pf_a)



Şekil 2.e) Gerilim Harmoniği (THB)



Şekil 2.f) Akım Harmoniği (TTB)