

ELEKTRİK TESİSLERİNDE HARMONİKLERİN PASİF FİLTRE KULLANILARAK AZALTILMASI VE SİMÜLASYONU

Sabir Rüstemli¹, Emrullah Okuducu², Serhat Berat Efe¹

¹Bitlis Eren Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 13100, Bitlis, TÜRKİYE

srustemli@beu.edu.tr, sbefe@beu.edu.tr

²VEDAŞ, Van, TÜRKİYE
emir.oku@gmail.com

Özet

Elektrik tesislerinin güvenli ve arzu edilir bir biçimde çalışması için, tesisin tasarım ve işletim aşamasında bazı etkenlerin göz önüne alınması gerekir. Bu etkenlerden biri de güç kalitesini belirleyen parametrelerden olan nonlineer karakteristikli elemanların meydana getirdikleri harmoniklerdir. Son yıllarda hızla artan nonlineer yükler, güç elektroniği anahtarlama düzenekleri, vb. elektrik tesisleri tesis parametrelerinde ciddi bozulmalara neden olarak fliker, harmonik veya dalga şekli bozulmalarına neden olmaktadır. Bu bozulmalar büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Harmoniklerin azaltılması için en önemli yöntem harmonik filtreler yardımıyla harmoniklerin süzülmesidir.

Yapılan çalışmada, Van ilindeki bir tesiste (fabrikada) ZERA MT310 adlı güç analizörü ile çeşitli ölçümler (anlık elektriksel değerler, harmonikler, akım ve gerilim dalga şekilleri vb.) yapılarak bazı güç kalitesizlikleri tespit edilmiş ve bu bulgulardan hareketle güç kalitesizliğine neden olan harmonikler incelenmiş ve harmoniklerin mevcut tesis üzerindeki etkileri yorumlanarak pasif filtre çözümleri simülasyon çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır. MATLAB simülasyon programı kullanılarak tek ayarlı bir filtre tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güç Kalitesi, Harmonikler, Pasif Filtre, MATLAB

1. Giriş

Elektrik tesislerinin güvenli ve arzu edilir bir biçimde çalışması için, tesisin tasarım ve işletim aşamasında bazı etkenlerin göz önüne alınması gerekir. Bu etkenlerden biri de nonlineer karakteristikli elemanların meydana getirdikleri harmoniklerdir [1-3]. Harmonikler elektrik tesis frekansının tam katları olan frekanslardaki sinüzoidal gerilim veya akımlardır. Elektrik tesislerinde harmoniklerin temel sebepleri güç elektroniği cihazları gibi endüstriyel nonlineer yüklerin varlığıdır. Harmoniklerin bazı zararlı etkileri ise kontrol cihazlarının bozulması, kapasitörler, transformatörler ve dönen makinelerde ek kayıpların oluşması, motorlar ve diğer elemanlarda ilave gürültü meydana gelmesi, telefon parazitlerine neden olma, paralel ve seri rezonans frekansına neden olma olarak sıralanabilir.

Günümüz şartlarında harmonik filtreleme olayı başlıca iki düzeneğe kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu düzenekler pasif filtreler ve aktif güç filtreleridir. RLC pasif devre elemanlarının çeşitli bağlantı türlerinden oluşan pasif filtreler uzun yıllardır kullanılmakta olup, ekonomik olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Pasif filtreler ile akım harmoniklerine düşük empedanslı bir yol oluşturulup, kaynağa dönmek yerine, filtre üzerinden akması sağlanır [4,5].

Yapılan çalışmada, Van ilindeki bir tesiste (fabrikada) ZERA MT310 adlı güç analizörü ile çeşitli ölçümler (anlık elektriksel değerler, harmonikler, akım ve gerilim dalga şekilleri vb.) yapılarak bazı güç kalitesizlikleri tespit edilmiş ve bu bulgulardan hareketle güç kalitesizliğine neden olan harmonikler incelenmiş ve harmoniklerin mevcut tesis üzerindeki etkileri yorumlanarak pasif filtre çözümleri simülasyon çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır. MATLAB simülasyon programı kullanılarak tek ayarlı bir filtre tasarlanmıştır.

2. Harmonikler ve Harmonik Analizör Donanımı

Elektrik sistemlerinde normal olarak gerilimin 50 Hz frekanslı tam sinüs eğrisi şeklinde üretilmesi, iletilmesi, dağıtılması ve tüketime sunulması, elektrik güç sisteminin ve elektrikle çalıştırılan her türlü cihazın doğru, düzenli, verimli ve sorunsuz çalıştırılması açısından önemlidir. Ancak tesisat elemanlarının bazılarının ya da sisteme bağlı tüketicilerden kaynaklanan yan etkiler, bozucu olaylar yüzünden akı, akım ve gerilim gibi temel elektriksel büyüklüklerin sinüzoidal dalga şekli bozularak temel frekans olan 50 Hz'in tam sayı katlarıyla orantılı, harmonik ihtiva eden istenmeyen dalga şekillerine dönüşür [2,3].

Harmoniklerin seviyesini belirli limitlerde tutmak amacıyla çeşitli standart kuruluşlar tarafından bazı önlemler, sınırlamalar getirilmiştir. Harmonik büyüklüklerin sınırlandırılması amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD) gerilim ve akım için;

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_n)^2}}{V_1} ; THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (I_n)^2}}{I_1} \quad (1)$$

ifadelerinden yararlanılarak bulunur [2,3].

(1) ifadesinden görüldüğü gibi THD, harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel bileşen efektif değerine oranıdır. THD genellikle yüzde olarak ifade edilir. IEC standartlarına göre THD'ü gerilimler için %3, akımlar için ise %6'dır [3].

THD harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga şeklinden sapmasını tespit için kullanılır. Sadece temel frekandan oluşan tam bir sinüs dalga şekli için THD sıfırdır.

Yapılan çalışmada ZERA MT 310 harmonik analizörü kullanılmıştır. ZERA MT 310 harmonik analizörünün ön görünümü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. ZERA MT310 Harmonik Analizörünün Ön Görünümü

Ölçüm için kullanılan test cihazının geçerli akım ölçüm aralığı 1 mA ile 12 A arasında olup, doğruluk oranında %0.1 hassasiyete sahiptir. 4 telli, 3 telli, 2 telli devrelerde ölçüm yapabilen bir harmonik analizördür. Klomp ile yapılacak ölçümlerde 5 mA ile 120A arasındaki akım değerlerini de ölçecek şekilde tasarlanmıştır. Dâhili belleğe sahip ve 150 ölçüme kadar hafızasındaki bilgileri saklama yeteneği olan bu cihaz, bilgisayar üzerinden veri yönetimine izin veren bir yapıya sahiptir.

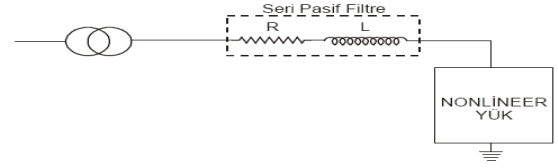
Aktif, reaktif ve görünür gücü ölçebilen aynı zamanda frekans, faz açısı ve güç faktörünü ölçen, harmonik dalga analizörü olarak çalıştırılırken 40. harmoniğe kadar hafızasına verileri kaydeden bozulma faktörü ölçümü, vektör diyagramlarını gösteren ve bu bilgileri yazıcılara aktarabilen bir analizördür.

3. Pasif Filtreler

Pasif filtreler, kaynak ile alıcı arasına konulan ve temel frekans dışındaki bileşenleri yok etmek için tasarlanan kondansatör (C), endüktans (L) ve bazı durumlarda direnç (R) elemanlarından oluşan devrelerdir. Pasif filtreler, seri pasif filtreler ve paralel pasif filtreler olmak üzere ikiye ayrılır.

3.1.Seri Pasif Filtreler

Seri pasif filtreler uygulamada; AC motor sürücü devrelerinin ve yüksek güçlü AC/DC inverterler önlerinde kullanılır. Seri pasif filtre için bir örnek Şekil 2'de verilmiştir.

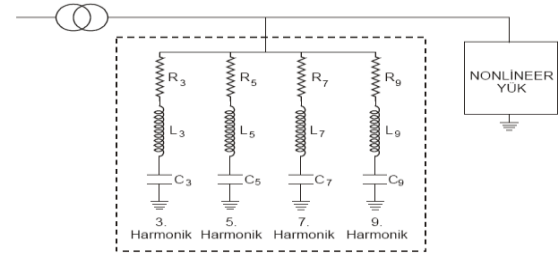


Şekil 2. Seri Pasif Filtre için bir örnek

Seri filtrelerin uygulamasındaki en büyük zorluk tüm yük akımının filtre üzerinden geçmesi ve filtrenin tam hat gerilimine göre yapılması ve hatta gerilim düşümüne neden olmasıdır.

3.2.Paralel Pasif Filtreler

Paralel pasif filtreler, harmonik kaynağı ile şebeke arasına kondansatör (C), endüktans (L) ve bazı durumlarda direnç (R) elemanlarının paralel olarak bağlanmasından oluşan devrelerdir. Paralel pasif filtre için bir örnek Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Paralel Pasif Filtre için bir örnek

4. Van Erciş Şeker Fabrikasında Yapılan Ölçümler

Van Erciş Şeker Fabrikasında 15.01.2010 tarihinde yapılan ölçümlerle B fazına ait akım harmoniklerin Mutlak Değerleri ile açıları (Şekil 4), B fazına ait akım harmoniklerinin lineer çubuk grafik (FFT) gösterimi (Şekil 5), B fazına akımın dalga şekli (Şekil 6) ve Erciş Şeker Fabrikasına ait anlık elektriksel değerler (Şekil 7) elde edilmiştir.

	UB	IB	MM
Meas settings	250.0 V	C1.000 A	4WA
U-Ratio	31500.0:sqrt(3)/100.0:sqrt(3)		
I-Ratio	25.000/5.000		
	Actual Values	Meter-Constant	Meter-Register
Ratio cons.	On	On	On

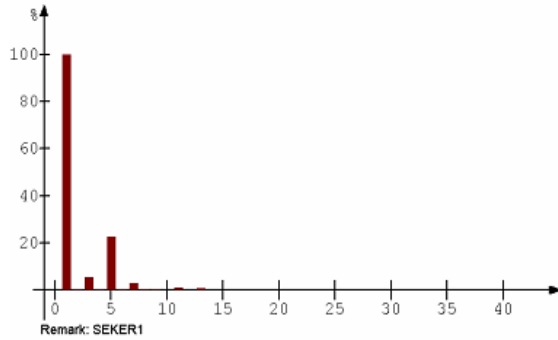
Channel **IL2** Sum **23,57 %**

	Absolute value	Angle
0	0.134052 %	0.000000°
1	100.000000 %	0.000000°
2	0.472294 %	27.065643°
3	5.569700 %	83.705444°
4	0.420751 %	81.081390°
5	22.647034 %	5.604858°
6	0.460043 %	37.030136°
7	2.857733 %	40.209080°
8	0.442694 %	44.577438°
9	0.592696 %	31.259064°
10	0.054677 %	32.536758°
11	1.230665 %	32.530190°
12	0.065657 %	19.767258°
13	0.846653 %	18.444044°
14	0.027083 %	11.231684°
15	0.064325 %	5.886581°
16	0.029539 %	0.881760°
17	0.262242 %	11.497969°
18	0.087707 %	18.297195°
19	0.196363 %	3.923050°
20	0.044190 %	16.141434°

Şekil 4. Erciş Şeker Fabrikası B Fazına Ait Akım Harmoniklerinin Mutlak Değerleri ve Açıları

	UB	IB	MM
Meas settings	250.0 V	C1.000 A	4WA
U-Ratio	31500.0:sqrt(3)/100.0:sqrt(3)		
I-Ratio	25.000/5.000		
	Actual Values	Meter-Constant	Meter-Register
Ratio cons.	On	On	On

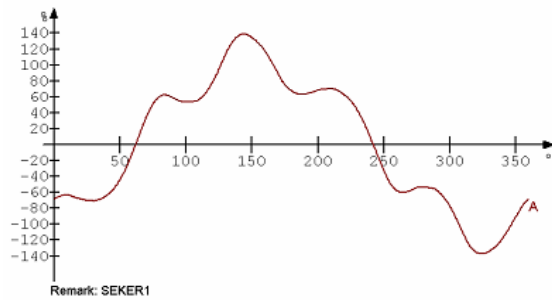
Channel **IL2** Sum **23,57 %**



Şekil 5. Erciş Şeker Fabrikası B Fazına Ait Akım Harmoniklerinin FFT Gösterimi

	UB	IB	MM
Meas settings	250.0 V	C1.000 A	4WA
U-Ratio	31500.0:sqrt(3)/100.0:sqrt(3)		
I-Ratio	25.000/5.000		
	Actual Values	Meter-Constant	Meter-Register
Ratio cons.	On	On	On

Channel **A** **IL2**



Şekil 6. Erciş Şeker Fabrikası B Fazına Ait Akımın Dalga Şekli

	UB	IB	MM
Meas settings	250.0 V	C5.000 A	4WA
U-Ratio	31500.0:sqrt(3)/100.0:sqrt(3)		
I-Ratio	25.000/5.000		
	Actual Values	Meter-Constant	Meter-Register
Ratio cons.	On	On	On

	L1	L2	L3		S	
UPN	17.737	17.708	17.501	kV	SP	0.1091
UPP	30.746	30.419	30.541	kV	SQ	0.0189
UD	1.46	1.42	1.46	%	SS	0.1134
I	2.215	1.903	2.306	A	F	49.974
ID	17.84	22.68	16.57	%	PS	123
PhiU	16.17	255.85	136.33	deg	SL	0.9624
PhiI	0.00	248.03	130.95	deg		
PhiUI	16.17	7.81	5.37	deg		
Lambda	0.943598	0.963875	0.979453			
P	0.0371	0.0325	0.0395	MW		
Q	0.0107	0.0044	0.0037	MVar		
S	0.0393	0.0337	0.0404	MVA		

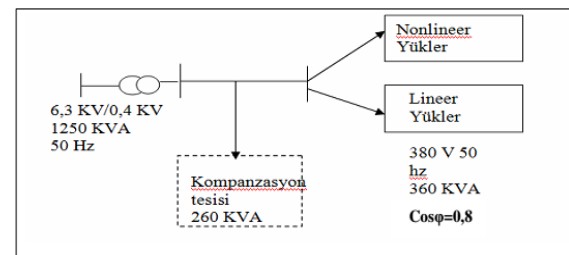
Şekil 7. Erciş Şeker Fabrikasına Ait Anlık Elektriksel Değerler

Yapılan ölçümler ve alınan grafiklerde Van bölgesinde elektrik güç kalitesine ilişkin olarak büyük eksiklikler olduğu tespit edilmiştir. Müşterilerin sistem kurarken ve işletirken elektrik güç sistemlerini sürekli kontrol altında tutmaları sistemlerinin sağlıklı işleyişi, malzemelerin uzun ömürlü olması ve kaliteli enerji için şarttır.

Van Erciş Şeker Fabrikasının anlık değerleri incelendiğinde giriş geriliminin 31500 V olması gerekirken 28000 V civarında olduğu, güçlerin nispeten dengeli olarak fazlara dağıldığı, gerilim harmoniklerinin tolerans sınırlarının altında kaldığı fakat akım harmoniklerinin tolerans sınırlarının üstünde kaldığı, belirgin olarak beşinci harmoniğin etkili olduğu tespit edilmiştir. Basit bir filtreleme ile sistemin sağlıklı çalışacağı öngörülmektedir.

5. Harmoniklerin Tek Ayarlı Pasif Filtre ile Giderilmesi ve Simülasyon

Bu bölümde, örnek olarak alınan Erciş Şeker Fabrikası elektrik enerji sistemi üzerine, tek ayarlı (bant geçiren) filtre uygulanarak sistemin bu filtreye karşı cevabı ayrı ayrı incelenmiştir. Bu incelemede; sistemin akımı, gerilimi, akıma ve gerilime ait THD değerleri, akıma ve gerilime ait FFT değerleri üzerinde, MATLAB v6.5 programı kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Bu bölümde uygulanan pasif filtre çeşidi, Şekil 8'de tek hat şeması ve elektriksel büyüklükleri verilen Erciş Şeker Fabrikasının elektrik sistemi üzerinde uygulanmıştır. Bu sistemdeki nonlineer yükler akım kaynağı ile modellenmiştir.



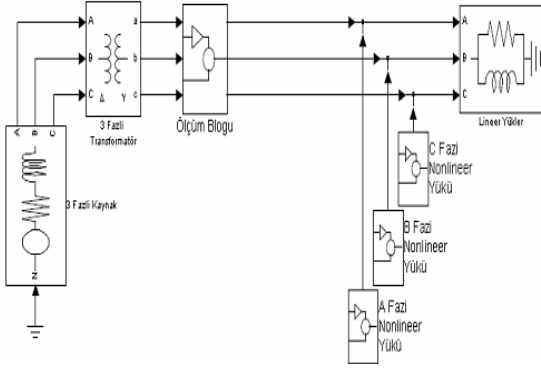
Şekil 8. Erciş Şeker Fabrikası Tek Hat Şeması

Sistemde 3., 5. ve 7. harmoniklerin olduğu kabul edilmiştir. Bu harmoniklere ait değerler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Erciş Şeker Fabrikası akım harmoniklerinin büyüklükleri

Harmonikler	Değerleri (A)
I1	165,76
I3	9,28
I5	37,52
I7	2,57

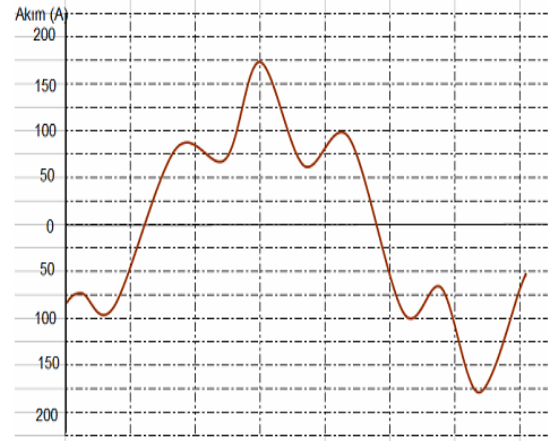
Örnek olarak alınan elektrik enerji sisteminde yüklerin dengeli olarak fazlara dağıtıldığı kabul edilmiştir. Yani sistem dengeli bir sistemdir. Örnek elektrik enerji sisteminin MATLAB’de hazırlanmış simülasyon devresi Şekil 9’da verilmiştir.



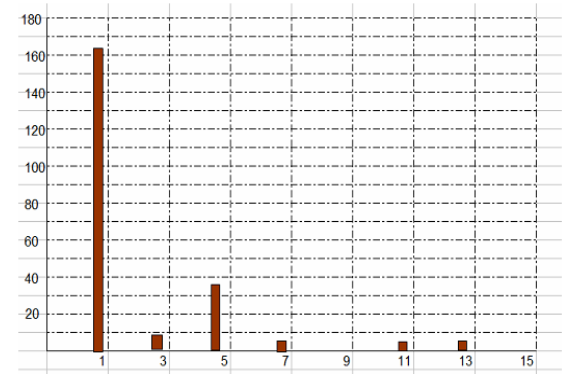
Şekil 9. Simülasyon devresi

Bu simülasyon devresinde, “Ölçüm Bloğu”, “A Fazı Nonlineer Yük”, “B Fazı Nonlineer Yük” ve “C Fazı Nonlineer Yük” isimli bloklar birer kapalı bloklardır. MATLAB’deki simülasyon devrelerinde bu bloklar gibi gösterilen bütün bloklar bir kapalı bloğu temsil etmektedir. Kapalı bloklar, içlerinde ayrı devreler bulunan sistemlerdir.

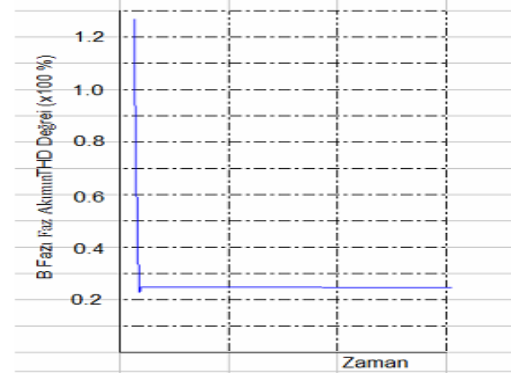
Sistemin akım grafiği Şekil 10’da, akım için FFT grafiği Şekil 11’de, akım için THD grafiği Şekil 12’de ve gerilim için THD grafiği Şekil 13’te verilmiştir.



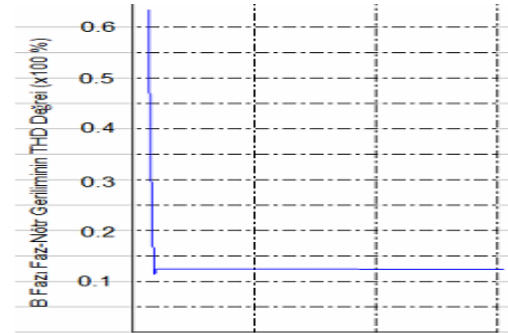
Şekil 10. B Fazına Ait Akım Grafiği



Şekil 11. B Fazına Ait Akım için FFT Grafiği



Şekil 12. B Fazına Ait Akım için THD Grafiği

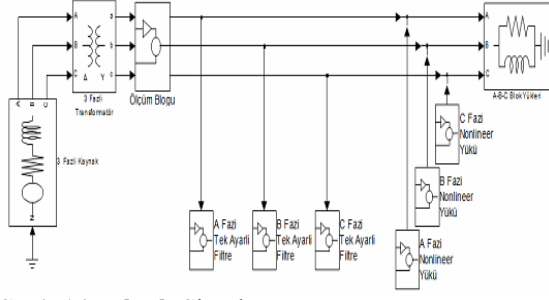


Şekil 13. B Fazına ait Gerilim için THD Grafiği

MATLAB’de yapılan simülasyon sonucunda sisteme ait elektriksel veriler Ölçüm Bloğu aracılığıyla toplanmıştır. Örnek sistem dengeli bir sistem olduğu için sistemin bir fazından bütün elektriksel veriler alınmış olup bu veriler bütün fazlar için aynı kabul edilmiştir.

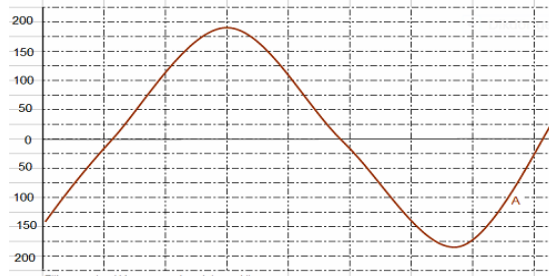
Sisteme tek ayarlı filtre uygulanarak sistemin buna cevabı incelenmiştir. Filtre uygulanırken filtre içinde kullanılan kapasite elemanlarının sisteme gerekli olan kompanzasyon gücünü de karşılaması gerekmektedir.

Her paralel kol için hesaplanan L ve C değerlerine göre sistemin MATLAB ‘de hazırlanan simülasyon devresi Şekil 14’te görülmektedir.

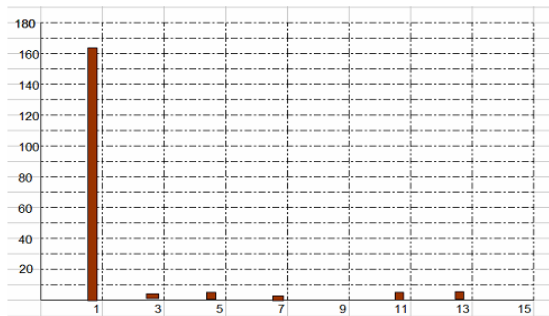


Şekil 14. Filtreli Simülasyon Devresi

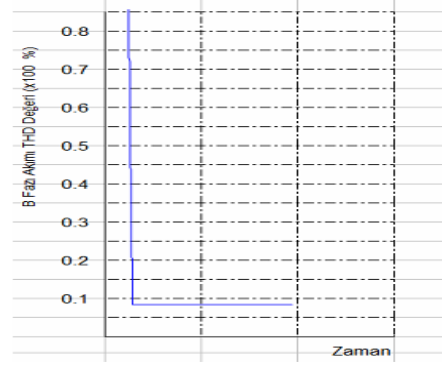
Şekil 14’teki simülasyon devresinin çalıştırılması sonucunda sistemin filtre uygulandıktan sonra devreden geçtiği akım Şekil 15’de, akım için FFT grafiği Şekil 16’da, akım için THD grafiği Şekil 17’de ve gerilim için THD grafiği Şekil 18’de verilmiştir.



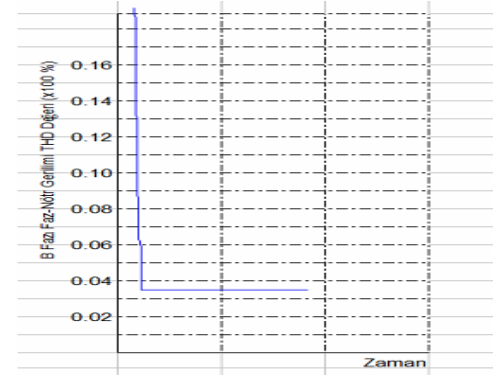
Şekil 15. Sisteme Filtre Uygulandıktan Sonra Akım Dalga Şekli



Şekil 16. Sisteme Filtre Uygulandıktan Sonra Akım FFT Grafiği



Şekil 17. Sisteme Filtre Uygulandıktan Sonra Akım THD Grafiği



Şekil 18. Sisteme Filtre Uygulandıktan Sonra Gerilim FFT Grafiği

6. Sonuç ve Öneriler

Tek ayarlı filtre uygulanmadan önce akımdaki THD değeri % 23,57 mertebelerinde iken, tek ayarlı filtre uygulandıktan sonra bu değer % 7,6 mertebelerine düşmüştür. Gerilimin THD değeri ise % 11,70 değerinden % 3,5 mertebelerine düşmüştür. Akım ve gerilimdeki bu THD değerleri kabul edilebilir seviyededir. Fakat yeterli olarak görülmemelidir. Sistemde bulunan diğer üst mertebeden harmoniklerin de bastırılması gerekmektedir. Buradan görülmektedir ki her bir harmonik mertebesi için ayar edilen paralel kollar, ayar edildikleri frekanslarda elemanların iç dirençleri ihmal edilirse sıfıra yakın empedans göstermişlerdir.

Tek ayarlı filtrenin performansı oldukça iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ancak bu filtrelerin bazı dezavantajları vardır. Öncelikle, hassas yapılan hesaplama ve ayarlardan dolayı, filtreyi oluşturan elemanların değerinde zamanla oluşan değişimlere karşı oldukça duyarlı olmaları en önemli sorundur. Ayrıca tek ayarlı filtreler sadece gücü sabit olan nonlineer yüklü sistemlerde kullanılabilir. Çünkü üzerlerindeki kapasite değerleri değişken olmadığından sistemdeki endüktif yükler kalktığından kondansatörler devrede kalmaya devam edeceğinden bu durumda aşırı kompanzasyon oluşabilir. Örneğimizde işlediğimiz Van Erciş Şeker Fabrikası stabil yüke sahip değildir. Talebe göre fabrikada yük durumu ve

yükün karakteristiği değişebilmektedir. Bu da tek ayarlı filtrenin sakıncalarını ortaya çıkaracaktır. Güç kalitesizliğine neden olan unsurlar bu ölçümler sırasında yapılan gözlemlerde tespit edilmiştir. Lineer olmayan yükler kontrolsüz olarak sisteme dâhil edilmekte ve buna ilişkin ön tedbir alınmamakta, sisteme eklenen her bozucu etkiye sahip yük, sistemi biraz daha zorlamakta ve sistemin ömrünü kısaltmaktadır. Bu da işletim maliyetlerini artırmakta, elektrikli cihazların ömürlerini kısaltmakta, iş verimini düşürerek işletme ve ülke ekonomisine zarar vermektedir. Her işletme kendi işletmesinin yük karakteristiğine uygun koruma ve düzeltme amaçlı tedbirler almalıdır. Kısa vadede masraf olarak görülen bu durum uzun vadede gerek üretilecek ürünün toplam kalite anlayışının gelişimi açısından gerekse de ülke ekonomisi açısından faydalı sonuçlar doğuracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] S. Rüstemli, M.S.Cengiz, F. Dinçer, “Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Aktif Filtre Kullanılarak Yok Edilmesi ve Simülasyonu”, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:2, Sayı:1, 30-38, 2013.
- [2] S. Rüstemli, M.S.Cengiz,”Active Filter Solutions in Energy Systems”, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, DOI: 10.3906/elk-1402-212.
- [3] R. Yacamini, “Power System Harmonics”, IEEE Power Engg. Journal, 8 (4), 193-198, 1994.
- [4] A.M. Dumitrescu, G.Griva, R.Bojoi, V.Bostan, R.Magureanu, “Current controllers design using Naslin polynomial method for Active Power Filters”, Electrotechn. et. Energ., 54(1), 115-124, 2009
- [5]P. Salemon, S.P. Litran, “Improvement of the electric power quality using series active and shunt passive filters”, IEEE Trans. Power Del., 25 (2), 1058-1067, 2010