

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

## **GEMİLERDE ENERJİ KALİTESİNİN İNCELENMESİ**

### **YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elk.Müh. Ufuk EGE**

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAYRAK**

**Haziran 2010**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİLERDE ENERJİ KALİTESİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elk.Müh. Ufuk EGE**

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez 10/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

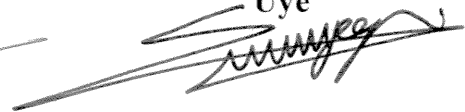
Yrd. Doç. Dr.  
Mehmet BAYRAK  
Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr  
Yılmaz UYAROĞLU  
Üye



Yrd. Doç. Dr  
E. Mustafa YEĞİN  
Üye



## ÖNSÖZ

Günümüzde elektrik enerjisi hayatımızın birçok alanında bize hizmet sunmaktadır. Bu hizmet esnasında elektrik enerjisinden de her alanda olduğu gibi beklentiler artmıştır. Elektrik enerjisinden beklenen artık kalitesinin yüksek olmasıdır, sadece insan hayatında yer alması kafi gelmemektedir. Çalışmam içerisinde herkes tarafından bilinen elektrik enerjisinin kalitesinin irdelenmesi ile birlikte ülkemizde çok fazla bilinmeyen gemilerin elektriksiz sistemlerinin tanıtılması ve bununla birlikte gemilerdeki enerji kalitesinin incelenmesi hedeflenmiştir.

Yüksek lisans çalışmam esnasında desteğini ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli hocam Yrd.Doç.Dr. Mehmet BAYRAK' a, Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü değerli hocalarına ve desteğini hep yanımda hissettiğim ailem, sevgili eşim Çimen EGE ile Deniz Kuvvetleri Komutanlığına teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv

## BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

## BÖLÜM 2.

TANIMLAR.....	5
2.1. Enerji Kalitesi Hakkında.....	5
2.2. Başlıca Enerji Kalitesi Problemlerinin Kaynakları.....	6
2.3. Enerji Kalitesini Etkileyen Faktörler.....	7
2.3.1. Gerilim değişimleri (10ms-1s).....	7
2.3.2. Gerilim dengesizliği.....	9
2.3.3. Dalga şekli bozuklukları.....	9
2.3.3.1. Harmonikler.....	9
2.3.3.2. DC bileşen.....	10
2.3.3.3. Çentik.....	10
2.3.3.4. Gürültü.....	11
2.3.3.5. Elektromagnetik girişim.....	11
2.3.4. Gerilim dalgalanması.....	12
2.3.5. Güç frekans değişimleri.....	13

2.3.6. Geçici olaylar.....	13
2.4. Enerji Kalitesi Ölçümlerinin Amacı.....	14
<b>BÖLÜM 3.</b>	
<b>GENEL ENERJİ DAĞITIM SİSTEMLERİNDE HARMONİKLER.....</b>	<b>16</b>
3.1. Matematiksel Kavramlar ve Genel İfadeler .....	16
3.2. Harmoniklerin Oluşması.....	21
3.2.1. Statik frekans konvertörleri.....	25
3.2.2. Transformatörler.....	26
3.2.3. Jeneratörler.....	27
3.2.4. Bilgisayar sistemleri.....	28
3.2.5. Kesintisiz güç kaynakları.....	29
3.2.6. Redresörler.....	30
3.3. Harmonik Akımların Neden Olduğu Problemler.....	31
3.3.1. Nötr iletkeni üzerindeki etkileri.....	31
3.3.2. Transformatörler üzerindeki etkileri.....	32
3.3.3. Devre kesiciler üzerindeki etkileri.....	32
3.3.4. Deri olayı.....	33
3.3.5. Doğrusal yükler üzerindeki etkileri.....	33
3.3.6. Elektrik motorları üzerindeki etkileri.....	34
3.3.7. Besleme devreleri üzerindeki etkileri.....	34
<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>GEMİLERİN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİĞİ.....</b>	<b>36</b>
4.1. Genel Olarak Gemi Elektrik Sistemleri.....	36
4.1.1. Gemi şartları.....	40
4.1.2. Elektrik dağıtım sistemlerinin tanıtımı.....	41
4.1.3. Gemilerde alternatif akım tercih sebepleri.....	41
4.1.4. Gemilerde jeneratörlerin nötr noktasının yalıtılması.....	43
4.1.5. Gemilerde elektrik yüklerinin türleri.....	43
4.2. Askeri Gemilerin Elektrik Dağıtım Sistemlerinin Dizaynı.....	44

## BÖLÜM 5.

SAHİL ELEKTRİK SANTRALİNDEN BESLENEN GEMİLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ VE SAHİL BAĞLANTILARI.....	51
5.1. A Sınıfı Gemi.....	51
5.1.1. Genel bilgiler.....	51
5.1.2. Elektrik sistemi bilgileri.....	53
5.2. B Sınıfı Gemi.....	58
5.2.1. Genel bilgiler.....	58
5.2.2. Elektrik sistemi bilgileri.....	59
5.3. C Sınıfı Gemi.....	63
5.3.1. Genel bilgiler.....	63
5.3.2. Elektrik sistemi bilgileri.....	64

## BÖLÜM 6.

SAHİL ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNİN İNCELENMESİ VE ENERJİ KALİTESİ ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI.....	67
6.1. Sahil Elektrik Dağıtım Sisteminin İncelenmesi.....	69
6.2. Sahil Elektrik Santralinin ve Dağıtım Sisteminin Enerji Kalitesinin Ölçülmesi.....	73
6.2.1. Enerji kalitesi ölçümünde kullanılacak olan cihaz ve ekipmanlar	75
6.2.2. Enerji kalitesi ölçümünde irdelenecek parametreler ve ölçüm tekniği	75
6.2.3. Sahil elektrik santralinde alınan ölçümler	76
6.2.3.1. 50 Hz genlikli dağıtım sistemi ölçümleri.....	77
6.2.3.2. 60 Hz genlikli dağıtım sistemi ölçümleri .....	85
6.2.4. Sahil dağıtım panolarının enerji kalitesinin ölçülmesi.....	90
6.2.4.1. A sınıfı geminin beslendiği dağıtım panosundan alınan ölçümler	91
6.2.4.2. B sınıfı geminin beslendiği dağıtım panosundan alınan ölçümler	96

BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	103
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	111

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ABT	: Otomatik bara transferi
AC	: Alternatif akım
COLREG	: Denizde Çatışmayı Önleme Uluslararası Konvansiyonu
BV	: Blohm Voss (gemi inşa tersanesi)
DC	: Doğru akım
DÇÖT	: Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü
EMI	: Elektro manyetik girişim
Hz	: Hertz
IEEE	: Uluslararası Enerji, Elektrik, Elektronik Kuruluşu
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü
KGK□	: Kesintisiz güç kaynağı
kA	: Kilo-amper
kV	: Kilo-volt
kVA	: Kilo-volt-amper
kW	: Kilo-watt
kWh	: Kilo-watt-saat
m	: metre
m/sn	: metre/ saniye
MBT	: Manuel bara transferi
MIL-STD	: Askeri standartlar
RF	: Radyo frekansı
STANAG	: NATO üyesi ülkelerin üretimde uyguladığı standart
SOLAS	: Denizlerde Can Güvenliği Uluslararası Konvansiyonu
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İşleri Anonim Şirketi
THD	: Toplam harmonik distorsiyon



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Üretici ve tüketici arasındaki ilişki	5
Şekil 2.2	Güç kalitesi problemlerinin genel dağılımı	7
Şekil 2.3.	Gerilim değişimleri analizi	8
Şekil 2.4.	Uzun süreli gerilim değişimleri analizi	8
Şekil 2.5.	Gerilim düşmeleri ve kısa devrelerde sebeplerinin oluşma oranları	8
Şekil 2.6.	Gerilim dengesizliği analizi	9
Şekil 2.7.	Oluşan harmonikler ve toplam harmoniğin analizi	9
Şekil 2.8.	DC bileşen gösterimi	10
Şekil 2.9.	Çentik etkisinin gösterimi	10
Şekil 2.10.	Gürültü etkisinin gösterimi	11
Şekil 2.11.	EMI etkisi yapan dalganın analizi	12
Şekil 2.12.	Gerilim dalgalanmasının gösterimi	12
Şekil 2.13.	Güç frekans değişiminin gösterimi	13
Şekil 2.14.	Darbeleri geçici olay ve salınımlı geçici olay analizi	14
Şekil 3.1.	Temel bileşen ve harmoniklerin oluşturduğu sinüs eğrileri	16
Şekil 3.2.	İdeal fonksiyonunun hat akımı	18
Şekil 3.3.	Harmonikli hat akımı	18
Şekil 3.4.	Sinüsoidal olmayan bir dalga ve onu oluşturan bileşenler	19
Şekil 3.5.	Doğrusal bir yükte akım dalga şekli	22
Şekil 3.6.	Doğrusal olmayan bir yükte akım dalga şekli	22
Şekil 3.7.	Doğrusal olmayan yük eşdeğer devresi	23
Şekil 3.8.	Gemi tipi bir 60/400 Hz statik frekans konvertörü	26
Şekil 3.9.	Gemi tipi bir transformatör resmi	27
Şekil 3.10.	Gemi tipi bir dizel jeneratör resmi	28

Şekil 3.11.	Gemi tipi bir makine kontrol konsolu resmi	29
Şekil 3.12.	Gemi tipi bir kesintisiz güç kaynağı resmi	29
Şekil 3.13.	Gemi tipi bir kesintisiz redresör ve akü grubu resmi	30
Şekil 3.14.	Nötrde birleşen üçlü N akımları	31
Şekil 3.15.	Doğrusal olmayan yükün neden olduğu gerilim bozulması	33
Şekil 3.16.	Doğrusal ve doğrusal olmayan yüklerin ayrımı	34
Şekil 4.1.	Askeri gemi olan fırkateynlere ait bir resim	37
Şekil 4.2.	Gemi tipi bir ana tevzi panosu resmi	38
Şekil 4.3.	Gemi tipi bir dizel jeneratör resmi	39
Şekil 4.4.	Gemilerde kullanılan bir makine kontrol konsolu resmi	39
Şekil 5.1.	A sınıfı gemiye ait siluet resim	52
Şekil 5.2.	A sınıfı gemiye ait sahil bağlantı panosu ve jak resmi	53
Şekil 5.3.	A sınıfı gemiye ait elektrik tek hat şeması	56
Şekil 5.4.	B sınıfı gemiye ait siluet resim	58
Şekil 5.5.	B sınıfı gemiye ait sahil bağlantısı resmi	60
Şekil 5.6.	B sınıfı gemiye ait elektrik tek hat şeması	62
Şekil 5.7.	C sınıfı gemiye ait siluet resim	63
Şekil 5.8.	C sınıfı gemiye ait sahil bağlantısı resmi	64
Şekil 5.9.	C sınıfı gemiye ait elektrik tek hat şeması	66
Şekil 6.1.	Bir sahil elektrik santralindeki dinamik frekans konvertörlerine ait resim	68
Şekil 6.2.	Sahil elektrik santrali şalt sahası resmi	69
Şekil 6.3.	Sahil elektrik santrali frekans konvertörleri	70
Şekil 6.4.	Sahil elektrik santrali orta gerilim jeneratörleri	70
Şekil 6.5.	Elektrik santraline ait tek hat şeması	72
Şekil 6.6.	Ölçüm yapılan enerji analizörü ve ekipmanlarının resmi	75
Şekil 6.7.	34,5/3 kV 50 Hz giriş frekans değişimi grafiği	77
Şekil 6.8.	34,5/3 kV 50 Hz faz gerilimlerinin değişimi	78
Şekil 6.9.	34,5/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerinin değişimi	78
Şekil 6.10.	34,5/3 kV 50 Hz hat akımlarının değişimi	79
Şekil 6.11.	34,5/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi	79
Şekil 6.12.	34,5/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi	80
Şekil 6.13.	34,5/3 kV 50 Hz giriş frekans değişimi	81

Şekil 6.14.	34,5/3 kV 50 Hz faz gerilimlerinin değişimi	82
Şekil 6.15.	34,5/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerinin değişimi	82
Şekil 6.16.	34,5/3 kV 50 Hz hat akımlarının değişimi	83
Şekil 6.17.	34,5/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi	83
Şekil 6.18.	34,5/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi	84
Şekil 6.19.	3/3 kV 50 Hz giriş frekans değişimi	86
Şekil 6.20.	3/3 kV 50 Hz faz gerilimlerinin değişimi	87
Şekil 6.21.	3/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerinin değişimi	87
Şekil 6.22.	3/3 kV 50 Hz hat akımlarının değişimi	88
Şekil 6.23.	3/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi	88
Şekil 6.24.	3/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi	89
Şekil 6.25.	440 V 60 Hz giriş frekans değişimi	91
Şekil 6.26.	440 V 60 Hz faz gerilimlerinin değişimi	92
Şekil 6.27.	440 V 60 Hz fazlar arası gerilimlerinin değişimi	92
Şekil 6.28.	440 V 60 Hz hat akımlarının değişimi	93
Şekil 6.29.	440 V 60 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi	93
Şekil 6.30.	440 V 60 Hz güç faktörü değişimi	94
Şekil 6.31.	380 V 50 Hz giriş frekans değişimi	96
Şekil 6.32.	380 V 50 Hz faz gerilimlerinin değişimi	97
Şekil 6.33.	380 V 50 Hz fazlar arası gerilimlerinin değişimi	97
Şekil 6.34.	380 V 50 Hz hat akımlarının değişimi	98
Şekil 6.35.	380 V 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi	99
Şekil 6.36.	380 V 50 Hz güç faktörü değişimi	100

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Dağıtım sistemi 50 Hz olan bir sistemin bazı harmonik katları	17
Tablo 5.1	A sınıfı gemiye ait teknik bilgiler	51
Tablo 5.2.	A sınıfı gemide kullanılan ana elektrik ekipmanları	54
Tablo 5.3.	B sınıfı gemiye ait teknik bilgiler	58
Tablo 5.4.	B sınıfı gemide kullanılan ana elektrik ekipmanları	61
Tablo 5.5.	C sınıfı gemiye ait teknik bilgiler	63
Tablo 5.2.	C sınıfı gemide kullanılan ana elektrik ekipmanları	65
Tablo 6.1.	Sahil elektrik santralinde tesis edilmiş olan ekipmanların teknik özellikleri	73
Tablo 6.2.	34,5/3 kV 50 Hz giriş frekans değişimi sayısal değerleri	77
Tablo 6.3.	34,5/3 kV 50 Hz faz gerilimleri sayısal değerleri	77
Tablo 6.4.	34,5/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerin sayısal değerleri	78
Tablo 6.5.	34,5/3 kV 50 Hz hat akımlarının sayısal değerleri	79
Tablo 6.6.	34,5/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi sayısal değerleri	79
Tablo 6.7.	34,5/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi sayısal değerleri	80
Tablo 6.8.	34,5/3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre gerilimdeki THD değişimi	80
Tablo 6.9.	34,5/3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre akımdaki THD değişimi	81
Tablo 6.10.	34,5/3 kV 50 Hz giriş frekans değişimi sayısal değerleri	81
Tablo 6.11.	34,5/3 kV 50 Hz faz gerilimleri sayısal değerleri	82
Tablo 6.12.	34,5/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerin sayısal değerleri	82
Tablo 6.13.	34,5/3 kV 50 Hz hat akımlarının sayısal değerleri	83
Tablo 6.14.	34,5/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi sayısal değerleri	83

Tablo 6.15.	34,5/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi sayısal değerleri	84
Tablo 6.16.	34,5/3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre gerilimdeki THD değişimi	84
Tablo 6.17.	34,5/3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre akımdaki THD değişimi	85
Tablo 6.18.	3/3 kV 50 Hz giriş frekans değişimi sayısal değerleri	86
Tablo 6.19.	3/3 kV 50 Hz faz gerilimleri sayısal değerleri	86
Tablo 6.20.	3/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerin sayısal değerleri	87
Tablo 6.21.	3/3 kV 50 Hz hat akımlarının sayısal değerleri	88
Tablo 6.22.	3/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi sayısal değerleri	88
Tablo 6.23.	3/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi sayısal değerleri	89
Tablo 6.24.	3/3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre gerilimdeki THD değişimi	89
Tablo 6.25.	3/3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre akımdaki THD değişimi	90
Tablo 6.26.	440 V 60 Hz giriş frekans değişimi sayısal değerleri	91
Tablo 6.27.	440 V 60 Hz faz gerilimleri sayısal değerleri	92
Tablo 6.28.	440 V 60 Hz fazlar arası gerilimlerin sayısal değerleri	92
Tablo 6.29.	440 V 60 Hz hat akımlarının sayısal değerleri	93
Tablo 6.30.	440 V 60 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi sayısal değerleri	93
Tablo 6.31.	440 V 60 Hz güç faktörü değişimi sayısal değerleri	94
Tablo 6.32.	440 V 60 Hz harmonik kademelerine göre gerilimdeki THD değişimi	94
Tablo 6.33.	440 V 60 Hz harmonik kademelerine göre akımdaki THD değişimi	95
Tablo 6.34.	380 V 50 Hz giriş frekans değişimi sayısal değerleri	96
Tablo 6.35.	380 V 50 Hz faz gerilimleri sayısal değerleri	97
Tablo 6.36.	380 V 50 Hz fazlar arası gerilimlerin sayısal değerleri	97
Tablo 6.37.	380 V 50 Hz hat akımlarının sayısal değerleri	98
Tablo 6.38.	380 V 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi sayısal değerleri	99

Tablo 6.39.	380 V 50 Hz güç faktörü değişimi sayısal değerleri	99
Tablo 6.40.	380 V 50 Hz harmonik kademelerine göre gerilimdeki THD değişimi	100
Tablo 6.41.	380 V 50 Hz harmonik kademelerine göre akımdaki THD değişimi	101
Tablo 7.1.	Gemilerin tiplerine göre elektrik enerjisi maliyeti	107

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Gemiler, Enerji kalitesi.

Elektrik enerjisine olan talep, ilerleyen teknoloji, sanayileşme ve artan nüfusa bağlı olarak artış göstermektedir. Tüketilen elektrik enerjisi miktarı gelişmişlik düzeyinin en büyük ölçütlerinden biri olmuştur. Talepteki bu artışa ek olarak üretim kalitesini ve verimliliğini artırmak için kullanılan otomasyon sistemine sahip cihazlar daha güvenilir ve daha kaliteli enerji ihtiyacını doğurmuştur. Bunun sonucunda literatürde enerji kalitesi olarak bilinen kavram meydana gelmiştir.

Elektrik enerjisinin kesintisiz olması ve bununla birlikte enerji kalitesini doğrudan etkileyen parametreler olan gerilim, frekans ve güç faktörünün talep edilen değerlerde olması şeklinde tanımlanabilecek olan enerji kalitesi son yıllarda özellikle üzerinde çalışılan ve ciddiye alınarak çözüm aranan hususlardan biridir.

Esas olarak enerji kalitesi açısından enerji dağıtım sisteminin sahip olması gereken başlıca özellikler, kesintisiz bir enerji akışı sağlaması, güvenilir ve sağlam olması ayrıca gerilim ile frekansın izin verilen sınırların dışına çıkmaması olarak sıralanabilir.

Bu tez içerisinde gemilerdeki enerji kalitesi irdelenmesi, incelenmesi ve ölçülerek sonuçlarının analiz edilmesi hedeflenmiştir. Gemilerdeki enerji kalitesinin incelenmesi ve ölçülmesi öncesinde gemilerin elektrik karakteristikleri, enerji kalitesini etkileyen faktörler, enerji kalitesi ölçümlerinin amacı, temel tanım ve matematiksel kavramlar, harmonikler ve etkileri, geliştirilmiş çözüm tipleri ve sonucunda gemilerdeki durum incelenmiştir. Yapılan inceleme neticesinde gerçekleştirilebilecek olan iyileştirmeler araştırılmıştır.

# **INSPECTING QUALITY OF ENERGY ON SHIPS**

## **SUMMARY**

Key Words: Ships, Quality Of Energy

Demand for the electrical energy is increasing by developing technology, industrialization and increasing population. The amount of consuming electrical energy is one of the major parameter for the level of improvement. Add to the increase of this type of demand; the equipments used for increasing production quality and efficiency which have automation system produced necessity for more secure and qualified energy. At last the title that is known at the literature as quality of energy was born.

Uninterruptable energy of electricity, according to that, voltage are the parameters that is directly effecting the quality of energy, also described quality of energy which is described as values that has to be the demanded power factor and frequency are one of the issues that is working on and taken seriously at recent years.

Major Properties which have to be for the quality of energy that is distributed to the energy are summerized as supplying the uninterruptable flow of electricity, being secure and quality of materials and produce best voltage and frequency values for the system.

Studying and inspecting the quality of energy on ships, analyze the results of values that is taken from the ship systems are targeted in this thesis. Before inspecting and studying the quality of energy on ships, the characteristics of electricity, the factors that is effecting the quality of energy, the purpose of inspecting the parameters for the quality of energy, major description and mathematical issues, harmonics and its effects, the type of improved solutions and as a result the situation of ships are studied. As a result of studies, the improvements that are able to be done has searched and results of the improvements are valued.



## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Elektrik enerjisine olan talep, ilerleyen teknoloji, sanayileşme ve artan nüfusa bağlı olarak artış göstermektedir. Tüketilen elektrik enerjisi miktarı gelişmişlik düzeyinin en büyük ölçütlerinden biri olmuştur. Talepteki bu artışa ek olarak üretim kalitesini ve verimliliğini artırmak için kullanılan otomasyon sistemine sahip cihazlar daha güvenilir ve daha kaliteli enerji ihtiyacını doğurmuştur. Bunun sonucunda enerji kalitesi olarak bilinen kavram meydana gelmiştir.

Elektrik enerjisinin kesintisiz olması ve bununla birlikte enerji kalitesini doğrudan etkileyen parametreler olan gerilim, frekans ve güç faktörünün talep edilen değerlerde olması şeklinde tanımlanabilecek olan enerji kalitesi son yıllarda özellikle üzerinde çalışılan ve çözüm aranan hususlardan biridir.

Enerji kalitesinin tespiti sonrasında üretici ya da tüketiciden kaynaklanan ve enerji kalitesini olumsuz yönde etkileyen faktörler ortadan kaldırılmalıdır. Ancak sorunun çözümü için problemin çok iyi tespit edilmesi gerekmektedir, tespit için ise ölçüm ve analiz yapılması gerekmektedir.

En yaygın olarak karşılaşılan enerji kalitesi problemleri kesintiler, gerilim çökmeleri, harmonikler ve gerilim sınımları olup her bir tesis için problemin çözümü farklı olabilmektedir.

Bu tez içerisinde gemilerin limana bağlı durumdayken sahilden almış olduğu elektrik beslemesine ait enerji kalitesinin irdelenmesi, incelenmesi ve ölçülerek sonuçlarının analiz edilmesi hedeflenmiştir. Gemilerin sahilde liman yapmış durumdayken enerji kalitesinin incelenmesi öncesinde; sahil konvertör merkezleri ile sahil elektrik santrali, gemilerin elektrik karakteristikleri, enerji kalitesini etkileyen faktörler, enerji

kalitesi ölçümlerinin amacı, temel tanım ve matematiksel kavramlar, harmoniklerin etkileri ve sonucunda gemilerdeki durum incelenecektir.

Esas olarak enerji kalitesi açısından enerji dağıtım sisteminin sahip olması gereken başlıca özellikler, kesintisiz bir enerji akışı sağlaması, güvenilir ve sağlam olması ayrıca gerilim ile frekansın izin verilen sınırların dışına çıkmaması olarak sıralanabilir.

21. y.y.' da gelişen teknoloji ile beraber gemilerinde elektrik enerjisi ihtiyacı karasal tesislerde olduğu gibi her geçen gün artmaktadır. Çağımızda gemi sistemleri karasal sistemlere göre çok küçük hacimlerde çok fazla sayıda elektrik ve elektronik cihaz ve ekipman içerirler. Bunun sonucunda talep edilen enerji kalitesinin iyi olması kaçınılmazdır. İnşa aşamasında montajı yapılmış olan sistemler çoğu zaman güncellenmekte ve bunun sonucunda geminin talep gücü artmaktadır. Bu nedenle gemilerin elektriksel sistemleri bu büyüme marjı dikkate alınarak dizayn edilmektedir.

Askeri bir geminin elektriksel yükleri hayati (vital) ve hayati olmayanlar (non-vital) olarak iki kısma ayrılır. İcra edilen göreve, yapılan seyir veya gemi emniyetine etki eden yükler hayati yükler olarak adlandırılırken kaybı halinde görev ve gemi emniyetini tehlikeye sokmayan yükler hayati olmayan yükler olarak adlandırılır [1].

Gemilerde hayati önemdeki yüklerin sürekli beslenmesi bir zorunluluktur ve bunun için elektrik dağıtım sistemleri çift kaynakla bu tip yükleri besleyebilecek şekilde tasarlanırlar. Askeri gemilerde bu yükler geminin duruş ve vuruş gücünü etkileyen yükler olarak özetlenebilir. Hayati önemdeki yükleri besleyen besleme hatları, gemi bünyesinde aynı bölme ve güverteden geçmeyecek şekilde tesis edilirler, başka bir deyişle iki dağıtım panosu arasında gemi bünyesinde bölgesel olarak bir ayırım vardır [2]. Özellikle askeri gemilerin bu şekilde dizayn edilmesinin sebebi savaşta, yara almış durumdayken hayati yükü besleyen asli ve yedek hattın ikisinin birden devre dışı kalmasının engellenmesidir.

Gemilerde çeşitli elektriksel dizaynlar kullanılmaktadır. Ticari gemilerde 440 V 60 Hz, 380 V 50 Hz ve 690 V 60 Hz gibi gerilim kademeleri kullanılmaktadır. Ticari

gemilerde kullanılan tesisatta bazen nötr taşınmakta bazı durumlarda ise nötr hattı tesis edilmemektedir. Harp gemileri temel olarak su üstü gemileri, denizaltılar ve uçak gemileri olarak üç gruba ayrıldıkları için cihazları ve yükleri de farklılık gösterir.

Genelde su üstü harp gemilerinde 440 V 60 Hz, 115 V 60 Hz, 440 V 400 Hz ve 115 V 400 Hz gerilim kullanılmakta ve nötr hattı tesis edilmemektedir. Bunun yanında nadir olmakla birlikte 380 V 50 Hz servis elektriği kullanan askeri gemilerde mevcuttur. Bu gerilim kademelerinde 400 Hz'e ihtiyaç duyan sistemler, silah sistemleri ve komuta-kontrol sistemleridir. Uçak gemileri ve elektrikle tahrik edilen gemilerde 690 V, 4160 V, ve 6,6 kV gerilim seviyeleri de kullanılmaktadır. Denizaltılarda ise genel olarak 115 V 60 Hz, 115 V 400 Hz ve 200-400 V DC kullanılmaktadır. Tüm bu gemi tiplerine kullandıkları elektrik enerjisi sahil iştirak panoları üzerinden sahilde bulunan doklar veya iskeleler üzerindeki servis panolarına jak veya baralar vasıtasıyla bağlanmasıyla sağlanmaktadır.

Gemiler enerji ihtiyaçlarını seyir durumundayken gemi üzerinde tesis edilmiş olan dizel jeneratörleri sayesinde üretirler. Seyir halinde gemide jeneratörlerde üretilen gerilim genel olarak kararlı ve kaliteli bir voltaj karakteri gösterir, bunun sebebi ise jeneratörler üzerinde bulunan voltaj regülasyon kartları, filtreler ve enerjinin kesintisiz olarak sağlanmasıdır.

Sahilde yaşanan durum seyir durumundan farklıdır, gemiler liman yapmış oldukları dönemlerde jeneratörlerini akaryakıt maliyeti, makinelerin çalışma saatinin artmaması, amortisman maliyetleri ve gemi konforu açısından devreye almamaları gerekir. Doğrudan doklar veya iskeleler üzerinde bulunan sahil bağlantı panolardan enerji ihtiyaçlarını sağlamalıdır, bu nedenle doklar ve iskelelerde tüm voltaj tiplerine uygun panoların tesis edilmesi zorunludur. Panoların tesis edilmesi sonrasında gemiler tarafından talep edilen ve yukarıda bahsedilen voltajların üretilmesi için güç trafolarına, dinamik frekans konvertörlerine ve redresörlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Özellikle askeri gemilerde kullanılan 60 Hz frekanslı gerilim dinamik frekans konvertörleri tarafından üretilen ve sahilde en çok kullanılan voltaj tipidir.

Halihazırda ülkemizin frekans açısından voltaj karakteristiği 50 Hz üzerine tesis edilmiştir. Dolayısıyla 60 Hz olarak talep edilen bu voltaj tipinin frekans çeviriciler vasıtasıyla sağlanması gerekmektedir. Harp gemileri liman yapmış oldukları esnada geminin tüm ihtiyacını bu şekilde sahilden alma şansına sahip olmaktadır, dolayısıyla sahilden alınacak olan bu enerjinin kalitesinin yürürlükteki standartlara uygun ve kesintisiz olması istenmektedir. Aksi bir durumda gemilerde hassas cihazlar kullanıldığından yüksek onarım maliyetleri oluşmaması ve sürekliliğin sağlanması istendiğinden, gemiler sahilden beslenmek yerine dizel jeneratörlerini devreye almakta bunun sonucunda elektrik enerjisi yüksek maliyetlerde üretilmekte, makinelerin çalışma saatleri artmakta ve bakım onarım maliyetleri yükselmektedir.

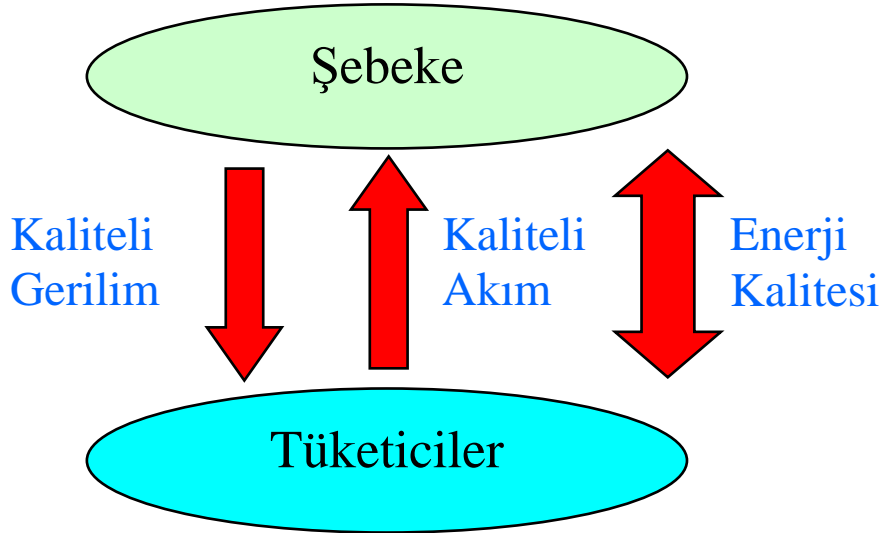
Sahilde bulunan elektrik santralinden sağlanan 60 Hz voltaj tipi kadar 50 Hz voltaj tipinde dinamik frekans konvertörlerinden sağlanmayıp doğrudan trafolar üzerinden şebekeden alınsa da kalitesinin iyi olması son derece önemlidir. Askeri ve ticari gemiler içerisinde 50 Hz ile beslenen gemilerde bulunmaktadır ve enerji kalitesinin uygun olmaması durumunda da yukarıda bahsedilen tüm olumsuz hususlar aynı şekilde bahse konu gemilerde de yaşanmaktadır.

Tez içerisinde sözkonusu değerlendirmeler yapılacak, sistemler incelenecek, sahil elektrik tesislerinde ölçümler alınacak ve alternatif çözüm yollarıyla sahil enerji kalitesinin, dolayısıyla gemilerin enerji kalitesinin iyileştirilmesi için çözüm önerileri sunulacaktır.

## BÖLÜM 2. TANIMLAR

### 2.1. Enerji Kalitesi Hakkında

İdeal bir güç sisteminde akım ve gerilim istenilen genlikte ve sinüs eğrisi şeklinde değişim göstermesi istenir. IEEE 1159 (1998) standardında enerji kalitesi, kaynak gerilimin sinüsoidal dalga şeklinde bozulma miktarı olarak tanımlanmaktadır. Enerji kalitesi; gerilimin ve frekansın sabit ve sinüsoidal formda süreklilik göstermesi olarak genelleştirilebilir.



Şekil 2.1. Üretici ve tüketici arasındaki ilişki

Yukarıda Şekil 2.1’de görüleceği üzere şebeke yani üretici, yük yani tüketici arasında oluşacak olan enerji kalitesi şematik olarak verilmiştir. Bu ilişkide şebeke kaliteli gerilimi sunacak, tüketici kaliteli akım çekecek ve sonuçta enerji kalitesi karşılıklı olarak sağlanacaktır.

## 2.2. Başlıca Enerji Kalitesi Problemlerinin Kaynakları

Enerji kalitesindeki bozulmalar birçok tüketici tarafından üretilir ve diğer tüketiciler ile birlikte üretici sisteme de zarar verir. Bununla birlikte enerji kalitesinin sürekliliğini etkileyen ve üreticiden kaynaklanan problemlerde mevcuttur. Güç sistemini bozan etkiler 1980 öncesinde tek tek ele alınırken 1980 sonrası tüm bozucu etkiler enerji kalitesi altında toplanmıştır [3].

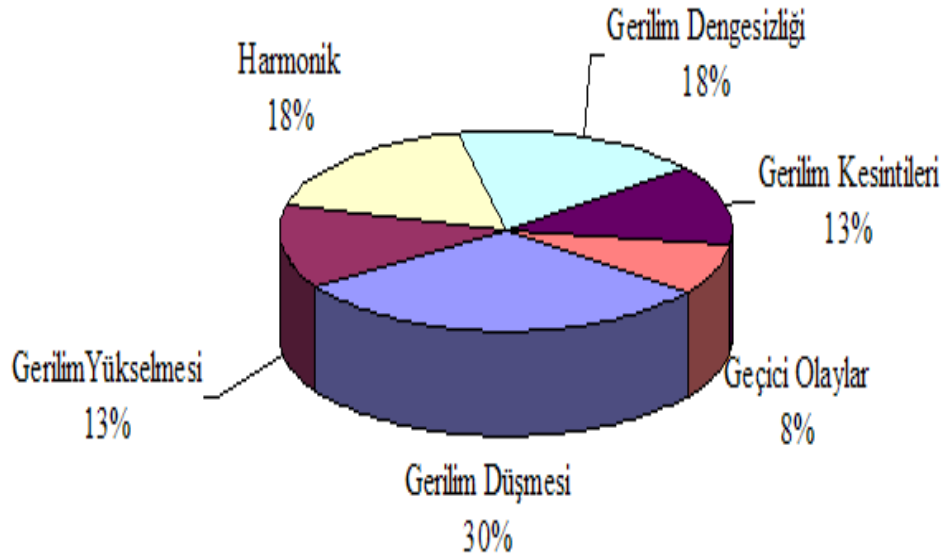
Üretici tarafından meydana gelmesi olası durumlar;

- Fider üzerindeki hatalar,
- Hat ve kapasitör anahtarlamaaları,
- İletim hatları ile güç trafolarının asimetrik yapısı,
- Yıldırım düşmesi.

Tüketici tarafından meydana gelmesi olası durumlar;

- Fazlara eşit yük paylaşımı yapılmaması,
- Büyük yüklerin aniden devreye alınması,
- Periyodik yükler,
- Yetersiz topraklama ve bağlantı hataları,
- Kontaktörlerin ve rölelerin anahtarlamaası,
- Güç elektroniği elemanlarını yoğun olarak barındıran ekipmanların kullanılması.

Aşağıda Şekil 2.2.'de güç kalitesi problemlerinin genel dağılımı verilmiştir. Burada görüldüğü üzere genel ağırlık şebekeden kaynaklı, yani üreticinin gidermesi gereken hususlar gibi ortaya çıkmaktadır. Gemilerde liman durumunda sahilden yük çektiklerinden dolayı doğrudan etkilenmektedirler.



Şekil 2.2. Güç kalitesi problemlerinin genel dağılımı

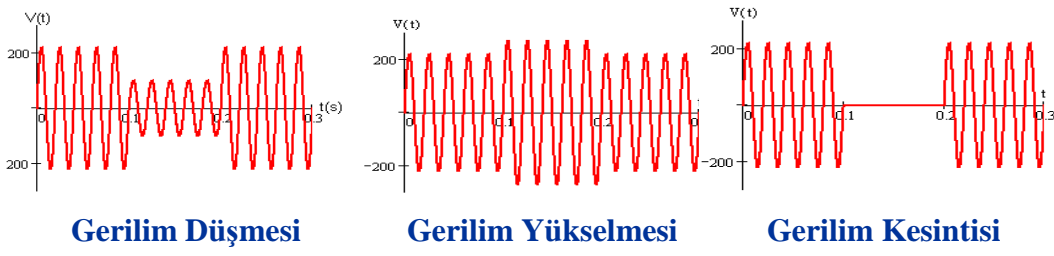
### 2.3. Enerji Kalitesini Etkileyen Faktörler

Enerji kalitesini etkileyen faktörler, genel hatlarıyla aşağıda belirtilmiştir. Bu etkenlerin ayrı ayrı incelemesi ve irdelemesi yapılacaktır;

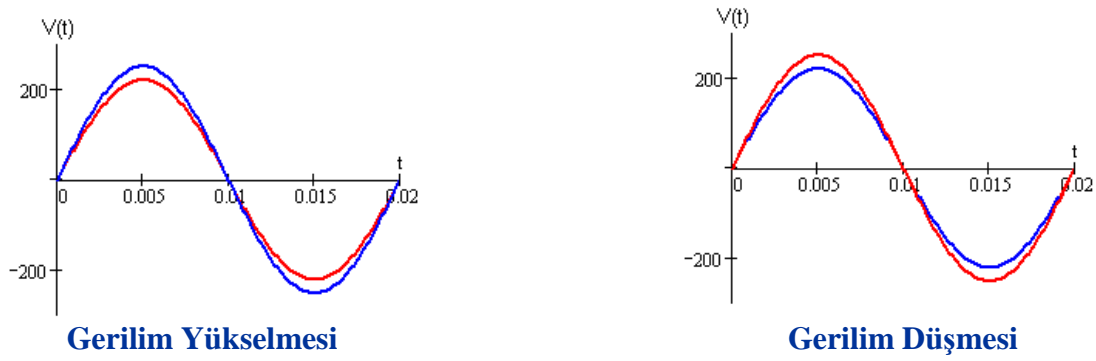
- Gerilim değişimleri,
- Gerilim dengesizliği,
- Dalga şekli bozuklukları,
- Gerilim dalgalanması,
- Güç ve frekans değişimleri,
- Geçici olaylar.

#### 2.3.1. Gerilim değişimleri (10ms-1s)

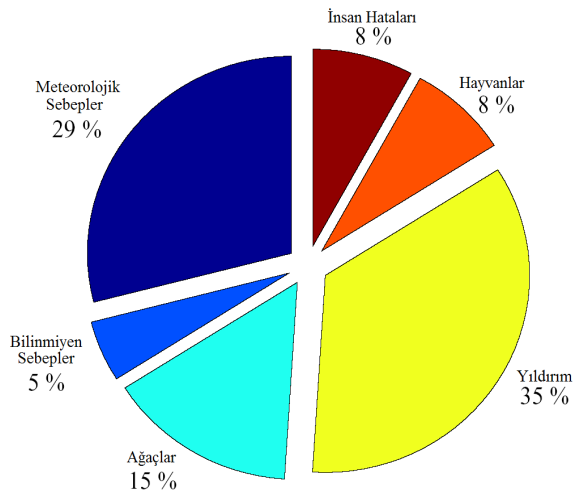
Büyük güçlü motorların devreye girmesi, transformatörlerin enerjilendirilmesi ile kısa devrelerin oluşması uzun süreli gerilim değişimlerine (>1dk) ve kısa süreli gerilim değişimlerine (10ms-1s) sebep olurlar. Bu değişimlerin grafiksel gösterimi Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Gerilim değişimleri analizi



Şekil 2.4. Uzun süreli gerilim değişimleri analizi



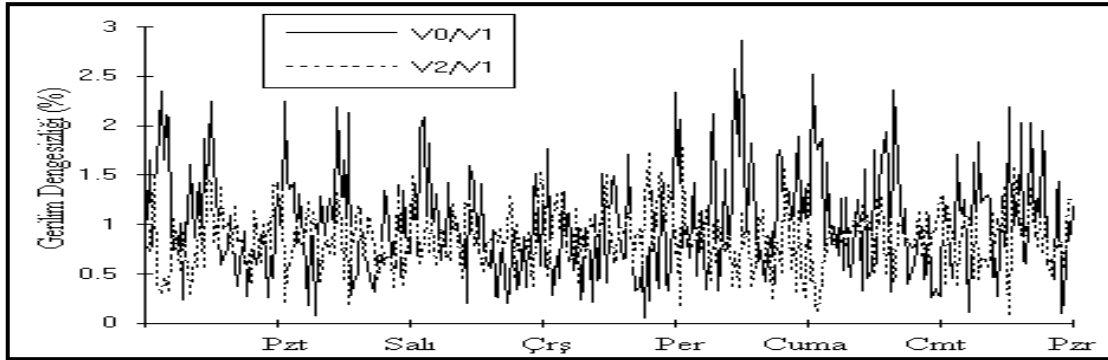
Şekil 2.5. Gerilim düşmeleri ve kısa devrelerde sebeplerinin oluşma oranları

Yukarıdaki Şekil 2.5’de görüleceği üzere gerilim düşmesi ve kısa devre sebeplerinin oranları genel itibari ile birbirine yakın olup doğuracakları veya doğurdıkları etkileri ise birbirinden çok farklıdır. Bazı etkenlerde ciddi arıza problemleri, can ve mal kaybı ile ekonomik sıkıntılar yaşanmaktadır.



### 2.3.2. Gerilim dengesizliği

Gerilim dengesizliği üç fazlı sistemde akım ve gerilimin yüzde olarak ortalamasından maksimum sapması olayıdır. Başlıca sebepleri ise zayıf gerilim regülasyonu veya aşırı devre yükleri olarak sıralanabilir ve örnek görünümü aşağıda Şekil 2.6'da verilmiştir.

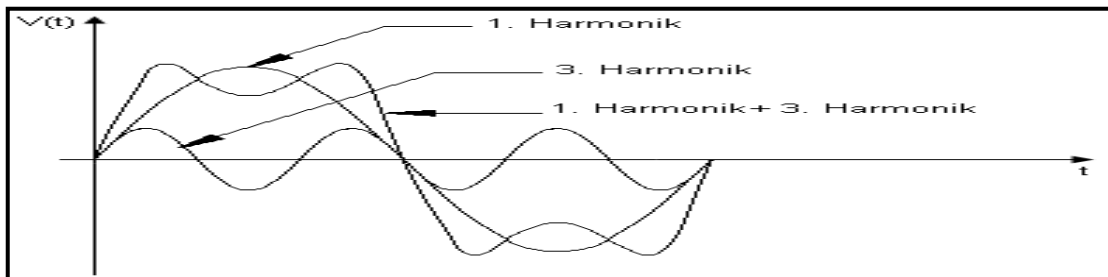


Şekil 2.6. Gerilim dengesizliği analizi

### 2.3.3. Dalga şekli bozuklukları

#### 2.3.3.1. Harmonikler

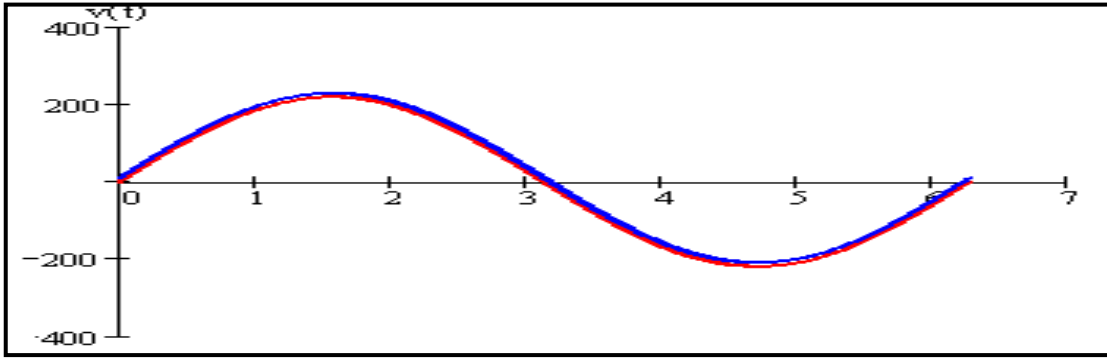
Harmonikler, enerji kalitesini doğrudan etkileyen hususlardan biridir. Akım ve gerilimin standart sinusoidal dalga şeklinde bozukluk yaratan etkenler harmonik oluşturur. Harmonikler sistemde arızalara, kayıplara ve rezonans olaylarına neden olmaktadır. Başlıca sebepleri ise ark fırınları, gaz deşarjlı aydınlatma cihazları ile güç konvertörleri olarak sıralanabilir, toplam harmoniğin ana harmonik üzerinde oluşan bozulmasının görünümü aşağıdaki Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Oluşan harmonikler ve toplam harmoniğin analizi

### 2.3.3.2. DC bileşen

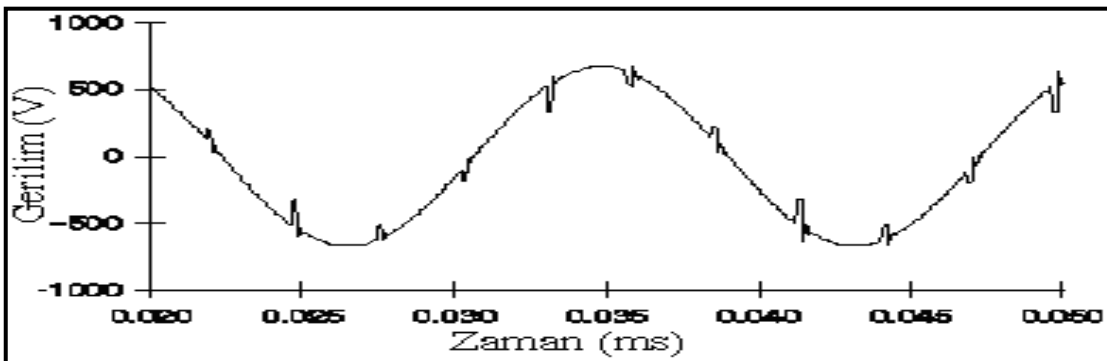
DC bileşen, güç elektroniği temelli dönüştürücülerin simetrik olmayan çalışmalarından kaynaklanmaktadır. DC bileşen, transformatörlerde doymaya, topraklama elektrotlarında ve bağlantı elemanlarında elektrolitik aşınmaya neden olmaktadır. Başlıca sebebi ise güç elektroniği elemanlarını yoğun olarak barındıran ekipmanların kullanılmasıdır görünümü aşağıda Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. DC bileşen gösterimi

### 2.3.3.3. Çentik

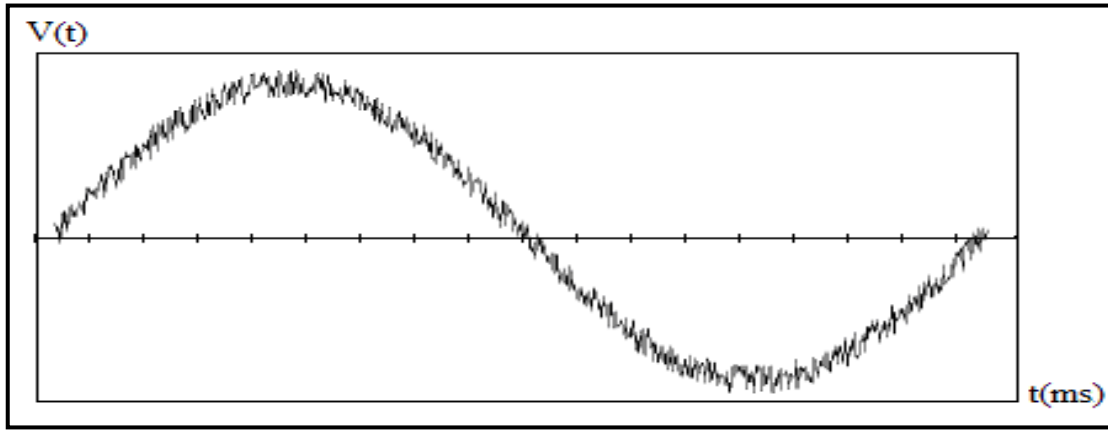
Çentik, güç elektroniği elemanlı dönüştürücülerde akımın bir fazdan diğer faza komütasyonu sırasında güç elemanın iletime girmesindeki gecikmeden dolayı oluşan anlık kısa devreden kaynaklanmaktadır. Başlıca sebebi ise güç elektroniği elemanlarını yoğun olarak barındıran ekipmanların kullanılmasıdır görünümü aşağıda Şekil 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.9. Çentik etkisinin gösterimi

### 2.3.3.4. Gürültü

Gürültü, faz iletkenlerini 200 kHz'den daha küçük spektral genişliğe sahip işaretler ile yükleyen veya nötr hattında istenmeyen elektriksel işaretlerdir. Başlıca sebepleri ise zayıf bağlantılar, yetersiz topraklama ve RF (Radyo Frekansı) kaynaklı ekipmanlar olarak sıralanabilir ve görünümü aşağıda Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Gürültü etkisinin gösterimi

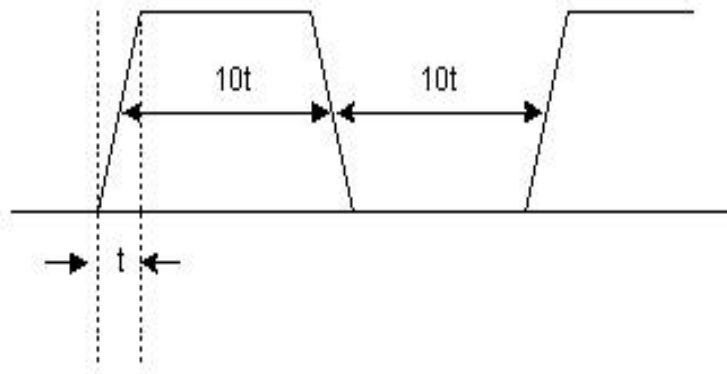
### 2.3.3.5. Elektromagnetik girişim

Anahtarlama bir çeviricide akım ve gerilimde çok hızlı değişimler meydana geldiği için yüksek frekanslı salınımlar oluşmaktadır. Bu salınımlar diğer elektronik devrelerde ve güç elektroniği çeviricisinin kendi iç çalışmasında bozucu elektromanyetik girişimlere neden olurlar. Bu girişim EMI (Electromagnetic Interference) olarak da adlandırılır.

EMI radyasyon ve kablolu olmak üzere iki biçimde iletilir. Anahtarlama güç elektroniği devreleri, kendilerini besleyen elektrik sistemine güç kabloları üzerinden iletim biçiminde gürültü yayarlar.

Güç elektroniği devrelerinin metal gövde içine alınmaları, radyasyon yoluyla yayılan elektromanyetik kirliliği büyük ölçüde azaltır. Genliği 100  $\mu$ V ile 100 V arasında, frekansı ise 10 kHz ile 1 GHz arasında değişen küçük enerjili bozucu bir dalgadır ve Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Elektromanyetik dalga yayan cihazlardan

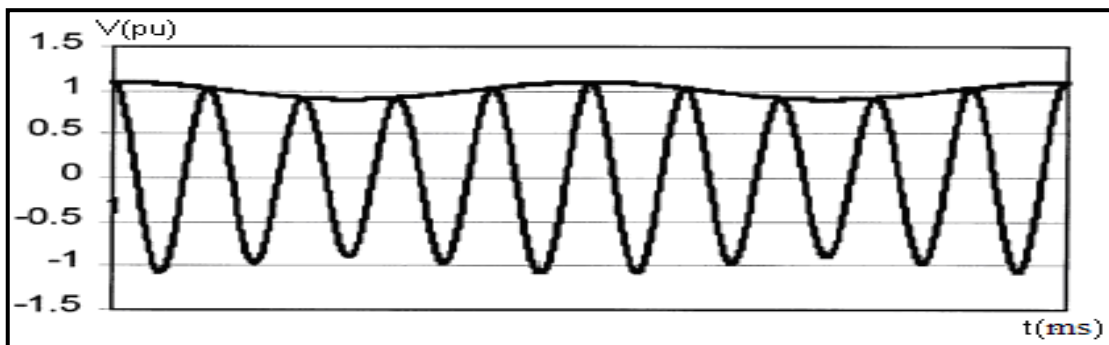
kaynaklanmaktadır. Başlıca sebepleri ise motor sürücü devreleri, anahtarlamalı dönüştürücüler ve güç kaynakları olarak sıralanabilir. Elektromanyetik Girişim (EMI), Radyo Frekanslı Girişim (RFI) yüksek frekansta anahtarlama kaynaklanan bazı sinyallerin manyetik yolla havaya, elektriksel yolla şebekeye doğru yönelmesidir. Eğer bu girişimin frekansı radyo frekansına yakınsa RFI olarak isimlendirilir.



Şekil 2.11. EMI etkisi yapan dalganın analizi

#### 2.3.4. Gerilim dalgalanması

Gerilim dalgalanması, genliği belirlenen 0.9-1.1 pu değerleri arasındaki gerilim bölgesinde kalan gerilim değişimleridir. Bu gerilim değişimleri sistematik ya da rastgele olabilmektedir. Başlıca sebepleri ise yıldırım düşmesi, büyük yüklerin devreye alınması veya çıkarılması ve sistem hataları olarak sıralanabilir ve görünümü aşağıdaki Şekil 2.12’de verilmiştir.



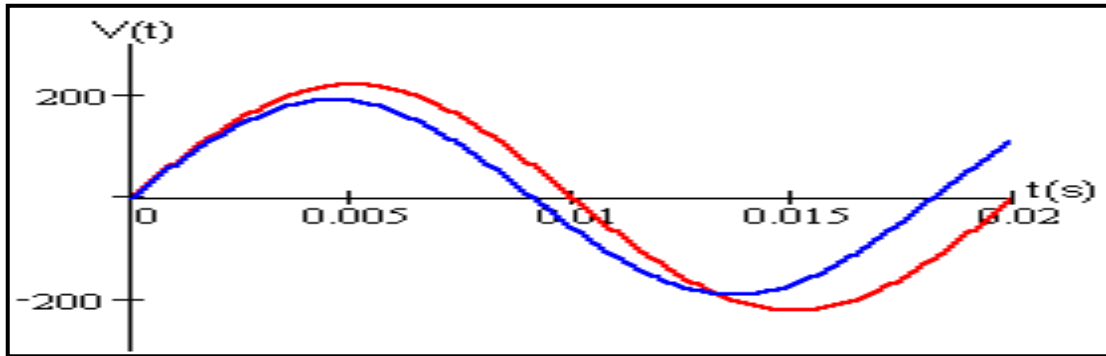
Şekil 2.12. Gerilim dalgalanmasının gösterimi

### 2.3.5. Güç frekans değişimleri

Bir sistemi besleyen jeneratör, yük değişimlerine cevap verebilmek ve frekansı kontrol edebilmek için doğal limitlere sahiptir. Ancak fonksiyon karmaşıktır ve sadece jeneratörün özelliklerine bağlı olmayıp, governör ( jeneratörün ürettiği çıkış gerilimin frekansının kararlı olmasını sağlayan hız kontrol ünitesi) cevap hızının dönme ataletine ve yükün frekans değişimlerine reaksiyonuna da bağlıdır bu durum Şekil 2.13'te gösterilmiştir.

Bu sorunların yaşanmaması için motor, hızlı yanıt veren bir governöre sahip olmanın yanı sıra yüke göre ayarlanmış ve doğru boyutlandırılmış olmalıdır. Benzer şekilde de KGK'da (Kesintisiz Güç Kaynağı) geniş bir frekans kabul aralığına sahip olacak şekilde tasarlanmış olmalıdır.

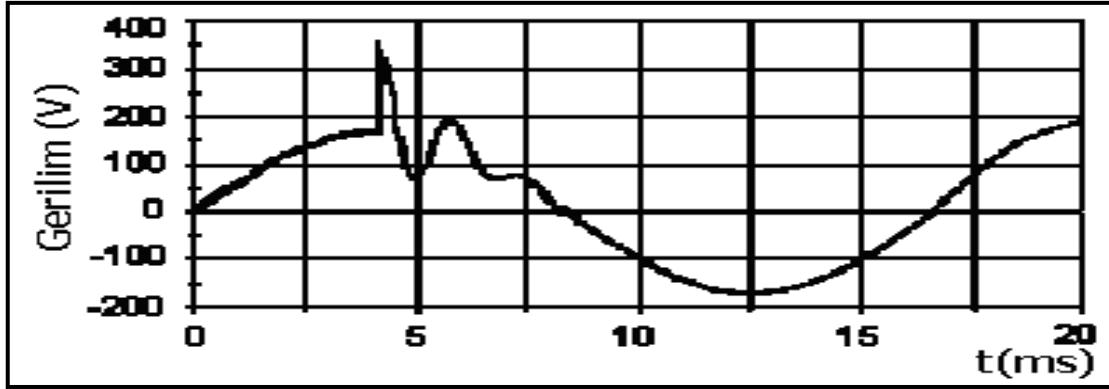
Bu arada jeneratörün voltaj regülatörü governörden daha hızlı reaksiyon göstermemelidir. Aksi takdirde Kesintisiz Güç Kaynağı'nın doğrultucu kısmı ile kararlı olmayan bir durum ortaya çıkar.



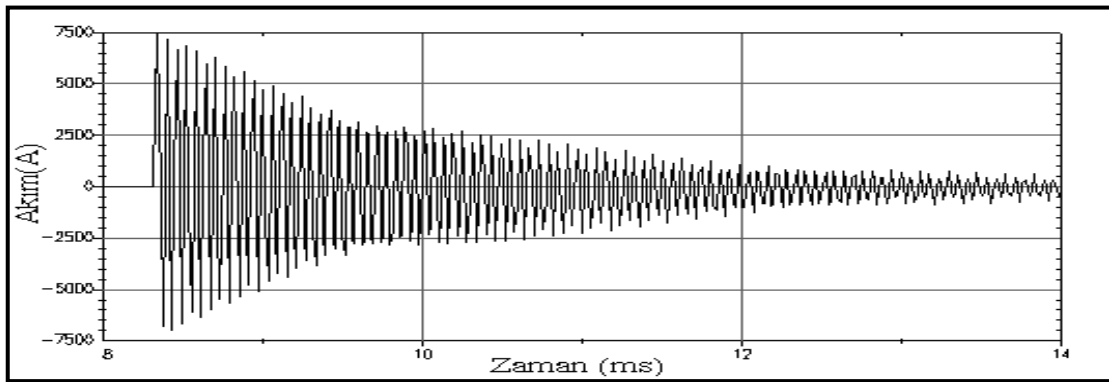
Şekil 2.13. Güç frekans değişiminin gösterimi

### 2.3.6. Geçici olaylar

Geçici olaylar, çok kısa (birkaç milisaniye) süren gerilim bozulmalarıdır. Şiddetleri yüksek ve oluşumları hızlı olur. Başlıca sebepleri ise yıldırım düşmesi, büyük ve reaktif yükler ile şebeke anahtarlama olarak sıralanabilir. Her iki durum içinde geçici olay grafiği Şekil 2.14 (a) ve (b)'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2.14. (a)'da darbeli geçici olay, şekil 2.14. (b)'de ise salımlı geçici olay analizi gösterilmektedir

## 2.4. Enerji Kalitesi Ölçümlerinin Amacı

Elektrik enerjisinde kalite ve verimliliği artırmak için bir etüt yapılması kaçınılmazdır. Bu etüdün gerçekleştirilmesi için özellikle ölçüme dayalı bir sistem tercih edilmeli ve yapılan ölçümlerin sonuçları da bilimsel olarak değerlendirilmelidir. Ölçülemeyen hiçbir büyüklük kontrol altına alınmış değildir, kontrol edilmeyen hiçbir değerinde iyileştirmesi mümkün görülmemektedir.

Bir kullanıcının sistemine bağlantı yapılması durumunda, harmonik bozulmaya yol açan yüklerin belirlenen sınır değerleri geçmemesinin, bağlantı yapılan kullanıcının sorumluluğunda olduğu bağlantı anlaşmasında yer alır. Harmonik ölçümlerinde TEİAŞ'ın gözlemci bulundurabileceği de bağlantı anlaşmasında yer alır [4].

Bir işletmenin veya sistemin enerji verimliliğini artırmak içinde söz konusu sistemin veya işletmenin enerji etüdünün ortaya konması gerekmektedir. Enerji etüdü; enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik bilgi toplama, ölçüm, değerlendirme ve raporlama aşamalarından oluşan çalışmalardır [5].

Tez içerisinde yapılan çalışmada gemileri besleyen sahil tesislerinden çıkan enerjinin kalitesinin irdelenmesi hedeflenmiştir. Burada hedef yönetmelik ve kanunların zorunlu kıldığı kuralların yerine getirilmesinden ziyade gemiler tarafından talep edilen enerjinin istenilen standartlarda sağlanması ve kullanılmasıdır. Aksi durumda gemiler sahilden beslenmeyerek dizel jeneratörlerini devreye almakta bunun sonucunda gereksiz yere akaryakıt, malzeme ve ilave amortisman maliyetleri oluşmaktadır.

Gemilerin dizel jeneratörlerini kullanmayıp sahilden beslenmeleri durumunda ise sağlanan elektrik enerjinin problemlili olmasından dolayı öngörülmeven arızalar ve sistemlerde performans düşüklükleri oluşmaktadır.

Sahil elektrik tesislerinde yapılacak olan ölçümler sonucunda gemilere verilmiş olan enerji kalitesindeki problemler tespit edilebilecek ve teşhis konularak çözüme yönelik alternatifler tez içerisinde sunulacaktır. Bahse konu çalışmaların yapılmaması durumunda çözüme yönelik teşhislerin uygulanması mümkün görülmemekle birlikte halihazırda yaşanan sorunların ve aksaklıkların giderilmesi de olanaksızdır.

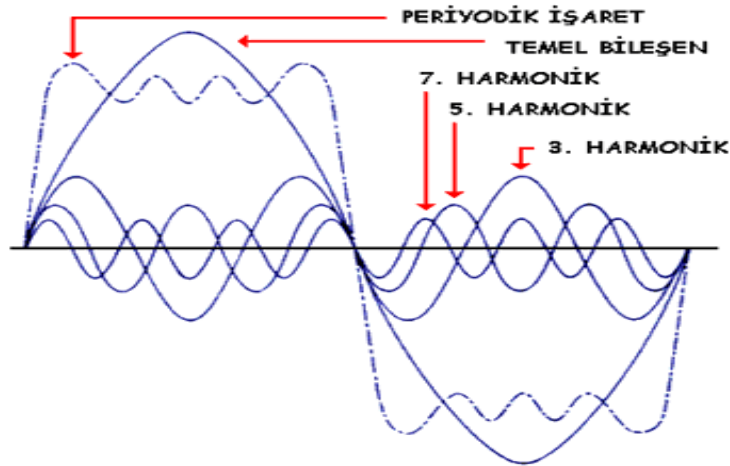
Bu maksatla sahil elektrik tesislerinde enerji kalitesine yönelik parametreler ile ilgili ölçümler alınacak, bu kapsamda elektrik tesisinden dağıtılan 60 Hz ve 50 Hz genlikli elektrik enerjisi ana dağıtım sistemlerinden ve gemilerin beslendiği uç noktalar olan elektrik panellerinden ölçümler alınarak mevcut durumun irdelenmesi sağlanacaktır. Yapılan ölçümler sonucunda ortaya çıkacak muhtemel problemlere yönelik teşhis konularak çözüm önerileri sunulacaktır.

## BÖLÜM 3. GENEL ENERJİ DAĞITIM SİSTEMLERİNDE HARMONİKLER

### 3.1. Matematiksel Kavramlar ve Genel İfadeler

Elektrik sistemlerinde harmoniklerin ortaya çıkması yıllar öncesine dayanır. Harmonikler ilk defa, demiryollarının elektrikli donanımı sırasında alternatif akımın doğru akıma çevriminde kullanılan civalı ark redresörlerinde ve değişken hızlı DC sürücülerde görülmüştür. Teknolojik gelişmeler doğrultusunda elektrik enerjisini yönetecek ve enerji verimliliği sağlayacak donanımın artması sonucunda, harmonik üreten sistemlerin tiplerinde ve sayılarında hızlı artışlar olmuştur.

İdeal bir durumda enerji dağıtım sistemi sinüzoidal bir kaynakla beslenmeli ve doğrusal yüklerle yüklenmelidir. Burada ortaya harmoniklerin irdelenmesi hususu karşımıza çıkmaktadır. Harmonik; Doğrusal olmayan yükler veya gerilim dalga şekli ideal olmayan jeneratörlerden dolayı bozulmaya uğramış bir alternatif akım veya gerilimde ana bileşen frekansının tam katları frekanslarda oluşan sinüzoidal bileşenlerin her biridir [6]. Bu durumu özetleyen grafik Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Temel bileşen ve harmoniklerin oluşturduğu sinüs eğrileri



Belirli bir frekanstaki tüm periyodik dalga şekilleri kendi frekansının katlarındaki sinüs dalgalarının toplamına eşittir. Toplanarak periyodik dalgayı oluşturan sinüs dalgalarının her birine harmonik denilmektedir. Birinci harmonik analizi yapılan periyodik işaretle aynı frekanstadır ve temel bileşen olarak adlandırılır. İkinci harmonik temel bileşenin frekansının iki katıdır. Genel olarak ifade edilecek olursa n. harmoniğin frekansı temel bileşenin frekansının n katıdır. Harmonik katlarına bağlı olarak değişen frekans değerleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Dağıtım sistemi 50 Hz olan bir sistemin bazı harmonik katları

Temel Bileşen ( 1.Harmonik )	50Hz
2.Harmonik	100Hz
3.Harmonik	150Hz
4.Harmonik	200Hz
5.Harmonik	250Hz
6.Harmonik	300Hz

Her yük tipi ayrı bir harmonik oluşturur, darbeli diyot köprüsü bulunan üç fazlı yükler 3, 5, 7, 11, 13,...dereceli harmonikleri akımları çeker.

Tek fazlı yükler; 3, 5, 7, 9, 11,...dereceli harmonikleri üretirler,

Üç fazlı doğrultucular; 5, 7, 11, 13... dereceli yüksek harmonikleri üretirler.

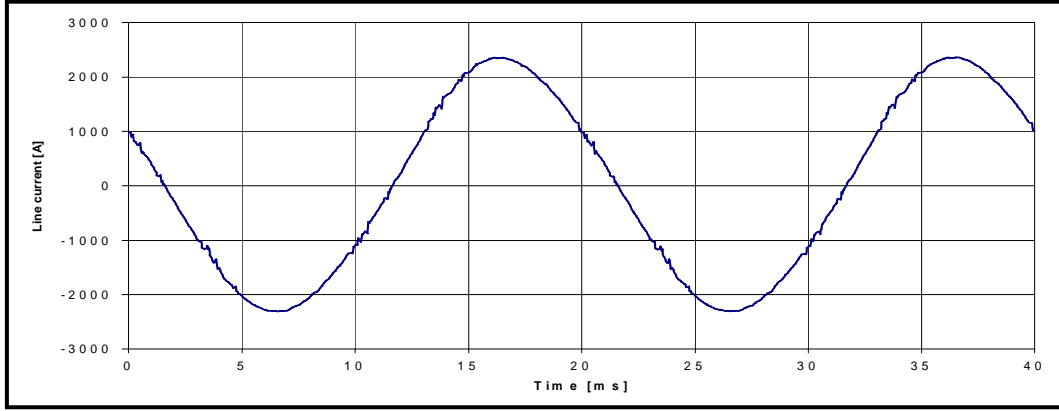
Bu tip temel frekanstan farklı frekans değerlerine sahip akım ve gerilim sinyallerinin elektrik dağıtım sistemlerinde oluşmasına harmonik bozunma adı verilir.

Sinüs şeklinde olan periyodik gerilim ve akım fonksiyonları zamana bağlı olarak sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$v(t) = V\sin(\omega t) \quad (3.1)$$

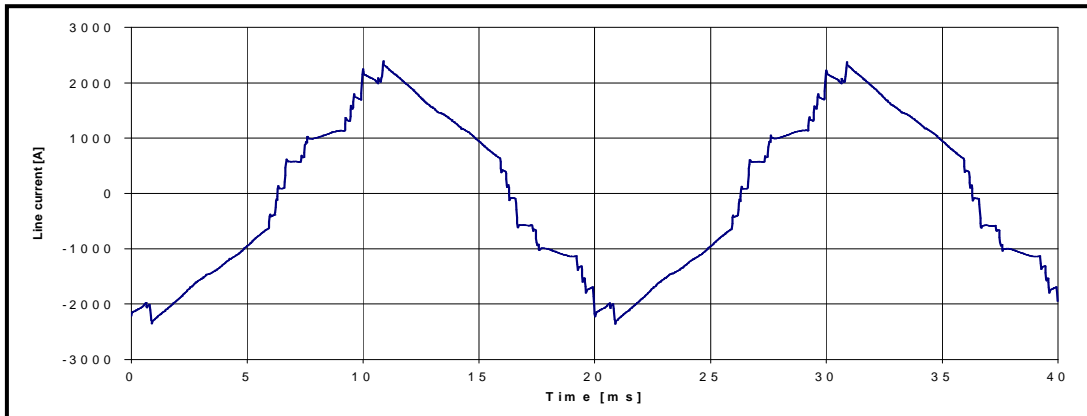
$$i(t) = I\sin(\omega t \pm \varphi) \quad (3.2)$$

Burada  $\omega$ , periyodik dalganın açısal hızı,  $\phi$  ise akım ve gerilim arasındaki faz farkıdır. Denklem 3.1 ve 3.2’de verilen saf sinüs şekilli fonksiyonların oluşturacağı hat akımı aşağıdaki gibi Şekil 3.2’de gösterilebilir.



Şekil 3.2. İdeal fonksiyonunun hat akımı

Bir sistemde harmonik bozunma sonucunda akım veya gerilim bileşenlerinde Şekil 3.3’te görüldüğü üzere farklılıklar oluşur, ancak yapı sinüs eğrisini korumaya çalışır ve periyodik olma özelliğini yitirmese de olması gereken karakteristik durumundan çok uzaklaşır.



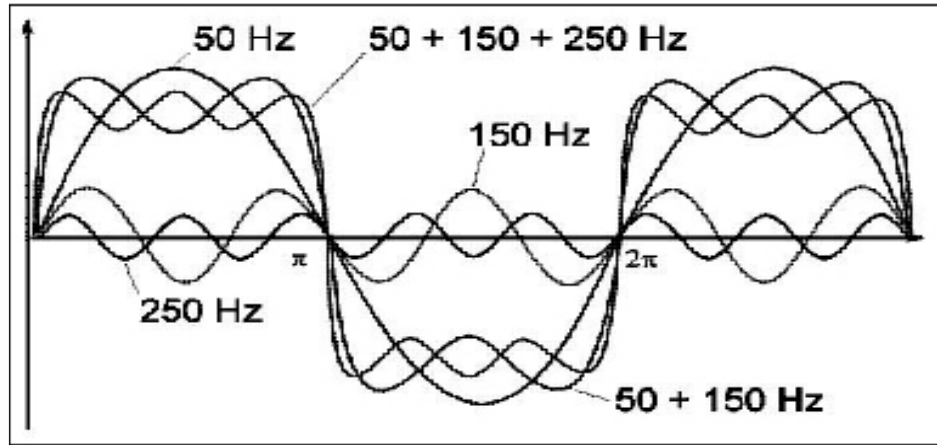
Şekil 3.3. Harmonikli hat akımı

Yukarıda gösterilmiş olan ve ideal sinüs özelliğini yitirmiş olan parametreler denklem 3.1 ve 3.2’de gösterildiği şekilde ifade edilemez. Bunlar yerine Fourier serisi açılımı kullanılır. Fourier açılımına göre, sinüs şekilli olmayan periyodik bir fonksiyon ayrı ayrı sinüs fonksiyonlarının toplamı olarak ifade edilebilir. Bu nedenle

harmonik problemlerin çözümlenmesinde fourier serisi açılımı kullanılır ve bu şekilde tüm harmonik bileşenler münferit olarak analiz edilmiş olur [7].

$$v(t) = V_0 + V_1 \sin(\omega t) + V_2 \sin(2\omega t) + V_3 \sin(3\omega t) + \dots + V_n \sin(n\omega t) \dots \quad (3.3)$$

Denklem 3.3' te  $V_0$ , DC bileşeni ve  $V_1 \sin(\omega t)$ ,  $V_2 \sin(2\omega t)$ ,  $\dots V_n \sin(n\omega t)$  ise denklemde birbirini izleyen bileşenlerin tepe değerleridir. Bu ifadeler periyodik dalganın harmonik değerleridir. Temel bileşenin frekansı  $f$  ise, ikinci harmonik bileşeni  $2f$  olur. Tablo 3.1'de gösterildiği üzere temel bileşen frekansı 50 Hz olurken ikinci harmoniğin frekansı 100 Hz olur, bu duruma göre temel bileşen bir tam periyot yaparken ikinci harmonik iki tam periyot yapmış olur.



Şekil 3.4. Sinüsoidal olmayan bir dalga ve onu oluşturan bileşenler

Şekil 3.4' te gösterildiği üzere temel bileşen ve diğer harmoniklerin oluşturduğu dalga şeklindeki bozulma ve ideal durumdan dalga formunun uzaklaşması görülebilmektedir.

Fourier serisi açılımı ile elde edilen 3.3 denklemindeki ifade bileşenlerine ayrılarak yazılması durumunda:

$$v(t) = V_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega t + b_k \sin k\omega t) \quad (3.4)$$

Yukarıda görüleceği üzere denklem 3.4'de verilen  $a_k$  ve  $b_k$  katsayıları her bir harmonik frekansın tepe değerini ifade etmektedir. Burada  $k = 1, 2, 3, \dots, n$  olmak üzere tepe değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır [5]:

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(t) \cos(kt) dt \quad (3.5)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{+\pi} f(t) \sin(kt) dt \quad (3.6)$$

Bununla birlikte harmoniklerde görülen başka bir bileşende distorsiyondur. Toplam harmonik distorsiyonu kısaca dalga şeklindeki bozulma olarak ifade edilebilir.

Bu kavram harmonik içeren bir dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga şeklinden sapmasını belirlemek için kullanılır. Harmonik distorsiyonun gerilim ve akım bileşenleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (3.7)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (3.8)$$

Görüldüğü üzere THD (Toplam Harmonik Distorsiyon) akım veya gerilimdeki harmoniklerin etkin değerlerinin karelerinin toplamının karekökünün, ana bileşenin etkin değerine oranı olan ve dalga şeklindeki bozulmayı ifade eden büyüklüktür [6].

Harmonikleri belirlemek için genel olarak iki yöntem kullanılır. Birincisi temel frekansın harmonik bozunumunu % 100 olarak kabul eden IEEE standardı, ikincisi ise dalga şeklinin toplam etkin değerini dikkate alan IEC standartıdır. Her iki yaklaşımda doğrudur [7].

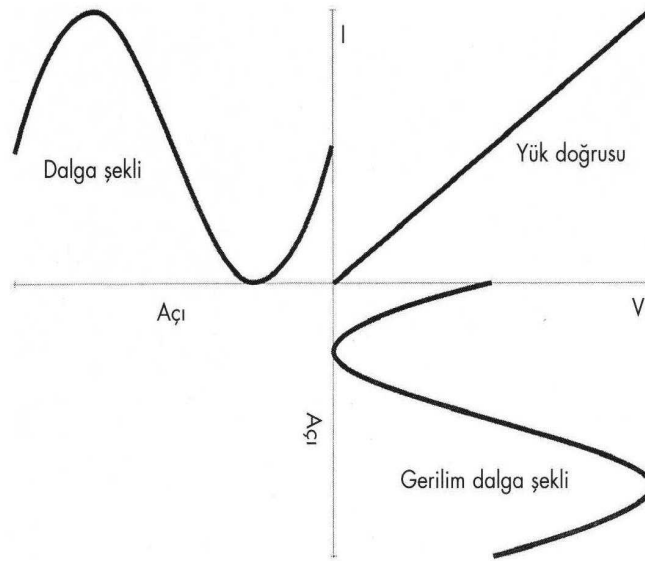
Harmonikler akım harmonikleri olarak oluşur ve olumsuzlukların çoğu da bu akımların etkisi ile ortaya çıkmaktadır; bu nedenle, enerji tesislerinde harmonikler söz konusu edildiğinde akım harmonikleri anlaşılmalıdır. Akım harmonikleri spektrumu hakkında bilgi edinmeden doğru sonuçlara ulaşmak mümkün değildir. Bir dağıtım sistemine yayılan harmonik akımlar, bu akımların taşınması ile ilgisi olmayan alt devrelerde gerilim harmonikleri olarak görünürler. Ölçülen gerilim ve akım değerlerinin ayrı ayrı net bir şekilde tanımlanarak kullanılması son derece önemlidir, akım sapması ölçümleri %THD<sub>i</sub>, gerilim sapması ölçümleri de %THD<sub>v</sub> şeklinde ifade edilmektedir.

Dağıtım şebekelerinde çift sayılı harmoniklere pek rastlanmaz genellikle tek sayılı harmonikler görülür, bunun sebebi bir gerilim veya akımın pozitif ve negatif kısımlarının benzer olması ve eksene göre simetri mevcut olmasındandır. Bazı özel durumlarda tam sayı olmayan ondalıklı harmonikler üretilir, bunlara indüksiyon ocakları, ark ocakları ve kaynak makineleri örnek gösterilebilir.

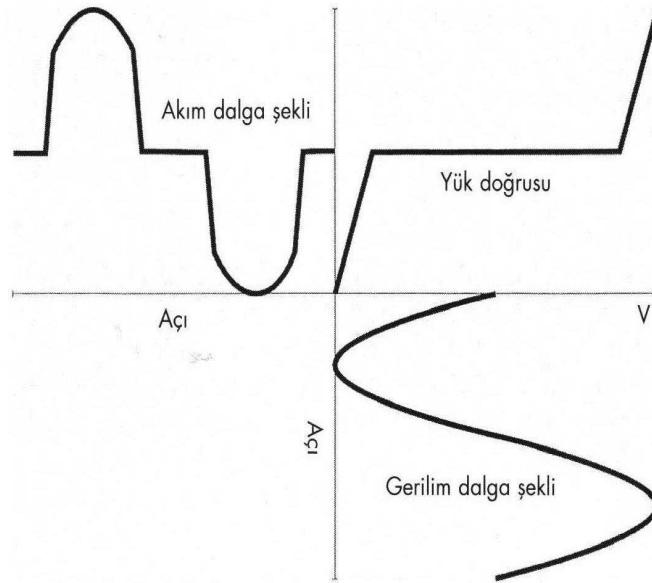
### 3.2. Harmoniklerin Oluşması

Harmoniklerin gelişen teknoloji ile birlikte güncel hayatta ve endüstriyel tesislerde yarı iletken elemanların kullanılmasının artması ile birlikte boyutu ve etkileri artmıştır.

İdeal bir sistemde akım ve gerilim dalgaları sinüs eğrisi şeklindedir. Uygulamada, tatbik edilen gerilim ile devredeki akım ilişkisi doğrusal olmadığı zaman sinüs eğrisi şekline uymayan akımlar oluşur. Sadece doğrusal devre elemanlarının direnç, endüktans ve kapasite yer aldığı basit bir devreden geçen akım ile tatbik edilen gerilim arasında belli bir oran vardır. Dolayısıyla, tatbik edilen gerilim sinüs eğrisi şeklinde ise, Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, devreden sinüs eğrisi şeklinde bir akım geçecektir. Tatbik edilen gerilim ile meydana gelen akım arasındaki ilişki yük doğrusu şeklindedir ve Şekil 3.5'te doğrusal yük olarak görülmektedir. Görülebileceği gibi reaktif eleman içeren bir devrede gerilim ve akım dalga şekilleri arasında bir faz kayması olur, güç faktörü düşer, fakat devre doğrusal olarak kalır [8].



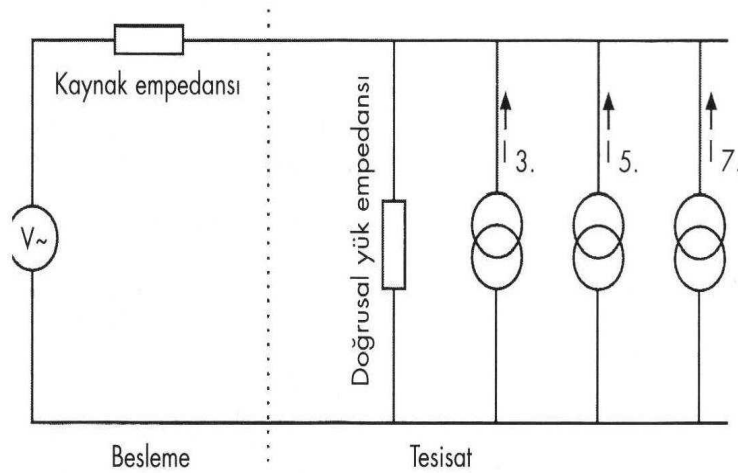
Şekil 3.5. Doğrusal bir yükte akım dalga şekli



Şekil 3.6. Doğrusal olmayan bir yükte akım dalga şekli

Şekil 3.6'da, tipik bir anahtarlanabilir güç kaynağının giriş aşamasına benzer şekilde, yükün basit bir tam dalga redresör ve kapasitör olduğu durum görülmektedir.

Bu durumda; sadece, tatbik edilen gerilim, kapasite bataryasındaki gerilimin üzerine çıktığı zaman devreden akım geçer, diğer bir ifade ile şekilde görüldüğü gibi gerilim, sinüs eğrisinin tepe noktasına yakın olduğunda akım geçmeye başlayacaktır [8].



Şekil 3.7. Doğrusal olmayan yük eşdeğer devresi

Doğrusal olmayan yüke ait eşdeğer bir devre yukarıda Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Her bir harmonik frekans için bir akım kaynağı olacak şekilde çok sayıda akım kaynakları ile yük paralel bağlanarak lineer bir yük devresi modeli oluşturulabilir [8].

Yükten kaynaklanan harmonik akımları ve yük tarafından kaynaklanan harmonik akımları kaynak empedansı ve tüm paralel bağlantılardan geçerek devrenin her tarafında dolaşırlar. Neticede, besleme empedansında ve tesisatın her tarafında harmonik gerilimler ortaya çıkar.

Kaynak empedansları çok düşük olduğu için harmonik akımın yol açtığı harmonik gerilim bozulması da az olur ve ender durumlarda tesisatın değerine çıkar. Elbette bu durum sistemde üreticiden kaynaklanan harmoniklerin olmadığı gibi algılanmamalıdır.

Elektrik dağıtım sisteminin harmonik bileşenlerinin ortaya konması ve analizinin yapılabilmesi için sistemdeki harmonik kaynakları üç genel gruba ayrılabilir [9]:

1. Sisteme dağılmış çok sayıda küçük güçlü doğrusal olmayan elemanlar,
2. Büyük güçlü, karakteristiği sürekli ancak düzensiz olarak değişen doğrusal olmayan yükler,

3. Büyük güçlü, statik konvertörler ve enerji sistemlerindeki güç elektroniği devreleri.

Yukarıda bahsedilen harmonik kaynaklarından ikinci grup hariç diğerleri gemilerde fazlasıyla yer almaktadır. Birinci gruptaki harmonik kaynakları, çoğu alçak gerilim elektronik cihazların (televizyon, bilgisayar, komuta kontrol cihazları vb.) besleme kaynağını sağlayan ve alternatif akımı doğrultan köprü diyotlu doğrultuculardır.

Gemilerde gazın deşarjı prensibiyle çalışan armatürler çok yoğun kullanılmamakla birlikte bazı mahallerde uygulamaları mevcuttur. Bu tip armatürlerde toplam harmonik bozunumun artmasına sebep olmaktadır.

Gemilerde farklı gerilim karakteristikleri için kullanılan statik frekans konvertörleri ile KKG (Kesintisiz Güç Kaynakları) üçüncü grupta yer almaktadır. Bu cihazlar çalışma esnasında yoğun yarı iletken elemanlarından dolayı şebekede harmonik oluştururlar.

Genel olarak elektrik dağıtım sistemlerinde harmoniklere sebep olan ve doğrusal olmayan elemanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Bilgisayar sistemleri, kontrol devreleri, komuta kontrol sistemleri, kesintisiz güç kaynakları, elektronik balastlar ve bunları oluşturan yarı iletken elemanların kullanıldığı elektronik devreler,
2. Gaz deşarjı prensibiyle çalışan armatürler,
3. Ark fırınları, kaynak makineleri, indüksiyon ocakları,
4. Demir çekirdeği olan jeneratör, motor, transformatör gibi ekipmanlar,
5. Anahtarlama büyük yada küçük çaplı güç kaynakları.

Bu ekipmanlardan askeri gemilerde kullanılan başlıca ekipmanlar aşağıda anlatılacaktır.



### 3.2.1. Statik frekans konvertörleri

Askeri gemilerdeki başlıca kullanılan ekipmanlardan biridir, genel olarak çeşitli şebeke frekansına ihtiyaç duyan sistemlerde kullanılırlar. Şebekeden çekilen 60 Hz bir gerilim değerini veya gemi dizel jeneratörlerinde üretilen 60 Hz genlikli elektrik enerjisini 400 Hz olarak kullanmak yada, şebekeden çekilen veya gemi dizel jeneratörlerinde üretilen 50 Hz genlikli elektrik enerjisini 60 Hz veya 400 Hz olarak tüketiciye dönüştürmek amacıyla kullanılırlar (Şekil 3.8).

Yabancı menşeli gemilerde 60 Hz gerilim kullanımı yaygındır. Yerli olarak üretilen askeri veya sivil gemiler genelde 50 Hz genlikli elektrik enerjisi üzerine kurulu bir sistem şeklinde dizayn edilmiştir.

Daha önceki yıllarda dizayn edilen gemilerde dinamik frekans konvertörleri kullanılmıştır, motor-jeneratör konvertörler günümüzde kullanılan statik frekans konvertörlerinden enerji kalitesine yaptıkları etkilerden dolayı daha elverişlidir çünkü içlerinde yarı iletken elemanlar kullanılmamaktadır. Ancak bu tip konvertörlerde de verimin daha düşük ve bakım/onarım maliyetlerinin yüksek olması gibi dezavantajlar ile imalat maliyetlerinin yüksek olması hususları bulunmaktadır.

Günümüzde artık askeri ve ticari gemilerde statik frekans konvertörleri tercih edilmektedir. Gemilerde konvertörler genelde üç fazlı seçilmektedir, çünkü üç fazlı sistemlerde en azından 3 ve 3'ün katı harmonikler bulunmamaktadır. Üç fazlı konvertörler, konvertör trafosunun primer tarafından, şebekeden çekilen akımın dalga şeklinin içerdiği darbe sayısı ile tanınır. Genel olarak konvertörlerin ürettikleri harmonik bileşenler  $n = k.p \pm 1$  ile ifade edilir. Burada k bir tamsayıyı p ise darbe sayısını belirlemektedir. Konvertörün darbe sayısı arttıkça düşük dereceli harmonik bileşenlerin ortaya çıkması önlenir.

Mevcut durumda askeri ve ticari gemilerde her iki konvertör tipide kullanılmaktadır. Tez içerisinde incelenecek olan limandaki sahil elektrik tesislerine ait konvertörler de dinamik tip frekans konvertörleridir, bu tip seçilmesinin sebebi yüksek güçlü olmaları ve ani yüklenmelere daha iyi cevap vermeleridir.



Şekil 3.8. Gemi tipi bir 60/400 Hz statik frekans konvertörü

### 3.2.2. Transformatörler

Transformatörler gemilerde genel olarak 3 faz 380 V 50 Hz veya 3 faz 440 V 60 Hz elektrik sistemlerinden çeşitli gerilim kademeleri elde etmek veya kara tesislerinde kullanılan ev tipi cihazların 220 V 50 Hz besleme ile çalıştırılabilmesi için kullanılmaktadır. Bununla birlikte çeşitli küçük güçlerde gerilim kademeleri için transformatörler kullanılmaktadır (Şekil 3.9).

Transformatörler bobin ve demir nüveden imal edildiklerinden mıknatıslanma karakteristikleri lineer değildir. Bunun sebebi manyetik devrede oluşan doymadan dolayı geçen akım ile oluşan akı arasında lineer bir bağıntı bulunmamasıdır [10].

Doyma sebebiyle akım ne kadar artarsa artsın akı artmayacak bunun sonucunda ise

söz konusu harmonik bozunma meydana gelecek ve sistemde dolaşmaya başlayacaktır.

Askeri gemilerde izolasyon sınıfı yüksek, kuru tip ve üçgen bağlı transformatörler kullanılmaktadır. Bazı sistemlerde izolasyon amaçlı trafolar da tercih edilmektedir.



Şekil 3.9. Gemi tipi bir transformatör resmi

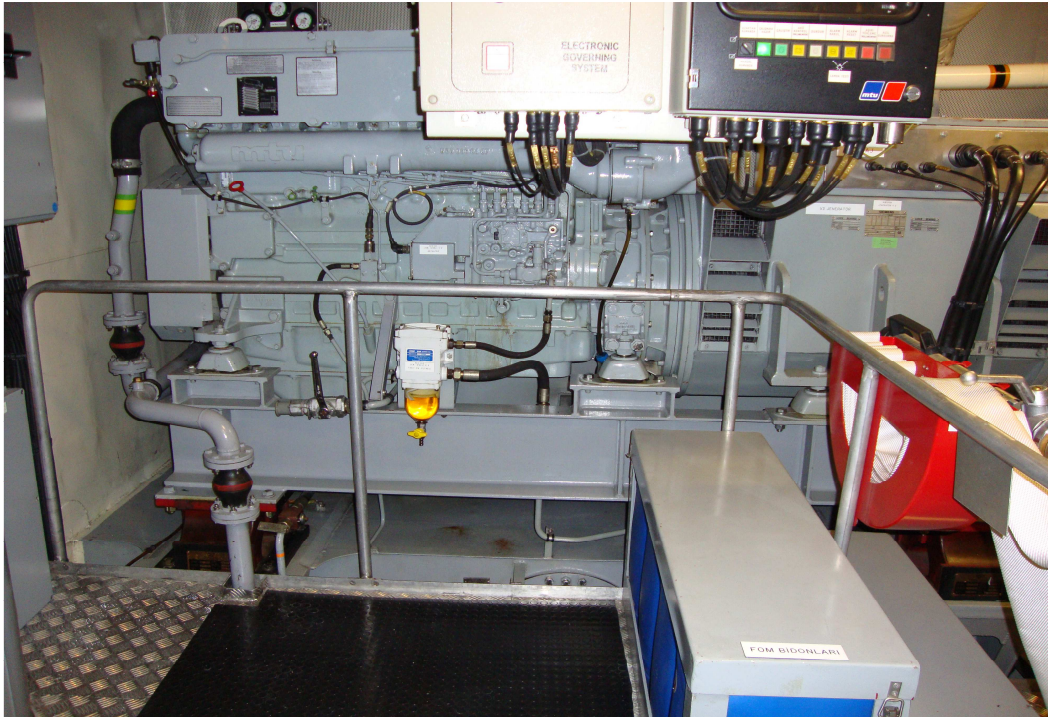
### 3.2.3. Jeneratörler

Gemilerin ana enerji kaynağı jeneratörlerdir, seyir esnasında veya sahil enerjisinin kesintiye uğraması durumunda geminin dizel jeneratörleri kullanılmaktadır. Söz konusu dizel jeneratörler senkron alternötürlü makinelerdir. Gemi sahile bağlı durumdayken sahil kablosu aracılığıyla sahil elektrik tesislerinden beslenir (Şekil 3.10).

Senkron jeneratörlerde gemiyi beslediği durumlarda harmonik üretirler bunu önlemek için dizayn aşamasında oluk şekli, sargı yapısı, uyarma sargısı ve kutuplar gibi kısımlarda uygun yapısal tedbirler alınır ve jeneratör amortisman sargısı ile donatılır

ve ilave olarak bu durumlarda askeri gemilerde sözkonusu olumsuzluğu gidermek için pasif filtreler kullanılır.

Gemiler olağan durumlarda sahilden beslenmeleri gerekir onları besleyen elektrik makineleri de dönen makineler olduklarından, makine hızının ve endüvi oluk sayısının fonksiyonu olan harmonikleri üretirler. Bu tip olumsuz durumlarda gemiler sahilden beslenmek yerine dizel jeneratörlerini devreye almayı tercih etmektedirler.



Şekil 3.10. Gemi tipi bir dizel jeneratör resmi

### 3.2.4. Bilgisayar sistemleri

Gemilerin komuta kontrol ve makine kontrol konsolları ile çeşitli birimlerinde bilgisayar sistemleri ve bilgisayarlar fazlasıyla kullanılmaktadır (Şekil 3.11). Bu sistemler genelde endüstriyel ürünler olup bunun dışında ofis amaçlı kullanılan bilgisayarlarda bulunmaktadır.

Bilgisayar sistemlerinde yarı iletken elamanlar kullanıldığından harmonik bozunma sözkonusu olmaktadır. Bu tür yükler sistemdeki bozucu etkenlerden etkilenmekle kalmayıp aynı zamanda kendi başlarına birer bozucu etki kaynağıdır.



Şekil 3.11. Gemi tipi bir makine kontrol konsolu resmi

### 3.2.5. Kesintisiz güç kaynakları

Askeri ve ticari gemilerin tümünde neredeyse KGK kullanılmaktadır. Bu cihazların tesis edilmesinin sebebi acil bir durumda beslenmesi gereken sistemlerin enerjisiz kalmasını önlemektir. Özellikle askeri gemilerde genel bir ana KGK yerine müstakil çeşitli güç ve karakteristiklerde KGK' ları tercih edilmektedir (Şekil 3.12).

Bu tip cihazlar aynı statik frekans konvertörlerinde olduğu gibi ciddi harmonik kaynaklarıdır. Bunlarda yine askeri gemilerde 3 fazlı ve nötrsüz olarak kullanılmaktadır.



Şekil 3.12. Gemi tipi bir kesintisiz güç kaynağı resmi

### 3.2.6. Redresörler

Akü şarj etmeye yarayan ve DC güç sağlayan cihazlara redresör denir. Sabit voltaj ve sabit akım prensibine göre çalışan modelleri özellikle tercih edilmektedir. Gelişmiş bir redresör cihazı ile çıkış gerilimi, çıkış akımı, hızlı şarj gerilimi, hızlı şarj zamanı ayarlanabilmektedir (Şekil 3.13).

Aşırı ısı, kısa devre ve aşırı gerilim korumalarının olması redresör güvenliği açısından önemlidir. Bu yüzden askeri gemilerde mikroişlemci kontrollü redresörler tercih edilmelidir. Redresörlerin kapasiteleri çıkış akımlarına göre belirlenir, askeri gemilerde geminin boyutlarına ve sınıfına göre 20 A ile 100 A arasında çıkış kapasiteli olan tipleri kullanılmaktadır.

Redresörler yaygın olarak gemilerde enerji yedeklemesi, güvenlik ve acil aydınlatma sistemlerinde aküler ile birlikte kullanılır. Askeri gemilerde emercensi besleme sistemi 24 V DC olarak tesis edilmektedir. Redresörler geminin DC voltaj ihtiyacını karşılarken aynı zamanda acil bir durumda kullanılacak olan akü gruplarını şarj etmektedir.

Redresörlerde yukarıda bahsedilen diğer ekipmanlar gibi harmonik bozunumu artırıcı etki göstermektedir.



Şekil 3.13. Gemi tipi bir kesintisiz redresör ve akü grubu resmi

### 3.3. Harmonik Akımların Neden Olduğu Problemler

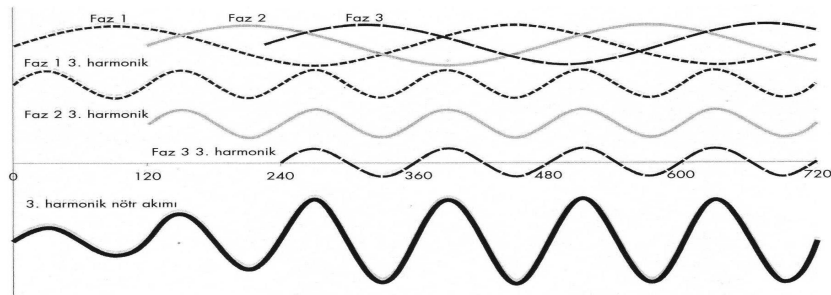
Harmonik akımlar besleme sisteminde ve tesisatta problemler yaratır. Etkiler ve çözümler farklı olmakla birlikte her iki durumda da problemin çözülmesi gerekir.

Bu hususlardan gemilerde ve sahil elektrik tesislerinde yaşanan etkiler ve tipleri aşağıda sunulmuş olup, gemilerde yaşanan problemlerde kara tesislerinde yaşanan durumlar ile aynıdır farklı olan hususlarda ise yaşanan etkiler ayrıca belirtilmiştir.

#### 3.3.1. Nötr iletkeni üzerindeki etkileri

Üç fazlı bir sistemde gerilim dalga şekli her bir fazdan nötr yıldız noktasına  $120^\circ$ lik açı değişimi yapar ve her faz eşit olarak yüklendiğinde nötrdeki akım bileşkesi sıfır olur. Fazlar dengeli olarak yüklenmediği takdirde nötrden sadece denge dışı kadar net akım geçer. Ancak, şebeke akımlarının birbirini dengelemesine rağmen harmonik akımlar birbirini dengelememekte ve hatta temel harmoniğin üç katının tek sayılı çarpanları olan harmonik akımlar 'üçlü-N' harmonikleri halinde nötrde birleşmektedir.

Bu etki Şekil 3.14' de görülmektedir. Diyagramın üst kısmındaki faz akımlarının aralıkları  $120^\circ$ 'dir. Her fazın üçüncü harmoniği, frekansın üç katı ve bir periyodun üçte biri olacak şekilde birbirinin benzeridir. Etkin olan üçüncü harmonik nötr akımı diyagramın en altında gösterilmiştir. Bu durumda, her fazdaki %70 üçüncü harmonik akım nötrde %210 şeklinde bir akım olarak sonuçlanmaktadır ve nötr hattında aşırı ısınmalar sebep olmaktadır.



Şekil 3.14. Nötrde birleşen üçlü N akımları

Gemilerdeki durum biraz daha farklıdır gemilerde iki tip tesisat tercih edilmektedir. Bir kısım gemilerde nötr iletkeni kullanılmakta bazı gemilerde ise tercih edilmemektedir. Nötr hattı kullanılan gemilerde tesisat kara tesislerinde olduğu gibidir, kullanılan gerilime göre faz ile birlikte nötr hattı taşınmaktadır. Ancak diğer, özellikle askeri gemi uygulamalarında dizayn olarak nötr hattı yoktur, gemi sahilden beslenirken 3 faz nötrsüz beslenir, seyir durumunda ise beslendiği dizel jeneratörlerin yıldız noktası kullanılmadığından nötr taşınmaz. Nötr yerine 1 fazlı sistemlerde faz-faz besleme taşınır ve cihaz ekipmanlar o şekilde beslenir. Bu dizayn şekliyle Şekil 3.13'de gösterilen bahse konu harmonik etkininde önüne geçilmiş olur.

### **3.3.2. Transformatörler üzerindeki etkileri**

Transformatörlerde harmoniklerden etkilenir bu etkilenmelerden birincisi, girdap akımı kayıplarıdır, normal olarak tam yükte %10 olan kayıplar harmonik numarasının karesi ile orantılı olarak artar. Transformatörlerde meydana gelen bu harmonikler ekipmanda yüksek çalışma sıcaklığı ve daha kısa bir ömür sonuçlarını doğurmaktadır.

### **3.3.3. Devre kesiciler üzerindeki etkileri**

Mıknatısiyet etkili çalışan akım devre kesicileri faz ve nötr iletkenlerdeki akımları toplayarak sonucun anma değerinin üzerine çıkması halinde harekete geçerek gücü yükten ayırırlar. Harmoniklerin mevcut olduğu sistemlerde istenilmeyen devre açılmaları iki nedenden kaynaklanır. Birincisi; elektromekanik olarak çalışan bir RCCB cihazında yüksek frekanslı bileşenlerin hatalı toplanması halinde cihaz devreyi kesebilir. İkincisi; harmonik üreten bir cihaz aynı zamanda gürültü üretir ve bu sesin cihazın güç kaynağı ile bağlantı noktasında filtre edilmesi gerekir, söz konusu cihazın başka bir devreye bağlı olması halinde kaçak akım miktarı yeterli düzeye çıkması sonucunda şalteri açabilir.

Gemilerde bu tip istenilmeyen açılmaların etkilerinin ciddi problemler yaratmaması için hayati cihazların hepsi yedekli olarak beslenmektedir. Sistemler her bir panonun şalterini yedeği olan diğer bir pano şalteri ile yedeklenmesi şeklinde dizayn edilir. Bu şekilde dizayn edilen sistemlere ABT ismi verilir.



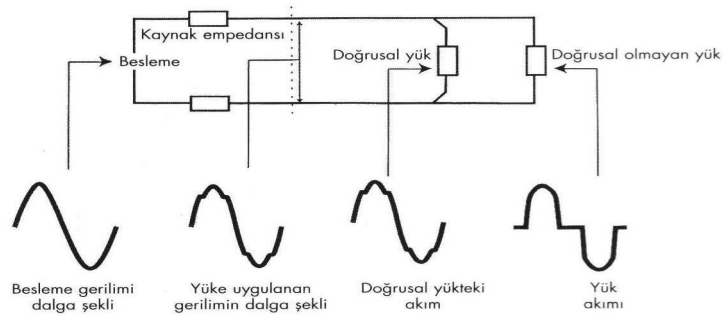
### 3.3.4. Deri olayı

Alternatif akım, iletkenlerin dış yüzeyinden geçme eğilimindedir. Yüzeysel olarak bilinen bu özellik yüksek frekanslarda daha belirgin olarak kendini gösterir. Güç besleme frekanslarında yüzeysel etkisi çok zayıf olduğundan normal olarak ihmal edilmektedir, fakat frekans yaklaşık 350 Hz üzerine çıktığında (yedinci harmonik ve üstü) önemli olmaya başlar, daha fazla kayıp ve ısınmaya neden olur [8].

Askeri gemilerde bu tip harmonik etkilere silah ve atış kontrol sistemlerinde rastlanabilir. Bunun sebebi bu sistemlerde elektrik beslemesi olarak 115 V 400 Hz veya 440 V 400 Hz kullanılmasıdır. Tüm askeri gemilerde bu gerilim karakteristiği silah sistemleri için standart olarak uygulanır. Dolayısıyla çalışılan frekans değeri yüksek olduğunda söz konusu etki görülebilmektedir. Özellikle tüm askeri gemi kablolarında ekranlama yapılır.

### 3.3.5. Doğrusal yükler üzerindeki etkileri

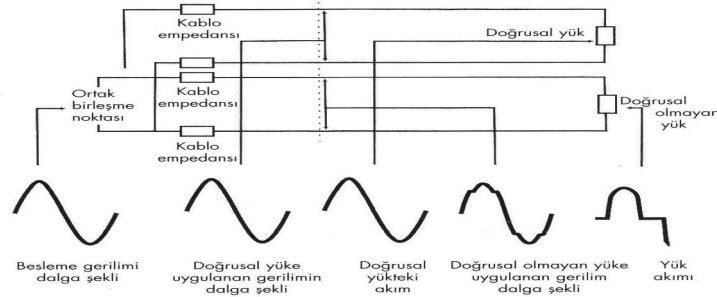
Bir besleme sisteminde harmonik akım üreten/çeken ve harmonik etkisi olmayan yükler aynı devre üzerinde olabilir. Sistemde üzerinde bulunan doğrusal ve doğrusal olmayan yükler doğal olarak aynı kaynak empedansına sahip olduklarından birbirlerini etkilemeleri kaçınılmazdır. Doğrusal olmayan bir yükün tüm devre üzerindeki etkisi aşağıda Şekil 3.15'te gösterilmektedir.



Şekil 3.15. Doğrusal olmayan yükün neden olduğu gerilim bozulması

Doğrusal olmayan yükün çektiği bozulmuş akım, kablo empedansında bozulmuş bir gerilim düşümü meydana getirir. Ortaya çıkan bozulmuş gerilim dalga şekli aynı

devreye bağlı doğrusal olanlar dahil diğer yüklerin hepsine yayılmakta ve tüm sistemde harmonik akımların dolaşmasına neden olmaktadır.



Şekil 3.16. Doğrusal ve doğrusal olmayan yüklerin ayrımı

Çözüm için, yukarıda Şekil 3.16'da gösterildiği gibi, harmonik üreten yükleri besleyen devrelerin, harmoniklere karşı hassas olan yüklerin beslendiği devrelerden ayrılması gerekir. Burada, ortak birleşme noktasından gelen ayrı ayrı devreler doğrusal ve doğrusal olmayan yükleri beslemekte, dolayısıyla doğrusal olmayan yükün yol açtığı gerilim bozulması doğrusal yük devresini etkilememektedir. Bu husus özellikle askeri gemilerde uygulanmaktadır, zaruri bir durum olmadıkça yük dağılımı gerçekleştirilirken tüm sistemler kendi içerisinde gruplandırılır.

### 3.3.6. Elektrik motorları üzerindeki etkileri

Elektrik motorlarında harmonik gerilim bozulması, transformatörlerde olduğu gibi girdap akım kayıplarının yükselmesine neden olur. Ayrıca, statorda oluşan harmonik alanlar ilave kayıpların meydana gelmesine yol açar ve bu alanların her biri motoru ileri veya geri farklı hızda dönmeye zorlar. Bu husus özellikle gemilerde sorunu giderilemeyen motor ısınmalarına ve zorlanmalarına sebep olur.

### 3.3.7. Besleme devreleri üzerindeki etkileri

Besleme devresinden harmonik akım çekilmesi halinde akım ve kaynak empedansı ile orantılı olarak ortak birleşme noktasında harmonik gerilim düşümünde bir artış meydana gelir. Ayrıca çekilecek olan harmonik akım ile besleme devreleri gereksiz olarak yüklenir. Tam tersi durumda besleme devrelerine harmonik akım gönderilmesi

durumunda ise hem diğer tüketiciler bu durumdan etkilenmekte hemde şebekede kirlilik olarak tabir edilen enerji kalitesi problemleri oluşmaktadır.

Gemilerde bu tip harmonik oluşturacak ekipmanlar fazlasıyla kullanıldığından sahil elektrik tesisleri bu durumdan etkilenmektedir. Bir gemi üzerinde aynı jeneratör üzerinden beslenen kullanıcıların sistemi kirletmelerine ve birbirlerine zarar verecek etki yaratmaları uygun değildir. Bu tip etkileri yaratacak olan elamanların gemiler üzerinde fazlasıyla kullanılması nedeniyle ortaya çıkan tabloda tüm yüklerin etkilenmesi sözkonusu olur.

## **BÖLÜM 4. GEMİLERİN ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİĞİ**

### **4.1. Genel Olarak Gemi Elektrik Sistemleri**

Gemilerde kullanılan elektrik makineleri ve tesisat malzemesi ikinci dünya savaşına kadar karada kullanılanlardan pek farklı değildi. Küçük kapasiteli, düşük gerilimli basit doğru akım jeneratörleri, ilkel telsiz-telgraf cihazlarından yararlanmak için kullanılırdı. İkinci dünya savaşından bu yana elektriğin gemilerde önemli bir yer alması ve gittikçe kullanımının yaygınlaşması, tüketimde ve buna paralel olarak da kullanılan makinelerin güçlerinde artışa sebep olmuştur. Bununla birlikte kara koşullarından daha ağır olan deniz koşullarına dayanıklı makineler ve malzemelerin kullanılması zorunlu hale gelmiştir [11].

Günümüzün aksine geçmiş dönemlerde gemilerde pompa, vinç, yardımcı makineler, ana tahrik sistemleri genel olarak buhar gücü ile çalıştırılırlardı, şu anda ise tüm sistemler neredeyse elektrik enerjisi ile beslenmektedir. Örnek olarak gemilerdeki modern haberleşme sistemleri (telsiz, uydu haberleşme sistemleri), seyir cihazları (radar, cayro pusula) personelin yaşam mahallerindeki iklimlendirme sistemleri, soğuk hava depoları otomasyon ve uzaktan kumanda sistemler vb. elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadırlar.

Harp gemilerinde sivil gemilerin kullandığı elektrikli cihazlara ek olarak top kumanda sistemleri, atış kontrol sistemleri, çeşitli silahlara ait lançerler ve sensörler vb. eklenmektedir [12]. Modern bir fırkateyne ait resim Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Askeri gemi olan fırkateynlere ait bir resim

Gemilerin elektrik sistemlerini nem ve tuzlu su yıpratmaktadır. Ayrıca gemilerde seyir halindeyken zaman zaman ciddi titreşimler meydana gelmektedir. Gemiler, çeşitli denizlerde seyir yapmalarından dolayı çeşitli sıcaklık etkileri ile de karşı karşıyadırlar. Bu tip olumsuz etkilerden korunmak için kara tesislerine nazaran kullanılan materyal daha özenli seçilmekte ve deniz şartlarına uygun malzemeler ile gemiler donatılmaktadır.

Gemilerde kullanılan tüm malzeme ve ekipmanlar özenle seçilmektedir. Bu seçimler yapılırken teknolojinin güncel ürünleri tercih edilmektedir. Malzemenin seçimi ile birlikte harp gemileri ve ticari gemilerin dizayn projelerinde yedeklenebilirlik ile güvenlik özellikle dikkate alınmaktadır.

Bu dizayn çalışmalarının yanında gemi çalışma şartlarının kullanılacak olan malzemeler açısından zor olmasından dolayı seçilen ürünlerin gemi şartlarına uygun olması önem arz etmektedir. Bu zorlu çalışma koşulları gemilerin kuvvetli denizlerde trim (başa-kıça olan salınım hareketi), yalpa yapmaları (sağ-sola olan salınım hareketi), deniz suyu, korozyon etkileri ve harp gemilerinde ayrıca yaşanması olası olan savaşta alınabilecek isabetler neticesi oluşacak patlamalardan meydana gelen şokları şeklinde açıklanabilir.



Şekil 4.2. Gemi tipi bir ana tevzi panosu resmi

Yukarı bahsedilen sebeplerden dolayı gemilerde kullanılan elektrik makinelerinin karada tesislerinde kullanılanlara göre daha dayanıklı imal edilmeleri gerekmektedir. Bu imalatlara örnek olarak Şekil 4.2’de bir gemi tipi pano gösterilmektedir.

Gemilerde liman dışında sahilden beslenmediği dönemlerde geminin elektrik enerjisini üreten jeneratörlere yardımcı makineler denmektedir (Şekil 4.3). Bu makineler standart bir dizel jeneratör grubundan farklı olarak deniz şartlarında problemsiz çalışabilmesi için şok emiciler ile donatılırlar. Bu tip şok emici lastik takoz veya çelik yaylar tüm cihaz ve ekipmanlarda kullanılmaktadır, sadece malzemenin boyutuna ve tipine göre farklılık gösterebilmektedir. Bu şok emiciler kullanılmaz ise ana makine ve pervanelerin meydana getirdiği titreşimler ve deniz şartlarından dolayı, devre kesicilerinde (şalterler, kontaktörler), sigorta buşonlarında, hatta duylardaki ampullerde gevşeme ve panolar içerisinde kullanılan elektronik kartlarda arızalar meydana gelebilir [12].



Şekil 4.3. Gemi tipi bir dizel jeneratör resmi

Yukarıda açıklanan hususlar doğrultusunda gemi dizaynı ve imalatı hassas seçimler ve emek gerektirmektedir. Kullanılacak elektrik makineleri ve tesisat malzemeleri, ilgili standartlara göre tasarlanarak tesis edilmektedir. Bununla birlikte gemi elektrik sisteminin güvenli ve sürekli çalışmasını sağlamak açısından, elektrik sisteminin bakım çalışmaları belli bir periyot çerçevesinde titizlikle ve planlı bir biçimde yapılmalıdır.

Ticari gemilerin yanında harp gemilerinin elektrik enerji sistemleri, kendine has özelliklere sahiptir ve karmaşık bir yapıda olan seyir, haberleşme, silah, harekate yönelik sistem ve algılayıcılar için enerji sağlarlar bu enerji yukarıda Şekil 4.3'te gösterildiği üzere seyir esnasında dizel jeneratörler ile sağlanmaktadır. Bu sistemlerin enerji sağlamalarının yanında gemide bu sistemlerin kumandaları için elektronik ekipmanların ağırlıklı kullanıldığı Şekil 4.4'deki gibi konsollar tesis edilmektedir.



Şekil 4.4. Gemilerde kullanılan bir makine kontrol konsolu resmi

#### 4.1.1. Gemi şartları

Gemilerde kullanılan sistemler ve gemi elektriği kara tesisleri ile kıyaslandığında aralarında önemli farklılıklar bulunmaktadır.

Genel olarak bu farklılıklar;

- Her sistemin ve ekipmanın yedeği olması için çalışılır,
- Gemilerde ana motor, jeneratör, elektrik dağıtım panoları, pompalar, elektrik motorları, kablolama, ve kontrol düzenleri için yer sınırlıdır,
- Kara tesislerinde besleme kaynaklarının kapasiteleri devreye alınan motor kapasitelerine göre genelde büyüktür. Herhangi bir motorun devreye alınması durumunda şebeke voltajında ciddi gerilim düşümü yaşanmaz. Ancak gemide büyük bir motor devreye girerken ana jeneratör gerilimi düşer. Bunu önlemek için jeneratör çıkış geriliminin ani yüklerden aşırı etkilenmemesi ve bu etkinin süresinin çok kısa olması için voltaj regülatör kartları kullanılır,
- Gemilerde elektrik enerji beslemesinin sürekli olması istenir. Özellikle yüksek tonajlı ve dar sularda seyreden ya da bir iskeleye yanaşmak veya kalkmak için manevra yapan bir gemide elektrik enerjisinin kesintiye uğraması gemiyi ve personelini tehlikeye sokar,
- Gemilerde, tüm ana besleme kabloları yedekli ve çift olarak tesis edilir,
- Gemilerde özellikle yüksek izolasyon sınıfı motor ve trafolar tercih edilir,
- Kullanılacak olan bölgeye göre yüksek IP koruma sınıfı cihazlar tercih edilir,
- Askeri gemilerde savaş, haberleşme, kontrol sistem ve sensörlerine ait çok sayıda elektronik yükler mevcuttur. Bu elektronik sistemler enerji kalitesine ve enerji kesilmelerine karşı hassas olup aynı zamanda enerji kalitesini bozmaktadırlar,



- Elektrik sistemi uygulamalarının kara tesislerine nazaran gemilerde daha geç uygulanmasına rağmen yaşanan gelişmeler tam tersi yönde olmuştur,
- Ayrıca gemilerde kullanılan elektrik enerjisi karakter olarak çok fazla çeşitlilik göstermektedir,
- Elektrik hatları gemi tipine göre kategorize edilerek kablolama yapılmaktadır, hazırlanacak olan kablo çekim planlarında bu husus çok önemlidir. Özellikle güç kabloları ile zayıf akım kabloları aynı tavada veya boruda tesis edilmez.

#### **4.1.2. Elektrik dağıtım sistemlerinin tanıtımı**

Gemilerdeki elektrik dağıtım sistemleri, doğru akım elektrik dağıtım sistemleri ve alternatif akım elektrik dağıtım sistemleri olarak iki kısma ayrılabilir [13].

- Gemi bünyesinden dönüşü olmayan 4 iletkenli nötrü topraklı sistem,
- Gemi bünyesinden dönüşlü, nötrü topraklı, 3 iletkenli sistem,
- Gemi bünyesinden izole 2 iletkenli sistem,

#### **4.1.3. Gemilerde alternatif akım tercih sebepleri**

Gemilerin sınırlı bir hacme sahip olması, tonajları ölçüsünde ağırlık kısıtlarının bulunması ve ucuz maliyetin istenmesi gibi etkilerden ötürü mühendisler ağırlık, hacim, fiyat bakımından elverişli olan sistemlerin gemilerdeki uygulamalarını tercih etmektedirler. Bazı özel durumlar haricinde bilhassa büyük güçlerde alternatif akım motorları tesisatı doğru akıma göre daha ucuz, daha hafif, daha az yer kaplaması nedenlerinden ötürü tercih edilen sistem olarak öne çıkmaktadır [11,13].

Alternatif akım sisteminin doğru akım sistemine göre tercih edilmesi geminin cinsine, tonajına ve elektrik malzemesinin temin edildiği ülkeye göre değişir. Genellikle gemilerin tonajı büyüdükçe (bilhassa yolcu gemilerinde) alternatif akım sistemi daha maliyetinin düşüklüğü sebebiyle tercih edilir [12].

Küçük gemilerde ise maliyetteki azalma önemsiz olmasına karşılık, bakımlarının kolay olması, elektrik personeline olan ihtiyacı azaltır. AC motorlarının piyasadan kolayca temin edilebilmesi, seyir cihazları, buzdolapları, radyo ve televizyonlar gibi cihazların doğrudan doğruya ya da ucuz transformatörlerle kolayca çalıştırılabilmesi, onarım masraflarının düşük oluşu, ağırlık azalması, yerden kazanma nedenleriyle AC sistemler tercih edilir [12].

Güç elektroniği uygulamalarının yaygın olarak kullanımından önce doğru akım makinelerinde motor devrinin basit bir biçimde kolayca değiştirilmesine karşın alternatif akım makinelerinde bu işlemin daha zor yapılması bir dezavantaj olarak görülmüştür. Bu dezavantaj, ilk olarak elektrik motorlarından hareket alan makinelerin tasarımını bir ya da en fazla iki devirli yapmakla, motorların kutup sayılarını değiştirmekle aşılmaya çalışılmıştır [11,13].

1950'li yıllardan sonra dizayn edilen gemilerde genel itibarı ile AC tercih edilmiştir, bu tercihte AC ile çalışan motorların hız kontrol ve devir ayarlarını yapan sistemlerdeki gelişmeler de etken olmuştur. Bunun sonucunda gemiler içinde ciddi mahal kazanımları yaşanmıştır. AC tercih edilmesi sonrası gemilerin sahil besleme sistemleri ve sahil panoları da buna uygun şekilde tesis edilmiştir.

Bununla birlikte halihazırda doğru akımın kesinlikle vazgeçilemediği gemilerde mevcuttur bu gemilere denizaltılar örnek gösterilebilir. Bu tip gemilerin hayati enerji kaynağı bataryalarından dolayı doğru akımdır.

Her ne kadar teknoloji ilerlemiş olsa dahi yakıt pili kullanan denizaltılarda dahi halihazırda depolama kaynağı olarak kurşun asit bataryalar kullanılmaktadır. Ancak gemilerde genelde servis elektriği olarak 115 V 60 Hz ve 115 V 400 Hz olan elektrik karakteristiği kullanılmaktadır.

Suüstü gemilerinde de birçok sistemde doğru akım beslemesi kullanılmaktadır, özellikle bu voltaj değeri 24 V DC olarak tercih edilmektedir. Bu voltaj değeri alternatif akımdan çeviriciler kullanılarak elde edilmektedir bu çeviricilere redresör denilmektedir.

#### 4.1.4. Gemilerde jeneratörlerin nötr noktasının yalıtılması

Genellikle gemilerde nötrü yalıtılmış elektrik sistemi tercih edilir. Bunun sebebi, gemi işleminde sürekliliği sağlamaktır. Örneğin üçgen bağlı jeneratörlerin kullanıldığı bir elektrik dağıtım sisteminde bir fazda meydana gelen arıza, devreyi besleyen kaynağı ciddi bir biçimde etkilemez [2].

Askeri gemilerde nötrün yalıtılması ile gemi içersinde nötr hattı taşınmaz ve kablo, işçilik maliyetleri düşer geminin tonajı gereksiz yere artmamış olur. Tüm sistemler faz-faz beslenir. Bu husus gemide meydana gelecek arz kaçağının bulunmasını, arıza tespitinin kolay yapılmasını olası bir durumda personelin elektrik çarpmasına maruz kalması durumunda emniyeti sağlar.

Ticari gemilerde nötr hattı tesis edilmektedir, özellikle aydınlatma devrelerinde nötrü topraklı sistem kullanımı, malzeme teminindeki kolaylık ve düşük maliyetli olması nedeni ile bazı tasarımcılar tarafından tercih edilmektedir.

#### 4.1.5. Gemilerde elektrik yüklerinin türleri

Özellikle askeri gemilerdeki yükler, yaşamsal (vital) ve yaşamsal olmayanlar (nonvital) olarak ikiye ayrılır.

Yaşamsal yükler; yangın tulumlarının pompaları, seyir için gerekli yükler. (dümen motoru, radar, telsiz vs. ), silah sistemleri ve sensörleri olarak sıralanabilir. Yaşamsal yükler, genellikle alternatif ve asli kaynak olarak, birden fazla noktadan güç sağlayabilecek şekilde beslenirler. Yaşamsal olmayan yükler ise kendilerine güç aktarılamadığı takdirde gemi emniyetini tehlikeye düşürmeyecek olan yüklerdir [12].

Geminin dağıtım sistemi dizayn edilirken yüklerin yaşamsal veya yaşamsal olmamaları dikkate alınmalıdır. Yaşamsal yüklerin alternatif ve asli iki ayrı kaynaktan beslenebilmeleri sağlanmalıdır. Geminin elektrik dağıtım sistemi yaşamsal bir yüke gelen enerji kesildiğinde otomatik olarak alternatif güç kaynağını bu yüke bağlayabilecek şekilde olmalıdır. Bu hususa özellikle askeri gemilerde dikkat edilir.

Dizayn aşamasında jeneratör kapasite ve sayılarını belirlerken, hangi yüklerin sürekli devrede oldukları ve aralıklı devreye girip çıkan yüklerin ise hangi oranda sistemimizi yükledikleri önem kazanmaktadır. Bu durumda da yükler, sürekli devrede kalması gerekenler ile ara sıra devreye girip çıkanlar olarak da sınıflandırılabilirler [11,13].

Bu sınıflandırma aralıklı ve sürekli yükler olarak sınıflandırılabilir;

**Aralıklı Yükler:** Sürekli olarak devrede olmayan yüklerdir. Akaryakıt transfer pompaları, separatörler (yakıt, yağ), temizlik suyu hidrofor motorları, içme suyu hidrofor motorları, sintine ve balast pompaları, yangın ve genel hizmet pompaları, radyo vericileri, evsel cihazlar, büfe teçhizatı (ekmek kızartıcı, çay pişirme ocağı vb. ) gösterilebilir,

**Sürekli Yükler:** Gemilerde sürekli olarak devrede olan yüklerdir. Deniz suyu soğutma pompası, yağlama yağı pompası, tatlı su soğutma pompası, makine dairesi havalandırma fanları, soğuk hava depoları, aydınlatma tesisatı, istirahat salonları, tuvalet vb. yerler, gemi seyir fenerleri, seyir cihazları (radar, cayro pusula, otomatik pilot vs.), dümen motorları sıralanabilir.

#### **4.2. Askeri Gemilerin Elektrik Dağıtım Sistemlerinin Dizaynı**

Askeri gemilerde elektrik ve elektronik sistemlerin tesisi ve çalışmasına ait standartlar genel olarak aşağıda olduğu gibi dizayn edilir ve imalat esnasında uygulanmasına özen gösterilir. Bu standartlar genel itibarı aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Gemideki elektrik-elektronik sistemler STANAG 1008 [Characteristics Of Shipboard Electrical Power Sytems In Warships Of The North Atlantic Treaty Navies] ve MIL-STD-1399 [Interface Standart For Shipboard Sytems] arayüz standartlarına göre gemi devresinden beslenmelidir,

- Cihaz ve sistemler arasındaki elektromanyetik uyum MIL-STD-461 [Electromagnetic Emission And Susceptibility Requirements For The Control Of Electromagnetic Interference], şok ve titreşim direnci ise MIL-STD-901 [Military Standart For Shock Which Applies To Equipment Mounted On Ships] veya BV 043 [Shock Resistance Experimental And Mathematical Proof]/ BV 044 [Vibration Resistance Experimental And Mathematical Proof] standartlarına uygundur,
- Sistemlerin kablolması MIL-STD-454' e [Standard General Requirements For Electronic Equipment] uygundur,
- Elektronik parçalar korozyon ve pasa karşı MIL-STD-1250 [Corrosion Prevention And Deteriaration Control In Electronic Components And Assemblies] standardı koşullarını karşılamalıdır,
- Sistemler bakım, onarım, yerleştirme ve kalibrasyon ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde kolay ulaşılabilir şekilde yerleştirilmelidir,
- Gemilerin elektrik güç üretim sistemi, her biri geminin barış ve savaş seyirleri ile savaş koşullarındaki güç ihtiyacını karşılayabilecek şekilde paralel çalışma özelliğine sahip en az 2 adet dizel-jeneratörden oluşmalıdır,
- Elektrik sisteminde kullanılan devre kesiciler/otomatik sigortalar arasında selektivite bulunmalıdır,
- Ana ve tali dağıtım tablolarında gemi servis ihtiyaçlarının artabileceği husus göz önünde bulundurularak yedek çıkışlar bulunmalıdır,
- Gemide kullanılan elektrik makinelerinin izolasyon sınıfı en az F olarak seçilmektedir, bazı özel durumlarda H sınıfı izolasyonda tercih edilmelidir,

- Gemi elektrik dağıtım güç sistemi BV 30'a [Electrische Anlagen] veya Türk Loydu kurallarına uygun olarak belirlenmelidir,
- Gemide bulunan tüm elektrik ekipmanları BV 30, Türk Loydu veya IEC 60529 kurallarından tarif edilen kriterler çerçevesinde gemi personelinin enerjili devrelere ve hareketli parçalara temasını önleyecek şekilde seçilmelidir,
- Gemiye monte edilecek elektrikli e hizeler STANAG 1008 belirtilen frekans ve gerilim toleranslarında çalışabilecek şekilde seçilmelidir,
- Elektrik makineleri, cihazlar ile kabloların imalatında kullanılan malzemeler ve izolasyon, nem ve tuz yüklü deniz havası, deniz suyu ve yağ buharlarına dayanıklı olmalıdır,
- Gemi elektrik sistemlerinde kullanılan tüm elektrik motorları ve transformatörler 500 V DC megerle izolasyon testine tabi tutulduğunda, izolasyon direnci en az 25 megaohm olmalıdır,
- Kargo ambarlarında dizayn exproof ekipman kullanılmalıdır,
- Elektrikli cihazlar personelin akım taşıyan parçalara dokunmasını önleyecek şekilde tasarlanarak Türk Loydu kurallarına uygun olmalıdır,
- Topraklama ile ilgili kurallar MIL-1310-G'ye [Standart Pratices For Shipboard Bonding, Grounding And Other Techniques For Electromagnetic Compability And Safety] uygun olmalıdır,
- EMI ve RFI girişimlerinden korunması için sistemlerin gemide şiltli kablolar kullanılmalı ve kablo şiltleri tablo ve cihaz gövdelerine nozullarla irtibatlandırılmalıdır,
- Kullanılacak elektrik motorlarının koruma sınıfları en az IP 54 olmalıdır,

- Gemilerde kullanılacak olan seyir ve sinyal fenerleri IMO/SOLAS/ COLREG 1972 kurallarına uygun olmalıdır.

Yabancı standartların yanında artık Türk Loydu standartları da kullanılmaktadır. Bu tip gemilerde Türk Loydu tarafından yayınlanan Çelik Gemileri Klaslama Kuralları günümüzde dizayn aşamasında yaygın olarak kullanılmakta ve inşa edilen gemilerde Türk Loydu tarafından klaslanmaktadır.

Askeri gemiler özellikle savaş şartlarında kendilerine verilen görevi sonuna kadar devam ettirmek zorundadırlar. Gemideki elektrik dağıtım sisteminden hasar altında geminin görevini ifa etmesini sağlayacak özelliklere sahip olması beklenmektedir.

Bu husus ticari gemilerde de aynı olmak zorundadır. Ticari bir gemide de herhangi bir arıza durumunda geminin sevk ve tahrik sisteminin faal kalması istenir. Herhangi bir elektrik arızasında gemi dümen sisteminize veya dümen motorlarınıza güç iletilmez ise dümeniz kilitlenir ve gemi karaya oturabilir. Günümüzde gemilerde genellikle güç sistemlerinin bir fazında arıza olsa dahi sürekli çalışabilecek topraksız üçgen biçiminde dağıtım sistemleri ve üç fazlı üretilmiş güç kullanılır. Bu tip sistemler günümüzün harp gemilerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır [2].

Bir gemi üzerindeki jeneratör dağıtım sisteminde jeneratör dağıtım panosu, kontrol panosu ve birden fazla jeneratör kullanılması durumunda senkronizasyon panosu kullanılmaktadır. Bu panolar içerisinde termik manyetik şalterler, kesiciler, kontaktörler, röleler, sigortalar ve ölçü aletleri yer almaktadır.

Bara bağlama devreleri ile birbirine bağlı jeneratör dağıtım panoları acil bir durumda kendi aralarında yük alma imkanına sahip olmuş olur. Böylece bir dağıtım panosu ile diğer bir pano arasında güç transferine olanak sağlanır. Özellikle askeri gemilerde jeneratör dağıtım panoları gemi boyunca farklı bölmelere yerleştirilirler. Bunun sebebi, harp gemilerinde savaş sırasında alınan bir yaranın güç sistemlerinin hepsinde aynı anda bir hasara sebep olmamasının engellenmesidir.

Suüstü askeri gemilerde genel olarak üç jeneratörlü ve halka şeklinde bağlanmış sistemler kullanılmaktadır. Fakat bu tip gemilerde genel kullanımda iki jeneratör devrede kalırken üçüncü jeneratör acil durumlarda servis verecek yedek kaynak olarak hazır tutulur [2,14].

Askeri gemilerde yükleri besleyen elektrik dağıtım sistemi, radyal elektrik dağıtım sisteminin bir türüdür. ABT panoları enerji kesintisine karşı duyarlı sistemlerdir. Bu özelliklerinden dolayı hayati (vital) sistemlerin beslemeleri bu panolar üzerinden yapılır. Normal besleme panosundan ihtiyaç duyduğu enerjiyi çekemeyen yük ABT sayesinde kaynak değiştirerek alternatif kaynağa bağlanır. ABT' ler 50 msn gibi çok kısa sürelerde yükü transfer edecek şekilde tasarlanmışlardır. MBT' lerde normal kaynaktan alternatif kaynağa geçiş amaçlı kullanılırlar ancak ABT'den farklı olarak bu işi kendileri otomatik olarak yapamazlar, manuel olarak işletilirler.

Gemi içerisinde elektrik dağıtımını için çeşitli panolar dizayn edilir, yardımcı makinelerden yada sahilden alınan enerji gemi içerisinde bu şekilde dağıtılır. Dağıtım esnasında bu yoğunluk geminin baş ve kıçına doğru azalmaktadır.

Gemilerde daha önce bahsedildiği üzere farklı gerilim kademelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Askeri gemilerde kullanılan gerilim kademeleri AC 60 Hz frekansta 115, 440, 630 ve 4160 V' tur bununla birlikte bazı dizaynlarda ise bunlar genel itibarı ile yerli dizayn ve ticari gemilerde olmak üzere 50 Hz frekanslı 380 V gerilim kademesi de kullanılmaktadır.

Ayrıca ticari gemiler dışında savaş gemilerinde savaş sistemlerinden dolayı 400 Hz gerilim tipine ihtiyaç duyulmaktadır (440 V 400 Hz ve 115 V 400 Hz). Bunlar; komuta ve gemi sevk idare sistemlerinin belirli kısımları, silah sistemleri ile uçak (uçak gemilerinde), helikoptere ve havacılığa ait sistemler gibi sıralanabilir.

Ayrıca uygulamada ticari veya askeri gemilerin elektrik ile tahrik edilen tiplerinde orta gerilim hattı tesis edilmektedir. Bunun sebebi ise pervanelerin elektrik motoru ile tahrik edilmesi ve seçilen motor tiplerin yüksek güçlü olmasından kaynaklanmaktadır.



Transformatörler ise gemiler içerside gerilimi çeşitli kademelere düşürmek yada yükseltmek amacıyla kullanılır. Bununla birlikte gemilerde ihtiyaç duyulan özellikle askeri amaçlı gemilerde çeşitli frekans kademeleri için dinamik veya statik konvertörler kullanılmaktadır.

Savaş gemileri genel anlamda şu başlıklar altında sınıflandırılabilir bunlar;

- Denizaltılar: Nükleer denizaltı, havadan bağımsız denizaltı (AIP), konvansiyonel denizaltı,
- Su üstü harp gemileri: Fırkateynler, korvetler, hücumbotlar,
- Yardımcı gemiler: Akaryakıt gemileri, su gemileri, kurtarma gemileri, vb.,
- Uçak gemileri,
- Çıkarma gemileri (amfibi),
- Mayın gemileri: Mayın avlama, mayın tarama,
- Karakol gemileri ve botlar.

Tüm bu gemi tiplerinde en az iki adet jeneratör grubu kullanılmaktadır. Gemi tipine ve konsepte bağlı olarak yardımcı makinelerin sayısı artabilmekte ancak tüm dizaynlarda jeneratörler birbirleri ile senkronizasyona girmektedir.

Harp gemilerinin elektrik beslemesi açısından en kritik konu güç sistemlerinin savaş ve barış durumunda problemsiz idame ettirilmesidir.

Standart bir gemi güç dağıtım sisteminde jeneratörler paralel olarak çalışır ve yük paylaşırlar. Geleneksel yapıdaki bir gemi güç dağıtım sistemi; Jeneratör dağıtım panolarına bağlanmış güç üreten birkaç jeneratör ünitesinin radyal elektrik dağıtım sistemi biçiminde bir araya gelmesi ile oluşur. Elektrik enerjisi, üç faz olarak gemi

bünyesindeki elektrik dağıtım merkezleri veya elektrik panoları aracılığıyla dağıtılır.

Gemi dağıtım sistemlerinde kullanılan diğer dizayn ise bölgesel elektrik dağıtım sistemidir. Bu tip dağıtım sisteminde gemini sağ ve sol tarafından (sancak ve iskele tarafından) ana besleme hattı geçer ve gücün dağıtımı için gemi bölgelere ayrılır. Gemiler, özelliklede harp gemileri yüzebilirliklerini korumak için zaten su geçirmez birbirlerinden ayrı tutulmuş bölmelere ayrılmışlardır.

Bölgesel dağıtım sistemlerinde gemi bünyesinde ana güç dağıtım kabloları dolaşır. Böylece geleneksel yapıdaki radyal dağıtım sistemlerinde olduğu gibi jeneratör dağıtım panolarından çok fazla sayıdaki besleyici kablo çıkmamış olur. Gemi elektrik dağıtım sistemlerindeki gelişmelerin sonucunda bölgesel dağıtımın yeni tip savaş gemilerinde yaygınlaştığı ve yaygınlaşacağı ön görülmektedir.

## **BÖLÜM 5. SAHİL ELEKTRİK SANTRALİNDEN BESLENEN GEMİLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ VE SAHİL BAĞLANTILARI**

Gemilerin enerji ihtiyacı seyir esnasında gemi üzerindeki dizel jeneratörleri sayesinde sağlanır, liman yapılan dönemlerde ise jeneratörler akaryakıt maliyeti, makinelerin çalışma saatinin artmaması, amortisman maliyetleri ve gemi konforu açısından devreye alınmazlar, gemiler doğrudan doklar veya iskeleler üzerinde bulunan sahil bağlantı panolardan enerji ihtiyaçlarını karşılarlar. Bu bölümde sahil elektrik santralinden beslenen bazı gemi tiplerinin genel ve elektriksel teknik özelliklerinden bahsedilerek gemilerde sahil bağlantısının nasıl sağlandığı incelenecektir.

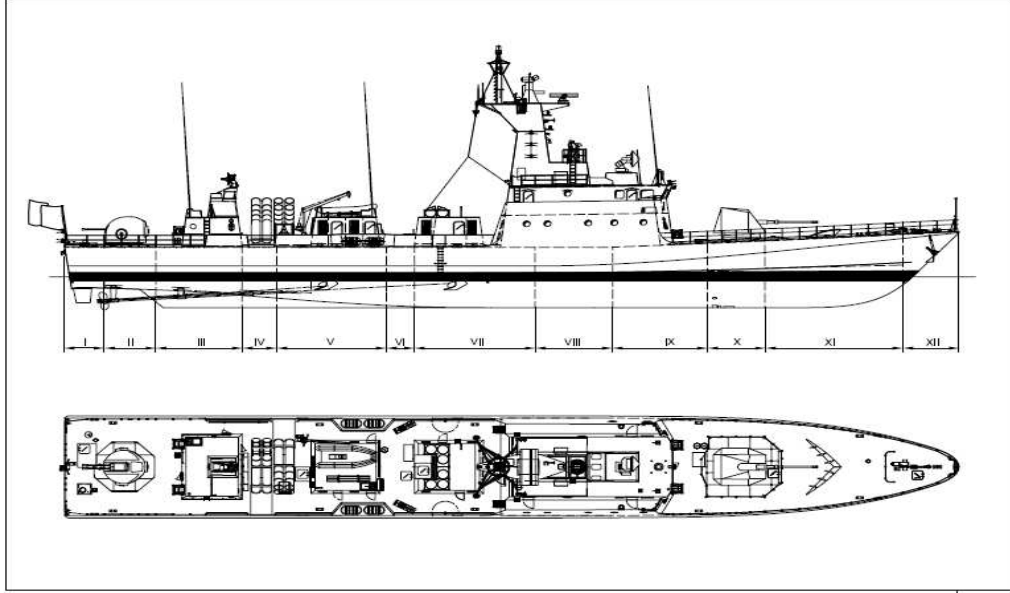
### **5.1. A Sınıfı Gemi**

#### **5.1.1. Genel bilgiler**

Tablo 5.1. A sınıfı gemiye ait teknik bilgiler

Tam Boy	:	65 m
Su Hattı Boyu	:	60 m
Genişlik	:	9 m
Draft	:	2,5 m
Azami Sürat	:	40 kts.
Kompartman Adedi	:	14
Kemere Adedi	:	53
Ana Tahrik Motorları	:	5700 Hp
Dizel Jenaratörler	:	225 kVA

A sınıfı gemi Tablo 5.1’de detaylı olarak verildiği üzere 65 metre boy, 9 metre en ve 12 su geçirmez bölmeye sahiptir. Bu tekne özellikleriyle BV 1033 normuna göre “B” sınıfı gemi kategorisine girmektedir. A sınıfı geminin siluet resmi aşağıda Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. A sınıfı gemiye ait siluet resim

Gemi toplam 12 su geçirmez bölmeden ve 53 kemereden oluşmakta olup numaralandırma kıç taraftan baş tarafa doğru yapılmıştır.

Gemide çeşitli sarnıçlar bulunmaktadır, bu sarnıçlar; tatlı su, motorin, servis, yağlama yağı, motorin sızıntı, çamur, kirli yağ, pis su, ana makine overflow tankı olarak sıralanabilir.

Teknenin tuzlu olan deniz suyunda korozyona karşı korunması için zaman ömürlü tutyalar yerine gemide “Aktif Katodik Koruma Sistemi” kullanılmaktadır. Aktif katodik koruma sisteminin karınaya bağlı iki adet referans elektrodu ve dört adet anodu vardır. Kontrol paneli makine kontrol dairesinde bulunmaktadır. Prensip olarak referans elektrotlardan gelen potansiyel fark sistem içerisinde işlenerek anotlara akım olarak uygulanır. Bu akım ile tekne ve ortam arasındaki potansiyel farkı düzenler. Aktif katodik koruma sistemi 440 V AC 60 Hz ile çalışır. Referans elektrotlarından aldığı değeri sisteme gönderir ve sistemdeki konvertörler ile DC

gerilime çevirilir. Potansiyel farkı 200-300 mV arasında tutmak için anotlara 50 ampere kadar akım uygulanır.

Gemide 4 adet ana makine mevcut olup baş makine dairesinde yer alan dış ana makineler ile dış pervaneler içe doğru, kıç makine dairesinde yer alan iç ana makineler ile de iç pervaneler dışa doğru döndürülerek gemiye ileri yolda hareket kazandırılmaktadır. Ana makinelerin kumandası ve izlenmesi için gemide makine kontrol sistemleri mevcuttur. Gemide ana makineler hava ile start edilmektedir.

### 5.1.2. Elektrik sistemi bilgileri

Geminin ana besleme voltajı 440 V 60 Hz 3 fazdır. Gemi elektrik beslemesi sahil dışında seyir esnasında gemide bulunan dizel jeneratörler ile sağlanmaktadır. Geminin ihtiyacı olan voltaj, çekilen yük durumuna bağlı olarak tek jeneratör veya paralel olarak çalışan iki ya da üç jeneratör tarafından karşılanabilmektedir. Gemilerde dizel jeneratörlere yardımcı makineler denilmektedir. Sahilde gemi demirlemiş durumdayken elektrik enerjisini sahilde bulunan 440 V 60 Hz sahil bağlantı panolarından sağlamaktadır. Geminin sahil bağlantı panosu ve jakı Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. A sınıfı gemiye ait sahil bağlantı panosu ve jak resmi

Gemide 3 adet yardımcı makine bulunmaktadır. Yardımcı makinelerin güçleri 225 kVA olup hava ile start edilmektedirler. Jeneratörler otomatik voltaj regülasyonlu ve 4 kutuplu alternatöre sahiptir. Alternatör sargıların nemden korunması ve izolasyon dirençlerinin artırılması amacıyla 115 V AC 60 Hz ile çalışan 2x100 W'lık ısıtıcılar mevcuttur. Jeneratör stopta iken bu ısıtıcılar sayesinde sargılar ısıtılarak izolasyon dirençlerinin düşmesi önlenir.

Jeneratörlerin ürettiği 440 V AC 3 faz 60 Hz karakteristiğindeki elektrik enerjisi her iki bölmede yer alan ana tevzi tabloları ve ana güverte üzerinde bulunan emercensi soket şalterlerine gelir. Ana tevzi tablolarına gönderilen 440 V AC 3 faz 60 Hz karakteristiğindeki elektrik enerjisi kullanım yerlerine göre gerekli trafolar ile çeşitli voltajlara düşürülerek dağıtım panelleri üzerinden gemide mevcut sistem ve cihazlara gönderilir.

Gemide jeneratörler ve jeneratörlerin ürettiği veya sahilden alınacak olan 440 V AC 3 faz 60 Hz karakteristiğindeki elektrik enerjisinin dönüştürüldüğü veya kullanıldığı ana elektrik ekipmanları aşağıda Tablo 5.2'de olduğu gibidir.

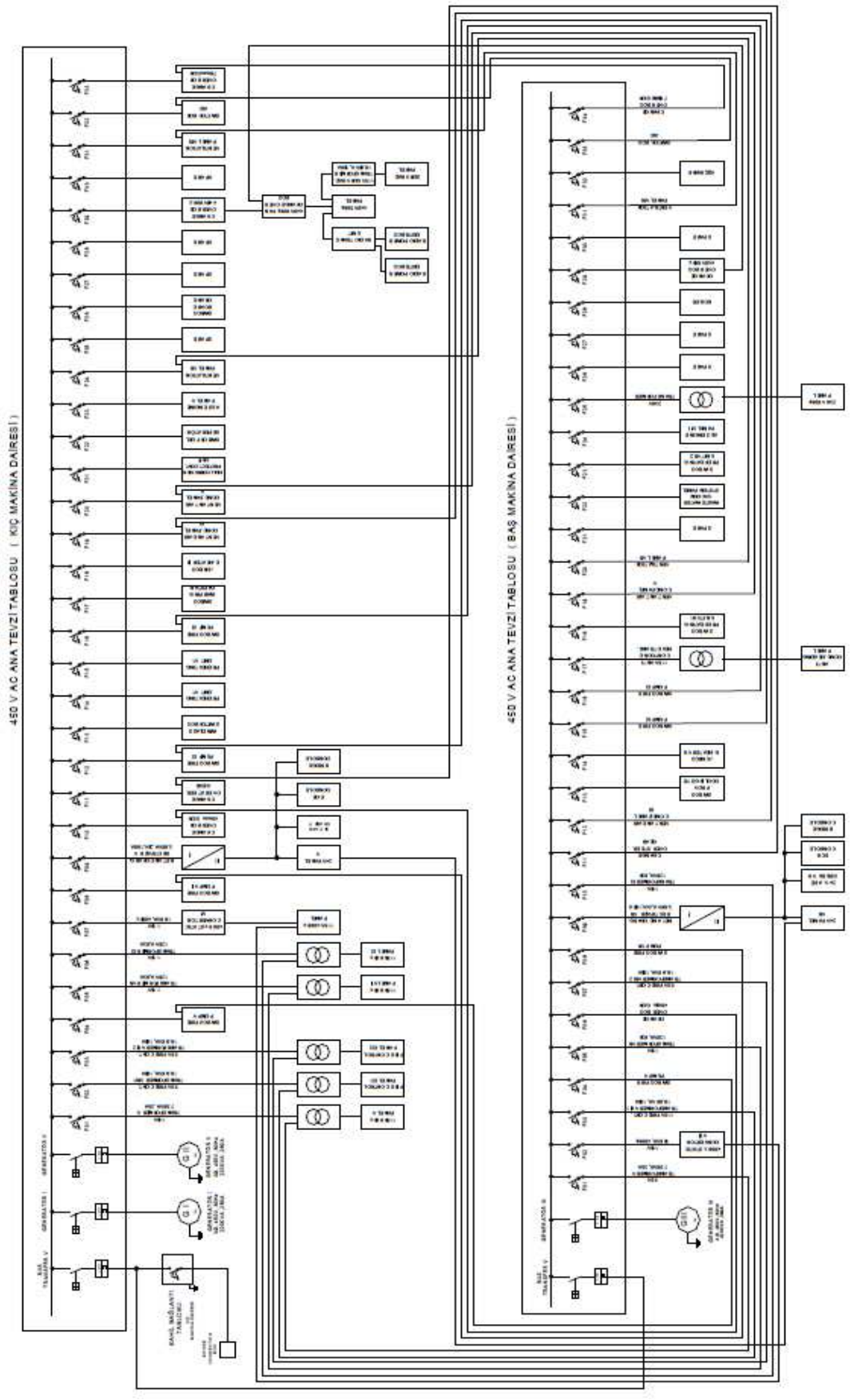
Tablo 5.2. A sınıfı gemide kullanılan ana elektrik ekipmanları

Adı	Giriş Gerilimi (V)	Çıkış Gerilimi (V)	Gücü (kVA)	Güç Katsayısı (cosφ)	Çalışma Frekansı (Hz)
Dizel Jeneratör	-	450	225	0,8	60
Trafo	440	230	7,5	0,8	60
Trafo	440	115	7,5-12-18,9	0,8	60
Konvertör	440	115	16	0,9	60/400
Trafo	115	200	12	0,8	400

Tablo 5.2. devam

Adı	Giriş Gerilimi (V)	Çıkış Gerilimi (V)	Çıkış Akımı (A)	Güç Katsayısı (cosφ)	Çalışma Frekansı (Hz)
Redresör	440	24 DC	100	-	60
Redresör	440	28 DC	10	-	60
Redresör	440	24 DC	50	-	60
Aktif katodik koruma	440	-	50	-	60

Ana tevzi tabloları arasındaki bağlantı bus transfer adı baralar ile gerçekleştirilmektedir. Ana tevzi tablosunda bulunan çeşitli devre kırıncılar ve yedekleri bulunmaktadır. Gemide çoğu sistem ve cihaz hem baş hem de kış ana tevzi tablolarından çift beslenmektedir. Bu sistemler daha önce bahsedildiği üzere vital (hayati) yüklerdir. Çift beslemeli bu sistem ve cihazların birer adet geçiş şalteri bulunmaktadır. Geminin ana besleme voltajı olan 440 V 60 Hz gemi içerisinde dönüştürülerek 115 V 60 Hz, 115 V 400 Hz, 220 V 50 Hz ve 24 V DC olarak çeşitli yükler tarafından kullanılmaktadır. Geminin elektriksel sistemini özetleyen tek hat şeması Şekil 5.3'te sunulmuştur.



Şekil 5.3. A sınıfı gemiye ait elektrik tek hat şeması



440 V 60 Hz ile çalışan sistem ve cihazlara ait voltajlar genelde doğrudan tevzi tablosu üzerinden iletilir. Bunun yanında 115 V AC ve 220 V AC ile çalışan sistem ve cihazlara ait voltajlar ise, ana tevzi tablosundan gelen 440 V 60 Hz gerilimin trafolar tarafından indirgenmesi ile elde edilir. Gemi bünyesinde 24 V DC ile beslenen sistem ve cihazların besleme voltajları ise 100 A' lik redresörler tarafından sağlanmaktadır.

Geminin ana aydınlatma sisteminde 115 V 60 Hz voltajı kullanılmaktadır. Bu voltaj gemideki üç adet 440/115 V 60 Hz aydınlatma trafoları tarafından sağlanmaktadır. Aydınlatma trafoları her iki tevzi tablosundan da beslenebilmektedirler. Gemide çeşitli bölümlerde floresan ve akkor flamanlı ampuller kullanılmakta, ayrıca özel amaçlı olarak projektörlerde tesis edilmiş durumdadır.

Gemide ayrıca seyir emniyeti açısından ve DÇÖT gereği uygun seyir fenerleri bulunmaktadır. Seyir fenerlerinin kumanda paneli köprüüstünde bulunmaktadır.

Geminin 24 V DC emercensi aydınlatması baş ve kış makine dairelerinde bulunan 2 adet akü şarj redresörü tarafından sağlanır. Redresörlerden çıkan 24 V DC dağıtım panellerine gider ve buradan emercensi aydınlatma sistemi beslenir. Makine dairelerinde şarj redresörlerine ait akü grupları bulunur ve sürekli şarj edilirler.

Acil voltaj kesilmesinde akü grupları devreye girmekte ve emercensi sistemler beslenmektedir. Şarj rektifayerlerinden beslenen 24 V DC dağıtım panelleri arasında bir bağlantı devresi mevcut olup şarj rektifayerlerinden ve akü gruplarından birinin kullanılamaz olduğu durumda diğer panelden 24 V DC beslemesi yapılabilmektedir.

Gemide makine kontrol konsolu içinde yer alan sesli ve görünür alarm veren, analog adreslenebilir tip bir yangın alarm sistemi bulunmaktadır. Sistem dedektör, buton ve alarm santralinden oluşmaktadır.

Sözkonusu ana elektrik sistemlerinin yanında gemide ilave olarak radar sistemi, atış kontrol sistemleri, telsiz sistemi, dahili ve harici telefon sistemi, alarm/anons sistemi, data sistemi, seyir sistemleri ve televizyon sistemi bulunmaktadır.

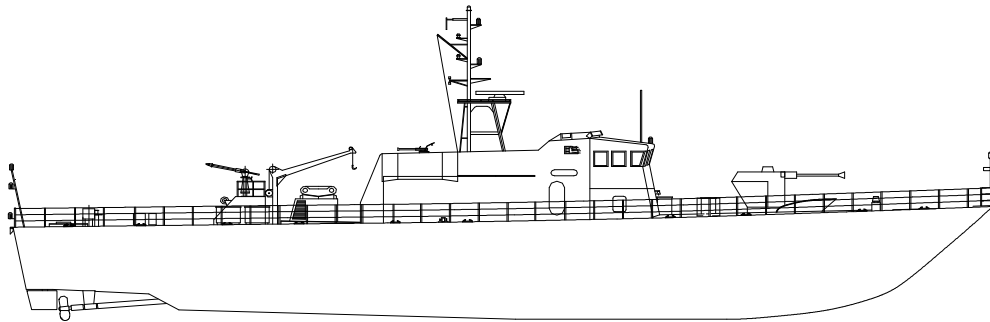
## 5.2. B Sınıfı Gemi

### 5.2.1. Genel bilgiler

Tablo 5.3. B sınıfı gemiye ait teknik bilgiler

Tam Boy	:	41 m
Su Hattı Boyu	:	38 m
Genişlik	:	7,5 m
Draft	:	2,2 m
Azami Sürat	:	30 kts.
Kompartman Adedi	:	7
Kemere Adedi	:	80
Ana Tahrik Motorları	:	2800 Hp
Dizel Jenaratörler	:	150 kVA

B sınıfı gemi Tablo 5.3'te detaylı olarak verildiği üzere 41 metre boy, 7,5 metre en ve 200 ton tam yük deplasmanına sahiptir. B sınıfı geminin siluet resmi aşağıda Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4. B sınıfı gemiye ait siluet resim

Gemide su geçirmez bölme bulunmamaktadır. Gemi 80 kemereden oluşmakta olup numaralandırma kış taraftan baş tarafa doğru yapılmıştır.

B sınıfı gemide de A sınıfı gemide olduğu gibi çeşitli sarnıçlar bulunmaktadır, bu sarnıçlar; tatlı su, motorin, motorin sızıntı, pis su tankı olarak sıralanabilir.

Teknenin korozyona karşı korunması için zaman ömürlü tutyalar kullanılmaktadır. Bu tutyalar kurşun alaşımlardan dökülerek gemide korozyonun fazlaca yaşandığı bölgelere monte edilerek geminin havuzlanacağı bakım periyotlarına kadar deniz suyundan etkilenmemesini sağlar.

Gemide 2 adet ana makine mevcut olup, makineler kış bölgesinde bulunmaktadır. Gemide ana makineler elektrik ile start edilmektedir.

### **5.2.2. Elektrik sistemi bilgileri**

B sınıfı geminin ana besleme voltajı 380 V 50 Hz 3 fazdır. Gemi elektrik beslemesi sahil dışında seyir esnasında gemide bulunan dizel jeneratörler ile sağlanmaktadır. Gemide çekilen yük bir jeneratör tarafından karşılanmakta, diğer jeneratör ise yedek olarak kullanılmaktadır.

Ancak genelde gemilerde makinelerin çalışma saatinin eşit olması için sırayla devreye alınmaktadırlar. Gemi liman durumundayken elektrik enerjisini sahilde bulunan 380 V 50 Hz sahil bağlantı panolarından sağlamaktadır. Geminin sahil bağlantı girişi Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. B sınıfı gemiye ait sahil bağlantısı resmi

Gemide 2 adet yardımcı makine bulunmaktadır. Yardımcı makinelerin güçleri 150 kVA olup A sınıfı geminin tersine elektrik ile start edilmektedir. Bunun için gemide dizel jeneratörlerin yanında kurşun asit aküler bulunmaktadır. Bu gemide kullanılan jeneratörlerde yine otomatik voltaj regülasyonuna ve 4 kutuplu alternatöre sahiptir.

Alternatör sargılarının nemden korunması ve izolasyon dirençlerinin artırılması amacıyla 220 V AC 50 Hz ile çalışan 2x50 W'lık ısıtıcılar mevcuttur. Jeneratör stopta iken bu ısıtıcılar sayesinde sargılar ısıtılarak izolasyon dirençlerinin düşmesi önlenir.

Jeneratörde üretilen 380 V AC 3 faz 50 Hz karakteristiğindeki elektrik makine dairesinde bulunan ana tevzi tablosuna gelir. Ana tevzi tablosundaki 380 V AC 3 faz 50 Hz karakteristiğindeki elektrik enerjisi, trafo ile 220 V 50 Hz ve redresör ile 24 V DC elektrik enerjisine çevrilerek dağıtım panelleri üzerinden tüketicilerde kullanılır.

B sınıfı gemide jeneratörler ve jeneratörlerin ürettiği veya sahilden alınacak olan 380 V AC 3 faz 50 Hz karakteristiğindeki elektrik enerjisinin dönüştürüldüğü veya kullanıldığı ana elektrik ekipmanları aşağıda Tablo 5.4'te olduğu gibidir.

Tablo 5.4. B sınıfı gemide kullanılan ana elektrik ekipmanları

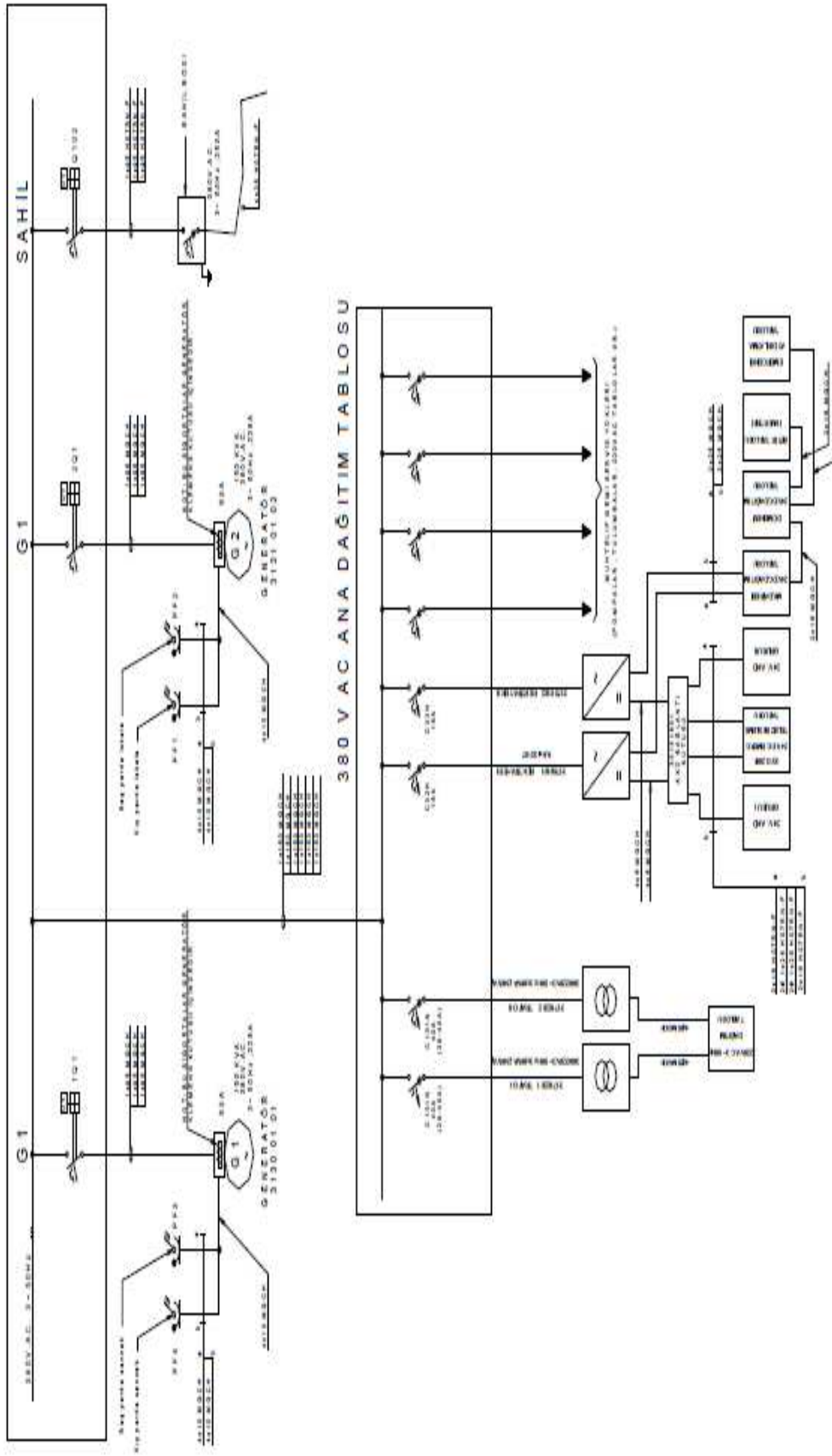
Adı	Giriş Gerilimi (V)	Çıkış Gerilimi (V)	Gücü (kVA/A)	Güç Katsayısı ( $\cos\phi$ )	Çalışma Frekansı (Hz)
Dizel Jeneratör	-	380	150 kVA	0,8	50
Trafo	380	220	24 kVA	0,8	50
Redresör	380	24 V DC	60 A	-	50

Ana tevzi tablosunda çeşitli şalterler ve yedekleri bulunmaktadır. Makine dairesinde ana tevzi tablosu ile jeneratörler panoları ve senkronizasyon panoları bir arada bulunmaktadır. Gemide tüm sistem tek ana tevzi panosundan beslenmektedir, dolayısıyla gemide çift besleme bulunmadığı için vital (hayati) yük dağılımı gerçekleştirilmemiştir. Geminin elektriksel sistemini özetleyen tek hat diyagramı Şekil 5.6'da sunulmuştur.

B sınıfı gemide 380 V 50 Hz ile çalışan sistem ve cihazlara ait voltajlar genelde doğrudan tevzi tablosu üzerinden iletilir. Diğer 220 V AC ile çalışan sistem ve cihazlara ile aydınlatma sistemine ait voltajlar ise, ana tevzi tablosundan gelen 380 V 50 Hz gerilimin trafo tarafından indirgenmesi ile elde edilir.

Gemi bünyesinde 24 V DC ile beslenen sistem ve cihazların besleme voltajları ise 60 A' lik redresörler tarafından sağlanmaktadır. B sınıfı gemide yine A sınıfı gemide olduğu gibi seyir emniyeti açısından ve DÇÖT gereği uygun seyir fenerleri bulunmaktadır. Seyir fenerlerinin kumanda paneli köprüüstündedir.

Geminin 24 V DC emercensi aydınlatması kış üstünde bulunan 2 adet akü şarj redresörü tarafından sağlanır. Gemide sesli ve görünür alarm veren, analog adreslenebilir tip bir yangın alarm sistemi bulunmaktadır. Sistem dedektör, buton ve alarm santralinden oluşmaktadır. Bu ana elektrik sistemlerinin yanında gemide ilave olarak radar sistemi, telsiz sistemi, dahili ve harici telefon sistemi, seyir sistemleri ve televizyon sistemi bulunmaktadır.



Şekil5.6. B sınıfı gemiye ait elektrik tek hat şeması

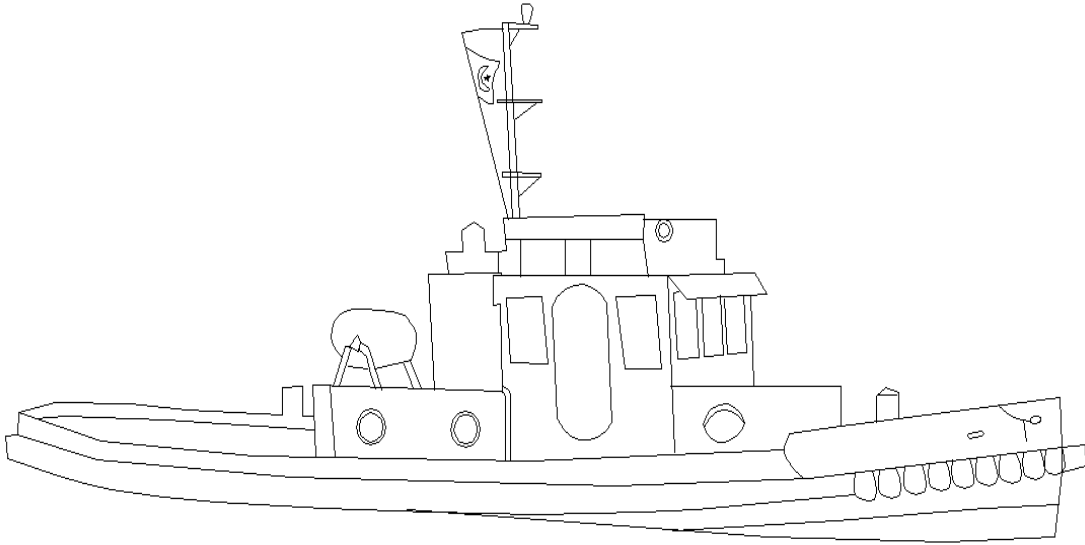
### 5.3. C Sınıfı Gemi

#### 5.3.1. Genel bilgiler

Tablo 5.5. C sınıfı gemiye ait teknik bilgiler

Tam Boy	:	15 m
Su Hattı Boyu	:	12 m
Genişlik	:	5 m
Draft	:	1,5 m
Azami Sürat	:	10 kts.
Kompartman Adedi	:	2
Kemere Adedi	:	6
Ana Tahrik Motoru	:	180 Hp
Dizel Jeneratör	:	15 kVA

B sınıfı gemi Tablo 5.5'te detaylı olarak verildiği üzere 12 metre boy ve 2,5 metre ene sahiptir. B sınıfı geminin siluet resmi aşağıda Şekil 5.7'de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. C sınıfı gemiye ait siluet resim

C sınıfı gemide de su geçirmez bölme bulunmamaktadır. Gemi 6 kemereden oluşmakta olup numaralandırma kılç taraftan baş tarafa doğru yapılmıştır. Bu gemide sarnıç bulunmamaktadır. Gemide B sınıfı gemide olduğu gibi teknenin korozyona karşı korunması için zaman ömürlü tutyalar kullanılmaktadır.

Gemide 1 adet ana makine mevcut olup, makine kış bölgesinde bulunmaktadır. Gemide ana makine elektrik ile start edilmektedir.

### 5.3.2. Elektrik sistemi bilgileri

C sınıfı geminin ana besleme voltajı 120 V DC'dir. Gemi diğer iki gemiden farklı olarak doğru akım üzerine kurulu bir elektrik sistemi ile donatılmıştır. Bu şekilde elektrik sistemi doğru akım olarak dizayn edilen gemiler mevcuttur, genel olarak bu tip sistemler eski dizaynlarda veya özel amaçlı gemilerde görülmektedir. Geminin elektrik beslemesi sahil dışında seyir esnasında gemide bulunan DC dizel jeneratör ile sağlanmaktadır.

Gemide çekilen yük bir jeneratör tarafından karşılanmakta ve yedeği bulunmamaktadır. Gemi liman durumundayken elektrik enerjisini sahilde bulunan 120 V DC sahil bağlantı panosundan sağlamaktadır. Bununla birlikte gemide sonradan konan 220 V AC cihazlar için sahilden 220 V AC sahil bağlantı panosundan enerji sağlanmakta olup bu cihaz ve ekipmanlar seyir durumunda gemide ilave bir inverter bulunmadığı için kullanılamamaktadır. Geminin sahil bağlantı girişi Şekil 5.8'de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. C sınıfı gemiye ait sahil bağlantısı resmi



Gemide 1 adet yardımcı makine bulunmaktadır. Yardımcı makinenin gücü 15 kVA olup elektrik ile start edilmektedirler. Jeneratörde otomatik voltaj regülasyon sistemi bulunmamaktadır. Ana makine, dizel jeneratör ve diğer tüm ekipmanlar makine dairesinde yer almaktadır.

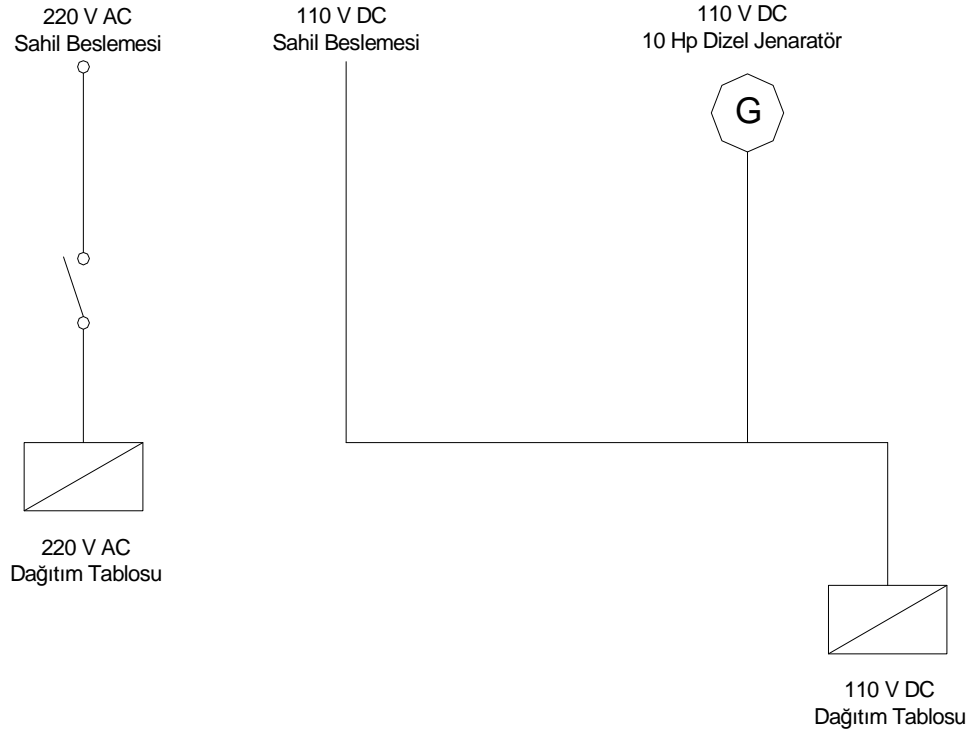
Jeneratörün ürettiği 120 V DC karakteristiğindeki elektrik enerjisi makine dairesinde bulunan dağıtım paneli vasıtasıyla gemi içerisinde dağıtılır.

Gemide jeneratör ve jeneratörün ürettiği veya sahilden alınacak olan 120 V DC karakteristiğindeki elektrik enerjisinin dönüştürüldüğü veya kullanıldığı ana elektrik ekipmanı aşağıda Tablo 5.6'da olduğu gibidir.

Tablo 5.6. C sınıfı gemide kullanılan ana elektrik ekipmanları

Adı	Giriş Gerilimi (V)	Çıkış Gerilimi (V)	Gücü (kVA)	Güç Katsayısı (cosφ)	Çalışma Frekansı (Hz)
Dizel Jeneratör	-	120 DC	15 kVA	0,8	-

Geminin elektrik dağıtım tablosunda çeşitli şalterler ve yedekleri bulunmaktadır. Makine dairesinde bir adet tevzi tablosu ile jeneratör ve ana makine bir arada bulunmaktadır. Geminin elektriksel sistemini özetleyen tek hat diyagramı Şekil 5.9'da sunulmuştur.



Şekil 5.9. C sınıfı gemiye ait elektrik tek hat şeması

C sınıfı gemide sadece 120 V DC elektrik kullanılmaktadır, tüm sistemlerin voltajları doğrudan elektrik tablosu üzerinden iletilir. Gemide aydınlatma sistemi olarak sadece akkor flamanlı ampuller kullanılmakta, ayrıca özel amaçlı olarak bir adet projektörde tesis edilmiş durumdadır. Gemide ayrıca seyir emniyeti açısından ve DÇÖT gereği uygun seyir fenerleri bulunmaktadır. Seyir fenerlerinin kumanda paneli köprüüstünde bulunmaktadır.

Gemide ilave bir emercensi elektrik besleme sistemi ve yangın alarm sistemi bulunmamakla birlikte sadece telsiz sistemi bulunmaktadır.

## **BÖLÜM 6. SAHİL ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNİN İNCELENMESİ VE ENERJİ KALİTESİ ÖLÇÜMLERİNİN YAPILMASI**

Gemiler askeri veya ticari olsun limanda bulunduğu dönemlerde normal şartlarda sahilden beslenmeleri gerekir. Bunun özellikle tercih edilmesinin birincil sebebi makinelerin çalışma saatinin dolayısıyla amortisman giderlerinin düşürülmesi diğer hususta sahilden alınacak olan enerjinin çok daha ucuz olmasıdır.

Sahilde gemiler için çeşitli gerilim karakteristikleri için iskeleler üzerinde panolar tesis edilmiştir. Bu panolar vasıtasıyla başta 380 V 50 Hz, 440 V 60 Hz, 220 V DC ve 110 V DC gibi gerilim tiplerinin gemilere ulaştırılması sağlanır.

Askeri amaçlı gemilerde 380 V 50 Hz ve 440 V 60 Hz gerilim tipleri kullanılmaktadır. Ticari gemilerde ise genelde dizaynlar 380 V 50 Hz olarak gerçekleştirilmiştir. Askeri gemilerde kullanılan 60 Hz frekanslı gerilim ülkemizdeki ana gerilim karakteristiğinin 50 Hz olmasından dolayı dinamik frekans konvertörleri tarafından üretilir ve askeri amaçlı iskelelerde sahilde en çok kullanılan voltaj tipidir.

Halihazırda ülkemizin frekans açısından voltaj karakteristiği 50 Hz üzerine tesis edilmiştir. Dolayısıyla 60 Hz olarak talep edilen bu voltaj tipinin frekans çeviriciler vasıtasıyla sağlanması gerekmektedir, aşağıda Şekil 6.1'de bir sahil elektrik santralindeki dinamik frekans konvertörleri görülmektedir. Üretilen ve şebekeden sağlanan enerji dağıtım sistemi ile doklar ve iskeleler üzerindeki sahil dağıtım panolarına iletilir. Gemilerde bu sahil dağıtım panolarından jaklı veya bara bağlantısı ile ihtiyaç duydukları elektrik enerjisini karşılarlar.



Şekil 6.1. Bir sahil elektrik santralindeki dinamik frekans konvertörlerine ait resim

Askeri amaçlı gemilerin sahile bağlandıkları bölgelerin tümünde benzer sahil elektrik santralleri tesis edilmiştir. Gemiler liman yapmış oldukları esnada geminin tüm elektrik ihtiyacını bu şekilde sahilden alma şansına sahip olmaktadır, dolayısıyla sahilden alınacak olan bu enerjinin kalitesinin yürürlükteki standartlara uygun ve kesintisiz olması istenmektedir.

Aksi bir durumda özellikle askeri gemilerde hassas cihazlar kullanıldığından yüksek onarım maliyetleri oluşmaması ve sürekliliğin sağlanması istendiğinden, gemiler sahilden beslenmek yerine dizel jeneratörlerini devreye almakta bunun sonucunda elektrik enerjisi yüksek maliyetlerde üretilmekte, makinelerin çalışma saatleri artmakta ve bakım onarım maliyetleri çok yükselmektedir.

Gemilerde kullanılan 50 Hz genlikli voltaj tipide doğrudan şebekeden alınmış olsa dahi kalitesinin gemilerde kullanılacak şekilde uygun olması açısından önemlidir. Elektrik santrali içerisinde bulunan ve konvertör merkezinden sağlanan 60 Hz voltaj tipi kadar 50 Hz voltaj tipide doğrudan trafolar üzerinden şebekeden alınsa da kalitesinin iyi olması son derece önemlidir. Askeri ve ticari gemiler içerisinde 50 Hz ile beslenen gemilerde bulunmaktadır ve enerji kalitesinin uygun olmaması durumunda da yukarıda bahsedilen tüm olumsuz hususlar aynı şekilde bahse konu gemilerde içinde yaşanmaktadır.

## 6.1. Sahil Elektrik Dağıtım Sisteminin İncelenmesi

Gemilere elektrik enerjisi sağlayan elektrik santrallerinde enerji üretimi gerçekleştirilmez. Şebeke hali hazırda üretilmiş olan elektrik enerjisinin doğrudan dağıtımı veya frekansının değiştirilerek enerji iletimi yapılır. Sahil elektrik santralleri güç trafosu, dağıtım panoları, kompanzasyon sistemleri, kesiciler, ayırıcılar ve frekans konvertörlerinden oluşmaktadır. Güç kapasiteleri sahilde ihtiyaç duyulacak olan enerji ihtiyacı doğrultusunda çıkarılmaktadır.

Sahil elektrik santrallerinde tüm tesislerde olduğu üzere vardiyalı olarak sürekli personel bulundurulmaktadır. Bunu sebebi olası bir arıza durumunda gemilerin enerji kesintisi yaşamaması veya ihtiyaç duyulması halinde ilave sistemlerin devreye alınmasıdır.

Burada yapılan başlıca görevler enerjinin sahilde verimli bir şekilde dağıtılması ve gerekli olan manevraların yapılmasıdır. Bununla birlikte elektrik santralinde sahile bağlanan gemilerin elektrik enerjisi bağlantısı yapılır, arıza durumlarında arıza onarımları gerçekleştirilir ve rutin bakımlar onarım faaliyetleri yürütülür. Sahil elektrik santraline ait resim Şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Sahil elektrik santrali şalt sahası resmi

Şebekeden enerji havai hat ile 34,5 kV olarak sahil elektrik santrali trafo merkezine taşınmaktadır. Trafo merkezine gelen 34,5 kV burada seksiyonlerden geçtikten sonra 3 adet güç trafosuna gelir, güç trafolarında 34,5 kV gerilim 3 kV’ a düşürülür. Bu

güç trafolarından ikisi 50 Hz yüklerin barasını beslemek için diğeri de 60 Hz ihtiyaçları karşılayan frekans konvertörlerin ana beslemesini sağlamak için kullanılır. Sahilde bulunan tüketicilere 60 Hz genlikli gerilim sağlayan dinamik frekans konvertörlerine ait resim Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Sahil elektrik santrali frekans konvertörleri

Elektrik santralinde 50 Hz voltaj karakteri için düşürücü trafolar tarafından 3 kV' a indirilen enerji ölçü hücrelerinden geçtikten sonra bir ortak bara üzerinden dağıtım hücrelerine iletilir. Bu dağıtım hücreleri ile ortak bara arasında doğrudan bağlı ve şebekeden kaynaklı enerji kesintilerinde devreye alınan orta gerilim dizel jeneratörler bulunmaktadır, bu cihazlara ait resimler Şekil 6.4'te sunulmuştur.



Şekil 6.4. Sahil elektrik santrali orta gerilim jeneratörleri

Dağıtım hücrelerinden ise çeşitli bölgelerde bulunan yüklerin ihtiyacını karşılamak için tesis edilmiş olan 3 kV/ 380 V trafo merkezlerine elektrik enerjisi ulaştırılır. Bununla birlikte 60 Hz voltaj karakteristiğine ihtiyaç duyan sistemler içinde 34,5 kV/3 kV trafo üzerinden alınan enerji doğrudan 3 kV 50 Hz/ 3 kV 60 Hz dinamik frekans konvertörlerine iletilir. Frekans konvertörlerinden alınan 60 Hz kaynaklı enerji yine bir ortak bara üzerinden dağıtım trafolarına iletilir. Elektrik santraline ait tek hat şeması aşağıda Şekil 6.5'te sunulmuştur.





Elektrik santralinde şekil 6.2’de görüleceği üzere 3 adet 34,5 kV/ 3 kV 4600 kVA 50 Hz trafo, 2 adet 2500 kVA 3 kV 50 Hz dizel jeneratör, 2 adet 3 kV 50 Hz/ 3 kV 60 Hz 1000 kVA dinamik frekans konvertörü ile diğer dağıtım ekipmanları bulunmaktadır. Burada 50 Hz genlikli voltaj karakteristiği gemilerde ve diğer tüketicilerde kullanılmaktadır, 60 Hz genlikli voltaj ise sadece 60 Hz genlikli voltaj kullanılan gemilerde kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen ana ekipmanlar dışında dağıtım sisteminde çeşitli güçlerde 3 kV’ luk 50 Hz ile 60 Hz genlikli elektrik enerjisini tüketicilere 380 V 50 Hz ve 440 V 60 Hz olarak dağıtan 30 adet trafo bulunmaktadır.

Sahil elektrik santralinde tesis edilmiş olan ana ekipmanların teknik özellikleri Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1. Sahil elektrik santralinde tesis edilmiş olan ekipmanların teknik özellikleri

Adı	Giriş Gerilimi (kV)	Çıkış Gerilimi (kV)	Gücü (kVA)	Güç Katsayısı (cosφ)	Devri (rpm)	Çalışma Frekansı (Hz)
Trafo (2 adet)	34,5	3	4600	0,8	-	50
Jeneratör (2 adet)	-	3	2500	0,8	1000	50
Konvertör (2 adet)	3	3	1000	0,8	600	50/60

Yukarıda bahsedilen sahil elektrik santralindeki cihaz ve ekipmanların büyük bir çoğunluğu kullanım süresi olarak 25 yılın üzerinde ekipmanlardır. Sistemlerin teknolojik olarak güncel olmadığı görülmekle birlikte inşa edilmiş olduğu döneme nazaran oldukça başarılı bir tesis olarak öne çıkmakta ve işletme açısından ciddi problemler yaşanmamaktadır.

## 6.2. Sahil Elektrik Santralinin ve Dağıtım Sisteminin Enerji Kalitesinin Ölçülmesi

Daha önce bahsedildiği üzere gemilerdeki enerji kalitesine iki farklı açıdan bakmak gerekmektedir, birincisi geminin seyir esnasındaki durumu ikincisi ise geminin sahilde liman yapmış olduğu durumdur.

Gemiler seyir esnasında tüm sistemlerine devreye aldıklarında ciddi yük çekmektedirler, burada geminin elektrik enerjisi ihtiyacı gemi üzerinde bulunan dizel jeneratörler vasıtasıyla sağlanır. Seyir esnasında geminin dizel jeneratör grupları dışında elektrik enerjisi sağlayabileceği başka bir kaynak bulunmamaktadır. Hayati bir öneme sahip dizel jeneratörler gemilerin her açıdan teknolojik olarak iyi seviyede olması sebebiyle güncel teknolojiye uygun seçilmektedirler.

Jeneratörler üzerinde çeşitli regülatör kartları ile birlikte filtre ekipmanları da bulunmaktadır. Ayrıca askeri amaçlı gemilerde üçgen bağlı transformatörler tercih edilerek 3. harmoniklerin oluşması doğrudan önlenmekte ve gemilerde faz-faz enerji dağıtımı yapılmaktadır. Dolayısıyla enerji kalitesi açısından ciddi sıkıntılar yaşanmamaktadır.

Sahilde liman yapmış durumda ise gemiler elektrik enerjisini sahil elektrik santrallerinden karşılarlar. Bu ihtiyaca geminin otel yükü denebilir. Gemilerin otel yükleri sınıflarına göre farklılık göstermektedir. Liman yapmış durumda askeri gemilerde aydınlatma sistemi, arıtma sistemleri, pompalar, elektrik motorları, bazı savaş sistemleri ile kontrol sistemleri devrededir. Devrede olan bu sistemlerin enerji kalitesine bozucu etki yapma olasılığı ile birlikte enerji kalitesi kötü olan bir dağıtım sisteminden etkilenme ihtimalleri oldukça yüksektir.

Bu tip olumsuz bir durumda gemiler tarafından önlem alınmak maksadıyla sahil beslemesi iptal edilerek geminin üzerinde bulunan dizel jeneratörler devreye alınmakta olup böyle bir durumda ise gereksiz yakıt ve amortisman maliyetleri ortaya çıkmaktadır.

Gemilerdeki enerji kalitesinin bu açıdan incelenmesi açısından sahil elektrik santrallerinin tesis açısından incelenmesi ve enerji kalitesi ölçümlerinin yapılarak durum tespitinin yapılması gerekmektedir.

Enerji kalitesinin ölçülmesi esnasında çeşitli noktalar tespit yapılması kaçınılmazdır, bu maksatla sahil elektrik santrali ve dağıtım sisteminde ölçümler yapılarak yorumlanacaktır.

### 6.2.1. Enerji kalitesi ölçümünde kullanılacak olan cihaz ve ekipmanlar

Enerji kalitesinin incelenmesi esnasında tüm parametreleri görmek ve değerlendirerek kayıt altına almak için uygun bir ölçü aletinin kullanılması zorunludur. Gemilerdeki enerji kalitesi ölçümleri esnasında enerji analizörü kullanılmıştır. Sözkonusu ölçü aleti ile toplam aktif ve reaktif güçler, pik değerler, tüm parametrelerin demand değerlerinin kaydı, minimum ve maksimum değerler ile ani gerilim düşümü ve yükselişlerinin tarih ve zaman kaydı yapılabilmektedir. Enerji kalitesi ölçümlerinin yapıldığı ölçü aletine ait resim Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Ölçüm yapılan enerji analizörü ve ekipmanlarının resmi

Bu tip ölçümler esnasında cihazın yürürlükte normlara uygun olması ve kalibrasyonun güncel yapılmış olması önemlidir. Yapılan ölçümler esnasında üç fazlı bir enerji analizörü tercih edilmiştir.

### 6.2.2. Enerji kalitesi ölçümünde irdelenecek parametreler ve ölçüm tekniği

Gemilere sahil elektrik santralinden sağlanan enerji kalitesinin ölçülmesi esnasında öncelikle sistemler üzerinde zamana bağlı olarak, frekans değişimi, faz gerilimi değişimi, faz-faz gerilim değişimi, hat akımlarının değişimi, akımdaki THD<sub>i</sub>, gerilimdeki THD<sub>v</sub> ile güç faktörünün ölçülerek incelenmesi hedeflenmiştir.

Bu maksatla gemiler sahilde liman yapmış oldukları durumda elektrik enerjisini sağladıkları sahil elektrik santralinde ölçüm yapılması esastır. Sahil elektrik santralinde daha önce bahsedildiği üzere 50 Hz ve 60 Hz genlikli elektrik enerjisinin dağıtımı yapılmaktadır. Genelde yerli imalat olan gemilerde tercih edilen 380 V 50 Hz gerilim tipi şebekeden alınan 50 Hz genlikli elektrik enerjisinin trafolar tarafından istenilen gerilim seviyesine düşürülmesi vasıtasıyla gemiler tarafından kullanılmaktadır.

Yurtdışı dizaynı veya imali gemilerde ise elektrik sistemi 440 V 60 Hz üzerine tesis edilmiş olup 60 Hz genlikli elektrik enerjisi de dinamik frekans konvertörleri vasıtasıyla üretilerek gemilerde kullanılmaktadır.

Bu durumda gemilerdeki enerjisi kalitesinin ortaya konması ve sahil elektrik santralinin enerji kalitesinin ölçülmesi için 50 Hz ve 60 Hz ana dağıtım noktalarından yukarıda belirtilen parametreler doğrultusunda ölçüm yapılması planlanmıştır.

Bu ölçümlerin ardından ise gemilere bu enerjinin verildiği son nokta olan sahil elektrik dağıtım panolarından ölçümlerin alınarak ölçüm işleminin tamamlanması öngörülmüştür.

### **6.2.3. Sahil elektrik santralinde alınan ölçümler**

Sahil elektrik santralinde iki ayrı gerilim tipi için ölçümlerin farklı iki noktadan alınması planlanmıştır. Elektrik santralindeki 34,5/ 3 kV 50 Hz trafoların çıkışındaki baraların bağlı olduğu trafo ölçü hücrelerinden 50 Hz genlikli elektrik enerjisinin kullanıldığı gemiler ve diğer sahil tesislerinin tümüne ait enerji kalitesi sonucuna ulaşılması düşünülmüştür.

Tamamen gemilerde kullanılan ve sahil tesislerinde kullanım yeri bulunmayan 60 Hz genlikli elektrik enerjisinin kalitesine yönelik ölçümlerde sahil elektrik santrali içerisinde tesis edilmiş olan dinamik frekans konvertörlerinin panoları üzerinden ölçüm yapılarak sonucun görülmesi planlanmıştır.

### 6.2.3.1. 50 Hz genlikli dağıtım sistemi ölçümleri

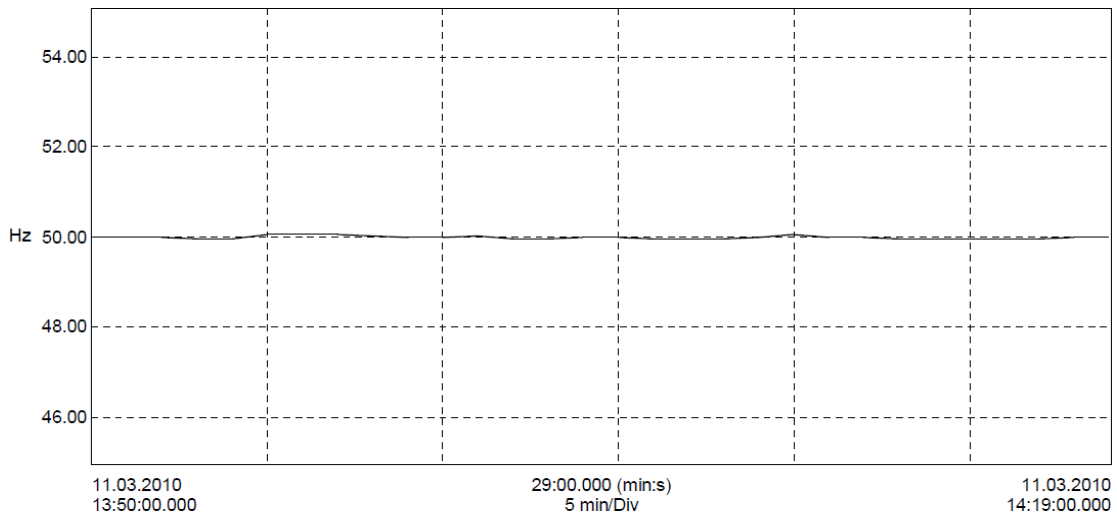
Yukarıda bahsedildiği şekilde 50 Hz genlikli ölçümlerin yapılabilmesi için 34,5/ 3 kV 4600 kVA trafo çıkışındaki ortak bara bağlantı noktasındaki 1 ve 2 nolu trafoların çıkışlarından ayrı ayrı ölçüm yapılmıştır.

Ölçüm esnasında öncelikle elektrik enerjisinin frekans değişimi, gerilim değişimi, hat akımlarının durumu, güç faktöründeki değişim ve harmonik bozunumların tespit edilmesi amaçlanmıştır.

#### a. 1 nolu trafo ölçü hücresi girişinden üzerinden alınan ölçümler

Tablo 6.2. 34,5/3 kV 50 Hz giriş frekans değişimi sayısal değerleri

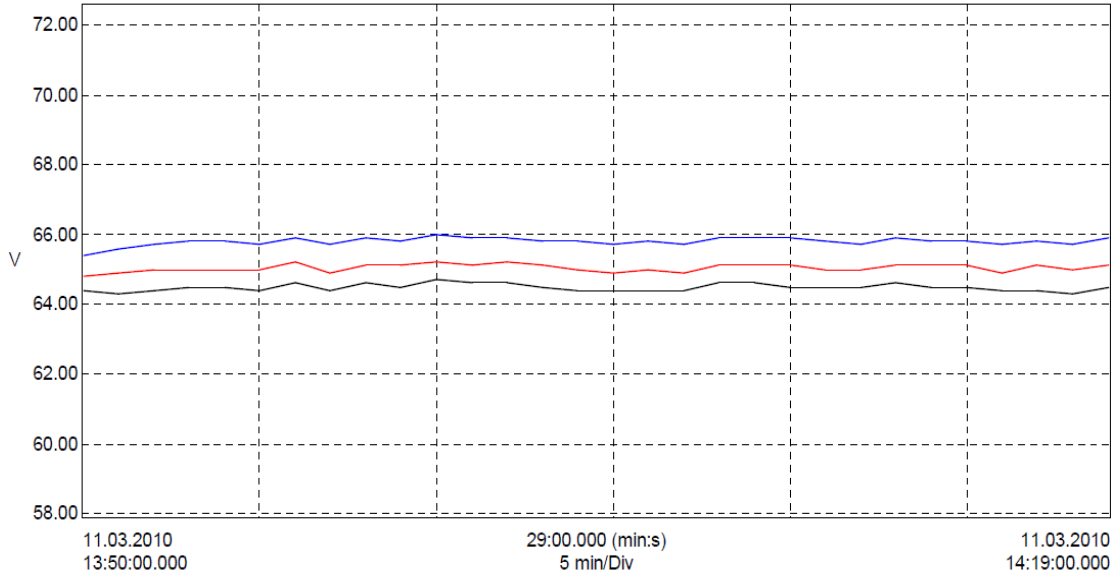
Name	Date	Time	Duration	Units	Avg	Min	Max
Hz	11.03.2010	13:50:00.000	30:00.000	(min:s)	49.991	49.960	50.050



Şekil 6.7. 34,5/3 kV 50 Hz giriş frekans değişimi grafiği

Tablo 6.3. 34,5/3 kV 50 Hz faz gerilimleri sayısal değerleri

Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Vrms Line1	11.03.2010	13:50:00.000	64.483	64.300	64.700	V
Vrms Line2	11.03.2010	13:50:00.000	65.037	64.800	65.200	V
Vrms Line3	11.03.2010	13:50:00.000	65.790	65.400	66.000	V

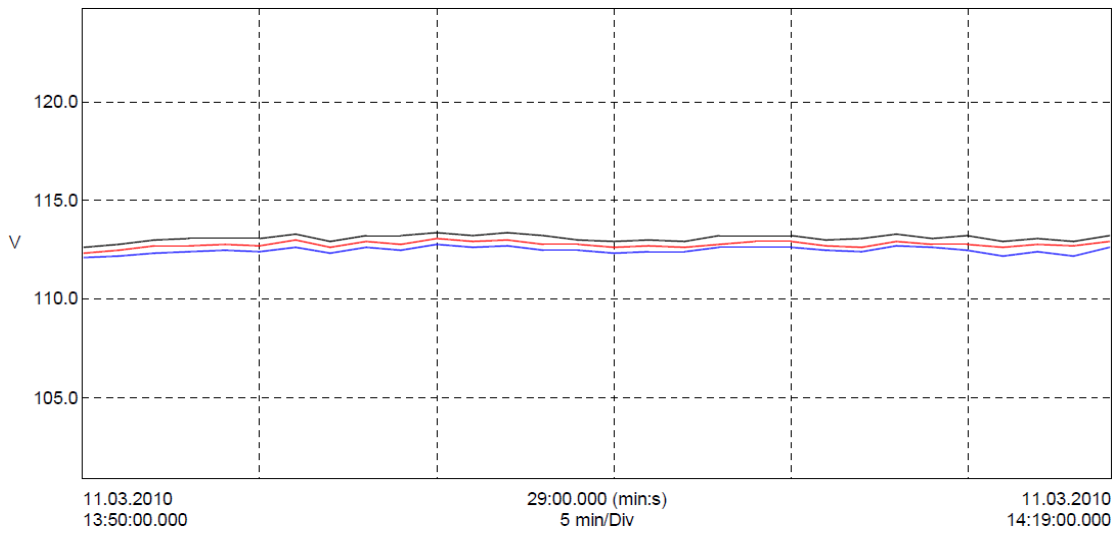


Şekil 6.8. 34,5/3 kV 50 Hz faz gerilimlerinin değişimi

Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’de yapılan ölçümlerde gerilim değerleri sistemde kullanılan 1/27 çarpanıyla dönüşüm yapan gerilim trafoları üzerinden okunmuştur, örneğin 65 V değeri yaklaşık olarak 1730 V değerine karşılık gelmektedir.

Tablo 6.4. 34,5/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerin sayısal değerleri

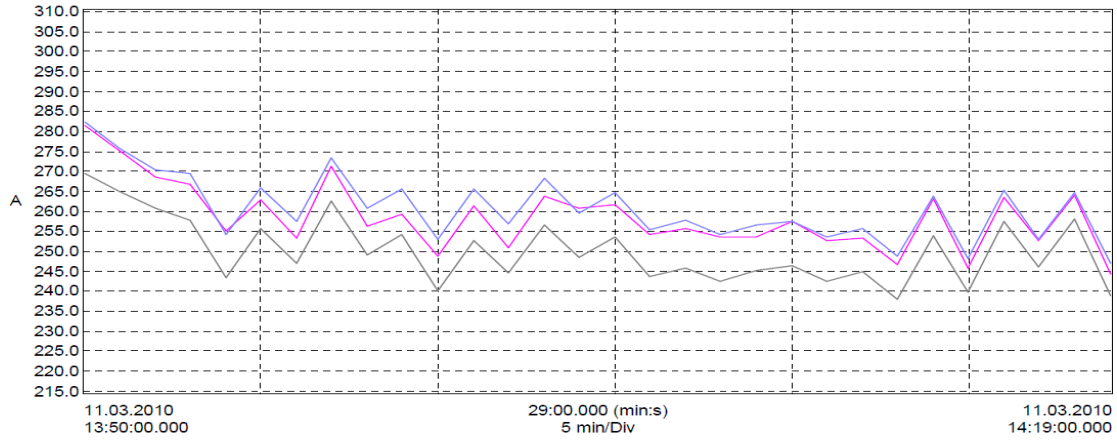
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Urms Line1	11.03.2010	13:50:00.000	113.090	112.600	113.400	V
Urms Line2	11.03.2010	13:50:00.000	112.763	112.300	113.100	V
Urms Line3	11.03.2010	13:50:00.000	112.467	112.100	112.800	V



Şekil 6.9. 34,5/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerinin değişimi

Tablo 6.5. 34,5/3 kV 50 Hz hat akımlarının sayısal değerleri

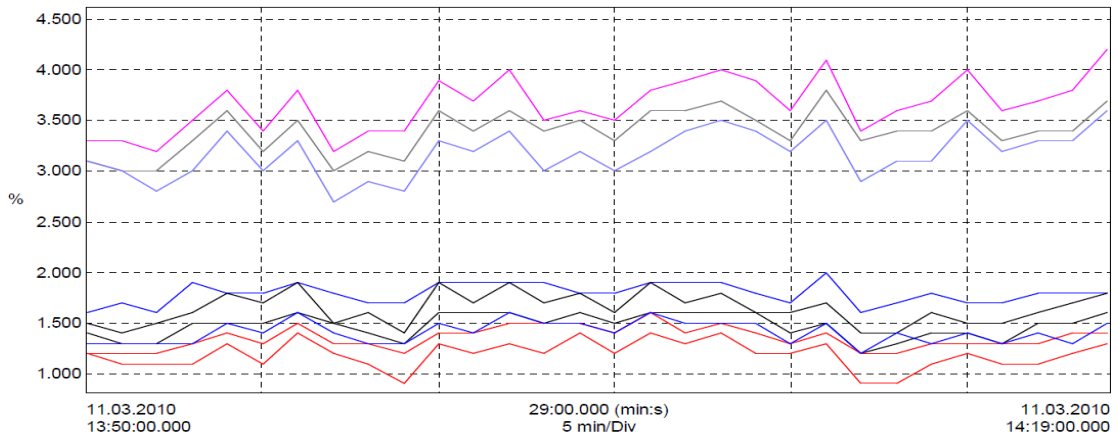
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Arms Line1	11.03.2010	13:50:00.000	250.150	238.100	269.400	A
Arms Line2	11.03.2010	13:50:00.000	258.613	244.200	281.500	A
Arms Line3	11.03.2010	13:50:00.000	260.847	247.000	282.400	A



Şekil 6.10. 34,5/3 kV 50 Hz hat akımlarının değişimi

Tablo 6.6. 34,5/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi sayısal değerleri

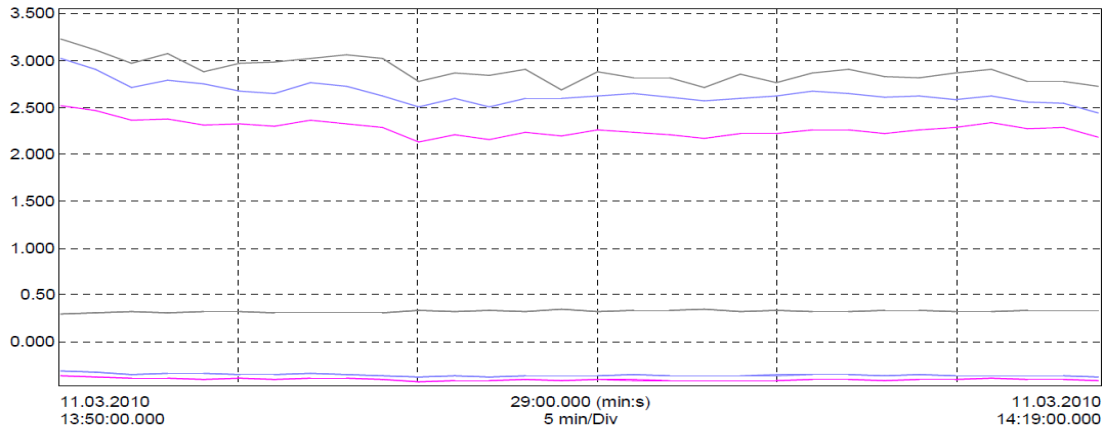
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Athd Line1	11.03.2010	13:50:00.000	3.393	3.000	3.800	%
Athd Line2	11.03.2010	13:50:00.000	3.660	3.200	4.200	%
Athd Line3	11.03.2010	13:50:00.000	3.177	2.700	3.600	%
Uthd Line1	11.03.2010	13:50:00.000	1.473	1.200	1.600	%
Uthd Line2	11.03.2010	13:50:00.000	1.353	1.200	1.600	%
Uthd Line3	11.03.2010	13:50:00.000	1.793	1.600	2.000	%
Vthd Line1	11.03.2010	13:50:00.000	1.643	1.400	1.900	%
Vthd Line2	11.03.2010	13:50:00.000	1.190	0.900	1.400	%
Vthd Line3	11.03.2010	13:50:00.000	1.410	1.200	1.600	%



Şekil 6.11. 34,5/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi

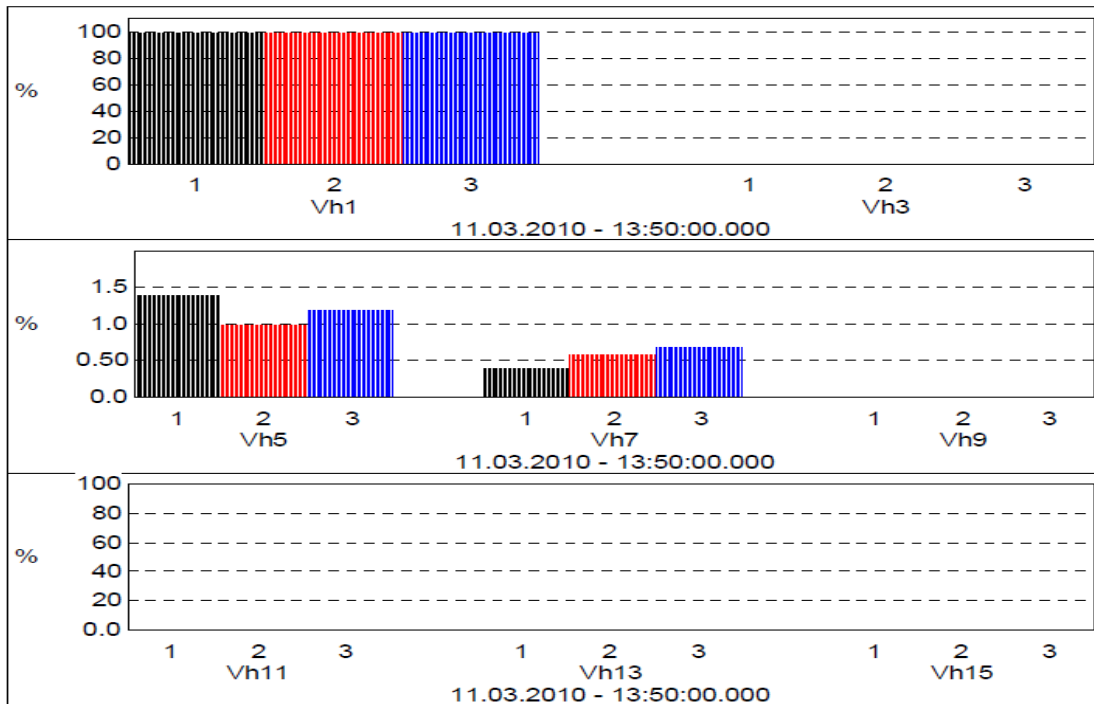
Tablo 6.7. 34,5/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi sayısal değerleri

Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
DPF Line1	11.03.2010	13:50:00.000	0.327	0.295	0.348	
DPF Line2	11.03.2010	13:50:00.000	-0.402	-0.423	-0.368	
DPF Line3	11.03.2010	13:50:00.000	-0.353	-0.378	-0.313	
PF Line1	11.03.2010	13:50:00.000	0.326	0.295	0.348	
PF Line2	11.03.2010	13:50:00.000	-0.401	-0.423	-0.368	
PF Line3	11.03.2010	13:50:00.000	-0.353	-0.377	-0.313	
Tan Line1	11.03.2010	13:50:00.000	2.896	2.689	3.234	
Tan Line2	11.03.2010	13:50:00.000	2.279	2.137	2.520	
Tan Line3	11.03.2010	13:50:00.000	2.649	2.448	3.027	



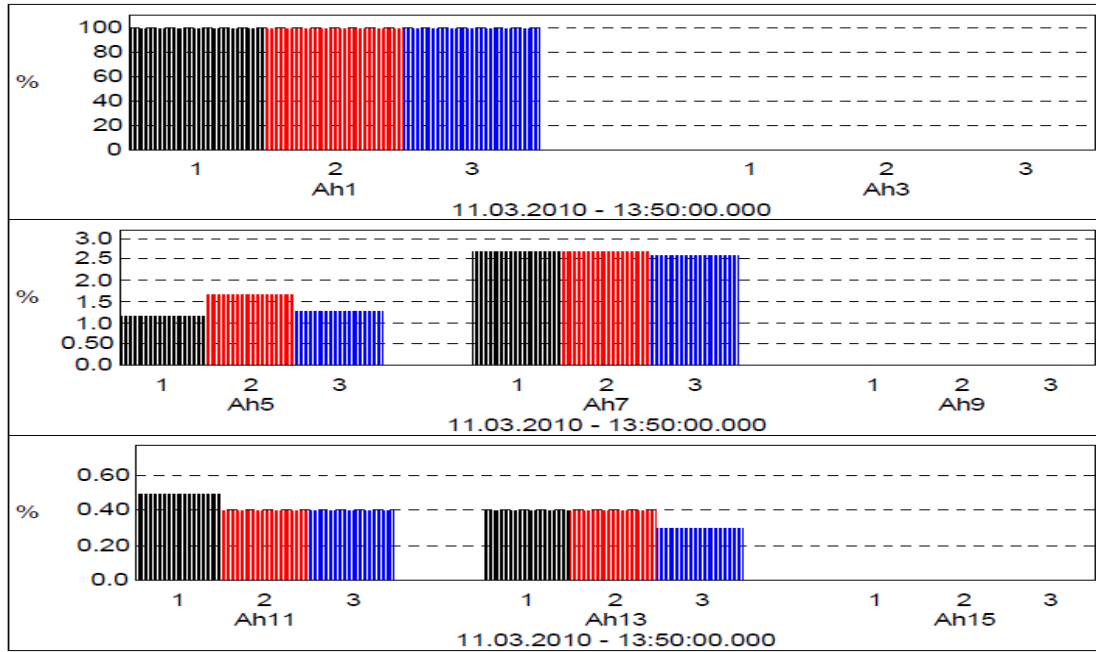
Şekil 6.12. 34,5/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi

Tablo 6.8. 34,5/3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre gerilimdeki THD değişimi





Tablo 6.9. 34,5/3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre akımdaki THD değışimi

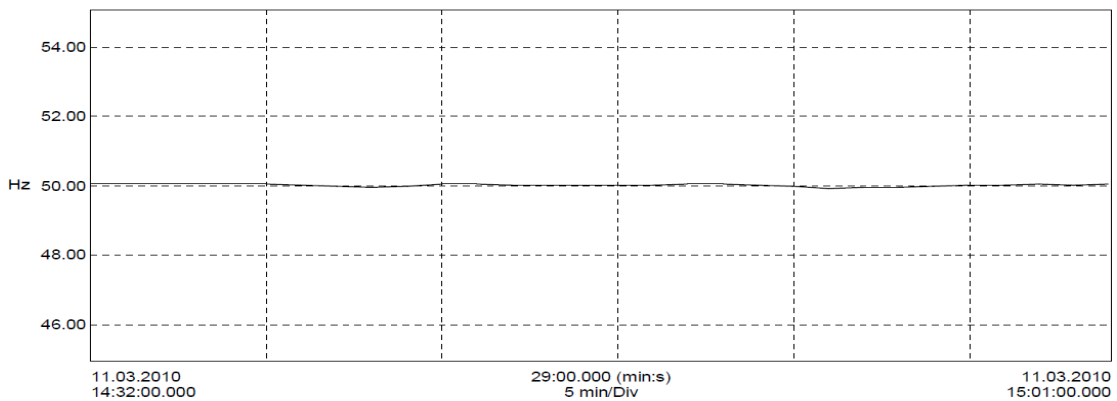


1 nolu trafonun ölçü hücresi girişinden yapılan ölçümlerde gerilim ve frekanstaki değışimlerin limitler dahilinde olduğu, hat akımlarındaki yük dağılımının dengeli olduğu, akımda ve gerilimde THD açısından problem yaşanmadığı görülmüştür.

### b. 2 nolu trafo ölçü hücresi girişinden üzerinden alınan ölçümler

Tablo 6.10. 34,5/3 kV 50 Hz giriş frekans değışimi sayısal değeri

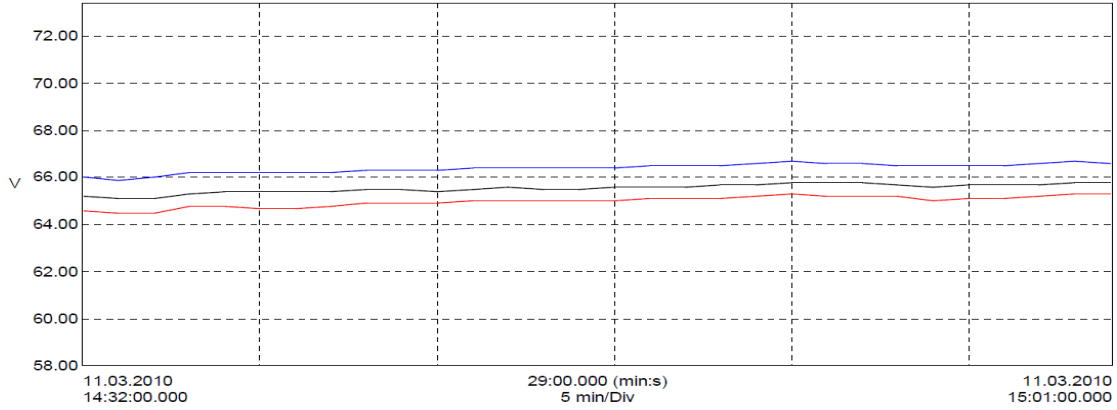
Name	Date	Time	Duration	Units	Avg	Min	Max
Hz	11.03.2010	14:32:00.000	30:00.000	(min:s)	50.017	49.940	50.060



Şekil 6.13. 34,5/3 kV 50 Hz giriş frekans değışimi

Tablo 6.11. 34,5/3 kV 50 Hz faz gerilimleri sayısal değerleri

Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Vrms Line1	11.03.2010	14:32:00.000	65.547	65.100	65.800	V
Vrms Line2	11.03.2010	14:32:00.000	64.983	64.500	65.300	V
Vrms Line3	11.03.2010	14:32:00.000	66.390	65.900	66.700	V

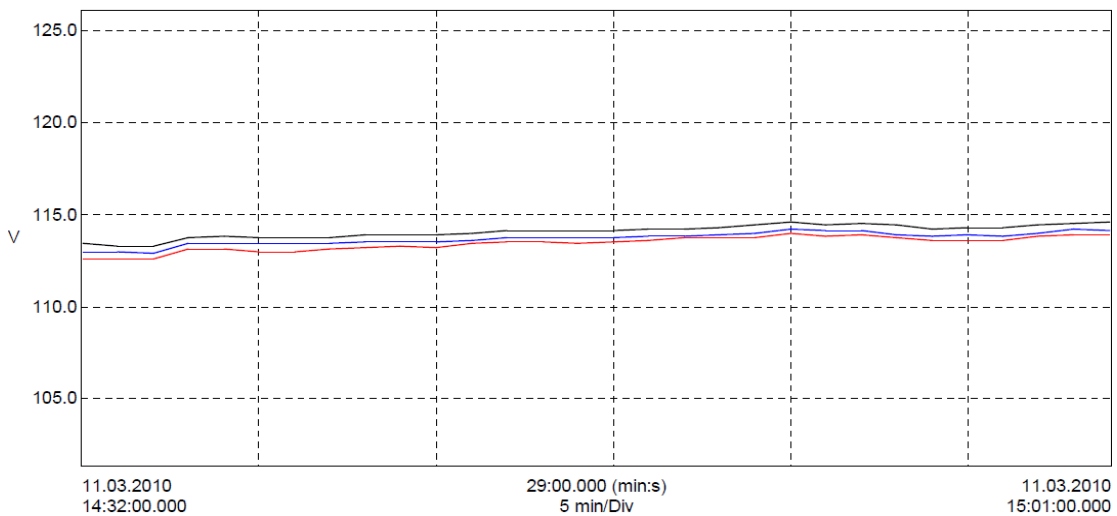


Şekil 6.14. 34,5/3 kV 50 Hz faz gerilimlerinin değişimi

Şekil 6.13 ve Şekil 6.14’de yapılan ölçümlerde de yine gerilim değerleri sistemde kullanılan 1/27 çarpanıyla dönüşüm yapan gerilim trafoları üzerinden okunmuştur, örneğin 113 V değeri yaklaşık olarak 3000 V değerine karşılık gelmektedir.

Tablo 6.12. 34,5/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerin sayısal değerleri

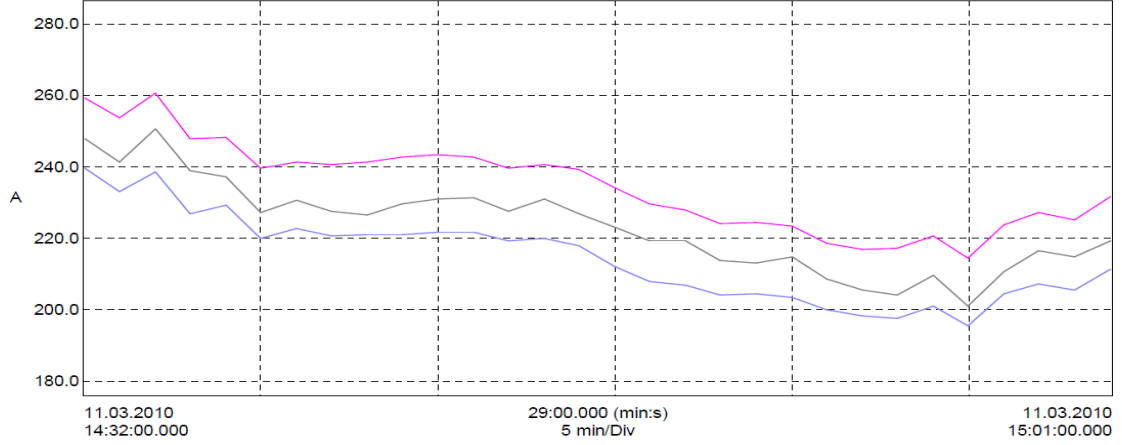
Urms Line1	11.03.2010	14:32:00.000	114.067	113.300	114.600	V
Urms Line2	11.03.2010	14:32:00.000	113.420	112.600	114.000	V
Urms Line3	11.03.2010	14:32:00.000	113.680	112.900	114.200	V



Şekil 6.15. 34,5/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerinin değişimi

Tablo 6.13. 34,5/3 kV 50 Hz hat akımlarının sayısal değerleri

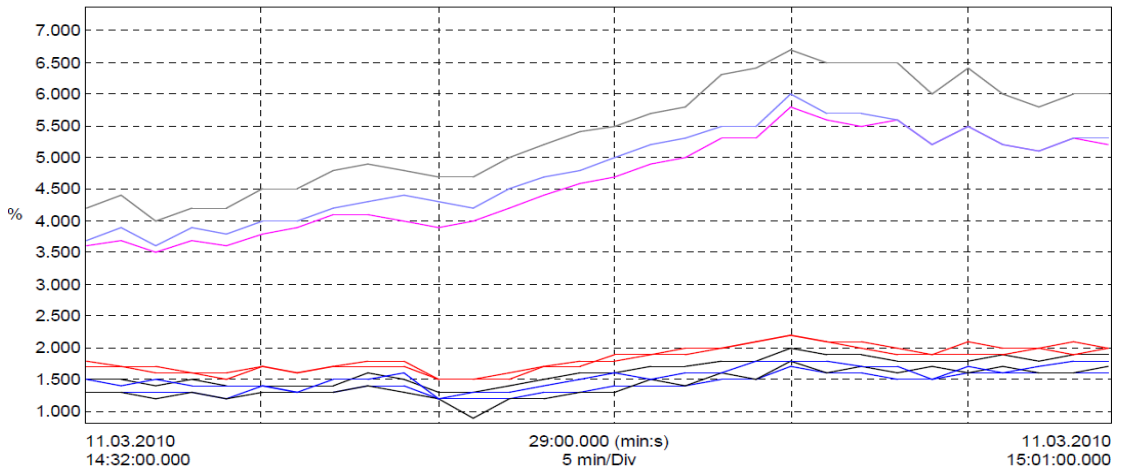
Arms Line1	11.03.2010	14:32:00.000	223.273	200.900	250.600	A
Arms Line2	11.03.2010	14:32:00.000	234.677	214.500	260.500	A
Arms Line3	11.03.2010	14:32:00.000	214.393	195.300	239.600	A



Şekil 6.16. 34,5/3 kV 50 Hz hat akımlarının değişimi

Tablo 6.14. 34,5/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi sayısal değerleri

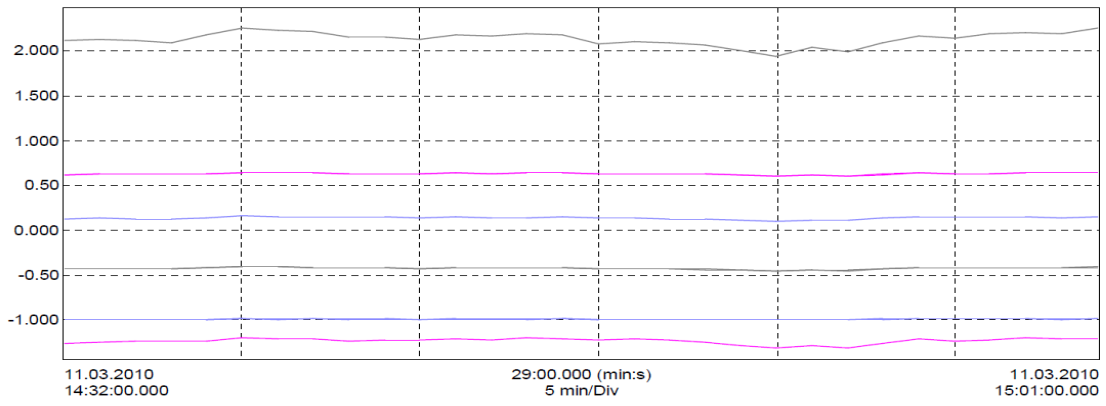
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Athd Line1	11.03.2010	14:32:00.000	5.387	4.000	6.700	%
Athd Line2	11.03.2010	14:32:00.000	4.610	3.500	5.800	%
Athd Line3	11.03.2010	14:32:00.000	4.780	3.600	6.000	%
Uthd Line1	11.03.2010	14:32:00.000	1.633	1.300	2.000	%
Uthd Line2	11.03.2010	14:32:00.000	1.820	1.500	2.200	%
Uthd Line3	11.03.2010	14:32:00.000	1.417	1.200	1.700	%
Vthd Line1	11.03.2010	14:32:00.000	1.420	0.900	1.800	%
Vthd Line2	11.03.2010	14:32:00.000	1.827	1.500	2.200	%
Vthd Line3	11.03.2010	14:32:00.000	1.547	1.200	1.800	%



Şekil 6.17. 34,5/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi

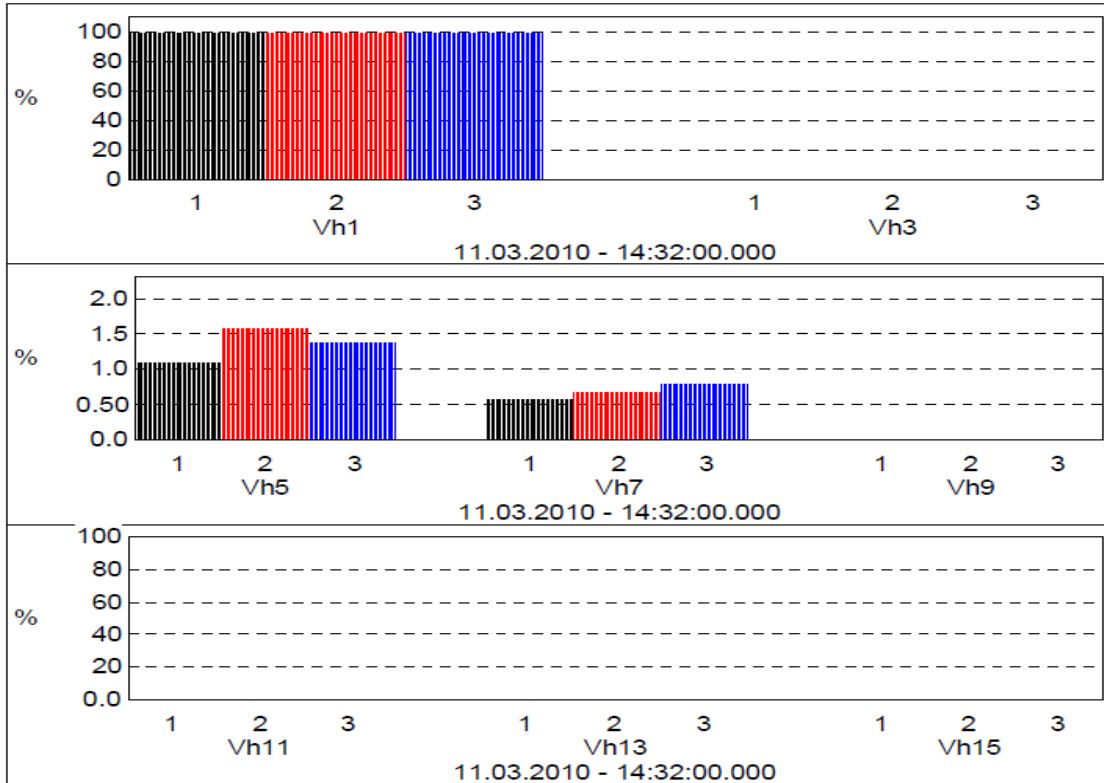
Tablo 6.15. 34,5/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi sayısal değerleri

Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
DPF Line1	11.03.2010	14:32:00.000	-0.424	-0.458	-0.405	
DPF Line2	11.03.2010	14:32:00.000	0.630	0.608	0.642	
DPF Line3	11.03.2010	14:32:00.000	-0.990	-0.995	-0.986	
PF Line1	11.03.2010	14:32:00.000	-0.424	-0.456	-0.404	
PF Line2	11.03.2010	14:32:00.000	0.630	0.607	0.641	
PF Line3	11.03.2010	14:32:00.000	-0.989	-0.993	-0.984	
Tan Line1	11.03.2010	14:32:00.000	2.133	1.940	2.254	
Tan Line2	11.03.2010	14:32:00.000	-1.230	-1.305	-1.192	
Tan Line3	11.03.2010	14:32:00.000	0.138	0.096	0.157	

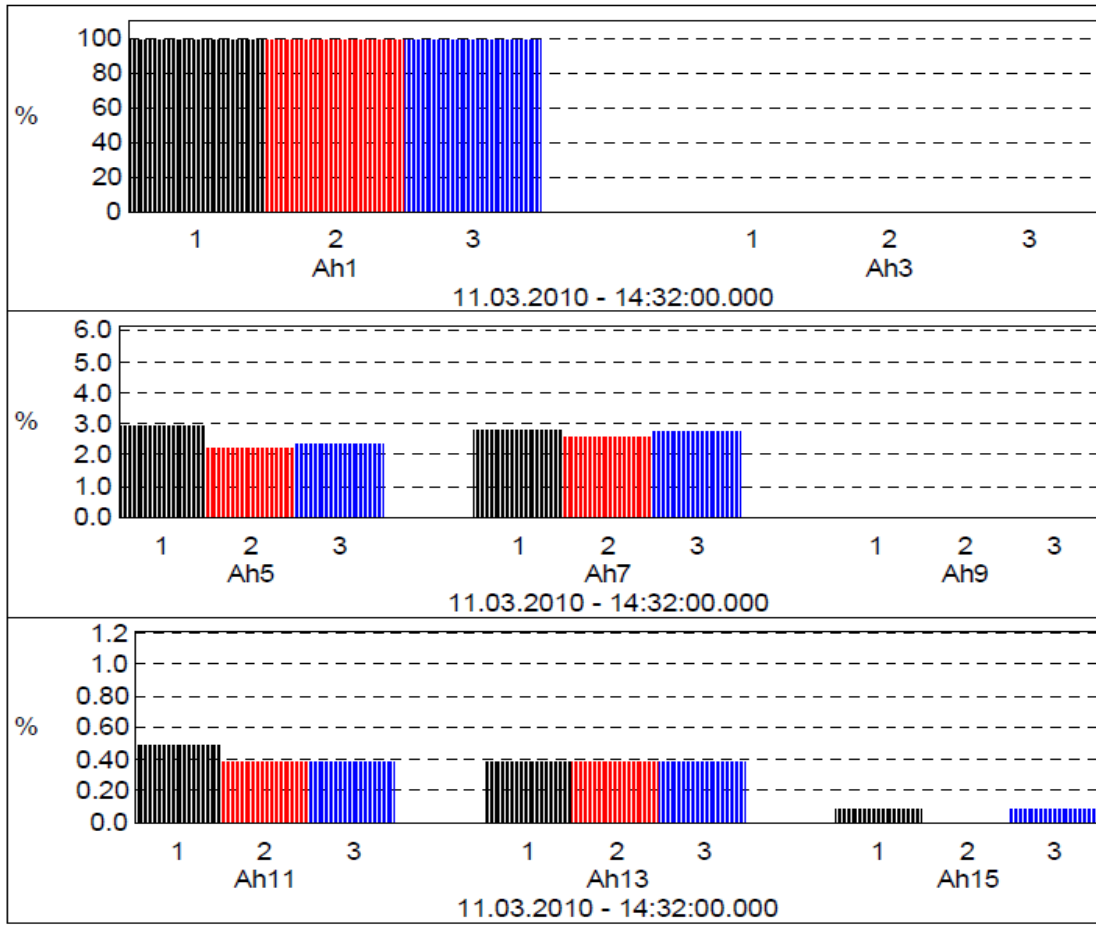


Şekil 6.18. 34,5/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi

Tablo 6.16. 34,5/3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre gerilimdeki THD değişimi



Tablo 6.17. 34,5/3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre akımdaki THD değişimi



2 nolu trafonun ölçü hücresi girişinden yapılan ölçümlerde de gerilim ve frekanstaki değişimlerin limitler dahilinde olduğu, hat akımlarındaki yük dağılımının dengeli olduğu, akımda ve gerilimde THD açısından problem yaşanmadığı görülmüştür.

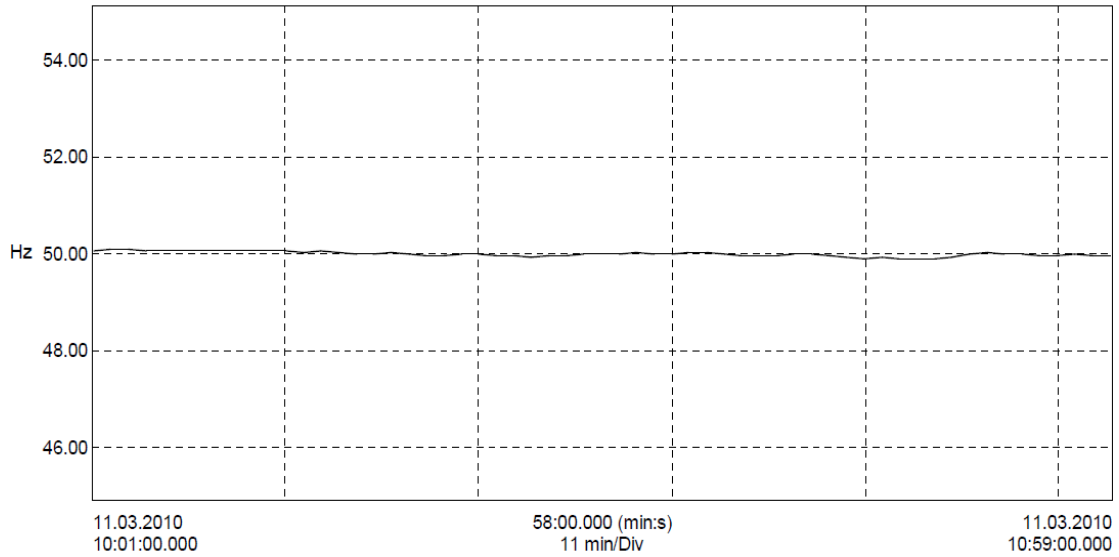
### 6.2.3.2. 60 Hz genlikli dağıtım sistemi ölçümleri

Esaslı olarak gemilerde kullanılan 60 Hz genlikli elektrik enerjisinin kalitesinin tespit edilebilmesi amacıyla 1 ve 2 nolu dinamik frekans konvertörlerinden ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler alınırken sistem üzerinde yüke bağlı olarak bir konvertörün yeterli olması nedeniyle, ölçüm işlemine 1 nolu konvertör ile başlanmıştır. Daha sonra ölçüm zaman aralığının ortasında 1 nolu konvertör ile birlikte 2 nolu konvertör devreye alınmış, ardından 1 nolu konvertör devreden çıkartılarak ölçüm işlemine 2 nolu konvertör üzerinden devam edilmiştir. Böylelikle 60 Hz ile beslenen sistemler üzerinde her iki durum içinde inceleme fırsatı yakalanmıştır.

### a. 1 ve 2 nolu dinamik frekans konvertörleri girişinden alınan ölçümler

Tablo 6.18. 3/3 kV 50 Hz giriş frekans değişimi sayısal değerleri

Name	Date	Time	Duration	Units	Avg	Min	Max
Hz	11.03.2010	10:01:00.000	59:00.000	(min:s)	50.010	49.910	50.120

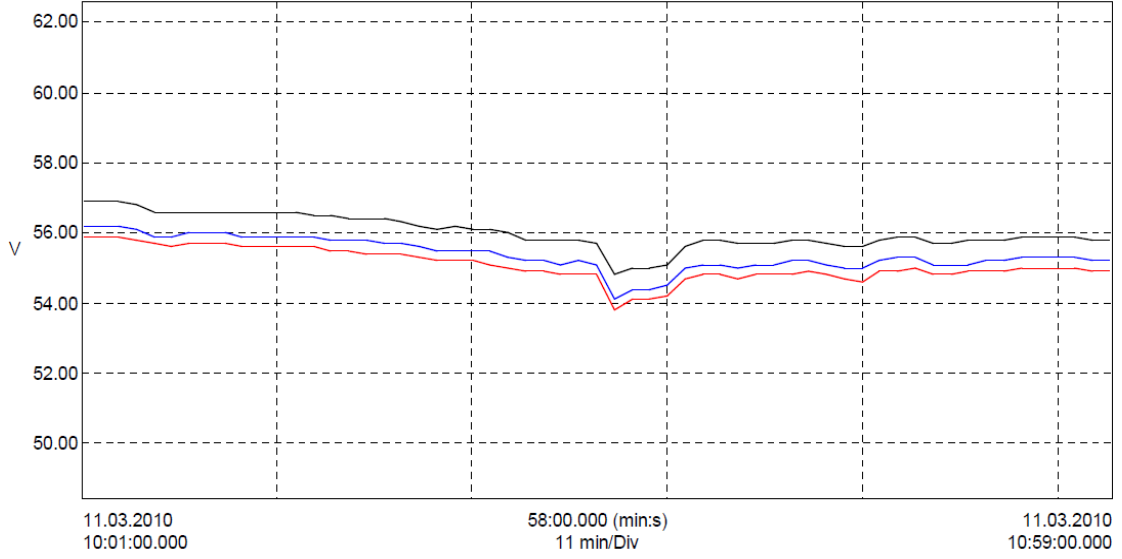


Şekil 6.19. 3/3 kV 50 Hz giriş frekans değişimi

Şekil 6.19’de yapılan ölçümlerde frekans değeri 50 Hz olarak görülmektedir bunun sebebi motor-jeneratör setleri olan dinamik frekans konvertörlerinin motor tarafından ölçüm alınmasıdır. Konvertörün giriş frekansı 50 Hz, çıkışı ise gemilerin beslenmesinden dolayı 60 Hz’dir.

Tablo 6.19. 3/3 kV 50 Hz faz gerilimleri sayısal değerleri

Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Vrms Line1	11.03.2010	10:01:00.000	56.022	54.800	56.900	V
Vrms Line2	11.03.2010	10:01:00.000	55.081	53.800	55.900	V
Vrms Line3	11.03.2010	10:01:00.000	55.388	54.100	56.200	V

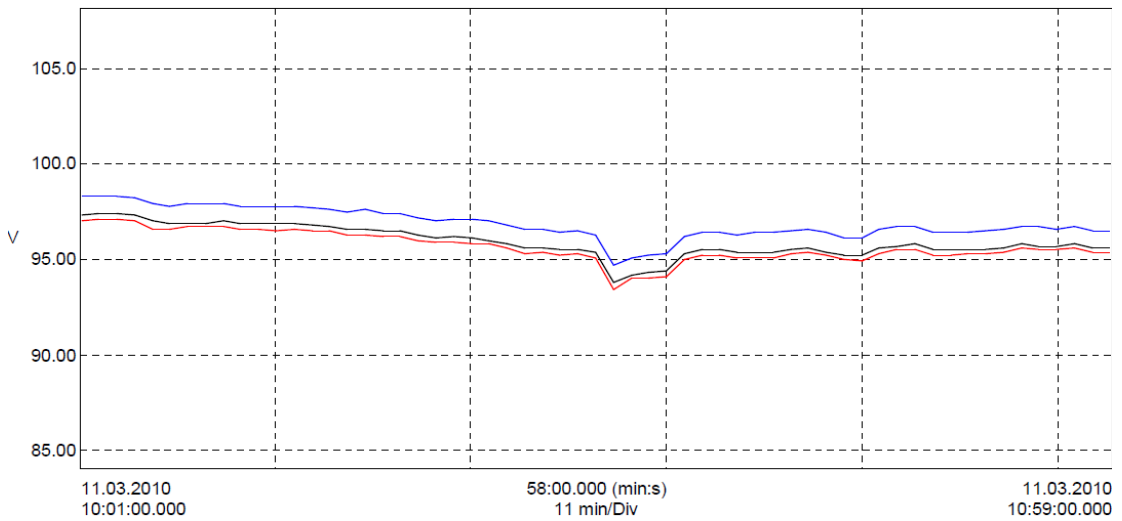


Şekil 6.20. 3/3 kV 50 Hz faz gerilimlerinin değişimi

Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’de yapılan ölçümlerde de yine gerilim değerleri sistemde kullanılan 1/32 çarpanıyla dönüşüm yapan gerilim trafoları üzerinden okunmuştur, örneğin 96 V değeri yaklaşık olarak 3000 V değerine karşılık gelmektedir.

Tablo 6.20. 3/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerin sayısal değerleri

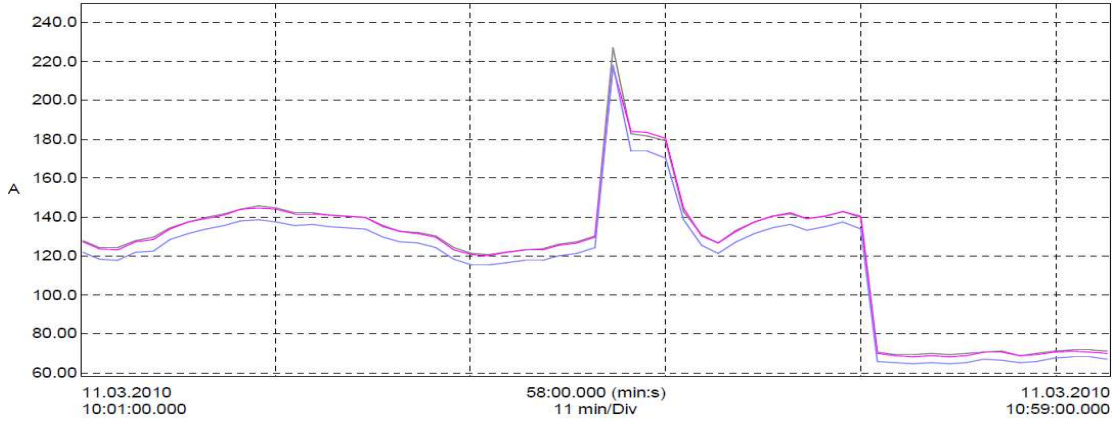
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Urms Line1	11.03.2010	10:01:00.000	95.941	93.800	97.400	V
Urms Line2	11.03.2010	10:01:00.000	95.675	93.400	97.100	V
Urms Line3	11.03.2010	10:01:00.000	96.875	94.700	98.300	V



Şekil 6.21. 3/3 kV 50 Hz fazlar arası gerilimlerinin değişimi

Tablo 6.21. 3/3 kV 50 Hz hat akımlarının sayısal değerleri

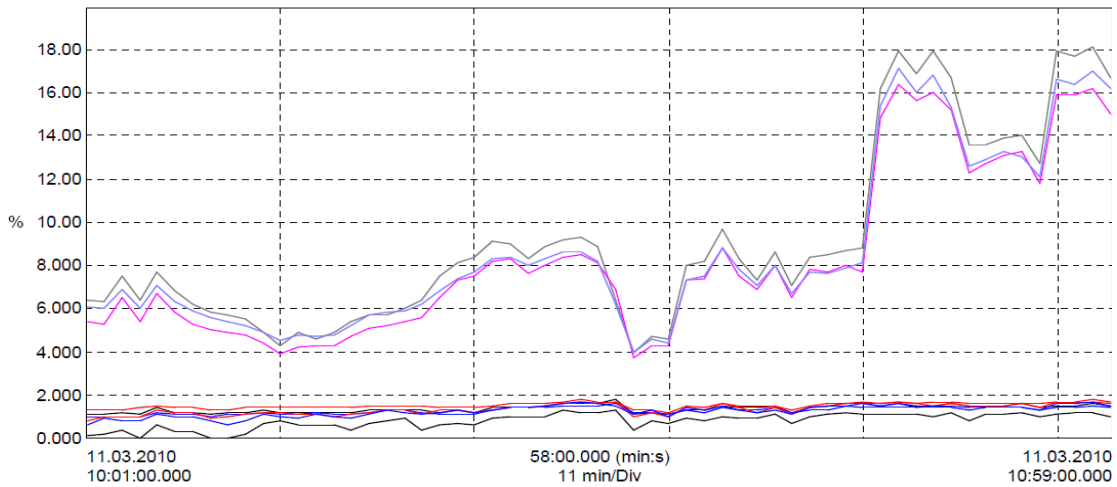
Arms Line1	11.03.2010	10:01:00.000	122.946	69.200	226.900	A
Arms Line2	11.03.2010	10:01:00.000	122.417	68.100	217.000	A
Arms Line3	11.03.2010	10:01:00.000	117.268	64.700	217.900	A



Şekil 6.22. 3/3 kV 50 Hz hat akımlarının değişimi

Tablo 6.22. 3/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi sayısal değerleri

Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Athd Line1	11.03.2010	10:01:00.000	9.134	4.000	18.100	%
Athd Line2	11.03.2010	10:01:00.000	8.264	3.700	16.400	%
Athd Line3	11.03.2010	10:01:00.000	8.605	4.000	17.100	%
Uthd Line1	11.03.2010	10:01:00.000	1.368	1.100	1.800	%
Uthd Line2	11.03.2010	10:01:00.000	1.510	1.200	1.800	%
Uthd Line3	11.03.2010	10:01:00.000	1.269	1.000	1.600	%
Vthd Line1	11.03.2010	10:01:00.000	0.800	0.000	1.300	%
Vthd Line2	11.03.2010	10:01:00.000	1.339	0.800	1.700	%
Vthd Line3	11.03.2010	10:01:00.000	1.256	0.600	1.700	%

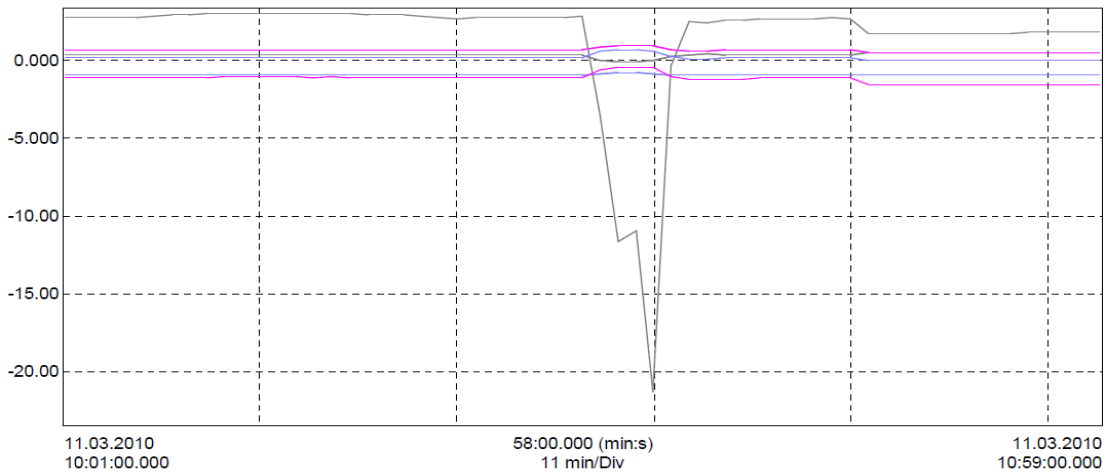


Şekil 6.23. 3/3 kV 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi



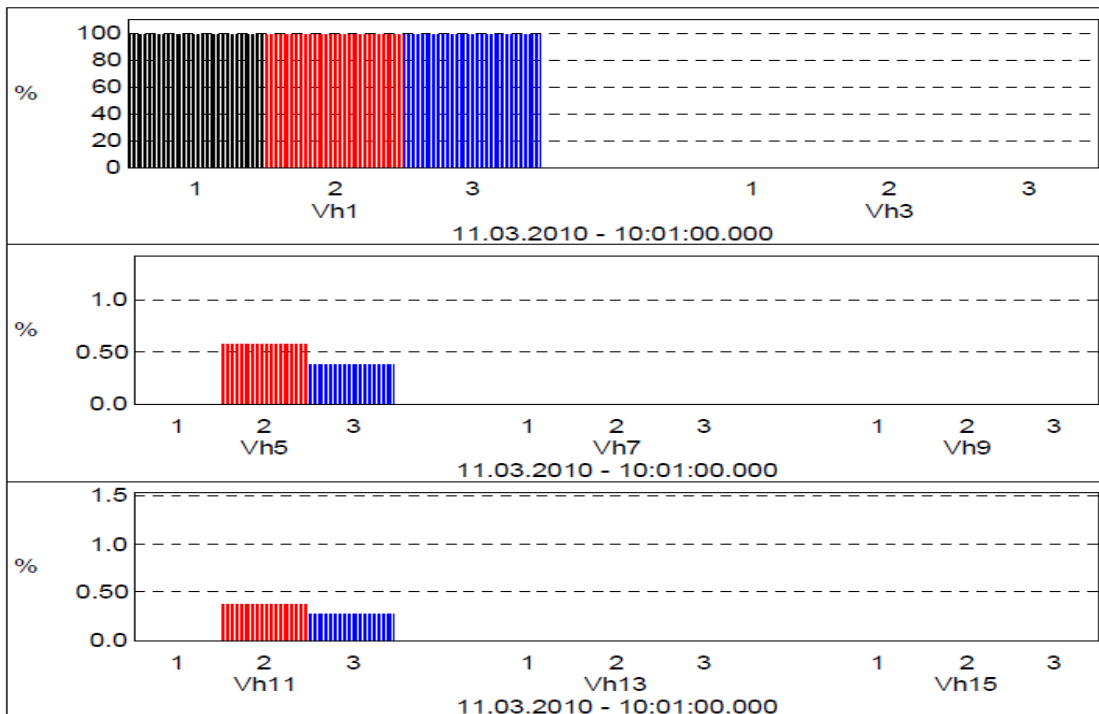
Tablo 6.23. 3/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi sayısal değerleri

Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
DPF Line1	11.03.2010	10:01:00.000	0.346	-0.090	0.502	
DPF Line2	11.03.2010	10:01:00.000	0.647	0.529	0.919	
DPF Line3	11.03.2010	10:01:00.000	-0.980	-1.000	-0.826	
PF Line1	11.03.2010	10:01:00.000	0.344	-0.090	0.495	
PF Line2	11.03.2010	10:01:00.000	0.645	0.526	0.918	
PF Line3	11.03.2010	10:01:00.000	-0.976	-0.992	-0.826	
Tan Line1	11.03.2010	10:01:00.000	1.502	-21.337	3.046	
Tan Line2	11.03.2010	10:01:00.000	-1.195	-1.600	-0.427	
Tan Line3	11.03.2010	10:01:00.000	0.141	-0.038	0.680	

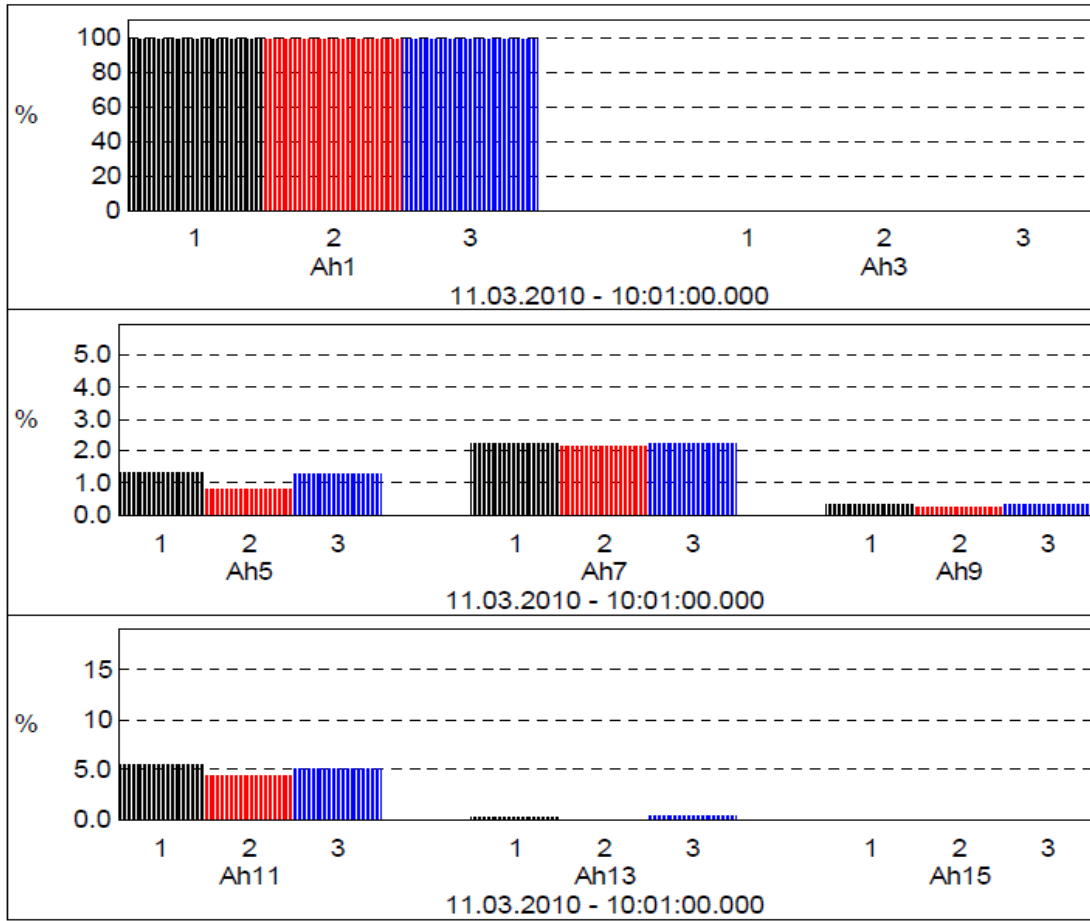


Şekil 6.24. 3/3 kV 50 Hz güç faktörü değişimi

Tablo 6.24. 3 /3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre gerilimdeki THD değişimi



Tablo 6.25. 3/3 kV 50 Hz harmonik kademelerine göre akımdaki THD değişimi



Dinamik frekans konvertörleri girişinden yapılan ölçümlerde frekanstaki değişimlerin limitler dahilinde olduğu, gerilimde yaşanan değişimlerin standartlara uygun olduğu ancak 50 Hz dağıtım sistemine nazaran yüksek olduğu, hat akımlarındaki yük dağılımının dengeli olduğu, gerilimdeki THD<sub>v</sub>' nun limitler dahilinde olduğu ancak akımdaki THD<sub>i</sub> ise konvertörün yüksüz çalışması esnasında yüksek olduğu görülmüştür.

#### 6.2.4. Sahil dağıtım panolarının enerji kalitesinin ölçülmesi

Sahil elektrik santralinde yapılan ölçümlerin ardından tüketicilerdeki durumu ve dağıtım sistemi sonrasında elektrik enerjisinin kalitesi hakkındaki tabloyu görmek açısından sahil elektrik dağıtım panolarından doğrudan ölçüm alınmıştır. Bu ölçümler alınırken özellikle tez içerisinde teknik özellikleri verilen gemilerin beslendiği dağıtım panolarından veriler alınmıştır.

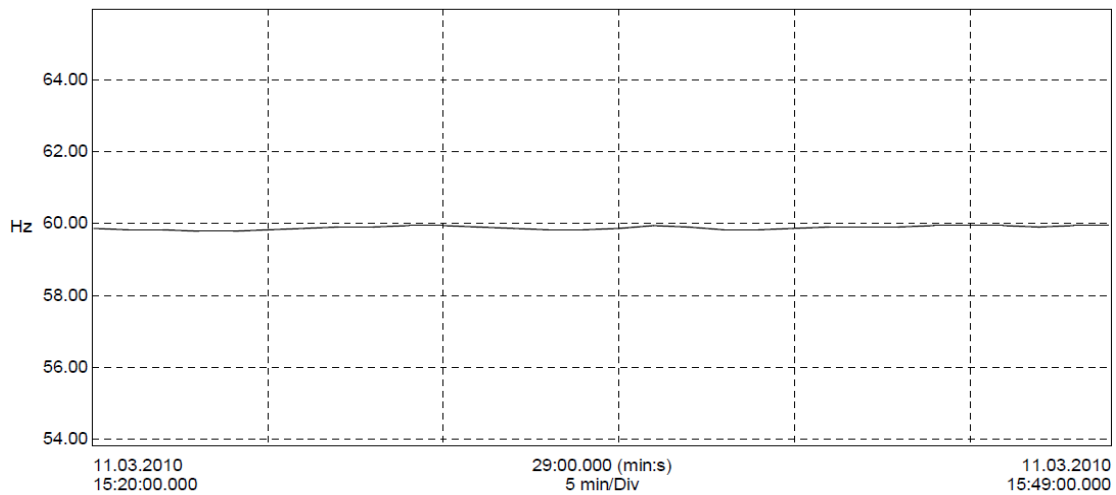
İskeleler üzerinde bulunan ve gemilerin liman durumunda doğrudan elektrik enerjisini aldığı sahil dağıtım panolarından ölçüm alınması esnasında sırasıyla A sınıfı geminin beslendiği dağıtım panosundan daha sonrada B sınıfı geminin beslendiği dağıtım panosundan ölçümler alınmıştır. Bu arada C sınıfı geminin bağlı olduğu dağıtım panosundan ölçüme yönelik bir uygulama yapılmamıştır, bunun sebebi ise C sınıfı geminin sahilden DC gerilim almasıdır, daha öncede tez içerisinde anlatıldığı üzere C sınıfı geminin elektriksel dizaynı doğru akım üzerine tesis edilmiştir. Tez içerisinde C sınıfı gemiye özellikle yer verilmesinin sebebi gemilerdeki elektrik enerjisi çeşitliliğini ortaya koymak içindir.

#### 6.2.4.1. A sınıfı geminin beslendiği dağıtım panosundan alınan ölçümler

A sınıfı gemide ölçüm 440 V 60 Hz ile beslenen geminin bağlı olduğu iskele üzerindeki dağıtım panelinden yapılmıştır. Tez içerisinde anlatıldığı üzere sahilde iskeleler üzerinde bulunan dağıtım panellerinin elektrik enerjisi sahil elektrik santrali dinamik frekans konvertörlerinden dağıtılan 3000 V 60 Hz gerilimin trafolar vastasıyla 440 V 60 Hz düşürülmesi ile elde edilmektedir.

Tablo 6.26. 440 V 60 Hz giriş frekans değişimi sayısal değerleri

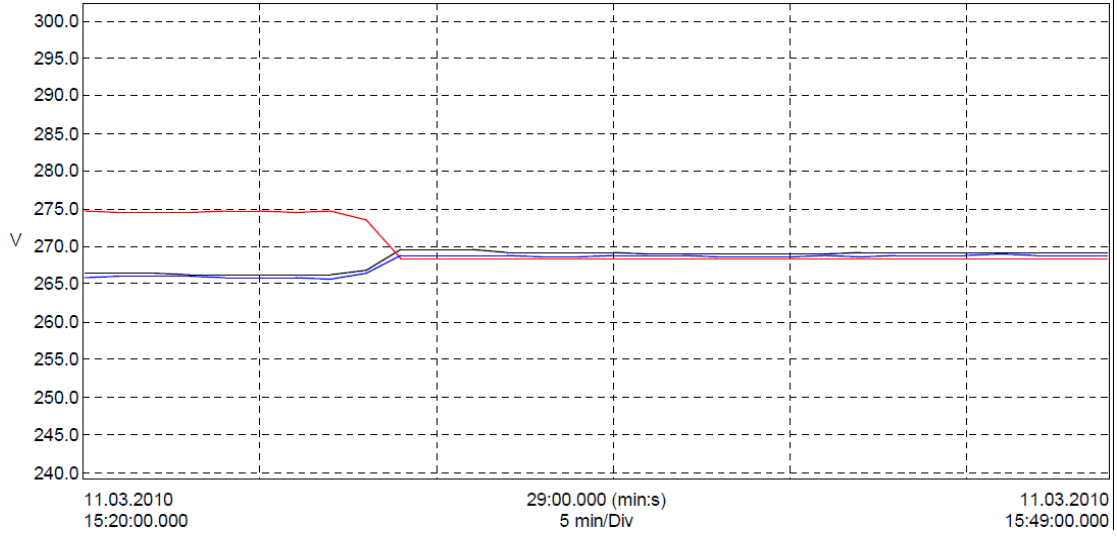
Name	Date	Time	Duration	Units	Avg	Min	Max
Hz	11.03.2010	15:20:00.000	30:00.000	(min:s)	59.876	59.790	59.950



Şekil 6.25. 440 V 60 Hz giriş frekans değişimi

Tablo 6.27. 440 V 60 Hz faz gerilimleri sayısal değerleri

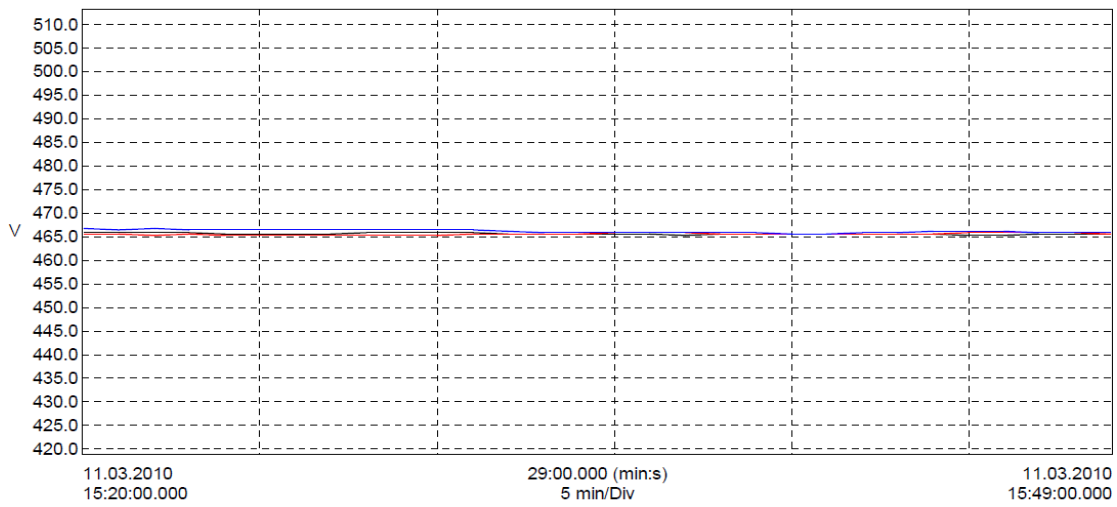
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Vrms Line1	11.03.2010	15:20:00.000	268.390	266.200	269.700	V
Vrms Line2	11.03.2010	15:20:00.000	270.270	268.400	274.800	V
Vrms Line3	11.03.2010	15:20:00.000	267.950	265.700	269.000	V



Şekil 6.26. 440 V 60 Hz faz gerilimlerinin değişimi

Tablo 6.28. 440 V 60 Hz fazlar arası gerilimlerin sayısal değışimi

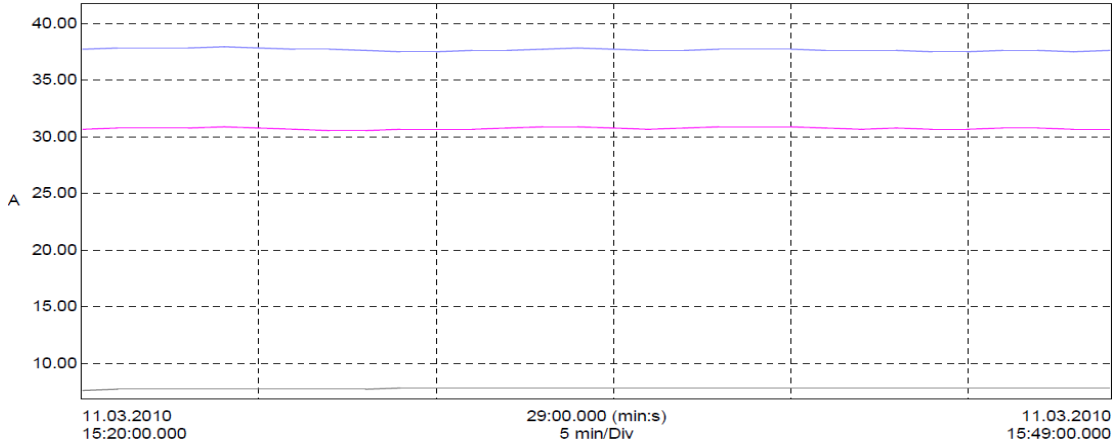
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Urms Line1	11.03.2010	15:20:00.000	465.560	465.300	465.900	V
Urms Line2	11.03.2010	15:20:00.000	465.500	465.200	465.800	V
Urms Line3	11.03.2010	15:20:00.000	466.080	465.600	466.600	V



Şekil 6.27. 440 V 60 Hz fazlar arası gerilimlerinin değışimi

Tablo 6.29. 440 V 60 Hz hat akımlarının sayısal değerleri

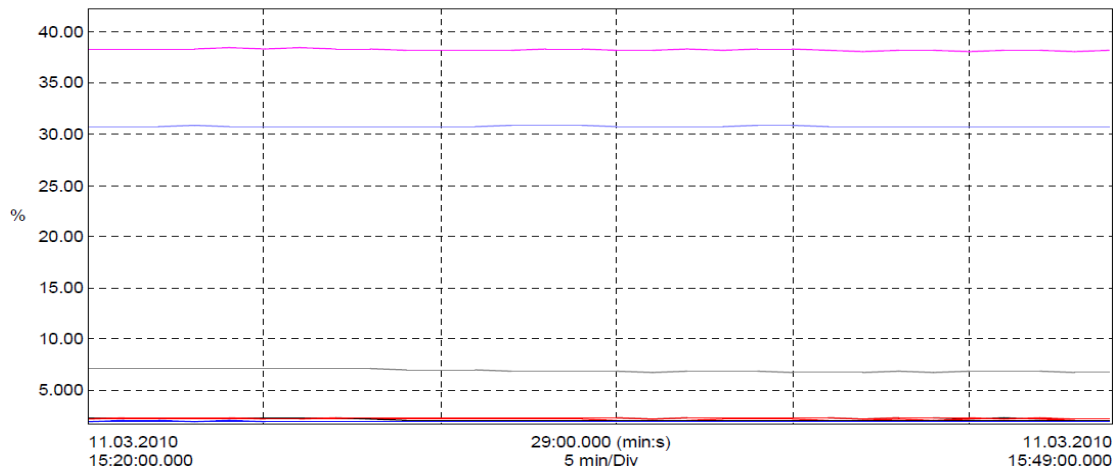
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Arms Line1	11.03.2010	15:20:00.000	7.767	7.600	7.800	A
Arms Line2	11.03.2010	15:20:00.000	30.670	30.500	30.800	A
Arms Line3	11.03.2010	15:20:00.000	37.653	37.500	37.900	A



Şekil 6.28. 440 V 60 Hz hat akımlarının değişimi

Tablo 6.30. 440 V 60 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi sayısal değerleri

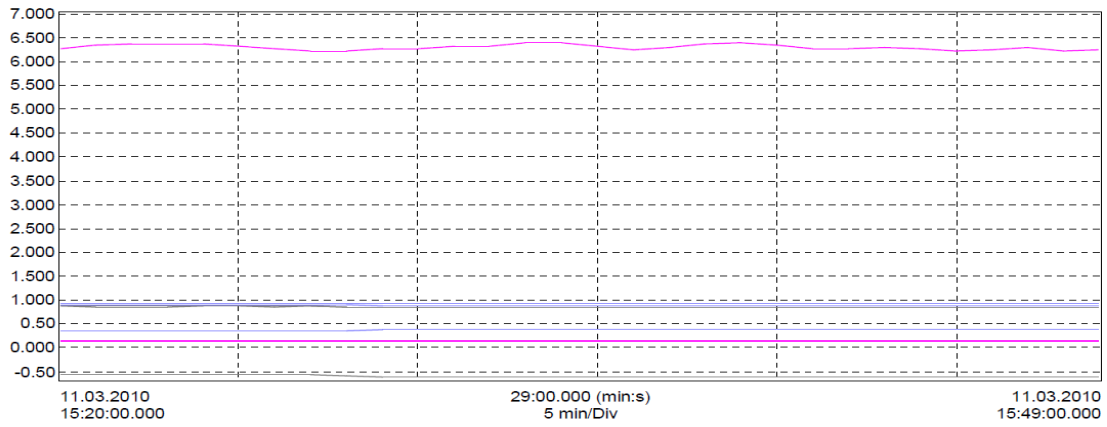
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Athd Line1	11.03.2010	15:20:00.000	6.970	6.700	7.200	%
Athd Line2	11.03.2010	15:20:00.000	38.243	38.100	38.400	%
Athd Line3	11.03.2010	15:20:00.000	30.807	30.700	30.900	%
Uthd Line1	11.03.2010	15:20:00.000	2.283	2.200	2.400	%
Uthd Line2	11.03.2010	15:20:00.000	2.173	2.100	2.200	%
Uthd Line3	11.03.2010	15:20:00.000	2.010	2.000	2.100	%
Vthd Line1	11.03.2010	15:20:00.000	2.157	2.100	2.300	%
Vthd Line2	11.03.2010	15:20:00.000	2.273	2.200	2.300	%
Vthd Line3	11.03.2010	15:20:00.000	1.900	1.900	1.900	%



Şekil 6.29. 440 V 60 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değişimi

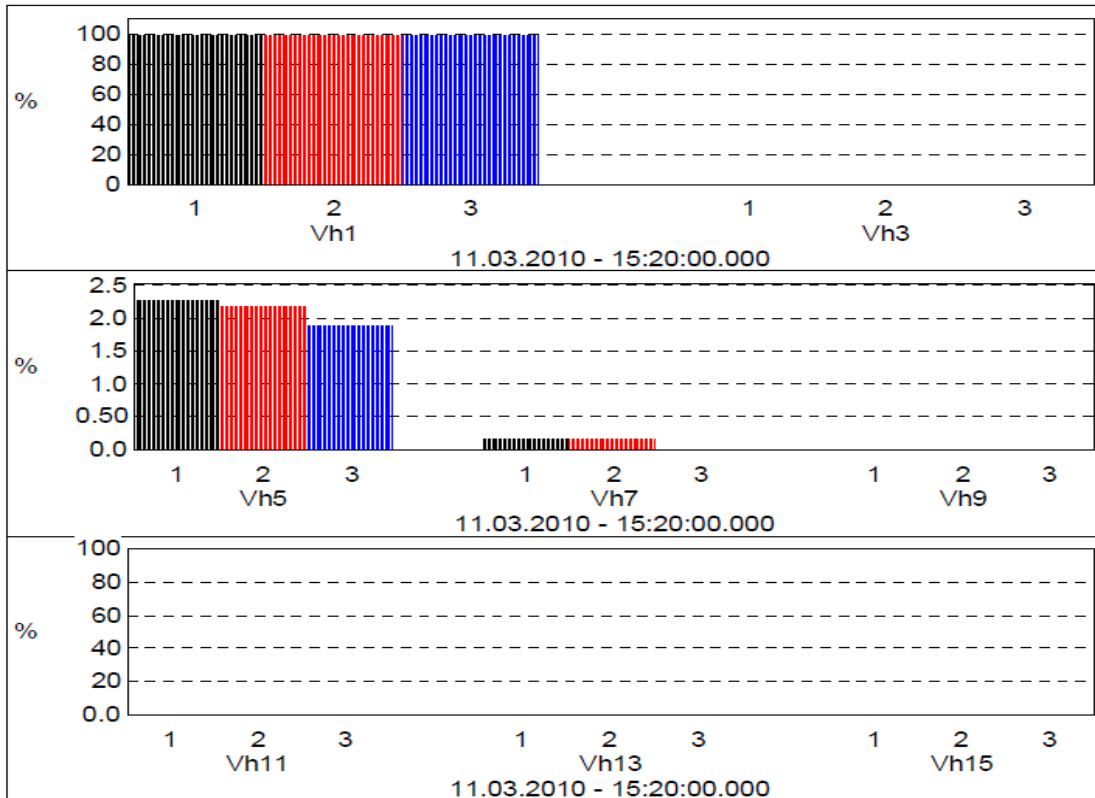
Tablo 6.31. 440 V 60 Hz güç faktörü değişimi sayısal değerleri

Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
DPF Line1	11.03.2010	15:20:00.000	0.855	0.849	0.871	
DPF Line2	11.03.2010	15:20:00.000	0.156	0.154	0.158	
DPF Line3	11.03.2010	15:20:00.000	0.933	0.929	0.941	
PF Line1	11.03.2010	15:20:00.000	0.854	0.847	0.869	
PF Line2	11.03.2010	15:20:00.000	0.145	0.143	0.147	
PF Line3	11.03.2010	15:20:00.000	0.892	0.888	0.900	
Tan Line1	11.03.2010	15:20:00.000	-0.604	-0.622	-0.563	
Tan Line2	11.03.2010	15:20:00.000	6.300	6.215	6.399	
Tan Line3	11.03.2010	15:20:00.000	0.384	0.357	0.396	

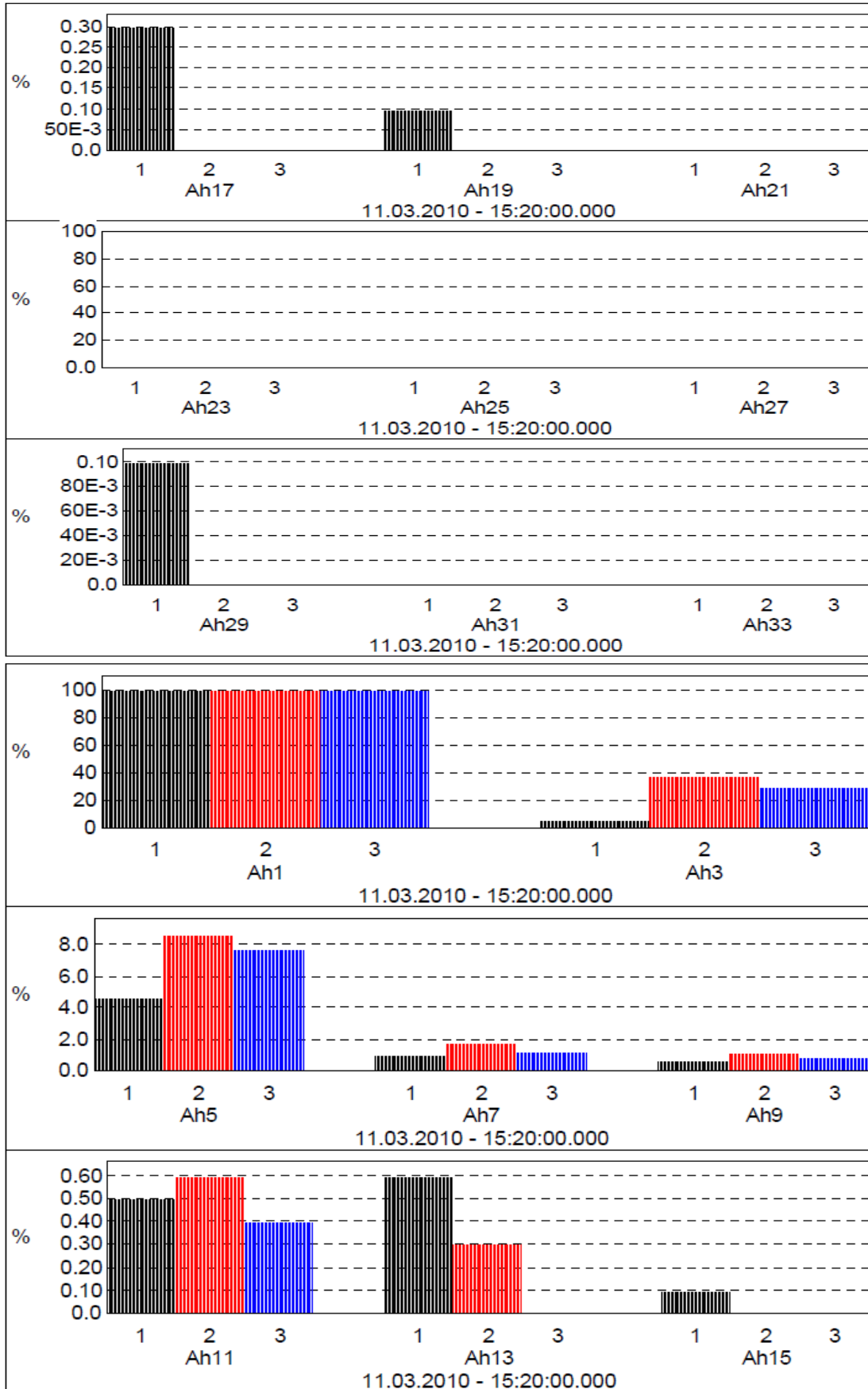


Şekil 6.30. 440 V 60 Hz güç faktörü değişimi

Tablo 6.32. 440 V 60 Hz harmonik kademelerine göre gerilimdeki THD değişimi



Tablo 6.33. 440 V 60 Hz harmonik kademelerine göre akımdaki THD değişimi



A sınıfı geminin bağlı olduğu 440 V 60 Hz dağıtım panelinden yapılan ölçümlerde frekanstaki değişimlerin limitler dahilinde olduğu, gerilimde yaşanan değişimlerin standartlara uygun olduğu ancak geminin nominal voltaj talebine göre yüksek olduğu, hat akımlarındaki yük dağılımının dengeli olduğu ancak yükün çekildiği iki fazda akımdaki THDı' nun yüksek olduğu ve şebekeyi kirlettiği, gerilimdeki THDv' nu açısından problem yaşanmadığı görülmüştür.

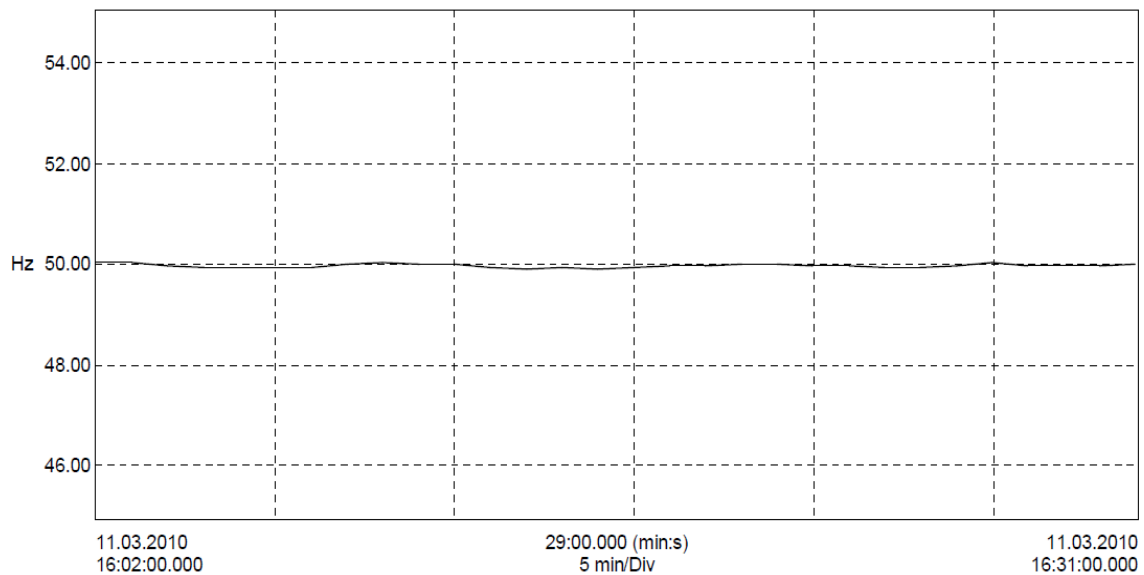
#### 6.2.4.2. B sınıfı geminin beslediği dağıtım panosundan alınan ölçümler

B sınıfı gemide ölçüm 380 V 50 Hz ile beslenen geminin bağlı olduğu iskele üzerindeki dağıtım panelinden yapılmıştır.

Tez içerisinde anlatıldığı üzere sahilde iskeleler üzerinde bulunan dağıtım panellerinin elektrik enerjisi sahil elektrik dağıtım trafolarının çıkış hücrelerinden dağıtılan 3000 V 50 Hz gerilimin trafolar vastasıyla 380 V 50 Hz düşürülmesi ile elde edilmektedir.

Tablo 6.34. 380 V 50 Hz giriş frekans değişimi sayısal değerleri

Name	Date	Time	Duration	Units	Avg	Min	Max
Hz	11.03.2010	16:02:00.000	30:00.000	(min:s)	49.973	49.920	50.040

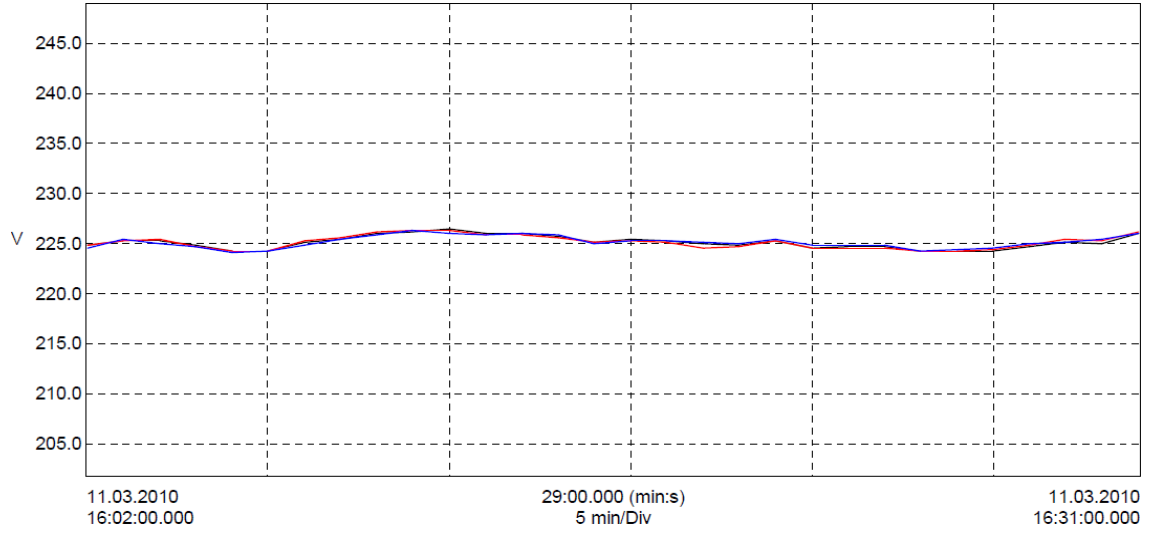


Şekil 6.31. 380 V 50 Hz giriş frekans değişimi



Tablo 6.35. 380 V 50 Hz faz gerilimleri sayısal değerleri

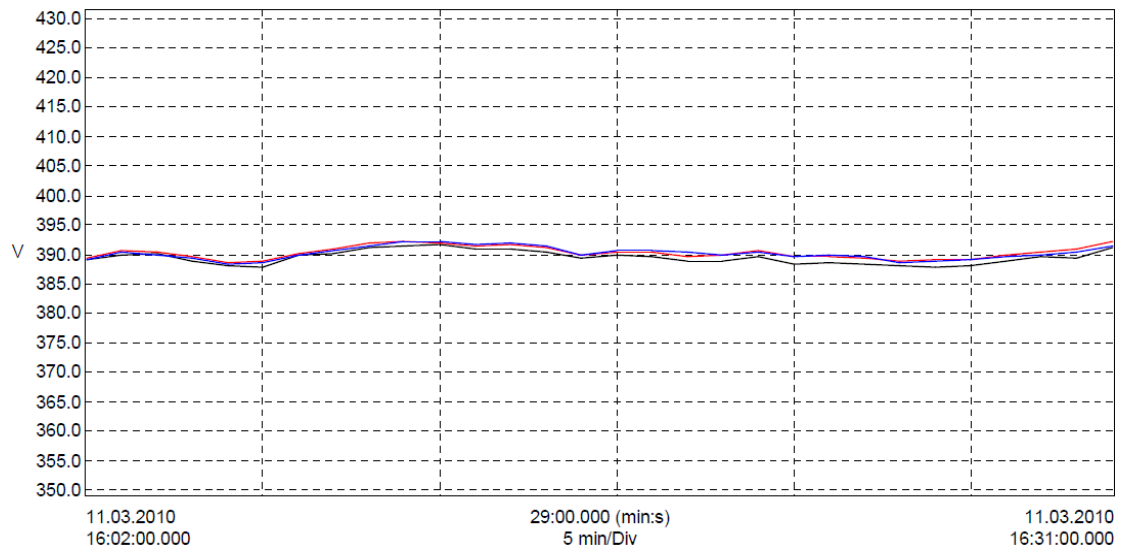
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Vrms Line1	11.03.2010	16:02:00.000	225.137	224.200	226.400	V
Vrms Line2	11.03.2010	16:02:00.000	225.150	224.200	226.300	V
Vrms Line3	11.03.2010	16:02:00.000	225.167	224.100	226.300	V



Şekil 6.32. 380 V 50 Hz faz gerilimlerinin değişimi

Tablo 6.36. 380 V 50 Hz fazlar arası gerilimlerin sayısal değişimi

Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Urms Line1	11.03.2010	16:02:00.000	389.510	387.800	391.700	V
Urms Line2	11.03.2010	16:02:00.000	390.303	388.500	392.300	V
Urms Line3	11.03.2010	16:02:00.000	390.210	388.400	392.100	V



Şekil 6.33. 380 V 50 Hz fazlar arası gerilimlerinin değişimi

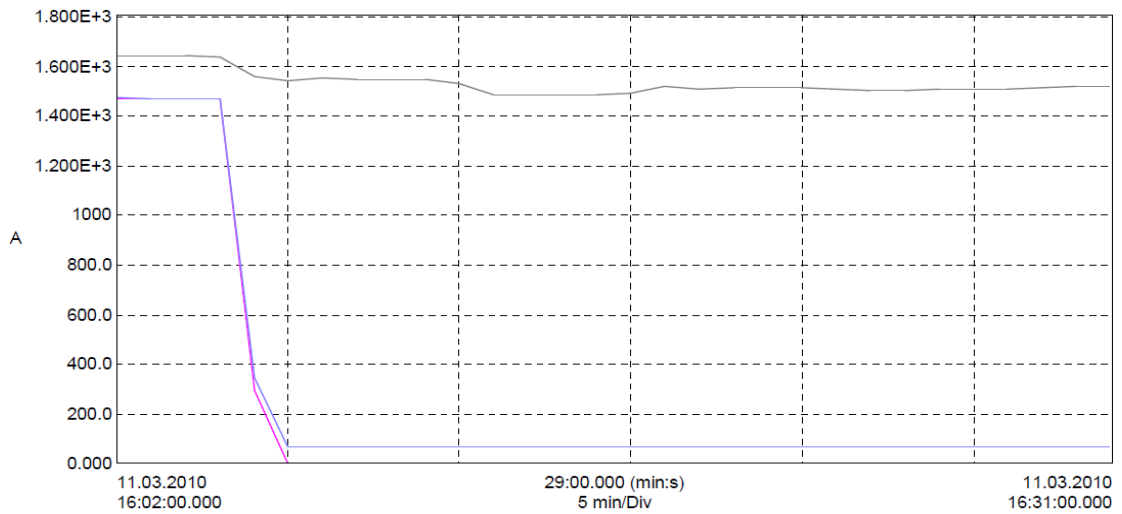
Şekil 6.35’de görüldüğü gibi B sınıfı geminin sahil panosundan çekmiş olduğu akımda bir anormallik görülmektedir. Ölçüm esnasında gerilim ve frekans parametrelerine ait değerler doğru olarak elde edilmiş ancak sahilden çekilen akım yüksek olduğu görülmüştür.

Yapılan inceleme neticesinde bu kadar yüksek akım çekilmesine mevcut şalterlerin izin vermeyeceği ve geminin de bu şekilde yük ihtiyacının olmadığı görülmüştür. Söz konusu problemin gemiden kaynaklanan arz kaçağının sebep olduğu tespit edilmiştir.

Ölçüm yapılan gemiler yeni inşa veya onarım esnasında bu tip problemlerinin oluşması doğaldır. Bu ölçüm esnasında bu hususta görülmüştür, gemide yaşanan arz kaçağı kısa devre oluşturarak akım doğrudan gemi üzerinden denize iletilmektedir. Ölçümden de görüleceği üzere başta tüm fazlarda daha sonra tek fazda bahse konu problem yaşanmıştır.

Tablo 6.37. 380 V 50 Hz hat akımlarının sayısal değerleri

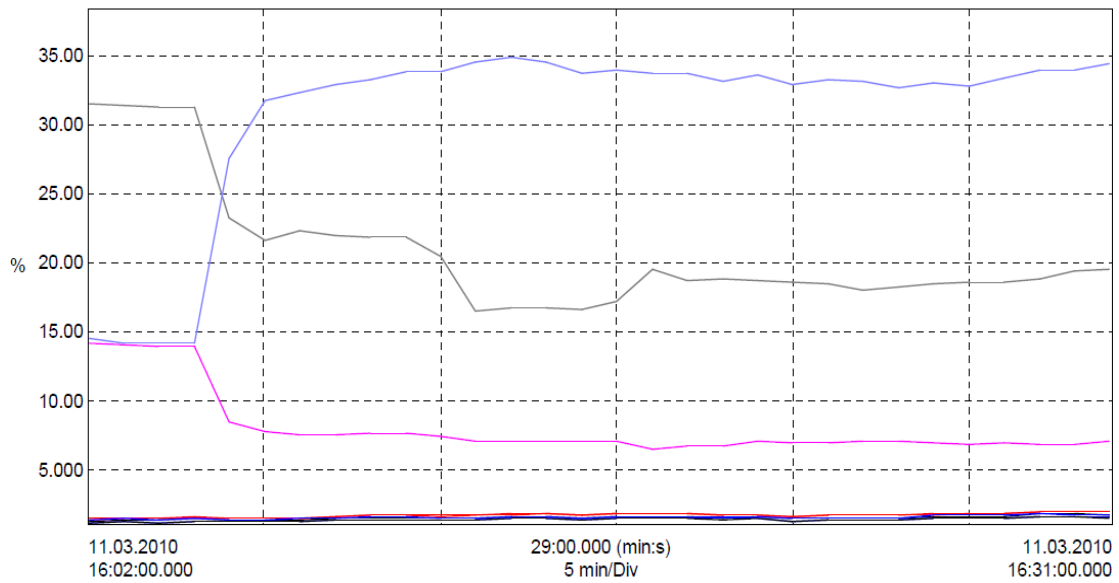
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Arms Line1	11.03.2010	16:02:00.000	1.532	1.483	1.641	k A
Arms Line2	11.03.2010	16:02:00.000	0.209	0.003	1.469	k A
Arms Line3	11.03.2010	16:02:00.000	0.267	0.071	1.471	k A



Şekil 6.34. 380 V 50 Hz hat akımlarının değişimi

Tablo 6.38. 380 V 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değışimi sayısal değeri

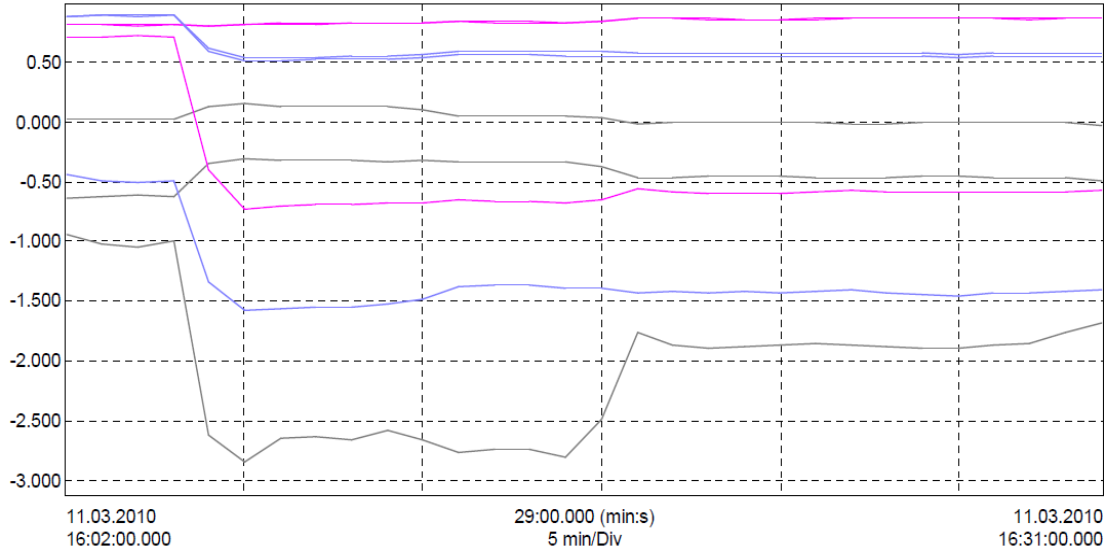
Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
Athd Line1	11.03.2010	16:02:00.000	20.830	16.500	31.500	%
Athd Line2	11.03.2010	16:02:00.000	8.027	6.500	14.100	%
Athd Line3	11.03.2010	16:02:00.000	30.727	14.100	34.900	%
Uthd Line1	11.03.2010	16:02:00.000	1.500	1.200	1.800	%
Uthd Line2	11.03.2010	16:02:00.000	1.693	1.400	1.900	%
Uthd Line3	11.03.2010	16:02:00.000	1.340	1.100	1.600	%
Vthd Line1	11.03.2010	16:02:00.000	1.327	1.100	1.600	%
Vthd Line2	11.03.2010	16:02:00.000	1.670	1.300	1.900	%
Vthd Line3	11.03.2010	16:02:00.000	1.533	1.300	1.800	%



Şekil 6.35. 380 V 50 Hz hat akımı ve gerilimlerine ait THD değışimi

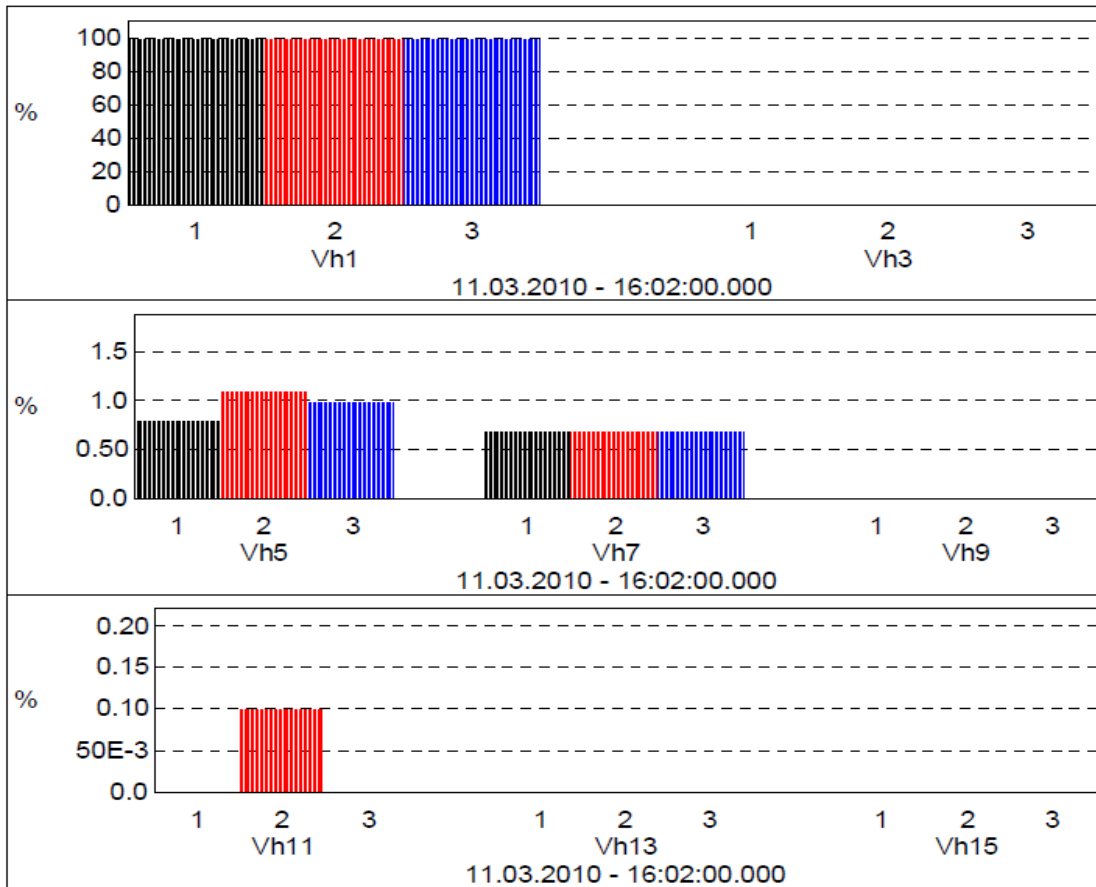
Tablo 6.39. 380 V 50 Hz güç faktörü değışimi sayısal değeri

Name	Date	Time	Avg	Min	Max	Units
DPF Line1	11.03.2010	16:02:00.000	-0.434	-0.640	-0.304	
DPF Line2	11.03.2010	16:02:00.000	0.841	0.799	0.870	
DPF Line3	11.03.2010	16:02:00.000	0.613	0.537	0.894	
PF Line1	11.03.2010	16:02:00.000	0.037	-0.033	0.154	
PF Line2	11.03.2010	16:02:00.000	0.838	0.796	0.867	
PF Line3	11.03.2010	16:02:00.000	0.589	0.513	0.885	
Tan Line1	11.03.2010	16:02:00.000	-2.063	-2.833	-0.946	
Tan Line2	11.03.2010	16:02:00.000	-0.440	-0.726	0.716	
Tan Line3	11.03.2010	16:02:00.000	-1.311	-1.570	-0.445	

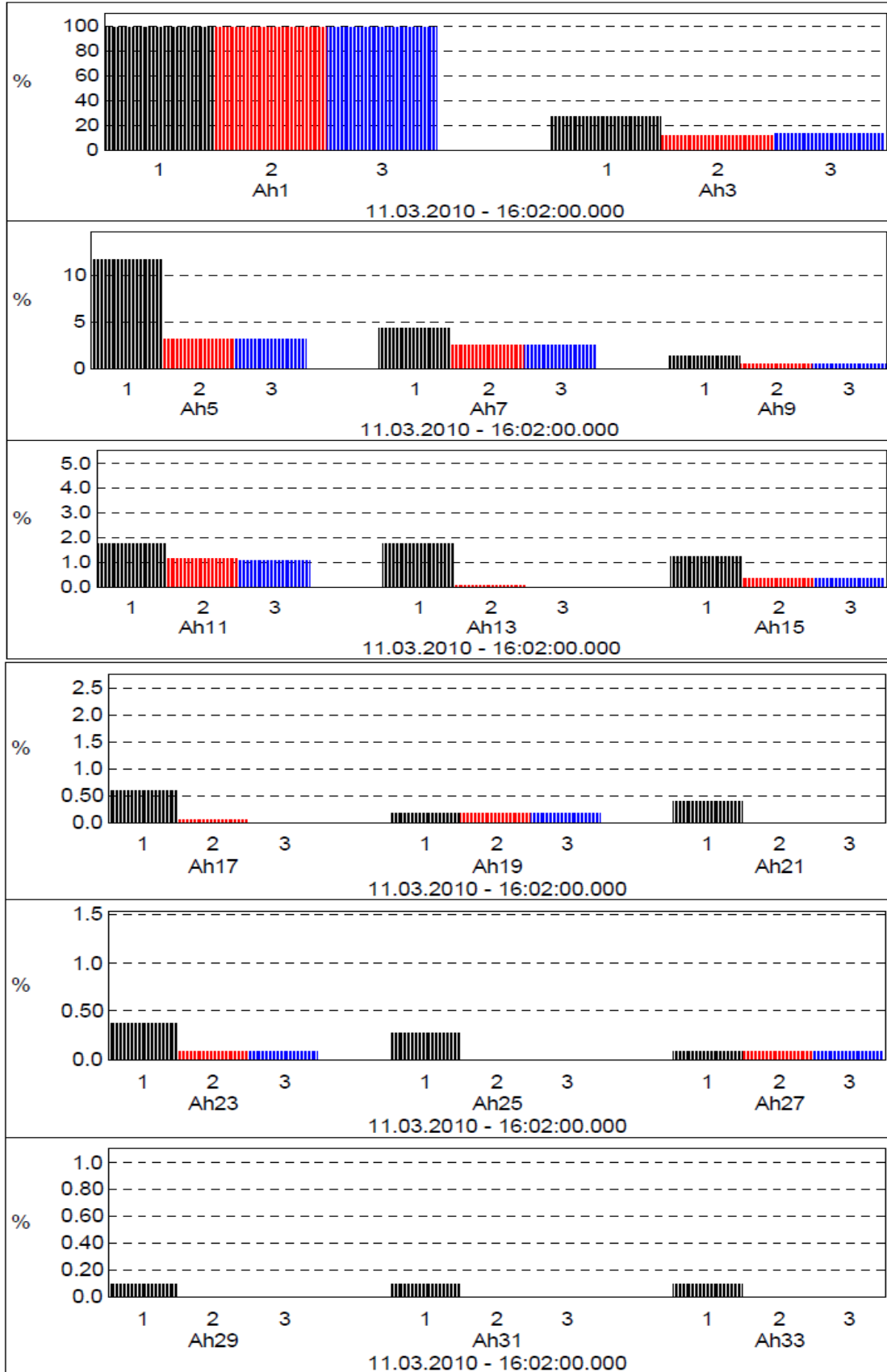


Şekil 6.36. 380 V 50 Hz güç faktörü değişimi

Tablo 6.40. 380 V 50 Hz harmonik kademelerine göre gerilimdeki THD değişimi



Tablo 6.41. 380 V 50 Hz harmonik kademelerine göre akımdaki THD değişimi



B sınıfı geminin bağlı olduğu 380 V 50 Hz dağıtım panelinden yapılan ölçümlerde frekanstaki değişimlerin limitler dahilinde olduğu, gerilimde yaşanan değişimlerin standartlara uygun olduğu ancak geminin nominal voltaj talebine göre yüksek olduğu, hat akımlarının yüksek oluşunun gemide yaşanan arz kaçağına bağlı olduğu, akımdaki THDı' nun yüksek olduğu ve şebekeyi kirlettiği, gerilimdeki THDv' nu açısından problem yaşanmadığı görülmüştür.

## **BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Teknolojinin çok büyük hız kazanması, nolineer yüklerin çoğalması ve enerji ihtiyacının artması ile enerji kalitesi sorunları tüm alanlarda artış göstermiştir. Bu nedenle çağımızda hem verimlilik hemde ekonomik açıdan enerjideki kalitesizliğe yönelik çözümlerin uygulanması kaçınılmaz olmuştur.

Bir sistemde enerji kalitesi açısından teşhis konulabilmesi için ölçüm işleminin yapılması ve bu doğrultuda en efektif çözümün hazırlanması gerekmektedir. Tez içerisinde elektrik dağıtım sistemi açısından çok fazla incelenme fırsatı bulamamış olan gemiler ve gemilerin beslendiği sahil elektrik santralleri ele alınmıştır.

Gemilerdeki enerji kalitesinin incelenmesi maksadıyla gemilerin liman durumundayken beslendiği sahil elektrik santralinden ve gemilerin beslenmiş olduğu dağıtım panolarından elektriksel ölçümler alınmış, durum doğrudan gemiler üzerinde ve sahil elektrik santralinde incelenmiştir.

Enerji kalitesinin tespiti esnasında gemilerde kullanılan her iki gerilim karakteristiğinin incelenmesi hedeflenmiştir. Ölçümler esnasında aynı santralden gemilere dağıtım yapılan 50 Hz ve 60 Hz genlikli gerilim tipleri için ölçüm ve inceleme çalışmaları yapılmıştır. Bu ölçümler ile birlikte sahil elektrik santralinin yapısı ve üç tip geminin elektriksel sistemleri incelenerek tez içerisinde sunulmuştur.

Yapılan ölçümler yürürlükteki standartlar ve kurallar çerçevesinde değerlendirilmiştir. Yapılan ölçümler esnasında ve gemiler üzerinde yapılan incelemelerde ciddi enerji kalitesi sorunları yaşanmamıştır. Gemiler ve elektrik santralinde yapılan ölçümlerde gemilere sağlanan enerjinin kalitesinde aşırı gerilim dalgalanmaları, aşırı frekans değişimleri, gerilimde limit dışı harmonik bozunumlar ile kısa veya uzun süreli enerji kesintilerinin yaşanmadığı tespit edilmiştir.

Bahse konu ölçümler yapılırken ilk etapta sahil elektrik santrali ele alınmış ve 50 Hz genlikli dağıtım sisteminde 34,5 kV ölçü hücrelerinden ölçümler yapılmış ve enerji kalitesi açısından hiçbir problemin olmadığı görülmüştür.

Daha sonra sahil elektrik santralinden dağıtılan 60 Hz genlikli enerjinin üretildiği 3 kV'lık orta gerilim dinamik frekans konvertörlerinden ölçümler alınmıştır. Ölçüm ilk etapta 1 nolu konvertörün devreye alınması ile gerçekleştirilmiş daha sonra 2 nolu konvertör devreye alınmış, ancak 2 nolu konvertör devredeyken yüksüz durumda kaldığı için akım açısından harmonik bozunumlar olduğu görülmüş onun dışında problem olmadığı tespit edilmiştir.

Gemilerin beslenmiş olduğu sahil elektrik dağıtım panolarından ise A sınıfı gemi 440 V 60 Hz ve B sınıfı gemi 380 V 50 Hz panoları üzerinden ölçümler alınmış her iki durumda da akımdaki THD<sub>1</sub> açısından problem olduğu görülmüş ve IEE STD 519-1992 gereği limitler dışında olduğu tespit edilmiştir. C sınıfı geminin beslenmiş olduğu dağıtım panosundan ise geminin ana besleme voltajının 120 V DC olması sebebiyle ölçüm alınmamıştır.

Özetle gemilere sahil elektrik santralinden sağlanan enerjinin kalitesinde aşırı gerilim dalgalanmaları, aşırı frekans değişimleri, gerilimde limit dışı harmonik bozunumlar ile kısa veya uzun süreli enerji kesintilerinin yaşanmadığı tespit edilmiştir. Şebekeden kaynaklı enerji kesintilerinde ise sahil elektrik santralinde bulunan 2 adet 3 kV çıkışlı 2500 kVA'lık orta gerilim dizel jeneratörlerin devreye alınması ile kesinti probleminin giderildiği izlenmiştir.

Ancak gemilerin beslendiği 440 V 60 Hz ile 380 V 50 Hz ile dağıtım noktalarında gerilimdeki THD<sub>v</sub>'nin limitler dahilinde olduğu, bununla birlikte akımdaki THD<sub>1</sub>'nin ise limit değerlere göre yüksek olduğu görülmüştür. Yüksek olduğu görülen akım harmonikleri bir dağıtım sistemine yayıldığında ilgisi olmayan alt devrelerde gerilim harmonikleri oluşturabilmektedirler. Bu olumsuzluğu giderilmesi açısından halihazırda incelenen dağıtım sisteminde sadece orta gerilim dağıtım sisteminde yapılan kompanzasyonun çoğu zaman kaliteli bir enerji tüketimi ve şebekeye dönüşü açısından yetersiz kaldığı görülmektedir.



Gemilerden kaynaklı bu olumsuzluğun giderilmesi için orta gerilim dağıtım sisteminde iyileştirme yapmak yerine sahil dağıtım noktalarında bulunan muhtelif trafo merkezlerinde iyileştirme yapılmasının daha olumlu sonuçlar doğuracağı değerlendirilmektedir. İyileştirme yapılabilmesi için şebekeyi kirleten harmonikleri engellemek maksadıyla aşağıda tanımlanan filtreler kullanılabilir:

- Pasif Harmonik Filtre – Paralel;

Pasif filtre kondansatör ile reaktörün seri bağlanması sonucu elde edilen temel olarak rezonans durumunu engelleyen filtredir. Sistemde kurulu olan kompanzasyon sistemi aynı zamanda harmonik filtre olarak kullanılabilir. Bu durumda harmonik akımları filtre üzerinden süzülür.

Odaklanmamış filtrede denilen bu filtreler güç faktörü düzeltilmesi için çıplak kondansatör kullanılan sistemlerde rezonans durumunu engellemek için tesis edilir. Aynı zamanda harmonik akımlardan kaynaklanan kondansatör üzerindeki yüklenmeyi de engeller.

- Pasif Harmonik Filtre – Seri;

Altı darbeli güç konvertörlerinden dolayı oluşan 5. ve 7. akım harmonikleri dolayısıyla sistemdeki toplam akım harmoniğinin değerini düşüren filtrelerdir. LCL filtreler ile akım ve gerilim dalga şeklinde oluşan mikro kesintiler engellenir, enerji kalitesi artar ve güç faktörü değeri yükselir

- Aktif Harmonik Filtre;

Aktif filtre sistemdeki akımı ölçerek, sistemde bulunan harmoniklerin tam ters işaretlisini kendi tetikleme devresi ile üreterek sisteme verir. Aktif filtreler giriş akımı ve yük tarafında oluşan çıkış akımını parametre olarak alıp oluşan harmonikleri yok edecek şekilde filtreleme akımı oluşturarak oluşan harmonikleri yok eden filtrelerdir.

Sahil elektrik dağıtım sistemindeki enerji kalitesi problemini gidermek için bahse konu filtrelerden sahildeki yükün gemiye ve zamana bağlı olarak değişiklik göstermesinden dolayı sahil dağıtım panolarını besleyen trafo binalarına aktif filtre tesis edilmesinin uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Sahil elektrik santralinde gemiler açısından mevcut 50 Hz ve 60 Hz dağıtım sistemi kaynaklı doğrudan bir enerji kalitesi olumsuzluğu yaşanmamaktadır. Ancak tesiste yapılan incelemede işletme kaynaklı sorunların olduğu görülmüştür, gemilerin sahilden enerji almaları esnasında genellikle 60 Hz sisteminden beslenen gemilerde konvertörlerin devreden çıkartılması veya artan yüke bağlı olarak ilave konvertörün devreye alınmaması sebebiyle gemilerde kesintilerde yaşanmaktadır. Burada 60 Hz dağıtım sisteminin bir otomasyon sistemi ile donatılmış olmaması, konvertörlerin manuel olarak devreye alınması sebebiyle sisteme ilave bir yük yani gemi bağlandığında veya bir geminin sahil voltajından ayrılması durumunda konvertörler boşa çıkmakta dolayısıyla kayıplar ve enerji kalitesi sorunları yaşanmaktadır.

Bu tip olumsuz durumların yaşanması sisteme giren ani yüklerden kaynaklı voltaj düşümleri ve işletmeden kaynaklı enerji kesintilerinden dolayı gemilerde arızalar yaşanmakta özellikle gemilerin yaptığı sistem tecrübeleri esnasında sahilden enerji alınmayıp geminin dizel jeneratörleri devreye alınmaktadır. Bu tip durumlarda dizel jeneratörlerin devreye alınmasının sebebi alınacak olan gerilimin daha stabil ve problemsiz olmasından kaynaklıdır.

Gemilerin sahilden beslenmek yerine dizel jeneratörlerine devreye almaları durumunda ciddi maddi kayıplar yaşanmaktadır. Özellikle enerjinin çok daha yüksek olarak üretiliyor olması ve elektrik enerjisi üretilmesi amacıyla seyir esnasında devreye alınması gereken dizel jeneratörlerin gereksiz yere gemi sahilde liman yapmış durumdayken kullanılması sebebiyle makinelerde ilave amortisman masrafları ile arızalar yaşanmaktadır. Ayrıca incelenen A ve B sınıfı gemilerde elektronik ekipmanların ağırlıklı olarak kullanılmasından dolayı sistemlerin kontrol devrelerinde kullanılan kartlarda arızalar sıklıkla yaşanmakta bunun sonucunda da yüksek onarım veya tedarik maliyetleri oluşmaktadır.

Gemilerin sahil elektrik santrali yerine dizel jeneratörleri ile geminin enerji ihtiyacını karşılamaları esnasında oluşan birim elektrik enerjisi maliyetine yönelik durum Tablo 7.1’de sunulmuştur.

Tablo 7.1. Gemilerin tiplerine göre elektrik enerjisi maliyeti

Gemi Tipi	Sahilden Çekilen Toplam Akım (A)	1 Saatte Tüketilen Yakıt (Lt)	Geminin Enerji Birim Maliyeti kWh (TL)	Sahilin Enerji Birim Maliyeti kWh (TL)
A Sınıfı	200	50	1,5	0,283
B Sınıfı	70	23	2,5	0,283
C Sınıfı	40	3	6,5	0,283

Yukarıdaki tabloda da görüleceği üzere, gemilerin sahilden beslenmeyip gemi üzerinde mevcut dizel jeneratörleri devreye almaları durumunda en az kaybın yaşandığı A sınıfı geminin incelenmesi sonucunda 1 saatte yaklaşık 1,2 TL kayıp yaşanmaktadır. Enerjinin üretildiği birim maliyet en az 5 katına çıkmakta ve ilave olarak makinelerde amortisman ile onarım maliyetleri oluşmaktadır.

Sonuç olarak;

Sahil elektrik santralinde ciddi enerji kalitesi problemlerinin yaşanmadığı ancak sisteme yönelik eksiklerin bulunduğu, gemilerden kaynaklı akımdaki THD’ları için iskele dağıtım trafolarına aktif filtre tesis edilebileceği, çok fazla dağıtım noktası bulunan sahil elektrik santralinde halihazırda orta gerilimden yapılmış olan güç kompanzasyonunun uç noktalarında yapılacak olan kompanzasyona göre veriminin düşük olduğu, sistemdeki harmonikler için merkezi bir filtreleme yapılması durumunda trafoların ve dağıtım kablolarının harmonik akımları ile yüklenme ihtimali bulunduğu ve bunun yerine çeşitli noktalardan filtreleme yapmanın daha efektif olacağı değerlendirilmiştir.

Bu hususlar ile birlikte işletmeden kaynaklı enerji kesintileri ve gerilim değişimlerinin giderilmesi durumunda meydana gelen kart ve elektronik sistemlerdeki arızaların büyük çoğunlukla önüne geçilebileceği, sözkonusu durumun iyileştirilmesi amacıyla inceleme yapılan sahil elektrik santralindeki sistemlerin bir

otomasyon sistemi ile donatılmasının, işletmeci personele bu konuda eğitim verilerek işletmenin daha sağlıklı yapılmasının halihazırda yaşanan problemlerin iyileştirilmesine ciddi anlamda katkı sağlayacağı ve gemilerinde bu durum hitamında geminin dizel jeneratörleri yerine her zaman sahil elektrik santrali enerjisini kullanma yoluna gidecekleri kıymetlendirilmiştir

## KAYNAKLAR

- [1] BUTTLER, PURRY, K. L. , SARMA, N.D.R., Visualization for Shipboard Power Systems, Proceedings Of The 36th Annual Hawaii International Conference, Hawaii, pp. 1-8, 2003.
- [2] ZHANG, H., BUTLE, K., SARMA, N.D.R., DO CARMO, H., GOPALAKRISHNAN, S., Analysis Of Tools For Simulation Of Elektric Power Sytems, Elsevier Science On Electric Power Systems Research 58, pp. 111-122, 2001.
- [3] DUGAN, R.C., MCGRANAGHAN, M.F., BEATY, H.W., Electrical Power Sytems Quality Secoded., McGravv-Hiil Comp., New York, pp. 3-39, 1996.
- [4] Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği, EPDK, Ankara, 2003.
- [5] Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik, EPDK, Ankara, 2008.
- [6] Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği, EPDK, Ankara, 2003.
- [7] SANKARAN, C., 2002 Power Quality, CRC Press, New YORK.
- [8] CHAPMAN, D., Copper Development Association, 2001.
- [9] KOCATEPE, C., UZUNOĞLU, M., YUMURTACI, R., KARAKAŞ, A., ARIKAN, O., Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Birsen Yayınevi, İstanbul 2003.
- [10] ENGİN, B., Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Sorunları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Enerji Enstitüsü, SF. 33-36, 2008.
- [11] ERALP, F., Gemi Elektriği Cilt 2, İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Matbaası, İstanbul 1987.

- [12] AFACAN, E., İ., Harp Gemisi Elektrik Dağıtım Sisteminde Arıza Yerinin Belirlenmesinde Bulanık Karar Verme Yönteminin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [13] GÜLER, Ü., Bir Geminin Elektrik Donanımının İncelenmesi ve Projelendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.
- [14] BUTTLER, PURRY, K. L. , SARMA, N.D.R., WHITCOMB, C., DO CARMO, H., HAIBO, Z., Shipboard Systems Deploy Automated Protection, IEEE Computer Applications In Power, Vol 11, No:2 pp. 31-36, 1998.

## ÖZGEÇMİŞ

Ufuk EGE, 16.01.1977 de Hollanda' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Aydın'da tamamladı. 1994 yılında Aydın Lisesinden mezun olduktan sonra, 1995 yılında başladığı Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünü 2000 yılında bitirdi. Üniversite mezuniyeti sonrası askerlik hizmetini tamamladıktan sonra yine aynı dönemde sınavlarında başarılı olduğu Deniz Kuvvetleri Komutanlığına katıldı ve 2001 yılında Müh.Tğm. olarak Milli Savunma Bakanlığında göreve başladı. Sonraki dönemlerde Deniz Kuvvetleri Komutanlığı bağlısı çeşitli birimlerde görev aldı. Halihazırda Gölcük Tersanesi Komutanlığında Müh.Yzb. olarak Dizayn Başmühendisliğinde görev yapmaktadır.