

AKTİF GÜÇ FİLTRESİ İLE TOPLAM HARMONİK DİSTORSİYONUNUN (THD) AZALTILMASI

Süleyman ADAK

Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü, 47100 MARDİN

ÖZET

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 3., 5., 7., 11., 13., 15., 17., 19., vb. harmonik bileşenleri üretir. Tam dalgalı kontrolsüz doğrultucu giriş akımının toplam harmonik bozulmasını (THD₁) azaltmak için aktif filtre kullanıldı. Güç sistemi Matlab/Simulink programı kullanılarak modellendi. Simülasyon sonuçları hem harmoniklerin elimine edildiğini hem de THD'inde azaldığını göstermiştir. Güç sisteminde THD₁ değeri % 44.61 olarak ölçüldü. Filtreleme kullanıldıktan sonra bu değer % 4.491 olarak ölçüldü. Güç sisteminde aktif filtre kullanılması sonucunda THD₁ değerinde % 41.119 oranında azalma sağlandı.

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

REDUCTION TOTAL HARMONIC DISTORTION (THD) WITH ACTIVE POWER FILTER

ABSTRACT

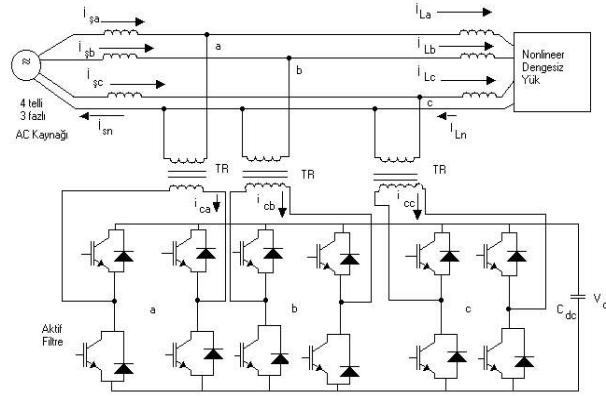
Unlike passive harmonic filters, modern active harmonic filters have multiple functions, such as harmonic filtering, reactive-power control for power factor correction and voltage regulation, load balancing and voltage-flicker reduction. The proposed power system is a combination of three-phase voltage 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 (THD₁) 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. THD₁ was measured % 45.61 in power system. After filtering, it was measured as % 4.491. As a result of using active filter value of THD₁ is reduced by 41.119 % in power system.

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

GİRİŞ

Lineer olmayan yüklerin, elektrik dağıtım sistemlerinde, gerilim ve akım dalga biçiminde bozulma meydana getirdikleri uzun yıllardır bilinmektedir. Ancak günümüzde; eskiden beri varolan lineer olmayan yüklere ilaveten, güç elektroniği elemanlarının hızla yaygınlaşması ise dalga şeklindeki bozulmaya duyarlı elemanların sayısındaki artış, bu konuda yapılacak çalışmaların önemini artırmıştır. Akım ve gerilim dalgalarında oluşan bu harmonikler elektrik tesislerine ve bu tesislere bağlı tüketicilere zarar vermekte veya tamamen işlemez hale getirmektedir [1, 2]. Günümüzde gittikçe artan sayıdaki non-lineer elemanın elektrik şebekesine bağlanması ile sinüzoidal olmayan büyüklükler ortaya çıkmakta ve bunlar da harmonikleri doğurmaktadır [3].

Güç sistemlerinde harmonik bileşenlerin eliminasyonu aktif filtreler etkin olarak kullanılmaktadır. Aktif filtre harmonik kaynağının bulunduğu noktada şebekeye paralel bağlanır. Harmonik kaynağının şebekeden çektiği akım ve gerilimi ölçer. Şebekeden çekilen harmonik akımının negatif değerlisini içerisindeki tetikleme sistemi ile üretir ve şebekeye bağlandığı noktada sisteme enjekte eder. Bu sayede şebekeden harmonik sız akım çekilmesini temin eder. Aktif güç filtresinin çalışması, sisteme yükün ürettiği harmoniklerle aynı genlikte fakat ters fazda bir akım enjekte edilmesi prensibine dayanır. Aktif filtreler güç elektroniği elemanları kullanılarak gerçekleştirilirler [4, 5]. Şekil 1'de aktif filtrenin güç sistemine bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 1. Üç köprülü dört telli paralel aktif filtre

Temel olarak aktif güç filtresi güç sistemine bir dijital kontrolörle bağlı standart bir dönüştürücüden oluşur. Akım veya gerilimdeki harmonik distorsiyonunu tanımlamak için ilave bir kontrol bloğu mevcuttur. Aktif filtreler pasif filtrelere nazaran kaynak empedansına daha az bağımlıdır. Yük değişimlerinde sadece kontrolör yeniden programlanmalıdır. Harmonikler, bir elektrik sisteminde temel frekansın bazı tam katlarında ortaya çıkan akımlar ve gerilimler olarak dikkate alınırlar [6, 7]. Harmonik bileşenlerin frekansları,

$$f_n = n \cdot f_1$$

1 140

formülü ile ifade edilir. Bu ifadede; n harmonik mertebesini, f_1 temel frekansı göstermektedir. (1) denkleminde göre, üçüncü harmonik bileşen, $f_3=150$ (Hz), beşinci harmonik bileşen, $f_5=250$ (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 veek olarak bu tesislerde nötr-toprak arası gerilimlerin artması sonucu elektronik cihazlarda arızalar oluşmaktadır [8, 9].

AKTİF FİLTRELER VE GÜÇ SİSTEMİNİN MODELLENMESİ

Aktif filtrede analog ve mikro işlemci olmak üzere iki tür üretim mevcuttur. Mikroişlemci ile örnekleme yapan aktif filtreler, sistemi analiz etmeleri gerektiğinden sistemde örnekleme yaptıktan sonra FFT (Fast Fourier Transform) yaparlar. FFT sonucuna göre sistemdeki harmoniklerin düzeltmek üzere akım üretirler. Bu tür filtrelerin cevap verme süreleri 40 msn den başlayarak modeline göre artış gösterirler. Aktif filtrelerin verimliliği %94 civarlarındadır [10, 11].

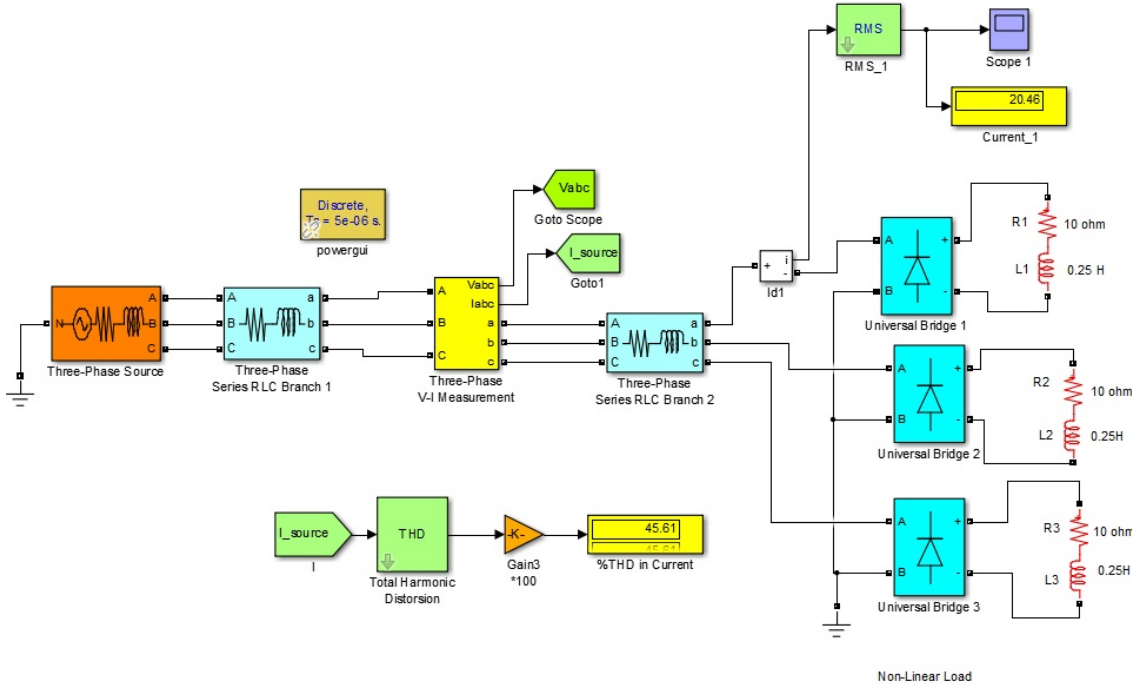
Analog ölçüm tekniği ile üretilen aktif filtreler ise, analog filtre devreleri sayesinde ölçtüğü akımın 50 (Hz) deki bileşenini, gerilimin ise 50 (Hz) 'in üzerindeki bileşenlerini süzerek elde ettiği akım ve gerilim bilgisini referans akım ve gerilimle karşılaştırır. Ölçülen harmonik akımına göre, yarı iletken anahtarlama elemanı olan IGBT' lerle 10 (KHz)'de tetikleme yapılarak, şebeke geriliminden yüksek bir gerilimde seçilen 700V' luk kondansatörler devreye girip çıkarak ölçülen harmonik akımın simetrisini üretirler. Bu sayede analog teknikle üretilmiş aktif filtreler sistemdeki tüm harmonik akımları maksimum 2 (msn) gecikme ile ve %98 verimlilikle filtre ederler [12, 13].

Aktif güç filtresinin en önemli ünitesi harmonik belirleme ünitesidir. Yük akımındaki harmonikleri yok edecek kompanzasyon akımını üretir. Bu akımı üretmek için iki metot kullanılmaktadır. Bu metotlar p-q teorisi olarak bilinen reaktif güç metodu ile hızlı Fourier transformasyon Fast Fourier

Trasformer (FFT) metodudur. Aktif güç filtresinin çalışması, sisteme yükün ürettiği harmonikle aynı genlikte fakat ters fazda bir akım enjekte edilmesi prensibine dayanır. Aktif filtrenin performansı şebeke empedansına daha az bağlıdır. Yük değiştiğinde sadece kontrolör yeniden programmalıdır [14, 15]. Harmonik büyüklüklerin sınırlandırılmasını amaçlayan harmonik standartlarında çok sıklıkla kullanılan toplam harmonik distorsiyonu akım için,

$$THD_I = \frac{I_h}{I_1} * 100 \quad 2$$

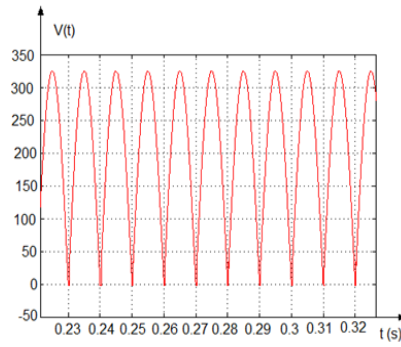
ifadesinden yararlanarak bulunur. Burada I_h , harmonikli akım bileşenlerini, I_1 , temel harmonic bileşeni gösterir. Harmonik bileşenlerin efektif değerlerini, temel bileşen efektif değerine oranıdır [16, 17]. Genellikle yüzde olarak ifade edilir. Bu değer non-linear dalga formunun sinüs dalga formundan sapmasının bir ölçütüdür. 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 [18, 19]. Aktif güç filtresiz güç sistemine ilişkin prensip şeması Şekil 2’de verildiği gibidir.



141

Şekil 2. Güç sisteminin simulink eşdeğeri (filtrelemeden önce)

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 [20]. Temel dalga dışındaki sinüsoidal dalgalara “harmonik bileşen” adı verilir. Tam dalga kontrolsüz doğrultucu çıkış gerilimi dalga formu Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Tam dalga kontrolsüz doğrultucu çıkış gerilimi

Non-linear karakteristikli 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 non-linear elemanların veya nonsinüsoidal kaynakların meydana getirdiği harmonik bileşenler hesaplanarak veya ölçülerek ortaya konması ve gerekli tedbirlerin alınması gerekir. Kaynak akımı ve harmonik bileşenleri Tablo 1’de verilmiştir.

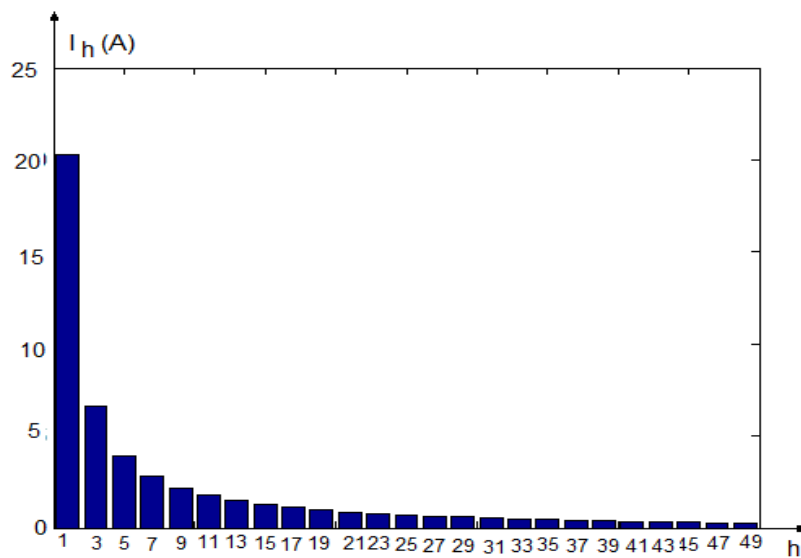
Tablo 1. Güç sistemindeki harmonik bileşenler (filtresiz)

Harmonik bileşenler	Harmonik bileşenin genliği (A)	Harmonik bileşenin faz acısı (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

Nonlinear yükler düşük güçlü olsalar bile enerji sistemlerinde sinüsoidal akım ve gerilim dalga şeklini bozarlar. Güç sistemlerine bağlanan çok sayıda nonlinear yük göz önüne alınırsa bunların sonucunda ek kayıp ve Total Harmonic Distortion (THD) değerlerinin yüksek değerlere varması kaçınılmazdır. Nonlinear yüklerin etkinliğinin azaltılması, harmonik distorsiyonunun giderilmesi enerjinin kalitesi açısından çok önemlidir.

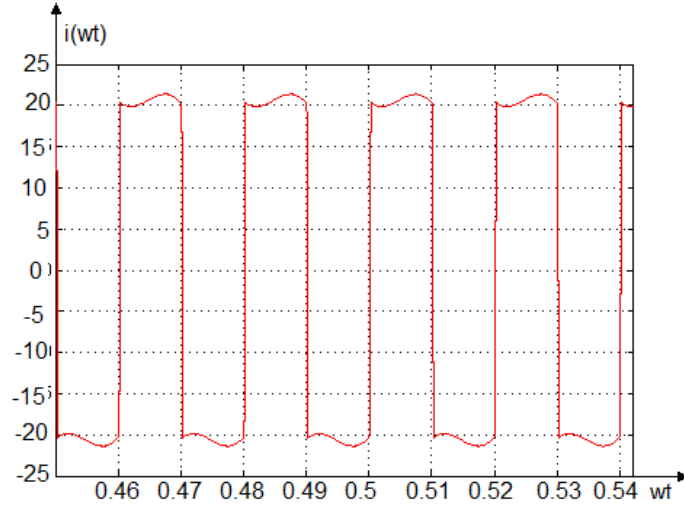
Non-linear karakteristikli yükler düşük güçlü olsalarda güç sistemlerinde sinüsoidal akım ve gerilim dalga formunu bozarlar. Güç sistemlerine bağlanan çok sayıda nonlinear yük göz önüne alınırsa bunların sonucunda ek kayıplar ile harmonik distorsiyon değerlerinin yükselmesine neden olurlar. Kaynak akımı harmonik bileşenlerin genlikleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Harmonik bileşenler (filtreleme öncesi)

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

Kısacası 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 Şekil 5'te verildiği gibidir.



Şekil 5. Tam dalga kontrolsüz doğrultucu giriş akımı

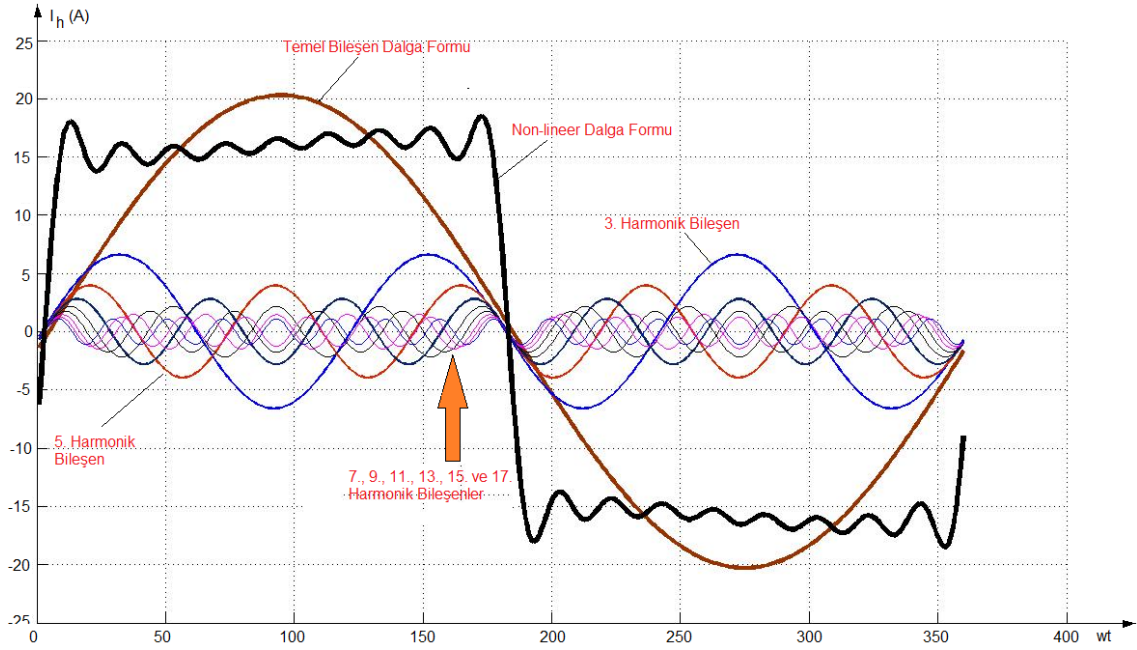
Non-linear yüklerin sebep olduğu harmonic bileşenlerin güç sistemini rezonansa getirmemesine dikkat edilmelidir. Rezonans şartları her harmonic bileşen için ayrı, ayrı hesaplanmalıdır. Bir güç sistemine harmonic kaynaklardan enjekte edilen harmonic bileşenlerin olması durumunda, bunlar şebekedeki herhangi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

AKTİF GÜÇ FİLTRESİ KULLANILARAK GÜÇ SİSTEMLERİNDE THD_I AZALTILMASI

Elektrik sistemlerinde akım ve gerilimin sinüzoidal formda ve 50 (Hz) frekansta olması istenir. Bu koşul kaliteyi belirleyen ana faktörlerden biridir. Bununla birlikte bir çok nedenden dolayı bu temel büyüklükler temel özelliklerini kaybederek, sistemde harmonic bileşenler oluşmaktadır. Tam dalga kontrolsüz doğrultucu giriş akımı;

$$i(\omega t) = 20.29\sin(\omega t - 4.803) + 6.598\sin(3\omega t - 6.159) + 3.947\sin(5\omega t - 13.56) + 2.807\sin(7\omega t - 20.23) + 2.172\sin(9\omega t - 26.67) + 1.765\sin(11\omega t - 33.01) + 1.481\sin(13\omega t - 39.3) + 1.271\sin(15\omega t - 45.57) + 1.11\sin(17\omega t - 51.83) \text{ 3.1}$$

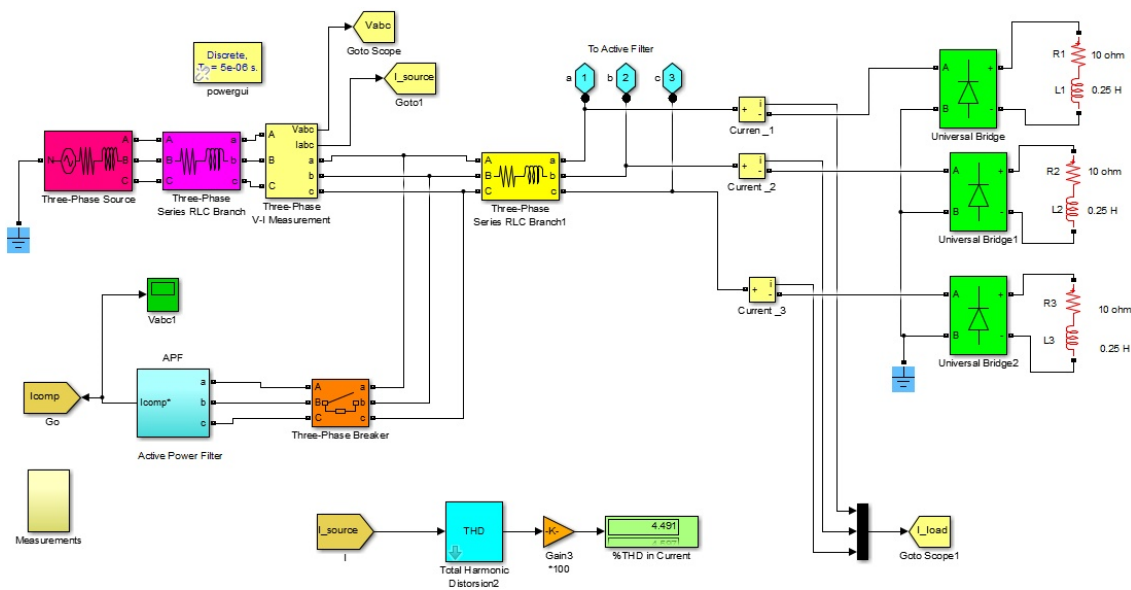
şekindedir. Bu non-linear karakteristikli şebeke akımına ilişkin grafik Şekil 6'da gösterildiği gibidir.



Şekil 6. Şebekeden çekilen akım ile harmonic bileşenleri (filtresiz)

Harmonik bileşenleri tam olarak yok etmek imkansızdır. Harmonik bileşenleri en aza indirecek önlemler alınabilir. Harmonik bileşenleri üreten güç elektroniği aygıtlarında daha tasarım aşamasında gerekli tedbirler alınabilir. Örneğin doğrultucular 6 darbeli olacağı yerde 12 darbeli olarak tasarlanabilir veya doğrultucu paralel çalıştırılarak bunların primeri ortak sekonderinden birisi üçgen, birisi yıldız bağlı bir transformatörden beslenebilir. Bu sayede 5. ve 7. harmoniklerde önemli azalmalar sağlanabilir. Transformatörlerin primerlerinin üçgen bağlanmasında 3. harmoniğin şebekeye geçişi önlenir. Sözü edilen tasarıma yönelik bu tedbirler yeterli değildir. Harmonik bileşenleri süzecek aktif filtrelere mutlak surette ihtiyaç vardır. Şekil 7’de güç sistemi ile aktif filtrenin bağlantı şeması verilmiştir.

145



Şekil 7. Güç sisteminin simulink eşdeğeri (filtrelemeden sonra)

Şekil 7’deki güç sisteminde aktif filtre kullanmadan önce THD₁ % 45.61 olarak ölçüldü. Aktif filtre

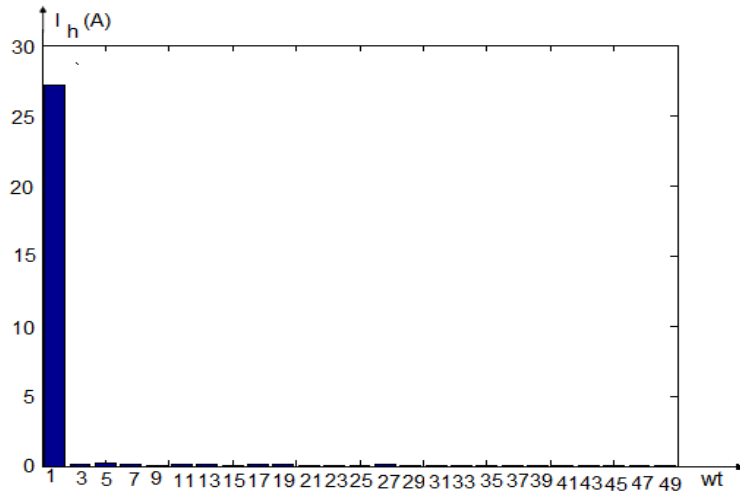
kullanılması ile THD_r değeri % 4.491 düşürüldü. Aktif filtre lineer olmayan bir yükün çektiği harmonik akımları yok etmek üzere, harmonik akımları üretmek için güç elektroniği elemanları kullanılarak oluşturulur. Aktif filtreler akım ve gerilim harmonikleri kompanze etmekle birlikte reaktif güç, gerilim ve akım dengesizlikleri ve nötr akımı kompanzasyonları ile şebeke gerilim regasyonu 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 (filtrelemeden 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.

SİMİLASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

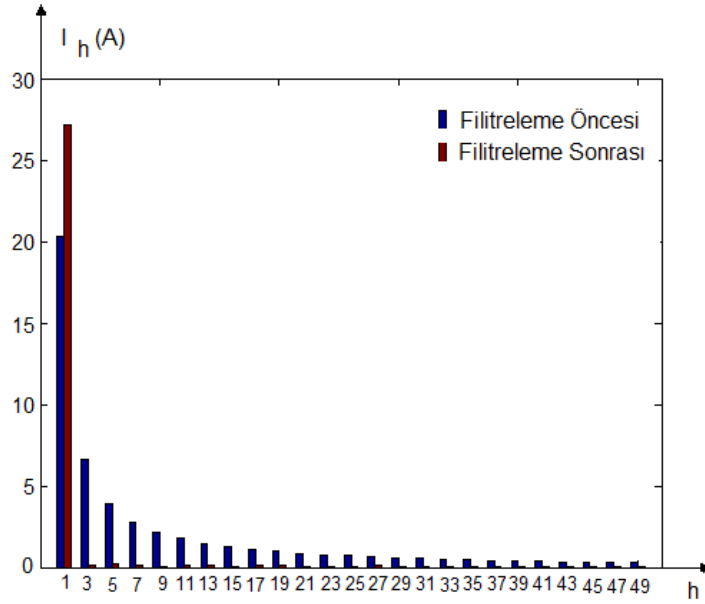
Harmoniklerin giderilmesinde kullanılan aktif filtreler bozulmanın istenen değerlere düşürmesinin yanında, sistem için gereken reaktif güç ihtiyacını da karşılamaktadır. Günümüzdeki filtre uygulamalarında aktif ve pasif filtreler kullanılmaktadır. Sisteme ilave edilmesi gereken filtrelerde dikkat edilmesi 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. İzole Kapılı Bipolar Transistör (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. 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 harmonic 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 harmonic 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 kalitesi ve verimliliği artırır.

SONUÇLAR

Güç sistemine bağlanan doğrusal olmayan elemanlar sebebiyle tam sinüzoidal dalga şeklinde sapmalar 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 ve güç faktörü düşmektedir. Ayrıca rezonans olaylarına da sebep olarak işletme için zararlı bir durum meydana getirmektedir. 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 aktif filtre devreleri gerekmektedir.

Aktif filtreler kaynak ile yük arasına 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 % 45.61 olarak ölçüldü. Aktif filtre kullanılması ile THD_I değeri % 4.491 düşürüldü.

KAYNAKLAR

Thusty 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.

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.

Arifoğlu U., Matlab9.1-Simulink ve Mühendislik Uygulamaları, Alfa Yayıncılık, 964p. İstanbul-Turkey, 2016.

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.

Rashid H.M., *Power Electronics, Circuits, Devices, and Applications*, Perason Press, 2014.

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.

Kocatepe C., Uzunoglu, M., Yumurtacı, R. ve Arıkan, O., *Elektrik Tesislerinde Harmonikler*, Birsen Yayınevi, İstanbul 2003.

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.

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.

Yilmaz 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.

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.

Asiminoaei L., Rodríguez P., and Blaabjerg F., Application of Discontinuous PWM Modulation in Active Power Filters *Ieee Transactions On Power Electronics*, Vol. 23, No. 4, July 2008.

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.

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.

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.

- Adak S., Cangi H., Harmonik Bileşen İçeren Elektrik Tesislerinde Kondansatör Kayıpları, 3eELECTROTECH, sayı: 325, Kasım, p: 181-192. 2014.
- 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.
- Şekkeli M., Yilmaz A.S. Bir Taşkıрма Tesisindeki Güç Kalitesi Seviyesinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15, No.3, s. 317-323, 2006.
- 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.
- 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.