

Aktif Güç Filtresi ile Harmoniklerin Dengesiz Yükte Eliminasyonu

Süleyman Adak^{1*+}

¹Elektrik ve Enerji Bölümü/Meslek Yüksekokulu, Mardin Artuklu Üniversitesi, Mardin, Türkiye

*Corresponding Author: suleymanadak@yahoo.com

+Speaker: suleymanadak@yahoo.com

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Özet- Bu çalışmada, non-lineer ve dengesiz yükün bulunduğu güç sisteminde aktif filtre kullanılarak harmonik distorsiyonun değeri düşürülmüştür. Pasif harmonik filtrelerin aksine, modern aktif harmonik filtreler, güç faktörü düzeltme, gerilim regülasyonunu sağlama, yükün dengelenmesi, harmonikleri filtrelenmesi, gerilimdeki flikerin azalmasını önleme, reaktif güç kontrolü gibi bir çok fonksiyona sahiptirler. Önerilen güç sistemi, üç fazlı gerilim kaynağı, tam dalgalı kontrolsüz redresör, aktif filtre ve R-L endüktif yükünden oluşmaktadır. Tam dalga kontrolsüz doğrultucu giriş akımının toplam harmonik bozulmasını (THD_I) azaltmak için aktif filtre kullanıldı. Güç sistemi Matlab/Simulink programı kullanılarak modellendi. Simülasyon sonuçları hem harmoniklerin elimine edildiğini hem de THD'ninde azaldığını göstermiştir. Güç sisteminde THD_I değeri % 44.61 olarak ölçüldü. Filtreleme kullanıldıktan sonra bu değer % 4.491 olarak ölçüldü. Güç sisteminde aktif filtre kullanılması sonucunda THD_I değerinde % 41.119 oranında azalma sağlandı.

Anahtar Kelimeler - Toplam harmonik distorsiyonu, Aktif filtre, Non-lineer yük, Tam dalga kontrolsüz doğrultucu, Dengesiz yüklenme

Elimination of harmonic with Active Power Filter in Unbalanced Load

Abstract –In this study, the value of harmonic distortion is reduced by using active filter in non-linear and unbalanced load system. Unlike passive harmonic filters, modern active harmonic filters have multiple functions, such as harmonic filtering, reactive-power control for power factor correction and voltage regulation, load balancing and voltage-flicker reduction. The proposed power system is a combination of three-phase voltage supply, full wave uncontrolled rectifier, active filter and R-L inductive load. Full wave uncontrolled rectifier produces 3th, 5th, 7th, 11th, 13th, 15th, 17th, 19th, etc. harmonics components. An active filter is used to reduce the total harmonic distortion of the input current (THD_I) of the full wave uncontrolled rectifier. Power system is modeled by using Matlab/Simulink program. Simulation results show that both the harmonics are eliminated and the THD value is reduced. THD_I was measured % 45.61 in power system. After filtering, it was measured as % 4.491. As a result of using active filter value of THDI is reduced by 41.119 % in power system.

Keywords-Total harmonic distortion, Active filter, Non-linear load, Full wave uncontrolled rectifier, Unbalanced load

I. GİRİŞ

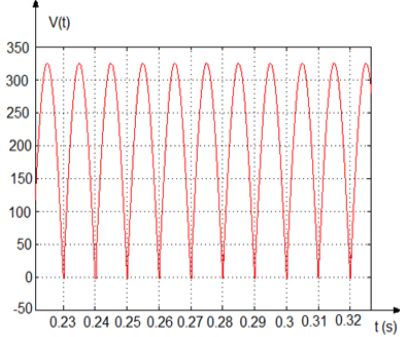
Doğrultucular, inverterler, doğru akım kıyıcıları ve alternatif akım kıyıcıları bu güç elektroniği tabanlı cihazlar yapılarında bulunan anahtarlama elemanlarının non-lineer karakteristiğinden dolayı birer harmonik kaynağıdır. Anahtarlama işleminde, Tristör (SCR), İzole Kapılı Bipolar Transistör (IGBT), Metal Oksit Yarıiletkenli Alan Etkili Transistör (MOSFET) gibi güç elektroniği devre elemanları kullanılır. Bu cihazlar anahtarlama prensibiyle çalıştıklarından sinusoidal dalganın sinusoidal olan dalga formunda bozulmalar oluşur, buda harmoniklerin bileşenlerin oluşmasına sebep olur.

Harmonik bileşenlerin ortaya çıkması işletme araçlarını ve tesislerin yükleyerek ek kayıplara ve aşırı ısınmaya sebep olmaktadır. Ayrıca rezonans olaylarına da sebep olarak işletme için çok zararlı bir durum meydana getirmektedir. Bu yüzden işletmelerde harmoniklerin meydana gelmemesi için, ilk aşamada tedbirler düşünülüp ona göre tasarım ve tesis yapılır.

Üç ve üçün katı harmonik bileşenlerin nötr iletkeninden geçtiği için PV sistemde aşırı yüklenme oluşur. Bunun sonucunda nötr iletkeni ısınır bu durum yangın riskine neden olur [1], [2]. Günümüzde gittikçe artan sayıdaki non-lineer elemanın elektrik şebekesine bağlanması ile sinusoidal olmayan akım ve gerilim temel büyüklükleri oluşmakta ve bu büyüklükler harmonik bileşenleri doğurmaktadır [3]. Özellikle güç elektroniği tabanlı cihazlar sistemde harmonik bileşenlerin oluşmasında çok etkindirler.

Güç sistemlerinde harmonik bileşenlerin eliminasyonunda aktif filtreler etkin olarak kullanılmaktadırlar. Aktif filtreler non-lineer yük ile kaynak arasına bağlanır. Non-lineer yükün çektiği harmonik bileşen ile aynı genlikte fakat ters fazda değerlesini şebekeye enjekte ederek harmonik bileşeni yok eder. Bu sayede şebekeden harmoniksiz akım çekilmesini temin eder. Aktif filtreler güç elektroniği elemanları kullanılarak gerçekleştirilirler [4, 5]. Şekil 1'de aktif filtrenin güç sistemine bağlantı şeması verilmiştir.

elemanları etkilediğinden, harmonikler enerji sistemlerinde istenmeyen niceliklerdir [20]. Kontrolsüz doğrultucu çıkış gerilimi dalga formu Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Tam dalga kontrolsüz doğrultucu çıkış gerilimi

Harmonikler bileşenler elektrik şebekesindeki kirliliktir. AC/DC ile DC/AC gibi dönüştürücülerin kullanılmalarının gün be gün artması ile bu kirlilik oranı artmaktadır. Bunun sonucunda devrenin temel büyüklükleri olan akım ve gerilimin sinusoidal dalga formu bazudur. Akım ve gerilim için tanımlanan toplam harmonik distorsiyonun değeri artar. Güç sisteminin kaynak akımı dalga formu ile harmonik bileşenler Tablo 1'de verilmiştir.

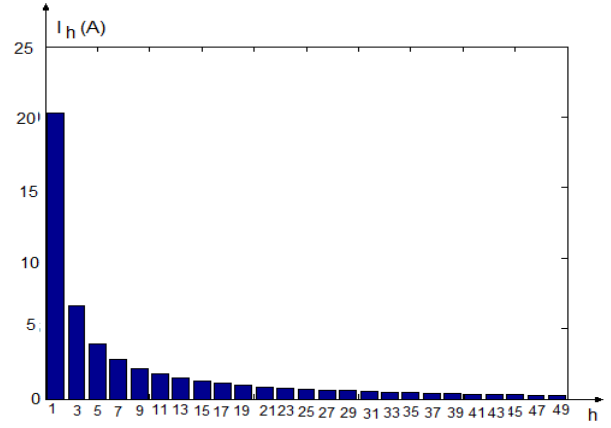
Tablo 1. Güç sistemindeki harmonik bileşenler (filitresiz)

Harmonik bileşenler	Harmonik bileşenin genliği (A)	Harmonik bileşenin faz açısı (Derece)
h1	20.29	-4.403
h3	6.598	-6.159
h5	3.947	-13.56
h7	2.807	-20.23
h9	2.172	-26.67
h11	1.765	-33.01
h13	1.481	-39.3
h15	1.271	-45.57
h17	1.11	-51.83
h19	0.9809	-58.09
h21	0.8751	-64.36
h23	0.7874	-70.64
h25	0.7127	-76.93
h27	0.6482	-83.24
h29	0.592	-89.57
h31	0.5425	-95.93
h33	0.4984	-102.3
h35	0.4589	-108.7
h37	0.4234	-115.2
h39	0.3911	-121.7
h41	0.3617	-128.2
h43	0.3348	-134.8
h45	0.31	-141.5
h47	0.2873	-148.2
h49	0.2662	-157.9

Harmonik hesaplamalarında dalga genlikleri gerilimler genliğini gösteriyorsa, gerilim toplam harmonik distorsiyonu (THD_V), gene bu bağlamda akımların genliğini gösteriyorsa akım için toplam harmonik distorsiyonu (THD_I) adını alırlar.

THD_V en çok paralel bağlı yüklerin analizinde kullanılır. THD_I ise devre kesici ve transformatör gibi güç sistemine seri olarak bağlı elemanlar üzerinden akan harmonik akımlarını analizinde kullanılır.

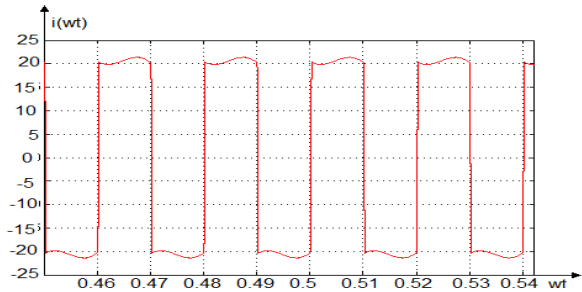
Non-linear karakteristikli yükler ne kadar düşük güçte olurlarsa olsunlar akım ve gerilimin sinus şeklinde olan dalga formunu bozar ve THD değerlerinin yükselmesine neden olurlar. Kaynak akımı harmonik bileşenlerin genlikleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Harmonik bileşenler (filitreleme öncesi)

Filtre tasarımı yapılırken düşük dereceli harmonik bileşenler için tek ayarlı filtreler kullanılır. Harmonik derecesi büyüdükçe her harmonik bileşen için filtre tasarlamak ekonomik olmayacağından yüksek geçiren filtre tasarımı ile belirli frekansın üstündeki harmonik bileşenler band geçiren filtre ile filitrenir.

Kıscası sistemdeki tüm elemanları etkilediğinden, harmonikler enerji sistemlerinde istenmeyen niceliklerdir. Bu yüzden harmonikleri süzecek aktif filtre devrelerinin kurulmasına mutlak süratte gerek vardır. Bu sebepten dolayı şebekelere aktif paralel filtreler yerleştirilir. Tam dalga kontrolsüz doğrultucu giriş akımı değişimi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Tam dalga kontrolsüz doğrultucu giriş akımı

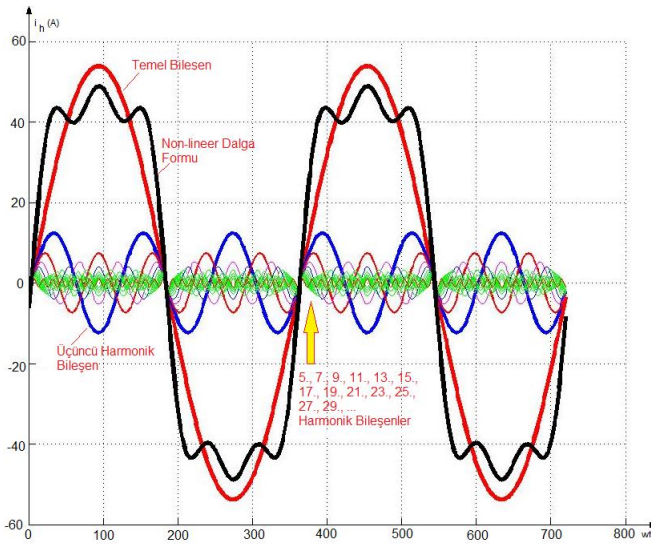
Lineer olmayan cihazların neden sebep olduğu harmonik bileşenlerin güç sistemi ile rezonansa oluşturulmasına dikkat edilmelidir. Rezonans hali tüm harmonik bileşen için araştırılmalıdır. Yüksek dereceli harmonik bileşenler, tüm güç sistemini etkileyebilir. Bu etkiler güç sistemi ve diğer ekipmanların da performansını azaltır.

III.SONUÇLAR

Elektrik sistemlerinde akım ve gerilimin sinüzoidal formda ve 50 (Hz) frekansta olması istenir. Bu koşul kaliteyi belirleyen temel kriterlerden biridir. Bununla birlikte güç sisteminde bulunan non-linear yükler ile non-sinüsoidal kaynaklarda dolayı akım ve gerilim dalga formları sinus şeklindeki dalga formları bozulur. Sonuçta sistemde harmonik bileşenler oluşur. Kontrolsüz doğrultucu giriş akımı;

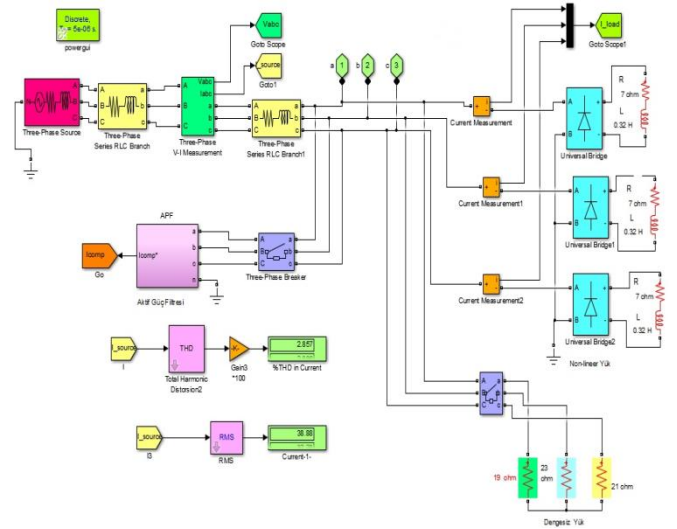
$$i(\omega t) = 20.29\sin(\omega t - 4.803) + 6.598 \sin(3\omega t - 6.159) + 3.947 \sin(5\omega t - 13.56) + 2.807 \sin(7\omega t - 20.23) + 2.172 \sin(9\omega t - 26.67) + 1.765 \sin(11\omega t - 33.01) + 1.481 \sin(13\omega t - 39.3) + 1.271 \sin(15\omega t - 45.57) + 1.11\sin(17\omega t - 51.83) \quad (3)$$

şeklinindedir. Bu non-linear karakteristikli şebeke akımına ilişkin grafik Şekil 6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 6. Yük akımı dalga formu ile harmonik bileşenleri (filitresiz)

Elektrik şebekelerinde harmonik bileşenlerin sıfırlanması imkansızdır. Harmonik bileşenleri standartlarca belirtilen limitlere indirecek önlemler alınabilir. Harmonik bileşenleri üreten güç elektroniği tabanlı cihazların tasarım aşamasında gerekli tedbirler alınabilir. Örneğin doğrultucularda 6 darbeli olacağı yerde 12 darbeli olarak tasarlanabilir veya doğrultucu paralel çalıştırılarak bunların primeri ortak sekonderinden beslenebilir. Bu sayede 5., ve 7., harmoniklerde önemli azalmalar sağlanır. Transformatörlerin primerlerinin üçgen bağlanmasında 3., harmoniğin şebekeye geçişi önlenir. Sözü edilen tasarıma yönelik bu tedbirler yeterli değildir. Harmonik bileşenleri süzecek aktif filtreler mutlak surette ihtiyaç vardır. Şekil 7'de güç sistemi ile aktif filtrenin bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 7. Güç sisteminin simulink eşdeğeri (filtrelemeden sonra)

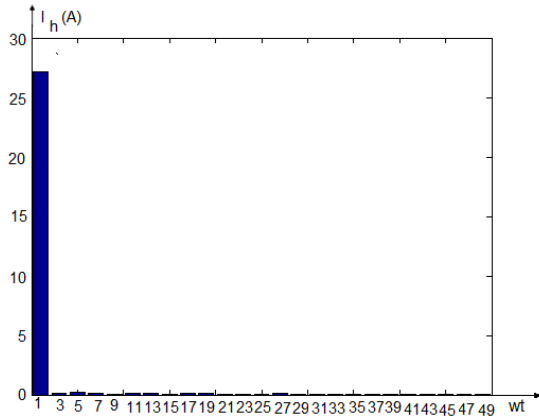
Şekil 7'deki güç sisteminde aktif filtre kullanmadan önce THD_I % 31.86 olarak ölçülmüştü. Aktif filtre kullanılması ile THD_I değeri % 2.857 düşürüldü. Aktif filtre lineer olmayan bir yükün çektiği harmonik akımları yok etmek üzere, harmonik akımları üretmek için güç elektroniği elemanları kullanılarak oluşturulur. Aktif filtreler akım ve gerilim harmoniklerini kompanse etmekle birlikte reaktif güç, gerilim ve akım dengesizlikleri ve nötr akımı kompanzasyonları ile şebeke gerilim regrasyonu içinde kullanılabilir. Aktif filtreler, nonlineer yükün ürettiği akım harmoniklerini azaltıp, şebekeden reaktif güç alıp verebilir. Tablo 2'de filitrelemeden sonra şebeke akımının harmonik bileşenleri verilmiştir.

Tablo 2. Güç sisteminde harmonik bileşenler (filitrelemeden Sonra)

Harmonik bileşenler	Harmonik bileşenin genliği (A)	Harmonik bileşenin faz acısı (Derece)
h1	27.14	-0.1783
h3	0.1566	-7.952
h5	0.1887	49.7
h7	0.1593	-119.7
h9	0.03803	-90
h11	0.1677	67.17
h13	0.1179	-123.8
h15	0.03652	40.7
h17	0.09804	39.41
h19	0.09437	-122.1
h21	0.00737	-2.905
h23	0.057	41.5

h25	0.05955	-85.38
h27	0.08848	-3.303
h29	0.0745	16.18
h31	0.02848	-149.8
h33	0.03612	-2.233
h35	0.06232	17.22
h37	0.006448	144.5
h39	0.02938	68.4
h41	0.02529	48.58
h43	0.0358	-90.01
h45	0.0457	-53.48
h47	0.02802	20.45
h49	0.02742	-148.4

Tablo 2'den görüleceği üzere aktif filtre temel bileşen dışındaki harmonik bileşenleri büyük ölçüde elimine ettiği görülecektir. Aktif filtrelerin en büyük dezavantajları maliyetlerinin yüksek olmasıdır. 3., 5., v.b düşük dereceden etkili harmonikleri kompanze etmek için aktif filtrenin norm değeri büyür bu da maliyeti artırır. Bundan dolayı aktif filtrelerin pasif filtre ile birlikte kullanılması ekonomikliliği artırır. Şekil 8'de filtreleme sonrası harmonik bileşenlerin genlikleri verilmiştir.



Şekil 8. Güç sistemindeki harmonik bileşenler (filtreleme sonrası)

Uygulamada yaygın olarak kullanılan paralel aktif filtre sistemi güç sisteminde harmonik eliminasyonu ve reaktif güç kompanzasyonu için kullanılırlar. Şebekede harmonik akım üreten her bir bireysel lineer olmayan yükün yanına bağlanır. Harmonikleri ve reaktif gücü kompanze etmek için bağlantı noktasından şebekeye doğru zıt fazda bir kompanzasyon akımı enjekte eder. Aktif filtredeki akım kontrol devresi girişinde harmonik belirleme bloğunda belirlenmiş referans filtre akım sinyalleri ve filtre çıkış akım sinyalleri, çıkışında ise inverter tetikleme sinyalleri bulunur. Temel olarak referans akım sinyalleri ile çıkış akım sinyalleri arasındaki fark işlenerek kapı sinyallerini üretir. Bir akım kontrol şemasından, hızlı akım kontrolü anahtarlama sırasında oluşan harmonikleri bastırma özelliklerini sağlaması beklenir.

IV. TARTIŞMA

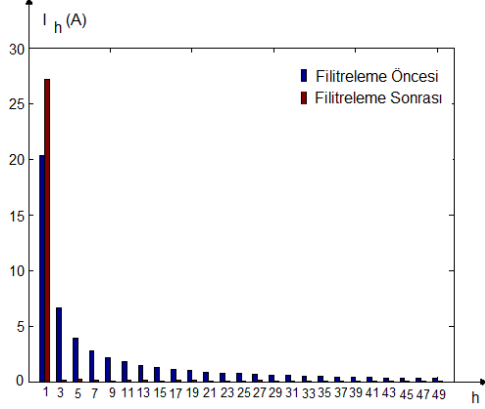
Harmoniklerin giderilmesinde kullanılan aktif filtreler bozulmanın istenen değerlere düşürmesinin yanında, sistem için gereken reaktif güç ihtiyacını da karşılamaktadır. Günümüzdeki filtre uygulamalarında aktif ve pasif filtreler kullanılmaktadır. Sisteme ilave edilmesi gereken filtrelerde dikkat edilmesi gereken en önemli husus filtrelerin güç sistemiyle çalışma frekansının dışında rezonansa girmemesidir. Aktif filtrelerin genel yapısı bir veya daha fazla dönüştürücüyü içerir. Tam ve doğru bir kompanzasyonu elde etmek için hızlı cevaba sahip bir kontrol ve yüksek enerji birikimine ihtiyaç vardır. İlk şart yüksek harmonikleri, ikinci şart ise faz dengesizliğini ortadan kaldırmayı içerir. IGBT teknolojisinin gelişmesi sonucunda güç yarı iletkenlerinin kullanıldığı konvertörler ile darbe genlik modülasyonu (PWM) tekniğini kullanarak, bobin ve kondansatör gibi pasif elemanları kullanmadan aktif filtreleme yapmak mümkündür. Tablo 3'te filtreleme öncesi ve filtreleme sonrası harmonik bileşenlerin genlikleri verilmiştir.

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

Harmonik bileşenler	Harmonik bileşenin genliği (A)	Harmonik bileşenin genliği (A)
h1	20.29	27.14
h3	6.598	0.1566
h5	3.947	0.1887
h7	2.807	0.1593
h9	2.172	0.03803
h11	1.765	0.1677
h13	1.481	0.1179
h15	1.271	0.03652
h17	1.11	0.09804
h19	0.9809	0.09437
h21	0.8751	0.00737
h23	0.7874	0.057
h25	0.7127	0.05955
h27	0.6482	0.08848
h29	0.592	0.0745
h31	0.5425	0.02848
h33	0.4984	0.03612
h35	0.4589	0.06232
h37	0.4234	0.006448
h39	0.3911	0.02938
h41	0.3617	0.02529
h43	0.3348	0.0358
h45	0.31	0.0457
h47	0.2873	0.02802
h49	0.2662	0.02742

Aktif filtrenin güç sistemine bağlanması sonucu temel bileşen dışındaki harmonik bileşenler büyük ölçüde yok edilmiştir. Aktif filtreler ile harmonikler, reaktif güç kompanzasyonu ve dengesiz yükler sonucunda oluşan güç kalitesi ile ilgili

problemleri çözer. Bu filtrelerde kullanılan IGBT anahtarlama elemanları ile 3 fazdan alınan akım değerleri ile her fazın durumu belirlenir, gerekli reaktif güç aktif filtre tarafından üretilerek güç sistemine aktarılır. Şekil 9'da filtreleme öncesi ve sonrası şebeke akımına ilişkin harmonik bileşenlerin genlikleri verilmiştir.



Şekil 9. Harmonik bileşenler (filtrelemeden önce ve sonra)

Aktif filtreler ile harmonik bileşenleri yok etme, yükü dengeleme ve güç sisteminde reaktif güç kompanzasyonu yapar. Aktif filtrenin master ve slave ünite kombinasyonları ile değişik kapasitelerde filtreler dizayn edilebilir. üç sistemine paralel bağlandığı için arıza durumunda güç sisteminden şalter acılarak devre dışı bırakılabilir. Aktif filtrelerde kapalı çevrim kontrol sistemi ile 1'den 50'ye kadarki harmonik bileşenler ayrı ayrı seçilebilir.

Gene bu bağlamda bu filtrelerde kullanılan kapalı kontrol sisteminin geri beslemesi sayesinde, enjekte ettiği akımın neticesini devamlı görür. Ticari binalarda, alışveriş merkezlerinde tek fazlı yüklerden kaynaklanan 3 ve 3'ün katı harmoniklerin nötr hattında oluşturduğu akım artışını azaltır. Aktif filtreler elektrik güç sistemlerinde güç kalitesini ile verimliliği artırır.

V. SONUÇLAR

Güç sistemine bağlanan doğrusal olmayan elemanlar sebebiyle tam sinüzoidal dalga şeklinde sapsmalar meydana gelmekte ve harmonikler oluşmaktadır. Harmoniklerin meydana çıkması güç sistemleri için istenen bir durum değildir. Harmoniklerin varlığı sebebiyle işletme araçları ve tesisleri aşırı yüklenerek ek kayıplar ve aşırı ısınma meydana gelmekte, rezonans oluşmakta ve güç faktörü düşmektedir. Harmoniklerin güç sisteminde verdikleri olumsuzluklarının giderilmesi bakımından birtakım önlemlerin alınması gerekir. Enerji sisteminin tasarımından sonraki safhada harmonik bozulmanın istenen sınır değerlerin altına düşürülmesinde aktif filtre devreleri gerekmektedir.

Aktif filtreler kaynak ile yük arasında bağlanır ve güç elektroniği tabanlıdır. Aktif filtre, non-linear yük tarafından çekilen harmonikli bileşenler içeren akımı ölçer sonra harmonik bileşenlerin tersi yönde genlik ve frekansa akım üreterek güç sistemine enjekte eder. Bunun sonucunda non-linear yükün ürettiği harmonik bileşenler elimine edilirler.

Güç sisteminde aktif filtre kullanmadan önce şebekeden çekilen akımın THD_I % 31.86 olarak ölçüldü. Aktif filtre

kullanılması ile THD_I değeri % 2.857 düşürüldü. Bu değer standartlarca (IEEE519-2014) ifade edilen limitlerin altındadır.

VI. KAYNAKLAR

- [1] Tlustý J., Santarius P., Optimal control of shunt active filters in multibus industrial power systems for harmonic voltage mitigation. International Journal of Mathematics and computer simulation, 71, p.369-276, 2010.
- [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] Arifoğlu U., Matlab9.1-Simulink ve Mühendislik Uygulamaları, Alfa Yayıncılık, 964p. İstanbul-Turkey, 2016.
- [4] Grino R., , Castello, R. C., Digital Repetitive Control of a Three-Phase Four-Wire Shunt Active Filter, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 54, no. 3, 2007.
- [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 C.N., 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] Yılmaz A., S., Alkan A. and H., Asyali M., Applications of parametric spectral estimation methods on detection of powersystem harmonics, ElectricPowerSystemsResearch, 78, Issue 4, , pp 683-693, April 2008.
- [11] Rüstemli S., Cengiz M. S., dinçer F., Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Aktif Filtre Kullanılarak Yok Edilmesi ve Simülasyonu, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 2(1), pp. 30-38, 2013.
- [12] Asiminoaei L., Rodriguez P., and Blaabjerg F., Application of Discontinuous PWM Modulation in Active Power Filters Ieee Transactions On Power Electronics, Vol. 23, No. 4, July 2008.
- [13] Izgi E., Ay S., A parametric study on privatization revenues of the electricity distribution companies in Turkey, Turk J Elec Eng & Comp Sci, 24: 979 – 993, 2016.
- [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., Cangi H., Harmonik Bileşen İçeren Elektrik Tesislerinde Kondansatör Kayıpları, 3eELECTROTECH, sayı: 325, Kasım, p: 181-192. 2014.
- [17] Kececioglu O.F., Acikgoz H., Yildiz C., Gani A., Sekkeli M., Power Quality Improvement Using Hybrid Passive Filter Configuration for Wind Energy Systems, Journal of Electrical Engineering & Technology, 12 (1) :207-216.2017.
- [18] Şekkelı M., Yılmaz A.S. Bir Taşkıma Tesisindeki Güç Kalitesi Seviyesinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, No.3, s. 317-323, 2006.
- [19] Chen C.I. ve Chen Y.C., Comparative Study of Harmonic and Interharmonic Estimation Methods for Stationary and Time-Varying Signals, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Cilt 61, No 1, 397-404, 2014.
- [20] 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.

