

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNDE
HARMONİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alparslan TÜFEKÇİ

Enstitü Anabilim Dalı : **Enerji Sistemleri Mühendisliği**
Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Onur Özdal MENGİ**

Mayıs 2018

T.C.
GİRESUN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNDE HARMONİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alparslan TÜFEKÇİ

Enstitü Anabilim Dalı : Enerji Sistemleri Mühendisliği

Bu tez ../05/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

..... Dr.
.....
Jüri Başkanı

..... Dr.
.....
Üye

..... Dr.
.....
Üye

Doç.Dr.
Bahadır KOZ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Alparslan TÜFEKÇİ

09/05/2018

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın tüm aşamalarında her türlü bilimsel desteği sağlayan, bilgi birikimleri ve değerli görüşleriyle katkı sağlayan değerli hocam Dr. Öğr.Üyesi Onur Özdal MENGİ 'ye ve Öğr. Gör. Özgür TOMAK hocama teşekkür ederim.

Ayrıca seminer çalışmam sırasında manevi yardımlarını esirgemeyen eşime ve beni motive eden oğluma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER	II
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XII
ÖZET.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
BÖLÜM 1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Çalışması	2
BÖLÜM 2. GÜNEŞ PİLLERİ.....	5
2.1. Maddenin Yapısı ve Yarı İletkenler Malzemeler.....	6
2.1.1. N Tipi Yarı İletken	7
2.1.2. P Tipi yarı İletken.....	8
2.2. P – N Ekleme	8
2.3. Fotovoltaik Pili.....	9
2.4. Güneş Pili Nasıl Çalışır	10
2.5. Güneş Pili Eşdeğer Şeması ve Güneş Panelleri	11
2.6. Güneş Pili Çeşitleri	22
2.6.1. Selenyum Güneş Pili.....	22
2.6.2. Silisyum Güneş Pili.....	23
2.7. Güneş Pillerinin Yapısı	23
2.8. Güneş Pili Güç Verimlilikleri	24
BÖLÜM 3. ELEKTRİK GÜÇ KALİTESİ	25
3.1. Güç Kalitesinin Genel Tanımı	25
3.2. Gerilim Kalitesi	26

3.3. Geçici Hal.....	27
3.3.1. Darbeli Geçici Olay.....	27
3.3.2. Salınım Şeklindeki Geçici Hal	27
3.4. Uzun Süreli Gerilimin Değişimleri	27
3.4.1. Aşırı Gerilim	28
3.4.2. Düşük Gerilim.....	28
3.5. Kısa Süreli Gerilim Değişimleri.....	28
3.5.1. Kesinti	29
3.5.2. Kısa Süreli Gerilim Düşmesi	29
3.5.3. Kısa Süreli Gerilim Yükselmesi.....	29
3.5.4. Gerilim Dengesizliği	29
3.6. Frekans Değişimleri	30
3.7. Dalga Şekli Bozulması.....	30
3.8. Gerilim Dalgalanması	31
BÖLÜM 4. HARMONİKLER.....	32
4.1. Harmonikli Elektriksel Büyüklükler	32
4.2. Toplam Harmonik Bozulması ve Efektif Değer	35
4.3. Güç ve Güç Faktörü	36
4.4. Harmonikleri Azaltma Yöntemleri	39
4.4.1. Yük Akımında Harmoniklerin Azaltılması.....	39
4.4.2. Şebeke Empedansı	39
4.4.3. Harmonik Standartları.....	39
4.5. Harmoniklerin Filtrelenmesi	40
4.5.1. Pasif Filtreler.....	40
4.5.1.1. Seri Pasif Filtreler	41
4.5.1.2. Paralel (Şönt) Pasif Filtreler.....	41
4.5.1.2.1. Bant Geçiren Filtreler.....	43
4.5.1.2.2. Çift Ayarlı Filtreler	44
4.5.1.2.3. Otomatik Ayarlı Filtreler	46
4.5.1.2.4. Yüksek Geçiren Sönümlü Filtreler.....	46
4.5.2. Aktif Filtreler	48
4.6. Modülasyon İndeksi	49

BÖLÜM 5. KESİR DERECELİ SİSTEMLER.....	50
5.1. Kesir Dereceli Sistemlerin Tanımlamaları.....	50
5.1.1. Riemann-Liouville tanımı	51
5.1.2. Grünwald-Letnikov tanımı.....	51
5.1.3. Caputo tanımı	52
5.2. Kesir Dereceli Denetleyiciler.....	52
5.3. PID Denetim Yönteminin Temel Özellikleri	55
5.4. FOMCON.....	57
BÖLÜM 6. EVİRİCİLER.....	58
6.1. Gerilim Kaynaklı Eviriciler	59
6.2. Tek Fazlı İki Seviyeli Gerilim Kaynaklı Evirici.....	59
6.3. Tek Fazlı Üç Seviyeli Gerilim Kaynaklı Evirici.....	60
6.4. Akım Kaynaklı Eviriciler.....	61
BÖLÜM 7. SİSTEM MODELLEMESİ VE BULGULAR	62
7.1. Kesir Dereceli PID ve Klasik PID Kontrolörün LC Filtre Bulunan Devreye Uygulanması	66
7.2. Kesir Dereceli PID ve Klasik PID Kontrolörün C Tipi Yüksek Geçiren Harmonik Filtre Bulunan Devreye Uygulanması	71
7.3. Kesir Dereceli PID ve Klasik PID Kontrolörün Çift Ayarlı Harmonik Filtre Bulunan Devreye Uygulanması	76
7.4. Kesir Dereceli PID ve Klasik PID Kontrolörün Yüksek Geçiren Harmonik Filtre Bulunan Devreye Uygulanması	81
7.5. Kesir Dereceli PID ve Klasik PID Kontrolörün Tek Ayarlı Harmonik Filtre Bulunan Devreye Uygulanması	86
BÖLÜM 8: TARTIŞMA VE SONUÇ.....	92
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	98

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

h.f.	: Işın demeti (eV)
P	: Aktif güç (W)
Q	: Reaktif güç (VAr)
S	: Görünür güç (VA)
V	: Gerilim (V)
I	: Akım (A)
ω	: Açısal hız (Rad./sn)
f	: Frekans (Hz)
k	: Harmonik mertebesi
L	: Bobin (H)
C	: Kondansatör (F)
Z_f	: Filtre empedansı (Ω)
μ	: Kesir dereceli denetleyicinin türev derecesi
λ	: Kesir dereceli denetleyicinin integral derecesi
K_p	: Oransal katsayı
K_i	: İntegral katsayısı
K_d	: Türev katsayısı
I_{pil}	: Pilin çıkış akımı (A)
I_{FV}	: Fotoakım (A)
I_s	: Diyotun doyma akımı (A)
V_{pil}	: Pilin çıkış gerilimi (V)
I_D	: Diyot akımı (A)
m	: Diyot faktörü (bu değer diyota göre 1 ya da 2 değerini alır)
V_T	: Diyot termal gerilimi (oda sıcaklığı olan 25°C’de 25mV)
k	: Boltzmann sabiti (1.380622×10^{-23} J/K)
T_{pil}	: Referans çalışma sıcaklığı (K)
e	: Elektron yükü ($1.6021917 \times 10^{-19}$ C)
R_s	: Eşdeğer devrenin seri direnci (Ω)

T_{pil}	: Referans çalışma sıcaklığı (K)
C_{TV}	: Sıcaklık gerilim katsayısı
C_{TI}	: Sıcaklık akım katsayısı
T_X	: Ortam sıcaklığı
C_{SV}	: Güneş radyasyonu seviyesindeki değişimin pil foto gerilime etki katsayısı
C_{SI}	: Güneş radyasyonu seviyesindeki değişimin pil fotoakımına etki katsayısı
T_a	: Referans ortam sıcaklığını
β_T	: Sıcaklık nedeniyle pil geriliminde meydana gelen değişimlerin eğim katsayısı
γ_T	: Sıcaklık nedeniyle pil akımında meydana gelen değişimlerin eğim katsayısı
S_{pil}	: Referans güneş radyasyon seviyesi
S_X	: Farklı zamanlardaki farklı güneş radyasyon seviyesi
α_S	: Güneş radyasyon seviyesindeki değişimin pil çalışma sıcaklığında meydana getireceği değişime ait bir katsayı
V_{Xpil}	: Tüm etkiler dahil edilmiş FV çıkış gerilimi
I_{XFV}	: Tüm etkiler dahil edilmiş FV çıkış akımı
A	: Eğri uydurma faktörü
${}_aD_x^\alpha$	: Kesir dereceli türev operatörü
α	: Kesir derecesi
Γ	: Euler Gama fonksiyonu
φ	: Faz açısı
K	: Kalite faktörü
n	: Çığ devrilme üssü
b	: Düzeltme iletkeni
a	: Eğri üzerindeki herhangi bir andaki değeri
g	: Temel harmoniğin değeri
S_n	: Temel harmoniğin tepe değeri
M_k	: Efektif değeri M olan bir birimin k. harmonik bileşeni
D	: Bozulma gücü (W)
τ	: Zaman sabiti (sn)
β	: Modülasyon indeksi (%)
Δf	: Frekans sapması (Hz)

IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
PID	: Oransal İntegral Türevsel Kontrolör (Proportional-Integral-Derivative)
$PI^{\lambda}D^{\mu}$	: Kesirli Dereceli PID Kontrolör
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)
FOMCON	: Kesir Dereceli Modelleme ve Kontrol (Fractional Order Modeling and Control)
THD	: Toplam Harmonik Bozulması (Total Harmonic Distortion)
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
PF	: Power Factor (Güç Faktörü)
VSI	: Voltage Source Inverter (Gerilim Kaynaklı Evirici)
CSI	: Current Source Inverter (Akım Kaynaklı Evirici)
IGBT	: İzolasyon Kapılı Bipolar Transistör (Insulated Gate, Bipolar, Transistor)
FV	: Fotovoltaik
AA	: Alternatif Akım
DA	: Doğru Akım
FFT	: Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
PLL	: Phase Locked Loop (Faz Kilitli Çevrim)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Bir Yarı İletkenin Yapısı.....	7
Şekil 2. 2. P – N Ekleminin Oluşumu	8
Şekil 2. 3. P – N Ekleminde Enerji Bandı.....	9
Şekil 2. 4. Fotovoltaik Pilin Yapısı	10
Şekil 2. 5. Güneş Pili.....	11
Şekil 2. 6. P – N Ekleminin Oluşturulması ve Ekleme Düşen Foton Enerjisi ile İletkenlik Temini.....	12
Şekil 2. 7. Basitleştirilmiş FV güneş pil modeli.....	12
Şekil 2. 8. Tek diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresinin geliştirilmiş hali	13
Şekil 2. 9. İki diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresi	14
Şekil 2. 10. İki diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresinin geliştirilmiş hali	15
Şekil 2. 11. FV güneş pilinin dinamik modeli	16
Şekil 2. 12. FV güneş pilinin eşdeğer devresi.....	17
Şekil 2. 13. 34W'lık Bir Güneş Pilinde Akım-Gerilim Eğrileri (27 °C İçin)	21
Şekil 2. 14. Selenyum Güneş Pilinin Yapısı	23
Şekil 2. 15. Tipik Bir Silisyum Güneş Pilinin Ön Yüzü	24
Şekil 4. 1. Sinüs şeklinde olmayan ve periyodik olarak değişen gerilim (veya akım) eğrisi ile bunun temel harmoniği.	34
Şekil 4. 2. Görünür güç bileşenleri arasındaki ilişki	38
Şekil 4. 3. Seri pasif filtre.....	41
Şekil 4. 4. Paralel pasif filtre (Tek Ayarlı Paralel Pasif Filtre).....	42
Şekil 4. 5. Bant geçiren filtre	43
Şekil 4. 6. Bant Geçiren Filtre İçin Frekans-Empedans İlişkisi.....	44
Şekil 4. 7. Çift Ayarlı Paralel Pasif Filtre	45
Şekil 4. 8. Çift Ayarlı Paralel Pasif Filtre İçin Frekans-Empedans İlişkisi.....	45
Şekil 4. 9. Yüksek Geçiren Sönümlü Filtreler (a) Birinci Derece, (b) İkinci Derece, (c) Üçüncü Derece, (d) C Tipi.....	46
Şekil 4. 10. Yüksek Geçiren Sönümlü Paralel Pasif Filtre İçin Frekans-Empedans İlişkisi.....	47
Şekil 5. 1. λ ve μ değişimine göre denetleyici tipleri	54
Şekil 5. 2. PI^2D^μ denetleyicisinin blok diyagramı	55
Şekil 5. 3. PI^2D^μ denetleyicinin blok diyagramı içyapısı	55
Şekil 5. 4. PID denetleyici kapalı çevrim kontrol sistemi.....	56
Şekil 6. 1. Yarım köprü evirici devresi	59

Şekil 6. 2. Yarım köprü evirici devresi çıkış dalga formu	60
Şekil 6. 3. Tam köprü evirici devre şeması	60
Şekil 6. 4. Tam köprü evirici devresi çıkış dalga formu	61
Şekil 7. 1. Sistemin kontrol bloğu	63
Şekil 7. 2. Tek Hat diyagramı	64
Şekil 7. 3. Kontrolörün ve filtrenin bulunduğu devrenin aktif ve reaktif güç değerleri	65
Şekil 7. 4. FV pilin akım gerilim grafiği	65
Şekil 7. 5. Kesir dereceli PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği	67
Şekil 7. 6. PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği	67
Şekil 7. 7. Kesir dereceli PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği	68
Şekil 7. 8. PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği	68
Şekil 7. 9. Kesir dereceli PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin çıkış akımı THD grafiği	69
Şekil 7. 10. PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin çıkış akımı THD grafiği	69
Şekil 7. 11. Kesir dereceli PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin çıkış gerilimi THD grafiği	70
Şekil 7. 12. PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin çıkış gerilimi THD grafiği	70
Şekil 7. 13. Kesir dereceli PID kontrolörün ve C Tipi Yüksek Geçiren Harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği	72
Şekil 7. 14. PID kontrolörün ve C Tipi Yüksek Geçiren Harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği	72
Şekil 7. 15. Kesir dereceli PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği	73
Şekil 7. 16. PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği	73
Şekil 7. 17. Kesir dereceli PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması	74
Şekil 7. 18. PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması	74
Şekil 7. 19. Kesir dereceli PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması	75

Şekil 7. 20. PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması.....	75
Şekil 7. 21. Kesir dereceli PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği.....	77
Şekil 7. 22. PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği	77
Şekil 7. 23. Kesir dereceli PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği.....	78
Şekil 7. 24. PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği	78
Şekil 7. 25. Kesir dereceli PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması	79
Şekil 7. 26. PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması.....	79
Şekil 7. 27. Kesir dereceli PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması.....	80
Şekil 7. 28. PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması	80
Şekil 7. 29. Kesir dereceli PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği.....	82
Şekil 7. 30. PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği.....	82
Şekil 7. 31. Kesir dereceli PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği.....	83
Şekil 7. 32. PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği.....	83
Şekil 7. 33. Kesir dereceli PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması	84
Şekil 7. 34. PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması	84
Şekil 7. 35. Kesir dereceli PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması.....	85
Şekil 7. 36. PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması.....	85
Şekil 7. 37. Kesir dereceli PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği.....	87
Şekil 7. 38. PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği	87
Şekil 7. 39. Kesir dereceli PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği.....	88
Şekil 7. 40. PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği	88

Şekil 7. 41. Kesir dereceli PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması	89
Şekil 7. 42. PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması	89
Şekil 7. 43. Kesir dereceli PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması.....	90
Şekil 7. 44. PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması	90



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 5. 1. Kesir Dereceli denetleyici için parametre ve tanımları	53
Tablo 5. 2. λ ve μ değişimine göre denetleyici tipleri	54
Tablo 7. 1. Soltech 1STH-215-P Elektriksel Teknik Özellikleri.	62
Tablo 7. 2. Filtreler ve denetleyiciler devrede iken FFT analiz sonuçları	91



YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNDE HARMONİK ANALİZİ

ÖZET

Güç devrelerine bağlanan bazı elemanlar özelliklerine bağlı olarak sinüsoidal dalga şeklini bozar ve bu sebeple sapmalar oluşturabilmektedir. Tam sinüsoidalden sapma harmonik olarak ortaya çıkar. Harmoniğin ortaya çıkmasının başlıca sebebi elektrik ve manyetik devrelerde lineersizliktir.

Kaliteli elektrik enerjisinden bahsedebilmek için şebekenin belirlenen bir noktasında gerilimin, akımın, frekansın ve genliğin nominal değerinde kalması, dalga şeklinin ise tam sinüs biçiminde olmasıdır.

Bu ifadenin tam tersi ise enerjinin kalitesiz olduğunu gösterir ve bunlar; dalga şeklinin sinüsten uzaklaşması, frekans değişimleri, gerilimin genliğindeki değişimler, enerji kesintileri, gerilimdeki darbeler, gerilimin DC bileşen içermesi, üç fazdaki fazlar arası dengesizliklerdir. Enerji kalitesini daima çıkıştaki yükler ve alıcılar sinüs dalga şeklini bozarak etkiler.

Elektrik enerjisi üretimini ve dağıtımında enerji kalitesi tüketiciler açısından son derece önemli bir unsurdur. Bu sebeple harmoniksiz enerji üretimi yapmak veya tasarlamak yeni ve gelişen teknoloji ile yapmak mümkündür. Yenilenebilir enerji kaynakları ile yapılan enerji üretiminde bazı sıkıntılar yaşanabilmektedir (Güneş enerji sistemlerinde güneş ışınlarının sürekli olmayışı ve ısı... gibi). Yenilenebilir enerji sistemlerinde denetim sisteminin cevabının gecikmesi, bozuk ve harmonikli enerji üretimi gibi sorunlar bu tezde giderilmeye çalışılmıştır. Öncelikle güneş enerji sisteminden elektrik enerjisi üretilmiş ve bu enerjinin şebeke gerilimine cevap süresi minimize edilmiştir. Üretilen bu enerji filtreler yardımıyla harmonik seviyeleri düşürülmüş kabul edilebilir seviyelerde tutulmuştur. Ayrıca sistemin çıkışından yaklaşık 50kW seviyesinde enerji çekilebilmektedir. Sistemi denetleyen kısımda ise klasik PID yanı sıra kesirli $PI^{\lambda}D^{\mu}$ kullanılarak kıyaslama yapılmış en uygun çözüm yöntemi bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Harmonik, Güç Kalitesi, Klasik PID ve Kesirli $PI^{\lambda}D^{\mu}$ ve filtre

HARMONIC ANALYSIS IN RENEWABLE ENERGY SYSTEMS

ABSTRACT

Some elements connected to the power circuits may distort sinusoidal waveforms depending on their characteristics and may, therefore, produce deviations. Deviation from full sinusoidal is expressed by harmonics. The main reason for the appearance of harmonics is the non-linearity in electric and magnetic circuits.

To talk about quality electric energy, the voltage, current, frequency, and amplitude remain at nominal value at a specified point of the network, and the waveform is in the form of full sinusoidal.

In contrast to this definition, it indicates that the energy is of poor quality and these include divergence of wave shape, frequency changes, fluctuations in the amplitude of the voltage, energy interruptions, pulse in the voltage, DC component in the voltage, phase imbalances among the three phases. The energy quality always influences the output loads and receivers distorting the sinusoidal wave.

Poor energy quality means that divergence of the waveform from the sinusoidal, change of amplitude, interruptions, a shift in frequency, voltage pulses, voltage containing dc offset, imbalance of three phase. The energy quality is often degraded by the load which distorts the sinusoidal wave shape.

The quality of energy in the production and distribution of electricity is a crucial factor regarding consumers. For this reason, it is possible to do energy production without harmonics or to design with new and developing technology. Some problems can be experienced in energy production made with renewable energy sources (such as the absence of continuous solar radiation and heat in solar energy systems). Problems such as delayed response of the control system in the renewable energy systems, distorted and harmonic energy production have been tried to be solved in this thesis. First, electricity from the solar energy system is generated and the response time of this energy to the grid voltage is minimized. With the help of these filters produced, the harmonic levels of the energy produced, are reduced to acceptable levels. Also, about 50kW of energy can be drawn from the output of the system. In part supervising the system, the most appropriate solution method is found by comparing the conventional PID with the fractional PID.

Keywords: Harmonic , Power Quality, Conventional PID, Fractional PID and filter

BÖLÜM 1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Elektrik şebeke sistemlerinde kaliteli enerjinin tanımı, şebekeden çekilen akımdaki dalga şeklindeki bozulmalar ile şebekenin gerilim ve frekansındaki değişimler olarak verilebilir. Gerilim ve frekans değişse bile birçok elektrikli cihaz bunu algılayamaz ve bu konuda hassas değildirler. Buna karşın elektronik devreler tarafından kontrol edilen ve geliştirilen devre elemanları sayesinde oldukça hassas enerji kalitesini ölçebilmektedir. Bu kontrol devrelerine örnek olarak; AC ve DC motor sürücülerini ile anahtarlama mod da çalışan güç kaynakları verilebilir. Yalnız bu devreler bozucu etkilerden oldukça fazla etkilenmektedirler. Bu etkilenmelerden kaynaklı kontrol edilen cihazlar dolayısıyla fabrika veya tesislerin hatalı çalışmasına yol açarlar. Hatta sistemlerin devre dışı kalmasına kadar olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bu sebeple tüketicilerin enerjisiz kalmaması için enerji kalitesi konusunda bazı sınırlandırmaların yapılması gerektirir. Elektromanyetik dalgalar, Elektrostatik boşalmalar ve işletme sırasında oluşan hatalar sonucu oluşan bozucu etkiler çoğu zaman tüketiciden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bozucu etkiler, istenmeyen titreşimler ve iletkenlerdeki gevşek bağlantılar gibi mekanik veya elektriksel hatalar sonucu da oluşmaktadır.

Son zamanlarda yaygınlaşan doğrusal olmayan (non-linear) yükler yüzünden güç kalitesi problemlerinde artış görülmektedir. Bu doğrusal olmayan yükler, şebekede nominal frekansın (örneğin 50 Hz) dışında frekanslarda akım veya gerilim bileşenlerinde harmoniklerin oluşmasına yol açmaktadır. Harmonikler, standartların belirlediği değerlerin üstüne çıkması durumunda nominal frekansa göre tasarlanmış devre elemanlarına ve elektriksel ekipmanlara zarar vermekte, verimi düşürmekte ayrıca ek kayıplara yol açmaktadır.

Besleme gerilimindeki kesinti ya da değişimler kısa veya uzun süreli olması durumunda tüketici açısından sıkıntı oluşturacağından, enerji üreten firma yada kişilerin sürekli ve kesintisiz enerji üretmesine, üretilen enerjinin de harmoniksiz bir enerji olmasına dikkat etmeleri gerekmektedir.

1.2. Literatür Çalışması

Bu konuda yapılan araştırmalardan bazıları şunlardır:

Wen ve arkadaşları, yeni bir güç harmoniği ölçümü önermiştir. 4-aşamalı Blackman Harris penceresi, örnek verilerinin pencerelenmesi için kullanılır, böylece spektral sızıntı hataları büyük ölçüde azalır ve daha sonra, harmonik parametreleri elde etmek için ikili enterpolasyonlar kullanılır [1].

Lin ve Lee, çevrimiçi harmonik analiz için uygun ve kısa verilerle iyi performans gösteren geliştirilmiş bir parametrik algoritma geliştirdiler. Bu algoritma, diğer Hızlı Fourier dönüşümü ve Kalman filtre tabanlı algoritmalardan farklıdır, çünkü tam sayı ve tamsayı olmayan (alt) harmonikler arasındaki eř varyasyonların az sayıda yineleme adımında eşzamanlı olarak izlenmesini sağlar [2].

Li ve arkadaşları, ilk olarak üç fazlı seri aktif güç filtresinin dengeleme prensibini oluşturmuştur. Sistemi analiz ederek, diferansiyel denklemlerini elde edip, transfer fonksiyonu için çıkan açık döngü kontrol stratejisinin blok diyagramını kuruldu. Doğrusal olmayan, kendinden ayarlı bir bağışıklık geribildirim kontrolörü önerildi. Yeni doğrusal olmayan kontrolör, bağışıklık geri bildirim mekanizmasını geleneksel PID kontrolüyle birleştirerek tasarlanmıştır [3].

Zhan ve diğerleri, Destek Vektör Makinelerine dayanan ve üstel hesaplama karmaşıklığının zorluğunun üstesinden gelmek için tekrarlanan yeniden ağırlıklandırılmalı en küçük kareler algoritmasıyla çözölen harmonik ve ara harmonik analizine yeni bir sağlam yaklaşım önermişlerdir [4].

Huang ve arkadaşları, Dikdörtgen Kendiliğinden Evrimleşme Penceresi (RSCW) olarak adlandırılan yeni bir pencere kullandı. M-sıralı RSCW, m dikdörtgen sekansları ve genlik-frekans karakteristiğinin sıfır noktasında yer değiştirerek geliştirilmiştir, m-1 mertebeden türevlerin değeri sıfırdır. Bu karakterin bir sonucu olarak, spektrum kaçağı nedeniyle harmonikler arasındaki etkileşimler, RSCW uygulanarak en az seviyeye indirilebilir, dolayısıyla harmonik kestiriminin kesinliği artar [5].

Ganyun ve arkadaşları, geçici sinyal karakteristiğinin tanımıyla zaman-frekans alanında üstel dönüşümü birleştiren, ara harmonik özellikler temelinde Prony yöntemine dayanan bir sinyal ayrıştırma algoritması ile incelenmiştir. Deney sonuçları, Prony yönteminin harmoniklerin ve ara harmoniklerin analizinde etkili ve doğru sonuçlar sağlayabildiğini kanıtlamaktadır [6].

Qian ve arkadaşları, interpolasyon FFT algoritmasına dayanan bir ara harmonik tahmin metodu önermiştir. Blackman – Harris penceresi, Rife – Vincent penceresi ve Rife – Vincent penceresine dayalı ara harmonik parametrelerini tahmin etmek için bir algoritma verilmiştir. Simülasyon sonuçları, senkronize olmayan örnek dizisi analizi için önerilen algoritmayı kullanarak, tahmini ara harmonik frekansı, genlik ve fazın oldukça doğru olduğunu göstermektedir [7].

Wang ve arkadaşları, geliştirilmiş yapay sinir ağları modeli ile pencereli hızlı Fourier dönüşümü algoritmasını birleştirerek, elektrik güç sistemlerinde tamsayı olmayan harmoniklerin analizi için geliştirilmiş bir algoritma sağlamıştır. İlk olarak, Hanning pencereli hızlı Fourier dönüşümü algoritması örneklenen sinyali işler. Bu zamana kadar harmoniklerin sayısı ve harmoniklerin seviyesi elde edilir [8].

Karuppanan ve Mahapatra, oransal integral türevi tabanlı Şönt Aktif Güç Hattı Koşullandırıcıları ile anlık güç teorisinin tasarımı ve analizini araştırmışlardır. Bu yapı, güç faktörü düzeltilmesinin yanı sıra doğrusal olmayan yük tarafından oluşturulan reaktif ve harmonik akımları telafi eder. Farklı yük koşullarında mevcut harmoniklerin gerçek zamanlı telafisi için farklı kontrol stratejilerini incelenmiştir [9].

Jiang ve arkadaşları, frekans kaçağından doğan sorunları azaltmak ve ara harmonik analizinin doğruluğunu geliştirmek için poli-kosinüs penceresi ve çift enterpolasyonlu Fourier dönüşümü algoritmasını sundu. Pencereless Fourier dönüşümü, uygun bir pencere işlevi seçilerek örnekleme sinyaline uygulanır. Ardından çift enterpolasyon algoritması kullanılarak harmonik analiz sonuçlarında bir geliştirme yapılmıştır [10].

Sharaf, ve Abdelsalam, yaptıkları çalışmada, akıllı şebeke stabilizasyonu ve verimli kullanımı için yeni bir modüle edilmiş güç filtresi kompensatör sistemi tasarlamışlardır. Bu yapı, dinamik hata ile çalıştırılan ara bağlantılı modifiye edilmiş PID kontrolörü tarafından kontrol edilir. Önerilen plan, dağıtılmış / dağınık yenilenebilir enerji arayüzüne ve kullanım sistemlerine genişletilebilir ve diğer spesifik stabilizasyon, kompanzasyon gereksinimleri, voltaj regülasyonu ve verimli kullanım için kolayca değiştirilebilir [11].

Harmoniklerin tespiti için Akaike Bilgi Kriterinin kullanıldığı bir metod Tomak ve Mengi tarafından önerildi. Akaike Bilgi Kriterinin özellik olarak kullanıldığı sistemde sınıflandırma sürecinde k en yakın komşu algoritması tercih edildi. Bu algoritmanın hızlı olduğu ve harmoniklere yeterli seviyede hızlı tepki verdiği tespit edildi. Bu sistemler harmonikleri tespit edecek yapay zeka sistemi için bir model olarak önerilmiştir [12].

Abdelsalam ve arkadaşları, voltaj stabilizasyonu, güç faktörü düzeltmesi ve harmonik bozulmaların azaltılması için yeni bir düşük maliyetli güç filtresi / kompensatör cihazı geliştirilmiştir. Güç filtresi / kompensatör cihazının çalışması, bir çift ayarlı filtre ve bir seri kompensatör arasındaki aralıklı anahtarlama gerekmektedir. Anahtarlama işlemi, darbe genişliği modülasyon anahtarlamasından üretilen bir darbe sinyali ile elde edilir. Darbe genişlik modülasyonunu modüle etmek için kullanılan PID kontrol cihazı, bir çift döngü geleneksel kontrolörden üretilen bir hata sinyali tarafından yönlendirilir. Sonuçlar, güç filtresi / kompensatör cihazının güç faktörünü geliştirdiğini ve voltaj profilini geliştirdiğini göstermektedir [13].

BÖLÜM 2. GÜNEŞ PİLLERİ

Fotovoltaaj (FV) güneş pillerinin özellikleri ve karakteristikleri bu bölümde ayrıntılı bir biçimde ele alınacaktır. Bu bağlamda bir fotovoltaik güneş panelinin temel yapısını oluşturan fotovoltaik güneş pillerinin hangi malzemelerden üretildiği, üretiminin nasıl yapıldığı, yük altındaki sıcaklık ve ışık şiddetine göre çıkış gerilimini ve akımlarını nasıl değiştirdiği ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Bir fotovoltaaj güneş pilinin çıkış gücünü ifade eden Güç-Gerilim (P-V) grafiğinin yanı sıra Akım – Gerilim (I-V) grafiği de tanıtılacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisini diğer enerji türlerine göre doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebildikleri için fotovoltaaj güneş pilleri alternatif bir elektrik üretim metodu olarak gittikçe yaygınlaşmakta ve daha da önem kazanmaktadır.

Güneş pilleri genel yapı itibarıyla yüzeylerine belli bir açı ile gelen güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzey yapıları şekil olarak daire, dikdörtgen, kare şeklinde olup ortalama alanları 100 cm^2 civarında, kalınlıkları ise $0.2 - 0.4 \text{ mm}$ arasındadır [14].

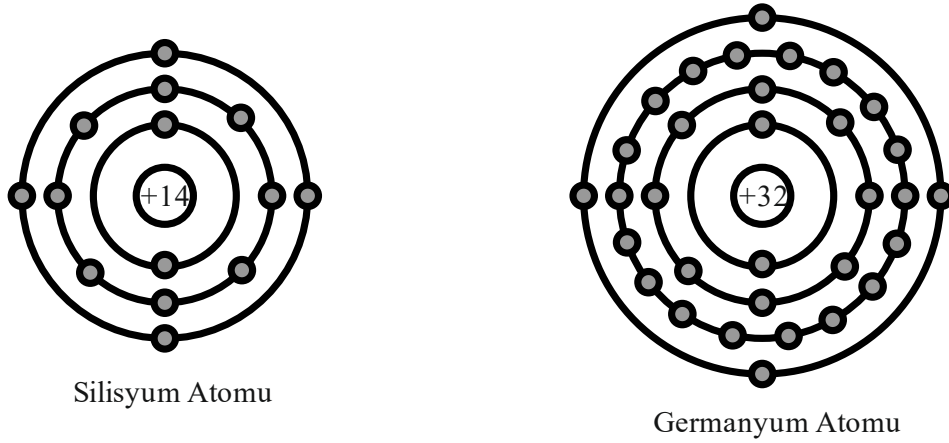
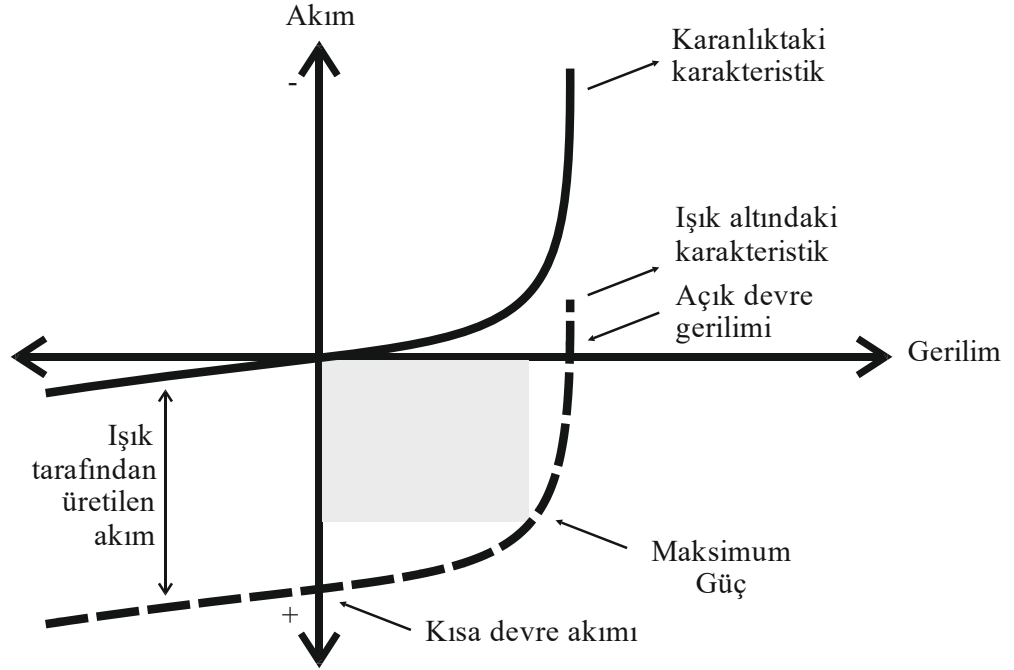
Güneş pillerinin çalışma ilkesi fotovoltaik ilkesine dayanır, yani panelin üzerine ışık düştüğü zaman panelin uçlarında elektrik enerjisi meydana gelir. Pillerin verdiği elektrik enerjisinin miktarı, yüzeyine gelen güneş enerjisine bağlıdır. Deniz seviyesinde, parlak bulutsuz bir havadaki ışığın şiddeti m^2 başına yaklaşık 1 kW/m^2 civarındadır. Bölgeye ve hava koşullarına bağlı olarak 1 m^2 'ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda yaklaşık $800-2600 \text{ kWh}$ arasında olabilmektedir. Bu enerji, güneş pilinin yapısına da bağlı olarak değişir ve yüksek bir verimle ($\%5 - \%40$) elektrik enerjisine çevrilebilir.

Çıkış gücünü artırmak için çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanır. Daha sonra bu paneller bir yüzey üzerinde birleştirilerek enerji üretimi sağlanır. Seri bağlayarak gerilim değerini, paralel bağlayarak akım değerini yükseltiriz. Oluşturulan bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Gerekirse bu modüller de kendi arasında da birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak, fotovoltaik bir dizi oluşturabilir.

2.1. Maddenin Yapısı ve Yarı İletkenler Malzemeler

Bilindiği üzere madde, pozitif yüklü çok ağır bir çekirdekle, onun etrafında belirli yörüngelerde dolanan elektronlardan meydana gelmiştir. Bu yükler, dış ortamlardan etkilenmediği takdirde dengeli bir şekilde yörüngede dolaşır. Elektronlar, yörüngelerinin bulunduğu merkeze orantılı bir şekilde kinetik enerji ve potansiyel enerji taşırlar. Bir maddenin en dış yörüngesinde maksimum 2, sonrakinde 8 ve üçüncüde 18 elektron bulunabilir. Ayrıca elektronlar, ard arda sıralanan ve her biri belli sayıda elektron bulunduran enerji bantlarından oluşur. Dışarıdan enerji alan bir elektron bir üst seviyedeki banda çıkar ve daha düşük banda geçerek elektronun dışarıya enerji yayması sağlanır. Elektronun son tabakası dolmamış bir atomun, bir başka cisme ait komşu atomdan elektron kapmaya yatkınlığı vardır. Elektronu ısı verilmesi durumunda yörüngesi etrafında titreşim hızı artar [14].

Elektron, yörüngesinde kaldığı müddetçe enerjisinde bir dalgalanma olmaz. Yalnız bir elektron uyarılarak atomu terk edilip enerji kazandırılarak yörüngeden ayrılabilir. Böylece atom (+) iyon şekline geçer. Bu durum Şekil 2.1. de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1. Bir Yarı İletkenin Yapısı

2.1.1. N Tipi Yarı İletken

İletkenlik tipini değiştirmek için Silisyum ve Germanyumun içerisine, periyodik cetvelin III. ve V. grup elementlerinde yer alan Arsenik, Fosfor, Bor ve Antimuan elementleri ilave edilir. Bu elementler sayesinde elektronlar boş valans elektronu bulundurulur. Isı etkisiyle sıvı hale geçmiş halde bulunan Germanyuma $1/10^6$ (milyonda bir) oranında arsenik ilave edilirse, her arsenik atomu, bir Ge atomunun yerini alır ve 4 elektronuyla kovalent bağ yapar ve 5. valans elektronu serbest kalıp

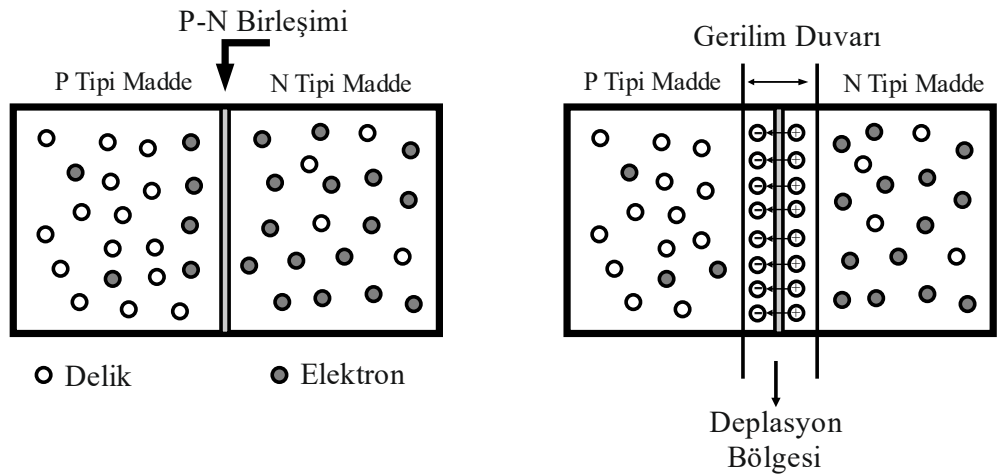
iletkenliği temin eder. İletkenlik (-) yükü temin edildiği için N tipi yarı iletken adını alır ve bu elektronlar da oda sıcaklığında iletkenlik bandına ulaşır [14].

2.1.2. P Tipi yarı İletken

Isı etkisiyle sıvı hale geçmiş (ergimiş) germanyuma, III. gruptan üç valans elektronu bulunduran İndium veya Galyum gibi elemanlar ilave edilerek yapılır. Katılaşma sırasında İndium atomları Germanium atomunun yerini alır. Kovalent bağ için 3 elektronu bulunur ve komşu atomdan bir elektron kaparak bağ oluşturur. Bu durum komşu atomda bir boşluk oluşmasına sebep olur ve elektron hareketi sağlar. İletkenlik (+) yükü temin edildiği için P tipi yarı iletken adını alır [14].

2.2. P – N Eklemleri

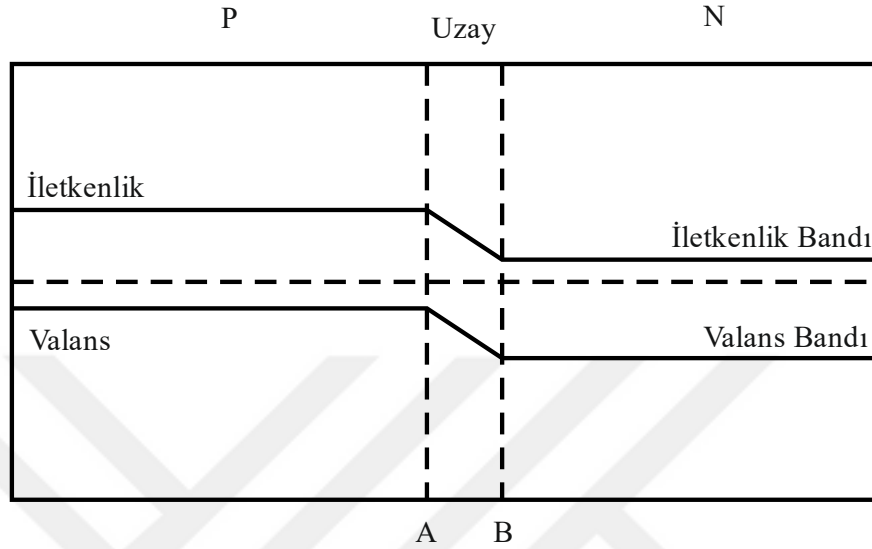
Bir monokristal P tipi yarıiletken N tipi yarıiletkenle geçiş bölgesi P-N eklemi olarak adlandırılır. Kristalleşme esnasında bu bölge meydana gelir. P tipinden N tipine geçişte N bölgesinde bulunan ve termik uyarımla (sıcaklıkla) azınlıkta olan boşluk, çoğunlukta olan elektron yükleri ve (+) iyonize atomlar P-N ekleminin genel yapısıdır.



şekil 2. 2. P – N Ekleminin Oluşumu

Sonuç olarak, P-N ekleminde bir elektrik akımı meydana gelebilmesi için, kavşak civarındaki elektronlar, P tipinden N tipine doğru itilerek (N'deki elektronu geri

püskürtür, P'deki elektronu N'ye iletir) eklemenden enerji akışı sağlanır ve enerji bandı, Şekil 2.3.'deki gibi olur. N bölgesinde, valans ve iletkenlik bandı enerjileri, P'dekilerden düşüktür [16].



Şekil 2. 3. P – N Ekleminde Enerji Bandı

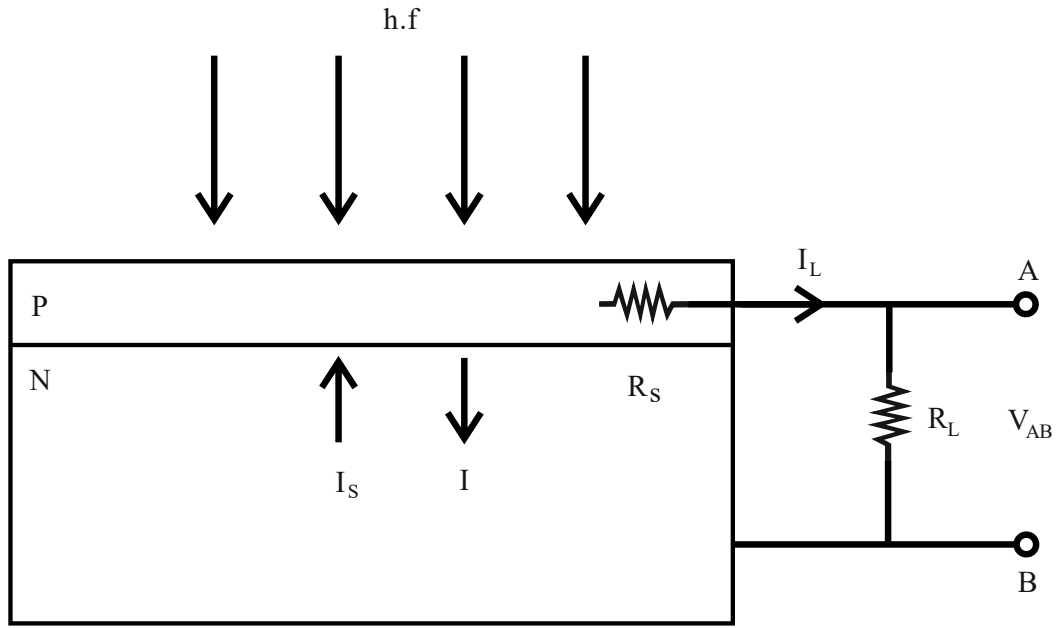
Bir ışık demetinin enerjisi yeterli ise, P-N eklemi üzerine düşüp foton elektronlarla karşılaştığı zaman enerji verebilir. Yalnız bu durum her zaman geçerli değildir. Bir yapıda serbest elektronların sayısı valans elektronlarının sayısından ancak 1/10000 kadar olduğundan, bu ihtimal küçüktür. Foton genellikle valans elektronu ile karşılaşarak enerjisini bırakır ve iletkenlik bandına çıkarır. Elektronlar enerji bırakırken arkasında bir boşluk ta bırakmış olur.

Bu durum A-B bandı arasında gerçekleştiğinde elektron, oluşan elektrik alanla N bölgesine kayarken boşluk da P bölgesine doğru hareket eder. Bu durumda P tipi bölge (+), N tipi bölge (-) yüklenmiş ve bir potansiyel oluşumuna sebebiyet vermiştir.

2.3. Fotovoltaik Pil

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, fotonun ışın absorbe edilmesi (emme) birlikte yük taşıyıcılar çoğunlukla bulundukları bölgelerde sürüklenirler. Bu durumda kavşaktan I_s akımı geçer ve bu akım sayesinde N'de (-), P'de (+) iyonlarla yüklenmiş olur.

Burada I_s akımı, ters yönde akım oluşturarak kavşak potansiyel geriliminin düşmesine ve eklemnin ileri yönde kutuplaşmasına sebep olur. Dış devre açık ve yük yoksa (akım akıyorsa) P'den N'ye akım geçişi olur ve kavşak potansiyel gerilimi tekrar yükselmeye başlar; P bölgesi (-), N bölgesi (+) yüklenir. Bu işlem sonrasında elektronlar foton absorbe ederek olayı tekrarlar. Bu durumda ters yönde oluşan akımlar P-N e geçen akım eşit ($I_s = I$) olur.



Şekil 2. 4. Fotovoltaik Pilin Yapısı

Dış devreye yük bağlanıp ve bu devreden bir akım geçerse $I_s = I - I_L$ olacak şekilde dış devreye elektrik enerjisi verir. En yüksek foton enerjisi yeşil renkli ışıktaki mevcut olup ve bunun için ışın demeti yaklaşık $h.f = 2.5$ eV civarındadır.

2.4. Güneş Pili Nasıl Çalışır

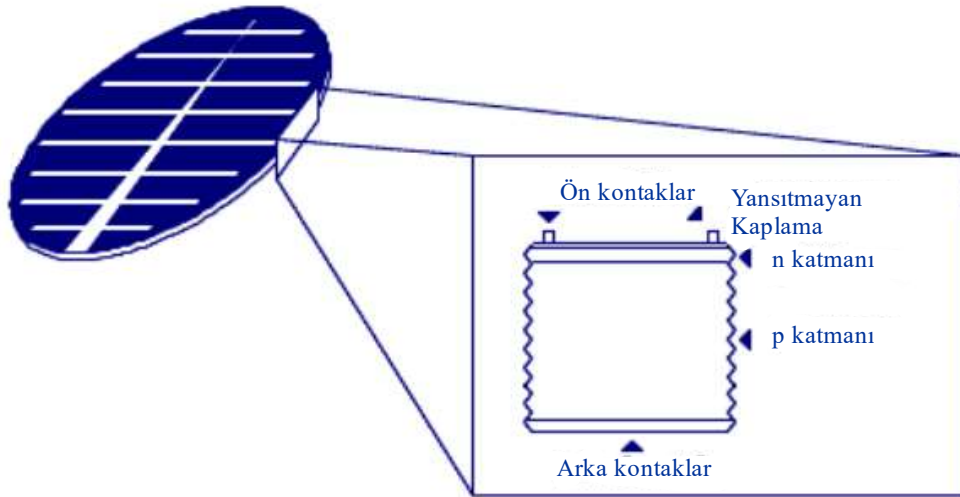
Fotovoltaik paneller güneşten gelen ışınları toplar ve bu ışınlardan elektrik enerjisine dönüştürür. Panelin üzerine gelen fotonlar, N tipi silisyum yarı iletkenlerin yüzeyinden elektron koparır. Yörüngeden kopan bu serbest elektronlar her panelde yaklaşık 0,5V civarında elektriksel bir alan oluşturmaktadır.

Serbest elektronlar, P tipi yarıiletken yüzeyinde bulunan pozitif yüklü oyuklar tarafından çekilmek istenir. Meydana gelen bu elektriksel alan içerisinde, serbest elektronların akışı bir yük üzerinden tamamlandığında güneş ışınımı elektrik enerjisine dönüşmüş olur.

Bu fotovoltaik panelleri seri veya paralel bağlayarak akım ve gerilim değerlerini artırmış oluruz ve bu sayede istenilen gerilim değerlerine ulaşılmış olunur. Fotovoltaik panellerin verimi panele gelen ışık şiddetinin miktarı ile orantılıdır. Güneş ışınları ne kadar dik gelirse üretilen enerji miktarı o kadar fazla olur.

2.5. Güneş Pili Eşdeğer Şeması ve Güneş Panelleri

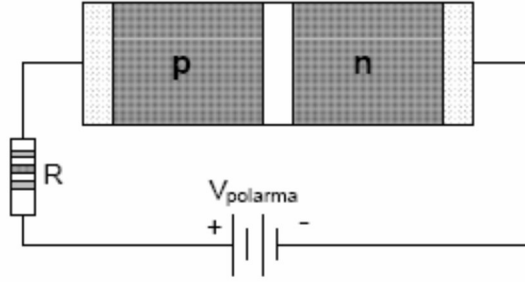
Bilindiği üzere, güneş pili yarı iletkenlerden oluşan malzemeler düzeneğidir. Bu malzemeler, yük taşıyıcılarından oluşan elektronların N tipi ile P tipi yarı iletkenlerin bir araya getirilerek oluşturulmuştur. Işık enerjisi dik bir şekilde birleşme noktasına düşürülürse ve dış devreye de yük bağlanırsa devreden bir akım geçebilmektedir. Güneş pilinin devresi Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2. 5. Güneş Pili

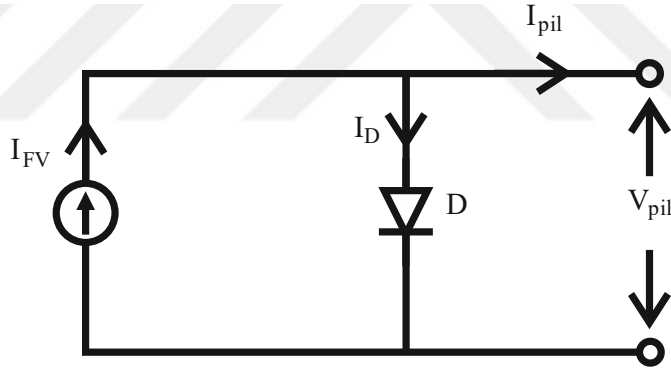
Bir P-N yarıiletken eklemesinde, elektronlar hareket ederek P tipi bölgesine geçerler. P tipi bölgesinde birleşme yüzeyine yakın yerlerde boşluk yük taşıyıcısındaki elektron eksikliğini tamamlayıp (-) iyonlar oluştururlar. Aynı durumda elektronlar N tipi

bölgede de (+) iyon duvarı oluşacaktır. Dışarıdan müdahale olmadıkça bu enerji duvarı akımın geçmesini önleyecektir. Işın demeti mevcut bölgeye düşerse, yük taşıyan elektronlar normalden çok az olacağından, muhtemelen bir valans elektrona enerjisini bırakacak ve onu P tipi bölgeye doğru itecektir. Akım P den N e doğru hareket edecektir [15]. Bu durum Şekil 2.6’ta gösterilmiştir.



Şekil 2. 6. P – N Ekleminin Oluşturulması ve Ekleme Düşen Foton Enerjisi ile İletkenlik Temini

Literatürde pek çok FV güneş pil eşdeğer devresi bulunmaktadır. Şekil 2.7’de FV güneş pilinin basitleştirilmiş eşdeğer devresi görülmektedir.



Şekil 2. 7. Basitleştirilmiş FV güneş pil modeli

Burada Kirchhoff’un akımlar yasası yazılıra;

$$I_{pil} = I_{FV} - I_D \quad (2.1)$$

elde edilir. Bir diyot akımı ise;

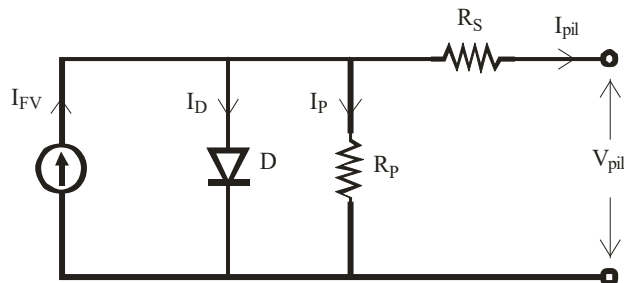
$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{mV_T}} - 1 \right) = I_S \left(e^{\frac{eV_D}{mkT_{pil}}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

ile elde edilir. Denklem (2.1) ve Denklem (2.2)'de,

I_{pil}	:	Pilin çıkış akımı (A)
I_{FV}	:	Fotoakım (A)
I_s	:	Diyotun doyma akımı (A)
V_{pil}	:	Pilin çıkış gerilimi (V)
I_D	:	Diyot akımı (A)
m	:	Diyot faktörü (bu değer diyota göre 1 ya da 2 değerini alır)
V_T	:	Diyot termal gerilimi (oda sıcaklığı olan 25°C'de 25mV)
k	:	Boltzmann sabiti (1.380622×10^{-23} J/K)
T_{pil}	:	Referans çalışma sıcaklığı (K)
e	:	Elektron yükü ($1.6021917 \times 10^{-19}$ C)
V_D	:	Diyot Gerilimi (V)

ifade etmektedir. I_s akımı genellikle 10^{-10} A ile 10^{-5} A aralığında değişmektedir.

Şekil 2.8'de ise tek diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresinin geliştirilmiş hali görülmektedir. Bu model bir önceki modele göre gerçeğe daha yakın olan bir modeldir. Eklenen dirençler ile pil üzerine düşen gerilim ve kaçak akımlar da hesaba katılır. Burada kullanılan R_s direnci eşdeğer devrenin seri direncini (Ω) ve R_p (Ω) ise FV güneş pilinde meydana gelebilecek kaçak akımlar nedeniyle oluşan kaybı modellemek için koyulmaktadır. R_s direnci genellikle m Ω 'lar mertebesinde.



Şekil 2. 8. Tek diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresinin geliştirilmiş hali

Burada Kirchhoff'un akımlar yasası yazılırsa;

$$I_{FV} = I_D + I_P + I_{pil} \quad (2.3)$$

elde edilir. I_D yerine Denklem (2.3) yazılırsa Denklem (2.4) elde edilir:

$$I_{FV} = I_S \left(e^{\frac{V_D}{mV_T}} - 1 \right) + I_P + I_{pil} \quad (2.4)$$

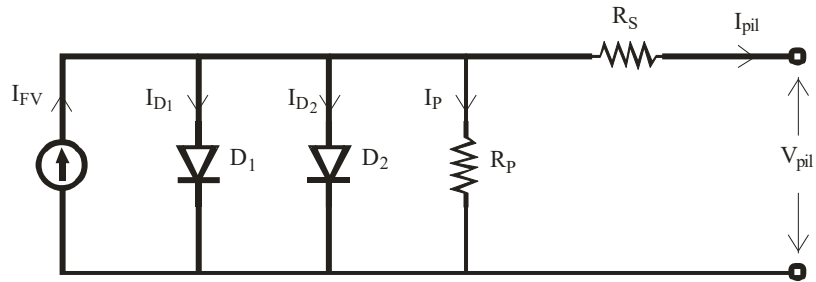
Şekil 1.10'de I_P akımı Denklem (1.5) ile bulunur:

$$I_P = \frac{V_D}{R_P} = \frac{V_{pil} + I_{pil} R_S}{R_P} \quad (2.5)$$

Denklem (2.5), Denklem (2.4)'da yerine yazılırsa;

$$I_{FV} = I_S \left(e^{\frac{V_D}{mV_T}} - 1 \right) + \left(\frac{V_{pil} + I_{pil} R_S}{R_P} \right) + I_{pil} \quad (2.6)$$

elde edilir. FV güneş pilinin pek çok durumda daha iyi ifade eden eşdeğer devre modeli Şekil 2.9'daki gibidir. İkinci diyot ilk bağlanan diyota paraleldir. Diyotların diyot faktörleri birbirinden farklıdır (örneğin $m_1=1$ ve $m_2=2$). D_1 diyotu genelde ideal diyot olarak temsil edilir.



Şekil 2. 9. İki diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresi

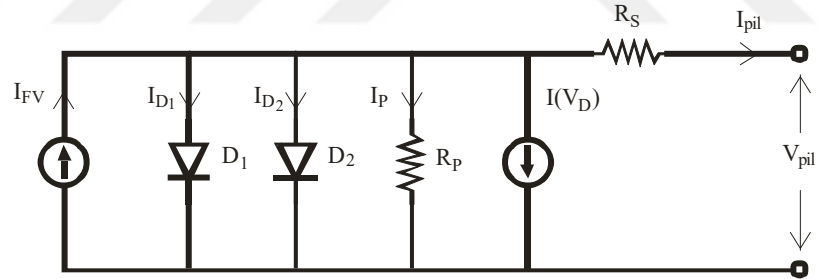
Yine Kirchhoff'un akımlar yasasından yola çıkarak;

$$I_{FV} = I_{D1} + I_{D2} + I_P + I_{pil} \quad (2.7)$$

$$I_{FV} = I_{S1} \left(e^{\frac{V_D}{m_1 V_T}} - 1 \right) + I_{S2} \left(e^{\frac{V_D}{m_2 V_T}} - 1 \right) + \left(\frac{V_{pil} + I_{pil} R_S}{R_P} \right) + I_{pil} \quad (2.8)$$

eşitlikleri yazılır.

Benzer şekilde iki diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresinin geliştirilmiş hali Şekil 2.10'daki gibidir. Bu model güneş pilinin negatif gerilim altında arıza durumunu da içerir. Eklenen akım kaynağı bu durumu göstermek için konmuştur ve diyotun negatif gerilim altında kırılma gerilimini modeller. Bu akım kaynağı V_D gerilimine bağımlı olarak bir akım üretir. Denklem (2.10)'da ters kırılma gerilimi V_{KIR} (V), n ıfğ devrilme üssünü ve b düzeltme iletkenliğini ifade eder:



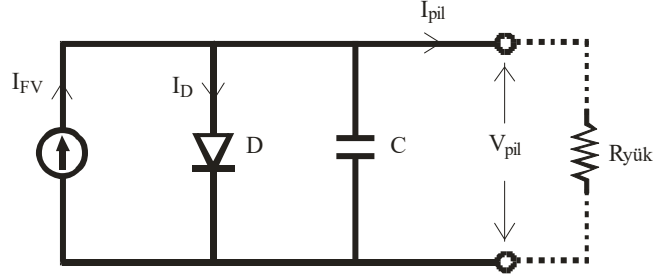
Şekil 2. 10. İki diyotlu FV güneş pili eşdeğer devresinin geliştirilmiş hali

Şekil 2.10'e ait akım eşitliği yazılırsa;

$$I_{FV} = I_{D1} + I_{D2} + I_P + I(V_D) + I_{pil} \quad (2.9)$$

$$I_{FV} = I_{S1} \left(e^{\frac{V_D}{m_1 V_T}} - 1 \right) + I_{S2} \left(e^{\frac{V_D}{m_2 V_T}} - 1 \right) + \left(\frac{V_{pil} + I_{pil} R_S}{R_P} \right) + b(V_{pil} + I_{pil} R_S) \left(1 - \frac{V_{pil} + I_{pil} R_S}{V_{KIR}} \right)^{-n} + I_{pil} \quad (2.10)$$

olur. Şekil 2.11’de ise FV güneş pilinin dinamik eşdeğer devresi görülmektedir [18,19-20].



Şekil 2. 11. FV güneş pilinin dinamik modeli

Şekil 2.11’e ait akım denklemlerini yazarsak;

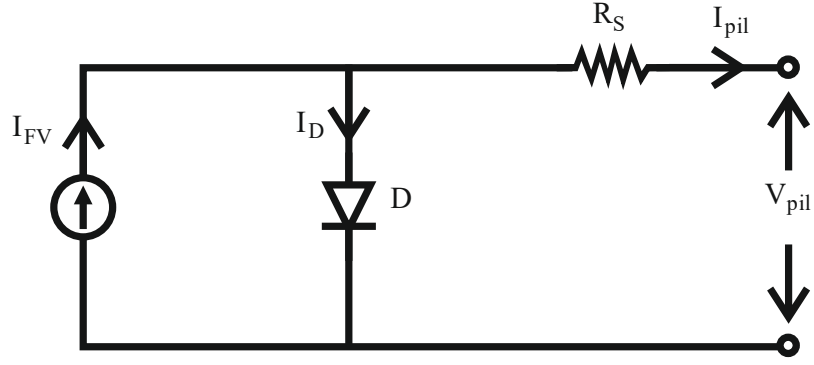
$$I_{FV} = I_D + I_C + I_{pil} \quad (2.11)$$

$$I_{FV} = I_S \left(e^{\frac{V_{pil}}{mV_T}} - 1 \right) + \frac{V_{pil}}{R_{yük}} \left(e^{\frac{-t}{R_{yük}C}} \right) + I_{pil} \quad (2.12)$$

elde edilir.

Pratikte ve yapılan benzetim çalışmalarında basitliği ve yapılan ihmaller nedeniyle çok fazla hataya neden olmadığı için Şekil 2.12’te görülen eşdeğer FV güneş pili modeli çok kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu model kullanıldığı için daha ayrıntılı bir biçimde açıklanacaktır.

Şekil 2.8’deki devrede R_p direnci R_s direncinden çok daha büyük olduğu için o koldan geçen akım düşüktür ve ihmal edilebilir. Bu durumda devre Şekil 2.12’deki hale indirgenir.



Şekil 2. 12. FV güneş pilinin eşdeğer devresi

Şekil 2.12'deki en son devre modeli sıcaklığa ve ışık şiddetine bağlı modelidir. Bu nedenle her bir çıkış için sıcaklık ve ışık şiddeti bilinmelidir. I_D akımı P-N birleşme noktasından akan bir iç akım olup, pilin mutlak sıcaklığı, terminal gerilimi ve yük tarafından çekilen akımın bir fonksiyonu olarak değişir. Denklem (2.4) Denklem (2.13)'deki gibi yazılırsa;

$$I_{FV} = I_D + I_{pil} \quad (2.13)$$

Denklem (2.13) ile Denklem (2.21) arasındaki bağıntılardan V_{pil} çekilirse Denklem (2.22) elde edilir:

$$I_{pil} = I_{FV} - I_S \left(e^{\frac{eV_D}{AkT_{pil}}} - 1 \right) \quad (2.14)$$

$$V_D = V_{pil} + R_S I_{pil} \quad (2.15)$$

$$I_{pil} = I_{FV} - I_S \left(e^{\frac{e(V_{pil} + R_S I_{pil})}{AkT_{pil}}} - 1 \right) \quad (2.16)$$

$$I_{FV} - I_{pil} = I_S \left(e^{\frac{e(V_{pil} + R_S I_{pil})}{AkT_{pil}}} - 1 \right) \quad (2.17)$$

$$\frac{I_{FV} - I_{pil}}{I_S} + 1 = \left(e^{\frac{e(V_{pil} + R_S I_{pil})}{A k T_{pil}}} \right) \quad (2.18)$$

$$\frac{I_{FV} - I_{pil} + I_S}{I_S} = \left(e^{\frac{e(V_{pil} + R_S I_{pil})}{A k T_{pil}}} \right) \quad (2.19)$$

$$\ln \left(\frac{I_{FV} - I_{pil} + I_S}{I_S} \right) = \ln \left(e^{\frac{e(V_{pil} + R_S I_{pil})}{A k T_{pil}}} \right) \quad (2.20)$$

$$\ln \left(\frac{I_{FV} - I_{pil} + I_S}{I_S} \right) = \frac{e(V_{pil} + R_S I_{pil})}{A k T_{pil}} \quad (2.21)$$

$$V_{pil} = \frac{A \cdot k \cdot T_{pil}}{e} \ln \left(\frac{I_{FV} + I_S - I_{pil}}{I_S} \right) - R_S \cdot I_{pil} \quad (2.22)$$

Denklem (2.22)'deki terimleri tekrar açıklarsak:

- I_{pil} : Pilin çıkış akımı (A)
- I_{FV} : Fotoakım (A)
- I_S : Diyotun ters doyma akımı (A)
- V_{pil} : Pilin çıkış gerilimi (V)
- R_S : Eşdeğer devrenin seri direnci (Ω)
- R_p : Eşdeğer devrenin paralel direnci (Ω)
- e : Elektron yükü ($1.6021917 \times 10^{-19}$ C)
- k : Boltzmann sabiti (1.380622×10^{-23} J/K)
- T_{pil} : Referans çalışma sıcaklığı (K)
- A : Eğri uydurma faktörü
- V_{KIR} : Ters Kırılma Gerilimi (V)
- n : Çığ devrilme üssü

b : Düzeltme İletkeni

Boltzman sabitinin sıcaklık birimi ile referans çalışma sıcaklığının birimi aynı olmalıdır. T_{pil} in Kelvin cinsinden verildiğinde k sabitinin de kelvin cinsinden verilmesi işlemlerde kolaylık sağlamaktadır. Denklem (2.22)'de verilen A katsayısı bir eğri uydurma faktörü olup bu değer Akım-Gerilim karakteristiğinde elde edilen gerçek değer ile deneysel değerleri birbirine yaklaştırmada kullanılan bir katsayı değeridir. A değeri diyot akımı Denklem (2.6) ile hesaplanırken m olarak hesaba katılmaktadır ve diyota bağlı bir sabit değerdir. Denklem (2.22) ile verilen formül ise tek bir fotovoltaik güneş pilinin çıkış gerilimini ifade eder [18,19-20].

Fotovoltaik güneş panelinin bulunduğu ortamda sıcaklık ve güneş radyasyon oranı değiştiği zaman T_{pil} de değişerek yeni bir akım ve çıkış gerilimi oluşturur. Değişken olan ortam sıcaklığı (T_x) pilin çıkış gerilimini ve buna bağlı olarak fotoakımını etkiler. Bu durum sıcaklığın gerilim ve akım katsayıları C_{TV} ve C_{TI} ile Denklem (2.23) ve Denklem (2.24)'deki gibidir:

$$C_{TV} = 1 + \beta_T (T_a - T_x) \quad (2.23)$$

$$C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_{pil}} (T_x - T_a) \quad (2.24)$$

Burada T_a referans ortam sıcaklığını, T_x ise farklı zaman dilimlerinde farklı ortam sıcaklıklarını ifade etmektedir. T_a için ortam sıcaklığı 20°C dir. β_T pil geriliminde, γ_T ise akımında meydana gelen değişimlerin ifadesidir. Bu ifadeleri bulmak için bazı deneyler yapılmalıdır. Yapılan deney sonuçlarından alınan değerler β_T için 0,004 ile 0,006 arasında, γ_T için ise 0,02 ile 0,1 arasında olduğu saptanmıştır.

Güneşin ışınlam seviyesi gün boyunca pek değişmese de güneş ışınlarının radyasyon seviyesi değişiklik göstermektedir. Şayet radyasyon seviyesi S_{C1} gibi bir değerden S_{C2} gibi bir değere değişirse, çalışma sıcaklığı T_{C1} 'den T_{C2} 'ye, fotoakım ise I_{FV1} 'den I_{FV2} 'ye değişir. Yani radyasyona bağlı pilin çıkış gerilimi ve akımı da değişmektedir.

Değişen bu değerler için bir katsayı belirlemek gerekirse gerilim için C_{SV} , fotoakım için ise C_{SI} ile verilmekte ve sırasıyla Denklem (2.25) ve Denklem (2.26) ile tanımlanmaktadır.

$$C_{SV} = 1 + \beta_T \times \alpha_s (S_x - S_{pil}) \quad (2.25)$$

$$C_{SI} = 1 + \frac{1}{S_{pil}} (S_x - S_{pil}) \quad (2.26)$$

Burada, S_{pil} gün ışığı şiddetini, S_x ise farklı zamanlardaki farklı güneş radyasyon seviyelerini temsil etmektedir. Bu formüllere bağlı olarak radyasyon seviyesindeki değişimi bulmak için α_s formülünden faydalanılır ve aşağıdaki (2.27) denklemi ile hesaplanır.

$$\alpha_s = \frac{\Delta T_{pil}}{S_x - S_{pil}} = \frac{T_{pil} - T_a}{S_x - S_{pil}} \quad (2.27)$$

α_s nin değeri deney yoluyla da belirlenir ve yaklaşık olarak 0.3 ile 0.4 °C cm²/mW civarındadır. Yukarıda verilen düzeltme katsayıları C_{TV} , C_{TI} , C_{SV} ve C_{SI} kullanılarak FV güneş pilinin yeni çıkış gerilimi V_{Xpil} ve yeni fotoakımı I_{XFV} , yeni çalışma sıcaklığı T_X ve yeni güneş radyasyon seviyesi S_X için denklem (2.28) ve (2.29) hesaplandığı gibidir [21,22,23,24,25].

$$V_{Xpil} = C_{TV} \times C_{SV} \times V_{pil} \quad (2.28)$$

$$I_{XFV} = C_{TI} \times C_{SI} \times I_{FV} \quad (2.29)$$

C_{TV} : Sıcaklık gerilim katsayısı

C_{TI} : Sıcaklık akım katsayısı

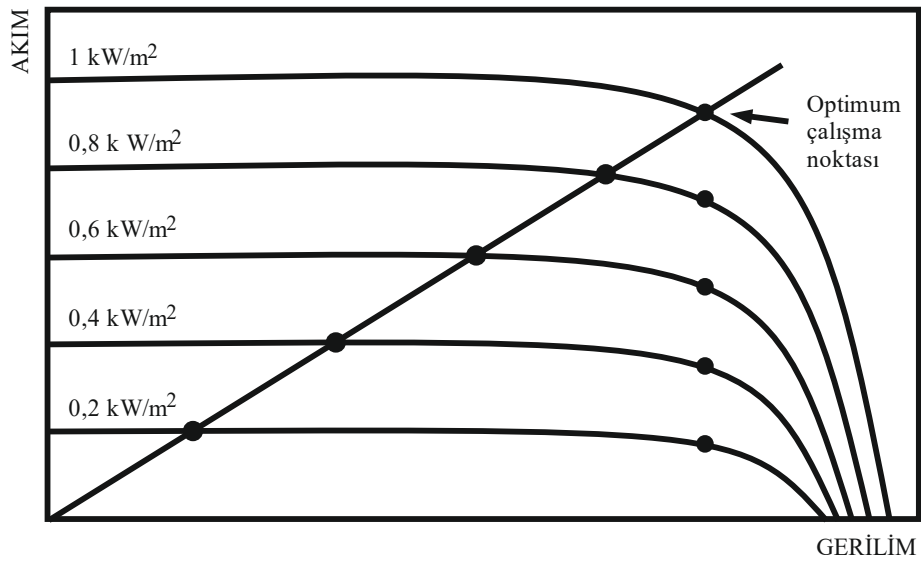
T_X : Ortam sıcaklığı

C_{SV} : Güneş radyasyonu seviyesindeki değişimin pil foto gerilime etki katsayısı

C_{SI} : Güneş radyasyonu seviyesindeki değişimin pil fotoakımına etki katsayısı

- T_a : Referans ortam sıcaklığını
- β_T : Sıcaklık nedeniyle pil geriliminde meydana gelen değişimlerin eğim katsayısı
- γ_T : Sıcaklık nedeniyle pil akımında meydana gelen değişimlerin eğim katsayısı
- S_{pil} : Referans güneş radyasyon seviyesi
- S_X : Farklı zamanlardaki farklı güneş radyasyon seviyesi
- α_S : Güneş radyasyon seviyesindeki değişimin pil çalışma sıcaklığında meydana getireceği değişime ait bir katsayı
- V_{Xpil} : Tüm etkiler dahil edilmiş FV çıkış gerilimi
- I_{XFV} : Tüm etkiler dahil edilmiş FV çıkış akımı

Güneş pili panelleri, belli güneş ışığı şartlarında, birim alan (m^2) başına belirli bir gerilim ve akım üretirler. İstenen bir enerji elde etmek için birçok güneş pilini seri ve/veya paralel bağlayarak elde edebiliriz. Güneş panellerindeki akım ve gerilim değerlerini elde etmek için dış devreye ayarlanabilir bir direnç ilave edilirse açık devreden kısa devreye kadar tüm değerlerini bulmuş oluruz. Bu değerler ışığında Şekil 2.13'deki gerilim-akım şiddeti eğrileri elde edilebilir. 1 cm^2 'lik alan pil güneş alan yüzeyi için ışıınım şiddeti $500\text{-}1000\text{ W/m}^2$ arasında değiştiği gözlenmiştir. Optimum çalışma noktasını bulmak için akım gerilim eğrisinden sabit yük eğrilerinin çakışma noktalarını birleştirmek yeterlidir.



Şekil 2. 13. 34W'lık Bir Güneş Piliinde Akım-Gerilim Eğrileri (27 °C İçin)

2.6. Güneş Pili Çeşitleri

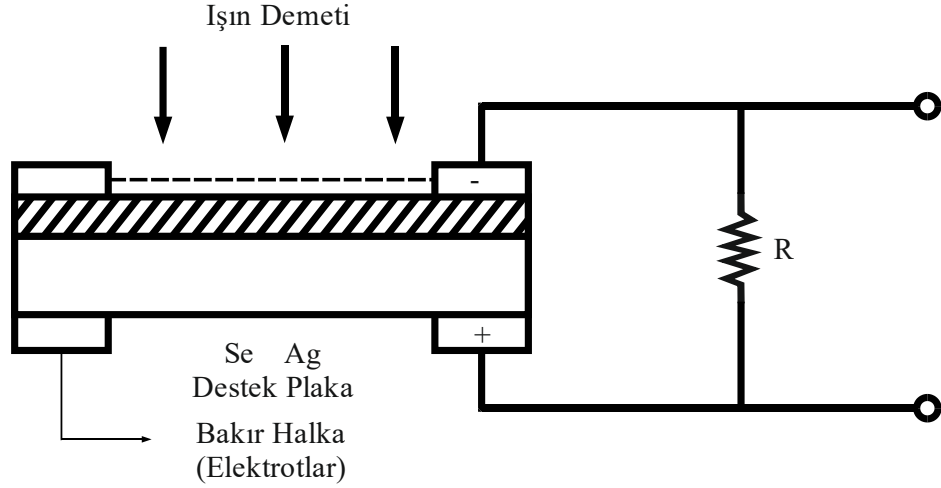
Günümüz teknolojisinde güneş pillerinin aşağıda tanımlandığı gibi pek çok modeli mevcuttur.

- a) Kristal Silisyum Güneş Pilleri
- b) Monokristal Silisyum Güneş Pilleri
- c) Semikristal (Yarıkristal) Silisyum Güneş Pilleri
- d) Ribbon Silisyum Güneş Pilleri
- e) Polikristal Silisyum Güneş Pilleri
- f) İnce Film Güneş Piller
- g) Amorf Silisyum Güneş Pilleri
- h) Kadmiyum Tellür İnce Film Güneş Pilleri (CdTe)
- i) Bakır İndiyum Diselenoid Güneş Pilleri (CuInSe, CuInGaSe)
- j) Birleşik (Tandem) Organik Güneş Hücresi

Gümüş, Bakır – Bakıroksit ile yapılan yarı iletken güneş pilleri, selenyum güneş pili ve silisyum güneş pili en çok tercih edilenleridir. Bu sebeple bu iki güneş pilinin çalışma prensibi ayrıntılı açıklanmıştır.

2.6.1. Selenyum Güneş Pili

Saf selenyum, alkali metalleri veya klor, iyod gibi halojenlerle karıştırılıp P tipi yarı iletken oluşturularak elde edilen bir yapıdır. Bu yapının üstüne iyi iletken bir tabaka ve bununda üzerine de yarı iletken / yarı geçirgen bir gümüş tabaka birkaç mikron kalınlığında kaplanarak selenyum güneş pilinin P-N eklemi oluşturulur. Şekil 1.16'da bir selenyum güneş pilinin yapısı görülmektedir. Bu pillerin 50°C'nin altında kullanılması daha verimli olacağından bu ısının altında kullanılması tavsiye edilmiştir.



Şekil 2. 14. Selenyum Güneş Pili'nin Yapısı

2.6.2. Silisyum Güneş Pili

Uzaya gönderilen araçlarda çoğu zaman kullanılan piller silisyum güneş pilleridir. Bu piller SiO_2 halindeki kumdan elde edilir. Bu pili elde etmek için önce küçük bir kristal parçayı eritilmiş kovaya daldırmak gerekir sonra bu kova belli hızda döndürülürken potadan çıkartılır. Çıkan bu parça soğutularak kristalin büyümesi beklenir ve bu sayede güneş pili elde edilir. Eriyen malzeme içine P tipi yarı iletkenlik malzemelerden katılarak dilim dilim kesilir. Sıcaklığı kontrol edilen fosfor pentaoksit (P_2O_5) li difüzyon fırınında N tipi yarı iletkenle ilave edilerek P-N eklemi oluşturulur [17].

Silisyum pilleri germanyum pilleriyle kıyaslandığında silisyumlu pillerin daha büyük açık devre direncine sahip olduğu görülmüştür. Buna karşı silisyumlu pillerin görüntü cevabı daha düşüktür ve kızılötesi ışınlar kadar uzanmaz. Güneş ışınları için ise silisyum pil daha uygundur. Akkor ışık kaynağı kullanılması durumunda, Germanyum uçlarındaki gerilim küçük olmasına rağmen daha büyük akım sağlamaktadır.

2.7. Güneş Pillerinin Yapısı

Tek kristalli silisyum güneş pili genellikle rengi koyu mavi olup, ağırlığı 10 gramdan azdır. Pili en üst yüzeyinde bulunan kontaklar üretilen enerjinin dış ortama aktarılmasında kullanılırlar ayrıca bakırdan yapılan ön kontakları da mevcuttur.

Kontakların altında yansıtma özelliği olmayan, 150mm kalınlığında bir kaplama tabakası vardır. Bu tabakanın önemli bir özelliği mevcuttur. Bu tabakanın konmaması durumunda panelin üzerine düşen ışınların üçte birine yakın kısmını yansıtacak ve enerjiye dönüştüremeyecektir. Pil yüzeyinden olan bu yansımayı kaplama tabakası önler. Pilin ön yüzeyi, normal olarak yansıyan ışığın bir kısmını daha yakalayabilmek amacıyla, konikler ve piramitler şeklinde yapılmıştır. Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, pilin elektrik akımının ortaya çıktığı yapı bulunur. Bu yapı, iki farklı katman şeklindedir. P-katmanı, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif tarafıdır. N-katmanı ise, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. İki katman arasında, P-N eklemi denilen, pozitif ve negatif yüklü elektronların karşılaştığı bir bölge bulunur. Pilin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır [17].



Şekil 2. 15. Tipik Bir Silisyum Güneş Pilinin Ön Yüzü

2.8. Güneş Pili Güç Verimlilikleri

Fotovoltaik piller gelişmelere bağlı olarak sürekli verimlilikleri değişmektedir. Güneş panelinin bulunduğu bölge, coğrafi şartlar ve diğer durumlar verimlilikleri de etkilemektedir. En son teknoloji ile üretilen güneş pillerinde verimlilik yaklaşık %30 düzeyindedir.

BÖLÜM 3. ELEKTRİK GÜÇ KALİTESİ

3.1. Güç Kalitesinin Genel Tanımı

Bilindiği gibi güç, akım ve gerilimin çarpımı olarak tanımlanmakta olup,

$$P(t) = I V \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(\omega t + \phi) \quad (3.1)$$

denklemini ile verilmektedir. Burada,

$$\omega = 2\pi f \quad (3.2)$$

açısal frekanstır. Ülkemizde ve Avrupa’da $f = 50$ Hz ve $\omega = 314$ Hz’dir.

P: Aktif Güç (W) , I: Akım (A), V: Gerilim(V), ϕ : Faz Açısı,
 ω : Açısal Hız (rad./sn); f: Frekans (Hz)

Sinüsoidal formda ve 50 Hz frekansla üretilen bu güç, dağıtım şebekeleri üzerinden tüketicilere kadar taşınmaktadır. Tüketicilere sunulan enerjinin kaliteli olması kesintileri minimuma indireceği ve dolayısı ile işletmede verimi arttıracaktır. Burada nominal güç ve 50 Hz’lik nominal frekansa göre tasarlanmış ve boyutlandırılmış olan tüketicilerce bir diğer enerji türüne dönüştürülmektedir. Bu dönüşümde verilen verim ve cihaz ömürleri ancak nominal değerler altında sağlanabilmektedir.

IEEE 1159 standardına göre güç kalitesi, kaynak geriliminin sinüsoidal dalga şeklindeki bozulma miktarı ile tanımlanmaktadır [26]. Enerji kalitesi farklı bir tabirle

gerilimin sabit kalması, frekansın sabit kalması, sinüsoidal dalganın sabit ve sürekli formda kalması şeklinde tanımlanabilir.

3.2. Gerilim Kalitesi

Şebekelerde akımı kontrol etmek yükün değerine bağlıdır. Bu sebeple akımı kontrol etmek zordur ancak gerilim kontrol edilebilir. Bu nedenle besleme geriliminin sağlanması gereken bir takım standartları vardır. Bu sebeple “güç kalitesi ile gerilim kalitesi eşit olması gerek” tanımlamasını yapmak doğru olur.

Alternatif akım, belirli bir frekansta ve belirli bir genliğe sahip gerilimde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Sonuç olarak güç kalitesi problemleri; gerilimin genliğinde, frekansta oluşan değişiklik veya dalga şeklindeki bozulma şeklinde verilebilir.

Generatörler tarafından üretilen gerilimin mükemmel yakın sinüsoidal biçiminde olmasına rağmen şebeke empedanslarından geçen akımdan dolayı gerilimde bozulmalara sebep olmaktadır. Şebekedeki bozulmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir [27];

- a) Enerji iletim hattına yıldırım düşerse aşırı gerilimden dolayı gerilimde dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bu dalgalanmalar ani darbe dalgalanmaları olarak ta adlandırılabilirler. Ani darbelerden sistemi yalıtırmak oldukça zordur bu sebeple hatta delinmeler meydana gelmektedir.
- b) Şebekede kısa devre oluşması durumunda ve gerilimin ani olarak birden düşmesi sonucunda gerilimde belli bir süre gerilim bozukluğu yaşanmaktadır.
- c) Bir sistemde harmonik kaynaklı bir bozulma meydana gelmesi durumunda sisteme bağlı diğer empedans ve gerilim kaynaklarının da bozulması sebep olacak bu da diğer alıcıların bozuk gerilimle beslenmesine sebep olacaktır.

3.3. Geçici Hal

Geçici Hal (Transient) durumu güç sistemlerindeki değişimlerin analizinde çok eskiden beri kullanılmaktadır. Bu durum aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- a) Geçici hal, arzu edilmeyen fakat kısa süreli oluşan bir olaydır.
- b) Geçici hal, sürekli halde bir işletme koşulundan diğerine geçerken karşılaşılan bir olaydır.
- c) Geçici haller, darbe ve salınım yapanlar olarak ikiye ayrılırlar.

Bu terimler (darbe ve salınım yapanlar) akımın veya gerilimin geçici hallerinin dalga şekillerine de yansır [27].

3.3.1. Darbeli Geçici Olay

Bu durum, polarite bakımından tek yönlü (pozitif veya negatif) akım veya gerilim, ya da her ikisinin sürekli hal koşulunda güç frekansında olmayan ani değişim değeridir. Darbe biçimindeki geçici olay, kısaca darbenin ne kadar süreceği ve sinüs değerinden ne kadar alçak veya yüksek değerlere ulaşacağı değerler ile ifade edilebilir.

3.3.2. Salınım Şeklindeki Geçici Hal

Salınım şeklindeki geçici hal ani oluşur; sürekli hal çalışma frekansının dışında gerilimin veya akımın, ya da her ikisinin negatif ve pozitif değerlerde salınım yapmasıdır. 5 ile 500 kHz arasında frekans bileşenli mikro saniye seviyesinde devam eden geçici olaylar, 500kHz' den daha büyük frekans bileşenli mikro saniye seviyesinde devam eden geçici olaylar, yüksek frekansta meydana gelen olaylar olarak tanımlanır.

3.4. Uzun Süreli Gerilimin Değişimleri

Uzun süreli değişimler 60 saniyeden daha fazla süren etkin değer civarındaki sapmaları ifade eder. Uzun süreli değişimler düşük gerilim veya aşırı gerilim olabilir. Düşük veya aşırı gerilimler sadece şebekedeki arızaların sonucu meydana gelmez

Uzun süreli değişimler yük değişimleri ve şebekedeki açma-kapama olayları sebebiyle oluşabilirler [27].

3.4.1. Aşırı Gerilim

Aşırı gerilim 60 saniyeden daha uzun bir süre için gerilimin efektif değerinin %110'dan fazla artmış olmasıdır. Aşırı gerilim oluşması için birçok sebep vardır. Bunlar; büyük bir yükün devre dışı kalması; kondansatör grubunun devreye alınması sırasında oluşan aşırı gerilimlerdir. Aşırı gerilimler şebekede ya gerilim ayarının zayıf olması ya da uygun bir gerilim kontrolü yapılmaması sonucunda oluşabilir. Ayrıca doğru yapılmayan bir transformatör geriliminin ayarlarında aşırı gerilime neden olur.

3.4.2. Düşük Gerilim

Düşük gerilim 60 saniyeden daha uzun bir süre gerilimin etkin değerinin %90'dan düşük olmasıdır. Aşırı gerilimde olan olayların tam dersi düşük gerilime neden olmaktadır. Düşük gerilime sebep olan olayların başında bir yükün aniden devreye girmesi veya kondansatörlerin birini veya birkaçının devre dışı kalması düşük gerilime neden olur. Ayrıca aşırı yüklü devrelerde sistem gerilimin düşmesine sebep olur.

3.5. Kısa Süreli Gerilim Değişimleri

Bu tip değişimler aniden veya kısa süreliğine oluşan değişimlerdir. Ayrıca değeri büyük olan ve fazla akım çeken yüklerin bir anda devreye girmesi, iletkenler arasındaki temassızlıklar da geçici gerilim değişimine sebep olmaktadır. Bu olaylar sebebiyle geçici gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi veya kesintiler oluşur. Arıza geçici olduğu için şebekelere fazladan maliyet getirecek güç kalitesi izlemesi programı şeklinde bir veri girişi veya çıkışı yapılmadığı sürece hiç bir hata gözlenemez ve kayıt altına alınamaz. Ancak söz konusu kısa süreli geçici arızanın sonuçta kesintiye sebep olduğundan gerilimdeki değişimler hassas tüketicilerde belli bir süre enerji kesintilerine sebep olabilmektedir [27].

3.5.1. Kesinti

Bir dakikadan daha düşük bir sürede besleme gerilimi ya da yük akımındaki azalma 0.1pu'den daha az olursa kesinti oluşur. Bu tür kesilmeler enerji sistemindeki arızaların meydana gelmesine sebep olur. Gerilim nominal değerinin %10' undan daha az değerlere düştüğü zaman kesintiler genellikle zamanla ölçülür. Bir sistemdeki kesilme süresi, koruma cihazının çalışma (devreye girme) zamanı ile belirlenir.

3.5.2. Kısa Sureli Gerilim Düşmesi

Gerilim veya akımın etkin değerinin 10msn ile 60sn arasında 0.1pu ve 0.9pu azalması çökme olarak adlandırılır. Gerilim çökmeleri genellikle şebekedeki arızalar sebebiyle oluşsa da büyük yüklerin devreye girmesinde ve büyük motorların yol almasında da gerilim düşmesine yol açmaktadır. Asenkron motor yol alma sırasında nominal yük akımının 6-10 katı kadar akım çeker. Bu akım arıza akımı mertebesinde ise gerilim düşmesi olabilir. Bu durumda yaklaşık olarak 3 saniyeden fazla ve %80 oranında bir gerilim düşmesi görülebilir.

3.5.3. Kısa Süreli Gerilim Yükselmesi

Gerilimin 10ms ile 1dk arasındaki zamanda "1.1pu ile 1.8pu" arasında artmasına kısa süreli gerilim yükselmesi denir. Bir faz-toprak arasında meydana gelen arızalarda diğer fazlarda da gerilim yükselmesi olur.

3.5.4. Gerilim Dengesizliği

Gerilim dengesizliği genellikle yüzde olarak hesaplanır ve üç fazlı gerilimin ve akımın ortalamasından maksimum sapması olarak adlandırılır. Dengesizlik genellikle simetrik bileşenler kullanarak da tanımlanır. Yüzde dengesizliği belirlemek için ya negatif bileşenin (-V) pozitif bileşene (+V) oranıdır ya da sıfır bileşenin (V_0) pozitif bileşene oranı (+V) olarak da bulunur.

3.6. Frekans Değişimleri

Frekans değişimleri, güç sisteminin yazılı frekansından sapması ve farklı değerler alması olarak tanımlanır. Ayrıca frekans, sistemdeki generatörlerin devreye girmesiyle oluşan açısal hızı ifade eden bir parametredir. Yük ile kaynak arasında daima dinamik bir denge vardır. Bu denge sayesinde genelde çok küçük oranlarda bir frekans değişimi ile karşılaşılır. Frekanstaki sapma miktarı yük eğrisine veya ayrıca kontrol edilen generatörün yük değişiminin cevabına göre değişir. Frekansta meydana gelen değişim, iletim hatlarında büyük bir arızaya, bir yükün veya alıcının devre dışı kalmasına ya da bir generatörün devre dışı kalmasına neden olabilecek sorunlar doğurabilir [27].

3.7. Dalga Şekli Bozulması

Dalga şekli bozulması, temel frekanslı ideal sinüs dalga şeklinin bozularak kararlı halden sapması olarak ifade edilebilir [27]. Dalga şekli bozulmasının temel olarak nedenleri şunlardır;

- a) Harmonikler ve iç harmonikler
- b) Gerilim düşmesi ve kesintisi
- c) Sinyalleme gerilimleri
- d) Geçici güç frekanslı aşırı gerilimler
- e) Dalgalanma
- f) Gerilim dengesizlikleri
- g) Geçici aşırı gerilimler
- h) AC şebekelerde DC gerilim
- i) Gerilim dalgalanmaları
- j) Güç-frekans dalgalanmaları

3.8. Gerilim Dalgalanması

Gerilim dalgalanması, rastgele veya sistematik bir şekilde normalde 0.9pu ile 1.1 pu arasında değişen ve bu bölgeyi geçmeyen gerilim değişimleridir. Bir yük altında akım değerinde çok hızlı değişimler (artma/azalma) gözleniyorsa bu değişim Flicker olarak adlandırılır. Bu değişim aydınlatma armatürlerinde kırpışma, arzu edilmeyen gerilim dalgalanması şeklinde görülür. Gerilim dalgalanması elektromanyetik bir olaydır [27].



BÖLÜM 4. HARMONİKLER

4.1. Harmonikli Elektriksel Büyüklükler

Alternatif akım tesislerinde elektrik enerjisinin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılmasında gerilimin ve akımın 50 Hz’de tam sinüsoidal şeklinde olması istenir. Fakat bazı yan etkiler ve bozucu olaylar yüzünden gerilimin ve akımın dalga şekli bozulur ve sinüs şeklinden ayrılır veya farklı şekillere dönüşür. Gerilim ve akımın sinüs şeklinde olmaması birçok zararlı etkilere yol açar [27,28,29].

Genel olarak bilindiği gibi, sinüs şeklinde olmayan herhangi periyodik bir fonksiyon, Fourier serisine göre, sonsuz sayıda harmoniklerin toplamına eşittir. Buna göre sinüs şeklinde olmayan periyodik bir gerilim

$$u(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k \sin(k\omega t + \varphi_k) \quad (4.1)$$

veya

$$u(t) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(k\omega t) + \sum_{k=1}^{\infty} B_k \cos(k\omega t) \quad (4.2)$$

denklemleri ile ifade edilir. (3.2) denkleminde k harmonik mertebesidir. U_k ve φ_k ise, sırasıyla k’nci harmonik geriliminin tepe değeri ve faz açılan olup;

$$U_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \quad (4.3)$$

ve

$$\tan \varphi_k = \frac{B_k}{A_k} \quad (4.4)$$

dır. Sinüsoidal olmayan periyodik bir akım da yine aynı şekilde bir Fourier serisi ile gösterilebilir, $k=1$ için temel gerilim dalga değeri elde edilir. ω temel dalganın açılal frekansı olup, f şebeke frekansı ve T periyot olmak üzere

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (4.5)$$

dir. Harmoniğin mertebesi yükseldikçe genellikle harmoniğin tepe değeri de küçülür. Denklem (4.2) deki katsayılar

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (4.6a)$$

$$A_k = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \sin(k\omega t) dt \quad (4.6b)$$

$$B_k = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cos(k\omega t) dt \quad (4.6c)$$

ile hesaplanır. Denklem (4.1) de ki U_0 ve denklem (4.2) de ki A_0 , gerilimin doğru bileşenidir. Çoğunlukla rastlanan periyodik alternatif akım büyüklüklerinde pozitif ve negatif yarı dalganın yüzeyleri birbirine eşit olduğundan, doğru gerilim bileşeni bu gibi hallerde sıfıra eşittir.

Eğer denklem (4.2) deki fonksiyonda $u(t) = u(-t)$ ise buna çift simetrik fonksiyon denir, ve bu durumda $A_k = 0$ dır ve fonksiyon sadece cosinüslü terimlerden oluşur. Eğer $u(t) = -u(-t)$ ise buna tek simetrik fonksiyon denir ve bu takdirde $B_k = 0$ ve fonksiyon sadece sinüslü terimlerden oluşur. $u(t) = -u(t+\pi)$ ise, yani fonksiyon 0 - noktasına göre simetrik ise, bu durumda A_k ve B_k 'nın yalnız tek sayılı terimleri mevcuttur, yani harmonik mertebesi $k = 1, 3, 5, 7, 9...$ gibi sayılar alır. Eğer aynı zamanda $u(t) = -u(\pi-t)$ ise, yani eğrinin bir yan periyottaki bölümü, π kadar kaydırıldığında ikinci yan periyottaki bölümüne t eksenine göre simetrik ve eşit ise, bu durumda tek mertebeli sinüs fonksiyonlarından oluşur [29].

Elektrik enerji sistemlerinde gerilimin ve akımın mümkün olduğu kadar sinüs şeklinde olması istenir. Alman yönetmeliği VDE 0104' e göre sinüs şeklinin bozulması bakımından kabul edilen tolerans; sinüs şeklinden herhangi bir andaki $u(t)$ değeri ile aynı anda temel harmoniğin $U_1 \cdot \cos(\omega t + \varphi_1)$ değeri arasındaki farkın, temel dalgaının U_1 tepe değeri ile oram %5' den küçük, yani denklem (4.7)' e göre

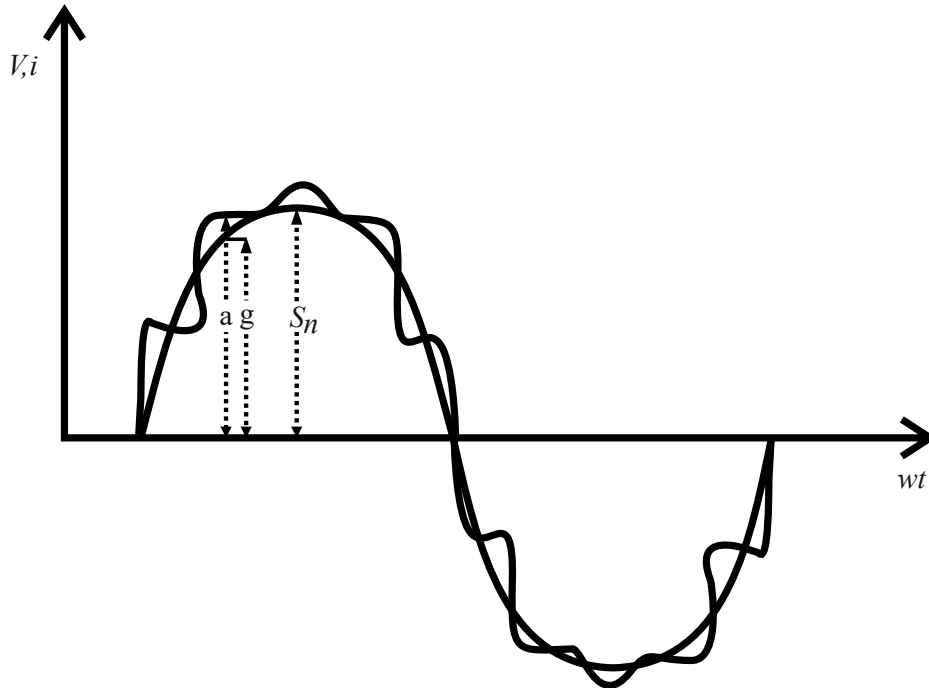
$$\frac{u(t) - U_1 \cos(\omega t + \varphi_1)}{U_1} 100 \leq \%5 \quad (4.7)$$

ise bu gerilimin (veya akımın) pratik olarak sinüsoidal olduğu kabul edilir.

Şekil 4.1' de periyodik bir gerilim (veya akım) eğrisi ile bunun temel harmoniği gösterilmiştir. Burada herhangi bir andaki gerilimin değeri $u(t) = a$ ile, aynı anda temel harmoniğin tepe değeri $U_1 = S$ ile gösterilmiştir. Buna göre denklem (4.8) yerine

$$\frac{a - g}{S_n} 100 \leq \%5 \quad (4.8)$$

yazılabilir.



Şekil 4. 1. Sinüs şeklinde olmayan ve periyodik olarak değişen gerilim (veya akım) eğrisi ile bunun temel harmoniği.

Şekil 4.1' de a eğri üzerindeki herhangi bir andaki değer, g aynı anda temel harmoniğin değeri, S_n temel harmoniğin tepe değeridir. Burada gerilimin efektif değeri;

$$U = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} U_k^2} \quad (4.9)$$

ve akımın efektif değeri,

$$I = \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2} \quad (4.10)$$

dir.

4.2. Toplam Harmonik Bozulması ve Efektif Değer

Bir dalgayı yada dalga şeklini tek bir birimle ifade etmek istenirse Toplam Harmonik Bozulması (THD) hesaplamak yeterlidir. Burada dalganın akım veya gerilim THD değerini aşağıdaki gibi hesaplayarak bozulma miktarını belirlemiş oluruz [28,29,30].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{k_{\max}} M_k^2}}{M_1} \quad (4.11)$$

Burada M_k , efektif değeri M olan bir birimin k . harmonik bileşenini göstermektedir. M_1 ise temel bileşenin efektif değeridir.

Efektif değer aşağıdaki formülde THD' e bağlı olarak hesaplanabilir:

$$\text{Efektif Değer} = \sqrt{\sum_{k=1}^{k_{\max}} M_k^2} = M_1 \cdot \sqrt{1 + THD^2} \quad (4.12)$$

Toplam Harmonik Bozulması (THD) elektrik devreleri için çok önemli bir parametre olup sonuçlarına göre kayıp gücü belirlemek ve önlemek için fayda sağlayacaktır. Omik bir yükün üzerine uygulanan bozulmuş bir gerilim dalgasının, yükte ne kadar ısınma yaratacağını hesaplarken THD, olumlu bir sonuç verebilir.

Harmonik gerilimler genelde temel bileşeni referans alarak hesaplanır. Bu için gerilimin efektif değerindeki küçük bir oynama THD de büyük ölçüde değişime sebep olabilmektedir. Aynı değişimi akım için söylemek doğru değildir. Akımın değeri düşük bile olsa yüksek değerdeki THD değerlerinde tehlike oluşturmayacaktır.

4.3. Güç ve Güç Faktörü

Güç ile ilgili üç standart büyüklük vardır:

- a) Aktif Güç, P; Görünür gücün işe dönüştürülebilen kısmıdır.
- b) Reaktif Güç, Q; Görünür gücün işe dönüştürülemeyen kısmıdır.
- c) Görünür Güç, S; Efektif değerlerdeki gerilim ve akımın çarpımıdır.

Bir fazlı tüketicinin çektiği görünür güç, denklem (4.9)' a göre gerilimin efektif değeri ile akımın denklem (4.10)' e göre efektif değerinin çarpımına eşittir:

$$S = U \cdot I \quad (4.13)$$

Aktif güç ise, harmoniklerin güçlerinin toplamına eşittir:

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos(\varphi_k) \quad (4.14)$$

Genel olarak $\cos \varphi$ güç çarpanı olarak adlandırılır. Aslında bozulmuş dalga şekilleri ile hesap yapılırken, güç faktörü Power Factor (PF) hesaplanması aşağıdaki gibi yapılırsa daha doğru sonuç verir [27].

$$PF = \frac{P}{S} \quad (4.15)$$

$S > P$ olduğu için $PF < 1$ dir. Güç katsayısı bir oran değeridir. $\cos\phi$ gibi bir açı değeri değildir. Bu açı değerini ölçüm yoluyla değil hesap yoluyla bulunması daha doğru sonuç verecektir. Yalnız akım ve gerilimin dalga şekli tam sinüs olması durumunda güç katsayısı $\cos\phi$ ye eşit olacağı hesap yoluyla bulunabilir.

Gerilim sinüs şeklinde iken akımın sinüs hariç herhangi bir eğri şeklinde olması durumunda, sadece aktif gücün bileşeni dikkate alınır.

$$P = U \cdot I_1 \cos \phi_1 \quad (4.16)$$

Burada I_1 , akımın temel harmoniğinin efektif değeri iken ϕ_1 açısı ise akım ile gerilim arasındaki faz açısıdır. Temel harmoniğin S ve Q gücünü de aynı şekilde akımın temel dalga bileşenine göre hesaplayabiliriz.

Temel harmoniğin görünür gücü;

$$S_1 = U \cdot I_1 \quad (4.17)$$

ifadesi ile temel harmoniğin reaktif gücü;

$$Q_1 = U \cdot I_1 \sin \phi_1 \quad (4.18)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

Sinüs şeklindeki akım ve gerilim için hesaplandığı gibi, sinüs şeklinde olmayan akım içinde denklem (4.13) e dayandırılarak aşağıdaki gibi de hesaplayabiliriz;

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (4.19)$$

ifadesine göre bir reaktif güç tarifi yapılırsa, aktif güce karşılık bu reaktif gücün akımın harmonikleri ile belirlenebileceği sonucuna varılır,

$$Q = \sqrt{(U \cdot I_1 \sin \varphi_1)^2 + U^2 (I_2^2 + I_3^2 + \dots)} \quad (4.20)$$

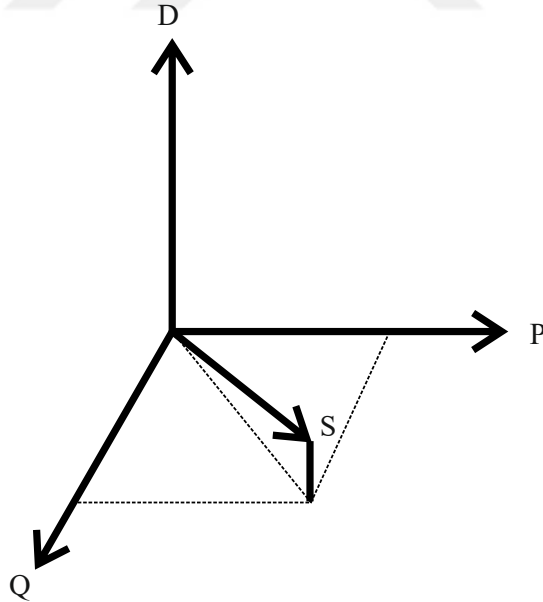
Bu ifade, denklem (4.20) ye göre Q_1 terimi ile bozulma gücü adı verilen

$$D = U \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots} \quad (4.21)$$

teriminin toplamına eşittir. Yukarıdaki hesaplara göre görünür güç için,

$$S = \sqrt{P^2 + Q_1^2 + D^2} \quad (4.22)$$

elde edilir [28,29,31]. Şekil 4.2' te D, S, P ve Q nun üç boyutlu vektör diyagramı verilmiştir.



Şekil 4. 2. Görünür güç bileşenleri arasındaki ilişki

4.4. Harmonikleri Azaltma Yöntemleri

Literatürde harmonik sorununu çözümleyebilmek için önerilen genel çözümler:

- a) Yük nedeni ile meydana gelen harmonik akımlarını azaltmak,
- b) Sistemden harmonik akımlarını temizlemek için filtre devresi eklemek ve akımların sisteme girişlerini engellemek,
- c) Sistemin frekans cevabını değiştirerek, filtreler, kondansatörler ve bobinler eklemektir.

4.4.1. Yük Akımında Harmoniklerin Azaltılması

Mevcut bir harmonik kaynağı olan yükü ve harmonik miktarını tamamen yok etmek çok zordur. Aşırı yüklenmiş bir transformatörde bile gerilimi azaltmak ancak normal çalışma koşullarına dönmesiyle yerine getirebilir. PWM sürücülerinde seri bobin bağlayarak harmoniklerin genlikleri azaltılabilir ve geçici olaylara karşı koruma açısından da üstünlük sağlayabilir.

4.4.2. Şebeke Empedansı

Transformatör ve motor reaktansları ile kompanzasyon için kullanılan kondansatörlerden oluşan devrelerde rezonansın oluşmasına sebep olur. Rezonans olayları sonucunda devrede aşırı akım veya gerilim oluşmasına neden olur.

4.4.3. Harmonik Standartları

Tüketicilerin harmoniklerin olumsuz etkilerinden en az düzeyde etkilenmesini ve üretilen enerjinin çok daha kaliteli olması için harmoniğin belli bir değerin altında olması gerekir. Hem üretilen enerjinin kaliteli olması hem de harmoniksiz bir gerilim üretebilmek için bazı ülkeler harmonik değerlerine bir sınırlama getirmiş ve ülkemizde de bu değerlere uyularak enerji üretimi sağlanmaktadır. Ayrıca doğrusal olmayan

yüklerin meydana getirdiği harmonikler de sınırlandırılmıştır ve bir standarda bağlanmıştır. Bu standartlar bazı sınırlamalar içermektedir. “IEEE tarafından 1992 yılında getirilen IEEE 519-1992 nolu standart ve IEC tarafından 1995 yılında IEC 1000-3-2 gibi standartlar”, elektrik üreten firmalar için şebeke bara gerilim bozulmasını ve müşteriler için doğrusal olmayan yükler tarafından üretilen harmonik akımları ile ilgili sınırlamaları içermektedir [32].

“IEEE-519 ve VDE-0839 standartlarında ise” tüketicilerle birlikte elektrik üretim, iletim ve dağıtımıyla ilgili harmonik standartlar kapsamaktadır. Bu standartlarda birlikte akım ve gerilim bileşenlerinin temel bileşene oranları da (birim değer) verilerek şebeke gücünün fonksiyonları da belirtilmiştir [32].

Uluslararası standartlara göre (IEC 61000 2-2,4,5), gerilim için harmonik değeri % 3, akım için harmonik değeri % 5 altında olmalıdır.

4.5. Harmoniklerin Filtelenmesi

Harmoniklerin oluşturduğu zararlı etkileri engelleyebilmek için filtre tasarımı yapmak veya filtre koymak yeterli olmayabilir. Filtre tasarımı haricinde harmonik akımlarını da engellemek gerekmektedir. Bunun için sisteme ilave edilmesi gereken R-L-C elemanlarıyla seri ya da paralel bağlayarak da harmonik akımlarını en aza indirmek mümkündür [33,34].

Harmonik filtrelerinin amacı çift ya da tek mertebeden harmoniklerin seviyesini indirgeyerek etkisini azaltmaktır. Bunun için iki tür filtre tasarlamak mümkündür. Bunlar; aktif ve pasif filtrelerdir.

4.5.1. Pasif Filtreler

Pasif filtreler, üretilen enerji ile yük arasına konulan ve faydalı olacak temel frekans dışındaki tüm frekans bileşenleri yok etmek için tasarlanan, direnç (R) , bobin (L) ve Kondansatörden (C) oluşan devrelerdir. Ayrıca pasif filtrelerde seri ve paralel pasif

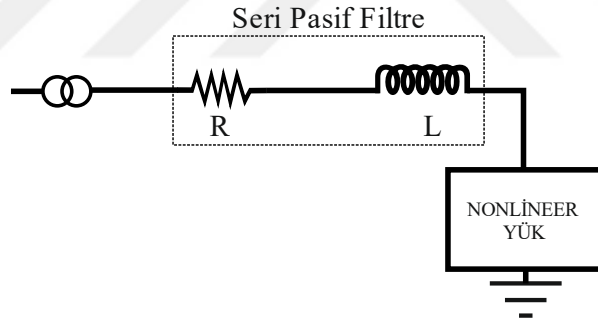
filtreler olmak üzere kendi arasında da ikiye ayrılır.

4.5.1.1. Seri Pasif Filtreler

Seri filtreler kaynak ile alıcı arasına seri olarak bağlanan endüktansdan (bobin) oluşmaktadır. Böylece sisteme harmonik akımlarının akması önlenir. Seri bağlanan bobin aşağıdaki formülle empedans değerine dönüştürülür,

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (4.23)$$

Bu empedans değerine göre harmonik frekanslarına yüksek empedans göstererek harmonik akımlarının geçişlerini önlenir. Harmonik yokken temel frekansta çalışırken bu değer küçük bir değer olacağından geçiş kolaylaşır. Seri filtre uygulamasına örnek bir devre Şekil 4.3’de verilmiştir. Bununla birlikte seri filtrenin rezonans problemi olmadığından paralel filtreye göre avantajı vardır [34].



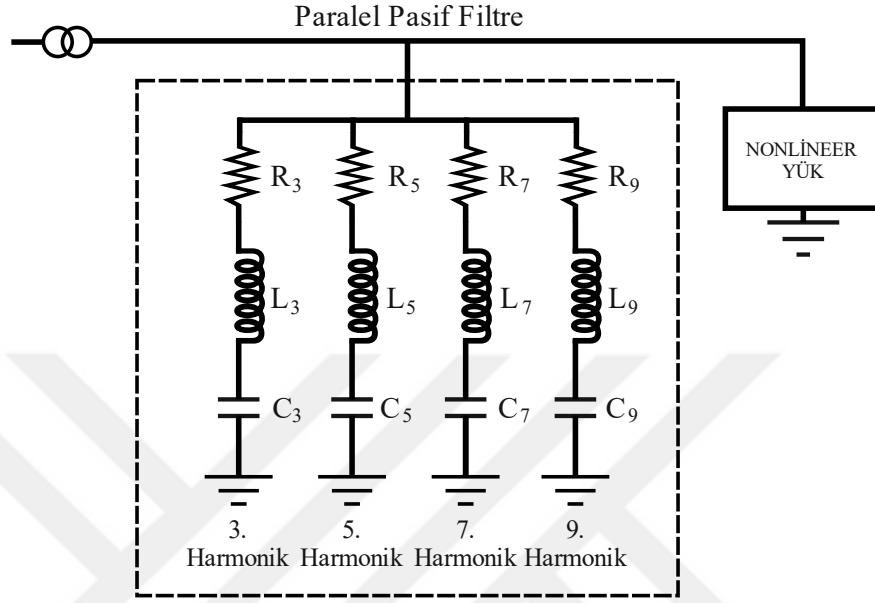
Şekil 4. 3. Seri pasif filtre

4.5.1.2. Paralel (Şönt) Pasif Filtreler

Paralel (şönt) pasif filtreler, kaynak ile yük arasına direnç (R), bobin (L) ve kondansatörün (C) paralel olarak bağlanmasıyla oluşturulan devrelerdir.

Paralel pasif filtrelerde amaç, düşük bir şönt empedans üzerinden akım geçişini filtre üzerinden yapmaktır. Sönümllemek istediğimiz harmonik frekansını rezonans frekansına eşit şekilde getirmek için L ve C değerlerini ayarlayarak devreye

bağlamaktır. Bunun için ayrı ayrı rezonans kolları oluşturarak güç devresine bağlanacaktır. Ancak bu işlemi genlik değeri en yüksek olan harmonik frekanslarına uygularsak daha etkin bir çözüm yolu olur [34].



Şekil 4. 4. Paralel pasif filtre (Tek Ayarlı Paralel Pasif Filtre)

Şekildeki devrede kullanılan;

R_n : n. harmonik mertebesi için rezonansa gelmesi için bobin ve kondansatörün elemanının iç direnci (Ω),

X_{Ln} : n. harmonik mertebesi için kondansatör elemanı ile rezonansa sokulan bobin (Ω),

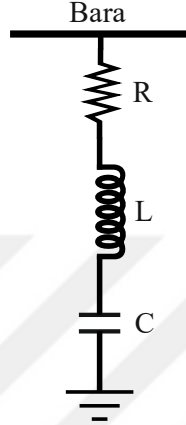
X_{Cn} : n. harmonik mertebesi için bobin elemanı ile rezonansa sokulan kondansatör (Ω).

Bu filtrenin tek dezavantajı bobin ve kondansatör kullanıldığından güç sistemiyle paralel rezonansa girmesidir. Bu nedenden dolayı paralel filtre tasarımı yapılırken birçok değerin yanında sistemin rezonans frekansı iyi hesaplanmalı ve ayrıntılı analizler yapılmalıdır. Şönt filtreler kendi arasında da dört kısımda incelenir.

- 1) Bant geçiren filtreler,
- 2) Çift ayarlı filtreler,
- 3) Otomatik ayarlı filtreler,
- 4) Yüksek geçiren sönümlü filtreler.

4.5.1.2.1. Bant Geçiren Filtreler

Bant geçiren filtreler, kısa devre veya düşük empedans oluşturularak ayarlanan frekansın harmonik akımlarının bastırılmasını sağlar [34]. Tek ayarlı filtreler seri *Direnç-Bobin-Kondansatör* devresinden meydana gelir. Örnek şekil aşağıdadır.



Şekil 4. 5. Bant geçiren filtre

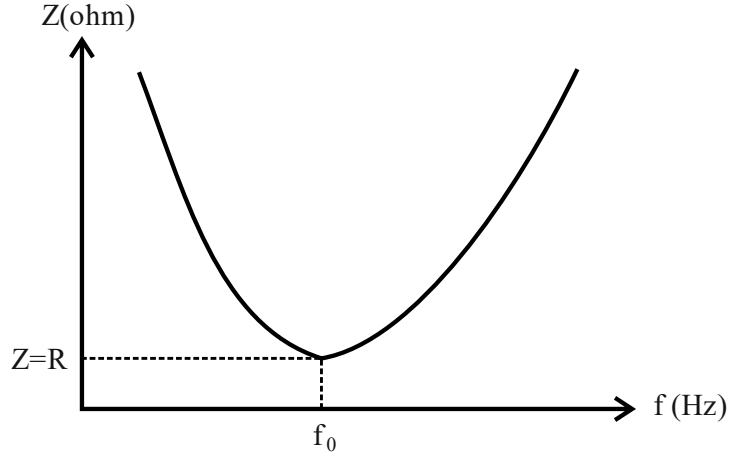
Tek ayarlı filtrenin, temel frekansta ve ω açısal frekansındaki filtre empedansını aşağıdaki formülden hesaplayabiliriz. Bu formül harmonik frekanslarındaki filtre empedansına da tekabül eder.

$$Z_f = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (4.24)$$

Burada amaç $X_L = X_C$ şartını sağlayarak harmonik frekansında filtrenin rezonansa getirmektir. Bu durumda filtre empedansı;

$$Z_{TO} = R \quad (4.25)$$

olur. Yani filtre ayarlanan frekans için minimum empedans değerini gösterir ve ayarlanan frekanstaki harmonik toprağa göndererek empedans değeri direnç değeri olur.

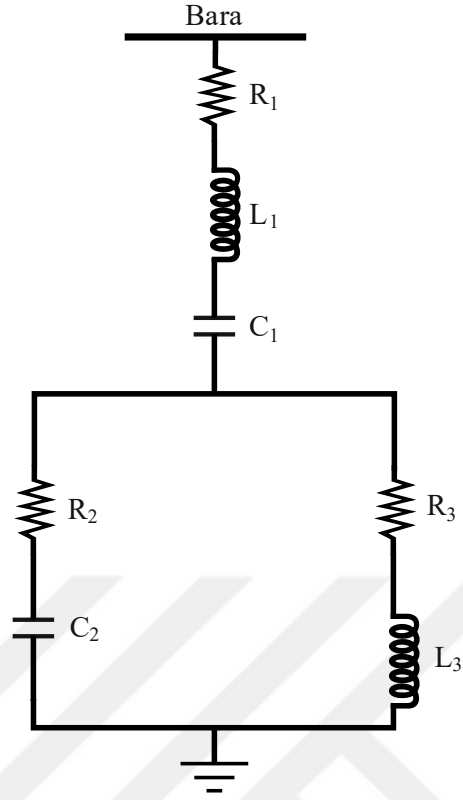


Şekil 4. 6. Bant Geçiren Filtre İçin Frekans-Empedans İlişkisi

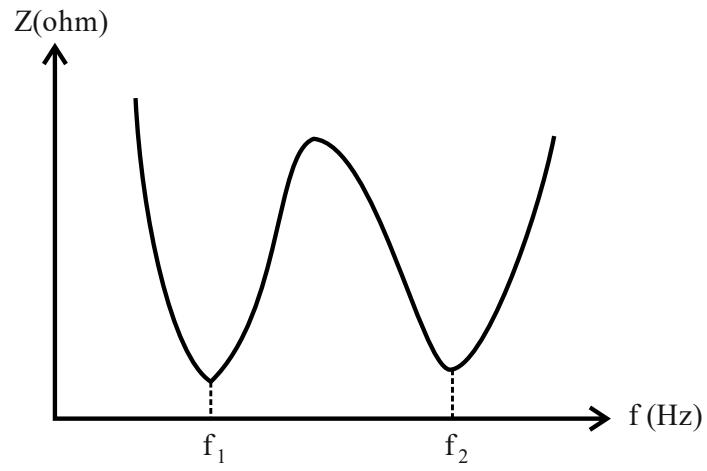
Bant geçiren filtrelerin diğer filtrelere göre birçok avantajı vardır. Kayıpları azdır, harmonik akımında sıfıra yakın empedans değeri gösterirler ve birden fazla filtreyi paralel bağlayarak harmonik akımları azaltabilirler. Bunu yanı sıra diğer filtrelere göre de olumsuz yanları mevcuttur. Hassas hesaplamalarda filtre elemanları değişimlere karşı duyarlı olur ve bu duyarlılıktan dolayı ilave direnç ve kondansatör bağlamak gerekebilir.

4.5.1.2.2. Çift Ayarlı Filtreler

İki adet bant geçiren filtrenin eşdeğer empedansının toplamı çift ayarlı filtrenin eşdeğer empedansına eşittir. Birden fazla harmonik bulunan devrelerde çift ayarlı filtre kullanarak harmoniği yok edebiliriz. Bant geçiren filtreden en büyük farkı temel frekanstaki güç kaybının az olmasıdır. Bu filtreler iki farklı harmoniği elimine ettiğinde iki farklı rezonans frekansı mevcuttur [34].



Şekil 4. 7. Çift Ayarlı Paralel Pasif Filtre



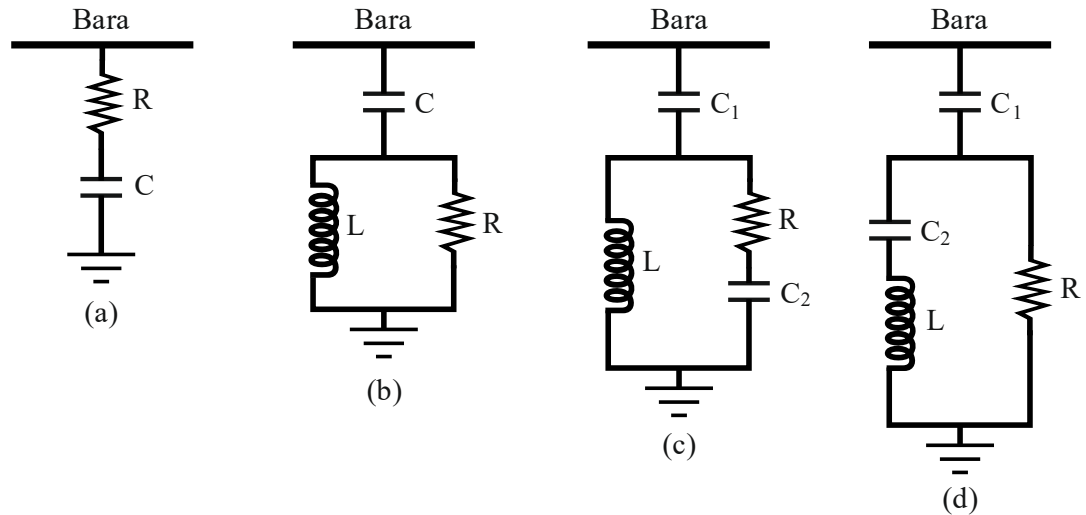
Şekil 4. 8. Çift Ayarlı Paralel Pasif Filtre İçin Frekans-Empedans İlişkisi

4.5.1.2.3. Otomatik Ayarlı Filtreler

Bu filtrelerde bobin ve kondansatör otomatik olarak ayarlanmaktadır. Yalnız bobin ve kondansatörün sınır değerleri $\pm \%5$ olmalıdır. Reaktif gücü ölçmek için otomatik filtre tasarlandığında reaktif gücün işareti ve büyüklüğü dikkate alınmalıdır. Çok büyük güçlü reaktif devrelerde bobin ve kondansatör değerleri de büyüyeceğinden farklı sonuçlar doğurmaktadır.

4.5.1.2.4. Yüksek Geçiren Sönümlü Filtreler

Yüksek mertebeli harmoniklerin süzülmesinde ve belirli frekanstan sonra düşük empedans değeri gösteren filtrelerdir. Bu filtreleri bant geçiren filtreler ile birlikte kullanılması uygundur. Bunun sebebi bant geçiren filtreler yüksek genlik değerine sahiptir ve düşük harmonik frekanslarını her harmonik için farklı paralel kollarla süzerler. Yüksek geçiren filtrelerin ise genlik değeri oldukça düşüktür. Bu sebepten yüksek harmonik frekanslarını tek bir paralel kol yardımı ile süzerler. Bu filtrelerde kendi arasında dört farklı modelde yapılmaktadır ve birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları mevcuttur.



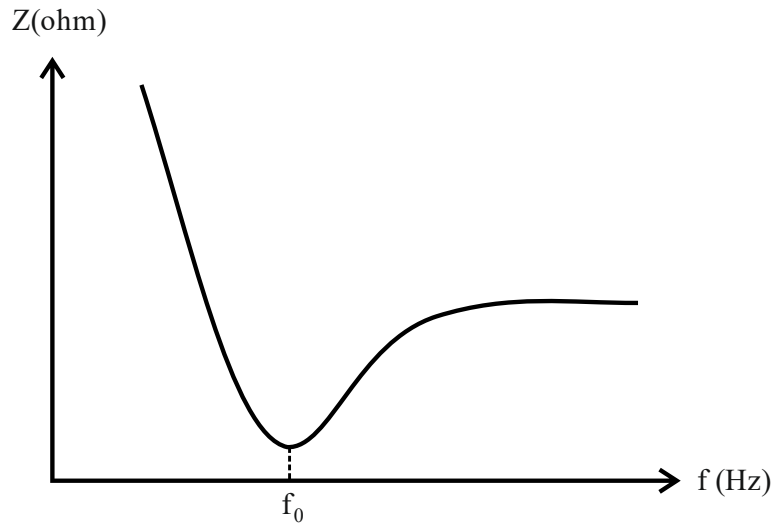
Şekil 4. 9. Yüksek Geçiren Sönümlü Filtreler (a) Birinci Derece, (b) İkinci Derece, (c) Üçüncü Derece, (d) C Tipi

Birinci dereceden yüksek geçiren sönümlü filtre; kondansatör değerinin büyük olması gerekir ve bu sebeple temel frekansta aşırı bir kayıplara sebep olur. Bu nedenle çok yaygın olarak kullanılmazlar.

İkinci dereceden yüksek geçiren sönümlü filtre; filtreleme performansı en iyi olan filtredir. Yalnız üçüncü derece ile karşılaştırıldığında zaman performansı çokta iyi değildir. Bunun sebebi ise yüksek temel frekanslar kayıpları gösterir.

Üçüncü dereceden yüksek geçiren sönümlü filtre; devrede bulunan C_2 kondansatörü sayesinde temel frekansta empedansının artmasından dolayı temel frekans kayıplarına neden olur. Bu özelliğinden dolayı ikinci derece filtreye göre daha avantajlıdır.

C tipi yüksek geçiren sönümlü filtre; bu filtre ikinci filtreden daha iyi üçüncü filtreden daha kötü performansa sahip filtredir. Temel avantajı, C_2 ve L seri olarak bağlandığından temel frekansta kayıplarının düşük olmasıdır. Ayrıca bu filtreler, temel frekanstaki sapmalar ve elemanların değerlerinin zamanla değişmelerine karşı oldukça hassastır.



Şekil 4. 10. Yüksek Geçiren Sönümlü Paralel Pasif Filtre İçin Frekans-Empedans İlişkisi

Yüksek geçiren sönümlü filtrelerde elemanların seçimi tek ayarlı filtrelerdeki gibi yapılır. Ancak, yüksek geçiren sönümlü filtrelerdeki direnç değerini hesaplayabilmek için kalite faktörü adında bir eşitliğin tanımlanması gerekmektedir. Bu eşitlik,

$$K = \frac{R}{X_L} = \frac{R}{X_C} \quad (4.26)$$

şeklindedir. Burada;

K : Kalite faktörü (0,5 ile 2 arasında sabit bir katsayı),

R : Yüksek geçiren sönümlü filtrede kullanılacak direnç değeri (Ω),

X_L : Yüksek geçiren sönümlü filtrede kullanılan endüktif reaktans değeri (Ω),

X_C : Yüksek geçiren sönümlü filtrede kullanılan kapasitif reaktans değeridir (Ω).

Yüksek geçiren bir filtrenin frekans-empedans ilişkisi Şekil 4.10'da verilmiştir. Buradan da görülmektedir ki filtre belirli bir frekansın üzerinde düşük empedans göstererek yüksek mertebeli harmoniklerin sistemden uzaklaşmasını sağlamaktadır [35].

4.5.2. Aktif Filtreler

Aktif güç filtreleri, pasif filtrelere oranla geliştirilmiş filtrelerdir. Bu devrelerde basit devre elemanlarının yanı sıra aktif devre elemanı olan Transistör, FET ve OPAMP gibi elemanların kullanılmasıdır. Maliyet açısından pasif filtrelere oranla daha pahalıdır. Bunun yanı sıra birden çok harmonik frekansı için adreslenebilir ve uygulanan programlar sayesinde enerji kalitesini artırabiliriz. Bunu yapabilmesi için nonlineer yüklerin ürettiği harmoniklerle aynı genlikte uygun bir fazda bir akımı güç sistemine ilave eder. Bu akımı kontrol ederek harmoniği de kontrol altına alırız. Bunu yapabilmek için, güç elektroniği anahtarlama elemanlarını ve sistemdeki harmonikleri belirleyerek değişik kontrol sistemleri kullanılarak yapılır.

Aktif güç filtreleri ile sisteme sokulan akım sayesinde sistemdeki harmoniklerin etkinliğini azalttığı görülmüştür. Doğrusal olmayan yüklerin şebekeden çektiği harmoniklerin ise aktif güç filtresi sayesinde ortadan kaldırıldığını göstermektedir. Bu filtrelerin bir başka özelliği ise gerilim ve akımda meydana gelen dengesizlikleri yok etmek, reaktif güç kompanzasyonu ve şebeke geriliminin regülasyonu azaltmaktır.

4.6. Modülasyon İndeksi

Klasik genlik modülasyonunda, bilginin taşıyıcıyı ne oranda modüle ettiği önemlidir. Bu orana modülasyon oranı veya modülasyon indeksi denilir. Oran β harfiyle gösterilir ve % cinsinden verilir.

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m} \quad (4.27)$$

B : Modülasyon indeksi (%)

Δf : Frekans sapması (Hz)

f_m : Maksimum frekans (Hz)

Bu oran bilgi sinyali maksimum genliğinin sabit genlikli sinyale olan oranıdır. Oran maksimum % 100 olabilir. Daha yüksek bir oran hem vericinin aşırı yüklenmesine, hem de bilgi sinyalinin bozulmasına yol açar.



BÖLÜM 5. KESİR DERECELİ SİSTEMLER

Kesirli Matematik üzerine araştırmalar son yüzyılda oldukça artmıştır ve popülerliği daha da artmaktadır. Matematiksel tarihi eski yalnız uygulama alanı yeni olan bu çalışmalar türev ve integral kavramlarının tam sayı olmayan kompleks, irrasyonel ve reel sayılarda işlem yapılabilme olanağı sağlamasıdır. Bu sayede doğadaki sistemleri daha gerçekçi bir modelleme olanağı sağlamaktadır [36].

Bunu bir örnekle anlatmak gerekirse; 2^n , n tamsayı için kolayca hesaplanabilirken n sayısının eğer π ise, 2^π sayısı hafızada bir şeyler çağrıştırmaz ama bunun da bir sonucu vardır. Benzer mantıkla bir fonksiyonun da kesirli dereceden türevini ve integralini hesaplamak mümkündür.

Bu sistemler ${}_aD_x^\alpha$ ile gösterilmektedir. Burada a ve x sınırları, α ise derecesini göstermektedir. Genelde $\alpha \in \mathbb{R}$ şeklinde tanımlansa da karmaşık sayı da olabilmektedir [37].

$${}_aD_x^\alpha = \begin{cases} \frac{d^\alpha}{dx^\alpha}, & \alpha > 0 \\ 1, & \alpha = 0 \\ \int_a^x (d\tau)^{-\alpha}, & \alpha < 0 \end{cases} \quad (5.1)$$

5.1. Kesir Dereceli Sistemlerin Tanımlamaları

Literatürde bu sistemlerin hesaplanması için birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en çok kullanılanları Riemann- Liouville, Grünwald-Letnikov ve Caputo tanımlarıdır. Bu sebeple üç farklı tanımlamadan bahsedilecektir [38].

5.1.1. Riemann-Liouville tanımı

Riemann-Liouville tanımına göre integral ifadesi (5.2) denkleminde ifade edilmektedir.

$${}_a D_x^\alpha f(x) = \frac{1}{-\alpha} \int_a^x (x - \tau)^{-\alpha-1} f(\tau) d(\tau), \quad \alpha < 0 \quad (5.2)$$

${}_a D_x^\alpha$: Kesir Dereceli PID Operatörü, τ : zaman sabiti; α : Kesir derecesi
($n - 1$) $\leq \alpha < n$ olmak kaydıyla denklem (5.2) nin n . Dereceden türevi alınır;

$${}_a D_x^\alpha f(x) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \frac{d^n}{dx^n} \int_a^x (x - \tau)^{n-\alpha-1} f(\tau) d\tau, \quad n > 0 \quad (5.3)$$

Γ : Euler Gama Fonksiyonu

elde edilmiş olur. Denklem (5.3) ile $f(x)$ fonksiyonunun $(n-\alpha)$. dereceden kesir dereceli türevi ifade edilmektedir.

5.1.2. Grünwald-Letnikov tanımı

Grünwald-Letnikov tanımında ise, α reel sayı dereceli sistemi (5.4) denkleminde vermektedir.

$${}_a D_x^\alpha f(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^\alpha} \sum_{j=0}^{\frac{(x-a)}{h}} (-1)^j \binom{\alpha}{j} f(x - jh) \quad (5.4)$$

Denklem (5.4)'de h adım sayısını göstermektedir. Denklem (5.4)'de yer alan toplam ifadesi ise

$$\sum_{j=0}^r (-1)^j \binom{\alpha}{j} = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{\Gamma(r+1-\alpha)}{\Gamma(r+1)} \quad (5.5)$$

olarak verilmektedir.

Denklem (5.5)'te kullanılan ve $\Gamma(x)$ ile ifade edilen Euler-Gama fonksiyonu

$$x^\alpha = \underbrace{x \cdot x \cdot x \cdot x \cdot x \dots \dots \dots x}_\alpha, \quad \alpha \text{ Tamsayı} \quad (5.6)$$

$$x^\alpha = e^{\alpha \ln x} \quad (5.7)$$

$$\alpha! = 1.2.3 \dots (\alpha - 1). \alpha, \quad \alpha \text{ Tamsayı} \quad (5.8)$$

$$\alpha! = \Gamma(\alpha + 1), \quad \alpha \text{ Reel Sayı} \quad (5.9)$$

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty e^{-t} t^{x-1} dt \quad (5.10)$$

formülasyonu ile elde edilir. Denklem (5.10)'da, $x \geq 0$ olup bir tamsayıdır. Denklem (5.11)'de, $\binom{\alpha}{j}$ binom katsayısını göstermektedir. Binom katsayısı

$$\binom{\alpha}{j} = \frac{\alpha(\alpha-1)(\alpha-2)\dots(\alpha-j+1)}{j!} \quad (5.11)$$

ile ifade edilir.

5.1.3. Caputo tanımı

Caputo tanımı (5.12) denklemi ile ifade edilir. Bu denklemde, n tamsayı, α ise reel sayı olarak verilmiştir.

$${}_a D_x^\alpha f(x) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \int_a^x \frac{f^n(\tau)}{(x-\tau)^{\alpha+1-n}} d\tau, \quad (n-1) \leq \alpha < n \quad (5.12)$$

5.2. Kesir Dereceli Denetleyiciler

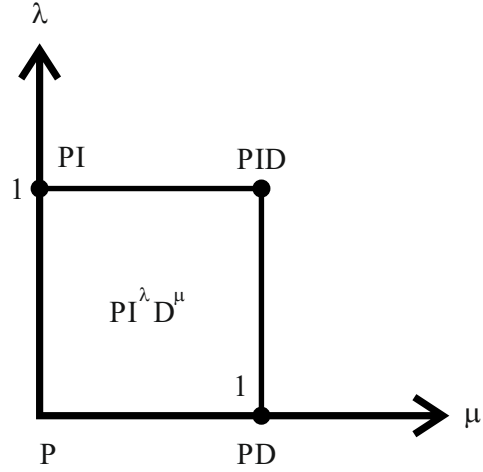
Kesir dereceli sistemlerin kullanımı sistemleri modelleme adına tamsayı dereceli sistemlerden çok daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Kontrol edilen sistem kesir dereceli olarak modellenmişse sistemin cevabı ve performansı klasik denetleyicilere oranla çok daha iyidir. Yalnız sistem tamsayı dereceli olarak modellenmişse PID denetleyiciler kullanmak suretiyle kesir dereceli sonuçlara yaklaşmak mümkündür [38,39].

Podlubny tarafından klasik PID denetleyicisinin geliştirilmesi ile $PI^\lambda D^\mu$ denetleyicisi elde edilmiştir. $PI^\lambda D^\mu$ denetleyicisi, klasik PID denetleyicisindeki K_p , K_i ve K_d parametrelerine ilave olarak λ ve μ parametrelerini de içermektedir. Bu verilere ilişkin tanımlar Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5. 1. Kesir Dereceli denetleyici için parametre ve tanımları

Parametre	Tanım
K_p	Oransal Katsayı
K_i	İntegral Katsayısı
K_d	Türev Katsayısı
λ	Kesir dereceli denetleyicinin integral ifadesinin derecesi
μ	Kesir dereceli denetleyicinin türev ifadesinin derecesi

$PI^\lambda D^\mu$ denetleyicisindeki λ ve μ parametrelerinin klasik PID ye göre değişimi Şekil 5.1 de gösterilmektedir. Şekilde gösterilen parametrelere göre de denetleyici tipleri de Tablo 5.2 de verilmektedir.



Şekil 5. 1. λ ve μ değişimine göre denetleyici tipleri

Tablo 5. 2. λ ve μ değişimine göre denetleyici tipleri

Parametre Değeri	Denetleyici Tipi
$\lambda=0$ ve $\mu=0$	P
$\lambda=1$ ve $\mu=0$	PI
$\lambda=0$ ve $\mu=1$	PD
$\lambda=1$ ve $\mu=1$	PID
$0 \leq \lambda \leq 1$ ve $0 \leq \mu \leq 1$	$PI^\lambda D^\mu$

μ ve λ parametrelerinin klasik *PID* parametrelerine daha karmaşık ve işlem yükü getirirse de Şekil 5.1 den de görüldüğü gibi çözüm alanını genişlettiğinden daha avantajlıdır. Kesir dereceli denetleyicinin Laplace dönüşümü (5.13) ile, zaman bölgesindeki dönüşümü ise (5.14) ile verilmektedir [39].

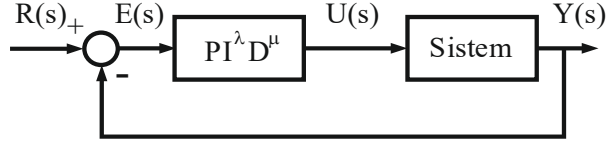
$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s^\lambda} + K_d s^\mu, \quad (\lambda, \mu \geq 0) \quad (5.13)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_i D^{-\lambda} e(t) + K_d D^\mu e(t), \quad (\lambda, \mu \geq 0) \quad (5.14)$$

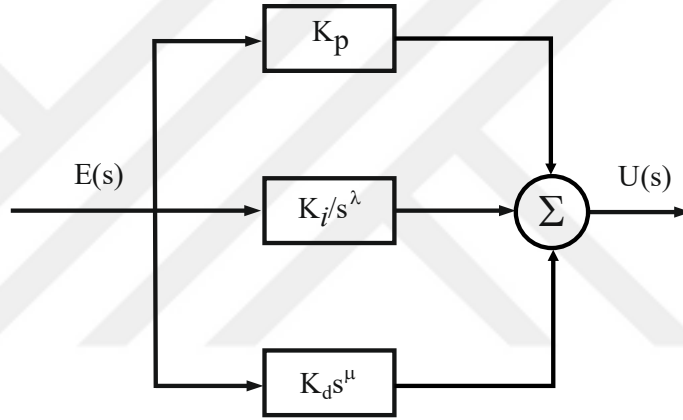
K_p : Oransal Katsayı,
 K_i : İntegral Katsayı,
 K_d : Türev Katsayı,
 λ : Integral Derecesi,

μ : Türev derecesi

Kesir dereceli denetleyicinin blok diyagramı ve iç yapısı Şekil 5.2 de ve Şekil 5.3. te gösterilmiştir.



Şekil 5. 2. $PI^\lambda D^\mu$ denetleyicisinin blok diyagramı



Şekil 5. 3. $PI^\lambda D^\mu$ denetleyicinin blok diyagramı içyapısı

5.3. PID Denetim Yönteminin Temel Özellikleri

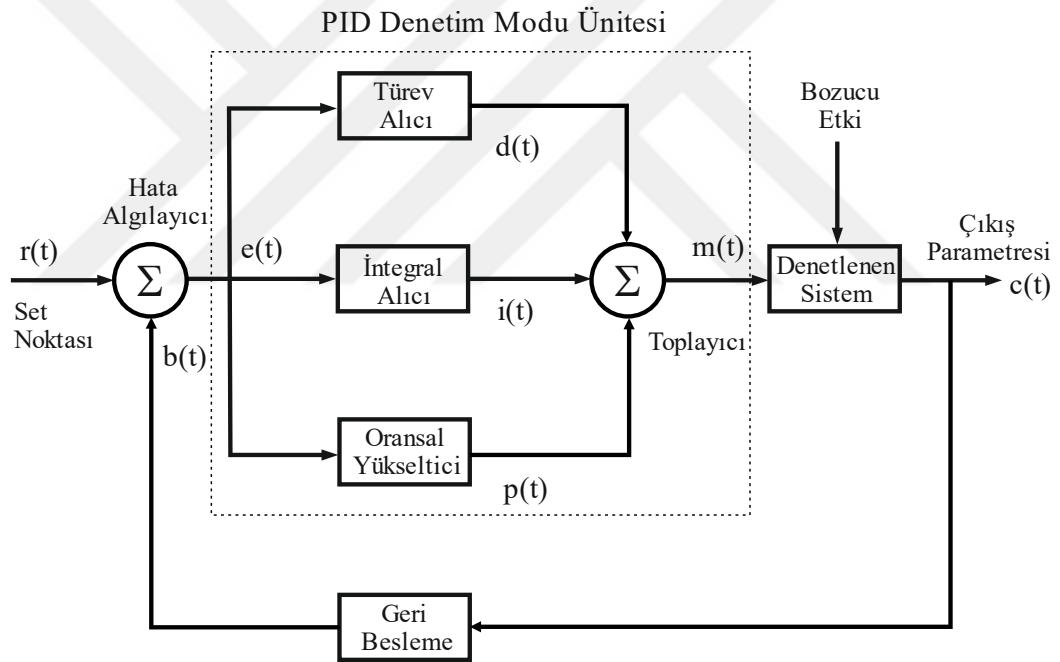
PID Kontrolör sistemin oransal (P), integral (I) ve türevsel (D) işlemlerinden geçirilerek çıkışa aktaran blok diyagramlarından oluşmaktadır. Burada kısaca P, I ve D olarak adlandırılan parametreler İngilizce karşılıkları olan (P)roportional, (I)ntegral ve (D)erivative kelimelerinin baş harflerinin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Bu blok diyagramları tek başına uygulandığında şu etkileri vermektedir.

Devrede *Oransal* etki var ise; P diğer adıyla oransal band parametresi kontrol cihazının içinde yer alan denetim mekanizmasının Kazanç miktarı ile ters orantılı olan

değeridir ve kontrol çıkışına hatanın belirli bir “Kazanç” değeri ile çarpımı kadar etki gösterir.

Devrede Integral etkisi varsa kontrol çıkışını integral işleminden geçirilerek sönümlmeyi azaltarak band genişliğini daraltır. Bu sayede frekans cevabı kısa sürede oturur.

Devrede Türevsel Etki varsa kontrol çıkışını türev işleminden geçirerek hataya da doğru oranda etki göstererek yükselme zamanını ve oturma zamanını azaltır. Genel yapı itibariyle PID denetleyiciler aşağıdaki gibi kapalı çevrim kontrol şemasıyla gösterilirler.



Şekil 5. 4. PID denetleyici kapalı çevrim kontrol sistemi

PID denetleyicide giriş değeri ile ölçülen değer arasındaki sinyalin türevi ve integrali alınır. Türevin etkisi, üst aşım ile alt aşım değerlerini azaltırken integral etkisi, kalıcı durum hatasını sıfırlar. PID denetleyicilerin transfer fonksiyonu K_p , K_d ve K_i terimleriyle ifade edilir ve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$d(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (5.15)$$

$$i(t) = K_i \int_0^t e(t) d(t) \quad (5.16)$$

$$p(t) = K_p e(t) \quad (5.17)$$

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) d(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} + V_0 \quad (5.18)$$

V_0 : Başlangıç koşulu

Bu formüllere göre transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi olur.

$$T(s) = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (5.19)$$

5.4. FOMCON

www.fomcon.net adresinden indirilebilen Fractional Order Modeling and Control (FOMCON) arayüzüdür. MATLAB tabanlı arayüz ile kesir dereceli sistemler için PID ve $PI^\lambda D^\mu$ kontrolör tasarlamak mümkündür.

BÖLÜM 6. EVİRİCİLER

Eviricinin temel görevi, bir DC gerilimi AC gerilime çevirmektir. Bu dönüşümü yaparken simetrik bir sinüs dalga, eşit genlik ve frekans ile dönüştürmelidir. Ayrıca çıkış geriliminin düşük bir harmonik ile elde edilmesi istenir. Çıkış gerilimi ayarlı olabileceği gibi sabit bir değerde de olabilir. Bunun için frekans değerleri sabit veya değişken seçilmektedir. Değişken bir çıkış gerilimi elde etmek için değişken bir de DC giriş gerilimi kullanılır. Bunun için evirici kazancının sabit tutulması gerekmektedir. Diğer bir yol ise eğer DC giriş gerilimi sabit ve ayarlanamazsa değişken bir çıkış gerilimi evirici kazancını değiştirerek elde edilebilir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan evirici modelleri ise anahtarlama stratejisi olarak ise temel frekansta anahtarlama yapan sistemler ya da PWM (Pulse Width Modulation) yani darbe genişlik modülasyonu teknikleri kullanılmaktadır.

İdeal bir eviricinin çıkış geriliminin dalga şekli sinüsoidal olmalıdır. Bu sinüsoidal dalgada harmonik seviyesinin en alt düzeyde bulunması istenilen bir durumdur. Uygulamalarda harmoniksiz sinüs elde etmek oldukça zordur. Bu harmoniklerin ana sebebi akım kaynaklı ve gerilim kaynaklı harmonikler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yüksek hızlı yarı iletken güç elemanları kullanılması durumunda harmonik bileşenleri azaltabilir ya da anahtarlama teknikleri uygulayarak düşürebilmektedir.

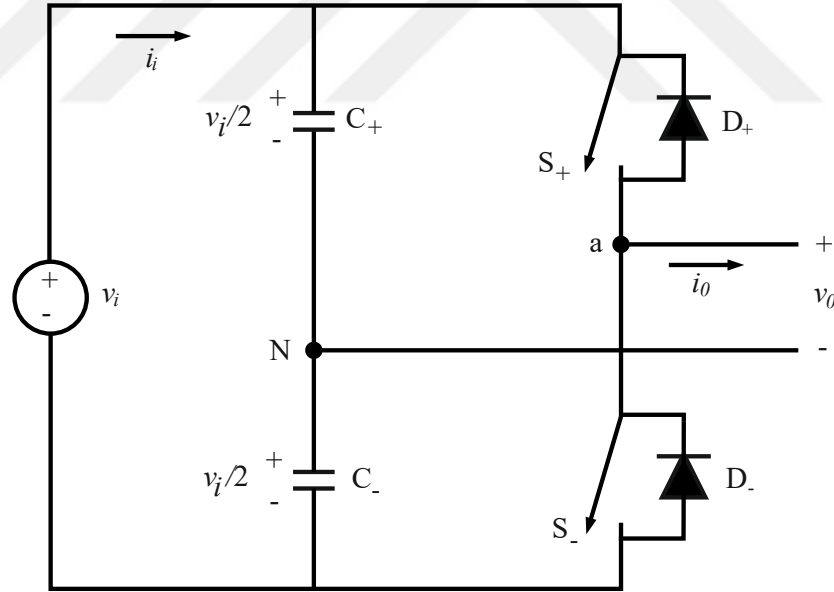
Eviriciler bir fazlı ve üç fazlı olarak imal edilebilirler. Bu sistemleri beslenme kaynaklarına göre sınıflandırmak istenirse, Gerilim Kaynaklı Eviriciler ve Akım Kaynaklı Eviriciler olarak iki kısımda inceleyebiliriz. Şayet giriş gerilimi sabit ise bu tip eviricilere gerilim beslemeli evirici, giriş akımı sabit ise bu tip eviricilere akım beslemeli evirici ve eğer giriş gerilimi kontrol ediliyorsa buna da değişken baralı evirici denir.

6.1. Gerilim Kaynaklı Eviriciler

Gerilim kaynaklı eviriciler (Voltage source Inverter – VSI) genelde esnek AC iletim sistemlerini gerçekleştirmekte kullanılır. Esnek AC iletim sistemlerinin kararlılığı artırılarak yüksek gerilim güç kontrolü sağlanabilir. Bunun için VSI'ların kullanılması gerektiğini gösterir. Şayet yük değeri yüksek empedans değerine sahipse gerilim kaynaklı bir evirici ile beslenmesi daha uygun olacaktır.

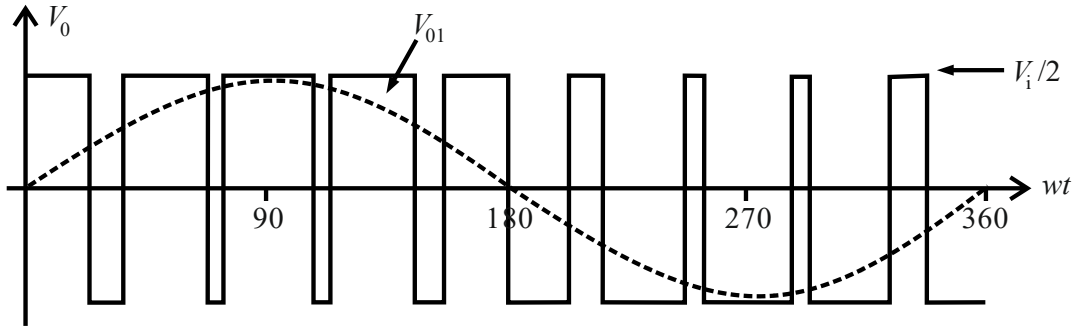
6.2. Tek Fazlı İki Seviyeli Gerilim Kaynaklı Evirici

En basit evirici iki seviyeli kare dalga üreten tek fazlı yarım köprü devresidir. Çıkış formu kare dalga olup, orta uçlu bir gerilim kaynağı beslemesine ihtiyaç duyulur. Orta ucu oluşturmak için basitçe seri yerleştirilmiş iki kondansatör ile DC kaynak beraber kullanılır [40]. Bu iki seviyeli eviriciye ait devre şeması Şekil 6.1'de, çıkış geriliminin dalga formu ise Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6. 1. Yarım köprü evirici devresi

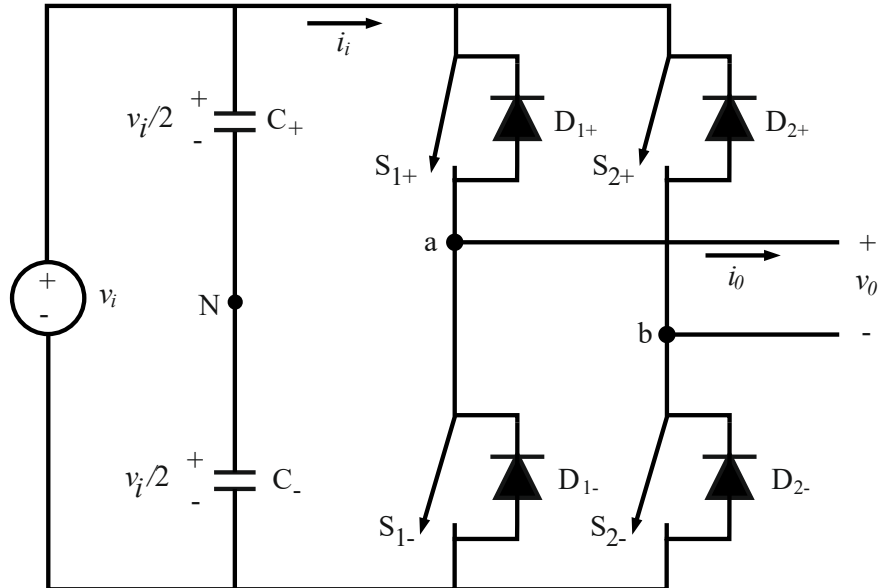
Şekilden de görüldüğü gibi yalnızca 2 anahtarlama elemanına ihtiyaç vardır. Burada her iki anahtarın aynı anda kapatılmamalıdır. Anahtarlama elemanları birbiriyle mutlak suretle ters yönde çalıştırılmalıdır. Kısaca biri iletim durumunda iken diğeri kesimde olmalıdır. Aksi takdirde evirici zarar görür kaynak kısa devre olur.



Şekil 6. 2. Yarım köprü evirici devresi çıkış dalga formu

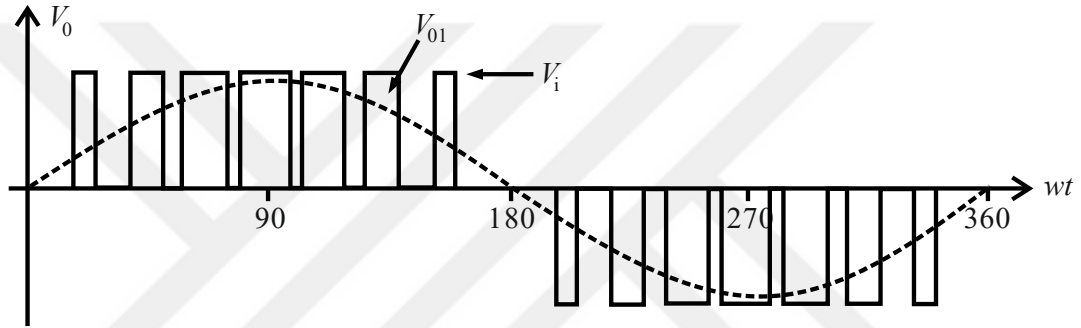
6.3. Tek Fazlı Üç Seviyeli Gerilim Kaynaklı Evirici

Üç seviyeli çıkış gerilimi elde etmek için tam köprü evirici devresi kullanmak gerekir. Bu tip eviricilerin avantajı yarım köprü yapının aksine çıkış olarak üç seviyeli kare dalga formu elde edilebilir. Yapısı basit olup yarım köprü eviriciye bir devre bacağı ilave edilmek suretiyle yapı oluşturulur [40]. Yüğü de bu bacaklar arasına yerleştirilmesiyle üç seviyeli evirici elde edilmiş olunur. Bu yapının evirici devresi Şekil 6.3'te çıkış geriliminin dalga şekli ise Şekil 6.4'te görülmektedir.



Şekil 6. 3. Tam köprü evirici devre şeması

Tam köprü eviricinin çalışması şu şekildedir. 4 adet anahtarlama elemanı ve 4 adet diyot mevcuttur. Burada yük üzerindeki gerilim V_{ab} gerilimini elde etmek için anahtarlamların çapraz bir şekilde devreye girmesi, aynı şekilde çapraz bir şekilde kesime gitmesi gerekmektedir. Yani uygulamada $S1+$ ve $S2-$ anahtarları iletimde, $S2+$ ve $S1-$ kesimde iken A-B noktaları arasındaki gerilim $V_{ab} = V_i$, $S1+$ ve $S2-$ anahtarları kesimde, $S2+$ ve $S1-$ iletimde iken $V_{ab} = -V_i$ olur. Aynı durumda 0(sıfır) seviyesini oluşturmak için tam köprü eviricilerde $S1+$ ve $S2+$ anahtarları iletimde iken $S1-$ ve $S2-$ anahtarları kesime getirilerek iletim durumunun tam tersi bir kombinasyon gerçekleştirilir.



Şekil 6. 4. Tam köprü evirici devresi çıkış dalga formu

6.4. Akım Kaynaklı Eviriciler

Akım kaynaklı eviricilerde kaynağı akım olan, akım ile beslenen eviricilerdir. Bu evirici modelleri çok büyük güç değerlerinde kullanılır. Şayet yük değeri düşük empedans değerine sahipse akım kaynaklı bir evirici ile beslenmesi daha uygun olacaktır.

BÖLÜM 7. SİSTEM MODELLEMESİ VE BULGULAR

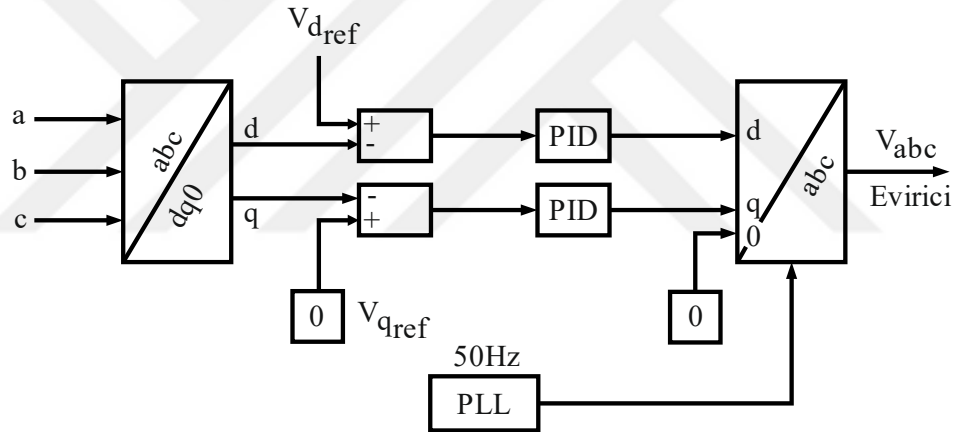
Bu bölümde MATLAB/Simulink ortamında yapılan benzetim çalışmaları ve elde edilen sonuçlar kıyaslamalı bir şekilde anlatılmıştır. Şekil 7.2’de sistemin ana yapısı görülmektedir. Sistem güneş panelleri, evirici, filtre, ölçüm barası, 3 fazlı yükler ve kontrolörlerden oluşmaktadır.

Sistem; Şekil 7.3 ve 7.4’de görüldüğü gibi güneş akım, gerilim ve güç değerlerini kullanarak 30°C ve 1000W/m^2 ışık şiddetinin olduğu bir ortamda test edilmiştir. Çalışmada Soltech 1STH-215-P model güneş panelleri kullanılmıştır. Her bir kolda 40 güneş paneli seri bağlanmıştır ve 20 paralel kol bulunmaktadır. Toplam 800 adet güneş paneli kullanılmıştır. Tablo 1’de kullanılan güneş panellerinin teknik özellikleri görülmektedir. Yapılan tüm benzetimlerde bu değerler sabit tutulmuştur.

Tablo 7. 1. Soltech 1STH-215-P Elektriksel Teknik Özellikleri.

Elektriksel Büyüklük	Değer
Modüldeki Hücre Sayısı (Adet)	60
Güç (W)	215
Maksimum Güçteki Gerilim Değeri (V)	29
Maksimum Güçteki Akım Değeri (A)	7.35
Açık Devre Gerilimi (V)	36.3
Kısa Devre Akımı (A)	7.84
Diyot Sızıntı Akımı (A)	2.9259e^{-10}
Diyot İdealleştirme Katsayısı	0.98117
Seri Direnç (Ω)	0.39383
Paralel Direnç (Ω)	313.3991
Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	47.4
Açık Devre Gerilimindeki Sıcaklık Etkinlik Değeri ($\%/^{\circ}\text{C}$)	-0.36099
Kısa Devre Akımındaki Sıcaklık Etkinlik Değeri ($\%/^{\circ}\text{C}$)	0.102

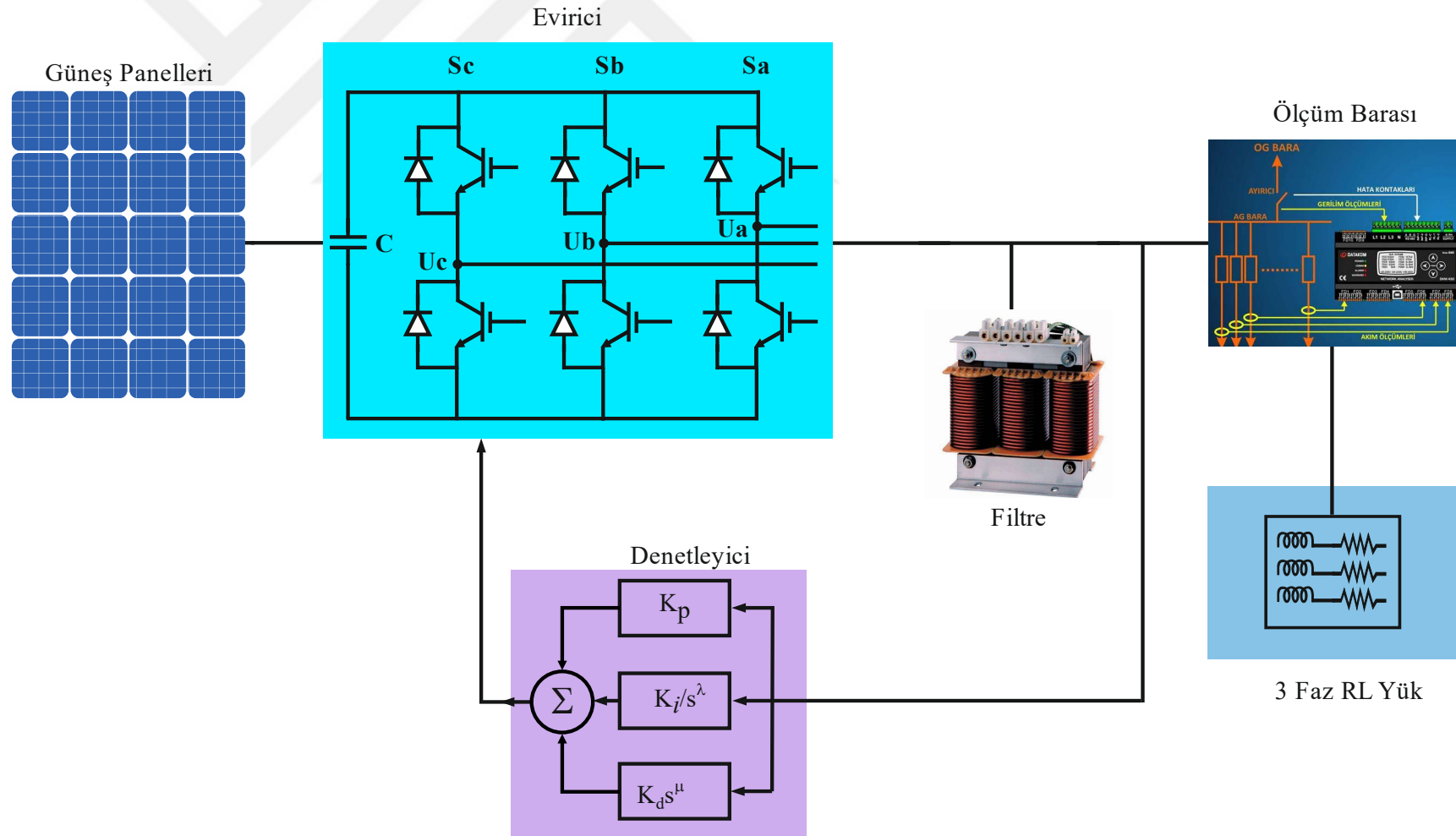
Güneş panellerinden elde edilen doğru gerilim bir evirici vasıtasıyla alternatif akıma çevrilmektedir. Çıkışı 380V/50Hz’de sabit tutmaktadır. Kullanılan evirici 2 seviyeli 6 IGBT’den oluşan standart bir eviricidir. Bu evirici için hem klasik PID hem de kesir dereceli PID kontrolör kullanılmıştır. Şekil 7.3’de eviricinin kontrol şeması görülmektedir. Burada yük üzerindeki gerilim ölçülmekte, daha sonra abc-dq0 dönüşümü kullanılarak d ve q bileşenlerine ayrılmaktadır. Bu bileşenler ayrı ayrı kontrol edilmektedir. d bileşen 1 değerine q bileşen ise 0 değerine ayarlanmaya çalışılmaktadır. Kontrolörlerin çıkışında elde edilen sinyaller tekrar dq0-abc dönüşümü ile sinüs dalga şekline çevrilerek PWM’in giriş işareti olarak kullanılmaktadır. PWM sinyaller IGBT’lere gönderilerek 6 adet IGBT sürülmektedir. Kontrolör ayrıca sistemden aldığı frekans değerini faz kilitlemeli çevrim kullanarak 50Hz’de tutmaya çalışmaktadır. Burada d ve q bileşenler ayrı ayrı hem klasik PID hem de kesir dereceli PID kontrolör kullanılarak denetlenmiştir.



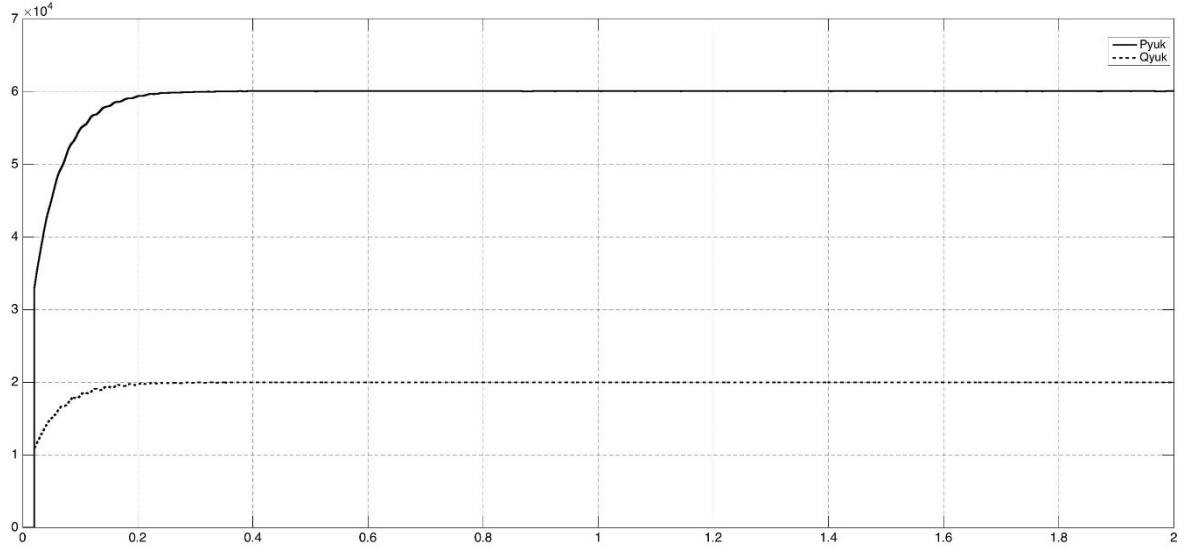
Şekil 7. 1. Sistemin kontrol bloğu

Sistemde yüklere paralel harmonik filtreleri kullanılmaktadır. 5 farklı filtre ayarlanmış ve denenmiştir. Hem klasik PID hem de kesir dereceli PID kontrolörden ayrı ayrı bu 5 filtre ile denenerek sonuçları karşılaştırılmıştır. Toplam 10 farklı benzetim çalışması yapılmıştır. Kesir dereceli PID de $K_p=0,2$, $K_i=150$, $K_d=1,2$, $\lambda=0,3$, $\mu=0,4$ değerleri seçilerek devreye uygulanmıştır. Klasik PID de ise $K_p=01$, $K_i=40$, $K_d=0,05$ seçilmiştir. Filtre devrelerinde ise bobin değeri 1mH, kondansatör değeri 22 μ F dır.

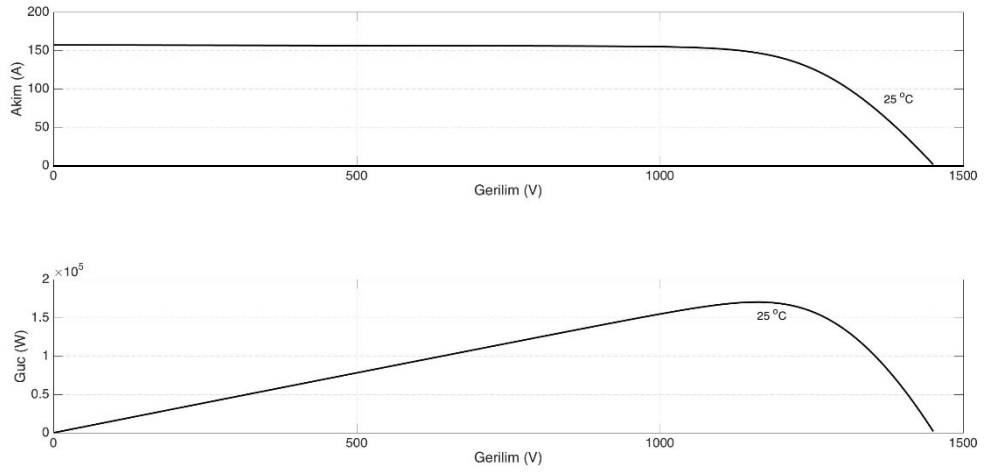
Sistemde RL yükü kullanılarak harmonik oluşturulmaya çalışılmıştır. 1. Yük 45kW/20kVAr ‘lık bir değeri diğeri ise 15kW’lık bir değere sahiptir. Aşağıdaki grafiklerde örnekleme zamanı 2 μ sn için yapılmıştır.



Şekil 7. 2. Tek Hat diyagramı



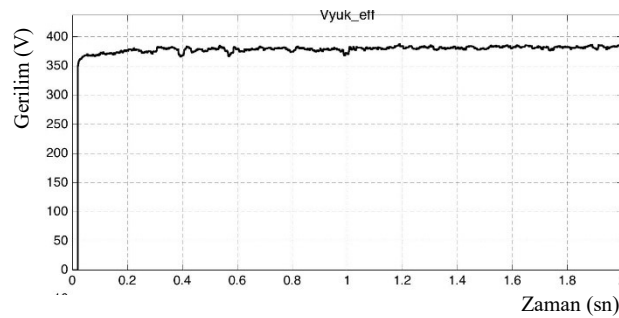
Şekil 7. 3. Kontrolörün ve filtrenin bulunduğu devrenin aktif ve reaktif güç değerleri

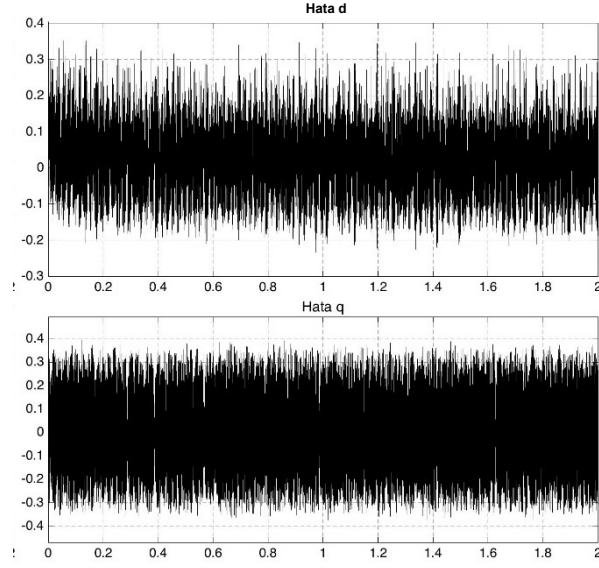


Şekil 7. 4. FV pilin akım gerilim grafiği

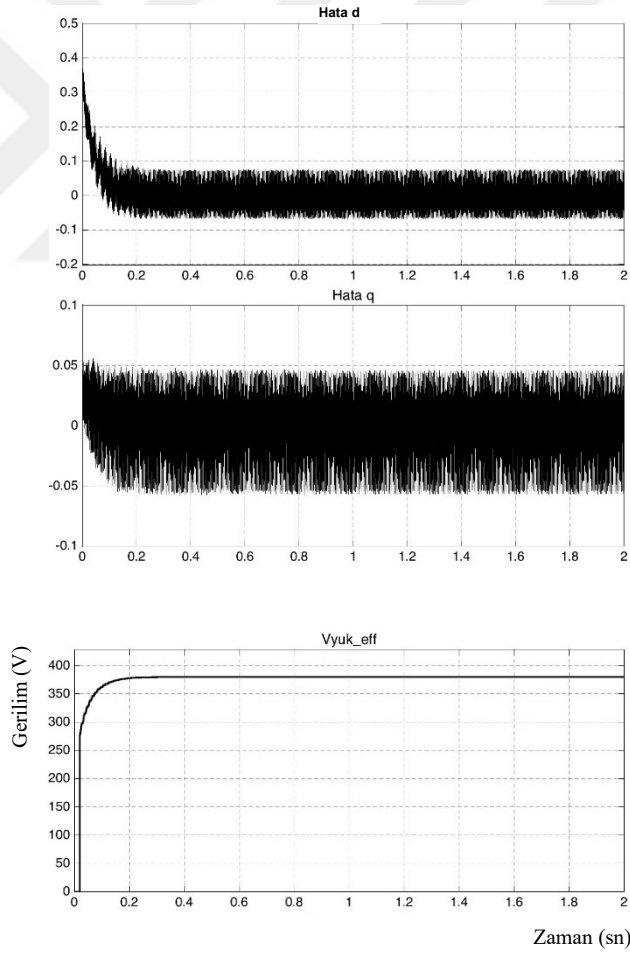
7.1. Kesir Dereceli PID ve Klasik PID Kontrolörün LC Filtre Bulunan Devreye Uygulanması

Kesir dereceli PID ile klasik PID nin LC filtreleriyle yapılan çalışmasında yük geriliminin değişimi incelendiğinde; kesir dereceli PID de $V_{yük}$ geriliminin çok kısa sürede 380V seviyesine oturduğu yalnız gerilimde çok fazla dalgalanma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Klasik PID ile yapılan deneyde ise 380V gerilimi 0,2 sn de ulaşmış olup dalgalanma daha azdır. Buna bağlı olarak d-q eksen takımı akım dalgalanması klasik PID de Kesir dereceli PID ye göre daha azdır. Ayrıca sistemin yük akımları ve gerilimleri çıkış grafiğinde kesir dereceli PID kontrolörün bulunduğu devrede harmonikler daha fazla olup standardın üzerinde olmaktadır. Ayrıntılı FFT (Fast Fourier Transform – Hızlı Fourier Dönüşümü) analizi yapıldığında klasik PID nin THD (Total Harmonic Distortion – Toplam Harmonik Bozulumu) oranının %4,12 oranında olup standartları yakalarken, kesir dereceli PID kontrolörde bu değer %21,53 ile standardın oldukça üzerindedir. Bu veriler yük üzerindeki gerilimden alınan sonuçlardır. Akım üzerinden bu değerlere bakıldığında Kesir dereceli PID kontrolörde THD %20,46 iken standardın üzerinde bir değer verirken, klasik PID de THD %3,91 ile standart değerlerin altındadır. Devrenin modülasyon indeksi 0,6 civarında olup devre sürekli enerji üretmektedir. Yukarıda yazılan verilere ilişkin grafikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

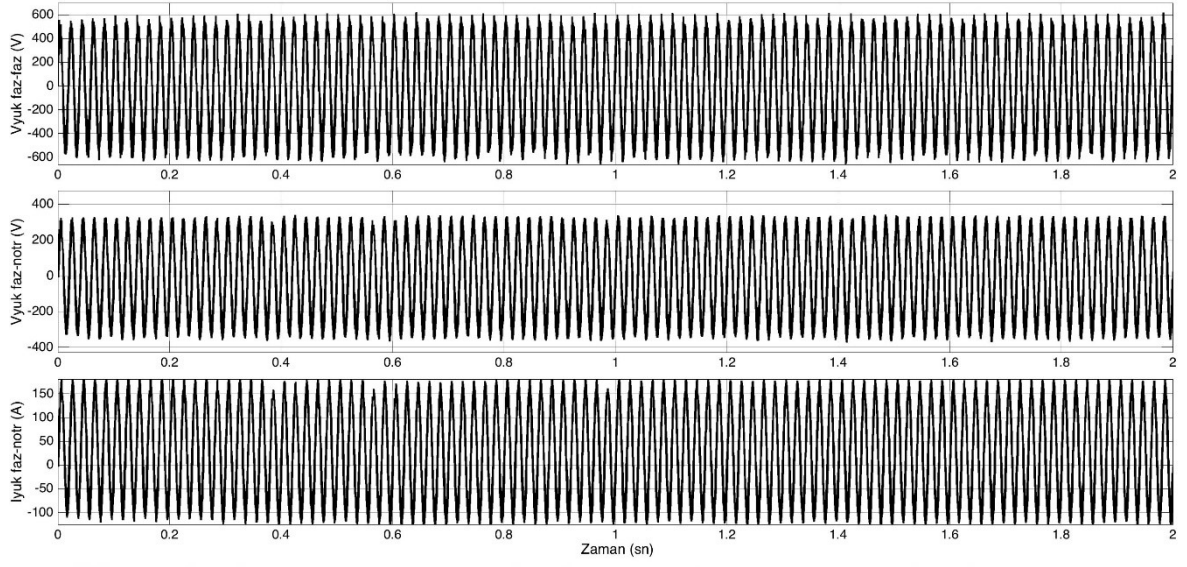




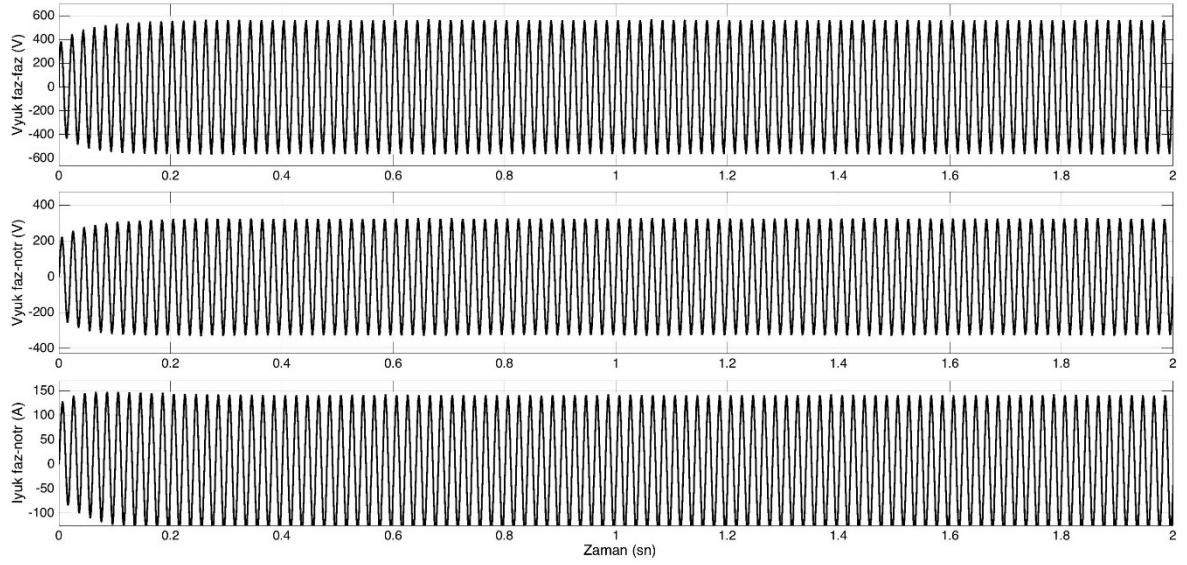
Şekil 7. 5. Kesir dereceli PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği



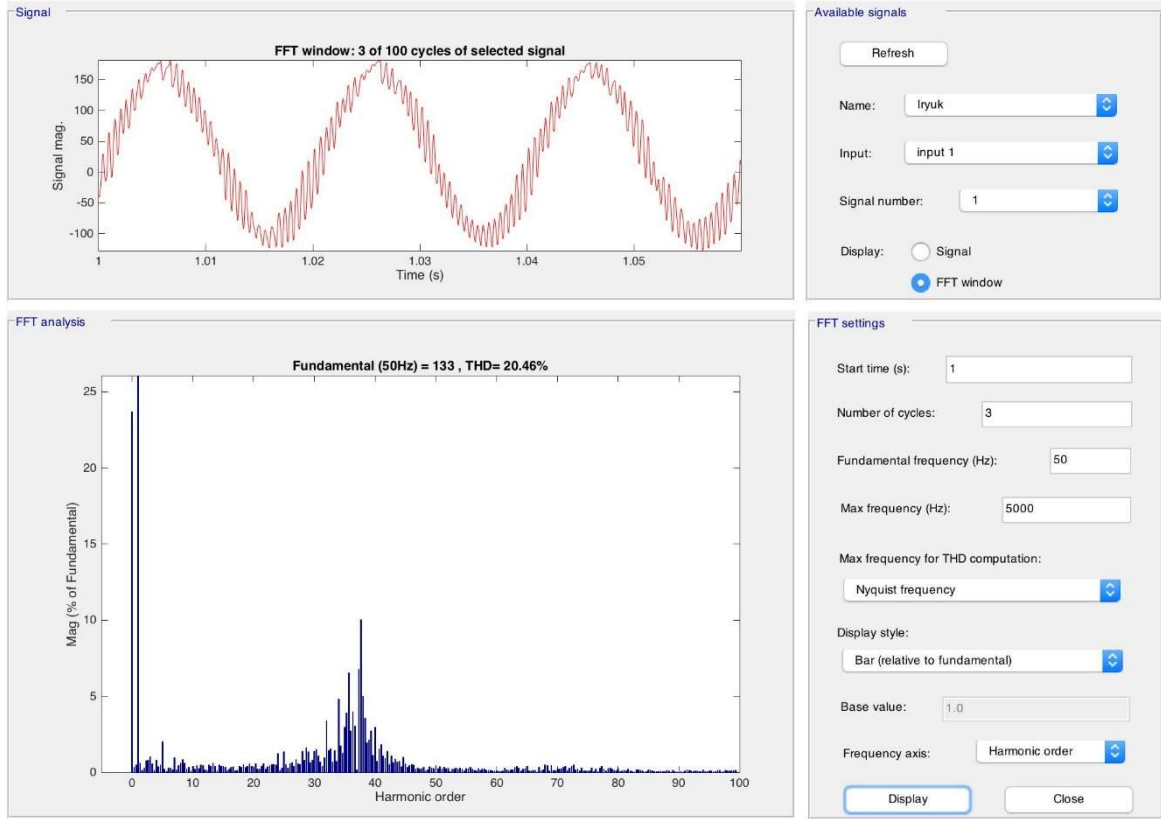
Şekil 7. 6. PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği



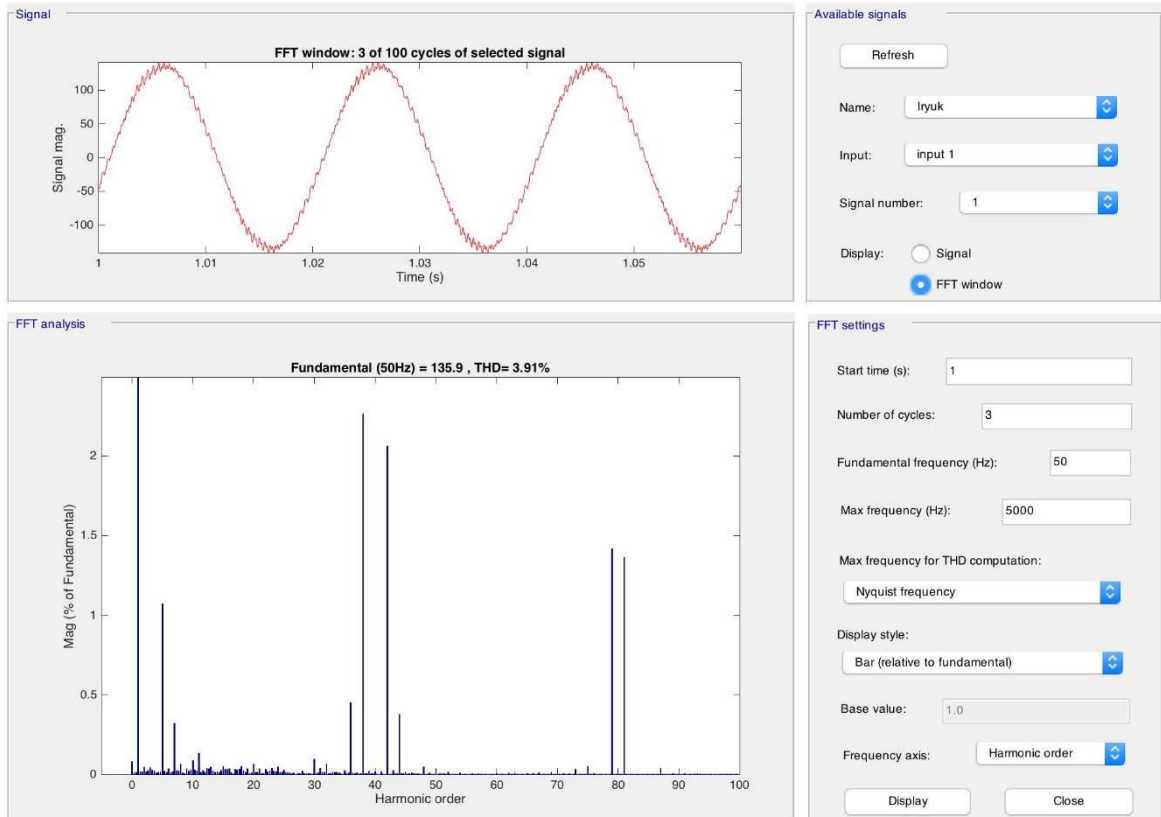
Şekil 7. 7. Kesir dereceli PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği



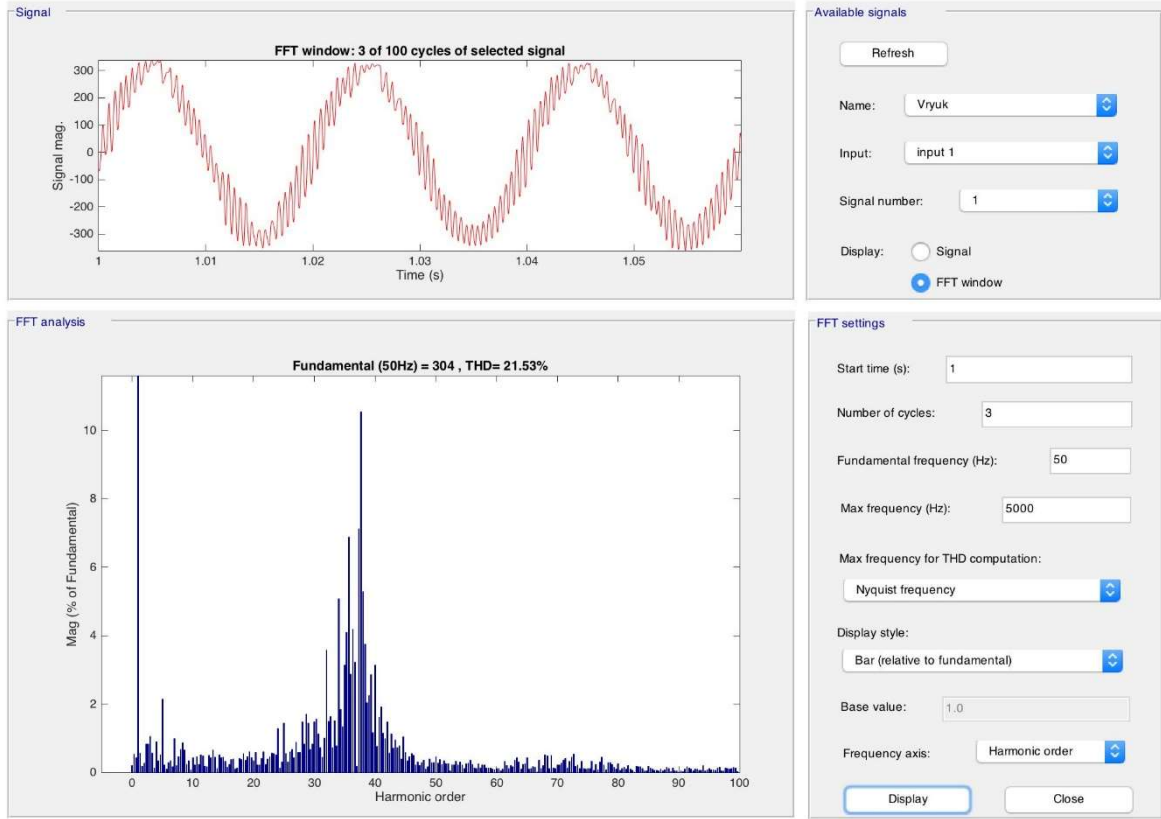
Şekil 7. 8. PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği



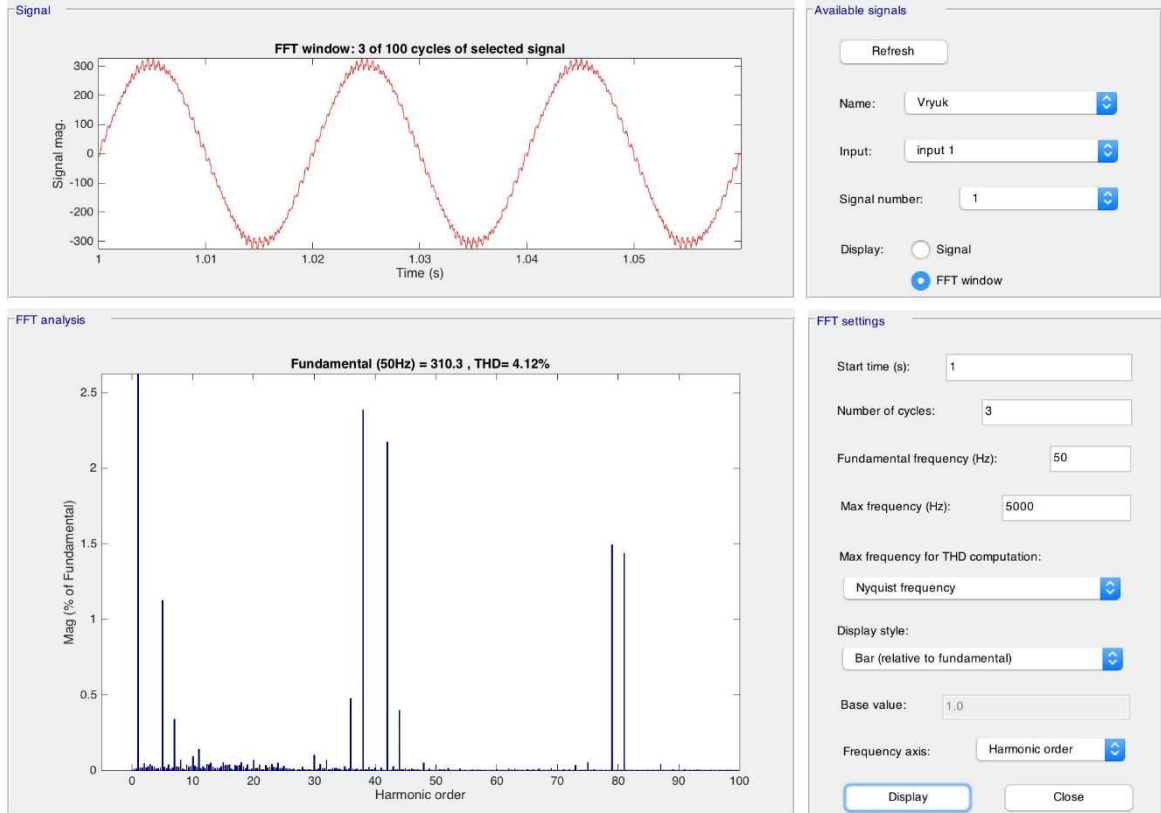
Şekil 7. 9. Kesir dereceli PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin çıkış akımı THD grafiği



Şekil 7. 10. PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin çıkış akımı THD grafiği



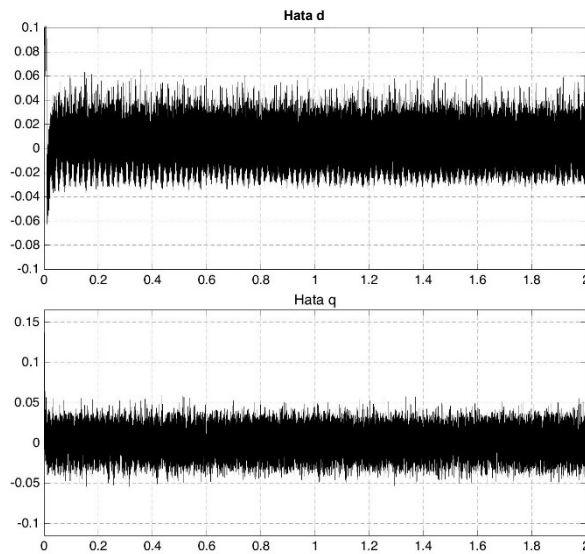
Şekil 7. 11. Kesir dereceli PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin çıkış gerilimi THD grafiği

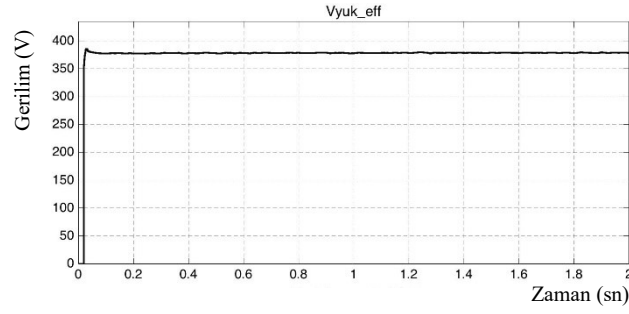


Şekil 7. 12. PID kontrolörün ve LC filtrenin bulunduğu devrenin çıkış gerilimi THD grafiği

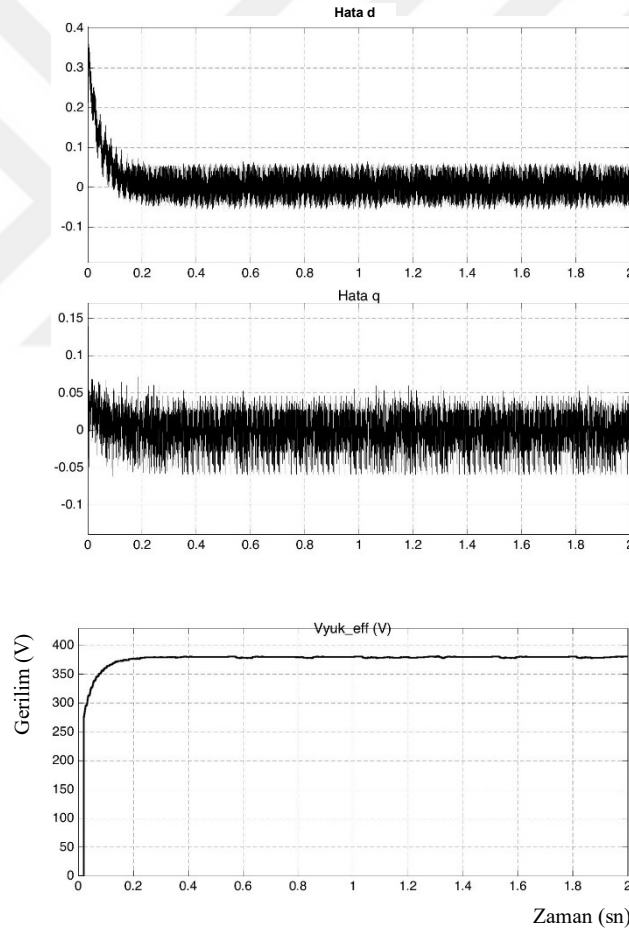
7.2. Kesir Dereceli PID ve Klasik PID Kontrolörün C Tipi Yüksek Geçiren Harmonik Filtre Bulunan Devreye Uygulanması

Kesir dereceli PID ile klasik PID nin C tipi yüksek geçiren harmonik filtreleriyle yapılan çalışmasında yük gerilimindeki değişim incelendiğinde; kesir dereceli PID de $V_{yük}$ geriliminin çok kısa sürede 380V seviyesine oturduğu yalnız kısa süreli pik yaptığı gözlemlenmiştir. Klasik PID ile yapılan deneyde ise 380V gerilimi 0,2 sn gibi bir zamanda oturmuş olup aralıklarla gerilimde bozulmalar görülmüştür. Buna bağlı olarak d-q eksen takımı akım dalgalanması klasik PID de Kesir dereceli PID ye göre daha çoktur. Ayrıca sistemin yük akımları ve gerilimleri çıkış grafiğinde kesir dereceli PID kontrolörün bulunduğu devrede harmonikler daha az olup standardın oldukça altındadır. Ayrıntılı FFT analizi yapıldığında klasik PID nin THD oranının %2,92 oranında olup, kesir dereceli PID kontrolörde bu değer %2,41 ile standardın altındadır. Bu veriler yük üzerindeki gerilimden alınan sonuçlardır. Akım üzerinden bu değerlere bakıldığında Kesir dereceli PID kontrolörde THD %2,28 iken, klasik PID de bu değer THD %2,78 ile standart değerlerin altındadır. Her iki kontrolörde de THD değerleri standardın oldukça altında olup az harmonikli bir gerilim üretmektedir. Devrenin modülasyon indeksi 0,6 civarında olup devre sürekli enerji üretmektedir. Yukarıda yazılan verilere ilişkin grafikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

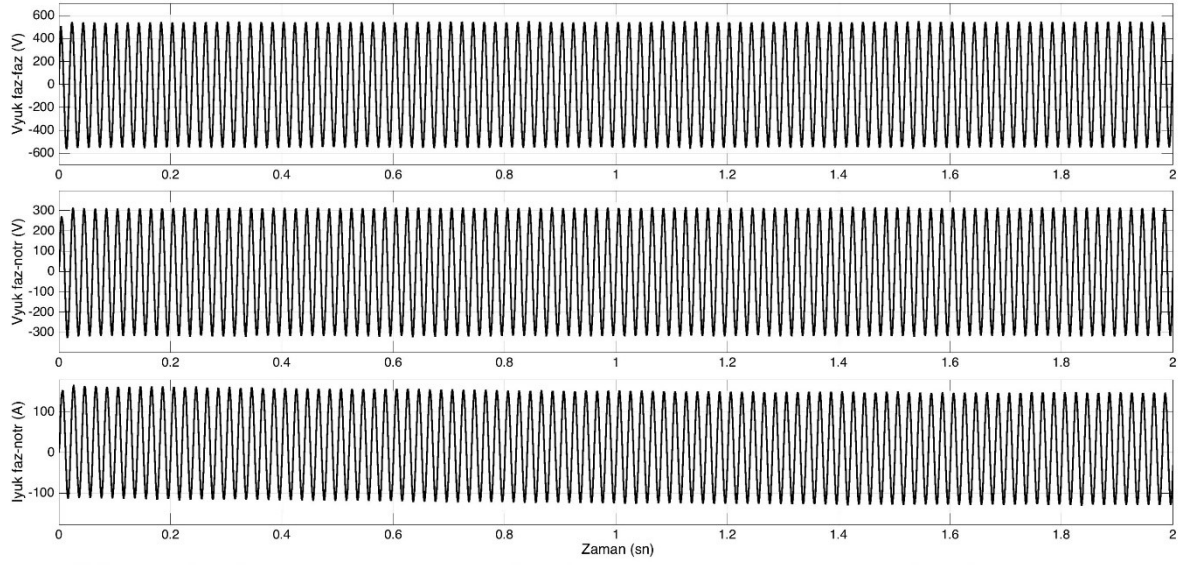




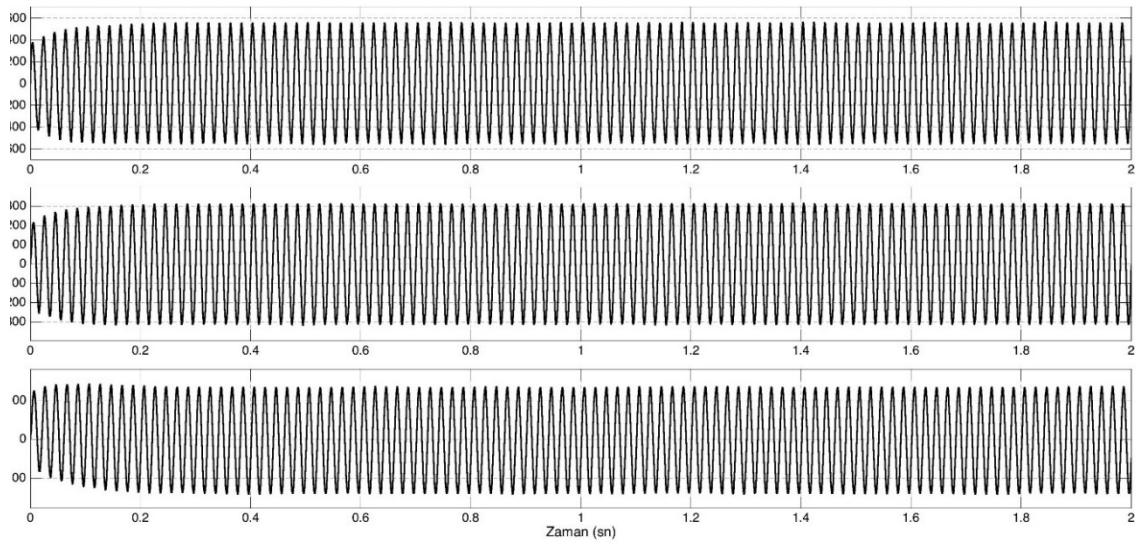
Şekil 7. 13. Kesir dereceli PID kontrolörün ve C Tipi Yüksek Geçiren Harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği



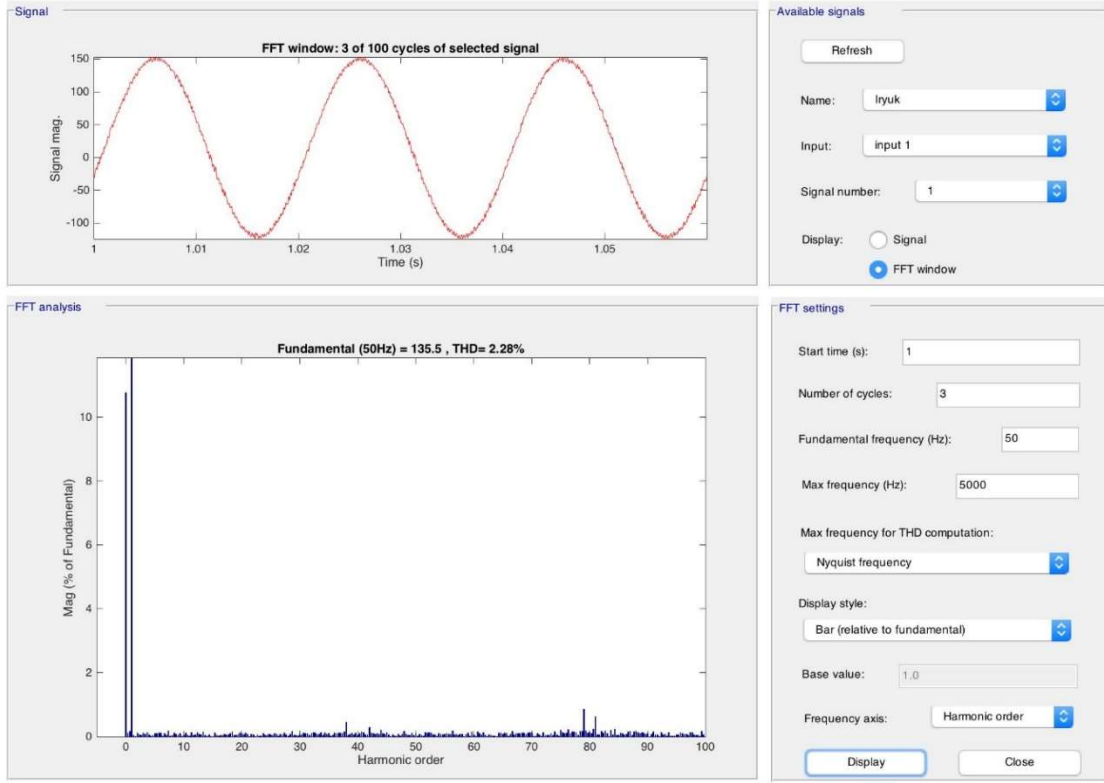
Şekil 7. 14. PID kontrolörün ve C Tipi Yüksek Geçiren Harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği



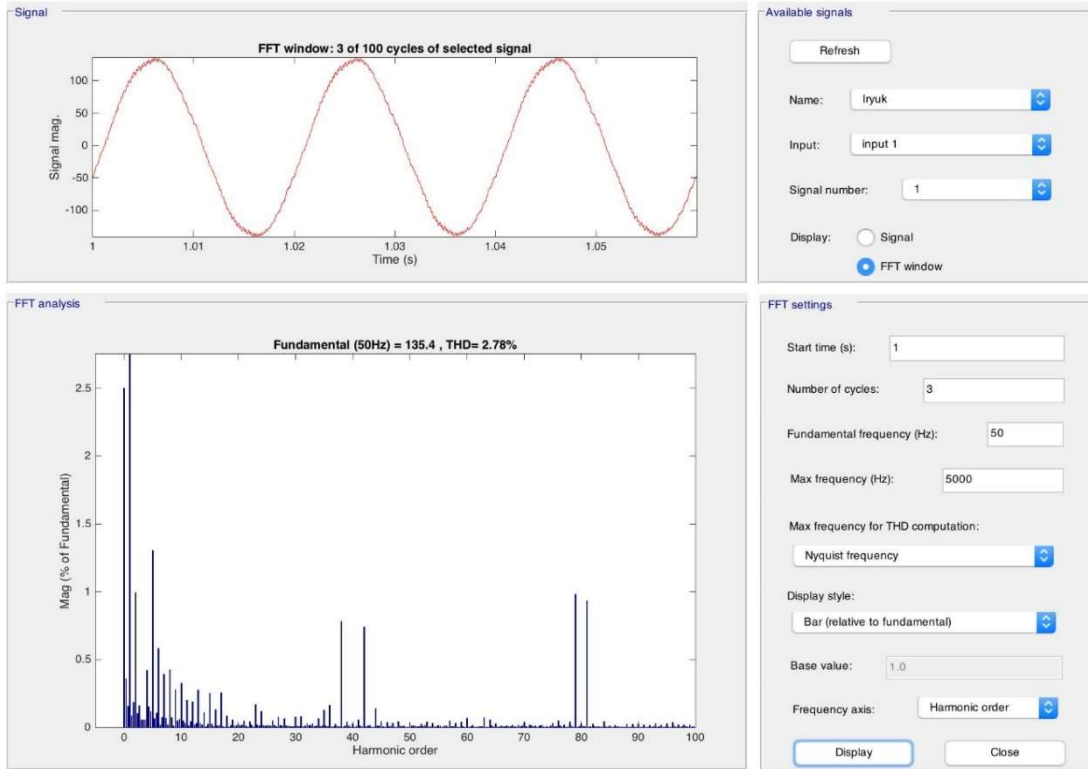
Şekil 7. 15. Kesir dereceli PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği



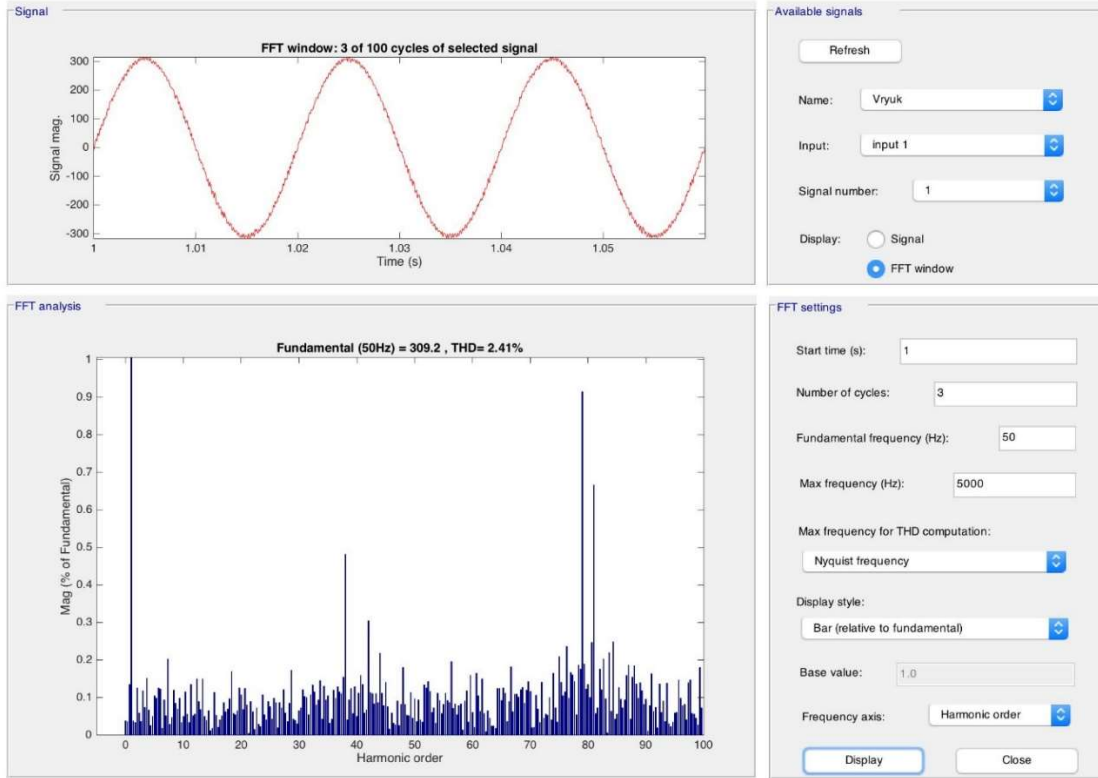
Şekil 7. 16. PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği



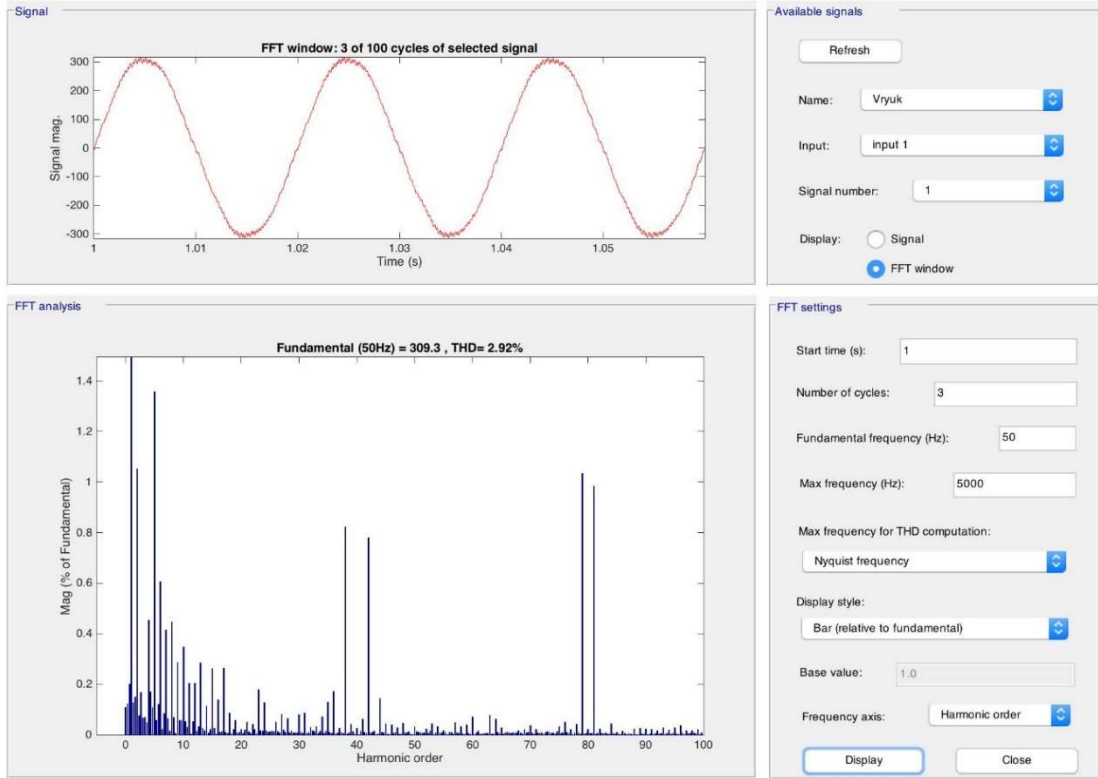
Şekil 7. 17. Kesir dereceli PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması



Şekil 7. 18. PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması



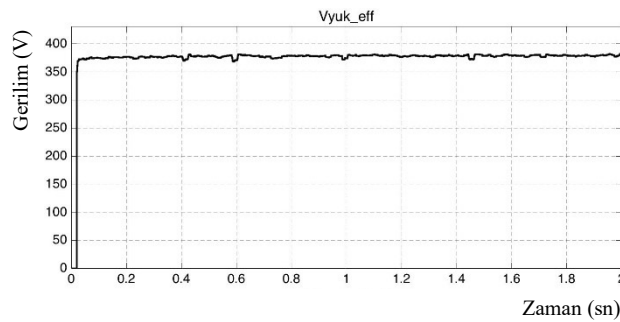
Şekil 7. 19. Kesir dereceli PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması

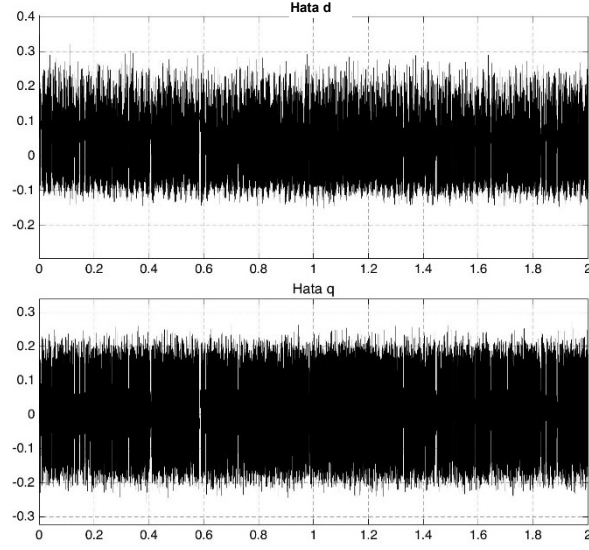


Şekil 7. 20. PID kontrolörün ve C tipi yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması

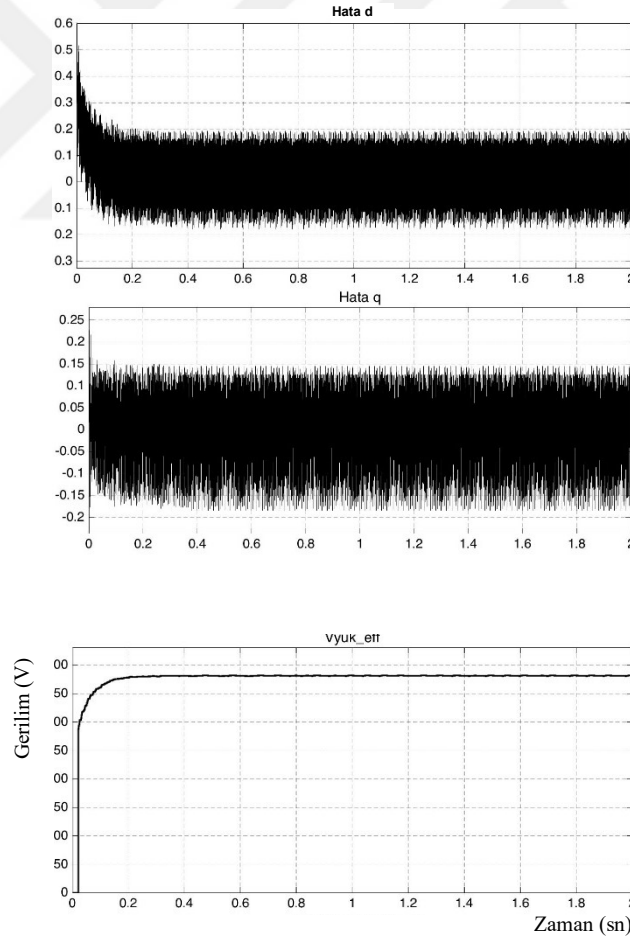
7.3. Kesir Dereceli PID ve Klasik PID Kontrolörün Çift Ayarlı Harmonik Filtre Bulunan Devreye Uygulanması

Kesir dereceli PID ile klasik PID nin çift ayarlı harmonik filtreleriyle yapılan çalışmasında yük geriliminin değişimi incelendiğinde; kesir dereceli PID de $V_{yük}$ geriliminin çok kısa sürede 380V seviyesine oturduğu yalnız gerilimde çok fazla dalgalanma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Klasik PID ile yapılan deneyde ise 380V gerilimi 0,2 sn gecikmeli oturmuş çok az bir dalgalanma yaparak enerji üretmiştir. Buna bağlı olarak d-q eksen takımı akım dalgalanması klasik PID de Kesir dereceli PID ye göre daha azdır. Ayrıca sistemin yük akımları ve gerilimleri çıkış grafiğine bakıldığında kesir dereceli PID ve klasik PID kontrolörün bulunduğu devrede harmonikler çok fazla olup standardın üzerinde olmaktadır. Ayrıntılı FFT analizi yapıldığında klasik PID nin THD oranının %10,36 oranında olup, kesir dereceli PID kontrolörde bu değer %12,69 ile standardın oldukça üzerindedir. Bu veriler yük üzerindeki gerilimden alınan sonuçlardır. Akım üzerinden bu değerlere bakıldığında Kesir dereceli PID kontrolörde THD %12,04 iken standardın üzerinde bir değer verirken, aynı durum klasik PID için de geçerli olup THD %9,83 ile standart değerlerin üzerindedir. Her iki kontrolörde de THD değerleri standardın oldukça üzerinde olup harmonikli bir gerilim üretmektedir. Devrenin modülasyon indeksi 0,6 civarında olup devre sürekli enerji üretmektedir. Yukarıda yazılan verilere ilişkin grafikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

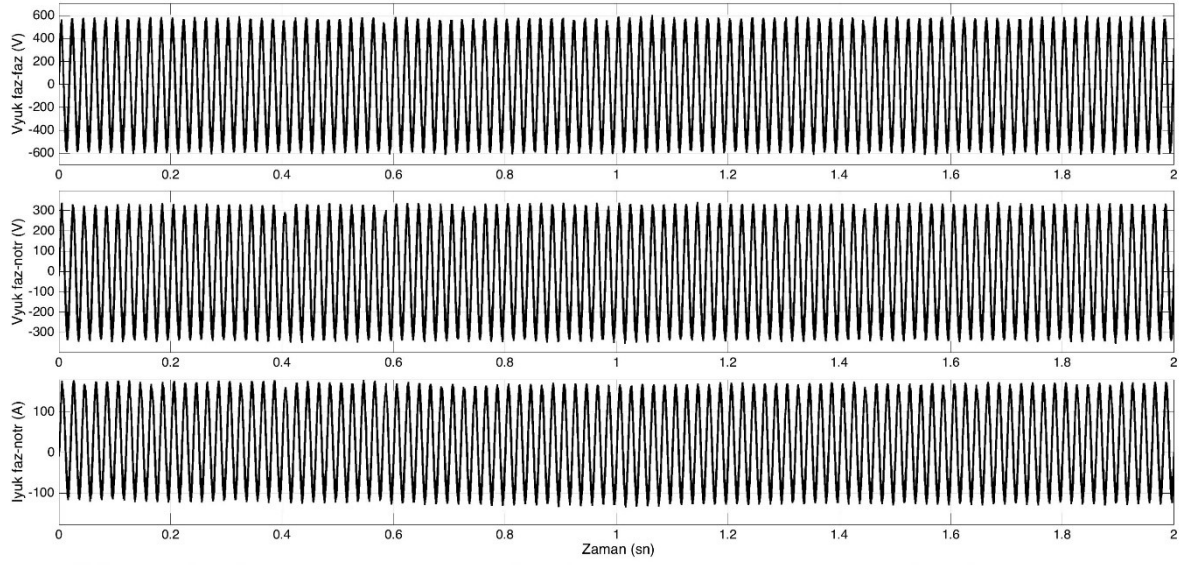




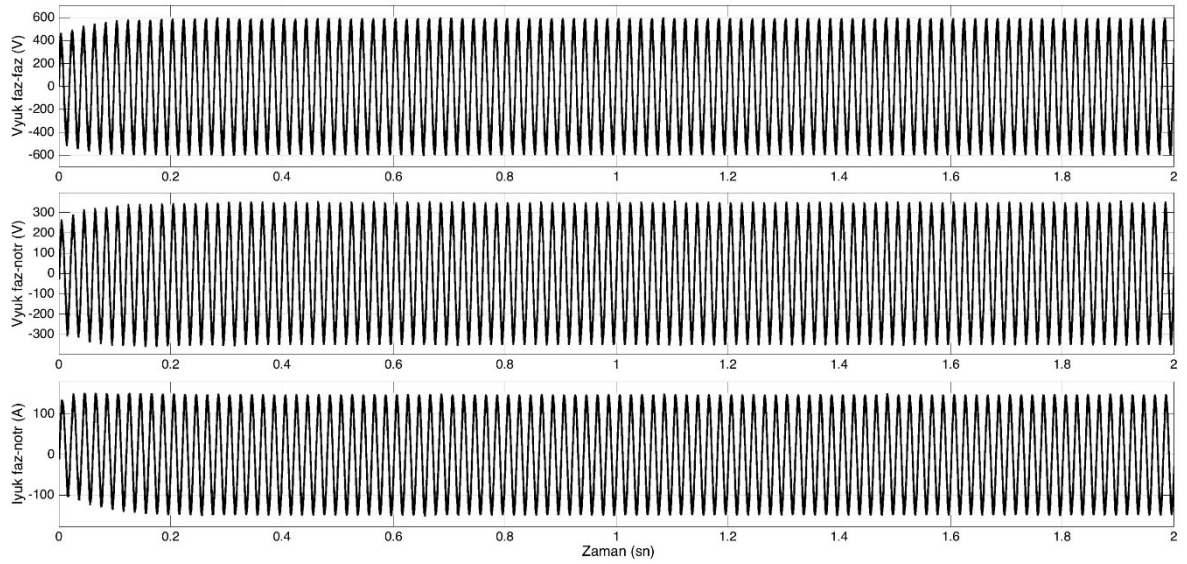
Şekil 7. 21. Kesir dereceli PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği



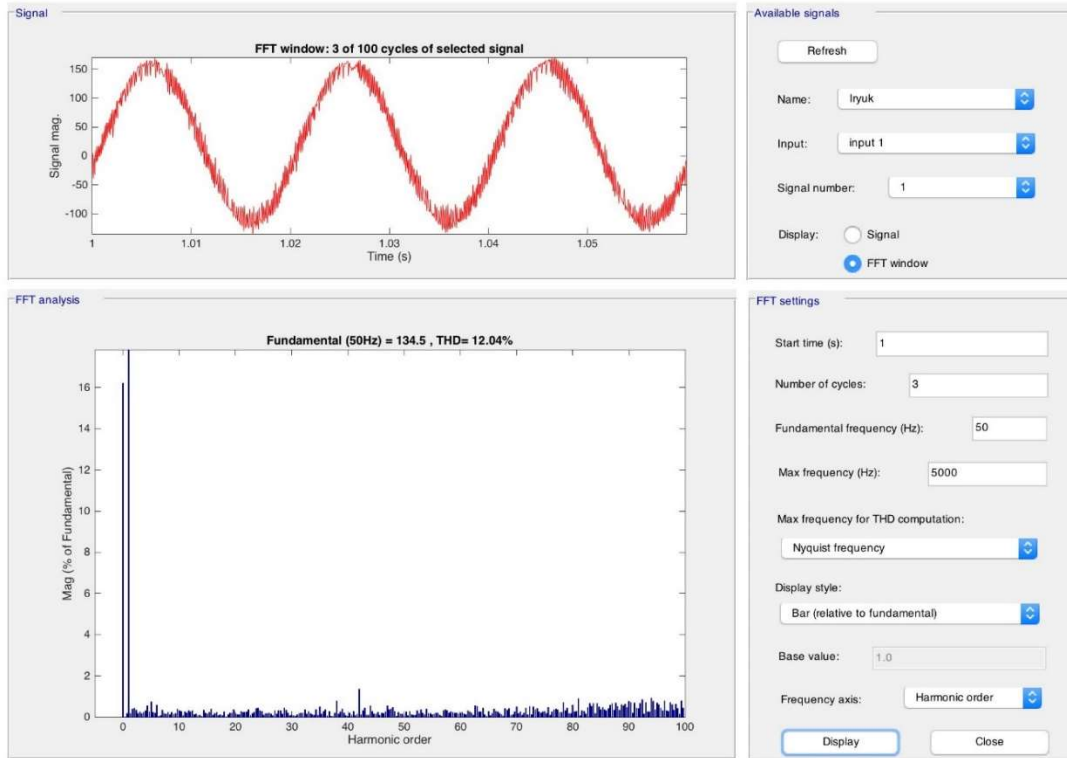
Şekil 7. 22. PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği



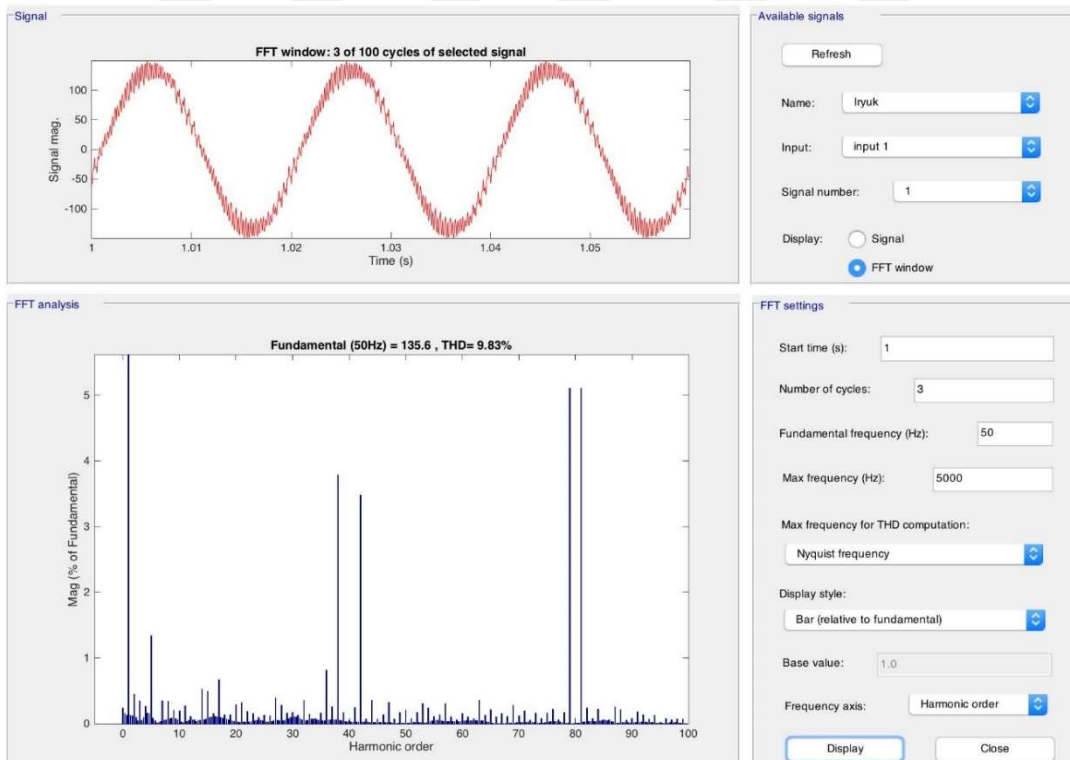
Şekil 7. 23. Kesir dereceli PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği



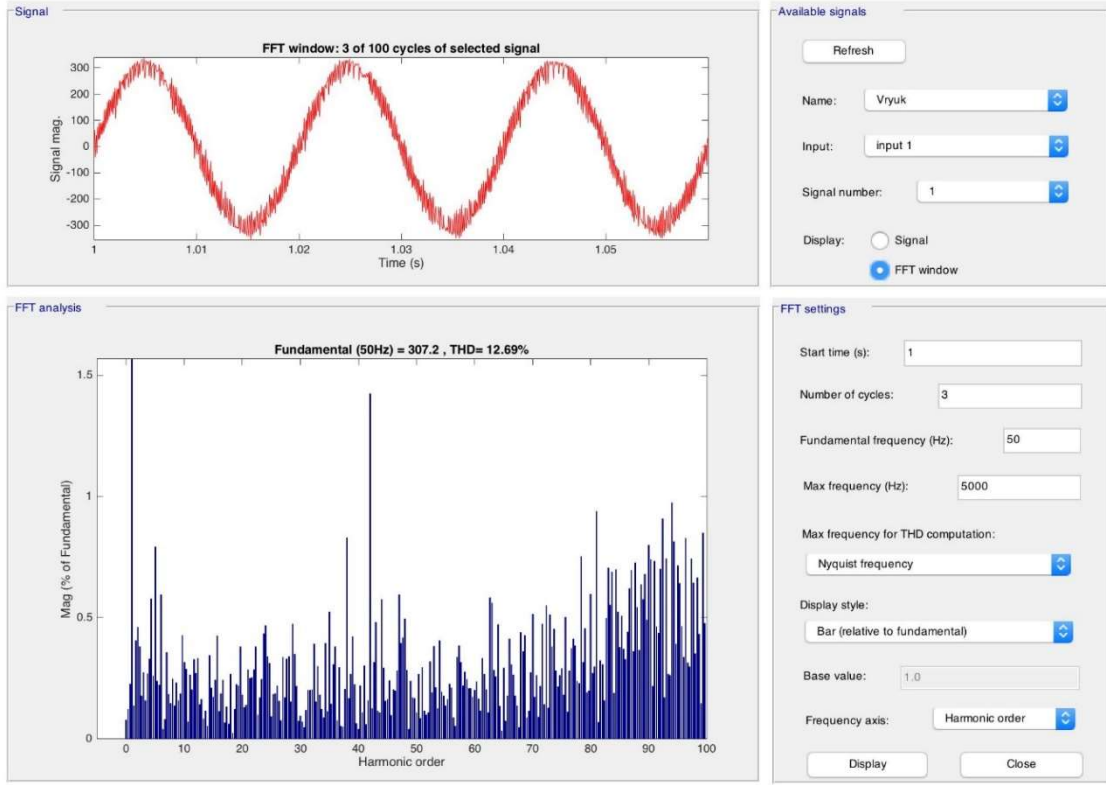
Şekil 7. 24. PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği



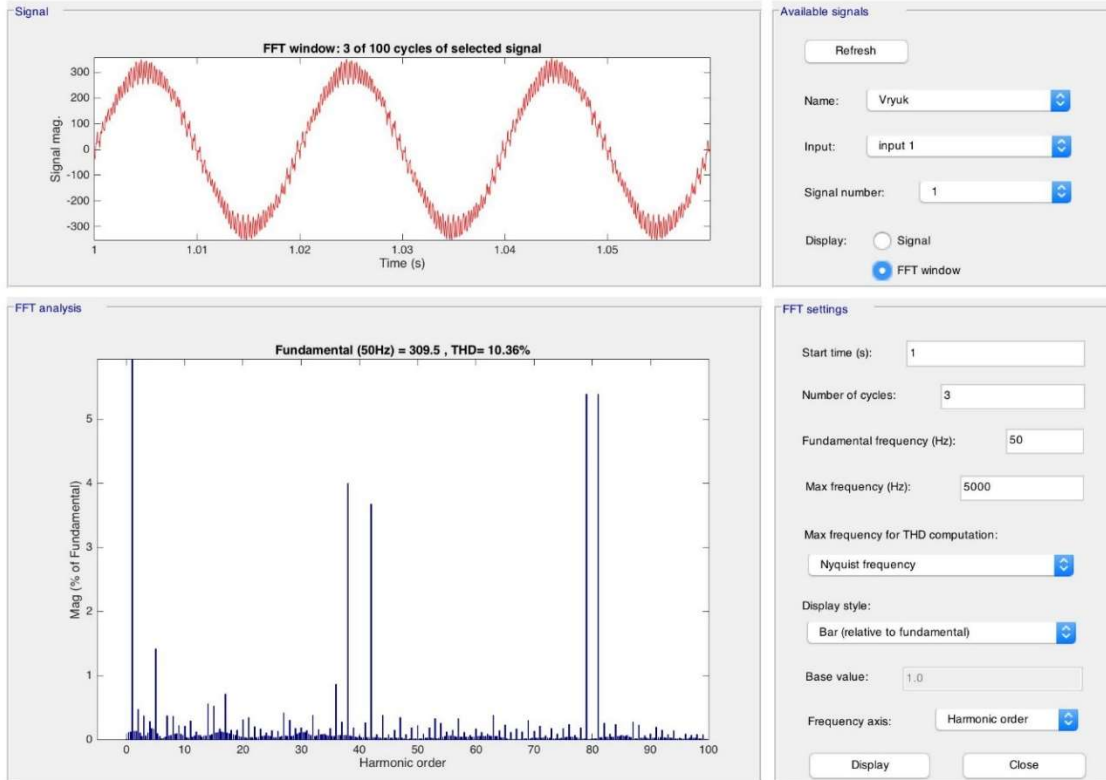
Şekil 7. 25. Kesir dereceli PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması



Şekil 7. 26. PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması



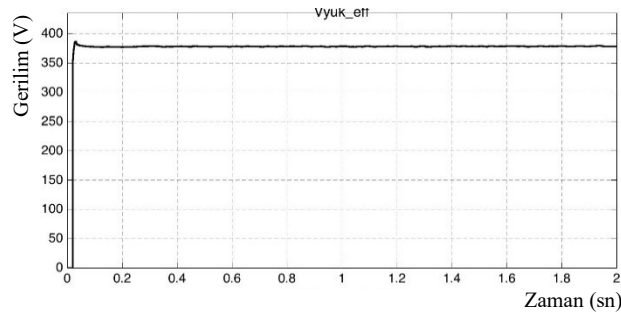
Şekil 7. 27. Kesir dereceli PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması

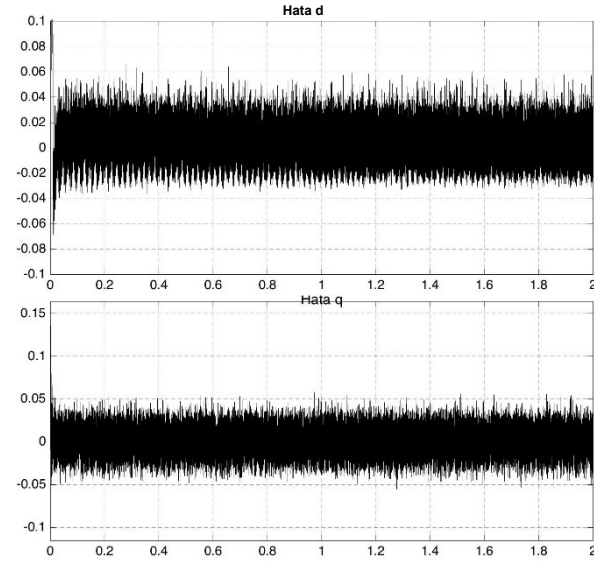


Şekil 7. 28. PID kontrolörün ve çift ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması

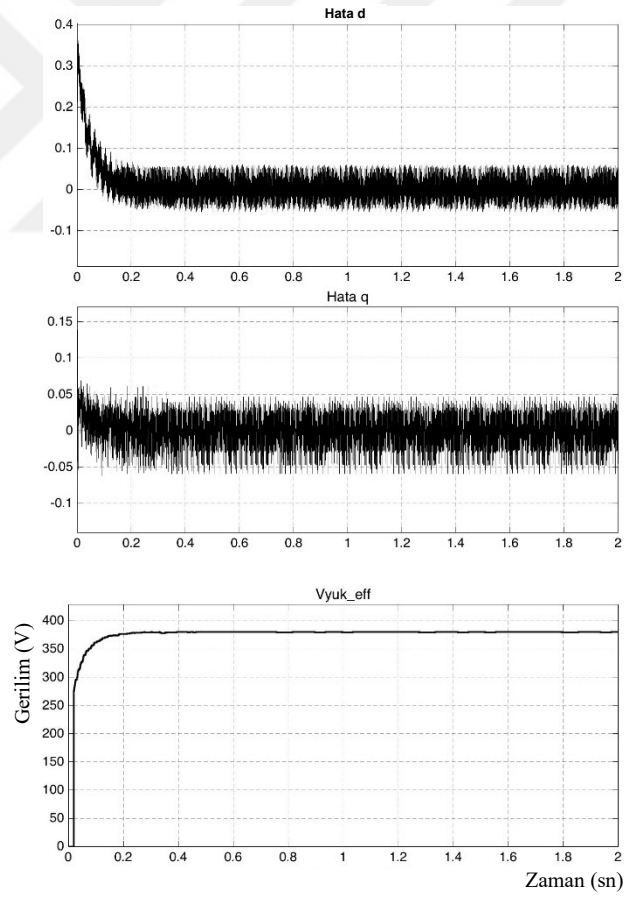
7.4. Kesir Dereceli PID ve Klasik PID Kontrolörün Yüksek Geçiren Harmonik Filtre Bulunan Devreye Uygulanması

Kesir dereceli PID ile klasik PID nin yüksek geçiren harmonik filtreleriyle yapılan çalışmasında yük gerilimde meydana gelen değişim incelendiğinde; kesir dereceli PID de $V_{yük}$ geriliminin çok kısa sürede 380V seviyesine pik yaparak oturduğu ve sonra değişim yapmadan devam ettiği gözlemlenmiştir. Klasik PID ile yapılan deneyde ise 380V gerilimi 0,2 sn gecikmeli oturmuş olup devamında dalgalanma nispeten azdır. Buna bağlı olarak d-q eksen takımı akım dalgalanması klasik PID de Kesir dereceli PID ye göre daha fazladır. Ayrıca sistemin yük akımları ve gerilimleri çıkış grafiğinde kesir dereceli PID kontrolörün bulunduğu devrede harmonikler daha az olup standardın çok altında olmaktadır. Ayrıntılı FFT analizi yapıldığında klasik PID nin THD oranının %2,88 oranında olup, kesir dereceli PID kontrolörde bu değer %2,28 ile standardın oldukça altındadır. Bu veriler yük üzerindeki gerilimden alınan sonuçlardır. Akım üzerinden bu değerlere bakıldığında Kesir dereceli PID kontrolörde THD %2,17 iken, klasik PID de THD %2,74 ile standart değerlerin oldukça altındadır. Her iki kontrolörde de THD değerleri standardın oldukça altında olup çok az harmonikli bir gerilim üretmektedir. Devrenin modülasyon indeksi 0,6 civarında olup devre sürekli enerji üretmektedir. Yukarıda yazılan verilere ilişkin grafikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

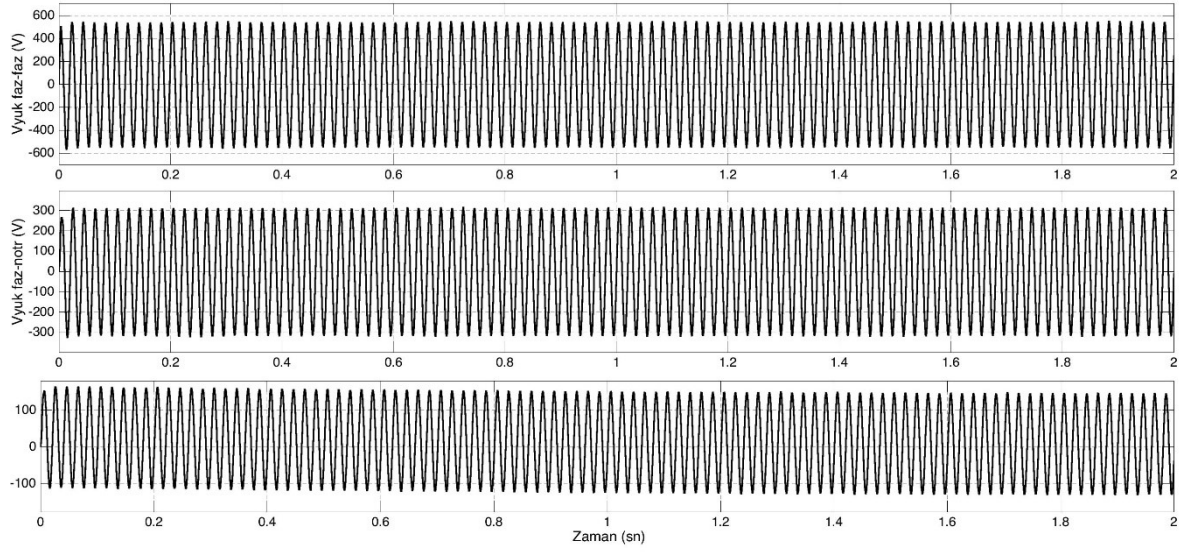




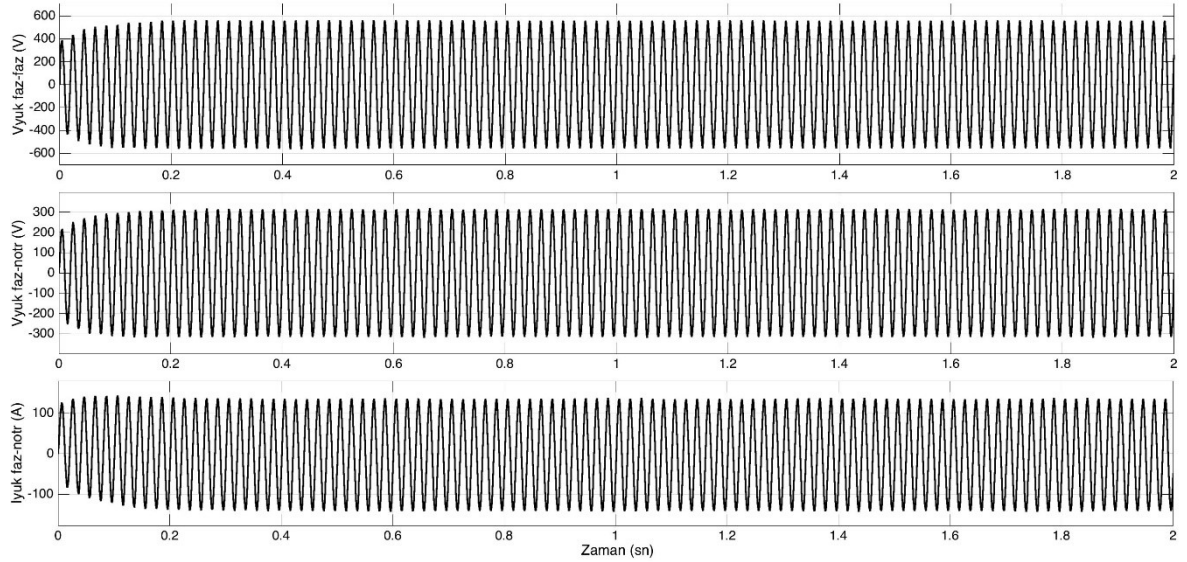
Şekil 7. 29. Kesir dereceli PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği



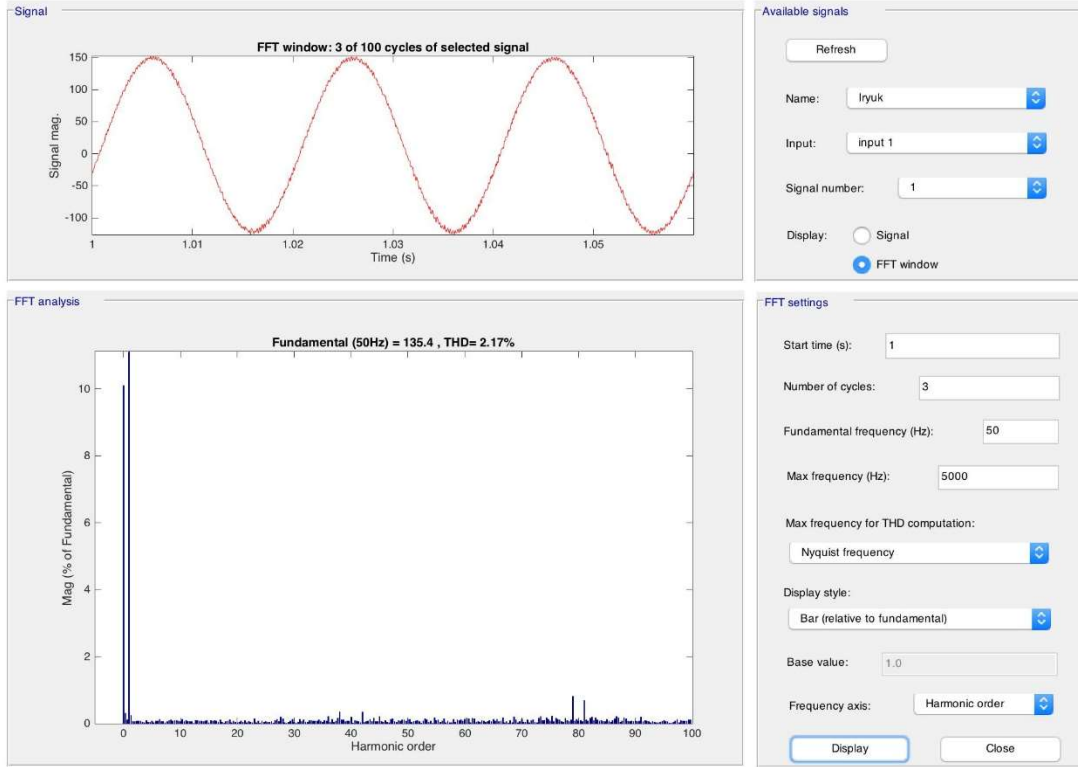
Şekil 7. 30. PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği



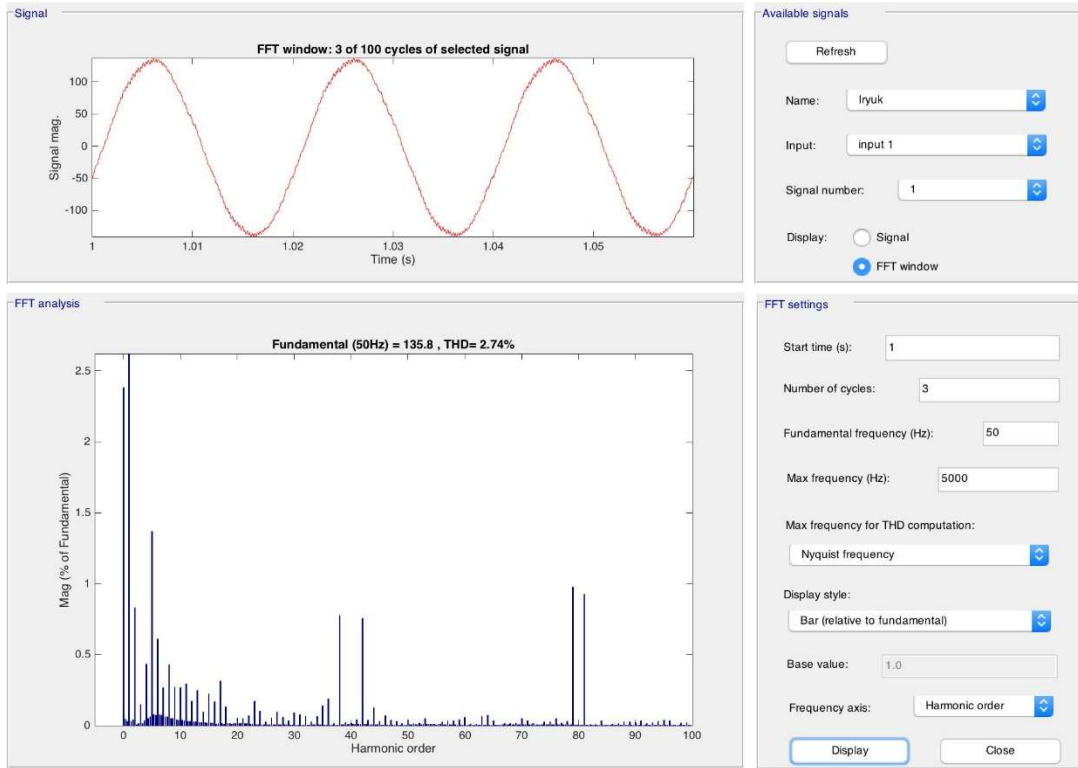
Şekil 7. 31. Kesir dereceli PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği



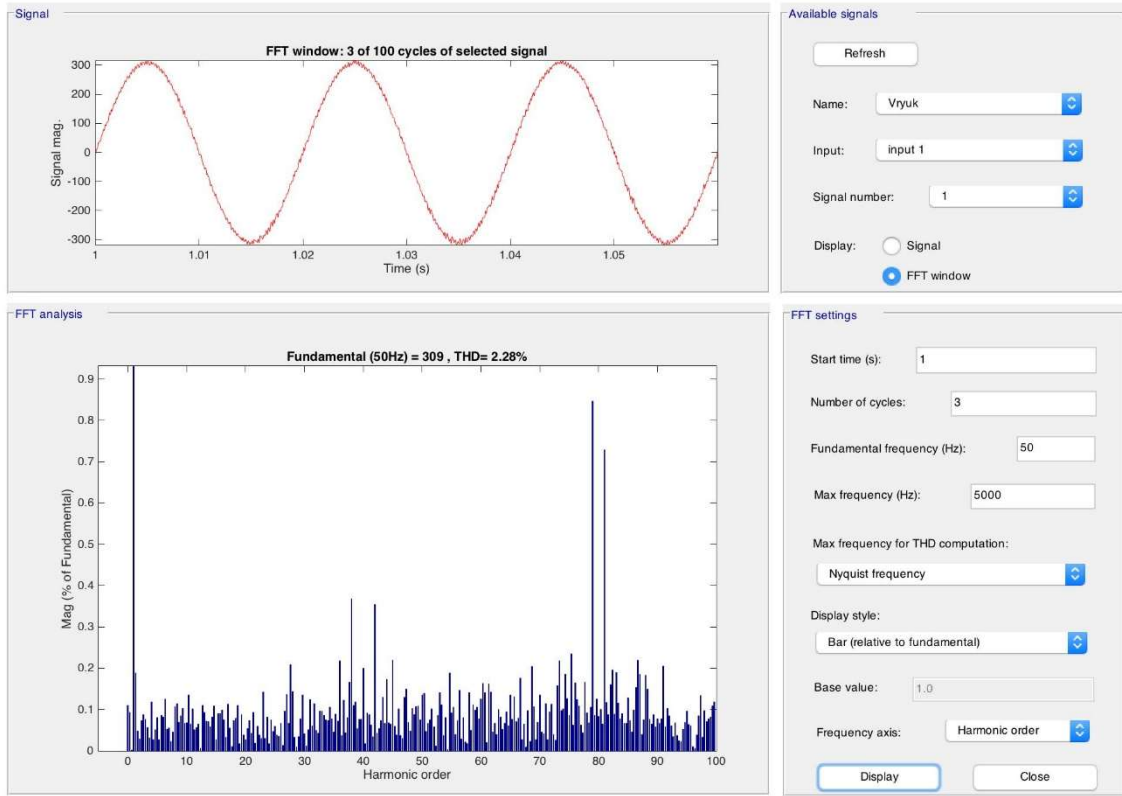
Şekil 7. 32. PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği



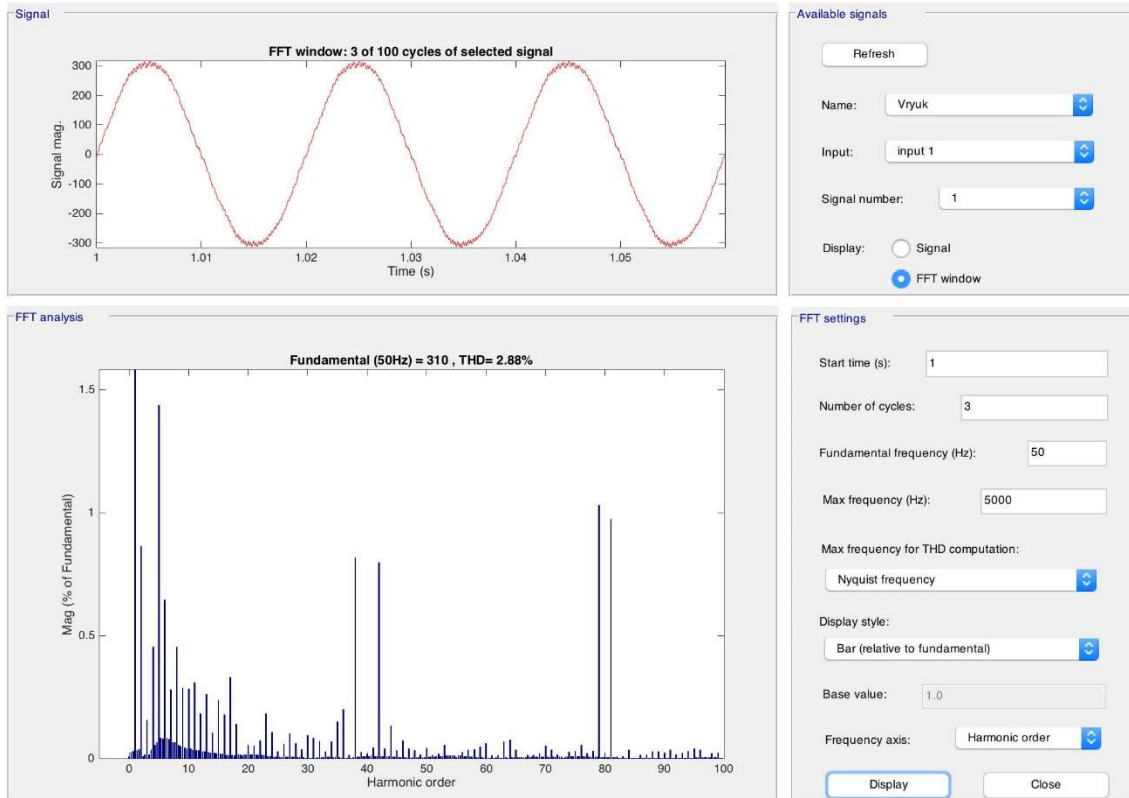
Şekil 7. 33. Kesir dereceli PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması



Şekil 7. 34. PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması



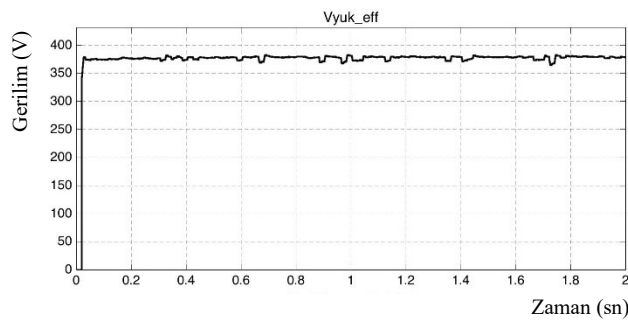
Şekil 7. 35. Kesir dereceli PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması

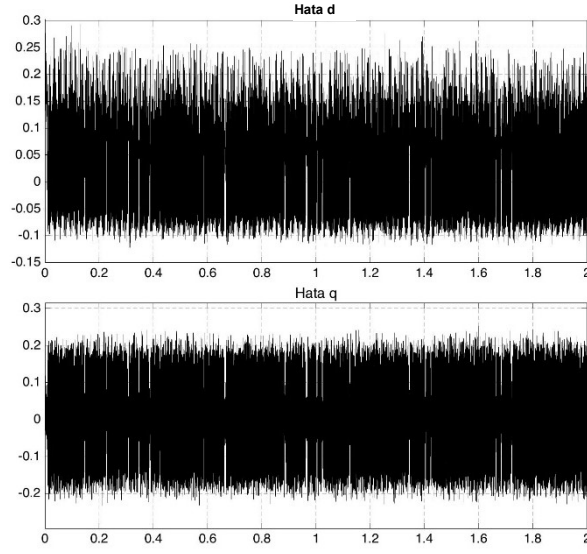


Şekil 7. 36. PID kontrolörün ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması

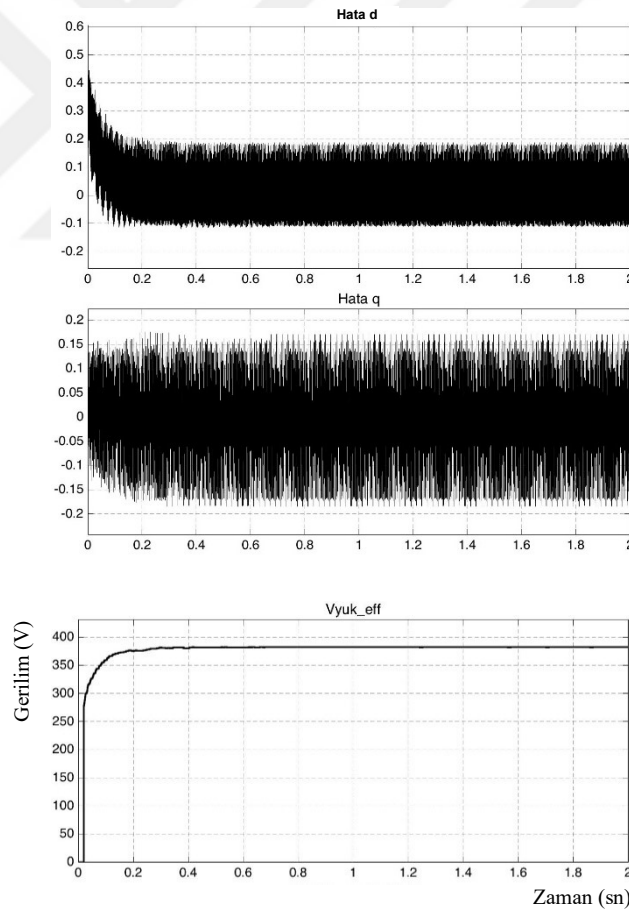
7.5. Kesir Dereceli PID ve Klasik PID Kontrolörün Tek Ayarlı Harmonik Filtre Bulunan Devreye Uygulanması

Kesir dereceli PID ile klasik PID nin tek ayarlı harmonik filtreleriyle yapılan çalışmasında yük gerilimindeki değişim incelendiğinde; kesir dereceli PID de $V_{yük}$ geriliminin çok kısa sürede 380V seviyesine oturduğu yalnız gerilimde çok fazla dalgalanma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Klasik PID ile yapılan deneyde ise 380V gerilimi 0,2 sn gecikmeli ulaşmış devamında dalgalanma nispeten azdır. Buna bağlı olarak d-q eksen takımı akım dalgalanması klasik PID de Kesir dereceli PID ye göre daha azdır. Ayrıca sistemin yük akımları ve gerilimleri çıkış grafiğinde kesir dereceli PID kontrolörün bulunduğu devrede ve klasik PID nin bulunduğu devrede harmonikler daha fazla olup standardın üzerinde olmaktadır. Ayrıntılı FFT analizi yapıldığında klasik PID nin THD oranının %9,54 oranında olup, kesir dereceli PID kontrolörde bu değer %12,41 ile standardın oldukça üzerindedir. Bu veriler yük üzerindeki gerilimden alınan sonuçlardır. Akım üzerinden bu değerlere bakıldığında Kesir dereceli PID kontrolörde THD %11,77 iken standardın üzerinde bir değer verirken, klasik PID de THD %9,05 ile standart değerlerin üzerindedir. Her iki kontrolörde de THD değerleri standardın oldukça üzerinde olup harmonikli bir gerilim üretmektedir. Devrenin modülasyon indeksi 0,6 civarında olup devre sürekli enerji üretmektedir. Yukarıda yazılan verilere ilişkin grafikler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

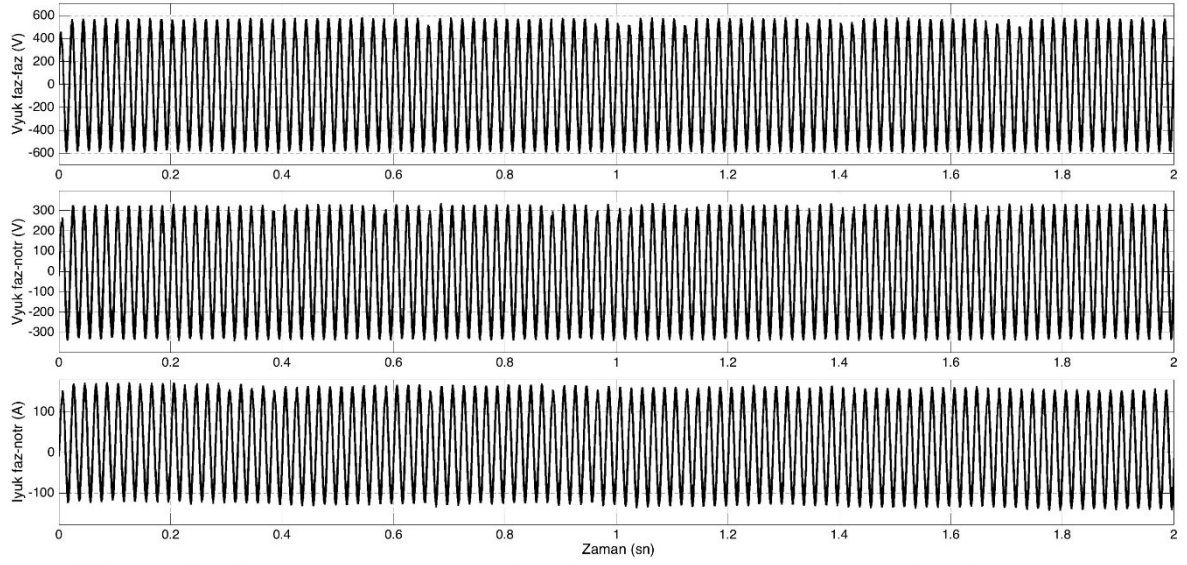




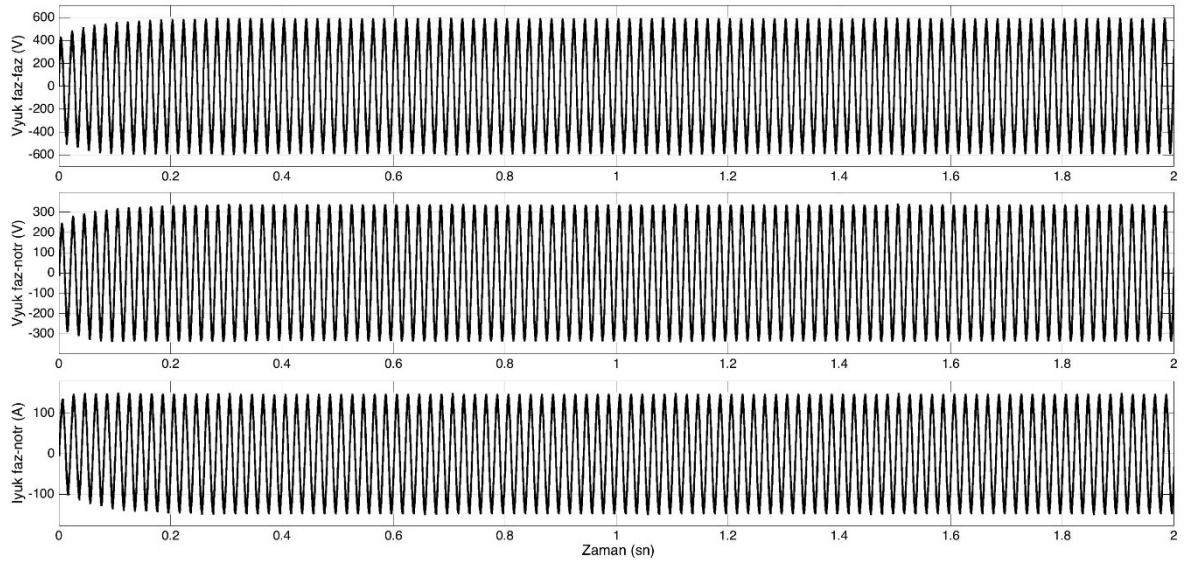
Şekil 7. 37. Kesir dereceli PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği



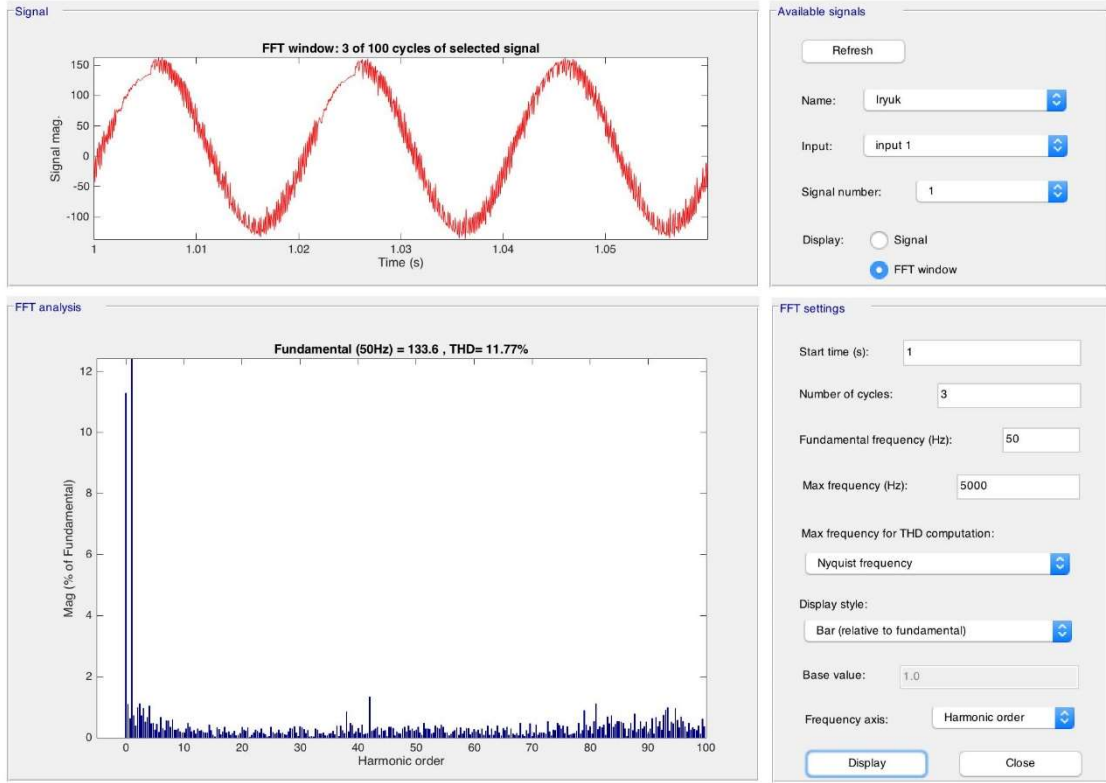
Şekil 7. 38. PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede çıkış yükü ve d-q eksen grafiği



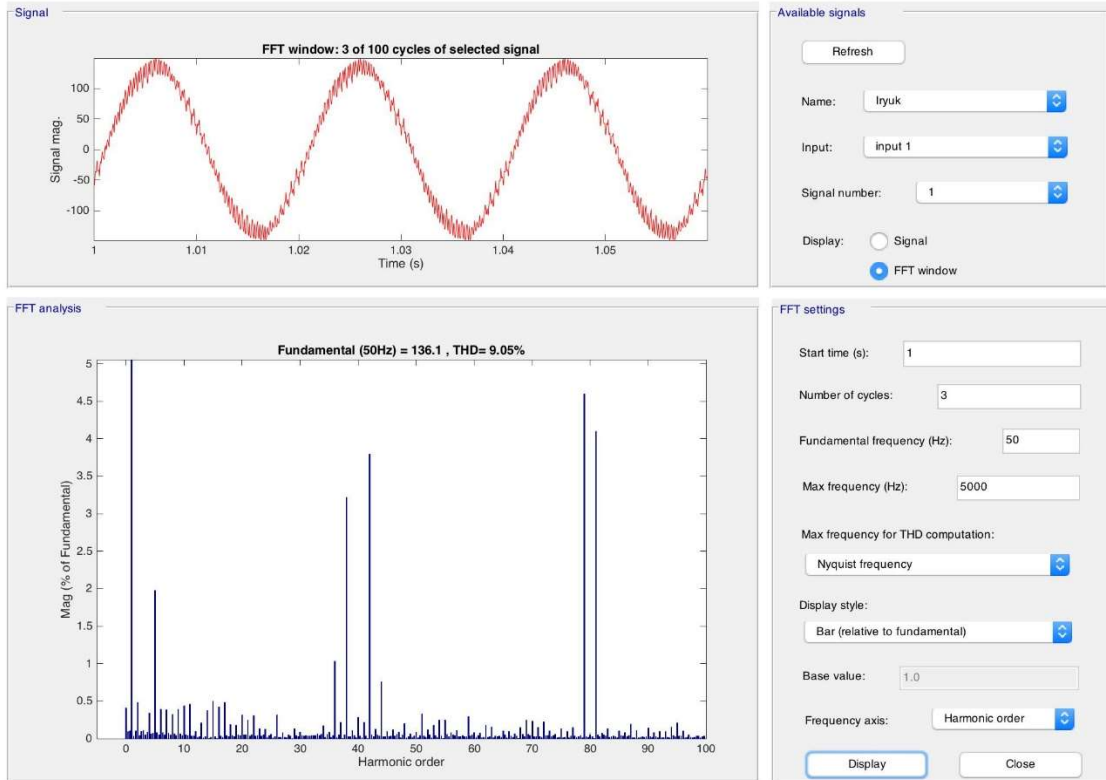
Şekil 7. 39. Kesir dereceli PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği



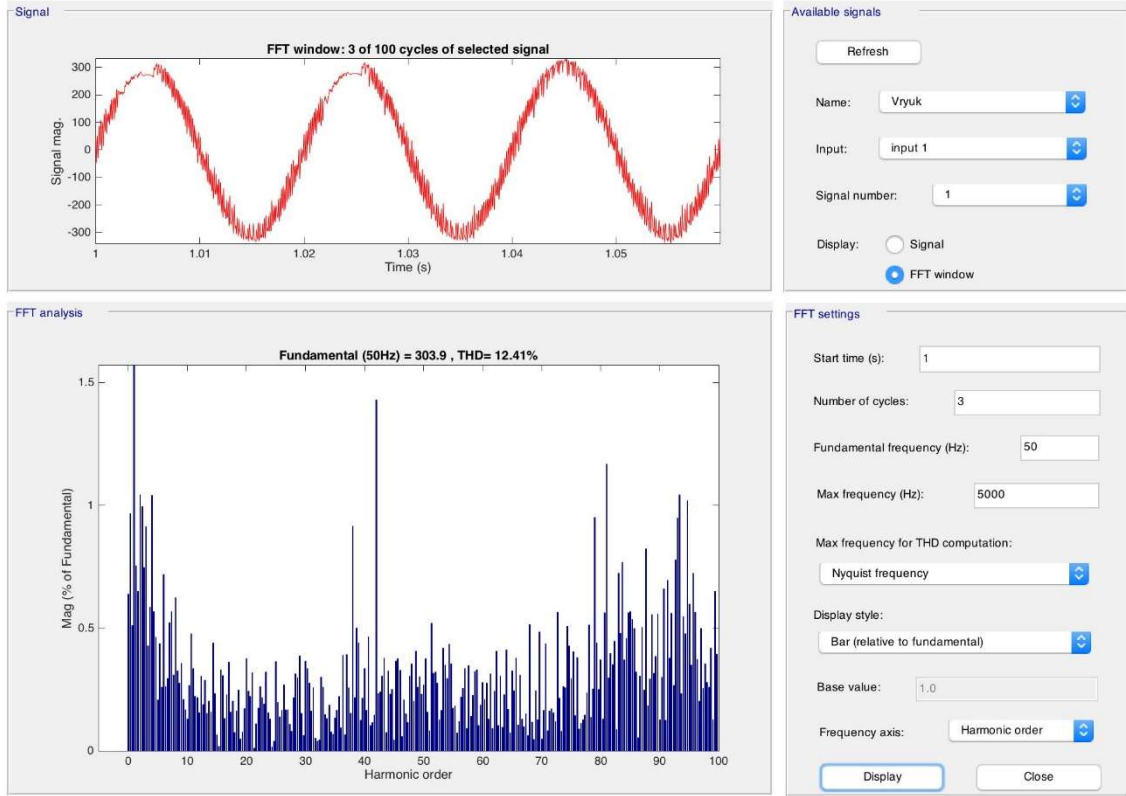
Şekil 7. 40. PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımı ve geriliminin zamana bağlı grafiği



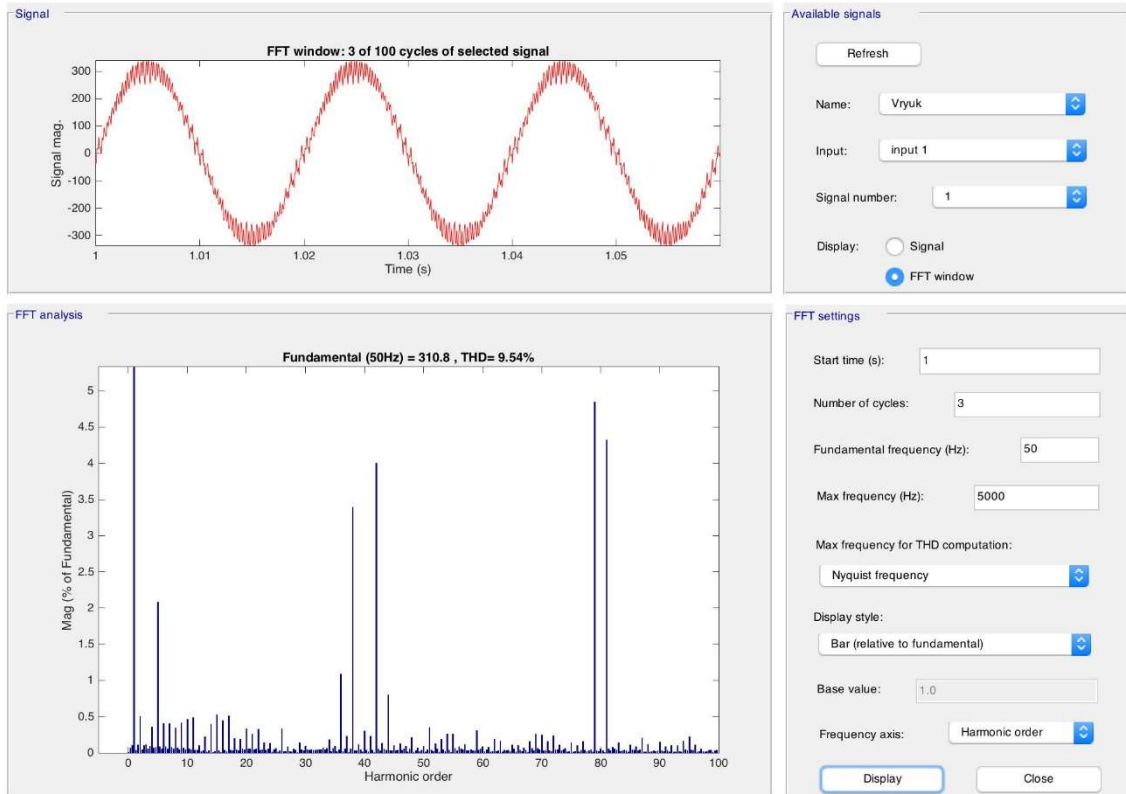
Şekil 7. 41. Kesir dereceli PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması



Şekil 7. 42. PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük akımının Toplam Harmonik Bozulması



Şekil 7. 43. Kesir dereceli PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması



Şekil 7. 44. PID kontrolörün ve tek ayarlı harmonik filtrenin bulunduğu devrede yük geriliminin Toplam Harmonik Bozulması

Tablo 7. 2. Filtreler ve denetleyiciler devrede iken FFT analiz sonuçları

Denetleyici ve Filtre Türleri	$V_{\text{yük-efektif}}$ (V)	$V_{\text{yük}}$ faz-faz (V) En düşük-En yüksek gerilim	$I_{\text{r yük}}$ için THD değeri (%)	$V_{\text{r yük}}$ için THD değeri (%)
Kesir Dereceli PID LC Filtre	383,6	540-545	20,46	21,53
PID Denetleyici LC filtre	379	550-560	3,91	4,12
Kesir Dereceli PID C Tipi Yüksek Geçiren Harmonik Filtre	378,5	540-550	2,28	2,41
PID Denetleyici C Tipi Yüksek Geçiren Harmonik Filtre	380,7	560-564	2,78	2,92
Kesir Dereceli PID Çift Ayarlı Hrm. Filtre	382,3	540-580	12,04	12,69
PID Denetleyici Çift Ayarlı Hrm. Filtre	382,4	590-595	9,83	10,36
Kesir Dereceli PID Yüksek Geçiren Harmonik Filtre	380	540-547	2,17	2,28
PID Denetleyici Yüksek Geçiren Harmonik Filtre	380,9	550-565	2,74	2,88
Kesir Dereceli PID Tek Ayarlı Hrm. Filtre	379	540-580	11,77	12,41
PID Denetleyici Tek Ayarlı Hrm. Filtre	382,6	590-595	9,05	9,54

BÖLÜM 8: TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektrik enerjisinin üretimi iletimi ve dağıtımında karşılaşılan başlıca problemler harmoniklerdir. Harmoniklere bağlı olarak artan kayıplar sistemin yapısına zarar vermekle birlikte hattın güvenliğini de tehlikeye sokmaktadır. Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin harmonik seviyesi azaltılmıştır. Kullanılan kontrolörler ile sistemin çıkışı incelenmiştir. Harmonik seviyesini düşürmek için bir adet LC filtre ve dört adet harmonik filtre olmak üzere toplam 5 adet filtre devreye uygulanmış olup bu filtreler arasında en iyi sonuç veren filtre bulunmaya çalışılmıştır. Ayrıca eviriciye bağlanan kesir dereceli PID kontrolör ve klasik PID denetleyiciler ile yük üzerinden alınan gerilimin oturma zamanı ve gerilimin sürekliliği kontrol edilmiştir. Tablo 7.2. de her bir filtrenin THD değeri, sinüs dalga şekli, oturma zamanı belirtilmiştir. Bu değerler karşılaştırılarak en ideal filtre ve kontrolör devre elemanları belirlenecektir. Bu grafik değerleri değerlendirilirken tüm filtre ve kontrolör değerleri eşit alınmış kıyaslama bu şekilde yapılmıştır.

Tablo 7.2. deki verilerden de görüldüğü üzere Kesir dereceli PID kontrolör ile yapılan ve yüksek geçiren harmonik filtrenin bulunduğu devrede gerilim 0,05sn gibi kısa bir sürede 380V gerilim değerine ulaşmakta olduğu Şekil 7.29 da görülmekte ve hata değerleri 0,04 civarında olmaktadır. $V_{yük}$ değerinin dalgalanma değerlerine bakıldığında en düşük tepe değeri 540V, en yüksek tepe değeri 547V olmaktadır. Tezin ana temasını oluşturan harmonik analizi incelendiğinde FFT analiz sonuçlarına göre en düşük THD değeri %2,17 ile yüksek geçiren harmonik filtre ile gerçekleştirilmiştir. Bu sonuç çıkış akımı üzerinden değerlendirilmiştir. Çıkış gerilimi üzerinden yapılan FFT analizinde THD değeri %2,28 ile yine en düşük seviyededir. Harmonik standardının %3 sınır değeri olduğu yerde %2,28 değeri oldukça düşük ve standardın altında bulunmaktadır. Bu filtre ile beraber klasik PID denetleyici konulması durumunda yapılan çalışmada çıkış akımı için THD %2,74, çıkış gerilimi için %2,88 dir. Bu sonuçlar standart değerlerin altında bulunmaktadır. Yalnız en iyi sonuç kesir dereceli PID denetleyicide elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Wen, P., Yushou, Q., Zhou, E. (1994). Power Harmonics Measurement Based on Windows and Interpolated FFT (I) Study of Windows [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 1.
- [2] Lin, H. C., Lee, C. S. 2001. Enhanced FFT-based parametric algorithm for simultaneous multiple harmonics analysis. IEE proceedings-Generation, Transmission and Distribution, 148(3), 209-214,.
- [3] Li, J., Yan, H., Tang, G., Jiang, P., Bo, B. 2004. Simulation study of the series active power filter based on nonlinear immune control theory. In Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies. Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on (Vol. 2, pp. 758-762). IEEE,
- [4] Zhan, Y., Ding, Y. F., Cheng, H. Z., Zeng, D. J. 2004. A robust support vector algorithm for harmonics analysis of electric power system [J]. Proceedings of the Csee, 12(009),
- [5] Huang, C., Jiang, Y. Q. 2005. Improved window and interpolation algorithm for analysis of power system harmonics. In Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao(Proc. Chin. Soc. Electr. Eng.) (Vol. 25, No. 15, pp. 26-32).
- [6] Ganyun, D. Y. C. H. L., Rong, Z. Y. S. Y. L. 2005. Spectrum Estimation of Harmonics and Interharmonics Based on Prony Algorithm [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 10, 018.

- [7] Qian, H., Zhao, R., Chen, T. 2007. Interharmonics analysis based on interpolating windowed FFT algorithm. IEEE Transactions on Power Delivery, 22(2), 1064-1069,
- [8] Wang, G., Dong-yang X., Wei-ming M., 2008. "Improved algorithm for non-integer harmonics analysis based on FFT algorithm and neural network. "Proceedings-Chinese Society Of Electrical Engineering 28.4: 102.
- [9] Karuppanan, P., Mahapatra, K. K. 2010. Shunt Active Power Line Conditioners for compensating harmonics and reactive power. In Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2010 9th International Conference on (pp. 277-280). IEEE,
- [10] JIANG, C. F., LIU, M. 2010. Inter-harmonics analysis based on double interpolation FFT algorithm [J]. Power System Protection and Control, 3.
- [11] Sharaf, A. M., Abdelsalam, A. A. 2011. A novel facts based dynamic voltage compensation scheme for smart electric grid stabilization and efficient utilization. In Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2011 24th Canadian Conference, 42-47.
- [12] Tomak, Ö., Mengi, O. Ö. 2017. K-Nearest Neighbor Classification of Harmonics Using Akaike Information Criterion. Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 1 – 8.
- [13] Abdelsalam, A. A., Abdelaziz, A. Y., Gabbar, H. A., & Gamaa, S. N. 2017. Distribution System Performance Enhancement Using Power Filter/Compensator Device, 5th IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering.
- [14] UYAREL A. Yücel, ÖZ Etem Sait, 1987. Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsen Yayınevi,

- [15] YILDIRIM B., AKKOYUNLU T., SEZER A., 1995. Bir Binanın Güneş Pili Destekli Güneş Kollektörleriyle Isıtılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Lisans Tezi Isparta,
- [16] ÇİTİROĞLU A., Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, Makale, Mühendis ve Makine, Cilt: 41, Sayı: 485.
- [17] GÜNKAYA E., 2001. Güneş Enerjisinden Yararlanarak Elektrik Üretimi, S.D.Ü., Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [18] Quasching, V., Understanding Renewable Energy Systems, Earthscan Company, England, 2005.
- [19] Kouta, J., El-Ali, A., Moubayed, N. and Outbib, R., 2008. Improving the incremental conductance control method of a solar energy conversion system, The International Conference on Renewable Energies and Power Quality.
- [20] Luo, F., Xu, P., Kang, Y., Duan, S., A 2007. Variable Step Maximum Power Point Tracking Method Using Differential Equation Solution, 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2259-2263.
- [21] Altaş, I. H., Sharaf, A. M., 1992. A Fuzzy Logic Power Tracking Controller for A Photovoltaic Energy Conversion Scheme, Electric Power Systems Research Journal, 25, 3: 227-238.
- [22] Altas, I.H., Sharaf, A. M., 2008. Novel Maximum Power Fuzzy Logic Controller for Photovoltaic Solar Energy Systems, Renewable Energy, 33: 388–399.
- [23] Altas, I. H., Sharaf, A. M., 2007. A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment, International Conference on Clean Electrical Power-Renewable Energy Resources Impact, 341-345.

- [24] Altaş, İ. H., 1998. Fotovoltaik Güneş Pilleri: Eşdeğer Devre Modelleri ve Güneş ışığı ile Sıcaklığın Etkileri, Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e Dergisi, 46: 86-91.
- [25] Mengi, O. Ö., Altaş, İ. H., 2007. Fotovoltaik Güneş Pilleri için Genel Amaçlı Bir Matlab/Simulink GUI Modeli, Genç Araştırmacılar Ulusal Mühendislik ve Eğitim Sempozyumu, Kocaeli Üniversitesi, 216-219.
- [26] IEEE 1159, 1998. Guide for Recorder and Data Acquisition Requirements for Characterization of Power Quality Events, IEEE Standards Department, New Jersey.
- [27] Dugan R. C., McGranaghan M. F. and Beaty H. W., 1996. Electrical Power Systems Quality, McGraw-Hill Companies, USA
- [28] Arillaga J., Bradley D. A. and Bodger P. S. 1985. Power System Harmonics, John Wiley & Sons Ltd., Norwich.
- [29] IEEE 519, 1992. Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, IEEE Standards Department, New Jersey.
- [30] Ferrero, A. and Superti-Furga, G., 1990. A New Approach to the Definition of Power Components in Three Phase Systems Under Nonsinusoidal Conditions, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 40, No. 3, 568-577.
- [31] Emanuel, A.E. 1990. Powers In Nonsinusoidal Situations A Review of Definitions and Physical Meaning, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 3, July, 1377-1389.
- [32] Kocatepe, C . 2003. Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi.

- [33] Ay, S. 1996. “Alçak Gerilim Tesislerindeki Gerilim Harmonikleri Ve Filtre Tasarımı”, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı: 95.
- [34] Argın, M. 2000. Güç Sistem Harmonik Filtreleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [35] Kocatepe, C. 1994. Sinüsoidal Olmayan Yükleri İçeren Enerji Sistemlerinde Harmonik Yük Akışı Analizi ve Simülasyonu, , Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [36] Das, S. 2008. Functional fractional calculus for system identification and controls, Springer, Springer Berlin Heidelberg New York.
- [37] Oustaloup, A., Bansard, M. 1993. “First generation CRONE control,” International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2, pp. 130–135.
- [38] Monje, C., Chen, Y.Q., Vinagre, B.M., Xue, D. ve Feliu, V. 2010. Fractional order systems and controls: fundamentals and applications (advances in industrial control). London: Springer-Verlag.
- [39] Podlubny, I. 1999. “Fractional-order systems and $PI^{\lambda}D^{\mu}$ -controllers,” IEEE Transactions on Automatic Control, 44 (1), 208-214.
- [40] Tadros, Y., Salama, S. ve Höf, R. 1992. “Three level IGBT Inverter”. 23rd Ann. Power Electron. Specialists Conf.

ÖZGEÇMİŞ

Alparslan TÜFEKÇİ 1977 yılında Trabzon ili Maçka ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Trabzon'da tamamladı. 1994 yılında Trabzon Lisesi'nden mezun oldu. 1996 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü 2000 yılında bitirdi. 2014 yılında Giresun Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2002 yılında Giresun Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokuluna Öğretim Görevlisi olarak atandı ve halen bu görevini sürdürmektedir.