

ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
EMO ANKARA ŞUBESİ
İÇ ANADOLU ENERJİ FORUMU

GÜÇ SİSTEMLERİNDE
HARMONİKLER VE
FİLTRELEMELERİN İNCELENMESİ

EMO ŞUBE : KIRIKKALE

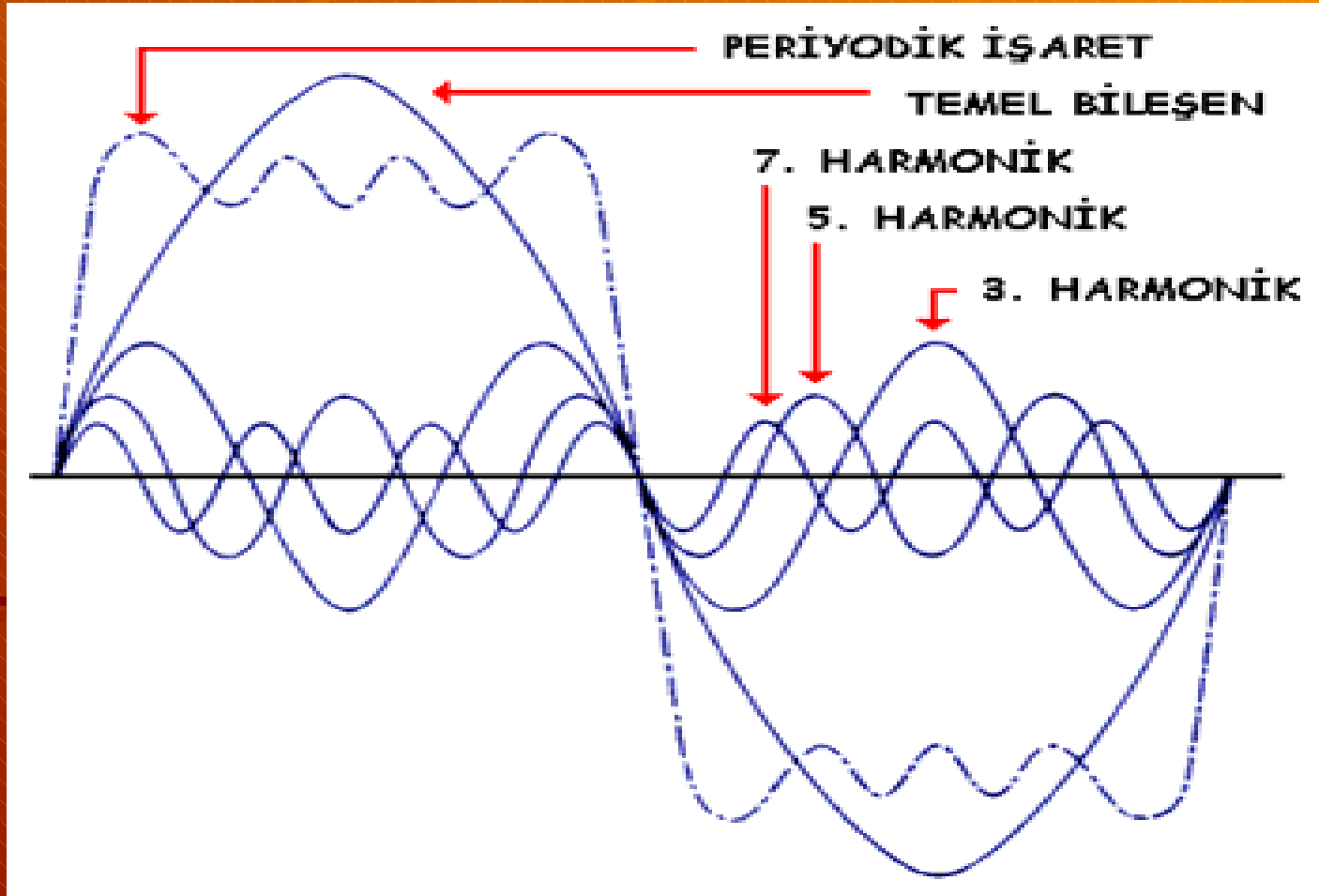
ÜYE : Caner FİLİZ

HARMONİK NEDİR?

- ✦ Sinüs formundaki bir gerilim kaynağı, yarı iletken teknolojiye sahip bir sisteme veya nonlineer yüklerle uygulanırsa sistemin vereceği akım cevabı kare dalga şeklinde olacaktır.
- ✦ Sinüs formunda ve sistem empedansı oranında genliğe sahip olması gereken bu akım dalga şeklinin kare dalga olmasının nedeni içerdiği temel şebeke frekansı dışındaki sinüs dalgalarıdır. Temel şebeke frekansı (50 Hz) dışındaki diğer sinüs formundaki bu akımlara

Harmoniklerin Frekansları

Temel Bileşen (1.Harmonik)	50 Hz
3.Harmonik	150 Hz
5.Harmonik	250 Hz
7.Harmonik	350 Hz



HARMONİKLERİN TARİHÇESİ

- ✦ Alternatif Akımın Ortaya çıkması ile Harmonik Kavramı, ilgi alanı oluşturmuştur. TRF' ların nonlineerliği, Y/ Δ Yolvermedeki 3. Harmonik oluşumu Clinker ve Curtis tarafından 1914 de araştırılmıştır.
- ✦ TRF' ların dalga şekilleri Steinmetz tarafından 1916-17 verilmiş. HD 'nin azaltılması için Filtre önermiştir.
- ✦ Rissik' in 1935 de Distorsiyon ile ilgili yayınları vardır.

HARMONİKLERİN TARİHÇESİ-2

- ✦ **Pender ve Delmar 1967 Yılında TRF lar için 3 ve 3 ün katları Harmonikleri geniş olarak araştırmışlardır.**
- ✦ **1971 Yılında Kimbark' in Evirici ve Doğrultucu için Hat komütasyonu karakteristiği çalışması, Harmoniklerin ana kaynağını oluşturmaktadır.**
- ✦ **IEEE 1984 yılında Harmoniklerin tarihi gelişimini yayınlamıştır.**
- ✦ **Modern anlamda Harmonik modelleme 1983 yılında Arrilage ve**

HARMONİK ÜRETEN KAYNAKLAR

Klasik Harmonik Kaynaklar

- * **Elektrik Makinelerindeki diř ve oluklar**
- * **Senkron Makinelerdeki ani yük değişimlerinin, Manyetik akı dalga şekillerindeki bozulmalar.**
- * **Doyma bölgesinde Çalışan TRF' ların mıknatıslanma akımları**
- * **Şebekedeki nonlineer yükler; Doğrultucu, evirici, kaynak mak. Ark fırınları, gerilim regülatörleri, frekans cevirciler. v.s**

HARMONİK ÜRETEN KAYNAKLAR-2

Yeni Harmonik Kaynaklar

- * **Motor Hız Kontrol Düzenleri**
- * **Doğru akım ile enerji nakli (HVDC)**
- * **Statik VAR Jeneratörleri**
- * **Kesintisiz güç kaynakları (UPS)**
- * **Akü şarj devrelerinin etkileri**
- * **Enerji tasarrufu amacıyla kullanılan aygıt ve yöntemler**
- * **Direkt frekans çevirici ile beslenen momenti büyük hızı küçük motorlar**

Harmoniklerin Etkileri

Elektrik Şebekelerinde

- **Nötr iletkeninin aşırı ısınması ve yangın riskine sebep olması**
- **Güç kayıplarının artması**
- **Kuvvetli elektromagnetik alanlar**
- **Şebekeye enterferansların verilmesi**

Harmoniklerin Etkileri-2

Endüstriyel Tesislerde

- ✦ **Güç kayıplarının artması**
- ✦ **Rezonans riski**
- ✦ **Harmonik akımının dönmesinden dolayı TRF ların delta sargılarında aşırı yüklenme**
- ✦ **Gürültü**
- ✦ **Sıcaklık yükselmesi**

Harmoniklerin Etkileri-3 **Kompanzasyon Sisteminde**

- ✦ **Güç kayıplarının artması**
- ✦ **Rezonans riski**
- ✦ **İşletme ömrünün azalması
(Kondansatörlerin ömrünün azalması)**

Kablolarda, İletkenlerde

- ✦ **Güç kayıplarının artması**
- ✦ **Nötr iletkeni üzerinde aşırı yüklenme
(N ve PEN iletkeninde)**
- ✦ **Yangın riski**

Harmoniklerin Etkileri-4

Diğer Önemli Etkiler

- ✦ Elektrik ekipmanlarının hatalı fonksiyonları
- ✦ Elektronik rölelerin hatalı fonksiyonları
- ✦ Toprak hata alarmlarının yanlış çalışması
- ✦ Cihazların uygun çalışmaması
- ✦ Kontrol cihazlarının hatalı fonksiyonları
- ✦ Kuvvetli elektromagnetik alanlar
- ✦ 4-hatlı sistemlerde potansiyel farklar Potansiyel farklar

Akım ve Gerilim Harmoniğinin Etkileri

*Akım harmonikleri

- Kullanılabilir güçte azalma ve kayıplarda artma, düşük güç faktörü
- Üç faz sistemlerde nötr hatta aşırı akımların oluşumu
- Trafo ve jeneratörlerde aşırı ısınma
- Akustik gürültüde artma
- Telefon hatlarında artan girişim

*Gerilim harmonikleri

- Trafo ve jeneratörlerde aşırı ısınma
- Kondansatörlerde aşırı ısınma
- Motorlarda ısınma
- İzolasyon sistemlerinde yalıtkan stresinin artması
- Rezonans oluşumu ve yüksek gerilim delinmesi
- Endüksiyon motorlarda problemler, mekanik salınımlar

Harmonik Bozunumun Matematiksel İfadesi

$$I_H = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} \text{ ve } I_n = n \text{ Harmoniğin RMS değeri}$$

I_F = Temel Foksiyonun RMS değeri olmak üzere

$$THD = \frac{I_H}{I_F} \text{ Toplam Harmonik Bozunum}$$

Toplam Harmonik Bozunumun (%) olarak ifadesi,

$$THD = \frac{I_H}{I_F} \times 100$$

Harmoniklerin Seviyeleri

***Klasik Tüketiciler 3, 5, 7, 9, ... Harmonikleri Oluştururlar.**

***Yeni Nesil tüketiciler Pulse Sayılarına göre Harmonikleri Oluştururlar.**

$n = h \times q \pm 1$ formülünde

n = Harmoniğin Sayısı,

h = Pulse Sayısı,

q = Sırayla ilerleyen tam sayı,

6 Pulse' lı bir tüketici 5, 7, 11, 13, 17, 19, Sayılı Harmonikleri,

12 pulse' lı bir tüketici 11, 13, 23, 25, 35, 37, Sayılı Harmonikleri oluştururlar.

Harmonik Standartları

IEEE 519-1992 ye göre THD oranları

-Gerilim için max % 3

-Akım için max % 5 dir.

FRANSA % 1

ALMANYA % 10 (15. Harmoniğe kadar(%5))

İSVEÇ A.G de % 4 , O.G de % 3

ABD 69 KV kadar % 5, 115 KV üzeri %3

YENİ ZELANDA % 3

İNGİLTERE A.G de % 4, O.G de % 3

Elektrik Sistemindeki Elemanların Harmoniklerden Etkilenmelerinin İncelenmesi

✦ Trafolar

- Bakır Sargı, Kaçak akı ve Çekirdek kayıplarında Artış olur.
 - Fuko ve Histerizis Akımlarından dolayı Demir Kayıplarında artış ve yalıtım zorlamasına neden olur.
 - Trafo Endüktansı ile Tüketici Kapasitansı arasında Rezonans olur.
 - Harmonikler TRF de Ek ısınma yapar.
- IEEE TRF için Akım THD %5, gerilim için Nominal Yükte THD % 5 ile limitlemiştir.

Elektrik Sistemindeki Elemanların Harmoniklerden Etkilenmelerinin İncelenmesi

✦ Döner Makineler

- Döner Ekipmanın Gücünde, Ek Kayıplara yol açar. (% 3 & % 5 gibi)
- Motorun veriminde ve Momentinde düşüş meydana gelir.
- Döner Ekipmanlar Gürültülü ve mekanik salınımlı çalışır.
- Motorlar kalkış esnasında zorlanır ve Normal hızları altında çalışır.

Elektrik Sistemindeki Elemanların Harmoniklerden Etkilenmelerinin İncelenmesi

✦ İletim Sistemleri

- Gerilim düşümlerinde artış olur.
- Kablolarda di elektrik zorlanmayı artırarak kablonun ömrünü kısaltır.
- Bakım onarım ve işçilik masraflarının artışına neden olur.
- Yalıtkan kablolarda aşırı ısınma ve delinmeye yol açar. (Özellikle Nötr kabloda)

Elektrik Sistemindeki Elemanların Harmoniklerden Etkilenmelerinin İncelenmesi

✦ **Kompanzasyon Sistemi**

- Harmoniklerden en çok etkilenen eleman Kondansatörlerdir.
- Frekanslar arttıkça Kapasitif reaktansları düşen kondansatörler, Harmonik frekanslarında büyük akımlar çekerler.
- Rezonans olaylarında oluşan aşırı gerilim ve akımlar kondansatörde ısınma ve zorlanmalardan dolayı ömürlerini kısaltırlar.

Elektrik Sistemindeki Elemanların Harmoniklerden Etkilenmelerinin İncelenmesi

✦ Koruyucu Sistemler (Röleler)

- Röleler Daha büyük Tepe değerlerinde yavaş çalışmak yerine, küçük tepe değerlerinde hızlı çalışabilirler.
- Röle çalışma karakteristikleri değişebilir.
- Diferansiyel Röleler ölçme, değerlendirme hatalarına ve Toprak rölelerinin yanlış çalışmasına yol açabilir.
- Dijital Mesafe Röleleri, Akım ve Gerilim Harmoniklerinin Mutlaka filtre edilmelidir.

Harmoniklerin Ölçülmesi

✦ Osiloskop İle Ölçme

Osiloskop Çıktısı alındıktan sonra, zaman eksenini boyunca dalga olabildiğince sık dilimlere ayrılır. Grafik metot ile Fourier katsayılarının bulunması yöntemi uygulanarak, (A_n v B_n) hesaplanır ve Harmonikler Bulunur.

✦ Portatif Harmonik Ölçü aleti

✦ Harmonik Analizör

İle ölçümler yapılabilir. Uzmanlık isteyen bu ölçümlerin Profesyonel ekiplerce yapılması daha uygundur.

Rezonans

✦ REZONANS

- Şebekeden çekilen akımın, Endüktif ve Kapasitif etkiden Kurtulup tamamen omik yük etkisi altında çalışmasıdır.
- Başka bir ifade ile, Kapasitif ve Endüktif yüklerin uyum sağlayarak devrede tamamen omik yükün etkili olması halidir.

(Sistemdeki Kapasitif yükün tamamı kompanzasyon sistemindeki Kondansatörlerdir.)

Rezonans

Sistemde Harmonikler oluşunca, Rezonans oluşturabilecek Harmonik Frekanslar oluşur. Frekans ile Kapasitif Reaktansın ters orantılı değişmesi sebebi ile Sistemde yüksek Kapasitif akımlar oluşur. Buda şebekenin zorlanmasına ve arızalara yol açar.

PARALEL Rezonans; Ayrık Kompanzasyon uygulanan Sistemlerde TRF ' nin veya Motorun Endüktif Reaktansı ile Kondansatörün Kapasitif Reaktansı arasında oluşabilir.

SERİ Rezonans; Aynı Sistemi Besleyen İki TRF 'li bir sistemde, TRF ve hat Endüktif Reaktansları ile Kompanzasyon Sistemindeki Kondansatörlerin Kapasitif

Harmoniklerin Giderilmesi

- ✦ Zararlı genliğe sahip Harmonik frekansları filtreler vasıtası ile süzölmeli,
- ✦ Generatörlerde Harmonik Gerilim Üretimine Sebebiyet vermemek için Kutup dizaynının uygun yapılması,
- ✦ Harmonik yapan TRF gibi elemanların büyük seçilerek Manyetik devresinde Doyma'ya engel olunmalı,
- ✦ TRF larda Uygun bağlantı şekilleri kullanarak en çok zararlı etkisi görölen 3, 5, 7 Harmonikler sisteme verilmeyebilir

Harmoniklerin Giderilmesi-2

- ✦ Harmonik Akımları talep eden çeviricilerin PULSE sayıları arttırarak. (6 yerine 12, 30 gibi)
- ✦ Harmonik Değerlere kısıtlamalar getirilmeli. Belirli değerleri aşan harmonikli yükler kullanılmamalı
- ✦ Harmonik ölçümleri periyodik olarak yaparak sistem devamlı takip edilmeli
- ✦ Harmonik değerleri aşan tesislere özel fiyat uygulayarak, Tüketicilerin sistemlerini düzeltmeleri teşvik edilmeli.

Harmoniklerin Giderilmesi Yöntemleri

✦ 1. YÖNTEM

Harmonik üreten elemanların imalatı sırasında yapısının Harmonik üretmeyecek veya çok az üretecek şekilde tasarlanması veya şebekeye bağlantılarının uygun şekilde yapılmasıdır.

✦ 2. YÖNTEM

Harmoniklerin üretildikten sonra yok edilmesidir. Bu yöntem, Harmoniklerin filtrelenmesi olarak isimlendirilir.

Harmonik Filtreler

✦ **AMACI:** Akım veya gerilimdeki Harmonik mertebelerinin etkilerini azaltmaktır.

✦ **ÇEŞİTLERİ:** 2 çeşit Harmonik filtre mevcuttur.

* Pasif filtre

* Aktif filtre

Pasif Filtreler

✦ Kaynak ile alıcı arasına konulan Kondansatör (C), Endüktans (L) ve bazı durumlarda Direnç (R) elemanlarından oluşan devrelerdir.

✦ ÇEŞİTLERİ

* Seri Pasif Filtreler

* Paralel (Şönt) Pasif Filtreler

Ayrıca Kompanzasyon sistemine seri Endüktans bağlamak şeklinde Pasif Filtre vardır.

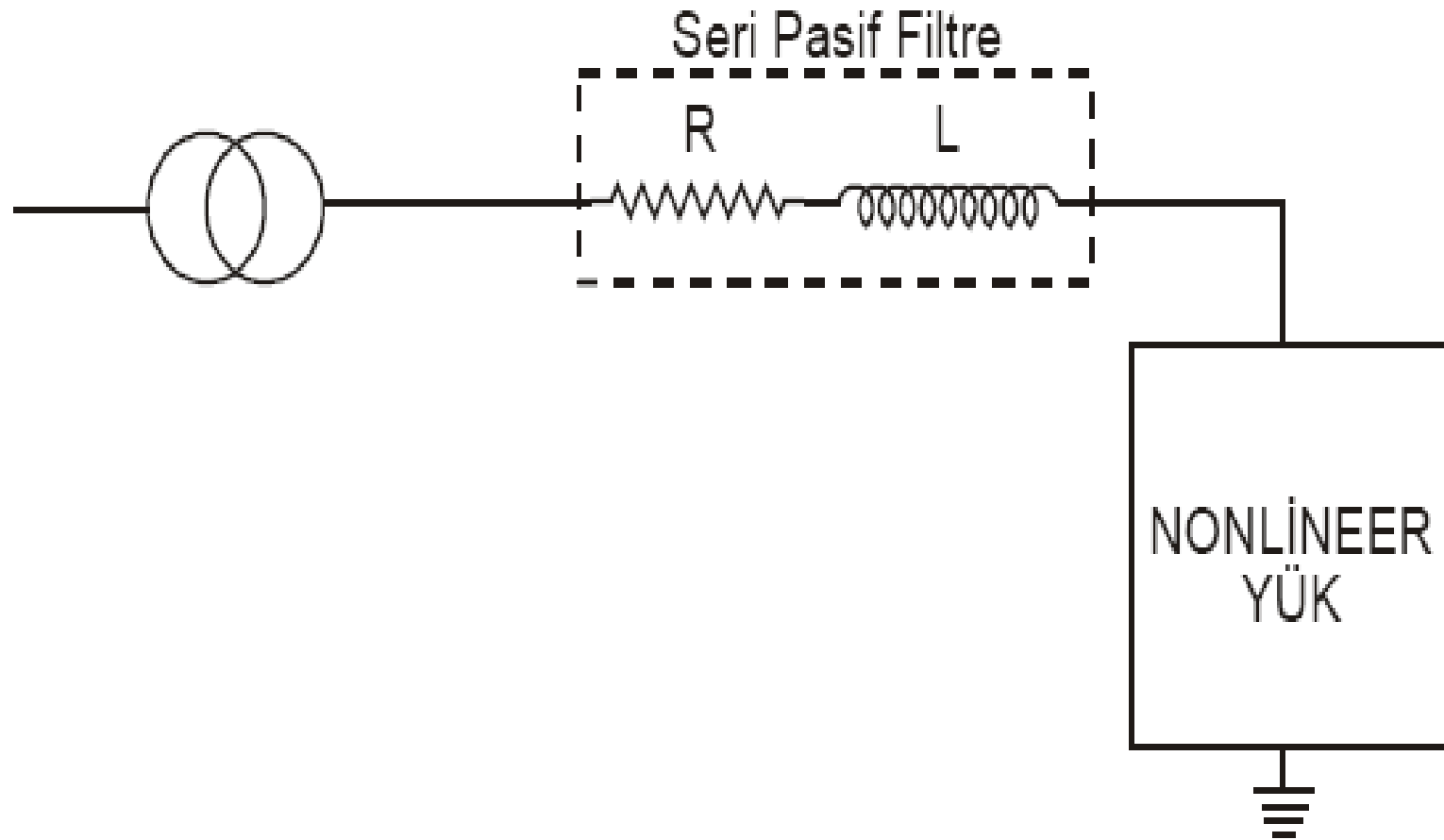
Seri Pasif Filtreler

- ✦ Kaynak ile Harmonik üreten eleman arasına seri olarak bağlanan Endüktans (L) elemanından oluşmaktadır. Seri bağlanan bu L Harmonik frekanslara Yüksek Empedans göstererek Geçişlerine engel olur.

Kullanım Yerleri;

- AC motor sürücü devrelerinde
- AC / DC İnvertörlerde

Sakıncası, Hat akımı üzerinden geçtiği için gerilim düşümüne sebep olur.

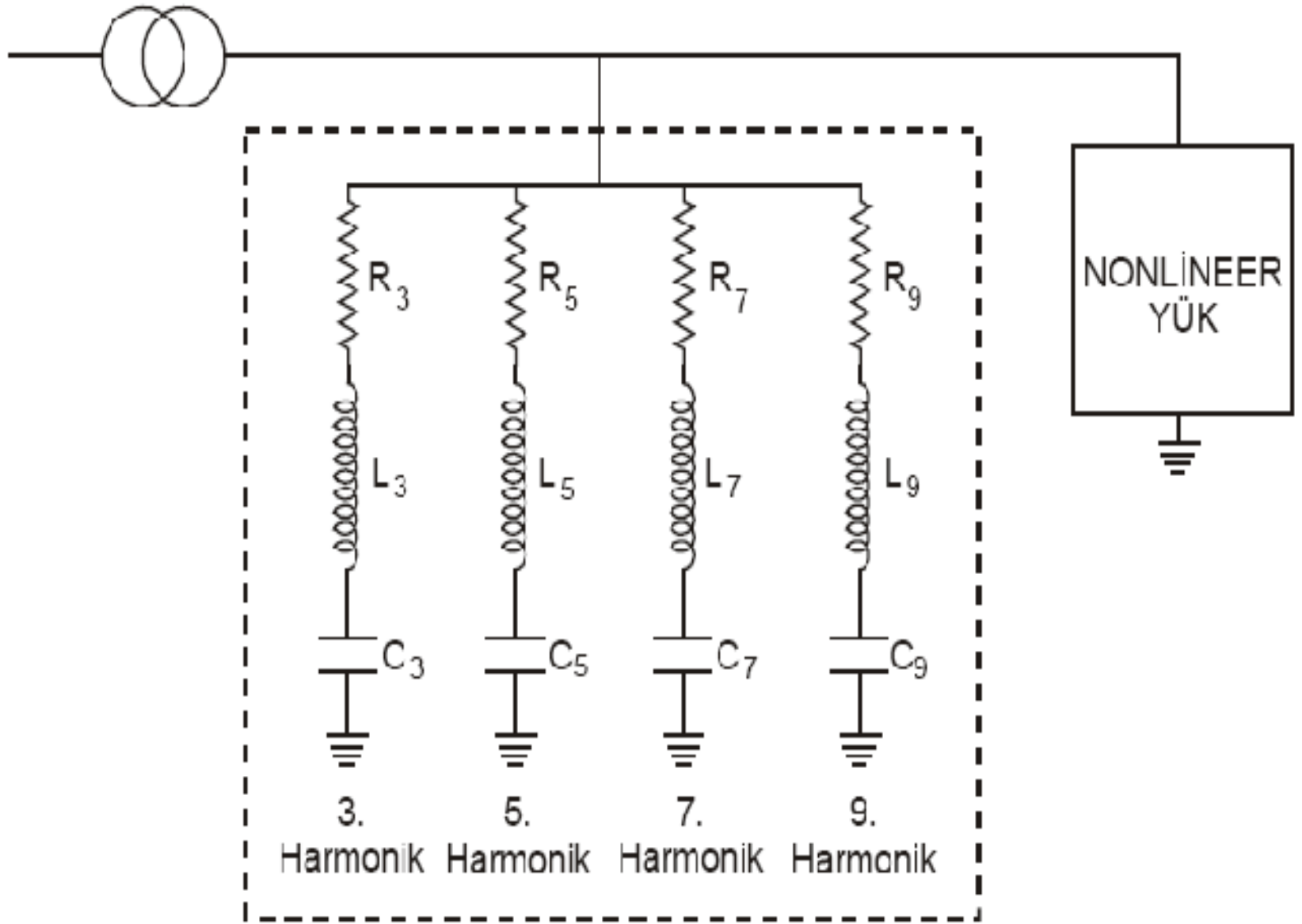


Paralel Pasif Filtreler

✦ Kaynak ile Harmonik üreten eleman arasına Paralel olarak bağlanan Kondansatör (C) , Endüktans (L) bazen de (R) elemanından oluşmaktadır.

* Yok edilmek istenen Harmonik Frekans için, Rezonansa gelecek L, C hesaplanarak devre güç sistemine bağlanır. Her bir Harmonik frekans için Kol oluşturulur.

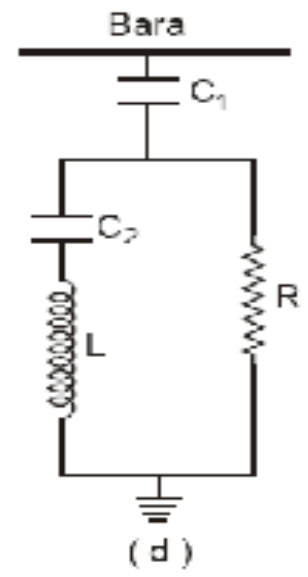
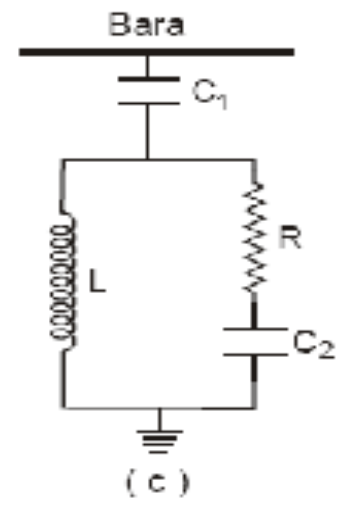
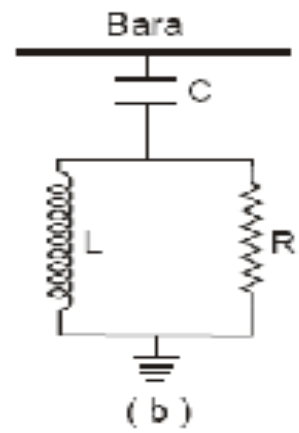
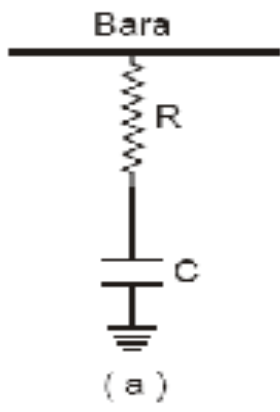
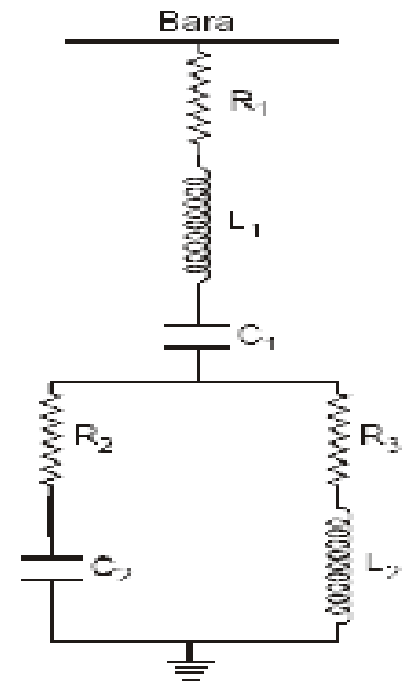
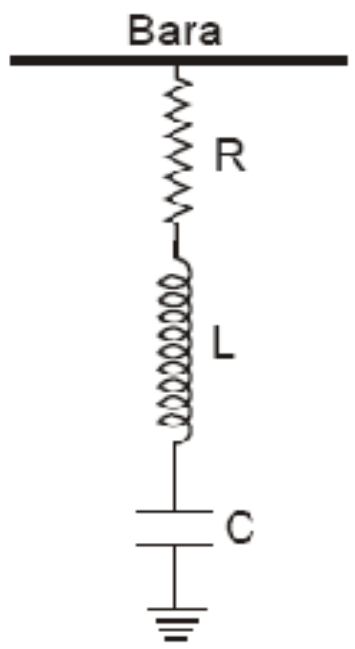
Sakıncası; Güç sistemiyle paralel Rezonansa girme ihtimali oluşabilir.



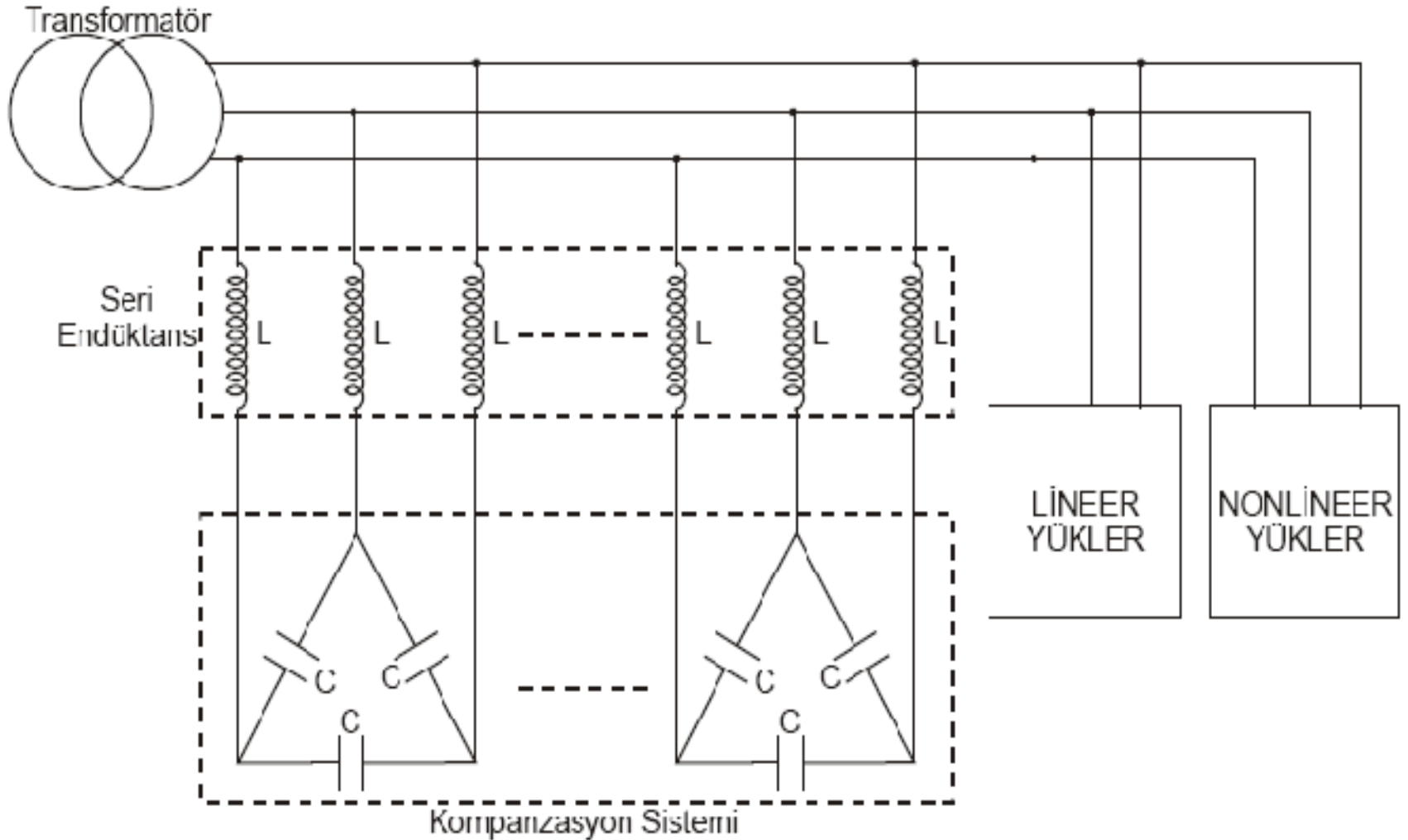
3. Harmonik 5. Harmonik 7. Harmonik 9. Harmonik

Paralel (Şönt) Pasif Filtre

Paralel Filtre çeşitleri



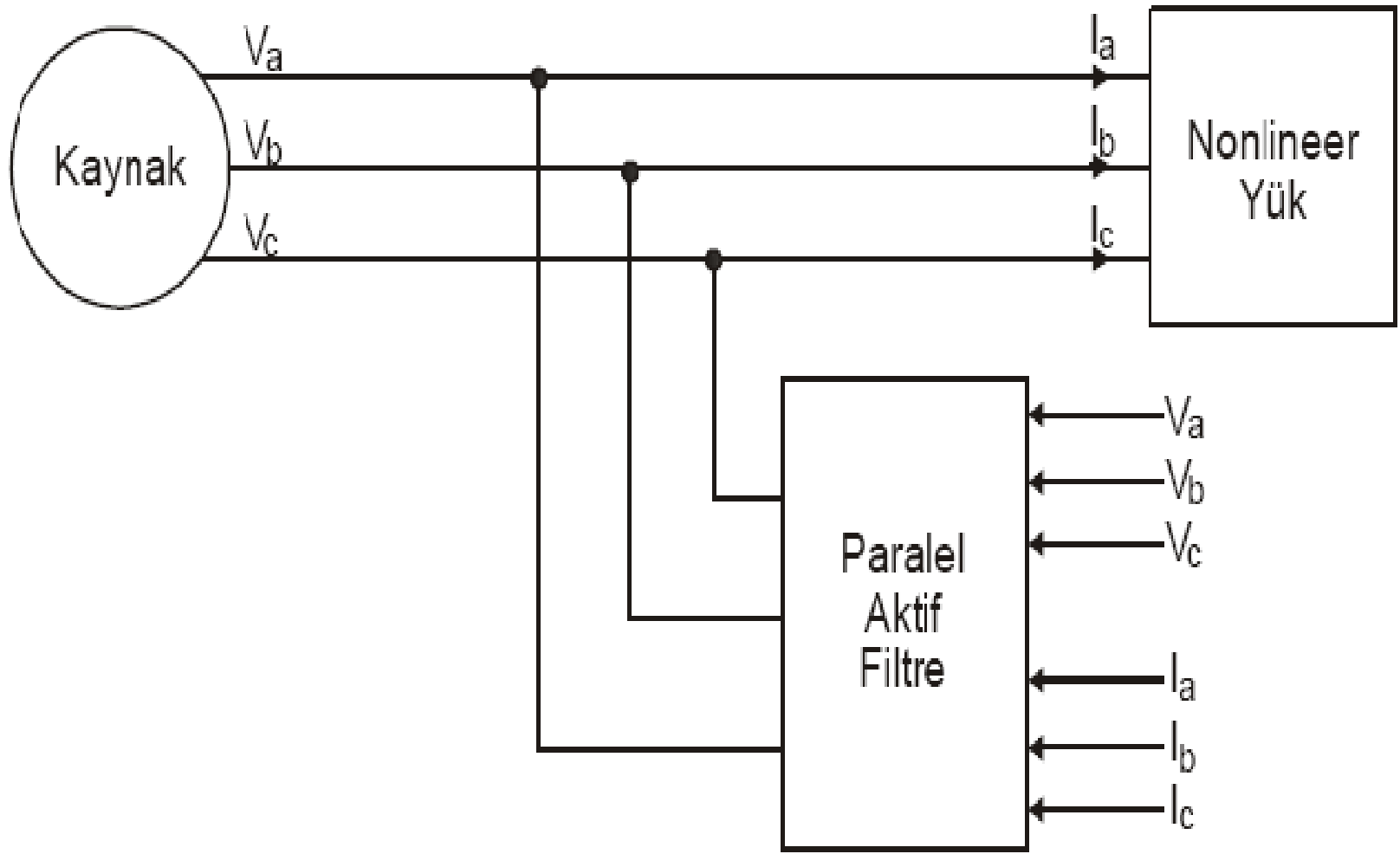
Kompanzasyon Sistemine Seri Endüktans bağlanması



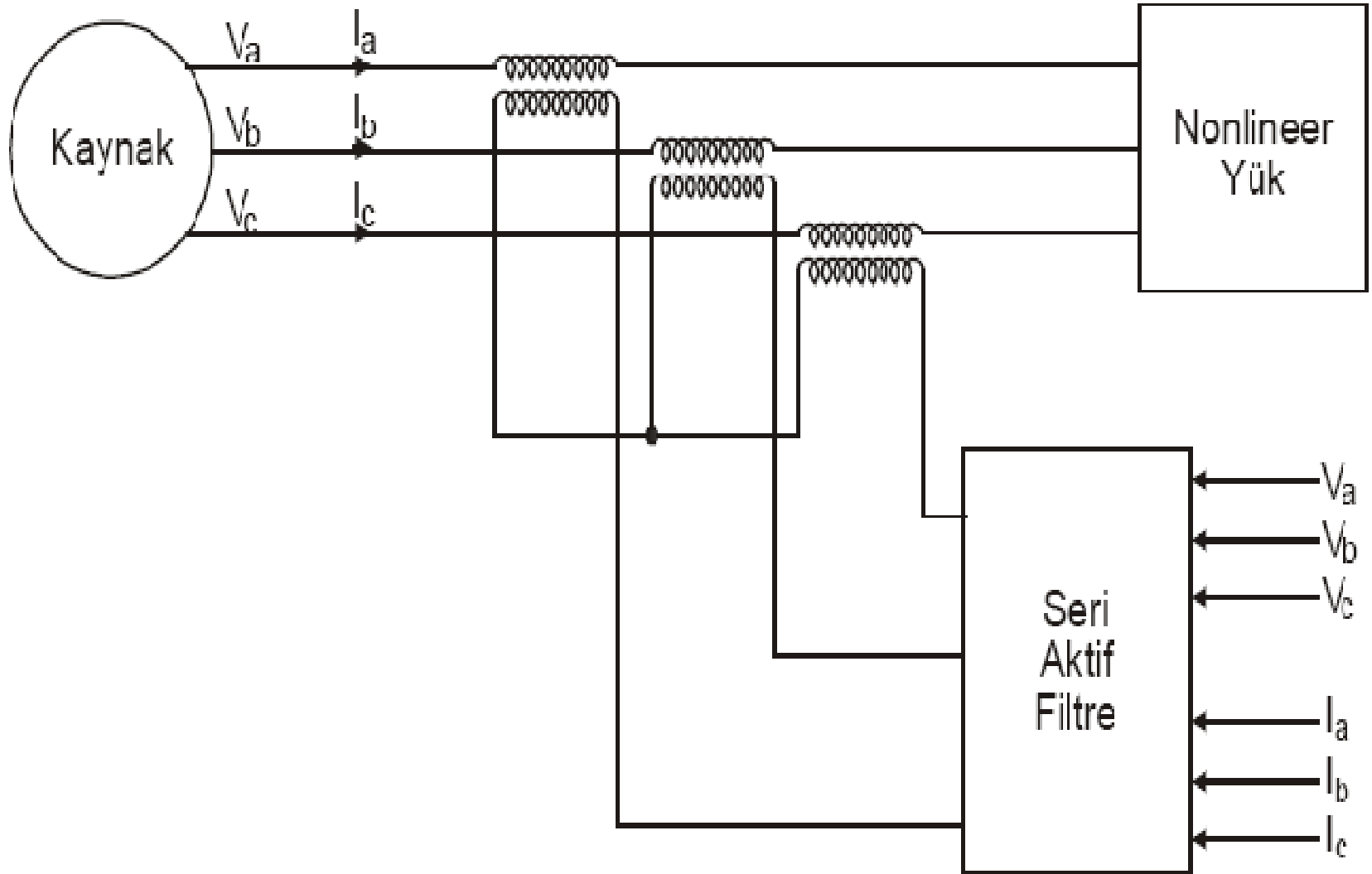
Aktif Filtreler

- ✦ Aktif Filtre, Harmonik Frekansları Yok etmek için sisteme aynı genlikte, fakat ters bir akımı enjekte etme prensibine dayanır. Bu enjekte akım Harmoniklerin etkinliklerini azaltır.
- ✦ Ayrıca sistemin reaktif Güç Kompanzasyonu, V , I dengesizliğinde, Nötr akımı kompanzasyonunda, gerilim regülasyonunda da kullanılır.

Paralel Aktif Filtre



Seri Aktif Filtre



Aktif Filtre ile Pasif Filtre Karşılaştırılması

KONU	PASİF FİLTRE	AKTİF FİLTRE
Harmonik Akımlarının Kontrolü	Her harmonik frekansı için bir filtre ister	Aynı anda birçok harmonik akımının kontrolü mümkündür
Harmonik frekanslarının değişiminin etkisi	Filtrenin etkinliği azalır	Etkilenmez
Empedans modifikasyonu etkisi	Rezonans riski vardır	Etkilenmez
Akım Yükselmesi Riski	Aşırı yüklenme ve bozulma riski vardır.	Aşırı yüklenme riski yoktur
Sisteme yeni yük ilave edilmesi	Filtrenin değiştirilmesi gerekebilir	Herhangi bir probleme yol açmaz
Sistemdeki temel dalga'nın frekans değişimi	Ayarlanması mümkün değil (değiştirilmesi gerekir)	Ayar ile uyum mümkün
Boyutlar ve ağırlık	Harmonik genliğine ve derecesine göre çok değişken	Oldukça küçük
Maliyet	İlk maliyet çok düşük ama bakım yüksek	İlk maliyet çok yüksek ama bakım gerektirmez

TEŞEKKÜR EDERİM.

