

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DENGESİZ ÇALIŞMA KOŞULLARI İÇİN SERİ AKTİF
GÜÇ FİLTRE TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Müh. Mehmet Taciddin AKÇAY

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Uğur ARİFOĞLU

Aralık 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DENGESİZ ÇALIŞMA KOŞULLARI İÇİN SERİ
AKTİF GÜÇ FİLTRE TASARIMI

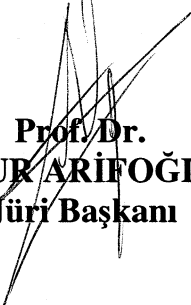
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik. Müh. Mehmet Taciddin AKÇAY

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 29 / 12 /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
UĞUR ARİFOĞLU
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr.
YILMAZ UYAROĞLU
Üye


Yrd. Doç. Dr.
İLYAS ÇANKAYA
Üye

ÖNSÖZ

Günümüzde enerji kalitesi işletmelerin daha sağlıklı ve verimli çalışmaları için çok önemlidir. Sistemdeki lineer olmayan yükler şebekede harmoniklerin oluşmasına neden olur. Oluşan bu harmonikler de sistemi performans bakımından olumsuz etkiler. Bunun için de tüketici şebekenin harmoniksiz olmasını ve çekilen akım ve gerilimin sinüsoidal dalga şekline sahip şekilde yükleri beslemesini istemektedir. Bu amaçla son yıllarda sistemdeki istenmeyen harmonikleri yok etmek için yeni teknolojiler ve ürünler kullanılmaktadır. Harmonikleri süzmek için aktif filtreleme ideal bir yöntem olmuştur. Aktif filtreler sistemin gereksinimlerini anlık hesaplayarak şebekeyi yüklerin oluşturduğu harmoniklerden temizler. Bu sayede pasif filtrelerden farklı olarak sistemde aktif bir rol izler ve sisteme ilave yükler eklense bile yeni filtreleme elemanları eklenmesine gerek kalmaz. Bu çalışmada harmonikleri filtrelemek için dengesiz çalışma koşulları için seri aktif filtre tasarımı ve benzetimi sunulmuştur.

Çalışmalarım sırasında deneyimlerini, bilgilerini benimle paylaşan beni bu güzel çalışmayla buluşturan ve bu konuda bana yardımlarını eksik etmeyen danışman hocam sayın Prof.Dr. Uğur ARİFOĞLU'NA, ve bana her konuda desteğini eksik etmeyen sevgili eşime ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
HARMONİK KAYNAKLARI VE ETKİLERİ.....	5
2.1. Harmonik Kaynakları.....	6
2.1.1. Motor sürücüler.....	6
2.1.2. Doğrultucular.....	6
2.1.2.1 Yarım dalga doğrultucular.....	6
2.1.2.2 Tam dalga doğrultucular.....	7
2.1.2.3 Köprü tipi doğrultucular.....	9
2.1.3. Transformatörler.....	10
2.1.4. Gerilim regülatörleri.....	10
2.1.5. Elektronik balastlar.....	11
2.1.6. Eviriciler.....	11
2.1.7. Döner makineler.....	11
2.1.8. Kesintisiz güç kaynakları.....	12
2.1.9. Gaz deşarjlı aydınlatma.....	12

2.1.10. Doğru akım ile enerji iletimi.....	12
2.2. Harmoniklerin Ortaya Çıkardığı Etkiler.....	13
2.3. Harmonik Standartları.....	14
BÖLÜM 3.	
HARMONİK FİLTRELEME METODLARI.....	16
3.1. Harmonik Filtreleme Metodları.....	16
3.1.1. Pasif filtreler.....	16
3.1.2. Aktif harmonik güç filtreleri.....	19
3.1.2.1. Aktif güç filtrelerinin sınıflandırılması.....	20
BÖLÜM 4.	
SAGF TASARIMI	25
4.1. Anlık Güç Hesabı.....	26
4.1.1. Sinüsoidal kaynak doğrusal yük durumunda güç hesabı.....	26
4.1.2. Sinüsoidal kaynak doğrusal olmayan yüklerde güç hesabı.....	27
4.2. Üç Fazlı Üç Telli Seri Aktif Güç Filtresinde Anlık Reaktif Güç Teorisi.....	29
4.3. Anlık Reaktif Güç Teorisi Kontrolü İle Üç Fazlı Üç Telli SAGF Tasarımı Ve Simülasyonu.....	33
4.3.1. Anlık Güçlerin Hesaplanması.....	33
4.3.2. Referans Gerilimlerin Oluşturulması.....	35
4.3.3. Tetikleme Sinyallerinin Oluşturulması.....	37
4.3.4. Seri Aktif Güç Filtresinin Simülasyonu.....	39
4.3.4.1. Dengeli kaynak gerilimi durumunda SAGF devre modeli.....	40
4.3.4.2. Dengesiz gerilim durumunda SAGF devre modeli.....	45
4.3.4.3. Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda SAGF devre modeli.....	51
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR.....	60

ÖZGEÇMİŞ.....	64
---------------	----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AC	: Alternatif akım
BGKD	: Birleşik güç kalite düzenleyicileri
C	: Kapasite
C_{da}	: Doğru akım tarafında kullanılan kondansatör
C_y	: Yük kapasitesi
D	: Distorsiyon gücü
DC	: Doğru akım
di/dt	: Akım yükselme hızı
dv/dt	: Gerilim yükselme hızı
EPDK	: Enerji piyasası düzenleme kurumu
F	: Faraday
H	: Henry
HAGF	: Hibrit aktif güç filtresi
Hz	: Hertz
I	: Akım
I_1	: Temel bileşen akım değeri
I_a, I_b, I_c	: Kaynak akımları
I_a, I_β	: a- β düzlemindeki akımlar
IEEE	: Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
I_f	: Filtre akımı
IGBT	: Yalıtılmış kapılı bipolar transistör
I_{ka}, I_{kb}, I_{kc}	: SAGF kaynak akımları
I_n	: N. harmonik akım değeri
I_s	: Kaynak akımı
I_y	: Yük akımı
I_{ya}, I_{yb}, I_{yc}	: Doğrusal olmayan yük durumunda yük akımları

kVAR	: Kilovolt-amper reaktif
L	: Endüktans
L_y	: Yük endüktansı
n	: Harmonik derecesi
P_3	: 3 fazlı sistemlerde anlık aktif güç
\widetilde{P}	: Aktif gücün dalgalı bileşeni
P	: Aktif Güç
P_a, P_b, P_c	: a-b-c fazlarına ait anlık güçler
PAGF	: Paralel aktif güç filtresi
Q	: Reaktif Güç
Q_3	: 3 fazlı sistemlerde anlık sanal güç
Q_L	: Kalite faktörü
R	: Direnç
rms	: Efektif değer
R_y	: Yük direnci
S	: Görünür güç
SAGF	: Seri aktif güç filtresi
THD	: Toplam harmonik bozulma
THD_I	: Akımda meydana gelen harmonik bozulma
THD_V	: Gerilimde meydana gelen harmonik bozulma
V	: Gerilim
V_1	: Gerilim değerinin temel bileşeni
V_a, V_β	: a- β düzlemindeki gerilimler
V_{ca}, V_{cb}, V_{cc}	: Aktif filtre gerilimleri
V_{da}	: Doğru akım tarafında oluşan gerilim
V_{fa}^*, V_{fb}^*	: 3 fazlı sistemde a-b-c fazları referans gerilimler
V_{fb}^*	
$V_{fa}^*, V_{f\beta}^*$: a- β düzlemindeki referans gerilimler
V_n	: N. harmonik gerilim değeri
V_{sa}, V_{sb}, V_{sc}	: Doğrusal yük durumunda kaynak gerilimleri
w	: Açısal frekans
X_R	: Rezonans frekansındaki reaktans
φ	: Faz fark

Ω : Ohm

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Temel dalga ve harmonikli bileşenlerin dalga şekli.....	5
Şekil 2.2.	Tek fazlı yarım dalga doğrultucu bağlantı şeması.....	7
Şekil 2.3.	Tek fazlı yarım dalga doğrultucunun akım dalga şekli.....	7
Şekil 2.4.	Tek fazlı tam dalga doğrultucu bağlantı şeması.....	8
Şekil 2.5.	Tek fazlı tam dalga doğrultucunun akım dalga şekli.....	8
Şekil 2.6.	Köprü tipi doğrultucu bağlantı şeması.....	9
Şekil 2.7.	Köprü tipi doğrultucu akım dalga şekli.....	9
Şekil 3.1.	Tek ayarlı filtre devresi.....	17
Şekil 3.2.	İkinci mertebe sönümlü filtre.....	18
Şekil 3.3.	Aktif güç filtresi blok diyagramı.....	20
Şekil 3.4.	Paralel aktif güç filtresi blok diyagramı.....	21
Şekil 3.5.	Seri aktif güç filtresi blok diyagramı.....	22
Şekil 3.6.	Hibrit aktif – pasif güç filtresi blok diyagramı.....	23
Şekil 3.7.	Birleşik güç kalite düzenleyicisi blok diyagramı.....	24
Şekil 4.1.	Güç dörtyüzlüsü.....	29
Şekil 4.2.	3-fazlı a-b-c koordinatlarından iki fazlı α - β koordinatlarına dönüşüm.....	30
Şekil 4.3.	Yük gerilimlerinin a-b-c koordinatlarından α - β referans yapıya dönüşüm blok diyagramı	33
Şekil 4.4.	Kaynak akımının a-b-c koordinatlarından α - β referans yapıya dönüşüm blok diyagramı.....	34
Şekil 4.5.	Aktif ve reaktif güçleri hesaplayan blok diyagram.....	34
Şekil 4.6.	3-fazlı yükün çektiği aktif gücün dalgalı bileşenini bulan blok diyagramı.....	35
Şekil 4.7.	α - β kordinatlarında referans gerilimleri hesaplayan matlab bloğu.....	36

Şekil 4.8.	Referans gerilimleri α - β kordinatlarından 3 fazlı a-b-c kordinatlarına dönüştüren Matlab bloğu.....	37
Şekil 4.9.	Anahtarlama blok yapısı.....	38
Şekil 4.10.	Tetikleme sinyallerini üreten simulink blok diyagram.....	39
Şekil 4.11.	Dengeli kaynak durumunda seri aktif filtre bağlantı şeması.....	40
Şekil 4.12.	Dengeli kaynak durumunda seri aktif filtre simulink devre şeması.....	41
Şekil 4.13.	Dengeli kaynak durumunda seri aktif filtrenin iç döngü şemasını gösteren simulink devre şeması.....	41
Şekil 4.14.	3-Fazlı dengeli kaynak gerilimli sistemde a-fazına ait kaynak gerilimi ve % THD'si.....	43
Şekil 4.15.	3-Fazlı dengeli kaynak gerilimli sistemde kaynak gerilimleri.....	43
Şekil 4.16.	3-Fazlı dengeli kaynak gerilimli sistemde filtreli durumda a-fazı kaynak gerilimi ve % THD'si.....	44
Şekil 4.17.	3-Fazlı dengeli kaynak gerilimli sistemde filtreli durumda kaynak gerilimleri.....	44
Şekil 4.18.	Dengesiz kaynak durumunda seri aktif filtre devre bağlantı şeması.....	46
Şekil 4.19.	Dengesiz kaynak durumunda seri aktif filtre simulink devre şeması.....	46
Şekil 4.20.	Dengesiz kaynak durumunda seri aktif filtrenin iç döngü şemasını gösteren simulink devre şeması.....	47
Şekil 4.21.	3-Fazlı dengesiz kaynak gerilimli sistemde c-fazına ait kaynak gerilimi ve % THD'si.....	49
Şekil 4.22.	3-Fazlı dengesiz kaynak gerilimli sistemde kaynak gerilimleri.....	49
Şekil 4.23.	3-Fazlı dengesiz kaynak gerilimli sistemde filtreli durumda c-fazına ait kaynak gerilimi ve % THD'si.....	50
Şekil 4.24.	3-Fazlı dengesiz kaynak gerilimli sistemde filtreli durumda kaynak gerilimleri.....	50
Şekil 4.25.	Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda seri aktif filtre devre bağlantı şeması.....	52

Şekil 4.26.	Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda seri aktif filtre simulink devre şeması.....	52
Şekil 4.27.	Dengeli kaynak durumunda seri aktif filtrenin iç döngü şemasını gösteren simulink devre şeması.....	53
Şekil 4.28.	3-Fazlı dengeli kaynak gerilimle her faza ayrı yük durumunda a-fazına ait kaynak gerilimi ve % THD'si.....	55
Şekil 4.29.	3-Fazlı dengeli kaynak gerilimle her faza ayrı yük durumunda kaynak gerilimleri.....	55
Şekil 4.30.	3-Fazlı dengeli kaynak gerilimle her faza ayrı yük durumunda sistem filtreli iken a-fazına ait kaynak gerilimi ve % THD'si.....	56
Şekil 4.31.	3-Fazlı dengeli kaynak gerilimle her faza ayrı yük durumunda sistem filtreli iken kaynak gerilimleri.....	56

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	IEEE 519-1992 akım harmonik sınırları.....	15
Tablo 2.2.	IEEE 519-1992 gerilim harmonik sınırları.....	15
Tablo 4.1.	Anahtarlama durumlarına göre a fazı gerilimi.....	38
Tablo 4.2.	Dengeli gerilim durumunda SAGF parametre değerleri.....	42
Tablo 4.3.	Dengeli gerilim durumunda filtreli ve filtresiz durumlarda faz gerilimlerinin % THD değerleri.....	45
Tablo 4.4.	Dengesiz gerilim durumunda SAGF parametre değerleri.....	48
Tablo 4.5.	Dengesiz gerilim durumunda filtreli ve filtresiz durumlarda faz gerilimlerinin % THD değerleri.....	51
Tablo 4.6.	Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda SAGF parametre değerleri.....	54
Tablo 4.7.	Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda filtreli ve filtresiz durumlarda faz gerilimlerinin % THD değerleri.....	57

ÖZET

Anahtar kelimeler: Seri aktif güç filtresi, harmonik filtreleme, anlık reaktif güç teoremi, gerilim harmoniği, gerilim dengesizliği, gerilim kaynaklı evirici, seri transformatör, doğrultucu.

Tek-faz ve üç-fazlı sistemlerde sisteme bağlı olan doğrusal olmayan elemanlar sistemde harmonik oluşmasına neden olur. Harmonikler sistemlerin verimini düşürür, akım ve gerilimde dalgalanmalar meydana getirir. Harmoniklerin etkilerini azaltmak için ise harmonik filtreleme yöntemleri kullanılır. Filtreleme yöntemleri aktif ve pasif filtreleme olarak iki kategoriye ayrılır. Bu çalışmada aktif filtreleme yöntemlerinden biri olan seri aktif güç filtresinin (SAGF) dengesiz çalışma koşullarında tasarımı ve benzetimi sunulmuştur. 3-fazlı 3-telli sistemlerde SAGF tasarımı, kontrolü, kontrol yöntemleri, simülasyonları ve performansları irdelenmektedir. Filtreli ve filtersiz durumlar için gerilimde meydana gelen toplam bozulma değerleri incelenmektedir. Bu güç filtreleri gerilim harmoniklerini yok etmek için sisteme ters fazda ve eşit büyüklükte harmonik gerilimler verir. Harmonik gerilim kaynağı gibi davranan doğrusal olmayan yükler için seri aktif güç filtreleri çok daha etkilidir. SAGF üç farklı devre durumu için simüle edilmiştir. Birinci devrede dengeli gerilim durumu yani her faza aynı gerilim ve aynı yükün geldiği durum, ikinci devrede ise her faza ayrı kaynak gerilimi geldiği durum incelenmiştir. Üçüncü devrede ise her faza ayrı yük bağlandığı durum incelenmiştir. Böylece SAGF'nin hem gerilim harmoniklerini engellemek hem de gerilim dengesizliğini ortadan kaldırmak için kullanıldığı gösterilmiştir. SAGF tasarımında Akagi tarafından savunulan Anlık Güç Teoreminden yararlanılmıştır. Anlık Güç Teoremi ile zamanda bir gecikme olmadan harmonikler yok edilmektedir. Anahtarlama elemanlarının denetimi için histerezis bant kontrol yöntemi kullanılmıştır. SAGF tasarımında Matlab simulink programı kullanılmış, ve ölçüm sonuçları Matlab üzerinden alınmıştır.

SERIES ACTIVE POWER FILTER DESIGN FOR UNBALANCED CONDITIONS

SUMMARY

Key Words: Series active filter, harmonic filter, instantaneous power theory, voltage harmonics, voltage sag, unbalance, voltage source inverter, series injection transformer, rectifier.

Nonlinear elements of single phase and three phase system cause harmonics. These harmonics effect the system, cause to fall performance of the system, makes increase and decrease at the current and voltage of the system. Harmonic filters used for decreasing the harmonics. Harmonic filters composes of two categories which are active filters and passive filters. At this study series active power filter (SAPF) design and simulation at the unbalanced conditions were explained as an active filter. Researching about the SAGF design, control, control methods, simulation and performance in 3-phase 3-wire systems. Analyse the total harmonic distortion of the voltage without harmonic filter and with the harmonic filter. These filters give voltage harmonics to the system in the opposite phase and equal value that the system produces to prevent harmonics. SAPF is more effective for the nonlinear loads behave as voltage harmonic sources. SAGF simulated for three conditions with there circuits. At first circuit balanced voltage and same load for each phases present, at the second circuit unbalanced voltage and same load for each phases present, and finally last circuit unbalanced load for each phases present. In this way SAPF filters voltage harmonics and make voltage regulation. In this study Akagi's Instantaneous Power Theory used for design. Instantaneous power theory doesn't cause any time delay while filtering harmonics. Hysteresis control method is used for control the switching elements. Matlab simulink program made the design of the SAPF and gave the results.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyada gerçekleşen hızlı sanayileşme ve teknolojideki gelişimin her geçen gün artması ile sistemlerin güç gereksinimi ve bununla birlikte gücün kalitesine verilen önem çok daha önem kazanmıştır. İşletmeler sistemlerini korumak için kullandıkları enerjinin kaliteli olmasına bilhassa dikkat etmekte ve gerektiğinde kendi önlemlerini kendileri almaktadır. Çünkü günümüz dünyasında akım veya gerilimden kaynaklı en ufak bir sistem arızasında ve devamında doğabilecek enerji kesintisine yada sistemin bir parçasında meydana gelebilecek bir arızaya hiç bir işletmecinin ve tüketicinin tahammülü yoktur. İşletmeciler enerji kalitesinin düşüklüğünden dolayı meydana gelebilecek ekonomik kayıptansa filtreleme yöntemlerini tercih etmektedirler. Bu nedenle sistemlerin kullandığı güçteki enerji kalitesi kavramı ön plana çıkmış ve güç kalitesi başlı başına bir araştırma konusu olmuştur.

Güç kalitesi yüksek olan bir sistemin tasarımında bir takım etmenler göz önünde bulundurulmalıdır. Bu etmenler enerji kalitesinin arttırılmasında büyük rol üstlenir. Enerji kalitesinin arttırılması için kaynak geriliminin ve akımının dalga şeklini sinusoidal dalga şeklinden sapmasına neden olan lineer olmayan tüm elemanların sistemde meydana getirdikleri düzensizlikler irdelenmelidir. Harmonikler güç üretimi, güç iletimi ve güç dağıtım sistemlerinde enerji kirliliğine neden olur, üreticiden tüketiciye verilen enerji kalitesinin düşmesine sebep olur [1].

Enerji kalitesinin mümkün olduğunca iyi olması için öncelikle sistemin harmoniklerden arındırılması gerekir. Sistemin sağladığı gerilim ve akım eğrilerinin sinusoidal olması gerekir. Ancak bu günlük hayatta pek mümkün olmamaktadır. Çünkü sistemde lineer yüklerin yanısıra nonlineer yükler ve nonlineer yük görevi gören diğer bileşenler bulunmaktadır. Bu nedenle sistemde istenmeyen harmonikler meydana gelmektedir [1]. Temel frekans (50 Hz) dışında oluşan harmonikler sonucu sistemin enerji kalitesi düşmektedir. Sonrasında ise sistemde oluşan harmonikler

neticesinde sistemde yüke bağlı bazı elemanlar zarar görmekte, aşırı yüklemeler oluşmakta, güç kayıpları oluşmakta, aşırı akım ve gerilim, akım ve gerilim dalgalanmaları oluşmakta, rezonans olayı oluşabilmekte, güç dengesi bozulabilmektedir.

Güç sistemlerinde 69 kV gerilim değerinden düşük sistemler için gerilim değerlerinde meydana gelebilecek bozulma oranları IEE-519-1992 standartlarına göre % 5 olarak belirlenmiştir. Bu sapma oranından daha büyük olan sistemlerin ürettiği enerjinin kalitesi düşük olmakta ve gerilim değerinde daha fazla bozulma meydana gelmektedir. Bu nedenle sistemde oluşacak harmonikler göz önünde bulundurulup sonrasında sisteme göre filtreleme yöntemleri kullanılmalıdır. Sistemde oluşan harmoniklerin yok edilmesi için iki çeşit filtreleme yöntemi kullanılır. Bu filtreleme yöntemleri pasif filtreleme ve aktif filtreleme olarak iki kategoride incelenir.

Harmonik filtrelemede harmoniği pasif filtreleme yolu ile yok etmek için öncelikle sistemdeki harmonikler belirlenir ve belirlenen frekanstaki harmoniklere göre filtre elemanları seçilir. Pasif filtrelemenin pasif ismini almasının nedeni ise sistemdeki yük statik kabul edilir, yani daha sonradan meydana gelebilecek durumlar göz önünde bulundurulmadan sadece ilk durum dikkate alınır. Pasif filtreler sistemde o an bulunan yüke göre tasarlanır ve ona göre seçilirler. Bu nedenle sisteme yeni yük gelirse ve yeni harmonikler oluşursa yeniden hesap yapıp sisteme yeniden filtre veya yeni bir filtre eklenmelidir. Bu hem işletim, hem sistem tasarımı hem de ekonomik açıdan olumsuz bir durumdur. Sisteme hem tasarım maliyeti hem malzeme maliyeti getirmektedir. Ayrıca pasif filtre seçilirken rezonans durumu dikkate alınmalıdır [2].

Harmoniği aktif filtreleme yolu ile yok etmek için ise güç elektroniği elemanları kullanılır [1]. Bu yöntem pasif filtreden farklı olarak sadece belirli frekanstaki harmonikleri değil tüm frekanslar için sistemdeki akım dalga şeklini, gerilim dalga şeklini sinüsoidal dalga şekline dönüştürür. Sistemdeki yükün değişmesi, azalması, artması filtreyi etkilemez, yeni bir tasarım yapmaya gerek kalmaz. Aktif filtre yönteminde aynı zamanda reaktif güç kompanzasyonu da yapılmaktadır. 09.03.2000

tarikh, 23988 sayılı resmi gazetede yayınlanan yeni reaktif güç tarifesine göre müsaade edilen sınır güç katsayısı 0,95'dir [3]. Kurulu gücü 50 kVA ve üzeri olan abonelerin kompanzasyon tesisi yapması zorunludur ve reaktif enerjinin aktif enerjiye oranının denklemin (1.1) eşitliği değerleri arasında tutulması gerekir.

$$-0.15 < Q / P < 0.25 \quad (1.1)$$

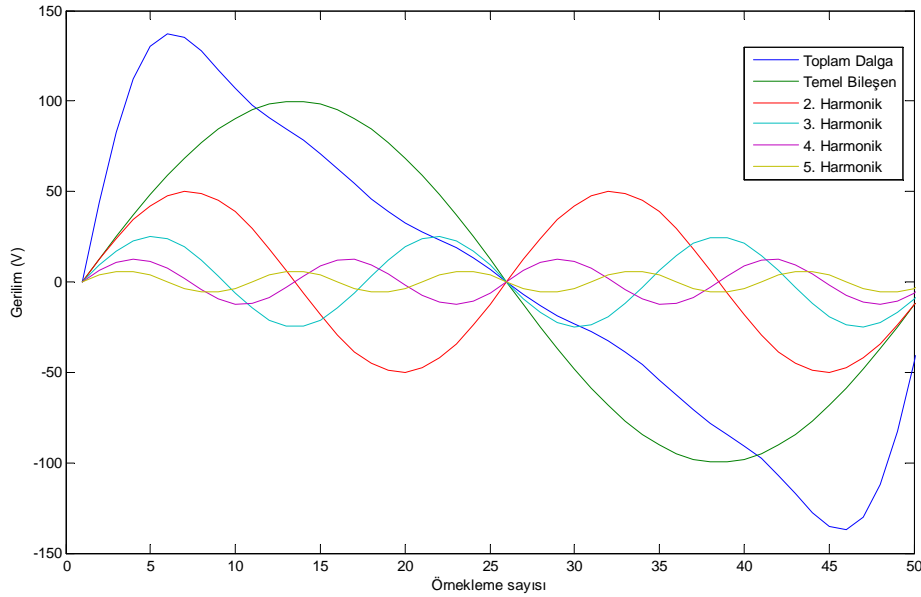
Güç faktörünü düzenleyen bu yönetmeliğe ek olarak Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, 25639 sayı ve 10.11.2004 tarihli "Elektrik İletimi Arz Güvenliği ve Kalitesi Yönetmeliği"nde bu değerler aşamalı olarak yükseltilmiştir. Bu yönetmeliğe göre 1 Ocak 2007 tarihinden itibaren; iletim sisteminde aylık çekilen endüktif reaktif enerjinin, sistemden çekilen aktif enerjiye oranı %25, aylık sisteme verilen kapasitif reaktif enerjisinin, sistemden çekilen aktif enerjiye oranı %15, olarak uygulanacaktır. 1 Ocak 2009 tarihinden itibaren bu oranlar %14 ve %10 olarak uygulanmaya başlanmıştır [4].

Bu çalışmada 3-fazlı 3-telli sistemlerde seri aktif güç filtre (SAGF) tasarımı, kontrolü, kontrol yöntemleri, simülasyonları ve performansları irdelenmektedir. Filtreli ve filtresiz durumlar için gerilim toplam harmonik distorsiyon (THD) değerleri incelenmektedir. SAGF ile hem harmonik gerilim kompanzasyonu hem de gerilim regülasyonu yapılmıştır. SAGF bu çalışmada üç farklı devre durumu için simule edilmiştir. Böylelikle SAGF'nin hem gerilim harmoniklerini engellemek hemde gerilim dengesizliğini ortadan kaldırmak için kullanıldığı gösterilmiştir. Birinci devrede dengeli gerilim durumu yani her faza aynı gerilim ve aynı yükün geldiği durum, ikinci devrede ise her faza ayrı kaynak gerilimi durumu yani dengesiz gerilim kullanılmıştır. Üçüncü devrede ise her faza ayrı yük durumu için SAGF incelenmiştir. Ayrıca harmonik tanımı, harmoniklerin kaynakları, harmoniklerin enerji sistemlerine etkileri, akım ve gerilim toplam harmonik bozulma tanımları, harmoniklerin etkilerini yok etmek için kullanılan aktif ve pasif filtre tanımları, çeşitleri, performansları, avantajları ve dezavantajları incelenmektedir. 3-fazlı 3-telli sistemlerin güç hesapları, anlık reaktif güç teorisi ile SAGF kontrolü ve sonuçları, SAGF tasarımı ve sonuçları araştırılmaktadır. Bu çalışmada SAGF paralel pasif filtre ile beraber kullanılmıştır. Paralel pasif filtre 3. Ve 5. harmonikler için kullanılmıştır.

Böylece SAGF'nin daha verimli ve daha etkin çalışması sağlanmıştır. SAGF devrelerinin simülasyonu için Matlab R2008a versiyonu simulink arayüzü kullanılmıştır.

BÖLÜM 2. HARMONİK KAYNAKLARI VE ETKİLERİ

Sistemde kullanılan yarı iletken elemanlar, anahtarlama elemanları ya da doğrusal olmayan yükler kaynak geriliminin sinusoidal yapısını bozabilecek etki gösterir. Gerilim eğrisi temel dalga ve 2. , 3. , 4. , 5. ve n. harmonik dalga eğrilerinin toplamından oluşur. Toplam dalga sinusoidal dalga şeklinden sapma gösterdikçe sistemde o kadar harmonik etkilenme olduğunu anlarız. Fourier analizi yardımıyla temel frekans ve diğer frekanslardaki bileşenler ifade edilebilir. Fourier analizi ile harmonik hesabı ek-A'da gösterilmiştir. Fourier analizi ile Doğadaki tüm periyodik fonksiyonlar, birbirine dik iki farklı periodik fonksiyonun artan frekanslardaki değerlerinin dik toplamı şeklinde gösterilebilir. Bu analiz ile nonsinusoidal dalgalar, frekansları farklı sinusoidal dalgaların toplamı şeklinde matematiksel olarak yazılabilir. Aşağıda harmonik içeren bir dalga ve bileşenleri gösterilmiş olup 50 Hz., 100 Hz., 150 Hz., 200 Hz., ve 250 Hz. frekansta olmak üzere gerilim dalga şekilleri belirtilmiştir.



Şekil 2.1. Temel dalga ve harmonikli bileşenlerin dalga şekli

2.1. Harmonik Kaynakları

Harmonikler doğrusal olmayan yüklerden etkilenecek oluşurlar. Harmonikler güç sistemlerinde kullanılan doğrusal olmayan devre elemanlarının karakteristiğinden dolayı akım-gerilim eğrilerinin sinusoidal dalga şeklinden sapmasına neden olurlar. Anahtarlama elemanları, magnetik devrelerin aşırı doyması, elektrik arkları ve güç elektroniği devreleri doğrusal olmayan etkiler yaratır. Motor sürücüler, doğrultucular, transformatörler, gerilim regülatörleri, elektronik balastlar, eviriciler, döner makineler, kesintisiz güç kaynakları, gaz deşarjlı aydınlatma, doğru akım ile enerji iletimi bu etmenlerden bazılarıdır [5].

2.1.1. Motor sürücüler

Motor sürücü sistemleri motor ve onu kontrol eden güç elektroniği dönüştürücüsünden oluşur. Motor sürücü devresinde motorun karakteristiğine ve çalışma şekline göre güç elektroniği devresi kullanılır. Kullanılan güç elektroniği elemanları IGBT, GTO, tristörler ile anahtarlama yapıldığından sistemde doğrusal olmayan bir etki yaratır. Neticesinde sistemde harmonikler meydana gelir.

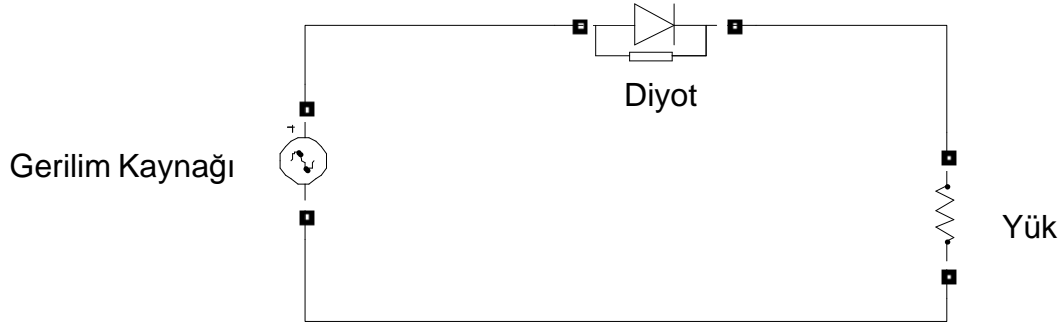
2.1.2. Doğrultucular

Doğrultucular yarı iletken elemanları kullanarak alternatif akımı doğru akıma çevirmek için kullanılırlar. Doğrultma işlemi diyotlar yardımıyla kontrolsüz ya da tristör ve diğer kontrol edilebilen yarı iletken elemanlarla kontrollü yapılarak alternatif akımın doğru akıma çevrilmesiyle gerçekleşir. Yapılan anahtarlama ile sistemde doğrusal olmayan bir etki oluşur. Doğrultucular yarım dalga doğrultucular, tam dalga doğrultucular ve köprü tipi doğrultucular şeklinde çeşitlendirilir.

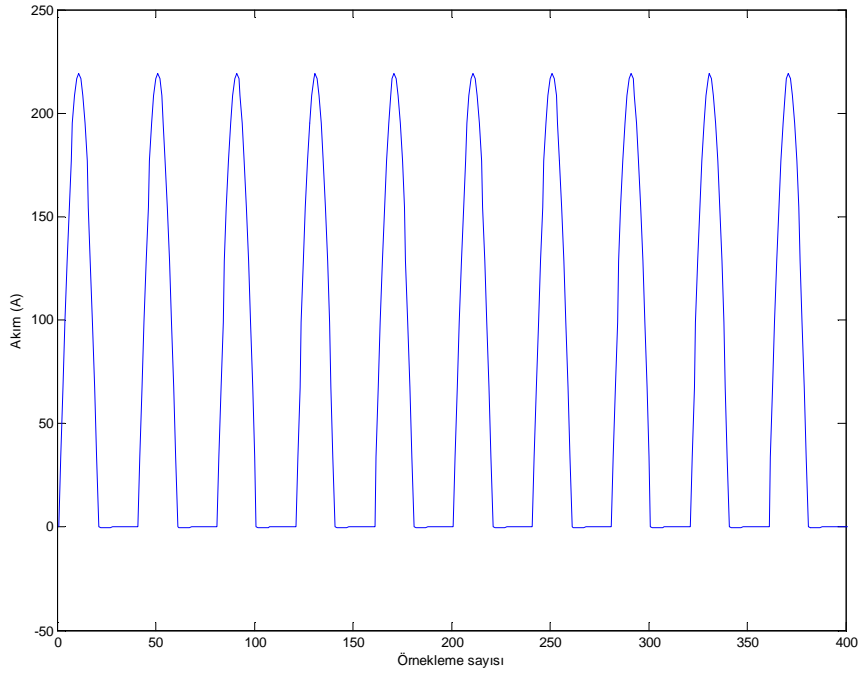
2.1.2.1. Yarım dalga doğrultucular

Alternatif gerilim kaynağına diyot bağlanırsa sadece diyot iletime geçtiğinde devreden elektrik geçer. Gerilimin yarım dalgasında diyot iletime geçmez bu sayede yarım dalga engellenir, böylece yarım dalga doğrultma gerçekleşir. Şekilde bir fazlı

yarım dalga doğrultucu devresi gösterilmektedir. Yük akımı dalga şekli aşağıda gösterilmektedir.



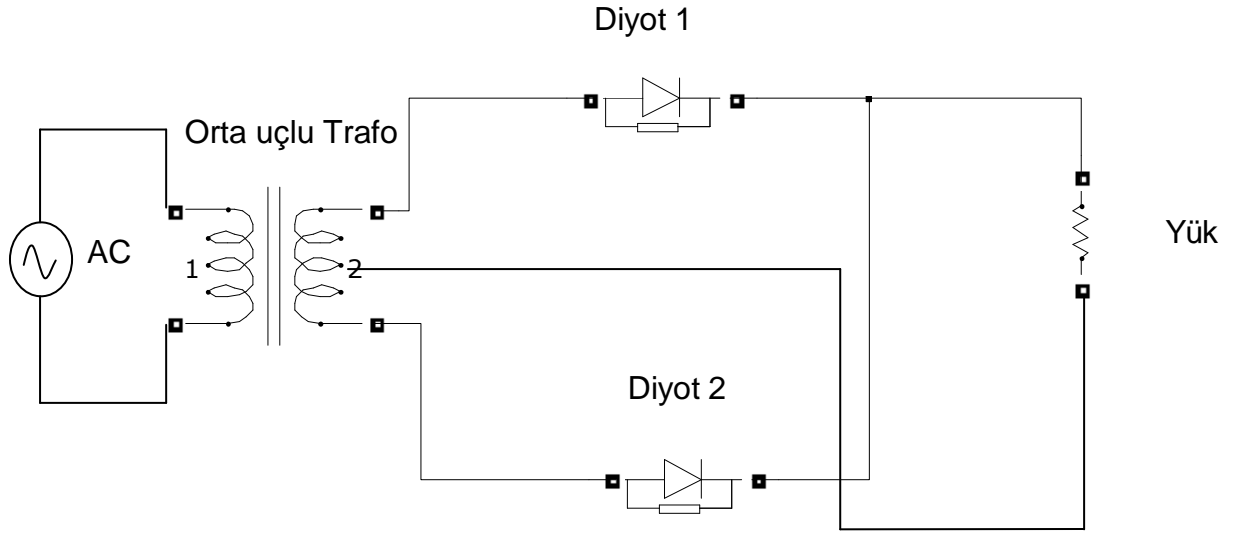
Şekil 2.2 Tek Fazlı Yarım Dalga Doğrultucu Bağlantı Şeması



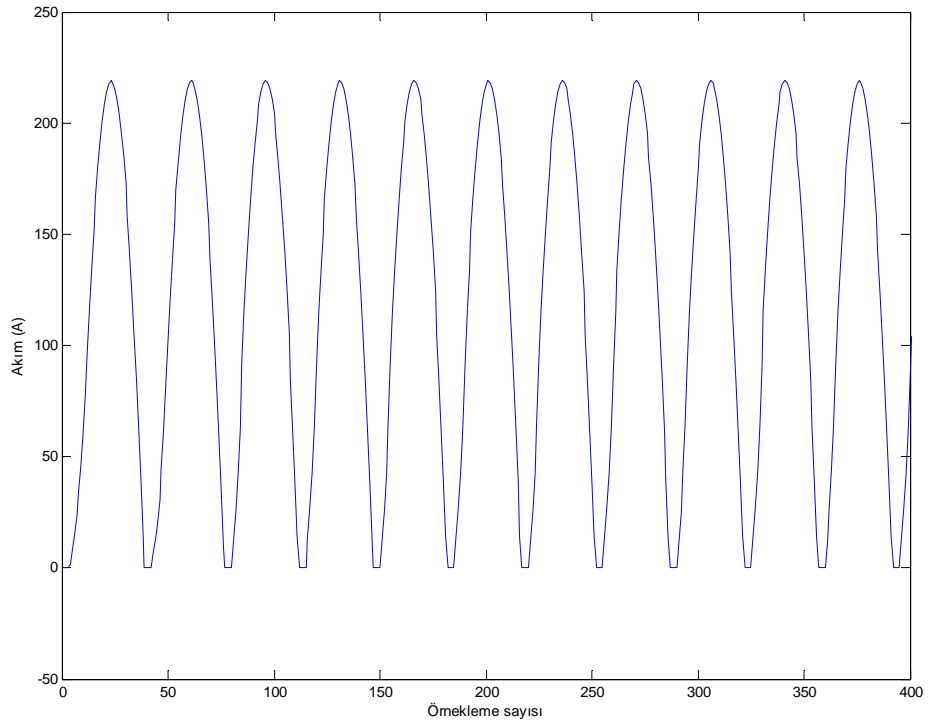
Şekil 2.3 Tek Fazlı Yarım Dalga Doğrultucunun Akım Dalga Şekli

2.1.2.2. Tam dalga doğrultucular

Tam dalga doğrultucularda iki adet diyot kullanılarak ortak uçlu iki gerilimin doğrultulması sağlanır. Devre dikkatli incelenirse iki adet yarım dalga doğrultucunun kullanıldığı görülür. Bu şekilde tam dalga doğrultma işlemi gerçekleşir. Orta uçlu trafo yardımıyla bağlantı gerçekleşir. Şekilde tam dalga doğrultucu gösterilmektedir. Yük akımı dalga şekli aşağıda gösterilmektedir.



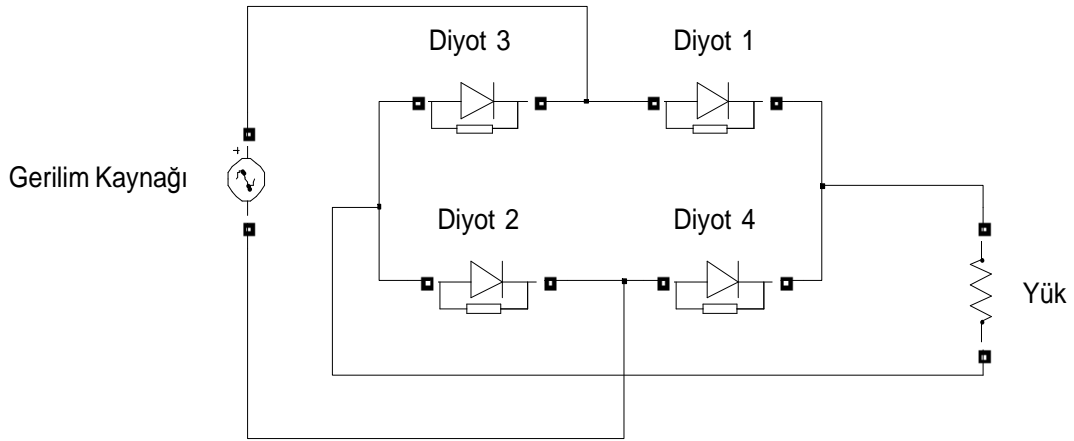
Şekil 2.4 Tek Fazlı Tam Dalga Doğrultucu Bağlantı Şeması



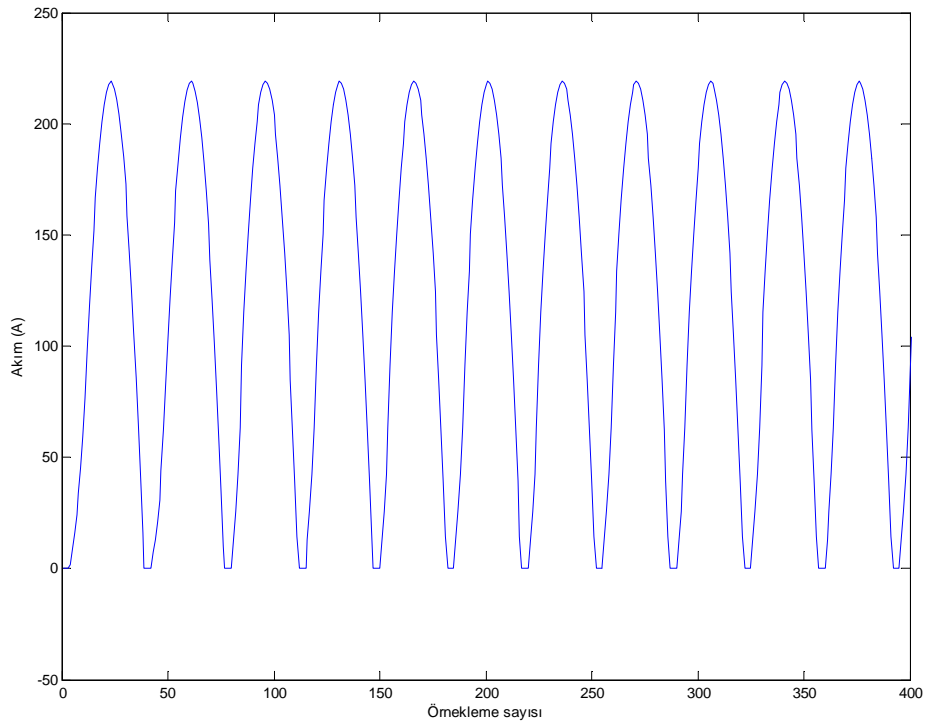
Şekil 2.5 Tek Fazlı Tam Dalga Doğrultucunun Akım Dalga Şekli

2.1.2.3. Köprü tipi doğrultucular

Köprü tipi doğrultucular alternatif gerilim kaynağına dört adet diyotun bağlanmasıyla tam dalga doğrultma sağlar. Diyotlar sırasıyla iletme geçerek tam doğrultma gerçekleşir. Şekil 2.6'da bir fazlı köprü doğrultucu ve yük akımı dalga şekli gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Köprü Doğrultucu Bağlantı Şeması



Şekil 2.7 Köprü Doğrultucu Akım Dalga Şekli

2.1.3. Transformatörler

Transformatörler birincil ve ikincil sargılardan oluşan, sistemin gerilim ve akım değerlerini istenildiğinde değiştirebilen elektriksel elemandır. Hareketli herhangi bir parçası olmayıp, aralarında hava aralığı kalmayacak şekilde üst üste yerleştirilmiş saçlardan oluşan demir bir çekirdek üzerine sarılı iki ayrı bobinden oluşur. Transformatörlerde elektromagnetik alanın değişmesiyle indüklemeye gerçekleşir. Bir fazlı ve üç fazlı olarak tasarlanabilirler Sargılardan birine voltaj uygulanırsa, diğerinde de bir voltaj meydana gelir. Voltajın etkisiyle akım akmaya başlar ve sargı etrafında bir manyetik alan doğurur. Bu da sistemde harmoniklerin doğmasına neden olur. Harmonik akımları transformatörün birincil reaktansı, hattın reaktansı ve jeneratörün kaçak reaktansı üzerinden geçerek harmonik gerilim düşümü meydana getirir. Transformatörlerin demir çekirdeğinin mıknatıslanma karakteristiği doğrusal olmadığı için transformatörler sistemde harmonik üretirler. . Transformatörler kuplaj için, yükselteçlerde hoparlör çıkışı için, empedans uygunluğunun sağlanması için, güç kaynaklarında değişik gerilimler elde etmek için kullanılır. Üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinin büyük kısmında gerilim ve akım değişimleri gerektiği için transformatörler kullanılır [6]. Transformatörlerde genelde iki türlü harmonik oluşur. Bu harmonikler akımharmonikleri ve gerilim harmonikleri olarak sınıflandırılır. Akım devresinde akan yüksek harmoniklerden dolayı ilave joule ($R \cdot I^2$) kayıpları oluşur. Çekirdek demir kayıpları artar. Haberleşme devreleri üzerinde magnetik etkiler yapar. Gerilim harmonilerinin etkileri. Dielektrik zorlanmasını artırır. Haberleşme devrelerine elektrostatik etki yapar. Transformatörün endüktansı ile transformatöre bağlı tüketicilerin kapasitesi arasında rezonans oluşmasına sebep olur. Bu etkiler istenmeyen etkilerdir [31].

2.1.4. Gerilim regülatörleri

Gerilim Regülatörleri voltaj düzenleyici olarak çalışırlar. Şebekeden ya da sistemdeki doğrusal olmayan diğer yüklerin yarattığı etkilerden dolayı sistemde gerilim değişimleri meydana gelebilir. Sistemde meydana gelebilecek bu voltaj değişimlerine karşı gerilim düzenleyici olarak gerilim regülatörleri kullanırlar. Sistemdeki gerilimi istediğimiz değerde tutmamızı sağlar. İçerisinde sigortalar,

şalterler, ölçü aletleri ve anahtarlama elemanları bulunur. Karakteristiği doğrusal olmayan bu etki sistemde harmoniklerin oluşmasına neden olur.

2.1.5. Elektronik balastlar

Bütün deşarj lambalarında akımı sınırlamak amacıyla balast kullanılır. Elektronik balast aydınlatma armatürünü ateşlemeye ve nominal çalışma esnasındaki lambanın ihtiyaç duyduğu akımı düzenlemeye yarar. Yüksek frekanslarda çalışırlar. Enerji tasarrufu için tercih edilirler. Daha az ısı üretirler, güç faktörünü yükseltir kompanzasyona ihtiyaç duymazlar. Lambanın ve tüm aydınlatma sisteminin etkinlik faktörünü artırır. Işık titreşimini ve stroboskopik olayları önler. Elektronik balastlar Hem alternatif akımda hem de doğru akımda çalışabilme özelliğine sahiptirler. Değişken şebeke gerilimlerine rağmen sabit ışık akısı verebilirler. Elektronik balastlar yapısındaki anahtarlama elemanları, yüksek frekansta çalışma ve diğer komponentler yüzünden yüksek harmoniklere neden olurlar. Lambanın ateşlenmesi için 220V'dan daha büyük gerilimler gerekmekte ve bu da sistemde harmonik oluşturmaktadır.

2.1.6. Eviriciler

Sistemde sabit genlikli doğru gerilimi, çıkışında istenilen etkin değere ve frekansa değiştirebilen dönüştürücülere evirici denir. Yani DC gerilimi evlerde kullandığımız AC gerilime dönüştürebilen cihazlardır. Evirici devresinde yüksek dv/dt ve di/dt dayanımları, iletme ve kesime gitme kolaylıkları nedeniyle IGBT elemanlar kullanılmaktadır. Evirici devresinin çıkışında elde edilen gerilim dalgasının sinusoidal dalga şeklinden sapması ile sistemde harmonikler meydana gelir.

2.1.7. Döner makineler

Senkron generatörler ve asenkron motorlar yapılarında bulunan elemanlar yüzünden harmonik üretilmesine neden olurlar. Senkron generatörlerin harmonik üretme özelliği çıkık kutbun alan şeklinden, manyetik direncin oluklara bağlı olmasından, ana devrenin doyuma ulaşması, kaçak akımlar, sık aralıklarla ve simetrik olmayan

boşluklarla yerleştirilen sönüm sargılarından kaynaklanmaktadır. Asenkron motorun statorunda bulunan sargıların iletken dağılımı sinusoidal formda yapılamadığı için, asenkron makine AC gerilime maruz kaldığında her bir faz sargısından geçen akım harmonikler içerir [6].

2.1.8. Kesintisiz güç kaynakları

Kesintisiz güç kaynakları alternatif gerilimin doğru gerilime çevrilip depolandıktan sonra evirici yardımıyla tekrar doğru akımın alternatif akıma çevrilip kullanılmasına yarar. Kesintisiz güç kaynakları gerilimdeki değişimlere, enerji kesilmelerine karşı kullanılır. Böylece şebekeden beslenen cihazların olumsuz etkilerden korunması sağlanmış olur. Gerilim dönüşümleri esnasında kesintisiz güç kaynağının ürettiği gerilim dalga şekli sinusoidal dalga şeklinden sapma gösterdiği için sistemde harmonik üretilmesine neden olur [6].

2.1.9. Gaz deşarjlı aydınlatma

Gaz deşarjlı aydınlatma elemanlarının elektriksel karakteristiği doğrusal olmadığı için harmonik içeren akımların üretilmesine sebep olurlar. Sıkça kullanılan flüoreasan, ark, neon gibi yüksek basınçlı lambalar bu harmoniklerin oluşmasını sağlar [6].

2.1.10. Doğru akım ile enerji iletimi

Doğru akım ile enerji iletiminde alternatif olarak üretilen gerilim doğrultulur ve enerji nakil hattını besler sonrasında ise hattın ucunda tekrar alternatif gerilime çevrilerek tüketiciye iletilmektedir. Bu yöntemle enerji iletiminde AC-DC ve DC-AC çeviricileri kullanılmaktadır. Doğru akım enerji iletim hatlarında hat uçlarında büyük güçlü doğrultucu ve evirici bloklar yer alır bu sistemlerin bünyesinde yer alan yarı iletken elemanlar ise harmonik üretilmesine neden olmaktadır [6].

2.2. Harmoniklerin Ortaya Çıkardığı Etkiler

Harmonikler şebekeye bağlı doğrusal olmayan yükler tarafından üretilirler. Doğrusal olmayan bu yükler harmonik içeren akım ve gerilim oluşmasına sebep olur. Harmonik içeren akım ve gerilim dalga şekli saf sinusoidal dalga şeklinde değildir. Sinüsoidal olmayan dalga biçimleri frekans ve genliği farklı diğer sinüsoidal dalgaların toplamından oluşmaktadır. Temel dalga dışındaki sinüzoidal dalgalara harmonik bileşenlerdir. Sinüsoidal alternatif akım uygulanan bir alıcının şebekeden harmonikli akım çekmesibu alıcının yapısı gereğidir. Yani; alıcı nominal çalışması sırasında harmonik meydana getirecek akım çekiyor demektir. Harmonik üreten bu alıcılardan başka, karakteristikleri itibari ile lineer oldukları halde harmonikli akımlara sebebiyet veren alıcılarda vardır. Bu durum ise alıcıya uygulanan gerilimin nonsinüsoidal olmasından kaynaklanmaktadır. Alternatif akımın üretilmesi sırasında alternatörlerde yapılan gerekli iyileştirici önlemler yardımıyla elektrik enerjisi mümkün olduğunca sinüsoidale yakınlştırılmaktadır [8]. Harmonik içeren akım ve gerilim sinusoidal dalga şeklinden sapma gösterir. Bu sapma sonucunda enerji sistemlerinde Gerilim düşümü artımı, izolasyon malzemelerinin delinmesi, döner makinelerde ısınma, nötr iletkeninde aşırı akımlar oluşması, şebekede seri ya da paralel rezonans olayları, enerji kalitesinde düşme, kayıpların artması, cihazların zarar görmesi ve ömrünün azalması, kondansatörlerin aşırı yüklenmesi ve ömürlerinin azalması, röle, kesici ve sigortaların hatalı çalışması, sayaçlarda ölçüm hataları, telefon hatlarında girişim artması, haberleşme hatlarında gürültüler ve elektronik kartların arızalanması, aydınlatma elemanları ve ekranlarda görüntü titremesi meydana gelebilir. Ayrıca mevcut harmonik dijital elektrik sayaçları tarafından reaktif güç gibi görünmektedir. Dolayısıyla kayıplar artmakta ve enerji maliyeti artmaktadır. Harmonikler ayrıca aşırı akım ve gerilimlerden doğabilecek tüm zararlı etkilere dolaylı yoldan da olsa neden olurlar. Harmonik miktarı ne kadar fazla olursa güç kalitesindeki bozulma o kadar fazla olur. Uygulamada en çok 3., 5., 7., 11. ve 13. harmoniklerle karşılaşılır. Ancak 11. ve 13. harmoniklerin genlikleri ana bileşene göre çok küçük olduğundan özel haller dışında önemsenmezler. Daha çok 3., 5. ve 7. harmoniklere ilişkin önlemler alınmaya çalışılır [7].

2.3. Harmonik Standartları

Enerji kalitesini belirli sınırlar içerisinde tutabilmek için sistemdeki harmonik miktarını belirli bir seviyeye kadar tutmak gerekir. Harmonik miktarını sınırlamak için ise akım ve gerilim harmonikleri için bazı standartlar belirlenmiştir. Akım ve gerilim harmonikleri ile ilgili olarak IEC Std. 1000-3-4, EN 50 006, IEEE-519-1992 standartları bulunmaktadır. Toplam Harmonik Bozulma (THD) akım veya gerilim dalga şeklindeki bozulmayı ifade eder. Toplam harmonik bozulma harmoniklerin efektif değerlerinin toplamının temel bileşenin efektif değerine oranı şeklinde hesaplanmaktadır. Gerilim ve akımın THD değerleri denklem (2.1), (2.2), (2.3), (2.4) gibi hesaplanmaktadır [8].

$$THD_I(\%) = (I_h/I_1) \cdot 100 \quad (2.1)$$

$$I_h = (I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2)^{1/2} \quad (2.2)$$

$$THD_V(\%) = (V_h/V_1) \cdot 100 \quad (2.3)$$

$$V_h = (V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2)^{1/2} \quad (2.4)$$

Tablo 2.1 ve tablo 2.2’de IEEE 519-1992 standardı tarafından belirlenen akım ve gerilim harmonik sınırları verilmektedir.

Tablo 2.1. IEEE 519-1992 akım harmonik sınırları [8]

Isc/I1	h<11	11≤ h <17	17≤ h <23	23≤ h <35	35≤ h	THD (%)
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Tablo 2.2. IEEE 519-1992 gerilim harmonik sınırları [8]

Bara Gerilimi	Maksimum Bireysel Harmonik Bileşen (%)	Maksimum THD (%)
<69 kV	3.0	5.0
69-161 kv	1.5	2.5
≥161 kv	1.0	1.5

BÖLÜM 3. HARMONİK FİLTRELEME VE METODLARI

Harmonik filtreleme şebekeyi harmoniklerin yarattığı etkilerden korumaya yarar. Filtreler yardımıyla harmonikler süzülür. Harmonik filtreler bir veya daha fazla frekanstaki akım veya gerilimlerin harmonik seviyesini azaltır veya yok eder [7]. Harmonik filtreler gerilim ve akım düzensizliğini , ani akım değişimlerini önler ve şebekenin enerji kalitesini artırıcı rol oynar. Harmonik filtreleme cihazların doğru çalışabilmesi ve kullanım ömrü bakımından da çok önemli bir unsur oluşturur. Filtreleme işlemi ne kadar doğru yapılırsa enerji kalitesi o derece yüksek, kayıplar ve birim maliyeti o kadar düşük olur.

3.1. Harmonik Filtreleme Metodları

Harmonik filtreler aktif ve pasif filtreler olmak üzere iki kategoride incelenir. Pasif filtre bileşenleri direnç, endüktans ve kondansatör gibi pasif elemanlardır. Pasif filtreler sisteme göre tasarlanır, bu tür filtrelerde sistemdeki belirli frekanslara göre filtreleme yapılır ve bu yüzden sisteme sonradan yük eklendiğinde yeniden filtreleme yapmak gerekebilir. Aktif filtreler ise sistemde mevcut olan, üretilen akım veya gerilim harmoniklerini hesaplayıp ona göre filtreleme yaparlar. Sistemde meydana gelebilecek yük değişimlerine göre filtreleme yapar.

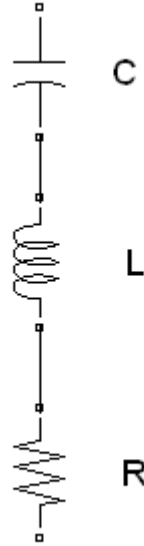
3.1.1. Pasif filtreler

Pasif filtrelerin pasif adını almasının nedeni R direnç, L endüktans ve C kapasite gibi pasif elemanlardan oluşmasıdır. Sistemin ihtiyacına göre tasarlanır ve sadece hesaplanan ihtiyaca cevap verirler. Ana frekans dışındaki harmonik bileşenleri yok ederler. Yeni durumlar için yeni tasarımlara ihtiyaç duyarlar. Devreye seri ya da paralel bağlanabilirler. Pasif filtreler ile yok edilmek istenen harmoniğin frekansında uygun endüktans ve kapasite değerleri seçilerek rezonans olayı meydana getirilir ve

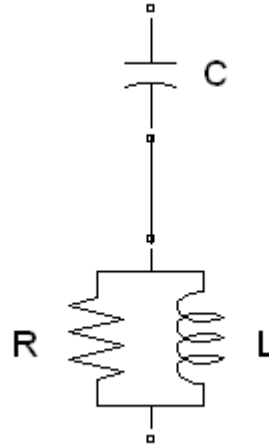
toplam reaktans çok küçük bir değer alır. Uygun endüktans ve kapasite değerlerinden kasıt endüktif ve kapasitif reaktansları birbirine eşit yapan frekansa ayarlanmasıdır. Kalite faktörü Q_L , ayar keskinliğini belirlemektedir.

Q_L faktörüne bağlı olarak; filtreler ya yüksek Q_L yada düşük Q_L tipindedirler. Q_L değeri, yüksek Q_L tipi filtrelerde 30 ile 60 arasında değerler alırken, düşük Q_L tipi filtrelerde 0.5 ile 5 arasında değerler almaktadır. Q_L kalite faktörü düşük kalite faktörlü filtreler için R filtre direncinin X_r rezonans frekansındaki reaktansa oranıdır. Yüksek kalite faktörlü filtreler için ise X_r rezonans frekansındaki reaktansın R filtre direncine oranıdır. .

Yüksek Q_L filtresi, düşük harmonik frekanslardan birine ayarlanır. Düşük Q_L filtresi ise, geniş bir frekans aralığında düşük bir empedansa sahiptir ve yüksek mertebeli harmonikleri süzmek için kullanıldığında yüksek geçiren filtre olarak da düşünülür [20].



Şekil 3.1. Tek ayarlı filtre devresi [7]



Şekil 3.2. İkinci mertebe sönümlü filtre [7]

Bir pasif filtrenin tasarlanması, kullanılacağı güç sisteminin çözümlenmesini gerektirir. Pasif filtrenin süzme derecesi bağlı olduğu güç sistemindeki diğer tüm empedanslar ile arasındaki orantıya bağlıdır. Pasif filtrenin süzme kabiliyeti kontrol edilemez. İlk tasarımda belirlenen ayar frekansı filtre elemanlarının veriminin düşmesiyle, hatta meydana gelebilecek değişikliklerden dolayı zaman içerisinde değişebilir. Pasif filtreler küçük harmonik frekansların süzülmesinde her bir frekans için ayrı ayrı, 11. harmoniğin üstündeki harmonikler için bir tane yüksek geçirgen filtre kullanılır [10].

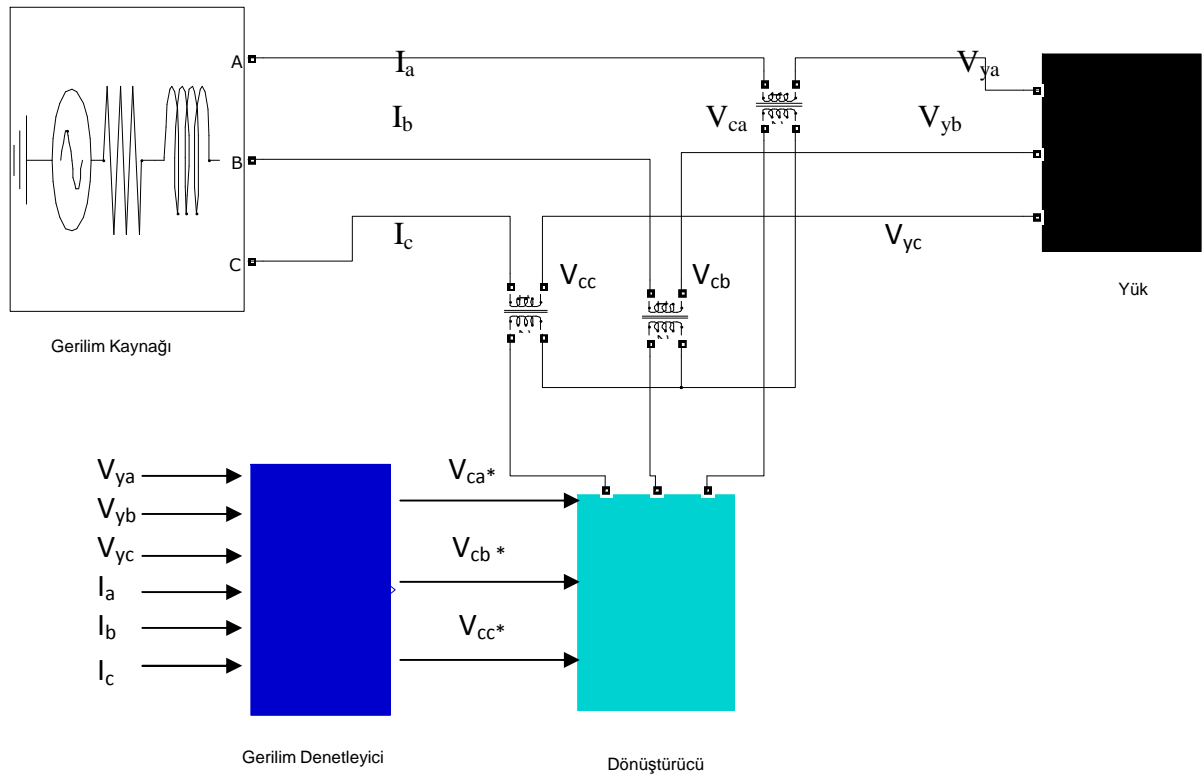
Pasif filtrelerin dezavantajları ise [12];

- 1-) Yük değişimlerine cevap veremezler, tekrar tasarım isterler.
- 2-) Kaynak empedansları filtre karakteristiklerini etkiler.
- 3-) Özel frekanslarda meydana gelebilen kaynak ve pasif filtre arasındaki koşt rezonans, kaynak üzerindeki harmonik akımlarının artmasına sebep olur.
- 4-) Pasif filtreler kaynakla beraber seri rezonansa çok zayıf bir ihtimalle de olsa girebilir. Bu yüzden gerilim değerindeki bozulmalar ölçüsüz bir şekilde edilgen süzgece doğru akan harmonik akımları oluştururlar. Pasif filtreler bu nedenden dolayı aşırı yüklenebilirler ve devre dışı kalabilirler.

5-) Pasif filtreler güç frekansında reaktif güç üretirler. Üretilen reaktif güç baradaki güç katsayısını istenilen değerler dışına çıkarabilir.

3.1.2. Aktif harmonik güç filtreleri

Doğrusal olmayan yükün ürettiği akım ve/veya gerilim harmoniklerini yok etmek için güç elektroniği elemanları kullanılarak yükün ürettiği harmonik akımı ve/veya harmonik gerilimi üreten cihazlara aktif harmonik güç filtresi denir. Harmonik yok eder gibi görünse de aslında sisteme harmoniklerden dolayı akım ve gerilim dalga şekillerinde sinüsoidal dalga şeklinden gerçekleşen sapma kadar sisteme ters fazda enerji ilave edilir, böylece harmonik etkisi ortadan kaldırılmış oluyor [7]. Doğrusal olmayan yükün ürettiği akım ve/veya kaynak geriliminin harmoniklerini yok etmek için güç elektroniği elemanlarının anahtarlama yöntemlerini kullanarak yükün harmonik akım ve/veya gerilimine ters fazda fakat eşit büyüklükte harmonik akım ve /veya gerilim üreterek sisteme empoze eden devrelerdir. Aktif filtreler pasif filtrelere göre daha kullanışlıdır. Pasif filtrelere göre çok daha fazla frekansta kullanılabilir. Pasif filtrelerin dezavantajı bu tür filtreler pasif elemanlardan oluştuğu için o anki sistem şemasına özel olması sebebiyle mevcut dağıtıma ekler gelmesi veya yüklerin artması durumunda ilk tasarım geçersiz olabilir ve yeni tasarım gerekebilir, bu da ek maliyete, işçiliğe ve zaman kaybına neden olur. Güç kalitesindeki bozulmanın giderek artması ve pasif filtrelerin olumsuz yönleri harmoniklerden kaynaklı problemlerin giderilmesinde aktif çözümlere olan ilgiyi artırmıştır. Aktif güç filtreleri aynı zamanda istenen frekanstaki harmonik akım veya gerilim kompanzasyonu, Endüktif - kapasitif tepkin güç kompanzasyonu, Gerilim düşümü kompanzasyonu, Geçici rejim kompanzasyonu ve Gerilim dengelemesi yapabilir. Aktif güç filtre devresi dönüştürücü, akım - gerilim kontrol devresi ve harmonik belirleme bloğundan oluşur. Aşağıda seri aktif güç filtre blok diyagramı görülmektedir. Referans gerilimler hesaplanarak dönüştürücü ile trafo üzerinden sisteme enjekte edilmektedir.



Şekil 3.3. Aktif güç filtresi blok diyagramı [12]

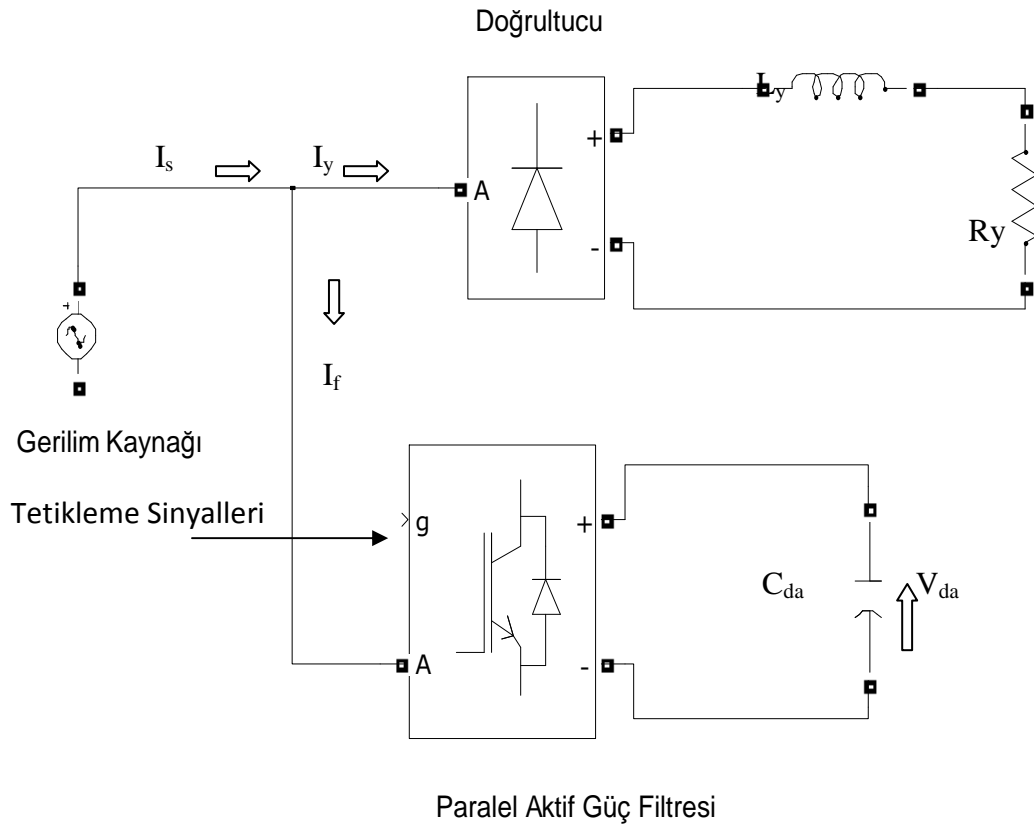
3.1.2.1. Aktif güç filtrelerinin sınıflandırılması

Aktif güç filtreleri sisteme bağlantı şekillerine göre sınıflandırılırlar. Sisteme bağlanma şekillerine göre paralel aktif filtre, seri aktif filtre, hibrit aktif filtre ve birleşik güç kalitesi düzenleyicileri olmak üzere sınıflandırılırlar. Aktif filtreler bunun yanında farklı güç devresi tasarımları ve kontrol prensiplerine göre de tasarlanırlar.

Paralel aktif güç filtreleri:

Paralel aktif güç filtresi devreye paralel bağlanır. Aktif filtre devreye bağlandığı noktadaki akımı ölçerek sisteme yükün ürettiği harmonik akımı kadar aynı genlikte ama ters fazda akım verir. Paralel aktif güç filtreleri akım harmoniklerini yok eder, reaktif güç kompanzasyonu yapar ve akım dengesizliğini ortadan kaldırır. Aktif filtrenin ürettiği akım ile kaynaktan çekilen akımların dalga şekli sinusoidal yapılıdır [14]. Paralel aktif güç filtreleri (PAGF) harmonik akım kaynağı gibi davranan yükler

için daha etkilidirler. Şekil 3.4’de paralel aktif güç filtresi blok diyagramı görülmektedir.

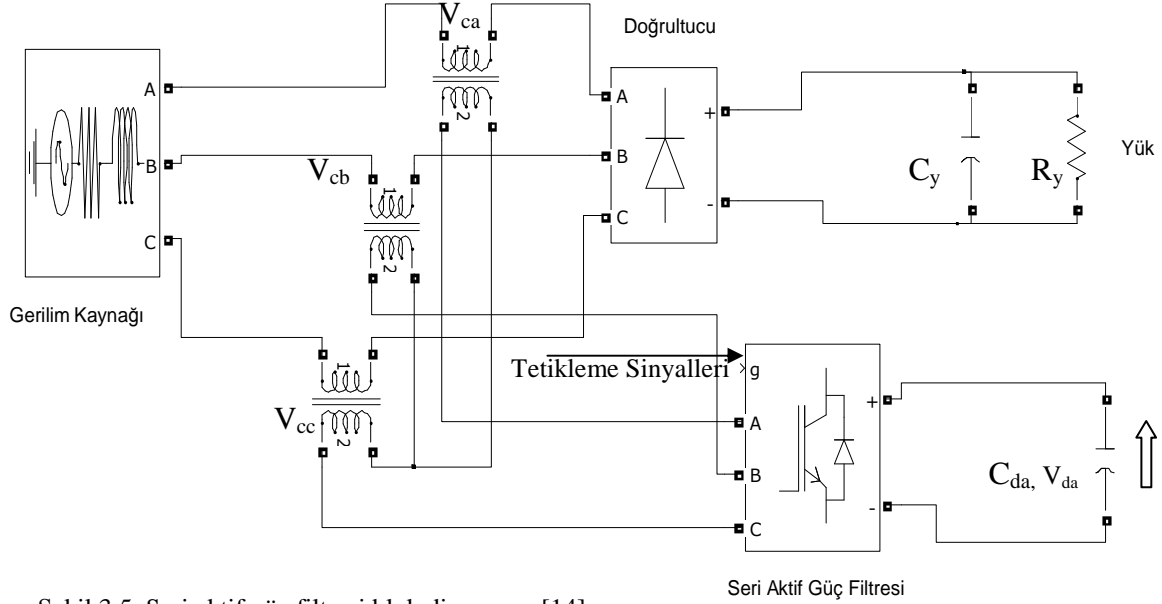


Şekil 3.4. Paralel aktif güç filtresi blok diyagramı [13]

Seri aktif güç filtreleri:

Seri aktif güç filtreleri devreye transformatör üzerinden seri olarak bağlanırlar. Yükün oluşturduğu gerilim harmoniklerini yok etmek ve şebekede oluşabilecek gerilim dengesizliğini ortadan kaldırmak için kullanılır. Aktif filtre devreye bağlandığı noktadaki gerilimi ölçerek sisteme yükün ürettiği harmonik gerilim kadar aynı genlikte ama ters fazda gerilim vererek harmonikleri ortadan kaldırır. [26]. Harmonik gerilim kaynağı gibi davranan doğrusal olamayan yükler için seri aktif güç filtreleri çok daha etkilidir. Seri aktif güç filtresi (SAGF) gerilim dengesizliğini engellediği için yük gerilimini dengelemek için kullanılır. Seri aktif güç filtreleri yük ile kaynak arasına seri bağlandığı için harmonik akımlarına karşı yüksek empedans

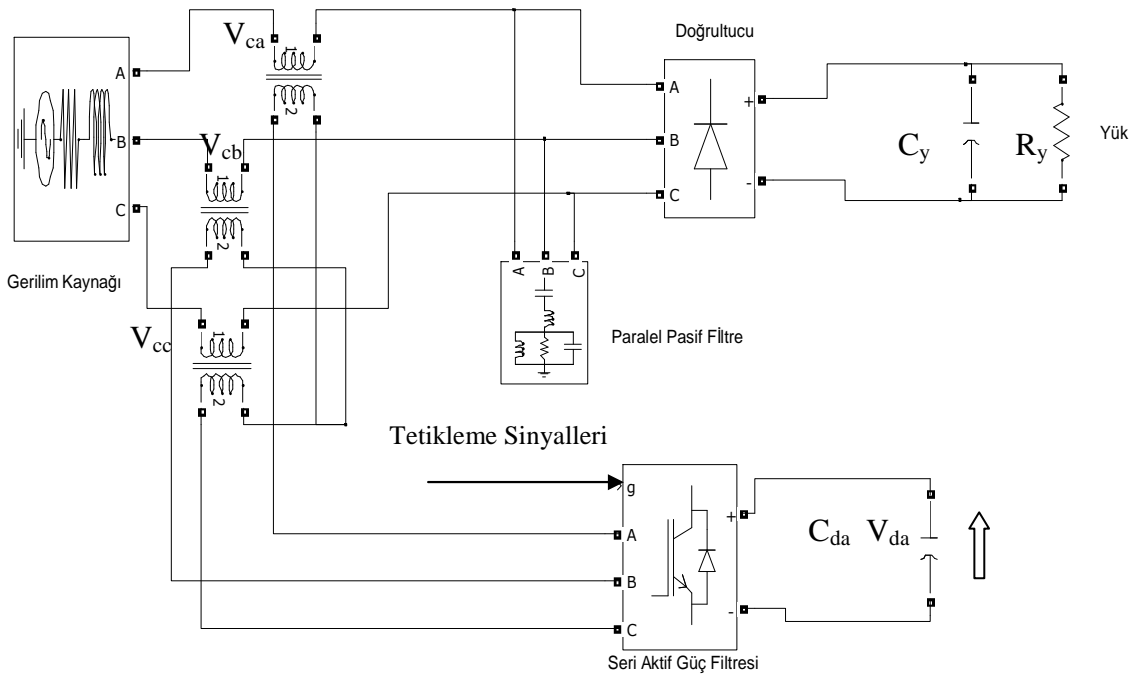
gösterir. Dolayısıyla kaynak ile yük arasında harmonik izolasyon oluşmuştur [14].
Aşağıda şekil 3.5' de seri aktif güç filtresinin blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.5. Seri aktif güç filtresi blok diyagramı [14]

Hibrit aktif güç filtreleri (HAGF) :

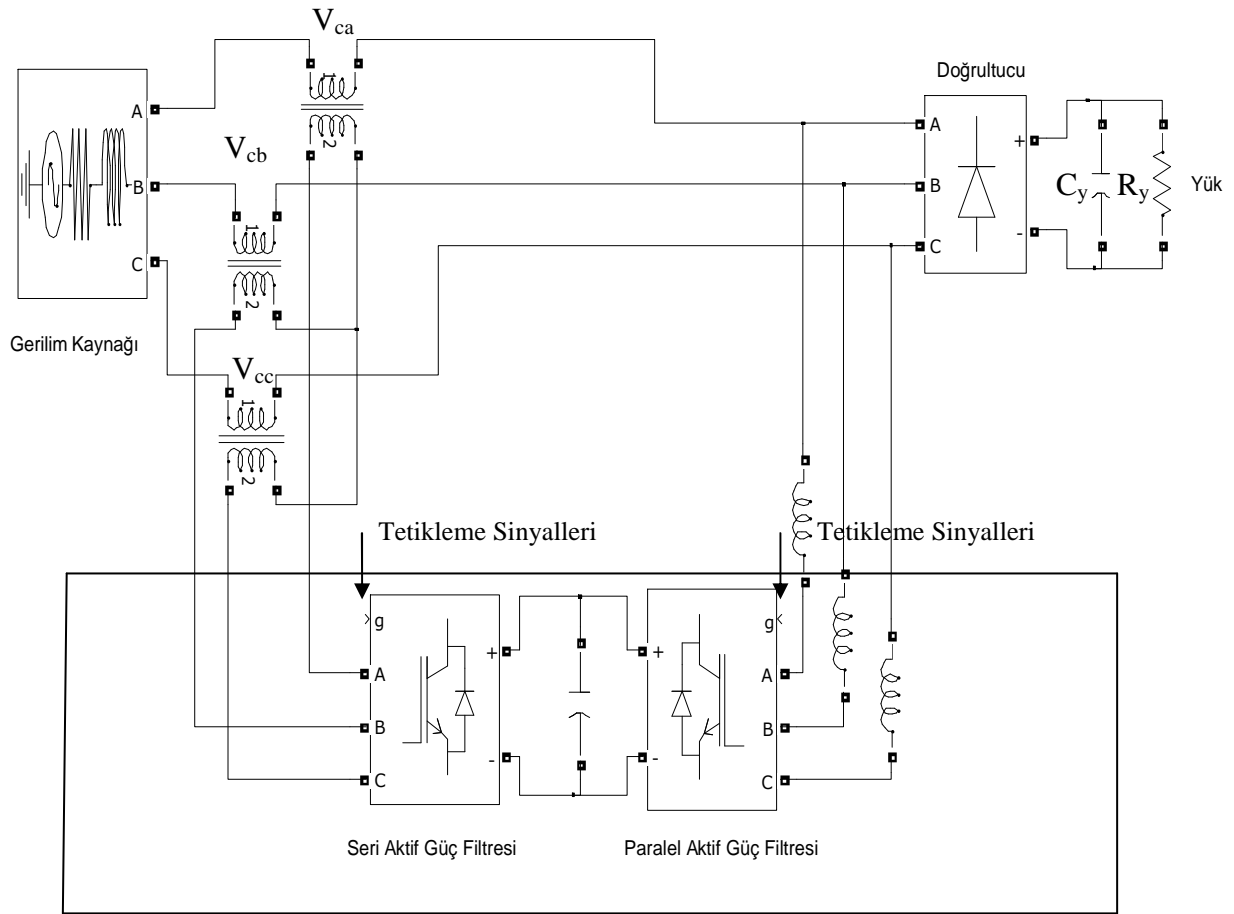
Pasif güç filtreleri aktif güç filtrelerle birlikte de kullanılabilir. Her iki filtrenin birlikte kullanıldığı filtrelere hibrit aktif güç filtreleri denir. HAGF ile özellikle 3, 5, 7, vb. düşük dereceli harmonikler süzülür. Şekil 3.6' da SAGF ve paralel pasif güç filtresinden oluşan hibrit aktif güç filtresi görülmektedir. Aktif güç filtresi pasif filtre ile kullanıldığında aktif filtrenin maliyeti düşer ve verimliliği artar [14].



Şekil 3.6. Hibrit aktif – pasif güç filtresi blok diyagramı [14]

Birleşik güç kalite düzenleyicileri (BGKD) :

Seri aktif güç filtreleri ile paralel aktif güç filtrelerinin birlikte kullanıldığı filtre sistemlerine birleşik güç kalite düzenleyicileri denir. Seri aktif güç filtresi ile harmonik gerilim kompanzasyonu, şebeke harmonik izolasyonu, gerilim regülasyonu yapılır. Bunun yanında paralel aktif güç filtresi ile harmonik akım kompanzasyonu, reaktif güç kompanzasyonu ve DA hat gerilim regülasyonunu gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler diğer tasarımlara göre daha maliyetli ve şebekeden daha fazla güç çektikleri için çok tercih edilmemektedirler [15]. Aşağıda şekil 3.7’ de BGKD görülmektedir.



Şekil 3.7. Birleşik güç kalite düzenleyicisi blok diyagramı [13]

BÖLÜM 4. SAGF TASARIMI

Seri Aktif Güç Filtresi (SAGF) tasarımı için öncelikle doğrusal olmayan bir yüke bağlı bir sistem seçilir. Paralel aktif güç filtresi akım harmoniklerini seri aktif güç filtresi ise gerilim harmoniklerini yok etmekte kullanılır. Bu yüzden SAGF için kapasitif yük seçildikten sonra SAGF için akım ve gerilim dönüşümleri gerçekleşir. SAGF’de kaynak tarafındaki akımlar ile yük tarafındaki gerilimler Clarke dönüşümü ile 3 fazlı a-b-c sisteminden iki fazlı durağan yapıya dönüştürülür. İki fazlı sistemde hesaplanan akım ve gerilimler yardımıyla anlık güçler hesaplanır. Anlık aktif ve anlık sanal gücün hesaplanmasının ardından referans gerilimler hesaplanarak tetikleme sinyalleri oluşturulur. SAGF sisteme trafo yardımıyla seri olarak bağlanır. Her faza ayrı bir trafo bağlanır. Seçilen Trafonun çevirme oranı 1’dir. Trafo sadece seri bağlantıyı gerçekleştirmek için kullanılır. Tetikleme sinyalleri oluşturulduktan sonra Geyt ile yalıtkan olan tristörler (GTO) ile trafo yardımıyla sistemdeki her faza ayrı ayrı olmak üzere ters fazda ve eşit genlikte gerilimler enjekte edilerek sistem gerilim harmoniklerinden arındırılmış olur. Seri aktif güç filtreleri gerilim harmonikleri ve yük gerilimini dengelemek ve gerilim dengesizliğini ortadan kaldırmak için kullanılır. Bu yüzden bu çalışmada dengeli gerilim durumu, dengesiz gerilim durumu, dengesiz yük durumu olmak üzere üç durum için üç devre oluşturulmuş ve bu üç devre için simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca SAGF ana harmonikleri bu yolla yok etmek ve aktif filtrenin verimini arttırmak için sisteme paralel pasif filtre ile birlikte bağlanmıştır. Gerilim bozulmaları % THD cinsinden tüm sistem için incelenmiş ve filtrenin sisteme katkıları bağlanmadan önceki durum ve bağlandıktan sonraki durum olmak üzere gerilim eğrileri ile şekillerle gösterilmiştir.

SAGF tasarımında Matlab R2008a programı kullanılmıştır. Matlab programının simulink arayüzü kullanılmıştır. Simulink blokları yardımıyla devre oluşturulmuştur. Bu çalışmada üç fazlı bir sistem göz önünde bulundurulmuştur. Simülasyonda

kaynak gerilimi dengeli gerilim durumunda $220 V_{rms}$ faz-nötr olarak seçilmiştir. Simülasyonda örnekleme zamanı (discrete time) $50e-7$ olarak seçilmiştir.

4.1. Anlık Güç Hesabı

4.1.1. Sinüsoidal kaynak doğrusal yük durumunda güç hesabı

Dengeli üç fazlı sinusoidal gerilim kaynağından beslenen dengeli üç fazlı doğrusal yük durumunda anlık kaynak gerilimleri (V_{sa} , V_{sb} , V_{sc}) ve yükün çektiği anlık akımlar (I_{ya} , I_{yb} , I_{yc}) denklem (4.1) ve (4.2)' de gösterilmiştir.

$$V_{sa}(t) = \sqrt{2}V \sin \omega t \quad (4.1)$$

$$V_{sb}(t) = \sqrt{2}V \sin (\omega t - 120^\circ)$$

$$V_{sc}(t) = \sqrt{2}V \sin(\omega t + 120^\circ)$$

$$I_{ya}(t) = \sqrt{2}I \sin (\omega t + \varphi) \quad (4.2)$$

$$I_{yb}(t) = \sqrt{2}I \sin (\omega t + \varphi - 120^\circ)$$

$$I_{yc}(t) = \sqrt{2}I \sin(\omega t + \varphi + 120^\circ)$$

(4.1) ve (4.2) eşitliği kullanarak a-fazına ait anlık güç ifadesinin denklemi (4.3) denkleminde gösterilmiştir.

$$P_a(t) = V_{sa} I_{ya} = VI \cos \varphi (1 - \cos 2\omega t) - VI \sin \varphi \sin 2\omega t \quad (4.3)$$

(4.3) eşitliğinde görüldüğü gibi anlık güç iki bileşenden oluşmaktadır. Birinci bileşen $VI \cos \varphi$ ortalama değerine ve hat frekansının iki katı salınım yapan $VI \cos \varphi \cos 2\omega t$

dalgalı bileşenine sahiptir. Birinci bileşen hiçbir zaman negatif değer almamakta ve tek yönlü DA gücü ifade etmektedir. İkinci bileşen ($VI \sin \varphi \sin 2\omega t$), hat frekansının iki katı salınım yapan bir dalgalı bileşendir. İkinci bileşenin ortalama değeri sıfırdır ve $VI \sin \varphi$ tepe değerine sahiptir . Bu sebeple ortalama aktif güç denklem (4.4) gösterilmiştir [8].

$$P = VI \cos \varphi \quad (4.4)$$

Geleneksel reaktif güç, ikinci bileşenin tepe değeri

$$Q = VI \sin \varphi \quad (4.5)$$

Toplam üç fazlı anlık aktif güç, $P_a(t)$, $P_b(t)$ ve $P_c(t)$ a-b-c fazlarına ait güçler olmak üzere denklem (4.6)' daki gibi hesaplanmıştır [8].

$$P_3(t) = V_{sa} \dot{I}_{ya} + V_{sb} \dot{I}_{yb} + V_{sc} \dot{I}_{yc} = 3VI \cos \varphi$$

$$P_3(t) = P_a(t) + P_b(t) + P_c(t) = 3P \quad (4.6)$$

3-fazlı sistemde reaktif güç ifadesi denklem (4.7)' de gösterilmiştir.

$$Q_3(t) = 3 VI \sin \varphi = 3Q \quad (4.7)$$

4.1.2. Sinusoidal kaynak doğrusal olmayan yüklerde güç hesabı

(4.1) denkleminde verilen dengeli 3-fazlı sinüzoidal gerilim kaynağından beslenen 3-fazlı doğrusal olmayan yük durumunda yükün çektiği akımlar (4.8) denkleminde ifade edilmiştir. Bu durumda yükün çektiği akımlar, temel frekansın tam katlarında harmonik bileşenlerden oluşmaktadır.

$$\dot{I}_{ya}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t - \varphi_n)$$

$$\dot{I}_{yb}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t - 120^\circ - \varphi_n) \quad (4.8)$$

$$\dot{I}_{yc}(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega t + 120^\circ - \varphi_n)$$

(4.1) ve (4.8) denklemlerinden a-fazı için anlık güç denklemi (4.9) de ifade edilmiştir [8].

$$P_a(t) = VI_1 \cos \varphi_1 (1 - \cos(2\omega t) - VI_1 \sin \varphi_1 \sin 2\omega t + \sum_{n=2}^{\infty} 2VI_n \sin \omega t \sin(n\omega t - \varphi_n)) \quad (4.9)$$

(4.9) denkleminde $P_a(t)$ ' in ortalama değeri olan ortalama aktif güç denklem (4.10) da gösterilmiştir.

$$P = VI_1 \cos \varphi_1 \quad (4.10)$$

a-fazı akımının rms değeri denklem (4.11) ile hesaplanmaktadır.

$$I = (I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots)^{1/2} \quad (4.11)$$

a-fazının görünür gücü denklem (4.12) de görülmektedir.

$$S = 3VI \quad (4.12)$$

(4.11) ve (4.12) denklemleri kullanılarak (4.13) denklemi elde edilir.

$$S^2 = 3^2 V^2 I^2 = 3^2 V^2 (I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots) \quad (4.13)$$

Temel frekansta sinüzoidal gerilim doğrusal olmayan yüke uygulandığında reaktif ve harmonik güç ifadeleri denklem (4.14) ve denklem (4.15)' deki gibi ifade edilir [8].

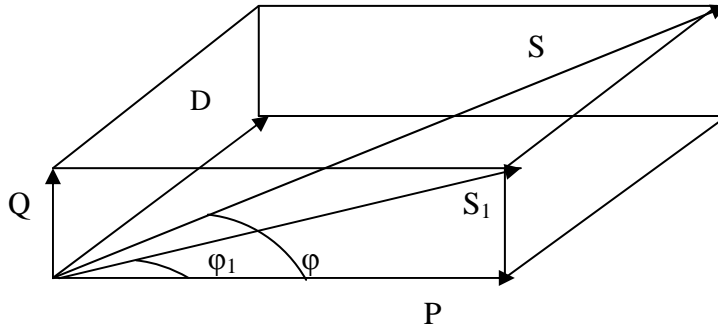
$$Q = 3V_1 \sin \varphi_1 \quad (4.14)$$

$$D = 3V (I_2^2 + I_3^2 + \dots)^{1/2} \quad (4.15)$$

Sonuç olarak görünür güç ifadesi için denklem (4.16) ifadesi elde edilir.

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (4.16)$$

Şekil 4.1’de denklem (4.16)’ da elde edilen sonuç güç dörtyüzlüsü olarak görülmektedir [8].



Şekil 4.1. Güç dörtyüzlüsü [32]

Temel güç katsayısı (kayma faktörü) denklem (4.17) de ifade edilmiştir.

$$\cos \varphi_1 = P/S_1 \quad (4.17)$$

Toplam güç katsayısı denklem (4.18) ifade edilmiştir [8].

$$\cos \varphi = P/S \quad (4.18)$$

4.2. Üç Fazlı Üç Telli Seri Aktif Güç Filtresinde Anlık Reaktif Güç Teorisi

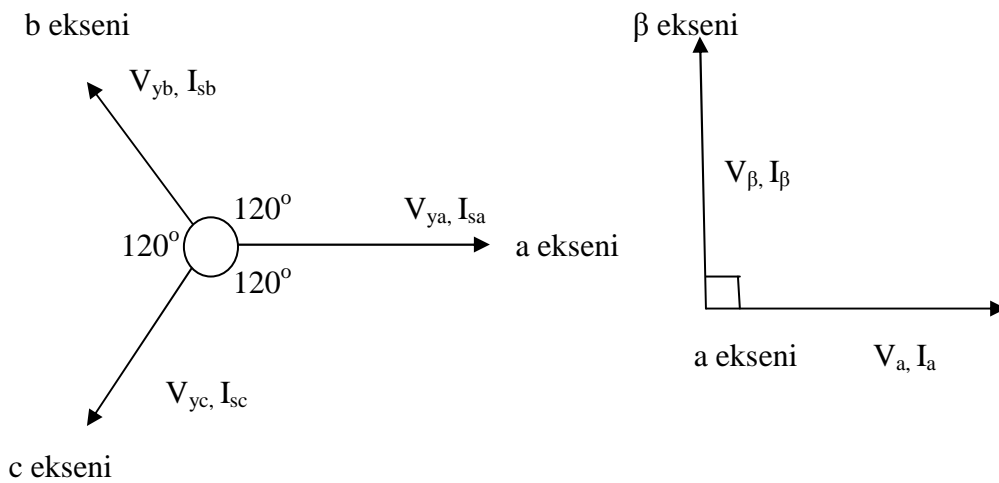
Anlık reaktif güç teorisi kavramı ilk kez 1982 yılında Japonyada ortaya çıkmıştır. Akagi tarafından 1983 yılında ileri sürülen bu teoride anlık reaktif güç cebirsel olarak hesaplanmakta ve zamanda bir gecikmeye sebep olmamaktadır. Ayrıca bu teori nötr hattı olan veya olmayan şebekelerde, ideal ve ideal olmayan akım ve gerilimlerde, hem sürekli hem de geçici durumlarda geçerlidir [14]. Aktif filtre tasarımında bu teorinin kullanılması güçlerin anlık olarak hesaplanması ve zamanda bir gecikmeye neden olmamasındandır.

Clarke dönüşümü olarak bilinen α - β dönüşümü 3-fazlı akım ve gerilimleri iki fazlı durağan yapıya çeviren cebirsel bir dönüşümdür. a-b-c koordinatların da ki üç fazlı akım ve gerilim değerlerinin anlık uzay vektörü ile gösterimi ve bu akım ve

gerilimlerin α - β durağan referans yapıdaki karşılıkları şekil 4.2' de görülmektedir [14]. Bu cebirsel dönüşümler basit olarak α - β koordinatlara denklem (4.19) ve denklem (4.20)' deki gibi çevrilmektedir [14].

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

$$\begin{bmatrix} I_\alpha \\ I_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{ya} \\ I_{yb} \\ I_{yc} \end{bmatrix} \quad (4.20)$$



Şekil 4.2. 3-fazlı a-b-c koordinatlarından iki fazlı α - β koordinatlarına dönüşüm [33]

3-fazlı sistemlerde anlık aktif güç denklem (4.21)' deki gibi ifade edilmiştir.

$$P_3 = V_\alpha \cdot I_\alpha + V_\beta \cdot I_\beta \quad (4.21)$$

3-fazlı sistemlerde anlık sanal güç denklem (4.22)' deki ifade edilmiştir [3].

$$Q_3 = V_\beta \times \dot{I}_\alpha - V_\alpha \times \dot{I}_\beta \quad (4.22)$$

Denklem (4.23)' de $V_\alpha \cdot \dot{I}_\alpha$ ve $V_\beta \cdot \dot{I}_\beta$, aynı eksenindeki anlık gerilimle anlık akımı çarpımıyla tanımlanan anlık güçlerdir. Böylece P_3 3-fazlı devrelerde birimi (watt) olan gerçek güce Q_3 ise anlık sanal güce karşılık gelmektedir. Q_3 ' ün birimi (İmajiner Volt Amper, IVA) olarak sunulmuştur [14].

$$\begin{bmatrix} P3 \\ Q3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_a & I_\beta \\ -I_\beta & I_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_a & I_\beta \\ -I_\beta & I_a \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} P3 \\ Q3 \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

α - β koordinatlarındaki anlık akımlar V_a ve V_β anlık gerilim bileşenleri denklem (4.25)' de ifade edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{ap} \\ V_{\beta p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_{aq} \\ V_{\beta q} \end{bmatrix} \quad (4.25)$$

$$\begin{bmatrix} V_{ap} \\ V_{\beta p} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_a & I_\beta \\ -I_\beta & I_a \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} P3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4.26)$$

Denklem 4.24 ve denklem 4.25 yardımıyla denklem 4.26 a- β düzleminde anlık aktif gücün bileşenleri ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} V_{aq} \\ V_{\beta q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_a & I_\beta \\ -I_\beta & I_a \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ Q3 \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

Denklem 4.27 ile a- β düzleminde anlık sanal gücün bileşenleri ifade edilir.

a ekseninin anlık aktif gerilimi denklem 4.28 ile ifade edilir.

$$V_{ap} = (I_a / (I_a^2 + I_\beta^2)) P_3 \quad (4.28)$$

a ekseninin anlık sanal gerilimi denklem 4.29 ile ifade edilir.

$$V_{aq} = (-I_\beta / (I_a^2 + I_\beta^2)) Q_3 \quad (4.29)$$

β ekseninin anlık aktif gerilimi denklem 4.30 ile ifade edilir.

$$V_{\beta p} = (I_{\beta} / (I_a^2 + I_{\beta}^2)) P_3 \quad (4.30)$$

β ekseninin anlık sanal gerilimi denklem 4.31 ile ifade edilir.

$$V_{\beta q} = (I_a / (I_a^2 + I_{\beta}^2)) Q_3 \quad (4.31)$$

Denklem 4.32 yardımıyla referans gerilimler a- β düzleminde elde edilir. Aktif gücün dalgalı bileşeni ve sanal güç ifadeleri kullanılır.

$$\begin{bmatrix} V_{ca}^* \\ V_{c\beta}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{I_a^2 + I_{\beta}^2} \begin{bmatrix} I_a & -I_{\beta} \\ I_{\beta} & I_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} \quad (4.32)$$

Denklem 4.32 ile a- β düzleminde elde edilen referans gerilimler 3 fazlı V_{ca}^* , V_{cb}^* , V_{cc}^* referans gerilimlerine dönüştürülür. Elde edilen gerilimler daha sonra denklem 4.33 ile üç fazlı sistemin referans gerilimlerine dönüştürülür.

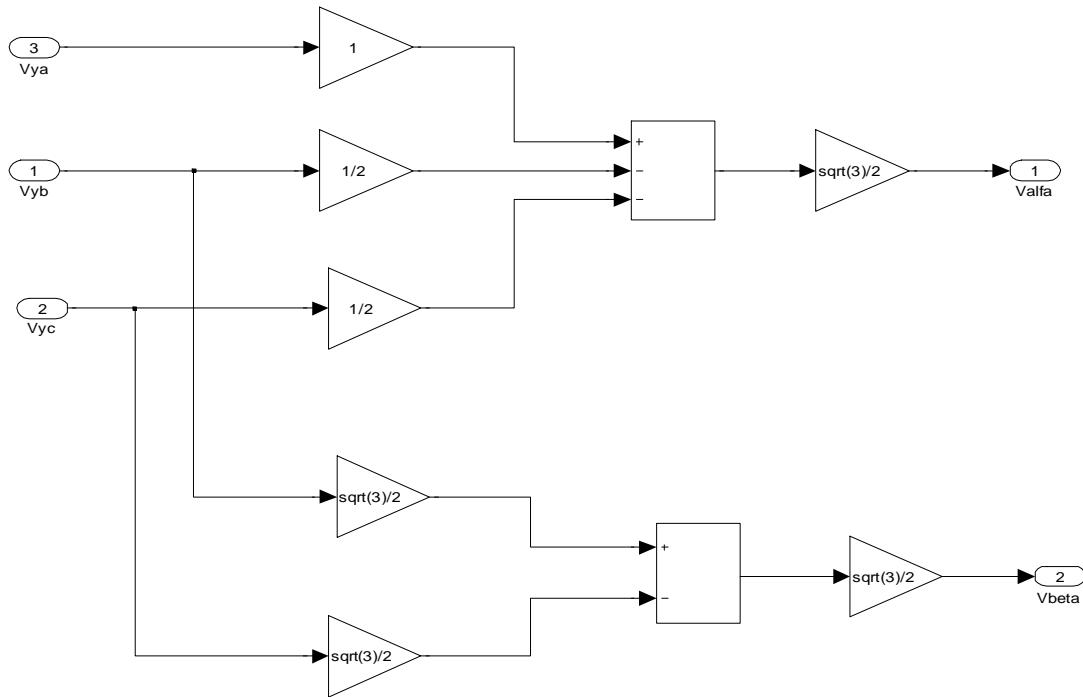
$$\begin{bmatrix} V_{ca}^* \\ V_{cb}^* \\ V_{cc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{ca}^* \\ V_{c\beta}^* \end{bmatrix} \quad (4.33)$$

Denklem 4.33 yardımıyla üç fazlı sistem için elde edilen referans gerilimleri ile seri aktif güç filtresinde A-B-C fazları için gerekli olan tetikleme sinyalleri üretilir.

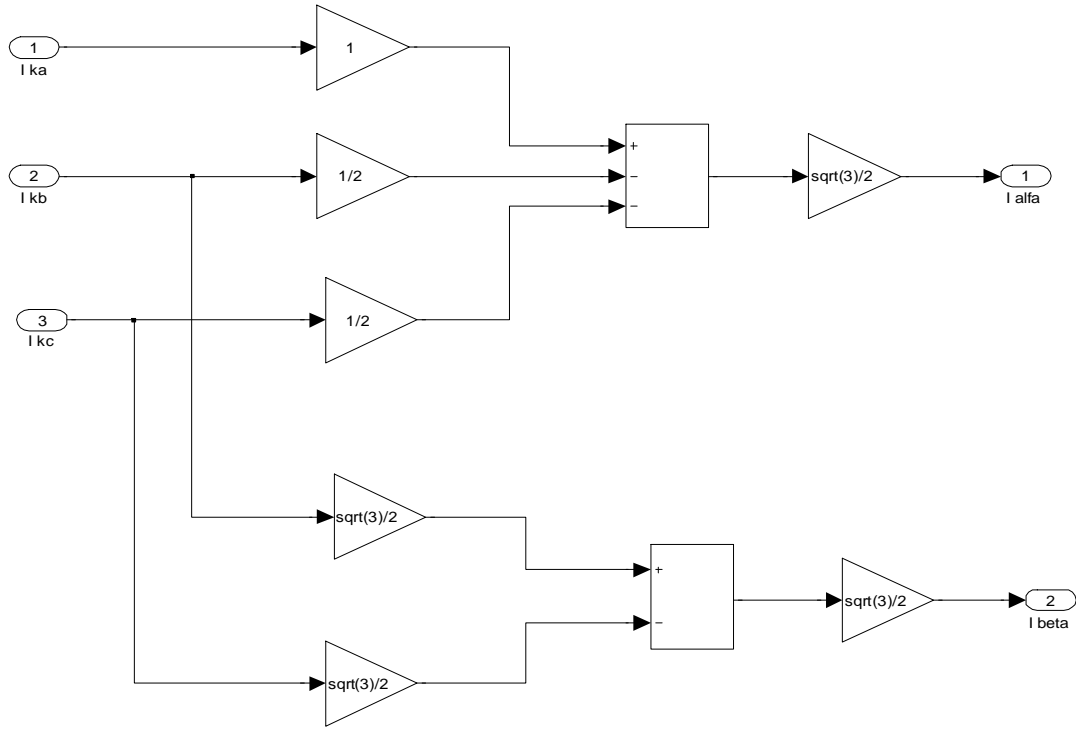
4.3. Anlık Reaktif Güç Teorisi Kontrolü İle Üç Fazlı Üç Telli SAGF' in Tasarımı Ve Simülasyonu

4.3.1. Anlık güçlerin hesaplanması

Şekil 4.4 ve şekil 4.5' de denklem (4.19) ve denklem (4.20) kullanılarak kaynak faz akımları ve yük gerilimlerini 3-fazlı a-b-c sisteminden 2-fazlı α - β durağan referans yapıya çeviren simulink blok diyagramları görülmektedir.

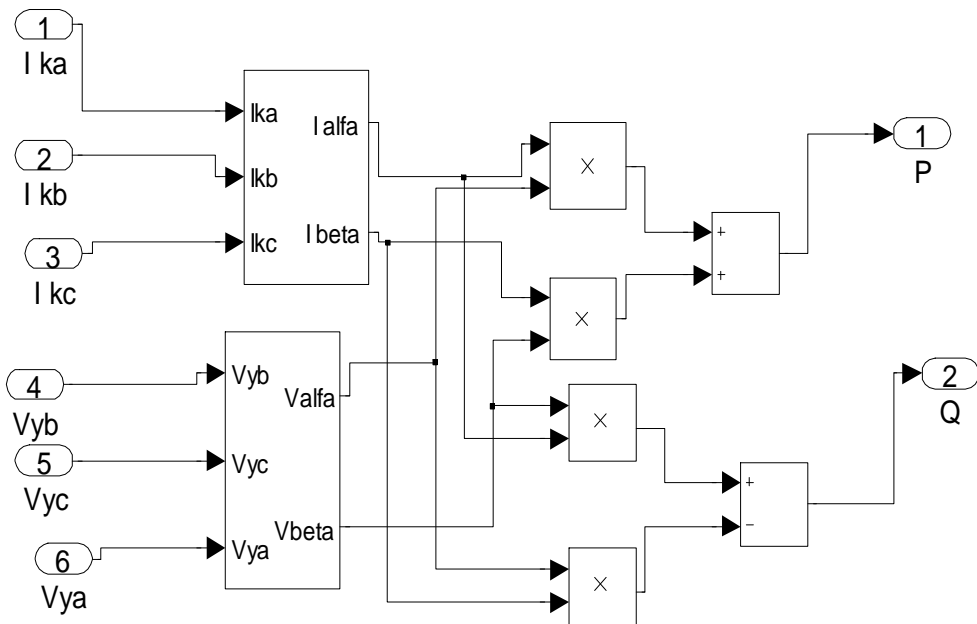


Şekil 4.3. Yük gerilimlerinin a-b-c koordinatlarından α - β referans yapıya dönüşüm blok diyagramı



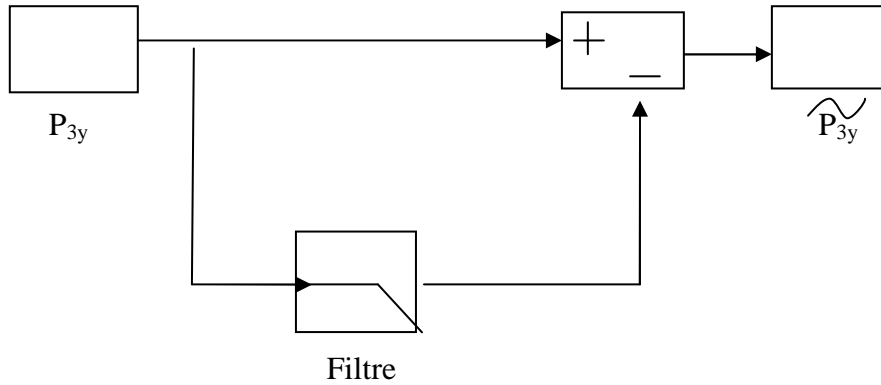
Şekil 4.4. Kaynak akımının a-b-c koordinatlarından α - β referans yapıya dönüşüm blok diyagramı

Akım ve gerilimler şekil 4.3 ve 4.4’de görüldüğü gibi 2 fazlı a- β durağan referans yapıya çevrilir. 2-fazlı α - β durağan referans yapıya çevrildikten sonra anlık reaktif güç teorisi kullanılarak yükün gerçek ve sanal güçleri hesaplanır. Denklem (4.21) ve denklem (4.22)’ e göre güçleri hesaplayan blok şekil 4.5’ de görülmektedir.



Şekil 4.5. Aktif ve reaktif güçleri hesaplayan blok diyagramı

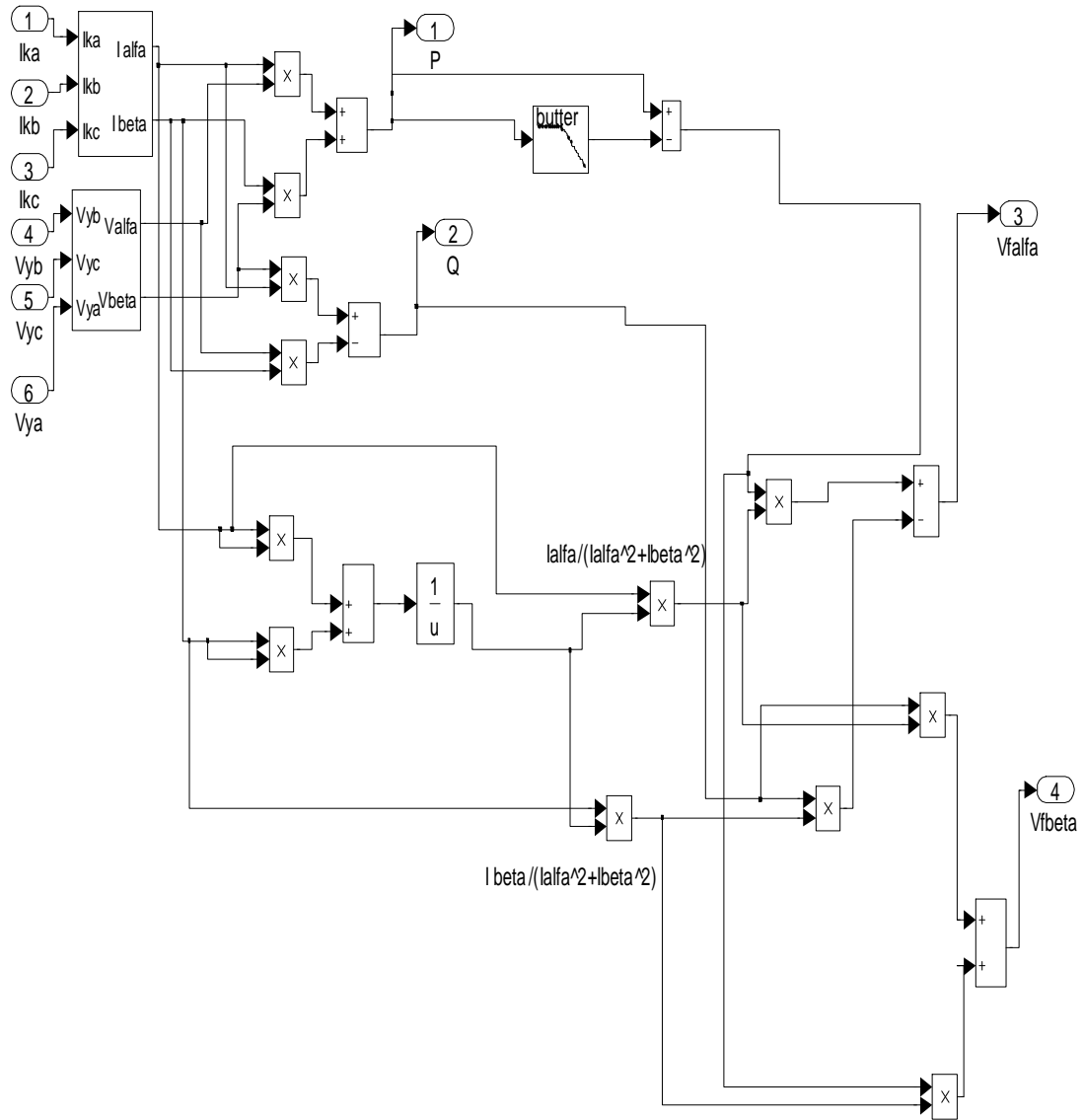
Aktif gücün dalgalı bileşenini bulmak için 4.mertebeden 50Hz kesim frekanslı alçak geçirgen filtre kullanılmıştır. Gerilim harmonik kompanzasyonu yapmak için aktif gücün dalgalı bileşenine ve reaktif güce ihtiyaç vardır. Aktif gücün dalgalı bileşeni \tilde{P}_{3y} ile gösterilir.



Şekil 4.6. 3-fazlı yükün çektiği aktif gücün dalgalı bileşenini bulan blok diyagramı

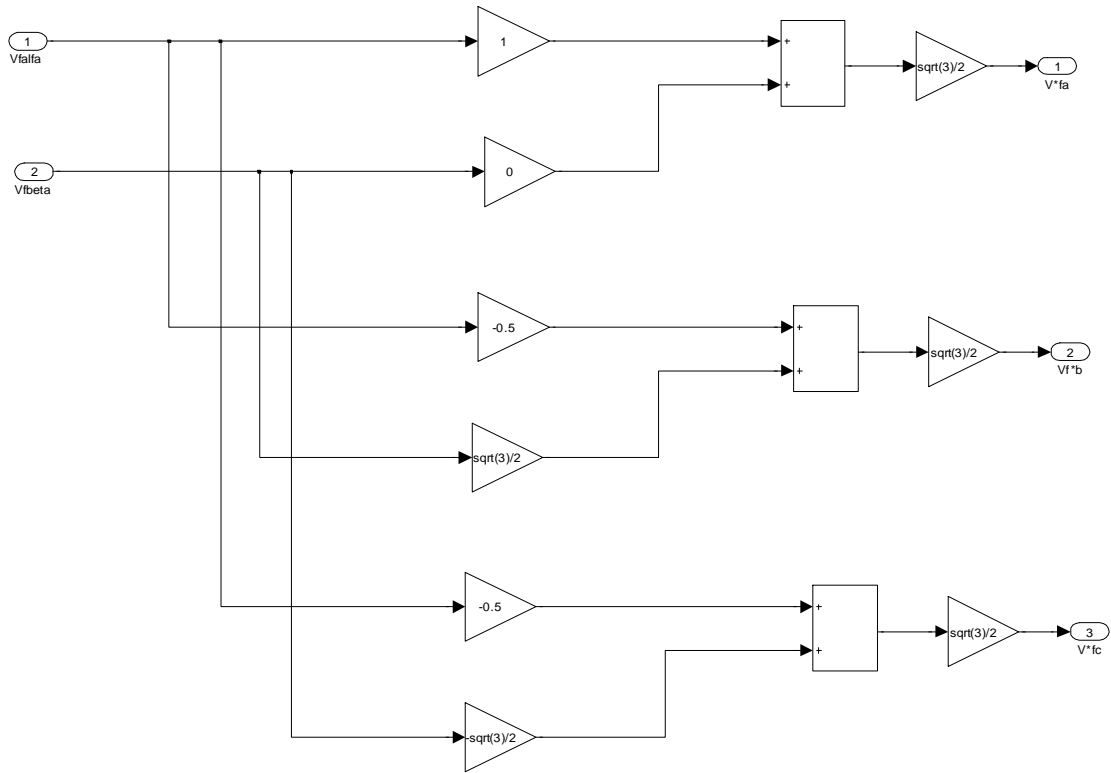
4.3.2. Referans gerilimlerin oluşturulması

Seri aktif filtre şebekeye gelen harmonikli gerilimi sinüsoidal dalga şekline dönüştürmek için sisteme enjekte etmesi gereken gerilimi referans gerilimler yardımıyla bulur. Aktif gücün dalgalı bileşeni ve reaktif güç denklem 4.24'de gösterildiği gibi hesaplamaya katılır. Seri aktif filtrenin ürettiği referans gerilimler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Referans gerilimler aktif filtrenin ihtiyacı olan tetikleme sinyallerinin oluşturulması için gereklidir. Şekildeki matlab bloğuyla seri aktif filtrede akım olarak kaynak akımları I_{ka} , I_{kb} , I_{kc} ve gerilim olarak da yük gerilimleri V_{ya} , V_{yb} , V_{yc} kullanılarak denklem 4.24 yardımıyla $a-\beta$ düzlemindeki V_{fa}^* , $V_{f\beta}^*$ referans gerilimleri elde edilir. Anlık güç teorisine göre $a-\beta$ düzleminde hesaplanan referans gerilimler daha sonra ters clarke dönüşümü ile 3 fazlı sistemdeki gerilimlere dönüştürülür.



Şekil 4.7 α - β kordinatlarında referans gerilimleri hesaplayan matlab bloğu

V_{fa}^* , V_{fb}^* referans gerilimleri hesaplandıktan sonra a - β düzlemindeki gerilimler denklem 4.23 yardımıyla V_{fa}^* , V_{fb}^* , V_{fc}^* 3 fazlı referans gerilimlere dönüştürülür. Bu dönüşümü gerçekleştiren matlab bloğu aşağıda görülmektedir.



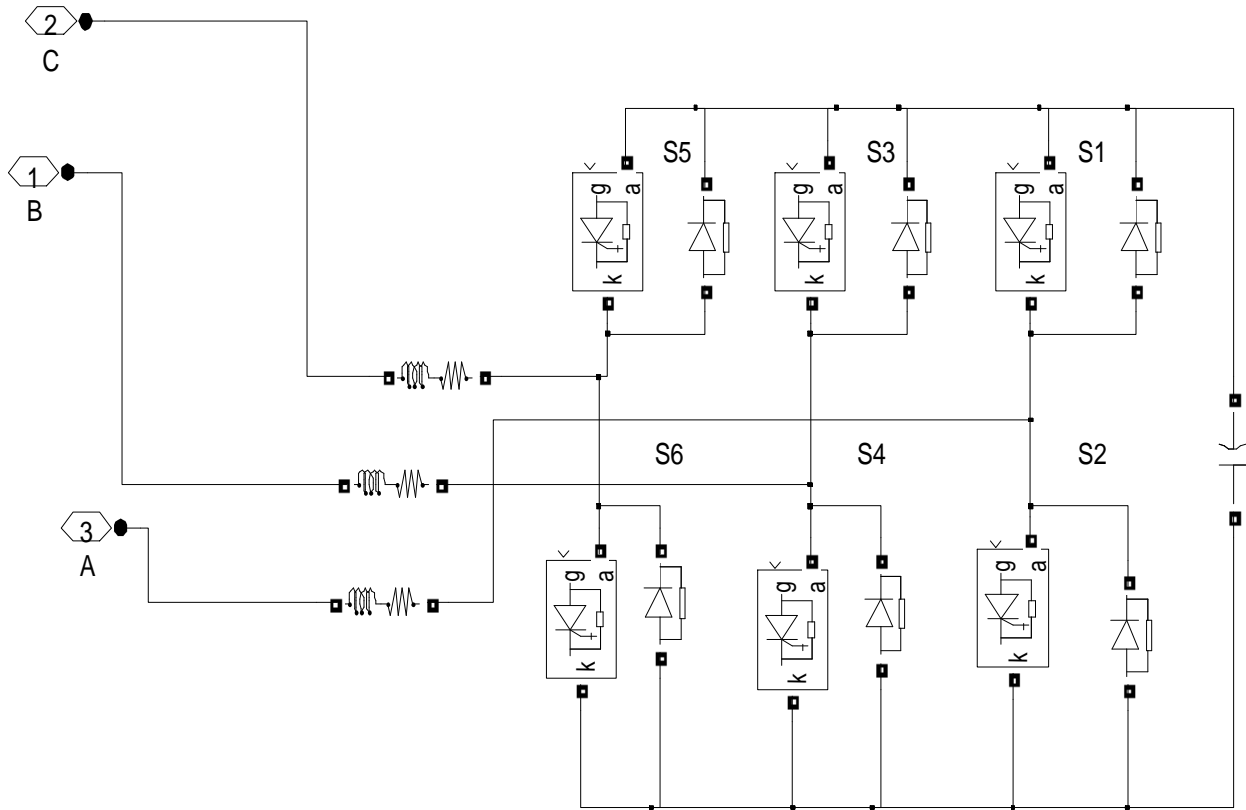
Şekil 4.8 Referans gerilimleri α - β kordinatlarından 3 fazlı a-b-c kordinatlarına dönüştüren matlab bloğu

4.3.3. Tetikleme sinyallerinin oluşturulması

Referans gerilimler hesaplandıktan sonra sıra tetikleme sinyallerinin oluşturulmasına gelir. Çıkış gerilimleri ile referans gerilimler karşılaştırılarak evirici çıkışındaki gerilim kontrol edilir. Hata sinyalleri histerezis denetleyiciye gider ve anahtarlama sinyalleri üretilir. Bu işlem her faz için gerçekleştirilir, bu şekilde her faza ait gerilim belirli sınırlar içinde tutulduğu için çıkış gerilimi referans gerilimi takip etmiş olur [14]. Seri aktif güç filtresinin güç devresinin fazındaki çıkış gerilimi diğer fazlara ait anahtarların durumuna göre değişmektedir. Aşağıda eviricinin anahtarlama durumuna göre gerilim değerleri gösterilmiştir.

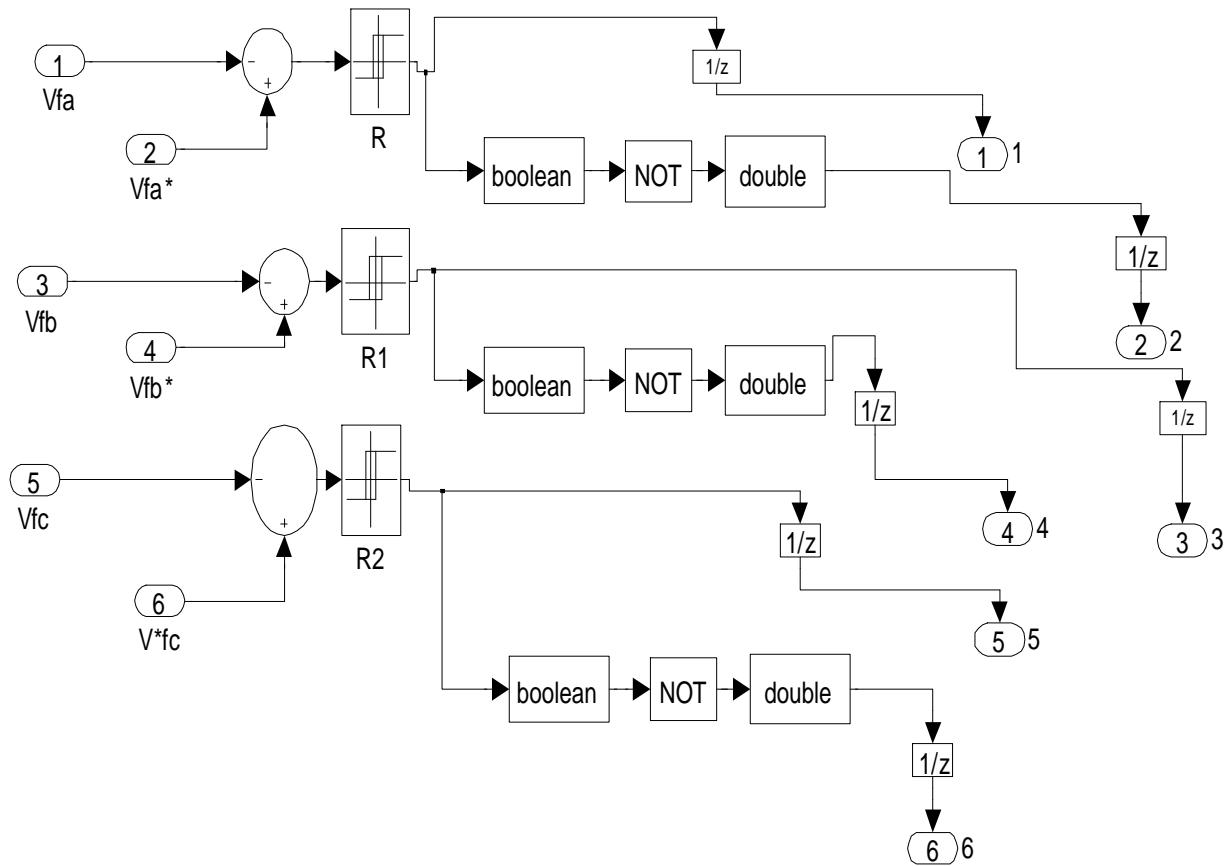
Tablo 4.1 Anahtarlama durumlarına göre a fazı gerilimi

Anahtarlama Durumu	Kapalı Anahtarlar	Faz Gerilimi (a fazı)
1	$S_1S_6S_3$	$16V_{da}$
2	$S_1S_5S_4$	$16V_{da}$
3	$S_1S_5S_3$	0
4	$S_1S_6S_4$	$16V_{da}$
5	$S_2S_6S_3$	$-13V_{da}$
6	$S_2S_5S_4$	$-0.6V_{da}$
7	$S_2S_5S_3$	$-12V_{da}$
8	$S_2S_6S_4$	0



Şekil 4.9 Anahtarlama blok yapısı

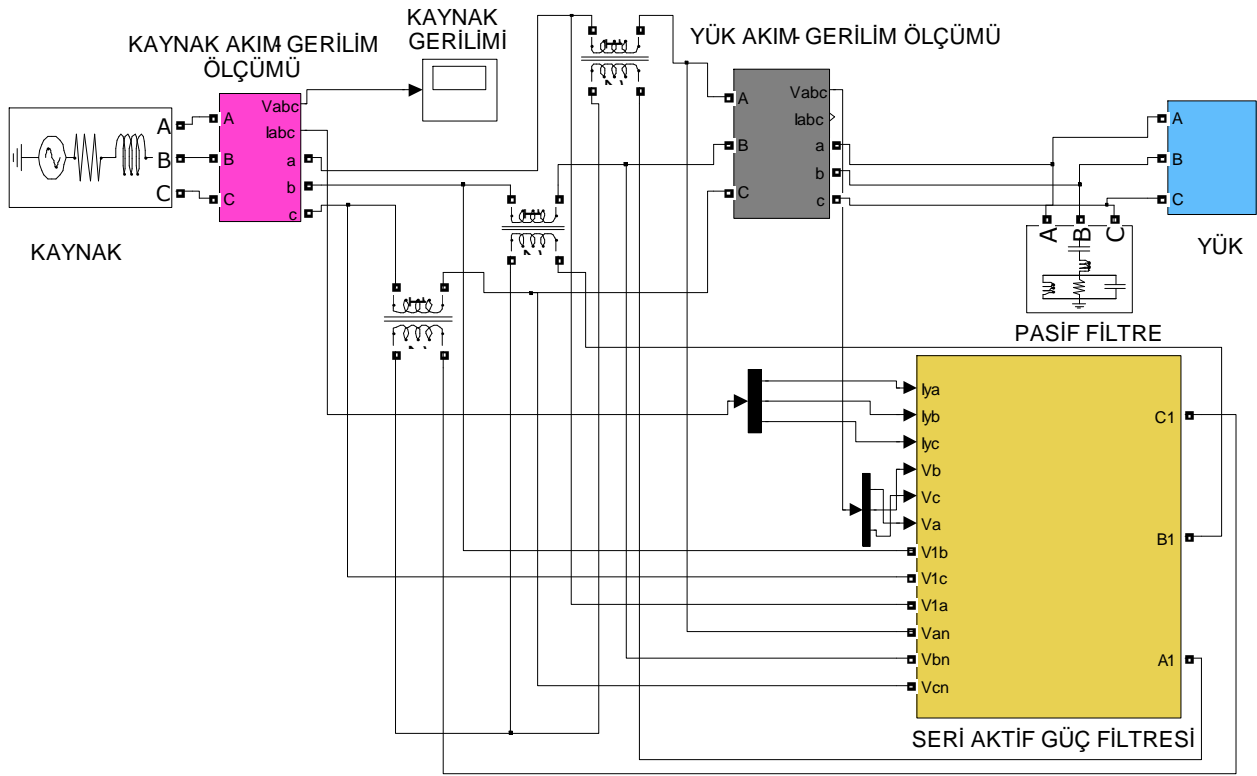
S₁ anahtarı kapandığında a- fazının gerilimi 0, 16V_{da} değerlerini alabilir. S₂ anahtarı kapatıldığında ise 0, -0.6, -12,-13 V_{da} değerlerini alabilir. V_{fa}^{*}, V_{fb}^{*}, V_{fc}^{*} filtre referans gerilimleri hesaplanır ve filtre gerilimleri ile karşılaştırılarak tetikleme sinyalleri oluşturulur. Histerezis eğrisi hata sinyallerini belirli sınırlar içinde tutmaya yarar. Histerezis eğrisinin bant aralığı 0.2 V seçilmiştir. Kaynak gerilimini belirli sınırlar içinde tutmak için (220 V_{rms}) S₁ anahtarı kapalı ya da açık konuma geçer. Şekil 4.10 ile tetikleme sinyallerini üreten blok diyagram gösterilmiştir.



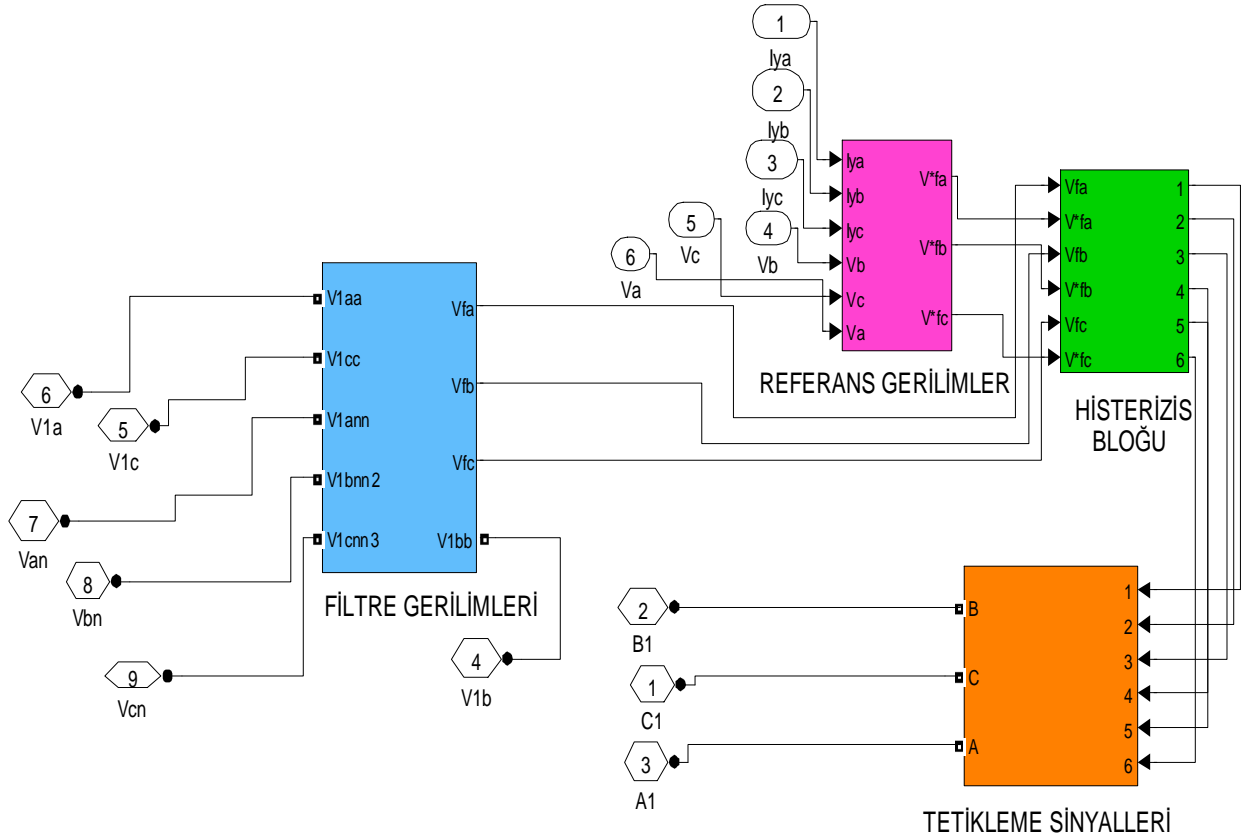
Şekil 4.10. Tetikleme sinyallerini üreten simulink blok diyagram

4.3.4. Seri aktif güç filtresinin simülasyonu

Seri aktif güç filtresi hem gerilim dengesizliğini yok eder, hem de gerilim harmoniğini yok eder. Bu çalışmada seri aktif güç filtresi paralel pasif filtre ile birlikte kullanılmıştır. 3. ve 5. harmonikler için paralel pasif filtre kullanılmıştır. Seri



Şekil 4.12. Dengeli kaynak durumunda seri aktif filtre simulink devre şeması



Şekil 4.13. Dengeli kaynak durumunda seri aktif filtrenin iç döngü şemasını gösteren simulink devre şeması

Dengeli gerilim durumunda SAGF Parametre değerleri:

Dengeli kaynak gerilimle beslenen sistemde seri aktif filtrenin parametreleri aşağıda listelenmiştir.

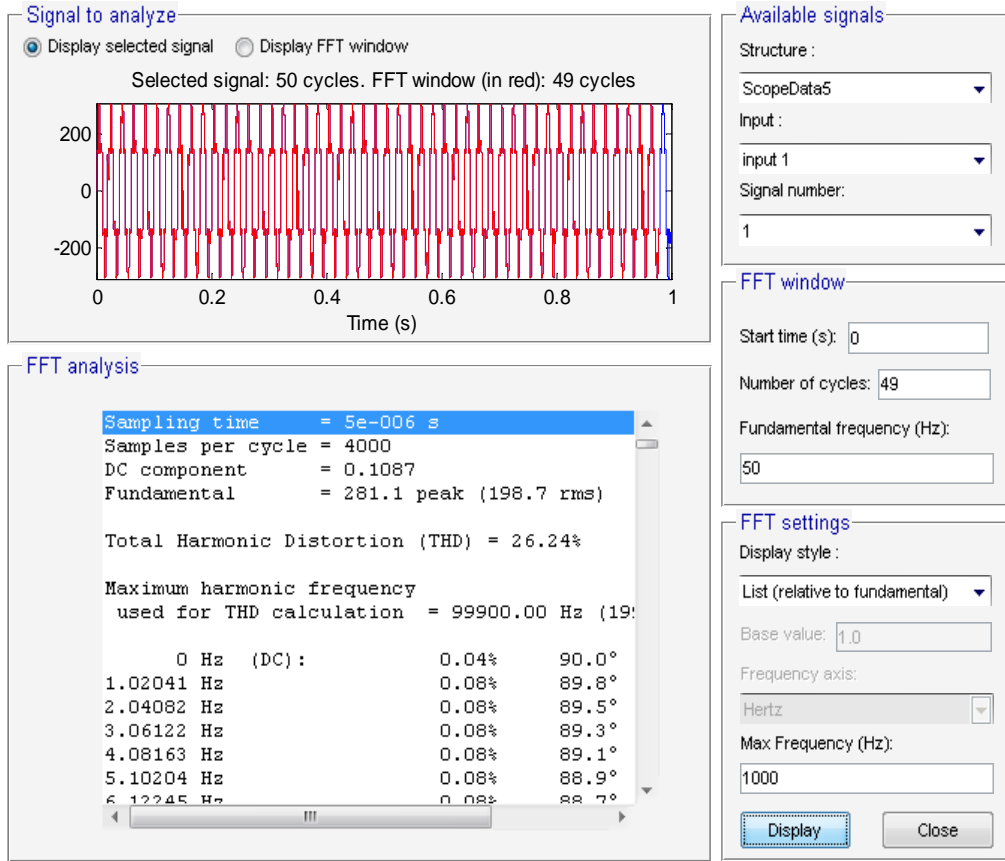
Tablo 4.2 Dengeli gerilim durumunda SAGF parametre değerleri

KAYNAK GERİLİMİ	$220\sqrt{3} V_{rms}$ Faz-Faz
KAYNAK FREKANSI	50 Hz
KAYNAK EMPEDANSI (R_k, L_k)	$1e-2 \Omega$ $1e-3$ H
YÜK EMPEDANSI (R_Y, C_Y)	2Ω $1e-6$ F
SAGF HİSTERİZİS BANT ARALIĞI	0.2 V
SAGF EMPEDANSI (R_f, L_f)	$1e-2 \Omega$ $1e-3$ H
SAGF KONDANSATÖR	5000 μ F
TRANSFORMATÖR ÇEVİRME ORANI	1

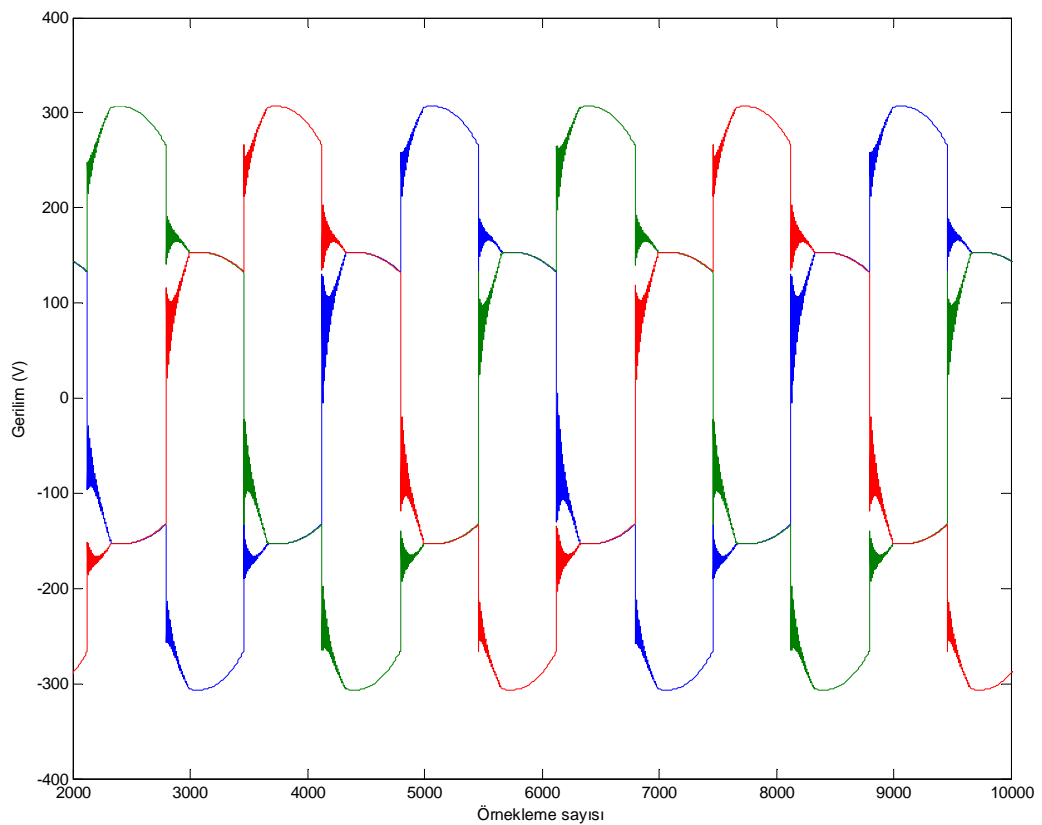
SAGF bu çalışmada 3. Ve 5. Harmonikler için 20 kVAR gücünde ikinci mertebeden sönümlü pasif filtre ile birlikte kullanılmıştır. Pasif filtrenin kalite faktörü 16 seçilmiştir.

Dengeli gerilim durumunda SAGF simülasyon sonuçları:

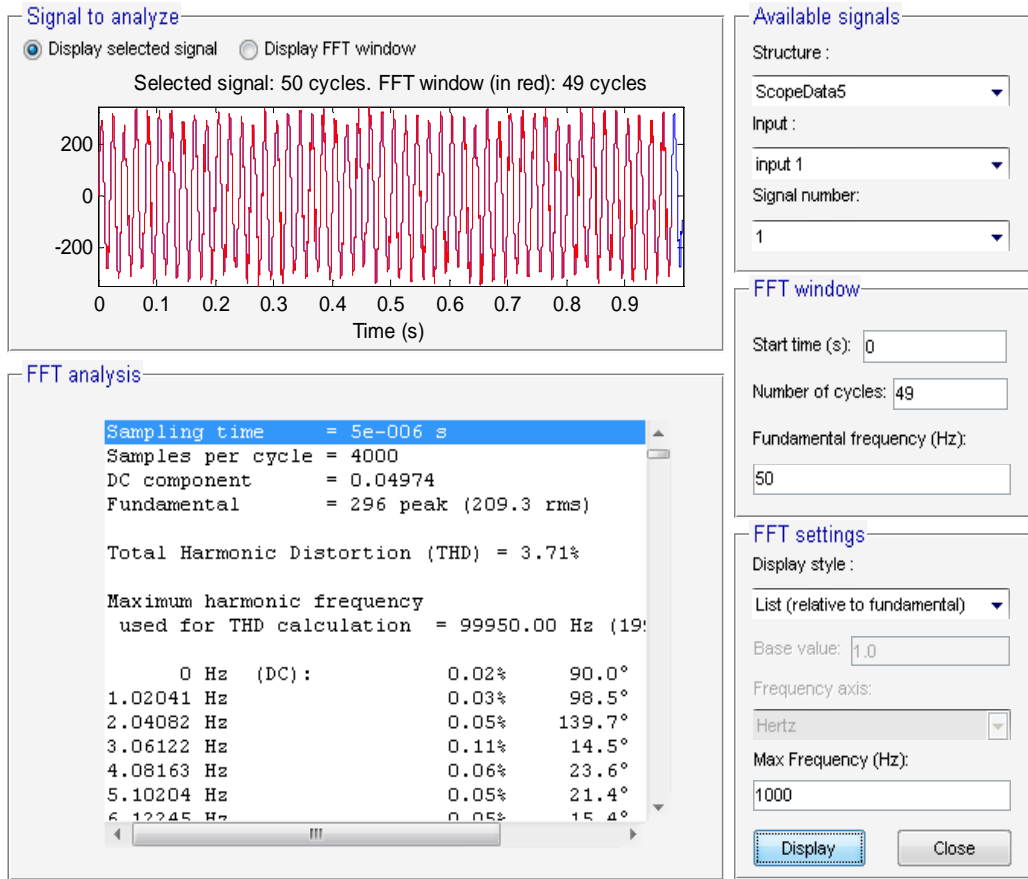
SAGF matlab programı çalıştırıldığında kaynak gerilimindeki bozulma filtreli ve filtresiz durumlar için aşağıdaki değerleri alır.



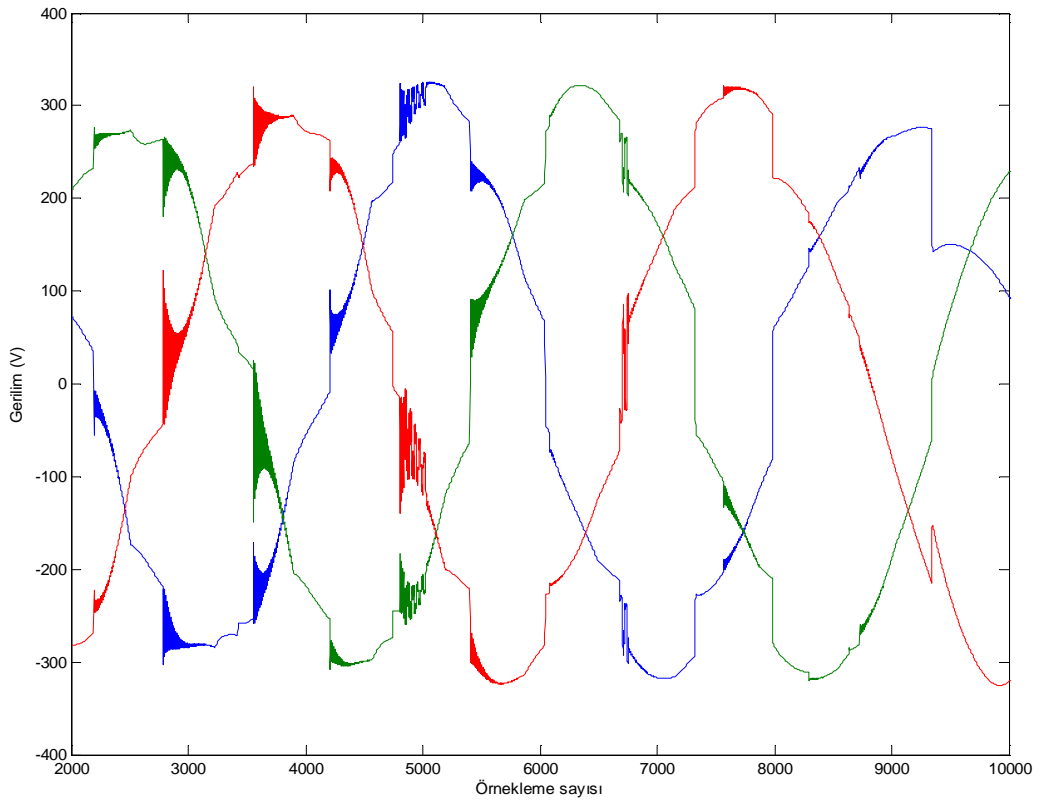
Şekil 4.14. 3-Fazlı dengeli kaynak gerilimli sistemde a-fazına ait kaynak gerilimi ve % THD'si



Şekil 4.15. 3-Fazlı dengeli kaynak gerilimli sistemde kaynak gerilimleri



Şekil 4.16. 3-Fazlı dengeli kaynak gerilimli sistemde filtreli durumda a fazı kaynak gerilimi ve % THD'si



Şekil 4.17. 3-Fazlı dengeli kaynak gerilimli sistemde filtreli durumda kaynak gerilimleri

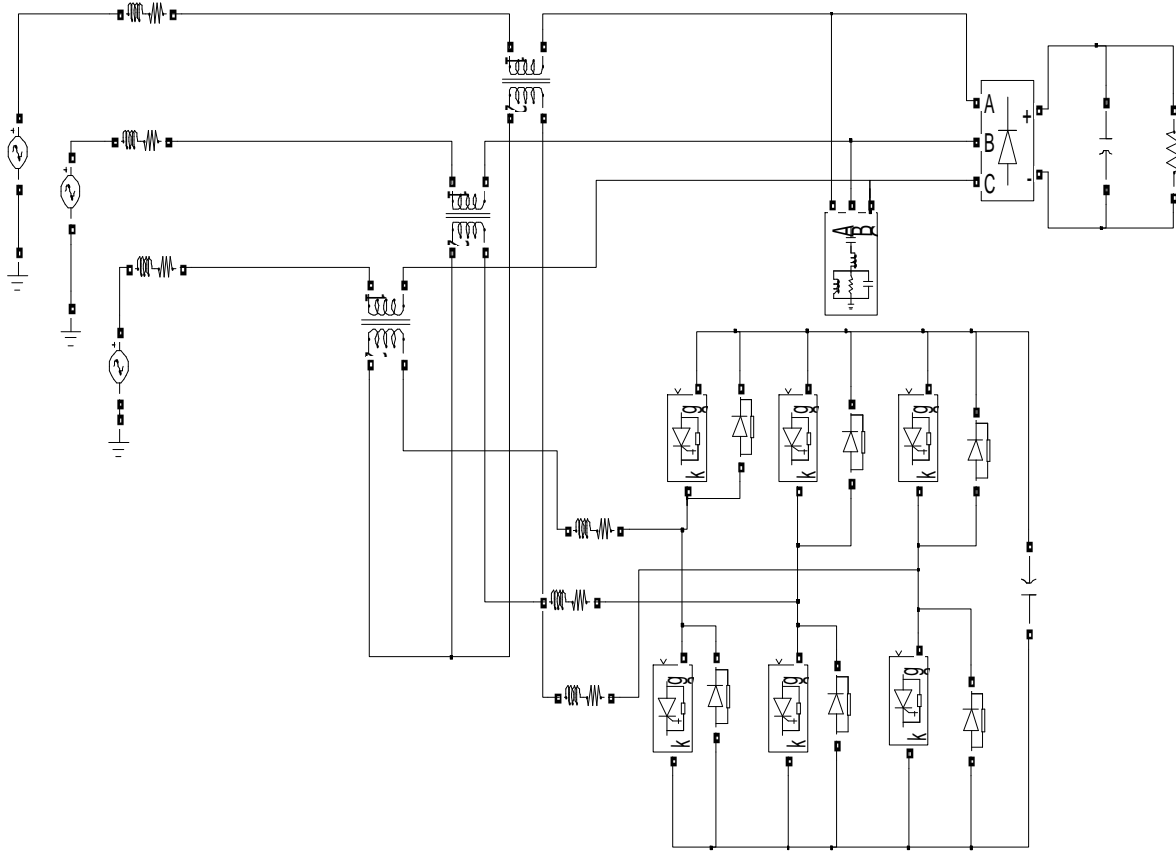
Tablo 4.3 Dengeli gerilim durumunda filtreli ve filtresiz durumlarda faz gerilimlerinin % THD değerleri

Faz	Seri Aktif Filtrenin Bağlı Olmadığı Durumda % THD _v	Seri Aktif Filtrenin Bağlı Olduğu Durumda % THD _v
A	26.24	3.86
B	26.34	3.55
C	26.35	3.80

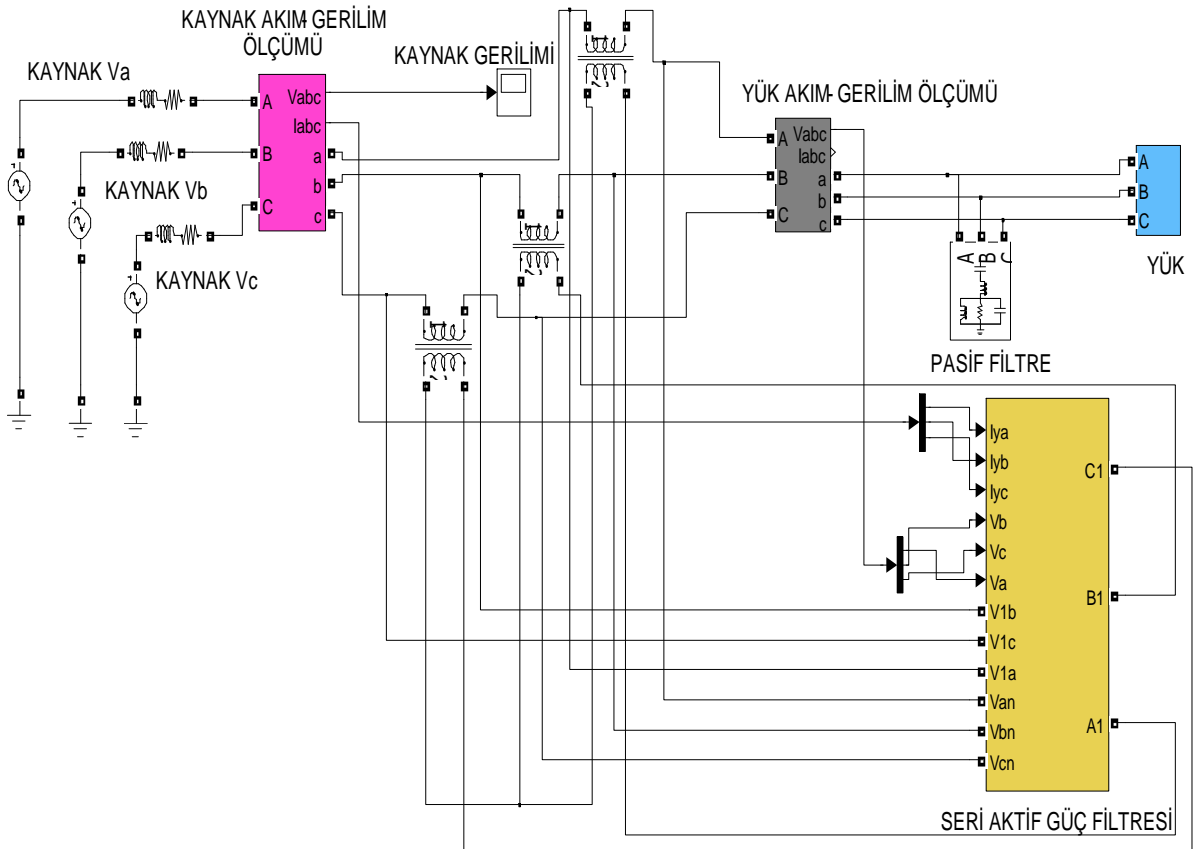
Tablo 4.3’de görüldüğü gibi filtresiz durumda a-fazı % THD_v değeri 26.24 , b-fazı 26.34, c-fazı ise 26.35’dir. Filtre konulup sistem çalıştırıldığında ise % THD_v değerleri a-fazı için 3.86’ ya, b-fazı için 3.55’e, c-fazı için ise 3.80’e düşmüştür. Şekil 4.15 ile şekil 4.17 karşılaştırıldığında ise gerilim eğrisinin sinüsoidal dalga şekline benzetildiği anlaşılmaktadır. Bu devrede simülasyonun b-fazı için diğer fazlara nazaran daha iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır.

4.3.4.2. Dengesiz gerilim durumunda SAGF devre modeli

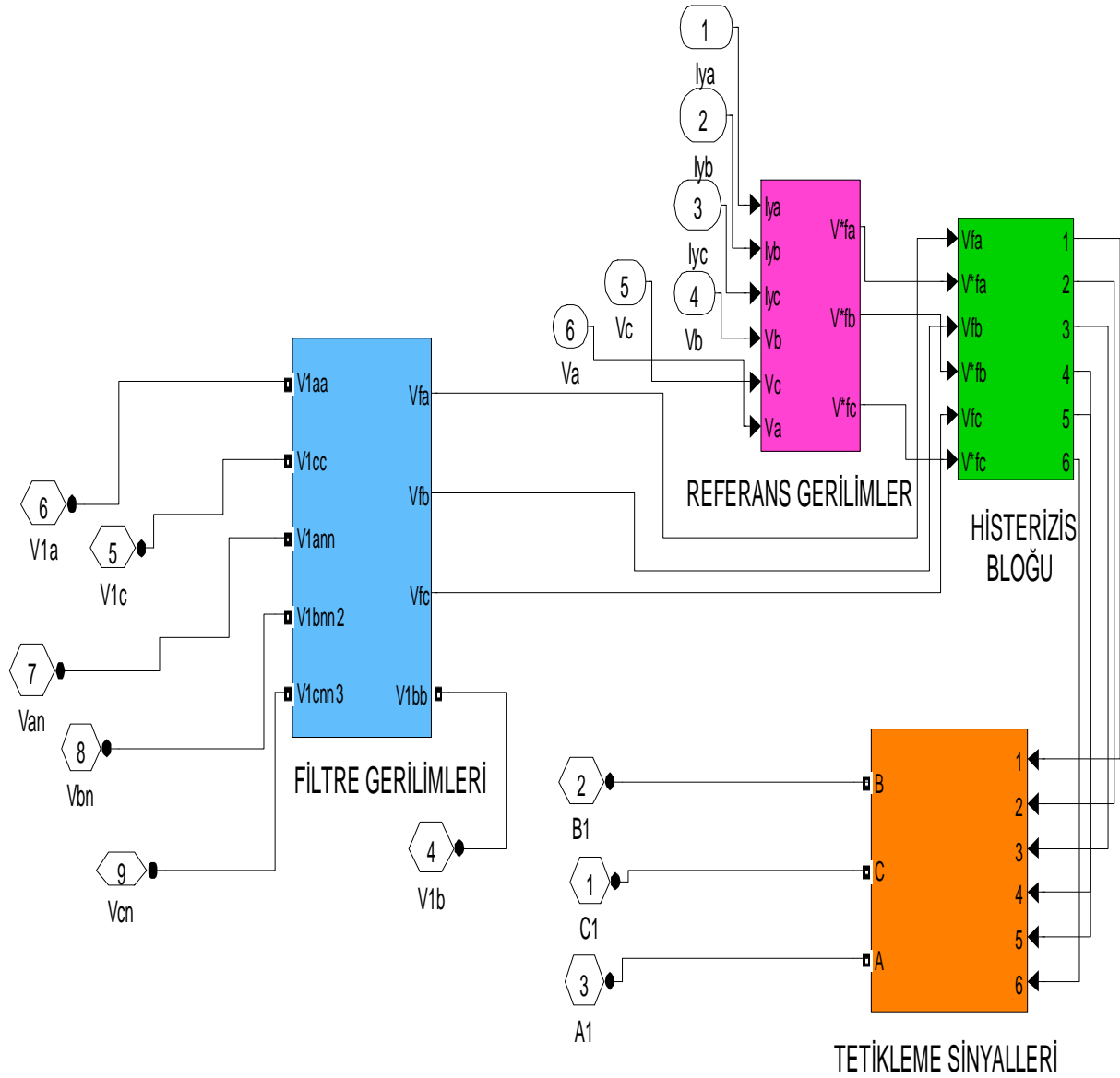
Şekilde SAGF bağlantı şekli , devre modeli gösterilmektedir. Kaynak gerilimi a fazı için 240 V_{rms} faz-nötr, b fazı için 200 V_{rms} faz-nötr, c fazı için ise 220 V_{rms} faz-nötr seçilmiştir. SAGF pasif filtre ile birlikte kullanılmıştır.



Şekil 4.18. Dengesiz kaynak durumunda seri aktif filtre devre bağlantı şeması



Şekil 4.19. Dengesiz kaynak durumunda seri aktif filtre simulink devre şeması



Şekil 4.20. Dengesiz kaynak durumunda seri aktif filtrenin iç döngü şemasını gösteren simulink devre şeması

Dengesiz gerilim durumunda SAGF Parametre değerleri:

Dengesiz kaynak gerilimle beslenen sistemde seri aktif filtrenin parametre değerleri aşağıda listelenmiştir.

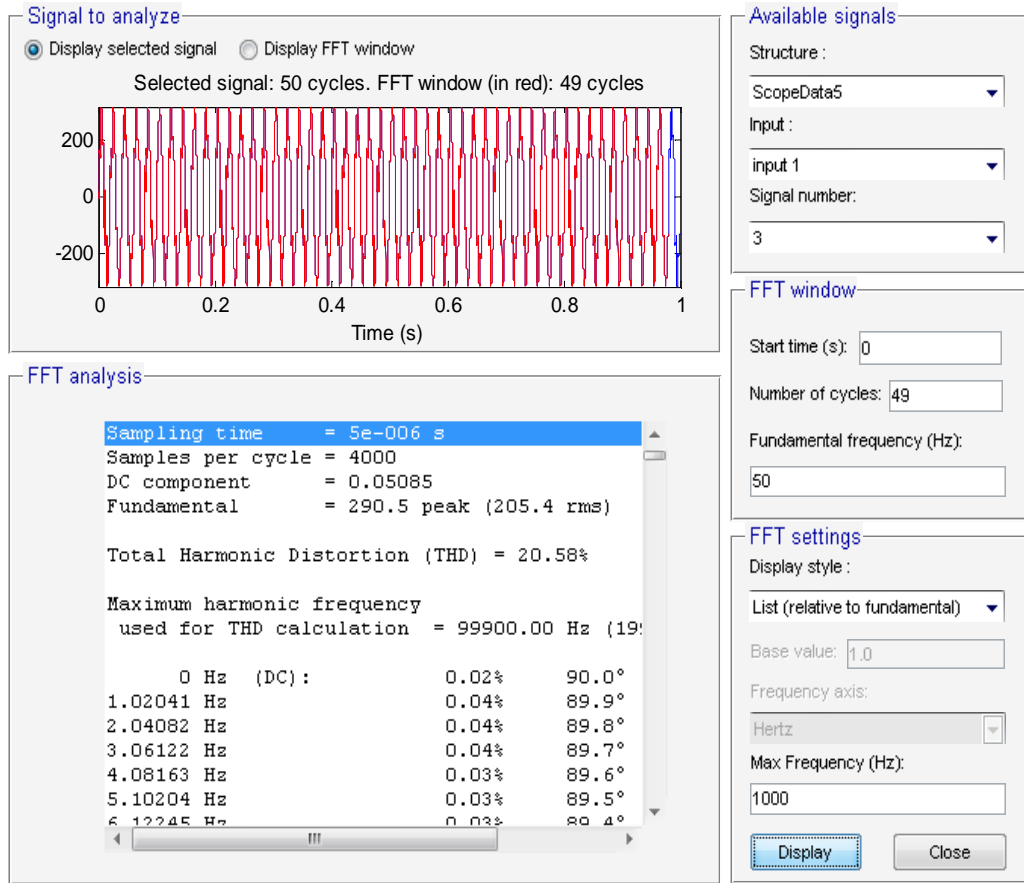
Tablo 4.4 Dengesiz gerilim durumunda SAGF parametre değerleri

KAYNAK GERİLİMİ V_a	240 V_{rms} Faz-Nötr
KAYNAK GERİLİMİ V_b	200 V_{rms} Faz-Nötr
KAYNAK GERİLİMİ V_c	220 V_{rms} Faz-Nötr
KAYNAK FREKANSI	50 Hz
KAYNAK EMPEDANSI (R_k, L_k)	1e-2 Ω 1e-3 H
YÜK EMPEDANSI (R_Y, C_Y)	3.2 Ω 1e-6 F
SAGF HİSTERİZİS BANT ARALIĞI	0.2 V
SAGF EMPEDANSI (R_f, L_f)	1e-2 Ω 1e-3 H
SAGF KONDANSATÖR	5000 μ F
TRANSFORMATÖR ÇEVİRME ORANI	1

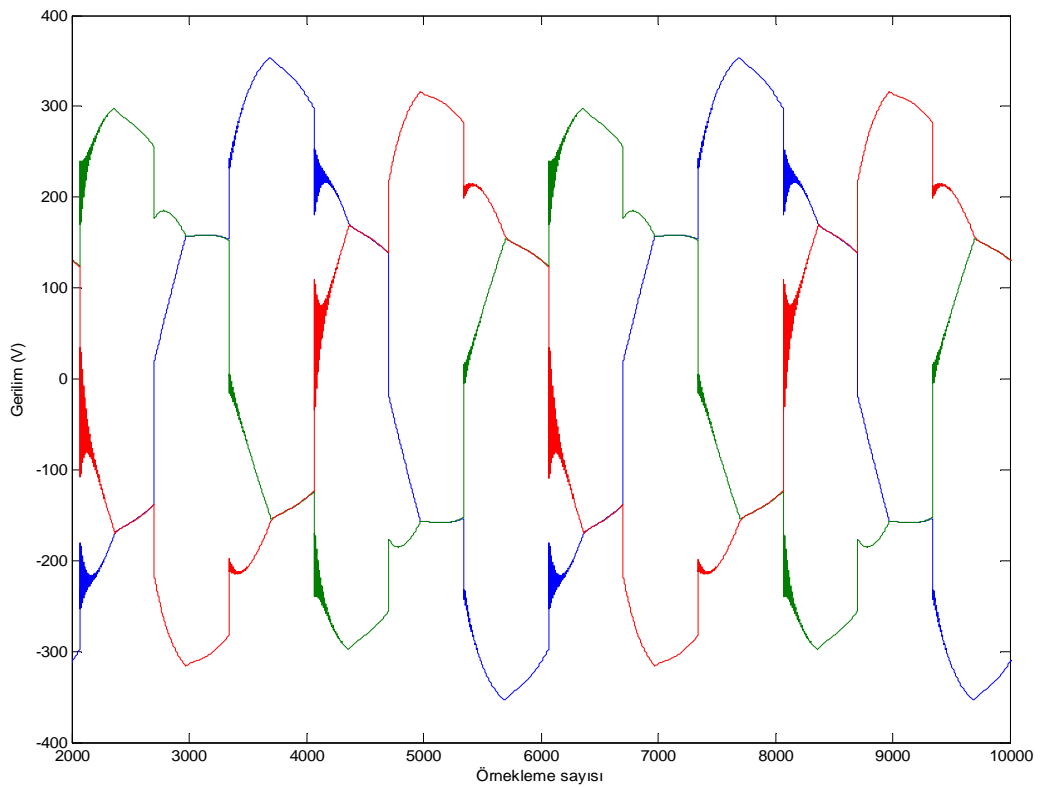
SAGF 3. Ve 5. Harmonikler için 20 kVAR gücünde ikinci mertebeden sönümlü pasif filtre ile birlikte kullanılmıştır. Pasif filtrenin kalite faktörü 16 seçilmiştir.

Dengesiz gerilim durumunda SAGF simülasyon sonuçları:

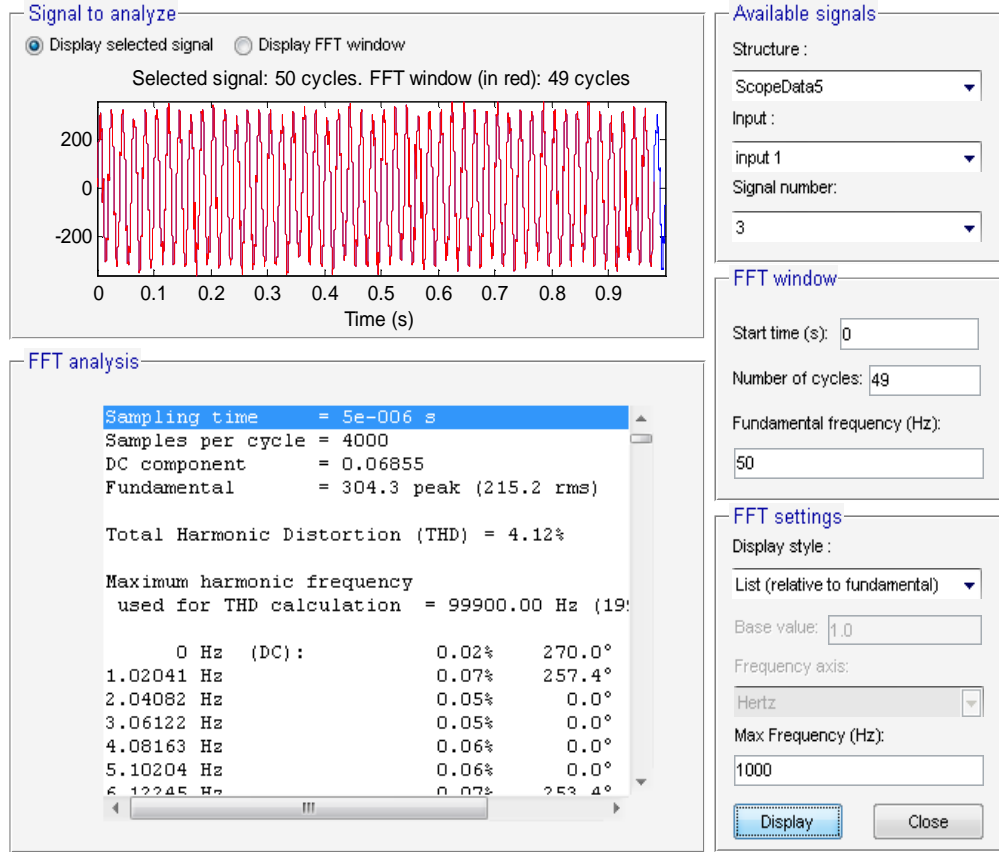
SAGF matlab programı çalıştırıldığında kaynak gerilimindeki bozulma filtreli ve filtresiz durumlar için aşağıdaki değerleri alır.



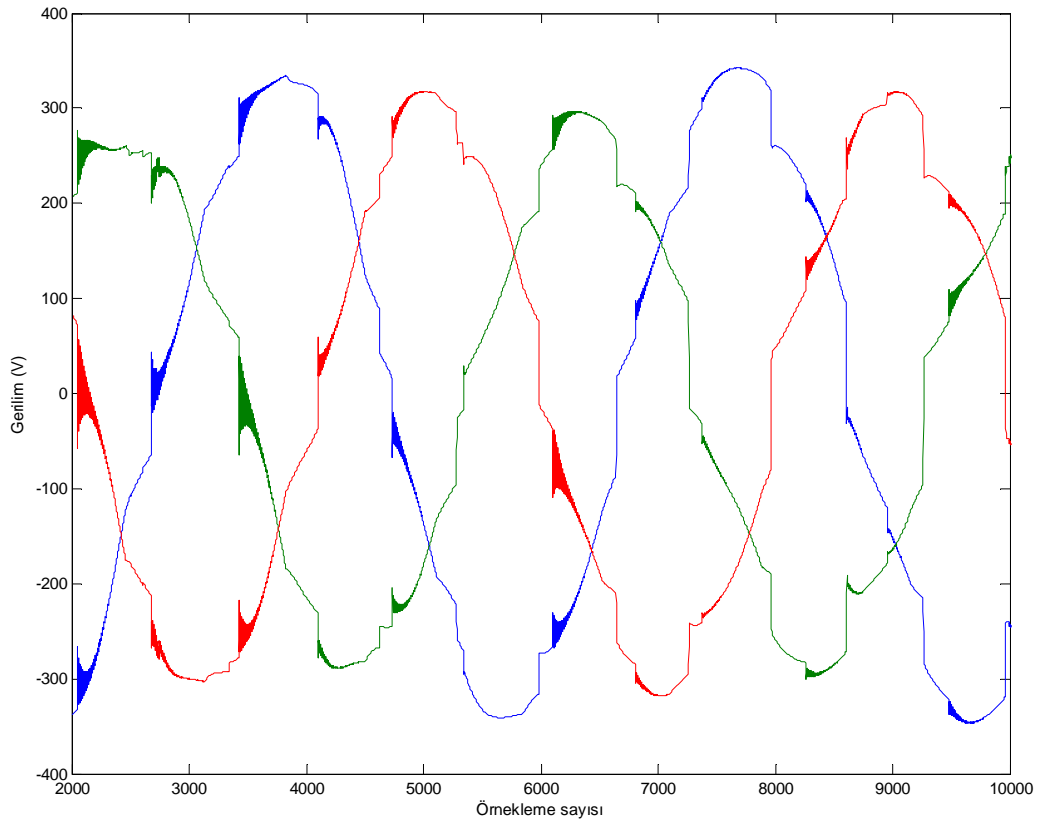
Şekil 4.21. 3-Fazlı dengesiz kaynak gerilimli sistemde c-fazına ait kaynak gerilimi ve % THD'si



Şekil 4.22. 3-Fazlı dengesiz kaynak gerilimli sistemde kaynak gerilimleri



Şekil 4.23. 3-Fazlı dengesiz kaynak gerilimli sistemde filtreli durumda c-fazına ait kaynak gerilimi ve % THD'si



Şekil 4.24. 3-Fazlı dengesiz kaynak gerilimli sistemde filtreli durumda kaynak gerilimleri

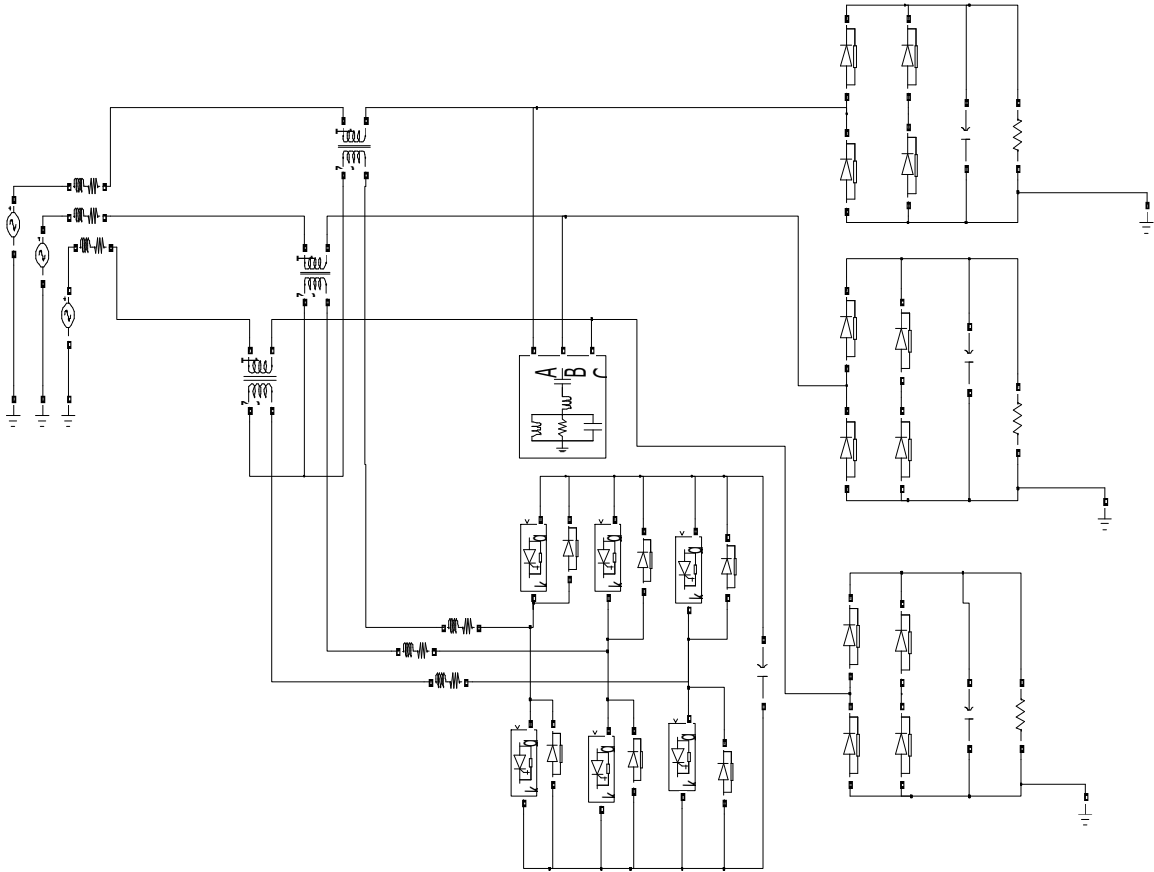
Tablo 4.5 Dengesiz gerilim durumunda filtreli ve filtresiz durumlarda faz gerilimlerinin % THD değerleri

Faz	Seri Aktif Filtrenin Bağlı Olmadığı Durumda % THD	Seri Aktif Filtrenin Bağlı Olduğu Durumda % THD
A	18.34	3.81
B	22.87	4.52
C	20.58	4.12

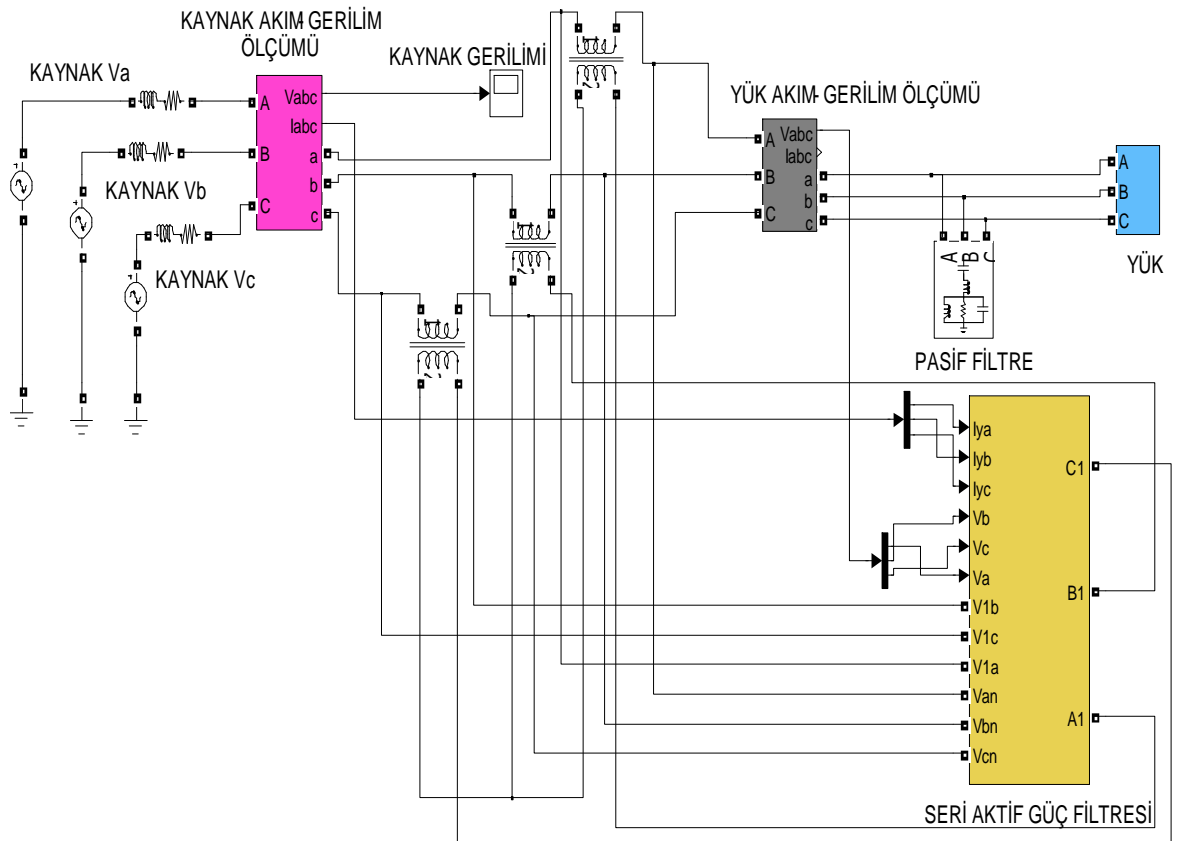
Tablo 4.5’de görüldüğü gibi filtresiz durumda a-fazı % THD_V değeri 18.34 , b-fazı 22.87, c-fazı ise 20.58’dir. Filtre konulup sistem çalıştırıldığında ise % THD_V değerleri a-fazı için 3.81’e, b-fazı için 4.52’ye, c-fazı için ise 4.12’ye düşmüştür. Şekil 4.22 ile şekil 4.24 karşılaştırıldığında ise gerilim eğrisinin sinüsoidal dalga şekline benzetildiği anlaşılmaktadır. Bu devrede simülasyonun b-fazı için diğer fazlara nazaran daha iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır.

4.3.4.3. Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda SAGF devre modeli

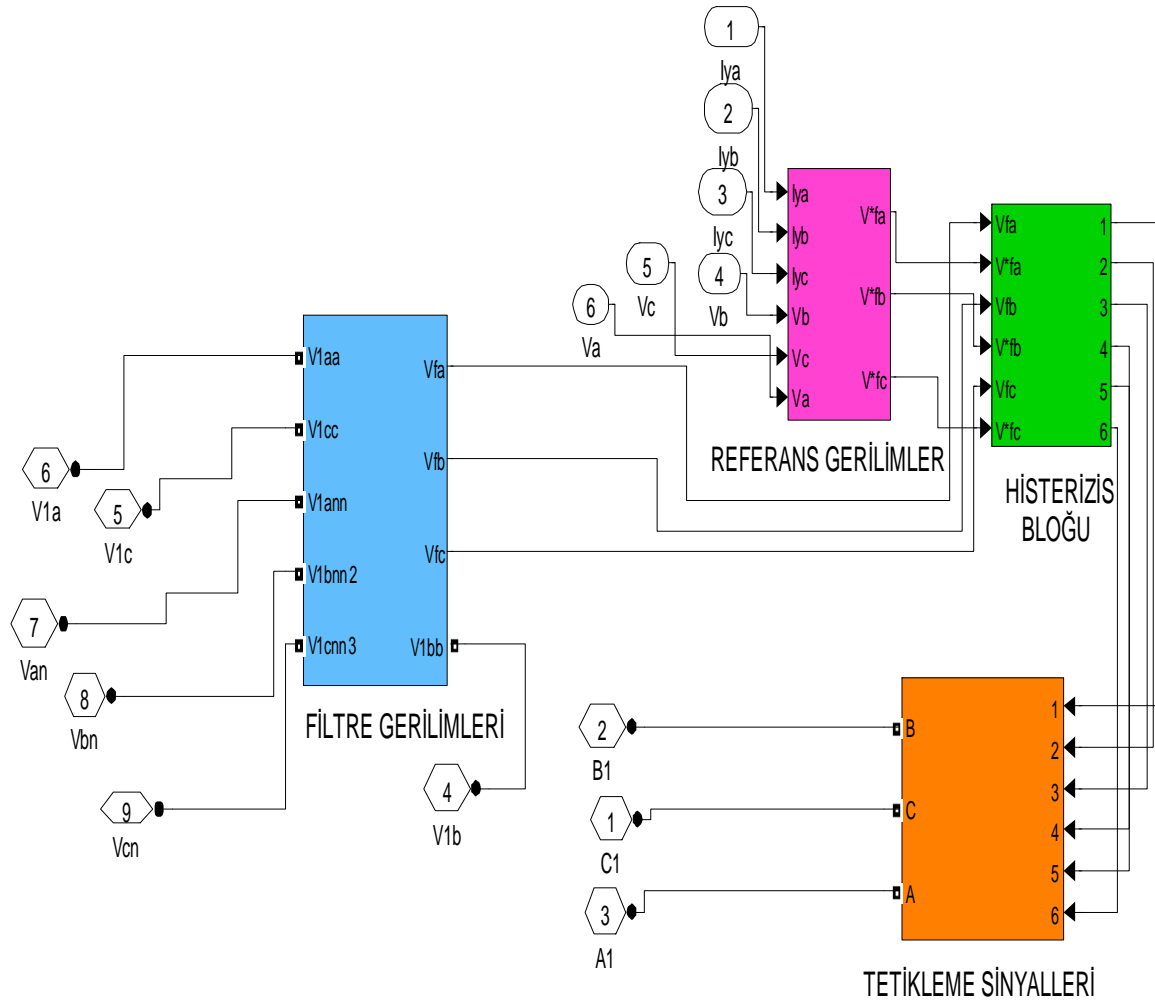
Şekilde SAGF bağlantı şekli , devre modeli gösterilmektedir. Her faza farklı yükler bağlanmıştır. A-fazına 2.15Ω $1e-7$ F, b-fazına 2.35Ω $1e-6$ F, c-fazına 2.2Ω $1e-5$ F kapasitif yük bağlanmıştır. Kaynak gerilimi $220 V_{rms}$ faz-nötr seçilmiştir. SAGF pasif filtre ile birlikte kullanılmıştır.



Şekil 4.25. Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda seri aktif filtre devre bağlantı şeması



Şekil 4.26. Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda seri aktif filtre simülük devre şeması



Şekil 4.27. Dengeli kaynak durumunda seri aktif filtrenin iç döngü şemasını gösteren simulink devre şeması

Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda SAGF Parametre değerleri:

Dengeli gerilim ve her faza ayrı yük durumunda seri aktif filtrenin parametre değerleri aşağıda listelenmiştir.

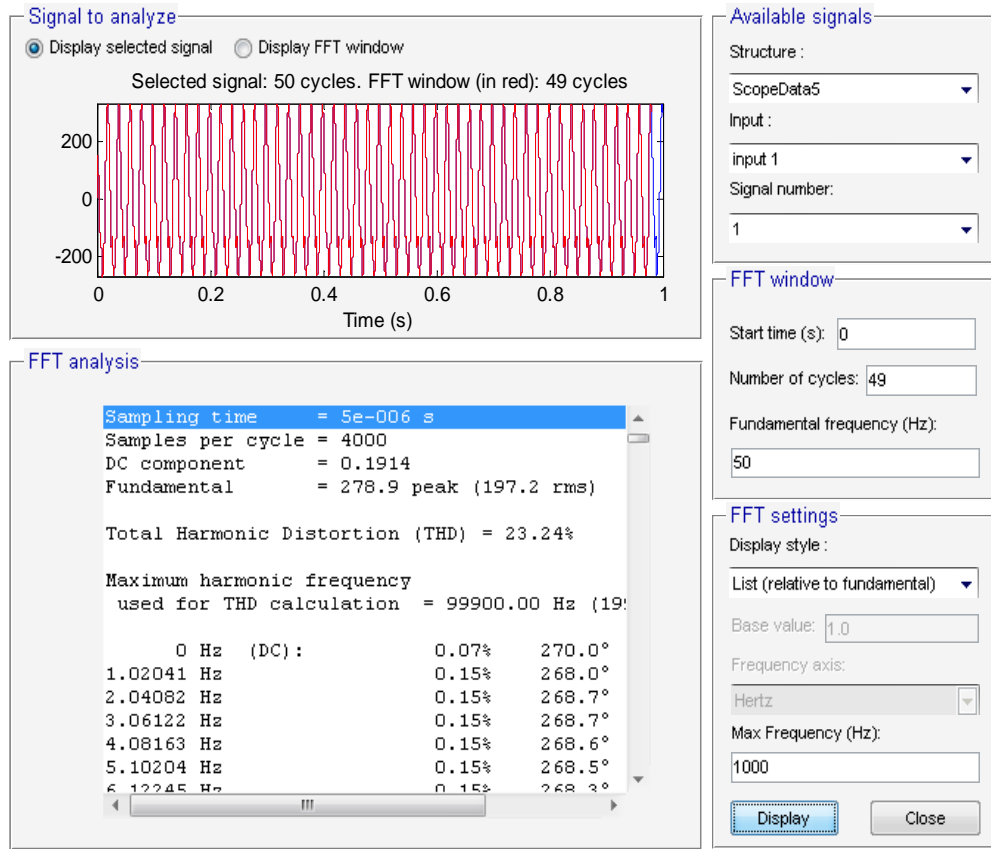
Tablo 4.6 Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda SAGF parametre değerleri

KAYNAK GERİLİMİ V_a	220 V_{rms} Faz-Nötr
KAYNAK FREKANSI	50 Hz
KAYNAK EMPEDANSI (R_k, L_k)	1e-2 Ω 1e-3 H
YÜK EMPEDANSI (R_{YA}, C_{YA})	2.15 Ω 1e-7 F
YÜK EMPEDANSI (R_{YB}, C_{YB})	2.35 Ω 1e-6 F
YÜK EMPEDANSI (R_{YC}, C_{YC})	2.2 Ω 1e-5 F
SAGF HİSTERİZİS BANT ARALIĞI	0.2 V
SAGF EMPEDANSI (R_F, L_f)	1e-2 Ω 1e-3 H
SAGF KONDANSATÖR	5000 μ F
TRANSFORMATÖR ÇEVİRME ORANI	1

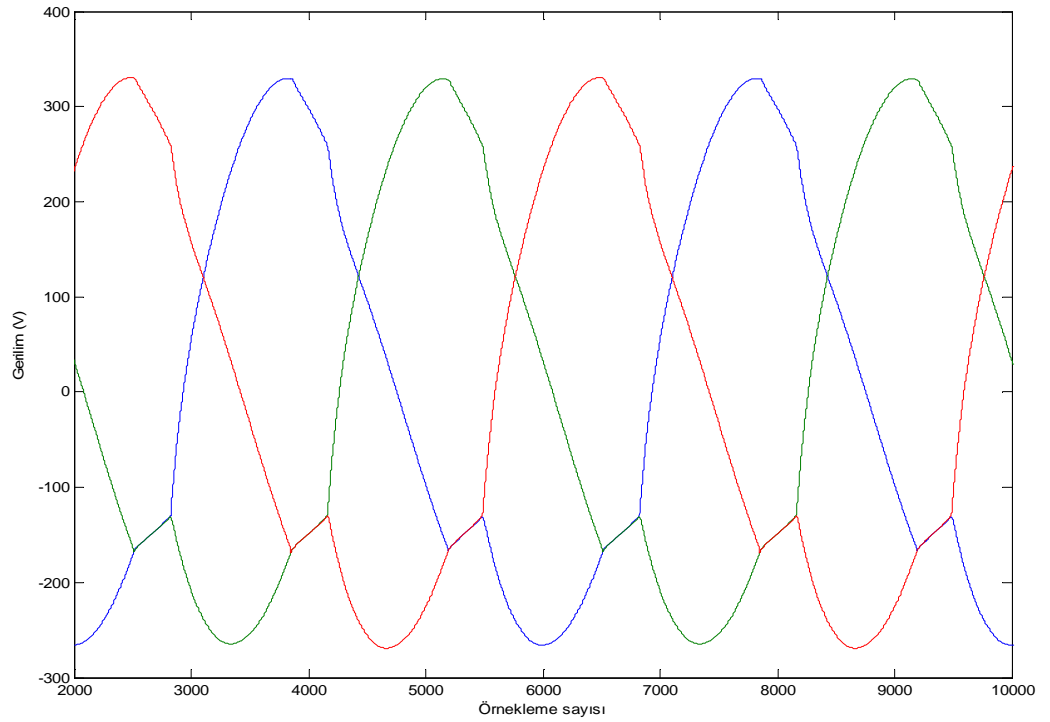
SAGF 3. Ve 5. Harmonikler için 20 kVAR gücünde ikinci mertebeden sönümlü pasif filtre ile birlikte kullanılmıştır. Pasif filtrenin kalite faktörü 16 seçilmiştir.

Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda SAGF simülasyon sonuçları:

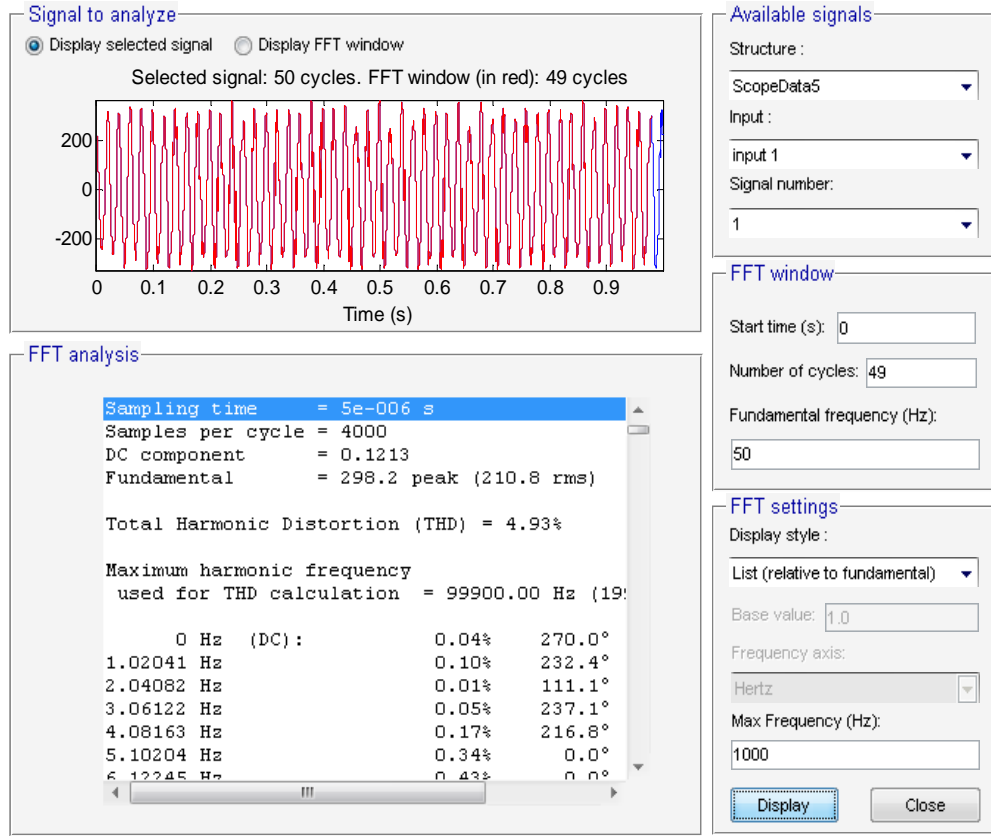
SAGF Matlab programı çalıştırıldığında kaynak gerilimindeki bozulma filtreli ve filtresiz durumlar için aşağıdaki değerleri alır. Filtreli ve filtresiz durumlar incelendiğinde gerilim dalga şeklinde gerçekleşen değişim görülebilir.



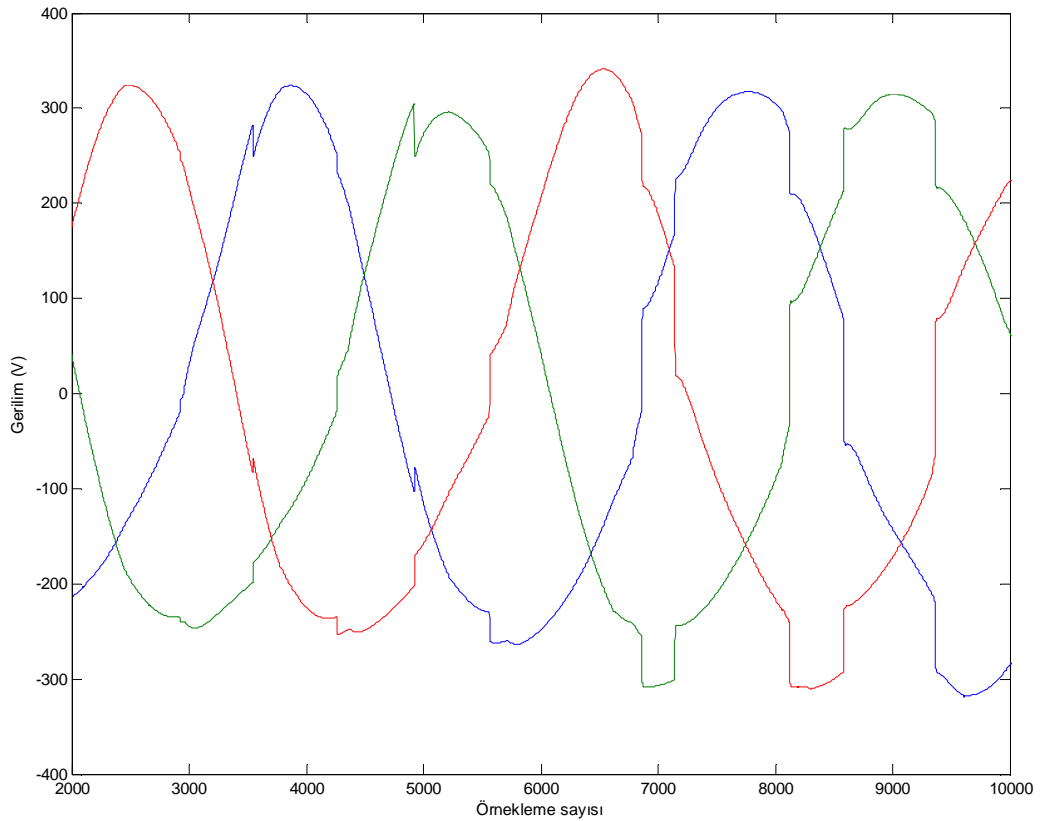
Şekil 4.28. 3-Fazlı dengeli kaynak gerilimle her faza ayrı yük durumunda a-fazına ait kaynak gerilimi ve % THD'si



Şekil 4.29. 3-Fazlı dengeli kaynak gerilimle her faza ayrı yük durumunda kaynak gerilimleri



Şekil 4.30. 3-Fazlı dengeli kaynak gerilimle her faza ayrı yük durumunda sistem filtreli iken a-fazına ait kaynak gerilimi ve % THD'si



Şekil 4.31. 3-Fazlı dengeli kaynak gerilimle her faza ayrı yük durumunda sistem filtreli kaynak gerilimleri

Tablo 4.7. Dengeli gerilimle her faza ayrı yük durumunda filtreli ve filtresiz durumlarda faz gerilimlerinin % THD değerleri

Faz	Seri Aktif Filtrenin Bağlı Olmadığı Durumda % THD	Seri Aktif Filtrenin Bağlı Olduğu Durumda % THD
A	23.24	4.93
B	23.79	4.84
C	23.28	4.75

Bu çalışmada seri aktif filtrenin dengeli gerilim tek yük durumu, dengesiz gerilim tek yük durumu ve dengeli gerilim değişik yük durumları olmak üzere 3 farklı devre için simulink dosyaları oluşturulmuştur. Tablo 4.3, tablo 4.5 ve tablo 4.7'ye ayrı ayrı bakıldığında toplam harmonik bozulmanın en az düzeltildiği durum her faza ayrı yük durumu olmuştur. Simülasyon sonuçlarından da anlaşıldığı üzere seri aktif filtre hem gerilim harmoniğini düşürmekte hem de gerilim regülasyonu sağlamaktadır. Tablo 4.7'de görüldüğü gibi filtresiz durumda a-fazı % THD_V değeri 23.24 , b-fazı 23.79, c-fazı ise 23.28'dir. Filtre konulup sistem çalıştırıldığında ise % THD_V değerleri a-fazı için 4.93'e, b-fazı için 4.84'e, c-fazı için ise 4.75'e düşmüştür. Şekil 4.29 ile şekil 4.31 karşılaştırıldığında ise gerilim eğrisinin sinüsoidal dalga şekline benzetildiği anlaşılmaktadır. Bu devrede simülasyonun b-fazı için diğer fazlara nazaran daha iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada seri aktif güç filtresi 3 farklı durum için incelendi. Şekil 4.11 birinci devrenin bağlantı şemasıdır. Şekil 4.15’de sistem filtresiz iken 3-fazlı gerilimlerin dalga şekli gösterilmektedir. Filtreli durum ise şekil 4.17’de gösterilmiştir. Şekil 4.14’de görüldüğü gibi filtresiz durumda a-fazı gerilimi 198.7 V iken şekil 4.16’da filtreli durumda 209.6 V’dur, % THD_V değeri ise 26.24’den 3.86’ya düşmüştür. Şekil 4.18 ikinci devrenin bağlantı şemasıdır. Şekil 4.22’de sistem filtresiz iken 3-fazlı gerilimlerin dalga şekli gösterilmektedir. Filtreli durum ise şekil 4.24’de gösterilmiştir. Şekil 4.21’de görüldüğü gibi filtresiz durumda c-fazı gerilimi 205.4 V iken şekil 4.23’da filtreli durumda 215.2 V’dur, % THD_V değeri ise 20.58’den 4.12’ye düşmüştür. Şekil 4.25 üçüncü devrenin bağlantı şemasıdır. Şekil 4.29’da sistem filtresiz iken 3-fazlı gerilimlerin dalga şekli gösterilmektedir. Filtreli durum ise şekil 4.31’de gösterilmiştir. Şekil 4.28’de görüldüğü gibi filtresiz durumda a-fazı gerilimi 197.2 V iken şekil 4.30’da filtreli durumda 210.8 V’dur, % THD_V değeri ise 23.24’den 4.93’e düşmüştür. Tablo 4.3, tablo 4.5 ve tablo 4.7’ye ayrı ayrı bakıldığında toplam harmonik bozulmanın en az düzeltildiği durum her faza ayrı yük durumu olmuştur. Ayrıca seri aktif filtre b-fazı için daha iyi düzeltme sağlamaktadır. Enerji kalitesi açısından sistemde harmonik seviyesinin az olması gerektiği bunda harmoniklerin süzülmesi ile mümkün olduğu görülmüştür. Harmonikler günümüz işletmelerinde muhakkak çözülmesi gereken bir konudur. Çünkü günümüz dünyasında akım veya gerilim dalgalanmalarının doğuracağı sonuçlar şebekeye bağlı hassas ve diğer cihazlarımızın ömrünün azalmasına, çalışma şeklinin bozulmasına neden olabilir. Bu durum ise işletmeler için büyük bir tehlike oluşturur. Harmonik seviyesi düştükçe akım dalga şekli ve gerilim dalga şeklinde meydana gelecek olan bozulmalar da azalır. Bu bozulmaların olmaması için filtreleme yöntemleri tercih edilir. Bu da en hızlı ve etkin olarak aktif filtreler yardımıyla sağlanmaktadır. Aktif filtreler sisteme anlık müdahale etmesi ve zamanda herhangi bir gecikme olmaksızın sistemi kontrol altında tutması dolayısıyla pasif filtrelere göre daha etkin bir

çözümdür. Sisteme göre seri aktif filtreleri, paralel aktif filtreleri ya da seri ve paralel aktif filtreleri beraber olarak tercih edilebilir. Yükün endüktif ya da kapasitif olma durumuna ve gerilim harmoniğininimi yoksa akım harmoniğininimi yok etmek istenilmesine göre tercih değişebilir. Seri ve paralel aktif filtre beraber de kullanılabilir. Seri aktif filtre ve paralel aktif filtreyi beraber kullanıldığında hem akım hem gerilim harmoniğini yokedebilme imkanı olur. Aktif filtrelerin çalışma prensibi şebekeye yük harmoniği ile aynı genlikte ve ters fazda gerilim veya akım enjekte etme prensibine dayanır. Akım harmoniğini yok etmek için paralel aktif güç filtreleri, gerilim harmoniğini yok etmek için ise seri aktif güç filtreleri kullanılmalıdır. Seri aktif filtreler pasif filtrelerle daha etkin ve daha verimli çalışma elde ederler. Anlık reaktif güç teorisi ile zamanda bir gecikme olmadan aktif filtreler vasıtasıyla anlık güçler hesaplanır ve aktif filtre sistemin ihtiyaçlarına etkin bir şekilde cevap verir. Aktif filtreler harmonik süzülmesinde etkin bir şekilde kullanılmasına rağmen fiyatının ve işletme maliyetinin yüksek olması nedeniyle henüz yaygınlaşmamıştır. Ama artık işletmeler harmoniklerin zararlı etkilerini daha iyi bilmekte ve harmonik analizörleri kullanarak kendi ihtiyaçlarına en uygun çözümü aramaktadır. Bunun için aktif filtrelerin sayısı her geçen gün daha da artmaktadır. Özellikle tekrar tasarım istememeleri ve daha hassas çalışmalarından dolayı pasif filtrelere göre daha iyi sonuç vermeleri sayesinde daha çok tercih nedenidirler.

KAYNAKLAR

- [1] SEZER, M., Üç fazlı sistemlerde paralel aktif filtre, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa 1-2, İstanbul, 2006.
- [2] PENG, F.Z., Application issues of active power filters. IEEE Industry Applications Magazine, September, pp. 21-30, 1998.
- [3] Elektronik resmi gazete elektrik tarifeleri yönetmeliğinde değişiklik yapılması hakkında yönetmelik, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Sayı 23988, www.rega.com.tr, 2000.
- [4] TERCİYANLI, A., GÜLTEKİN, B., DEMİRCİ, T., Konvansiyonel ve statik anahtarlamalı kompanzasyon sistemlerinin performans karşılaştırması. I. enerji verimliliği ve kalitesi sempozyumu, EVK'2005, Kocaeli, Mayıs 2005.
- [5] ADAK, S., Enerji sistemlerinde harmonik distorsiyunun azaltılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa 21-25, İstanbul, 2003.
- [6] SUCU, M., Elektrik enerji sistemlerinde oluşan harmoniklerin filtrelenmesinin bilgisayar destekli modellenmesi ve simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa. 3-25, İstanbul, 2003.
- [7] KOCATEPE, C, UZUNOĞLU, M., YUMURTACI, R, Elektrik tesislerinde harmonikler, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2003.
- [8] BOZABALI, M., Üç fazlı sistemlerde paralel aktif güç filtre tasarımı ve simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, pp. 10-12, Sakarya, 2009.
- [9] UÇAR, M., 3-fazlı 4-telli paralel aktif güç filtresinin tasarımı ve uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa 7-48, Kocaeli, 2005.
- [10] GEZEGİN, C., Harmoniklerin süzülmesi ve tepkin güç kompanzasyonu için melez koşut etkin güç süzgeçleri, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa 27-50, Samsun, 2006.

- [11] T. C., Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK), “Elektrik iletimi arz güvenilirliği ve kalitesi yönetmeliği,” Resmi Gazete, Sayı:25639, 10/11/2004.
- [12] SEPULVEDA, J., A series active power filter controlled by personal computer International conference on renewable energies and power quality, Vigo, 2003.
- [13] KESLER, M., Paralel Aktif Güç Filtresinin Tasarımı Ve Visim Yazılımı İle DSP Üzerinden Denetimi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa 27-32, Kocaeli, 2005.
- [14] AKAGI, H., WATANABE, E. H., AREDES, M., “Instantaneous power theory and applications to power conditioning” 1st Edition, Wiley-IEEE Press, New Jersey, April 2007.
- [15] SINGH, B., AL-HADDAD, K, CHANDRA, A., A Review of Active Filters for Power Quality Improvement. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 46, No. 5, pp. 133-138, 1999.
- [16] AKAGI, H., “Active harmonic filters,” Proceedings of the IEEE, Vol. 93, Issue 12, pp. 2128-2141, December 2005.
- [17] Singh, B., AL-HADDAD, K., CHANDRA, A., “A review of active filters for power quality improvement,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 46, No. 5, pp. 960-971, October 1999.
- [18] KING, A., KNIGHT, W., “Uninterruptible power supplies and standby powersystems,” McGraw-Hill, 1st Edition, 2003.
- [19] NIELSEN, J. G., BLAABJERG, F., “A detailed comparison of system topologies For dynamic voltage restorers,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.41, No.5, pp.1272-1280, September/October 2005.
- [20] FUJITA, H., AKAGI, H., “The unified power quality conditioner: The integration of series- and shunt-active filters,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 13, No. 2, pp. 315-322, March 1998.
- [21] LE ROUX, A. D., MOUTON, H. T., AKAGI, H., “Digital control of an integrated series active filter and diode rectifier with voltage regulation,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 39, No. 6, pp. 1814-1820, November/December 2003.
- [22] SENTURK, O. S., HAVA, A. M., “Tek-faz seri etkin süzgeç ile yük harmonik gerilimi yalıtımı ve sebeke gerilimi Çökmesi Düzeltimi,” EVK 2007, II. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, sayfa 52-56, Mayıs 2007, Kocaeli.
- [23] TANAKA, T., WADA, K., AKAGI, H., “A control scheme for

- suppressing voltage oscillation on the AC side of a series active filter,” ICHQP, pp.153-158,1996.
- [24] PENG, F. Z., AKAGI, H., NABAE, A., “A new approach to harmonic compensation in power systems – a combined system of shunt passive and series active filters,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 26, No. 6, pp. 983-990, November/December 1990.
- [25] BHATTACHARYA, S., “High power active filter systems,” Ph. D. Dissertation, University of Wisconsin, Madison, 2003.
- [26] MOHAN, N., UNDELAND, T. M., ROBBINS, W. P., “Power electronics converters, applications, and design,” 3rd Edition, Wiley-Hill, 2003.
- [27] PAN, Z., PENG, F. Z., S. Wang, “Power factor correction using a series active filter,” IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 20, No. 1, pp. 148-153, January 2005.
- [28] PEREZ, J., CARDENAS, V., PAZOS, V., and RAMIREZ, S., “Voltage harmonic cancellation in single-phase systems using a series active filter with a low order controller,” Power Electronics Congress CIEP, pp. 270-274, October 2002.
- [29] MALESANI, L., MATTAVELLI, P., TOMASIN, P., “High-performance hysteresis modulation technique for active filters,” IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. 12, No. 5, pp. 876-884, September 1997.
- [30] STEFNUTTI, W., MATTAVELLI, P., “Fully digital hysteresis modulation with switching time prediction,” IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. 42, No. 3, pp. 763-769, May/June 2006.
- [31] BODUROĞLU, T., “Elektrik makinaları dersleri”, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1988.
- [32] GRADY, M., SANTOSO, S., Understanding power system harmonics. power engineering review, pp. 8-11, 2001.
- [33] KALE, M., Paralel aktif güç filtresi ile harmonik akım ve reaktif güç kompanzasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sayfa 26-72, Kocaeli, 2004.
- [34] IEEE Std. 519-1992, “IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electric power systems.”
- [35] WATANABE, E., STEPHAN, H. A., AREDES, M., “New concepts of instantaneous active and reactive powers in electrical systems with generic loads,” IEEE Trans, on Power Delivery, Vol. 8, No. 2, pp. 697-703, 1993.
- [36] DUGAN, R. C., MCGRANGHAN, M. F., “Electrical power systems

quality,” 2nd Edition, McGraw-Hill, 2002.

- [37] GONZALEZ, M., CARDENAS, V.,PAZOS, F. P., “DQ transformation development for single-phase systems to compensate harmonic distortion and reactive power,” Power Electronics Congress CIEP, pp. 177-182, 2004.
- [38] SRIANTHUMRONG, S., FUJITA, H. , AKAGI, H., “Stability analysis of a series active filter integrated with a double-series diode rectifier,” IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 17, No. 1, pp. 117-124, January 2002.
- [39] ÖZKAYA, H., “Parallel active filter design, control, and implementation,” M.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 2007.
- [40] AKAGI, H., NABAE, A., KANAWAZA, Y., “Instantaneous reactive power compensation comprising switching devices without energy storage components” IEEE transactions on industry applications, Vol. IA-20, No.3, May/June1984.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Taciddin AKÇAY, 20.01.1984' de Kilis'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'un Bakırköy ilçesinde tamamladı. 2002 yılında Yeşilköy 50. Yıl Lisesinden mezun oldu. 2002 yılında başladığı İTÜ Elektrik Mühendisliği bölümünü 2007 yılında bitirdi. 2008 – 2010 yılları arasında İstanbul Büyükşehir Belediyesi Raylı Sistem Müdürlüğünde mühendis olarak çalıştı. Bu süre içerisinde İstanbul'daki metro projelerinden Taksim-Yenikapı hattı ve IV.Levent-Hacıosman hattı şantiyelerinde kontrollük görevinde bulundu. Şu anda Raylı Sistem Müdürlüğünde mühendis olarak görev yapmaktadır.