

# Aktif Filtrelerin Güç Kalite Düzenleyicisi Olarak Kullanımı

Arş. Gör. Şule Özdemir (sozaslan@kou.edu.tr), Yrd. Doç. Dr. Şule Kuşdoğan (kusdogan@kou.edu.tr)  
Kocaeli Üniversitesi

**D**engesiz yüklü tek fazlı ve üç fazlı AA güç şebekelerinde, harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu için aktif filtreler gelişmiş bir teknoloji haline gelmektedir. Bu makalede, aktif filtre konfigürasyonları, kontrol yöntemleri, elemanların seçimi etraflı bir şekilde sunulmakta ve aktif filtre teknolojisinin geçmişteki ve günümüzdeki durumu incelenmektedir. Ayrıca bu çalışmada, güç kalitesi konusuyla ilgili uygulama alanında çalışanlara ve araştırmacılara, aktif filtre teknolojisinin bugünkü durumu hakkında geniş bir görüş açısı kazandırmak amaçlanmaktadır.

## 1. Giriş

Günümüzde alçak gerilim elektrik enerjisi kalitesindeki sorunlar giderek endişe verici problemler yaratmakta ve güç kalitesinden kaynaklanan şikayetler artmaktadır. Enerji kesilmeleri, ani gerilim yükselmeleri ve düşmeleri, iklim şartlarından kaynaklanan hatalar, elektrik enerjisinin ayarlanması ve dönüştürülmesi için kullanılan doğrusal olmayan alıcılar (doğrultucular, eviriciler ve

**Bu çalışmada, güç kalitesi konusuyla ilgili uygulama alanında çalışanlara ve araştırmacılara, aktif filtre teknolojisinin bugünkü durumu hakkında geniş bir görüş açısı kazandırmak amaçlanmaktadır.**

kesintisiz güç kaynakları gibi) özel problemler ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, alçak gerilim sistemlerinde koruma cihazları gereksiz açmakta, otomatik kontrol sistemleri etkilenmekte ve aşırı harmonikler güç kalitesini bozarak elektriğin verimli kullanımını engellemektedir.

Güç dönüştürücüleri ve diğer doğrusal olmayan yüklerin, tüketiciler ve endüstri tarafından çok yoğun kullanımı nedeniyle, güç sistemlerinde gerilim ve akım dalga şekillerinde bozulmalar meydana gelmektedir. Güç hatlarındaki harmonikler, dağıtım hatlarında artan güç ka-

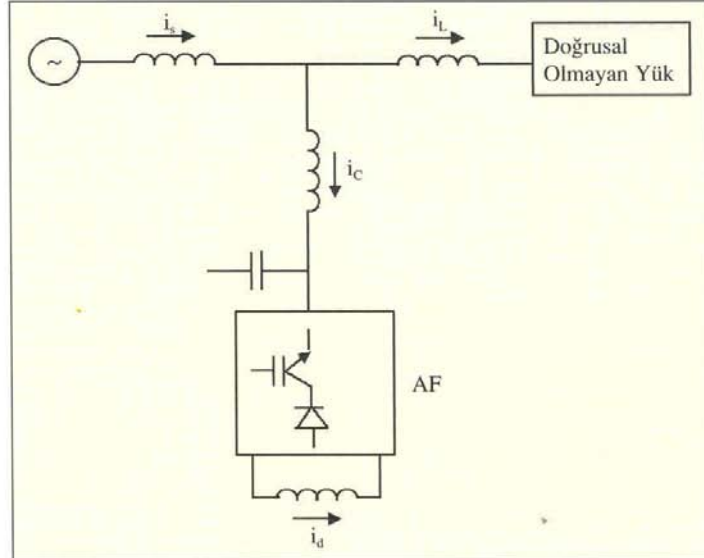
yıplarına, haberleşme sistemlerinde girişim problemlerine, mikroelektronik kontrol sistemleri içeren daha hassas elektronik cihazların işletim hatalarına neden olmaktadır. Bu problemler nedeniyle, son tüketiciye verilen güç kalitesi konusu eskisine göre daha fazla önem kazanmaktadır.

Geleneksel olarak pasif LC filtreler, hat akımı harmoniklerini yok etmek ve yükün güç faktörünü iyileştirmek amacıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte uygulamada, bu pasif filtrelerin seri ve paralel rezonans gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bu problemleri yok etmek için aktif güç filtreleri geliştirilmektedir.

Tristör ve diğer yarıiletken elemanları kullanarak alternatif gücün katı-hal denetimi; ayarlanabilir hız sürücüleri, fırınlar ve bilgisayar güç kaynakları gibi elektriksel yüklerle kontrollü elektrik gücü verebilmek için oldukça geniş bir biçimde uygulanmaktadır. Ayrıca bu tür denetleyiciler, HVDC (yüksek geri-

limle DA enerji iletimi) sistemlerinde ve yenilenebilir elektrik güç üretiminde de kullanılmaktadır. Katı-hal dönüştürücüler, doğrusal olmayan yüklerde şebekeden harmonik ve akımın reaktif bileşenini çekmektedir. Üç fazlı sistemlerde aşırı nötr akımları çekerek dengesizliğe de neden olabilmektedir. Harmonikler, dengesizliğe, aşırı nötr akımlar, düşük sistem verimine ve düşük güç faktörüne neden olmaktadır. Bunlar ayrıca, diğer tüketicilerde bozunumlara ve yakın iletişim şebekelerinde girişim meydana getirmektedir.

Harmonikleri azaltmak için L-C filtreler, AA yüklerin güç katsayısını arttırmak için de kondansatörler kullanılır. Bununla birlikte, pasif filtrelerin boyutları oldukça büyüktür ve bu filtrelerde rezonans problemi vardır. Güç şebekelerinde harmonik kirliliğin artması, araştırmacıları güç kalitesi problemlerine esnek ve dinamik çözümler üretmeye yöneltmiştir. Aktif filtre olarak bilinen bu sistemler; aktif güç hat düzenleyicileri (APLC:Active Power Line Conditioner), ani reaktif güç kompanzatorları (IRPC:Instantaneous Reactive Power Compensator), aktif güç filtreleri (APF:Active Power Filter) ve aktif güç kalite düzenleyicileri (APQC:Active Power Quality Conditioner) olarak da adlandırılmaktadır. Ayrıca, harmonikler, reaktif güç, yük dengesi, doğrusal ve doğrusal olmayan yüklerde nötr akım kompanzasyonu üzerine de bir çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada, aktif filtre teknolojisi, günümüzde



Şekil 1. Akım kaynaklı aktif filtre

kullanılan farklı konfigürasyonlar, kontrol yöntemleri, ekonomik ve teknik özellikler, özel uygulamalar için aktif filtrelerin seçimi gibi konular açıklanmaktadır.

## 2. Aktif Filtreler

Şebekede aktif filtre (AF) teknolojisi, harmonik, reaktif güç ve nötr akım kompanzasyonu için kullanılmaktadır. Geçtiğimiz çeyrek yüzyılda, değişik konfigürasyonların, kontrol stratejilerinin ve katı-hal elemanların gelişimi ile birlikte aktif filtre teknolojisi de gelişmiştir.

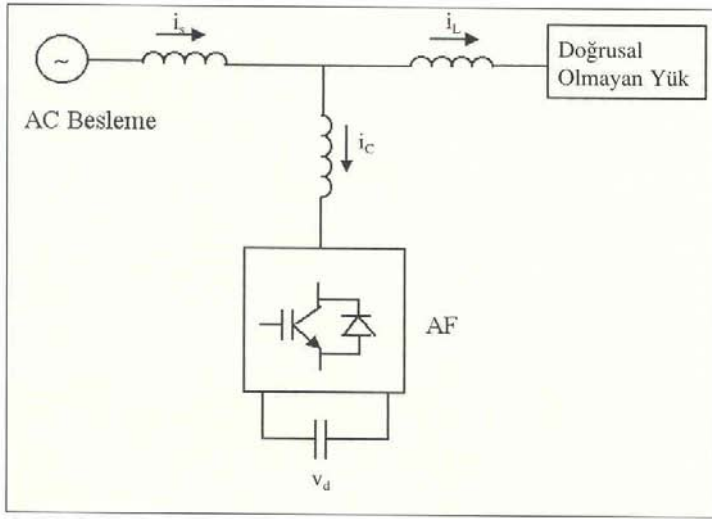
Aktif filtreler ayrıca üç fazlı sistemlerde; gerilim harmoniklerini yok etmek, uç gerilimini düzenlemek, gerilim flikerini önlemek ve gerilimi dengelemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu özellik-

ler, ihtiyaçlara ve kontrol stratejilerine bağlı olarak tek veya kombinasyon şeklindeki düzenlemeler ile elde edilir.

Yukarıda açıklanan faydaları yanında aktif güç filtrelerinin pratik uygulamalarda aşağıdaki dezavantajları da bulunmaktadır.

- İyi frekans cevabına sahip, düşük kayıplı ve büyük VA kapasiteli statik güç dönüştürücülerin gerçekleştirilmesi oldukça zordur.
- Aktif güç filtrelerinin ilk yatırım ve işletme maliyetleri, pasif L-C filtreler ile karşılaştırıldığında yüksektir.

AA gücün katı-hal kontrolünün geniş bir biçimde kullanımından sonra, güç kalitesi konusu daha fazla önem kazanmaktadır. Aktif filtreler temelde, tek fazlı, üç fazlı (nötrsüz) ve üç fazlı nötrlü ol-



Şekil 2. Gerilim kaynaklı aktif filtre

mak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Evlerdeki aydınlatma elemanları, fırınlar, TV'ler, bilgisayarlar ve klimalar gibi tek fazlı doğrusal olmayan yükler, güç kalitesi problemlerine neden olur. Bu problemlere çözüm bulmak için, 1971'den bu yana aktif seri filtreler, aktif şönt filtreler ve ikisinin birleşimi olan seri-şönt filtreler gibi bir çok konfigürasyon geliştirilmiştir. Endüktif elamanlı akım-kaynaklı evirici ve kapasitif elamanlı gerilim kaynaklı evirici tek fazlı aktif filtrelerde kullanılmaktadır. Ayrıca, aktif filtreler ticari amaçla UPS (Kesintisiz Güç Kaynağı) uygulamalarında da kullanılmaktadır.

Konu ile ilgili literatür incelendiğinde aktif güç filtrelerinin, reaktif güç kompanzasyonu, harmonik kompanzasyonu, fliker dengesizlik kompanzasyonu ve/veya gerilim regülasyonu sağladığı için güç düzenleyicisi olarak

yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir. Özellikle Japonya'da 1981'den bu yana 500'den fazla 100 kVA ile 60 MVA arasında güçlerde çalışan aktif filtreler hem harmonik kompanzasyonu hem de reaktif güç kompanzasyonu için pratik olarak uygulanmaktadır. Kurulan şönt aktif filtre sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle elektrik dağıtım şirketleri güç dağıtım hatları boyunca harmonik girişimini aktif olarak azaltmak zorunda kalmaktadır. Bireysel tüketiciler ve endüstrideki son kullanıcılar da kendi cihazlarındaki akım harmoniklerini belirtilen sınırlar içinde tutmak zorundadır.

AA gücün büyük bir bölümü, katı hal denetimli ayarlanabilir motor hız sürücülerini gibi üç fazlı yükler tarafından tüketilmektedir. Aktif şönt, aktif seri ve bu ikisinin birleşimi olan aktif güç kalite düzenleyicileri, ayrıca

bunlarla birleştirilen pasif filtreler, kullanılan tipik konfigürasyonlardan birkaçıdır.

Bilgisayar besleme sistemleri, flüoresan lambalar gibi doğrusal olmayan yükler nedeni ile oluşan aşırı nötr akımı problemi üç fazlı nötrlü sistemlerde önemli bir problemdir. Bu nedenle, dört telli sistemler için, nötr akımının yok edilmesi, harmonik kompanzasyonu, yük dengesi, reaktif güç kompanzasyonu uygulanmaktadır. Ark fırınları ve tahrik sistemleri gibi doğrusal olmayan reaktif yüklerin, reaktif güç dengesini sağlamak ve gerilim flikerini önlemek için literatürde statik var kompanzatorler (SVC) olarak da bilinen katı-hal kompanzatorleri geliştirilmiştir.

Aktif filtre teknolojisindeki gelişimin en önemli faktörlerinden biri, hızlı ve kendinden komütasyonlu katı-hal elemanlarındaki yeniliklerdir. Önceleri tristörler, transistörler ve güç mosfetleri aktif filtrelerde kullanılırken, daha sonraları statik indüksiyon tristörleri (SIT) ve GTO'lar kullanıldı. Günümüzde ise aktif filtrelerde ise izole kapılı transistör (IGBT) ideal eleman olarak kullanılmaktadır.

Mikroelektronik devriminden sonra, aktif filtrelerde analog ve dijital elemanlarla birlikte dijital sinyal işlemcilerin (DSP) de kullanımı ile, AF'nin dinamik ve kararlı durum performansını artırmak için, bulanık mantık, yapay sinir ağları, PI denetleyici, Adaptif denetim gibi farklı denetim algoritmalarının uygulanması sağ-

lanmıştır. Böylece AF'ler dinamik olarak değişen doğrusal olmayan yüklerde bile, hızlı ve düzgün çalışma yeteneğine sahip olmuştur.

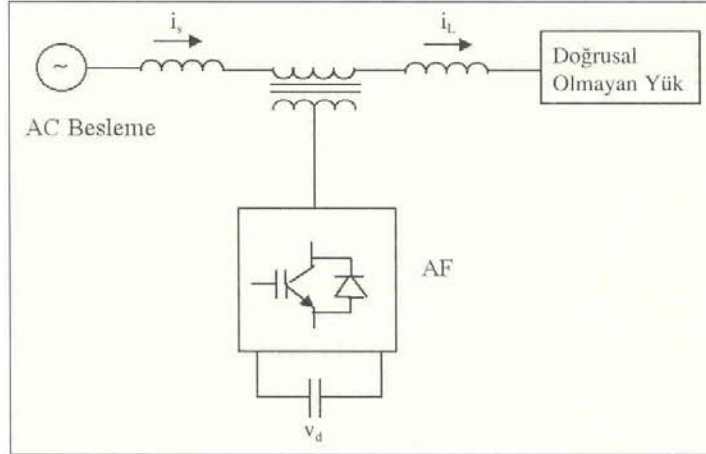
### 2.1. AF Konfigürasyonları

AF'ler, dönüştürücü tipine, şekline ve faz sayısına göre sınıflandırılabilir. Dönüştürücü tipleri, akım kaynaklı (Current-Source Inverter CSI) veya gerilim kaynaklı evirici (Voltage-Source Inverter VSI) tipindedir. Bağlantı şekillerine göre, şönt, seri veya her ikisini birleşimi olarak sınıflandırılır. Faz sayısına göre sınıflama ise, iki kablolu (tek fazlı), üç veya dört kablolu (üç fazlı nörlü veya nörsüz) sistemlerdir.

#### 2.1.1. Dönüştürücü Tipine Göre Sınıflama

Aktif filtrelerde iki tip dönüştürücü kullanılmaktadır. Şekil 1.'de akım kaynaklı PWM evirici yapısı görülmektedir. Devrede ters gerilimin önlenmesi için, kendinden komütasyonlu anahtarlama elemanına (IGBT) bir diyot seri bağlıdır. GTO-tabanlı düzenlemelerde ise, bu diyoda gerek yoktur, fakat anahtarlama frekansı sınırlıdır. Bu düzenleme oldukça güvenilir olmasına rağmen, kayıpları yüksektir ve paralel bağlı AA güç kondansatörünün değerinin büyük olmasına gereksinim gösterir. Ayrıca yüksek güçlerde performansı arttırmak için çok-seviyeli olarak kullanılamazlar.

AF'lerde kullanılan diğer bir dönüştürücü tipi de Şekil 2.'de gö-



Şekil 3. Seri aktif filtre

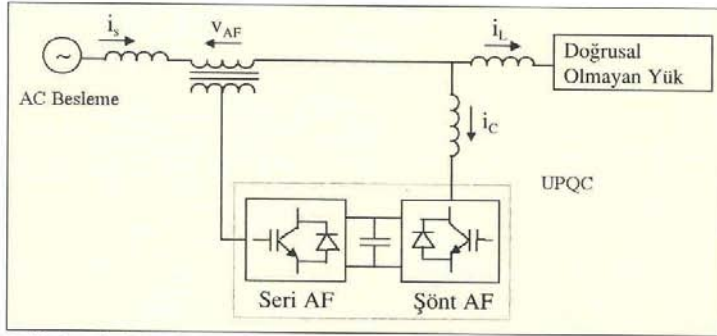
rülen gerilim kaynaklı PWM evirici yapısıdır. Büyük bir DA kondansatör ile düşük anahtarlama frekansında performansı arttırmak için çok-seviyeli olarak genişletilebilmesi, daha ucuz ve daha hafif olması nedeniyle bu yapı daha çok kullanılmaktadır. Özellikle UPS tabanlı uygulamalarda, şebeke ile birlikte aynı köprü evirici devresi kritik doğrusal olmayan yüklerin harmoniklerini yok etmek için bir AF olarak kullanılabilir olduğundan daha fazla tercih edilmektedir.

#### 2.1.2 Bağlantı Şekline Göre Sınıflama

AF'ler, seri ve şönt filtreler veya her ikisinin birleşimi olan birleşik güç kalite düzenleyicileri (unified power quality conditioner : UPFC) olarak sınıflandırılabilir. Aktif seri ve pasif şönt filtrenin birleşimine hibrid filtre adı verilir. Şekil 2'de akım harmoniklerini azaltmakta, reaktif güç kompanzasyonunda ve den-

gesiz akımları dengelemekte kullanılan aktif şönt filtre örneği görülmektedir. Akım harmonikleri doğrusal olmayan yükler tarafından sisteme verildiğinden, aktif şönt filtre de yük tarafında kullanılır. Şönt filtre, bağlantı noktasında doğrusal olmayan yük akımı harmonik ve/veya reaktif bileşenlerini yok etmek için karşı faza, eşit kompanze akımlar üretir.

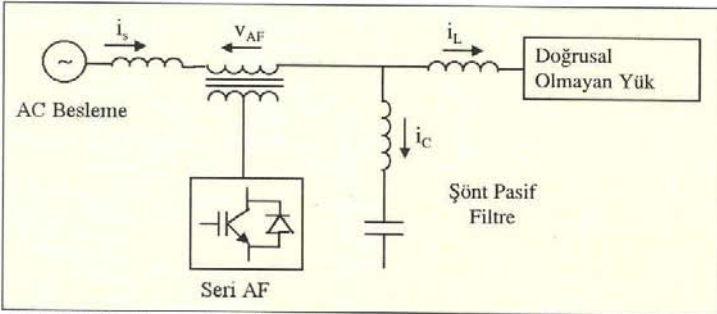
Şekil 3'de aktif seri filtrelerin temel blok diyagramı görülmektedir. Bu AF, gerilim harmoniklerini yok etmek, yük veya hattın uç gerilimini dengelemek için, hatta yükten önce bir transformatör yardımıyla seri bir şekilde bağlanır. Üç fazlı sistemlerde negatif-dizi gerilimini azaltmak ve gerilimi regüle etmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca gerilim harmoniklerini kompanze etmek ve hat empedansları ile kondansatörlerin oluşturduğu rezonansların etkisini azaltmak için de kullanılmaktadır.



Şekil 4. Birleşik güç kalite düzenleyicisi

Şekil 4'de aktif şönt ve aktif seri filtrelerin birleşimi olan birleşik güç kalite düzenleyicisi olarak adlandırılan AF görülmektedir. DA-hat elemanı (bobin ya da DA-bara kondansatörü), aktif seri ve aktif şönt kompanzator olarak çalışan iki akım-kaynaklı ya da gerilim-kaynaklı köprü arasında paylaşılır. Bu AF'ler, hem tek fazlı hem de üç fazlı sistemlerde gerilim ve akım harmoniklerini yok etmek amacıyla kullanılmaktadır. Diğer özellikleri ise, sistemin uç gerilimini dengelemesi ve negatif-dizili akımları yok etmesidir.

Şekil 5'de seri aktif filtre ve pasif şönt filtrenin kombinasyonu olan hibrid filtre görülmektedir.



Şekil 5. Aktif seri ve pasif şönt filtrenin kombinasyonu olan hibrid filtre

Aktif seri bölümünde kullanılan katı-hal elemanlarının, filtrenin boyutunu ve dolayısıyla maliyeti düşürmeleri nedeniyle bu filtreler daha fazla tercih edilmektedir. Hibrit filtrenin pasif şönt LC bölümü, düşük dereceli harmonikleri yok etmektedir.

### 2.1.3 Kaynak-Yük Tabanlı Sınıflama

Aktif filtreleri bu şekilde sınıflama, kaynağa ve yüke (tek fazlı, üç fazlı) bağlı olarak yapılır. Ayarlı hız sürücüler (ASD: Adjustable-Speed Driver) gibi nötr-süz üç fazlı yükler, üç kablolu kaynaklardan beslenmektedirler. Ayrıca, bilgisayarlar gibi dört kablolu üç fazlı sistemlerden

beslenen, doğrusal olmayan tek-fazlı yükler de vardır. Böylece, AF'ler iki-kablolu, üç-kablolu ve dört-kablolu olmak üzere üçe ayrılır.

### A. İki-Kablolu Aktif Filtreler

İki-kablolu (tek fazlı) AF'ler, aktif seri, aktif şönt ve ikisinin birleşimi olan birleşik hat düzenleyicilerinde kullanılmaktadır. Hem akım kaynaklı PWM eviricide, hem de gerilim kaynaklı PWM eviriciler, bu aktif filtrelerin yapısında yer almaktadır.

Akım kaynaklı eviricili aktif seri, aktif şönt ve her ikisinin birleşimi olan konfigürasyonlar bu tipde yer almaktadır. Seri AF'ler genellikle gerilim harmoniklerini yok etmek, şönt AF'ler ise reaktif güç kompanzasyonu ve akım harmoniklerini yok etmek amacıyla kullanılmaktadır.

### B. Üç-Kablolu Aktif Filtreler

Ayarlı-hız sürücüler gibi üç-kablolu doğrusal olmayan yükler, katı-hal güç dönüştürücülerinin temel uygulamalarından biridir. Şekil 1-5'deki tüm konfigürasyonlar üç kablolu olarak geliştirilebilmektedir. Aktif şönt filtreler, izalasyon transformatörlü üç tane tek-fazlı AF ile tasarlanabilir. Böylece bağımsız faz kontrolü ve dengesiz sistemlerde güvenli kompanzasyon yapılmış olur. Aktif seri filtreler tek başına (Şekil 3.) veya pasif şönt filtreler ile birlikte hibrid filtre olarak düzenlenebilirler.

(Devam edecek)