



## Doğrusal Olmayan Yüklerde Güç Faktörünün Düzeltilmesi ve Harmonik Bileşenlerin Süzülmesi

Süleyman ADAK<sup>1,\*</sup>, Hasan Cangi<sup>2</sup>, Ahmet Serdar YILMAZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 47100, Artuklu/MARDİN

<sup>2,3</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mimarlık Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2018, KAHRAMANMARAŞ

### Öz

Toplam harmonik distorsiyonu özellikle güç elektronik ekipman ve doğrusal olmayan yüklerin kullanılmasından sonra güç kalitesinin önemli bir konusu oldu. Elektrik sistemlerinin arızasız ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi, akım ve gerilim gibi büyüklüklerin 50 Hz frekansta ve sinüsoidal formda olmasına bağlıdır. Bununla birlikte bir çok nedenlerden dolayı bu temel büyüklükler sinüsoidal özelliklerini kaybederek sistemde istenmeyen harmonikler oluşmaktadır. Harmonik distorsiyonun azaltılması ve güç faktörünü iyileştirilmesi için pasif filtrelerin kullanılması çokca tercih edilen bir yöntemdir. İncelenen güç sistemi, üç fazlı gerilim kaynağı, güç trafosu, altı darbeli kontrolsüz doğrultucu, pasif filtre ve R-L endüktif yükünden oluşmaktadır. Altı darbeli kontrolsüz bir doğrultucu 5, 7, 11, 13, 17, 19 v.b. gibi akım harmonik bileşenleri üretir. Üç fazlı kontrolsüz doğrultucunun giriş akımı toplam harmonik distorsiyonunu azaltmak için pasif filtre kullanılmıştır. Güç sistemi Matlab/Simulink programı kullanılarak modellenmiştir. Simülasyon sonuçları, hem harmoniklerin elimine edildiğini hem de güç katsayısının düzeltildiğini göstermektedir. Pasif filtreler kullanılmadan önce güç sistemindeki güç katsayısı 0.6877 ve THD<sub>1</sub> değeri ise % 12.71 olarak ölçülmüştü. Pasif filtreler kullanıldıktan sonra ise sistemdeki güç katsayısı 0.99 ve THD<sub>1</sub> değeri ise % 3.591 olarak gerçekleşmiştir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 16/08/2018  
Düzeltilme: 24/10/2018  
Kabul: 13/01/2019

### Anahtar Kelimeler

Toplam harmonik distorsiyonu  
Doğrusal olmayan yükler  
Pasif süzgeçler

### Keywords

Total harmonic distortions  
Non-linear loads  
Passive filters

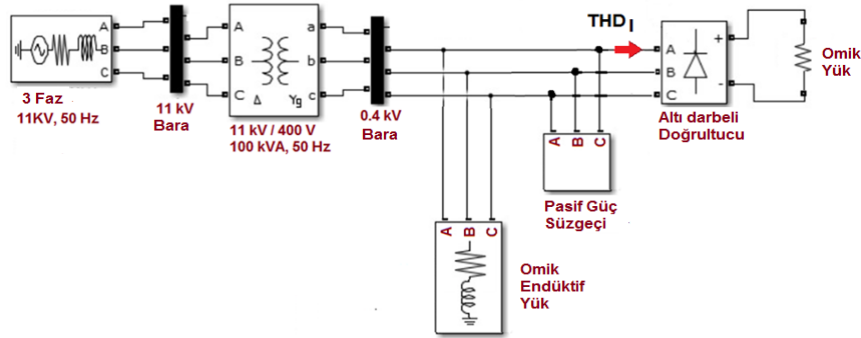
## Filtration of Harmonic Components and Correction Power Factor in Nonlinear Loads

### Abstract

Total harmonic distortion has become an important subject in power quality, especially after use of power electronic equipment and non-linear loads. Working of electricity systems smoothly and safety depends on the foundation of quantities such as current and voltage which are sinusoidal and 50 Hz frequency. However, these foundation quantities lose their sinusoidal characteristics because of many reasons and this occurs unwanted harmonics in the system. It is a highly preferred method to use passive filters for reduction harmonic and to improve the power factor. The proposed power system is a combination of three-phase voltage supply, power transformer, six-pulse rectifier, passive filter, and R-L inductive load. A six-pulse uncontrolled rectifier produces 5th, 7th, 11th, 13th, 17th, 19th, etc. current harmonics components. A passive filter is used to reduce the total harmonic distortion of the input current of the three-phase uncontrolled rectifier. Power system is modeled by using Matlab/Simulink program. Simulation results show that both the harmonics are eliminated and the power coefficient is corrected. Before using passive filters the power coefficient was 0.6877, and the THD<sub>1</sub> value was measured as 12.71 % in the power system. After using passive filters, the power coefficient was 0.99 and the THD<sub>1</sub> value was measured as 3.591 % in power system.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Elektrik enerjisinin üretimi iletimi ve dağıtımı esnasında sırasında akım ve gerilimin dalga formunun sinüzoidal formda ve 50Hz frekansta olması istenir. Bu koşul kaliteyi belirleyen ana faktörlerden biridir. Bununla birlikte birçok nedenden dolayı bu temel büyüklükler temel özelliklerini kaybederek, sistemde istenmeyen harmoniklerin oluşmasına neden olurlar [1, 3]. Bir harmonik “periyodik bir dalganın, temel frekansının tam katı olan bir frekansa sahip sinüs biçimli bileşeni” olarak tanımlanır. Harmonikler, bir elektrik sisteminde temel frekansın bazı tam katlarında ortaya çıkan akımlar ve gerilimler olarak dikkate alınırlar. Güç sisteminin prensip şeması şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Güç sisteminin prensip şeması

Güç elektroniği tabanlı konvertörler, kıyıcıları ile kesintisiz güç kaynaklarının kullanımının hızla artması ve uygulama alanları nedeniyle, elektrik sistemlerinde gözlenen harmonik distorsiyon giderek artmakta ve bunun sonucunda oluşan harmonik bileşenler enerji kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Harmonik distorsiyonun değeri yükselmesi işletmedeki cihazlara zarar vermekte ve ayrıca sistemdeki kesicilerin zamansız açmalarına, bilgisayarların titreşimli çalışmasına neden olmaktadır. Bir fazlı güç elektroniği tabanlı cihazlar etkin olarak üç ve üçün katı harmonik bileşen üretirler [2, 4]. Aydınlatmada kullanılan elektronik balastlı aydınlatma sistemleri ve deşarj tüpleri de önemli bir üçüncü harmonik kaynağıdır. Bir harmonik “periyodik bir dalganın, temel frekansının tam katı olan bir frekansa sahip sinüs biçimli bileşeni” olarak tanımlanır. Harmonikler, bir elektrik sisteminde temel frekansın bazı tam katlarında ortaya çıkan akımlar ve gerilimler olarak dikkate alınırlar [5, 6]. Harmonik bileşenlerin frekansları,

$$f_n = n \cdot f_1 \quad (1)$$

formülü ile ifade edilir. Bu ifadeye; n harmonik mertebesi,  $f_1$  temel frekansı göstermektedir. (1) denkleminde göre, üçüncü harmonik bileşen,  $f_3=150\text{Hz}$ , beşinci harmonik bileşen,  $f_5=250\text{Hz}$  olarak hesaplanır. Alışveriş merkezlerinde ticari binalarda sık, sık karşılaşılan ve tek fazlı ofis cihazlarından kaynaklanan 3 ve 3'ün katı harmonikler nötr hattında devrelerini tamamlarlar. Nötr hattı aşırı ısınır ve ek olarak bu tesislerde nötr-toprak arası gerilimlerin artması sonucu elektronik cihazlarda arızalar oluşmaktadır [7, 9].

Güç sistemlerinde harmonik bileşenlerin elimine edilmesi ile ilgili literatürde bir çok çalışmalar bulunmaktadır. [13] nolu makalede harmonik bileşenlerin aktif ve pasif filtreler ile elimine edilmesi üzerinde çalışılmıştır. [2] nolu ise makalede çok seviyeli inverterde üçüncü harmonik bileşenin enjekte edilmesi ile harmonik analizi gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayankarakteristikli elemanlar güç sistemlerinde ciddi bir harmonik kirliliğe neden olmakta ve tüketiciye verilen enerjinin kalitesini düşürmektedirler.Güç sisteminin güvenilir ve kararlı çalışmasını sağlamak için, tasarım ve işletme aşamasında doğrusal olmayan elemanların veya nonsinusoidal kaynakların meydana getirdiği harmonik bileşenler hesaplanarak veya ölçülerek ortaya konması vegerekli tedbirlerin alınması gerekir.

## 2. PASİF FİLTRELER VE GÜÇ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ (MODELING OF POWER SYSTEM AND PASSIVE FILTERS)

Harmoniklerin zararlı etkilerini engellemek için tasarım esnasında bazı önlemler alınır.Bu önlemler yeterli olmayıp harmonic bileşenlerin şebekeye geçmesini engellemek lazımdır.Harmonik bileşenlerin süzülmesini sağlayan devrelere harmonik süzgeçleri denir.Genellikle güç sisteminde etkin harmonik bileşen için hesap yapılır. Etkisi daha az olan harmonik bileşenler için zayıflatan süzgeç devresi tasarlanır.

Pasif filtrelerde amaç yok edilmek istenen harmonik bileşen frekansında rezonansa gelecek L ve C değerlerini belirlemektir. Her harmonik bileşen için onu onu rezonansa getirecek ayrı bir süzgeç kolu konulması gerekir.Pasif süzgeçler endüktif ve kapasitif reaktansları birbirine eşit yapan frekansa ayarlanabilir [6, 8].Kalite faktörü Q ayar keskinliğini belirlemektedir.Q faktörüne bağlı olarak süzgeç yada yüksek geçiren yada alçak geçiren tiptedir. Süzgeç hesaplamalarında kompanze edilecek güç formülünden faydalanılır.Güç sisteminde kompanzasyon için gerekli reaktif güç değeri;

$$Q_{Kom} = P \left[ \tan(\cos^{-1} \varphi_1) - \tan(\cos^{-1} \varphi_2) \right] \quad (2)$$

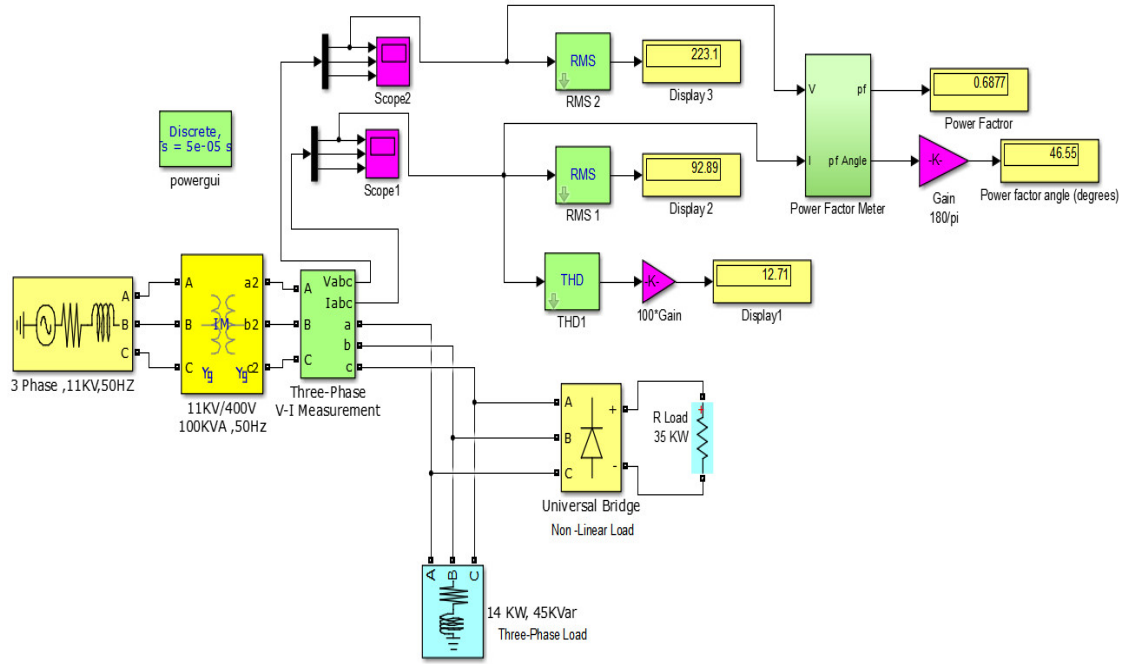
formula ile bulunur. Burada,  $\cos \varphi_1$  kompanzasyon öncesi güç katsayısını,  $\cos \varphi_2$ , kompanzasyon sonrası güç katsayısını P, güç sisteminin aktif gücünü göstermektedir. Bulunan bu reaktif gücün pasif süzgeçlere dağılımı;

$$Q_{fh} = Q_{Kom} \frac{I_h}{\sum I_h} \quad h = 2,3 \dots \dots \quad (3)$$

formülü ile belirlenir. Burada,  $Q_{fh}$ , h. harmonik bileşene ait reaktif gücü,  $Q_{Kom}$ , güç sisteminde kompanzasyon için gerekli reaktif gücü,  $I_h$ , h. harmonik akım bileşenin genliğini,  $\sum I_h$ , harmonik akımların toplamını göstermektedir. Harmonik büyüklüklerin sınırlandırılmasını amaçlayan harmonik standartlarında çok sıklıkla kullanılan toplam harmonik distorsiyonu, akım için,

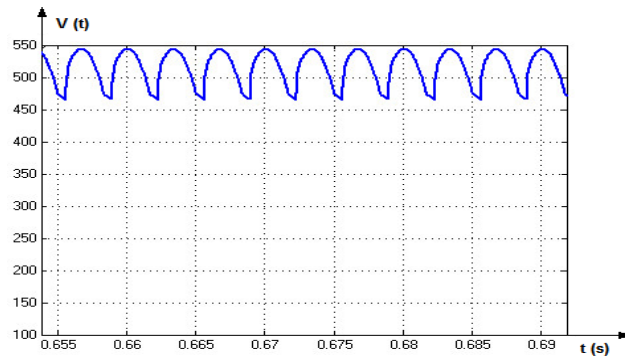
$$THD_1 = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{neff}^2}}{I_{eff}} \quad (4)$$

ifadesinden yararlanarak bulunur. Harmonik bileşenlerin efektif değerlerini, temel bileşen efektif değerine oranıdır [10].Genellikle yüzde olarak ifade edilir.Bu değer doğrusal olmayan dalga formunun sinus dalga formundan sapmasının bir ölçütüdür.Filtreleme öncesi güç sistemine ilişkin prensip şeması Şekil 2.'de verildiği gibidir.



Şekil 2. Güç sisteminin simulink eşdeğeri (filtreleme öncesi)

Harmonik akım ve gerilimlerinin genlikleri mertebesi ile ters orantılıdır, mertebe büyüdükçe harmonik genliği azalır. Harmonik bileşenler akımları harmonik kaynağından, güç sisteminde en düşük empedansa doğru akarlar. Harmonik akım kaynağı tarafından görülen empedans, sistem kaynak empedansı ile sisteme paralel bağlı diğer yüklerin empedanslarıdır. Kısacası sistemdeki tüm elemanları etkilediğinden, harmonikler enerji sistemlerinde istenmeyen niceliklerdir. Non-sinüsoidal dalga biçimleri, periyodik olmakla birlikte sinüsoidal dalga ile frekans ve genliği farklı diğer sinüsoidal dalgaların toplamından oluşmaktadır [11, 15]. Temel dalga dışındaki sinüsoidal dalgalara "harmonik bileşen" adı verilir. Güç sistemindeki altı darbeli kontrolsüz doğrultucu çıkış gerilimi dalga formu Şekil 3'te verildiği gibidir.



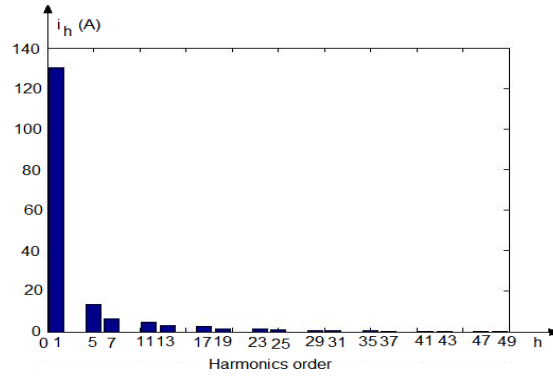
Şekil 3. Altı darbeli doğrultucu çıkış gerilimi

Pasif süzgeçler endüktans, kapasite ve omik dirençten oluşur. Pasif süzgeçler temel bileşen dışındaki harmonik bileşenleri elimine ederler. Kaynak ile yük arasında yerleştirilirler. Elimine edilecek harmonik bileşenlere ait frekans değerinde L ve C elemanlarının rezonansa gelmesi sağlanır. Güç sisteminde ki üç fazlı kontrolsüz doğrultucu giriş akımı harmonik bileşenleri genlik ve faz açıları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Güç sistemindeki harmonik bileşenler (filtreleme öncesi)

Harmonik bileşenler	Harmonik bileşenlerin genliği (A)	Harmonik bileşenlerin faz açısı (Derece)
h1	130.3	-48.06
h5	13.64	145.7
h7	6.307	118
h11	4.949	-84.74
h13	3.039	-109.4
h17	2.571	42.17
h19	1.66	22.9
h23	1.426	165.3
h25	0.9188	154.2
h29	0.7971	-78.1
h31	0.4823	-78.09
h35	0.4811	28.75
h37	0.2373	37.52
h41	0.3555	132.3
h43	0.1522	133.5
h47	0.2913	118.2
h49	0.1473	-119.7

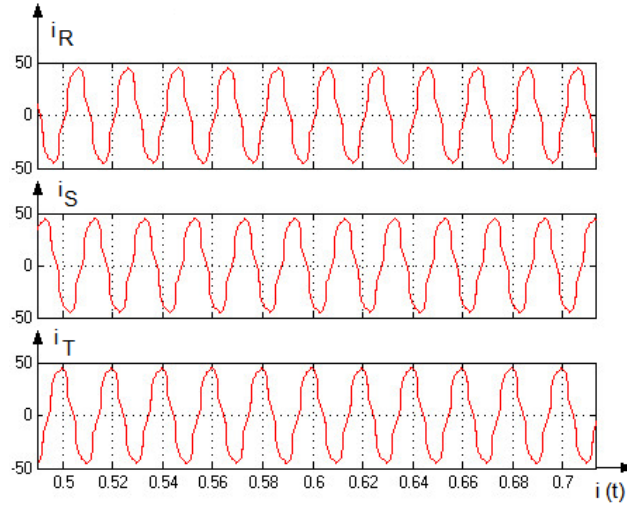
Doğrusal olmayan karakteristikli yükler düşük güçlü olsalarda güç sistemlerinde sinüsoidal akım ve gerilim dalga formunu bozarlar. Güç sistemlerine bağlanan çok sayıda doğrusal olmayan yükler göz önüne alınırsa bunların sonucunda ek kayıplar ile harmonik bozulma değerlerinin yükselmesine neden olurlar [12, 13]. Üç fazlı kontrolsüz doğrultucu giriş akımı harmonik bileşenlerinin genliği Şekil 4'te verildiği gibidir.

**Şekil 4.** Harmonik bileşenler (filtreleme öncesi)

Süzgeç tasarımı yapılırken düşük dereceli harmonik bileşenler için tek ayarlı süzgeçler kullanılır. Harmonik derecesi büyüdükçe her harmonik bileşen için süzgeç tasarlamak ekonomik olmayacağından yüksek geçiren süzgeç tasarımı ile belirli frekansın üstündeki harmonik bileşenler bant geçiren süzgeç ile filtrelendir [14, 17].

Kısacası sistemdeki tüm elemanları etkilediğinden, harmonikler enerji sistemlerinde istenmeyen niceliklerdir. Bu yüzden harmonikleri süzecek süzgeç devrelerinin kurulmasına mutlak süratte gerek vardır. Bu sebepten dolayı şebekelere paralel süzgeçler yerleştirilir. Bu paralel süzgeçler içinde bant geçiren ve yüksek geçiren süzgeçler çok sıklıkla kullanılmaktadır [18, 21]. Bu süzgeçler belirlenen harmonik

frekansında rezonans oluşturarak harmonikli dalgayı süzerler. Güç transformatörü sekonder akımlarının değişimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Güç transformatörü sekonder akımı

Doğrusal olmayan yüklerin sebep olduğu harmonik bileşenlerin güç sistemini rezonansa getirmemesine dikkat edilmelidir. Rezonans şartları her harmonik bileşen için ayrı, ayrı hesaplanmalıdır. Bir güç sistemine harmonik kaynaklardan enjekte edilen harmonik bileşenlerin olması durumunda, bunlar şebekedeki herhangi bir bileşen ile rezonans oluşturacak şekilde davranır. Yüksek dereceli harmonik bileşenler, tüm güç sistemini etkileyebilir. Bu etkiler güç sistemi ve diğer ekipmanların da performansını azaltır [19, 20].

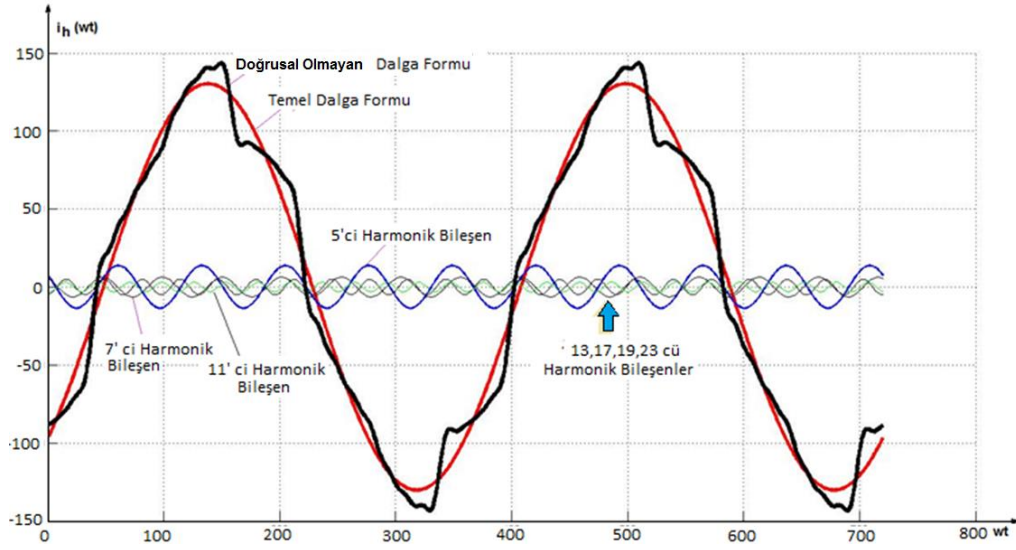
Güç sistemlerinde tek ayarlı filtre, çift ayarlı filtre ve sönümlü filtreler kullanılmaktadır. Tek ayarlı filtreler R, L ve C parametrelerinden oluşur. Düşük empedans veya kısa devre oluşturarak ayarlanan frekanslardaki harmonik akımlarını süzerler. Çift ayarlı süzgeç adından anlaşılacağı gibi iki ayrı frekansa ayarlı olup ayarlandıkları bu frekanslarda düşük empedans göstererek bu frekanslardaki harmonik bileşenleri süzerler. Sönümlü filtreler ise yüksek mertebeli harmoniklerin filtrelenmesinde kullanılırlar.

### 3. HARMONİKLERİN ELİMİNASYONU VE GÜÇ KATSAYISININ İYİLEŞTİRİLMESİ (ELIMINATION OF HARMONICS AND IMPROVEMENT OF POWER FACTOR)

Elektrik enerjisinin üretimi iletimi ve dağıtımı esnasında sırasında akım ve gerilimin sinüzoidal formda ve 50Hz frekansta olması istenir. Bu koşul kaliteyi belirleyen ana faktörlerden biridir. Bununla birlikte bir çok nedenden dolayı bu temel büyüklükler temel özelliklerini kaybederek, sistemde harmonik bileşenler oluşmaktadır. Altı darbeli kontrolsüz doğrultucu giriş akımı;

$$i(\omega t) = 130.3 \sin(\omega t - 48.06) + 13.64 \sin(5\omega t + 145.7) + 6.307 \sin(7\omega t + 118) + 4.949 \sin(11\omega t - 84.74) + 3.039 \sin(13\omega t - 109.4) + 2.571 \sin(17\omega t + 42.17) + 1.66 \sin(19\omega t + 22.9) + 1.426 \sin(23\omega t + 165.3) \quad (5)$$

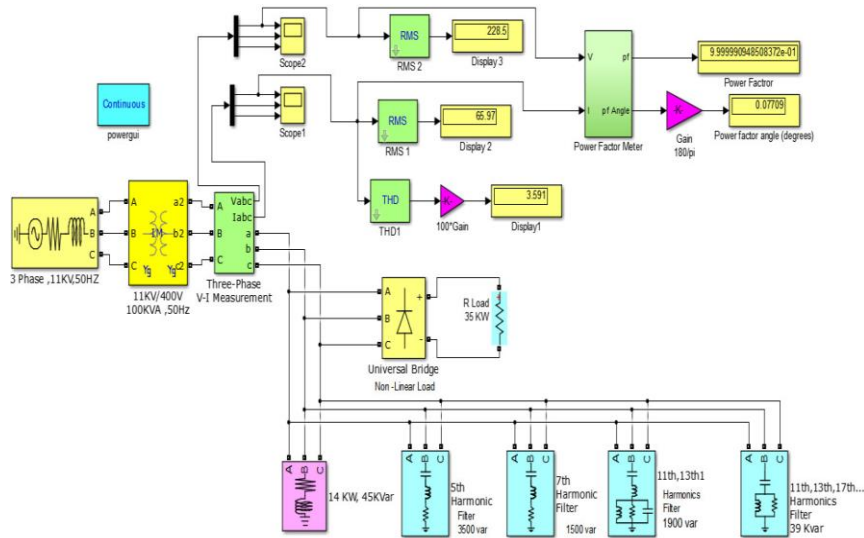
şekindedir. Bu doğrusal olmayan karakteristikli akım dalgasına ilişkin grafik Şekil 6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 6. Doğrusal olmayan dalga formu ile harmonik bileşenleri

Harmonik bileşenleri akımları, harmonik kaynağından, en düşük empedansa doğru akma eğilimindedirler. Harmonik akım kaynağı tarafından görülen empedans, sistem kaynak empedansı ile sisteme paralel bağlı diğer yüklerin empedansıdır. Kondansatörlerin reaktansı  $X_C$  sistemde harmoniklerin bulunması durumunda değeri  $X_C/n$  olacağından kondansatörlerde akım değeri oldukça artar ve bundan dolayı, harmonik bileşenlerin etkili olduğu güç sistemlerinde harmoniklerden en çok kondansatörler etkilenir [20].

Enerji kalitesinin yükselmesi için güç sistemlerinde doğrusal olmayan yüklerin etkinliğinin azaltılması gerekir. Bu yüzden harmonikleri süzecek süzgeç devrelerinin kurulmasına mutlak surette gerek vardır. Elektrik tesislerinde harmoniklerin oluşmasının başlıca sebebi, elektrik devrelerinde kullanılan doğrusal olmayan devre elemanlarıdır. Bu devre elemanlarının, gerilimi ile akımı arasındaki bağıntının doğrusal olmasından dolayı harmonik bileşenler oluşmaktadır. Manyetik devrelerde aşırı doyma elektrik arkları ve güç elektroniği tabanlı devre elemanlarının anahtarlanması ve kıyılması doğrusal olmayan olaylardır. Pasif süzgeçlerle hem güç katsayısı düzeltilmesi yapılır hemde reaktif güç kompanzasyonu yapılır. Güç sisteminin filtreleme sonrası prensip şeması Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Güç sisteminin simülasyon eşdeğeri (filtreleme sonrası)



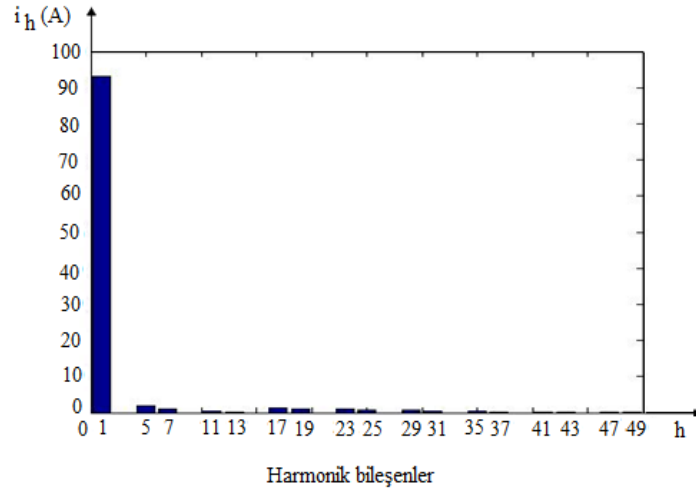
Aşırı doymuş manyetik devreler, arklı çalışan işletme araçları ile güç elektroniği sistemleri gibi birçok sistemin akımı ile gerilimi arasındaki bağıntı non-liner olduğundan sistemde harmonikler oluşmaktadır. Akım ve gerilimde oluşan bu harmonikler elektrik tesislerine ve bu tesislere bağlı tüketicilere zarar vermekte ve hatta bazen güç sistemlerini çalışamaz hale getirmektedirler. Filtrelemeden sonra üç fazlı kontrolsüz doğrultucu giriş akımı harmonik bileşenlerin genlik ve faz açıları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Güç sisteminde harmonik bileşenler (filtreleme sonrası)

Harmonik bileşenler	Harmonik bileşenlerin genliği (A)	Harmonik bileşenlerin faz acısı (Derece)
h1	93.21	-2.204
h5	2.005	82.21
h7	1.157	87.41
h11	0.4829	-87.78
h13	0.2607	-86.41
h17	1.456	89.37
h19	1.05	73.38
h23	0.9398	-125.3
h25	0.6944	-137
h29	0.5895	20.61
h31	0.4517	12.39
h35	0.3618	165.6
h37	0.2872	160.9
h41	0.215	-51.73
h43	0.176	-52.53
h47	0.1244	85.92
h49	0.103	89.92

Harmonikler transformatörlerde bakır ile demir kayıpları ile kaçak akıların artmasına sebep olurlar. Döner elektrik makinelerinde kayma ve momenti etkileyerek gürültü ve titreşimli çalışmaya sebep olurlar. Aynı zamanda sinüs dalgasının sıfırdan geçişine göre tetikleme yapan sistemlerin yanlış sinyaller vermesine neden olurlar. Harmonikler nedeni ile oluşan rezonans olaylarında sistemdeki sigortaların sıklıkla atmasına, koruma rölelerinin düzensiz çalışmasına ve tüm cihazların ömürlerinin kısalmasına neden olmaktadır. Süzgeçleme sonrası üç fazlı kontrolsüz doğrultucu giriş akımı harmonik bileşenlerin genliği Şekil 8’de verildiği gibidir.





**Şekil 8.** Güç sistemindeki harmonik bileşenler (filtreleme sonrası)

Şebekede en fazla etkisi görülen harmonikler sırası ile 150 Hz frekanslı üçüncü harmonik, 250 Hz frekanslı beşinci harmonik ve 350 Hz frekanslı yedinci harmoniktir. Üçüncü harmonik bileşen genellikle bir fazlı doğrusal olmayan yükler tarafından üretilir. Doğrusal olmayan yükler tarafından 5. ve 7. harmonik bileşenler üretilir.

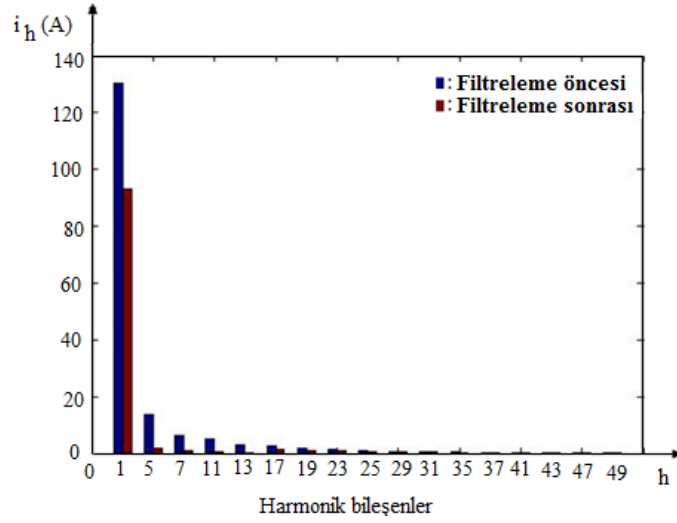
#### 4. SİMÜLASYON SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

Üç fazlı dağıtım sisteminin tek fazlı büyük yükleri beslediği ofislerde ticari binalarda üçüncü harmonik etkin olarak bulunmaktadır. Temel frekanstaki dengeli 3 fazlı akımlar nötr iletkeninde akım oluşturmazlar. Ancak, 3 fazlı sistemlerde 3'lü harmonikler nötr iletkeninde birbirlerini güçlendirirler. Nötr iletkenleri faz iletkenleriyle aynı boyutlarda olduğundan bu durumda nötr iletkeni aşırı yüklenebilir. Söz konusu soruna karşı alınan en yaygın önlem, nötr iletkeninden geçen akımın hesaplanıp buna göre kesit seçimi yapılması veya üçüncü harmoniği elimine edecek süzgeç yerleştirilmesidir. Güç sistemindeki üç fazlı kontrolsüz doğrultucu giriş akımı harmonik bileşenlerin genlikleri (filtreleme öncesi ve sonrası) değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Güç sisteminde harmonik bileşenler (filtreleme öncesi ve sonrası)

Harmonik bileşenler	Harmonik bileşenlerin genliği (Süzgeçleme öncesi) (A)	Harmonik bileşenlerin genliği (Süzgeçleme sonrası) (A)
h1	130.3	93.21
h5	13.64	2.005
h7	6.307	1.157
h11	4.949	0.4829
h13	3.039	0.2607
h17	2.571	1.456
h19	1.66	1.05
h23	1.426	0.9398
h25	0.9188	0.6944
h29	0.7971	0.5895
h31	0.4823	0.4517
h35	0.4811	0.3618
h37	0.2373	0.2872
h41	0.3555	0.215
h43	0.1522	0.176
h47	0.2913	0.1244
h49	0.1473	0.103

Harmoniklerin enerji sistemindeki teknik ve ekonomik olumsuzluklarının giderilmesi bakımından birtakım önlemlerin alınması gerekir. Enerji sisteminin tasarımından sonraki safhada harmonik bozulmanın istenen sınır değerlerin altına düşürülmesinde için harmonik filtre devrelerinin kullanılması gerekmektedir. Üç fazlı kontrolsüz doğrultucu giriş akımı harmonik bileşenlerin genlikleri (filtreleme öncesi ve sonrası) Şekil 9'da verildiği gibidir.



**Şekil 9.** Kontrolsüz doğrultucu giriş akımı harmonik bileşenleri

Güç sistemdeki harmonik bileşenler ek ısı kayıplarına neden olmaktadır. Bu ek kayıp enerji maliyetini artırmaktadır. Ayrıca sistem üzerindeki temel harmonik dışındaki harmonik bileşenler ek gerilim düşümleri oluşturmaktadır. Elektrik tesisleride ağırlıklı olarak ofis akipmanları, kesintisiz güç kaynakları ile gaz deşajlı lambalar üçüncü harmonik bileşen üretirler. Mümkün mertebe bu cihazların üç fazlı seçilmelidir. Üç ve üçün katı harmonikler üç fazlı konvertörlerde sıfırdır.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Güç elektroniği elemanları ve çeşitli doğrusal olmayan elemanların her geçen gün artış göstermesi enerji sisteminde dolaşan non-sinüsoidal büyüklüklerin artmasına neden olmaktadır. Bunun bir sonucu, akım yada gerilim için harmonik distorsiyonu da artmaktadır. Elektrik güç sistemlerinde harmonik distorsiyon sıklıkla orijinal kaynaklardan büyük uzaklıkta bulunan mesafelerde tüm sistemi etkilemektedir. Harmonikler güç sistemlerindeki kirliliktir. Statik dönüştürücülerin kullanımının artması ile bu kirlilik oranı gün be gün artmaktadır.

Pasif süzgeçler kaynak ile yük arasında bağlanırlar. Temel frekans dışındaki harmonik bileşenleri yok ederler. Seri bağlı kondansatör ve endüktansın bileşiminden oluşurlar. Bazı durumlarda omik direnç elemanı da bağlanabilir. Güç sisteminde harmonik bileşenlerini süzgeçlemek için 2 adet tek ayarlı süzgeç, 1 adet çift ayarlı süzgeç ve 1 adet ikinci dereceden sönümlü süzgeç kullanılmıştır.

Güç sisteminde filtre kullanmadan önce güç faktörü 0.6877 ve toplam harmonik distorsiyonu %12.71 olarak ölçülmüştür. Güç sisteminde pasif filtreler kullanılması ile güç faktörü 0.99 ve toplam harmonik distorsiyonu ise %3.591 olarak gerçekleşmiştir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Dastfan, A., Yassami H. and Rafiei M. R., Optimum Design of Passive Harmonic Filter by Using Game Theory Concepts. Intelligent Systems in Electrical Engineering, Vol. 4, No. 4. 2014.
- [2] Çolak, İ., Bayindir, R. and Kabalci, E., A Modified Harmonic Mitigation Analysis Using Third Harmonic Injection PWM in a Multilevel Inverter Control, 14th International Power Electronics and Motion Control Conference Ohrid, Macedonia, 2010.
- [3] Germeç, K. E., Erdem H., Time-harmonic analysis in electric power systems, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 30 (2), 263-271, 2015.
- [4] Bayindir, R. Sağıroğlu, Ş. Çolak, İ. Alper Ö., Investigating Industrial Risks Based on Information Security for Observerable Electrical Energy Distribution System and Suggestions. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 24(34)(715-723). 2009.
- [5] Rashid, H.M., Power Electronics, Circuits, Devices, and Applications, Perason Press, 2014.

- [6] Adak, S., Cangi, H., Analysis and Simulation Total Harmonic Distortion of Output Voltage Three Level Diode Clamped Inverter in Photovoltaic System, Bitlis Eren University, Fen Bilimleri Dergisi, ISSN 2147-3129,2015.
- [7] Kocatepe, C., Uzunoglu, M., Yumurtacı, R. ve Arıkan, O., Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, İstanbul 2003.
- [8] Bhende,CN. Kalam,A. Malla,SG., Mitigation of Power Quality Problems in Grid-Interactive Distributed Generation System, DE Gruyter:International Journal of Emerging Electric Power Systems, Vol. 17, pp. 165-172, April 2016.
- [9] Ozdemir, A. Ferikoglu, A., Low cost mixed-signal microcontroller based power measurement technique - IEE Proceedings-Science Measurement And Technology - Vol.151 - pp.253-258 - ISSN : 1350-2344 - DOI : 10.1049/ip-smt:20040242 - JUL - - Article - - 2004 - WOS:000222969400004.
- [10]Yilmaz, A. S., Alkan, A. and H. Asyali, M., Applications of parametric spectral estimation methods on detection of power system harmonics, Electric Power Systems Research, 78, Issue 4, , pp 683-693, April 2008.
- [11] Rüstemli, S., Okuducu, E., Efe, S.B., Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Pasif Filtre Kullanılarak Azaltılması ve Simülasyonu, EVK2015: 6. 2015, Enerji Verimliliği Kalitesi Sempozyumu, pp120-124, 4-6 Haziran, Sakarya.
- [12]Memon, Z. A., Uquaili, M. A. and Unar, M. A., Harmonics mitigation of industrial power system using passive filters.Mehran University Research Journal of Engineering and Technology, Vol. 31, No. 2, pp. 355-360, 2012.
- [13] Hideaki, F., Hirohmi, A., A Practical Approach to Harmonic Compensation in Power Systems-Series Connection of Passive and Active Filters, IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 21, No. 6, 1991.
- [14]Ayan, K. Arifoğlu, U., Optimizing reactive power flow of HVDC systems using genetic algorithm - International Journal of Electrical Power & Energy Systems - Vol.55 - pp.1-12 - ISSN : 0142-0615 - DOI : 10.1016/j.ijepes.2013.
- [15]Anooja C. L. and Leena N., Passive Filter for Harmonic Mitigation of Power Diode Rectifier and SCR Rectifier Fed Loads. International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 4, No. 6, 2013.
- [16]Adak,S., Mitigation Harmonic with LCL Passive Filter in off-Grid PV SystemJournal of Engineering and Tecnology, 2;1, pp. 9-20, 2018.
- [17] Sekkeli, M., Tarkan N., Development of a novel method for optimal use of a newly designed reactive power control relay. International Journal of Electrical Power and Energy Systems 2013; 44:736-742.
- [18] Srivastava, K. K., Shakil S. and Pandey A. V., Harmonics & Its Mitigation Technique by Passive Shunt Filter. International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE) ISSN, pp. 2231-2307, 2013.
- [19]Çetin, S., Veri Merkezi Uygulamaları için Yüksek Verimli Bir LLC Rezonanslı DC-DC Dönüştürücü Tasarımı, GU J Sci, Part C, 5(1): 45-54, 2017.
- [20] Özçira, S., Aktif Güç Filtre Tipinin Kompanze Edilmesi Gereken Büyüklüğe Göre Belirlenmesi GU J Sci, Part C, 6(3): 691-704, 2018.