



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Elektrik Tesisinde Harmonik İncelemesi ve Harmonik Filtreli Kompanzasyon

Harmonic Investigation and Harmonic Filter Compensation In Electrical Plant

Yazar(lar) (Author(s)): Faruk KÜRKER, Ramazan TAŞALTIN, Kerim KARADAĞ

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kürker F., Taşaltın R. ve Karadağ K., “Elektrik Tesisinde Harmonik İncelemesi ve Harmonik Filtreli Kompanzasyon”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3): 43-51, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>

Elektrik Tesisinde Harmonik İncelemesi ve Harmonik Filtreli Kompanzasyon

Faruk Kürker¹, Ramazan Taşaltın², Kerim Karadağ²

Adıyaman Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

Harran Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

fkurker@adiyaman.edu.tr, rtasaltin@harran.edu.tr, k.karadag@harran.edu.tr

Geliş Tarihi: 04.07.2018

Kabul Tarihi: 07.11.2018

Özet

Elektrik güç sistemlerinde üretilen enerjinin, dağıtımı ve iletiminde, gerilim ve akımın, sinüs eğrisi şeklinde ve 50 Hz frekansında olması gerekmektedir. Bu durum, elektrik enerjisinin kalitesini oluşturan faktörlerin başında gelir. Fakat, yarı iletken malzeme içeren doğrusallıktan uzak yüklerin neden olduğu harmonikler sebebiyle gerilim ve akımın sinüs eğrisi şeklinden uzaklaştığı görülür. Böylece tesisin arzu etmediği oldukça önemli problemler ortaya çıkar. Harmonikler elektrik enerji sisteminde ekonomik ve teknik olarak sorunlar meydana getirir. Ekonomik sorunlar, harmoniklerin tesiste ek kayıplar meydana getirmesidir. Teknik sorunlar ise, tesisin çalışmasını negatif yönde etkileyen ve tesise kaliteli elektrik enerji sunulmasını engelleyen sorunlardır. Çalışmamızda, bir tesiste kompanzasyon devrede iken ve kompanzasyon devre dışı iken sisteme ait gerilim, akım ve güç gibi parametreler güç analizörü ile kaydedilmiştir. Ölçüm sonuçları bilgisayar ortamına aktarılarak harmonik analizi gerçekleştirilmiştir. Gerilim ve akım harmonikleri incelenmiş ve tesis için harmonik filtreli kompanzasyon hesapları yapılarak tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Harmonik; güç kalitesi; harmonik filtreli kompanzasyon.

Harmonic Investigation and Harmonic Filter Compensation In Electrical Plant

Abstract

In the distribution and transmission of the energy produced in electrical power systems, the voltage and current must be in the form of the sine curve and at the frequency of 50 Hz. This situation is one of the factors that constitute the quality of electrical energy. However, due to the harmonics caused by the non-linearity of the semiconductor material, voltage and current are seen to move away from the shape of the sinus curve. Thus, very important problems arises that the plant does not desire. Harmonics cause economic and technical problems in the electrical energy system. Economic problems are that harmonics cause additional losses in the plant. Technical problems are problems that negatively affect the operation of the facility and prevent the provision of quality electricity to the plant. In our study, the parameters such as voltage, current and power belonging to the system were recorded with the power analyzer while the compensation was activated and compensation was disabled in a plant. The measurement results were transferred to the computer environment and harmonic analysis was performed. Voltage and current harmonics were examined and harmonic filter compensation calculations were made for the plant.

Keywords: Harmonics; power quality; harmonic filter compensation.

1. Giriş

Nüfus artışı ve teknolojiye gelişmeler nedeniyle talep edilen güç miktarı artmaktadır. Elektrik sistemlerine gün geçtikçe, yeni bir elektrik enerji tüketici yükü eklenmektedir. Bu yükler nedeniyle enerji iletim ve dağıtım hatlarında ilave yüklenmeler oluşmakta ve aşırı yüklenmelerden dolayı cihazların ömürlerinde kısalma ve tüketicinin kullandığı enerjinin kalitesinde bozulmalara sebebiyet vermektedir.

Elektrik enerjisinin kalitesi; enerjinin sürekliliği, frekans ve gerilimin sabitliği, fazların dengeli olması, güç katsayısının (faktörü) bire yakınlığı, gerilim ve akım harmoniklerinin belirli sınırlarda kalması gibi durumların göz önünde bulundurulması olarak tanımlanabilir[1]. Güç tesislerine bağlanan cihazlardan kaynaklanan problemlerden dolayı kaliteli bir elektrik enerjisi sağlamak sürekli mümkün olamayabilir. Yarı iletkenlere sahip alıcılar ve nonlineer (doğrusal olmayan) elemanlar güç

kalitesinin bozulmasını ciddi oranda etkilerler. Bunlar, enerji kalitesini düşürmekle birlikte diğer yarı iletken bulunduran cihazların, bozulmalara olan duyarlılığını da büyük oranda etkilerler. Nonlineer (doğrusal olmayan) yükler, harmonik oluşturdukları için düşük kaliteli enerjiye sebep olurlar[2]. Sanayideki birtakım doğrusal olmayan yükler ve yarı iletkenler nedeniyle, frekans ve genliği farklı dalgalar (harmonikler) ve temel sinüsoidal dalganın toplamından akım ve gerilim dalga şekilleri oluşur [3].

Harmonikler, temel frekans dışındaki dalgalardır. Bunlar, Fourier analizi vasıtasıyla, diğer frekanslar ve temel frekanstaki bileşenler cinsinden yazılabilir. Bu yöntem ile nonsinüsoidal dalga şekline sahip dalgalar ve frekansları farklı sinüs dalgaların toplamı olarak yazılarak, kolaylıkla harmoniklerin analizi yapılabilir[4]. Bir kısım sanayi ülkelerinde, akım harmonik bozulma oranı (I_{THD}) % 6'yı aşması durumunda, dağıtım şirketleri tüketiciye haber vermeden enerjiyi kesme yetkisine sahiptirler. Bu sistemin en iyi örneği ve uygulayıcısı Almanya'dır. Almanya'da, harmoniğe sebebiyet veren aboneden aynı trafodan beslenen diğer abonelerin şikâyetçi olması veya dağıtım şirketinin tespit etmesi durumunda, probleme sebep olan aboneye harmoniği düzeltmesi için 1 ay süre verilir.

Türkiye'de, ilgili yönetmelik gereği akım ve gerilimde 5. harmonik problemi olduğu gözlenmiştir [5].

Mersin, Adana, Kilis, Hatay, Gaziantep ve Osmaniye'de bir gün boyunca 15'er saniye aralıklarla ölçüm yapılmıştır. Alınan verilerin ortalamasında akım harmonik değerleri Mersin'de I_{THD} %1.5'den büyük, Adana'da I_{THD} %6'dan büyük, Kilis'te I_{THD} %1.32'den büyük, Hatay'da I_{THD} %2.23'den büyük, Gaziantep'te I_{THD} %2.66'dan büyük ve Osmaniye ilinde I_{THD} %3.21'den büyük olarak olduğu ölçülmüştür. İllerdeki gerilim harmonik değerleri ise U_{THD} %3'den küçük ölçülmüştür. Ülkemizde harmoniklerden kaynaklanan kayıpların aslında daha yüksek olduğu düşünülmektedir[6].

Akım ve gerilim harmoniklerinin tanımlanması, enerji kalitesinin ölçümü ve bozulmaların sınırlandırılmasında gereklidir. Toplam harmonik bozunumu (THD), harmonikli bileşenlerin rms (efektif) değerinin, temel bileşen rms değerine bölünmesiyle elde edilir. THD yardımı ile temel sinüs bileşeni ve harmonik bileşenlerin toplamının, ilk formundan ne kadar sapmaya maruz kalacağı görülebilir. Yalnızca temel frekanstan oluşan Toplam harmonik distorsiyonu değeri, tam sinüs dalga için sıfırdır. Denklem (1)'de görüldüğü üzere harmonik bileşenlerin olmadığı sistemlerde THD (toplam harmonik distorsiyonu) herhangi bir değere ulaşmayacaktır [7].

Denklem (1)'de, akım ve gerilimin toplam harmonik distorsiyonu verilmiştir.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} X_n^2}}{X_1} = \frac{\sqrt{X_2^2 + X_3^2 + X_4^2 + \dots + X_n^2}}{X_1} \quad (1)$$

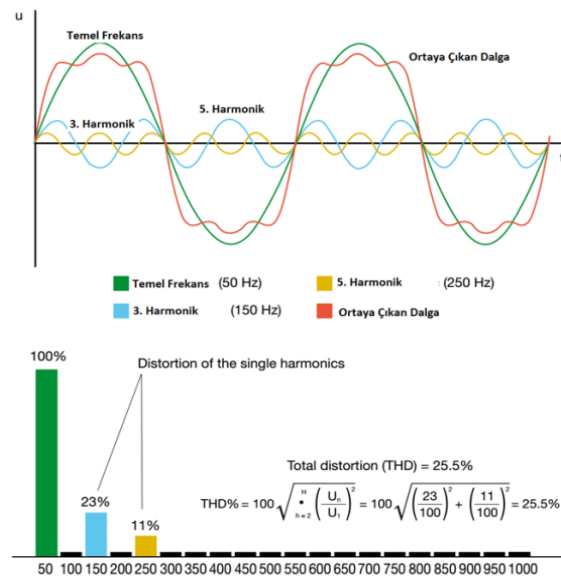
Burada;

THD: Gerilimin veya akımın toplam harmonik distorsiyonunu (bozunumu),

X_n : n'inci harmoniğinin efektif değerini,

X_1 : Temel frekanstaki devreden geçen akımın yada devreye uygulanan gerilimin etkin değerini,

Temel sinüsoidal dalga, 3. ve 5. harmonikli dalga ve bunların toplamı olan harmonikli dalga şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. 50 Hz temel sinüsoidal dalga, 3.,5. harmonik ve bunların toplamı olan harmonikli dalga[8].

Türkiye’de elektrik enerji dağıtımı sinüsoidal dalga şeklinde ve 50 Hz frekanstadır. Fakat işletmelerde kullanılan yükler farklı frekans seviyelerinde gerilim akım oluşmasına neden olur. Bu durumda fazlardaki gerilimlerin dengeli olması ve gerilimdeki harmonik değerinin istenen miktarda tutulması gibi kriterlerin göz önünde bulundurulması gerekir.

Bu çalışmada amaç, bir sanayi tesisinde harmonikler incelenerek, reaktif güç kompanzasyonun harmonikler göz önünde bulundurulması amaçlanmıştır.

2. Materyal Metot

Yapılan çalışmada Amprobe Energy Test 2020 güç analizörü kullanılmıştır. Ölçümlerde kullanılan güç analizörü (Amprobe Energy Test 2020) akım ve gerilim ile ilgili harmonik mertebelerin ve değerlerin yanı sıra reaktif ve aktif güçleri tam bir ölçme kapasitesine sahip üç fazlı güç analizörü ve kaydedicidir.

Bu çalışmada alüminyum profil üretimi yapan tesiste, Amprobe Energy Test 2020 güç analizörü ile sisteme ait gerilim, akım ve aktif, reaktif güç gibi parametreler kaydedilmiştir. 1600 kVA’lık trafoda harmonik incelemesi, kompanzasyon devre dışı iken ve kompanzasyon devrede iken ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda uygun harmonik filtre reaktörü önerilmiş ve tavsiyelerde bulunulmuştur.

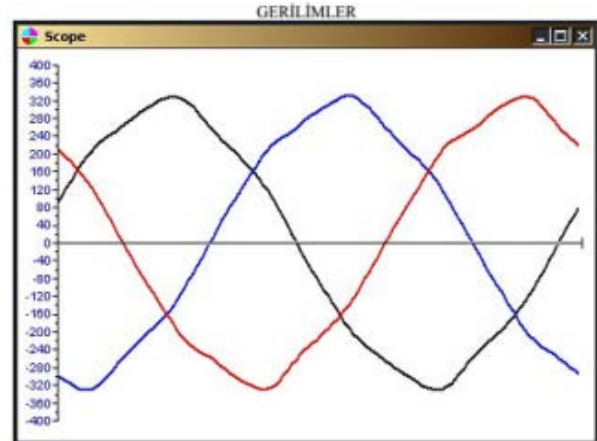
2.1. Araştırma Bulguları

Tablo 1’de kompanzasyon devre dışı iken tablo 2’de kompanzasyon devrede iken tüm fazlara ait ölçülen efektif akım (Irms) , efektif gerilim (Urms), gerilimin toplam harmonik distorsiyonu thd(U), akımın toplam harmonik distorsiyonu thd (I), görünür güç S (kVA), Aktif güç P(kW), Reaktif güç Q (kVar), kapasitif güç faktörü Pfc (capacitive power factor), displacement power factor (temel bileşene göre güç faktörü) dPfc (cosφ) ile toplam görünür güç Stot (kVA), toplam reaktif güç Qtot (kVar) ve toplam aktif güç Ptot (kW) değerleri verilmiştir.

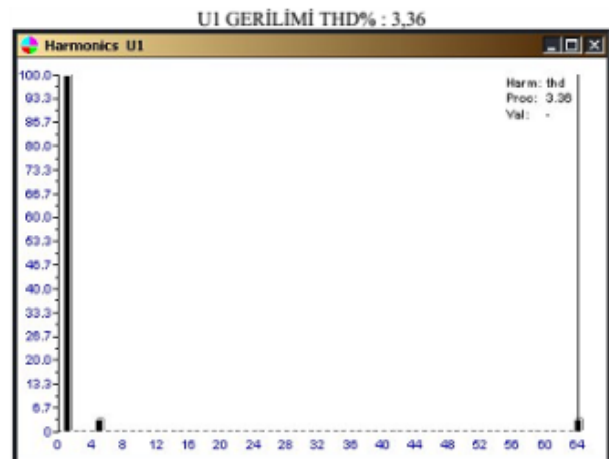
Tablo 1. Kompanzasyon devre dışı iken tüm fazların değerleri

TÜM FAZLARIN DEĞERLERİ (Çarpan Kat: 2500/5=500)					
1st phase		2nd phase		3rd phase	
U _{rms}	U _{L12}	U _{rms}	U _{L23}	U _{rms}	U _{L13}
223.055	385.579	222.402	385.061	221.369	383.318
thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)	thd(U)	S(kVA)
3.363	0.587	3.542	0.799	3.960	0.316
I _{rms}	P(kW)	I _{rms}	P(kW)	I _{rms}	P(kW)
2.833	-0.560	3.593	0.706	1.425	-0.293
thd(I)	Q(kVAR) i	thd(I)	Q(kVAR) i	thd(I)	Q(kVAR) i
10.695	-0.175	12.358	0.374	12.268	-0.118
Pf i	dPfc	Pf i	dPfc	Pf i	dPfc
0.954	0.958	0.884	0.889	0.927	0.933
Total info					
Stot(kW)	Qtot(kVAR)	Ptot(kW)	Ptot c	i null	
0.17	0.08	-0.15	0.88	5.95	

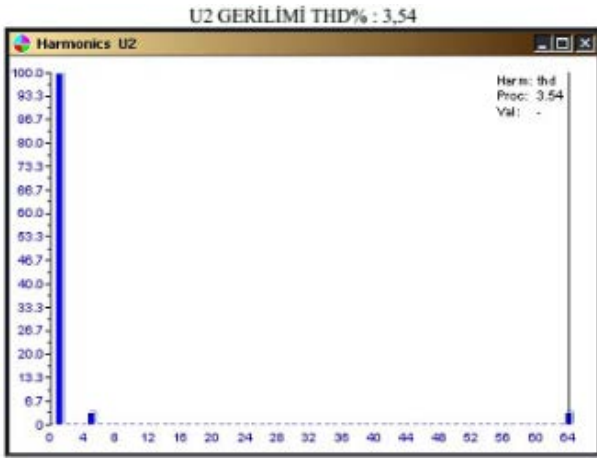
Şekil 2a’da kompanzasyon devre dışı iken üç faz için gerilimin sinüsoidal hali görülmektedir. Şekil 2b, şekil 2c ve şekil 2d’de görüldüğü üzere kompanzasyon devre dışı iken her fazda 5. harmonik (yatay eksen) değeri etkili ve toplam gerilim harmonik distorsiyon değerleri sırasıyla 3.36, 3.54 ve 3.96’ dır.



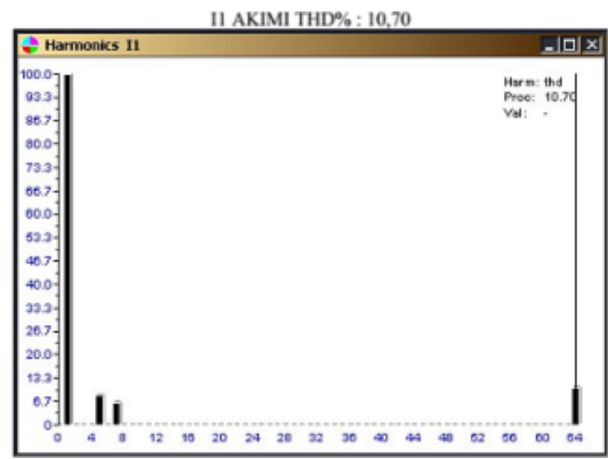
Şekil 2a. Üç faz gerilimin kompanzasyon devre dışı iken sinüsoidal şekli



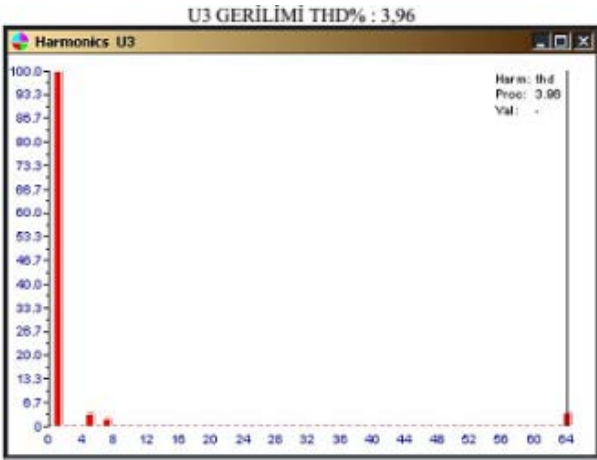
Şekil 2b. Birinci faz için kompanzasyon devre dışı iken gerilim harmonikleri değeri ve toplam harmonik değeri



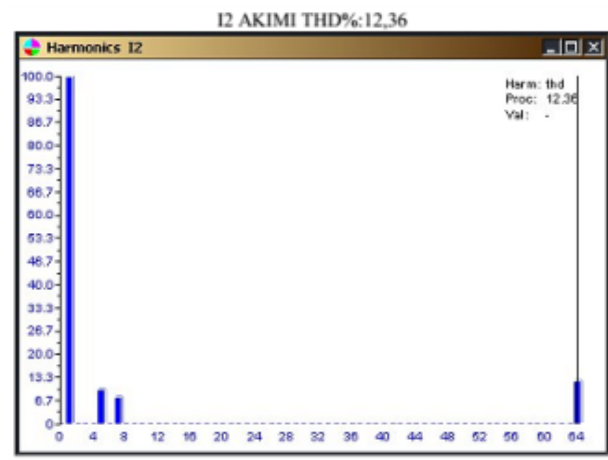
Şekil 2c. İkinci faz için kompanzasyon devre dışı iken gerilim harmonik değerleri ve toplam harmonik değeri



Şekil 3b. Birinci faz için kompanzasyon devre dışı iken akım harmonik değerleri ve toplam harmonik değeri

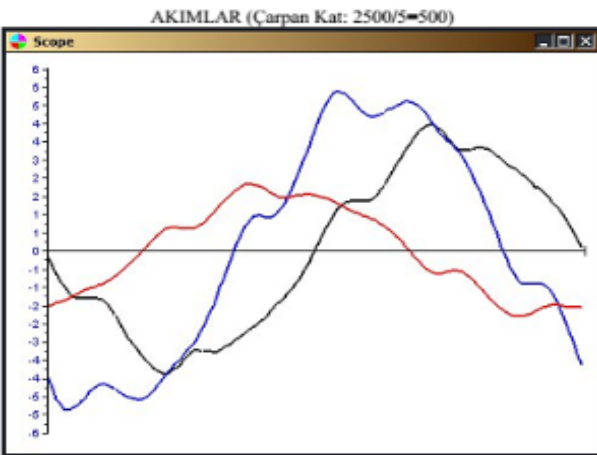


Şekil 2d. Üçüncü faz için kompanzasyon devre dışı iken gerilim harmonik değerleri ve toplam harmonik değeri

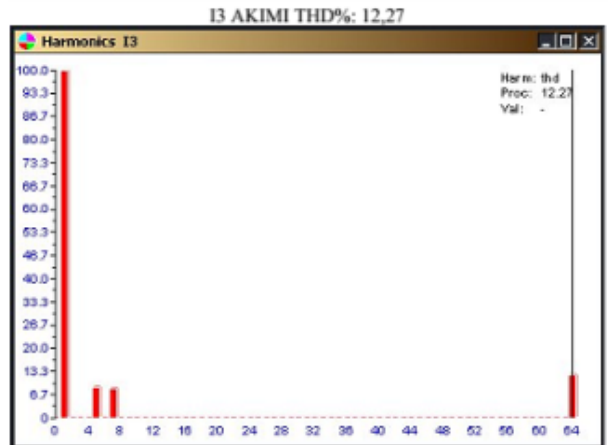


Şekil 3c. İkinci faz için kompanzasyon devre dışı iken akım harmonik değerleri ve toplam harmonik değeri

Şekil 3a'da kompanzasyon devre dışı iken üç faz için akımın sinüsoidal hali görülmektedir. Şekil 3b, şekil 3c ve şekil 3d'de görüldüğü üzere kompanzasyon devre dışı iken her fazda 5. ve 7. harmonik değeri etkili ve toplam akım harmonik distorsiyon değerleri sırasıyla 10.7, 12.36, 12.27'dir.



Şekil 3a. Üç faz akımın kompanzasyon devre dışı iken sinüsoidal şekli

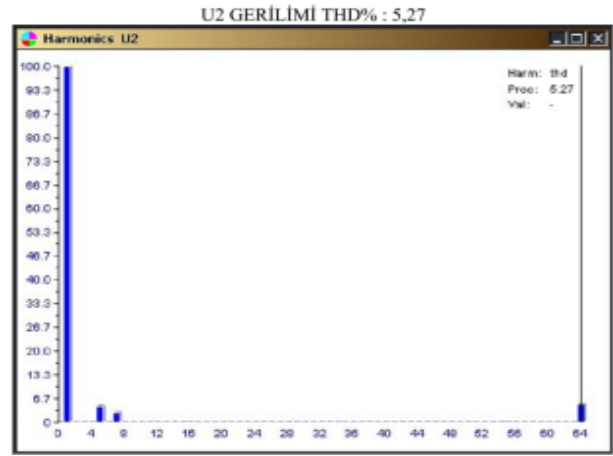


Şekil 3d. Üçüncü faz için kompanzasyon devre dışı iken akım harmonik değerleri ve toplam harmonik değeri

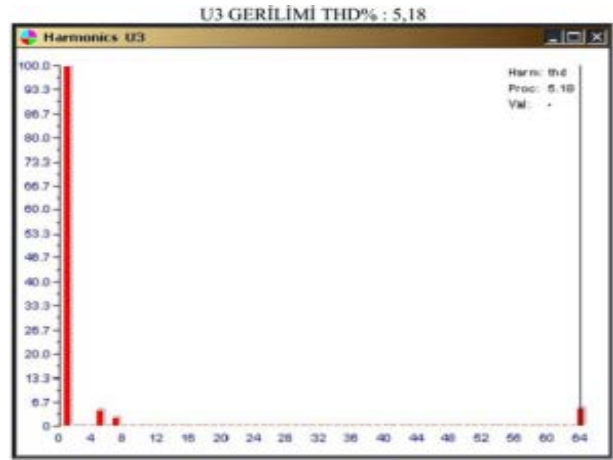
Şekil 4a'da kompanzasyon devrede iken üç faz için gerilimin sinüsoidal hali görülmektedir. Şekil 4b, şekil 4c ve şekil 4d'de görüldüğü üzere kompanzasyon devrede iken her fazda 5. harmonik değeri etkili ve toplam gerilim harmonik distorsiyon değerleri sırasıyla 4.73, 5.27 ve 5.18'dir.

Tablo 2. Kompanzasyon devrede iken tüm fazların değerleri
TÜM FAZLARIN DEĞERLERİ (Çarpan Kat: 2500/5=500)

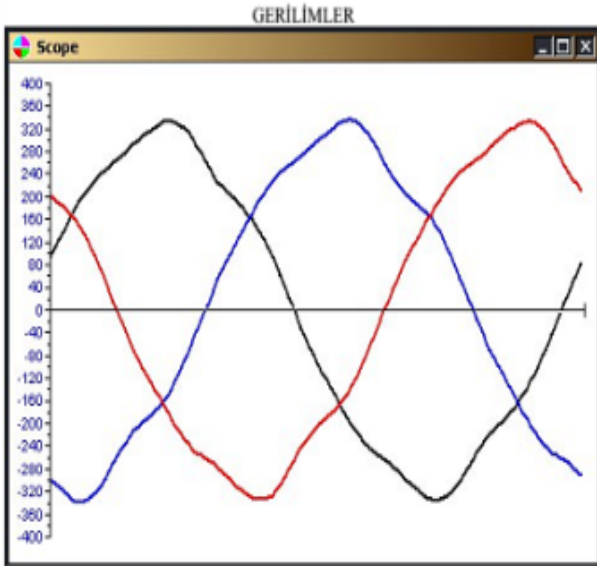
1st phase		2nd phase		3rd phase	
U _{om}	U _{L12}	U _{om}	U _{L23}	U _{om}	U _{L13}
224.851	389.799	224.490	388.911	223.702	387.018
th(U)	SQ(VA)	th(U)	SQ(VA)	th(U)	SQ(VA)
4.728	0.583	5.267	0.707	5.181	0.288
I _{om}	P(W)	I _{om}	P(W)	I _{om}	P(W)
2.503	-0.557	3.151	0.678	1.289	-0.283
th(I)	Q(VAR) _i	th(I)	Q(VAR) _i	th(I)	Q(VAR) _i
14.784	-0.083	18.322	0.202	15.406	-0.056
PF _i	dPF	PF _i	dPF	PF _i	dPF
0.989	0.999	0.959	0.973	0.981	0.991
Total info					
Stat(W)	Ctot(VAR)	Plot(W)	Plot c	I _{null}	
0.17	0.06	-0.16	0.93	5.37	



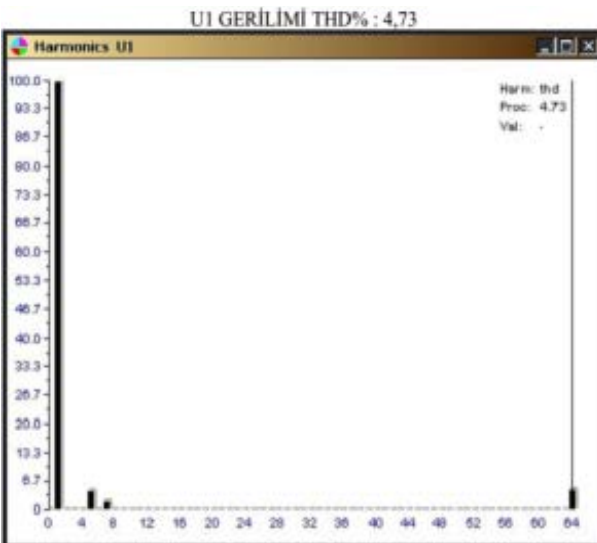
Şekil 4c. İkinci faz için kompanzasyon devrede iken gerilim harmonik değerleri ve toplam harmonik değeri



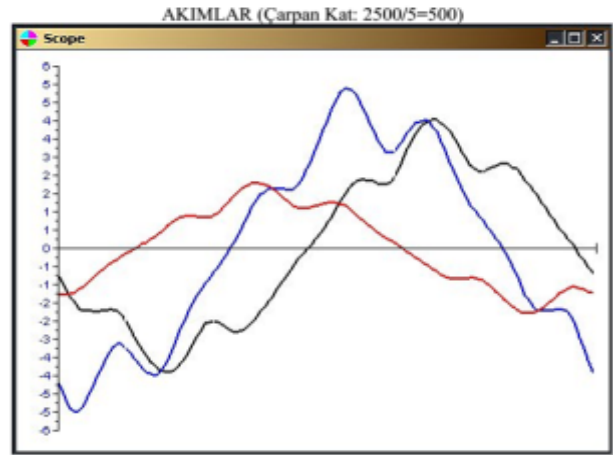
Şekil 4d. Üçüncü faz için kompanzasyon devrede iken gerilim harmonik değerleri ve toplam harmonik değeri



Şekil 4a. Üç faz geriliminin kompanzasyon devrede iken sinüsoidal şekli

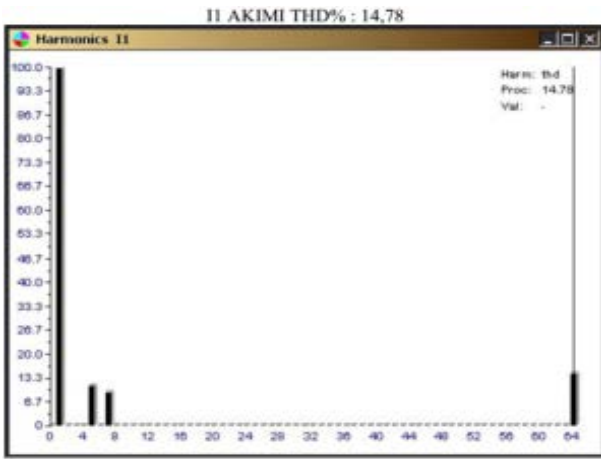


Şekil 4b. Birinci faz için kompanzasyon devre dışı iken gerilim harmonik değerleri ve toplam harmonik değeri

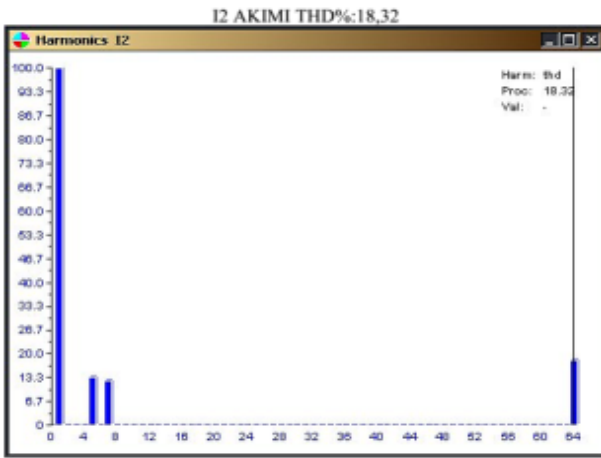


Şekil 5a. Üç faz akımının kompanzasyon devrede iken sinüsoidal şekli

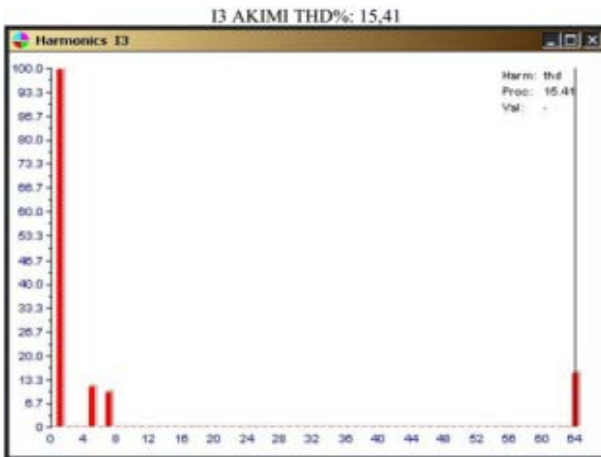
Şekil 5a'da görüldüğü üzere kompanzasyon devrede iken üç faz için akımın sinüsoidal hali görülmektedir. Şekil 5b, şekil 5c ve şekil 5d'de görüldüğü üzere kompanzasyon devrede iken her fazda 5. ve 7. harmonik değeri etkili ve toplam akım harmonik distorsiyon değerleri sırasıyla 14.78, 18.32 ve 15.41 olarak ölçülmüştür.



Şekil 5b. Birinci faz için kompanzasyon devrede iken gerilim harmonik değerleri ve toplam harmonik değeri



Şekil 5c. İkinci faz için kompanzasyon devrede iken gerilim harmonik değerleri ve toplam harmonik değeri



Şekil 5d. Üçüncü faz için kompanzasyon devrede iken gerilim harmonik değerleri ve toplam harmonik değeri

2.2 EPDK tarafından belirtilen harmonik standartları

Harmoniklerin şebekelerde azaltılması, Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK) tarafından belirtilen değerlerin altında tutulması tesislerde hem teknik hem de ekonomik açıdan fayda sağlar.

Özellikle akım ve gerilimdeki harmonikleri EPDK'nın belirlediği sınırlar içinde kalması gibi birtakım kriterlerin göz önüne alınması gerekir.

Elektrik tesislerinde akım için toplam harmonik bozulma değeri $I_{THD} < \% 15 - 20$ ve gerilim için toplam harmonik bozulma değeri $U_{THD} < \% 3 - 5$ olmalıdır. Belirtilen değerlerin üzerinde ölçülen toplam harmonik bozulmalar, tesis için tehlikeli ve büyük zararlar oluşturur [9].

Tablo 3. Gerilim harmonikler için sınır değerler

Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
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	% 0,5	6, 24	% 0,5
13	% 3	21	% 0,5		
17	% 2				
19	% 1,5				
23	% 1,5				
25	% 1,5				

Tablo 4. Harmonikler için maksimum yük akımına (I_L) göre sınır değerler

I_{sc}/I_L	Tek Harmonikler ($V_n \leq 69$ kV)					THD
	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	
$<20^*$	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<	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 sınırlanmıştır.

Bu tabloda belirtilen I_{sc}/I_L oranı, şebeke ortak bağlantı noktasındaki (PCC) kısa devre akımının tesis yük akımına oranını ifade eder.

2.3 1600 kVA'lık trafodan beslenen tesisin kompanzasyon ve harmonik filtre reaktörü hesaplamaları

Bu çalışmada trafo gücü $N_{tr}=1600$ kVA, $\cos\phi_1=0.8$ ise $\phi_1=36.86^\circ$ ve $\tan\phi_1=0.75$ ve EPDK tarafından istenen $\cos\phi_2=0.984$ ise $\phi_2=10.26^\circ$ ve $\tan\phi_2=0.181$ 'dir. öncelikle ölçüm yapılan tesisin reaktif güç ihtiyacı denklem (2)'deki formül kullanılarak yaklaşık olarak 865 kVar olarak hesaplanmıştır.

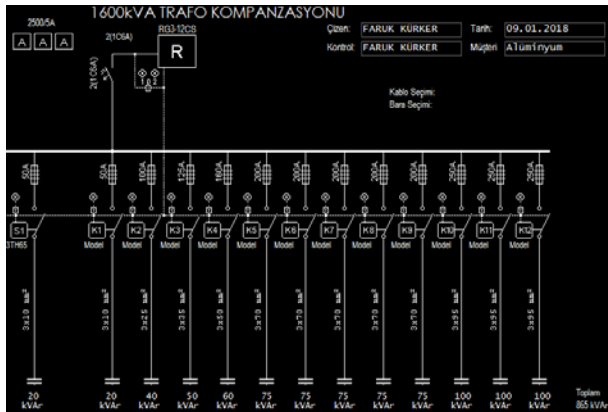
$$Q_c = (0.95)(N_{tr})(\tan\phi_1 - \tan\phi_2) \quad (2)$$

Kompanzasyon sisteminde kullanılacak sabit kondansatör kapasitesi 20 kVAr olarak seçildi. Tesisin reaktif güç kompanzasyon tek hat şeması şekil 6'da görülmektedir. Baskın olan harmonik değeri 5. harmonik olmasından dolayı, 5. harmonik baz alınarak işlem yapılacaktır.

5. Harmonik için;

$$U_c = U_r = \frac{U_n}{(1-p)} = \frac{400V}{(1-0.07)} = 430.10V$$

400V – **440V** – **480V** – 525V – 600V – 660V



Şekil 6. Tesisin reaktif güç tek hat şeması

Kondansatörün gerilimi 440 V ya da 480 V seçilir. p faktörü (bağıl empedans) sistemde etkin olan harmonik derecesine göre seçilmelidir. Örneğin; sistemde 5. harmonik baskın ise tablo 5'e göre, bu sistemi 189 Hz de rezonansa getirecek (kompanzasyon sistemi ve endüktans arasındaki seri rezonans) bağıl empedans değeri %7 olan endüktanslar seçilmelidir.

Tablo5.Harmonikli sistemde reaktör bağıl empedans [10]

TEMELE HARMONİK	REZONANS FREKANSI	REAKTÖR AYAR FREK.	HARMONİK SIRALAMASI	BAĞIL EMPEDANS	%	0,...
f1 = 50Hz.	foHz.	fr Hz	n = fr / f1	p=(1/n ²)=X _L /X _C		
3	150	134	2.7	0.139	13.9	0.14
5	250	189	3.78	0.069	7	0.07
7	350	210	4.2	0.0567	5.67	0.0567

$$Q_r = \left(\frac{U_r}{U_n}\right)^2 (1-p)Q_n = \left(\frac{480}{400}\right)^2 (1-0.07)(50) = 40.176 \cong 67kVAr$$

Kondansatör önüne seri endüktans bağlanacak olursa, kondansatör 400V 50 Hz sisteminde %7 reaktör ile 50 kVAr güç sağlamak için 5. Harmonikte 480V'da 67 kVAr değerine uygun olarak seçilmelidir. Kondansatör gruplarının önüne konulacak reaktörlerin değerlerinin hesaplanması, 67 kVAr için;

$$X_{C67} = \frac{V_c^2}{Q_{67}} = \frac{480^2}{67000} = 3.4388\Omega$$

$$X_{C67} = \frac{1}{2\pi f C_{67}} \Rightarrow C_{19} = \frac{1}{2\pi f X_{C67}}$$

$$C_{19} = \frac{1}{(2)(3.14)(50)(3.4388)} = 0.9256mF$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow L = \frac{1}{(2\pi f_r)^2 C}$$

$$L = \frac{1}{[(2)(3.14)(189)]^2 (0.9256)10^{-3}} = 0.766mH$$

Bu reaktörün akım taşıma kapasitesi hesabı;

$$I_{C67} = \frac{Q_{67}}{V_c \sqrt{3}} = \frac{67000}{(480)\sqrt{3}} = 80.58A$$

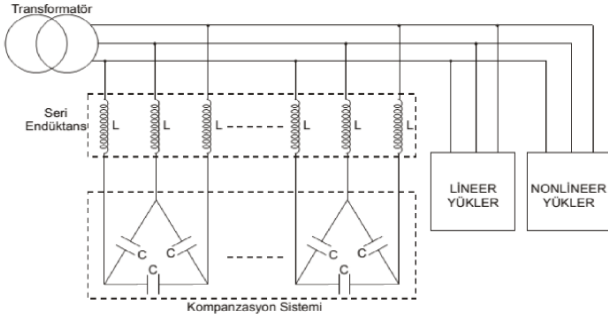
Kondansatörleri koruma amaçlı kondansatörlere seri olarak harmonik filtre reaktörü bağlanacak olursa; 400 V'luk kondansatör, 50 Hz sisteminde %7 reaktör ile 50 kVAr güç sağlamak için 5. harmonikte 480V'da 67 kVAr değerine uygun olarak seçilmelidir. 67 kVAr kondansatör grupları için kullanılacak reaktör değeri 0.642 mH ve 96.22 A akım taşıma gücünde olacaktır. Harmonik filtre reaktörleri reaktif güç kontrol sistemlerinde kompanzasyon sistemini korur. Her bir kondansatör için 5. harmonikte tablo 6'daki sonuçlar elde edilir.

Tablo 6. Beşinci harmonikte hesaplanan değerler

Harmonik Bileşen	Q _C	U _C	L	I	Q _r
5.	100 kVAr	480 V	0.383 mH	161.17 A	134 kVAr
5.	75 kVAr	480 V	0.513 mH	120.28 A	100 kVAr
5.	60 kVAr	480 V	0.642 mH	96.22 A	80 kVAr
5.	50 kVAr	480 V	0.766 mH	80.58 A	67 kVAr
5.	40 kVAr	480 V	0.951 mH	64.95 A	54 kVAr
5.	20 kVAr	480 V	1.901 mH	32.475 A	27 kVAr

Harmonikler en büyük zararı ve etkiyi reaktif güç kompanzasyonunda kondansatörlere vermektedir.

Harmonikler sebebiyle kondansatörlerde ısınma meydana gelmekte ve bu yüzden kapasitelerinde değişikliklere neden olmakta böylece ömürlerinde de kısalma meydana gelmektedir. Seri endüktans bağlayarak harmonikli akımlara karşı yüksek empedans gösterilerek reaktif güç kompanzasyon sistemine geçmesi engellenmekte ve bu seri endüktans ile reaktif güç kompanzasyon sisteminin kapasitesi filtre gibi harmonikleri süzmekte ve azaltmaktadır [11].



Şekil 7. Kondansatör önüne seri endüktans bağlamak [11]

Bu metod harmonikleri azaltmada çok etkili olmamasına karşın, maliyeti en az olan ve çok kullanışlı bir metottur. Şekil 7'de bu yöntem bağlantısı görülmektedir. Harmonik filtre reaktörü bağlamanın pozitif yanı mevcut sistemlere kolayca monte edilebilir olması, maliyetinin düşük olması ve sistemdeki rezonans riskini azaltması şeklinde sıralanabilir. Uygulamada en çok kullanılan yöntem harmonik filtre reaktörü bağlama yöntemidir.

3. Sonuç

Bu çalışmada, alüminyum ve plastik üretimi yapan tesiste kompanzasyon devre dışı iken akım harmonik değeri ortalama %11.78, kompanzasyon devrede iken ise akım harmonik değeri ortalama %16.17'dir. EPDK'nın belirttiği %20 değerini geçmese de kondansatörlere zararı olacağından, tesiste bulunan kondansatörlerin önüne seri endüktans bağlamak kondansatörlerin korunması açısından oldukça önemlidir. Tesise reaktif güç kompanzasyonu yapılması durumunda, önce tesis harmonik yönünden incelenmeli ve standart değerler göz önünde bulundurularak harmonik filtre reaktörü ve harmonikli kompanzasyon yapılmalıdır. Maliyet açısından harmonik filtre reaktörü ve filtreleme masraf olarak görünse de, tesisin üretim kalitesinin artması ve ülke ekonomisine olumlu

katkısından dolayı uzun vadede kârlı olduğu bir gerçektir. Reaktif güç kompanzasyonu kondansatörlerine bağlanan seri endüktanslar kondansatör uçlarındaki gerilimi arttırmasından dolayı seçilecek kondansatörlerin şebeke geriliminden daha büyük gerilim değerlerine dayanıklı olarak seçilmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Dugan, R.C., Santoso S., Mcgranaghan, M.F., Electrical Power Systems Quality 2nd Edition. McGraw-Hill, 521s, New York, 2004.
- [2]. Güntürkün, R., İleri Beslemeli ve Elman Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Harmoniklerin Kompanzasyonu. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya, 156s, 2003.
- [3]. Adak, S., Enerji Sistemlerinde Harmonik Distorsiyonunun Azaltılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 130s, 2003.
- [4]. Kakilli, A., Tunçalp, K. ve Sucu, M., Harmoniklerin Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemine Etkilerinin İncelenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20, 1:109-115, 2008.
- [5]. Küçük, D., Salor, Ö., Güder, M., Demirci, T., Akkaya, Y., Çadırcı, I., Ermiş, M., Türkiye Elektrik İletim Sisteminde Harmonik Bozulma ve Kırışma Parametrelerinin Oluşturulan Güç Kalitesi Veritabanı Yapısıyla Değerlendirilmesi. III. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli, 6s, 2009.
- [6]. Kurker, F. ve Tasaltın, R., Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Meydana Getirdiği Kayıpların Analizi. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5:21-38, 2016.
- [7]. Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arıkan, O., Elektrik Tesislerinde Harmonikler. Birsan Yayınevi, 330s, İstanbul, 2003.
- [8]. ABB, Technical Application Papers No.8, 64s. https://library.e.abb.com/public/4704e67320c08992c1257870002e4700/1SDC007107G02_02.pdf, Erişim Tarihi: 09.01.2018
- [9]. EPDK, Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği, 2017. <http://www.epdk.org.tr/TR/DokumanDetay/Elektrik/Mevzuat/Yonetmelikler/ElektrikDagitimiPerakendeSatisinaHizmetKalitesi>. Erişim Tarihi: 10 Ocak 2017.
- [10]. Kurker, F., Enerji Sistemlerinde Harmonik Analizi ve Harmonik Azaltma Teknikleri. Harran

Üniversitesi,Fen Bilimleri Enstitüsü,Doktora Tezi,Şanlıurfa,293s,2017.

- [11]. Sucu, M.,Elektrik Enerji Sistemlerinde Oluşan Harmoniklerin Filtrelenmesinin Bilgisayar Destekli Modellenmesi ve Simülasyonu. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi,İstanbul,156s,2003.