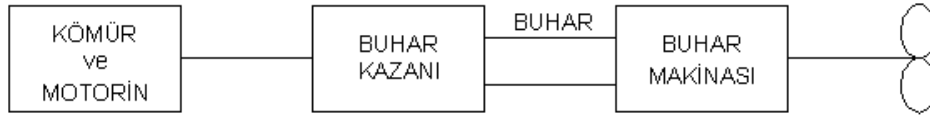


1. GİRİŞ

Hayatta olduğu gibi gemilerde de esas olan bir enerji kaynağındaki enerjinin geminin hareketini, savaş yeteneğini sağlayan sistemin çalışmasını sağlayacak olan enerji türüne çevirmektir. 19. yüzyılda buhar makinelerinin icat edilip savaş gemilerinde kullanılmaya başlandı. Geminin hareketi buhar gücünden faydalanılarak sağlanıyordu. Enerji kaynağı kömür veya motorin olan savaş gemilerinde termodinamik dönüşümün basit bir diyagramı Şekil 1.1.'de verilmiştir.

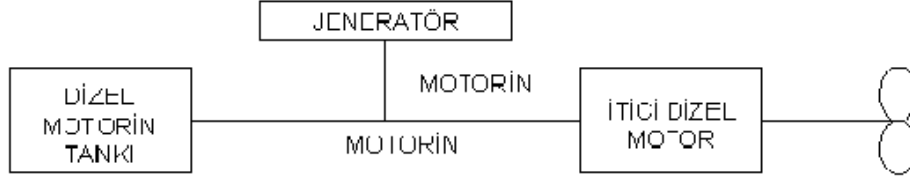


Şekil 1.1. Buharlı Gemilerde, Buharın Tahrik Gücü Olarak Kullanımı

İlk gemilerde buhar, kömür yakılarak elde ediliyordu. Kömürle çalışan gemiler ağırlığı fazla, sürati düşük, manevra kabiliyeti yetersiz ve yaralanma durumunda hayatta kalma şansları düşük idi. İleriki yıllardan itibaren kömürlü gemiler yerini motorin kullanan gemilere bıraktı. Bu gemilerde itici motorlar buhar basıncı ile çalışıyordu. Geminin bir bölümünde buhar kazanlarda üretiliyor, üretilen bu buhar geminin tahrik motorlarına gönderiliyor ve geminin hareketi sağlanıyordu.

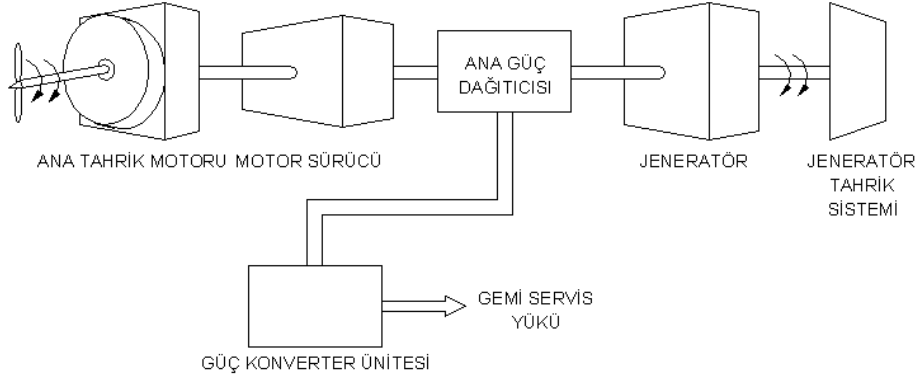
Dizel motorlardaki gelişmeleri deniz suyu ile soğutulabilen içten yanmalı motorlardaki gelişmeler takip etti. Bu gelişmelere paralel olarak, motorinle çalışan içten yanmalı dizel motorlar gemilerde kullanılmaya başlandı. Bu gemilerde tahrik motorları dizel veya gaz türbinli olup tahrik motorları çalıştırılarak hareket şaft vasıtasıyla pervaneye iletilmektedir. Radar sistemindeki ve silah atış kontrol sistemi alanındaki gelişmeler gemilerde tüketilen elektrik ihtiyacını artırdı.

İçten yanmalı motorların itici güç için kullanıldığı ve gemi servis yükleri için dizel-jeneratör gurubunun kullanıldığı diyagram basit haliyle Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Motorin İle Çalışan İçten Yanmalı Motorların Tahrik Gücü Olarak Kullanılması

Buharlı gemilerin yerlerini motorlu gemiler almaya başladı. Su üstü gemilerinde bunlar yaşanırken, sualtı savaş gemileri dediğimiz denizaltılarda da büyük gelişmeler gözlendi. Denizaltılar suya çıktığında dizel motorlarını ve jeneratörlerini çalıştırarak akülerini şarj eder ve dalış esnasında ise dizel motorlarını kapatarak aküler yardımıyla tahrik gücünü sağlar. Elektrikli motorun tahrikiyle gemiye yol aldırılır. Elektrik tahrikli gemilerin temel çalışma prensibi Şekil 1.3. de gösterilmiştir [1].

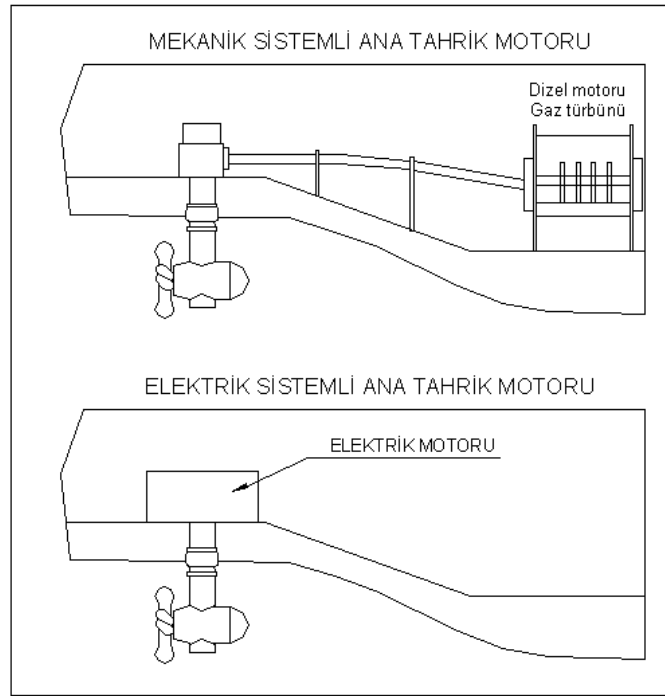


Şekil 1.3. Elektrik Tahrikli Geminin Temel Çalışma Prensibi

Bu motorlar çalışırken çok az ses çıkartırlar. Gemiler birbirlerini pervane sesiyle en iyi şekilde yakalayabilirler. Su üstü gemileri dalmış durumdaki denizaltıyı çok az ses çıkardığından yakalamaları çok zordur. Tam tersini düşündüğümüzde ise denizaltı bir su üstü savaş gemisini motorlarından çıkan ses nedeni ile yerini kolaylıkla tespit eder. Harp zamanında gemilerin birbirini bulması harbin akışını değiştirecek kadar önemlidir.

1.1. Elektrik Tahrikli Geminin Tanımı

Su üstü gemilerde yaşanan yüksek motor sesini asgariye düşürme problemi başta olmak üzere buharlı ve motorlu gemilerin verimi artırmak için yeni bir gemi modeli üzerinde çalışmalara başlanmıştır. Bu modelin adı elektrik tahrikli gemidir. Elektrik tahrikli geminin gerekliliğini çok basit bir şekilde ortaya koymak gerekirse Şekil 1.4. bunu çok güzel bir şekilde açıklayacaktır.



Şekil 1.4. Dizel Motor ve Elektrikli Motoru Arasındaki Pervaneye Hareket İletimi

Elektrikli tahrik sisteminin en önemli avantajı Şekil 1.4'de görüldüğü gibi gemide büyük alan kaplayan şaftın ortadan kalkarak enerji iletiminin mekaniki şafta ihtiyaç olmadan iletilmesidir.

1.2. Ticari Gemilerde Elektrik Tahrik Sisteminin Kullanılması

Ticari gemilerde elektrik tahriki başta İngiltere olmak üzere birçok ülkede uygulanmaktadır. İngiltere ve İspanya gibi ülkelerde elektrik tahrik sistemi yolcu

gemilerinde uygulanmaya başlanmış, elektrik tahrikli yolcu gemilerinde normal tahrik sisteminin kullanıldığı yolcu gemilerine göre daha çok verim alındığı görülmüştür [2].

Ticari gemilerde kullanılan elektrik tahrik sistemi temelde aşağıdaki faydaları sağlamaktadır.

- Genişletilmiş işletme esnekliği
- Geliştirilmiş ayakta kalma gücü
- Çalışan personelin azaltılması
- Güvenirliliğin artması
- Ses ve salınım daki azalma
- Yüksek verimlilik
- Tasarruf artışı

Ticari gemilerde kullanılan elektrik tahrik sisteminde elektrik motoru kendi etrafında dönebildiğinden; normal gemilerde kullanılan dümen ihtiyacı ortadan kalkmış olup dümen için gerekli olan cihazlar ve en önemlisi cihazların kapladığı yer azalmıştır. Dümen kullanmak için ayrıca bir personel ihtiyacı ortadan kalkmıştır. Dümen sistemi itici sistemle paralel çalıştığından kumandalara daha hızlı tepki verebilmektedir. Kumandalarda oluşan zaman gecikmesi asgariye indirildiği gibi mekanik kontrol yerini elektronik kontrolün kolaylığına ve güvenirliliğine bırakmıştır [3].

Elektrikli tahrik sistemi özellikle yolcu gemilerinde kullanılmıştır. Bunun en önemli sebebi Şekil 1.4.' de görüleceği gibi pervaneyi çeviren bir şaft ihtiyacının ortadan kalkmış olmasıdır. Normal gemilerde şaft geminin ortasından geminin kıçına doğru ilerler ve büyük bir alan kapladığı gibi salınımlara ve sese sebep olur. Şaft ihtiyacının ortadan kalkması yolcu gemilerinde yer potansiyelini artırdığı gibi şaft sesinden de yolcuların rahatsız olması engellenerek ekonomik kazancın artması sağlanmıştır [3].

1.3. Elektrik Tahrikli Gemi ve NATO

NATO elektrik tahrikli gemi alanında çalışmalar yapmak üzere üye ülkelerin katılımı ile ortak bir çalışma gurubu kurmuştur. Şubat 1997’de NATO Endüstriyel Danışma Kurulu (Industrial Advisory Group. NIAG) elektrik tahrikli savaş gemileri hakkında olabilecek gelişmeleri saptamak için yetkili kıldı. Çalışmanın sponsorluğunu NATO Donanma Silahlandırma Grubu (NATO Naval Armaments Groups, NNAG) üstlendi. Bu konuda çalışmalar Mayıs 1997’de başladı [4].

Çalışmaların ana başlıkları;

- a- Elektrik tahrikli geminin birbirini takip eden potansiyel kazançları üzerinde çalışmalar yapmak
 - Gemi maliyetinin azaltılması
 - Gemi ömrünün uzatılması
 - İlk tedarik maliyetlerinin azaltılması
 - İnsan gücü ihtiyaçlarının azaltılması
 - Geçerliliğinin, gerçekliğinin ve devamlılığın artırılması
 - Daha az imza
 - Çalışma tarzında esnekliğin artması
- b- Geminin temel dizaynına ortak karar verme
- c- Potansiyel sistem konfigürasyonu ve sistem elemanlarını belirleyerek elektrik tahrikli geminin ticari maliyetini ortaya koymak
- d- Elektrik tahrikli geminin geleceğinde uygulanabilecek teknolojiler hakkında araştırma yapmak
 - Ana tahrik
 - Güç üretimi
 - Güç dağıtıcıları
 - Güç dönüştürücüler
 - Enerji depolama
 - Sevk sistemi
 - Güç yönetimi

- Yedek sistemler
 - Ani güç ihtiyaçları
 - Özellikle yakıt hücresi ve elektronik konverterlerin gelecek teknolojileri hakkında
- e- Bundan sonra gelecek teknolojileri tanımlamak ve bunlar üzerinde çalışma yapmak
- f- Ortada bulunan risklerin çözümlerini bulmak
- g- Uygun teknolojiye göre programın gelişmesini tanımlamak
- olarak saymak mümkündür.

Bu konuda yapılan çalışma, ticari gemilerde kullanılan tamamıyla elektrik tahrik sistemine (Full Electric Propulsion (FEP)) uygulanabilirliği ve sesiz enerji üretim sistemlerini test ederek savaş gemilerine uyarlamaktır. Mevcut durumlardan dolayı tamamıyla elektrikli tahrikli sistemler konusunda ciddi ve kararlı adımlar atılmasına zorunlu hale gelmiştir.

1.4 Elektrik Tahrikli Gemi İle İlgili Yapılan Çalışmalar

NATO çalışma grubunda yer alan ülkemizde elektrik tahrikli geminin Türkiye'deki gelecek firkateyn projelerine yöne verebilmek için elektrikli gemi konsepti, olası dağıtım konfigürasyonları ve standartları ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

NATO çalışma grubunda yer almayan ülkelerde de elektrik tahrikli gemilerle ilgili çalışmalar yapıldığı literatür çalışmalarında görülmüştür.

1.5 Tezin Amacı, Kapsamı ve Sınırları

Bu çalışmanın ana amacı teorikte çok çeşitli güç dağıtım konfigürasyonu bulunan elektrik tahrikli gemi konfigürasyonları arasından NATO çalışma gurubu tarafından üzerinde en çok çalışılan ve uygulanabilirliği en yüksek olan konfigürasyonlar seçilerek, 6.6 kV 60 Hz, 15 kV 60 Hz, sistem gerilimleriyle iki ana

tahrik motoru, iki ana senkron jeneratörü bulunan, gemi servis yükünün 0.44 kV ile çalıştığı elektrik motorlarının, jeneratörlerin ve transformatörlerin yıldız noktalarının izole edildiği dört farklı konfigürasyon üzerinde farklı noktalardan 0.1 ms-70 ms arasında oluşan kısa devre akımlarının değişimi, kısa devre esnasında sistemin yüksek gerilim ve düşük gerilim tarafında oluşabilecek arksız faz toprak arızası ve arklı faz toprak arızalarını EMTP (Elektro Magnetic Transient Programının) ATP (Alternative Transient Programı) [5] versiyonu ile simülasyonu yapılarak toprak arızalarında sistemin davranışları incelenmiş sistem dengesizliği, aktif yüklerin katkısı, ve konvertelerin detaylı modelleri hesaba katılmamıştır. Çalışmalar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma elektrik tahrikli gemide kullanılacak topraklama sisteminin belirlenmesinde etkili olacaktır.

1.6 Tezin Yapısı

Tez toplam beş bölümden oluşmaktadır birinci bölüm giriş bölümü olup elektrik tahrikli gemi kavramının nerden geldiği ve bu konuda yapılan çalışmalar anlatılmaktadır.

Tezin ikinci bölümünde elektrik tahrikli gemi kavramından, sağladığı avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmektedir.

Tezin üçüncü bölümünde ise topraklama kavramından, gemideki topraklama sisteminden ve ark oluşumundan bahsedilmektedir.

Tezin dördüncü bölümde yapılan simülasyon çalışmaları ve sonuçlar anlatılmaktadır.

Beşinci bölümde genel sonuca yer verilmiştir.

2. ELEKTRİK TAHRİKLİ GEMİ

Mekaniki sistemlere iyi bir rakip olarak görülen elektrik tahrikli sistemlerin ticari gemilerde kullanılmasıyla kazanılan başarı elektrik tahrikli savaş gemisi konseptinin oluşmasını sağladı.

Elektrik tahrikli savaş gemisi konseptinin 60 bin tonluk kruvazörlerden 5 bin tonluk firkateynlere kadar değişiklik göstereceği düşünülmektedir [6, 7].

Elektrik tahrikli firkateyn konseptinin bize sağladığı önemli avantajları vardır. Bunlar sırasıyla burada incelenmiştir.

2.1. Düşük Maliyet

Yapılan çeşitli çalışmalarda mekaniki ve elektriki sistemler arasında kazanç maliyetinde önemli farklılıklar olduğu gözükmemektedir [7]. Elektrik tahrikli firkateynlerin personel sayısını yüz kişiden daha aşağıya çekilerek bakım faaliyetlerinin minimuma indirgenmesi sağlanacaktır. Elektrikli cihazların ömrü ve güvenilirliği tamamı ile sistemlerin büyüklüğüne bağlı olup bu da sistemin pahalı olmasına neden olmaktadır.

2.1.1. Bakım Maliyetleri

Hidroliğin az kullanımı, dişli kutusu ve pahalı pitch kontrol sistemine gerek duymaksızın, daha küçük maliyetli tahrik sistemleri, daha az ve düşük maliyetli bakımlar gerektirir. Diğer taraftan elektrikle çalışan alt sistemler çok sayıda parçadan oluştuğundan dizaynı maliyeti yüksek olmasına rağmen bakım maliyeti düşüktür.

2.1.2.Tüketim

Gemilerde tahrik sistemi için gerekli olan enerjinin gemiyi hareket ettiren pervanelere yansıtılmasında iki temel sistem vardır. Bunlar mekanik ve elektrikli sistemlerdir. Mekanik sistemler dizel motor veya gaz türbününden sadece birinin bulunduğu sistemler olup, CODOG (Combined Diesel or Gaz Turbine) diye isimlendirilmektedir.

Elektrikli sistemde ise geminin pervanesi elektrik motoruyla çevrilmektedir. Elektrik motoru için gerekli olan elektriği sağlayan jeneratör ICR* (Inter cooled and recuperated) gaz türbünü ile çalıştırılıyorsa buna ICR gaz türbünlü elektrik tahrik sistemi denilmektedir. Jeneratör, dizel motorlar tarafından çalıştırılıyorsa buna tek çevrimli elektrik tahrik sistemi denilmekte olup jeneratör normal bir gaz türbünü ile çalıştırılıyorsa buna da CODLAG (Combined diesel electric and gaz turbine) denilmektedir. Elektrikli ve mekanik çözümler arasında farklı çalışmalar bize göstermektedir ki bir dizel sisteminin ve kompleks gaz türbünü sisteminin yakıt tüketimleri neredeyse aynıdır [7].

Tablo 2.1.'de 4500 tonluk bir firkateynin 1 yıl süre ile 30 deniz mili hız yaptığı düşünüldüğünde harcanan motorin miktarı ve yıllık çalışma ücretini karşılaştırma yapabilmek için verilmiştir.

Tablo 2.1. Tahrik Tipleri Arasında Fiyat ve Yakıt Tüketiminin Karşılaştırılması [7].

Tahrik Tipleri	Motorin Tüketimi	Yıllık Çalışma Ücreti
CODOG (Combined diesel or Gaz turbine)	9931 birim	1731 birim
CODLAG (Combined diesel electric and gaz turbine)	8545 birim	1755 birim
ICR gaz türbünlü elektrik tahrik sistemi	8839 birim	1340 birim
Tek çevrimli elektrik tahrik sistemi	12124 birim	1616 birim

* Ekzost sıcaklığı su ile soğutulan ve oluşan su buharının tekrar kullanıldığı gaz türbünü çeşididir.

Tablo 2.1 de görüldüğü gibi ICR gaz türbünlü elektrik tahrik sistemi fiyat ve yakıt tüketimi açısından en uygun çözümü sunmaktadır.

2.1.3. Hayatta Kalabilme

Hayatta kalabilme, geminin tehlikelerden kaçabilme kapasitesinin tamamını kapsamaktadır. Eğer gemi zarar görmekten kurtulamazsa küçültülmüş durumda savaşa devam etmesini sağlamakta hayatta kalmanın bir göstergesidir. Elektrik tahrikli firkateynlerde şaft olmadığı için sistemlerin gemi içinde dağılımı esnek olarak sağlanabilmektedir. Şaftın yerini alan enerji kabloları zarar gördüğünde kolaylıkla değiştirilebilmesi ve sistemlerin birbirlerine kolaylıkla bağlanabilmesi gibi nedenler geminin yaralandığında harbe devam etme şansı artacaktır.

Elektrik tahrikli firkateynlerde ses problemi asgariye indirildiğinden akustik alan içinde çalışan torpidolara ve akustik mayınlara karşı geminin hayata kalma şansını artıracaktır.

Hayatta kalabilme sadece dış etkilere karşı bir kabiliyet değil aynı zamanda istenmeden olabilecek dahili zararlara karşı koyabilme kapasitesini de gerektirir. Mesela elektrik sistemlerindeki cihazların miktarlarındaki artışın elektrik yangınlarına sebep olması. Bu nedenden dolayı ilave tedbirler alınması gereklidir.

2.1.4 Elektromanyetik Sinyal

Elektrik tahrikli gemi modelinde ortaya çıkan elektromanyetik alan mekaniki sistemlere göre artış göstermektedir.. Elektromanyetik radyasyon iki probleme neden olmaktadır. Bunlar diğer sensörlerle karışma ve sensörlü silahlar üzerinde yarattığı bozulmalardır.

2.2 Elektrik Tahrikli Geminin Avantaj ve Dezavantajları

Elektrikli tahrikin, geleneksel tahrik sistemine göre avantajları [8]:

1. Motor her zaman sabit yükte (makinenin ömrünü uzatır) ve sabit hızda çalışır . Bu yüzden yükleme değişikliklerine daha hızlı adapte olur [9].
2. Motor, pervaneler hızlandırılırken daha az kara duman, ısı ve diğer kirletici maddeleri üretir.
3. Motoru besleyen yakıt daha ekonomiktir.
4. Belirli bir menzil için değişik hızlarda azaltılmış yakıt tüketimi ve bu yüzden daha az işletme maliyeti.
5. Pervanelerin hızı daha hızlı bir şekilde değiştirilebilir.
6. Makine daha hızlı bir şekilde ters çalıştırılabilir.
7. Zaman limiti olmaksızın, elektrik itmeli motorlar sıfır sürat ile maksimum sürat arasında çalıştırılabilir.
8. Dişli kutusu ihtiyacı ortadan kalkmıştır.
9. Motor dairesi düzeni daha esnektir.
10. Gemi dizayn ve yapımında esneklikler sağlar.
11. Herhangi bir makineyi fazla yüklemek imkansızdır.
12. Motor dairesinin içinde ve dışında çok düşük gürültü seviyeleri
13. Düşük motor dairesi sıcaklığı.
14. Özellikle düşük hızlarda mükemmel manevra kabiliyeti.
15. Geminin hizmeti süresince, kabiliyetlerini artırma yönünde geniş imkanlar.
16. Toplu enerji üretim üniteleri entegrasyonu böylece jeneratörler, alternatörler ve gemilerdeki miktarları ve bu ünitelerin optimum işletimi azaltılmaktadır.
17. Çok yüksek enerji güçlerine adapte olma kapasitesi.

Elektrikli tahrikin, geleneksel tahrik sistemine olan dezavantajları :

1. Daha ağır ve pahalı, genellikle daha çok yer kaplar.
2. Elektrik ekipmanların kullanımı; tedbir alınmasını gerektiren (elektrik yangını, deniz suyundan kaynaklanan bozulmalar, elektrik şokundan dolayı personel yaralanmaları vs.) ilave zararlar getirir.
3. Daha iyi eğitilmiş ve yüksek yetenekli operatör ihtiyacı.
4. Daha geniş yedek malzeme gereksinimi.

5. Artırılmış bakım-tutum.

Elektrik tahrik sisteminin savaş gemileri için faydaları:

1. Akustik, infrared ve elektromanyetik sinyallerde azalma.
2. Azaltılmış hassaslık (dağınık jeneratör / alternatör ekipmanları, daha kısa şaft yolları).
3. Elektromanyetik silahların uygulanabilirliğine olanak sağlaması.
4. Uzun pervane şaftlarının kısaltılması ile diğer kullanımlar için daha çok yer ve artırılmış duruş gücü.
5. Pervane, şaft yollarına artık bağlı değil ve ihtiyaç duyulduğunda jeneratör / alternatör ekipmanlarının gemi dahilinde dağınık yerleştirilebilmesi.
6. Güç ünitesi ile pervane arasındaki mekanik linkin kaldırılması ile ses ve titreşimin azaltılması sağlanmıştır.
7. Elektrik gücünün pervane sistemine entegrasyonu ile geliştirilmiş hız kontrol sisteminin daha az etkili olan kontrol edilebilir pitch pervane sisteminin yerini alması sağlanmıştır.
8. Elektrik gücünün ve pervane sisteminin entegrasyonu ile operatör ihtiyacı azalacaktır.
9. Ortak güç ve pervane modülleri bütün filo genelinde kullanılabilecek ve böylece bakım ve maliyeti azalacaktır.

2.3 Elektrik Tahrikli Gemide Dağıtım Konfigürasyonu

Elektrik tahrikli gemi konseptinde karar verilmesi gereken en önemli konu dağıtım sisteminin AC mi yoksa DC mi olacağıdır.

Elektrik dağıtım sistemli firkateynler için AC ve DC kıyaslamanın amacı minimum maliyet ve kayıpla beraber daha güvenilir bir elektrik sağlamak için optimum dağıtım şebekesi konfigürasyonunu bulmaktır.

Elektrik tahrikli gemi kavramı, tüm enerji tüketim elemanlarının, sensörlerin, silahların ve tahrik motorlarının dahi, elektrikli olduğu bir entegre enerji sistemidir. Elektrik tahrikli gemideki dağıtım şebekesi düşük maliyet, ağırlık ve hacimle birlikte en yüksek derecede güvenilirliği ve uygunluğu mümkün hale getirmeyi garanti etmelidir. Optimum çözümü elde etmek için, değişik alternatifler araştırılmalıdır. AC veya DC dağıtım şebekesi kullanmak önemli seçimlerden biridir. Her iki sistem de elektrik karakteristiği, maliyet, ağırlık, güvenilirlik ve diğer yönler gibi avantaj ve dezavantajlara sahiptir [10,11].

DC dağıtım sisteminin beklenen bazı avantajları; reaktif güç kaybının olmaması, jeneratörleri senkronize etmeye ihtiyaç olmaması, kablo hacim ve ağırlığının azaltılması, birkaç konverter basamağı olması ve şebekeye kullanıcı ekipmanlarının bağlanmasının kolaylığıdır.

Beklenen problemlerden bazıları da büyük damping bobinlerine ve filtre kapasitörlere ihtiyaç duyulması, şartel elverişliliğinin kısıtlı olması, yüksek DC akımlardan dolayı güvenlik riskleri ve büyük entegre DC dağıtım sistemlerinde tecrübe eksikliğidir.

Firkateyn büyüklüğündeki gemilerde alan sınırlamasından dolayı beklenenden daha fazla tork yoğunluğuna sahip tahrik motorları gerekmektedir. DC motorlar güç, hız, büyüklük ve devamlılık kısıtlamalarından dolayı uygun bir çözüm sunmaz. Konvansiyonel senkronizeli ve indüksiyon motor teknolojisi büyük tork ve ağırlıktan dolayı kısıtlı potansiyele sahip teknolojiler olarak düşünülmektedir. Sabit mıknatıs teknolojisi, yüksek tork/güç yoğunluğu, arttırılmış verimlilik gibi avantajlarından dolayı kullanılması gereken çözüm olarak görülür. Sabit mıknatıslı motorlar birçok avantaja sahiptir. Mesela %20 ile %35 arasında daha az hacim ve ağırlığa sahiptir [12].

Orta ve yüksek hızlı dizel jeneratörlerde ağırlık/kW oranının azaltılmasıyla büyük bir avantaj elde edilir. Ağırlık/kW oranına iyilik faktörü denir. Kısa vadede uyarılan senkron jeneratörlerde de pratik uygulanabilir. Güç üretim sistemindeki evrimin gelişimi yüksek frekans, yüksek hızlı makineler ve gaz türbinleri ile paraleldir. Hızlı

makinelerde, hacim ve ağırlık azaltılmış ve dişli kutuları çıkartılmıştır. Günümüzde küçük gaz türbinleri mevcuttur. Yüksek hızlı jeneratörlerin yapısında; sabit mıknatıslı senkron makineler, sincap kafesli indüksiyon jeneratörler dikkate alınmalıdır.

PWM tahrik motor dönüştürücüleri aşağıdaki nedenlerden dolayı tercih edilir:

- Yüksek güç faktörü (1'e yakın)
- DC dağıtım şebekelerine uygun adaptasyonu
- AC dağıtım şebekeleri için rektifiyer seçiminin kolay olması
- Motor akımındaki düşük harmonik sayesinde gürültünün ve titreşimin azalması.

Yüksek gerilimde gazlı (SF6) ve vakumlu kesiciler AC'deki ihtiyaçları kolayca karşılayabilir. DC anahtar tertibatı 1 kV' luk çalışma gerilimi için çalışabilir fakat 3.3 kV ve 4.5 kA (<15MW) çalıştırabilen bir sistem haline getirilebilmesi gereklidir. Yüksek gerilim kontrol tablolarında izolasyon çok önemlidir. Yüksek gerilim kontrol tablolarının dizaynında darbeler ve titreşim dikkate alınmalıdır.

2.3.1 Dağıtım Sistemi Konfigürasyonu

2.3.1.1 Gemi Bilgisi

Bu bölümde AC ve DC dağıtım şebekeleri arasındaki farklar bir firkateynin dağıtım şebekesi üzerinden gösterilmeye çalışılmıştır. Temel olarak firkateyn 6000 ton ağırlığında, tek gövdeli, tıpkı Hollanda "LCF" firkateynleri gibi 120 m uzunluğu, 16 m genişliğinde global ebada sahip gemidir. Firkateynin seyir profili barışı-koruma misyonlu bir profil olarak hesap edilmiştir. Maksimum hızı 30 kn. normal seyir hızı 18 kn' dır. Seyir esnasında gerekli güç 10 MW, maksimum çekiş gücü 40 MW' dır.

2.3.1.2. Dağıtım Sisteminin Detaylandırılması

AC ve DC opsiyonlarının elektrik tahrikli gemi dağıtım sistemi gösterimi Şekil 2.1. ve 2.2.'de sırayla belirtilmiştir. Dağıtım şebekesi bir yüksek gerilim hattı ve bir de

2.3.2 Yorumlar

AC ve DC şebeke arasındaki kıyaslamada ilk yorum, DC dağıtım şebekesinin stabilitesini ve kısa devre akımlarını sınırlandırmanın zorluğudur. DC şebeke için gerekli kapasitör ve indüktanslar salınımlara sebep olabileceğinden daha derin analiz edilmelidir.

DC şebeke başarılı bir şekilde kurulduğunda AC şebekeye göre elektrik karakteristiğinin daha iyi olduğu görülür. Bozulma ve reaktif güç kaybı daha düşüktür ve jeneratör senkronizasyonuna gerek yoktur.

DC sistemde hacim ve ağırlığın AC sisteme göre daha düşük olduğu görülür. Gemi gibi sınırlı platformlar için bu önemlidir.

Yüksek gerilimli DC sistemlerin deniz uygulamalarının yeni olmasından dolayı bu sistemlerin güvenilirliği, elverişliliği ve monte edilmesinde daha çok itina gösterilmelidir. DC sistemlerin kullanımı ve avantajlarından tam istifade de uzmanlık kazanmak için hala bazı araştırma ve geliştirmeler yapılmalıdır.

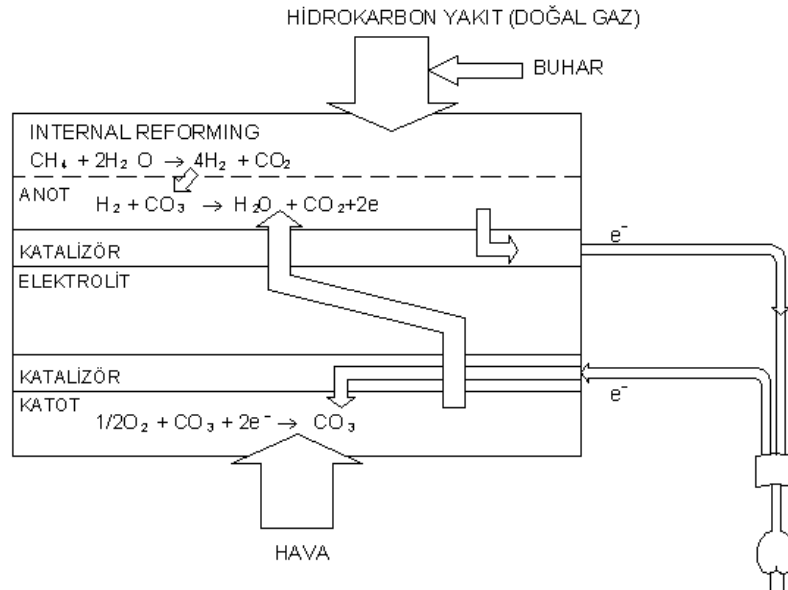
DC ye göre AC dağıtım sisteminin iki dezavantajı yüksek bozulma seviyeleri ve reaktif güç kayıplarıdır.

2.4. Elektrik Tahrikli Gemide Yakıt Hücresi Teknolojisi

Yakıt hücresi teknolojisi kimyasal olarak elektrik üretmek olarak nitelendirilebilir. Yakıt hücresi teknolojisinde karbon yakıt hücresi ve hidrojen yakıt hücresi teknolojisi olmak üzere kullanılan iki temel sistem vardır. Hidrojen yakıt hücresi teknolojisinde hidrojen gazı ile oksijen gazı katalizörler üzerinde reaksiyona sokularak hidrojen gazı ile oksijen gazı arasında elektron geçişi ile elektriksel akım oluşmakta dolayısı ile elektrik üretilmektedir. Karbon yakıt hücresi teknolojisinde hidrojen gazı yerine doğal gaz kullanılmaktadır. Hidrojen ile Oksijen gazlarının reaksiyonundan su, ısı ve elektrik açığa çıkmakta olup ısı sistem için tekrar kullanılmak üzere çevrime

girmektedir. Yakıt hücresi teknolojisi ile sessiz enerji üretmek mümkün olmaktadır. Amerika'da su üstü savaş gemilerinde kullanılmak üzere 2.5 MWA'lık hidrojen yakıt hücresinin tamamlandığı bilinmektedir. Yakıt verimliliği ve çevreye etkisi açısından gaz türbinlerine ve dizel motorlara göre yakıt hücreleri daha iyi performansa sahiptir.

Hidrojen yakıt hücresini geliştirmek için karbon yakıt hücresi teknolojisinden faydalanılmıştır. Bu teknoloji ticari anlamda dağıtık güç üretim uygulamalarındaki doğal gaz yakıtlarında da kullanılmaktadır. Karbon yakıt hücresi tabanlı güç üretim tesislerinde %50'nin üzerinde termal verimlilik sağlanmaktadır. Karbon yakıt hücreleri Avrupa, Japonya ve ABD' de 20 yıldan fazla gelişim göstermektedir. Şu anda bu teknolojinin ana geliştiricisi ABD'ndeki Fuel Cell Enerji Şirkettir. Karbon yakıt hücresi teknolojisindeki endotermik yakıt reformu atık ısılardan tekrar yararlanmakta ve böylece sistemin termal verimliliği artmakta, dış araç gereçlerin gerekliliği azalmakta ve çalışma sıcaklığı azaltılmaktadır. Bu teknoloji ABD Enerji Bakanlığı tarafından 20 yıldır desteklenmektedir. Şekil 2.3.'de karbon yakıt hücresinin çalışma prensibi gösterilmektedir [14].



Şekil 2.3. Karbon Yakıt Hücresinin Çalışma Prensibi

Bilindiği gibi savaş gemileri için sesiz enerji üretimi son derece önemlidir. Alman Deniz Kuvvetleri tahrik sistemi için gerekli olan enerjinin hidrojen yakıt hücresi teknolojisinden sağlayan bir adet denizaltı üretmiştir. Hidrojen yakıt hücresi teknolojisinde ortaya çıkan en önemli problem hidrojen gazının depolanmasıdır. Hidrojen gazının depolanması yerine gemide üretilmesi yolunda çalışılmakta ve kaynak olarak F76 (motorin) düşünülmektedir. F76 (motorin) den hidrojen gazı üretilmesi ile ilgili Türkiye'de çalışmalar başlatılmıştır. Hidrojen yakıt hücresinin kullanımının yaygınlaşması elektrik tahrikli geminin ana enerjisinin bu kaynaktan teminini mümkün kılacaktır. Hidrojen yakıt hücresinin gürültüsüz ve emisyonsuz olması gemilerin izlerinin bilinmesini azaltacaktır.

2.5. Sonuç

Mekaniki sistemlere iyi bir rakip olarak ortaya çıkan elektrik tahrikli gemi konseptinin geleneksel sistemlere karşı birçok avantaj ve dezavantajı mevcuttur. Mevcut avantaj ve dezavantajlar karşısında elektrik tahrikli geminin dağıtım sisteminin AC mi yoksa DC mi olacağına karar vererek optimum dağıtım şebekesini bulmak gerekmektedir.

Savaş gemileri için hayati öneme sahip olan sessizlik yakıt hücresi teknolojisiyle önemli bir azalma gösterecektir.

3. TOPRAKLAMA

Topraklama çeşitli amaçlar için yapılır. Ana görevi personeli şoktan korumak ve cihazları aşırı topraklama hatası gerilimini önleyerek ve topraklama hata akımını sınırlayarak yalıtım hasarını önlemektir. Topraklamanın ikinci amacı bir toprak hatası durumunun meydana geldiğini tespit etmektir. Topraklama tasarımı genellikle toprak hatası durumunda güç kaynağını sistemden çıkarma prensibine dayanır [15].

3.1. Topraklamanın Tanımı

Topraklı şebekeler şebekenin en az bir noktasından toprağa bağlanmış şebekedir [16].

Topraksız şebeke yıldız noktası yalıtılmış şebeke olup bu şebekelere izole şebeke de denilmektedir. İzole şebeke hattı uzun ve boyutları büyük olan şebekelerde problemlere sebep olmaktadır. Burada en çok karşılaşılan problem sistem kısa devre olduğunda ortaya çıkan arktır. Bunun sonucu olarak ekipmanlar zarar görmekte ve dağıtım şebekesinin geri kalan kısmı ise ark nedeniyle oluşan yüksek genlikli gerilimden etkilenmektedir.

Yıldız noktası topraklanmış şebekeler iki grupta incelenir. Bunlar yıldız noktası doğrudan topraklanmış şebekeler ve yıldız noktası empedans üzerinden topraklanmış şebekelerdir.

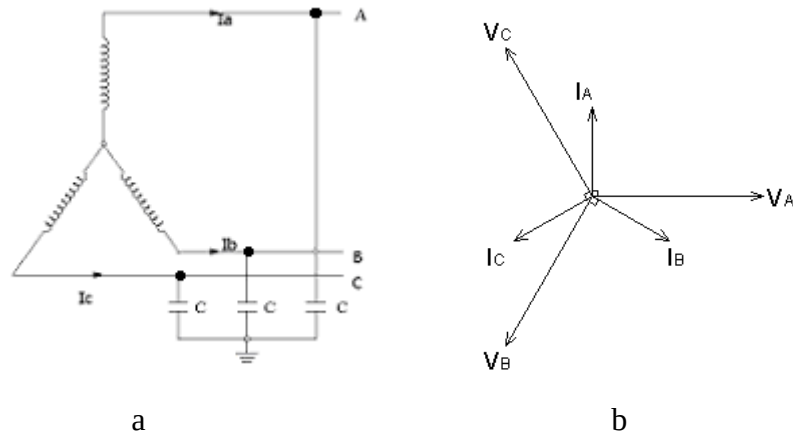
Güç sisteminde kullanılan bir diğer topraklama metodu ise toprak noktasının kompanze edilmesidir. Toprak noktası kompanze edilmiş şebekelerde nötr ile toprak arasında, değeri izole sistemde meydana gelen tek faz toprak arasında akan kapasitif kısa devre akımını kompanze edecek kadar olan bir reaktör konulan şebekedir.

Topraklama metotları detaylı olarak incelenecektir.

3.1.1. Yıldız Noktası Yalıtılmış Şebekeler

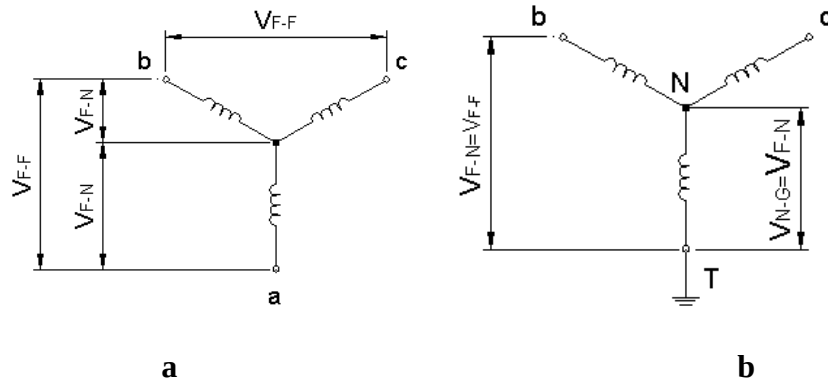
Transformatörlerin ve jeneratörlerin yıldız noktaları ile yıldız noktası oluşturan öteki tesis bölümlerinin işletmenin topraklama tesisine bağlanmamış olan şebekelerdir [16].

Yıldız noktası yalıtılmış şebekelerde herhangi bir yük bulunmaması durumunda dahi sistemden bir akım çekilmektedir. Hat kapasitesi üzerinden akan bu akım şarj akımı olarak isimlendirilmektedir. Hattın mükemmel olarak çaprazlandığı kabul edilirse dengeli durumda iletim hattının toprakla olan kapasitesi her faz için aynıdır. Bu durumda kapasiteler üzerinden akacak olan şarj akımları da birbirine eşittir. Dengeli durumda nötr potansiyeli toprak potansiyeline eşittir. Yıldız noktası yalıtılmış şebekede tek faz toprak kısa devre öncesi şarj akımları ve fazör diyagramı Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Şekildeki kapasitörler hattın toprakla olan kapasitelerini göstermek için verilmiştir.

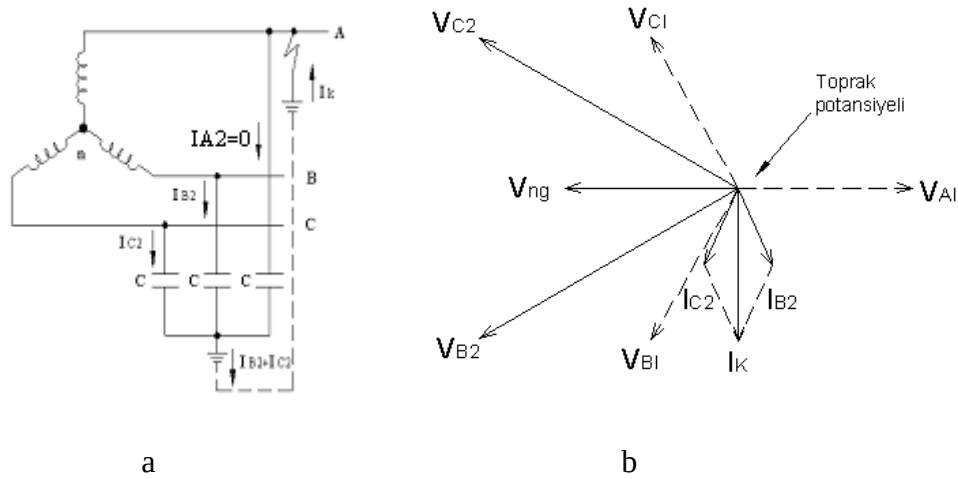


Şekil 3.1. Yıldız Noktası Yalıtılmış Şebekede Tek Faz Toprak Kısa Devre Öncesi

Şekil 3.3'de görüldüğü gibi meydana gelebilecek bir toprak arızasında kısa devre akımı devresini hat kapasiteleri üzerinden tamamlayacaktır. Toprak arızaları nötr kaymasına ve aşırı gerilimlere sebep olmaktadır. Şekil 3.2'de yıldız noktası yalıtılmış şebekede faz ve nötr gerilimlerinin tek faz toprak kısa devre öncesi ve sonrası gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Yıldız Noktası Yalıtılmış Şebekede Faz ve Nötr Gerilimleri; (a) Tek Faz Toprak Kısa Devre Öncesi; (b) Tek Faz Toprak Kısa Devre Sonrası



Şekil 3.3. Yıldız Noktası Yalıtılmış Şebekede Tek Faz Toprak Kısa Devresi Esnasında; (a) Şarj Akımları; (b) Fazör Diyagramı

Şekil 3.3'de görüldüğü gibi toprak arızaları nötr kaymasına ve aşırı gerilimlere sebep olmaktadır. İlk bakışta üç fazlı yıldız noktası yalıtılmış bir şebekede faz-toprak arası geriliminin 1.73 katından fazla olmayacağı ve elektrikli cihazların izolasyon seviyesinin bu gerilime rahatlıkla dayanabileceği düşünülebilir. Ancak yıldız noktası yalıtılmış şebekede faz toprak arasındaki kapasite önem kazanmaktadır. Kısa devre sonrasında sistem kapasitesi yüksek frekansta şarj-deşarj olmaya başlar. Bu yüksek frekanslı salınım, sağlıklı fazların geriliminin yükselmesine neden olur.

Yıldız noktası yalıtılmış şebekede toprak kısa devresi akımının genliği sistemin faz-toprak kapasitesi ile orantılıdır. Hat uzunluğunun artması ve/veya yer altı kablosu kullanılması toprak kısa devresi akımının artmasına neden olacaktır. Toprak kısa devre akımının artması ve kısa devrenin süresiz olması koşulunda süresiz ark hatası meydana gelmektedir. Toprak arızası arkın periyodik olarak tutuşması ve sönmesi şeklinde kendini göstermektedir. Kısa devre akımının boyutu süresiz arkın tekrarlanma sayısını arttırmaktadır. 5 A'lık toprak kısa devresi akımı, süresiz arkın tutuşması için gerekli eşik geriliminin aşılması için yeterlidir [16,17]. Süresiz ark istenmeyen bir durumdur. Ekipmanların zarar görmesine ve kısa devre mahallinde yangına neden olur. Sağlıklı fazlarda oluşan aşırı gerilimler sebebiyle izolasyon hataları meydana gelir ki bu da yeni kısa devrelere neden olur. Sistemde oluşan bu tarz sürekli tek faz toprak kısa devrelerin tekrarlanması kabul edilemez dolayısıyla hata yerinin hızlı bir şekilde bulunması ve bu kısmın sistemden ayrılması gerekir. Ancak yıldız noktası yalıtılmış şebekede tek faz toprak kısa devresi sonucunda ortaya çıkan kapasitif akım, koruma cihazlarını devreye sokmaya yeterli değildir.

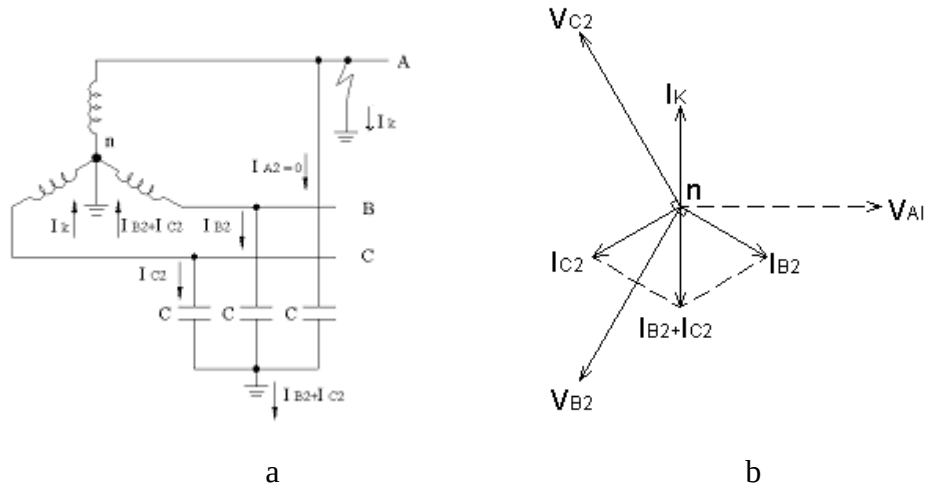
3.1.2. Yıldız Noktası Doğrudan Doğruya Topraklanmış Şebekeler

Bir yada birden fazla transformatörün veya yıldız noktasını oluşturan öteki tesis bölümlerinin yada jeneratörlerin yıldız noktası, doğrudan doğruya topraklanmış olan ve şebekedeki koruma düzeni, herhangi bir noktadaki toprak hatasında otomatik açmayı sağlayacak biçimde yapılmış olan şebekelerdir [16].

Yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış şebekelerde toprak kısa devresi oluştuğunda hata akımının dönüş yolundaki empedans değerinin az olmasına bağlı olarak kısa devre akımının genliği çok büyük olmaktadır. Bu şebekelerde arıza akımı çok yüksek değerlere ulaştığı için toprakla olan kapasitesi ve şarj akımları ihmal edilebilecek seviyededir. Yüksek genlikli kısa devre akımı hata mahallinde yangına veya erimeye neden olabilir. Bu nedenle hatanın hızlı bir şekilde duyulması ve izole edilmesi gerekmektedir. Büyük genlikli toprak kısa devre akımı, aşırı akım ve/veya toprak kısa

devresi röleleri tarafından algılanır ve hatalı fazın veya hattın tümünün sistemden ayrılması sağlanır. Yıldız noktası yalıtılmış şebekeye oranla arızanın duyulması ve sistemden izole edilmesi kolaydır. Ayrıca yıldız noktası yalıtılmış şebekenin en önemli iki sakıncası olan ark ve aşırı gerilimlerin önüne büyük oranda geçilmiş olunur.

Tek faz toprak kısa devresi sonrasında şarj akımları ve gerilimlere ait fazör diyagramı Şekil 3.4.' de verilmiştir.



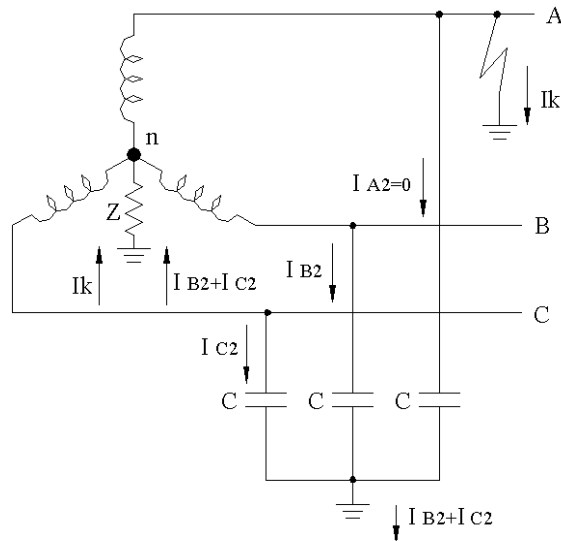
Şekil 3.4. Yıldız Noktası Doğrudan Doğruya Topraklanmış Şebekede Tek Faz Toprak Kısa Devresi Sonrasında; (a) Şarj Akımlarının Dağılımı; (b) Akım ve Gerilim Fazör Diyagramı

Yıldız noktası doğrudan doğruya topraklı şebekede meydana gelene tek faz toprak kısa devresi akımının genliği, şebekenin yapısına bağlı olarak, üç faz kısa devre akımının %125'i kadar olabilmektedir [18]. Bu hatanın hızla temizlenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte hızlı hata temizleme ihtiyacı, geçici toprak arızalarından sonra hattın enerjisiz kalmasına neden olmaktadır.

3.1.3. Yıldız Noktası Empedans Üzerinden Topraklanmış Şebekeler

Bir yada birden fazla transformatörün veya yıldız noktasını oluşturan öteki tesis bölümlerinin yada jeneratörlerin yıldız noktası, akım sınırlayan direnç yada reaktans bobini üzerinden topraklanmış olan ve şebekedeki koruma düzeni, herhangi bir noktadaki toprak hatasında otomatik açmayı sağlayacak biçimde yapılmış olan şebekelerdir [16].

Yıldız noktası empedans üzerinden topraklı şebekede tek faz toprak kısa devresi sonrasında şarj akımlarının dağılımı Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5 Yıldız Noktası Empedans Üzerinden Topraklanmış Şebekede Tek Faz Toprak Kısa Devresi Sonrasında Şarj Akımlarının Dağılımı.

Yıldız noktası empedans üzerinden topraklanmış şebekeler iki grupta ele alınabilir. Bunlar;

- Direnç üzerinden topraklanmış şebekeler
- Reaktans üzerinden topraklanmış şebekeler

Direnç üzerinden topraklanmış şebekelerde nötr noktası ile toprak arasına direnç yerleştirilir. Bu direncin amacı yıldız noktası doğrudan doğruya topraklı şebekede karşılaşılan, yüksek genlikli arıza akımını sınırlamaktır. Bu sayede

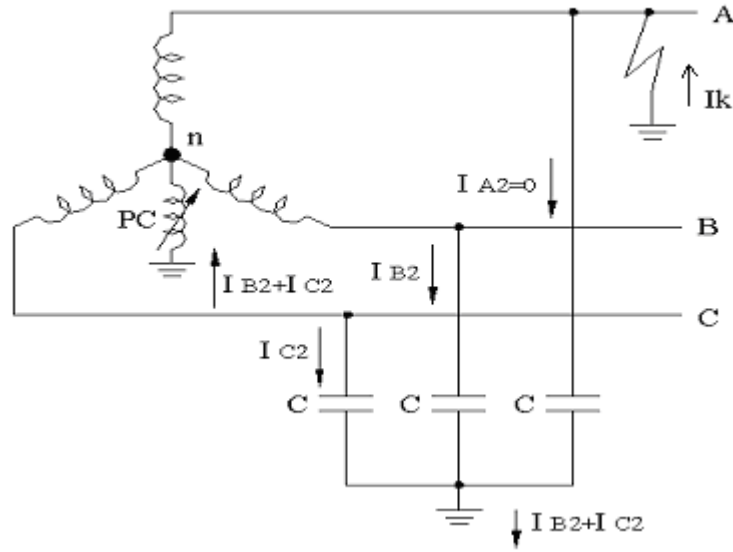
- Hata mahallinde yangın ve erime riski azalmıştır,
- Devre ve hata akımı taşıyan cihazlardaki mekanik zorlanma azalmıştır,
- İnsanlarda adım geriliminin aşılması sonucu görülen elektrik şoku tehlikesi azalmıştır.

Topraklama direnci, nötr toprak arasına doğrudan yerleştirilebileceği gibi, primeri nötr toprak arasına yerleştirilmiş transformatörün sekonderine veya yıldız üçgen topraklama transformatörünün üçgen sargıları arasına yerleştirmek suretiyle dolaylı olarak da bağlanabilir [19, 20].

3.1.4. Toprak Teması Kompanze Edilmiş Şebekeler

Reaktans üzerinden yapılan topraklamada reaktans değeri sistemin toprakla olan kapasitesine eşit olursa tek faz toprak kısa devresi için sıfır sıra devresi rezonansa girer ve sıfır sıra empedansı çok yükselir. Özel değerdeki bu reaktör Peterson bobini olarak anılmaktadır [16, 21]. Bu metod “Peterson Bobini Üzerinden Topraklama” olarak bilinmektedir. Rezonans Topraklama, Ark Söndürücü Bobin Topraklaması (Arc suppression coil earthing-U.K.), Toprak Kısa Devresi Yatıştırıcısı (Ground Fault Neutraliser-U.S.A.) olarak da anılır.

Toprak teması kompanze edilmiş şebekede tek faz toprak kısa devresi sonrasındaki şarj akımlarının dağılımı Şekil 3.6’da verilmiştir



Şekil 3.6. Toprak Teması Kompanze Edilmiş Şebekede Tek Faz Toprak Kısa Devresi Sonrasında Şarj Akımlarının Dağılımı

Peterson bobini basit demir nüveli, ayar kademeli bir reaktördür. Rezonans topraklama, yıldırım, hayvan veya ağaçtan kaynaklanan geçici kısa devrelerin etkisini elimine eder ve sistemin tek faz toprak kısa devresine karşı olan mukavemetini artırır. Tek faz toprak kısa devresinin neden olduğu gerilim düşmelerini azaltması ve oluşabilecek arkları engellemesi diğer avantajlarıdır.

Toprak temasını kompanze etmenin iki ana avantajı vardır. Birincisi tek faz toprak arızası sırasında oluşan akımı başka hiçbir akım kesiciye ihtiyaç duymadan söndürmesi, ikincisi ise, tek faz toprak arızası sırasında akan kapasitif kısa devre akımını tamamen kompanze etmesidir. Bu sayede şebeke kısa devre altında da işlemeye devam edebilmektedir.

Peterson bobininin bir dezavantajı hat kapasitesinin her fazda eşit olabilmesi için hatların çaprazlanması gerekliliğidir. Peterson bobininin en önemli dezavantajı ise şebekede yapılan her değişiklikten sonra, örneğin hat devreye alınması ve devreden çıkartılması gibi, bobin değerinin tekrar ayarlanmasıdır. Yarı iletken teknolojisindeki

son gelişmelerin ışığında kendi reaktans değerini yaptığı ölçümler ile ayarlayabilen bobinler geliştirilmiştir. Bu da toprak teması kompanze edilmiş şebekeleri tekrar gündeme getirmektedir [22].

3.2. Gemi Sistemlerinde Topraklama

Güç dağıtım sistemlerinin personel güvenliği ve cihazların korunması amacıyla topraklanması sahilde kurulmuş endüstriyel tesislerde rutin bir uygulamadır. Ancak denizcilik uygulamalarında topraklama gemi servis yükünü koruyabilmek için yapılmaz. Geminin pervane yükünü karşılamak için enerji ihtiyacı arttıkça yüksek gerilimli sistemlere gerek duyulur [23].

Gemilerdeki topraklama seçenekleri detaylı bir şekilde incelenecektir.

3.2.1. Gemilerde Topraklama Seçenekleri

Bir topraklama tasarımının çalışma süresinin yanında topraklamanın yeri, miktarı ve bağlanabilirliği yüksek gerilimdeki güç dağıtım sistemi uygulamalarında değiştirilebilen tasarım opsiyonlarıdır. Güç kaynağı bir topraklama hatası durumunda zarar görmesi en muhtemel cihaz olduğundan (topraklama hatası olayına maruz kalan cihaz haricinde) topraklama her bir güç kaynağına uygulanır. İlk zamanlarda uygulanan yüklerin topraklanması artık kullanılmamaktadır çünkü yük ayrıldıktan sonra güç kaynağı topraksız kalabilir.

Güç sisteminin topraklanması için çeşitli seçenekler vardır. Örneğin, topraklama yeri anahtar panelinde veya güç kaynağında olabilir. Sistem tasarımcısının önündeki bir diğer opsiyonda sistemde bir yada daha fazla topraklama noktası kullanılmasıdır. Birden fazla topraklama noktası, tipik olarak birçok güç kaynağı varsa yada sistem parçalara ayrılmışsa kullanılır.

Çok noktalı dirençli veya empedans topraklaması hakkındaki önemli bir husus; deaktive edilecek bağımsız olarak anahtarlanmış topraklamalar için potansiyele yada koruyucu cihaz ayarlarına etkisidir. O halde çok noktalı topraklama kullanılacaksa; bir topraklama hatası olduğunda bakım esnasında ekipmanın yalıtılmış halde kalacağını güvence altına alan bağlantı kesme linkleri hariç topraklama noktaları cihaza göre belirlenir.

Çok noktalı topraklama ayarları iki şekilde sınıflandırılır. Tercih edilen metot korunacak sistem parçası yada ekipmanın kapasitif şarj ekipmanı için direnç yada empedans uygulamasıdır. Bu yaklaşımda ekipmanlar yada sistem parçaları, sistem kendisini yeni konfigürasyonun kapasitif şarj akımına ayarlayacağından koruyucu ayarların değişmesi göz önüne alınmaksızın birbirine eklenip çıkarılabilir.

Diğer bir yaklaşım her bir direnç yada empedansı tüm sistem için kullanmaktır. Tüm sistem birbirine bağlandığında, koruyucu cihazların ilave toprak arızası yollarına tekabül eden daha düşük değerlere reset edilmesini yada gereksiz topraklama noktalarının çıkarılmasını gerektirir. Eğer aynı sistem parçalı modda çalıştırılırsa koruyucu cihazların orijinal ayarları kabul edilebilir olacaktır ancak topraklama yollarının sayısına bağlı olarak daha büyük topraklama hatası akımına izin verilmiş olacaktır.

Bir çok jeneratörün topraklamalarının benzer olduğu güç dağıtım sistemi tasarımlarında daha iyi bir yaklaşım; güç sisteminin ana anahtar kutularında daha az topraklama noktası kullanmaktır. Jeneratörlerde değil de anahtar kutusunda topraklama yapılması, kapasitif şarj akımlarının güç kaynaklarından çok kablolardan ve yüklerden oluştuğu durumlarda daha mantıklıdır (yani güç kaynağı olarak kullanılan transformatör yada jeneratör konfigürasyonu tüm sistem üzerinde minimum etkiye sahiptir).

Topraklama tasarımının diğer bir ilginç yanı güç konvertörlerinin kapasitif şarj akımı özelliklerine bağlıdır. Motor yükleri güç kontrolörleri tarafından kontrol edilir ve

bu güç konvertörleri transformatör izolasyonu olmadan sisteme doğrudan bağlandıklarında, Tablo 3.1'de gösterildiği gibi çok daha fazla kapasitif şarj akımı oluşur.

Tablo 3.1 Çeşitli Teçhizatlarına Kapasitif Şarj Akımına Ait Gerilim Seviyeleri [23]

Kablolar (3 İletkenli)	5 KV	15 KV
	0.23 A	0.71 A
	her 1000 FT	
Yüksek hızlı jeneratörler	0.02 A/MW	0.06 A/MW
Düşük hızlı jeneratörler	0.08 A/MW	0.25 A/MW
Güç konverterleri		
Cyclo tipi	0.03 A/MW	0.10 A/MW
PWM	0.09 A/MW	0.26 A/MW
Senkron (LCI)		
by-pass kondansatörsüz	0.47 A/MW	1.41 A/MW
by-pass kondansatörlü	0.28 A/MW	0.84 A/MW
AC motorlar	0.05 A/KHP	0.15 A/KHP

Güç konvertörleri akım sınırlama kabiliyeti sunduklarından, güç konvertörü ve onun motoru arasında, mevcut kablo uzunluğuna topraklama hatası koruması gerekli değildir. Ne var ki, eğer bir PWM güç konvertörü, topraklanmış bir güç konvertörüne doğrudan bağlanırsa (yeni güç kaynağından transformer yalıtımı olmadan) bir

topraklama hatası, konvertörün dengesi üzerine etki eden gerilim kayma etkisinden dolayı kendini korumak için kapatmasına yol açacaktır. PWM güç konvertörünün kendine has bu özelliği; konvertörün taşıyıcı frekans ortak mod akımını taşıması için DC linkteki nötr noktasında topraklanmasının sonucudur.

3.2.2. Ticaret Gemilerinde Topraklama Uygulamaları

Hiç bir Amerikan mevzuatı, orta gerilim seviyelerindeki gemi güç dağıtım sistemleri için herhangi bir tipte topraklama şart koşmaz. İlaveten, hiç bir Amerikan mevzuatı topraklama hatası koşulları altında sürekli çalışan elektrik santralı için süreklilik şart koşmaz çünkü birbirlerine bağlanabilen jeneratörler ve anahtar kutularının minimum miktarında uygun elektrik santralı sürekliliği sağlanmaktadır. Aslında Amerikan mevzuatı, gemi elektrik tahrik sisteminde bir topraklama hatası tespit edilir edilmez ortadan kaldırılmasını talep eder ve topraklama hatası akımlarının 20 A'i geçmemesini belirtir [23].

Jeneratörlerin topraklama hatasından korunmak için devreden çıkarılması, gemi servis yükleri için sürekli güç sağlaması gereken bir entegre gemi elektrik santralı için kabul edilemez bir durumdur.

Yüksek empedans topraklaması, gemilerde uzun zamandır kullanılan topraklamasız düşük gerilim sistemlerinin yüksek güvenilirliğini en iyi simüle eden sistem olduğu için, geminin tüm elektrik ihtiyacını entegre gemi elektrik santralı için en makul çözümdür.

Yüksek empedans topraklamalarında, topraklama hatası akımının 10 A üstünde çıkmasının mümkün olmamasının tavsiye edilmesi dikkate alındığında, yüksek empedans topraklaması ticari gemi uygulamalarının çoğu için etkili olacaktır [23]. Tablo 3.2'de tahrik yükleri için transformatör yalıtımı ile ve yalıtım olmadan iki orta gerilim sınıfında, temel ticaret gemisi tasarımı için sistem kapasitif şarj akımına karşı sistemin hassaslığını gösterir.

Tablo 3.2. Ticari Gemilerdeki Kapasitif Şarj Akım Değerleri

SİSTEM GERİLİMİ	GEMİ TİPİ VE TOPLAM GÜCÜ(MW)	ŞARJ AKIMI	
		TAHRİK KONFİGÜRASYONU	
		TRASFORMATÖR YALITIMLI	YALITIMSIZ
5000 V	Servis gemisi - 5	1.3 A	4.6 A
	Ticari gemi – 10	2.7 A	7.4 A
	Tanker – 15	3.8 A	10.8 A
	Buzkıran - 20	5.4 A	5.4 A
	Yolcu gemisi - 30	7.2 A	21.2 A
15000 V	Servis gemisi – 5	3.9 A	13.8 A
	Ticari gemi – 10	8.1 A	22.2 A
	Tanker –15	11.4 A	32.4 A
	Buzkıran - 20	16.2 A	16.2 A
	Yolcu gemisi - 30	21.6 A	63.1 A

Bu doğrultuda, yüksek empedanslı topraklamanın, tahrik yükleri için transformatör yalıtımının temin edilmediği veya yüksek gerilim seviyesine sahip daha büyük güç sistemi olan ticaret gemilerinde kullanılması sorgulanabilir bir durumdur. Eğer ticaret gemilerinin gemi güç sistemleri aşırı kapasitif şarj akımı üretirse, elektrik santralının, yüksek empedans topraklama hatası akımı sınırlamalarını getirecek makul sistem parçalarına ayrılması gerekecektir.

Ümit edilir ki bir gemi elektrik sisteminin bu şekilde parçalara ayrılması, düşük rezistans topraklamanın kullanılmasını engelleyecek şekilde sistem kapasitif şarj akımını düşürecektir. Normalde ihtiyaç olmamakla beraber, propulsion yüklerinin

transformatör yalıtımı mümkün değilse sistem kapasitif şarj akımını düşürmek üzere bir by-pass kapasitörü kullanılabilir.

Topraklama noktalarının sayısını, yerlerini (tüm güç kaynakları ve sviçbordların çoğu) ve direnç büyüklüğünü (tüm sistem için veya belli bir ekipman yada sistem bölgesi için) ilgilendiren diğer yüksek empedans topraklama tasarım hususları tasarımcının tercihin ve gemideki uygulama sırasında yapılacak tadilatlarla bağlıdır. Servis gemileri, destek gemileri, kargo gemileri ve tankerleri gemi tahrik yüküyle karşılaştırıldığında çok düşük gemi servis yüküne sahiptirler ve bu gemiler jeneratörde topraklama yaparlar. Bu gemiye güç veren daha az sayıdaki jeneratörden ve yüklerle kablolardan gelen minimal kapasitanstan olur. Buz kırıcıları (USCG HEALY-WAGB 20) veya daha fazla süreklilik isteyen diğer gemilerde tüm sistem için boyutlandırılmış birçok anahtar kutusunda topraklama yapılması tercih edilebilir. Bu tüm sistem topraklamasının olmamasına karşı bir önlem teşkil eder. Uzun yol gemilerinde (cruiseships) birkaç yüksek gerilimli servis motoru haricinde ana yüklerin çoğu ana anahtar kusutusunun yanındaki bir transformatör aracılığıyla yalıtıldığından jeneratörler sistem kapasitansı üzerinde en fazla etkiye sahiptir. Sonuçta uzun yol gemilerinde genellikle her jeneratör ayrı ayrı topraklanır.

Gemi geri besleme servis transformatörleri de dahil olmak üzere sayıca çok fazla jeneratör varsa topraklama gemi anahtar kutusundan yapılabilir.

3.2.3. Harp Gemilerinde Genel Topraklama Uygulamaları

Harp gemilerinde orta gerilim seviyelerindeki güç dağıtım sistemlerinin tasarımı ticaret gemilerine çok benzer. Ancak harp gemileri, silah sistemleri ve daha büyük tahrik yükleri nedeniyle daha fazla güce ihtiyaç duyar. Çatışma hasarı sonrasında hayata kalabilme özelliği, daha yüksek süreklilik derecesi ihtiyacı, uzun süreli görevlerde minimal bakım gerekliliği ticaret gemileriyle aradaki anahtar farklılıklardır. Sonuç olarak harp gemilerinin çoğunun topraklama tasarımı ticaret gemilerine benzer ancak

tasarımda ağırlık, kabul edilebilir bir süreklilik seviyesinin ekonomik olarak elde edilmesinden, daha yüksek güç seviyelerinde maksimum süreklilik ve hayata kalabilme kabiliyetine kayar.

Açıktır ki bir harp gemisinde topraklamanın yitirilmesi ya da hiç topraklamanın olmaması kabul edilemez bir durumdur. Ticaret gemileri için kullanılan yüksek empedans yaklaşımlarının çoğu bu ihtimali jeneratörlerde ve anahtar kutularında birçok topraklama noktası kullanarak bertaraf eder. Bazı yardımcı sınıf gemiler ticaret gemilerinde kullanılan bu topraklama seçeneklerinden birini kullanır. Ancak, harp gemileri harp esnasında hayata kalabilme kabiliyetlerini sürdürebilmek amacıyla, bazı ticaret gemileri gibi sürekliliği maksimum düzeyde tutan bir topraklama tasarımı kullanmalıdır.

3.3. Topraksız Sistemlerdeki Ark Arızası

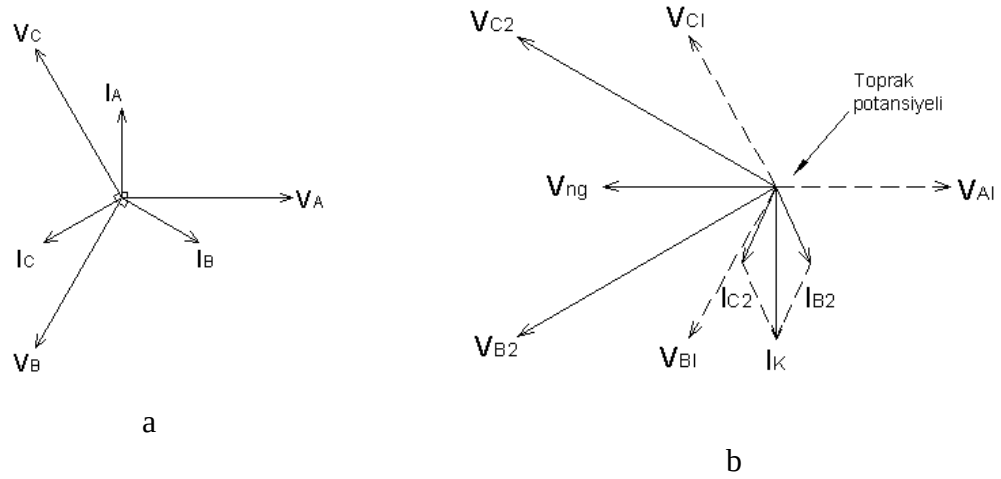
Dengeli durumdaki üç fazlı topraksız sistemler doğal olarak hat ile toprak arasında oluşan elektrostatik bir kapasitansa sahiptir. Topraksız bir gemi sisteminde; eğer gemi gövdesi ile hat arasında bir kısa devre meydana gelirse sağlıklı diğer fazların gerilimlerinde yükselme meydana gelir. Şekil 3.3.a'da üç fazlı topraksız sistemde tek faz toprak arızası gösterilmektedir.

Tek hattın topraklı sistem ile meydana getirdiği arızada toprakla hat arasında oluşan kapasitans üzerinden bir kısa devre arıza akımı akar. Bu arıza akımının dengeli haldeki değeri simetrik bileşenler tekniğiyle hesaplanabilir.

$$I_C = \frac{3V_f}{X_{c1} + X_{c2} + X_{c0}} \quad (3.1.)$$

Burada V_f arıza noktasındaki arıza öncesi gerilimi X_{c1} , X_{c2} , X_{c0} ise arıza noktasından görülen sıra empedanslarıdır.

Arızalı ve sağlıklı sistemlerdeki phasor diyagramı Şekil 3.8. 'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Akım ve Gerilim Phasor Diyagramları (a) Sağlıklı Durum, (b) Arıza Durumu

V_{A1} : Arıza öncesi A fazı gerilimi

V_{B1} : Arıza öncesi B fazı gerilimi

V_{C1} : Arıza öncesi C fazı gerilimi

V_{B2} : Arıza sonrası B fazı gerilimi

V_{C1} : Arıza sonrası C fazı gerilimi

I_{B2} : B fazı sızıntı akımı

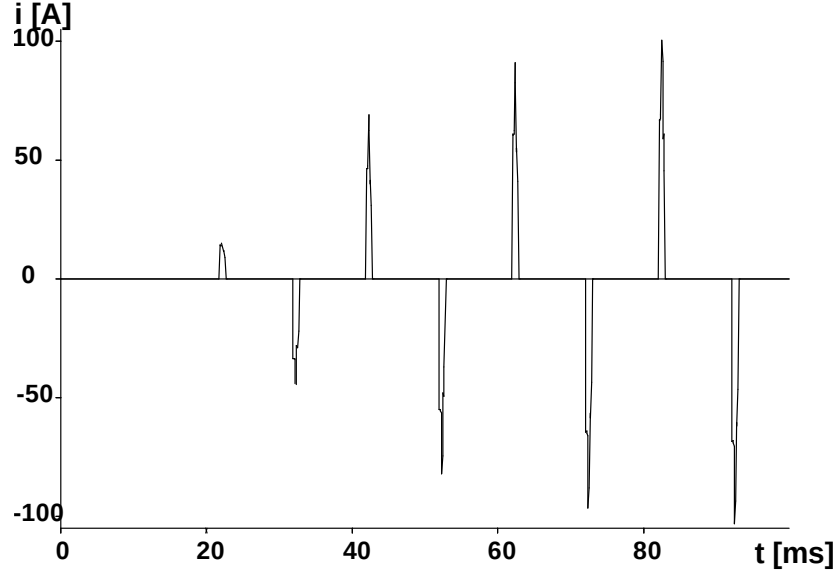
I_{C2} : C fazı sızıntı akımı

I_k : B ve C fazında oluşan toplam sızıntı akımı

V_{ng} : Arıza sonrası faz toprak gerilimi

11 kV'luk havai hatlı jenerik topraksız sistemde yapılan tek faz toprak arızasında oluşan ark ve fazlardaki gerilim değişimi Şekil 3.8, 3.9, 3.10'de sırası ile gösterilmiştir. Jenerik sistemin gerilimi 11 kV olup 10 km uzunluğundadır [18].

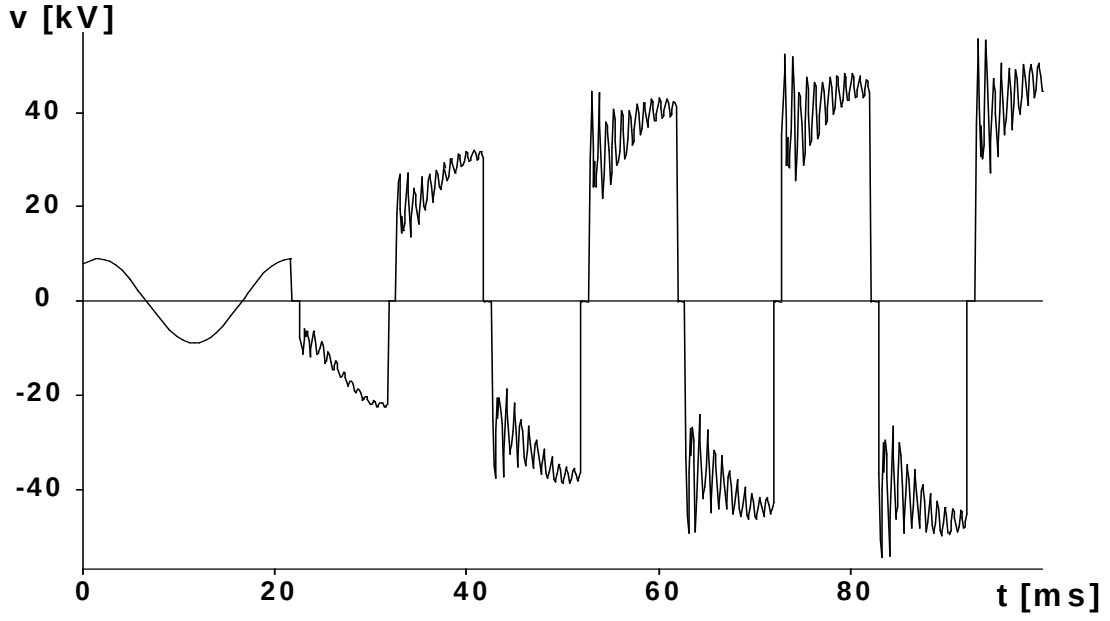
Topraksız sistemde tek fazın toprağa değmesiyle sistemde mevcut bulunan kapasitanstan dolayı oluşan ark Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Topraksız Sistemde Oluşan Ark Arızasında Akan Arıza Akımı

Şekil 3.8'de topraksız sistemde oluşan ark arızasında akan arıza akımı ilk anda 20 A olup 10 ms sonra geçen akım 50 A çıkmakta Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi zamanla artış göstermektedir.

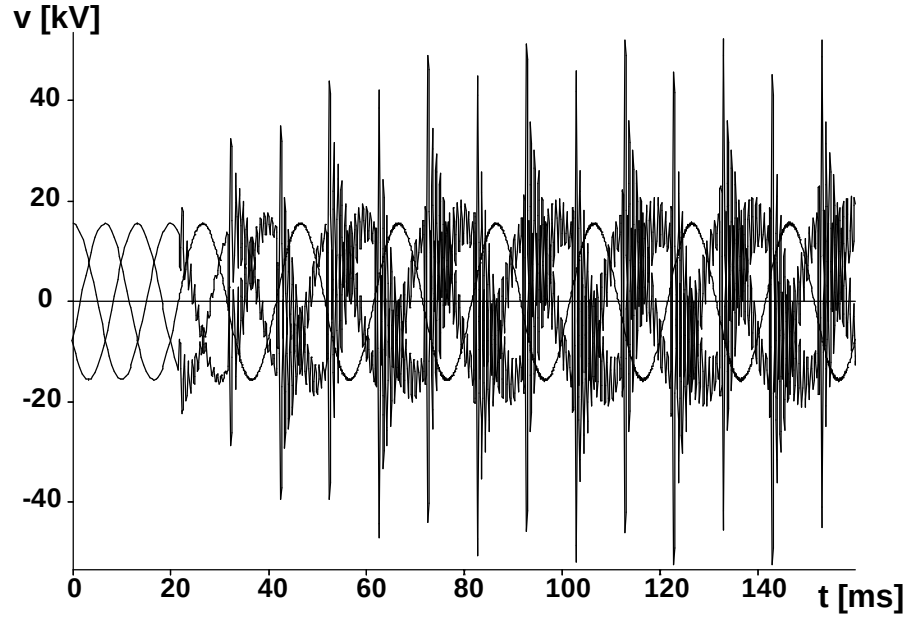
Oluşan ark arızası sırasında tek faz toprak arızasında akan akım Şekil 3.9'da görüldüğü gibi gittikçe artığundan arızalı fazdaki gerilimin tek faz toprak arızasından akan sızıntı akımının artmasına paralel olarak artığı Şekil 3.10'de gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Topraksız Sistemde Oluşan Ark Arızasında Arızalı Fazdaki Gerilim Değişimi

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi ark arızası olduğu ilk anda faz gerilimi 15 kV iken arkın devam ettiği sürede ikinci parlamanın olduğu 30 ms'de faz gerilimi 30 kV çıkmakta ve ark devam ettikçe faz gerilimi artış göstermektedir.

Topraksız sistemde oluşan ark arızasında faz faz gerilim değişimi Şekil 3.10' de gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Topraksız Sistemde Oluşan Ark Arızasında Faz Faz Gerilim Değişimi

Arıza süresince sağlıklı fazlardaki yüksek gerilim izolasyonlarda delinmelerine ve zararlara neden olmaktadır.

Sonuç olarak bu gibi sistemlerde kalıcı tek faz toprak arızasında hızla ortaya çıkan ve kabul edilemez izolasyon arızasına karşı önlemler alınmalıdır. Bu nedenden dolayı yüksek gerilimdeki tek hat toprak arızası durumundaki performansı araştırılmalı ve özel önlemler alınmalıdır [24, 25, 26].

Dördüncü bölümde bu problemlerin izole çalışan gemi sistemleri için de geçerli olup olmadığına dair çalışma yapılacaktır.

3.4. Sonuç

Topraksız sistemlerde doğal olarak hat ile toprak arasında oluşan elektrostatik bir kapasitansa sahiptir. Topraksız sistemde kısa devre meydana geldiğinde arızalı fazın gövdeye düzgün temas etmemesinden dengesiz bir ark oluşur. Toprak arızasında arıza akımının değerinin yükselmesi doğal olarak ark arızasının oluşmasına neden olur. Oluşan ark arızası istenmeyen bir durumdur. Çünkü bu arıza cihazlara zarar vermektedir.

Arkın oluştuğu noktada yanma meydana geldiği gibi sağlıklı fazlarda da gerilimdeki yükselmeye bağlı olarak izolasyon tahribatına neden olur. Bu nedenden dolayı topraksız sistemler dizayn edilirken yeterli izolasyona sahip olmalıdır.

Yıldız noktası empedans üzerinden topraklanmış şebekelerde kullanılacak empedans değerine göre kısa devre akımı ve gerilimler istenilen sınırlar içinde tutulabilmektedir.

Topraksız sistemdeki tek faz toprak arızasında arkı tutuşturabilecek eşik değer olan 5 A aşıp aşmadığı kontrol edilmelidir. Bazı büyük sistemlerde bu değerin aşıldığı pratik olarak görülmüştür.

Topraklanmanın ana amacının kısa devre esnasında değerleri değişen kısa devre akımının ve gerilimlerin sınırlanması olduğu görülmektedir. Yıldız noktası yalıtılmış veya doğrudan doğruya topraklanmış şebekeler özel durumlardır. Yıldız noktası doğrudan doğruya topraklanmış şebekelerde kısa devre akımı çok yüksek değerlere ulaşırken faz gerilimleri aynı kalmaktadır. Yıldız noktası yalıtılmış şebekelerde ise kısa devre akımı koruma cihazlarının algılayamayacağı kadar küçük olmakla birlikte faz gerilimleri şebeke faz faz gerilimine kadar yükselmektedir.

Dördüncü bölümde dört farklı konfigürasyonda iki farklı gerilim seviyesinde tek faz toprak arızası hesaplanacaktır. Ark arızası altında sistem performansına bakılacaktır.

4. SİSTEMİN TANITIMI

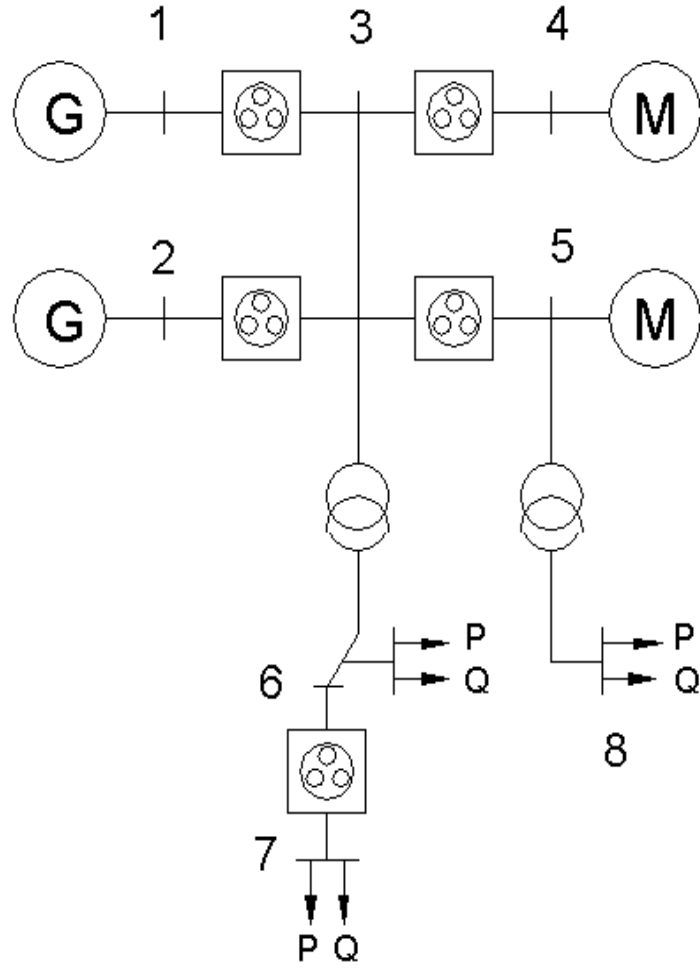
4.1. Giriş

Elektrik tahrikli savaş gemileri için literatürde önerilen çalışmalar arasında uygulanma olanağı en yüksek bulunan dört konfigürasyon seçilmiştir. Seçilen bu konfigürasyonlarda iki farklı gerilim seviyesi üzerinde durulmuştur. Nötr noktası gemi gövdesinden izoleli topraklama sisteminde; konfigürasyonlara iki farklı gerilimde tek faz toprak arızası altında sistemin davranışı gözlenmiştir.

4.2. Konfigürasyonlar

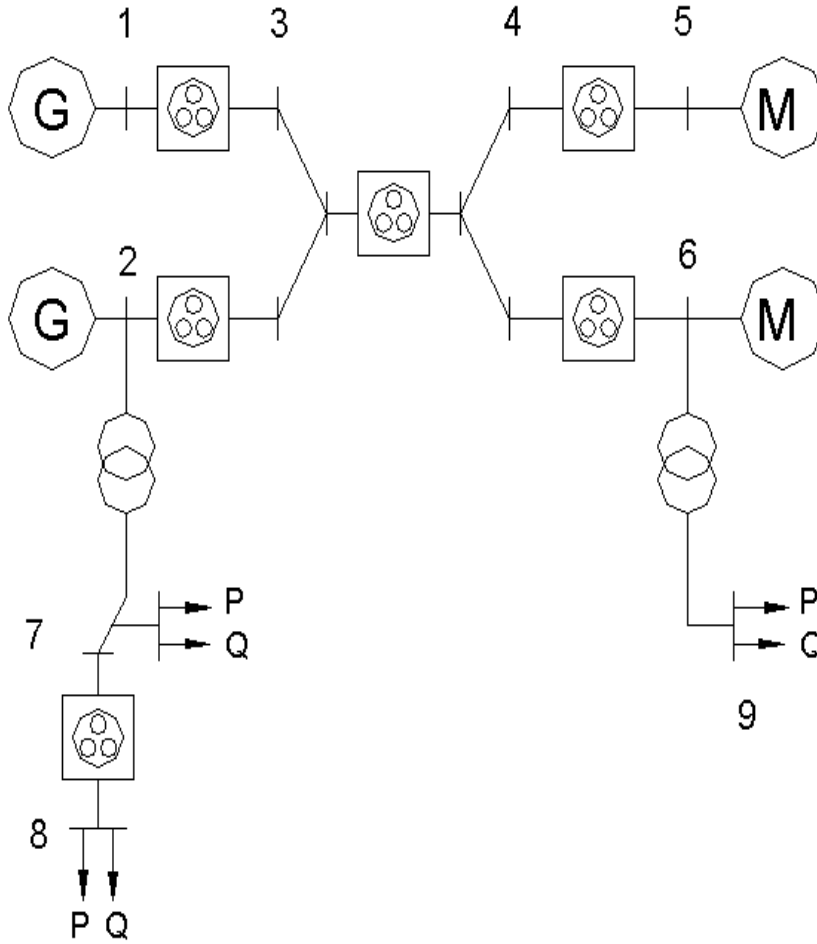
Bu çalışmada 130 m boyunda olduğu varsayılan iki ana tahrik motoru, iki ana jeneratörü, servis yükleri bulunan bununla birlikte alçak gerilim transformatörü/transformatörlerinin bulunduğu elektrik tahrikli gemi modelinin dört farklı konfigürasyonu üzerinde kısa devre ve ark oluşumu EMTP nin (Electro Magnetic Transient Program) ATP (Alternatif Transient Program) versiyon [5] ile topraksız sistemlerde simüle edilerek literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldı. Elektrik dağıtım sistemi her bir konfigürasyon için iki farklı gerilim seviyesi ile alınmış olup bunlar 6.6 kV, 60 Hz ve 15 kV 60 Hz dir

Şekil 4.1,4.2,4.3,4.4'de herbir konfigürasyonun elektrik dağıtım şeması gösterilmektedir.



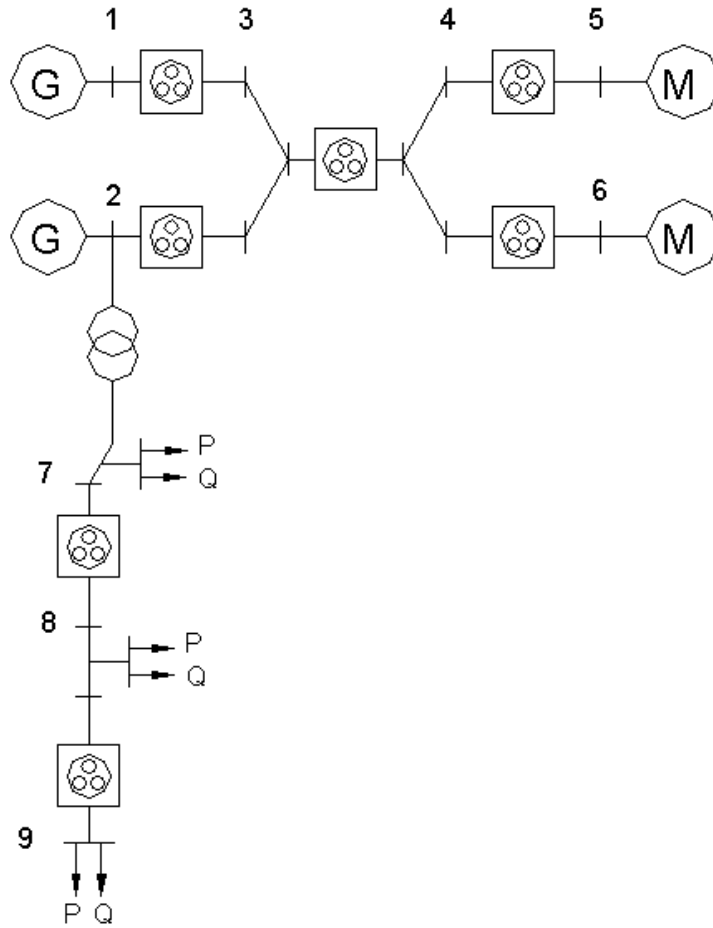
Şekil 4.1. Bir Nolu Konfigürasyonun Elektrik Dağıtım Şeması

Bir nolu konfigürasyonda jeneratör ile tahrik motoru arasındaki mesafeyi azaltmak için gaz türbinleriyle tahrik edilen jeneratörler tahrik motorları gibi geminin kıcına yerleştirilmiş olup servis yükleri iki ayrı transformatör tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 4.3. Üç Nolu Konfigürasyonun Elektrik Dağıtım Şeması

Üç nolu konfigürasyonda gaz türbinleri ile tahrik edilen jeneratörler geminin baş tarafına yerleştirilmiş gerilim düşümünü azaltmak için servis yükleri için gerekli olan enerji iki adet servis transformatörü tarafından sağlanmış olup baş taraftaki yükler için bir adet kıç taraftaki yükleri için bir adet transformatör kullanılmıştır. İngiliz donanması için yapılan elektrik tahrikli firkateyn T 45 in elektrik dağıtım şeması üç nolu konfigürasyonla benzerlik göstermektedir [27].



Şekil 4.4. Dört Nolu Konfigürasyonun Elektrik Dağıtım Şeması

Dört nolu konfigürasyonda gaz türbinleri ile tahrik edilen jeneratörler geminin baş tarafına konulmuş servis yükleri servis transformatöründen tasarruf etmek amacıyla bir adet kullanılmış ve bütün servis yükleri bu transformatörden sağlanmıştır.

Tablo 4.1. Dört Konfigürasyondaki Baralar Arasındaki Mesafeler

Konfigürasyonlar	Baralar arasındaki mesafeler								
	1-3	2-3	3-4	3-5	4-5	4-6	6-7	7-8	8-9
Bir nolu	10m	10m	10m	10m	-	-	100m	-	-
İki nolu	10m	10m	100m	-	10m	10m	-	50m	50m
Üç nolu	10m	10m	100m	-	10m	10m	-	50m	50m
Dört nolu	10m	10m	100m	-	10m	10m	-	50m	-

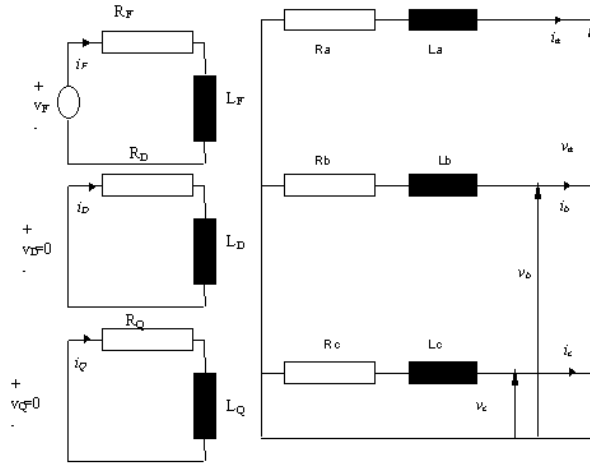
Sistemde kullanılan jeneratör, transformatör, kablo dataları ve yük dataları Tablo.4.2, 4.3, 4.4, 4.5, da verilmiştir.

Tablo 4.2. Jeneratör Verileri

Güç (kVA)	Gerilim (V)	Frekans (Hz)	Kutup sayısı	R_a (Pu)	X_L (Pu)	X_d (Pu)	X_q (Pu)	X_d'' (Pu)
27500	6600	60	2	0.0001	0.0023	2.25	2.10	0.246
X_q'' (Pu)	X_q' (Pu)	T_{do}' (Sn)	X_d'' (Pu)	T_{qo}' (Sn)	T_{do}'' (Sn)	T_{qo}'' (Sn)	X_o (Pu)	HICO (Million kg-m ²)
0.169	2.1	4.48	0.169	0	0.032	0.032	0.13	0.03

Modelleme kullanılan çalışmalarda çalışmanın gerekliliği modelin derecesine, eldeki verilere ve mevcut hesaplama yapabilme kapasitesi ile ilgilidir. Kısa devre anındaki arıza akımını hesaplayabilmek için modelleme yapmak gereklidir. Modelleme derecesinin kısa devre akımı hesaplamalarına olan etkisi ilgili standartlarda ve literatürde geniş şekilde incelenmiştir [28].

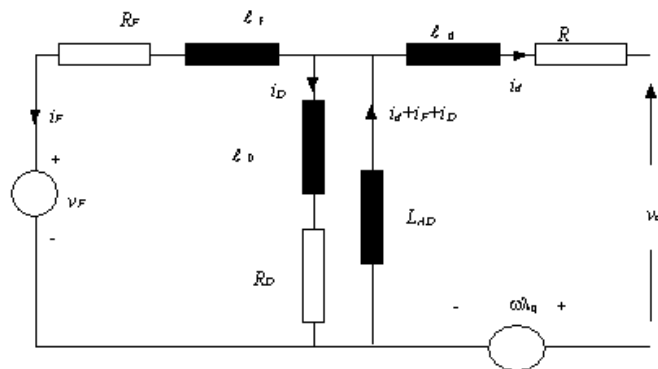
Senkron makinenin dinamik eşdeğer devresi Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Dinamik eşdeğer devre modellemenin temelini oluşturmaktadır.



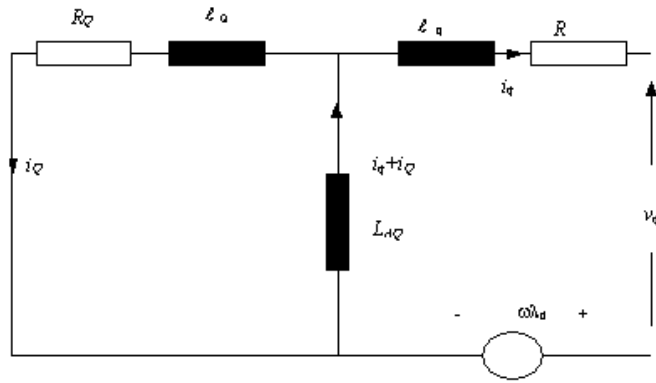
Şekil 4.5. Senkron Makinenin Dinamik Eşdeğer Devresi (Karşılıklı Endüktaslar Gösterilmemiştir)

Şekil.4.5.' de rotor alan sargısı rotor d eksenini ve q eksenini yer aldığı kabul edilen iki adet damper sargısı ile modellenmiştir. Senkron makinenin dinamik eşdeğer devresi üzerinde yapılan hesaplamalarla senkron makinenin q ve d ekseninin eş değer devresi ortaya çıkartılır. Senkron makinenin q ve d ekseninin eş değer devresi Şekil 4.6 ve 4.7'de gösterilmiştir.

Şekil4.6 ve 4.7 geliştirilmiş model 2.1 olarak da isimlendirilmektedir. Model 2.1 çıkık kutuplu makinelerin modellenmesi için çok uygundur.



Şekil 4.6. Eşdeğer Devrenin d Eksenini



Şekil 4.6. Eşdeğer Devrenin q Eksen

Model 2.1 EMTP programının yardımıyla sisteme entegre edilmiştir.

Tablo.4.3. Transformatör Verileri

U_p/U_s (kV)	S_N (kVA)	U_k (%)	P_k (%)	R_d'' (pu)	X_d'' (pu)
6.6/0.44	4000	4	4	0.0025	0.01

Transformatör sadece seri elemanları hesaba katılarak değerlendirildi. Hesaplamaya katılmayan şönt elemanlar kısa devre akımı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığından ihmal edilmiştir.

Tablo.4.4. Kablo Verileri

Kesit alanı (mm ²)	DC İletken direnci 20°C (Ohm/km)	Çalışma Endüktansı (mH/km)	Çalışma Kapasitans (µF/km)	Akım Taşıma Kapasitesi (A)
3x240	0.0754	0.3	0.34	513

Kablo sistemde kullanılırken simülasyonlarda EMTP'nin LCC(Line Cable Constants) rutini kullanılmıştır. Kablo empedansının frekansa bağımlılığı dikkate alınarak dağıtılmış parametreler yaklaşımı ile modellenmiştir. Bu modelin tercih edilmesinin sebebi izole sistemde arıza sırasında ortaya çıkacak olan yüksek frekanslı salınımların etkisinin hesaplamalara katabilmektir.

Tablo.4.5 Yük Verileri

Tahrik Gücü		Servis Yüğü	
Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)	Aktif (MW)	Reaktif (MVAR)
23.375	11.3	0.9	0.435

Yük etkisi ileride çalışmalarda ayrıca inceleneceğı için sadece empedans eşdeğeri olarak modellenmiştir. Empedans eşdeğerini oluşturabilmek için transient çalışma öncesi yük akışı analizleri gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon çalışmasında başta da söylenildiğı gibi EMTP nin (Electro Magnetic Transient Program) ATP (Alternatif Transient Program) versiyonu kullanılmıştır. Bu program Dommel ve ötekiler tarafından Bonneville Power Administration için geliştirilmiştir [5]. Bizim çalışmamızda jeneratörler SM 59 Machine modeli ile simüle edilmiş olup makinelerdeki doyum ihmal edilmiştir. Transformatörler Trady-3.sup ile simülasyonu yapılmıştır. Motorlar ve servis yükleri rezistans ve bobinler kullanılarak simülasyonu sağlanmıştır. Rezistans ve bobinlerin değeri POWERCAD simülasyon programı [29] ile 6.6 kV ve 15 kV için ayrı ayrı yük akışı yapılarak hesaplanmıştır.

4.3. Yük Akışı

Normal şartlar altında güç sistemleri yatışkın durumda (steady-state) çalışırlar. Yük akış hesaplamaları çalışma şartlarının belirlenmesine sistemin durumunun anlaşılabilmesi için gerçekleştirilir. Sistemin olası uzun dönemli değişikliklere mukavim olup olmadığı öngörülen yük artışlarına uygulanabilirliği yük akışı hesaplamalarıyla belirlenir ve bu sonuçlara göre geleceğe matuf stratejileri tespit edilir. Yük akış hesapları olası problemlere, mesela hat kaybı gibi durumlar için alternatif yollar bulmak için de kullanılmaktadır. Yük akışı analizi etütlerinde elde edilen başlıca bilgiler, her baradaki gerilimin genliği, faz açısı ve her hatta akan aktif ve reaktif güçlerdir.

Yük akış analizlerinde baralardaki resistance ve endüktance matrisleri kullanılmakta olup her analiz için daima çalışma şartları belirlenerek bir bara hariç diğer bütün baralarda şebekeye göre aktif güç tarif edilmiştir. Sistemde üretilen güçler pozitif güçler olup yük tarafında tüketilen güçler negatif güçler olarak görünmekte ayrıca baraların her birinde sisteme akan gerilim genliği tarif edilmiştir. Analizde hat kayıpları bilinmediğinden sistemde üretilen aktif gücünde kesin olarak bilinmesi imkansızdır. Bu nedenle jeneratör baralarından biri aktif güç bilinmeyişi olarak seçilmiştir ki buna salınım barası denilmiştir. Salınım barası yük analizinde kolaylık sağlar. Salınım barasında gerilim genliği ve açısı tarif edilmiştir.

Sistemde yer alan her bir baraya ait güç aktif ve reaktif komponentlere ayrılarak polar formda hesaplanmıştır.

$$P_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \cos (\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad (4.1)$$

$$Q_k = V_k \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \sin (\delta_k - \delta_n - \theta_{kn}) \quad (4.2)$$

P_k = k. baradaki aktif güç

Q_k = k. baradaki reaktif güç

V_k = k. baradaki gerilim

Y_{kn} = k. ve n. baralar arasındaki admittance toplamı $k \neq n$

V_n = n. baradaki gerilim

δ_k = k. baradaki gerilim açısı

δ_n = n. baradaki gerilim açısı

θ_{kn} = k ve n. baralar arasındaki impedance açısı

$k, n = 1, 2, 3, \dots, N$

4.1 ve 4.2 nolu formüllerin Newton-Raphson metoduyla çözümü yük akışını oluşturmaktadır.

4.3.1 Newton-Raphson Metodu

İki veya daha fazla değişkenli fonksiyonların Taylor serisi açılımı, Newton-Raphson metodu ile yük akışı probleminin çözümünde temel teşkil eder. Taylor serisine açarken birinci dereceden büyük olan kısmi türevler ihmal edilmiştir. Salınım barasında gerilimin genliği ve açısı tarif edildiğinden gerilimlerin bulunmasında salınım barası itelasyondan çıkartılır. Bara admitansları kullanılarak Newton-Raphson metoduyla yapılan analiz için gerekli iterasyon sayısı pratik olarak bara sayısından bağımsızdır.

Bir nolu konfigürasyonun 6.6 kV, 15 kV sistemine ait yük akışı Tablo 4.6. 4.7. de gösterilmiştir.

Tablo 4.6. 1 Nolu Konfigürasyonun 6.6 kV Sistemine Ait Yük Akışı

Bara numarası	Gerilim pu	Açı	Aktif Üretilen pu	Reaktif Üretilen pu	Aktif Yük pu	Reaktif Yük pu	Eş Değer Direnç R(Ω)	Eş Değer endüktans X(Ω)
1	1.000	0.000	0.898	0.465	-	-	-	-
2	1.000	0.007	1.000	0.457	-	-	-	-
3	0.999	-0.059	-	-	-	-	-	-
4	0.999	-0.119	-	-	0.9000.	0.435	1.72	3.56
5	0.999	-0.121	-	-	0.900	0.435	1.72	3.56
6	0.998	-0.137	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
7	0.999	-0.091	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
8	0.999	-0.120	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44

Tablo 4.7. 1 Nolu Konfigürasyonun 15 kV Sistemine Ait Yük Akışı

Bara numarası	Gerilim pu	Açı	Aktif Üretilen pu	Reaktif Üretilen pu	Aktif Yük pu	Reaktif Yük pu	Eş Değer Direnç R(Ω)	Eş Değer endüktans X(Ω)
1	1.000	0.000	0.898	0.465	-	-	-	-
2	1.000	0.007	1.000	0.457	-	-	-	-
3	0.999	-0.043	-	-	-	-	-	-
4	0.999	-0.087	-	-	0.9000.	0.435	9	18.7
5	0.999	-0.091	-	-	0.900	0.435	9	18.7
6	0.999	-0.037	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
7	0.999	-0.021	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
8	0.999	-0.034	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44

2 nolu konfigürasyonun 6.6 kV, 15 kV sistemine ait yük akışı Tablo 4.8.,4.9. da gösterilmiştir.

Tablo 4.8. 2 Nolu Konfigürasyonun 6.6 kV Sistemine Ait Yük Akışı

Bara numarası	Gerilim pu	Açı	Aktif Üretilen pu	Reaktif Üretilen pu	Aktif Yük pu	Reaktif Yük pu	Eş Değer Direnç $R(\Omega)$	Eş Değer endüktans $X(\Omega)$
1	1.000	0.000	0.904	0.502	-	-	-	-
2	1.000	0.009	1.000	0.496	-	-	-	-
3	0.999	-0.080	-	-	-	-	-	-
4	0.981	-1.765	-	-	-	-	-	-
5	0.980	-1.868	-	-	0.900	0.435	1.7	3.5
6	0.980	-1.877	-	-	0.900	0.435	1.7	3.5
7	0.979	-1.927	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
8	0.979	-1.957	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
9	0.979	-1.972	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44

Tablo 4.9. 2 Nolu Konfigürasyonun 15 kV Sistemine Ait Yük Akışı

Bara numarası	Gerilim pu	Açı	Aktif Üretilen pu	Reaktif Üretilen pu	Aktif Yük pu	Reaktif Yük pu	Eş Değer Direnç $R(\Omega)$	Eş Değer endüktans $X(\Omega)$
1	1.000	0.000	0.904	0.502	-	-	-	-
2	1.000	0.032	1.000	0.496	-	-	-	-
3	1.000	0.014	-	-	-	-	-	-
4	1.000	-0.014	-	-	-	-	-	-
5	1.000	-0.015	-	-	0.900	0.435	9	18.7
6	1.000	-0.016	-	-	0.900	0.435	9	18.7
7	0.999	-0.064	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
8	0.999	-0.070	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
9	0.999	-0.073	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44

3 nolu konfigürasyonun 6.6 kV, 15 kV sistemine ait yük akışı Tablo 4.10., 4.11. de gösterilmiştir

Tablo 4. 10. 3 Nolu Konfigürasyonun 6.6 kV Sistemine Ait Yük Akışı

Bara numarası	Gerilim pu	Açı	Aktif Üretilen pu	Reaktif Üretilen pu	Aktif Yük pu	Reaktif Yük pu	Eş Değer Direnç R(Ω)	Eş Değer endüktans X(Ω)
1	1.000	0.000	0.903	0.499	-	-		
2	1.000	0.009	1.000	0.493	-	-	-	-
3	0.999	-0.080	-	-	-	-	-	-
4	0.982	-1.725	-	-	-	-	-	-
5	0.981	-1.809	-	-	0.900	0.435	1.7	3.5
6	0.981	-1.809	-	-	0.900	0.435	1.7	3.5
7	0.982	-1.742	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
8	0.999	-0.112	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
9	0.998	-0.126	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44

Tablo 4.11. 3 Nolu Konfigürasyonun 15 kV Sistemine Ait Yük Akışı

Bara numarası	Gerilim pu	Açı	Aktif Üretilen pu	Reaktif Üretilen pu	Aktif Yük pu	Reaktif Yük pu	Eş Değer Direnç R(Ω)	Eş Değer endüktans X(Ω)
1	1.000	0.000	0.898	0.466	-	-	-	-
2	1.000	0.002	1.000	0.466	-	-	-	-
3	0.996	-0.015	-	-	-	-	-	-
4	0.996	-0.337	-	-	-	-	-	-
5	0.996	-0.353	-	-	0.900	0.435	9	18.7
6	0.996	-0.353	-	-	0.900	0.435	9	18.7
7	0.996	-0.353	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
8	0.999	-0.047	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
9	0.999	-0.050	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44

4 nolu konfigürasyonun 6.6 kV, 15 kV sistemine ait yük akışı Tablo. 4.12., 4.13.'de gösterilmiştir

Tablo 4.12. 4 Nolu Konfigürasyonun 6.6 kV Sistemine Ait Yük Akışı

Bara numarası	Gerilim pu	Açı	Aktif Üretilen pu	Reaktif Üretilen pu	Aktif Yük pu	Reaktif Yük pu	Eş Değer Direnç $R(\Omega)$	Eş Değer endüktans $X(\Omega)$
1	1.000	0.000	0.903	0.498	-	-	-	-
2	1.000	0.009	1.000	0.492	-	-	-	-
3	0.999	-0.080	-	-	-	-	-	-
4	0.982	-1.696	-	-	-	-	-	-
5	0.981	-1.779	-	-	0.900	0.435	1.7	3.5
6	0.981	-1.779	-	-	0.900	0.435	1.7	3.5
7	0.982	-0.128	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
8	0.998	-0.157	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
9	0.998	-0.171	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44

Tablo 4.13. 4 Nolu Konfigürasyonun 15 kV Sistemine Ait Yük Akışı

Bara numarası	Gerilim pu	Açı	Aktif Üretilen pu	Reaktif Üretilen pu	Aktif Yük pu	Reaktif Yük pu	Eş Değer Direnç $R(\Omega)$	Eş Değer endüktans $X(\Omega)$
1	1.000	0.000	0.899	0.466	-	-	-	-
2	1.000	0.009	1.000	0.466	-	-	-	-
3	1.000	-0.015	-	-	-	-	-	-
4	0.996	-0.349	-	-	-	-	-	-
5	0.996	-0.364	-	-	0.900	0.435	9	18.7
6	0.996	-0.364	-	-	0.900	0.435	9	18.7
7	0.996	-0.397	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
8	0.996	-0.403	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44
9	0.995	-0.406	-	-	0.032	0.016	0.2	0.44

Yukarıdaki tablolardaki değerler 4.3 ve 4.4 nolu formülde yerlerine konularak ATP' deki yük ve motor verilerinin bulunması sağlanmıştır. Bu eşdeğer direnç ve endüktans tablolarda verilmiştir. Daha önceden açıklandığı üzere ATP de tahrik yükleri ve servis yükleri direnç ve endüktance olarak modellenmesi yapılmıştır.

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (4.3)$$

$$X = \frac{V^2}{Q} \quad (4.4)$$

R : ATP de kullanılacak direnç değeri

X : ATP de kullanılacak endüktans değeri

V : Yük akışında baradaki gerilim değeri

P : Yük akışında barada tüketilen aktif yük

Q : Yük akışında barada tüketilen Reaktif yük

Dört farklı konfigürasyonu olan sistemimizde 6.6 kV ve 15 kV için iki farklı tip arıza hesaba katılmıştır. Bunlar kalıcı ve ark arızalarıdır. Bu arızalar her bir bara için uygulanmıştır. Ark ATP de zaman kontrollü anahtarlar tarafından kısa devre akımı 5 A geçtiği zaman spark oluşturarak simülasyon yapılmıştır. Kalıcı arızada ise sadece zaman kontrollü anahtar kullanılarak simülasyon yapılmıştır.

Bütün sistem baralarında arıza durumunda geçen akım değerleri Tablo 4.14.'de gösterildiği gibi gerilim değerleri Tablo 4.15.'de gösterilmiştir.

Tablo.4.14 Bütün Sistem Baraları İçin Akım Değerleri (Akım Değerleri Amper Cinsinden Verilmiştir)

			BARA NUMARALARI								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
KONFIGÜRASYON1	6.6 kV	PEAK*	55.9	55.9	87.2	68.6	68.6	11.8	11.8	11.7	NA
		STEADY-STATE	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.026	0.021	0.0022	
		PEAK**	55.7	55.9	87.1	68.5	68.5	12.1	12.6	11.8	
	15 kV	PEAK*	73.2	73.2	103	89.1	89.1	11.8	11.8	11.8	NA
		STEADY-STATE	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	0.028	0.028	0.0023	NA
		PEAK**	73.2	73.2	179	89.2	89.1	12.2	12.6	11.8	NA
KONFIGÜRASYON2	6.6 kV	PEAK*	71.2	71.1	83.2	119	74.5	74.5	28.7	40	22.5
		STEADY-STATE	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	0.048	0.034	0.034
		PEAK**	71.2	71.2	91.2	119	74.2	74.5	28	40	22.5
	15 kV	PEAK*	58.4	58.4	99	108	69	70	31	34	22.3
		STEADY-STATE	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	0.048	0.034	0.034
		PEAK**	58.4	58.4	99	108	69	70	28	39	21.5
KONFIGÜRASYON3	6.6 kV	PEAK*	69.7	69.7	89.2	117	73.7	73.7	11.1	12.1	12.1
		STEADY-STATE	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	0.09	0.011	0.011
		PEAK**	61.2	61.7	89	117	73.4	73.6	11.7	11.9	12
	15 kV	PEAK*	74	74	89.2	104.7	94	94	27	48	23.1
		STEADY-STATE	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	0.037	0.037	0.036
		PEAK**	73.6	73.6	89	117	93	93	27	39.2	22.1
KONFIGÜRASYON4	6.6 kV	PEAK*	69.7	69.7	89.8	118	73.9	74	31.9	39.4	21.7
		STEADY-STATE	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	0.036	0.034	0.034
		PEAK**	69.7	69.7	89.8	118	73.9	73.9	27.8	39.3	21.7
	15 kV	PEAK*	94.8	94.8	137.2	123.8	96.4	96.4	31.2	37.2	21.8
		STEADY-STATE	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	0.036	0.035	0.034
		PEAK**	94.8	94.8	137	122.6	96.4	96.4	30.1	36.2	22

* arksız

** arklı

Tablo 4.15 Bütün Sistem Baraları İçin Gerilim Değerleri (Bütün Değerler Volt Cinsinden Verilmiştir)

			Bara numaraları								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Konfigürasyon 1	6.6 kV	İlk değer*	-	-	10609	9882	9883	618	598	619	Yok
		İlk değer**	-	-	11400	12004	12004	799	930	940	Yok
	15 kV	İlk değer*	-	-	18762	21100	21104	622	605	617	Yok
		İlk değer**	-	-	23054	2350	2354	862	871	863	Yok
Konfigürasyon 2	6.6 kV	İlk değer*	-	-	11082	8212	8500	8560	620	613	608
		İlk değer**	-	-	13116	12620	12230	12240	840	850	860
	15 kV	İlk değer*	-	-	18825	18100	18200	20200	630	612	618
		İlk değer**	-	-	20620	2300	23300	23315	850	890	850
Konfigürasyon 3	6.6 kV	İlk değer*	-	-	10278	8462	8154	8155	616	595	613
		İlk değer**	-	-	12336	12821	12210	12220	795	871	855
	15 kV	İlk değer*	-	-	18912	18178	21102	21100	603	587	623
		İlk değer**	-	-	19859	23817	24935	24930	837	923	820
Konfigürasyon 4	6.6 kV	İlk değer*	-	-	9300	7859	8554	8550	613	607	606
		İlk değer**	-	-	15880	12507	12275	12270	907	924	975
	15 kV	İlk değer*	-	-	18762	18111	20463	20460	628	617	603
		İlk değer**	-	-	21419	22822	23317	23301	870	880	980

* arksız, ** arklı

Tablo 4.14’de görüldüğü gibi sistemlerden geçen sızıntı akımı 5 A bulmamasına rağmen sistemde ark oluşmaktadır. Bunun sebebi çalışmada sadece kablo üzerinde oluşan kapasitans değerlerinin dikkate alınmasıdır. Sistemde bulunan diğer elemanların kapasitans değerlerini de çalışmada katılmış olsa geçen sızıntı akımı 5 A fazla olabilecektir. modellenirken baradan geçen gerilimin maksimum değerinde açılıp kapanan zaman ayarlı elektrik anahtarı kullanıldı. Diğer cihazlara ait sızıntı akım değeri Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

Tablo 4.15.’ de görüldüğü gibi sistemde ark arızası oluştuğunda sağlıklı fazlarda oluşan gerilim sürekli bir artış gösterir. Bu artış sağlıklı fazlarda izolasyon delinmelerine cihazlarda arızalara ve güvenlik açısından çok önem arz eden yangınlara sebep olabilecektir.

4.4. Simülasyon Sonuçları

Yıldız noktası gemi gövdesinden izoleli topraksız sisteme sahip olan iki ana tahrik motoru, iki ana jeneratörü, servis yükleri bulunan bununla birlikte alçak gerilim transformatörü/transformatörlerinin bulunduğu elektrik tahrikli gemi modelinin dört farklı konfigürasyonda her bir bara üzerinden gemi gövdesine kısa devre ve ark oluşumu EMTP nin (Electro Magnetic Transient Program) ATP (Alternatif Transient Program) versiyonu ile yapılmış olup simülasyon sonuçları toplu olarak Tablo 4.14. ve Tablo 4.15.’de verildiği gibi önemi olduğunu düşünülen güç üretim barası, yük barası ve servis baralarındaki gerilim, akım zaman değişimli arklı ve arksız durumlar için Şekil 4.10-4.25 de verilmiştir.

EMTP programının özeliğinden dolayı güç üretim baralarında nümerik osilasyon oluşmaktadır. Nümerik osilasyon sistemde kapasitansın bulunmadığı güç üretim baralarında ve servis yüklerinde kablo kapasitansının çok az bulunduğu baralarda ortaya çıkmaktadır.

Nümerik osilasyon;

EMTP simülasyon programında trapezoidal yöntemi ile diffransiyel denklemlerin integrasyonu yapılmaktadır. Bu integral alınırken bizim sistemimizdeki ani değişiklikler nümerik osilasyona sebep olmaktadır. Çünkü; akım türevinin ani değişimi nümerik osilasyon denilen problemi ortaya çıkarmaktadır. Örneğin devre kesicilerinde akımın kesilmesi.

Sistemde kablo ile gemi gövdesi arasında bir kapasitans olduğundan kapasitansın kısa devre anındaki nümerik osilasyonu üzerinde durulacaktır.

Kapasitör üzerinden geçen akım oluşturduğu yüksek frekanslı gerilim trapezoidal yöntemi tarafından filtrelenirken akım olması gerekenden yüksek çıkar. Eğer dV/dt formülündeki kapasitör üzerinden geçen akım kapasitörün kısa devre edilmesinin sonucu olarak değerinde ani olarak değişirse nümerik osilasyon problemi ortaya çıkar.

Nümerik osilasyonu ortadan kaldırmak için kapasitöre söndürme direnci olarak tanımlanan bir direnç seri olarak bağlanabilir. Osilasyonu etkileyen değer;

$$R_s = \frac{\Delta t}{2C} \quad (4.5)$$

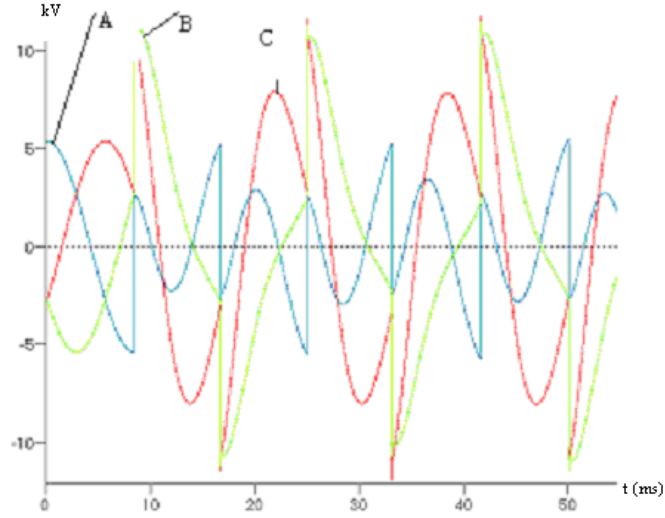
R_s = söndürme direnci

Δt = zaman aralığı

C = kapasitans değeri

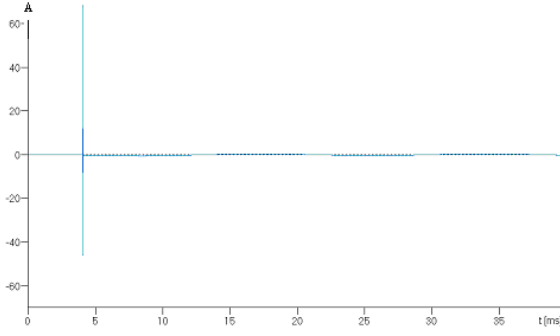
Çalışmada EMTP simülasyon programının izin verdiği en küçük zaman aralığı $\Delta t = 10^{-7}$ sn alınmıştır. Kapasitansın çok düşük olduğu sifıra yakın yerlerde kısa devre arızası verildiğinde sistemde nümerik osilasyonlar görülmüştür [31].

Bizim sistemimizde nümerik osilasyona en güzel örnek bir nolu konfigürasyonun bir nolu barasındaki ark anında oluşan gerilim değişimi ile bir nolu konfigürasyonun altı nolu servis barasındaki ark anındaki gerilim değişimi gösterilebilir.

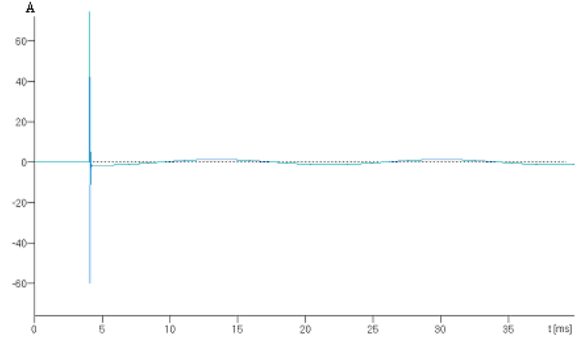


Şekil 4.8. 6.6 kV luk Bir Nolu Konfigürasyonda Güç Üretim Barasında Ark Oluşumunda Fazlardaki Gerilim Değişiminin Nümerik Osilasyondan Dolayı Gerçeği Yansıtmaması

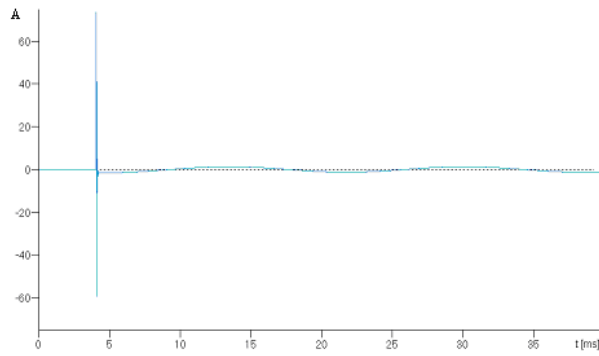
EMTP programının özeliğinden dolayı Şekil 4.8'de görüldüğü gibi bir nolu konfigürasyonun güç üretim barasında kapasitans bulunmadığından nümerik osilasyon görülmektedir. Bu nedenden dolayı çalışmamızda bu baralar dikkate alınmamıştır.



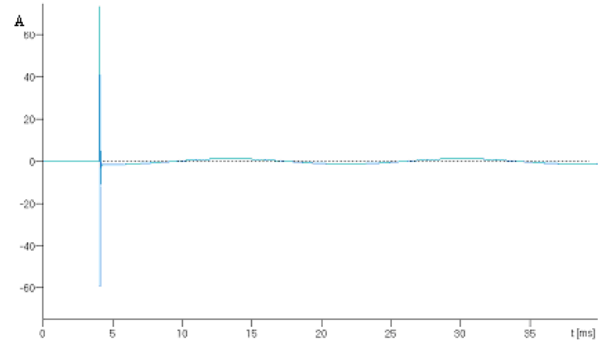
a-) 1 nolu konfigürasyon 6.6 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 6.6 kV



c-) 3 nolu konfigürasyon 6.6 kV

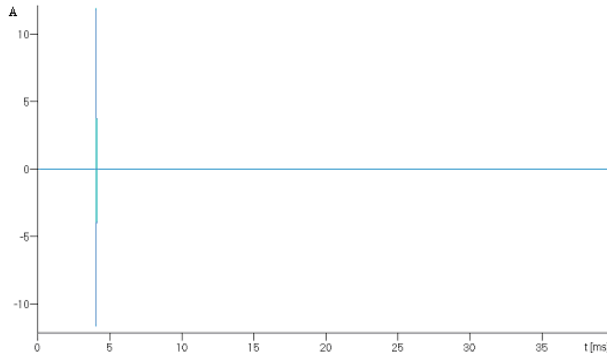


d-) 4 nolu konfigürasyon 6.6 kV

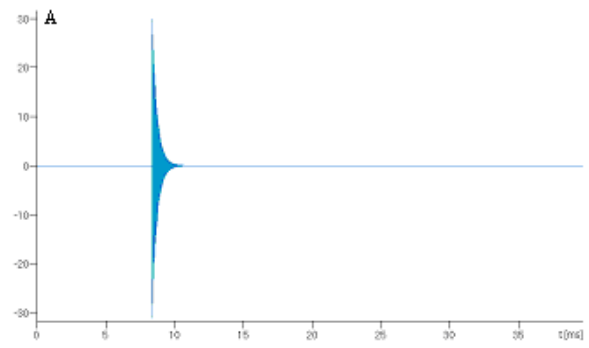
Şekil 4.9. 6.6 kV luk 4 Konfigürasyonda Geminin Tahrik Yükünü Besleyen
Kablolarda Kısa Devre Anında Akımın Zamana Göre Değişimi

Şekil 4.9.a da 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 68.6 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 0.45 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.9.b de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 74.5. A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 1.27 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.9.c de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak

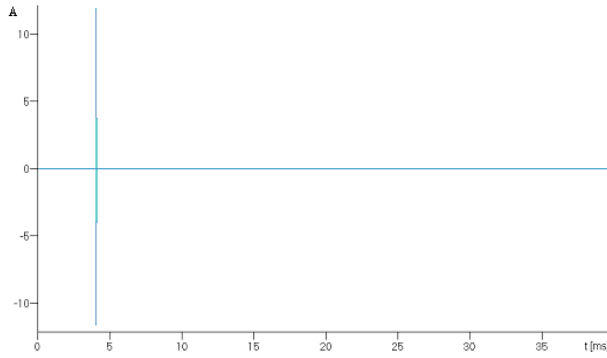
geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 73.7 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 1.27 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.9.d de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 73.9 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 1.27 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır.



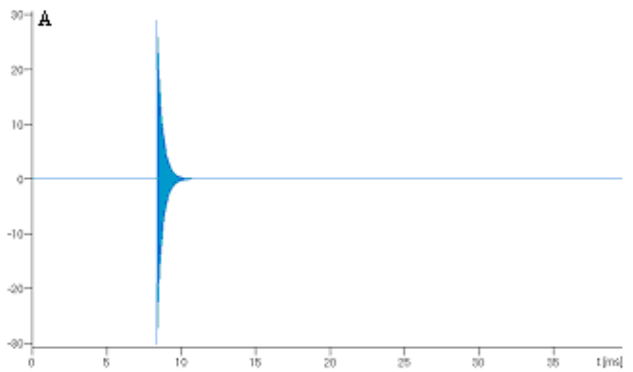
a-) 1 nolu konfigürasyon 6.6 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 6.6 kV



c-) 3 nolu konfigürasyon 6.6 kV

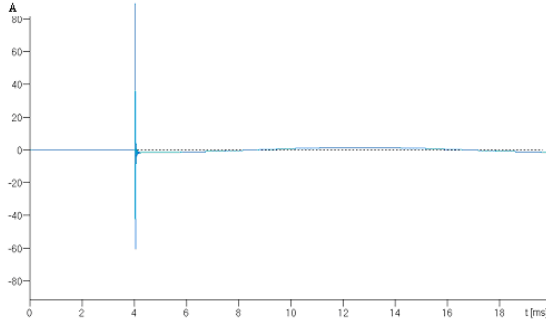


d-) 4 nolu konfigürasyon 6.6 kV

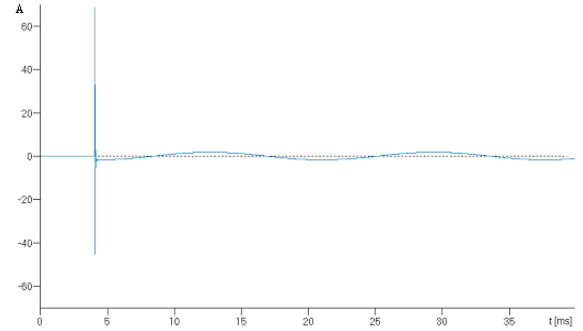
Şekil 4.10. 6.6 kV luk 4 Konfigürasyonda Geminin Servis Yükünü Sağlayan Kablolarda Kısa Devre Anında Akımın Zamana Göre Değişimi

Şekil 4.10.a da 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 11.8 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 0.026 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.10.b de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 28.7 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 0.048 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.10.c de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 11.1 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 0.09 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.10.d de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda servis

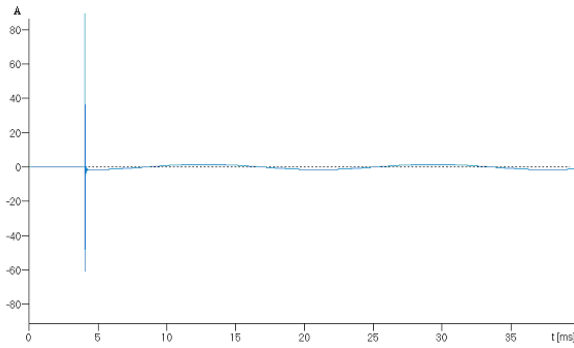
yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 31.9 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 0.036 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır.



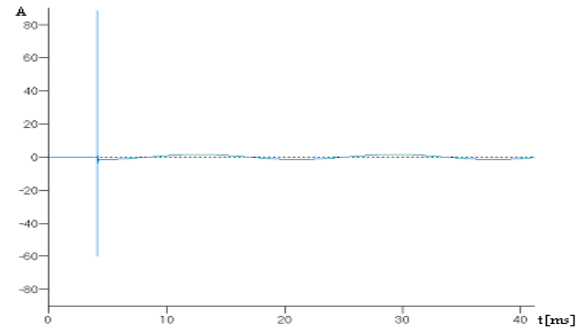
a-) 1 nolu konfigürasyon 15 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 15 kV



c-) 3 nolu konfigürasyon 15 kV

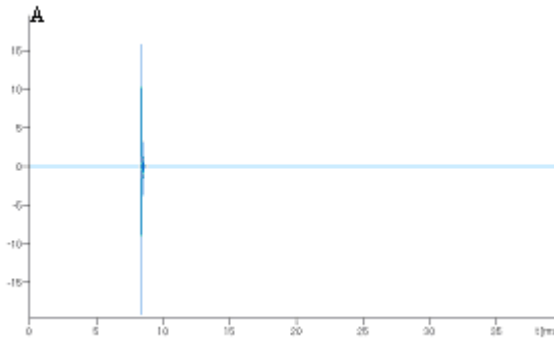


d-) 4 nolu konfigürasyon 15 kV

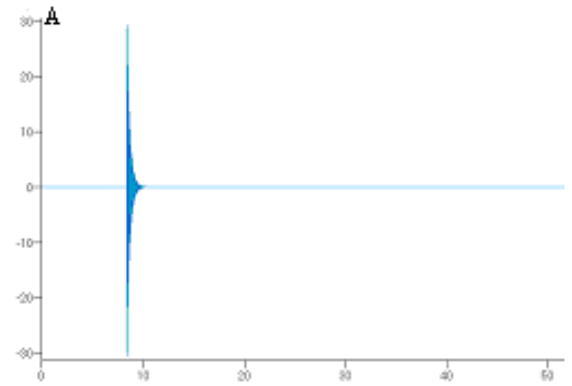
Şekil 4.11. 15 Kv Luk 4 Konfigürasyonda Geminin Tahrik Yüğü Sağlayan Kablolarda Kısa Devre Anında Akımın Zamana Göre Değışimi

Şekil 4.11.a da 15 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 89.1 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 1.55 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.11.b de 15 kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 70 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 1.77 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.11.c de 15 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu

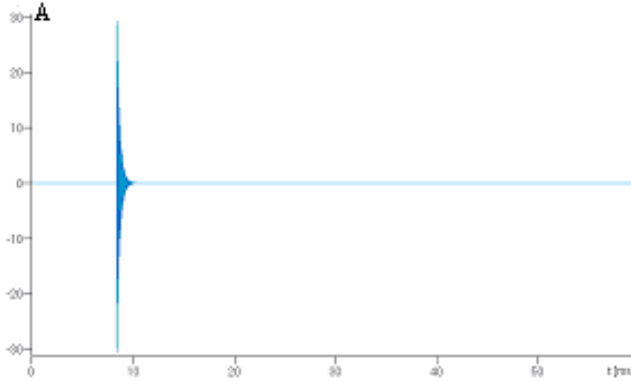
konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 94 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 1.55 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.11.d de 15 kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 96.4 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 1.55 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır.



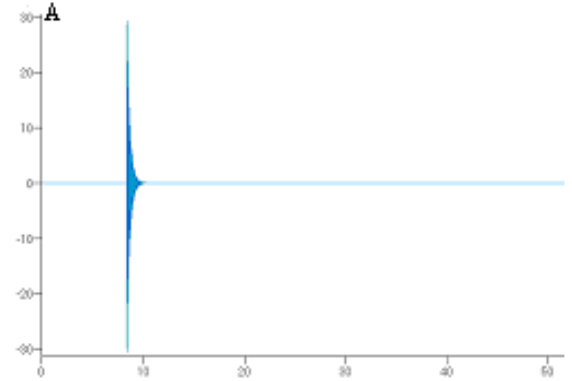
a-) 1 nolu konfigürasyon 15 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 15 kV



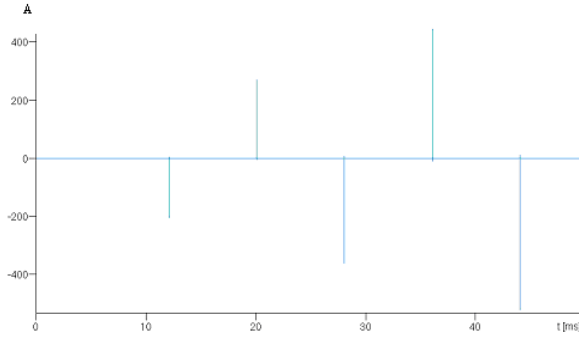
c-) 3 nolu konfigürasyon 15 kV



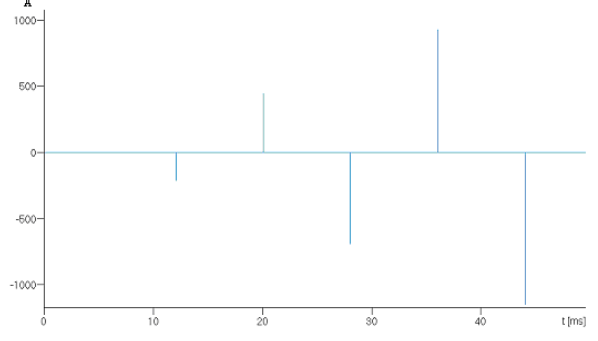
d-) 4 nolu konfigürasyon 15 kV

Şekil 4.12. 15 kV luk 4 Konfigürasyonda Geminin Servis Yükünü Sağlayan Kablolarda Kısa Devre Anında Akımın Zamana Göre Değişimi

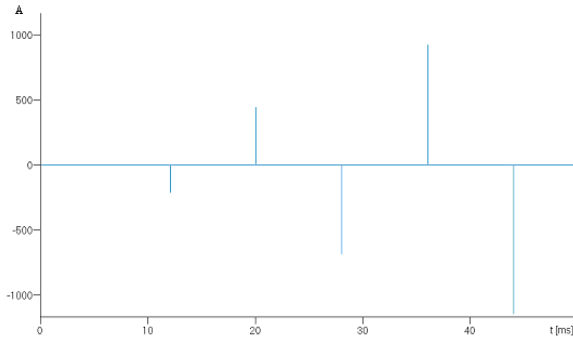
Şekil 4.12.a da 15 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 11.8 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 0.028 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.12.b de 15 kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 31 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 0.048 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.12.c de 15 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 27 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 0.037 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır. Şekil 4.12.d de 15 kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazdan geçen akım arıza anında 31.9 A lik bir tepe değerine ulaşırken geçici halin bitmesiyle birlikte dengeye gelerek 0.036 A lik akım kablodan gemi gövdesine akmaktadır.



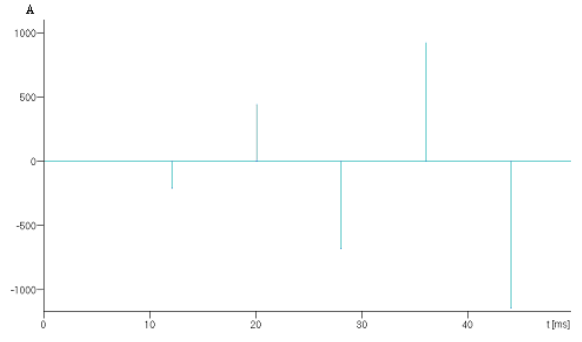
a-) 1 nolu konfigürasyon 6.6 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 6.6 kV



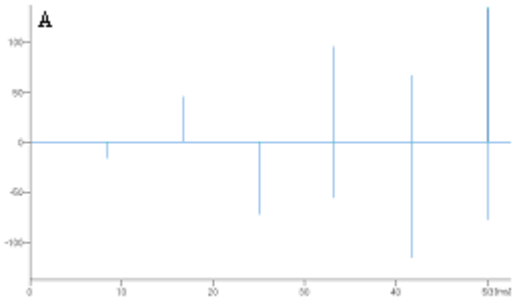
c-) 3 nolu konfigürasyon 6.6 kV



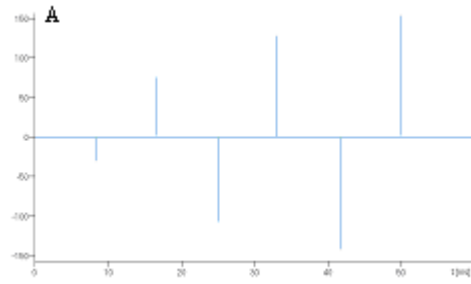
d-) 4 nolu konfigürasyon 6.6 kV

Şekil 4.13. 6.6 kV luk 4 Konfigürasyonda Tahrik Yükünü Sağlayan Kablolarda Ark Arızası Anında Akımın Zamana Göre Değişimi

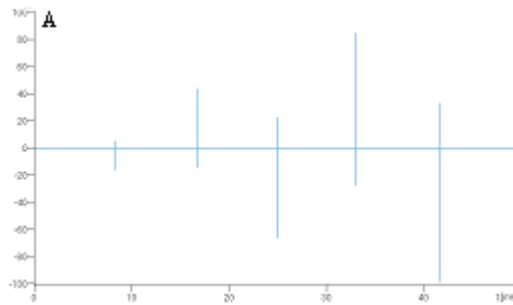
Şekil 4.13.a da 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 68.5 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli bir artış göstermektedir. Şekil 4.13.b de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 74.5 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli bir artış göstermektedir. Şekil 4.13.c de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 73.6 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibide sürekli bir artış göstermektedir. Şekil 4.13.d de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 73.9 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibide sürekli artış göstermektedir.



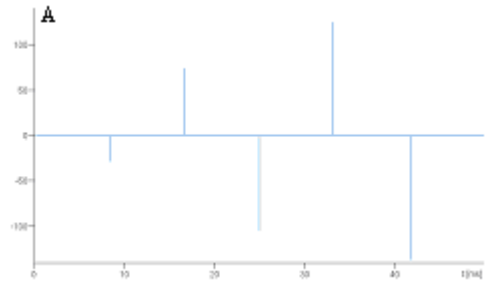
a-) 1 nolu konfigürasyon 6.6 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 6.6 kV



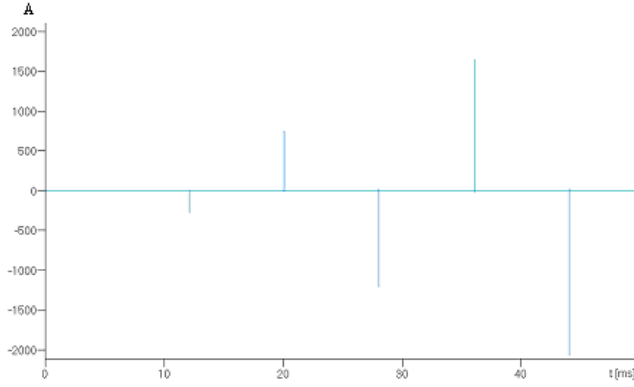
c-) 3 nolu konfigürasyon 6.6 kV



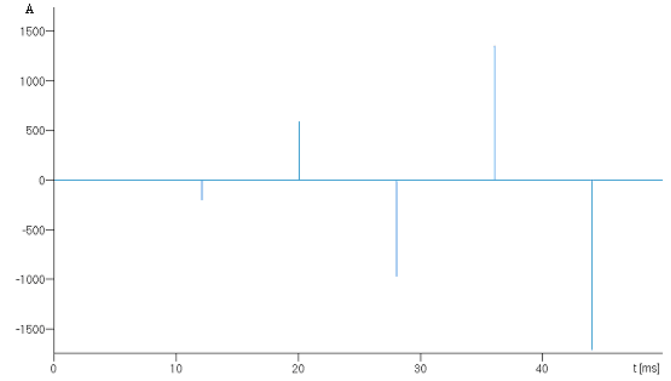
d-) 4 nolu konfigürasyon 6.6 kV

Şekil 4.14. 6.6 kV luk 4 Konfigürasyonda Servis Yüğü Barasında Ark Arızası Anında Akımın Zamana Göre Değişimi

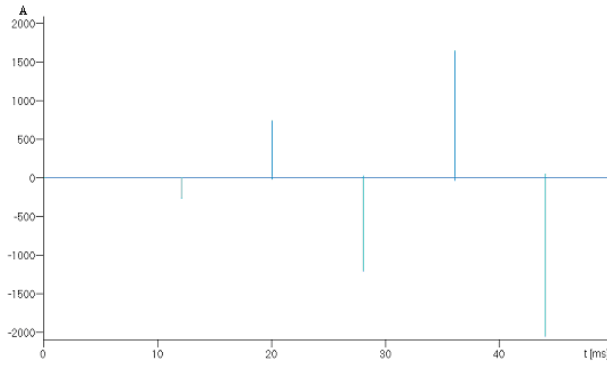
Şekil 4.14.a da 6.6kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 12.6 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli artış göstermektedir. Şekil 4.14.b de 6.6kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 28 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli artış göstermektedir. Şekil 4.14.c de 6.6kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 11.7 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli artış göstermektedir. Şekil 4.14.d de 6.6kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 27.8 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli artış göstermektedir



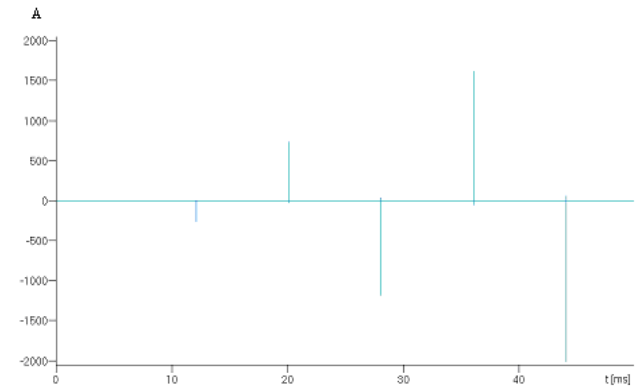
a-) 1 nolu konfigürasyon 15 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 15 kV



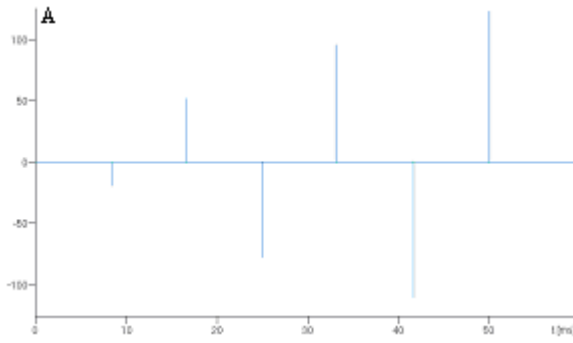
c-) 3 nolu konfigürasyon 15 kV



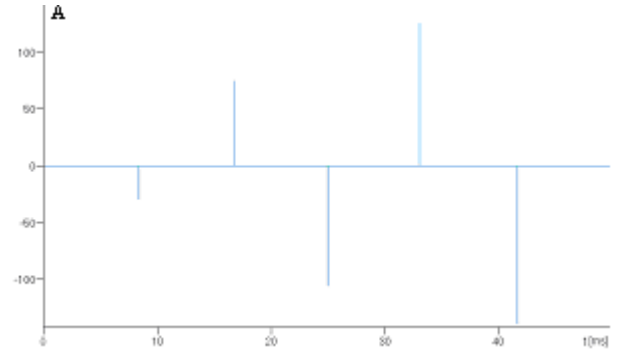
d-) 4 nolu konfigürasyon 15 kV

Şekil 4.15. 15 kV luk 4 Konfigürasyonda Tahrik Yükünü Sağlayan Kablolarda Ark Arızası Anında Akımın Zamana Göre Değişimi

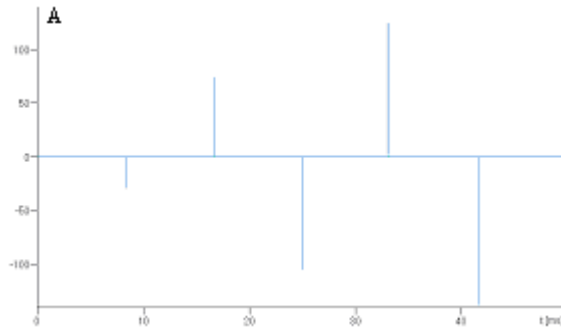
Şekil 4.15.a da 15kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 89.1 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli artış göstermektedir. Şekil 4.15.b de 15kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 70 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli artış göstermektedir.. Şekil 4.15.c de 15kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 93 A lik bir peak yapmakta şekilde görüldüğü gibide ivmeli bir şekilde artmaktadır. Şekil 4.15.d de 15kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 96.4 A lik bir peak yapmakta şekilde ve şekilde görüldüğü gibi sürekli artış göstermektedir.



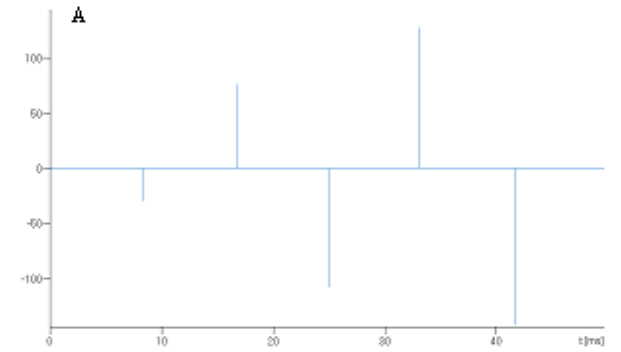
a-) 1 nolu konfigürasyon 15 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 15 kV



c-) 3 nolu konfigürasyon 15 kV



d-) 4 nolu konfigürasyon 15 kV

Şekil 4.16. 15 kV luk 4 Konfigürasyonda Servis Yükünü Sağlayan Kablolarda Ark Arızası Anında Akımın Zamana Göre Değişimi

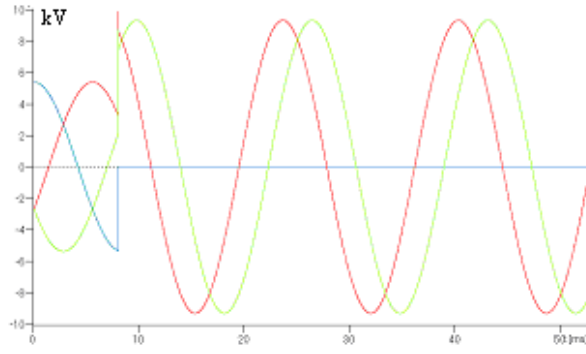
Şekil 4.16.a da 15kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 12.2 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli bir artış göstermektedir. Şekil 4.16.b de 15kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 28 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli bir artış göstermektedir. Şekil 4.16.c de 15kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 27 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli bir artış göstermektedir. Şekil 4.16.d de 15kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anında arızalı fazdan geçen akım ilk anda 30.1 A lik bir peak yapmakta ve şekilde görüldüğü gibi sürekli bir artış göstermektedir.

Dağıtım gerilimi 15 kV olan iki nolu konfigürasyon tahrik yükü barasından tek faz toprak arızasında denge halinde gemi gövdesine akan 1.77 A' lik akımla bütün konfigürasyonlar arasında denge halinde en çok akım akan konfigürasyondur. Buna karşılık dağıtım gerilimi 6.6 kV olan bir nolu konfigürasyonun tahrik yükü barasından tek faz toprak arızasında denge halinde gemi gövdesine akan 0.45 A' lik akımla bütün konfigürasyonlar arasında denge halinde en az akım akan konfigürasyondur.

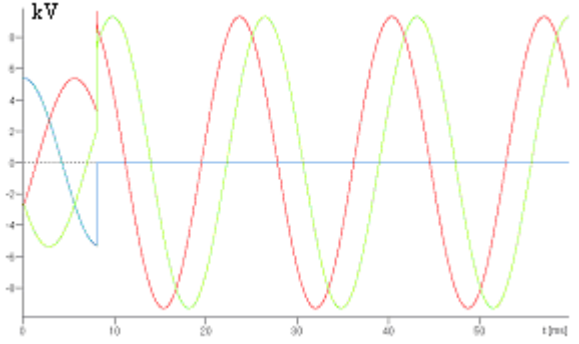
Dört konfigürasyonda da ark arızasında gemi gövdesine sızan akımın ilk değeri arksız halde gemi gövdesine akan akımın ilk değeridir.

Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi 15 kV luk dağıtım sisteminde kablo boyu 6.6 kV luk dağıtım sistemine göre kısa olmasına rağmen tek faz toprak arızasında gemi gövdesine sızan akım 6.6 kV dağıtım sistemine göre daha fazladır. Aynı gerilimli dağıtım konfigürasyonlar arasında kablo boyu en uzun olan konfigürasyonda gemi gövdesine sızan akım diğer konfigürasyonlardakinden daha fazladır.

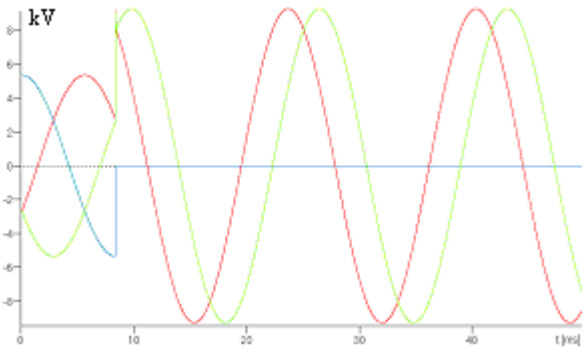
Konfigürasyonlarda ark arızası anahtarlarla yapılmıştır. Şekil 4.14.a ve 4.14.b' de görülen ark arızası anında akan akımın aynı anda artı ve eksi yönlü olmasının nedeni anahtarlarla yapılan ark arızasında anahtarların açma kapama sürelerinin birbirine eşit olmasıdır.



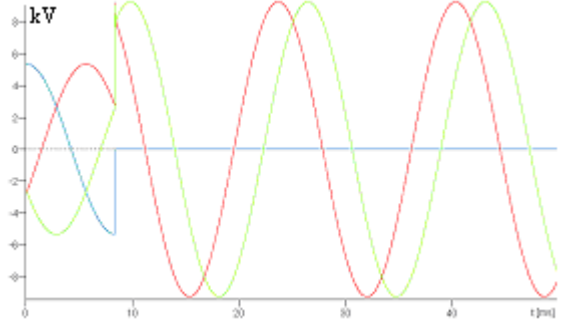
a-) 1 nolu konfigürasyon 6.6 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 6.6 kV



c-) 3 nolu konfigürasyon 6.6 kV

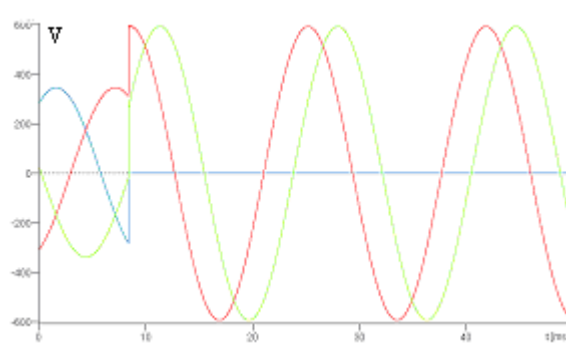


d-) 4 nolu konfigürasyon 6.6 kV

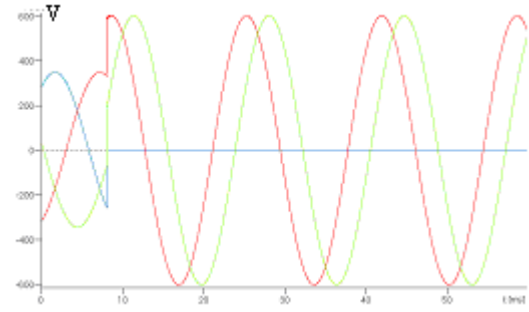
Şekil 4.17. 6.6 kV luk 4 Konfigürasyonda Geminin Tahrik Yükünü Besleyen Kablolarda Kısa Devre Anında Gerilimin Zamana Göre Değişimi

Şekil 4.17.a da 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 5.4 kV dan 0 V inmekte öteki sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 5.4 kV dan bir peak yaparak 9.8 kV çıkmakta daha sonra 8.3 kV da dengeye gelmektedir. Şekil 4.17.b de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 5.4 kV dan 0 V inmekte öteki sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 5.4 kV dan bir peak yaparak 8.7 kV çıkmakta daha sonra 8.3 kV da dengeye gelmektedir. Şekil 4.17.c de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 5.4 kV dan 0 V inmekte öteki sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 5.4 kV dan bir peak yaparak 8.9 kV çıkmakta

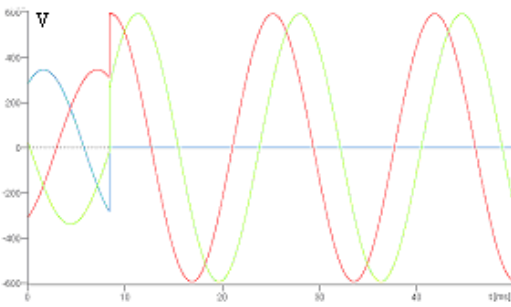
daha sonra 8.3 kV da dengeye gelmektedir. Şekil 4.17.d. da 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 5.4 kV dan 0 V inmekte öteki sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 5.4 kV dan bir peak yaparak 8.5 kV çıkmakta daha sonra 8.3 kV da dengeye gelmektedir.



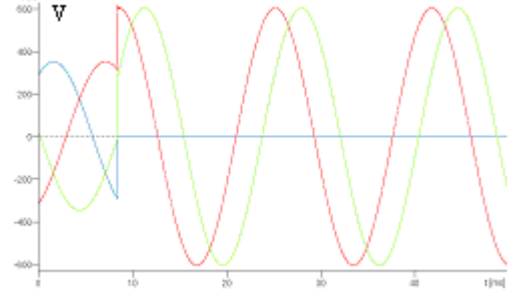
a-) 1 nolu konfigürasyon 6.6 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 6.6 kV



c-) 3 nolu konfigürasyon 6.6 kV

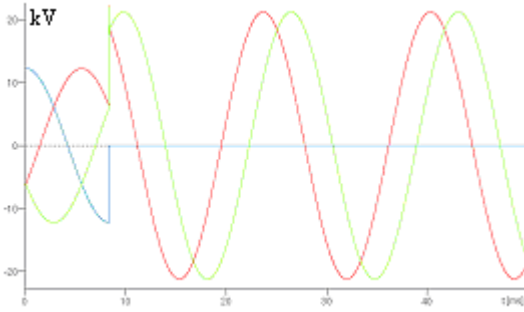


d-) 4 nolu konfigürasyon 6.6 kV

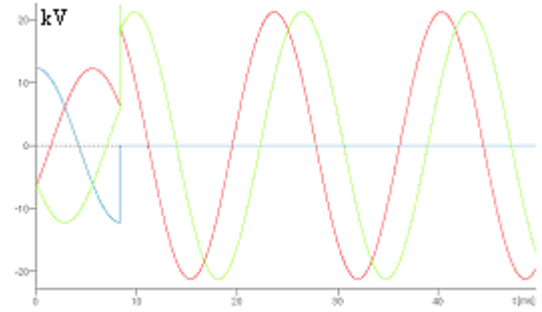
Şekil 4.18. 6.6 kV luk 4 Konfigürasyonda Geminin Servis Yükünü Sağlayan Kablolarda Kısa Devre Anında Geriliminin Zamana Göre Değişimi

Şekil 4.18.a da 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 360V dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 360 V dan bir peak yaparak 930 V çıkmakta daha sonra 594 V da dengeye gelmektedir. Şekil 4.18.b de 6.6kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 360 V dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda

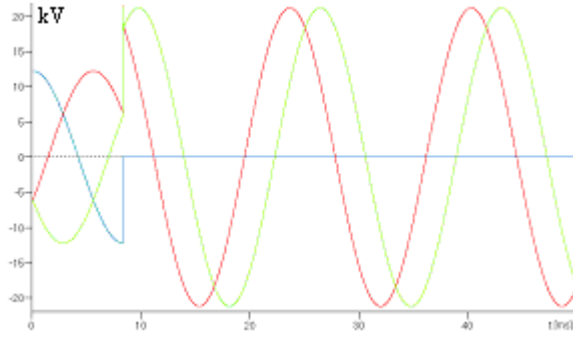
gerilim kısa devre anında 360 V dan bir peak yaparak 840 V çıkmakta daha sonra 594 V da dengeye gelmektedir. Şekil 4.18.c de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 360 V dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 360 V dan bir peak yaparak 613 V çıkmakta daha sonra 594 kV da dengeye gelmektedir. Şekil 4.18.d de 6.6kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 360 V dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 360 V dan bir peak yaparak 907 V çıkmakta daha sonra 594 V da dengeye gelmektedir



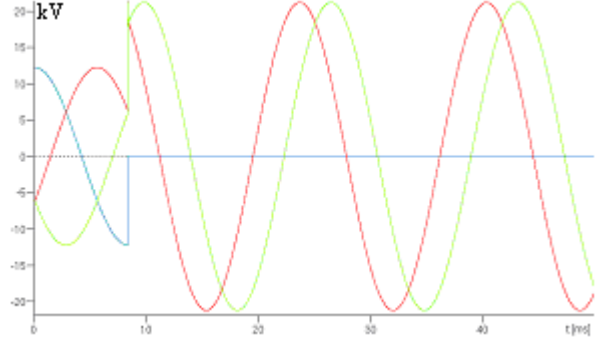
a-) 1 nolu konfigürasyon 15 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 15 kV



c-) 3 nolu konfigürasyon 15 kV

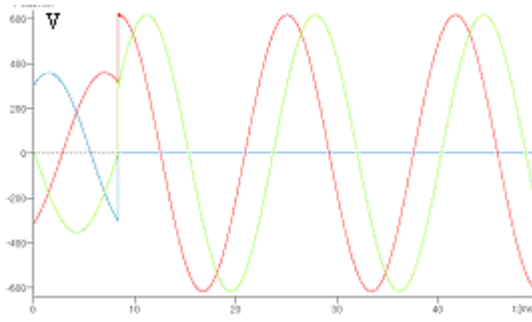


d-) 4 nolu konfigürasyon 15 kV

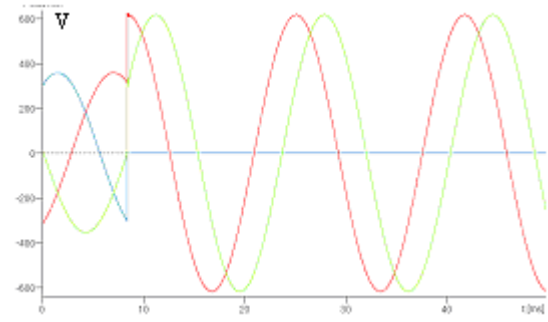
Şekil 4.19. 15 kV luk 4 Konfigürasyonda Geminin Tahrik Yükünü Besleyen Kablolarda Kısa Devre Anında Gerilimin Zamana Göre Değişimi

Şekil 4.19.a da 15kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine

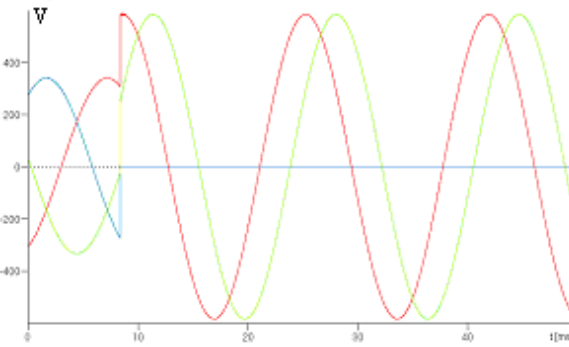
değmesiyle arızalı fazda gerilim 12.25kV dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 12.25 kV dan bir peak yaparak 21.1 kV çıkmakta daha sonra 12.25kV da dengeye gelmektedir. Şekil 4.19.b de 15kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 12.25kV dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 12.25 kV dan bir peak yaparak 18.2 kV çıkmakta daha sonra 19.66 kV da dengeye gelmektedir. Şekil 4.19.c de 15kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 12.25kV dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 12.25 kV dan bir peak yaparak 21.1 kV çıkmakta daha sonra 19.66kV da dengeye gelmektedir. Şekil 4.19.d de 15kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 12.25kV dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 12.25kV dan bir peak yaparak 20.4 kV çıkmakta daha sonra 19.66 kV da dengeye gelmektedir.



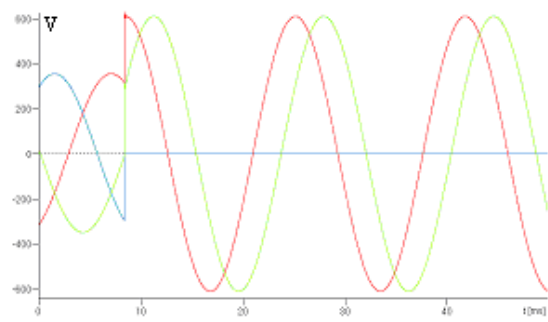
a-) 1 nolu konfigürasyon 15 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 15 kV



c-) 3 nolu konfigürasyon 15 kV

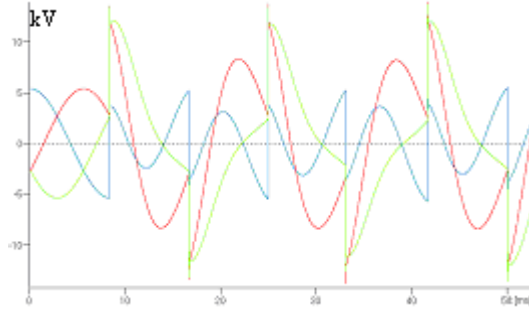


d-) 4 nolu konfigürasyon 15 kV

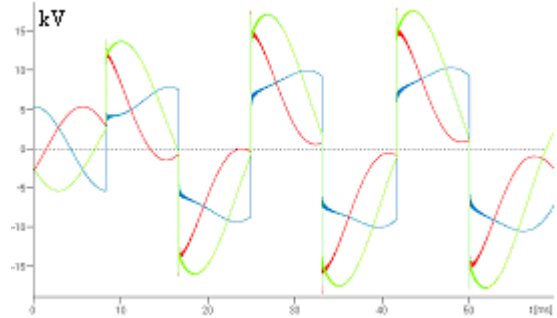
Şekil 4.20. 15 kV luk 4 Konfigürasyonda Geminin Servis Yükünü Sağlayan Kablolarda Kısa Devre Anında Gerilimin Zamana Göre Değişimi

Şekil 4.20.a da 15 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 360 V dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 360 V dan bir peak yaparak 871 V çıkmakta daha sonra 594 V da dengeye gelmektedir. Şekil 4.20.b de 15 kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 360 V dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 360 V dan bir peak yaparak 880 V çıkmakta daha sonra 594 V da dengeye gelmektedir. Şekil 4.20.c de 15 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 360 V dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 360 V dan bir peak yaparak 603 V çıkmakta daha sonra 594 kV da dengeye gelmektedir. Şekil 4.20.d de 15 kV dağıtım gerilimi olan 4

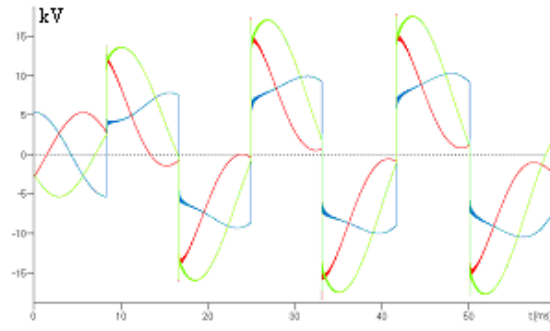
nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolardan birinin kısa devre olarak geminin gövdesine değmesiyle arızalı fazda gerilim 360 V dan 0 V inerken sağlıklı fazlarda gerilim kısa devre anında 360 V dan bir peak yaparak 628 V çıkmakta daha sonra 594 kV da dengeye gelmektedir



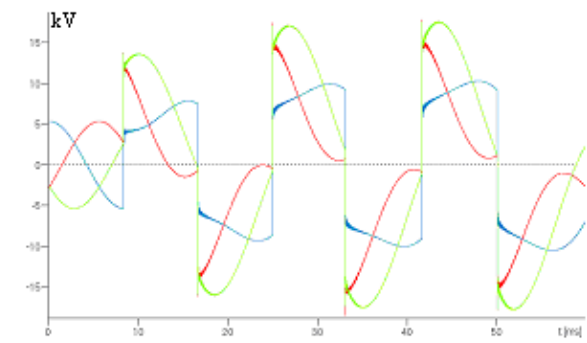
a-) 1 nolu konfigürasyon 6.6 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 6.6 kV



c-) 3 nolu konfigürasyon 6.6 kV

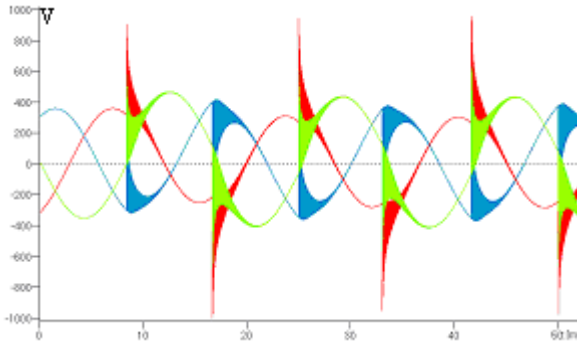


d-) 4 nolu konfigürasyon 6.6 kV

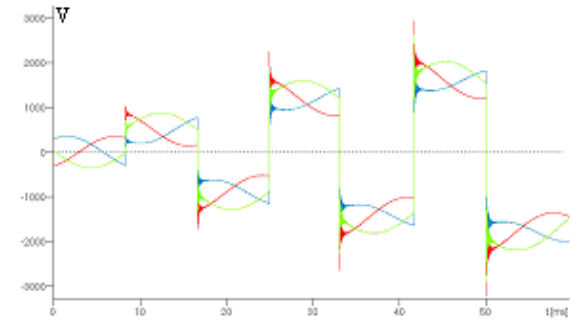
Şekil 4.21. 6.6 kV luk 4 Konfigürasyonda Tahrik Yükünü Sağlayan Kablolarda Ark Arızası Anında Gerilimin Zamana Göre Değişimi

Şekil 4.21.a da 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 12 kV ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir. Sistem kapasitansı düşük olduğundan düzgün bir ark oluşmamaktadır. Şekil 4.21.b de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 12.2 kV ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir. Şekil 4.21.c de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 12.2 kV ulaşp ark ilk toprak gerilimine

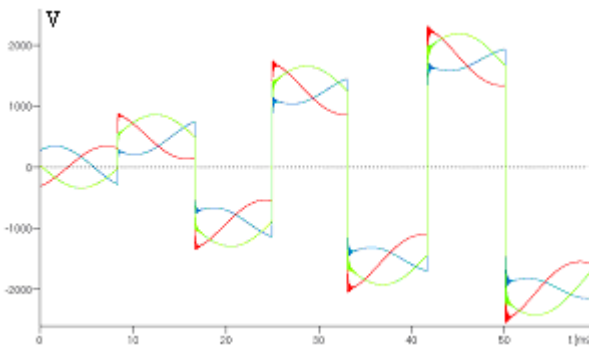
indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir. Şekil 4.21.d de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 12.2 kV ulaşır ve ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir.



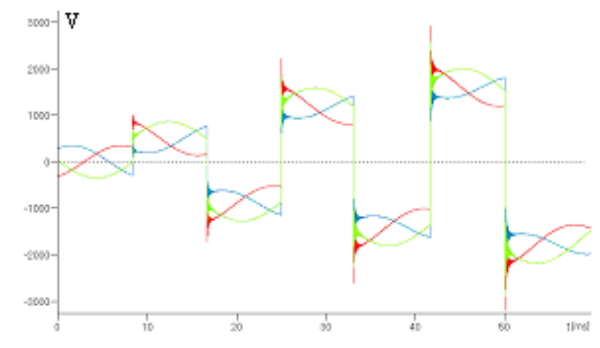
a-) 1 nolu konfigürasyon 6.6 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 6.6 kV



c-) 3 nolu konfigürasyon 6.6 kV

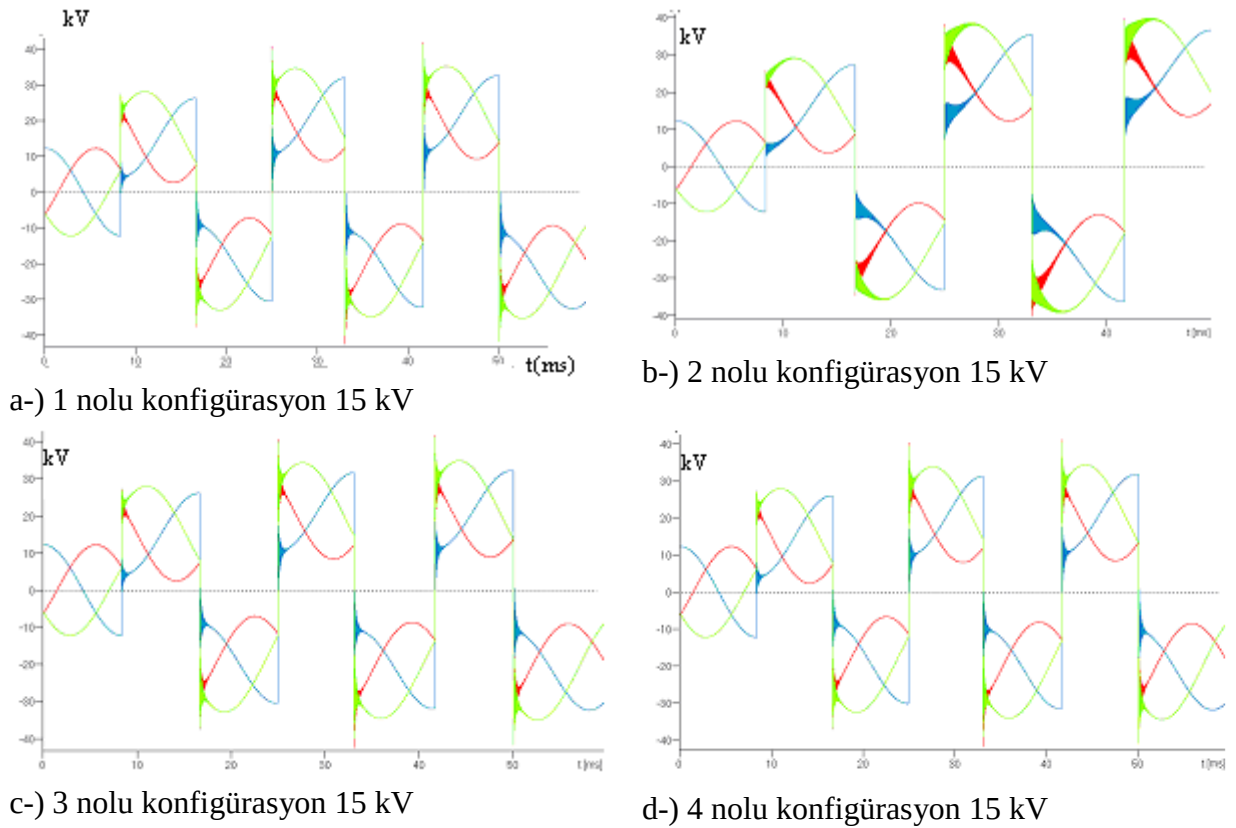


d-) 4 nolu konfigürasyon 6.6 kV

Şekil 4.22. 6.6 kV luk 4 Konfigürasyonda Servis Yükünü Sağlayan Kablolarda Ark Arızası Anında Gerilimin Zamana Göre Değişimi

Şekil 4.22.a da 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 799 V ulaşır ve ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir. Sistem kapasitansı düşük olduğundan düzgün bir ark oluşmamaktadır. Şekil 4.22.b de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 840 V ulaşır ve ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir. Şekil 4.22.c de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen

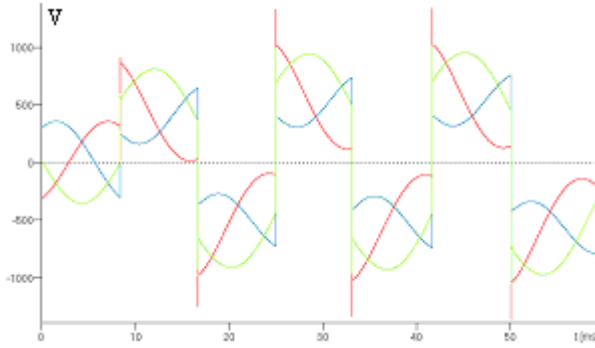
kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 603 V ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir. Şekil 4.22.d de 6.6 kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 628 V ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir.



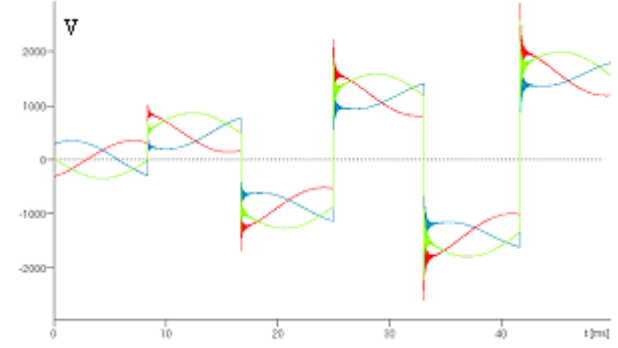
Şekil 4.23. 15 kV luk 4 Konfigürasyonda Tahrik Yükünü Sağlayan Kablolarda Ark Arızası Anında Gerilimin Zamana Göre Değişimi

Şekil 4.23.a da 15 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 21.1 kV ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir. Şekil 4.23.b de 15 kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 23.3 kV ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir. Şekil 4.23.c de 15 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin

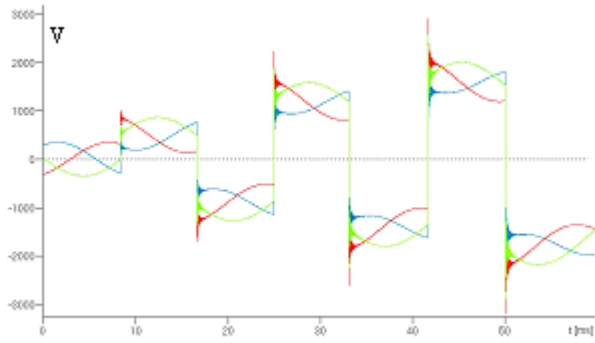
tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 24.9 kV ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir. Şekil 4.23.d de 15 kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 23.3 kV ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış gösterir.



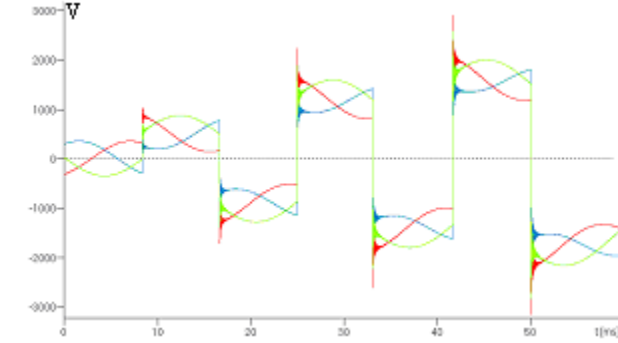
a-) 1 nolu konfigürasyon 15 kV



b-) 2 nolu konfigürasyon 15 kV



c-) 3 nolu konfigürasyon 15 kV



d-) 4 nolu konfigürasyon 15 kV

Şekil 4.24. 15 kV luk 4 Konfigürasyonda Servis Yükünü Sağlayan Kablolarda Ark Arızası Anında Gerilimin Zamana Göre Değişimi

Şekil 4.24.a da 15 kV dağıtım gerilimi olan 1 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 871 V ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış göstermektedir. Sistem kapasitansı düşük olduğundan düzgün bir ark oluşmamaktadır. Şekil 4.24.b de 15 kV dağıtım gerilimi olan 2 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 880 V ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış

göstermektedir. Şekil 4.24.c de 15 kV dağıtım gerilimi olan 3 nolu konfigürasyonda geminin servis yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 837 V ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış göstermektedir. Şekil 4.24.d de 15 kV dağıtım gerilimi olan 4 nolu konfigürasyonda geminin tahrik yükünü besleyen kablolarda ark arızası anından ilk ark gerilimi 870 V ulaşp ark ilk toprak gerilimine indiğinde ikinci ark oluşur ve gerilim değeri sürekli bir artış göstermektedir.

Dağıtım gerilimi 6.6 kV olan dört konfigürasyonda da tahrik barasından tek faz toprak arızasında sağlıklı fazların gerilimleri 8.3 kV da dengeye gelmektedir. Buna karşılık servis yükü tarafında gerilim 594 V da dengeye gelmektedir. Dağıtım gerilimi 15 kV olan dört konfigürasyonda da tahrik barasından tek faz toprak arızasında sağlıklı fazların gerilimleri 19.66 kV da dengeye gelmektedir. Buna karşılık servis yükü tarafında gerilim 6.6 kV sistemde olduğu gibi 594 V da dengeye gelmektedir.

Dağıtım gerilimi 6.6 kV olan dört konfigürasyondan tahrik barasında oluşan ark esnasında sağlıklı fazların ilk gerilimi en yüksek olan konfigürasyon 12.2 kV ile 2 nolu konfigürasyon iken servis yükü barasındaki ilk gerilimi en yüksek olan konfigürasyon 840 V ile 2 nolu konfigürasyondur. Dağıtım gerilimi 15 kV olan dört konfigürasyondan tahrik barasında oluşan ark esnasında sağlıklı fazların ilk gerilimi en yüksek olan konfigürasyon 23.2 kV ile 2 nolu konfigürasyon iken servis yükü barasındaki ilk gerilimi en yüksek olan konfigürasyon 880 V ile 2 nolu konfigürasyondur.

Dört konfigürasyonda da ark arızasında sağlıklı fazların geriliminin ilk değeri arksız haldeki gerilimin ilk değeridir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada tek fazın gemi gövdesine değmesiyle oluşan arızanın önemi gösterilmeye çalışılmıştır. Jeneratörlerin ve servis transformatörlerinin gemi içindeki yerleri değiştirilerek oluşturulan dört konfigürasyon üzerinde çalışılmıştır. Dört farklı konfigürasyon üzerinde 6.6 kV ve 15 kV' luk iki farklı gerilim seviyesinde tahrik yükü ve servis yükü baralarında tek faz toprak arızası üzerinde analizler yapılmıştır. Simülasyon sonuçları göstermiştir ki; topraksız tek fazın gemi gövdesine değmesiyle oluşan arıza akımının yatışkın haldeki değeri küçük olup bu değer geleneksel akım röleleri tarafından hissedilememektedir. Bu nedenden dolayı sistemde ilave koruma tedbirleri alınması gerekmektedir.

Jeneratörlerin geminin baş tarafına yerleştirilmiş olduğu servis yüklerinin iki transformatörler tarafından sağlandığı üç nolu konfigürasyon tek faz toprak arızasında sızıntı akımı en düşük sistem olduğu ve literatür çalışmalarında en çok çalışılan konfigürasyon olduğu için uygulanma şansı en yüksek olan konfigürasyondur.

Simülasyon sonuçlarında görüldü ki yüksek gerilimli sistemler kablo boyunu ve doğal olarak kapasitesi azaltılmasına karşılık daha fazla şarj akımı oluşturmaktadır. Bu durum ark tutuşturma olasılığını artırdığı için sistem için yüksek riskler taşır

İstenmeden oluşan ark arızasından dolayı sağlıklı fazın gerilim değeri nominal değerinin 3-5 katına yükselmektedir. Bu gerilim değeri izolasyon delinmelerine neden olduğu gibi sistemde başka arızalara da yol açabilir. Dahası ark ve yüksek genlikli gerilimden oluşan ısınma yangın gibi güvenlik problemlerine neden olabilecektir. Bu nedenden dolayı topraksız sistemler dizayn edilirken yeterli izolasyona sahip olmalıdır.

Arıza jeneratöre yakın iken akım genliği sistemin R/L oranının bir fonksiyonu olan zaman sabiti düşük olduğu için geçicilik kısa sürede sönmetedir. Jeneratörden uzaklaştıkça zaman sabiti büyümekte buda daha uzun süren geçiciliğe neden olmaktadır. Bu nedenden dolayı zaman sabiti ısı hesaplamalar yapılırken dikkate alınmalıdır.

İleriki çalışmalar diğer topraklama stratejilerini de kapsayacak şekilde genişletilebilir. Aynı zamanda konverterler ve öteki cihazların detaylı modellerinin hesaba katıldığı motor akımlarının kısa devre akımına olan katkılarının göz önüne alındığı durumlar incelenebilir. Sistem ve yük dengesizliğinin arıza akımı ve gerilimine etkisi de incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **T. DALTON, T. COY, E. HARVEY, M.STAUFFER, C. BONIEWICZ:** “Lessons Learned from Initial Full-Scale Land-Based Testing of The US Navy's Integrated Power System (IPS)” Proceedings All Electric Ship Civil or Military Conference, 26-27 October 2000, Paris
- [2] **P. LETELLIER:** “The Application of Permanent Magnet Motors in Electric Propulsion System”, Proceedings of All Electric Ship Civil or Military Conference, 26-27 October 2000, Paris
- [3] **D.J. MATTICK:, A.T. LUCKETT:** “The U.K. Electric Ship Programme” Elecship '98 1 September 1998, Istanbul
- [4] **NATO ALL ELECTRIC SHIP NIAG SG/54:** Pre-feasibility Final Report 29 October 1998 (Non-classified document)
- [5] **ALTERNATIVE TRANSIENTS PROGRAM (ATP):** Rulebook, Canadian/American EMTP User Group 1995
- [6] **P.T. NORTON, P.E. THOMPSON:** “The Naval Electric Ship of Today and Tomorrow” Proceedings of All Electric Ship Civil or Military Conference, 26-27 October 2000, Paris
- [7] **L.LETOT, Y.HERJEON:** “The Future Frigates of the French Navy All Electric Ship” Proceedings of All Electric Ship Civil or Military Conference, 26-27 October 2000, Paris
- [8] **M. BARLAS, T.GÜNDÜZ & M. GÖRATES, A.ÇAKIR** “Turkey All Electric Ship” All Electric Ship Civil or Military 26-27 October 2000, Paris
- [9] **D. BOON:,** “Diesel Electric Propulsion”, The Wood Report 1996
- [10] **R. BERRIDGE, S. RIJG, G. BISHOP:**“AC or DC For Electricity Distribution to Ship Services?” Proceedings of the All Electric Ship Conference AES 98 London, 29-30 September 1998, London

- [11] **J.V. ANNY, D.H CLOYTON R.,O. KOTACKA:** “Shipboard Electric Power Distribution: AC Versus DC Is Not Issue Rather How Much Of Each Is The Issue”, Proceedings of the All Electric Ship Conference AES 98 London, 29-30 September 1998, London
- [12] **M. ROSU, V. NAHRUKI, A. ARKKIO, T. JOKIEN, J. MONTERO:** “Permanent Magnet Synchronous Motor for Ship Propulsion Drive”, Elecship '98, 1st September, 1998, Istanbul
- [13] **J.J. A. VANDER, BURGT, R.P. DILL & P. VAN GELDER:** “The Netherlands Compression of an AC and DC integrated electrical distribution system for an all electric frigate”, All Electric Ship Civil or Military 26-27 October 2000, Paris
- [14] **S. ABENS, H. GHEZEL:** .”Development of a ship service fuel-cell”, Proceedings of All Electric Ship Civil or Military Conference 26-27 October 2000 Paris
- [15] **NATO-STANAG 1008:** “Characteristics of Shipboard Electrical Power Systems in Warships of the North Atlantic Treaty Navies”, Standardization Agreement (Non-classified document), 1994
- [16] **IEEE STD 142-1991:** IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems
- [17] **T. GÖNEN:** “ Modern Power System Analysis”, John Wiley & Sons Inc., 1987, New York
- [18] **A.M.A. MARICAN::** “Modern Application of Resonant Earthing” Ph.D. Thesis Cardiff 2000
- [19] **IEEE STD : C62.921.1-2000 :** Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems
- [20] **M.J. HEATHCOTE:** “ The J&P Transformer Book”, Newness, 12. Edition, 1998, Oxford
- [21] **R. WILLHEIM, M. WATERS:** “Neutral Grounding in High Voltage Transmission” Elsevier Publishing Company, 1956, London

- [22] **T. YI:** “A Complete Set of Automatic Compensation Equipment of a Capacitive Charging Current in the Application of a Medium-Voltage Power System”, Electric Power System Research, Vol. 41,1997, pp. 35-41
- [23] **C. THOMAS DALTON:** “Grounding Design Approach in the Integrated Power System for US Navy Surface Ships”, Elecship '98 1. September 1998 Istanbul
- [24] **A. DYSKO:** “Modelling of Arcing Faults in MV Networks with no Solidly Earthed Neutral” 6th International Symposium on Short Circuit Current on Power System, September 1994, Liege, Belgium, pp. 4.1.1-4.1.4
- [25] **WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION** “Electrical Transmission and Distribution Reference Book” East Pittsburgh, 4th edition, 1950 Pasadena
- [26] **D. BEEMAN,** “Industrial Power Systems Handbook” McGraw-Hill, 1955, New-York
- [27] **J. CROOK** “Electric Propulsion For Future Carriers” The IEE Power Engineer: Volume 17, Issue 2, April/May 2003, pp. 8-9
- [28] **IEC 909:** ‘Short Circuit Calculation in Three Phase ac Systems’, IEC, International Electro Technical Commission publication, 1988 First edn
- [29] **POWERCAD** Rule Book, Electrical Energy Systems Section Dept. of Electrical Eng. Imperial College, 1991
- [30] **J.D. GLOVER, M. SARMA:**“Power System Analysis and Design” PWS Publishing Company, 2. Edition, 1993, Boston
- [31] **M. KIZILCAY** “Power System Transient and Their Computation” Kurs Notu, 2001

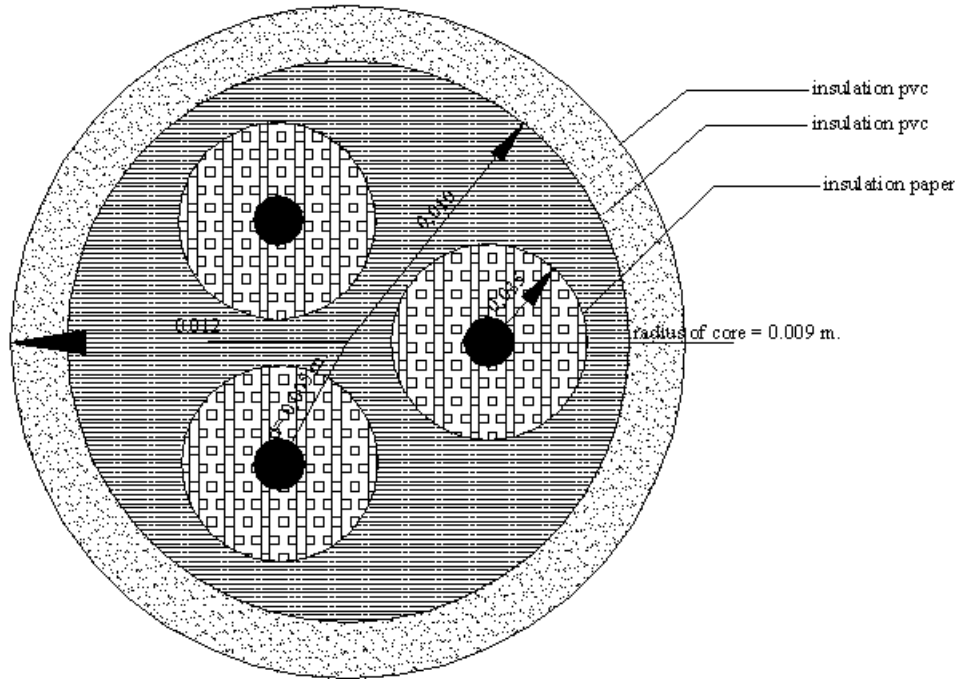
ÖZGEÇMİŞ

Mahmut TURHAN 07.08.1977 yılında Nizip/GAZİANTEP' de doğdu. 23 Nisan İlkokulunda başladığı, Meram Ortaokulu ve Meram Ticaret Meslek Lisesi(Bankacılık Bölümü)'nde devam ettiği ilk ve orta öğretimini 1993-1994 yılları arasında Konya' da tamamladı. 1994 yılında girmeye hak kazandığı Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden 1999 yılında mezun oldu. 30.08.2000 tarihinde Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'na subay olarak katıldı. 2000 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen Gölcük Tersane Komutanlığı'nda Elektrik Dizayn Şef Yrd. olarak görev yapmaktadır.

EK-A KABLO PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI

A1 GİRİŞ

Sistemimizde kullanılan güç dağıtım kablosunun çalışma gerilimi 6.6kV/20 kV dur. Kablonun kesiti Şekil A1.1. de gösterilmiştir. Kablonun teknik özellikleri Tablo 4.4. de verilmiştir.



Şekil A1.1. Konfigürasyonlarda kullanılan kablo kesitini

A1.1. Kablo Direnci

Literatürde verilen teknikler kullanılarak kablunun iç direncini, endüktansını ve kapasitansını hesaplamak mümkündür.

İletkenin iç direncini;

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (\text{A.1.})$$

ile hesaplamak mümkündür.

$\rho =$ iletkenin öz direnci

$\ell =$ iletkenin uzunluğu

$A =$ iletkenin kesit alanı

Kablo iletkenini modellerken bakır kullanılmıştır bakırın öz direnci $1.73 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ dir. İletkenin kesit alanı hesaplayabilmek için

$$A = \pi r^2 \quad (\text{A.2.})$$

kullanılır. Buradaki r iletkenin iç yarı çapı olup iletkenin direnci

$$\begin{aligned} R &= \frac{1.73 \times 10^{-8} \times 1000}{\pi (0.00874)^2} \\ &= 0.072 \Omega / km \end{aligned}$$

olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu direnç teorikteki değerden %4 daha küçüktür.

A1.2. Kablo Endüktansı

$$X = \left[\frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_m}{r} \right] \quad (\text{A.3.})$$

ile hesaplamak mümkündür.

$D_m =$ İki iletken yarıçapları arasındaki uzaklık

$r =$ iletkenin yarıçapı

Kablo modeli için

$$X = \left[2 \times 10^{-7} \ln \frac{0.0866}{0.00874} \right]$$

$$= 0.45 \text{ mH} / \text{km}$$

olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değer teorik değerden %150 daha fazladır.

A1.3. Kablo Kapasitansı

Kablonun iletken kesitiyle şilti arasında oluşan kapasitansı hesaplamak için literatürde kullanılan formüle göre

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} F / m \quad (\text{A.4.})$$

$\epsilon_0 =$ boşluğun permittivitesi $= 8.85 \times 10^{-12}$

$\epsilon_r =$ izolasyonun permittivitesi (PVC) $= 8.8$

$R =$ iletken merkezi ile şilt arasındaki mesafe $= 0.05$

$r =$ iletkenin yarıçapı

ile hesaplamak mümkündür. Kablonun kapasitesi

$$C = \frac{2\pi 8.85 \times 10^{-12} 8.8}{\ln\left(\frac{0.05}{0.0087}\right)} F / m$$

$$C = 0.28 \mu\text{F} / \text{km}$$

olarak hesaplanmıştır bu değer teorik değerden % 17 daha düşüktür.