



BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ

**BİLECİK  
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**ALÇAK GERİLİM ŞEBEKE SİSTEMLERİNDE AŞIRI VE  
DENGESİZ YÜK ANALİZLERİ**

**Ömer TÜRKARSLAN  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Nazım İMAL**

**BİLECİK, 2019  
Ref. No: 10315172**



BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ

**BİLECİK  
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**ALÇAK GERİLİM ŞEBEKE SİSTEMLERİNDE AŞIRI VE  
DENGESİZ YÜK ANALİZLERİ**

**Ömer TÜRKHARSLAN  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Nazım İMAL**

**BİLECİK, 2019**



**BİLECİK  
SEYH EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Science  
Department of Energy System Engineering**

**THE ANALYSIS OF OVERLOAD AND  
UNBALANCED LOAD IN LOW VOLTAGE SYSTEMS**

**Ömer TÜR KARSLAN  
Master's Thesis**

**Thesis Advisor  
Assist. Prof. Dr. Nazım İMAL**

**BİLECİK, 2019**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS**  
**JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07 / 11./2019 tarih ve 68-03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 27 / 11 / 2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ömer TÜRKARSLAN'ın "Alçak Gerilim Şebeke Sistemlerinde Aşırı ve Dengesiz Yük Analizleri" başlıklı tez çalışması Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

**ÜYE (TEZ DANIŞMANI) :** Dr. Öğretim Üyesi Nazım İMAL

**ÜYE :** Prof Dr. Yılmaz ASLAN

**ÜYE :** Dr. Öğretim Üyesi Emrah DOKUR

**ONAY**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
.../.../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA / MÜHÜR

## **TEŐEKKÖR**

Çalıőmalarım süresince desteğini hiç esirgemeyen eőim Tuęba TÖRKARSLAN ve çalıőmalarıma emek vererek katkıda bulunan ve desteğini esirgemeyen tez danıőmanım Dr. Öğr. Üyesi Nazım İMAL'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

## BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunduğumu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

.../.../2019

Ömer TÜRKARSLAN

# ALÇAK GERİLİM ŞEBEKE SİSTEMLERİNDE AŞIRI VE DENGESİZ YÜK ANALİZLERİ

## ÖZET

Elektrik enerji sistemleri, enerji kaynaklarından, son tüketiciye kadar enerji transferinin gerçekleştirildiği, alternatörler, iletim hatları, transformatörler ve koruma elemanlarını içine alan yapılardır. Gerçekleştirilen bu enerji transferi ekipmanlarının çalışma sınırları içerisinde olması gerektiği gibi, mümkün olduğunca dengeli yapıda olması istenir. Elektrik enerji sistemlerinde, çalışma sınırları ve denge durumunu belirlemede akım ve gerilim değerleri öncelikli olarak izlenir. Frekans ve harmoniksel büyüklükleri de izlemekle beraber, akım ve gerilime göre riskleri daha az orandadır. Çünkü şebekelerde oluşan aşırı ve dengesiz yüklerin akım ve gerilim değerlerinde oluşturduğu farklılıklar çok daha tahrip edici yapıdadır. Bu sebeplerden ötürü, çalışmada gerçekleştirilen aşırı ve dengesiz yük analizlerinde öncelikli olarak akım ve gerilim büyüklükleri dikkate alınmıştır. Farklı tip hataların oluşturduğu olumsuz etkilerin akım ve gerilim sinüs yapılarında oluşturduğu bozucu etkiler incelenmiştir. Bozulmanın giderilmesini esas alan, bozulmanın giderilememesi durumunda ise hatalı kısmı devre dışı bırakan bir uygulama modellenerek gerçek devre üzerinde simule edilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Dengesiz Yük, Aşırı Yük, Alçak Gerilim, Analiz

## **THE ANALYSIS OF OVERLOAD AND UNBALANCED LOAD IN LOW VOLTAGE SYSTEM**

### **ABSTRACT**

The electrical energy systems, includes transformers, grids and protection equipment, is a structure that occurs transmitting electrical energy from suppliers to consumers. The transmitting of electrical energy should be inside working limits of electrical equipments, also it should be stable network systems for users and suppliers. Voltage and current values are preferably observed what for define working limits and state of balance in electrical energy systems. Also, the measure of frequency and harmonic values, it is low risky from current and voltage. Since unbalanced of current and voltage in systems is very destructive than the other values. Because of this, current and voltage values are preferably considered on over and unbalanced loads in this working. Modeling an application, based on the elimination of the distortion, if cannot be solved the distortion disables the faulty part, is simulated on the real circuit.

**Keywords:** Unbalanced Load, Overload, Low Voltage, Analyze

## İÇİNDEKİLER

|  |     |
|--|-----|
| <b>TEŞEKKÜR</b> .....  |     |
| <b>BEYANNAME</b> .....   |     |
| <b>ÖZET</b> .....  | I   |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | II  |
| <b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....                                     | VII |
| <b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....                                       | V   |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....                               | VII |
| <b>1. GİRİŞ</b> .....  | 1   |
| <b>1.1</b> Literatür Çalışması.....                                | 2   |
| <b>1.2</b> Çalışmanın Kapsamı .....                                | 3   |
| <b>1.3</b> Çalışmanın Yöntemi .....                                | 3   |
| <b>2. ELEKTRİK ENERJİ ŞEBEKE SİSTEMLERİ</b> .....                  | 4   |
| <b>2.1</b> Yapılarına Göre Şebeke Sistemleri .....                 | 4   |
| <b>2.1.1</b> Dallı dağıtım şebekeleri ve özellikleri .....         | 4   |
| <b>2.1.2</b> Ring dağıtım şebekesi .....                           | 6   |
| <b>2.1.3</b> Gözlü dağıtım şebekesi .....                          | 7   |
| <b>2.1.4</b> Enterkonnekte dağıtım şebekesi .....                  | 8   |
| <b>2.2</b> Gerilim Türlerine Göre Elektrik Şebeke Sistemleri.....  | 9   |
| <b>2.2.1</b> Yüksek gerilim elektrik şebeke sistemleri .....       | 10  |
| <b>2.2.2</b> Alçak gerilim elektrik şebeke sistemleri.....         | 10  |
| <b>2.3</b> Elektrik Şebekelerinin Güvenirliği .....                | 13  |
| <b>2.4</b> Elektrik Enerji Şebekelerinde Kullanılan Elemanlar..... | 14  |
| <b>2.4.1</b> Enerji ekipmanları.....                               | 14  |
| <b>2.4.2</b> Koruma ekipmanları .....                              | 17  |
| <b>3. ALÇAK GERİLİM ŞEBEKE SİSTEMİNDEKİ HATALAR</b> .....          | 22  |
| <b>3.1</b> Aşırı Gerilim ve Akım Hataları.....                     | 22  |
| <b>3.2</b> Faz Sırası ve Düşük Gerilim Hataları .....              | 25  |
| <b>3.3</b> Frekans Hataları .....                                  | 29  |
| <b>3.4</b> Asimetrik Yüklenmeler .....                             | 31  |
| <b>3.5</b> Sinüs Dalgası ve Harmonikler .....                      | 32  |
| <b>4. ALÇAK GERİLİM ŞEBEKELERİNDE AŞIRI VE DENGESİZ YÜK</b>        |     |

|  |    |
|--|----|
| <b>ANALİZLERİ</b> .....  | 36 |
| <b>4.1 Akım ve Gerilim Limit Parametrelerini Etkileyen Faktörler</b> ..... | 36 |
| <b>4.2 Uygulama Devresi ve Çalışması</b> .....                             | 39 |
| <b>4.2.1 Aşırı gerilim algılanması</b> .....                               | 41 |
| <b>4.2.2 Düşük gerilim algılanması</b> .....                               | 44 |
| <b>4.2.3 Yüksek akım algılanması</b> .....                                 | 46 |
| <b>4.2.4 Yüksek ve düşük frekans algılanması</b> .....                     | 49 |
| <b>4.2.5 Farklı parametre girişleri</b> .....                              | 49 |
| <b>4.2.6 Faz sırası ve dengesizliği kontrolü</b> .....                     | 51 |
| <b>5. SONUÇ</b> .....  | 55 |
| <b>KAYNAKLAR</b> .....   | 56 |
| <b>EKLER</b> .....   | 60 |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....  |    |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Şekil 1.1.</b>  | Düzgün Sinüs ve Bozuk Sinüs Dalgası .....   | 2  |
| <b>Şekil 2.1.</b>  | Dal Budak Dağıtım Şebeke Sisteminin Bir Gösterimi .....   | 5  |
| <b>Şekil 2.2.</b>  | Farklı Versiyonlarda Dal Budak Dağıtım Şebekeleri .....   | 6  |
| <b>Şekil 2.3.</b>  | Ring Dağıtım Şebekesi .....   | 6  |
| <b>Şekil 2.4.</b>  | Gözlü Dağıtım Şebekesi .....  | 7  |
| <b>Şekil 2.5.</b>  | Tek Bir Enerji Noktasından Beslenen ve Farklı Noktalardan Beslenen<br>Gözlü Dağıtım Şebeke Sistemleri ..... | 8  |
| <b>Şekil 2.6.</b>  | Enterkonekte Dağıtım Şebekesi .....   | 9  |
| <b>Şekil 2.7.</b>  | TN-C Şebeke Sistemi .....   | 11 |
| <b>Şekil 2.8.</b>  | TN-S Şebeke Sistemi.....  | 11 |
| <b>Şekil 2.9.</b>  | TN-C-S Şebeke Sistemi.....  | 12 |
| <b>Şekil 2.10.</b> | TT Şebeke Bağlantı Şeması.....  | 12 |
| <b>Şekil 2.11.</b> | IT Şebeke Sistemi .....   | 13 |
| <b>Şekil 2.12.</b> | Transformatör .....   | 15 |
| <b>Şekil 2.13.</b> | Kuru Tip Transformatör .....  | 16 |
| <b>Şekil 2.14.</b> | Kontaktör .....   | 16 |
| <b>Şekil 2.15.</b> | Zaman Rölesi.....   | 17 |
| <b>Şekil 2.16.</b> | Aşırı Akım Koruma Rölesi.....   | 18 |
| <b>Şekil 2.17.</b> | Motor Koruma Şalteri.....   | 19 |
| <b>Şekil 2.18.</b> | Termik Manyetik Açma Grafiği .....  | 20 |
| <b>Şekil 2.19.</b> | 2 Farklı Tip Sigorta Çeşidi .....   | 20 |
| <b>Şekil 2.20.</b> | Sigorta Çeşitleri. ....   | 21 |
| <b>Şekil 3.1.</b>  | Geçici Gerilim Yükselmesi .....   | 23 |
| <b>Şekil 3.2.</b>  | Çeşitli Hatalar .....   | 23 |
| <b>Şekil 3.3.</b>  | Kısa Süreli Gerilim Düşmesi.....  | 24 |
| <b>Şekil 3.4.</b>  | Gerilim Düşmesi.....  | 26 |
| <b>Şekil 3.5.</b>  | RMS Gerilim Değeri Düşme Grafiği .....  | 26 |
| <b>Şekil 3.6.</b>  | Süre-Genlik Eğrisi .....  | 28 |
| <b>Şekil 3.7.</b>  | Harmonik Bozulma Devresi .....  | 32 |
| <b>Şekil 3.8.</b>  | Harmonik Bozulmalar .....   | 33 |

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Şekil 4.1</b>   | Kontrol Şeması .....                                       | 37 |
| <b>Şekil 4.2.</b>  | Analog Veri- Sayısal Veri İşleme Blok Şeması .....         | 38 |
| <b>Şekil 4.3.</b>  | Uygulama tasarımı.....                                     | 39 |
| <b>Şekil 4.4.</b>  | Örnek uygulama devresi.....                                | 40 |
| <b>Şekil 4.5.</b>  | Akış Şeması .....  | 41 |
| <b>Şekil 4.6.</b>  | Aşırı Gerilim Uygulama Grafiği .....                       | 44 |
| <b>Şekil 4.7.</b>  | Düşük Gerilim Uygulama Grafiği .....                       | 46 |
| <b>Şekil 4.8.</b>  | Aşırı Akım Uygulama Grafiği .....                          | 48 |
| <b>Şekil 4.9.</b>  | Sıcaklık Sensörü .....                                     | 50 |
| <b>Şekil 4.10.</b> | Nem Sesörü ve Kontrol Ünitesi.....                         | 50 |
| <b>Şekil 4.11.</b> | Deprem Sensörü .....                                       | 51 |
| <b>Şekil 4.12.</b> | Sıfır Geçiş Dedektörü Her Bir Faz İçin .....               | 52 |
| <b>Şekil 4.13.</b> | Sıfır Geçiş Dedektör Giriş ve Çıkış Sinyal Gösterimi ..... | 53 |
| <b>Şekil 4.14.</b> | R-S-T Fazları Arası Açık Farkının Gösterimi .....          | 54 |

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

|  |    |
|--|----|
| <b>Çizelge 3.1</b> Harmonik Etkiler ve İzin Verilen Nominal Seviyeler..... | 35 |
| <b>Çizelge 4.1.</b> Aşırı gerilim uygulama verileri. ....                  | 43 |
| <b>Çizelge 4.2.</b> Düşük gerilim uygulama verileri. ....                  | 45 |
| <b>Çizelge 4.3.</b> Aşırı akım uygulama verileri. ....                     | 48 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

|              |   |
|--------------|---|
| KWH          | : Kilowatt saat   |
| TL           | :Türk Lirası  |
| EMK          | : Elektro Motor Kuvveti                                 |
| I            | : Akım (Amper)  |
| W            | : Watt  |
| V            | : Voltaj  |
| mV           | : Milivolt.   |
| E1           | : Girişte indüklenen EMK (Volt)                         |
| E2           | : Çıkışta indüklenen EMK (Volt)                         |
| U1           | : Girişe uygulanan gerilim (Volt)                       |
| U2           | : Çıkıştan alınan gerilim (Volt)                        |
| N1           | : Giriş tur sayısı                                      |
| N2           | : Çıkış tur sayısı                                      |
| I1           | : Giriş akımı (Amper)                                   |
| I2           | : Çıkış akımı (Amper)                                   |
| k            | : Transformatör dönüştürme oranı                        |
| Us           | : Tur başına düşen gerilim (Volt/Tur)                   |
| F            | : Frekans (Hz)  |
| $\phi_{max}$ | : Manyetik akı (Weber),                                 |
| Kc           | : Çekiş yönünde kayıp                                   |
| Pb           | : Transformatör boшта kaybı                             |
| Pcu          | : Transformatör bakır kaybı                             |
| Ec           | : Transformatörden aktarılan aylık enerji miktarı (KWH) |
| Tc           | : Aylık saat miktarı (h)                                |
| Pn           | : Transformatör anma gücü (KVA)                         |

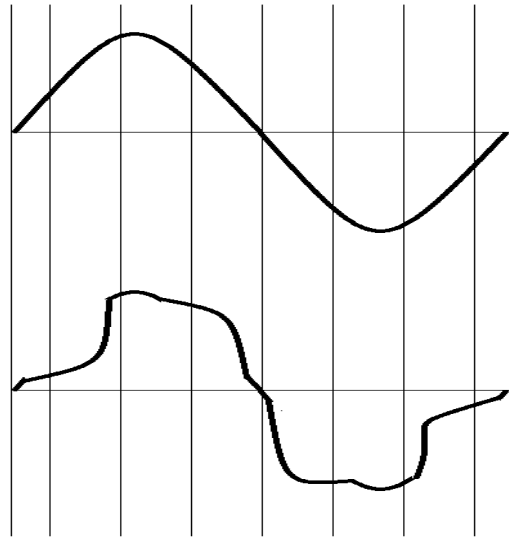
## 1. GİRİŞ

Elektrik şebekeleri ve tesisatlarında gerilim ve akım değerlerinin sınır değerleri aşmaksızın normal değerlerde kalması istenir. Bu amaçla, şebekelerde ve tüketici abonelerde, akım, gerilim, güç katsayısı ve frekans değerleri gerek gözlem ile gerekse otomatik olarak sürekli izlenir.

Elektrik enerji sistemlerinde, aşırı akım oluşumu bir çok kez karşılaşılan sorunların temelini oluşturmaktadır. Aşırı akım çekilmesi; kısa devre, bölgesel büyük yüklerin ani devreye girmesi, yıldırım v.b. sebeplerden kaynaklanabilmektedir. Kısa devre ve kısa devre akımına yakın büyük akım geçişleri, bir çok durumda sigortalar ve kesici koruma elemanları tarafından algılanarak etkili koruma gerçekleştirilebilmektedir.

Oluşan büyük değerdeki hata akımı, elektrik enerji sisteminde kesinlikle açma yaptıracak bir nokta bulacaktır. Burada önemli olan; açmanın gerçekleştiği bu noktanın bir koruma sistemi olması ve yeterli seçicilik sağlanarak açmanın mümkün olduğunca dar bölgeyi enerjisiz bırakmasıdır. Arıza akımı aşırı büyümeden yada büyük bir bölgeyi etkileyecek seviyeye gelmeden koruma elemanlarının devreye girmesi, elektrik enerji sistemi içerisinde güvenilirlik kalitesini arttıracaktır. Bu sebeple, aşırı akım oluşturabilecek hataların mümkün olduğunca çabuk algılanarak, elektrik enerji sisteminde dar bir bölge içerisinde sınırlandırılması büyük önem arz eder.

Burada, elektrik enerji sistemlerinde oluşmakta olan aşırı yada kısa devre akımları ile bu hata akımlarının oluşturduğu dengesizlikleri, oluşumlarının başlangıcı aşamasında tahmin ederek belirleyebilen bir tasarım modeli gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen prototip uygulama üzerinde; hat akımları, hat gerilimleri, termik sıcaklık farklılıkları, frekans ve fazlar arası denge sürekli olarak analiz edilebilmektedir. Elde edilen veriler yapay sinir ağları uygulama metodu kapsamında değerlendirilerek, kabul edilebilir risk sınırları aşıldığında, hatayı en dar bölgede sınırlayıcı koruma tedbirleri devreye sokulmaktadır.



**Şekil 1.1.** Düzgün sinüs ve bozuk sinüs dalgası.

### 1.1 Literatür Çalışması

Konu ile ilgili daha önceden yapılan çalışmalar ele alındığında;

Latran., M.B. ve Teke., A. (2014) gerçekleştirdikleri "Güç Kalitesi Problemlerini Düzeltten Dağıtım Sistemine Paralel Bağlı Evirici Tabanlı Kompanzatorlerin İncelenmesi" adlı çalışmalarında güç sistemlerinde karşılaşılan farklı güç kalitesi problemlerini farklı kontrol yöntemleri üzerinde durmuşlardır.

"Investigation Of Power System Transient Disturbances In Frequency and Time-Frequency Domains" adlı çalışmalarında açma kapama olaylarında yüksek frekanslı bozulmalar üzerinde durmuşlardır (Yılmaz ve Alkan, 2014).

"Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Gerçek Zamanlı Ölçüm ve Analizi" adlı çalışmalarında, gerçek zamanlı harmonik ölçümlerini alarak Labview programında yorumlamayı ele almışlardır (Demirbaş ve Bayhan, 2009).

Reddy vd. (2012) yılında hazırlanan 'Power quality analysis using Discrete Orthogonal S-transform (DOST)' adlı çalışmalarında güç kalitesi için S-Transform sunumu ile zaman-frekans bozulmaları üzerinde durmuşlardır.

Fellow vd. 1983 yılında hazırlanan 'Relationship Between Voltage Instability And Multiple Load Flow Solutions In Electric Power Systems' adlı çalışmalarında gerilim bozucu durumlar üzerinde durmuşlardır.

Konu ile ilgili birçok çalışma bulunmakla beraber, enerji sistemlerinde güç kalitesini bozan sebeplerin analizleri ve bunların ortadan kaldırılması üzerine olmuştur.

Özellikler bu bozucu etkilerden harmonik, gerilim ve akım gibi nedenlerin giderilmesi üzerine olmuştur.

## **1.2 Çalışmanın Kapsamı**

Gerçekleştirilen çalışma, alçak gerilim şebeke sistemleri üzerindeki gerekli değişkenlerin izlenerek aşırı ve dengesiz yüke neden olacak değerlerin analizlerini ve bunlara karşı yapılabilecek önlemleri kapsamındadır. Öncelikle gerilim ve akım dengesiz ve alırı yüklenmelerinden doğan bozulmaların giderilmesi ve o kolların devreden çıkarılması üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan gerçek zamanlı modelleme ile şebeke üzerindeki akım, gerilimi frekans ve diğer ana değişkenlerin izlenerek bunların beklenen ve tolerans değeri içinde olmayan hatların devreden çıkarılması modeli üzerinedir.

## **1.3 Çalışmanın Yöntemi**

Ana şebeke veya alt kollara oluşabilecek aksaklıkları incelemek ve bunları pasivize etmek ana çıkış hedefimizi oluşturmaktadır. 3 fazlı bir sistemde şebeke kolu üzerinde akımlar gerilimler frekans değerleri anlık olarak takip edilmektedir. Akım ve gerilim değerleri yardımcı ekipmanlar ile anlık ölçülmekte frekans değeri ise gerilim dalgası üzerindeki ölçümlerin hesaplanması ile yapılmaktadır. Bu değerler olması gereken değerin tolerans değerleri içerisinde ise olumlu bu değerlerin dışına çıkılması durumunda ise bu hangi kolda ise o kolun devre dışı bırakılması üzerindedir. Bu durum diğer kollara etki etmeden hatanın olduğu yerde saklanması üzerine olmuştur.

Sistemin modellemesinde Atmega işlemcisi kullanılmıştır. İşlemcinin kolay programlanabilmesi ve test edilmesi için Arduiono UNO eğitim seti kullanılmıştır. Bu sette PİCOLO serisi işlemci yer almaktadır. İşlemcinin analog ve dijital giriş çıkışları aktif olarak kullanılmıştır. Sistemin ana çıktısı olarak açma bilgisi kullanılmıştır.

## 2. ELEKTRİK ENERJİ ŞEBEKE SİSTEMLERİ

Elektrik enerji şebeke sistemleri yapılarına ve gerilim türlerine göre farklı şebeke sistemlerine ayrılırlar. Bu çalışmada alçak gerilim elektrik şebeke sistemleri üzerinde durulmakla beraber diğer tür şebeke sistemleri de kısaca ele alınmaktadır.

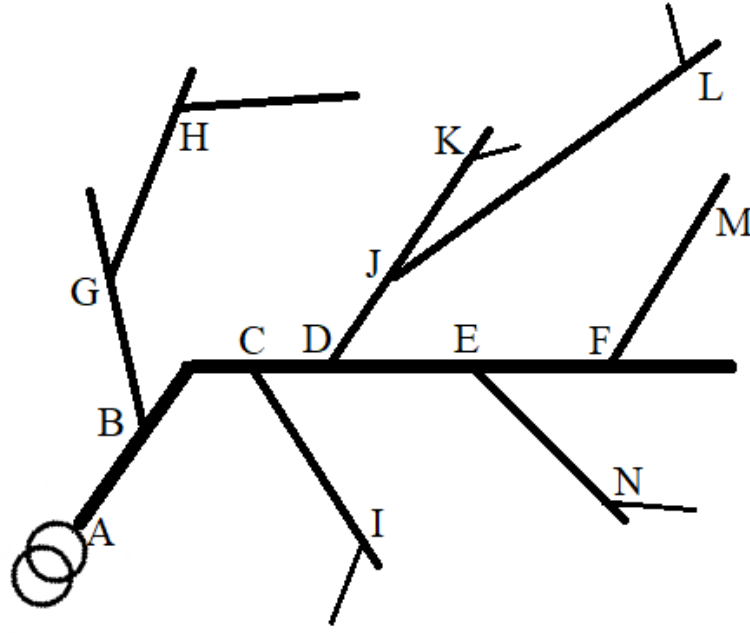
### 2.1 Yapılarına Göre Şebeke Sistemleri

Alçak gerilim dağıtım bölgelerinde dağıtımı sağlayan hatlar vardır bunların birbirine bağlanması ile kollar bu kolların birbiri ile oluşturduğu sisteme şebeke denir. Enerji dağıtım yönetmelikleri gereği şebekeler teknik açıdan incelendiğinde 4 farklı şebeke sistemi vardır. Bunlar,

- Dallı Dağıtım Şebekesi
- Ring dağıtım şebekesi
- Gözlü dağıtım şebekesi,
- Enterkonnekte dağıtım şebekesi.

#### 2.1.1 Dalı dağıtım şebekeleri ve özellikleri

Genellikle şehir köy kasaba yaşam merkezlerinde, sanayilerde enerji kaynağı tek bir nokta olan ve şekil gereği ağacın dallarına benzeyen sistemlere dalı dağıtım şebeke sistemleri denir. Bu sistemde enerji beslemesinin yapılacağı ana noktaya dağıtım transformatörü yerleştirilir ve şebekenin başlangıç noktası burası kabul edilir. Besleme noktasından alıcılara ulaşım aynı ağalarda olduğu gibi kalın hatlara oradan da ince hatlara doğru bir dağılım olur ve son kullanıcıya kadar enerji taşınmış olur. Bu dağıtım şebekesi aynı ağacın dalları gibi olduğundan aynı zamanda dalbudak dağıtım şebeke sistemi denir.



Şekil 2.1. Dal budak dağıtım şebeke sisteminin bir gösterimi.

Şekil 2.1’de dal budak sistemine örnek bir gösterim görmektesiniz. Dağıtım transformatörü enerji besleme noktasından çıkan ve kalın kesitlerde oluşan kollara ana hatlar denir. Bu kollar ilk ana besleme noktasından çıkan ve bu noktaya yakın olan kollarıdır. Ana besleme noktasından uzaklaştıkça ve incelen kesitlerden oluşan hatlara branşman denir bunlar aynı zamanda dallar olarak da adlandırılır. Şekil 2.1’de gösterilen A, B ve C kalın ana çıkış noktaları ana hatları, G, H, I, J ve K ince olarak gösterilenler de dalları branşmanları gösterir. Bu sistem kurulum, yatırım ve bakım anlamında ucuz olduklarından tercih edilir. Bu sistemlerde arızanın tespiti ve bakımının yapılmasında oldukça kolaylık sağlanmaktadır.

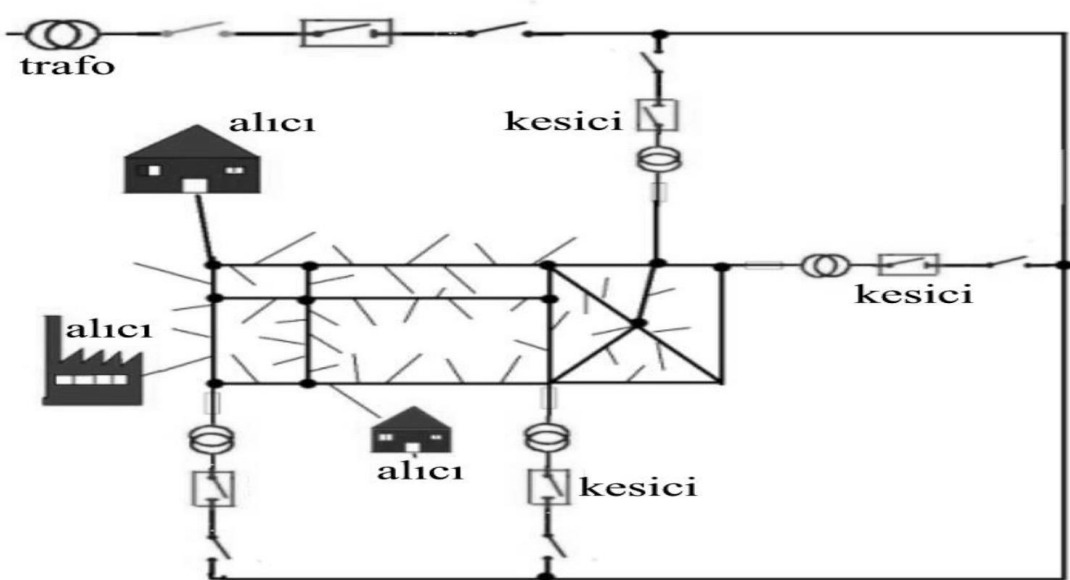
Avantajların yanı sıra bu tarz sistemlerinde bazı dezavantajları vardır. Emniyet bu tarz sistemlerde geri planda bırakılmıştır, bir kol üzerinde arıza olması durumunda tüm kullanıcıların enerjisiz kalması riski mevcuttur. Kollar üzerinde gerilimin aynı değerde sağlanmasında problem yaşanabilir. Tek bir besleme noktası olduğu için hattın sonlarına doğru gerilim düşümleri yaşanabilir. Ek olarak Şekil 2.2’de gösterilen dal budak sistemleri farklı tipte kurulmuş bir sisteme örnek olarak gösterilebilir.



öndedir. Ek bir dezavantaj olarak bu tarz kurulan şebeke sistemlerinde ileride bir kullanıcı artırımının olması durumunda hat kesitlerinin eşit olmasından kaynaklı tüm hatların yenilenmesi çok maliyetli bir yatırım demektir. Bu durum dal budak şebeke sistemlerinde sadece yeni kullanıcının geldiği hattın yenilenmesi yapılabileceğinden maliyeti ring şebeke sistemine göre oldukça düşük olacaktır.

### 2.1.3 Gözlü dağıtım şebekesi

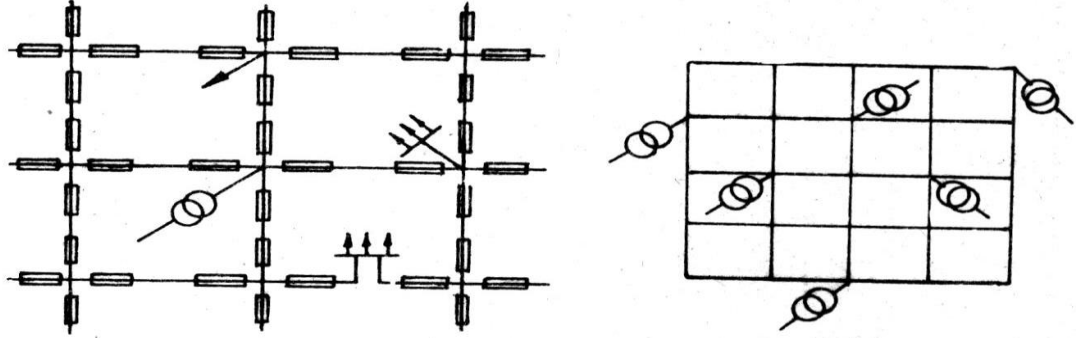
Genellikle şehir köy kasaba yaşam merkezlerinde, sanayilerde, enerji beslemesinin birkaç trafo üzerinden yapılması ve dağıtım hatlarının birbirine örgü şeklinde bağlanarak tüm dağıtım şebekesi içerisinde gözler oluşturmaya gözlü dağıtım şebeke sistemi denir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Gözlü dağıtım şebekesi.

Gözlü şebeke sistemleri aynı ring şebeke sisteminde olduğu gibi arızanın tüm hattın izole edilerek diğer kullanıcılara enerji verilmesi sağlanmış olur. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi bazı gözlü şebeke sistemlerinde besleme tek bir noktadan yapılabilir bu durumlarda da arızanın olduğu nokta kesici yardımı ile hattın ayrılarak sistemin diğer kullanıcılar enerji beslemesi yapılmış olur (Casolino ve Losi, 2017). Tabi ki bu durum hat üzerinde oluşan arıza durumlarında trafo da yaşanabilecek bir arıza tüm hattın enerjisiz kalmasına neden olacaktır.

Bu sistemin avantajlarını saydığımızda kesintisiz kullanıcılara enerji verilmesi son kullanıcılarda gerilim düşümü olaylarının çok nadir olması sayılabilir. Bunların yanında gözlü dağıtım şebeke sistemlerinin yatırım maliyeti işletmesi ve bakımı oldukça zor yük maliyetlidir. Kısa devre akımı etkisinin bu sistemlerde olması emniyet ve güvenlik açısından büyük bir dezavantajdır.



**Şekil 2.5.** Tek bir enerji noktasından beslenen ve farklı noktalardan beslenen gözlü dağıtım şebeke sistemleri.

#### 2.1.4 Enterkonnekte dağıtım şebekesi

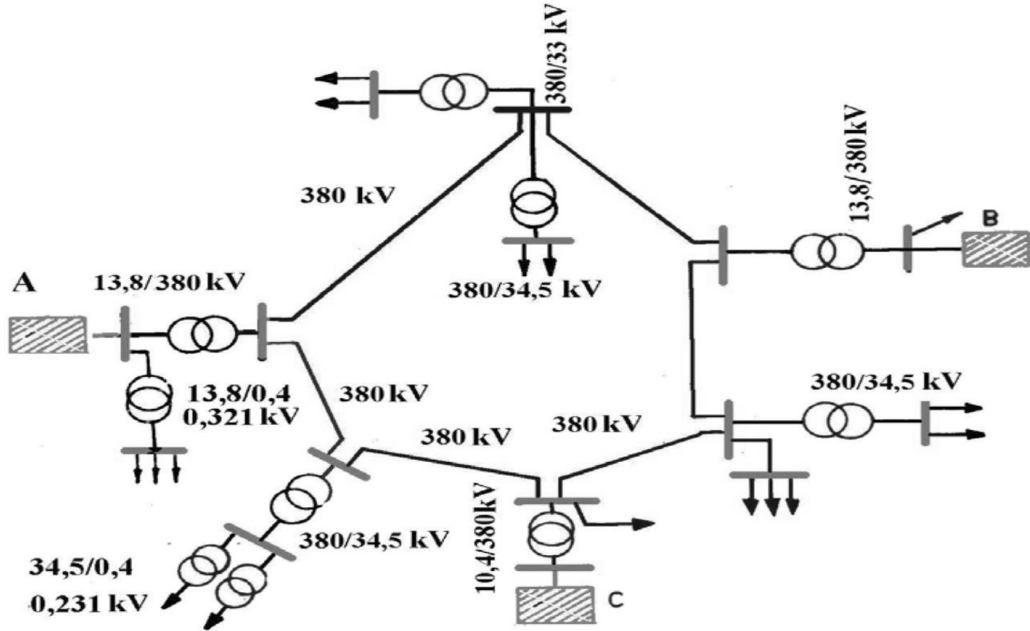
Elektrik enerji sistemlerinde enerjinin naklinde maliyet ve güvenilirliğinin yüksek olmasından, özellikle çok yüksek enerji alışverişi için farklı sistemler veya uluslararası bir bağlantı olması sağlayan dağıtım sistemlerine enterkonnekte dağıtım şebekesi denir (Şekil 2.6).

Bu dağıtım şebekesinde her türlü son kullanıcı küçük büyük olmasında ya da enerji arzının oranına bakılmaksızın sisteme dahil edilir. Bu sistemin avantajlarını sıraladığımızda tüm kullanıcılara kesintisiz bir enerji beslemesi yapabilme, verimlilikte yüksek oranlara ulaşma, enerji santrallerinin yatırım kurulum ve işletme maliyetlerini azaltması gibi sayılabilir. Dezavantajlarına baktığımızda ise; kısa devre akımının oranının hayli yüksek olması, bu arızalardan çok yüksek oranda kullanıcının etkilenmesi sayılabilir.

Bu dağıtım şebeke sisteminde bir arıza olduğunda diğer kullanıcılara kesintisiz bir enerji beslemesi yapılmış olur, sistem içerisinde bir enerji besleme noktasının arızalanması durumunda bu besleme noktalarına diğer santrallerden enerji beslemesi yapılabilir.

Her ülkenin ya da bir kaç komşu ülkenin oluşturmuş olduğu bir enterkonnekte dağıtım şebekesi vardır. Ülkelerin kendi içerisinde küçük çapta çalışan santralleri bulunabilir, ve genel sistemi etkilemezler. Türkiye’de bir enterkonnekte şebekeye sahiptir. Bu şebeke içerisinde yaklaşık 350 kadar enerji beslemesi yapan santral vardır ve bütün bu santraller sistem içerisinde birbirine paralel bağlı çalışmaktadırlar. Böylece, santraller ile yerleşim yerleri arasında yaklaşık 40 bin km uzunluğundaki şebeke hatları bir ağ şeklinde tesis edilmiştir.

Türkiye komşuları Bulgaristan, Suriye, Gürcistan, Irak, Suriye ve Rusya ile birlikte bir enterkonnekte sistem içerisinde bu ülkelerinin şebekelerine bağlıdır. Bu sistem ile ülkeler arasında enerji alışverişi yapılmaktadır.



Şekil 2.6. Enterkonnekte dağıtım şebekesi.

## 2.2 Gerilim Türlerine Göre Elektrik Şebeke Sistemleri

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisler Yönetmeliği'ne (2000) göre gerilim türlerine bakıldığında şebekeler ikiye ayrılır.

- Yüksek gerilim şebekeleri
- Alçak gerilim şebekeleri

### 2.2.1 Yüksek gerilim elektrik şebeke sistemleri

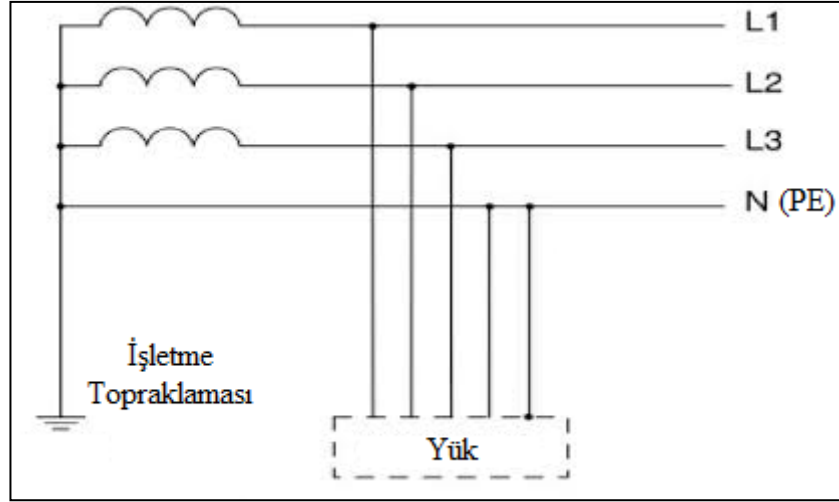
Etkin değeri 1 kv üstü gerilim kullanan kullanıcıların oluşturduğu sistemlere yüksek gerilim elektrik şebeke sistemleri denir. Elektrik enerjisinin üretildiği nokta ile alçak gerilim dağıtım noktalarının başlangıç noktası arasında kullanılan şebeke sistemleridir. Bu gerilim türleri dağıtım değil daha çok iletme uygundur ve bu amaç için kullanılırlar. İletim amaçlı kullanımlarda düşük gerilimlerde çok fazla enerji kaybı olacağı için yüksek gerilimler iletim için seçilir ve kullanılırlar. Türkiye’de bir örnek verecek olursak 31,5 66 ve 154 kV yüksek gerilim hatlarında kullanılan gerilim türleridir.

### 2.2.2 Alçak gerilim elektrik şebeke sistemleri

Etkin değeri 1 kV ve altı gerilim değerlerine sahip sistemlere alçak gerilim şebeke sistemleri denir. Bu şebeke sistemleri dağıtım trafoları ile son kullanıcı arasındaki hatları ve ekipmanları içeren şebekelerdir (Chen, vd. 1991). Bu gerilim seviyesi emniyetli ve korunması basit olduğundan son kullanıcının olduğu noktalarda seçilir. Türkiye’de alçak gerilim, 220 ve 380 V olarak kullanılır.

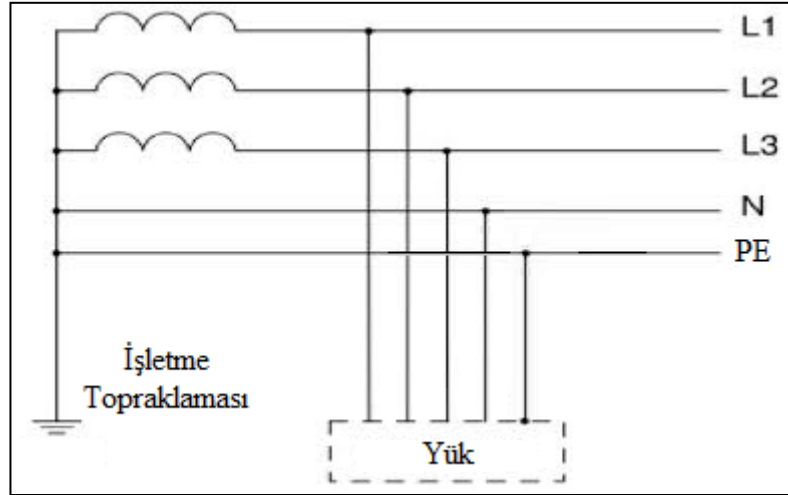
Elektrik İç Tesisler Yönetmeliği’ne (1998) ve TS IEC 60621-1’e (2007) göre, bu şebeke sistemine ana 3 çeşit şebeke bağlantı şekli vardır. Bağlantı şekillerine isimler şu şekilde tanımlanabilir; ilk harf trafonun başlangıç noktasının topraklanmasını 2. Harf ise ekipmanların koruma amaçlı topraklanma durumunu gösterir. T harfi toprağa bağlantı şeklini, I harfi ise yalıtımı, N Nötr bağlantı şeklini ifade ederken koruma iletkenleri ise PE koruma iletkenini gösterirken, S ise ayrı iki iletkeni ifade eder. Burada ayrı olan toprak ve nötr iletkenleridir. C ise koruma iletkeni ile nötr hattının birleştirildiği hatlardır ve PEN ifadesi ile gösterilir.

TN şebeke sisteminde, şebekenin bir ucu yani trafo merkezinde yer alan transformatörün yıldız noktası direk olarak topraklanır ve bu yapılan iletken işletme topraklaması olarak adlandırılır. Trafo tesisi tarafında yer alan tüm madeni kısımlar işletme topraklamasına bağlanır. Faz-toprak hatasında PE veya PEN koruma hatlarının toprağa göre gerilimleri yükselir. Bu gerilimin sınırlandırılması gerekmektedir, bu yüzden işletme topraklamasının toplam direnci 2 ohm değerini geçmemelidir. TN-C şebeke sisteminde tesisin tüm kısımlarında koruma ve nötr iletkenleri birleştirilir ve bir iletken olarak (PEN olarak adlandırılır) toprağa bağlandığı şebeke tipidir (Şekil 2.7).



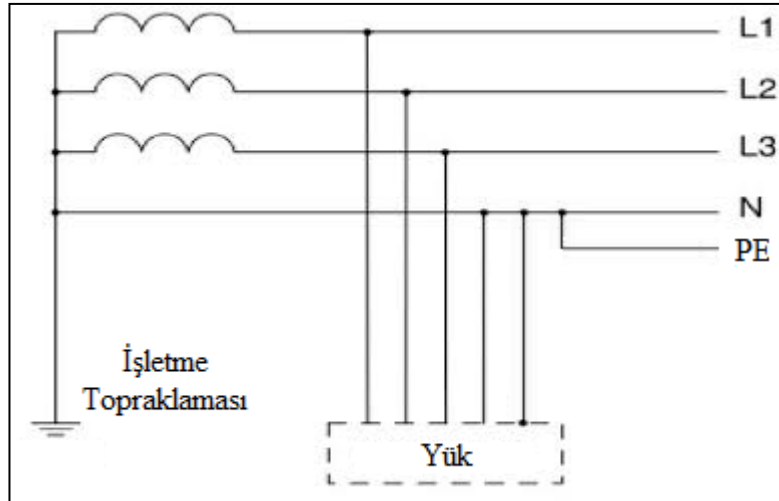
**Şekil 2.7.** TN-C şebeke sistemi.

TN-S şebeke sisteminde, PE koruma hattı işletme topraklamasından ayrı olarak toprak ile bağlanır. Bu sistemde koruma hatları ve nötr hatları ayrıdır (Şekil 2.8).



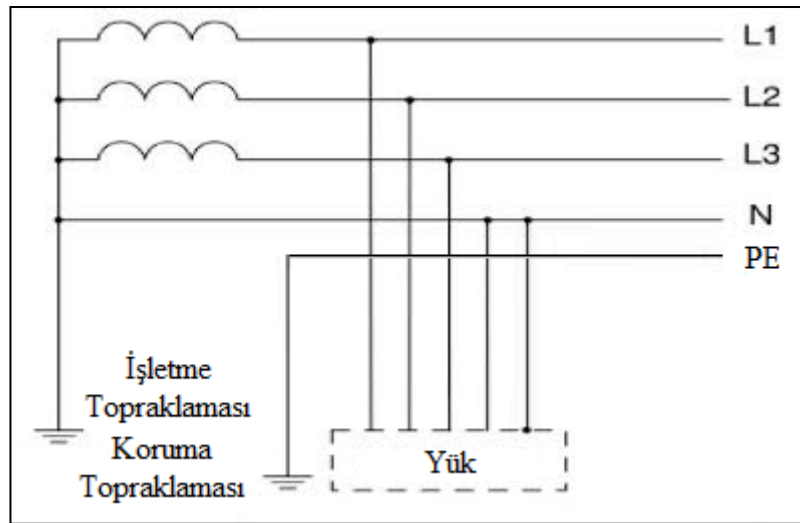
**Şekil 2.8.** TN-S şebeke sistemi.

TN-C-S şebeke sistemlerinde koruma ve nötr iletkenleri tesisin bir kısmında ayrı iken bir kısmında birleşik olarak çekilmelidir (Şekil 2.9).



**Şekil 2.9.** TN-C-S şebeke sistemi.

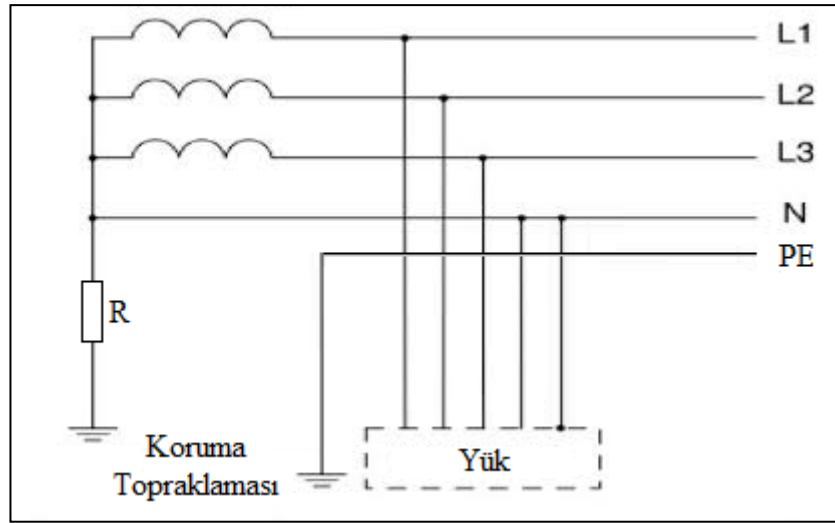
TT şebeke sisteminde şebekenin yıldız noktası işletme noktasına sahip olup, tesisdeki tüm metal kısımları kapsayacak şekilde ve işletme topraklamasından ayrı olacak şekilde bağlanan bir koruma topraklanması mevcuttur (Şekil 2.10).



**Şekil 2.10.** TT şebeke bağlantı şeması.

IT şebeke sisteminde yıldız bağlantısı yalıtılmış olmalıdır ya da değeri büyük olan bir empedanslı hat üzerinden topraklanabilir. Kullanıcı tarafındaki cihazlar için koruma hattı üzerinden topraklama mevcuttur. Şebekede yaşanacak ilk faz hatası durumunda kısa devre oluşmaz iken, 2. izolasyon hatası topraktan kaynaklanabilecek bir kısa devreye

neden olabilir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. IT şebeke sistemi.

### 2.3 Elektrik Şebekelerinin Güvenirliği

Enerji sistemlerinden güvenilirlik ve durağan sabit bir sistem olması kaçınılmazdır. Son kullanıcı tarafından gelen güvenilirlik şikayetlerinin %90'ı alçak gerilim dağıtım şebekelerinden gelmektedir. Enerji sağlayıcı firmaların ana amacı müşteri olan son kullanıcılardan gelen bu şikayetleri ortadan kaldırmaya yöneliktir. Küçük ölçekli enerji üretim tesislerinin alt enerji iletim ve dağıtıma bağlı olarak değerlendirilmesi özellikle güvenilirlik problemi yaşayan dağıtım bölgelerinde tüketici için katkıda bulunabilir.

Sistemde yaşanan planlama işleyiş eksiklikleri enerjinin üretim dağıtım ile daha önemi bir hal almaktadır. Elektrik sisteminin güvenliğinde enerji üretim ve dağıtımının iki önemli faktörü vardır, birincisi “İşletmeye hazır alçak gerilim şebekesi ve onun sisteme olan bağlantı amacı”, ikincisi “Enerji kaynağı alçak gerilim sistemine bağlıdır”. Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi sürekli olmayan ve depolanmayan enerji kaynaklarına bağlı olan sistemler için daha karmaşık bir model gerekir (Saeedi, 2016).

Elektrik şebekelerinin güvenliği iki yolla ölçülür: ilk olarak, matematiksel bir dizi hesaplarla yapılan çözüm dür. Monto Carlo simülasyonu (MCS) elektrik dağıtım şebekesinin güvenliğini değerlendirebilmek için uygun bir yol olarak kullanılması tavsiye edilmiştir. Güç dağıtım sistemlerinde çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılan MCS simülasyonu, güvenliği nedeniyle dağıtım sisteminin karmaşık ve

doğrusal olmayan sistemlerde fazlasıyla kullanışlıdır (Dündar (2002)). Bu metot, yük noktası ve sistem güvenilirliği hakkında, analitik metoda göre daha fazla bilgi ve veri sağlamaktadır.

## 2.4 Elektrik Enerji Şebekelerinde Kullanılan Elemanlar

Elektrik şebeke sistemlerinde genellikle kullanılan ekipmanlar elektriğin dağıtımında kullanılan koruma ve anahtarlama elemanlarıdır. Günümüzde kullanılan ekipmanların ağırlığı mekanik aksamı olsa da teknolojik gelişmelerle elektronik ve mikro işlemci bazlı mekanik koruma elemanları da hızla artmaktadır.

### 2.4.1 Enerji ekipmanları

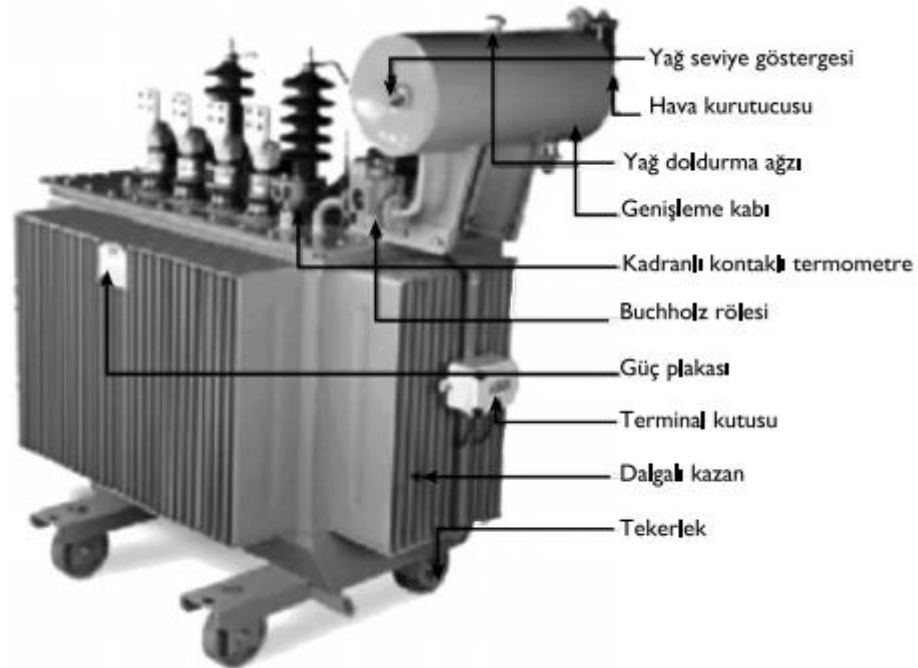
Elektrik tesislerinde, gerilim ve akımı sağlamak, dağıtmak ve kontrol etmek için bazı ekipmanlar kullanılır. Bunlar transformatörler, dağıtım hat ve elemanları (iletken, direkler, izalatörler), kontaktörler, şalterler ve zaman rölesi'dir.

Transformatörler, enerjinin korunması prensibi altında akım ve gerilim değerlerin elektromanyetik indüksiyon yoluyla istenilen değere değiştirilmesine yarayan aygıtlardır. Elektrik üreticiden son kullanıcıya kadar farklı işlemlere tabi tutulur. Birinci adım santralde üretilen elektrik yüksek gerilimlere çıkarılır böylelikle elektrik iletme hazır hale getirilmiş olur. İletim hatları ile alçak gerilim giriş noktasına getirilen enerji, yüksek gerilimden alçak gerilim seviyesine düşürüldüğünden, burada giriş gerilimi yüksek olur ve bu işlemler güç transformatörleri tarafından gerçekleştirilir. Güç trafoları oldukça önemli ekipmanlardır bu yüzden merkezlerin konumu oldukça önemlidir. Ek olarak güç ve gerilim kapasitesine bakıldığında 1600 kVA ve 35 kV 'a kadar olan trafolar dağıtım trafoları denir.

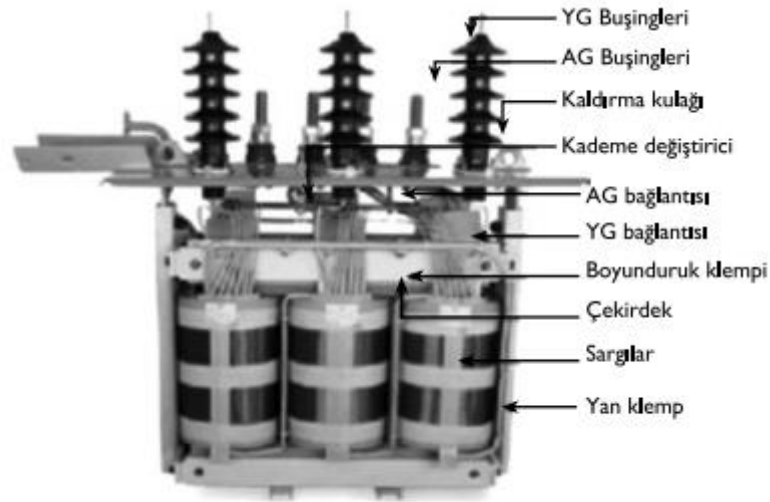
Dağıtım trafolarında bağlantı düzeneği olarak yüksek gerilim tarafındaki sargılar yıldız veya üçgen, alçak gerilim tarafındaki sargılar ise zikzak veya yıldız olarak kullanılır. Bu trafolarda gerilim düşümünün minimum seviyede olması için trafo kısa devre gerilimi %4 civarında olması beklenir. Ek olarak muhtelif bir kaç noktadan beslenen şebekelerde trafolar arası mesafe 300 metre ve daha düşük bir değerde ise kısa devre empedansları eşit alınır. Trafolar dağıtım bölgelerinde 1600 kVA seviyelerine kadar bulunur ve bunlar 3 tipte bulunur yağlı (Şekil 2.12), hermetik vekuru tip trafolar. 10 kV ve üzeri trafolarda yağlı tip tercih edilir bunlarda trafo ve sargılarının soğutulması için yağ içerisinde bulunurlar. İçerisinde yağ olmayan hava ile soğutma işlevi bulunan harici

soğutma istemleri bulunan trafolar kuru tip trafo denir (Şekil 2.13). Kuru tip trafolar da sargı üzerinde epoksi reçine kullanılır bu sargıların nemden korunması sağlar buda bu tip trafoların zorlu tozlu nemli ortamlarda çalışmasını sağlar. Ek olarak kuru tip trafolar yağlılara göre boyut anlamında oldukça küçük olması bu trafoların yatırım kurulum maliyetlerini oldukça düşürmektedir. Hermetik tip trafolar ise vakumlu ortamda montajı yapılmış yağlı tip trafolar diyebiliriz. Bu trafoların yağlılara göre avantajı kapalı bir sistem oldukları için bakım giderleri oldukça düşüktür. Yağlı tip trafoda olan bazı yağa özgü ekipmanlar olmadığı için boyut olarakta küçüktür.

Trafolar kullanım yerlerine ve boyutlarına göre iki farklı durumda konumlandırılırlar; direk ve bina tipi trafolar. Direk tipi trafolar 400 KVA ya kadar olan boyutlarda kullanılır, bu trafoların direk üstüne yerleştirilmesi maliyet ve yer kazancı açısından oldukça önemlidir. Bina tipi trafolar ise daha büyük boyutlarda kullanılır direk tipine göre avantajı kötü hava şartlarından etkilenmezler.



**Şekil 2.12.** Transformator.



**Şekil 2.13.** Kuru tip transformatör.

Kontaktörler, normal şartlarda veya aşırı yüklenmelerde akımı kesme ve yol verme özelliğine sahip uzaktan kontrol edilebilen ve kumanda edilen ekipmanlara denir.(Şekil 2.14) Bu ekipmanlar bir çok saha ekipmanına yol verme açma kapama işlemlerinde kullanılır.



**Şekil 2.14.** Kontaktör.

Kontaktörlerin devreyi çok kısa sürede açma kapama özelliği vardır. Ek olarak kontaktörlerin en sık tercih edilme sebebi uzaktan kumanda edilebilir olmasıdır. Kontaktörler bobin, palet ve kontakten oluşur. Kontaktör bobinler hem AC hem DC kumanda gerilimleri ile çalışırlar. Bobine gerilim uygulandığında bir manyetik alan oluşturulur ve maksimum noktada palet çekilir.

Palet kontaktörün çekirdeğidir ve hareketli kısımdır. Kontaklar palet üzerinde yer alır bobin tarafından oluşan manyetik alan paleti hareket ettirir ve kontaklarda hareket

etmiş olur.

Kontaklar iki çeşittir normalde açık ve normalde kapalı olan kontaklar. Kontak malzemesi nikel bakır demir karbon ve tungstenden yapılmış alaşımlardan oluşur. Kontaktörde güç ve yardımcı kontaklar bulunur. Güç kontakları kontaktörün ana elamanıdır ve yüksek akıma karşı dayanıklıdır. Yardımcı kontaklar ise yardımcı ekipmanlarda kullanılır röleler gibi.

Zaman röleleri içerisinde bir adet bobin yer alır, bu bobine bir gerilim uygulandığında veya tamamen gerilim kesildiğinde kontakları yer değiştiriyorsa bu rölelere zaman rölesi denir (Şekil 2.15). Bir sistem içerisinde kullanılmakta olan rölenin ilk harekete geçtiği andan, çıkış bilgisini zaman gecikmesiyle oluşturması koşulu olabilir, bunlar için zaman röleleri uygun bir ekipmandır. Zaman röleleri devreye girip devreden çıkma sürelerini sistemin gerektiği şekilde ayarlanabilir.



**Şekil 2.15.** Zaman rölesi.

#### **2.4.2 Koruma ekipmanları**

Genellikle koruma ekipmanları olarak geçen ekipmanlar genel anlamda aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Aşırı Akım rölesi
- Motor koruma şalterleri
- Sigortalar

Şekil 2.16'da göreceğiniz bir aşırı akım rölesi, elektrik motorları üzerinden geçecek aşırı akımları önlemek için kullanılan ekipmanlara aşırı akım rölesi denir. Aşırı akım rölesi

koruyacağı ekipmanının besleme noktası üzerinde bir noktaya seri olarak bağlanır. Ekipmanın şebekeden çektiği akım röle üzerinden geçer. Elektrik motorunun çektiği akım ilk başlama devrinin yükselmeye başladığı anda nominal akımının 2-3 katı seviyelerine yükselir. Bu olay kısa süreli olacağı için ekipmana zarar vermez fakat belli bir süre bu akım motor üzerinden geçer ise ekipmana zarar vermeye başlar ve motor sargıları üzerindeki sıcaklık yükselir ve ekipmanın yanmasıyla sonuçlanabilir. Bu prensibe uygun aşırı akım rölesi kısa süreli yükselmelerde devreden çıkmaz iken limitleri aştığı durumlarda devreden çıkarak motoru korumuş olur.



**Şekil 2.16.** Aşırı akım koruma rölesi.

Motor koruma şalterleri motor uygulamalarında sistemde yaşanabilecek herhangi bir kısa devre veya aşırı akım durumlarında motoru devre dışı bırakarak ekipmanı korumaya almış olur (Şekil 2.17).

Kısa devre, aşırı yük ve faz hatasına karşı korumayı motor koruma şalterleri yerini almıştır ve bu sayede elektrik panolarında yerden ve malzeme de ekonomik kazançlar sağlanmış, ek olarak panoda yer kazancı boyutların küçülmesini sağlamıştır. Yardımcı açık ve kapalı kontakları ile durum bilgisi alınarak şalterin hangi (on-off) konumda olduğunu otomasyon sistemlerinde kullanarak farklı durumlarda bilgi olarak kullanılır.

Bu ekipmanlar sahada kullanılacak motorların gücüne göre seçilmelidir. Bunların üzerinde termik ayar sahaları bulunmaktadır bu yüzden büyük seçilecek bir şalter motorun uzun süre aşırı akıma maruz kalmasına ve yanmasına neden olur.



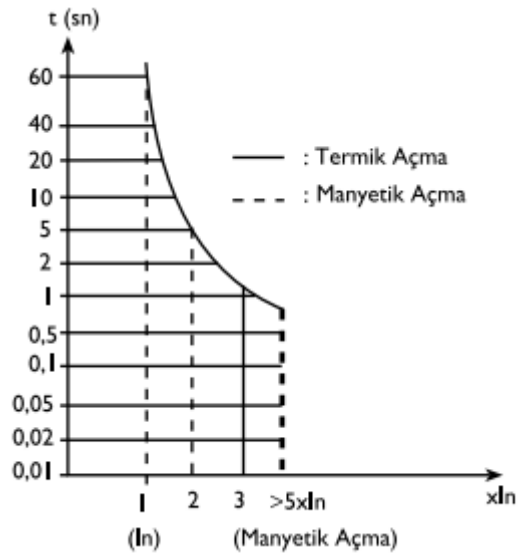
**Şekil 2.17.** Motor koruma şalteri.

Elektrik sistemlerinden fiziki bir zayıf nokta olarak sistemde açma elamanı olarak kullanılan ekipmanlara sigorta denir. Bu ekipmanın ilk görevi bulunduğu sistemde şebekeyi korumaktır. Yük üzerinde oluşan aşırı akımdan korunmak için ya da bir insanın çarpılmasını engellemek için bu ekipmanlar kullanılmamaktadır. Bu gibi durumlarda bu ekipmanlar diğer koruma ekipmanlarının görevlerini yerine getirmediği durumda şebekeyi ve ekipmanı, sigorta akım açma eşiğine geldiğinde açarak koruma görevi yapabilir. Sigortalar:

- Ergiyen telli sigortalar
- Otomatik açıcılar

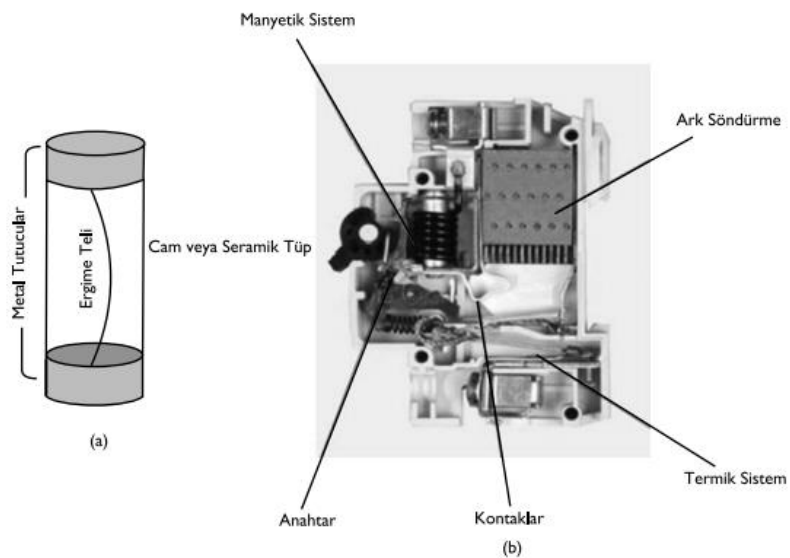
olarak iki temel gruba ayrılır. Bu ekipmanlar kullanım yerlerine göre hızlı bir açma yapan ya da gecikmeli bir açma yapan olarak da 2 gruba ayrılabilir. Bu özellik, otomatik açıcılarda ise açma sisteminin elektromekanik yapısı ile eriyen telli sigortalarda ise içinde bulunan kuartz kumunun termodinamik katsayısından görevini yerine getirir. Sigortalar B tipi olarak konutlarda vb. yerlerde kullanılan ve nominal akımın 3-5 katında ani açma yapan ile C tipi olarak motor devreleri vb. yerlerde kullanılan ve nominal akımın 5-10 katında ani açma yapan sigortalar olarak ayrılır ve gerçek uygulamalarda bu tarzda kullanılır.

Otomatik sigortaların termik açma özellikleri de vardır. Termik açma özelliğinde akımdaki artışa bağlı olarak, açma süresi logaritmik bir biçimde azalarak değişmektedir. Devredeki sigortanın etiket özelliğine bağlı olarak, belirli bir artış değerinden sonra manyetik açma özelliğinin devreye girmesiyle, sigorta üzerindeki ekstra açma görevi devreye girmektedir.



Şekil 2.18. Termik manyetik açma grafiği.

Şekil 2.18'de de görülebileceği gibi, akımın 5. katına kadar termik açma süresi logaritmik biçimde azalmaya devam ederken, sigorta anma akımının 5. katında manyetik açma görevi devreye girmektedir. Termik algılama süresinin yetersiz olacağı ani akım artışlarında ise manyetik açma özelliği ile korumanın daha yüksek düzeyde gerçekleşmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2.19. 2 farklı tip sigorta çeşidi.

Şekil 2.19’da farklı yapıdaki sigortalar gösterilmiştir. Otomatik ve eriyen telli sigortaların farklı yapıda olanları mevcuttur (Şekil 20).



Şekil 2.20. Sigorta çeşitleri.

### 3. ALÇAK GERİLİM ŞEBEKE SİSTEMİNDEKİ HATALAR

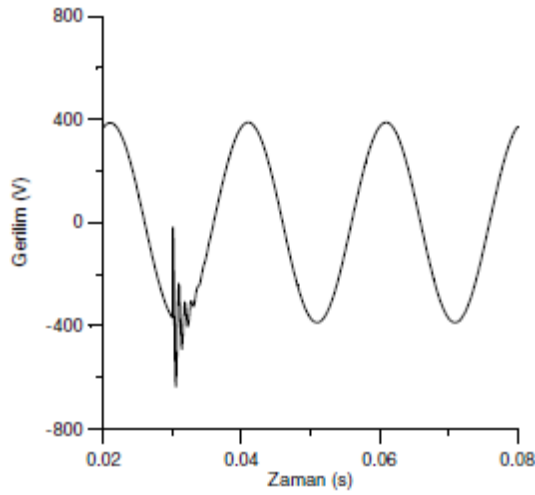
Kaliteli elektrik enerjisi, şebekenin herhangi bir noktasında, gerilimin büyüklük ve frekansının yönetmelikler ve standartlar ile belirlenen anma değerlerini koruması ve dalga şeklinin sinüs biçiminde bulunmasıdır. Alçak gerilim elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesi tanımına bakacak olursak, elektrik şebekesinin gerilim, akım, asimetrik yükler, frekans bozulmaları ve faz sırası değişimleri ile şebekeden çekilen akım ve gerilim dalga şekli bozukluklarının belirtilmesi amacıyla kullanılır.

Kart teknolojisinin gelişmesi ile birlikte artık günümüzde çoğu cihaz şebekede yaşanabilecek gerilim ve frekans bozukluklarına karşı dayanıklı değildir. Bu kontrol kartlarının bazıları, AC-DC motor sürücüleri ve anahtarlama tekniği ile çalışan güç kaynakları ile makine ekipmanları ve sistemlerde kontrol üniteleri olarak kullanılan bilgisayarlar ile programlanabilir lojik kontrolörlerdir (PLC). Bu tarz ekipmanlar şebekede yaşanabilecek herhangi bir bozulmada kolaylıkla etkilenmektedir.

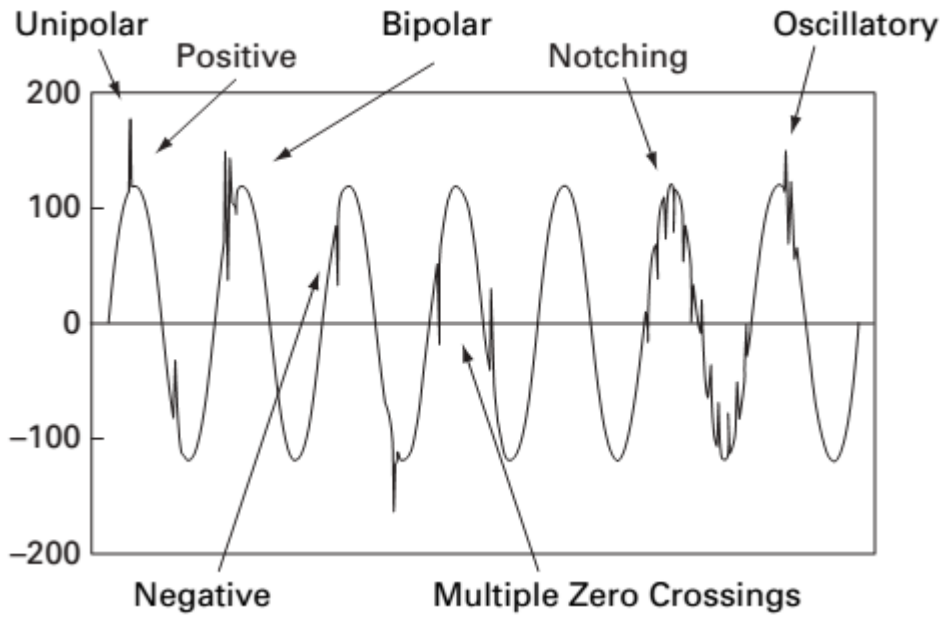
Bu bozulmalar cihazlar üzerinde yanıltıcı bilgilere ve direk olarak sistemlerin durmasını sağlayabilir. Bu cihazlar günümüzde güvenlik ve kontrol üniteleri oldukları için bu bozulmaların etkisi çok yıkıcı olabilir. Çoğunlukla tüketici tarafında gerçekleşen ve şebekeye etkisi olan elektromanyetik dalgalar ve boşalmalar işletme sırasında oluşan başlıca hatalar diyebiliriz. Ayrıca, mekanik ve elektirksel hatalarda oluşan sıcaklık artışları, istenmeyen titreşimler ve bağlantılarındaki gevşeklikler bozucu etkileri oluşturmaktadır.

#### 3.1 Aşırı Gerilim ve Akım Hataları

Güç sistemlerinde genellikle ortaya çıkan aşırı gerilimler atmosferik olaylarla oluşabilmektedir. Bu bozulmalar sistemde yer alan parafudur tarzı ekipmanlar ile sönmelenmekte ve sistem istenilen değerlerde tutulmaktadır. Elektronik kartlar ve ekipmanları bu tarz etkilerden etkilenmesi oldukça basittir, bu tarz ekipmanların girişlerinde seri bobin ve paralel kapasitör uygun bir koruma sağlayabilmektedir. Bu geçici dış etkiler haricinde sistem içerisinde bulunan güç transformatörleride sürekli olarak bir aşırı gerilim oluşturabilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Geçici gerilim yükselmesi.

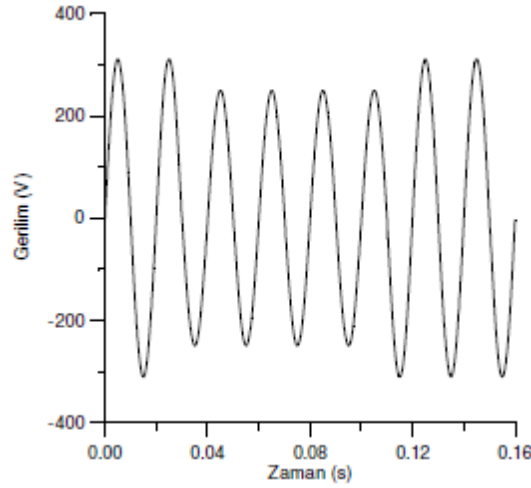


Şekil 3.2. Çeşitli hatalar.

Yaygın olarak kullanılan ve eski teknolojiye sahip elektrikli cihazlar şebeke sistemlerinin girişlerinde bulunan paralel kondansatör ve parafudur önlemleri ile gerilimin birkaç katına çıkan aşırı gerilimlere karşı koruyabilmektedir. Elektronik cihazlar ise daha hassas bir yapıya sahip oldukları için paralel kondansatör, lineer olmayan direnç ve seri bobin aşırı gerilimlere karşı koruma sağlayabilir. Yoksa diğer cihazlar kadar korunaklı değildirlerdir. Eğer bu önlemler alınmaz ise Şekil 3.2’de gösterilen

hatalardan bir kaçına maruz kalan cihazlar yanlış çalışabilir hatta zarar görebilirler.

Tüketicilere uzak noktalarda yaşanan kısa devreler ise kısa süreli gerilim düşmelerine neden olmaktadır. Bu durumlarda çok sayıda küçük tesisi ve büyük güçlü endüstriyel tüketiciler etkilenmekte ve gerilim düşümleri (Şekil 3.3) 4-5 periyotları bulması halinde son kullanıcıların enerjisinin kesilmesine neden olabilir.



**Şekil 3.3.** Kısa süreli gerilim düşmesi.

Çok hassas seviyede çalışan kontrol üniteleri PLC, servo motor vb. ürünler artık birçok tesiste ulunmaktadır. Şebekede yaşanan gerilim düşmeleri bu sistemlerin devreden çıkmasına veya kontrol ettikleri ünitelerde kalitesizliklere neden olmaktadır. Seramik fabrikalarında kullanılan fırınlar tamamen PLC ve servo motorlu hava ve gaz akışları ile kontrol edilmektedirler. Yaşanan bu gerilim düşmeleri alev seviyesinde dalgalanmalara neden olmakta buda ürün üzerindeki renk ve kalitesizliklere neden olmaktadır. Bu durumlar fırın içerisindeki yüzlerce m<sup>2</sup> ürünün hurda olmasına aynı zamanda fırınların tekrar uygun hale gelmesinin uzun sürelerde olmasına neden olmaktadır. Bazı araştırmaların sonucunda elektrikli cihazların gerilim değişimlerdeki toleransları aşağıdaki gibi oluşmaktadır; (Reddy, vd., 2013)

- PLC'ler nominal değer %80-85 seviyesine düştüğünde
- AC/DC motorlar +%10 ve -%15 seviyelerine geldiğinde
- Kontaktörler %50-75 seviyesinde 1-5 per,yot boyunca kalması durumunda Cihazların doğru çalışmamasına ve son nihai cihazları etkilemeleri sonucunda

zararlara neden olmaktadır. Gerilim dengesizliklerindeki standartlar eskiden çok az olmasına rağmen zaman içerisinde oluşturulmaya başlanmıştır bazıları şu şekildedir.

ANSI Standard C84.1'de (Kusko, 2007) 600 V'a kadar olan gerilimlerde şebeke için farklılık nominal değer  $\pm\%5$ 'i kadar olmalıdır. Salınımın çok kısa bir süre içerisinde olması durumunda ise en fazla  $\%5,8$  kadar gerilim artışına ve  $\%8,3$  kadar gerilim azalması kabul edilebilir durumdur. Enerji kalite yönetmeliğine bakıldığında ise gerilim sapmasının  $\pm\%10$  mertebelerinde olması kabul edilmiştir.

Generatör ve motorlar için NEMA MG-1-2016 (National Electrical Manufacturers Association, 2018) sayılı standarta 3 fazlı bir motorlar için bakıldığında;  $\%100$  yüklü bir motor için  $\%1$ ,  $\%90$  yüklü bir motor için  $\%3$  ve  $\%75$  yüklü motor için  $\%5$  değerini aşmayacak kadar gerilim dengesizliğine izin verilebilir. Yani hiçbir biçimde kabul edilebilir gerilim dengesizlik sınırı  $\%5$  değerini aşamaz. Özellikle ark fırınları gibi, değeri çok hızla değişen yükleri bulduran şebekelerde, gerilim dalgalanmaları sorun oluşturmakta bu durum diğer tüketicilere olumsuz etki yapabilmektedir.

### 3.2 Faz Sırası ve Düşük Gerilim Hataları

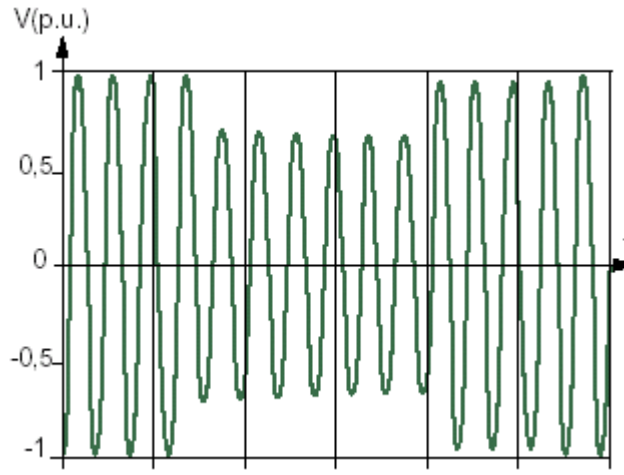
3 fazlı devrelerde motorlar aktif iken iki faza düşerse, şebekeden fazla akım çekerler. Çektikleri aşırı akım motorun yanmasına sebep olur. Bu durum gerçekleştiğinde motoru korumak için ekipmanlar bulunur bu kumanda devrelerinde motor Koruma Rölesidir. Bu koruma sayesinde motoru yanmaktan ve bir arızaya sebebiyet vermekten korunur. Faz koruma röleleri manyetik ve termik çeşitleriyle sınıflandırılabilirler. Bu tez kapsamında yapılan çalışmayla tüm hata modları ile birlikte faz koruma rölesinin görevi de mikro denetleyici birlikte tek bir sisteme aktarılarak ana şalter üzerine aktarılacaktır.

Gerilim düşmesi, bir elektrik şebeke sisteminde oluşabilecek ani düşmeler ve birkaç çevrim ile saniyeler gerilimin tekrar eski haline gelmesi ile sonuçlanır. Gerilim düşmesi her bir çevrim üzerinden, RMS değerinin yarısına düşmesi hesaplanarak karakterize edilir ve her bir periyot bir öncekini yarım çevrim aşar.

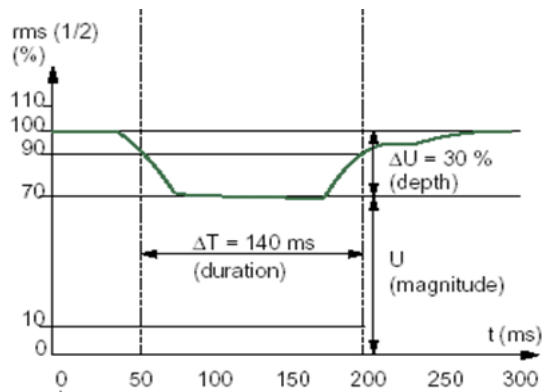
Eğer, RMS gerilim değeri yarısı, referans gerilim değerinin  $1/3$  katının altı orana düşerse, bu durumunda belli bir oranda gerilim değerinde düşme gerçekleşir. Bu değer referans geriliminin  $\%10$ 'una kadar olması, IEEE 1159 ve CENELEC EN 50160 standartlarına göre kabul edilebilir sınırlardadır. (Şekil 3.4), (Fellow 1992).

Kesinti, referans gerilim değerinin yüzde birkaç değeri kadar düşmesi ile oluşan

(genellikle %1-10 arası) durumdur. Yalnızca süre ile ifade edilir. Şekil 3.5’de gösterildiği gibi kısa denilen kesintiler 1-3 dk arasında sürmektedir.



Şekil 3.4. Gerilim düşmesi.



Şekil 3.5. Rms gerilim değeri düşme grafiği.

Gerilim düşmesi ve kısa kesintiler genellikle kesinti ve hat boyunca kendi karakteristiğinde azalan bir doğrultuda ilerler ve hat empedansının kurtarabileceği kadar yüksek oranda düşük gerilim ya da yüksek gerilim durumlarında kendini gösterir. Bu düşüşlerden yaşanan süreler sistemde yer alan koruyucu ekipmanların çalışma süreleri optimum seçilerek güçlendirilir. Şebeke sisteminde hatalı yerlerden enerji alan kullanıcıların kesinti yaşamasına bakıldığında sistemde kullanılan koruyucu ekipmanlarının izalasyon hatalarının neden olduğunu görebiliriz.

Sistem içerisinde yer alan her elektronik cihazlar gerilim düşüş ve kesintilerinden

etkilenmektedir. Bu etkilenmelerin yansuları en çok kalite problemi olarak görmekteyiz. Birkaç mikro saniyelik bir gerilim düşüklüğü veya kesintisi, sistem üzerindeki ekipmanları tetikleyerek uzun süreli kesintilere neden olabilir. En hassas uygulamalar şunlardır.

- Seri Üretim hatları özellikle anlık duruşlarda kendini tolere edemeyen tesisler; petro kimya, baskı, seramik, gıda sanayi )
- Aydınlatma sistemleri (şehirler, kamu binaları, hastaneler, okullar, havaalanları)
- Data toplama istasyonları
- Santrallerin çalışması için gerekli olan tesisler

Asenkron motorlarda gerilimde düşme oluştuğunda, motor gücü ve momentinde düşme gerçekleşerek devri azalır. Burada yaşanan düşüş hızın karesi ile doğru orantılı olup, bu düşüş gerilimde yaşanan değişikliğin genliğine, süresine ve döner kütleinin ataletine bağlıdır.

Motor yeterli tork seviyesinde olmadığı için karşı torku yenemeyeceğinden motor durur. Kesintinin çözülmesi ve enerjinin geri gelmesinden sonra motor ilk başlangıç ta çektiği akım değeri kadar bir miktarı çekme ve kendini topraklama eğiliminde olacaktır. Bir sistemde çok sayıda motorun olması ve bunların hepsine biden çalışma işlevinin verilmesi besleme noktasının potansiyel farkında bir düşüşe neden olabilir. Bu durumda kalkış süresinin uzamasına, ısınmalara, kalkış zorluklarına neden olacaktır.

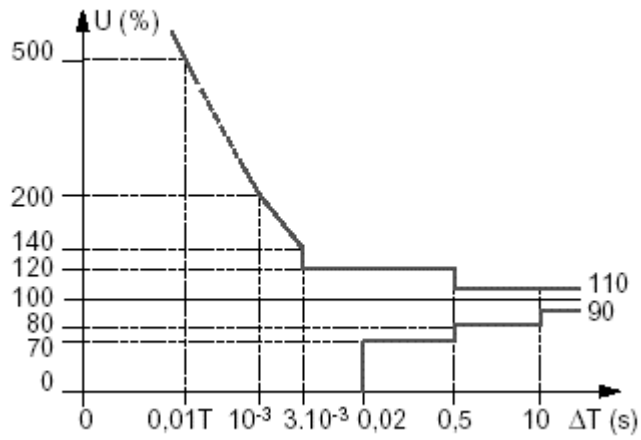
Değişiklik sebepleriyle meydana gelen gerilim düşüklükleri ve ani durumlarda çekilen aşırı akımlar hem motor üzerinde hemde kontaktörler üzerinden kalkış anında ve gerilim düşümleri kontaklar üzerinde zorlanma, aşınma ve bozulmaya giren bir hata zincirine dönüşür. Oluşan aşırı akımları sistem içerisinde yer alan koruyucu ekipmanların açmasına bundan dolayı da tüm proseslerin, sistemin durması anlamına gelir.

Senkron motorların üzerindeki gerilim düşümünün etkileri, asenkron motorlarda yaşanan gerilim düşümlerini yansıtmaktadır. Bakıldığında senkron motorlar diğerlerine göre tahrik ataleti ve gerilim ile orantılı olduğundan durmadan daha fazla gerilim düşümlerinde çalışabilirler.

Hareket eden cihazlar üzerinde doğrudan şebeke üzerinden çalışan kontaktörler, vb. ekipmanlar, nominal gerilim değerinin dörtte biri orandaki düşüşlere karşı

dayanıklıdır. Belirlenmesi gereken bir alt değer olmak zorundadır, yoksa daha fazlaka düşüşlerde kutuplar ayrılacak ve bu kısa süreli düşüşler uzun süreli kesintilere neden olacaktır.

Sanayide ve belli sistemlerde artık bilgisayara tabanlı kontrol sistemleri kullanılmaktadır ve bu kontrol üniteleri %10 gerilim düşümlerine karşı çalışabilir şekilde üretilmektedir. Şekil 3.6'da, Bilgisayar Endüstri Konseyinin belirlediği bu tarz ekipmanların hangi sürelerde kesintilere, gerilim düşümlere nasıl dayandığını görebiliriz.



**Şekil 3.6.** Süre-gerilim eğrisi.

Yukarıdan gösterilen sınırların dışında çalışmak sistemde yanlış emirlere veri kayıplarına cihazların kapanmasına ve arıza durumlarının oluşmasına neden olur.

Hız kontrol cihazlarına uygulanan gerilim düşüklüğü problemleri:

- Motor nominal gerilim değerine ulaşamaz (tork kaybı, devir kaybı),
- Kontrol devreleri çalışmaz.
- Fazların sadece birinde bir gerilim düşüklüğü yaşanır ise bu dengesiz yük dağılımına ve 3 fazlı çalışan cihazların zorlanmasına neden olur.
- Özellikle motorlarda kullanılan sürücülerde %85 in altına inen gerilim azalmalarında sürücüler ya kendini korumaya alarak prosesi durdurmakta ya da bozulmaktadırlar.

### 3.3 Frekans Hataları

Bir güç sisteminin kararlı çalışabilmesi için frekans sabit kalmalıdır. Denge durumu bozulduğu zaman sistem frekansı da değişmeye başlar. Çok fazla üretim frekansı arttırırken, çok az üretim sistem frekansını azaltır. Frekans sürekli olarak standart duruma karşı kontrol edilir ve uzun süreli düşme ya da artma eğilimi gösterdiği durumlarda üretim generatörlerinin çıkışları düzenlenerek duruma uygun müdahaleler yapılır.

Enterkonnekte sistem gereği tüm hatlar ve cihazlar birbirine bağlıdır, bu sebepten hat üzerinde frekansın eşit olması gerekmektedir. Aktif gücün kontrolü enterkonnekte güç sistemine bağlı generatör üretimlerinin değişen sistem frekansına duyarlı hale getirilmesi ile yerine getirilir.

Enterkonnekte güç sisteminde istenilen tüm besleme hatların çıkış gücünün sistem gücüne eşit olması fakat bu durum pratikte çok az denebilecek kadar zayıf bir ihtimaldir. Çünkü güç talebi gün içerisinde sürekli olarak değişmektedir. Sistem içerisinde eğer talep edilen güç miktarı arzın altında kalırsa santrallerin hızlarında artış eğilimi olacak buda frekansın yükelenmesi anlamına gelecektir. Tam terside talebin arzdan yüksek olması durumunda frekans değeri düşmeye başlayacaktır. İdeal bir sistemde frekansın her noktada ve sürekli olarak eşit olması beklenir fakat pratikte böyle olmamaktadır, tolerans değerleri arasında bu durum kurtulabilirken ani yaşanan düşme ve yükselmeler sistemlere zarar verebilmektedir.

Güç sistemlerinde her alan kendi yük değişimlerini karşılayabilmek zorundadır. İki ya da daha fazla birbirleri ile ilişkisi olmayan ve dış bir kontrol ünitesinden kontrol edilebilen enterkonnekte sistemlerde, frekans kontrol edilirken burada yer alan üretim etkileride aynı zamanda kontrol altında tutulmalıdır. Çünkü bağlantı hatları üzerindeki bulunan yüklerin güç değişimlerini kontrol altında tutulması gerekmektedir. Genel olarak yük frekans kontrolü kavramı şu şekilde tanımlanabilir. Bu sistemler üzerinde

oluşabilecek güç değişimleri, sistemin güç akışını ve frekansını değiştirir. Bunları yeniden nominal değerlerine geri getirme işlemine yük frekans kontrolü denir.

Bir elektrik şebekesinin kararlı çalışabilmesi için frekans sabit kalmalıdır. Şebeke için frekansı sabit tutmak ise güç dengesi ile sağlanır. Sistem aktif yükleri, sistemdeki kayıplar ve başka bir yere aktarımı yapılan güç toplamı sistemin toplam aktif gücüne eşit olmalıdır. Bahsedilen bu denge durumu bozulduğu zaman sistem frekansı da değişmeye başlar. Çok fazla üretim frekansı arttırırken, çok az üretim sistem frekansını azaltır.

Frekansta yaşanan bozulmalar sonucunda elektrikli cihazlara verebilecek zararlara örnekler şu şekilde verilebilir;

Endüksiyon motorlarında frekans değişimi, doğru orantılı olarak motor devir sayısının değişmesinide neden olur. İşletme koşullarına göre baktığımızda ise frekansın değişimi gerilim üzerinde ters orantılıdır. Güç ise frekansla doğru orantıda değişsede düşük frekanslarda soğutma düşük devirlerde iyice kötüleşeceğinden güç üzerindeki etkisi kötü tarafta olur.

Elektronik ekipmanların genelinde doğru akım ile çalışan iç üniteler vardır. Şebekeden alınan alternatif akım doğrultu açlar ile doğru akıma çevrilerek kullanılır . Bu alt ekipmanlarda şebeke frekansının değişimi ancak doğrultu aç üzerinde etkisi varsa olur. Frekansın düşmesi, doğrultu açın besleme trafosunda, gerilim yükselirken magnetik akınında yükselmesine neden olur. bundan dolayı doğrultu açta minimum frekans değeri 2,5 Hz olmalıdır. Eğer frekansın düşmesi gerilimi çok etkileyecek ise burada tolerans değeri dahada artar. Aynı şekilde, statik rezonans devreli alternatif akım regülatörleri de, frekans değişmelerine karşı tepki gösterebilir. Frekans değişimleri regülatörler üzerinde çalışma gerilimlerine bozucu tarafta etki edebilir. Ölçüm ekipmanları 50 Hz dayalı süzgeçler kullanarak bu problemleri maskeleyemeye çalışır. Aygıtların doğru çalışması şebeke frekansının istenilen band içerisinde çalışmasına bağlıdır. Ayrıca, şebeke frekansını zaman tabanı olarak kullanan televizyon gibi sistemlerde bazı temel tarama frekansları 50 Hz'den türetilmektedir. Televizyon verici istasyonlarında kayıt cihazları bu şebekedeki frekans değişimlerindeki çok az değişimlerden büyük derecede etkilenir, bu yüzden bu istasyonlarda harici 50 Hz osilatörler kullanılır. Bu durum başka yerlerde frekans kaynağı olarak kullanılan cihazlar ile harici osilatör kullanan cihazlar arasında senkron farklılıklarına neden olur. Bunun etkisi televizyon ekranından kayan siyah bir bant olarak görülmektedir.

Bilgisayarlar son zamanlarda daha fazla kullanılmaya başlandığından dolayı, şebeke frekansındaki düşmelerden oldukça fazla etkilenmektedir. Bilgisayarlarda özellikle bu etki disklerde görülmektedir. Frekans değişimi disklerde okuma yazma yapan motorun hızını etkilediğinden doğru verinin aktarımında problemler çıkmaktadır.

### 3.4 Asimetrik Yüklenmeler

Fazlarda oluşan rms gerilim değeri veya fazlar arası açı farkının eşit olmaması durumu, üç fazlı dengesiz yük sistemi olarak tanımlanır. Gerilim dengesizliğinin düzeyi, temel düzeyin negatif bileşeni ( $U_{1i}$ ) (veya sıfır bileşeni ( $U_{1o}$ ) ile temel düzeyin pozitif bileşeni ile karşılaştırılarak gerçekleştirilir (Eşitlik 3.1),

$$\Delta U_i = \frac{|U_{1i}|}{|U_{1d}|} \quad \text{ve} \quad \Delta U_o = \frac{|U_{1o}|}{|U_{1d}|} \quad (3.1)$$

$$\Delta U_i = \frac{|U_{1i}|}{|U_{1d}|} \quad \text{ve} \quad \Delta U_o = \frac{|U_{1o}|}{|U_{1d}|} \quad (3.2)$$

$$V_{\text{ort}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} \quad (3.3)$$

Ayrıca Eşitlik 3.3'deki yaklaşık formül de kullanılabilir. Özellikle üç fazlı sistemlerde simetrik olarak çalışan ekipmanlar fazlar arasındaki dengeyi korumaktadır. Çalışan üç fazlı bir motor fazlar arasında çekilen akımlar eşittir. Bu da şebekedeki faz yüklenmelerine eşit oranda etki etmektedir.

Şebeke sistemi üç faz fakat çalışan ekipmanların tek faz veya 2 fazda çalışması sistemde dengenin kurulması için çok önemlidir. Tek bir faza yüklenmek ya da tek bir fazda düşük yük bırakmak trafo tarafında yük dengesizliğine buda faz üzerinde yer alan ekipmanların sınırlarını zorlamasına neden olacaktır. Aynı şebekeden yük çeken diğer 3 fazlı ekipmanlarında ısınmasına neden olacaktır.

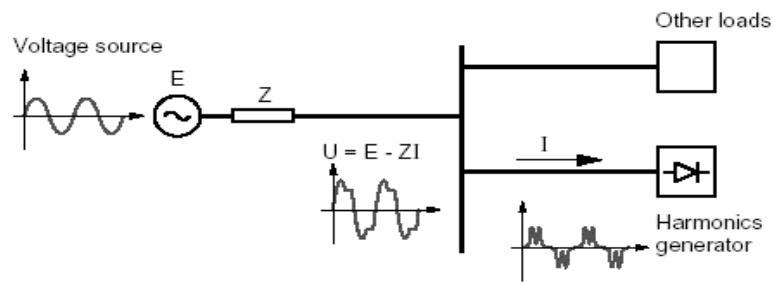
Asenkron motorlara baktığımızda motorun sıfır direnci motorun fazları arasındaki dirence eşittir. Böylece akımlardaki dengesizlik faktörü gerilimlerdeki dengesizlik faktörünün birkaç katı olacaktır. Bu durum faz akımlarındaki büyük değişikliklere neden olacaktır.

Uygulamada, %1'lik bir gerilim dengesizlik faktörlerine sürekli, %1.5'ten fazla

gerilim dengesizliklerine ise kısa süreli olarak izin verilebilir.

### 3.5 Sinüs Dalgası ve Harmonikler

Sistemlerde kullanılan bazı lineer olmayan yüklerin etkisiyle, akım ve gerilim sinüs dalgası periyodik olmakla birlikte bileşke dalga, sinüsoidal dalga ile frekans ve genliği farklı diğer harmoniksel dalgaların toplamından meydana gelmektedir. Bunun nedenine bakıldığında yarı iletken malzemelerin yapısı gereği olduğu gözükmektedir. Ana sinüs eğrisi haricindeki değişken alternatif dalgalara harmonik denir (Şekil 3.7).

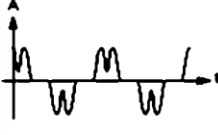
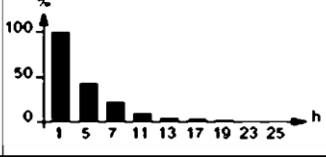
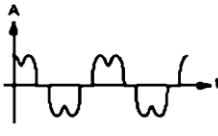


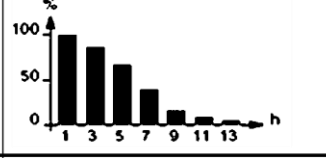
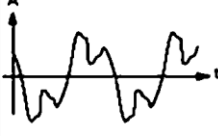
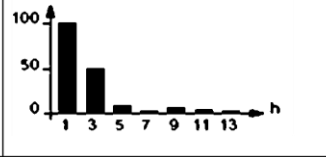


Şekil 3.7. Harmonik bozulma devresi.

Harmonik bozulmalar neden olan sebepler;

- Nonlineer yükler
- Manyetik devrelerde doygunluk
- Güç kontrol ekipmanları
- Doyum sınırı üstü transformatör mıknatıslanma akımları,
- Endüktif akımlar
- Yarı iletken kontrollü cihazlar
- Anahtarlama devre akımları
- Bilgisayar ve UPS'ler
- Aydınlatma da kullanılan elektronik balastlar
- Dış olumsuzlukların cihazlar üzerinde meydana getirdiği harmonikler
- Senkron makinelerde ani yük değişimlerinin manyetik akı dalga şekillerindeki bozulmalar.

- Elektronik motor sürücüler
- DC yüksek voltaj ile enerji nakli (HVDC),

| Asimetrik Yüklenmeler          | Dalga Boyu  | Spektrum   | THDı |
|--------------------------------|---|--|------|
| Değişken Hız Sürücüleri        |    |    | 44%  |
| AC-DC Eviriciler/Şarj Aletleri |    |    | 28%  |
| Veri İşleme Sistemleri         |    |   | 115% |
| Florasan tipi aydınlatmalar    |  |  | 53%  |

Şekil 3.8. Harmonik Bozulmalar

Bir sistem içerisinde nonlineer elemanlar ile nonsinüsoidal kaynaklardan bir veya ikisinin bulunmasının sonucunda harmonikler meydana gelirler. Akım ve gerilim harmoniklerinin güç sistemlerinde bulunması Şekil 3.8’de göreceğiniz gibi farklı durumlardaki sinüs dalgasının bozulması demektir. Güç sistemlerinde sinüsoidal dalga kapsamına çıkan bu bozulmalarda ortaya çıkan harmonikler; ekstra güç kayıpları, ilave gerilim düşümleri, rezistif yük değişimleri, güç faktöründe oluşan farklılaşmalar gibi elektriksel teknik ve işletme bakımlarından sorunlar meydana getirirler.

Şebekeden harmonikli akım çeken bir yük bu duruma, yük özellikleri ve anahtarlamalı akım özellikleri ile neden olur. Başka bir ifade ile, bu durumdaki bir yük normal çalışması sırasında bile az yada çok harmonik meydana getirecek akım çekmektedir. Diğer alıcılarda yapısı gereği bu bozucu etkilere maruz kalmakta onlarda bunları sisteme basmaktadır. Elektrik enerjisi transferinde geçen akımın mümkün

olduğunca sinüsoidale yaklaştırılması için, alternatif akımın üretiminden tüketimine kadar olan tüm aşamalarında gerekli iyileştirici önlemler alınmalıdır. (Latran ve Teke, 2014)

Enerji sistemlerinde harmonikli yükler, enerji transferinde gerilim ve akım dalga şekillerinin bozulması gibi bir çok sorunlara neden olmaktadır. Bunlar maddeler halinde şöyle verilebilir, ayrıca Çizelge 3.1’de de bazı cihazların harmonik etkilere karşı çalışma limitlerini görebilirsiniz; (Demirbaş ve Bayhan, 2009)

- Enerji sistemi geçişlerinde yük kayıplarının artması
- Elektrik AC motor sistemlerinde sıcaklık artışları
- Yanlış ölçüm ve faturalandırmalar
- Şebeke geriliminde bozulmalar
- Gerilim düşümü
- Uzaktan kumanda, yük kontrolü v.b. yerlerde çalışma bozuklukları
- Rezonans ve etkileri
- Kontrol ve koruma sistemleri hataları
- Yalıtım bozulmaları
- Elektrikli cihazların ömrünün azalması
- Parazit ve sinyal bozulmaları
- Güç kapasitörleri kayıpları ve bozulmaları
- Kompanzasyon sistem arızaları
- Koruma elemanlarında gereksiz açmalar,
- Röle bilgilerinde bozulmalar ve anormal çalışmalar
- Elektriksel enerji kayıpları
- Mikro bilgi işlemciler üzerinde hatalı çalışma
- Kablo ve ekipman sıcaklıklarının artması
- Makinelerde balanssızlık ve titreşim
- Ateşleme devrelerinde oluşan kararsızlıklar
- CAD/CAM terminallerinde hafızalarında kayıplar, veri kayıpları
- Elektronik devre arızaları

**Çizelge 3.1** Harmonik Etkiler ve İzin Verilen Nominal Seviyeler

| Cihaz               | Etkileri   | Limitler   |
|---------------------|--|--|
| Elektrik Motorları  | Güç kayıpları ve sıcaklık artışı<br>Tam yük gücünde azalma.<br>Darbe momenti (balanssızlık, vibrasyon ve mekanik baskı)<br>Gürültü ve parazit kirliliği. | $HVF = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} U_h^2 / h} \leq \%2$                              |
| Trafo lar           | Kayıplar (omik-endüktif)<br>ve sıcaklık artışı<br>Mekanik vibrasyonlar. Gürültü kirliliği.   |  |
| Devre Kesiciler     | İstenmeyen bozulmalar ve açmalar (aşırı gerilim peak açmaları gibi)  | $U_h / U_1 \leq \%6$ ila 12  |
| Kablolar            | Aktif ve reaktif harmonik kayıpları<br>(özellikle üçüncü harmonik akımları mevcutsa, nötr kayıpları)   | THD $\leq \%10$<br>$U_h / U_1 \leq \%7$  |
| Güç Kondansatörleri | Sıcaklık artışı problemi, yıpranma ve bozulma  | Alçak Gerilim'de 8 saat/gün için<br>(THD I<%83)'de I<1.3 veya<br>$U < 1.1 U_n$ |
| Bilgisayarlar       | Çalışma ve harmoniksel diğer problemler  | $U_h / U_1 \leq \%5$   |
| Güç Elektronikleri  | Dalga bozulması esaslı problemler<br>(haberleşme, senkronizasyon gibi)   |  |

## 4. ALÇAK GERİLİM ŞEBEKELERİNDE AŞIRI VE DENGESİZ YÜK ANALİZLERİ

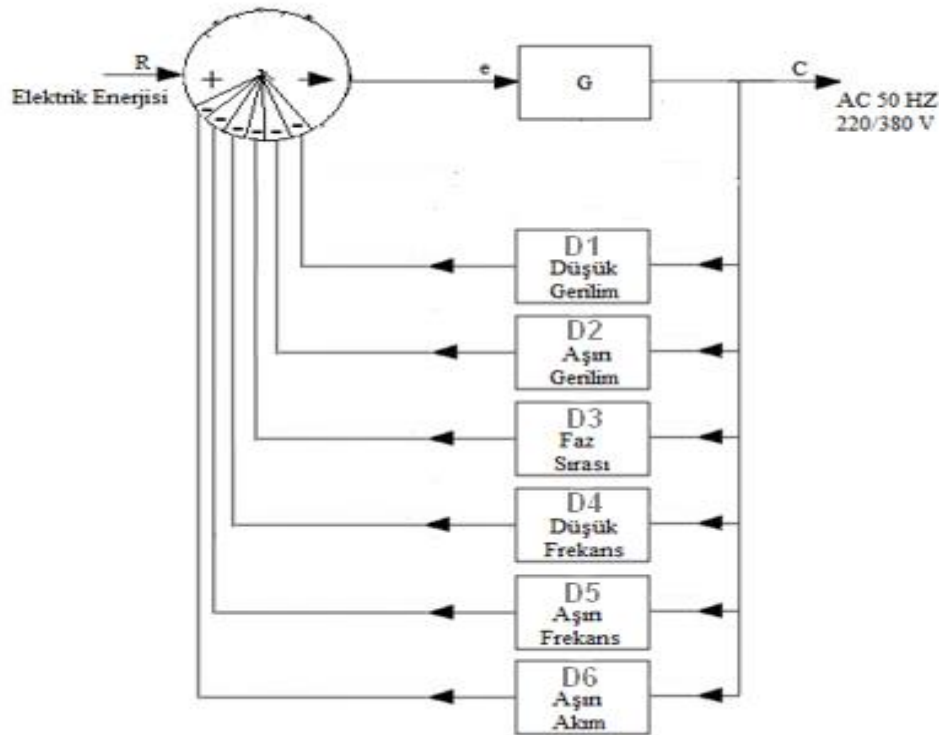
Elektrik şebekeleri ve tüketim bölgelerinde, enerji transferini sağlayan faz gerilimleri ve akımlarının; üretim, iletim ve tüketim tesislerinin fiziksel dayanım sınırlarına uygun büyüklüklerde olmaları gerekir. Faz gerilimleri ve akımlarının büyüklük değerlerinin uygunlukları, genlik ve frekans büyüklüklerinin belirlenen limitleri aşmaması ile sağlanır.

### 4.1 Akım ve Gerilim Limit Parametrelerini Etkileyen Faktörler

Elektrik enerji sisteminde akım ve gerilim limitleri generatör, transformatör ve şebeke iletkenlerinin fiziksel dayanım limitleri ile sınırlandırılmalıdır. Bu sınırlandırmalar yapılmazsa; generatör ve transformatör sarguları zarar görebilir, iletken sıcaklıkları aşırı artarak eriyebilir, yalıtkan yapılar sıcaklık nedeniyle zarar görebilir, kontaklar yapışabilir Faz gerilimlerinin minimum değerinin altına inmemesi vb. Bu zararların ortaya çıkmaması için;

- Faz gerilimlerinin maksimum değerinin üstüne çıkmaması
- Faz gerilimlerinin minimum değerinin altına inmemesi
- Faz akımlarının maksimum değerinin üstüne çıkmaması
- Frekansın minimum değerinin altına inmemesi
- Frekansın maksimum değerinin üstüne çıkmaması
- Faz sıralarının doğru olması ve faz fark açılarının korunması

Şekil 4.1 'de sistemin kontrol şemasını görebilirsiniz.

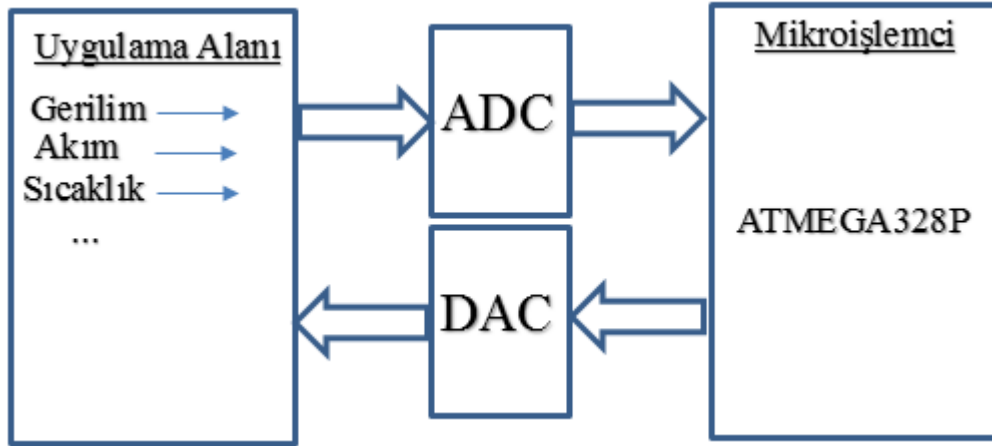


**Şekil 4.1** Kontrol şeması.

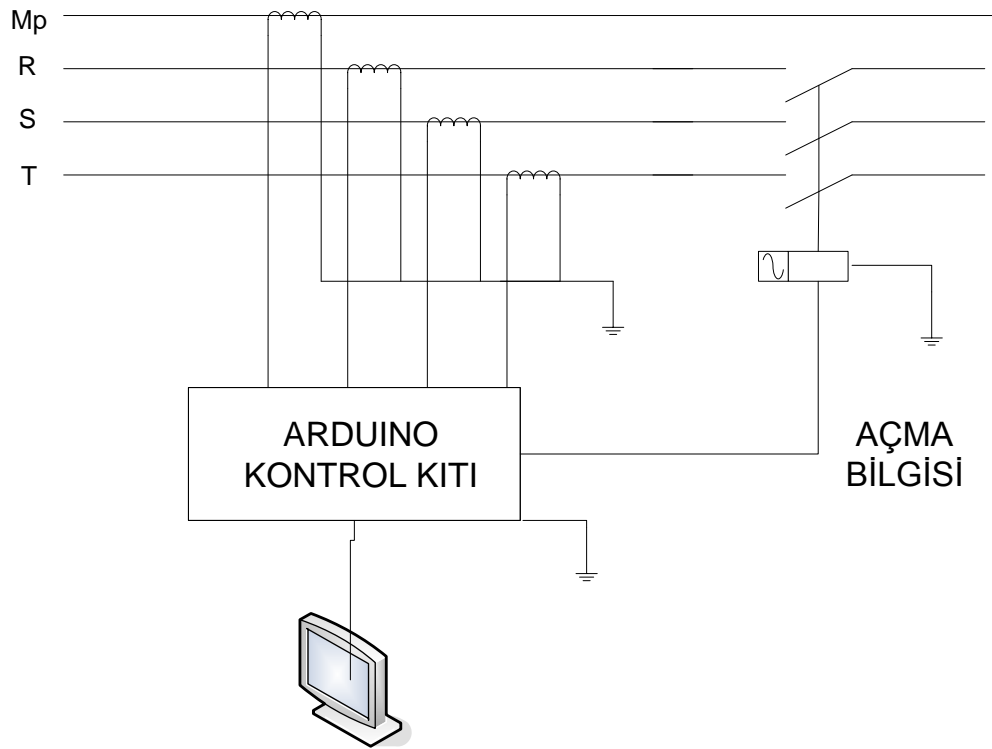
Şartların öncelikle değerlendirilmesi gerekir. Geçmişte bu değerlendirme işlemleri klasik sigorta ya da bobin sistemli koruma elemanları ile gerçekleştirilirken, günümüzde elektronik ve yazılım içeren uygulamalar ile de yapılabilir. Burada, elektriksel bir yük sistemine enerji transferi sağlanırken elde edilen akım ve gerilim verileri değerlendirilerek, bu değerlerin limit değerlerini aşma ve aşmama durumlarını inceleyen bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3'de tasarımı bulunan ve gerçekleştirilen çalışmada, akım ve gerilim ölçü transformatörlerinden elde edilen veriler mikroişlemci tabanlı bir yazılım ile değerlendirilmiştir. Mikroişlemci olarak Arduino UNO çalışma kartı üzerinde yer alan ATMEGA328P kullanılmış olup; üç faz gerilim bilgileri, üç faz ve nötr akım bilgileri olmak üzere toplam 7 analog veri girişinden yararlanılmıştır.

Mikroişlemci üzerinde verilerin işlenmesi için sayısal ölçme yöntemleri kullanılmaktadır. bu yöntemle verilerin işlenmesi için mikroişlemci ile saha arasındaki verileri evirerek mikroişlemcide kullanabilir hale getiren ara elemanlar vardır. Sahadan elde edilen analog veriler ADC (Analog Digital Converter) yardımı ile sayısal verilere

dönüşerek değerlendirilir. Tam tersi işlem ise DAC (Digital Analog Converter) ile sahadaki ekipmanlara komut ve çalışma aralığında sinyal üretir (Şekil4.2).



Şekil 4.2. Analog veri- sayısal veri işleme blok şeması.



**Şekil 4.3.** Uygulama tasarımı.

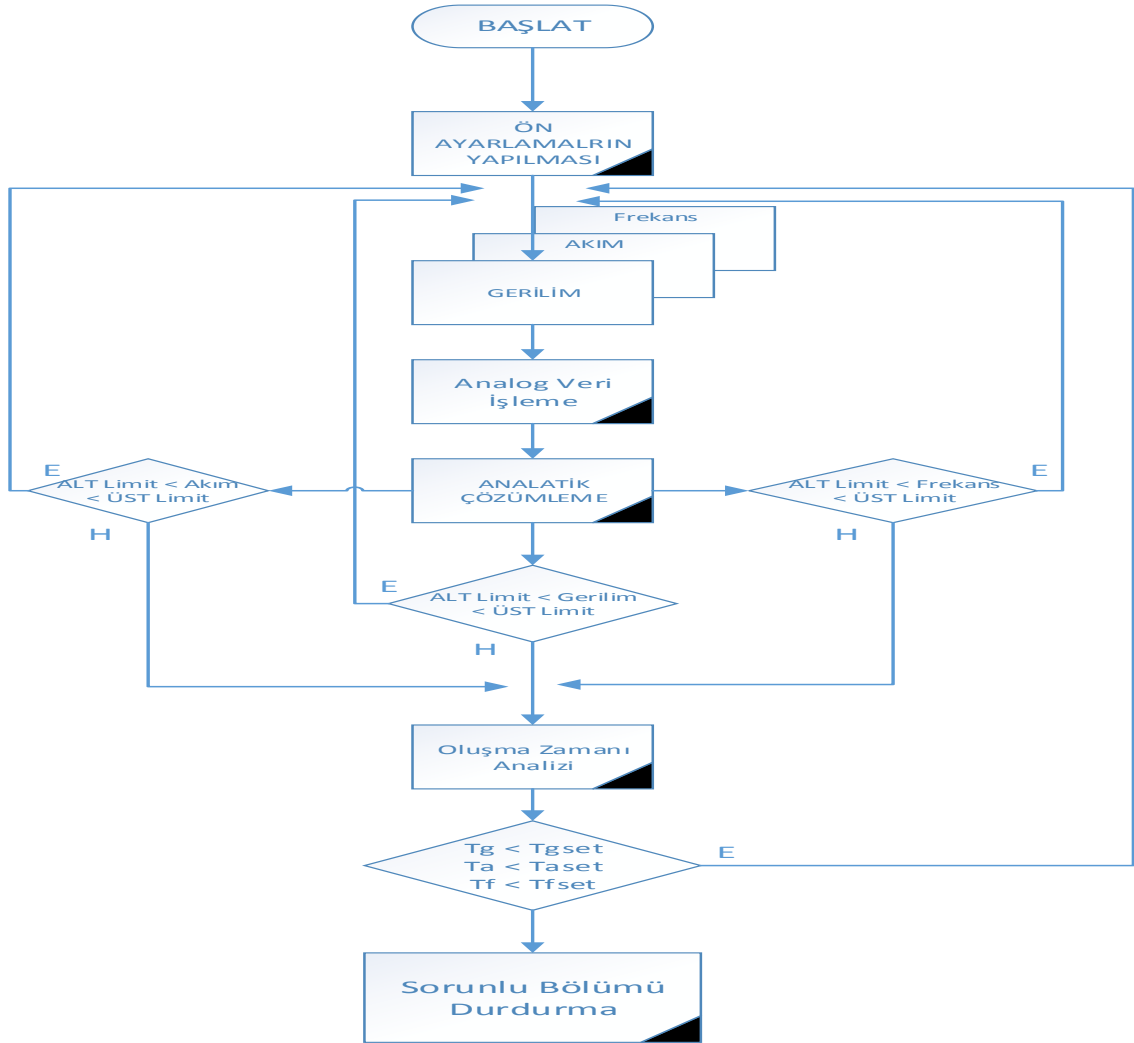
Mikroişlemci ve yazılım desteği ile 7 veri girişinden gerilim, akım ve frekans değerlerinin limitler içinde kalıp kalmadığı gözlemlenmiştir. Mikroişlemci destekli tasarlanan sistem ile anlık veri bilgileri display ekranda görülebildiği gibi, sistemin zamana bağlı parametrik verileri bilgisayar ortamına transfer edilebilecek biçimde kayıt altında tutulmuştur.

Bu çalışmada sağlanan bu veriler ile yük akışı ve enerji transferi için gerekli çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

#### **4.2 Uygulama Devresi ve Çalışması**

Alçak gerilim şebekelerinde enerji transferinde gerçekleştirilecek akım, gerilim ve frekans sorunlarını saptamaya yönelik olarak Şekil.4.3 deki uygulama devresi kullanılmıştır. Bu devre akım ve gerilim transferine yönelik çalışmalarda kullanılabilecek tarzda bilgilerin elde edilebileceği akım transformatörleri ve gerilim transformatörlerini üzerinde barındırmaktadır (Şekil 4.4).





Şekil 4.5. Akış şeması.

Arduino üzerinde yazılmış olan kodun bir kısmını aşağıda görebilirsiniz. Kod C yazılım dilinde yazılmıştır. Sistemde analog ve dijital IO'lar kullanılmıştır. Sistem üzerinde frekans kontrolü trafo çıkışındaki sinüs dalgasının doğrultulması ile elde edilen kare dalgaların saniye mertebesinde sayılması ile elde edilmiştir. Sistem şebeke frekansı olan 50 Hz ile senkron çalışmaktadır.

#### 4.2.1 Aşırı gerilim algılanması

Devreye uygulanan faz gerilimlerinden biri ikisi ya da tümünde kabul edilebilir seviyenin üstüne çıkılması test edilmiştir. Burada, herhangi bir gerilim tranformatörü

çıkışından gelen 3 V değeri aşıldığında uyarı 3,13 V değeri aşıldığında ise açma bilgisi elde edilmiştir. Buradaki uygulama tek faz üzerinde yapılmış olsada bu değerler diğer iki faz ilede elde edilebilmektedir.

Şebeke ya da bir sistemi besleyen enerji besleme noktasında, fazlar üzerine paralel bağlanan bir gerilim transformatörü ile mikroişlemcinin kabul ettiği gerilim değer arasına getirilmiştir. Trafo çıkışında elde edilen gerilim alternatif gerilim değeridir, fakat mikroişlemci doğru gerilim değerini kullanabilmektedir. Bunun içinde sistem üzerinde doğrultucu kullanılmıştır. Gerilim transformatörü uygulaması taslak bir uygulama olduğu için, PCB üzerine rahat bir şekilde monte edilebilen ASLAN marka ASL 108106 model numaralı gerilim transformatörü kullanılmıştır. Doğrultucu devresi ise diyot köprüsü ile elde edilerek, çıkışında kapasitör kullanılması ile salınım engellenmiş ve düz doğru bir gerilim değeri elde edilmiştir. Kapasitör üzerinde oluşan gerilim değeri direkt olarak mikroişlemcinin analog veri girişi olan bir portuna bağlanmıştır. Aynı işlem diğer 2 faz içinde uygulanmıştır.

Gerilim transformatöründen gelen değerlerin değişkenliği ve açma bilgisinin oluşabilmesi için deney setinde bir adet resistor kullanılmıştır. Resistor besleme kaynağı olarak kullanıldığından giriş gerilim değerleri değişkenlik göstererek uygulamada sonuçlar elde etmemize neden olmuştur.

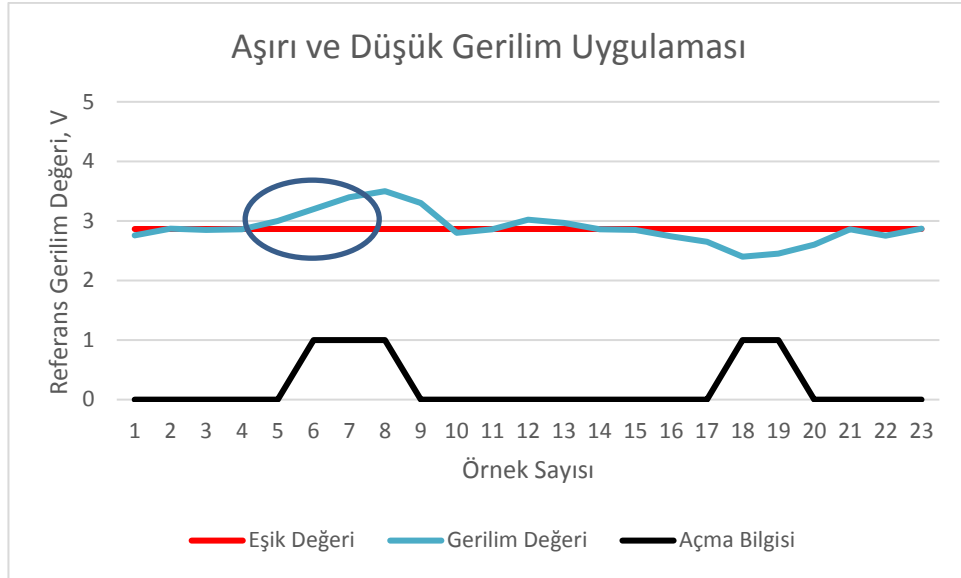
Çizelge 4.1’de yapılan taslak uygulamanın gerilim değerleri ve buna karşılık gelen açma bilgisinin verisi elde edilir. Nominal değerine karşılık 2,865 V mikroişlemcinin analog kartının okuyabildiği değerler arasına çekilerek elde edilmiştir.

EN 50160 (Ünlüsoy, 2011) ve IEEE 1159 standartlarına göre ana besleme geriliminin tek faz veya 3 fazlı sistemlerde Uref değerinin %10 değişmesi ile alt ve üst sınırlar belirlenmiştir. Yapılan uygulamada 2,865 V gerilim değerinin  $\pm 10\%$  değerlerinin arası OK kabul edilerek açma bilgisi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1’de üzerinde kutu ile işaretli olan alan üst limit olan 3,13 V değerini aştığı için açma bilgisi 0 dan 1’e çekilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Aşırı gerilim uygulama verileri.

| Gerilim Değeri | Eşik Değeri | Tolerans ( ±10%) | Gerilimin Gerçek Değeri | Açma Bilgisi |
|----------------|-------------|------------------|-------------------------|--------------|
| 2,76           | 2,865       | -3,66%           | 211,94                  | 0            |
| 2,87           | 2,865       | 0,17%            | 220,38                  | 0            |
| 2,85           | 2,865       | -0,52%           | 218,85                  | 0            |
| 2,86           | 2,865       | -0,17%           | 219,62                  | 0            |
| 3,00           | 2,865       | 4,71%            | 230,37                  | 0            |
| 3,20           | 2,865       | 11,69%           | 245,72                  | 1            |
| 3,40           | 2,865       | 18,67%           | 261,08                  | 1            |
| 3,50           | 2,865       | 22,16%           | 268,76                  | 1            |
| 3,30           | 2,865       | 15,18%           | 253,40                  | 0            |
| 2,80           | 2,865       | -2,27%           | 215,01                  | 0            |
| 2,86           | 2,865       | -0,17%           | 219,62                  | 0            |
| 3,02           | 2,865       | 5,41%            | 231,90                  | 0            |
| 2,97           | 2,865       | 3,66%            | 228,06                  | 0            |
| 2,86           | 2,865       | -0,17%           | 219,62                  | 0            |
| 2,85           | 2,865       | -0,52%           | 218,85                  | 0            |
| 2,74           | 2,865       | -4,36%           | 210,40                  | 0            |
| 2,65           | 2,865       | -7,50%           | 203,49                  | 0            |
| 2,40           | 2,865       | -16,23%          | 184,29                  | 1            |
| 2,45           | 2,865       | -14,49%          | 188,13                  | 1            |
| 2,60           | 2,865       | -9,25%           | 199,65                  | 0            |
| 2,86           | 2,865       | -0,17%           | 219,62                  | 0            |
| 2,75           | 2,865       | -4,01%           | 211,17                  | 0            |
| 2,87           | 2,865       | 0,17%            | 220,38                  | 0            |



**Şekil 4.6.** Aşırı gerilim uygulama grafiği.

Şekil 4.6'da gösterildiği gibi 6. Örnekleme'de üst limit olan 3,13 V değerinin üzerine çıktığı için açma bilgisi oluşmuştur. Bu bilgi oluşmuş olduğu enerji hattını diğer birimlerden direk ayırarak hatayı o alanda gizlemiş ve diğer bölümlere zarar vermesine engel olmuştur.

#### 4.2.2 Düşük gerilim algılanması

Devreye uygulanan faz gerilimlerinden biri, ikisi ya da tümünden kabul edilebilir seviyenin altına inilmesi durumunda gerilim trafolarından elde edilen veri değerlendirilmiştir. Burada, herhangi bir gerilim transformatöründen elde edilen 2,73 V değerinin altına indiğinde uyarı, 2,6 V değerinin altına indiğinde açma bilgisi elde edilmiştir.

Aşırı gerilimde elde edilen değerler üzerinden Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi kutu içerisindeki örnekleme datasının geldiği yerde alt limit olan 2,6 V değerinin altına düştüğü için açma bilgisi elde edilmiştir.

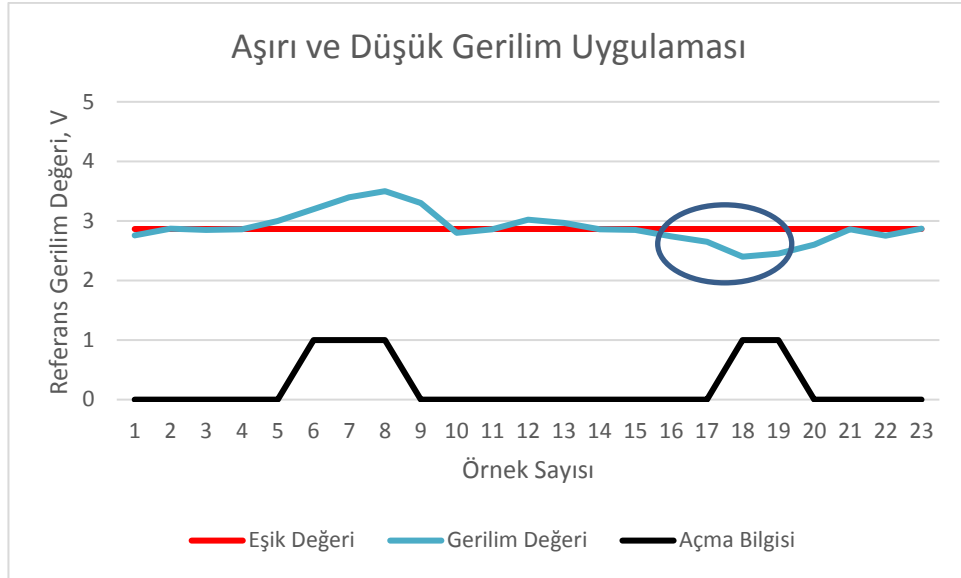
Açma bilgisinin oluşturmak için yük üzerindeki besleme gerilimi değiştirmiştir. Günlük hayatta yüklerin şebeke üzerinde oluşturacağı bu durumlar anlık olarak takip edilerek sistemin kapatılması gereken bölümleri bu taslak uygulamada olduğu gibi uyarılarak elde edilebilir. Bu uygulama sistemlere seçilebilir ve kontrol altında tutmaya yaramaktadır.

Güçleri çok yüksek olan makinelerin oluşturduğu sistemlerde, örneğin; birkaç

pres, yüksek güçte fan, pompa, ark ocağı vb. ekipmanların olduğu, başlangıç anlarında hep birlikte çok yük çektikleri için gerilim düşümlerine neden olmaktadır. Bu durumda sistem içerisinde yer alan elektronik aletlerin doğru çalışmaması ya da hasarlanmasına neden olmaktadır. Bu uygulamada, gerilimin alt limitinin altına indiği zaman belirlenecek ve sisteme zarar vermeyecek kadar bir süre beklenerek ya sisteme ama bilgisi vererek zararları engellemiş ya da normal duruma dönererek sistemin hiç durmadan çalışmasına olanak sağlayabilir.

**Çizelge 4.2.** Düşük gerilim uygulama verileri.

| Gerilim Değeri | Eşik Değeri | Tolerans ( ±10%) | Gerilimin Gerçek Değeri | Açma Bilgisi |
|----------------|-------------|------------------|-------------------------|--------------|
| 2,76           | 2,865       | -3,66%           | 211,94                  | 0            |
| 2,87           | 2,865       | 0,17%            | 220,38                  | 0            |
| 2,85           | 2,865       | -0,52%           | 218,85                  | 0            |
| 2,86           | 2,865       | -0,17%           | 219,62                  | 0            |
| 3,00           | 2,865       | 4,71%            | 230,37                  | 0            |
| 3,20           | 2,865       | 11,69%           | 245,72                  | 1            |
| 3,40           | 2,865       | 18,67%           | 261,08                  | 1            |
| 3,50           | 2,865       | 22,16%           | 268,76                  | 1            |
| 3,30           | 2,865       | 15,18%           | 253,40                  | 0            |
| 2,80           | 2,865       | -2,27%           | 215,01                  | 0            |
| 2,86           | 2,865       | -0,17%           | 219,62                  | 0            |
| 3,02           | 2,865       | 5,41%            | 231,90                  | 0            |
| 2,97           | 2,865       | 3,66%            | 228,06                  | 0            |
| 2,86           | 2,865       | -0,17%           | 219,62                  | 0            |
| 2,85           | 2,865       | -0,52%           | 218,85                  | 0            |
| 2,74           | 2,865       | -4,36%           | 210,40                  | 0            |
| 2,65           | 2,865       | -7,50%           | 203,49                  | 0            |
| 2,40           | 2,865       | -16,23%          | 184,29                  | 1            |
| 2,45           | 2,865       | -14,49%          | 188,13                  | 1            |
| 2,60           | 2,865       | -9,25%           | 199,65                  | 0            |
| 2,86           | 2,865       | -0,17%           | 219,62                  | 0            |
| 2,75           | 2,865       | -4,01%           | 211,17                  | 0            |
| 2,87           | 2,865       | 0,17%            | 220,38                  | 0            |



Şekil 4.7. Düşük gerilim uygulama grafiği.

#### 4.2.3 Yüksek akım algılanması

Devreye uygulanan faz akımlarından biri ikisi ya da tümünden kabul edilebilir seviyenin üstüne çıkılması test edilmiştir. Burada, herhangi bir akım transformatörü çıkışından gelen veri algoritma içerisinde hattın nominal akımına göre belirlenen aşırı akım seviyesine denk gelen veriye ulaşıldığında açma bilgi elde edilmiştir.

Akım bilgisinin işlenmesi için mikroişlemci öncesinde ön bir devre kullanılmıştır. Devre ilk olarak şebeke veya sistemin besleme giriş noktasından elektrik enerjisinin geldiği kablo üzerinde seri bağlanan akım trafoları ile başlamıştır. Akım trafosunda 1/36 oranlı bir trafo kullanılmıştır. Uygulama devresinde akım değeri çok düşük olacağı için çevrim sayısı buna göre seçilmiştir.

Elde edilen yeni akım rafonun skeonder ucundan alınarak bir direnç devresi üzerinden geçirilmiştir. Burada amaç mikroişlemci akım girişi olarak analog veriyi alamacağı için bu akım değerine karşılık sabit bir direnç değeri ile direnç üzerinde gerilim elde edilmiştir. Bu gerilim direk olarak mikro işlemcinin girişinde kullanılmıştır. Bu uygulamada direnç olarak 10 ohm direnç kullanılmıştır.

Mikroişlemci içerisinde ise direnç üzerinde elde edilen bu gerilim değeri terse işlem ile gerçek akım değerine ulaşılacak bir dizi yazılım kullanılmıştır. Sistemde kayıplar gözardı edilmiştir.

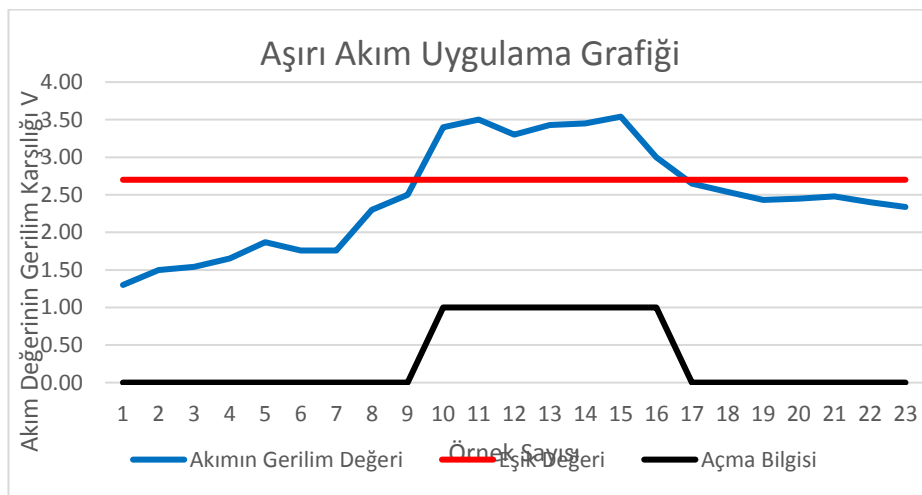
Sistemin hangi nominal değere göre veya istenilen maksimum akım değerine göre

çalışması tamamen sistem sahibine ait olacaktır. Bu değer sistemlerin kurulmasında belirlenen nominal değerlerdir. Genellikle ekipmanların çalışabileceği maksimum akım değerleri vardır, bu değerler sistem sahibi tarafından bu sisteme uygulanarak sistem tam anlamıyla bir koruma altında olacaktır. İstenilirse sistemlere en küçük bir zara vermemesi için en optimum değerler seçilerek sistem devre dışı bırakılabilir.

Bu uygulamada eşik değeri 10A olarak belirlendi ve yazılım buna göre oluşturuldu. Çizelge 4.3'de sistem üzerinde elde edilen gerilim değeri ve hesaplanarak oluşturulan gerçek akım değerleri gösterilmiştir. Kutu içerisinde gösterilen yerde ise gerçek değer belirlenen eşik değerinin üzerine çıktığı için açma bilgisi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.3. Aşırı akım uygulama verileri.

| Akımın Gerilim Değeri | Eşik Değeri | Akımın Gerçek Değeri | Açma Bilgisi |
|-----------------------|-------------|----------------------|--------------|
| 1,30                  | 2,7         | 4,68                 | 0            |
| 1,50                  | 2,7         | 5,40                 | 0            |
| 1,54                  | 2,7         | 5,54                 | 0            |
| 1,65                  | 2,7         | 5,94                 | 0            |
| 1,87                  | 2,7         | 6,73                 | 0            |
| 1,76                  | 2,7         | 6,34                 | 0            |
| 1,76                  | 2,7         | 6,34                 | 0            |
| 2,30                  | 2,7         | 8,28                 | 0            |
| 2,50                  | 2,7         | 9,00                 | 0            |
| 3,40                  | 2,7         | 12,24                | 1            |
| 3,50                  | 2,7         | 12,60                | 1            |
| 3,30                  | 2,7         | 11,88                | 1            |
| 3,43                  | 2,7         | 12,35                | 1            |
| 3,45                  | 2,7         | 12,42                | 1            |
| 3,54                  | 2,7         | 12,74                | 1            |
| 3,00                  | 2,7         | 10,80                | 1            |
| 2,65                  | 2,7         | 9,54                 | 0            |
| 2,54                  | 2,7         | 9,14                 | 0            |
| 2,43                  | 2,7         | 8,75                 | 0            |
| 2,45                  | 2,7         | 8,82                 | 0            |
| 2,48                  | 2,7         | 8,93                 | 0            |
| 2,40                  | 2,7         | 8,64                 | 0            |
| 2,34                  | 2,70        | 8,42                 | 0            |



Şekil 4.8. Aşırı akım uygulama grafiği.

Şekil 4.8’de gösterildiği gibi eşik değerinin üzerine çıktığı noktada açma bilgisi

oluşturulmuştur. Açma bilgisinin resetlenebilmesi için akım değerinin belirlenen eşik değerinin altına düşmesi beklenmiştir.

#### 4.2.4 Yüksek ve düşük frekans algılanması

Gerilim bobinlerinde elde edilen analog bilgilerin ayrıca frekansları da arduino içinde kontrol edilmekte olup, herhangi bir faza ait frekansın 49,75 Hz'in altına ve 50,25 Hz'in üstüne çıkması durumunda uyarı; 49,5 Hz'in altına inmesi ve 50,5 Hz'in üstüne çıkması durumlarında ise açma bilgileri elde edilmektedir.

Frekans bilgisi şu şekilde elde edilmiştir, gerilim değerini elde etmek için kullanılan trafo çıkışlarından paralel bir hat alınarak mikroişlemcinin timer özelliğine sahip giriş pinlerinden birisine bağlanmıştır. Atmega328p MCU PD5 pini harici sayıcı giriş pinidir, bu uygulamada pin 5 frekans ölçümü için kullanılmıştır. Gerilim tarfosundaki çıkış istenilen gerilim seviyesinde olduğu için ekstra düşürücü bir ara devreye ihtiyaç olmamıştır.

Pin 5 den gelen sinyalin düşen veya yükselen kenar özelliği kullanılarak 1 sn içerisinde oluşan tüm düşen kenar sayılması ile sistemin frekans değeri okunmuş olmaktadır. Mikroişlemci içerisinde yer alan timer1 ile düşen kenar tetikleme yapılırken timer2 ile 1 sn'lik periyot belirlenmiş ve karşılaştırma yapılarak frekans değeri yansıtılmıştır. EK-1'de verilen kod örneklemede timer ayarlamaları ve frekans değişkeni görülebilmektedir.

Bu değişken daha sonra programın ana gövdesinde kullanılarak eşik değerleri içerisinde değil mi kontrolleri yapılmaktadır. Eşik değerleri, Elektrik Şebeke Yönetmeliği (1998) Üçüncü Bölüm'de yer alan sistem frekans değerleri gereğince belirlenerek sisteme tanıtılmıştır. Yönetmeliğe göre üretilecek olan elektrik ekipmanları için çalışma aralığı nominal değeri Türkiye için 50 Hz iken 47,5 ile 52 Hz arasında çalışabilme yeteneğinde olmalıdır der. Frekans eşik değeri bu aralıkta kalarak belirlenir ve sistemin hassasiyetine göre bu aralık dahada daraltılarak sistemde açma bilgisi oluşturabilir.

#### 4.2.5 Farklı parametre girişleri

Gerçekleştirilen devrede arduino için farklı girişlerde aktif hale getirilerek, farklı fiziksel büyüklüklerinde dikkate alması sağlanabilir. Bu büyüklükler sıcaklık, nem v titreşim vb. olabilir.

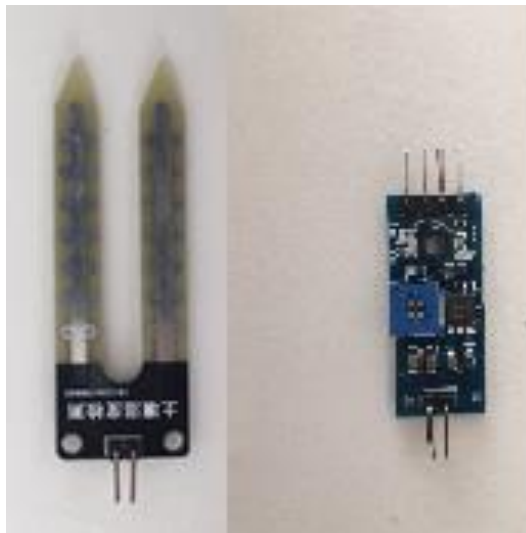
Burada yük üzerinde düşen sıcaklık ve nem parametreleri de bu kapsamda

değerlendirilerek etkileri ele alınmıştır. Benzer biçimde sıcaklık yük üzerinde 50 derece üstü uyarı, 60 derece üstünde açma bilgileri elde edilmiştir. Nem için ise %60 uyarı seviyesi %75 açma seviyesi olarak seçilmiştir.

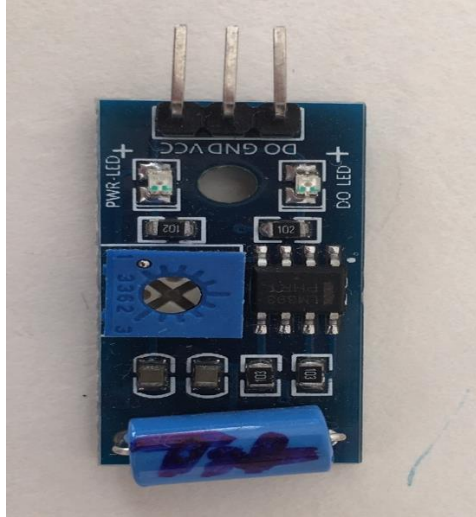
Bu tür verilerin elde edilmesi için birçok farklı sensör kullanılabilir bizim deney setimizde kullandığımız sensörler Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Bu sensörler üzerlerinden istenilen set değerleri ayarlanarak dijital çıkış verebilmektedir. Nem ve deprem sensörü için dijital çıkış elde edilmiş iken, sıcaklık sensörü ise mikroişlemcinin analog girişine bağlanarak elde edilen veri işlenerek sıcaklık değerine ulaşılmıştır.



**Şekil 4.9.** Sıcaklık sensörü.



**Şekil 4.10.** Nem Sesörü ve Kontrol Ünitesi.



**Şekil 4.11.** Deprem Sensörü.

Elektronik ekipmanların çalışma şartlarına bakıldığında sıcaklık ve nem çok önemli bir yer tutmaktadır. Bu uygulamada mikroişlemci yer aldığı için sıcaklık ve nem çok önemli çevre şartları olmamaktadır. Sistemde bu verileri elde ederek çalışma şartlarının dışına çıkıldığı anda sistemi kapatmakta ve kendini korumaya almaktadır.

Deprem sensörü ise herhangi bir doğal afet anında enerji beslemesini keserek tüm sistemi koruma altına almaktadır.

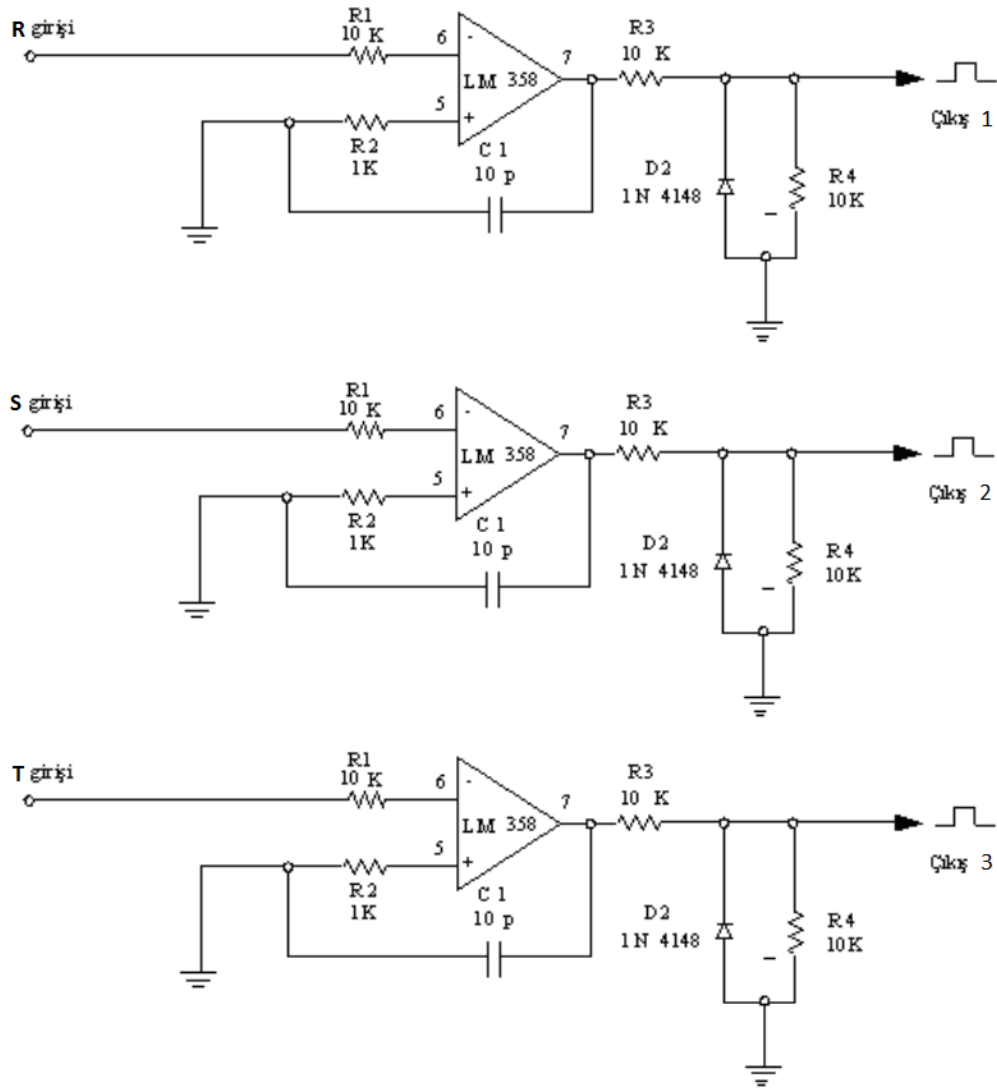
#### **4.2.6 Faz dengesi ve sırasının kontrolü**

Çalışmada öncelikle faz akımlarının birbirini dengeleyebilme özellikleri dikkate alınmış olup, faz simetrisinin sağlanamadığı durumlarda nötr ile bu dengenin sağlanabilirliği kontrol edilmiştir. Fazlar arası değerin %50 ve üzeri bozulmasında uyarı %70 ve üzeri bozulmasında ise açma bilgisi elde edilmiştir.

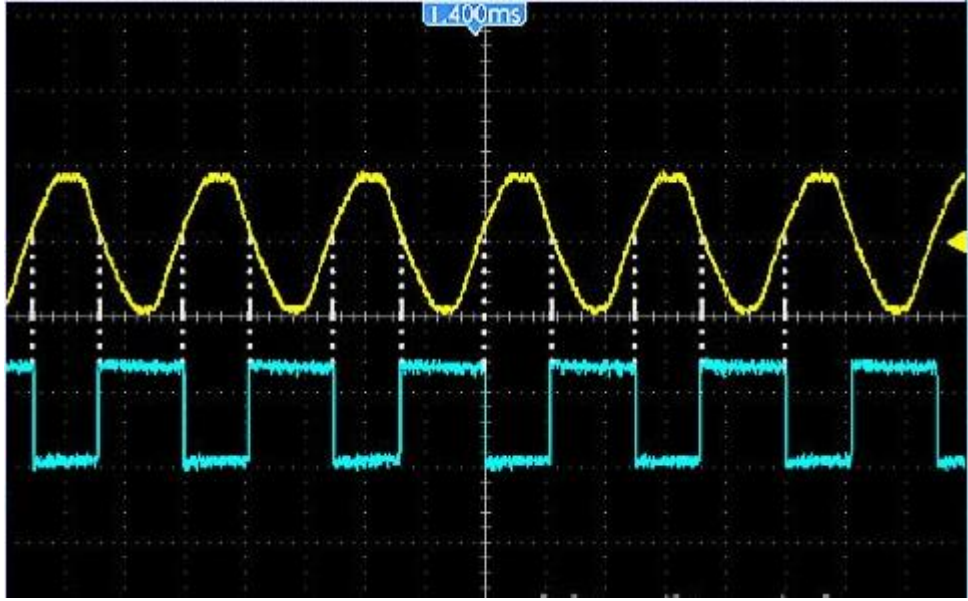
Fazlar arası dengenin nötr ile sağlanamadığı durumlar ise kaçak akım olarak değerlendirilerek 30 mA'e karşılık gelen 0,82 V verisi kadar dengesizlik durumunda açma verisi elde edilmiştir.,

Ayrıca fazlar arasında faz sırası kontrolü ve oluşabilecek harmoniklerin etkisi ile fazlar arası acının kontrolü sağlanmıştır. 3 fazın birbirisi arasındaki açı kontrolü için fazlar üzerine yerleştirilen gerilim trafolarının çıkışındaki sinüs sinyallarının bir sıfır geçiş dedektöründen geçirilmesi ile aynı frekans ve derecede kare dalga üretilmiştir. Kare dalgalar mikroişlemcinin uygun olan dijital pin girişlerine bağlanmıştır. Bu aşamada tüm sistemde yer alan toprak ve nötr uçların ortak olması çok önemlidir.

Sıfır geçiş dedektörü için şekil 4.12’de verilen devre kullanılmıştır. Her bir faz için aynı devre tekrarlanmıştır. Dedektör sinüs sinyalinin sıfır noktasından geçtiği anlarda çıkışında 5VDC değerinde, lojik 1’e karşılık gelen bir sinyal üretmektedir (Şekil 4.13).

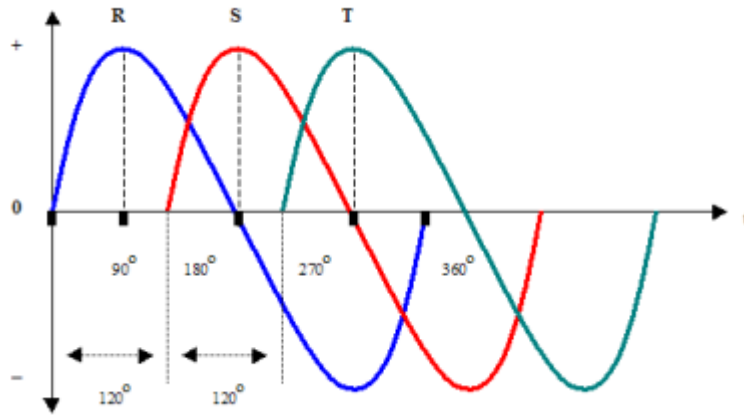


Şekil 4.12. Sıfır geçiş dedektörü her bir faz için.



**Şekil 4.13.** Sıfır Geçiş Dedektör Giriş ve Çıkış Sinyal Gösterimi.

Sıfır geçiş dedektörleri çıkışlarında üretilen kare dalga formundaki sinyaller mikroişlemcinin dijital girişlerine uygulanır. Sırasıyla fazlar arasındaki açının kontrolü için R fazından gelen bir lojik 1 anında mikroişlemcide bir timer kesmesi ile bir bir zaman sayıcısı başlatılır ve S fazından gelen lojik 1 ilede kesme sonlandırılır ve bu iki zaman arasındaki süre mikrosaniye mertebesinde hesaplanır. Bu süre yardımı ile iki sinyal arasındaki faz fark acısı hesaplanmış olur. fazlar arasındaki açının olması gereken faz farkı 120 derecedir. Mikroişlemci içerisinde, temiz bir şebek sinüs sinyalinin 50 Hz frekansa sahip olduğu düşünülürse fazlar arasındaki 120 derecelik açı farkının karşılık geldiği zaman değeri 6.666 mikrosaniye seviyesindedir. Bu R ve S fazları arasındaki açı farkına karşılık gelmektedir. S ve T fazları arasındaki ölçümde bu değer üzerinden karşılaştırılarak faz sırası ve fazlar arasındaki bozulmalar incelenmiş olmaktadır.



**Şekil 4.14.** R-s-t fazları arası açı farkının gösterimi.

Temiz bir şebeke ve sisteme sahip hatlarda Şekil 4.14’da gösterildiği gibi fazlar arasındaki 120 derecelik açı farkı korunmalıdır. Bu uygulamada sisteme verilecek bir sapma değeri ile bu fazlar arasındaki farklar sürekli olarak kontrol edilerek sistemin karalığı ve bozucu etkenlerin varlığı tespit edilmiş olur. Fazlar arasındaki bozulmalar verilen eşik değerinin üzerine çıktığı durumlarda devreden açma bilgisi oluşturularak sistem devre dışı bırakılmış olur.

Burada kullanılan dedektör yardımı ile akım trafolarından elde edilen sinyaller kullanılarak fazlar arasındaki güç faktörleri ve  $\cos Q$  değerleride hesaplanabilir.

## 5. SONUÇ

Elektrik enerji sistemlerinde; üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarını içeren bir çok hatalar meydana gelebilir. Bu hataları ortaya çıkaran sebepler çok kısa bir sürede ortadan kalkmazsa, elektrik enerji sistemlerine ve bu sistemden beslenen elektrikselle yüklerle zarar verebilirler. Bu sebeple, elektrik enerji sistemlerinde ortaya çıkan hataların çok kısa bir sürede ve mümkün olan en dar bölgeyi etkileyecek şekilde giderilmesi gerekir. Gerçekleştirilen tezde, bu amaçla elektrik enerji sistemlerinde hata algılama ve çözümlemesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar ile farklı hata tiplerini algılayarak uyarı ve açma bilgileri oluşturabilen bir model tasarımı hedeflenmiştir.

Tasarımı gerçekleştirilen model elektrik enerjisi tüketim sistemlerinde karşılaşılabilecek hataları algılama yeteneğinde olup, bu hatalar karşısında vereceği tepkiler yazılımsal olarak belirlenebilmektedir. Oluşturulan yazılımlar, Atmega serisine sahip bir işlemcide değerlendirilmektedir. Aşırı ve düşük gerilim uygulamalarında şebekeden elde edilen sinyal 5 VDC gerilim mertebelerinde 2,865 VDC eşik değeri verilerek sistemin çıkışında kontak bilgisi elde edilmiştir. Aynı uygulama aşırı akım içinde elde edilmiştir, burada eşik değeri 2,7 VDC olarak verilmiştir. Yazılımın sabitleri ve değişkenleri için belirlenen eşik seviyelerinde değişimler yapılarak, hata algılama ve tepki türleri farklılaştırılabilir. Bu farklılık sistemin hangi önceliklere sahip olduğuna göre değişebilir. Bazı sistemlerin bağlı olduğu şebekeler çok kaliteli ve temiz bir enerjiye sahipken bazı şebekeler ise bu özelliklere sahip değildir. Buda sistemin bize getirmiş olduğu esneklik ve ayar kabiliyeti sebebi ile her ortamda farklı ayar modlarında kullanabileceği çözümünü getirmektedir. Gerçekleştirilen tasarım modelindeki değişken kavramları için, prototipi daha da geliştirerek, açma bobinli şalterlere fonksiyonel değişim özellikli kontrol ünitesi geliştirme yeteneği mevcuttur. Örneğin; bir harmonik çalışması bu sistem üzerinde rahatlıkla uygulanabilir, önemli olan sistem için gerekli sinyal seviyesini oluşturmak ve bunu işlemektir. Yapılacak elektronik kartlar piyasada var olan şalterler içerisine yerleştirilerek şalterlerin bölüm bazlı ve farklı ayar modlarına göre çalışması sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- Casolino, G. M., & Losi, A., (2016). Load Area Model Accuracy In Distribution Systems. *Elsevier*. 143, 321-328
- Chen T. H. , & Chen M. S., & Hwang K. J., & Kotas P., & Chebli E. A., (1991). Distribution System Power Flow Analysis - A Rigid Approach. *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol 6 (3), 1146-1152.
- Demirbaş Ş., & Bayhan S., (2009). Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Gerçek Zamanlı Ölçüm ve Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 24 (3), 461-468.
- Dündar, N. (2002). *Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Güvenilirlik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (1998). *Elektrik İç Tesisler Yönetmeliği*. [http://www.emo.org.tr/mevzuat/mevzuat\\_detay.php?kod=65](http://www.emo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=65)
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2000). *Elektrik Kuvvetli Akım Tesisler Yönetmeliği*. [http://www.emo.org.tr/mevzuat/mevzuat\\_detay.php?kod=53](http://www.emo.org.tr/mevzuat/mevzuat_detay.php?kod=53)
- Fellow C. W. T., (1992). Concepts of Undervoltage Load Shedding for Voltage Stability. *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol 7 (2), 480-488.
- Fellow, Y. T., (1983). Relationship Between Voltage Instability and Multiple Load Flow Solutions In Electric Power Systems. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*. Vol. 7 (5), 1115- 1125.
- Kusko, A., & Thompson, M., (2007). Power Quality in Electrical Systems. *McGraw-Hill. Pacific Gas and Electric Company*. <http://www.powerqualityworld.com/2011/04/ansi-c84-1-voltage-ratings-60-hertz.html>
- Latran, M. B., & Teke, A., (2014). Güç Kalitesi Problemlerini Düzeltten Dağıtım Sistemine Paralel Bağlı Evirici Tabanlı Kompanzatorların İncelenmesi., *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. Cilt 29 (4), 793-805.
- National Electrical Manufacturers Association (2018). *Motors and Generators*. 1300 North 17th Street, Suite 900 Rosslyn, Virginia 22209, 35.
- Reddy, M. J. B., & Raghupathy, R. K., & Venkatesh, K. P., & Mohanta, D. K., (2012) Power quality analysis using Discrete Orthogonal S-transform (DOST). *Elsevier*. 23 (2013), 616-626
- SAEEDI, S. (2016), *Impacts of Distributed Generations On Distribution System Reliability*. M.Sc. THESIS, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul
- Türk Standartlar Enstitüsü (2007). *Elektrik Tesisatları Standartı*. <https://intweb.tse.org.tr/Standard/Standard/Standard.aspx?>

Ünlüsoy, B., (2011). Enerji Kalitesi, TS EN 50160 Standardı ve Ülkemizdeki Uygulamaları. *Schneider Elektrik San. ve Tic. A.Ş.*, İstanbul

Weinert, N., & Mose, C., (2016). Electrical load management for production equipment applying a decentralized optimization approach, Elsevier. 48 (2016), 259-264.

## EKLER

**Ek-1:** bölüm-4 uygulama mikroişlemci yazılım kodu örnekleme

```
void loop(){  
  
int Galarm1, Galarm2, Aalarm1;  
while(1){  
  
    int Gveri1 = analogRead(A0);  
  
    int Averi1 = analogRead(A5);  
  
    in TC = analogRead(A2);  
  
    float akim1 = 0.004887586*Averi1;  
  
    float akim = 1000*akim1/5600;  
  
    float gerilim1 = 0.004887586*Gveri;  
  
    float TC1 = 0.004887586*TC;  
  
    if (gerilim1 < 3.3 )  
        Galarm1 = 1;  
    else Galarm1 = 0;  
  
    if (akim1 > 3.75)  
        Aalarm = 1;  
    else Aalarm1 = 0;  
  
    if (gerilim1 > 3.75)  
        Galarm2 = 1;  
    else Galarm2 = 0;  
  
...|
```

```
#define tacho 5 // TMR1 için harici sayıcı giriş pini
uint16_t sayac_timer2, frekans;
boolean aktif;
void setupTimer1() {
  noInterrupts();
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;
  TCNT1 = 0;
  TCCR1B |= (1 << CS12) | (1 << CS11); // pin 5, düşen kenar tetikleme
  interrupts();}
void setupTimer2() {
  noInterrupts();
  // Clear registers
  TCCR2A = 0;
  TCCR2B = 0;
  TCNT2 = 0;
  OCR2A = 124; // 1000 Hz (16000000/((124+1)*128))- 1 ms periyot
  TCCR2A |= (1 << WGM21); // CTC
  TCCR2B |= (1 << CS22) | (1 << CS20); // Prescaler 128
```

```
TIMSK2 |= (1 << OCIE2A); // Output Compare Match A Interrupt Enable
interrupts();}
ISR(TIMER2_COMPA_vect) { //Timer2, 1 sn periyot ve sayıcı değeri okuma
sayac_timer2 = sayac_timer2 + 1;
if(sayac_timer2==1000) {sayac_timer2=0;frekans=TCNT1;TCNT1=0;aktif=1;} // frekans
değeri her 1000ms(1sn) de bir okuma yapıyor.}
void setup() {
pinMode(tacho,INPUT);
setupTimer1();
setupTimer2();}
void loop() {
...
if(aktif){
if (frekans < 47,5){
...}
if (frekans > 52){
...}
oku=0;}}
...
```

## ÖZ GEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ömer TÜR KARSLAN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli / 03.04.1990



### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-  
Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

### İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Bien Yapı Ürünleri (25.11.2013-31.03.2017)  
Ford OTOSAN (03.04.2017' den beri halen çalışıyor.)

### İletişim

Adres : Bozüyük-Kütahya Devlet Karayolu 8. km  
İnönü/Eskişehir

E-Posta Adresi : turkarслан.omer@gmail.com