

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜRDÜN ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİNİN GÜÇ KALİTESİ AÇISINDAN  
İNCELEMESİ**

**AHMAD SAMARREH**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
YRD. DOÇ. DR. ERDİN GÖKALP**

**İSTANBUL, 2012**

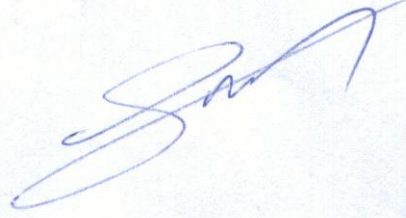
**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜRDÜN ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİNİN GÜÇ KALİTESİ AÇISINDAN  
İNCELEMESİ**

Ahmad SAMARREH tarafından hazırlanan tez çalışması 01.02.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Tesisleri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

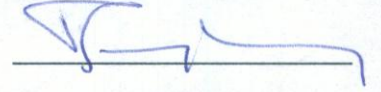
**Tez Danışmanı**

Yrd.Doç. Dr. Erdin GÖKALP  
Yıldız Teknik Üniversitesi

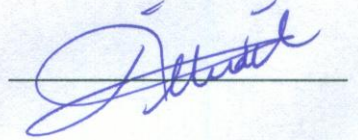


**Jüri Üyeleri**

Prof.Dr.Hüseyin ÇAKIR  
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof.Dr.Hakan ÜNDİL  
İstanbul Üniversitesi



## ÖNSÖZ

---

Artan enerji ihtiyacı ile birlikte alternatif enerji kaynakları oluşturmak ve buna ek olarak da var olan enerji sistemlerinin en verimli şekilde kullanılabilmesi oldukça önemiyet arz etmektedir. Enerjinin en gerekli ve yaygın kullanım şekli hiç şüphesiz elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisi kapsamına giren konular üzerinde bugün pekçok araştırma yapılmaktadır. Bu araştırmalar içerisinde dikkati en çok çeken ise hiç şüphesiz elektrik enerjisinin en verimli şekilde kullanılması yönünde yapılan araştırmalardır.

Elektrik enerjisi üretildiği andan, tüketiciye ulaşana kadar çeşitli durumlara maruz kalır. Bu sebeple elektrik enerjisinin istenen düzeyde ve verimlilikte tüketiciye ulaşabilmesi her zaman mümkün olmaz. Bu verimliliği sağlamak ve elektrik enerjisini istenen düzeyde bir güç sistemi haline getirebilmek için birçok araştırma-geliştirme projesi üzerinde çalışılmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde en güncel olanları, güç kalitesini iyileştirme ve enerjiyi kompanze etme üzerine yürütülen çalışmalardır. Bu ve benzeri çalışmalar birlikte yürütülerek enerjinin kaliteli ve verimli kullanımı amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında genel itibarıyla enerjinin bir güç sistemi olarak en ideal nasıl kullanılabileceği ile ilgili birtakım bilgiler sunulmuştur. Bu bağlamda ilk olarak enerji sistemlerinde güç konusuna ilişkin temel teknik kısımlara yer verilmiş, sonrasında ise enerji kalitesi problemi olarak harmoniklerden bahsedilmiş ve güç kalitesi ile ilgili olarak kompanzasyon sistemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Son bölümde ise tüm bunları içeren bir güç kalitesi uygulama alanı olarak ÜRDÜN ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİ üzerinde yapılan çalışmalar, güç kalitesi açısından incelemeye tabi tutularak açıklayıcı bir analiz yapılmıştır.

Başta, bilgi ve tecrübesi ile bana destek olup, çalışmama yön veren değerli Yrd. Doç.Dr. Erdin GÖKALP olmak üzere, tezi düzenlememde yardımcı olan İ.Seyfeddin KOÇ ve Ahmet LÜTFÜ' ve Mehmet Güç'e ve son olarak da araştırma süresince Ürdün'den katkıda bulunan sevgili arkadaşım Müh. Zuhir RABAA ve Müh. Hüseyin OLAYYAN'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Şubat, 2012

Ahmad SAMARREH

## İÇİNDEKİLER

|                                                                           | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|
| SİMGE LİSTESİ .....                                                       | vi    |
| KISALTMA LİSTESİ .....                                                    | ix    |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                        | x     |
| ÇİZELGE LİSTESİ .....                                                     | xi    |
| ÖZET .....                                                                | xii   |
| ABSTRACT .....                                                            | xiv   |
| BÖLÜM 1.....                                                              | 1     |
| GİRİŞ .....                                                               | 1     |
| 1.1    Literatür Özeti .....                                              | 1     |
| 1.2    Tezin Amacı .....                                                  | 3     |
| 1.3    Hipotez .....                                                      | 3     |
| BÖLÜM 2.....                                                              | 4     |
| GÜÇ KALİTESİ .....                                                        | 4     |
| 2.1    Güç Kalitesinin Tanımı.....                                        | 4     |
| 2.2    Elektrik Güç Sistemlerinde Kalite İle İlgili Temel Kavramlar ..... | 5     |
| 2.2.1 Gerilim Kesintisi (Outage ) .....                                   | 7     |
| 2.2.1.1Gerilim Kesintisinin Etkileri.....                                 | 8     |
| 2.2.2 Gerilim Darbesi (Voltage İmpulse ) .....                            | 8     |
| 2.2.3 Çentikler (Notches ) .....                                          | 9     |
| 2.2.4 Frekans Değişimi .....                                              | 10    |
| 2.2.5 Gerilim Düşmesi Kavramı (Voltage Sag ).....                         | 10    |
| 2.2.5.1 Gerilim Düşmesinin Etkileri.....                                  | 11    |
| 2.2.6 Aşırı Gerilim Kavramı (Voltage Swell ) .....                        | 12    |
| 2.2.6.1 Aşırı Gerilimin Etkileri .....                                    | 13    |
| 2.2.7 Titreme (Flickers) .....                                            | 13    |
| 2.2.8 Elektromanyatik Girişim (EMI).....                                  | 14    |

|                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.9 Gerilim Dengesizliği.....                                           | 15        |
| 2.2.9.1 Gerilim Dengesizliğinin Etkileri .....                            | 16        |
| 2.2.9.2 Gerilim Dengesizliğinin Giderilmesi .....                         | 16        |
| 2.2.10 Elektriksel Gürültü (Noise) .....                                  | 16        |
| 2.3 Güç Kalitesi Ölçütleri ve Standartları .....                          | 18        |
| <b>BÖLÜM 3.....</b>                                                       | <b>19</b> |
| <b>GÜÇ KALİTESİ VE HARMONİKLER .....</b>                                  | <b>19</b> |
| 3.1 Güç Kalitesi ve Harmonikler .....                                     | 19        |
| 3.2 Harmonik Nedir? .....                                                 | 20        |
| 3.3 Harmonik Büyüklerinin Tanımı .....                                    | 23        |
| 3.3.1 Toplam Harmonik Distorsiyonu ve İlgili Bağlantılar.....             | 23        |
| 3.3.1.1 Toplam Harmonik Bozulma ( Gerilim için ) .....                    | 23        |
| 3.3.1.2 Akım Toplam Harmonik Distorsiyonu (Akım Bozulma Faktörü ) .....   | 23        |
| 3.3.2 Distorsiyon Faktörü.....                                            | 24        |
| 3.3.3 Tepe Faktörü .....                                                  | 24        |
| 3.3.4 K- Faktörü.....                                                     | 25        |
| 3.3.5 Harmonik Faktörü .....                                              | 25        |
| 3.3.6 Toplam Talep Distorsiyonu .....                                     | 25        |
| 3.4 Harmonik Üreten Kaynakları .....                                      | 26        |
| 3.4.1 Generatörler .....                                                  | 28        |
| 3.4.2 Transformatörler.....                                               | 28        |
| 3.4.3 Statik Var Kompanzasyonu .....                                      | 31        |
| 3.5 Harmonik Etkiler .....                                                | 31        |
| 3.5.1 Harmonik Güç Sistemlerine Etkileri .....                            | 31        |
| 3.5.2 Harmoniklerin Rezonanslara Olan Etkileri .....                      | 33        |
| <b>BÖLÜM 4.....</b>                                                       | <b>36</b> |
| <b>GÜÇ FAKTÖRÜ VE DÜZELTME YÖNTEMLERİ .....</b>                           | <b>36</b> |
| 4.1 Kompanzasyon Nedir? .....                                             | 36        |
| 4.2 Kompanzasyon Sistemlerini Vektörel Olarak Yorumlama .....             | 38        |
| 4.3 Kompanzasyon Önemi .....                                              | 38        |
| 4.3.1 Üretici yönünden Kompanzasyonun Önemi .....                         | 38        |
| 4.3.1 Tüketici yönünden Kompanzasyonun Önemi .....                        | 38        |
| 4.4 Harmoniklerin Giderilmesi.....                                        | 42        |
| 4.4.1 Pasif Filtre .....                                                  | 43        |
| 4.4.1.1 Düşük Ayarlı Pasif Filtre .....                                   | 43        |
| 4.4.1.2 Ayarlı Filtre .....                                               | 43        |
| 4.4.2 Aktif Filtre .....                                                  | 44        |
| 4.4.3 Karma Filtre .....                                                  | 45        |
| 4.5 Filtre Prensipleri Özellikleri .....                                  | 45        |
| 4.6 Kompanzasyonda Harmonik Etkisi .....                                  | 46        |
| 4.7 Harmonik Filtreli Kompanzasyon Panoları ve Rezonans Reaktörleri ..... | 46        |
| <b>BÖLÜM 5.....</b>                                                       | <b>48</b> |

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| ÜRDÜN ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİ GÜÇ KALİTESİ İNCELEMESİ .....                  | 48 |
| 5.1 Ürdün Ulusal Elektrik Şebekesinin Tarihinin Özeti .....                   | 48 |
| 5.2 Ürdün Ulusal Şebekesinin Bölgesel Bağlantısı .....                        | 49 |
| 5.3 Yenilenebilir Enerji Projeleri .....                                      | 52 |
| 5.3.1 Rüzgâr Enerjisi .....                                                   | 52 |
| 5.3.2 Güneş Enerjisi .....                                                    | 52 |
| 5.3.3 Bio-Enerji .....                                                        | 52 |
| 5.3.4 Neft yağı .....                                                         | 52 |
| 5.4 Elektrik Enerji Taşıma Sistemi .....                                      | 53 |
| 5.4.1 Aktarma İstasyonları.....                                               | 53 |
| 5.4.2 İletim Hatları.....                                                     | 53 |
| 5.5 Ulusal Elektrik Şebekesi Güç Kalitesi Değerlendirme .....                 | 54 |
| 5.5.1 Yöntem .....                                                            | 55 |
| 5.5.2 Ana Sistem Bileşenleri için Yıllık Enerji Kalitesi Ölçüm Programı ..... | 55 |
| BÖLÜM 6.....                                                                  | 63 |
| SONUÇ VE ÖNERİLER.....                                                        | 63 |
| 6.1 Sonuç.....                                                                | 63 |
| 6.2 Öneriler .....                                                            | 64 |
| KAYNAKLAR.....                                                                | 66 |
| ÖZGEÇMİŞ.....                                                                 | 68 |

## SİMGE LİSTESİ

---

|                   |                                                           |
|-------------------|-----------------------------------------------------------|
| AC                | Alternatif Akım                                           |
| AC/DC             | Alternatif Akım to Doğru Akım çeviririler                 |
| AG                | Alçak Gerilim                                             |
| C                 | (kondansatör)                                             |
| CF                | Sinüsoidal olmayan dalgalar için tepe faktörü             |
| $\cos \phi$       | Güç katsayısı değeri                                      |
| DC                | Doğru Akım                                                |
| DF <sub>i</sub>   | Akım Distorsiyon Faktörü                                  |
| DF <sub>v</sub>   | Gerilim Distorsiyon Faktörü                               |
| EMI               | Electromagnetic interference (Elektromanyetik Girişim )   |
| f <sub>1</sub>    | 1. Harmonik Frekansı                                      |
| f <sub>n</sub> n. | Harmonik Frekansı                                         |
| HF n              | Harmonik Faktörü                                          |
| HVDC              | Yüksek gerilim ile enerji iletim sistemleri               |
| Hz                | Frekans birimi-Hertz                                      |
| I                 | Nominal Akım                                              |
| I <sub>h</sub>    | Harmonik bileşen yük akım                                 |
| I <sub>mn</sub>   | n. Harmonik Akım Tepe Değeri                              |
| I <sub>n</sub>    | n. Harmonik Akım Etkin Değeri                             |
| I <sub>nm</sub>   | n. Harmonik Akım tepe değeri                              |
| L                 | Endüktans                                                 |
| L <sub>n</sub>    | Bir filtre reaktörü mH                                    |
| MW                | Mega Watt                                                 |
| n <sub>w</sub> C  | n. Harmonik Açısıl reaktans                               |
| PT                | Power transformers                                        |
| AR                | Volt-amper-reaktif gücün                                  |
| rms               | Etkin değer (Root mean square)                            |
| R <sub>n</sub>    | n. Harmonik Frekansın Direnci                             |
| RF                | Radio Frekans                                             |
| THD <sub>i</sub>  | Akım toplam harmonik distorsiyonu (akım bozulma faktörü ) |
| THD <sub>v</sub>  | Gerilim toplam harmonik distorsiyonu                      |
| TTD               | Toplam Talep Distorsiyonu                                 |
| UPS               | KGK , Kesintisiz güç kaynağı                              |

|                  |                                                              |
|------------------|--------------------------------------------------------------|
| V                | Nominal gerilimi                                             |
| V <sub>h</sub>   | Harmonik bileşen gerilim                                     |
| V <sub>1</sub>   | Gerilimin temel bileşeninin efektif değerini göstermektedir. |
| VA               | Volt-amper                                                   |
| V <sub>max</sub> | Gerilimin maksimum değeri                                    |
| V <sub>mn</sub>  | n. Harmonik Gerilim Tepe Değeri                              |
| V <sub>n</sub>   | n' ci harmonik gerilimine ait efektif değeri,                |
| V <sub>rms</sub> | Gerilimin etkin (efektif) değeri                             |
| W                | Watt                                                         |
| XC               | Kapasitif Endüktans                                          |
| XL               | Endüktif Endüktans                                           |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|          |                                                                                                                         |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ABD      | Amerika Birleşik Devleti                                                                                                |
| ANSI     | American National Standard Institute                                                                                    |
| CEGC     | Elektrik Üretim Şirketine                                                                                               |
| CİGRE    | Congress Internationale des Grand Reseaux Electriques a Haute Tension                                                   |
| EDC      | Elektrik Dağıtım Şirketidir                                                                                             |
| EIJLLPST | Sekizlik bölgesel şebeke projesi (Eygept(mısır) Irak, Jordan (Ürdün),Lubnan , Libya Palestine(filistin), Syria ,Turkey) |
| IDECO    | brid Elektirk Kurumu                                                                                                    |
| IEC      | International Electrotechnical Commisson                                                                                |
| IEEE     | Institute of Electrical and Electronics Engineers                                                                       |
| JEPCO    | Ürdün Elektrik Enerjisi Kurumu                                                                                          |
| NEPCO    | Ulusal Elektirk Enerji şirketi                                                                                          |
| SMPS     | Switch Mode Power Supply                                                                                                |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                         | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2. 1 Gerilim Kesilmesi Anındaki 1 Faz Gerilim Dalga Şekli .....                                   | 7     |
| Şekil 2. 2 Şebeke Geriliminde Görülen Geçici Gerilim Yükselmesi.....                                    | 8     |
| Şekil 2. 3 Sinüs Dalgasındaki Çentikler .....                                                           | 9     |
| Şekil 2. 4 Kısa Süreli Gerilim Düşmesi Grafiği .....                                                    | 11    |
| Şekil 2. 5 Gerilim Yükselmesi Anındaki 1 Faz Gerilim Dalga Şekli .....                                  | 12    |
| Şekil 2. 6 Gerilim Dengesizliği Anındaki 3 Faz Gerilim Dalga Şekli .....                                | 15    |
| Şekil 2. 7 Sinüs dalgasındaki gürültü geçici olarak yürüyen hızlı transientlerin .....                  | 17    |
| Şekil 2. 8 Güç Kalitesi Problemlerinin Grafikselsel Açıklaması .....                                    | 17    |
| Şekil 3. 1 Ana Pano Şebeke Gerilimleri (Yüksüz Çalışmada) .....                                         | 20    |
| Şekil 3. 2 Makine Çalıştırıldığında Gerilim İle İlgili Parametreler(Yük Altında) .....                  | 20    |
| Şekil 3. 3 Temel Dalga , 3. , 5. , Ve 7. Harmonikler İle Bunların Bileşkesi Olan Bileşke Dalgalar ..... | 22    |
| Şekil 3. 4 5. Ve 7. Harmonik İçeren Şebeke Gerilim .....                                                | 30    |
| Şekil 4. 1 Kompanzasyonu Sağlanmamış Sistemin Akım-Gerilim Grafiği .....                                | 37    |
| Şekil 4. 2 Kompanzasyonu Sağlanmış Sistemin Akım-Gerilim Grafiği .....                                  | 38    |
| Şekil 4. 3 Güç Üçgeninde Kompanzasyonun Gösterilmesi .....                                              | 39    |
| Şekil 4. 4 Harmonikli (Filtersiz ) Dalga .....                                                          | 47    |
| Şekil 4. 5 Harmoniksiz (Filterlenmiş ) Dalga .....                                                      | 47    |
| Şekil 5. 1 Bölgesel Elektrik Şebekesi .....                                                             | 51    |
| Şekil 5. 2 Rüzgar Çiftliği,Kamaş/Jaraş Şehrinde .....                                                   | 53    |
| Şekil 5. 3 Ulusal Elektrik Enerjisi Üretim, İletim, Dağıtım Ve Tüketim Sistemi.....                     | 54    |
| Şekil 5. 4 Fluke 434 Güç Analizörü .....                                                                | 55    |

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

|                                                                               | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2. 1 Güç Kalitesin bozan etkenler.....                                | 6     |
| Çizelge 3. 1 Harmonik ölçümleri .....                                         | 31    |
| Çizelge 3. 2 Rezonans etkileri .....                                          | 34    |
| Çizelge 5. 1 Bölgesel Elektrik Şebekesinin sağladığı tasarruf miktarları..... | 51    |
| Çizelge 5. 2 Konum , ölçüm periyodunun süresi .....                           | 56    |
| Çizelge 5. 3 EN50160 özellik ve sınırları .....                               | 57    |
| Çizelge 5. 4 Yüksek titreme değerlerinin görüldüğü Nepco Trafosu .....        | 58    |
| Çizelge 5. 5 THD gerilim ölçüm örneği.....                                    | 59    |
| Çizelge 5. 6 H7 gerilim ölçüm örneği .....                                    | 60    |
| Çizelge 5. 7 Bayader Trafosun ait THD gerilim ölçüm örneği .....              | 61    |
| Çizelge 5. 8 H3 gerilim ölçüm örneği .....                                    | 62    |
| Çizelge 5. 9 Fliker ölçüm örneği .....                                        | 62    |

## ÜRDÜN ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİNİN GÜÇ KALİTESİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

Ahmad SAMARREH

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Erdin GÖKALP

Günümüzde enerji, dünyada araştırılan konuların başında gelmektedir. Ülkeler yeni enerji kaynaklarının ortaya çıkarılmasının yanında mevcut enerji kaynaklarının da verimli bir şekilde kullanılabilmesi yönünde çalışmalarını arttırmaktadırlar.

Ürdün, bu çalışmaların hız kazandığı ülkelerin başında gelmektedir. Son yıllarda, Ürdün’de bu alanla ilgili oldukça ciddi yatırımlar yapılmıştır. Bununla ilgili olarak yeni kanunlar yürürlüğe konmuş ve kurumsal bir yapı oluşturulmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmalar bir bütün olarak mevcut enerjinin kalitesini arttırmanın yanında elektirik enerjisinin kullanıcıya en ekonomik ve en verimli şekilde ulaştırılması amacıyla yürütülmektedir.

Elektrik enerjisi; üretildiği santrallerden, tüketildiği yere ulaşıncaya kadar çeşitli kayıpların meydana gelmesi kaçınılmazdır. Elektrik enerjisi, santralden en küçük alıcıya kadar dağıtımında bir çok kayıp meydana gelmektedir. Bu kayıpların sebeplerinden biri reaktif güçtür. Reaktif güç işe yaramayan fakat kaynaktan çekilen kör güçtür. Reaktif gücün kompanzasyon ile verimli kullanılması sağlanarak kayıplar azaltılır ve şebekenin güç kalitesi arttırılabilir. Bunun yanında istenen üç gerilimi ve en ideal güç faktörünü elde edebilmek için de güç kalitesini arttırıcı çeşitli sistemler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Güç parametreleri arasında güç kalitesini bozan sebeplerin başında harmonikler gelmektedir. Harmonikler de, geliştirilmekte olan çeşitli sistemlerle filtrelenmekte ve bu şekilde ideal düzeyde bir güç kullanımı sağlanmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmada öncelikli olarak güç kalitesi, harmonikler, kompanzasyon ve g faktörünün düzeltilmesi gibi enerji kalitesi başlığı altında toplayabilecek konular hakkında genel bilgiler verilmiştir. Sonrasında da Ürdün Elektrik Ulusal şebekesinin kuruluşundan günümüze kadarki gelişim seyri anlatılmıştır. Son bölümde ise Ürdün Elektrik Ulusal şebekesini güç kalitesi açısından analizi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güç Kalitesi, Kompanzasyon, Harmonikler, Ürdün Ulusal Elektrik şebekesi, Bölgesel Bağlantısı

## **ABSTRACT**

---

### **EVALUATION OF JORDANIAN NATIONAL ELECTRICITY GRID**

Ahmad SAMARREH

Department of Electrical Engineering

Master's Thesis

Advisor: Assist.Prof.Dr. Erdin GÖKALP

Today, the energy becomes among the important studied topics in the world. Countries work towards increasing the use of available energy in efficient way as well as the new discovered sources of energy.

Jordan is one of the countries in which these studies have gained significant speed.

In recent years, very serious investments have been made in Jordan belongs to this field and many laws put in place, and corporate structure were tried to be created.

As a whole these studies are carried out to increase the quality of the available energy in a manner to reach to the user in the most economical and most efficient way.

In Electrical energy concept, electricity power produced by plants until it reaches to the consumer it faces inevitable variety of power losses

One of these power losses reasons is reactive power ,This reactive power is null power for loads but it must be consumed from the source power ,by making Compensation for reactive power we increase the use of this power in efficient way ,reduce the losses in the Electrical grid and increase the power quality of the Electrical grid.

in addition to achieve desired voltage and to get ideal power factor, studies have carried out on various systems in order to improve power quality .

Inside power quality parameters Harmonics rise to have the biggest disruptive impact on Power factor in harmonics, various systems of filtering have been developed, which is in this way ideal level of power usage tried to be provided

We as a priority in this thesis under such heading like power quality, harmonics, compensation and power factor correction ,we collect general information concerning to the given topics , Later on we mention the development of the national network's in Jordan from the establishment until the present day.

In the last chapter and in terms of power quality, evaluating of national grid in Jordan was done, the results of our investigation and the recommendations was presented.

**Key words:** Power Quality, Compensation, Harmonics, Jordanian National Electricity Grid, Regional Grid

#### 1.1 Literatür Özeti

Son yıllarda enerji mühendisliğine artan ilgi nedeniyle; Elektrik Güç Kalitesi önemli bir konu haline gelmiştir. Bu konu güç mühendislerini ilgilendirmesine rağmen, hak ettiği öneme 1990'lardan itibaren ulaşmaya başlamıştır[1]. Kaliteli Elektrik Enerjisi, şebekenin tanımlanan bir noktasında, gerilimin genlik ve frekansının anlık değerlerini koruması ve gerilim dalga şeklinin sinüs biçiminde bulunmasıdır [2]. Çoğu güç dönüşümü ve tüketim ekipmanı sinüsoidal gerilim dalgaları altındaki çalışmalar için tasarlanmıştır. Ancak dalgayı bozan birçok cihaz vardır. Bu bozulma tüm elektrik şebekesi üzerinde yayılabilir. Son yıllarda, lineer olmayan yüklerin kullanımında yoğunluk söz konusudur. Buna bağlı olarak da sinüsoidal olmayan akım ve gerilimlerin şebekelerde ortaya çıkışında artışlar meydana gelmiştir[1] .

Bir şebeke de güç kalitesi parametrelerinin en önemli bozucularından birisi de Harmoniklerdir. Harmonik distorsiyonu, gerilim veya akımın sürekli durumda şebeke frekansının katları şeklinde ve şebeke frekansından daha büyük frekansta bileşenler içermesidir [3].

Nonlineer yüklerin güçleri düşük değerde olsa bile, yine de geriliminin dalga şeklini bozarlar. Enerji sisteminde çok sayıda düşük güçlü nonlineer yük bulunduğu düşünülürse, ek kayıpların, harmonik gerilimlerin ve distorsiyon değerlerinin yüksek değerlere ulaşması kaçınılmaz bir gerçektir. Harmonikler; motorlar, generatörler, kondansatörler, transformatörler ve enerji iletim hatlarında ilave kayıplara neden olurlar. Bazı durumlarda da harmonikler, güç sistem elemanlarının zarar görmesine veya

devre dışı kalmalarına yol açabilirler. Ayrıca harmonikler nedeniyle sistemde çeşitli frekansta akım ve gerilim bileşenleri bulunacağından, rezonans olayı meydana gelme olasılığı artar. Rezonans sonucu oluşabilecek aşırı akım ve gerilimler, işletmedeki elemanlara büyük zararlar verirler[4]. Dolayısıyla harmoniklerin güç sistemlerine verdiği zararların azaltılmasına yönelik çalışmalar her geçen gün biraz daha önem kazanmıştır. Ve güç sistemlerinde harmonik analizi artık tasarım ve planlamanın kaçınılmaz bir parçası haline gelmiştir[5].

Harmonik standart sınırlarını aşan sistemlerde hassas cihazların harmoniklerden etkilenmemesi ve harmonik distorsiyon değerini azaltmak için hat reaktansları, harmonik filtreleri, k-faktör transformatörleri vb. gibi önlemler alınabilir [6].

Güç kalitesi parametrelerini bozan bir başka önemli sebep ise, bir şebekede kısa veya uzun süreli kesintilerin meydana gelmesidir. Bu kesintilerin oluşturabileceği zararlar kullanım alanlarına göre değişiklik gösterir [2]. İngiltere’de 2001 yılında 20 dakikalık bir güç kesintisinin yol açtığı 10 Milyon Sterlin’lik finansal kayıp yaşanmış bir örnek olarak verilebilir [7].

ABD’de yeni yapılan bir çalışma, endüstriyel ve dijital firmalarının bir yılda güç kesintileri sebebiyle \$45,7 milyar dolar zarar ettiklerini ortaya koymaktadır [8].

Ürdün’de de dünyadaki gelişmelere paralel olarak enerji kalitesi çalışmalarına ciddi yatırımlar yapılmaktadır. NEPCO, Ürdün krallığının elektrik ihtiyacını karşılamak ve farklı yük merkezlerini ulusal şebekeye bağlayarak iyileştirme yapma amacıyla kurulmuştur. Bu doğrultuda bazı genişletilen ana trafolar ve bunlara ek olarak yeni ana trafolar ve ilişkili hatlar inşa edilmiştir

Ana sistem bileşenleri için yıllık enerji kalitesi ölçüm programı yapılmıştır. Bu programın, elektrik hizmetini tüm tüketiciler için iyileştirmesi beklenmektedir. Bu hedeflere ulaşmak için NEPCO ulusal elektrik şebekesindeki güç kalitesinin durumunu bildiren önemli çalışmalar hazırlamaktadır. .[9]

## **1.2 Tezin Amacı**

Güç kalitesi, ulusal elektrik şebekesi için oldukça önemli bir konudur. Ulusal elektrik şebekesi güç kalitesini göz önünde bulundurarak birtakım yatırımlar yaptığında ciddi bir tasarruf sağlayacaktır. Güç kullanımı ile ilgili kalite çalışmaları; sistemdeki cihazların ömrünün uzatılması, sistemde daha az kesinti meydana gelmesi ve yüksek üretim elde edilmesi için gerçekleştirilmektedir. İşte bu nedenlerden ötürü güç kalitesi konusunu seçip, çalışmamızı Ürdün Ulusal Elektrik şebekesi üzerinde gerçekleştirdik. Ürdün'deki Mevcut Elektrik Şebekesinin analizinin yapılacağı, güç kalitesi yönünden ihtiyaçların ve bunlar için önerilerin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Çalışmamızda bu sonuçlara ulaşmak için güç kalitesi tanımı başta olmak üzere güç sistemlerinde kaliteyi, konuyla ilgili temel kavramlar verilmiş ve incelenmiştir. Güç kalitesi ölçütleri ve standartları incelenmiştir. Güç kalitesini etkileyen en önemli husus harmonikler olduğu için bu konuya ayrı bir bölüm ayrılmıştır. Bu bölümde harmoniğin tanımını yapıp, harmonik üreten kaynakları, harmoniğin enerji sistemlerine etkilerini ve harmoniklerin güç faktörüne etkisini anlatılmıştır. Güç faktörü konusuna da önemine binaen ayrı bir bölüm ayrılmıştır. Devamındaki bölümlerde ise kompanzasyon konusuna ilişkin; önemine, harmonik ile olan ilişkisine ve çeşitli çözüm yollarına dair birtakım bilgiler verilmiştir. Bu teorik kısımdan sonraki bölümde ise Ürdün Ulusal Elektrik Şebekesi güç kalitesi incelemesi ele alınmıştır. Son bölümde de Ürdün Elektrik Ulusal Şebekesinin tarihsel bir özetine, Ulusal Elektrik Şebekesi güç kalite değerlendirmesi yöntemine yer verilerek; ölçüm parametreleri gösterilmiştir.

## **1.3 Hipotez**

Enerji kalitesi bilinci oluşturulmalı, bu bilinç doğrultusunda periyodik ölçüm, gerekli malzemenin ikmali, bakım ve onarım gibi çalışmalar belirli bir sistemlilik içerisinde yürütülmeli. Tüm bu öneriler verimliliği mevcut durumun üzerine çıkarabilir.

### GÜÇ KALİTESİ

#### 2.1 Güç Kalitesinin Tanımı

Vazgeçilmez bir enerji kaynağı olan elektrik enerjisini üreten, ileten ve dağıtan kuruluşların görevi; kesintisiz, ucuz ve kaliteli bir hizmeti tüketicilerine sunmaktır. Güç kalitesi kavramından maksat, sabit şebeke frekansında; sabit ve sinüsoidal üç bir gerilimin son tüketiciye ulaştırılabilmesidir.

Elektrik güç sistemlerinde (enerji kalitesi); şebekenin tanımlanan herhangi bir noktasındaki gerilimin genlik ve frekans olarak anma değerlerini koruması olarak tanımlanabilir. Enerji kalitesini daha basitçe açıklamak gerekirse, şebekedeki akımın veya gerilimin normal çalışma koşullarındaki karakteristiğinin, ideal bir sinüs dalgasından sapmasının ölçütüne (enerji kalitesi) adı verilir [11].

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

## **2.2 Elektrik Güç Sistemlerinde Kalite İle İlgili Temel Kavramlar**

Daha önceleri güç sistemini bozan etkiler tek tek konular halinde ele alınırken, 1980 li yıllarda, itibaren bütün bozucu etkiler güç kalitesi adı altında toplanmıştır

Güç kalitesi problemleri genel olarak üç bölümde incelebilir; Frekans olayları ve gerilim olayları ve dalga şekil olayları [12]

IEEE 1159: 1995 de güç sistemlerinde meydana gelen elektromanyetik olaylar aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır [12]

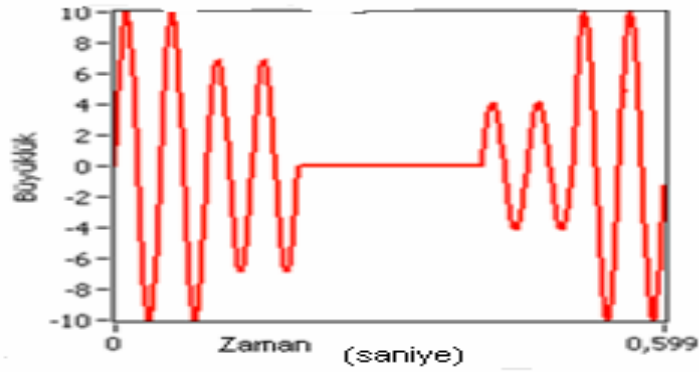
Çizelge 2.1 Güç Kalitesini Bozan Etkenler

| Katagorisi                   |                                  |                       | Dalga Şekli İçeriği  | Tipik Devam Süresi | Gerilim Genliği |
|------------------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|-----------------|
| Geçici Olaylar (Transients)  | Anlık Darbeler                   | Nanosaniye mertebesi  | 5 ns yükseliş        | < 50 ns            |                 |
|                              |                                  | Mikrosaniye mertebesi | 1µs yükseliş         | 50 ns - 1 ms       |                 |
|                              |                                  | Milisaniye mertebesi  | 0.1 ms yükseliş      | > 1 ms             |                 |
|                              | Salınımlar                       | Düşük Frekanslı       | < 5 kHz              | 0.3 -50 ms         | 0 - 4 pu        |
|                              |                                  | Orta Frekanslı        | 5 - 500 kHz          | 20 µs              | 0 - 8 pu        |
|                              |                                  | Yüksek Frekanslı      | 0.5 - 5 MHz          | 5 µs               | 0 - 4 pu        |
| Kısa Süreli Değişimler       | Anlık Değişimler                 | Kesintiler            |                      | 0.5 - 30 periyot   | < 0.1 pu        |
|                              |                                  | Gerilim Düşümü        |                      | 0.5 - 30 periyot   | 0.1 - 0.9 pu    |
|                              |                                  | Gerilim Yükselmesi    |                      | 0.5 - 30 periyot   | 1.1 - 1.8 pu    |
|                              | 3 Saniyeye Kadar Olan Değişimler | Kesintiler            |                      | 30 periyot - 3 s   | < 0.1 pu        |
|                              |                                  | Gerilim Düşümü        |                      | 30 periyot - 3 s   | 0.1 - 0.9 pu    |
|                              |                                  | Gerilim Yükselmesi    |                      | 30 periyot - 3 s   | 1.1 - 1.4 pu    |
|                              | 1 Dakikanın Altındaki Değişimler | Kesintiler            |                      | 3 s - 1 dk         | < 0.1 pu        |
|                              |                                  | Gerilim Düşümü        |                      | 3 s - 1 dk         | 0.1 - 0.9 pu    |
|                              |                                  | Gerilim Yükselmesi    |                      | 3 s - 1 dk         | 1.1 - 1.2 pu    |
| Uzun Süreli Değişimler       |                                  | Tam Kesintiler        |                      | > 1 dk             | 0.0 pu          |
|                              |                                  | Gerilim Düşümü        |                      | > 1 dk             | 0.8 - 0.9 pu    |
|                              |                                  | Gerilim Yükselmesi    |                      | > 1 dk             | 1.1 - 1.2 pu    |
| Gerilim Dengesizliği         |                                  |                       |                      | Sürekli Durum      | 0.5 - 2 %       |
| Gerilim İşaretinin Bozılması | DC Offset                        |                       |                      | Sürekli Durum      | 0 - 0.1 %       |
|                              | Harmonikler                      |                       | 0 - 100. harmonikler | Sürekli Durum      | 0 - 20 %        |
|                              | Gizli Harmonikler                |                       | 0-6 kHz              | Sürekli Durum      | 0 - 2 %         |
|                              | Çentikler                        |                       |                      | Sürekli Durum      |                 |
|                              | Gürültü                          |                       | Geniş Band           | Sürekli Durum      | 0.1 %           |
| Gerilim Dalgalanmaları       |                                  |                       | < 25 Hz              | Aralıklarla Oluşur | 0.1 - 7 %       |
| Güç Frekansı Değişimleri     |                                  |                       |                      | < 10 s             |                 |

### 2.2.1 Gerilim Kesintisi (Outage )

En az, yarım dalga boyu süresince gerilimin sıfır değerini alması olarak tanımlanır. Kısa kesintiler bir dakikadan daha az sürer (şebekenin işletme koşullarına bağlı olarak üç dakikaya kadar çıkabilir) ve genellikle, uzun süreli kesintilerden kaçınmak amacıyla tasarlanmış bir devre kesicinin açılması veya otomatikman kapanmasıyla sonuçlanır.

Gerilimin, kısa süreli olarak çok küçük değerler almasını da alıcı yükler kesinti olarak algılayabilmektedirler. Gerilim kesintisi etkisinin en sık rastlanılan nedenlerinden birisi, motorların kalkış anında sistemden aşırı derecede çektikleri akımların kesintiye yol açmasıdır. Kalıcı gerilim kesintisi, gerilimin 1 dakikadan uzun bir süre boyunca etkin değerinin sıfıra düşmesidir. Bir dakikayı aşan kesintiler genelde sistem bakımına neden olurlar. Kısa ve uzun süreli kesintiler hem kaynaklarına göre hem de meydana gelmelerini önlemek veya azaltmak amacıyla getirilen çözümlere göre farklılık gösterirler. Şekil (2.1)'de gerilim kesintisi anındaki bir faz gerilim dalga şekli görülmektedir.



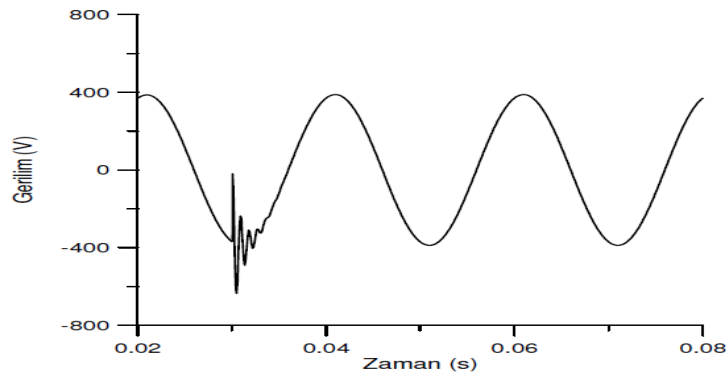
Şekil 2.1 Gerilim Kesilmesi Anındaki 1 Faz Gerilim Dalga Şekli [6 ]

### 2.2.1.1 Gerilim Kesintisinin Etkileri

Gerilim kesintileri, tesisata bağlı birçok cihazda problem yaratmaktadır. Kısa süreli gerilim kesintisi süresine bağlı olarak, 3 farklı tipten söz etmek mümkündür; ani, bir anlık ve geçici tip. Kısa süreli gerilim değişimleri arıza nedeniyle, yüksek devreye girme akımı çeken veya besleme bağlantılarında bağlantıları iyi yapılmamış olan büyük yükler nedeniyle oluşmaktadır. Arıza yeri ve çalışma koşullarına bağlı olarak, arıza gerilim çökmesi, yükselmesi veya kesintisine neden olabilir. Birkaç yüz milisaniyelik bir gerilim kesintisi, birkaç saat süren zararlı sonuçlar yaratabilir[9].

### 2.2.2 Gerilim Darbesi (Voltage İmpulse )

Süre bakımından anlık, yarım dalga boyundan daha kısa sürede meydana gelen bozukluklara geçici olay adı verilir, bu süre içinde gerilim genliği 5 – 10 kat artabilir. Geçici olayları meydana getiren etkenler şebekede yapılan anahtarlama, sistemdeki ani yük değişimleri, yük ve şebeke arası açmalar, yıldırımlar, kontaklar arası ve yalıtımda oluşan bozulmalar olarak gruplandırılabilir. Geçici olaylar sonucunda oluşan olumsuzluklar gerilim düşmesi ve yükselmesi sırasında oluşan zararlar hemen hemen aynıdır, ayrıca çok hassas cihazlar, etkisi anlık olan geçici olaylar sonucunda arızalanabilmektedir. Bu tür arızaları önlemek için yüksek gerilimlerde, aşırı gerilim yönlendiricileri (gigh voltage diverters ) ve ark hücreleri, alçak gerilimde ise çığ diyotları (avalanche diodes ) kullanılır [13 ] ,Şekil 2.2'de görüldüğü gibi bu tür bozucu etkiler genellikle şebeke veya tüketicideki kondansatörlerin devreye girmesi veya devreden çıkması sonucu oluşmaktadır.

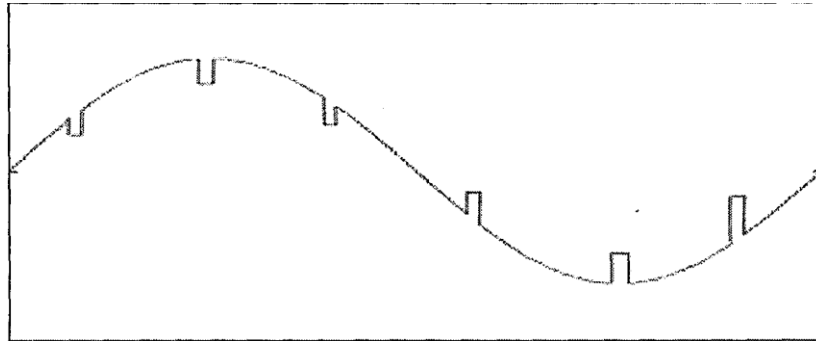


Şekil 2.2 Şebeke Geriliminde Görülen Geçici Gerilim Yükselmesi

### 2.2.3 Çentikler (Notches)

Genellikle AC/DC çeviricilerin gerilim eğrilerinde ortaya çıkan çentikler, her bir periyotta çeviricide oluşan darbe sayısı kadar tekrarlanan, gerilimde oluşan anlık çökmelerdir. Bunların sebebi, komitasyon işlemi sırasında meydana gelen çok kısa süreli fazlar arası kısa devrelerdir [13]. Bu kısa devreler anlık olduğu için bu esnada çok yüksek salınımlar ortaya çıkar. Bu salınımlar anahtarlama yapan cihazlara bağlanan bastırıcı devreler (snubbers) ile giderilip, düzleştirilmiş çentikler oluşturulabilir.

Çentiklerin oluşmasının bir diğer nedeni de doğrultucuları besleyen trafo ve hat endüktansının anahtarlama akımının akışını geciktirmesidir. Doğrultucunun gerilim karakteristiğine bakılarak darbe sayısı hakkında bilgi edinilebilir. Altı darbeli doğrultucularda bir periyotta altı tane çentik bulunurken, on iki darbeli doğrultucularda on iki tane çentik gözlemlenmektedir. Gerilimde oluşan çentikler, çok hassas elektronik elemanlara zarar vermektedirler. Bu zararlar genellikle alçak gerilimlerde ortaya çıkmaktadır. Çünkü orta ve yüksek gerilim değerlerine çıkarken kullanılan güç transformatörleri (PT-power transformers) sayesinde yüksek frekanslı bileşenlerin üst seviyelere çıkmaları engellenmektedir.



Şekil 2.3 Sinüs Dalgasındaki Çentikler

Çentikler için ayrıca; "şebeke geriliminin bir tam dalgasında (20 ms süresince) doğrultucu darbe sayısı kadar tekrarlanan çökmelere verilen ad." şeklinde de bir tanımlama mevcuttur. Genelde doğrultucuları besleyen transformatör ve hat endüktanslarının anahtar aktarımını geciktirmesiyle meydana gelir.

#### 2.2.4 Frekans Değişimi

Elektrik enerjisi, doğru akım(DC) veya alternatif akım olmak üzere iki ayrı şekilde üretilir. Doğru akım, doğru akım üretici olan dinamolardan, alternatif akım ise alternatif akım generatörleri olan alternatörlerden üretilir. Büyük güçlerde dinamo yapılması ve doğru gerilimin yüksek gerilimlere dönüştürülmesi olanaksızdır. Oysa büyük güçlerde alternatör yapılabilir ve alternatörden elde edilen alternatif akım çok yüksek gerilimlere yükseltilebilir ve tekrar kullanma gerilimi olan alçak gerilimlere dönüştürülebilir. Bu bakımdan bütün dünyada elektrik enerjisi üretimi alternatif akımda yapılır. İncelediğimiz sistemde de üretilen gerilimin cinsi her ne kadar DC olsa da, yüke ya da şebekeye aktarılma aşamasında gerilim alternatif (AC) olmaktadır. Zira enerji iletim ve dağıtım şebekeleri AC şebekeleridir.

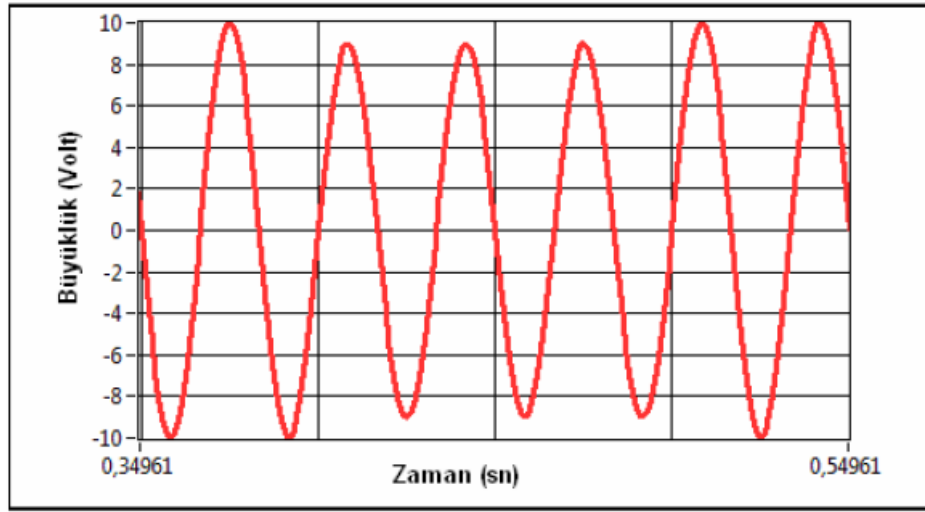
Doğru akım, yön ve şiddeti değişmeyen akımdır. Alternatif akım ise yön ve şiddetini periyodik olarak değiştirir. Alternatif akımın bir sinüs eğrisi şeklindeki değişimine çevrim (sayıl), bu değişim süresine periyot ve bir saniyedeki periyot sayısına frekans denir. "f" ile gösterilir. Birimi de "Hertz" dir.

Güç kalitesi bakımından incelendiğinde Ürdün için ideal frekans değerinin 50 Hertz olması beklenir. PV sistem tarafından üretilen ya da şebekeden elde edilen gerilim frekansının incelemesi ilerleyen bölümlerde yapılmıştır. Kaynak frekansı anma değerinden saptığında alıcıların çalışmasında olumsuz bir rol oynayacaktır. Frekansın anma değerinden sapması tamamıyla şebeke ve jeneratörlerdeki ayar düzensizliklerinden meydana gelmektedir [12].

#### 2.2.5 Gerilim Düşmesi Kavramı (Voltage Sag )

Gerilim düşmesi, bir elektrik güç sisteminde meydana gelen anlık düşüş olup, birkaç çevrim ile birkaç saniye arasında kısa bir süre sonra gerilimin düzelmesiyle sonuçlanır. Gerilim düşmesi her yarım çevrimde bir çevrim üzerinden kök ortalama kare, "rms, değeri hesaplanarak karakterize edilir ve her bir periyot bir öncekini yarım çevrimi aşar. Eğer, gerilimin rms değeri,  $(1/3 \cdot U_{ref})$  geriliminin referans değerinin 1/3 katının altına düşerse, bu durumda belirli bir yüzde oranında gerilimin değerinde düşme yaşanır.

IEEE 1159 standardına göre bu değer Uref referans geriliminin %10 değişmesi olarak kabul edilir. Şekil (2.4 ) 'de gerilim düşmesi anındaki 1 faz dalga şekli görülmektedir.



Şekil 2. 4 Kısa Süreli Gerilim Düşmesi Grafiği

Gerilimin tepe değerinin dolayısıyla efektif değerinin Şekil (2.4 ) 'de görüldüğü gibi süre olarak yarım dalga boyundan daha uzun bir süre boyunca nominal değerinin %10'u ile %90'ı arasındaki değerler düşmesi olarak tanımlanabilir. Bir elektrik güç sisteminde meydana gelen anlık düşüş olarak tanımlanan gerilim düşmeleri, birkaç çevrim ile birkaç saniye arasında kısa bir süre sonra gerilimin düzelmesiyle sonuçlanır (IEC 61050-161). Gerilim düşmelerine çok çeşitli olaylar sebep olabilir.

Şebeke yetersizliği, aşırı yüklenme, büyük motorlara yol verme sırasında şebekeden anlık olarak 5 ila 10 kat daha fazla akım çekilmesi, sistemde oluşan kısa devreler sonucunda hata akımların şebekede dolaşması gibi sebepler gerilim düşmelerine yol açarlar.

#### 2.2.5.1 Gerilim Düşmesinin Etkileri

Gerilim düşmesi, tesisata bağlı birçok cihazda problem yaratmaktadır. Bunlar, çok sık olarak Güç Kalitesi problemlerine neden olmaktadır. Birkaç yüz milisaniyelik bir gerilim düşüklüğü, birkaç saat süren zararlı sonuçlar yaratabilir.

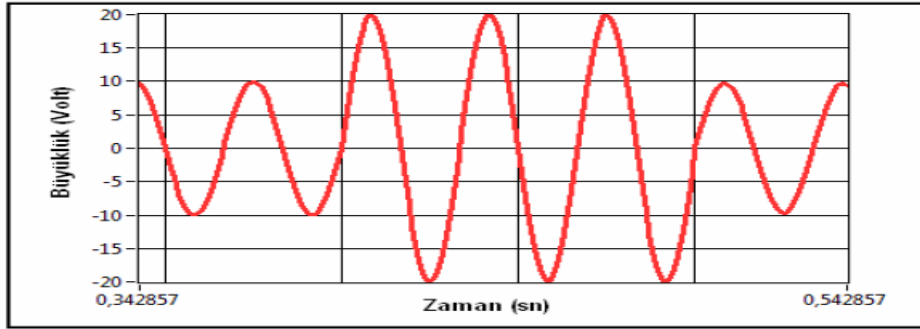
Bunun sonucunda şebekede zararlı etkiler oluşabilir. Deşarj lambalarının boşalması, çeşitli kontrol cihazlarının hatalı çalışması, motorlarda hız değişikliklerinin oluşması ve

ani durmalar, kontaktörlerin hatalı anahtarlama yapmaları, bilgisayar sistemlerinin çökmesi, hat komütasyonlu eviricilerde komütasyon arızaları oluşan hatalardan bazılarıdır. Oluşabilecek zararlı etkileri azaltmak için kesintisiz güç kaynakları (UPS) ve güç iyileştiricileri (power conditioners) kullanılmaktadır.

#### 2.2.6 Aşırı Gerilim Kavramı (Voltage Swell )

Bu düzensizliğin sebepleri, sistemde bulunan büyük güçte ve yüksek akımçıkan yüklerin aniden devreden çıkması, şebeke deki düzensiz planlamadan dolayı oluşan regülasyon zayıflıkları, üç ve daha çok fazlı devrelerde oluşan hatlar (fazlar) arası kısa devrelerdir.

Bir cihaza gerilim verilirken üst değerinin, bir standart veya özellikte belirlenen sınır değerleri aşması durumunda ortaya çıkan duruma aşırı gerilim denir.



Şekil 2. 5 Gerilim Yükselmesi Anındaki 1 Faz Gerilim Dalga Şekli

Şekil ( 2.5 )'da gerilim yükselmesi anındaki 1 faz dalga şekli görülmektedir. Standartta (IEEE 1159–1995) bu değer gerilimin bir tam dalgadan (20 ms'den) daha uzun sürelerde değerinden % 110'dan daha büyük değerlere çıkması olarak tanımlanmıştır.

Aşırı gerilimler üç tiptir, bunlar;

- i. Geçici güç frekansı
- ii. Anahtarlama
- iii. Yıldırım

### **2.2.6.1 Aşırı Gerilimin Etkileri**

Yapılan araştırma sonucun da aşırı gerilimin etkileri, uygulama suresine, tekrarına, büyüklüğüne, moduna ve frekansına göre büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Aşağıda aşırı gerilimin etkileri sıralanmıştır:

- i. Cihaza (elektronik parçalara vb.) önemli ve kalıcı hasar veren dielektrik bozulma.
- ii. Cihazın, eskime nedeniyle değer kaybetmesi (zarar veren aşırı gerilimlerden çok tekrarlayan aşırı gerilimler).
- iii. Cihazın bozulması ile ortaya çıkan uzun kesintiler (dağıtım şirketi için satış kaybı, endüstriyel şirketler için üretim kaybı).
- iv. Kontrol sistemlerinde ve düşük akım haberleşme devrelerinde kesinti
- v. Yıldırım (genellikle); Havai şebekeler, yıldırıma karşı çok duyarlıdır ancak eğer yıldırım bulundukları yere yakın bir yerde gerçekleşmişse yüksek gerilimden dolayı yeraltı şebekeleri tarafından beslenen tesisatlar da etkisinden etkilenebilir.
- vi. Anahtarlama aşırı gerilimleri: Yıldırımla benzerlik göstermektedir. Birbiri ardına meydana gelmektedir ve meydana gelme olasılıkları yıldırıma göre daha yüksek ve daha uzun sürelidirler.

### **2.2.7 Titreme (Flickers)**

Genel olarak yerel aydınlatma sisteminde gözle görülebilir şekilde fark edilebilen, yaklaşık olarak 0,5 ve 25 Hz. değerleri arasında salınım yapabilen gerilim dalgalanmaları Titreme (flickers) olarak tanımlanır. Başka bir tanımlamada da; Luminans veya spektral dağıtımı zamanla dalgalanan bir ışık uyarıcısı tarafından endüklenen görsel duyumda kararsızlık izlenimi olarak tanımlanmaktadır (IEC 161–08–13). Bu dalgalanma ve karakteristikleri, Avrupa’da birçok yerde esaslı bir çabayla rüzgâr enerjisi karakteristiklerinin kırpsma tahmin teknikleri elde edilmesinde kullanılmıştır.

Elektriğin dağıtılmasında, iletiminde ve üretiminde ve şebeke ile yük etkileşmesinde gerilimin zarfında sistematik dalgalanmalar meydana gelebilmektedir. Büyük motor sürücülerde aşırı yükleme durumunda şebekeden dalgalı bir akım çekilir. Bu da gerilimde düşük frekanslı genlik değişimlerine sebep olur [14].

Gerilim dalgalanması, lambaların lüminansında, fliker diye adlandırılan görsel olguya neden olabilen değişikliklere yol açar. Belli bir değerin üstünde, fliker rahatsız edici olabilir. Dalgalanmanın genliğiyle rahatsızlık çok hızlı bir şekilde artar. Hatta belli tekrarlama oranlarında, küçük genlikler bile rahatsız edici olabilir.

### **2.2.8 Elektromanyetik Girişim (EMI)**

Genel olarak; genliği 100  $\mu$ V ile 100 V, frekansı ise 10 KHz ile 1 GHz arasında olan küçük enerjili ve bozucu etki yapan dalgalardır[15]. Elektromanyetik girişimin nedenleri arasında; anahtarlamalı güç kaynakları, motor kontrol devreleri, telsiz yayınları ve güç hatları üzerinden yapılan haberleşme olarak sayılabilir.

Sinüs dalgasının üzerine binen yüksek frekanslı darbelerdir(Pulse). Özellikle tehlikeli bir problem, radyo frekans (RF) gürültüsüdür. RF gürültüsü, elektrik kabloları üzerinde dolaşan yüksek frekanslı sinyallerden oluşur. RF gürültüsü, yıldırım çarpması, radyo iletimleri ve bilgisayar güç kaynakları tarafından yaratılabilir. EMI (Elektromagnetik Girişim) etkileri de elektriksel gürültüdür. Elektromagnetik girişime radyo ve magnetik dalgalarının yayılmasıyla ortaya çıkan dış etkiler sebep olur.

İletişim ve telefon hatlarının yan yana bulunması, telefon haberleşmesi ile parazit oluşturur. Güç devresindeki akım akışı, yakınındaki iletişim defresi iletkenlerinde akım / gerilim endükleyecek bir manyetik/elektrostatik alan oluşturabilir. Parazitlerin miktarı akım / gerilim genliğine ve frekansa bağlıdır. Haberleşme devrelerindeki gürültü, iletim kalitesini azaltır, iletilen sinyalle girişim yapabilir veya gönderilen bilgide kayba neden olabilir[ 14 ]

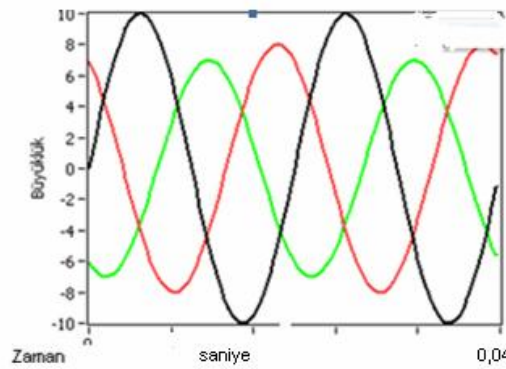
Elektromanyetik, elektriksel gürültülere, hatalı veri iletimine, bilgisayarda işlem hatası, yazıcı ya da terminal hatalarına, monitörlü cihazların ekranlarında karıncalanmaya sebep olurlar. Tüm bu etkiler aşağıdaki önlemler alınarak giderilebilir:

- Kritik yükler kesintisiz güç kaynakları ile beslenebilir.
- Kullanılan cihazların radyo frekans bastırma standartları kontrol edilebilir.
- Kullanılan cihazların Elektromagnetik girişime (EMI) karşı filtre bulundurmasına dikkat edilmelidir. Faraday kafesi uygulaması (elektriksel iletken metal ile

kaplanmış veya iletkenler ile ağ biçiminde örülmüş içteki hacmi dışarıdaki elektrik alanlardan koruma ilkesine dayanan muhafaza sistemi).

### 2.2.9 Gerilim Dengesizliği

Üç fazlı sistemlerde, her bir fazın aynı genlikte olması ve birbirlerini faz açısı olarak 120 derecelik bir faz farkı ile takip etmeleri, dengeli bir sistemin en önemli özelliğidir. Şebekede meydana gelen herhangi bir bozukluk sonucunda fazlardan birinde ya da birkaçında genlik ya da faz açısı bakımından bir sapma olursa sistem dengesiz duruma düşer. Şekil 2,7’de gerilim dengesizliği durumunda gerilimin dalga şeklinin aldığı durum görülmektedir. Dengesizliği tespit edebilmek için matematiksel olarak simetrik bileşenler yöntemi kullanılmaktadır. Modern otomasyon sistemlerinde bu problemin önüne geçilebilmesi için elektronik röleler kullanılmaktadır. Gerilimde oluşan dengesizliklerin sebepleri çok çeşitlidir. Bunların en başında yeraltı treni ve elektrikli trenler gibi büyük ve tek fazlı yüklerin sadece tek faza yüklenmesi örnek olarak verilebilir. Bu dengesizlik sonucunda dengesiz gerilim altında çalışan makineler, dengesiz akımlar çekerler ve bunun devamında ise makinede aşırı ısınma oluşarak sargılar yanabilir. Bunun yanında, çok fazlı AC/DC dönüştürücülerde dengesizlik sonucu DC tarafta istenmeyen tepkiler (ripples) ve AC tarafta da karakteristik olmayan harmonikler meydana gelir. Sekil 2.7’de gerilim dengesizliği anındaki 3 faz gerilim dalga şekli görülmektedir.



Sekil 2.6 Gerilim Dengesizliği Anındaki 3 Faz Gerilim Dalga Şekli

Faz gerilimlerinin etkin değeri veya ardışık fazlar arasındaki faz açılarının eşit olmaması durumunda 3 fazlı bir sistem dengesiz demektir. Dengesizliğin derecesi, temelin negatif bileşeni ( $U_{1i}$ ) (veya sıfır bileşeni ( $U_{10}$ ), temelin pozitif bileşeni ile karşılaştırılarak,

Fortescue bileşeni kullanılarak tanımlanır. Ters bileşen (veya sıfır bileşen) gerilimi, iç fazdaki belirsiz akımlara yol açan dengesiz yükler tarafından üretilen, şebeke boyunca negatif Sekans (Sequace) (veya sıfır sekans) akımlarına bağlı gerilim düşmeleri tarafından üretilir (faz ve nötr arasında bağlanan alçak gerilim yükleri veya kaynak makineleri ve endüksiyon ocakları gibi tek fazlı veya 2 fazlı orta gerilim yükleri).

Doğru Gerilim Bileşeni: Alternatif gerilimin, pozitif yarım dalga ve negatif yarım dalga alanlarının birbirine eşit olmamasıdır.

#### **2.2.9.1 Gerilim Dengesizliğinin Etkileri**

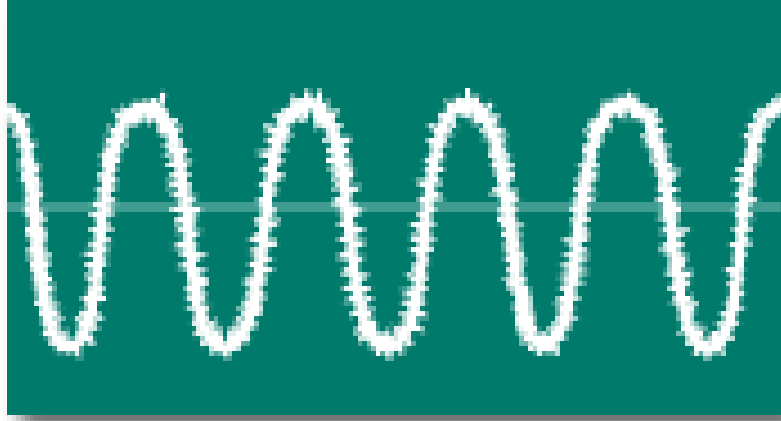
3 fazlı motorlarda performans düşmesine ve motor ömrünün kışalmasına neden olur. Motor terminallerindeki gerilim dengesizliği ise faz akımlarının dengesizliğine sebep olur. Akım dengesizliği dönme momentini azaltır, titreşimleri arttırır, mekanik vuruntular artar, kayıplar artar ve motor aşırı ısınır, bunlara bağlı olarak da motor sargılarının yalıtım ömrünün kışalmasına sebep olur.

#### **2.2.9.2 Gerilim Dengesizliğinin Giderilmesi**

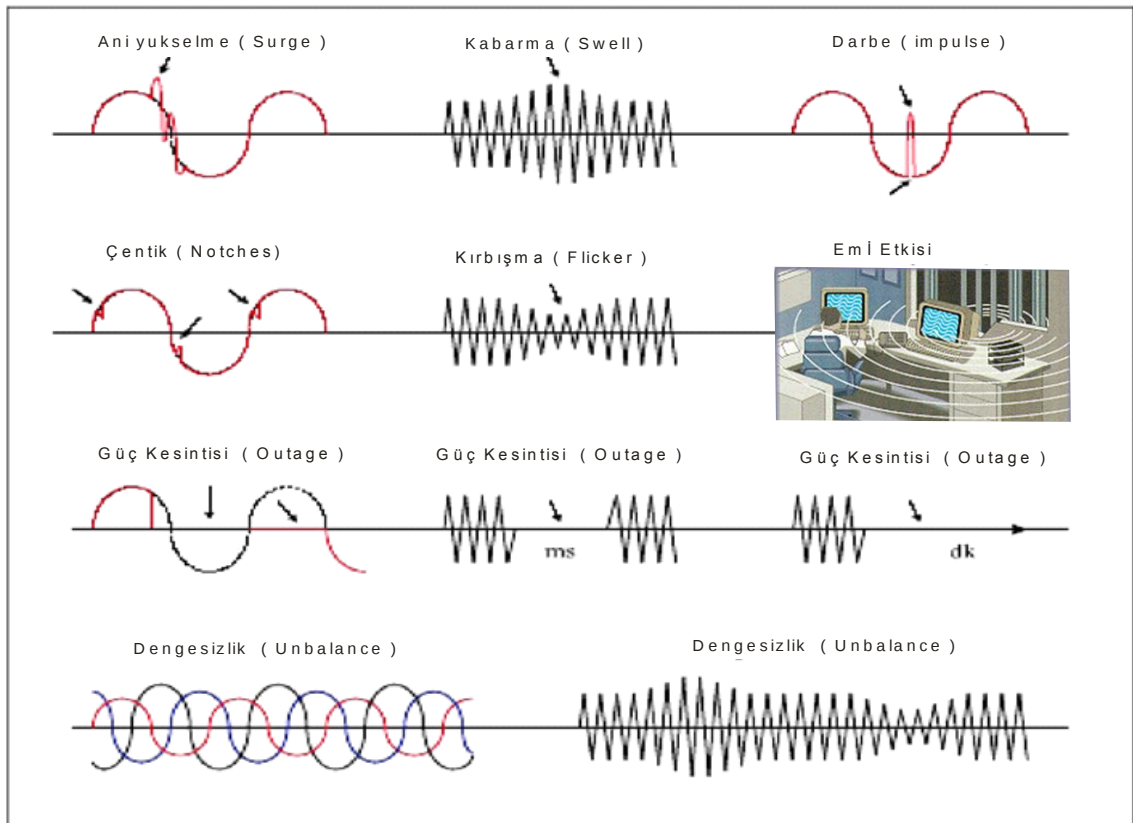
Gerilim dengesizliğinin giderilmesi için bazı önlemler alınabilir. Üç fazın tamamında tek fazlı yükleri dengeleme,trafo oranındaki gücü ve kablo kesit alanını artırarak dengesizliğe neden olan cihazların güç sistemi empedans şebeke tarafını azaltma,makineler için uygun koruyucu cihazı monte etme,dikkatle bağlanmış LC yüklerini kullanma teknikleri ile giderilebilmektedir.

#### **2.2.10 Elektriksel Gürültü ( Noise )**

Elektrik dalgası üzerinde geçici olarak yürüyen, hızlı transientlerin sebep olduğu bir bozulma türüdür. Faz iletkeni, nötr iletkeni veya sinyal hatlarında ortaya çıkabilir ve bu dalga gürültü meydana getirmektedir.



Şekil 2.7 Sinüs dalgasındaki gürültü geçici olarak yürüyen hızlı transientlerin [12]



Şekil 2.8 Güç Kalitesi Problemlerinin Grafiksel Açıklaması[13]

### 2.3 Güç Kalitesi Ölçütleri ve Standartları

Güç kalitesi ölçütleri ile ilgili dünyada tek bir standart mevcut değildir. Her ülkenin kendine ait standartları mevcuttur. Elektrik Güç kalitesinin bozulması ile ilgili belli başlı standartlar aşağıda belirtilmiştir [16].

- \* 'EN 50160 Voltage Disturbances Standard, Voltage Characteristics in Public Distribution Systems
- \* EN 50 006 "The Limitations of Disturbances in Electricity Supply Networks caused by Domestic and Similar Appliances Equipped with Electronic Devices" Comite Europeen de Normalisation Electrotechnique, CENELEC.
- \* IEC Norm 555–2 555–3, Ineternational Energy Commission
- \* IEC 1000–3–2,1995,(EN 6100–3–3) 1995 Alçak gerilimde gerilim dalgalanması ve fliker sınırlarını belirler.
- \* VDE 0838 Beyaz Eşya, VDE 0160 Çeviriciler, VDE 0712 Floresant
- \* IEEE 519–1992 "Guide for Harmonics Control and Reactive Conpensation of Static Power Converters, ANSI/IEEE Std.519
- \* TS 9882: Ev tipi cihazlar ve benzeri elektrik donanımının elektrik besleme sistemlerinde yol açtığı bozulmalar. Bölüm 2: Harmonikler
- \* EN 6100–3–2:Elektromanyetik uyumluluk ( EMC ) Kısım 3. Sınırlar, Bölüm2:Harmonik akım emisyon sınırları ( Faz başına 16 A'den küçük cihazlar).
- \* IEC 1000–3–4:Elektromanyetik uyumluluk ( EMC ) –Kısım 3. Sınırlar, Bölüm4: Harmonik akım emisyon sınırları ( Faz başına 16 A'den büyük cihazlar)
- \* IEC 1000–2–2:Elektromanyetik uyumluluk ( EMC ) –Kısım 2: Düşük frekanslı iletken dağıtımları ve düşük gerilim sistemleri işaretleşmede uyumluluk seviyeleri.

### GÜÇ KALİTESİ VE HARMONİKLER

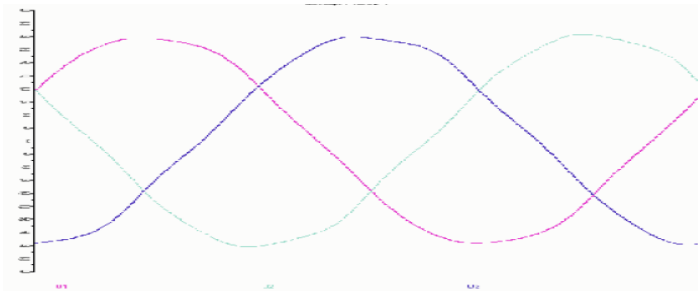
#### 3.1 Güç Kalitesi ve Harmonikler

Güç kalitesini kısaca gerilim, akım ve frekanstaki herhangi bir değişim, kullanıcının sisteminde bir arıza veya istenmeyen bir çalışma şekli oluşturmaması olarak tanımlayabiliriz. Güç kalitesi için bir işletmede çeşitli şartlar aranır bu şartları şu şekilde sıralayabiliriz; Elektrik enerjisi kaynağı her zaman kullanıma hazır; Gerilim ve frekans değerleri istenen şartlara uygun; Sabit ve sinusoidal uç gerilimine sahip; Sistemin gürültüsüz bir şekilde çalışması. Bu şartların sağlandığı bir çalışmada kaliteli bir güç sistemi elde edildiği sonucuna varılabilir. Beslenen yükteki kesintileri engelleme ve üniteden istenen verimlilikte sonuçlar elde edebilmek için güç bu kriterler göz önünde bulundurularak sağlanmalıdır. Bu durumun tersi olarak sistemde meydana gelen gerilim genliği değişmesi, kesintiler, gerilim darbeleri, gerilimin doğru bileşen içermesi, dalga şeklinin sinüsten uzaklaşması, frekans değişimleri ve üç faz dengesizlikleri enerji kalitesi açısından istenmeyen durumlardır bozucu etkilere sebep olur ve dünyadaki güç kalitesi standartına uygun değildir.

Tüm bu saydıklarımızı özetle güç parametreleri adı altında toplarsak bu parametreleride şu şekilde sıralayabiliriz; Gerilim ve akım değerlerindeki darbeler (spikes),değer değişiklikleri ve dalgalanmalar (sags and swells), fliker, harmonikler. Güç kalitesini bozan en önemli unsur harmoniklerdir.

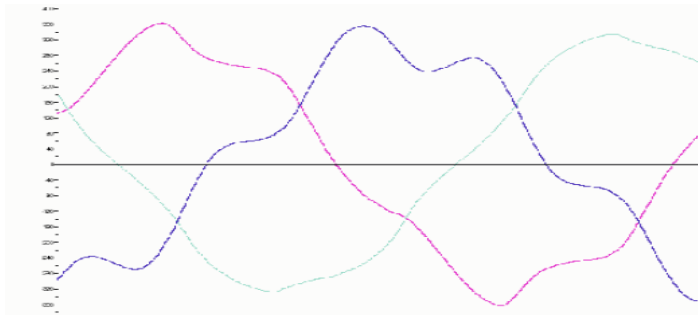
### 3.2 Harmonik Nedir?

Harmonik: Gerilim ve akım dalga biçiminin ideal sinüsten uzaklaşmasıdır. Nedeni; güç elektroniği devreleri, elektro-mekanik makinelerde doyma ve ark ilkesiyle çalışan cihazlardır. Harmoniklerin güç kalitesine dönük olumsuz etkilerini ve yarattığı sorunları şu şekilde sıralayabiliriz: Harmoniğin trafodan başlayarak tüm yüklerde verimsiz çalışmaya yol açtığı kilo watt kayıpları Optimum harmonik çözüm yöntemleri pasif filtreli kompanzasyon, statik anahtarlama pasif filtreli kompanzasyon ve aktif filtre uygulamaları olabildiği gibi, işletmeden işletmeye fark gösterebilmekte, zaman zaman giriş bobinleri ve hat reaktörleri de makine ve cihaz girişlerinde lokal olarak uygulanabilmektedir. Harmonikleri standartların tavsiye ettiği seviyelerde tutmak, tesis için ekonomik bir çözüm olmaktadır. En doğru çözüm, işletmenin elektriksel projeleri oluşturulurken, sistemin harmonik distorsiyon oranları hesaplanmalı uygun filtrasyon yöntemleri belirlenip projelere eklenmelidir.



Şekil 3.1 Ana Pano Şebeke Gerilimleri (Yüksüz Çalışmada)

| Parameter                                   | Değeri |
|---------------------------------------------|--------|
| Gerilim Etkin Değeri                        | 227 V  |
| Gerilim Tepe Değeri                         | 318 V  |
| Gerilim Toplam Harmonik Bozulma (THD)Değeri | %20    |



Şekil 3.2 Makine Çalıştırıldığında Gerilim İle İlgili Parametreler (Yük Altında)

| Parameter                                   | Değeri |
|---------------------------------------------|--------|
| Gerilim Etkin Değeri                        | 223 V  |
| Gerilim Tepe Değeri                         | 356 V  |
| Gerilim Toplam Harmonik Bozulma (THD)Değeri | %19,3  |

Kompanzasyon konusunda da girişte ve devamında enerjinin üretimi, iletimi ve dağıtılması aşamalarında karşılaşılan birtakım zorluklar ve bu zorlukların giderilmesine

dair çalışmalardan bahsetmiştik. Esasında bu çalışmalar enerjinin en ideal nasıl elde edilebileceğine dair birtakım sorunların çözümüne yönelik çabalar olarak görülebilir. İşte bu çalışma alanlarından biri de harmoniklerle ilgili olan kısımdır. Harmonikler genel olarak şebekeden çekilen akım ve gerilimde meydana gelen bozulmalarla ilgilidir. Bu kısımda harmoniklerin ne olduğunu, onu üreten kaynakları ve etkisinin nasıl azaltılabileceğinden bahsedeceğiz.

Elektrik enerji sisteminin ve bu sisteme bağlanan yüklerin, arızasız ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için o sistemdeki dalga şeklinin sinüsoidal olması ve frekansının 50 Hz' lik tek frekansa sahip olması istenir. Çeşitli nonlinear yükler nedeniyle sistemde çeşitli frekansta sinüsoidal dalgalar görülebilir. Ancak sisteme bağlanan bazı elemanlar ve bazı olaylar sonucunda akım ve gerilim büyüklükleri sinüsoidal özelliklerini kaybederek sistemde istenmeyen harmonikler oluşmaktadır.

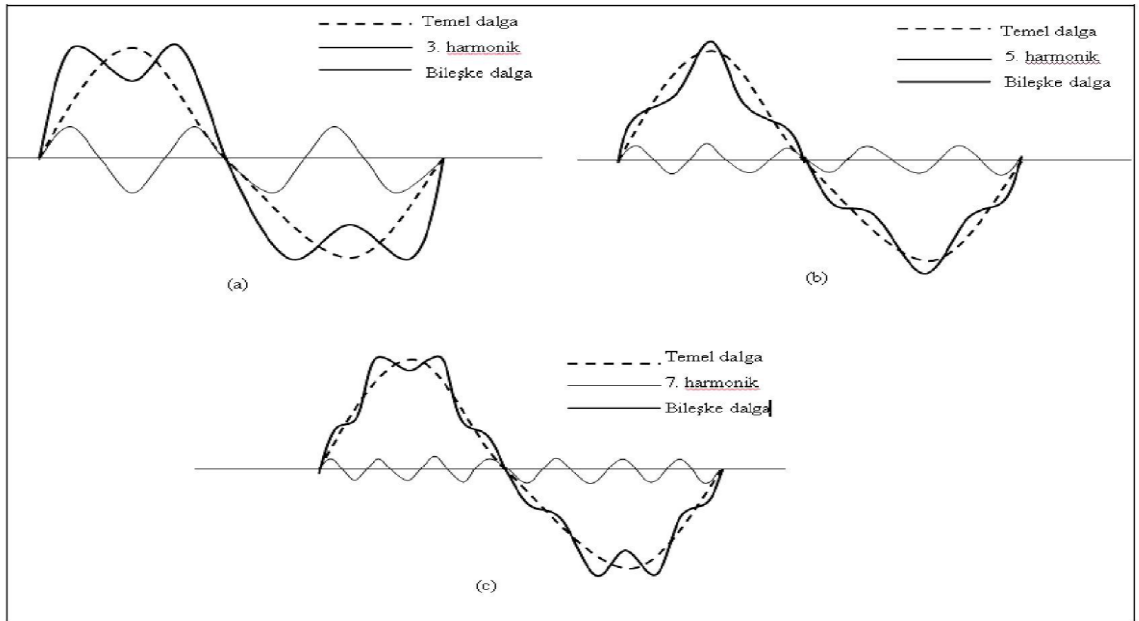
Akım ve gerilim dalgalarında oluşan bu harmonikler elektrik tesislerine ve bu tesislere bağlı tüketicilere zarar vermekte veya tamamen işlemez hale getirmektedir.

Elektrik enerji sistemlerinde manyetik ve elektrik devre lineersizlikleri, harmoniklerin ortaya çıkmasında en önemli etkenlerdir. Harmoniklerin meydana gelmesi ile de sinüsoidal dalga şeklinde uzaklaşılacak yani dalga şeklinde bir bozulma (distorsiyon) görülecektir. Akım ve gerilimde oluşan bu bozulma elektrik tesisleri ve bu tesislere bağlı güç sistemlerine zarar vermekte ve hatta bazen sistemleri çalışamaz hale getirmektedir.

Manyetik devre lineersizliği, demir çekirdekli bobin, transformatör, generetör gibi elemanların doymaya giderek manyetik bakımdan lineer olmayan bir olayın meydana gelmesidir. Elektrik devre lineersizliği ise, akımı ile gerilimi arasında ilişkisi doğrusal olmayan bir elemanda arkla çalışan işletme araçlarında yarı iletken elemanlar kullanılarak sinüsoidal dalganın bazı kısımlarının kırılması sonucunda meydana gelir. Bu lineersizlikler şebekenin akım ve gerilim dalga şeklinin sinüsoidallikten uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Bu tür elemanlara örnek olarak şunlar verilebilir. DC evirici, motor kontrol devreleri, statik VAR generetörleri, anahtarlama güç kaynakları gibi güç elektroniği elemanlı devre, floresan, civa arki, civa buharı, neon, xenon ve

yüksek basınçlı sodyum lambalar gibi gaz deşarjlı aydınlatma elemanları, akü ve fotovoltaiik sistemleri ve elektrikli ulaşım sistemleri gibi sistemler sayılabilir.

Harmonikler genel olarak devredeki elemanın özelliğine ve kaynağın durumuna göre ortaya çıkarlar. Eğer devrede nonlineer elemanlar veya nonsinüsoidal kaynaklar kullanılacak olursa veya bunların her ikisinin de olması durumunda meydana gelirler. Bu şekilde çeşitli elemanlar veya olaylar sonucunda enerji sistemindeki sinüsoidal dalga biçimi bozulur. Bu bozuk dalgalar “nonsinüsoidal dalga” olarak adlandırılır. Nonsinüsoidal dalga biçimleri, periyodik olmakla birlikte sinüsoidal dalga ile frekans ve genliği farklı diğer sinüsoidal dalgaların toplamından oluşmaktadır. Temel dalga dışındaki sinüsoidal dalgalara “harmonik bileşen” adı verilir. Güç sistemindeki sinüsoidal dalganın simetrisinden dolayı 3., 5., 7.,11,... gibi tek harmonik bileşenleri bulunur.



Şekil 3.3 Temel Dalga, 3. , 5. , ve 7. Harmonikler ile Bunların Bileşkesi Olan Bileşke Dalga  
a) 3. Harmonik b) 5. Harmonik c) 7. Harmonik

Çift harmonikli bileşenler bulunmaz. Güç sistemlerindeki harmonikler, sistemi gün geçtikçe artan bir oranda etkilemekte, tesislerde güç kesintilerine ve zaman kaybına yol açmaktadırlar. Her ne kadar süzgeç (filtre) devreleri yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamışsa da; filtreleme tesislerinin, toplam maliyeti arttırması nedeniyle maliyet optimizasyonuna gidilme ihtiyacı duyulmuştur. Sinüsoidal alternatif akım uygulanan bir

alıcının şebekeden harmonikli akım çekmesi bu alıcının yapısı gereğidir. Yani; alıcı nominal çalışması sırasında harmonik meydana getirecek akım çekiyor demektir. Harmonik üreten bu alıcılardan başka, karakteristikleri itibariyle lineer oldukları halde harmonikli akımlara sebebiyet veren alıcılarda vardır. Bu durum ise alıcıya uygulanan gerilimin nonsinüsoidal olmasından kaynaklanmaktadır. Alternatif akımın üretilmesi sırasında alternatörlerde yapılan gerekli iyileştirici önlemler yardımıyla elektrik enerjisi mümkün olduğunca sinüsoidal' e yaklaştırılmaktadır.

### 3.3 Harmonik Büyüklüklerinin Tanımı

Harmonik büyüklüklerin değerleri ne kadar küçük olursa, enerji tesislerindeki akım ve gerilimin değeri sinüs eğrisine daha yakın olur. Saf sinüs eğrisi durumunda harmonik bulunmayacağından, harmoniklerin değeri matematiksel olarak sıfır olacak.

#### 3.3.1 Toplam Harmonik Distorsiyonu ve İlgili Bağlıntılar(THD)

Harmonik bileşenlerin temel bileşene göre seviyesini belirlemede dikkate alınan en önemli ölçüt harmonik distorsiyon denilen kavramdır. Sinüsoidalden uzaklaşmayı, distorsiyonu diğer bir deyişle bozulmanın derecesini belirtir. Hem gerilim, hem de akım için verilebilir. Toplam harmonik distorsiyonu kısaltılarak THD ile belirtilir.

##### 3.3.1.1 Toplam Harmonik Bozulma ( Gerilim için )

Toplam harmonik distorsiyonu akım veya gerilim için harmonikli efektif değerlerin, esas bileşenin efektif değerine bölünmesiyle ortaya çıkan orandır. Toplam harmonik distorsiyonu harmoniklerin bütününe ait olan termal etkiyi nitelemektedir. Harmonikli bileşenlerin temel bileşene göre seviyesini belirlemede dikkate alınan en önemli ölçüttür. Hem gerilim, hem de akım için verilebilir. Gerilim için toplam harmonik distorsiyonu,

$$[THD]_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (3.1)$$

Burada  $V_h$  Harmonik bileşen gerilim,  $V_1$ : gerilimin temel bileşeninin efektif değerini göstermektedir.

### 3.3.1.2 Akım Toplam Harmonik Distorsiyonu (Akım Bozulma Faktörü )

THDI, Toplam Harmonik Bozulma ( Akım için )

$$[THD]_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (3.2)$$

Burada  $I_h$  Harmonik bileşen yük akım,  $I_1$  ana bileşen akımı.

### 3.3.2 Distorsiyon Faktörü

Her bir harmonik distorsiyonun bileşenini bulmak için distorsiyon faktörü kullanılır.

Akım ve gerilim için distorsiyon faktörü,

$$DF_I = \frac{1}{I} \left( \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

Burada  $I_n$  per-unit olarak yük akım bileşeninin ifadesidir

Gerilim değeri için,

$$DF_V = \frac{1}{V} \left( \sum_{n=2}^{\infty} V_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

Burada  $V_n$  per-unit olarak Gerilim bileşeninin ifadesidir

### 3.3.3 Tepe Faktörü

Sinüsoidal olmayan dalgalar için; her bir harmonik dalganın tepe noktasının sapmasının ölçüsü tepe faktörüdür.

$$CF = \frac{\text{Dalğanın Tepe Değeri}}{\text{Dalğanın Efektif Değeri}} \quad (3.5)$$

### 3.3.4 K- Faktörü

Kuru tip transformatörlerin K faktörü, nonlineer yüklenen ve genellikle 500 KVA'nın altındaki transformatörlerde yüklenme kapasitesinin bir ölçütüdür. Bu faktör imalatçılar tarafından ifade edilen bir büyüklük olup,

$$K_{\text{Faktörü}} = \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 (\text{p.u.}) \cdot n^2 \quad (3.6)$$

olarak ifade edilir. Burada  $I_n$  per-unit olarak transformatörün akım bileşeninin ifadesidir.

### 3.3.5 Harmonik Faktörü

Her bir harmonik bileşenin seviyesini belirlemede kullanılır. Gerilim için,

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1} \quad (3.7)$$

$V_n$  = n' ci harmonik gerilimine ait efektif değeri,

$V_1$  gerilimin temel bileşeninin efektif değerini göstermektedir.

### 3.3.6 Toplam Talep Distorsiyonu

Çekilen yük akımına ait distorsiyonu belirlemede kullanılır.

$$TTD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L} \quad (3.8)$$

Burada  $I_L$  yük tarafından, besleme sisteminin ortak bağlantı noktasından çekilen, temel frekanslı maksimum akımdır. On iki ay öncesinden bağlanarak hesaplamann yapılacağı ana kadar olan süre zarfında yük tarafından talep edilen maksimum akımların

ortalaması olarak hesaplanır. Burada  $I_n$  harmonik akımını,  $I_L$  ise 12 ay boyunca talep edilen maksimum akımların matematiksel ortalamasını göstermektedir.

### 3.4 Harmonik Üreten Kaynaklar

Elektrik güç sistemlerinde gerilim ve akım dalga şeklinin sinüs biçiminde sapmasına neden olan harmonik bileşenleri, harmonik kaynağı olarak nitelendirilen ve akım gerilim karakteristiği lineer olmayan elemanlar tarafından üretilmektedir. Harmonikleri meydana getiren sebepler genel olarak şu şekilde verilebilir:

- Konverterler
- Yarı iletken elemanların kullanıldığı cihazlar
- Generatörler
- Motorlar
- Senkron makinelerin uyarılması için kullanılan diyot ve tristörlü dönüştürücüler
- Transformatörler
- Gaz deşarj prensibi ile çalışan aydınlatma elemanları
- Fotovoltaik sistemler
- Bilgisayarlar
- Elektronik balastlar
- Kesintisiz güç kaynakları
- Kaynak makineleri
- Kontrol devreleri
- Frekans dönüştürücüleri
- Statik VAR kompanzatörleri
- Ark fırınları
- Yüksek gerilim ile enerji iletim (HVDC) sistemleri
- Elektrikli ulaşım sistemleri

Bir güç sisteminin harmonik bileşenlerinin ortaya konması ve harmonik simülasyonun gerçekleştirilmesi bakımından sistemdeki harmonik kaynakları üç gruba ayrılabilir:

1. Sistem içerisine dağılmış çok sayıdaki küçük güçlü nonlinear elemanlar
2. Büyük güçlü, karakteristiği sürekli ancak rastgele değişen nonlinear yükler
3. Büyük güçlü statik konverterler ve iletim sistemindeki güç elektroniği düzenleri

Birinci gruptaki harmonik kaynakları, çoğu alçak gerilim cihazının (TV, bilgisayar gibi vb.) besleme kaynağı durumundaki bir fazlı köprü diyotlu doğrultuculardır. Gaz deşerji prensibine göre çalışan lambalar da bir fazlı alçak gerilim ile çalışmaları ve düşük güçlü olmaları sebebiyle bu gruba dâhil edilebilir. Tek tek ele alındığı zaman her birinin gücünün düşük olmasına rağmen bu tip elemanların bir fazlı olması ve sistemde çok sayıda olmaları göz önüne alındığında tümünün harmonik etkisi önemli olabilmekte ve harmonik distorsiyonun artmasına neden olmaktadır.

İkinci gruptaki harmonik kaynaklarının başlıca örneği; yüksek gerilimli iletim şebekesine direkt olarak bağlanan, ancak gücü MW mertebesinde olan genellikle yeterli bir filtre sistemi ile donatılmamış bulunan ark fırınlarıdır. Bu fırınların empedansı dengesiz olup, zamana göre rastgele değişim gösterir. Bu durum sisteme enjekte edilen harmonik akımlarının da rastgele değişimine sebep olmakta ve modellemenin zorluğu nedeniyle simülasyonu güçleştirmektedir.

Üçüncü gruptaki büyük güçlü konverterlerin ve güç elektroniği düzenlerinin gerek kontrol sistemlerinin çok karmaşık olması ve gerekse güçlerinin büyük olması nedeniyle simülasyonu zordur. Ayrıca konverterin çalışması sırasında üretilen harmonik bileşenleri güç kaynağına olumsuz etki yapmaktadır. Bu nedenle konverterin problemsiz çalışması için güç sisteminin harmonik simülasyonuna önem verilmelidir. Harmonik üreten kaynaklardan; Generatörler, transformatörler ve Statik var kompanzatörleri.

Bu kaynakları açıkladıktan sonra şimdi içlerinde en yaygın olan eneratörleri, transformatörleri ve konumuzla ilgili olan statik var kompanzatörleri daha ayrıntılı bir şekilde ifade edebiliriz.

### 3.4.2 Generatörler

En doğal olarak harmonik üreticileri generatörlerdir. Senkron generatörlerin harmonik üretme özelliği çıkık kutbun alan şeklinden, magnetik direncin oluklara bağlı olmasından, ana devrenin doyuma ulaşması ve kaçak akımlar ile sık aralıklarla ve simetrik olmayan boşluklarla yerleştirilen sönüm sargılarından kaynaklanmaktadır. Dönen makineler, makine hızının ve endüvi oluk sayısının fonksiyonu olan harmonikleri üretir. Bunu önlemek için oluk şekli, sargı yapısı, uyarma sargısı ve kutuplar gibi kısımlarda uygun yapısal tedbirler alınarak ve generatörü amortisman sargısı ile donatarak gerilim eğrisinin sinüsoidal olması sağlanır. Senkron generatörlerin oluşturduğu harmonikler generatör gücü 1000 kVA dan büyük olmadığı sürece dikkate alınmazlar.

Dönen makineler makine ve endüvi oluk sayısına bağlı olarak harmonik üretirler. En tabii harmonik üreticileri generetörlerdir. Alan şekline ve manyetik devrenin doymaya ulaşmasına ya da magnetik direncin değişimine bağlı olarak harmonik üretirler. Bu nedenlerden dolayı generetör sargılarının yıldız bağlanması ve yıldız noktasının yalıtılması tercih edilir. Generetör dört iletkenli bir şebekeye bağlı ise, bu koşulda nötr hattı, zigzag bağlı bir bobinle oluşturulan suni yıldız noktasına bağlanır. Stator sargı adımlarının uygun seçildikten sonra kırılganlık yolu ile alan eğrisindeki 3. harmonik ile 5. ve 7. harmonikler gerilim eğrisinde tamamen ortadan kaldırılabilirler. Burada dikkate değer en düşük harmonik 2. harmoniktir.

### 3.4.3 Transformatörler

Güç sistemlerindeki en önemli eleman olan transformatörler, demir çekirdeği bulunan bobinden oluştuğu için harmoniklere yol açmaktadır. Demir çekirdeğinin mıknatıslama karakteristiği lineer olmadığından, transformatör doyuma gitmekte ve harmonikler üretmektedir. Transformatörler sinüsoidal gerilimle çalışma altında lineer mıknatıslama karakteristiği bölgesinde sinüsoidal çıkış büyüklüğü verecek şekilde tasarlanırlar. Transformatörlerin nominal değerlerinin dışında çalışması nüvede daha çok doymaya ve harmonik akımları seviyesinde hızla artmaya sebep olabilir. Akım şiddeti bakımından en önemli harmonik 3. harmoniktir. 3 ve 3'ün katı harmonikler arasında 360 derecenin tam katları kadar faz farkı olduğundan hepsi aynı fazdadır.

Harmonik akımları transformatörün primer reaktansı, hattın reaktansı ve generetörün kaçak reaktansı üzerinden geçerek harmonik gerilim düşümü meydana getirir; generetörde sinüs şeklinde emk üretildiği halde çıkış uçlarındaki gerilim şekli bozulabilir. Bununla beraber mıknatıslanma akımlarının şebekeye geçip geçmemesi transformatörün bağlantı grubu, primerin yıldız bağlı olması halinde yıldız noktasının şebekenin nötrüne bağlı olup olmaması ve transformatördeki manyetik devrenin geometrik yapısına bağlı olarak değişmektedir.

Transformatörlerin harmonik üretme özelliği, demir çekirdeğin mıknatıslanma karakteristiğinin lineer olmayışından ileri gelir. Transformatörler doyuma gitmekte ve harmonikler üretmektedirler. Transformatörlerin nominal değerlerin dışında çalışması nüvede daha çok doymaya sebep olur. Doyma harmonik akımların seviyesinde hızlı artmaya sebep olur.

Transformatörlerde genelde iki türlü harmonik oluşur. Bu harmonikler akım harmonikleri ve gerilim harmonikleri olarak sınıflandırılır. Akım devresinde akan yüksek harmoniklerden dolayı ilave joule  $(R \cdot I^2)$  kayıpları oluşur. Çekirdek demir kayıpları artar. Haberleşme devreleri üzerinde magnetik etkiler yapar. Gerilim harmoniklerinin etkileri dielektrik zorlanmasını artırır. Haberleşme devrelerine elektrostatik etki yapar. Transformatörün endüktansı ile transformatöre bağlı tüketicilerin kapasitesi arasında rezonans oluşmasına sebep olur. Bu etkiler istenmeyen etkilerdir

Üç fazlı transformatörlerde mıknatıslanma akımı transformatörün bağlama şekline ve magnetik devrenin yapısına bağlı olarak değişir. Üç ve üçün katı harmonikler çeşitli bağlantı grupları ile yok edilebilirler. 5.ve 7. harmoniklerin etkileri soğukta haddelenmiş ve kristalleri yönlendirilmiş saçlar kullanılarak azaltılabilir.

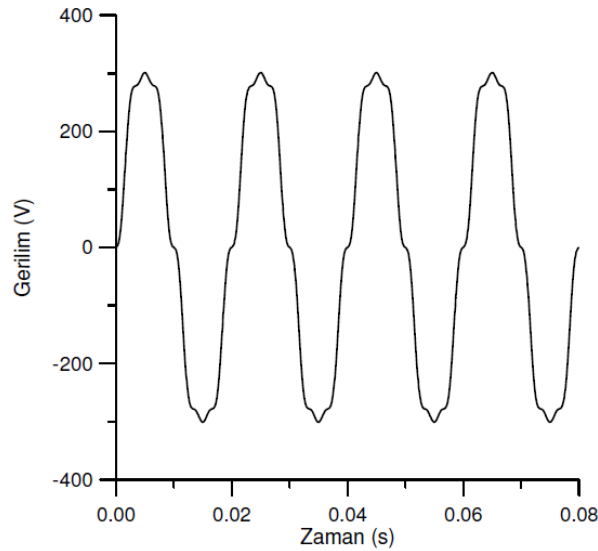
Transformatörlerde mıknatıslanma akımının 3 ve 3 'un katı harmoniklerin şebekede bulunmasını önlemek için primer yıldız bağlı transformatörlerin yıldız noktası, şebekenin nötr hattına bağlanmaz veya sargıların biri üçgen bağlanır veya büyük güçlü transformatörlerde olduğu gibi üçgen bağlı tersiyer sargı kullanılır.

Mıknatıslanma akımlarının harmoniklerinin tepe değerleri, temel mıknatıslanma akımının tepe değerinden oldukça küçüktür. Transformatörlerin mıknatıslanma akımları nominal akımlarının %0.5 ile %1 'i kadardır. Buna rağmen seri bağlı generetör,

hat ve transformatör reaktansları frekansla orantılı arttıklarından, özellikle düşük yüklerde yüksek harmonik akımlarının bunlar üzerinde sebep oldukları reaktif gerilim düşümleri büyük değerler alır. Mıknatıslanma akımlarının şebekeye geçişleri aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- Transformatör sargılarının bağlanış tarzı (bağlama grubu),
- Primlerdeki yıldız bağlı sargılarda, yıldız noktasının şebekenin nötr hattına bağlanıp bağlanmamasına,
- Transformatörlerde mıknatıslanmanın serbest veya zorunlu olmasına,

Buna rağmen şebekeden 5. ve 7. harmonikler geçmeye devam eder. Bu tür harmonikler rezonansa sebep olabilir. Bunu önlemek için transformatörlerde konstrüktif tedbirlere başvurulabilir. Şebekedeki mıknatıslanma akımını düşürmek için en uygun tedbir magnetik endüksiyonu düşük tutmaktır. Transformatörlerde soğuk haddelenmiş ve kristalleri yönlendirilmiş saç kullanmakla bu sonuca ulaşılmaktadır. Bu tür saçları kullanmakla harmonikler değerlerinin 1/5 ne kadar düşmektedirler. Böylece harmoniklerin tehlikesi büyük çapta önlenmiş olur. 5.ve7.harmoniklerin zamana bağlı değişimi Şekil 3,6'da verilmiştir.



Şekil 3.4 .5. ve 7. Harmonik İçeren Şebeke Gerilim

#### 3.4.4 Statik Var Kompanzasyonu

Statik VAR kompanzatörleri genel itibari ile sinüsoidal dalganın belirli acılarla kesilmesine neden olur. Böylece dalga şekli sinüsoidalden uzaklaşır. Çalışma prensibi, L ve C elemanları üzerinden kesilen bu dalgalar ile reaktif gücün ayarlanma prensibine dayanır. Tam iletimde temel bileşen genliğinin yüzdesi olarak verilen değerler, faz ve hat akımlarının her ikisi için de aynıdır. Yapılan ölçümler sonucu belirli harmonik mertebelere karşılık gelen harmonik genliği Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Harmonik Ölçümleri

| Harmonik<br>Mertebe | 3    | 5    | 7    | 9    | 11   | 13   | 15   | 17   | 19   | 21   | 25   |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Harmonik<br>Genliği | 13,8 | 5,05 | 5,29 | 1,57 | 1,05 | 0,75 | 0,57 | 0,44 | 0,35 | 0,29 | 0,24 |

#### 3.5 Harmonik Etkiler

Bu bölümde harmoniklerin çeşitli sistemlere olan etkileri ile ilgili durumlar incelenmiştir.

##### 3.5.2 Harmoniklerin Güç Sistemlerine Etkileri

Elektrik enerjisi, yasal bir kalite standardı yayınlanmamış birkaç tüketim ürününden biridir. Gelişmiş güç elektroniği sistemlerinin hızla artan uygulama alanları nedeniyle, elektrik sistemlerinde gözlenen harmonik kirlenmeler giderek artmakta ve enerji kalitesi de düşmektedir. Bu kirlenmeler işletmedeki cihazlara zarar vermekte, ayrıca sistemde kesici şalter gibi devre açıcı elemanlarda gereksiz açma kumandalarına ve bilgisayarların hatalı ve titreşimli çalışmasına neden olabilmektedir. Sistemde harmoniklerin bulunması durumunda, kendileri harmonik yaratmayan tüketiciler kullanmadıkları enerji için fazladan para ödemek zorunda kalabilmektedirler.

Harmonikler genel olarak nonlineer elemanlar ile nonsinüsoidal kaynaklardan herhangi birisi veya bunların ikisinin sistemde bulunmasından meydana gelirler. Harmonikli akım ve gerilimin güç sistemlerinde bulunması sinüsoidal dalganın bozulması anlamına gelir. Bozulan dalgalar nonsinüsoidal dalga olarak adlandırılır. Harmonikler güç

sistemlerinde; ek kayıplar, ek gerilim düşümleri, rezonans olayları, güç faktörünün değişmesi v.b. gibi teknik ve ekonomik problemlere yol açar.

Sinüsoidal alternatif akım uygulanan bir alıcının şebekeden harmonikli akım çekmesi bu alıcının yapısı gereğidir. Yani; alıcı nominal çalışması sırasında harmonik meydana getirecek akım çekiyor demektir. Harmonik üreten bu alıcılardan başka, karakteristikleri itibariyle lineer oldukları halde harmonikli akımlara sebebiyet veren alıcılarda vardır. Bu durum ise alıcıya uygulanan gerilimin nonsinüsoidal olmasından kaynaklanmaktadır. Alternatif akımın üretilmesi sırasında alternatörlerde yapılan gerekli iyileştirici önlemler yardımıyla elektrik enerjisi mümkün olduğunca sinüsoidal'e yaklaştırılmaktadır. Fakat lineer bir alıcıya aynı şebekeye bağlı diğer nonlineer yükler tarafından etki edilmektedir.

Enerji sistemlerinde harmoniklerle gerilim ve akım dalga şekillerinin bozulması çok çeşitli problemlere yol açmaktadır. Bunlar maddeler halinde şöyle verilebilir:

- Generatör ve şebeke geriliminin bozulması,
- Gerilim düşümünün artması,
- Kompanzasyon tesislerinin aşırı reaktif yüklenme ve dielektrik zorlanma nedeniyle zarar görmesi,
- Enerji sistemindeki elemanlarda ve yüklerde kayıpların artması,
- Senkron ve asenkron motorlarda moment salınımlarının ve aşırı ısınmanın meydana gelmesi,
- Endüksiyon tipi sayaçlarda yanlış ölçmeler,
- Uzaktan kumanda, yük kontrolü v.b. yerlerde çalışma bozuklukları,
- Şebekede rezonans olayları, rezonansın neden olduğu aşırı gerilimler ve akımlar,
- Koruma ve kontrol düzenlerinde sinyal hataları,
- İzolasyon malzemesinin delinmesi,
- Elektrik aygıtlarının ömrünün azalması,
- Sesli ve görüntülü iletişim araçlarında parazit ve anormal çalışma,

- Mikro bilgi işlemciler üzerinde hatalı çalışma
- Elektromekanik cihazlarda ve kablolarda ısınma,
- Makinelerde mekanik titreşimler (vibrasyon)
- Ateşleme devrelerinin anormal çalışması,
- CAD/CAM terminallerinde hafızaların silinmesi,
- Elektronik kart arızaları,
- Güç kondansatörlerinde güç kayıpları, delinmeler ve patlamalar,
- Kompanzasyon sigortalarında atmalar,
- Kesici ve şalterlerde açmalar,
- Röle sinyallerinin bozulması ve anormal çalışması,
- Enerji kayıplar

Bu etkilerden bahsettikten sonra, L ve C elemanlarının çalışma prensibinden hareketle oluşturulan kompanzatörleri daha yakından ilgilendiren bir etki olarak “rezonanslarda” ve “kondansatör gruplarında meydana gelen” etkiyi biraz daha ayrıntılı bir şekilde inceleyelim.

### **3.5.3 Hermoniklerin Rezonanslara Olan Etkileri**

Harmonikler içeren bir gerilim; endüktans ve kapasitansların bulunduğu bir devreye uygulanırsa harmonik frekanslarından birinde rezonans meydana gelebilir. Devrenin yapısına bağlı olarak seri rezonans meydana gelirse, rezonans frekansında devredeki toplam omik direncin değerine bağlı olarak (direnç ne kadar küçükse akım o kadar büyük olur) büyük akımlar dolaşabilir. Bu akımlar endüktans ve kapasitans uçlarında aşırı gerilimler oluşmasına neden olurlar. Eğer paralel rezonans meydana gelirse, devrenin şebekeden çekeceği akım azalır. Ancak böyle bir durumda, endüktans ve kapasitelerde dolaşan akım büyük değerlere ulaşabilir. Rezonansların oluşması, sistemde arıza ve hasarlar meydana getirebilir. Bu anlatılan olumsuz sonuçlar, sistem yükünün az olduğu zamanlarda daha sık meydana gelmektedir.

Çizelge 3.2 Rezonans Etkileri

| Cihaz               | Etkileri                                                                                                                                   | Limitler                                                                             |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Güç Kondansatörleri | Aşırı ısınma, erken eskime (bozulma), rezonans.                                                                                            | MV'de 12 saat/gün için veya AG'de 8 saat/gün için (THD I<%83)'de I<1.3 veya U<1.1 Un |
| Motorlar            | Kayıplar ve aşırı ısınma.<br>Tam yükte kullanılacak kapasitenin düşmesi.<br>Darbe torku (titreşimler, mekanik stres)<br>Gürültü kirliliği. | $HVF = \sqrt{\sum_{h=2}^{13} U_h^2 / h} \leq \%2$                                    |
| Trafolar            | Kayıplar (ohmik-demir) ve aşırı ısınma.<br>Mekanik titreşimler.<br>Gürültü kirliliği.                                                      |                                                                                      |
| Devre Kesiciler     | İstenmeyen açılma (aşırı gerilim tepe değerleri vb.)                                                                                       | $\underline{U}_h / U_1 \leq \%6$ ila 12                                              |
| Kablolar            | Ek elektrik ve ohm kayıpları (üçüncü harmonik akımları mevcutsa, özellikle nötr iletkende)                                                 | THD ≤ %10<br>$\underline{U}_h / \underline{U}_1 \leq \%7$                            |
| Bilgisayarlar       | Çalışma problemleri.                                                                                                                       | $\underline{U}_h / \underline{U}_1 \leq \%5$                                         |
| Güç Elektronikleri  | Dalga formu ile ilgili problemler (haberleşme, senkronizasyon).                                                                            |                                                                                      |

Harmoniklerin şebeke ve sistem üzerinde yaptığı en büyük etkilerden birisi rezonans olaylarına sebebiyet vermesidir. Rezonans; şebekeden çekilen akımın endüktif ve kapasitif etkiden kurtulup tamamen omik yük etkisi altında kalmasıdır. Bir başka deyişle sistemdeki kapasitif ve endüktif yüklerin eşitlenmesiyle devrede tamamen omik yükün etkili olmasıdır. Bu olayın gerçekleşmesi sistemden maksimum akım akmasına neden olmaktadır.

Bir sistemdeki kapasitif yükün yaklaşık tamamını reaktif güç kompanzasyonu amacıyla kullanılan kondansatörler oluşturur. Sisteme uygulanan gerilimin sinüsoidal olması durumunda yani gerilimin 50 Hz temel frekansa sahip olması durumunda, bir rezonans söz konusu olmamaktadır. Çünkü kompanzasyon için gerekli kapasitif yük hesabı bu temel frekans durumuna göre yapılır ve rezonansın meydana gelmemesine dikkat edilir.

Harmonikli bir sistemde rezonans oluşturacak harmonik frekansları oluşabilir. Yüksek harmonik frekans değerlerinde rezonansın meydana gelmesi tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Frekansla kapasitif reaktans ( $X_c$ ) değerinin ters orantılı olarak değişmesi sebebiyle, yüksek harmonik değerlerinde şebekeden yüksek kapasitif akımlar çekilir, buda şebekenin zorlanmasına ve arızalarına yol açar.

### GÜÇ FAKTÖRÜ VE DÜZELTME YÖNTEMLERİ

Genellikle, enerjiyi bir formdan diğerine dönüştüren sistemler için kullanılan bu terimi; sisteme giren enerjiyi, hedeflenen enerji biçimine dönüştürme verimi olarak tanımlamak mümkündür. Örneğin PV 'nin "güneşten aldığı enerjiyi elektriğe dönüştürme verimi" veya "bir elektrik motorunun, kendisini besleyen elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirme verimi" güç katsayısı olarak biliniyor. Öte yandan elektrikte, akımla gerilim arasındaki faz farkının kosinüsüne de  $(\cos \phi)$  'güç katsayısı' denilir.

#### 4.1 Kompanzasyon Nedir?

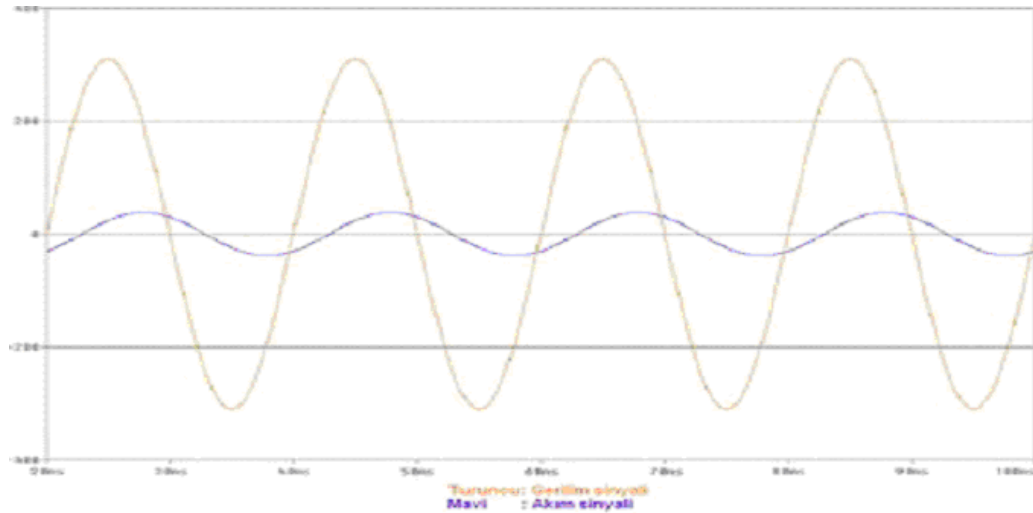
Son yıllarda dünyada karşı karşıya kalınan enerji krizi, araştırmacıları bir yandan yeni enerji kaynaklarına yöneltirken, diğer yandan da daha verimli sistemlerin tasarlanması ve kaybedilen elektrik enerjisinin azaltılması yönünde yapılan çalışmaların yoğunlaşmasına neden olmuştur.

Elektrik enerjisi bugün alternatif akım enerjisi olarak üretilir ve dağıtılır. Tüketicilerin şebekeden çektikleri alternatif akım, biri aktif diğeri de reaktif akım olmak üzere iki bileşenden oluşur. Alternatif akımın meydana getirdiği aktif güç tüketici tarafından faydalı hale getirilir fakat reaktif akımın meydana getirdiği reaktif güç ise faydalı güce çevrilmez, Her ne kadar reaktif güç aktif güce çevrilemese de bundan tamamen de vazgeçilemez. Elektrodinamik prensibine göre çalışan generatör, transformatör, bobin ve motor gibi bütün işletme araçlarının normal çalışmaları için gerekli olan manyetik alan, reaktif akım tarafından meydana getirilir.

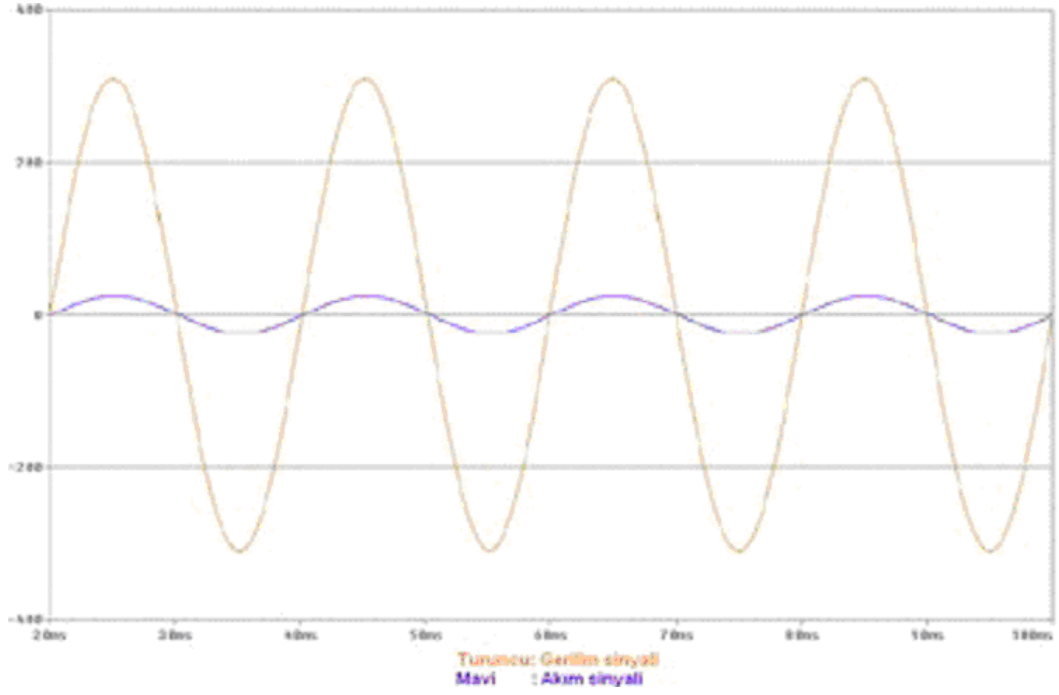
Reaktif gücün şebekelerde ve tesislerde oluşan istenmeyen etkilerini önlemek, amacıyla kompanzasyon'a başvurulur. Elektrik tesislerinin ve yükün ihtiyacı olan reaktif gücün belirli teknikler kullanılarak karşılanması, Reaktif Güç Kompanzasyonu olarak adlandırılır[9].

Teknik olarak, voltaj ile akım arasında, idealde faz farkı olmaz. İndüktif ya da kapasitif yüklerin oluşturduğu etki neticesinde, akım sinyalinin, voltaj sinyaline göre maximum  $\pm 90$  derecelik fazı kayar. İndüktif ve kapasitif etki neticesinde oluşan voltaj ve akım sinyali arasındaki faz kaymasını düzelterek, ideale yakın (0 derecede) sabit tutmaya yarayan işleme kompanzasyon denir.

Pratikte ise, elektrik sisteminde, elektrik motoru, bobin vb, mıknatıslanma etkisi ile elektrik enerjisini yine elektrik enerjisine ya da farklı bir enerjiye çeviren cihazların, bu mıknatıslanma etkisi ile Şekil 4.1de görülebileceği gibi faz akımını geri kaydırmasından (indüktif güç oluşturmamasından) dolayı, şebeke üzerinde yaratmış oldukları indüktif reaktif gücü dengeleme ve fazın akımını olması gereken konuma geri çekme işlemine kompanzasyon denir. Kompanzasyonu sağlanmış olan bir sistemin Akım gerilim grafiği de Şekil 4.1 'deki gibidir.



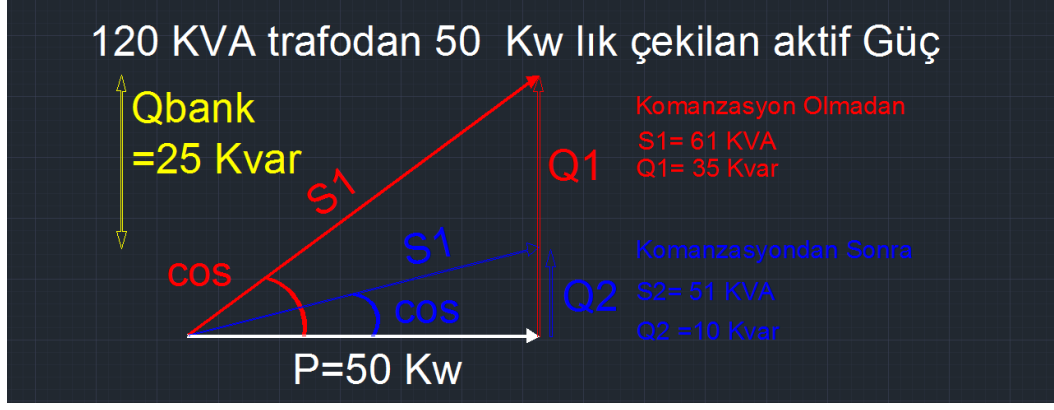
Şekil 4.1 Kompanzasyonu Sağlanmamış Sistemin Akım-Gerilim Grafiği



Şekil 4.2: Kompanzasyonu Sağlanmış Sistemin Akım-Gerilim Grafiği

#### 4.2 Kompanzasyon Sistemlerini Vektörel Olarak Yorumlama

İdealde voltaj ile akım arasında faz farkı olmaz fakat indüktif ya da kapasitif yüklerin oluşturduğu etki sonucunda sistemde faz farkı meydana gelir. İndüktif ve kapasitif etki neticesinde oluşan voltaj ve akım arasındaki faz kaymasını sıfıra yakın tutma işlemine kompanzasyon olarak ifade edilmektedir. Güç üçgeninde kompanzasyonun nasıl yansıdığını inceleyebiliriz. Örneğin; Bir motor 120kVA gücü olup, sabit bir yük 50 kW'lık güç çekiyor. Başta bu motor kompanizasyon yapmadan 35 Kvar lık güç çekiyor. Kompanizasyon yaptıktan sonra yük 25Kvar çekmeye başlar ve böylece tasarruf sağlanmış olur. Şekil 4.3 'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. 3 Güç Üçgeninde Kompanzasyonun Gösterilmesi

Vektörel anlamda aktif güç ve reaktif güç vektörlerinin arasındaki açı faz farkını gösterir. Grafikte görüldüğü üzere aktif gücümüz ve reaktif gücümüzün vektörel toplamı sistemde kullandığımız toplam görünür gücümüzü oluşturur. 120 kVA trafomuzdan 50 kW lık aktif yük çeken grup ve bu yük grubunun da kompanzasyon olmadan 35 kVar lık reaktif güç tükettiği durum için trafomuzdan kullanacağımız toplam görünür güç 61 kVA olacaktır.

Kompanzasyon ile sistemden tüketilen reaktif gücü kondansatör grubu ile 10 kVar'a düşürdüğümüz durumda 50 kW lık aktif yükümüz için trafomuzdan kullanacağımız toplam görünür güç 51 kVA olacaktır. Kompanzasyon olmadan kullandığımız görünür güç 61 kVA iken kompanzasyon olduğu durumda 51 kVA olmaktadır. İdeal bir alternatif akım için reaktif güç kompanzasyonu şarttır, İdeal bir alternatif akım şebekesinde, şebekenin her noktasında gerilim ve frekans sabit ve harmoniksiz olmalıdır. Ayrıca güç faktörü de bir veya bire yakın olmalıdır. Bir alternatif akım şebekesinin kalitesi şunlara bağlıdır[18].

1. Gerilim ve frekansın sabitliği
2. Güç faktörünün bire yakınlığı
3. Faz, gerilim ve akımların dengeli olması
4. Sürekli enerji verebilmesi
5. Harmonik miktarının belirli sınırlar içinde kalması

Bu kaliteyi sağlayabilmek için de reaktif güç kompanzasyon cihazlarının kullanılması gerekir.

### 4.3 Kompanzasyonun Önemi

Elektrik enerjisinin, santralden en küçük alıcıya kadar dağıtımında en az kayıpla taşınması gerekmektedir. Günümüzde, teknolojinin gelişmesi ile her evde bulunan buzdolabı, çamaşır makinası, klima, vs. gibi ısıtma, havalandırma ve soğutma cihazları, elektrik enerjisine ihtiyacın her geçen gün biraz daha artmasına, enerji üretiminin gittikçe pahalılaşmasına neden olmakta, dolaylı olarak da bu durum şebekede taşınan elektrik enerjisinin de kaliteli, ucuz ve hakiki iş gören aktif enerji olmasını daha zorunlu kılmaktadır.

Kompanzasyonun tanımında bahsedildiği gibi, şebekeye bağlı bir alıcı, eğer bir motor, bir transformatör, bir floresant lamba ise, bunlar manyetik alanlarının temini için bağlı oldukları şebekeden indüktif reaktif güç çekerler. İş yapmayan ve sadece motorda manyetik alan doğurmaya yarayan indüktif reaktif güç, iletim hatlarında, trafolarda, şalterler ve kablolarda lüzumsuz yere kayıplara sebebiyet vermektedir. Bu kayıplar yok edilebildiği zaman, şüphesiz trafolar daha fazla motoru besleyebilecek bir kapasiteye sahip olacak, keza disjonktörler (yüksek gerilimli şebekelerin açma kapama şalteri) lüzumsuz yere büyük seçilmeyecek, kullanılan kablolar ise daha küçük kesitte seçilebilecektir. Daha az yatırımla motora enerji verme yanında, uygulanan tarifeler yönünden, her ay daha az elektrik enerjisi ödemesi yapılacaktır. Görüldüğü gibi, daha ilk bakışta reaktif gücün santralden alıcıya kadar taşınması, büyük ekonomik kayıp görünmektedir. Genellikle enerji dağıtım şebekelerinde lüzumsuz yere taşınan bu enerji, taşınan aktif enerjinin % 75 ile %100'ü arasında olduğu tespit edilmiştir. [21] Sonuç olarak, bu reaktif enerjinin santral yerine, motora en yakın bir bölgeden gerek kondansatör tesisleri (statik faz kaydırıcı), gerekse senkron döner motorlar (dinamik faz kaydırıcı) tarafından temin edilmesiyle, santralden motora kadar mevcut bütün tesisler bu reaktif gücün taşınması yükünden arınmış olacaktır[17].

Reaktif güçler kompanze edilmez ise üretici ve tüketici yönünden çeşitli sorunları beraberinde getirir.

Düşük güç katsayısının etkileri aşağıda belirtildiği gibidir;

1. Kişisel bilgisayarlar ile sunucuların güç kaynakları anahtarlama modunda çalışan SMPS (Switch Mode Power Supply)lerdir. Anahtarlama modunda çalışan güç kaynakları beslendikleri şebekeden ilave akım harmoniklerinin akmasına neden olur. ilave akım harmonikleri güç faktörünü azaltır, gerilim kaynağının gerilim dalga şeklini bozarak aynı sisteme bağlı diğer hassas elektronik cihazların olumsuz yönde etkilenmesine yol açar.
2. Düşük güç faktörü görünür gücü, dolayısıyla görünür akımı arttırır; şebekenin yük taşıma kapasitesini azaltır.
3. Düşük güç faktörlü çalışmada artan akımı taşıyacak şekilde kablo kesitlerinin ve koruyucu elemanların (sigorta, şalter, devre kesici, kontaktör vb.) anma değerlerinin arttırılması gerekir. Artan akım kapasitesi işletmenin maliyetlerini arttırır.
4. EN61000-3-2 standardı, yüklerin şebekeye sunacağı en Düşük güç faktörlerini belirlemiştir. Bu değerler yaklaşık olarak 500VA bir yük için 0.72, 1kVA için 0.78, 1.5kVA için 0,9'dur. Modern bir Bilgisayar cihazının güç faktörü 0,9'dur.

#### **4.3.1 Üretici Yönünden Kompanzasyonun Önemi**

Güç Faktörü İncelemesi üreticiler yönünden oldukça ehemmiyet arz etmektedir. Bu durum biz üreticiler açısından güç faktörünün incelenmesini başlağı altında vereceğiz. Kurulacak bir tesisdeki gereklilikleri şu şekilde sırlayabiliriz:

- Generatör ve transformatörlerin daha büyük güçte seçilmesine,
- İletkenlerin daha büyük kesitli olmasına, cihazlarının daha büyük ve hassas olmasına neden olur.

Kurulu bir tesiste:

- Üretim, iletim ve dağıtımda kapasite ve verimin düşmesine,
- İletkenlerde kayıpların ve gerilim düşümünün artmasına,

#### **4.3.2 Tüketici Yönünden Kompanzasyonun Önemi**

Güç Faktörü İncelemesi tüketiciler yönünden oldukça ehemmiyet arz etmektedir. Bu durumu biz, üreticiler açısından güç faktörünün incelenmesini başlağı altında vereceğiz.

Kurulacak bir tesisiteki gereklilikleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Alıcı transformatörünün (varsa), kumanda, koruma ve kontrol donanımının gereğinden daha büyük olmasına,
- İletkenlerin daha büyük kesitli seçilmesine neden olur.

*Kurulu bir tesiste:*

- Transformatör (varsa), o tesisatın kapasite ve veriminin düşmesine,
- Şebekeden daha çok reaktif enerji çekilmesine,
- Kayıpların ve gerilim düşümünün artmasına neden olur.

#### **4.4 Harmoniklerin Giderilmesi**

Harmoniklerin olumsuzlukları öncelikle tasarımda daha sonra da devreye bağlanan elemanlarla giderilmeye çalışılır. Nonlineer elemanların bulunduğu devreye bağlanan ve istenen harmonik bileşenlerin giderilmesini sağlayan bu devrelere “harmonik filtresi” adı verilir. Filtreler aktif ve pasif filtreler olarak iki gruba ayrılır.

Pasif filtrelerin amacı ayarlandığı frekans ya da frekanslarda rezonans meydana getirerek, harmonik bileşen akımlarını toprağa ileterek harmonik bileşenlerin giderilmesini sağlar. Aktif filtreler ise sistemde dolaşan harmonikleri sağlayan aktif elemanlardır.

Doğrultucularda darbe sayısı  $p$ , harmonik mertebesi  $n=k.p\pm1$  formülü ile bulunur. Bu formülde  $k=1, 2, 3...$  gibi tam sayılardır. Darbe sayısının artırılması ile küçük dereceli harmoniklerin giderilmesi mümkündür. Dönüştürücülerde  $n=5, 7, 11, 13$  olduğu için, harmonik akımları  $I_5 = I_1 / 5$  ve  $I_7 = I_1 / 7$ , gibi değerler almaktadır. Bundan dolayı darbe sayısı ne kadar büyük olursa, harmonik mertebeleri de o kadar küçük olur.

Büyük transformatörlerde magnetik endüksiyon değerinin büyük tutulması ile demir çekirdekten en büyük yarar sağlanır. Ancak büyük endüksiyon değerinde, doyma nedeni ile mıknatıslanma akımında harmonikli bileşenler artar. Mıknatıslanma akımının harmonik bileşenlerini azaltmak için alınabilecek en iyi tedbir, manyetik endüksiyonu düşük tutmaktır.

#### **4.4.1 Pasif Filtre**

Pasif filtreler, kaynak ile alıcı ile arasına konulan ve temel frekans dışındaki bileşenleri yok eden seri bağlı kondansatör ( C ) ve endüktanstan oluşur. Bazı durumlarda omik direnç (R) de ilave edilebilir [18].

Pasif filtreleri iki grupta toplamak mümkündür.

##### **4.4.1.1 Düşük Ayarlı Pasif Filtre**

Harmonik filtreli kompanzasyon olarak da tabir edilen bu filtre sisteminde, kompanzasyon yerine ana harmonik frekansından daha düşük bir frekansta endüktans bobini tasarlanarak kondansatörlerin önüne seri bağlandığı sistemdir. Düşük ayarlı pasif filtre sistemlerinde amaç kondansatörlerin sisteme olan paralel rezonans etkisini tamamen ortadan kaldırmak ve bu noktada empedansı belirlenen merkezi frekansta sıfıra eşitleyerek harmonik gerilimlerini minimuma indirmektir. Bu sayede kondansatörlerin sisteme olan etkisi ortadan kalktığından, kondansatörlerin sistemde yarattığı harmonik akımları da giderilir ancak tesiste üretilen harmonik akımlarına karşı etkisizdir. Düşük ayarlı filtreler harmonik gerilimin sıfıra çektiğinden oldukça başarılı, güç kayıptan kVAR başına yaklaşık 5 W olan ve ekonomik sayılabilecek bir yöntemdir. Harmonik filtreli kompanzasyon sistemi sayesinde paralel rezonansın ortadan kaldırılabilmesi için tesiste seri rezonans devresi meydana getirilir. Seri bağlı kondansatör ve bobinin toplam reaktansı seçilen frekans değerinde sıfır olacaktır. Oluşturulan seri rezonans devresi ile paralel rezonansın kondansatörler ve sistemin diğer noktalarındaki etkisi ortadan kaldırılır.

##### **4.4.1.2 Ayarlı Filtre**

Merkezi frekans ayarlı filtreler, filtreli kompanzasyon mantığı ile aynı olmakla beraber endüktans bobini, tesiste etkin harmonik frekansı veya frekanslarına eşit olacak şekilde tasarlanır. Merkezi frekans ayarlı filtreler, harmonik filtreli kompanzasyona kıyasla daha etkili, güç kayıpları ve kurulum maliyeti daha yüksek bir sistemdir.

Merkezi frekans ayarlı filtrasyon, sistemde mevcut bulunan baskın harmonik frekanslarına göre tasarlanır. Sistemde mevcut bulunan harmonik üreteçlerinin

elektriksel yapısı analiz edildiğinde, 6 darbeli tabir edilen 6 adet anahtarlama elemanı bulunan (Tristör, IGBT) cihazlar bulunuyorsa sistemde 5. ve 7. harmonik, eğer 12 darbeli sistemler bulunuyorsa 11. ve 13. harmonik sistemde baskın harmonik mertebesi olacaktır. Örneğin tesiste 5. 7. ve 11. harmonikler baskın ise 250 Hz, 350 Hz ve 550 Hz'de seri rezonans devresi meydana getirilir. Fakat tesiste 5. 7. 11 ve 13. harmonikler baskın ise 250 Hz, 350 Hz'de seri rezonans meydana getirilirken ve 500 Hz'in üzerinde bir değerde geniş bantlı bir filtre devresi tasarlanarak seri rezonans devresi meydana getirir. Ancak sistemin uzun süre sağlıklı çalışması amacıyla kondansatörlerin zaman içinde güç kaybetme ihtimalleri de göz önüne alınarak endüktans bobini tasarlanırken merkezi frekans 245, 345 ve 545 Hz olacak şekilde hesaplanır Ayarlı pasif filtreler paralel rezonans devresinin sonsuz empedans etkisini ortadan kaldırmak amacıyla sistemde oluşabilecek rezonans frekanslarından baskın olanları için tasarlanan seri rezonans devresidir. Sistemde belirlenen merkezi frekanslarda  $X_c$  ve  $X_L$  değerleri eşitlenir (Seri rezonans şartı). Bu sayede seçilen merkezi frekanslardaki harmonik akımlarının filtre üzerinden akması sağlanır.

Bu sistem sayesinde, sistemdeki harmonik gerilimleri sıfıra çekilir. Diğer taraftan kondansatörler nedeni ile oluşan harmonik akımları ortadan kaldırılır ve sistemdeki diğer harmonik üreteçleri tarafından üretilen harmonik akımları ortadan kaldırılır.

#### **4.4.2 Aktif Filtre**

Aktif güç filtresinin çalışması, sisteme yükün ürettiği harmoniklerle aynı genlikte fakat ters fazda bir akım enjekte edilmesi prensibine dayanır. Güç elektroniği elemanları kullanılarak gerçekleştirilir. Temel olarak aktif güç filtresi, şebekeye bir dijital kontrolörle bağlı standart bir dönüştürücüden oluşur. Akım veya gerilimdeki harmonik distorsiyonunu tanımlamak için ilave bir kontrol bloğu mevcuttur. Aktif filtreler pasif filtrelerle nazaran kaynak empedansına daha az bağlıdır. Yük değişimlerinde sadece kontrolör yeniden programlanmalıdır.

Aktif filtre uygulanmasındaki amaç şebeke harmoniklerini %97 mertebesinde ortadan kaldırmaktır. Ayrıca, isteğe bağlı olarak sistemin ihtiyacı olan reaktif güç

sağlanabilir. Aktif güç filtresi, dönüştürücü, akım kontrol devresi ve harmonik belirleme bloğu olmak üzere üç kısımdan oluşur.

#### **4.4.3 Karma Filtre**

Hibrit filtre olarak da bilinen bu yöntemde, gerekli reaktif gücü sağlayan hâkim harmonik (örneğin 5) sırası için bir aktif filtre ve bir pasif filtre setinden ibarettir.

#### **4.5 Filtre Prensipleri Özellikleri**

Pasif Ortadan kaldırılacak her bir harmonik frekansı için ayarlanan by-pass seri AG(Alçak Gerilim ) devresi Harmonik akımında limit yok. Reaktif gücün dengelenmesi Bir veya daha fazla harmonik sırasının ortadan kaldırılması (genellikle 5, 7, 11). Dengelenecek bir veya iki sıra için bir filtre takılır. Tesisat değişiminde harmoniklerin artma riski. Dış kirlenmeden kaynaklanan aşırı yük riski.“Tesisat” filtresi (global)Mühendislik durum çalışması. Aktif Yükün oluşturduğu tüm harmonikleri iptal eden akımın üretilmesi. Özellikle “makinelî” filtrelemeye uygun (lokal) çözüm. Geniş bir frekans bandı üzerinde filtreleme (harmonik sırası 2 ila 25’in ortadan kaldırılması) Kendi kendine ayarlama:

- Tesisat değişikliğinin hiçbir etkisi yoktur.
- Yük ve harmonik spektrumunda tüm ayarlamalara uyum sağlar.
- Her tür yük için sınırsız, esnek çözüm.
- Basit mühendislik çalışması.
- Karma Pasif ve aktif filtreleme çözümlerinin avantajlarını sunmaktadır ve geniş bir güç ve performans yelpazesini içermektedir:
- Geniş bir frekans bandı üzerinde filtreleme (2 ila 25 numaralı harmoniklerin ortadan kaldırılması),
- Reaktif gücün dengelenmesi,
- Akım filtreleme için yüksek kapasite,“tesisat” filtreleme için iyi teknik-ekonomik çözüm

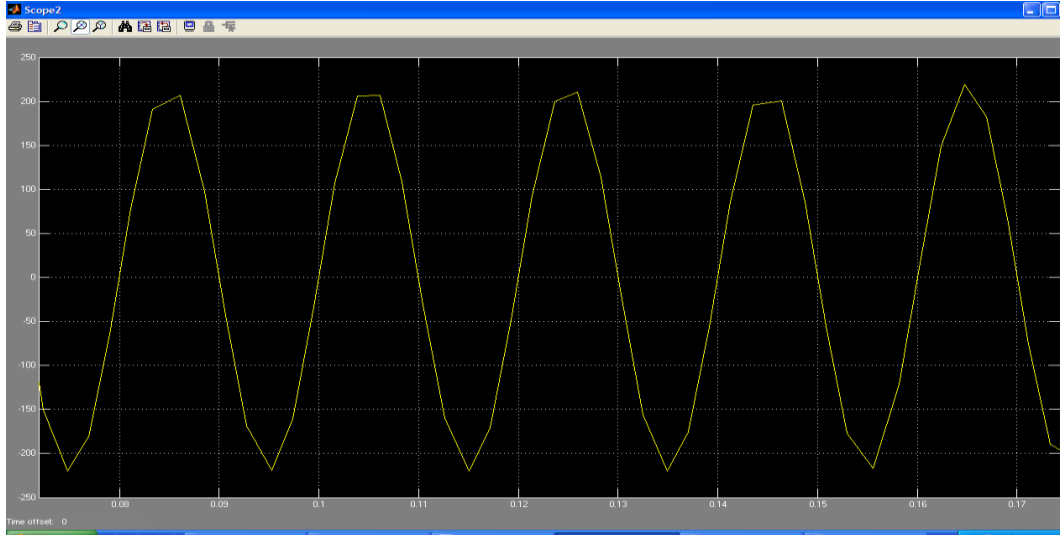
#### **4.6 Kompanzayonda Harmonik Etkisi**

Kompanzasyonda harmoniklerin etkisi oldukça güncel bir konudur. Tedaşın 1 Ocak 2008 tarihinde belirlediği standartlara göre reaktif/aktif oranı %20 ile sınırlandırılmıştır. Böylelikle reaktif enerji, hatlardan gelmeyecek, reaktif akımlar dolayısıyla hatlarda oluşan kayıpların azalması sağlanacaktır. Reaktif güç kompanzasyonunda kondansatör grupları kullanıldığından bu kondansatörlere bağlı olarak harmoniklerin sistemdeki etkileri artmaya başlamıştır. Bu sorunu çözmek için ilk olarak kondansatör seçimi oldukça önemlidir. Bunun dışında farklı bir çözüm olarak harmonik filtreli kompanzasyon panoları ya da yakın bir işleve sahip olan harmonik filtreli rezonans reaktörleri üretilmektedir.

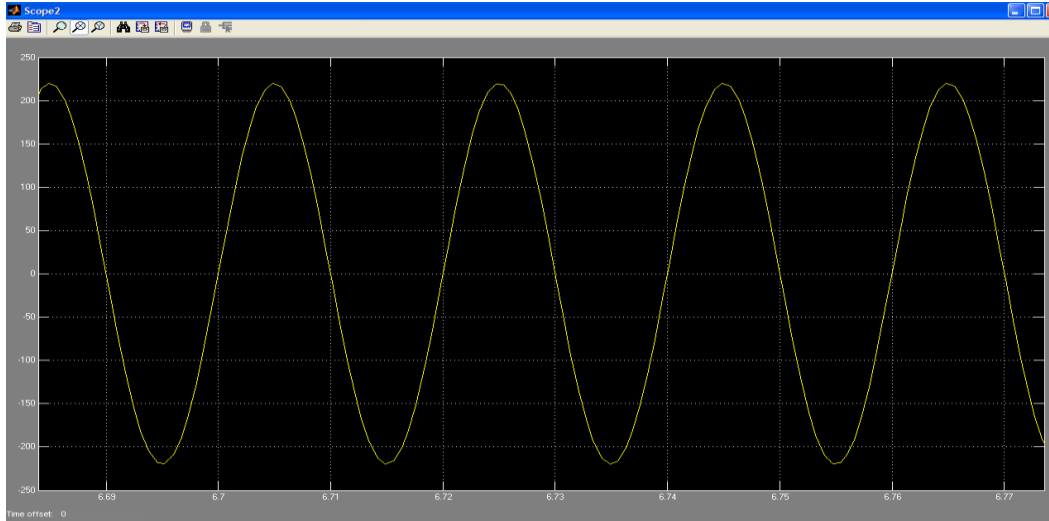
#### **4.7 Harmonik Filterli Kompanzayon Panoları ve Rezonans Reaktörleri**

Bu panolar her ne kadar harmonikleri tamamiyle ortadan kaldırmada bunların oranını büyük oranda azaltmaktadır. Bu panoların faydaları şu şekilde sıralanabilir; Rezonans ihtimalini ortadan kaldırır, kondansatörlerin ve kontaktörlerin arızalanmasını önler buna bağlı olarak da bakım maliyeti düşer.[19] Kondansatörün ömrünü uzatır ve dağıtım sisteminin besleme şalterlerinin gereksiz açmaları ile istenmeyen üretim durumlarını ortadan kaldırır. Reaktörlerde aynı şekilde sistemde meydana gelen frekans değişiminden kaynaklanan sönümsüz salınımın kondansatörler üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiyi ortadan kaldıran ünitelerdir. Bu reaktörler ile kondansatör reaktansı ile şebeke reaktansının mutlak değerlerinin eşit olduğu frekans değeri güvenli bir bölgeye çekilir.

Harmonikli yükte filtrelenmemiş sistemi Şekil4.4'te, Pasif filterleme yapıldıktan sonra harmoniklerin giderilmesi Şekil4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Harmonikli (Filtresiz) Dalga



Şekil 4.5 Harmoniksiz(Filtrelenmiş)Dalga

### ÜRDÜN ULUSAL ELEKTRİK ŞEBEKESİ GÜÇ KALİTESİ İNCELEMESİ

Ürdün ulusal elektrik şebekesine ait genel bilgilere yer verildikten sonra şebekenin bölgedeki diğer ulusal şebekelerle teknik açıdan ilişkisine, Ürdün ulusal elektrik şebekesinin güç kalitesi açısından incelenmesi yapılmıştır.

#### 5.1 Ürdün Ulusal Elektrik Şebekesinin Tarihinin Özeti

Ürdün ulusal şebekesinin tarihi gelişimine kronolojik sıralamaya bağlı kalınarak maddeler halinde yer verilecektir.

- 1937 yılında Amman genelinde cadde ve sokak aydınlatmalarındaki gaz lambaları, bölgede küçük çapta kurulmuş ilk elektrik şirketleri tarafından 200 adet modern tarzdaki elektrikli aydınlatma armatürleriyle değiştirilerek ilk atılım gerçekleştirildi.
- 1939 yılında Amman elektrik şirketi, kurulu gücü 300 kw olan elektrik santralının inşa edilmesi amacıyla Amman-Resulayn bölgesine kuruldu.
- 1947 yılında Ürdün hükümeti, Amman Bölgesi'nin elektrik ihtiyacını sağlamak için Ürdün Elektrik Şirketine 60 yıllığına imtiyaz veren bir karar çıkardı.
- 1961 yılında hükümet, ülkenin kuzey bölgesinde elektrik üretimi ve dağıtımını gerçekleştirmek için İbrid Bölgesi Elektrik Şirketine imtiyaz tanıdı.
- 1967 yılında yine hükümet tarafından Ürdün Elektrik İdaresi kuruldu.

- 1996 yılında Ürdün elektrik idaresi anonim şirketi haline getirilerek ismi “Ulusal Elektrik Enerjisi” oldu.
- 1999 yılında bu kurum üç şirkete bölündü. Bunlar Ulusal Elektrik Şirketi, Merkezi Elektrik Üretim Şirketi ve Elektrik Dağıtım şirketleridir.
- 2001 yılında elektrik sektörünün organizasyon ve denetlemesinden sorumlu; elektrik piyasası organizasyon heyeti kuruldu. Ürdün’de elektrik üretim, iletim ve dağıtım işlerinin sorumluluğu 1999 yılında kurulan Merkezi Elektrik Üretim Şirketine (CEGC) verildi. Bu şirket elektriğin üretilip, Ulusal Elektrik Enerji şirketi (NEPCO) vasıtası ile dağıtıcı şirketlere satılmasından sorumluydu. Bu şirket (NEPCO) yüksek gerilim hatlarının, üretim santrallerinden dağıtım şebekesine iletiminden sorumludur.

Ürdünde üç elektrik dağıtım şirketi vardır. Bunlar;

- 1 - Amman ve orta kısmın dağıtımından sorumlu Ürdün Elektrik Enerjisi Kurumu(JEPCO)
- 2 - İbrid Elektrik Kurumu (IDECO) ,
- 3 - Elektrik Dağıtım Şirketidir (EDC)

CEGC ülke elektrik ihtiyacının %90’dan fazlasını üretmektedir. Buna göre;

- NEPCO dağıtım şebekesi (66–400) kv’lık gerilim taşıyan 4768 km’lik iletim hattına sahiptir.
- Aynı zamanda JEPCO ve IDECO (0.4–33) kv’luk gerilim taşıyan toplamda 2845 km’lik iletim hattına sahiptir.

## 5.2 Ürdün Ulusal Şebekesinin Bölgesel Bağlantısı

Bölgesel anlamda elektrik şebekelerinin enterconnect sistemi haline getirilmesi Orta Doğu’daki en önemli projelerden biridir. Bölgesel şebeke; her ülkenin yüksek enerji tüketim aralıklarını dikkate almakla beraber şebekeye bağlı her ülkeye ciddi tasarruf sağlayacaktır. Bu tasarruf Ürdün için 250 milyon dolar civarındadır. [3]

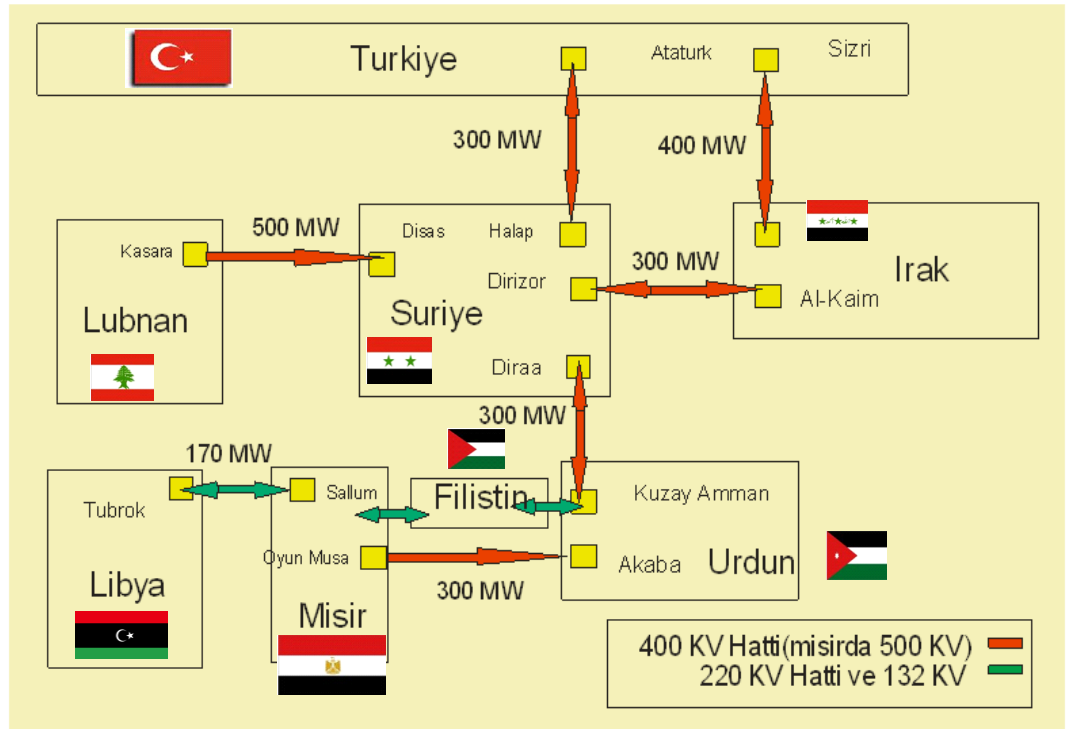
Böyle bir sistemin kurulumu için atılmış olan adımlar ise şunlardır;

- Ürdün, Türkiye, Mısır, Suriye ve Irak'ı kapsayan 590 milyon dolarlık bölgesel şebeke yatırım anlaşması 1995 yılında kabul edildi.
- Sonrasında Lübnan, Filistin ve Libya bu antlaşmaya katıldı. Böylelikle sekizlik bölgesel şebeke projesi (EIJLLPST) ismini almış oldu (Egypt (Mısır), Irak, Jordan (Ürdün), Lubnan, Libya, Palestine (Filistin), Syria(Suriye) ve Turkey (Türkiye) )
- 2002 yılında Mısır ile Ürdün arasında karşılıklı enerji ticaretine dayanan ikili bir antlaşma yapıldı. Bu antlaşma 2003–2005 yıllarında maksimum yıllık 700 MW'lık bir enerji hacmini içeriyordu.
- Mısır ve Libya arasındaki 170 MW kapasiteli 220 KV'lık iletim hattı 1998 yılında tamamlandı.
- Aynı yıllarda Mısır ve Ürdün arasında 400KV/500KV gerilim taşıyan 300 MW kapasiteli iletim hattı tamamlandı.
- 2001 yılında Ürdün-Suriye arasında 300 MW kapasiteli 400 KV gerilim taşıyan iletim hattı tamamlandı.
- 2009 yılında Lübnan-Suriye arasındaki ortak şebeke tamamlandı. Suriye-Türkiye şebekesini besleyen 400KV'luk iletim hattının testleri halen sürmektedir. Yine aynı şekilde Mısır-Ürdün-Filistin arasında tamamlanmış olan besleme hattının testleri de sürmektedir.
- Varılan antlaşma, ileri bir tarihte Irak'ın Suriye ve Türkiye ile inşa edeceği 400 KV'luk iletim hattı ile tam olarak uygulamaya konmuş olacaktır.

Bölgesel Elektrik Şebekesinin sağladığı tasarruf miktarları aşağıda Çizelge 5.1'de verilmiştir. [12]

Çizelge 5. 1 Bölgesel Elektrik Şebekesinin Sağladığı Tasarruf Miktarları [9]

| Proje           | Tasarruf(Megawatt) | Tasarruf(Milion Dolar) |
|-----------------|--------------------|------------------------|
| Misir – Ürdün   | 230                | 120                    |
| Ürdün - Suriye  | 260                | 170                    |
| Suriye - Lübnan | 150                | 68                     |
| Suriye- Türkiye | 70                 | 35                     |
| Misir -Libya    | 240                | 125                    |
| toplam          | 950                | 518                    |



Şekil 5.1 Bölgesel Elektrik Şebekesi [12]

### **5.3 Yenilenebilir Enerji Projeleri**

Aşağıda yenilenebilir projelerin adları ve projelerle ilgili teknik bilgilere yer verilecektir.

#### **5.3.1 Rüzgâr Enerjisi**

Ürdün Akdeniz bölgesinde olduğu için rüzgar santrali kurulmasına elverişlidir.

- Rüzgâr çiftliği( santrali)30–40 MW ile Kamşa/Jaraş şehrinde kurulmuştur.
- Rüzgâr çiftliğinin 2015 yılı için planan üretim gücü 300 MW'dir. Üretim gücü 2020 yılına kadar 600 MW olması planlanmıştır.

#### **5.3.2 Güneş Enerjisi**

Ürdün de %70'e yakın çöl bulunmaktadır. Güneşlenme süresi yüksektir.

- Güneş pillerinin 2020 yılı için planan üretim gücü 130 MW'dir.

#### **5.3.3 Bio-Enerji**

- Bio – Enerjinin 2020 yılında üretim gücü, bio-yakıt ile 20-50 MW olarak planlanmıştır.

#### **5.3.4 Neftyağı**

Petrol çıkarılan yerlerde, taşlar üzerinde meydana gelen kalıntı neticesinde elde edilen maddeye neftyağı (rock oil) denmektedir. Bu maddenin Ürdünde petrol çıkarılan yerlerde bir enerji hammaddesi olarak kullanılması planlanmaktadır.

- Neft yağından elde edilen elektrik enerjisi için planan elektrik üretim santral gücü 300 MW'dır. Bu maddenin eldesi ve enerji hammaddesi olarak kullanımı ile ilgili çalışmalar başta Shell olmak üzere diğer özel şirketler tarafından yürütülmektedir.



Şekil 5.2 Rüzgar Çiftliği( santrali) Kamşa/Jaraş Şehrinde[12]

#### **5.4 Elektrik Enerji Taşıma Sistemi**

Enerji taşıma işlemi aktarma istasyonları ve iletim hatları olmak üzere iki yoldan yapılmaktadır. Aşağıda bununla ilgili bilgilere yer verilmiştir.

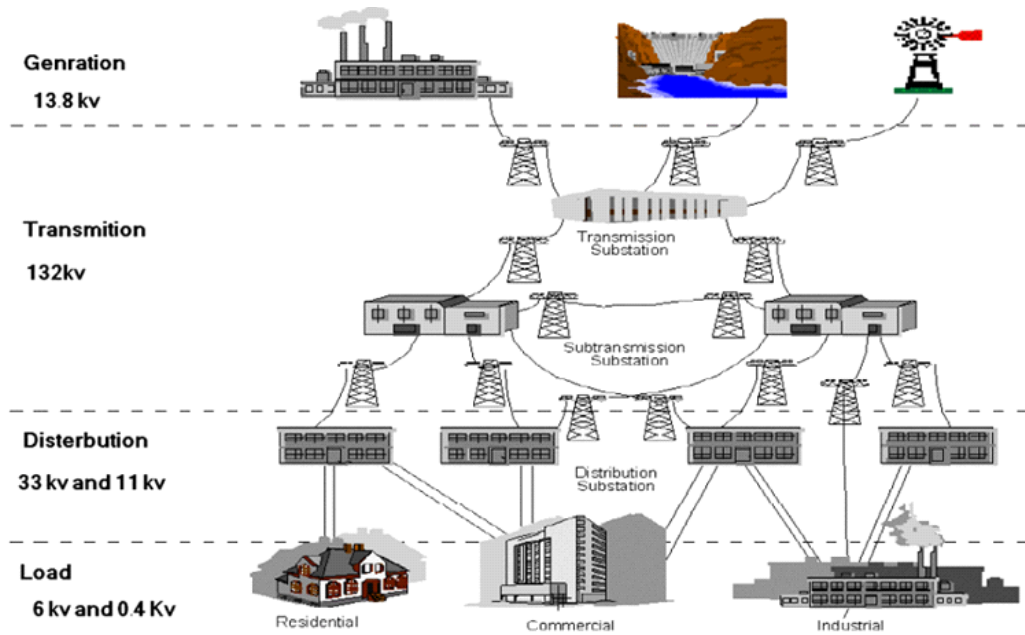
##### **5.4.1 Aktarma İstasyonları**

Ürdün Ulusal Elektrik Sisteminde Krallık, tüm bölümleri kapsayan transfer istasyonları içermektedir. Bu istasyonların ana görevi, enerjiyi kolaylıkla taşımak için gerilimi yükseltmek, böylelikle düşük maliyetle ve az enerji kaybı ile ara istasyonlara ulaştırıp sonrasında enerjiyi dağıtım şirketleri ve büyük tüketicilere ulaştırmaktır. Enerji dağıtım şirketleri tarafından tüketicilere ulaştırılmak için tekrar düşürülür ve dağıtılır.

##### **5.4.2 İletim Hatları**

Ulusal elektrik Sistemi, 132KV'lık havai iletim hatlarından oluşur. Bu hattın toplam uzunluğu 2833 km'dir. Hattın bir bölümü ise 400KV'lık havai iletim hattından oluşur.

Bu hattın toplam uzunluğu ise 1949 km'dir. Bir diğer bölümünde ve 132 KV'lık yer altı kablolarından oluşurki bu hattın toplam uzunluğu ise 39 km'dir.



Şekil 5. 3 Ulusal Elektrik Enerjisi Üretim, İletim, Dağıtım ve Tüketim Sistemi [12]

## 5.5 Ulusal Elektrik Şebekesi Güç Kalitesi Değerlendirme

Bu bölümde, hakkında genel bilgiler verdiğimiz Ortadoğu bölgesel elektrik şebekesinin, güç kalitesi üzerinde bir inceleme ve değerlendirme çalışması yapılacaktır.

### 5.5.1 Yöntem

Ana sistem bileşenleri için yıllık enerji kalitesi ölçüm programı yapıldı. Bu eylem elektrik hizmetini tüm tüketiciler için iyileştirecektir. Bu hedeflere ulaşmak için NEPCO ulusal elektrik şebekesindeki güç kalitesinin durumunu bildiren bir çalışma hazırladı.

Trafoların güç kalitesini ölçmek için, tüketicilere en yakın seviyede olacak şekilde 33 KV bara gelişmiş güç kalitesi analizörü kullanıldı. Bu çalışma da ölçümleri analiz etmek ve güç kalitesi problemlerine çözüm üretmek için Fluke güç kalitesi analizörü 434 cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.4 Fluke 434 Güç Analizörü

Çalışmada, esas olarak PV (enerji) sistemi ve şebeke karakteristiklerinin elde edilmesi, üç analizörü cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Güç kalitesini belirleyen her bir unsurun belirlenmesi için farklı bağlantı teknikleri kullanılmıştır. Güç analizörü ile elde edilen karakteristikler, cihazın sürücüsü yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

#### **5.5.2 Ana Sistem Bileşenleri için Yıllık Enerji Kalitesi Ölçüm Programı**

Araştırma bölümü tarafından oluşturulan güç kalitesi ölçüm birimi; Ürdün'deki güç kalitesi problemlerini çözmek için ölçümlere başladı. Ölçme zamanı yükün niteliği ve trafo bölgesine göre farklılıklar göstermekteydi. Çizelge 5,2'de Ürdün deki ölçüm yapılan bazı trafo mekekezleri ve süresi gösterilmiştir.

Çizelge 5. 2 Konum, Ölçüm Periyodunun Süresi

| No. | Substation (Trafo) | Measuring time (Hour) |
|-----|--------------------|-----------------------|
| 1.  | Sahab              | 72                    |
| 2.  | Hashmyeh           | 22                    |
| 3.  | Abdoun             | 24                    |
| 4.  | Al-Bayader         | 24                    |
| 5.  | Al- Abdali         | 48                    |
| 6.  | Subehi             | 1                     |
| 7.  | Tareq              | 27                    |
| 8.  | Fuhies             | 24                    |
| 9.  | Hassan Ind.        | 1                     |
| 10. | Qaia               | 48                    |
| 11. | Ishtafina          | 24                    |
| 12. | Marqa              | 6                     |
| 13. | Amman South        | 24                    |
| 14. | Waqas              | 22                    |
| 15. | Al-Salt            | 24                    |
| 16. | Duliel             | 48                    |
| 17. | Al-Hasa            | 24                    |
| 18. | Rehab              | 46                    |
| 19. | Qwira              | 9                     |
| 20. | Shedyeh            | 2                     |
| 21. | Ma'an              | 1                     |
| 22. | Rashadyeh          | 20                    |
| 23. | Karak              | 21                    |
| 24. | Ghor Al-Safi       | 72                    |

Bu ölçümlerin şebekeye zarar vermesi durumunda doğru kararlar verebilmek amacıyla; mutlak doğrulama için referansın olması gerekir.

Aşağıdaki tablo ölçümlerde kullanılan EN 50160'nın özelliklerini gösterir.

Çizelge 5.3 EN50160 Özellik ve Sınırları

| Measurement Type  | EN50160 Standard |
|-------------------|------------------|
| THDV              | 6.5 %            |
| THDI              | 12 %             |
| H3V               | 5%               |
| H5V               | 6%               |
| H7V               | 5%               |
| H3I               | 7.5 %            |
| H5I               | 6%               |
| H7I               | 5%               |
| Flicker (plt)     | Less than .8     |
| Voltage unbalance | (2-3) %          |
| Current Unbalance | 10%              |

Önemli güç kalitesi endekslerinden biride, ışık titreşimidir. Bu bir titreşim belirtisi olmakla beraber ışık uyarıcıları tarafından uyarılmış kararsızlık belirtisi, ışıklılık veya zamana göre spektral dağılımı verir. Titreme şu şekilde ifade edilir:

$$F \times v = 100 \times (V_{\max} - V_{\min}) / V_{\text{nom}} \quad (12)$$

Titreme şiddeti ve titreme sorununun yoğunluğu UIE-IEC ölçme metoduna ve aşağıda yer alan miktarlara göre belirtildi.

\* Kısa süreli şiddet 10 dakikalık periyodlar üzerinden hesaplandı.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad (13)$$

Plt: long term visual severity of flicker.

Pst: Short term visual severity of flicker.

Uzun süren şiddetler ise 12 Pst'lik iki saatlık süre üzerinden aşağıdaki açıklamalara göre hesaplandı.

Titremeler; başlangıçta gerekli olan yüksek akımların çekilmesinden ötürü meydana gelir. Eğer başlatmalar çok sıkısa veya işlemin her döngüsünde gerekli olan yük, hızlı dalgalanıyor ise titremenin etkiler çok belirgin olabilir.

Harmonik bozulma; çok katlı temel frekansların sinusoidal dalgaların bileşkesi olarak modellenen, sinüsoidal gerilim veya akım dalgalarında olan bozulmadır. Müşterilerin genellikle lineer olmayan yükleri, gerilim harmonikleri ve sisteme bağlı diğer yüklemeleri etki eden akım harmonikleri üretirler. Işık titremesine sebep olan yüklemelere örnek olarak ise; asansörler, kalorifer ocakları ve kaynak makinelerini verebiliriz. Netice olarak harmonikler, bozulmuş güç frekansı dalgalarının temel olmayan frekans bileşenleridir. Çoklu temel frekans dalgalarına entegre olmuş bileşik frekans özelliğine sahiptirler.

Ölçüm işlemi esnasında karşılaşılan sorunlardan biri ise, uzun süreli şiddetli titremeler neticesinde elde edilen yüksek değerler (plt) olmuştur. Aşağıdaki tablo titremelerden etkilenen trafoları göstermektedir. 28 trafo merkezinden 7 tanesinde flikar sorunu ortaya çıktı. Bunlar Çizelge 5,4'te gösterilmiştir. Bu trafolar EN50160 standartına geçmiştir.

Çizelge 5. 4 Yüksek Titreme Değerlerinin Görüldüğü Nepco Trafosu

| Substation | Peak Values |       |       |
|------------|-------------|-------|-------|
|            | Ph1         | Ph2   | Ph3   |
| Hashmyehs  | 2.914       | 2.92  | 3.006 |
| Abdali     | 2.242       | 2.075 | 0.156 |
| Qaia       | 1.44        | 1.097 | .865  |
| Salt       | 1.093       | 1.127 | 1.089 |
| Dulil      | 2.3         | 1.4   | 2.5   |
| Rehab      | 1.51        | 1.291 | 3.346 |
| Karak      | 4.092       | 7.723 | 5.927 |

EN50160 standartlarına göre bu değerler, izin verilen limitleri aşmakla beraber elektrik şebeke işlemleri ve performansını etkileyebilir.

Bir diğer sorun ise; Ghor-AL-Safi trafosundaki yüksek değerdeki harmonik seviyeleridir. Karşılaşılan bu sorun bazı besleyicilerdeki lineer olmayan yük davranışından dolayı meydana gelmiştir. Aşağıdaki Çizelge 5,5'te ve 5.6'da Ghor-Al-Safi (Bromine Beslemesi) trafosu harmoniklerinin örnek ölçümlerini göstermektedir.

Çizelge 5. 5 THD Gerilim Ölçüm Örneği [9]

| Time    | Measured values (%) |      |      | Percentage of average from standard value (%) |
|---------|---------------------|------|------|-----------------------------------------------|
|         | Ph1                 | Ph2  | Ph3  |                                               |
| 5:11 AM | 7.22                | 6.86 | 7.44 | 110.36                                        |
| 5:21 AM | 7.27                | 6.93 | 7.5  | 111.28                                        |
| 5:31 AM | 7.32                | 6.89 | 7.56 | 111.64                                        |
| 5:41 AM | 7.31                | 6.84 | 7.52 | 111.13                                        |
| 5:51 AM | 7.24                | 6.79 | 7.46 | 110.21                                        |
| 6:01 AM | 7.25                | 6.78 | 7.45 | 110.15                                        |
| 6:11 AM | 7.67                | 7.12 | 7.94 | 116.56                                        |
| 6:21 AM | 7.68                | 7.15 | 7.88 | 116.46                                        |
| 6:31 AM | 7.46                | 6.96 | 7.63 | 113.08                                        |
| 6:41 AM | 7.42                | 6.94 | 7.6  | 112.62                                        |
| 6:51 AM | 7.4                 | 6.93 | 7.58 | 112.36                                        |
| 7:01 AM | 7.25                | 6.78 | 7.42 | 110.00                                        |

Burada ;

Ölçülen değerlerin ortalaması \* 100%

$$\text{Standart Değerinden Ortalama Yüzdesi(\%)} = \frac{\text{Ölçülen değerlerin ortalaması} * 100\%}{\text{Standart değer}} \quad (15)$$

şeklinde bulunur. Bu sistemde THDv standart değeri : %6,5 ‘

Çizelge 5.6 H7 Gerilim Ölçüm Örneği[9]

| Time    | Measured values (%) |      |      | Percentage of average from standard value (%) |
|---------|---------------------|------|------|-----------------------------------------------|
|         | Ph1                 | Ph2  | Ph3  |                                               |
| 5:21 AM | 6.01                | 5.74 | 6.39 | 120.93                                        |
| 5:31 AM | 6.11                | 5.72 | 6.47 | 122.00                                        |
| 5:41 AM | 6.16                | 5.72 | 6.48 | 122.40                                        |
| 5:51 AM | 6.11                | 5.69 | 6.43 | 121.53                                        |
| 6:01 AM | 6.14                | 5.7  | 6.45 | 121.93                                        |
| 6:11 AM | 6.44                | 5.89 | 6.83 | 127.73                                        |
| 6:21 AM | 6.44                | 5.93 | 6.75 | 127.47                                        |
| 6:31 AM | 6.23                | 5.76 | 6.51 | 123.33                                        |
| 6:41 AM | 6.18                | 5.72 | 6.47 | 122.47                                        |
| 6:51 AM | 6.16                | 5.71 | 6.45 | 122.13                                        |
| 7:01 AM | 6                   | 5.56 | 6.27 | 118.87                                        |
| 7:11 AM | 6.03                | 5.61 | 6.33 | 119.80                                        |
| 7:21 AM | 6                   | 5.62 | 6.31 | 119.53                                        |

(EN50160) standartlarına göre bu değerler, mevcut standartlara göre belirlenen limitlerin öngördüğü sınırları aşmış neticede elektrik şebekesini etkilemiştir.

Aşağıdaki Çizelge 5.7, 5.8 ve 5.9'da Bayader trafosuna ait ölçümleri göstermektedir. Bu ölçümlerde dalgalanma limitleri incelendiğinde herhangi bir sorunun olmadığı açıkça görülmektedir.

Çizelge 5.7 Bayader trafosuna ait THD Gerilim Ölçüm Örneği[9]

| Time    | Measured values (%) |      |      | Percentage of average from standard value (%) |
|---------|---------------------|------|------|-----------------------------------------------|
|         | Ph1                 | Ph2  | Ph3  |                                               |
| 1:16 PM | 1.56                | 1.5  | 1.45 | 23.13                                         |
| 1:26 PM | 1.57                | 1.5  | 1.44 | 23.08                                         |
| 1:36 PM | 1.58                | 1.52 | 1.47 | 23.38                                         |
| 1:46 PM | 1.58                | 1.52 | 1.47 | 23.44                                         |
| 1:56 PM | 1.61                | 1.51 | 1.46 | 23.33                                         |
| 2:06 PM | 1.62                | 1.55 | 1.5  | 23.90                                         |
| 2:26 PM | 1.6                 | 1.57 | 1.51 | 24.10                                         |
| 2:36 PM | 1.61                | 1.55 | 1.49 | 23.79                                         |
| 2:46 PM | 1.64                | 1.56 | 1.5  | 23.95                                         |
| 2:56 PM | 1.65                | 1.59 | 1.52 | 24.36                                         |
| 3:06 PM | 1.7                 | 1.61 | 1.53 | 24.56                                         |
| 3:26 PM | 1.75                | 1.67 | 1.59 | 25.44                                         |
| 3:36 PM | 1.66                | 1.72 | 1.64 | 26.21                                         |
| 3:46 PM | 1.59                | 1.62 | 1.54 | 24.72                                         |
| 3:56 PM | 1.59                | 1.53 | 1.47 | 23.54                                         |
| 4:06 PM | 1.58                | 1.51 | 1.47 | 23.44                                         |
| 4:26 PM | 1.57                | 1.51 | 1.47 | 23.38                                         |
| 4:36 PM | 1.67                | 1.52 | 1.47 | 23.38                                         |
| 4:36 PM | 1.67                | 1.65 | 1.57 | 25.08                                         |

Çizelge 5. 8 H3 Gerilim Ölçüm Örneği[9]

| Time    | Measured values (%) |      |      | Percentage of average from standard value (%) |
|---------|---------------------|------|------|-----------------------------------------------|
|         | Ph1                 | Ph2  | Ph3  |                                               |
| 5:16 AM | 0.05                | 0.23 | 0.21 | 3.26                                          |
| 5:26 AM | 0.05                | 0.22 | 0.2  | 3.13                                          |
| 5:36 AM | 0.05                | 0.22 | 0.2  | 3.13                                          |
| 5:46 AM | 0.05                | 0.22 | 0.19 | 3.06                                          |
| 5:56 AM | 0.05                | 0.21 | 0.19 | 3                                             |
| 6:06 AM | 0.05                | 0.21 | 0.19 | 3                                             |
| 6:16 AM | 0.04                | 0.21 | 0.19 | 2.93                                          |
| 6:26 AM | 0.05                | 0.2  | 0.18 | 2.86                                          |
| 6:36 AM | 0.05                | 0.19 | 0.17 | 2.73                                          |
| 6:46 AM | 0.05                | 0.19 | 0.16 | 2.66                                          |
| 6:56 AM | 0.06                | 0.18 | 0.16 | 2.66                                          |

Çizelge 5.9 Fliker Ölçüm Örneği

| Time     | Measured values (%) |       |       | Percentage of average from standard value (%) |
|----------|---------------------|-------|-------|-----------------------------------------------|
|          | Ph1                 | Ph2   | Ph3   |                                               |
| 1:06 PM  | 0.101               | 0.106 | 0.109 | 10.53                                         |
| 3:06 PM  | 0.073               | 0.077 | 0.076 | 7.53                                          |
| 5:06 PM  | 0.078               | 0.078 | 0.078 | 7.8                                           |
| 7:06 PM  | 0.284               | 0.273 | 0.268 | 27.5                                          |
| 9:06 PM  | 0.356               | 0.342 | 0.337 | 34.5                                          |
| 11:06 PM | 0.083               | 0.085 | 0.085 | 8.43                                          |
| 1:06 AM  | 0.066               | 0.063 | 0.065 | 6.46                                          |
| 3:06 AM  | 0.06                | 0.059 | 0.063 | 6.06                                          |
| 5:06 AM  | 0.058               | 0.059 | 0.058 | 5.83                                          |
| 7:06 AM  | 0.083               | 0.082 | 0.082 | 8.23                                          |
| 9:06 AM  | 0.129               | 0.131 | 0.126 | 12.86                                         |
| 11:06 AM | 0.075               | 0.072 | 0.073 | 7.33                                          |

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 6.1 Sonuç

Son yıllarda, elektronik aletler, bilgisayarlar, yüksek güç anahtarlı aygıtlar gibi cihazlarının kullanımındaki artışlar, mühendislerin güç kalitesi konusuna olan ilgisini de arttırmıştır. Güç Kalitesi gelecekte daha önemli bir sorun haline gelecektir. Güç kalitesini attırmak için birçok alanda araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Bizde, bu ihtiyaçlara binaen 28 ayrı trafo üzerinde çalışmamızı gerçekleştirdik. Bu trafolardan 8'i dışında; ölçümler EN50160 standartlarına uygun bir şekilde yapıldı.

Araştırma sonucu olarak, temel sorunun titreşimsizlik ile ilgili olduğu saptandı. Trafo merkezinde fliker oluşmasının nedeni,yakınlarda ark ocaklarının kullanıldığı çelik fabrikasının bulunmasıdır.

Ghor-Asafi(Bromine Beslemesi) trafolarında yapılan ölçümlerde saptanan dalgalanmalar harmonik sorunlara tekabül etmektedir. Bu harmonik sorunlarında lineer olmayan yüklemeler (altı darbe doğrultucular ve diğer dönüştürücüler) neticesinde oluştuğunu tespit edildi. Trafo merkezleri non-lineer yük aldığında gerilimin dalgalanmasını bozup ve her trafonun dalgasını da bozuyor. Yapılan ölçümlerle tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara ek olarak şu da belirtilmelidir ki endüstriyel trafolarda kalite sınırlarının ciddi bir sorun olmaması, güç kalitesi sorunu olmadığı anlamına gelmez; zira gelecekte bu sorunlar daha net şekilde ortaya çıkabilir.Ölçüm yapılan zamanlarda non-lineer

yükler çalışmakta idi.Fakat bunların çalışmadığı durumlarda farklı sonuçlar elde edilebilir.Bunun için yıllık ölçümler yapılmalı ve trafolar devamlı gözlenmeli.

## 6.2 Öneriler

Güç kalitesi konusu ile ilgili maalesef hem üretim hem de tüketim aşamasında yeterli düzeyde bilinçlilikten bahsedememekteyiz. Bunun için özellikle üretim sistemlerinde ve lineer olmayan yüklerin kullanıldığı büyük tesislerde konu ile ilgili yeterli farkındalığın oluşturulması gerekmektedir. İşletmelerde uzmanlar tarafından yürütülecek bir güç kalitesi farkındalığı oluşturma çabası alınacak önlemlerin başında gelmektedir. Bu durumu ise teknik önlemler takip etmelidir.

Enerji kalitesi ölçümü sadece belirli bir döneme bırakılmamlı bu uzun bir süreç olarak görülerek, devamlılığı sağlanmalıdır. Belirli periyotlarda gerçekleştirilmesi gereken ölçümler olmaksızın alınan tedbirler de zamanla işlevini yitirebilir.

Çalışmamız doğrultusunda elde edilen sonuçlardan hareketle, harmonik distorsiyonunun genellikle tüketici bölümünde, şebeke kısmına oranla daha fazla görüldüğünü söyleyebiliriz. Bu nedenle harmonik ile ilgili problemlerle tüketici sistemlerinde daha sık karşılaşılmaktadır. Binalarda ve bürolarda kullanılan cihazlar bir fazlı olduklarından, bunların ürettiği harmonikler üçüncü harmonik şebekede sorun oluşturmaktadır. Buna bağlı olarakta transformatör ve nötr iletkenler, yüksek değerlerde 3.harmonik akımlarından dolayı aşırı ısınmaktadır. Bu nedenle aşırı ısınmanın söz konusu olduğu durumlarda nötr iletken kesitinin ve transformatör gücünün bu harmonik akımlarına dayanacak şekilde seçilmesi gerekir.

Endüstriyel tesislerdeki yükler büyük çoğunlukla üç fazlı olduğundan, bu yüklerin oluşturduğu harmonikler karakteristik olup uygun filtrelerle giderilebilir.

Güç sistemi sorunlarının çözüm yöntemlerinde güç mühendislerinin bilgisi güç kalitesi sorunlarının giderilmesi açısından önemlidir. Güç kalitesi problemlerinin çözüm yöntemleri şunları içerebilir;

- Pasif filtre

- Aktif filtre
- Güç elektronikli çözümler
- VAR kompensatörler

Sonuç olarak önerilerimizi şu şekilde sıralayabiliriz.

- I. Hem üretici hem tüketici düzeyinde çeşitli faaliyetlerle güç kalitesi bilinci oluşturulmalıdır.
- II. Enerji kalitesi ölçümleri düzenli ve sistemli olacak şekilde bir programa bağlanmalıdır.
- III. Nötr iletken kesiti seçimi ve topraklama çalışmaları güç kalitesi tedbirleri doğrultusunda tekrar gözden geçirilmelidir.
- IV. Sistemde meydana gelen harmoniklerin giderilmesi amacıyla gerekli teknik donanım (Filtreler, kompanzatörler vs.) sağlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Jose,T.L.,(1997). "Power Quality-An Over View" , Dept. of Elect. Eng, R.E.C Calicut, John Wiley&Sons, New York. USA, 17 – 23.
- [2] Sankaran,C., (2002). "Power Quality ", CRC Press, New York, USA
- [3] REID,E.W.,(1996).“Power Quality Issues-Standards and Guidlines”, IEEE Trans on IA, 32(1).
- [4] Kocatepe,C.,Uzunoğlu,M.,Yumurtacı,R.,Karakaş,A.,Arıkan,O.,(2003).“ElektrikTesislerinde Harmonikler”, Birsen Yayınevi Ltd. Şti., İstanbul.
- [5] Arrillaga, Smith, B.C,Watson, Wood, N.R,(1997),“Power System Harmonic Analysis”, John Wiley&Sons, New York, 120 – 125.
- [6] Henderson,R.D.,Rose,P.J.,(1994).“Harmonics:The Effects on Power Quality and Transformers.IEEE Transactions On Industry Applications, 30( 3), 15 – 17.
- [7] Chapman,D.,(2002).“The cost of poor power quality”, .In Power Quality Application Guide 2-1, Leonardo Power Quality Initiative.
- [8] The Cost of Power Disturbances to Industrial & Digital Economy Companies” White Paper copyright 2001, Electric Power Research Institute. [www.lpqj.org](http://www.lpqj.org)
- [9] Cigre,J.,Assessment of Power Quality Indices Measured Harmonic At Various Substations of NEPCO , Eng. Laith sandooqa –NEPCO, National Committee Paper PQHC–19
- [10] Barrold,S.R.,Patel,B.K.,(1981).“A Thyristor Reactive Power Compensatör For Fast-Varying Industrial Loads” ,Int.J.Electronics, vol.51, no.6.
- [11] Bollen,M.H.J.,(2000). Understanding Power Quality Problems, IEEE Press, New york, USA.
- [12] Cigre,J., (2010). National Committee, Power Quality and Harmonics,3rd-5th, May, Amman – Sheraton Hotel- Ürdün
- [13] Daugles,J., (1994) Power Quality Solutions , IEEE Power Engineering, Review , 15(12) ;12 – 14

- [14] Dogan,R.C.,Mcgranaghan,M.F.,Beaty ,H.W.,(1996), Electrical Power System Quality 2nd edition. , McGraw-Hill Comp., New York, USA.
- [15] Erickson,R.W., (2000)Fundamentals of Power Electronics 2nd edition, Kluwer Academic Publisher, Massachusetts, 123 - 125.
- [16] Jaramillo, S.H., Heydt, G.T. ve Carrillo, E.O., (2000) Power Quality Indices for Aperiodic Voltages and Currents, IEEE Transactions on Power Delivery ,15,2, 784 – 790 ,April
- [17] Kocatepe C., (2006) Enerji Kalitesi ve Harmonikler, EMO yayın No. EG/2006/I, Ocak.
- [18] Nohan,N., Undeland,T.,(1995 ). Power Converters Applications and Design 1 st edition. M and Robbins w.p, 89 – 91.
- [19] Şekkeli,M.,Tarkan N,(2005).“Reaktif Güç Kontrol Rölesinde Minimum Anahtarlama Sayısı ve Optimal Reaktif Güç Seçimi” itüdergisi/d mühendislik 4(6) : 15-22 .
- [20] Tanrıöven,M.,İnce,R.,”Elektrik Güç Sisteminin Kalitesini Bozan Faktörlerin İncelenmesi”, Elektrik Tesisat Mühendisleri Derneği Yayınları Teknik Yazılar, [www.etmd.org.tr](http://www.etmd.org.tr), Mart 2005
- [21] TMMOB,v.d, (1999) “TMMOB Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları”, İstanbul, EMO.
- [22] TS EN 61000-4-7 (IEC 61000-4-7), “Elektromanyetik uyumluluk – Güç Kaynağı Sistemlerinde ve Bunlara Bağlı Cihazlardaki Harmonik ve ara harmoniklerin ölçmeleri ve ölçme cihazı için genel kılavuz”, Nisan 2005.
- [23] Tanrıöven,M.,İnce,R. ”Elektrik Güç Sisteminin Kalitesini Bozan Faktörlerin İncelenmesi”, Elektrik Tesisat Mühendisleri Derneği Yayınları Teknik Yazılar, [www.etmd.org.tr](http://www.etmd.org.tr), Mart 2005
- [24] TMMOB,v.d, (1999) “TMMOB Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları”, İstanbul, EMO.
- [25] TS EN 61000-4-7 (IEC 61000-4-7), “Elektromanyetik uyumluluk – Güç Kaynağı Sistemlerinde ve Bunlara Bağlı Cihazlardaki Harmonik ve ara harmoniklerin ölçmeleri ve ölçme cihazı için genel kılavuz”, Nisan 2005.
- [26] IEC Electromagnetic Compatibility (EMC) Part 4-30: “Testing and measurement techniques – power quality measurement methods”. IEC 61000-4-30, 2001.

## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** :Ahmad SAMARREH  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 1964, Amman-ÜRDÜN  
**Yabancı Dili** : İngilizce, Türkçe  
**E-posta** : amhsamara@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan                | Okul/Üniversite       | Mezuniyet Yılı |
|--------|---------------------|-----------------------|----------------|
| Lisans | Elektrik Elektronik | Ortadoğu Teknik Üniv. | 1989           |
| Lise   | Bilimler            | Salahaddin Lisesi     | 1982           |

### İŞ TECRÜBESİ

| Yıl  | Firma/Kurum       | Görevi               |
|------|-------------------|----------------------|
| 2005 | Ürdün Hükümetinde | Elektrik Araştırmacı |
| 1991 | Özel Sektör       | Çeşitli Görevler     |