

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**GÜÇ SİSTEMLERİNDE DİNAMİK VOLTAJ
REGÜLATÖRLERİN KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZGÜR ÖZDEMİR

DENİZLİ, TEMMUZ - 2020

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**GÜÇ SİSTEMLERİNDE DİNAMİK VOLTAJ
REGÜLATÖRLERİN KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZGÜR ÖZDEMİR

DENİZLİ, TEMMUZ - 2020

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



ÖZGÜR ÖZDEMİR

ÖZET

**GÜÇ SİSTEMLERİNDE DİNAMİK VOLTAJ REGÜLATÖRLERİN
KULLANILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÖZGÜR ÖZDEMİR
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. SELİM KÖROĞLU)
DENİZLİ, TEMMUZ - 2020**

Son yıllarda güç elektroniği tabanlı cihazların kullanımı, teknolojinin gelişmesiyle hızlı bir artış göstermiştir. Hassas olan bu cihazlar, elektrik şebekesinde oluşabilecek gerilimin genliğindeki değişimler nedeniyle arızalanmakta ve finansal kayıplara yol açmaktadır. Güç sistemlerinde meydana gelen gerilim düşümü ve yükselmesi olayı önemli bir güç kalitesi problemi olarak kabul edilmektedir. Bu tez çalışmasında gerilim düşümü ve yükselmesi olayının gerçekleşmesi durumunda yükü korumak için kullanılan özel güç cihazı Dinamik Voltaj Regülatörü (DVR) ele alınmıştır. DVR yapısı gereği elektrik şebekesine seri olarak bağlıdır. Meydana gelen gerilim değişim olayının (gerilim düşümü ve yükselmesi), DVR tarafından gerilim telafisinin nasıl yapıldığının analizi ve benzetimi bu çalışmada ele alınmıştır. DVR'nin maliyetinin düşük, küçük boyutlu ve teknik olarak geliştirebilir bir cihaz olması, gerilim düşümü ve yükselmesi olayında gerilim telafisi için tercih edilen bir güç cihazıdır. DVR'nin amacı gerilim düşmesi ve yükselmesi olayında yük gerilimini istenilen seviyede tutmaktır. Herhangi bir gerilim düşümü ve yükselmesi durumunda devreye girerek, ihtiyaç olan gerilimi telafi transformatörü ile yük gerilimine aktarmaktadır. DVR'nin temel yapısındaki ana bileşenleri; enerji depolama birimi, evirici, filtre birimi ve telafi transformatörüdür. DVR'nin tasarlanan modelinde, yüksek gerilim ve alçak gerilim şebeke sisteminde meydana gelmiş gerilim olayların benzetimi yapılmıştır. Gerilimdeki değişimlerin miktarı, faz açısının ve genliğin vektör kontrolü yapılarak tespit edilmiştir. Bu olaylar, güç sisteminde yaşanmış faz-toprak ve faz-faz hatalarını içeren arıza raporlarından alınmıştır. Benzetim sonuçlarına bakıldığında tasarlanan modelin gerilim regülasyonunu gerçekleştirerek yükü koruduğunu, MATLAB/Simulink programı ile gözlenmiştir. Simülasyonda PI kontrolör ve PWM genlik modülasyonu kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarında istenen seviyede yük gerilimi elde edildiği ve gerilim regülasyon işlemi yapıldığı görülmüştür. Simülasyon kısmında kaynak gerilimi, telafi gerilimi ve yük gerilimi detaylı olarak incelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Dinamik Voltaj Regülatörü, Gerilim Düşmesi, Gerilim Yükselmesi, Güç Kalitesi

ABSTRACT

USING DYNAMIC VOLTAGE REGULATORS IN POWER SYSTEMS

MSC THESIS

ÖZGÜR ÖZDEMİR

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

(SUPERVISOR:DOÇ. DR. SELİM KÖROĞLU)

DENİZLİ, JULY 2020

In recent years, the use of power electronic based devices has increased rapidly with the development of technology. These sensitive devices fail due to changes in the amplitude of the voltage that may occur in the electricity network and lead to financial losses. The voltage drop and increase phenomenon occurring in power systems is accepted as an important power quality problem. In this thesis, the special power device Dynamic Voltage Regulator (DVR) used to protect the load in case of voltage drop and rise event is discussed. Due to the structure of the DVR, it is connected to the mains in series. Analysis and simulation of the resulting voltage change event (voltage drop and rise), how the voltage compensation is done by the DVR is discussed in this study. It is a preferred power device for voltage compensation in the event that the cost of the DVR is low, small in size and technically developable, in case of voltage drop and rise. The purpose of the DVR is to keep the load voltage at the desired level in case of voltage drop and rise. In case of any voltage drop or increase, it is activated and transfers the required voltage to the load voltage with the compensator transformer. The main components of the DVR in the basic structure; energy storage unit, inverter, filter unit and compensating transformer. In the designed model of the DVR, the voltage events that occurred in the high voltage and low voltage network system were simulated. The amount of variation in voltage was determined by performing the vector angle control of the phase angle and amplitude. These events are taken from fault reports containing phase-to-ground and phase-to-phase faults experienced in the power system. When looking at the simulation results, it was observed with the MATLAB/Simulink program that the designed model preserves the load by performing voltage regulation. PI controller and PWM amplitude modulation were used in the simulation. In the simulation results, it was seen that the desired load voltage was obtained and the voltage regulation process was performed. In the simulation part, the welding voltage, compensating voltage and load voltage are examined in detail.

KEYWORDS: Dynamic Voltage Restorer, Voltage Sag, Voltage Swell, Power Quality

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| ŞEKİL LİSTESİ | v |
| TABLO LİSTESİ | vii |
| SEMBOL LİSTESİ | viii |
| KISALTMA LİSTESİ | ix |
| ÖNSÖZ | x |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Tezin Amacı | 2 |
| 1.2 Literatür Çalışmaları..... | 2 |
| 1.3 Tez Kapsamı | 5 |
| 2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE ENERJİ KALİTESİ | 7 |
| 2.1 Güç Kalitesi Problemleri ve Nedenleri | 8 |
| 2.2 Güç Kalitesi Problemlerinin Sınıflandırılması | 9 |
| 2.2.1 Geçici Olaylar | 11 |
| 2.2.2 Kısa Süreli Gerilim Değişimleri | 11 |
| 2.2.2.1 Gerilim Düşümü | 113 |
| 2.2.2.2 Gerilim Yükselmesi..... | 12 |
| 2.2.2.3 Kesinti | 13 |
| 2.2.3 Uzun Süreli Değişimler | 13 |
| 2.2.3.1 Aşırı Gerilim | 13 |
| 2.2.3.2 Düşük Gerilim | 14 |
| 2.2.3.3 Kalıcı Gerilim Kesintileri..... | 14 |
| 2.2.4 Gerilim Dengesizliği..... | 14 |
| 2.2.5 Dalga Şeklindeki Bozulmalar | 15 |
| 2.2.5.1 DC Bileşen | 15 |
| 2.2.5.2 Harmonikler | 15 |
| 2.2.5.3 Çentik | 16 |
| 2.2.5.4 Gürültü | 16 |
| 2.2.6 Gerilim Dalgalanması | 16 |
| 2.2.7 Frekans Değişimi | 17 |
| 3. DİNAMİK VOLTAJ REGÜLATÖRÜ | 19 |
| 3.1 Giriş | 19 |
| 3.2 DVR'nin Genel Yapısı | 20 |
| 3.2.1 Enerji Depolama Birimi | 20 |
| 3.2.2 Evirici Birimi | 21 |
| 3.2.3 Filtre Birimi | 23 |
| 3.2.4 Bağlantı (Telafi) Transformatörü..... | 24 |
| 3.2.5 Koruma Anahtarı | 25 |
| 3.3 DVR'nin Çalışma Prensibi | 26 |
| 3.3.1 Aktif Çalışma Durumu..... | 27 |
| 3.3.2 Bekleme Durumu | 27 |
| 3.3.3 Koruma Durumu | 27 |
| 3.4 Gerilim Düşümü Tespit Yöntemleri..... | 28 |
| 3.4.1 Gerilim Seviyesinin Kontrolü..... | 29 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.4.2 | Gerilim Seviyesi ve Açısının Vektörel Kontrolü..... | 29 |
| 3.4.3 | Fazların Vektörel Kontrolü..... | 31 |
| 3.4.4 | Fazların Fourier Dönüşümüyle Kontrol Edilmesi | 31 |
| 3.4.5 | Fazların Dalgacık Dönüşümü İle Kontrol Edilmesi | 32 |
| 3.5 | Gerilim Telafi Yöntemleri..... | 33 |
| 3.5.1 | Fark gerilim telafi yöntemi | 33 |
| 3.5.2 | Sabit Faz Telafisi Yöntemi | 34 |
| 3.5.3 | Faz Kazanç Telafi Yöntemi | 35 |
| 3.5.4 | Minimum Enerji Kullanılarak Tolerans Gerilim Telafisi | 36 |
| 3.6 | DVR'nin Kontrol Stratejileri..... | 37 |
| 3.6.1 | Doğrusal Kontrol | 38 |
| 3.6.2 | Doğrusal Olmayan Kontrol..... | 38 |
| 3.6.2.1 | Yapay Sinir Ağ ile Kontrol | 39 |
| 3.6.2.2 | Uzay Vektörü PWM Kontrolü | 39 |
| 3.6.2.3 | Senkron Yapı Teori Kontrolü..... | 39 |
| 3.6.2.4 | Bulanık Mantık Denetleyici Kontrolü | 40 |
| 3.7 | Güç Sistemlerinde Kullanılan Özel Güç Cihazları..... | 41 |
| 4. | DVR'NİN TASARIM VE MODELLENMESİ..... | 44 |
| 4.1 | DVR'nin Prensip Modeli..... | 44 |
| 4.2 | Matematiksel Model..... | 45 |
| 4.3 | DVR'nin Benzetim Modeli | 47 |
| 4.3.1 | Evirici Modeli | 48 |
| 4.3.2 | Telafi Transformatörün Modeli | 49 |
| 4.3.3 | Filtre Modeli | 50 |
| 4.3.4 | Kontrol Bloğu | 51 |
| 4.3.5 | DVR'nin Tümüleşik Sistem Modeli..... | 52 |
| 5. | BENZETİM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER | 54 |
| 5.1 | Yüksek Gerilim Kısmında Oluşan Gerilim Olayı | 54 |
| 5.2 | Alçak Gerilim Kısmında Oluşan Gerilim Olayları..... | 59 |
| 6. | SONUÇ VE ÖNERİLER | 67 |
| 7. | KAYNAKLAR..... | 69 |
| 8. | ÖZGEÇMİŞ | 75 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|-----|
| Şekil 2.1: IEEE std. 1159-1995'e göre gerilim olaylarının sınıflandırması..... | 9 |
| Şekil 2.2: Şebekede 50ms süreyle gerçekleşen bir gerilim düşümü örneği | 12 |
| Şekil 2.3: Şebekede 100ms süreyle yaşanan gerilim yükselmesi örneği | 13 |
| Şekil 2.4: Harmonikli gerilim dalga şekli | 15 |
| Şekil 2.5: A-B-C fazlarında oluşmuş çentik | 16 |
| Şekil 2.6: Dengesiz üç fazlı gerilim dalgalanması | 17 |
| Şekil 2.7: Frekans değişimi | 18 |
| Şekil 3.1: Şebekeye bağlı DVR' nin şematik gösterimi..... | 20 |
| Şekil 3.2: Temel Evirici biriminin basit yapısı | 22 |
| Şekil 3.3: Filtre yerleşimi evirici sonrası | 23 |
| Şekil 3.4: Filtre yerleşimi bağlantı transformatör sonrası..... | 24 |
| Şekil 3.5: DVR'nin yapısında bulunan koruma anahtarı..... | 25 |
| Şekil 3.6: DVR'nin temel prensip şeması | 26 |
| Şekil 3.7: Aşırı akımlara karşı DVR' nin koruma anahtarın bağlantı pozisyonu | 28 |
| Şekil 3.8: PLL kontrol şeması..... | 30 |
| Şekil 3.9: Fark gerilimi yönteminin fazör diyagramı..... | 34 |
| Şekil 3.10: Sabit fazın telafi gerilim fazör diyagramı | 35 |
| Şekil 3.11: Faz kazanç telafi yöntemi fazör diyagramı..... | 36 |
| Şekil 3.12: Gerilim tolerans telafi yönteminin fazör diyagramı | 37 |
| Şekil 4.1: DVR'nin tek hat devre şeması | 44 |
| Şekil 4.2: DVR' nin eşdeğer devre şeması..... | 45 |
| Şekil 4.3: α - β koordinat sistemine ait durum uzay blok diyagram | 47 |
| Şekil 4.4: DVR'nin temel blok şeması..... | 48 |
| Şekil 4.5: Evirici birimin Simulink blok şeması | 49 |
| Şekil 4.6: Telafi transformatörü modeli | 50 |
| Şekil 4.7: Filtre tasarım ve modeli | 51 |
| Şekil 4.8: Kontrol birimi tasarım bloğu | 52 |
| Şekil 4.9: Tümüleşik DVR benzetimi model ve tasarımı | 53 |
| Şekil 5.1: Dağıtım şebekesinde gerçekleşen gerilim düşümü..... | 54 |
| Şekil 5.2: Dağıtım şebekesinde oluşan hatanın düzeltilmesine yönelik yapılan gerilim benzetim sonuçları a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilimi c) yük gerilimi | 56 |
| Şekil 5.3: Kaynak gerilimi | 57 |
| Şekil 5.4: Telafi gerilimi | 57 |
| Şekil 5.5: Yük gerilimi..... | 57 |
| Şekil 5.6: Dağıtım şebekesinde oluşan hatanın düzeltilmesine yönelik yapılan akım benzetim sonuçları a) kaynak akımı b) yük akımı c) DVR akımı | 568 |
| Şekil 5.7: Alçak gerilim şebekesinde yasanmış gerilim düşümü ve yükselme olay verileri | 59 |
| Şekil 5.8: Alçak gerilim şebekesinde yaşanan gerilim olaylarının benzetim grafikleri a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim c) yük gerilimi | 61 |

| | |
|---|----|
| Şekil 5.9: Durum 1'e ait enerji kesintisi benzetim sonuçları | |
| a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim | |
| c) yük gerilimi | 63 |
| Şekil 5.10: Durum 2'e ait gerilim düşümün gerilim benzetim sonuçları | |
| a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim | |
| c) yük gerilimi | 63 |
| Şekil 5.11: Durum 2'e ait gerilim düşümün akım benzetim sonuçları | |
| a) kaynak akımı b) yük akımı c) DVR akımı | 64 |
| Şekil 5.12: Durum 3'e ait dengesiz gerilim düşümün gerilim benzetim sonuçları | |
| a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim | |
| c) yük gerilimi | 64 |
| Şekil 5.13: Durum 3'e ait dengesiz gerilim düşümün akım benzetim sonuçları | |
| a) kaynak akımı b) yük akımı | |
| c) DVR akımı | 65 |
| Şekil 5.14: Durum 4'e ait dengesiz gerilim değişimi benzetim sonuçları | |
| a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim | |
| c) yük gerilimi | 66 |
| Şekil 5.15: Durum 5'e ait dengeli gerilim yükselmesi benzetim sonuçları | |
| a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim | |
| c) yük gerilimi | 66 |

TABLO LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|-----|
| Tablo 2.1: Güç sisteminde meydana gelen bozulmalar ve karakteristik olarak sınıflandırılması..... | 10 |
| Tablo 3.1: Özel güç cihazların karşılaştırılması..... | 43 |
| Tablo 5.1: Dağıtım şebekesindeki gerilim düşümü hatasına ait gerçekleştirilen benzetimin sistem parametreleri..... | 55 |
| Tablo 5.2: Gerilim düşümü ve telafi gerilim değerleri | 599 |
| Tablo 5.3: Alçak gerilim şebekesindeki gerilim olaylarına ait gerçekleştirilen benzetim için sistem parametreleri | 60 |
| Tablo 5.4: Alçak gerilim şebekesinde yaşanan gerilim olaylarına ait karakteristik değerler ve benzetim sonuçları..... | 622 |

SEMBOL LİSTESİ

| | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| A | : Amper |
| dq | : Park Dönüşümü |
| F | : Farad |
| H | : Henry |
| Hz | : Hertz |
| I_C | : Kapasite Akımı |
| I_{DVR} | : Dinamik Voltaj Regülatör Akımı |
| I_K | : Kaynak akımı |
| I_Y | : Yük Akımı |
| I*_Y | : Yeni Yük Akımı |
| I_{HAT} | : Hat Akımı |
| P | : Aktif Güç |
| PU | : Per Unit |
| S | : Görünür Güç |
| V | : Volt |
| V_{DVR} | : Dinamik Voltaj Regülatör Gerilimi |
| V_K | : Kaynak Gerilimi |
| V_{sag} | : Gerilim Düşümü Genliği |
| V_{YÜK} | :Yük Gerilimi |
| Z_{DVR} | : Dinamik Voltaj Regülatör Empedansı |
| Z_{HAT} | : Hat Empedansı |
| W | : Watt |
| $\alpha\beta$ | : Clarke Dönüşümü |
| δ | : Kaynak Gerilim Açısı |
| θ | : Güç Açısı |

KISALTMA LİSTESİ

| | |
|-----------------|---|
| AC | : Alternative Current |
| APF | : Active Power Filter |
| DC | : Direct Current |
| DVR | : Dinamik Voltaj Regülatörü |
| Dk | : Dakika |
| FACTS | : Flexible AC Systems |
| FFT | : Fast Fourier Transform |
| FT | : Fourier Transform |
| GTO | : Gate Turn-Off Thyristor |
| IGCT | : Integrated Gate Commutated Thyristor |
| IGBT | : Insulated Gate Bipolar Transistor |
| IEEE | : The Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IET | : The Institution of Engineering and Technology |
| IEC | : The International Electrotechnical Commission |
| MV | : Medium Voltage |
| MOSFET | : Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor |
| PQ | : Power Quality |
| PI | : Proportional Integral |
| PLL | : Phase Locked Loop |
| PWM | : Pulse Width Modulation |
| RMS | : Root Mean Square |
| S | : Saniye |
| SOGI-PLL | : Second Order Generalized Integrator Phase Locked Loop |
| SPS | : Single Phase Shift |
| SVC | : Static Var Compensator |
| SRF | : Synchronous Reference Frame |
| SMES | : Superconducting Magnetic Energy Storage |
| SPWM | : Sinusoidal Pulse Width Modulation |
| STATCOM | : Static Synchronous Compensator |
| UPS | : Uninterruptible Power Supply |
| VA | : Volt Ampere |
| VSC | : Voltage Source Converter |
| VSI | : Voltage Source Inverter |

ÖNSÖZ

Elektrik güç sistemlerinde, enerjinin sürekliliği ve güç kalitesinin olması beklenir. Bu istenen durum, bazı sebeplerden dolayı bozulabilmektedir. Güç kalitesi problemlerin başında gelen gerilim düşümleri ve yükselme olayları bu sebeplerin başında gelmektedir. Bu olayların yaşanması güç sisteminde yer alan tüm unsurları etkilemekte ve doğrudan etkilenen kullanıcıların hassas ekipmanları zarar vererek ciddi maddi kayıplara yol açmaktadır. Bu çalışmada gerilim düşümü ve yükselme olayların yaşanması durumunda gerekli telafi gerilimi oluşturan ve yükü koruyan Dinamik Voltaj Regülatörü ele alınmıştır.

Tez çalışmasında danışmanlığı kabul eden, çalışma süresince değerli bilgi ve tecrübeleri esirgemeyerek yol gösteren sayın danışmanım Doç. Dr. Selim KÖROĞLU' na teşekkür ederim. Çalışmada kullandığım bilgi ve verileri sağlamasında bana yardımcı olan, TEİAŞ 21. Bölge Müdürlüğü röle koordinasyon birimine teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi talebi teknolojinin gelişmesiyle her geçen gün artmakta olup bu talebe karşılık enerjinin kalitesi önem arz etmektedir. Güç sistemlerde enerji kalitesi enerji üretimi, dağıtım şebekesini ve kullanıcıları etkileyen önemli bir kavram olarak ortaya çıkmaktadır. Güç sistemlerinin üretimi, iletimi ve dağıtım gibi her aşamalarda meydana gelebilecek bir takım istenmeyen olaylar enerji kalitesi açısından sorunlar oluşturabilir. Bu iç ve/veya dış kaynaklı olaylara; kısa devre hataların oluşması, yıldırım düşmesi, yüksek başlangıç akımlarına ihtiyaç duyan büyük yüklerin enerjilendirilmesi, aşırı yüklenmeler ve büyük yüklerin devreden çıkması vb. durumlar örnek olarak gösterilebilir. Sistem koşullarına ve arıza yerine bağlı olarak gerilimde düşme, yükselme veya kesintiler oluşabilmektedir. Bu problemler kullanıcıya sunulan elektrik enerjisinin istenilen normda olmamasına, bir takım arızalara ve hatta bazı durumlarda oluşan arızalar maddi kayıplara neden olabilmektedir. Dağıtım şebekesinde yaşanan güç kalitesi problemleri arasında gösterilen gerilim olayları sonucu akımda da bazı değişimlere sebebiyet verecektir. Bunun sonucu olarak kullanıcıların hassas cihazlarının çalışması olumsuz olarak etkilenecektir. Bu olumsuz etkiler, endüstriyel tesislerde üretimdeki ürününün kalitesini, iş gücü hacmini doğrudan etkilemektedir.

Güç sistemlerinde, kullanıcıya sağlanan elektrik enerjisi belirli bir kalite standart da olması gerekmektedir. Bunlar; gerilimin dalga şeklinin sinüzoidal formda olması, frekans değerinin sabitliği ve yük geriliminin istenilen seviyede olması bu şartların başında gelmektedir. Güç kalitesi, bu gereksinimlerin her koşulda sağlanmasıyla orantılı olarak kullanıcıların üretim tesislerindeki verimliliği ve sürekliliği etkilemektedir. Kesinti ve gerilimdeki değişimler (düşümü ve yükselmesi) güç sistemdeki aygıtların devre dışı kalmasına veya performanslarının düşmesine neden olabilmektedir. Özellikle gerilim ve frekansta ki değişimler hassas elektronik cihazların (bilgisayar, sürücü vb.) yanlış çalışması ya da arızalanması ile sonuçlanarak finansal kayıplara yol açmaktadır. Bu olumsuz etkilerden dolayı güç sisteminde gerilim düşümü ve yükselmesi olayları elektrik enerjinin kullanıldığı tüm noktalarda önem arz etmekte ve güç kalitesi problemi olarak değerlendirilmektedir. Enerji

sağlayıcı ve tüketicilerin güç sistemlerinde meydana gelen gerilim değişimlerini görmezden gelmeyecek gereken önlemleri almaları gerekmektedir. Böylelikle işletmenin verimli, sürekli ve sorunsuz çalışmasına katkı sağlanmış olacaktır.

1.1 Tezin Amacı

Güç sistemlerinde meydana gelen gerilim düşme ve yükselmeleri hassas yükleri olumsuz olarak etkilemektedir. Bu etkiler kullanıcıların bilişim sistemlerinde veri kaybı, sistem verimlerinde düşüş, üretim tesisin durması vb. durumlar sebebiyle ciddi maddi kayıplara yol açmaktadır. Bu sebeple hassas yüklere etki eden bu olumsuz etkilerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, güç kalitesi problemlerinden biri olan gerilim değişim olayları (düşme ve yükselme) ele alınmıştır. Sorunun çözümüne yönelik, yük tarafındaki gerilimin düzeltilerek istenilen seviyede tutulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda özel bir güç cihazı olan Dinamik Voltaj Regülatörü (DVR) kullanılmıştır. DVR sistemim gerilimi istenilen seviyede tutması için gerekli tasarım, farklı senaryolar eşliğinde incelenmiş olup buna ilişkin benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

1.2 Literatür Çalışmaları

DVR, genel olarak yarı iletken güç anahtarlarının kullanıldığı güç elektroniği temelli yapıya sahip olup elektrik şebekesinin dağıtım kısmına ya da yüke seri olarak bağlanan özel bir güç cihazıdır. DVR'nin yapısı, telafi transformatörü, DC depolama birimi, filtre devresi ve evirici olmak üzere dört ana bileşenden oluşmaktadır (Tiwari ve Kumar, 2010). DVR, gerilim düşümü esnasında aktif hale gelerek, yük barasındaki gerekli olan gerilim seviyesini düzenler. Bu durum istenilen gerilimin, açı ve genliğin vektörel kontrolü yapılarak hesaplanır. Önemli bir güç kalitesi problemi olarak görülen ve hassas yüklerde zararlara yol açan gerilim düşümünün iyileştirilmesi için çalışma yapılmıştır (Pakharia ve Gupta, 2012). DVR ile ilgili yapılan araştırmalarda; maliyet, küçük boyutu ve etkin gerilim regülasyonu gibi kriterler ele alınmaktadır.

ABD'de Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü tarafından 1996 yılında tasarım uygulaması gerçekleştirilen DVR, Dünya'daki ilk önemli çalışmalar arasında yer

almaktadır. Bu DVR, 12 kV yüksek gerilim seviyesinde, 2 MVA gücündeki bir yükün gerilimini düzenlemek ve korumak için gerçekleştirilmiştir (Nielsen ve diğ. 2004).

Gerilimdeki değişimlerin tespiti DVR'nin çalışması için önemli bir unsurdur. Arıza anında yük gerilimin bundan etkilenmemesi için gerilim düşümünün hızla algılanması gereklidir (Solat ve diğ. 2015). Bu amaçla yapılan çalışmalarda çeşitli yöntemler ile DVR'nin arızayı en kısa sürede algılanması sağlanmıştır. DVR'nin gerilim düşümü tespiti için İkinci Dereceden Genelleştirilmiş İntegratör Tabanlı Faz Kilitlemeli Döngü (SOGI-PLL) yapısı geliştirilmiş ve faz bilgisine ek olarak gerilim genlik bilgisi elde edilmiştir (İnci ve diğ. 2016). DVR yük tarafındaki ihtiyaç olan gerilimi DC depolama biriminden tedarik ederek evirici yardımıyla AC gerilime dönüştürür. Bu işlemin hızlı ve az kayıplı olması, regülasyon işleminin iyi olması anlamına gelmektedir. Bu durumun gerçekleşmesi DC depolama biriminde kullanılan ekipmanlar ve evirici ile bütünleşik olan kontrol biriminin stratejisi ile ilgilidir. Geleneksel DC depolama sistemleri DVR'de kullanılmış ve yükün gücüne göre depolama ekipmanları tercih edilmiştir (Jimichi ve diğ. 2008). Gerilim düşümünün seviyesi telafi gerilimin seviyesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle DC enerji depolama biriminin kapasitesi ihtiyaç olan telafi gerilim karşılanmasında oldukça önemlidir. Geleneksel depolama birimlerin teknik açısından fizibilitesi incelenerek bunla ilgili bir topoloji geliştirilmiştir (Paliwal, 2014).

Gerilim düşümü algılandığında ihtiyaç olan telafi gerilimi enerji biriminden sağlanan DC gerilim ile evirici tarafından AC gerilime dönüştürülür. Evirici biriminin verimliliği DVR'nin performansını doğrudan etkilemekte olup en önemli birimi olarak kabul edilir. Literatürde çeşitli sayıda evirici topolojileri vardır (Wang ve diğ. 2009). Bunlar; tam köprü (H köprüsü), yarım köprü, matris, çok düzeyli vb. yüksek güçlü düşük gerilimli topolojiler olarak en yaygın olanlarıdır. Çok seviyeli evirici tabanlı topolojiler, iki seviyeli eviricilere nazaran daha düşük harmonik içeriğe sahip AC gerilim üretebilir. Seviyesi yüksek gerilim düşümlerini telafi edebilir.

DVR'nin sürücü devrelerinde yumuşak anahtarlama gibi çeşitli yöntemler kullanarak anahtarlama kayıpları düşürülmüş, böylelikle verimliliği artırılmıştır. Eviricinin kontrolünde Darbe Genişliği Modülasyonu (PWM) sıklıkla kullanılan teknikler arasındadır (Mahmoud, 2011). Başka bir çalışmada, DVR için geliştirilmiş faz kilitli döngüye (MEPLL) dayalı bir kontrol algoritması tasarlanmıştır. Üç fazlı

MEPLL, dengesiz sinyallerden temel pozitif, negatif ve sıfır dizi bileşenlerini tespit ederek referans yük gerilimi hesaplamasında kullanılmıştır. Tasarlanan MEPLL algoritması, geleneksel PLL'e göre giriş sinyallerinin açısını izlemeye ek olarak, üç fazın hepsi için aynı anda şebeke gerilimin değişimi durumunda, temel ve sıralı bileşenlerin elde edilmesine yönelik özellikler sunduğunu belirlenmiştir (Naidu, 2018).

Evirici biriminde üretilen AC gerilimdeki harmonikleri en aza indirmek için filtre devreleri kullanılmıştır. Alçak geçiren pasif filtre eviricinin çıkışına bağlanarak harmoniklerin telafi transformatörü ile yüksek mertebeye ulaşması engellenmiştir (Chandrasekaran ve Ramachandaramurthy, 2016). DVR'e yapısı gereği dağıtım hattına telafi transformatörü ile seri bağlıdır. Bu transformatörün eviriciden elde edilen gerilimi istenilen seviyeye ulaştırma işlevini yerine getirmektedir. DVR' nin maliyeti ve boyutu belirleyen en etkili donanım telafi transformatörüdür. Yapılan bir çalışmada, telafi transformatörün üzerinde derecelendirme ve optimum tasarım çalışmaları yapılarak maliyeti düşürülmeye çalışılmıştır (Sasitharan, 2010). Buna karşılık ayrı bir çalışmada telafi transformatörü kullanmayan bir DVR tasarlanarak gerçekleştirilmiştir. Bu sistem üzerinde yeni bir kontrol topolojisi geliştirilmiştir (Kapse ve Bobade, 2016).

DVR'nin maliyetini yüksek oranda etkileyen birim telafi transformatörleri ve enerji depolama birimleridir. Bu birimlerin kapasitesi telafi gerilimi ve yükün gücüne göre şekillenir. Telafi gerilim seviyesinin yüksek olma durumunda kademeli düzeyli evirici topolojisi kullanılması tercih edilmektedir. DVR'nin performansını etkileyen bu unsurların maliyet ve boyutlarının düşürülmesine yönelik kontrol stratejileri çalışılmıştır (Gencer, 2006).

Literatüre bakıldığında, son zamanlarda ki çalışmaların daha çok DVR'nin performansı artırmaya, boyutu küçültmeye ve buna bağlı olarak da maliyeti düşürmeye yönelik olduğu gözlemlenebilir.

1.3 Tez Kapsamı

Bu tez çalışmasında, gerilim düşümleri ve yükselmeleri durumunda şebeke veya yük voltajını nominal seviyede tutulması ve düzenlenmesini sağlayan DVR'in analizi ve modellenmesi incelenmiştir. Bu kapsamda tez çalışması toplam 6 bölümden oluşmakta olup içerikleri kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Çalışmanın birinci bölümünde, güç kalitesinin tanımı yapılmış olup enerji sistemlerindeki önemi vurgulanmıştır. Güç kalitesi problemlerinden gerilim düşme ve yükselmelerinin etkileri ve bu sorunun düzeltilmesine yönelik geliştirilen DVR'nin tanımlanması yapılmıştır. Buna bağlı olarak tezin amaç ve kapsamını bu bölümde açıklanmıştır. Ayrıca DVR' le ilgili yapılan çalışmalar ve araştırmalara değinilerek literatür özeti sunulmuştur.

İkinci bölümde, güç sistemlerinde güç kalitesi kavramını ve güç kalitesi bozulmaları ile ilgili tanımlar daha ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu problemlerin karakteristik büyüklükleri ile sınıflandırılması yapılmıştır. Güç sistemlerinde en çok yaşanan ve kullanıcıların olumsuz yönde etkilendiği gerilim düşümü ve yükselmesi olayı anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, DVR'nin genel mimarisi, ana bileşenleri ve çalışma prensibi anlatılmıştır. Güç sistemlerinde istenmeyen gerilim değişimlerinin (düşümü\yükselmesi) algılanma yöntemleri, kontrol stratejilerini ve DVR' nin çalışma modları açıklanmış ve diğer özel güç cihazlarla karşılaştırılması yapılmıştır.

Dördüncü bölümde, DVR'nin modellenme, analiz ve benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında, gerçek bir güç sistem şebekesindeki yaşanan gerilim değişim örnekleri ele alınmıştır. Bu şebekenin güç, gerilim ve frekans karakteristiklerine göre DVR'nin ekipman özellikleri ve değerleri belirlenmiştir.

Beşinci bölümde ise MATLAB/Simulink programı ile benzetimi yapılan DVR'nin gerilim regülasyon sonuçları değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre yük tarafında istenilen nominal gerilim seviyesin elde edilip edilemeyeceği belirlenmiştir.

Tezin sonuç kısmını oluşturan altıncı bölümünde ise çalışma kapsamında elde edilen değerler ve ulaşılan önemli sonuçlar yer almaktadır. DVR'in güç sistemlerinde

kullanılması durumunda elde edilen kazanımlar verilmiş ayrıca ileriki araştırmalar için önerilerde bulunmuştur.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE ENERJİ KALİTESİ

Güç kalitesi terimi 1980'lerin sonundan beri güç endüstrisinde en anlamlı sözcüklerden biri haline gelmiştir. Hem elektrik kuruluşları ve hem de tüketiciler elektrik enerjisi kalitesine gittikçe artan bir ilgi göstermektedirler. Güç kalitesizliği çok çeşitli bağımsız güç sistemi bozunumlarını içine alan bir kavramdır. Güç kalitesine olan ilginin en önemli sebeplerden biriside ekonomik yönüdür. Çünkü güç kalitesindeki sorunlar elektrik enerjisi sağlayan kuruluşları, onların müşterileri ve yük donanımı sağlayıcıları (üreticileri) üzerinde ekonomik etkileri vardır. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak son yıllardaki donanımlar, geleneksel elektromekanik donanımlarla kıyaslandığında, elektronik denetimli, enerji verimli olmalarına rağmen kaynak gerilimindeki sapmalara çok daha duyarlıdır. Güç kalitesinin önemsenmesinin en büyük nedenlerinde biri yeni nesil elektronik tabanlı cihazların, güç kalitesi değişikliklerine geçmişte kullanılan ekipmanlara göre daha hassas olmasıdır (Aksoy, 2014). Güç kalitesini tanımlı doğru yapılabilmesi için güç sistemlerin bütünü ele almak gerekir. Bu nedenle tanımlamaların farklı olma sonucunu ortaya çıkmaktadır. Genel ve evrensel bir tanımlama yapılırsa, güç sisteminde;

- Sürekli bir enerjinin olması
- Geriliminin ve frekansın nominal değerinde olması,
- Sistemdeki güç faktörünün bir değerine yakın olması,
- Gerilim ve akım harmoniğinin sınırlı aralıkta kalması olarak tanımlanabilir (Gencer, 2018).

Güç kalitesi, aslında teknik anlamda bakıldığında gerilim kalitesiyle oldukça ilgilidir. Elektriksel güç, gerilim ile akımın miktarıyla orantılıdır. Güç kalitesini herhangi bir anlam ile tanımlamak zordur. Bu nedenle, güç kalitesi alanındaki standartlar, besleme gerilimi belirli sınırlar içinde tutmaya adanmıştır. AC güç sistemleri, belirli bir frekansta (tipik olarak 50 Hz), sabit genlikte sinüzoidal bir gerilimle çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Dalga biçimi büyüklüğü, frekans veya dalga şeklindeki bozulmalar, potansiyel bir güç kalitesi sorunudur. Sonuç olarak güç sistem kalitesini bozan en önemli problemler gerilim ile ilgilidir (Uzan, 2013).

2.1 Güç Kalitesi Problemleri ve Nedenleri

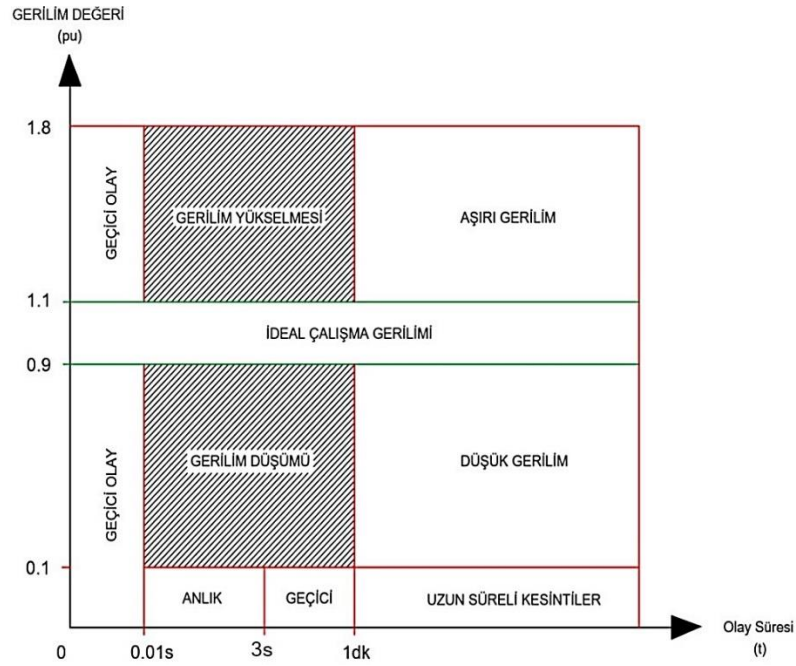
Elektrik güç sistemini ve kullanıcıları etkileyen olumsuz faktörler güç kalitesi problemleri olarak tanımlanır. Güç kalitesi problemleri sistemde yer alan cihazları olumsuz etkileyerek arızalanmasına yol açabilmektedir. En önemli güç kalitesi problemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Gerilim düşümü,
- Gerilim yükselmesi,
- Gerilim dalgalanması,
- Enerji kesintileri,
- Gerilim ve akım harmoniği,
- Frekans değişimleri,
- Gürültü sinyali,
- Güç faktörü değişikliği.

Güç kalite problemlerinin oluşumunda lineer olmayan yüklerin başında gelen güç elektroniği elemanların katkısı vardır. Aynı zamanda güç kalitesi problemlerinden de olumsuz etkilenirler. Endüstriyel tesislerdeki motor sürücüleri, güç elektroniği anahtarlama elemanların kullanıldığı ekipmanlar ve hassas cihazlar üzerinde güç kalite problemlerinin maddi kayıplı etkisi de vardır. Endüstriyel üretim tesisinde meydana gelen güç kalite problemleri özellikle mekanik senkronluğu etkileyerek makine kontrollerin zorlaşmasına, durmasına ve hatalı üretimin ortaya çıkmasına sebep olurlar. Güç kalitesi problemlerin etkisini azaltmak için bazı önlemler alınması gerekir. Problemlerin meydana gelme süreleri çok kısa ancak etkileri büyüktür. Sürücü, kontrol ve anahtarlama devrelerin özellikle harmonik problemler için filtre devre uygulamaları yapılması gerekir. Gerilim düşümü, yükselmesi ve dalgalanma gibi gerilim olayları tesiste üretimin durmasına neden olarak veri, verim, finansal gibi ciddi kayıp yol açmaktadır. Bu durumun tolere edilmesi için özel güç cihazları kullanılması gerekmektedir (Tetik, 2019).

2.2 Güç Kalitesi Problemlerinin Sınıflandırılması

Bir elektrik güç dağıtım sisteminde güç kalitesi problemleri, güç kalitesini bozan olayın süresi ya da şiddeti ile tanımlanır ve buna göre sınırlamalar getirilir (Uzan, 2013). Ayrıca güç kalitesi problemleri; gerilim seviyesindeki değişiklikler, gerilim dalga şeklinin sinüsoidal yapısındaki bozulmalar ve şebeke frekansındaki sapmalar olarak gruplandırılabilir (Shah, 2017). Gerilimin genliğindeki değişimler IEEE'nin 1159–1995 standartlarına göre Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: IEEE std. 1159-1995'e göre gerilim olaylarının sınıflandırılması.

Şekilde de görüldüğü üzere zaman ekseninde 0 ile 0,01s arasındaki olaylar geçici, 0,01s'den 3s'e kadar olan olaylar anlık, 3s ile 1d arasındaki olaylar ise geçici olarak adlandırılmıştır. Bu sürenin 1d fazla sürmesi ise uzun süreli kesinti olarak tariflenmiştir. Gerilim genliğinin 0,9pu ile 1,1pu değerler aralığında olması ideal bir gerilim seviyesi olarak kabul edilmiştir. Gerilim genliğinin 0,9pu ile 0,1pu arasında değer alması gerilim düşümü, genliğinin 1,1pu'dan 1,8pu değeri arasındaki olması ise gerilim yükselmesi olarak tanımlanmıştır (Akpınar, 2018). Güç kalitesi problemlerine ilişkin genel bir sınıflandırma Tablo 2.1'de verilmiştir. Buradaki sınıflandırma; geçici olaylar, süreli değişimler, uzun süreli değişimler, gerilim dengesizliği, dalga şeklindeki bozulmalar, gerilim dalgalanmaları ve frekans değişimleri şeklinde verilmiştir. Bu problemlerin dalga formu, süreleri ve gerilim genlikleri verilmiştir.

Tablo 2.1: Güç sisteminde meydana gelen bozulmalar ve karakteristik olarak sınıflandırılması.

| Tanımlama | Dalga Formu | Süresi | Gerilim Genliği | |
|-------------------------------------|--------------------|---------------|-----------------|-----------|
| 1. Geçici Olaylar | | | | |
| Darbe | Nanosaniye | 5 ns artış | <50ns | - |
| | Mikrosaniye | 1 μ artış | 50ns-1ms | - |
| | Milisaneye | 0,1m yükseliş | >1ms | - |
| Salınım | Düşük Frekanslı | <5kHz | 0,3-50ms | 0-4pu |
| | Orta Frekanslı | 5-500kHz | 20 μ s | 0-8pu |
| | Yüksek Frekanslı | 0,5-5Mhz | 5 μ s | 0-4pu |
| 2. Süreli Değişmeler | | | | |
| Ani Değişme | Kesinti | - | 0,5-30 periyot | < 0,1pu |
| | Gerilim Düşümü | - | 0,5-30 periyot | 0,1-0,9pu |
| | Gerilim Yükselmesi | - | 0,5-30 periyot | 1,1-1,8pu |
| Anlık Değişme | Kesinti | - | 30 periyot-3s | < 0,1pu |
| | Gerilim Düşümü | - | 30 periyot-3s | 0,1-0,9pu |
| | Gerilim Yükselmesi | - | 30 periyot-3s | 1,1-1,4pu |
| Geçici Değişme | Kesinti | - | 3s-1d | < 0,1pu |
| | Gerilim Düşümü | - | 3s-1d | 0,1-0,9pu |
| | Gerilim Yükselmesi | - | 3s-1d | 1,1-1,2pu |
| 3. Uzun Süreli Değişmeler | | | | |
| Kalıcı Kesinti | - | > 1d | 0,0pu | |
| Düşük Gerilim | - | > 1d | 0,8-0,9pu | |
| Aşırı Gerilim | - | > 1d | 1,1-1,2pu | |
| 4. Gerilim Dengesizliği | | | | |
| Dengesizlik | - | Sürekli Hal | %0,5-2 | |
| 5. Dalga Şeklinde Bozulmalar | | | | |
| DC Bileşen | - | Sürekli Hal | %0-0,1 | |
| Harmonikler | 0-100. | Sürekli Hal | %0-20 | |
| Ara Harmonikler | Harmonik | Sürekli Hal | %0-2 | |
| Çentik | - | Sürekli Hal | - | |
| Gürültü | Geniş Band | Sürekli Hal | %0,10 | |
| 6. Gerilim Dalgalanmaları | | | | |
| Dalgalanma | < 25 Hz | Aralıklı | %0,1-7 | |
| 7. Frekans Değişmeleri | | | | |
| Değişim | - | < 10s | - | |

2.2.1 Geçici Olaylar

Geçici olaylar, güç sisteminde bir takım olayların sebep olduğu akım veya gerilimde meydana gelen darbe ve salınım olaylarına karşılık gelen çok kısa süreli değişimlerdir. Dalga şeklindeki değişimler zaman domeninde birkaç mikrosaniye ile milisaniyelerle ifade edilen aralıklarda olmaktadır. Bu olayların süresinin kısa olmasına rağmen genlik ve şiddetleri büyük olmaktadır. Bu nedenle yaşanan olayının olumsuz etkisinden korunulması gerekmektedir. Geçici olaylar genel olarak enerji iletim ve dağıtım sisteminde dış ve iç kaynaklı sebeplerden oluşmaktadırlar. Bunlara örnek olarak dış kaynaklı sebeplere atmosferik olaylar (yıldırım düşmesi vb.), iç kaynaklı olaylara da güç sistemindeki büyük güçlü kapasite ve endüktif yüklerin anahtarlanması, ani yük değişiklikleri vb. durumlar gösterilebilir (Çeçen, 2015). Yaşanan bu geçici olaylar genliğin tepe değeri, yükselme veya düşme zamanlarına göre tanımlanır.

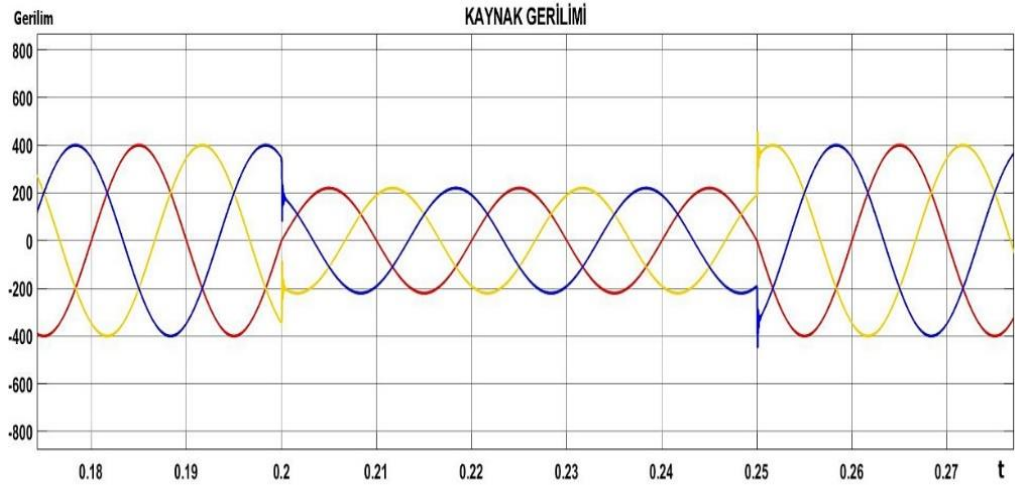
2.2.2 Kısa Süreli Gerilim Değişimleri

IEEE'nin 1159–1995 standartlarına göre gerilim düşümleri ve kısa kesintiler gerilim değişimleri kategorisinde yer almaktadır. Gerçekleşen olaylar anlık ve geçici olarak tanımlanmıştır. Gerilimdeki değişikliğin zaman ve süresine bağlı olarak gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi ve kesintisi olarak tariflenmektedir. Kısa süreli gerilim değişimleri genel olarak arıza ve kapasitesi yüksek yüklerin devreye girmesi veya çıkması durumlarından kaynaklanmaktadır.

2.2.2.1 Gerilim Düşümü

Gerilim Düşümü (Voltage Sag), nominal gerilim değerinin $0,1pu$ ile $0,9pu$ değerleri arasında ve $0,01s$ ile $1d$ sürede anlık ya da geçici olarak olması durumudur. Güç sistemlerinde gerilim düşümünün oluşmasında genellikle simetrik ve asimetrik kısa devre hataları, iletim ve dağıtım hattında meydana gelen hava olayları (yıldırım düşmesi vb.) ve büyük güçlü yüklerin devreye girmesiyle oluşur. Şekil 2.2'de alçak gerilim şebekesinde meydana gelmiş bir gerilim düşümü görülmektedir. Şebeke

gerilimi 400V iken 0,57pu'luk bir gerilim düşümü yaşanarak 230V civarların kadar şebeke gerilimi düşmüştür (Aksoy, 2014).

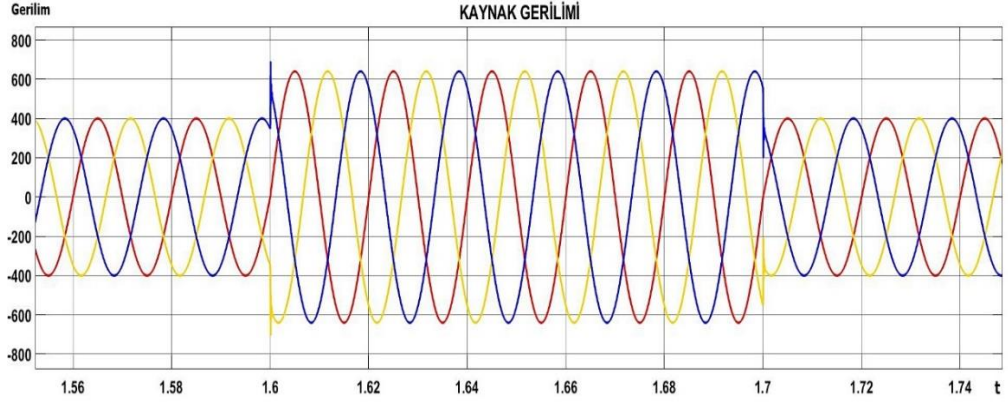


Şekil 2.2: Şebekede 50ms süreyle gerçekleşen bir gerilim düşümü örneği.

Güç sisteminde gerilim düşümünün olumsuz etkisiyle üretim tesisleri durmakta ve verim kayıpları yaşanmaktadır. Buda kullanıcılarında ciddi maddi kayıplara sebebiyet vermektedir. Bununla birlikte yük karakteristiğine bağlı olarak ortaya çıkan maddi kaybın boyutu da değişmektedir. Gerilim düşümleri en sık karşılaşılan ve yaşanan güç kalitesi problemi olarak kabul edilir.

2.2.2.2 Gerilim Yükselmesi

Gerilim yükselmeleri, kaynak nominal gerilim değerinin 1,1pu ile 1,8pu değerleri mertebesine, 0,01s'den 1d'ye süresi içerisinde çıkan gerilim olayıdır. Genel olarak büyük güçlü yüklerin ve kapasitesi yüksek kapasitörlerin sistemden çıkması nedeniyle meydana gelir. Bu durumlar oluşumu asimetrik ve simetrik hata akımlarından ve üç fazlı sistemlerde dengeli bir yüklenme durumunun olmamasından dolayıdır. Şekil 2.3'de 1,6pu değerinde ve 100ms' lik dengeli bir gerilim yükselme olayı görülmektedir. Gerilim yükselme olayı kullanıcıların cihazlarını olumsuz olarak etkilemektedir (Kumar, 2017).



Şekil 2.3: Şebekede 100ms süreyle yaşanan gerilim yükselmesi örneği.

2.2.2.3 Kesinti

Güç sistemlerinde enerjinin olmaması, gerilim ve akımın genlik değerinin $0,1pu$ değerinin altına düşmesi olarak tanımlanmaktadır. Kesintilerin sınıflandırılmasında süreleri esas alınır. IEEE 1159-1995 standartlarına göre gerilimin düşme sürelerine göre kesintiler;

- $1d$ 'nin altında yaşanan kesintiler “Kısa Süreli Kesinti” ,
- $1d$ 'nin üzerinde yaşanan kesintiler “Uzun Süreli Kesinti” olarak sınıflandırılır (Uzan, 2013).

2.2.3 Uzun Süreli Değişimler

Uzun süreli değişimler IEEE' nin 1159–1995 standartlarına göre gerilimin genliğindeki değişiminin $1d$ 'den daha uzun süreli olması olarak tanımlanır. Tanımlanan uzun süreli gerilim değişimleri aşırı gerilim, düşük gerilim ve kalıcı gerilim kesintisi şeklinde gerilimin genlik değeri ve süresine göre sınıflandırılmıştır.

2.2.3.1 Aşırı Gerilim

Gerilimin genlik değerinin $1d$ 'den uzun süreyle, $1,1pu$ değerinden büyük bir değerde olması aşırı gerilimi ifade etmektedir. Genellikle güç sisteminde büyük güçlü

bir yükün devreden çıkması ya da yüksek bir kapasitör ekipmanların devreye alınması aşırı gerilim oluşmasına örnek gösterilir.

2.2.3.2 Düşük Gerilim

Düşük gerilim, gerilim genliğinin 0,9pu değerinin altına 1d'den uzun bir sürede kalması olayı olarak IEEE 1159-1995 standartlarına göre tanımlanır. Meydana gelen düşük gerilim olayı büyük güçlü bir yükün devreye girmesi ya da yüksek bir kapasitör ekipmanların devreden çıkması durumuna örnek gösterilir.

2.2.3.3 Kalıcı Gerilim Kesintileri

Kalıcı gerilim kesintileri, IEEE 1159-1995 standartların tanımına göre meydana gelen olayın 1d'nin üzerinde ve gerilimin genlik değerinin 0,1pu değerinden küçük olması gerekir. Bu kategorideki kesintilerin uzunluğu, güç sisteminde oluşan hatanın büyüklüğünü gösterir. Sistem üzerindeki hata, kesinti süresiyle doğru orantılı olacağı için hatanın düzeltilmesi zaman almaktadır.

2.2.4 Gerilim Dengesizliği

Üç fazlı güç sistemlerin normalde dengeli olması beklenir. Yani akım ve gerilimin genliğinin değişimi bir birine eşit ve fazlar arasında 120° derecelik faz farkı olmalıdır. Sistemde yaşanan gerilim dengesizlikleri genel olarak üç fazlı sistem içerisinde yer alan bir fazlı yüklerin dengeli olarak dağıtılmamasından, enerji iletim ve dağıtım sisteminde meydana gelen asimetric hatalardan kaynaklanır. Bu durumların yaşanması kesicilerde, kablolarda ve cihazlarda aşırı ısınmaya sebep olarak elektrik tesisat ve ekipmanlarında yıpranmasına neden olacaktır. Bunun sonucu olarak endüstriyel tesislerdeki makinalarda verim kayıpları oluşacaktır (Gencer, 2006).

2.2.5 Dalga Şeklindeki Bozulmalar

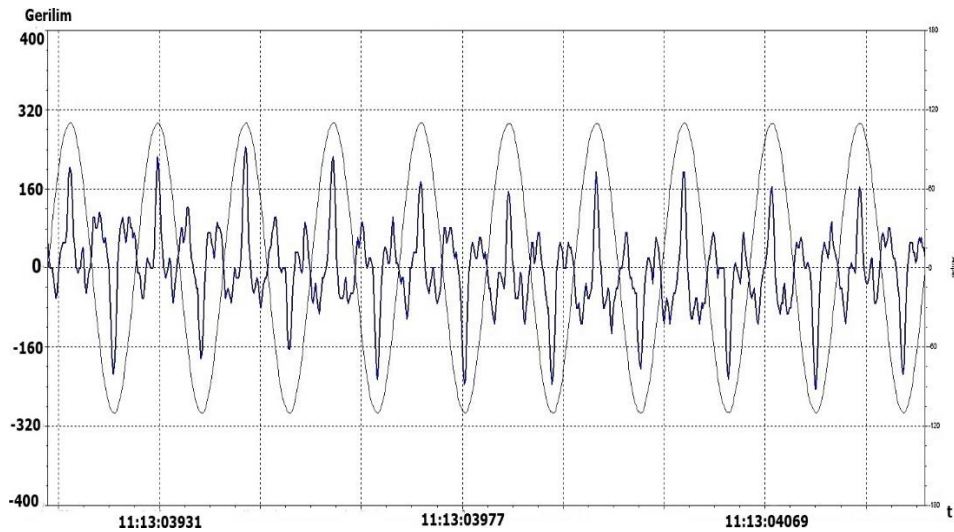
Elektrik güç sisteminde gerilim ve akımın dalga şeklinin sinüzoidal olması beklenir. Sinüzoidal dalga şeklinde meydana gelen bozulmalar, genellikle harmonik, çentik ve gürültü sebepleriyle ortaya çıkmaktadır.

2.2.5.1 DC Bileşen

Üç fazlı AC sistemlerinde DC akım ve gerilimin bulunması olarak tanımlanır. DC bileşen güç sisteminde yer alan güç elektroniği anahtarlama ekipmanların kullanıldığı cihazlardan kaynaklanan bir durum olarak ortaya çıkmaktadır.

2.2.5.2 Harmonikler

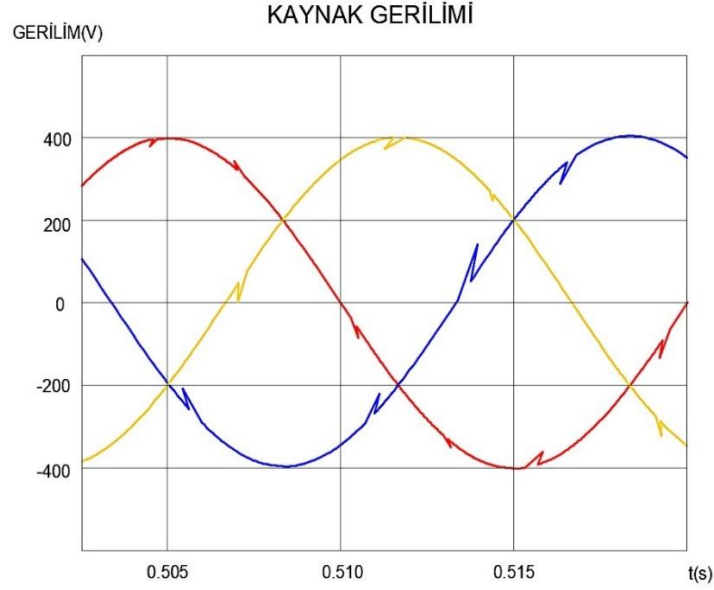
Harmonikler, sistemde temel bileşen frekansın dışında farklı frekans bileşenlerinin akım veya gerilim dalga şeklinde bulunması sonucu dalga şeklindeki bozulma olarak tanımlanabilir. Bozulmuş olan gerilim veya akım; temel frekans bileşeni ile bu dışındaki harmonik bileşen frekanslarındaki dalgaların toplamı şeklinde ifade edilir. Şekil 2.4’de harmoniğe maruz kalmış bir dalga formu görülmektedir. Genel olarak güç sistemindeki harmonikler doğrusal olmayan yüklerin oluşturduğu olumsuz etki olarak tanımlanır (Newma ve diğ. 2003).



Şekil 2.4: Harmonikli gerilim dalga şekli.

2.2.5.3 Çentik

Çentik, gerilimin sinüzoidal dalga şeklinde meydana gelen periyodik kısa zamanlı bozulmalardır. Endüstriyel tesisteki AC motor sürücüleri, kesintisiz güç kaynakları, güç elektroniği içeren devre elemanlı doğrultucular gibi unsurlar neden olmaktadır (Kumar, 2017). Şekil 2.5'te üç fazda da oluşan bir çentik örneği görülmektedir.



Şekil 2.5: A-B-C fazlarında oluşmuş çentik.

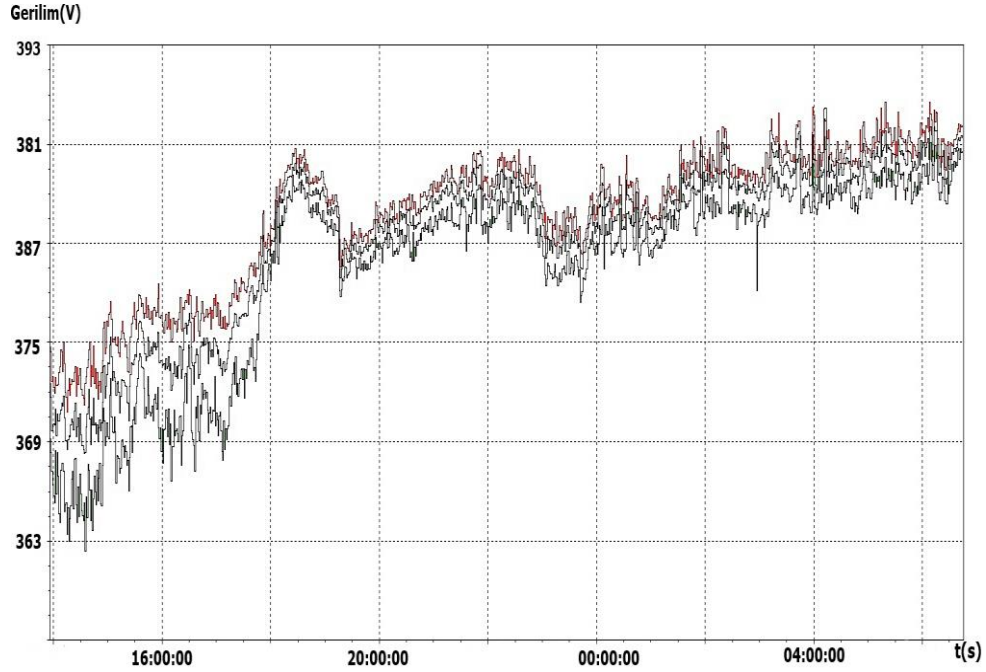
2.2.5.4 Gürültü

Gerilim ve akımın dalga şeklinde meydana gelen, geniş bant frekans değerine sahip 200kHz'den düşük değerli istenilmeyen sinyallerdir. Güç elektroniği temelli devrelerin ve güç cihazların çalışmasıyla ortaya çıkan daha sinyallerdir. Bu durum hassas cihazları etkilemektedir ve filtre devreleri ile azaltılabilmektedir.

2.2.6 Gerilim Dalgalanması

Gerilim dalgalanması, gerilimin efektif değerinin 0,9 ile 1,1pu aralığında asimetrik veya simetrik olarak değişkenlik göstermesidir. Güç sistemindeki büyük yüklerin anlık olarak devreye girmesi çıkması, akımın ani bir şekilde değişmesi gerilim

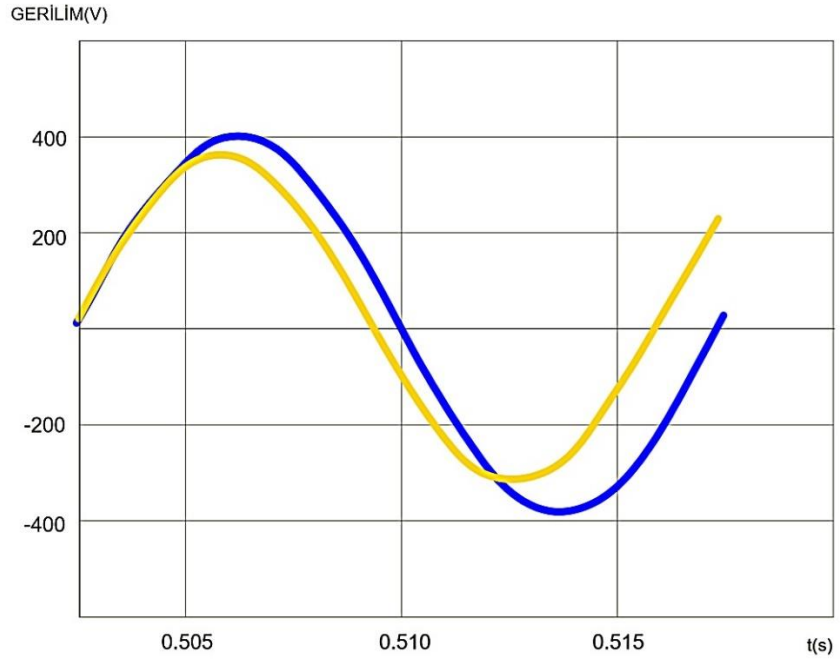
dalgalanmasına neden olur. Bu duruma örnek olarak ark fırınların çalışma şekli verilebilir. Şekil 2.6’da endüstriyel bir tesiste yer alan ark fırının gerilim dalgalanması görülmektedir (Taşkın, 2019).



Şekil 2.6: Dengesiz üç fazlı gerilim dalgalanması.

2.2.7 Frekans Değişimi

Güç sistemlerinde yaşanan frekans değişimleri, temel frekans değerinden (50/60Hz) çıkmasıdır. Enerji üretimi gerçekleştiren generatörlerin dönüş hızları frekansı oluşturmaktadır. Ancak yüklerin kapasitesine ve karakteristik özelliğine göre frekansta ufak değişimler görülebilmektedir. Şekil 2.7’de frekans değişimine ait bir görsel verilmiştir. Frekansta oluşan değişimler yükleri doğrudan etkilemektedir. Frekansın istenilen değerde olmaması durumunda güç sistemi içerisinde yer alan yüklerin devreden çıkmasına sebebiyet vermektedir (Çeçen, 2015).



Şekil 2.7: Frekans değişimi.

3. DİNAMİK VOLTAJ REGÜLATÖRÜ

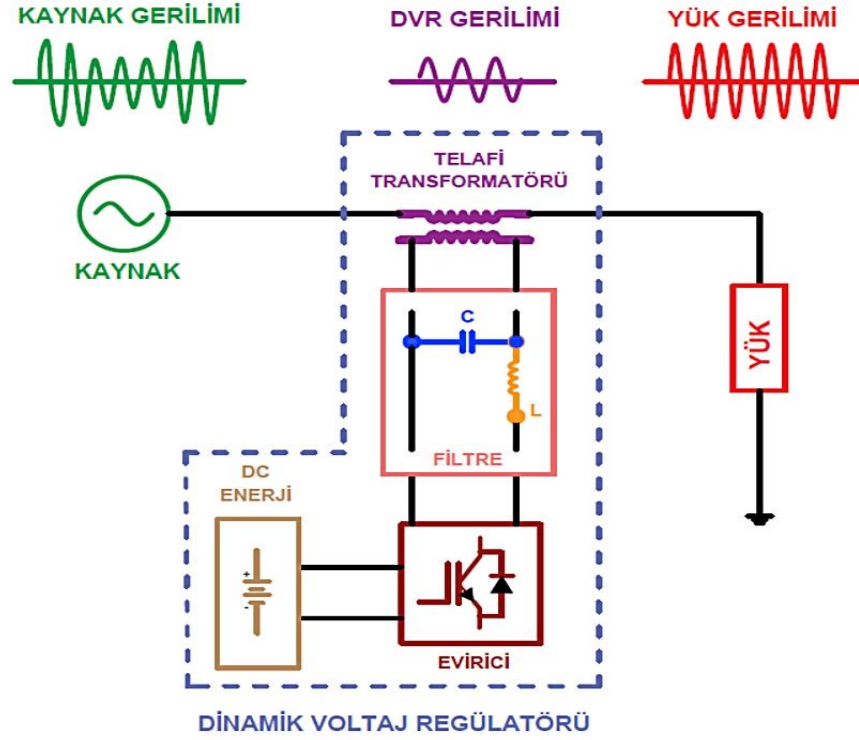
3.1 Giriş

Elektrik sisteminin güvenilirliği, sürekliliği ve hatasız bir şekilde çalışması başlıca beklenen unsurlardır. Bu anlamda güç kalitesi tüketiciler için sorunsuz bir çalışma için gereklidir. Elektrik iletim ve dağıtım şebekelerinde, koruma sistemlerin donanımları gelişmesine karşılık, sistemlerinde meydana gelen hatalardan dolayı olumsuz etkiler tam anlamıyla giderilememektedir. Günümüz teknolojisinde üretilen elektronik devreler ve cihazlar, geleneksel mekanik cihazlara göre daha çok hassaslaşmıştır. Bu nedenle herhangi bir gerilim olayı, yani gerilimdeki değişimler cihazları olumsuz etkilemekte ve bozulmalarına sebep olmaktadır. Dolayısıyla endüstriyel tesislerde bu durum, işletmenin durmasına ve buna bağlı olarak ciddi maddi kayıplar oluşmasına sebebiyet vermektedir (Naidu, 2016). Elektrik iletim şebekesinde yaşanan hata olayları, dağıtım şebekesine yansyarak tüketicileri etkileyecektir. Yani meydana gelen bir olayın güç sistemindeki bütün unsurları etkileyebilir. Kullanıcıların özellikle hassas cihazları (elektronik ekipmanlar, PLC, motor sürücüler, tıbbi cihazlar vb.) etkilenecek ve çalışmalarını yetersiz hale getirecektir.

Güç kalitesi problemleri başında, gerilim düşümleri ve yükselmeleri gelmektedir. Bu durumların önlenmesi için gerilim değişimlerini düzenleyecek etkili çözüm ve yöntemler geliştirilmiştir. Gerilim değişimleri problemlerinin çözümünde kullanılan en etkili yöntemlerden birisi DVR'lerdir. Bu amaç için tasarlanmış özel bir güç cihazı olan bu cihaz verimli, ekonomik ve etkili bir çözüm sunmaktadır. DVR meydana gelen hata olaylarından kaynaklı gerilimin düşmesi ve yükselmesine karşılık tesisleri yani tüketiciyi koruma sağlamak için tasarlanmıştır. Meydana gelen gerilim düşümü ve yükselme olaylarında DVR cihazı gerilim telafisi sağlayarak gerilim arzu edilen değerde kalmasını sağlar. Böylelikle, hassas yüklerin etkilenmemesine ve koruma ekipmanların (röle, kesicilerin, sigortaların vb.) açmasını önleyerek tesisin sürekliliğini sağlamaktır. DVR yapısı gereği dağıtım sistemine ya da yüke seri olarak bağlanmaktadır (Gammal ve diğ. 2011, Liu ve diğ. 2003).

3.2 DVR' nin Genel Yapısı

Gerilim olaylarının düzenlenmesi için kullanılan DVR aygıtı beş ana bileşenden meydana gelmektedir. Bunlar enerji depolama birimi, evirici birimi, filtre birimi, bağlantı (telafi) transformatörü ve koruma anahtarından oluşmaktadır. Şekil 3.1'de DVR topolojisinin blok şeması gösterilmiştir. DVR'nin telafi transformatörünün çıkış sargısı elektrik şebeke sistemine seri olarak bağlanmıştır.



Şekil 3.1: Şebekeye bağlı DVR'nin şematik gösterimi.

3.2.1 Enerji Depolama Birimi

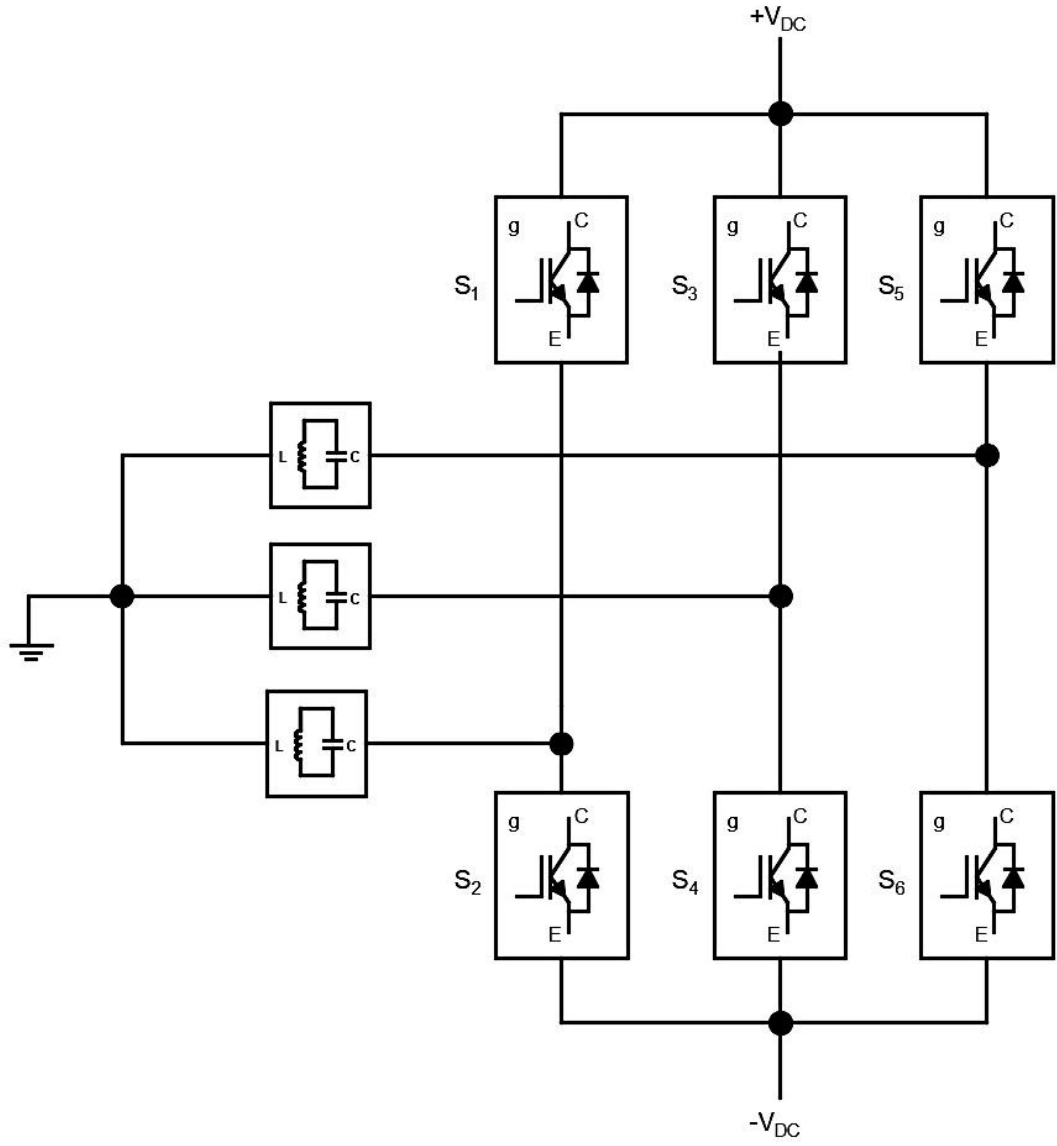
Enerji depolama ünitesi, gerilim düşmesi sırasında yük geriliminin dengelenmesi için gerekli gücü sağlamaktadır. Gerilim düşümü sırasında yük geriliminin dengelenmesi için gerekli enerji yardımcı bir kaynaktan (enerji depolamalı topolojiler) veya şebekenin kendisinden (enerji depolaması olmayan topolojiler) alınabilir (Ghosh ve diğ. 2004). Güç sistemdeki gerilim düşümü fazla olduğunda performansı artırmak ve yüke aktif güç sağlamak için yardımcı besleme yöntemi uygulanır (Teke, 2005). Enerji depolama biriminin kullanıldığı çok seviyeli

eviricilerde, depolama birimi güç sistemine paralel, seri ve hibrit (hem seri hem paralel) olarak transformatör üzerinden bağlanabilmektedir. Paralel bir bağlantı yapısına sahip eviricili bir sistemde depolama birimi yeterli enerjiyi sağlayarak bir gerilim kaynağı olarak çalışır. Seri bağlantı yapısındaki eviricili sistemde ise depolama birimi harici bir kaynak olarak çalışır ve sistem yapısının bir unsurudur. Enerji depolama birimlerinin geliştirilmesi, meydana gelen gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi gibi gerilim olaylarında, güç kalitesi problemlerinin çözümlerinde büyük önem taşımaktadır. Enerji depolama ekipmanları olarak genellikle; kurşun-asit bataryalar, volan, süper kapasitörler ve Süperiletken magnetik enerji depolama birimi (SMES) enerji depolamak için kullanılabilir (Omsri ve diğ. 2017).

3.2.2 Evirici Birimi

Gerilim kaynaklı evirici (VSI), enerji depolama cihazı tarafından sağlanan DC gerilimi AC gerilime dönüştürmek için kullanılır. Bu şekilde istenmeyen gerilim değişimleri için gerekli olan frekans, genlik ve faz açısındaki sinüzoidal gerilim bu cihaz tarafından üretilir. Gerilim, bağlantı transformatörü ile istenilen seviyeye yükseltilir. Genellikle VSI, kademeli bağlantı transformatörlerinin kullanımı nedeniyle düşük gerilim ve yüksek akımlıdır (Dudi, 2013). VSI'nın temel yapısını güç elektroniği anahtarlama elemanları oluşturur. Anahtarlama elemanları olarak metal oksit yarıiletkenli alan etkili transistör (MOSFET), kapıdan kesmeli tristör (GTO), yalıtılmış kapılı bipolar transistör (IGBT) gibi yarıiletken anahtarlar kullanılır. Her anahtarlama elemanının kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Genel olarak yüksek gerilim, yüksek akım ve düşük anahtarlama frekansı ile evirici biriminin anahtarlama IGBT'ler daha çok tercih edilmektedir (Savrun, 2017; Gencer, 2006). Bir eviriciye ait temel yapı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. VSI'den elde edilen çıkış geriliminin dalga formunu modüle edilmesiyle gerçekleştirilir. Gerilim kontrol işlemi için sinyal genişlik modülasyonu (PWM) tekniği kullanılmıştır. İstenilen frekans ve genlikteki AC gerilim, depolama biriminden yararlanılarak PWM gerilim kontrolü ile elde edilir. Bu işlem için altı yarı iletken anahtarlama elemanı kullanılarak uygun sıralı anahtarlama ile yapılır.

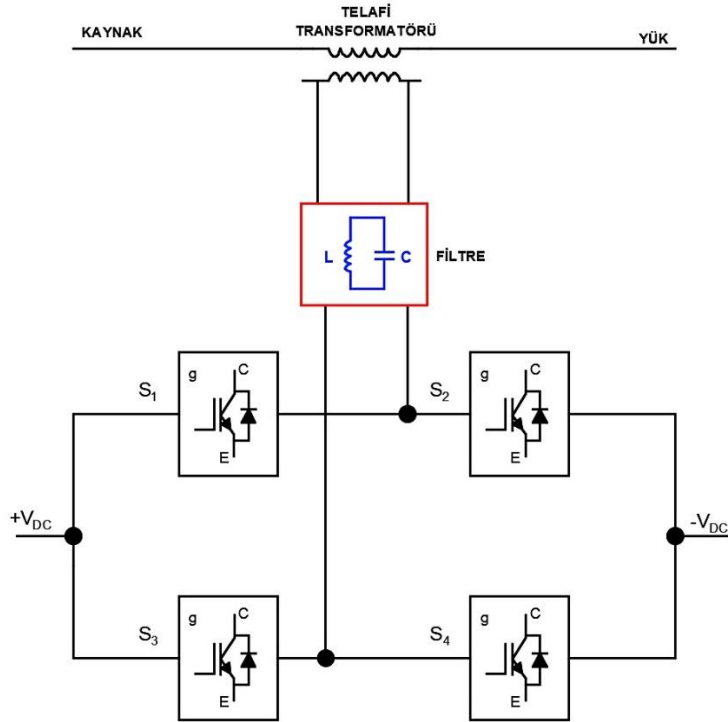
PWM kontrol tekniği kolay ve hızlı yanıt sunmaktadır (Javadi, 2016). Ayrıca, yüksek anahtarlama frekanslarıyla önemli anahtarlama kayıplarına yol açmadan dönüştürücünün verimliliğini artırmak için de kullanılabilir. PWM'in çeşitli yapıları bulunmaktadır. Bunlar arasında sinüzoidal PWM, histerezis PWM, Uzay Vektörü Modülasyonu (SVM) ve belirli performans kriterlerinin optimizasyonuna dayanan "optimal" PWM teknikleri yer almaktadır. Sinüzoidal PWM ve histerezis PWM analog teknikler kullanılarak uygulanabilse de, geri kalan PWM teknikleri bir mikroişlemci kullanımını gerektirmektedir (Sadigh, 2016; Shi ve diğ. 2010).



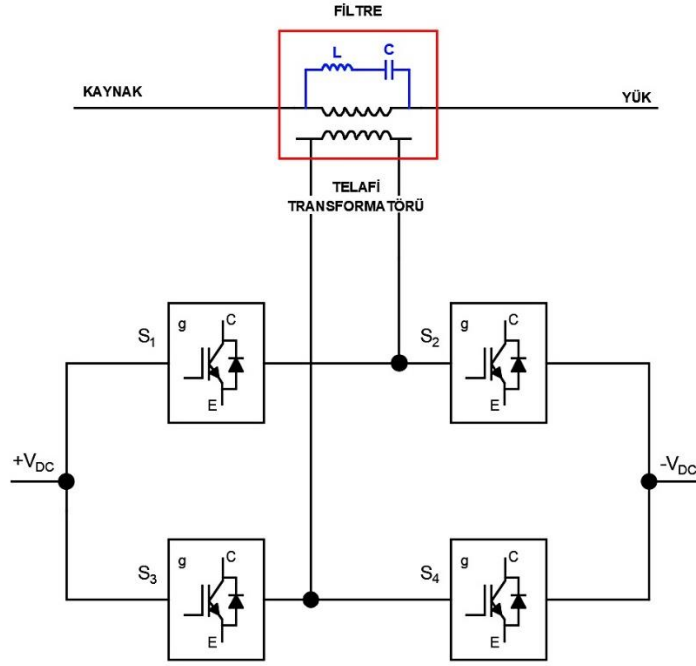
Şekil 3.2: Temel Evirici biriminin basit yapısı.

3.2.3 Filtre Birimi

Pasif filtreler, evirici tarafında üretilen AC gerilim sinyalindeki, PWM'nin ters pals dalga formunu sinüzoidal dalga formuna çevirmek için kullanılır. İşlem evirici biriminin DC'den AC dönüşüm esnasında üretilen ve telafi edilmiş çıkış gerilimini bozacak gereksiz yüksek dereceli harmonik bileşenlerin filtre edilmesiyle elde edilir (Dudi, 2013). Pasif filtreler, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi bağlantı transformatörün yüksek gerilim (primer) tarafına veya Şekil 3.4'de ki gibi evirici biriminin çıkış tarafına yerleştirilebilir. Evirici çıkışına filtre yerleştirilmesinin avantajları; filtre elemanları alçak gerilim seviyesi ile derecelendirilir, yüksek dereceli harmonik akımlar bağlantı transformatörü sargılarından akmayacağı için bu durum transformatörün üzerindeki gerilimi azaltır. Dezavantajları ise enjekte edilen gerilimin (temel bileşeni) gerilim düşmesine ve faz (açı) kaymasına neden olarak kontrol birimini etkilemektedir. Bu dezavantajların önüne geçilebilmesi için filtrenin dağıtım transformatörün çıkışına konması tercih edilebilir ve aynı zamanda transformatörün sızıntı reaktansı bir filtre bobini olarak kullanılabilir. Ancak bu durumda, yüksek dereceli harmonik akımlar transformatörün sekonder tarafından çıkışa yansiyacaktır (Chandrasekaran ve Ramachandaramurthy, 2016; Gopinath, 2014).



Şekil 3.3: Filtre yerleşimi evirici sonrası.



Şekil 3.4: Filtre yerleşimi bağlantı transformatör sonrası.

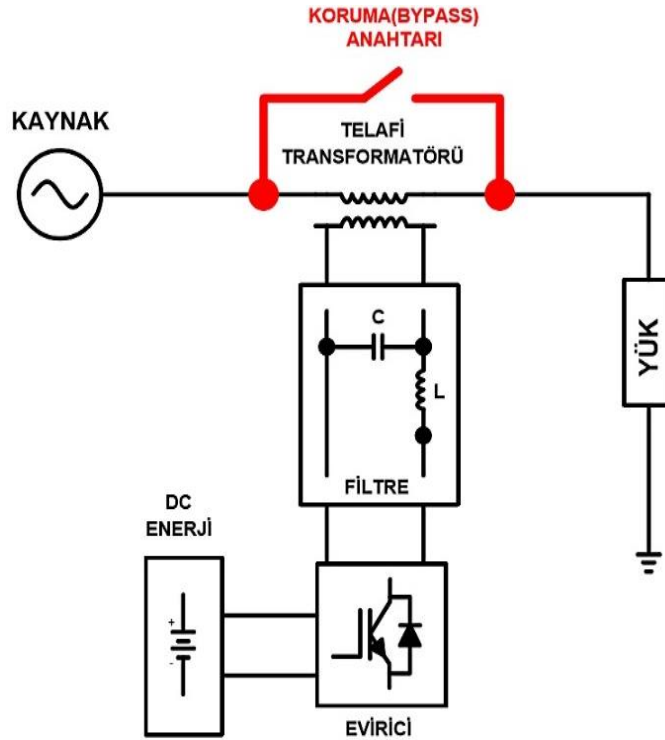
3.2.4 Bağlantı (Telafi) Transformatörü

Bağlantı transformatörünün görevi evirici biriminden elde edilen gerilimi istenilen seviyesine yükseltmektir. Ayrıca transformatör DVR'nin sistemden izole olmasını da sağlamaktadır. Transformatör sargı oranı, sekonder tarafında gerekli olan gerilime göre önceden belirlenebilmektedir. Ancak, genellikle DVR'nin tam gerilim düşüşünü telafi etmesini sağlamak için besleme gerilimine eşit tutulur. Daha yüksek bir transformatör sargı oranı, VSI'ye bağlı güç elektroniği cihazlarının performansını olumsuz yönde etkileyecek olan sekonder akımını artıracaktır. Telafi transformatörlerinde doygunluğu önlemek verimlilik açısından önemlidir. Bunun için normal akı gereksiniminden daha yüksek bir akı akışı sağlamak üzere tasarlanması gerekmektedir (Khushbo ve diğ. 2016). DVR'nin yapısında bağlantı transformatörleri üç adet tek fazlı transformatörden oluşmaktadır. Sisteme seri olarak bağlıdır. Transformatörler sistem üzerindeki bir önceki istasyonda yer alan transformatörlere göre seçilir. DVR'nin bağlı olduğu sistem üzerindeki transformatör üçgen-yıldız şeklinde bağlı ise telafi transformatörünün bağlantı şekli üçgen-yıldız olmalıdır. Eğer ki bağlantı transformatörü üçgen-üçgen şeklinde bir bağlantıya sahip ise, olası oluşacak hata akımı(faz-faz/toprak hatası) nötr üzerinden akamayacaktır. Bu nedenle

hata akımından dolayı gerilim düşümü oluşacaktır. Ayrıca oluşan bu gerilim düşümü telafi edilmesi gereklidir (Jena ve diğ. 2016; Akanksha ve Borakhade, 2016).

3.2.5 Koruma Anahtarı

DVR sisteme seri bağlı bir güç cihaz olduğundan, sistemden gelen bir arıza nedeniyle oluşacak hata akımı, yapısı gereği evirici birimine ulaşacaktır. Bu durumda birimdeki ekipmanlar zarar görebilir. VSI birimindeki güç elektroniği elemanlar çok maliyetli olduğundan böyle bir durum olması zararı ciddi boyutlara taşıyacak ve DVR çalışmayacak duruma gelecektir. Bu nedenle, evirici birimini koruma altına almak için DVR sistem yapısına bir koruma anahtarı (by-pass) dâhil edilmiştir. Şekil 3.5’de koruma anahtarı gösterilmiştir. Koruma devresinin temel işlevi, şebekedeki geçen akımı algılamaktır. Eğer eviricinin zarar göreceği akım seviyesinde ise; anahtar kapalı pozisyona geçerek DVR’e devre dışı bırakır. Böylelikle DVR yüksek akımlara karşı koruma altına alınmış olur. Yüksek bir akım geçmediği sürece koruma anahtarının pozisyonu açık devre olacaktır (Dargahi ve diğ. 2016).

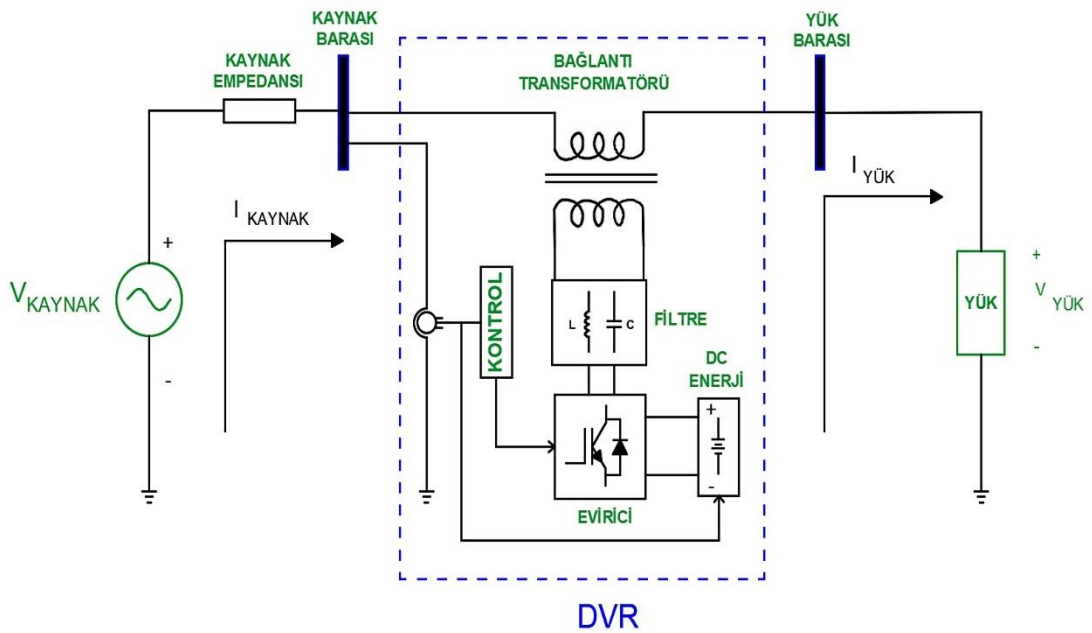


Şekil 3.5: DVR'nin yapısında bulunan koruma anahtarı.

3.3 DVR'nin Çalışma Prensibi

Gerilim düşümü, yükselmesi veya değişimi durumlarında gerilim regülasyonu için bazı ekipmanlar kullanılmaktadır. Genellikle kullanılan kondansatör gibi kapasitif elemanlar, sistem empedansı etkileyerek gerilim genlik değerini tolere etmektedir. Ancak hata olaylarından (kısa devre vb.) kaynaklı gerilim değişikliklerinde reaktif ve aktif gücün birlikte kontrolünü yapabilen özel güç cihazların tercih edilmesi gerekmektedir.

Gerilim olaylarının düzenlenmesinde en etkin kullanılan çözümlerden birisi DVR'dir. DVR'nin genel prensip şeması Şekil 3.6'da verilmiştir. DVR, enerji sisteminde meydana gelen gerilim düşümünü algılayarak gerekli olan telafi gerilimi üreterek sisteme aktarmaktadır. DVR gerilim düşümünün simetrik veya asimetrik olduğunu her fazı kontrol ederek saptar. Bu nedenle sistemde meydana gelen dengesiz bir düşüm olduğunda sisteme ek bir gerilim kaynağı varmışçasına çalışır (Mansoor ve diğ. 2017; Pakharia ve Gupta, 2012; Messiha ve diğ. 2015).



Şekil 3.6: DVR'nin temel prensip şeması.

DVR'nin temel çalışma prensibi, gerilim düşümü sırasında kontrol birimi tarafından gerekli olan gerilim ölçülerek hesaplanır. Sistemin dinamik kontrolü yapılarak şebekeye enjekte edilir. Enjekte edilen gerilimin faz açısı ve genliği sarkma sırasında değişkendir. Bu, DVR ile dağıtım sistemi arasındaki aktif ve reaktif güç

değişiminin kontrolünü sağlayacaktır. DVR, sistemde gerilim yükselmesi var ise, gerilim düşümünde olduğu gibi gerilim kaynağı olarak çalışan ters kutuplu bir gerilim kaynağıdır. Sistem üzerindeki fazla olan gerilimi sanki bir yükmiş gibi çalışarak tolere etmektedir. Genellikle, DVR’de çalışma aralığı üç bölgeye göre ayrılabilir; aktif çalışma durumu, bekleme durumu, koruma durumudur (Akanksha ve Borakhade, 2016).

3.3.1 Aktif Çalışma Durumu

DVR’nin çalışma koşulları dahilinde tanımlanan bir gerilim bozukluğu tespit edildiğinde, baypas anahtarı açılır. DVR şebekeye uygun telafi gerilimi sağlamak için aktif çalışma durumuna geçer. Bu çalışma şekline telafi durumu da denir. Bir gerilim bozukluğu tespit edildiğinde başlar ve gerilimin nominal değerine geri döndüğünde sona erer.

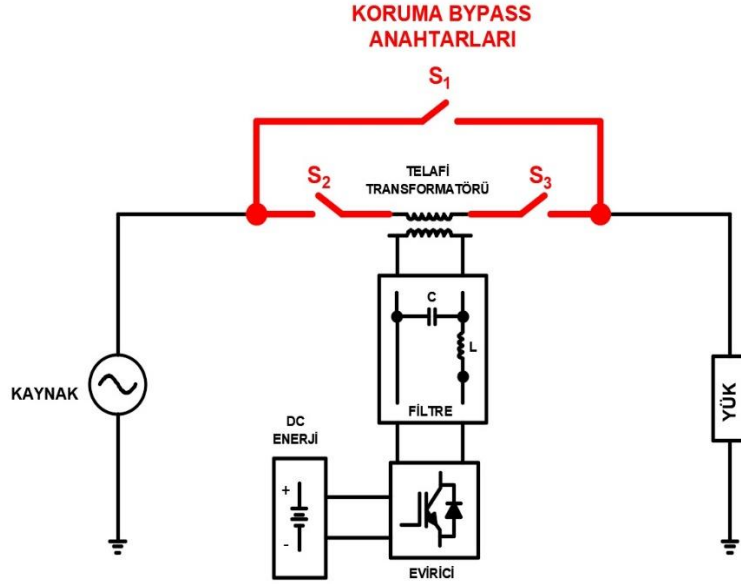
3.3.2 Bekleme Durumu

Bekleme durumunda kaynak geriliminde gerilim değişikliği bulanmamaktadır. Bundan dolayı DVR’nin şebekeye gerilim sağlaması gerekmez. DVR normal çalışma sırasında sistem gerilimi üzerinde ters etkiyi önlemek için genellikle bypass anahtarı kullanılarak devre dışı bırakılır. Çoğunlukla DVR bekleme durumundadır. Telafi transformatörü sekonder (alçak gerilim) sargıların anahtarlama elamanıyla kısa devre edilerek DVR sisteme gerilim aktarmayacaktır. Ancak evirici birimindeki dönüştürücü devrelerin kullandığı iç tüketim olacaktır. Dönüştürücü devresinde kullanılan güç elektroniği anahtarlama elemanların teknolojik gelişimlerinden dolayı kayıp az olacaktır (Gencer, 2006).

3.3.3 Koruma Durumu

Sistem parametreleri yük tarafında limit değerleri aşar ise DVR sistemden koruma devresi ile izole edilecektir. Böylelikle yük üzerinde meydana gelen kısa devre veya büyük ani akımların DVR’ye zarar vermesi önlenmiş olur ve sistem izole edilerek

korunur. DVR'nin kontrol sistemi arızaları veya anormal koşulları tespit ederek Şekil 3.7'de gösterilen koruma anahtarıyla sistem devreden ayrılır. Aşırı akım durumunda, S₁ anahtarı kapanır, S₂ ve S₃ anahtarı açılır böylece hata akımından DVR korunmuş olacaktır (Saxena ve Kushwah, 2016).



Şekil 3.7: Aşırı akımlara karşı DVR'nin koruma anahtarının bağlantı pozisyonu.

3.4 Gerilim Düşümü Tespit Yöntemleri

Gerilim düşümü meydana gelmesi durumunun hızlı bir şekilde tespit edilmesi DVR'nin performansında önemli rol oynamaktadır. Bu hususta, gerilim düşümünün seviyesi, başlama ve bitme süreleri ve faz açılarının değişmesi durumlarıyla ilgili çalışmalar geniş yer tutmaktadır (Gammal, 2011; Gencer, 2006). Buna ilişkin kontrol adımları;

- Gerilim seviyesinin kontrolü,
- Gerilim seviyesi ve açısının vektörel kontrolü,
- Fazların vektör kontrolü,
- Fazların fourier dönüşümüyle kontrol edilmesi,
- Fazların dalgacık dönüşümü ile kontrol edilmesi

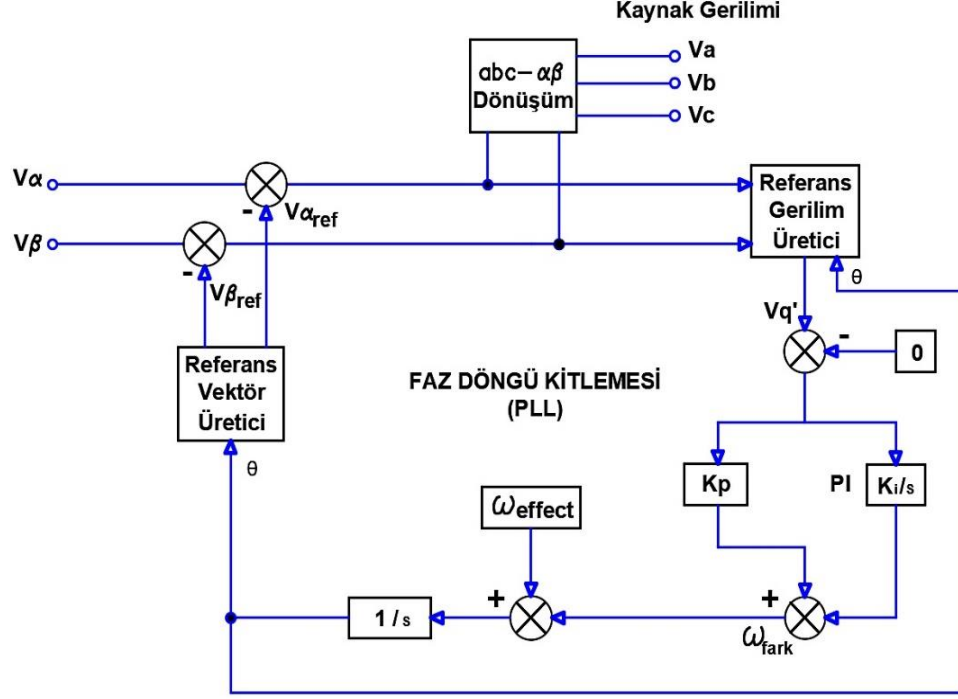
şeklinde sıralanabilir.

3.4.1 Gerilim Seviyesinin Kontrolü

Gerilim düşümü meydana gelmesiyle gerilimin seviyesindeki değişimlerin anlık olarak izlenmesi ve kontrol edilmesi gerilim seviyesinin izlenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Gerilim düşümünün algılanması, yöntemi basitleştirmektedir. Şebeke sisteminden elde edilecek referans gerilim genliği, kullanıcı tarafından kullanılmakta olan gerilim genlik değeri ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucundan gerilim düşüm seviyesi belirlenir. Gerilim düşüm seviyesi istenen limit değerler dışında kalması (genellikle %5-10) durumunda kontrol birimi harekete geçirir (Meena ve diğ. 2015). DVR devreye girerek gerekli olan telafi gerilimi oluşturarak sisteme aktarır. Gerilim seviyesi kontrol yöntemi, gerilim düşümünün başlama ve bitiş anların tespitinde kolaylık sunmaktadır. Ancak fazların açısındaki anlık bir değişme sırasında bunun tespiti zorlaşmaktadır. Bu durum referans gerilimi ile sistem geriliminin sık örnekleme yapılarak aşılabilmektedir.

3.4.2 Gerilim Seviyesi ve Açısının Vektörel Kontrolü

Gerilim düşümünün tanımını gerilim seviyesindeki düşüş miktarıyla ilintilidir. Bu tanımlama içerisine fazların arasındaki açılar değişimi de dâhil edilmektedir. Faz açısı değişimlerin belirlenmesi, gerilim kontrolü için önemli bir durumdur. Faz açısı değişim kontrolü için kullanılan “Faz Döngü Kilitlemesi” (Phase Locked Loop-PLL) kontrol şemasına ait blok diyagram Şekil 3.8’de gösterilmiştir. PLL kontrolör gerilim düşümünü tespitini gerçekleştirilmesi için sistemin faz açısını ve gerilimin genliğini karşılaştırması gerekir. Bunun içinde referans olacak faz açısını ve referans gerilimini oluşturur (Sadigh ve Smedley, 2016). Gerilim seviyesi ve faz açısındaki değişim kaynak ile referans arasındaki farka göre DVR’nin telafi gerilimi belirler. A, B, C fazlarının kaynak gerilimi α - β çevrimi (Clarke Transformation) ile ortagonalle çevrilir. Bu durumda A, B, C fazları V_α ve V_β ortogonal bileşenli faza dönüşür.



Şekil 3.8: PLL kontrol şeması.

Kaynak gerilim bileşenleri V_a V_b V_c 'e α - β dönüşümü uygulanırsa;

$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \\ V_o \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -0.5 & -0.5 \\ 0 & -0.866 & -0.866 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

denklemini bulunur. Bu ifade de α - β / d - q dönüşümü yapılır ise;

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

denklemini elde edilir.

A, B, C fazlarında gerilim düşümü dengeli ise $-d$ - q vektörlerin oluşmaktadır. V_d gerilim düşümünün seviyesini, V_q ise fazların açısındaki değişikliğini belirtir. Faz açısında değişim bulunmuyorsa V_s referans gerilimi Denklem 3.3'de verildiği gibi ;

$$|V_s| = V_d = \sqrt{V_d^2 + V_q^2} \quad (V_q = 0) \quad (3.3)$$

ifade edilir. Bu durumda faz gerilimlerinin genlikleri Denklem 3.4 ile bulunur.

$$|V_a| = |V_b| = |V_c| = \left(\sqrt{\frac{3}{2}}\right)^{-1} V_d \quad (3.4)$$

Böylelikle dengeli gerilim düşümünün tespiti çok basit bir şekilde hesaplanır. V_d veya $\sqrt{V_d^2 + V_q^2}$ 'nin anlık olarak takibi gerilimdeki değişimi belirler. Ancak dengesiz bir gerilim düşümü söz konusu olduğunda Denklem 3.5 geçerli olacaktır (Wang ve diğ. 2011).

$$V_s(\theta) = V_a = V_b + 120^\circ = V_c + 240^\circ \quad (3.5)$$

3.4.3 Fazların Vektörel Kontrolü

Bu yöntemde vektörel kontrol her faz için ayrı ayrı uygulanmaktadır. Gerilim seviyesinin ve açısının vektörel kontrol yönteminden temel farkı da budur. Her fazın vektörel kontrolü faz açıların değişimindeki tespit hızını artırmaktadır. Ancak gerilim düşümü meydana gelmesiyle gerilim seviyesindeki değişiklik, faz açısındaki değişikliğin algılanma hızına göre yavaş kalmaktadır. Bu nedenle bu yöntemin sadece faz açısı değişikliği durumlarda kullanılması etkin bir gerilim telafisi bakımından daha uygun olacaktır (Naidoo ve Pillay, 2007).

3.4.4 Fazların Fourier Dönüşümüyle Kontrol Edilmesi

Her fazın gerilimine, Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanarak gerilim düşümü tespit edilmektedir. Bu yöntem geleneksel gerilim tespit yöntemleri arasında yer almıştır. Gerilim düşümü sırasında, FFT yöntemi kullanılarak kaynak gerilimi ile referans gerilimi ayrıştırmak istenir. Ayrıştırma işlemi sonucunda sistemde meydana gelen gerilim düşümünün sinyali elde edilir. Ancak FFT yöntemi kaynak gerilimin son periyot değer parametlerini kullanılarak yapılması nedeniyle gerilim düşümü algılamasında zaman kaybı yaşanması bu yöntemin dezavantajıdır (Mohan ve diğ. 2014).

3.4.5 Fazların Dalgacık Dönüşümü ile Kontrol Edilmesi

Dalgacık ve diğer dönüşümler sinyaller ve sistemlerde uygulanan matematiksel dönüşümler, ayrıntılı bir veri almak için yapılır. Zaman domeninde gerçek ve dönüşüme uğramış sinyaller olarak tanımlanan bir ayırım yapılmakta ve sinyallerin genliğinin ifadeleri elde edilmektedir. Dönüşümler kendine has avantajlarıyla günümüz teknolojisinde çeşitlenmiştir. Bu nedenle uygulandığı alanlar farklıdır: matematik, fizik, jeofizik, ses ve görüntü işlemleri, sinyaller ve sistemler, güç sistemleri gibi alanlarda sık kullanılmaktadır (Gürsoy ve diğ. 2017; Arıkan ve Özdemir, 2012). Yaygın olarak kullanılan FFT yöntemi, sinyaller sistemindeki spektrumların ve frekans domenindeki sistemlerin detaylı analizi yapılabilme için kullanılır. Dalgacık dönüşümü, frekans domeninde yapılan analizin yetersiz gelmesiyle ortaya çıkmış ve ölçek (faktör) analizi gerçekleştirilmiştir. Dönüşüm sürekli olan sinyallerin analizinde kullanılarak sinyali farklı ölçeklerde detaylandırılıp tek bir fonksiyon oluşturan bir matematiksel dönüşümdür. Bu nedenle geleneksel FFT'ye göre avantajları vardır.

Dalgacık dönüşümü sinyallerin hem zaman domeninde hem frekans domeninde analiz sağlama, bir sistemin zamanla değişen frekansından veri elde edilmesi, hassas ve değişken sistemlerin dönüşümde etkin bir analiz sağlanmaktadır. Güç kalite problemlerin analizinde dalgacık dönüşümü kullanılması problemlerin çözüm yöntemlerinde faydalı bir unsur olmaktadır. En yaygın güç kalite problemleri gerilim düşümü, yükselmesi, dalgalanması ve harmonikler olarak kabul edilmektedir. Gerilim olayların anlık, geçici ve sürekli bir hal durumlarında bunların tespit ve analizinde dalgacık yöntemin üstünlükleri kullanılmaktadır. Gerilim değişimi (düşümü ve yükselmesi) olayların çözümünde özel güç cihazların kullanılmaktadır. Bu cihazların kontrol stratejilerinde gerilim düşümünün algılanması için kullanılan yöntemler, güç cihazının doğrudan performansını etkilemektedir. Bu nedenle dalgacık dönüşümü gerilim düşümünün tespiti ve sentezinde gerilim telafi stratejilerinde hız kazandırmaktadır. Gerilim sinyalini anlık veya sürekli olarak genlik, periyot, zaman gibi parametrelerin değişkenlik göstermesi durumlarında hızlı bir şekilde algılanması müdahale için önemlidir. Bu durumun frekans ile zaman domeninde ele alınarak incelenmesi gerilimde meydana gelen olayların çözümlenerek olumsuz etkilerin ortadan kaldırılmasına olanak sağlamaktadır (Uyar ve diğ. 2011).

3.5 Gerilim Telafi Yöntemleri

DVR'nin aktif çalışma durumunda optimal olarak çalışmasını sınırlayan bazı faktörler vardır. Bunlar; gerilim düşme karakteristiği (genlik, süre ve faz atlama durumu) ve yükün karakteristiği (istenilen güç ve güç faktöründe olması) olarak tanımlanabilir. Bu faktörler kapsamındaki gerilim telafi yöntemlerin başlıcaları şunlardır;

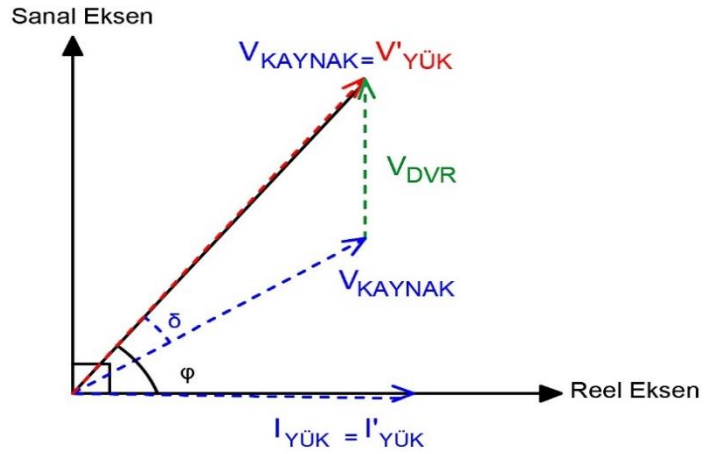
- Fark gerilimi telafisi,
- Sabit faz telafisi,
- Faz kazanç telafisi,
- Minimum enerji kullanılarak tolerans gerilim telafisi

olarak sınıflandırılabilmektedir (Messiha ve diğ. 2015; Dargahi ve diğ. 2016).

3.5.1 Fark gerilim telafi yöntemi

Fark gerilimi telafi yöntemi, gerilim düşümü öncesindeki kaynak gerilimini referans alır. Meydana gelen gerilim düşümü sonrasındaki gerilim farkını hesaplar ve bu fark kadar gerilimi yüke aktarır. Şekil 3.9'da gerilim düşümü öncesindeki referans kaynak gerilimi, gerilim düşümü sonrasındaki kaynak gerilimi ve yüke aktarılacak olan DVR gerilimi yani fark gerilimi diyagramları görülmektedir. Burada hesaplanan fark gerilimi yüke aktarılarak gerilim düşümü öncesindeki kaynak gerilimi elde edilir. Gerilim genliğini ve faz açısını nominal değerine döndürür. Bu yöntemin avantajı, tristör anahtarlama elemanlarına sahip bazı güç elektroniği tabanlı yüklerin olumsuz olarak etkilendiği faz atlamalarını ortadan kaldırmasıdır. Bu yöntemin gereği, transformatörün ve enerji depolama biriminin yüksek kapasitede olmasıdır. Bunun sebebi sağlanan aktif güç üzerinde kontrolün olmamasıdır. Telafi gerilimi, Denklem 3.6'da görüldüğü gibi, kaynak gerilimi ile gerilim düşümünün genliğinin arasındaki fark alınarak hesaplanır (Patil ve diğ. 2016).

$$V_{DVR} = V_{kaynak} - V_{sag} \quad (3.6)$$



Şekil 3.9: Fark gerilimi yönteminin fazör diyagramı.

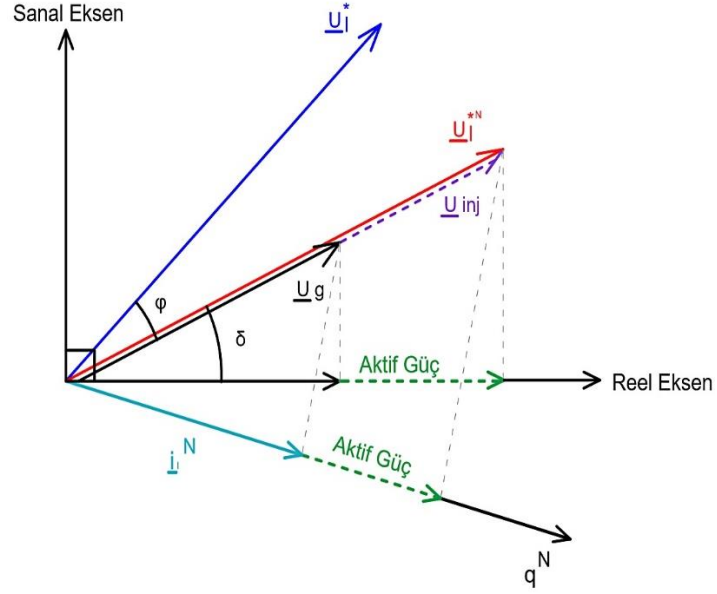
3.5.2 Sabit Faz Telafisi Yöntemi

Sabit faz telafi yönteminin amacı gerilim düşmesi sırasında yük gerilimi ile sistem geriliminin faz açıları arasındaki farkı sabit tutmaktır. Dolayısıyla gerilim düşmesi sırasında şebeke geriliminin açısında oluşan değişiklik aynı miktarda yük açısında da olacaktır. Genellikle, bu yöntem faz açısı atlamasından etkilenmeyen yükler için uygundur (Kumar ve diğ. 2016). Şekil 3.10'daki gibi akım eksenini referans olarak alındığında, yük açısı kadar dönecektir. Dolayısıyla şebekeye verilecek gerilim ve aktif güç hesaplanırken bu yeni dN ve qN eksenlerine göre olacaktır. Aktif güç akışı Şekil 3.10'dan görüldüğü gibi düşecektir. Yük ve şebeke gerilimlerinin açıları arasındaki fark gerilim düşmesi sırasında sabit kalacağından DVR'nin vermesi gereken gerilim de en az olacaktır. Üretilen gerilimin *d*- ve *q*- bileşenleri Denklem 3.7 ve Denklem 3.8'de verilmiştir.

$$u_{cd} = (|u_g| - |u_l|) \sin \emptyset \quad (3.7)$$

$$u_{cq} = (|u_l| - |u_g|) \cos \emptyset \quad (3.8)$$

Burada; telafi gerilimin *d* bileşeni u_{cd} , telafi gerilimin *q* bileşeni u_{cq} , şebeke gerilim bileşeni u_l , yük gerilim bileşeni u_g ve şebeke ile yük gerilimi arasındaki faz açısı \emptyset dir.



Şekil 3.10: Sabit fazın telafi gerilim fazör diyagramı.

3.5.3 Faz Kazanç Telafi Yöntemi

Faz kazanç telafi yönteminin amacı gerilim düşmesi sırasında yük tarafına verilen gerilimin faz açısının belirlenen değere değiştirilmesi yerine getirmektir. Gerilim düşümü öncesi DVR'nin sağlayabileceği aktif güç, gerilim düşümü sırasında sisteme enjekte edilir. Aktif gücün kapasitesi depolanmış enerji ile sınırlıdır. Enjekte edilen enerjinin en aza indirilmesi, telafi gerilimi fazörün, yük akımı fazörüne dik tutarak aktif güç bileşeninin sıfırlanmasıyla elde edilir. Bu yöntemde, yük akımı ve gerilim değerleri sistemde sabitlenir ve gerilim düşümünün fazını değiştirebilir. Bazı yük tiplerinde bu durum sorunlara neden olabilmektedir. Yük güç faktörünün sabit olması gereken durumda, gerilimin faz açısı belli bir miktar değiştiğinde, yük akımının açısı da güç faktörünü sabit tutmak için o oranda değişecektir. Faz atlaması olan bir gerilim düşmesi ile karşılaşıldığında DVR gerilim telafisi için bu faz değişiminden faydalanacaktır (Hafezi ve diğ. 2016). Şekil 3.11'de yöntemle ilgili fazör diyagramı görülmektedir. Yük açısının değişmesi ile DVR'nin telafi geriliminin genliği ve açısı değiştiğinde β açısı β_N değerini alacaktır. Bu değer Denklem 3.9'daki gibidir:

$$\beta_N = -\delta + \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin \theta - d \cos \theta}{\cos \theta - d \sin \theta} \right\} \quad (3.9)$$

$$d = \frac{|u_g|}{|u_l|} \quad (3.10)$$

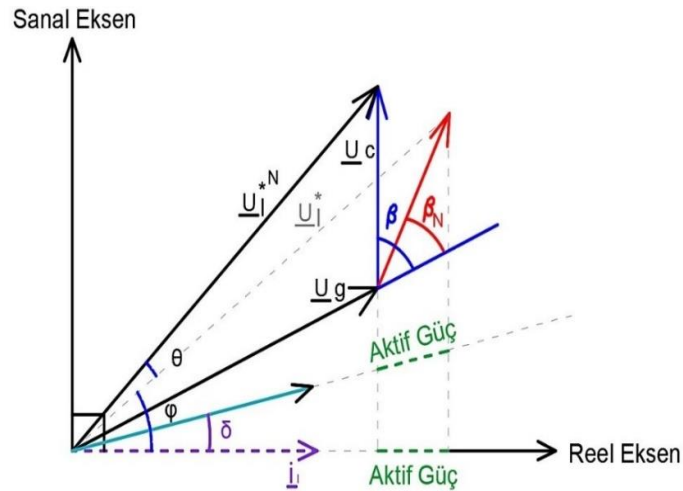
β açısındaki değişme nedeniyle şebeke geriliminin fazına bağlı olarak;

$$\theta = \beta - \sin^{-1}\{d \sin(\beta)\} + \delta - \phi \quad (3.11)$$

$$u_{cd} = -\|u_l\| \sin(\phi) + \|u_g\| \sin(\delta - \theta) \quad (3.12)$$

$$u_{cq} = \|u_l\| \cos(\phi) - \|u_g\| \cos(\delta - \theta) \quad (3.13)$$

denklemleri bulunur. Burada; gerilim düşümü ile kaynak gerilimi arasındaki gerilim açısı β , telafi gerilimi sonrasında değişen β açısı β_N , kaynak ile yük gerilimi arasındaki faz açısı ϕ , kaynak gerilimi ile telafi gerilim arasındaki açı θ , DVR' nin güç açısı δ , telafi gerilimin d bileşeni u_{cd} , telafi gerilimin q bileşeni u_{cq} , şebeke gerilim bileşeni u_l , yük gerilim bileşeni u_g dir (Gencer, 2006).



Şekil 3.11: Faz kazanç telafi yöntemi fazör diyagramı.

3.5.4 Minimum Enerji Kullanılarak Tolerans Gerilim Telafisi

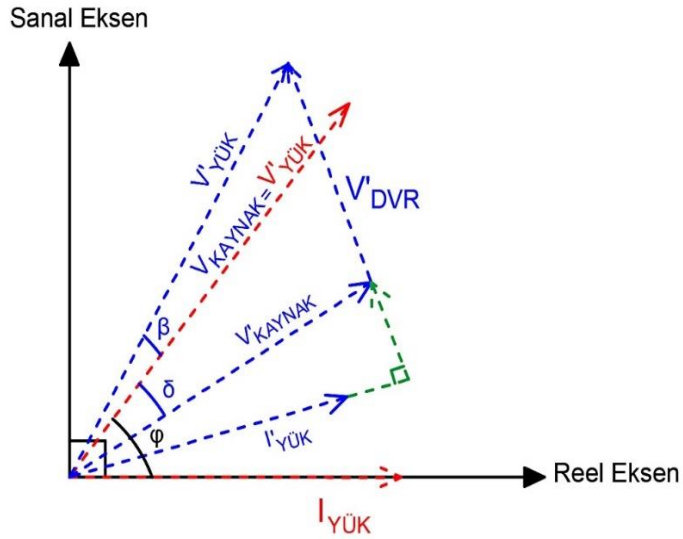
Dördüncü yöntemde, yük gerilimin tolerans aralığındaki düzeltilmiş gerilimin faz açısı ve büyüklüğü, Şekil 3.12'de gösterildiği gibi değiştirilir. Yük üzerindeki düşük gerilim düşümü ve az olan faz açısı yükün kendisi tarafından tolere edilebilir. Yüklerin faz açısı atlamasına ve gerilim düşümünün büyüklüğüne göre

duyarlılıkları farklıdır. Genellikle nominal gerilimin %90 ile %110'u arasındaki gerilim büyüklüğü ve normal durumun %5 ile %10'u arasındaki faz açısı değişimi yüklerin çalışma özelliklerini bozmaz. Gerilimin büyüklüğü ve faz atlama oranının toleransı, minimum enerji ile telafi bu yöntemin kontrol parametreleridir (Naidu, 2016). Daha önceden belirtildiği gibi gerilimin tolerans alanı yüke bağlıdır. Bazı yükler faz açısı kaymasına (atlamasına), bazı yükler ise gerilim değişimlerine duyarlıdır. Çalışma noktası yük karakteristikleri dikkate alınarak belirlenir. Bu yöntem, diğer yöntemlerden farklı olarak daha küçük aktif güç sağlayarak, gerilim genliğindeki küçük bir değişiklikle tolerans alanında yük gerilimini koruyabilir (Akanksha ve Borakhade, 2016). Aşağıdaki formüllere göre yük tarafında ve kaynak tarafında aktif güç hesaplanabilir.

$$P_{YÜK} = V_Y I_Y \cos \alpha \quad (3.14)$$

$$P_{Kaynak} = V_K I_Y \cos \phi \quad (3.15)$$

$$P_{DVR} = P_{Kaynak} - P_{YÜK} = I_Y (V_K \cos \phi - V_Y \cos \alpha) \quad (3.16)$$



Şekil 3.12: Gerilim tolerans telafi yönteminin fazör diyagramı.

3.6 DVR'nin Kontrol Stratejileri

DVR'de kontrol stratejilerin amacı, sistemde oluşan bir gerilim düşümü veya yükselmesi durumunda hassas bir yükün şebekeye bağlandığı noktada gerilimi

nominal seviyede tutmaktır (Rai ve Nadir, 2008). Kontrol sistemi sürekli olarak yük gerilim seviyesini takip eder. Herhangi bir gerilim değişimi sırasında DVR'yi aktif ederek yük gerilimini korur. DVR'nin çalışma prensibi gereği kontrol stratejisi gerilim telafisi için önemli bir faktördür. Kontrol birimi, gerçek zamanlı olarak çalışan gerilim düşümü algılama algoritmaları ile gerilim düşüşlerinin (düşümün başlangıcı, sonu ve derinliği) tespit edilmesini içerir. DVR'nin önemli bir bileşeni olan evirici kontrol stratejisine göre çalışır ve bu işleyiş DVR'nin performansını doğrudan etkiler (Mohan, 2014). DVR kontrol stratejisi hakkında literatürde çok sayıda çalışma yapılmıştır (Meloni ve diğ. 2016; Hafezi ve diğ. 2014). Stratejiler doğrusal (Linear) ve doğrusal olmayan (Nonlinear) şeklinde iki kontrol türünden oluşmaktadır.

3.6.1 Doğrusal Kontrol

Doğrusal kontrol yaygın bir yöntem olarak kabul edilir. DVR'de kullanılan lineer kontroller arasında ileri besleme kontrolü, geri besleme kontrolü ve kompozit kontrol bulunmaktadır. Bu kontroller arasında ileri besleme kontrolü basit bir yapıya sahiptir. İleri besleme kontrol tekniğinde telafi gerilim, gerilim düşümü sırasında ve öncesindeki gerilimler arasındaki farkı temel alır. Geri besleme kontrol stratejisi, yükün nominal gerilim seviyesi ile yükün anlık gerilim seviyesini kontrol ederek telafi gerilimini sağlar (Kaya, 2018). Kompozit kontrol, ileri besleme ve geri besleme kontrol stratejisinin güçlü yönlerine sahip şebeke gerilimini ileri besleme ve yük gerilimini geri beslemeli bir kontrol stratejisine sahip bir yöntemidir. Böylece gerilimin telafi etkisi artırabilir. Kompozit kontrolde geri besleme kontrolü çift döngü olarak tasarlanırsa sistemin kararlılığı, performans ve dinamik yüke uyarlanabilirliği artırabilir. İleri besleme kontrolü sistemde yer alması sistemin dinamik yanıt oranını artırarak telafi gerilim süresini önemli ölçüde azaltabilir (Nielsen ve Blaabjerg, 2005).

3.6.2 Doğrusal Olmayan Kontrol

Evirici birimindeki güç elektroniği yarı iletken anahtarlama elemanların kullanılması nedeniyle, DVR doğrusal olmayan güç cihazı olarak adlandırılabilir. Sistemin kararsız olması durumunda, tasarlanmış olan DVR modeli yükü kontrol

etmez, bu nedenle tüm doğrusal kontrol yöntemleri yetersiz kalması nedeniyle düzgün çalışmayabilmektedir. Bu amaçla sistemin doğrusal olmayan davranışlarını da içine alan, aşağıda kısa alt başlıklar şeklinde açıklanan kontrol yöntemleri önerilmiştir.

3.6.2.1 Yapay Sinir Ağ ile Kontrol

Doğrusal olmayan kontrol yöntemlerinden biri yapay sinir ağı (Artificial Neural Network (ANN)) kontrolüdür. Bu yöntem kendi kendine organizasyon kapasitesi ile donatılmıştır. ANN, ayrıntı matematiksel modeli olmadan girdi ve çıktıya dayalı doğrusal olmayan ilişkiyi izleyebilir. Normalde ANN kontrolü ileri beslemeli sinir ağları, geribildirim sinir ağları, lokal yaklaşım sinir ağları ve yapıya bağlı bulanık sinir ağları olarak sınıflandırılabilir (Ajaei ve diğ. 2011).

3.6.2.2 Uzay Vektörü PWM Kontrolü

Uzay Vektörü PWM (SV-PWM), üç fazlı evirici sistemleri kontrol etmek için kullanılan alternatif bir yöntemdir. Bu yöntem, hem gerilim büyüklüğü hem de açılma bilgilerini verir. SV-PWM'nin görevi kontrol biriminden gelen faz gerilimi ve referansları çevre birimine uygulanacak modülasyon (PWM) görev döngülerine çevirmektir. Enerji depolama birimi ve eviricinin sağlamış olduğu telafi gerilimi en üst düzeye çıkarmak ve eviricinin yarattığı harmonik içeriğin en aza indirilmesi için kullanılmaktadır (Deniz ve diğ. 2011).

3.6.2.3 Senkron Yapı Teori Kontrolü

Senkron yapı tekniği (SFR), kaynak gerilimin anlık değerlerini referans alan kontrol yöntemidir. Kontrol algoritması, yük gerilimi referans değerinde tutmak için PWM eviricide üç fazlı bir referans gerilimi üretir. Gerilim düşmesi ve yükselmesi durumunda sistem gerilimi ile referans gerilim değeri arasındaki hata ölçülerek tespit edilir. SRF yöntemi, gerilim düşümü, yükselmesi, dengesizliği gibi güç kalitesi problemlerinde gerilimi telafi etmek için kullanılabilir. SFR referans gerilimi ile sistem gerilimi arasındaki farkı, PI kontrolörü aracılığıyla darbe genişlik modülasyonu

(PWM) yardımıyla yükün nominal telafi gerilimi üretmek için eviriciye uygulanır. Telafi gerilimin d bileşeni Denklem 3.17 ile q bileşeni ise Denklem 3.18'le elde edilir. Denklem 3.19 sistemin referans gerilimi hesaplanır. Telafi gerilimin A, B, C, fazların gerilim değeri Denklem 3.20, 3.21 ve 3.22 ile elde edilir.

$$V_d = \frac{2}{3} \left[V_a \sin(\omega t) + V_b \sin\left(\omega t - \frac{2\theta}{3}\right) + V_c \sin\left(\omega t + \frac{2\theta}{3}\right) \right] \quad (3.17)$$

$$V_q = \frac{2}{3} \left[V_a \cos(\omega t) + V_b \cos\left(\omega t - \frac{2\theta}{3}\right) + V_c \cos\left(\omega t + \frac{2\theta}{3}\right) \right] \quad (3.18)$$

$$V_0 = \frac{1}{3} [V_a + V_b + V_c] \quad (3.19)$$

$$V_a = [V_d \sin(\omega t) + V_q \cos(\omega t) + V_0] \quad (3.20)$$

$$V_b = \left[V_d \sin\left(\omega t - \frac{2\theta}{3}\right) + V_q \cos\left(\omega t - \frac{2\theta}{3}\right) + V_0 \right] \quad (3.21)$$

$$V_c = \left[V_d \sin\left(\omega t + \frac{2\theta}{3}\right) + V_q \cos\left(\omega t + \frac{2\theta}{3}\right) + V_0 \right] \quad (3.22)$$

Burada; w dönüş hızı (rad/s), V_a A fazı kaynak gerilimi, V_b B fazı kaynak gerilimi, V_c C fazı kaynak gerilimi, V_0 referans gerilim, V_d telafi gerilimin d bileşeni, V_q telafi gerilimin q bileşeni olarak tanımlanır (Sanchez ve diğ. 2009).

3.6.2.4 Bulanık Mantık Denetleyici Kontrolü

PI denetleyicisi, DVR de en sık kullanılan denetleyicilerdendir. Ancak PI denetleyicinin dezavantajı, detaylı ve birden fazla çalışma durumunda iyi bir verim alınamamasıdır. Bu nedenle bulanık denetleyicili bir kontrol önerilmektedir. Bu kontrol yönteminde, her faz için PLL, şebeke geriliminin fazör fazını takip eder. Her faz için frekans gerilim büyüklüğünde bir referans sinyali üretilir. Her faz için şebeke ve yükün nominal gerilimi per-unit cinsine dönüştürülerek bu değişkenlerin farkından yararlanarak referans sinyal PLL tarafından üretilir. Bulanık mantık denetleyicinin çıkışı, evirici için anahtarlama darbeleri üretmek üzere PWM ile bağlıdır. Bu yöntem kullanılarak DVR'nin performansı üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Jurado, 2003). DVR kontrol sisteminde PLL yapısının kullanılması sistemden istenen yanıtın diğer

kontrol yöntemlerinden farklıdır. Bunun nedeni gerilim düşümü öncesindeki şebeke geriliminin fazı baz alınır ancak PLL gerilim düşümü sırasında fazdaki değişikliklere hızla tepki verirse, gerilim düşümü sonrasındaki faz bilgisi de kullanılabilir. Bu nedenle bu yöntem faz atlamalarını telafi edemez. Geleneksel olarak, gerilim düşümünün tespit edildiğinde, referans değerlerin doğru bir şekilde izlenmesi durumunda yük gerilim fazının etkilenmeyeceğinden emin olmak için gerilim referansının hedef fazı gerilim düşümü öncesindeki faza sabitlenir. PLL'nin zaman sabitinin doğru seçilmesiyle hassas yükün gerçek dalga formunu elde edilir. Belirlenen dalga formu ile gerilimin aynı faz ve büyüklüğe göre gerilim tefası yapılır. Böylelikle gerilim düşümü öncesindeki nominal gerilim değerleri elde edilmiş olur (Ashari, 2007).

3.7 Güç Sistemlerinde Kullanılan Özel Güç Cihazları

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle endüstri ve sanayide dijital cihazların, bilgisayarların, motor sürücülerinin kullanımındaki büyümesine bağlı bazı sorunların ortaya çıkması ile güç kalitesi hakkında daha fazla farkındalık yaratılmıştır. Gerilim düşmeleri ve bu problem ile ilişkili faz açısı atlamaları, hassas yüklerin arızalanmasına veya üretimin durmasına neden olabilir. Bu durumu yaşayan endüstriyel tesis tekrar üretime geçmesi için uzun bir zaman aralığına ihtiyaç duyulduğundan, bu etkilerden kurtulmak ve önlemek için düşük maliyetli güç kalitesi problemlerini azaltma yolunu aramışlardır. Bu arayış güç elektroniği tabanlı özel güç cihazların geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır (Hingorani, 1995). Bu amaç için geliştirilmiş bazı özel güç cihazları;

- Aktif Güç Filtreleri (APF),
- Depolanabilir Enerji Sistemleri (BESS),
- Dağıtılmış Statik Senkron Kompanzator (DSTATCOM),
- Seri Dağıtım Kondansatörleri (DSC),
- Dinamik Voltaj Regülatörü (DVR),
- Süper İletken Manyetik Enerji Sistemleri (SEMES),
- Statik Elektronik Kademe Değiştiriciler (SETC),
- Katı Hal Transfer Anahtarları (SSTS),
- Katı hal Hata Akım Sınırlayıcıları (SSSFCL),

- Statik VAR Kompansatörleri (SVC),
- Tristör Anahtarlama Kondansatörler (TSC),
- Kesintisiz Güç Kaynakları(UPS)

olarak sıralanabilir.

Geleneksel yaklaşım, dağıtım sistemlerinin yük tarafında yaşanan güç kalitesi sorunların çözümü için güç cihazları eklemektir. Bu cihazlara örnek olarak, kritik yüklere kapasite sağlayarak çalışan kesintisiz güç kaynakları (UPS), manyetik sentezleyiciler ve süper iletken depolama cihazları (SSD) verilebilir. Bunlar arasında UPS, DVR ve Aktif Güç Filtreleri (APF), voltaj düşmelerini ve yükselmelerini telafi etmek için en yaygın özel güç cihazlardır (Shah, 2017). UPS her yerde bulunurken buna karşın DVR ve APF oldukça verimli ve uygun maliyetli olmalarına rağmen hala geliştirme aşamasında olmaları nedeniyle daha az popülerdir. Güç elektroniği endüstrisinde hızla devam eden gelişme nedeniyle, DVR ve APF gibi düşük maliyetli güç cihazları yakın gelecekte endüstriler arasında çok popüler hale gelecektir (Dargahi ve diğ. 2016). Özel güç cihazların güç sisteminde yer alan güç kalite problemlerine karşı olan çözüm olanakları karşılaştırılmalı olarak Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Güç sisteminde oluşan problemlerin en az kayıpla ve kısa sürede düzeltilmesi kullanıcılar tarafından beklenen bir durumdur. Bu beklentileri karşılamak için kullanılan özel güç cihazların verimi, maliyeti ve sağlaması gereken çözüm önem arz etmektedir. DVR’nin diğer özel güç cihazlarına göre üstünlükleri; maliyeti, performansı, boyutu ve modern bir dinamik güç cihazı olmasıdır (Joshi ve diğ. 2015), Tipik özel güç cihazları ile DVR’nin karşılaştırıldığında; SVC’nin aktif üç akış kontrolü olmaması, UPS sisteminin maliyetli olması ve bakım gerektirmesi, DSTATCOM boyutunun büyük ve maliyetinin yüksek olması DVR’yi ön plana çıkarmaktadır (Tien ve diğ. 2018).

Tablo 3.1: Özel güç cihazların karşılaştırılması.

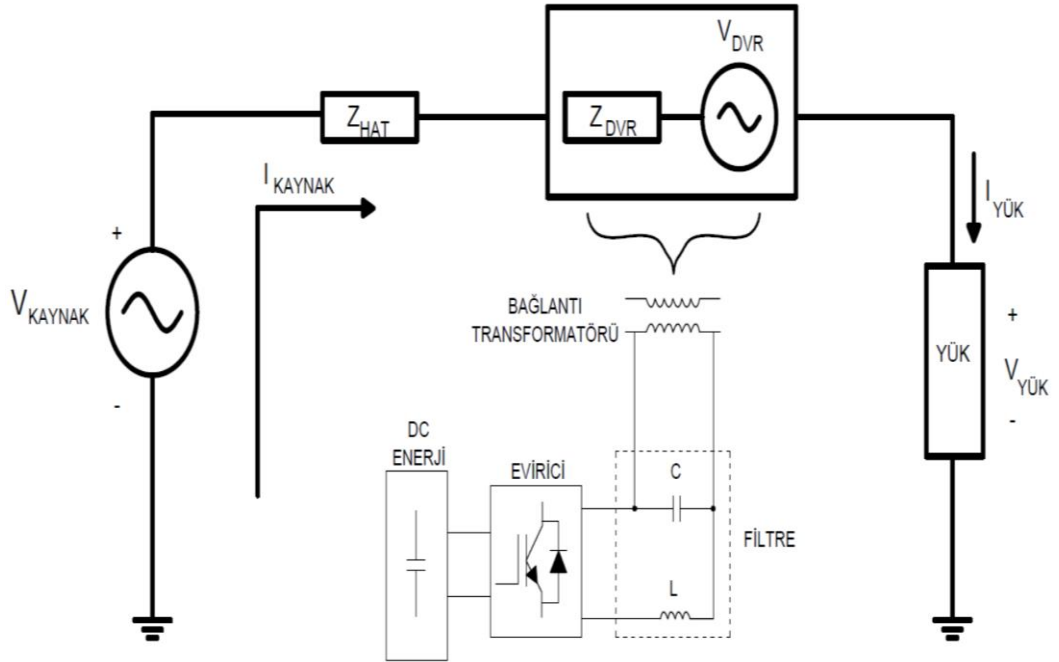
| Güç Cihazları | Gerilim Düşümü | Kesinti | Gerilim Yükselmesi | Geçici Olay | Düşük Gerilim | Yüksek Gerilim | Harmonik | Çentik | Gerilim Dengesizliği |
|---------------|----------------|---------|--------------------|-------------|---------------|----------------|----------|--------|----------------------|
| DVR | ✓ | | ✓ | ✓ | | | ✓ | | ✓ |
| UPS | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | | | |
| DSTATCOM | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ |
| APF | | | | ✓ | | | ✓ | ✓ | |
| SVC | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | | | ✓ |
| SMES | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ |
| SA | | | | ✓ | | | | | |
| BESS | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | ✓ |
| DSC | | | | | | ✓ | | | |
| PFCC | | | | | ✓ | ✓ | | | |
| SETC | ✓ | | ✓ | | ✓ | ✓ | | | ✓ |
| SSCB | | ✓ | | | | | | | |
| TSC | | | | ✓ | | ✓ | | | |

4. DVR'NİN TASARIM VE MODELLENMESİ

4.1 DVR'nin Prensip Modeli

Günümüzde birçok dinamik sistem uygulamaların modellenmesinde bilgisayar yazılım programları kullanılmaktadır. Mühendislik ve matematik alanlarında yaygın olarak kullanılan bu programlar sistemin dinamik olarak benzetiminin yapılmasına, analizin gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktadır (Boonchiam ve Mithulanathan, 2006; Szabo ve diğ. 2014). Bu yazılım uygulamalarından bir tanesi olan, MATLAB/Simulink güç sistemlerin analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tezde DVR'nin tasarım ve modellenmesi MATLAB/Simulink yazılım programı kullanılarak yapılmıştır.

Güç sistemindeki istenmeyen gerilim değişimlerinin düzenlenmesi için önerilen DVR'nin tek hat devresi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bu tek şemasında gösterilen ifadelerden; V_K kaynak gerilimini, V_{DVR} telafi gerilimini, V_Y yük gerilimini, I_K kaynak akımı, I_Y yük akımını, I_{DVR} telafi akımı, Z_H hat empedansı ve Z_{DVR} regülatör empedansı göstermektedir.



Şekil 4.1: DVR'nin tek hat devre şeması.

DVR'nin yük akımı Denklem 4.1'de gösterildiği gibi;

$$I_Y = \frac{P_Y + jQ_Y}{V_Y} \quad (4.1)$$

tanımlanmıştır. Burada, P_Y yükün aktif gücünü, Q_Y yükün reaktif gücünü ve V_Y yükün gerilimini ifade eder. Aynı zamanda telafi gerilimi Denklem 4.2 yardımıyla hesaplanır.

$$V_{DVR} = V_Y \angle 0 + Z_H I_Y \angle (\beta - \theta) + V_K \angle \delta \quad (4.2)$$

Burada, α DVR'nin açısını, β hat empedansın açısını, δ kaynak gerilimin açısı ve θ güç açısını ifade eder. Güç açısı Denklem 4.3 ile tanımlıdır.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Q_Y}{P_Y} \quad (4.3)$$

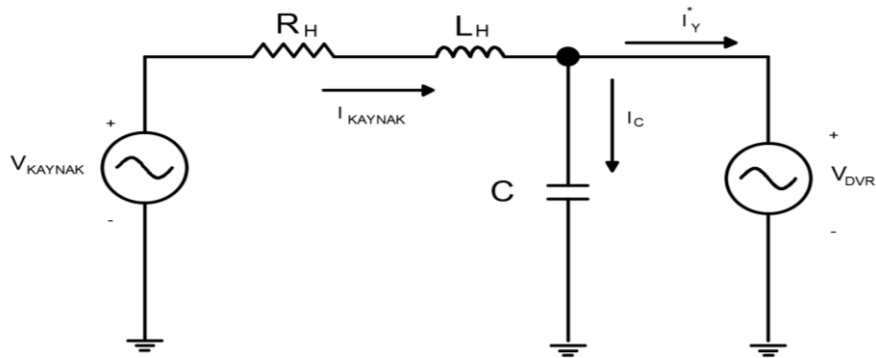
DVR'nin görünür gücü ise Denklem 4.4'de ifade edildiği;

$$S_{DVR} = V_{DVR} I_Y^* \quad (4.4)$$

şeklindedir. Burada I_Y^* yeni yük akımını göstermektedir.

4.2 Matematiksel Model

DVR'nin matematiksel olarak modellenmesinde eşdeğer devre şemasından yararlanır. Şekil 4.2'de DVR'ye ait eşdeğer devre modeli gösterilmiştir. Bu bağlantı modelinde transformatörünün dönüştürme oranı 1:1 olarak seçilmiş ve ideal olduğu varsayılmıştır (Tien ve diğ. 2018).



Şekil 4.2: DVR'nin eşdeğer devre şeması.

Devre şemasında kapasite akımı I_C , yeni yük akımı I_Y^* ve hat empedansları $R_H -L_H$ olarak tanımlanmıştır. Eşdeğer devreye Kirchoff kanunları uygulanır ise;

$$i_{LH}x(t) = i_Cx(t) + i_Y^*x(t) = C \frac{d}{dt} v_{DVR}x(t) + i_Y^*x(t) \quad (4.5)$$

$$v_{DVR}x(t) - v_{DVR}x(t) - R_Hx(t) - \frac{d}{dt} i_Kx(t) = 0 \quad (4.6)$$

sırasıyla Denklem 4.5 ve Denklem 4.6'deki gibi devrenin akım ve gerilim eşitlikleri elde edilir. Bu ifadelere α - β koordinat sisteminde Clarke dönüşümü yapılırsa,

$$\frac{d}{dt} i_K^{(\alpha\beta)}(t) = \frac{1}{L} v_{DVR}^{(\alpha\beta)}(t) - \frac{1}{L} v_{DVR}^{(\alpha\beta)}(t) - \frac{1}{L} R_H(t) i_K^{(\alpha\beta)}(t) \quad (4.7)$$

$$\frac{d}{dt} v_{DVR}^{(\alpha\beta)}(t) = \frac{1}{C} i_K^{(\alpha\beta)}(t) - \frac{1}{C} i_{DVR}^{*(\alpha\beta)}(t) \quad (4.8)$$

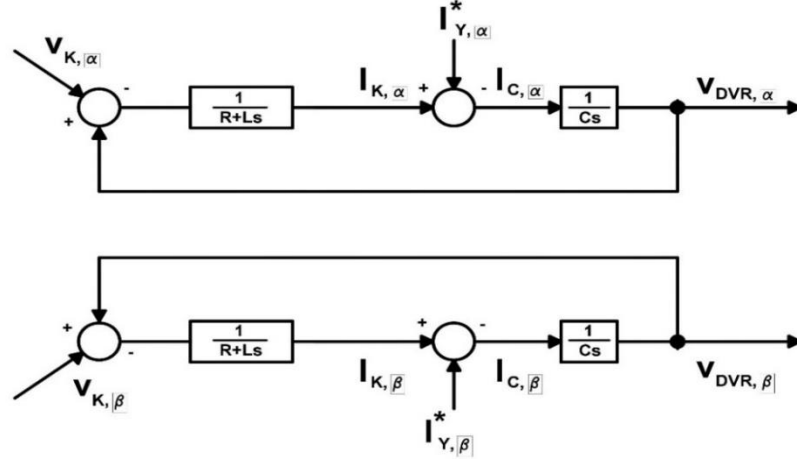
Denklem (4.7)-(4.8) elde edilir. Buradan Denklem 4.9-4.11'de görüldüğü gibi sistemin durum uzay modeline geçilirse;

$$\frac{d}{dt} x(t) = Ax(t) + Bu(t) + Dd(t) \quad (4.9)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (4.10)$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{-R}{L} & \frac{-1}{L} \\ \frac{1}{C} & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix}, C = [0 \quad 1], D = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{-1}{C} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

eşitlikleri elde bulunur. Sistemin durum uzay modeline ait blok diyagramı gösterimi Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3: α - β koordinat sistemine ait durum uzay blok diyagram.

Elde edilen sisteme PLL tekniği uygulayabilmek için α - β koordinat sisteminden d - q sistemine geçmek gerekir. Bu koordinat sistemine ait akım ve gerilim eşitlikleri sırasıyla Denklem 4.12 ve Denklem 4.13'te verilmiştir.

$$\frac{d}{dt} i_K^{(dq)}(t) = \frac{1}{L} v_K^{(dq)}(t) - \frac{1}{L} v_{DVR}^{(dq)}(t) - \frac{1}{L} R_H(t) i_K^{(dq)} - j\omega L i_K^{(dq)}(t) \quad (4.12)$$

$$\frac{d}{dt} v_{DVR}^{(dq)}(t) = \frac{1}{C} i_K^{(dq)}(t) - \frac{1}{C} i_{DVR}^{*(dq)}(t) - j\omega v_{DVR}^{(dq)}(t) \quad (4.13)$$

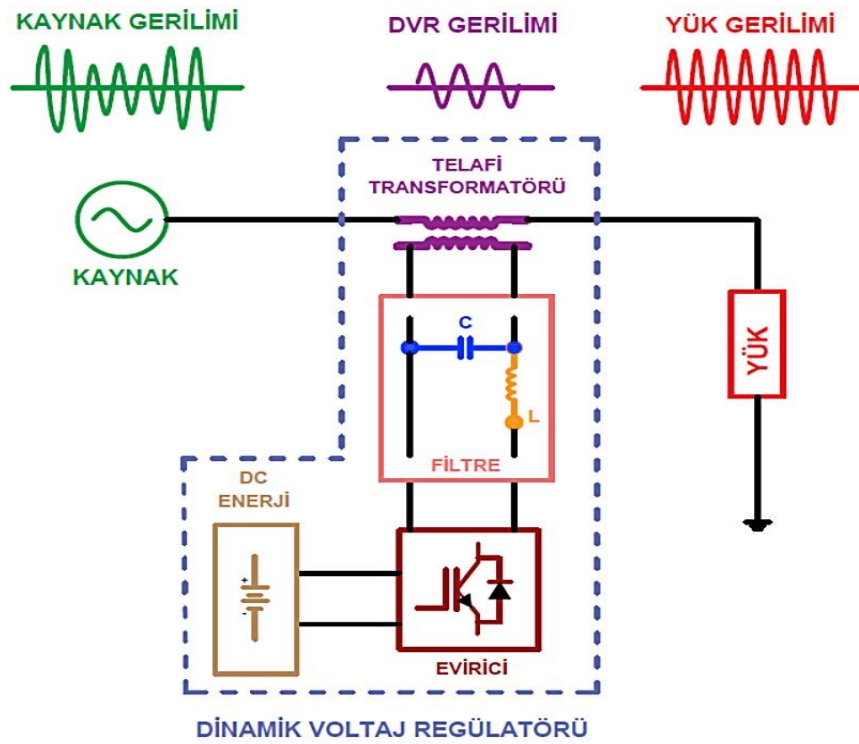
Buradan sistemim durum uzay gösterimi Denklem 4.14'den gösterildiği gibi;

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_K^{(d)} \\ i_K^{(q)} \\ v_{DVR}^{(d)} \\ v_{DVR}^{(q)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-R}{L} & W & \frac{-1}{L} & 0 \\ -W & \frac{-R}{L} & 0 & \frac{-1}{L} \\ \frac{1}{C} & 0 & 0 & W \\ 0 & \frac{1}{C} & -W & \frac{-1}{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_K^{(d)} \\ i_K^{(q)} \\ v_{DVR}^{(d)} \\ v_{DVR}^{(q)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_K^{(d)} \\ v_K^{(q)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{-1}{C} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{DVR}^{*(d)} \\ i_{DVR}^{*(q)} \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

tanımlanır (Taiwo ve diğ. 2017).

4.3 DVR'nin Benzetim Modeli

DVR'nin benzetim modeli MATLAB/Simulink ortamında oluşturulmuştur. Burada DVR güç sistemi modeli ile birlikte bütünleşik olarak değerlendirilmesi gerekir. Simülasyon programında doğru bir tasarım ve modellemede için güç sisteminin bir kısmı olan elektrik dağıtım şebekesi ve unsurları da yer almalıdır. Dinamik bir analiz yapılabilmesi, DVR'nin ana bileşenleri modellenerek sistem modeli oluşturulması gerekir. Bunun için DVR'nin temel yapısından yararlanarak MATLAB/Simulink programında sırasıyla; gerilim kaynaklı evirici, telafi transformatörü, filtre devresi ve kontrol sistem bloğu tasarım ve modellemesi yapılmıştır. Sistemin blok diyagramı Şekil 4.4'de verilmiştir.

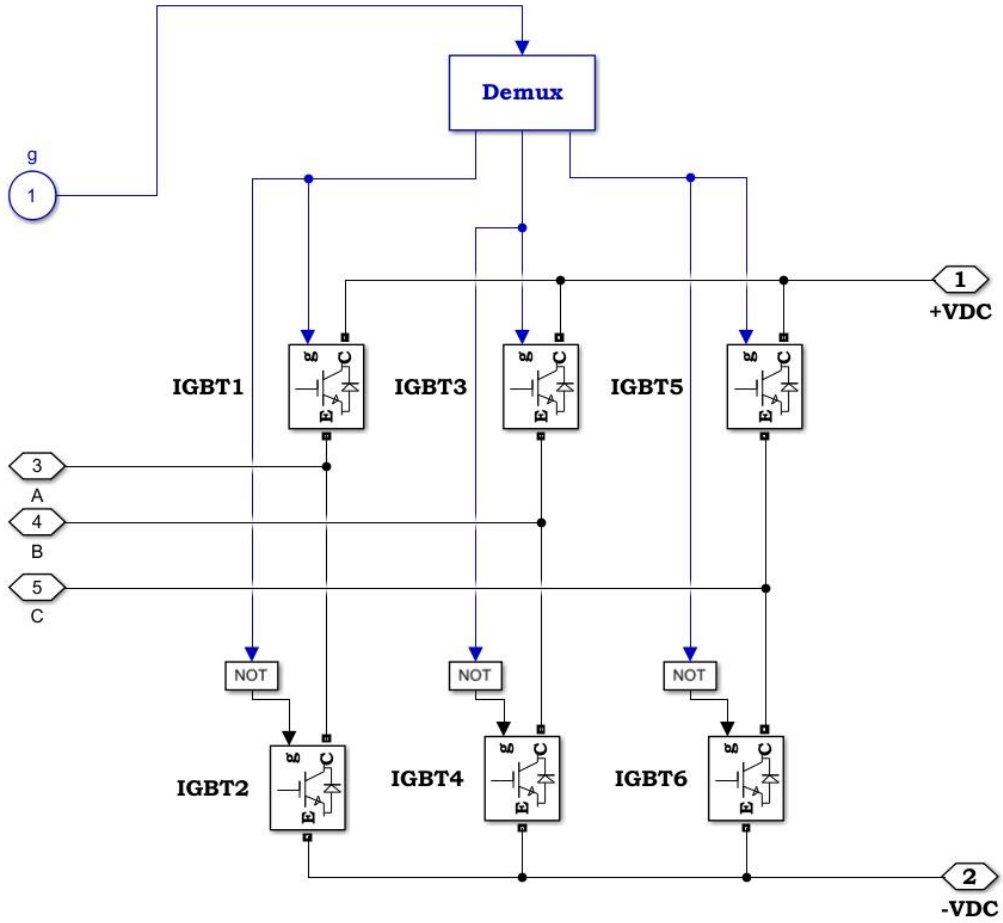


Şekil 4.4: DVR'nin temel blok şeması.

4.3.1 Evirici Modeli

Simülasyon programında evirici gerilim kaynaklı bir model olup anahtarlama sinyallerinin kontrolünde PWM tekniği kullanılmıştır. PWM eviricinin çıkış gerilimi, frekansı ve açısını istenilen seviyede tutmaya yarayan kontrolü sağlar. Evirici içerisindeki anahtarlama elemanı olarak kolay kontrol ve güç aralığının yüksek olması sebebiyle IGBT kullanılmıştır. Gerilimin genliği IGBT'lerin anahtarlama

frekansların kontrolüyle gerçekleştirilir. Dolayısıyla bu anahtarlama elamanının çalışma frekansı ile sınırlıdır. Everici enerji depolama biriminden sağladığı DC gerilimi, AC gerilime çevirerek telafi gerilimini oluşturur. Sistem çalışmadan önce kullanılacak olan DC gerilim depolama birimine aktarılır. Benzetim ortamında hazırlanan evirici modelinin blok şeması Şekil 4.5’de gösterilmektedir.

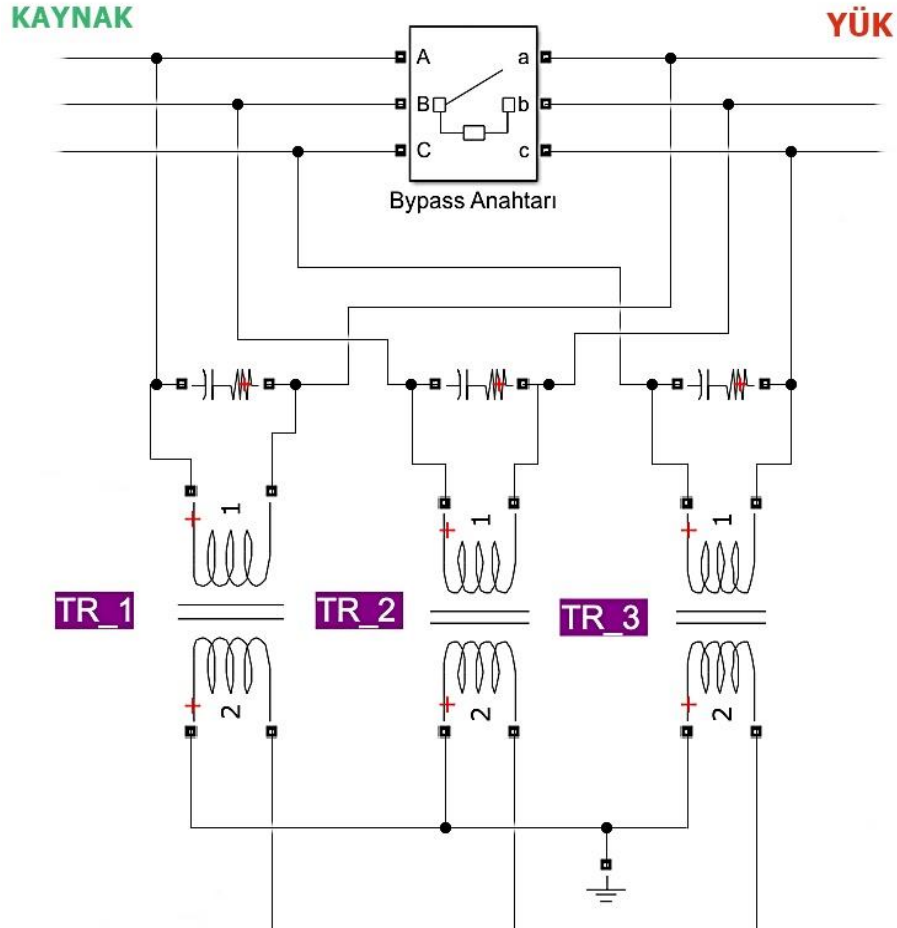


Şekil 4.5: Evirici birimin Simulink blok şeması.

4.3.2 Telafi Transformatörün Modeli

DVR dağıtım şebekesine, transformatör yardımıyla seri olarak bağlanır. Evirici biriminden elde edilen gerilim transformatör ile şebeke veya nominal yük gerilim seviyesine ulaşır. Telafi transformatörün özellikleri yükün kapasitesine, gerilim telafi seviyesine ve enerji depolama biriminin kapasitesine göre değişiklik gösterir. Transformatörün dönüştürme oranı maksimum telafi gerilimi ve DC enerjinin kapasitesine göre belirlenir. Simülasyon programında üç adet bir fazlı güç

transformatörü kullanılmıştır. DVR telafi durumunda iken sistemde yer alan transformatörler ayrı ayrı çalışmaktadır. Fazlar bir birimden bağımsızdır. Böylelikle dengesiz gerilim düşümü hata durumlarında telafi eder. Şekil 4.6'da DVR'de kullanılan telafi transformatörü modeli verilmiştir.

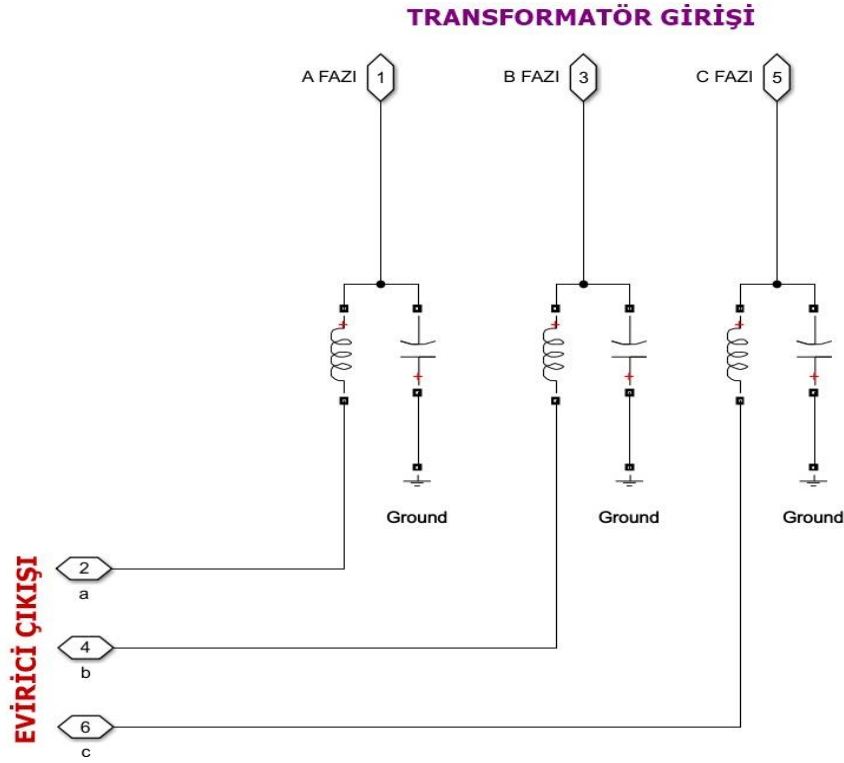


Şekil 4.6: Telafi transformatörü modeli.

4.3.3 Filtre Modeli

Filtre donanımının yerleştirme yeri, DVR'nin çalışma yapısı ve tasarımına göre iki şekilde olmaktadır. Filtre birimini tasarıma bağlı olarak evirici çıkışına veya telafi transformatörün yüksek gerilim (primer) kısmına yerleştirilmektedir. Bu çalışmada, filtrenin yerleştirme yeri evirici çıkışında olacak şekilde tasarlanmıştır. Bunun sebebi evirici çıkışında oluşan harmonik bozulmaların transformatör ile yüksek derecelere ulaşmasını engellemekte daha etkili olmasıdır. Eviricinin, enerji depolama

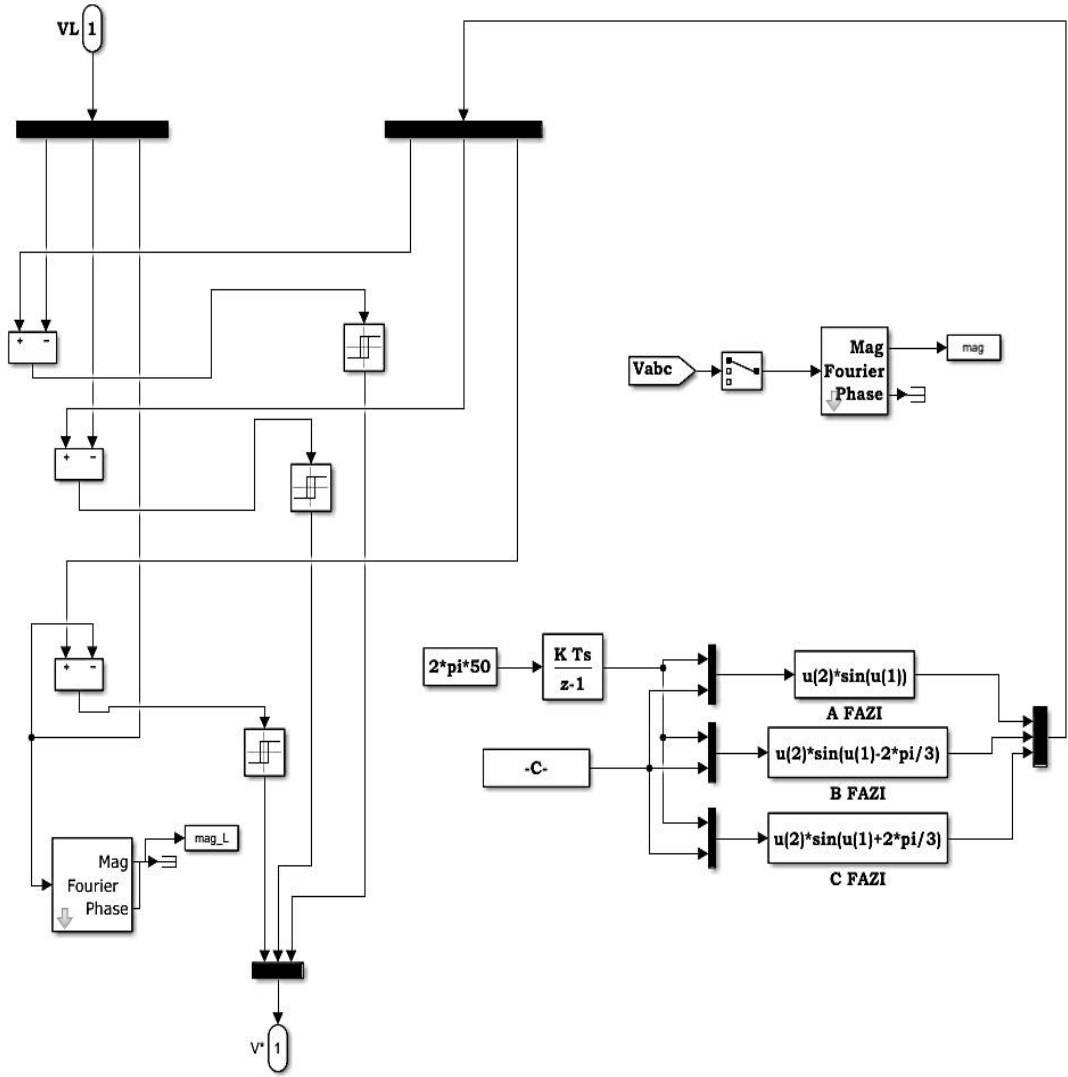
biriminden ki DC enerjiden dönüştürülen AC gerilimin sinüs şeklinde olması için bant geçiren pasif filtre kullanılmaktadır. Bu filtre yapısında kaybın az olması nedeniyle LC filtre tercih edilmiştir. Şekil 4.7’de tasarlanan filtre modeli verilmiştir.



Şekil 4.7: Filtre tasarım ve modeli.

4.3.4 Kontrol Bloğu

Kontrol bloğu, DVR'nin optimum olarak çalışmasını etkileyen, PWM anahtarlama sinyallerinin düzenlenmesini yerine getiren önemli bir birimdir. Gerilim düşümünün algılanması, eviricinin kontrolü, telafi gerilim seviyesi ve yükün sürekli olarak izlenmesi gibi etkin görevleri vardır. Şekil 4.8’de tasarlanan kontrol bloğu şeması gösterilmektedir. Kontrol bloğu aynı zamanda gerilim açısının kontrolünü de gerçekleştirir. Kaynak gerilimi ile yük gerilimim açısını ölçümlendirerek herhangi bir açı farkı durumunda bir sinyali oluşturur. Bu sinyal PI kontrolörü tarafından işlenir. Açı farkını ortadan kaldırmak için gerekli olan modülasyon açısını (δ) üretir. Böylelikle yük tarafında ki gerilimin uygun bir şekilde telafisi sağlanır.

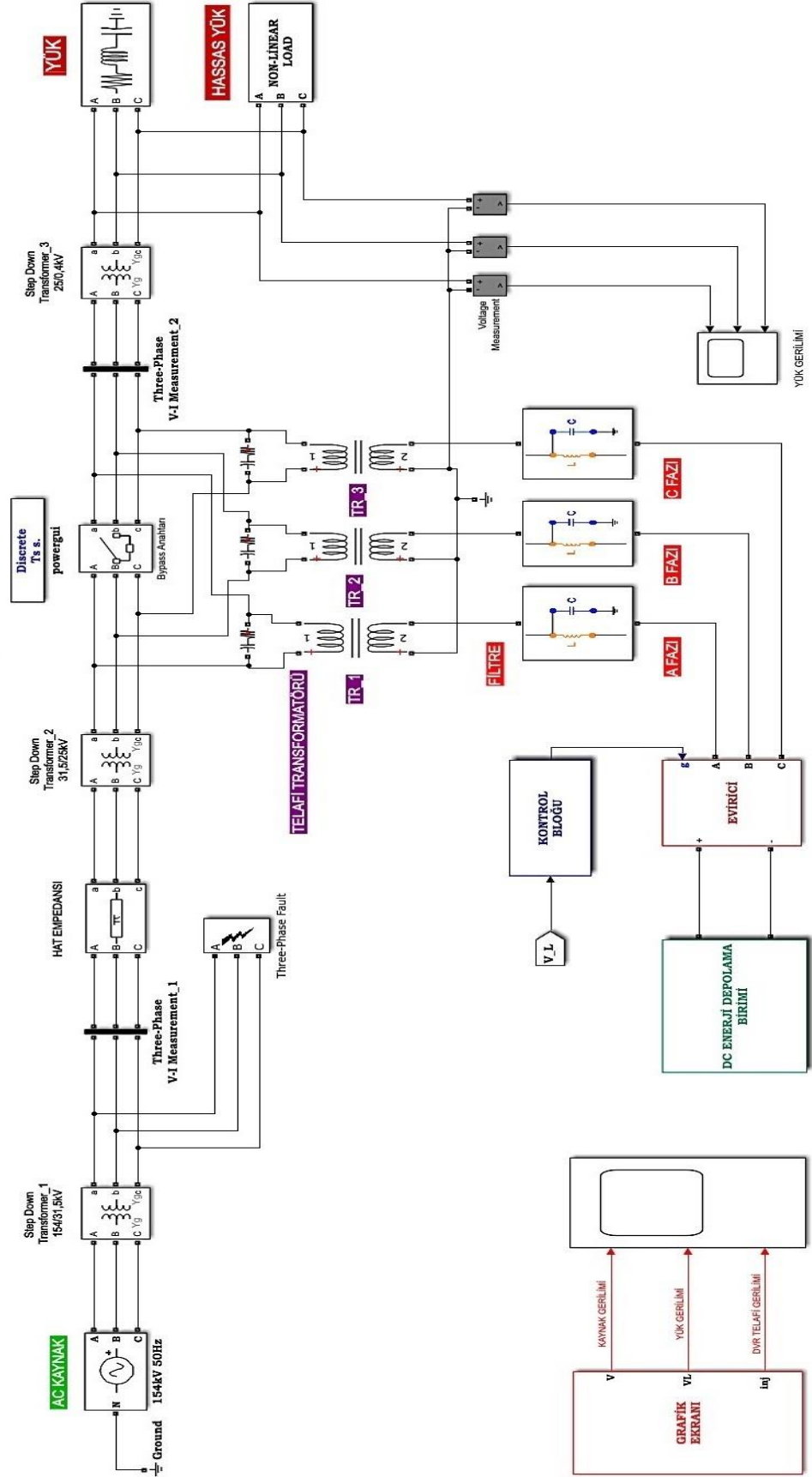


Şekil 4.8: Kontrol birimi tasarım bloğu.

4.3.5 DVR'nin Tümüleşik Sistem Modeli

MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan DVR'ye ait tümleşik model Şekil 4.9'da verilmiştir. Bu model yardımıyla güç sisteminde gerçekleşen gerilim değişimlerine ait güç kalitesi problemlerine ilişkin benzetimler yapılabilmektedir. Tasarlanan sistemde; AC gerilim kaynağı, dağıtım hattı parametreleri, hata generatörü, DVR, step down transformatörler ve yükler yer almaktadır. Bu model yüksek gerilim ve alçak gerilim şebekelerinde kullanılabilecek şekilde tasarlanmış ve modellenmiştir. Benzetim modeli oluşturulan sistemin tasarım parametreleri, gerçek bir güç sistemi parametreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylelikle güç sisteminde gözlemlenen gerçek gerilim problemleri olaylarının analizi sağlanabilmektedir.

DİNAMİK VOLTAJ REGÜLATÖRÜ



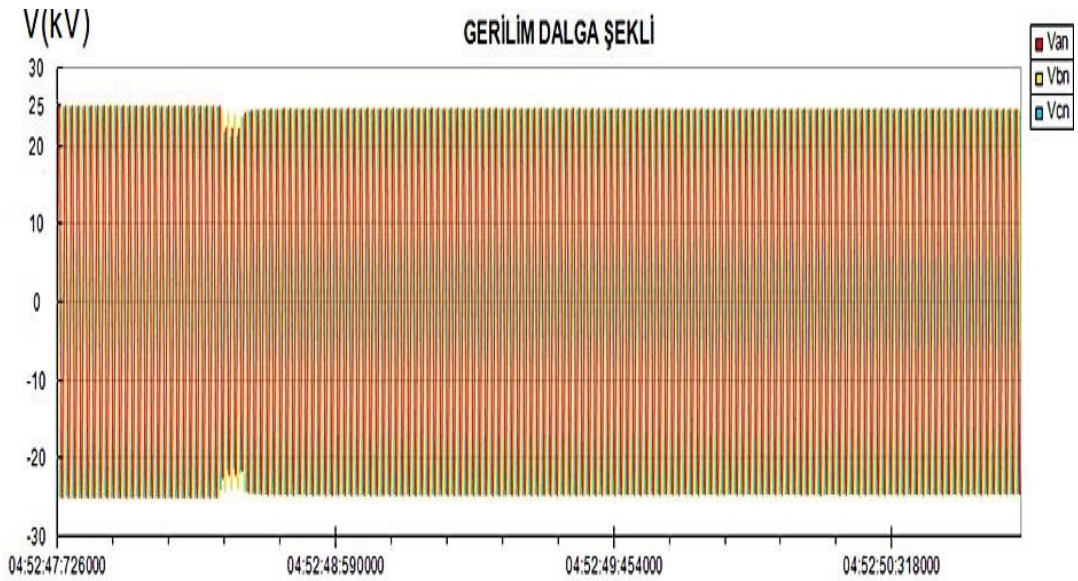
Şekil 4.9: Tümüleşik DVR benzetimi model ve tasarımı.

5. BENZETİM SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, güç sisteminde meydana gerilim değişimlerinin (gerilim düşümü ve yükselmesi) giderilmesi için tasarlanan DVR modelinin benzetim uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Gerilim olayların, enerji iletim sisteminin hem yüksek gerilim tarafı hem de dağıtım şebekesi alçak gerilim tarafında oluşması durumu ayrı ayrı incelenmiştir. Gerçek bir güç sisteminde yaşanmış gerilim düşümü ve yükselme arıza olayları ele alınmıştır. Gerilim değişimlerinin düzeltilmesine yönelik tasarlanan DVR'nin performansı değerlendirilmiştir. Tüm benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

5.1 Yüksek Gerilim Kısımında Oluşan Gerilim Olayı

Güç sisteminin, 154kV'lık enerji iletim hattında meydana gelen faz-toprak kısa devre hatası, mesafe koruma rölesi tarafından tespit edilmiş ve sistem koruma altına alınmıştır. Ancak bir hata, dağıtım şebekesine yansırarak dengesiz bir gerilim düşümüne neden olmuştur. Dağıtım şebekesine yansıyan hatanın neden olduğu gerilim düşümü Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Yaşanan gerilim düşümünün asimetrik bir hatadan kaynaklandığı ve dengesiz bir gerilim düşümü olduğu görülmektedir.

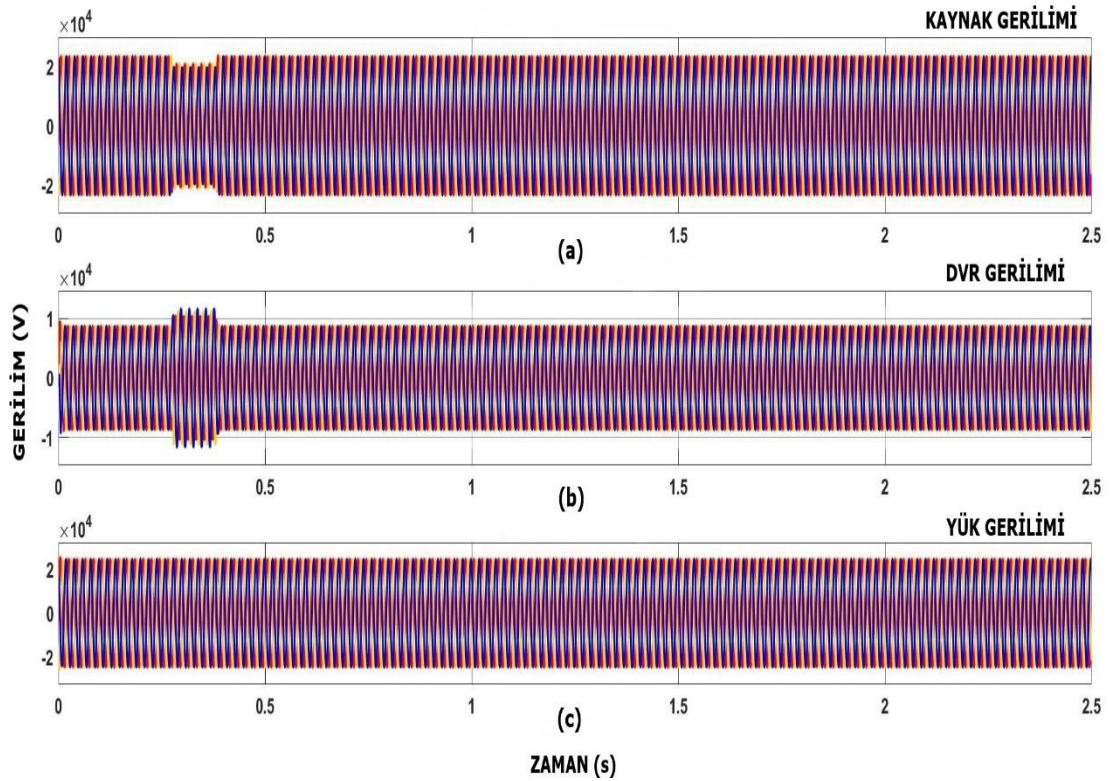


Şekil 5.1: Dağıtım şebekesinde gerçekleşen gerilim düşümü.

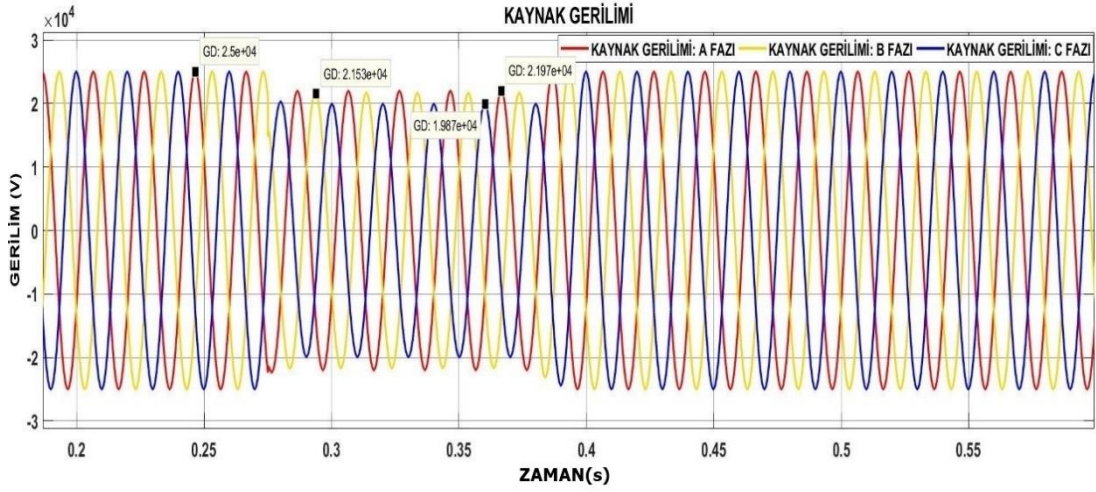
Tablo 5.1: Dağıtım şebekesindeki gerilim düşümü hatasına ait gerçekleştirilen benzetimin sistem parametreleri.

| Sistem Birimleri | | Birim Değeri | | | | | |
|--|----------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| AC Gerilim Kaynağı | | | | | | | |
| Gerilim | | 154kV (Faz-Faz, RMS, Faz Açısı=0°) | | | | | |
| Frekans | | 50Hz | | | | | |
| Dağıtım Hattı | | | | | | | |
| Hat Empedansı | | 0.01273+ j0.3864 | | | | | |
| İndirici Transformatörler (Step Down) | | | | | | | |
| No | Güç (MVA) | Primer Gerilimi (kV) | Sekonder Gerilimi (kV) | Primer Direnci ve Endüktansı | Sekonder Direnci ve Endüktansı | Mıknatıslanma Direnci ve Reaktans | Bağlantı Grubu |
| 1 | 120 | 154 | 31,5 | 0.042-0.094pu | 0.037-0.068pu | 625-625Ω | Δ-Δ |
| 2 | 120 | 31,5 | 25 | 0.027-0.086pu | 0.025-0.034pu | 576-577Ω | Δ-Δ |
| 3 | 2 | 25 | 0,4 | 0.012-0.029pu | 0.002-0.008pu | 500-500Ω | Δ-Y |
| DVR Parametreleri | | | | | | | |
| Telafi Transformatörü | | | | | | | |
| Güç (MVA) | Primer Gerilimi (kV) | Sekonder Gerilimi (kV) | Primer Direnci ve Endüktansı | Sekonder Direnci ve Endüktansı | Mıknatıslanma Direnci ve Reaktans | Bağlantı Grubu | |
| 1,1 | 11 | 0,5 | 0.021-0.043pu | 0.003-0.012pu | 544-545Ω | Δ-Δ | |
| Evirici | | | | | | | |
| Anahtarlama Elemanı ve Frekansı | | IGBT - 2kHz | | | | | |
| DC Gerilim | | 1600 V | | | | | |
| Telafi Gerilimi ve Kapasitesi | | 11 kV - % 60 | | | | | |
| Filtre | | | | | | | |
| Kondansatör | | 440 μF | | | | | |
| Bobin | | 0,1mH | | | | | |
| Rezonans | | 750 Hz | | | | | |
| Yük | | | | | | | |
| No | Tanımı | Güç ve Karakteristik | | | | | |
| 1 | Dengesiz | 1,6 MW | | | | | |
| 2 | Hassas | 0.001+j0.015 | | | | | |

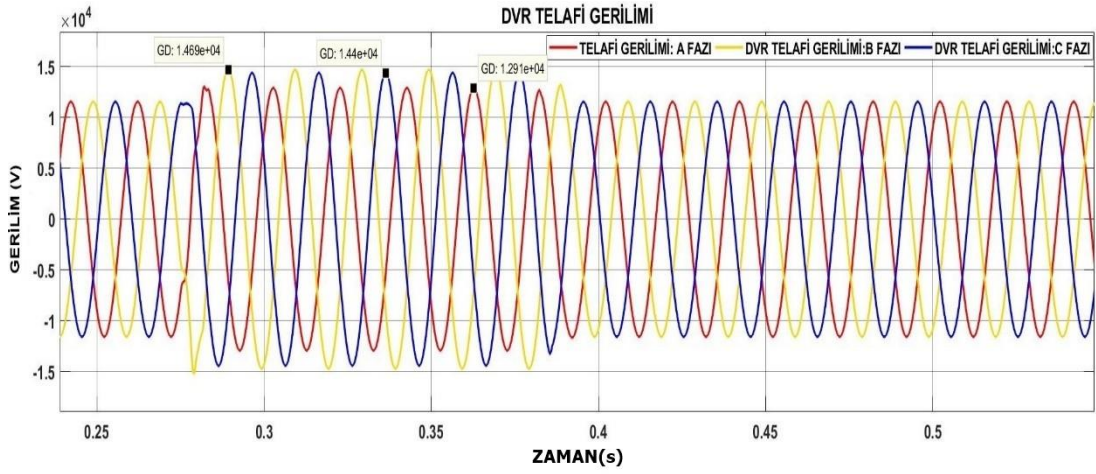
Dağıtım şebekesinin nominal gerilim seviyesi 25kV'tur. Hata sonucu meydana gelen gerilim düşümünün süresi yaklaşık 107ms olduğu görülmüştür. Hataya ilişkin benzetim çalışmaları MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Dağıtım şebekesindeki gerilim düşümü hatasına için gerçekleştirilen benzetime ait tüm sistem parametreleri Tablo 5.1'de verilmiştir. Benzetimi gerçekleştirilen duruma ait kaynak gerilimi, buna karşı oluşturulan DVR gerilimi ve sonuç olarak yük üzerinde düzenlenmiş geriliminin sonuçları Şekil 5.2'te gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında sistem üzerinde hata sonucu meydana gelen asimetrik gerilim düşümü önerilen DVR ile başarılı bir şekilde telafi edildiği görülmektedir. Ayrıca benzetime ilişkin elde edilen sonuçların daha açık bir şekilde gösterilmesi maksatıyla grafikler zaman ekseninde daha dar bir aralıkta yeniden çizdirilmiştir. İlişkin sonuçlar kaynak gerilimi için Şekil 5.3'te, DVR telafi gerilimi Şekil 5.4'te ve yük gerilimi Şekil 5.5'te verilmiştir.



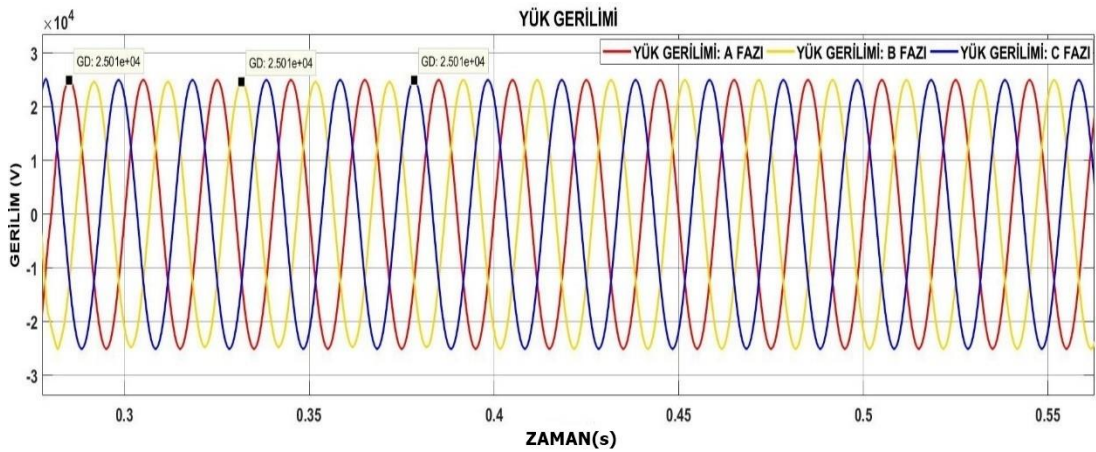
Şekil 5.2: Dağıtım şebekesinde oluşan hatanın düzeltilmesine yönelik yapılan gerilim benzetim sonuçları a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilimi c) yük gerilimi.



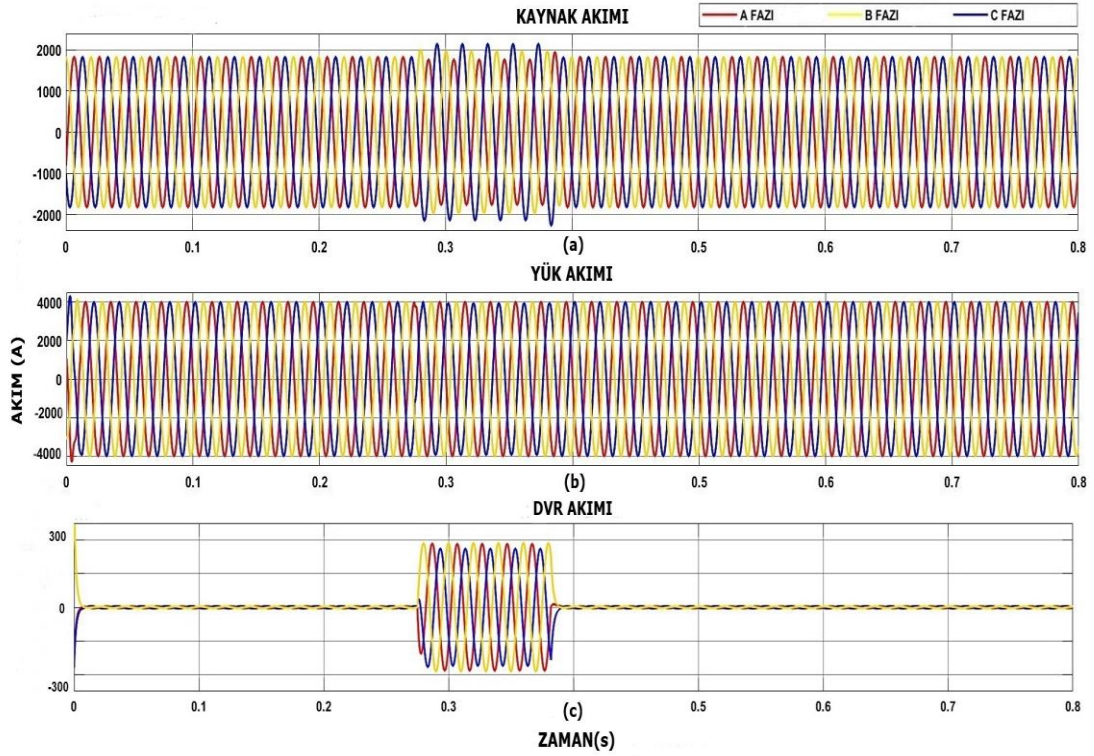
Şekil 5.3: Kaynak gerilimi.



Şekil 5.4: Telafi gerilimi.



Şekil 5.5: Yük gerilimi.



Şekil 5.6: Dağıtım şebekesinde oluşan hatanın düzeltilmesine yönelik yapılan akım benzetim sonuçları a) kaynak akımı b) yük akımı c) DVR akımı.

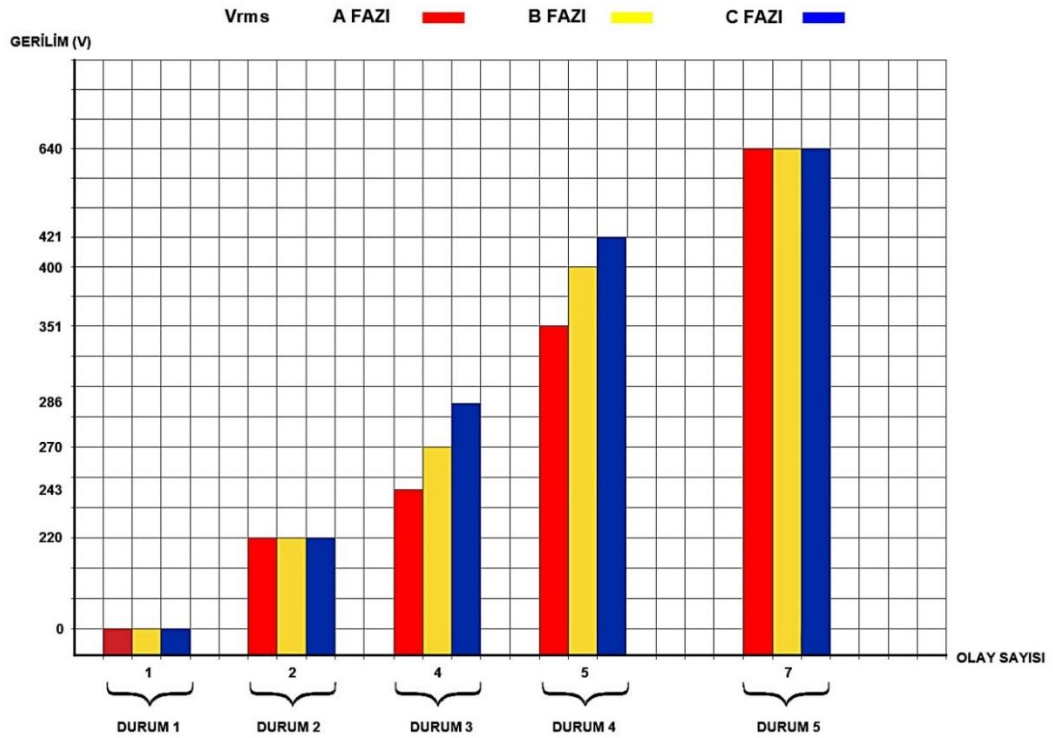
Şekil 5.2 incelendiğinde sistem başlangıcında DVR bekleme durumundadır. Gerilim düşümü başladığı anda gerilim düşümü algılanarak DVR aktif çalışma durumuna geçmiştir. Gerekli telafi gerilimi kaynak gerilimine ekleyerek yüke aktarmıştır. Oluşan gerilim düşümü tüm fazlarda eşit değildir. Sistemde DVR her faz için ayrı ayrı telafi gerilimi oluşturarak yükün gerilim düşümünden etkilenmesini önlenmiştir. Oluşan gerilim düşümüne karşılık gelen telafi gerilimleri ve detayları Tablo 5.2’de verilmiştir. Görüldüğü üzere gerçekleşen gerilim düşümü asimetrik olup 107ms sürelidir. Her bir fazdaki gerilim düşümü oranları farklı olup bu oranlar sırasıyla A fazı için 0.87pu, B fazı için 0.86pu ve C fazı için 0.79pu olarak saptanmıştır. Bu gerilim düşümünü nominal değere düzeltmek için sırasıyla A fazı için 3030V, B fazı için 3470V ve C fazı için 5130V’luk bir telafi gerilim üretilmiştir. Böylelikle yük gerilimi üzerine bu gerilim düşümü yansımamıştır. Şekil 5.6’da meydana gelen gerilim düşümü sırasındaki kaynak akımı, yük akımı ve DVR akımı verilmiştir.

Tablo 5.2: Gerilim düşümü ve telafi gerilim değerleri.

| Tanım | Kaynak Gerilimi (V) | Gerilim Düşümü | | | Telafi Gerilimi (V) |
|--------|---------------------|---------------------------|--------|-------------|---------------------|
| | | Sistem Gerilim Değeri (V) | Oranı | Süresi (ms) | |
| A Fazı | 25000 | 21970 | 0.87pu | 107 | 3030 |
| B Fazı | 25000 | 21530 | 0.86pu | 107 | 3470 |
| C Fazı | 25000 | 19870 | 0.79pu | 107 | 5130 |

5.2 Alçak Gerilim Kısımında Oluşan Gerilim Olayları

Bu kısımdaki sonuçlar, sistemin alçak gerilim tarafında gerçekleşen gerilim olaylarının benzetimlerini içermektedir. Güç sisteminin alçak gerilim tarafında da birçok gerilim düşümü ve yükselme olayları oluşmaktadır. Bu gerilim değişim hataları; genellikle şebekeden meydana gelen hata olaylarından, kapasitesi yüksek bir yükün veya büyük güçlü kapasitelerin devreye girip çıkması gibi durumlardan kaynaklanmaktadır. Güç sisteminin alçak gerilim şebekesinde yaşanmış ve şebekeye bağlı bir tüketici tarafından kayda geçmiş gerilim düşümü ve yükselmene ait gerçek gerilim olayları Şekil 5.7’ da gösterilmiştir.



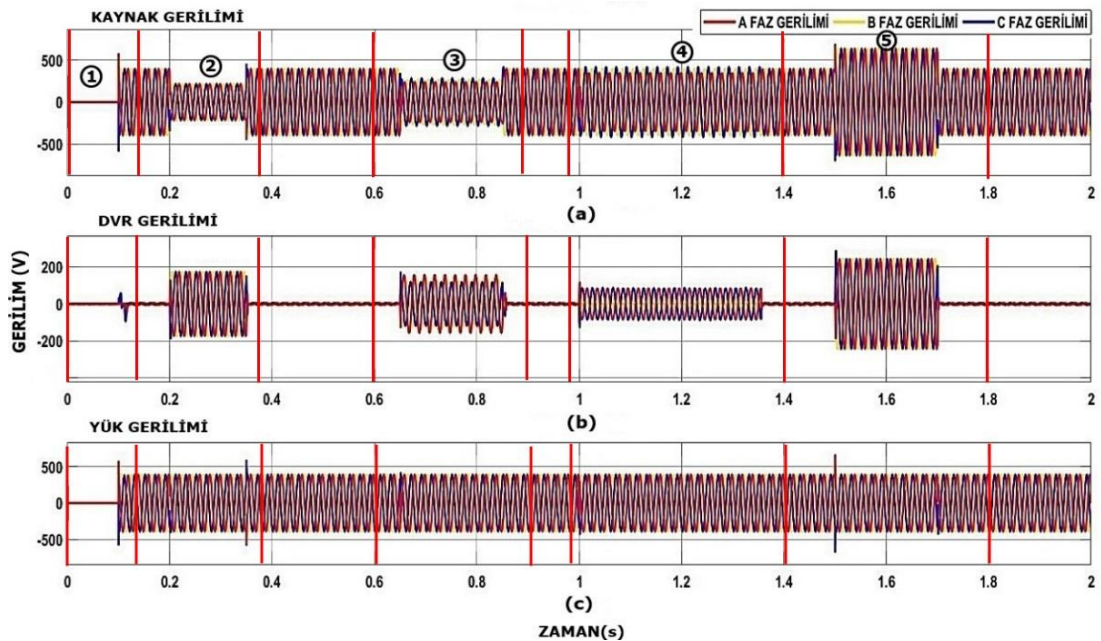
Şekil 5.7: Alçak gerilim şebekesinde yaşanmış gerilim düşümü ve yükselme olay verileri.

Tablo 5.3: Alçak gerilim şebekesindeki gerilim olaylarına ait gerçekleştirilen benzetim için sistem parametreleri

| Sistem Birimleri | | Birim Değeri | | | | | |
|---|----------------------|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| AC Gerilim Kaynağı | | | | | | | |
| Gerilim | | 154 kV (Faz-Faz, RMS, Faz Açısı=0°) | | | | | |
| Frekans | | 50 Hz | | | | | |
| Dağıtım Hattı | | | | | | | |
| Hat Empedansı | | 0.01273+ j0.3864 | | | | | |
| İndirici Transformatörler(Step Down) | | | | | | | |
| No | Güç (MVA) | Primer Gerilimi (kV) | Sekonder Gerilimi (kV) | Primer Direnci ve Endüktansı | Sekonder Direnci ve Endüktansı | Mıknatıslanma Direnci ve Reaktans | Bağlantı Grubu |
| 1 | 120 | 154 | 31,5 | 0.042-0.094pu | 0.037-0.068pu | 625-625Ω | Δ-Δ |
| 2 | 120 | 31,5 | 0,4 | 0.012-0.029pu | 0.002-0.008pu | 500-500Ω | Δ-Y |
| DVR Parametreleri | | | | | | | |
| Telafi Transformatörü | | | | | | | |
| Güç (MVA) | Primer Gerilimi (kV) | Sekonder Gerilimi (kV) | Primer Direnci ve Endüktansı | Sekonder Direnci ve Endüktansı | Mıknatıslanma Direnci ve Reaktans | Bağlantı Grubu | |
| 10 | 0,4 | 0,4 | 0.002-0.008pu | 0.002-0.008pu | 500-500Ω | Δ-Δ | |
| Evirici | | | | | | | |
| Anahtarlama Elemanı ve Frekansı | | IGBT – 2 kHz | | | | | |
| DC Gerilim | | 1000 V | | | | | |
| Telafi Gerilimi ve Kapasitesi | | 0.4kV - %65 | | | | | |
| Filtre | | | | | | | |
| Kondansatör | | 0,835μF | | | | | |
| Bobin | | 0,01mH | | | | | |
| Rezonans | | 17 kHz | | | | | |
| Yük | | | | | | | |
| No | Tanımı | Güç ve Karakteristik | | | | | |
| 1 | Dengesiz yük | 10 kW | | | | | |
| 2 | Hassas yük | 0.001+j0.015 | | | | | |

Şekil 5.7’ de ki gerilim olayları ile ilgili verilere bakıldığında şebeke yaşanan gerilim düşümü olayın hem dengeli hem de dengesiz şekilde oluştuğu görülmektedir. Dengeli gerilim düşümleri genellikle üç fazlı simetrik hatalarda oluşmaktadır. Dengesiz gerilim düşümleri ise faz-toprak hatası veya iki faz kısa devre durumlarından kaynaklanmaktadır. Çalışmada, alçak gerilim tarafında oluşan hatalar sonucu oluşan gerilim olaylarına ilişkin şebekede yaşanan beş farklı gerilim olayın benzetimi yapılacaktır. Birinci durumda şebekede kesinti, ikinci durumda dengeli olarak gerilim düşümü, üçüncü durumda dengesiz olarak gerilim düşümü, dördüncü durumda A fazında gerilim düşümü C fazında gerilim yükselmesi ve beşinci durumda ise dengeli olarak gerilim yükselmesi yaşanmıştır. Bu veriler doğrultusunda oluşturulan sistemin benzetim parametreleri Tablo 5.3’ de verilmiştir.

Alçak gerilim tarafında yaşan gerilim olaylarının benzetimi sonuçları toplu olarak Şekil 5.8’de verilmiştir. Burada toplam 5 farklı gerilim olayı simüle edilmiştir. Şekil 5.8’de 1 enerji kesintisini, 2 dengeli gerilim düşümünü, 3 dengesiz gerilim düşümü, 4 yine farklı genlik değerlerine sahip dengesiz gerilim düşümü, 5’te ise dengeli bir gerilim yükselmesi olayına karşı kaynak gerilimi, DVR gerilimi ve yük üzerinde düzenlenmiş gerilimlerinin sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında sistem üzerinde tüm hata sonuçlarının önerilen DVR ile başarılı bir şekilde telafi edildiği görülmektedir.



Şekil 5.8: Alçak gerilim şebekesinde yaşanan gerilim olaylarının benzetim grafikleri a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim c) yük gerilimi.

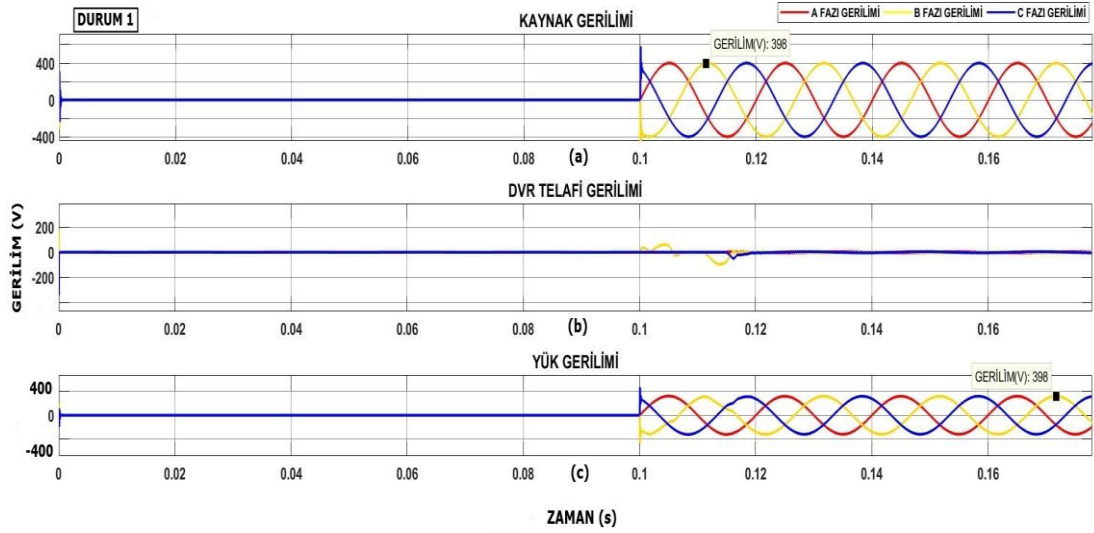
Alçak gerilim şebekesinde yaşanan beş farklı gerilim olaylarına ait kaynak gerilimi, gerilim olaylarının karakteristik değerleri ve telafi gerilimi sonuçları Tablo 5.4’de verilmiştir. Tüm durumlara ait sonuçlar değerlendirilmiştir.

Tablo 5.4: Alçak gerilim şebekesinde yaşanan gerilim olaylarına ait karakteristik değerler ve benzetim sonuçları.

| Olay Durumu | Tanım | Kaynak Gerilimi (V) | Gerilim Düşümü | | | Telafi Gerilimi (V) |
|-------------|--------|---------------------|---------------------------|--------|-------------|---------------------|
| | | | Sistem Gerilim Değeri (V) | Oranı | Süresi (ms) | |
| 1 | A Fazı | 0 | 0 | 1pu | 100 | 0 |
| | B Fazı | 0 | 0 | 1pu | 100 | 0 |
| | C Fazı | 0 | 0 | 1pu | 100 | 0 |
| 2 | A Fazı | 400 | 220 | 0.55pu | 150 | 180 |
| | B Fazı | 400 | 220 | 0.55pu | 150 | 180 |
| | C Fazı | 400 | 220 | 0.55pu | 150 | 180 |
| 3 | A Fazı | 400 | 243 | 0.61pu | 300 | 157 |
| | B Fazı | 400 | 270 | 0.67pu | 300 | 130 |
| | C Fazı | 400 | 286 | 0.71pu | 300 | 114 |
| 4 | A Fazı | 400 | 351 | 0.88pu | 350 | 49 |
| | B Fazı | 400 | 400 | 1pu | 350 | 0 |
| | C Fazı | 400 | 421 | 1.05pu | 350 | -21 |
| 5 | A Fazı | 400 | 640 | 1.6pu | 200 | -240 |
| | B Fazı | 400 | 640 | 1.6pu | 200 | -240 |
| | C Fazı | 400 | 640 | 1.6pu | 200 | -240 |

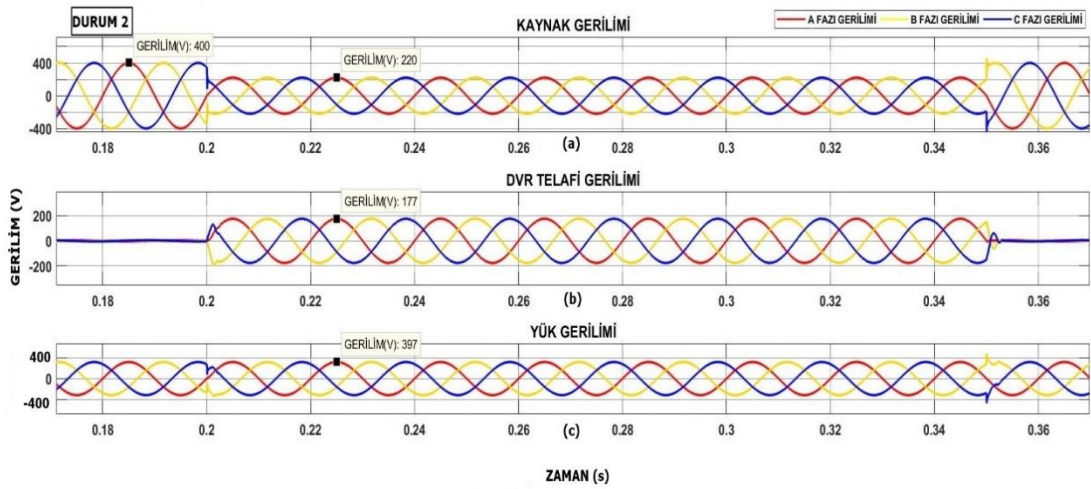
Alçak gerilim şebekesinde yaşanan gerçek gerilim olaylarının benzetim sonuçları durum bazlı olarak değerlendirilmiştir. Bu durumlar sırayla incelediğinde;

Durum 1: Alçak gerilim şebekesinde yaşanan bu olay bir enerji kesintisi karşılık gelmektedir. Bu kesinti 100ms civarında gerçekleşmiş olup görüldüğü üzere kaynak gerilimi 0V’tur. Olay kesinti olarak değerlendirildiğinden, DVR bu durumda çalışmamaktadır. Tasarımı yapılan DVR kaynak gerilimin 0.1-0.9pu değeri arasında telafi gerilimi oluşturmak için aktif olacaktır. Dolayısıyla yük tarafına herhangi bir telafi aktarmamıştır. 100ms sonra enerji yeniden gelmiş olup ve nominal değerindedir. Bu nedenle DVR herhangi bir telafi gerilim üretmemiştir. Durum 1’e ait benzetim sonuçları Şekil 5.9’de verilmiştir.

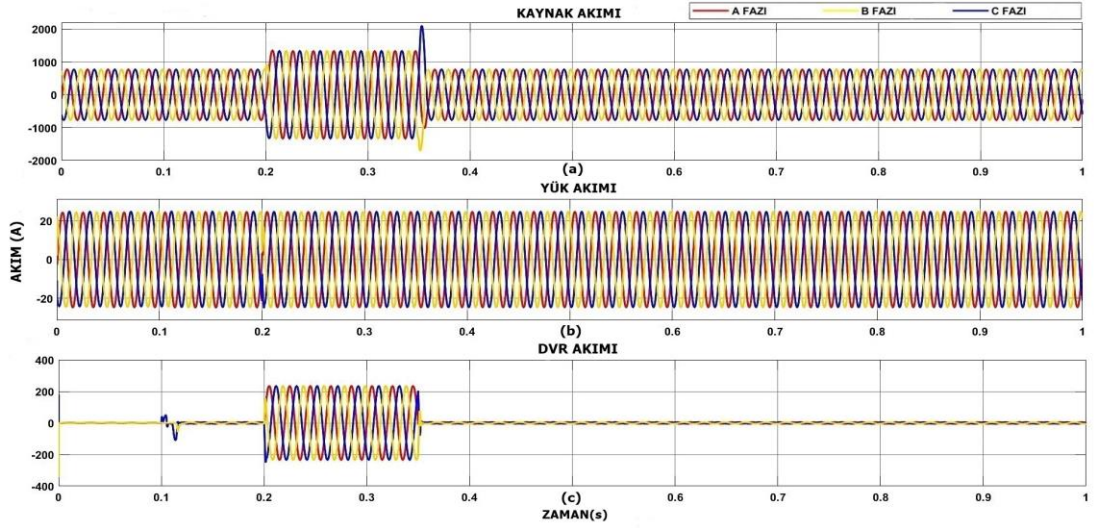


Şekil 5.9: Durum 1'e ait enerji kesintisi benzetim sonuçları a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim c) yük gerilimi.

Durum 2: Şebekede üç faz dengeli bir gerilim düşümü olayı yaşanmıştır. Bu hata 150ms süreyle gerçekleşmiş olup gerilim düşümü oranı 0.5 pu'tir. Gerilimin nominal değere ulaştırılması için gerekli olan gerilim değeri 180V'tur. Gerekli olan gerilim düşümü algılanarak DVR aktif olarak çalışmaktadır. Yük tarafında gerekli olan nominal telafi gerilimi DVR tarafından oluşturulmuş ve yük tarafına aktarılmıştır. Şebekede yaşanan gerilim düşümü sona erdiğinde DVR bekleme durumuna geçmiştir. Durum 2'ye ait gerilim benzetim sonuçları Şekil 5.10'da, akım benzetim sonuçları ise Şekil 5.11'da verilmiştir.

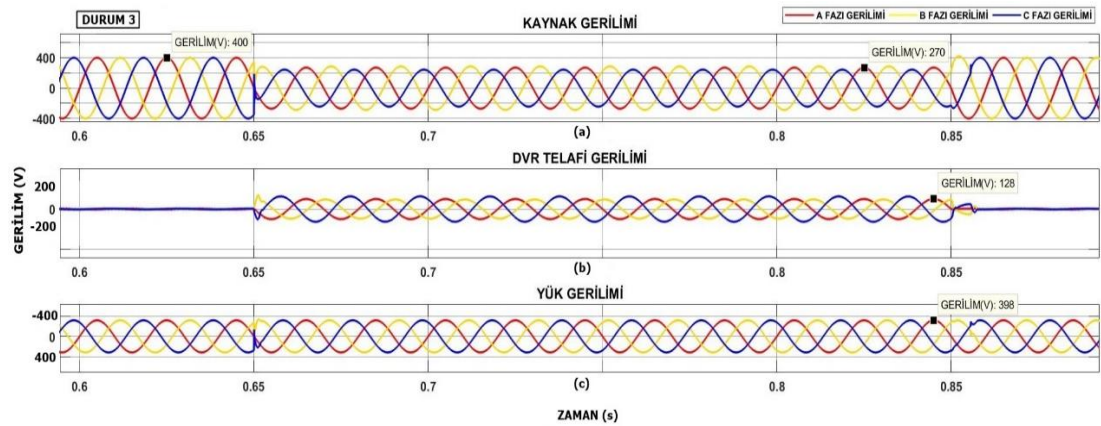


Şekil 5.10: Durum 2'ye ait gerilim düşümünün gerilim benzetim sonuçları a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim c) yük gerilimi.

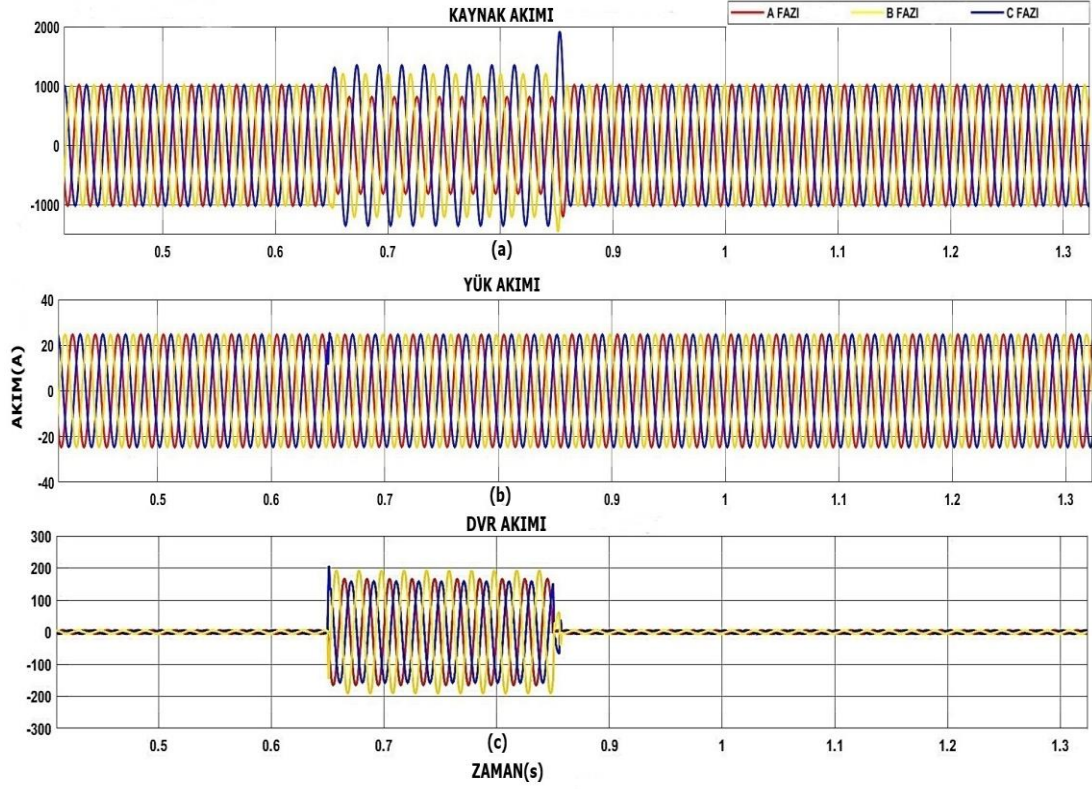


Şekil 5.11: Durum 2'ye ait gerilim düşümünün akım benzetim sonuçları a) kaynak akımı b) yük akımı c) DVR akımı.

Durum 3: Burada yaşanan gerilim olayı dengesiz bir gerilim düşümüdür. Dolayısıyla her fazın gerilim seviyesi değişiklik göstermektedir. Gerilim düşümü 300ms süreyle yaşanmış olup gerilim düşümü oranı A fazı için 0,61pu, B fazı için 0,67pu ve C fazı için 0,71pu'tir. Gerilimin nominal değere ulaştırılması için gerekli olan gerilim değeri A fazı için 157 V, B fazı için 130 V ve C fazı için 114V'tur. Sırasıyla DVR tarafından her fazın gerilim düşümü ayrı ayrı olarak algılanarak aktif çalışma durumu başlamıştır ve ihtiyaç olan telafi gerilimi üretilmiştir. Telafi gerilimin yük tarafına aktarılmasıyla yük gerilimi tarafında gerilim nominal değere ulaştırılmıştır. Durum 3'ait gerilim benzetim sonuçları Şekil 5.12'de, akım benzetim sonuçları Şekil 5.13'de verilmiştir.

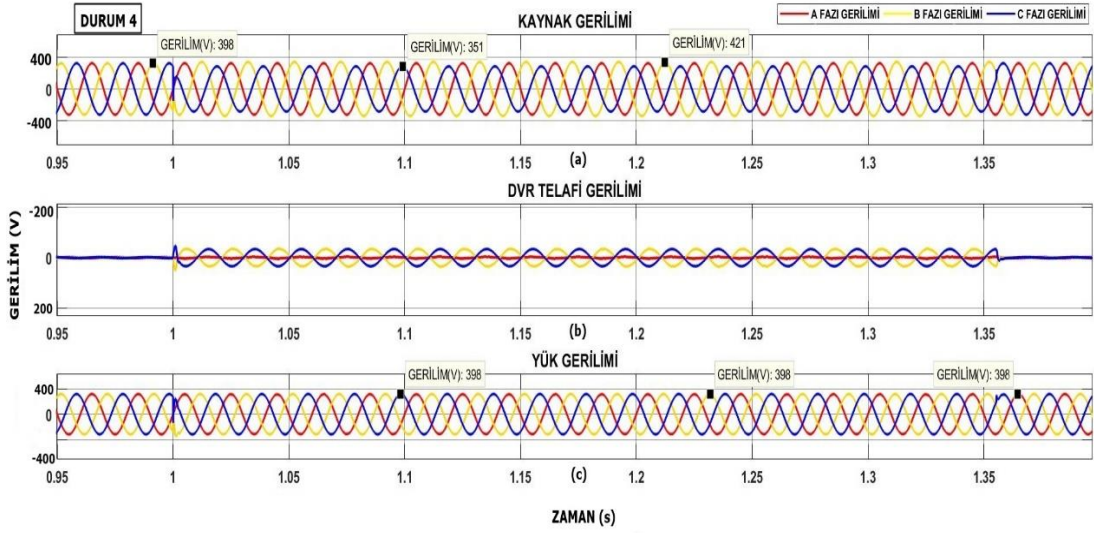


Şekil 5.12: Durum 3'e ait dengesiz gerilim düşümünün gerilim benzetim sonuçları a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim c) yük gerilimi.



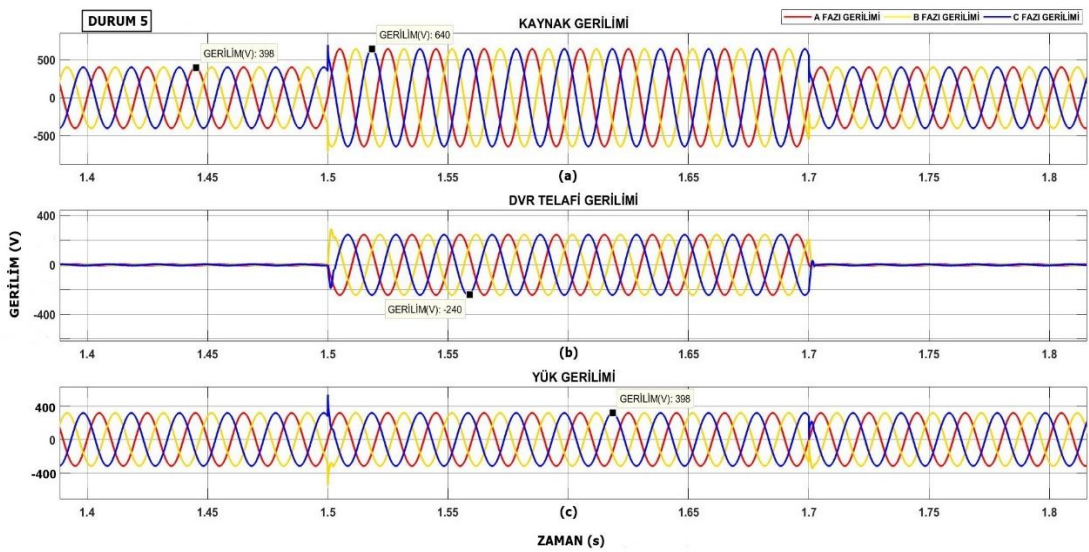
Şekil 5.13: Durum 3'e ait dengesiz gerilim düşümün akım benzetim sonuçları a) kaynak akımı b) yük akımı c) DVR akımı.

Durum 4: Şebekede durum 3'e benzer şekilde yine bir dengesiz bir gerilim düşümü yaşanmıştır. Ancak bu gerilim düşümü olayı iki faz ve toprak hatası olayı sonrası gerçekleşmiş olup karakteristik değerleri farklıdır. Hata olayı, A fazında gerilim düşümüne, C fazında gerilim yükselmesine neden olmuş B fazında ise herhangi bir gerilimin değişimine açmıştır. Gerilim düşümü 350ms süreyle yaşanmış olup gerilim düşümü oranı A fazı için 0,88pu, B fazı için 1pu ve C fazı için 1.05pu'tir. Gerilimin nominal değere ulaştırılması için gerekli olan gerilim değeri A fazı için 49 V, B fazı için 0 V ve C fazı için -21V'tur. DVR her faz için ayrı ayrı olarak gerilim tespitini yapmıştır. Yükün A fazına telafi gerilim aktarırken, C fazında bir yük gibi çalışarak fazla olan gerilimi telafi etmiştir. Durum 4'e ait benzetim sonuçları Şekil 5.14'de verilmiştir.



Şekil 5.14: Durum 4'e ait dengesiz gerilim değişimi benzetim sonuçları a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim c) yük gerilimi.

Durum 5: Bu olayda, şebekede üç fazlı dengeli bir gerilim yükselmesi yaşanmıştır. Bu hata 200ms süreyle gerçekleşmiş olup gerilim düşümü oranı 1,66pu'tir. Gerilimin nominal değere ulaştırılması için gerekli olan gerilim değeri 240V'tur. Gerekli olan gerilim düşümü algılanarak DVR aktif olarak çalışmaktadır. Yük tarafında gerekli olan nominal telafi gerilimi DVR tarafından oluşturulmuş ve yük tarafına aktarılmıştır. Şebekede yaşanan gerilim düşümü sona erdiğinde DVR bekleme durumuna geçmiştir. Durum 5'e ait benzetim sonuçları Şekil 5.15'de verilmiştir.



Şekil 5.15: Durum 5'e ait dengeli gerilim yükselmesi benzetim sonuçları a) kaynak gerilimi b) DVR telafi gerilim c) yük gerilimi.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Güç sistemlerinde meydana gelen problemlerin başında gerilim düşümü ve yükselmeleri gelmektedir. Bu problemler önemli güç kalitesi sorunları olarak kabul edilir. Gerilim düşümü ve yükselmesi başta hassas cihazlar olmak üzere kullanıcıların ekipmanlarını olumsuz yönde etkilemekte ve ciddi maddi zararlara yol açmaktadır. Bu problemler, güç sisteminde meydana gelen arızalar, hata akımları ve doğa olayları gibi iç ve dış kaynaklı durumlardan kaynaklanır.

Bu tez çalışmasında, gerilim düşümü ve yükselme olayların olumsuz etkisini ortadan kaldırmak amacıyla özel güç cihazı olan DVR detaylı ele alınarak incelenmiş, MATLAB/Simulink programında tasarım ve modellenmesi gerçekleştirilmiştir. DVR'nin benzetimde arıza kayıtlarına geçen gerçek gerilim düşümü ve yükselme olayları yer almıştır. Benzetimde iki durum incelenmiş, birinci durumda dağıtım şebekesinde yüksek gerilim kısmında oluşmuş dengesiz bir gerilim düşümünün telafisi gerçekleştirilerek yük tarafındaki gerilim nominal seviyede tutulmuştur. İkinci durumda ise dağıtım şebekesinde alçak gerilim kısmında meydana gelen dengeli ve dengesiz gerilim düşümü ile dengeli bir gerilim yükselmesi durumların benzetim çalışmaları yapılarak incelenmiştir. Tasarımı yapılan ve modellenen DVR her iki durumda da gerilim telafisi gerçekleştirmiştir. DVR'nin gerilim düşümü ve yükselmesi durumunda etkin, verimli ve dinamik bir güç cihazı olduğu simülasyon sonuçlarından görülmektedir.

DVR'nin ergonomik yapısı gereği tasarımı, kullanılacak olan sistem parametrelerine göre şekil alır. Bu durum DVR'nin maliyetini ve boyutunu olumlu yönde etkiler. DVR'nin gerilim düşümü ve yükselmesi durumlarındaki gerilim telafi performansı, DVR'ı modern ve geliştirilebilir olduğunu gösterir. DVR'nin geliştirilmesiyle daha performans elde edilme durumu ana bileşenlerin senkron olarak çalışması ve kontrol edilmesinden geçer. Bu durumun sağlanmasında kontrol stratejileri ve gerilim olayların tespitinin hızlı olmasının rolü büyüktür.

Sonuç olarak DVR güç kalitesi problemleri olan gerilim düşümü ve yükselmesinin yaşanması durumunda, yük tarafında istenilen gerilim seviyesini sağlayarak yükü korumuştur.

DVR, güç sistemlerinde güç kalitesi problemlerin çözümünde kullanılan etkili bir güç cihazıdır. DVR' nin etkin performansı, basit ve geliştirilebilir yapısından sağlanır. DVR' nin bu üstün durumu gelecek çalışmalarda konu olmasına olanak sağlayacaktır. DVR'nin finansal maliyetini düşürmek, optimum gerilim regülasyonu elde etmek ve performansı artırmak için aşağıdaki öneriler gelecek çalışmalarda yer alabilir.

- Geliştirilmiş kontrol stratejileri DVR'e uyarlanarak doğrusal olmayan hassas yükler üzerindeki sonuçlar karşılaştırıla bilinir. Optimum strateji için dinamik gerilim olayları (gerilim düşümü ve yükselmesi) YG/AG şebeke tesislerindeki simülasyonu yapılabilir.
- Üretilen telafi geriliminin tam sinüs formda ve harmonik bileşen içermemesi için etkin bir filtre tasarımı gerçekleştirilebilir.
- Maliyeti düşürmek için telafi transformatörü kullanılmayan DVR yapıları geliştirile bilinir. Bu yapılar ile telafi gerilimin miktarı hassas yüklerin nominal gerilimine göre sınıflandırıla bilinir.
- DVR' nin verimini artırabilmek için telafi transformatörün kayıplarını düşürecek çalışmalar ve uygulamalar yapılabilir.
- Enerji depolama biriminde kullanılan ekipmanların performansını artırabilmek için DC-DC dönüştürücü kullanılabilir. Ayrıca çok seviyeli evirici kullanılarak telafi gerilimin miktarı artırılabilir.

7. KAYNAKLAR

Abhijee, S. and Kumar, P., “Enhancement of Power Quality Problem by Using Dynamic Voltage Restorer”, *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, 1, 400-407, (2014).

Ahmed,H.,Cha,H.and Khan, A., “Design of Dynamic Voltage Restorer for Voltage Sag and Swell Compensation using High-Frequency-Isolated Direct AC-AC Converter without Commutation Problem”, *European Conference on Power Electronics and Applications*, 17, 1-10, (2015).

Ajaei, B.F., Afsharnia, S. and Farhangi, S., “A Fast and Effective Control Scheme for the Dynamic Voltage Restorer”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26, 2398-2406, (2011).

Akpınar, K.N., “Dağıtım Sistemlerinde Güç Kalitesi Sorunları Üzerine Melez Bir Yaklaşım”, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı*, Samsun, (2016).

Aksoy, S., “Bir Endüstriyel Tesis Elektrik Dağıtım Sisteminin Gerilim Çökmeleri Bakımından İncelenmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul (2014)

Arıkan, Ç. ve Özdemir, M., “Güç Sistemlerinde Görülen Bazı Güç Kalitesi Bozunumlarının Belirlenmesinde Dalgacık Yaklaşımı ve Çarpıklık - Basıklık Katsayıları”, *ELECO 2019 Uluslararası Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Konferansı*, 11, 128-132, (2012).

Bhumkittipich, K. and Mithulananthan, N., “Performance Enhancement of DVR for Mitigating Voltage Sag/Swell using Vector Control Strategy”, *Energy Procedia*, 9, 366-379, (2011).

Bhushan, I. and Shah, A.K., “Design & Simulation Of DVR Using SRFT”, Greater Noida Institute of Technology, *International Journal of Advanced Research in Science And Engineering*, 4, 48-57, (2015).

Bichve, J. and Panchal, A., “Dynamic Voltage Restorer Using PI Controller for Voltage Sag Swell Mitigation Using Matlab”, *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 2, 1035-1043, (2015).

Boonchiam, P. and Mithulananthan, N., “Understanding of Dynamic Voltage Buck Boost Based Dynamic Voltage Regulator”, Thesis, *University of North Carolina at Charlotte*, Electrical Engineering, Charlotte, (2017).

Cerrada, G., Mohammed, S. and Moamen, A., “Dynamic Voltage Restorer (DVR) System for Compensation of Voltage Sags, State-of-the-Art Review”, *International Journal of Computational Engineering Research*, 3, 177-182, (2013).

Chandrasekaran, K. and Ramachandaramurthy V., “An Improved Dynamic Voltage Restorer for Power Quality Improvement”, *Electrical Power and Energy Systems*, 82, 354-362, (2016).

Chaudhary, H.S. and Gangi, G., “Mitigation of voltage sag/swell using Dynamic voltage restorer (DVR)”, *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 8, 21-28, (2013).

Çeçen, M., “Transformatörlerin Kısa Süreli Gerilim Sarkmalarına Etkisinin İncelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, (2018).

Deniz, E., Çoteli, R., Tuncer S., Dandıl, B. ve Gencoğlu, M. T., “Uzay Vektör PWM Anahtarlama Üç-Seviyeli H-Köprü İverter Tabanlı D-STATKOM”, *International Advanced Technologies Symposium*, 16-18, Elazığ, (2011).

Dudi, A.K., “A New Approach For Power Quality In Distribution Systems Using Multifunctional Dynamic Voltage Restorer”, Thesis, *Texas A&M University Kingsville*, Electrical Engineering, Kingsville, (2013).

El-Gamma, M.A., Ghazala, A. and Shennawy, T., “Fifteen years of the dynamic voltage restorer: A literature review”, *Australian Journal of Electrical & Electronics Engineering*, 8, 1-10, (2011).

Gencer, E., “Orta Gerilim Şebekelerinde Gerilim Sarkmalarına D-STATCOM Etkileri”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, (2018).

Gencer, Ö., “Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Dinamik Gerilim Düzenleyici Tasarımı”, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, (2006).

Gopinath, C., “Experimental and Simulation Investigations on Dynamic Voltage Restorer for Power Quality”, Thesis, *Faculty of Electrical Engineering Anna University*, Electrical Electronics Engineering, Chennai, (2014).

Gürsoy, M.İ., Yılmaz, A.S. ve Üstün, S.V., “Güç Kalitesi Bozulmalarının Hilbert Huang Dönüşümü Ve Gabor Dönüşümü Kullanarak Sınıflandırılması”, *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7, 73-83, (2017).

İnci, M., “Modeling and Analysis of Multilevel Inverter Based Dynamic Voltage Restorer With DC-DC Converter”, *Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences*, Department Of Electrical and Electronics Engineering, Adana, (2013).

Jena, A.K., “Modeling and Simulation of a Dynamic Voltage Restorer(DVR)”, *National Institute of Technology*, Department of Electrical Engineering National Institute of Technology, Odisha, (2013).

Joshi, S., and Shah, P., “Topologies for Voltage Sag & Swell Compensation by Dynamic Voltage Restorer”, *International Journal of Innovative Research in Electrical*, 3, 11, 50-53, (2015).

Kangarlu, F., Babaei, E. and Blaabjerg, F., “A comprehensive review of dynamic voltage restorers”, *Electrical Power and Energy Systems*, 92, 136-155, (2017).

Kaya, A.Ş., “Uçuş Kontrol Sistemlerinde Kullanılan Hidrolik Kanat Yön Verme Elemanlarının Pozisyon Kontrolü”, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, (2018).

Khoshkbar, A. and Smedley K., “Fast and Precise Voltage Sag Detection Method for Dynamic Voltage Restorer(DVR) Application”, *Electric Power Systems Research*, 130, 192-207, (2016).

Khushboo, B., Patted, M. and Swapnali, K., “Dynamic Voltage Regulator”, *International Engineering Research Journal*, 2, 173-175, (2016).

Kumar, p., “A Review of Power Quality Problems, Standards and Solutions”, Mahmoud, A., “Modeling and Simulation of Dynamic Voltage Restorer in Power System”, *Azhar University Faculty of Engineering Electrical Power and Machines Department*, Electrical Engineering, Cairo, (2012).

Mani, P.K. and Naidu, K.S., “Fuzzy Logic Control Based Dynamic Voltage Restorer”, *International Journal of Applied Engineering Research*, 10, 31901-31904, (2015).

- Mansoor, M., Mariun, N. and Hojabr, M., “Innovating Problem Solving in Power Quality Devices: A Survey Based on Dynamic Voltage Restorer Case (DVR)”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1207-1216, (2017).
- Meena, A., Islam, S., Anand, S., Sonawane, Y. and Tungare, S., “Design and Control of Single-Phase Dynamic Voltage Restorer”, *Indian Academy of Sciences*, 1363-1375, (2017).
- Mohammed, S. and Moamen, A., “Transformerless Dynamic Voltage Restorer for Voltage Sag Compensation”, *International Journal of Control, Automation and Systems*, 2, 40-45, (2013).
- Mohan, R.M., Basha, A. and Subramanyam, A., “Comparison of Voltage Sag and Swell Detection Algorithms in Power System”, *International Journal of Engineering Research and Development*, 10, 29-35, (2014).
- Naidoo, R. and Pillay, P., “A New Method of Voltage Sag and Swell Detection”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 22, 1056-1063, (2007).
- Naidu. T., “The Role of Dynamic Voltage Restorer(DVR) in Improving Power Quality”, *International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics*, 2, 28-36, (2016).
- Nielsen, G.J. and Blaabjerg, F., “A Detailed Comparison of System Topologies for Dynamic Voltage Restorers”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 41, 1272-1280, (2005).
- Odedra P.A. and Nakum, H.R., “Dynamic Voltage Restoration”, *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 3, 121-125, (2017).
- Omsri, V. and Annapurna, G., “Multi level DVR with Energy Storage System for Power Quality Improvement”, *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 5, 37-43, (2017).
- Pakharia, A. and Gupta, M., “Dynamic Voltage Restorer for Compensation of Voltage Sag and Swell: A Literature Review”, *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 4, 347-355, (2012).
- Patil, A.R., Mahajan, G.K., and Wani N.S., “Voltage Sag Compensation Using Dynamic Voltage Restorer”, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3, 840-845, (2016).
- Perera, K., “Control of a Dynamic Voltage Restorer to Compensate Single Phase Voltage Sags”, Thesis, *KTH Vetenskap Och Konst University*, Electrical Electronics Engineering, Stockholm, (2007).

Sadigh, A.K. ve K.M., “Fast and precise voltage sag detection method for dynamic voltagerestorer (DVR) application”, *Electric Power Systems Research*, 130, 192-207, (2016).

Savrun, M.M., “Design and Implementation of A Transformerless Dynamic Voltage Restorer By Using Bidirectional DC-DC Converter”, *Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences*, Department Of Electrical and Electronics Engineering, Adana, (2017).

Shah, N., “Analysis, Design and Experimental Verification of a Novel Acac Solat, S., Moallem M. and Member, S., “A Supervisory Hierarchical Fuzzy Controller for Dynamic Voltage Restorer (DVR)”, *Iranian Conference on Electrical Engineering*, 23, 1694-1699, (2015).

Suyono, H., Hayusman, L.M. and Dhofir, M., “Improvement of Voltage Sag Mitigation Using Dynamic Voltage Restorer(DVR)”, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 10,8684-8691, (2015).

Şekkeli, M. ve Yılmaz, A.S., “Bir Taş Kırma Tesisinde Güç Kalitesi Seviyesinin Ölçümü ve Değerlendirilmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15, 317-3213, (2009).

Teke, A., “Modeling of Dynamic Voltage Restorer”, *Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences*, *Department of Electrical And Electronics Engineering*, Adana, (2005).

Tien, D. and Gono, R., “Advanced Control of the Dynamic Voltage Restorer for Mitigating Voltage Sags in Power Systems”, *Power Engineering and Electrical Engineering*, 16, 36-45, (2018).

Tiwari, H. and Kumar,S., “Dynamic Voltage Restorer against Voltage Sag”, *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 1, 232-237, (2010)

Uyar, M., Yıldırım, A. ve Gençoğlu M.T., “Güç Kalitesi Bozulmalarının Sınıflandırılmasında Dalgacık Dönüşümüyle Enerji Dağılımına Dayalı Özelliklerin incelenmesi”, *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4, 73-83, (2017).

Uyar, M., Yıldırım, S. ve Gençoğlu, M.T., “Güç Kalitesindeki Bozulma Türlerinin Sınıflandırılması İçin Bir Örüntü Tanıma Yaklaşımı”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 26, 41-56, (2011).

Uzan, O., “Alçak Gerilim Dağıtım Sistemlerinde Güç Kalitesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, (2010).

Vashishth, A. and Singh, B., “A Review for Voltage Sags and Swells Mitigation By Dynamic Voltage Restorer”, *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 1, 39-42, (2016).

Vishwakarma, j. and Sharma, A.K., “Design and Simulation of DVR Used for Voltage Sag Mitigation at Distribution Side”, *Blue Eyes Intelligence Engineering & Sciences Publication*, 2, 51-58, (2015).

Wasnik, D., Shaha, R. and Ghutke, P., “Compensation of Sag and Swell Voltage by using Dynamic Voltage Restorer”, *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 3, 403-408, (2019).

Yanmaz, K., “Bulanık Sonuçlandırma Tabanlı Güç Filtresi ve Dinamik Gerilim Regülatörünün Bir Fazlı Mikro Rüzgar Güç Üretim Sistemlerine Uygulanması”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon*, (2010).

Zhou, X., Xu, P. and Lee, F.C., “A Novel Current-Sharing Control Technique for Low-Voltage High-Current Voltage Regulator Module Applications”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 15, 1153-1162, (2000).

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özgür ÖZDEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi : DENİZLİ - 27.06.1990

Lisans Üniversite : PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ

Elektronik posta : eempau@gmail.com

İletişim Adresi : Yenişehir Mh. Adem Buran Cd. No:4
Merkezefendi/DENİZLİ