

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEK FAZLI GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTME DEVRELERİNİN İNCELENMESİ VE BİR
UYGULAMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

ONUR BÜYÜKKATIRCI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK MAKİNALARI VE GÜÇ ELEKTRONİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HACI BODUR**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEK FAZLI GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTME DEVRELERİNİN İNCELENMESİ VE BİR UYGULAMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Onur Büyükkatırcı tarafından hazırlanan tez çalışması 16.06.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hacı BODUR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hacı BODUR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. M.Hadi SARUL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof.Dr. Yaşar BİRBİR
Marmara Üniversitesi

ÖNSÖZ

Dünya nüfusunun giderek artması ve sanayi tesislerinin yaygınlaşması enerji talabini artırmaktadır. Kullanımı en yaygın olan elektrik enerjisinin kalitesi ve verimliliği önem arz etmektedir. Bu bağlamda enerji kayıplarını önlemek adına; güç faktörünün düzeltilmesi ve harmoniklerin azaltılması güç elektroniği dalının en önemli çalışma alanlarından biri olmuştur.

Bu tez çalışmasında, kullanımı yaygın bazı güç faktörü düzeltme yöntemleri incelendi ve bir uygulama devresi ile konu analiz edildi. Yüksek frekanslı AC-DC dönüştürücü ile birim güç faktörüne yaklaşılmıştır.

Bütün çalışmalarım boyunca danışmanlığımı yapan ve çalışmalarım esnasında engin bilgi birikimiyle her zaman destek veren Sayın Prof. Dr. HACI BODUR' a ve yardımından dolayı Arş. Gör. Erdem AKBOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hayatımın her anında yanımda olup her türlü desteği gösteren aileme ve sevdiklerime saygılarımı sunarım.

Haziran, 2017

Onur BÜYÜKKATIRCI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	1
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
GÜÇ FAKTÖRÜ VE HARMONİKLER	3
2.1 Güçler ve Güç Faktörü	3
2.2 Harmonikler ve Harmonik Standartları.....	5
BÖLÜM 3	
GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTME DEVRELERİ	12
3.1 Pasif Filtreler	14
3.2 Aktif Filtreler	14
3.3 Güç Faktörü Düzeltmeli AC-DC Dönüştürücüler	15
3.3.1 Güç Faktörü Düzeltmeli AC-DC Dönüştürücülerin Sınıflandırılması ..	15
3.3.1.1 İki Aşamalı PFC Dönüştürücüler	15
3.3.1.2 Tek Aşamalı PFC Dönüştürücüler	17
3.3.2 Güç Faktörü Düzeltme Devrelerinde Kullanılan Kontrol Yöntemleri	18

3.3.2.1	Pik Akım Modlu Kontrol	18	
3.3.2.2	Ortalama Akım Modlu Kontrol.....	19	
3.3.2.3	Histeresiz Kontrol	20	
3.3.2.4	Sınır Akım Modlu Kontrol.....	21	
3.3.2.5	Kesintili Akım Modlu Kontrol	22	
BÖLÜM 4			
ÖNEMLİ BAZI GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTME DEVRELERİ			24
4.1	Bulanık Mantıksal Kontrollü Yükseltici Dönüştürücü.....	24	
4.2	Köprüsüz Güç Faktörü Düzeltme Devreleri.....	29	
BÖLÜM 5			
TEK FAZLI ORTALAMA AKIM MODU İLE KONTROL EDİLEN YÜKSELTİCİ TÜRÜ PFC			
DEVRESİNİN TASARIMI VE UYGULAMASI			34
5.1	Tek Fazlı Ortalama Akım Modlu Yükseltici PFC Devresi.....	34	
5.2	Entegre Hakkında Temel Açılımlar	35	
5.3	Güç Katının Oluşturulması	39	
5.4	Anahtarlama Frekansının Belirlenmesi	40	
5.5	Yükseltici Endüktans Değerinin Bulunması.....	41	
5.6	Çıkış Kapasitesi Değerinin Belirlenmesi	41	
5.7	Mosfet' in Belirlenmesi	42	
5.8	Diyotun Belirlenmesi.....	42	
5.9	Geri Besleme ve Çoklayıcı Devrelerinin Tasarımı	43	
5.10	Ortalama Akım Modu Kontrollü PFC Devresinin Benzetimi	44	
5.11	Tek Fazlı Ortalama Akım Modu Kontrollü PFC Uygulama Devresi ve Ölçümü.....	48	
BÖLÜM 6			
SONUÇ VE ÖNERİLER			57
KAYNAKLAR			59
ÖZGEÇMİŞ.....			61

SİMGE LİSTESİ

P	Aktif güç
S	Görünür güç
Q	Reaktif güç
ϕ	Gerilim ile akım arasındaki faz farkı
ω	Açısal hız
Qh	Harmonik güç
kidis	Akımın temel bileşen katsayısı
kvdis	Gerilimin temel bileşen katsayısı
kkay	Kayma güç kat sayısı
K	Çoklayıcı kazancı
D	Darbe boşluk
η	Verim
VGS	Mosfet kapı gerilimi
V1,ef	Gerilimin temel bileşeninin efektif değeri
Vef	Efektif gerilim
Vin	Giriş gerilimi
Vout	Çıkış gerilimi

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
CCM	Sürekli İletim Modu
DC	Doğru Akım
DCM	Kesintili Akım Modu Yönetim Sistemi
EMI	Elektro-manyetik Girişim
EN	Avrupa Standartları
IEC	Uluslararası Enerji Komisyonu
PF	Güç Faktörü
PFC	Güç Faktörü Düzeltme
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
SS	Yumuşak Anahtarlama
THD	Toplam Harmonik Distorsiyon
TS	Türk Standartları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	Temel bileşen ve harmonikler..... 5
Şekil 2. 2	EN 6100-3-2 standardına göre sınıflandırma diyagramı 9
Şekil 3. 1	Çıkışında bir kondansatör bulunan köprü doğrultucu 13
Şekil 3. 2	Çıkışta bir kondansatör olması durumunda, AC şebeke gerilimi, çekilen akımın dalga şekilleri, akımın harmonik açılımı, THD ve güç faktörü değerleri..... 13
Şekil 3. 3	Pasif filtrelerle köprü doğrultucu devresi 14
Şekil 3. 4	İki aşamalı bir PFC sisteminin blok şeması 16
Şekil 3. 5	İki aşamalı örnek bir PFC sisteminin blok şeması..... 16
Şekil 3. 6	Tek aşamalı bir PFC sisteminin blok şeması 17
Şekil 3. 7	Pik Akım modlu kontrolün blok şeması ve giriş akımının dalga şekli..... 19
Şekil 3. 8	Ortalama Akım modlu kontrolün blok şeması ve giriş akımının dalga şekli 20
Şekil 3. 9	Histerezis kontrolün blok şeması ve giriş akımının dalga şekli 21
Şekil 3. 10	Sınır Akım kontrolün blok şeması ve giriş akımının dalga şekli..... 22
Şekil 3. 11	Kesintili Akım kontrolün giriş akımının dalga şekli..... 22
Şekil 4. 1	Basit yükseltici devre şeması 25
Şekil 4. 2	Bulanık mantık denetleyicisi blok diyagramı 26
Şekil 4. 3	Bulanık kontrollü yükseltici dönüştürücünün blok diyagramı 26
Şekil 4. 4	Bulanık denetleyici matlab simülasyonu..... 27
Şekil 4. 5	Bulanık kural seti..... 27
Şekil 4. 6	PFC içermeyen tek fazlı doğrultucu giriş akım dalga formu 28
Şekil 4. 7	PFC içermeyen tek fazlı doğrultucu giriş akım harmoniği..... 28
Şekil 4. 8	Bulanık mantık kontrolör tabanlı doğrultucunun giriş akım dalga formu ... 28
Şekil 4. 9	Bulanık mantık kontrolör tabanlı doğrultucunun giriş akım harmoniği 28
Şekil 4. 10	Mod I çalışma prensibi 30
Şekil 4. 11	Mod II çalışma prensibi 30
Şekil 4. 12	Mod III çalışma prensibi 31
Şekil 4. 13	Mod IV çalışma prensibi..... 31
Şekil 4. 14	Köprüsüz güç faktörü düzeltme devresi simülasyonu 32
Şekil 4. 15	Köprüsüz güç faktörü düzeltme devresi giriş akım harmoniği..... 32
Şekil 5. 1	UCC3818 Entegresinin uygulama devresi 35
Şekil 5. 2	UCC3818 Entegre iç yapısı 36
Şekil 5. 3	Entegrenin iç yapısındaki akım kuvvetlendiricisinin bağlantı şekli 37
Şekil 5. 4	Testere dalga üreten Shimitt Trigger (osilatör) devresi..... 37

Şekil 5. 5	Entegre Besleme Gerilimi Devresi	40
Şekil 5. 6	UCC 3818 Geri besleme devresi.....	43
Şekil 5. 7	Benzetim devre şeması	45
Şekil 5. 8	Giriş gerilimi ve akım dalga şekli (Akım kademesi 50 kat büyütüldü).....	45
Şekil 5. 9	Giriş akımı ve endüktans akımının dalga şekli	46
Şekil 5. 10	Çıkış gerilimi dalga şekli	46
Şekil 5. 11	Endüktans akımındaki dalgalanma	47
Şekil 5. 12	Endüktans akımının mosfet kapı sinyaline göre değişimi	47
Şekil 5. 13	Baskı devre çizimi.....	48
Şekil 5. 14	Uygulama devresinin gerçek görüntüsü ve ARES 3 boyutlu görüntüsü	49
Şekil 5. 15	Giriş geriliminin, akımının grafikleri ve güç faktörü	52
Şekil 5. 16	Güç ve enerji değişimi	52
Şekil 5. 17	Çıkış akımı ve gerilimi grafikleri.....	53
Şekil 5. 18	Güç, enerji değişimi ve güç faktörü.....	53
Şekil 5. 19	Harmonik tablosu.....	54
Şekil 5. 20	Harmonik grafiği.....	54
Şekil 5. 21	Mosfet anahtarlama sinyali	55
Şekil 5. 22	PFC yapılmış devre ile yapılmamış devrenin karşılaştırılması.....	55

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	EN 6100-3-2 standardına göre cihazların sınıflandırılması 10
Çizelge 2. 2	EN 6100-3-2 standardında verilen harmonik limitleri 10
Çizelge 3. 1	PFC dönüştürücülerde kullanılan kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması 23
Çizelge 5. 1	250W Ortalama akım modu PFC devresinin parametreleri..... 44
Çizelge 5. 2	Benzetim devresi sonuçları 47
Çizelge 5. 3	Uygulama devresi malzeme listesi 51
Çizelge 5. 4	Ortalama akım modlu PFC uygulama devresinin parametreleri..... 56

TEK FAZLI GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTME DEVRELERİNİN İNCELENMESİ VE BİR UYGULAMANIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Onur BÜYÜKKATIRCI

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hacı BODUR

Günümüzde kullanımı yaygınlaşan yarı iletken elemanların ve bunun paralelinde güç elektroniği cihazlarının kullanımının artmasıyla birlikte harmonik akımların şebekeye etkileri göz ardı edilemeyecek seviyeye gelmiştir. Birçok güç faktörü düzeltme yöntemi uygulanmasına rağmen yapısında AC-DC dönüştürücü bulunan kesintisiz ve anahtarlama güç kaynakları, motor sürücüleri, şarj ve depolama sistemleri, endüksiyonla ısıtma ve elektronik balast gibi birçok uygulamanın yaygın olması güç faktörü düzeltmeli AC-DC dönüştürücüleri daha önemli kılmıştır.

Bu çalışmada Güç faktörü kavramı açıklanmış, güç faktörünün bozulmasına sebep olan harmonikler ve bu harmonikleri sınırlayan uluslararası standartlar incelenmiştir. Bazı güç faktörü düzeltme yöntemleri açıklanmıştır. Tek fazlı yüksek frekanslı AC-DC dönüştürücü tabanlı güç faktörü düzeltme devresinin tasarımı, simülasyonu ve uygulaması anlatılmıştır. Tasarlanan devrenin simülasyon ve deney çalışmaları yardımıyla güç faktörü, harmonik ve verim konularının analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yarı iletken güç elemanı, Güç faktörü, güç faktörünün düzeltilmesi, harmonik standartları, yüksek frekanslı AC-DC dönüştürücüler

**INVESTIGATION ON THE SINGLE PHASE POWER FACTOR CORRECTION
CIRCUITS AND PERFORMING AN APPLICATION**

Onur BÜYÜKKATIRCI

Department of Electrical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Hacı BODUR

Nowadays, effect of the currents harmonic on electric network becomes a level that cannot ignorable because of the widespread use of semi-conductor elements and, in parallel, rising use of power electronic devices. Even though many various PFC (Power Factor Correction) methods are applied, common usage of AC-DC rectifier in switched and uninterruptible power supplies, motor drives, charge storage systems, induction heating and electronic ballasts, makes AC-DC converter based PFC circuits, play more important role.

In this study, power factor concept is explained, harmonics as a cause of low power factor and limitation of this harmonics with international standards are examined. Some power factor correction methods are explained in the scope of the study. Single-phase high frequency AC-DC converter based power factor correction circuit design, simulation and application are explained as well. The analyze of power factor, harmonics and efficiency has been done by the help of simulation of designed circuit and experimental work.

Keywords: Semi-conductor power element, Power factor, power factor correction, harmonic standards, high frequency AC-DC converter

1.1 Literatür Özeti

Günümüzde dünya nüfusunun giderek artması ve sanayi tesislerinin yaygınlaşması enerji talebini ve tüketimi artırmakla birlikte enerji kaynaklarını azaltmaktadır. Elektrikli ve elektronik cihazlarda sıkça kullandığımız anahtarlamalı güç kaynakları, güç dönüştürücü devreleri, bobin, kondansatör v.b. gibi lineer olmayan yükler şebekeden çekilen akımda önemli harmonik bileşenlere sebep olarak, şebekeden çekilen aktif güç oranının düşmesine neden olurlar (Bodur [1]). Lineer yükler ise gecikmeli akım çekerek güç faktörünün değerini düşürmektedir. Dolayısıyla bozulmayı önlemek ve güç faktörünü iyileştirmek için uygun güç faktörü düzeltme tekniklerini kullanmak gereklidir. Düşük güç, düşük maliyetli uygulamalar için pasif güç faktörü düzeltme teknikleri kullanılsada, ağır ve hantal yapıya sahiptirler. Bu sebepten dolayı, aktif güç faktörü düzeltme teknikleri üstün performanslarından dolayı uygulamaların çoğunda kullanılır. Günümüzde en yaygın yöntem, yüksek frekanslı AC-DC dönüştürücü tabanlı güç faktörü düzeltme devreleridir. Bu yöntemde en popüler topoloji kesinlikle yükseltici topolojisidir. Yükseltici devre topolojisi çok basittir ve farklı kontrol teknikleriyle düzgün giriş akımlarına ve neredeyse birim güç faktörüne izin verir.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, yükseltici tip bulanık mantıksal kontrollü güç faktörü düzeltme devresi ve köprüsüz yükseltici tip güç faktörü düzeltme devresinin çalışma prensibi incelendi. Ayrıca bir entegre ile ortalama akım modu kontrollü tek fazlı yükseltici bir devre

tasarlandı ve uygulaması yapıldı. Güç faktörü ve harmonik değerlerinin ulusal ve uluslararası standartlara uygunluğu sağlanarak, enerjinin verimi ve kalitesi yükseltilmiştir.

1.3 Hipotez

Lineer ve lineer olmayan yüklerin çekmiş olduğu akımlar, faz kaymasına ve harmonik içeriklere neden olur. Akım dalga şeklinin sinüsoidal yapıdan uzaklaşmasıyla güç faktörü değeri düşer. Bu çalışmada, giriş akımı ile gerilim arasındaki faz farkının giderilmesi ve harmoniklerin yok edilmesi hedeflenmiştir. Devrede neredeyse birim güç faktörüne ulaşılmış ve regüleli bir dc çıkış elde edilmiştir.



GÜÇ FAKTÖRÜ VE HARMONİKLER

Gün geçtikçe artan teknolojik gelişmeler ve toplumların refah düzeyleri sayesinde, elektrikli cihazların kullanım alanları artmakta, daha fazla enerji tüketilmekte ve enerji kaynakları hızla tükenmektedir (Bodur [1]). Enerjinin verimli ve kaliteli kullanılması için güç faktörü yüksek, harmonik içerikleri düşük olan cihazlar daha çok talep görmektedir.

2.1 Güçler ve Güç Faktörü

Güç faktörü; aktif gücün, görünen güce oranlanması ile bulunur. Bu oran sistemin gerçek gücünün ne kadar etkili bir şekilde kullanıldığını gösterir. Harmonik içermeyen ancak lineer yüklerden kaynaklı gerilim ile akım arasında faz farkına neden olan sistemlerde güç kavramı,

$$S = V_{ef} I_{ef} \quad (2.1)$$

$$P = V_{ef} I_{ef} \cos \varphi \quad (2.2)$$

$$Q = V_{ef} I_{ef} \sin \varphi \quad (2.3)$$

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (2.4)$$

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{V_{ef} I_{ef} \cos \varphi}{V_{ef} I_{ef}} = \cos \varphi \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, S görünen güç, P aktif güç, Q reaktif güç, V_{ef} ve I_{ef} efektif gerilim ve akımdır. φ gerilim ile akım arasındaki faz farkı, $\cos \varphi$ ise güç faktörü olarak bilinir. Birim güç faktörüne ulaşmak için gerilim ile akım arasındaki faz farkının sıfır olması gerekir. Faz farkı arttıkça, reaktif güç büyür ve güç katsayısı küçülür.

Aktif güç, işe yarayan, ısı, ışık veya mekanik enerjiye dönüşen güç demektir. Isıya dönüşen kayıp güçler de daima aktiftir. Reaktif güç ise, işe yaramayan ve gereksiz yere şebekeden çekilen güç demektir. Reaktif güç, faz farkı nedeniyle, AC şebekeden yüke kadar çekilen ve sonra tekrar AC şebekeye geri verilen enerjiyi ifade eder. Reaktif gücün etkisiyle,

- Generatör, motor, transformatör, kablo ve diğer bütün devre elemanlarının güç kapasiteleri gereksiz yere dolar
- Görünen hat akımı yükselir
- Generatör, motor ve transformatörler doyuma girebilir
- Doyuma girmeler nedeniyle, gerilim ve akım dalga şekillerinin bozulur ve harmonikler oluşabilir
- Doyum ve harmonikler nedeniyle, devre elemanları tahrip olabilir.

Diğer yandan, generatör ve transformatörlerin doyuma girmesi veya devrede lineer olmayan yüklerin bulunması nedeniyle, gerilim ve akım dalga şekilleri sinüsten uzaklaşmakta yani harmonikler oluşmaktadır. Kesintisiz ve anahtarlamalı güç kaynakları, akümülatör şarj ve enerji depolama devreleri, endüksiyonla ısıtma ve balastlar gibi, yarı iletken güç dönüştürücüsü bulunduran sistem ve cihazlar lineer olmayan yüklerdir. Harmonik akımların oluşturduğu harmonik güçler de işe yaramayan güçlerdir. Harmonik içeren sistemlerde güç faktörü kavramı,

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{V_{1ef} I_{1ef} \cos \varphi_1}{V_{ef} I_{ef}} = \frac{V_{1ef}}{V_{ef}} \frac{I_{1ef}}{I_{ef}} \cos \varphi_1 = k_{vdis} k_{idis} k_{kay} \quad (2.6)$$

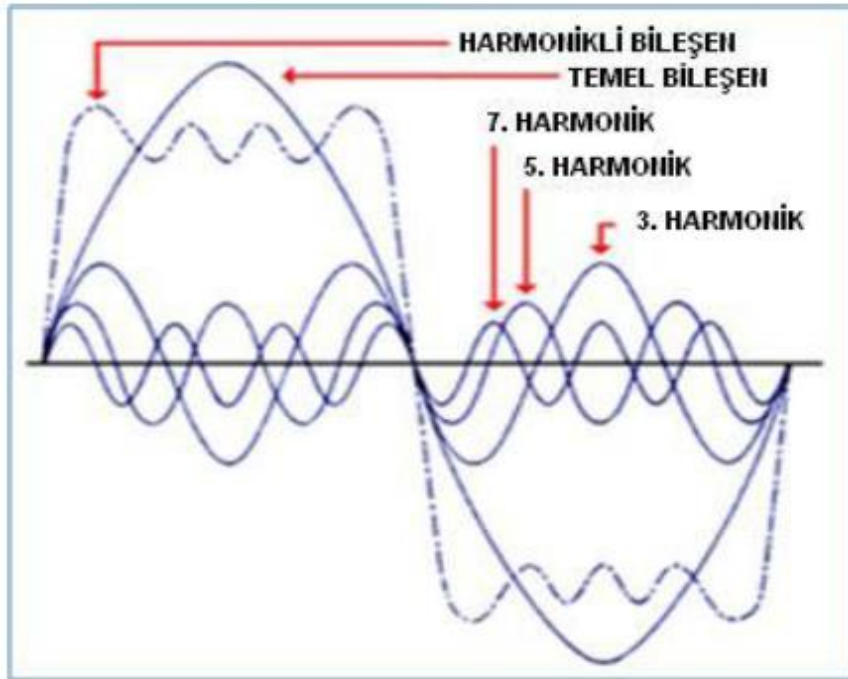
şeklinde yazılır. Burada, "ef" indisleri efektif değerleri ve "1" indisleri temel bileşenleri ifade etmektedir. Aktif güç, gerilim ve akımın temel bileşenlerinin efektif değerleri ile bu temel bileşenler arasındaki faz farkının kosinüsünün çarpımına eşittir. Güç faktörü ifadesinde, V_{1ef}/V_{ef} oranı olan k_{vdis} gerilimin temel bileşen katsayısı, I_{1ef}/I_{ef} oranı olan k_{idis} akımın temel bileşen katsayısı ve $\cos \varphi_1$ olan k_{kay} ise temel veya kayma güç katsayısını ifade etmektedir. AC şebekede genellikle k_{vdis} 1'e eşittir.

Temel bileşen katsayılarının 1'e ne kadar yakın olduğu ilgili harmonik içeriğin düşüklüğünü, kayma katsayısının 1'e ne kadar yakın olduğu ise çekilen reaktif gücün

düşüklüğünü gösterir. AC kaynakta, temel frekanslı olan temel gerilim ve akım, aktif ve reaktif güçleri oluşturmaktadır. Temel frekanstan farklı olan harmonik akımlar, harmonik güçlere neden olmaktadır. Bu harmonik güçlerin tamamına veya vektörel toplamına, harmonik güç denir. Harmonik güç de işe yaramayan bir reaktif güçtür. Sadece bunların frekansları, temel frekanstan farklıdır. Reaktif ve harmonik güçlerin toplamına ise, toplam reaktif güç adı verilir.

2.2 Harmonikler ve Harmonik Standartları

Bilindiği gibi elektrik güç sistemlerinde gerilim ve akımın dalga şeklinin sinüs biçiminden sapmasına neden olan harmonik bileşenleri, harmonik kaynağı olarak nitelendirilen ve akım-gerilim karakteristiği lineer olmayan elemanlar tarafından üretilmektedir. Şekil 2.1' de akımın temel bileşeni, 3. , 5. , 7. harmonikleri ve bu harmoniklerin temel akım bileşeni üzerindeki bozucu etkisi görülmektedir.



Şekil 2.1 Temel bileşen ve harmonikler (Karakaya [2])

Harmonikleri meydana getiren elemanlar genel olarak şu şekilde verilebilir:

- Konverterler
- Transformatörler

- Gaz deşarj prensibiyle çalışan aydınlatma elemaları
- Fotovoltaik sistemler
- Statik VAR generatörleri
- Anahtarlama güç kaynakları
- Kaynak makineleri
- Ark fırınları
- Elektrikli ulaşım sistemleri
- Döner makinalar

Düşük bir güç faktörü şebekeden elde edilen gücü azaltırken, hat akımının yüksek harmonik içermesi ısınmaya, EMI problemlerine ve parazitlere neden olur. Elektrik güç sistemlerinde harmoniklerin neden olduğu bazı problemler:

- Generatör ve şebeke geriliminin dalga şeklinin bozulması
- Elektrik güç sistemi elemanlarında ve yüklerde ek kayıpların oluşması
- Toprak kısa devre akımlarının daha büyük değerlere yükselmesi
- Koruma sistemlerinin hatalı çalışmaları
- Kesintisiz güç kaynaklarının veriminin düşmesi
- Aydınlatma elemanlarında ve monitörde görüntü titreşimi meydana getirmesi
- Endüksiyon tipi sayaçların yanlış ölçüm yapması
- Yalıtım malzemesinin zorlanması ve delinmesi
- Elektrik cihazlarının ömrünün kısalması
- Sesli ve görüntülü iletişim araçlarının parazitli ve anormal çalışması
- Mikroişlemcilerin hatalı çalışması
- Temel frekansta rezonans olayı olmadığı halde harmonik frekanslarında şebekede rezonans olaylarının meydana gelmesi ve aşırı gerilim veya akımların oluşması

• Başta motor olmak üzere diğer cihazlarda ek gürültülere neden olması gibi özetlenebilir.

Boşta çalışmada ve düşük yüklerde harmoniklerin etkisi, şebekelerin tam yüklenmesi haline göre daha büyüktür.

Bir hattaki akım harmoniklerinin toplam miktarının ölçülmesi ve ifade edilmesi için toplam harmonik distorsiyonu (THD) kavramı ortaya konulmuştur. THD, dalga şeklinin içerdiği toplam akımın efektif değerinin temel akım bileşeninin efektif değerine oranı şeklinde tanımlanır ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_{n,ef}^2}{I_{1,ef}^2}} \quad (2.7)$$

Akımdaki bozulma miktarını belirten THD, bir oran olarak ifade edilse de, yüzdesel olarak da gösterilebilir. Bu durumda, %THD aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\%THD = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_{n,ef}^2}{I_{1,ef}^2}} \times 100 \quad (2.8)$$

Bozulma faktörü THD eşitliğinden (2.7) yararlanılarak

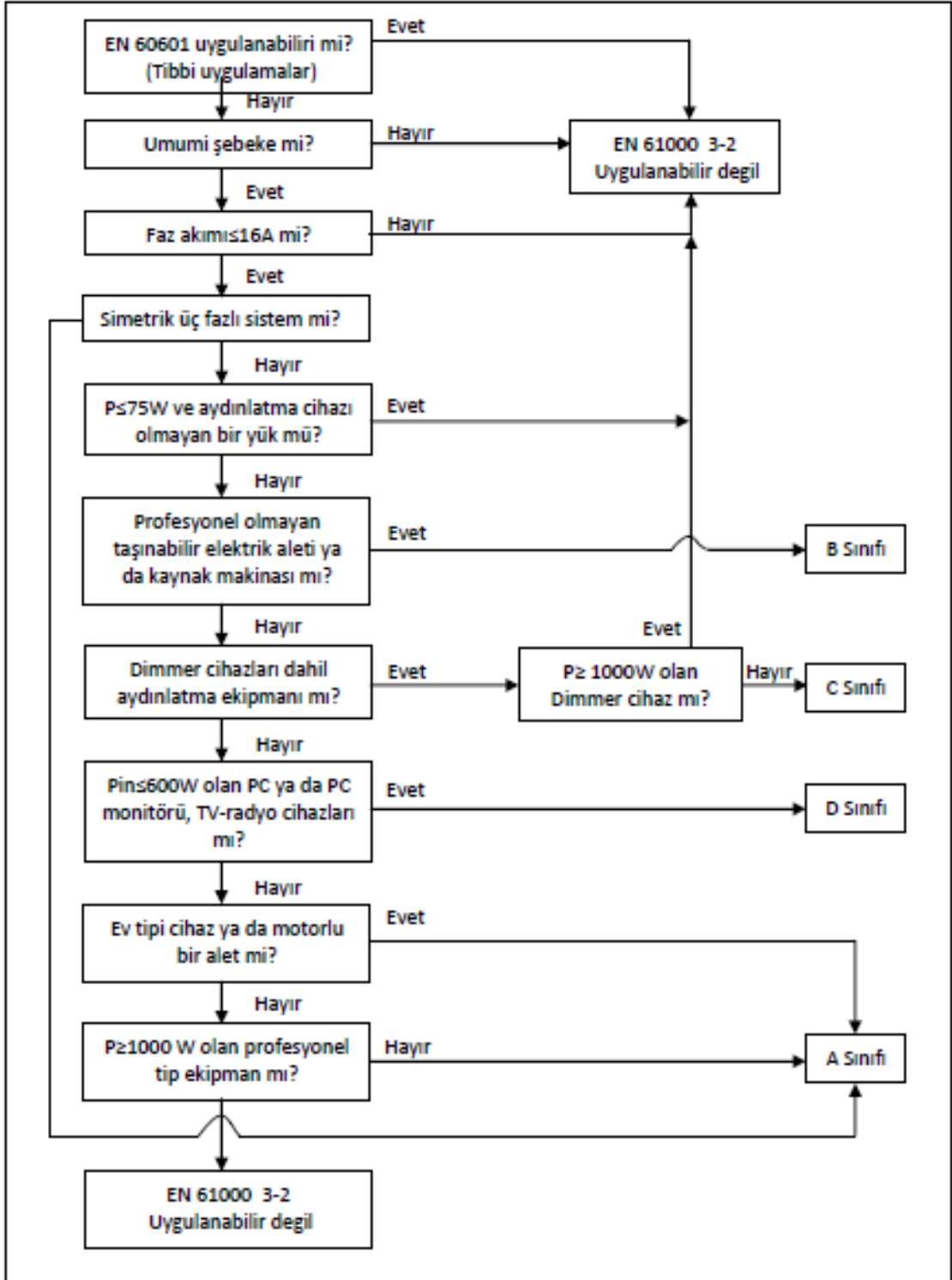
$$k_{bozulma} = \frac{1}{\sqrt{1+(THD)^2}} \quad (2.9)$$

şeklinde yazılabilir. Bozulma faktörü $k_{bozulma}$ da faz farkını ifade eden $k_{fazfark}$ gibi "0" ile "1" arasında değişir. Dalga şekli sinüsten uzaklaştıkça bu değer sıfıra yaklaşır. Tam sinüzoidal bir akım dalga şeklinde ise "1" değerini alır.

Şebekenin ve sistemdeki diğer yüklerin harmoniklerin olumsuz etkilerinden mümkün olduğu kadar az zarar görmesini sağlamak ve tüketiciye daha kaliteli enerji verebilmek için harmoniklerin belirli bir seviyenin altında tutulması gerekmektedir. Bu amaçla bazı ülkeler, lineer olmayan yüklerin meydana getirdiği harmonik bileşenlere bir sınırlama getirmiş ve harmonik standartlarını oluşturmuşlardır. Bu standartlardan IEEE 519 ve IEC 61000, enerji kalitesi ile ilgili uluslararası standartlardır.

IEC tarafından belirlenen EN 6100-3-2 standardı, Türkiye'de TS EN 6100-3-2 adı ile uygulanmaktadır. Bu standartta, cihazlar güç ve türe göre sınıflandırılmış ve bu sınıflandırmaya göre izin verilen maksimum harmonik akım değerleri belirlenmiştir. Elektronik cihaz üreticileri, çeşitli PFC yöntemlerini uygulayarak, bu standartları sağlamak zorundadır. Şekil 2.2'de bu sınıflamanın belirlenmesine ait akış diyagramı gösterilmiştir. Çizelge 2.1'de ise harmonik standartlarına ait sınıfların içerikleri verilmiştir. 75 W'ın altındaki cihazlar için bir sınırlandırma yoktur.





Şekil 2. 2 EN 6100-3-2 standardına göre sınıflandırma diyagramı (IEC61000 3-2 [3])

Çizelge 2. 1 EN 6100-3-2 standardına göre cihazların sınıflandırılması

A Sınıfı	<ul style="list-style-type: none"> •Dengeli yüklü 3 fazlı cihazlar •75 W ile 1000 W aralığındaki profesyonel donanımlar •B,C ve D sınıflarında tanımlanmayan cihazlar
B Sınıfı	<p>75 W üzerindeki güçlerde,</p> <ul style="list-style-type: none"> •Profesyonel olmayan taşınabilir elektrikli aletler •Profesyonel olmayan taşınabilir kaynak makineleri
C Sınıfı	<ul style="list-style-type: none"> • 1000 W'ın altındaki aydınlatma cihazları
D Sınıfı	<p>75 W ile 600 W aralığındaki güçlerde,</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kişisel bilgisayarlar ve monitörleri • Televizyon ve radyo cihazları

Çizelge 2. 2 EN 6100-3-2 standardında verilen harmonik limitleri

Harmonik Numarası	A Sınıfı (A)	B Sınıfı (A)	C Sınıfı $(I_n/I_1) \times 100$	D Sınıfı (mA/W)
Tek Harmonikler				
3	2.30	3.45	30	3.4
5	1.13	1.71	10	1.9
7	0.77	1.155	7	1.0
9	0.40	0.60	5	0.5
11	0.33	0.495	3	0.35
13	0.21	0.315	3	3.85/13
15<n<39	0.15 x 15/n	0.225 x 15/n	3	3.85/n
Çift Harmonikler				
2	1.08	1.62	2	-
4	0.43	0.645	-	-
6	0.30	0.45	-	-
8<n<40	0.23 x 8/n	0.345 x 8/n	-	-

Çizelge 2.2' de ise, cihaz sınıflarına göre izin verilen harmonik limitleri verilmiştir. A ve B sınıfına dahil cihazlarda, harmonik akımlar doğrudan Amper olarak sınırlanmıştır. C sınıfı cihazlarda harmonik akımların temel akıma oranları ve D sınıfı cihazlarda ise Watt başına mA cinsinden harmonik akımlar belirlenmiştir. Çift numaralı harmonik akımların sınırlaması, A, B ve C sınıfı cihazlarda yer alırken, D sınıfı cihazlarda bulunmamaktadır.

Harmonikler veya enerji kalitesi ile ilgili diğer standartlar aşağıda sıralanmıştır:

- EN 6100-3-4, faz başına 16 A'den büyük cihazlar için harmonik akım sınırlarını belirler
- EN 6100-3-3, alçak gerilim sistemlerinde gerilim dalgalanma sınırlarını belirler.
- TS 9882, ev türü ve benzeri elektrikli cihazların şebekede sebep olduğu bozulmaların sınırlarını belirler.
- EN 50 006, elektronik eleman içeren ev türü ve benzeri elektrikli cihazların şebekede sebep olduğu bozulmaların sınırlarını belirler.
- VDE 0838 ev aletleri, VDE 0160 dönüştürücüler ve VDE 0712 floresan lamba balastları için harmonik akım sınırlarını belirler (Bodur [4]).

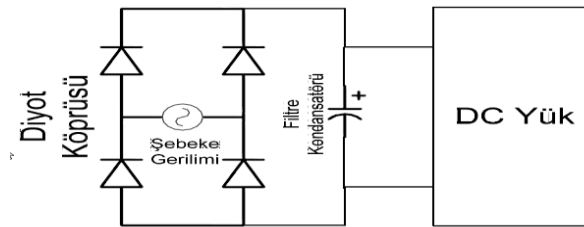
GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTME DEVRELERİ

Gerçek veya gerçek güç ile görünen güç arasındaki oran olan güç faktörü, güç sisteminde çok önemli bir parametredir. Sistemin gerçek gücünün ne kadar etkili bir şekilde kullanıldığını gösterir. Herhangi bir elektrik güç sisteminde düşük güç faktörüne sahip bir yük, aktarılan aynı miktarda faydalı güç için yüksek güç faktörlü yüke göre daha fazla akım çeker. Verimliliği artırmak için güç değerindeki bozulmalar giderilmeli ve akımdaki reaktif bileşenin en aza indirilmesi gerekmektedir.

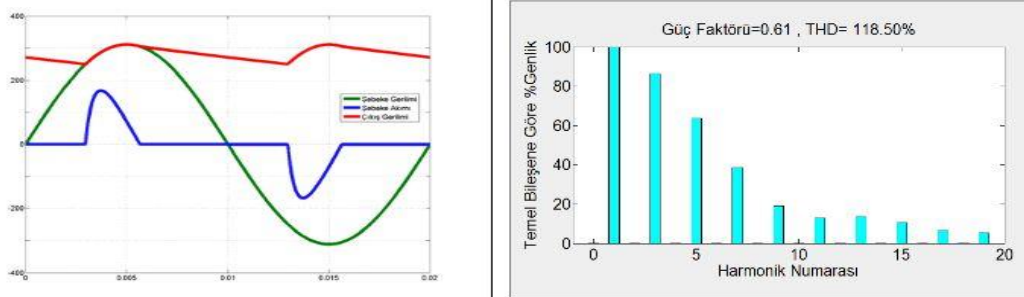
Güç faktörü düzeltme yöntemleri, beslenen yükün karakteri ne olursa olsun, şebeke tarafında omik özellik göstermesini hedefler. Böylece şebekeden çekilen akım gerilim ile aynı faz açısına sahip ve sinüzoidal olur. Bu amaçla pek çok farklı yöntem ortaya konulmuştur (Yanık [5]).

Klasik olarak motor ve trafolar gibi endüktif reaktif güç çeken yüklerin girişine paralel olarak kondansatör bağlanması ile çekilen endüktif reaktif gücün kompanse edilerek güç katsayısını 1'e yaklaştırmaya klasik VAR kompanzasyonu diyoruz. Klasik VAR kompanzasyonunun biraz daha gelişmiş şekli olan yarı iletken (statik) güç elemanları vasıtasıyla endüktans ve kondansatör değerleri kontrol edilerek, daha modern bir şekilde reaktif güç kompanzasyonu yapılmasına ise statik VAR kompanzasyonu adı verilir. Bu yöntemler en çok kullanılan en basit yapıları yöntemlerdir. Bu yöntemin en büyük avantajı basitliği, güvenilirliği ve EMI gürültüleri içermemesidir. Ancak bu avantajlarının yanı sıra bu reaktif elemanlar hantal ve pahalıdır.

DC güç kaynakları endüksiyonla ısıtma, enerji depolama sistemleri, anahtarlama güç kaynakları, bilgisayarlar, ses setleri, televizyonlar ve elektrik-elektronik cihazların çoğunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan yüklerin varlığı, güç sisteminin düşük güç faktörü ile çalışmasına neden olur. Birçok güç elektroniği dönüştürücüsündeki temel blok şekil 3.1’de görüldüğü gibi kapasitif filtreye sahip kontrolsüz diyot köprü doğrultucularıdır. Köprü doğrultucularının doğrusal olmayan yapısından dolayı şekil 3.2’de görüldüğü gibi sinüsoidal olmayan akım şebeke tarafından çekilir ve şebeke hatlarında harmonik içerik oluşur. Köprü doğrultucuları, yüksek harmonikli yapısı ve düşük güç faktörüne sahip olmasından dolayı verimleri düşüktür. Doğrultma işleminin doğrusal olmaması nedeniyle AC şebeke üzerinde bulunan kesintili giriş akımı giriş voltajının sinüsoidal şeklini takip edecek biçimde şekillendirilmelidir. Bu amaçla pasif ve aktif güç faktörü düzeltme yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Düşük güç, düşük maliyetli uygulamalar için pasif güç faktörü düzeltme teknikleri kullanılsa da, ağır ve hantal yapıya sahiptirler. Bu sebepten dolayı, aktif güç faktörü düzeltme teknikleri üstün performanslarından dolayı uygulamaların çoğunda kullanılır (Alim [6]). Günümüzde en yaygın yöntem, yüksek frekanslı AC-DC dönüştürücü tabanlı güç faktörü düzeltme devreleridir. Ancak bu devreler için PFC uyumlu kontrol teknikleri seçilmelidir.



Şekil 3.1 Çıkışta bir kondansatör bulunan köprü doğrultucu



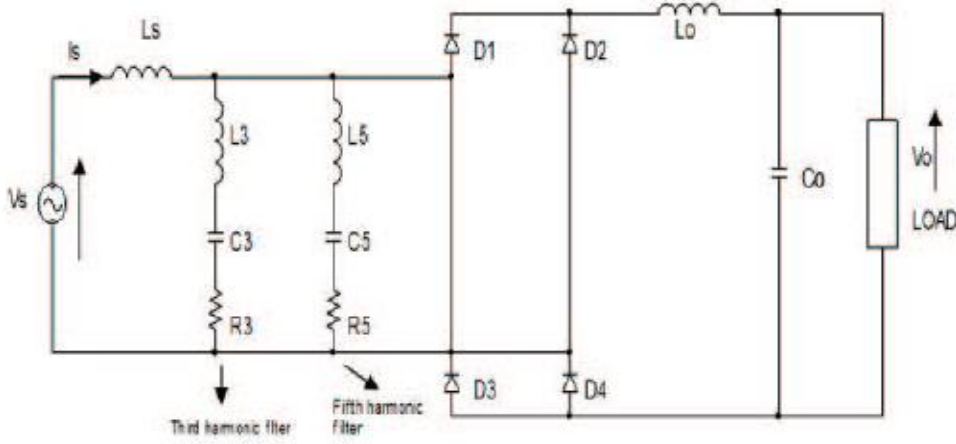
Şekil 3.2 Çıkışta bir kondansatör olması durumunda, AC şebeke gerilimi, çekilen akımın dalga şekilleri, akımın harmonik açılımı, THD ve güç faktörü değerleri

3.1 Pasif Filtreler

Endüktanslar ve kapasitörler köprü diyot doğrultucularla birlikte kullanılarak şebekeden çekilen akım dalga formunun geliştirilmesi için kullanılır. En basit yöntem, köprü doğrultucunun AC taraf girişine bir endüktans eklenerek güç faktörü artırılır ve harmonikler azaltılır.

Diğer bir yöntem ise köprü diyotun DC çıkış tarafına bir endüktans eklemektir. Bu endüktans diyotların iletim süresini artırır, böylece o hattan çekilen akımın pikleri azaltılır. AC tarafa eklenen pasif filtreler şebekeden çekilen bazı harmonik değerlerini kaldırmak için kullanılan bir yöntemdir.

Şekil 3.3, pasif filtre ile köprü doğrultucu devresini gösterir. L_d DC tarafın, L_s AC tarafın endüktansıdır. Z_{fh} düşük mertebeli harmonikler için ayarlanmış filtredir ve Z_{hpf} yüksek geçiş filtresidir.



Şekil 3.3 Pasif filtrelerle köprü doğrultucu devresi

Pasif filtre yöntemi güç faktörü düzeltmek için basit ve anlaşılabilir. Fakat devrenin boyutlarının çok büyümesi dezavantajdır. Kompakt sistemler için bu hantal filtreler uygun değildir. Ayrıca bu pasif filtreler çok güvenilir değildir çünkü bu devrelerde doyuma girme problemi vardır. Hattın taşıyacağı akım değeri sınırlıdır (Umesh [7]).

3.2 Aktif Filtreler

Lineer olmayan bir alıcının girişine bağlanan bir inverter devresi vasıtasıyla, ani değerleri okunan şebeke akımının harmonikleri yok edilmek üzere, sisteme yüksek frekansta uygun akım darbeleri enjekte edilir. Böylece, yaklaşık olarak gerilim ile aynı

fazda ve sinüsoidal olan bir akımın çekilmesi sağlanır. Burada, akım veya gerilim beslemeli olabilen inverterler, alıcı girişine seri, paralel veya karma şekilde bağlanabilmektedir. Aktif filtreler üzerinde yapılan yoğun çalışmalar sürmektedir. Bu filtrelerin en önemli dezavantajı, maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır.

3.3 Güç Faktörü Düzeltmeli AC-DC Dönüştürücüler

Güç faktörünün düzeltilmesinde, oldukça hantal ve pahalı olan pasif filtreler veya oldukça karmaşık ve pahalı olan aktif filtreler yerine, son yıllarda daha çok yüksek frekanslı AC-DC dönüştürücü temelli PFC devreleri kullanılmaktadır.

PFC' li AC-DC dönüştürücüler, yoğun uygulama alanı bulmuş ve büyük önem kazanmıştır. Ancak, kaliteli bir PFC için frekansın yükseltilmesi ile birlikte, anahtarlama kayıpları ve EMI da artmakta ve devrenin uygulanabilme yeteneği zayıflamaktadır. Bu sebeple, PFC devrelerinde Yumuşak Anahtarlama Teknikleri kullanılmaktadır.

Yüksek frekanslı AC-DC dönüştürücüler, temel köprü doğrultucu yapısının ardından regülasyon için bir kapasite yerine, yüksek frekanslı bir DC-DC dönüştürücü kullanılması ile elde edilir. Bu devrelerin en büyük avantajı yüksek güç faktörü ve düşük harmonik içeriktir.

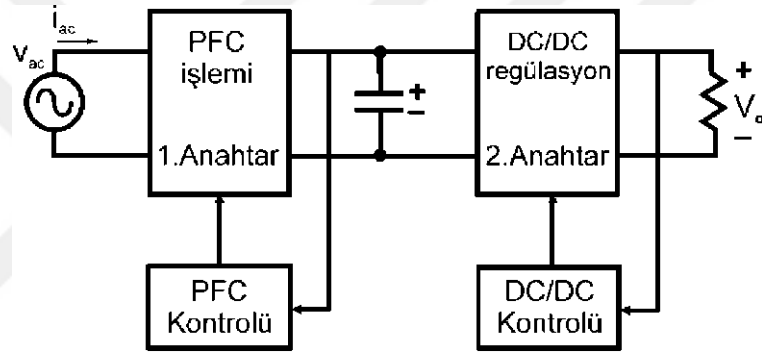
3.3.1 Güç Faktörü Düzeltmeli AC-DC Dönüştürücülerin Sınıflandırılması

Güç faktörü düzeltme devreleri, PFC ile regülasyon işlemlerini ayrı ayrı yapan iki aşamalı devreler ve birlikte yapan tek aşamalı devreler olarak ikiye ayrılırlar. Bu amaçla bütün DC-DC dönüştürücüler kullanılabilir. Ancak, bu dönüştürücünün doğal PFC özellikleri ile uyumlu olması veya PFC amacıyla uyumlu bir kontrol yönteminin önerilmesi gerekir.

3.3.1.1 İki Aşamalı PFC Dönüştürücüler

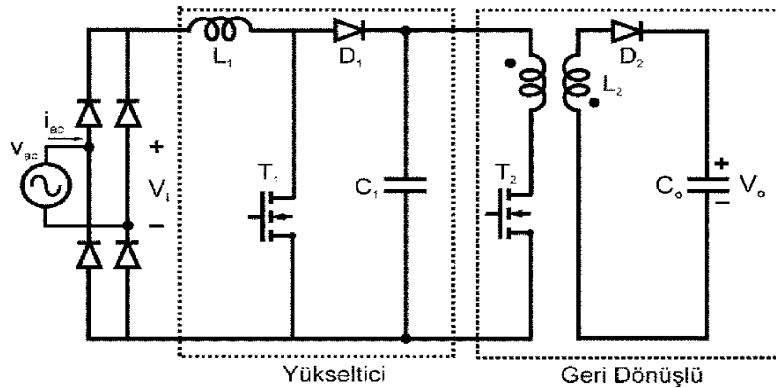
İki aşamalı bir PFC sisteminin genel blok şeması Şekil 3.4'de görülmektedir. Bu yöntemde, PFC işlemi ve gerilim regülasyonu için ayrı birer DC-DC dönüştürücü kullanılır. Ön-regülatör (pre-regulator, power factor pre-regulator, PFP), şebekeden çekilen akımı düzelterek güç faktörünü yükseltir, bir çıkış gerilimi oluşturur. Bu çıkış

gerilimi bir depolama kondansatörü (bulk, storage capacitor) üzerinde depolanır. İkinci DC-DC dönüştürücü ise depolama kondansatörü gerilimini işleyerek, sistemin çıkış gerilimini regüle etmek amacıyla kullanılır (Yanık [4]). İki aşamalı güç faktörü düzeltme devrelerinde, çıkış gerilimi regülasyonu ile güç faktörünün düzeltilmesi işlemleri ayrı kontrolörler tarafından yapılmaktadır. Bu yüzden tek aşamalı dönüştürücüye göre daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. İki aşamalı aktif PFC devreleri, giriş akımının tüm standartları sağlaması, evrensel giriş gerilimlerinde uygulanabilirliği ve depolama kondansatörünün geriliminin kontrolü gibi avantajlara sahiptir. Ancak, devrenin dinamik cevap verme süresi, karmaşıklığı ve maliyeti artar. Düşük güçlü uygulamalar için pahalı bir çözüm haline dönüşebilen bu yöntem, daha çok yüksek güçlü uygulamalarda tercih edilir. (Bodur [3]).



Şekil 3.4 İki aşamalı bir PFC sisteminin blok şeması

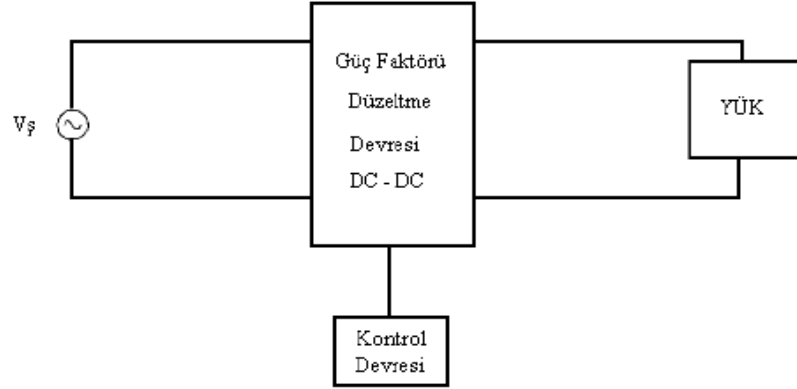
Şekil 3.5'de, iki aşamalı örnek bir PFC devre şeması görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, önce yükseltici bir dönüştürücü ile PFC işlemi ve daha sonra geri dönüşlü bir dönüştürücü ile çıkış geriliminin regülasyonu sağlanmaktadır.



Şekil 3.5 İki aşamalı örnek bir PFC sisteminin blok şeması

3.3.1.2 Tek Aşamalı PFC Dönüştürücüler

Tek aşamalı bir PFC sisteminin genel blok şeması Şekil 3.6'da görülmektedir. Çıkış gerilimi regülasyonu ve güç faktörü düzeltme işlemleri tek bir kontrolör tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu tür devrelerde her iki aşama arasında bulunan depolama kondansatörünün gerilimi kontrol edilememektedir. Bu sebep ile yüksek giriş gerilimleri ile hafif yüklerde depolama kondansatörü gerilimi oldukça artabilmektedir. Kondansatör değerinin azaltılmasına bağlı olarak önlemler alınmışsa da, yüksek anahtarlama frekanslarında çalışıldığında bu durum başka sorunlara yol açmaktadır. Tek aşamalı güç faktörü düzeltme devreleri, tüm bu olumsuz özelliklerine rağmen, kontrol kolaylığı, eleman azlığı ve maliyet açısından iki aşamalı devrelere kıyasla daha avantajlı olmaktadır



Şekil 3.6 Tek aşamalı bir PFC sisteminin blok şeması

Tek aşamalı güç faktörü düzeltme devrelerinin bazılarında giriş gücü çıkışa, iki aşamalı devrelerde olduğu gibi iki seferde işlenmektedir. Bu durumda devrenin verimi oldukça düşmekte ve elemanlar çıkış gücüne göre seçilmektedir. Bu sebep ile devrenin veriminin artırılması ve elemanların boyutlarının azaltılması bakımından, gücün çıkışa tek seferde işlendiği tek aşamalı güç faktörü düzeltme devrelerine olan ilgi gittikçe artmaktadır. Doğrudan güç transferi veya paralel tek aşamalı güç faktörü düzeltme devreleri olarak adlandırılan bu devreler, ilk olarak önerildiği zamanlarda kontrolü oldukça zor, eleman ve anahtar sayıları oldukça fazla, doğrudan aktarılan güç oranı ise düşük seviyelerde devreler olarak dikkat çekmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda devre topolojileri daha basit, kontrol kolaylığı ve maliyet açısından daha avantajlı devreler önerilmiştir (Bodur [1]).

3.3.2 Güç Faktörü Düzeltme Devrelerinde Kullanılan Kontrol Yöntemleri

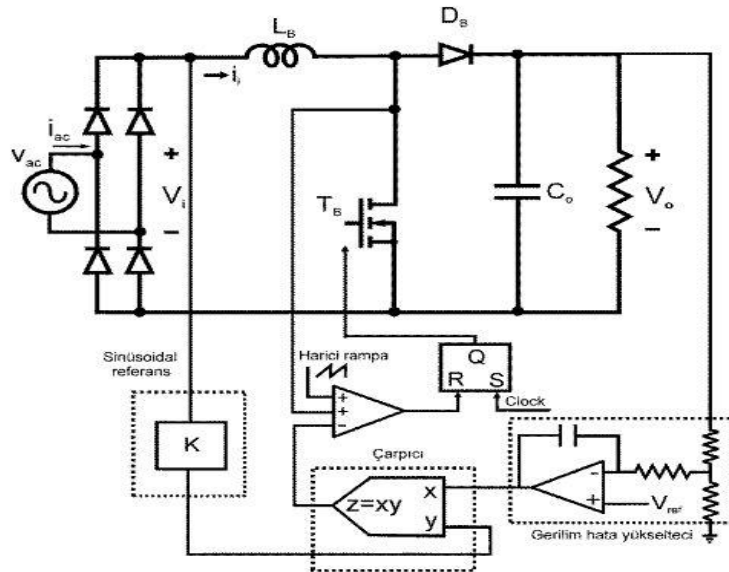
PFC devrelerinde, uygulamanın türüne göre değişik kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin analizi, genellikle sürekli iletim modunda çalışan yükseltici dönüştürücü üzerinde yapılır.

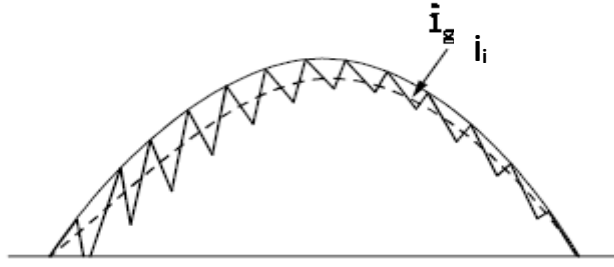
3.3.2.1 Pik Akım Modlu Kontrol

Bu kontrolde kısaca, sabit frekans altında veya sabit periyot içerisinde, algılanan gerçek akımın önceden belirlenen akım değerine erişmesiyle anahtara uygulanan sinyal kesilir.

Burada, sinüsoidal akım örneği olarak, direnç üzerinden alınan doğrultulmuş giriş gerilimi kullanılır. Algılanan anahtar akımı ve harici rampa fonksiyonunun toplamı sinüsoidal akım referansına eriştiğinde anahtar kesime girer. Sinüsoidal akım referansı, genliği küçültülmüş ve doğrultulmuş giriş gerilimi ile gerilim hata yükselteci çıkışının çarpılmasıyla elde edilir. Referans akım sinyali giriş gerilimi ile eşzamanlı olduğundan, güç faktörü düzeltilir ve birim güç faktörüne yaklaşılır.

Bu kontrol yönteminde, yalnızca anahtar akımı algılanır ve akım hata yükselteciye gerek duyulmaz. Ancak, sıfır gerilim geçişlerinde, anahtar akımının yükselme hızı düşer ve sinüs takip edilemez. Çok küçük bir zaman aralığında gerçekleşen bu durumdan dolayı, şebeke gerilimi Sıfır Geçiş Bozulmaları oluşur. Bu bozulmalar, yüksek şebeke giriş gerilimlerinde ve hafif yüklerde daha da artar. Bu nedenle harici bir rampa fonksiyonuna ihtiyaç duyulur.





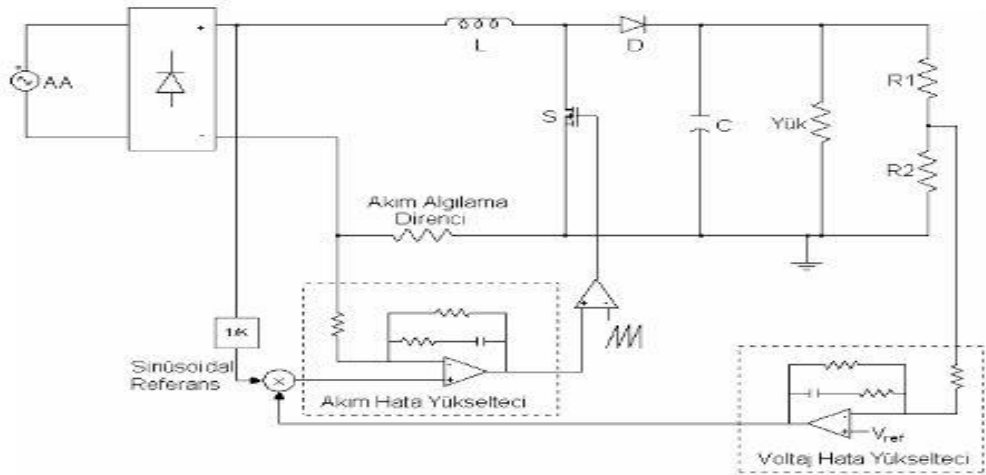
Şekil 3.7 Pik Akım modlu kontrolün blok şeması ve giriş akımının dalga şekli

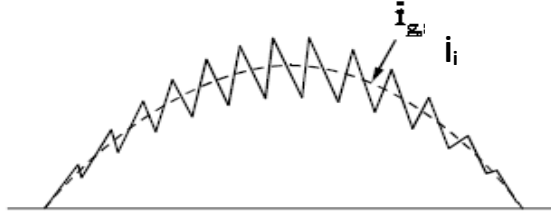
3.3.2.2 Ortalama Akım Modlu Kontrol

Bu kontrolde kısaca, sabit frekans altında veya sabit periyot içerisinde, algılanan gerçek akımın önceden belirlenen akım değerine erişmesiyle anahtara uygulanan sinyal kesilir.

Burada, sinüsoidal akım örneği olarak, direnç üzerinden alınan doğrultulmuş giriş gerilimi kullanılır. Algılanan anahtar akımı ve harici rampa fonksiyonunun toplamı sinüsoidal akım referansına eriştiğinde anahtar kesime girer. Sinüsoidal akım referansı, genliği küçültülmüş ve doğrultulmuş giriş gerilimi ile gerilim hata yükselteci çıkışının çarpılmasıyla elde edilir. Referans akım sinyali giriş gerilimi ile eşzamanlı olduğundan, güç faktörü düzeltilir ve birim güç faktörüne yaklaşılır.

Bu kontrol yönteminde, yalnızca anahtar akımı algılanır ve akım hata yükselteciye gerek duyulmaz. Ancak, sıfır gerilim geçişlerinde, anahtar akımının yükselme hızı düşer ve sinüs takip edilemez. Çok küçük bir zaman aralığında gerçekleşen bu durumdan dolayı, şebeke gerilimi Sıfır Geçiş Bozulmaları oluşur. Bu bozulmalar, yüksek şebeke giriş gerilimlerinde ve hafif yüklerde daha da artar. Bu nedenle harici bir rampa fonksiyonuna ihtiyaç duyulur.



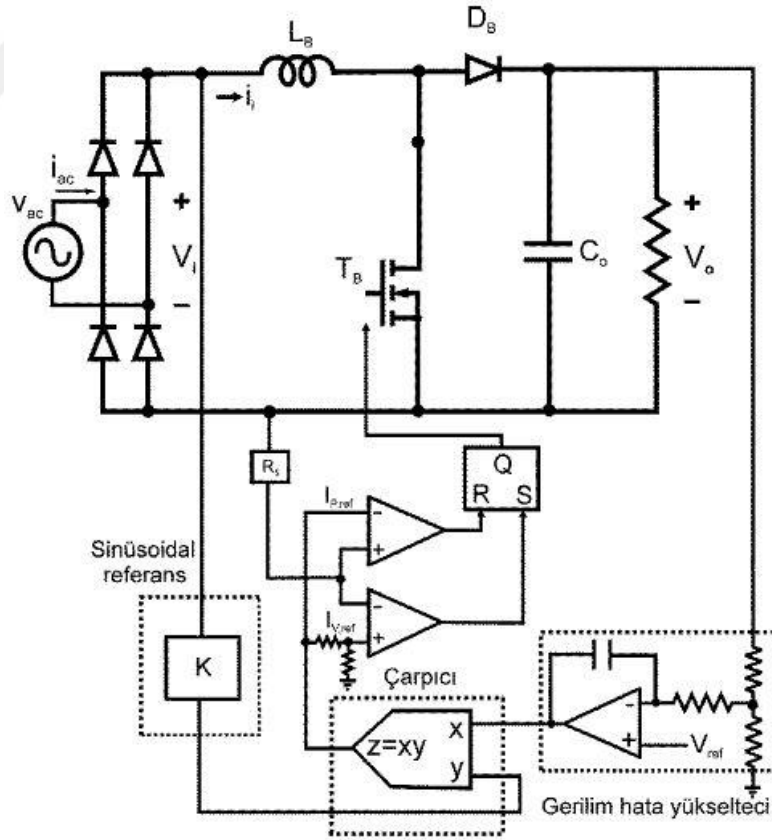


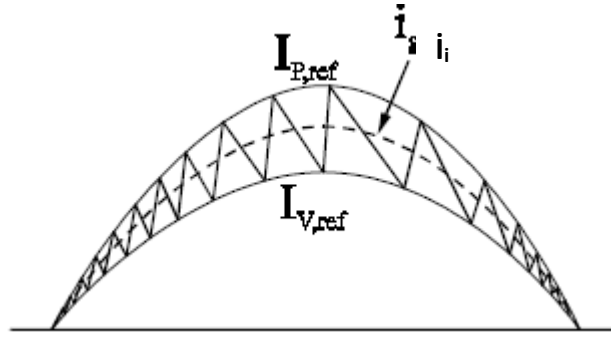
Şekil 3.8 Ortalama Akım modlu kontrolün blok şeması ve giriş akımının dalga şekli

3.3.2.3 Histeresiz Kontrol

Bu kontrolde kısaca, değişken frekans altında, algılanan gerçek endüktans akımının önceden belirlenen iki sinüsoidal akımın arasında tutulması amaçlanır.

Burada, anahtarın sinyali, yükselen endüktans akımı üst referans akıma çıktığında kesilir ve alt referans akıma düştüğünde tekrar verilir. Anahtarlama frekansı değişkendir ve oldukça düzgün bir giriş akımı elde edilebilir. Şebeke geriliminin sıfır geçiş yakınlarında oluşan aşırı frekanslara karşı, önlem alınması gerekir. Örneğin, çalışma bandı genişletilebilir veya bu bölgede sinyaller kesilebilir.



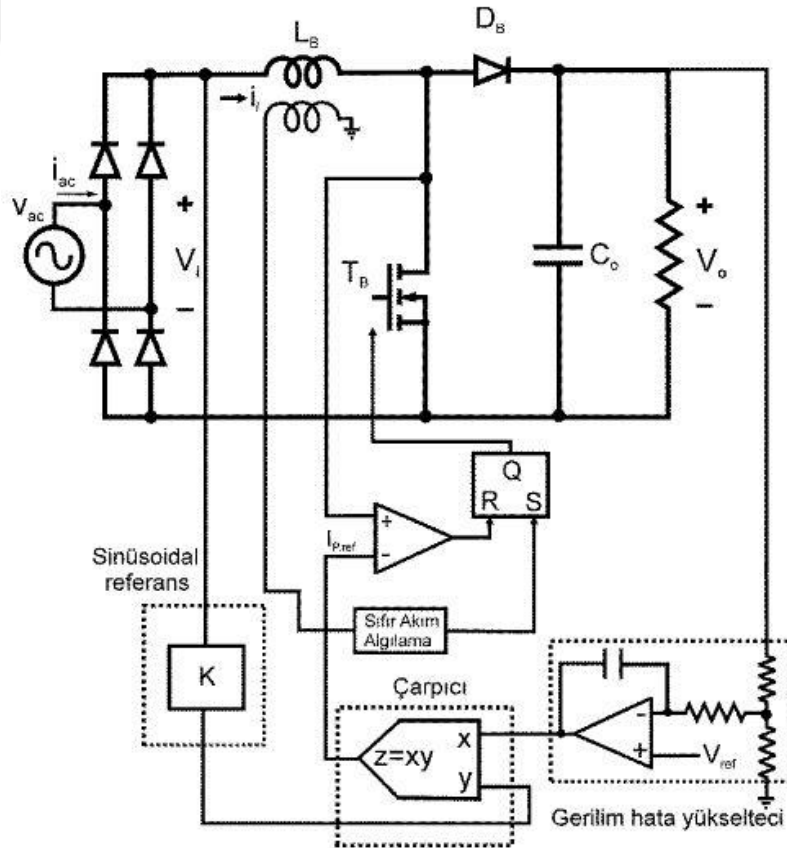


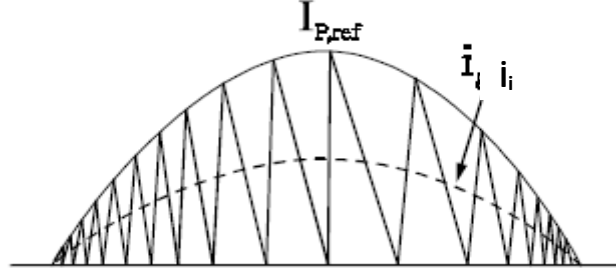
Şekil 3.9 Histerezis kontrolün blok şeması ve giriş akımının dalga şekli

3.3.2.4 Sınır Akım Modlu Kontrol

Bu kontrolde kısaca, değişken frekans altında, dönüştürücünün sürekli ve kesintili iletim modlarının sınırında çalıştırılması amaçlanır.

Burada, anahtarın iletim süresi sabit tutulur, iletimde endüktans akımının yükselmesi sağlanır, sonra kesimde akımın sıfıra düşmesi beklenir ve akımın sıfır olduğu anda tekrar sinyal verilir. Anahtarlama frekansı değişkendir ve giriş akımı çok düzgün değildir.





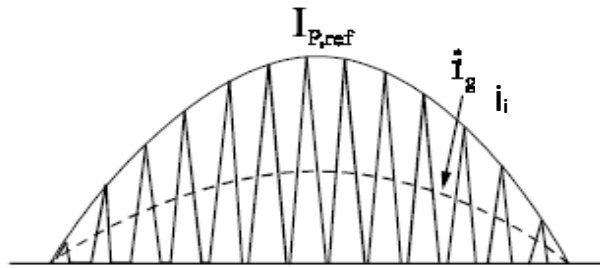
Şekil 3.10 Sınır Akım kontrolün blok şeması ve giriş akımının dalga şekli

Bu kontrolde, ana diyotun yumuşak kesime girmesi ve bununla birlikte ana anahtarın yumuşak iletme girmesi sağlanır. Diğer yandan, anahtar pik değerleri yükselir ve bir giriş filtresi gerekir. Şekilden de görüldüğü gibi, akım hata yükselteci ve harici rampa fonksiyonuna ihtiyaç yoktur. Fakat endüktans akımının sıfır olduğu anlar algılanmalıdır.

3.3.2.5 Kesintili Akım Modlu Kontrol

Bu kontrolde kısaca, sabit frekans altında, dönüştürücünün kesintili iletim modunda çalışması sağlanır.

Burada, periyot ile birlikte anahtarın iletim süresi de sabit tutulur. Endüktansın akımı, anahtar iletimde iken artar ve kesimde iken sıfıra düşer. Akım bir süre sıfırda kaldıktan sonra tekrar sinyal başlar. Anahtarlama frekansı değişkendir ve giriş akımı yeterince düzgün değildir. Bu kontrol yöntemi yalnızca düşük güçlü uygulamalarda tercih edilmektedir.



Şekil 3.11 Kesintili Akım kontrolün giriş akımının dalga şekli

PFC dönüştürücülerde kullanılan ve yukarıda sıralanan kontrol yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.1' de özetlenmiştir. (Bodur [3]).

Çizelge 3.1 PFC dönüştürücülerde kullanılan kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması

KONTROL TÜRÜ	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
<i>Pik Akım Modlu Kontrol</i>	Anahtarlama frekansı sabittir. Akım değerleri normaldir. Akım hata yükselteci gerekmez.	Ana diyot sert kesime girer. Anahtar sert ilettime girer. Gerimin sıfır geçişlerinde, giriş akımında bozulmalar oluşur. Kontrol gürültülere karşı hassastır.
<i>Ortalama Akım Modlu Kontrol</i>	Anahtarlama frekansı sabittir. Giriş akım şekli yeterince düzgündür. Akım değerleri normaldir.	Ana diyot sert kesime girer. Anahtar sert ilettime girer. Akım hata yükselteci gerekir.
<i>Histerezis Kontrol</i>	Giriş akım şekli oldukça düzgündür. Akım değerleri normaldir. Akım hata yükselteci yoktur.	Anahtarlama frekansı değişkendir. Ana diyot sert kesime girer. Anahtar sert ilettime girer. Kontrol gürültülere karşı hassastır.
<i>Sınır Akım Modlu Kontrol</i>	Ana diyot yumuşak kesime girer. Anahtar yumuşak ilettime girer. Akım hata yükselteci gerekmez.	Anahtarlama frekansı değişkendir. Giriş akım şekli pek düzgün değildir. Akım pik değerleri oldukça yüksektir. Giriş akımı filtresi gerekir.
<i>Kesintili Akım Modlu Kontrol</i>	Anahtarlama frekansı sabittir. Ana diyot yumuşak kesime girer. Anahtar yumuşak ilettime girer. Akım hata yükselteci gerekmez. Akımın algılamaya gerek yoktur.	Giriş akım şekli pek düzgün değildir. Akım pik değerleri oldukça yüksektir. Giriş akımı filtresi gerekir

ÖNEMLİ BAZI GÜÇ FAKTÖRÜ DÜZELTME DEVRELERİ

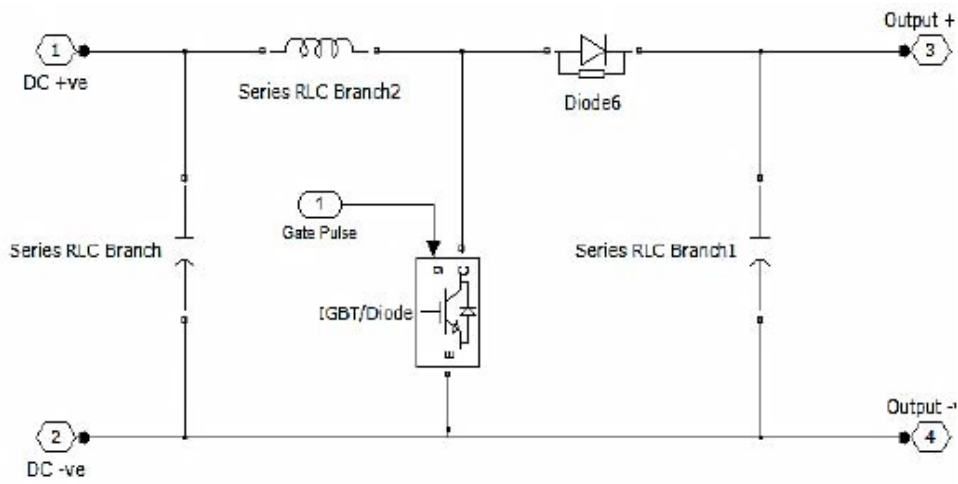
Güç Faktörü Düzeltme uygulamalarında en popüler topoloji kesinlikle yükseltici topolojisidir. Yükseltici devre topolojisi çok basittir ve farklı kontrol teknikleriyle düzgün giriş akımlarına ve neredeyse birim güç faktörüne izin verir. Bu bölümde güç faktörünü düzeltmek için kullanımı yaygın olan bulanık mantıksal kontrollü yükseltici dönüştürücü ve köprüsüz yükseltici dönüştürücünün devre analizi incelenmiştir.

4.1 Bulanık Mantıksal Kontrollü Yükseltici Dönüştürücü

Bu çalışmada, tek fazlı doğrultucu için bir yükseltici dönüştürücü tabanlı PFC yönteminde yeni bir bulanık mantık kontrol stratejisi sunulmuştur. Son zamanlarda, bulanık mantık denetleyicileri karmaşık işlemi denetlemek için başarılı bir çözüm haline gelmiştir. Bulanık mantık denetleyicisinin iki avantajı vardır. Kontrolör anlayışında matematiksel bir modele ihtiyaç duymaz, yanlış girdileri tolere edebilir ve doğrusal olmayan yönlerini işleyebilir (Benyamina [8]). Önerilen bulanık mantık kontrol sistemi iki giriş ve bir çıkışa sahiptir. Önerilen PFC kontrolü, sürekli iletim modunda çalışan yükseltici dönüştürücüye dayanır ve daha yüksek bir anahtarlama frekansı sağlar. Sürekli iletim modu güncel kontrol teknikleri, hızlı tepki ve yüksek doğruluğun önemli olduğu yüksek performanslı uygulamalarda tercih edilmektedir.

Bu yöntem ile tek fazlı yükseltici dönüştürücüde kapı darbe sinyallerinin görev döngüsünü kontrol etmek için bulanık denetleyici kullanılmıştır. Bu kontrol anahtarlamaı düzenleyerek güç faktörünü geliştirir.

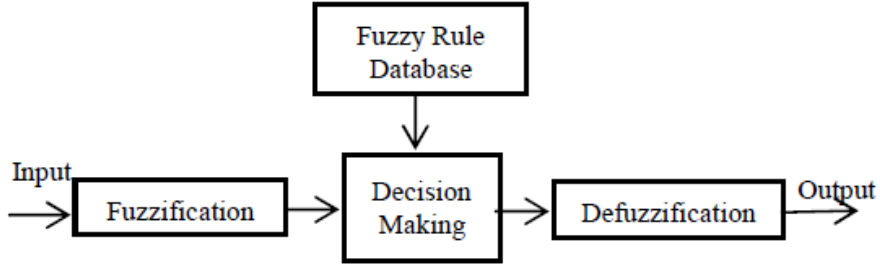
Basit bir yükseltme dönüştürücü topolojisi şekil 4.1' de gösterilmektedir. Bu devre, girişten daha yüksek bir çıkış gerilimi gerektiğinde kullanılır. Çıkış voltajı, yüksek hızlı anahtarlama yaparak doluluk oranının değiştirilmesi ile kontrol edilir. Anahtar iletime girdiğinde akım, giriş kaynağından indüktör ve anahtar vasıtasıyla akar bu sayede enerji indüktörün manyetik alanına depolanır. Diyotda akım akışı olmaz ve yük akımı, kondansatör tarafından beslenir. Anahtar kesime girdiğinde giriş kaynağı ve indüktörde depolanan enerji diyot üzerinden yükü besler ve kondansatörü şarj eder böylece indüktör voltajı giriş voltajını artırır. Burada bir IGBT anahtarı kullanılır ve kapı darbe sinyali bulanık mantık denetleyicisi kullanılarak kontrol edilir (Krishna [9]).



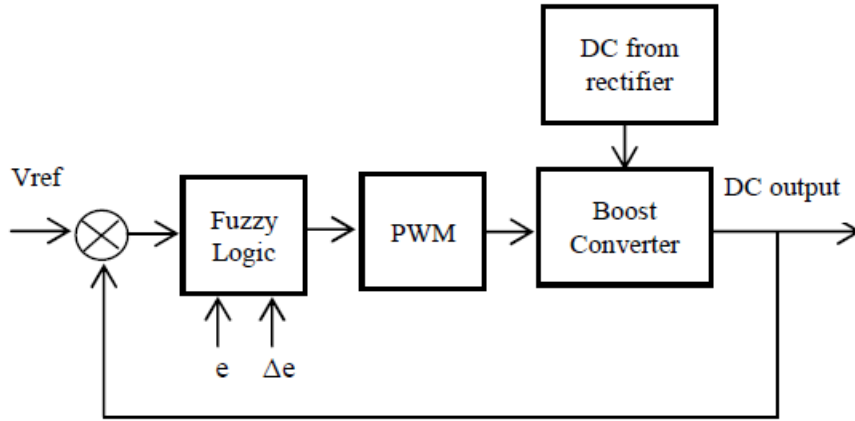
Şekil 4.1 Basit yükseltici devre şeması

Bulanık mantık denetleyicisi, son kontrol çalışmasını belirleyen bir dizi kurala dayanır. Her kural belirli bir koşullar kümesine yanıt olarak alınacak kontrol eylemi hakkında bilgi verir. Bir temel bulanık kontrol sisteminin blok diyagramı şekil 4.2' de gösterilmektedir. Giriş parametrelerini bulanık mantık kullanarak işlemek için uygun bir forma dönüştürür. Anlaşılması kolaydır ve temel bir denetleyici ile sağlanır. Uygun bulanık kuralları veri tabanı olarak kullanarak karar verme yapılır. Son olarak, bulanıklaştırmanın ters işlem süreci, gerekli çıkış kontrol parametresini elde etmek için yapılır. Bu sistemde iki giriş bir çıkış tabanlı bulanık mantık denetleyicisi tasarlanmıştır. Tasarlanan bulanık mantık denetleyicisi, şekil 4.3' de gösterildiği gibi yükseltici dönüştürücünün kapı darbelerini düzenlemek için kullanılır. Devre, tek fazlı bir doğrultucu, yükseltici dönüştürücü, PWM ve Bulanık Mantık denetleyiciden oluşur. Giriş kaynağı, tek fazlı doğrultucudan gelen DC gerilimdir. Giriş akım dalga biçimini

şekillendirmek için yükseltici çevirici çıkışından alınan sinyal, geri besleme yolunda tutulan bulanık denetleyicisi tarafından algılanır böylece anahtarın çalışma döngüsünü kontrol edilir. İndüktör akımı, yükseltici dönüştürücünün tepkisinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, dönüştürücüdeki enerji depolaması hakkında bilgi sağlar. Böylece, indüktördeki herhangi bir değişiklik çıkış voltajını etkileyebilir.



Şekil 4.2 Bulanık mantık denetleyicisi blok diyagramı



Şekil 4.3 Bulanık kontrollü yükseltici dönüştürücünün blok diyagramı

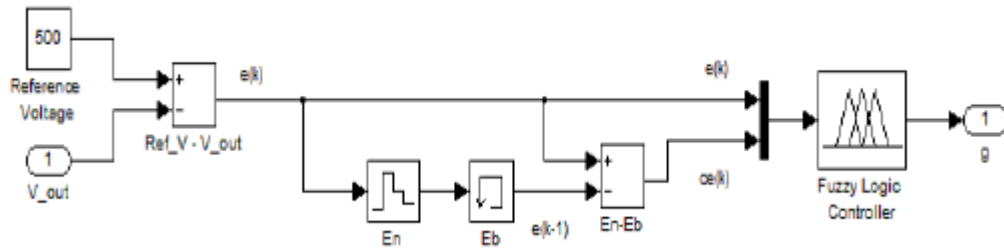
Bulanık denetleyicinin hata voltajı (e) ve hata voltajındaki değişim (Δe) olmak üzere iki girişi vardır. Hata voltajı, çıkış voltajı (V_{out}) ile referans voltajı (V_{ref}) arasındaki farktır. Hata voltajındaki değişim, hata voltajı ve önceki voltaj arasındaki farktır. Hata voltajı için denklemler ve hata voltajındaki değişimler aşağıda verilmektedir.

$$e = V_{ref} - V_{out} \quad (4.1)$$

$$\Delta e = e_k - e_{k-1} \quad (4.2)$$

Önerilen devrenin matlab simülasyonu şekil 4.4' de gösterildiği gibidir. Bulanık mantık denetleyicisi, iki giriş voltajı üyelik fonksiyonunu ve bir çıkış voltajı üyelik fonksiyonunu

MATLAB bulanık mantık araç kutusundaki FIS düzenleyicisini kullanarak yapılandırmaktadır.



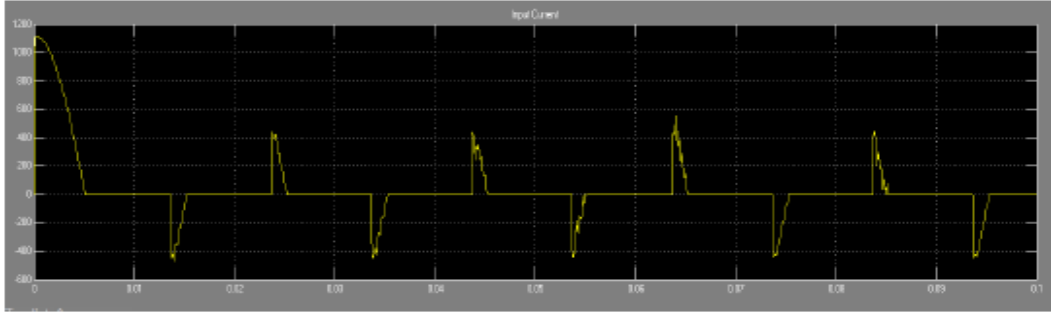
Şekil 4.4 Bulanık denetleyici matlab similasyonu

Bulanık mantık ilkesi, sistemin çalışmasıyla ilgili bilgilere dayanarak tasarlanmıştır. Böylece olasılık teorisinin yönlerine dayanan bulanık mantık teorisi, kontrollü sistemin çeşitli miktarlarını karakterize eden "bulanık kümeler" olarak adlandırılan grupları içerir. Bulanık algılayıcı, uzman tarafından oluşturulmuş ve yeterli denetimi veya karar vermeyi sağlayan bulanık kurallar kümesini kullanır. Bulanık mantık denetleyicisi girişindeki değişiklikler temel alınarak, temel kurallar PWM görev döngüsünü ayarlar. Tasarlanan kural seti tablosu şekil 4.5’de verilmiştir.

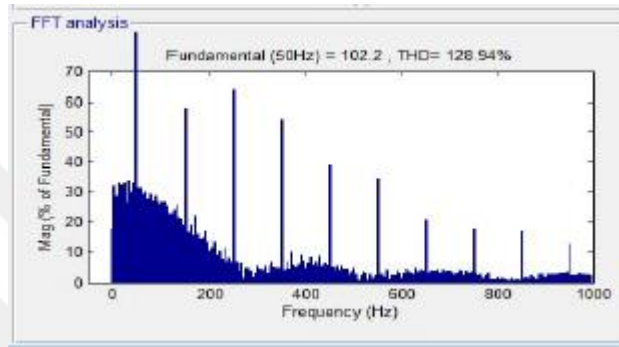
e	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZO
NS	NB	NB	NS	ZO	PS
ZO	NB	NS	ZO	PS	PB
PS	NS	ZO	PS	PB	PB
PB	ZO	PS	PB	PB	PB

Şekil 4.5 Bulanık kural seti

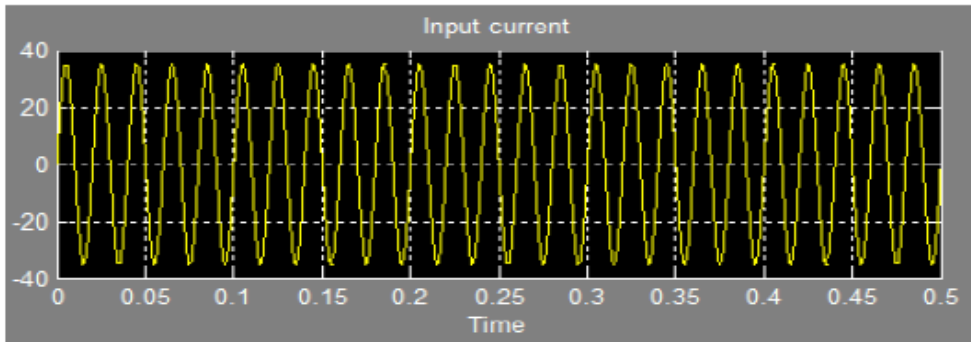
Önerilen bulanık kontrol algoritması, güç faktörü düzeltme için yükseltici dönüştürücü devresindeki kapı darbe sinyallerini kontrol etmek için uygulanmıştır. PFC içermeyen tek fazlı bir doğrultucu giriş akım dalga formu şekil 4.6’ da, harmonik bozulmaları 4.7’ de gösterilmiştir. Bulanık kontrolör tabanlı bir PFC’ye sahip doğrultucu için giriş akımı dalga formları 4.8’ de, harmonik bozulmaları 4.9’ da verilmiştir.



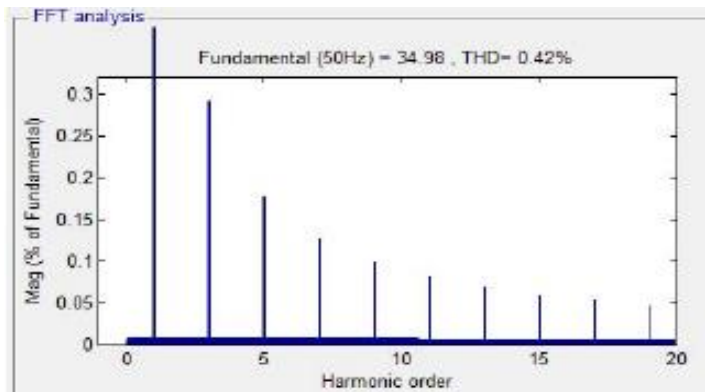
Şekil 4.6 PFC içermeyen tek fazlı doğrultucu giriş akım dalga formu



Şekil 4.7 PFC içermeyen tek fazlı doğrultucu giriş akım harmoniği



Şekil 4.8 Bulanık mantık kontrolör tabanlı doğrultucunun giriş akım dalga formu



Şekil 4.9 Bulanık mantık kontrolör tabanlı doğrultucunun giriş akım harmoniği

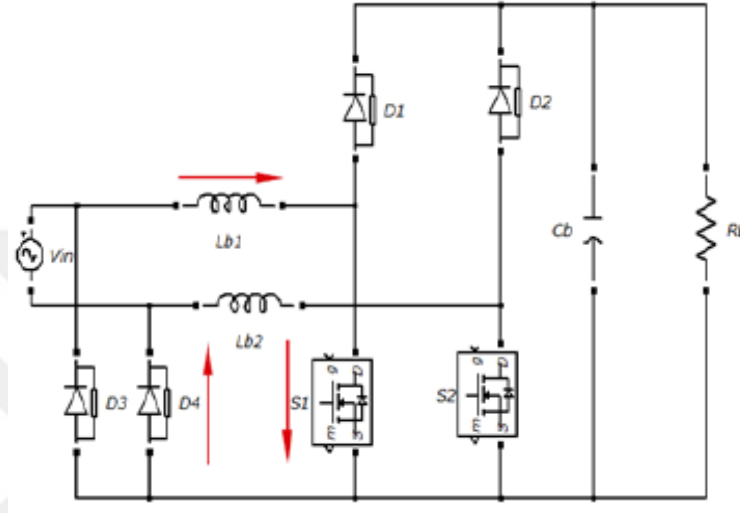
Bu çalışmada, bulanık denetleyiciyi kullanarak tek fazlı doğrultucuda yükseltici dönüştürücü tabanlı güç faktörü düzeltmesi için yeni bir yöntem önerilmiş ve sonuçların simülasyonu değerlendirilmiştir. PFC içermeyen tek fazlı bir doğrultucu için giriş akımı harmonik bozulması %128,94, güç faktörü 0,614 değerindedir. Bulanık kontrolör tabanlı bir PFC'ye sahip doğrultucu için giriş akımı harmonik bozulması %0,42, güç faktörü 0,999 değerindedir. Deneyle, yöntemin toplam harmonik bozulmayı azalttığını ve böylece birim güç faktörüne yakın bir sonuç ürettiğini göstermiştir. Ayrıca bulanık mantık denetiminin kullanımı, sistemin aşırı gerilim sınırlamaları ve geniş parametre değişimleri ile başa çıkmak için iyi bir potansiyele sahiptir. Kontrol stratejisi, minimum harmonik bozulma ile sinüzoidal akım dalga formunun üretilmesinde etkili bir yöntemdir (Krishna [9]).

4.2 Köprüsüz Güç Faktörü Düzeltme Devreleri

Bu çalışmada, geleneksel yükseltici dönüştürücü topolojisi ile karşılaştırıldığında, giriş hat akımlarında gelişmiş güç faktörü ve azaltılmış harmonik içeriği ile sonuçlanan köprüsüz bir güç faktörü düzeltme yükseltici dönüştürücü incelendi. Köprüsüz bir güç faktörü düzeltme yükseltici dönüştürücü, geleneksel yükseltici dönüştürücüsündeki köprü doğrultucuyu ortadan kaldırır, böylece iletkenlik kaybı azaltılır (Alim [6]). Ev aletleri ve büyük panel ekranlar gibi bazı büyük hacimli uygulamalar için, güç dönüştürme biriminde maliyet ve karmaşıklık kabul edilemez bir sorundur. Bu uygulamalar ucuz ve güvenilir çözümler gerektirmektedir. Köprüsüz bir güç faktörü düzeltme yükseltici dönüştürücü, doğrultucu köprüsünü çıkaran yüksek verimli bir topolojidir ve herhangi bir iletim yolunda yalnızca iki yarı iletken vardır (Gopinath [10]).

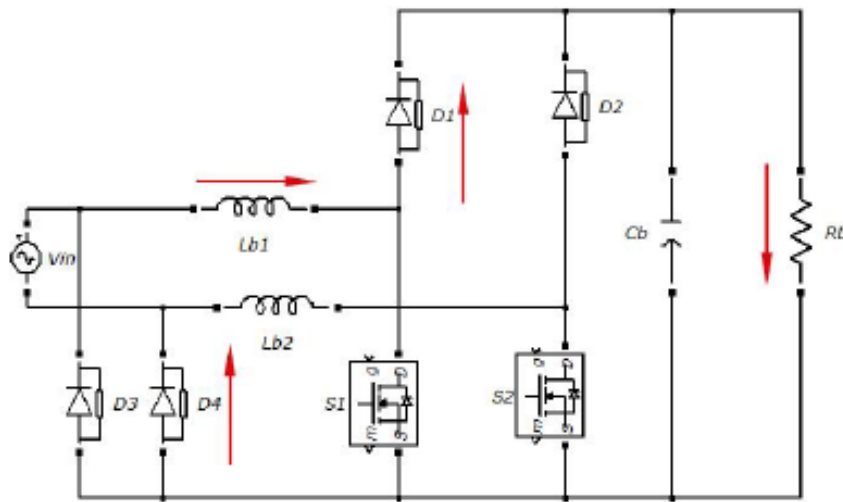
Geleneksel yükseltme topolojisi, güç faktörü düzeltme uygulamaları için en yaygın kullanılan topoloji arasındadır. Bu tasarım köprü diyot doğrultucu ve bunu takiben yükseltici dönüştürücüden oluşur. Köprü diyot doğrultucu, AC giriş voltajını DC'ye çevirmek için kullanılır ve daha sonra yükseltici bölümüne iletir. Bu yaklaşım, düşük ila orta güç aralığı uygulamaları için iyidir. Daha yüksek güç seviyeleri için, diyot köprüsü uygulamanın önemli bir parçası haline gelir ve sınırlı yüzey alanındaki ısı dağılımı sorunu ortaya çıkar. Bu nedenle, yüksek etkili bir topoloji olarak köprüsüz olmayan PFC yoğun bir ilgi çeker ve araştırmaların çoğu bu topoloji üzerine odaklanmıştır.

Köprüsüz bir güç faktörü düzeltme yükseltici dönüştürücü orta-yüksek güç uygulamalarında en iyi seçimlerden biridir. Temel çalışma prensibi dört moda ayrılabilir. Mod I ve mod II giriş voltajının pozitif yarı dörüngesine girer, Mod III ve mod IV giriş voltajının negatif yarı dörüngesine girer. Şekil 4.10' da mod I çalışırken S1 anahtarı iletim durumundadır. Anahtar S1 iletimdeyken Lb1 endüktansı, V_{in} -Lb1-S1-D4 yolu üzerinden enerji depolar.



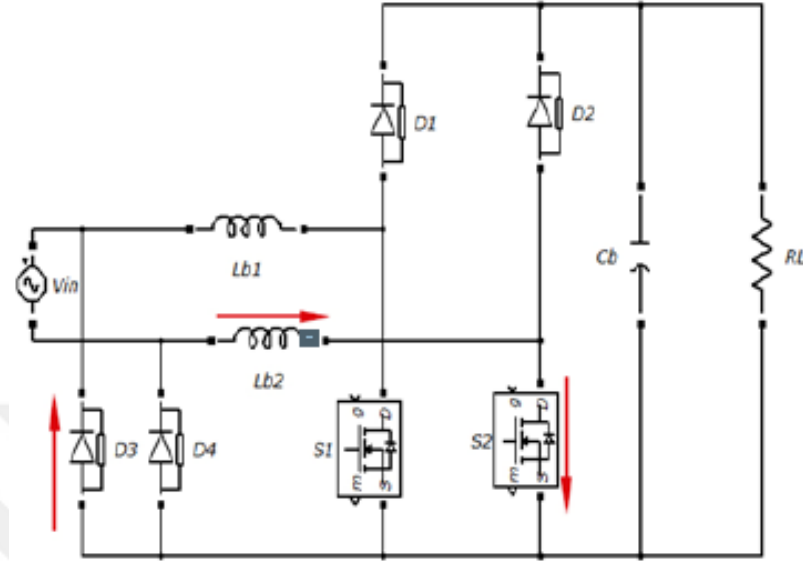
Şekil 4.10 Mod I çalışma prensibi

Şekil 4.11' de mod II çalışırken S1 anahtarı kesim durumundadır. Anahtar S1 kesimdeyken, Lb1 endüktansında depolanan enerji deşarj olur ve akım D1 diyotu, RL yükü boyunca akarak D4 diyotu vasıtasıyla ana şebekeye döner.



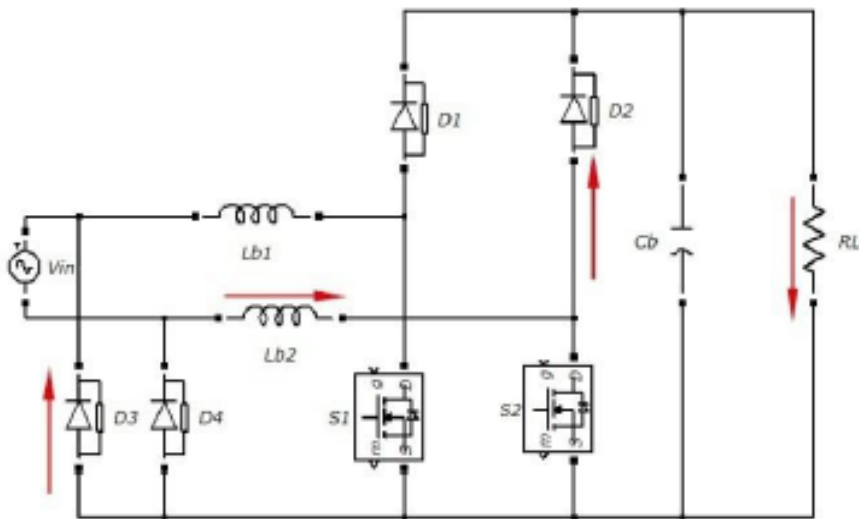
Şekil 4.11 Mod II çalışma prensibi

Giriş voltajının negatif yarı dörngüsünde ikinci dc-dc yükseltici bir devre etkindir. Şekil 4.12' de mod III çalışırken S2 anahtarı iletim durumundadır. Anahtar S2 iletimdeyken Lb2 endüktansı, V_{in} -Lb2-S2-D3 yolu üzerinden enerji depolar.



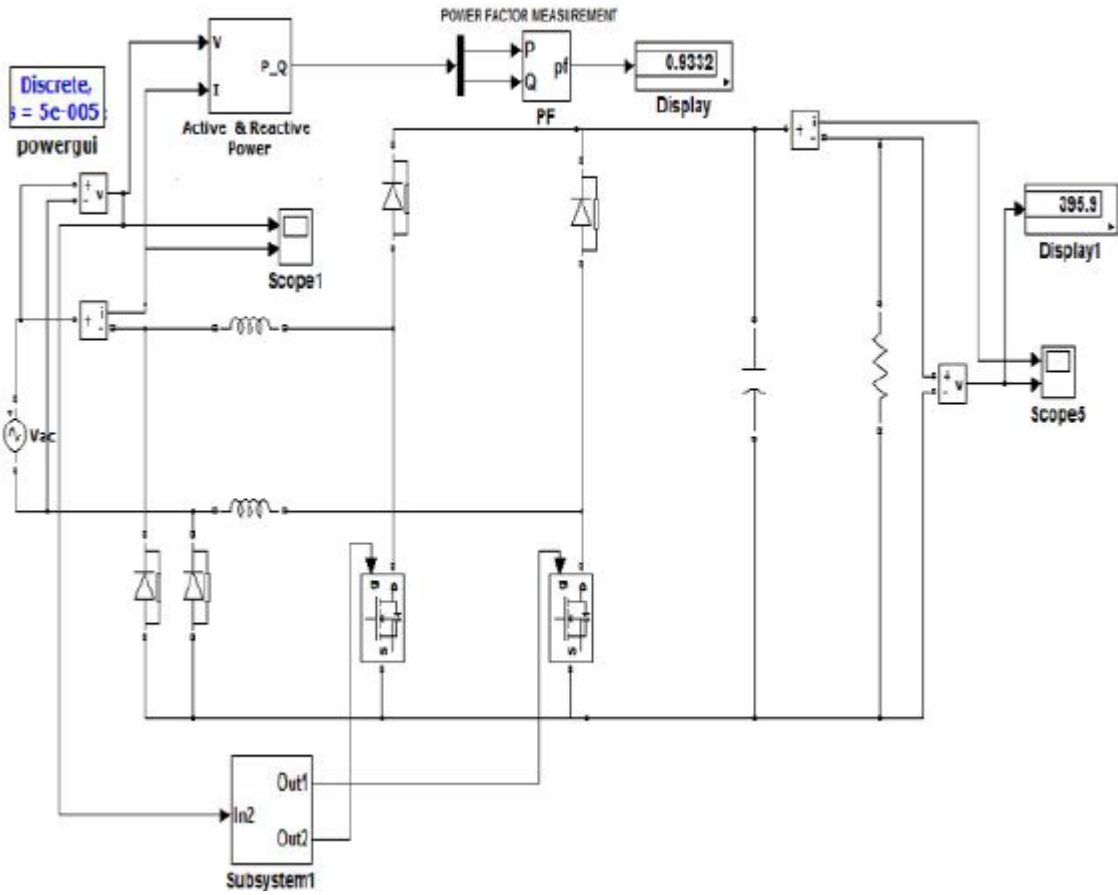
Şekil 4.12 Mod III çalışma prensibi

Şekil 4.13' de mod IV çalışırken S2 anahtarı kesim durumundadır. Anahtar S2 kesimdeyken, Lb2 endüktansında depolanan enerji deşarj olur ve akım D2 diyotu, RL yükü boyunca akarak D3 diyotu vasıtasıyla ana şebekeye döner.

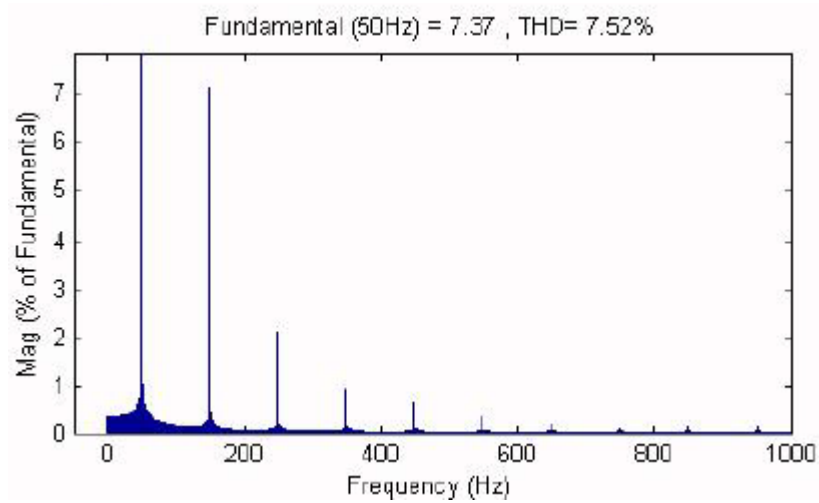


Şekil 4.13 Mod IV çalışma prensibi

Köprüsüz bir güç faktörü düzeltme yükseltici dönüştürücünün simülasyon devresi şekil 4.14' de görülmektedir. Giriş gerilimi 230 volt AC olan bu devrede simülasyon sonucu güç faktörü 0,933 ve çıkış gerilimi 395 volt dc olarak ölçülmüştür. Giriş akımının harmonik analizi şekil 4.15' de görülmektedir.



Şekil 4.14 Köprüsüz güç faktörü düzeltme devresi simülasyonu



Şekil 4.15 Köprüsüz güç faktörü düzeltme devresi giriş akım harmoniği

Geleneksel yükseltici dönüştürücü topolojisine kıyasla dual-boost olarak adlandırılan köprüsüz güç faktörü düzeltme topolojisi, hat akım yolundaki bir diyot elemanını devreden çıkararak gerilim düşümünü ortadan kaldırır ve verimliliği artırır. Bu devreler son zamanlarda yüksek verimlilik ve yüksek performanslı dönüştürücü sağlama konusunda önemli bir yer kazanmıştır (Alim [6]). Ancak geleneksel güç faktörü dönüştürücü topolojisi köprüsüz güç faktörü düzeltme topolojisi ile karşılaştırıldığında EMI gürültüsü düşük ve filtre boyutları küçüktür (Ancuti [11]).



TEK FAZLI ORTALAMA AKIM MODU İLE KONTROL EDİLEN YÜKSELTİCİ TÜRÜ PFC DEVRESİNİN TASARIMI VE UYGULAMASI

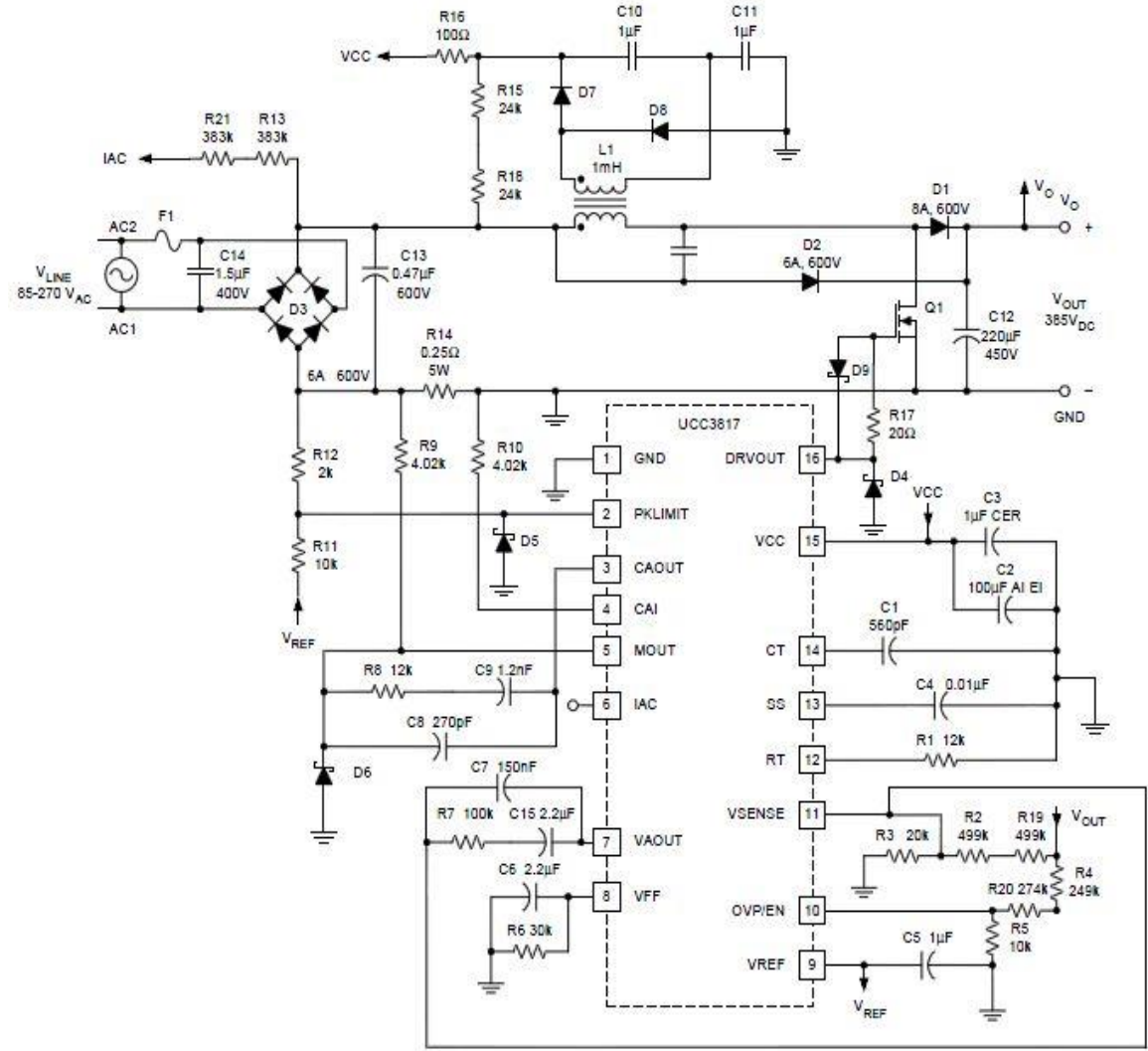
5.1 Tek Fazlı Ortalama Akım Modlu Yükseltici PFC Devresi

Güç dönüştürücüsü olarak yüksek frekanslı yükseltici dönüştürücü seçilmiştir. Bu dönüştürücünün avantajları şunları içerir:

- Elektromanyetik girişim daha düşüktür.
- Güç anahtarındaki akım stresleri diğer dönüştürücü çeşitlerine göre daha azdır.
- Yükseltici dönüştürücüdeki endüktans akımı giriş akımıdır ve böylece kolayca kontrol edilebilir.
- Çıkış DC gerilimi, giriş geriliminin tepe değerinden daha büyüktür. Bu çıkış kapasitörünün daha fazla enerji depolamasına imkan verir ve böylece giriş AC gerilimi kesildiğinde kapasitör çıkıştaki yükü daha uzun süre besleyebilir (tutma zamanı).

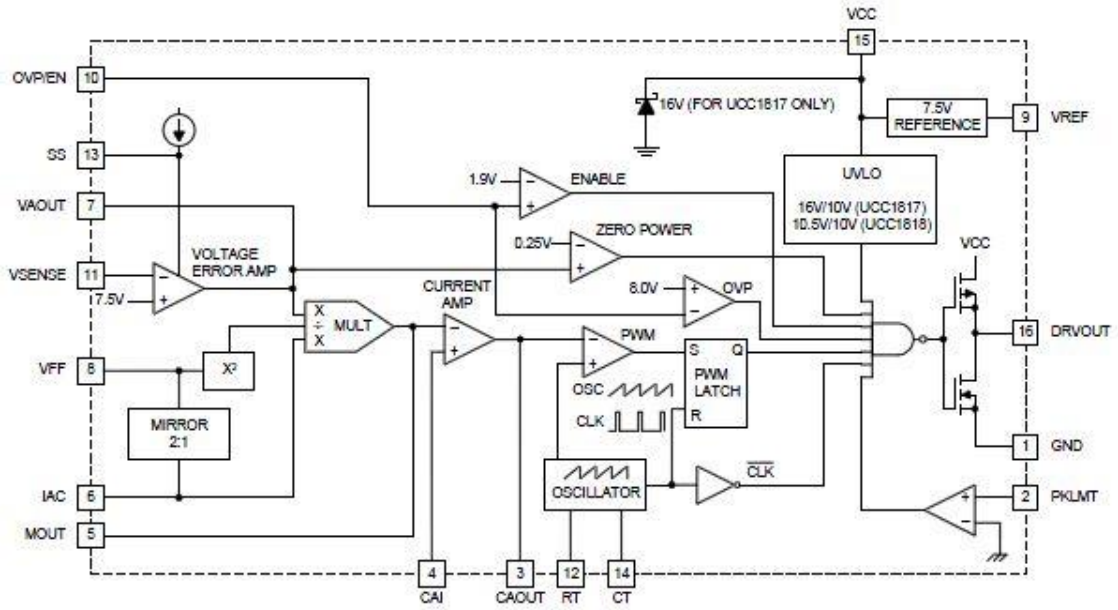
Bu uygulamada yükseltici dönüştürücü tasarımı için tek aşamalı yükseltici dönüştürücü kullanılmıştır. Bu yöntemde, PFC işlemi ve gerilim regülasyonu için ayrı ayrı kullanılan DC-DC dönüştürücü bir tek anahtar ve bir kontrol devresinden aynı sinyal kullanılacak şekilde birleştirilir. Bu durumda; devrenin dinamik cevap verme süresi kısalmış, kontrolü kolaylaşır, karmaşıklığı ve maliyeti azalır.

5.2 Entegre Hakkında Temel Açılımlar



Şekil 5.1 UCC3818 Entegresinin uygulama devresi

Kontrol entegresi olarak UCC3817N/3818N (Texas Instrument) entegresi kullanılır. UCC3818 entegresi güç sistemleri için aktif güç faktörü düzeltme sağlar. Aksi halde güç hatlarından çekilen akımlar sinüzoidal formdan uzaklaşır ve akım dalga şekli bozulur. Bu cihaz gerekli tüm kontrol fonksiyonlarını kullanarak uygun bir güç kaynağı oluşturur ve güç hattı akımının bozulmasını en aza indirir. Bunu yapmak için UCC3818 entegresi; gerilim yükseltici, akım yükseltici, analog çarpıcı / bölücü ve sabit frekanslı PWM içerir. Buna ek olarak, UCC3818 entegresi uyumlu bir mosfet kapı sürücüsüne ve karşılaştırma devrelerine sahiptir. Sabit frekansta kararlı halde sinüs dalga formundaki bozulmaların giderilmesi için bu entegrede ortalama akım modlu kontrol kullanılır.



Şekil 5.2 UCC3818 Entegre iç yapısı

CAI: (akım kuvvetlendirici evirmeyen giriş) Entegrenin 4. bacağıdır. Bu ve eviren giriş MOUT akım yükseltme fonksiyonuna girerler. Bu bacak bir dirençle toprağa bağlanır.

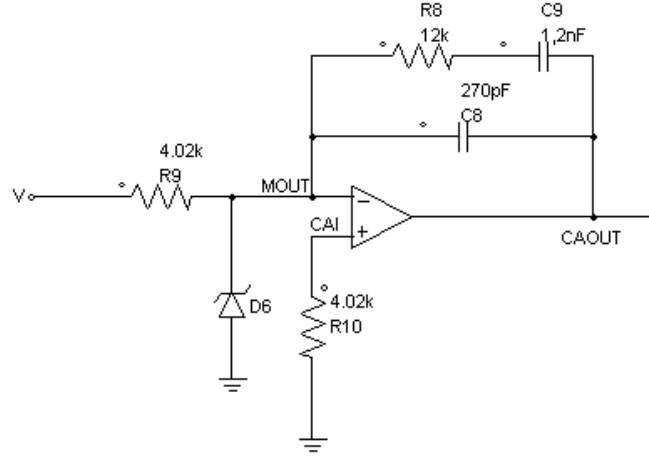
MOUT: (çoklayıcı çıkışı ve akım kuvvetlendirici eviren girişi) Entegrenin 5. bacağıdır. Analog çoklayıcının çıkışı ve akım kuvvetlendiricinin (op-amp) eviren girişinin bağlandığı noktadır. Çoklayıcı çıkışı akım olduğundan bu bacak yüksek bir empedans girişidir. Böylece kuvvetlendirici diferansiyel yükseltici olarak yapılandırılabilir. Bu yapılandırma gürültüye karşı korumayı artırır ve ön kenar tetiklemeli modülasyonu mümkün kılar. Çoklayıcı ($2 \times I_{IAC}$) olacak şekilde sınırlandırılır. Çoklayıcı giriş akımı şu denklemle verilir:

$$I_{MOUT} = \frac{I_{IAC} x (V_{VAOUT} - 1)}{V_{VFF}^2 x K} \quad (5.1)$$

$$K = \frac{1}{V} : \text{çoklayıcı kazanç sabiti} \quad (5.2)$$

CAOUT: (akım yükseltici çıkışı) Entegrenin 3. bacağıdır. Hat akımını algılayan ve PFC darbe genişlik modülatörünü (PWM) komuta eden kuvvetlendiricinin (op-amp) geniş bantlı çıkışıdır. Darbe genişlik modülatörü ile darbe boşluk oranı ayarlanarak uygun akıma ulaşılır.

Şekil 5.3' de bu 3 bacağın kuvvetlendiriciye bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Entegrenin içyapısındaki akım kuvvetlendiricisinin bağlantı şekli

COOUT voltaj değeri, 5.3 denkleminde elde edilmiştir:

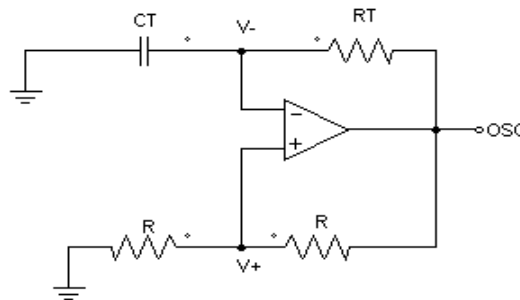
$$V_{COOUT} = -\frac{Z_C}{R9} \times VR14 \quad (5.3)$$

$$Z_C = [R8 + (-jX_{C9})] // -jX_{C8} \quad (5.4)$$

D6: Giriş gerilimini belli bir sınırdan sonra sabitler. Dolayısıyla çıkışın alacağı maksimum gerilim sınırlanmış olur.

CT: (osilatör zamanlama kapasitörü) entegrenin 14. bacağıdır. PWM' nin testere dalga (osilatör) frekansını (anahtarlama frekansı) ayarlayan GND (toprak) ile CT arasında bir kapasitedir.

RT: (osilatör şarj akımı) entegrenin 12. bacağıdır. Şarj akımını belirlemek için kullanılan RT ile GND (toprak) arasına bağlanan bir dirençtir. 10kΩ ve 100kΩ ohm arasında belirlenen bir dirençtir. Bu bacağın nominal gerilimi 3V'tur.



Şekil 5.4 Testere dalga üreten Shimitt Trigger (osilatör) devresi

$$f_s = \frac{0.725}{RT_xCT} \quad f_s : \text{anahtarlama frekansı (bir periyotta testere sayısı)} \quad (5.5)$$

DRVOUT: (kapı sürücü) entegrenin 16. bacağıdır. Bu çıkış PFC devresi için MOSFET kapı sürücüsüdür. MOSFET kapı empedansı ile çıkış sinyali arasındaki etkileşimi önlemek için en az 5Ω değerinde bir seri direnç MOSFET kapı empedansı ile DRVOUT çıkışı arasına bağlanır. Bu etkileşim DRVOUT' un aşırı aşımına neden olur. Kapasitif yük sürüldüğünde DRVOUT çıkışının aşırı aşımı her zaman beklenir.

GND: (toprak) entegrenin 1. bacağıdır. Bütün gerilimler toprağa göre ölçeklendirilir. VCC ve VREF 0.1μF veya daha büyük bir seramik kapasitör ile toprağa yan geçiş yapılır.

IAC: (giriş AC akımı) entegrenin 6. bacağıdır. Bu giriş analog çoklayıcı için bir akımdır. Çoklayıcı, bu akım (I_{AC}) girişinden çoklayıcı çıkışına kadar çok küçük bozulmalar için uyarlanır. Belirlenen en yüksek akım 500μA'dır.

OVP/EN: (overvoltage/enable) entegrenin 10. bacağıdır. Eğer yükselticinin çıkışı, nominalin ya da belirlenmiş değer üstüne çıkarsa, sürücü çıkış sinyalini devre dışı bırakır. Eğer yükselticinin çıkışı 1.9 V değerinin altına düşerse de, PFC sürücü çıkış sinyalini devre dışı bırakır ve SS bacağına resetler.

PKLMT: Entegrenin 2. bacağıdır. Akımın tepe değeri için eşik değeri limiti 0 V olarak sınırlandırılır. Akım algılama direncinin negatif kısmına bölücü dirençler eklenerek, bölücü dirençlerin değerine ve pik akım sınır değerine göre, referans gerilimini belirlenmiş gerilim sinyali değerine böler. PKLMT bacağına gerilim değeri 0 V' un altına düşerse pik akım değerine ulaşılır.

SS: (yumuşak başlangıç) entegrenin 13. bacağıdır. V_{SS} , besleme gerilimi V_{VCC} ' nin düşük durumları için deşarj edilir. Devreye girdiğinde, bir akım kaynağı ile bu bacağına bağlanan harici bir kapasitörü şarj eder. Bu gerilim, başlangıç anında gerilim hata sinyali olarak kullanılır ve PWM' in doluluk oranını (duty cycle) yavaşça arttırır. V_{VCC} besleme geriliminin düşmesi durumunda OVP/EN bacağına 1.9 V' un altına düşmesi için zorlar ve SS bacağı, PWM' i iptal etmek için hızlıca deşarj olur.

VAOUT: (gerilim hata yükseltici çıkışı) entegrenin 7. bacağıdır. Çıkış gerilimini regüle eden op-ampın çıkışıdır. Yükseltici çıkış geriliminin aşırı aşımını önlemek için yaklaşık 5,5 V değerinde sınırlandırılır.

VCC: (pozitif gerilim kaynağı) entegrenin 15. bacağıdır. Normal çalışma için 10 V ve 17 V arasında en az 20 mA değerinde sabit bir gerilim bağlanır. VCC gerilim kaynağının ani yükselişlerini emmesi için GND' ye yan geçiş yapılır. Bu ani yükselişler MOSFET kapı harici kapasitörünü şarj etmek için gereklidir. Yetersiz kapı sürme sinyallerini önlemek için VCC alt üst gerilim eşik değerlerini aşmadıkça ve alt eşik değerinin üstünde kalmadıkça çıkış aygıtları engellenir.

VFF: Entegrenin 8. bacağıdır. IAC akımının 1/2 oranı aktarılıp tek kutuplu harici filtreden geçirilerek, gerilim sinyalinin efektif değerinin üretildiği bacağıdır. Alt sınır olarak VFF gerilimi 1.4 V olmalıdır.

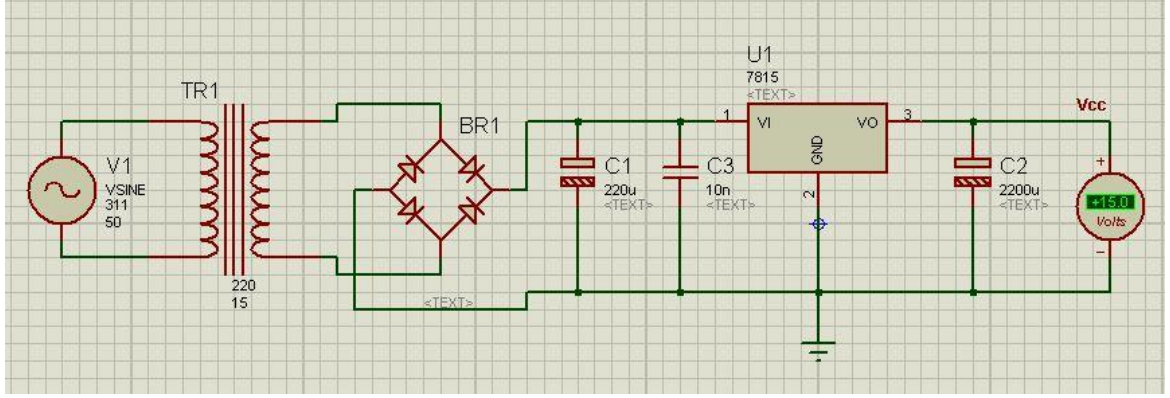
VSENSE: (gerilim yükseltici eviren girişi) entegrenin 11. bacağıdır. Kompanzasyon birimine ve bir gerilim bölücü aracılığıyla yükseltici dönüştürücü çıkışına bağlanır.

VREF: (gerilim referans çıkışı) entegrenin 9. bacağıdır. VREF hassas bir 7,5V referans gerilim çıkışıdır. Aynı zamanda devreye gerekli 20 mA akımı sağlayabilir ve dahili kısa devre akımlarını sınırlayabilir. VCC gerilimi çalışma geriliminin altına düştüğünde VREF girişi iptal olur ve 0 Volt olarak kalır. En iyi sabit çalışma için VREF bacağı 1µF üzerinden toprağa yan geçiş edilir.

5.3 Güç Katının Oluşturulması

Uygulama devresinin tasarımının, kurulumunun ve sonrasında analizinin kolay yapılabilmesi için devrenin tam yükte çıkış gücü 250 W olarak seçilmiştir.

UCC3818N entegresi ile gerçekleştirilen ortalama akım modlu yükseltici güç faktörü düzeltme devresinin giriş gerilimi 85-270V'tur. Bu giriş gerilim aralığı, PFC devresinin uluslararası tüm şebeke gerilimi değerlerinde çalışmasına olanak vermektedir. Uygulama devresinde entegrenin çalışabilmesi için gerekli olan 15 volt DC gerilimin elde edilmesi şekil 5.5' de gösterilmiştir. Bu devrenin girişine 220/2x15 volt değerinde 4W'lık transformatör paralel bağlanmıştır. Transformatör ile düşürülen gerilim bir köprü diyotla doğrultularak LM7815 regülatörüne girer. Regülatör çıkışından entegre için gerekli besleme gerilimi elde edilir.



Şekil 5.5 Entegre Besleme Gerilimi Devresi

LM7815 regülatörü; 1 ucuna gelen (15 +1)V ve üstündeki tepe gerilimlerini sabitleyerek, 3 çıkış ucuna sabit 15V gerilim vermektedir.

$$V_g = V_{\zeta} + 1 \quad (5.6)$$

Bu aşamadan sonra uygulama devresinin çıkış gerilim değeri belirlenmelidir. Çıkış geriliminin değeri, giriş geriliminin tepe değerinden daha büyük olmalıdır. Uygulama devresinin çıkış gerilimi 385 V olarak seçilmiştir. Devrede seçilecek elemanlarda ve yapılacak hesaplamalarda bu değer kullanılacaktır.

5.4 Anahtarlama Frekansının Belirlenmesi

Anahtarlama frekansı eleman boyutunun küçülmesi için yeteri kadar büyük, anahtarlama güç kayıplarını azaltmak için de yeterince düşük olması gerekmektedir. Anahtarlama frekansının seçimi boyut ve anahtarlama kayıpları gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Entegrenin çalışma frekansı aralığı 20 kHz - 250 kHz arasındadır.

Anahtarlama frekansı denklem 5.7' e göre RT ve CT değerleri belirlenerek seçilir.

RT = 12k Ω ve CT = 560pF seçilerek;

$$f_s = \frac{0.725}{RT \times CT} = \frac{0.725}{12 \times 10^3 \times 560 \times 10^{-12}} \cong 100 \text{kHz} \quad (5.7)$$

olarak anahtarlama frekansı belirlenmiştir.

5.5 Yükseltici Endüktans Değerinin Bulunması

Yükseltici endüktans değeri denklem 5.8 ile bulunur.

$$L = \frac{V_{intepe(\min)} x D}{f_s x \Delta I} \quad (5.8)$$

Endüktans, girişteki yüksek frekanslı dalgalanma akımını belirler. Endüktans değerinin seçimi, giriş sinüsoidinin tepe akımı ile başlar.

Tam yükte çalışma durumunda, devrenin verimi %90 olarak kabul edilir. En yüksek tepe akımı, en düşük giriş geriliminde görülür ve denklem 5.9 ile verilir.

$$I_{intepe(maks)} = \frac{\sqrt{2} x P_0}{0.9 x V_{inrms(\min)}} = \frac{\sqrt{2} x 250 \left[\frac{Watt}{Volt} \right]}{0.9 x 85} = 4.62 [A] \quad (5.9)$$

Endüktanstaki tepeden tepeye dalgalanma akımı, normalde maksimum hat akımının %20'si olacak şekilde seçilir. Bu aslında, yüksek frekanslı dalgalanma akımının maksimum değeri olmadığından keyfi bir seçimdir. Yüksek değerdeki dalgalanma akımı çeviriciyi, doğrultulmuş hat akımı periyodunun büyük bir kısmında kesintili iletim moduna götürebilir.

$$\Delta I = 0.2 x I_{intepe(maks)} = 0.2 x 4.62 = 0.9 [A] \quad (5.10)$$

Doluluk boşluk oranı en düşük giriş gerilim durumu için hesaplanır:

$$D = \frac{V_0 - V_{intepe(\min)}}{V_0} = \frac{385 - 85 x \sqrt{2}}{385} = 0.69 \quad (5.11)$$

Bulunan değerler 5.8 denkleminde yerine konursa endüktans değeri bulunur:

$$L = \frac{V_{intepe(\min)} x D}{f_s x \Delta I} = \frac{85 x \sqrt{2} x 0.69}{100 x 10^3 x 0.9} = 0.92 mH \quad (5.12)$$

5.6 Çıkış Kapasitesi Değerinin Belirlenmesi

Kapasite değeri, giriş AC gerilimi kesildiğinde çıkıştaki yükü beslemesi için gerekli olan süre (tutma zamanı) ile hesaplanır. Tutma zamanı, giriş gerilimi kesilse bile çıkış geriliminin regüleli kalma süresidir. Tasarlanan devrede bu süre yaklaşık 20ms olarak seçilmiştir. Kapasite değeri 5.13 denklemi ile hesaplanmıştır;

$$C_0 = \frac{2xP_0x\Delta t}{V_0^2 - V_{0(\min)}^2} = \frac{2x250x20x10^{-3}}{385^2 - 320^2} = 200\mu F \quad (5.13)$$

Pratikte, hesaplanan minimum kapasite değeri yetersiz kalabilir. Çünkü çıkış geriliminin dalgalanma özellikleri çıkış kapasitesinin izin verilen ESR değerinin limitlerini belirler. İzin verilen çıkış kapasitesi ESR değeri, çıkış gerilimi dalgalanmasının maksimum değerinin, endüktans akımının dalgalanmasına bölünmesi ile bulunur.

Hesaplamalar sonucunda çıkış kapasitesinin değeri 250 W güç ve 385 V DC çıkış gerilimi için, 220 uF- 450 V elektrolitik olarak belirlenmiştir.

5.7 Mosfet' in Belirlenmesi

Mosfet gerilim kontrollü bir anahtardır. Kapisına gerilim sinyali uygulanarak açılır ve kapatılır. V_{GS} eşik değerinin altına düştüğünde anahtar kapanır ve mosfet iletme girer. Anahtarlama zamanı 10 ve 100ns arasında değişir. Bu, uygulamaya bağlı olarak mosfet' in 25 ile 100k Hz frekansları arasında anahtarlama imkanı verir.

Anahtarlama elemanı belirlenirken elemanın maruz kalacağı gerilime, akıma ve anahtarlama güç kayıplarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Güç kayıpları kullanılacak elemana göre değişiklik gösterebilmekte ve bununla beraber toplam kaybı yani devrenin verimini etkileyebilmektedir. Mosfet seçilirken yükseltici endüktans akımının maksimum pik değerinden ve çıkış geriliminin maksimum dalgalanma miktarından daha büyük olmasına dikkat edilmelidir.

5.8 Diyotun Belirlenmesi

Yükseltici dönüştürücüde diyot bir anahtar gibi analiz edilebilir. Mosfet anahtarı açıkken anot gerilim katot geriliminden büyük olacağından diyot ileri yönde akım akıtır ve endüktansta biriken enerji diyot üzerinden kondansatörü şarj eder. Mosfet kapalı konuma geçince diyot tıkama yönünde çalışır ve kesime girer. Ancak diyot, mosfet' in aksine ideal anahtarlama karakteristiği göstermez; tıkama yönünde çalışırken negatif sızıntı akımları geçirir.

Diyot belirlenirken elemanın maruz kalacağı gerilime ve akıma dikkat edilmelidir. Bu devrede dinamik cevap verme süresini kısaltmak için hızlı diyot kullanılmalıdır.

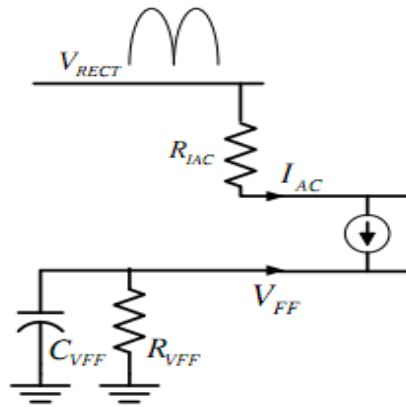
5.9 Geri Besleme ve Çoklayıcı Devrelerinin Tasarımı

Ortalama akım modu kontrollü PFC devrelerinde çoklayıcı çok önemlidir. Çünkü çoklayıcı çıkışı akım yükselticinin girişine bağlanır. Bu sebeple çoklayıcı tasarımı dikkatlice yapılmalıdır. Burada üç giriş vardır. Bunlar gerilim hata yükselticinin çıkışı (V_{AOUT}), doğrultulmuş hat akımının dalga şeklinin referansı (I_{IAC}) ve giriş geriliminin geri beslemesidir (V_{VFF}). Çoklayıcı çıkış akımının denklemi 5.14' de verilmiştir.

$$I_{MOUT} = \frac{I_{IAC} x (V_{VAOUT} - 1)}{V_{VFF}^2 x K} \quad (5.14)$$

Burada K sabiti $1/V'$ ye eşittir. I_{IAC} akımı, doğrultulmuş hat ile UCC 3818N' nin IAC bacağına giriş arasına yüksek değerli direnç bağlanarak elde edilmiştir. Bu direnç (R_{IAC}) maksimum I_{IAC} akımını verecek şekilde boyutlandırılmıştır. UCC 3818/3817 için maksimum I_{IAC} akımı $500 \mu A$ ' dir. 85-265 V uluslar arası hat gerilimleri için R_{IAC} değeri $750k\Omega$ ' dir. Standart $1/4 W$ dirençlerin gerilim değeri kısıtlamaları nedeniyle, daha küçük değerli dirençlerin seri bağlanmasıyla gerilim değeri seri dirençler üzerinde paylaştırılmıştır.

Uygulama devresinde $2x383k \Omega$ değerli iki seri direnç kullanılmıştır. Geri besleme devre şeması Şekil 5.6' da verilmiştir. Entegrenin IAC bacağı girişi dahili olarak hat gerilimiyle orantılı olarak bir ileri besleme sinyali üreten VFF girişine aktarılır. V_{VFF} gerilimi güç kademesi kazancını ve giriş gücünü sabit tutmak için kullanılır.



Şekil 5.6 UCC 3818 Geri besleme devresi

Denklem 5.15' de R_{VFF} direncinin değeri bulunmuştur. Denklemde $V_{in(min)}$ minimum efektif giriş gerilimi ve R_{IAC} , I_{AC} girişine bağlı toplam dirençtir.

$$R_{VFF} = \frac{1.4}{\frac{V_{inrms(min)} \times 0.9}{2 \times R_{IAC}}} = \frac{1.4}{\frac{85 \times 0.9}{2 \times 700 \times 10^3}} = 30k\Omega \quad (5.15)$$

Alçak geçiren filtrenin kapasite değeri $f_p = 2.6Hz$ için denklem 5.16 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$C_{VFF} = \frac{1}{2 \times \pi \times R_{VFF} \times f_p} = \frac{1}{2 \times \pi \times 30 \times 10^3 \times 2.6} = 2.2\mu F \quad (5.16)$$

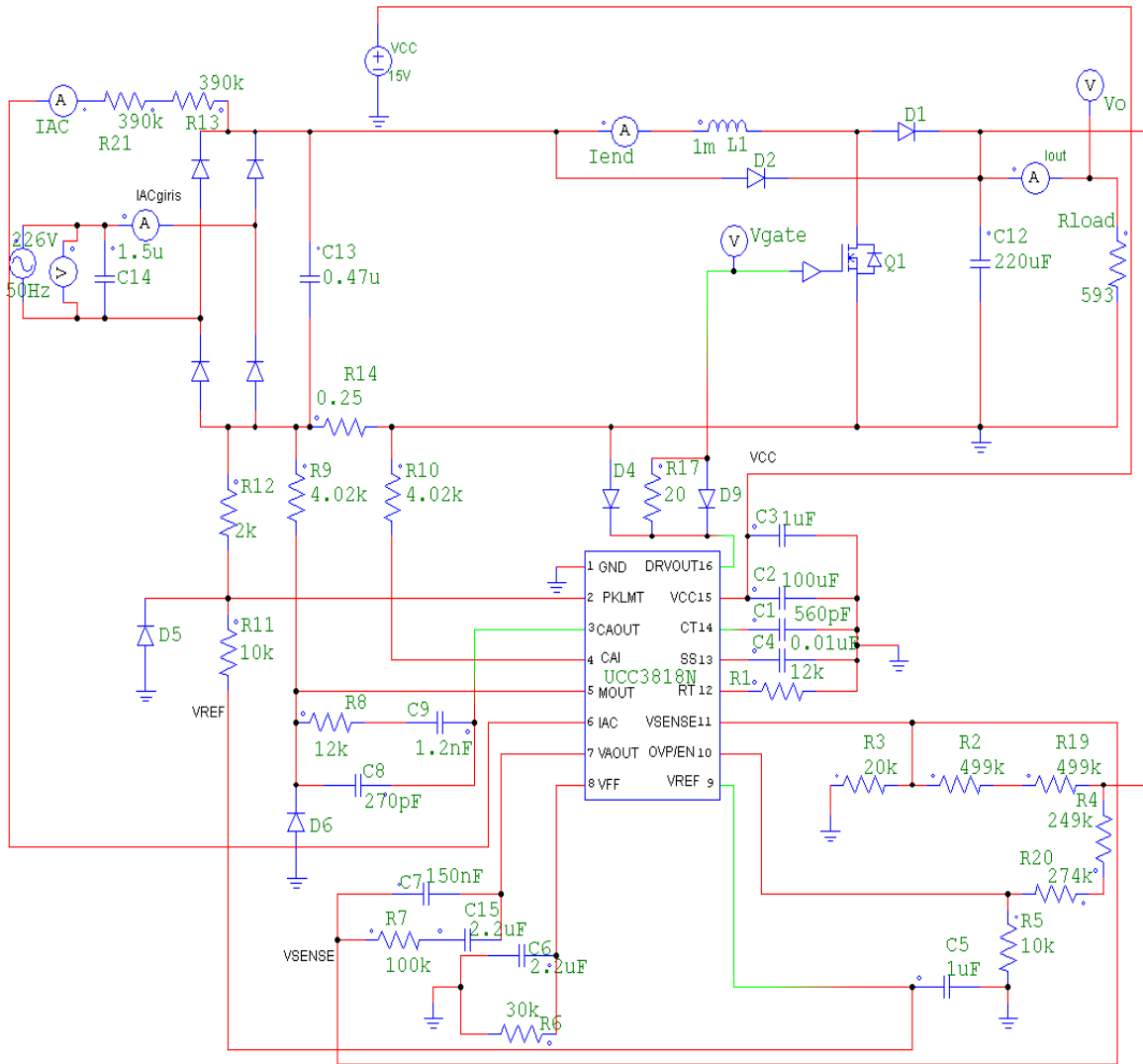
Tek fazlı ortalama akım modu kontrollü yükseltici türü PFC devresinin 250 W için parametreleri Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1 250W Ortalama akım modu PFC devresinin parametreleri

Çıkış Gücü	250W
Giriş Gerilimi (AC)	85-270 V
Giriş Gerilimi Frekansı	50 Hz
Anahtarlama Frekansı	100 kHz
Çıkış Gerilimi (DC)	385 V
Çıkış Kapasitesi	220 μ F
Yükseltici Endüktans	1mH

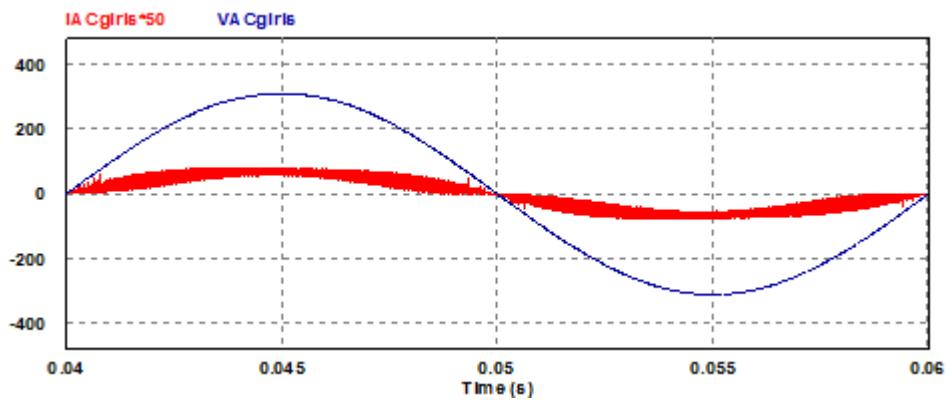
5.10 Ortalama Akım Modu Kontrollü PFC Devresinin Benzetimi

Tek fazlı ortalama akım modu kontrollü PFC devresi tasarlanarak benzetim devresi POWERSİM programında gerçekleştirildi. Devre şeması Şekil 5.7' de gösterilmiştir. Belirlenen çıkış gücü ve frekansa göre hesaplanan endüktans, çıkış kapasite değeri ve yük direnci benzetim devresinde yerine yazılarak ölçümler alınmıştır.



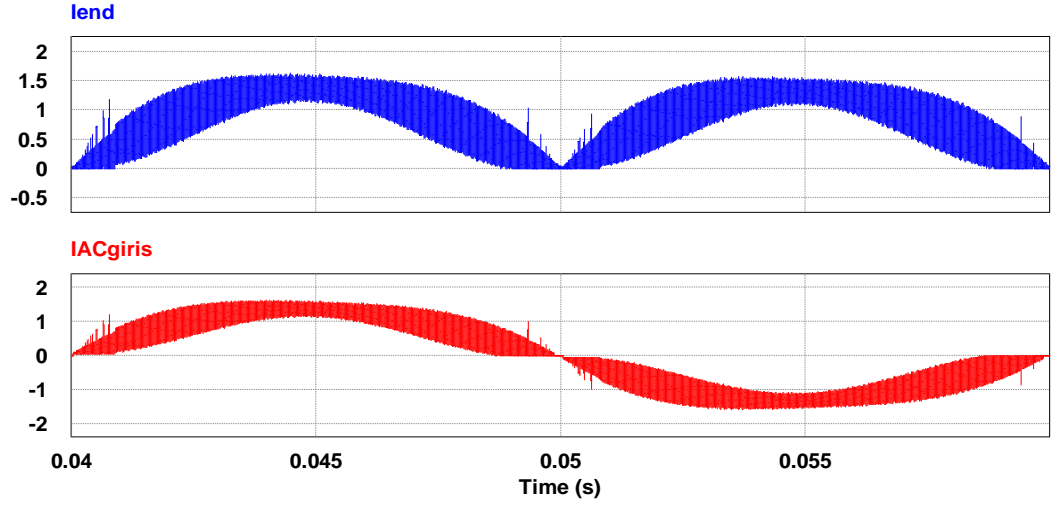
Şekil 5.7 Benzetim devre şeması

Giriş geriliminin efektif değeri 220 V, tam yükte çalışma durumundaki giriş geriliminin ve giriş akımının dalga şekilleri Şekil 5.8' de verilmiştir. Akım kademesi 50 kat büyütülmüştür.



Şekil 5.8 Giriş gerilimi ve akım dalga şekli (Akım kademesi 50 kat büyütüldü)

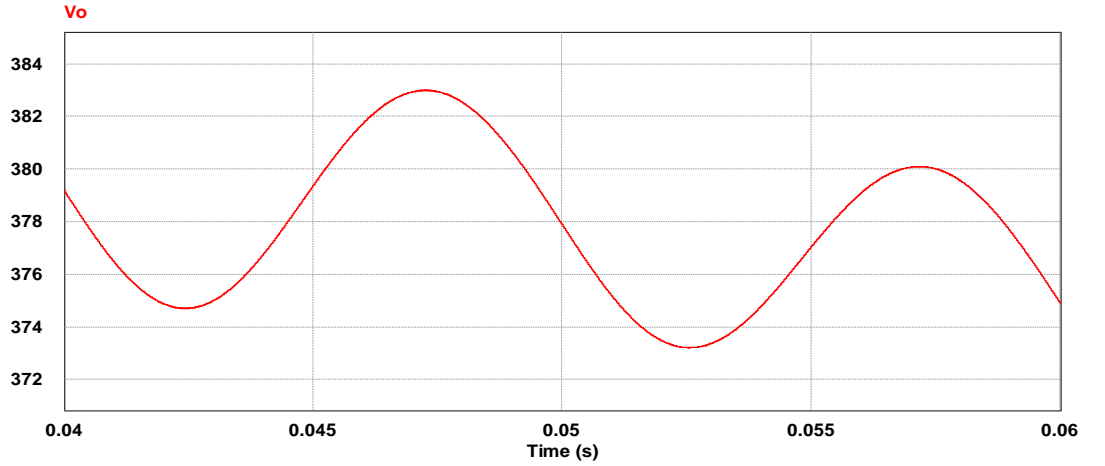
Giriş geriliminin efektif değeri 220 V, tam yükte çalışma durumundaki giriş akımı ve endüktans akım dalga şekli Şekil 5.9' da görülmektedir.



Şekil 5.9 Giriş akımı ve endüktans akımının dalga şekli

Giriş akımı köprü doğrultucularla doğrultularak endüktansı beslemektedir. Şekil 5.9' da da görüldüğü gibi endüktans akımı doğrultulmuş giriş akımıdır.

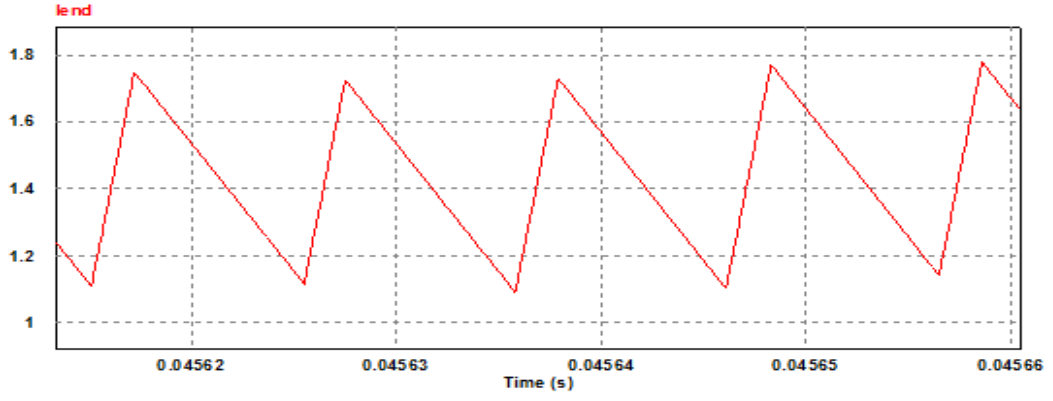
Giriş geriliminin efektif değeri 220 V, tam yükte çalışma durumundaki çıkış geriliminin dalga şekli, Şekil 5.10.' da görülmektedir.



Şekil 5.10 Çıkış gerilimi dalga şekli

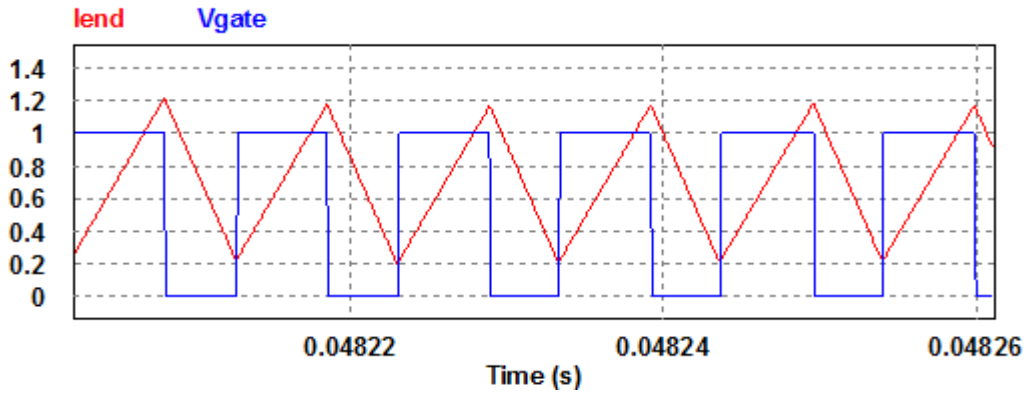
Mosfet doluluk oranını ayarlayarak çıkış gerilimini 385V' a sabitlemeye çalışır. Bu durumda çıkış geriliminde 8 V' luk bir dalgalanma görülmektedir.

Endüktanstaki dalgalanma oranının %20'den az olduğu Şekil 5.11' de görülmektedir.



Şekil 5.11 Endüktans akımındaki dalgalanma

Endüktans akımının mosfet kapı sinyaline göre değişimi Şekil 5.12’ de görülmektedir. Mosfet iletme girdiği anda endüktans akımı artmakta ve endüktans şarj olmaktadır. Mosfet kesime girdiğinde endüktansta biriken enerji yüke aktarılır. Bu sırada endüktans enerjisi ve akımı azalmaktadır.



Şekil 5.12 Endüktans akımının mosfet kapı sinyaline göre değişimi

Uygulama devresinin analizinin yapılması ile elde edilen sonuçlar çizelge 5.2’ de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, giriş akımı sinüsoidal dalga şeklinde, giriş akım harmoniği azaltılmış ve güç faktörü iyileştirilmiştir.

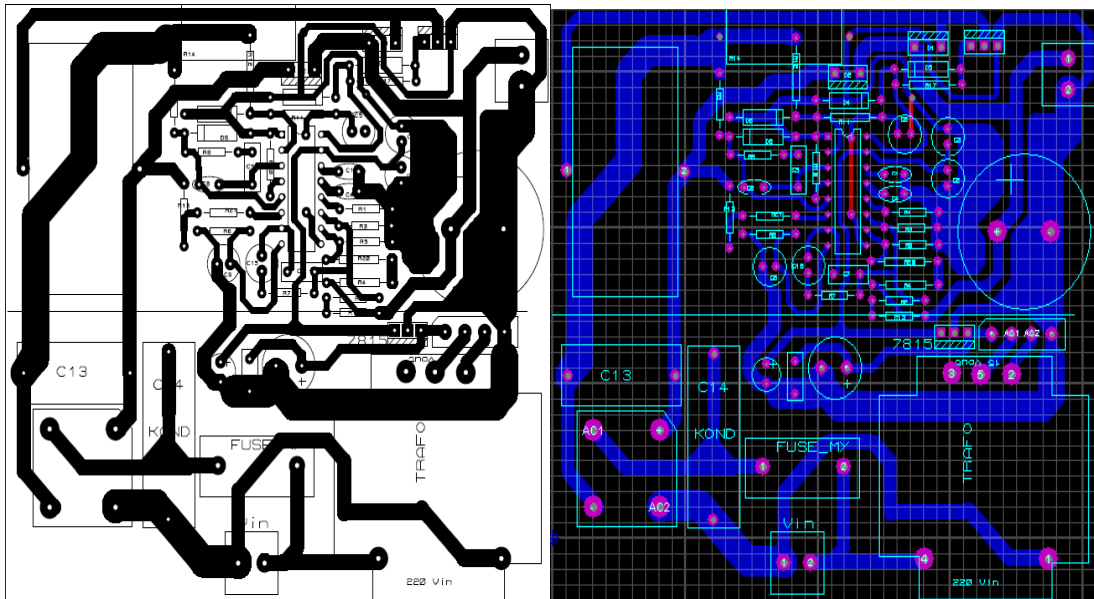
Çizelge 5.2 Benzetim devresi sonuçları

Giriş Akım Harmoniği (%THD)	% 6,1
Güç Faktörü	0,975
Verim	0,933
Çıkış Gerilimi	385 V DC

5.11 Tek Fazlı Ortalama Akım Modu Kontrollü PFC Uygulama Devresi ve Ölçümü

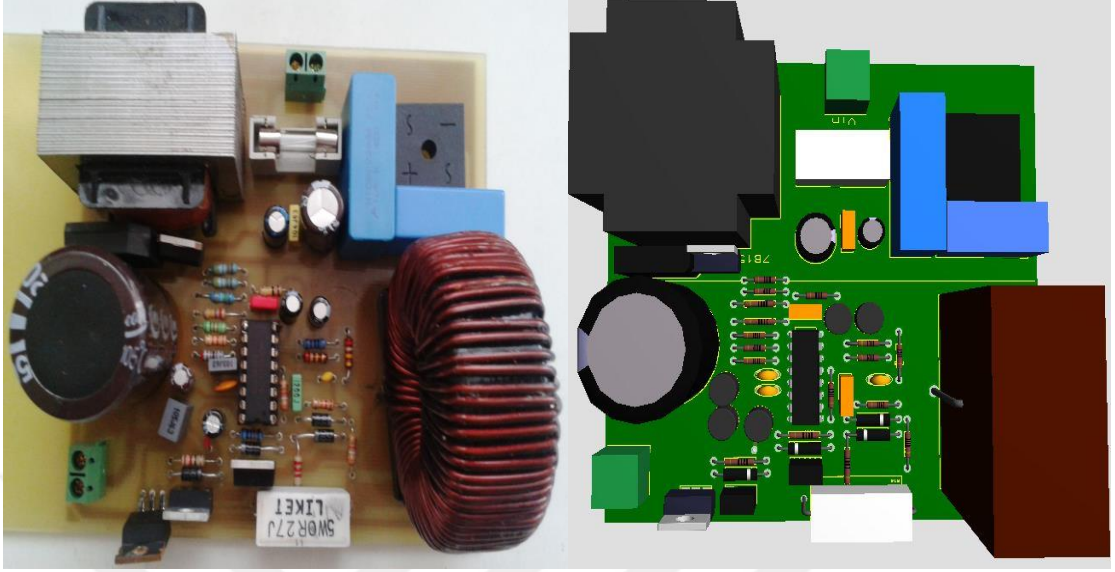
Ortalama akım modu kontrollü aktif PFC uygulama devresi, belirlenen özelliklere göre ARES çizim programında gerçekleştirilmiştir. Uygulama devresinde tasarımında yükseltici endüktansının yeri, yarı iletken elemanlara ve UCC3818N entegresine manyetik etkisinin olmaması dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu amaçla endüktans mümkün olduğunca entegreden uzakta tasarlanmıştır. Mosfet, yüksek frekansta anahtarlama elemanı olarak çalıştığından bir süre sonra ısınma sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu sorunun giderilmesi için mosfet devrenin en uç noktasına yerleştirilip, yalıtkan macun aracılığıyla soğutucu mosfet'e monte edilmiştir. Bu sayede diyot ve köprü diyot gibi diğer yarı iletken malzemelere ısının iletimi engellenmiştir. Devrenin hacmini küçültmek için, kullanılan elemanlar birbirini olumsuz etkilemeyeceği en küçük uzaklıkta yerleştirilmiştir.

Entegrenin yüksek çalışma frekansı 100 kHz, deri etkisi meydana getireceğinden UCC3818N entegresi ile mosfet arasındaki bağlantı en kısa şekilde ve atlama kullanılmadan yapılmıştır. Güç yollarının genişliği, akım değerine ve frekansa bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden giriş yolu, çıkış yolu ve endüktansı besleyen yol geniş kesitte, entegre yolları ise küçük kesitte tasarlanmıştır. Uygulama baskı devresi Şekil 5.13' de verilmiştir.



Şekil 5.13 Baskı devre çizimi

Şekil 5.14’de uygulama devresinin gerçek görüntüsü ve ARES üç boyutlu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.14 Uygulama devresinin gerçek görüntüsü ve ARES 3 boyutlu görüntüsü

Uygulama devresinde entegrenin besleme geriliminin sağlanması için girişe paralel bağlanmış 220/2x15V 4W’lık transformatör, köprü diyot ve LM7815 regülatörü kullanılmıştır. İstenildiği takdirde entegre besleme gerilimi, kuplajlı endüktans sarılarak veya dışarıdan 15 volt dc gerilim ile sağlanabilir. Böylece devrenin hacmi küçültülmüş olur.

Bu devrede çıkış voltajı, yüksek hızlı anahtarlama yaparak doluluk oranının değiştirilmesi ile kontrol edilir. Anahtar iletme girdiğinde akım, giriş kaynağından indüktör ve anahtar vasıtasıyla akar bu sayede enerji indüktörün manyetik alanına depolanır. Diyotda akım akışı olmaz ve yük akımı, kondansatör tarafından beslenir. Anahtar kesime girdiğinde giriş kaynağı ve indüktörde depolanan enerji diyot üzerinden yükü besler ve kondansatörü şarj eder böylece indüktör voltajı giriş voltajını artırır. Anahtarın iletim süresi PFC entegresinin çıkış gerilimini algılaması ile kontrol edilir. İletim süresinin hesaplanması denklem 5.17’ de gösterilmiştir. İletim süresi T_{on} anahtarlama periyodu ise T ile ifade edilmektedir.

$$V_o = \frac{V_{in}}{1 - \frac{T_{on}}{T}} \quad (5.17)$$

Bu denklem gereği doğrultulmuş sinüs geriliminin düşük olduğu noktalarda çıkış geriliminin artırılabilmesi için iletim süresi daha uzundur. Doğrultulmuş sinüs geriliminin tepe noktasına yakın bölgelerde iletim süresi azalmaktadır. Böylece sinüsün değişen her seviyesinde aynı DC gerilim değeri elde edilir.

Güç faktörü düzeltme devresinin ikinci görevi, mevcut giriş hat akımını sinüsoidal dalga formuna çevirmek ve giriş gerilimi ile aynı faza getirmektir. Burada darbe genişlik süresi ile yükseltici devrenin iletim süresi aynı zamandır. İletim süresi için negatif besleme döngüsü belirlenir. Girişten alınan hat akımının örneği, referans olacak kusursuz bir sinüs dalgası ile karşılaştırılır. Bu iki sinüs dalgası arasındaki fark bir hata gerilimidir. Bu iki sinüs dalgasının genliğini eşitlemek için iletim süresini (Ton) kullanılır.

Gerilimin son hali DC çıkıştan alınan gerilim hatası ve giriş akımından kaynaklanan hata voltajı algılanarak uygun bir Ton süresi belirlenir. Buna göre yükseltici dönüştürücü kontrol edilir.

Akım algılama direnci üzerinden akım değeri alınır. Direnç üzerindeki güç kaybı yüksek akım seviyelerinde yüksek hale gelebilir. Tepe akımı limit değerinin üstüne çıkarsa UCC3818 entegresi anahtarı kapalı konuma getirir. Bu anda anlık akım maksimum değeri aşmış olur. Bu durum devrenin yüksek güçte çalışmasına engel olur.

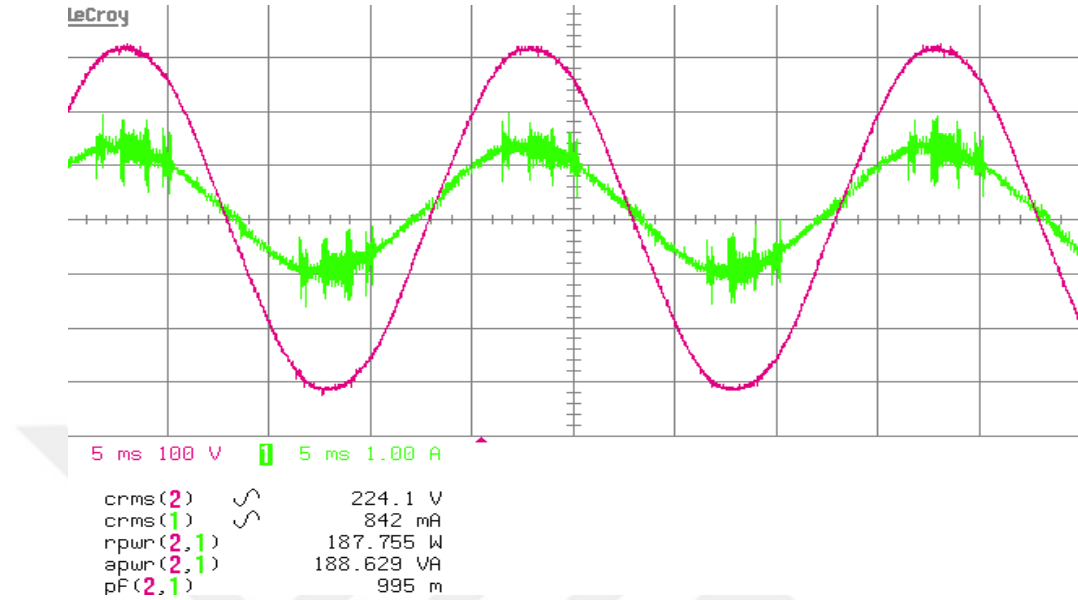
Anahtar ve diyot için güvenli çalışma değerinin belirlenmesi ve ona göre seçim yapılması gerekir. Anahtar akım değeri maksimum pik akım değerinden yüksek, anahtar gerilim değeri ise çıkış geriliminden daha yüksek seçilmelidir. Aynı durum çıkış diyotu içinde geçerlidir. Devredeki diğer elemanların seçimi yükseltici devre topolojisi gereği çıkış gerilimine göre belirlenmiştir.

Uygulama devresi için kullanılan elemanlar çizelge 5.3' de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 Uygulama devresi malzeme listesi

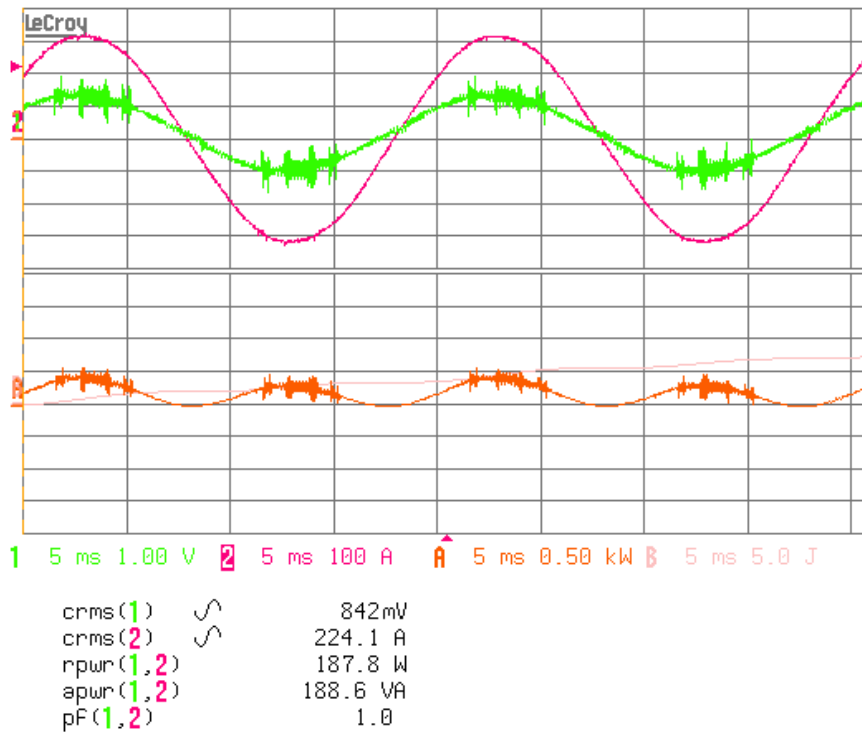
	Referans	Adet	Açıklama	Kodu-Üreticisi	
Kondansatörler	C1	1	500pF, 50 V		
	C2	1	100 μ F, 25 V, elektrolitik		
	C3	1	1 μ F, 50 V, seramik		
	C4	1	0.01 μ F, 50 V		
	C5	1	1 μ F, 50 V		
	C6	1	2.2 μ F, 50 V		
	C7	1	150 nF, 50 V, seramik		
	C8	1	270 pF, 50 V		
	C9	1	1.2nF, 50 V, seramik		
	C12	1	220 μ F, 450 V	KANDEIL	
	C13	1	0.47 μ F, 600V		
	C14		1.5 μ F, 400 V		
	Diyotlar	D1	1	8 A, 600 V Hızlı diyot, 35ns	
		D2	1	8 A, 600 V Hızlı diyot, 35ns	
D3		1	14A, 600V Köprü diyot	DSEI12-O6A	
D4, 5, 6, 9		4	1 A, 40 V, schottky	IN5819	
Sigorta	F1	1	6A, 250V		
Endüktans	L1	1	1 mH, 6.5 A		
MOSFET	Q1	1	600V, 10A	IRF840	
Dirençler	R1	1	12 k Ω		
	R2,R19	2	499 k Ω		
	R3	1	20 k Ω		
	R4	1	249 k Ω		
	R5, R11	2	10 k Ω		
	R6	1	30 k Ω		
	R7	1	100 k Ω		
	R8	1	1.2 k Ω		
	R9, R10	2	4.02 k Ω		
	R12	1	2 k Ω		
	R13, R21	2	383 k Ω		
	R14	1	0,25 Ω , 5W		
	R17	1	20 Ω		
	R20	1	274 k Ω		
Entegre	U1	1	Ortalama Akım Modlu PFC Entegresi	TI UCC3818N	

Uygulama devresinin; 220V giriş gerilimi, 790 Ω yük değerinde 188 W giriş gücünde çalışması sırasındaki ölçümleri yapılmıştır. Giriş akımındaki ve gerilimindeki harmonik miktarları, güç faktörü değerleri Şekil 5.15' de incelenmiştir.



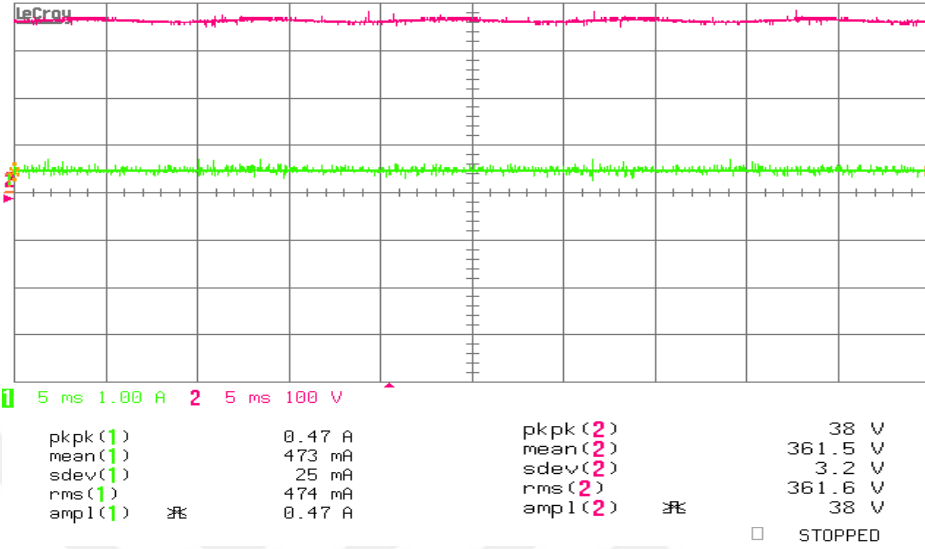
Şekil 5.15 Giriş geriliminin, akımının grafikleri ve güç faktörü

790 Ω yükünde 188 W giriş gücündeki uygulama devresinin akım, gerilim grafikleri ve güç, enerji değişimlerinin incelenmesi Şekil 5.16' da verilmiştir.



Şekil 5.16 Güç ve enerji değişimi

Uygulama devresinin çıkış akımı ve geriliminin değişim grafiği Şekil 5.17' de verilmiştir. Bu grafikte çıkış gerilimi görüldüğü gibi giriş geriliminden daha yüksek bir değerdedir. Çıkış gerilimi 361 V olarak ölçülmüştür.

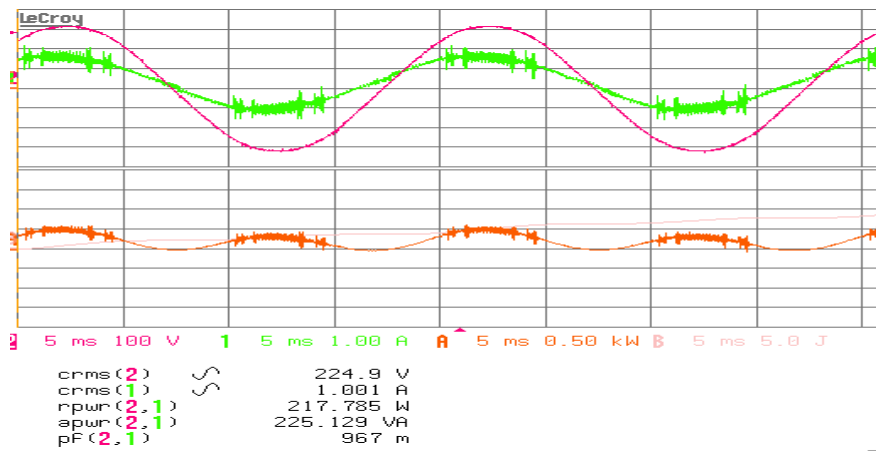


Şekil 5.17 Çıkış akımı ve gerilimi grafikleri

Uygulama devresinin 220 V giriş gerilimi ve 790 Ω yük değerinde çalışmasındaki verimi denklem 5.18'de verilmiştir.

$$\frac{P_{\text{çıkış}}}{P_{\text{giriş}}} = \frac{361.5 \times 0.474 \times \cos \varphi}{187} \left[\frac{W}{W} \right] = \frac{170.5}{187} = 0.91 \quad (5.18)$$

Şekil 8.22.'da uygulama devresinin; 220 V giriş gerilimi, 660 Ω yük değerinde 218 W gücünde çalışması sırasındaki ölçümleri yapılmıştır. Giriş akımı ve gerilimi grafiği ile birlikte güç ve enerji değişimi grafiği verilmiş, güç faktörü değerleri incelenmiştir



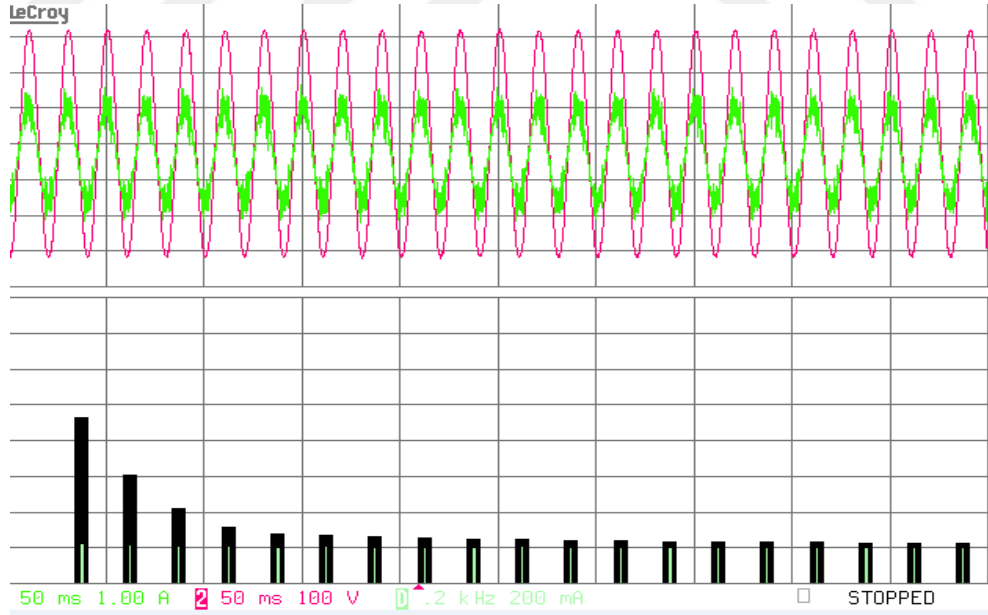
Şekil 5.18 Güç, enerji değişimi ve güç faktörü

Uygulama devresindeki 220 V giriş gerilimi ve 217 W giriş gücü için giriş akımının harmonik tablosu Şekil 5.19’ da verilmiştir. Burada tek numaralı harmonikler görülmektedir.

Harmonic	Frequency [Hz]	Measurement [mA]	Limit [mA]
3	150.00	20.54	715.86
5	250.00	15.26	400.04
7	350.00	10.04	210.55
9	450.00	5.50	105.27
11	550.00	3.02	73.69
13	650.00	5.94	62.35
15	750.00	1.58	54.04
17	850.00	2.79	47.68
19	950.00	2.08	42.66
21	1050.00	5.41	38.60
23	1150.00	2.32	35.24
25	1250.00	3.52	32.42
27	1350.00	1.21	30.02
29	1450.00	1.42	27.95
31	1550.00	2.79	26.15
33	1650.00	1.98	24.56
35	1750.00	2.80	23.16
37	1850.00	1.22	21.91
39	1950.00	2.54	20.78

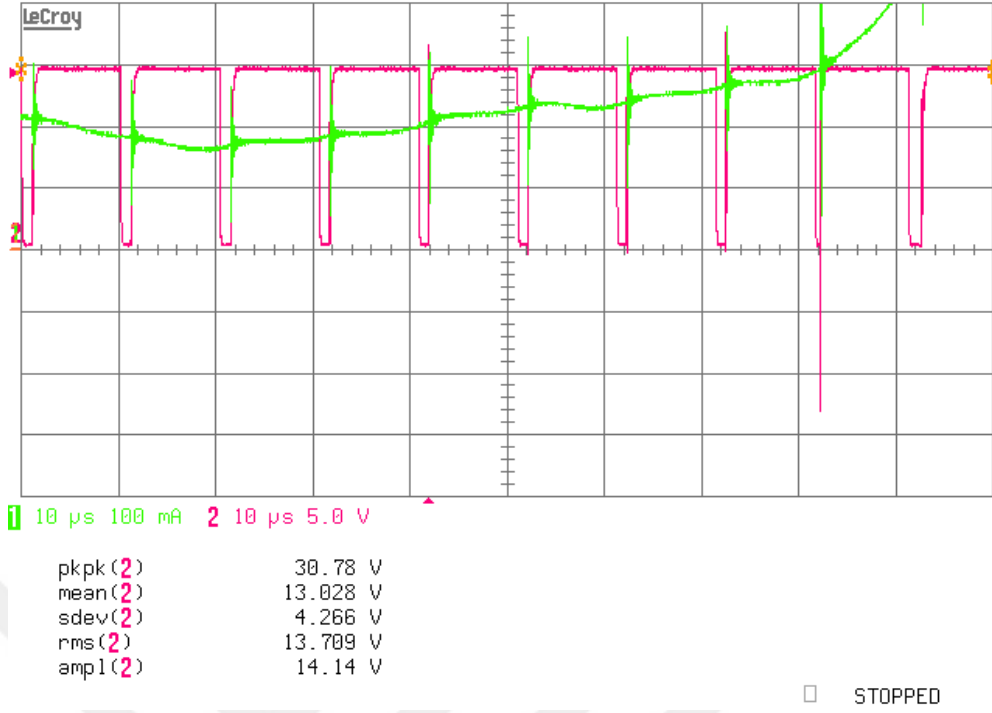
Şekil 5.19 Harmonik tablosu

Şekil 5.20’ de aynı giriş gerilimi ve gücü için akım, gerilim, harmonik grafikleri birlikte verilmiştir.



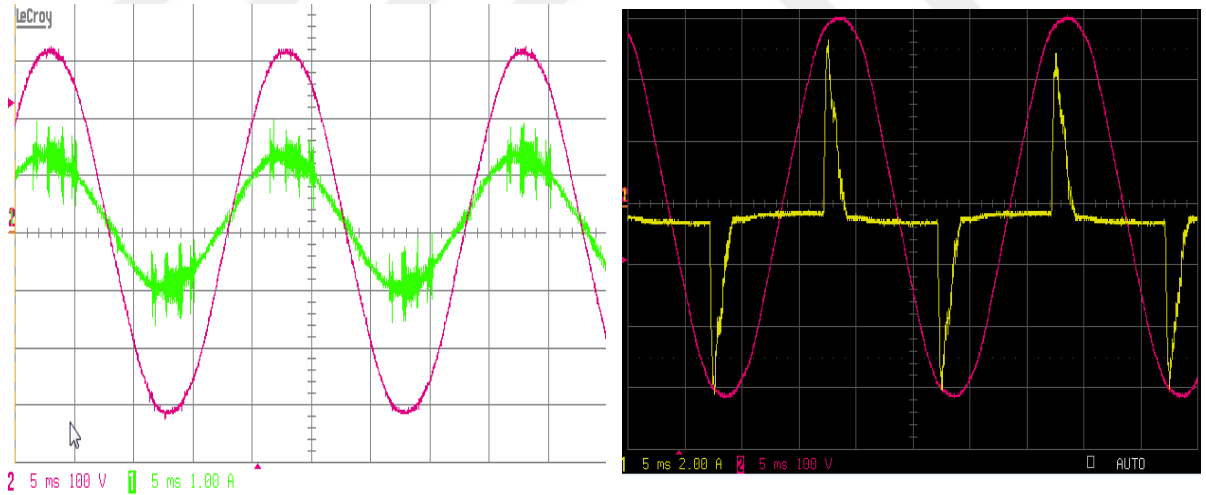
Şekil 5.20 Harmonik grafiği

Şekil 5.21’ de 100 kHz frekansta mosfet’ in anahtarlama sinyali, giriş akım grafiğiyle beraber verilmiştir.



Şekil 5.21 Mosfet anahtarlama sinyali

PFC devresinin uygulandığında devrenin çektiği akımla, PFC devresinin uygulanmadığında ki akımın şeklinin karşılaştırılması Şekil 5.22’ de görülmektedir.



Şekil 5.22. PFC yapılmış devre ile yapılmamış devrenin karşılaştırılması

Yükseltici türü ortalama akım modlu PFC uygulama devresinin farklı giriş güçlerinde çalıştırıldığında parametreleri Çizelge 5.4’ de görülmektedir.

Çizelge 5.4 Ortalama akım modlu PFC uygulama devresinin parametreleri

Giriş Gücü	187 W	217 W
Giriş Gerilimi	220 V	220 V
Entegre Besleme Gerilimi	15 V	15 V
Giriş Geriliminin Frekansı	50 Hz	50 Hz
Anahtarlama Frekansı	100 kHz	100 KHz
Çıkış Gerilimi	361 V	357 V
Çıkış Akımı	0.842 A	1 A
Yükseltici Endüktans	1 mH	1 mH
Çıkış Kapasitesi	220 uF	220 uF
Verim	0.91	0.91
Güç Faktörü	0.995	0.967

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, güç faktörü ve harmoniklerin tanımı yapılarak dünyada kullanılan harmonik standartları ve değerleri hakkında bilgi verilmiştir. Şebekeye bağlanan elektrikli sistemlerin giriş enerjisi kalitesini ifade eden güç faktörü ve harmoniklerin aktif veya pasif yöntemlerle düzeltilmesi üzerinde durulmuş, aktif güç faktörü düzeltme devreleri incelenmiştir. Bu amaçla; Bulanık Mantıksal Kontrollü Yükseltici Devre ve Köprüsüz Güç Faktörü Düzeltme Devresi'nin çalışma prensibi anlatılmıştır. Aktif güç faktörü düzeltme yöntemlerinden biri olan 'Ortalama Akım Modu Kontrollü Yükseltici Türü PFC Devreleri' araştırılmış ve 250 W güç seviyesinde vereceği sonuçlar incelenmiştir. Önerilen kontrol yönteminin POWERSIM programında UCC3818 entegresi ile benzetimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Benzetim devresinde kullanılan UCC3818 entegresi ile ilgili hesaplamalar dikkatlice yapılmış ve entegrenin tüm uçlarındaki işaret değerleri kontrol edilmiştir. Ayrıca UCC3817/3818N ticari entegreleri kullanılarak 250 W'lık deneysel uygulama devresi yapılmış ve simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bu tip tasarımlarda yapılan hesaplamalarda, çıkış gücünün, giriş gerilim ve akım değerlerinin hesaplamalara katılması sonucunda sadece belirli bir cihaza ya da güç ve akım değerine yönelik uygulamalar gerçekleştirilebilmekte ve bunların sonucunda katı kurallar dahilinde işleyen uygulamalar karşımıza çıkmaktadır. Modüler devre yapılarının kullanımı ile bu katı kurallar biraz yumuşatılmaya çalışılsa da, güç faktörü düzeltme amacıyla üretilmekte olan entegrelerde, her bir aşamada tasarımcıya ölçüm ve

denetleme olanağı veren yapıların kullanılması halinde, tasarımda gerekli esnekliğe kavuşabileceği değerlendirilmektedir.

Yüksek güçlerde güç faktörünün düzeltilmesi amacıyla kullanılan Köprüsüz Güç Faktörü Düzeltme Devreleri'nin geliştirilmesine önem verilmelidir. Güç yoğunluğunun arttırılabilmesi için, anahtarlama frekansının mümkün olduğunca yükseltilmesi gerekmektedir. Bu durumda ise, anahtarlama kayıpları ile elektromanyetik girişim (EMI) artmaktadır. Dönüştürücülerde anahtarlama frekansının arttırılması, ancak yumuşak anahtarlama (SS) teknikleri kullanılarak, anahtarlama kayıpları ve elektromanyetik girişimin bastırılması ile mümkün olabilmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] Bodur, H., Akboy, E. ve Aksoy, İ., (2011). Tek Aşamalı Güç Faktörü Düzeltme Devrelerinin İncelenmesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar sempozyumu, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [2] Karakaya, M.A., (2012). Aktif Güç Faktörü Düzeltme Devrelerinin İncelenmesi ve Bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] IEC61000-3-2, Electromagnetic Compatibility (EMC)—Part 3: Limits—Section2: Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment Input Current <16A per Phase).
- [4] Bodur, H., (2011). Güç Elektroniğinde Güç Faktörü Düzeltme Yöntemleri Ders Notu , Y.T.Ü. Elektrik Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği, İstanbul.
- [5] Yanık, G., (2010). Güç Faktörü Düzeltme Yöntemlerinin İncelenmesi ve Bir Uygulama Devresinin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Alim, A., Islam, S., Shajib, and Islam, S., (2016). A Proficient AC/DC Converter With Power Factor Correction, American Journal of Engineering Research, Royal University Of Dhaka, Bangladesh.
- [7] Umesh, S., Venkatesha, L. and Usha, A., (2014). Active Power Factor Correction Technique for Single Phase Full Bridge Rectifier, International Conference on Advances in Energy Conversion Technologies , İEEE, Bangalore INDIA.
- [8] Benyamina, A. and Moulahoum, S., (2016). Real Time İmplementation Of Unity Power Factor Correction Converter Based On Fuzzy Logic, International Smart Grid Workshop and Certificate Program, Istanbul, Turkey.
- [9] Krishna, A. and Abraham, L., (2014). Boost Converter Based Power Factor Correction For Single Phase Rectifier Using Fuzzy Logic Control, First International Conference on Computational Systems and Communications, İEEE, Trivandrum, India.
- [10] Gopinath, M., Prabakaran and Ramareddy, S. (2011). A Brief Analysis On Bridgeless Boost PFC Converter, Chennai and Dr.MGR University Second International Conference on Sustainable Energy and Intelligent System, India.

- [11] Ancuti, M.C., Svoboda, M., Musuroi, s., Hedes, A., and Olarescu, N.V. (2014). Boost PFC Converter versus Bridgeless Boost PFC Converter EMI Analysis, İEEE.
- [12] Kocatepe, C. ve Umurkan, N., (2006). "Enerji Kalitesi ve Harmonikler", Elektrik Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [13] Bodur, H., (2010). Güç Elektroniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [14] O. Garcia, J. A. Cobos, R. Prieto, P. Alou, and J. Uceda, (2001). "Power Factor Correction: A survey", İEEE proceedings, PESC.
- [15] Schaffner EMV AG (2006). İEC61000 3-2 Standarts Overview
- [16] Douglas M., (2003). 2.4kW Unity Power Factor Rectifier, The University of Queensland
- [17] Lu, D.D.C., lu, H.H.C. and Pjevalica,V. (2008), "A Single Satge AC-DC Converter With High Power Factor, Regulated Bus Voltage, and Output Voltage", İEEE Trans. on Power Electronics, 23(1):218-228.
- [18] Texas Instruments (2000), UCC3818 Datasheet, Bicmos Power Factor Preregulator.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Onur BÜYÜKKATIRCI
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.03.1990 Melikgazi - KAYSERİ
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : onurbuyukkatirci@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Elektrik Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2013
Lise	Fen Bilimleri	Sami Yangın Anadolu Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013 -	Milli Savunma Bakanlığı	Muayene Komisyon Üyesi

YAYINLARI

Bildiri

1. BÜYÜKKATIRCI, O., ŞAHİN, E. ve AKIN, B., AC-DC Dönüştürücü Tabanlı Güç Faktörü Düzeltme Devresi Tasarımı ve Uygulaması Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, Bursa

