



Nonlinear Yüklü Sistemde Filtreleme ve Reaktif Güç Kompanzasyonu Açısından Simülasyon ve Deneysel Çalışma Tabanlı bir Analizin Gerçekleştirilmesi

Fatma Gülşen Erdiñç^{1*}

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Kampüsü, 34220, Esenler, İstanbul (ORCID: 0000-0002-2027-8689)

(İlk Geliş Tarihi 8 Ocak 2020 ve Kabul Tarihi 29 Şubat 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.672211)

ATIF/REFERENCE: Erdiñç, F. G. (2020). Nonlinear Yüklü Sistemde Filtreleme ve Reaktif Güç Kompanzasyonu Açısından Simülasyon ve Deneysel Çalışma Tabanlı bir Analizin Gerçekleştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 319-331.

Öz

Lineer ve nonlinear yüklerin bulunduğu elektrik güç sisteminde, nonlinear yüklerin günden güne artmasına bağlı olarak sisteme enjekte edilen harmonik akımları da artmaktadır. Harmonik akımlar, sadece yüklerin dalga şekillerinde bozucu etkilerde bulunmayıp aynı zamanda güç sisteminde ve güç sistemine bağlanan elemanlar üzerinde de olumsuz etkiler meydana getirmektedirler.

Teknik ve ekonomik bakımdan pek çok etkisi olan harmoniklerin bu etkilerinin bilinmesi ve işletmelerde analizlerinin yapılması, hem enerji kalitesi açısından hem de işletmenin sürekliliği açısından son derece önemlidir. Gerçekleştirilen çalışmada çeşitli nonlinear yüklerin bulunduğu bir sistemde, harmoniklerin etkileri belirtilip sistemde istenen harmonik akımının süzülmesini sağlayan harmonik filtresinin gerekliliği anlatılmaktadır. Harmonik filtreler her tesis için ayrı ayrı tasarım gerektirir, dolayısıyla filtrelemede dikkat edilmesi gereken hususlar incelenmektedir. Sinüs biçimli kaynaktan beslenen ve lineer elemanlardan meydana gelen enerji sistemlerinin güç kompanzasyonu basit bir inceleme ile yapılabilmektedir. Fakat besleme kaynağının sinüs biçimli olmaması veya elemanların nonlinear karakterde olması durumunda güç kompanzasyonunda bir takım zorluklar yaşanmaktadır. Bu yüzden harmonikli sistemlerde güç kompanzasyonu normal kompanzasyondan farklıdır. Yapılan çalışmada bu konuda dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmektedir.

Bu çalışmada, öncelikle filtreleme ve güç kompanzasyonunun sinüs biçimli olmayan sistem için gerçekleştirilmesi irdelenmektedir ve buna ait bilgiler verilmektedir. Ayrıca çalışmada gerçek bir sistem üzerinde yapılan ölçümler ile bu sistemin filtrelenmesi ve güç kompanzasyonunun gerçekleştirilmesi de yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Harmonikler, Aktif güç filtresi, Pasif güç filtresi, Güç kompanzasyonu.

The Realization of an Analysis Based on Simulation and Experimental Study for Filtering and Reactive Power Compensation in a System with Nonlinear Loads

Abstract

The harmonic currents injected to electric power system including of linear and nonlinear loads are increasing due to the increase in nonlinear loads. Harmonic currents not only cause deterioration in load wave forms but also provide negative effects on power system and equipments connected to power system.

The evaluation of the technical and economical effects of harmonics and providing analysis in plants about this issue are significantly important both for energy quality and plant durability. In this study, the effects of harmonics are evaluated and the need of a harmonic

* Sorumlu Yazar: Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2027-8689, fgulsenerdinc@gmail.com

filter that provides the possibility of filtering the desired harmonic current. Harmonic filters requires different design approaches for each plant, thus the important issues in filtering are examined. The power compensation in energy systems fed by sinusoidal source and including linear loads can be realized easily. However, the power compensation in the case of non-sinusoidal source or nonlinear loads may cause some difficulties. Thus, the power compensation in harmonic condition is even more difficult than normal power compensation applications. In the realized study, the significant issues about this topic are presented.

In this study, the realization of filtering and power compensation in non-sinusoidal load conditions is evaluated and some information is provided on this topic. Besides, the measurements on a real plant as well as the filtering and power compensation studies on the mentioned plant are presented.

Keywords: Harmonics, Active filter, Passive filter, Power compensation.

1. Giriş

Bilindiği gibi elektrik enerjisi kullanan tüm cihazlar, ekipmanlar sinüs biçimli alternatif akıma ihtiyaç duyarlar. Enerji sisteminin üretimi, iletimi ve dağıtımı aşamalarında alternatif akımın sinüs biçimli bir dalgaya sahip olması gereklidir. Sinüs biçimli bir dalga şeklinin sistemde sürekli olarak sağlanması giderek zorlaşmaktadır. Sinüs biçimli dalgadan uzaklaşılması sonucunda da buna göre imal edilmiş elemanlarda problemler yaşanmaktadır. Elektrik enerjisinin yararlı kullanımı kontrol edilebilir frekans ve gerilime sahip büyüklükler ile elde edilecek güç sağlanmasına bağlıdır. Ancak üretilen ve iletilen güç daha büyük gerilimlerde bulunmaktadır. Bu uyumsuzlukların giderilmesi için güç elektroniği tabanlı bazı güç biçimlendirme ve dönüştürme şekillerine ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat bu tür uygulamalar gerilim ve akımın dalga şekillerinin bozulmasına yol açmakta ve enerji kalitesini bozmaktadır (Arrilaga vd., 2004).

Elektrik üretimi ülkelere göre değişkenlik göstermekle birlikte; genel itibariyle 50 ya da 60 Hz'lik frekanslarda gerçekleştirilmekte ve üretimi gerçekleştiren generatörlerin dalga biçimleri pratik olarak sinüs biçimli kabul edilmektedir. Fakat sinüs biçimli bir gerilim lineer olmayan bir cihaza ya da yüke uygulandığında, elde edilen akımın şekli tamamen sinüs biçimli olmamaktadır. Sistem empedansının mevcut olması durumunda ise bu akım sinüs biçimli olmayan bir gerilim düşümüne neden olmakta ve böylece yük uçlarında gerilim bozulmasına yol açmaktadır. Dalga şeklinin sinüs biçimli şekilden uzaklaşması sistemde harmonik bileşenlerin bulunduğunu göstermektedir (Arrilaga vd., 2004).

Gerilim ve akımda meydana gelen harmonik bozulmalara lineer olmayan yükler sebep olmaktadır. Lineer olmayan yükler arasında; kesintisiz güç kaynakları (KKGK), motor yol vericileri, motor sürücüleri, bilgisayarlar, elektronik aydınlatma elemanları ve kaynak makineleri bulunur. Ayrıca tüm güç elektroniği dönüştürücüleri şebekede harmonik bozulumu artırıcı etki gösterirler. Sistemde bulunan harmonik bileşenler güç sistemini etkilemektedir. Enerji kirliliği olarak da belirtilen bu durum teknik ve ekonomik problemlere neden olmaktadır. Harmonik değerlerin artması toplam harmonik bozulum değerini arttırmakta ve sistemin istenmeyen bir şekilde çalışmasına yol açmaktadır. Harmonik bileşenler transformatörlerde ve dönen makinalarda ek kayıplara, gürültüye, rezonansa, güç faktörü düzeltiminde problemlere ve kondansatörlerde aşırı yüklenmeye sebep olurlar.

Öte yandan tüketicilerin çektikleri alternatif akımın teorik bakımdan biri aktif ve diğeri reaktif akım olmak üzere, iki bileşenden oluştuğu kabul olunur. Aktif akımın meydana getirdiği aktif güç tüketiciler tarafından faydalı hale getirilir. Reaktif akımın meydana getirdiği güç ise faydalı güce çevrilemez. Reaktif güç, yalnız alternatif akıma bağlı bir özellik olup, elektrik tesislerine istenmeyen bir şekilde tesir eder. Generatörleri, transformatörleri, hatları, bobinleri lüzumsuz olarak işgal eder, ayrıca bunların üzerinde ilave ısı kayıplarına ve gerilim düşümlerine yol açar. Tüketicilerin reaktif güç ihtiyacını karşılamak için reaktif gücün bir yerde üretilmesi gerekir. Tüketicilerin normal olarak şebekeden çektikleri endüktif gücün, kapasitif yük çekmek suretiyle özel bir reaktif güç üreticisi tarafından dengelenmesine kompanzasyon denir. Böylece tüketicinin şebekeden çektiği reaktif güç çok azalır.

Elektrik tesislerinde bahsi geçen kondansatör sistemleri ile yapılan reaktif güç kompanzasyonunun temel amacı sistemdeki güç faktörünü yasal düzenlemeler ile belirlenen bir seviyeye çıkarmaktır. Fakat harmonikli durumda harmonikler nedeniyle mevcut olan distorsiyon gücü, kompanzasyon ile güç faktörünün bir yapılmasına engel olmaktadır. Bu açıdan harmonikli durumda reaktif güç kompanzasyonu yapılırken öncelikle sistemdeki harmonik bileşenleri filtreleme ile elimine edilmelidir.

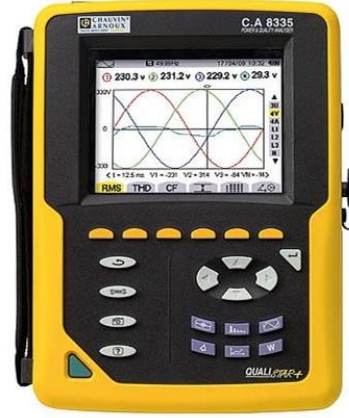
Literatürde bu açıdan gerçekleştirilen çalışmalar arasında Rahmani vd. (2014), güç kalitesi artırımı için şönt hibrit bir güç filtresi ve tristör kontrollü reaktörün beraberce kullanımını önermiştir. Wang vd. (2012) ise başka bir çalışmada 125 MVA'lık motor-generatör sistemi için harmonik akımı bastırması ve reaktif güç kompanzasyonu durumunu analiz etmiştir. Jafar vd. (2014) deniz üstü rüzgar santrali entegrasyonu için yüksek gerilimli DC iletim sisteminin reaktif güç kompanzasyonu ve harmonik bastırımı konusunu ele almıştır. Bahis geçen harmonikli durumda reaktif güç kompanzasyonu konusunu farklı uygulama alanlarında dikkate alan George ve Agarwal (2005), Micallef vd. (2014), Prodanovic vd. (2007), Santos vd. (2014), Shu vd. (2011), Wang vd. (2017) gibi birçok çalışma da literatürde yer almaktadır.

Bu çalışmada nonlineer yüklü sistemde filtreleme ve reaktif güç kompanzasyonu açısından simülasyon ve deneysel çalışma tabanlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Simülasyon tabanlı bir analiz ile desteklenmiş şekilde endüstriyel gerçek bir tesis üzerinde uygulanmış konsept sonuçlarının dikkate alınması bu çalışmanın yenilikçi yönünü oluşturmaktadır. Çalışmanın geri kalan kısımları şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2'de ilgili konuda deneysel saha çalışmasının sonuçları irdelenirken, Bölüm 3'te ise simülasyon tabanlı çalışmaların detayları verilmiştir. Bölüm 4'te ise çalışmanın genel sonuçları irdelenmektedir.

2. Deneysel Çalışma Sonuçları

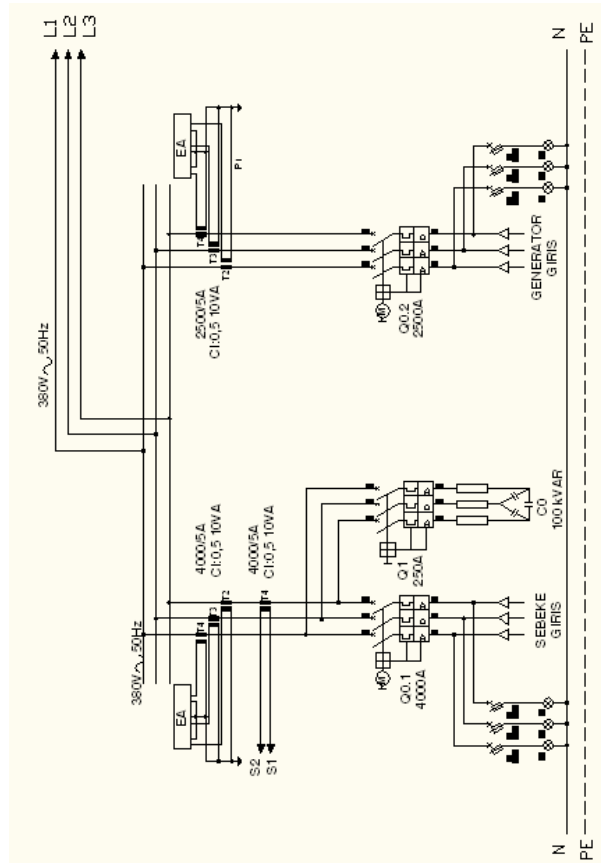
Bu bölümde örnek olarak incelenen bir elektrik enerji sistemi tüketicisinin, filtreli kompanzasyon sistemi ile tesis edilmesi durumunda, sistemin davranışı incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda; sistemin akımı, gerilimi, THD değerleri kullanılarak

harmonik analizi ve hesaplamaları yapılmıştır. Ölçümler, Chauvin Arnoux marka CA8335 3 fazlı portatif enerji analizörü ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). AG tarafından cihaza bir akım ve gerilim referansı verilerek; akım ve gerilim harmonikleri, gerilim ve akım dalga şekilleri kaydedilmiştir.

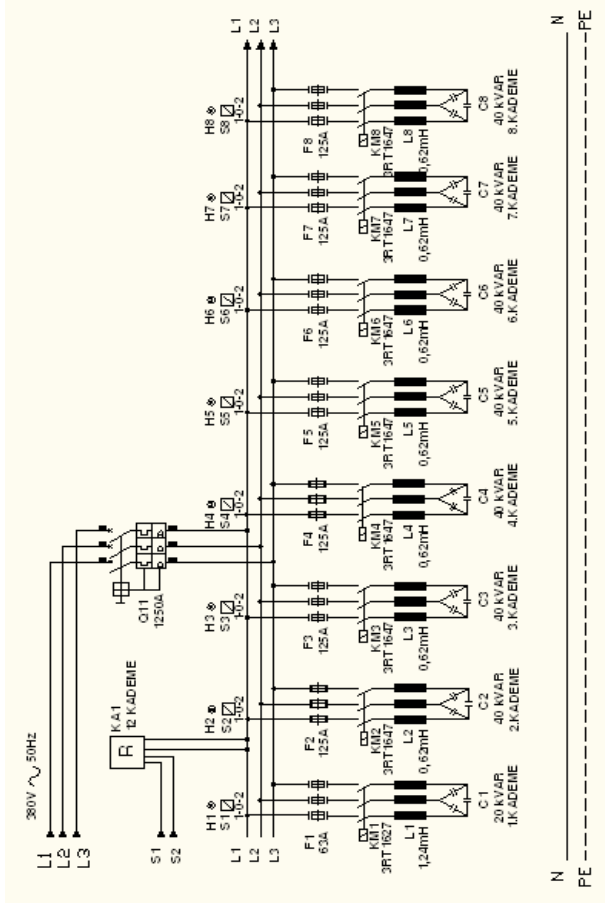


Şekil 1. Ölçüm cihazının görünümü.

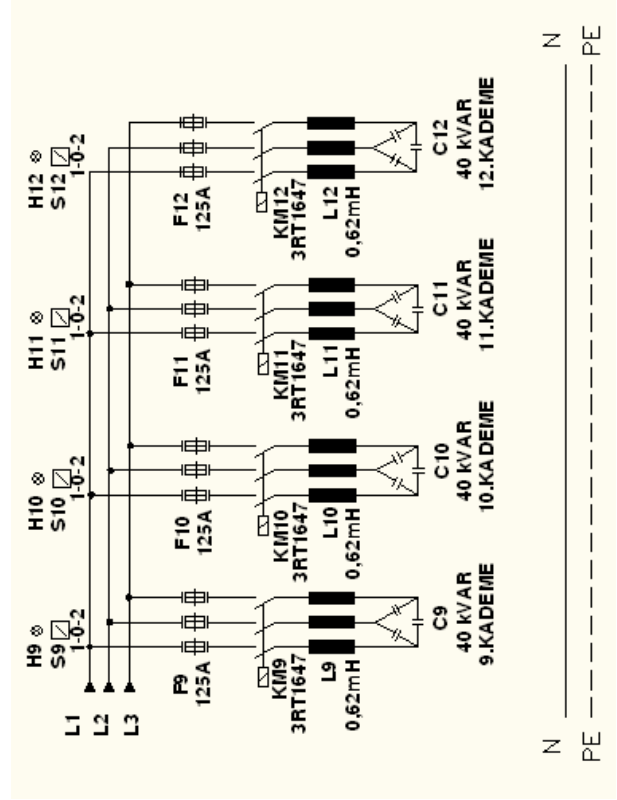
Örnek olarak incelenen sistem bir tekstil fabrikasıdır. Enerjisini 34,5 kV'luk OG transformatöründen almaktadır. Transformatörün gücü 2000 kVA olup yağlı bir transformatördür. Tesise ait şemalar Şekil 2 ve 3'te belirtilmiştir. Tesiste kompanzasyon için 1. kademesinde 20kVAr, diğer kademelerinde 40 kVAr olan toplam 12 kademe kondansatör bulunmaktadır. Her kademe için filtre elemanı olarak endüktans (L1 - L12) bulunmaktadır.



Şekil 2. Örnek sisteme ait şebeke ve generatör besleme şeması.



(a)

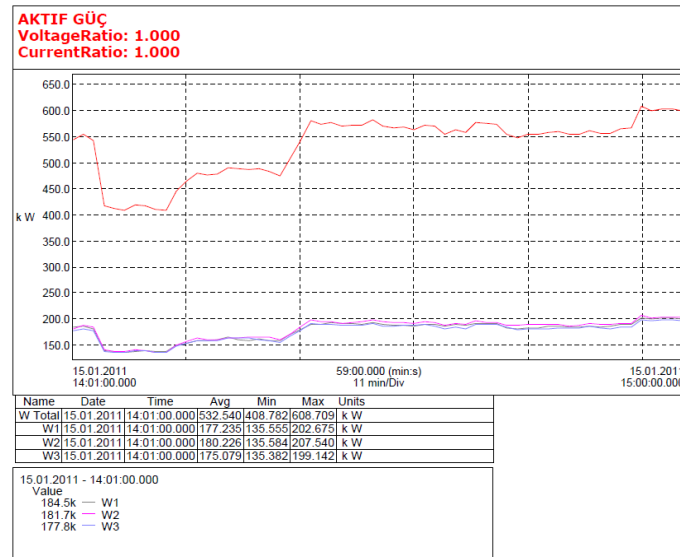


(b)

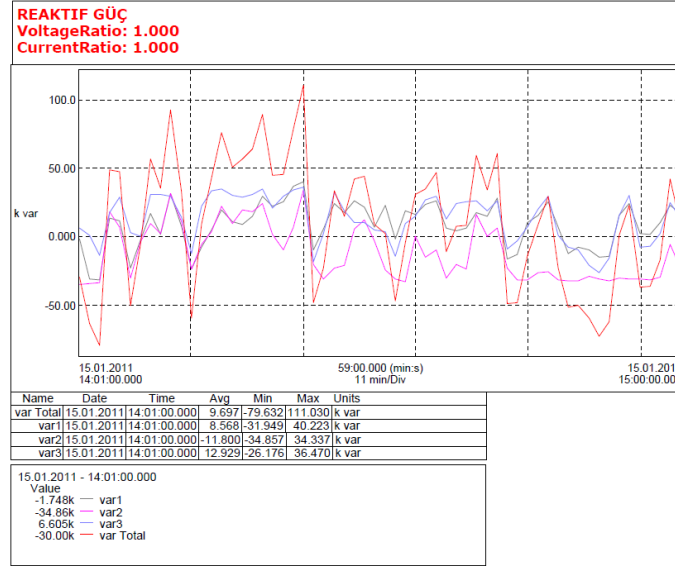
Şekil 3. Örnek sisteme ait filtreli güç kompanzasyonu şeması: (a) 1.-8. kademe, (b) 9.-12. kademe.

Ölçümler, filtreli kompanzasyon devrede değilken ve filtreli kompanzasyon devrede olmak üzere iki kez tekrarlanmış, filtrenin sisteme etkisi analiz edilmiştir. Ölçüm sonuçları aşağıda verilmiş bulunmaktadır.

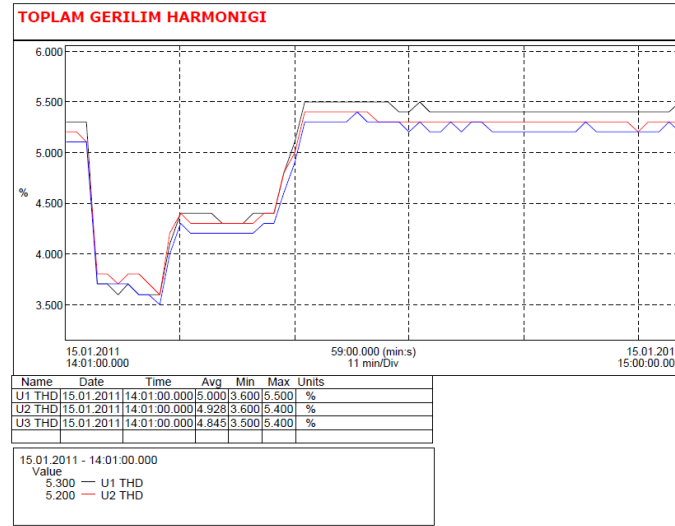
Filtresiz Kompanzasyon Durumunda Ölçüm Sonuçları:



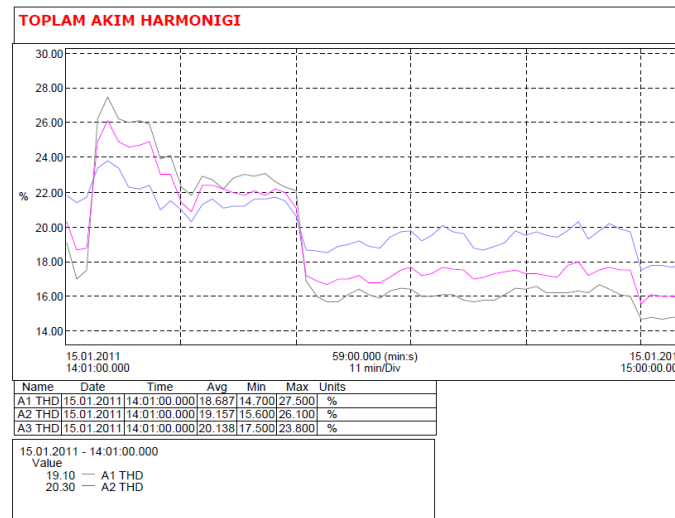
Şekil 4. Filtresiz kompanzasyonda aktif güç grafiği.



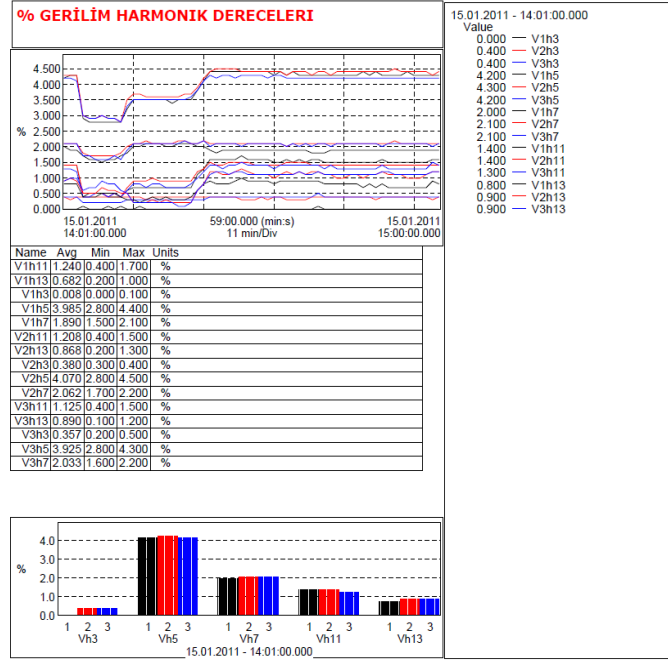
Şekil 5. Filtresiz kompanzasyonda reaktif güç grafiği.



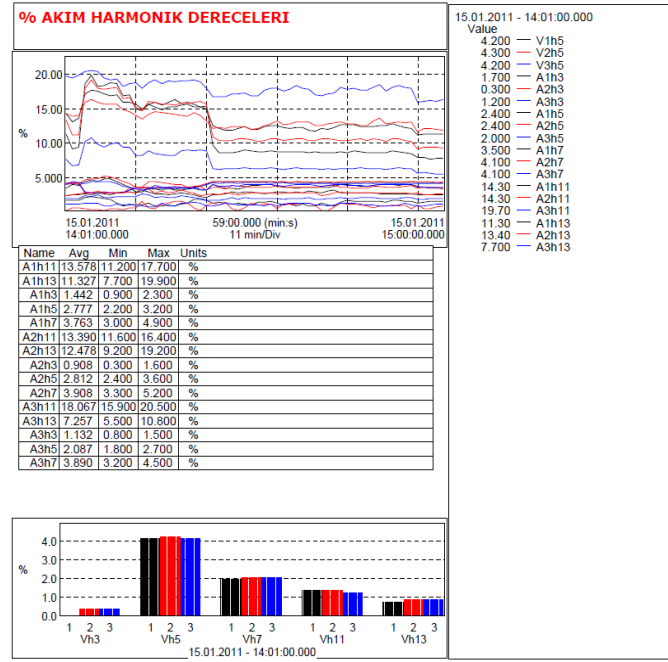
Şekil 6. Filtresiz kompanzasyonda gerilime ait toplam harmonik bozunumu grafiği.



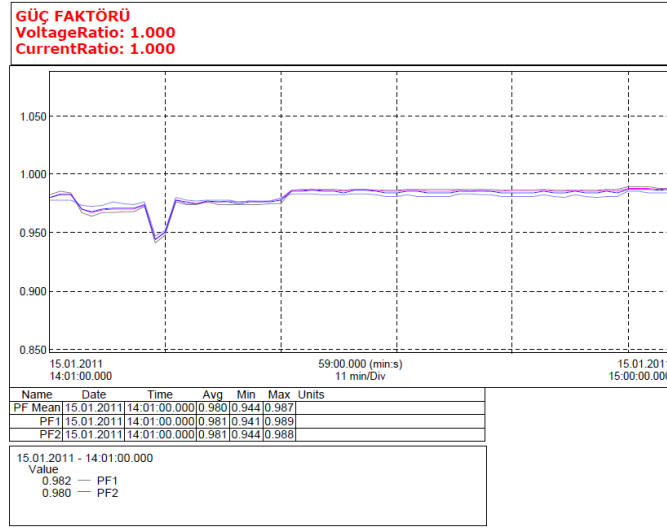
Şekil 7. Filtresiz kompanzasyonda akıma ait toplam harmonik bozunumu grafiği.



Şekil 8. Filtresiz kompanzasyonda gerilim harmonik bileşenlerinin yüzdeleri grafiği.

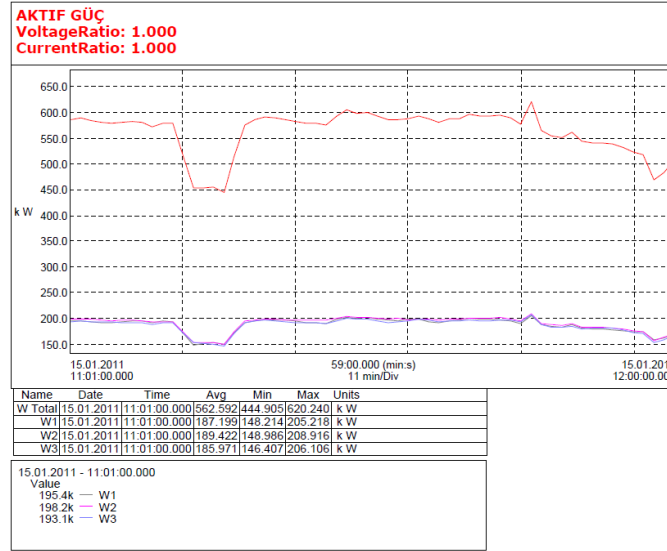


Şekil 9. Filtresiz kompanzasyonda akım harmonik bileşenlerinin yüzdeleri grafiği.

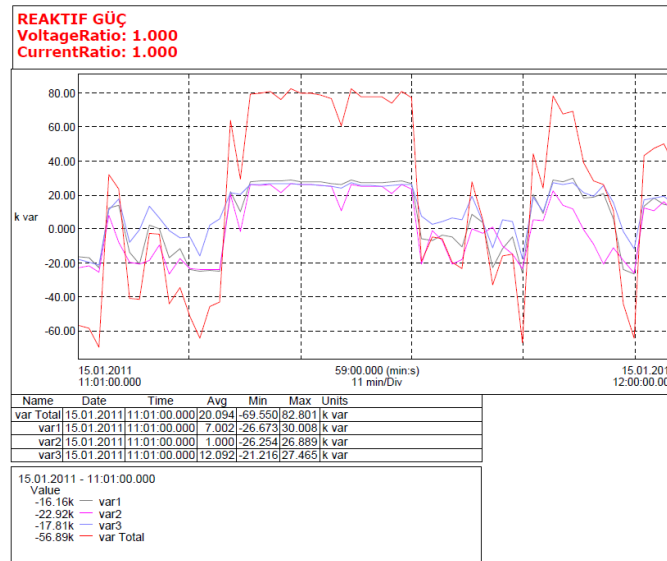


Şekil 10. Filtresiz kompanzasyonda güç faktörü grafiği.

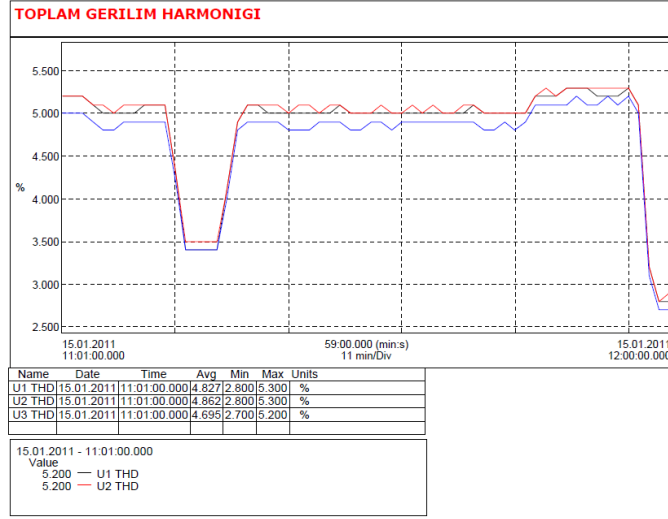
Filtreli Kompanzasyon Durumunda Ölçüm Sonuçları:



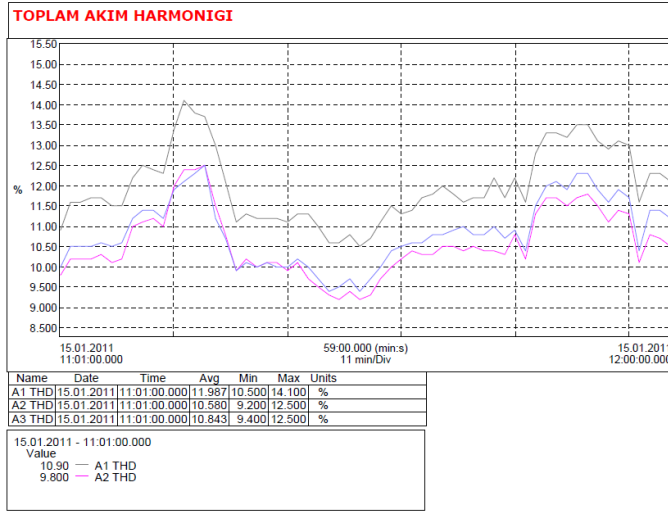
Şekil 11. Filtreli kompanzasyonda aktif güç grafiği.



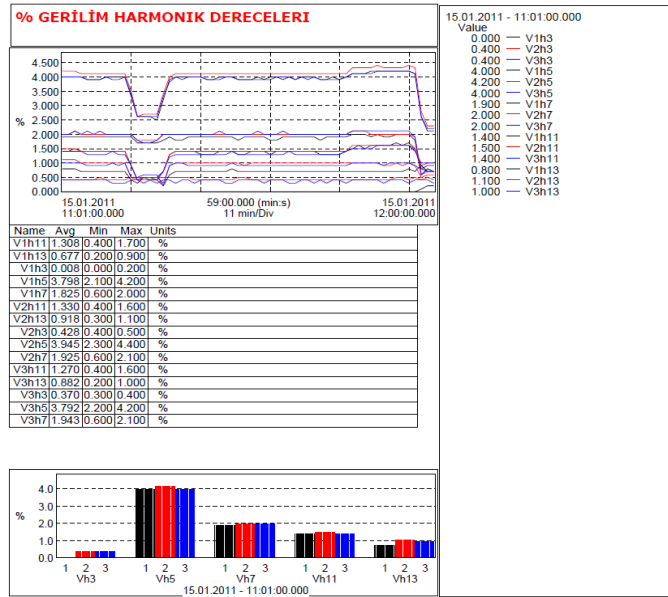
Şekil 12. Filtreli kompanzasyonda reaktif güç grafiği.



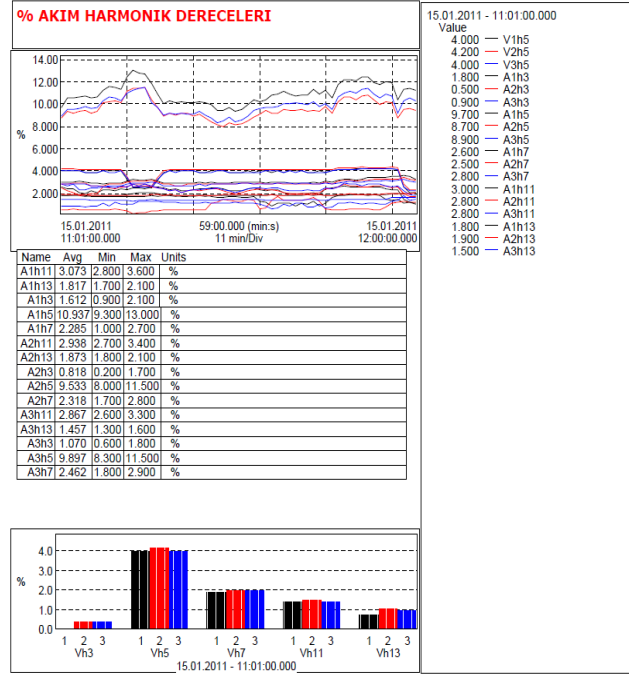
Şekil 13. Filtreli kompanzasyonda gerilime ait toplam harmonik bozunumu grafiği.



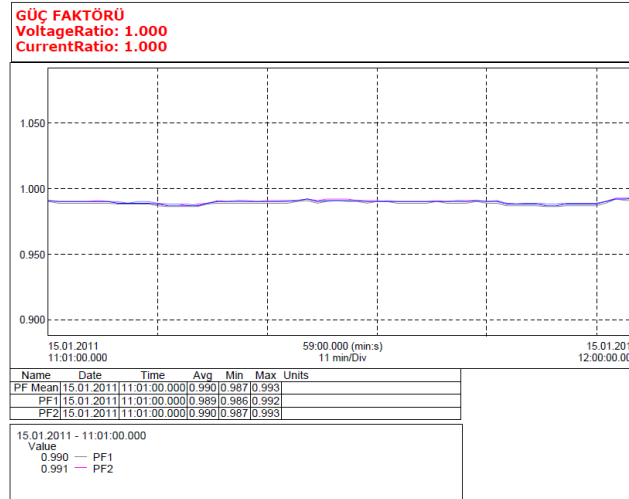
Şekil 14. Filtreli kompanzasyonda akıma ait toplam harmonik bozunumu grafiği.



Şekil 15. Filtreli kompanzasyonda gerilim harmonik bileşenlerinin yüzdeleri grafiği.



Şekil 16. Filtreli kompanzasyonda akım harmonik bileşenlerinin yüzdeleri grafiği.



Şekil 17. Filtreli kompanzasyonda güç faktörü grafiği.

3. Simülasyon Tabanlı Çalışma Sonuçları

Bir önceki bölümde ölçümü gerçekleştirilen sisteme ait modelleme gerçekleştirilerek sistem üzerinde analiz yapılmıştır. Bu analizde, harmonik ve güç faktörü değerlerinin yanı sıra 3 fazlı sisteme ait her bir fazdaki temel bileşen ve harmonik akım ve gerilimlerinin değerleri model üzerinde analitik olarak elde edilmiştir. Örnek sisteme ait elektrik büyüklüklerin elde edilmesinde, iyi bilinen toplam harmonik distorsiyonu ve güç faktörü eşitlikleri kullanılmıştır. Elde edilen hesaplama sonuçları ve ölçüm sonuçları Tablo 1-6'da verilmiştir.

Tablo 1. Filtresiz durum için akıma ait değerler.

Harmonik Bileşeni	Hesaplanan değer [A]		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3
Temel bileşen	775,3238	787,2231	764,3093
3	11,1802	7,1480	8,6520
5	21,5307	22,1367	15,9511
7	29,1754	30,7647	29,7316
11	105,2735	105,4092	138,0878
13	87,8209	90,3575	55,4659

Tablo 2. Filtresiz durum için gerilime ait değerler.

Harmonik Bileşeni	Hesaplanan değer [V]		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3
Temel bileşen	396,3450	396,9674	395,9831
3	0,0317	1,5081	1,4137
5	15,7944	16,1525	15,5423
7	7,4909	8,1834	8,0503
11	4,9147	4,7942	4,4548
13	2,7031	3,4448	3,5242

Tablo 3. Filtresiz durum için THD ve güç faktörü değerleri.

Değişken	Hesaplanan değer			Ölçülen değer		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3	Faz 1	Faz 2	Faz 3
THD _I	%18,3471	%18,3041	%19,9962	%18,687	%19,157	%20,138
THD _V	%4,6320	%4,8139	%4,6609	%5	%4,928	%4,845
Güç faktörü	%99,81			%98		

Tablo 4. Filtreli durum için akıma ait değerler.

Harmonik Bileşeni	Hesaplanan değer [A]		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3
Temel bileşen	820,1733	828,8575	814,3636
3	13,2212	6,7801	8,7137
5	89,7024	79,0150	80,5976
7	18,7410	19,2129	20,0496
11	25,2039	24,3518	23,3478
13	14,9025	15,5245	11,8653

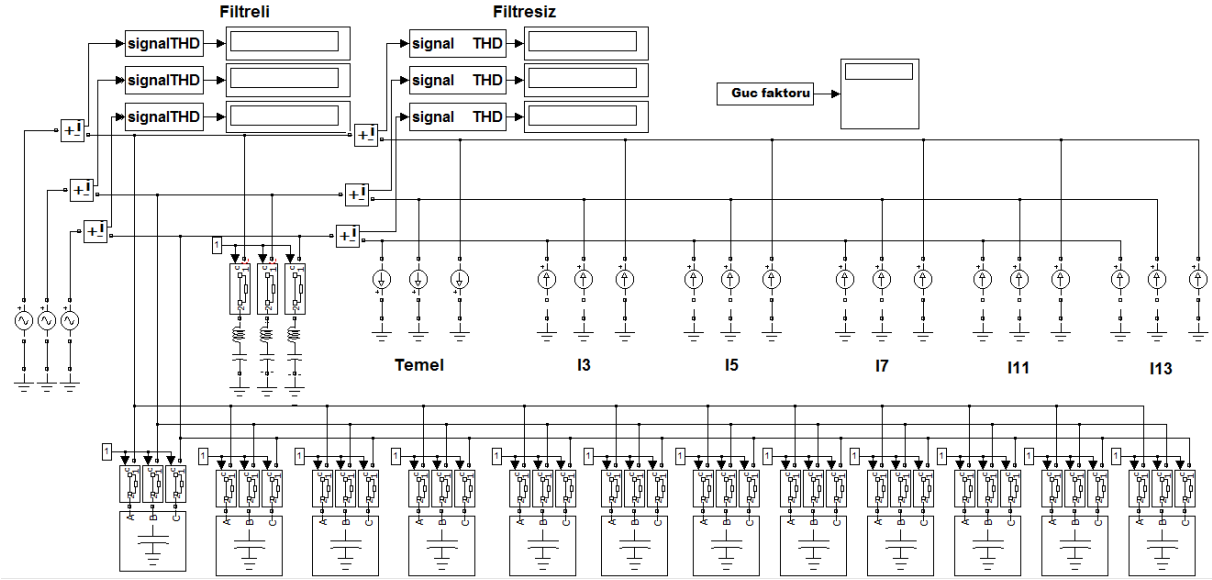
Tablo 5. Filtreli durum için gerilime ait değerler.

Harmonik Bileşeni	Hesaplanan değer [V]		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3
Temel bileşen	396,7679	396,9443	396,1485
3	0,0317	1,6989	1,4657
5	15,0692	15,6595	15,0220
7	7,2410	7,6412	7,6972
11	5,1897	5,2794	5,0311
13	2,6861	3,6439	3,4940

Tablo 6. Filtreli durum için THD ve güç faktörü değerleri.

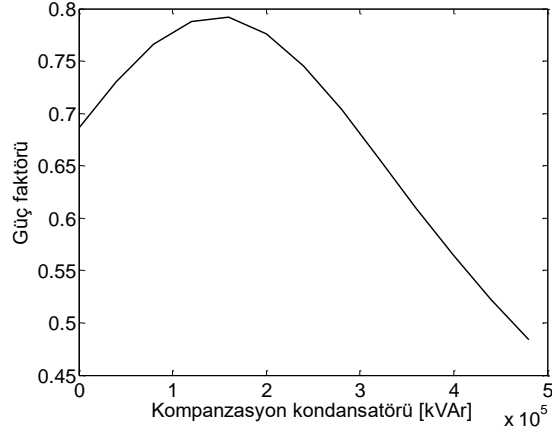
Değişken	Hesaplanan değer			Ölçülen değer		
	Faz 1	Faz 2	Faz 3	Faz 1	Faz 2	Faz 3
THD _I	%11,8399	%10,4432	%10,7471	%11,987	%10,58	%10,843
THD _V	%4,4637	%4,6972	%4,5478	%4,827	%4,862	%4,695
Güç faktörü	%99,94			%99		

Çizelgelerde de görüldüğü üzere hesaplanan değerler ile uygulama sonucunda ölçülen değerler birbiri ile paralellik göstermektedir. MATLAB/Simulink ortamında sistemin modellenmesi gerçekleştirilmek üzere Şekil 18'de görülen diyagram oluşturulmuştur. Oluşturulan bu model ile ölçümü yapılan sistemin davranışı incelenmiştir. Şekil 18'deki simülasyon çalışmasında sinüs biçimli bir beslemenin olduğu 3 fazlı bir sisteme Tablo 1'de filtersiz durum için hesaplanan harmonik akım değerleri enjekte edilmiştir. Böylece aynı harmonik bileşenler için filtreleme devresinin etkinliği araştırılmıştır. Ölçümü gerçekleştirilen devredeki filtrenin performansı, bahsi geçen harmoniklerin eliminasyonu açısından simülasyon ortamında da test edilmiştir. Şekil 18'de açıkça görüldüğü üzere filtrelenmiş durumdaki THDI değeri, filtrelenmemiş duruma göre önemli oranda azaltılabilmektedir. Bu çalışma ile birlikte de sistem performansı hem deneysel, hem de bilgisayar ortamında değerlendirilmiş olmaktadır.

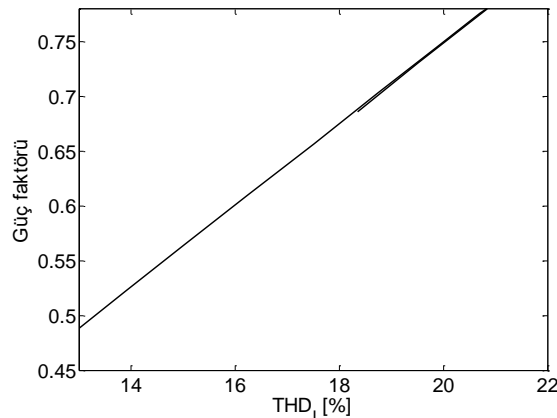


Şekil 18. Uygulamada ele alınan sistem için oluşturulan kompanzasyonun da dikkate alındığı simülasyon diyagramı.

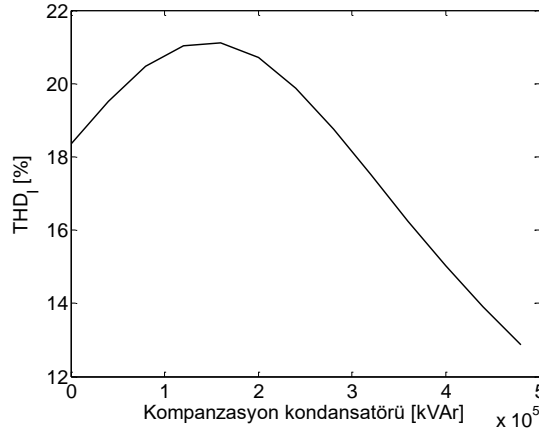
Örnek sistem üzerinde yapılan ölçümler ve modelleme sonucu elde edilen hesaplama değerleri büyük bir uyumluluk göstermiştir. Bu durum modelleme ile çeşitli analizlerin gerçekleştirilmesinin ve sistem davranışının ortaya konulmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Örnek sistemde çeşitli yüklenmeler için güç faktörünün nasıl değiştiğini ortaya koymak bakımından yapılan analizde Şekil 19-21 elde edilmiştir. Bu şekillerde görüldüğü gibi sistemde filtresiz durumda yük artışı sonucu devreye alınan kompanzasyon kondansatörü gücü arttığında, güç faktörü belli bir değere kadar artış göstermektedir. Maksimum güç faktöründen sonra kondansatör güçlerinin artması ile maalesef güç faktörü artmamakta aksine azalmaktadır. Filtresiz durumda güç faktörü değerinin artması ile toplam harmonik bozunumu da artış göstermektedir. Toplam harmonik bozunumu filtresiz sistemde kompanzasyon gücü ile belirli bir değere kadar artmakta, daha sonra ise azalmaktadır. Bu değişim güç faktörü değişimi ile paralellik göstermektedir.



Şekil 19. Harmonikli durumda kompanzasyon kondansatörü-güç faktörü değişimi.



Şekil 20. Harmonikli durumda THD₁ - güç faktörü değişimi.



Şekil 21. Harmonikli durumda kompanzasyon kondansatörü-THD₁ değişimi.

Örnek sistemde, harmonik bileşenler arttığında filtresiz sistemde güç faktörü değerleri artış göstermezken, filtreli sistemde güç faktörü değerleri istenilen sınırlar içerisinde elde edilmektedir. Görüldüğü üzere harmonikli durumda kondansatör eklenmesi güç faktörünün artırılmasını belirli bir düzeye kadar sağlarken, bir yerden sonra kondansatör eklenmesi güç faktörünü arttırmak bir yana azaltabilmektedir. Bu durum daha önceden de bahsedildiği üzere uygulamalarda kimi zaman gereksiz kondansatör kullanımı yapıldığını ortaya koymaktadır. Bu durum bize filtreli kompanzasyon yapmanın önemini ortaya koymaktadır.

4. Genel Çalışma Sonuçları

Elektrik enerji sistemlerinin; tek frekansa sahip olması ve bu frekansın sabit olması, akım ve gerilimin dalga şeklinin ise sinüs biçimli olması kaliteli bir enerji sağlanması açısından büyük önem teşkil etmektedir. Günden güne gelişen teknoloji ile birlikte, pek çok elektrikli cihaz akım ve gerilimde harmonik meydana getirmektedir. Harmonikler, enerji sistemlerinde önemli sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunların başlıcaları; teknik ve ekonomik sorunlardır. Harmoniklerin sistemde hiç bulunmaması tercih edilmeye birlikte yüklerin özelliklerinden dolayı bu durum önlem alınmadan mümkün değildir. Bu da filtreler kullanılarak harmoniklerin sistemde yönlendirilmesi ile mümkündür. Bu durumda harmonik bileşenlerin analizinin yapılması, hesaba katılması gerekmektedir. Harmoniklerin bulunduğu devrelerde güç faktörünün düzeltilmesinde önemli problemlerle karşılaşmaktadır. Özellikle büyük güçlü tristör kontrollü doğrultucular, ark fırınları, kaynak generatörleri gibi harmonik üreten cihazların bulunduğu işletmelerde kompanzasyon tesisi kurmadan önce gerekli incelemelerin, analizlerin yapılması ve bir takım önlemlerin alınması gerekir. Böylece harmoniklerin etkilerinin azaltılması gerekir. Aksi halde sistemde rezonans olayları baş gösterebilir.

Yapılan incelemeler sonucu şu önerilerde bulunulabilir:

- Tüm tesislerde yapılacak kompanzasyon sisteminin filtreli kompanzasyon olarak tesis edilmesi gerekmektedir.
- Gelecekte güç sistemlerinde harmonik problemlerin daha da artacağı göz önüne alınarak, lineer olmayan yükler içeren tesislerin daha kuruluş ve tasarım aşamasında düşük seviyede harmonik üretmesi için önlem alınmalıdır. Bu önlemler sistem kurulmadan önceki tasarım aşaması ile sistem kurulduktan sonraki donanım yerleştirme aşaması olarak uygulanabilir.
- Halen çalışan ve harmonik değeri yüksek olan işletmeler için harmonik filtrelerin yerleştirilmesi, kurulmuş sistemler için uygun bir çözüm olarak görülmektedir. Böylece harmoniklerin etkilerinin azaltılması gerekmektedir.
- Tüketicileri dengeli gerilim ile beslemek için gerekli önlemler alınmalıdır. Faz akımlarının dengeli olmaması, harmonik kayıplarını daha da arttırmaktadır. Bu bakımdan sistemin dengeli yüklenmesinin sağlanması uygun olacaktır.
- Son yıllarda ülkemizde harmonik kaynaklarının hızla artması ve filtre kullanımının yaygın olmaması nedeniyle, sınır harmonik bozunum değerlerinin verildiği harmonik standartları, ülkemizdeki ilgili kuruluş tarafından ölçülerek gerekli önlemlerin aldırılması sağlanmalıdır.
- Çok sayıda işletmenin denetlenmesi ve ölçümlerinin yapılmasının zorluğu açıktır. Bu konuya yönelik çalışmaların yapılması uygun olacaktır.

Kaynakça

- Arrillaga, J., Watson, N. R., ve Chen, S., (2001), Power System Quality Assessment, John Wiley & Sons, Chicester.
- Arrillaga, J., Bradley, D.A. ve Bodger, P.S., (2004), Power System Harmonics, John Wiley&Sons, Norwich, New York.
- George, S., Agarwal, V., (2005), A novel, DSP based algorithm for optimizing the harmonics and reactive power under non-sinusoidal supply voltage conditions, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, pp. 2526 – 2534.
- Jafar M., Molinas, M., Isobe, T., Shimada, R., (2014), Transformer-Less Series Reactive/Harmonic Compensation of Line-Commutated HVDC for Offshore Wind Power Integration, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 29, pp. 353-361.

- Micallef, A., Apap, M.; Spiteri-Staines, C., Guerrero, J. M., Vasquez, J. C., (2014), Reactive Power Sharing and Voltage Harmonic Distortion Compensation of Droop Controlled Single Phase Islanded Microgrids, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 5, pp. 1149-1158.
- Prodanovic, M., Brabandere, K., Keybus, J. V. D., Green, T., Driesen, J., (2007), Harmonic and reactive power compensation as ancillary services in inverter-based distributed generation, *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 1, pp. 432-438.
- Rahmani, S., Hamadi, A., Al-Haddad, K.; Dessaint, L. A., (2014), A Combination of Shunt Hybrid Power Filter and Thyristor-Controlled Reactor for Power Quality, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 61, pp. 2152-2164.
- Santos, W. R. N., Silva, E. R. C.; Jacobina, C. B., Fernandes, E. M., Oliveira, A. C.; Matias, R. R., Filho, D. F. G., Almeida, O. M., Santos, P. M., (2014), The Transformerless Single-Phase Universal Active Power Filter for Harmonic and Reactive Power Compensation, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 29, pp. 3563-3572.
- Shu Z., Xie S., Li, Q., (2011), Single-Phase Back-To-Back Converter for Active Power Balancing, Reactive Power Compensation, and Harmonic Filtering in Traction Power System, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, 334-343.
- Wang, Y., Yao, L., Peng J., Wang, Y., Mao, X., (2012), Analysis of Harmonic Current Suppression and Reactive Power Compensation on 125 MVA Motor Generator, *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 40, pp. 705-709.
- Wang, L., Lam, C. S., Wong, M. C., (2017), Selective Compensation of Distortion, Unbalanced and Reactive Power of a Thyristor-Controlled LC -Coupling Hybrid Active Power Filter (TCLC-HAPF), *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, 9065-9077.