

126919

GEMİLERİN ELEKTRİKLE TAHRİKİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Eren ÖZSU

508991058

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2002

Tez Danışmanı :

Doç.Dr. Kadir SARIÖZ

K. Sarioz

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Adnan KAYPMAS (İ.T.Ü.)

Adnan Kaypmaz

Prof.Dr. Abdi KÜKNER (İ.T.Ü.)

Abdi Kukner

MAYIS 2002

126919

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında yardım ve desteklerini her zaman hissettiğim, başta değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Kadir SARIÖZ'e; Sayın Prof.Dr. Adnan KAYPMAS'a; Sayın Prof. Nejat TUNÇAY'a ve TÜBİTAK-MAM'daki iş arkadaşlarıma, sevgi ve desteklerini her zaman yanında hissettiğim aileme teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2002

Müh. Eren ÖZSU



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. GEMİ TAHRİK SİSTEMLERİ	3
2.1 Gemi Tahrik Sistemi Elemanları	4
2.2 Güç Üretim Sistemleri	4
2.2.1 Termal güç üretim sistemleri	4
2.2.1.1 Buhar türbini	5
2.2.1.2 Nükleer reaktörler	5
2.2.1.3 İçten yanmalı makinalar	6
2.2.1.4 Gaz türbinleri	7
2.2.1.5 Birleştirilmiş hibrit sistemler	8
2.2.2 Direk elektrik kaynakları	11
2.2.2.1 Bataryalar	12
2.2.2.2 Yakıt pilleri	12
2.3 Güç Aktarma Sistemleri	12
2.3.1 Mekanik aktarma sistemleri	13
2.3.2 Elektrik aktarma sistemleri	15
2.4 İticiler	15
3. GEMİ ELEKTRİK SİSTEMLERİ	17
4. ELEKTRİKLİ GEMİ TAHRİK SİSTEMLERİ	21
4.1 Elektrikli Tahrik Uygulama Alanları	24
4.1.1 Yüksek manevra ihtiyacı duyan gemiler	24
4.1.2 Büyük miktarda özel maksatlı güç tüketimi olan gemiler	24
4.1.3 Büyük servis yüklerine ihtiyaç duyan gemiler	24
4.2 Elektrikli Tahrik Sistemi Temel Konfigürasyonları	25
4.2.1 Sadece tahrik motoru için enerji üretimi	25
4.2.2 Tahrik ve servis yükleri için tek bir üretim sistemi	25
4.3 Elektrikli Tahrik Sistem Seçeneklerinin Tanıtılması	26
4.3.1 DC DC Sistem	28

4.3.2	AC DC Sistem	29
4.3.3	AC AC Sistem	29
4.4	Elektrikli Tahrik Sisteminin İrdelenmesi	30
4.4.1	Gemi enerji sisteminde gerilim seviyesinin seçilmesi	30
4.4.2	Elektrikli tahrik sistemi temel elemanları	31
4.4.2.1	Generatör tahrik sistemleri	32
4.4.2.2	Generatörler	32
4.4.2.3	Evirici/Çeviriciler	32
4.4.2.4	Transformatörler	33
4.4.2.5	Dağıtım sistemi	33
4.4.2.6	Tahrik motorları	33
4.4.3	DC tahrik motorlu gemi sistemi (AC DC sistem)	34
4.4.3.1	AC DC sistemde kullanılan çeviriciler	36
4.4.3.2	AC DC sistemde kullanılan DC tahrik motorları	42
4.4.4	AC tahrik motorlu gemi sistemi (AC AC sistem)	42
4.4.4.1	AC AC sistemde kullanılan çeviriciler	43
4.4.4.2	AC AC sistemde kullanılan AC tahrik motorları	53
5.	ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMİ OLAN GEMİLERİN TANITILMASI	55
5.1	AC AC Sistem	55
5.1.1	Yolcu gemisi	55
5.1.2	Buzkıran	58
5.1.3	Askeri gemiler	59
5.1.4	Özel maksatlı gemiler	61
5.2	AC DC Sistem	63
5.2.1	Kablo döşeme gemisi	63
5.2.2	Açık deniz araştırma gemisi	64
6.	ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMİ ASKERİ UYGULAMALARI	66
6.1	Tümü Elektrikli Savaş gemisi	66
6.2	Tümü Elektrikli Gemi İçerisindeki Kritik Teknolojiler	67
6.2.1	Sürekli mıknatıslı tahrik motorları	67
6.2.2	Elektriksel enerji depolama	68
6.2.3	Yakıt pilleri	69
6.3	Tümü Elektrikli Askeri Gemi Dağıtım Sistem Konfigürasyonları	73
6.3.1	AC dağıtım	74
6.3.2	DC dağıtım	74
6.3.3	Bölgesel dağıtım	75
7.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	77
	KAYNAKLAR	78

ÖZGEÇMİŞ

81



KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım
CCV	: Cycloconverter
CODAD	: Combined Diesel And Diesel
CODAG	: Combined Diesel And Gas Turbine
CODAS	: Combined Diesel And Steam Turbine
CODLAG	: Combined Diesel Electric And Gas Turbine
CODOG	: Combined Diesel Or Gas Turbine
COGAG	: Combined Gas Turbine And Gas Turbine
COGAS	: Combined Gas Turbine And Steam Turbine
COGOG	: Combined Gas Turbine Or Gas Turbine
CONAG	: Combined Nuclear And Gas Turbine
CONAS	: Combined Nuclear And Steam Turbine
COSAG	: Combined Steam Turbine And Gas Turbine
DC	: Doğru Akım
Dev/dk.	: Dakikadaki Devir Sayısı
Hp	: Beygir Gücü
Hz	: Hertz
kV	: KiloVolt
LCI	: Load Commutated Inverter
MW	: Megawatt
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
V	: Volt

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Güç üretimine göre kombine tahrik sistemleri.....	10
Tablo 4.1. IEC 60092 Part 503 standardına göre verilen gerilim ve frekans değerleri.....	31
Tablo 5.1. M/S Crystal Harmony tahrik sistemi teknik bilgi tablosu.....	56
Tablo 5.2. Queen Elizabeth 2 tahrik sistemi teknik bilgi tablosu.....	58
Tablo 5.3. USGCG Healy tahrik sistemi teknik bilgi tablosu.....	59
Tablo 5.4. LPD HNIMS Rotterdam tahrik sistemi teknik bilgi tablosu.....	60
Tablo 5.5. MHS Bulwark tahrik sistemi teknik bilgi tablosu	61
Tablo 5.6. Pride Africa tahrik sistemi teknik bilgi tablosu.....	62
Tablo 5.7. C/S Global Link tahrik sistemi teknik bilgi tablosu.....	64
Tablo 5.8. Agor 23 tahrik sistemi teknik bilgi tablosu.....	65
Tablo 6.1. Yakıt pili tipleri ve genel çalışma prensipleri.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Tahrik sistemine ait alt sistemlerin şematik gösterimi.....	4
Şekil 2.2 : CODOG, COGOG, COGAD ve COGAS şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.3 : CODOG konfigürasyonunda kullanılan dişli kutusu.....	14
Şekil 2.4 : CODOG konfigürasyonunda kullanılan dişli kutusu.....	14
Şekil 2.5 : Yolcu gemisine ait Azipod sürücü.....	16
Şekil 2.6 : Yolcu gemisine ait Azipod sürücü.....	16
Şekil 3.1 : Yolcu gemisine ait tek hat elektrik dağıtım şeması.....	18
Şekil 3.2 : Dağıtım panosu şematik gösterimi.....	19
Şekil 3.3 : Dağıtım panosu.....	20
Şekil 4.1 : Elektrikli tahrik sistemi temel elemanları.....	27
Şekil 4.2 : DC DC sistem buzkıran gemisine ait tek hat şeması.....	29
Şekil 4.3 : 6 darbeli çeviricinin kullanıldığı AC DC sistem bir geminin tek hat şeması.....	35
Şekil 4.4 : Romorköre ait pervane tork-devir sayısı.....	36
Şekil 4.5 : Silikon kontrollü doğrultucu köprü devresi.....	37
Şekil 4.6 : 6 darbeli doğrultma sonucunda elde edilen gerilim karakteristiği	38
Şekil 4.7 : 12 darbeli doğrultucu devre şeması.....	40
Şekil 4.8 : 12 darbeli doğrultma sonucunda elde edilen gerilim karakteristiği.....	41
Şekil 4.9 : Üç fazlı 6 darbeli siklokonverterin çalışma prensipi.....	45
Şekil 4.10 : Siklokonverter ile sürülen bir buzkıran gemisine ait tek hat şeması.....	46
Şekil 4.11 : Siklokonverter ile sürülen bir buzkıran gemisine ait tek hat şeması.....	47
Şekil 4.12 : Yük aktarımlı çevirici devre şeması.....	48
Şekil 4.13 : Akım iletim sırasını gösteren bir evirici motor şeması.....	49
Şekil 4.14 : Yük aktarımlı evirici devre şeması.....	50
Şekil 4.15 : Tork, gerilim, güç akışı ve motor dönüş yönü.....	51
Şekil 4.16 : PWM çevirici ve kare dalga formu.....	53
Şekil 4.17 : 19 MW güç kapasitesindeki asenkron tahrik motoru.....	54
Şekil 5.1 : M/S Crystal Harmony	56
Şekil 5.2 : M/S Crystal Harmony tek hat dağıtım şeması.....	57
Şekil 5.3 : Queen Elizabeth 2	58
Şekil 5.4 : USGCG Healy.....	59
Şekil 5.5 : LPD HNIMS Rotterdam.....	60
Şekil 5.6 : MHS Bulwark tahrik sistemi tek hat şeması.....	61
Şekil 5.7 : Pride Africa	62
Şekil 5.8 : C/S Global Link tahrik sistemi tek hat şeması.....	63
Şekil 5.9 : Agor 23 tahrik sistemi tek hat şeması.....	65
Şekil 6.1 : Enine akı topolojisi sürekli mıknatıslı AC senkron tahrik	

motoru.....	68
Şekil 6.2 : Magnetodinamik enerji depolama ünitesi.....	69
Şekil 6.3 : AC dağıtım sistemi olan bir savaş gemisi tek hat şeması.....	74
Şekil 6.4 : DC dağıtım sistemi olan bir savaş gemisi tek hat şeması.....	75
Şekil 6.5 : Bölgesel DC dağıtım sistemi olan bir savaş gemisi tek hat şeması.....	76



SEMBOL LİSTESİ

f	: Frekans (Hz)
n	: Motor Devir Hızı
p	: Motor Kutup Çifti Sayısı



GEMİLERİN ELEKTRİKLE TAHRİKİ

ÖZET

Tahrik sistemi bir geminin en önemli sistemleri arasındadır. Tahrik sistemi işletme ömrü süresince gemi üzerinde taşınmakta ve önemli miktarlarda güç üretilmektedir. Tarih içerisinde tahrik sistemleri, verimlilik ve düşük işletme maliyetleri ışığında sürekli olarak geliştirilmiştir. Günümüzde dizel makina ve gaz türbini gibi içten yanmalı termal makinaların kullanıldığı tahrik sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Gemi enerji sisteminde yapılacak yenilikçi uygulamalar, yüksek verim ve düşük işletme maliyetleri açısından büyük önem taşımaktadır.

Tümü elektrikli gemi, güç üretimi, dağıtımı ve tahrik sisteminde elektrik enerjisinin kullanıldığı gemi kavramıdır. Her ne kadar elektrik ile tahrik yeni bir uygulama olmasa da, elektrik makinaları ve güç elektroniği alanındaki gelişmeler, gemi tasarımında bir takım avantajlar getirmektedir. Tasarım esnekliği, verimlilik, düşük işletme giderlerinin yanında, hassas hız kontrolü ve manevra kabiliyeti önemli avantajlar arasındadır.

Elektrikli tahrik sistemlerinde alternatif akım ya da doğru akım kullanılabilmektedir. Dizel veya gaz türbini ile tahrik edilen jeneratörler ile, tahrik sistemi ve gemi yardımcı yükleri beslenmektedir. Elektrikli tahrik motoru evirici/çevirici ile kontrol edilmektedir.

Bu çalışmada, konvansiyonel gemi tahrik sistemleri tanıtılmış ve elektrikli tahrik sistemi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sistem elemanları ve çalışma prensipleri anlatılmış ve elektrikli tahrik sistemlerinin konvansiyonel tahrik sistemlerine göre avantajları ortaya konulmuştur. Ayrıca geliştirilmekte olan kritik teknolojiler tanıtılmış ve elektrikli tahrik sisteminin kullanıldığı gemi tipleri tanıtılmıştır.

ELECTRIC SHIP PROPULSION

SUMMARY

Propulsion system is the backbone of a ship. Power generation plant, which is carried onboard through operation life of a ship, delivers considerably high amount of propulsion power. Propulsion systems have been investigated through centuries in light of improved efficiency and reduced operation costs. Thermal engines such as diesels and gas turbines are the key components of propulsion systems used widespread. Improvement for shipboard energy system plays an important role in efficiency and operation costs.

All electric ship is a concept, where electrical energy is used in power generation, power distribution and propulsion motors. Although electric propulsion is not a new concept, developments on electrical machines and power electronic technology offer several advantages for marine engineering. Besides flexibility in design, efficiency, reduced operating costs; motor speed control and manoeuvring performance are major advantages.

AC or DC system can be used for propulsion system. Propulsion motor and ship service power can be provided by diesel or gas turbine driven generator sets. Propulsion motor is electronically controlled by inverter/converters.

In this study, conventional propulsion systems are presented in general and electrical propulsion system is evaluated in detail. Electrical system components and operating principles are presented and advantages of electrical propulsion over conventional propulsion systems are put forward. Moreover, emerging technologies and recent developments are described as well as electric ship applications are presented.

1. GİRİŞ

Tahrik sisteminin seçilmesi, gemi tasarımının en önemli unsurları arasındadır. Güç üretim sisteminin, gemi ömrü boyunca taşıyor olması, güç üretim tesislerinin endüstriyel uygulamalarındaki kadar tasarım esnekliklerine imkan vermemiştir. Yüzyıllar içerisinde sürekli bir değişimin yaşandığı tahrik sistemleri, temelde toplam sistem verimliliğin artırılması ışığında geliştirilmiştir.

Kas gücü ve rüzgar enerjisinden buhar türbinlerine geçiş önemli bir gelişmedir. Kömürün yakılmasından sıvı yakıtın kullanıldığı içten yanmalı dizel makinalara geçiş, sıçramalı bir gelişimin işaretidir. Gemi inşaatı endüstrisi, teknolojik gelişmelerin içerisinde yer almış ve tahrik sistemlerindeki kavramsal değişiklikleri uygulamış ve yaygınlaştırmıştır.

Günümüzde artan örnekleri ile tahrik sistemlerinde elektrik enerjisinin kullanılmaya başlanması, mekanik güç aktarma sistemlerinin yerini alacak nitelikte avantajlar sunmaktadır. Gemi üzerinde üretilen elektrik enerjisinin kullanımı, tahrik gücü kadar büyük güçleri, istenilen her noktaya iletebilmeyi mümkün kılmaktadır. Bunun yanında yüksek verimlilikte çalışabilen elektrik motorları, düşük bakım-tutum maliyetleri ile önemli avantajlar getirmektedir.

Üretilen enerjinin dişli kutusu, şaft gibi mekanik bağlantılar yerine kablolar ile iletiliyor olması, gemi tasarımında önemli esneklikler sağlamaktadır. Elektrik motorlarının mekanik sistemlere göre daha hassas kontrol edilebiliyor olması, geminin manevra performansını artırmaktadır.

Elektrikli tahrik sistemleri, yeni yüzyılın gemi tasarımları için önemli bir kavramdır. Yakın gelecekte daha da yaygınlaşacak olan elektrikli gemilerde, elektriksel enerji depolama, sürekli mıknatıslı tahrik motorları ve yakıt pilleri gibi kritik teknolojiler kullanılacaktır. Tümü elektrikli gemi kavramı, askeri gemilerin görev yeteneklerini arttıracak ve özellikle yakıt pillerinin kullanılması ile elde edilecek sessiz görev yeteneği, tümü elektrikli savaş gemilerine yönelik talepleri arttıracaktır.

Tümü elektrikli gemi, tahrik sistemlerinin geçmişte yaşanan örnekleri gibi bir devrim yaratmıştır. Bu çalışmada gemi tahrik sistemleri incelenmiş, elektrikli gemi tahrik sistemleri ve çalışma prensipleri tanıtılmıştır.



2. GEMİ TAHRİK SİSTEMLERİ

Tarih içerisinde gemiler, her zaman var olmuş ulaşım araçları arasındadır. Dünya denizleri üzerinde askeri, ticari ve seyahat maksatlı kullanılan gemilerin tahrik gücü, yüzyıllar boyunca kas ve rüzgar kuvveti ile karşılanmıştır. İlk defa 18. yüzyılda kullanılan buharlı makineler, gemi tahrik sistemleri için bir başlangıç olmuştur. Avrupa-Amerika arasındaki ilk yolculuk ve pervanelerin ilk defa kullanılmaya başlaması, buharlı makinelerin kullanımını yaygınlaştırmıştır.

19. yüzyılın sonlarında, içten yanmalı motorlar araştırma aşamasında idi. 1892 yılında Rudolf Diesel tarafından patenti alınan ilk dizel makina, yıllar içerisinde silindir başına 1000 beygir üretme gücüne ulaşabildi. Birinci dünya savaşı ve takip eden yıllarda, genişleyen güç kapasiteleri ile buhar türbinleri ve dizel makineler yaygınlaşmıştır. Aynı zaman diliminde buhar türbinleri ile tahrik edilen dinamolar, elektrik enerjisi ile gemi tahrik sistemlerinin kullanılmasına da yol açmıştır. Kömür yerine dizel yakıtın kullanılması, ticari gemilerde standart tasarımların gerçekleştirilmesine imkan vermiş ve askeri gemiler ve denizaltılarda dizel makinelerin kullanılmasını yaygınlaştırmıştır.

İkinci dünya savaşı ve sonrasında gemi tahrik sistemleri, ağırlıklı dizel makina ve mekanik parçalar ile tasarlanmış, performans ve ekonomik kullanımları ile uzun süreler tercih edilen tahrik sistemleri olmuştur. Mekanik parça kesme ve seri üretim alanındaki gelişmeler, uzun süreler kullanılacak olan tahrik sistemlerinin temel dayanağı olmuştur.

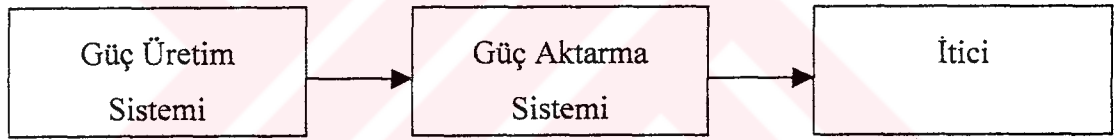
1955 yılında inşaa edilen ilk nükleer enerjili denizaltı, havadan bağımsız yüzme süresi, hız, kuzey kutbunun altından geçme gibi bir çok rekora imza atmakla birlikte yalnızca askeri amaçlar için kullanılmıştır. Ticari gemiler için de denenilen nükleer enerjiye dayalı tahrik sistemleri, ilk yatırım maliyeti, ekonomi ve özel işletim gereksinimleri nedeni ile, birkaç deneme maksatlı uygulama haricinde kullanılmamıştır. Uçak gemileri ve denizaltı uygulamaları için önemli bir askeri

unsur olan uzun süreli ikmalsiz seyir kabiliyeti, nükleer enerjiye dayalı tahrik sistemlerinin kullanılmasının temel nedeni olmuştur. [1]

Kullanılan enerji sistemi ve konfigürasyondaki seçenekler ne olursa olsun, tahrik sistemleri bir geminin en önemli parçasıdır. Tahrik sistemlerinin kullanım esnekliği ve verimliliği, ticari gemilerin ekonomik ömürleri açısından önemlidir. Ayrıca askeri gemilerin görev kabiliyetlerinin tahrik sistemi ile doğrudan ilişkili olması, bu alandaki teknolojik gelişmelerin önemini vurgulamaktadır.

2.1 Gemi Tahrik Sistemi Elemanları

Gemi tahrik sistemleri, kullanılan yakıttan elde edilecek enerjinin, geminin hareket etmesini sağlayacak şekilde kullanıldığı bir sistemdir. Üretilen enerji, çeşitli adımlarda yapılacak dönüşümler sonucunda gemiyi hareket ettirecektir. Gemi tahrik sistemleri üç temel alt sistemden oluşmaktadır. Tahrik sistemine ait alt sistemler şematik olarak Şekil 2.1’de gösterilmektedir. [1, 2]



Şekil 2.1 Tahrik sistemine ait alt sistemlerin şematik gösterimi

2.2 Güç Üretim Sistemleri

Yakıtın mekanik veya elektrik enerjisine dönüştürüldüğü güç üretim sistemi, üretilen tahrik gücünü iletim sistemine aktarmaktadır. İletilen güç, aktarma sistemleri üzerinden iticiye iletilmekte ve gemi hareket etmektedir. Güç üretim sistemleri termal ve direk elektrik kaynakları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

2.2.1 Termal güç üretim sistemleri

Termodinamikteki tarifi ile ısı makinaları, yüksek ve düşük sıcaklık seviyesi arasındaki bir çevrimde transfer edilen ısı neticesinde pozitif mekanik iş yapan makinalardır. Çevrim içerisinde kullanılan iş yapan akışkanın atmosferden alınması veya kapalı olarak sürekli kullanılmasına göre farklılık gösteren iki temel topoloji

mevcuttur. Örnek olarak buhar türbini ve Stirling çevriminde iş yapan akışkan, her çevrimde sürekli olarak kullanılmakta, içten yanmalı dizel makina ve gaz türbininde hava, atmosferden sağlanmakta ve çevrim sonunda dışarı atılmaktadır. Ana hatları ile termal güç üretim sistemleri aşağıda tanıtılmıştır.

2.2.1.1 Buhar türbini

Buhar türbinlerinde kullanılan kazanlarda su ısıtılarak buhar haline getirilmekte ve buhar ile çalışan türbin, ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmektedir. Yoğusturucuda yoğunlaştırılan buhar, bir pompa ile tekrar kazana gelmektedir. Kullanılan basınçlı buhar ile elde edilen mekanik enerji, türbin shaftı üzerinden güç aktarma sistemlerine iletilmektedir. Genellikle pervane devir hızından daha büyük türbin hızları nedeni ile tahrik için redüksiyon dişlilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Gemiler için buhar türbinlerinin ağır ve geniş olması, temel dezavantajları arasındadır. Tam tahrik gücünü verebilmesi için ortalama olarak bir kaç saate ihtiyaç duyan buhar türbinleri, % 25-30 mertebesindeki ısı verimliliği ve kompleks yardımcı sistemlere gereksinim duymaları nedeni ile tercih edilmemektedir. Büyük güç kapasiteleri ve uzun işletim ömürleri temel avantajlar arasındadır.

2.2.1.2 Nükleer reaktörler

Çalışma prensibi açısından nükleer güç üretim sistemi konvansiyonel buhar türbinlerine benzemektedir. Buhar türbininde kullanılan kazanların yerine, bir ısı eşanjörüne bağlanan nükleer reaktörler kullanılmaktadır. Isı eşanjörü üzerindeki buhar türbine aktarılmakta ve mekanik enerji elde edilmektedir.

Özellikle askeri amaçlar için kullanılan nükleer tahrik sistemlerinin en önemli özelliği uzun süreli ve kesintisiz çalışma imkanıdır. Askeri teknolojiler kapsamında geliştirilen bir çok reaktör tipi ve tahrik sistemi konfigürasyona rağmen nükleer reaktörler, yüksek işletme ve bakım tutum maliyetleri, iyi eğitilmiş personel ihtiyacı ve çevresel etkiler nedeni ile ticari olarak kullanılmamıştır.

2.2.1.3 İçten yanmalı makinalar

20. yüzyılın en çok tanınan ve kullanılan termal makinaları olan içten yanmalı makinalar, hemen her çeşit ulaştırma uygulamalarındaki seçenekleri ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Temel olarak Otto ve Dizel çevrimi olarak sınıflandırılan içten yanmalı makinalar, soğutma sistemi, silindir konfigürasyonu, devir hızı gibi değişkenlere göre listelenebilir.

Otto çevrimi ve benzinli makinalarda, yakıt-hava karışımı silindir veya yanma odası içerisine alındıktan sonra elektrik kıvılcımı ile ateşlenmektedir. Dizel çevriminde ise yanma odasına alınan yakıt-hava karışımı, yakıtın yanma noktasına kadar sıkıştırılarak ısıtılmaktadır. Benzinli makinalara göre dizel makinalar daha yüksek güç sağlamakta ve dolayısı ile gemi tahrik sistemlerinde kullanılmaktadır.

Gemilerde kullanılan dizel makinalar devir hızlarına göre sınıflandırılmaktadır.

- Yüksek devir hızında çalışan dizel makinalar (>1200 dev/dk. şaft hızı)
- Orta devir hızında çalışan dizel makinalar (200-1200 dev/dk. şaft hızı)
- Düşük devir hızında çalışan dizel makinalar (<200 dev/dk. şaft hızı)

Gemilerde kullanılan dizel makinaların sayısının sınırlı olması nedeni ile, inşaa edilecek her gemi tipi için sipariş üzerine üretilen dizel makinaların olması beklenemez. Gemi endüstrisinin ihtiyaç duyduğu belirlenmiş güç ve devir sayılarına göre sınıflandırılmış seriler mevcuttur. Özellikle orta ve yüksek devir hızına sahip dizel makinaların gemilerden başka karayolu, demiryolu, ağır inşaat makinaları gibi birçok uygulama alanı vardır.

Gemilerde kullanılan dizel makinaların tuzlu ve nemli ortam koşullarında çalışma ve deniz suyu ile soğutma özelliklerinin yanında, sürekli hareket eden bir platform üzerinde çalışabilme gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir.

Günümüzde kullanılan orta ve yüksek devir hızına sahip dizel makinalar pervaneye bir dişli sistemi ile bağlanmaktadır. Buhar ve gaz ve buhar türbinleri ile karşılaştırıldığında, dizel makinaların devir hızları daha düşüktür. Bu nedenle kullanılan redüksiyon dişli sisteminin genel ağırlığı, gaz türbinlerine nazaran daha düşüktür. Dizel makinalar yüksek dayanıklılık performansları ve hemen çalıştırılabilme özellikleri ile avantajlıdır. Dizel makinaların ısı verimleri %50

mertebesindedir. Ayrıca geniş bir yelpazede bulunan ürün çeşitliliği ile yaygın olarak kullanılmaktadır.

Düşük devirli dizel makinalar, ağırlıkla gemi tahrik sistemleri için üretilmektedir. Düşük devir hızında çalışan dizel makinalar, pervaneye direk olarak bağlanmaktadır. Dizel makinalarda güç kapasitesi arttıkça ağırlık ve hacim değerleri artmaktadır. Bu nedenle yalnızca ticari gemilerde kullanılan düşük devirli dizel makinalar, gürültülü çalışmaları nedeni ile de askeri açıdan dezavantajlıdır. Gemi ana tahrik sisteminin yanında, jeneratör tahrikinde de kullanılan dizel makinalar, kullanılan en yaygın kullanılan tahrik sistemleridir. [2]

2.2.1.4 Gaz türbinleri

İkinci dünya savaşını takip eden dönemde geliştirilen gaz türbinleri, temelde uçaklarda kullanılmıştır. Yüksek devirlerde çalışan gaz türbinleri, daha çok büyük güçler için kullanılmaktadır. Jet motorlarında elde edilen başarı sonuçlar, dünya havayolu taşımacılığı açısından bir dönüm noktası olmuştur.

Gemilerde kullanılan gaz türbinleri, uçaklar için üretilen sistemlerden türetilmiştir. Özellikle askeri gemilerin yüksek hız ihtiyacını karşılamak için kullanılan gaz türbinleri, yüksek çalışma devirleri nedeni ile pervaneye bir dişli sistemi ile bağlanmaktadır.

Gaz türbinleri kullanılan termodinamik çevrimler açısından sınıflandırılmaktadır. Basit çevrim gaz türbinleri, atmosferden alınan havanın sıkıştırıldığı bir kompresör, yanma odası ve güç türbininden oluşmaktadır. Çalışma verimi açısından türbin giriş sıcaklığı ve kompresör basıncı önemli değişkenler arasındadır. Gaz türbinlerinden elde edilen maksimum güç 40000 hp mertebesindedir. Kullanılan çevrimlere göre gaz türbinleri aşağıdaki gibi listelenebilir.

- Basit çevrim gaz türbinleri
- Rejeneratif gaz türbinleri
- İçten soğutmalı rejeneratif gaz türbinleri
- Buhar püskürtmeli gaz türbinleri
- Kombine çevrim gaz türbinleri

İçten soğutmalı rejeneratif çevrimlerin kullanılması, çalışma verimini arttırmaktadır. Düşük ve yüksek basınç kompresörleri arasına yerleştirilen ısı eşanjörü ile, kompresöre giren hava, ortam sıcaklığına kadar soğutulmuş olmakta ve yüksek basınç kompresörünün yapacağı termodinamik iş azaltılmaktadır. Ayrıca yanma sonrası türbinden atılmakta olan yüksek sıcaklıktaki eksoz gazlarının geri kazanılması ve yanma öncesi havanın ısıtılması, toplam sistem verimini arttırmaktadır.

Gaz türbinlerinin ısı verimleri, % 40 mertebesinde dir. Gaz türbinlerinin çalışma performansı, kısmi yükler altında önemli derecede azalmaktadır. Düşük devir sayılarında artan yakıt tüketimi, gemilerde kullanılan gaz türbinlerinin en büyük dezavantajları arasındadır. Gaz türbinleri, yüksek miktarda hava girişine ihtiyaç duymaktadır. Konvansiyonel buhar türbinleri ve dizel makinalara göre 3-5 kat daha fazla giriş havasına ihtiyaç duyan gaz türbinleri, geniş eksoz çıkışları ile makina dairesi yerleşimi açısından dezavantajlıdır. Ayrıca gaz türbini şaft hareketinin tek yönlü olması nedeni ile ters yönlü çalışma koşulları için ekstra dişli sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. [2]

2.2.1.5 Birleştirilmiş hibrit sistemler

Tahrik sisteminin tasarımında sınırlayıcı faktörler arasında yakıt tüketimi, devir sayısı, maksimum güç kapasitesi, makina dairesi yerleşim konfigürasyonu sayılabilir. Güç üretim sistemi seçeneklerinden her bir alt sistemin, çeşitli çalışma koşulları için belirli avantajları vardır. Tahrik sisteminde üretilecek güç kapasitesi, gemi hızına göre artmaktadır.

Güç üretim sistemi gemi hızına karşılık gereken gücü verimli bir şekilde karşılayabilmelidir. Başka bir ifade ile yerleştirilecek güç üretim sistemi geminin güç-hız profiline uyumlu olmak zorundadır. Özellikle görev profilleri gereği yüksek hızlara ihtiyaç duyan askeri gemilerde, tek bir üretim sisteminin kullanılması verimli olmamaktadır. Örneğin geminin tahrik gücü, servis hızı için dizel makinalarla ekonomik olarak karşılanabilmektedir. Fakat yüksek hızlara dizel makinalar ile ulaşması için çok daha ağır dizel makinalara ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle yüksek hızlar için gaz türbinlerinin kullanılması çok daha etkin bir çözüm olmaktadır. Servis hızına kadar dizel makina ve daha yüksek hızlar için de gaz türbininin bulunduğu

kombine bir tahrik sistemi, geminin güç-hız profiline en uyumlu tahrik sistemi olabilmektedir. Bu sayede yakıt tüketimi açısından önemli avantajlar elde edilmiş olabilmektedir. Kombine tahrik sistemlerinin tasarımında en önemli kriter, gemi ömrü boyunca hangi güç seviyesinde ne kadar süre çalışması gerektiğinin belirlenmesidir. Kombine tahrik sisteminde kullanılan her bir güç üretim sistemi, mümkün olduğu kadar tasarım değerlerinde (ekonomik devir sayısı) çalışmakta ve toplam sistem verimi artmaktadır.

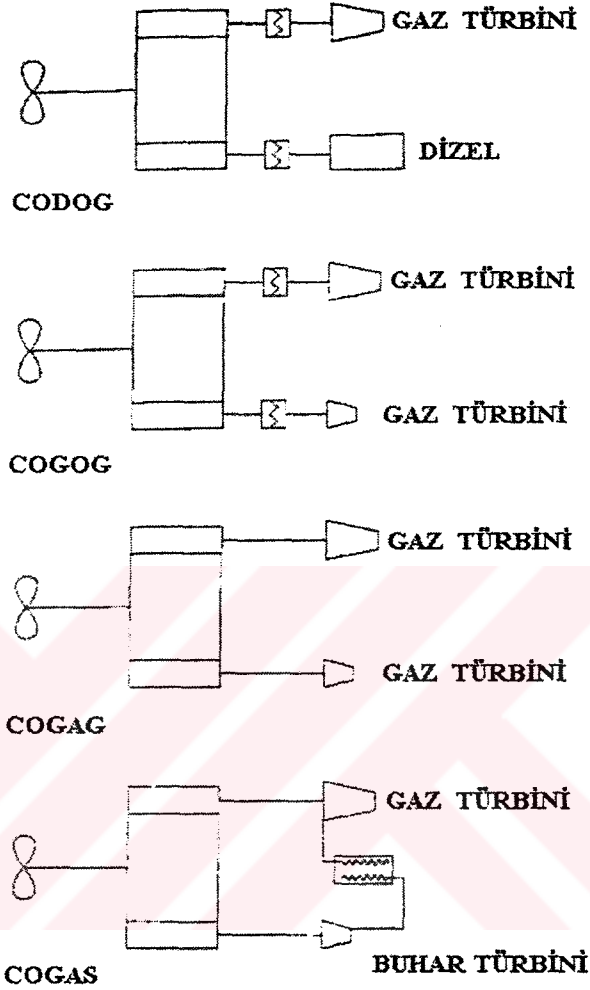
Genellikle kombine tahrik sistemleri, iki farklı tip güç üretim sisteminden oluşmaktadır. Aynı tip makinaların farklı güç kapasitelerinde kullanıldığı kombine tahrik sistemleri de mevcuttur. Kullanılan güç üretim sistemine göre kombine tahrik sistemleri Tablo 2.1’de tanıtılmıştır.

Tablo2.1 Güç üretimine göre kombine tahrik sistemleri

Kombine Tahrik Sistemi Konfigürasyonu	Servis Gücü (Servis Hızı)	Tam Güç (Yüksek Hız)
CODOG	Dizel Makina	Gaz Türbini
CODAS	Dizel Makina	Dizel Makine ve Buhar Türbini
CODAD	Dizel Makina	Dizel Makine ve Dizel Makina
CODAG	Dizel Makina	Dizel Makina ve Gaz Türbini
CODLAG	Dizel Elektrik	Dizel Elektrik ve Gaz Türbini
COGOG	Gaz Türbini	Gaz Türbini
COGAG	Gaz Türbini	Gaz Türbini ve Gaz Türbini
COGAS	Gaz Türbini	Gaz Türbini ve Buhar Türbini
COSAG	Buhar Türbini	Gaz Türbini
CONAS	Nükleer Reaktör	Nükleer Reaktör ve Buhar Türbini
CONAG	Nükleer Reaktör	Nükleer Reaktör ve Gaz Türbini

Kombine tahrik sistemlerinde kullanılan terimler, iki adet güç üretim sisteminin kullanıldığını ve tam yük altında bu iki sistemin birbirine nasıl bağlandığını belirtmektedir. Literatüre İngilizce olarak giren bu hibrit konfigürasyon terimleri örnekler ile açıklanabilir. Örnek olarak CODOG terimi, **CO**mbined **D**iesel **O**r **G**as Turbine, servis hızına kadar dizel makinanın, yüksek hızlar için gaz türbininin birbirlerinden bağımsız olarak çalıştığı kombine bir konfigürasyonu tarif etmektedir. Bir başka örnek olarak CONAG terimi, **CO**mbined **N**uclear **A**nd **G**as Turbine, servis hızına kadar nükleer reaktörün, yüksek hızlar için nükleer reaktör ve gaz türbininin birlikte çalıştığı kombine bir konfigürasyonu tarif etmektedir. [2]

Kombine tahrik sistemlerinde makinalar pervane şaftına dişli kutuları ile bağlanmaktadır. Genel olarak en çok kullanılan hibrit konfigürasyonlardan CODOG, COGOG, COGAG ve COGAS şematik gösterimi Şekil 2.2’de sunulmuştur.



Şekil 2.2 CODOG, COGOG, COGAG ve COGAS şematik gösterimi

2.2.2 Direk elektrik kaynakları

Termal güç üretim sistemlerinin büyük çoğunluğunda, mutlaka döner mekanik parçalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler özellikle askeri gemiler ve yolcu gemileri için çok üst düzeyde gürültüye neden olmaktadır. Termal güç üretim sistemlerine alternatif olarak elektrik enerjisi üreten kaynaklar, daha çok askeri gemilerde kullanılmaktadır. Ticari gemiler için önemli olmayan gürültü seviyesi, batarya ve yakıt pilleri gibi son derece sessiz güç kaynaklarına olan talebi doğal olarak azaltmıştır. Gemilerde elektrik enerjisine yardımcı sistemler için ihtiyaç

duyulmakta ve bu ihtiyaç elektrik jeneratörleri ile karşılanmaktadır. Tahrik gücünün elektrik enerjisi ile karşılanması bataryalar veya yakıt pilleri ile sağlanmaktadır.

2.2.2.1 Bataryalar

Denizaltılarda kullanılan bataryalar havadan bağımsız seyirler için çalıştırılmaktadır. Sessiz çalışma özelliği ile hayati önem taşıyan bataryalar, dizel makinalar ile tahrik edilen jeneratörler ile şarj edilmektedir. DC elektrik motorunun kullanıldığı tahrik sistemi, doğru akım veren bataryalar ile beslenmekte ve hareket enerjisi elde edilmektedir.

Kurşun asit bataryalar kolay şarz edilmeleri ve düşük reaksiyon sıcaklıkları nedeni ile en çok kullanılan batarya tipleri olmuştur. Düşük enerji yoğunlukları, kurşun asit bataryaların dezavantajları arasındadır. Bir çok batarya tipi halen araştırma aşamasındadır.

2.2.2.2 Yakıt pilleri

Yakıttan direk elektrik enerjisinin elde edildiği yakıt pilleri, yapılan direk enerji dönüşümü nedeni ile yüksek çalışma verimine sahiptir. Gemiler için geliştirilme aşamasında olan yakıt pili teknolojisi gelecekte gemi tahrik sistemlerinin önemli bir parçası olması beklenmektedir. Yakıt pilleri tümü elektrikli gemi kavramı içerisinde detaylı olarak tanıtılacaktır.

2.3 Güç Aktarma Sistemleri

Gemi bünyesinde güç üretim sistemleri ile geminin hareket etmesini sağlayan itici sistemler arasında güç aktarma sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Üretilen tahrik gücü seviyelendirilme ve hareket ettiriciye kadar iletilmektedir. Güç aktarma sistemlerinin temel fonksiyonları aşağıdaki gibi listelenebilir.

- Pervane şaftına güç aktarılması
- Şaft hızının ayarlanması
- Birden fazla güç üretim sisteminin pervane şaftına bağlanması

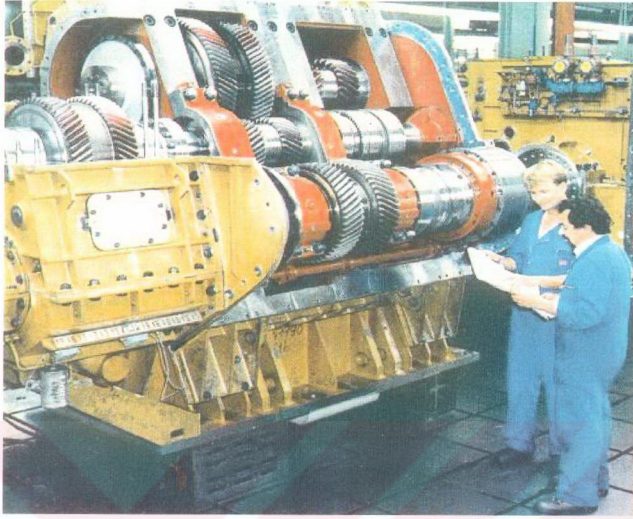
Üretilen mekanik ya da elektrik enerjisi, tahrik ünitesine iki temel şekilde aktarılmaktadır. Güç aktarma sistemleri, mekanik ve elektrik olarak iki kısımda incelenebilir.

2.3.1 Mekanik aktarma sistemleri

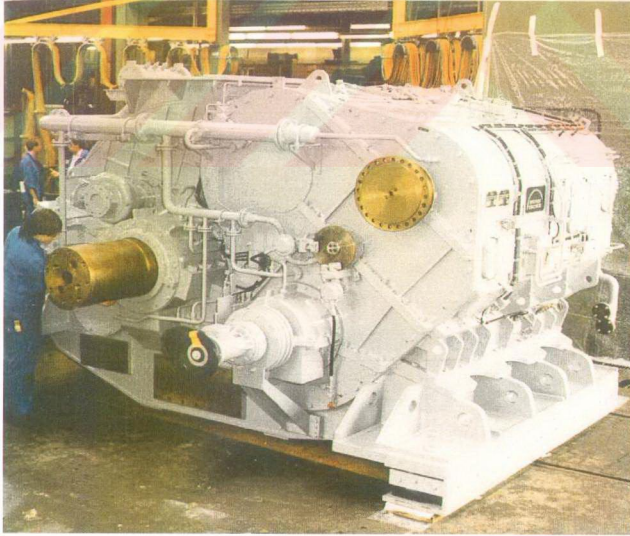
Dizel makinalar ya da türbinler, mekanik enerji üretmektedir. Şaft üzerine aktarılan hareket enerjisi pervaneye iletilmektedir. Ancak pervanelerin verimli olarak çalıştığı devir sayıları sınırlayıcı faktördür. 100-200 dev/dk. şaft hızında dönen pervanelere, 1200-3600 dev/dk. şaft hızına sahip dizel makina ya da türbinlerin bağlanması redüksiyon dişlileri ile sağlanmaktadır.

Yüksek güçlerde aktarma yapan redüksiyon dişlileri için en önemli nokta, dişlilerin mekanik dayanımlarıdır. Dişli işleme teknolojisindeki ilerlemeler ile, yüksek diş yükleme faktörlerine ulaşılmış, sertleştirilmiş diş/dişli tasarımları gerçekleştirilmiştir. Devir sayısının ayarlandığı dişli kutularında, birden fazla şaftın bağlandığı konfigürasyonlar mevcuttur. Kombine tahrik sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası olan dişli kutuları, dişlilerin bağlanma açısına göre paralel yerleşim ve eliptik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Dişli kutuları yaklaşık %95-98 mertebesinde aktarma verimine sahiptir. Ağırlıkları ve gürültülü çalışmaları en önemli dezavantajlar arasındadır. Hassas olarak yerleştirilmesi gereken dişli kutularının, yedeklenmek gibi bir imkanın kısıtlı olması nedeni ile, arıza karşısında bir takım riskler taşımaktadır. Kombine tahrik sistemlerinden CODOG konfigürasyonunda kullanılan dişli kutusu Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de gösterilmiştir. [3]



Şekil 2.3 CODOG konfigürasyonunda kullanılan dişli kutusu



Şekil 2.4 CODOG konfigürasyonunda kullanılan dişli kutusu

2.3.2 Elektrik aktarma sistemleri

Batarya ve yakıt pili gibi doğrudan elektrik enerjisinin elde edildiği güç üretiminde, tahrik motoru elektrik enerjisi kullanmaktadır. Üretilen elektrik enerjisi, elektrik dağıtım sistemi ile motora aktarılmaktadır. Direk elektrik kaynaklarının kullanılmasının yanında, elektrikli tahrik sistemleri olarak bilinen kavramda, elektrik üretimi için jeneratör setleri de kullanılmaktadır. Elektrikli tahrik sistemlerinde, jeneratörlerden elde edilen elektrik enerjisi gemi içerisinde dağıtılmakta ve elektrikli tahrik motoruna aktarılmaktadır. Yüksek tasarım esnekliği bulunan elektrikli tahrik sistemleri, günümüzde yaygınlaşmaktadır.

2.4 İticiiler

Üretilen gücün kullanılması ile geminin hareket etmesi, itici sistemler ile sağlanmaktadır. En genel itici tipi pervanedir. Pervaneler şaft üzerinde dönmekte olan kanatlar ile içinde bulunduğu akışkanı hareket ettirmektedir. Konvansiyonel pervanelerin kullanıldığı itme sistemleri 100-200 dev/dk şaft hızında dönmektedir. Sabit kanatlı pervanelerin yanında kanat açıları değiştirilebilen (piç kontrollü) pervaneler de mevcuttur.

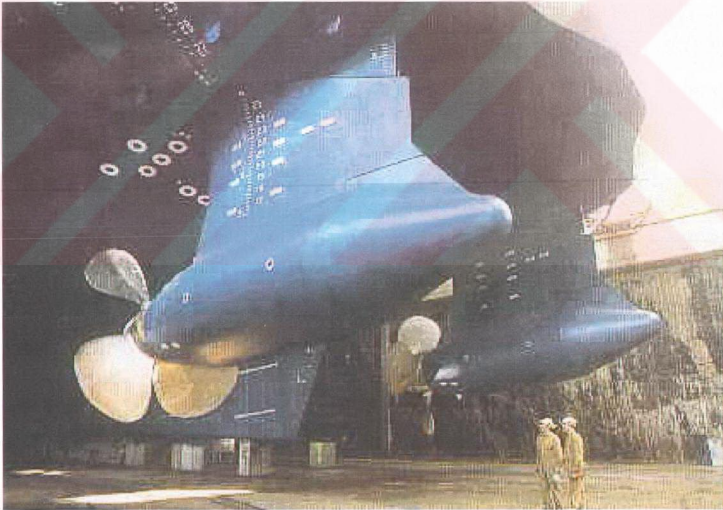
Yüksek devir hızlarında çalışan itme sistemleri arasında süper kavitasyon pervaneleri ve su jetleri sayılabilir. Gemilerde kullanılan itici tipleri aşağıdaki gibi listelenebilir.

- Kavitasyon altı pervane sistemleri
 - Sabit kanatlı pervaneler
 - Piç kontrollü pervaneler
 - Pod sürücüler
- Yüksek hızlı pervane sistemleri
 - Kavitasyon üstü (süperkavitasyon) pervane sistemleri
 - Su jetleri

Elektrikli tahrik motorları ve pod sürücülerini olan bir yolcu gemisi, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da gösterilmektedir. [4]



Şekil 2.5 Yolcu gemisine ait Azipod sürücü



Şekil 2.6 Yolcu gemisine ait Azipod sürücü

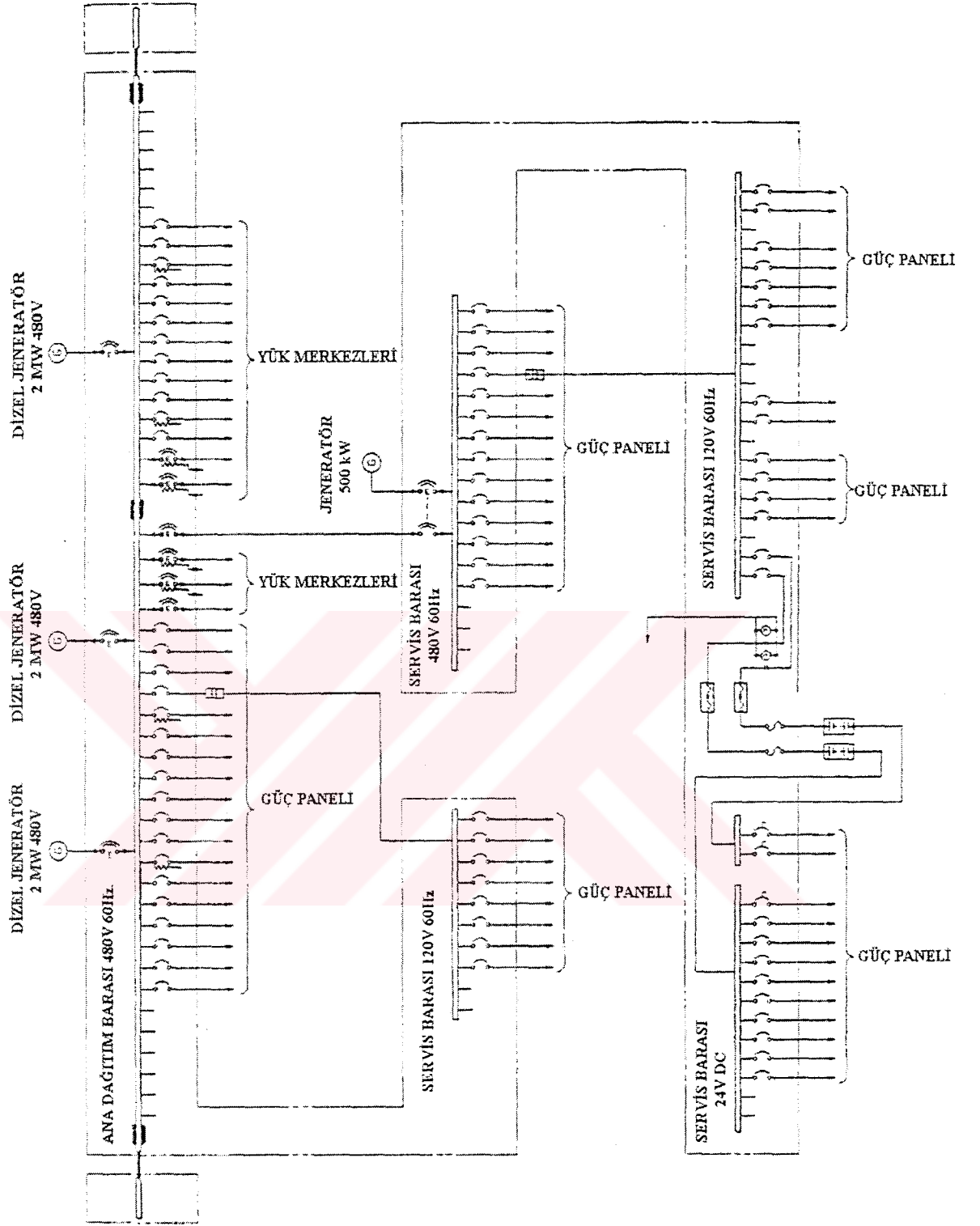
3. GEMİ ELEKTRİK SİSTEMLERİ

Gemilerde elektrik enerjisi ile çalışan bir çok yardımcı sistem bulunmaktadır. Gemi tasarlanırken, kapsamlı bir elektrik yük analizi yapılmakta ve gemi tipine göre değişiklik gösteren yardımcı sistemlerin elektrik ihtiyacı belirlenmektedir. Bir gemide kullanılan elektrik enerjisine dayalı sistemler aşağıdaki gibi listelenebilir.

- Elektrik motorları (gemi yardımcı sistemleri)
- Manevra sistemleri (ırgat motorları, dümen kontrol motoru, baş ve kıç itici)
- Platform yönetim sistemleri
- Havalandırma sistemleri (kargo ve mürettebat)
- Aydınlatma sistemleri
- Alarm ve güvenlik sistemleri (yangın, kargo)
- Navigasyon sistemleri
- Haberleşme sistemleri (gemi içi ve gemi dışı)

Elektrik enerjisi jeneratör setleri ile üretilmekte ve bir ana dağıtım panosu üzerinden yük merkezlerine aktarılmaktadır. Tahrik sisteminden bağımsız olan elektrik sistemi, acil durum jeneratörleri ile yedeklenmekte ve gemiye kesintisiz olarak elektrik enerjisi sağlamaktadır.

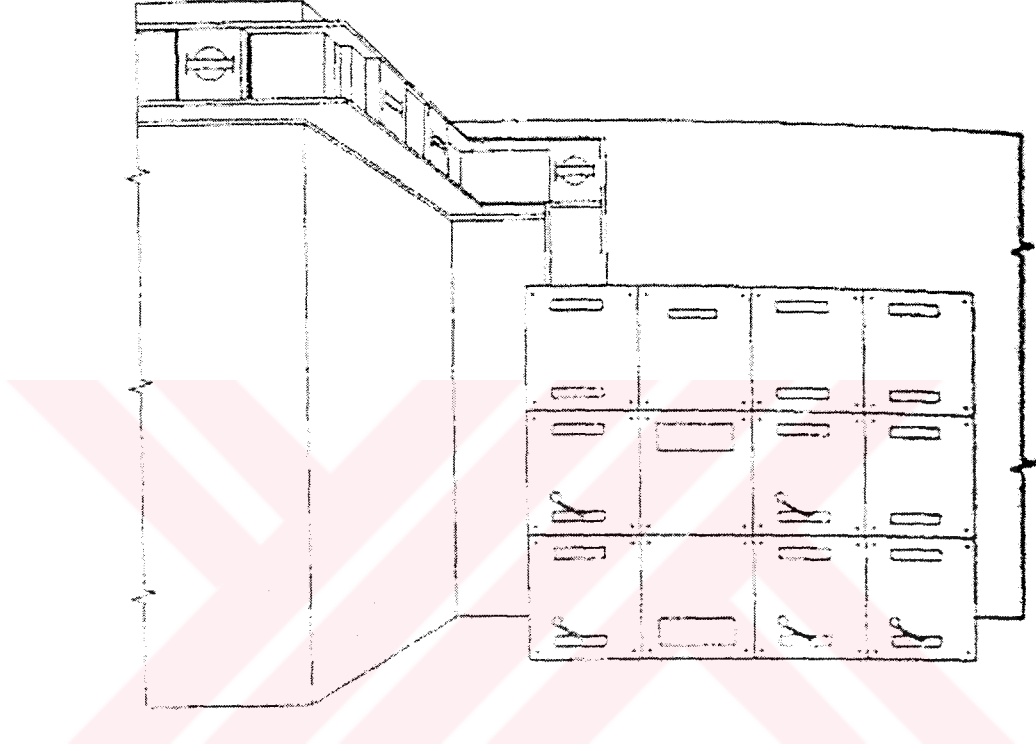
Dağıtım sisteminde gerilim seviyesi 120, 220 veya 450V üç fazlı alternatif akım kullanılmaktadır. Gemilerdeki elektrik yükleri sınıflandırılarak yük merkezleri belirlenmektedir. Kritik yükler için acil durum jeneratörleri tahsis edilmektedir. Belirli sınıf yükler için dağıtım panoları yerleştirilmekte ve bu tip yükler dağıtım panolarına direk olarak bağlanmaktadır. Bir yolcu gemisine ait servis sistemi dağıtım tek hat şeması Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Dağıtım panosu şematik olarak Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de gösterilmektedir. [2, 5]



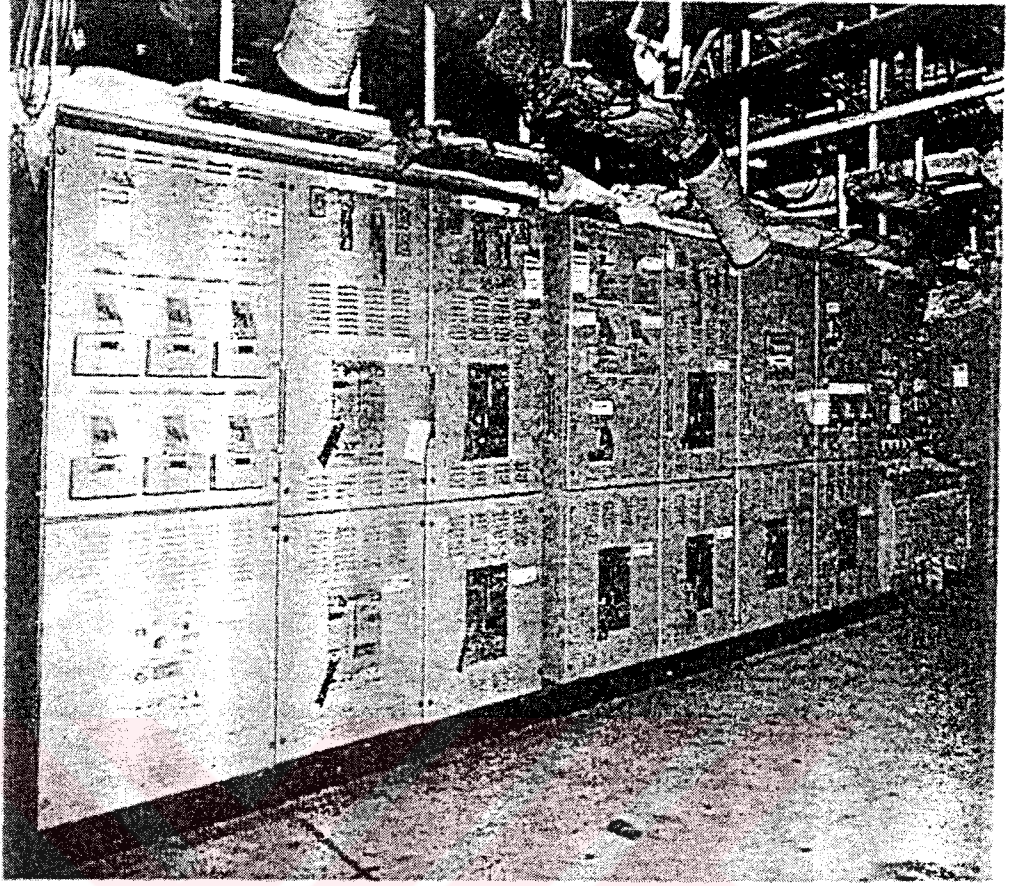
Şekil 3.1 Yolcu gemisine ait tek hat elektrik dağıtım şeması

Büyük miktarda elektrik enerjisine ihtiyaç duyan özel tip gemilerde, daha fazla jeneratör kullanılmaktadır. Örnek olarak dondurulmuş kargo taşıyan gemiler ya da büyük yolcu gemileri, büyük miktarda elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadır. Bu tip

gemilerde elektrik enerjisinin kesintisiz olarak sağlanması ve güç kalitesinin de yüksek olması beklenmektedir. Artan elektrik talebi karşısında yerleştirilen jeneratör sayısı artmakta ve işletme maliyetleri giderek yükselmektedir. Bu tip gemiler için konvansiyonel gemi tahrik sistemlerinde üretilen mekanik enerji yerine elektrik enerjisinin üretilmesi ve servis yüklerinin de beslenebilmesi fikri, elektrikli gemi tahrik sistemlerinin başlangıç noktası olmuştur.



Şekil 3.2 Dağıtım panosu şematik gösterimi



Şekil 3.3 Dağıtım panosu

4. ELEKTRİKLİ GEMİ TAHRİK SİSTEMLERİ

Gemilerde elektrikli tahrik sistemlerinin kullanılması tamamen yeni bir kavram değildir. 20. yüzyılın ilk yarısında günümüze oranla daha da popüler olarak kullanılan elektrikli tahrik sistemleri, büyük güç seviyeleri altında çalışabilen mekanik parçaların üretilmesindeki gelişmeler ile zaman içerisinde popülaritesini kaybetmiştir. Büyük ölçekteki elektrikli tahrik uygulamalarından en eskisi 1911 yılında inşaa edilen Neptune gemisidir. Daha sonra bu gemi Amerikan Donanması için bir uçak gemisine çevrilmiştir. Elektrikli tahrik sistemi, II. Dünya Savaşı sonuna kadar çeşitli sivil ve askeri gemilerde de kullanılmıştır.

Elektrikli tahrik, elektrikli tahrik motorlarının kolay kontrol edilebilmesi özelliği ile buzkıran gemilerinde sıkça kullanılmıştır. Buzkıran gemileri için kritik bir çalışma koşulu olan düşük devir sayılarında elde edilebilen yüksek tork, elektrikli tahrik motorlarının kullanılmasının temel dayanağı olmuştur.

1950 lerden sonra endüstrideki metal parça işleme ve dişli kesme alanlarındaki gelişmeler ile birlikte, gemi tahrik sistemlerinde mekanik transmisyon sistemleri sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Elektrikli tahrik sistem elemanlarının daha ağır ve verimsiz olmaları, gemi ana tahrik makinası ile pervane arasındaki dişli/şanzıman sistemlerinin tercih edilmesine yol açmıştır.

Son yıllarda elektrik mühendisliği alanındaki teknolojik gelişmeler, sivil ve askeri gemilerde elektrikli tahrik sistemlerinin kullanılmasını yeniden gündeme getirmiştir.

Bunun temel nedenleri:

- Yüksek güç yoğunluğu sağlayan güç elektroniği elemanlarındaki teknolojik gelişmeler
- Elektrik motor ve jeneratörlerinde kullanılan ileri malzeme ve soğutma teknolojisi
- Gemilerde tahrik harici ihtiyaç duyulmaya başlanan büyük miktardaki elektrik yükleri

- Gemilerde kullanılmaya başlayan yüksek güç yoğunluğuna sahip türbinler
- Elektrik makinalarında gelecek vaat eden yüksek verimli süperiletken teknolojisi

Gemi tahrik sistemlerinde kullanılmak üzere elektrikli tahrik sistemlerinin tercih edilmesindeki temel nedenler aşağıdaki gibi örneklenebilir:

- Gemi tahriki için ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin üretimi, mekanik sistemlerde olmayan bir esneklik içerisinde gerçekleştirilebilir. Geminin istenilen bölümlerinde üretilecek elektrik enerjisi, tahrik motorunun bulunduğu yer dikkate alınmaksızın yerleştirilebilir. Bir başka deyişle, üretilen enerjinin pervaneye aktarılmasında şaft üzerinde bulunma zorunluluğu ortadan kalkmaktadır. Bir gemi içerisinde son derece önemli ve büyük bir alan/hacim kaplayan gemi makina dairesinin kullanılmasına, mekanik sistemlerde olduğu gibi zorunlu bir ihtiyaç yoktur. Güç üretimi ve tüketimi gemi içerisinde tasarım serbestisi içerisinde dağıtılabilir.
- Elektrikli tahrik, güç üretimi açısından tasarım esnekliğinin yanında kullanım esnekliği de getirmektedir. Enerji üreten farklı kapasitelerde ve çalışma koşullarındaki jeneratörler çeşitli kombinasyonlar ile birbirlerine bağlanabilir. Bir başka deyişle enerji üreticilerin devir hızları ile geminin herhangi bir hızındaki pervane devir hızı arasında mekanik iletim sistemlerindeki gibi sınırlayıcı bir ilişki yoktur. Pervanede ihtiyaç duyulan tahrik gücünü sağlayacak her türlü bağlantı tipi, jeneratörlerin her birini en yüksek verimde çalıştıracak şekilde optimize edilebilir. Bu operasyonel esneklik başta yakıt tasarrufu olmak üzere, düşük yıpranma ve geminin seyir esnasında bakım onarım edilebilirliği gibi avantajlar sağlamaktadır.
- Gemi bünyesinde üretilen önemli miktardaki güç, kullanılan güç elektroniği elemanları ile mekanik sistemlere nazaran çok daha hassas mertebelerde kontrol edilebilmektedir.
- Tahrik ve gemi yardımcı sistemi yükleri, gemi bünyesinde üretilen güç miktarı ile tamamen karşılanabilmektedir.
- Bazı gemi tipleri için teknenin dışında bulunan Pod sürücüler kullanılabilir. Elektrikli tahrik kavramı içerisinde önemli bir yeri olan Pod sürücüler, mekanik tahrik sistemlerinin vazgeçilmez unsuru olan şafta duyulan zaruri ihtiyaca son vermektedir. Elektrik tahrik motorunun içinde bulunduğu Pod

sürücüler, yolcu gemileri gibi çeşitli gemiler için gemi içerisinde kazanılan kullanılabilir hacim, dümen ve braketler gibi takıntıların kullanılmaması ile arttırılan hidrodinamik verim, şaft ve diğer mekanik iletim sistemlerinin ortadan kaldırılması gibi bir takım avantajlar sunmaktadır.

Elektrik makinaları ve güç elektroniği alanındaki gelişmeler, günümüzde kullanılan mekanik tahrik sistemlerinin ağırlık açısından sorgulanmasına neden olmuştur. Buzkıran ve yolcu gemilerinde kullanılan başarılı elektrikli tahrik uygulamaları, gelecek nesil askeri gemi tasarımları için de ilgi uyandırmaktadır.

Elektrikli tahrik sistemleri diğer alternatif tahrik sistemleri ile karşılaştırıldığında, genel olarak ağırlık, hacim, enerji iletimindeki kayıpların azaltılması gibi bir takım avantajlar sunmaktadır. Jeneratör ve tahrik motoru arasında yapılacak elektriksel bağlantı, mekanik sistemlerde söz konusu olmayan ekipman yerleşim esnekliği sağlamaktadır. Gemilerdeki genel yerleştirme veya ağırlık dağılımı ve stabilite sınırlamaları göz önünde bulundurulduğunda, elektrikli tahrik sistemindeki alan/hacim kullanım esnekliği önem kazanmaktadır. Gemilerde kullanılan dizel jeneratörler, gaz ve/veya buhar türbinleri gibi enerji üreticilerinin çıkışlarındaki mekanik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi, tahrik sistemi elemanlarının genel yerleştirilmesindeki esneklik açısından önemli bir unsurdur.

Elektrikli tahrik sisteminde, tam güç kullanımı haricindeki yüklerin karşılanmasında en az sayıdaki enerji üreticilerinin en üst verimde kullanılması ile toplam sistem veriminin arttırılması söz konusudur. Geminin güç ihtiyacı ve kurulu güç kapasitesi arasında kayıpların azaltılması açısından yapılabilecek bir iyileştirme, tahrik sisteminin verimliliğini arttıracaktır. Tahrik sistemindeki bu potansiyel verim artışı, bakım ve işletme maliyetlerinin de azaltılması açısından önem taşımaktadır.

Gemi bünyesinde üretilecek elektrik enerjisi, sadece tahrik sisteminin ihtiyaç duyacağı güç seviyesinin yanında, diğer elektriksel yüklerin de karşılanmasını sağlayacaktır. Kargo pompalama ve soğutma sistemleri, çeşitli iklimlendirme/havalandırma sistemleri, motorlar, fanlar, aydınlatma ve navigasyon sistemleri gibi çeşitli küçük ölçekte elektrik tüketen gemi yardımcı sistemlerinin çalıştırılmasında, tahrik için üretilen elektrik enerjisi kullanılmaktadır.

4.1 Elektrikli Tahrik Uygulama Alanları

Jeneratör yerleştirmesindeki esneklik, elektrik sisteminin mekanik sistemlere nazaran daha kolay kontrol edilebilmesi, elektrik enerjisinin gemi üzerindeki elektrik tüketicilerine rahatlıkla aktarılabilmesi, elektrikli tahrik sisteminin uygulama alanlarını genişletmektedir.

Gemi tipleri açısından uygulamaları ana hatları ile aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yüksek manevra ihtiyacı duyan gemiler
- Büyük miktarda özel maksatlı güç tüketimi olan gemiler
- Büyük servis yüklerine ihtiyaç duyan gemiler

4.1.1 Yüksek manevra ihtiyacı duyan gemiler

Feribot, romorkör, açık deniz araştırma gemisi, kablo döşeyici, mayın tarama ve buzkıran gemileri gibi yüksek manevra ihtiyacı olan gemi tipleri için, hassas gemi hızı kontrolü ve manevrası, işletme performansı açısından hayati önem taşımaktadır. Bu tip gemilerde genellikle hassas hız kontrolüne imkan sağlayan DC (doğru akım motorları) tahrik motorları tercih edilmektedir.

4.1.2 Büyük miktarda özel maksatlı güç tüketimi olan gemiler

Soğutulmuş kargo taşıyan yük gemileri, gelişmiş pompalama sistemlerine ihtiyaç duyan tankerler, açık deniz petrol arama platformları, yangın söndürme gemileri gibi gemiler, görev ihtiyaçları doğrultusunda büyük miktarda elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu tip gemilerde, tahrik sisteminden bağımsız çalışan büyük ölçekte elektrik üreten jeneratör setleri bulunmaktadır. Elektrikli tahrik sisteminde, ihtiyaç duyulan tahrik ve gemi yardımcı sistemlerine ait yüklerin elektrik enerjisi ile karşılanması, bu tip gemiler için kurulu güç maliyeti açısından avantajlıdır.

4.1.3 Büyük servis yüklerine ihtiyaç duyan gemiler

Yolcu gemilerinde, tahrik sisteminin yanında yüksek miktarda elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Otel yükleri olarak ifade edilen bu servis yükleri, hemen hemen gemi ömrü boyunca, büyük ölçekte kurulmuş jeneratör setleri ile karşılanmaktadır. Elektrik sistemindeki ani yük değişiklikleri gemi işletmesi açısından önem

taşımaktadır. Gemi tahriki için üretilmekte olan mekanik gücün elektrikli tahrik sistemi ile karşılanması, otel yüklerine dağıtılmakta olan elektrik enerjisi kalitesinin artırılmasına ve toplam enerji üretiminin yüksek verimlerde kesintisiz olarak kullanılmasına imkan vermektedir.

4.2 Elektrikli Tahrik Sistemi Temel Konfigürasyonları

Gemi bünyesinde üretilecek elektrik enerjisi, iki temel yaklaşım altında incelenebilir. Sadece gemi tahrik sisteminin beslenmesi için elektrik enerjisi kullanılabilir ya da entegre bir sistem ile yalnız tahrik sistemi değil, geminin diğer servis yükleri de tek bir enerji üretim sistemi tarafından beslenebilir.

4.2.1 Sadece tahrik motoru için enerji üretimi

Gemi tipine ve çalışma koşullarına göre servis yüklerinin ihtiyacı, tahrik için üretilen enerji miktarından önemli miktarda küçük ise tercih edilebilir. Jeneratörler, tahrik motorunu besleyecek şekilde tek bir baraya bağlanır. Bu uygulama günümüzde gemilerde elektrik tüketen sistemlerin artması nedeni ile pek fazla tercih edilmemektedir.

4.2.2 Tahrik ve servis yükleri için tek bir üretim sistemi

Entegre güç sisteminde temel olarak tahrik motoru için üretilen elektrik enerjisi, gemi elektrik dağıtım sistemi aracılığı ile yük merkezlerine kadar iletilir. Servis yükleri için kullanılan servis baralarında istenilen gerilim ve frekans değerlerine dönüştürülür. Servis baralarının sayısı yük ihtiyacı doğrultusunda artırılabilir. Örnek olarak diğer gemi tiplerine nazaran büyük yolcu gemilerinde, yük merkezleri gemi içerisinde sayıca daha fazla ve gemi içerisinde dağıtılmış olarak yerleştirilmektedir. Entegre güç sisteminde geminin istenilen hemen her noktasında yüksek güç ihtiyacını karşılayabilecek elektrik enerjisinin sağlanabiliyor olması, gemi dizaynı açısından da önemli bir yerleştirme esnekliği avantajı getirmektedir.

Halihazırda tahrik motoru için tesis edilen büyük enerji üretim kapasitesini, gerekli hallerde servis yüklerine aktarabilmek çeşitli elektriksel dönüşüm araçları ile yapılabilmektedir.

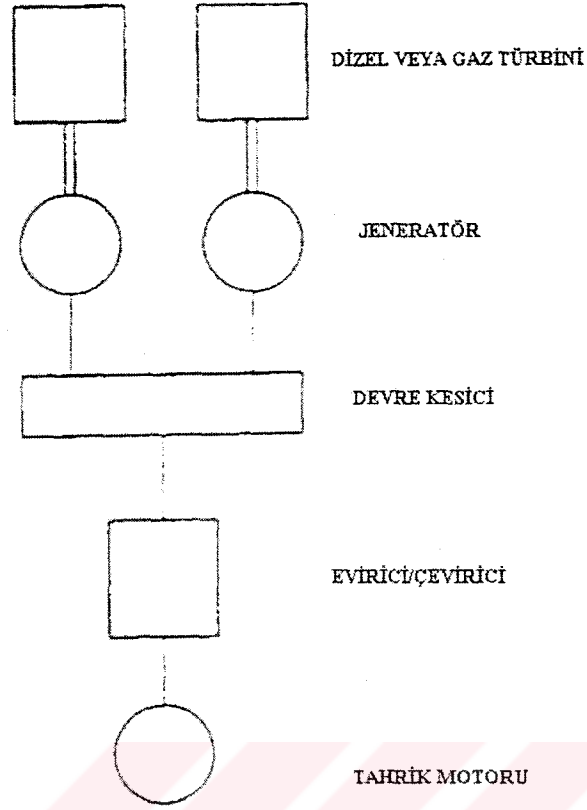
Özel yükler olarak tarif edilebilecek kritik sistemlere ait beslemenin, yine de entegre sistemden bağımsız bir üretici (jeneratör) tarafından sağlanması söz konusudur. Geminin tasarım aşamasında belirlenecek bu tip yükler için bağımsız bir jeneratörün tahsis edilmesi ve yedekleme açısından entegre sisteme bara bağlama anahtarları ile bağlanması mümkündür.

4.3 Elektrikli Tahrik Sistem Seçeneklerinin Tanıtılması

Elektrikli tahrik sisteminde temel olarak jeneratörlerde üretilen elektrik enerjisi gemi tahrik motoruna ve dolayısı ile pervaneye iletilmektedir. Enerji üretimi ve tüketimi arasındaki dağıtım sisteminde ise çeşitli (elektriksel dönüşüm) güç elektroniği elemanları ile güç seviyelendirmesi ve hız kontrolü sağlanmaktadır. Sistemde enerjinin kullanımı aşağıdaki gibi açıklanabilir: [2]

- Dizel makinanın şaft çıkışında üretilen mekanik enerji, jeneratör çıkışında elektrik enerjisine dönüştürülür.
- Jeneratör ve motor arasındaki dağıtım sisteminde, elektrik enerjisi seviyelendirilir ve kontrol edilir.
- Elektrik enerjisi ile çalışan tahrik motoru, pervaneye mekanik enerji iletir.

Elektrikli tahrik sistemi temel elemanları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Elektrikli tahrik sistemi temel elemanları

Gemi enerji sistemi açısından elektrik üretimi ve kullanılacak tahrik motorları incelendiğinde 3 temel yaklaşımın varlığından söz edilebilir. Jeneratör tipleri AC veya DC olabilir. Bunun yanında kullanılan motorlar da AC veya DC olabilir. Enerji üretimi ve kullanım seçeneklerinin yanında, dağıtım sistemi de AC ve DC olarak seçilebilir. Enerji üretim, tüketim ve dağıtım seçenekleri arasında farklı kombinasyonların seçilmesi, sistem verimliliği açısından bir takım sınırlayıcı faktörler içerir. Elektrik enerjisinin dönüştürülmesinde kullanılan evirici/çeviriciler, dönüşüm sayısının artması ile çalışma verimliliği ve ağırlık açısından dezavantajlar getirmektedir.

Gemilerde kullanılan elektrikli tahrik sistemleri üç temel yaklaşım altında incelenebilir.

- DC üretim DC tüketim (DC jeneratör; DC motor)
- AC üretim DC tüketim (AC jeneratör; DC motor)
- AC üretim AC tüketim (AC jeneratör; AC motor)

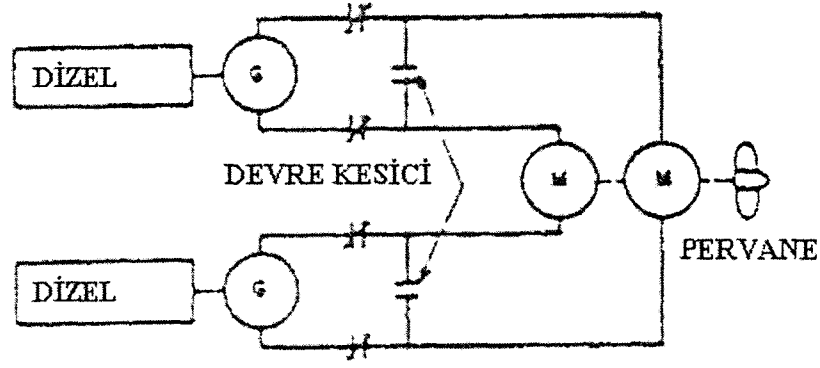
Kullanılan jeneratör ve motorlar konvansiyonel DC, rotoru sargılı senkron AC, sürekli mıknatıslı senkron (Permanent Magnet) AC, asenkron AC ve homopolar DC olarak tarif edilebilir.

Elektrik enerjisinin üretilmesinde ve tahrik motorunda kullanılmakta olan AC ve DC seçeneklerinin yanında, gemi bünyesindeki elektrik dağıtım sisteminin AC ve DC olması söz konusudur. Gemi tahrik sistemleri için yüksek gerilim mertebesinde DC kullanılması, henüz araştırma aşamasında olan bir seçenektir. Kullanılan sistem elemanlarının ticari pazarda geniş bir ürün yelpazesinde mevcut olması ve gemi tahrik sistemleri alanındaki teknik bilgi birikiminin yeterli düzeyde olması nedeni ile, elektrik dağıtım sisteminde genellikle AC kullanılmaktadır.

Aşağıda, jeneratörlerde düşük gerilim seviyesinde DC üretilen ve DC tahrik motorlarının kullanıldığı ve günümüzde verimsiz olmaları nedeni ile pek kullanılmamakta olan DC DC sistem yalnızca tanıtılacak, AC dağıtım sisteminin kullanıldığı diğer iki sistem etraflıca incelenecektir. Yaklaşımlar ana hatları ile tanıtılmaktadır.

4.3.1 DC DC Sistem

Elektrikli tahrik uygulamalarının hemen hemen en eski örneklerinden olan DC DC tahrik sistemi, genellikle eski konvansiyonel denizaltılarda ve buzkıran gemilerinde kullanılmıştır. Günümüzde pek kullanılmayan bir uygulama olarak yüksek hızlı bir dizel tarafından tahrik edilen DC jeneratör, DC elektrik motoruna direk olarak bağlanmakta ve pervane şaftına enerji aktarılmaktadır. Hız kontrolü DC jeneratörü tahrik eden dizel makinaya ait devir hızının kontrol edilmesi ile sağlanmaktadır. DC jeneratör ve motorların yüksek güç mertebeleri için verimsiz olmaları ve yüksek ağırlık profilleri nedeni ile DC DC sistem kullanım alanını zaman içerisinde kaybetmiştir. Buzkıran gemilerine ait bir örnek Şekil 4.2’de sunulmuştur. [6]



Şekil 4.2 DC DC sistem buzkıran gemisine ait tek hat şeması

4.3.2 AC DC Sistem

AC DC sistemlerinde elektrik enerjisi AC jeneratörler ile üretilmekte ve elektrik dağıtım sisteminde AC-DC dönüşümü yapılarak DC elektrik motoru tahrik edilmektedir. Üretilen AC elektrik enerjisi, SCR doğrultucu eleman ile değişken gerilimli DC haline dönüştürülerek DC elektrik motorunu tahrik etmekte kullanılmaktadır. DC tahrik motorunun kullanıldığı bu tahrik sisteminde hız kontrolü elektronik olarak yapılmaktadır. DC tahrik motorları, hassas mertebelerde hız kontrolü ve dolayısı ile hassas manevra imkanı açısından tercih edilmektedir. DC tahrik motorları AC motorlara göre daha ağır olmaları nedeni ile genellikle orta güç seviyelerine kadar olan uygulamalarda kullanılmaktadır.

4.3.3 AC AC Sistem

AC AC sistemde elektrik enerjisi bir dizel makina ya da gaz türbinine direk olarak bağlanan senkron jeneratörler ile sağlanmaktadır. Çok genel bir kullanım ile rotoru sargılı senkron jeneratörler, sisteme sabit frekansta AC sağlamak ve çeşitli frekans dönüştürücüler ya da değişken gerilim sağlayan dönüştürücüler ile AC tahrik motorlarını sürmektedirler. Jeneratörler, jeneratörü tahrik eden dizel veya gaz türbininin kapasitesine ve büyüklüğüne göre seçilmektedir. Toplam güç ihtiyacını karşılayacak şekilde sayıları ayarlanabilen jeneratörler, genel bir üretim barasını beslemektedir. Örneğin bir yolcu gemisinin elektrik ihtiyacını karşılayan 6 adet farklı büyüklüklerdeki jeneratör, tahrik motorları ve servis yüklerini besleyecek bir ana dağıtım barasına bağlı olabilir. Tahrik motorları pervaneye redüksiyon dişlisi ile ya

da direk olarak bağlanabilmektedir. Ortalama 150-200 dev/dk. devir hızında, yani pervane devrinde dönen motorlar daha ağır ve büyük olmakla birlikte, redüksiyon dişlisi ve transmisyon sistemindeki kayıplar göz önüne alındığında daha verimli olarak değerlendirilmektedir. Gemi tahrik sistemlerinde senkron ve asenkron indüksiyon motorları kullanılmaktadır.

4.4 Elektrikli Tahrik Sisteminin İrdelenmesi

Elektrikli gemi tahrik sistemlerinde enerji üretimi, enerji dağıtımı ve tahrik motorları aracılığı ile geminin hareket etmesinin sağlandığı bir enerji sisteminin varlığından söz etmek gerekir. Bu bölümde gemi enerji sisteminde kullanılacak gerilim seviyesinin seçilmesi, temel sistem elemanlarının tanıtılması ve AC AC ve AC DC tahrik sisteminin çalışma prensipleri incelenecek ve bu tahrik sistemlerinin kullanıldığı gemilere ait örnekler sunulacaktır.

4.4.1 Gemi enerji sisteminde gerilim seviyesinin seçilmesi

Gemi enerji sisteminde elektrik üreten jeneratörler, elektriksel dönüşüm elemanları, kablolar ve baralardan oluşan bir dağıtım sistemi aracılığı ile tahrik motorlarına kadar birbirlerine bağlanmış durumdadır. Bağlantı konfigürasyonunun tasarımına göre, aşırı yüklenme ve kısa devre gibi çeşitli arıza durumları altında elektrik sisteminin korunması için devre kesiciler kullanılmaktadır. Söz konusu devre kesicilerin kesebildikleri akım ve gerilim seviyelerinin sınırlı olması, gemi enerji sisteminde seçilecek gerilim seviyesinin belirlenmesinde en önemli sınırlayıcı faktördür.

Bilindiği gibi elektrik enerjisinin taşınmasında kullanılacak yüksek gerilim, elektriksel kayıpları azaltmakla birlikte sistemi emniyet açısından sınırlamakta, düşük gerilim seviyesinin seçilmesi ise kullanılacak kabloların kesitlerinin artmasına neden olmaktadır.

Bu kısıtlamaların yanında, geminin ihtiyaç duyduğu kurulu güç kapasitesi arttıkça, tahrik barasındaki gerilim seviyesinin artması da kaçınılmaz olmaktadır. Dağıtım sisteminin yanında seçilen gerilim seviyesi, kullanılacak jeneratör ve motorların boyutları ve devir sayıları ile direk ilişkilidir. Düşük gerilim seviyesinin seçilmesi ve

dolayısı ile sistemde kullanılacak akım seviyesinin artması, sistem elemanlarının aşırı ısınmalarına ve bir takım soğutma problemlerinin ortaya çıkmasına neden olacaktır.

Her hangi bir nedenle gemi elektrik sisteminde oluşacak kısa devre arızası, sistem elemanlarına zarar verecektir. Oluşması muhtemel yüksek kısa devre akımlarına dayanabilecek devre kesicilerin kullanılması, sistem geriliminin seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli faktördür. [2]

Gemi elektrik tahrik sistemlerinde kullanılacak gerilim seviyeleri, uluslararası IEC 60092 “Electrical Installations in Ships Part: 503 Special Features- AC Supply Systems with Voltages in the Range above 1kV up to and Including 11kV” standardında belirtilmiştir. Gerilim seviyeleri Tablo 4.1’de sunulmuştur. [7]

Tablo 4.1 IEC 60092 Part 503 standardına göre verilen gerilim ve frekans değerleri

Anma Gerilimi (kV)	Anma Frekansı (Hz)
3	50 veya 60
3.3	
6	
6.6	
10	
11	

4.4.2 Elektrikli tahrik sistemi temel elemanları

Gemi elektrikli tahrik sistemi elemanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Jeneratör tahrik sistemleri (prime mover; dizel makina ve/veya gaz türbini)
- Jeneratörler
- Evirici/çeviriciler (konverter/inverterler)
- Transformatörler

- Dağıtım sistemi
- Tahrik motorları

AC AC ve AC DC tahrik sistemi incelenirken kullanılan çeşitli sistem elemanları hakkında detaylı bilgi verilecektir.

4.4.2.1 Jeneratör tahrik sistemleri

Elektrikli tahrik sistemlerinde jeneratörlerin tahrik edilmesi için, çeşitli konfigürasyonlarda dizel makinalar ve gaz türbinleri kullanılmaktadır. Askeri gemiler ve denizaltılarda kullanılmak üzere yeni bir enerji üretim sistemi olan yakıt pilleri, araştırma aşamasında olan bir teknolojidir.

4.4.2.2 Jeneratörler

Gemilerde genellikle dizel makina ve/veya gaz türbinleri tarafından tahrik edilen AC alternatif akım senkron jeneratörler kullanılmaktadır. Jeneratörler mekanik hareketlendiricilere genellikle direk bağlanmakta ve 60Hz AC üretmektedir. 4 zamanlı dizel makinaların sürdüğü jeneratörler genellikle 1200 dev/dk. şaft hızı ile dönmektedir. Gaz türbinleri ile tahrik edilen jeneratörler genellikle 3600 dev/dk. şaft hızına sahiptir. Genellikle yüksek güçlerde kullanılan bu jeneratör setleri, tahrik sisteminin en önemli unsurudur. Jeneratörlerin hız kontrolü, devir ve gerilim regülatörü ile yapılmaktadır. Değişen devir hızına göre jeneratörün uyarma gerilimi değiştirilmektedir. Jeneratör setleri enerji üretim barasına bağlanmakta ve sisteme kesintisiz elektrik enerjisi sağlamaktadır.

4.4.2.3 Evirici/Çeviriciler

Katı hal güç çeviricileri, ileri malzeme teknolojisinin kullanıldığı hızlı açılıp kapanabilen silikon kontrollü doğrultucu, tristör veya transistörler gibi elemanlardan oluşmaktadır. Elektrik sinyalleri ile açılıp kapanan yarı-iletken tabanlı elemanlar, güç iletiminde malzeme dayanım sınırını en üst seviyede kullanmaktadır. Yüksek akım ve gerilim seviyelerinde çalışan bu güç elektroniği elemanları, giren elektrik enerjisini çeşitli dönüşüm kollarında anahtarlamakta ve tekrar istenilen dalga şeklini oluşturacak şekilde birleştirmektedir. Bu sayede AC DC ve DC AC dönüşümü

yapılabilmektedir. Ayrıca gemi tahrik sistemlerinde AC AC frekans dönüşümü de yapılmaktadır.

4.4.2.4 Transformatörler

Gemi enerji sisteminde sabit frekanstaki AC AC gerilim dönüşümü için transformatörler kullanılmaktadır. Kuru tipteki transformatörler, orta gerilim seviyesinde (6-6.6kV) olan enerji üretim ve dağıtım sistemi ile düşük gerilim seviyesinde (115-440V) olan gemi servis sisteminin bağlantı noktasıdır.

4.4.2.5 Dağıtım sistemi

Enerji üretimi ile tahrik motoru arasında elektrik dağıtım sistemi yer almaktadır. Elektrik dağıtımı AC ya da DC sistem olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Ana hatları ile gemi elektrik dağıtım sistemi baralar, devre kesiciler ve kablolardan oluşmaktadır. Genellikle, DC tahrik motorlarının kullanıldığı sistemlerde dahi AC dağıtım sistemi tercih edilmektedir. AC sistem elemanlarının ticari olarak daha geniş bir çeşitlilikte olması ve AC dağıtım sistemleri hakkındaki endüstriyel bilgi birikiminin daha fazla olması önemli etkenler arasındadır. Elektriksel iletim kayıpları açısından DC dağıtım sistemi daha avantajlıdır. Geliştirilme aşamasında olan enerji depolama sistemleri ve yakıt pili teknolojisinin DC sistemlerin kullanımına daha elverişli olması, yeni nesil elektrikli gemilerde doğru akım kullanımını yaygınlaştıracığı beklenmektedir.

4.4.2.6 Tahrik motorları

Elektrikli tahrik motorları, AC ve DC motorlar olarak ikiye ayrılmaktadır. DC motorlar, hassas hız kontrolü ve aşırı yükleme koşullarına ihtiyaç duyulan romorkör ve buzkıran gemi tipleri için tercih edilmektedir. Tahrik sisteminde rotor üzerindeki oluklara monte edilmiş tek veya iki endüvi sargılı DC motorlar kullanılmaktadır. AC motorlar, senkron ve asenkron motorlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Asenkron motorlar daha ağır olmakla birlikte, sivil gemilerde sıkça kullanılmaktadır. Ağırlık ve verim açısından daha avantajlı olan senkron motorların kullanımı, sürekli mıknatıslı motor teknolojisindeki gelişmeler ile giderek yaygınlaşmaktadır.

4.4.3 DC tahrik motorlu gemi sistemi (AC DC sistem)

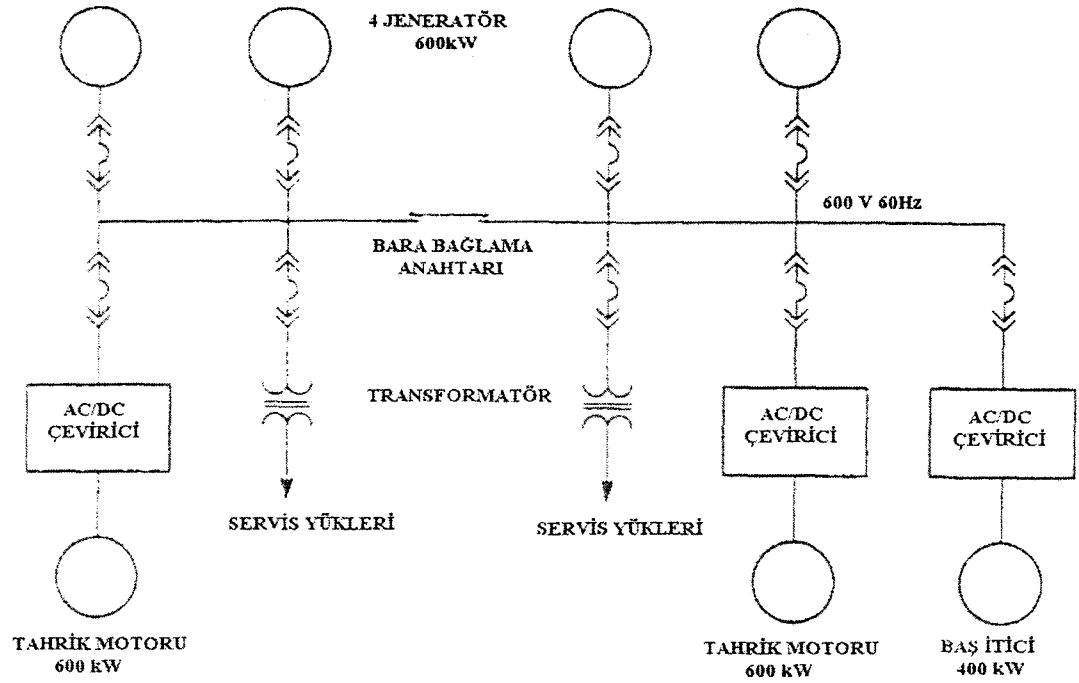
AC DC sistemde orta ve yüksek hızlı AC dizel jeneratörler kullanılmaktadır. Jeneratörler ana üretim barasına paralel olarak bağlanmakta ve baradaki üretilen AC elektrik enerjisi AC DC dönüşümü yapılarak DC motorlara aktarılmaktadır. Geminin işletme profiline göre toplam kurulu güç miktarı her zaman kullanılmayacak kadar büyük de olabilir. Bu anlamda verimli bir sistem tasarımı için toplam üretim sisteminde farklı üretim kapasitesindeki jeneratör setleri seçilmektedir. Bu sayede gemi düşük ve tam yük kullanımını sağlayacak şekilde iki temel üretim seviyesine sahip olmuş olmaktadır.

Jeneratör çıkışlarındaki üretim barası, devre kesici anahtarlar aracılığı ile ana dağıtım panosuna bağlanmaktadır. Aşırı yüklenme ve kısa devre koruması için genellikle entegre dağıtım sistemi kullanılmaktadır. Geminin servis yükleri entegre sisteme bağlanan transformatörler aracılığı ile beslenmektedir.

AC DC sistemde DC tahrik motorları kullanılmaktadır. Ana dağıtım panosunda, jeneratörler tarafından üretilen AC elektrik enerjisi bulunmaktadır. Tahrik motorunun kullanacağı doğru akım DC, AC DC dönüşümü ile sağlanmaktadır. Diğer bir deyişle alternatif akım, doğru akıma dönüştürülmekte, yani doğrultulmaktadır.

Ana üretim barasına bağlanan değişken gerilimli AC-DC doğrultucu, tahrik motoru armatürünün (rotor) hız kontrolünün yapılmasını sağlamaktadır. Üretim barasında sabit olan gerilim seviyesi, değişken gerilimli doğrultucu üzerinden tahrik motoruna değişken uyarma gerilimi iletmekte ve dolayısı ile motorun hızı kontrol edilmektedir. Genel olarak gemilerde ihtiyaç duyulan güç mertebesi açısından düşünüldüğünde AC DC sistem küçük sayılabilecek güçler (5000-10000 hp) için kullanılmaktadır. DC tahrik motorları ağırlık ve bakım tutum maliyetleri açısından ancak orta seviyeye kadarki güçler için verimlidir.

En genel doğrultucu konfigürasyonu, üretim barasına direk bağlanan 6 darbeli çeviricidir. Daha yüksek güçler için 12 darbeli çeviriciler kullanılmaktadır. Bu konfigürasyonda ise üretim barası ile doğrultucu arasında transformatörler kullanılmaktadır. Şekil 4.3'de 6 darbeli çeviricinin kullanıldığı AC DC sistemde bir araştırma gemisi örneği sunulmuştur.



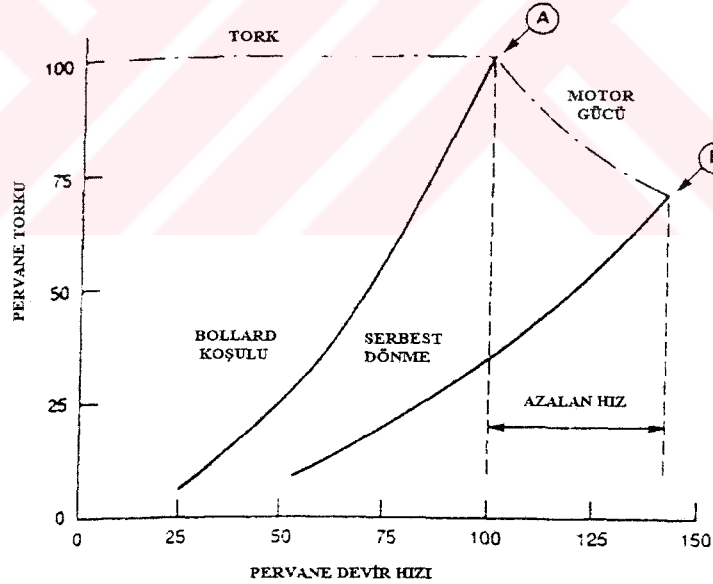
Şekil 4.3 6 darbeli çeviricinin kullanıldığı AC DC sistem bir geminin tek hat şeması

Gemilerde kullanılacak DC tahrik motorlarının çalışma gerilimleri, titreşim, nemlilik ve sık manevra ihtiyacı gibi çalışma koşulları göz önüne alınarak 1000V olarak seçilmektedir. 6 darbeli çeviricilerin kullanıldığı sistemlerde, genellikle üretim barasındaki AC gerilim 600V seçilmekte ve doğrultma işlemi sonucu ise 750V DC gerilim elde edilmektedir. Transformatör ve 12 darbeli çeviricilerin kullanıldığı sistemlerde de genellikle 750V DC tercih edilmektedir.

DC tahrik motorlarının çalışma verimleri %92-96 arasındadır. Motor devir hızı düştükçe verim azalmaktadır. 500-1000 dev./dk. devir hızındaki DC motorlar, yüksek verimlerde çalışmalarına karşın pervaneye redüksiyon dişlisi aracılığı ile bağlanmak zorundadır. Tahrik sisteminin toplam verimi seçilecek gemi tipi ve elektrik sistemi konfigürasyonu ile direkt ilişkilidir. DC tahrik motoru olarak genellikle paralel alan regülatörlü motorlar tercih edilmektedir. Bunun temel nedeni, paralel alan regülatörlü motorların hız kontrolünün çok kolay olmasıdır. Motorun hızı, armatüre uygulanan uyarma gerilimi ile hemen hemen birebir orantılıdır. Tahrik şaftı üzerine konulan bir potansiyometre ya da dijital konum algılayıcıdan okunan değer, üretilen elektrik enerjisinin miktarının değiştirilmesini sağlamakta, dolayısı ile hız kontrolü hassas olarak yapılabilmektedir.

DC tahrik motorlarının en önemli özelliklerinden birisi ise, paralel alan uyarma regülatörünün kullanılmasıdır. Bu alan regülatörü sayesinde tahrik motoru, pervaneye kesintisiz olarak sabit güç aktarılabilir. Pervane hızı değişse dahi, pervaneye sağlanan güç sabit kalmaktadır. Mekanik olarak bunun anlamı, motor ile yük arasında redüksiyon oranı sonsuz olarak değiştirilebilen bir transmisyon elemanının var olmasıdır. Jeneratörleri tahrik eden dizel motorların devirleri sabitken, pervane hızı yüke göre değişiklik gösterebilmektedir. AC DC sistemin bu özelliği buzkıran ve romorkör gemileri için büyük bir avantaj getirmektedir. Bu tip gemilerin karşılaştığı ağır yükleme koşulları, tork-pervane devir hızı arasındaki ilişkinin esnek olarak değişiklik göstermesine neden olmaktadır. Bir başka deyişle Bollard koşulu altındaki, yani yüklenme nedeni ile devir hızı azalan bir pervaneye tam güç aktarılabilir.

Tahrik motoru karakteristiğindeki bu yüke karşı adapte olabilme özelliği, söz konusu gemi tipleri için çok önemli bir unsurdur. Şekil 4.4’de Bollard koşulu altındaki bir romorkör için pervane devir hızı ve torku arasındaki ilişki gösterilmiştir. [2]

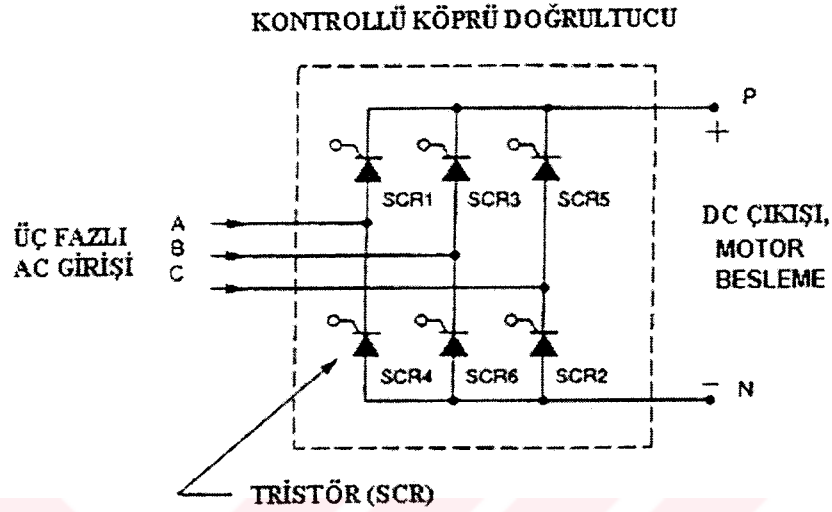


Şekil 4.4 Romorköre ait pervane tork-devir sayısı

4.4.3.1 AC DC sistemde kullanılan çeviriciler

Jeneratörler tarafından üretilen AC elektrik enerjisi, DC tahrik motoruna aktarılmaktadır. AC DC dönüşümü, 6 adet silikon kontrollü doğrultucu (SCR)

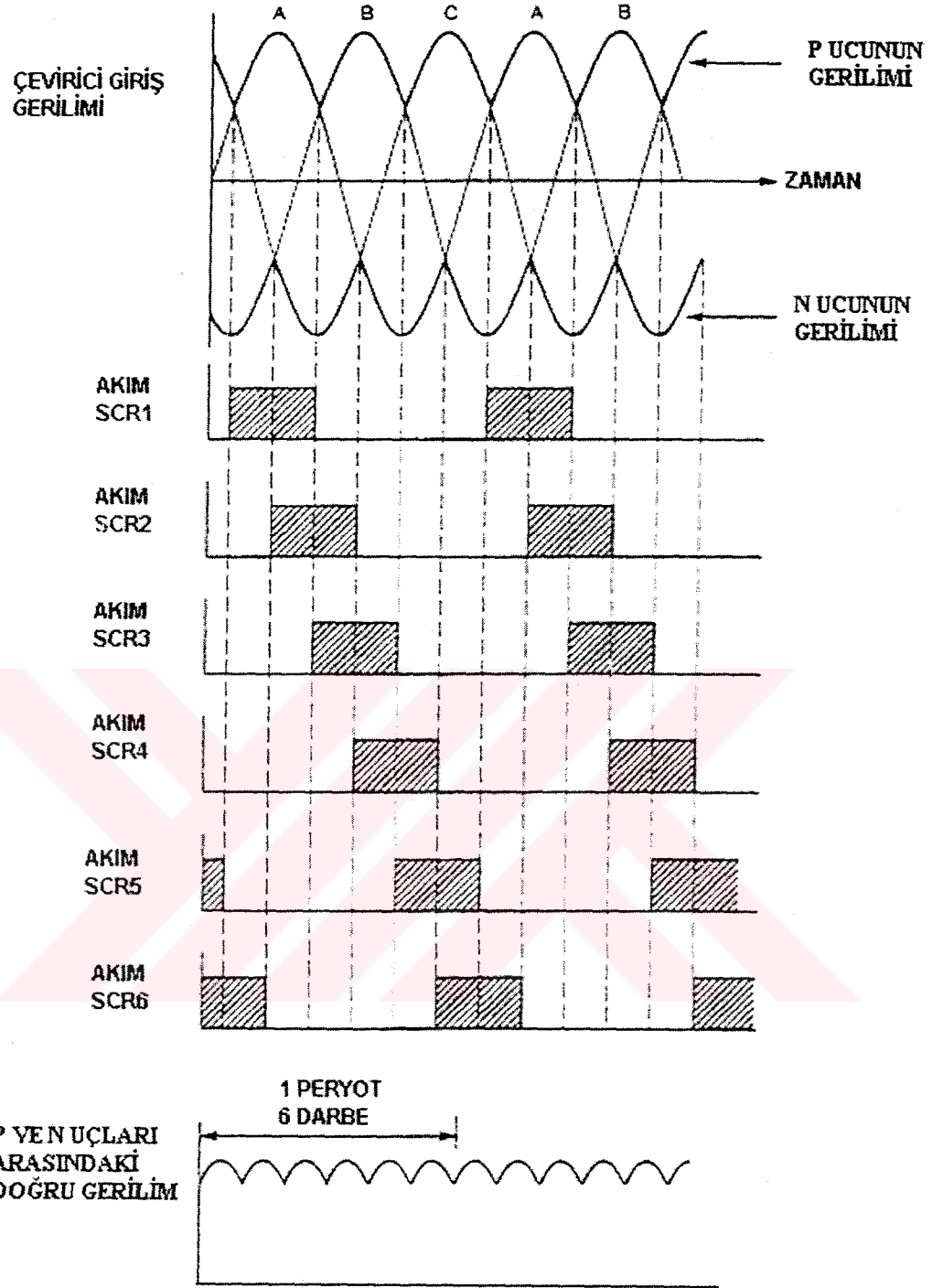
elemanların ikili çiftler halinde kullanılması ile yapılmaktadır. 3 fazlı sabit frekanstaki AC giriş akımı, doğrultucu elemanlar üzerinden sıra ile geçmekte ve DC gerilime ait artı ve eksi uçlara aktarılmaktadır. Şekil 4.5’de 6 adet silikon kontrollü doğrultucudan oluşan doğrultma köprü devresi gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Silikon kontrollü doğrultucu köprü devresi

Doğrultma işlemi sonucunda sabit frekanstaki üç fazlı alternatif akım doğru akıma dönüştürülmüş olmaktadır. Çıkış ucunda doğrultulan alternatif gerilim frekansı, kullanılan doğrultucu sayısı nedeni ile 6 kat artmış salınımlara (kırıntı) sahip olan doğru gerilime dönüştürülür. Elektrik mühendisliğindeki tanımında doğru akımın frekansı yoktur. Burada bahsi geçen salınımlar, alternatif akıma ait üç fazın doğru akıma dönüştürülmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Doğrultucu elemanların üzerinden belirli bir sıraya göre iletilen her faza ait akım ve gerilim değerleri, doğrultucu köprüsünün çıkışında birbirini izleyen doğru akım gerilim karakteristiğine dönüşmektedir. Gerilim karakteristiği Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BÜYÜK MÜHÜR MÜHÜRÜ**



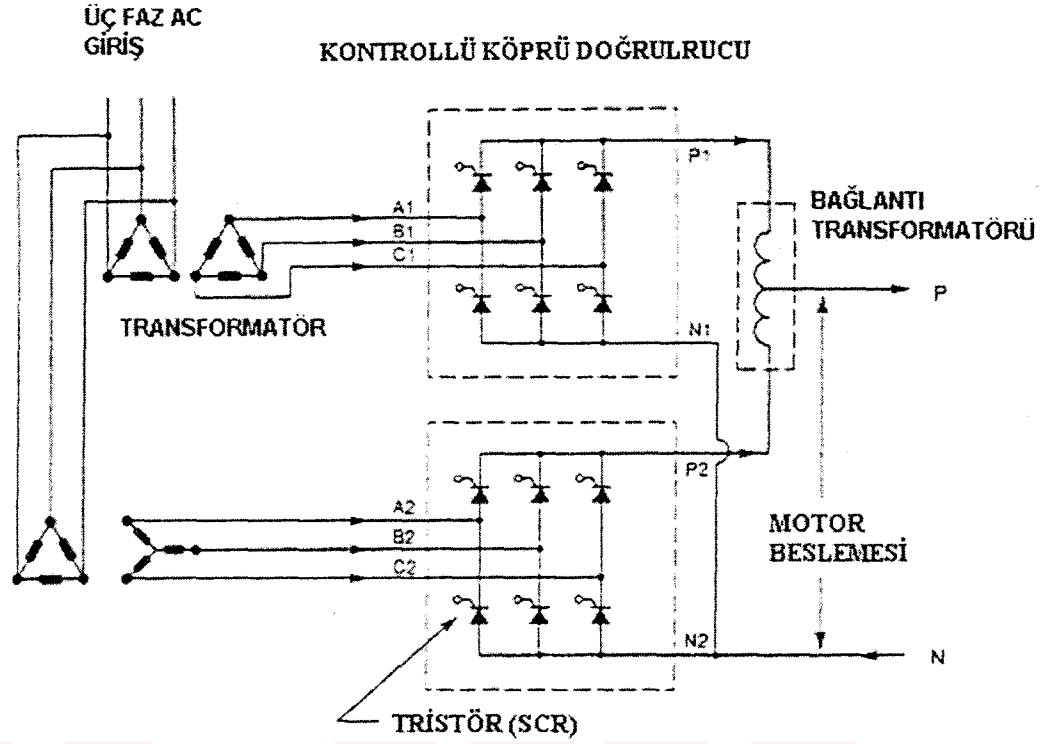
Şekil 4.6 6 darbeleri doğrultma sonucunda elde edilen gerilim karakteristiği

Altı adet silikon kontrollü doğrultucu elemanın kullanıldığı çeviricinin çıkışında elde edilen doğru gerilimdeki salınımların (kırpıntı), giriş alternatif akım frekansının altı katı olduğu yukarıda anlatılmıştı. DC tahrik motoruna gelen doğru akım gerilim karakteristiği, söz konusu salınımların filtrelenmesini gerektirmektedir.

Daha az miktardaki salınım genliği olan doğrultma işlemi için 12 darbeli doğrultma köprüleri kullanılmaktadır. Alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesindeki mantık ve kullanılan elemanların çalışma prensipleri aynıdır. Doğrultma elemanları yüksek akım ve gerilimlere dayanabilen birer anahtar olarak çalışmakta ve her faz akımının geçişine belirli bir sıra içerisinde izin vermektedir. Paralel kollarda bulunan her doğrultma hücresi üzerinden geçen akım ve gerilim değeri, doğrultucu çıkışında birleştirilerek parçalı bir doğru akım karakteristiği elde edilmiş olmaktadır. 12 darbeli çeviricide 2 adet 6 darbeli doğrultucu köprüsü kullanılmaktadır. Bu işlem için 3 fazlı giriş alternatif akım değeri, paralel iki ayrı kolda doğrultulacak ve çıkışta birleştirilecektir.

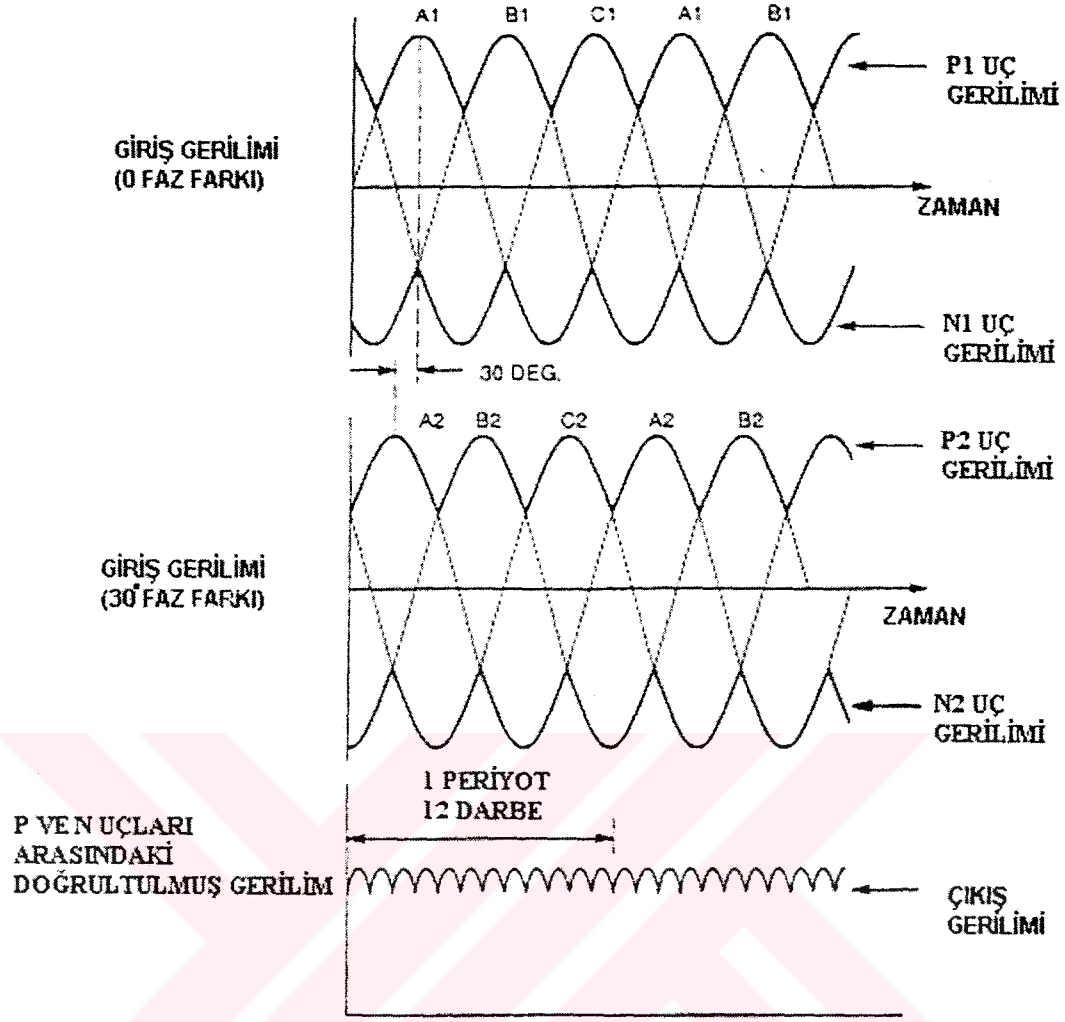
6 darbeli doğrultucu köprüsünde 3 fazlı giriş alternatif akım değerleri direk kullanılmakta idi. Ancak 12 darbeli doğrultma işleminde faz kaydırmaya ihtiyaç duyulmaktadır. 3 fazlı giriş alternatif akım karakteristiği transformatörler ile iki kola ayrılarak doğrultucu modülüne girecektir. İki kol arasında 30 derecelik faz kaydırma işlemi yapılacaktır. Bir başka deyişle 6 darbeli doğrultma işlemi 30 derecelik faz farkı ile iki kolda gerçekleşecek ve çıkışta birleşecektir.

Bu işlem için iki ayrı transformatör bağlantı tipi kullanılmaktadır. Üçgen-yıldız ve üçgen-üçgen bağlantı tipinde bağlanan transformatörler, 2 adet 6 darbeli doğrultucu köprülerine enerji aktarmaktadırlar. 12 darbeli doğrultucu devre şeması Şekil 4.7’de gösterilmektedir.



Şekil 4.7 12 darbeli doğrultucu devre şeması

DC çıkış gerilimi üzerine binen dalgalanma, 3 fazlı alternatif akım giriş frekansının 12 katı değerinde olmaktadır. Doğrultucu köprülerinin çıkışında bir transformatörün kullanılması ile salınımlar yumuşak bir doğru akım karakteristiğine dönüştürülmekte ve oluşan doğru akım-gerilim tahrik motoruna aktarılmaktadır. 12 darbeli doğrultucuda 30 derece faz kaydırma işlemi ve dalga formu Şekil 4.8'de gösterilmektedir. [2]



Şekil 4.8 12 darbeli doğrultma sonucunda elde edilen gerilim karakteristiği

Enerji dönüşüm işlemi sırasında, kullanılan elemanlarda ısınmalar ortaya çıkmaktadır. Söz konusu güç çeviricilerin soğutulması gerekmektedir. Elektrikli gemi tahrik sisteminde kullanılan güç çeviricileri, genellikle bir kabin içerisine yerleştirilir ve ortamdaki havanın kullanıldığı fanlar ile soğutulur. Gemi makina dairesindeki ortam sıcaklığı genellikle 50 derece civarındadır. Sıvı ile soğutma tercih edilmesine karşın, güç çeviricilerde kullanılan yarı-iletken malzemelerin yağ ve türevlerinin buharlarına karşı hassasiyeti olması nedeni ile dikkatli tasarlanmalarını zorunlu kılmaktadır. Güç çeviricilerindeki kayıp mertebesi, iletilen güç miktarının % 1'i kadardır. [1, 2]

4.4.3.2 AC DC sistemde kullanılan DC tahrik motorları

DC tahrik motorları genellikle küçük ve orta derecede güçler için (10000 hp) tercih edilmektedir. Pervane şaftı üzerinde bir ya da iki armatürlü olabilen konvansiyonel DC tahrik motorları, silikon kontrollü doğrultucu köprüsünde elde edilen değişken gerilimli doğru akım ile sürülmektedir. Yapılan AC-DC dönüşümü neticesinde ortaya çıkan salınımlı gerilim karakteristiği, DC motorun fırçaları ve komutatörü üzerinden geçmektedir. Bu bozunumlu gerilim karakteristiği, motorda aşırı ısınmalara neden olmaktadır.

Küçük ve orta boyutlu motorlar pervaneye direk olarak bağlanabilmektedir. Yüksek devir sayılarında çalışan motorlar redüksiyon dişlisi ile pervaneye bağlanmaktadır. Yüksek hızlı motorlar, ağırlık ve hacim bakımından daha yüksek güç yoğunluğuna sahiptir.

4.4.4 AC tahrik motorlu gemi sistemi (AC AC sistem)

AC AC sistem orta ve büyük miktarlarda kurulu güce ihtiyaç duyan gemilerde kullanılmaktadır. Yolcu gemileri, yük gemileri gibi yüksek tonajlı gemi tiplerinde AC AC elektrikli tahrik sistemi uygulamaları sıkça görülmektedir. Belirli bir üst sınırı olmayan güç sistemi, gemi tipine göre çeşitlilik göstermektedir. Bu gemilerde AC (alternatif akım) jeneratörleri kullanılmaktadır. AC AC tahrik sistemi AC jeneratör, güç seviyelendirme elemanları ve AC elektrik motorlarından oluşmaktadır. Enerji üretimi ve dağıtımı orta gerilim seviyesinde olup (6-6.6kV), gemi servis yükleri bir transformatör ile alçak gerilim (120-450V) seviyesine indirilerek beslenmektedir.

AC jeneratörler orta hız seviyesinde çalışan dizel makinalar ya da gaz türbinleri tarafından tahrik edilmektedir. Genellikle direk bağlantılı olarak kullanılan jeneratör setleri, bir enerji üretim barasını beslemektedir. DC tahrik motorlarına göre daha az kayıpları olması nedeni ile AC AC sistemin verimliliği AC DC sisteme göre daha yüksektir. Jeneratörlerden pervaneye kadarki enerji iletiminde toplam kayıplar %6-8 arasındadır. Ayrıca AC motorlar DC motorlara göre daha az sıklıkta bakım ihtiyacı duymakta ve daha düşük bakım maliyetlerine sahip olmaktadır.

Yüksek güçlerdeki elektrik tahrik uygulamaları için (60 000 hp.) rotoru sargılı senkron ya da asenkron endüksiyon makinaları kullanılmaktadır. Senkron motorların çalışma verimleri % 96-98 civarında ve endüksiyon motorlarının verimlerinden % 5 seviyesinde fazladır. Fakat gemiler için önemli bir konu olan titreşim dayanımı düşünüldüğünde, motor stator arasındaki hava boşluğunun daha fazla olması nedeni ile endüksiyon motorları daha avantajlıdır. Titreşim ve mekanik şok karşısında motorun hareketli parçası olan rotorun, statora temas etmemesi ve motora zarar vermemesi önemli bir noktadır.

4.4.4.1 AC AC sistemde kullanılan çeviriciler

AC AC sistemde AC DC ya da DC AC dönüşümü yapılmakla birlikte, sabit bir frekanstan çıkışı ayarlanabilen frekans çeviricileri kullanılmaktadır. Gemilerde kullanılan çeviriciler iki kategoride incelenebilir. Enerji dönüşümü çeviriciye gelen güç tarafında ise kaynak çeviricisi, tahrik motoru yani yük tarafında ise yük çeviricisi olarak tanımlanmaktadır. [2]

- Tek aşamalı dönüşüm

Tek aşamalı dönüşümde sabit olan AC giriş frekansı, motora ayarlanabilir gerilim ve frekans haline dönüştürülerek iletilmektedir. Dönüşüm kaynak veya yük tarafında olmaktadır. Siklokonverterler gemi tahrik sistemlerinde en sık kullanılan tek aşamalı frekans dönüştürücülerdir.

- Çift aşamalı dönüşüm

Çift aşamalı dönüşümde güç iki aşamada dönüştürülmektedir. Kaynak tarafında önce AC DC dönüşümü yapılmakta ve yük tarafında tekrar DC AC dönüşümü yapılmaktadır. Darbe genişlik modülasyonu (PWM) ve yük aktarımlı eviriciler (LCI) gemi tahrik sistemlerinde en sık kullanılan çift aşamalı dönüştürücülerdir.

Tahrik motorunun hızı mikroişlemciler ile kontrol edilen güç çeviricilerinden elde edilen ayarlanabilir gerilim ve frekans işaretleri ile kontrol edilmektedir. Motor shaftı üzerine yerleştirilen konum algılayıcı sensörlerden elde edilen bilgiler giriş referans değerleri ile sürekli karşılaştırılmakta ve motor hızı ayarlanmaktadır.

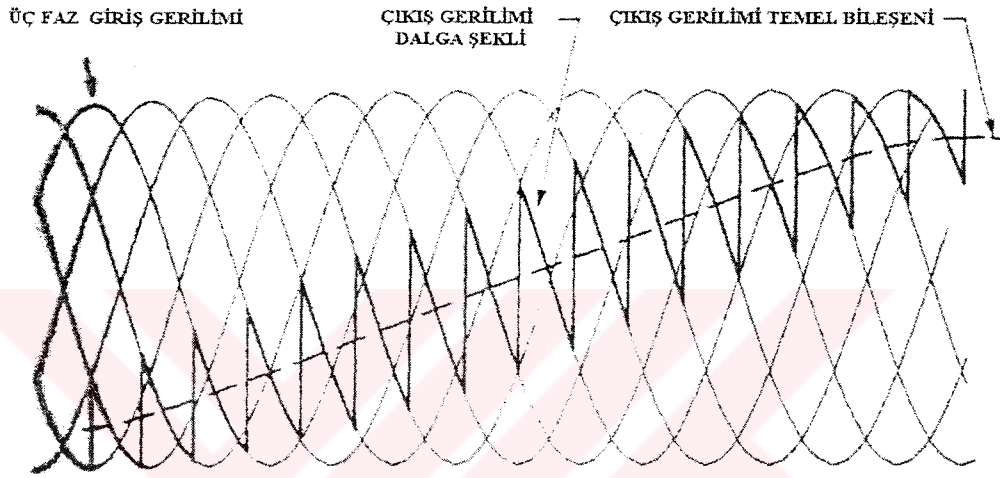
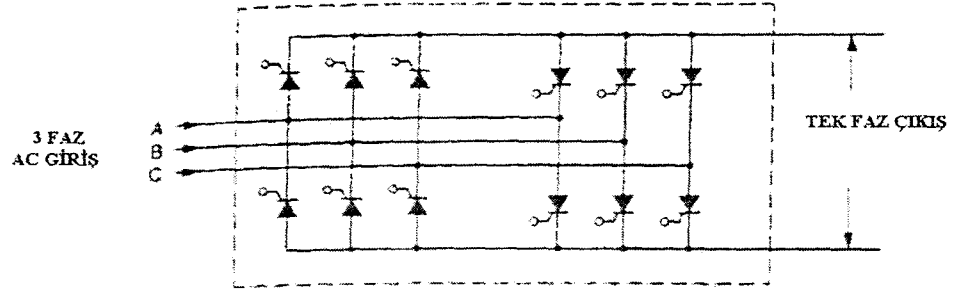
Güç çeviriciler hava veya su kullanılarak soğutulmaktadır. Fanlar aracılığı ile ortamda bulunan hava, yarı-iletken malzemeden yapılan doğrultucu hücreleri üzerine

gönderilmektedir. Çeviriciler kolay soğuyan ısı emici malzemelerden yapılan bir soğutucu platform üzerine oturtulmaktadır. Su ile soğutma daha kapsamlı bir soğutma sistemi ile yapılmaktadır.

Elektrikli gemi tahrik sistemlerinde kullanılan AC AC güç çeviricilerinin çalışma prensipleri aşağıda açıklanmaktadır.

- Doğrudan frekans çeviricisi (Cycloconverter)

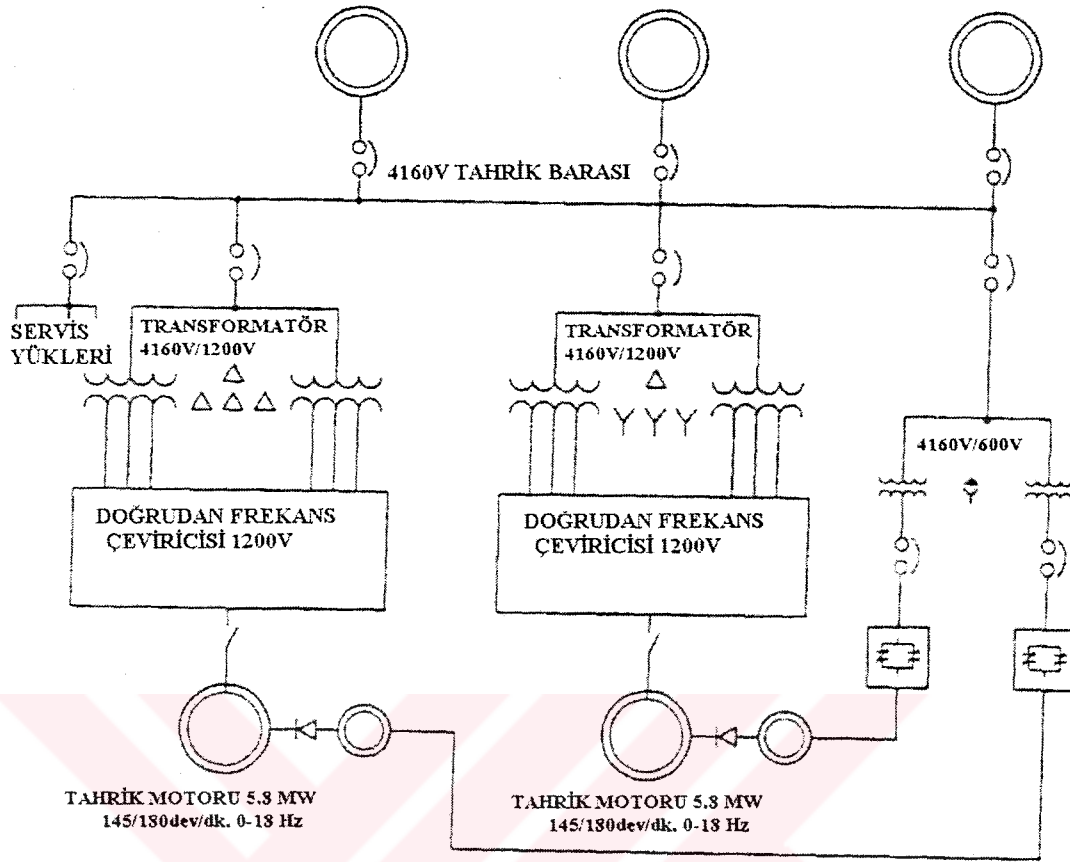
Senkron elektrik motorunun sürülmesinde kullanılan siklokonverterler tek aşamalı dönüşüm yapmaktadır. Yüzyılın başlarında silikon kontrollü doğrultucuların ortaya çıkması ile gemi tahrik sistemlerinde kullanılmaya başlanmış ve birçok buzkıran ve yolcu gemilerinde başarı ile uygulanmıştır. Silikon kontrollü doğrultucular bir anahtar görevi üstlenmekte ve sıra ile açılıp kapanmak sureti ile istenilen AC dalga formunu oluşturmaktadır. Siklokonverterler her faz için sabit olan giriş frekansını daha düşük ve ayarlanabilir bir AC gerilim formuna dönüştürmekte ve tahrik motoruna iletmektedir. Her doğrultucunun ilettiği akım ve gerilim değerleri, çıkış gerilim dalga formunun mümkün olduğu kadar sinüs dalgasına benzeyecek şekilde kontrol edilmektedir. Üç fazlı 6 darbeli bir siklokonverterin çalışma prensibi Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9 Üç fazlı 6 darbeli siklokonverterin çalışma prensibi

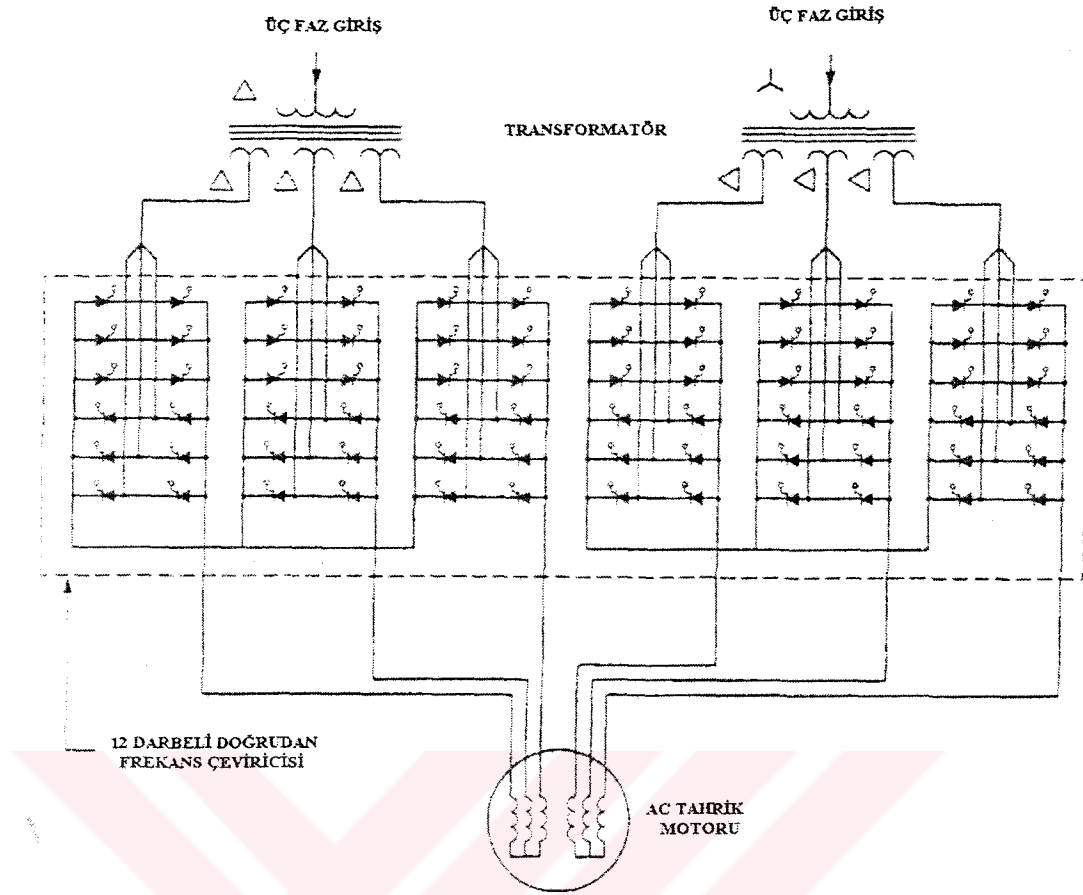
12 darbeli silikon kontrollü doğrultucunun kullanıldığı siklokonverterler daha düzgün bir çıkış dalga formu oluşturmaktadır. Siklokonverter ile sürülen bir buzkıran gemisine ait tek hat şeması Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterilmektedir. [2]

3 JENERATÖR 6.25 MW 4160V 60Hz



Şekil 4.10 Siklokonverter ile sürülen bir buzkıran gemisine ait tek hat şeması

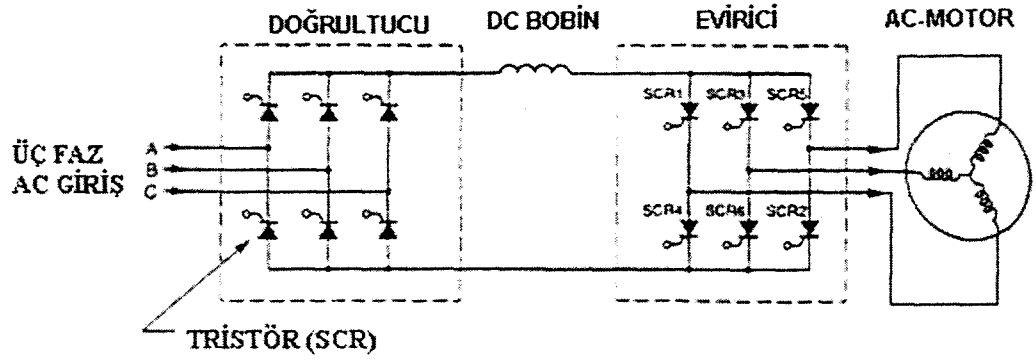
Senkron jeneratörlerden elde edilen 60 Hz frekanslı üç faz AC gerilim, iki adet siklokonverter ile 0-18 Hz frekans aralığına dönüştürülmekte ve AC senkron tahrik motorunu sürmektedir. Jeneratörler ile siklokonverterler arasında üçgen-üçgen ve üçgen-yıldız şeklinde bağlanan transformatörler giriş gerilimini çevirici giriş gerilimi olan 1200 V a indirmektedir. [2]



Şekil 4.11 Siklokonverter ile sürülen bir buzkıran gemisine ait tek hat şeması

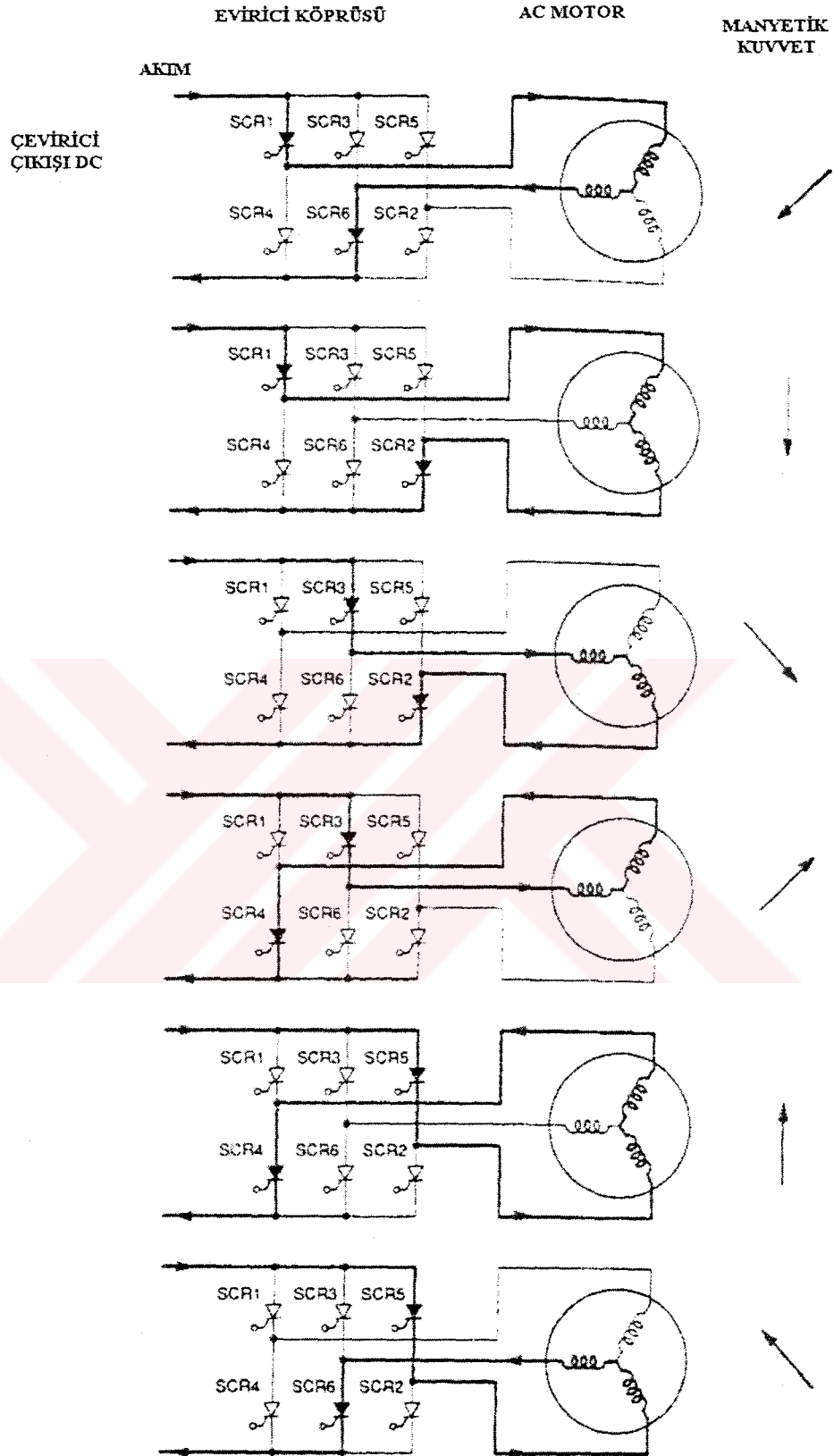
- Yük aktarımlı çevirici (LCI)

Yük aktarımlı çeviricilerde kaynak ve yük tarafında olmak üzere iki aşamada dönüşüm yapılmaktadır. Kaynak tarafında AC giriş doğru akıma dönüştürülmekte ve elde edilen doğru akım, geçici bir enerji depolama ünitesi olan DC link reaktörü üzerinden geçerek daha düzgün bir forma dönüştürülmektedir. Doğrultma işlemi sırasında kaçınılmaz olarak ortaya çıkan salınımlar düzgün bir doğru akım şekline dönüştürüldükten sonra tekrar 3 fazlı ayarlanabilir bir AC akım formu elde edilmekte ve tahrik motorunun uyarma gerilimi kontrol edilmektedir. Ayrıca DC link reaktörünün varlığı, motor tarafında oluşan tork salınımlarının çeviricinin kaynak tarafına aktarılmasına engel olmaktadır. Yük aktarımlı çeviricinin devre şeması Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



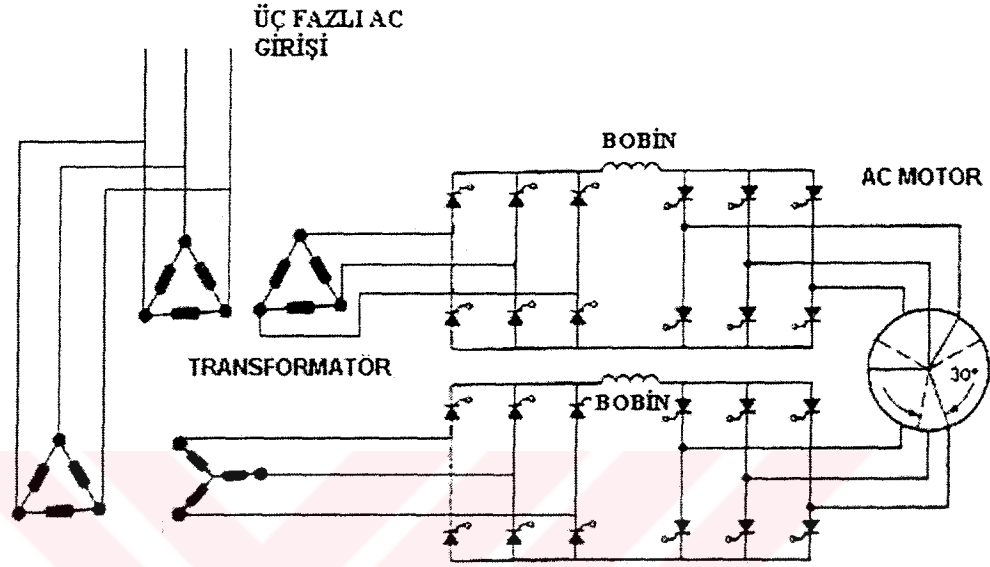
Şekil 4.12 Yük aktarımlı çevirici devre şeması

Doğrultucu kolları üzerinden iletilen akım, motordaki uyarma gerilimi ile bir magnetodinamik kuvvet oluşturmakta ve motorun dönmesini sağlamaktadır. 6 darbeli doğrultucuların kullanıldığı akım iletim sırasını gösteren bir evirici motor şeması Şekil 4.13’de gösterilmektedir. Çevirici devre için tam bir elektriksel döngü içerisinde akımın motorun şaftı üzerine uyguladığı kuvvet koyu renk ile temsil edilmektedir. Şekilde iki kutuplu basitleştirilmiş bir motor modeli gösterilmiştir. Gerçekte kutup çifti sayısı, tasarım özelliklerine göre değişim göstermekle birlikte daha fazladır.



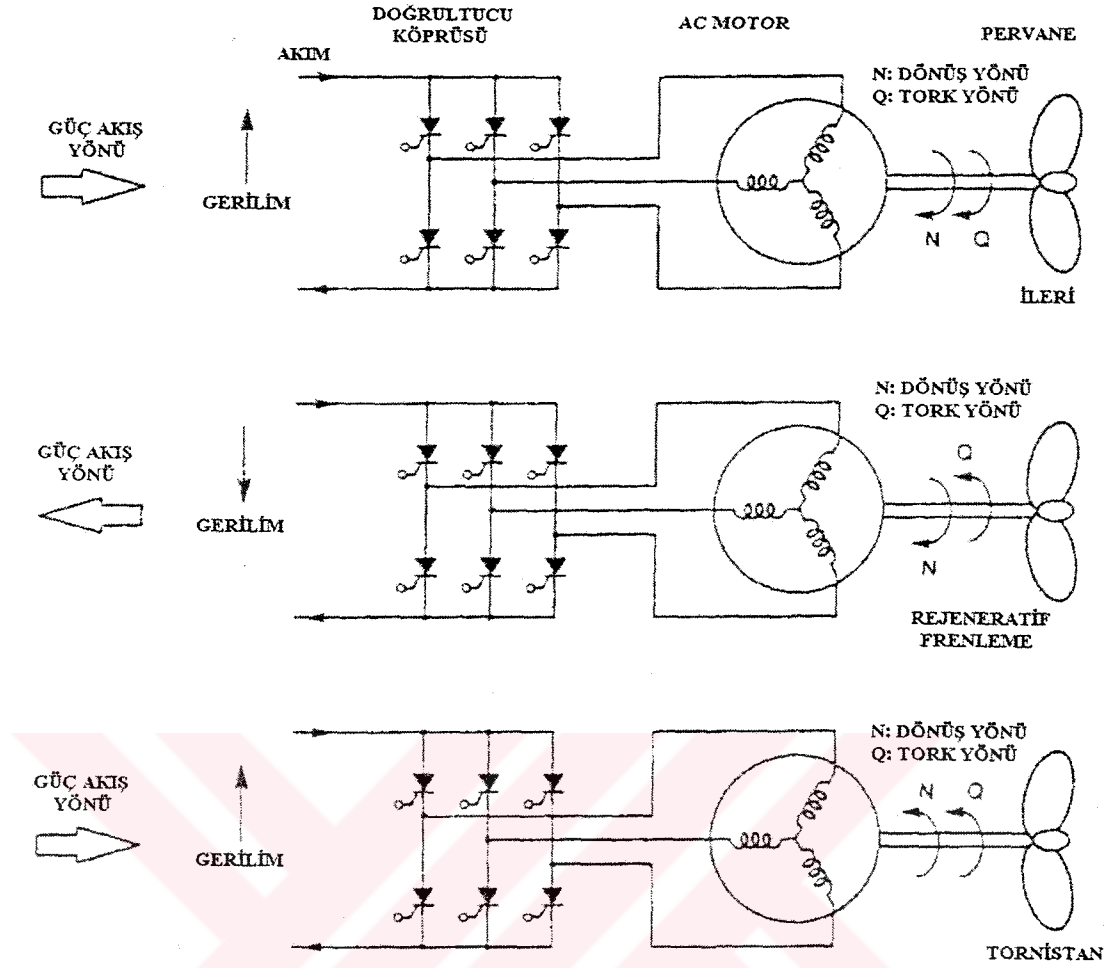
Şekil 4.13 Akım iletim sırasını gösteren bir evirici motor şeması

12 darbeli doğrultucuların kullanıldığı yük aktarımlı eviriciler salınımları az, daha düzgün bir dalga şekli üretmektedir. Yüksek güçlerdeki gemi tahrik sistemlerinde 30 derecelik faz kaydırmalı çeviriciler tercih edilmektedir. Faz kaydırma işlemi için transformatörler üçgen-üçgen ve üçgen-yıldız bağlanmaktadır. Şekil 4.14'de 12 darbeli doğrultucuların kullanıldığı yük aktarımlı evirici devre şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.14 Yük aktarımlı evirici devre şeması

AC senkron elektrik motorlarının en önemli özelliklerinden birisi, kutuplarının değiştirilmesi ile jeneratör gibi çalışmalarıdır. Elektrik tahrik motoru ile belirli bir hızda ilerleyen bir gemi, daha hızlı yavaşlayabilmek için motorunu jeneratör gibi kullanabilir. Regeneratif frenleme olarak bilinen bu olayda, motor gemi elektrik sistemine elektrik üretebilmektedir. Şekil 4.15'de ileri, regeneratif frenleme ve tornistan koşulları için tork, gerilim, güç akışı ve motor dönüş yönü görülmektedir.



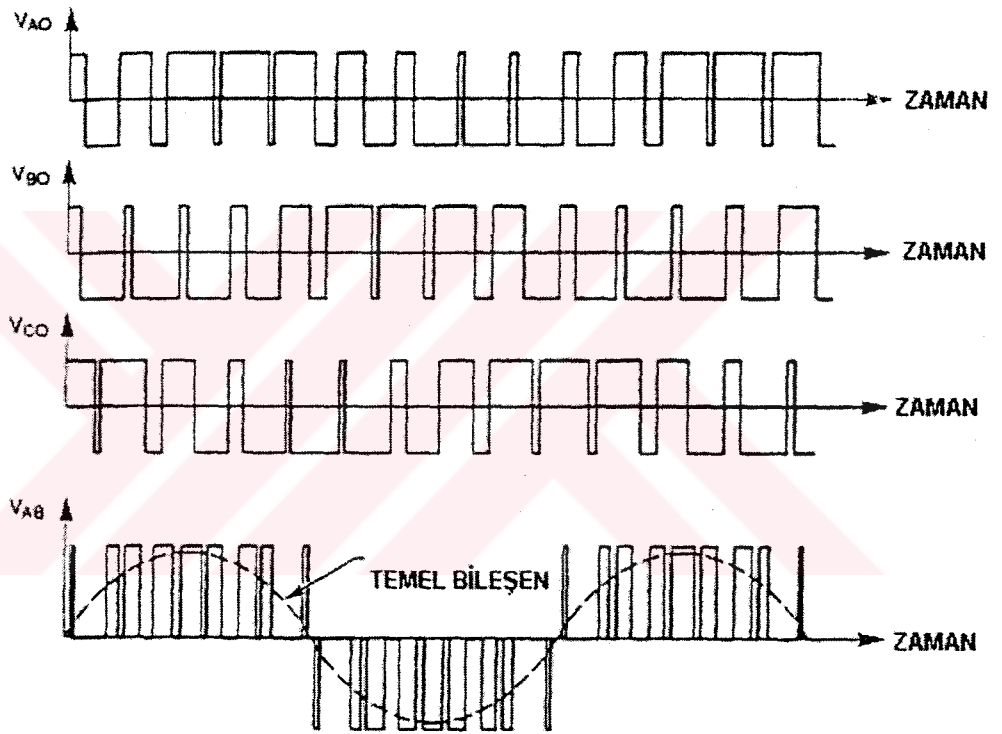
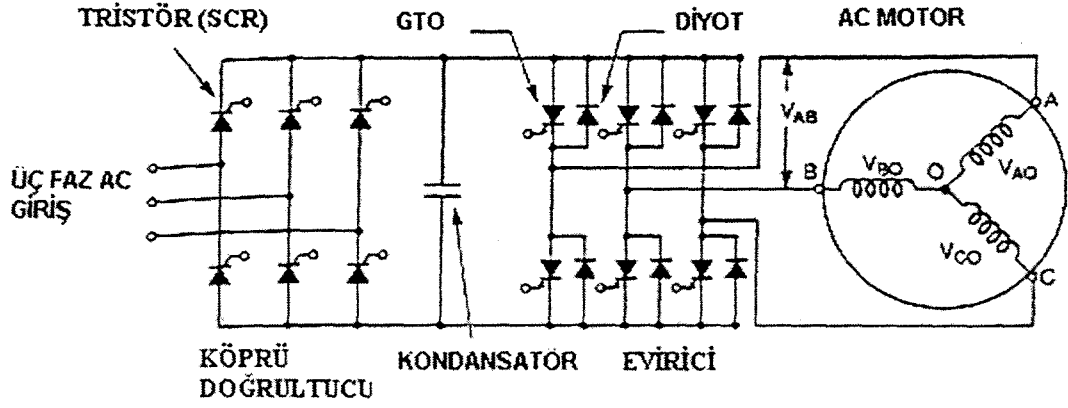
Şekil 4.15 Tork, gerilim, güç akışı ve motor dönüş yönü

Elektrikli gemi tahrik sistemlerinde yük aktarımlı eviriciler az sayıda kullanılmıştır. Queen Elizabeth 2 isimli yolcu gemisinde kullanılan bu eviriciler, pervaneyi 72 dev/dk. hıza kadar düşük güç-yüksek verimde hızlandırmaktadır. 72 dev/dk. da yük aktarımlı çeviricinin çıkış frekansı 30 Hz civarında ve 5.5MW güç iletmektedir. İkinci kademe hızlanma için pervane devir hızı 144 dev/dk. ya getirilir. Bu devir hızı 60 Hz çıkış frekansına tekabül eder ki bu frekans değeri jeneratörlerin bağlandığı ana üretim barasının frekansıdır. Bu frekansta yük aktarımlı çevirici devreden çıkar ve motor direk olarak jeneratörlere senkronize edilir. 144 dev/dk. pervane devri civarında toplam 44MW tahrik gücü elde edilmektedir.

- Darbe genişlik modülasyonu (PWM)

Kaynak ve yük tarafında olmak üzere iki aşamalı güç dönüşümünün yapıldığı darbe genişlik modülasyonlu çeviricilerde AC giriş gerilimi silikon kontrollü doğrultucular ile doğrultulmaktadır. Kaynak ve yük çeviricileri arasında bulunan kapasitör ile düzeltilen doğru akım karakteristiği, birer anahtar şeklinde açılıp kapanan GTO tristörler üzerinden motora iletilmektedir. GTO tristörlerin en önemli özelliği akımın akış yönünü ters çevirebilmesidir. Bu sayede motor akımı anlık olarak sıfırlanabilmekte ve her faz için gerilim dalga formu şekillendirilebilmektedir. Tahrik motoruna gelen uyarma gerilimi kare dalga formundadır. PWM çevirici basitleştirilmiş devre şeması ve her faz gerilimi için kare dalga formu Şekil 4.16'da gösterilmektedir. Açılıp kapanan tristörler üzerinden sıra ile geçmekte olan akım değerleri, değişken darbe genişliklerine sahip dalga şekli oluşturmaktadır. [2]





Şekil 4.16 PWM çevirici ve kare dalga formu

4.4.4.2 AC AC sistemde kullanılan AC tahrik motorları

Elektrikli gemi tahrik sistemlerinde yaygın olarak senkron ve asenkron elektrik motorları kullanılmaktadır. Motor tipi ve kullanılan güç çeviricileri arasında önemli bir ilişki vardır. Yüksek güçlerde senkron motorlar, asenkron motorlara göre daha verimli çalışmaktadır. Ağırlık açısından da daha avantajlı olan senkron motorlar,

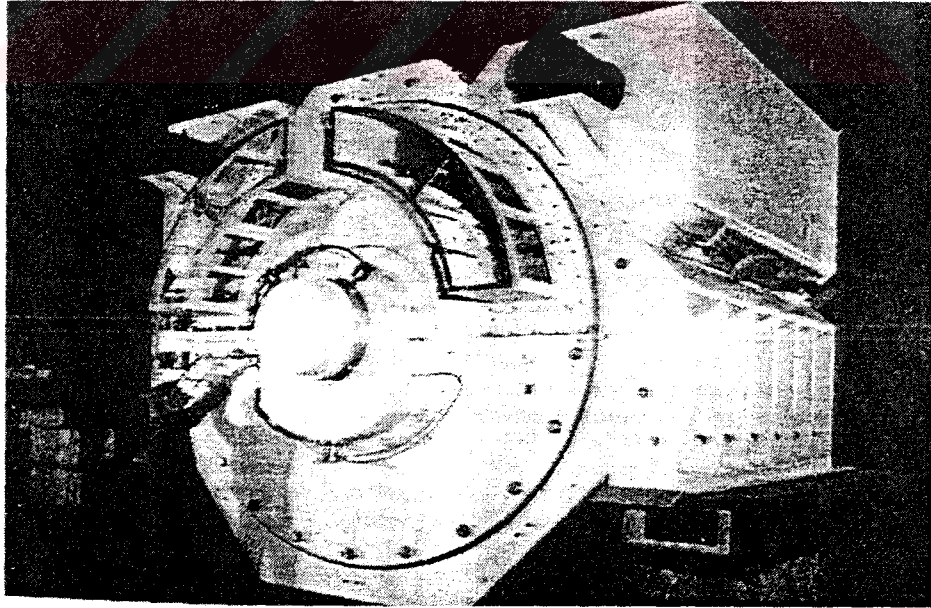
siklokonverter, yük aktarımlı ve darbe genişlik modülasyonlu çeviriciler ile kullanılabilir.

Yüksek devirlerde çalışan elektrik motorları, ağırlık açısından daha hafif olmalarına karşı, 150-200 dev/dk. civarında olan pervane hızı nedeni ile redüksiyon dişlilerine ihtiyaç duymaktadır. Redüksiyon dişlilerinin ağırlıkları ve mekanik iletim kayıpları göz önüne alındığında, pervane devrinde çalışan tahrik motorlarının tercih edilmesi söz konusu olmaktadır. Düşük devirlerde çalışan tahrik motorlarına kaçınılmaz olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada optimize edilmesi gereken nokta motorun ağırlığı başına üretebildiği güç miktarı oranının artırılmasıdır. Gravimetrik güç yoğunluğu yüksek olan sürekli mıknatıslı senkron motorlar, elektrikli tahrik sistemleri konusundaki en önemli araştırma konuları arasındadır.

Motor devri ve güç frekansı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilmektedir. [2]

$$n = 120 \times \frac{f}{p}$$

Gemilerde kullanılan 19MW güç kapasitesindeki asenkron tahrik motoru Şekil 4.17’de gösterilmektedir. [8]



Şekil 4.17 19MW güç kapasitesindeki asenkron tahrik motoru

5. ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMİ OLAN GEMİLERİN TANITILMASI

Elektrikli tahrik sistemi uygulamaları, gemi enerji sisteminin tasarımında tercih edilen enerji üretim ve dağıtım sistemi, kullanılan tahrik motoru ve çevirici tipine göre değişiklik göstermektedir. AC DC ve AC AC olarak tanımlanan iki farklı elektrikli tahrik seçeneği geminin işletme koşullarına göre belirlenmektedir. AC AC sistem daha çok yüksek tahrik gücüne ihtiyaç duyan gemi tiplerinde kullanılmaktadır. Bu bölümde her iki sistemin kullanıldığı gemi tipleri tanıtılacak ve tek hat devre şemaları gösterilecektir.

5.1 AC AC Sistem

AC jeneratörlerin kullanıldığı gemilerde, elektrik dağıtım sistemi AC olmakta ve güç çeviricileri ile AC tahrik motoru kullanılmaktadır.

5.1.1 Yolcu gemisi

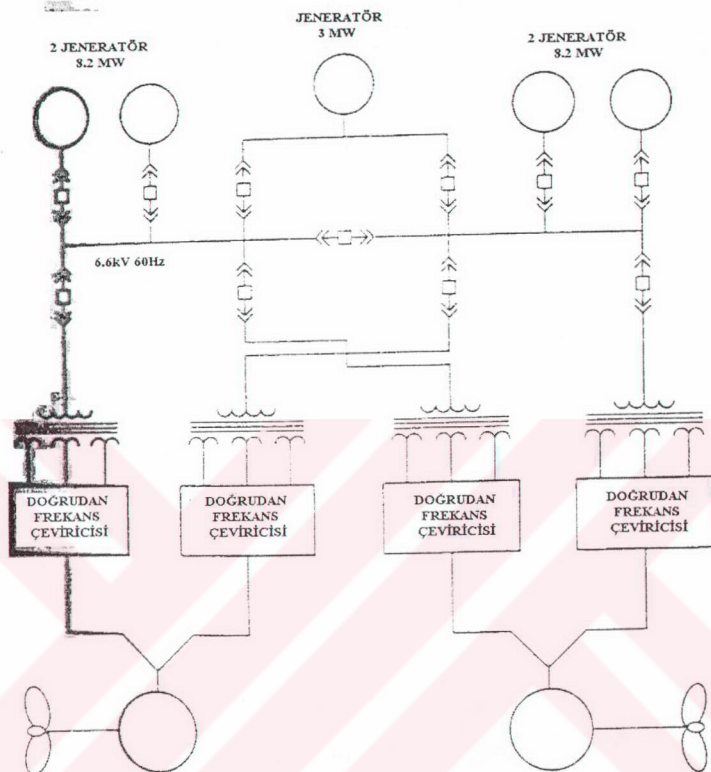
Yolcu gemilerinde tahrik gücünün yanında, büyük miktarlarda servis yükleri mevcuttur. 1990 yılında servise giren M/S Crystal Harmony gemisinde doğrudan frekans çeviricileri kullanılmaktadır. Gemi tahrik sistemine ait teknik bilgiler Tablo 5.1'de sunulmuştur. M/S Crystal Harmony gemisi Şekil 5.1'de gösterilmektedir. Elektrik dağıtım sistemi tek hat şeması Şekil 5.2'de gösterilmiştir. [2, 4]



Şekil 5.1 M/S Crystal Harmony

Tablo 5.1 M/S Crystal Harmony tahrik sistemi teknik bilgi tablosu

Gemi Tipi	Yolcu gemisi
Jeneratör sayısı ve gücü	4 X 8.2 MW + 1 X 3 MW
Dağıtım sistemi gerilimi ve frekansı	6.6 kV AC 60 Hz
Çevirici tipi	Doğrudan Frekans Çeviricisi (siklokonverter)
Tahrik motoru sayısı ve gücü	2 X 12 MW



Şekil 5.2 M/S Crystal Harmony tek hat dağıtım şeması

Doğrudan yük aktarımlı çeviricilerin kullanıldığı Queen Elizabeth 2 isimli yolcu gemisinin tahrik sistemine ait teknik bilgiler Tablo 5.2'de sunulmuştur. Gemi Şekil 5.3'de gösterilmektedir. [1, 2]

Tablo 5.2 Queen Elizabeth 2 tahrik sistemi teknik bilgi tablosu

Gemi Tipi	Yolcu gemisi
Jeneratör sayısı ve gücü	9 X 10.5 MW
Dağıtım sistemi gerilimi ve frekansı	10 kV / 3.3 kV AC 60 Hz
Çevirici tipi	Yük aktarımlı çevirici (LCI)
Tahrik motoru sayısı ve gücü	2 X 44 MW



Şekil 5.3 Queen Elizabeth 2

5.1.2 Buzkıran

Sahil güvenlik görevinde kullanılan USGCG Healy gemisi tahrik sistemine ait teknik bilgiler Tablo 5.3'de verilmektedir. USGCG Healy Şekil 5.4'de gösterilmektedir. [9]

Tablo 5.3 USGCG Healy tahrik sistemi teknik bilgi tablosu

Gemi Tipi	Buzkıran
Jeneratör sayısı ve gücü	4 X 2.5 MW + 2.4 MW
Dağıtım sistemi gerilimi ve frekansı	6.6 kV / 440V AC 60 Hz
Çevirici tipi	Doğrudan Frekans Çeviricisi (siklokonverter)
Tahrik motoru sayısı ve gücü	2X 11.2 MW



Şekil 5.4 USGCG Healy

5.1.3 Askeri gemiler

Elektrikli tahrik sistemlerinin, özellikle buzkıran ve yolcu gemilerindeki başarılı örnekleri askeri gemi uygulamaları açısından cesaret verici olmuştur. Hollanda Kraliyet Donanması'na ait bir helikopter taşıma gemisi Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Bu geminin tahrik sistemine ait teknik bilgiler Tablo 5.4'de sunulmuştur. [10, 11, 12]

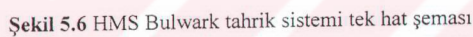


Şekil 5.5 LPD HNIMS Rotterdam

Tablo 5.4 LPD HNIMS Rotterdam tahrik sistemi teknik bilgi tablosu

Gemi Tipi	Helikopter taşıma gemisi
Jeneratör sayısı ve gücü	4 X 3.650 MW + 1 MW
Dağıtım sistemi gerilimi ve frekansı	6.6 kV / 440V AC 60 Hz
Çevirici tipi	Darbe Genişlik Modülasyonlu çevirici (PWM)
Tahrik motoru sayısı ve gücü	2X 2 X 3.1 MW

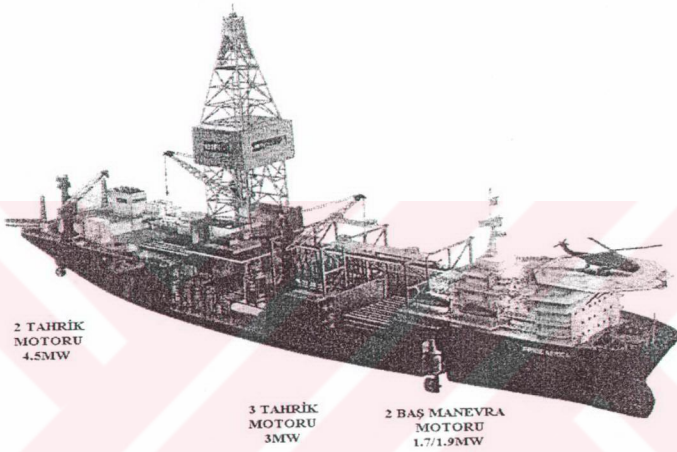
2002 yılı içerisinde servise girecek olan İngiltere Kraliyet Donanması'na ait helikopter taşıma gemisi tek hat şeması Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Tahrik sistemine ait teknik bilgiler Tablo 5.5'de verilmiştir. [13]



Gemi Tipi	Helikopter taşıma gemisi
Jeneratör sayısı ve gücü	2 X 6.250 MW + 2 X 1.5 MW
Dağıtım sistemi gerilimi ve frekansı	6.6 kV / 440V AC 60 Hz
Çevirici tipi	Yük aktarımlı çevirici (LCI)
Tahrik motoru sayısı ve gücü	2 X 6 MW
Baş İtici	1 X 0.865 MW

Günümüzde elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan ihtiyaç artmaktadır. Petrol aramada kullanılan yarıbatık açık deniz platformlarında yüksek miktarda elektrik enerjisi kullanan pompalar mevcuttur. Günümüzde, benzer görevlerde çalışan modern donanımlı gemilerin sayısı giderek artmaktadır. Bu gemilere verilebilecek en iyi

örneklerden olan Pride Africa gemisi, 3000 m. derinlikte arama/tarama yapabilmek için tasarlanmıştır. Ağır deniz koşullarında dahi, dinamik konum koruma yeteneğine sahip olan bu gemide adet baş, kış ve gemi ortasına yerleştirilmiş toplam 7 adet manevra/tahrik motoru bulunmaktadır. Gemi Şekil 5.7’de gösterilmektedir. Tablo 5.6’da teknik bilgiler verilmektedir. [14]



Şekil 5.7 Pride Africa

Tablo 5.6 Pride Africa tahrik sistemi teknik bilgi tablosu

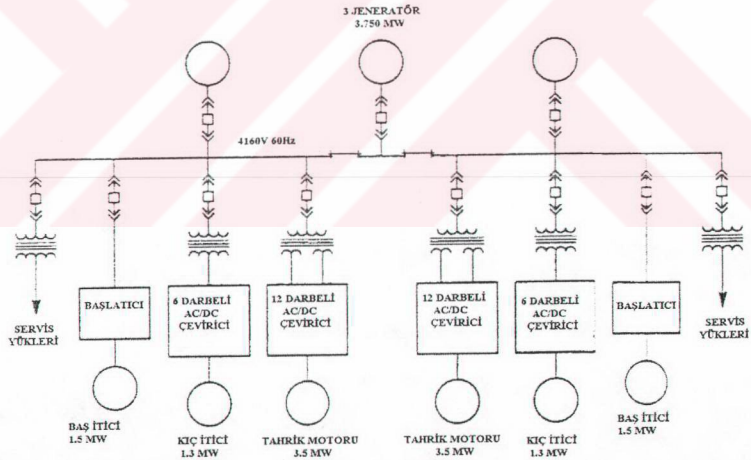
Gemi Tipi	Dip tarama gemisi
Jeneratör sayısı ve gücü	6 X 6.7 MW
Dağıtım sistemi gerilimi ve frekansı	6.6 kV / 440V AC 60 Hz
Çevirici tipi	Darbe Genişlik Modülasyonlu çevirici (PWM)
Tahrik motoru sayısı ve gücü	2 X 4.5 MW + 3 X 3 MW
Baş İtici	2 X 1.7 MW

5.2 AC DC Sistem

AC jeneratörlerin kullanıldığı gemilerde, elektrik dağıtım sistemi AC olmakta ve güç çeviricileri ile DC tahrik motoru kullanılmaktadır. Konvansiyonel DC tahrik motorlarının kullanıldığı gemilerde, AC üretilen elektrik enerjisi silikon kontrollü doğrultucular ile doğru akıma dönüştürülmekte ve DC motor tahrik edilmektedir. Günümüzde büyük güç seviyeleri için tercih edilmeyen AC DC sistem, popülaritesini kaybetmektedir.

5.2.1 Kablo döşeme gemisi

Kıtalararası kablo döşeme amacı ile kullanılan C/S Global Link gemisi tek hat şeması Şekil 5.8'de gösterilmektedir. AC DC çeviricilerin kullanıldığı gemiye ait teknik bilgiler Tablo 5.7'de sunulmuştur. [2]



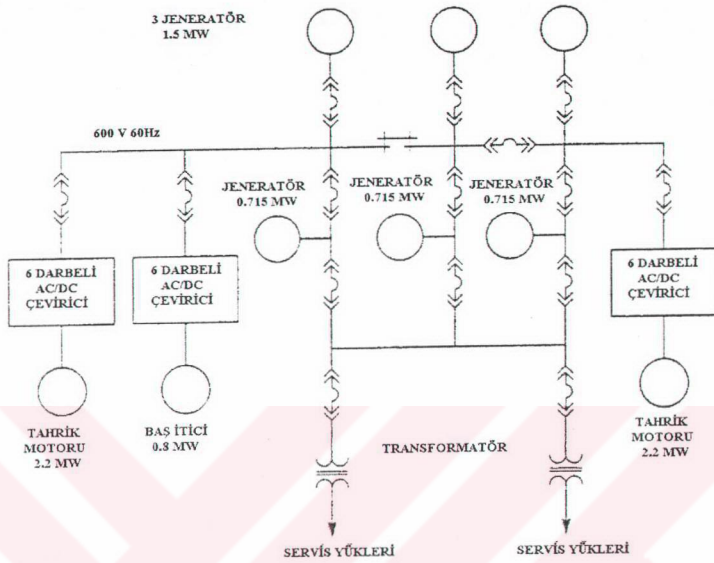
Şekil 5.8 C/S Global Link tahrik sistemi tek hat şeması

Tablo 5.7 C/S Global Link tahrik sistemi teknik bilgi tablosu

Gemi Tipi	Kablo döşeme gemisi
Jeneratör sayısı ve gücü	3 X 3.750 MW
Dağıtım sistemi gerilimi ve frekansı	4.160 kV / 450V AC 60 Hz
Çevirici tipi	12 darbeli silikon kontrollü doğrultucu 6 darbeli silikon kontrollü doğrultucu
Tahrik motoru sayısı ve gücü	2 X 3.5 MW
Baş İtici	2 X 1.5 MW
Kıç İtici	2 X 1.3 MW

5.2.2 Açık deniz araştırma gemisi

AC DC sistem bir araştırma gemisi olan Amerikan Donanması'na ait Agor 23 gemisinde 6 darbeli silikon kontrollü doğrultucuların kullanıldığı AC DC çeviricisi kullanılmaktadır. Gemiye ait tek hat şeması Şekil 5.9'da, tahrik sistemine ait teknik bilgiler Tablo5.8'de gösterilmiştir. [2]



Şekil 5.9 Agor 23 tahrik sistemi tek hat şeması

Tablo 5.8 Agor 23 tahrik sistemi teknik bilgi tablosu

Gemi Tipi	Açık deniz araştırma gemisi
Jeneratör sayısı ve gücü	3 X 1.5 MW + 3 X 0.715 MW
Dağıtım sistemi gerilimi ve frekansı	600 V / 450V AC 60 Hz
Çevirici tipi	6 darbeli silikon kontrollü doğrultucu
Tahrik motoru sayısı ve gücü	2 X 2.2 MW
Baş İtici	1 X 0.8 MW

6. ELEKTRİKLİ TAHRİK SİSTEMİ ASKERİ UYGULAMALARI

Gemi inşaatı sektörünün vazgeçilmez bir alanı olan askeri gemiler, bünyesinde ileri teknoloji uygulamalarını barındıran bir savaş platformudur. Sivil gemilere nazaran daha zorlu çalışma koşullarına sahip askeri gemilerin görev tanımları, yüksek hız, düşük termal, manyetik iz ve gürültü profili, hassas manevra kabiliyeti gibi performans değerlerinden oluşmaktadır. Havadan bağımsız tahrik sistemleri, denizaltıların taktik başarıları için hayati önem taşımaktadır. Yüksek performans ihtiyacı, yeni ve etkin teknolojilerin sürekli olarak araştırılmasını ve kademeli olarak askeri gemilerde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Tarihsel gelişim açısından elektrikli tahrik sistemlerinin kullanımı, buharlı makinalardan içten yanmalı makinalara geçişte olduğu gibi bir devrim niteliği taşımaktadır.

6.1 Tümü Elektrikli Savaş Gemisi

Elektrikli tahrik sistemlerinin ticari gemilerde kullanımının yaygınlaşmaya başlaması ile, tümü elektrikli savaş gemisi fikri 90'lı yıllarda yeniden gündeme gelmiş ve dünya donanmaları tarafından üzerinde çalışılmaya değer bulunmuştur. Bu kapsamda birçok teknoloji değerlendirme ve fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Son yıllarda alt sistem entegrasyonu ve demonstrasyon projeleri hayata geçirilmekte ve birinci nesil uygulamaların sayısı artmaktadır. [15]

Tümü elektrikli gemi kavramı, elektrikli tahrik sistemlerinin uzağında bir kavram değildir. Elektrikli tahrik sistemi, şüphesiz tümü elektrikli geminin en temel parçasıdır. Günümüzde biraz daha gerçekçi bir ifade ile tümü elektrikli tahrik entegreli gemiler inşaa edilme aşamasındadır. Tümü elektrikli gemi kavramı bir miktar daha geniş olmakla birlikte, üzerinde içten yanmalı motorların kullanılmadığı ve gemi yardımcı sistem bileşenlerinin elektrik enerjisi ile çalıştığı bir gemi kavramıdır. Bir başka deyiş ile enerji üretiminde jeneratörler yerine yakıt pillerinin,

pnömatik ve hidrolik prensiplerle çalışan yardımcı sistemler yerine elektrik motorlarının kullanıldığı askeri gemiler tümü elektrikli gemi kavramında tarif edilmekte olan gemilerdir. Ayrıca, elektriksel enerji depolama ve darbeli güç uygulamaları, tümü elektrikli askeri gemi kavramı açısından önemli teknolojiler arasındadır.

6.2 Tümü Elektrikli Gemi İçerisindeki Kritik Teknolojiler

Elektrikli tahrik sistemlerinin yanında, tümü elektrikli gemi kavramı içerisinde, geliştirilme aşamasında olan kritik teknolojiler mevcuttur. Bu bölümde yüksek performanslı sürekli mıknatıslı tahrik motorları, enerji depolama sistemleri ve yakıt pilleri, hakkında bilgi verilecektir. Halen araştırma aşamında olan bu teknolojiler, fizibilite çalışmalarında aday teknolojiler olarak belirlenmiş ve orta-uzun vadede askeri gemilerde kullanılması beklenmektedir.

6.2.1 Sürekli mıknatıslı tahrik motorları

Elektrik tahrik motorlarının mobil sistemlerde kullanılması, gravimetrik güç yoğunluğunu (güç/ağırlık oranını) önemli bir kriter haline getirmektedir. DC tahrik motorlarının yüksek mertebelerdeki hassas kontrol edilebilme özelliğine rağmen en önemli dezavantajı, yüksek güç seviyeleri için düşük gravimetrik güç yoğunluğudur. Çalışma verimlerindeki farklılık ile birlikte, senkron ve asenkron AC tahrik motorları için belirli bir güç sınırı yoktur.

Gemi tahrik sisteminin tasarımında sınırlayıcı faktör, düşük sayılabilecek bir devir sayısının (150-200 dev/dk.) varlığıdır. Elektrik motorlarının pervaneye direk bağlanması, toplam sistem verimi açısından önemlidir. Sürekli mıknatıslı AC senkron motor tasarımında, rotor ve stator arasında oluşan manyetik akının yönü ile ilgili olarak 3 farklı topoloji tanımlanmaktadır.

1. Radyal akı topoloji

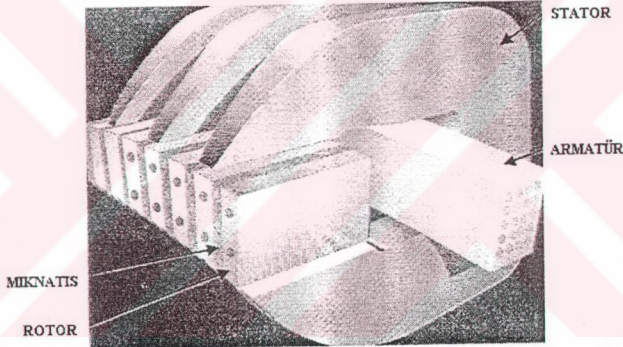
Rotorun dış yüzeyine yerleştirilen mıknatıslar manyetik akı yoğunluğu oluşturmaktadır. En genel döner alan prensibi ile çalışan elektrik motorlarıdır.

2. Eksenel akı topoloji

Disk tipi rotor yerleşimi olan bu motorlarda manyetik akı, disk üzerine yerleştirilen mıknatıslar ile oluşmaktadır. Daha çok rüzgar jeneratörlerinde kullanılan radyal motorlar, gemi tahrik sistemlerinde de kullanılmaya aday bir motor tipidir.

3. Enine akı topoloji

Tümü elektrikli gemi tahrik motoru için en iyi aday olarak tanımlanan bu motor tipi, güç yoğunluğu ve düşük devirlerde elde edilen yüksek tork değerleri ile kompakt bir elektrik motorudur. Stator sargısı üzerinde oluşan manyetik akı, rotor üzerindeki mıknatıslar üzerinden geçerek rotorun dönmesi sağlanmaktadır. Enine akı motor şematik gösterimi Şekil 6.1'de sunulmuştur. [16]



Şekil 6.1 Enine akı topolojisi sürekli mıknatıslı AC senkron tahrik motoru

Sürekli mıknatıslı motorlarda neodmium demir boron (NdFeB) ve semaryum kobalt (SmCo) alaşımlı mıknatıslar kullanılmaktadır. Elektrik motorlarında ortaya çıkan yüksek ısı nedeni ile mıknatısların yüksek sıcaklıklardaki kararlı manyetik özellikleri açısından neodmium demir boron (NdFeB) alaşımlı mıknatıslar tercih edilmektedir.

6.2.2 Elektriksel enerji depolama

Kavramsal olarak 4500-6000 tonluk bir firkateynin ihtiyaç duyacağı kurulu güç 40-50 MW seviyesindedir. Yardımcı sistemler ile birlikte tahrik gücü, elektrik enerjisi ile sağlanmaktadır. Gemi platformu bünyesinde kurulan bu yüksek kapasiteli elektrik

çalışmaları ile tümü elektrikli gemi kavramı içerisinde gemi inşaatı mühendisliğinin gündemine girmiştir.

Yakıt pillerinde yakıt ve oksidant arasındaki kimyasal reaksiyon sonucunda direk olarak elektrik enerjisi elde edilmektedir. Kaba bir tarif ile yakıt pillerinde yanma ve kimyasal oksidasyon-redüksiyon prosesi bir aradadır. İçten yanmalı bir makina gibi yakıtın beslendiği ve bir pil gibi DC elektrik enerjisinin elde edildiği yakıt pilleri, yakıt beslemesi olduğu sürece kesintisiz olarak elektrik üreten bir sistemdir. Yakıt pili çeşitlerinin tamamında, yanma prosesi olmaksızın hidrojen ve oksijen birleştirilmekte ve içilebilir su ve DC elektrik üretilmektedir.

Bataryalarda olduğu gibi, yakıt pillerinde sıvı elektrolit ile ayrılmış iki adet elektrot bulunmaktadır. Oksijen pozitif elektrot (katot) üzerinden, hidrojen negatif (anot) elektrot üzerinden geçmektedir. Yakıt pilleri reaksiyon sıcaklıkları ve kullanılan elektrolit tipine göre sınıflandırılmaktadır. [18, 19]

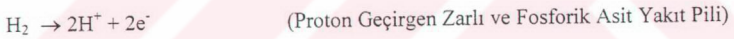
- Proton Geçirgen Zarlı Yakıt Pili (Proton Exchange Membrane-PEMFC)
- Fosforik Asit Yakıt Pili (Phosphoric Acid-PAFC)
- Sülfürik Asit Yakıt Pili (Sulfuric Acid-S AFC)
- Alkalın Yakıt Pili (Alkaline-AlkFC)
- Ergimiş Karbonat Yakıt Pili (Molten Carbonate-MCFC)
- Katı Oksit Yakıt Pili (Solid Oxide-SOFC)

Yakıt pili tipleri ve genel çalışma prensipleri hakkındaki bilgi Tablo 6.1'de gösterilmektedir.

Tablo 6.1 Yakıt pili tipleri ve genel çalışma prensipleri

Yakıt Pili Tipi	Elektrolit Tipi	Yük Taşıyıcı Ajan	Çalışma Sıcaklığı (°C)
Proton Geçirgen Zarlı	Organik SO ₃	H ⁺	90-120
Fosforik Asit	H ₃ PO ₄	H ⁺	150-250
Sülfürik Asit	H ₂ SO ₄	H ⁺	150-200
Alkalın	KOH	OH ⁻	110-150
Ergimiş Karbonat	CO ₃	CO ₃ ⁻	650-750
Katı Oksit	ZnO ₂	O ⁻	950-1100

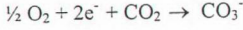
Yakıt pillerinde anottaki hidrojen, aşağıda verilen yarıml reaksiyon ile okside edilmektedir.



Reaksiyonlarda ortaya çıkan elektronlar, yakıt pili devresinde elektrik akımı olarak akacak ve elektrik şebekesini besleyecektir. Serbest elektronlar, yakıt pilinin katotuna ulaştığında devre tamamlanmış olmaktadır. bu reaksiyonların oluşması için katalistlere ihtiyaç vardır. Proton Geçirgen Zarlı, ve Fosforik Asit ve Alkalın yakıt pillerinde platinium, Ergimiş Karbonatlı ve Katı Oksit yakıt pillerinde ise nikel katalistler kullanılmaktadır.

Katottaki reaksiyonlar aşağıda verilmiştir.





(Ergimiş Karbonatlı Yakıt Pili)

Proton Geçirgen Zarlı, ve Fosforik Asit ve Alkalın yakıt pillerinde platinium, altın, gümüş, Ergimiş Karbonatlı ve Katı Oksit yakıt pillerinde ise nikel oksit katalistler kullanılmaktadır.

Bütün yakıt pili çeşitlerinde hidrojene ihtiyaç duyulmaktadır. Hidrojence zengin metanol, doğal gaz, petrol türevleri gibi her türlü kimyasal bileşik, yakıt olarak kullanılabilir. Direkt olarak kullanılabilen hidrojen, yüksek depolama maliyetli ve tehlikeli olması nedeni ile bir takım sakıncalar içermektedir. Yakıt pillerinde kullanılan hidrojen kriyojenik koşullarda soğutulan yüksek basınçlı tanklardan elde edilebilir.

Yakıt pillerinde kullanılacak yakıtın, yakıt piline girmeden önce bir dizi kimyasal işlemden geçmesi gerekmektedir. Gemilerde kullanılan orta derecede distile edilmiş dizel yakıtın içerisinde bulunan yüksek miktardaki aromatikler, yakıt pillerinde kullanılan ısı eşanjörü ve katalistler üzerinde tortu oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca dizel yakıt içerisinde %1 seviyesinde bulunan sülfürün ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Yakıt işleme ünitesi, yakıt pillerinin verimli çalışmasında hayati önem taşımaktadır. İşlem görmemiş bir dizel yakıt, yüksek miktarda karbon türevleri oluşturmakta ve katalistleri bloke ederek yakıt pili reaksiyonunun durmasına neden olmaktadır. Genel olarak ihtiyaç duyulan yakıt işleme adımları aşağıda listelenmiştir.

- Yakıt İşleme
- Karbon İçerikli Katran ve Tortu oluşumunun Önlenmesi
- Desülfürizasyon
- CO azaltma

Yakıtın elektrik enerjisine direkt olarak dönüştürüldüğü yakıt pillerinde, teorik verim %100 mertebesinde-dir. Yakıt işlemedeki ısı kayıplar göz önüne alındığında, yakıt pillerinin net verimleri % 60-70 seviyesinde olmaktadır. Enerji üretiminde hiç bir döner parçanın kullanılmaması, tamamen sessiz bir çalışma sağlamak ve askeri gemilerin görev kabiliyetleri açısından büyük avantajlar getirmektedir. Kimyasal işlem sırasında ortaya çıkan yüksek ısı geri kazanılmakta ve askeri gemiler için düşük bir termal iz profili ortaya çıkmaktadır.

Askeri gemilerde yakıt pillerinin kullanılmasının sağlayacağı avantajlar aşağıda listelenmiştir. [18, 19, 20]

- Yüksek çalışma verimi
- Direk enerji dönüşümü
- Kısmi yüklenme koşullarında elde edilen yüksek çalışma verimi
- Düşük emisyon değerleri (CO, SO₂, NO_x)
- Modüler yapı
- Düşük bakım tutum maliyetleri ve yüksek çalışma ömrü
- Çok düşük gürültü profili
- Çok düşük termal iz

Yakıt pili teknolojisinin askeri gemi uygulamalarında Proton Geçirgen Zar ve Ergimiş Karbonatlı yakıt pilleri, araştırma aşamasında olan aday teknolojiler arasındadır.

6.3 Tümü Elektrikli Askeri Gemi Dağıtım Sistem Konfigürasyonları

Savaş gemileri için yarananma ve kısmi hasar görme gibi olumsuz koşullar karşısında hayatta kalma kabiliyeti çok önemlidir. Tahrik ve yardımcı sistemler için 40-50MW seviyelerinde güç ihtiyacı olan bir savaş gemisinde, mekanik transmisyon sistemi elemanları olası yarananmalar açısından kritiktir. Bu tahrik sistemi, redüksiyon dişlisi, şaft, ve ana makina yerleşimi açısından sabit bağlantı noktalarına bağlıdır. Aynı seviyedeki güç ihtiyacının elektrik dağıtım sistemi ile karşılanıyor olması, mekanik güç iletim hattı zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır. Elektrik dağıtım sistemi yedeklenebilen hatları ve çapraz bağlantı konfigürasyonları ile, geminin hayatta kalma kabiliyetini artırmaktadır.

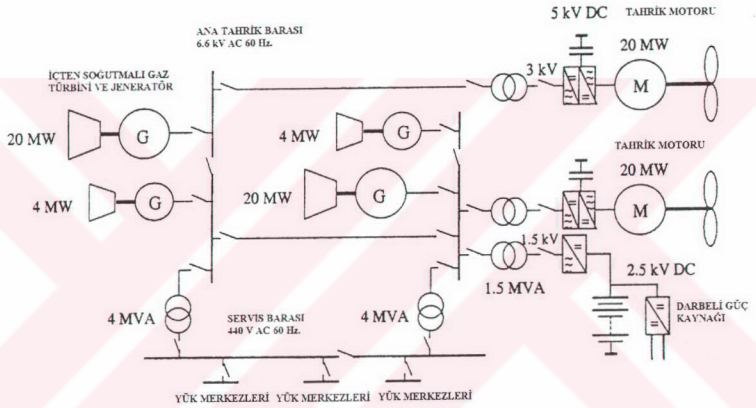
Çeşitli avantajları nedeni ile senkron alternatif akım jeneratör ve tahrik motorlarının tercih edilmesi, savaş gemileri için AC AC sistem kullanımını yaygınlaştırmaktadır. Bu noktada jeneratörler ile tahrik motorları arasındaki elektrik dağıtım sisteminin AC ya da DC olarak seçilmesi gündeme gelmektedir.

Gemi bünyesinde elektrik dağıtım seçenekleri, dal, halka, çift halka ve bölgesel konfigürasyonlarda olabilir. Söz konusu dağıtım seçenekleri, kablo ve dağıtım

panosu maliyetleri ile istenilen sistem güvenilirliği dikkate alınarak optimize edilebilir.

6.3.1 AC dağıtım

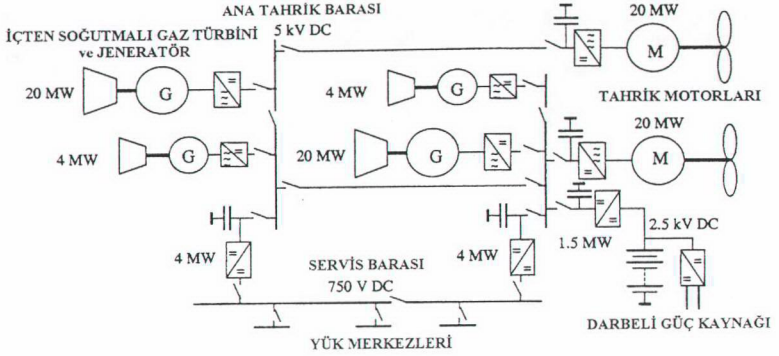
AC senkron jeneratörlerin ve AC senkron motorların kullanıldığı elektrikli tahrik sisteminde AC bir dağıtım sistemi yer almaktadır. Bir çok ticari gemide kullanılan AC dağıtım, kısa ve orta vadede en iyi çözüm olarak görülmektedir. AC dağıtım sistemi olan bir savaş gemisi tek hat şeması Şekil 6.3'de gösterilmektedir. [21, 22]



Şekil 6.3 AC dağıtım sistemi olan bir savaş gemisi tek hat şeması

6.3.2 DC dağıtım

Gemi elektrikli tahrik sistemlerinde yüksek gerilim seviyelerinde DC dağıtımın kullanılması konusunda araştırmalar sürmektedir. Yakıt pillerinin DC elektrik enerjisi ürettiği olması ve enerji depolama sistemlerinin daha az dönüşüm elemanı kullanılarak şebekeye bağlanıyor olması, DC sistemin tercih edilmesindeki önemli nedenler arasındadır. Elektriksel iletim kayıplarının daha az olması, toplam sistem verimini %10 mertebesinde artırmaktadır. Orta ve uzun vadede yaygınlaşması beklenen DC dağıtım sistemi üzerinde araştırmalar devam etmektedir. DC dağıtım sistemi olan bir savaş gemisi tek hat şeması Şekil 6.4'de gösterilmektedir. [21, 22]



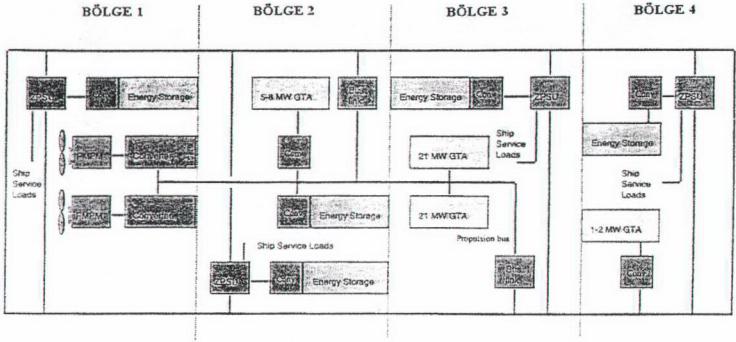
Şekil 6.4 DC dağıtım sistemi olan bir savaş gemisi tek hat şeması

6.3.3 Bölgesel dağıtım

Tahrik gücü 40-50MW mertebesinde olan bir savaş gemisi, ortalama 100-150 m arasında tekne boyuna sahiptir. İki adet tahrik motorunun kullanılacağı bir gemide, 40-50MW mertebesinde bir güç üretimine ihtiyaç duymaktadır. Üretilecek bu güç, gemi içerisindeki birbirinden bağımsız kompartmanlarda üretilebilir. Gemi içerisinde dağınık olarak bulunan çeşitli servis yükleri, yük merkezlerine en yakın enerji üretim modülünden karşılanabilir. Bu sayede enerji dağıtım kayıpları en aza indirilerek, sistem verimi artırılabilir.

Örneğin bir gemide 4 adet enerji üretim bölgesi bulunabilir. Üretilen elektrik enerjisi, bölgede bulunan güç dönüşüm modülleri aracılığı ile yüklere dağıtılabilir. Bölgesel dağıtım sistemi, gemide oluşabilecek her hangi bir yaralanma durumu karşısında, hayatta kalma kabiliyetini önemli miktarda arttırmaktadır. Bir enerji üretim modülünün devre dışı kalması, gemi tahrik sisteminin devre dışı kalmasına sebep olmayacaktır. Gemi enerji sisteminde oluşabilecek arızalar, seyir esnasında onarılabilecektir. Bölgesel elektrik dağıtım sistemi, bir savaş gemisinin kendini savunması açısından önemli avantajlar getirmektedir. [9, 13]

Bölgesel DC dağıtım sistemi olan bir savaş gemisi tek hat şeması Şekil 6.5'de gösterilmektedir.



Şekil 6.5 Bölgesel DC dağıtım sistemi olan bir savaş gemisi tek hat şeması

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tarihsel gelişim içerisinde gemi tahrik sistemleri, bir çok yenilikçi uygulama ile sürekli geliştirilmiş, özellikle ekonomik ve verimlilik kriterleri ışığında sorgulanmıştır. Gemilerde yüksek kapasitelerde güç üretim sistemleri kullanılmaktadır. Önemli bir ağırlığa sahip olan güç üretim sistemleri gemi ömrü boyunca taşınmaktadır. Gemi enerji sisteminde ağırlık ve tahrik sistemi verimliliği açısından yapılacak iyileştirmeler, işletim maliyetlerinin azaltılması anlamına gelmektedir.

Rüzgar enerjisinden buharlı makinalara, geçiş, tahrik sistemleri açısından önemli bir adım olarak değerlendirilmiştir. Buharlı makinalardan içten yanmalı makinalara geçiş önemli bir gelişimin başlangıcı olmuş, artan hız, güç ve taşıma kapasitesi ile dünya ticareti için yeni imkanlar sağlamıştır.

Günümüzde mekanik tahrik sistemleri, başarılı uygulamalar ile yaygın olarak kullanılmaktadır. İçten yanmalı makinalar ve mekanik güç aktarma sistemleri, çalışma verimleri açısından sınır değerleri zorlar niteliktedir. Birim ağırlık başına güç yoğunluğu, sistem verimi açısından önemli bir kriterdir.

Güç aktarma sisteminin mekanik parçalar ile yapılması, geniş alan ve hacim kullanımını zorunlu kılmakta ve gemi tasarımı açısından sınırlayıcı rol oynamaktadır. Tahrik gücünün gemi içerisinde dağıtılmış güç üretim modülleri ile karşılanması, makina dairesi tasarımı açısından esneklikler getirmektedir. Artan hız ve tahrik gücü talebi karşısında verimli sistemlerin tasarlanabilmesi, enerjinin daha etkin bir şekilde kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Elektrik mühendisliği alanındaki teknolojik gelişmeler, gemi tahrik sistemleri için alternatif çözümler sunmaktadır. Yüksek verimlilikte çalışan elektrik makinalarının güç elektroniği kullanılarak kontrol edilmesi, elektrikli tahrik sistemlerini güç yoğunluğu açısından avantajlı hale getirmektedir. İletim kayıplarının elektrik enerjisi kullanılarak en aza indirilmesi, yüksek sistem verimi sağlamaktadır. Düşük emisyon

değerleri ile elektrikli tahrik sistemleri, kara ve deniz yolu taşımacılığı için gelecek vaat etmektedir.

Bu çalışmada, konvansiyonel gemi tahrik sistemleri incelenmiş ve elektrikli tahrik sistemleri tanıtılmıştır. Günümüzde kullanılmakta olan AC sistemler ve gelecekte kullanılacak olan DC sistemler incelenmiştir. Gemi tahrik sisteminin tasarımı açısından örnek olabilecek uygulamalara yer verilmiş ve araştırma aşamasında olan kritik teknolojiler tanıtılmıştır. Gelişen teknoloji ile sayıları giderek artmakta olan elektrikli gemiler, gemi inşaatı mühendisliğinin gündemine girmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Palmer, J.A.**, 1992. Basic Concepts, *Marine Engineering*, SNAME Press, New Jersey.
- [2] **Beverly, J.A.**, 1992. Electric Propulsion Drives, *Marine Engineering*, SNAME Press, New Jersey.
- [3] **Merk, K.H.**, 1997. Economic and Technically Optimised Gear Units, *Naval Forces*, **5**, 77-79
- [4] **Pakaste, R., Laukia, K., Wilhelmson, M., Kuuskoski, J.**, 1998. Experiences of Azipod Propulsion Systems Onboard Merchant Vessels, *International Conference on Electric Ship*, İstanbul, Eylül, 76-80.
- [5] **Walter, E.S.**, 1992. Electrical Systems, *Marine Engineering*, SNAME Press, New Jersey.
- [6] **Hensler J.**, 1989. Electric ship propulsion, *Sname Transactions*, **97**, 473-485
- [7] **IEC 92-60503**, 1982. Electrical Installation in Ships
- [8] **Mccoy, T., Benatmane, M.**, 1998. Development of a 19 MW PWM Converter for U.S. Navy Surface Ships, *International Conference on Electric Ship*, İstanbul, Eylül, 109-113.
- [9] **Doerry, H.N., Davis, J.C.**, 1994. Integrated Power Systems for Marine Applications, *Naval Engineers Journal*, **5**, 77-90.
- [10] **Blokland, A., J., Cnossen, J.**, 2000. AES Designs and Maintenance, *Third International Symposium on All Electric Ship*, Paris, Fransa, Eylül, 21-25.
- [11] **Dijk, E.V., Aanhold, J.E.V.**, 2000. Dynamic Behaviour Modelling of Integrated Ship Propulsion Systems, *Third International Symposium on All Electric Ship*, Paris, Fransa, Eylül, 256-261.
- [12] **Mezger, H., Veerhart, A.**, 1997. Building the First Dutch Military All Electric Ship, *First International Symposium on All Electric Ship*, Paris, Fransa, Mart, 69-74.
- [13] **Newell, J.M., Young, S.S.**, 2001. Beyond Electric Ship, *Transactions of IMarE*, **113**, 13-23.
- [14] **Benatmane, M.**, 2000. The All-Electric Drill Ship, *Third International Symposium on All Electric Ship*, Paris, Fransa, Eylül, 32-49.

- [15] Barlas, B., Gündüz, T., Görateş, M., 2000. A comparison of frigate propulsion systems for Turkish Navy, *Third International Symposium on All Electric Ship*, Paris, Fransa, Eylül, 15-20.
- [16] Voyce, J.E., Husband, S.M., Mattick, D.J., 2000. The Permanent Magnet Propulsion Motor: From Infancy to Adolescence, *Third International Symposium on All Electric Ship*, Paris, Fransa, Eylül, 134-139.
- [17] Ehrhart, P., Lindner, L., 2000. Innovative Electric System Technologies for AES Application, *Third International Symposium on All Electric Ship*, Paris, Fransa, Eylül, 190-195.
- [18] Sattler, G., 2000. Fuel Cells Going On-board, *Journal of Power Sources*, **86**, 61-67.
- [19] Allen, S., Ashey, E., Woerner, J., 1998. Marine Applications of Fuel Cells, *Naval Engineers Journal*, **1**, 93-106.
- [20] Goubault, P., Greenberg, M., Heidenreich, T., 1994. Fuel Cell Power Plants for Surface Fleet Applications, *Naval Engineers Journal*, **5**, 59-76.
- [21] Burgt, J.J.A., Dill, R.P., Gelder, P.V., 2000. Comparison of an AC and a DC Integrated Electrical Distribution System for an All Electric Frigate, *Third International Symposium on All Electric Ship*, Paris, Fransa, Eylül, 152-157.
- [22] Yağmur, E.A., 2001. Elektrikli Gemi ve Enerji Sistemi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Eren Özsu 1976 yılında Çorlu'da doğdu. Lise öğrenimini Ankara Gazi Anadolu Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1999 yılında Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisi ünvanı ile mezun oldu ve aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Deniz Teknolojisi Mühendisliği bölümünde yüksek lisans programına başladı. 1999 yılından beri TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü'nde araştırmacı olarak görev yapmaktadır.