

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE D-STATKOM İLE GERİLİM
KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Fevzi ÇAKMAK
DANIŞMAN: Doç. Dr. Mehmet Emin MERAL

VAN-2018

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE D-STATKOM İLE GERİLİM
KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Fevzi ÇAKMAK

VAN-2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı' nda Doç. Dr. Mehmet Emin MERAL danışmanlığında, Fevzi ÇAKMAK tarafından sunulan "Dağıtım Şebekelerinde D-STATKOM ile Gerilim Kalitesinin İyileştirilmesi" isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 02.11.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç.Dr. Mehmet Emin MERAL

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Behçet KOCAMAN

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ali MAMİZADEH

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14./11/2018 tarih ve 2018/13-1 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza
Doç. Dr. Behçet KOCAMAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İmza

Fevzi ÇAKMAK

ÖZET

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE D-STATKOM İLE GERİLİM KALİTESİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

ÇAKMAK, Fevzi

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Emin MERAL

Kasım 2018, 151 sayfa

Bu tez çalışmasında, dağıtım şebekelerinde D-STATKOM ile gerilim kalitesinin iyileştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmış olup, D-STATKOM' un denetim algoritması için sabit parametrelili Oransal + İntegral (PI) ve Paralel Rezonans (PR) denetleyiciler kullanılmıştır. Her iki model performansları PSCAD/EMTDC benzetim programı karşılaştırılmıştır.

Elde edilen teorik ve benzetim çalışması sonuçlarına göre, şebekeye paralel olarak bağlanan D-STATKOM' un hem PI yöntemi, hem de PR yöntemi ile sistemde arıza veya herhangi bir başka sebeple oluşan kısa süreli gerilim düşümlerine (gerilim çukuru) çok kısa bir sürede tepki verdiği ve bara geriliminin anma değerlerine yakın değerlere çıkmasını sağladığı, böylece gerilim çökmesinden dolayı oluşacak aksamaları giderdiği ve PI ile PR denetleyici kullanan D-STATKOM' ların birbirine göre kısmi avantaj ve dezavantajları bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: D-STATKOM, Güç Kalitesi, Gerilim Çukuru, PI kontrol, PR kontrol.

ABSTRACT

IMPROVING VOLTAGE QUALITY WITH D-STATCOM IN DISTRIBUTION NETWORKS

ÇAKMAK, Fevzi

M. Sc. Thesis, Electrical-Electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Dr. Mehmet Emin MERAL

November 2018, 151 pages

In this thesis study, the improvement model of voltage quality with D-STATCOM was studied in distribution networks and the control algorithm of D-STATCOM was realized with constant parameter proportional + integral (PI) and proportional + resonance (PR) controllers. These systems was simulated with the PSCAD/EMTDC program.

According to theoretical results and simulation results obtained from the control method mentioned in this study, D-STATCOM responds to both the PI method and the PR method in a very short time with the failure of the voltage sag caused by any reason or error in the system and that the system has removed the faults due to the voltage sag. In addition, PI and PR controllers were compared according to different loads and conditions.

Keywords: D-STATCOM, Power Quality, Voltage Sag, PI control, PR control.



ÖN SÖZ

Dağıtım Şebekelerinde D-STATKOM İle Gerilim Kalitesinin İyileştirilmesi isimli bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans eğitimim süresince ve tez çalışmamın başından sonuna kadar ilgi ve desteğini esirgemeyen, emek veren, bu tez çalışmasında konu seçimi ve çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen kıymetli ve saygıdeğer danışman hocam Sayın Doç. Dr. M. Emin MERAL'e teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında benden bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen başta Arş. Gör. Doğan ÇELİK olmak üzere Van YYÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyeleri ile Öğretim Elemanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca manevi desteklerini benden esirgemeyen anneme, babama, eşim Serpil Hanım'a, kardeşlerime ve canlarım Zekiye ile Yusuf'a en içten şükranlarımı sunarım.

2018

Fevzi ÇAKMAK



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı	2
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1. Elektrik Güç Sistemlerinde Kalite	15
3.1.1.Elektrik güç sistemlerindeki sorunlar	15
3.1.2. Güç kalitesi ölçütleri ve standartları	17
3.1.3. Gerilim çukurunu oluşturan faktörler	18
3.1.3.1.Kısa devre hataları	18
3.1.3.2. Büyük yüklerin devreye girmesi	18
3.1.3.3. Dağıtım transformatörünün enerjilenmesi.....	19
3.2. D-STATKOM yapısı ve çalışma prensibi	20
3.2.1. D-STATKOM yapısı	22
3.2.1.1. DA hat kondansatör hesabı ve boyutu	23
3.2.1.2. İki seviyeli üç fazlı eviriciler	25
3.2.1.3. Eviricilerde gerilim kalitesi	26
3.2.1.4. Üç fazlı eviricilerin çalışması	27
3.2.1.5. Üç fazlı eviricilerin avantajları	29
3.2.1.6. Çıkış filtresi elemanları	29
3.2.1.7. Anahtarlama elemanı (IGBT).....	35
3.2.2. D-STATKOM'un temel çalışma prensibi	37
3.2.2.1. D-STATKOM fazör diyagramları	39

	Sayfa
3.2.2.2. D-STATKOM mod çalışması.....	40
3.3. Faz Açısı Denetim Yöntemi	42
3.3.1. Oransal İntegral (PI) Denetleyici.....	44
3.3.2. Oransal Rezonans (PR) Denetleyici	47
3.4. Tasarlanan sistem	50
4. BULGULAR	55
4.1. D-STATKOM Aşırı Akım Çeken Değişik Yüklerdeki Analizi	55
4.1.1. PI kontrollü D-STATKOM değişik yüklerdeki analizi	55
4.1.1.1. DA yüklü sistem	56
4.1.1.2. Omik yüklü sistem.....	58
4.1.1.3. Endüktif yüklü sistem.....	61
4.1.2. PR kontrollü D-STATKOM değişik yüklerdeki analizi.....	63
4.1.2.1. DA yüklü sistem	64
4.1.2.2. Omik yüklü sistem.....	66
4.1.2.3. Endüktif yüklü sistem.....	69
4.1.3. Yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması	72
4.2. D-STATKOM'un Yük Tarafından Yapılan Kısa Devre Analizi	74
4.2.1. PI kontrollü D-STATKOM yük tarafında yapılan üç faz kısa devre analizi	74
4.2.1.1. DA yüklü sistem	74
4.2.1.2. Omik yüklü sistem.....	77
4.2.1.3. Endüktif yüklü sistem.....	79
4.2.2. PR kontrollü D-STATKOM yük tarafında yapılan üç faz kısa devre analizi	82
4.2.2.1. DA yüklü sistem	82
4.2.2.2. Omik yüklü sistem.....	84
4.2.2.3. Endüktif yüklü sistem.....	87
4.2.3. Yük tarafından yapılan kısa devre analizi ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması	90
4.3. D-STATKOM'un kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü analizi.....	92
4.3.1. PI kontrollü D-STATKOM'un kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü analizi	92

	Sayfa
4.3.1.1. DA yüklü sistem	93
4.3.1.2. Omik yüklü sistem.....	96
4.3.1.3. Endüktif yüklü sistem.....	98
4.3.2. PR kontrollü D-STATKOM'un kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü analizi	100
4.3.2.1. DA yüklü sistem	101
4.3.2.2. Omik yüklü sistem.....	103
4.3.2.3. Endüktif yüklü sistem.....	105
4.3.3. Kaynak tarafında yapılan gerilim düşümü ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması	108
4.4. D-STATKOM'un kaynak tarafında yapılan kısa devre analizi.....	110
4.4.1. PI kontrollü D-STATKOM kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre analizi	110
4.4.1.1. DA yüklü sistem	110
4.4.1.2. Omik yüklü sistem.....	113
4.4.1.3. Endüktif yüklü sistem.....	115
4.4.2. PR kontrollü D-STATKOM kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre analizi	117
4.4.2.1. DA yüklü sistem	117
4.4.2.2. Omik yüklü sistem.....	120
4.4.2.3. Endüktif yüklü sistem.....	122
4.4.3. Kaynak tarafında yapılan kısa devre analizi ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması	124
4.4.4. PI kontrollü D-STATKOM kaynak tarafında yapılan tek faz kısa devre analizi	126
4.4.4.1. DA yüklü sistem	127
4.4.4.2. Omik yüklü sistem.....	129
4.4.4.3. Endüktif yük	131
4.4.5. PR kontrollü D-STATKOM kaynak tarafında yapılan tek faz kısa devre analizi	133
4.4.5.1. DA yüklü sistem	133
4.4.5.2. Omik yüklü sistem.....	135

	Sayfa
4.4.5.3.Endüktif yüklü sistem.....	138
4.4.6. Kaynak tarafında yapılan tek kısa devre analizi ve yüklerle göre PI ve PR karşılaştırılması	140
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	143
KAYNAKLAR.....	147
ÖZGEÇMİŞ.....	151



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. 2001-2011 yılları arasında güç kalitesi problemlerine denetleyici uygulaması (Bukata ve Li 2011)	47
Çizelge 4.1. Yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması	74
Çizelge 4.2. Yük tarafından yapılan kısa devre uygulaması ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması.	92
Çizelge 4.3. Kaynak tarafında yapılan gerilim düşümü uygulaması ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması	110
Çizelge 4.4. Kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre hata uygulaması ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması	126
Çizelge 4.5. Kaynak tarafında yapılan tek faz kısa devre hata uygulaması ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması	142



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. a. Gerilim düşümü, b. Gerilim düşümü ölçümü.	16
Şekil 3.2. Ring bir dağıtım sisteminde gerilim düşmesini hesaplamak için gerilim bölücü modeli.	18
Şekil 3.3. İndüksiyon motorunun devreye alınma eşdeğer devresi.	19
Şekil 3.4. Tek fazlı transformatörün eşdeğer devresi.	20
Şekil 3.5. D-STATKOM'un genel prensip şeması.	21
Şekil 3.6. D-STATKOM' un V-I karakteristiği.	22
Şekil 3.7. İki seviyeli evirici şeması.	26
Şekil 3.8. Sinüzoidal referans sinyali ve taşıyıcı sinyal Pozitif anahtarlama sinyali Negatif anahtarla sinyali.	28
Şekil 3.9. Şebekeye bağlı eviricilerde kullanılan çıkış filtreleri.	30
Şekil 3.10. LC filtre devresi.	31
Şekil 3.11. D-STATKOM'lu sistemin filtreli tek faz eşdeğer devresi.	32
Şekil 3.12. Filtre kullanarak D-STATKOM'lu sistemin vektör diyagramı.	33
Şekil 3.13. IGBT a. Sembolü, b. Eşdeğer devresi, c. Basitleştirilmiş devre.	36
Şekil 3.14. IGBT çıkış ve geçiş karakteristikleri.	36
Şekil 3.15. Şebekeye paralel bağlı D-STATKOM' un tek-faz eşdeğer devresi.	37
Şekil 3.16. İdeal durum için D-STATKOM' un fazör diyagramı.	39
Şekil 3.17. Sürekli durumda D-STATKOM' un fazör diyagramı.	40
Şekil 3.18. Sürekli durumda endüktif mod çalışması.	40
Şekil 3.19. Sürekli durumda kapasitif mod çalışması.	40
Şekil 3.20. Faz aç denetimi ile gerilim kalitesini iyileştirmeye ilişkin blok şeması.	43
Şekil 3.21. Faz açısı denetimi ile gerilim kalitesini iyileştirmeye ilişkin PSCAD modeli.	43

Şekil	Sayfa
Şekil 3.22. PI kontrolör bağlantısı.	44
Şekil 3.23. PI iç bağlantısı.	44
Şekil 3. 24. PI denetleyici algoritması.	45
Şekil 3.25. PI denetleyici PSCAD modeli.	45
Şekil 3. 26. PR Denetleyicinin ideal blok şeması.	48
Şekil 3. 27. PR Denetleyicinin lineer olmayan blok şeması.	48
Şekil 3.28. Genelleştirilmiş bir integratör eşdeğer devre blok şeması.	49
Şekil 3.29. D-STATKOM için PR denetleyici PSCAD modeli.	49
Şekil 3.30. PR denetleyicinin içyapısı PSCAD modeli.	50
Şekil 3.31. Sisteme paralel bağlı D-STATKOM'un genel benzetim çalışmalarının blok şeması.	52
Şekil 3.32. Sisteme paralel bağlı D-STATKOM'un genel benzetim çalışmalarının PSCAD modeli.	53
Şekil 4. 1. PI Kontrollü D-STATKOM değişik yüklerdeki blok şeması.	56
Şekil 4. 2. D-STATKOM devrede değilken a. Üç Faz Hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.	57
Şekil 4.3. D-STATKOM devrede iken a. Üç Faz Hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.	58
Şekil 4.4. D-STATKOM devrede değilken a. Üç Faz Hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.	59
Şekil 4.5. D-STATKOM devrede iken omik yüklü sistemin a. Üç faz hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.	60
Şekil 4.6. D-STATKOM devrede değilken a. Üç faz hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.	61
Şekil 4.7. D-STATKOM devrede iken endüktif yüklü sistem a. Üç faz hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları d. Evirici akımları.	62
Şekil 4.8. PR kontrollü D-STATKOM blok şeması.	63

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken DA yüklü sistem a. Üç Faz Hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.	64
Şekil 4.10. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken DA yüklü sistem a. Üç Faz Hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.	66
Şekil 4.11. PR Kontrollü D-STATKOM devrede değil iken omik yüklü sistem a. Faz gerilimleri b. Faz gerilimleri pu değeri c. Faz akımları.	67
Şekil 4.12. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken omik yüklü sistem a. Faz gerilimleri b. Faz gerilimleri pu değeri c. Faz akımları.	68
Şekil 4.13. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken endüktif yüklü sistem a. Faz gerilimleri b. Faz gerilimleri pu değeri c. Faz akımları.	70
Şekil 4.14. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken endüktif yüklü sistem a. Faz gerilimleri b. Faz gerilimleri pu değeri c. Faz akımları d. Evirici akımları.	71
Şekil 4. 15. PI ve PR denetleyicilerin yüklere göre çıkış eğrileri.	73
Şekil 4. 16. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken DA yük ve üç faz kısa devre hatası a. Üç faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	75
Şekil 4. 17. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken DA yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri, b. Gerilimlerin pu değeri, c. Faz akımları.	76
Şekil 4.18. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken omik yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	77
Şekil 4.19. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken omik yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	78
Şekil 4.20. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken endüktif yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	80
Şekil 4.21. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken endüktif yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	81

Şekil	Sayfa
Şekil 4.22. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken DA yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	83
Şekil 4.23. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken DA yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	84
Şekil 4.24. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken omik yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	85
Şekil 4.25. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken omik yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	86
Şekil 4.26. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken endüktif yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	88
Şekil 4.27. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken endüktif yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	89
Şekil 4. 28. Yük tarafında yapılan üç faz kısa devre hatası ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması.	91
Şekil 4.29. Kaynak tarafında gerçekleşen %25 gerilim düşümü a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	93
Şekil 4.30. D-STATKOM devrede değilken kaynaktan gerilim düşümü ve DA yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	94
Şekil 4.31. D-STATKOM devrede iken kaynaktan gerilim düşümü ve DA yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	95
Şekil 4.32. D-STATKOM devrede değilken kaynaktan gerilim düşümü ve omik yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	96
Şekil 4.33. D-STATKOM devrede iken kaynaktan gerilim düşümü ve omik yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	97
Şekil 4.34. D-STATKOM devrede değilken kaynaktan gerilim düşümü ve endüktif yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	98

Şekil	Sayfa
Şekil 4.35. D-STATKOM devrede iken kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü ve endüktif yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	99
Şekil 4.36. Gerilim kaynağından %25 gerilim düşümü oluşturularak a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	100
Şekil 4. 37. D-STATKOM devrede değilken kaynaktan gerilim düşümü ve DA yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	101
Şekil 4. 38. D-STATKOM devrede iken kaynaktan gerilim düşümü ve DA yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	102
Şekil 4. 39. D-STATKOM devrede değilken kaynaktan gerilim düşümü ve omik yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	104
Şekil 4. 40. D-STATKOM devrede iken kaynaktan tarafında gerçekleşen gerilim düşümü ve omik yük a. Faz gerilimleri, b. Gerilimlerin pu değeri, c. Faz akımları.	105
Şekil 4.41. D-STATKOM devrede değilken kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü ve endüktif yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	106
Şekil 4.42. D-STATKOM devrede iken kaynaktan gerilim düşümü ve endüktif yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	107
Şekil 4. 43. Kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması.....	109
Şekil 4.44. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	111
Şekil 4.45. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	112
Şekil 4.46. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	113
Şekil 4.47. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	114
Şekil 4.48. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	116

Şekil	Sayfa
Şekil 4.49. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	117
Şekil 4.50. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	118
Şekil 4.51. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri, b. Gerilimlerin pu değeri, c. Faz akımları.....	119
Şekil 4.52. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	120
Şekil 4.53. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	121
Şekil 4.54. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	123
Şekil 4.55. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri, b. Gerilimlerin pu değeri, c. Faz akımları.....	124
Şekil 4.56. Kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre hatası ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması.....	125
Şekil 4.57. Tek faz kısa devre hatası ve DA yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	127
Şekil 4.58. Tek faz kısa devre hatası ve DA yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	128
Şekil 4.59. Tek faz kısa devre hatası ve omik yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	129
Şekil 4.60. Omik yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	130
Şekil 4.61. Tek faz kısa devre hatası ve endüktif yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	131
Şekil 4.62. Endüktif yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.....	132

Şekil	Sayfa
Şekil 4. 63. Tek faz kısa devre hatası ve DA yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	134
Şekil 4.64. Tek faz kısa devre hatası ve DA yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	135
Şekil 4.65. Tek faz kısa devre hatası ve omik yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	136
Şekil 4.66. Tek faz kısa devre hatası ve omik yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	137
Şekil 4.67. Tek faz kısa devre hatası ve endüktif yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	138
Şekil 4.68. Tek faz kısa devre hatası ve endüktif yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.	139
Şekil 4. 69. Kaynak tarafında yapılan tek faz kısa devre hatası ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması.	141

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
kV	Kilovolt
W	Watt
kW	kilowatt
MW	Megawatt
A	Akım
V	Volt
Ω	Ohm
H	Henry
L	Endüktans
C	Kapasitans
pu	per unit

Kısaltmalar**Açıklama**

D-STATKOM	Dağıtım şebekeleri için Statik Senkron Kompanzator
VSC	Gerilim Kaynaklı Evirici
THD	Toplam Harmonik Bozulması
PWM	Darbe genişlik modülasyonu
PI	Oransal integral
PR	Oransal rezonans
PFC	Güç Faktörü Düzeltme
ZVR	Sıfır Gerilim Regülasyonu
DA	Doğru akım
SPWM	Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu
ISPWM	Üretilmiş Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu
PCC	Ortak Bağlantı Noktası
AA	Alternatif akım
SVK	Statik Var Kompanzasyon
F	Şebeke Frekansı
Ma	Modülasyon İndeksi
PLL	Faz Kilitleme Döngüsü

1. GİRİŞ

Son yıllarda hassas yüklerin kullanımının artması ile elektrik güç kalitesi üzerine yapılan çalışmaların artmasına sebep olmuştur. Birkaç yıl öncesine kadar, tüketicilerin temel endişesi güç sisteminde elektriğin sürekliliği olarak tanımlanan kaynak güvenilirliği idi. Ancak günümüzde tüketiciler için elektrik kaynaklarının sadece sürekliliği değil aynı zamanda güç kalitesi de çok önemli olmaya başlamıştır (Bilgin, 2007).

Güç kalitesi problemlerine çok daha duyarlı olan güç sistemlerindeki cihazların olması güç kalitesinin önemini artırıyor. Verimlilik işlemler kesildiğinde, bu işlemlerin bir sonucu olarak durdurulur. Güç kalitesi problemleri, gerilim çukuru gibi bunu önlemek için ilk olarak tanımlanması gerekir. Sinyal analizindeki son gelişmeler çeşitli güç kalitesi problemlerini karakterize ve tanımlamak için yeni metotların gelişmesine yol açmıştır. Bugün en yaygın olan güç kalitesi problemlerinden biri gerilim çukurudur (Khan, 2001). Gerilim düşmeleri güç sistemlerinde yaşanan sorunların %80 inden daha fazla sebebidir. Gerilim düşümleri RMS gerilim büyüklüğünde azalma meydana geldiği kısa zamanlı bir olaydır (10ms 1 dk. Aralığı) (Khan, 2001). Kısa bir süre olmasına rağmen anma geriliminden küçük bir sapma maliyetin artmasına neden olabilir. Birçok durumda gerilim düşümlerinin etkisinden dolayı üretim süreci sona erer. Bozulma bir saniye içerisinde olabilir fakat yenileme süreci birkaç saat sürebilir. Birçok güç sistemi ekipmanları için gerilim düşmesinin etkisi bir kesintinin etkisi ile aynıdır. Kesinti sayısı ortalama yılda bir olan bir yerde gerilim çukurlarının sayısı yılda yaklaşık 80-90 dır. Yani, gerilim düşmeleri nedeniyle olan sonuçlar kesinti nedeniyle oluşarlardan daha önemlidir (Bollen, 1999).

Gerilim çukurları genellikle iki parametre ile belirlenir: büyüklüğü ve süresi (Yalçınkaya ve ark., 1998). Dağıtım şebekelerinde hassas yüklerin sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Sinüzoidal gerilim kullanılarak bu yüklerin en etkili performansı mümkündür.

Günümüzde dağıtım sistemlerine bağlı olan yüklerin çoğunlukla endüktif karakterde olması ve yarı iletken güç elemanlarının kullanımının yaygınlaşması sonucu

şebekeden farklı fazda ve doğrusal olmayan akımlar çekilmektedir. Bu nedenle, şebekede elektrik güç kalitesi sorunları ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında ideal bir güç sisteminde; güç dağıtım sisteminin farklı noktalarında frekans ve gerilimin sabit olması, harmonik bulunmaması, akım ve gerilimin yaklaşık aynı fazda olması beklenir. Özellikle bu parametrelerin şebekeye bağlanacak yüklerin karakteristiğinden ve büyüklüğünden bağımsız olması gerekmektedir (Rashid, 2001).

Şebekenin enerji kalitesini iyileştirmek için reaktif gücün denetimi oldukça önemlidir. Genel olarak reaktif güç kompanzasyonu; gerilim regülasyonu, yük dengeleme ve yük kompanzasyonu amaçları için yapılmaktadır (Çöteli, 2010).

Bu yüzden hata esnasında gerilimi düzeltmek ve bu hassas yükler için yüksek kaliteli gerilim sağlamak için bazı cihazlara (Custom Power) ihtiyaç vardır. Bunlarda biri olan ve şebekeye paralel bağlanan D-STATKOM (D-STATCOM), yüklerin gerilimini kompanze eden Gerilim Kaynaklı Evirici (VSC-Voltage Source Converter) olarak kullanılır.

1.1. Tezin Amacı

Bu tezde, D-STATKOM'un şebeke kaynağı ile yükler arasındaki bara bağlantı noktasına paralel bağlanarak gerilimi düzeltmesi için kullanılması hedeflenmiştir. Alçak gerilimde (0.4 kV) çeşitli yükler devreye alınarak ve gerilim çukurlarına sebep olan çeşitli arıza senaryoları için, PI veya PR denetleyici kullanan D-STATKOM' un sisteme katkısını incelemek üzere modelleme ve benzetim çalışması yapılmıştır.

a) Aşırı akım çeken yükten kaynaklanan gerilimi düşümü senaryosu:

Sistemde biri sabit yük diğeri ani devreye giren ve aşırı akım çeken yük olmak üzere iki tür yük tasarlanmıştır. Sistemde kullanılan ikinci yükler endüktif yük, omik yük ve kontrolsüz doğrultulmuş DA yüküdür. İkinci yüklerin devreye girmesiyle gerilim düşümü oluşmaktadır. Burada D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilim değişimleri incelenmiştir.

b) Hem aşırı akım çeken yük hem de üç faz kısa devre hatasından dolayı oluşan gerilim düşümü senaryosu:

İlk yük devrede iken nominal akım çektiğinden gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, ikinci yük (omik yük, endüktif yük ve doğrultulmuş DA yük) devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. İlk önce hem ikinci yük hem de üç faz kısa devre arıza hatası uygulanarak gerilim düşümü oluşmaktadır. Sonra sadece üç faz kısa devre hatası uygulanarak gerilim çukuru oluşmaktadır. Gerilim karşılaştırmaları için anlık yük noktasındaki RMS gerilim ölçümleri gerekmektedir. Burada D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilim değişimleri incelenmiştir.

c) Hem aşırı akım çeken yük hem de kaynak (şebeke) tarafında tek faz kısa devre hatasından dolayı oluşan gerilimi düşümü senaryosu:

Burada sabit yük devrede iken normal akım çektiğinden gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, ikinci yük (omik yük, endüktif yük ve doğrultulmuş DA yük) devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. Sabit yük devrede iken ilk önce hem aşırı akım çeken yük hem de tek faz kısa devre arıza hatası uygulanarak gerilim düşümü oluşmaktadır. Sonra sadece tek faz kısa devre hatası uygulanarak gerilim çukuru oluşmaktadır. Burada D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilim değişimlerini incelenmiştir.

d) Hem şebeke geriliminde oluşan gerilim düşümü hem de aşırı akım çeken yükten kaynaklı gerilim düşümü senaryosu:

Sistemde birinci yük sürekli devrededir. Kaynak tarafında oluşturulan %25' lik gerilim düşümü hatası hem de aşırı akım çeken ikinci yük devre iken gerilim düşümü oluşmaktadır. Sonra ikinci yük devreden çıkarak sadece %25' lik gerilim düşümü hatası uygulanmaktadır. Gerilim düşümü hatası D-STATKOM'dan önce uygulandığından D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilimi üzerinde etkisi incelenmiştir.

e) Hem aşırı akım çeken yük hem de şebeke tarafında üç faz kısa devre hatasından dolayı oluşan gerilimi düşümü senaryosu:

Burada sistemde birinci yük sürekli devrededir ve normal akım çektiğinden gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, ikinci yük (omik yük, endüktif yük ve doğrultulmuş DA yük) devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim

düşümüne neden olmaktadır. İlk önce hem ikinci yük hem de kaynak tarafında yani D-STATKOM'dan önce üç faz kısa devre arıza hatası uygulanarak gerilim düşümü oluşmaktadır. Sonra sadece üç faz kısa devre hatası uygulanarak gerilim çökmesi oluşmaktadır. Burada D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

D-STATKOM Kontrol biriminde, üretilen referans gerilim ile ölçülen yük barası RMS gerilim değeri arasındaki fark PI ve PR denetleyiciye giriş sinyali olarak girer. PI (Oransal İntegral) ve PR (Oransal Rezonans) bu farkı açısal değere dönüştürür. Şebekeye bağlı olan üç fazlı gerilim kaynaklı evirici anahtarlama elemanları için sinüzoidal PWM kullanılmıştır. İki seviyeli gerilim kaynaklı evirici yükteki anlık gerilim desteği sağlamak için bir şalter ile şebeke tarafına bağlanmıştır. İki denetleyicinin (PI ve PR) gerilim yükseltme oranları ve sistemde oluşan arızaya tepki verme süreleri karşılaştırılmıştır. Tez çalışmasındaki D-STATKOM (üç fazlı gerilim kaynaklı evirici, PI ve PR denetleyici, yükler) ve arabirim devresi (filtre) modellemesi ve benzetimi için PSCAD/EMTDC yazılım paketi kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Zakaria ve ark. (2008), elektrik şebekesine bağlanmış D-STATKOM'un geçici durum çalışmalarını PSCAD/EMTDC programı kullanılarak analiz ve modellemesini hedeflenmiştir. D-STATKOM' un 0,8-1 sn. aralığında sisteme bağlı ve bağlı değilken benzetimi yapılmıştır. D-STATKOM yük noktasında gerilim regülasyonu ve reaktif güç kompanzasyonu yaptığı tespit etmişlerdir. D-STATKOM yük artışı zaman oluşan gerilim çökmelerini hafiflettiğini ve güç faktörünü düzelttiğini ve ayrıca akım harmoniklerini elemine ettiğini incelemişlerdir. D-STATKOM benzetim çalışmasında; bir sistemin performansını tahmin etme, potansiyel sorunları tanımlama, olası problemlerin çözümleri üzerine çalışılmıştır.

Arya ve Singh (2012), üç fazlı D-STATKOM ve kontrol algoritmasının tasarımı üzerinde çalışılmıştır. Lineer/doğrusal olmayan yükler altında güç kalitesi iyileştirme için korelasyon ve çapraz korelasyon fonksiyonu yaklaşımına dayalı dağıtım sistemi incelenmiştir. Buna göre, temel çıkarım yük akımlarının aktif ve reaktif güç bileşenlerinin zaman domaininde korelasyon ve çapraz korelasyon fonksiyonları uygulanarak, temel aktif ve reaktif güç tahmini yapılmıştır. D-STATKOM doğrusal ve doğrusal olmayan yükler altında modellenmiş ve performansı MATLAB programı kullanılarak simüle edilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre kontrol algoritmasının performansı ve bozuk yük akımlarının altında kontrol sinyallerinin doğru çıkarımı gösterilmiştir. PFC (Güç faktörü düzeltimi) ve ZVR (Sıfır gerilim regülasyonu) modlarında lineer ve lineer olmayan değişken yüklerde D-STATKOM'un performansı sunulmuştur.

Mokhtari ve ark. (2014) çalışmasında, D-STATKOM özellikle kritik çalışma koşullarında ve beklenilmeyen kısa devrelerde enerji sistemlerinin istikrarı (stabilizesini) geliştirilebilir olduğunu incelemiştir. Dağıtım şebekelerindeki D-STATKOM'un etkinliğini artırmak için bulanık denetleyici, histerezis akım kontrolü ve adaptif bulanık denetleyici gibi diğer gelişmiş kontrolörlerin D-STATKOM ile kullanılabileceğini göstermişlerdir. D-STATKOM'un eşdeğer devresinin matematiksel denklemleri sunulmuştur.

Roy ve Singh (2012), dağıtım şebekelerinde gerilim çökmesi sorunlarının azaltılması için D- STATKOM' u incelemiştir. Bunun için 12-darbeli evirici içeren D-STATKOM benzetim modeli PSCAD/EMTDC benzetim programı kullanılarak dizayn edilmiştir. Simülasyon sonuçlarından, üç faz toprak kısa devre arızasının neden olduğu gerilim düşmelerinin azaltılmasında D-STATKOM' u çözümleyici bir yöntem olarak kullanmıştır.

Hatami ve ark. (2007), alçak gerilim dağıtım sistemlerinde, güç akışının güvenilirlik ve kalitesinin artırımını hedefleyen güç elektroniği tabanlı cihaz olan özel güç (Custom Power) kontrolcünün modellenmesi ve analizi sunulmuştur. Sadece gerilim ölçümlerinin gerektiği ve reaktif güç ölçümlerinin gerekmediği yeni bir PWM tabanlı kontrol devresi önerilmiştir. Benzetim ve analizler için PSCAD/EMTDC programı kullanılmıştır. Sistemdeki kontrol devresinin güvenilirliği ve sağlamlığı, sistem hataları veya yük değişimlerinden dolayı gerilim bozukluklarına cevabı benzetim sonuçlarında göre incelemiştir. Güç kompanzasyonu ve gerilim regülasyonu için D-STATKOM ve DVR'nin kapasitesi iki faktöre esas bağlı olduğu değinilmiştir. Bu faktörler DA depolama elemanı seçimi ve bağlantı transformatör karakteristik özellikleridir. Bu iki faktör DVR ve D-STATKOM için maksimum gerilim çökme değerini belirlenmesini sağladığı incelemiştir.

Varesi (2010), D-STATKOM ve DVR, PSCAD/EMTDC'de modellenmesi yapılmış ve gerilim regülasyonu ve reaktif güç kompanzasyonu için kullanılmıştır. İki farklı kontrol teknolojisi SPWM ve ISWM önerilmiş özel güç tüketici(Custom Power) cihazların kontrolü için kullanılmıştır. Analizi ve karşılaştırılması yapılan her iki teknolojinin benzetim sonuçları değerlendirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, ISPWM teknolojinin SPWM' ye göre yük gerilimi THD' nin daha azalmasına, sistemin güç kalitesinin daha çok düzeltilmesinde daha etkili olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, diyot ve GTO içeren iki seviyeli VSC, D-STATKOM'un konfigürasyonunda kullanılmıştır. VSC' nin çıkış geriliminin faz ve genliğinin uygun kontrolü, D-STATKOM ve şebeke arasında aktif ve reaktif güç transferini kontrol ettiğini göstermiştir. Akünün yanında yakıt hücreleri ve kondansatörler DA enerji depolama elemanı olarak diğer bir seçenek olduğunu tespit etmişlerdir. Simülasyon sonuçları

gerilim çukurlarını düzeltimi için her iki tekniğinde hemen hemen aynı sonuçları verdiğini göstermiştir. Fakat gerilim yükseltme durumunda, ISPWM, SPWM ‘ den sonra daha iyi tepki verdiğini, yük gerilimi harmoniklerinin azaltılması bakımından ISPWM, SPWM’ den daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Anaya-Lara ve Acha (2002), alçak gerilim dağıtım şebekelerinde, güç akışının güvenilirlik ve kalitesini artırmayı hedefleyen güç elektroniği tabanlı cihazın yeni modeli olan özel güç tüketim kontrolcüsünün modellenmesi ve analizini göstermişlerdir. PSCAD/EMTDC programı kullanılarak model uygulaması ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. PSCAD/EMTDC programının üç özel güç tüketim kontrolcülere olan D-STATKOM, DVR, SSTS elektromanyetik geçici çalışmaları için uygun olduğu gösterilmiştir.

Kumar ve ark. (2014), gerilim kaynağı dönüştürücü tabanlı, D-STATKOM gerekli reaktif güç emerek veya sağlayarak sistemindeki gerilim regülasyonu üzerinde çalışılmıştır. Sistem DQ dönüşümü içeren doğrudan ve dolaylı kontrolü gibi çeşitli kontrol stratejileri kullanılarak modellenmiştir. Kontrol stratejileri karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. MATLAB benzetim programı kullanılarak benzetim sonuçları elde edilmiş ve analizi yapılmıştır.

Khaleel ve Faraj (2014), D-STATKOM çalışmasında gerilim çökmelerini en aza indirmek için Sugeno Bulanık Kontrolör (SFC), Mamdani Bulanık Kontrolör (MFC) ve PI denetleyici kullanılması ile ilgili çalışılmıştır. D-STATKOM modellemesine, üç kontrol tekniklerini sırasıyla yani Sugeno Bulanık Denetleyici (SFC), Mamdani Bulanık Denetleyici (MFC) ve PI Denetleyici uygulaması ile yapılmıştır. Ayrıca, benzetim çalışması bulanık araç kutusu ile MATLAB programında uygulanmıştır. Sonuçlara göre Sugeno Bulanık Kontrolör (SFC) üç yöntem arasında en iyi performansı ortaya koyduğu görülmüştür. Dağıtım sistemindeki yüklerin dalgalanmalarına karşı hızlı bir şekilde cevap vermesinin sonucu olarak, D-STATKOM bağlantılı SFC ve MFC gerilim düşümlerini azalttığı gözlenmiştir.

Manikanta ve Chaitanya (2014), keskin olmayan (non stiff source) ile yeni bir D-STATKOM topolojisi önerilmiştir. Önerilen topoloji, gelişmiş akım kompanzasyonu yetenekleri ile arabirim filtresinin boyutunu ve VSI (voltage source inverter)’ nin

sınıflandırmasını azalttığını göstermiştir. D-STATKOM'un da hat gerilimini azaltmak (düşürmek) için bir seri kondansatör ile arabirim bobini kullanılır. Bundan dolayı VSC'nin sınıflandırılması DA bara gerilimi ile doğrusal orantılı olarak azaltım yapılır. Arabirim filtresinin boyutunu düşürmek için bir LCL filtre kullanılır. Bu çalışma da, bulanık mantık kontrol D-STATKOM DA bara gerilimini kontrol etmek için kullanılmış. Kontrol şeması anahtarlama sinyalleri üretimi için referans akımları ve Histerezis akım kontrol teorisinin üretimi için bulanık denetleyici, sınırlayıcı ve üç fazlı simetrik bileşenden ibaret olduğunu göstermiştir. Referans akımlarının tepe değeri DA bara gerilimini kontrol ederek tahmin edilmiştir. Gerçek kondansatör gerilimi bir referans gerilimi ile karşılaştırılarak elde edilen hata sinyali bulanık denetleyici aracılığıyla işlenmiştir.

Gupta ve Sharma (2011), kendinden ayarlı bulanık küme teorisi temelli PI denetleyicinin tasarımı D-STATKOM için yapılmıştır. Etkileri güç sistemlerinde test edilmiştir. Modelleme ve bulanık mantık denetleyici detaylı tasarımı ile D-STATKOM için denetleyici blok şeması sunulmuştur. Önerilen bulanık mantık teorisi ile D-STATKOM performansı incelenmiş ve doğrusal ve doğrusal olmayan yükler için harmonik kompanzasyonu için simüle edilmiştir. Sonuçlar, enterkonnekte sistemlerin dinamik davranışını arttırmak önerilen modelin yeteneği göstermiştir. MATLAB SIMULINK Simülasyon programı ile yürütülen ve sonuçları önerilen sistemin uygulanabilirliğini göstermiştir. SRF teorisi, dq senkron şekilde dönen akımların dönüşümüne dayanmaktadır.

Reddy ve Sreenivasulu (2014), reaktif güç ve harmoniklerin kompanzasyonu için güç sistemi (PS) içinde D-STATKOM olarak beş Seviye Kaskad H köprüsü (CHB) evirici bir araştırmasını sunulmuştur. CHB eviricinin avantajları, düşük harmonik bozulma, anahtarlar sayısı azaltılmış ve anahtarlama kayıpları azaltılması olduğu görülmüştür. D-STATKOM güç faktörünü düzeltmek ve Lineer Olmayan Diyot Doğrultucu Yük (NLDRL) çekilen toplam harmonik bozulma (THD) ortadan kaldırılmasına yardımcı olduğu gözlemlenmiştir. Bir CHB evirici 11 kV'luk dağıtım sisteminin şönt kompanzasyonu kabul edilmiş. LSPWM, PWM, PSPWM teknikleri CHB evirici performansını araştırmak için kullanılmıştır. Sonuçlar MATLAB/SIMULINK programı

ile elde edilmiştir. Bu yöntemde kompanze akımları doğrusal olmayan yükün ani aktif ve reaktif akımı bileşenleri ile elde ediliyor. Aynı şekilde, şebeke gerilimleri (a, b, c) ve mevcut akımlar i_j verilen (a, b, c) bileşenleri olarak, Clarke Dönüşüm Matrisi kullanılarak hesaplanmıştır. Tekli H köprü evirici için matematiksel modeli çok katlı h köprü olarak geliştirilmiştir. Lineer olmayan yükler altında kaynak gerilimi, yük gerilimi, kaynak akımı, yük akımı, güç faktörü benzetim sonuçları sunulmuştur.

Kora (2011), dengesiz ve doğrusal olmayan yükleri hızla bir şekilde kompanze eden D-STATKOM geçici tepkisini kontrol eden bir bulanık mantık denetleyicisi önermiştir. Yükteki herhangi bir değişiklik doğrudan DA bara gerilimini etkilediğini ve yükün ani çıkışı, referans değerinin üzerinde DA link geriliminin artmasına neden olacaktır. Oysa yükteki ani bir artış referans değerinin altında DA link gerilimi azaltacaktır. D-STATKOM doğru çalışması öngörülen sınırlar içinde DA link geriliminin değişimini gerektirir. Geleneksel olarak, bir oransal-integral (PI) denetleyici ve Fast-Acting denetleyici DA-bara gerilimini referans değerinde tutmak için kullanılır. Ancak, geleneksel PI DA-link gerilimi denetleyicisinin anlık tepkisi yavaş, FastActing DA bara geriliminin anlık tepkisi ortalama değerdedir. Bu çalışmada, bir DA-link kapasitör enerjisine dayalı bulanık mantık DA-link gerilimi denetleyicisi önerilmiştir.

Geddada ve ark. (2013), bir indüktör-kapasitör-indüktör (LCL) filtre ile iki seviyeli nötr bağlantıları ortak gerilim kaynağı dönüştürücü (VSC) için sinüs darbe genlik modülasyonuna (SPWM) dayalı anahtarlama kontrol stratejisine sahip bir D-STATKOM simülasyonu yapılmıştır. Gerilim ve kaynak akımlarındaki anahtarlama harmonik dalgalanmasını en aza indirmek için VSC ve ortak bağlantı noktası (PCC) arasındaki arabirim LCL filtresi kullanılmıştır. LCL filtresi tasarım detayları sunulmuş ve senkron referans teorisi, referans filtre akım üretimi için kullanılmıştır. D-STATKOM'un kontrolü için oransal integral (PI) ve sinüzoidal sinyal integrali (SSI) düzenleyici ile eşzamanlı referans çerçevesi (dq0) akım denetleyicisi ve LCL filtresi için aktif sönümlenme özelliği kullanılmıştır. Daha iyi anahtarlama ripple zayıflaması, arabirim LCL filtresi ile L filtreyle kıyaslanmıştır.

Esmaili ve Gharehpetian (2007), Ters Sinüs PWM (ISPWM) olarak adlandırılan yeni bir Darbe Genlik Modülasyon (PWM) tekniğinin uygulanması ele almıştır. Önerilen

anahtarlama tekniği, bir sinüzoidal referans sinyali ve ters sinüs taşıyıcı bir sinyal kullanılmıştır. SPWM tekniği, geleneksel Sinüzoidal PWM (SPWM) tekniğiyle karşılaştırılması yapılmış ve ISPWM tekniği daha düşük gerilimli Toplam Harmonik Bozulması (THD) üretmiştir. Önerilen anahtarlama tekniği, basit bir VSC, Dağıtım Statik Kompanzasyonu (D-STATKOM) ve Dinamik Gerilim Düzenleyici (DVR) üzerinde incelenmiştir. Simülasyon sonuçları, bu cihazların çıkış geriliminde daha düşük harmonik içeriğine sahip çok iyi gerilim regülasyonu yaptığını da göstermişlerdir.

Awasthi ve Huchche (2016), sistemdeki yüklerin çoğu endüktif olmaktan dolayı daha fazla reaktif güç tüketmekte ve sonuç olarak, yükün güç faktörü bozulur ve bu durum hattaki aktif güç akışını sınırlamaktadır. Reaktif güç dağıtım hattına enjekte eden gerilim kaynak dönüştürücüsüne dayanan bir D-STATKOM geliştirmeyi amaçlamışlardır. PI denetleyicisi kullanarak D-STATKOM' un uygulanması MATLAB / SİMULİNK' te gerçekleştirilmiştir. Alçak gerilimle çalışan özel güç aygıtı yani D-STATKOM hakkında ve reaktif gücün hattın içine enjekte edilmesiyle reaktif gücün kompanze edilmesiyle nasıl faydalı olduğu üzerinde çalışmışlar.

Masdi ve ark. (2004), dengesiz bir dağıtım sisteminde gerilim çökmesini önlemek için dağıtım statik kompanzator (D-STATKOM) tasarımı sunmuşlardır. D-STATKOM'un yaygın olarak kullanılan statik var kompanzatorünün (SVC) yerini alması amaçlanmıştır. D-STATKOM'un gerilim çökmesini azaltmasına ve aynı zamanda güç faktörünü düzeltmesine ve dolayısıyla bir yük dengeleyici olarak işlev görmesine olanak sağlamak için kullanılmıştır. D-STATKOM'un kompanze şeması simetrik bileşen yöntemi kullanılarak türetilmiştir. Burada IGBT ile 12 darbeli D-STATKOM konfigürasyonu tasarlanmış ve D-STATKOM'un grafik tabanlı modelleri PSCAD/EMTDC benzetim programı kullanılarak geliştirilmiştir. PI denetleyicisi DA kondansatörün reaktif güç akışını kontrol etmek için kullanılmıştır. Anahtarlama sinyalini, yani üçgen dalgaları ve referans sinyaller, yani sinüzoidal dalga üretmek için kontrolde faz kilitleme devresi (PLL) kullanılmıştır.

Ramanjaneyulu ve Varaprasad (2012), özel güç aygıtlarından biri olan D-STATKOM, yük gerilimini kontrol etmek için kullanılmıştır. D-STATKOM olmadan, normal bir denetleyici ile ve bulanık mantık tabanlı denetleyici ile yapılan D-

STATKOM'un DA hattaki gerilim çökmeleri karşılaştırılmıştır. Yük değişimleri esnasında kompanzasyona etki edebilen DA kapasitör geriliminde çeşitli değişiklikler olduğunu ve DA hattın geçici performansını geliştirmek için bulanık mantık tabanlı bir denetleyici tasarlanmıştır. D-STATKOM'da genellikle, yük dengelemesi için çeşitli kontrol algoritmaları kullanıldığında, DA kondansatör gerilimi bir PI denetleyicisi kullanılarak regüle edilmiştir. Bununla birlikte, yük değişimi sırasında, DA kapasitör geriliminde kompanzasyonu etkileyebilecek önemli değişiklikler vardır. Bu çalışmada, DA bağlantısının geçici performansını artırmak için bulanık mantık temelli bir denetleme yöntemi önerilmiştir. Bulanık mantık temelli bir denetçi ile PI denetleyicisinin oransal ve integral kazançlarını yük değişimi sonrası ani ve geçici bir süre boyunca değiştirilmiştir. Denetleyicinin performansında daha bir iyileşme elde edilmiştir. Böylece, benzetim çalışmaları yoluyla, yük dengelemesi için bir D-STATKOM'da DA link gerilim kontrolü için bulanık bir denetleyicinin uygulanması gösterilmiştir. Normal bir PI denetleyici ile kıyaslandığında yük değişimi esnasında DA hat kapasitör geriliminde hata oranında %50 bir azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Ahmed ve ark. (2007), dağıtılmış üretim sistemlerinde şebeke bağlantılı inverterler ile kullanılan LC filtrelerin tasarım prosedürlerini araştırmıştır. Dağıtık üretimde inverterlerin gittikçe artan kullanımı ile enjekte edilen harmonikler sorunu kritik hale gelir. Bu harmonikler, yok etmek için frekans çevirici ile şebeke arasında alçak geçiren filtrelerin bağlantısını gerektiği sunulmuştur. Tasarım, şebeke tarafına enjekte edilen akım harmoniklerinin seviyesini belirleyen harmonik standartlarına göre yapılmıştır. Maksimum endüktans ripple akımı için analitik ifadeler türetilmiştir. Rezonans etkilerini bastırmak için farklı pasif filtre sönümlenme teknikleri araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Filtre tasarımı, harmonik sınırlar için IEEE519 tarafından belirlenen standart seviyeye ulaşmayı temel alınmıştır. Birkaç pasif sönümlenme devresi konfigürasyonu düşünülmüştür. Farklı yöntemler ve Bode çizelgeleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Mahesh ve Sunil (2016), güç kalitesi alanındaki, belirgin sorunları tespit etmek ve bu nedenle gücün kalitesini artıracak önlemlerin alınması önerilmiştir. Dağıtım Statik Kompansatörü (D-STATKOM) kullanılarak gerilim düşmesi/yükselmesi, harmonik bozulma ve düşük güç faktörünün yükseltilmesi ile ilgilenilmiştir. Alçak gerilim dağıtım

şebekesinde güvenilirliğin ve güç akışının kalitesini artırmayı hedefleyen yeni nesil güç elektroniği tabanlı cihazların (D-STATKOM) performans analizi ve çalışma prensipleri ele alınmıştır. Model, Gerilim Kaynak Dönüştürücü (VSC) ilkesine dayanır. Kullanılan iki seviyeli VSC'deki elektronik valfleri kontrol etmek için PWM tabanlı kontrol şeması uygulanmıştır. D-STATKOM gerilim çökmelerini azaltmak için sisteme bir akım enjekte eder. Ardından harmonik bozulmayı ve düşük güç faktörünü iyileştirmek için LCL Pasif Filtresi D-STATKOM'a eklenmiştir.

Shukri ve ark. (2013), D-STATKOM'un çalışması ve kontrolü üzerinde çalışılmıştır. D-STATKOM cihazları kurulu iken ve olmadan güç sistemi şebekesinin performansını araştırılmıştır. 6 darbeli iki seviyeli bir gerilim kaynaklı evirici D-STATKOM'un benzetimi yapılmış ve tasarımı analiz edilmiştir. D-STATKOM, toprak arızasına ve üç faz hatasına bağlı gerilim çökmelerini bir zorluk çekmeden telafi edildiğini analiz etmişlerdir. Güç kalitesi sorununun tamamen ortadan kaldırılamayacağını; ancak, bu sorunun sonuçlarının olabildiğince en aza indirgenebileceğini sunmuşlardır.

Ramya ve Ganapathy (2016), beş seviyeli ve yedi seviyeli eviricili D-STATKOM sistemlerinin karşılaştırılmasını ele alınmıştır. Genellikle PV kaynağındaki DA çıkışı, tek bir yükseltici dönüştürücü kullanılarak yükseltilmiştir. Destek konvertörünün çıkışı, çok seviyeli inverter sistemine uygulanmıştır. Beş seviyeli ve yedi seviyeli D-STATKOM sistemlerinin performansı, THD ve son alıcı gerilimi açısından karşılaştırılmıştır. Yedi seviyeli sistemlerin azaltılmış THD ile %20 daha yüksek çıkış gerilimi ürettiğini gösterilmiştir. MLI (Multilevel Inverter) tabanlı D-STATKOM'un avantajları harmoniklerin ve ısınmanın azaldığını sonucuna varmışlardır. Azaltılmış anahtar sayısı ve dolayısıyla sistemin verimliliğini artıran beş seviye ve yedi seviyeli D-STATKOM için iki veri yol sistemi ile ilgilenilmiştir.

Özcan ve ark. (2015), doğrultucu ve evirici devrelerinin çıkışlarına uygulanan pasif filtre türlerinin etkileri incelenmiştir. Pasif devre elemanlarının belirlenmesinde Fourier seri açılımı kullanılmıştır. Doğrultucularda kullanılan alçak geçiren filtre ve eviricilerde kullanılan bant geçiren filtrelerin çeşitleri ve frekans cevapları verilmiştir. Bir fazlı tam dalga kontrolsüz doğrultucu devresi ve bir fazlı köprü tipi evirici devresinin

çıkışlarına bağlanan bazı pasif filtre türlerinin çıkış gerilim dalga şekline olan etkisi zaman domeninde incelenmiştir. Filtre yapıları karşılaştırılmış, istenen dalga şekillerinin elde edilmesi için hangi tür pasif filtre devresinin kullanılması gerektiği açıklanmıştır. Doğrultucunun çıkış geriliminin sabit (DA) olması amacıyla alçak geçiren filtre devresi, eviricinin çıkış geriliminin temel frekanslı sinüs şeklinde olması amacıyla bant geçiren devresi uygulamaları yapılmıştır. Özellikle doğrultucu devre uygulamalarında, kayıpsız LC filtrenin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Pattathurani ve ark. (2015), durum uzay modeli ve gerilim kontrollü D-STATKOM ile karşılaştırılmıştır. Dağıtım Statik kompansatörü (D-STATKOM) gibi özel güç cihazlarını kullanarak gerilim çökme problemlerinin çözümü gösterilmiştir. Gerilim kontrol modunda çalışan bir dağıtım statik kompansatörü (D-STATKOM) için referans gerilim üretmek için bir algoritma izlenmiştir. Nominal çalışma esnasında yük terminalinde birim güç faktörünün (UPF) elde edilmesini sağlanmıştır. Kompansatör daha düşük akımlar enjekte edecek ve gerilim kaynaklı eviricideki kayıpları azaltılmıştır. Yük değişimi esnasında yük terminalindeki gerilim regüle edilirken birim güç faktörü (UPF) aynı kaldığı tespit edilmiştir.

D-STATKOM'un durum uzay modeli, gerilim bozuklukları sırasında hızlı yük gerilimi düzenlemesi için önceden tahmin eden denetleyici ile birleştirilmiştir. Böylece D-STATKOM'un güç faktörü sorunlarını güç faktörü düzeltme, harmonik azaltımı, yük dengeleme ve gerilim regülasyonu sağlayarak yük gereksinimine göre ayarlamasına olanak tanıdığı tespit edilmiştir.

Alavudeen ve ark. (2016), statik senkron kompansatörün (STATKOM) dinamik modeli ve analizi incelenmiştir. STATKOM modellenmiş ve davranışlarını açıklayan matematik denklemleri tanıtılmıştır. Simülasyon sonuçları, modelin geçerliliğini kanıtlamaya çalışılmıştır. PI denetleyicisi gerilimi takip ederek STATKOM'u kontrol etmesi sağlanmıştır. STATKOM, PI denetleyicisi kullanılarak V_{DA} gerilimi ve reaktif akım bileşeni takip edilmiştir.

Nagendra ve ark. (2016), endüstriyel sistemlerde güç kalitesini artırma kabiliyetini incelemeyi amaçlayan bir Oto transformatör & PWM Tekniğinin Analizi ile ilgilenilmiştir. Gerilim düşmelerini ve yükselmelerinin azaltılması için DVR, D-

STATKOM, PWM SWITCHED AUTO TRANSFORMER gibi çeşitli özel güç aygıtlarının benzetimi, düşük gerilimler için PSCAD/EMTDC programında gerçekleştirildi. Model, anahtarlama için IGBT ve gerilim düzenleyicisi olarak oto transformatörü içerir ve sisteme seri ve paralel bağlanmıştır. Kompanzasyonun hızlı kontrol eylemi için önerilen kontrolör tasarımında geliştirilmiş bir sinüzoidal darbe genişliği modülasyon anahtarlama tekniği geliştirilmiştir. Analiz sonuçları gerilim çökme regülasyonu, titreşim azaltma, gerilim dengesizliği azaltma, KGK modu, güç akışı kontrolü ve harmonik giderme işlemlerini yapma yeteneklerini doğrulanmıştır. Bu aygıtın diğer özel güç aygıtlarıyla karşılaştırılması yapılmış ve ATAPWM'nin güç kalitesi azaltmada daha iyi bir performans sergilediğini göstermişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Elektrik Güç Sistemlerinde Kalite

Elektrik enerjisini üreten, ileten ve dağıtan kuruluşların görevi; sürekli, ucuz ve kaliteli bir enerji tüketicilerine sunmaları gerekir. Güç kalitesi anlaşılması gereken, sabit şebeke frekansında; sabit ve sinüzoidal şeklinde bir uç geriliminin olmasıdır.

Pratikte ise böyle bir enerji birtakım zorluklarla sağlanabilir. Şebekeye bağlanan bazı elemanlar ve bunların sebep olduğu olaylardan dolayı sinüzoidal gerilimde sapmalar olabilmektedir. Bu sapmalardan dolayı genellikle harmonikler oluşur.

Elektrik Enerjisinde kalite demek şebekeye yük bağlanan herhangi bir noktasında, gerilimin genlik ve frekansının anma değerlerini koruması ve gerilim dalga şeklinin sinüs şeklinde olmasıdır. Bunun tam tersi durumda ise enerji kalitesizliğini gösterir. Güç kalitesi genellikle yükler tarafından bozular. Doğrusal olmayan (non-linear) yükler şebekeden dengesiz akımlar çeker. Bu akımlar şebekede sinüs olmayan gerilim düşümleri oluşturarak besleme noktasındaki gerilimin dalga şeklini bozar.

3.1.1. Elektrik güç sistemlerindeki sorunlar

- **Kesinti (Outage):** En az bir yarım dalga boyu süresince gerilimin sıfır değerini almasıdır.

Nedeni şebeke arızalarıdır.

- **Gerilim Darbesi (Voltage impulse):** 50V ve 5kV genlikli, 0.5ms ile 2ms sürelidir. Nedeni, yük ve şebeke açma kapamaları, kontaklar arasındaki ark ve yıldırımdır.
- **Harmonik:** Gerilim ve akım dalga biçiminin ideal sinüsten uzaklaşmasıdır.

Nedeni güç elektroniği devreleri, elektro-mekanik makinelerde doyma ve ark ilkesiyle çalışan cihazlardır.

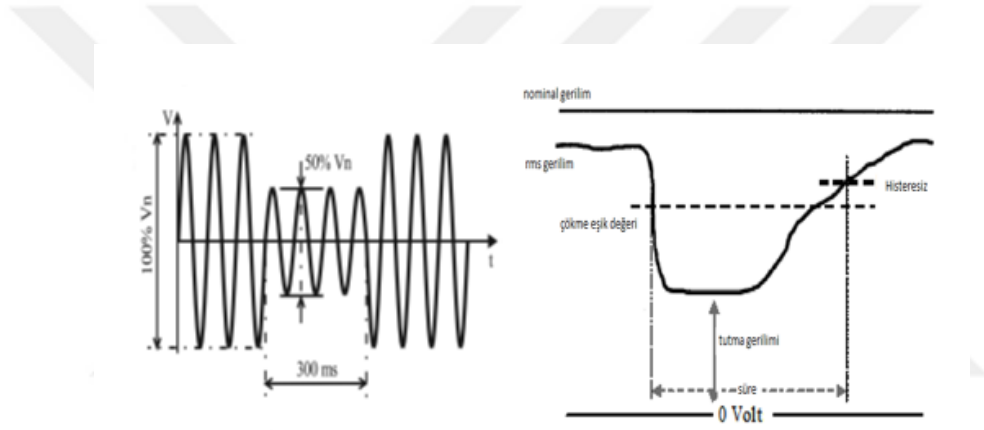
- **Çentik (Notches):** Şebeke geriliminin bir tam dalgasında doğrultucu darbe sayısını kadar tekrarlanan çökmelerdir.

Nedeni doğrultucuları besleyen trafo ve hat endüktansının anahtarlarının aktarımını geciktirmesidir.

- **Frekans Değişimi:** Frekansın anma değerinden sapmasıdır.

Nedeni elektrik şebekesi ve generatörlerin ayar düzeneklerinin yetersizliğidir.

- **Gerilim çukuru (Voltage Sag):** Şekil 3.1.a'da görüldüğü gibi gerilimin bir tam dalgadan daha uzun bir süre % 90'dan daha düşük bir değere düşmesidir. Nedeni şebeke yetersizliği, aşırı yüklenme, büyük motorların yol alması ve kısa devreleridir. Özel güç kalitesi izleme cihazları kullanılarak ölçülür. Gerilim düşümü ölçümü Şekil 3.1.b'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. a. Gerilim düşümü, b. Gerilim düşümü ölçümü.

- **Gerilim Yükselmesi (Voltage swell):** Gerilimin bir tam dalgadan daha uzun bir süre %110'dan daha büyük bir değere çıkmasıdır. Nedeni yük azalması ve şebekedeki ayar zayıflığıdır.
- **Fliker:** Gerilimin periyodik olarak 6-7 tam dalga süresince (8-9 Hz) azalması ve yükselmesidir. Nedeni ark fırını gibi dalgalı aşırı yüklerdir.
- **Elektromanyetik Girişim (EMI):** Genliği $100\mu\text{V}$ ile 100V , frekansı 10kHz ile 1GHz olan küçük enerjili bozucu bir dalgadır. Nedenleri; anahtarlamalı güç kaynakları, motor kontrol devreleri, telsiz yayınları ve güç hatları üzerinden yapılan haberleşmedir.

- **Doğru Gerilim Bileşeni:** Alternatif gerilimin, pozitif yarım dalga ve negatif yarım dalga alanlarının birbirine eşit olmamasıdır.
- **Elektriksel Gürültü (Noise):** Elektrik dalgası üzerinde geçici olarak yürüyen, hızlı geçici durumların sebep olduğu bir bozulma türüdür. Faz iletkeni, nötr iletkeni veya sinyal hatlarında ortaya çıkabilir (Anonim, 2009).

3.1.2. Güç kalitesi ölçütleri ve standartları

Uluslararası IEC 519-1992'ye göre standartlar içinde kabul edilen harmonik bozulma değerleri, Gerilim için %3, Akım için %5 olarak belirlenmiştir.

Elektrik Güç kalitesinin bozulması ile ilgili belli başlı standartlar aşağıda belirtilmiştir.

- EN 50006 “The Limitations of Disturbances in Electricity Supply Networks caused by Domestic and Similar Appliances Equipped with Electronic Devices” Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique, CENELEC.
- IEC Norm 555-2555-3, International Energy Commission.
- IEC 1000-3-2, 1995, (EN 6100-3-3) 1995 Alçak gerilimde gerilim dalgalanması ve fliker sınırlarını belirler.
- VDE 0838 Beyaz Eşya, VDE 0160 Çeviriciler, VDE 0712 Floresant.
- IEEE 519-1992 “Guide for Harmonics Control and Reactive Compensation of Static Power Converters”, ANSI/IEEE Std.519
- TS 9882: Ev tipi cihazlar ve benzeri elektrik donanımının elektrik besleme sistemlerinde yol açtığı bozulmalar. Bölüm 2: Harmonikler.
- EN 6100-3-2: Elektromanyetik uyumluluk (EMC) –Kısım 3. Sınırlar, Bölüm2: Harmonik akım emisyon sınırları (Faz başına 16 A'den küçük cihazlar).
- IEC 1000-3-4: Elektromanyetik uyumluluk (EMC) –Kısım 3. Sınırlar, Bölüm4: Harmonik akım emisyon sınırları (Faz başına 16 A'den büyük cihazlar).
- IEC 1000-2-2: Elektromanyetik uyumluluk (EMC) –Kısım 2. Düşük frekanslı iletken dağıtımları ve düşük gerilim sistemleri işaretleşmede uyumluluk seviyeleri (Anonim, 2009).

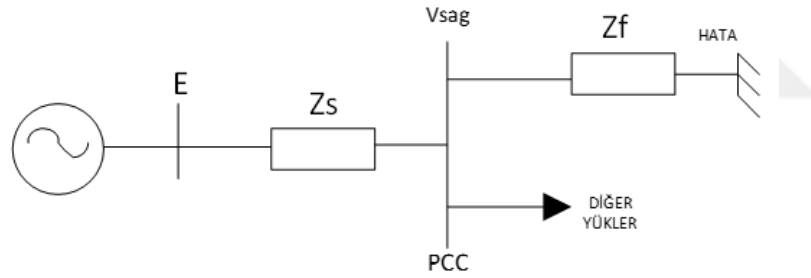
3.1.3. Gerilim çukurunu oluşturan faktörler

3.1.3.1. Kısa devre hataları

Simetrik ve simetrik olmayan kısa devreler arasında, üç fazlı kısa devre, gerilim sarkması üzerinde en çok etkiye sahiptir (Martinez ve Martin-Arnedo, 2006). Dağıtım sisteminin ring şebekelerinde gerilim çökmesinin miktarını belirlemek için, gerilim bölücü modeli Şekil 3.2'de gösterildiği gibi kullanılabilir.

Burada Z_S , ortak bağlantı noktasında (PCC) kaynak empedansı ve Z_F , PCC ile hata noktası arasındaki empedanstır. PCC'deki gerilim (Martinez ve Martin-Arnedo, 2006);

$$V_{sag} = \frac{Z_F}{Z_S + Z_F} E \quad (3.1)$$



Şekil 3.2. Ring bir dağıtım sisteminde gerilim düşmesini hesaplamak için gerilim bölücü modeli (Martinez ve Martin-Arnedo, 2006).

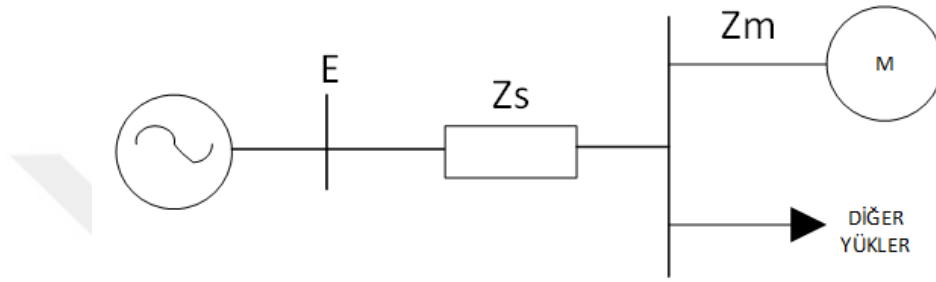
3.1.3.2. Büyük yüklerin devreye girmesi

Büyük yüklerin devreye girmesi, örneğin indüksiyon motoru devreye alma, gerilim çökmesini etkileyen bir diğer önemli faktördür. Bir indüksiyon motorunun çalıştırılması sırasında kalkış akımı, normal çalışmada akımın yaklaşık 5 ila 6 katı kadardır. İndüksiyon motorunun devreye alınması sırasında şematik diyagram Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

Şekilde Z_S , kaynak empedansı ve Z_M , devreye alma süresince motor empedansıdır.

Motora ve diğer yükleri besleyen bara da oluşan gerilim düşümü aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Bollen, 1999).

$$V_{sag} = \frac{Z_M}{Z_S + Z_M} E \quad (3.2)$$



Şekil 3.3. İndüksiyon motorunun devreye alınma eşdeğer devresi (Bollen, 1999).

3.1.3.3. Dağıtım transformatörünün enerjilenmesi

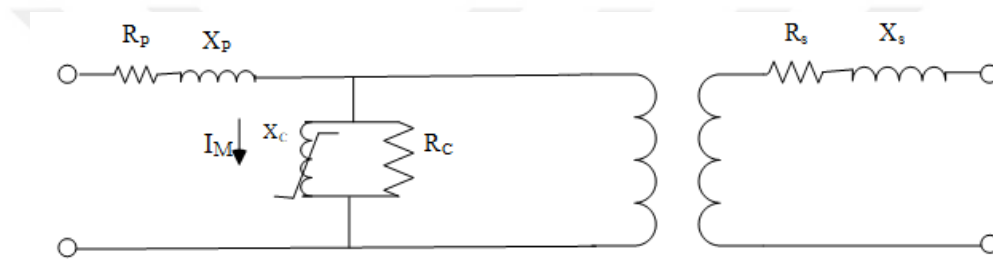
Transformatörlerin enerjisi kesildiğinde manyetik nüvenin karakteristiğinden dolayı nüve sargılarında enerji olmamasına rağmen biraz akı kalır. Buna artık akı denir. Transformatörün tekrar devreye alınmasında (enerjilendirilmesinde) nüve üzerindeki artık akıdan dolayı nüvesi doyuma giden transformatörün tekrar enerjilendirilen sargısı, şebekeden yüksek genlikli ve bol harmonik içeren bir transformatör enerjilendirme başlangıç akımı çeker. Bu akım öncelikle çok büyüktür ve bir süre sonra bozulur ve küçük mıknatıslanma akımına ulaşır. Başlangıç akımının maksimum değerini ve buna bağlı gerilim çökmesini hesaplamak için, tek bir transformatörün eşdeğeri Şekil 3.4'de gösterilmiştir (Nagpal ve ark., 2006). Enerjilendirme akımı maksimum değeri aşağıdaki akımı aşmamalıdır:

$$I_{inrush_{max}} = \frac{1}{X + X_P + Z_{CMIN}} E \quad (3.3)$$

Burada X , enerjilenmiş transformatörün kaynak Thevenin reaktansı ve X_{CMIN} transformatörün minimum mıknatıslanma reaktansıdır. Bu X_{CMIN} empedansı tipik olarak $2(X_p+X_s)$ veya $2X_T$ dir. Ayrıca, X_T ' nin birincil ve ikincil kaçak reaktanslarının toplamı olduğu ve transformatör etiketinde mevcut olduğu varsayılmaktadır.

Birincil ve ikincil sargılardaki sızıntı reaktanslarının eşit olduğu varsayılarak, maksimum gerilim sarkması şu hesaplamalarla hesaplanabilir (Nagpal ve ark., 2006):

$$V_{sag} = \frac{X}{X + 2,5X_T} E \quad (3.4)$$



Şekil 3.4. Tek fazlı transformatörün eşdeğer devresi (Nagpal ve ark., 2006).

3.2. D-STATKOM yapısı ve çalışma prensibi

D-STATKOM özel güç tüketim cihazların en hızlı ve etkili denetleyicilerinden biridir. Dağıtım şebekelerinde oluşan gerilim düşme/yükselmelerini hafifletmek için ve şebekedeki güç kalitesini artırmak için genelde kullanılır.

IEEE'ye göre Özel Güç Aygıtları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (IEEE P1409, 2002); Özel Güç Aygıtları: "Gerilim değeri 38kV'a kadar olan dağıtım sistemlerinde, seçilen endüstri tesisleri ve bu tesislerdeki her bir üretim sürecinin yeterli performansı için gerekli olan güç kalitesini uygun bir seviyede sağlamak için kullanılan güç elektroniği denetleyicileri kavramıdır."

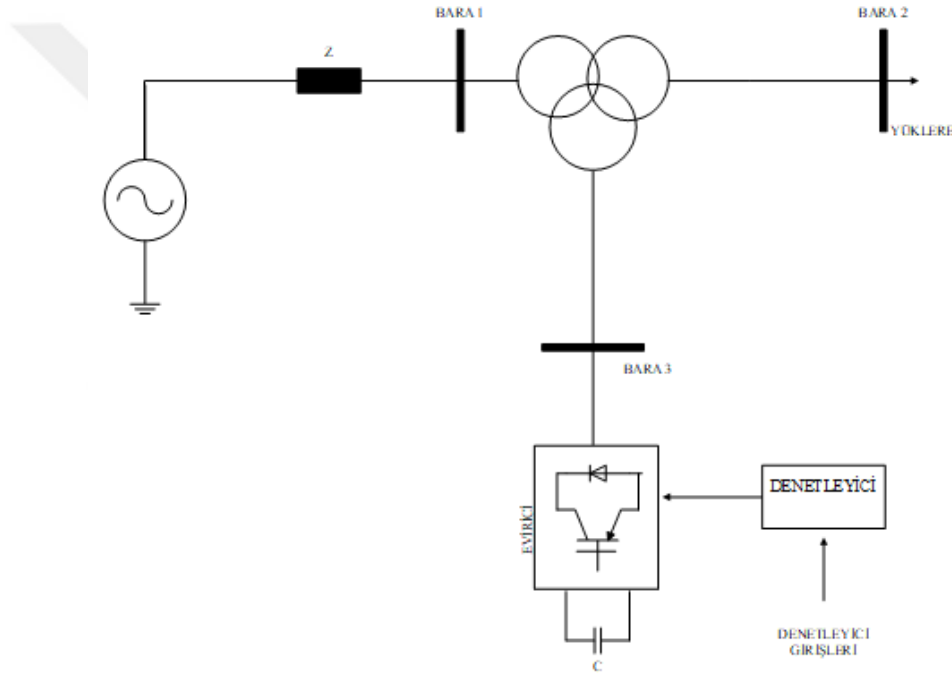
Şekil 3.5'te görüldüğü gibi en temel D-STATKOM formunda iki seviyeli VSC, bir enerji depolama elemanı bir AA sisteme bağlı transformatör ve birleştirilmiş kontrol devresinden oluşmaktadır (Hernandez ve ark., 1998; Xu ve ark., 2000).

Gerilim kaynaklı evirici (VSC) DA gerilimi üç fazlı AA gerilime dönüştürür. Bu üç fazlı gerilimi transformatörün reaktansından AA sistemine aynı fazda akuple eder.

D-STATKOM'un çıkış geriliminin genliği ve fazının uygun ayarı ile D-STATKOM ile AA sistem arasında aktif ve reaktif güç değişiminin etkili kontrolü sağlar.

AA sistem ile paralel bağlı D-STATKOM üç farklı amaç için kullanılır (Singh ve ark, 2000; Acha ve ark., 2001):

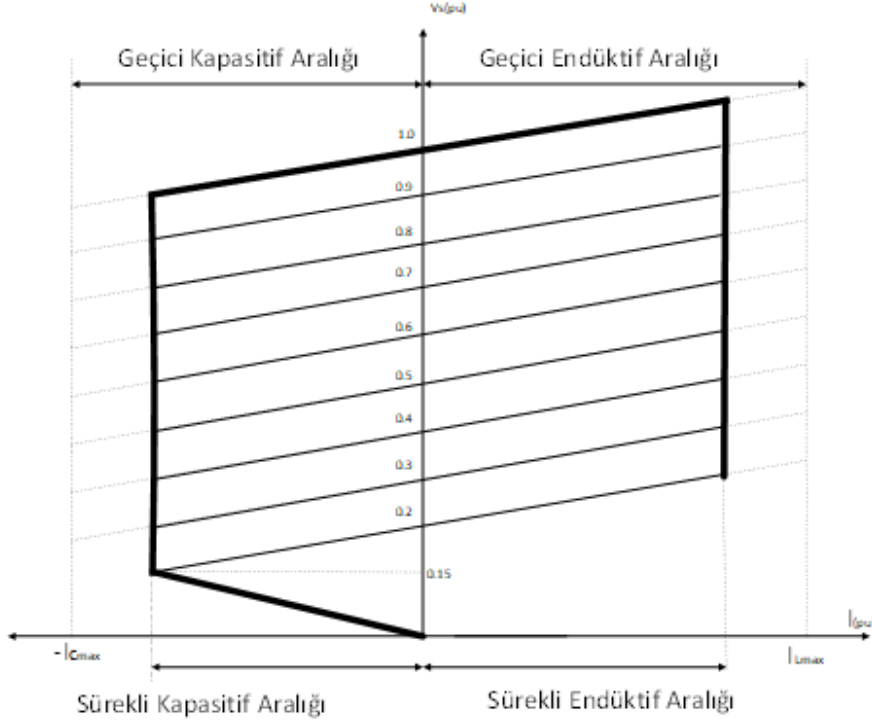
- i-Gerilim regülasyonu ve reaktif güç kompanzasyonu,
- ii-Güç faktörünü düzeltme,
- iii-Akım harmoniklerini elimine etmek.



Şekil 3.5. D-STATKOM'un genel prensip şeması.

Şekil 3.6'da D-STATKOM' un gerilim-akım karakteristiği gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, D-STATKOM bağlantı trafosunun reaktansına bağlı olarak yaklaşık 0.15 birim değerli (p.u) çok düşük bir sistem geriliminde bile istenilen reaktif akımı sağlayabilmektedir. Ayrıca bu karakteristik, tam kapasitif çalışmada kondansatör grubu tam olarak denetlenmeyen SVK karakteristiğinden tamamen farklıdır. Bir D-STATKOM; aktif güç kayıplarını karşılamak için yeterli aktif enerjiyi şebekeden

çekebildiği sürece, çok düşük gerilim durumlarında dahi reaktif güç çekebilir/verebilir. Ayrıca Şekil 3.6'da görüldüğü gibi D-STATKOM hem endüktif, hem de kapasitif bölgede artırılmış geçici durum oranlarına sahiptir. Her iki bölgede aşırı yüklenme kapasitesi birkaç periyot için yaklaşık %20'dir (Uzunovic, 2001).



Şekil 3.6. D-STATKOM' un V-I karakteristiği.

3.2.1. D-STATKOM yapısı

D-STATKOM yapısı, geleneksel sinüs PWM ile kontrol basit bir iki seviyeli gerilim kaynaklı evirici (VSC) dayanmaktadır. Filtreleme elemanları tasarımı dâhil değildir. Ancak, D-STATKOM ve ilgili kontrol devreleri tasarlanırken dikkate alınması gereken çeşitli faktörler vardır:

- i. Transformatör dönüşüm oranı ve reaktansının bağlanması,
- ii. Çıkış filtreleri elemanları,
- iii. İki seviyeli evirici,
- iv. DA Kondansatörü.

3.2.1.1. DA hat kondansatör hesabı ve boyutu

DA-hat kondansatörünün boyutu aynı çıkış reaktif güç değeri için geleneksel SVK'larda kullanılan AA kondansatörlerinin boyutundan daha küçüktür. Bir H-köprü eviricide minimum DA-hat kondansatörünün değeri aşağıdaki Eş. 3.5 yardımı ile bulunabilir (Sirisukprasert, 2004).

$$C = \frac{I_{rms}}{\sqrt{2} * \pi * f * \Delta V_{da}} \left[1 - \sin(\arccos\left(\frac{M_a * \pi}{4}\right)) \right] \quad (3.5)$$

Burada, I_{rms} ; yük akımının etkin değeri,

ΔV_{da} : DA-hat gerilimindeki dalgalanma miktarı,

f: Şebeke frekansı,

M_a ise modülasyon indeksidir.

Kapasitör boyutlandırması için sistemdeki arıza akımına referans yapılır. Arızadan önceki ve sonraki akım arasındaki fark akım arızaları olarak kabul edilir. Kondansatörün boyutlandırılmasında, gerilim düşümünü hafifletilmesi için enerjinin depolanması için uygun bir DA kondansatör aralığı gerekir. DA kondansatör, gerilim düşümü durumunda D-STATKOM'a reaktif güç enjekte etmek için kullanılır. Tasarımda yükün endüktif olması ve dolayısıyla C_{DA} 'nin değerini etkileyebileceğinden harmonik etkiler hesaba katılmalıdır.

Aşağıdaki denklem, C_{DA} 'yi hesaplamak için kullanılır (Hsu, 1995; Hannan, 2012; Kumar ve ark., 2013).

$$\frac{1}{2} * C_{DA} * [V_{CMAX} - V_{DA}^2] = \frac{1}{2} * V_{SM} * \Delta I_L * T \quad (3.6)$$

Tek fazlı sistemde harmonik azaltım için Eş. 3.6 kullanılır, ancak üç fazlı bir sistem için denklem şu şekilde verilir:

$$C_{DA} = 3 * \frac{V_S * \Delta I_L * T}{V_{CMAX} - V_{DA}^2} \quad (3.7)$$

V_S : Tepe faz gerilimi,

I_L : Yük akımının kademeli düşmesi,

T : Bir çevrim gerilim ve akım periyodu,

V_{CMAX} : Enerji depolama C'nin önceden ayarlanmış üst sınırı (faz başına),

V_{DA} : Kondansatör Gerilimi (faz başına).

ΔI_L değeri, gerilim düşümü öncesinde ve sırasında yük akımını ölçerek bulunabilir.

V_{DA} değeri aşağıdaki formül ile verilir:

$$V_{DA} = \frac{3\sqrt{3} * V_S * \Delta \cos \theta}{\pi} = 1,654 * V_S \quad (3.8)$$

θ = gecikme açısı

$\theta = 0$ ise, denklem,

$$V_{DA} = \frac{3\sqrt{3} * V_S}{\pi} \quad (3.9)$$

V_{CMAX} değeri mevcut C_{DA} üst sınırıdır ve V_{DA} 'nin iki veya üç katıdır. DA kondansatör değeri, sistemdeki gerilim düşmesi/yükselmesi veya yük geçici gerilimleri ve bu koşullar altında DA bağlantı gerilimini kontrol etme kabiliyeti temel alınarak seçilebilir. Denetleyici n döngüden sonra çalıştığını varsayalım. Dolayısıyla, $n * S * T$ yüke vermek için veya yükten emmek için kondansatörün sağlayabileceği maksimum enerjidir ve kapasitörün depolanmış enerjisindeki değişime eşit olur.

$$\frac{1}{2} * C_{DA} [V_{CMAX} - V_{DA}^2] = n * S * T \quad (3.10)$$

V_{DA} , V geçişlerinden maksimum gerilim değişimi olduğunda, S yük derecelendirmesi ve T sistemin zaman periyodudur.

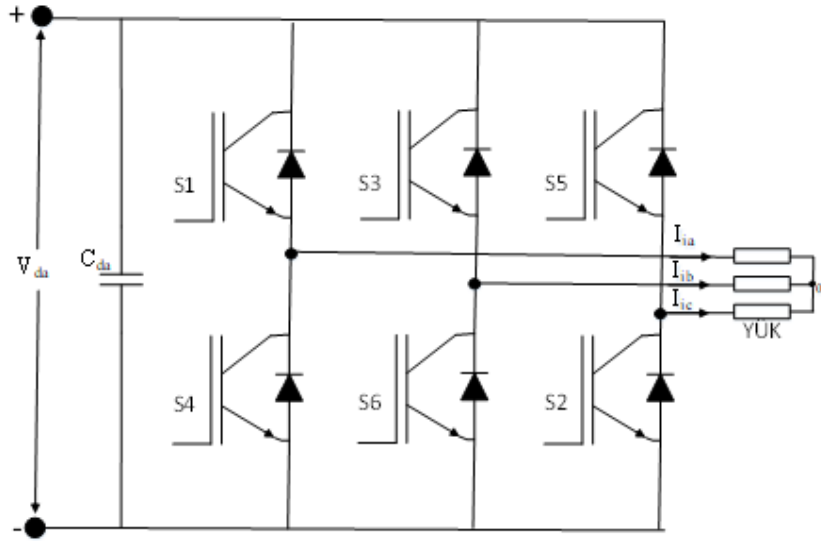
$$C_{DA} = \frac{2 * n * S * T}{[V_{CMAX} - V_{DA}^2]} \quad (3.11)$$

3.2.1.2. İki seviyeli üç fazlı eviriciler

Şekil 3.7’de gösterildiği gibi doğru akımı alternatif akıma çeviren cihazlara evirici denir. Eviricinin görevi, doğru akım giriş gerilimini istenilen genlik ve frekansta sinüzoidal bir alternatif akım çıkış gerilimine çevirmektir. Hem çıkış gerilim hem de frekans sabit değerde tutulabilir veya ayarlanabilir. Eviriciler (Gerilim Kaynaklı Dönüştürücüler), ayarlanabilir hız sürücülerinde yaygın olarak kullanılır, ancak gerilim düşümlerini azaltmak için de kullanılabilir. Evirici, gerilimi tamamen değiştirmek veya eksik gerilimi sağlamak için kullanılır. Eksik gerilim nominal gerilim ile gerçek arasındaki farktır. Normalde evirici sadece gerilim dalgalanmasının azaltılması için değil, aynı zamanda titreşim ve harmonik gibi diğer elektrik kalitesi sorunları için de kullanılmaktadır. Evirici normal olarak, bir enerji depolama birimine dayalıdır ve bu da eviriciye bir DA gerilimi sağlayacaktır. Eviricideki anahtarlama elemanları istenen çıkış gerilimi elde etmek için değiştirilir. Bir evirici, yüksek hızlı anahtarlama elemanları vasıtasıyla bir DA kaynağından üç fazlı alternatif gerilim üretebilir. Anahtarlama elemanları, alternatif gerilimde hızlı ve tam kontrol edilebilir genlik ve faz açısı elde etmeyi mümkün kılar. Temelde, paralel bir diyot tersine bağlanmış, nominal gerilimden bir alternatif gerilim üreten asimetrik bir kapatma cihazından oluşur.

Değişken bir çıkış gerilim elde etmek için eviricinin kazancı değiştirilebilir. Burada PWM kontrolü evirici yapılarak gerçekleştirilir. Değişken bir çıkış gerilimi elde edilmek isteniyorsa eviricinin kazancı değiştirilerek yapılabilir.

İdeal eviricilerin çıkışı sinüzoidal gerilim olmalıdır. Fakat pratik uygulamalarda bu mümkün değildir. Harmonik içeren çıkış gerilimi üretirler.



Şekil 3.7. İki seviyeli evirici şeması.

3.2.1.3. Eviricilerde gerilim kalitesi

Bir eviricinin kalitesi çıkış performans değerleri üzerinden değerlendirilir. Evirici çıkış geriliminin kalitesi aşağıdaki parametrelere bağlıdır:

- i. n'inci harmoniğin harmonik katsayısı (HF),
- ii. Toplam harmonik Bozunumu (THD),
- iii. Bozunum Katsayısı (DF),
- iv. En düşük dereceli harmonik (LOH) (Rashid, 2015).

Eviriciler bir fazlı eviriciler ve üç fazlı eviriciler olarak iki sınıfa ayırabiliriz. Büyük güç uygulamalarında üç fazlı eviriciler kullanılır veya üç tane bir fazlı evirici paralel bağlanarak kullanılabılır.

DA kaynaklı bir evirici de yer alan kare dalga faz gerilimleri Fourier serileri ile aşağıdaki denklemlerde görüldüğü gibi belirlenebilir.

$$V_{a0} = \frac{2V_d}{\pi} \left[\cos \omega t - \frac{1}{3} \cos 3\omega t + \frac{1}{5} \cos 5\omega t - \dots \right] \quad (3.12)$$

$$V_{b0} = \frac{2V_d}{\pi} \left[\cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) - \frac{1}{3} \cos 3 \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + \frac{1}{5} \cos 5 \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) - \dots \right] \quad (3.13)$$

$$V_{c0} = \frac{2V_d}{\pi} \left[\cos \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) - \frac{1}{3} \cos 3 \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) + \frac{1}{5} \cos 5 \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right) - \dots \right] \quad (3.14)$$

Yukarıdaki formüllerden görüldüğü gibi bulunan faz gerilimleri kullanılarak hat gerilimleri aşağıdaki denklemlerde olduğu gibi elde edilir.

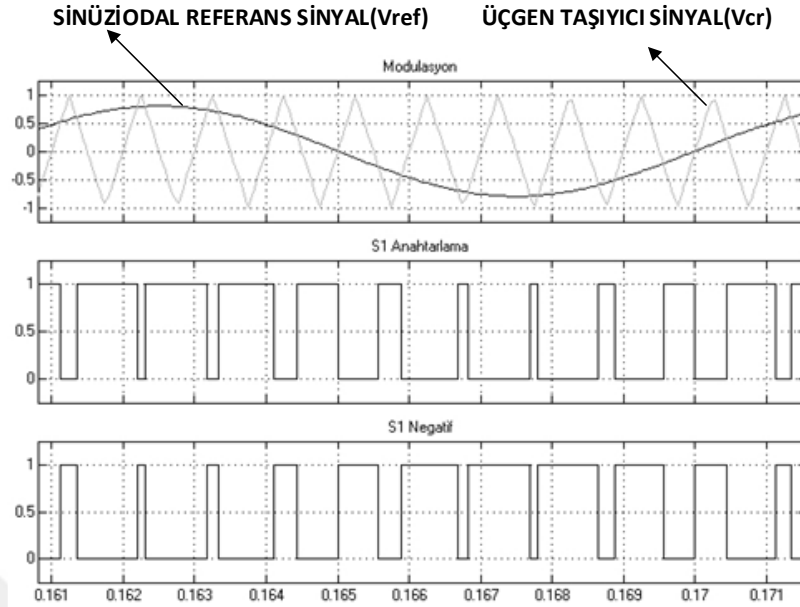
$$V_{ab} = V_{a0} - V_{b0} \quad (3.15)$$

$$V_{bc} = V_{b0} - V_{c0} \quad (3.16)$$

$$V_{ca} = V_{c0} - V_{a0} \quad (3.17)$$

3.2.1.4. Üç fazlı eviricilerin çalışması

İstenen çıkış gerilimi sinüzoidal dalga olduğundan dolayı sinüzoidal bir dalga referans dalga işareti olarak kullanılır. Her biri 120° kaydırılmış üç tane sinüzoidal referans dalga kullanılır. Her bir faza ait anahtarlama elemanını tetiklemek için üçgen bir taşıyıcı dalga ile o faza ait olan referans dalga ile karşılaştırılarak tetikleme işlemi gerçekleştirilir. Burada önemli olan aynı hattaki iki anahtarlama elemanının aynı anda devreye girmemesidir. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi her bir kol için bir tetikleme işareti üretilir (Rashid, 2015). Tek sayılı olan (1, 3, 5) anahtarlama elemanlarının pozitif anahtarlama sinyali ve bu tetikleme işaretini değili (tersi) negatif anahtarlama sinyali alınarak çift sayılı (4, 6, 2) anahtarlama elemanlarının tetiklemesi üretilir. Eviricinin kontrolünde belirsiz durumları ortadan kaldırmak için her bir kolun yarım bölümünün kontrolü PWM ile 8 ayrı durumda gerçekleştirilir.



Şekil 3.8. Sinüzoidal referans sinyali ve taşıyıcı sinyal Pozitif anahtarlama sinyali
Negatif anahtarla sinyali.

Çıkış geriliminin etkin değeri modülasyon indeksini ayarlayarak değiştirilebilir.

$$m_a = \frac{V_{ref}}{V_{cr}} \quad (3.18)$$

Linear çalışma bölgesinde ($m_a \leq 1$), temel faz geriliminin maksimum değeri $V_{DA}/2$ olmasından dolayı V_{ab} çıkış hat geriliminin en büyük değeri $3^{1/2}V_{DA}/2$ olacaktır.

$$0 \leq m_a \leq 1 \text{ için } V_{ab} = V_{bc} = V_{ca} = \sqrt{3} * \frac{V_{DA}}{2} * m_a \quad (3.19)$$

Yük geriliminin genliğini daha fazla artırmak için referans sinyalin genliği, taşıyıcı sinyalin genliğinden daha büyük yapılır ve bu aşırı modülasyona sebep olur. Çıkış hat geriliminin genliği ve DA kaynak gerilimi arasındaki ilişki doğrusal olmaz. Aşırı modülasyon durumunda hat gerilimleri;

$$ma \geq 1 \text{ için } \sqrt{3} \frac{V_{DA}}{2} < V_{ab} = V_{bc} = V_{ca} = \frac{4\sqrt{3} * V_{DA}}{2\pi} \quad (3.20)$$

sınırları arasında olacaktır.

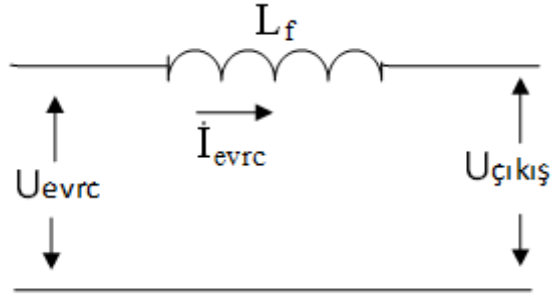
3.2.1.5. Üç fazlı eviricilerin avantajları

Bir eviricinin üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır.

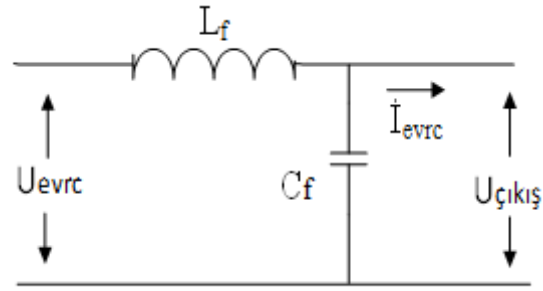
- Bir evirici, güç sistemi ve diğer uygulamalarda kullanılabilen bir sinüzoidal gerilim üretir.
- Evirici, tek başına bir sistemde çalışabilir.
- Sürekli çalışma durumunda, kompanzasyon, reaktif güç gereksinimleri kontrolü ve gerilim kontrolü/kararlılık uygulamaları için en uygun çözümdür.
- Doğrudan güç aktarımı uygulamaları için gerilim ve güç akışının bağımsız kontrolü yapar.
- Zayıf sistem koşulları için üstün performans (düşük kısa devre oranı uygulaması) sergiler.
- Düşük kayıp, azaltılmış işletme maliyetleri ve yüksek güvenilirlik sunar.
- Düşük seviyeli bakım ve servis ihtiyacı gerektirir.

3.2.1.6. Çıkış filtresi elemanları

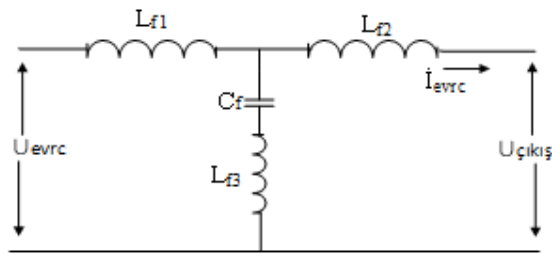
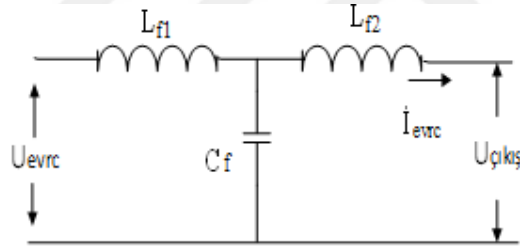
Eviricilerin çıkış gerilim/akım değişimlerinin istenilen formda olması için filtreleme işlemi yapılması gerekir. Filtrelenmiş üç fazlı bir eviricinin geri besleme kontrolü ve tüm yükleme koşullarında sinüzoidal çıkış vermesi özellikle önemlidir. Böylece evirici, değişken hız sürücülerde ve aktif filtrelerde kullanılabilir. Çıkış filtreleri, şebekeye bağlı eviricilerin önemli ve temel bir elemanıdır. Bu filtreler olmadan şebekeye güç aktarımı yapmak mümkün değildir. Çıkış filtresi olarak L, LC, LCL ve LLCL aşağıda Şekil 3.9'da verilmiştir (Karabacak ve ark., 2015).



(a) L filtre.



(b) LC filtre.



(c) LCL filtre.

Şekil 3.9. Şebekeye bağlı eviricilerde kullanılan çıkış filtreleri (Karabacak ve ark., 2015).

Bu çalışmada kullanılan filtre LC filtredir. Burada kullanılan formüller LC filtreye göredir.

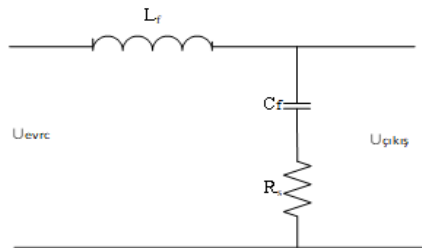
Filtre tasarımlarında, genelde kabul görmüş kıstaslar aşağıdaki gibidir.

- I. Filtredeki gerilim düşümü şebeke faz geriliminin %20'den fazla olmamalıdır.
- II. Güç katsayısı %99.5' in üzerinde olmalıdır.
- III. "IEEE STD 519 akım harmonikleri standardı olan %5.0 THD sağlanmalıdır.
Büyük güçlü sistemler için, yani $I_{SC}/I_L < 20$ olmalıdır (maksimum kısa devre akımının (I_{SC}), maksimum yük akımı (I_L)) (Karabacak ve ark. 2016).
- IV. Rezonans frekansının şebeke frekansının 10 katından büyük veya anahtarlama frekansının yarısı kadar olmalıdır.

$$10f_{\text{şebeke}} < f_{\text{res}} < 0.5f_{\text{sw}}$$

$f_{\text{şebeke}}$: Şebeke frekansı, f_{res} : Rezonans frekansı, f_{sw} : Anahtarlama frekansı

LC filtresi, basit indüktörden daha iyi filtreleme etkisine sahiptir, bu nedenle LC çıkış filtresi yaygın şekilde kullanılmaktadır ancak LC filtre tasarımı karmaşıktır ve çok sayıda kısıtlamayı dikkate almak gerekir (Wang ve ark., 2010). Çıkış filtresi, evirici çıkışlarının yüksek frekans harmoniklerini etkili bir şekilde ortadan kaldırabilir; ama L_f değerinin yüksek olması, D-STATCOM çıkış akımları daha az yüksek frekanslı harmonikleri içerecektir. Bununla birlikte, ancak çalışma koşullarında, daha yüksek U_{DA} gerilim seviyesi gerektirir. L_f boyutu ne kadar küçülürse, maliyeti düşecek ve dinamik tepki hızı da o kadar hızlı olur. C_f 'nin değerinin büyük olması, içerisinden akan akımın büyük olması direncin güç tüketimine neden olur ve buna ek olarak daha zayıf reaktif güç dengeleme yeteneği gösterir. LC filtre devresi Şekil 3.10'da gösterilmektedir, burada U_{evrc} filtre giriş gerilimi (evirici çıkış gerilimi); $U_{\text{çıkış}}$, filtrenin çıkış gerilimidir.



Şekil 3.10. LC filtre devresi.

Evirici giriş çıkış gerilimlerinin transfer fonksiyonu şu şekilde yazılabilir:

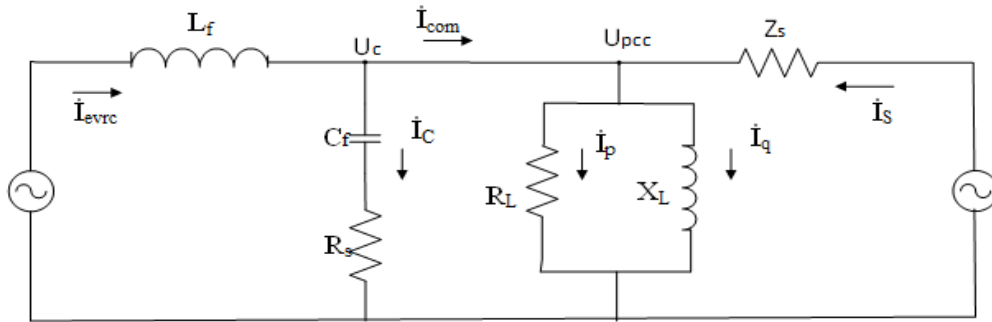
$$G(s) = \frac{V_o(s)}{V_{inv}(s)} \quad (3.21)$$

$$G(s) = \frac{RC_0s + 1}{RC_0s + 1 + L_0C_0s} \quad (3.22)$$

LC filtrenin rezonansını bastırmak için R_s direnci C_f ile seri bağlanmıştır. R direncinin değeri büyük olursa, yüksek frekanslı harmoniklerin zayıflamasını sağlar ancak güç kaybı o kadar büyük olur. Dolayısıyla, bu iki faktörü göz önünde bulundurarak, R değeri seçilmelidir.

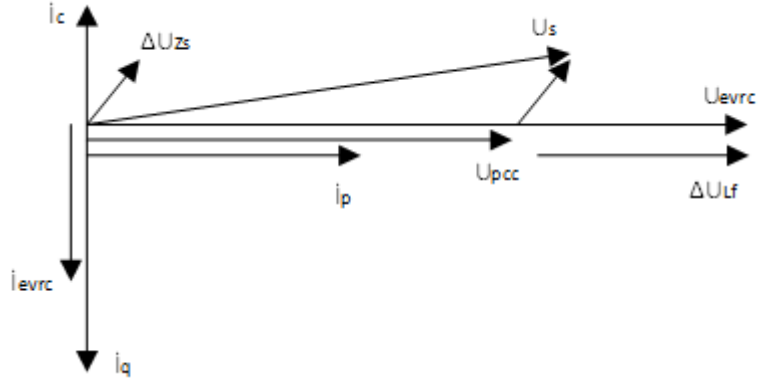
Şekil 3.11’de D-STATKOM’lu sistemin filtreli tek fazlı eşdeğer devresini göstermektedir (Wang ve ark. 2010); burada U_{evrc} , evirici çıkış gerilimi; L_f , C_f ve R_s çıkış filtresini oluşturur, U_s şebeke gerilimi; Z_s , kaynak, transformatör ve hat empedansı; I_s sistem çıkış akımı olup; U_{pcc} ortak bağlantı noktası gerilimi; I_{evrc} , evirici çıkış akımıdır; I_c , kompanzasyon akımıdır. R_L yük direncidir; X_L yük reaktansıdır. Yük akımı, aktif akım (I_p) ve reaktif akım (I_q) iki kısımdan oluşur.

Yükün reaktif akımı tamamen D-STATKOM tarafından üretildiği varsayılır ve $I_q = I_c$ olur. Eğer D-STATKOM’un güç kaybı yok sayılırsa, $I_p = I_s$ olur.



Şekil 3.11. D-STATKOM’lu sistemin filtreli tek faz eşdeğer devresi (Wang ve ark., 2010).

Şekil 3.12'de gösterilen Şekil 3.11'deki değişkenlerin vektör diyagramı elde edebilir.



Şekil 3.12. Filtre kullanarak D-STATKOM'lu sistemin vektör diyagramı.

$$U_{evrc} = U_{pcc} + \dot{I}_{evrc} * X_{Lf} \quad (3.23)$$

$$i_c = U_c / X_{Cf} \quad (3.24)$$

$$i_{com} = \dot{I}_q = U_{pcc} / X_L \quad (3.25)$$

$$\dot{I}_{evrc} = i_{com} - \dot{I}_c \quad (3.26)$$

Şekil 3.12'de yönleri gösterilen tüm değişkenlerin, skaler olduğu varsayılacaktır.

$X_{Lf} = \omega L_f$, $X_{Cf} = 1 / (\omega C_f)$ olduğundan, L_f 'nin gerilim düşümünün ifadesi elde edilebilir.

$$\Delta U_{L0} = \dot{I}_{inv} * X_{L0} = \frac{(X_{C0} - X_L) * X_{L0}}{X_{C0} * X_L} * U_{pcc} \quad (3.27)$$

Kararlı durumda, bağlantı noktası Upcc gerilimi değişmez. Daha büyük X_{Lf} değeri, ΔU_{Lf} 'nin değerini artıracığından dolayı indüktansın temel gerilim düşüşünü azaltmak için L_f değerini daha küçük seçilmelidir.

Reaktif güç dengeleme yeteneği, \dot{I}_{evrc} ile \dot{I}_{com} arasındaki oran tarafından yansıtılır.

D-STATKOM çıkış reaktif akımı daha büyük ölçekte ayarlanabilmesi için, \dot{I}_{com} akımı daha küçük olmalı, $\dot{I}_{evrc} / \dot{I}_{com}$ oranı mümkün olduğunca 1'e yakın olmalıdır. Ama standartlara göre %95'in üzerinde olmalıdır. Bu oranın 1'e yakın oranda olması demek R_s üzerinde çok fazla güç tüketmemek anlamına gelir.

Reaktif güç kompanzasyon yeteneğini yansıtan $\dot{I}_{evrc} / \dot{I}_{com}$ ifadesini şu şekilde elde edebiliriz:

$$\frac{\dot{I}_{inv}}{\dot{I}_{com}} = 1 - \frac{X_L}{X_{C0}} \quad (3.28)$$

L_f , C_f değerini büyük olması demek, daha küçük harmonik bozulma oranı olacaktır; L_f 'nin maksimum değeri gerilim düşüşü ile belirlenir; maksimum C_f , reaktif güç dengeleme yeteneği ile belirlenir. Dolayısıyla, tasarlanan filtre parametreleri bu üç faktör arasında iyi bir denge sağlamalıdır.

Daha iyi filtreleme etkisi için, L_f 'nin gerilim düşümünün sistem gerilimin yaklaşık %20'sini geçmemesi koşuluyla daha büyük bir L_f , C_f seçilmesi ve $\dot{I}_{evrc} / \dot{I}_c$ oranının yaklaşık 0.95'den küçük olmaması koşuluyla bir L_f , C_f değeri seçilmelidir.

LC filtrenin rezonans frekansı aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$f_c = 1/2\pi\sqrt{L_0C_0} \quad (3.29)$$

Filtre bant genişliği ve sistem kararlılığı gereksinimlerine göre ve düşük frekanslı sinyallerin aşırı tepkilerinden kaçınmak için f_c genellikle orta bantta belirlenir.

$$10f_n \leq f_c \leq f_s/10 \quad (3.30)$$

f_n : Şebeke frekansı

$f_n=50$ Hz

f_s : Taşıyıcı frekansı

f_c : Rezonans frekansı

Taşıyıcı frekansının 10.5 kHz olduğunu varsayalım, o zaman, L_f , C_f değerinin sınırlaması elde edilir.

$$5.2 * 10^{-8} \leq L_0 C_0 \leq 1.32 * 10^{-7} \quad (3.31)$$

L_f 'nin gerilim düşümünün sistem geriliminin yaklaşık % 20'sini aşmaması gerekir.

$$I_N * \omega L_0 \leq 0,2U_{pcc} \quad (3.32)$$

Burada I_N , STATKOM' un nominal çıkış akımıdır.

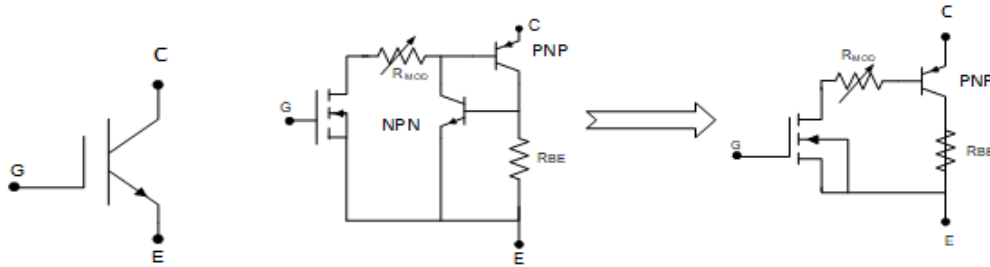
$\dot{I}_{evrc} / \dot{I}_{com}$ oranının yaklaşık 0.95' ten büyük olması gerekir; bu, kondansatör içinden geçen akımın D-STATKOM nominal çıkış akımının % 5'inden fazla olmaması gerekir.

$$\frac{U_{pcc}}{1/\omega C_0} \leq 0.05I_N \quad (3.33)$$

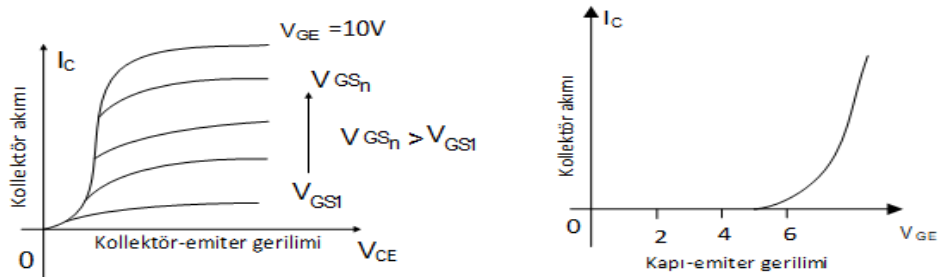
3.2.1.7. Anahtarlama elemanı (IGBT)

Güç transistörleri hareketli parçası olmayan ve kontrol edilebilen çabuk devreye girip çıkan anahtarlar olarak kullanılırlar. Devrede değil iken büyük gerilimlere çalışırken de çok küçük gerilimlere sahiptirler. Bu tip yeni elemanlar transistörler, tristörlerden daha hızlı anahtarlama işlemi yapabilirler. Genelde DA-DA ve DA-AA dönüştürücülerde kullanılırlar. Ters paralel bağlanan bir diyot sayesinde iki yönlü olarak akıma izin verebilirler. Ancak devrede iken yani iletimde iken tristör kadar akım çekmezler.

IGBT'ler, mosfetlerin ve transistörlerin avantajlarını birleştiren devre elemanıdır. Şekil 3.13a'da IGBT'nin sembolü verilmiştir. BJT gibi düşük iletim kayıplarına sahiptir ve mosfet gibi yüksek giriş empedansına sahiptirler. Yapı olarak mosfetlere benzemekle birlikte tek farkı taban katmanının pozitif p(p+) olmasıdır. IGBT yapısında PNPN şeklinde dört katmandan oluşmaktadır. Şekil 3.13b'de görüldüğü gibi eşdeğer devresindeki transistörlerin ortak beyz akım kazançları ($\alpha_{npn} + \alpha_{pnp}$) > 1 olduğunda tristör gibi kendini iletimde tutar. Şekil 3.13c'de basitleştirilmiş devresi verilen IGBT'ler mosfetlerde olduğu gibi gerilim kontrollü bir elemandır. Şekil 3.14'de kapı gerilimi yeterince pozitif yapıldığında, iletime geçer. Kapı gerilimi eşik değerinin altına düşürülünce eleman kesime girer. Anahtarlama ve iletim kayıpları mosfete göre daha düşüktür. Sürme kolaylığı, tepe akımı, yetenekleri ve ebat bakımından mosfete benzerdir. IGBT'ler tam olarak BJT'lerden daha hızlı tepki verirken anahtarlama hızı mosfetlere göre daha yavaştır. IGBT nin anma gerilimi ve akımı 6500 V, 2400 A gibi ve anahtarlama hızı da 20 kHz kadar olabilir. IGBT'nin sembolü, eşdeğer devresi ve basitleştirilmiş devresi aşağıda verilmiştir.



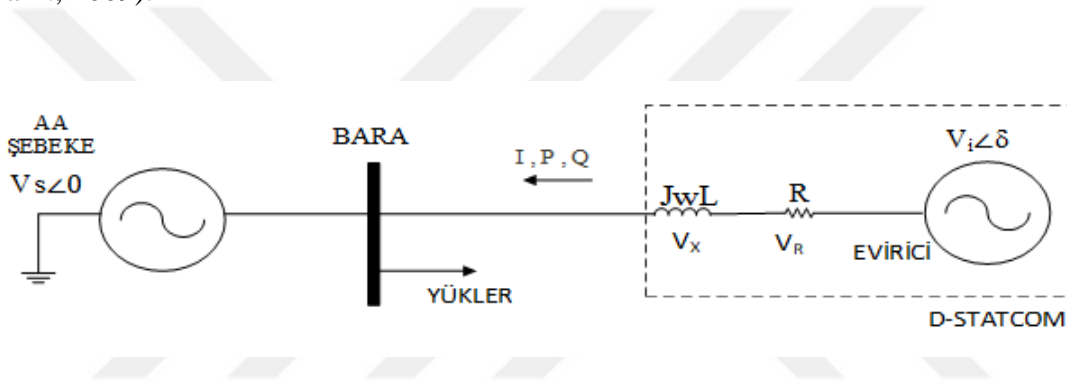
Şekil 3.13. IGBT a. Sembolü, b. Eşdeğer devresi, c. Basitleştirilmiş devre (Rashid, 2015).



Şekil 3.14. IGBT çıkış ve geçiş karakteristikleri (Rashid, 2015).

3.2.2. D-STATKOM'un temel çalışma prensibi

Bir endüktans aracılığı ile birbirine bağlanan aynı frekanslı iki AA kaynağın çalışma prensibine dayandırılmaktadır. Bu prensipten yola çıkarak, D-STATKOM'un basitleştirilmiş tek-faz eşdeğer devresi Şekil 3.15'de verilmiştir. Böyle bir devrede aktif güç; ileri fazdaki kaynaktan geri fazdaki kaynağa doğru ve reaktif güç ise; daha büyük genlikli AA kaynaktan daha küçük genlikli AA kaynağa doğru akmaktadır. Bir başka deyişle iki AA kaynak arasındaki aktif güç akışı kaynaklar arasındaki faz farkı tarafından ve reaktif güç akışı kaynaklar arasındaki gerilim farkı tarafından belirlenmektedir (Deniz ve ark., 2009).



Şekil 3.15. Şebekeye paralel bağlı D-STATKOM'un tek-faz eşdeğer devresi.

V_s : Şebekenin faz nötr gerilimi

V_i : Eviricinin çıkış faz nötr geriliminin ana harmoniği

I : D-STATKOM'un akımı

P : D-STATKOM'un aktif gücü

Q : D-STATKOM'un reaktif gücü

δ : V_s ile V_i gerilimleri arasındaki faz açısı

R : Bağlantı endüktansı ve evirici kayıplarını temsil eden direnç

L : Bağlantı endüktansının kaçak endüktansı

Şekil 3.15'deki devrede bağlantı endüktansının ideal (yani çok küçük olmasından dolayı iç direncinin ihmal edildiğini) ve evirici kayıplarının var olduğunu ve dolayısı ile V_i geriliminin V_s 'den küçük bir δ açısı kadar geride olduğunu kabul edelim. Şekil 3.15'de

şebeke tarafının referans alınması durumunda, pozitif akım akış yönü için iki kaynak arasında akan akım aşağıdaki Eş. 3.34 yardımı ile hesaplanabilir.

$$I = \frac{V_i \angle \delta - V_s \angle 0}{jX} = \left[\frac{V_i * \sin \delta}{X} + j \frac{V_s - V_i * \cos \delta}{X} \right] \quad (3.34)$$

Bu akımın aktif ve reaktif bileşenleri Eş. 3.35 ve 3.36 aşağıdaki gibidir.

$$I_p = \frac{V_i * \sin \delta}{X} \quad (3.35)$$

$$I_q = \frac{V_s - V_i * \cos \delta}{X} \quad (3.36)$$

V_s kaynağının referans alınması durumunda aktif ve reaktif güç Eş. 3.37 ve 3.38'de ki gibi olacaktır.

$$P = \frac{V_s * V_i * \sin \delta}{X} \quad (3.37)$$

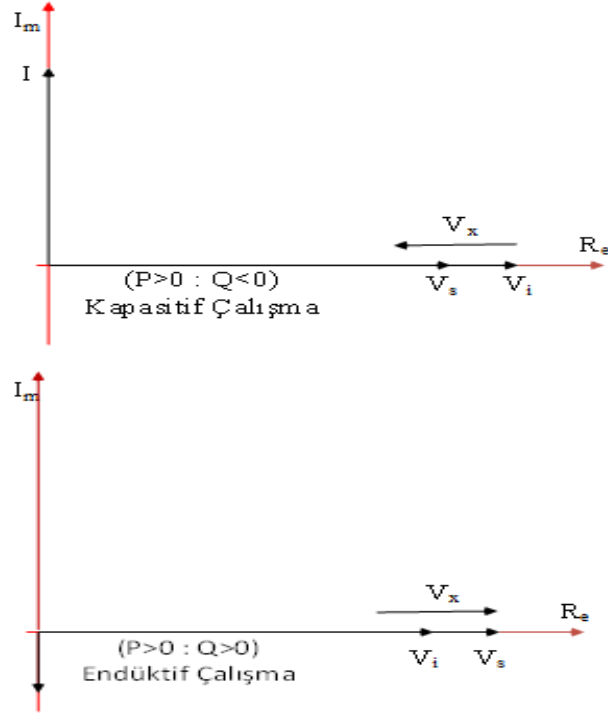
$$Q = V_s * \frac{V_s - V_i * \cos \delta}{X} \quad (3.38)$$

Şekil 3.15'de bağlantı endüktansına ilave olarak eviricinin de ideal yani kayıpsız olduğu varsayılırsa, o zaman V_i ile V_s arasındaki faz farkı $\delta=0$ olacaktır. Dolayısı ile Eş. 3.37'de $P=0$ olacaktır. D-STATKOM'un kayıpsız olduğu ideal şartlarda reaktif güç ise Eş. 3.39'daki gibi olur.

$$Q = V_s * \frac{V_s - V_i}{X} \quad (3.39)$$

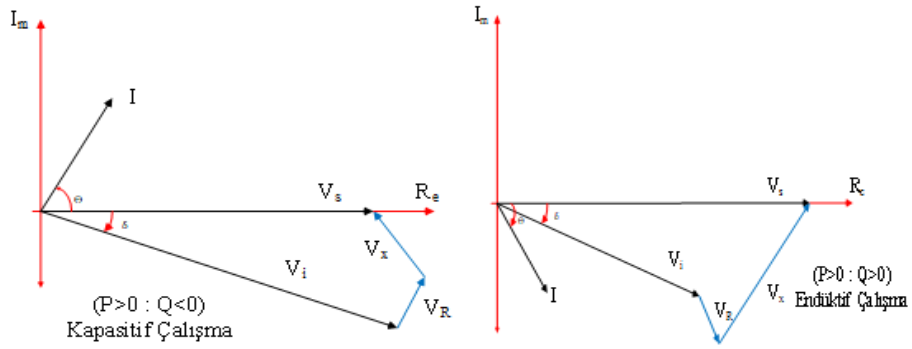
3.2.2.1. D-STATKOM fazör diyagramları

İdeal durum için D-STATKOM' un AA şebeke ile reaktif güç alışverişini gösteren fazör diyagramı Şekil 3.16'da verilmiştir (Çetin, 2007).



Şekil 3.16. İdeal durum için D-STATKOM' un fazör diyagramı.

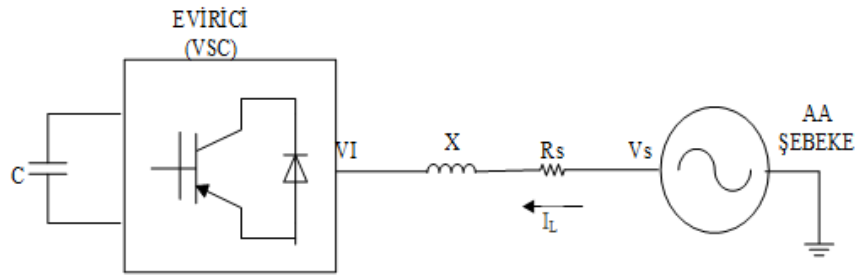
Pratik uygulamalarda D-STATKOM devresindeki bağlantı endüktansı ve evirici ideal değildir, aktif güç kayıpları mevcuttur. Dolayısı ile bu aktif güç kayıplarının şebekeden karşılanabilmesi için, sürekli durumda V_i ile V_s arasında V_i geri fazda olacak şekilde bir δ faz farkı olmalıdır. Bu nedenle şekildeki fazör diyagramı değişecektir. Sürekli durumda D-STATKOM ile şebeke arasındaki aktif ve reaktif güç alışverişini gösteren fazör diyagramı Şekil 3.17'de verilmiştir.



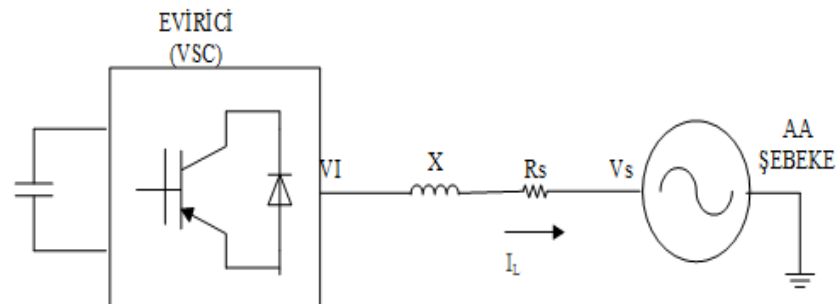
Şekil 3.17. Sürekli durumda D-STATKOM' un fazör diyagramı.

3.2.2.2. D-STATKOM mod çalışması

Şekil 3.18'de D-STATKOM endüktif mod da çalıştığında şebekeden reaktif güç çekerken, Şekil 3.19'da kapasitif mod çalışmasında şebekeye reaktif güç verir (Çöteli, 2010).



Şekil 3.18. Sürekli durumda endüktif mod çalışması (Çöteli, 2010).



Şekil 3.19. Sürekli durumda kapasitif mod çalışması (Çöteli, 2010).

Bir iki seviyeli üç fazlı eviricinin çıkış geriliminin ana harmoniğinin efektif değeri; doğru akım hat gerilimi V_{DA} ve M_a modülasyon indeksine bağlı olarak Eş. 3.40'daki gibi ifade edilebilir;

$$V_i = \frac{M_a * V_{DA}}{\sqrt{2}} = 0,707 * M_a * V_{DA} \quad (3.40)$$

Eş. 3.40, Eş. 3.37 ve 3.38'de yerine yazıldığında aktif ve reaktif güç denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P = \frac{0,707 * V_s * M_a * V_{DA} * \sin \delta}{X} \quad (3.41)$$

$$Q = \frac{V_s * (V_s - 0,707 * M_a * V_{DA} * \cos \delta)}{X} \quad (3.42)$$

Bu çalışmada modülasyon indeksi sabit tutulur ve reaktif güç denetimi amacı ile evirici çıkış geriliminin ana harmoniğini kontrol etmek için DA hat geriliminin değişmesine izin verilmektedir. Bu ise evirici çıkış gerilimi ve şebeke gerilimi arasındaki faz açısı δ kontrol edilerek elde edilmektedir. Sürekli durumda V_i V_s 'den daha büyük yapılırsa D-STATKOM kapasitif çalışarak AA şebekesine reaktif güç aktaracaktır. Diğer taraftan V_i , V_s 'den küçük yapılırsa D-STATKOM endüktif modda çalışarak AA şebekesinden reaktif güç çekecektir. Sürekli hal durumunda D-STATKOM'un kapasitif ve endüktif çalışma durumlarına ait fazör diyagramı Şekil 3.17'deki ile tamamen aynıdır.

D-STATKOM'un çektiği veya verdiği reaktif güç miktarı; faz açısı δ yardımı ile DA hat geriliminin değiştirilmesi ile kontrol edilmektedir. Eğer DA hat kondansatörü daha fazla şarj edilerek DA hat bara gerilimi arttırılırsa, D-STATKOM'un kapasitif çalışmada verdiği reaktif güç miktarı artar ve endüktif çalışmada çektiği reaktif güç miktarı ise azalır. Ancak kondansatörün deşarjı ile DA hat bara gerilimi azaltılırsa, o zaman D-STATKOM'un kapasitif çalışmada verdiği reaktif güç miktarı azalacak ve endüktif çalışmada çektiği reaktif güç miktarı artacaktır (Çetin, 2007). Bununla birlikte

D-STATKOM devresindeki aktif güç kayıplarını karşılamak amacı ile sürekli durumda hem endüktif hem de kapasitif çalışmada D-STATKOM gerilimi AA şebeke geriliminden geri fazda tutulur ($\delta > 0$).

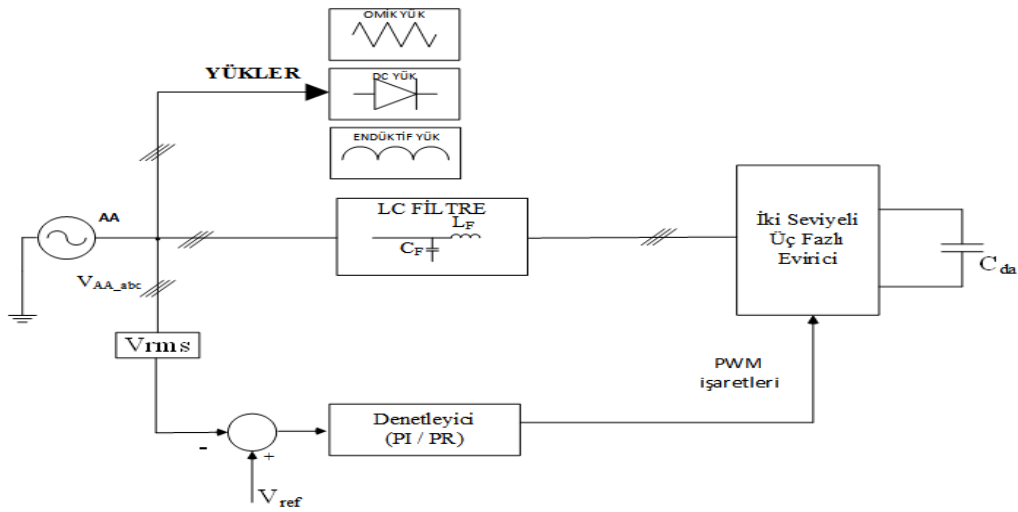
Eşitlik 3.41'deki aktif güç denkleminde faz açısı negatif yapılarak DA hat barasından güç alınabilir. Eğer alınan güç D-STATKOM'un kayıplarından daha büyük ise Eş. 3.41'de negatif olur ve D-STATKOM AA şebekesine aktif güç vermeye başlar. Bu çalışma geçici durumda meydana gelirse, çalışma süresince DA hat gerilimi V_{DA} gittikçe azalır. Geçici durumda, DA hat kondansatörün deşarjı süresince hem kapasitif hem de endüktif çalışma için fazör diyagramı Şekil 3.17'de gösterilmiştir. Bununla birlikte, eğer faz açısı bir an için sürekli durumdaki değerinden büyük yapılırsa, o zaman D-STATKOM tarafından D-STATKOM'un kayıplarından fazla çekilen aktif güç DA hat kondansatöründe depolanacak, böylece V_{DA} gerilimi gittikçe artacaktır. Geçici durumda, DA hat kondansatörün şarjı süresince endüktif ve kapasitif çalışmalar için fazör diyagramları; sürekli durum için Şekil 3.16'da gösterilenlere benzer olacaktır (Çetin ve Ermiş, 2009).

3.3. Faz Açısı Denetim Yöntemi

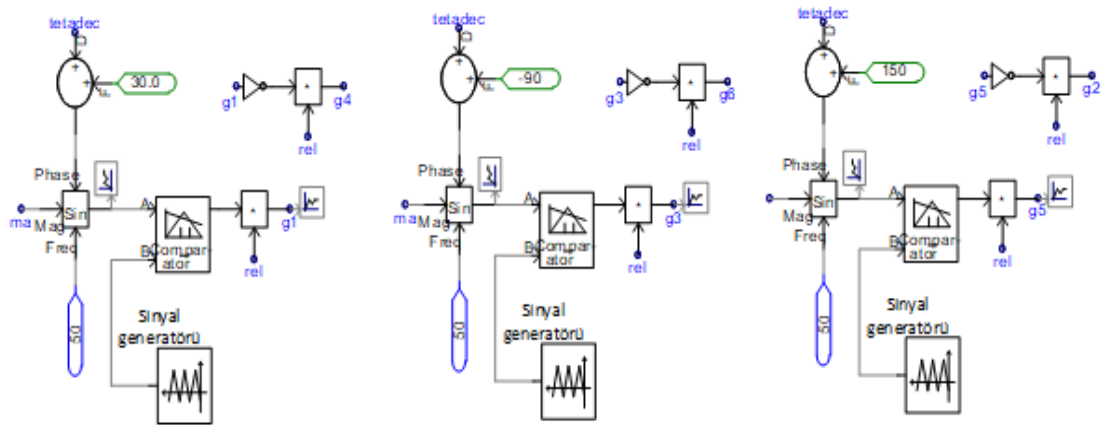
Bu çalışmada kontrol metodu olarak faz açısı yöntemi kullanılmıştır. Faz açısı denetim yönteminin blok diyagramı Şekil 3.20'de verilmiştir. Şekil 3.21'de görüldüğü gibi yükün bağlı olduğu ortak bağlantı noktasından ölçülen gerilim, referans gerilim ile karşılaştırılarak elde edilen gerilim hatası bir PI veya PR denetleyiciye uygulanır. PI(Oransal İntegral) ve PR(Oransal Rezonans) denetleyicilerinin çıkışında AA şebeke gerilimine göre evirici geriliminin ana harmoniğinin faz açısı δ belirlenmektedir. Bu açı ve sabit olarak alınan modülasyon indeksi ile birlikte kullanılarak, SPWM tekniği yardımı ile üç fazlı iki seviyeli evirici için PWM işaretleri üretilir. Bu yöntemde, reaktif güç değişimleri için denetim döngüsünün basamak cevabı uygun denetleyiciler ve filtre elemanları yardımıyla 2-5 periyot arasında tutulabilmektedir (Kumar, 2003).

Faz açısı denetimini içeren sistemin açık çevrim cevap süresi; bağlantı endüktansı ve DA hat kondansatörü tarafından belirlenmektedir. Bağlantı endüktansı evirici

harmoniklerini filtrelemek için kullanılır ve bu endüktans için daha yüksek değerlerin kullanılması D-STATKOM akım harmoniklerini en aza indirecektir. Ancak normalden daha büyük bir endüktans D-STATKOM çalışmasının tam endüktif çalışmadan tam kapasitif çalışmaya evirici girişine ilave olarak DA hat kondansatöründe daha büyük bir gerilim regülasyon değerine sebep olacaktır. Bu yüzden hem sürekli hem de geçici durumda memnun edici cevaplar için pasif elemanların seçimi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.



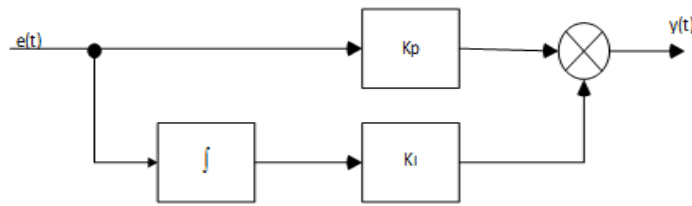
Şekil 3.20. Faz açısı denetimi ile gerilim kalitesini iyileştirmeye ilişkin blok şeması.



Şekil 3.21. Faz açısı denetimi ile gerilim kalitesini iyileştirmeye ilişkin PSCAD modeli.

3.3.1. Oransal İntegral (PI) Denetleyici

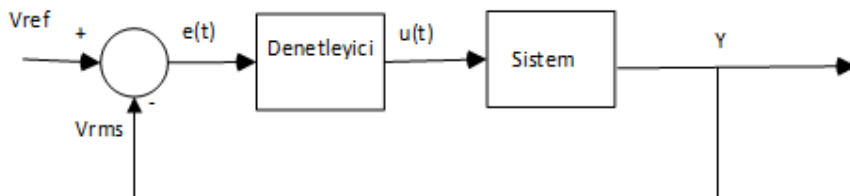
Aşağıdaki Şekil 3.22’de PI kontrolör şeması verilmektedir. Sistemde oluşacak hata sinyali kontrolörde değerlendirilerek çıkışa aktarılmaktadır. Hata sinyali $e(t)$ sistem kazancı ile çarpılmakta ve hata sinyalinin integrali alınmaktadır. Sistemde integratör kullanılarak çıkıştaki aşım önlenir. Hata sinyalinin değerine göre PI, çıkışı artırır veya azaltır.



Şekil 3.22. PI kontrolör bağlantısı.

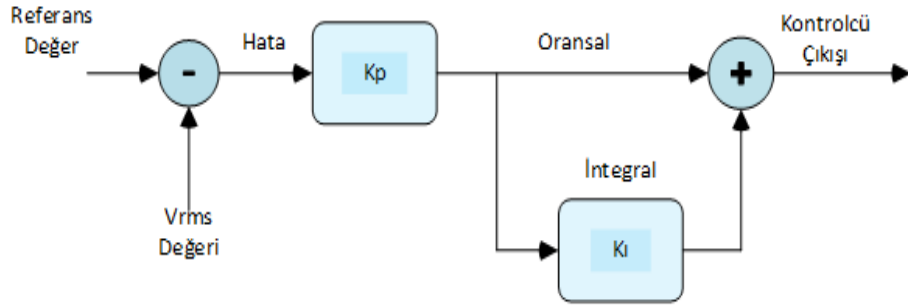
İntegratör devresinin çalışması, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’de bakıldığında sistemin set değeri ile ölçülen değeri arasında fark kalmayınca kadar devam eder. Kontrol değişkeni set değerine oturduğunda integral devresinin integralini alacağı bir sinyal yoktur.

Oransal + İntegral kontrolün en belirgin sakıncası ise, sistemin ilk başlamasında kontrol değişkeni set değerini geçer. Bu ilk salınımdaki yükselme overshoot ve set değerinin altına düştüğü en düşük değer ise undershoot olarak anılır. Sistemde meydana gelen ani darbelerde overshoot ve undershoot olarak anılan bu tür salınımlara engel olmaz.



Şekil 3.23. PI iç bağlantısı.

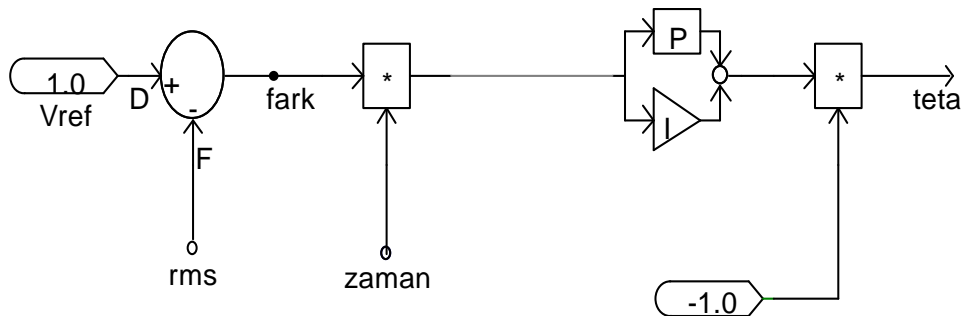
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (3.43)$$



Şekil 3. 24. PI denetleyici algoritması.

$$CO = K_C \left(E + \frac{1}{T} \int_0^t E dt \right) \quad (3.44)$$

Oransal etki hızlı bir şekilde sistem cevabını girdi değerine yaklaştırdıktan sonra etkisini kaybedecek, bu noktadan sonra integral etki devreye girip kalıcı hatayı yok edecek ve sistemi yavaş da olsa tam referans değerine taşıyacaktır. Şekil 3.25’de OI denetleyicinin PSCAD/EMTDC modeli verilmiştir. Referans gerilim değeri ile anlık yük gerilimi karşılaştırılıp aradaki fark hata değeri olarak PI denetleyiciye girer. PI denetleyici evirici için gerekli tetikleme sinyalleri üretir.



Şekil 3.25. PI denetleyici PSCAD modeli.

D-STATKOM'un denetim algoritmaları genellikle sabit parametrelili Oransal+İntegral (PI) denetleyiciler ile gerçekleştirilmektedir. PI denetleyiciler doğrusallaştırılmış sistem denklemleri kullanılarak belirli bir çalışma noktası için bozucu girişler ve kenetleme etkisi ihmal edilerek tasarlanırlar. D-STATKOM doğrusal olmayan, zamanla değişen parametrelili ve değişen referansa sahip bir sistem olduğundan, D-STATKOM'un denetimi için tasarlanan PI denetleyiciler iyi bir performans göstermeyebilir (Çöteli, 2010).

Doğrusal denetim yöntemlerinde sistem denklemleri belirli bir çalışma noktası etrafında doğrusallaştırılır. Elde edilen doğrusal sistem denklemleri kullanılarak sabit parametrelili PI denetleyicinin parametreleri en iyi başarımla elde edilebilecek şekilde ayarlanır.

Doğrusallaştırılmış sistem denklemleri kullanılarak D-STATKOM'un çıkış reaktif gücünün denetiminde faz açısı denetim yöntemi kullanılması durumları için matematiksel model çıkarılarak denetim algoritması için sabit parametrelili PI denetleyici tasarlanır. Faz açısı denetim yönteminde D-STATKOM'un çıkış reaktif gücünün denetimi sadece bir tane sabit parametrelili PI denetleyici kullanılarak gerçekleştirilmesi bu yöntem için avantaj olmasına rağmen aktif ve reaktif gücün birbirinden bağımsız denetimi gerçekleştirilememesi ve akım kontrolü yapamadığı için akımlarda büyük sızramaların meydana gelmesi gibi sakıncaları vardır.

Çizelge 3.1'de PI denetleyicinin doğrusal sistemlerdeki güç kalitesi problemlerine karşı performansı ve farklı denetleyicilerle karşılaştırılması yapılmıştır.

PID: Proportional-plus-Integral-plus-Derivative

PI: Proportional-plus-Integral

PD: Proportional-plus-Derivative

FPI: Fuzzy Proportional-plus-Derivative

FPD: Fuzzy Proportional-plus-Derivative

NN: Neural Network

MPC: Model Predictive Control

Çizelge 3.1. 2001-2011 yılları arasında güç kalitesi problemlerine denetleyici uygulaması (Bukata ve Li 2011)

Denetleyici		PID	PI	PD	FPI	FPD	NN	MPC
GK	Problemleri							
Geçici Durumlar		✓	✓	x	✓	x	x	x
Kesintiler		x	✓	x		x	x	x
Gerilim Düşmesi ve yükselmesi		x	✓	x	✓	x	✓	x
Aşırı/Düşük Gerilim		x	✓	x	✓	x	x	x
Gerilim Dalgalanmaları		x	✓	x	x	x	✓	x
Harmonik Bozulma		x	✓	x	x	x	✓	x

3.3.2. Oransal Rezonans (PR) Denetleyici

Günümüzde PR denetleyici, şebekeye bağlı eviricide gerilim kontrolünü sağlayan etkili bir yöntemdir. PR denetleyicinin kullanılmasının nedeni, doğrusal olmayan kritik yük koşullarında harmonik dengeleme kontrol ünitesini basit ve etkili hale getirmektir. PR, giriş geriliminde oluşan bozulmaları ve LC filtrenin neden olduğu faz gecikmelerinin regülasyonunu sağlayan bir geri besleme akım döngüsüdür. Şekil 3.26'da verildiği gibi ideal PR denetleyici aktarma işlevi aşağıdaki gibi ifade edilir:

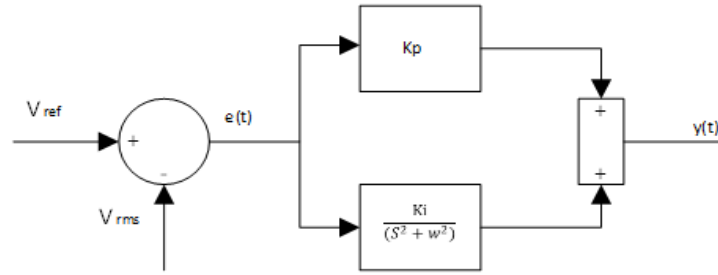
$$G_{PR} = K_P + \frac{K_I}{s^2 + \omega^2} \quad (3.45)$$

Burada;

ω : Şebekenin açısız frekansı,

K_P : PR denetleyicinin oransal kazancı,

K_I : PR denetleyicinin integral kazancıdır.



Şekil 3. 26. PR Denetleyicinin ideal blok şeması.

K_p , istenen faz ve kazanç toleransını elde etmeyi hedefleyen PI denetleyicinin aynı şekilde tasarlanır ve ayarlanır.

PR denetleyicinin kazancı azaltıldığında harmonik bileşenleri azaltmayı etkili olamaz. Bu sorunu çözmek için transfer fonksiyonu Şekil 3.27’de görüldüğü gibi ideal olmayan PR denetleyici kullanılmalıdır.

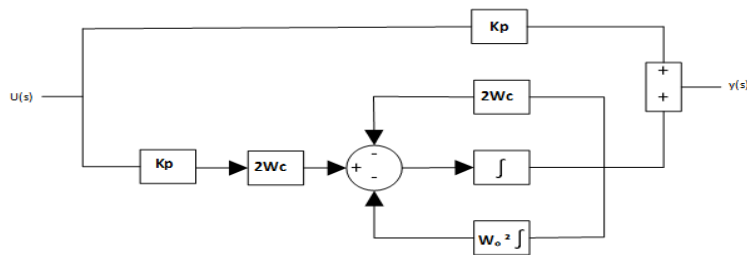
$$G_{PR}(s) = K_P + \frac{K_I * \omega_c * s}{s^2 + 2 * \omega_c * s + \omega_0^2} \quad (3.46)$$

ω : Şebekenin açısal frekansı,

K_p : PR denetleyicinin oransal kazancı,

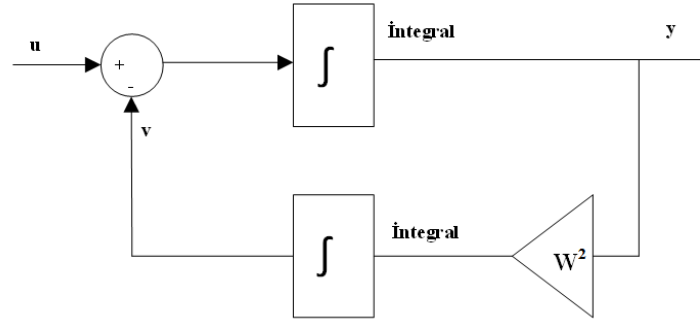
K_i : PR denetleyicinin integral kazancı,

ω_c : Kesim açısal frekansdır.



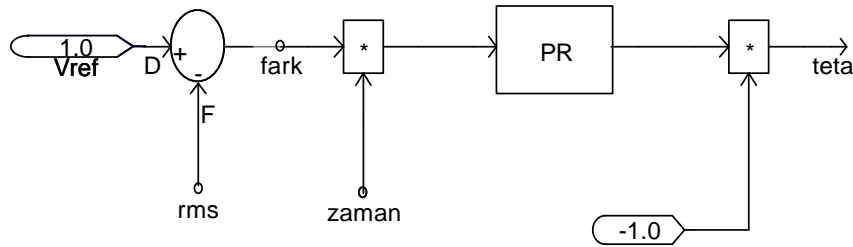
Şekil 3. 27. PR Denetleyicinin lineer olmayan blok şeması.

PR denetleyicinin sağladığı sınırsız kazanç, analog veya dijital sistem işlemcide uygulamasını zorlaştırır. PR, dijital sistemlerde uygulamak için uygun ayrıklaştırma yapılmalıdır. Şekil 3.28'deki blok diyagramında gösterildiği gibi iki basit integratörde ayrıştırılmıştır.

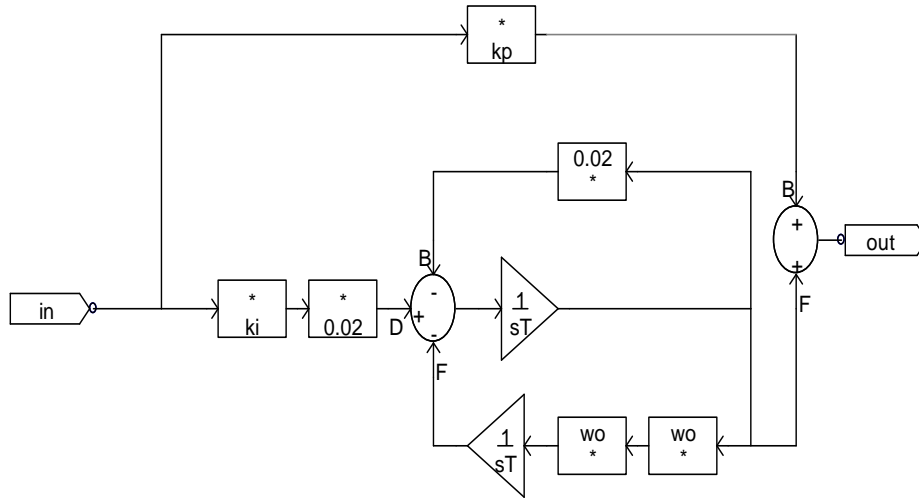


Şekil 3.28. Genelleştirilmiş bir integratör eşdeğer devre blok şeması.

PR denetleyici kararlı durum hatasını yaklaşık sıfıra indirgeyerek şebekedeki harmonikleri yok eder. Lineer olmayan PR denetleyici rezonans frekansta ideal PR denetleyiciye göre daha az kazanç ve bant aralığına sahiptir. Bundan dolayı referans ve kontrol sinyali arasında karalı hal hatası ihmal edilebilir. Rezonans noktasına yakın frekans genlik kazancı ve bant genişliği integral zaman sabitine bağlıdır ve yüksek dinamik performansa sahiptir. Buna karşılık orantısal kazanç K_p esas olarak kontrolörün dinamiklerini belirler. Şekil 3.29'da PR denetleyicinin PSCAD/EMTDC modeli verilmiştir.



Şekil 3.29. D-STATKOM için PR denetleyici PSCAD modeli.



Şekil 3.30. PR denetleyicinin içyapısı PSCAD modeli.

Şekil 3.30’da sistemin kararlı hal cevabı ve istenilen dinamik cevabı K_p ve K_i sabitleri ile belirlenir. Frekans değişimlerinde hassaslığı azaltan denetleyicinin bant genişliği kesim açısıl frekans ile azaltılabilir (Çelik ve Meral, 2015).

3.4. Tasarlanan sistem

Bu tez de D-STATKOM’un çeşitli nedenlerden dolayı bunlar; aşırı akım çeken yük, kısa devre hataları gibi şebeke geriliminde meydana gelen gerilim düşümlerini(çukurlarını) kompanze ederek gerilim kalitesini iyileştirmesi üzerine çalışılmıştır. Şekil 3.31’de gösterilen ve aşağıda yazılan çeşitli senaryolar üretilerek en çok karşılaşılan güç kalitesi sorunu olan gerilim düşümü (çukuru) sorununu yok ederek gerilim kalitesini artırmayı hedeflemiştir. Faz açısı yöntemi kullanılarak iki farklı denetleyici olan PI ve PR ile D-STATKOM’un kontrolü sağlanmıştır.

1. Aşırı akım çeken yükten kaynaklanan gerilimi düşümü senaryosu:

Sistemde biri sabit ve nominal yük (28.3 A akım çeken yük) olmak üzere ikincisi ani devreye giren ve aşırı akım çeken yük olmak üzere iki tür yük tasarlanmıştır. Sistemde kullanılan ikinci yükler endüktif yük, omik yük ve kontrolsüz doğrultulmuş DA yüküdür. İkinci yüklerin devreye girmesiyle gerilim düşümü oluşmaktadır.

2. Hem aşırı akım çeken yük hem de üç faz kısa devre hatasından dolayı oluşan gerilim düşümü senaryosu:

Sabit yük devrede iken nominal akım (28.3 A) çektiğinden gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, ikinci yük (omik yük, endüktif yük ve doğrultulmuş DA yük) devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. İlk etapta hem aşırı akım çeken ikinci yük hem de üç faz kısa devre arıza hatası uygulanarak gerilim düşümü oluşturulmaktadır. İkinci etapta sadece üç faz kısa devre hatası uygulanarak gerilim çukuru oluşmaktadır. Birinci ve ikinci bölgedeki(etaptaki) gerilim değerleri anlık olarak yük noktasında ölçülmektedir. Ölçülen değer birim değere(pu) dönüştürülür. Bu değer referans gerilim değeri arasındaki fark denetleyici için gerekli olan hata sinyalinin oluşturulmasını sağlar. Denetleyici istenilen anahtarlama sinyallerini üretir. Burada D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilim değişimleri incelenmiştir.

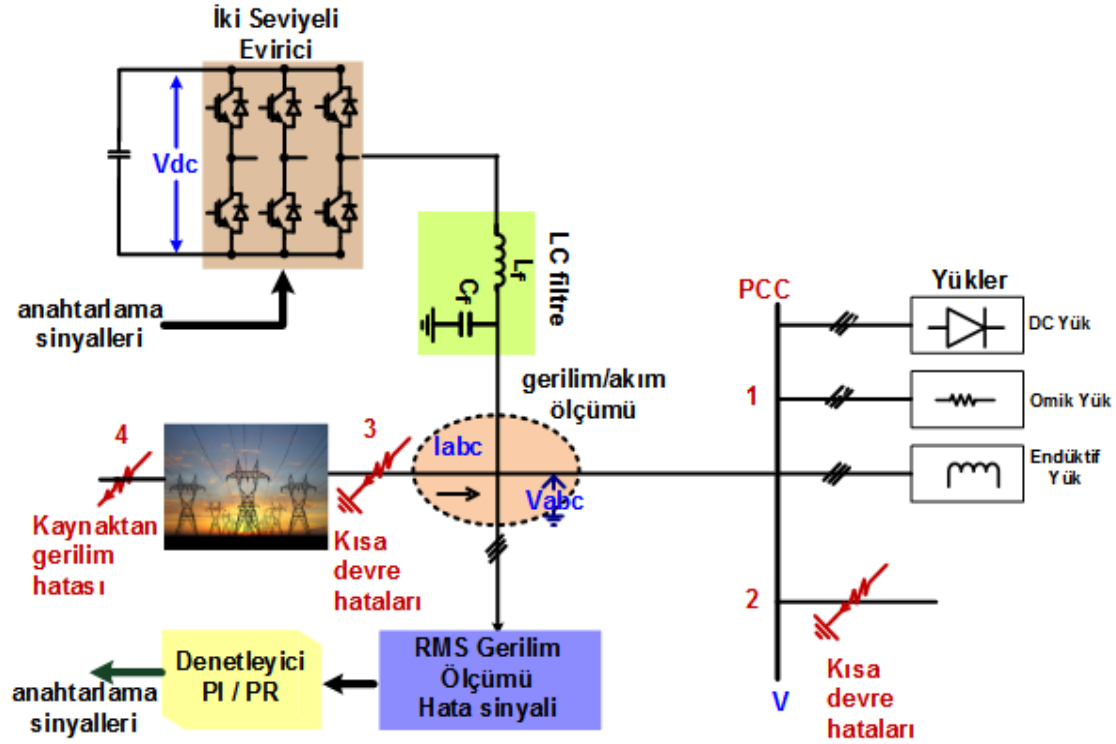
3. Hem aşırı akım çeken yük hem de kaynak (şebeke) tarafında tek faz/üç faz kısa devre hatasından dolayı oluşan gerilim düşümü senaryosu:

Burada sürekli devrede olan sabit yük normal akım (28.3 A) çektiğinden gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, ikinci yük (omik yük, endüktif yük ve doğrultulmuş DA yük) devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. İlk önce sabit yük devrede iken hem aşırı akım çeken yük devreye alınmış hem de D-STATKOM'dan önce tek faz/üç faz kısa devre arıza hatası uygulanmıştır. Sistemde bunlardan dolayı gerilim çukuru oluşmaktadır. Sonra sadece tek faz/üç faz kısa devre hatası uygulanarak şebeke geriliminde gerilim çukuru oluşmaktadır. Her iki durum için farklı oranlarda gerilim düşümü oluşur. Tek faz kısa devre hatası ve üç faz kısa devre için D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilim değişimleri incelenmiştir.

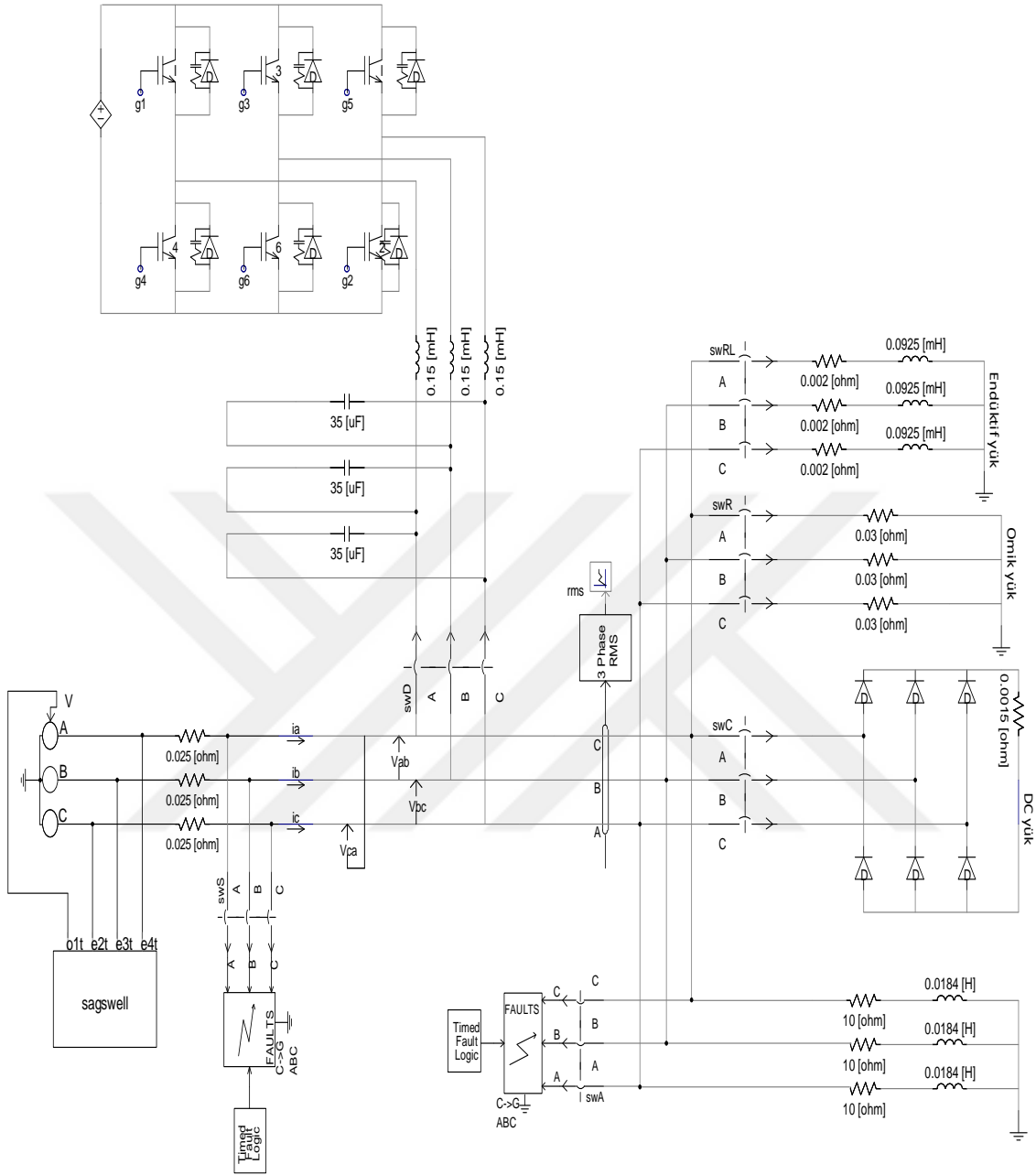
4. Hem şebeke (kaynak) geriliminde oluşan gerilim düşümü hem de aşırı akım çeken yükten kaynaklı gerilim düşümü senaryosu:

Sistemde sabit olan birinci yük sürekli devrededir. Şebeke tarafında oluşturulan %25'lik gerilim düşümü hatası hem de aşırı akım çeken ikinci yük (omik yük, endüktif yük ve doğrultulmuş DA yük) devrede iken gerilim düşümü oluşmaktadır. Sonra ikinci

yük devreden çıkartılarak sadece şebekeden tarafında oluşan %25'lik gerilim düşümü hatası uygulanmaktadır. Gerilim düşümü hatası D-STATKOM'dan önce uygulandığından D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilimi üzerinde etkisi incelenmiştir.



Şekil 3.31. Sisteme paralel bağlı D-STATKOM'un genel benzetim çalışmalarının blok şeması.



Şekil 3.32. Sisteme paralel bağlı D-STATKOM'un genel benzetim çalışmalarının PSCAD modeli.



4. BULGULAR

Şekil 3.32’de görüldüğü üzere bu tez çalışmasında yapılan benzetim çalışmalarının genel modellenmesi verilmiştir. Aşağıdaki benzetim çalışmaları yapılmıştır.

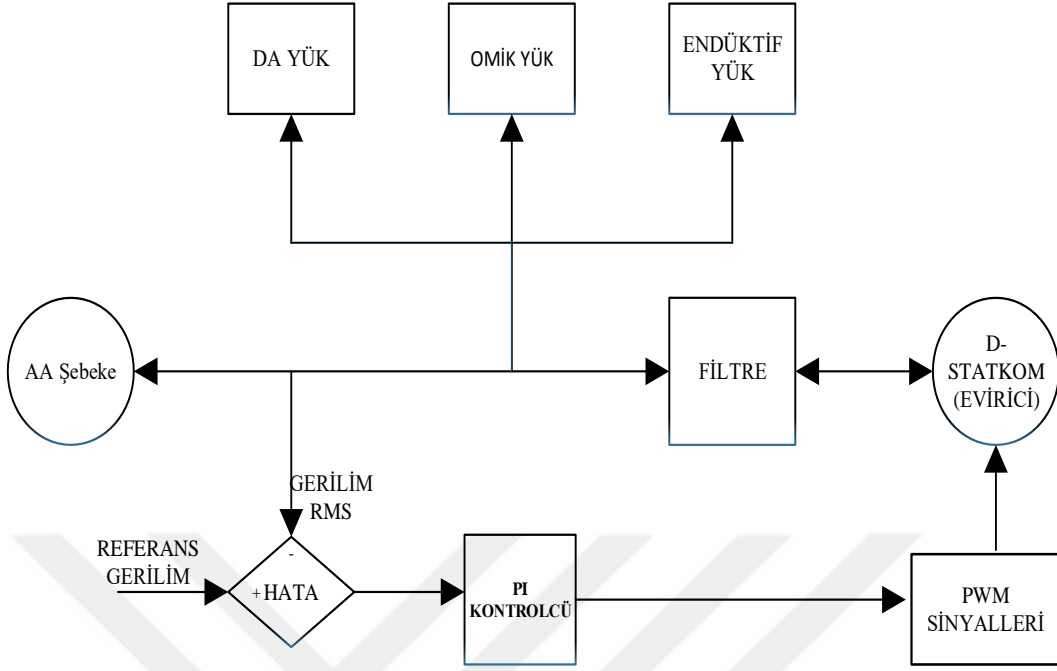
- a) Aşırı akım çeken yüklerden (DA yük, endüktif yük, omik yük) kaynaklanan gerilim düşümü benzetim çalışması,
- b) Aşırı akım çeken yüklerden (DA yük, endüktif yük, omik yük) ve yük tarafında (D-STATKOM’dan sonra) yapılan üç fazlı kısa devre kaynaklı gerilim düşümü benzetim çalışması,
- c) Aşırı akım çeken yüklerden (DA yük, endüktif yük, omik yük) ve kaynak tarafında (D-STATKOM’dan önce) yapılan üç fazlı ve tek fazlı kısa devre kaynaklı gerilim düşümü benzetim çalışması,
- d) Kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü benzetim çalışması.

4.1. D-STATKOM Aşırı Akım Çeken Değişik Yüklerdeki Analizi

0.4 kV’luk dağıtım şebekesine gerilim düşmesine neden olan sırasıyla DA yük, omik yük ve endüktif yük bağlanmıştır. Bu yükler anlık devreye girip çıkmaktadırlar (1.05 sn. ile 1.35 sn. arasında). PI ve PR denetleyicileri kullanarak D-STATKOM’un sistemin gerilimini iyileştirme durumları incelenmiştir. Ayrıca iki denetleyicinin de gerilim çukurlarına karşı tepkilerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

4.1.1. PI kontrollü D-STATKOM değişik yüklerdeki analizi

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi DA yük, omik yük ve endüktif yük sırasıyla devreye alınarak PI kontrollü D-STATKOM’un sistem gerilimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Anlık olarak ölçülen şebeke gerilimi referans bir gerilim değeri ile karşılaştırılarak PI denetleyici girişi için hata değeri elde edilir. Elde edilen hata değerine göre PI, evirici anahtarları için tetikleme sinyalleri üretir.



Şekil 4. 1. PI Kontrollü D-STATKOM değişik yüklerdeki blok şeması.

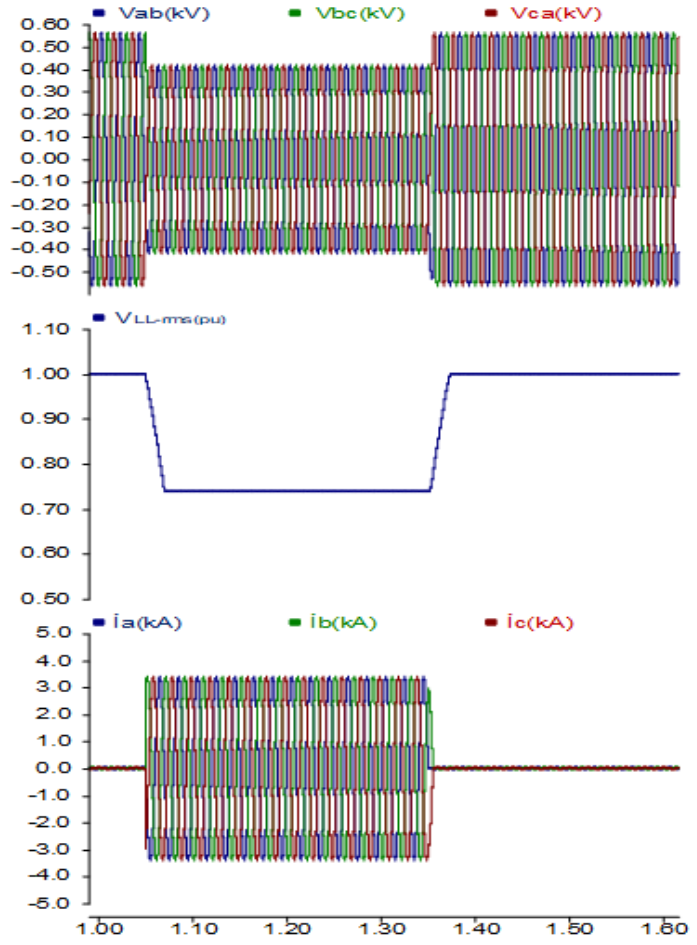
4.1.1.1. DA yüklü sistem

Sistemimizde 0.4 kV'luk besleme kaynağı ve bu kaynak tarafından beslenen biri sabit endüktif yük diğeri de anlık devreye giren ve şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne sebep olan diyotla doğrultulmuş DA yüküdür. Sabit yük devrede iken şebeke geriliminde gerilim düşümü olmamaktadır. Sabit yükün çektiği akım 28,3 A dir.

DA yük 1.05 sn. ile 1.35 sn. arasında devreye girerek Şekil 4.2'de görüldüğü gibi sistem gerilimini %74'lere düşmesine neden olmaktadır. Bu çalışma geriliminde sistemlerin çoğu çalışamaz veya sistem stop eder. Üretim süreci durur. Bu sürede çekilen akım 3400 A dir.

IEEE'ye göre kabul edilen gerilim düşümü oranı %10 geçmemelidir. Bu oran ise IEEE standartlarına kabul edilen bir gerilim düşümü oranıdır.

Burada DA yüklü şebekede PI kontrollü D-STATKOM'un sistem gerilimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Anlık olarak ölçülen şebeke gerilimi referans bir gerilim değeri ile karşılaştırılarak PI denetleyici girişi için hata değeri elde edilir. Elde edilen hata değerine göre PI, evirici anahtarları için tetikleme sinyalleri üretir.

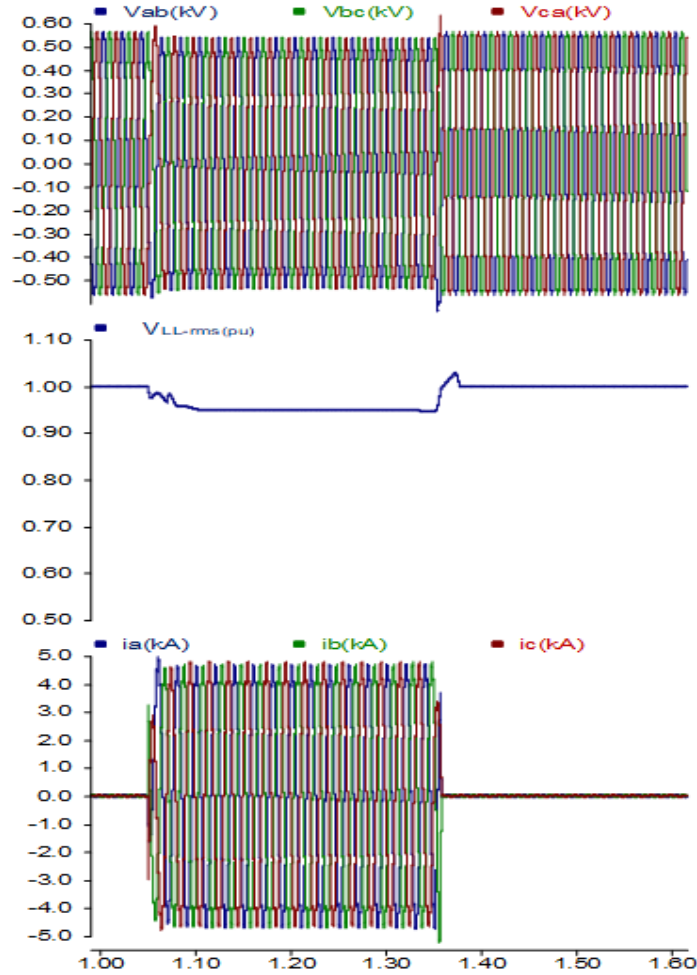


Şekil 4. 2. D-STATKOM devrede değilken a. Üç Faz Hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.3'te görüldüğü üzere 1.05 sn. ile 1.35 sn. arasında devreye giren anlık DA yük sistemde gerilim düşmesine neden olmaktadır. PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde yük tarafındaki gerilimi %95'lere çıkartmaktadır. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi bu gerilim seviyesi standartlarda istenilen seviyededir.

Şekil 4.3'de görüldüğü gibi PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde sistem geriliminin gerilim düşmesini kompanse ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlıyor. Şekil 4.3'de D-STATKOM devreye girdiğinde şebekeden çekilen akım 4600 A dir. Her yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. DA yük için faz açısı -35 derecedir. Sonuçta yükler değiştikçe denetleyicinin faz denetim açısı da değişir. Yüklerin

farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanse edilmesi sağlanmıştır.

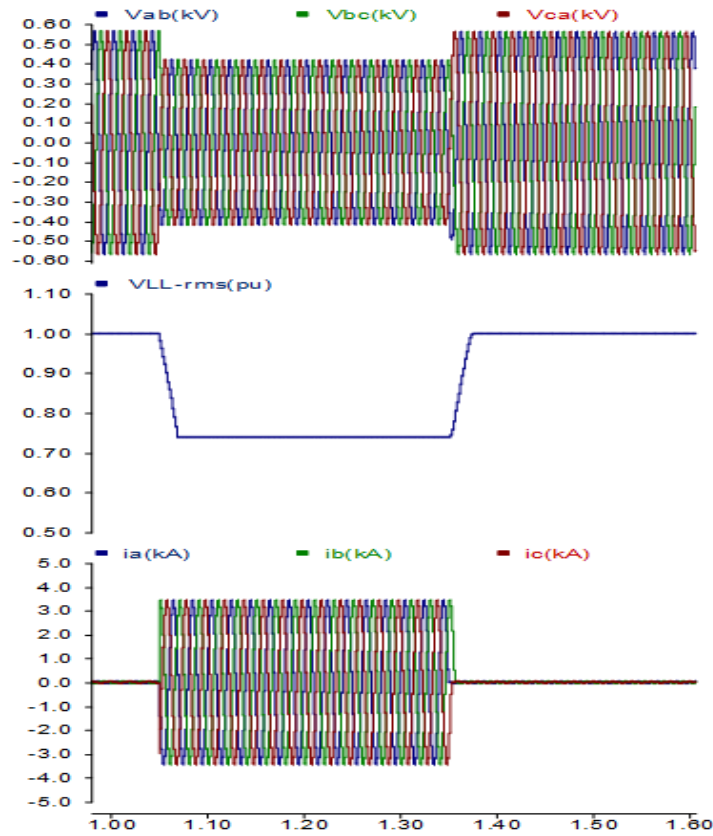


Şekil 4.3. D-STATKOM devrede iken a. Üç Faz Hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.

4.1.1.2. Omik yüklü sistem

Sistemimizde biri sabit yük olan endüktif yük diğeri de anlık devreye giren ve şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne sebep olan üç fazlı omik yük vardır. Şekil 4.4’de bakıldığında 1.05 sn. ile 1.35 sn. arasında devreye giren omik yük sistem gerilimini

%70'lere düşmesine neden olmaktadır. Şebeke faz faz etkin gerilim değeri 400 voltur. Gerilim düşmesi ile bu değer 280 volta düşer. Bu gerilim düşmesi ile sistemlerin çoğu çalışamaz veya sistem stop eder. Üretim süreci durur. Bu sürede çekilen akım 3430 A dir. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi hem üç fazın gerilim ve akımların grafikleri verilmiştir. Ayrıca faz gerilimlerin pu cinsinden grafiği verilmiştir.

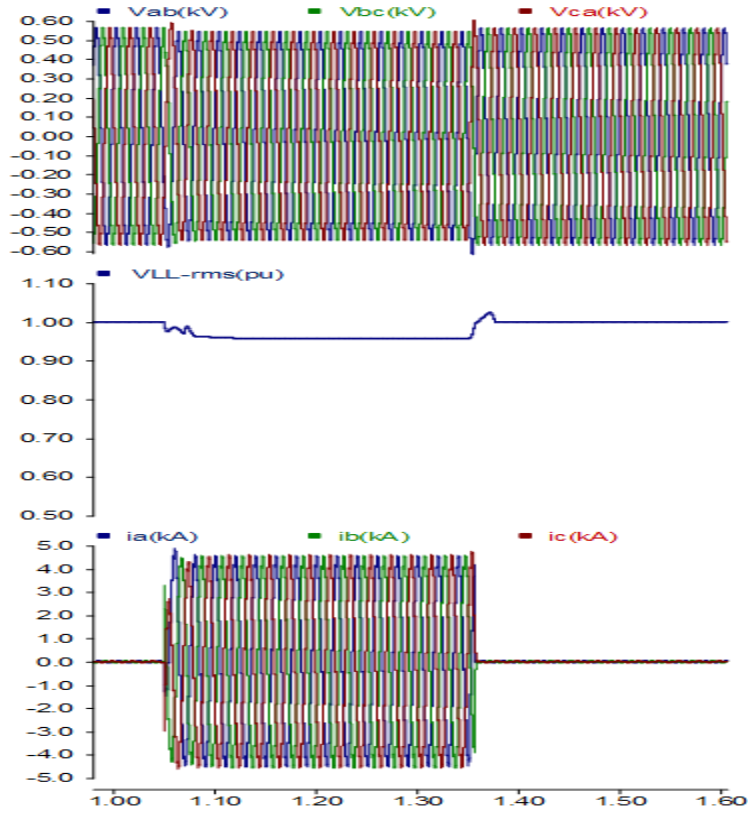


Şekil 4.4. D-STATKOM devrede değilken a. Üç Faz Hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.

Üç fazlı Omik yük 1.05 sn. ile 1.35 sn. arasında devreye girdiğinde sistemde gerilim düşümüne neden olmaktadır. PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde Şekil 4.5'de yük tarafındaki gerilimi %96'lara çıkartmaktadır. Bu gerilim seviyesi standartlarda istenilen seviyededir.

IEEE 'ye göre kabul edilen gerilim düşümü oranı %10 geçmemelidir. Bu oran ise IEEE standartlarına kabul edilen bir gerilim düşümü oranıdır. Bu gerilim oranına

baktığımızda ise PI kontrollü D-STATKOM gerilim düşümü hatalarına karşı 2.5 periyot (50 ms.) gibi bir süre ile hızla tepki verdiğini görülmektedir (Bkz. Şekil 4.15a). Sistem geriliminin 2.5 periyotta istikrarlı hale getiriyor. Sistem geriliminin gerilim düşümünü regüle ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlıyor.

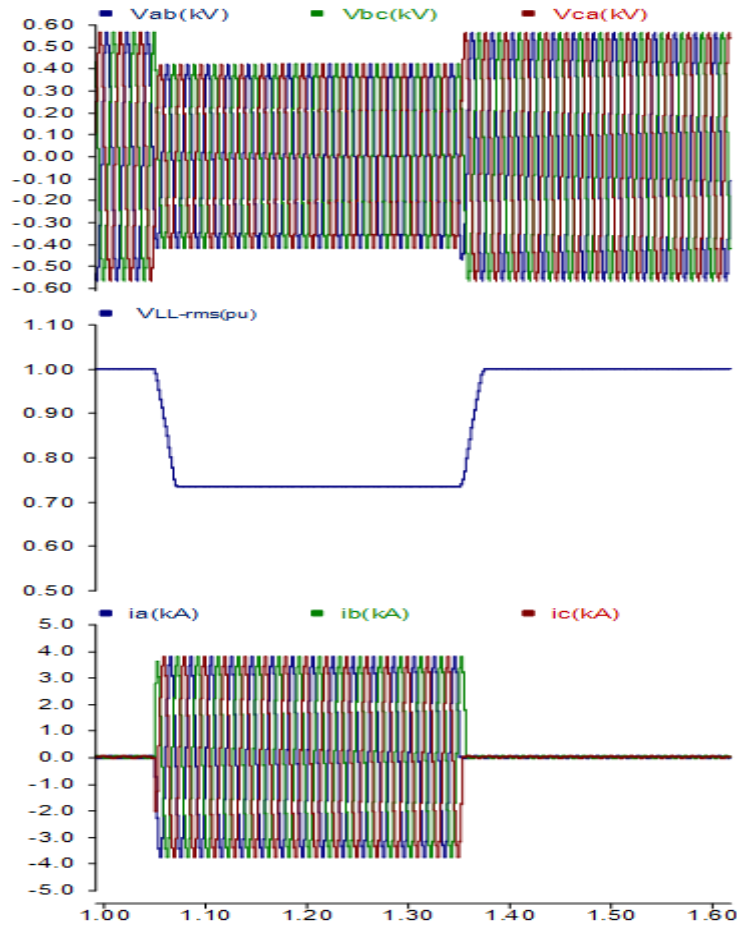


Şekil 4.5. D-STATKOM devrede iken omik yüklü sistemin a. Üç faz hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.

Şebekeden çekilen akımlar D-STATKOM devrede değilken 3430 A çekerken D-STATKOM devreye girdiğinde şebekeden çekilen akım 4550 A dir. D-STATKOM çektiği aktif gücü karşılamak için şebekeden aktif güç çeker. İdeal durumlarda aktif güç alışverişi sıfır olur. Bu omik yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. Omik yük için faz açısı -34 derecedir. Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanse edilmesi sağlanmıştır.

4.1.1.3. Endüktif yüklü sistem

Sistemimizde biri sabit endüktif yük ile diğeri de anlık devreye giren ve şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne sebep olan üç fazlı endüktif yük vardır. Şekil 4.6'da 1.05 sn. ile 1.35 sn. arasında devreye giren ikinci endüktif yük sistem geriliminin %68'lere düşmesine neden olmaktadır.

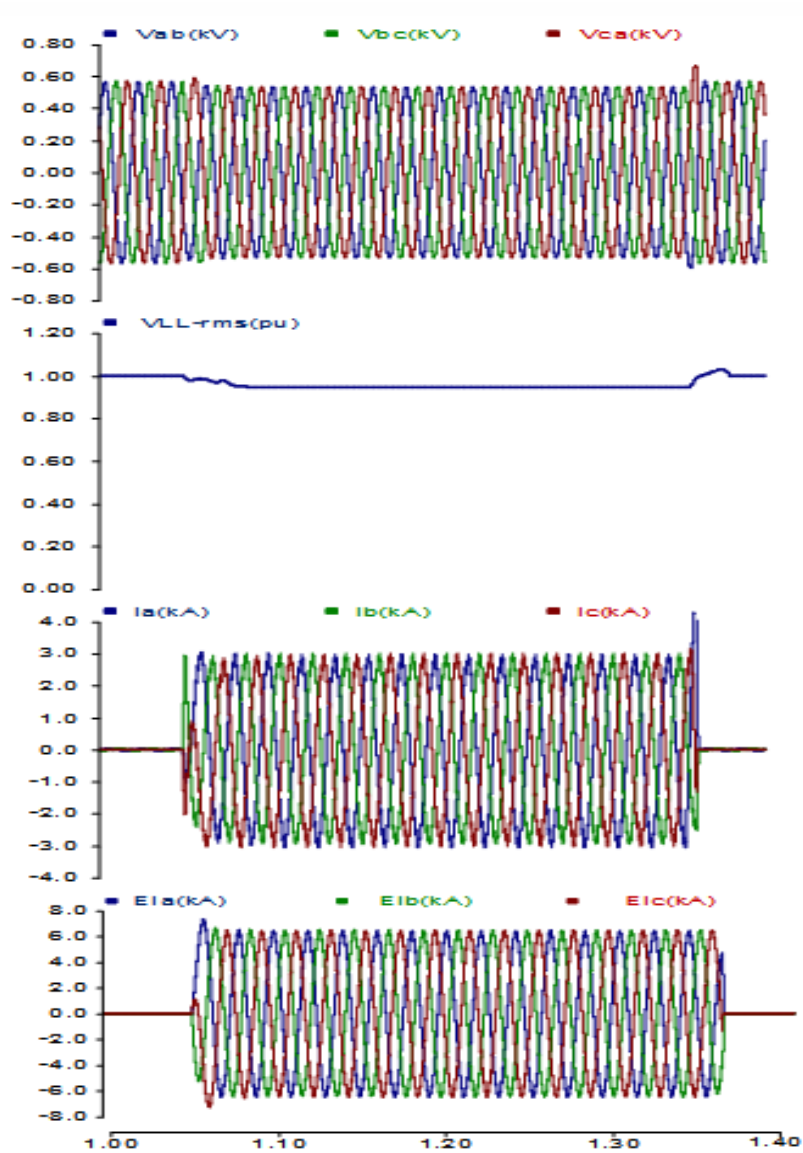


Şekil 4.6. D-STATKOM devrede değilken a. Üç faz hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.

Şebeke faz faz etkin gerilim değeri 400 voltur. Gerilim düşümü ile bu değer 272 volta düşer. Bu gerilim çukuru ile sistemlerin çoğu çalışamaz duruma gelir veya sistem

durur. Bu sürede çekilen akım 3768 A dir. Şekil 4.6’da görüldüğü gibi hem üç fazın gerilim ve akımları verilmiştir. Ayrıca faz gerilimlerin pu cinsinden verilmiştir.

Üç fazlı endüktif yük 1.05 sn. ile 1.35 sn. arasında devreye girdiğinde sistemde gerilim düşmesine neden olmaktadır. Şekil 4.7’de görüldüğü gibi PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde yük tarafındaki gerilimi %94.5'lere çıkartmaktadır. Bu gerilim seviyesi standartlara göre istenilen seviyededir.



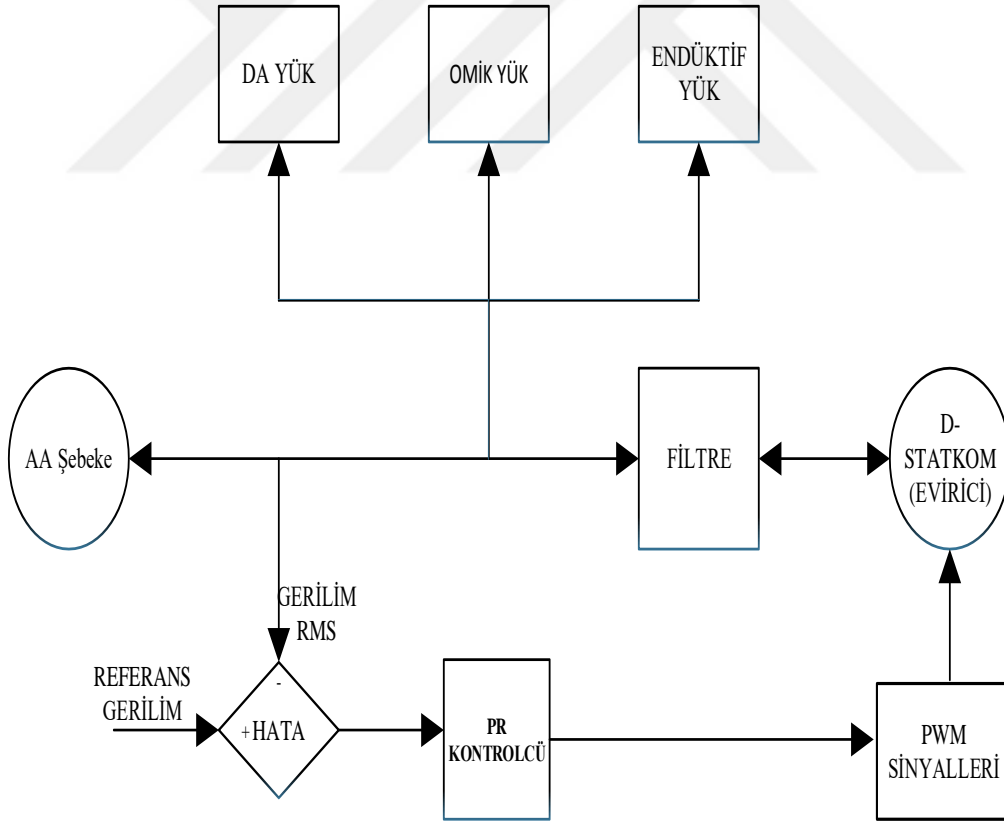
Şekil 4.7. D-STATKOM devrede iken endüktif yüklü sistem a. Üç faz hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları d. Evirici akımları.

Sistem geriliminin gerilim çökmesini regüle ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlıyor. Şebekeden çekilen akımlar D-STATKOM devrede değilken 3768 A çekerken D-STATKOM devreye girdiğinde şebekeden çekilen akım 3000 A dır.

PI denetleyicinin endüktif yüklerde daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. Endüktif yük için faz denetim açısı -34 derecedir. Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlanmıştır.

4.1.2. PR kontrollü D-STATKOM değişik yüklerdeki analizi

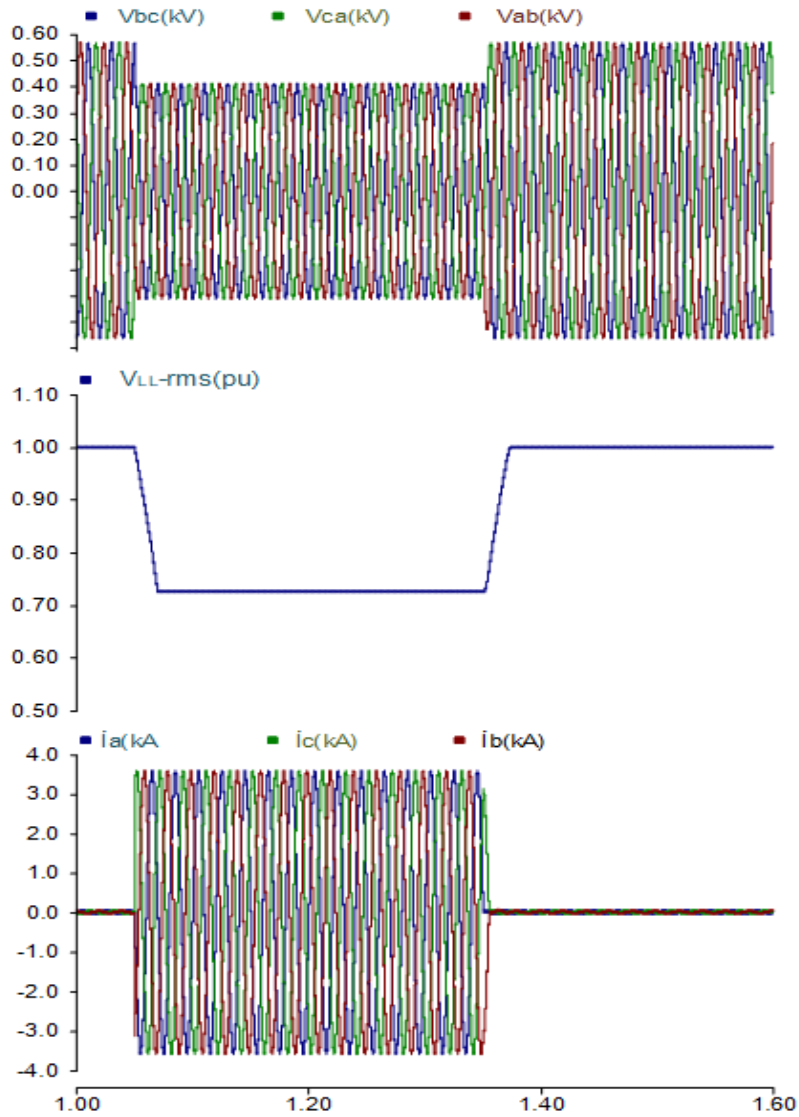
Şekil 4.8’de görüldüğü gibi DA yük, omik yük ve endüktif yük sırasıyla devreye alınarak PR kontrollü D-STATKOM’un sistem gerilimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.8. PR kontrollü D-STATKOM blok şeması.

4.1.2.1. DA yüklü sistem

Sistemimizde biri sabit yük olan endüktif yük değeri de anlık devreye giren ve şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne sebep olan üç fazlı doğrultulmuş DA yük vardır. Doğrultulmuş yük 1.05sn. ile 1.35 sn. arasında devreye girdiğinde Şekil 4.9'da görüldüğü gibi şebeke geriliminin %72.5'lere düşmesine sebep olmaktadır.



Şekil 4.9. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken DA yüklü sistem a. Üç Faz Hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.

Şebeke faz faz etkin gerilim değeri 400 voltur. Gerilim düşmesi ile faz faz arası gerilim değeri 290 volta düşer. Bu gerilim düşmesi ile sistemlerin çoğu problem yaşar. Sistemlerde oluşan sıkıntıların %80'i gerilim düşmeleri neden olmaktadır.

Bu sürede çekilen akım 3583 A dir. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi hem üç fazın gerilim ve akımları verilmiştir. Ayrıca faz gerilimlerin pu(birim değer) cinsinden grafiği görülmektedir.

Üç fazlı diyotlarla doğrultulmuş DA yük 1.05 sn. ile 1.35 sn. arasında devreye girdiğinde şebekede %28 civarında gerilim düşümüne neden oluyor. PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde Şekil 4.10'da görüldüğü gibi yük tarafındaki gerilimi %91'lere çıkartmaktadır. Çok iyi olmasa da bu gerilim değeri kabul edilebilir seviyededir.

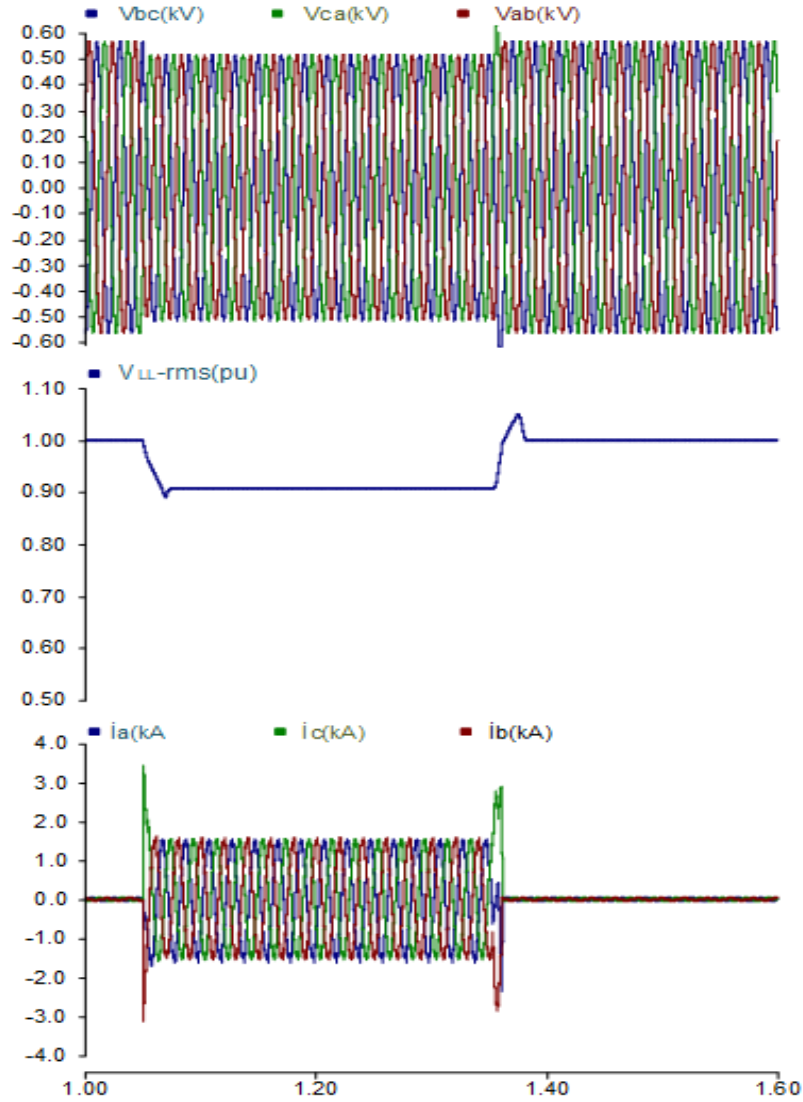
IEEE 'ye göre kabul edilen gerilim düşümü oranı %10 geçmemelidir. Bu oran ise IEEE standartlarına kabul edilen bir gerilim düşümü oranıdır.

Burada DA yüklü şebekede PR kontrollü D-STATKOM'un sistem gerilimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Anlık olarak ölçülen şebeke gerilimi referans bir gerilim değeri ile karşılaştırılarak PR denetleyici girişi için hata değeri elde edilir. Elde edilen hata değerine göre PR denetleyici, evirici anahtarları için tetikleme sinyalleri üretir.

PR denetleyicinin sistemdeki hatalara karşı cevap verme süresi 1.25-1.5 periyot (25ms) gibi bir süre ile hızla tepki verdiğini görülmektedir (Bkz. Şekil 4.15b).

Şebeke geriliminde oluşan gerilim çukurunu hızlı ve karalı bir şekilde kompanze ederek sistemin çalışmasına ve sistemin devamlılığını sağlıyor. Şebekeden çekilen akımlar D-STATKOM devrede değilken 3583 A çekerken D-STATKOM devreye girdiğinde şebekeden çekilen akım 1500 A dir. D-STATKOM ihtiyacı olan aktif gücü karşılamak için şebekeden aktif güç çeker. İdeal durumlarda ise aktif güç alışverişi sıfır olur.

Bu yük durumu içinde farklı faz denetim açıları girilmiştir. Doğrultulmuş DA yük için faz denetim açısı 32 derecedir. PR Denetleyicinin farklı yük durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlamıştır.

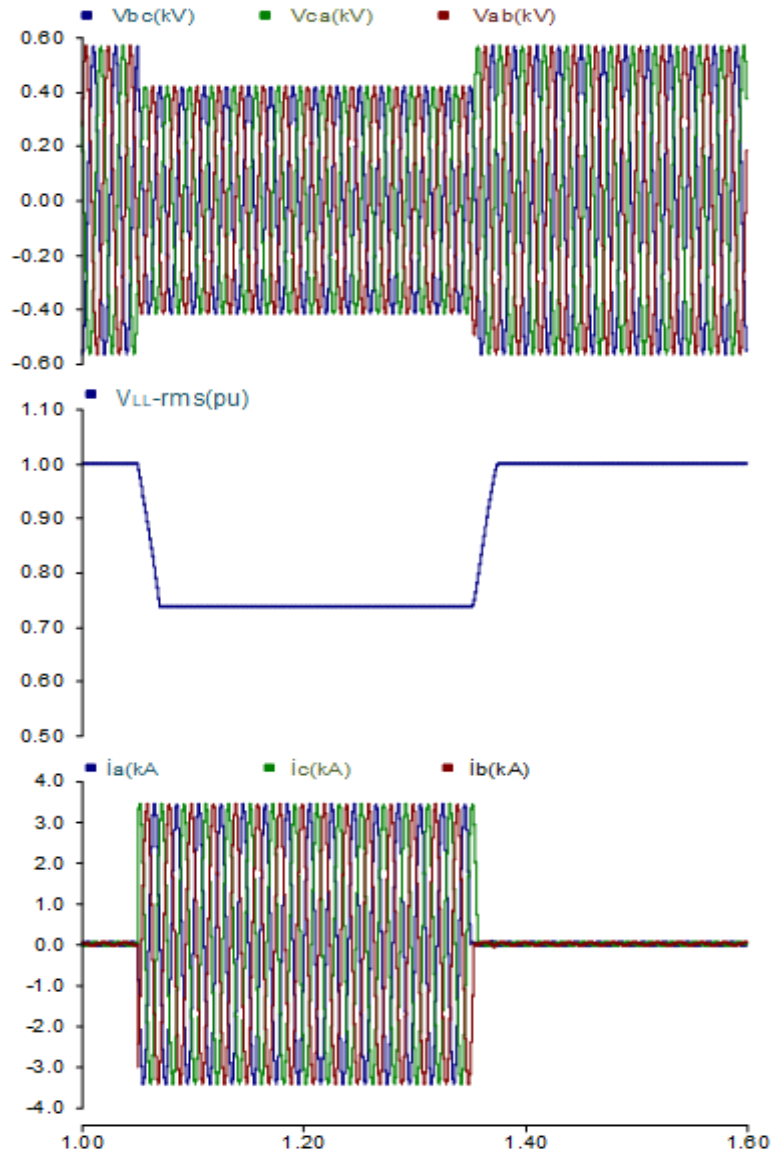


Şekil 4.10. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken DA yüklü sistem a. Üç Faz Hat gerilimleri b. Faz gerilimleri per unit değeri c. Faz akımları.

4.1.2.2. Omik yüklü sistem

Şebekeye bağlı yük olarak anlık devreye giren ve şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne sebep olan üç fazlı omik yük ve diğeri de sabit yük olan endüktif yük vardır. Üç fazlı omik yük 1.05 sn. ile 1.35 sn. arasında devreye girdiğinde Şekil 4.11’de görüldüğü gibi yük geriliminin %74’lere düşmesine sebep oluyor. Şebeke faz faz efektif gerilim değeri 400 voltuttur. Gerilim düşmesi ile faz faz arası gerilim değeri 296 volta

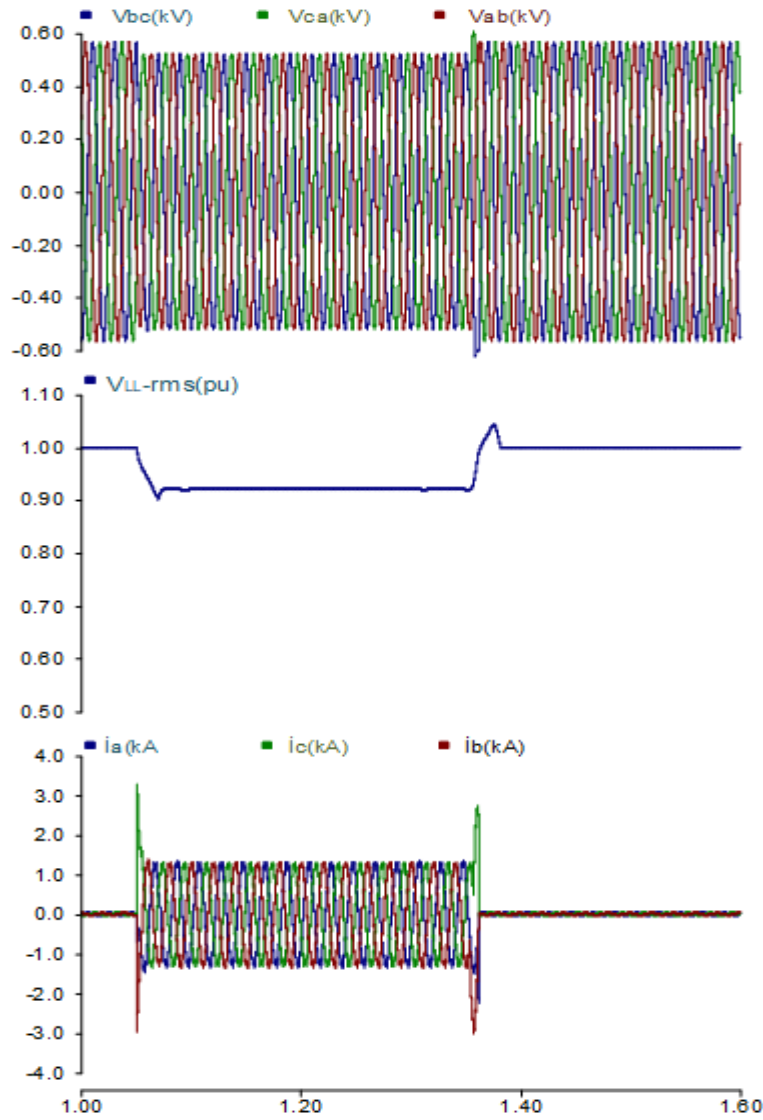
düşer. Oluşan gerilim çukurlarından dolayı sistemlerin çoğu problem yaşar. Bu sürede çekilen akım 3434 A dir. Yani anlık olarak devreye giren yük 3405.7 A. akım çeker. Sabit olan diğer yük ise 28.3 A akım çekmektedir. Şekil 4.11’de görüldüğü gibi hem üç fazın gerilim ve akımları verilmiştir. Ayrıca faz gerilimlerin pu(birim değer) cinsinden grafiği görülüyor.



Şekil 4.11. PR Kontrollü D-STATKOM devrede değil iken omik yüklü sistem a. Faz gerilimleri b. Faz gerilimleri pu değeri c. Faz akımları.

Üç fazlı omik yük 1.05 sn. ile 1.35 sn. arasında devreye girdiğinde şebekede %27 civarında gerilim düşümüne neden olmaktadır. PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde Şekil 4.12'deki gibi yük tarafındaki gerilimi %92'lere çıkartmaktadır. Bu gerilim değeri kabul edilebilir seviyededir.

Kabul edilen gerilim düşümü oranı %10 geçmemelidir. Bu oran ise IEEE standartlarına kabul edilen bir gerilim düşümü oranıdır.



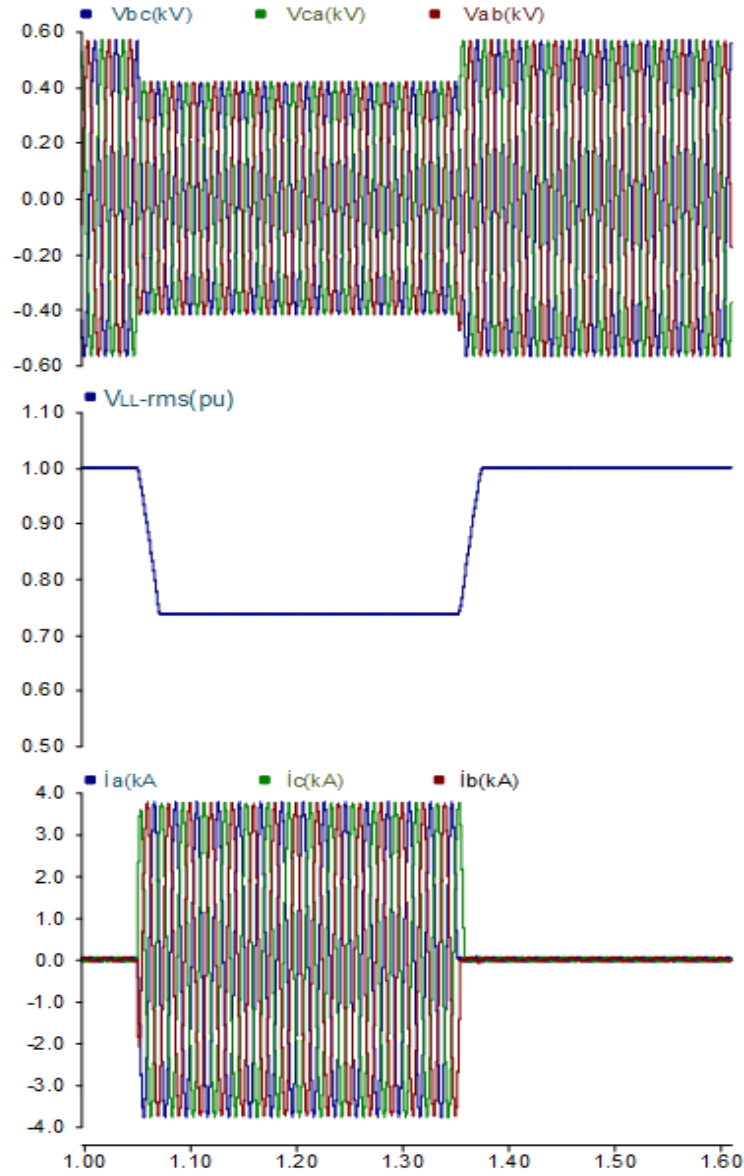
Şekil 4.12. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken omik yüklü sistem a. Faz gerilimleri b. Faz gerilimleri pu değeri c. Faz akımları.

Şebeke geriliminde oluşan gerilim düşmesini hızlı ve karalı bir şekilde kompanze ederek sistemin çalışmasına ve sistemin devamlılığını sağlıyor. Şebekeden çekilen akımlar D-STATKOM devrede değilken 3583 A çekerken D-STATKOM devreye girdiğinde şebekeden çekilen akım 1300 A dir.

PR denetleyicinin sistemdeki hatalara karşı cevap verme süresi 1.25 periyot (25ms) gibi bir süre ile hızla tepki verdiğini görülmektedir (Bkz. Şekil 4.15b). Bu yük durumu içinde farklı faz denetim açıları girilmiştir. Omik yük için faz denetim açısı 32 derecedir. PR denetleyicinin farklı yük durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde iyileştirilmesi sağlamıştır

4.1.2.3. Endüktif yüklü sistem

Biri sabit olmak üzere diğeri de anlık devreye giren ve şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olan üç fazlı endüktif yük şebekeye bağlıdır. Anlık olarak 1.05 sn. ile 1.35 sn. arasında devreye giren endüktif yük Şekil 4.13'de görüldüğü gibi yük geriliminin %73.5'lere kadar düşmesine sebep oluyor. Sistemin faz faz efektif gerilim değeri 400 voltuttur. Gerilim düşmesi ile faz faz arası gerilim değeri 294 volta düşer. Meydana gelen gerilim düşümünden dolayı sistemlerin çoğu problem yaşar. Bu sürede çekilen akım 3753 A dir. Yani anlık olarak devreye giren yük 3724.7 A akım çekmektedir. Diğer sabit olan yük ise 28.3 A akım çekmektedir. Şekil 4.13'de görüldüğü gibi hem üç fazın gerilim ve akımları verilmiştir. Ayrıca faz gerilimlerin pu(birim değer) cinsinden grafiği görülüyor.

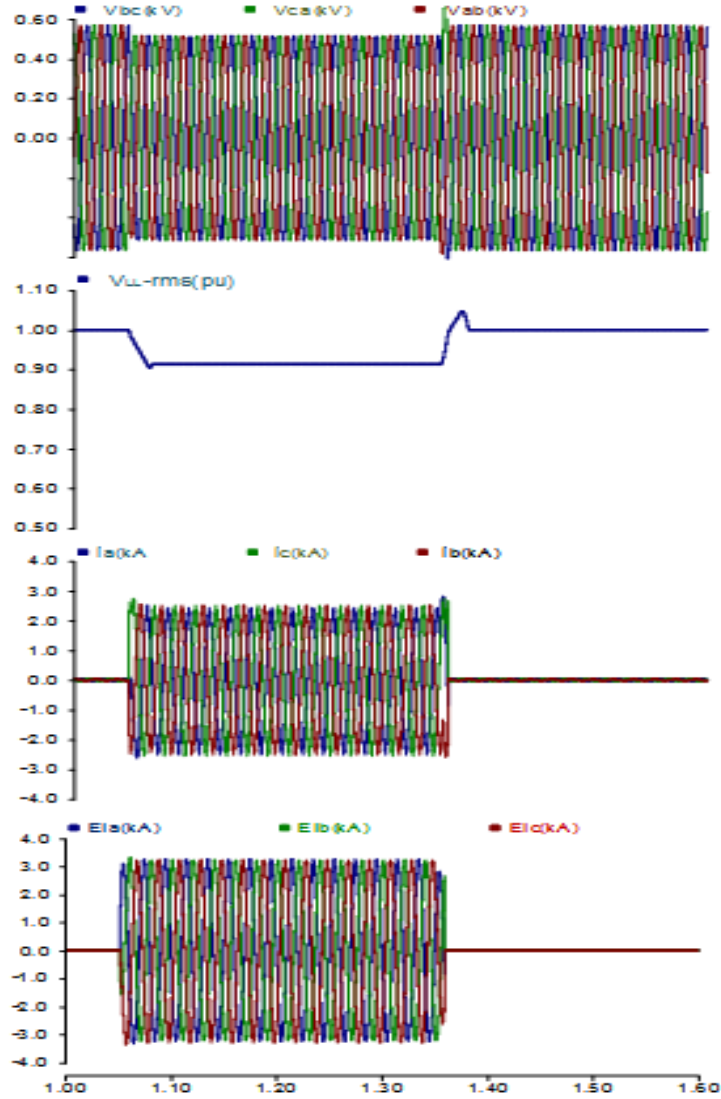


Şekil 4.13. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken endüktif yüklü sistem a. Faz gerilimleri b. Faz gerilimleri pu değeri c. Faz akımları.

1.05 sn. ile 1.35 sn. aralığında anlık olarak devreye giren üç fazlı endüktif yük şebekede %26.5 civarında gerilim düşümüne neden olmaktadır. PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde Şekil 4.14'de görüldüğü gibi yük tarafındaki gerilimi %91.5'lere çıkartmaktadır. Bu gerilim değeri kabul edilebilir seviyededir.

Kabul edilen gerilim düşümü oranı %10 geçmemelidir. Bu oran ise IEEE standartlarına kabul edilen bir gerilim düşümü oranıdır.

PR denetleyicinin sistemdeki hatalara karşı cevap verme süresi 25 ms. gibi kısa bir sürede tepki verdiği görülmektedir (Bkz. Şekil 4.15c).



Şekil 4.14. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken endüktif yüklü sistem a. Faz gerilimleri b. Faz gerilimleri pu değeri c. Faz akımları d. Evirici akımları.

Şebeke geriliminde oluşan gerilim çukurunu hızlı ve karalı bir şekilde kompanse ederek sistemin çalışmasına ve sistemin devamlılığını sağlıyor. Şebekeden çekilen

akımlar D-STATKOM devrede değilken 3753 A çekerken D-STATKOM devreye girdiğinde şebekeden çekilen akım 2400 A dir.

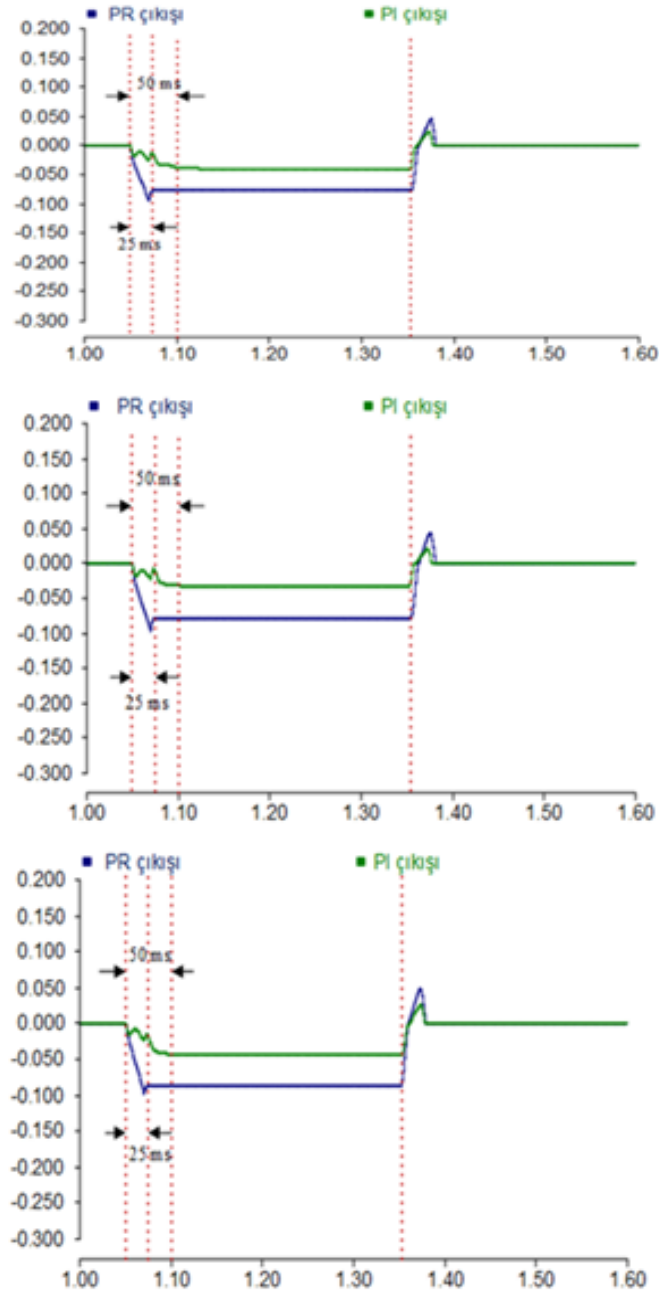
Bu yük durumu içinde farklı faz denetim açıları girilmiştir. Endüktif yük için faz denetim açısı 28 derecedir. PR denetleyicinin endüktif yük durumunda farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlamıştır.

4.1.3. Yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması

Yapılan benzetim çalışmalarında D-STATKOM'un çeşitli nedenlerden dolayı bunlar; aşırı akım çeken yüklerden dolayı şebeke geriliminde meydana gelen gerilim düşümlerini(çukurlarını) kompanze ederek gerilim kalitesini iyileştirmesi üzerine çalışılmıştır. En çok karşılaşılan güç kalitesi sorunu olan gerilim düşümü sorununu yok ederek gerilim kalitesini artırmayı göstermektedir. Faz açısı yöntemi kullanılarak iki farklı denetleyici olan PI ve PR ile D-STATKOM'un denetimi sağlanmıştır.

Sistemde biri sabit ve nominal yük (28.3 A. akım çeken yük) olmak üzere ikincisi ani devreye giren ve aşırı akım çeken yük olmak üzere iki tür yük devreye girmektedir. Sistemde kullanılan ikinci yükler endüktif yük, omik yük ve kontrolsüz doğrultulmuş DA yüküdür. Anlık devreye giren yüklerle birlikte gerilim düşümü meydana gelmektedir.

Yapılan benzetim çalışmalarında bakıldığında D-STATKOM gerilim düşmelerine karşı iyi ve hızlı şekilde tepki vererek şebeke gerilimini standartlarda kabul edilen sınırlara yükselttiğini görülmektedir. Aynı sistemde ve aynı yüklerde PI ve PR denetleyicilerin karşılaştırması yapıldığında PR denetleyicinin PI denetleyiciye göre daha hızlı tepki vererek gerilimi statbil hale getirmektedir. Şekil 4.15a, Şekil 4.15b, Şekil 4.15c'de görüldüğü gibi sırasıyla DA yükte, omik yükte ve endüktif yükte yani üç yükteki grafikler üst üste getirilerek karşılaştırılmıştır. PI kontrollü D-STATKOM gerilim düşümü hatalarına karşı 2.5 periyot (50 ms.) gibi bir süre ile hızla tepki verdiğini Şekil 4.15'de PI çıkış grafiğinde görülmektedir. PR denetleyicinin sistemdeki hatalara karşı cevap verme süresi Şekil 4.15'de görüldüğü gibi 1.25 periyot (25ms) gibi bir süre ile hızla tepki verdiğini görülmektedir.



Şekil 4. 15. PI ve PR denetleyicilerin yüklere göre çıkış eğrileri.

Çizelge 4.1'e bakıldığında ise gerilim yükseltme işleminde ise PI denetleyici PR denetleyiciye göre daha fazla gerilim yükseltme işlemi gerçekleştiriyor.

Aşağıdaki tabloda durum kısaca özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması

PI	Gerilim	Gerilim	PR	Gerilim	Gerilim
Denetleyici	Düşüm Oranı (D- STATKOM devrede değilken)	Yükseltme Oranı(D- STATKOM devrede iken)	Denetleyici	Düşüm Oranı(D- STATKOM devrede değilken)	Yükseltme Oranı(D- STATKOM devrede iken)
Yük			Yük		
DA Yük	%74	%95	DA Yük	%74	%92
Omik Yük	%74	%96	Omik Yük	%74	%92
Endüktif Yük	%73.5	%94.5	Endüktif Yük	%73.5	%91.5

4.2. D-STATKOM'un Yük Tarafından Yapılan Kısa Devre Analizi

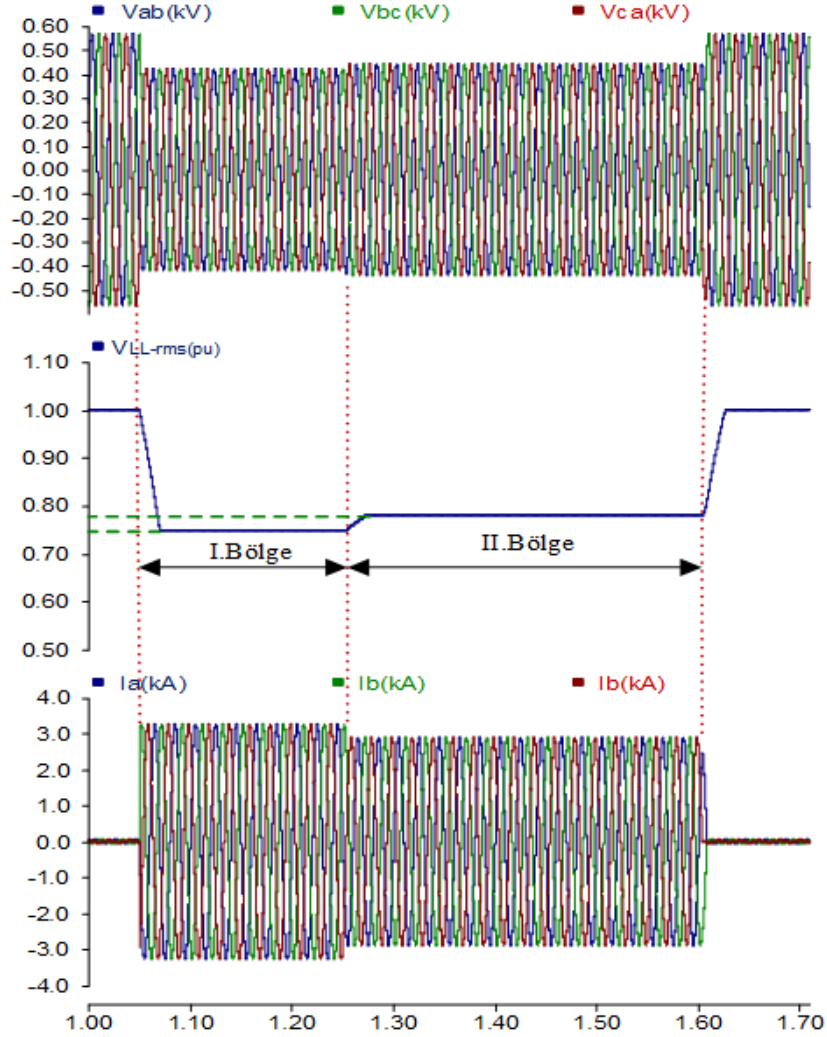
4.2.1. PI kontrollü D-STATKOM yük tarafında yapılan üç faz kısa devre analizi

Sisteme biri sabit yük diğeri de anlık olarak devreye giren ve aşırı akım çeken doğrultulmuş DA yük, omik yük ve endüktif yük bağlanmıştır. Yük tarafında üç faz kısa devre hatası uygulanarak D-STATKOM'un gerilim düzeltme seviyesi tespit edilmiştir. Aynı şekilde bu yüklerde ve hatalarda PI ve PR denetleyicilerin karşılaştırılması yapılmıştır.

4.2.1.1. DA yüklü sistem

Sisteme üç fazlı doğrultulmuş DA yük değeri 0.75 ohmdur. Şekil 4.16'da görüldüğü gibi I. bölge olarak gösterilen aralıkta yani 1.05-1.25 sn. süresince hem DA yük hem de üç faz kısa devre hatası uygulanıyor. Şebeke nominal efektif gerilim değeri 0.4 kV'tur. 1.05-1.25 sn. zaman aralığında yüke uygulanan gerilim %75'lere düşmektedir. Şebekeden çekilen akım I. bölge denilen aralıkta 4900 A dir. II. Bölgede ise sadece üç faz kısa devre hatası 1.25-1.60 sn. zaman aralığında uygulanmaktadır. Şekil

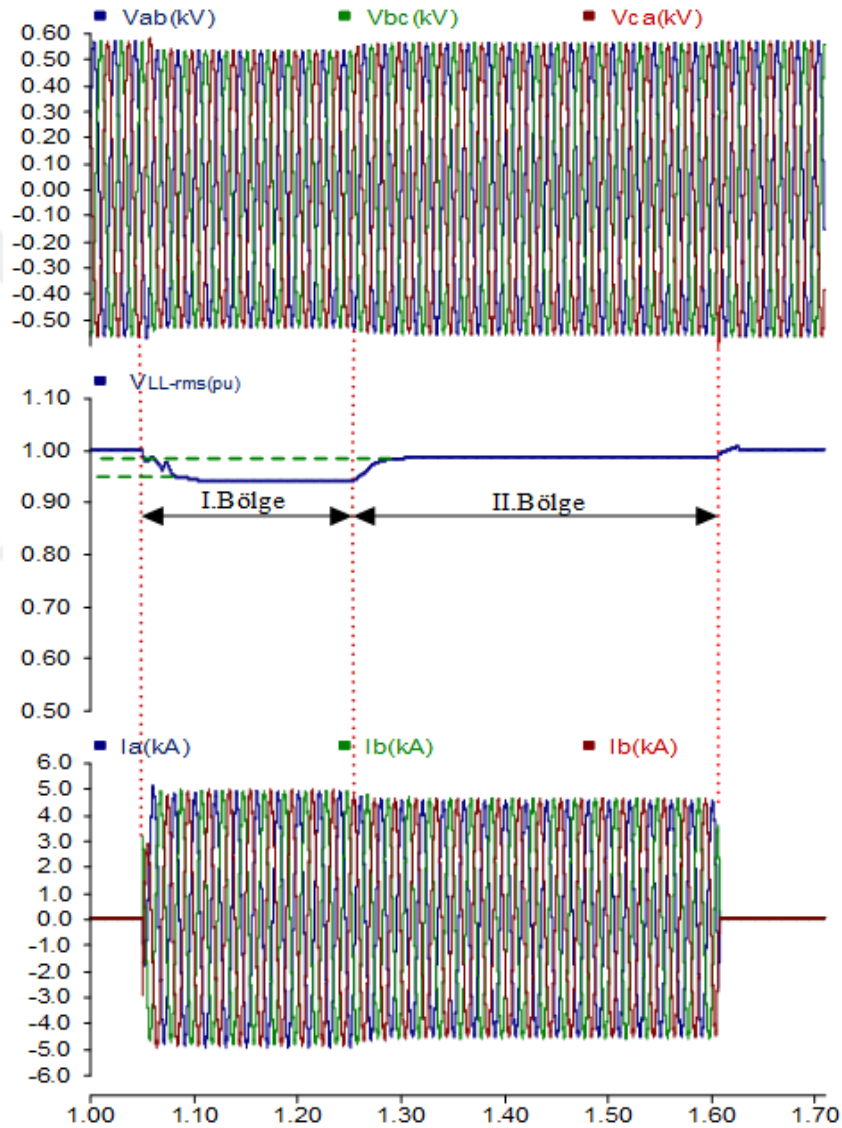
4.16'da görüldüğü gibi yüke uygulanan gerilim %78'lere düşmektedir. II. Bölgede ise çekilen akım 4550 A dir.



Şekil 4. 16. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken DA yük ve üç faz kısa devre hatası a. Üç faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.17'de görüldüğü gibi PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde I. bölge de yani aynı anda iki hatanın olduğu zaman aralığında gerilimi %94 değerine çıkartmaktadır. II. Bölgede sadece üç faz kısa devre hatası olduğu durumda ise PI kontrollü D-STATKOM gerilimi %98 üzerine çıkararak sistemin çalışma devamlılığının sağlanması ve gerilim düşme problemini giderdiği görülmektedir. I. Bölgede şebekeden

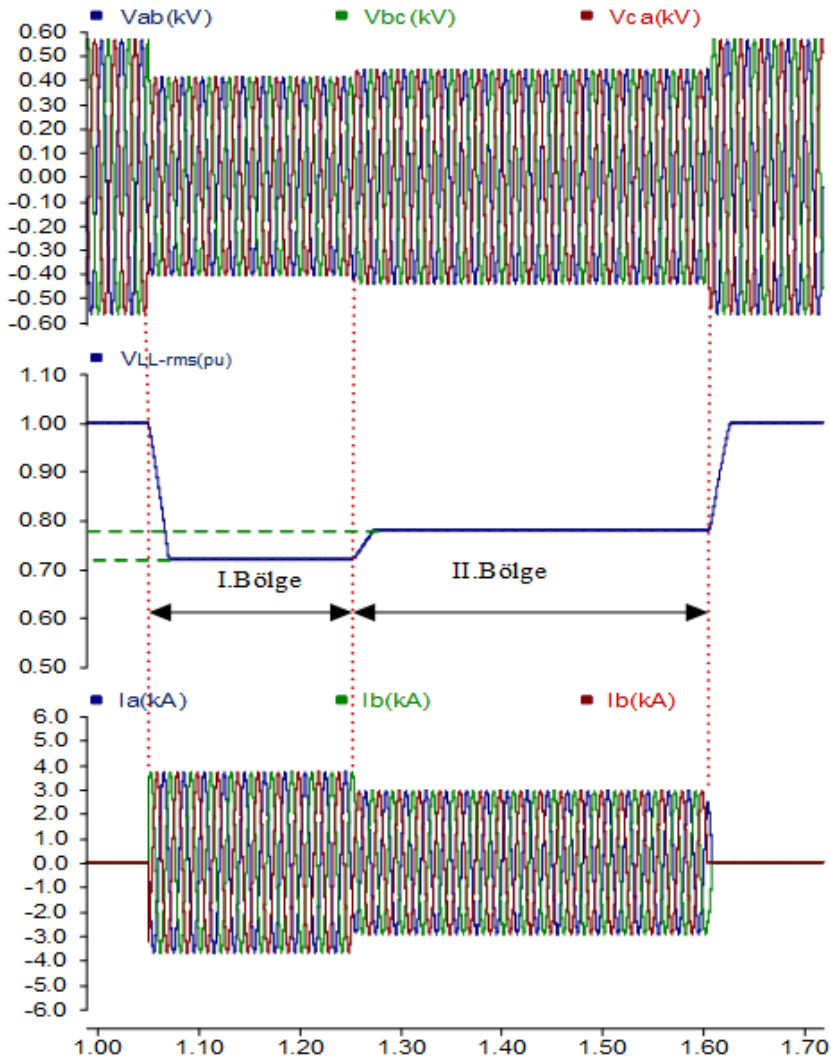
çekilen akım 3255 A dir. II. Bölgede şebekeden çekilen akım 2900 A dir. Üç faz kısa devre hatası ve DA yük için faz denetim açısı -7 derecedir. Sonuçta yükler ve hatalar değiştiğinde denetleyicinin faz denetim açısı da değişir. Kabul edilen gerilim düşümü oranı %10 geçmemelidir. Bu oran ise IEEE standartlarına göre kabul edilen bir gerilim düşümü oranıdır.



Şekil 4. 17. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken DA yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri, b. Gerilimlerin pu değeri, c. Faz akımları.

4.2.1.2. Omik yüklü sistem

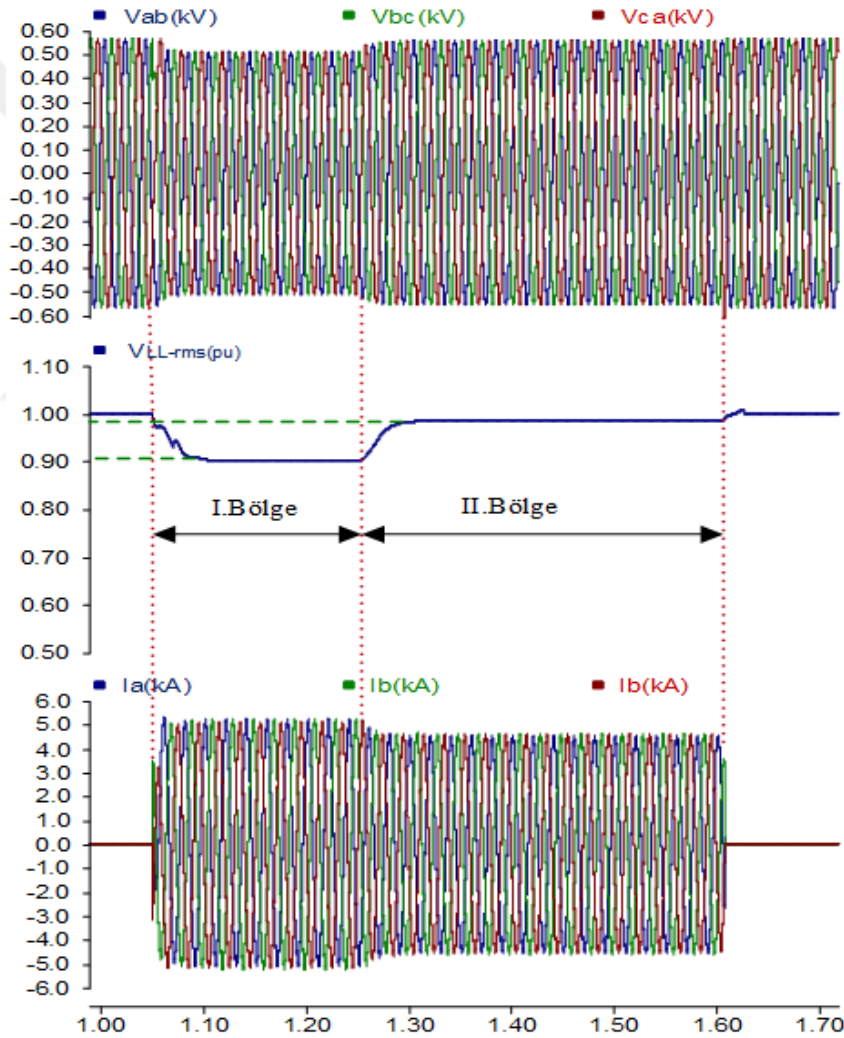
Sisteme yük olarak üç fazlı 0.21 ohm değerinde direnç bağlanmıştır. Şekil 4.18’de görüldüğü gibi I. bölgede 1.05-1.25 sn. aralığında hem omik yük devrede hem de üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Gerilim RMS pu değeri %72'lere düşmektedir. II. bölgede 1.25-1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Üç faz kısa devre hatasında ise gerilim RMS pu değeri %78 seviyesindedir.



Şekil 4.18. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken omik yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

I. Bölgede hem omik yük hem de kısa devre hatası uygulanan aralıkta çekilen akım 3664 A dir. II. Bölgede omik yük devreden çıktığında ise çekilen faz akımı 2900 A dir. Sabit olan yük 28.3 A akım çekmektedir. Yani çekilen kısa devre akımı yaklaşık olarak 2872 A dir. I. Bölgede fazla akım çekmesinin nedeni hem omik yük devrede hem de kısa devre hatası uygulanmaktadır.

Şekil 4.19'da I. bölgede 1.05-1.25 sn. aralığında hem üç fazlı omik yük devrede hem de üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde Şekil 4.19'da da görüldüğü gibi gerilimi %90'a çıkartmaktadır



Şekil 4.19. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken omik yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Bu gerilim oranı istenilen seviyededir. I. Bölgede hem omik yük hem de kısa devre hatası uygulanan aralıkta çekilen akım 5225 A dir.

Şekil 4.19'da II. bölgede 1.25-1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulandığı zaman PI kontrollü D-STATKOM gerilimi %98'e çıkartmaktadır. IEEE'ye göre kabul edilen gerilim düşümü oranı %10 geçmemelidir. II. Bölgede omik yük devreden çıktığında ise çekilen faz akımı 4550 A dir.

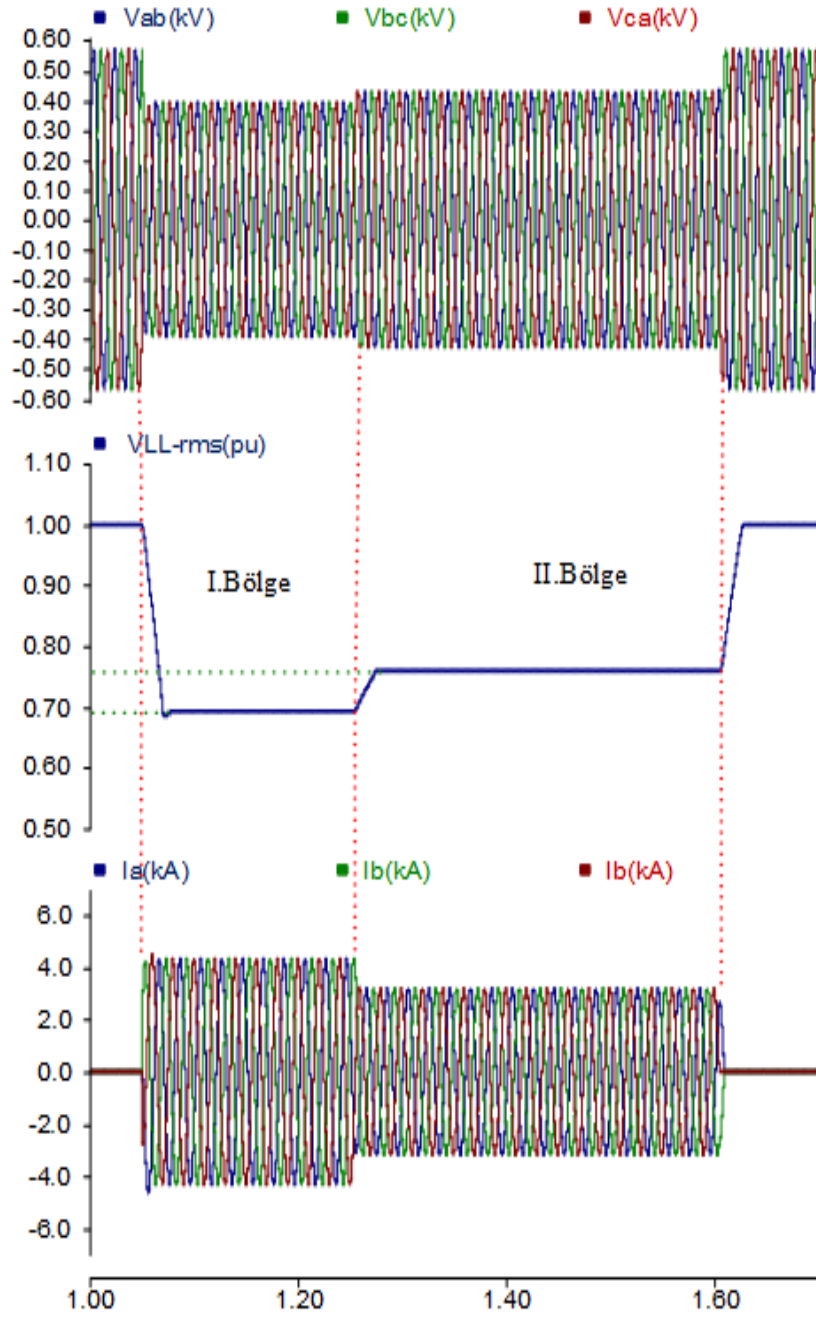
Bu gerilim oranına baktığımızda ise PI kontrollü D-STATKOM kısa devre hatalarına karşı 2.5 periyot (50ms) gibi bir sürede gerilimi kararlı hale getirmektedir (Bkz. Şekil 4.40b). Sistem geriliminin gerilim düşmesini kompanze ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlıyor.

Şebekeden çekilen akımların büyük olmasının nedeni ise kısa devre akımlarıdır. Her yük için aynı kontrol yöntemi kullanılmıştır. Her yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. Omik yük için faz denetim açısı -7 derecedir. Sonuçta yükler ve arıza tipleri değişikçe faz denetim açısı da değişir. Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlanmıştır.

4.2.1.3. Endüktif yüklü sistem

Sistemde biri sabit endüktif yük (10+J0.0184) diğeri anlık olarak devreye giren ikinci endüktif yük (0.2+J0.0003) vardır. Şekil 4.20'de görüldüğü gibi I. Bölgede 1.05-1.25 sn. aralığında hem anlık olarak devreye giren endüktif yük devrede hem de üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Gerilim RMS pu değeri %69'lara düşmektedir. II. bölgede 1.25-1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Üç faz kısa devre hatasında ise gerilim RMS pu değeri %75'lere düşmektedir.

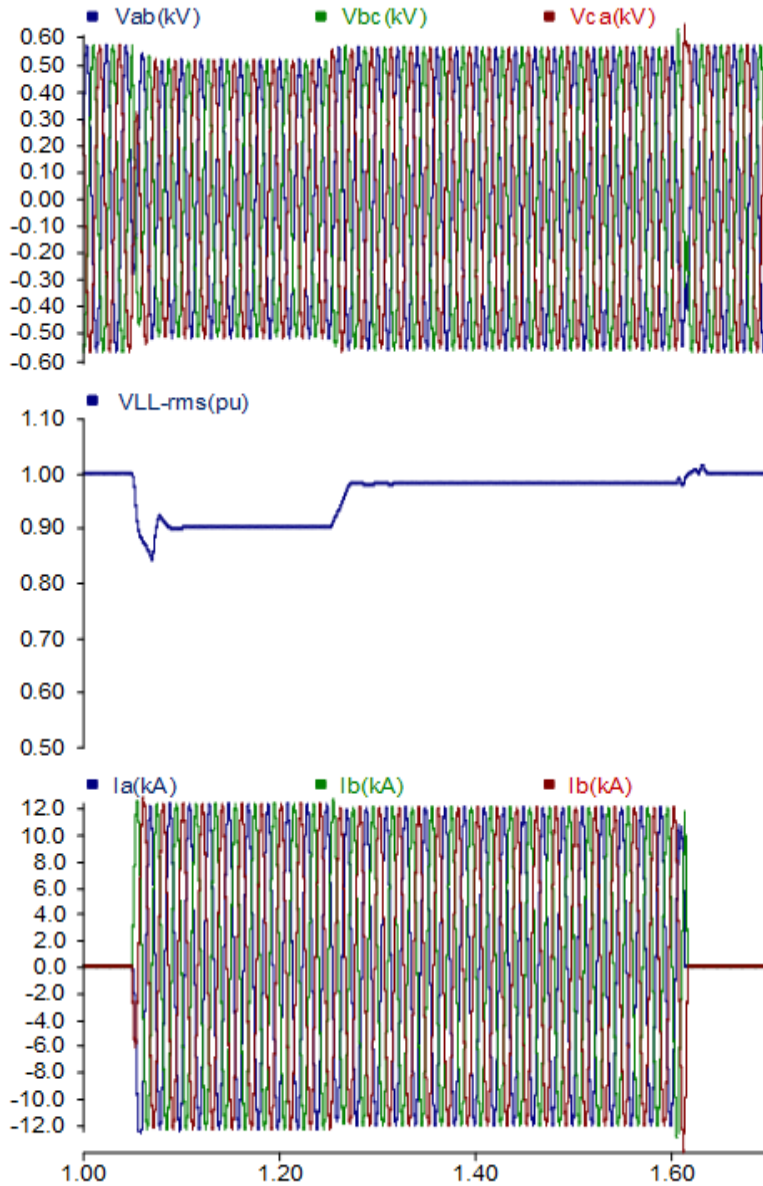
I. Bölgede hem endüktif yük hem de kısa devre hatası uygulanan aralıkta çekilen akım 4328 A dir. II. Bölgede ikinci endüktif yük devreden çıktığında ise çekilen faz akımı 3180 A dir. Sabit olan yük 28.3 A akım çekmektedir. Yani çekilen kısa devre akımı yaklaşık olarak 3152 A dir. I. Bölgede fazla akım çekmesinin nedeni hem aşırı akım çeken endüktif yük devrede hem de kısa devre hatası uygulanmasıdır.



Şekil 4.20. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken endüktif yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde Şekil 4.21'de görüldüğü gibi I. Bölgede gerilimi %90'a çıkartmaktadır. Bu durum kabul edilebilir gerilim düşümü

oranıdır. II. bölgede 1.25-1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulandığı zaman PI kontrollü D-STATKOM gerilimi %98'e çıkartmaktadır. Bu oran istenilen bir gerilim düşümü oranıdır. Bu gerilim oranına baktığımızda ise PI kontrollü D-STATKOM kısa devre hatalarına karşı 2.5 periyot (50ms) gibi bir sürede gerilimi kararlı hale getirmektedir (Bkz. Şekil 4.40c). II. Bölgede bu süre daha azdır (yaklaşık 25 ms).



Şekil 4.21. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken endüktif yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Sistem geriliminin gerilim düşmesini kompanze ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlıyor. Şebekeden çekilen akımların büyük olmasının nedeni ise kısa devre akımlarıdır. Endüktif yük için faz denetim açısı 150.5 derecedir. Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlanmıştır.

4.2.2. PR kontrollü D-STATKOM yük tarafında yapılan üç faz kısa devre analizi

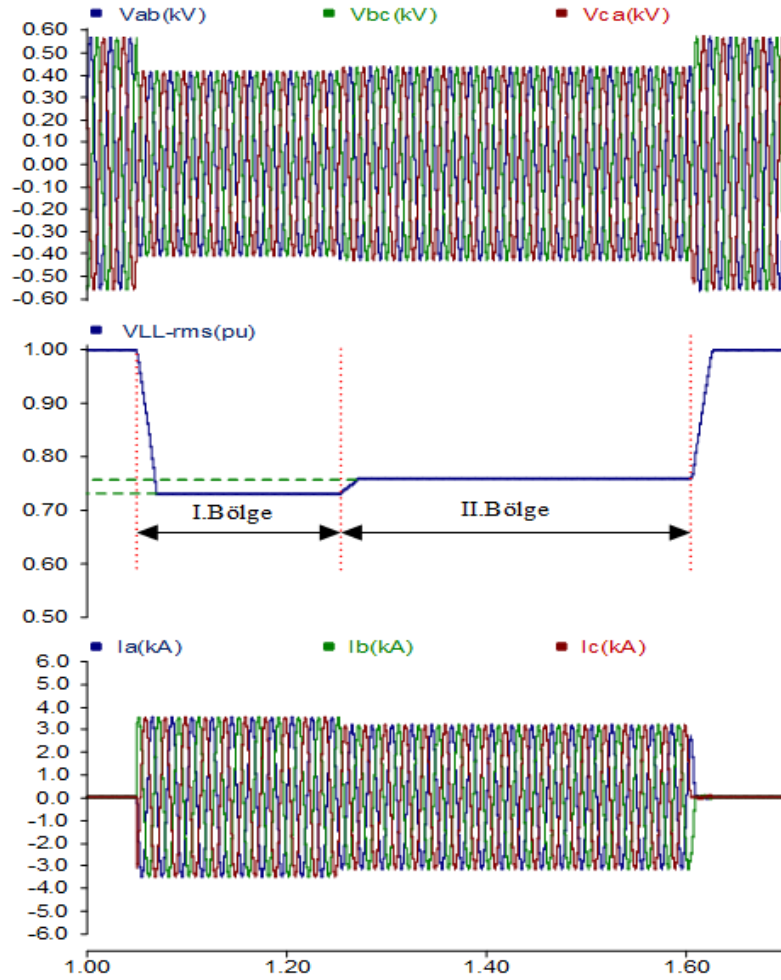
Başlangıçta sadece sabit yük devrededir. Sabit yük devrede iken 28.3 A nominal akım çektiğinden gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, aşırı akım çeken yük (omik yük, endüktif yük ve doğrultulmuş DA yük) devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. Bu bölümde hem aşırı akım çeken yük hem de üç faz kısa devre arıza hatası uygulanarak gerilim düşümü oluşturulmaktadır. İkinci bölümde ise sadece üç faz kısa devre hatası uygulanarak gerilim düşümü oluşmaktadır. Birinci ve ikinci bölgedeki(etaptaki) gerilim değerleri anlık olarak yük noktasında ölçülmektedir. Ölçülen değer birim değere(pu) dönüştürülür. Bu değer referans gerilim değeri arasındaki fark denetleyici için gerekli olan hata sinyalini oluşturmaktadır. Denetleyici istenilen anahtarlama sinyallerini üretir. Burada D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilim değişimleri incelenmiştir.

Sisteme yük olarak doğrultulmuş DA yük, omik yük ve endüktif yük bağlanmıştır. Yükler şebekeden aşırı akım çektiklerinden dolayı devreye girdiklerinde bir gerilim düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca yük tarafında üç faz kısa devre hatası uygulanarak D-STATKOM'un gerilim düzeltme seviyesi tespit edilmiştir.

4.2.2.1. DA yüklü sistem

Sisteme 0.75 ohm değerinde üç fazlı doğrultulmuş DA yük bağlanmıştır. Şekil 4.22'de görüldüğü gibi 1.05-1.25 sn. aralığında DA yük devrede ve üç faz kısa devre hatası ise 1.05 sn. başlayarak 0.55 sn. sürmektedir. Yani I. Bölge olarak gösterilen 1.05-1.25 sn. süresince hem DA yük hem de üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Şebeke

nominal efektif gerilim değeri 0.4 kV'tur. 1.05-1.25 sn. zaman aralığında yüke uygulanan gerilim I. bölgede %74.5'lere, II. bölgede ise %78'lere düşmektedir. Şebekeden çekilen akım I. bölge aralığında 3275 A ve II. bölge aralığında 2925 A dir.

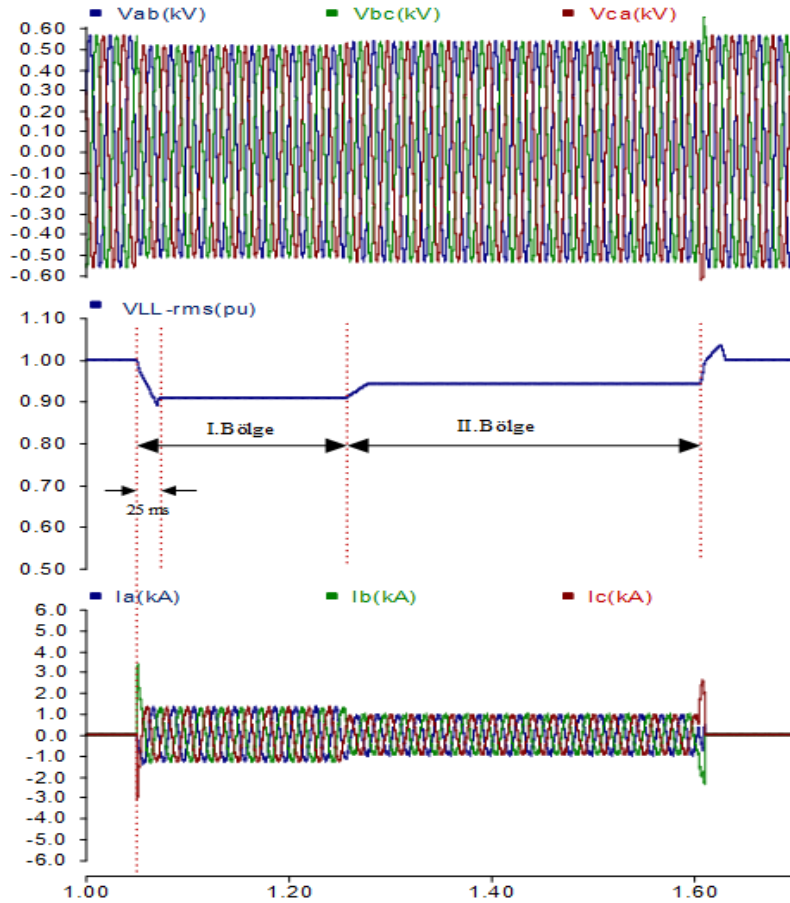


Şekil 4.22. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken DA yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.23'de PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde I. bölge de yani aynı anda iki hatanın olduğu zaman aralığında gerilimi %92.5 seviyesine çıkartmaktadır. II. Bölgede sadece üç faz kısa devre hatası olduğu durumda ise PR kontrollü D-STATKOM gerilimi %96'ya çıkartarak sistemin çalışma devamlılığının sağlaması ve gerilim düşme problemini giderdiği görülmektedir. Bu gerilim düşümü oranları IEEE standartlarına göre

kabul edilebilir sınırlar içindedir. Şekil 4.23’de görüldüğü gibi şebekeden çekilen akım I. bölge için 1150 A ve II. bölgede çekilen akım 900 A dir.

DA yük ve üç faz kısa devre için faz denetim açısı 0 derecedir. Sonuçta yükler değiştikçe denetleyicinin faz denetim açısı da değişir.

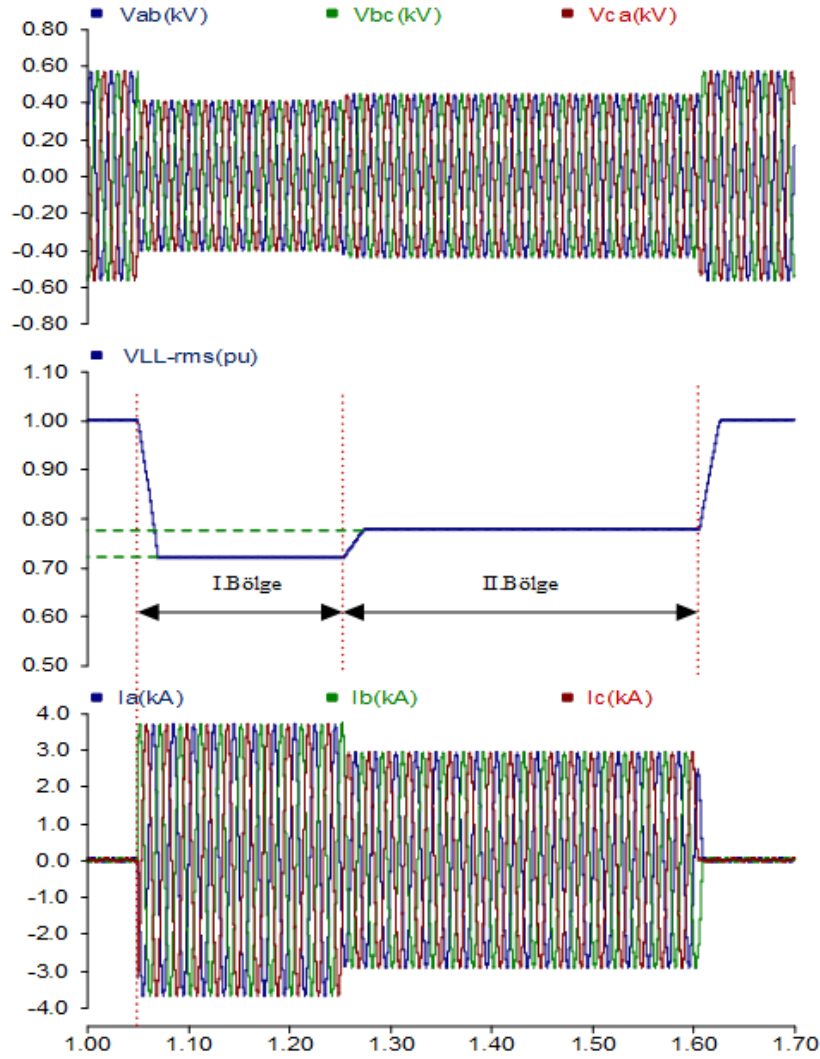


Şekil 4.23. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken DA yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

4.2.2.2. Omik yüklü sistem

Sisteme yük olarak üç fazlı 0.21 ohm direnç bağlanmıştır. Şekil 4.24’de görüldüğü gibi I. bölgede 1.05-1.25 sn. aralığında hem omik yük devrede hem de üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Gerilim RMS pu değeri %72'lere düşmektedir. II. Bölgede 1.25-

1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Üç faz kısa devre hatasında ise gerilim RMS pu değeri %78 civarında olmaktadır.

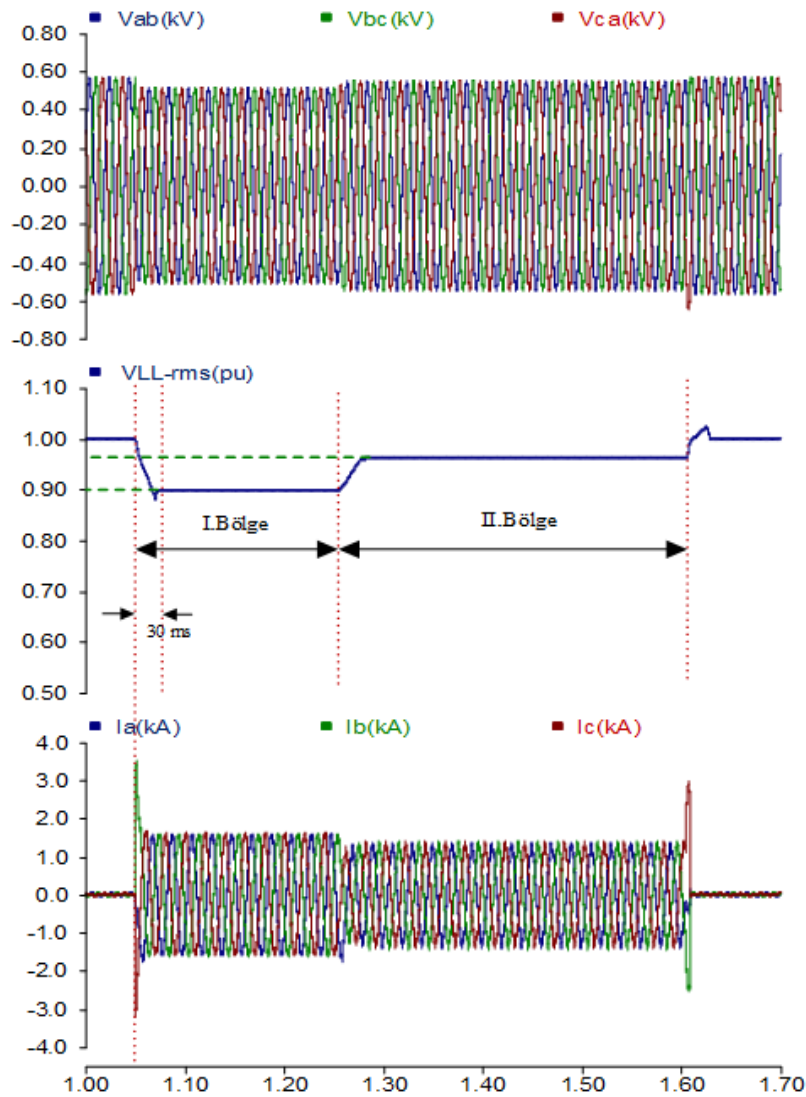


Şekil 4.24. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken omik yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

I. Bölgede hem omik yük hem de kısa devre hatası uygulanan aralıkta Şekil 4.24'de görüldüğü gibi çekilen akım 3675 A dir. II. Bölgede omik yük devreden çıktığında ise çekilen faz akımı 2928 A dir. Sabit olan yük 28.3 A akım çekmektedir.

Yani çekilen kısa devre akımı yaklaşık olarak 2900 A dir. I. Bölgede fazla akım çekmesinin nedeni hem DA yük devrede hem de kısa devre hatası uygulanmasıdır.

I. Bölgede 1.05-1.25 sn. aralığında hem üç fazlı omik yük devrede hem de üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Şekil 4.25’de görüldüğü gibi PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde gerilimi %90'a çıkartmaktadır. II. Bölgede 1.25-1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulandığı zaman PR kontrollü D-STATKOM gerilimi %96'ya çıkartmaktadır.



Şekil 4.25. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken omik yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

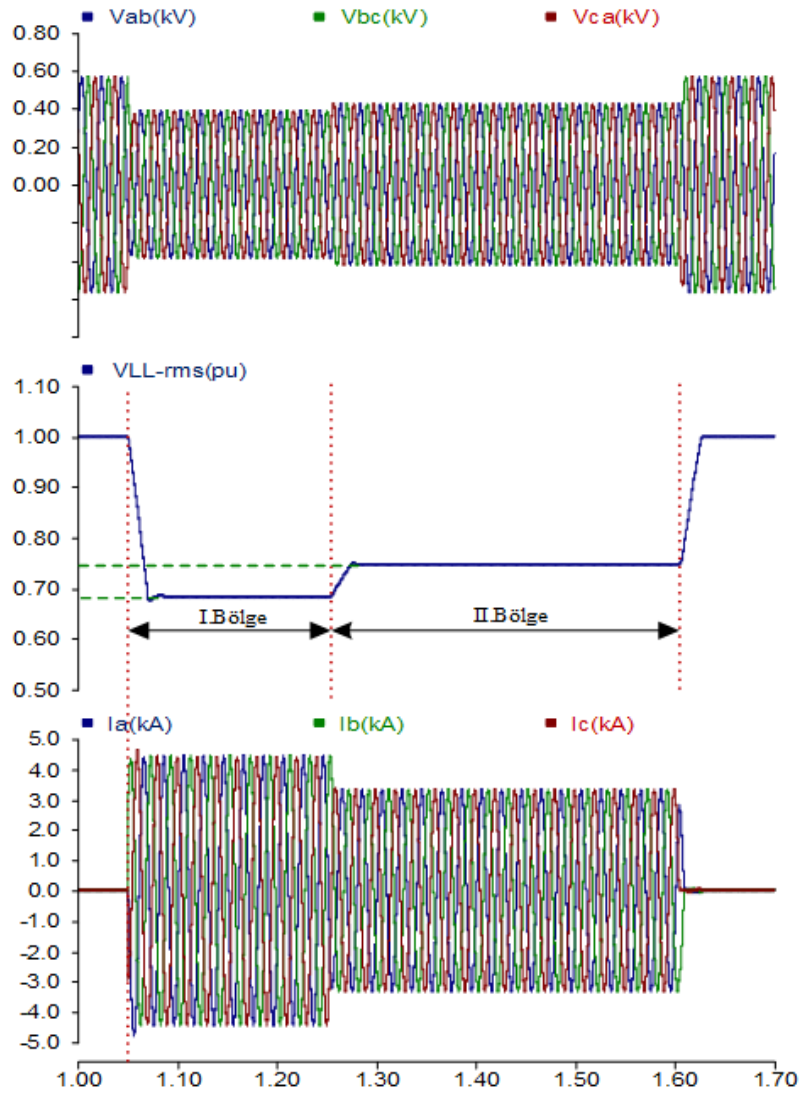
IEEE'ye göre kabul edilen gerilim düşümü oranı %10 geçmemelidir. Bu iki oran ise IEEE standartlarına kabul edilen bir gerilim düşümü oranıdır. Bu gerilim oranlarına baktığımızda ise PR kontrollü D-STATKOM kısa devre hatalarına karşı 1.5 periyot kadar sürede hızlı bir tepki verdiğini görülmektedir (25/30ms gibi).

D-STATKOM sistem gerilimini regüle ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlıyor. Şekil 4.25'de bakıldığında I. bölgede çekilen akım 1550 A dir. II. Bölgede ise 1340 A akım çekilmektedir. Şebekeden çekilen akımların büyük olmasının nedeni ise kısa devre akımlarıdır.

Her yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. Omik yük için faz açısı 32 derecedir. Sonuçta yükler değiştikçe faz açısı da değişir. Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanse edilmesi sağlanmıştır.

4.2.2.3. Endüktif yüklü sistem

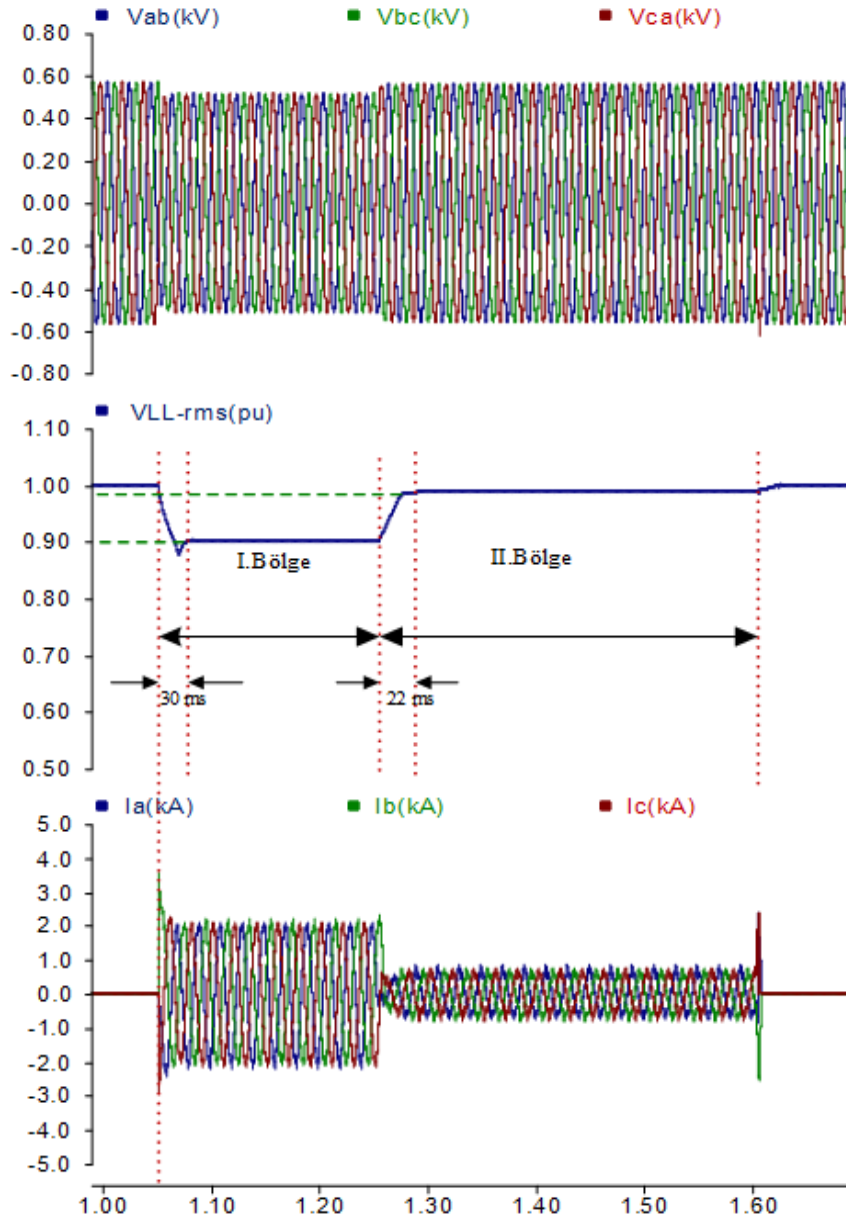
Sistemde biri sabit endüktif yük ($10+J0.0184$) diğeri anlık olarak devreye giren ve aşırı akım çeken ikinci endüktif yük ($0.2+J0.0003$) vardır. Sabit yük devrede iken nominal akım (28.3 A) çektiğinden gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, ikinci yük (endüktif yük) devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. İlk etapta hem aşırı akım çeken ikinci yük hem de üç faz kısa devre arıza hatası uygulanarak gerilim düşümü oluşturulmaktadır. Şekil 4.26'de görüldüğü gibi I. bölgede 1.05-1.25 sn. aralığında hem anlık olarak devreye giren endüktif yük devrede hem de üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Gerilim RMS pu değeri %68'lere düşmektedir. II. bölgede 1.25-1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Üç faz kısa devre hatasında ise gerilim RMS pu değeri %75 civarında olmaktadır. I. Bölgede hem endüktif yük hem de kısa devre hatası uygulanan aralıkta çekilen akım 4415 A dir. II. Bölgede ikinci endüktif yük devreden çıktığında ise çekilen faz akımı 3110 A dir. Sabit olan yük 28.3 A akım çekmektedir. Yani çekilen kısa devre akımı yaklaşık olarak 3082 A dir. I. Bölgede fazla akım çekmesinin nedeni hem aşırı akım çeken endüktif yük devrede hem de kısa devre hatası uygulanmasıdır.



Şekil 4.26. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken endüktif yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.27’de I. bölgede 1.05-1.25 sn. aralığında PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde gerilimi %90’ların üzerine çıkartmaktadır. II. Bölgede 1.25-1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulandığı zaman PR kontrollü D-STATKOM gerilimi %98’in üzerine çıkartmaktadır.

Bu gerilim oranına baktığımızda ise PR kontrollü D-STATKOM kısa devre hatalarına karşı 1-1.5 periyot gibi kısa bir sürede tepki verdiğini görülmektedir.



Şekil 4.27. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken endüktif yük ve üç faz kısa devre hatası a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Sistem geriliminin gerilim düşmesini kompanse ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlamaktadır. Şekil 4.27’de görüldüğü gibi I. bölgede çekilen akım 2000 A dir. II. Bölgede ise 800 A akım çekilmektedir. Şebekeden çekilen akımların büyük olmasının nedeni ise kısa devre akımlarıdır.

Her yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. Endüktif yük için faz açısı 26 derecedir. Sonuçta yükler değiştikçe faz açısı da değişir. Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanse edilmesi sağlanmıştır.

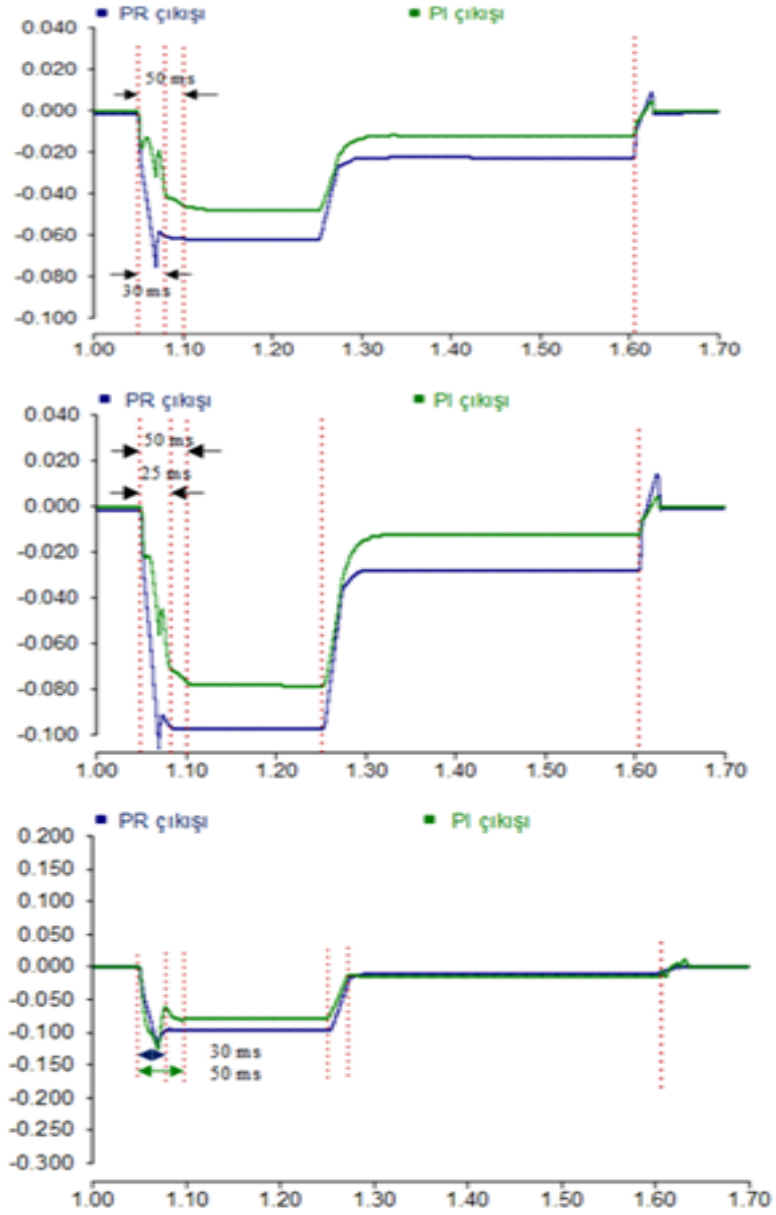
4.2.3. Yük tarafından yapılan kısa devre analizi ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması

Sisteme sabit yük olarak 10+J0.0184 ohm'luk yük olarak bağlıdır Sabit yük devrede iken nominal akım (28.3 A) çektiğinden gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, aşırı akım çeken ikinci yük (omik yük, endüktif yük ve doğrultulmuş DA yük) devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. İlk başta hem aşırı akım çeken ikinci yük hem de üç faz kısa devre arıza hatası uygulanarak gerilim düşümü oluşturulmaktadır. İkinci bölümde ise sadece üç faz kısa devre hatası uygulanarak gerilim çukuru oluşmaktadır.

Şebekenin anlık gerilim değerleri yük noktasında ölçülmektedir. Ölçülen değer birim değere dönüştürülür. Bu değer referans gerilim değeri arasındaki fark denetleyiciler için gerekli olan hata sinyali oluşturur. PI ve PR denetleyiciler istenilen anahtarlama sinyallerini üretir. Burada D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilim değişimleri incelenmiştir.

Hem üç fazlı kısa devre hatasından dolayı hem de yükten kaynaklanan gerilim düşümü benzetim çalışmalarına bakıldığında D-STATKOM gerilim düşmelerine karşı iyi ve hızlı şekilde tepki vererek şebeke gerilimini standartlarda kabul edilen sınırlara yükselttiği görülmektedir.

Aynı sistemde ve aynı yüklerde PI ve PR denetleyicilerin karşılaştırması yapıldığında PR denetleyicinin PI denetleyiciye göre daha hızlı çalıştığını görülebilmektedir. Yani şebeke geriliminin daha hızlı kararlı hale getiriyor. Şekil 4.28a, Şekil 4.28b ve Şekil 4.28c'ye bakıldığında sırasıyla DA yükte, omik yükte ve endüktif yükte yani üç yükteki grafikler üst üste getirilerek karşılaştırılmıştır.



Şekil 4. 28. Yük tarafında yapılan üç faz kısa devre hatası ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması.

Şekil 4.28a, Şekil 4.28b ve Şekil 4.28c'ye bakıldığında PR kontrollü D-STATKOM (30 ms), PI kontrollü D-STATKOM'a (50 ms) göre daha hızlı tepki verdiği görülmektedir. Yani PR kontrollü D-STATKOM şebeke geriliminin 1 periyot (20 ms) süre erken stabil hale getirmektedir. Ama gerilimin genlik değerini yükseltme konusunda

Çizelge 4.2'ye bakıldığında PI denetleyici PR denetleyiciye göre daha fazla yükseltmektedir.

Aşağıdaki tabloda durum kısaca özetlenmiştir.

Çizelge 4.2. Yük tarafından yapılan kısa devre uygulaması ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması

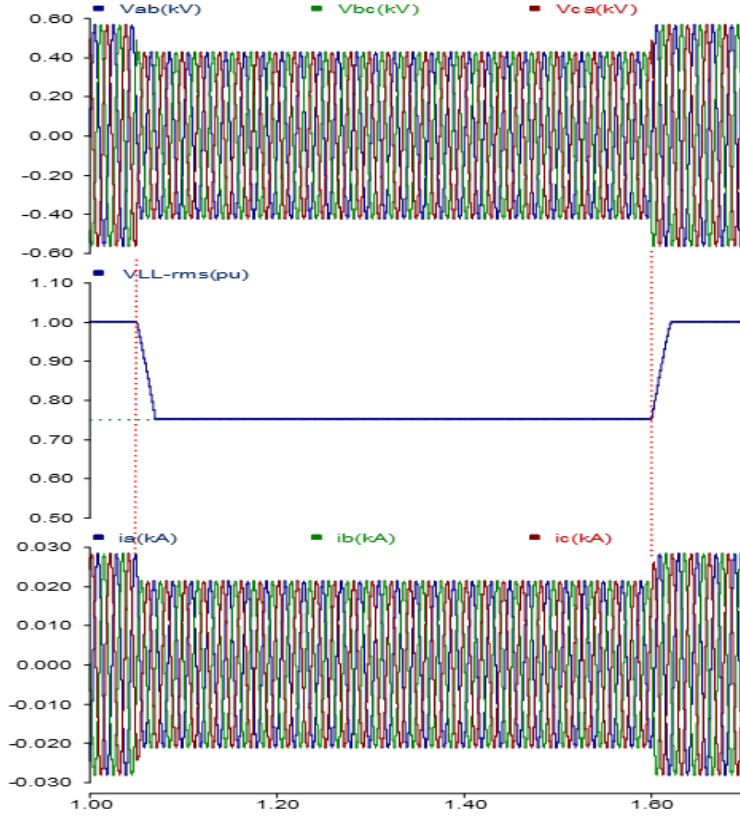
PI Denetleyici	Gerilim Düşüm Oranı	Gerilim Yükseltme Oranı	PR Denetleyici	Gerilim Düşüm Oranı(D-STATKOM devrede değilken)	Gerilim Yükseltme Oranı (D-STATKOM devrede iken)
	Bölge			Bölge	
Yük	I	II	Yük	I	II
DA Yük	%25	%22	DA Yük	%25	%22
Omik Yük	%28	%25	Omik Yük	%28	%22
Endüktif Yük	%31	%25	Endüktif Yük	%31	%25

4.3. D-STATKOM'un kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü analizi

4.3.1. PI kontrollü D-STATKOM'un kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü analizi

Şekil 4.29'da görüldüğü gibi gerilim kaynağından 1.05 sn. den başlayarak 0.55 sn. süren ve 1.60 sn. de biten kaynak tarafında gerçekleşen %25 gerilim düşümü yapılmıştır. Devrede sadece 28.3 A akım çeken üç fazlı endüktif yük devrededir. Yani aşırı akım çeken bir yük yoktur. Şekil 4.29'da görüldüğü gibi gerilim RMS pu değeri %25 düşmektedir.

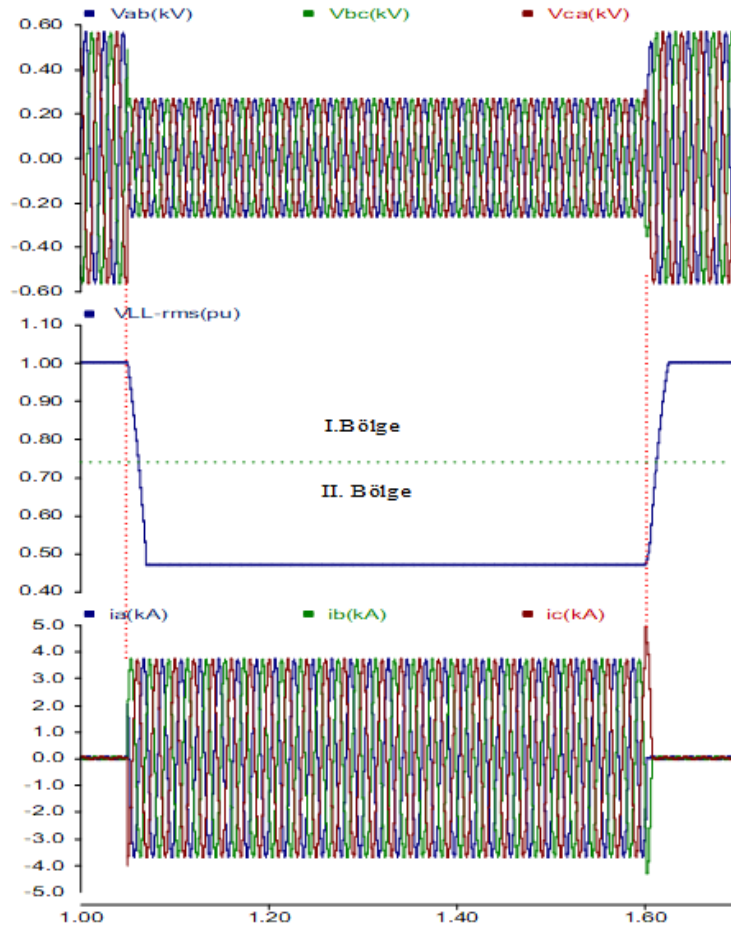
Şebekenin faz gerilimleri de aynı oranda gerilim düşümü olmaktadır. Kaynak tarafında gerilim düşümü yapıldığından nominal yükün çektiği akım da aynı oranda düşmektedir.



Şekil 4.29. Kaynak tarafında gerçekleşen %25 gerilim düşümü a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

4.3.1.1. DA yüklü sistem

Şekil 4.30'da görüldüğü gibi I. bölgede sadece kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü oluşmaktadır. II. Bölgede de DA yükün çektiği aşırı akımdan kaynaklanan gerilim düşümü oluşmaktadır. DA yük ile kaynak tarafından oluşturulan gerilim düşümü aynı anda devreye girmektedir.



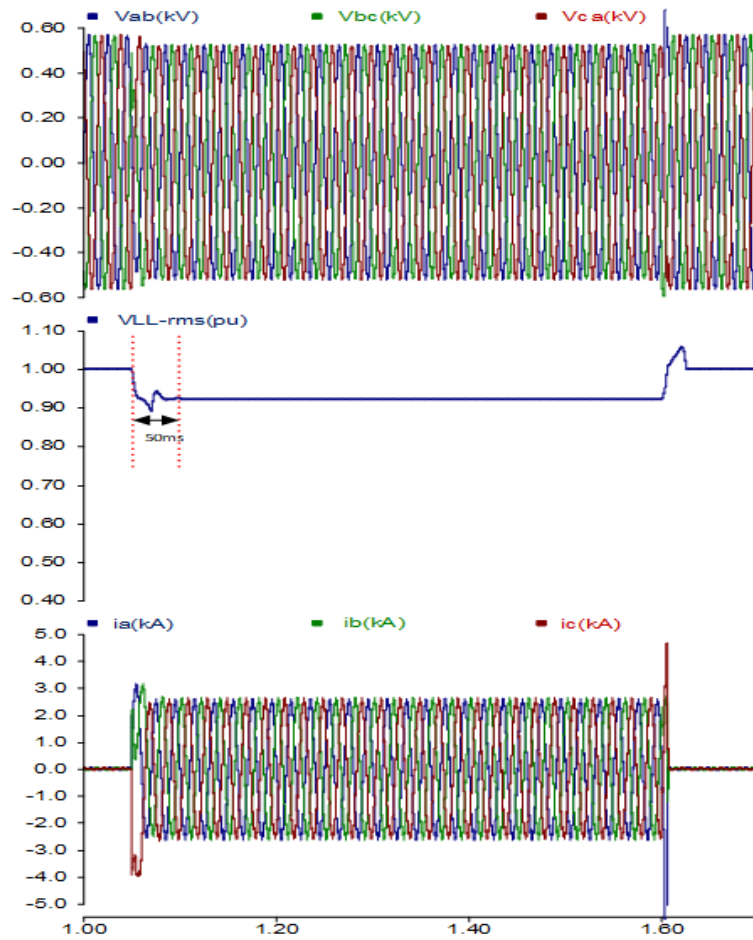
Şekil 4.30. D-STATKOM devrede değilken kaynaktan gerilim düşümü ve DA yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Gerilim kaynağından 1.05 sn. den başlayarak 0.55 sn. süren ve 1.60 sn. de biten kaynak tarafında gerçekleşen %25 gerilim düşümü yapılmıştır. Devrede hem aşırı akım 3669 A çeken DA yük ve ayrıca 28.3 A akım çeken üç fazlı endüktif yük devrededir. Şekil 4.30'da görüldüğü gibi gerilim RMS pu değeri %47'lere düşmektedir. Şebekenin faz gerilimleri de aynı oranda gerilim düşümü oluşmaktadır. Şebekeden çekilen akım ise iki yükün çektiği akım 3700A olmaktadır.

1.05-1.60 sn. aralığında hem üç fazlı DA yük devrede hem de kaynak tarafında oluşan üç faz gerilim düşümü (%25) hatası uygulanmıştır. Yüke uygulanan gerilim %47'lere kadar düşmektedir. Bu çalışma geriliminde sistemlerin çoğu çalışamaz veya sistem durur. Üretim süreci aksar.

Şekil 4.31’de PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde yük tarafındaki gerilimi %92.5'lere çıkartmaktadır. Bu gerilim seviyesi standartlarda istenilen seviyededir. Şekil 4.31’de bakıldığında ise PI kontrollü D-STATKOM gerilim düşümü hatalarına karşı 2.5 periyot (50ms) gibi bir hızla tepki verdiğini görülmektedir. Sistemin gerilim düşmesini kompanze ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlamaktadır. D-STATKOM devreye girdiğinde şebekeden çekilen akım 2600 A dir.

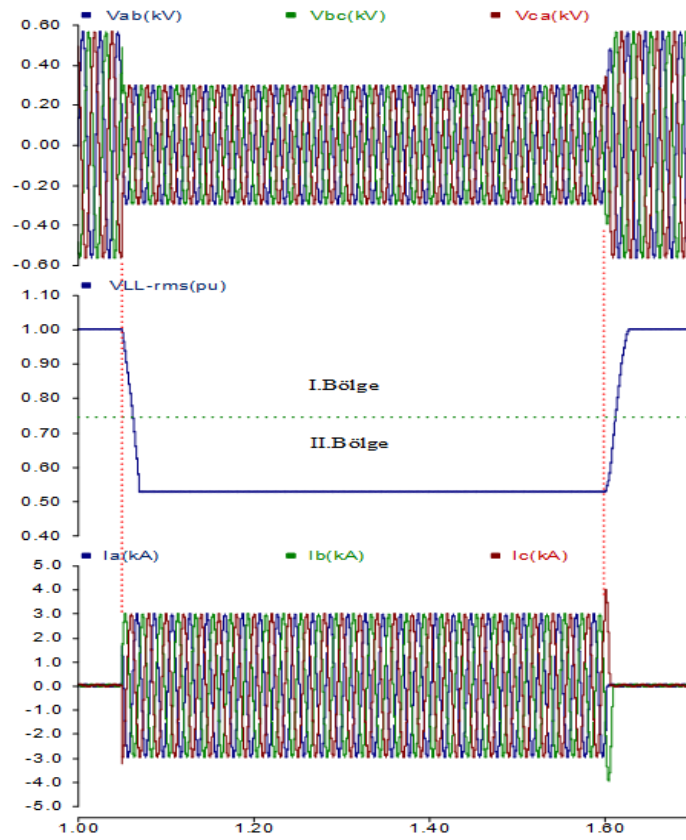
Her yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. DA yük için faz açısı 0 derecedir. Sonuçta yükler değiştikçe faz açısı da değişir. Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.31. D-STATKOM devrede iken kaynaktan gerilim düşümü ve DA yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

4.3.1.2. Omik yüklü sistem

Şekil 4.32’de görüldüğü üzere I. bölgede sadece kaynak tarafında gerçekleşen %25 gerilim düşümü yapılmış ve II. bölgede de üç fazlı omik yükün çektiği aşırı akımdan kaynaklanan gerilim düşümü oluşmuştur. Omik yük ile kaynak tarafında oluşturulan gerilim düşümü aynı anda devreye girmektedir.

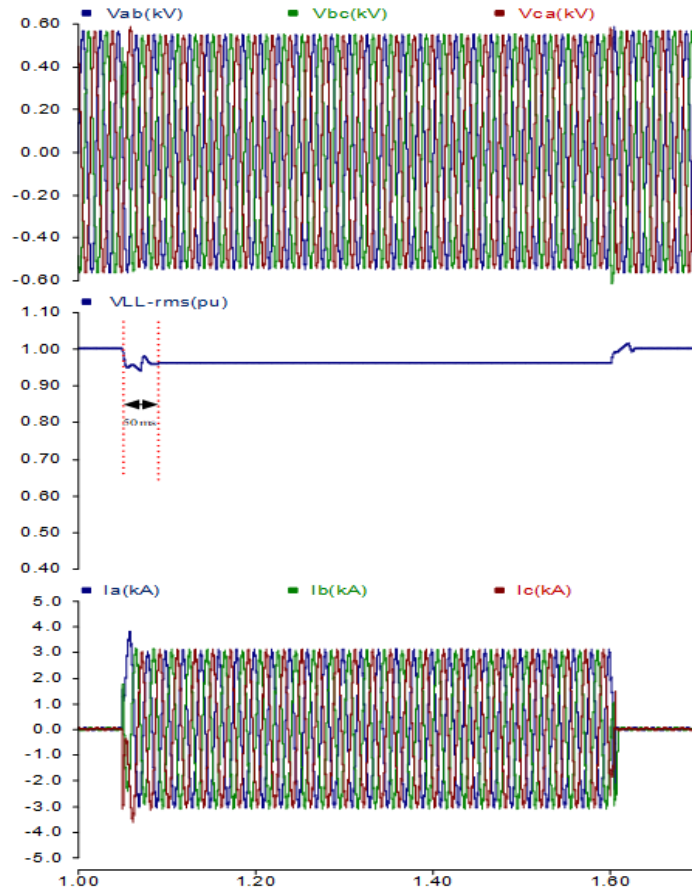


Şekil 4.32. D-STATKOM devrede değılken kaynaktan gerilim düşümü ve omik yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.32’de görüldüğü gibi gerilim kaynağından 1.05 sn. den başlayarak 0.55 sn. süren ve 1.60 sn. de biten kaynak tarafından %25 gerilim düşümü yapılmıştır. Sistemde 2944.2 A aşırı akım çeken omik yük ve ayrıca 28.3 A akım çeken üç fazlı endüktif yük devrededir. Gerilim RMS pu değeri %52.5’lere düşmektedir. Şebekeden çekilen akım ise iki yükün çektiği akım 2972.5 A olmaktadır.

1.05-1.60 sn. aralığında hem üç fazlı omik yük devrede hem de kaynak tarafından üç faz gerilim düşümü (%25) hatası uygulanıyor. Yüke uygulanan gerilim %52.5'lere kadar düşmektedir.

Şekil 4.33'te PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde yük tarafındaki gerilimi %96'lara çıkartmaktadır. Bu gerilim seviyesi standartlarda istenilen seviyededir.



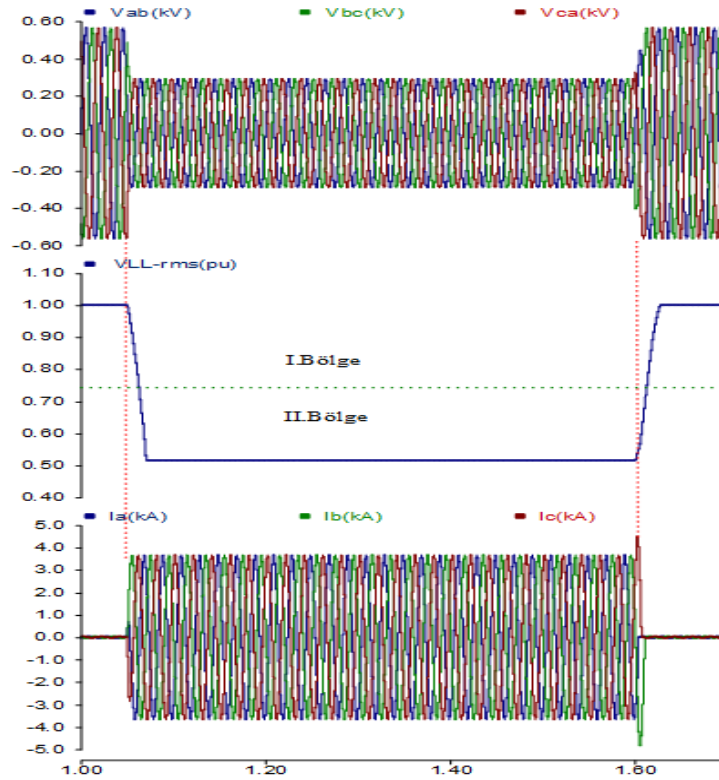
Şekil 4.33. D-STATKOM devrede iken kaynaktan gerilim düşümü ve omik yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.33'te ki bu gerilim oranına baktığımızda ise PI kontrollü D-STATKOM gerilim düşümü hatalarına karşı 2.5 periyot (50ms) gibi bir hızla tepki verdiğini görülmektedir. Sistemin gerilim çukurunu kompanze ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlamaktadır. D-STATKOM devreye girdiğinde şebekeden çekilen akım 2972 A dir. Omik yük için faz açısı -28 derecedir. Sonuçta yükler değiştikçe faz açısı da değişir.

Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanse edilmesi sağlanmıştır.

4.3.1.3. Endüktif yüklü sistem

Şekil 4.34'te I. bölgede sadece kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü yapılmış II. bölgede de üç fazlı endüktif yükün çektiği aşırı akımdan kaynaklanan gerilim düşümü oluşmuştur. Aşırı akım çeken endüktif yük ile kaynak tarafından oluşturulan gerilim düşümü aynı anda devreye girmektedir.

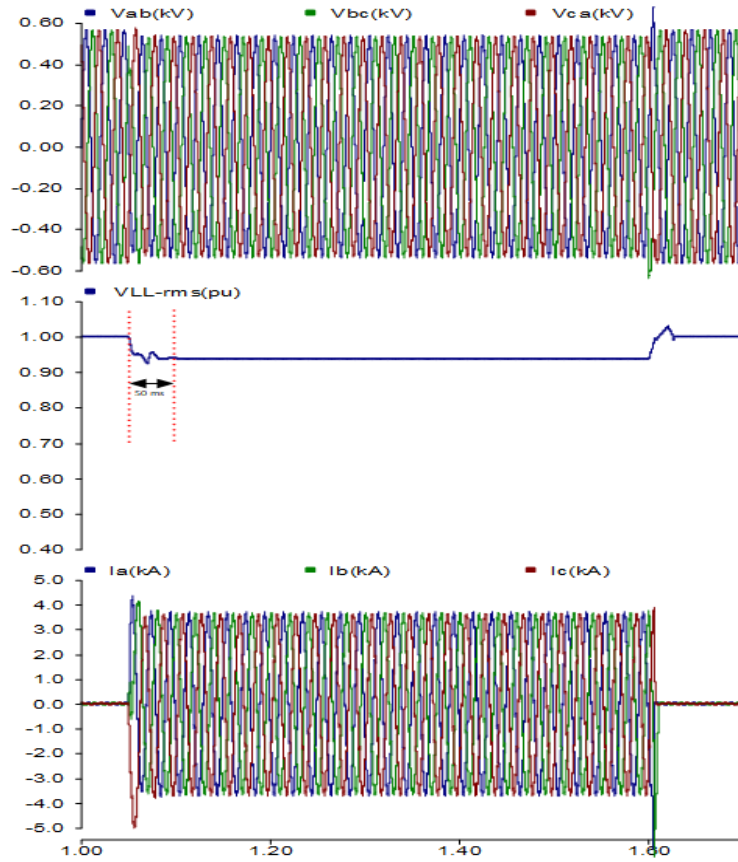


Şekil 4.34. D-STATKOM devrede değilken kaynaktan gerilim düşümü ve endüktif yük
a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Gerilim kaynağından 1.05 sn. den başlayarak 0.55 sn. süren ve 1.60 sn. de biten kaynak tarafında gerçekleşen %25 gerilim düşümü oluşmaktadır. Aynı zamanda devrede 3621.7 A aşırı akım çeken ve anlık devreye giren üç fazlı endüktif yük ve ayrıca 28.3 A

akım çeken ve sürekli devrede olan sabit üç fazlı endüktif yük devrededir. Gerilim RMS pu değeri %51.5'lere düşmektedir. Şebekeden çekilen akım ise iki yükün çektiği akım 3650 A olmaktadır.

Şekil 4.35'de görüldüğü üzere PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde yük tarafındaki gerilimi %94'lere çıkartmaktadır. Bu gerilim seviyesi standartlarda istenilen seviyededir.



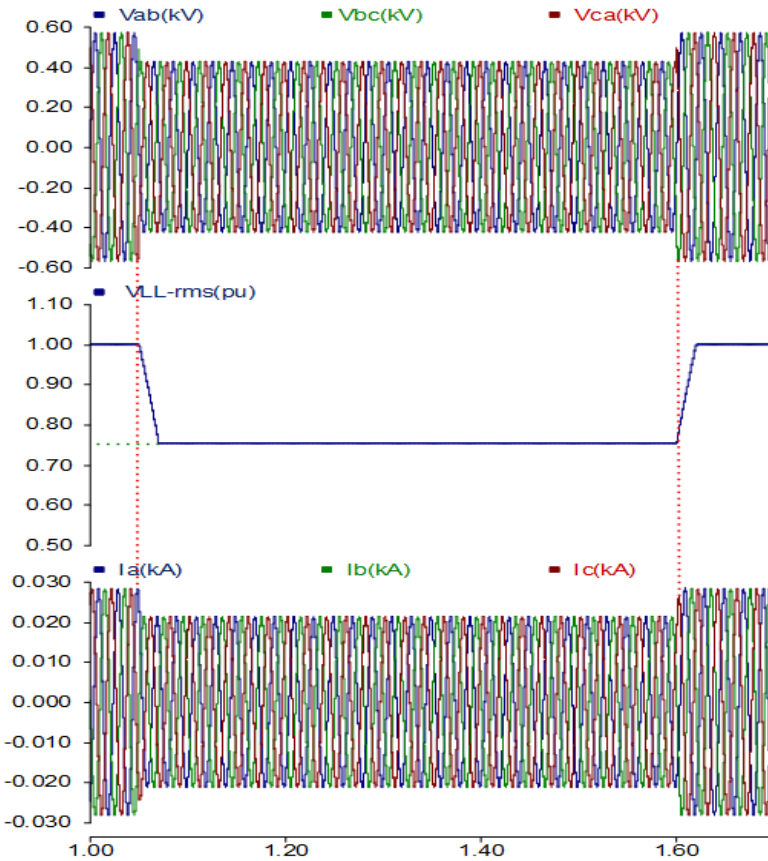
Şekil 4.35. D-STATKOM devrede iken kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü ve endüktif yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.35'de görüldüğü gibi PI kontrollü D-STATKOM gerilim düşümü hatalarına karşı 2.5 periyot (50ms) gibi bir hızla tepki verdiğini görülmektedir. Sistem geriliminin, gerilim çukurunu kompanze ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlamaktadır. Şebekeden çekilen akımlar D-STATKOM devrede iken 3600 A dir.

Endüktif yük için faz açısı -9 derecedir. Ama faz açısı ile farklı değerler girildiğinde örneğin -21 derece çekilen akımın düştüğünü ama gerilim değerinde $\%90$ 'lara kadar düştüğü görülmüştür. Sonuçta faz açısı değiştikçe gerilim ve akım değerleri de değişmektedir. Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlanmıştır.

4.3.2. PR kontrollü D-STATKOM'un kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü analizi

Şekil 4.36'da sisteme 1.05 sn. den başlayarak 0.55 sn. süren ve 1.60 sn. de biten kaynak tarafında oluşturulan $\%25$ gerilim düşümü hatası uygulanmıştır.

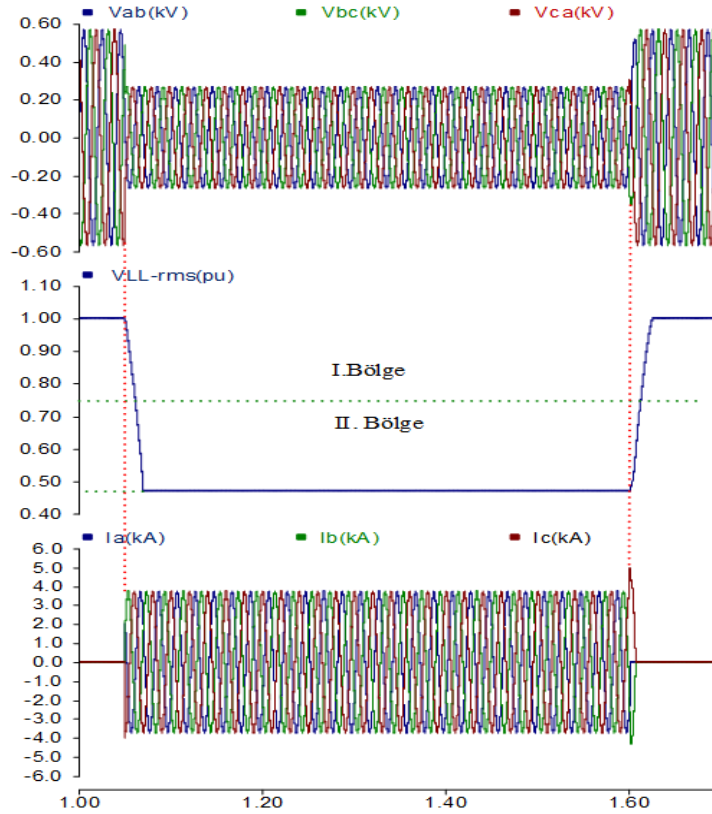


Şekil 4.36. Gerilim kaynağından $\%25$ gerilim düşümü oluşturularak a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Devrede sadece 28.3 A. akım çeken üç fazlı endüktif yük devrededir. Yani aşırı akım çeken herhangi bir yük yoktur. Şekil 4.36'ya bakıldığında gerilim RMS pu değeri %25'e düşmektedir. Şebekenin faz gerilimleri de aynı oranda gerilim düşümü oluşmaktadır. Kaynak tarafında gerilim düşümü yapıldığından nominal yükün çektiği akım da aynı oranda düşmektedir.

4.3.2.1. DA yüklü sistem

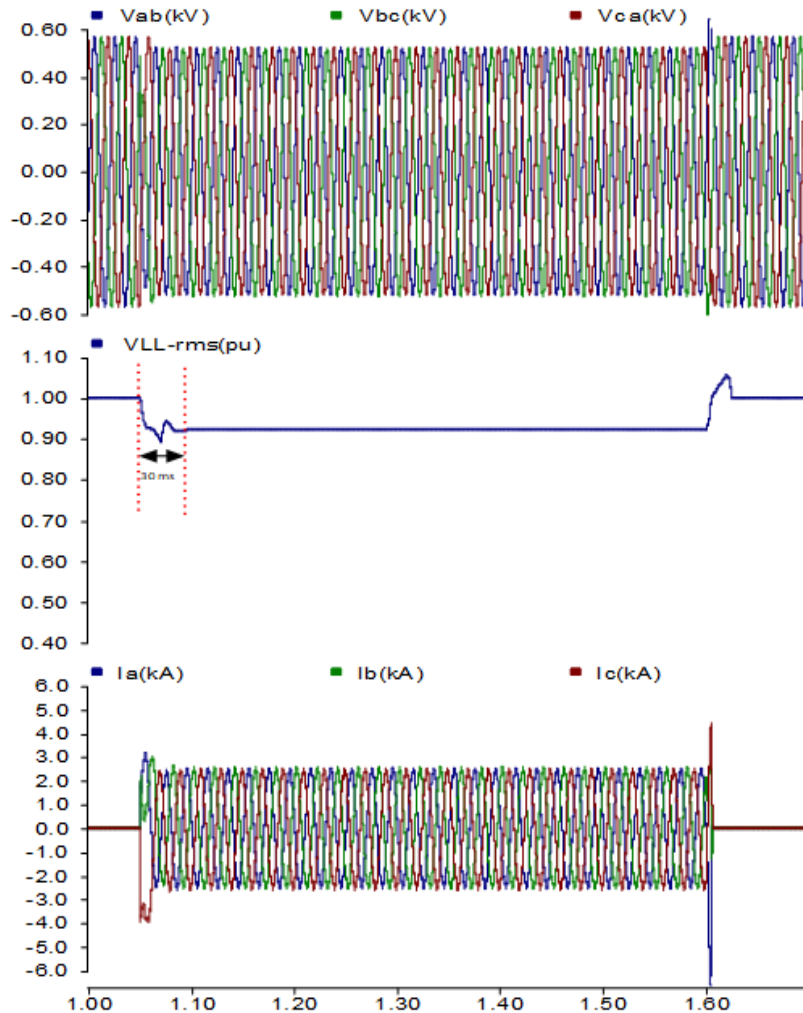
Şekil 4.37'de görüldüğü gibi I. bölgede sadece kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü oluşmuş II. bölgede de DA yükün çektiği aşırı akımdan kaynaklanan gerilim düşümü oluşmuştur. DA yük ile kaynak tarafında oluşturulan gerilim düşümü hatası aynı anda devreye girmektedir.



Şekil 4. 37. D-STATKOM devrede değilken kaynaktan gerilim düşümü ve DA yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Gerilim kaynağından 1.05 sn. den başlayarak 0.55 sn. süren ve 1.60 sn. de biten kaynak tarafından %25 gerilim düşümü hatası uygulanmıştır. Devrede hem aşırı akım (3671.7 A) çeken DA yük ve ayrıca 28.3 A akım çeken sabit üç fazlı endüktif yük devrededir. Gerilim RMS pu değeri %46'lara düşmektedir. Şebekenin faz gerilimleri de aynı oranda gerilim düşümü oluşmaktadır. Şebekeden çekilen akım ise iki yükün çektiği akım 3700A olmaktadır.

Şekil 4.38'de görüldüğü üzere 1.05-1.60 sn. aralığında PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde yük tarafındaki gerilimi %92'lere çıkartmaktadır. Bu gerilim seviyesi standartlarda istenilen seviyededir.



Şekil 4. 38. D-STATKOM devrede iken kaynaktan gerilim düşümü ve DA yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.38’de ki bu gerilim oranına bakıldığında ise PR kontrollü D-STATKOM gerilim düşümü hatalarına karşı 1.5 periyot (30ms) gibi bir hızla tepki verdiğini görülmektedir. Sistem geriliminin, gerilim çukurunu regüle ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlamaktadır. D-STATKOM devreye girdiğinde şebekeden çekilen akım 2500 A dir.

Her yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. DA yük için faz açısı -0.5 derecedir. Sonuçta yükler değiştikçe faz açısı da değişir. Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlanmıştır. PR denetleyici PI denetleyiciye göre daha hızlı cevap vermekte ama gerilim düzeltme işlemi ise PI denetleyici daha iyi regülasyon yapmaktadır.

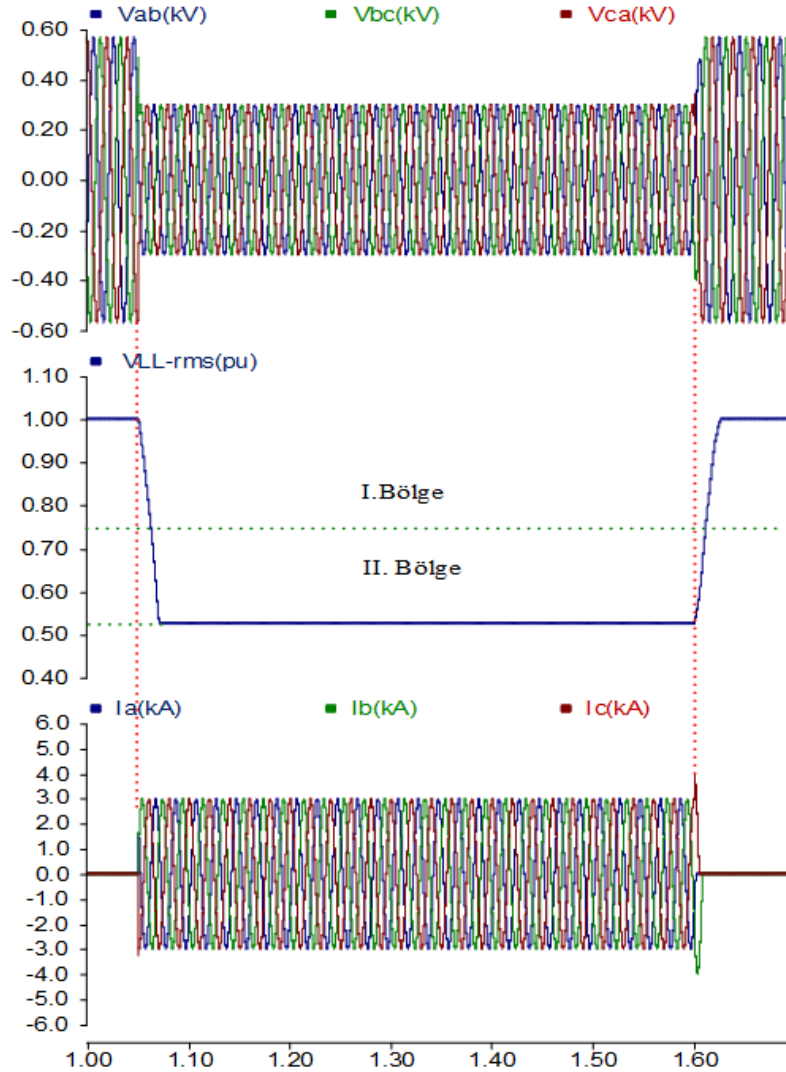
4.3.2.2. Omik yüklü sistem

Devrede sadece 28.3 A. akım çeken üç fazlı endüktif yük devrededir. Sistemde sabit olan yük sürekli devrededir. Sisteme 0.50 sn. süresince hem şebekeden tarafında oluşan %25’lik gerilim düşümü hatası hem de aşırı akım çeken üç fazlı omik yükten kaynaklı gerilim düşümü hatası uygulanmaktadır Şebeke tarafında oluşturulan %25’lik gerilim düşümü hatası hem de aşırı akım çeken üç fazlı omik yük (0.21 ohm) aynı anda devreye girdiğinde gerilim düşümü oluşmaktadır. Gerilim düşümü hatası D-STATKOM’dan önce uygulandığından D-STATKOM’un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilimi üzerinde etkisi incelenmiştir.

Şekil 4.39’da görüldüğü gibi I. bölgede sadece kaynak tarafında gerilim düşümü hatası uygulanmaktadır. II. Bölgede de üç fazlı omik yükün çektiği aşırı akımdan kaynaklanan gerilim düşümü oluşmaktadır. Üç fazlı omik yük ile kaynak tarafından oluşturulan gerilim düşümü aynı anda devreye girmektedir.

Gerilim şebekeden 1.05 sn. den başlayarak 0.55 sn. süren ve 1.60 sn. de biten kaynak tarafında gerçekleşen %25 gerilim düşümü yapılmıştır. Devrede 2945 A aşırı akım çeken omik yük ve ayrıca 28.3 A akım çeken üç fazlı endüktif yük devrededir. Gerilim RMS pu değeri %52.5’ lere düşmektedir.

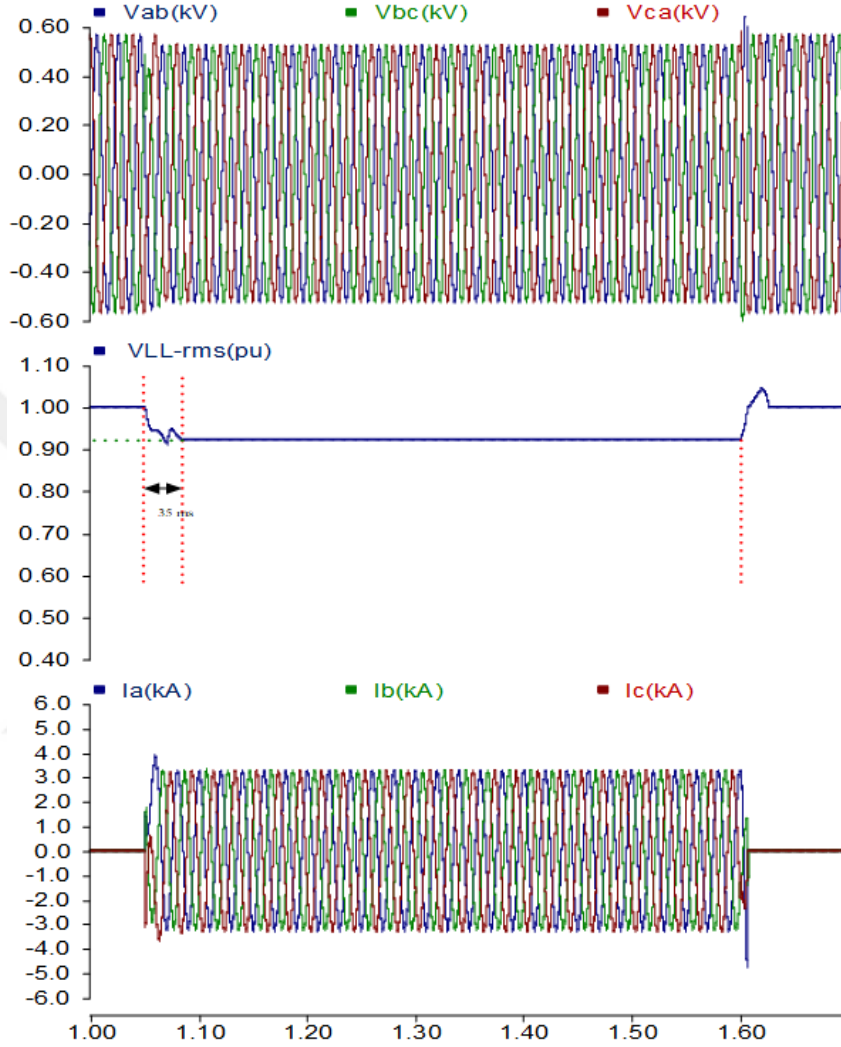
Şebekeden çekilen akım ise iki yükün çektiği akım 2975 A olmaktadır.



Şekil 4. 39. D-STATKOM devrede değilken kaynaktan gerilim düşümü ve omik yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.40’da görüldüğü üzere PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde yük tarafındaki gerilimi %92.5'lere çıkartmaktadır. Bu gerilim seviyesi standartlarda istenilen seviyededir. Bu gerilim oranına bakıldığında ise PR kontrollü D-STATKOM gerilim düşümü hatalarına karşı 1.5 periyot (35ms) gibi bir hızla tepki verdiğini görülmektedir. Sistem geriliminin, gerilim çukurunu regüle ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlamaktadır. Her yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. Omik yük için faz açısı -36 derecedir. Sonuçta yükler değiştikçe faz açısı da değişir. Yüklerin

farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanse edilmesi sağlanmıştır.

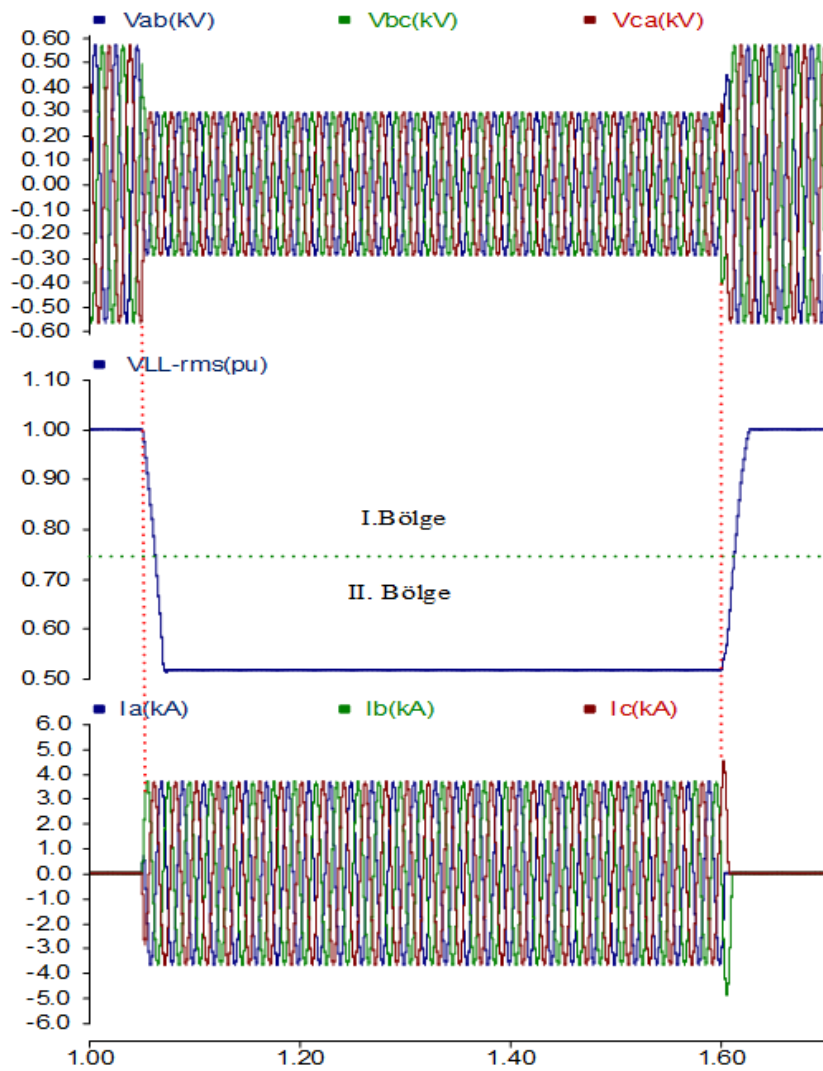


Şekil 4. 40. D-STATKOM devrede iken kaynakta tarafında gerçekleşen gerilim düşümü ve omik yük a. Faz gerilimleri, b. Gerilimlerin pu değeri, c. Faz akımları.

4.3.2.3. Endüktif yüklü sistem

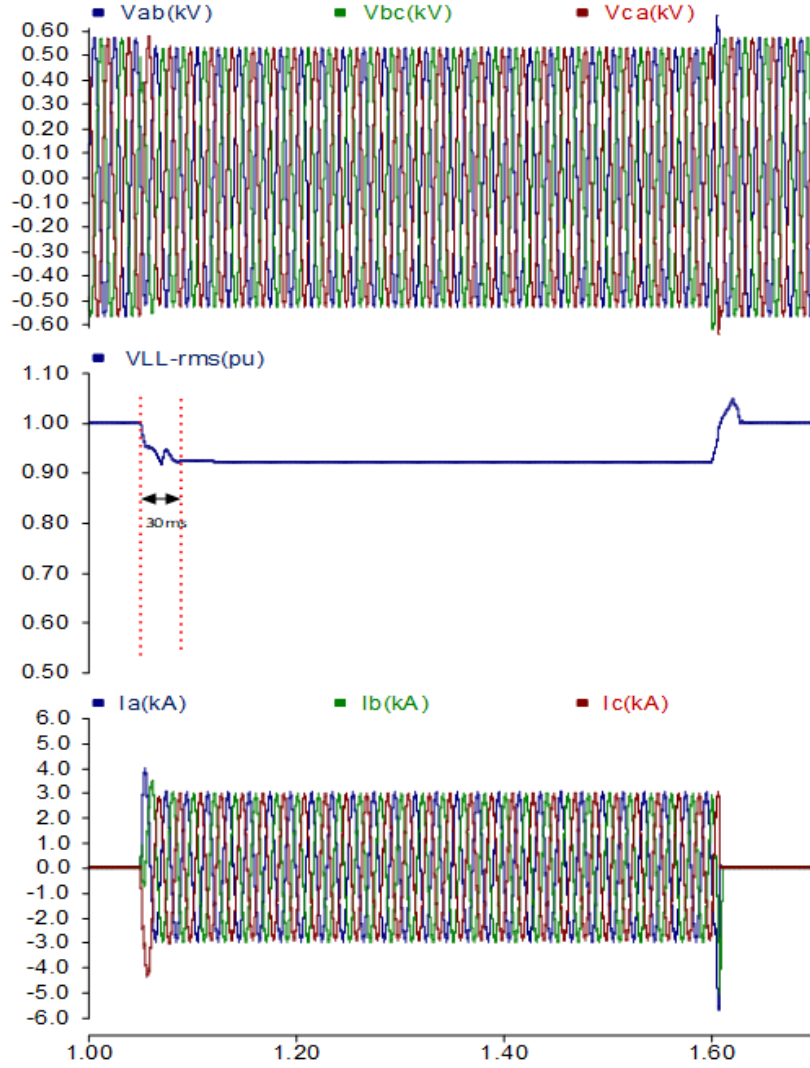
Devreye endüktif yük bağlandığında Şekil 4.41’de görüldüğü gibi I. bölgede sadece kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü oluşturulmuştur. II. Bölgede de üç

fazlı endüktif yükün çektiği aşırı akımdan kaynaklanan gerilim düşümü oluşmuştur. Endüktif yük ile kaynak tarafında oluşturulan gerilim düşümü aynı anda devreye girmektedir. Gerilim 1.05 sn. den başlayarak 0.55 sn. süren ve 1.60 sn. de biten kaynak tarafında %25 gerilim düşümü yapılmıştır. Devrede 3621.7 A aşırı akım çeken endüktif yük ve ayrıca 28.3 A akım çeken sürekli ve sabit olan üç fazlı endüktif yük devrededir. Gerilim RMS pu değeri %51.5'lere düşmektedir. Şebekeden çekilen akım ise iki yükün çektiği akım 3650 A olmaktadır.



Şekil 4.41. D-STATKOM devrede değilken kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü ve endüktif yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.42’de görüldüğü üzere 1.05-1.60 sn. aralığında PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde yük tarafındaki gerilimi %93'lere çıkartmaktadır. Bu gerilim seviyesi standartlarda istenilen seviyededir.



Şekil 4.42. D-STATKOM devrede iken kaynaktan gerilim düşümü ve endüktif yük a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.42’de PR kontrollü D-STATKOM gerilim düşümü hatalarına karşı 1.5 periyot (30ms) gibi bir hızla tepki verdiğini görülmektedir. Sistem geriliminin, gerilim çukurunu regüle ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlamaktadır. Her yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. Endüktif yük için faz denetim açısı -12

derecedir. Sonuçta yükler değıştikçe faz açısı da değışir. Farklı yüklerde ve yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlanmıştır.

4.3.3. Kaynak tarafında yapılan gerilim düşümü ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması

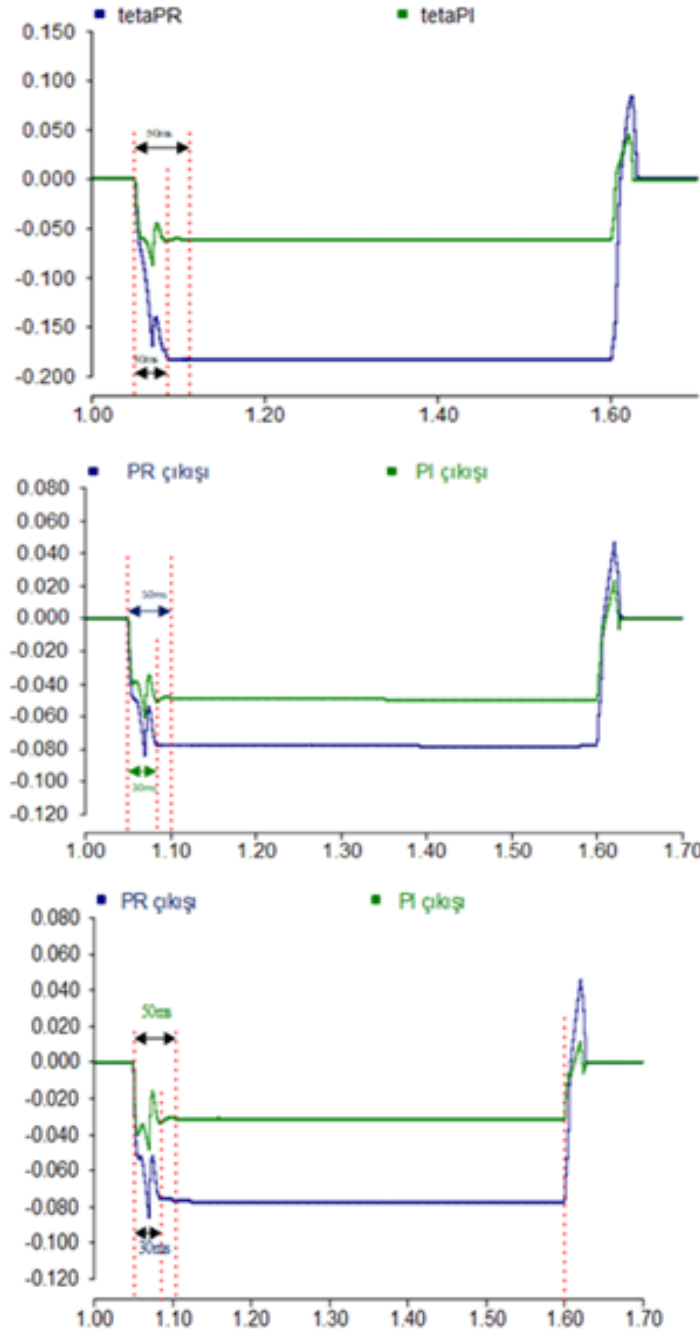
Sisteme sabit yük olarak 10+J0.0184 ohm yük olarak bağlıdır. Sabit yük devrede iken nominal akım (28.3 A) çektiğinden gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, aşırı akım çeken ikinci yükler (omik yük, endüktif yük ve doğrultulmuş DA yük) sırasıyla devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. İlk başta hem aşırı akım çeken yükler hem de şebeke tarafında oluşturulan gerilim düşümü (%25) hatası uygulanarak gerilim düşümü oluşturulmaktadır.

Şebekenin anlık gerilim değerleri ortak bağlantı noktasında ölçülmektedir. Ölçülen değer birim değere dönüştürülür. Bu değer referans gerilim değeri arasındaki fark denetleyiciler için gerekli olan hata sinyalini oluşturmaktadır. PI ve PR denetleyiciler istenilen anahtarlama sinyallerini üretir. Burada PI ve PR kontrollü D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilimi üzerindeki etkisi ve iki denetleyicinin farklı yüklerdeki tepkileri incelenmiştir.

Hem şebeke tarafında oluşturulan gerilim düşümü hatası (%25) hem de yükten kaynaklanan gerilim düşümü benzetim çalışmalarında bakıldığında D-STATKOM gerilim çukurlarına karşı iyi ve hızlı şekilde tepki vererek şebeke gerilimini standartlarda kabul edilen sınırlara yükselttiğini görülmektedir.

Şekil 4.43a, Şekil 4.43b ve Şekil 4.43c'de görüldüğü gibi DA yükte, omik yükte ve endüktif yükte yani üç yükteki grafikler üst üste getirilerek karşılaştırılmıştır.

Aynı sistemde ve aynı yüklerde PI ve PR denetleyicilerin karşılaştırması yapıldığında PR denetleyicinin PI denetleyiciye göre daha hızlı çalıştığını görülmektedir. Yani şebeke gerilimini daha hızlı statbil hale getiriyor.



Şekil 4. 43. Kaynak tarafında gerçekleşen gerilim düşümü ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması.

Buna karşın Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi gerilim yükseltme işlemi ise PI denetleyici PR denetleyiciye göre daha fazla gerilim yükseltme işlemi gerçekleştiriyor.

Aşağıdaki tabloda durum kısaca özetlenmiştir.

Çizelge 4.3. Kaynak tarafında yapılan gerilim düşümü uygulaması ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması

PI Denetleyici	Gerilim Düşüm Oranı(D-STATKOM devrede değilken)	Gerilim Yükseltme Oranı(D-STATKOM devrede iken)	PR Denetleyici	Gerilim Düşüm Oranı(D-STATKOM devrede değilken)	Gerilim Yükseltme Oranı(D-STATKOM devrede iken)
Yük			Yük		
DA Yük	%47	%92.5	DA Yük	%46	%92
Omik Yük	%52.5	%96	Omik Yük	%52.5	%92.5
Endüktif Yük	%51.5	%95	Endüktif Yük	%51.5	%93

4.4. D-STATKOM'un kaynak tarafında yapılan kısa devre analizi

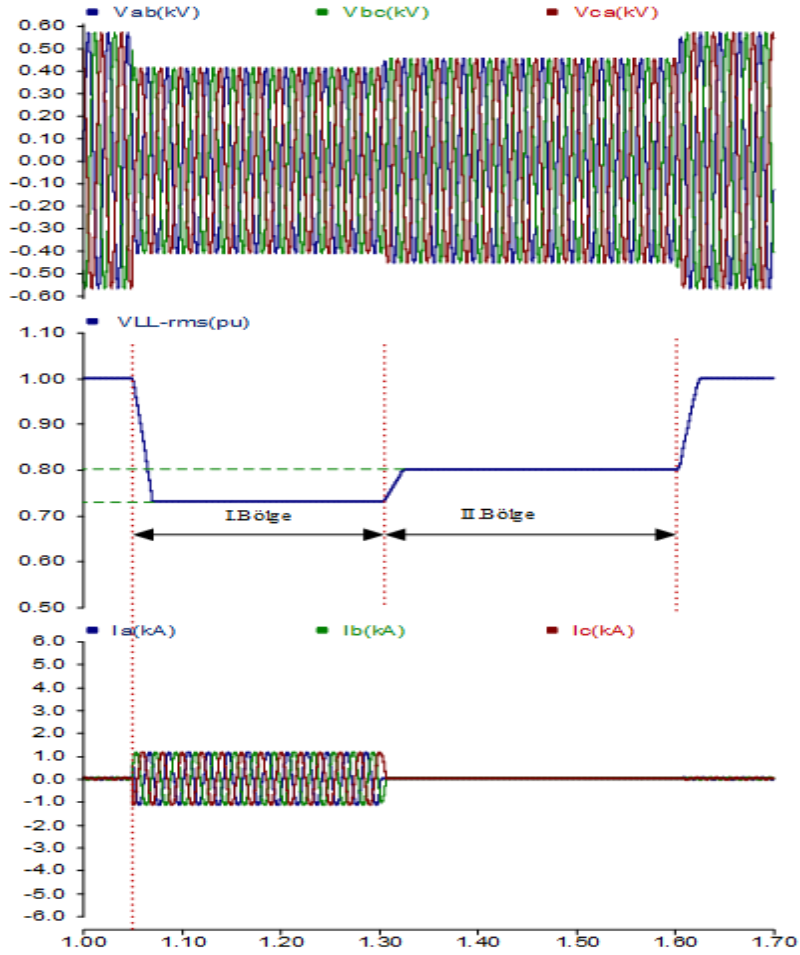
4.4.1. PI kontrollü D-STATKOM kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre analizi

Sisteme sabit olarak 10+J0.0184 ohm'luk yük olarak bağlıdır. Aynı sisteme sırasıyla aşırı akım çeken ve gerilim düşümüne neden olan doğrultulmuş DA yük, omik yük ve endüktif yük bağlanmıştır. Kaynak tarafında üç faz ve tek faz kısa devre hataları uygulanarak D-STATKOM'un gerilim düzeltme seviyesi tespit edilmiştir. Aynı şekilde bu yüklerde ve hatalarda PI ve PR denetleyicilerin karşılaştırılması yapılmıştır.

4.4.1.1. DA yüklü sistem

Şebekeye aşırı akım çeken üç fazlı doğrultulmuş DA yük değeri 0.075 ohm dur. Şebeke nominal efektif gerilim değeri 0.4 kV'tur. Şekil 4.44'de görüldüğü üzere I. bölge de 1.05-1.30 sn. süresince hem aşırı akım çeken diyotlarla tam dalga doğrultulmuş DA yük hem de kaynak tarafında oluşturulan üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Gerilim değeri %73'lere düşmektedir. I. Bölgede çekilen akım 1154 A dir. II. Bölgede 1.30-1.60 sn. süresinde ise sadece üç faz kısa devre hatası uygulanıyor. Gerilim değeri %80'lere

düşmektedir. Çekilen akım çok düşük değerdir 22.2 A dir. Kısa devre hatası bittikten sonra sabit yükün çektiği akım 28.3 A akım çekmektedir.

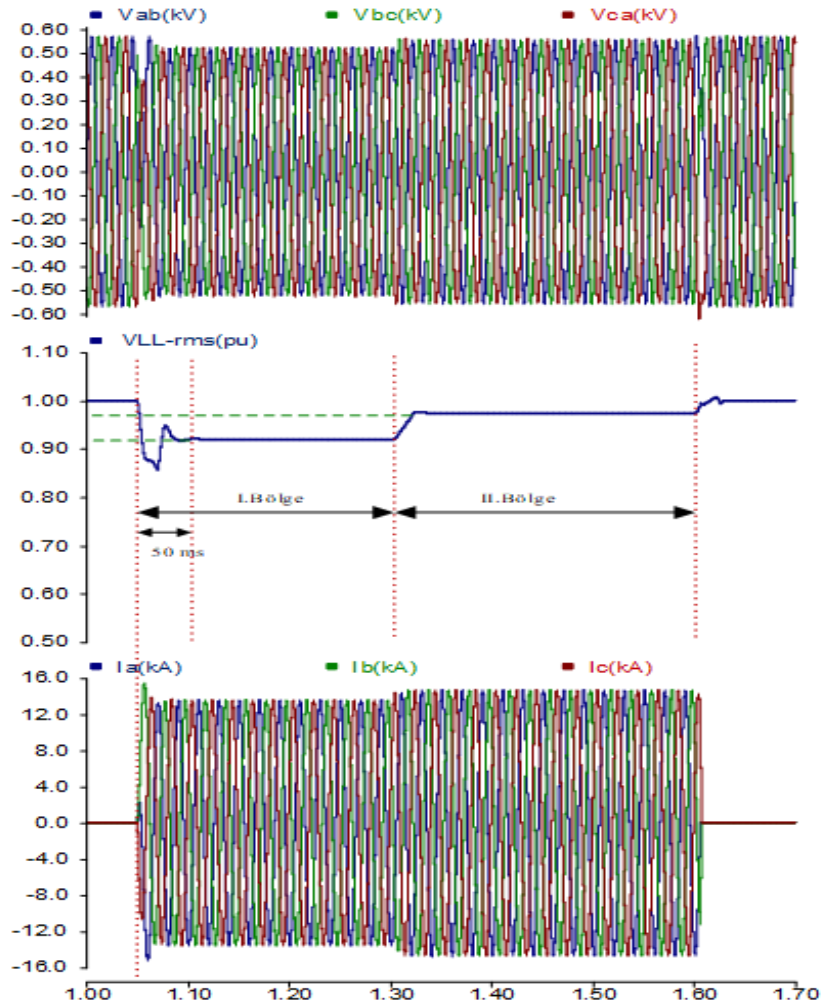


Şekil 4.44. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.45'te görüldüğü gibi PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde aynı anda iki hatanın olduğu zaman aralığında gerilimi %92.5 seviyesine çıkartarak sistemin çalışma devamlılığının sağlanması ve gerilim çukuru problemini giderdiği görülmüştür. Şebekeden çekilen 3180 A dir.

1.30-1.60 sn. süresince ise yani II. bölge de sadece üç faz kısa devre hatası uygulandığında gerilim değeri %97'ye çıkartmaktadır. I. Bölgede çekilen akım 13.55 kA

dir. II. Bölgede ise 14.65 kA akım çekmektedir. Bu akımların yüksek olmasının sebeplerinden biri D-STATKOM şebekeden akım çekmesidir. D-STATKOM aktif gücünü karşılamak için şebekeden aktif güç çeker. Bu da yüksek akımların çekilmesine neden olmaktadır.

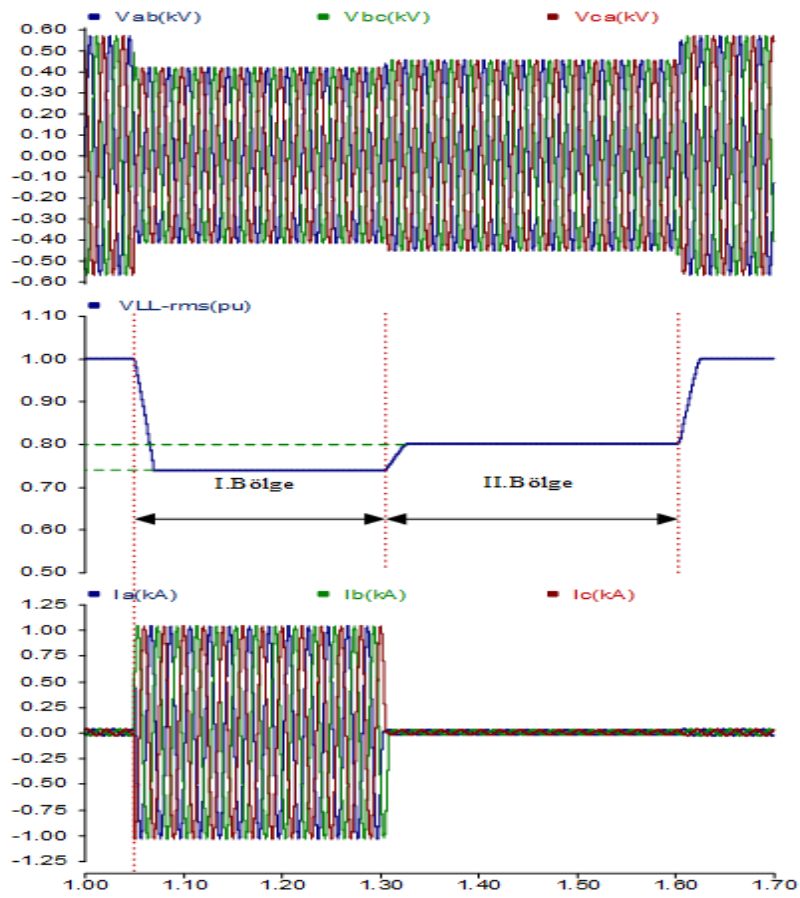


Şekil 4.45. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.45’de D-STATKOM 2.5 periyot (50 ms) süre gibi hızlı bir şekilde tepki vererek düşen şebeke gerilimini hızlı bir şekilde istenilen değere çıkartmaktadır. Üç faz kısa devre hatası ve DA yük için faz denetim açısı 97.5 derecedir. Sonuçta yükler ve hatalar değiştiğçe denetleyicinin faz denetim açısı da değişir.

4.4.1.2. Omik yüklü sistem

Sisteme yük olarak üç fazlı 0.21 ohm değerinde direnç bağlanmıştır. Şekil 4.46'da görüldüğü gibi I. bölgede 1.05-1.30 sn. aralığında hem omik yük devrede hem de şebeke tarafında (D-STATKOM'dan önce) oluşan üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Gerilim RMS pu değeri %74'lere düşmektedir. II. bölgede 1.30-1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır.

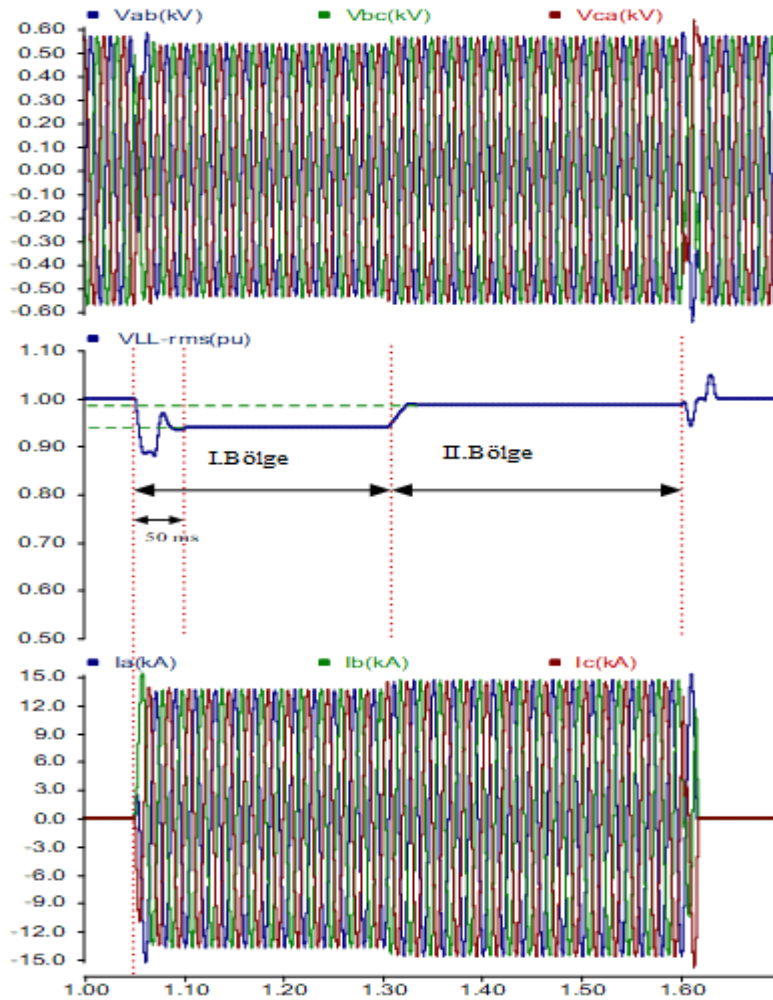


Şekil 4.46. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Üç faz kısa devre hatasında ise gerilim RMS pu değeri %80'e düşmektedir. I. Bölgede hem omik yük hem de kısa devre hatası uygulanan aralıkta çekilen akım 1030 A dir. II. Bölgede omik yük devreden çıktığında ise çekilen faz akımı 22.6 A dir. 1.60 sn.

den sonra şebeke tarafında uygulanan üç faz kısa devre hatası devre dışı olduğunda sabit yük 28.3 A akım çekmektedir. Yani kaynak tarafında üç fazlı kısa devre hatası oluştuğunda şebekeye akım çok az aktarılır. I. Bölgede fazla akım çekmesinin nedeni hem omik yük devrede hem de kısa devre hatası uygulanmasıdır.

Şekil 4.47’de görüldüğü üzere PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde I. bölgede gerilimi %94’e çıkartmaktadır. Bu gerilim oranı istenilen seviyededir. II. Bölgede 1.30-1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulandığı zaman PI kontrollü D-STATKOM gerilimi %98’e çıkartmaktadır. IEEE ‘ye göre kabul edilen gerilim düşümü oranı %10 geçmemelidir.



Şekil 4.47. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

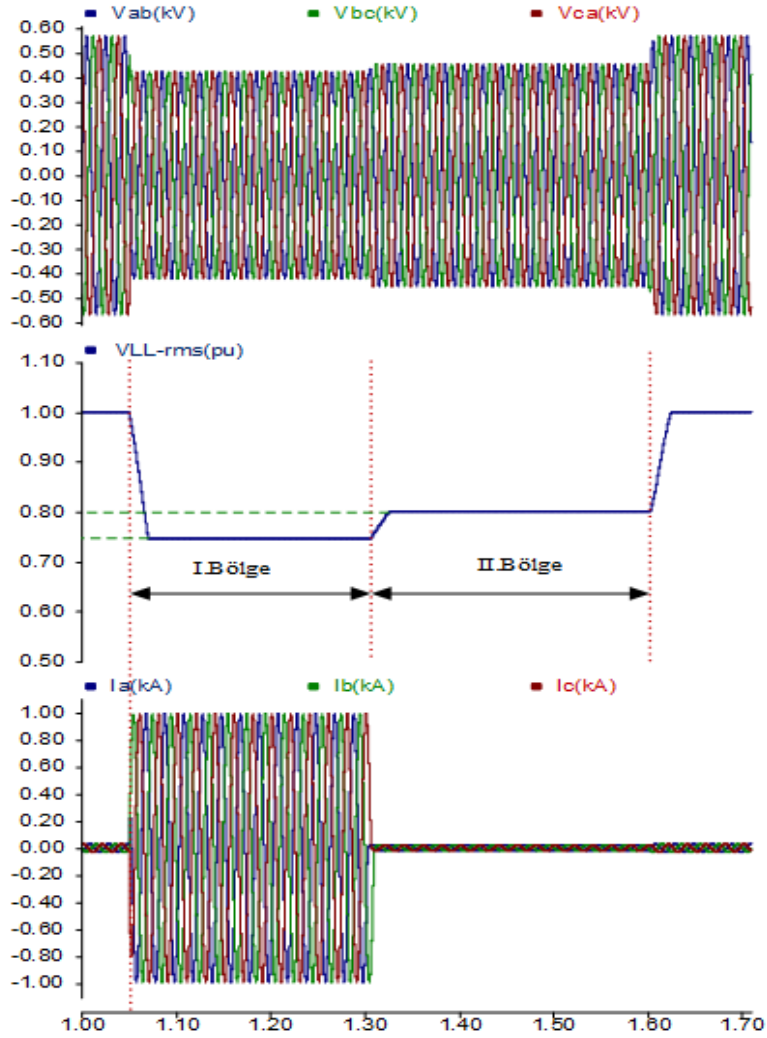
Şekil 4.47’de görüldüğü gibi PI kontrollü D-STATKOM kısa devre hatalarına karşı 2.5 periyot (50ms) gibi bir sürede gerilimi kararlı hale getirmektedir. Sistem geriliminin, gerilim çukurunu kompanze ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlamaktadır.

Şebekeden çekilen akımların büyük olmasının nedeni ise D-STATKOM’un yeterli gücü sağlamak için çektiği akımdır. Her yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. Omik yük için faz denetim açısı 95 derecedir. Sonuçta yükler ve arıza tipleri değiştikçe faz denetim açısı da değişir. Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlanmıştır.

4.4.1.3. Endüktif yüklü sistem

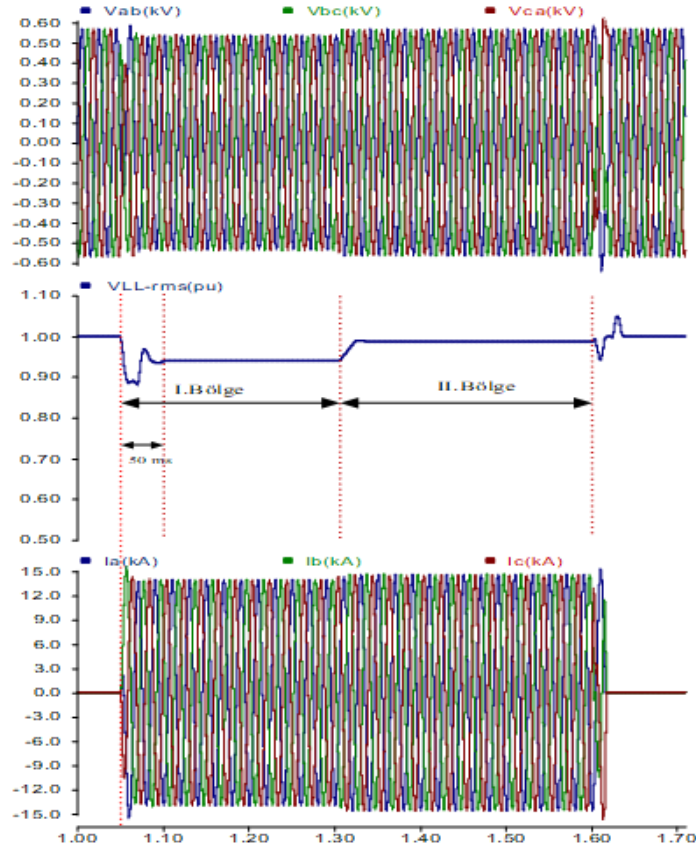
Sistemde biri sabit endüktif yük (10+J0.0184) diğeri anlık olarak devreye giren ikinci endüktif yük (0.2+J0.0003) vardır. Sabit yük sürekli devrede ve 28.3 A akım çektiğinden dolayı gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, ikinci yük (endüktif yük) devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. İlk önce sabit yük devrede iken hem aşırı akım çeken yük devreye alınmış hem de D-STATKOM’dan önce üç faz kısa devre arıza hatası uygulanmıştır. Şekil 4.48’de görüldüğü üzere I. bölgede 1.05-1.30 sn. aralığında hem anlık olarak devreye giren endüktif yük devrede hem de kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Gerilim RMS pu değeri %74’lere düşmektedir.

II. Bölgede 1.30-1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Üç faz kısa devre hatasında ise gerilim RMS pu değeri %80’lere düşmektedir. I. Bölgede hem endüktif yük hem de kısa devre hatası uygulanan aralıkta çekilen akım 985 A dir. II. Bölgede ikinci endüktif yük devreden çıktığında ise şebeke tarafında yapılan üç faz kısa devre hatasından dolayı çekilen faz akımı 22.6 A dir. Üç faz kısa devre hatası bittikten sonra sabit olan yük 28.3 A akım çekmektedir. I. Bölgede fazla akım çekmesinin nedeni aşırı akım çeken endüktif yük devrededir. Sabit yükün çektiği akımların farklı olmasının nedeni üç faz kısa devre hatasından dolayı şebeke gerilimindeki %20’lik gerilim düşümü sabit yükün çektiği akımı da aynı oranda düşürmektedir.



Şekil 4.48. PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.49'da PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde I. Bölgede 1.05-1.30 sn. aralığında gerilimi %94'lere çıkartmaktadır. II. bölgede 1.30-1.60 sn. aralığında sadece kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre hatası uygulandığı zaman PI kontrollü D-STATKOM gerilimi %98.5'e çıkartmaktadır. Bu oranlar kabul edilebilir bir gerilim düşümü oranlarıdır. Bu gerilim oranına baktığımızda ise PI kontrollü D-STATKOM kısa devre hatalarına karşı 2.5 periyot (50ms) gibi bir sürede gerilimi kararlı hale getiriyor. II. Bölgede bu süre daha azdır yaklaşık 20 ms.



Şekil 4.49. PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

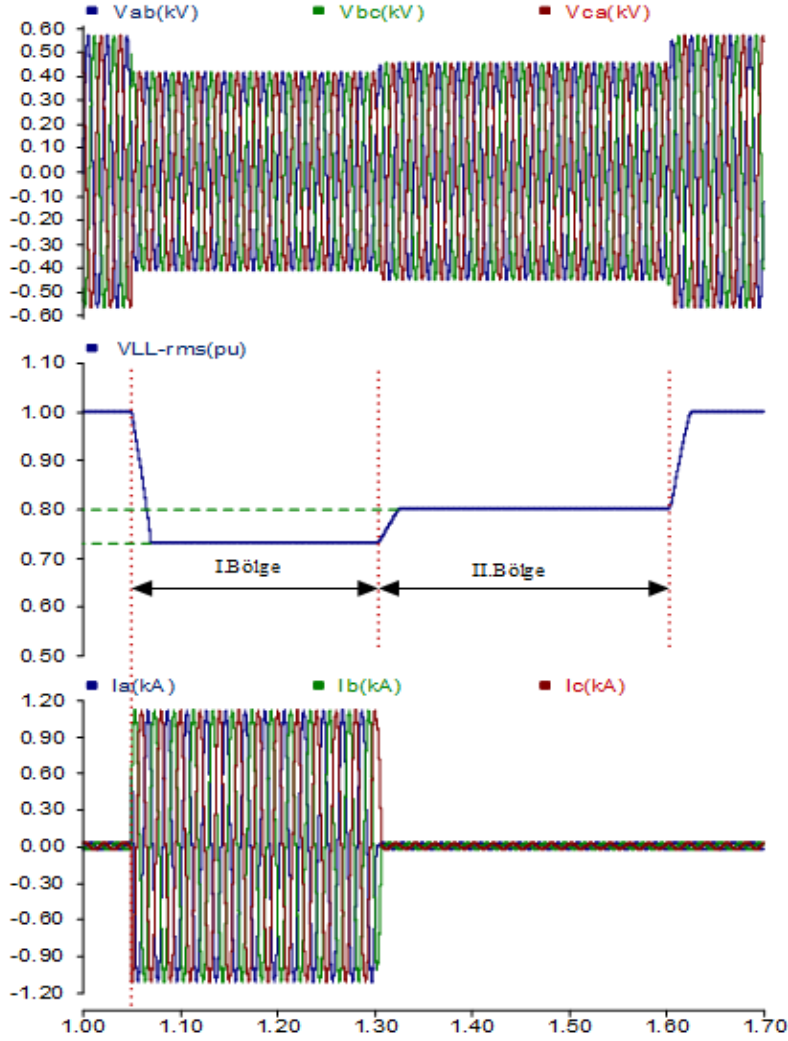
D-STATKOM şebeke geriliminin düşmesini kompanze ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlamıştır. Endüktif yük için faz denetim açısı 95 derecedir. Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlanmıştır.

4.4.2. PR kontrollü D-STATKOM kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre analizi

4.4.2.1. DA yüklü sistem

Şebekeye aşırı akım çeken üç fazlı doğrultulmuş DA yük değeri 0.075 ohmdur. Şebeke nominal efektif gerilim değeri 0.4 kV' tur. Şekil 4.50'de görüldüğü gibi I. bölge

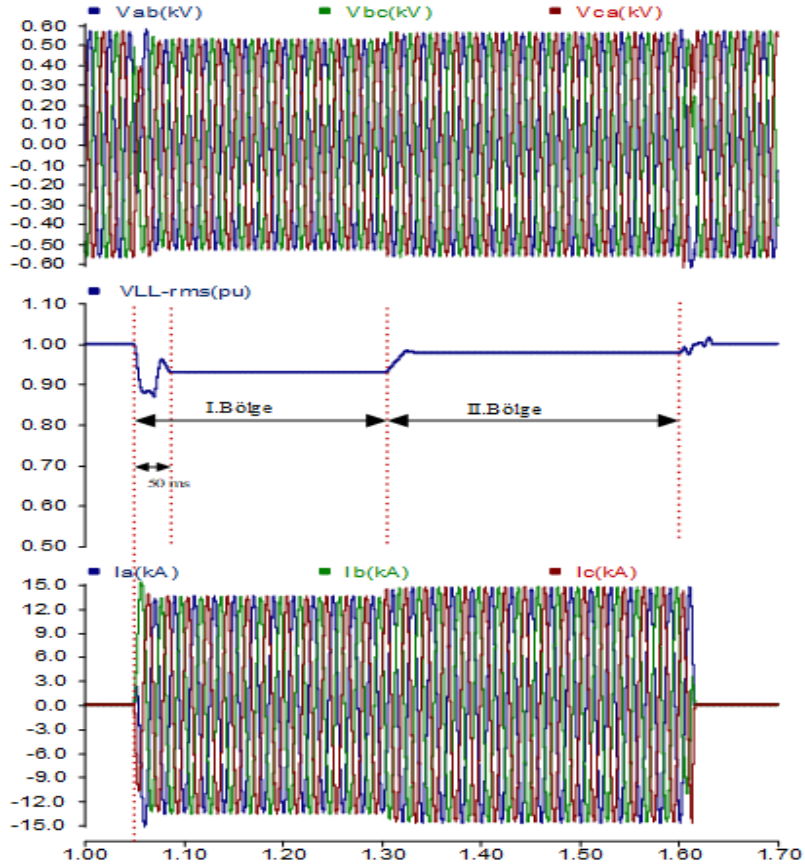
de 1.05-1.30 sn. süresince hem aşırı akım çeken diyotlarla tam dalga doğrultulmuş DA yük hem de kaynak tarafında oluşturulan üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Gerilim değeri %73'lere düşmektedir.



Şekil 4.50. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.50'de I. bölgede çekilen akım 1106 A dir. II. Bölgede 1.30-1.60 sn. süresinde ise sadece üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Gerilim değeri %80'lere düşmektedir. Çekilen akım 22.6 A dir. Kısa devre hatası bittikten sonra sabit yükün çektiği akım 28.3 A akım çekmektedir.

Şekil 4.51’de PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde aynı anda iki hatanın olduğu zaman aralığında yani I. bölgede gerilimi %93’e çıkartarak sistemin çalışma devamlılığının sağlanması ve gerilim çukuru problemini giderdiği görülmektedir. Şebekeden çekilen 13.5 kA dir.



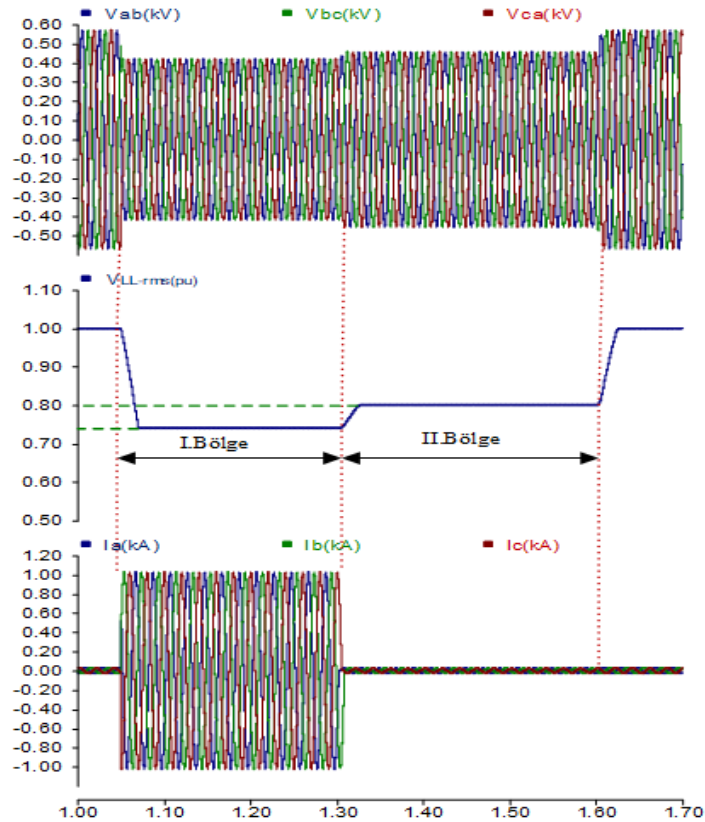
Şekil 4.51. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri, b. Gerilimlerin pu değeri, c. Faz akımları.

Şekil 4.51’de görüldüğü gibi 1.30-1.60 sn. süresince ise yani II. bölge de sadece tek faz kısa devre hatası uygulandığında gerilim değeri %98’e çıkartmaktadır. II. Bölgede 14.4 kA akım çekmektedir. Bu akımların yüksek olmasının sebeplerinden biri D-STATKOM şebekeden akım çekmektedir. D-STATKOM aktif gücünü karşılamak için şebekeden aktif güç çeker. Bu da şebekeden yüksek akımların çekilmesine neden olmaktadır.

Şekil 4.51’de PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde 2.5 periyot (50 ms) süre gibi hızlı bir şekilde tepki vererek düşen yük gerilimini kabul edilebilir değere çıkartmaktadır. Tek faz kısa devre hatası ve DA yük için faz denetim açısı 97 derecedir. Sonuçta yükler ve hatalar değiştikçe denetleyicinin faz denetim açısı da değişir.

4.4.2.2. Omik yüklü sistem

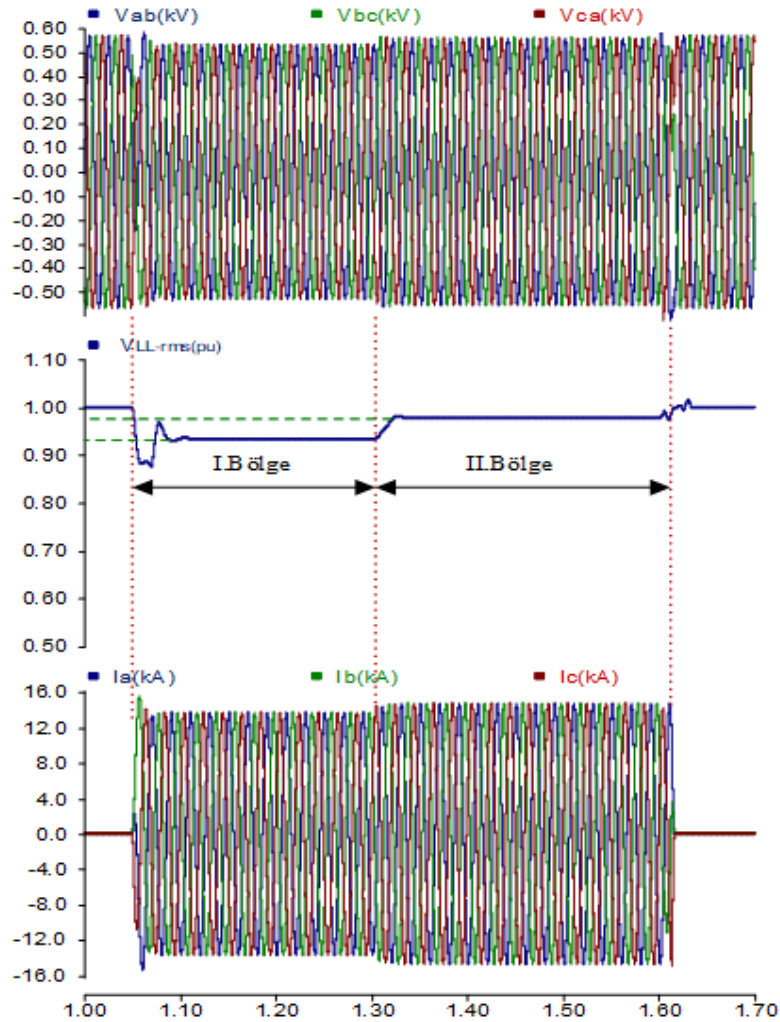
Sisteme omik yük olarak üç fazlı 0.21 ohm değerinde direnç bağlanmıştır. Şekil 4.52’de görüldüğü üzere I. bölgede 1.05-1.30 sn. aralığında hem omik yük devrede hem de kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Gerilim efektif değeri %70’lere düşmektedir. II. bölgede 1.30-1.60 sn. aralığında sadece üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Üç faz kısa devre hatasında ise gerilim efektif değeri %80’e düşmektedir.



Şekil 4.52. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

I. Bölgede hem omik yük hem de kısa devre hatası uygulanan aralıkta çekilen akım 1019 A dir. II. Bölgede omik yük devreden çıktığında ise çekilen faz akımı 22.6 A dir. 1.60 sn. den sonra kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre hatası devre dışı olduğunda sabit olan yük 28.3 A akım çekmektedir.

Şekil 4.53'de görüldüğü gibi PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde I. bölgede gerilimi %93'e çıkartmaktadır. II. bölgede 1.30-1.60 sn. aralığında sadece tek faz kısa devre hatası uygulandığı zaman PI kontrollü D-STATKOM gerilimi %98'e çıkartmaktadır.



Şekil 4.53. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şebekeden çekilen akımların büyük olmasının nedeni ise D-STATKOM'un yeterli gücü sağlamak için şebekeden çektiği akımdır. Her yük durumu içinde farklı faz açıları girilmiştir. Omik yük için faz denetim açısı 97 derecedir. Sonuçta yükler ve arıza tipleri değiştikçe faz denetim açısı da değişir.

Yüklerin farklı arıza durumlarında farklı faz açısı ile sistemin çalışması yani gerilimin etkili şekilde kompanze edilmesi sağlanmıştır. Şekil 4.53'de görüldüğü gibi PR kontrollü D-STATKOM kısa devre hatalarına karşı 45 ms gibi kısa bir sürede gerilimi stabil hale getirmektedir. Sistem geriliminin, gerilim düşmesini kompanze ederek sistemin çalışmasına devam etmesini sağlamaktadır.

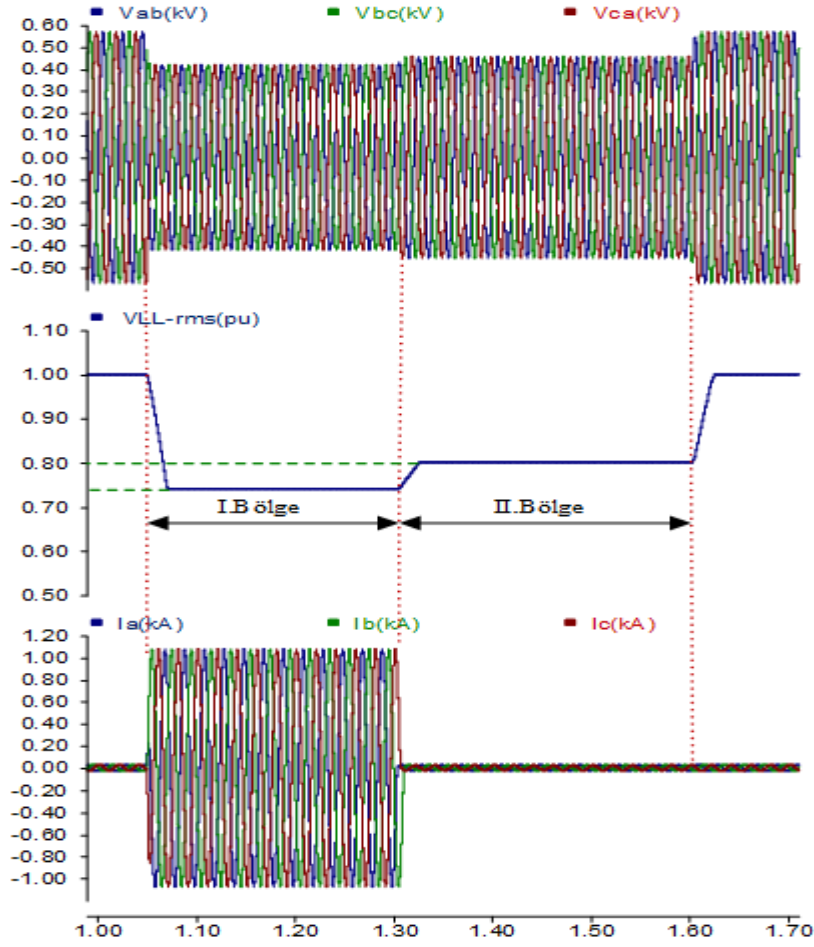
4.4.2.3. Endüktif yüklü sistem

Sistemde biri sabit endüktif yük (10+J0.0184) diğeri anlık olarak devreye giren ikinci endüktif yük (0.2+J0.0003) vardır.

Şekil 4.54'de I. bölgede 1.05-1.30 sn. aralığında hem anlık olarak devreye giren endüktif yük devrede hem de kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Gerilim nominal değeri %74'lere düşmektedir.

II. bölgede 1.30-1.60 sn. aralığında sadece kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Üç faz kısa devre hatasında ise gerilim nominal değeri %80'lere düşmektedir.

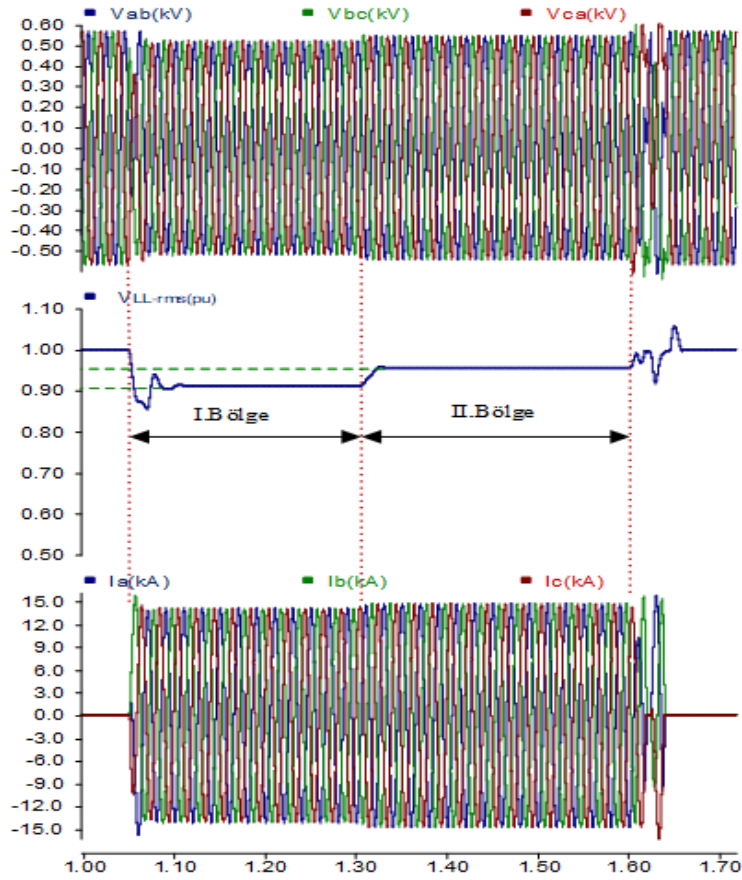
I. Bölgede hem endüktif yük hem de kısa devre hatası uygulanan aralıkta çekilen akım 1071.5 A dir. II. Bölgede ikinci endüktif yük devreden çıktığında ise kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre hatasından dolayı çekilen faz akımı 22.6 A dir. Üç faz kısa devre hatası bittikten sonra sabit olan yük 28.3 A akım çekmektedir. I. Bölgede fazla akım çekmesinin nedeni aşırı akım çeken endüktif yük devrededir.



Şekil 4.54. PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.55’de PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde I. Bölgede 1.05-1.30 sn. aralığında gerilimi %91’e çıkartmaktadır. II. bölgede 1.30-1.60 sn. aralığında sadece kaynak tarafından tek faz kısa devre hatası uygulandığı zaman PR kontrollü D-STATKOM gerilimi %95’e çıkartmaktadır. Bu oranlar kabul edilebilir bir gerilim düşümü oranlarıdır. I. Bölgede hem endüktif yük hem de kısa devre hatası uygulanan aralıkta çekilen akım 14.1 kA dir. II. Bölgede ikinci endüktif yük devreden çıktığında ise kaynak tarafından üç faz kısa devre hatasından dolayı çekilen faz akımı 14.7 kA dir.

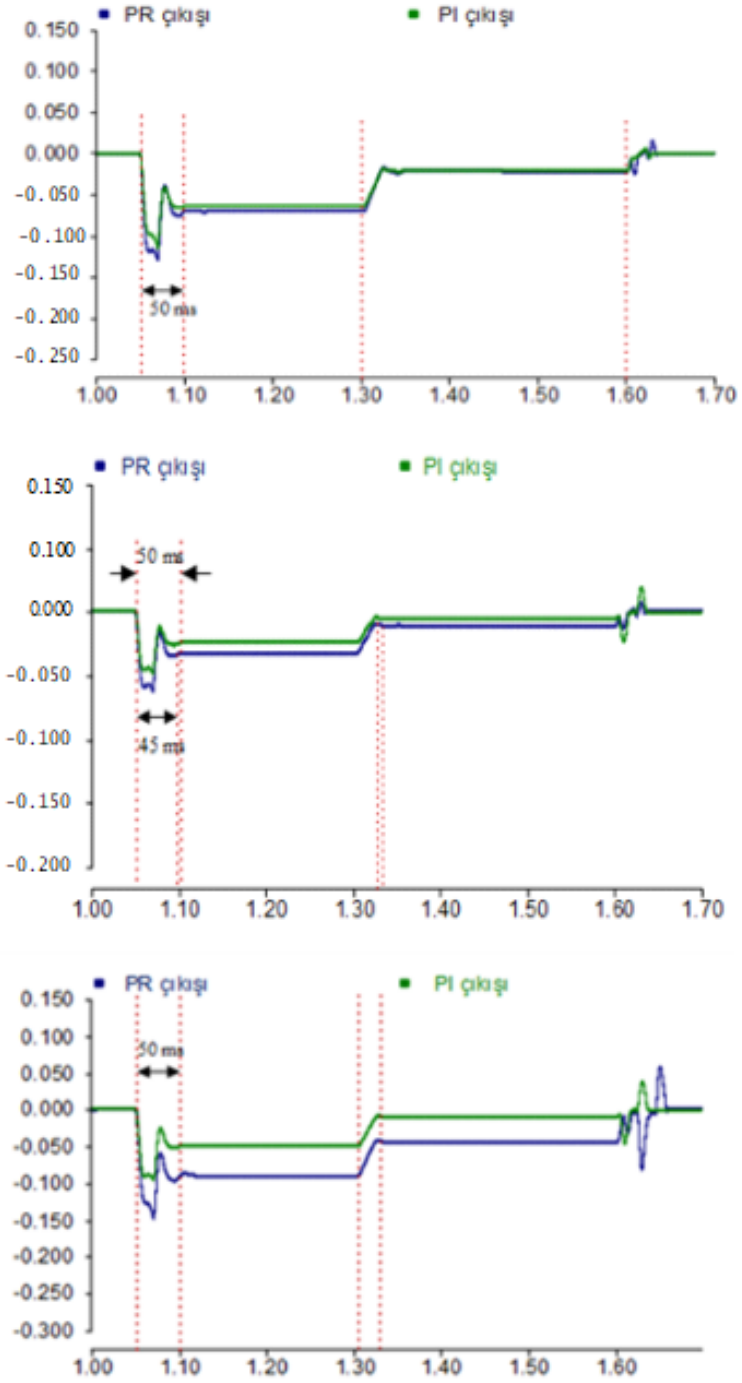
Bu gerilim oranlarına bakıldığında ise PR kontrollü D-STATKOM aşırı akım çeken yüklere ve kısa devre hatalarına karşı 2.5 periyot (50ms) gibi bir sürede gerilimi kararlı hale getirmektedir.



Şekil 4.55. PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri, b. Gerilimlerin pu değeri, c. Faz akımları.

4.4.3. Kaynak tarafında yapılan kısa devre analizi ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması

Hem üç fazlı kısa devre hatasından dolayı hem de yükten kaynaklanan gerilim düşümü benzetim çalışmalarında bakıldığında D-STATKOM gerilim çukurlarına karşı iyi ve hızlı şekilde cevap vererek şebeke gerilimini istenilen sınırlara yükselttiğini görülmektedir. Şekil 4.56b’de görüldüğü üzere omik yükteki aynı sistem ve yüklerde PI ve PR denetleyicilerin karşılaştırması yapıldığında PR denetleyicinin, PI denetleyiciye göre daha hızlı çalıştığını görülmektedir. Yani şebeke geriliminin daha hızlı statbil hale getirmektedir. Şekil 4.56a ve Şekil 4.56c’de DA yükte ve endüktif yükte PI ve PR aynı sürede düşen gerilimi stabil hale getirmektedirler.



Şekil 4. 56. Kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre hatası ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması.

Çizelge 4.4'e bakıldığında gerilim yükseltme işleminde kaynak tarafında oluşan üç kısa devre arızalarında ise PR denetleyici PI denetleyiciye göre daha fazla gerilim yükseltme işlemi gerçekleştirmektedir.

Aşağıdaki tabloda durum kısaca özetlenmiştir.

Çizelge 4.4. Kaynak tarafında yapılan üç faz kısa devre hata uygulaması ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması

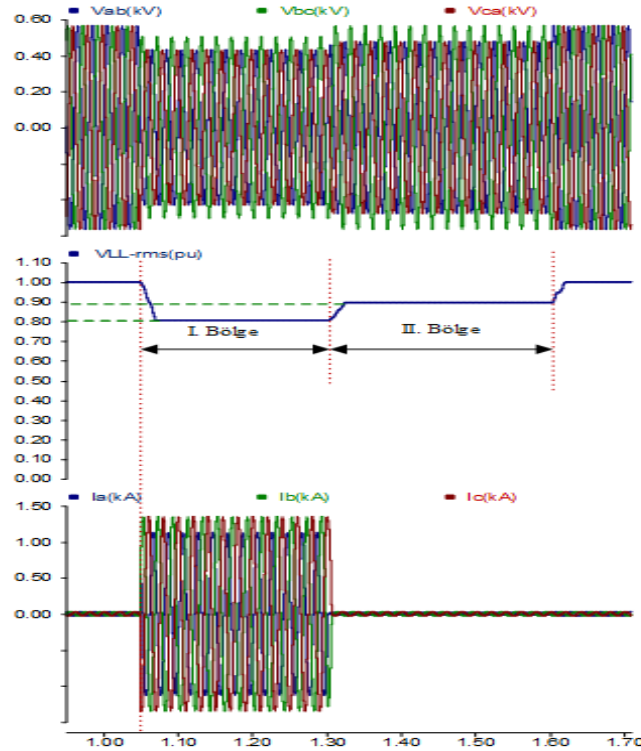
PI Denetleyici	Gerilim Düşüm Oranı(D-STATKOM devrede değilken)		Gerilim Yükseltme Oranı (D-STATKOM devrede iken)		PR Denetleyici	Gerilim Düşüm Oranı(D-STATKOM devrede değilken)		Gerilim Yükseltme Oranı (D-STATKOM devrede iken)	
	Bölge		Bölge			Bölge		Bölge	
Yük	I	II	I	II	Yük	I	II	I	II
DA Yük	%27	%20	%92.5	%97	DA Yük	%27	%20	%93	%98
Omik Yük	%26	%20	%94	%98	Omik Yük	%26	%20	%93	%98
Endüktif Yük	%26	%20	%94	%98.5	Endüktif Yük	%26	%20	%90.75	%95

4.4.4. PI kontrollü D-STATKOM kaynak tarafında yapılan tek faz kısa devre analizi

Sisteme 10+J0.0184 ohm değerinde sabit yük bağlıdır. Aynı sisteme sırasıyla aşırı akım çeken ve gerilim düşümüne neden olan doğrultulmuş DA yük, omik yük ve endüktif yük bağlanmıştır. Şebeke tarafında tek faz kısa devre hatası uygulanarak PI kontrollü D-STATKOM'un gerilim düzeltme seviyesi tespit edilmiştir.

4.4.4.1. DA yüklü sistem

Şebekeye aşırı akım çeken üç fazlı doğrultulmuş DA yük değeri 0.075 ohmdur. Şekil 4.57’de I. bölge de 1.05-1.30 sn. süresince hem aşırı akım çeken diyotlarla tam dalga doğrultulmuş DA yük hem de şebeke tarafında oluşturulan tek faz kısa devre hatası uygulanmaktadır. I. Bölgede gerilim değeri %81’e düşmektedir.

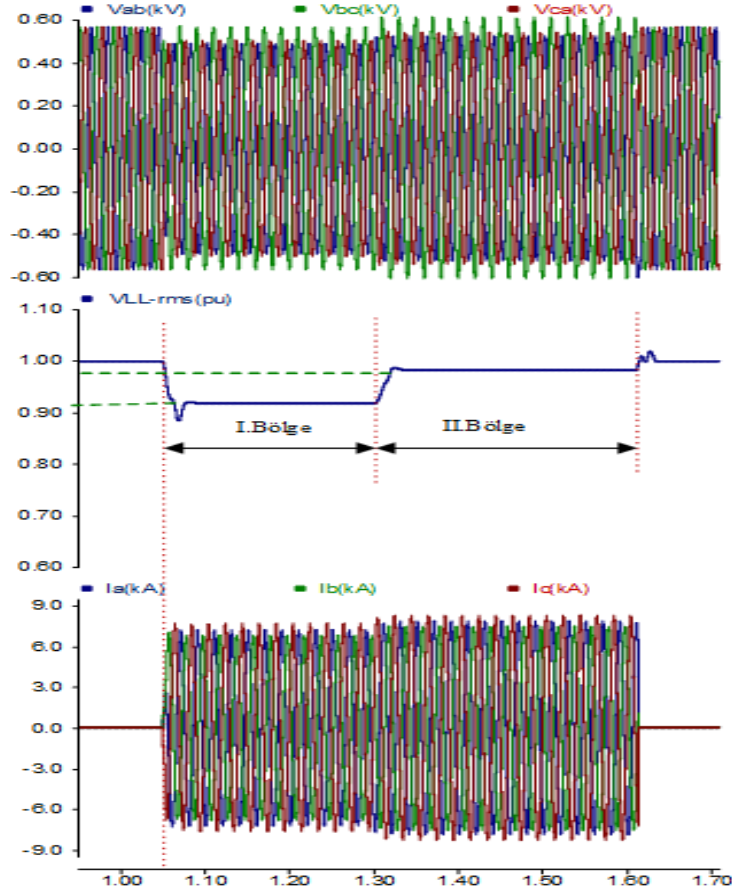


Şekil 4.57. Tek faz kısa devre hatası ve DA yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

I. Bölgede kısa devre yapılan fazın çektiği akım 1125 A dir. Diğer iki fazın çektiği akım 1350 A dir. II. Bölgede 1.30-1.60 sn. süresinde ise sadece tek faz kısa devre hatası uygulanmaktadır. Gerilim değeri %90'ın altına düşmektedir. Çekilen akım 19 A dir. Kısa devre hatası bittikten sonra sabit yükün çektiği akım 28.3 A akım çekmektedir.

Şekil 4.58’de PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde I. bölge de 1.05-1.30 sn. süresinde gerilim değeri %91'in üzerine çıkartmaktadır. 1.30-1.60 sn. süresince ise

yani II. bölge de gerilim değeri %98'e çıkartmaktadır. I. Bölgede çekilen akım 7.2 kA dir. II. Bölgede ise 7.83 kA akım çekmektedir. Bu akımların yüksek olmasının sebebi D-STATKOM devreden akım çekmesidir. D-STATKOM aktif gücünü karşılamak için şebekeden aktif güç çeker. Bu da yüksek akımların çekilmesine neden olmaktadır.

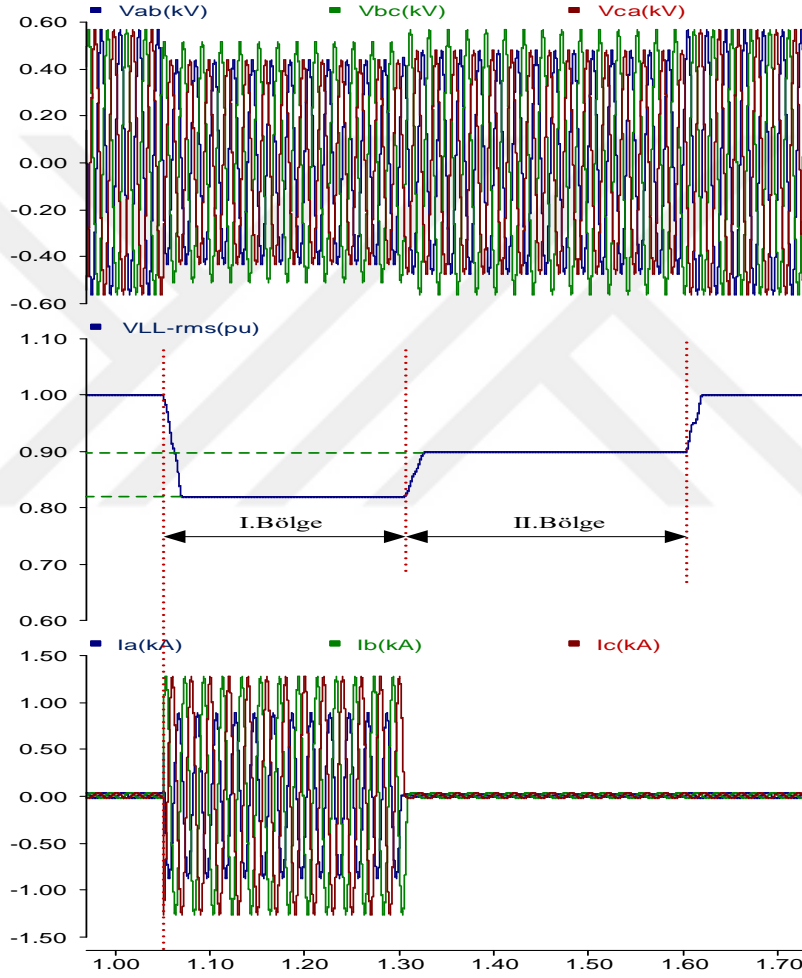


Şekil 4.58. Tek faz kısa devre hatası ve DA yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

PI kontrollü D-STATKOM 2 periyot (40 ms) süre gibi hızlı bir şekilde tepki vererek düşen şebeke gerilimini hızlı bir şekilde istenilen değere çıkartmaktadır. Tek faz kısa devre hatası ve DA yük için faz denetim açısı 45 derecedir. Sonuçta yükler ve hatalar değişikçe denetleyicinin faz denetim açısı da değişmektedir.

4.4.4.2. Omik yüklü sistem

Şekil 4.59'da şebeke normal şartlar altında çalışırken 1.05-1.30 sn. arası süresinde hem aşırı akım çeken üç fazlı omik yük devrede hem de şebeke tarafına (D-STATKOM'dan önce) bir faz kısa devre hatası uygulanmaktadır. gerilim değeri I. bölgede %82'ye düşmektedir.

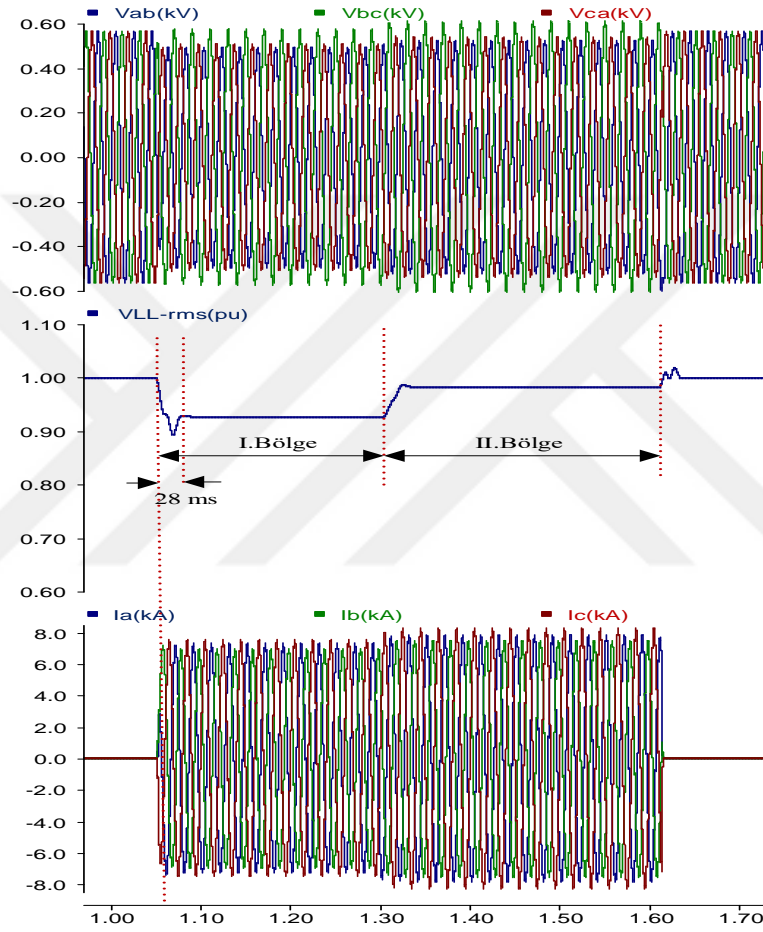


Şekil 4.59. Tek faz kısa devre hatası ve omik yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

I. Bölgede tek faz kısa devre hatası uygulanan hattın çektiği akım 875 A dir. II. Bölgede 1.30-1.60 sn. süresinde ise sadece tek faz kısa devre hatası uygulanmıştır.

Gerilim değeri %89.6'ya düşmektedir. Şebekeden çekilen akım 19 A dir. Kısa devre hatası bittikten sonra sabit yük 28.3 A akım çekmektedir.

Şekil 4.60'da PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde I. bölge de 1.05-1.30 sn. süresince gerilim değeri %92.5'e yükseltmektedir. 1.30-1.60 sn. süresince ise yani II. bölge de gerilim değeri %98'e çıkartmaktadır.



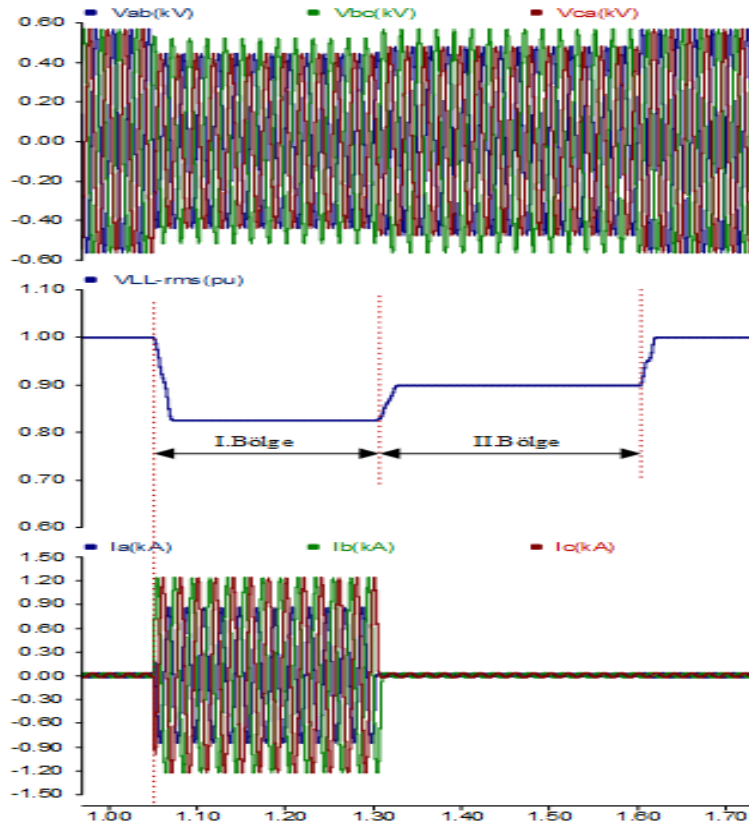
Şekil 4.60. Omik yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

I. Bölgede çekilen akım 7.30 kA dir. II. Bölge de ise 7.83 kA akım çekmektedir. D-STATKOM aktif gücünü karşılamak için şebekeden aktif güç çeker. Bu da yüksek akımların çekilmesine neden olur. D-STATKOM 28 ms süre gibi hızlı bir şekilde tepki

vererek düşen şebeke gerilimini hızlı bir şekilde kabul edilebilir değere çıkartmaktadır. Tek faz kısa devre hatası ve omik yük için faz denetim açısı 45 derecedir.

4.4.4.3. Endüktif yük

Şebekeye aşırı akım çeken üç fazlı endüktif yük değeri $0.2+j0.3$ ohmdur. Şekil 4.61'de I. Bölge de 1.05-1.30 sn. süresince hem aşırı akım çeken endüktif yük hem de kaynak tarafında oluşturulan tek faz kısa devre hatası uygulanmaktadır. I. Bölgede gerilim değeri %83'e düşmektedir.

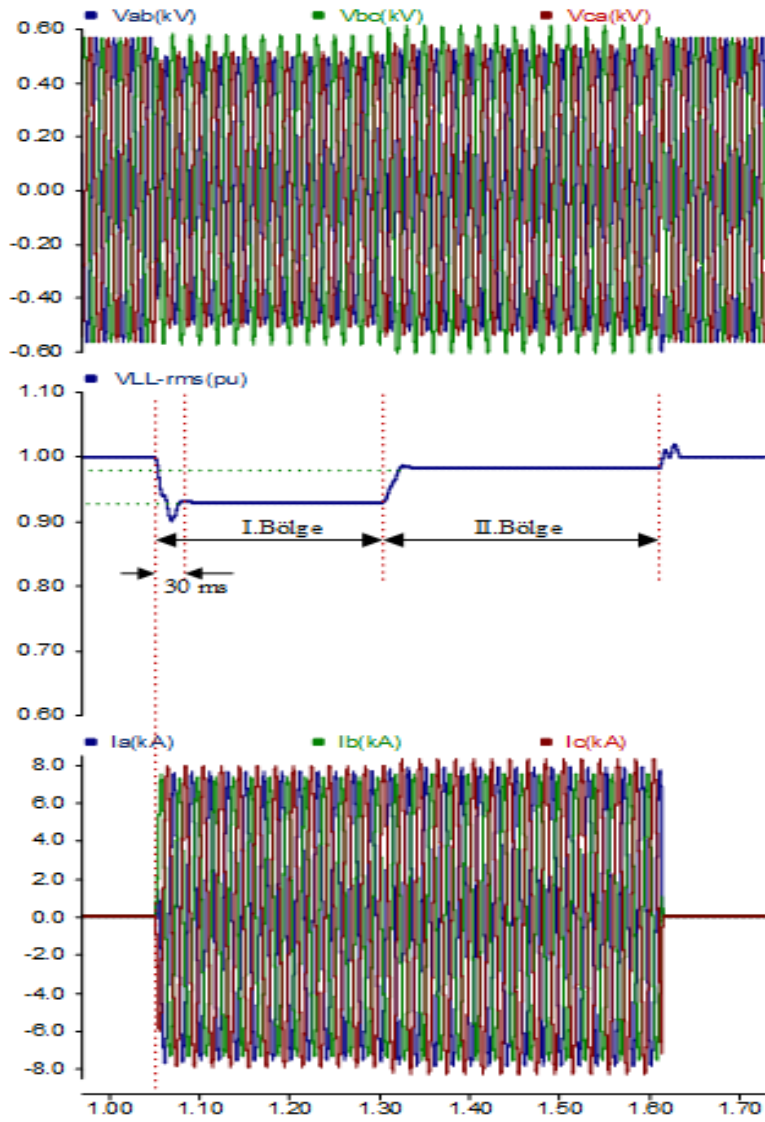


Şekil 4.61. Tek faz kısa devre hatası ve endüktif yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede değişken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

I. Bölgede çekilen akım 853 A dir. II. Bölgede 1.30-1.60 sn. süresinde ise sadece tek faz kısa devre hatası uygulanmaktadır. Yük geriliminin değeri %90'ın altına

düşmektedir. Çekilen akım 19 A dir. Kısa devre hatası bittikten sonra sabit yükün çektiği akım 28.3 A akım çekmektedir.

PI kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde Şekil 4.62’de I. bölge de 1.05-1.30 sn. süresinde yükün gerilim değeri %93'lere yükseltmektedir. 1.30-1.60 sn. süresinde ise yani II. bölge de gerilim değeri %98’e çıkartmaktadır.



Şekil 4.62. Endüktif yükte PI kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

I. Bölgede çekilen akım 7.6 kA dir. II. Bölgede ise 7.83 kA akım çekmektedir. D-STATKOM aktif gücünü karşılamak için şebekeden yüksek akımların çekilmesine neden olur.

PI kontrollü D-STATKOM 1.5 periyot (30 ms) süre gibi hızlı bir şekilde tepki vererek düşen yük gerilimini hızlı bir şekilde istenilen değere çıkartmaktadır. Tek faz kısa devre hatası ve endüktif yük için faz denetim açısı 45 derecedir. Sonuçta yükler ve hatalar değiştiğinde denetleyicinin faz denetim açısı da değişmektedir.

4.4.5. PR kontrollü D-STATKOM kaynak tarafında yapılan tek faz kısa devre analizi

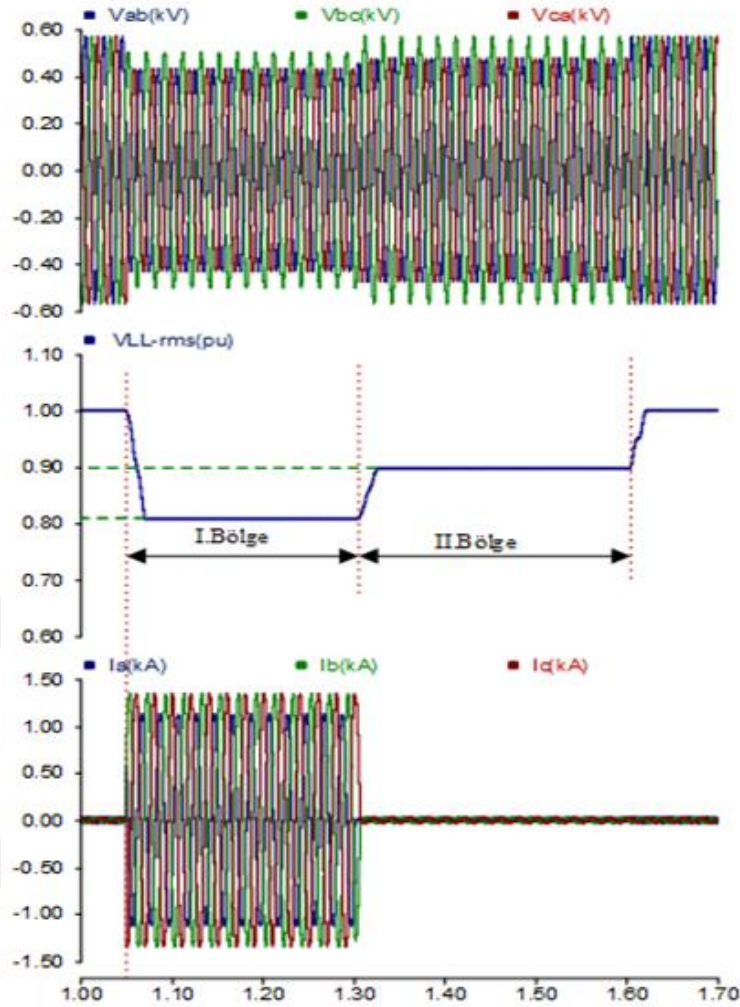
4.4.5.1. DA yüklü sistem

Burada sürekli devrede olan sabit yük normal akım (28.3 A.) çektiğinden gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, ikinci yük (doğrultulmuş DA yük) devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. Sabit yük devrede iken 0.25 sn. süresince hem aşırı akım çeken yük devreye alınmış hem de D-STATKOM'dan önce tek faz kısa devre hatası uygulanmıştır. Sistemde bunlardan dolayı gerilim çukuru oluşmaktadır. Sonra sadece 0.30 sn. boyunca tek faz kısa devre hatası uygulanarak şebeke geriliminde gerilim çukuru oluşmaktadır. Her iki durum için farklı oranlarda gerilim düşümü oluşmaktadır. Tek faz kısa devre hatası için D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilim değişimleri incelenmiştir.

Şebekeye aşırı akım çeken üç fazlı doğrultulmuş DA yük değeri 0.075 ohmdur. I. Bölge de 1.05-1.30 sn. süresinde hem aşırı akım çeken diyotlarla tam dalga doğrultulmuş DA yük hem de şebeke tarafında oluşturulan tek faz kısa devre hatası uygulanmaktadır.

Şekil 4.63'de I. bölgede yükün gerilim değeri %81'e düşmektedir. I. Bölgede kısa devre yapılan fazın çektiği akım 1125 A dir. Diğer iki fazın çektiği akım 1350 A dir.

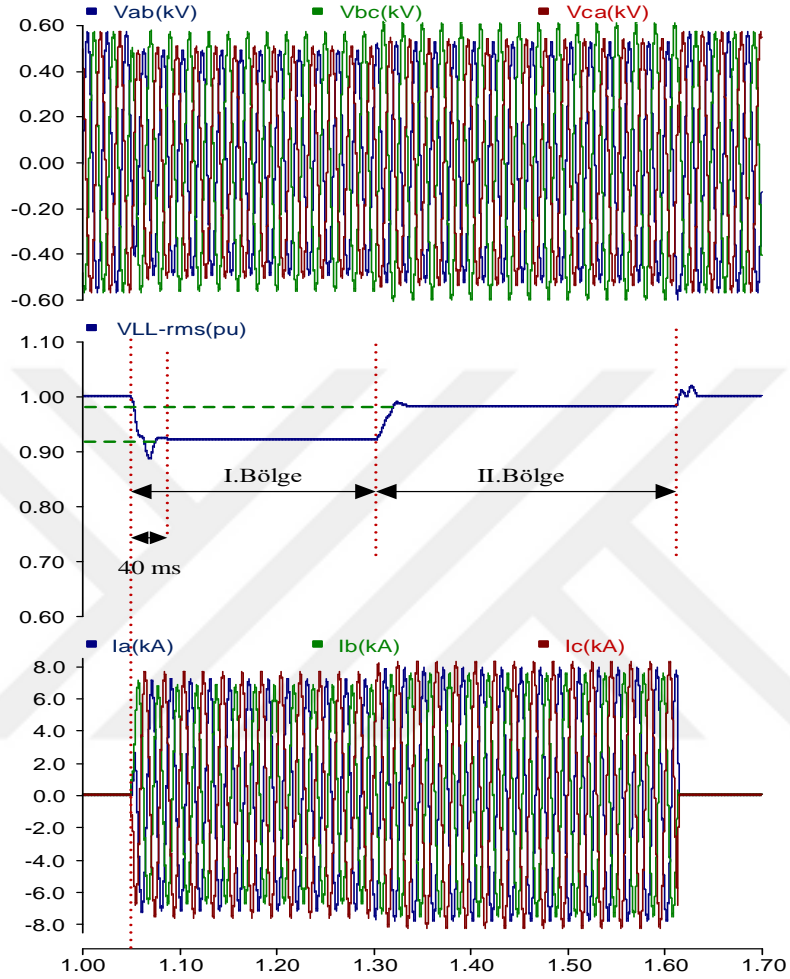
II. Bölgede 130-1.60 sn. süresinde ise sadece tek faz kısa devre hatası uygulanmaktadır. Yükün gerilim değeri %90'ın altına düşmektedir. Çekilen akım 19 A dir. Kısa devre hatası bittikten sonra sabit yükün çektiği akım 28.3 A akım çekmektedir.



Şekil 4. 63. Tek faz kısa devre hatası ve DA yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde Şekil 4.64'de I. bölge de 1.05-1.30 sn. süresinde gerilim değeri %92'lere yükseltmektedir. 1.30-1.60 sn. süresinde ise yani II. bölge de gerilim değeri %98'e çıkartmaktadır. I. Bölgede çekilen akım 7.2 kA dir. II. Bölgede ise 7.83 kA akım çekmektedir. Bu akımların yüksek olmasının sebebi D-STATKOM şebekeden akım çekmesidir. D-STATKOM aktif gücünü karşılamak için şebekeden aktif güç çeker. Bu da yüksek akımların çekilmesine neden olmaktadır. PR kontrollü D-STATKOM 2 periyot (40 ms) süre gibi hızlı bir şekilde tepki vererek düşen şebeke gerilimini hızlı bir şekilde istenilen değere çıkartmaktadır. Tek faz kısa devre

hatası ve DA yük için faz denetim açısı 45 derecedir. Sonuçta yükler ve hatalar değişikçe denetleyicinin faz denetim açısı da değişmektedir.

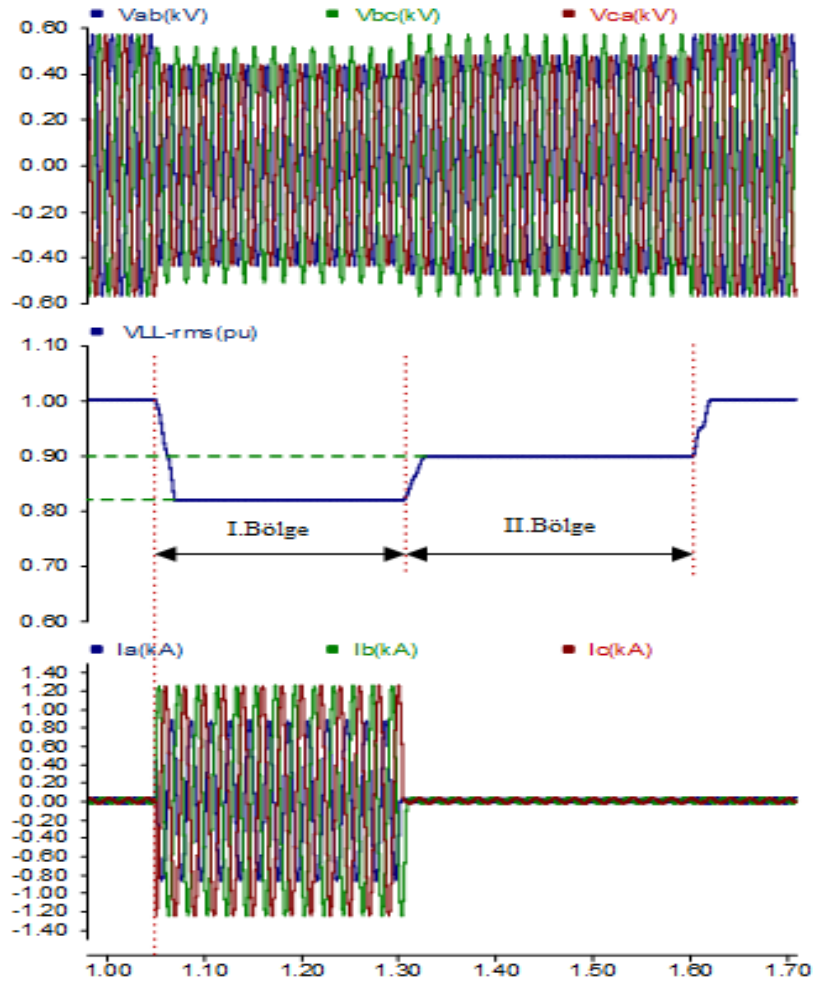


Şekil 4.64. Tek faz kısa devre hatası ve DA yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

4.4.5.2. Omik yüklü sistem

Şebeke nominal sabit yükte çalışırken 1.05-1.30 sn. süresinde hem aşırı akım çeken üç fazlı omik yük (0.21 ohm) devrede hem de şebeke tarafında(D-STATKOM'dan önce) yapılan bir faz kısa devre hatası uygulanmaktadır.

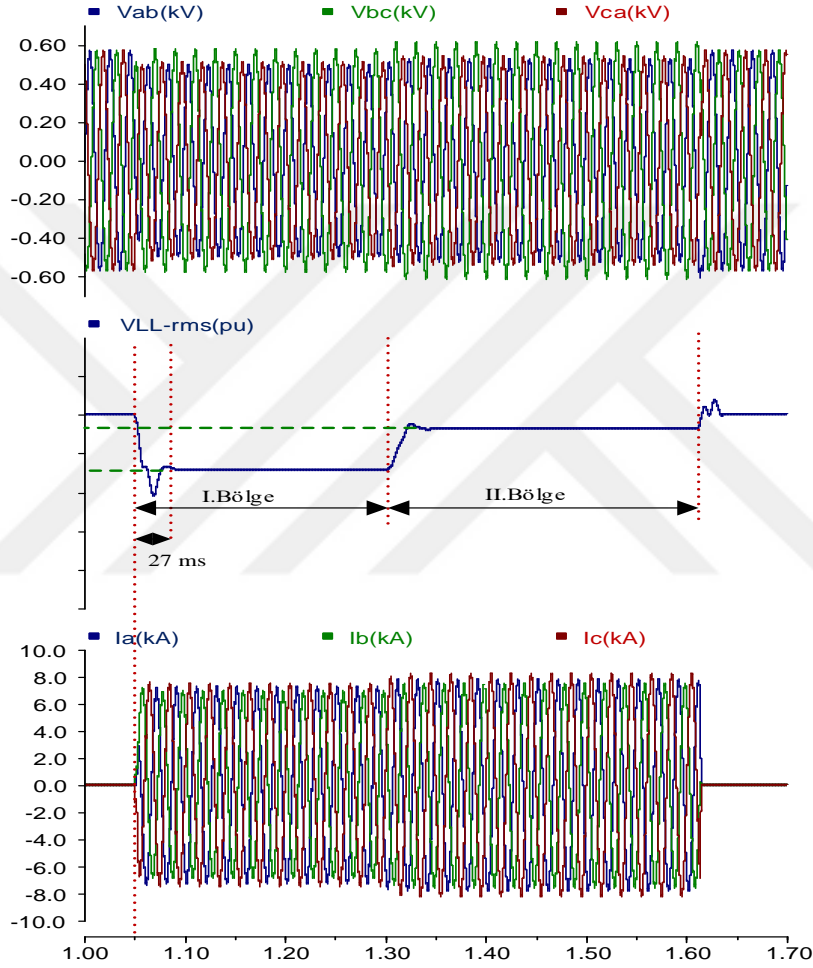
Şekil 4.65’de yükün gerilim değeri I. bölgede %82’ye düşmektedir. I. Bölgede kısa devre hatası uygulanan fazın çektiği akım 865.5 A dir. Diğer iki fazın çektiği akım 1250 A dir. II. Bölgede 1.30-1.60 sn. süresinde ise sadece tek faz kısa devre hatası uygulanmaktadır. Gerilim değeri %90’ın altına düşmektedir. Tek faz kısa devre hatası uygulanan fazın çektiği akım 19 A dir. Diğer iki faz 28.3 A akım çekmektedir. Kısa devre hatası bittikten sonra sabit yükün çektiği akım 28.3 A akım çekmektedir.



Şekil 4.65. Tek faz kısa devre hatası ve omik yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede değişken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

Şekil 4.66’da PR kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde I. bölge de 1.05-1.30 sn. süresinde gerilim değeri %93’e yükseltmektedir. 1.30-1.60 sn. süresinde ise yani

II. bölge de gerilim değeri %98'in üzerine çıkartmaktadır. I. Bölgede faz-nötr hatası uygulanan fazı çektiği akım 7.25 kA dir. II. Bölgede ise 7.8 kA akım çekiyor. Bu akımların yüksek olmasının sebebi D-STATKOM şebekeden akım çekmektedir. D-STATKOM aktif gücünü karşılamak için şebekeden aktif güç çeker. Bu da yüksek akımların çekilmesine neden olmaktadır.

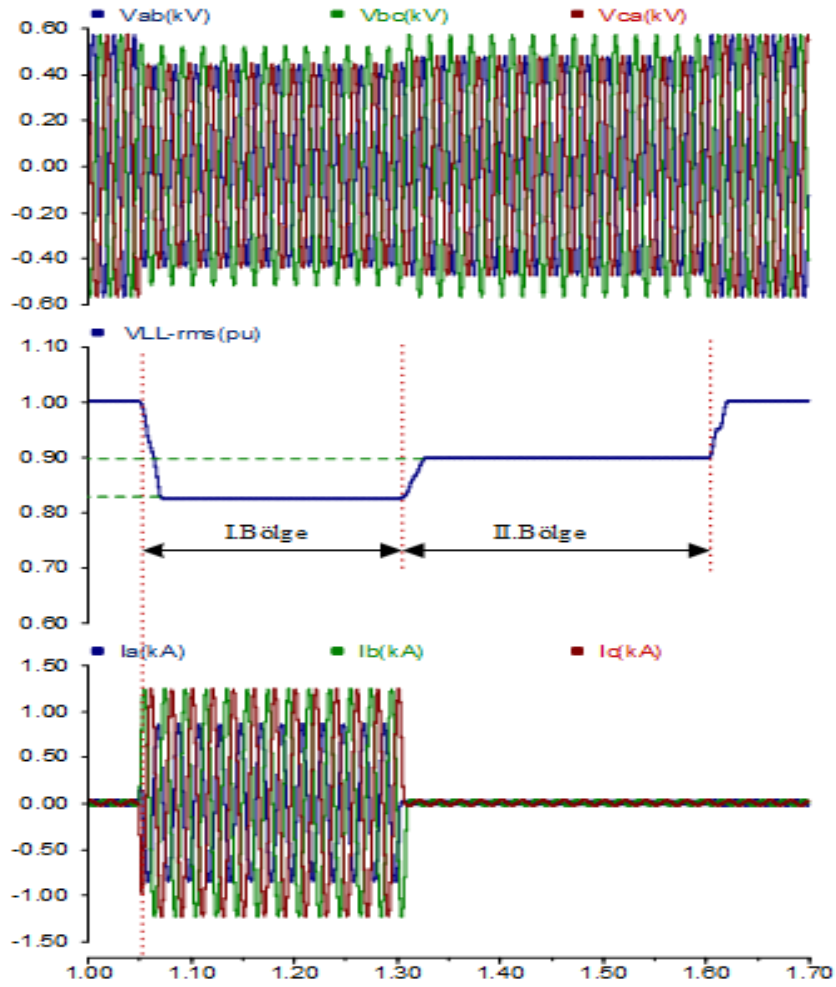


Şekil 4.66. Tek faz kısa devre hatası ve omik yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

PR kontrollü D-STATKOM 27 ms sürede hızlı bir şekilde tepki vererek düşen şebeke gerilimini hızlı bir şekilde istenilen değere çıkartmaktadır. Tek faz kısa devre hatası ve omik yük için faz denetim açısı 45 derecedir. Sonuçta yükler ve hatalar değiştiğinde denetleyicinin faz denetim açısı da değişmektedir.

4.4.5.3. Endüktif yüklü sistem

Şebekeye anlık devreye giren $0.2+j0.003$ ohm değerinde olan ve aşırı akım çeken üç fazlı endüktif yük bağlanmıştır. Şekil 4.67’de I. bölge de 1.05-1.30 sn. süresinde hem aşırı akım çeken endüktif yük hem de kaynak tarafında oluşturulan tek faz kısa devre hatası uygulanmaktadır. I. Bölgede gerilim değeri % 82.5'e düşmektedir.

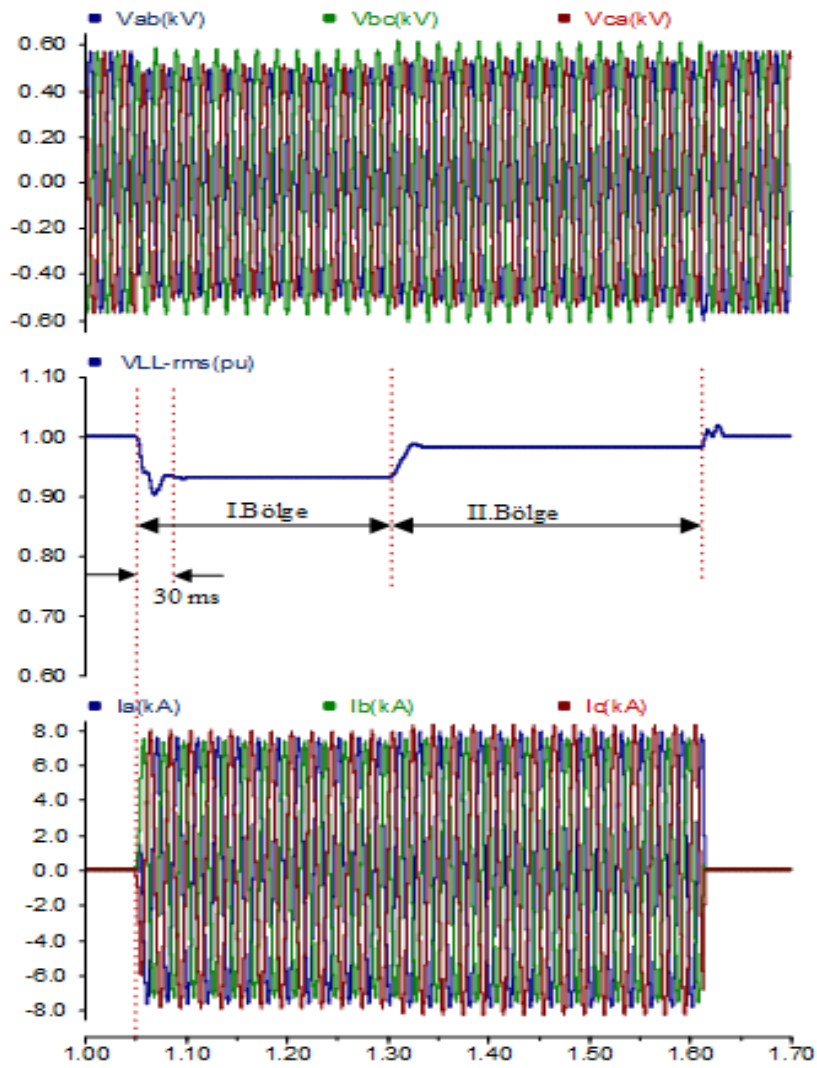


Şekil 4.67. Tek faz kısa devre hatası ve endüktif yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede değilken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

I. bölgede kısa devre arıza hatası uygulanan fazın çektiği akım 853 A dir. Diğer iki faz ise 1230 A akım çekmektedir. II. Bölgede 1.30-1.60 sn. süresinde ise sadece tek

faz kısa devre hatası uygulanmaktadır. Yükün gerilim değeri % 89.6'ya düşmektedir. Kısa devre hatası bittikten sonra sabit yükün çektiği akım 28.3 A akım çekmektedir.

Şekil 4.68'de PR Kontrollü D-STATKOM devreye girdiğinde I. bölge de 1.05-1.30 sn. süresinde gerilim değeri %93'ün üzerine yükseltmektedir. 1.30-1.60 sn. süresinde ise yani II. bölge de gerilim değeri %98'e çıkartmaktadır. I. Bölgede çekilen akım 7.5 kA dir. II. Bölgede ise 7.83 kA akım çekmektedir. D-STATKOM aktif gücünü karşılamak için şebekeden yüksek akımların çekilmesine neden olmaktadır.



Şekil 4.68. Tek faz kısa devre hatası ve endüktif yükte PR kontrollü D-STATKOM devrede iken a. Faz gerilimleri b. Gerilimlerin pu değeri c. Faz akımları.

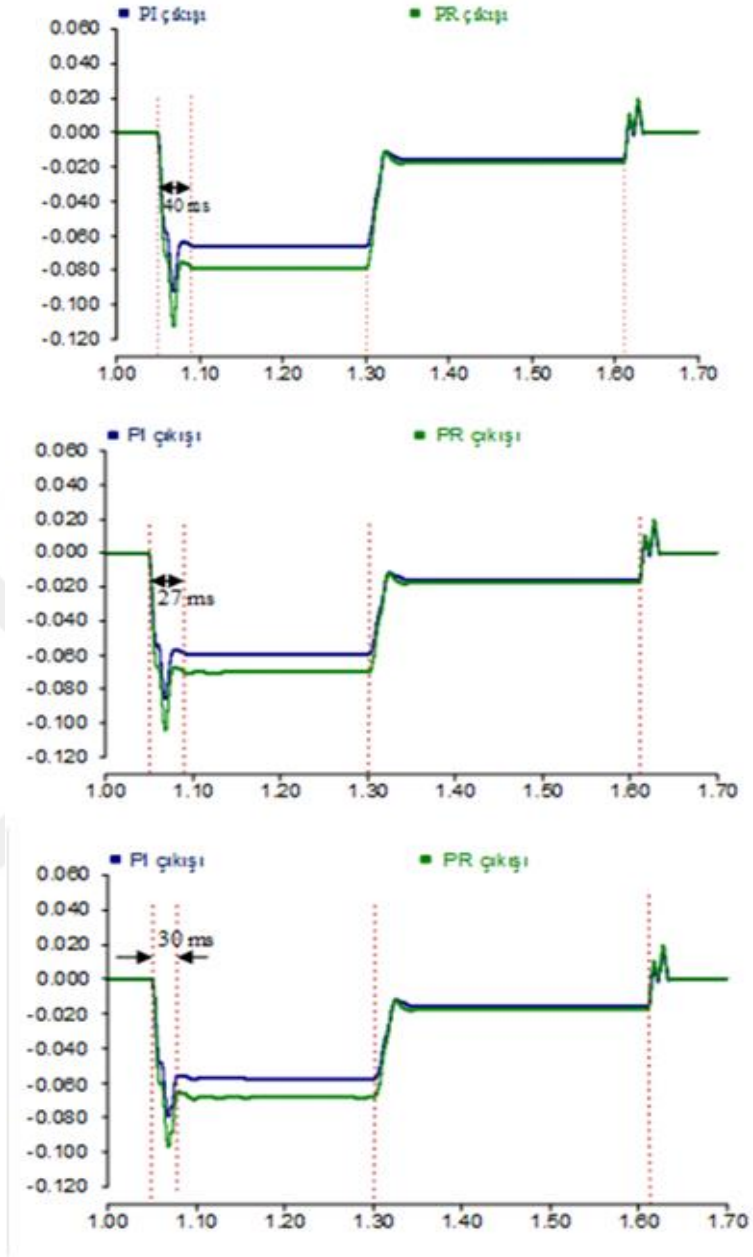
PR kontrollü D-STATKOM 1.5 periyot (30 ms) süre gibi hızlı bir şekilde tepki vererek düşen şebeke gerilimini hızlı bir şekilde istenilen değere çıkartmaktadır. Tek faz kısa devre hatası ve endüktif yük için faz denetim açısı 45 derecedir. Sonuçta yükler ve hatalar değiştikçe denetleyicinin faz denetim açısı da değişmektedir.

4.4.6. Kaynak tarafında yapılan tek kısa devre analizi ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması

Sisteme 28.3 A akım çeken 10+J0.0184 ohm değerinde sabit yük olarak bağlıdır. Sabit yük devrede iken gerilim düşümü oluşmamaktadır. Ancak, aşırı akım çeken ikinci yük (omik yük, endüktif yük ve doğrultulmuş DA yük) devreye girdiğinde şebekeden aşırı akım çekerek gerilim düşümüne neden olmaktadır. Benzetim çalışmasında 0.25 sn. süresince hem aşırı akım çeken ikinci yük hem de tek faz kısa devre arıza hatası uygulanarak gerilim düşümü oluşturulmaktadır. İkinci etapta ise 0.30 sn. boyunca sadece tek faz kısa devre hatası uygulanarak gerilim çukuru oluşturulmaktadır. Burada D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken sistemin gerilim değişimleri incelenmiştir.

Şebekenin anlık gerilim değerleri ortak bağlantı noktasında ölçülmektedir. Ölçülen değer birim değere dönüştürülür. Bu değer referans gerilim değeri arasındaki fark denetleyiciler için gerekli olan hata sinyalini oluşturmaktadır. PI ve PR denetleyiciler istenilen anahtarlama sinyallerini üretir. Burada D-STATKOM'un devrede değilken ve devrede iken iki denetleyicinin tepki süreleri karşılaştırılmıştır.

Hem tek fazlı kısa devre hatasından dolayı hem de yükten kaynaklanan gerilim düşümü benzetim çalışmalarına bakıldığında D-STATKOM gerilim düşmelerine karşı iyi ve hızlı şekilde cevap vererek şebeke gerilimini istenilen sınırlara yükselttiğini görülmektedir. Şekil 4.69b ve Şekil 4.69c'de görüldüğü gibi aynı sistemde ve aynı yüklerde PI ve PR denetleyicilerin karşılaştırması yapıldığında iki denetleyicinin de aynı hızla çalıştığını görülmektedir. Yani şebeke gerilimini hızlı bir şekilde statbil hale getirmektedirler. Şekil 4.69a'da DA yükte PI ve PR denetleyicileri diğer yüklere (omik yük ve endüktif yükte) göre daha yavaş tepki vermektedir.



Şekil 4. 69. Kaynak tarafında yapılan tek faz kısa devre hatası ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması.

Çizelge 4.5'e bakıldığında ise gerilim yükseltme işleminde şebeke tarafında oluşan tek kısa devre arızalarında ise PR denetleyici PI denetleyiciye göre aynı oranda gerilim yükseltme işlemi gerçekleştirmektedir.

Aşağıdaki tabloda durum kısaca özetlenmiştir.

Çizelge 4.5. Kaynak tarafında yapılan tek faz kısa devre hata uygulaması ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması

PI Denetleyici	Gerilim Düşüm Oranı(D-STATKOM devrede değilken)		Gerilim Yükseltme Oranı (D-STATKOM devrede iken)		PR Denetleyici	Gerilim Düşüm Oranı(D-STATKOM devrede değilken)		Gerilim Yükseltme Oranı (D-STATKOM devrede iken)	
	Bölge		Bölge			Bölge		Bölge	
Yük	I	II	I	II	Yük	I	II	I	II
DA Yük	%19	%11	%91	%98	DA Yük	%19	%10.5	%92	%98
Omik Yük	%18	%11	%92.5	%98	Omik Yük	%18	%10.5	%93	%98
Endüktif Yük	%17	%11	%93	%98	Endüktif Yük	%17	%10.5	%93	%98

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Günümüzde teknolojinin gelişimi ile birlikte güç kalitesi önemi de artmaktadır. Çünkü güç kalitesi problemlerini üreten cihazların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Güç kalitesini bozan etkenler denildiğinde öncelikli olarak; kesinti, gerilim darbesi, harmonik, çentik, frekans değişimi, gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi, doğru gerilim bileşeni, elektriksel gürültü akla gelir. Güç kalitesi sorunlarından en çok karşılaşılan durum, gerilim çukurlarıdır. Gerilim çukurları, güç kalitesi sorunlarının %80'ini oluşturmaktadır. Bu yüzden gerilimi düzeltmek ve yükler için kalite standartları içerisinde gerilim sağlamak için bazı cihazlara ihtiyaç vardır. Bunlardan biri olan D-STATKOM; şebekeye/baraya paralel olarak bağlanan evirici tabanlı bir cihazdır. D-STATKOM dağıtım şebekelerinde oluşan gerilim düşme/yükselmelerini hafifletmek için ve şebekedeki güç kalitesini artırmak için kullanılır. Yapılan çalışmalar, D-STATKOM'un başarılı bir şekilde gerilim çukurlarını hafiflettiğini, bara gerilimini istenen sınır değerlere çekebildiğini göstermektedir. Ayrıca ekstra özellik olarak, aktif filtre olarak kullanılırsa güç faktörünü düzeltebildiği ve akım harmoniklerini azaltılabildiği gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında bir alçak gerilim dağıtım sistemine bağlı D-STATKOM modeli oluşturulmuş, benzetim çalışmalarıyla gerilim çukurlarını kompanze etme performansı incelenmiştir. Genel olarak, faz açısı denetim yöntemi kullanılmış olup, denetim sisteminde sabit parametrelili PI ve PR denetleyiciler kullanılmış ve karşılaştırma yapılmıştır. Faz açısı denetim yönteminin algoritmasının kolay ve gerçekleştirilmesinin basit olması, gibi avantajları vardır. Fakat aktif ve reaktif gücün denetiminin birbirinden bağımsız yapamaması ve akım kontrolü yapamadığı için akımlarda büyük sızramaların meydana gelmesi gibi sakıncaları vardır.

Modellemede, 0.4 kV'luk dağıtım şebekelerine uyumlu D-STATKOM iki seviyeli evirici ve LC filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çeşitli yükler ve farklı arıza durumlarına göre PI kontrollü D-STATKOM ve PR kontrollü D-STATKOM karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Yük olarak sisteme ani devreye giren ve aşırı akım çekip sistemde gerilim düşümüne neden olan DA yük, omik yük ve endüktif yük bağlanmıştır. D-STATKOM

devrede iken ve devrede değilken yük gerilimi incelenmiştir. İki denetleyicinin değişik yüklerde gerilim düzeltme değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.1’de, D-STATKOM’un gerilim düşümünü hızlı ve etkin bir şekilde düzelttiği görülmektedir. PI ve PR denetleyicilerin karşılaştırması yapıldığında, PR denetleyicinin PI denetleyiciye göre daha hızlı tepki verdiği görülmektedir. Buna karşın gerilim yükseltme işleminde ise PI denetleyici PR denetleyiciye göre daha fazla gerilim yükseltme işlemi gerçekleştirmektedir.

Devrede aşırı akım çeken yük varken, aynı zamanda yük tarafında üç faz kısa devre hatası oluşması durumları da incelenmiştir. D-STATKOM bu durumda da yükün gerilimini istenilen orana yükselttiği görülmüştür. Çizelge 4.2’de yük tarafından yapılan kısa devre uygulaması ve yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması gösterilmiştir. Kısa devre durumunda da PR denetleyici PI denetleyiciye göre daha hızlı ama gerilim yükseltme de ise PI daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

Devrede aşırı akım çeken yük varken ayrıca kaynak tarafında yapılan %25’lik gerilim düşümü arızası uygulanmıştır. D-STATKOM devrede iken ve devrede değilken yük gerilimi incelenmiştir. D-STATKOM devrede iken yükün gerilimini IEEE’nin belirlediği kabul edilebilir seviyelere (%90-%110 arası) çıkarttığı görülmüştür. Çizelge 4.3’de kaynak tarafında yapılan gerilim düşümü uygulaması ve değişik yüklere göre PI ve PR karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre PR denetleyici, PI denetleyiciden daha hızlı gerilimi sabit hale getirmekte, buna karşın az fark olsa da PI denetleyici gerilimi daha fazla yükseltmektedir.

Devrede aşırı akım çeken yük varken, kaynak tarafına üç faz kısa devre hatası uygulanmıştır. PI ve PR kontrollü D-STATKOM devrede iken yükün gerilimini istenilen seviyeye çıkartmaktadır. Çizelge 4.4’de D-STATKOM devrede iken gerilim oranları verilmiştir. Kaynak tarafında yapılan kısa devre hata uygulamasında, omik yüklü durum için PI ve PR denetleyicilerin karşılaştırması yapıldığında, PR denetleyicinin PI denetleyiciye göre daha hızlı çalıştığını görülmektedir. Ancak DA yükte ve endüktif yükte PI ve PR denetleyiciler hemen hemen aynı sürede istenen işlevi yerine getirmektedir.

Sistemde aşırı akım çeken yük varken, kaynak tarafına tek faz kısa devre hatası uygulanmıştır. PI ve PR kontrollü D-STATKOM devrede iken yükün gerilimini kabul edilebilir seviyeye çıkartmaktadır. Çizelge 4.5’de D-STATKOM devrede iken gerilim oranları verilmiştir. Kaynak tarafında yapılan tek faz kısa devre hata uygulamasında, PI ve PR denetleyicilerin karşılaştırması yapıldığında, PR ve PI denetleyiciler birbirine yakın hızda tepki verdikleri görülmektedir. PR denetleyici D-STATKOM’dan önce yapılan kısa devre hatalarından PI denetleyiciye göre daha fazla olumsuz yönde etkilendiği benzetim çalışmasında görülmektedir.

PI ve PR kontrollü D-STATKOM’un omik ve endüktif yüklerinde daha etkili bir şekilde gerilim regülasyonu yaptığı görülmektedir.

Sonuç olarak D-STATKOM’un, ani olarak devreye giren yüklerin neden olduğu gerilim düşümlerini etkili bir şekilde kompanze ettiği görülmüştür. Ayrıca yük tarafındaki ve şebeke tarafındaki kısa devre hatalarına karşı da yük gerilimini sabit tutarak sistemin düşmesini engellediği gibi reaktif güç alışverişi yaparak güç faktörünü düzelttiği görülmüştür. Genel olarak iki denetleyicinin de verimli bir şekilde D-STATKOM’un istenen fonksiyonunu yerine getirmesini sağladığı, PR denetleyicinin daha hızlı tepki verilmesi sağladığı, öte yandan PI denetleyicinin aynı şartlarda PR’a göre %5’e kadar daha fazla gerilim kompanze edilmesini sağladığı görülmüştür.

Kesintisiz güç kaynakları, aşırı yüklenme, aşırı ısı, kısa devre gibi durumlarda devreden çıkarak yük, paralel bağlı statik anahtarlar üzerinden ise şebekeye aktarılır. Ayrıca kesintisiz güç kaynaklarında kullanılan akülerin, gerilim kaynaklı evirici de kullanılan DA kondansatörüne göre şarj ve deşarjı çok yavaştır. D-STATKOM reaktif güç alışverişi yaparak güç faktörünü düzeltmektedir. Her iki sistem de yük geriliminin sabit olmasını sağlamaktadır.

Gelecek çalışmalarda, D-STATKOM evirici uygulamaları için, iki seviyeli evirici yerine H-köprü evirici veya kaskat çok seviyeli evirici iyi bir alternatif olarak görünmektedir. Paralel bağlı D-STATKOM güç devresinde çıkış filtresi için genelde LC filtreleri kullanılmaktadır. LC filtrelerin şebekede rezonans oluşturmalarından dolayı LCL filtreler daha iyi sonuç verebileceklerdir. LCL filtrelerin şebeke ile rezonans oluşturmalarının önlenmesi ve eviricinin çıkış geriliminin anma değere sabit tutulması için

evirici ve LCL filtrelerin kontrolü kapalı döngü olarak yapılmaktadır. D-STATKOM ve aktif güç filtre birleştirilerek birleşik güç akış denetleyicisi (UPFC) olarak kullanılabilir. İki farklı mod da çalışan kompanzatör olarak tam kompanzasyonu sağlayacaktır.

Doğrusal sistemlerde faz açısı yöntemi ile sabit parametrelili PI ve PR denetleyiciler iyi tepki vermektedir. Ama doğrusal olmayan sistemler için daha farklı kontrol yöntemleri kullanmak gerekmektedir. İleride yapılacak çalışmalarda, doğrusal olmayan sistemlerde histerezis kontrol, yapay sinir ağları, bulanık mantık, melez genetik algoritma tabanlı uyarlamalı optimize edilmiş yöntemleri kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- Acha E., Agelidis, V. G., Anaya-Lara, O., Miller, T. J. E., 2001. *Electronic Control in Electrical Power Systems*. Elsevier Press. London, U.K. 464.
- Ahmed, K. H., Finney, S. J., Williams, B. W., 2007. Passive filter design for three-phase inverter interfacing in distributed generation. *Electrical Power Quality and Utilisation Journal*, **8** (2): 49-57.
- Alavudeen, L., Das, J., Scholar. P., 2016. Modelling and analysis of static synchronous compensator for reactive power compensation. *International Journal of Engineering Science*, **6**: 1-8.
- Anaya-Lara, O., Acha, E., 2002. Modeling and analysis of custom power systems by PSCAD/EMTDC. *IEEE Transactions On Power Delivery*, **17** (1):266-272.
- Anonim, 2009. Elektrik güç sisteminin kalitesini bozan faktörlerin incelenmesi. http://konelsis.com.tr/sablon/konelsis/pdf/elektrik_guc_sisteminin_kalitesini_bozan_faktorler.doc
- Arya, S.R., Singh, B., 2012. Design and control of a DSTATCOM for power quality improvement using cross correlation function approach. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, **4** (1): 74-86.
- Awasthi, V. M., V. A. Huchche, V. A., 2016. Reactive power compensation using D-STATCOM. *2016 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*. 7-8 Nisan 2016, Nagercoil, India. 1-3.
- Bilgin, H. F., 2007. *Design and Implementation of A Current Source Converter Based STATCOM For Reactive Power Compensation* (doktora tezi, basılmamış) METU, The Graduate School of Natural and Applied Science of Middle East Technical University, Ankara.
- Bollen, MHJ., 1999. *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. Wiley-IEEE Press. New York. 672.
- Bukata, B. B., Li, Y., 2011. Reviewing DSTATCOM for smart distribution grid applications in solving power quality problems. *Proceedings of the 17th International Conference on Automation & Computing*. 10 Eylül 2011, Huddersfield, UK. 294-299.
- Çelik, D., Meral M.E., 2015. Şebekeye bağlı SOGI-PLL tabanlı tek fazlı eviricinin PR ve HCC ile güç kontrolü. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi/ Journal of The Institute of Natural & Applied Sciences*, **20** (1): 10-21.
- Çetin, A., 2007. *Design and Implementation of A Voltage Source Converter Based STATCOM for Reactive Power Compensation and Harmonic Filtering*, (doktora tezi, basılmamış) METU, Electrical and Electronic Engineering Department, Ankara.
- Cetin, A., Ermis, M., 2009. VSC-Based D-STATCOM with selective harmonic elimination. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **45** (3): 1000-1015.
- Çöteli, R., 2010. *Üç Seviyeli H-Köprü Evirici Tabanlı D-Statkom'un Sinirsel Bulanık Ağ ile Denetimi* (doktora tezi, basılmamış) FÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- Deniz, E., Tuncer, S., Gencoglu, M.T., 2009. Voltage regulation in a distribution system by using STATCOM with three level diode clamped inverter. *5th-International Advanced Technologies Symposium*. 13-15 Mayıs 2009, Karabuk/Turkey. 1-7.
- Esmaeili, S., J., Gharehpetian, G. B., 2007. A new ISPWM switching technique for THD reduction in custom power devices. *Renewable Energies and Power Quality Journal*, **1** (5): 17-24.
- Geddada, N., Karanki, S. B., Mishra M. K., 2013. DSTATCOM with LCL filter using synchronous reference frame current controller. *International Conference on Clean Electrical Power*. 11-13 haziran 2013, Alghero, Italy. 796-802.
- Gupta, A., Sharma, P. R., 2011. Design and simulation of fuzzy logic controller for DSTATCOM in power system. *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, **3** (10): 15-22.
- Hannan, M.A., 2012. Effect of DA capacitor size on D-STATCOM voltage regulation. *Przeglad Elektrotechniczny*, **88** (12): 243-246.
- Hatami, H., Shahnia, F., Pashaei, A., Hosseini, S.H., 2007. Investigation on D-STATCOM and DVR operation for voltage control in distribution networks with a new control strategy. *IEEE Lausanne Power Tech*. 1-5 Temmuz 2007, Lausanne, Switzerland. 2207-2212.
- Hernandez, A., Chong, K., Gallegos, G., Acha, E., 1998. *The implementation of a solid state voltage source in PSCAD/EMTDC*. IEEE Power Engineering Review. 61-62.
- Hsu, C.Y., 1995. A new single-phase active power filter with reduced energy storage capacitor. *Power Electronics Specialists Conference*. 18-22 Haziran 1995, Atlanta, USA. 202-208.
- IEEE P1409, 2002. Distribution custom power task force. *IEEE Guide for Application of Power Electronics for Power Quality Improvement on Distribution Systems*, 23-24 Haziran 2002, Chicago. 1-6.
- Jafarabadi, S. E., Gharehpetian, G. B., 2007. A new ISPWM switching technique for THD reduction in custom power devices. *Renewable Energies and Power Quality Journal*, **1** (5): 197-203.
- Karabacak, M., Kılıç, F., Saraçoğlu, B., Boz, A.F., Ferikoğlu, A., 2015. Şebeke bağlantılı eviriciler için LLCL filtre tasarımı; detaylı bir performans analizi. *Politeknik Dergisi/ Journal of Polytechnic*, **19** (3) : 251-260.
- Khaleel, M.M., Faraj, M.A., 2014. Modeling and control a D-STATCOM with sugeno fuzzy controller (SFC) and mamdani fuzzy controller (MFC) for voltage sag mitigation. *2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*. 30-31 Mayıs 2014, London ,UK. 114-119.
- Khan, A.K., 2001. Monitoring power for the future. *Power Engineering*, **15** (2):81–85.
- Kora, K. K., 2011. A fuzzy logic DC-link voltage controller for three-phase DSTATCOM to compensate AC and DC loads. *International Journal of Scientific & Engineering Research(IJSER)*, **2** (10): 1-13.
- Kumar, P., Kumar, N., Akella, A.K., 2013. Modeling and simulation of different system topologies for DSTATCOM. *Selection and/or peer review under responsibility of American Applied Science Research Institute./AASRI Procedia*, **5** (2013): 249 – 261.

- Kumar, D., Jejurikar, N., Chaturvedi, P., 2014. Modeling and simulation of D-STATCOM for voltage regulation imparting various control strategies. *National conference on Trends & Challenges in Applied Science and Engineering*. 21-22 Ocak 2014 Vidisha (M.P). 1-5.
- Kumar, S., 2003. *Static Synchronous Compensators*. Lecture Note.
- Manikanta, R., Chaitanya, S.N.V.S.K., 2014. A fuzzy logic based D-STATCOM topology with reduced VSI rating, DC link voltage and filter size. *International Electrical Engineering Journal (IEEJ)*, **5** (10): 1586-1593.
- Mahesh, M., Sunil, P., 2016. Power quality improvement using D-Statcom. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, **2** (10): 1474-1477.
- Martinez, J.A., Martin-Arnedo, J., 2006. Voltage sag studies in distribution networks/part II: voltage sag assessment. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **21** (3): 1679-1688.
- Martinez, J.A., Martin-Arnedo, J., 2006. Voltage sag studies in distribution networks/part I: system modeling. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **21** (3): 338-345.
- Masdi, H., Mariun, N., Bashi, S. M., Mohamed, A., Yusuf, S., 2004. Design of a prototype D-Statcom for voltage sag mitigation. *National Power and Energy Conference*. 29-30 Kasım 2004, Kuala Lumpur, Malaysia. 61-66.
- Mokhtari, A., Gherbi, F.Z., Mokhtar, C., Kerrouche, K. D. E., Aimer, A. F., 2014. Study, analysis and simulation of a static compensator D-STATCOM for distribution systems of electric power. *Leonardo Journal of Sciences*, **25**: 117-130.
- Nagendra, K., Damodharam, Y., Reddy, V. P., Sekhar, V., Arulprakash, A., 2016. Pscad analysis of voltage sag mitigation by pwm switching auto transformer to improve power quality. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, **5** (12): 3502-3513.
- Nagpal, M., Martinich, T.G., Moshref, A., Morison, K., Kundur, P., 2006. Assessing and limiting impact of transformer inrush current on power quality. *IEEE Transactions on Power Delivery*, **21** (2): 890-896.
- Özcan, M. O., Ağlar, E. Ü., Yıldız, A. B., 2015. Doğrultucularda ve eviricilerde kullanılan pasif filtre türlerinin incelenmesi ve karşılaştırılması. *Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*. 4-6 Haziran 2015, Kocaeli. 1-5.
- Pattathurani, L., Dwibedi, R. K., Sivachidambaranathan, P., 2015. A voltage controlled dstatcom for power quality improvement. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, **10** (6): 27-34.
- Ramanjaneyulu, P., Varaprasad, T., 2012. Supervision of DC link PI control in a D-STATCOM based fuzzy logic. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, **1** (9): 1-6.
- Ramya, G., Ganapathy, V., 2016. Comparison of five level and seven level inverter based static compensator system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, **3** (3): 706-713.
- Rashid, M. H., 2001. *Power Electronic Handbook*. Academic Press, Canada. 895.
- Rashid, M.H., 2015. *Güç Elektroniği Yarıiletken Elemanları, Devreler ve Uygulamaları* (S. Sünter, M. T. Aydemir). Nobel kitap, Türkiye. 285.

- Reddy, P.S., Sreenivasulu, C., 2014. Fuzzy controlled cascaded H-bridge multilevel inverter based DSTATCOM for compensation of reactive power and harmonics. *International Journal of Professional Engineering Studies (IJPRES)*, **2** (3): 31-36.
- Roy, T., Singh, M., 2012. PSCAD simulation model of D-Statcom for voltage sag improvement. *International Journal of Computer Applications*, **59** (2): 75-87.
- Singh, B.N., Chandra, A., Al-Haddad, K., 2000. DSP based indirect current controlled STATCOM: I. evaluation of current control techniques. *IEE Proceedings- Electric Power Applications*, **147** (2): 107-112.
- Sirisukprasert, S., 2004. *The Modeling and Control of a Cascaded-Multilevel Converter-Based STATCOM*. (doktora tezi, basılmamış). Virginia The United State of America, Blacksburg.
- Shukri, A. M., Salimin, S., Zulkifli, S. A., 2013. Mitigation of voltage sag in distribution line using 6 pulse D-STATCOM. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, **8** (7): 67-70.
- Uzunovic, E., 2001. *EMTP, Transient Stability and Power Flow Models and Controls of VSC Based FACTS Controllers* (doktora tezi, basılmamış). University of Waterloo, Electrical and Computer Engineering, Canada.
- Varesi, K., 2010. Investigation on D-STATCOM and DVR operation for power quality improvement in distribution network, with two SPWM and ISPWM control techniques, using PSCAD/EMTDC. *6th International conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering*. 1-5 Temmuz 2007, Lausanne, Switzerland. 2207-2212.
- Yalcinkaya, G, Bollen, MHJ, Crossley, PA., 1998. Characterization of voltage sags in industrial distribution systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **34** (4): 682–688.
- Zakaria, Z.A., Chen, B.C., Hassan, M.O., Yuan, J.X., 2008. Distribution static compensator used as custom power equipment and its simulation using PSCAD. *Information Technology Journal*, **10** (23): 1141-1148.
- Xu, L., Anaya-Lara, O., Agelidis, V. G., Acha, E., 2000. Development of prototype custom power devices for power quality enhancement. *Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power*. 1-4 Ekim 2000, Orlando, USA. 775–783.
- Wang, C., Yin, X., Wen, M., Liu, J, Xiong, Q., Zhang, B., 2010. Structure and parameters design of output LC filter in D-STATCOM. *International Conference on Power System Technology*. 24-28 Ekim. 2010, Hangzhou, China. 1-6.

ÖZGEÇMİŞ

Fevzi ÇAKMAK 1978 yılında Batman'da doğdu. İlköğrenimini Batman 100. Yıl İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Ortaöğrenimini 1994 yılında Batman Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü'nde tamamladıktan sonra, 1995 yılında Kocaeli Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği Bölümü'nü kazandı ve 2000 yılında lisans öğrenimini tamamladı. Aynı yıl MEB'e bağlı Kocaeli - Gebze ilçesinde teknik öğretmen olarak göreve başladı. 2004 Yılında Midyat Teknik ve Endüstri Meslek Lisesine tayin oldu. 2013 yılında Mardin Artuklu Üniversitesi Midyat Meslek Yüksek Okulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen aynı üniversitede öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

T.C
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 11/12/2018

Tez Başlığı / Konusu:

Dağıtım Şebekelerinde D-STATKOM ile Gerilim Kalitesinin İyileştirilmesi

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 93 sayfalık kısmına ilişkin, 11/12/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 0 (sıfır)' dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

11/12/2018
Tarih ve İmza
F. Çakmak

Adı Soyadı: Fevzi ÇAKMAK

Öğrenci No: 139101085

Anabilim Dalı: Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Statüsü: Y. Lisans Doktora

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR

Doç. Dr. M. Emin MERAL

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR

