

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE
GERİLİM DÜŞÜMLERİNİN ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Şeref KARADAYI

Enstitü Anabilim Dalı : ELK.-ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU

Ocak 2007

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE
GERİLİM DÜŞÜMLERİNİN ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elk-Elektronik.Müh. ŞEREF KARADAYI

Enstitü Anabilim Dalı : ELK.-ELELTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez 6 / 02 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç. Dr.
Yılmaz UYAROĞLU
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr.
Şerafettin ÖZBEY
Üye**

**Yrd. Doç. Dr.
İbrahim ÖZÇELİK
Üye**

ÖNSÖZ

Dünyada ve ülkemizde elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç hızla artmakta, bunun sonucunda da güç sistemleri büyümekte ve şebekeler genişlemektedir. Bu da bir takım problemleri beraberinde getirmektedir. Bunlardan en önemlisi tüketici noktasında gerilimin istenilen düzeyde ve kalitede olmaması ve de sürekliliğinin sağlanmasıdır. Bu konuda gerilim düşümü ve gerilim çökmeleri üzerine son yıllarda bir çok araştırma yapılmış ve halen de yapılmaya devam edilmektedir.

Bu tezin hazırlanma aşamasında bana yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU' na, Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde bulunan tüm hocalarıma ve eşime teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Şeref KARADAYI

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| TEŞEKKÜR..... | ii |
| İÇİNDEKİLER..... | iii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... | viii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | x |
| TABLOLAR LİSTESİ..... | xiv |
| ÖZET..... | xvi |
| SUMMARY..... | xvii |
| BÖLÜM 1. | |
| GİRİŞ..... | 1 |
| BÖLÜM 2. | |
| GERİLİM ÇÖKMESİNİN TANIMI..... | 8 |
| 2.1. Giriş..... | 8 |
| 2.2. Gerilim Çökmesi Göstergeleri..... | 9 |
| 2.3. Kısa Süreli Gerilim Düşümleri ve Kesimleri..... | 10 |
| 2.3.1. Temel tanımlar..... | 10 |
| 2.4. Gerilim Düşümlerinin Oluşma Sebepleri ve Sıklıkları..... | 12 |
| 2.5. Gerilim Düşümlerinin Çeşitli Hassas Yükler Üzerine Etkisi..... | 16 |
| BÖLÜM 3. | |
| GÜÇ SİSTEMLERİ BİLEŞENLERİ..... | 19 |
| 3.1. Giriş..... | 19 |
| 3.2. Elektrik Güç Sistemlerinin Yapısı..... | 20 |
| 3.2.1. Üretim..... | 21 |
| 3.2.2. İletim..... | 21 |
| 3.2.3. Dağıtım..... | 21 |

| | |
|---|----|
| 3.3. Generatör Üniteleri..... | 22 |
| 3.3.1. Senkron jeneratörler..... | 22 |
| 3.4. İletim ve Dağıtım Tesislerinin İncelenmesi..... | 23 |
| 3.4.1. Dağıtım tesisleri..... | 24 |
| 3.4.1.1. Transformatörler..... | 24 |
| 3.4.1.2. Kademe değiştirici ve düzenleyici transformatörler.... | 27 |
| 3.5. Şönt ve Seri Elemanlar..... | 28 |
| 3.5.1. Şönt elemanlar..... | 28 |
| 3.5.2. Seri elemanlar..... | 30 |
| 3.6. StatikVar Kompanzatör..... | 32 |
| 3.7. Seri ve Şönt Kompanzasyonun Karşılaştırılması..... | 34 |

BÖLÜM 4.

| | |
|---|----|
| GÜÇ SİSTEMLERİNDE GERİLİM ÇÖKMELERİNİN ETKİLERİ..... | 36 |
| 4.1. Hatalardan Dolayı Gerilim Çökmeleri..... | 36 |
| 4.2. İndüksiyon Motorunun Çalışmasından Dolayı Gerilim Çökmeleri.... | 37 |
| 4.3. İndüksiyon Motorlarında Gerilim Çökmelerinin Etkisi..... | 38 |
| 4.4. Transformatör Enerjilenmesinden Dolayı Gerilim Çökmesi..... | 44 |
| 4.5. Senkron Generatör Modeli..... | 44 |
| 4.5.1. Senkron motorlarda ve senkron generatörlerde gerilim çökmelerinin etkileri..... | 45 |
| 4.6. Büyük Güçlü Motorlara Yol Verilmesi Sırasında Oluşan Gerilim Düşümleri..... | 47 |
| 4.7. Hareket elemanları..... | 50 |
| 4.8. Bilgisayarlar..... | 51 |
| 4.9. Hız kontrol cihazları..... | 52 |
| 4.10. Aydınlatma..... | 52 |
| 4.11. Kısa Süreli Gerilim Düşümlerinin Endüstriyel Dağıtım Sistemlerine Etkisi..... | 52 |
| 4.12. Yerel Elektrik Santrallerinin Kısa Süreli Gerilim Düşümlerine Etkisi..... | 54 |
| 4.12.1. Yerel elektrik santralleri..... | 54 |
| 4.12.2. Yerel elektrik santrallerinin sınıflandırılması..... | 55 |

| | |
|---|----|
| 4.12.2.1. Kullanım amacına göre sınıflandırma..... | 56 |
| 4.12.2.2. Dağıtım sistemi ile arasındaki bağlantı şekline göre sınıflandırma..... | 57 |
| 4.12.2.3. Kurulu güçlerine göre sınıflandırma..... | 59 |
| 4.12.2.4. Kullanılan yakıt ve teknoloji türüne göre sınıflandırma..... | 59 |
| 4.13. Yerel Elektrik Santrallerinde Enerji Üretimi ve Generatörler..... | 61 |
| 4.14. Türbin-Regülatör ve Uyarma Sistemi Modeli..... | 62 |
| 4.15. Yerel Generatörlerin Kısa Süreli Gerilim Düşümlerine Etkisi..... | 62 |
| 4.16. Kısa Süreli Gerilim Düşümlerinin Yerel Santrallere ve Dağıtım Sistemi Kararlılığına Etkisi..... | 64 |

BÖLÜM 5.

| | |
|---|----|
| GERİLİM DÜŞÜMÜNÜN HESAPLANMASI VE SINIFLANDIRILMASI..... | 68 |
| 5.1. Tam Frekans Çözümü..... | 68 |
| 5.2. RMS (Etkin Değerin) Hesaplanması..... | 69 |
| 5.3. Süre ve Tutma Gerilimi..... | 70 |
| 5.3.1. Kesilme..... | 71 |
| 5.3.2. Yükselme..... | 71 |
| 5.4. Gerilim Çökmesi Enerji İndeksi..... | 72 |
| 5.5. Gerilim Çökmesi Büyüklüğü..... | 73 |
| 5.6. Simetrik Gerilim Düşümü Hesaplama Yöntemleri..... | 73 |
| 5.6.1. Radyal dağıtım şebekelerinde dengeli gerilim düşümü hesabı..... | 74 |
| 5.6.2. Ağ (halka) dağıtım şebekelerinde simetrik gerilim düşümü hesabı..... | 76 |
| 5.7. Gerilim Çökmesi Sınıflandırılması..... | 79 |
| 5.7.1. ABC sınıflandırılması..... | 79 |
| 5.7.2. Simetrik bileşen sınıflandırılması..... | 80 |
| 5.8. Çökme Tipini Ortaya Çıkarma Metotları..... | 81 |
| 5.8.1. Simetrik-bileşen metodu..... | 82 |
| 5.8.2. Altı fazda rms metodu..... | 85 |

BÖLÜM 6.

| | |
|--|----|
| GERİLİM ÇÖKMESİNE DÜNYADAN ÖRNEKLER..... | 87 |
| 6.1. Belçika, 4 Ağustos 1982..... | 87 |
| 6.2. İsveç, 27 Aralık 1983..... | 88 |
| 6.3. Fransa,12 ocak 1987..... | 89 |
| 6.4. Japonya,23 Temmuz 1987..... | 90 |

BÖLÜM 7.

| | |
|---|----|
| GERİLİM BOZUNMALARINI AZALTICI CİHAZLAR..... | 92 |
| 7.1. Endüstriyel Dağıtım Sitemlerinde Gerilim Düşmesinin Etkileri ve Bunların Etkilerini Azaltıcı Metotlar..... | 92 |
| 7.1.1. Kesintisiz güç kaynakları (KGK)..... | 94 |
| 7.1.2. Dinamik gerilim yeniliyicileri (DGY)..... | 95 |
| 7.1.3. Motor-Generatör (M-C) Grubu..... | 96 |
| 7.1.4. Ferrorezonans/sabit gerilim transformatörleri (SGT)..... | 96 |
| 7.1.5. Gerilim dalgası koruması için filtreler..... | 97 |

BÖLÜM 8.

| | |
|---|-----|
| TÜRKİYE'DEKİ ELEKTRİK İLETİM SİSTEMİ..... | 99 |
| 8.1. Endüstriyel Dağıtım Sitemlerinde Etkileri..... | 102 |

BÖLÜM 9. SİMÜLASYON İLE GERİLİM DÜŞÜMLERİNİN GÖSTERİMİ.....

| | |
|---|-----|
| 9.1. 380 kV Hattın Gerilim Çökmesi Öncesi Simulasyon İle Gösterilmesi..... | 105 |
| 9.2. 380 kV Hattın Gerilim Çökmesi Öncesi Simulasyon İle Gösterilmesi..... | 108 |
| 9.3. 380 kV – 154 kV – 34,5 kV Hattın Gerilim Çökmesi Öncesi Simulasyon İle Gösterilmesi..... | 111 |
| 9.4. 380 kV-154 kV-34,5 kV Hattın Gerilim Çökmesi Sonrası Simulasyon İle Gösterilmesi..... | 114 |
| 9.5. 138 kV Hattın Gerilim Çökmesi Öncesi Simulasyon İle Gösterilmesi..... | 117 |

| | |
|--|-----|
| 9.6. 138 kV Hattın Gerilim Çökmesi Sonrası Simulasyon İle Gösterilmesi..... | 121 |
| | |
| BÖLÜM 10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 125 |
| | |
| KAYNAKLAR..... | 128 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 131 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|---------------|---|
| ω | : Dairesel Frekans |
| ε | : Hata |
| μ | : Kesişim Açısı |
| f | : Frekans |
| T | : Periyod |
| t | : Zaman |
| Z | : Empedans |
| X | : Reaktans |
| L | : İndüktans |
| R | : Direnç |
| C | : Kapasite |
| V | : Gerilim |
| V_m | : Gerilimin Maksimum Değeri |
| I | : Akım |
| I_m | : Akımın Maksimum Değeri |
| I_{eff} | : Akımın Etkin Değeri |
| W | : Enerji |
| P | : Aktif Güç |
| P_{ort} | : Ortalama Güç |
| Q | : Reaktif Güç |
| DC, DA | : Doğru Akım |
| AC, AA | : Alternatif Akım |
| V_1, V_2 | Kademe Değiştiricilerinin Birincil ve İkincil Gerilim Değerleri |
| φ | : Güç Faktörü Açısı |
| δ | : Senkron Generatör Rotor Açısı |
| $\Delta V $ | : Bozucu Etkiden Sonra Gerilimdeki Değişim Miktarı |

| | |
|------------|--|
| k_{se} | : Seri Kompanzasyon Derecesi |
| k_{sh} | : Şönt Kompanzasyon Derecesi |
| Z_0 | : Hat Empedansı |
| ϕ | : Faz açısı |
| E_r | : Motorda indüklenen gerilim |
| Z_S | : Şebeke empedansı |
| Z_M | : Motor eşdeğer empedansı |
| N | : Örnek sayısı |
| $U(k)$ | : Örneklendiği gerilimin dalga şekli |
| $E(\nu S)$ | : Gerilim çökmesi enerji indeksi |
| f_0 | : Bütün süre boyunca frekans değeri |
| U_{nom} | : Nominal gerilimi |
| | |
| $1FT$ | : Bir Faz Toprak |
| $2F$ | : İki Faz |
| $2FT$ | : İki Faz Toprak |
| $3F$ | : Üç Faz |
| $CBEMA$ | : Computer Business Equipment Manufacturers Associations |
| Hz | : Hertz (1/saniye) |
| IEC | : Uluslar arası Elektroteknik Komisyonu |
| $ITIC$ | : Information Technology Industry Council |
| $KSGD$ | : Kısa Süreli Gerilim Değişimi |
| Ref | : Referans |
| Rms | : Etkin Değer (gerilim veya akım içingeçerlidir.) |
| Std | : Standart |
| EG | : Embedded Generation |
| KGK | : Kesintisiz Güç Kaynakları |
| DGY | : Dinamik Gerilim Yenileyicileri |
| SGT | : Sabit Gerilim Transformatörleri |
| GEN | : Generator |
| YES | : Yerel Elektrik Santrali |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Sınıflandırılmış gerilim çeşitleri..... | 3 |
| Şekil 2.1. Gerilim çökmesi,kesilmesi ve yükselmesinin bir durum üzerinde gösterilmesi..... | 10 |
| Şekil 2.2. Tipik bir gerilim düşümü dalga şekli..... | 11 |
| Şekil 2.3. Dağılım sistemlerinde KSGD'ne yol açan arızaların oluşma yerlerine göre dağılımı..... | 15 |
| Şekil 2.4. İstatistiksel verilerden elde edilmiş düşüm genliği oranları..... | 15 |
| Şekil 2.5. CBEMA'nırı göç kabul edilebilirlik eğrisi..... | 17 |
| Şekil 2.6. HC'in güç kabul edilebilirlik eğrisi..... | 17 |
| Şekil 3.1. Bir elektrik güç sisteminin yapısı..... | 20 |
| Şekil 3.2. Seri transformatörün bağlantıları (a) ana transformatörün tersier sargısından (b) ayrı bir uyarım transformatöründen..... | 28 |
| Şekil 3.3. Seri kapasitörlü kompanzasyon ekipmanlarının tipik şeması..... | 32 |
| Şekil 4.1. Düzgün bir faz-toprak arası hatadan dolayı gerilim çökmesi..... | 37 |
| Şekil 4.2. Motor çalışmaya başladığında gerilim çökmesi..... | 38 |
| Şekil 4.3. Gerilim çökme hatası ve oluşan çökme hatasının 8 ve 24 periyot içinde tekrar eski haline gelmesi..... | 40 |
| Şekil 4.4. 10,7 MW indüksiyon motorunda ki geçici hız,MW ve MVAR..... | 42 |
| Şekil 4.5. İndüksiyon motorunun direkt başlama anında ki akımı (V=1 pu) | 43 |
| Şekil 4.6. Başlama süresince gerilim fonksiyonun uygulanması (V 0,7-1,2 aralığında)..... | 43 |
| Şekil 4.7. Dağılım şebekesine bağlı yerel generatör tek hat şeması..... | 44 |
| Şekil 4.8. Farklı gerilimlerde ki yük açısının bir fonksiyonu olarak bir senkron motorda ki aktif güç..... | 46 |
| Şekil 4.9. Motor yol verme olayı için gerilim bölücü devre..... | 49 |
| Şekil 4.10. Asenkron motora yol verilmesi sırasında oluşan gerilim düşümü..... | 50 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 4.11. ITIC eğrisi (bilgisayarların gerilim düşmelerine, kesintilere ve aşırı gerilime karşı dayanımı karakteristiği)..... | 51 |
| Şekil 4.12. Bir yerel santralin enterkonnekte sistem içerisindeki yeri..... | 55 |
| Şekil 4.13. Yerel santraller ile enerji üretimi..... | 56 |
| Şekil 4.14 .Bağlamı şekli Tip 1..... | 57 |
| Şekil 4.15. Bağlantı şekli Tip 2..... | 57 |
| Şekil 4.16. Bağlantı şekli Tip 3..... | 58 |
| Şekil 4.17. Bağlantı şekli Tip 4..... | 58 |
| Şekil 4.18. Türkiye’de yerel elektrik santrallerinin sektörlere göre dağılımı.. | 61 |
| Şekil 4.19. Türkiye’de ki yerel elektrik santrallerinin kullanılan yakıtta göre dağılımı..... | 61 |
| Şekil 4.20. Yerel santralin bulunduğu sistemin eşdeğer devresi..... | 63 |
| Şekil 5.1. Gerilim çökmesi süresinin hesaplanması..... | 70 |
| Şekil 5.2. Tipik bir radyal dağıtım sistemi prensip şeması..... | 74 |
| Şekil 5.3. Basitleştirilmiş radyal dağılım sistemi (gerilim bölücü devre)..... | 74 |
| Şekil 5.4. Tipik bir ağ şebeke örneği..... | 77 |
| Şekil 5.5. Genelleştirilmiş ağ (halka) şebeke..... | 77 |
| Şekil 5.6. Halka şebekede kritik parça (P_{krit}) ile düşme genliği değişimi..... | 78 |
| Şekil 5.7. ABC sınıflandırılmasında üç fazda ki dengesiz gerilim çökmesinin sınıflandırılması..... | 79 |
| Şekil 5.8. Üç fazda ki dengesiz çökmelerin altı şekilde gösterimi..... | 82 |
| Şekil 7.1. Ups konfigürasyonu..... | 94 |
| Şekil 7.2. DVR bağlantı..... | 95 |
| Şekil 7.3. Motor-Generatör grubu..... | 96 |
| Şekil 7.4. Ferro-Rezonans / Sabit gerilim transformatörü..... | 97 |
| Şekil 7.5. “Gerilim darbesi / ani voltaj yükselmesi” koruma filtresi..... | 98 |
| Şekil 8.1. Maksimum ani puantlar..... | 102 |
| Şekil 8.2. Şubat/2007 ayı elektrik enerjisi tüketiminin günlük gelişimi..... | 102 |
| Şekil 8.3. 16/01/2007 Salı gününe ait günlük yük eğrisi..... | 103 |
| Şekil 8.4. Türkiye’deki 400 kV enterkonnekte sistemin görünüşü..... | 104 |
| Şekil 9.1. 380 kV iletim hattında generator-1’in gerilim çökmesi öncesi değeri..... | 105 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 9.2. 380 kV iletim hattında generator-2'in gerilim çökmesi öncesi değeri..... | 106 |
| Şekil 9.3. 380 kV iletim hattında generator-3'ün gerilim çökmesi öncesi değeri..... | 106 |
| Şekil 9.4. 380 kV'luk iletim sisteminin gerilim çökmesi öncesi durumu..... | 107 |
| Şekil 9.5. 380 kV iletim hattında generator-1'in gerilim çökmesi sonrası değeri..... | 108 |
| Şekil 9.6. 380 kV iletim hattında generator-2'ün gerilim çökmesi sonrası değeri..... | 109 |
| Şekil 9.7. 380 kV iletim hattında generator-3'ün gerilim çökmesi sonrası değeri..... | 109 |
| Şekil 9.8. 380 kV'luk iletim sisteminin gerilim çökmesi sonrası durumu..... | 110 |
| Şekil 9.9. 380 kV-154 kV-34,5 kV iletim hattında generator-1'in gerilim çökmesi öncesi değeri..... | 111 |
| Şekil 9.10. 380 kV-154 kV-34,5 kV iletim hattında generator-2'in gerilim çökmesi öncesi değeri..... | 112 |
| Şekil 9.11. 380 kV-154 kV-34,5 kV'luk iletim sisteminin gerilim çökmesi öncesi durumu..... | 113 |
| Şekil 9.12. 380 kV-154 kV-34,5 kV iletim hattında generator-1'in gerilim çökmesi sonrası değeri..... | 114 |
| Şekil 9.13. 380 kV-154 kV-34,5 kV iletim hattında generator-2'in gerilim çökmesi sonrası değeri..... | 115 |
| Şekil 9.14. 380-154-34,5 kV'luk iletim sisteminin gerilim çökmesi sonrası durumu..... | 116 |
| Şekil 9.15. 138 kV iletim hattında generator-1'in gerilim çökmesi öncesi değeri..... | 117 |
| Şekil 9.16. 138 kV iletim hattında generator-2'in gerilim çökmesi öncesi değeri..... | 118 |
| Şekil 9.17. 138 kV iletim hattında generator-4'in gerilim çökmesi öncesi değeri..... | 118 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 9.18. 138 kV iletim hattında generator-6'ın gerilim çökmesi öncesi değeri..... | 118 |
| Şekil 9.19. 138 kV iletim hattında generator-7'ın gerilim çökmesi öncesi değeri..... | 119 |
| Şekil 9.20. 138 kV kV'luk iletim sisteminin gerilim çökmesi durumu..... | 120 |
| Şekil 9.21. 138 kV iletim hattında generator-1'in gerilim çökmesi sonrası değeri..... | 121 |
| Şekil 9.22. 138 kV iletim hattında generator-2'in gerilim çökmesi sonrası değeri..... | 122 |
| Şekil 9.23. 138 kV iletim hattında generator-4'in gerilim çökmesi sonrası değeri..... | 122 |
| Şekil 9.24. 138 kV iletim hattında generator-6'ın gerilim çökmesi sonrası değeri..... | 122 |
| Şekil 9.25. 138 kV iletim hattında generator-7'ın gerilim çökmesi sonrası değeri..... | 123 |
| Şekil 9.26. 138 kV kV'luk iletim sisteminin gerilim çökmesi sonrası durumu..... | 124 |

TABLolar LİSTESİ

| | |
|--|-----|
| Tablo 1.1. Kısa süreli gerilim değişmeleri..... | 4 |
| Tablo 2.1. Arıza temizleme cihazları çalışma zamanları..... | 15 |
| Tablo 4.1. Gerilim çökmelerinin sınıflandırılması ve fazörlerin etkisi..... | 39 |
| Tablo 4.2. Farklı çökme tiplerinde indüksiyon motorlarının davranışı..... | 40 |
| Tablo 4.3. Kurulu güce göre sınıflandırma..... | 59 |
| Tablo 4.4. Yerli santraller için ulaşılan teknoloji..... | 60 |
| Tablo 5.1. Farklı göç ve gerilim seviyelerinde ait kritik uzaklıklar..... | 76 |
| Tablo 5.2. Farklı çökme tipleri ne diğer hatalar..... | 80 |
| Tablo 5.3. Farklı voltajdaki gerilim düşümlerinin farklı tipteki hata seviyeleri..... | 80 |
| Tablo 5.4. Altı fazlı algoritma da çökme tipleri..... | 86 |
| Tablo 8.1. 2005 yılı sonu itibariyle iletim trafolarımız | 100 |
| Tablo 8.2. Türkiye'deki iletim hatları..... | 101 |
| Tablo 8.3. 2005 Yılına ait ani ve max. puant yükleri..... | 101 |
| Tablo 8.4. 2005 Yılına ait yazın ve min. puant yükleri..... | 101 |
| Tablo 8.5. 2005 Yılına ait min.ve max. puant yükleri..... | 101 |
| Tablo 8.6. 2005 Yılına ait yazın maksimum tüketim miktarı..... | 101 |
| Tablo 8.7 16.01.2007 Türkiye'deki puant miktarları..... | 102 |
| Tablo 8.8 16.01.2007 günü sistemde ki saatlik yük miktarları ve yük tevzi bölgelerine göre puant miktarları..... | 103 |
| Tablo 9.1. 380 kV hattın gerilim çökmesi öncesi hat değerleri.... | 105 |
| Tablo 9.2. 380 kV hattın gerilim çökmesi öncesi bus değerleri... | 105 |
| Tablo 9.3. 380 kV hattın gerilim çökmesi sonrası hat değerleri..... | 108 |
| Tablo 9.4. 380 kV hattın gerilim çökmesi sonrası bus değerleri..... | 108 |
| Tablo 9.5. 380 kV-154 kV-34,5 kV hattın gerilim çökmesi öncesi hat değerleri..... | 111 |

| | |
|--|-----|
| Tablo 9.6. 380 kV-154 kV-34,5 kV hattın gerilim çökmesi öncesi bus değerleri..... | 111 |
| Tablo 9.7. 380 kV-154 kV-34,5 kV hattın gerilim çökmesi sonrası hat değerleri..... | 114 |
| Tablo 9.8. 380 kV-154 kV-34,5 kV hattın gerilim çökmesi sonrası bus değerleri..... | 114 |
| Tablo 9.9. 138 kV hattın gerilim çökmesi öncesi hat değerleri..... | 117 |
| Tablo 9.10. 138 kV hattın gerilim çökmesi öncesi bus değerleri..... | 117 |
| Tablo 9.11. 138 kV hattın gerilim çökmesi sonrası hat değerleri..... | 121 |
| Tablo 9.12. 138 kV hattın gerilim çökme sonrası bus değerleri..... | 121 |

ÖZET

Anahtar Kelimeler : Gerilim Düşümleri, Kısa Süreli Gerilim Düşümleri, Gerilim Bozulmaları, Enerji Kalitesi, Dağıtım Sistemleri.

Bu tez çalışması yapı itibariyle on bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde konuyla ilgili kısa bir tanıtımın ardından literatür incelemesi yapılmış ve tezde incelenen olaylardan ve gerekçelerinden ana hatlarıyla bahsedilmiştir. İkinci bölümde gerilim düşümlerinin tanımı, oluşma sebepleri ve sıklıkları belirtilmiştir. Üçüncü bölümde ise güç sistemleri ve güç sistemlerinin yapısı incelenmiştir. Burada asenkron motorların davranışları, generatörler ve iletim hatları ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde ise gerilim çökmelerinin etkileri genel anlamda incelenmiştir. İndüksiyon motorlarında gerilim çökmeleri, transformatörlerdeki gerilim çökmeleri, Senkron motor ve generatörlerde gerilim çökmeleri, yerel elektrik santrallerinin gerilim düşümü etkileri irdelenmiştir. Ayrıca büyük güçlü asenkron motorların çalışması sonucunda şebekede meydana gelen sorunlar ve yerel santrallerin probleme katkıları da ele alınmıştır.

Beşinci bölümde kısa süreli gerilim düşümleri ile ilgili teorik altyapı ve matematiksel bağıntılar ile hesaplamada kullanılan yöntemler verilmiştir. Altıncı bölümde de dünya üzerinde farklı ülkelerdeki geçmiş tarihlerde kaydedilmiş gerilim çökmelerine misaller verilmiştir. Bu örneklerde karşılaşılan durumlar ve arızaların giderilmesi konu edilmiştir.

Yedinci bölümde gerilim düşümünü azaltıcı cihazlar hakkında bilgi verilmiştir. Muhtemel hatalara karşı (gerilim düşümü, harmonik bozulmalar v.b..) bu cihazların hatayı azaltıcı yöndeki kullanım tekniklerinden bahsedilmiştir. Sekizinci bölümde Türkiye'deki iletim hatları ile günlük ve aylık bazda minimum ve maksimum enerji tüketim miktarları hakkında bilgi verilmiştir.

Dokuzuncu bölümde PowerWorld Simülasyon programı ile gerilim çökmesi analizi yapıldı. Bu analiz sonucunda elde edilen veriler tablo ve grafik halinde verilmiştir ve bununla ilgili birkaç örnek çözülmüştür. Sonuç bölümünde gerilim çökmesi ile ilgili karşılaşılan problemler ve çözüm yolları hakkında yorum yapılmıştır.

THE EFFECTS OF VOLTAGE SAGS ON ELECTRICAL ENERGY SYSTEMS

SUMMARY

Keywords : Voltage Sags (Dips), Short-term Voltage Sags, Voltage Distortions, Energy Quality, Distribution Systems.

According to constructional approach, this thesis consists of ten chapters. In the introduction chapter, after a short summary related with the main theme, it's been investigated literately and told about the phenomenas and reasons of the thesis. In the second chapter the defination of voltage sag, existance reasons and frequencies were given. In chapter three the power systems and their structures were observed. Here, it's been taken up the asynchronous engine behaviours, generators and transmission lines.

In chapter four, the effects of voltage sags are investigated generally. Voltage sags in induction engines, voltage sags in transformers, voltage sags in synchronous engines and generators and the voltage sag effects of domestic electrical powerhouses were examined. Also, the problems which were occured by the sudden working of the big-power asynchronous engines and the additional contrubition of the domestic powerhouses were examined.

In the fifth chapter, a detailed theoretical background, mathematical equations and the methods which were used in the analysis of the short-term voltage sags were given. The world wide examples of the voltage sags which were enrolled in several countries were presented in the chapter six. The situations faced in the examples and solutions of the problems were the main subjects in that chapter.

In the seventh chapter, the voltage sag reduction devices were being showed and informations about them were given. The error reducer usage techniques of the devices were being told for the probable errors.(voltage sags, harmonical distortions etc.). In the eighth chapter, informations were given about the transmission lines in Turkey and the daily and monthly energy consuming amounts at minimum and maximum levels.

In the chapter ninth, PowerWorld Simulator computer program was used and necessary voltage sag analyses were made by it. The datas which were obtained by those analyses were shown as table and diagram and a couple of examples related with the subject were solved. In the final chapter, comments about the problems which can be seen in voltage sags and their solutions were made.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Vazgeçilmez bir enerji kaynağı olan elektrik enerjisini üreten, ileten ve dağıtan kuruluşların görevi; kesintisiz, ucuz ve kaliteli bir hizmet tüketicilerine sunmaktır. Güç kalitesi kavramında maksat, sabit şebeke frekansında; sabit ve sinüsoidal biçimli uç gerilimidir.

Ancak bu tür enerji pratikte bir takım zorluklarla sağlanabilir. Güç sistemine bağlanan bazı elemanlar ve bunların yol açtığı olaylar sebebiyle tam sinüsoidal değişimden sapmalar olabilmektedir. Tam sinüsoidal'den sapma, genellikle harmonik adı verilen bileşenlerin ortaya çıkması ile ifade edilir ve buna sebep olan etkenlerin başında ise manyetik ve elektrik devrelerindeki lineersizlikler (Nonlineerlik) gelir.

1. Kaliteli Elektrik Enerjisi, şebekenin tanımlanan bir noktasında, gerilimin genlik ve frekansının anma değerlerini koruması ve gerilim dalga şeklinin sinüs biçiminde bulunmasıdır
2. Bu tanımın tersi olarak, gerilimin genliğinin değişmesi, kesintiler, gerilim darbeleri, fliker, gerilimin doğru bileşen içermesi, dalga şeklinin sinüsten uzaklaşması, frekans değişimleri, üç faz dengesizlikleri enerji kalitesizliğidir.
3. Enerji kalitesi çoklukla yük tarafından bozulur. V-I karakteristiği lineer olmayan yükler şebekeden sinüs olmayan akımlar çeker ve bu akımlar şebekede sinüs olmayan gerilim düşümleri oluşturarak besleme noktasındaki gerilimin dalga şeklini bozar.
4. Gerilim ve/veya akım dalga şekli sinüs biçiminde değilse, bu dalgaya Fourier analizi uygulanarak harmonikler bulunur.

Enerji (Güç) kalitesi, hızlı gelişen ve rekabete dayalı enerji piyasasında tüketiciyi olduğu kadar, üretici ve dağıtıcı şirketleri de ilgilendiren bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımında meydana gelen problemler, müşteriye verilen enerjinin istenen normlara uygunluğunu bozmakta ve bunun sonucu olarak ta maddi kayıplar oluşmaktadır. Tüketicinin hassas cihazları, akım, gerilim ve frekansta meydana gelen değişikliklerden olumsuz yönde etkilenmektedir. Satın alınan enerjinin normlara uygun olmaması sonucunda ürün ve iş gücü kaybının yanı sıra ürün kalitesindeki azalmalar, endüstride karşılaşılan enerji kalitesi kaynaklı sorunların en belirgin olanlarıdır. Petrokimya tesisleri, rafineriler, kağıt fabrikaları, demir-çelik tesisleri enerji kalitesizliğinden etkilenen tesislerin başında gelmektedir.

Alternatif enerji sistemlerinde, sağlanması gereken bazı şartlar vardır. Akım ve gerilimin saf sinüs dalga şekline sahip olması, frekansın nominal değerinde sabit kalması (50 Hz veya 60 Hz gibi) ve yük üzerindeki gerilimin efektif olarak anma değerinde olması (yada kabul edilebilir sınırlar içinde olması) istenen kalite şartlarının basitçe ifade edilmiş şeklidir. Enerji kalitesi, bu zorunlulukların her koşulda sağlanması ile orantılıdır.

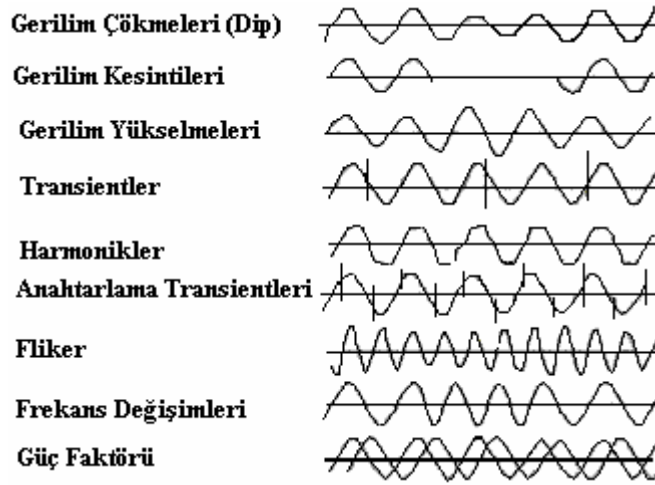
Elektrik enerjisinin kalitesi, endüstriyel tesislerdeki üretim kalitesini ve verimliliğini de etkilemektedir. Cihazlar kesinti veya sağlanması zorunlu değerlerden farklı değerlerdeki enerji ile beslendiklerinde istenen performansı veremez. Kalitesiz enerji, sadece sanayide değil, elektrikli ev aletleri ve elektronik cihazlarda da sorunlara yol açabilir. Bilgisayarlar, televizyonlar, vb hassas cihazlar özellikle gerilim ve frekans değişimlerinden etkilenirler. Aşın ve düşük gerilimler ile harmonikler en sık rastlanılan sorunların başında gelmektedir.

İşte bu nedenlerden dolayı; enerji kalitesi, elektrik enerjisinin tüketildiği her yerde ve her türlü gerilim seviyesinde önemini arttırmaktadır. Genel olarak enerji kalitesi kavramı; tüketici cihazlarının yanlış çalışması yada arızalanması ile sonuçlanabilen, akım, gerilim ve/veya frekansta meydana gelen değişimler şeklinde kendini gösteren her türlü problem olarak tanımlanmaktadır [1].

Güç Kalitesi ölçümleri genellikle düşük frekansla sağlanan elektromanyetik kesintilerin karakteristiklerinin belirlenmesiyle ilgilidir.

Enerji kalitesi, 1980'lerden beri özellikle endüstriyel dağıtım sistemlerinde kullanılan bir terimdir. Pek çok alt tanım ve olayı içerisinde bulundurmaktadır. Bir sınıflandırma şekli aşağıda görülmektedir.

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



Şekil 1.1. Sınıflandırılmış gerilim çeşitleri

Kesinti türleri gerilimin büyüklüğü, dalga formu, frekansı ve simetrisini etkilemelerine göre dört kategoride incelenebilir. Bu karakteristiklerin birçoğu herhangi bir kesinti türü ile kolaylıkla bağdaşabilir. Kesintiler ayrıca süreklilik, yarı süreklilik veya rasgelelik niteliklerine göre de sınıflandırılabilir (yıldırım, kısa devre, anahtarlama, vb.). Gerilim düşümleri, kısa süreli değişmeler başlığı içerisinde yer almaktadır. Tablo 1.1'de kısa süreli değişmeler maddesinin içeriği görülmektedir.

Tablo 1.1. Kısa süreli gerilim değişmeleri

| | Sûre | Genlik |
|------------------------|-----------------------|--------------|
| 1.Anlık Değişimler | | |
| Gerilim Kesilmeleri | 0.5 - 30 periyot | < 0.1 pu |
| Gerilim Düşümleri | 0.5 - 30 periyot | 0.1 - 0.9 pu |
| Gerilim Yükselmeleri | 0.5 - 30 periyot | 1.1 - 1.8 pu |
| 2.Ani Değişimler | | |
| Gerilim Kesilmeleri | 30 periyot - 3 saniye | < 0.1 pu |
| Gerilim Düşümleri | 30 periyot - 3 saniye | 0.1-0.9 pu |
| Gerilim Yükselmeleri | 30 periyot - 3 saniye | 1.1-1.4 pu |
| 3.Gecikmeli Değişimler | | |
| Gerilim Kesilmeleri | 3 saniye - 1 dakika | < 0.1pu |
| Gerilim Düşümleri | 3 saniye - 1 dakika | 0.1 - 0.9 pu |
| Gerilim Yükselmeleri | 13 saniye -1 dakika | 1.1 - 1.2 pu |

Bu tezde ilgilenilmekte olan kısa süreli gerilim düşümleri ve gerilim kesilmeleri kavramları, genellikle birlikte değerlendirilen ve teorik yapısı aynı olan bir enerji kalitesi olayıdır, özellikle sistem güvenilirliğine etkisi küçümsenemez. Son 15 yıl içerisinde kısa süreli gerilim düşümleri ve kesilmeleri konusunda yapılmış pek çok inceleme ve araştırma bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar genelde iki grup içerisinde toplanabilmektedir. Birinci grup içerisinde gerilim düşümlerinin genel karakteristik özellikleri yer alırken, ikinci grup içerisinde etkilerinin azaltılması amacıyla yapılan çalışmalar yer almaktadır.

Kısa süreli gerilim düşümlerinin (KSGSD) endüstriyel dağıtım sistemlerindeki hassas yüklere etkisinin ilk incelendiği çalışmalarda genel olarak bir teorik altyapı verilmemiş, yaşanan olayların sonuçları değerlendirilerek, koruma sistemin etkisi ve bu olaya sebep olan faktörler ortaya konulmuştur [2]. Ayrıca arıza yeri ile değişik transformatör bağlama gruplarının gerilim düşümü genliğine etkisi de incelenmiştir. Bunların yanı sıra hassas cihazlar için kabul edilebilir bir gerilim değerleri eğrisi verilmiştir. Bu makale daha sonraki pek çok araştırma için önemli bir başlangıç noktası olmuştur.

Kısa süreli gerilim düşümlerinin teorisi ve hesaplanması ile ilgili ilk çalışmalarda radyal ve halka şebeke modelleri üzerinde gerilim düşümü hesaplama yöntemleri verilerek [3], kritik uzaklık ve genlik hesabına ilişkin bağıntıların yardımıyla farklı gerilim seviyelerinde ve arıza yerlerinde genlik hesaplamaları yapılmıştır.

Elde edilen veriler, dağıtım sistemlerindeki gerilim düşümlerinin karakteristiklerle ilgili hakkında bilgi veren önemli sonuçlar olup, sadece dengeli arızalar ve dengeli gerilim düşümleri dikkate alınarak yapılmıştır. Dengesiz arızaların yol açtığı dengesiz gerilim düşümlerinin hesaplandığı [4] çalışmada ise dengesiz KSGD tipleri, pozitif negatif faktörünün tek faz toprak ve iki faz toprak arızası için hesabı yapılarak dengesiz gerilim düşüm düşümlerinin şebeke içerisinde yayılımını bir uygulama ile gösterilmiştir.

Gerilim düşümlerinin, endüstriyel dağıtım şebekelerine etkisinin incelenmesinde yüklerin etkisinin dikkate alınmaması büyük bir eksikliklerdir. Bu nedenle özellikle teorik çalışmalar devam ederken, diğer taraftan ise yüklerin, özellikle asenkron motorların etkisi 90'lann ilgi alanlarından biri olmuştur. Yapılan ilk çalışmalarda asenkron ve senkron motorların gerilim düşümlerinden etkilenme biçimleri ve özellikle motor mekanik yük karakteristiklerinin etkisi olduğu sonuçlar çıkarılmıştır [5]. Ancak bu çalışmada mekanik yüklerin etkisine yönelik yüzeysel incelemelere ait ilk sonuçlar verilmiştir.

Asenkron motorun kısa süreli gerilim düşümleri ve enerji kalitesi açısından oldukça riskli bir yük olması, bu motorların gerilim düşümüne etkisi ve davranışı ile ilgili pek çok çalışmanın yapılmasını sağlamıştır. Motorların arıza temizlendikten sonra yeniden hızlanıp nominal hız ve momentine ulaşmasına kadar geçen sürede yaşanan arıza sonrası kısa süreli gerilim düşümü olayının, özellikle büyük güçlü motorlarda şebeke gerilimini etkilediği ve diğer yükler için daha tehlikeli bir sürecin arıza sonrasında da devam edebileceği yönünde sonuçlar ortaya konulmuştur [6]. Daha sonraki çalışmalarda arıza sonrası gerilim düşümleri için motor modeli ortaya konularak, stokastik değerlendirmeler ile güvenilirlik ilişkisi incelenmiştir [7]. Gerilim düşümlerinin stokastik değerlendirmesinde kritik uzaklığın kullanılması ile radyal ve ağ şebekede hem dengeli ve hem de dengesiz koşullarda enerji kalitesi güvenilirlik ilişkisi bir sonraki adımda incelenen konular olmuştur [8].

İletim ve dağıtım sistemi arızalarının yol açtığı gerilim düşümlerinin büyük endüstriyel yüklere etkisi ve motorların gerilim düşümüne etkisinin bilinmesi,

dağıtım sistemlerindeki kısa süreli gerilim düşümlerinin karakteristik özellikleri hakkında önemli kolaylıklar sağlamaktadır.

Şebekenin herhangi bir yerinde meydana gelen kısa devre sonucunda, şebeke genelindeki yükler üzerinde bir miktar gerilim düşümü meydana gelir. Bunu önlemek mümkün değildir. Ancak etki alanının daraltılması yada kısmen alınan önlemler ile belirli bir yük bölgesinde gerilimi yükseltici çözümler üretilmektedir.

Dağıtım sistemlerinde kullanılan gerilim arttırıcı cihazların kritik yüklerde gerilim düşümünün etkisinin azaltılmasında önemli rolü olduğu bilinmektedir. Statik VAR Kompanzatorleri , Akım Sınırlayıcılar ve Dinamik Gerilim Düzenleyicileri önerilen belirli cihazlardan belli başlı olardandır [9].

Büyük endüstriyel tesislerde gerilim düşümlerinin azaltılmasında önemli bir katkısı olan önlemlerden biri de yerel elektrik santrallerinin kullanılmasıdır. Yerel elektrik santralleri sadece gerilim düşümünü kurtarmak amacıyla kurulmaz. Büyük tesislerde, enerji üretiminin bir kısmı yada tamamını karşılamak amacıyla ve başka nedenlerle kurulan yerel santrallerin enerji kalitesinin iyileştirilmesinde önemli katkıları olduğu ortaya çıkmıştır. Bu konuyla ilgili çalışmalar oldukça yenidir. Yerel santrallerin dağıtım şebekesine gerilim düşümleri açısından katkısının incelendiği çalışmalarda [10,11] farklı koşullarda gerilim düşümü üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Burada endüstriyel dağıtım sistemlerinde kısa süreli gerilim düşümlerinin azaltılmasında yerel elektrik santralının kullanılması incelenmiştir. Ayrıca meydana gelen kısa süreli gerilim düşümlerinin yerel santral içeren dağıtım sistemlerinde yol açtığı kararlılık ve şebekeden ayrılma problemlerine etkisi, generatörlerin davranışı incelenmiştir.

İkinci bölümde gerilim düşümlerinin tanımı, oluşma sebepleri ve sıklıkları belirtilmiştir. Üçüncü bölümde ise güç sistemlerinin yapısı incelenmiştir. Burada asenkron motorların davranışları,generatörler ve iletim hatları belirtilmiştir.

Dördüncü bölümde ise gerilim çökmelerinin etkileri incelenmiştir.İndüksiyon motorlarında gerilim çökmeleri,transformatörlerde ki gerilimçökmeleri,Senkron motor ve generatrölerde gerilim çökmeleri, yerel elektrik santrallerinin gerilim düşümü etkileri irdelenmiştir.

Ayrıca bir başka gerilim düşümü sebebi olan büyük güçlü asenkron motorlara doğrudan yol verilmesinin şebekede meydana getirdiği sorunlar ve yerel santrallerin probleme katkısı ele alınmıştır.

Beşinci bölümde ise kısa süreli gerilim düşümünün hesaplama yöntemleri incelenmiştir. Altıncı bölümde ise Dünya üzerinde geçmişte yaşanmış gerilim çökmelerine örnekler verilmiştir. Bu örneklerde karşılaşılan durumlar ve arızaların giderilmesi konu edilmiştir.

Yedinci bölümde ise gerilim düşümünü azaltıcı cihazlar hakkında bilgi verilmiştir. Sekizinci bölümde Türkiye'deki iletim hatları,anlık ve günlük min. ve max. puant miktarları belirtilmiştir. Dokuzuncu bölümde simülasyon programı ile bazı örnekler verilmiştir.

BÖLÜM 2. GERİLİM ÇÖKMESİNİN TANIMI

2.1. Giriş

Gerilim çökmesi 10 ms. ile 1 dakikalık süre boyunca anma geriliminin efektif değerinin % 10'u ile % 90'ı arasındaki bir değere düşmesi olarak tanımlanır. % 10'luk bir gerilim çökmesi gerilimin etkin değerindeki % 10'luk bir azalma ile 0,9 birim değerlik değere düşmesi anlamına gelmektedir. Gerilim çökmesi endüstriyel ve ticari tüketicilerin en çok karşılaştığı ve etkilendiği olaylardan birisidir.

Gerilim çökmeleri enerji dağıtım sisteminde arızalar, sisteme bağlı yüklerin aniden artması, atmosferik olaylar veya asenkron motor gibi büyük bir yükün devreye girmesi sonucunda oluşabilir. Enerji sisteminde arızaları önlemek mümkün değildir. Yıldırım ve benzeri bir olay sonucu gerilim çökmesi meydana geldiğinde, gerilim anma değerinin % 50'sine kadar olan değere 4 veya 7 periyoda kadar süre için düşebilir. Bu gerilim seviyesinde bir çok yük devre dışı kalır. Gerilim çökmesinin sonucunda oluşabilecek durumlardan birisi yüklerin özellikle motorların devreden çıkması veya verimlerinin düşmesidir. Gerilim çökmelerine cihazların duyarlılığı rasgele oluşabilir. Gerilimle ilgili bozulmaların % 87 'si gerilim çökmeleri ile ilgilidir. Enerji iletim ve dağıtım sisteminde meydana gelen arızaların büyük bir çoğunluğu tek faz nötr arızalarıdır.

Gerilim çökmesi, kesilmesi ve dalgalanmasını hesaplamak için iki tip standart vardır. Bunlar IEC 61000-4-30 [1] and IEEE Std. 1159-1995 [12]. Bunlardan IEC 61000-4-30 [1] standardını belirtirken;

- i. Bir elektrik sistemindeki gerilim çökmesi geçici olarak voltajın belirli bir eşik değerinden aşağı doğru azalmasıyla meydana gelir.

- ii. Voltaj kesilmesi ise bir elektrik sisteminde gerilimin belli bir eşik değerinden azalmasıyla oluşur.
- iii. Gerilim yükselmesi ise bir elektrik sisteminde gerilimin geçici olarak belli bir eşik seviyesinden artmasıyla meydana gelir.

Bunlardan IEEE Std. 1159-1995 [12] standardını belirtirken;

- i. Gerilim çökmesi bir dakika içinde yarım periyotluk güç frekansında gerilimin etkin değerinin 0.1 ve 0.9 pu arasında azalmasıdır.
- ii. Gerilim kesilmesi 3 sn. ve yarım periyot arasındaki bir zaman diliminde bir veya daha fazla ki fazda kısa süreli olan gerilim kaybıdır.
- iii. Gerilim yükselmesi bir dakika içindeki yarım periyotluk güç frekansında gerilimin artmasıdır.

Gerilim çökmesi,dalgalanması ve kesilmesi ile metinden anlaşılanlar aşağıdaki gibidir.

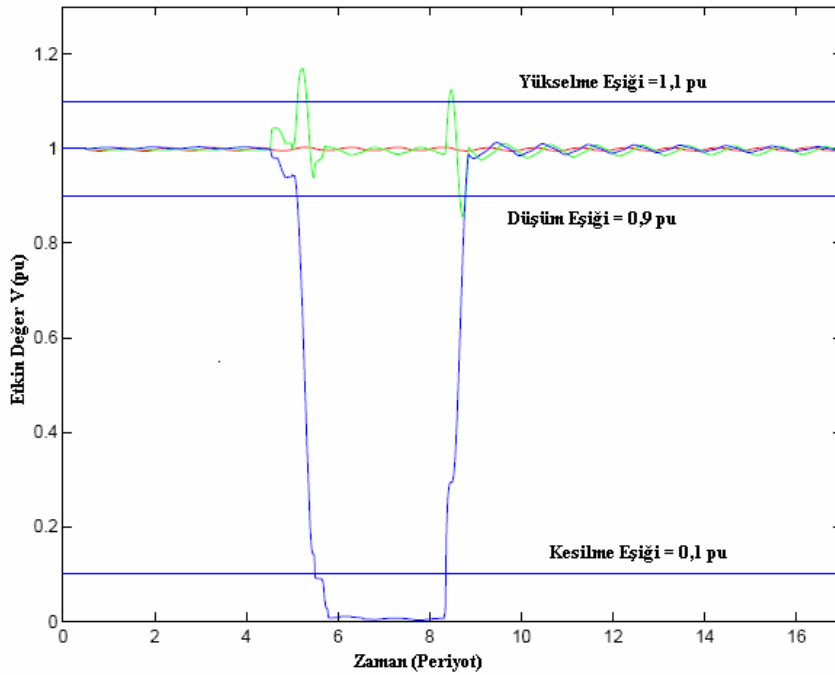
- i. Gerilim çökmesi üç fazın eşik değerinin üzerinde bulunduğu zaman ve fazlardan birinin eşik değerinin altına indiği zaman gerilim çökmesi başlar [7]. Gerilim çökmesindeki eşik değeri referans geriliminin %90 seçilir.
- ii. Gerilimde ki kesilmeler bir fazın eşik değerinin üzerinde olduğu ve üç fazın eşik değerinin altında olduğu durumlarda gerilim kesilmesi başlar [7]. Gerilim kesilmesindeki eşik değeri referans geriliminin %10 seçilir.
- iii. Gerilim yükselmesi üç fazın eşik değerinin altında olduğu ve bir fazın eşik değerinin üzerinde olduğu ve en az bir fazın eşik değerinin üzerinde olduğu zaman gerilim yükselmesi başlar [7]. Gerilim yükselmesindeki eşik değeri referans geriliminin %110 seçilir.

2.2. Gerilim Çökmesi Göstergeleri

Bugünlerde veritabanına gücün değeri megabayt ve gigabayt olarak kaydediliyor. Bu yüzden bu verileri tam olarak analiz etmek gerekir. Bu veriler gerilim çökmesi göstergelerini analiz etmede iyi birer araçtır.

Gücün kaynağının performansını ölçmekte gerilim çökmesi göstergelerinden biridir. Göstergeler bir sistemi ve sonuçları tanımlamakta kullanılır. Gerilim çökmesi göstergelerinde kullanılan temel doküman IEEE P1564 [2]'dir. Gerilim çökmesi göstergelerinde ki bu doküman ifade etmek de iyi bir araçtır. Gerilim çökmesi bir çok elektriksel alet sayesinde ve bunların uygulamaları ile azaltılabilir. Gerilim çökmesi elektrik sistemlerinde istenmeyen bir durumdur ve bu durum engellenebilir. Bu yüzden sonuçları iyi bir şekilde anlamak ve analizini yapmak gerekir.

Şekil 2.1 Örneğinde gerilim çökmesi, gerilim kesilmesi ve gerilim yükselmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Gerilim çökmesi,kesilmesi ve yükselmesinin bir durum üzerinde gösterilmesi.

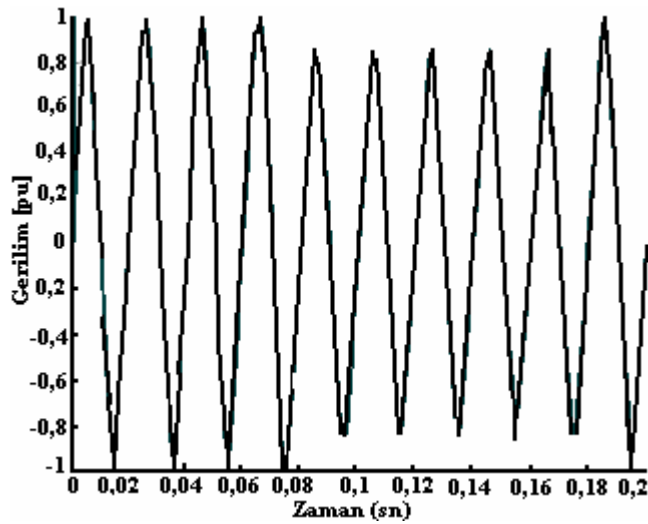
2.3. Kısa Süreli Gerilim Düşümleri ve Kesimleri

2.3.1. Temel tanımlar

Gerilimin genliğinde meydana gelen kısa süreli azalmalar (Şekil 2.2), gerilim düşümü olarak tanımlanır [17]. IEEE Std 1159-1995 [18] 'e göre; gerilim düşümü

nominal gerilimin %10'u ile %90'ı arasında olmakta ve düşüm süresi yarım periyottan bir dakikaya kadar değişebilmektedir.

Enerji kalitesi konularında çalışan bilimsel topluluklarca kısa süreli gerilim düşümleri için İngilizce “*sag*” terimi kullanılmıştır. Bu terim resmen tanımlanıp kabul edilmemiş olmasına rağmen artan oranda kabul görmüştür. Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından bu olay için “*dip*” terimi öngörülmüştür. Her iki terimde birbiri yerine kullanılabilir şekilde dikkate alınmaktadır. Genellikle “*sag*” terimi ABD'deki enerji kalitesi çalışma gruplarınca tercih edilmektedir [1]



Şekil 2.2. Tipik bir gerilim düşümü dalga şekli

Yine aynı kaynaklarda gerilimin, düşüm sırasındaki genliğinin nominal değerinin %10'undan daha aşağıya düşmesi durumuna gerilim kesilmesi denilmektedir ve bu durumda cihazların kesintiye maruz kaldığı öngörülmektedir. Genel olarak gerilim düşümü ve gerilim kesilmeleri birbiriyle yakından ilgili konular olduğundan beraber incelenmektedir.

Prensip olarak, her türlü gerilim düşümünün temel sebebi olarak akımda meydana gelen kısa süreli artışlar gösterilmektedir. Buna göre akım artışına yol açan her olay gerilim düşümlerinin sebepleri arasında yer alabilmektedir. Bu akım artışına en önemli üç neden olarak büyük güçlü motorların yol alması, transformatörlerin enerjilendirilmesi ve şebekede meydana gelen kısa devreler gösterilebilir [17,19].

Söz konusu sebeplerden, kısa devrelerin neden olduğu gerilim düşümleri hem iletim ve dağıtım sistemi ve hem de tüketiciler açısından kesintilere ve ciddi problemlere yol açmaktadır.

Bunun yanı sıra endüstriyel tüketicilerin bünyesinde bulunan büyük güçlü motorlara yol verilmesi sırasında yaşanan gerilim düşümleri de o endüstriyel tesis içindeki cihaz ve yüklerde bir takım sorunlara yol açabilmektedir. Ne var ki motorların yol alması önceden bilinen ve önlem alınması mümkün olan bir olaydır ve etkileri azaltmak mümkündür. Asenkron motorlara yol verilmesi sırasında oluşan gerilim düşümlerinin süresi genellikle daha uzundur, fakat neden olduğu gerilim düşümü küçük ve tüketiciler için çok ciddi bir problem kaynağı değildir. Bununla birlikte kısa devre sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşümleri hem beklenmedik ve hem de şiddetli olabilmektedir. Kısa devre kaynaklı gerilim düşümleri tüketiciler için önemli sorunlara yol açabilmektedir. Bunun yanı sıra iletim ve dağıtım sisteminde bulunan koruma sisteminin performansı ve koordinasyonu ile orantılı olarak arıza temizleme zamanının kısa olması sonucu olarak kısa devrelerin yol açtığı gerilim düşümleri daha kısa süre için sistemi ve tüketicileri etkilemektedir [13].

Genlik ve süre, kısa süreli gerilim düşümlerinin iki önemli karakteristik özelliğidir. Gerilim düşümü genliği, yüzde olarak yada sistem nominal gerilimin birim değeri (pu) şeklindeki net etkin (rms) gerilimdir ve %10'u (0.1 pu) ile %90'ı (0.9 pu) arasında değişir [14].

2.4. Gerilim Düşümlerinin Oluşma Sebepleri ve Sıklıkları

Gerilim düşümlerinin oluşumunda genellikle üç ana sebep gösterilmektedir. Bunların en çok rastlanılanı kısa devreler yada kabaca sistemde meydana gelen arızalar, diğeri ise büyük güçlü motorların yol alması ve transformatörlerin enerjilendirilmesi sırasında çekilen yüksek akımdan dolayı oluşan gerilim düşmeleridir.

- a. Gerilim düşmesi ve kısa kesintiler ağırlıklı olarak, gözlem noktasıyla kesinti kaynağı arasındaki elektriksel mesafe oranında azalan bir büyüklükle, şebeke

empedansları boyunca bir gerilim düşmesiyle sonuçlanan yüksek gerilimlere neden olan çok özel durumlarda kendini gösterir.

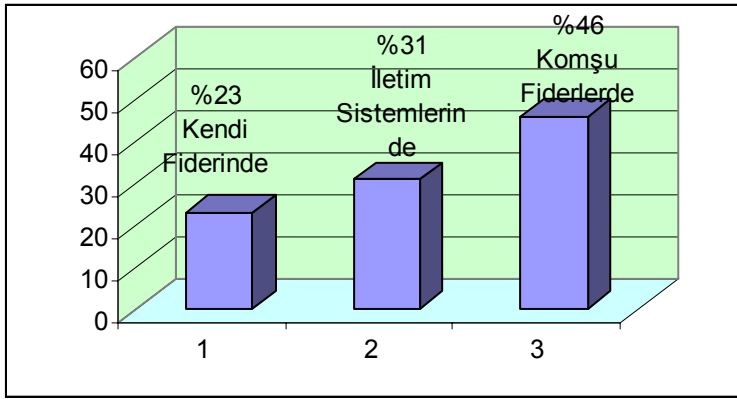
- b. İletim (YG) veya dağıtım (AG veya OG) şebekelerinde veya tesisatın kendisinde meydana gelen hatalar tüm kullanıcılarda gerilimin düşmesine neden olur. Düşüşün süresi genellikle koruyucu cihazların çalışma süresiyle güçlendirilir. Hataların koruyucu cihazlarla (devre kesiciler, sigortalar) izolasyonu, güç sisteminin hatalı bölümünden beslenen kullanıcıların kesintilere (kısa veya uzun) maruz kalmasına neden olur. Güç kaynağı artık mevcut olmasa bile; şebeke gerilimi, asenkron veya senkron motorların yavaşlamasıyla (0.3'den 1s'ye) elde edilen gerilim veya güç kaynağına bağlı kondansatör banklarının deşarj edilmesiyle açığa çıkan gerilimle de sağlanabilir.
- c. Kısa kesintiler genellikle, (hızlı ve/veya yavaş) otomatik devre kesicisi gibi şebeke üzerinde bulunan otomatik sistemlerin çalıştırılması, veya trafo ile generatör arasındaki kilitleme düzeneğinin çalıştırılması veya hatların fazlarının tersine çevrilmesinin (enversör) bir sonucudur. Kullanıcılar, geçici veya yarı kalıcı hataların giderilmesi için gerçekleştirilen otomatik kapama (havai veya karışık radyal şebekelerde) veya hatanın yerini tespit etmek için gerçekleştirilen gerilim geri beslemesinin bir saykılı olan aralıklı ark hatalarından kaynaklanan ardışık gerilim düşmesi ve/veya kısa kesintilere maruz kalırlar.
- d. Gerilim düşmesi ve kesintileri, trafo kullanılarak daha alçak gerilim seviyelerine aktarılır. Etkilenen faz sayısı ve gerilim düşüklüklerinin derinliği hata tipine ve trafo kuplajına bağlıdır.
- e. Kötü hava şartlarına maruz kalan havai şebekelerde, yeraltı şebekelerine oranla daha fazla sayıda gerilim düşmesi ve kesintisine rastlanır. Ancak, havai veya karışık şebekeler gibi aynı hat sistemine bağlı bir yeraltı kaynağı da havai iletim hatlarını etkileyen hatalar nedeniyle gerilim düşmesinden etkilenecektir.

- f. Geçici kesintiler ($\Delta T < T/2$) ise örneğin kondansatör banklarının enerjilenmesi, bir hatanın bir sigorta veya hızlı bir AG devre kesici ile izolasyonu veya çok fazlı doğrultuculardan gelen komütasyon dişlilerinden kaynaklanabilir.

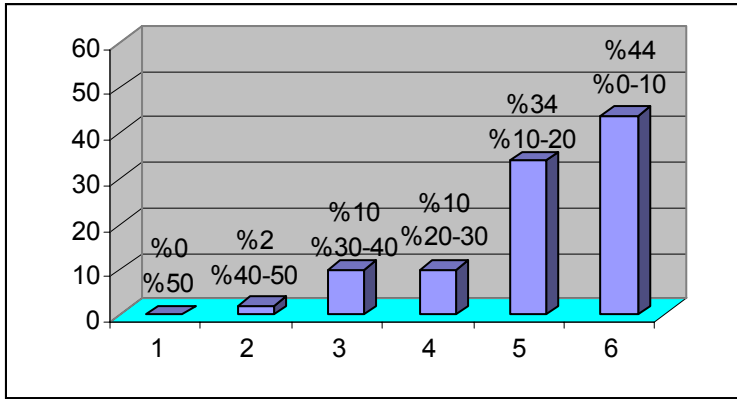
Dağıtım şebekelerinde herhangi bir noktada meydana gelen arıza sonucu bu noktaya komşu tüm noktalarda gerilim düşmesi yaşanır ve bu düşme arıza yerine olan uzaklığa bağlıdır. Motor yol verme olayında ise kısa devredeki kadar olmasa da ilk anda çekilen büyük akım sonucu bir süre motor barasında ve ona komşu noktalarda düşme yaşanır. Arıza durumlarında arıza olduğu yani kısa devre akımı aktığı sürece gerilim azalması yaşanır. Devre kesicilerin arıza akımının akmasını engellemek için devreyi açması ile son bulur. Arızalar, meydana geldiği noktadan kilometrelerce uzaklıktaki sistemlerde bile gerilim düşümüne yol açabilmektedir [1].

KSGD'lerin ne sıklıkta olduğunun saptanması için, çalışma alanına ait eşdeğer bir empedans diyagramı ve komşu tesislerde bulunan cihazlar hakkında bilgi sahibi olunması gerekir. Bunun yanı sıra gerilim seviyesi de gerilim düşümlerinin oluşmasında önemli bir etkidir. Şekil 2.3 ve 2.4'te çeşitli endüstriyel tesislerde rapor edilen verilerden yola çıkılarak oluşturulmuş, bazı gerilim düşümü istatistikleri görülmektedir [15,16].

Bir diğer konu ise KSGD'lerin genliğinin arıza noktasının konumuna bağlı olmasıdır. Asıl önemli noktalardan biri ise bütün olası arızaların ve arıza empedanslarının bulunması gerekliliğidir. Arıza temizleme işlemi şebekedeki KSGD'lerinin değerinin belirlenmesinde önem kazanmaktadır. Arıza olduktan sonra devre kesicilerinin devreyi kesme deki hızı cihazların daha az etkilenmesine ve KSGD'lerinin daha kısa sürede sonuçlanmasına yol açacaktır. Tablo 2.1'deki arıza temizleme amacıyla kullanılan cihazların performansları karşılaştırmalı olarak verilmektedir [22].



Şekil 2.3. Dağılım sistemlerinde KSGD'ne yol açan arızaların oluşma yerlerine göre dağılımı



Şekil 2.4. İstatistiksel verilerden elde edilmiş düşüm genliği oranları

Tablo 2.1. Arıza temizleme cihazları çalışma zamanları

| Cihaz Türleri | Temizleme Zamanı (periyot) | | Mümkün tekrar kapama sayısı |
|--------------------------------|----------------------------|----------------|-----------------------------|
| | Tipik Minimum | Gecikme Zamanı | |
| Eriyen telli sigorta | 0,5 | 0,5-120 | Yok |
| Akım sınırlayıcı sigorta | 0,25 | 0,25-6 | Yok |
| Elektromekanik tekrar kapayıcı | 3 | 1-30 | 0-4 |
| Yağlı Kesici | 6 | 1-60 | 0-4 |
| SF6 Vakumlu Kesici | 02.Mar | 1-60 | 0-4 |

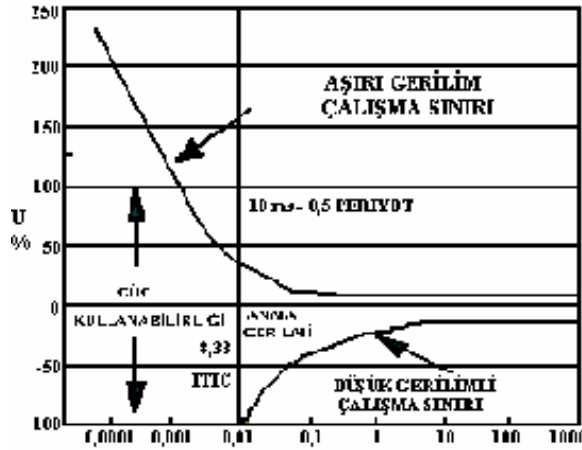
2.5. Gerilim Düşümlerinin Çeşitli Hassas Yükler Üzerine Etkisi

Günümüz modern cihazları, bu tür şebeke değişimlerinde oldukça duyarlıdır. Bazı raporlara göre anma geriliminin %85-90'ı civarındaki KSGD'leri 16 milisaniyeden kısa sürse dahi bu duyarlılıktaki cihazlar olumsuz etkilenmektedirler. Doğru akım motorları, boya baskı tesisleri, mikroçip test cihazları, vb yükler üzerinde birtakım olumsuz etkileri söz konusudur. Örneğin, mikroçip test edicileri gerilim değişmelerine karşı oldukça hassastırlar ve herhangi bir değişimde reset olacağından tekrar başlatılması yapısındaki karmaşıklıktan dolayı zordur. Yeniden start edilmesi için 30 dakika yada daha fazla zaman gerekir. Buna ilave olarak ciple ilgili test prosesinde tahrip yada bozulmalar meydana gelebilir. Arızadan çok sonraları bile iç elektronik devre kartlarında arızalar olabilir. Cip test cihazı elektronik yük, bilgisayar, yazıcı, ekran vb malzemelerin birleşiminden oluşur. Eğer bu paketteki elemanlardan biri bile bozulsa test işlemi yarım kalır. Bu test cihazları 50 KAV ve daha büyük güçlü olabilir [23]. Bunun yanı sıra yaygın olarak kullanılan PLC'ler de bu durumdan etkilenmektedir. Bunu azaltmak için kesintisiz güç kaynakları üzerinden besleme yapılmaktadır.

Bir diğer gerilime duyarlı cihaz olan doğru akım motorları, özellikle matbaa makineleri ve plastik imalat sanayi gibi alanlarda kullanılmaktadır. Gerilim düşümü esnasında bunlara ait denetleyiciler yanılabilir ve görev yapamaz. Bunun sonucunda üretim hataları, devre dışı kalma, bozulma, yeniden devre alma gibi maliyeti artıran sonuçlarla karşılaşmak mümkündür. Nominalin %88 inde bu cihazlarda arızalar baş gösterebilir. Arızanın kaynağı kilometrelerce uzakta olsa bile %88'lik düşüme yol açıyorsa sonuç gene belirtildiği gibi olur [23].

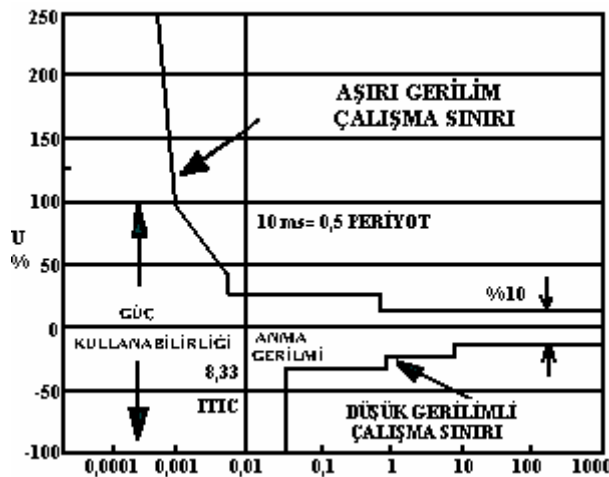
Yüklerin türüne göre düşümlerden etkilenmeleri farklıdır. Bunun için bir takım standartlar geliştirilmiştir. ANSI, CBEMA, NEMA gibi standart geliştiren kuruluşlarca yapılan araştırmalar sonucu cihazların dayanma noktaları belirlenmiştir. Örneğin ANSI Standart C84.1'e göre 600 Volt'a kadar olan şebeke gerilimleri için bu değişim nominalin \pm %5'i kadar olmalıdır. Kısa süreli değişimlerde ise en fazla %5.8'e kadar gerilim artmasına ve %8.3'e kadar gerilim azalmasına izin verilebilir [24].

Yukarıdaki paragrafta adı geçen standart yapıcı kurumlarca hassas yüklerin gerilim değişimlerine dayanımları ile ilgili güç kabul edilebilirlik eğrileri önerilmiştir. 1970'lerde CBEMA (Computer Business Equipment Manufacturers Associations) tarafından Şekil 2.5'teki ilk eğri ortaya çıkarılmıştır. Bu eğri yan iletken elemanlara, bilgisayarlara, flüoresan lambalara ve hız sürücülerine uygulanmıştır [25,26].



Şekil 2.5. CBEMA'nın güç kabul edilebilirlik eğrisi

CBEMA'nın daha sonraki yıllarda isim değiştirmesi ile ITIC (Information Technology Industry Council) adıyla söz konusu eğri revize edilerek 1996'da Şekil 2.6'daki hale getirilmiştir [25,26].



Şekil 2.6. HC'in güç kabul edilebilirlik eğrisi

Bunun yanı sıra asenkron motorlar yaşanan gerilim düşümü karşısında aniden durma veya yavaşlama gösterebilirler. Genlik eski konumuna gelmediği takdirde motor döndürdüğü yükü tekrar ivmelendiremez. Hız kaybı olur. Gerilim düşümü motorun momentini, uç geriliminin karesiyle orantılı olarak azaltır ve kayma artar [5].

Senkron generatörlerde ise kısa devre sonucu oluşan kısa süreli gerilim düşümleri uç geriliminde, momentte salınımlara yol açmaktadır. Ref.[24] 'de yapılan çalışmada bu etkilenmeler incelenerek şönt kapasitörün KSGD'lerinin genliğini ve momentteki salınımları azalttığı görülmüştür.

BÖLÜM 3. GÜÇ SİSTEMLERİ BİLEŞENLERİ

3.1. Giriş

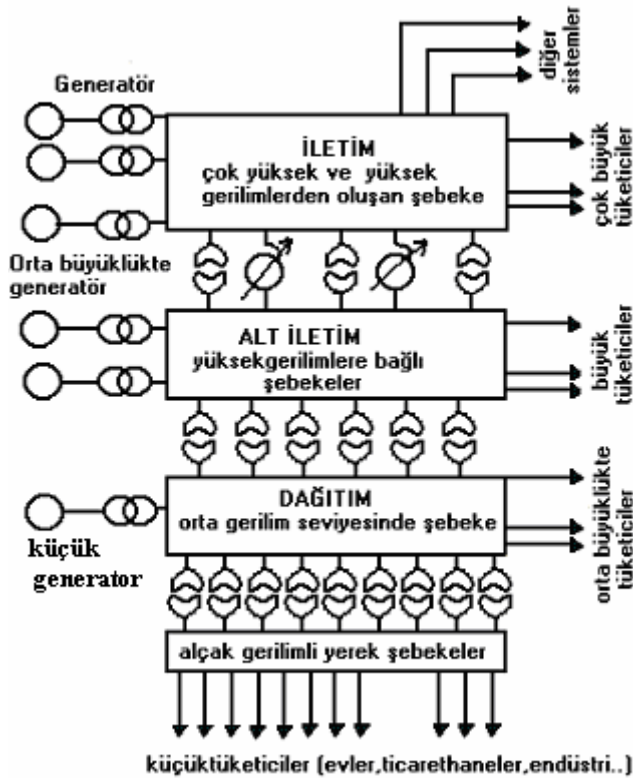
Günümüzde enerji çok büyük miktarlarda endüstri, tarım, ulaşım, haberleşme, konutlar gibi birçok kesimler tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Bir yıl içerisinde istenilen toplam enerji yıllık enerji talebi olarak isimlendirilir ve petrol, kömür, doğal gaz ve uranyum gibi birincil enerji kaynaklarından faydalanılır. Bu tür enerji kaynakları fosil enerji kaynakları olarak nitelendirilebilir ve elektrik enerjisi üretiminde de kullanılmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde bu tür yakıtların kullanılmasının yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları olarak ta isimlendirilen su, biogaz, güneş, rüzgar, jeotermal, dalga enerjileri de son yıllarda hızla kullanılmaktadır.

Büyük miktarlarda elektrik enerjisi kolay ve elverişli bir şekilde depo edilemez. Bu nedenle herhangi bir anda enerji talebi generatör tarafından üretilen elektrik enerjisi ile karşılanmaktadır. Bir başka deyişle bu talep generatör üretimine uymak zorundadır. Bununla birlikte güç sistemleri önceden bilinmeyen ve çok hızlı bir şekilde ortaya çıkan yük değişimlerine karşı güvenli bir şekilde ayak uydurmak zorundadır. Bir güç sisteminin güvenilirliği olarak ta adlandırılan bu özelliği, tüketicilere sunulan en önemli avantajlardan birisidir. Yük değişimleri esnasında ikinci bölümde anlatıldığı gibi gerilimde meydana gelen değişimler tüketiciye sunulan enerjinin kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. O halde burada kaynak tarafından sağlanan elektrik enerjisinin iyi kalitede olması için;

- Regüleli ve belirli genim düzeylerinde az flukslu
- Regüleli ve belirli frekans düzeylerinde az flukslu
- Düşük harmonik içermelidir

3.2. Elektrik Güç Sistemlerinin Yapısı

Bir elektrik güç sisteminin temel yapısı Şekil 3.1’de gösterildiği gibidir. Güç sistemleri öncelikli olarak üretim, iletim ve dağıtım olarak üç kısıma ayrılır. Enerji sağlayıcı üretim şirketleri kendi servis sağladıkları bölgelerde üretim, iletim ve dağıtımdan sorumludurlar.



Şekil 3.1. Bir elektrik güç sisteminin yapısı

Güç sistemlerinin farklı kısımları farklı gerilim seviyelerinde çalışır. Genellikle gerilim değeri 1 kV'un altında ise Alçak Gerilim 1 kV-100 kV arasında ise Orta Gerilim 100 kV-300 kV arasında ise Yüksek Gerilim 300 kV'un üzerinde olanlar ise çok yüksek gerilim olarak nitelendirilirler.

3.2.1. Üretim

Elektrik enerjisi bir motorun veya genellikle bir türbinin çıkış şaftından çıkan enerjinin dönüşümü ile üretilir. Çoğu güç sistemleri mekanik enerjiyi ya ısı yada direkt olarak sudan elde ederler. Ana temel enerji kaynakları olarak kömür, doğal gaz, nükleer ve fuel-oil kullanılır. Elektrik üretiminde rüzgar, biogaz, jeotermal enerji kaynakları kullanımında da son yıllarda bir hayli artış vardır.

Mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü çoğunlukla Senkron generatörler vasıtasıyla rüzgar enerjisi üretiminde ise bir indüksiyon generatör tarafından gerçekleştirilir Senkron generatörler tarafından 10-20 kV gerilim seviyesinde üretilerek güç sistemine aktarılan elektrik enerjisi yükseltici transformatörler vasıtasıyla gerilimi yükseltilerek iletim hattına gönderilir

3.2.2. İletim

Elektrik enerjisinin en önemli avantajı birincil enerji kaynakları veya su rezervlerinin yanında üretilmesi ve daha sonra uzak mesafelerdeki yük merkezlerine iletebilmesidir. İletim hattında kayıp enerji akımın karesi ile orantılı olduğu için gerilimin yükseltilmesi gerekir. Elektrik şebekesi tüm güç istasyonlarının yük merkezlerine bir iletim-dağıtım hatları bağlantılarından oluşmaktadır Genellikle iletim şebekesi generatörden tüketicilere elektrik enerjisini bir çok mümkün olan bağlantılarla güvenilir ve esnek bir biçimde gönderecek şekilde bağlanır.

Elektrik enerjisi üretimin yük merkezlerine yakın olduğu yerlerde direkt olarak bir alt dağıtım şebekesine bağlanarak iletebilir. Bir güç sistemine yeni ilaveler yapılacağı zaman eski hallar daha düşük gerilim seviyelerine bağlanır ve bu hatlar alt iletim şebekesinin bir parçası olabilir.

3.2.3. Dağıtım

Elektrik enerjisinin çoğu direk olarak tüketiciye orta ve yüksek gerilim şebekeleri vasıtasıyla iletim veya alt iletim hatlarından transfer edilir.

Dağıtım şebekeleri genellikle taşıma sistemlerinde kullanılan birleşik yapıya uyması için radyal bir yapıda bağlanırlar. Bazı endüstriyel tüketiciler kendi enerji gereksinimlerini kendileri karşılayabilirler. Tipik olarak generatör terminalinden çıkan elektrik enerjisinin yaklaşık %8'i iletim ve dağıtımda kaybolmaktadır.

3.3. Generatör Üniteleri

Elektrik enerjisi bir senkron generatör tarafından üretilir. Genellikle senkron generatör bir türbin veya bir dizel motor tarafından tahrik edilir. Türbin ya hız kontrolünü sağlayan veya ayarlanan değerlerde güç-frekans karakteristiğine göre çıkış gücü veren bir teçhizattan oluşur.

3.3.1. Senkron jeneratörler

Senkron generatörler buhar veya gaz türbinleri tarafından tahrik edilen yüksek hızlı generatörler, su türbinleri tarafından tahrik edilenlerde düşük hızlı generatörler olarak sınıflandırılabilir. Yüksek hızlı generatörler merkezkaç kuvvetini azaltmak için çapı küçük fakat aksiyal uzunluğu fazladır. Tipik olarak 2 veya 4 kutuplu 50 Hz'lik bir şebekede 1500 ile 3000 devir/dakika'da çalışırlar. Düşük hızlı generatörler 500 devir/dakika ve daha düşük hızlara sahiptirler. Bunların kutup sayıları fazla, çapları geniş ve aksiyal uzunluktan kısadır. Gerçek manyetik kutup sayısı nominal frekans ve hıza bağlıdır.

Tüm generatörler stator ve rotor olmak üzere iki ana manyetik devreden oluşurlar. Bunlar dökme çelikten imal edilirler. Endüvi sargıları yük akımını taşırlar ve üç fazlı sargılardan oluşur. Rotor yüksek hızlıdır ve içerisinde uyartım sargıları mevcuttur. Düşük hızlı generatörler için uyartım sargıları çıkık kutuplu rotorlarda bulunur. Rotor da kısa devrelerde rotordaki mekanik zorlanmaları önleyici damper veya amortisör sargıları mevcuttur. Yüksek hızlı, çıkık kutuplu olmayan generatörlerde damper sargıları genellikle uyartım sargıları ile aynı yarık içerisinde bulunur. Düşük hızlı generatörlerde ise yatay olarak kutup yüzeyine aksiyal yarıklarda bulunur.

Rotor uyanım sargıları rotorda manyetik flukslar üretmek için doğru akım gönderir. Oluşan bu döner manyetik alan üç fazlı statorun her fazında bir emk üretir ve güç sistemine bir ac akım taşır. AC endüvi akımları birleşerek manyetik devrede bir endüvi reaksiyonu yaparlar. Uyanım ve endüvi reaksiyonu fluksları rotora göre sabit (duran) statora göre ise dönen bir alan meydana getirirler. Manyetik alan tek parça masif preslenmiş çelikten yapılan rotorda sabittir. Eğer bazı nedenlerden dolayı rotor hızı senkronizmadan ayrılırsa alan sabit kalmayacak ve damper sargılarından akım akacaktır. Lenz kanununa göre bu akımlar sayesinde yeniden senkron hıza ulaşacaklardır.

Yeni güç istasyonlarında anma güçleri anan generatörler kullanılmaya başlanmıştır Bunların çalışma maliyeti düşük güçleri yüksektir. Bu ekonomiklik sonucunda daha düşük maliyetli küçük binalar ve güç istasyonları ile daha küçük ekipmanlar kullanılmaktadır. Üstelik bazı ülkelerde son yıllarda doğal gaz çevrimli santrallerin kullanımı artmıştır. Burada hava soğutmalı generatörler tipik olarak 250 MW'tan başlayarak şirketler tarafından kullanılmaktadır Modern senkron generatörler yaklaşık 100 MW'tan 1300 MW'a ve çalışma gerilimleri 10 kV ile 32 kV arasındadır. Genel olarak bir senkron generatör iletim hattına yükseltici bir transformator ile bağlıdır Küçük güçlü generatörler kablolar, daha büyük olanlar ise baralar ile bağlanır. Generatör transformatorleri genellikle tank tipidir. Transformatorden istasyon baralarına güç yüksek gerilim kabloları veya kısa bir güç taşıma hattı tarafından beslenir [11].

3.4. İletim ve Dağıtım Tesislerinin İncelenmesi

Dağıtım tesisleri şebekeleri genellikle 69 kV, 115 kV ve 138 kV gerilimde çalışırlar Büyük endüstriyel tüketiciler sık sık dağıtım tesislerine direkt olarak bağlanırlar. Bazı sistemlerde, alt-iletim şebekesi ana dağıtım istasyonları ile iç içe olabildiği gibi bu istasyonlar daha geride de olabilir. Güç, büyük güçlü servis istasyonlarından dağıtım şebekelerine gönderilir. İlk gerilim genel olarak 115 kV, 138 kV veya 230 kV'tur. Çıkış gerilimi 4-35 kV arasındadır. 12 kV ve daha üzeri gerilimler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [2].

3.4.1. Dağıtım tesisleri

Bir dağıtım tesisi iletim hatları, transformatörler, generatör üniteleri, kontrol ekipmanlarının birlikte birbirine bağlı olarak bulunduğu bir noktadır. Genellikle elektriksel gücün akımı burada kontrol edilir, gerilim seviyeleri ayarlanır ve sistem güvenilirliği çeşitli otomatik koruma aygıtları tarafından burada ayarlanır.

Dağıtım tesislerinin tümü birçok sayıda gelen ve giden akımların birleşme yeridir. Bu akımlar bir baraya gelir ve herhangi bir darbeye karşı korunmak amacıyla bazı aygıtlar kullanılır. Her elektrik devresi birincil ve ikincil devreye bölünebilir. Birincil devre iletim hattını, güç transformatörünü, baraları, akım ve gerilim transformatörlerinin yüksek taraflarını içerir. İkincil devre ise akım ve gerilim trafolarının düşük taraflarını, devre kesicilerini, izolatörleri ve devre koruma elemanlarını içerir.

Bara: Hatlar ve transformatörler için elektrik kontaklama noktasıdır. Baralar alüminyum veya bakır iletkenlerden oluşur ve izolatörler tarafından desteklenir. Dağıtım tesislerinin dışındaki baralar genellikle çelik ve alüminyumdan yapılır. Bir çok farklı sayıda baralar düzenlenir. Bu bağlantılar yapılırken sistemin güvenilirliği ve çalışma noktasının esnekliği giderilmemelidir. Bara sistemlerinin türleri güç sistemlerinde önemli bir rol oynar.

Daha büyük dağıtım tesisleri içerisine bara sistemlerini dahil ederek çok yüksek yatırımlar sonucu büyük tesisler inşa edilir.

3.4.1.1. Transformatörler

Transformatörler, farklı gerilim seviyelerinde çalışmakta olan güç sistemlerinin, farklı kısımlarını bağlamak için gereklidir. Gerilim seviyelerini değiştirmek için kullanılan transformatörler ayrıca dönüştürme oranları ve kademe değişimleri nedeniyle gerilim kontrol işlerinde kullanılır [1]. Büyük güçlü servis transformatörleri kademe değiştiricilere sahip olabilir. Bazılarında ise sekonder tarafta seri bir gerilim regülatöründe bulunabilir [3].

Güç sistemi transformatörleri fonksiyonlarına göre genel olarak 3 kategoride incelenebilir.

- i. Generatör çıkışını arttırıcı transformatör (iletim şebekesi ve jeneratörle irtibatlı)
- ii. İletim transformatörleri: İletim hattının farklı noktalarında ve genellikle farklı gerilim seviyelerinde kullanılır.
- iii. Dağıtım Transformatörleri: Tüketiciler tarafından istenen düşük gerilimlerin elde edebileceği yük merkezlerindeki trafolar.

Generatör ve iletim transformatörleri yağ soğutmalı olup 1000 MVA'dan daha fazla güçtedirler. Tank içerisindeki yağ hem soğutma hem de izolasyon vazifesi görür. Isı omik ve bakır kayıplarına sebep olur. Yağ dış radyatörlerin arasından geçirilir. Yağın sirkülasyonu transformatör içerisinde ya doğal yollarla yada dış etkiler vasıtasıyla yapılır. Yüksek güçlü transformatörler taşıma problemleri nedeniyle genellikle parçalı bir şekilde dizayn edilirler. Daha küçük güç transformatörleri genellikle birleştirilmiş bütün halinde tasarlanırlar.

Generatör transformatörleri generatör çıkışındaki gerilimi arttırarak iletim hattına veya alt iletim hatlarına verirler. Bir güç istasyonunda 200-500 MVV güçlerinde büyük generatörler ve her bir generatörün kendileriyle bağlantılı iki sargılı transformatörleri olabilir. Bu generatörlerin aksine daha küçük bir güç istasyonunda 3 sargılı 3 fazlı transformatörlerle irtibatlı generatörlerle çalıştırılabilir.

Generatör transformatörleri genellikle üçgen-yıldız bağlı ve nötr noktası toprakla irtibatlıdır. Üçgen düşük gerilim sargısı asimetrik yüklenme ve transformatör sargısının lineer olmayan B-H eğrisi karakteristiğinden dolayı meydana gelecek arzu edilmeyen harmonik akımları azaltmak ve yok edecek şekilde tasarlanırlar. Büyük güç istasyonlarında birçok generatör üniteleri ile birlikte bazı nötrale trafoları iletim hattında meydana gelen tek faz kısa devre akımlarını sınırlamak için toprakla irtibatlandırılmazlar..

İletim transformatörleri Şekil 3.1'de gösterildiği gibi farklı gerilim seviyelerinde farklı çalışma noktalarında kullanılabilirdiği gibi dağıtım şebekelerine veya büyük

endüstriyel tesislere enerji taşıyan iletim hattına direkt olarak ta irtibatlıdır. Transformatör sargıları yıldız bağlı olup iletim ve alt iletim hatlarına doğrudan bağlıdır ve normal olarak nötr noktası topraklanmıştır. Bu transformatörler sık sık asimetrik yüklendikleri zaman geçecek sirkülasyon akımlarına karşı üçgen tertipli de bağlanmaktadır. Bu ilave sargı bir istasyon içerisindeki mahalli yüklere veya bir reaktif güç kompanzatorüne kaynak sağlayabilir.

Eğer iki sargılı transformatörün çevirme oranı çok yüksek değilse bunun yerine bir sargılı oto transformatörü kullanılabilir. Oto trafosunda birincil sargının parçası w_1 ve ikincil sargının parçası w_2 ortak kullanılarak ekonomiklik sağlar. Oto transformatörleri genellikle düzenli gerilim seviyelerinde İngiltere'de 132/275 kV, 275/400 Amerika'da 138/230 kV, 230/345 kV, 345/500 kV ve Avrupa'da ise 110/220 kV. 220/400 kV olarak kullanılır.

Dağıtım şebekeleri normal olarak yüksek gerilim tarafı yıldız ve orta gerilim tarafı üçgen sargılı olan ve simetrik olmayan yükleri azaltmaya yardım eden transformatörler tarafından desteklenir [11].

Gerilim kararlılığı için transformatör empedansları çok önemlidir. Büyük güçlü servis transformatörlerinin empedansları (kaçak reaktansları) transformatör bazında yaklaşık %8-11 arasında değişir. Dağıtım transformatörlerinininki ise %2-4 arasında değişmektedir. Transformatörler özellikle büyük güçlü servis transformatörleri dağıtım sistemi empedansının büyük bir kısmına sahiptir.

Birçok dağıtım transformatörleri doyma noktasında çalışır. Uyarım akımı gerilim azalması esnasında düşer. Gerilimde %1'lik bir azalma reaktif güçte %3-6 arası bir düşmeye neden olur [3].

3.4.1.2. Kademe değiştirici ve düzenleyici transformatörler

Bir çok modern güç sistemlerinde çeşitli seviyelerde gerilim değerleri vardır. Örneğin bir sistemin ana taşıma hattı 220 kV'tan 735 kV'a kadar değişik gerilim seviyelerinde iken, ikinci bir taşıma hattı 60 kV'tan 150 kV'a kadar olan bir değerde

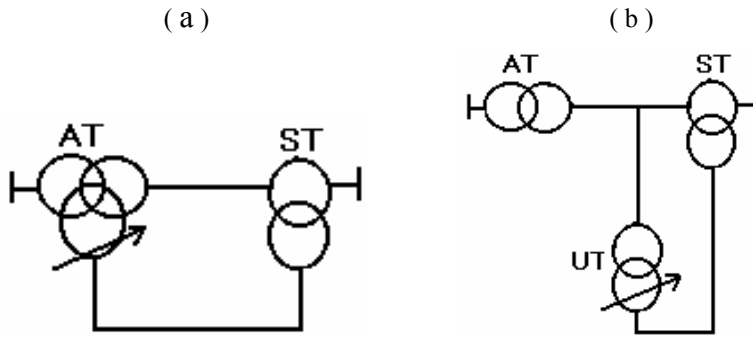
gerilime sahip olabilir. Herhangi bir transformatörün ana görevi şebekeyi farklı gerilim seviyelerinde bağlamaktır. Güç sisteminden çekilen yüklerde sık sık değişimler arzu edilmeyen gerilim değişimlerine neden olur. Bu problemi çözmek için kademe değiştiricilerden faydalanılır. Yaygın olarak güç sistemlerinde çeşitli gerilim seviyelerinde güç akışını kesmeksizin ekipmanların bağlantısı bu aygıtlar tarafından sağlanır. Genel olarak gerilimdeki değişim oranı + %10 seviyelerindedir. Bir sistemde kademe değiştiriciler;

1. Dağıtım sistemini beslemek
2. Alt iletim şebekelerine bağlantı yapmak
3. Farklı gerilim seviyelerine bağlantı yapmak
4. Generatör çıkışını arttırmak gibi çeşitli görevlere sahiptirler.

Kademe değiştiriciler hem yük altında hem de yüksüz çalışabilecek şekilde üretilirler. Yüksüz çalışma yapanlarda kademe değiştirme işlemi yapılırken enerji yoktur. Yük altında kademe değiştiricilerde ise transformatör enerjili iken çalışma yapılabilir. Kademe değiştiriciler otomatik veya rölelerden gelecek sinyallere göre çalışma yaparlar. Kademe değiştiricinin bir günde çalışma sayısının az olması kademe değiştiricinin daha uzun ömürlü olmasını sağlar [10].

Trafo kademeleri ana sargının bulunduğu tankta veya bir başka tankta bulunabilir. Aynı tankta bulunduğu zaman kademe değiştiriciler genellikle trafonun yüksek gerilim tarafında (daha düşük akım olduğu için) ve nötr noktasına yakındır. Oto transformatörlerde kademeler yüksek gerilim tarafında fakat sargının ortak kısmına yakındır. Kademeler ayrı bir tankta kullanıldığı zaman sargı ana transformatörün bir tersiyer sargısı gibi yapılır. Gerilim seri bir transformatör eklenerek (Şekil 3.2.a) tersier sargıdan enjekte edilebilir. Bir başka çözüm ayrı bir uyartım transformatörü kullanarak olur. (Şekil 3.2.b)

AT- ana transformatör. ST- seri iransformatör. UT- uyanım transformatörü



Şekil 3.2. .Seri transformatörün bağlantıları (a) ana transformatörün tersier sargısından (b) ayrı bir uyarım transformatöründen

Şekil 3.2'de gösterilen transformatör bağlantılarında gerilimin büyüklüğü ve ayarı seri transformatör ile ana sargı tersier sargılar arasında yapılan bağlantılara bağlıdır

3.5. Şönt ve Seri Elemanlar

İletim şebekelerinde şönt ve seri elemanlar olarak seri kapasitör veya şönt kompanzatorler bir nevi amaçlar için kullanılırlar. Genellikle gerilimi nominal değere yakın tutmak, hat akımını azaltarak şebeke kayıplarını azaltmak ve böylece kararlılığa katkıda bulunmak bu amaçlardan bazılarıdır. Çoğu kompanzasyon, kapasitörler tarafından sağlanır ve indüktif yükü dengeler. Bir nevi reaktif gücü absorbe eder. Burada iletim hatlarında kullanılmakta olan ve baralara seri veya paralel biçimde bağlanarak yapılan kompanzasyonun gerilim kararlılığı açısından etkileri anlatılacaktır [10].

3.5.1. Şönt Elemanlar

Genellikle uzak mesafelere reaktif güç taşınmadığı için tüketim bölgelerine yakın yerlerde kompanzasyon yapılmalıdır. Bunu başarmanın en basit ve en ucuz yolu bir şönt kompanzasyon sayesinde sağlanabilir. Burada bir kapasitör ve/veya bir indüktör ya direkt olarak baraya yada bir transformatörün tersier sargısına bağlanabilir [1], Şönt kapasitör bankları hatlara bağlanmaktan ziyade sürekli baralarda bulunurlar.

İletim sistemlerinde şönt kompanzasyon yapımının birinci amacı yakın yük bölgelerinde gerilimin kontrolü ve yükün kararlılığının sağlanmasıdır [3].

Şönt elemanlar iletim hattı boyunca gerilim düşümünü ve kayıpları minimize etmek içinde kullanılır. Genellikle statik şönt elemanlar ya manuel yada röleler vasıtasıyla otomatik olarak devreye alınır veya çıkartılır. Mekanik anahtarlamalı şönt kapasitör bankları büyük yük bölgelerindeki istasyonlarda tesis edilir Tristörlerin kullanılmasıyla modern çözümler geliştirilmiştir.

Sistem güç talep ettiği zaman hattın kapasitansı tarafından üretilen reaktif güç hattın endüktansının düşük olması nedeniyle tüketilen güçten düşüktür. Böylece hat net bir reaktif kaynak gibi davranır. Bunun neticesinde şebeke gerilimi yüksek değerlere götürülür. Bu reaktif gücü tüketmek ve gerilimi kontrol altına almak için şönt reaktörler kullanılır. Yükün artması durumunda gerilimi belli sınırlar içerisinde muhafaza etmek için daha fazla şönt kompanzasyonun sisteme ilave edilmesinde fayda vardır. Genellikle 200 km'den uzun hatlar için şönt reaktörlerin kullanılması tavsiye edilir. Ağır yüklenme durumu esnasında bazı reaktörler devre dışı kalabilirler ve şönt kapasitörler gerilimi arttırarak bir reaktif güç kaynağı olarak davranırlar.

Şönt kompanzasyon bir senkron kompanzatör gibi görev görür. Senkron kompanzatör aşın uyarıldığında bir reaktif güç kaynağı gibi davranır ve reaktif güç üretir. Uyarım seviyesinin altında ise reaktif gücü absorbe eder. Senkron kompanzatörler gerilim ve reaktif güç kontrolünde önemli bir rol oynarlar. Değişen yük durumlarında gerilimi arzu edilen sınırlar içerisinde tutarak kararlılığı iyileştirirler. Dağıtım tesislerinde senkron kompanzatörler kullanılacağı zaman çalışma maliyetini azaltmak için şönt kapasitörler veya reaktörler sık sık sisteme anahtarlanarak eklenirler [13].

Gerilim kararlılığı için, şönt kapasitör bankları çok faydalıdır ve generatörlerin uyumlu bir şekilde yakın güç faktörleri ile çalışmasını sağlarlar. Gerilim değişimi sonrasında şönt kapasitör banklarının reaktif güç çıkışı gerilimin karesi nispetinde düşmektedir. Bu seri kapasitörün kendini doğal olarak düzenlemesi olayına zıttır. SVC ile kıyaslandığında maliyetlerinin düşük olması avantajdır.

Anahtarlama süresi oldukça hızlıdır. Akım sınırlayıcı reaktörler geçici hal anahtarlamasını minimize ederler Gerilimin hızlı bir şekilde kontrolü tam olarak mümkün değildir

Bir iletim hattının devre dışı kalması durumunda hal yeniden devreye alınana kadar kapasitör bankının enerjisi kesilmelidir. Ayrıca anahtarlama gerilim regülatörü veya kademe değişimcinin müdahalesinden daha önce olmalıdır. Günümüzde mekanik anahtarlı kapasitörlerin yerine mikro proses kontrollü lojik anahtarlar kullanılmaktadır

Mekanik anahtarlı kapasitörlerin bir çok dezavantajları vardır. Geçici hal gerilim kararsızlığı için anahtarlama asenkron motorun durmasını engelleyecek kadar hızlı olmayabilir. Eğer bir sistemde gerilim çökmesi olursa sistemin stabil parçalan tehlikeli aşırı gerilimler nedeniyle zarar görebilir. Aşırı gerilim azalması esnasında şönt kapasitörlerin devreye enerji sağlaması sistemi olumsuz etkileyecektir [3].

3.5.2. Seri elemanlar

Seri kompanzasyon tam olarak, uzak mesafelere taşınan gücün iletilmesini sağlayan iletim hattının empedansını azaltmak için yapılır. Gerilimin azalmasını sınırlamak, aktif ve reaktif güç kayıplarını azaltmak amacıyla gerilim kararlılığını geliştirmek yönünde eğilimlere sahiptir. Tipik olarak bir taşıma hattının indüktif reaktansı %25-%70 arasında kompanze edilir. %100 kompanzasyon asla istenmez. Üstelik aşırı kompanzasyon koruma aygıtlarının karmaşıklığını arttırır.

Normal olarak seri kapasitörler ya hat başında yada hattın ortasında yer alır. Hat başlarında bulduklarında hata akımlarının az ve korumanın daha kolay olmasına rağmen kapasitörler hattın ortasında bulunurlar. Bu nedenle kontrol ve bakım gereklidir. Eğer terminalde bulunurlarsa bu işlemler daha kolaydır. Bu nedenle kapasitör bankları hattın maksimum %30'nu kompanze edebilecek seviyelerde hat başı ve sonunda eşit olarak kullanılır. Seri kapasitörün yeri hattın ortasında olabildiği gibi hattın 1/3 veya 1/4'lük yerinde de olabilir. Kapasitör banklarının hattın farklı noktalarında bulunmalarına ilişkin detaylı çalışmalar yapılmıştır.

Bazen büyük yüklü güç transferleri esnasında reaktif akım yükselir ve seri kapasitörün olduğu taraftaki gerilim çok büyük artışlar gösterebilir. Bu durumda sistem uygun olan gerilim seviyelerine göre dizayn edilmelidir. Normal olarak bir seri kapasitörün gerilim düşümü hat gerilimi oranının yüzde olarak birkaçıdır. Kapasitörün olduğu tarafta bir kısa devre esnasında geçici olarak hat gerilimine yaklaşık eşit olacak biçimde bir gerilim oluşabilir. Bu durumda sistemi hatadan arındırmak için bir by-pass sistemi oluşturularak yüksek gerilimlerden kaçınılır [5].

Seri kapasitörler kullanılarak yapılan kompanzasyonla uzun iletim hatlarının birleştirilmesi ve geçici hal kararlılığının iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Ancak, günümüzde kısa hatlarda da kullanılmakta ayrıca gerilim kararlılığını iyileştirmektedir.

Seri kompanzasyon hattın net indüktif reaktansını azaltır. Hattın reaktif tüketimi I^2X 'i kompanze etmek için reaktif güç I^2X_C üretir. Seri kapasitör reaktif üretimi, daha çok ihtiyaç hissedildiğinde akımın karesi ile orantılı olarak artar. Bu nedenle kendi kendini düzenleyebilir. Bu özelliği nedeniyle pasif şönt kapasitörlerden ziyade statik var kompanzator ile kıyaslanabilir. Hafif yüklerde seri kapasitörlerin etkisi azdır. Şönt reaktörlere uzun hatlar için ihtiyaç vardır.

Seri kapasitor grubu kapasitor, metal oksit varistör, by-pass swich kontrol ve koruma cihazları gibi bazı ekipmanlardan oluşur. Burada Miller tarafından tavsiye edilen ve çok uzun hatlarla açı kararlığı arasında yakın bir ilişki içerisinde bulunan bir reaktif kompanzasyonun üzerinde durulacaktır.

Şekil 3.3 tek fazlı seri bir kompanzasyon şebekesini göstermektedir. Seri kapasitörler bir baraya bağlı bulunmaktan ziyade hemen hemen sürekli iletim hatlarında bulunurlar. Bazen hat terminalinde veya hat boyunca farklı noktalarda bulunabilirler, bulunabilirler. Çok uzun hatlar hariç genellikle terminalde bulunurlar. Kompanzasyon hattın %75-80 'lik bir kısmını kompanze etmeyi planlar. Koruma rölelerinin karakteristikleri nedeniyle bu mesafeler sınırlanmak zorunda kalır



Şekil 3.3. Seri kapasitörlü kompanzasyon ekipmanlarının tipik şeması.

Şimdi de reaktif güç dengesini açıklamaya çalışalım. Seri kompanzasyon kaynağın empedans yükünün anmasında etkilidir. Yaklaşık olarak bu yükü kompanze edecek güç;

$$\bar{P}_0 = P_0 \cdot \sqrt{\frac{1-k_{sh}}{1-k_{se}}} \quad (3.1)$$

burada k_{se} seri kompanzasyonun k_{sh} ise şönt kompanzasyonun derecesini gösterir. P_0 kaynak empedans yükü olup değeri V^2/Z_0 'a eşittir. Z_0 hat empedansıdır. Örneğin şönt kompanzasyonsuz % 50'lik bir seri kompanzasyonun yapıldığı bir sistemde kaynak empedans yükünü kompanze edecek \bar{P}_0 gücü P_0 gücünün $\sqrt{2}$ katı olacaktır.

İki paralel hattın birisinin devre dışı kalması durumunda sistem aşın yüklenir. Seri kapasitörler tarafından reaktif güç üretilir Böylece kısa bir zamanda aşın yüklenmenin önüne geçilebilir. Aşın yüklenme sınırı standartlar çerçevesinde birkaç dakika içerisinde %150'yi geçmeyecek şekilde müsaade edilir.

3.6. Statik Var Kompanzator

Statik var kompanzatorlar yukarıda bahsedilen şönt kapasitör ve reaktörlerin mekanik anahtarlamalı hareketlerinin yerini alır. Avantajları içerisinde, hızlı olmaları gerilimi kesin olarak ayarlamaları ve de kısıklı anahtarlamadan ziyade geniş bir şekilde sınırsız anahtarlama sahasına sahip olmalarıdır. Gerilim bir eğim karakteristiğine göre düzenlenir. Eğim sürekli hal kazancı ile ilgilidir ve genellikle % 1-5 arasında bir kontrol değişimine sahiptir.

SVC ve sistem nedir? CIGRE'de statik var sistem ve statik var kompanzatör arasında ayrılıklar verilmiştir. Bir statik var sistem mekanik anahtar kontrollü şönt kapasitör ve reaktörlerle birlikte bir statik var kompanzatördür. Kompanzatör tristör kontrollü reaktör (TCR), tristör anahtarlı kapasitör (TSC) ve harmonik filtrelerden oluşur. Harmonik filtreler TCR'nın %10-30'u kadardır. Eğer bir TCR kullanılırsa, sürekli kontrolü sağlamak için TSC bloklarından biraz daha büyüktür. Diğer olasılıklar sabit kapasitörler ve tristör anahtarlı reaktörlerdir. Genellikle ona gerilimde bir transformatör bir kompanzatör ile kullanılır.

Güç sistemlerinde SVC uygulamaları ile ilgili yapılan tartışmaların çoğu uzun iletim nallan ve açı kararlılığının geliştirilmesi ile ilgilidir. Uzun hatlar bara gerilimini ayarlayan kompanzatörler tarafından desteklenir.

Motorlara ilişkin geçici hal kararsızlığını önlemek için SVC'ler anahtarlı kapasitörlerden daha etkilidir. Aşın gerilim, yük anımı ve gerilim azalması esnasında kapasitör bankının enerjilenmesi sonucu oluşur. Gerilimin, gerilim altında muhafaza edilmesi SVC ile mümkündür.

Kapasitif birikimi sağlamak için SVC'ler mekanik anahtarlı şönt kapasitör bankları ve şönt reaktörlerin yakınlarında düzenlenebilir. Bir reaktif güç veya süseptans regülatöründe sürekli hal çalışmaları esnasında istenilen çıkışı elde etmek için kullanılır. Bir arıza sonrası SVC diğer gerilim regülatör kontrollerinden daha hızlı cevap verecektir. Bir sonraki arızalarda yeniden pozisyon ve koordine olmak yavaş ekipmanlar yüzünden (kademe değiştiriciler, gerilim kontrollü mekanik anahtarlı kapasitör ve reaktörler, generatör uyarım kontrolleri) SVC çıkışı reaktif gücünün, ayarlanan noktaya dönüşünü geciktirir. Reaktif güç regülatörlerinin zaman sabitleri saniyeler veya dakikalar mertebesindedir.

SVC eğiminin ayarı özellikle bir reaktif güç regülatörünün yokluğunda diğer gerilim kontrol ekipmanları ile koordineli çalışması için önemlidir. Bir arıza sonrasında büyük bir eğim ayan SVC cevabını azaltır. Daha büyük bir gerilim düşümüne neden olur.

SVC cevabındaki bu azalma şönt kapasitör banklarının açılmasına izin verebilir ve böylece gerilim kontrolü gerçekleştirilebilir. Yük bölgelerinde statik kompanzatör ihtiyacı yerel üretim miktarı ile ilgilidir.

Yük artarsa generatörün reaktif güç birikimi öylesine azalır ki diğer hızlı davranışlı reaktif birikimler arzu edilmeye başlar.

3.7. Seri ve Şönt Kompanzasyonun Karşılaştırılması

Seri kompanzasyonun bazı avantajları şunlardır:

- Sen kapasitörler kendi kendilerini ayarlayabilirler. Bir kontrol sistemine ihtiyaç yoktur.
- Seri kapasitörlerin SVClere nazaran maliyetleri daha düşük kayıpları daha azdır.
- Gerilim kararlılığı için kritik noktaları daha düşüktür.
- Sen kapasitörler önemli birasın yüklenme kapasitesine sahiptir
- Sen kapasitörler ve seri kapasitör anahtarları paralel hatlardaki aktif ve reaktif kayıpların minimize edilmesini kontrol etmek için kullanılır.

Seri kapasitörlerin bazı dezavantajları şunlardır :

- Seri kapasitörlerin bir çok paralel hatlı şebekelerde kullanılması zordur.
- Seri kapasitörler hatla irtibatlıdır. Kapasitörler devre dışı kalma durumunda paralel hatlar aşırı yüklenebilirler.
- Paralel hatlardan birisinin devre dışı kalması durumunda sistem ağır bir şekilde yüklenir. Bu durumda seri kapasitörlerin bağlı olduğu tarafta gerilim oranı son derece tehlikeli olabilir.
- Daha hafif yüklerin kompanzasyonu için şönt reaktörlere ihtiyaç hissedilebilir.

SVC'lerin bazı avantajları şunlardır :

- VC'ler direkt olarak gerilim kontrolü sağlarlar. Bu yük bölgelerinde üretim azalmasında çok değerlidir.

- b. Bir SVC'nin kapasitif kalma kabiliyeti gerilim kararsızlığına yaklaşmanın iyi bir işaretidir.
- c. SVC'ler geçici aşın gerilimlerin hızlı kontrolünü sağlar.

SVC'lerin bazı dezavantajları da şunlardır :

- a. SVC'lerin aşın yüklenme kabiliyetleri sınırlıdır.
- b. SVC'lerin maliyetleri yüksektir.
- c. Bir SVC sınır gerilim değerine ulaştığında genellikle kararsızlık meydana gelmektedir [3].

BÖLÜM 4. GÜÇ SİSTEMLERİNDE GERİLİM ÇÖKMELERİNİN ETKİLERİ

Gerilim düşüş ve kesintileri, tesisata bağlı birçok cihazda problem oluşturmaktadır. Bunlar, çok sık olarak Güç Kalitesi problemlerine neden olmaktadır. Birkaç yüz milisaniyelik bir gerilim düşüklüğü veya kesintisi, birkaç saat süren zararlı sonuçlar yaratabilir. En hassas uygulamalar şunlardır;

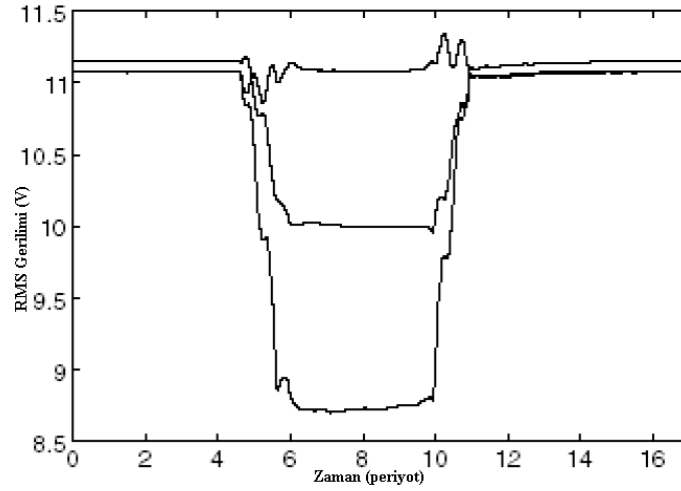
- i. Prosesin, zincirdeki herhangi bir ögenin geçici bir süre için kapanmasını tolere edemediği eksiksiz ve kesintisiz üretim hattı (baskı, çelik işleri, kağıt fabrikaları, petro-kimyasallar, vb.)
- ii. Aydınlatma ve güvenlik sistemleri (hastaneler, havaalanı aydınlatma sistemleri, kamu binaları ve yüksek binalar, vb.)
- iii. Bilgisayarlar (bilgi işlem merkezleri, bankalar, telekomünikasyon, vb.)
- iv. Elektrik santralleri için gerekli olan yardımcı tesisler.

Aşağıdaki paragraflarda gerilim düşüklüklerinin ve kesintilerinin endüstri ve hizmet sektörlerinde ve konut sektörlerinde kullanılan cihazlar üzerindeki önemli etkileri yer almaktadır

4.1. Hatalardan Dolayı Gerilim Çökmeleri

Hatalardan dolayı gerilim çökmelerinde güç dağıtımının çalışma şeklini iyi bir şekilde analizi yapmak gerekir ve bu şekilde temel sorun incelenmiş olur. Doğal nedenlere bağlı olan hatalar (örneğin simetrik ve simetrik olmayan şekilde), gerilim çökmesinin büyüklükleri her bir fazda eşit olabilir veya olmayabilir.

İletim sistemleri ağ şeklindedir. Bu yüzden iletim sistemlerinde ki bir hata kullanıcılar tarafından fark edilmez. Bütün üç fazlarda meydana gelen faz-toprak arası hatadan dolayı oluşan gerilim çökmeleri şekil 4.1'da gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Düzgün bir faz-toprak arası hatadan dolayı gerilim çökmesi.

Gerçek bir sistem de hatalardan dolayı çökmenin büyüklüğünü etkileyen faktörler;

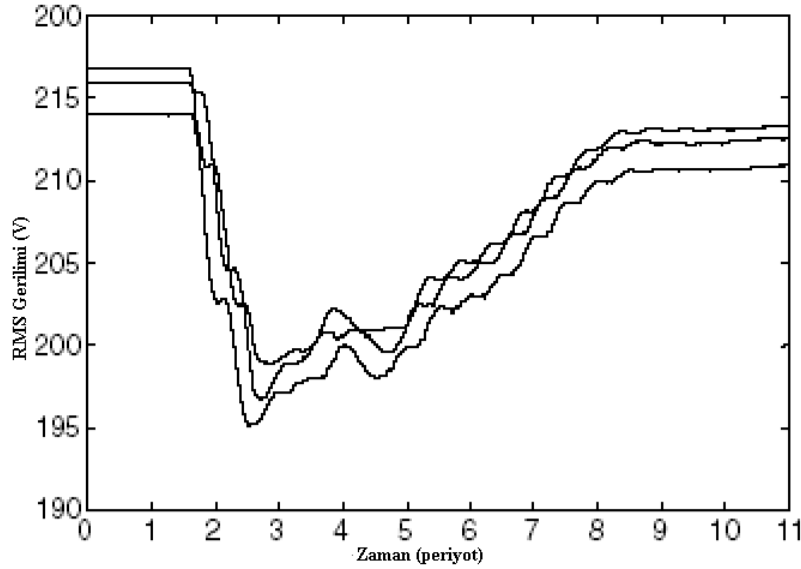
- a. Mesafe hataları
 - b. Empedans hatası
 - c. Hata tipi
 - d. Bir önce ki çökme gerilim seviyesi
 - e. Sistemin şekli
- Sistem empedansı
 - Transformator Bağlantıları

4.2. İndüksiyon Motorunun Çalışmasından Dolayı Gerilim Çökmeleri

İndüksiyon motorları üç fazda dengelidir. Başlamadan dolayı gerilim çökmeleri simetriktir. Her bir fazda fırçalardan geçen akım yaklaşık olarak aynıdır. Gerilim çökmesinin büyüklüğünün bağlı olduğu ;

- i. İndüksiyon motorunun karakteristiği
- ii. Motor bağlantılarının sağlam olması

Üç fazda ki gerilim çökmesi şekil 4.2’de gösterilmiştir. (A,B ve C)



Şekil 4.2. Motor çalışmaya başladığında gerilim çökmesi.

4.3. İndüksiyon Motorlarında Gerilim Çökmelerinin Etkisi

İndüksiyon motorlarının güç sistemlerinde ki uygulamaları çoğunlukla tipik yüklerdir. Sanayide tüketilen enerjinin %60 indüksiyon motorlarında harcanır. İndüksiyon motorlarında ki hata sebepleri çoktur. Gerilim çökmeleri indüksiyon motorlarının durmalarına ve üretimde mali kayıplara sebep olur.

Çökme tipine bakmaksızın, gerilim çökmelerinin indüksiyon motorları üzerinde ki temel etkileri;

- i. Hız kaybı
- ii. Akım ve tork zayıflamaları

Farklı gerilim çökmelerinin indüksiyon motorlarında ki karşılığı gerilim çökme tipine bağlıdır. Üç fazda ki gerilim çökmesinin karşılaştırılması ve detaylı sınıflandırılması [7]'de belirtilmiştir. Sınıflandırma ve karşılaştırma fazörler ve diğer eşitlikler sayesinde hesaplanır.

Tablo 4.1. Gerilim çökmelerinin sınıflandırılması ve fazörlerin etkisi.

| TİP | DENGE | HATA TİPİ | FAZLARDAKİ ÇÖKME | FAZDAKİ DEĞİŞİM |
|-------|----------|---------------------|----------------------|------------------|
| Tip A | Dengeli | Üç Fazda Kısa Devre | Üç Fazda Eşit Çökme | Yok |
| Tip B | Dengesiz | Faz-Faz | Bir Fazda Çökme | Yok |
| Tip C | Dengesiz | Faz-Faz | Bütün Fazlarda Çökme | Her iki Fazlarda |
| Tip D | Dengesiz | Faz-Faz | İki Fazda Çökme | İki Fazda |
| Tip E | Dengesiz | Faz-Faz-Toprak | Bütün Fazlarda Çökme | İki Fazda |
| Tip F | Dengesiz | Faz-Faz-Toprak | Bütün Fazlarda Çökme | İki Fazda |
| Tip G | Dengesiz | Faz-Faz-Toprak | Bütün Fazlarda Çökme | İki Fazda |

İndüksiyon motorlarını belirleyen ve farklı gerilim çökmelerini oluşmasına neden olan faktörler aşağıda ki gibidir;

- i. Çökmenin büyüklüğü
- ii. Çökmenin süresi
- iii. Motorda ki elektriksel parametreler
- iv. Yük ve atalet

İki durum vardır. Birincisi hatanın olduğu yani çökmenin olduğu diğeri ise gerilimin tekrar eski seviyesine geldiği andır.

Gerilim çökmesinin farklı tiplerinde ki indüksiyon motorun davranışını analiz etmek için bir indüksiyon motor seçilir. Özellikleri 610 kW, 50 Hz, 7850,5 Nm , 148 A çeken bir motorda çökmenin büyüklüğü $\Delta V = \%10$ ve süre 200 ms'dir.

Çökme tipi E'nin elde edildiği dalga, akım ve torkun dalga şekilleri faz açısı $\phi = 0^0$ 'de elde edilmiştir. Ancak, çökme tipi F'de faz açısı $\phi = 90^0$ olarak alınmıştır. Çökme tipi A'da akım ve torkun dalga şekillerinde minimum etki vardır.

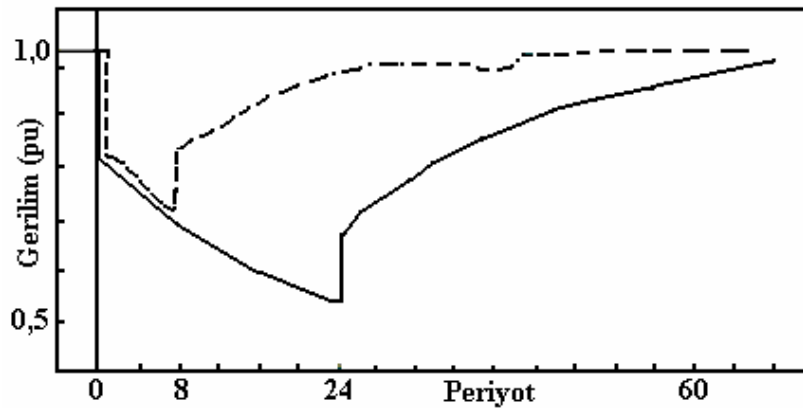
Herhangi bir çökme tipi indüksiyon motorunda belirli bir kayba sebep olur. İndüksiyon motorlarının hız kayıpları,tork,akımda ki değişik çökme tiplerinde ki etkisi kısaca Tablo 4.2’de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Farklı çökme tiplerinde indüksiyon motorlarının davranışı [13].

| Gerilim Çökme Tipi | Motor Akımının Etkisi | Motor Torkunun Etkisi | Hız Kaybının Etkisi |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| Tip A | Maksimum Etki | Etki Yok | Etki Yok |
| Tip B | $\phi = 90^\circ$ | $\phi = 90^\circ$ | Etki Yok |
| Tip C | $\phi = 90^\circ$ | $\phi = 90^\circ$ | Etki Yok |
| Tip D | $\phi = 90^\circ$ | $\phi = 90^\circ$ | Etki Yok |
| Tip E | $\phi = 90^\circ$ | $\phi = 90^\circ$ | Etki Yok |
| Tip F | $\phi = 90^\circ$ | $\phi = 90^\circ$ | Etki Yok |
| Tip G | $\phi = 90^\circ$ | $\phi = 90^\circ$ | Etki Yok |

Bir indüksiyon motorunda 10 periyottan daha kısa zaman zarfında gerilimin %20-30 arasında azalması olarak tanımlanabilir. Aşağıda ki durumlar değişken faktörlerin faktörlerin bir sonucudur. Bir indüksiyon motorunda gerilim çökme tiplerinin oluşmasında iki farklı durum vardır.

1. İndüksiyon motorları durduğunda gerilim tekrar normal değerine gelir.
2. İndüksiyon motorlarında hız kaybı,gerilim tekrar normal seviyesine geldiğinde hızlanma başlar.



Şekil 4.3. Gerilim çökme hatası ve oluşan çökme hatasının 8 ve 24 periyot içinde tekrar eski haline gelmesi.

Sistemde ki hata tiplerinin etkisi çoktan aza doğru sıralanmıştır.

Faz-Toprak < Faz-Faz < İki Faz-Toprak < Üç Faz

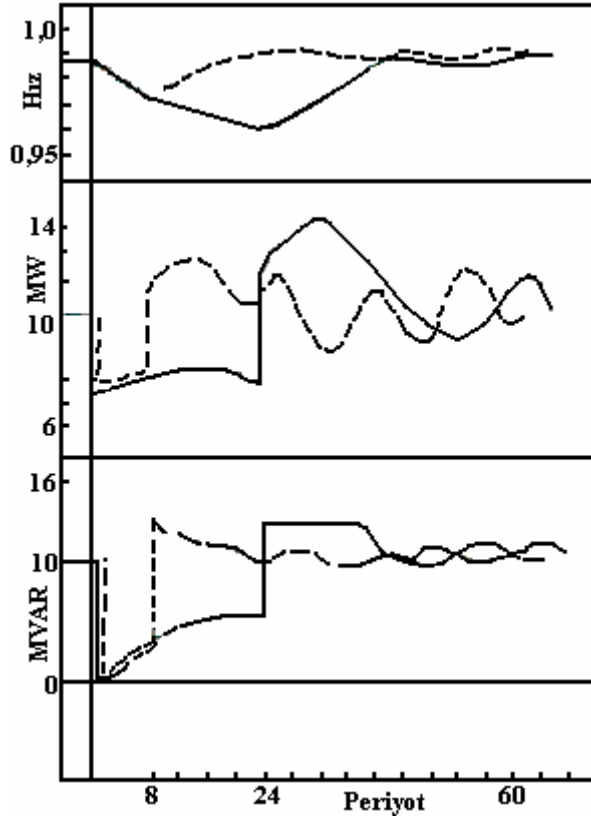
1.) Gerilim Çökme Hatası ve Gerilimin Düzelmesi : Gerilim çökmesi hatası ve gerilimin düzelmesini etkileyen faktörler;

- a. Elektrik sisteminde hatanın olduğu yer
- b. Hata tipi
- c. Hata düzeltme zamanı
- d. Gerilim regülatörleri
- e. Diğer yükler ve motor karakteristikleri

2.) Motor Hız Kaybı : Gerilim çökmesinin meydana gelmesi motor torkunun azalması ile meydana gelir. Düşük atalettaki motorlar hızlıca yavaşlar ve hatta durabilir, oysa yüksek atalettaki motorlarda hız kaybına neden olur ve tekrar eski seviyesine döner.

3.) Motorun Tekrar Hızlanması : Yeniden hızlanma ilk hızda ki kayba ve gerilimin tekrar eski seviyesine gelmesinde ki büyüklüğüne bağlıdır. Tekrar eski haline gelmesi ile örnekler Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

Gerilim çökmeleri, düşümleri başladığında, tork gerilimin karesi ile orantılıdır ve aynı zamanda hız düşer. Rotorda ki manyetik alan gerilim çökme süresince azalacak ve motorun hızının azalmasına neden olacaktır. Bu statorda ki gerilimin dengesiz olarak akı meydana getirecek, böylece torkun azalmasına neden olacaktır. Bir pozitif etki de, akı dengesiz hale gelmeye başladığı zaman, motor enerji meydana getirecek ve generator gibi davranacaktır. Bu durum çoğunlukla gerilim çökmesini azaltacak fakat gerilimin karakteristiğini bozacaktır. Hava boşluğunda ki manyetik alan yeniden oluşacak ve sonra motor yeniden hızlanmaya başlayacaktır. Gerilim çökmesinin ardından, motor hava boşluğunda büyük bir akım oluşturacak ve yeniden hızlanacaktır.



Şekil 4.4. 10,7 MW indüksiyon motorunda ki geçici hız,MW ve MVAR.

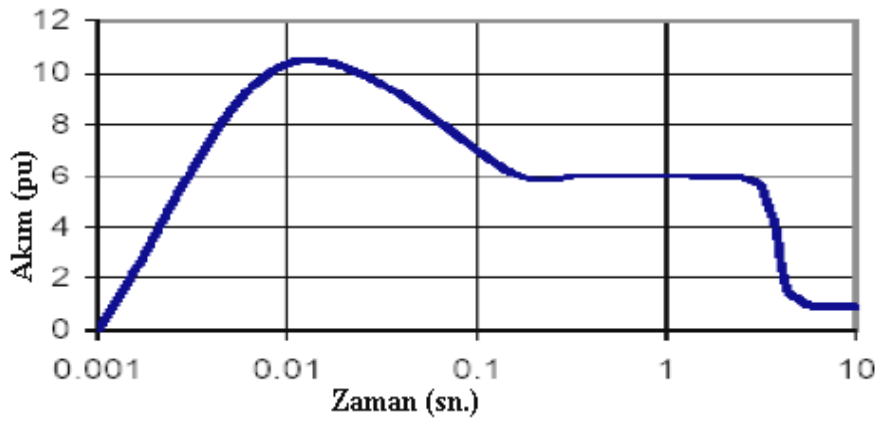
İndüksiyon motorlarında oluşan gerilim çökmelerinin basit bir şekilde hesaplanması gösterilmiştir [6].

Bir indüksiyon motorunda ki en ilgi çekici problemlerden birisi gerilim çökmesinin başında ki ve sonunda ki ilk tork hareketidir. Bu motorda zarara veya üretimin durmasına sebep olabilir.

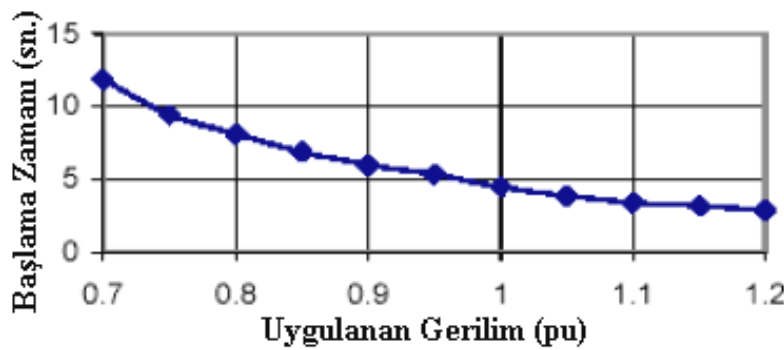
İlk gerilim çökmesi sırasında oluşan yüksek miktarda ki akım gerilim çökmesinin kritik sınırın altına düşmemesi için yeterli olacaktır [9]. Özellikle bu durumda ki bir çok makinede bu tip problemlerle karşılaşılmaktadır. Normalde bu gibi durumlarda cihazı korumak için motor sürücüler vardır ve gerilimin tekrar eski haline gelmesini sağlarlar. Motorların bir kısmı birlikte bağlanarak çökme anında tüm sistemi az etkiler. Aynı zamanda motorların bir kısmı da ağ şeklinde bağlanarak motorlardan enerji sağlanması ile gerilim çökmesini dengede tutar.

Bu yüzden, eğer motor bir çökme süresi boyunca çalışıyorsa, planlı bir sistem önemli bir destek sağlayacaktır. Aslında çökme anında çökme gerilimini ortada tutarak motorda ki gerilimin düşmemesine yardımcı olacaktır. Bu problemden sakınmak için, endüstride durma anından sonra tekrar çalışacak şekilde planlanması önerilir.

İndüksiyon motorunun başlama akımı, çoğunlukla tam yükte beş-yedi kez, cihazın hassasiyetini bozan nedenlerden biridir [13]. Gerilim çökmesini azaltmanın bir yolu da motora yol verenlerin uygulamasıdır. Motor çalıştığında çökme derinliği azalır fakat çökme süresi artar.



Şekil 4.5. İndüksiyon motorunun direkt başlama anında ki akımı. (V=1 pu)



Şekil 4.6. Başlama süresince gerilim fonksiyonunun uygulanması (V 0,7-1,2 aralığında)

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'de Transformatörde ki başlangıç akımının zamana göre karakteristiği v/s ile gerilim çökme derinliğinin zamana karşı karakteristiği [13].

Bu metotta tüm sistemde ki gerekli enerjinin toplamının farz edilmesi sonucunda ortay çıkan durum belirli enerji sabiti olarak düşünülebilir.

$$\int V^2 dt = \text{sabit} \quad (4.1)$$

4.4. Transformatör Enerjilenmesinden Dolayı Gerilim Çökmesi

Transformatör enerjilenmesinden dolayı meydana gelen gerilim çökmelerinin sebepleri;

i. Transformatörün enerjilenmesini içeren sistemin çalışması

ii. Tekrar eden olaylar

Gerilim çökmeleri doğal olarak simetrik olmayan biçimdedir ve çoğu kez bir sistemde gerilimin ani düşüşü olarak tanımlanır. Transformatörün enerjilenmesinin temel sebebi doymaya doğru giden transformatörün çekirdeğinde ki sürekli değişikliklerdir. Bazı zamanlarda, gerilim çökmesinin süresi uzun olduğu zamanlarda, daha fazla transformatör doymaya gider. Bu durumda birbirleriyle etkileşime girerler.

4.5. Senkron Generatör Modeli

Yerel enerji santrallerindeki generatörlerin modellenmesinde Şekil.4.7'deki basit tek hal şeması görülen tek makineli sonsuz baralı güç sistemi modeli kullanılır [20,21]. Generatörün bağlı olduğu dağılım sistemi, generatör gücüne oranla oldukça büyük güçlüdür ve söz konusu model gerçek sisteme en yakın modeldir.



Şekil 4.7. Dağılım şebekesine bağlı yerel generatör tek hat şeması

Senkron generatör modelini incelerken basit model denilen salınım denklemi ile ayrıntılı yada dinamik model olarak bilinen modeller incelenmelidir. Aşağıdaki bölümlerle bu modellere ilişkin denklemler verilmektedir.

4.5.1. Senkron motorlarda ve senkron generatörlerde gerilim çökmelerinin etkileri

Etkiler, asenkron motorlar üzerindeki etkilerle neredeyse aynıdır. Ancak senkron motorlar, genellikle daha büyük olan ataletleri, aşırı tahrik olasılıkları ve torklarının gerilim ile orantılı olması sayesinde stop etmeden daha fazla gerilim düşüklüğüne dayanabilirler (yaklaşık %50). Motor devri sıfıra düştüğünde (stop ettiğinde) motor durur ve tüm karmaşık çalıştırma sürecinin tekrarlanmasını gerektirir. Senkron makinelerde indüksiyon motorlarında ki gerilim çökmelerinden etkilenir. Gerilim çökmesinin meydana gelmesinde indüksiyon ve senkron motorlar arasında ki temel benzerlikler hız azalımı, aşırı akım çekme ve dönme momentidir. Ancak, gerilim çökmeleri esnasında senkron makinelerle ilgili ek olarak senkronize kayıplarıdır.

Bir dengeli gerilim çökmesinde makinelerde ki gücün azalmasına neden olur. Eğer yük gücü sabit ise motor da negatif bir tork oluşacaktır. Motor yavaşlayacak ve rotor ile statorda ki yük açısı artacaktır. Açının artmasıyla çıkış gücünü veren eşitlik;

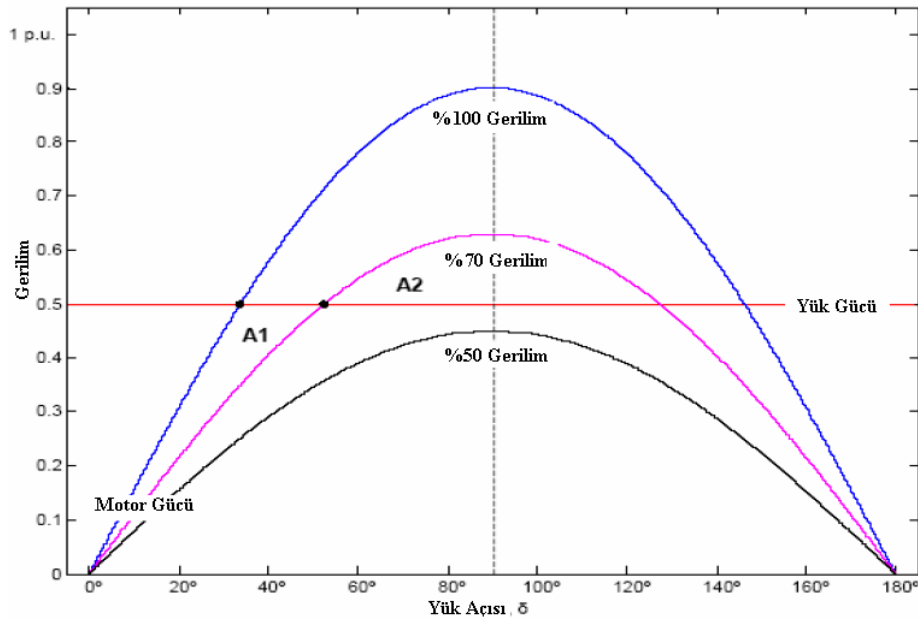
$$P = \frac{3.V.E_r}{X} \cdot \sin(\delta) \quad (4.2)$$

Burada P senkron makinede ki aktif gücü gösterir. V uygulanan faz gerilimidir. E_r ise rotorda ki indüklenen gerilimdir. X ise motor ve besleme gerilimi arasında ki arasında ki senkron reaktans'dır. δ ise uygulanan gerilim ile indüklenen gerilim arasında ki açıdır. Eğer güç yeterli büyüklükte ise yeni bir çalışma noktası olacaktır ve hız nominal hızına dönecektir. Eğer çökme gerilimi çok büyükse ve güç yüke yetmiyorsa, yük açısı artacak ve uygun olmayan bir alana geçecektir. Bu bir senkronize kaybına neden olacak ve motor yeniden çalıştırmak zorunda kalınacaktır [15].

Mıknatıslanma akımı sabit ve statorda ki endüvi akımının sınırı yoktur. Eğer senkron makinede aşırı mıknatıslanma olduğunda, motor reaktif gücü sağlayan güç faktörünün etkin olmasını sağlar.

Bir gerilim çökme sırasında, güç faktörü daha yavaş ilerlemiş olacaktır. Sonuç olarak motorda ki aşırı mıknatıslanma uzun süreli olacaktır.

Farklı besleme gerilimleri ve sabit Er ile bir senkron makinede ki aktif güç Şekil 4.8'de gösterilmiştir [16]. %30 oranında bir gerilim azalması makineyi sürekli bir konumda çalışmasını sağlayacaktır. Eğer gerilim çökme süresi yeterli uzunlukta ise tutma geriliminin %50 oranında bir gerilim çökmesi meydana gelmesi motorun düzgün çalışmamasını sağlar. Senkron makinelerinin süreklilik analizi eşit alan kriterlerine göre yapılır. Şekil 4.8'de gösterildiği gibi $A1 \leq A2$ ise motor kendine yeni bir çalışma noktası bulur.



Şekil 4.8. Farklı gerilimlerde ki yük açısının bir fonksiyonu olarak bir senkron motorda ki aktif güç [17].

Gerilim çökmesinin meydana gelmesiyle senkron motorlarda ki kısa süreli davranışlar güç sistemlerinin sürekliliği açısından kritik öneme sahiptir. Çünkü senkron makinelerde ki rotor sürekli hesaplamalarda belirleyici faktördür.

- i. Gerilim Çökmelerinde Sürekli Durumlar : Senkron motorlarda ki geçici durum karakteristikleri gerilim çökme esnasında birinci öneme sahiptir. Gerilim çökmeleri sanki bir blok gibi davranarak generatörden motora güç akışını, generatörlerin hızlanmasını ve başlangıçta motorların yavaşlamasına neden olur.
- ii. Yüksek ataletli makinelerde çoğunlukla paylaşım daha küçük parçalar şeklindedir. Böylece, yavaşlamaya çalışılırken, yer değiştirmeden dolayı tork açıları senkronize kaybı olur.
- iii. Senkron Motorda Uyarım : Aşırı uyarılmış motorlarda gerilim çökmeler esnasında tek bir uyarımdan daha uzun süreli kalıcıdır. Bu sistemde ki sağlanan reaktif güç ve güç faktörü aşırı uyarılmış motorların çalışmasını sağlar.
- iv. Otomatik Senkronizasyon : Gerilim çökme esnasında, kaynaktan motor bağlantılarının ayrılması yerine, çıkarılarak bağlantılar rotoru uyaracak şekilde yeniden hareket ettirilir..
- v. Motorların Hız Devri : Bu tavsiye edilmez; çünkü her periyotta kaynak gerilimi ve motorda meydana gelen gerilim arasında ki faz açıları 0° ve 360° arasında değişir.
- vi. Gerilim çökmesinde ki değişimler göz önüne alındığında doymaya sebep olur, çoğunlukla çökmeden sonra. Bu doyma yüksek akım ve torka yol açar. Ancak, doyma gerilim çökmesinin ardından geçiş zamanı azalır.

4.6. Büyük Güçlü Motorlara Yol Verilmesi Sırasında Oluşan Gerilim Düşümleri

Genel olarak yüklerin devreye girmesi sırasında ve kapasitör banklarının devre dışı bırakılması anında bir miktar gerilim düşümü olur. Statik yüklerin ve kapasitörlerin yol açtığı bu gerilim düşümü küçük değerlerde olup, devreye alınma/devre dışı kalma olayı bittikten sonra gerilimin tekrar yükselip, eski değerine gelmesi gibi bir sonuç söz konusu olamamaktadır.

Gerilimdeki azalma basamak şeklinde olan bir azalmadır. Bununla birlikte, asenkron motorların yol alması olayı, statik yüklerle göre çok farklı sonuçlar verir.

Motora direkt olarak yol verilirken, nominal akımın 6-8 katı oranında yol alma akımı çekilir. Bu durumda şebeke geriliminde %10-15 gibi düşmeler olur. Eğer bu gerilim düşümü oranı %15'e ulaşırsa yani gerilim nominal değerinin %85'ine düşerse motorların yol alma işlemi gerçekleşemez [5,18]. Gerilim düşüklüğü meydana geldiğinde, asenkron motorun torku (" V^2 " ile orantılı) aniden düşer ve bu da motoru yavaşlatır. Bu yavaşlama, gerilimdeki düşüşün büyüklüğüne ve süresine, döner kütlelerin ataletine ve tahrik yükünün tork-devir özelliklerine bağlıdır.

Motorun geliştirdiği tork, dirençli torkun altına düşerse motor durur. Herhangi bir kesintinin ardından gerilim eski değerine dönerken motor, değeri neredeyse başlangıç akımının değeri kadar olan akımı emme ve yeniden hızlanma eğilimindedir. Bunun süresi kesintinin süresine göre değişmektedir. Bir tesisatta birden fazla motor varsa eşzamanlı yol verme, tesisat üzerindeki besleme empedansında bir gerilim düşüklüğüne neden olabilir. Bu da, düşüşün süresini artıracak ve yol vermeyi zorlaştıracak (aşırı ısınmaya neden olan uzun süreli yol vermeler) veya imkansız hale (motor torku < dirençli torktan) getirecektir.

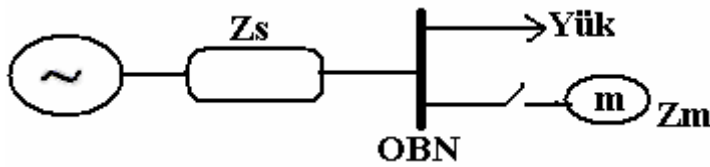
Aşırı akımlar ve sonuç olarak meydana gelen gerilim düşüklükleri hem motor üzerinde (kavrama ve redüktörler üzerinde anormal mekanik stres ile yalıtım bozukluklarına ve tork şoklarına neden olabilecek aşırı ısınma ve bobinlerde elektro dinamik güç; bu, zamanından önce aşınmaya ve hatta bozulmaya yol açabilir), hem de kontaktörler gibi diğer cihazlar üzerinde de bağlantıların aşınması ve hatta birbirine geçmesi gibi etkiler oluşturabilir.

Aşırı akımlar, tesisatın genel ana koruyucu cihazlarının açılmasına ve böylece prosesin kapanmasına neden olabilir. Asenkron motorun yol alma işlemi, motor anma hızına ulaşıncaya kadar sürer ve motor anma hızını ulaştığında gerilim kabul edilebilir bir değere tekrar oturur.

Bu süreç, motorun anma değerlerine ve mekanik yüküne göre değişen bir süreç olup birkaç saniye ile bir dakika arasında olabilmektedir. Ayrıca transformatör gücü ve şebeke kısa devre seviyesi gerilim düşümü miktarını belirleyen bir faktördür.

Özellikle direkt olarak yol verilen orta gerilim motorlarının bulunduğu endüstriyel tesislerde motorların yol alması dikkate alınacak sonuçlar üretebilir. Genelde motorların yol alması sonucu oluşan gerilim düşümü genlikleri, kısa devre kaynaklı düşümlere kıyasla daha az olur ancak düşüm süresi daha fazla olur. Bu süre ortalama 600 ms'ye kadar uzayabilir. Özel amaçlı, büyük motorlar için daha da uzayabilir [18].

Yükler açısından motorlara yol verilmesi sırasında yaşanan gerilim düşümleri önlenemez bir risktir. Planlı bir faaliyet olan ve çok sık yapılmayan büyük motorlara doğrudan yol verme olayı sırasında geliştirilmiş yöntemler bulunmaktadır. Motor barası gerilimin çeşitli yöntemlerle yükseltilmesi bu yöntemlerdendir [30]. Asenkron motorlara yol verilmesi sırasında oluşan gerilim düşümlerini hesaplamak için Şekil 4.9'daki basit sistemi ele almak gerekecektir.



Şekil 4.9. Motor yol verme olayı için gerilim bölücü devre

Burada Z_S şebeke empedansını, Z_M ise yol alma sırasındaki motor eşdeğer empedansını göstermektedir. Direkt olarak motora yol verildiğinde OBN harasında meydana gelen gerilim düşümünün genliği (4.3) eşitliği ile bulunur.

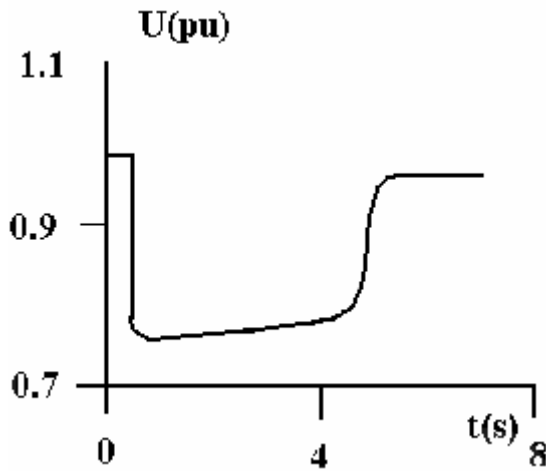
$$V_{\text{sag}} = \frac{Z_M}{Z_S + Z_M} \quad (4.3)$$

Kaynak geriliminin 1.0 birim değerde olduğu varsayımı altında, motorun anma gúcünün S_M , ve kaynağın ise kısa devre gúcünün S_{KD} olduğu durumlarda Z_S ve Z_M empedansları aşağıdaki eşitliklerdeki gibi hesaplanacaktır.

$$Z_S = \frac{V^2}{S_{KD}} \quad (4.4)$$

$$Z_M = \frac{V^2}{\beta \cdot S_M} \quad (4.5)$$

Burada p. motorların yol alma akımları ile anma akımları arasındaki oranı Delinmektedir. Ortalama olarak 6 ile 8 arasında değişmektedir. Şekil.4.10'da asenkron motorlara direkt olarak yol verilmesi sırasında yaşanan tipik gerilim değişimi gőrılmektedir.



Őekil 4.10. Asenkron motorlara yol verilmesi sırasında oluřan gerilim dūřümü

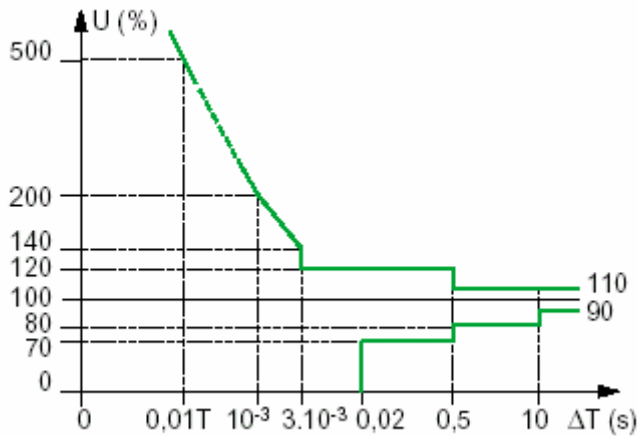
4.7. Hareket elemanları

Doęrudan tesisattan çalıştırılan kontrol cihazları (kontaktörler, gerilim kaybı bobinli devre kesiciler), büyüklüğü standart bir kontaktör için %25 U_n 'i ařan gerilim dūřüklüklerine karşı duyarlıdır. Gözlenmesi gereken minimum bir gerilim değeri vardır (dūřme gerilimi olarak bilinir), aksi takdirde kutuplar ayrılacaktır ve bir

gerilim düşüklüğünü (birkaç on milisaniye süren) veya kısa bir kesintiyi uzun (birkaç saat süren) bir kesintiye dönüştürecektir.

4.8. Bilgisayarlar

Günümüzde bilgisayarlar (bilgisayarlar, ölçüm cihazları) tesisatların, yönetimin ve üretimin izlenmesinde, kontrol ve kumanda edilmesinde hakim bir konuma sahiptir. Tüm bu cihazlar, %10 Un.'i aşan gerilim düşüklüklerine karşı duyarlıdır. Aşağıdaki eğride, ITIC (Bilgisayar Endüstri Konseyi), bilgisayarların; gerilim düşmelerine, kesintilere ve aşırı gerilimlere nasıl dayandığını gösteren ,süre-genlik eğrisi görülmektedir.



Şekil 4.11. ITIC eğrisi (bilgisayarların gerilim düşmelerine, kesintilere ve aşırı gerilime karşı dayanımı karakteristiği)

Bu limitlerin dışında gerçekleşen çalışma, veri kaybına, yanlış komutlara ve cihazın kapanmasına veya arızalanmasına neden olur. Cihazlarda işlev kaybının sonuçları, özellikle gerilim eski haline geldiğinde, yol verme koşullarına dayanmaktadır. Belirli cihazlar, örneğin kendine ait gerilim düşüklüğü saptama cihazlarına sahiptir ve bu özellik, verilerin yedeklenmesini ve hesaplama süreçlerini ve herhangi bir yanlış komutu engelleyerek güvenliği sağlamaktadır.

4.9. Hız Kontrol Cihazları

Hız kontrol cihazlarına uygulanan gerilim düşüklüğü problemleri:

- Motoru yeterli gerilimi sağlamak mümkün değildir (tork kaybı, yavaşlama),
- Doğrudan tesisattan beslenen kontrol devreleri çalışmamaktadır.
- Gerilim eski haline döndüğünde aşırı akım meydana gelmektedir (tahrik filtresi kondansatörü yeniden şarj edilmiştir).
- Tek bir fazda gerilim düşüklüğü meydana geldiğinde aşırı akım ve dengesiz akım meydana gelmektedir.
- Enversör işlevi gören DC tahriklerinde kontrol kaybı mevcuttur (tekrar devreye alarak fren yapma).

Hız kontrol cihazları, %15'ten fazla gerilim düşüklüğü meydana geldiğinde genellikle bozulmaktadır.

4.10. Aydınlatma

Gerilim düşüklükleri, akkor lambalarda ve flüoresan ampullerde erken eskimeye neden olmaktadır. Yaklaşık 50 ms süren ve %50'e eşit veya daha yüksek gerilim düşüklükleri, gaz deşarjlı ampullerin sönmesine neden olacaktır. Tekrar açmadan önce ampulün soğuması için birkaç dakika beklenmelidir.

4.11. Kısa Süreli Gerilim Düşümlerinin Endüstriyel Dağıtım Sistemlerine Etkisi

Enerji dağıtım sistemleri, iletim sistemi ile tüketici arasında köprü görevi gören elektrik enerjisinin geriliminin uygun değerlerde taşınarak müşteriye aktarıldığı enerji sistemlerinin önemli bir parçasıdır. İletim hatları vasıtasıyla yüksek gerilimde üretim bölgelerinden taşınan enerji yerleşim birimlerinin yakınında (çoğu kez şehir girişlerinde) ve sanayi bölgeleri girişinde bulunan şalt tesislerinde orta gerilim değerine indirilerek, dağıtım için gerekli şartlar oluşturulur. Türkiye şartlarında bu değer genelde 35 kV'tur. Orta gerilime indirilen enerji, dağıtım hatları ile kısa mesafeli taşıma yapılarak tüketicilere ulaştırılır.

Dağıtım şebekeleri orta ve alçak gerilim şebekeleri olarak ikiye ayrılır. Ülkemiz şanlarında enerji, 35 kV'luk orta gerilim şebekeleri ve terk edilmekte olan 6.3 kV hatlarla yerleşim yerlerindeki trafo postalarına aktarılır. Burada alçak gerilime (0.4 kV) indirilen elektrik enerjisi konutlarda ve küçük sanayi tesislerinde kullanıma hazır hale getirilir. Endüstriyel tesislere (petrokimya, demir-çelik gibi) ulaştırılan enerji tesisin kurulu gücü ve talep ettiği enerji miktarına bağlı olarak orta (35 kV) ve yüksek gerilimli (154 kV) hatlar ile tesisin trafo merkezine dağıtım şirketi tarafından ulaştırılır. Türkiye'de ağır sanayi kuruluşlarında 154 kVluk hatlar ile besleme yapılmaktadır. Özellikle metalürji tesislerindeki fırınların şebeke üzerindeki olumsuz etkilerini aza indirmek için bu tercih edilir. Nispeten daha küçük güçlü sanayi tesislerine ise 35 kV 'lık dağıtım hatları ile enerji beslemesi gerçekleştirilmektedir. Tesislerde kullanılan gerilim seviyesine göre bu değer daha aşağı noktalara (11 kV, 6.3 kV, 4.16 kV, 3.3 kV vb.) indirilebilmektedir.

Enerji dağıtım sistemleri için yükler önemli bir elemandır. Alçak gerilim (380/220V) yükleri genellikle yerleşim birimleri ve küçük ölçekli sanayi bölgeleri için belirlenmiş gerilim seviyesidir. Orta gerilimle ise daha çok endüstriyel tüketiciler ile için gerekli gerilim seviyesidir.

Prosesin kalitesi ve maddi kayıpların azaltılması için enerji kalitesinin sağlanması zorunludur. Bu kalitenin sağlanması enerji dağıtıcısı şirketler ve söz konusu tesisler için kaçınılmazdır. Çünkü sistemin bir noktasında meydana gelen harmonikler gerilim düşmeleri yada yükselmeleri gibi enerji kalitesizlikleri komşu yükleri de etkileyebilmekte ve problemi genişletmektedir. Özellikle bu tesisler için şebeke tarafında meydana gelen kısa devreler önemli ve ciddi bir sorundur.

Ülkemizde dağıtım şebekesinin yetersizliği ve tasarım hataları sonucu bir çok sanayi tesisi maddi kayıplarla karşılaşmakta ve bu sorunu gidermek için çeşitli önlemlere başvurumaktadırlar. Otoprodüktör de denilen kendi enerjilerini ürettikleri yerel elektrik santralleri ile harmonik filtreleri ve gerilim öteleyici elemanlar bunlardan bazılarıdır. Güç akışı ve kararlılık incelemelerinde yüklerin karakteristiği sistemin kararlılığı açısından önemli bir faktördür.

4.12. Yerel Elektrik Santrallerinin Kısa Süreli Gerilim Düşümlerine Etkisi

4.12.1. Yerel elektrik santralleri

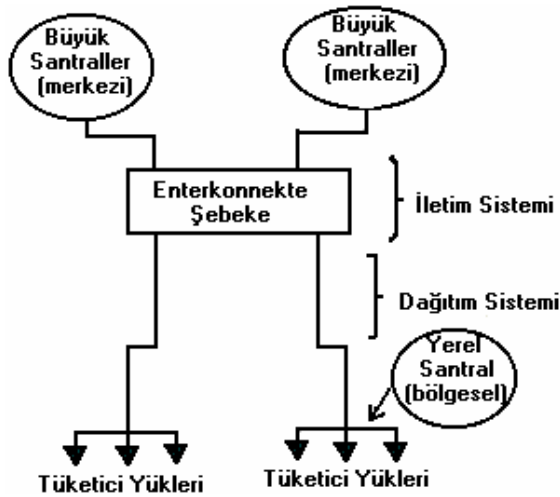
Günümüzde yaygın olarak enerji üretiminin yapıldığı büyük güçlü elektrik santrallerinin bulunduğu merkezi enerji üretimine alternatif olarak, 1970'lerden sonra yaygınlaşan bir başka seçenek ise dağıtım sistemine paralel bağlı, küçük güçlü santrallerle elektrik enerjisi üretimidir. Özellikle ABD ve bazı Avrupa ülkelerinde özel sektöre tanınan kolaylıklar sonucunda pek çok şirket kendi özel santralini kurmaya özendirilmiştir. Kurulan bu santraller daha çok kendi tesislerinin gereksinimi olan enerjiyi üretmek için tasarlanmış olduklarından küçük ve orta güç seviyelerinde tesis edilmişlerdir [19].

Literatürde bu konuda yapılan çalışmalarda kullanılan terminolojide kısmen bir standart sağlanmakla beraber farklı ülkelerde farklı terimler kullanılmaktadır.

Anglo-Amerikan ülkelerinde '*Embedded Generation (EG)*\ Kuzey Amerika'da '*Disiributed* yada '*Dispersed Generation (DG)*\ bazı Avrupa ülkeleri ile Asya ülkelerinde '*Decentralized Generation* terimleri daha yaygındır [18]. Türkçe'de bu konudaki çalışmalarda 'Yerel Elektrik Santrali" [19] terimi kullanılmaktadır. Endüstriyel santraller, tüketici santralleri, birleşik ısı-güç santrali ve özel santraller olmak üzere farklı kullanım amacı ve yerine sahip olmalarına karşın, buldukları bölgenin ihtiyacını karşılamakta olmaları ve üretilen enerjinin dağıtım sistemi içerisinde dağıtılmasından dolayı yerel elektrik santrali tanımı oldukça uygun bir tanımdır. Bu santraller dağıtım şebekesiyle paralel çalışabilmekte, gerektiğinde tek başına şebekeden ayrı olarak çalıştırabilmektedirler [19]. Ayrıca şebekeye sadece aktif güç vermek amacı öngörülmüştür, ancak bazı özel durumlarda reaktif güç temini yerel elektrik santrallerinden de sağlanabilmektedir. Genel olarak güç faktörü 1 yada 1'e çok yakın olarak çalıştırılmaktadır.

Merkezi santrallere göre küçük boyutlu olan YES olarak kombine çevrim, yenilenebilir enerji, küçük su santrali, rüzgar ve güneş enerjisi gibi enerji üretim şekilleri öngörülmektedir. 1960'ların başlarında küçük güçlü asenkron ve senkron generatörlerin kapasiteleri 300 kW ile 2 MW arasında değişmekte olup, 11 kV'luk

orta gerilim şebekesine bağlanmaktaydılar. 1970'lerde ve 80'lerde çok sayıda mini hidrolik üniteler inşa edilerek, şebekeden uzakta bulunan kırsal yerleşim yerlerinin enerji ihtiyacı temin edilmiştir. Ring (halka) dağıtım sistemlerinin genişlemesiyle, nehirlerin ve küçük akarsuların üzerine nehir santralleri kurulması kaçınılmaz bir hal almıştır. Bu tür nehir santralleri, orta gerilimdeki yerel dağıtım sistemlerine bağlanmışlardır. 1990'larda bağımsız (Özel) güç üretiminin ortaya çıkmasıyla enterkonnekte sisteme bağlı doğal gaz esaslı güç santralleri yapılmaya başlanmıştır. Ucuz bir enerji kaynağı olarak onaya çıkan doğal gazın üretiminin artması, doğal gaz santrallerinin artmasına yol açmıştır. 1990'lann ortalarında kojenerasyon ve yerel santraller, enerji sektöründe önemli bir etkili bir tercih olarak ortaya çıkmıştır [20]. Şekil 4.12'de yerel santralin enerji üretimindeki yerini ifade eden şema görülmektedir.



Şekil 4.12. Bir yerel santralin enterkonnekte sistem içerisindeki yeri

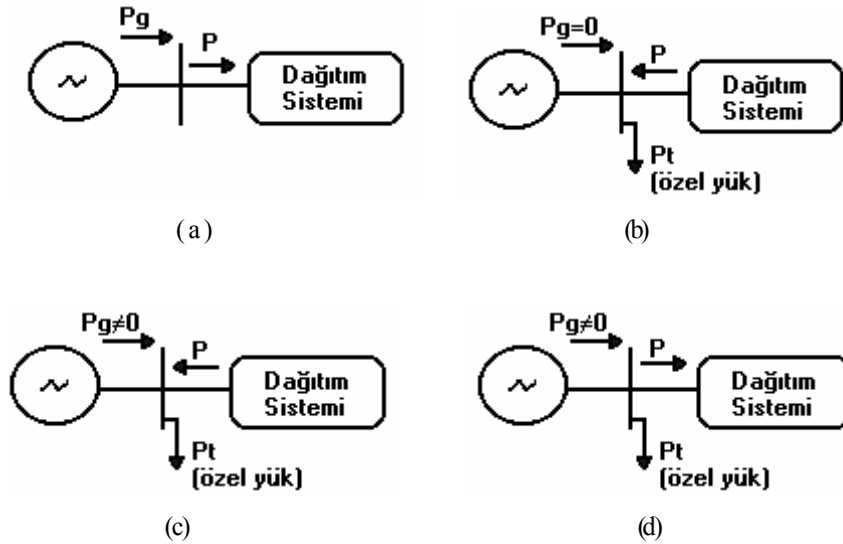
4.12.2. Yerel elektrik santrallerinin sınıflandırılması

Yerel elektrik santrallerinin sınıflandırılması kullanılan kriterlere göre farklı şekillerde yapılmaktadır.

- i. Kullanım amaçlarına göre,
- ii. Dağıtım sistemi ile arasındaki bağlantı şekline göre,
- iii. Kurulu güçlerine göre,
- iv. Kullanılan yakıt ve teknoloji türüne göre,

4.12.2.1. Kullanım amacına göre sınıflandırma

Kullanım amacına göre dört yerel santral türünden söz edilebilir.



Şekil 4.13. Yerel santraller ile enerji üretimi

Şekil 4.13'de yukarıdaki dört santral tipine ait şekiller verilmektedir.

- Özel teşebbüs tarafından hidrolik, organik artıklar, güneş enerjisi, doğal gaz, rüzgar enerjisi vb kullanılarak yapılan ve şebekeye enerji satan güç santralleridir. Bu tür özel santraller, enterkonnekte sisteme enerji verirler ve herhangi özel bir yükü beslemezler.
- Yerel santral yedek olarak kullanılmaktadır. Bu generatör, tüketicinin tüm yükünü karşılayacak şekilde tasarlanmaktadır. Ancak tüketici, yükün tamamını yine şebekeden karşılamakta, generatör ise yedek olarak tutulmaktadır.
- Tüketicinin enerji ihtiyacının önemli bir kısmı, yerel santral tarafından karşılanmakta, geri kalanı ise yine şebekeden alınmaktadır.
- Kurulan yerel santral gücü, tüketicinin ihtiyaçlarına göre büyük tasarlandığından, santral hem tüketiciyi ve hem de şebekeyi beslemektedir.

4.12.2.2. Dağıtım sistemi ile arasındaki bağlantı şekline göre sınıflandırma

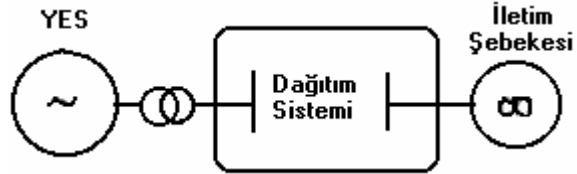
Dağıtım sistemi ile santral arasında dört farklı bağlantı şekli üzerinden bağlantı gerçekleştirilir.

Tip 1 : Generatör dağıtım sistemi geriliminde tasarlanmıştır. Uç gerilimi ile dağıtım sistemi gerilimi aynı olduğundan direkt olarak bağlantı yapılır. Şekil 4.14'de prensip şeması verilmektedir.

Tip 2 : Generatör ile paralel bağlandığı dağıtım sistemi farklı gerilim seviyelerine sahiptir. Bu nedenle bir transformatör üzerinden generatör çıkış gerilimi, şebeke gerilimi seviyesine getirilir. Şekil 4.15'te bu duruma ait prensip şeması verilmektedir. Özel sektör tarafından sadece şebekeye enerji satmak amacıyla kurulmuş olan bu tür santrallerin gücü 50-100 MW civarındadır. Bu tür enerji üretimi, bağımsız güç üreticileri (*Independent Power Producers*) olarak adlandırılır. Genellikle 66 kV ve üstündeki şebekeye bağlanırlar.



Şekil 4.14. Bağlantı şekli Tip 1



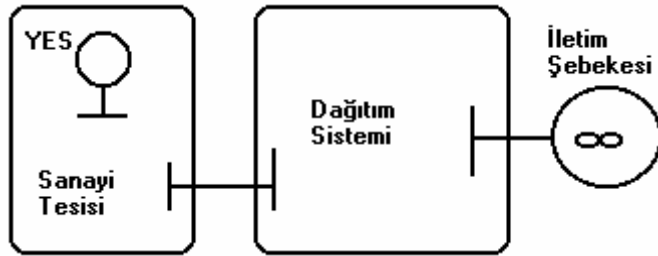
Şekil 4.15. Bağlantı şekli Tip 2

Tip 3 : Endüstriyel bir tesisin ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmış, duruma göre şebekeyi besleyen yada beslemeyen yerel santralin direkt olarak dağıtım sistemine bağlanmasıdır. Generatör uç gerilimi ile dağıtım sistemi gerilimi aynıdır. Şekil 4.16'de bu bağlantı şekline ait bağlantı şeması verilmektedir.

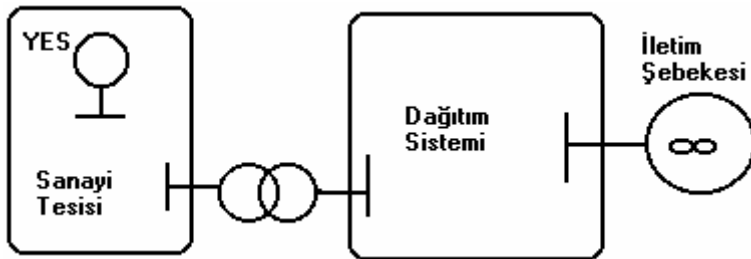
Tip 4 : Tip 3'deki gibi, endüstriyel bir tesisin ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanmış, duruma göre şebekeyi besleyen yada beslemeyen yerel santralin transformatör üzerinden dağıtım sistemine paralel bağlanmasıdır.

Generatör uç gerilimi ile dağıtım sistemi gerilimi farklıdır. Şekil 4.6'da bu bağlantı şekline ait prensip şeması verilmektedir.

Tip 3 ve Tip 4. sanayi tesislerinin içerisinde olup. öncelikli olarak o tesisin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere tesis edilmişlerdir. Bazılarında şebekeye enerji satma durumu da söz konusudur. 34.5 kV. 11 kV. 6.6 kV gibi orta gerilimde şebekeye bağlanırlar. Daha düşük hatta alçak gerilimde sisteme bağlanan özel generatörler vardır, ancak bunlar çok küçük güçlüdür (1 MW'tan küçük). Özellikle enerji naklinin zor olduğu küçük yerleşim yerlerinde kurulabilmektedirler.



Şekil 4.16. Bağlantı şekli Tip 3



Şekil 4.17. Bağlantı şekli Tip 4

Bu bağlamı ara yüz türleri içerisinde, pek kullanılmayan olanı Tip 1'dir. Çünkü şebekeye sadece elektrik satmak üzere kurulan bu tür santrallerdeki generatörlerin çıkış gerilimi 11 yada 13.8 kV gibi değerlerdedir. Bu tür santraller genelde 34.5 kV gerilim seviyesinde sisteme bağlanırlar ve bunun için direkt bağlanamazlar.

Yine lokal enerji tüketimini karşılamak için anma gücü 10 MW'tan küçük santrallerin ise uç gerilimi 3.3 kV veya 6.6 kV'tur. Bunlarda şebekeye direki bağlama imkanı vermezler. Bu yüzden sadece enerji satmak amaçlı kurulan santraller için Tip 2 tercih

edilmektedir. Endüstriyel tesislerde kullanılan yerel santralin bağlantı şeklini gösteren bu iki tür arasında en çok tercih edileni Tip 3 yani direkt bağlantıdır [20].

4.12.2.3. Kurulu güçlerine göre sınıflandırma

Bu tür sınıflandırmaya göre yerel santraller küçük, orta ve büyük güçlü santraller olarak adlandırılmaktadırlar [19]. Farklı güçlere göre bu sınıflandırmanın sınırlarında değişik görüşler olmasına rağmen büyük oranda kabul edilen güç sınırları aşağıdaki Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Kurulu güce göre sınıflandırma

| Türü | Kurulu Güç Aralığı |
|-------|--------------------|
| Mikro | 1 W - 5 kW |
| Küçük | 5 kW - 5 kW |
| Orta | 5 MW - 50 MW |
| Büyük | 50 MW - 300 kW |

4.12.2.4. Kullanılan yakıt ve teknoloji türüne göre sınıflandırma

Yerel santraller içerisinde kullanılan yakıt açısından iki temel sınıflandırmadan söz edilebilir. Bunlardan ilki yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanınan çevreye etkisi daha az ve daha ucuz kaynaklardır Tablo 4.4'de günümüz teknolojisinde ulaşılan kurulu güç değerleri verilmektedir.

Bu tür enerji kaynakları ile yerel çapta küçük santrallerin yanı sıra büyük ve merkezi santrallerde kurulabilmektedir. Özellikle katı yakıt ve doğal gaz santralleri ülkemizin enerji üretiminde önemli bir paya sahiptir.

Ancak özellikle birleşik ısı-güç santrali yada bilinen adıyla kojenerasyon santralleri endüstriyel tesisler tarafından öncelikle iç ihtiyacın karşılanmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

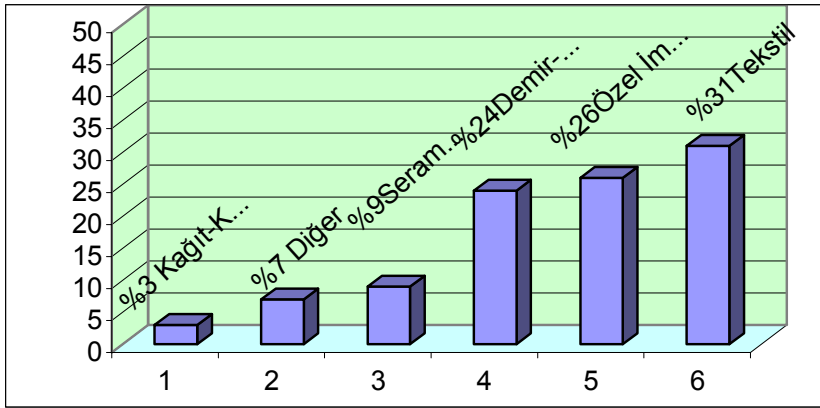
Tablo 4.4. Yerli santraller için ulaşılan teknoloji.

| Madde I.Madde II. | Ünite Başına Ulaşılan Güç Değerleri |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| Kombine çevrim gaz santralleri | 35-400 MW |
| İçten yanmalı motorlar | 5 kW-10 MW |
| Mikro türbinler | 35 kW-1 MW |
| Küçük hidrolik türbinler | 1 MW-100 MW |
| Mikro hidrolik türbinler | 25 kW-1 MW |
| Rüzgar Türbinleri | 200 W-3 MW |
| Güneş enerjisi panelleri | 20 W-100 kW |
| Biomass | 100 kW-20 MW |
| Yakıt hücresi | 1 kW-5 MW |

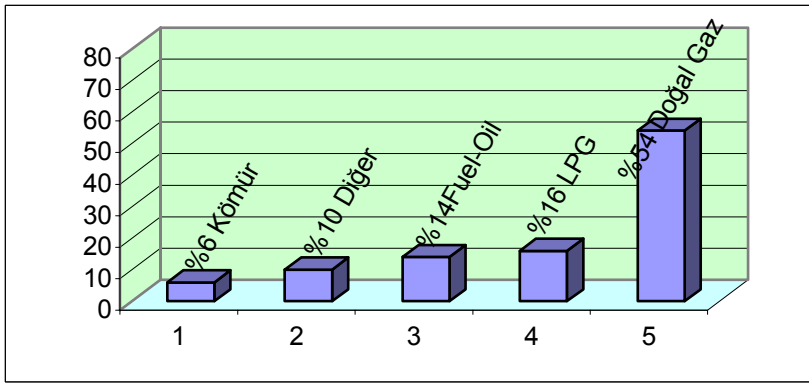
Rüzgar, güneş, jeotermal, küçük hidrolik santraller ve yakıt hücre teknolojisi yenilenebilir enerji kaynakları grubuna dahildir. Bir diğer grup ise petrol ürünleri (fuel oil, LPG, nafta), doğal gaz ve katı yakıtla çalışan elektrik santralleridir.

2000 yılı verilerine göre Türkiye'deki rüzgar santrallerinin kurulu gücü 150 MW iken dünyada 12000 MW'ı açmıştır [22], çevreye hiçbir olumsuz etkisinin olmaması ve ilk yatırım maliyetinden sonra işletme maliyetinin düşük olması rüzgar türbinlerini cazip hale getirmiştir. Ancak üretilen gerilimde dalgalanmalar ve frekans değişimleri olabilme ihtimalinden dolayı şebeke uç paralel bağlantısında harmonik filtreler ve frekans dönüştürücülerin kullanılması gerekmektedir. Birleşik ısı-güç santralleri ise yüksek verimliliği ve tercih edilen bir enerji üretim santrali türüdür.

Özellikle endüstriyel tesislerde otoprodüktör amaçlı kurulmuş çok sayıda birleşik ısı-güç (kojenerasyon) santrali bulunmaktadır. 2001 yılı verilerine göre işletmede olan kojenerasyon santralleri kurulu gücü 2397 MW'a ulaşmıştır [21], bu da yaklaşık ülke kurulu gücünün %10'una karşı gelmektedir. Projesi ve yapımı süren santrallerinde devreye girmesiyle bu oranın 2005 yılında %18'e ulaşacağı tahmin edilmektedir Kağıt ve karton fabrikalarında, rafinerilerde ve tekstil sektöründe kojenerasyon santrallere yönelme vardır. Şekil 4.18 ve 4.19'da Türkiye'deki yerel santrallerin sektörlere dağılımı ve kullanılan yakıt türlerinin oranını gösteren diyagramlar verilmiştir



Şekil 4.18. Türkiye’de yerel elektrik santrallerinin sektörlere göre dağıtımı



Şekil 4.19. Türkiye’de ki yerel elektrik santrallerinin kullanılan yakıtta göre dağılımı

4.13. Yerel Elektrik Santrallerinde Enerji Üretimi ve Generatörler

Alternatif akım elektrik enerjisi üretiminde iki tür generatör bulunmaktadır. Bunlar asenkron ve senkron jeneratörlerdir. Yerel elektrik santrallerinde büyük oranda senkron generatörler tercih edilmektedir. Çünkü günümüzde senkron generatorlerin güç aralığı asenkron generatöre göre daha geniştir. Asenkron generatörler ile daha küçük boyutlu enerji üretimi gerçekleştirilebilirken, senkron generatörler, istenen büyüklükle enerji üretimi gerçekleştirmek için daha elverişlidir.

Asenkron generatörlerdc reaktif gücün şebekeden yada generatör terminaline paralel bağlanan bir kapasitörde sağlanması yanısıra yapım maliyetinin senkron generatöre göre yüksek olması bir dezavantajdır [22].

Dinamik analizlerde senkron generatörlerde yük açısı kavramı, asenkron generatörlerde ise hız ve kayma kavramı ön plana çıkmaktadır. Generatörlerin kararlılığı ve enterkonneksiyonu açısından bu iki parametrenin izlenmesi gerekmektedir..

4.14. Türbin-Regülatör ve Uyarma Sistemi Modeli

Günümüzde doğal gaz üretiminin artması ve birtakım avantajları nedeniyle doğal gaz santralleri yaygınlaşmıştır. Gerek büyük güçlü merkezi üretimin bir parçası ve gerekse küçük güçte yerel üretimi sağlayacak şekilde kullanım alanı bulmuştur. Doğal gaz ile enerji üretiminin üstünlükleri ve olumsuz yönleri mevcuttur. Hava kirliliği yönünden katı yakıt yada diğer sıvı yakıtlı olan santrallere oranla daha az kirlilik kaynağı olsa da kükürt ve diğer partiküllerin iyi süzülmemesi sonucu bir takım problemler rapor edilmiştir. NOx miktarı, ısınma problemi ve sera etkisi rapor edilen zararlı etkilerden en önemlileridir. Bunun yanı sıra buhar türbinleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. Temel olarak benzetimlerde buhar türbini ve regülatörü modelleri kullanılmıştır.

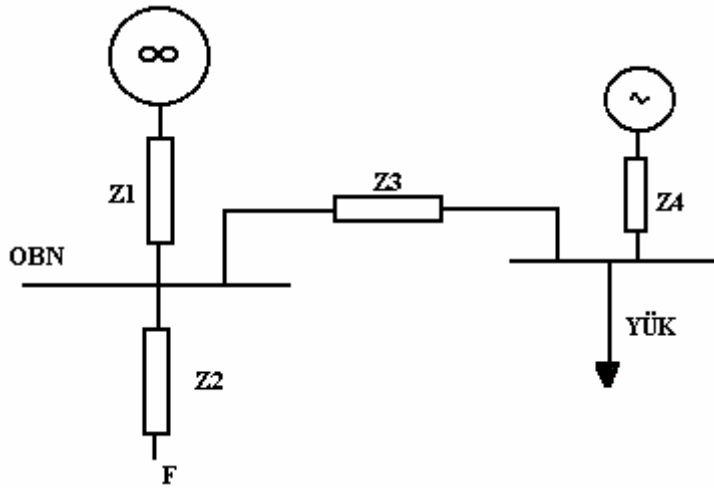
4.15. Yerel Generatörlerin Kısa Süreli Gerilim Düşümlerine Etkisi

Dağıtım sistemlerine bağlanan yerel generatörler gerilim düşümlerini azaltırlar. Dağıtım sistemlerindeki belirli yüklerin beslenmesinde kullanılan yerel santrallerin gerilim düşümünü hafifletmesi iki şekilde mümkündür. Bunlar beslenen şebekedeki arızalar ve sistemin geri kalan kısmındaki arızalar olarak ele alınabilir. Yerel santraller dağıtım sistemine bağlandıklarında beslenen yük tarafından bakıldığında dağıtım barasının arıza seviyesini yükseltir. Böylece dağıtım sisteminde meydana gelen kısa devrenin şebekenin geri kalan kısmına olan etkisini bir ölçüde azaltır yani arıza seviyesi artar, şebeke meydana gelen arızadan daha az etkilenir.

Özellikle zayıf güç sistemlerinde arıza seviyesinin yükseltilmesinin gerilim düşümüne etkisi çok fazladır. Fakat kuvvetli sistemlerde, arıza seviyesi fazla arttırılamaz. Çünkü koruma cihazlarının izin verilen maksimum kısa devre akımı sınırlarını aşma riski vardır. Yerel santraller ayrıca, sistemin geri kalanında meydana gelen arızalar sonucu oluşan gerilim düşümlerini de hafifletir.

İletim sistemi ve dağıtım sistemin diğer bölümlerinde meydana gelen arızalar yükler açısından ciddi sorunlara yol açmaktadır. Arıza sırasında, generatör kendi yerel harasının gerilimini korumak için arızayı besler. Şekil 4.20'de verilen eşdeğer devre yardımıyla bu etkileri nitelemek mümkündür [17]. Bu devre de bulunan, Z_1 empedansı, OBN harasından görülen kaynak empedansı, Z_2 , arıza yeri (F) ile OBN arasındaki empedansı, Z_3 , generatör harası ile OBN arasındaki empedansı ve son olarak Z_4 empedansı ise arıza sırasında (geçici hal empedansı) generatörün empedansını göstermektedir [3].

Generatörün bulunmadığı bir sistemde, yük gerilimi, OBN barasındaki gerilime eşit olmaktadır. Sisteme bir generatör ilave edildiğinde ise gerilim düşümü süresince yük gerilimi generatör barasındaki gerilime eşit olmaktadır [17]. Buna göre generatör barasından görülen gerilim düşümü genliği aşağıdaki şekilde olacaktır.



Şekil 4.20. Yerel santralin bulunduğu sistemin eşdeğer devresi

$$(1 - V_{SAG}) = \frac{Z_4}{Z_3 + Z_4} (1 - V_{OBN}) \quad (4.6)$$

Generatör barasındaki gerilim azalması, OBN barasındaki azalmanın $Z_4/(Z_3+Z_4)$ katıdır. Böylelikle, generatör ile sistem arasındaki güç akışının daha zayıf olduğu bağlantılarda, OBN barasına olan mesafe (empedans) arttığında yada generatör empedansı daha büyük olduğunda yani daha büyük güçlü generatör bulunduğunda

gerilim azalması daha küçük olur. Generatör harasından sonraki sistemin geri kalan kısmının arızaya katkısı esas olarak besleme transformatörünün empedansı ile belirlenir. Bu durumda, gerilim düşümündeki azalma yaklaşık olarak generatörün bağlandığı baradaki arıza seviyesine katkısına eşittir. Yani arıza sırasında yerel generatörün varlığı (arızayı besleme oranı) nispetinde gerilim düşümünde azalma meydana gelir. Örneğin generatör arıza akımının %50 sini karşıladığında, % 60 olan gerilim düşümü oranı %30 a inebilir. Yani aynı arıza koşulları için yük gerilimi, generatör yokken nominal değer %40'ına kadar inerken generatörün etkisiyle bu oran %70 inde kalmaktadır. Generatör barası gerilimi ise yük harası gerilimiyle aynı olduğundan yukarıda sözü edilen değerler cihazlar ve yüklerin uç gerilimlerinde değerler olabilmektedir. Bu ifadelerin sonucunda sıfır olmayan minimum düşü genliği kavramından bahsetmek gerekmektedir. OBN harasında meydana gelen bir arıza durumunda ki bu arıza yerel generatör açısından en riskli arıza yeridir, generatör terminal gerilimi aşağıda verilen minimum değerden aşağıya sözgelimi sifira inmeyecektir.

4.16. Kısa Süreli Gerilim Düşümlerinin Yerel Santrallere ve Dağıtım Sistemi Kararlılığına Etkisi

Yerel elektrik santrallerinin dağıtım sistemlerinde kullanılması ile kısa süreli gerilim düşümleri sırasında bir miktar iyileşme elde edilmekle beraber, asıl önemli olan konu söz konusu dağıtım sistemlerinde meydana gelen elektromekanik salınımlar ve dinamik kararlılık problemi. Yerel santraller, dağıtım sistemi ile paralel çalışsın yada çalışmasın meydana gelen arızalar yada yüklerin devreye alınması sırasında ve sonrasında bir takım elektromekanik değişimler meydana gelir.

Bu değişimlerin frekansı, genlikleri ile zamana bağlı davranışı generatörün ve sistemdeki yüklerin çalışmasını etkiler.

Yerel santrallerin son 30-40 yıl içerisindeki enerji sektöründeki payında meydana gelen hızlı artışla beraber yukarıda kısaca değinilen kararlılık probleminin yanı sıra enerji kalitesi problemi ve koruma sistemleri üzerinde çok sayıda araştırmalar bulunmaktadır.

Yerel santral kavramı içerisinde bağımsız enerji üreticileri olarak tanımlanan orta ve büyük güçlü santraller ile bunların enterekte sisteme bağlandığı noktalarda meydana gelen dinamik kararlılık problemleri ve bunların azaltılmasında güç sistem kararlılaştırıcılarının (PSS) etkisi üzerine yapılan çalışmalar sonucunda PSS'nin düşük frekanslı salınımları azalttığı ve dinamik sistemlerin kararlı hale gelme sürecini hızlandırdığı görülmüştür [16]. Ancak PSS in genelde 75-100 M W ve üzeri generatörlerde kullanılması gerekliliği, daha küçük güçlü ünitelerde kullanılmasında gerek olmayışı küçük sistemlerde kararlılık probleminin önem kazanmasına yol açmıştır. Dinamik kararlılık problemi, güç sistemlerinin güvenli bir şekilde işletilmesi için kritik bir öneme sahiptir. Çünkü güç sistemlerinde meydana gelen düşük frekanslı bu salınımların karmaşık bir yapısı vardır. Bu yapıyı tanımlayabilmek için generatör, motor gibi dinamik elemanların dinamik karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekir.

Özellikle küçük yerel santrallerin enerji kalitesine etkisi ve dinamik kararlılık sorunları önemli araştırma konularından olmuştur. Genellikle iletim sistemi ile dağıtım sistemi arasındaki tek yönlü güç akışı, dağıtım sistemine aktif-reaktif enerji enjekte eden bu santrallerin sayesinde yön değiştirmektedir. Hatta çoğu kez dağıtım sistemine doğru bir akış olmakta yani yerel santral dış sistemi de beslemektedir, özellikle endüstriyel tesislerdeki otoprodüktör santrallerin ikincil amacı şebekeye enerji vermektir. Bu durum elbette ki ticari bir alış veriş sonucu gerçekleşen bir olaydır. Yerel elektrik santrallerinin enerji kalitesini: etkisi generatör boyutu ile şebeke arıza seviyesi ve X/R oranına bağlıdır. Ayrıca generatör ve tahrik sistemi karakteristikleri önemli bir diğer etkidir [14]. Özellikle kısa devre seviyesi, gerilim düşümünün şiddeti ve yayılmasını etkileyen çok önemli bir faktördür.

Yerel elektrik santralleri olarak karşımıza çıkan temel iki generatör tipi olan senkron ve asenkron generatörler arasında bir kıyas yapmak gerekirse, senkron generatörlerin sistem kısa devre gücüne katkısı asenkron motora göre oldukça fazladır ve asenkron generatörlü yerel santraller ki bunlar rüzgar santralleridir, kısa süreli gerilim düşüme pek katkısı olmayan hatta kararsızlık tehlikesi daha fazla olan yerel generatör tipleridir [15].

Dağıtım sistemlerine yerel enerji üretim generatörlerinin eklenmesi ile sistem gerilim profili iyileştirilir, hat kayıpları azaltılır ve şebekeden talep edilen güç azalır. Ayrıca yerel elektrik santralının eklenmesiyle dağıtım sistemi pasif bir sistemden aktif bir sisteme dönüşmektedir. Yani sadece enerji tüketen değil aynı zamanda enerji üreten bir sisteme dönüşmektedir. Yapılan bazı çalışmalarda özellikle geniş alana yayılmış dağıtım sistemlerine yönelik incelemelerde yerel santrallerin dağıtım sisteminde gerilim kararlılığına da katkısı olabileceği öngörülmüştür.

Bu noktada generatörlerin ve sistemin kararsızlığa ve enerji kesilmesine karşı korunması önem kazanmaktadır. Özellikle yerel santrallerin arıza sonucunda aşırı akıma ve güç adası oluşumuna karşı korunması üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bunun yanı sıra dengesiz arızaların yerel generatörlere etkisi, gerilim düşümlerinin dağıtım şebekesi üzerinde geniş alana yayılması ve gerilim düşümleri ile düşüm süresinin generatör mili momentine etkisinin incelendiği çalışmalar ve koruma sisteminin kısa süreli gerilim düşümleri sırasında generatör davranışını anlayabilmeye yönelik bazı sonuçlara ulaşılmıştır.

Referans [23] ve [25]'da yüksek hızlı bir kesici ile yerel santrallerin arıza yani gerilim düşümü sırasında arızadan izole edilmesi önerilmiştir. Bu kesicide yüksek hızı sağlayan GTO elemanı kullanılmıştır. Koruma sisteminin etkisi üzerine yapılan çalışmalarda röle ayar değerleri ile generatörün davranışı arasındaki ilişki ve özellikle arıza temizleme zamanının etkisi ve seri bobin ile aşırı akımın azaltılarak gerilim düşümünün kurtarılmasına yönelik araştırmalarda yapılmıştır [26]. Yine aşırı akım röle koordinasyonu ile gerilim düşümü yayılma alanının azaltılması ve yerel santrallerin korunmasında röle ayarının yani arıza temizleme süresinin etkisinin incelendiği çalışmalar bulunmaktadır [24].

Tezin bu bölümünde yukarıda belirtilen önceki çalışmaların sonuçlarından da faydalanarak kısa süreli gerilim düşümlerine yol açan iç ve dış arızaların ele alınan örnek sistemdeki yerel generatörlere ve dağıtım sistemine etkisi incelenmiştir. Bu incelemelerde; yerel santral ile dağıtım sistemi arasındaki bağlantı şekli yani direkt veya transformatör üzerinden bağlanma durumlarında arızaların generatör barasındaki yol açtığı gerilim düşümü ve generatör hız değişimleri incelenmiştir.

Yine Őebekeyle paralel çalışma durumunda i ve dış arızalar sırasında generatör hız ve rotor açısı değişimleri gözlenmiŐtir. Ayrıca gerilim düşümü esnası ve sonrasında meydana gelen düşük frekanslı rotor salınımları ile dağıtım sistemi yük karakteristiği arasındaki iliŐkiyi gösterebilmek amacıyla farklı dinamik ve statik yük oranlarında benzetimler yapılmıştır. Bu işlemler Őebekeyle paralel ve ayrı çalışma koşulları için tekrarlanmıŐtır.

BÖLÜM 5. GERİLİM DÜŞÜMÜNÜN HESAPLANMASI VE SINIFLANDIRILMASI

Başlangıç noktası üç fazın zaman domeninde ki gösterimidir. Öncelikle gerilim çökmesi süresi ve elde edilen gerilim ile zaman domeninde elde edilen gerilim etkin değerinin hesaplanması önemlidir. İkinci adım ise gerilim çökmesinin büyüklüğü ve gerilim enerji indeksinin hesaplanmasıdır.

5.1. Tam Frekans Çözümü

Olayın özelliklerini hesaplamadan önce sinyal frekansının doğruluğu gerekmektedir. Bu ancak elde edilen dalganın en az iki periyot boyunca elde edilmesi gerçekleşir [7]. İlk adım olarak gücün bir periyot boyunca hesaplanması ile olur. Bu 50 Hz'lik bir frekans sisteminde 20 msn içinde tam bir periyotluk örneğin alınmasıdır. $[0, T]$ aralığında hesaplanan değer açısı α_1 hesaplanır. İkinci periyot $[T, 2T]$ aralığındadır ve açısı α_2 'dir. İkinci açı belirli periyot T ve tam frekans f ile $2\pi fT$ sayesinde ilk açının artmasıyla hesaplanır [7]. Frekans aşağıdaki ifade ile hesaplanır;

$$2\pi + \alpha_2 = \alpha_1 + 2\pi fT \quad (5.1)$$

Buradan da frekansın elde edilmesi;

$$f = \frac{1}{T} \left(1 + \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{2\pi} \right) \quad (5.2)$$

Bazı durumlarda başlangıç gerilimi bir gerilim çökmesi olarak algılanır. Bu durumlarda ilk hal geçerli değildir. α_1 ve α_2 açıları iki periyot boyunca düşünülebilir.

5.2. RMS (Etkin Değerin) Hesaplanması

IEC güç kalitesi standartlarında IEC 61000-4-30 [1] fonksiyonun zaman domeninde ki gerilimin büyüklüğünü elde etmede doğru bir yöntemdir. Burada ki ilk durum gücün bir periyotluk kısmı üzerinden gerilimin etkin değeri elde edilir [7].

Bir periyot boyunca hesaplanan gerilimin değeri her yarım periyot için de tekrarlanır. Diğer bir deyişle bir periyot boyunca geçen zamanın yarısıdır. Her yarım periyot boyunca hesaplanan V_{rms} 'nin bir periyot boyunca elde edilmesi;

$$V_{rms}(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1+n\frac{N}{2}}^{(\frac{n}{2}+1)N} u(k)^2} \quad (5.3)$$

Burada N her bir periyot boyunca oluşan örnek sayısı, $u(k)$ ise örnek gerilimin dalga şekli ve $k=1,2,3,\dots$ İlk değer (1,N) arasındaki değerlerden alınır. Diğer örnekler ise $(\frac{1}{2}N+1, \frac{1}{2}N)$ arasındaki değerlerden alınır [1].

Bir periyot boyunca elde edilen her örnekte ki V_{rms} değeri;

$$V_{rms}(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=n-N+1}^n u(k)^2} \quad (5.4)$$

Burada ki N her bir periyotta ki örnek sayısı, $u(k)$ ise örnekleme gerilimin dalga şekli ve $k=1,2,3,\dots$ Bazı durumlarda V_{rms} 'nin değeri yarım periyot olarak alınır [7]. Yarım periyot olarak ele alınmanın temel avantajı tam periyot ile karşılaştırma yapmaktır. Bir periyot boyunca bir önceki hata geriliminden bir sonraki hata gerilimine geçiş hızlı olur.

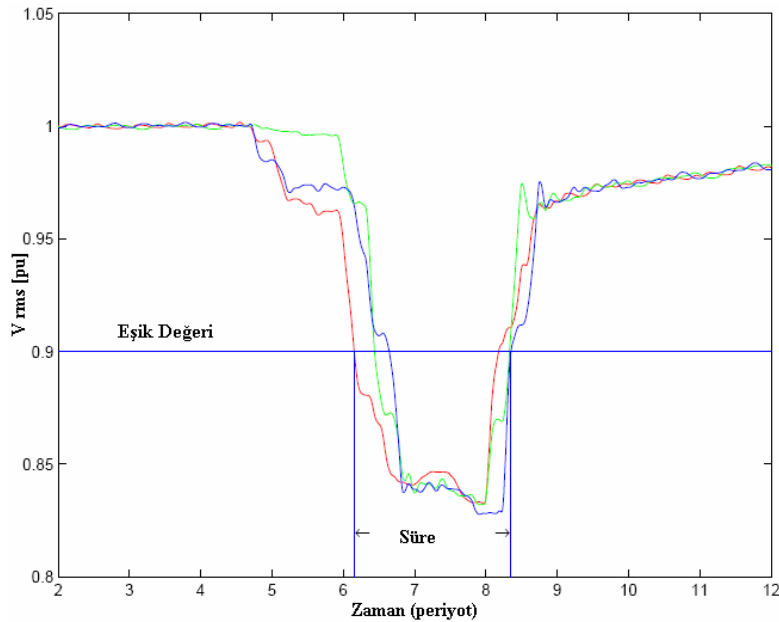
Yarım periyot boyunca elde edilen her örnekte ki V_{rms} değeri;

$$V_{rms} \frac{1}{2}(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=n-N+1}^n u(k)^2} \quad (5.5)$$

Burada N her yarım periyot boyunca oluşan örnek sayısı, $u(k)$ ise örnek gerilimin dalga şekli ve $k=1,2,3\dots$

5.3. Süre ve Tutma Gerilimi

Gerilim çökmesini tanımlayan iki temel gösterge vardır [7]. Bunlar süre ve tutma gerilimi. Gerilim çökmesinin süresi eşik değerinin altındaki geçen sürenin tamamıdır. Gerilim çökmesinin eşik değeri çoğunlukla nominal gerilim değerinin %90 olarak seçilir. Üç fazlı sistemlerde gerilim çökmesi süresi en az bir fazdaki V_{rms} değerinin eşik değerinin aşağısına düşmesiyle geçen süredir. Gerilim çökmesi fazlardaki gerilimlerden birinin eşik değerinin aşağısına düşmesiyle başlar. Üç fazdaki gerilim değerlerinin eşik değerinin üstüne çıkmasıyla da sona erer [8].



Şekil 5.1. Gerilim çökmesi süresinin hesaplanması.

Gerilim çökmesi süresi gerilim çökmesinin başlaması ile bitmesi arasındaki geçen süredir. Süre daha sonra bundan farklı olarak üç fazdaki gerilim değerlerinin gerilim çökmesi eşik değerinin üzerinde olması ve bir fazdaki gerilim değerinin gerilim çökmesi eşik değerinden aşağıda olması ile de hesaplanabilir. Şekil 5.1’de sürenin nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Burada V_{rms} değeri her oluşan örnekte yarım periyot boyunca hesaplanmıştır.

Gerilim çökmesinde ki tutma gerilimi herhangi üç fazdan birindeki V_{rms} değeridir. Her bir birimde ki tutma gerilimini tekrar gösterebilmek bir önceki seçilen gerilimin referans gerilimi olması gerekir. Bir önceki gerilimin seçilme nedeni de nominal gerilimin her bir durumda farklı analiz edilmesidir.

5.3.1. Kesilme

IEC standartlarına göre kesilmenin başlaması üç fazda ki gerilim değerlerinin eşik değerinden aşağıda olması ve en az bunlardan birinin eşik seviyesinin üzerinde olması ile gerçekleşir.

Kesilmenin eşik değeri çoğunlukla nominal gerilimin %10’u olarak kabul edilir. Kesilme süresi de üç fazda ki gerilim süresinin eşik değerinin altında olmasıyla başlar. Eğer üç fazda ki gerilim sıfır ise bu gerilim çökmesi yada gerilim kesilmesi olarak sınıflandırılır.

5.3.2. Yükselme

Gerilim yükselmesi gerilim çökmesi gibi aynı şekilde karakterize edilebilir. Yükselme süresi gerilim değerinin eşik seviyesinin üzerinde bulunduğu süredir. Yükselmenin başlaması en az fazlardan birinin eşik değerinin üzerine çıkmasıyla oluşur. Sona ermesi de üç fazda ki gerilim değerlerinin eşik seviyesinin altına inmesiyle de son bulur. Tutma gerilimi V_{rms} değerinin en yüksek değeridir. Yükselme eşliğinde ki kabul edilen değer referans geriliminin %110 olarak kabul edilir.

5.4. Gerilim Çökmesi Enerji İndeksi

[2]'ye göre Gerilim çökmesi enerji indeksi $E(Us)$ 'nin değeri;

$$E(Us) = \int_0^T \left\{ 1 - \left(\frac{U(t)}{U_{nom}} \right)^2 \right\} dt \quad (5.6)$$

Burada ki $U(t)$ değeri olay süresince V_{rms} 'nin değeri ve U_{nom} ise nominal gerilimin değeridir. İntegral ise olayın başladığı ve bittiği süre arasında alınır. Gerilim çökmesi enerjisi ise birim zamanda ki enerji miktarıdır. Eşitlik 5.5 ve 5.6'da ise yarım periyot boyunca hesaplanan V_{rms} 'nin değeri;

$$E(Us) = \frac{1}{2f_0} \sum_{n=1}^N \left\{ 1 - \left(\frac{U_{rms\frac{1}{2}(n)}}{U_{nom}} \right)^2 \right\} \quad (5.7)$$

Burada ki f_0 ise bütün süre boyunca frekans değeri, V_{rms} ise olay süresince gerilim değeridir. Bu sonuca göre gerilim çökmesi enerji ifadesi;

$$E(Us) = \left\{ 1 - \left(\frac{U}{U_{nom}} \right)^2 \right\} \times T \quad (5.8)$$

Burada T süreyi, V olayındaki tutma gerilimini göstermiştir. Gerilim çökmesinde ki empedans yükünde ki kaybolan enerjinin yol açtığı kesilme süresi gerilim çökmesi enerjisidir [2]. Gerilim çökmesi enerjisi bütün fazlarda ki gerilim çökmesi enerjilerinin toplamıyla hesaplanır.

$$Evs = Evsa + Evsb + Evsc \quad (5.9)$$

Gerilim yükselmesi enerjisinin hesaplanması gerilim çökmesi enerji hesaplanmasına benzerlik gösterir.

$$E(Us) = \int_0^T \left\{ \left(\frac{U(t)}{U_{nom}} \right)^2 - 1 \right\} dt \quad (5.10)$$

Burada $V(t)$ olay süresince V_{rms} değerini ve U_{nom} ise nominal gerilim değerini gösterir. İntegral gerilim yükselmesi boyunca alınır. V_{rms} 'nin bütün değerleri nominal gerilimin %110 şeklindedir.

Eşitlik 5.5 ve 5.10'da ki ifadelerden yarım periyot boyunca gerilimin değerinin ifadesi;

$$E(Us) = \frac{1}{2f_0} \sum_{n=1}^N \left\{ \left(\frac{U_{rms} \frac{1}{2}(n)}{U_{nom}} \right)^2 - 1 \right\} \quad (5.11)$$

Burada f_0 frekansı, toplam ise eşik değerinin üzerinde ki gerilim değerlerinin toplamını göstermektedir [2].

5.5. Gerilim Çökmesi Büyüklüğü

Gerilim çökmesinin büyüklüğü gerilim çökmesi süresine ve tutma geriliminin hesaplanmasına göre belirlenir.

$$S_e = \frac{1 - U}{1 - U_{curve}(d)} \quad (5.12)$$

Burada ki U tutma gerilimini, d olayın süresini, $U_{curve}(d)$ ise aynı süre içinde referans eğrisinde ki tutma gerilimini gösterir.

5.6. Simetrik Gerilim Düşümü Hesaplama Yöntemleri

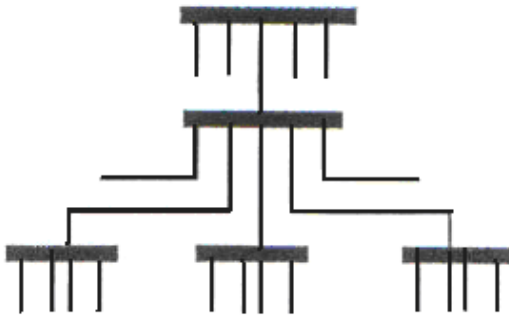
Bazı zamanlarda, sistemdeki hassas cihazları etkileyen kısa süreli gerilim düşümlerini hesaplamak için basit ve hızlı yöntemlere ihtiyaç duyulur.

Bu yöntemlerdeki esas amaç kısa süreli gerilim düşümünün genliğinin ve aktif olma süresinin belirlenmesidir.

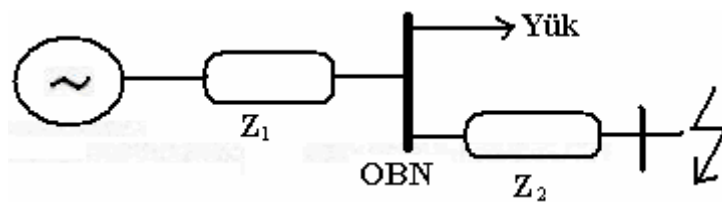
3 faz simetrik kısa devresi ve motorlara yol verilmesi sırasında meydana gelen düşümler dengeli gerilim düşümleri sınıfına dahildir. Bu bölümde, hesaplamada kullanılan hızlı bir yöntemle değinilecektir. Radyal ve ağ (halka) şebeke için ayrı ayrı hesaplamalar yapılacaktır.

5.6.1. Radyal dağıtım şebekelerinde dengeli gerilim düşümü hesabı

Özellikle dağıtım sistemlerinde kullanılan radyal şebekelerde tek bir kaynaktan çeşitli kollara ve alt kollara ayrılan bir şebeke modeli (Şekil 5.2) kullanılmaktadır. Bu durumda sadece üretici ve tüketici arasındaki hatta meydana gelen kısa devre sonucu, beslenen tüketicide enerji kesintisi olurken, komşu tüketicilerde kesinti yerine gerilimde kısa süreli düşmeler yaşanacaktır. Dağıtım sisteminin herhangi bir yerinde arıza anında oluşacak olan kısa süreli gerilim düşümünü hesaplayabilmek için, kaynak ve yük arasında bir ortak bağlantı noktası (OBN) belirlemek gerekir [3]. Şekil 5.3'te gerilim bölücü devreli basitleştirilmiş bir örnek verilmiştir.



Şekil 5.2. Tipik bir radyal dağıtım sistemi prensip şeması.



Şekil 5.3. Basitleştirilmiş radyal dağıtım sistemi (gerilim bölücü devre)

Z_1 empedansı kaynak ile OBN arasında kısa devre empedansını, Z_2 ise OBN ile arıza noktası arasındaki empedans değerini göstermektedir. Eğer arıza akımının nominal yük akımından çok yüksek olduğunu kabul edersek, bu durumda OBN noktasında oluşacak olan kısa süreli gerilim düşümünün yüzde olarak değeri aşağıdaki gibi olacaktır.

$$V_{SAG} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (5.13)$$

Eşitlik 5.13'deki gerilim düşümü formülü ve genelleştirilmiş devrede (bkz Şekil 5.3) 165 mm² kesitli, 13.8 kV anma gerilimli hatta meydana gelen kısa devre için, OBN den farklı uzaklıklarda (Z_t ' in farklı değerleri için) KSGD değişimi verilmiştir. Şekildeki üç eğri yukarıdan aşağıya şebekenin kısa devre gücünün 150 MVA, 75 MVA ,30 MVA ve 10 MVA olması durumlarını göstermektedir. Ayrıca yukarıdaki sistem için kısa devre gücü 100 MVA iken ve hat kesiti 165 mm² iken farklı gerilim seviyelerinde düşüm genliğinin uzaklık ile değişimi de verilmiştir. OBN noktasında kısa devre gücü sırasıyla 150 MVA, 75 MVA 30 MVA ve 10 MVA olup, anma gerilimi 13.8 kV'dur. Kısa süreli gerilim düşmelerinden çok fazla etkilenmekte olan hassas cihazların yaygınlaşması sonucu bunların KSGD'lerine dayanımları önem kazanmaktadır. Bu durumda bu cihazların kısa süreli bir gerilim düşümünden etkilenmeyeceği (yada etkilenecekleri) kritik bir gerilim değeri olmalıdır. Bu değer üretim aşamasında belirlenir. Bununla birlikte birçok cihazın hassasiyeti maksimum süre ve minimum gerilimle karakterize edilmektedir. Buna göre aşağıda bağıntı ile kritik gerilimin saptanmaktadır.

$$\left| \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right| \quad (5.14)$$

$Z_2 = L.z$ formülü esas alınır, z hattın kilometre başına karakteristik empedansını, L ise OBN ile arıza noktası arasındaki uzaklığı ifade eder. Z_1 ve Z_2 empedanslar eşit olarak kabul edilirse, kritik uzunluk aşağıdaki gibi bulunur.

$$L_{\text{krit}} = \frac{Z_1}{Z} \times \frac{V_{\text{krit}}}{1 - V_{\text{krit}}} \quad (5.15)$$

Kritik uzaklıktan büyük olan mesafelerde gerilim düşümü kritik seviyelere ulaşmaktadır. Kritik uzaklığın artışıyla kritik gerilimin çok hızlı arttığı görülür. Tablo 5.1'de 0.4 fi/km'lik karakteristik empedansa sahip bir hat için (bkz Şekil 5.3) gerilim düşmelerine karşı gelen kritik uzaklıkları verilmektedir. Bu tabloda 9 farklı kısa devre gücü ve 3 farklı gerilim seviyesi için hesaplamalar yapılmıştır. Not: Kritik olarak uzaklıklar km verilmiştir.

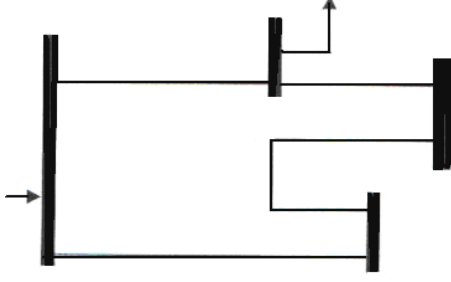
Tablo 5.1. Farklı güç ve gerilim seviyelerinde ait kritik uzaklıklar

| % | 380V | | | 6.3 kV | | | 34.5 kV | | | 66 kV | | |
|----|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| | 1 MVA | 5 MVA | 25 MVA | 40 MVA | 75 MVA | 100 MVA | 120 MVA | 500 MVA | 1000 MVA | 500 MVA | 1000 MVA | 2000 MVA |
| 30 | 0.154 | 0.031 | 0.006 | 1.06 | 0.56 | 0.425 | 10.62 | 2.6 | 1.27 | 9.3 | 4.7 | 2.33 |
| 40 | 0.240 | 0.048 | 0.009 | 1.654 | 1.88 | 0.661 | 16.53 | 3.96 | 1.98 | 14-5 | 7.26 | 3.63 |
| 50 | 0.361 | 0.072 | 0.014 | 2.48 | 1.32 | 0.992 | 24.8 | 5.9 | 2.97 | 21.8 | 10.9 | 5.45 |
| 60 | 0.541 | 0.108 | 0.021 | 3.72 | 1.985 | 1.48 | 37.2 | 8.9 | 4.46 | 32,7 | 16.3 | 8.16 |
| 70 | 0.842 | 0.168 | 0.033 | 5.78 | 3.08 | 2.31 | 57.86 | 13.8 | 6.95 | 50.8 | 25.4 | 12.7 |
| 80 | 1.444 | 0.288 | 0.057 | 9.93 | 5.3 | 3.97 | 99.2 | 25.8 | 11.9 | 87.1 | 43.56 | 21.78 |
| 90 | 3.249 | 0.649 | 0.130 | 22.32 | 11.9 | 8.93 | 223.1 | 53.56 | 26.8 | 196 | 98 | 49 |

Belli bir yük noktasında oluşması beklenen KSGD'lerinin sayısını saptayabilmek için bütün OBN noktalarının kritik uzaklığı dikkate alınmalıdır. Bu ise kritik alanı verir. Bu kritik alan içerisinde, belirli bir süreyi aşacak olan bütün hata durumları kritik KSGD'ne yol açacaktır. Bu durumda kritik alan içerisinde olması beklenen arızaların toplamı, oluşabilecek olan kritik KSGD'lerinin sayısı hakkında bilgi verecektir.

5.6.2. Ağ (halka) dağıtım şebekelerinde simetrik gerilim düşümü hesabı

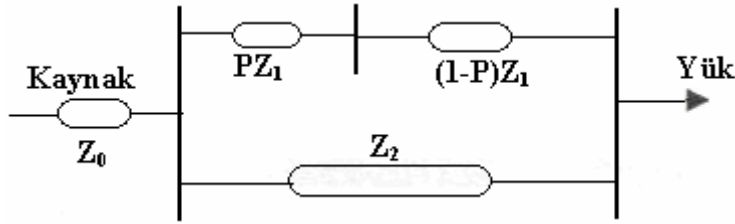
Halka şebeke seviyeleri radyal şebekeden farklı olarak çok sayıda kapalı sistem içerebilir.



Şekil 5.4 . Tipik bir ağ şebeke örneği

Şekil 5.4'de görüldüğü gibi, yük aynı besleme kaynağından çıkan iki ayrı hat ile beslenmektedir. Böyle sistemlerde oluşacak kesintilerin, büyük ölçüde önüne geçilmiş olur.

Aşağıdaki örnek ağ şebeke geliştirilerek Şekil 5.5 'deki ağ şebeke elde edilir.



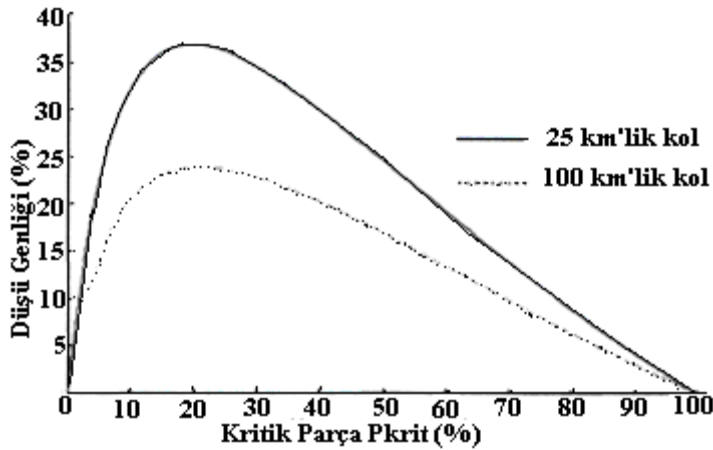
Şekil 5.5. Genelleştirilmiş ağ (halka) şebeke

Şekilde görüldüğü gibi kaynak ile yük baraları arasında Z_2 ve Z_1 empedanslarına sahip iki hat vardır. Z_0 kaynak empedansıdır. Arıza 1'nci hatta ve kaynaktan toplam uzunluğun p katı kadar uzakta meydana gelmektedir. Radyal şebekedeki kabuller yapıldığında yük noktası gerilimi aşağıdaki ifadesindeki gibi olur [3].

$$V_{\text{sag}} = \frac{p \cdot (1-p) \cdot Z_1^2}{Z_0 \cdot (Z_1 + Z_2) + p \cdot Z_1 \cdot Z_2 + p \cdot (1+p) \cdot Z_1^2} \quad (5.16)$$

Şekil 5.5 'teki genelleştirilmiş ağ (halka) şebeke için hatların birim empedansının 0.3 O/km. uzun hattın 100 km ve kısa hattın uzunluğu ise 25 km'dir. Kaynak 5000 MVA kısa devre gücü ve 132 kV anma gerilimine sahiptir. Her iki kolda meydana gelen arızaların meydana geldiği yer ile yük barasında ki yüzde gerilim düşümünün

değişimi Şekil 5.6'daki gibi olacaktır. Halka şebekede kritik uzaklık hesabı yapmak mümkündür. (5.4) eşitliğinden $V_{sae}=V_{krit}$ çözümü ile kritik parça (*critical fraction* – P_{krit}) elde edilebilir. Bu hat parçasında arızaların sebep olduğu kritik gerilim düşümü yaşanır. Maksimum gerilimin üzerindeki kritik gerilimlerde tüm arızalar kritik düşmeye yol açacaktır.



Şekil 5.6. Halka Şebekede Kritik Parça (P_{krit}) ile düşme genliği değişimi

Kritik uzaklık/kesir hesabını basitleştirmek için hat boyunca gerilim profili aşağıdaki gibi yaklaşık olarak verilebilir [4].

$$V_{SAG} = 4.V_{maks.} \cdot p \cdot (1 - p) \quad (5.17)$$

Burada V_{maks} maksimum gerilim düşümünü verir. Eşitlik (5.17)'ten kritik kesir/parça aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$P_{krit} = 1 - \sqrt{1 - \frac{V_{krit}}{V_{maks.}}} \quad , \quad V_{krit} \leq V_{maks.} \quad (5.18)$$

(5.18) 'daki yaklaşık ifade sadece $V_{maks.}$ in bilindiği durumlarda kullanılır.

5.7. Gerilim Çökmesi Sınıflandırılması

İki metodu tanımadan önce gerilim çökmesin sınıflandırmak gerekir. Bu da ABC sınıflandırılması ve Simetrik bileşen sınıflandırılması. ABC sınıflandırılması en eski ve en çok kullanılan sınıflandırma biçimidir. Bu çoğunlukla basit olduğu için yapılır. Bileşen sınıflandırılması çoğunlukla geneldir ve ölçülen gerilimleri bir hat boyunca verir.

5.7.1. ABC sınıflandırılması

ABC sınıflandırılması üç fazda ki dengesiz gerilim çökmesinde ki yedi tip arasından ayırt edilebilir. Bu yedi tipte ki kompleks gerilim ifadeleri Şekil 5.7 verilmiştir. Bir fazda ki önceki hatalı gerilim E_1 ile gösterilmiştir. Hatalı fazlar arasında veya hatalı fazda ki gerilim ifadesi V^* ile gösterilir. Bu şekilde sınıflandırılma sebeplerinden biri de transformatörler içinde ki çökmesi tanımlamakta kullanılır.

| Tip | Gerilimler | Fazörler | Tip | Gerilimler | Fazörler |
|----------|---|----------|----------|---|----------|
| A | $\bar{U}_1 = \bar{V}$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{V} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ | | E | $\bar{U}_1 = \bar{E}_1$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{V} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ | |
| B | $\bar{U}_1 = \bar{V}$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{E}_1 - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{E}_1$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{E}_1 + j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{E}_1$ | | F | $\bar{U}_1 = \bar{V}$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{V} - j(\frac{\sqrt{3}}{3}\bar{E}_1 + \frac{\sqrt{3}}{6}\bar{V})$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{V} + j(\frac{\sqrt{3}}{3}\bar{E}_1 + \frac{\sqrt{3}}{6}\bar{V})$ | |
| C | $\bar{U}_1 = \bar{E}_1$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{E}_1 - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{E}_1 + j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ | | G | $\bar{U}_1 = \frac{2}{3}\bar{E}_1 + \frac{1}{3}\bar{V}$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{3}\bar{E}_1 - \frac{1}{6}\bar{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{3}\bar{E}_1 - \frac{1}{6}\bar{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{V}$ | |
| D | $\bar{U}_1 = \bar{V}$ $\bar{U}_2 = -\frac{1}{2}\bar{V} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{E}_1$ $\bar{U}_3 = -\frac{1}{2}\bar{V} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\bar{E}_1$ | | | | |

Şekil 5.7. ABC sınıflandırılmasında üç fazda ki dengesiz gerilim çökmesinin sınıflandırılması.

Tablo 5.2. Farklı çökme tipleri ne diğer hatalar

| Gerilim Çökme Tipi | Hata Tipleri |
|--------------------|--------------------------------|
| Tip A | Üç Faz |
| Tip B | Tek Faz-Toprak |
| Tip C | Faz-Faz |
| Tip D | Faz-Faz Hatası ,Tek Faz-Toprak |
| Tip E | İki Faz-Faz Hatası |
| Tip F | İki Faz-Faz Hatası |
| Tip G | İki Faz-Faz Hatası |

Bu metot gerilim çökmesini önceden tahmin etmek için geliştirilmiştir. Hataları istatistiksel olarak değerlendirmek için farklı tipde ki gerilim düşümlerinde meydana gelen frekansı hesaplamak için kullanılır. Bu sınıflandırmayı yapmakla üç fazda da gerilim çökmesi oluşturmak mümkündür [2].

Tablo 5.3. Farklı voltajda ki gerilim düşümlerinin farklı tipteki hata seviyeleri.

| HATA TIPLERİ | KONUM | | |
|----------------|-------|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| ÜÇ FAZ | A | A | A |
| İKİ FAZ TOPRAK | E | F | G |
| İKİ FAZ | C | D | C |
| BİR FAZ TOPRAK | B | C | D |

Bu metodun zayıf noktası tek bir simülasyon tabanlı olmasıdır. Ölçülen gerilimin dalga şeklinde ki gerilim çökmesi tipini belirlemek aniden mümkün değildir [2].

5.7.2. Simetrik bileşen sınıflandırılması

Simetrik bileşen sınıflandırılması ABC sınıflandırması ile aynı tutulamaz. Simetrik bileşen sınıflandırılması bir fazda ki gerilim düşümü ile iki fazda ki gerilim düşümü arasında ayırt edilebilir. Üç fazda ki gerilim düşümü fazlar arasında eşit olarak gerçekleşir. Bu iki fazda ve tek fazda ki gerilim düşümü ile aynı limitedir.

Sıfır durumlu gerilim başlangıçtakinden farklı bir özellik olarak ele alınabilir. Diğer iki özellik ise karakteristik gerilim ve PN gerilimidir [2].

$$\begin{aligned}
 U_a &= V \\
 U_b &= -\frac{1}{2}V - \frac{1}{2}jF\sqrt{3} \\
 U_c &= -\frac{1}{2}V + \frac{1}{2}jF\sqrt{3}
 \end{aligned} \tag{5.19}$$

Bir gerilim çökmesinin genel ifadesi b ve c fazları arasında ki temel düşümdür. Bu durumda $|F| \geq |V|$ olur. Üç fazda ki oluşan hata dengeli çökmedir ve $|F| = |V|$ olur. Diğer dört tip çökmede de benzer ifadeler vardır.

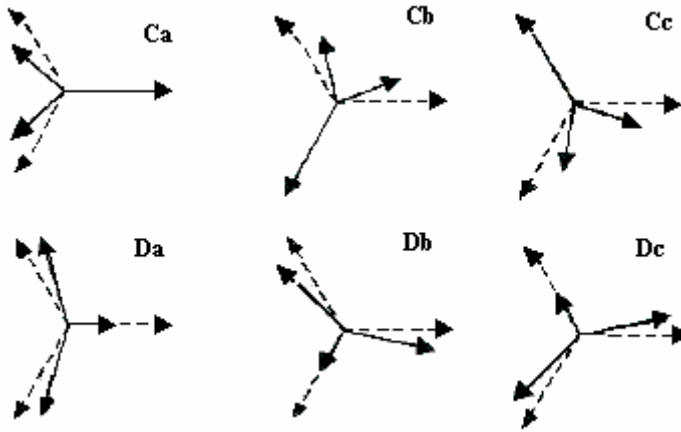
Db (b fazında çökme), Dc (c fazında çökme),Cb (a ve c fazları arasında ki çökme) , Cc (a ve b fazları arasında ki çökme). ABC sınıflandırmasında bazı sabitler kullanılır. Örneğin $F=E_1$ ve $V=V^+$ gibi. Eşitlik 5.19'da belirgin olarak B ve C tipi Şekil 5.7'deki ABC sınıflandırmasında tanımlanmıştır. PN faktörü ve gerilim karakteristiğinin tanımlanması ölçülen gerilimin dalga şeklinde ki karakteristiğinin elde edilmesiyle aynı algoritmaya sahiptir.

5.8. Çökme Tipini Ortaya Çıkarma Metotları

Çökme tipleri en çok 19 farklı değer alır. Yedi farklı tip daha önce 5.7'de tanıtılmıştır. Ancak ölçümlerde ki gerilim karakteristiklerini Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Gösterilenlerden sadece C ve D aynı gibi gözüküyor. Ca b ve c fazları arasındaki gerilim düşümünü, Cb a ve c arasında, Cc da a ve b fazları arasında ki gerilim düşümünü gösterir.

Gerilim çökmesi tiplerini elde etmede iki metot kullanılır. Bunlar;

- i. Simetrik –bileşen metodu
- ii. Altı fazda ki RMS değeri



Şekil 5.8. Üç fazda ki dengesiz çökmelerin altı şekilde gösterimi.

5.8.1. Simetrik bileşen metodu

Simetrik bileşen metodu pozitif ve negatif gerilimlerde oluşan açı farkının hesaplanmasında kullanılır [7].

Eşitlik 5.19'deki ifadeler çökme tipleri Cc,Cb,Db ve Dc'yi elde etmek için kullanılır. Karakteristik algoritmanın amacı PN faktörünü,karakteristik gerilimin değerinin hesaplanmasında ve çökme tipini belirleme de kullanılır [7].

Karakteristik algoritma temelde altı çökme tipindeki pozitif ve negatif gerilimleri ifade etmekte kullanılır. Pozitif dizili gerilim bütün çökme tiplerinde aynıdır [7].

$$V_1 = \frac{1}{2}(F+V) \quad (5.20)$$

Negatif dizili gerilim aynı büyüklüktedir fakat biçimi farklıdır.

$$V_2 = \frac{1}{2}(F-V) \quad \text{Tip Ca}$$

$$V_2 = \frac{1}{2}a(F-V) \quad \text{Tip Cb}$$

$$V_2 = \frac{1}{2}a^2(F-V) \quad \text{Tip Cc}$$

$$V_2 = -\frac{1}{2}(F-V) \quad \text{Tip Da} \quad (5.21)$$

$$V_2 = -\frac{1}{2}a(F-V) \quad \text{Tip Db}$$

$$V_2 = -\frac{1}{2}a^2(F-V) \quad \text{Tip Dc}$$

Burada ki a 120°'lik bir dönme hareketine karşılık gelir. Çökmeler tek bir fazda ve faz-faz arası hatalara göredir. Burada negatif ve pozitif düşümler arasında ki düşme açıları F=1 olarak kabul edilirse 60 ile çarpılır [7].

$$\begin{aligned} \text{Açı } (1- V_1, V_2) &= 0^\circ && \text{Tip Ca} \\ \text{Açı } (1- V_1, V_2) &= 120^\circ && \text{Tip Cb} \\ \text{Açı } (1- V_1, V_2) &= -120^\circ && \text{Tip Cc} \\ \text{Açı } (1- V_1, V_2) &= 180^\circ && \text{Tip Da} \\ \text{Açı } (1- V_1, V_2) &= -60^\circ && \text{Tip Db} \\ \text{Açı } (1- V_1, V_2) &= 60^\circ && \text{Tip Dc} \end{aligned} \quad (5.22)$$

Gerilim çökmeleri arasında 60° bir açı farkı vardır. Gerilim çökme tipleri Eşitlik 5.22'de belirtilen açı değerlerinin karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Bu açı değerleri negatif ve pozitif durumlarına göre değerlendirilir [22].

$$\begin{aligned} \bar{V}_1 &= \frac{1}{3}(\bar{V}_a + a\bar{V}_b + a^2\bar{V}_c) \\ \bar{V}_2 &= \frac{1}{3}(\bar{V}_a + a^2\bar{V}_b + a\bar{V}_c) \\ \bar{V}_0 &= \frac{1}{3}(\bar{V}_a + \bar{V}_b + \bar{V}_c) \end{aligned} \quad (5.23)$$

ve sonraki hesaplama ise negatif ve pozitif gerilimler arasında ki oran üzerinedir.

$$T = \frac{1}{60^0} \times \arg\left(\frac{V_2}{1-V_1}\right) \quad (5.24)$$

Burada ki T tamsayıya yuvarlanır. Yuvarlama metodu açık bir biçimde belirtilmiştir. Yuvarlama işlemi en yakın sayıya tamamlanır. T'nin değeri Tablo 5.2'ye göre sınıflandırılır [7].

$$\begin{aligned} T=0 & \quad \text{Tip Ca} \\ T=1 & \quad \text{Tip Dc} \\ T=2 & \quad \text{Tip Cb} \\ T=3 & \quad \text{Tip Da} \\ T=4 & \quad \text{Tip Cc} \\ T=5 & \quad \text{Tip Db} \end{aligned} \quad (5.25)$$

Gerilim çökmesi tipinin belirlenmesi diğer karakteristiklerden elde edilir. Bu da eşitlik 5.20 ve 5.21 pozitif ve negatif gerilimlerin farkı ve toplamlarından elde edilir. Ca tipinin gerilim karakteristiği elde edildiğinde ve PN faktöründeki özellikler [7].

$$V=V_1-V_2 \quad (5.26)$$

$$F=V_1+V_2 \quad \text{ve Dc tipi içinde;}$$

$$V=V_1+aV_2 \quad (5.27)$$

$$F=V_1-aV_2$$

Gerilim çökmesinde T ifadesinin kullanılması ile oluşan genel ifade;

$$V = V_1 - b^{6-T} \cdot V_2$$

$$F = V_1 + b^{6-T} \cdot V_2$$

$$b = -a^2 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}j\sqrt{3} \quad 60^\circ\text{'lik dönme ile [7].}$$

5.8.2. Altı fazda rms metodu

Üç fazda ki karakteristikler basit bir ifadeyle [6]'da tanımlanmıştır. [7]'ye göre de altı fazda ki algoritmalar gerilim sıralamasına göre ortaya çıkarılmıştır. Gerilim sıralamasına çökme tipi etkilemez ve bu yüzden ayrı düşünülmelidir. V_0 gerilimi hesaplandığında ise;

$$V_0 = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \quad (5.28)$$

(5.28) V_{rms} üç fazda ki gerilimlerden ve fazlar arasında ki gerilimlerin hesaplanmasıyla ortaya çıkarılır [7].

$$\begin{aligned} V_A &= \text{rms} \left\{ V_a - \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \right\} \\ V_B &= \text{rms} \left\{ V_b - \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \right\} \\ V_C &= \text{rms} \left\{ V_c - \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \right\} \\ V_{AB} &= \text{rms} \left\{ \frac{V_a - V_b}{\sqrt{3}} \right\} \\ V_{BC} &= \text{rms} \left\{ \frac{V_b - V_c}{\sqrt{3}} \right\} \\ V_{CA} &= \text{rms} \left\{ \frac{V_c - V_a}{\sqrt{3}} \right\} \end{aligned} \quad (5.29)$$

Bu altı V_{rms} değerinden elde edilen gerilim çökmesi özellikleri;

- i. Gerilim karakteristiği bu altı V_{rms} değerinden en düşüğüdür.
- ii. PN faktörü ise en yükseğidir.

Gerilim çökmesi tipi eşitlik 5.29 ve 5.30'da ki eşitliklerden hesaplanmıştır ve Tablo 5.4'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Altı fazlı algoritma da çökme tipleri

| EN DÜŞÜK V_{rms} DEĞERİ | ÇÖKME TİPİ |
|---------------------------|------------|
| V_A | D_a |
| V_B | D_b |
| V_C | D_c |
| V_{AB} | C_c |
| V_{BC} | C_b |
| V_{CA} | C_a |

Bu altı fazlı algoritma V ve F 'nin elde edilmesinde kullanılır. Karakteristik gerilim de en düşük rms değerini veren gerilimin faz açılarıdır. Bunlar D_a tipindeki V_a-V_o , C_c tipinde ki V_b-V_o örneklerinde verilmiştir. PN faktöründe de en yüksek rms değerini veren gerilimde ki faz açılarıdır [7]. Simetrik parça metodunda kullanılan altı metodun avantajlarından biri de daha basit ve anlaşılabilir olmasıdır.

BÖLÜM 6. GERİLİM ÇÖKMESİNE DÜNYADAN ÖRNEKLER

Geçen zaman zarfında dünya da birkaç adet gerilim çökmesi olayı yaşandı. Bu beklenmedik olayların oluşması farklı sebeplere bağlıdır, fakat çökmeler çoğunlukla bir hatadan dolayı veya bir cihazın arızalanmasından dolayı kaynaklanır. Gerilim çökmesine birkaç örnek aşağıda verilmiştir [27, 28].

6.1. Belçika, 4 Ağustos 1982

Belçika da güç paylaşımı güç dağıtımının farklı şekillerinden ibarettir. Bunlar 150 ve 380 kV enterkonnekte sistemlerinin birbirleriyle bağlanması sonucu oluşur. İki nükleer güç istasyonu vardır ve gücün dağıtıldığı bir istasyon vardır. Her ikisi de 380 kV hatta bağlanmıştır ve bir tanede bir tanede akaryakıtla çalışan istasyonda 150 kV hatta bağlanmıştır. Bir nükleer güç istasyonu üç adet ulusal hatta bağlanmıştır.

4 Ağustos Çarşamba günü düşük bir yük durumu ortaya çıktı. Kurulum kapasitesinin yarısından daha az bir kapasite ile çalışmaya başladı. Öncelikli olay, ana yükün endüstride kullanılması ve genellikle de motor yüklerinden oluşmasıdır. Dolayısıyla da yük üretilen reaktif gücün büyük bir miktarını talep etmektedir. Üretim hattının bir kısmında ve iletim hatları, Fransa'nın doğusunda ki hatta bağlıdır ve bakım çalışmasından dolayı bağlantı kopmuştur. Bunun yerine diğer üretim istasyonu olan akaryakıt istasyonuna yüklenilmiştir. Doel nükleer istasyonun üç ünitesi de çalıştırılmaya başlanmıştır. Üretilen gücün yarısı nükleer güç ve akaryakıt istasyonlarından elde edilmiştir.

Doel'deki nükleer güç istasyonu üretime başladıktan sonra dağıtıma başlanmıştır. Güç ünitelerini koruyan cihazın çalışmasıyla şans eseri üç ünite de arıza meydana gelmedi.

Reaktif güç üretiminin 449 MVAr azalmasından dolayı bölgede gerilim azalması oldu. Doel nükleer güç santralının 1 ve 2 ünitelerinin müdahalesi ile gerilim arttı. Her iki ünite de alan akımları artmaya başladı.

Doel'de ki nükleer güç santralinde artan akımdan dolayı gerilim artmış ve koruma röleleri çalışmıştır. Ülkenin merkezinde ki bölgelerde ve kuzeyinde meydana gelen bu üretim kaybı güç akışının artmasına neden oldu ve güneyden hat boyunca aşırı yüklenmeye neden oldu. Ülkenin kuzeyi ve güneyi arasında etkileşim başladığında ülkenin merkezi kısımları ve kuzeyi reaktif ve aktif gücün her ikisinden de eksik kalınca 380 kV'luk şebekeden kopma meydana geldi ve çökme olayı gerçekleşti.

İki ana şebeke çökmeye neden oldu. Akım sınırlayıcılar ve yük değiştiriciler birbirleriyle etkileşime girerek düşük gerilime neden oldular, dolayısıyla da yüksek akıma. Belçika'daki çökme nükleer güç generatörlerinin aşırı akımdan dolayı hata yapmasından kaynaklandı.

6.2. İsveç, 27 Aralık 1983

İsveç'te ki çökme soğuk bir kış gününde aşırı yüklenmeden dolayı oldu. Kuzeyden güneye güç transferi 5600 MW, tavsiye edilen maksimum değer 5800 MW'tır. Stokholm'dan 150 km boyunca İsveç'in doğusuna uzanan 400 kV'luk hatta bir topraklama hatası meydana geldi. Çünkü kaçak akım kesicileri yerleştirilmiştir. Dolayısıyla Stokholm'daki 220 kV'luk bağlantı ve kuzeyde ki iletim yolu kesilmiştir. Stokholm'u besleyen ve İsveç'in doğusu zayıflamıştır. Güç osilasyonları hatayı hızlıca ortadan kaldırdı ve frekans değişmeden kaldı ve böylece generatörler arıza yapmadı. Fakat gerilim İsveç'in güneydoğu bölgelerinde iletim hattında ki zayıflamadan dolayı azaldı.

Sadece İsveç'in batısında ki 220 kV'luk hat aşırı yüklenmeden dolayı olduğu gibi kaldı ve ilk hatanın oluşmasından sonra sadece 8 saniye arızalandı. Kuzeyde ki iletim kapasitesinin kaybından dolayı, kuzey-güney hattında ki transferden dolayı artma oldu ve gerilim bu hatların güneyinde azaldı. Aşırı yüklenmeden dolayı oluşan ilk arızadan sonra 50 saniyelik bir kesilme oldu ve diğer kaskat devreler oluşan hatanın

yerini aldılar. Güney İsveç izole oldu ve güç azalımı frekansda bozulmalara neden oldu. Gerilim ve frekans güneyde ki generatörlerin arıza yapmasından dolayı düştü ve gerilim çökmesi gerçekleşti. Sistemde meydana gelen ilginç olaylardan bir kaçı;

- i. Generatörlerin küçük bir kısmında güneydoğu bölgesinde çalışıyordu ve alan akım sınırlayıcıları aktif hale gelene kadar reaktif çıkış arttı. Normal bir gerilim yenilenmesinde, generatör gerilimleri sınırlayıcılar sayesinde azalır.
- ii. Gerilim düşmesinin sonucunda güç harcanmasından dolayı azalma olur. Transformatörlere ki yük değiştiriciler aşırı hat yüklenmesi ve gücün yenilenmesi sonucunda dağıtım ağında ki gerilim onarılmaya başlanır.

Gerilim çökmesine aşağıda ki faktörlerin etkisi vardır;

- i. Düşük yüklerde yük davranışı,
- ii. Yük değişimlerinde ki çalışma,
- iii. Generatörlerde ki akım sınırlayıcılar,
- iv. Röle koruması,

6.3. Fransa, 12 Ocak 1987

Fransa'nın batısında ki Brittany bölgesinde 12 Ocak 1987 yılında bir ana dağıtım hattında bir zarar meydana geldi. Bu bölge önemli bir üretim kapasitesine sahip, çoğunlukla nükleer güçten oluşmakta ve 400 kV'luk ulusal dağıtım hattına bağlıdır. 12 Ocak soğuk bir kış gününde, ulusal güç tüketimi 52000 MW düzeyinde bulunuyordu ve gücün tolerans miktarı 6000 MW civarında bulunuyordu. Brittany bölgesinde iletim gerilimi normal gözüküyordu.

Saat 10.55 a.m ve 11.41 a.m arasında üç nükleer güç ünitesi bilinmeyen nedenlerden hata verdi ve bölge kontrol merkezi gaz-türbinlerini devreye verdi. Üç ünite hata vermesinden 13 saniye sonra dördüncü ünite maksimum alan korumasından dolayı arızalandı. Üretimde ki ani kayıplar keskin bir gerilim düşmesine yol açtı. Gerilim düşmesi bitişikte ki bölgelere yayıldı ve birkaç dakika içinde nükleer üretim arızalanmasına neden oldu. 11.45 ve 11.50 arasında yaklaşık 9000 MW kayıp oluştu.

400 kV'luk sistemde gerilim daha düşük değerlere ulaştı. Brittany bölgesinde ortalama değer 300 kV civarındaydı. Brittany bölgesinin en uzağında ki bölgede ölçülen en düşük değer 180 kV oldu. Sonradan gerilim normal düzeyine geldi.

Sistemde belirlenen en düşük gerilim seviyesi P-V eğrisinin düşük çalışma noktalarına karşılık geliyordu.

Yük değişimleri,yükün davranışı ve akım sınırlayıcılar bazı özel duurmlar oluşturuyordu.

- i. Yükte ki gerilim bağımlılığı olayın süresinden ve lineer bağımlılıktan bulunur.
- ii. Yük değiştiricilerinde kararsızlığın meydana gelmesinde önemli bir yere sahiptir. Gerilim düştüğü zaman,oltc gerilimin ski haline gelmesi için uğraşır ve bu yüzden yük artar. Simülasyonlar da yükün en üst sınırında ki değerler alınır
- iii. Generatörlerin gerilim kontrolünde ve cihazların korunmasında ki rolü gözden geçirilmelidir. İki faz olayda ayırt edilebilir.

6.4. Japonya,23 Temmuz 1987

Japonya elektrik güç sistemi 50 ve 60 Hz olmak üzere iki farklı frekansa sahiptir. Chubu Elektrik 60 Hz'lik sisteme ve Tokyo'yu da içeren Tepco Elektrik 50 Hz'lik şebeke frekansına sahiptir. İki sistem arka arkaya iki adet 300 MW'lık frekans çeviricileri ile birbirine bağlıdır. Tepco Elektrik 186 adet güç üretim şebekesine sahiptir. Bunlardan 155 hidroelektrik, 28 tanesi termal santrallere ve 3 tanesi de nükleer santrallere sahiptir. Kurulu nominal güç 39000 MW'tır. En geniş güç istasyonları ülkenin doğu bölgelerinde yer alır. Bu yüzden gücün büyük bir kısmı doğudan batıya akar.

23 Temmuz 1987 günü saat 1.20 p.m civarında sistemde bir bozulma yaşandı. Öğleden önce gün içinde yük seviyesi çok yüksekti. Güç talebi 39000 MW civarındaydı. Yükün bir kısmı kamu kuruluşlarında harcanıyordu ve hazırda ki toplam maksimum güç 41500 MW civarında idi.

Çok sıcak bir gündü ve yükün büyük bir kısmı havalandırmada kullanılıyordu. Öğle arasında yük 37000 MW civarına düştü ve öğleden sonra saat 1.00 p.m sırasında yüke ani yüklenmeler oldu. Talep aniden hızlı bir şekilde iki katına çıktı.

Gerilim azalmaya başladı ve Tepco şönt kapasitörlerde ki anahtarlama sayesinde ve generatörlerin uyarılma seviyelerinin artırılması ile şebekeye reaktif güç sağladı. Saat 1.07 civarında bütün şönt kapasitörler devreye bağlandı. Güç 39000 MW ulaşarak gün içinde ki en yüksek değerini aldı. Gerilim azalmaya başladı ve saat 1.19 p.m'de koruma röleleri iletim şebekesinde ki aşırı akımdan dolayı çalışmaya başladı. İki 500 kV'luk istasyon çöktü ve sonuç olarak 8000 MW civarında bir yük servis dışı kalarak 2.8 milyon insan etkilendi.

Çökmenin sebebi öğleden sonra aşırı yük talebinden kaynaklanmaktadır. Diğer sebep ise yük karakteristikleridir. Yükün büyük kısmı havalandırmalarda, küçük bir kısmı da indüksiyon motorlarındaydı ve hızlıca çökme olayı yaşandı.

Sistemde ki ani ölçümler olaydan kısa bir süre sonra hesaplanıyor. Gerilim güç artışında yavaşça artar ve frekans çeviricileri sayesinde 60 Hz'lik sistemde güç birbirleri arasında hızlıca dönüşümü yapılır.

BÖLÜM 7.GERİLİM BOZULMALARINI AZALTICI CİHAZLAR

Bu bölümde güç kalitesi alanındaki ortak problemlere sadık kalacağız. Muhtemel halaya sebep olan gerilim düşümü, kapasitör anahtarlama ve dikkate alınan harmonik bozulmalar gibi çeşitli problemler. Her bir hatayı azaltıcı teknikler bulunur ve değerlendirilir.

7.1. Endüstriyel Dağıtım Sistemlerinde Gerilim Düşmesinin Etkileri ve Bunların Etkilerini Azaltıcı Metotlar

Enerji dağıtım sistemleri, iletim sistemi ile tüketici arasında köprü görevi gören, elektrik enerjisinin geriliminin uygun değerlerde taşınarak müşteriye aktarıldığı enerji sistemlerinin önemli bir parçasıdır, İletim hatları vasıtasıyla yüksek gerilimde üretim bölgelerinden taşınan enerji yerleşim birimlerinin yakınında (çoğu kez şehir girişlerinde) ve sanayi bölgeleri girişinde bulunan şalt tesislerinde uygun gerilim değerine indirilerek, dağıtım için gerekli şartlar oluşturulur. Türkiye şartlarında bu değer genelde 35 kV'tur. Orta gerilime indirilen enerji, dağıtım hatları ile kısa mesafeli taşıma yapılarak tüketicilere ulaştırılır. Dağıtım şebekeleri orta ve alçak gerilim şebekeleri olarak ikiye ayrılır. Ülkemiz şartlarında enerji, 35 kV'luk orta gerilim şebekeleri ve terk edilmekte olan 6.3 kV hatlarla yerleşim yerlerindeki trafo postalarına aktarılır. Burada alçak gerilime (0.4 kV) indirilen elektrik enerjisi konutlarda ve küçük sanayi tesislerinde kullanıma hazır hale getirilir. Endüstriyel tesislere (petrokimya, demir-çelik gibi) ulaştırılan enerji tesisin kurulu gücü ve talep ettiği enerji miktarına bağlı olarak orta (35 kV) ve yüksek gerilimli (154 kV) hatlar ile tesisin trafo merkezine dağılım şirketi tarafından ulaştırılır. Türkiye'de ağır sanayi kuruluşlarında 154 kV'luk hatlar ile besleme yapılmaktadır. Özellikle metalürji tesislerindeki fırınların şebeke üzerindeki olumsuz etkilerini aza indirmek için bu tercih edilir. Nispeten daha küçük güçlü sanayi tesislerine ise 35 kV'luk dağıtım hatları ile enerji beslemesi gerçekleştirilmektedir.

Tesislerde kullanılan gerilim seviyesine göre bu değer daha aşağı noktalara (11 kV, 6.3 kV, 4.16 kV, 3.3 kV vb.) indirilebilmektedir [13].

Enerji dağıtım sistemleri için yükler önemli bir elemandır. Alçak gerilim (380/220V) yükleri genellikle yerleşim birimleri ve küçük ölçekli sanayi bölgeleri için belirlenmiş gerilim seviyesidir. Orta gerilimle ise daha çok endüstriyel tüketiciler ile için gerekli gerilim seviyesidir.

Prosesin kalitesi ve maddi kayıpların azaltılması için enerji kalitesinin sağlanması zorunludur. Bu kalitenin sağlanması enerji dağıtıcısı şirketler ve söz konusu tesisler için kaçınılmazdır. Çünkü sistemin bir noktasında meydana gelen harmonikler, gerilim düşmeleri yada yükselmeleri gibi enerji kalitesizlikleri komşu yükleri de etkileyebilmekte ve problemi genişletmektedir. Özellikle bu tesisler için şebeke tarafında meydana gelen kısa devreler önemli ve ciddi bir sorundur. Ülkemizde dağıtım şebekesinin yetersizliği ve tasarım hataları sonucu bir çok sanayi tesisi maddi kayıplarla karşılaşmakta ve bu sorunu gidermek için çeşitli önlemlere başvurmaktadırlar. Otoproduktör de denilen kendi enerjilerini ürettikleri yerel elektrik santralleri ile harmonik filtreleri ve gerilim öteleyici elemanlar bunlardan bazılarıdır. Güç akışı ve kararlılık incelemelerinde yüklerin karakteristiği sistemin kararlılığı açısından önemli bir faktördür

Gerilim düşmesi sanayi ve büyük ticari müşterilerin en büyük problemlerinden birisidir [13]. Son yıllarda kamu hizmetleri her geçen gün artan gerilim düşmesi şikâyetleri ile karşılaşmaktadır. Her gerilim düşümünün genel sebebi güç sistemi hatalarıdır. Ayrıca yıldırım düşmesi ve motorun yol alma anında aşırı akım çekmesi de gerilim düşümüne sebep olur [14].

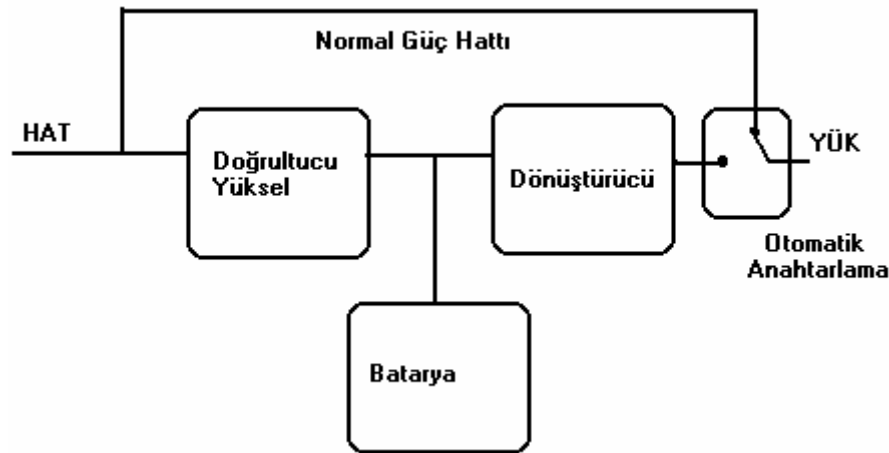
Şebekedeki gerilim düşümlerinin çoğunluğunu tek faz-toprak hataları oluşturur. Faz-toprak hataları nominal gerilimde %33 düşüme sebep olur [14]. Üç faz hatalara daha az rastlanmakla birlikte daha çok problemlere neden olur. Gerilim düşümüne etki eden diğer bir faktör ise hatanın olduğu yerdir. Hatadan uzaktaki tüketici, hataya yakın tüketiciye oranla daha az gerilim düşümünden etkilenir [15].

Bilgisayar, işlem kontrolleri ve güç elektroniği aygıtları güç kalitesindeki bozukluklara karşı duyarlılıkları ile bilinirler. DC sürücüler ve soğutucuların denetimleri son derece hassas duyarlıktadır ve gerilimdeki %10'luk bir düşmede devreden çıkar veya hatalı çalışırlar.

Kesintisiz güç kaynakları, dinamik gerilim yenileyiciler, motor-jeneratörler sabit gerilim transformatörleri gerilim düşümü ile mücadele etmek için kullanılabilecek cihazlardan bir kaçıdır. Bu cihazlar bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde analiz edilecektir.

7.1.1. Kesintisiz güç kaynakları (KGK)

Gerilim düşmesini önlemenin bir yolu da kesintisiz güç kaynağı (KGK) kullanılmalıdır. Şebekeden gelen AC gücü doğrultarak DC güç olarak bataryasına yükler. Daha sonra DC güç AC'ye dönüştürerek yüke uygulanır (Şekil 7.1) [17].



Şekil 7.1. Ups konfigürasyonu

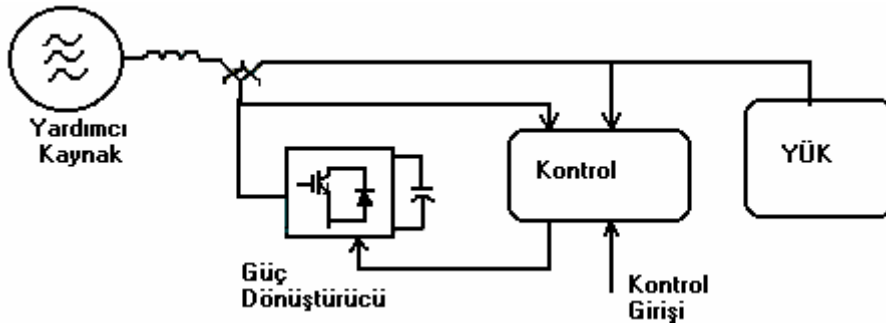
KGK'ler (kesintisiz güç kaynakları) çevrim içi (on-line), yedekleme (stand by), karma (hybrid), modla(mode) çalışmak için tasarlanmış olabilir. On-line modunda yük her zaman KGK'den beslenir, bununla birlikte normal koşullar altında standby modunda yüke bağlanan yardımcı beslemedir ve herhangi bozucu etkenle karşılaşıldığında otomatik anahtar yükü KGK'ın çıkışına bağlar.

Hibrit modunda gerilim regülâtörü (düzenleyicisi), gerilim regülasyonunu sağlamak için KGK'ın çıkışına bağlanır [16].

KGK'ler her durumda gerilim düşmesini engellemek için yeterli değildir. Örneğin değişken hız sürücüleri KGK tarafından beslenmek için çok büyüktür. Bu yüzden bilgisayar ve bilgisayar tabanlı ekipmanlar KGK'lerin genel kullanıcılarıdır.

7.1.2. Dinamik gerilim yeniliyicileri (DGY)

DGY, Aktif Güç Hanı Düzenleyicisi (AGHD) sınıfından bir kaynaktır ve seri tip AGHD olarak da adlandırılır. AGHD'ler terminal gerilimin düzenlenmesi de reaktif güç kompanzasyonunda iyi geliştirilmiş teknolojiye sahiptir [20].



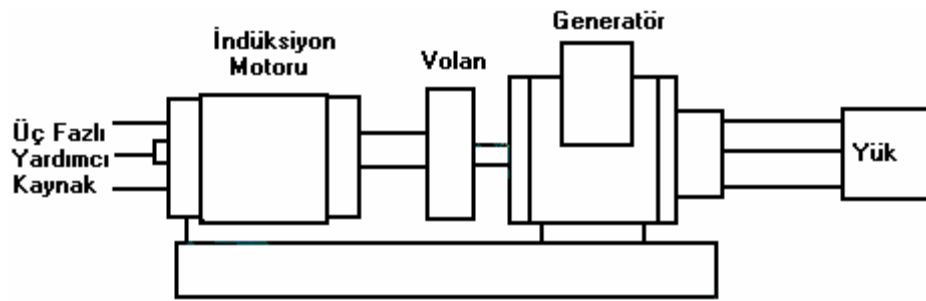
Şekil 7.2. DVR bağlantı

Şekil 7.2'den de görüleceği gibi bir DGY besleme kablosuyla seri bir trafo içerir. Normal işletme koşulları altında, trafo gerilimi çıkışı düşüktür. Herhangi bir kaçak olayı durumu olduğunda trafoya bağlı güç dönüştürücüsü beslemedeki akımla çeyrek faz farkı olan gerilimi üretir. Trafo; kaçak durumunda hat empedansı eklenebilir, yada çıkartılabilir. Değişken bir empedans olarak görülür.

Bu durumda besleme gerilimi bastırıldığında, hatta bazı gerilim düşümlerine karşılık trafo kapasitif gerilim üretebilir. Kapasitör anahtarlama veya çeşitli sebeplerden dolayı gerilimde artmalar (dalgalanmalar) olursa, bu gerilim artışını azaltmak için endüktif gerilim üretilir [19]. Gerilim kontrolü başarılı olduğunda, sisteme gerçek besleme gücü için DGY'nın kontrolü yapılmaz.

7.1.3. Motor generatör (M-C) grubu

M-G grubunda yük besleme sisteminden tamamen ayrılmıştır. Bu teknoloji girişteki sıfır gerilimi 15 saniyeye kadar %100 çıkış elde ederek yüke uygulayabilir [21]. M-G grubunun diyagramı şekil 7.3'de gösterilmiştir. Şekil 7.3'de görüldüğü gibi, indüksiyon motoru 3 fazlı beslemeden beslenir. İndüksiyon motorunun rotoru, generatör ve volan ortak bir mil üzerinde bulunur. Sistemde gerilim düşümü veya tamamen kesilme meydana geldiğinde, üretilen güç indüksiyon motoru tarafından indirgenecektir.



Şekil 7.3. Motor-generatör grubu

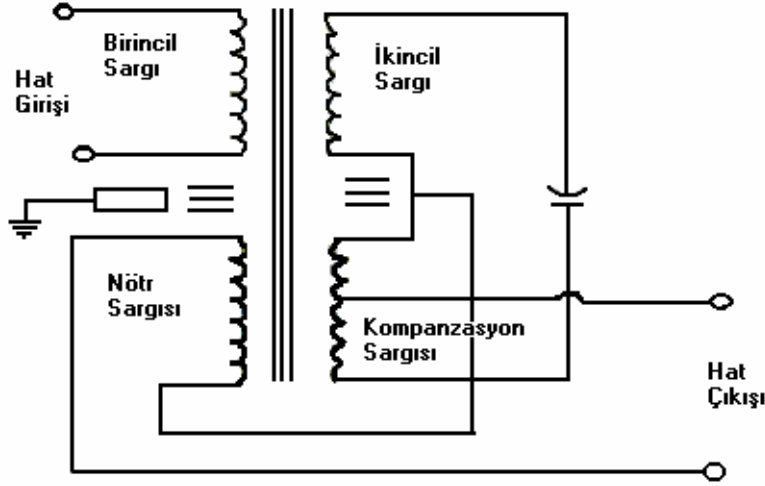
Bununla birlikte eylemsizlik veya mekanik enerji depolanmasından dolayı, volan kısa bir zaman dilimi için milin dönüşünü sabit bir hızda tutar. Burada belirlenen gerilim sürekli olarak hattan yüke gitmesini sağlar [13].

Eğer gerilimdeki düşme veya kesilmenin süresi volanda depolanan enerjinin karşılayamayacağı kadar uzun sürerse volan milin sabit hızla dönmesini sağlayamaz ve motor sendelemeye başlar bununla birlikte gerilim belirlenen değerden aşağı düşer. Bu durumda da jeneratörün çıkışına düşük gerilim rölesi yerleştirilebilir.

7.1.4. Ferrerezonans/sabit gerilim transformatörleri (SGT)

SGT'ler gerilim düşümünü düzeltebilecek kapasiteye sahip bir diğer cihazlardır. Manyetik doyma eğrisinde yüksek uyarılmış olsalar bile SGT'ler temel olarak 1:1 oranında dönüşüm sağlarlar.

Bundan dolayı giriş gerilimindeki değişikliklerden çıkış geriliminde önemli bir etkilenme olmaz [13]. Tipik SGT devresi şekil 7.4’de gösterilmiştir.

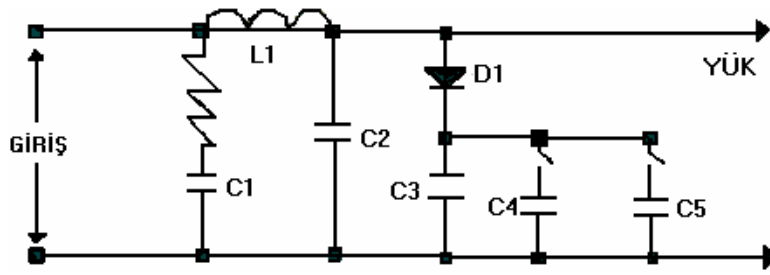


Şekil 7.4. Ferro-rezonans / sabit gerilim transformatörü

SGT'ler ayarlı transformatörlerle tamamen aynı tarzda işlerler, ancak primer sargı tarafında gerilim düşümü meydana getirirler, bir SGT çıkış/sekonder gerilimini sabit düzeyde koruma yeteneğine sahiptirler. Eğer transformatör tam yüklü ise primer geriliminde meydana gelecek %30'lara kadar düşmede bile çıkış gerilimini düşmeye karşı koruyabilir. Sadece 1/4 oranında yüklü iken primerdeki %70 varan düşmeye karşı sekonder gerilimini koruyabilir [14].

7.1.5. Gerilim dalgası koruması için filtreler

Bu tip filtre gerilim darbesi ani gerilim yükselmesi olarak bilinen koruma filtresidir. İsminde de anlaşıldığı gibi bu tip filtrelerin amacı hassas yükleri kısa süreli darbelerden ve geçici kaçak salınımlardan korumaktır. Bu tip bir filtrelerin diyagram şekil 7.5’te gösterilmiştir.



Şekil 7.5. “Gerilim darbesi / ani voltaj yükselmesi” koruma filtresi

Meydana gelecek herhangi gerilim darbelerinde, ilk olarak akımın artış hızını sınırlandırarak hemen koruma sağlayan L1 gerilim darbe reaktörü (bobini) ile karşılaşılır. L1 ve C2 birleşmesiyle elemanlar için seçilmiş değerlere bağlı olarak gelen gerilimin yetiştirme hızını sınırlar. Nadiren, meydana gelecek büyük gerilim darbelerinde öyle ki L1 ve C2 uzun süre etkin sınırlama yapamaz.

Bu durumda gelen gerilim darbesinin yetiştirme hızını daha fazla tutacak (indirgeyecek) D1 ve C3 bileşimini kullanırız. Silikon kontrollü doğrultucu anahtar ile endüktör (diyagramda gösterilemeyen) ve kapasitör devreye dahil edilerek, yüksek enerjili gerilim darbelerinin üstesinden gelinir. Eğer gerilim darbesi C3'ten geçebilecek kadar büyükse ilk olarak C4 devreye girerek gerilim darbesini söndürecektir. Eğer gerilim darbesi hala çok büyükse ikinci C5 devreye girerek koruma için gerekli ölçüyü sağlayacaktır. Filtreler gibi bunlarda bir çok güç kaynağı üreticisinden uygun fiyatlı, kompakt ürünler olarak elde edilebilir [22].

BÖLÜM 8. TÜRKİYE'DEKİ ELEKTRİK İLETİM SİSTEMİ

İletim Sistemi, 154 kV ve 400 kV sisteme bağlı üretim tesislerinden itibaren dağıtım sistemine kadar olan ve Yüksek Gerilim/Çok Yüksek Gerilim seviyesinde elektrik enerjisinin iletiminin gerçekleştiği tesislerdir. Bu sistemin enterkonnekte olarak çalıştırılması üretim-iletim ve dağıtım sistemlerinde bir dizi teknik kuralın koordinasyon içerisinde uygulanması ile mümkündür. Elektrik enerjisinin kalitesini belirleyen frekans-gerilim değerleri ile sistemin stabilitesi bu düzenin doğru olarak planlanıp işletilmesine bağlıdır.

İletim sisteminin ve yeni santrallerin bağlantılarının planlanması aşamasında teknik standartları sağlamak üzere diğer ülkelerde de olduğu gibi uluslararası kabul görmüş yazılım paketleri kullanılarak bir dizi sistem analizi yapılmaktadır. Analizlerin yapılabilmesi üretim-tüketim dengesinin kurulmasına dayalı olup bunun için bölgesel yük gelişimi tahmini ile mevcut santrallerin çalışma rejimi ve üretim planları veri olarak kullanılmaktadır. İletim planlaması için yapılan temel analizler;

- i. Yük Akışı Analizi
- ii. Kısa Devre Analizi
- iii. Kısıtlılık Analizi
- iv. Kararlılık Analizi

olarak sıralanmaktadır. Bu analizler sonucunda;

- i. Gerilim seviyeleri,
- ii. İletim kayıpları, enerji transfer imkanları,
- iii. İletim sisteminin yüklenmesi,
- iv. Arızalar sonucu sistemde eksik hat, trafo veya üretim kaynağından kaynaklanan olumsuzluklar ve çözümleri,

v. Arızalar sonucu elemanların (hat, trafo, santral ünitesi) devre dışı bırakılması ile sistem kararlılığının kalitesi

tespit edilerek yeni yatırım kararları alınmaktadır. Benzer etütler enterkonnekte sistemin işletilmesi sırasında da yapılmakta ve kaliteli bir sistem işletmesi temin edilmektedir.

Yukarda belirtilen çalışmalar sonucunda geliştirilen 400 ile 154 kV iletim hatları, 400/154, 400/OG ve 154/OG indirici trafolardan oluşan iletim sistemi, teknik ve ekonomik avantajları nedeniyle 400 kV uzun hatlar üzerinde ayrıca yeterli seri kompensatörlerle donatılarak güçlendirilmiştir. İletim sistemi gerilim seviyesi 400 ve 154 kV olarak standartlaştırılmıştır. Geçmişte tesis edilip kullanıma sunulmuş olan 66 kV iletim seviyesi belli bir program dahilinde kaldırılmaktadır. Gürcistan ve Ermenistan ile olan enterkonneksiyon hatlarımız bu ülkelerdeki gerilim seviyesine uygun olarak 220 kV tesis edilmiştir.

Ülkemizin koşullarına en uygun yüksek tasarım standardına sahip olan iletim sistemindeki kayıplar, uluslararası performans düzeylerine uygun olarak %2.5-3 dolaylarında seyretmektedir.[29]

Tablo 8.1. 2005 yılı sonu itibariyle iletim trafolarımız

| GERİLİM(kV) | TRAFO ADEDİ | GÜÇ (MVA) |
|-------------|-------------|-----------|
| 400 | 132 | 24240 |
| 154 | 899 | 46979 |
| 66 | 57 | 678 |
| TOPLAM | 1088 | 71897 |

Not 1: 220 kV luk 2 adet Trafo Merkezi, Trafo sayıları ve güçleri 380 kV Merkez içinde yer almıştır.

Not 2: 66kV'luk trafo merkezleri sistem gereği 33 kV'a dönüştüğü için azalma olmuştur.

Tablo 8.2. Türkiye'deki iletim hatları.

| GERİLİM(kV) | UZUNLUĞU (km) |
|-------------|---------------|
| 400 | 13976,9 |
| 220 | 84,6 |
| 154 | 31030,0 |
| 66 | 718,9 |
| TOPLAM | 45810,4 |

154 kV' luk Yer altı güç kablosu uzunluğu: 123,776 km'dir.

Tablo 8.3. 2005 Yılına ait ani ve max. puant yükleri.

| 2005 YILI PUANT YÜKLERİ | | | |
|-------------------------|---------|-------------------|-------|
| ANİ PUANT | | MAX.SAATLİK PUANT | |
| TARİH-SAAT | MW | TARİH-SAAT | MWh |
| 26.12.2005 -17:20 | 25174,2 | 26.12.2005 -18:00 | 24987 |

Tablo 8.4. 2005 Yılına ait yazın ve min. puant yükleri

| MİNİMUM SAATLİK PUANT | | YAZ SAATLİK PUANT | |
|-------------------------------|--------|-----------------------------|--------|
| TARİH-SAAT | MWh | TARİH-SAAT | MWh |
| 04.11.2005 - 07 ⁰⁰ | 10.120 | 04.08.2005-12 ⁰⁰ | 23.887 |

Tablo 8.5. 2005 Yılına ait min.ve max. puant yükleri

| TÜKETİM GÜNLERİ | | | |
|------------------|---------|-----------------|---------|
| MAKSİMUM TÜKETİM | | MİNİMUM TÜKETİM | |
| TARİH | MWh | TARİH | MWh |
| 23.12.2005 | 502.306 | 04.11.2005 | 300.563 |

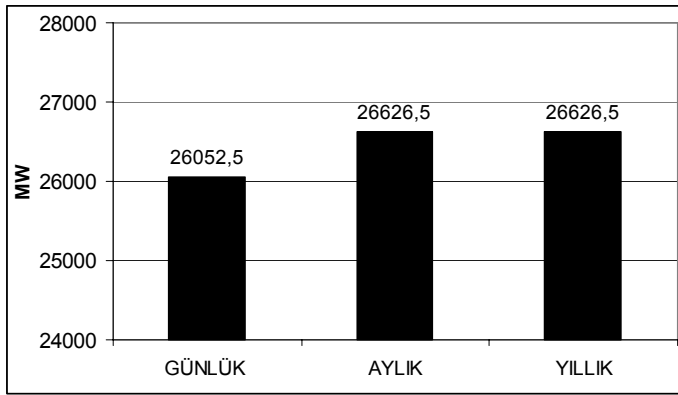
Tablo 8.6. 2005 Yılına ait yazın maksimum tüketim miktarı.

| YAZIN MAKSİMUM TÜKETİMİ PUANTI | |
|--------------------------------|---------|
| TARİH | MWh |
| 04.08.2005 | 493.562 |

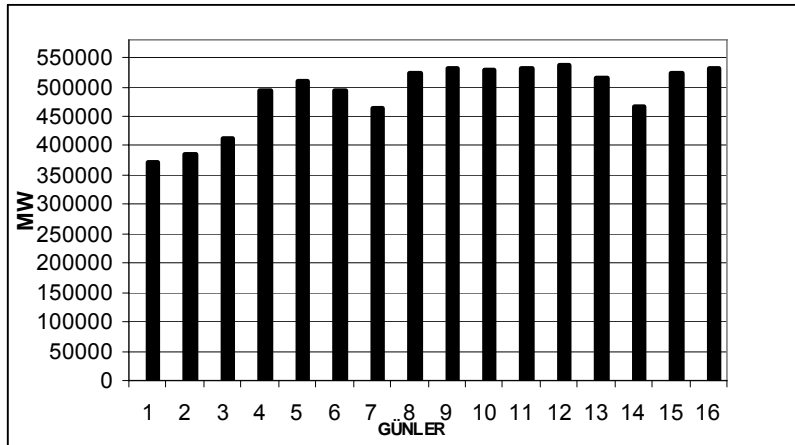
8.1 Türkiye Elektrik Sistemi Günlük İşletme Neticeleri (16.01.2007 /Salı)

Tablo 8.7 16.01.2007 Türkiye'deki puant miktarları.

| TÜRKİYE PUANTI | | | | | | | |
|----------------|--------------|-------|---------|--------|------------------|-------|-------|
| | ANİ PUANT | | | | SAATLİK PUANT | | |
| | TARİH | SAAT | MW | | TARİH | SAAT | MWh |
| GÜNLÜK | 16.01.2007 | 17:50 | 26052,5 | GÜNLÜK | 16.01.2007 | 18:00 | 25672 |
| AYLIK | 08.01.2007 | 17:40 | 26626,5 | AYLIK | 08.01.2007 | 18:00 | 26388 |
| YILLIK | 08.01.2007 | 17:40 | 26626,5 | YILLIK | 08.01.2007 | 18:00 | 26388 |



Şekil 8.1. Maksimum ani puantlar

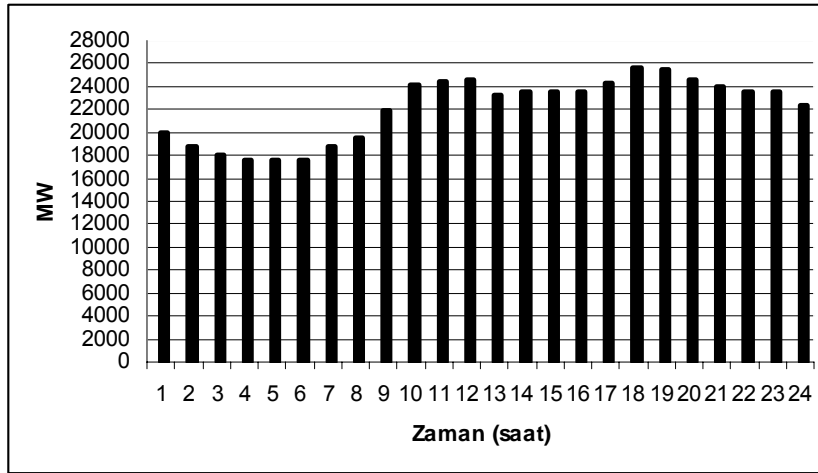


Şekil 8.2. Şubat/2007 ayı elektrik enerjisi tüketiminin günlük gelişimi

Tablo 8.8 16.01.2007 günü sistemde ki saatlik yük miktarları ve yük tevzi bölgelerine göre puant miktarları.

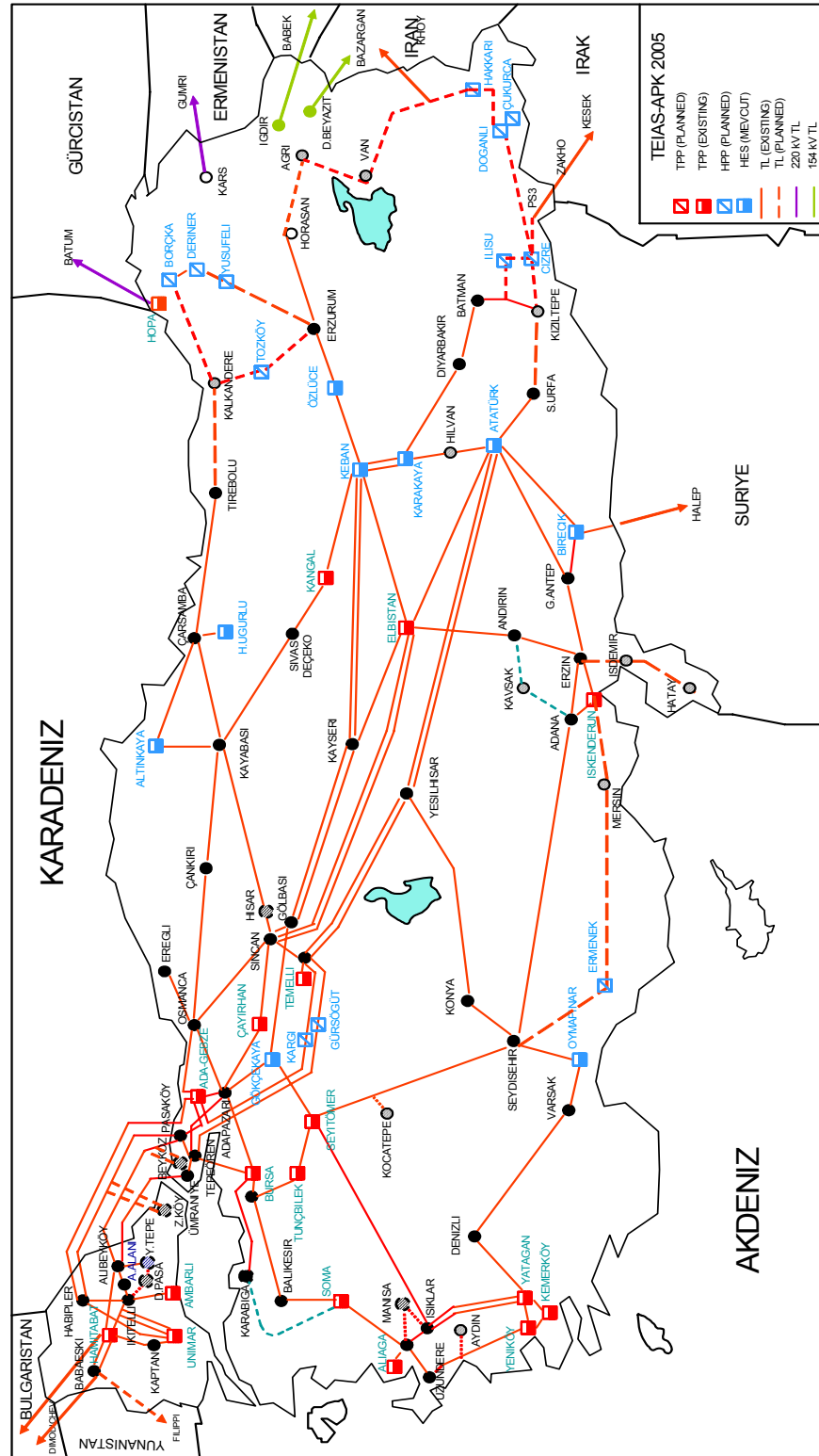
| SİSTEM SAATLİK YÜKLERİ | | | |
|------------------------|--------|------|--------|
| SAAT | MWh | SAAT | MWh |
| 1 | 20.019 | 13 | 23.252 |
| 2 | 18.714 | 14 | 23.485 |
| 3 | 17.983 | 15 | 23.577 |
| 4 | 17.619 | 16 | 23.526 |
| 5 | 17.502 | 17 | 24.219 |
| 6 | 17.769 | 18 | 25.672 |
| 7 | 18.701 | 19 | 25.482 |
| 8 | 19.468 | 20 | 24.524 |
| 9 | 21.922 | 21 | 23.973 |
| 10 | 24.065 | 22 | 23.572 |
| 11 | 24.498 | 23 | 23.463 |
| 12 | 24.593 | 24 | 22.283 |

| YÜK TEVZİ BÖLGELERİ ANİ PUANLARI | | |
|----------------------------------|------|--------|
| BÖLGELER | SAAT | MW |
| İKİTELLİ | 17,3 | 4828 |
| ADAPAZARI | 17,4 | 5853 |
| İŞIKLAR | 17,5 | 4157 |
| GÖLBAŞI | 17 | 2812 |
| KEBAN | 17 | 4120 |
| ÇARŞAMBA | 17,2 | 1096,7 |
| SEYHAN | 17,2 | 1912,4 |
| KEPEZ | 17,4 | 965 |
| ERZURUM | 17 | 570,4 |



Şekil 8.3. 16/01/2007 Salı gününe ait günlük yük eğrisi

400 kV ENTERKONNEKTE SİSTEMİ



Şekil 8.4. Türkiye'deki 400 kV enterkonnekte sistemin görünüşü.[29]

BÖLÜM 9. SİMÜLASYON İLE GERİLİM DÜŞÜMLERİNİN GÖSTERİMİ

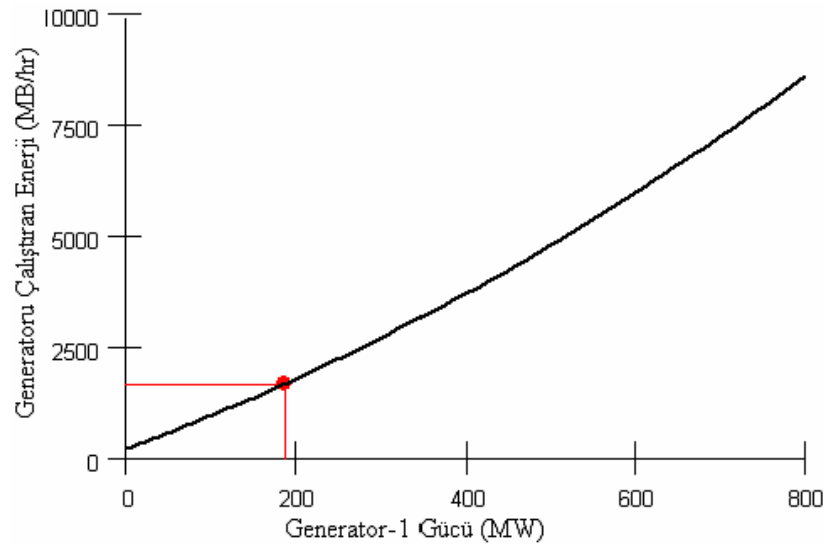
9.1. 380 kV Hattın Gerilim Çökmesi Öncesi Simulasyon İle Gösterilmesi

Tablo 9.1. 380 kV hattın gerilim çökmesi öncesi hat değerleri.

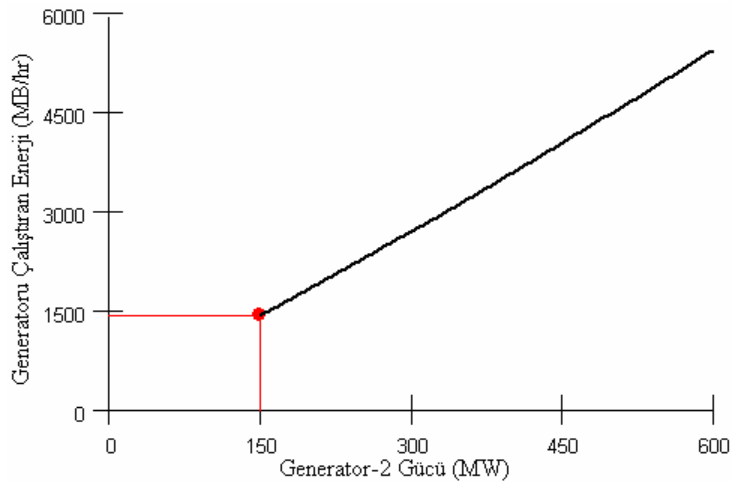
| HAT DEĞERLERİ | | | | | |
|---------------|------|-------|------|----------|------------|
| Ad | MW | Mvar | MVA | MW Kayıp | Mvar Kayıp |
| Bus 1 - Bus 2 | 39,6 | -7,5 | 40,3 | 0,16 | 0,81 |
| Bus 1 - Bus 3 | 48,3 | -13,8 | 50,2 | 0,38 | 1,26 |
| Bus 2 - Bus 3 | 10,5 | -3,1 | 10,9 | 0,02 | 0,06 |

Tablo 9.2. 380 kV hattın gerilim çökmesi öncesi bus değerleri.

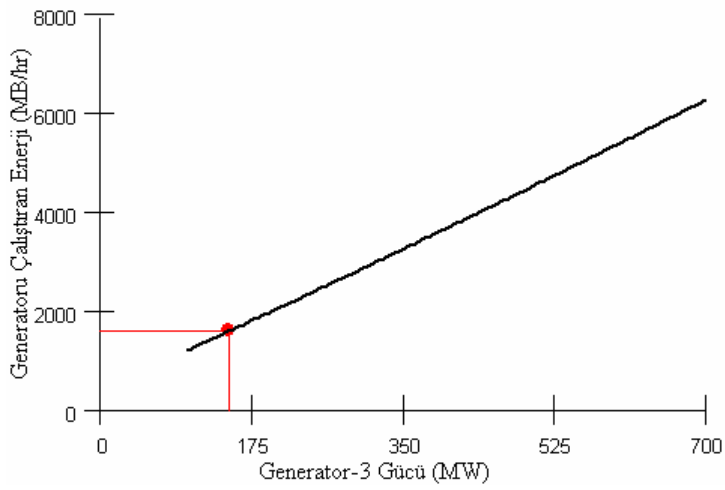
| BUS DEĞERLERİ | | | | | | | | | |
|---------------|----------|-----------|--------|----------|---------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Ad | Nom (kV) | Volt (kV) | YÜK MW | YÜK Mvar | GEN. MW | GEN. Mvar | R Faz Açısı | S Faz Açısı | T Faz Açısı |
| Bus 1 | 380 | 380 | 100 | 0 | 187,89 | -21,3 | 0 | -124,9 | 143,9 |
| Bus 2 | 380 | 380 | 179,03 | 119 | 150 | 124,13 | -2,91 | -124,8 | 141,4 |
| Bus 3 | 380 | 380 | 208,45 | 63,9 | 150 | 82,17 | -5,21 | -124,9 | 141,1 |



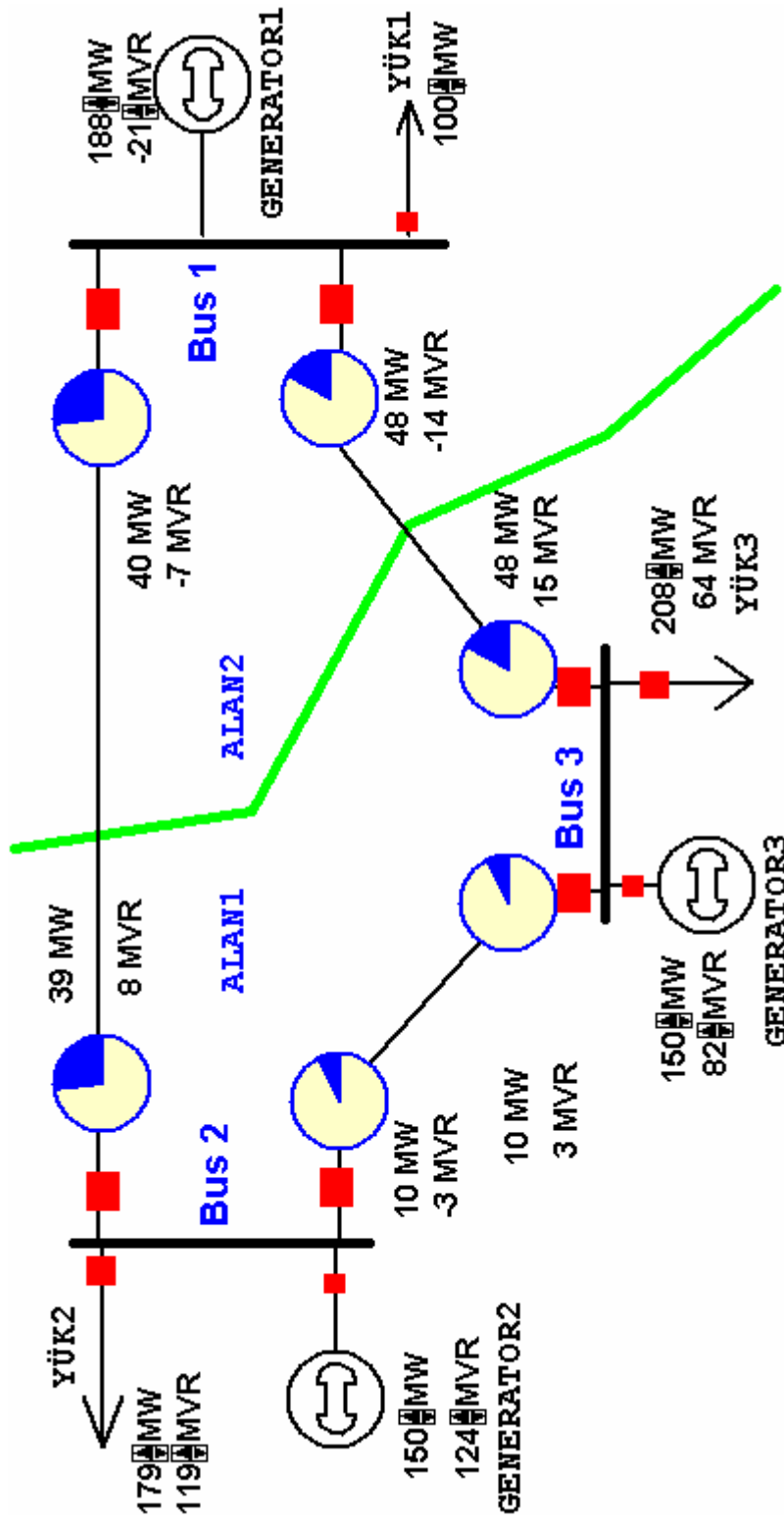
Şekil 9.1. 380 kV iletim hattında generator-1'in gerilim çökmesi öncesi değeri.



Şekil 9.2. 380 kV iletim hattında generator-2'in gerilim çökmesi öncesi değeri.



Şekil 9.3. 380 kV iletim hattında generator-3'ün gerilim çökmesi öncesi değeri.



Şekil 9.4 380 kV'luk iletim sisteminin gerilim çökmesi öncesi durumu.[26]

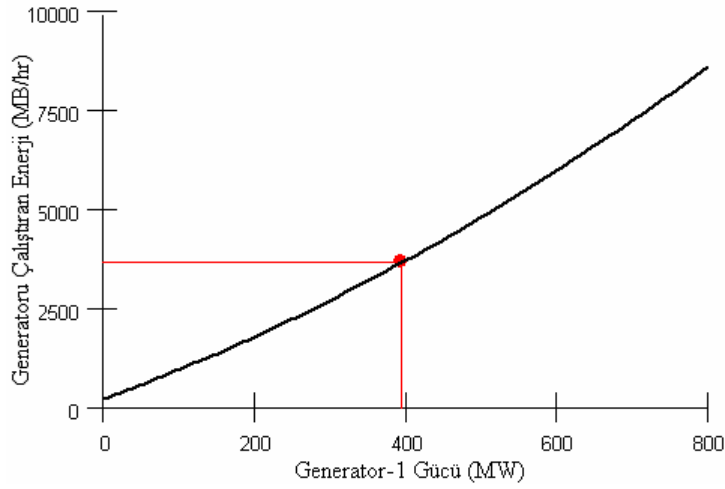
9.2. 380 kV Hattın Gerilim Çökmesi Sonrası Simulasyon İle Gösterilmesi

Tablo 9.3. 380 kV hattın gerilim çökmesi sonrası hat değerleri.

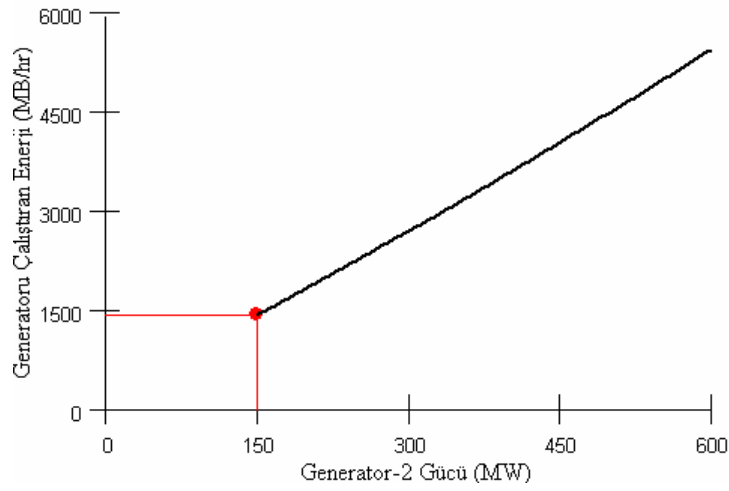
| HAT DEĞERLERİ | | | | | |
|---------------|--------|-------|-------|----------|------------|
| Ad | MW | Mvar | MVA | MW Kayıp | Mvar Kayıp |
| Bus 1 - Bus 2 | 205 | -29,8 | 207,1 | 4,32 | 21,62 |
| Bus 1 - Bus 3 | 90,5 | -24,8 | 93,8 | 1,34 | 4,45 |
| Bus 2 - Bus 3 | -103,1 | 34,1 | 108,6 | 1,78 | |

Tablo 9.4. 380 kV hattın gerilim çökmesi sonrası bus değerleri.

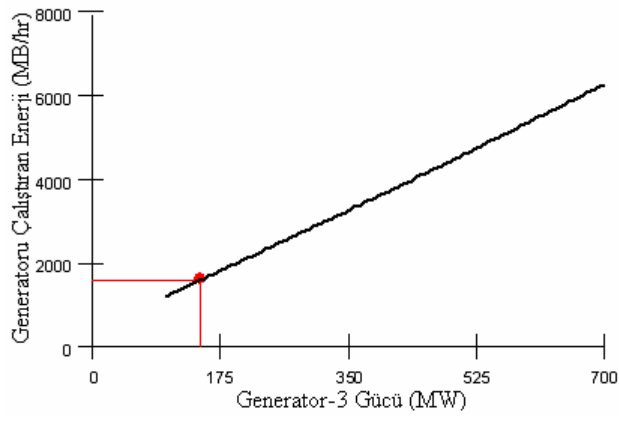
| BUS DEĞERLERİ | | | | | | | | | |
|---------------|----------|-----------|--------|----------|---------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Ad | Nom (kV) | Volt (kV) | YÜK MW | YÜK Mvar | GEN. MW | GEN. Mvar | R Faz Açısı | S Faz Açısı | T Faz Açısı |
| Bus 1 | 380 | 380 | 100 | 0 | 395,5 | -54,6 | 0 | -124,9 | 143,9 |
| Bus 2 | 380 | 380 | 453,74 | 175 | 150 | 259,94 | -2,91 | -124,8 | 141,4 |
| Bus 3 | 380 | 380 | 134,38 | 87,3 | 150 | 88,18 | -5,21 | -124,9 | 141,1 |



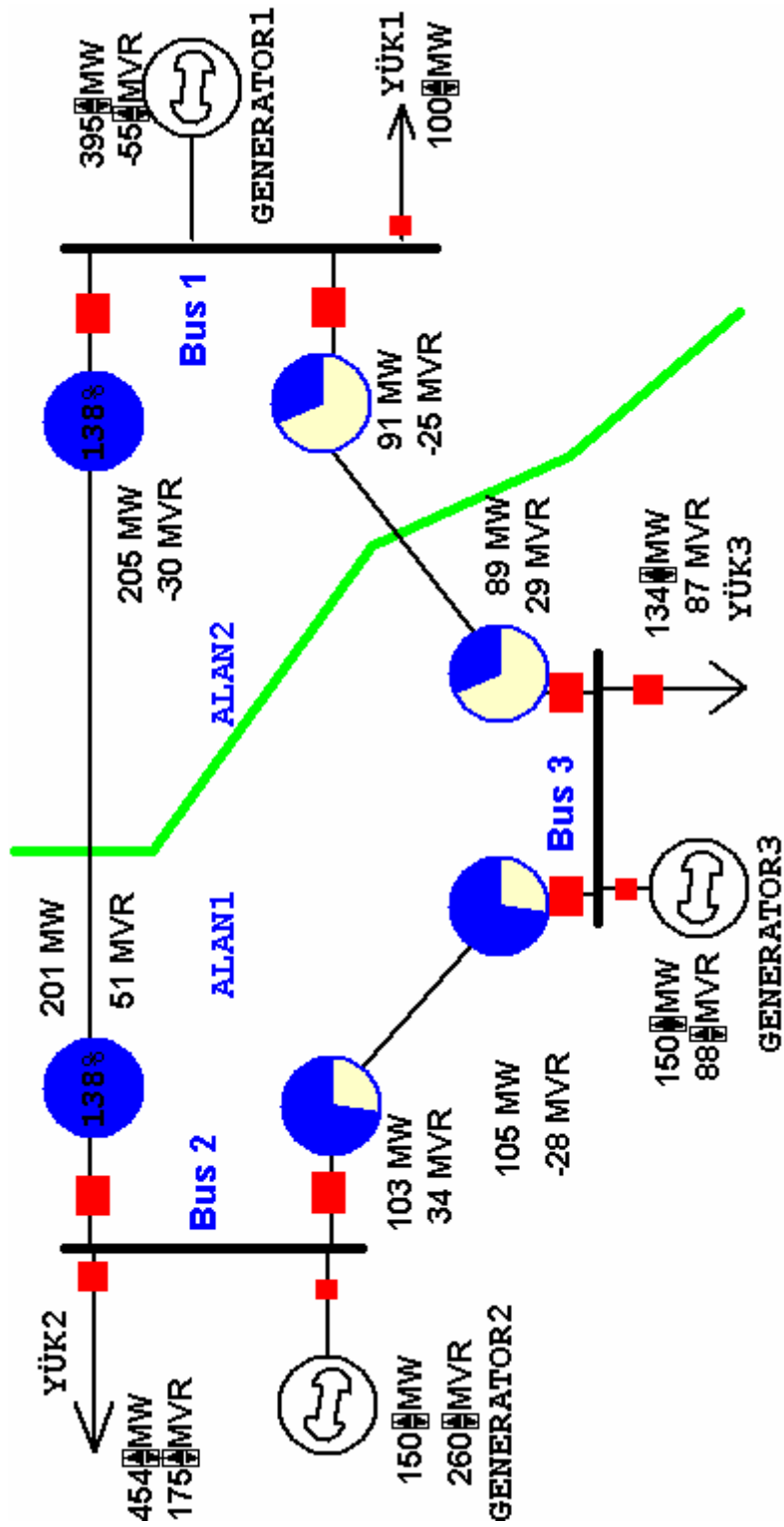
Şekil 9.5. 380 kV iletim hattında generator-1'in gerilim çökmesi sonrası değeri.



Şekil 9.6. 380 kV iletim hattında generator-2'in gerilim çökmesi sonrası değeri.



Şekil 9.7. 380 kV iletim hattında generator-3'ün gerilim çökmesi sonrası değeri.



Şekil 9.8 380 kV'luk iletim sisteminin gerilim çökmesi sonrası durumu.

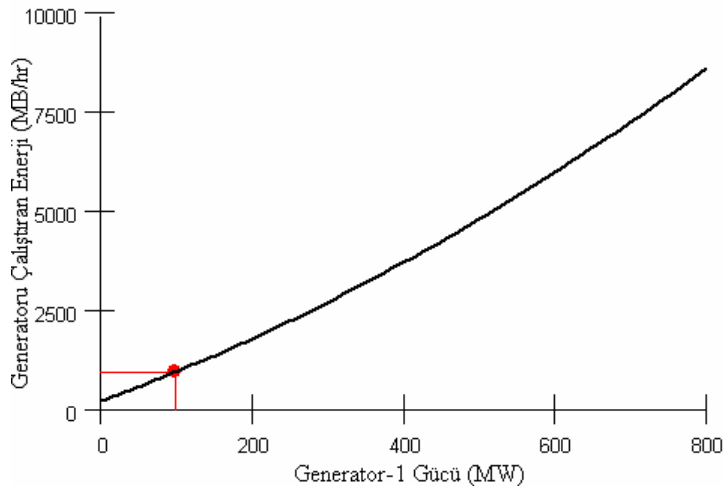
9.3. 380 kV – 154 kV – 34,5 kV Hattın Gerilim Çökmesi Öncesi Simulasyon İle Gösterilmesi

Tablo 9.5. 380 kV-154 kV-34,5 kV hattın gerilim çökmesi öncesi hat değerleri.

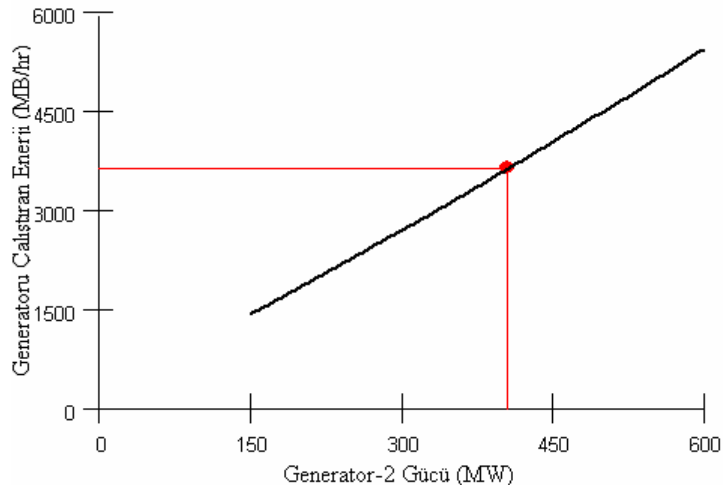
| HAT DEĞERLERİ | | | | | |
|---------------|-------|------|------|----------|------------|
| Ad | MW | Mvar | MVA | MW Kayıp | Mvar Kayıp |
| Bus 1 - Bus 2 | -61,9 | 15 | 63,7 | 1,22 | 6,5 |
| Bus 1 - Bus 3 | 61,9 | 42,5 | 75,1 | 0,85 | 4,52 |
| Bus 2 - Bus 4 | 142,4 | 32,3 | 146 | 3,2 | 17,05 |
| Bus 4 - Bus 3 | 39,2 | -5 | 39,5 | 0,25 | 1,36 |
| Bus 4 - Bus 5 | 100 | 20,2 | 102 | 0 | 10,21 |

Tablo 9.6. 380 kV-154 kV-34,5 kV hattın gerilim çökmesi öncesi bus değerleri.

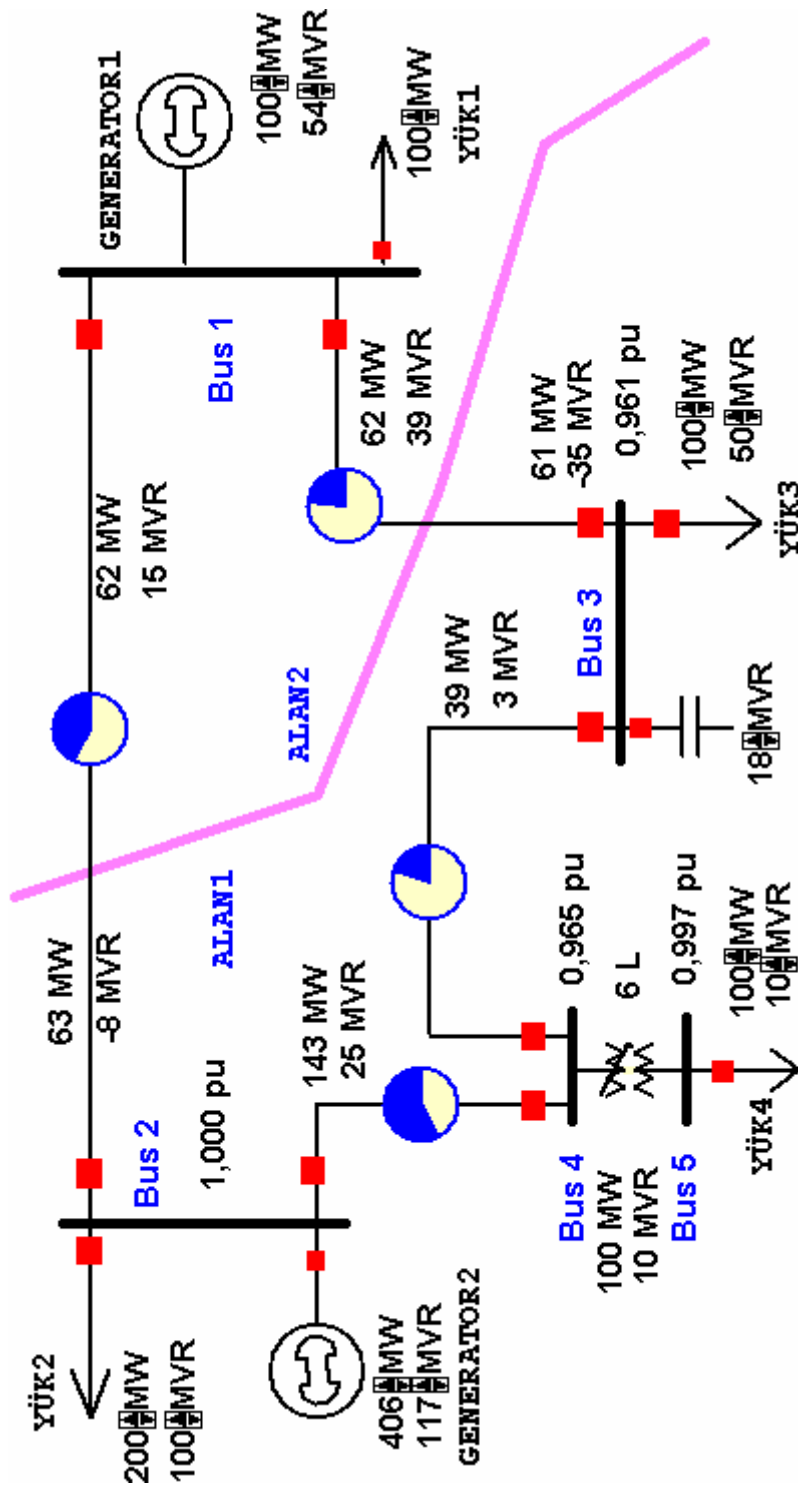
| BUS DEĞERLERİ | | | | | | | | | |
|---------------|----------|-----------|--------|----------|--------|----------|-------------|-------------|-------------|
| Ad | Nom (kV) | Volt (kV) | Yük MW | Yük Mvar | Gen MW | Gen Mvar | R Faz Açısı | S Faz Açısı | T Faz Açısı |
| Bus 1 | 380 | 380 | 100 | 0 | 99,99 | 57,5 | 0 | -127,8 | 148,7 |
| Bus 2 | 380 | 380 | 200 | 100 | 405,52 | 123,79 | 30,14 | -122,8 | 152 |
| Bus 3 | 380 | 363,914 | 100 | 50 | | | -9,03 | -129,1 | 147,1 |
| Bus 4 | 154 | 147,694 | | | | | 9,7 | -127,8 | 148,5 |
| Bus 5 | 34,5 | 34,308 | 100 | 10 | | | -15,39 | -131,7 | 145,2 |



Şekil 9.9. 380 kV-154 kV-34,5 kV iletim hattında generator-1'in gerilim çökmesi öncesi değeri.



şekil 9.10. 380 kV-154 kV-34,5 kV iletim hattında generator-2'in gerilim çökmesi öncesi değeri



Şekil 9.11 380 kV-154 kV-34,5 kV'luk iletim sisteminin gerilim çökmesi öncesi durumu.[26]

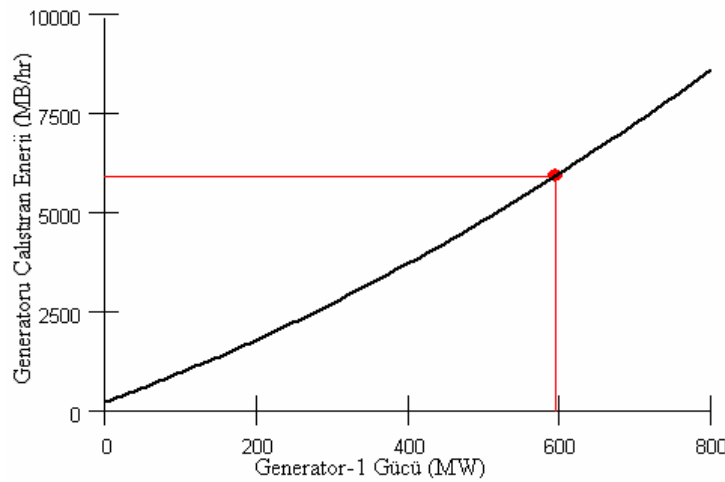
9.4. 380 kV-154 kV-34,5 kV Hattın Gerilim Çökmesi Sonrası Simulasyon İle Gösterilmesi

Tablo 9.7. 380 kV-154 kV-34,5 kV hattın gerilim çökmesi sonrası hat değerleri.

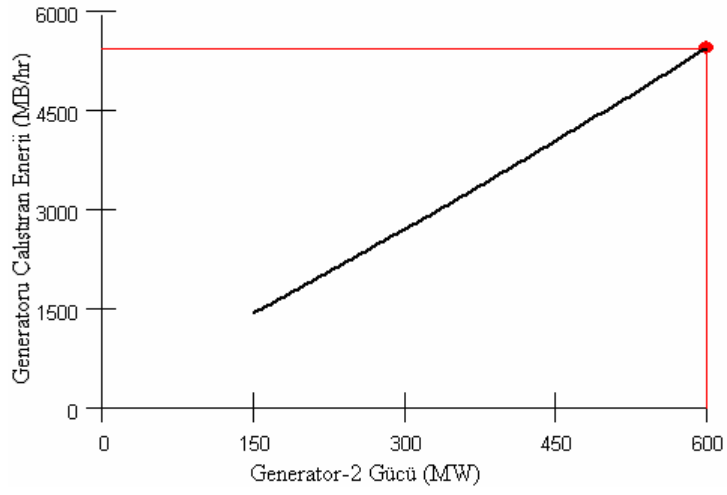
| HAT DEĞERLERİ | | | | | |
|---------------|-------|-------|-------|----------|------------|
| Ad | MW | Mvar | MVA | MW Kayıp | Mvar Kayıp |
| Bus 1 - Bus 2 | -8,9 | 1,7 | 9,1 | 0,02 | 0,13 |
| Bus 1 - Bus 3 | 503,9 | 367,5 | 623,7 | 58,35 | 311,19 |
| Bus 2 - Bus 4 | 391 | 326,7 | 509,6 | 38,95 | 207,72 |
| Bus 4 - Bus 3 | 97,1 | -2,5 | 97,1 | 2,66 | 14,18 |
| Bus 4 - Bus 5 | 255 | 121,5 | 282,5 | 0 | 121,48 |

Tablo 9.8. 380 kV-154 kV-34,5 kV hattın gerilim çökmesi sonrası bus değerleri

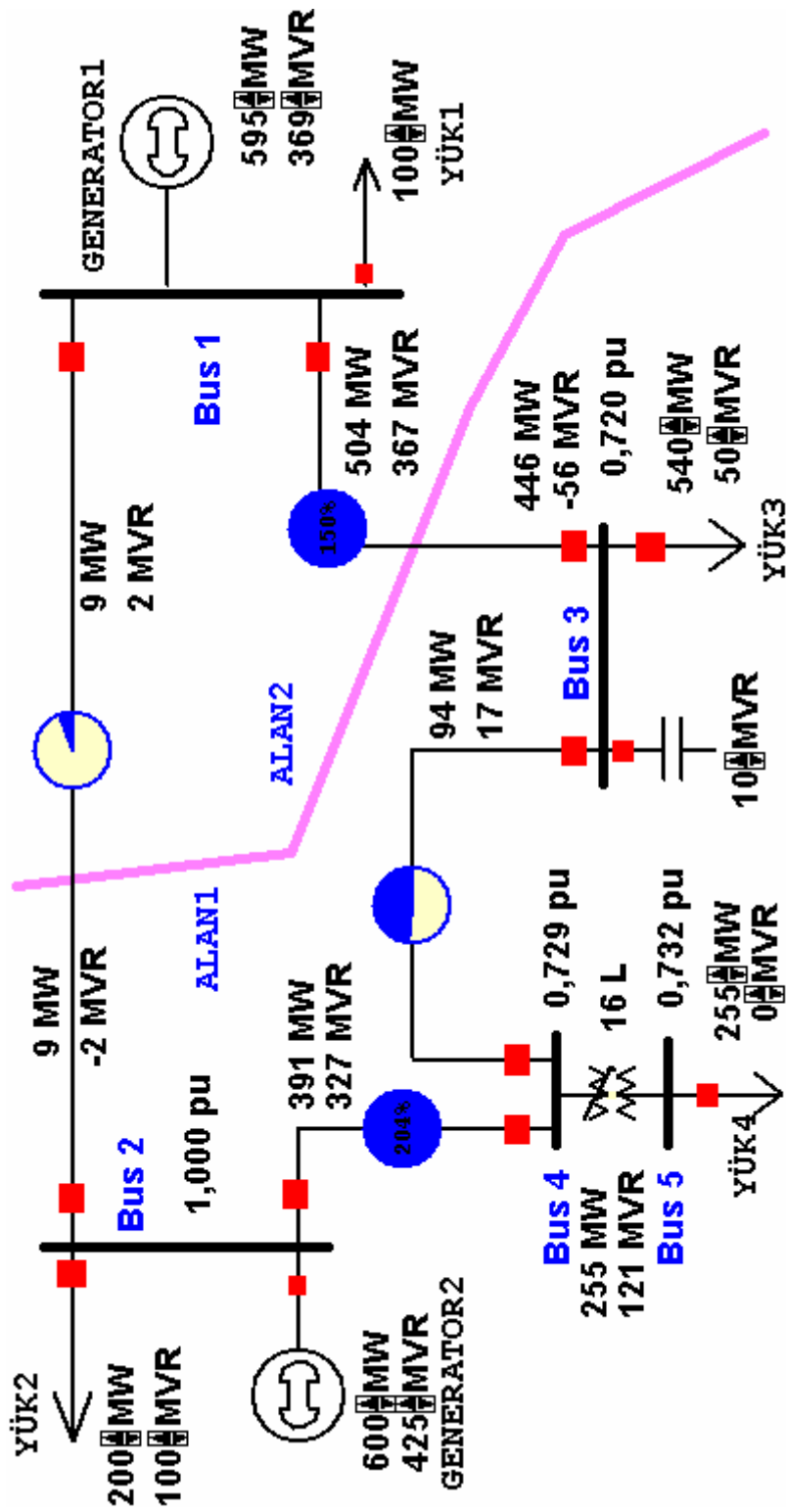
| BUS DEĞERLERİ | | | | | | | | | |
|---------------|--------|-----------|--------|----------|--------|----------|-------------|-------------|-------------|
| Ad | Nom kV | Volt (kV) | Yük MW | Yük Mvar | Gen MW | Gen Mvar | R Faz Açısı | S Faz Açısı | T Faz Açısı |
| Bus 1 | 380 | 380 | 100 | 0 | 594,98 | 369,23 | 0 | -138 | 150,6 |
| Bus 2 | 380 | 380 | 200 | 100 | 600 | 425,11 | 0,03 | -136,2 | 149,4 |
| Bus 3 | 380 | 273,64 | 540 | 50 | | | -113,9 | -156,3 | 143,3 |
| Bus 4 | 154 | 112,321 | | | | | -100,8 | -151,9 | 146,2 |
| Bus 5 | 34,5 | 25,241 | 255 | 0 | | | -114,3 | -165,3 | 139,1 |



Şekil 9.12. 380 kV-154 kV-34,5 kV iletim hattında generator-1'in gerilim çökmesi sonrası değeri



Şekil 9.13. 380 kV-154 kV-34,5 kV iletim hattında generator-2'in gerilim çökmesi sonrası değeri.



Şekil 9.14 380 kV-154 kV-34,5 kV'luk iletim sisteminin gerilim çökmesi sonrası durumu.

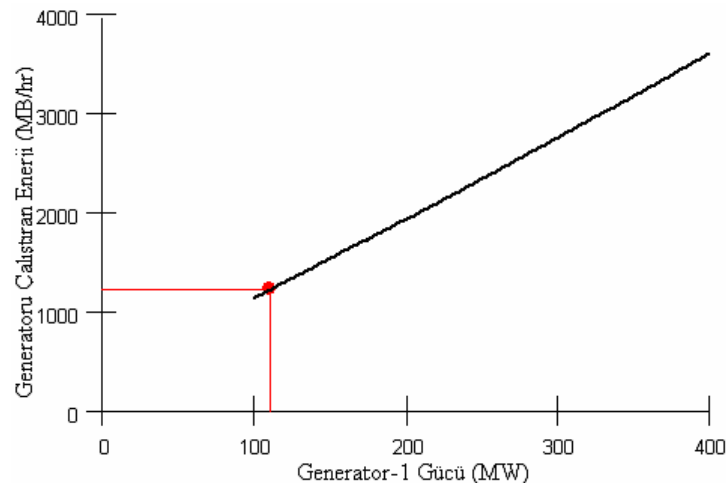
9.5. 138 kV Hattın Gerilim Çökmesi Öncesi Simulasyon İle Gösterilmesi

Tablo 9.9. 138 kV hattın gerilim çökmesi öncesi hat değerleri.

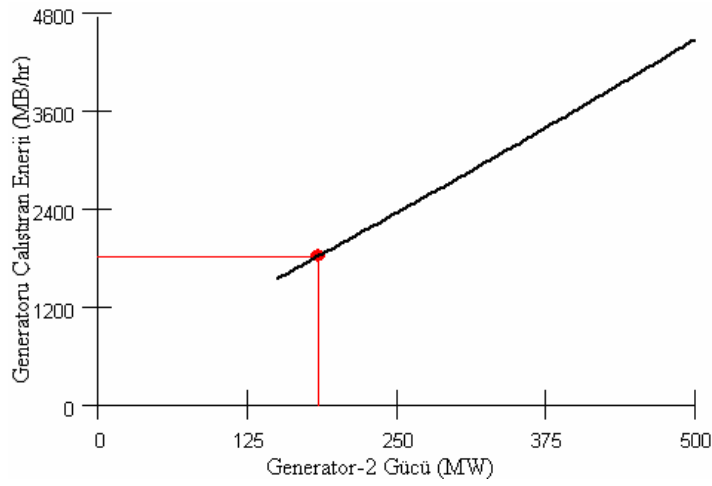
| HAT DEĞERLERİ | | | | | |
|---------------|-------|-------|------|----------|------------|
| Ad | MW | Mvar | MVA | MW Kayıp | Mvar Kayıp |
| Bus1 - Bus2 | 68,8 | -7,4 | 69,2 | 0,86 | -3,97 |
| Bus1 - Bus3 | 42,6 | 9,8 | 43,7 | 1,43 | -0,92 |
| Bus2 - Bus3 | 34,3 | 14,5 | 37,2 | 0,8 | -1,72 |
| Bus2 - Bus4 | 28,2 | 12 | 30,7 | 0,55 | -2,51 |
| Bus2 - Bus5 | 81,8 | 3,8 | 81,9 | 2,49 | 4,32 |
| Bus2 - Bus6 | 67,9 | -23,8 | 72 | 0,94 | -2,6 |
| Bus3 - Bus4 | -35,4 | -13,1 | 37,7 | 0,14 | -1,56 |
| Bus4 - Bus5 | 18,7 | -10,9 | 21,6 | 0,34 | -4,03 |
| Bus7 - Bus5 | 32,9 | 45 | 55,8 | 0,61 | -2,35 |
| Bus6 - Bus7 | 16,5 | -7,8 | 18,3 | 0,22 | -4,75 |
| Bus6 - Bus7 | 16,5 | -7,8 | 18,3 | 0,22 | -4,75 |

Tablo 9.10. 138 kV hattın gerilim çökmesi öncesi bus değerleri.

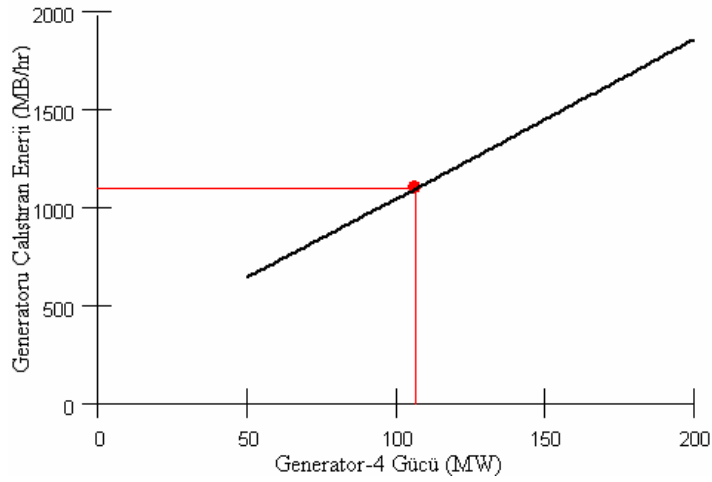
| BUS DEĞERLERİ | | | | | | | | | |
|---------------|----------|-----------|--------|----------|---------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Ad | Nom (kV) | Volt (kV) | YÜK MW | YÜK Mvar | GEN. MW | GEN. Mvar | R Faz Açısı | S Faz Açısı | T Faz Açısı |
| Bus 1 | 138 | 144,9 | | | 111,42 | 2,41 | 0 | -119,9 | 147,8 |
| Bus 2 | 138 | 143,52 | 40 | 20 | 184,27 | 29,92 | 2,65 | -119,1 | 143,3 |
| Bus 3 | 138 | 136,997 | 110 | 40 | | | -6,65 | -121,6 | 141,8 |
| Bus 4 | 138 | 138 | 80 | 30 | 106,54 | 16,13 | -3,39 | -120,6 | 141,3 |
| Bus 5 | 138 | 138,897 | 130 | 40 | | | -7,26 | -122,7 | 138,6 |
| Bus 6 | 138 | 143,52 | 200 | 0 | 165,97 | 5,53 | 0,11 | -119,8 | 139,8 |
| Bus 7 | 138 | 143,52 | 200 | 0 | 200,4 | 51,18 | -3,19 | -121,4 | 137,3 |



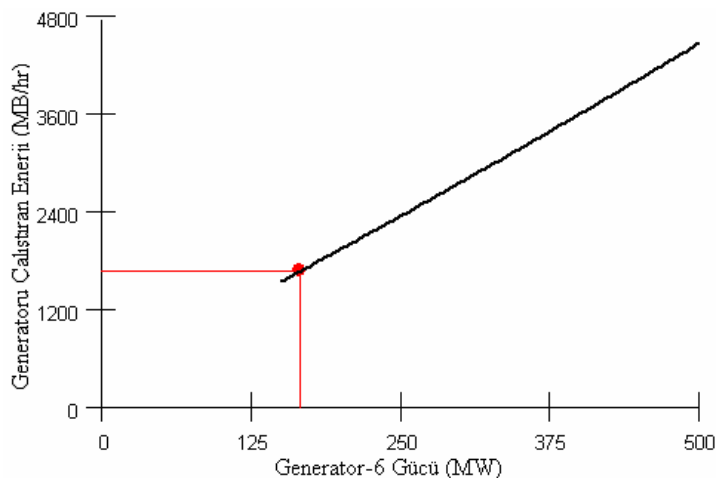
Şekil 9.15. 138 kV iletim hattında generator-1'in gerilim çökmesi öncesi değeri.



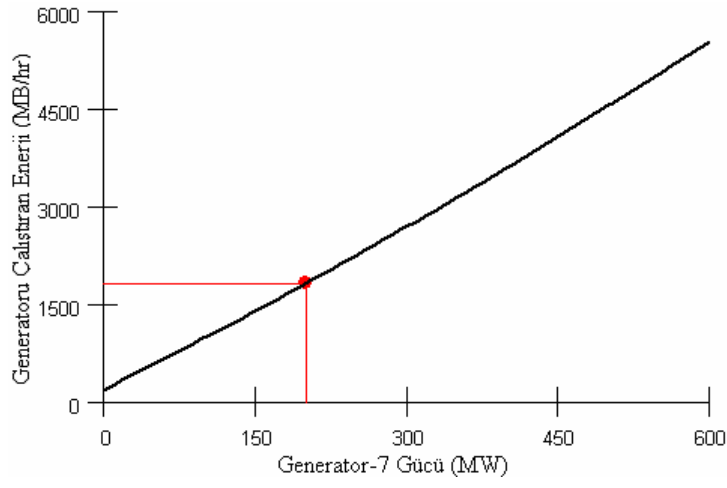
Şekil 9.16. 138 kV iletim hattında generator-2'in gerilim çökmesi öncesi değeri.



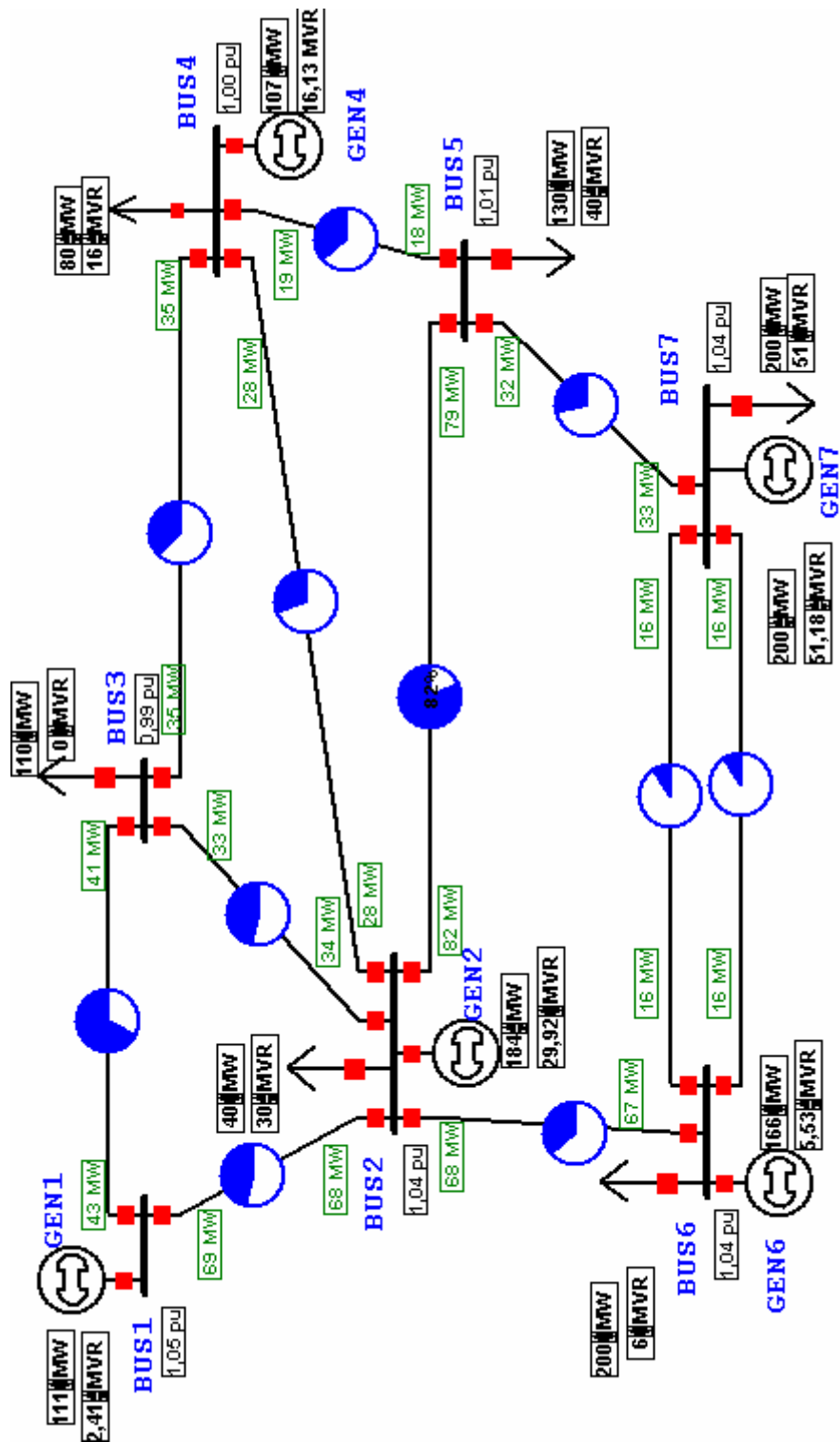
Şekil 9.17. 138 kV iletim hattında generator-4'in gerilim çökmesi öncesi değeri



Şekil 9.18. 138 kV iletim hattında generator-6'in gerilim çökmesi öncesi değeri



Şekil 9.19. 138 kV iletim hattında generator-7'in gerilim çökmesi öncesi değeri



Şekil 9.20 138 kV'lık iletim sisteminin gerilim çökmesi öncesi durumu.

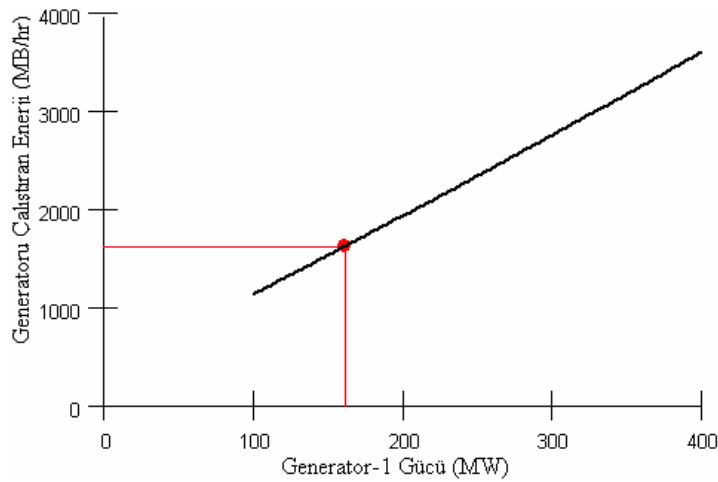
9.6. 138 kV Hattın Gerilim Çökmesi Sonrası Simulasyon İle Gösterilmesi

Tablo 9.11. 138 kV hattın gerilim çökmesi sonrası hat değerleri.

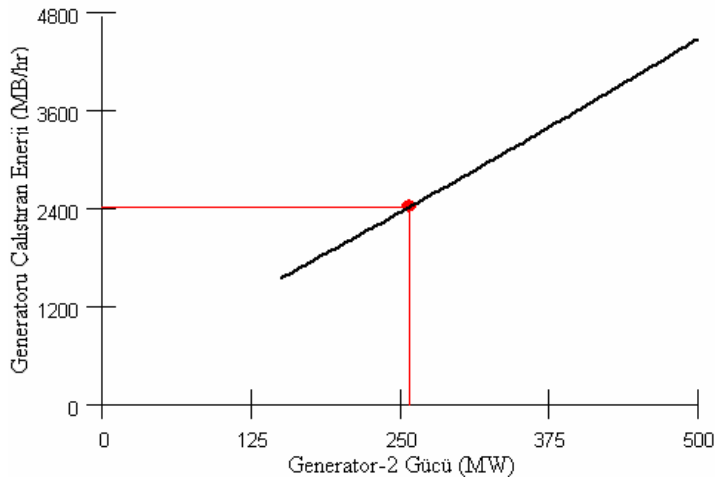
| HAT DEĞERLERİ | | | | | |
|---------------|--------|-------|-------|----------|------------|
| Ad | MW | Mvar | MVA | MW Kayıp | Mvar Kayıp |
| Bus1 - Bus2 | 88,9 | -13,1 | 89,8 | 1,45 | -2,2 |
| Bus1 - Bus3 | 71,8 | 17,1 | 73,8 | 4,02 | 7 |
| Bus2 - Bus3 | 66,8 | 23,9 | 71 | 2,86 | 4,56 |
| Bus2 - Bus4 | 41,6 | 8,3 | 42,4 | 1,02 | -1,1 |
| Bus2 - Bus5 | 150,8 | 21,4 | 152,3 | 8,6 | 22,78 |
| Bus2 - Bus6 | 45,3 | -17,1 | 48,4 | 0,42 | -4,15 |
| Bus3 - Bus4 | -148,3 | -72,3 | 165 | 2,93 | 6,86 |
| Bus4 - Bus5 | 42,6 | -1,8 | 42,7 | 1,45 | -0,49 |
| Bus7 - Bus5 | 89,7 | 91 | 127,8 | 3,09 | 5,24 |
| Bus6 - Bus7 | 44,7 | -14,9 | 47,1 | 1,59 | -0,65 |
| Bus6 - Bus7 | 44,7 | -14,9 | 47,1 | 1,59 | -0,65 |

Tablo 9.12. 138 kV hattın gerilim çökmesi sonrası bus değerleri

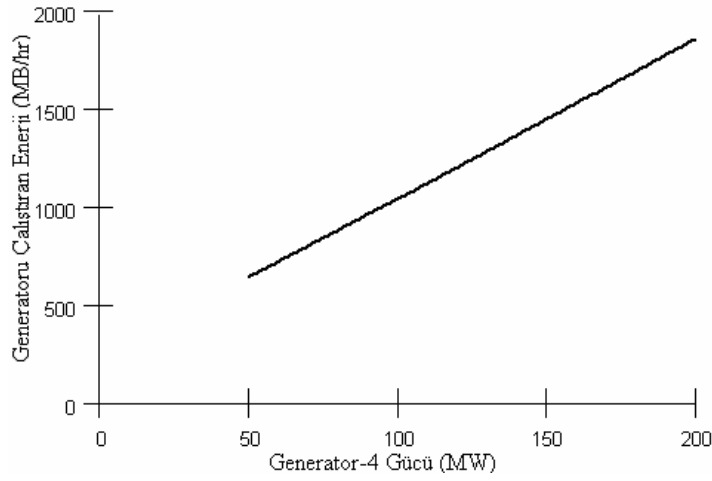
| BUS DEĞERLERİ | | | | | | | | | |
|---------------|----------|-----------|--------|----------|---------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Ad | Nom (kV) | Volt (kV) | YÜK MW | YÜK Mvar | GEN. MW | GEN. Mvar | R Faz Açısı | S Faz Açısı | T Faz Açısı |
| Bus 1 | 138 | 144,9 | | | 161,52 | 3,76 | 0 | -118,7 | 154,2 |
| Bus 2 | 138 | 143,52 | 40 | 20 | 257,54 | 67,54 | 2,75 | -118,3 | 149,3 |
| Bus 3 | 138 | 132,693 | 280 | 102 | | | -14,69 | -123,3 | 146,4 |
| Bus 4 | 138 | 138 | 80 | 30 | 234,16 | 97,72 | -5,37 | -120,9 | 146,5 |
| Bus 5 | 138 | 133,803 | 270 | 83,1 | | | -17,32 | -125,4 | 141,7 |
| Bus 6 | 138 | 143,52 | 200 | 0 | 244,23 | -16,75 | 2,34 | -118,3 | 146,4 |
| Bus 7 | 138 | 143,52 | 200 | 0 | 201,75 | 120,35 | -8,76 | -122,8 | 140,3 |



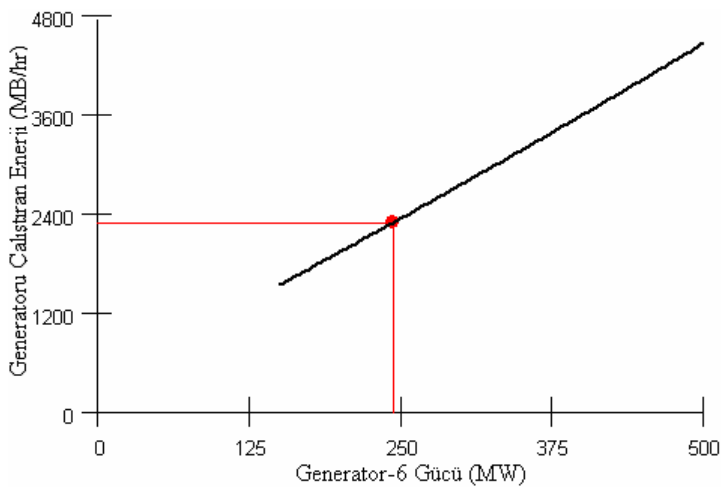
Şekil 9.21. 138 kV iletim hattında generator-1'in gerilim çökmesi sonrası değeri.



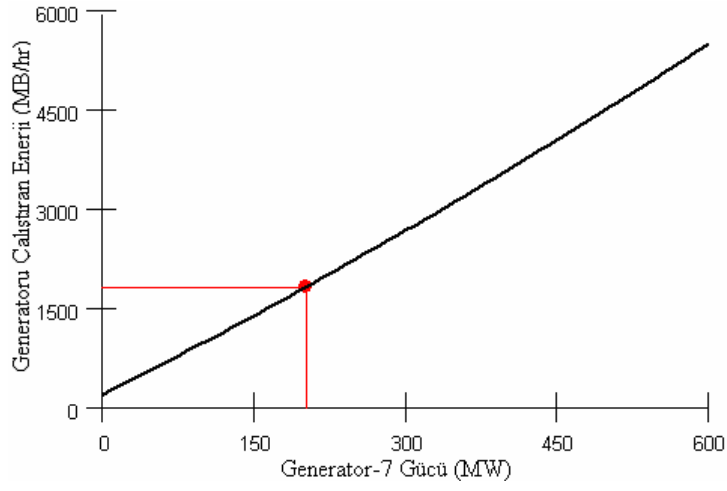
Şekil 9.22. 138 kV iletim hattında generator-2'in gerilim çökmesi sonrası değeri.



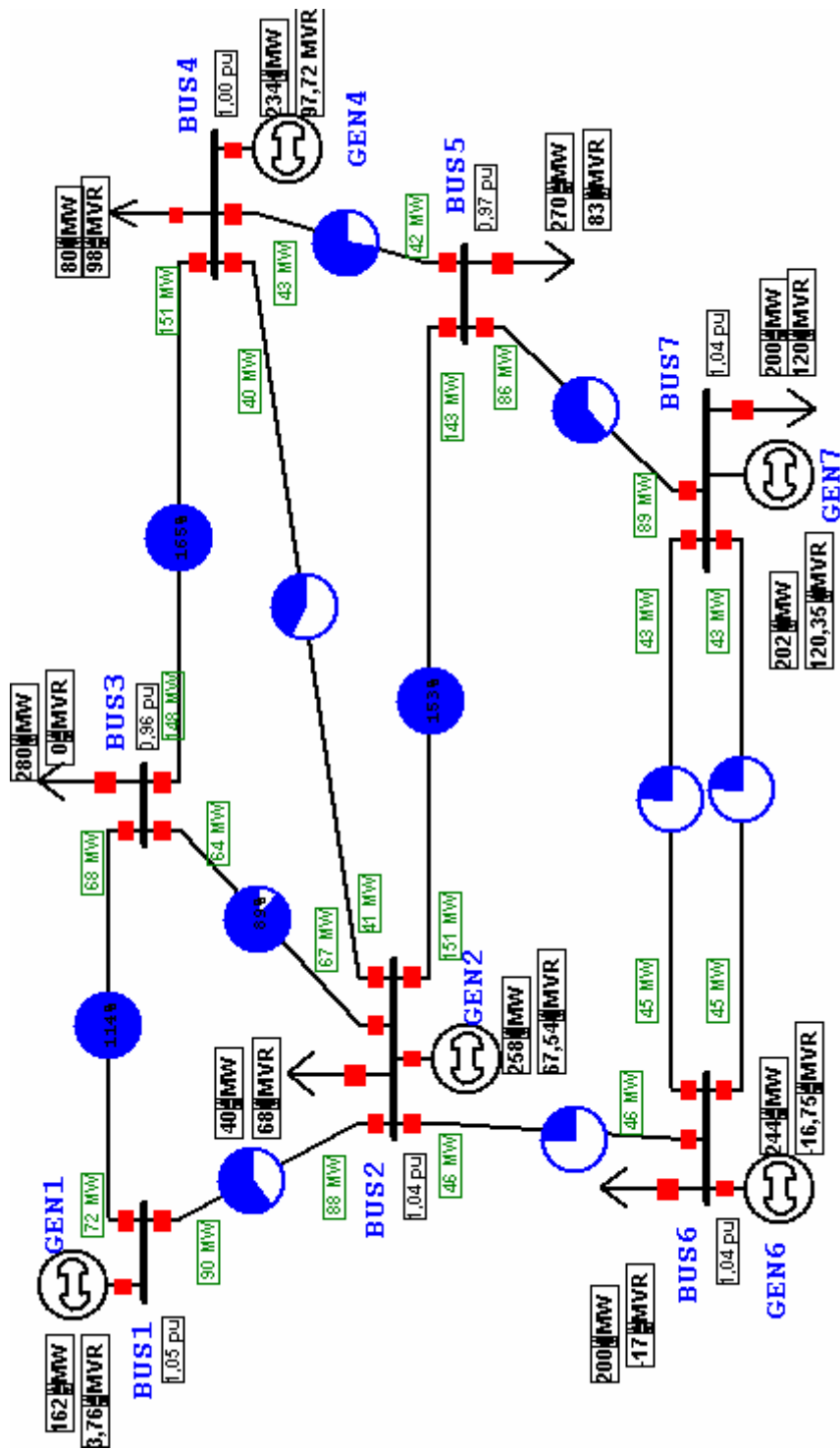
Şekil 9.23. 138 kV iletim hattında generator-4'in gerilim çökmesi sonrası değeri.



Şekil 9.24. 138 kV iletim hattında generator-6'in gerilim çökmesi sonrası değeri



Şekil 9.25. 138 kV iletim hattında generator-7'in gerilim çökmesi sonrası değeri



Şekil 9.26. 138 kV kV'luk iletim sisteminin gerilim çökmesi sonrası durumu.

BÖLÜM 10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrik enerjisinin sürekli ve güvenilir bir halde kullanılabilmesi için enerji kalitesini belirleyen parametrelerin ve enerji sistemini etkileyen olayların bilinmesi gereklidir. Enerji kalitesinin istenen düzeyde sağlanması bu konudaki çalışmalarla ve önlemlerle mümkün olacaktır. Enerji kalitesini olumsuz olarak etkileyen gerilim çökmeleri maalesef ülkelerin yaşadıkları sistem çökmelerine de neden olmaktadır. Bu durumda tüm enerji sisteminin devre dışı olması ve tüm tüketicilerin enerjisiz kalması söz konusu olur. Sistem çökmeleri bazı toplumlarda ekonomik olduğu kadar sosyal problemleri de beraberinde getirmektedir. Böyle problemlerin yaşanmaması için gerilim çökmeleri ile ilgili çalışmalar, önlemler ve uygulamalara gerekli önemin verilmesi şarttır. Önlemlerin uygulanması hem sosyal hem ekonomik bakımdan son derece önemlidir.

Bu tezin giriş bölümünde konuyla ilgili kısa bir tanıtımın ardından literatür incelemesi yapılmıştır. Daha sonraki bölümlerde ise gerilim düşümlerinin tanımı, oluşma sebepleri ve sıklıkları belirtilmiş; güç sistemleri ve güç sistemlerinin yapısı, asenkron motorların davranışları, generatörler, iletim hatları, gerilim çökmelerinin etkileri, indüksiyon motorlarında gerilim çökmeleri, transformatörlerdeki gerilim çökmeleri, senkron motor ve generatörlerde gerilim çökmeleri, yerel elektrik santrallerinin gerilim düşümü etkileri incelenmiş ve kısa süreli gerilim düşümleri ile ilgili teorik altyapı ve matematiksel bağıntılar ile hesaplamada kullanılan yöntemler verilmiştir. Diğer bölümlerde dünya üzerindeki gerilim çökmelerine örnekler verilmiş ve gerilim düşümünü azaltıcı cihazlar hakkında bilgi verilmiştir.

Bu çalışmada her türlü gerilim bozulmaları ve alınacak karşı önlemler sistematik olarak incelenmiştir. Belirlenen tedbirlerin uygulanması için geliştirilen cihazların gittikçe azalan maliyetleri tüketicilerin gerilim bozulmaları nedeniyle uğradıkları zararın altında almaktadır. Öncelikle büyük yapısal tedbirlerin alınmasıyla beraber tüketicilerin bireysel olarak koruma tedbirleri alması ekonomik açıdan uygun olacaktır.

Son olarak da gerilim çökmesi simülasyon programı sayesinde gösterilmiştir. Burada örnek iletim bölgeleri tasarlanarak yüklenme öncesi ve sonrasına göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar da aşırı yüklenmeler sonucu baralarda,iletim hatlarında,generator ve yüklerdeki artışlar tablo ve grafiksel değerleri verilmiştir. Uluslar arası standartlara göre gerilimin %10 ile %90 arasında ki azalmalar elde edilen değerlerde belirtilmiştir. Ayrıca aşırı yüklenme karşısında bunu karşılamakla yükümlü olan generatorlerin yük artışları ve çalışma eğrileri grafiksel olarak verilmiştir.

Türkiye'deki enerji hatları enterkonnekte sistem ile birbirine bağlıdır. Burada ki amaç herhangi bir bölgede ki enerji kesilmesi,gerilim kesilmesi ve yükselmesi gibi durumlarda mevcut bölgenin beslenmesi veya devre dışına çıkarılması için kullanılır. Besleme noktaları Santraller (Hidroelektrik,Termik,Doğalgaz),Oto-Trafolar (380 kV'dan 154 kV'a besleme) ve 154 kV beslemeleridir. Ana çatı 380 kV üzerine kurulup;154 kV ve 34,5 kV şeklinde devam eder. Kısaca büyük yüklerden küçük yüklere doğru besleme yapılır. Eğer hattın bir noktasında çökme olayı ile karşılaşıldığında o bölgede ki üretim miktarı arttırılıp farklı bağlantı noktalarından o bölgeye doğru bir enerji akışı sağlanıyor. Bu şekilde mevcut bölgede ki enerji ihtiyacı karşılanmış oluyor. Eğer çökme olayı aniden geliyorsa arızanın daha fazla büyümemesi için o bölge devre dışı ediliyor.

Enerji sisteminde Ana bara ve Transfer barası olmak üzere iki bara mevcuttur. Yük akışı ana bara üzerinden sağlanmaktadır. Herhangi bir bölgede ki arıza veya bakım esnasında ana bara üzerinde ki ayırıcı ve kesiciler açılır,transfer barası üzerinde ki ayırıcı ve kesiciler kapatılarak yük akışı transfer barası üzerinden yapılır. Arıza veya bakım işlemi sona erdiğinde ana bara üzerindeki ayırıcı ve kesiciler kapatılır,transfer barası üzerinde ki ayırıcı ve kesiciler açılarak yük akışı tekrar ana bara üzerinden yapılır.

Arızalara karşı açma röleleri mevcuttur. Bunlar Faz-Faz arası ve Faz-Toprak arası rölelerdir. Rölelerin çalışma prensipleri olarak da rölenin kendi içinde bir kısa devre direnci mevcut olup arıza durumunda üzerinden geçen kısas devre akımına göre röle kendini açıp sistemi devre dışı bırakmaktadır.

Diğer bir arıza çeşidi de enerji nakil hatlarının geçtiği bölgelerde ağaç dallarından dolayı enerji atlamasının oluşmasıdır. Burada ki enerji atlamasından dolayı oluşan başka bir geçiş yolu sistemde ki rölelerin devreye girerek sistemi korumasıdır.

Ayrıca Türkiye'deki frekans anlık olarak izlenmekte olup çalışma frekansı 50 Hz'dir. Eğer frekansta ani yükselme ve azalma durumlarında sisteme müdahale gerektirmektedir. Frekans azalması olduğu durumlarda sistemde ki enerji ihtiyacı artmaktadır. Bu durumda üretim miktarında artırıma gidilir. Tersisi durumda da frekans artması durumunda da sistemde ki enerji arzı fazlaşmaktadır. Bu durumda da bazı mevcut besleme noktalarından üretime kısa süreli ara verilir.

KAYNAKLAR

- [1] Das. J.C.. Effects of Momentary Voltage Dips on the Operation of Inductm and Synchronous Motors, IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 26, No. 4, pp. 711-717. July/Aug 1990
- [2] Carson W.Taylor, "Power System Voltage Stability ", EPRI Power System Engineering Series, McGraw Hill, 1994
- [3] Yongsheng Wang, "Powver System Load Modelling" Preliminary repon, prepared for Transpovver NZ Ltd. Department of Electrical and Electronic Engineering. Universityof Auckland, May 1997
- [4] Chiev-Yann Chiou .Chiang-Tsang Huang, Wen-Shiow Kao "Dynamic Load Modelling in Power System Stability Studies" IEEE Transactions on Powver Systems. Vol. 10, No.2. pp.907-913, May 1995
- [5] MTaleb, M-Akbaba, E.A.Abdullah, "Aggregation of Induction Machines for Power System Dynamic Studies", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.9 No.4, pp.2042-2048, November 1994
- [6] Mehmet A. Yalçın, "Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi",Doktora Tezi,İTÜ, Elk-Elektronik Fakültesi,İstanbul, 1995
- [7] Roger C.Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, " Electrical Povver Systems Quality", McGravv-Hill, 1996
- [8] Thierry Van Cutsem, Costas Vournas, "Voltage Stability of Electric Povver Systems", Power Electronics and Power Systems Series, Kluwer Academic Publishers, 1998
- [9] IEEE Task Force on Load Representation for Dynamic Performance," Load Representaion for Dynamic Performance Analysis", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 8 No.2, pp.472-81, May 1993

- [10] David J.Hill, "Nonlinear Dynamic Load Models With Recovery for Voltage Stability Studies" IEEE Transactions on Power Systems, Vol.8, No.1, pp.166-176, February 1993
- [11] K.Imhof, F.Oesch, I.Nordanlycke, "Modelling of Tap Changer Transformers in an Energy Management System", IEEE Transactions on Power Systems. Vol.11, No.1, pp.428-434, February 1996
- [12] S.Ahmed-Zaid, M.Taleb. and V.V.V.Price, "First Order Induction Machine Models Near Voltage Collapse", International Workshop on Bulk Power System Voltage Phenomena: Voltage Stability and Security, Deep Creek Lake, Maryland, pp.403-410, 4-7 August 1991
- [13] Peter W Sauer, M.A.Pai, "Power System Dynamics and Stability", Prentice Hall, New Jersey, 1998
- [14] M.H.J. Bollen; L.D. Zhang. Different Methods for Classification of Three-Phase Unbalanced Voltage Dips due to Faults. Elsevier Science S.A, Electric Power System Research 66, pages pp.59_69, 2003.
- [15] E. Styvaktakis; M. H. J. Bollen and I. Y. H. Gu. Classification of Power System Events: Voltage Dips. in Proc. 9th Int. IEEE Conf. Harmonics Quality Power, pages pp.745_750, Oct. 1-4 2000. REFERENCES 91
- [16] Sang-Yun Yun; Jae-Chul Kim. An Evaluation Method of Voltage Sag using a Risk Assessment Model in Power Distribution Systems. Elsevier Science LTD, Electrical Power and Energy Systems 25, pages pp. 829_839, 2003.
- [17] M.H.J. Bollen. Understanding Power Quality Problems - Voltage Sags and Interruptions. New York: IEEE Press, 2000.
- [18] Nejat Tuncay , " Elektrik Enerji Kalitesinin Tanımı", Elektroteknik perpa dergisi, Ocak-Şubat 2001
- [19] Çolak.!. Asenkron Motorlar. Nobel Yayın Dağıtım. Ankara. 2001.
- [20] Usta. O.. Bayrak. M. Analysis of Utility Switching Transient for a Safe and Reliable Operation of Local Power Plants. Proc. of the International SELIT Seminar, İstanbul Turkey, 2001

- [21] Alshamali M. Fox. B.. Unsymmetrical Faults and Their Potential for Noisance Tripping of Embedded Generators, Developments on Power System Protection, Conference Proceeding, pp 238-241, 2001.
- [22] Radhakrishna C.,Impact of Voltage Sags in Practical Power System Networks, Proc of the IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, Vol.», pp.567-572, 2001.
- [23] Funabashi, T., and et al, An Influence of Voltage Sag Duration on Non-utility Generator's Shaft Torque, Proc of the IEEE/PES Winter Meeting, Vol 1, pp 153 — 158.2000.
- [24] Fimabashi, T., and et al. An Influence of Voltage Sag on Non-utllity Generator's Shaft Torque, Proc of the IEEE/PES Summer Meeting, Vol 4, pp. 2463-2468. 2000.
- [25] Funabashi, T., and et al, Protection of a Embedded Generator Shaft System from an Instantaneous Voltage Sag, Proc. of Scventh International Conference on Developments in Power System Protection, pp 74-77. 2001.
- [26] Gomez. J.C.. Morcos. M.M., Coordnating Overcurrent Protection and Voltage Sag in Distributed Generation Systems, IEEE Power Engineering Rcvieu. pp 16-19. Feb 2002.
- [27] CIGRÉ Task Force 38-02-10, “Modelling of Voltage Collapse Including Dynamic Phenomena”, 1993.
- [28] D. J. Hill, I. A. Hiskens, “Load Recovery in Voltage Stability Analysis and Control”, Bulk Power System Phenomena III, Voltage Stability, Security and Control, pp. 579-595, ECC, Davos, August 1994.
- [29] www.teias.gov.tr
- [26] www.powerworld.com

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sakarya'da tamamladı. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği'nde lisans eğitimi gördü. Yüksek lisans eğitimini Sakarya Üniversitesi, Fen-Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Anabilim dalında almıştır.