

**400 kV REAKTÖRLÜ İLETİM HATLARINDA
TEK-FAZ TEKRAR KAPAMANIN İNCELENMESİ**

Murat ÖZDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ocak 2006
ANKARA**

**400 kV REAKTÖRLÜ İLETİM HATLARINDA
TEK-FAZ TEKRAR KAPAMANIN İNCELENMESİ**

Murat ÖZDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Ocak 2006
ANKARA**

Murat ÖZDEMİR tarafından hazırlanan 400 kV REAKTÖRLÜ İLETİM HATLARINDA TEK-FAZ TEKRAR KAPAMANIN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd.Doç.Dr. Timur AYDEMİR



Üye : Prof.Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU



Üye : Yrd.Doç.Dr. Mehmet Efe ÖZBEK



Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



**400 kV REAKTÖRLÜ İLETİM HATLARINDA
TEK-FAZ TEKRAR KAPAMANIN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Murat ÖZDEMİR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ocak 2006**

ÖZET

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, güç sistemlerinde sistem kararlılığı yönünden önemli bir yer tutan tekrar kapamanın güç sistemi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Tekrar kapama uygulamaları gözden geçirilerek, sekonder ark akımı ile sekonder toparlanma gerilimlerinin teorisi incelenmiş, hattın uzun olması ve hatta şönt reaktör kullanılması durumlarında sekonder ark akımı ile sekonder toparlanma geriliminin genliklerindeki değişiklikler analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları sonra ATP bilgisayar simülasyon programında yapılan simülasyonlarla karşılaştırılmış ve sekonder ark akımı ile sekonder toparlanma gerilimine etki eden ana hususlar ortaya konmuştur. Bu çalışmada 400 kV reaktörlü iletim hatlarında tekrar kapama ölü-zamanının yeterince uzun tutulması halinde, tek faz tekrar kapamanın başarıyla uygulanabileceği deneysel olarak ortaya konmuştur.

Bilim Kodu : 905. 1.150
**Anahtar Kelimeler : Tek-faz tekrar kapama, sekonder ark akımı,
toparlanma gerilimi, ölü-zaman**
Sayfa Adedi : 83
Tez Yöneticisi : Prof.Dr.M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU

**SINGLE-PHASE RECLOSING
ON 400 kV TRANSMISSION LINE WITH SHUNT REACTOR**

(M.Sc. Thesis)

Murat ÖZDEMİR

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2006

ABSTRACT

In this Msc. Thesis, the effects of reclosing, for which is important with respect of stability in power systems, on power systems and after that reclosing applications are explained. Then secondary arc current and secondary recovery voltage are introduced teorically and amplitudes of those values are calculated with respect to lenght of transmission line and in case of using shunt reactor. After that those which affected secondary arc current and secondary recorvery voltage are introduced by simulations in ATP, which is computer simulation program. Application of reclosing on 400 kV transmission line with shunt reactor can be applied successfully in case of keeping dead-time long enough by simulations.

Science Code	: 905. 1.150
Key Words	: Single-phase reclosing, secondary arc current, recovery voltage, dead-time
Page Number	: 83
Adviser	: Prof.Dr.M.Cengiz TAPLAMACIOĞLU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca katkılarıyla beni yönlendiren Danışmanım Prof.Dr.M.Cengiz TAPLAMACIOĞLUNA, ayrıca bu çalışmalarımda doküman, bilgi ve manevi desteklerini esirgemeyen TEİAŞ Genel Müdürlüğünde görevli çalışma arkadaşlarıma ve çalışma hayatımdaki bilgi ve tecrübelerimi yüksek lisansta değerlendirmem için beni teşvik eden ve yürekten destekleyen çok değerli eşim Tuba'ya ve oğlum Burak'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEKRAR KAPAMANIN GÜÇ SİSTEMİNE OLAN ETKİSİ	5
2.1. Güç Sisteminin Anahtarlama	5
2.2. Sistem Kararlılığı Üzerinde Tekrar Kapamanın Etkisi	6
2.3. Türbin-Jeneratör Milinin Titreşimi ve Yorulması	7
2.4. Tekrar Kapama Düzenleri ve Alternatif Uygulamalar	10
3. TEKRAR KAPAMA UYGULAMALARI	13
3.1. Koruma Karakteristikleri.....	13
3.2. Arıza Arkının De-iyonizasyonu.....	14
3.3. Kesicinin Karakteristikleri	15
3.4. Ölü-zaman Seçimi	15
3.5. Toparlanma Zamanının Seçimi.....	16
3.6. Kapama Sayısı	16
4. SEKONDER ARK AKIMI VE TOPARLANMA GERİLİMİ	17
4.1. Sekonder Ark Akımı ve Toparlanma Geriliminin Genliğinin Hesaplanması	18

	Sayfa
4.2. Sekonder Ark Akımının Hesaplanması	19
4.3. Örnek İletim Hattının Sekonder Ark Akımının Hesaplanması	21
4.4. Sekonder Toparlanma Geriliminin Hesaplanması.....	22
4.5. Örnek İletim Hattının Sekonder Toparlama Geriliminin Hesaplanması	23
5. SEKONDER ARK AKIMINI SÖNDÜRMEK İÇİN YÖNTEMLER.....	24
5.1. Nötr Reaktörü ile Sekonder Ark Akımının Söndürülmesi	24
5.2. Şönt Reaktör Seçimi	28
5.3. Örnek Hattının Analizi	31
5.4. Kondansatör ile Sekonder Ark Akımının Söndürülmesi	33
6. UYGULAMALAR.....	34
6.1. Örnek Hattı Reaktör Bağlı Değil İken Tekrar Kapama	35
6.2. Örnek Hattı Hesaplanan Değerde Reaktör (Nötr Reaktörü) Bağlı İken Tekrar Kapama	37
6.3. Örnek Hattı Kısa Devre Gücünün Etkisi.....	38
6.4. Örnek Hattı Arıza Yerin Etkisi	41
6.5. Örnek Hattı Açma Zamanının Etkisi.....	44
6.6. Örnek Hattı Hat Uzunluğunun Etkisi	47
6.7. Erzurum-Özlüce Hattının Reaktör Mevcut Haliyle (Nötrü Direk Topraklı) Bağlı İken Tekrar Kapama	49
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKLAR	54
EKLER	56
EK-1. 400 kV Özlüce-Erzurum hattına ilişkin karakteristikler	57
EK-2. Örnek kararlılık analizi çalışması	59
EK-3. Türkiye iletim sisteminde kullanılan tekrar kapama kriterleri	76
EK-4. Türkiye iletim sisteminde kullanılan tipik ölü-zaman değerleri.....	80

	Sayfa
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Arıza de-iyonizasyon zamanları	14
Çizelge 4.1. Örnek hattının parametreleri	21
Çizelge 6.1. Hat uzunluklarına karşılık gelen sekonder ark akımları	49

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Hızlı tekrar kapamada jeneratör rotor açısının salınımı.....	7
Şekil 2.2. Üç faz arızasından 25 çevrim sonra başarılı hızlı tekrar kapama	8
Şekil 2.3. Üç faz arızasından 25 çevrim sonra başarısız hızlı tekrar kapama	9
Şekil 2.4. Tipik yorulma grafiği	9
Şekil 4.1. Tek faz toprak arızasına müteakip hattın iki taraftan kesiciler açtıktan sonra transpoze edilmiş hattın devre diyagramı	19
Şekil 4.2. Şekil 4.1.'de verilen devrenin eş değeri.....	20
Şekil 4.3. Şekil 4.2.'de verilen devrenin basitleştirilmiş şekli	20
Şekil 5.1. Tek faz toprak arızasından sonra hattın uçlarındaki kesicilerin açmasından sonra nötr reaktörlü şönt şönt kompanzasyonlu iletim hattının devre diyagramı	25
Şekil 5.2. Şekil 5.1a'da verilen devrenin yıldız-üçgen dönüşümü	25
Şekil 5.3. Şekil 5.1b'de verilen devrenin basitleştirilmiş son hali.....	26
Şekil 6.1. 400 kV Örnek iletim hattının tek hat şeması.....	34
Şekil 6.2.a. Senaryo 1 için sekonder ark akımı	35
Şekil 6.2.b. Senaryo 1 için farklı ölçekte sekonder ark akımı	35
Şekil 6.3. Senaryo 1 için toparlanma gerilimi	36
Şekil 6.4.a. Senaryo 2 için sekonder ark akımı	37
Şekil 6.4.b. Senaryo 2 için toparlanma gerilimi	37
Şekil 6.5. Senaryo 3 için sekonder ark akımı	38
Şekil 6.6. Senaryo 3 için toparlanma gerilimi	39

Şekil	Sayfa
Şekil 6.7. Senaryo 3 için sekonder ark akımı	39
Şekil 6.8. Senaryo 3 için toparlanma gerilimi	40
Şekil 6.9.a. Senaryo 4 için sekonder ark akımı	41
Şekil 6.9.b. Senaryo 4 için toparlanma gerilimi	41
Şekil 6.10.a. Senaryo 4 için sekonder ark akımı	42
Şekil 6.10.b. Senaryo 4 için toparlanma gerilimi	42
Şekil 6.11.a. Senaryo 5 için sekonder ark akımı	44
Şekil 6.11.b. Senaryo 5 için toparlanma gerilimi	44
Şekil 6.12.a. Senaryo 5 için sekonder ark akımı	45
Şekil 6.12.b. Senaryo 5 için toparlanma gerilimi	45
Şekil 6.13.a. Senaryo 6 için sekonder ark akımı	47
Şekil 6.13.b. Senaryo 6 için farklı ölçekte sekonder ark akımı	47
Şekil 6.14. Senaryo 6 için toparlanma gerilimi	48
Şekil 6.15. Senaryo 7 için sekonder ark akımı	49
Şekil 6.16. Senaryo 7 için toparlanma gerilimi	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

B_0	Hattın toplam sıfır bileşen saseptansı
B_1	Hattın toplam pozitif bileşen saseptansı
C_0	Hattın sıfır bileşen şönt kapasitansı
C_1	Hattın pozitif bileşen şönt kapasitansı
I_s	Sekonder ark akımı
I_{sc}	Sekonder ark akımının elektrostatik bileşeni
I_{sm}	Sekoner ark akımının elektromanyetik bileşeni
L_p	Şönt reaktörün endüktansı
L_n	Nötr reaktörün endüktansı
Q	Reaktif güç
t_d	Ölü-zaman
U_m	Beyan gerilimi
V_r	Toparlanma gerilimi
V_{sh}	Toparlanma geriliminin şönt bileşeni
V_{sr}	Toparlanma geriliminin seri bileşeni

Kısaltmalar

Açıklama

ÇYG	Çok yüksek gerilim
------------	--------------------

1. GİRİŞ

Güç sisteminin normal çalışma şartlarında elektrik enerjisinin arz ve talebi bakımından dengede olması ve bir bozunuma (örneğin, güç sisteminde meydana gelen kısa devre arızaları, büyük yüklerin aniden devre dışı olması vb.) maruz kaldıktan sonra tekrar dengesini kazanması güç sisteminin kararlılığı olarak tanımlanmaktadır (1).

Güç sistemlerindeki kararsızlık, çalışma biçimine ve sistem konfigürasyonuna bağlı olarak çok farklı biçimlerde ortaya çıkmaktadır. Genel olarak kararlılık problemi, güç sisteminde senkron çalışmayı muhafaza etmektir. Elektrik enerjisinin üretimi senkron makineler ile sağlandığı için güç sisteminin kabul edilebilir seviyede çalışmasının gerekli şartı, bütün senkron makinelerin senkronize kalmasıdır. Kararlılığın bu durumu, jeneratör rotor açısı ile güç açısı bağıntısının dinamik davranışından etkilenir (1).

Ancak güç sisteminde kararsız durumun ile sistemde senkronizasyon kaybolmaksızın da karşılaşılabilir. Örneğin, bir iletim hattı boyunca endüksiyon motorlarını besleyen senkron jeneratörlerden meydana gelmiş bir sistem, yük geriliminin çökmesinden dolayı kararsız duruma geçebilir (1).

Güç sisteminde kararlılık emniyet payını artırmak için:

- Arızanın hızlı biçimde temizlenmesi,
- İletim sisteminin reaktansının azaltılması,
- Şönt kompanzasyon,
- Hızlı ikaz sistemleri,
- Kontrollü biçimde sistemin ayrılması ve yük atma,

yanında, çok yüksek gerilimli (ÇYG) iletim hatlarında tek-faz tekrar kapama uygulaması yaygın olarak kullanılmaktadır (1).

Genel olarak güç sistemlerinde meydana gelen arızaların %90'ın üzerinde geçici tek-faz toprak arızalarının olduğu göz önüne alınırsa, yalnız arızalı fazın açılarak tekrar kapamaya gidilmesinin bu sırada diğer iki fazdan gücün iletilmesine devam edilmesinin kararlılık emniyet payını artıracığı ve dolayısıyla mevcut hatların daha fazla yüklenmesinin sağlanacağı açıktır.

Bir fazın hattının her iki ucundan açık olması bazı sorunları da beraberinde getirmektedir. Sağlam ve arızalı fazlar arasında mevcut olan kapasitif ve endüktif kuplaj arıza akımının oluşturduğu arkın beslenmesini sağlar ve özellikle uzun hatlarda akım sıfırdan geçerken sönen arkın tekrar tetiklenmesine neden olarak, kesici kapatma için gerekli ölü zamanın uzamasına yol açmaktadır.

Arızalı fazın her iki uçtan açılmasından sonra arıza noktasından toprağa akan akım, “sekonder ark” olarak anılmaktadır. Sekonder arkın sönümü aşağıdaki etkenlere bağlıdır;

- 1) Arktan akan akımın genliğine,
- 2) Ark akımı sıfırdan geçerken ark yolu üzerindeki gerilime,
- 3) Ark yolu uzunluğuna,
- 4) Rüzgar hızına.

Bunlardan 2. ve 3. faktörler sistem işletme gerilimine doğrudan bağlı ve artan değerler olduğundan, birinin etkisi diğeri tarafından iptal edileceği kabul edildiğinde, sekonder arkın kendiliğinden sönüp sönmeyeceğini etkileyecek en önemli faktör olarak ark akımının genliği kalmaktadır. Bu değer ise pratikte yapılan ölçümlerden, akımın değeri 18-20 A civarında bulunmuştur (2).

Sistem gerilimi arttıkça fazlar arasındaki kapasitif kuplajın etkisi endüktif kuplaja göre daha önem kazanmaktadır. Çok yüksek gerilimli sistemlerde ise endüktif kuplaj tamamen ihmal edilebilir (2).

Bu durumda 380 kV gerilimli iletim hattındaki kapasitif kuplaj nedeniyle arızalı faza geçen akım hattın pozitif ve sıfır bileşen kapasitansları (C_1 ve C_0) ve faz-nötr gerilimi V_0 cinsinden

$$I_s = \frac{\omega(C_1 - C_0)}{3} V_s = 0,188 \text{ A / km} \quad [1.1]$$

olmakta ve kendiliğinden sönebilecek sekonder akım değeri 18 A alındığında;

$$18/0,188=100 \text{ km} \quad [1.2]$$

bulunmaktadır. Başka bir deyişle hattın uzunluğu 100 km'yi aştığında sekonder ark akımı kendiliğinden sönmeyecek kadar büyük değerlere ulaşmaktadır (2).

100 km'den uzun hatlarda sekonder arkın değerini azaltmak için ilave yöntemler gerekmektedir. Bu ise reaktif güç kompanzasyonu için kullanılan şönt reaktörlerin uygun biçimde seçimi ile sağlanabilmektedir (2).

Bu çalışmada, güç sistemlerinde kararlılık kavramına kısaca değinildikten sonra, öncelikle tekrar kapamanın güç sistemine olan etkileri ve tekrar kapamanın değişik uygulamaları incelenmiştir. Sonrasında, sekonder ark akımı ve toparlanma geriliminin hesaplanmasına ait modeller ortaya konulmuş, sekonder ark akımının söndürülmesi için önerilen çeşitli yöntemler belirtilmiştir.

Daha sonra, 240 km uzunluğunda ve gerilim regülasyonu için bir tarafındaki T.M'ne tesis edilmiş reaktörü olan 400 kV örnek hatta tek-faz tekrar kapama uygulamasının yapılabilirliğinin incelenmiştir. Bunun için söz konusu iletim hattı için sekonder ark akımı ve sekonder toparlanma gerilimi hesaplanmıştır.

Yapılan teorik hesaplamalardan sonra, 400 kV örnek iletim hattının, ATP programında (3) modellenmesi yapılarak mevcut durum için elde edilen sekonder ark akımı ve sekonder toparlama gerilimi değerleri, hesaplanan teorik değerler ile karşılaştırılarak; ATP bilgisayar simülasyon programında, hat parametrelerinin frekansa bağlı olarak değişimlerini dikkate alan JMARTI modunda modellenmesi yapılarak doğruluğu ortaya konmuştur (3). Daha sonra, kısa devre gücüne, arızanın yerine, açma zamanına, hattın uzunluğuna göre gerçekleştirilen simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiş ve sonuçlar detaylı biçimde incelenmiştir.

2. TEKRAR KAPAMANIN GÜÇ SİSTEMİNE ETKİLERİ

Tekrar kapamanın gerekli analizler yapılmadan uygulanması güç sistemi için zararlı sonuçlara yol açabilir (4).

Tekrar kapama uygulaması önce; sistem kararlılığının muhafaza ederek, tahammül edilebilen sistem bozunum zamanı tespit edilmelidir. Bunun için öncelikle, söz konusu güç sistem konfigürasyonu ve arıza şartlarıyla ilgili olarak kararlılık analizinin yapılması gerekir.

Ayrıca, uygulanacak tekrar kapamanın, jeneratör miline yapacağı burulma etkisinin incelenmelidir. Son yıllarda yapılan çalışmalar jeneratör milinde çatlama olmadan önce belirlenemeyen, mil yorgunluğundan kaynaklanan hasarın çok dikkat edilmesi gereken bir husus olduğunu göstermektedir (5).

Bir güç sisteminin tekrar kapama ihtiyacı için mümkün olan en hızlı tekrar kapamanın gerekli olup olmadığı incelenerek; güç sistemin anahtarlama gereksinimi ile muhtemel türbin-jeneratör hasarı etkilerinin gerçekçi bir biçimde değerlendirilmesi, bu iki husus arasında uygun bir dengeyi sağlanmak için gerekir (5).

2.1. Güç Sisteminde Anahtarlama

Güç sisteminde değişik anahtarlama işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu anahtarlama, hatların bakım veya acil işletme koşulları nedeniyle yapılan plânlı anahtarlama ile elektrik arızalarından sonraki otomatik hat tekrar kapamadır.

Planlı anahtarlama türbin jeneratör bileşenlerine zarar vermemesi için sınırlı olması öngörülür (6).

Elektrik arızalarının çoğunun geçici olmasından dolayı, otomatik tekrar kapama genellikle başarılı olur ve böylece iletim sisteminin güvenilirliğinin sürdürülmesinde tekrar kapama işlemi önemli bir rol oynar. Sistem güvenilirliği bakımından; sistemin mümkün olan en kısa sürede toparlanması istenir. Bu sebeple bozunumun (kısa devre arızasının) başlamasından sonra 400 ile 600 mili saniye içinde hızlı tekrar kapamanın yapılması yaygın bir uygulamadır. Ancak türbin jeneratör milinin burulma hasarı riskini azaltmak için bazı ülkelerde 10 saniye veya daha uzun ölü zaman süresi kullanılmaktadır ve deneyimler bunun sistem güvenilirliğinde bir azalmaya yol açmadığı doğrultusundadır.

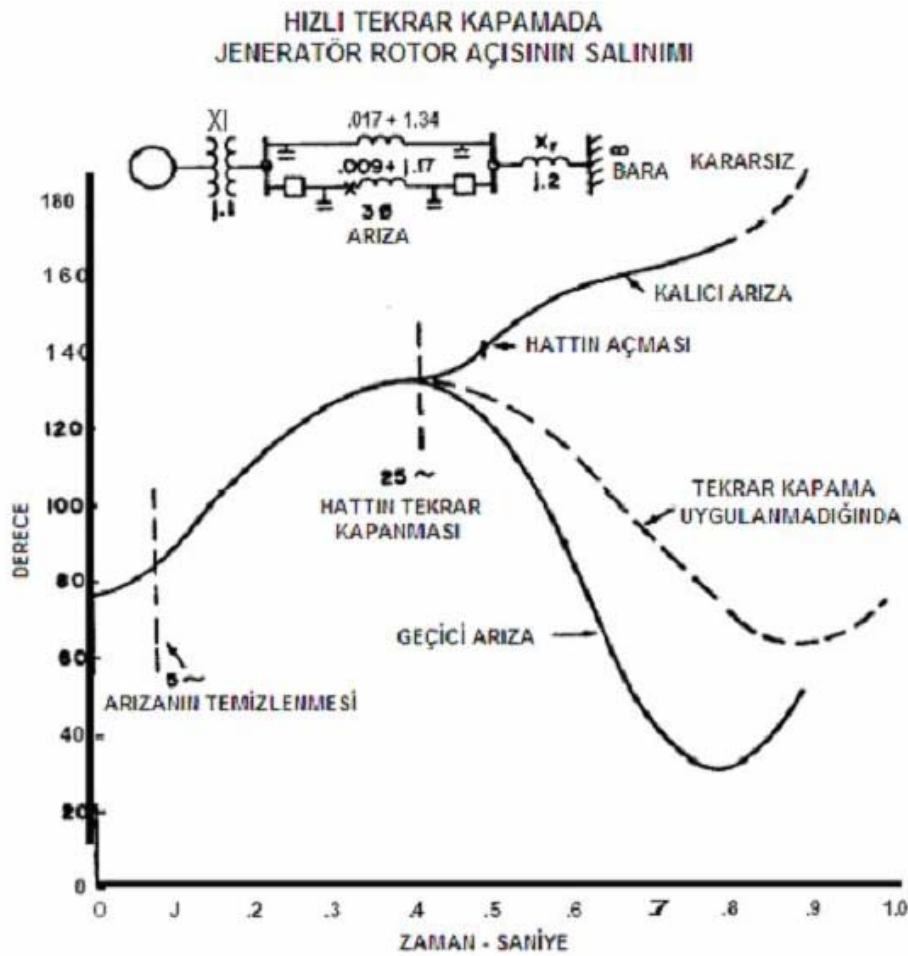
Tekrar kapama için farklı güç sistemleriyle ilgili olarak farklı uygulamaların bulunması; söz konusu güç sistemlerinin kararlılık şartları ile sistemdeki santrallerin büyük çoğunluğunun farklı yapıda (termik, hidrolik vb.) olmasından kaynaklanmaktadır.

2.2. Sistem Kararlılığı Üzerinde Tekrar Kapamanın Etkisi

Hızlı tekrar kapama göz önüne alınan duruma bağlı olarak kararlılık için faydalı veya zararlı olabilir. Otomatik tekrar kapama bir çok hattın devre dışı olma riskini azaltarak sistemin kararlılığına katkıda bulunur. Bu açıdan genelde mümkün olan en hızlı tekrar kapama daha iyi sonuç vermektedir. Ancak diğer taraftan, tekrar kapama başarısız olduğu durumlarda da sistem kararlılığını devam ettirilmelidir. Tekrar kapamanın başarısız olması durumunda, sönmelenme şansını bulamayan ilk salınımın artması sonucu sistemin kararsız hale gelebileceği bilinmelidir. Şekil 2.1'de hızlı tekrar kapamanın başarısız olması durumunda sistemin kararsız olmasına yol açtığı durum görülmektedir. Bu örnekte üç faz kısa devre arızası 5 çevrimde temizlenmektedir. Kesik çizgilerle gösterildiği gibi tekrar kapama uygulanmaksızın bu arıza için sistem kararlıdır. Ancak hızlı tekrar kapama kullanılır ve arızanın kalıcı olması nedeniyle tekrar kapama başarısız

olduğunda salınım eğrisinin tepe noktasına yakın bir noktada tekrar kapama yapıldığı için jeneratörün kararlılığı kaybolur.

Bu örnek için tekrar kapama ölü-zamanının uzatılması, başarısız tekrar kapama durumunda sistem kararlılığının sürmesini sağlayacaktır.



Şekil 2.1. Hızlı tekrar kapamada jeneratör rotor açısının salınımı (5)

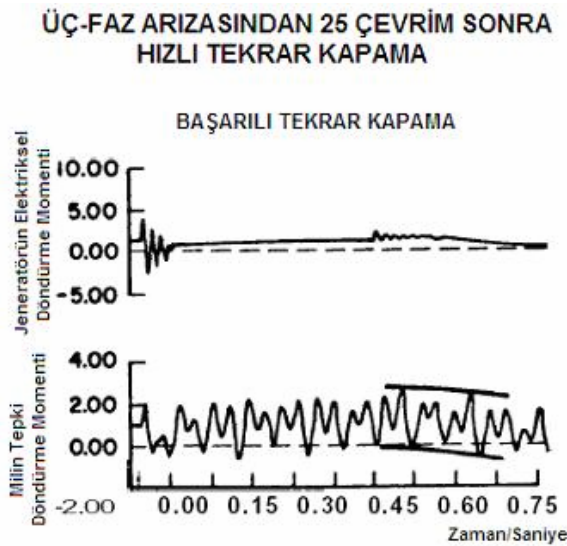
2.3. Türbin-Jeneratör Milinin Titreşimi ve Yorulması

Güç sistemindeki elektrik arızası ve anahtarlama jeneratörün rotorunda yol açtığı geçici burulmalar, türbin-jeneratör milinde salınan bir döndürme momentine neden olur. Bozunumun şiddetine bağlı olarak bu değer milin yorulma dayanım sınırını aşabilir. Bu durumda mil hasarlanır. Türbin-

jeneratör burulma salınımı çok yavaş sönümlendiği için sonradan meydana gelecek elektrik bozunumlarının neden olduğu salınımlar, mevcut burulma salınıminin üstüne binerek daha büyük genlikli salınımlar meydana getirir.

Yorulma süreci birikerek arttığından, milin yorulma ömrü, geçmişte maruz kaldığı bütün salınımların etkisiyle daha hızlı azalır.

Güç santralinin yakınında meydana gelen arızalarda, milin döndürme momentinin değeri, kararlı rejim yüküne karşılık gelen döndürme momentinin bir kaçına eşit olabilir (7). Şekil 2.2'de 892 MVA gücünde, bir yüksek basınç türbini, iki alçak basınç türbini olan ve milden tahrikli ikaz sistemine sahip, iki kutuplu türbin-jeneratöre yakın geçici üç-faz arıza, 3 çevrim sonra temizlenmiş ve 25 çevrim sonra gerçekleşen başarılı bir tekrar kapamanın neden olduğu mildeki döndürme momentini göstermektedir (7).

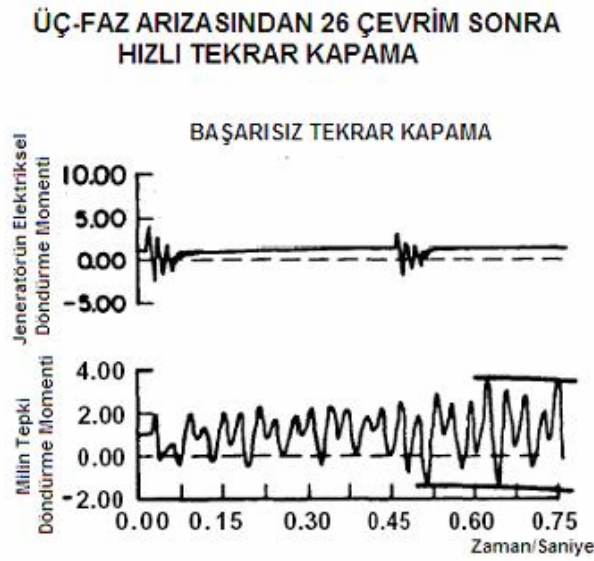


Şekil 2.2. Üç faz arızasından 25 çevrim sonra başarılı hızlı tekrar kapama (8)

Jeneratörün elektriksel döndürme momentini, arızanın temizlendiği 3 çevrime kadar bir artış göstermiştir. Bu artış arıza temizlendikten sonra kararlı duruma dönmüş ve başarılı tekrar kapama sırasında küçük bir artış daha göstermiştir. Arıza ile birlikte, jeneratörün beyan döndürme momentinin yaklaşık 3.0 pu (tepe-tepe) değerinde milde oluşan tepki, döndürme momentini genliğinde bir

değişiklik olmaksızın, tekrar kapamaya kadar devam etmiştir ve buradan kolayca görüleceği üzere, milde oluşan tepki döndürme momentinin sönümlenmesi çok yavaş olmaktadır.

Aynı şartlarda, kalıcı bir arızanın olması ve bundan dolayı tekrar kapamanın başarılı olmaması durumu ise Şekil 2.3'te görülmektedir.

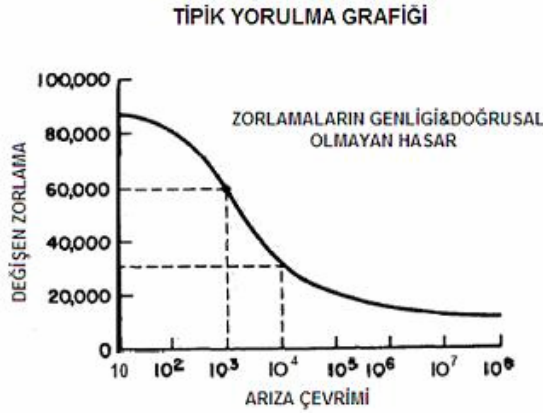


Şekil 2.3. Üç-faz arızasından 25 çevrim sonra başarısız hızlı tekrar kapama (9)

Elektriksel döndürme momentinin, başarısız tekrar kapama sırasında genliği daha büyük olmakla birlikte, sönümlenme süreleri başarılı tekrar kapama durumuna yaklaşık olarak eşittir. Milde meydana gelen tepki döndürme momenti ise arıza anında 3.0 pu mertebesinde olmasına rağmen, başarısız tekrar kapama anında bu değer 5.0 ile 6.0 pu seviyesine yükselmiştir. Yaklaşık olarak iki katı olan bu değer, arıza sırasında oluşan moment sönümlenmeden, başarısız tekrar kapama dolayısıyla oluşan 2. momentin ilk momentin üstüne binmesi sonucu milin tepki döndürme momentinin iki kat arttığını göstermektedir.

Şekil 2.3'de görüldüğü gibi zorlama genliğini iki katına çıkması, yorulma süresinin doğrusal olmayan yapısından dolayı, yorulma ömrünün çok daha

fazla azalmasına yol açmaktadır. Bu etkinin ana sebebi hızlı tekrar kapamalardır.



Şekil 2.4. Tipik yorulma grafiği (9)

Geçici arızalarda hızlı tekrar kapamaların türbin-jeneratör milinin yorulma ömrüne etkisi fazla değildir. Ancak büyük kalıcı arızalarda, hızlı tekrar kapamalar, en kötü şartlar altındaki yorulma hasarlarına neden olabilir (9).

2.4. Tekrar Kapama Düzenleri ve Alternatif Uygulamalar

Güç sistemindeki uygulanan tekrar kapma düzenleri:

- Arızanın tipine ve yerine bakmaksızın hattın her iki ucuna uygulanan sınırlamasız hızlı tekrar kapama.
- Gecikmeli tekrar kapama (burada gecikme süresi genellikle 10 saniyedir).
- Hattın uzak ucunda tekrar kapamayı uyguladıktan sonra yalnızca geçici arızalarda jeneratöre yakın uçtaki tekrar kapamaya izin veren ardışık tekrar kapama.
- Yalnızca daha az zorlayıcı arızalar için hızlı tekrar kapamayı kullanan seçici tekrar kapama.

Sınırsız hızlı tekrar kapama dışındaki bütün tekrar kapama uygulamaları, milin aşırı yorulma riskini azaltmaktadır.

Türbin-jeneratör milinin yorulmasını azaltmak ile iletim hattının en kısa sürede devreye alınması hususları, arızanın tipi ve şiddetini dikkate alarak seçici ve ardışık tekrar kapamanın birleşimiyle sağlanır (5). Arızanın şiddeti, arızanın tipi ve yerine göre değişir. Örneğin jeneratöre göre, yakın üç-faz ve iki faz-toprak arızaları en zorlayıcı arızalar iken uzak faz-faz ve tek faz-toprak arızalar daha az zorlayıcıdır.

Bu noktadan hareket edilerek arızanın tipi ve yerini esas alan ölçü sistemine sahip bir koruma, türbin-jeneratör milinin zorlanmasını en aza indirmek için kullanılabilir (bu tip korumalara örnek olarak mesafe koruma rölesi verilebilir).

En az zorlayıcı arızalar için hattın iki tarafında birbirinden bağımsız olarak çalışan hızlı tekrar kapama kullanılır.

Hattın bir ucunda zorlayıcılığı ayarlanan değeri aşan arızalar için hattın zorlayıcılığı aşan tarafındaki tekrar kapama başarılı olduktan sonra diğer uçtaki korumanın çalışacağı, hızlı ardışık tekrar kapama uygulanır (10).

Hattın her iki ucunda zorlayıcılığı ayarlanan değeri aşan arızalar için 10 saniye gecikmeli olan gecikmeli tekrar kapama kullanılır.

ÇYG iletim hatlarında birbirinden bağımsız iki mesafe koruma rölesi kullanılmaktadır. Bu mesafe koruma rölelerinden biri özellikle bu fonksiyon için ayarlanabilir. Bu durumda söz konusu röle çalıştığında hızlı tekrar kapama bloke edilir. Tersine bu röle çalışmadığında hızlı tekrar kapama uygulanır (10).

Bu uygulamanın olumsuzluğu, koruma sistemini karmaşık hale getirmesi sonucu işletme ve bakım zorluklarını da beraberinde getirmesidir.

Türkiye 380 kV iletim sisteminde yalnızca tek-faz hızlı tekrar kapama yani seçici tekrar kapama uygulanmaktadır.

Sonuç olarak, sınırsız tekrar kapama, türbin-jeneratör mili için yüksek hasarlanma riski taşıdığından, detaylı çalışmalar yapılmadan uygulanmamalıdır.

Güç sisteminin anahtarlama gereksinimi ile büyük güçlü termik türbin-jeneratör milinin hasarlanma olasılığı arasında dengeyi sağlıklı biçimde kurabilmek için söz konusu milin burulma titreşiminin sürekli izlenmesi gerekir (10). Elde edilen veriler, sistem kararlılık analizleriyle birleştirilerek; sistemin ihtiyaçlarına bağlı olarak aşağıda verilen farklı tekrar kapama yöntemlerinden biri uygulanmalıdır:

- Bütün arızalar için 10 saniye gecikmeli tekrar kapama.
- Ardışık tekrar kapama.
- Daha az zorlayıcı arızalar için seçici hızlı tekrar kapama ve diğer bütün arızalar için gecikmeli tekrar kapama.
- Ardışık tekrar kapama ile seçici tekrar kapamanın birleşimi.

Koruma sisteminin basit, seçici ve güvenilirlik esaslarına sahip olması büyük önem taşıdığından sistem kararlılığı için zorunlu kalmadıkça ardışık ve seçici tekrar kapamanın birleşiminin kullanılması tavsiye edilmemektedir (10).

Türkiye 380 kV iletim sisteminde uygulanmakta olan tek-faz hızlı tekrar kapama yerinde bir seçim olmakla birlikte, özellikle sistem kararlılığı bakımından önem arz eden büyük güçlü termik jeneratörlerin sisteme bağlandığı hatlarda ardışık tekrar kapama uygulamasına geçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (10).

3. TEKRAR KAPAMA UYGULAMALARI

Tekrar kapama düzeninin en önemli parametreleri (11);

- a) Ölü-zaman,
- b) Toparlanma zamanı,
- c) Tek veya çoklu kapamadır.

Bu parametreleri aşağıdaki faktörler etkiler;

- a. Koruma tipi,
- b. Kesicinin tipi,
- c. Muhtemel kararlılık problemleri,
- d. Değişik yüklerin etkileri,

3.1. Koruma Karakteristikleri

50 ms'den daha az çalışma zamanı olan mesafe koruma veya diferansiyel koruma vb. yüksek hızlı koruma rölelerinin kullanılması gerekir. Hızlı çalışan kesicilerle birlikte yüksek hızlı röleler, arıza arkının süresini ve buna bağlı olarak toplam sistem bozunum zamanını azaltır (11).

Arızalı hattın her iki tarafındaki kesicilerin mümkün olduğunca hızlı açması gerekir. Hattın bir tarafından halen beslendiği süre, ölü-zamanın etkin olarak azalmasına yol açıp, tekrar kapamanın başarılı olma şansını tehlikeye sokabilir. Mesafe koruma rölesi kullanıldığında ve arıza hattın bir ucuna yakın bir yerde olduğunda, her iki uçta da açmanın eş zamanlı olarak gerçekleşmesi için özel tedbirler alınmalıdır (11).

Arıza süresinin uzunluğunun, örnek bir sistemdeki kararlılığa olan etkisinin incelendiği bir çalışma Ek 1'de verilmiştir.

3.2. Arıza Arkının De-iyonizasyonu

Gerilim tekrar uygulandığında arkın yeniden tutuşmasını önlemek için söz konusu arkın de-iyonizasyonunu tamamlaması için müsaade edilmesi gereken sürenin bilinmesi gerekir (11).

(Arıza yolunun de-iyonizasyon için gerekli süre; ark süresine (arıza süresine), arıza akımına, rüzgar şartlarına, havanın nemine, hava basıncına, hattın gerilimine, diğer fazlarla olan kuplaj kapasitansına vb. faktörlere bağlıdır) (11).

Havadaki kontrolsüz bir arkın de-iyonizasyon süresi, sistem gerilimine, iletken açıklıklarına, arıza akımına, rüzgarın hızına ve iletkenlerin kuplaj kapasitanslarına bağlıdır. Bunların içinde sistem gerilimi, en önemli faktördür ve genel kural olarak daha yüksek gerilim, de-iyonizasyon için daha uzun zaman gerektirir. Çizelge 3.1’de tipik de-iyonizasyon zamanları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Arıza de-iyonizasyon zamanları (11)

Hat gerilimi (kV)	Asgari de-iyonizasyon zamanı (ms)
66	200
110	280
132	300
220	350
275	380
400	450
525	550

Tek fazlı açma ve tekrar kapama kullanıldığında, sağlıklı fazlar ile arızalı faz arasındaki kuplaj kapasitans, arkın devam etmesini sağlama eğiliminde olduğundan gerekli ölü-zaman süresi artar. Bu husus özellikle uzun ÇYG iletim hatlarında çözülmesi gereken bir problemdir.

3.3. Kesicinin Karakteristikleri

ÇYG sistemlerdeki arızalar, yüksek hızlı tekrar kapamada kullanılan kesicilerin manevra çevrimlerinin çok zorlar (11). Kabul edilen kesme çevrimi (kesme-kapama-kesme); arıza akımını kesmek, 200 ms sonra devreyi tekrar kapamak ve daha sonra arıza halen devam ediyor ise arıza akımını tekrar kesmek biçimindedir (11).

3.4. Ölü-Zamanın Seçimi

220 kV ve üzerindeki gerilimlerde, kesicinin sınırlamalarından ziyade de-iyonizasyon zamanı, ölü-zamanın belirlenmesinde etkin rol oynar. Bu değerler Çizelge 3.1'den alınabilir. Yüksek hızlı tekrar kapama rölesinde ölü-zaman ayarı, arkin de-iyonizasyonunu tamamlamasını sağlamak için yeterince uzun olmalıdır. ÇYG sistemlerde, başarısız tekrar kapama, tekrar kapamanın hiç uygulanmamasına göre daha olumsuz etkisi vardır (11).

Ölü-zaman genel olarak üç ayrı kategoride değerlendirilir (11);

- Hızlı tekrar kapama için ölü-zaman $< 0,8$ saniyedir. Bu durum tek faz ve üç faz tekrar kapamalar için geçerlidir. Bu durumda, hattın iki taraftan aynı anda açması için hattın iki ucundaki rölelerin karşılıklı haberleşmesi gerekir.
- Hızlı tekrar kapama için ölü-zaman $= 0,8$ ile 2 saniye arasındadır. Bu durum tek faz ve üç faz tekrar kapamada, hattın iki ucundaki röleler arasında haberleşme mevcut olmadığında geçerlidir.
- Gecikmeli tekrar kapama için ölü-zaman $= 2$ saniye ile 3 dakika arasındadır. Bu durum normalde dağıtım şebekelerinde üç faz tekrar kapamalar için kullanılır.

Türkiye 380 kV iletim sistemindeki bazı hatların ölü-zaman değerleri EK 4'de verilmiştir.

3.5. Toparlanma Zamanının Seçimi

Toparlanma süresi belirlenirken, bir sonraki tekrar kapamaya kesicinin kapama mekanizmasının hazır olması için gerekli olan zaman dikkate alınmalıdır. Türkiye 380 kV iletim sistemi için bu değer 5 saniyedir (11).

3.6 Kapama Sayısı

ÇYG sistemlerde yüksek hızlı tekrar kapama sayısı birdir. Tekrar kapama sayısının birden fazla olması, sistem kararlılığını ciddi biçimde olumsuz etkiler (4). Bu nedenle başarısız bir tekrar kapamadan sonra kesicinin tekrar kapaması bloke edilir (11).

4. TEKRAR KAPAMALARDA SEKONDER ARK AKIMI VE TOPARLANMA GERİLİMİ

Tek faz açan iletim hattındaki sekonder ark akımı (I_s), enerjili diğer iki fazdan elektrostatik (I_{SC}) ve elektromanyetik (I_{SM}) akımların vektörsel toplamıdır;

$$\vec{I}_s = \vec{I}_{SC} + \vec{I}_{SM} \quad [4.1]$$

Elektrostatik bileşen, iletkenler arasında yayılan kapasitanstan dolayı şönt kapasitif kuplajla ve elektromanyetik bileşen, yaygın olarak çoğu toprak dönüş yolunda olan karşılıklı rezistans ve endüktif reaktanstan dolayı seri kuplajla oluşur (12).

Manyetik bileşenden daha önemli olan elektrostatik (kapasitif) bileşen, esas olarak hat gerilimi ile arızalı faz ile arızasız fazlar arasındaki admitansa bağlıdır. Manyetik (endüktif) bileşen ise arızasız fazlardaki yük akımına, bunların arızalı fazla olan kuplaj endüktasına ve arızalı fazın toprağa olan admitansına bağlıdır. Bu iki bileşenin vektörsel toplamının en büyük olduğu yerlerde hattın sonunda meydana gelen sekonder ark akımı en büyük değerine ulaşır (13).

Toparlanma gerilimi (V_r), sekonder ark akımının sönmesinden sonra ve kesicinin kapamasından önce arıza yolundaki gerilimdir. Toparlanma geriliminin de şönt bileşen (V_{SH}) ve seri bileşen (V_{SR}) olarak adlandırılan iki bileşeni bulunmaktadır;

$$\vec{V}_r = \vec{V}_{SH} + \vec{V}_{SR} \quad [4.2]$$

Toparlanma geriliminin şönt (kapasitif) bileşeni, hattın uzunluğu ile yükünden bağımsız olup enerjilenen hattın gerilim değeriyle doğru orantılıdır.

Toparlanma geriliminin seri (endüktif) bileşeni ise enerjili fazlardaki akımla, bu fazları ile arızalı fazın karşılıklı empedanslarıyla doğru orantılıdır. Bundan dolayı, hattın uzunluğu ve yük akımıyla da doğru orantılıdır. Bu gibi iletkenlerin toprağa göre geriliminin hat boyunca değişmesi, şönt kapasitans dağılımına bağlıdır. Bu uzunluktaki kapasitansın sabit olmadığı durumda iletkenin toprağa göre gerilimi, hattın ortasında sıfır olacak ve hattın her iki ucuna doğru doğrusal olarak artacaktır.

4.1. Sekonder Ark Akımı ve Toparlanma Geriliminin Genliğinin Hesaplanması

Bu çalışmada, 400 kV örnek iletim hattındaki sekonder ark akımı ve toparlanma geriliminin hesaplanarak, arkın güvenli biçimde sönmesi için gerekli asgari ölü-zamanın belirlenmesi amaçlanmıştır.

Hattın tek faz tekrar kapamasındaki ölü zamanın, sekonder ark akımıyla doğru orantılı olmasından dolayı, öncelikle sekonder ark akımının hesaplanması gerekir. Hattaki sekonder ark akımının hesaplanmasından sonra ölü-zaman (t_d), aşağıdaki amprik formülden hesaplanabilir (14);

$$t_d = 0,25 (0,1 I_s + 1) \quad [4.3]$$

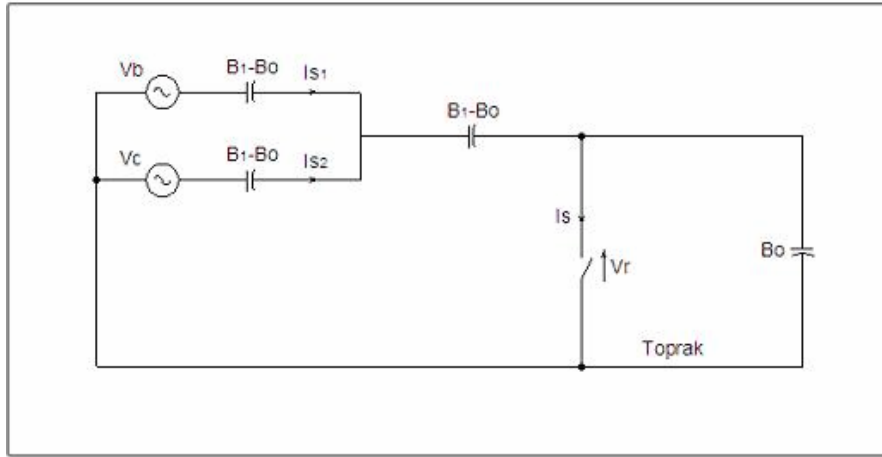
Söz konusu iletim hattın transpoze edildiği farz edilip, hesaplamada diğer bileşenler çok küçük olduğundan sekonder ark akımı ile toparlanma gerilimlerinin yalnızca kapasitif bileşenler dikkate alınmıştır.

Sekonder ark akımı ve toparlanma geriliminin hesaplamasında yapılan kabuller aşağıda belirtilmiştir;

- 1) Sistem frekansının beyan değerinde sabit olduğu (50 Hz),
- 2) Hattın tam olarak transpoze edildiği,

V_r : Arızanın temizlenmesinden sonra arıza noktasındaki toparlanma gerilimi.

Sekonder ark akımını hesaplamak için Şekil 4.1.'deki devreyi daha basitleştirmek için, Şekil 4.2. ve Şekil 4.3'deki dönüşümler yapılabilir.

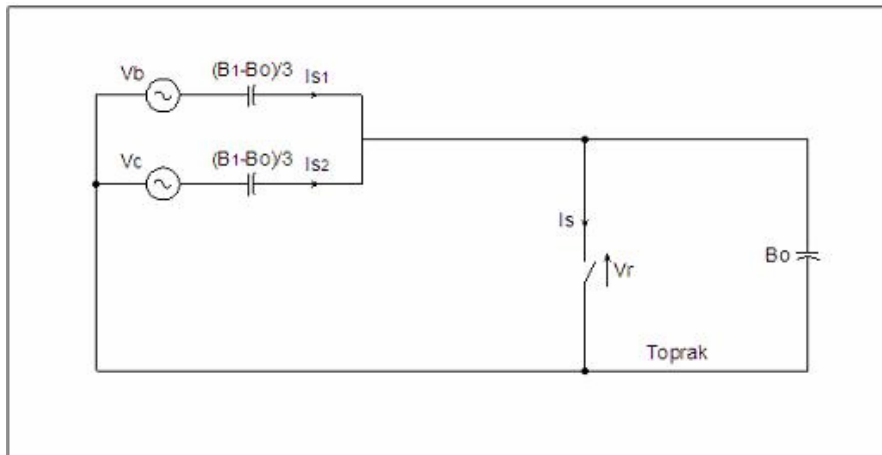


Şekil 4.2. Şekil 4.1.'de verilen devrenin eşdeğeri

Burada;

B_0 : İletim hattının toplam sıfır bileşen saseptansı,

B_1 : İletim hattının toplam pozitif bileşen saseptansı,



Şekil 4.3. Şekil 4.2'de verilen devrenin basitleştirilmiş şekli

Şekil 4.3.'te gösterilen I_s sekonder ark akımı;

$$\vec{I}_s = \vec{I}_{s1} + \vec{I}_{s2} \quad [4.4]$$

$$\vec{I}_s = \left(\vec{V}_B \times \frac{B_1 - B_0}{3} \right) + \left(\vec{V}_C \times \frac{B_1 - B_0}{3} \right) \quad [4.5]$$

$$\vec{I}_s = \left(\vec{V}_B + \vec{V}_C \right) \times \left(\frac{B_1 - B_0}{3} \right) \quad [4.6]$$

Kapasitif kuplajdan dolayı sekonder ark akımı, hat gerilimine, arızalı faz ile arızalı olmayan fazlar arasındaki admitansa bağlıdır, Eş.4.6.

4.3. Örnek İletim Hattının Sekonder Ark Akımının Hesaplanması

Çizelge 4.1. Örnek hattının parametreleri

Hattın Adı	Hat iletkeni	B_0 (pu/km)	B_1 (pu/km)	Uzunluk (km)
Örnek hat	3C	0,00381971	0,00625126	240

$$\text{Baz empedansı} = U_m^2 / S = 380^2 / 100 = 1444$$

Burada;

U_m : İletim hattının beyan gerilimi (kV),

S : Baz gücü (MVA).

$$B_0 = (0,00381971 / 1444) \times 240 = 6,35 \times 10^{-4} \text{ mho}$$

$$B_1 = (0,00625126 / 1444) \times 240 = 10,39 \times 10^{-4} \text{ mho}$$

$$(B_1 - B_0) = 4,04 \times 10^{-4} \text{ mho}$$

$$(B_1 - B_0) / 3 = 1,35 \times 10^{-4} \text{ mho}$$

Vektörel toplamın genliği $|\vec{V}_b + \vec{V}_c|$ 'dir.

$$|\vec{V}_b + \vec{V}_c| = |-\vec{V}_a| = \frac{380}{\sqrt{3}} \text{ kV(rms)}$$

Bu durumda söz konusu hat için sekonder ark akımının genliği aşağıdaki gibi bulunur;

$$|\vec{I}_s| = \frac{380}{\sqrt{3}} 10^3 \times 1,35 \times 10^{-4} = 30 \text{ A (rms)}$$

Hattaki gerilimin genliğinin şebekedeki muhtemel en büyük gerilim olan 420 kV olarak alınması halinde sekonder ark akımının değeri aşağıdaki gibi olur;

$$|\vec{I}_s| = \frac{420}{\sqrt{3}} 10^3 \times 1,35 \times 10^{-4} = 33,2 \text{ A (rms)}$$

Sonuç olarak sekonder ark akımın azami değeri, söz konusu hattaki tek faz tekrar kapamanın ölü-zaman aralığında, 33,2 A olması beklenmektedir.

4.4. Sekonder Toparlanma Geriliminin Hesaplanması

Şekil 4.3’de gösterilen gerilim (V_r), sekonder ark akımının sönmesinden sonraki toparlanma gerilimidir. Arkın bitmesinden sonra yeniden ark başlama olasılığı, sekonder toparlanma geriliminin genliği vasıtasıyla tahmin edilebilir. Transpoze edilmiş hatlar için fazlar arasındaki kapasitif kuplajdan dolayı toparlanma gerilimi aşağıda belirtildiği gibi elde edilebilir;

$$\vec{V}_r = \frac{(B_1 - B_0)}{2B_1 + B_0} \times \vec{V}_b + \frac{(B_1 - B_0)}{2B_1 + B_0} \times \vec{V}_c$$

$$\vec{V}_r = \frac{(B_1 - B_0)}{2B_1 + B_0} \times (\vec{V}_b + \vec{V}_c)$$

$$\vec{V}_r = \frac{(B_1 - B_0)}{2B_1 + B_0} \times (-\vec{V}_a)$$

$$|\vec{V}_r| = \frac{(B_1 - B_0)}{2B_1 + B_0} \times |\vec{V}_a| \quad [4.7]$$

Toparlanma geriliminin genliği, Eş.4.7'den görüleceği gibi hattın gerilimine bağlı olup uzunluğundan bağımsızdır.

4.5. Örnek İletim Hattının Sekonder Toparlanma Geriliminin Hesaplanması

Arızasız fazlardaki gerilimin genliğinin 380 kV olması durumunda,

$$|\vec{V}_r| = \frac{4,04 \times 10^{-4}}{27,13 \times 10^{-4}} \times \frac{380}{\sqrt{3}} = 32,67 \text{ kV(rms)}$$

arızasız fazlardaki gerilimin genliğinin 420 kV olması durumunda,

$$|\vec{V}_r| = \frac{4,04 \times 10^{-4}}{27,13 \times 10^{-4}} \times \frac{420}{\sqrt{3}} = 36,11 \text{ kV(rms)}$$

Sekonder ark akımının genliğine bağlı olan arkın yeniden başlaması olasılığı, sonuç bölümünde değerlendirilmiştir.

5. SEKONDER ARK AKIMINI SÖNDÜRMEK İÇİN YÖNTEMLER

Yüksek gerilim hatlarında sekonder arkın davranışını belirlemek için 1960 yılından beri farklı ülkelerde süre gelen bir çok saha ve laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Sekonder ark akımı, toparlanma gerilimi, primer arıza akımı, arıza yeri, ark uzunluğu ve meteorolojik şartlar gibi bir çok değişken arkın sönmesini etkiler. Bunların içinde sekonder ark akımı ile toparlanma gerilimi, en baskın olanlarıdır ve bunlar, özel kompanzasyon düzenleriyle azaltılabilir. Diğer değişkenler uygulamada kontrol edilemez (13).

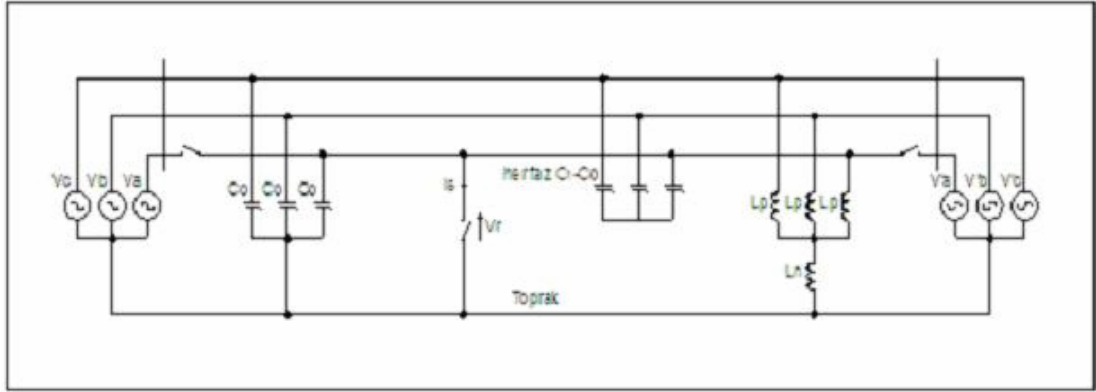
Bu bölümde sekonder ark akımının sönme yöntemlerinden, N.Knudsen ve E.Kimbark, tarafından önerilen nötr reaktörlü şönt reaktörün kullanılması incelenecektir (13).

5.1. Nötr Reaktörü ile Sekonder Ark Akımının Söndürülmesi

Gerekli nötr reaktörünün hesaplanması, transpoze edilmiş hatlar için sekonder ark akımın sadece kapasitif bileşeni dikkate alınarak yapılır.

İletim hattı yeterince uzun olduğunda özellikle Ç.Y.G sistemlerde iletim hattının kapasitif etkisinden dolayı, hattın sonunda açma meydana geldiğinde Ferranti etkisiyle aşırı gerilimi oluşur (1). Uzun hatlardaki kapasitif etkiyi kompanze etmek maksadıyla şönt reaktör hattın sonunda kullanılır. Reaktörün nötr noktasına bir reaktör konularak, hattın bir fazı açıldığında fazlar arası kapasitansı kompanze eder. Söz konusu kapasitif kuplajın kompanzasyonu, aşağıda gösterildiği gibi sekonder ark akımının azalmasına yol açar.

Hattın reaktör bulunan tarafındaki arızalı kutbun kesicisinin, tek faz toprak arızasından sonra açması durumu gösteren devre diyagramı Şekil 5.1'de görülmektedir.

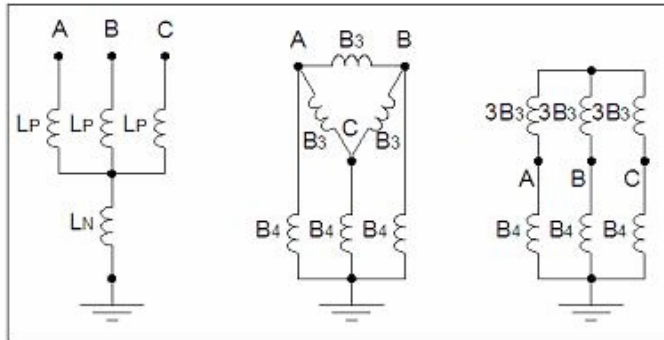


Şekil 5.1. Tek faz toprak arızasından sonra hattın uçlarındaki kesicilerin açılmasından sonra nötr reaktörlü şönt kompanzasyonlu iletim hattının devre diyagramı

Burada;

- C_0 : Hattın sıfır bileşen şönt kapasitansı,
- C_1 : Hattın pozitif bileşen şönt kapasitansı,
- I_s : Sekonder ark akımı
- V_r : Arıza noktasındaki toparlanma gerilimi,
- L_P : Şönt reaktörlerin endüktası,
- L_N : Nötr reaktörünün endüktası.

Şekil 5.1.'de gösterilen devredeki sekonder ark akımını hesaplamak için Şekil 5.2'de verilen yıldız-üçgen dönüşümler kullanılarak devreyi basitleştirmek mümkündür. Şekil 5.3'te verilen devre ise en basit biçimini göstermektedir.



Şekil 5.2. Şekil 5.1.'de verilen devrenin yıldız-üçgen dönüşümü

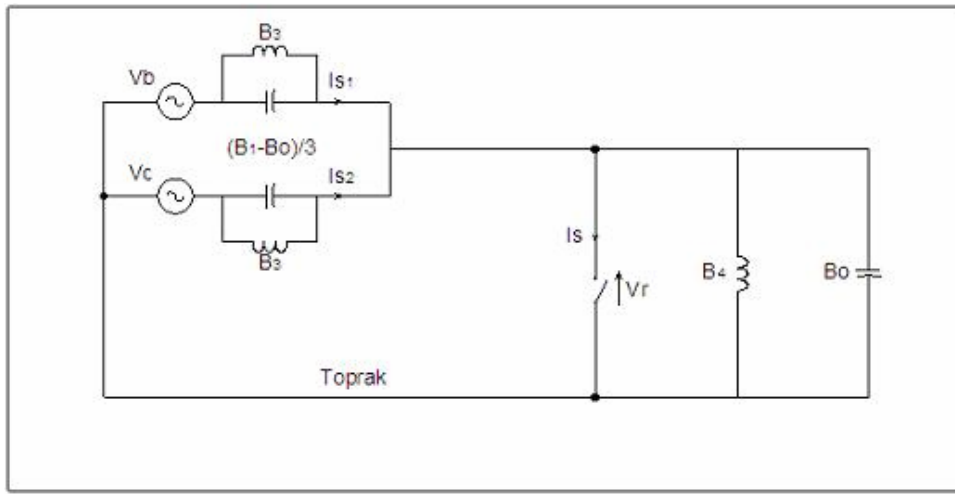
B_1, B_3, B_4, B_N 'in değerleri aşağıda verilmiştir:

$$B_1 = \frac{1}{j\omega L_P}$$

$$B_N = \frac{1}{j\omega L_N}$$

$$B_3 = \frac{B_P^2}{3B_P + B_N}$$

$$B_4 = \frac{B_P \times B_N}{3B_P + B_N}$$



Şekil 5.3. Şekil 5.1.'de verilen devrenin basitleştirilmiş son hali

Şekil 5.3.'te gösterilen sekonder ark akımı, I_S 'in, elde edilişi aşağıda verilmiştir:

$$\vec{I}_S = \vec{I}_{S1} + \vec{I}_{S2}$$

$$\vec{I}_S = (\vec{V}_B \times (-B_3 + \frac{B_1 - B_0}{3})) + (\vec{V}_C \times (-B_3 + \frac{B_1 - B_0}{3}))$$

$$\vec{I}_S = (\vec{V}_B + \vec{V}_C) \times (-B_3 + \frac{B_1 - B_0}{3})$$

[5.1]

Sekonder ark akımının değeri sıfır olduğunda Eş.5.1'in değeri aşağıdaki biçimi alır;

$$0 = -B_3 + \frac{B_1 - B_0}{3}$$

Bu eşitlikte sekonder ark akımını kompanze etmek için gerekli olan nötr reaktörünün değeri;

$$3B_3 = B_1 - B_0$$

$$-B_3 = \frac{3B_p^2}{3B_p + B_N}$$

Kompanzasyon oranı, K olarak belirtilirse;

$$B_p = K \times B_1$$

$$3B_3 = \frac{3K^2 B_1^2}{3KB_1 + B_N}$$

$$B_N = \frac{3KB_1[B_0 - (1-K)B_1]}{B_1 - B_0} \quad [5.2]$$

Sekonder ark akımının (yalnızca kapasitif bileşeni) sönmesi için gerekli olan nötr reaktörü, Eş.5.2'de görüldüğü gibi; kompanzasyon oranına, arızalı faz ile diğer fazlar arasındaki admitansa ve hattın uzunluğuna bağlıdır.

Şekil 5.3'deki toparlanma gerilimin (V_r) genliğinin elde edilişi aşağıda verilmiştir;

$$\vec{V}_r = \frac{B_1 - B_0 - B_3}{-6B_3 - 3B_4 + 2B_1 + B_0} \times \vec{V}_B + \frac{B_1 - B_0 - B_3}{-6B_3 - 3B_4 + 2B_1 + B_0} \times \vec{V}_C$$

$$\vec{V}_r = \frac{B_1 - B_0 - B_3}{-6B_3 - 3B_4 + 2B_1 + B_0} \times (\vec{V}_B + \vec{V}_C)$$

$$\vec{V}_r = \frac{B_1 - B_0 - B_3}{-6B_3 - 3B_4 + 2B_1 + B_0} \times \left| -\vec{V}_A \right| \quad [5.3]$$

Eş.5.3'den görüleceği üzere, $3B_3 = B_1 - B_0$ olduğunda sekonder toparlanma gerilimi de sıfır olur.

5.2. Şönt Reaktör Seçimi

Bir iletim hattı, seri empedansı (direnç ve endüktif elemanlar) ihmal edilirse, en genel şeklinde, şönt kompanzasyon reaktörlerinin de ilavesi ile Şekil 5.1'deki gibi toplu elemanlarla gösterilebilir. Şönt reaktöre tek faz arızalarda oluşan sıfır bileşen akımlarını azaltacak ve esneklik kazandıracak bir nötr reaktör ilave edilmiştir (18).

Şekil 5.1'den görüleceği üzere, hattın sıfır bileşen kapasitansı (C_0) fazlar ile toprak arasındaki kapasitif kuplaj, hattın pozitif ve sıfır bileşen kapasitansları arasındaki fark ($C_1 - C_0$ değerleri) ise fazlar arasındaki kuplajı göstermektedir. Arızanın c fazında olması durumunda, sağlam a ve b fazlarından, c fazına $C_1 - C_0$ kapasitansları üzerinden akım akar. Eğer bu akımlar azaltılmak (veya teorik olarak sıfıra eşitlenmek) isteniyorsa, bunun yöntemi, şönt reaktörden dolayı olan fazlar arasındaki endüktif empedansı, kapasitif empedansa eşit hale getirerek bilinen paralel rezonans devresini oluşturmaktadır. Bu işlemin daha iyi görülebilmesi için iletim hattının kapasitansları ile şönt reaktörlerini aynı eşdeğer gösterime getirmekte fayda vardır.

Şekil 5.2.a'daki iletim hattı kapasitansları ile şönt reaktör eşdeğer devresi karşılaştırıldığında, gerekli paralel rezonans için:

$$3B_3 = B_1 - B_0 \quad [5.4]$$

gerekmektedir. Şimdi değişik reaktör durumları için rezonans oluşumu incelenecektir.

Durum 1 Faz şönt reaktörlerin topraklı olması: Bu durumda nötr reaktansı, X_n , sıfırdır. Dolayısıyla $B_N = \infty$ olmakta, dolayısıyla;

$$B_3 = \frac{B_P^2}{3B_P + B_N} = 0 \quad [5.5]$$

$$B_4 = \frac{B_P B_N}{3B_P + B_N} = B_P \quad [5.6]$$

olduğundan, kapasitif kuplaj nedeniyle sağlam fazlardan arızalı faza akan akımlara herhangi bir etkisi olmayacaktır.

Durum 2 Faz şönt reaktörlerin topraktan izole olması: Bu durumda $L_N = \infty$ ve $B_N = 0$ olmakta, dolayısıyla;

$$3B_3 = \frac{3B_P^2}{3B_P + B_N} = B_P \quad [5.7]$$

$$B_4 = \frac{B_P B_N}{3B_P + B_N} = 0 \quad [5.8]$$

yukarıdan görüleceği gibi eğer şönt reaktör değerleri,

$$B_p = w(C_1 - C_0) = B_1 - B_0 \quad [5.9]$$

olarak seçilirse, nötr reaktörüne gerek duyulmadan da paralel rezonans sağlanabilmektedir. Yalnız bunların topraktan izole çalışması gerekmektedir.

Durum 3 Genel: Bu durumda, yüzde olarak K oranında kompanzasyon sağlayan şönt reaktörlerle paralel rezonansı oluşturacak nötr reaktörünün değeri hesaplanacaktır.

Eğer kompanzasyon yüzdesi K ise

$$B_p = KB_1 \quad [5.10]$$

$$3B_3 = \frac{3B_p^2}{3B_p + B_N} = \frac{3(KB_1)^2}{3(KB_1) + B_N} \quad [5.11]$$

Eşitlik 18'den elde edilen reaktör değeri genel rezonans denkleminde koyulursa,

$$3B_3 = B_1 - B_0 = \frac{3K^2B_1^2}{3KB_1 + B_N} \quad [5.12]$$

elde edilir. Buradan nötr reaktör değeri B_N , sistem kapasitansları cinsinden

$$B_N = \frac{3KB_1[B_0 - (1-K)B_1]}{B_1 - B_0} \quad [5.13]$$

olarak bulunur.

Değişik reaktör değerlerinin irdelenmesi: Durum 2'de incelenen nötr reaktörünün bulunmaması hali (izole nötr), paralel rezonansın sağlanabilmesi için gerekli minimum şartları göstermektedir. Bu durumda gerekli şönt kompanzasyon oranı aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$B_p = KB_1 = B_1 - B_0 \quad [5.14]$$

$$K = 1 - \frac{B_0}{B_1} \quad [5.15]$$

Eğer bulunan K değeri, Eş.5.11'de yerine koyulursa $B_N = 0$ olmakta ve bu da reaktörlerin topraklanmamasının gerekliliğini göstermektedir. K yüzdesinin üzerinde yapılacak kompanzasyonlarda Eşitlik 5.11'den elde edilen değerler pozitif olarak çıkmakta ve ancak bu durumlarda paralel rezonansı sağlayacak nötr reaktörüne gereksinim duyulmaktadır.

5.3. Örnek Hattın Analizi

Örnek hattının bir tarafında 380 kV 40 MVar değerinde bir şönt reaktör bulunmaktadır. Söz konusu reaktörün nötr noktası doğrudan toprağa bağlıdır.

Sekonder ark akımının söndürülmesi için nötr reaktörle iletim hattının şönt kompanzasyonun yapılması gerekir. Ancak bir hattın şönt kompanzasyonunun asıl amacı, hattın ürettiği reaktif gücü (varsa) kompanze etmektir. Bu nedenle şönt kompanzasyonun gerekli olup olmadığını değerlendirmek amacıyla örnek hattının açık ucunda Ferranti aşırı gerilim genliği aşağıda hesaplanmıştır (14).

Bir iletim hattının ürettiği toplam reaktif güç:

$$Q = 3 \times \left(\frac{V}{\sqrt{3}} \right) \times B_1$$

Burada;

Q İletim hattının ürettiği toplam reaktif güç,

V İletim hattının faz-faz rms gerilimi,

B_1 İletim hattının toplam pozitif bileşeni.

Faz-faz rms gerilimi genliği 380 kV kabul edilerek, örnek iletim hattının ürettiği toplam reaktif güç aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$Q = 3 \times \left(\frac{380}{\sqrt{3}} \right)^2 \times 875 \cdot 10^{-4}$$

$$Q = 126.35 \text{ MVar}$$

ve 40 MVar'lık reaktörle elde edilen kompanzasyon oranı

$$K = 40/126.35 = 0.317 \text{ dir.}$$

Buna karşılık istenilen paralel rezonansı sağlayacak asgari kompanzasyon oranı:

$$K_{\min} = 1 - \frac{B_0}{B_1} = 1 - \frac{5.34 \cdot 10^{-4}}{8.75 \cdot 10^{-4}} = 0.4$$

Madde 5.3'te şönt reaktör seçimi bölümünde belirtildiği gibi minumum kompanzasyon oranında şönt reaktörün nötr noktasının izole olarak çalışması gerekmektedir. Yukarıdaki hesaptan görüleceği üzere örnek hatta konulan reaktör neticesinde elde edilen kompanzasyon oranı ile hesaplanan minumun kompanzasyon oranlarının birbirine yakın olması büyük değerde bir nötr reaktör kullanılması gereğini ortaya koymaktadır.

Nitekim 40 MVar'lık şönt reaktör kullanılması sonucunda elde edilen kompanzasyon oranı 0.317, Eşitlik 5.11'de yerine koyulduğunda paralel rezonans devresini sağlamak için gerekli nötr reaktörünün değeri:

$$B_N = \frac{3 \times 0.317 \times 8.75 \times 10^{-4} [5.34 \times 10^{-4} - (1 - 0.317) \times 8.75 \times 10^{-4}]}{8.75 \times 10^{-4} - 5.34 \times 10^{-4}} = 0$$

$X_N = \infty$ olacaktır.

Buna karşılık mevcut reaktörün nötrü direk topraklıdır. Dolayısıyla seçilen reaktörün paralel rezonans devresini sağlamada istenilen amaçtan uzak olmakta ve sisteme bu anlamda faydası olmamaktadır.

Bu şartlar altında yani paralel rezonans devresini sağlamak için gerekli reaktörün olmaması durumunda tek faz tekrar kapama incelenerek elde edilen neticeler sonuç bölümünde değerlendirilmiştir.

5.4. Kondansatör ile Sekonder Arkının Söndürülmesi

Söz konusu hattın parametreleriyle orantılı olarak hat kesicisinin her bir kutbunun bağlantı uçları arasına bir kondansatör ilave edilmesiyle de sekonder ark akımı söndürülür. Bu yöntem, H.A.Peterson ve N.V.Dravid tarafından 1969 yılından ortaya koyulmuştur (15).

Bu çalışmada söz konusu yöntem yalnızca bilgi amacıyla değinilmiştir.

6. UYGULAMALAR



Şekil 6.1. 400 kV örnek iletim hattının tek hat şeması

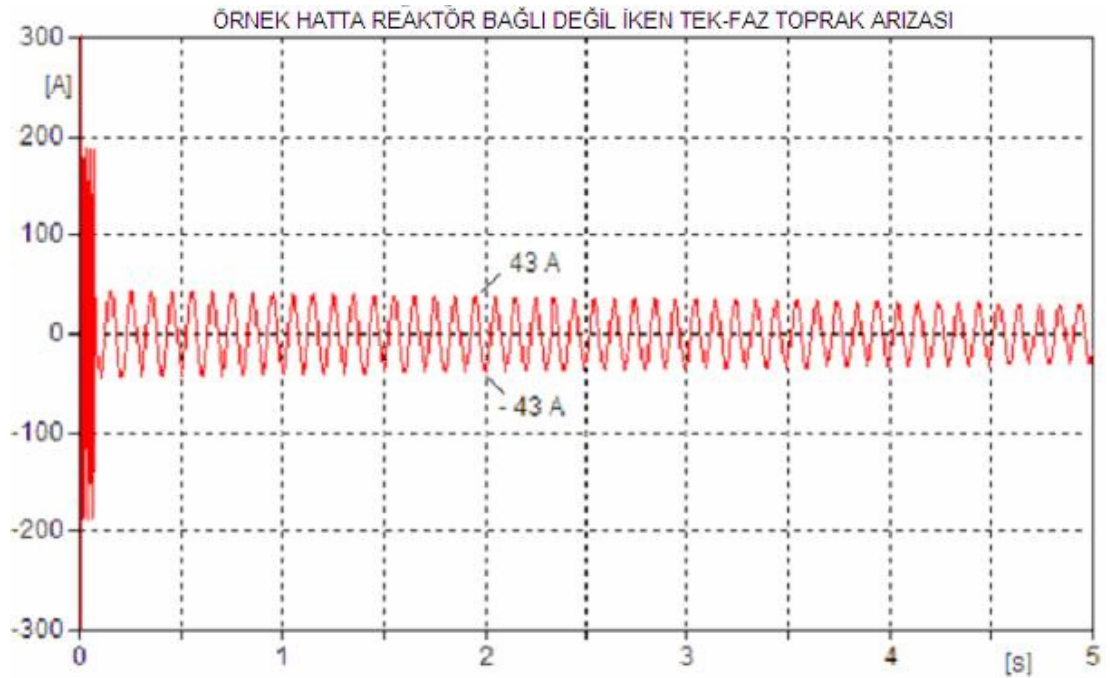
Uygulama Senaryoları:

- 1- Örnek hatta reaktör bağlı değil iken tek-faz toprak arızası,
- 2- Örnek hatta hesaplanan değerde reaktör (nötr reaktörlü) bağlı iken tek-faz toprak arızası,
- 3- Örnek hatta kısa devre gücünün etkisi,
- 4- Örnek hatta arıza yerinin etkisi,
- 5- Örnek hatta açma zamanlarının etkisi,
- 6- Örnek hatta hat uzunluğunun etkisi.
- 7- Erzurum-Özlüce hattının reaktör mevcut (nötrü direk topraklı) haliyle bağlı iken tek-faz toprak arızası,

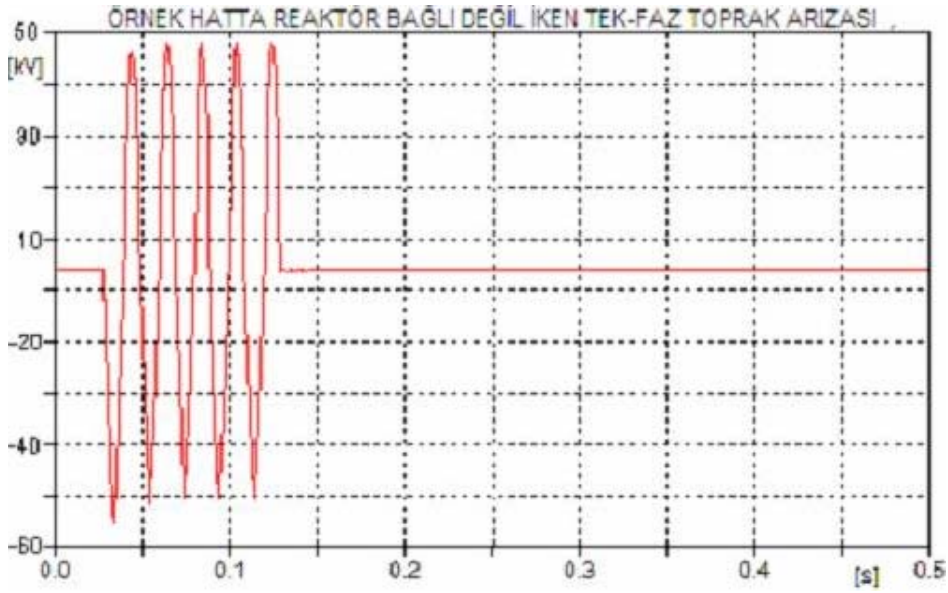
6.1. Örnek Hattı Reaktör Bağlı Değil İken Tek Faz Toprak Arızası



Şekil 6.2.a. Senaryo 1 için sekonder ark akımı



Şekil 6.2.b. Senaryo 1 için farklı ölçekte sekonder ark akımı



Şekil 6.3. Senaryo 1 için toparlanma gerilimi

Yapılan simülasyon neticesinde elde edilen sekonder ark akımı ve sekonder toparlanma gerilimi değeri, Madde 4.3 ile Madde 4.5’de teorik olarak bulunan sekonder ark akımı ve sekonder toparlanma gerilimi değeri karşılaştırıldığında:

Teorik olarak bulunan sekonder ark akımı: 30 A (rms),

Simülasyon neticesinde elde edilen sekonder ark akımı: $\frac{43}{\sqrt{2}} = 30,4 \text{ A (rms)}$

Teorik olarak bulunan sekonder toparlanma gerilimi: 32.67 kV (rms)

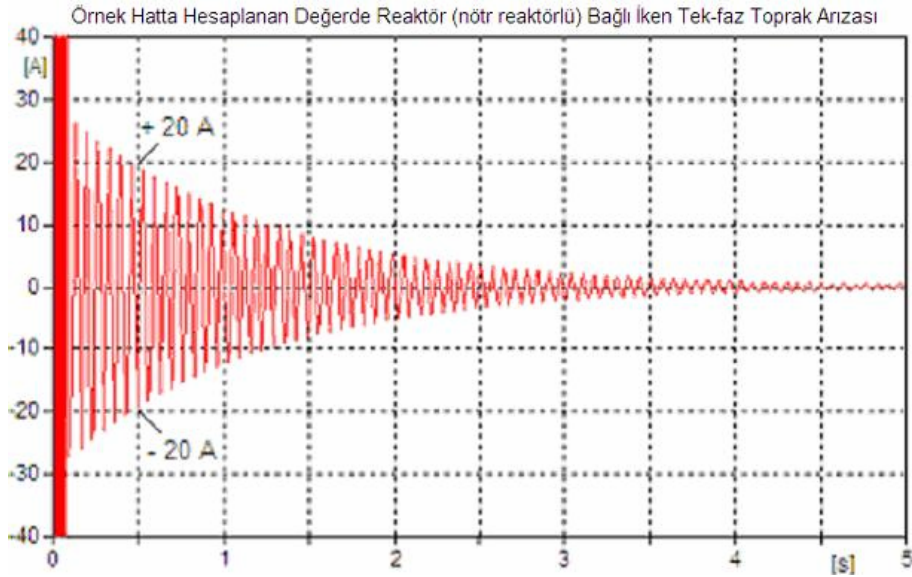
Simülasyon neticesinde elde edilen sekonder toparlanma gerilimi:

$$\frac{48}{\sqrt{2}} = 33.94 \text{ kV}$$

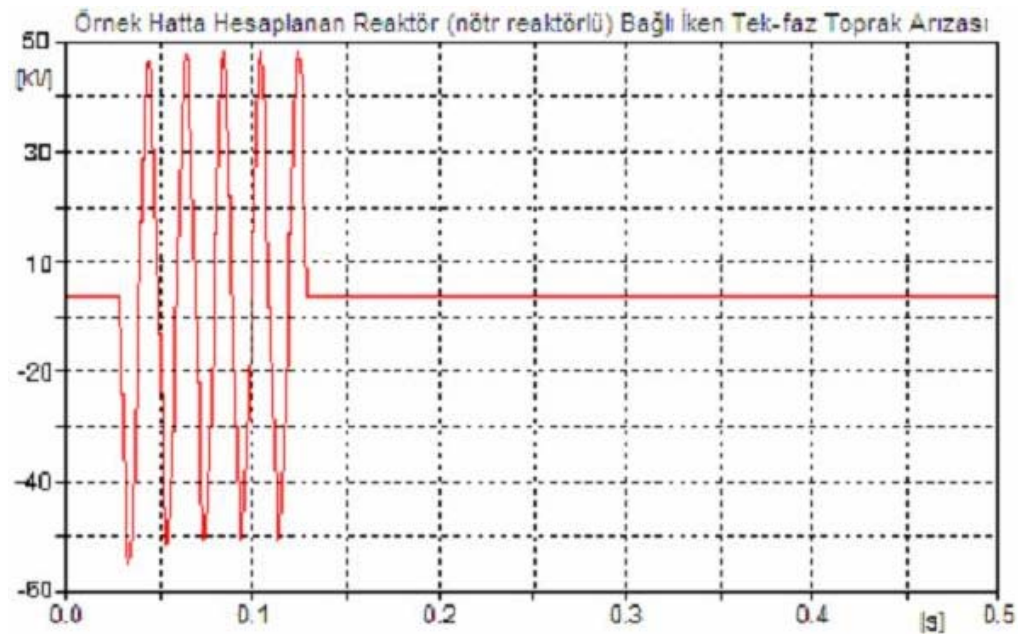
Teorik ve simülasyon neticesinde elde edilen değerlerin birbirine olan yakınlığı, simülasyon uygulamasının doğruluğunu ortaya koymaktadır.

Sekonder ark akımının sönümle süresinin için 5 saniyenin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

6.2. Örnek Hatta Hesaplanan Değerde Reaktör (Nötr Reaktörü) Bağlı İken Tekrar Kapama



Şekil 6.4.a. Senaryo 2 için sekonder ark akımı



Şekil 6.4.b. Senaryo 2 için toparlanma gerilimi

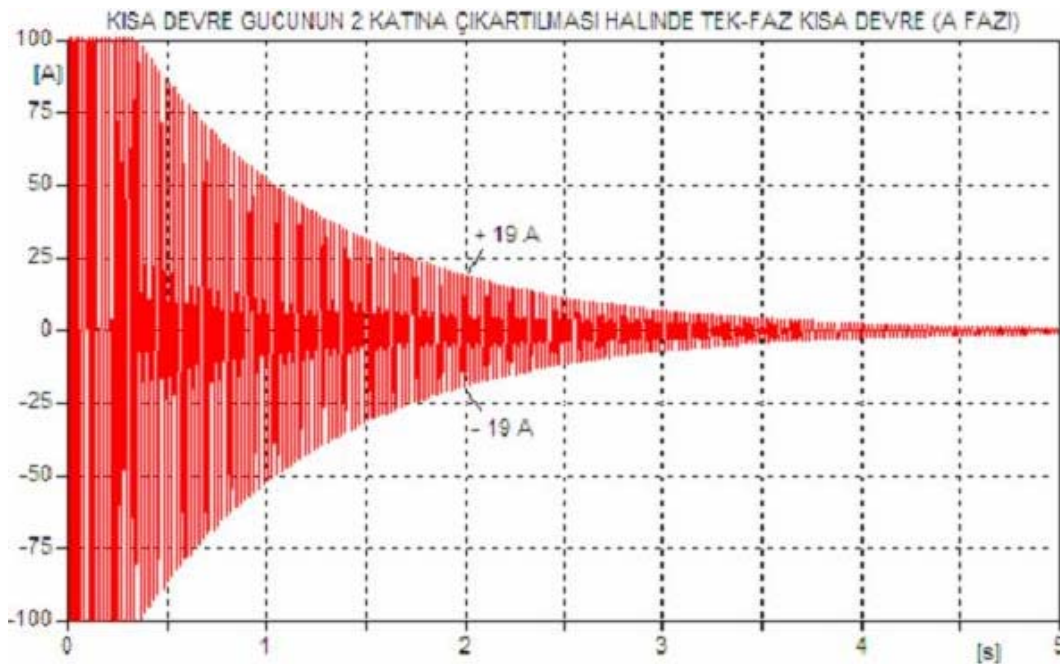
40 MVar'lık şönt reaktör kullanıldığında Eşitlik 5.11'den elde edilen sonucuna göre paralel rezonansı sağlamak için şönt reaktörün nötr noktasının izole olarak çalıştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Buna göre bağlanan, bir başka deyişle örnek hatta bağlanan reaktörün nötrünün izole olarak çalıştırılması durumuna göre yapılan simülasyon neticesinde, sekonder ark akımının; 18 A değerine 0,6 saniye sonunda ve 12 A seviyesine 1 saniye sonunda düştüğü tespit edilmiştir.

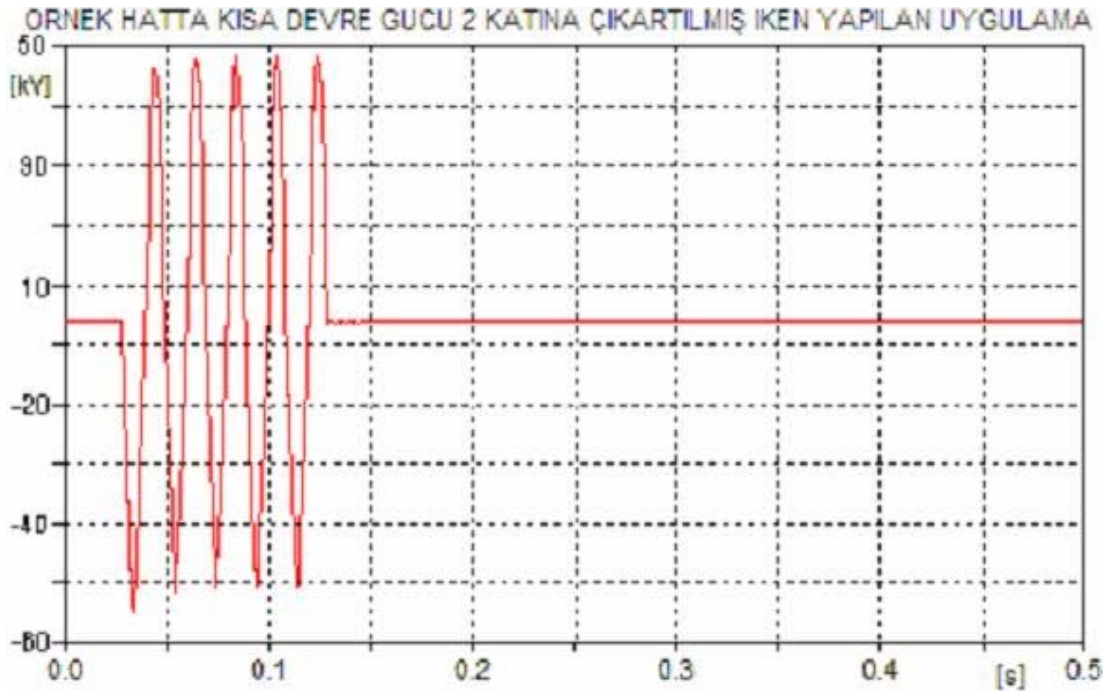
Bu sonuç, nötr reaktörlerinin teorik olarak sekonder ark akımını azatlığı tezini, uygulama sonucunun desteklediği ve ölü zaman süresinin 1 saniye olarak seçilmesinin yeterli olabileceği görülmektedir.

6.3. Örnek Hatta Kısa Devre Gücünün Etkisi

6.3.1. Örnek hattın iki tarafındaki bara kısa devre gücünün 2 katına çıkartıldığında tekrar kapama

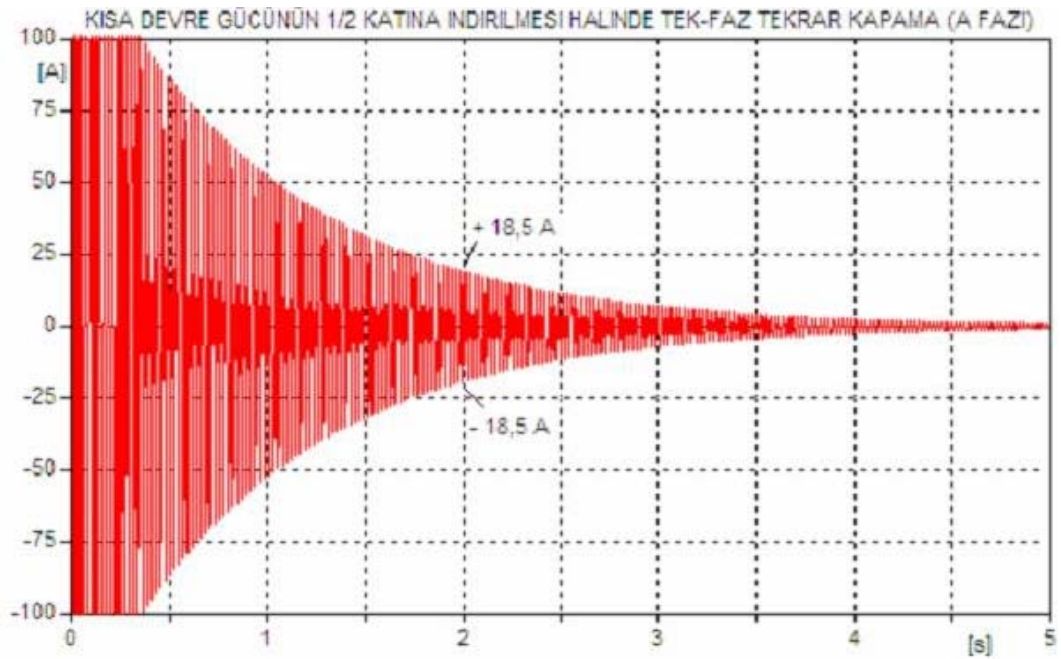


Şekil 6.5. Senaryo 3 için sekonder ark akımı

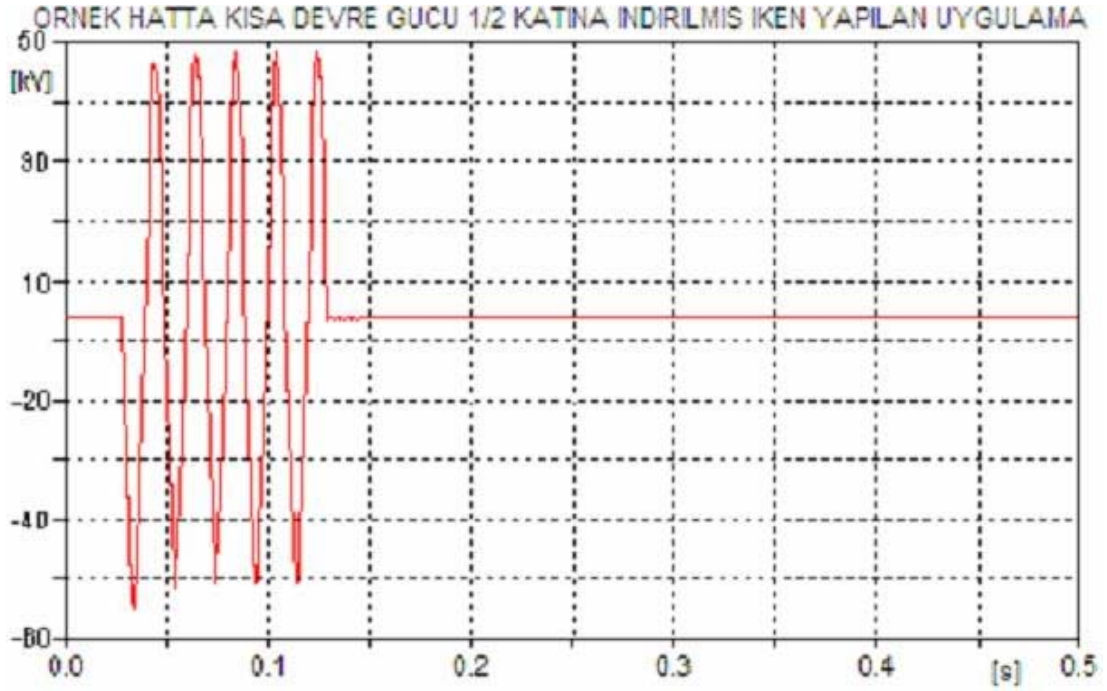


Şekil 6.6. Senaryo 3 için toparlanma gerilimi

6.3.2. Örnek hattın iki tarafındaki bara kısa devre gücünün 1/2 katında tekrar kapama



Şekil 6.7. Senaryo 3 için sekonder ark akımı



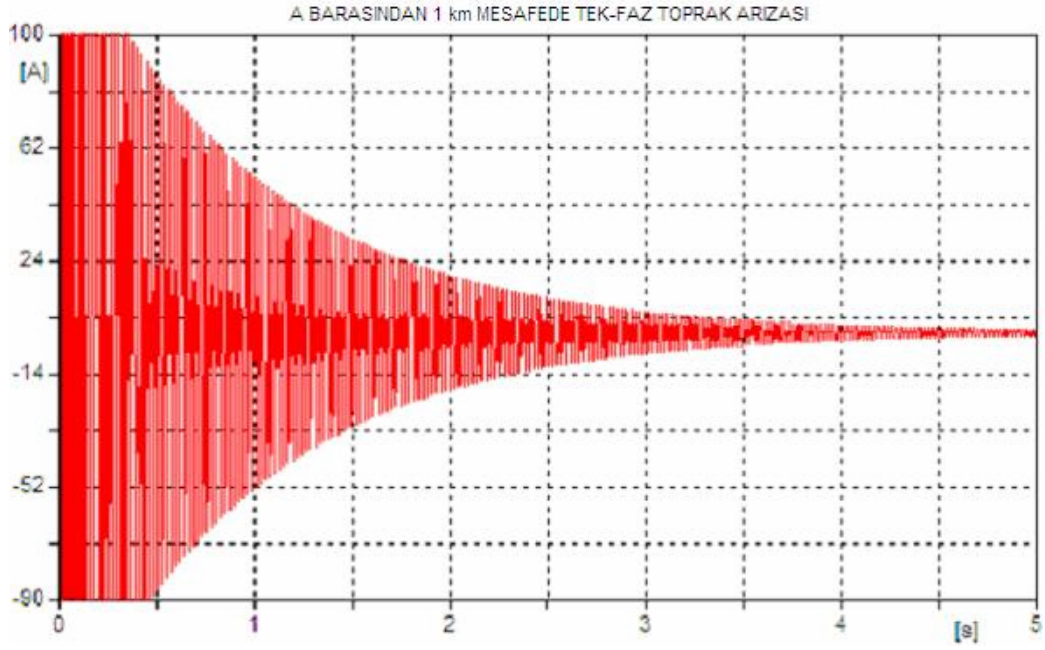
Şekil 6.8. Senaryo 3 için toparlanma gerilimi

İlgili baralarının kısa devre güçlerinin, diğer sistem parametreleri değiştirilmeden, 2 katına çıkartılarak yapılan simülasyonda; sekonder ark akımının yaklaşık olarak aynı kaldığı tespit edilmiştir.

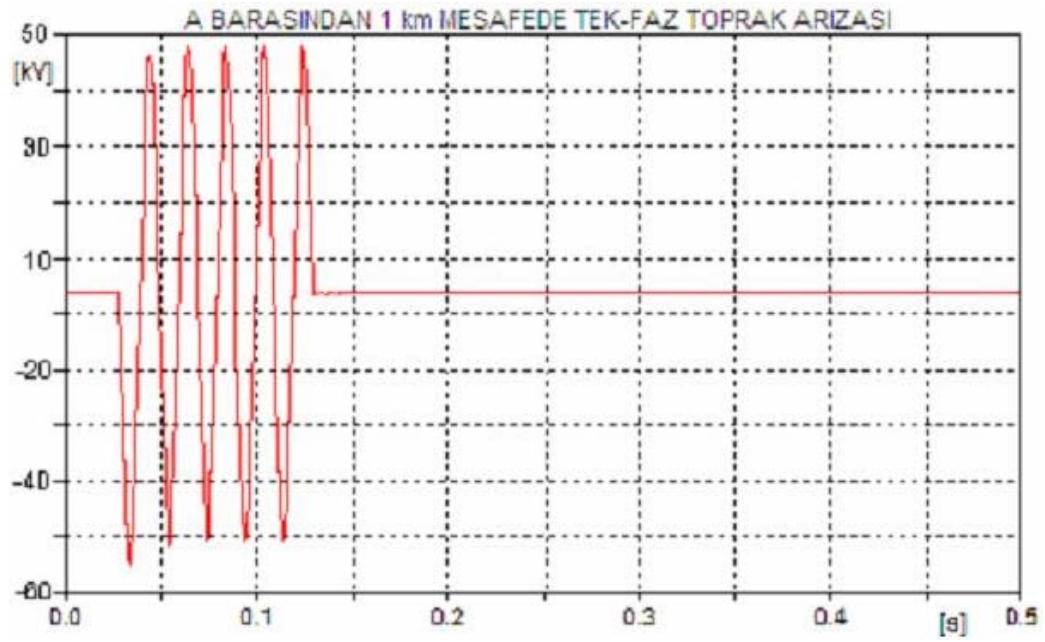
İkinci bir çalışma olarak yine sistem parametreleri değiştirilmeden, baralarının kısa devre güçlerinin yarıya indirilerek yapılan simülasyonda; sekonder ark akımı yaklaşık olarak aynı kalmaktadır.

6.4. Örnek Hatta Arıza Yerinin Etkisi

6.4.1. A barasına 1 km mesafede tek-faz toprak arızası

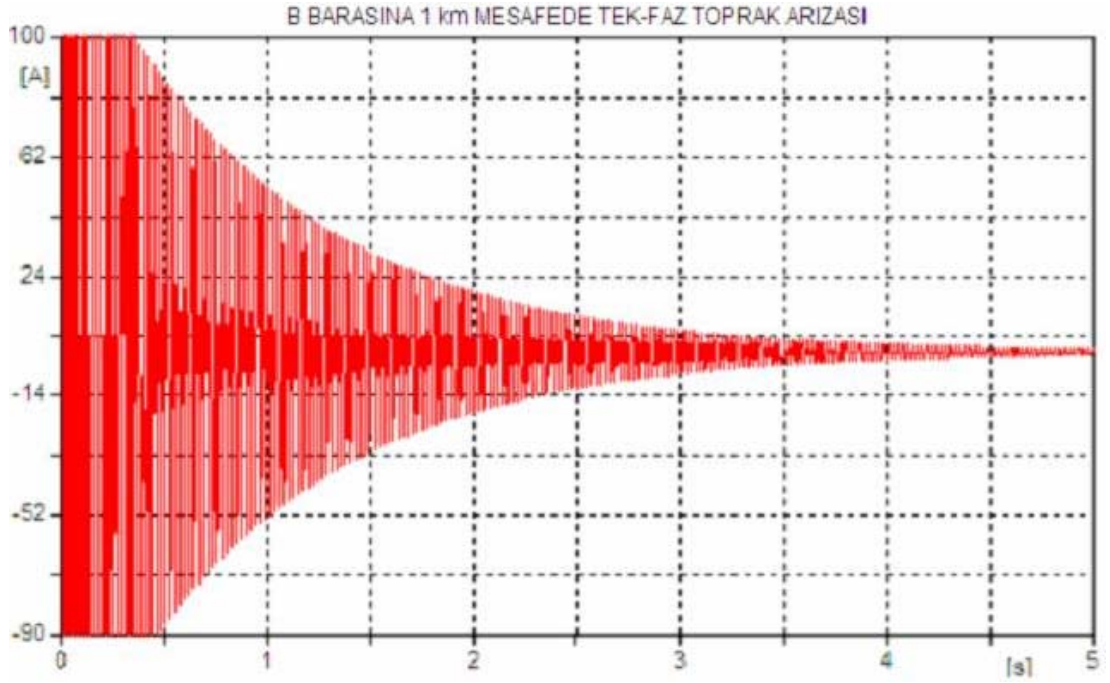


Şekil 6.9.a. Senaryo 4 için sekonder ark akımı

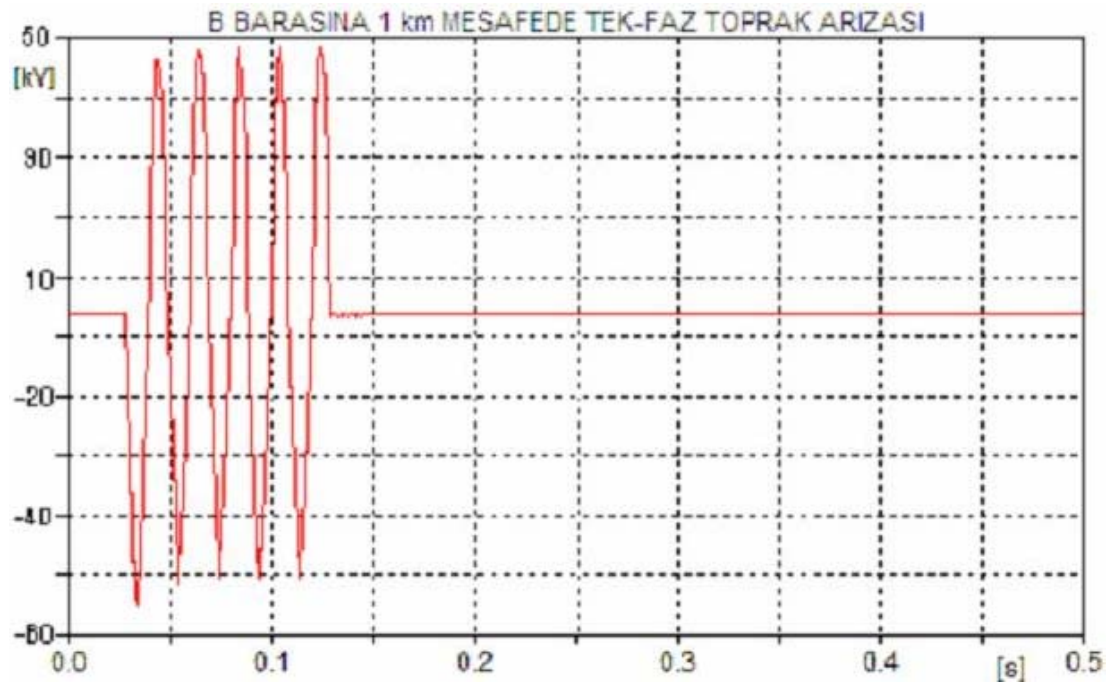


Şekil 6.9.b. Sekonder 4 için toparlanma gerilimi

6.4.2. B barasına 1 km mesafede tek-faz toprak arızası



Şekil 6.10.a. Senayo 4 için Sekonder Ark Akımı



Şekil 6.10.b. Sekonder 4 için toparlanma gerilimi

Arıza noktası olarak A ve B baralarına 1 km uzaklık seçilerek yapılan simülasyon sonuçlarda, meydana gelebilecek tek faz toprak arızaları için sekonder ark akımı I_s ve sekonder ark akımını tetikleyecek sekonder toparlanma gerilimleri V_r incelenmiştir. Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da arızanın A barasına 1 km uzaklığında olması durumunda ve B barasının 1 km uzaklığında olması durumunda elde edilen sonuçları göstermektedir.

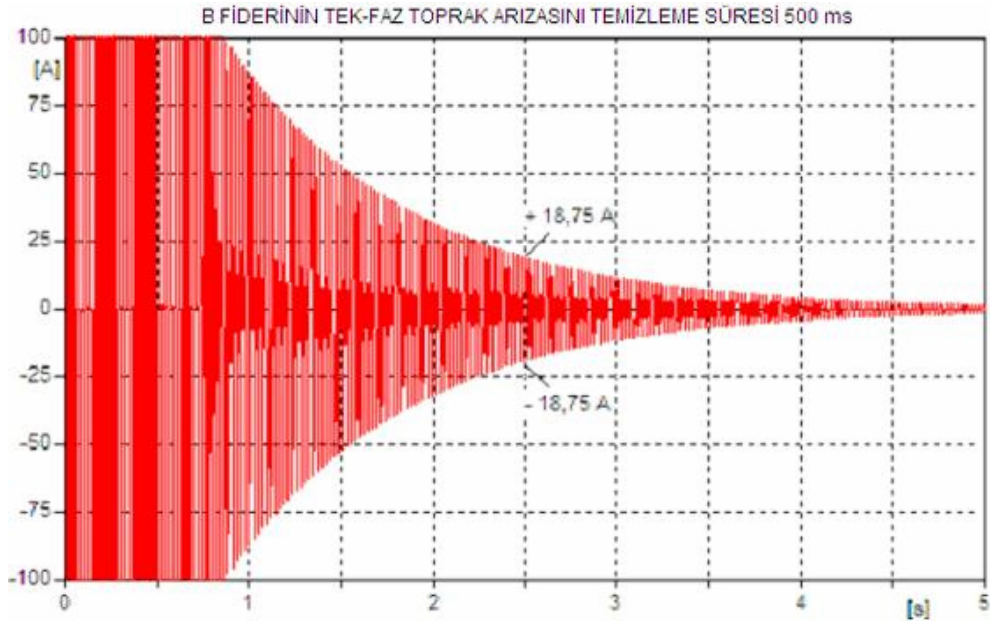
Söz konusu şekillerden görüleceği üzere sekonder ark akımının değeri, arıza noktasından bağımsız olduğu görülmektedir. İncelenen her iki durumda da sekonder ark akımının tepe değeri değişmemektedir.

Sekonder toparlanma gerilimi değerinin de arıza noktasından bağımsız olduğu ve her iki durumda da sekonder toparlanma gerilimi de değişmemektedir.

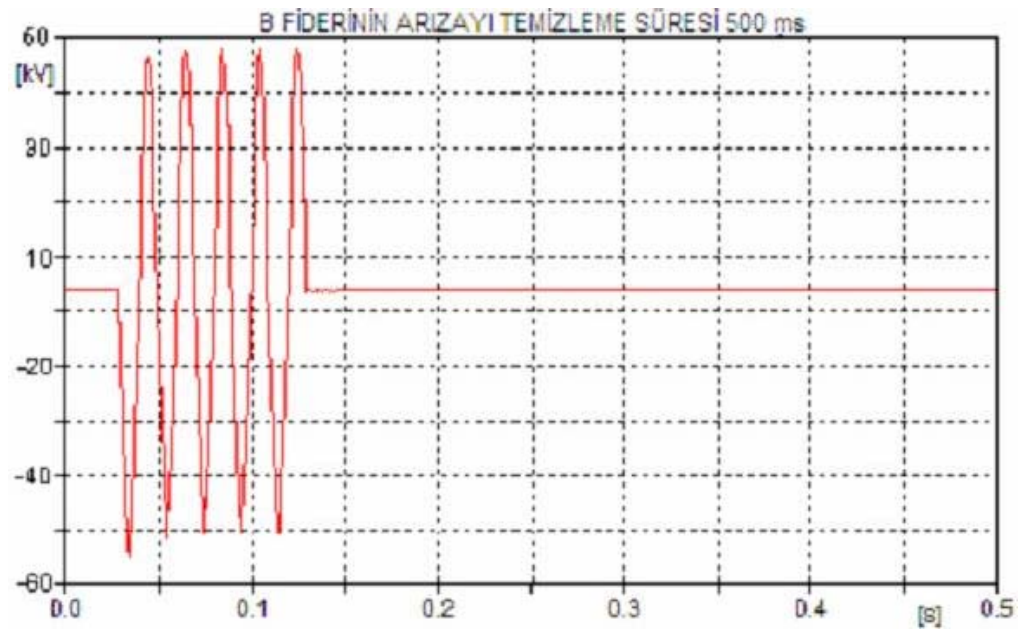
Elde edilen sonuçlar, arıza yerine bağlı olarak sekonder ark akımı ve sekonder toparlanma geriliminin değişmediğini göstermektedir. Bu duruma ilişkin değerlendirme, sonuç bölümünde yapılmıştır.

6.5. Örnek Hatta Açma Zamanının Etkisi

6.5.1. A T.M.'de B fiderine ait mesafe koruma rölesinin 2. kademesinde yani 500 ms'de çalışması

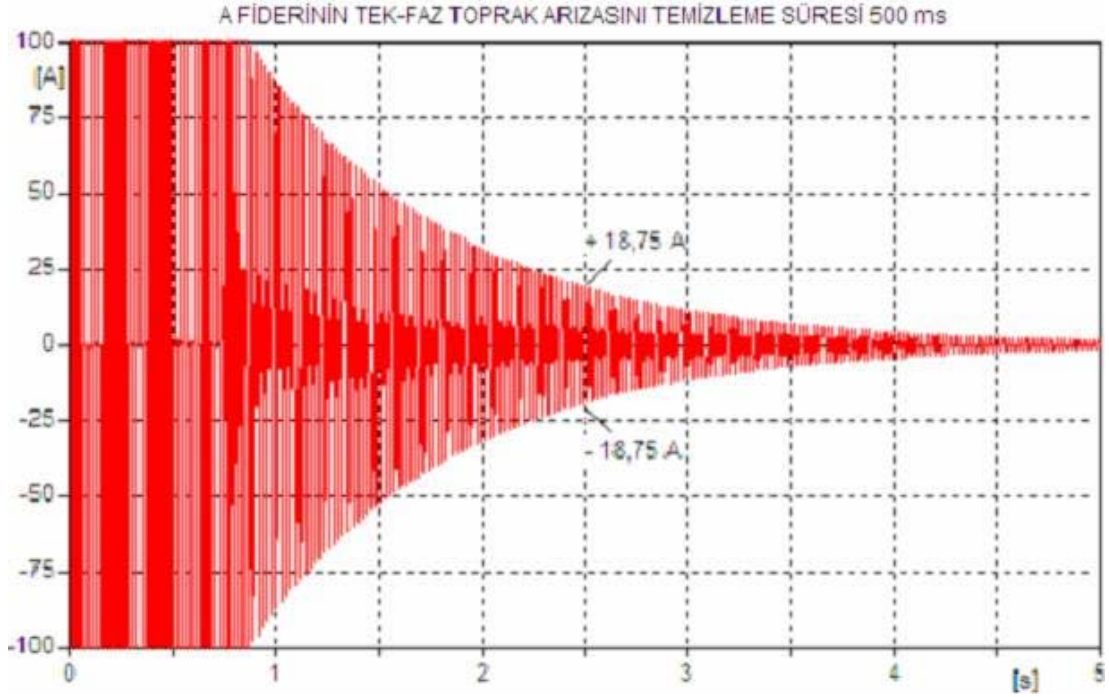


Şekil 6.11.a. Senaryo 5 için sekonder ark akımı

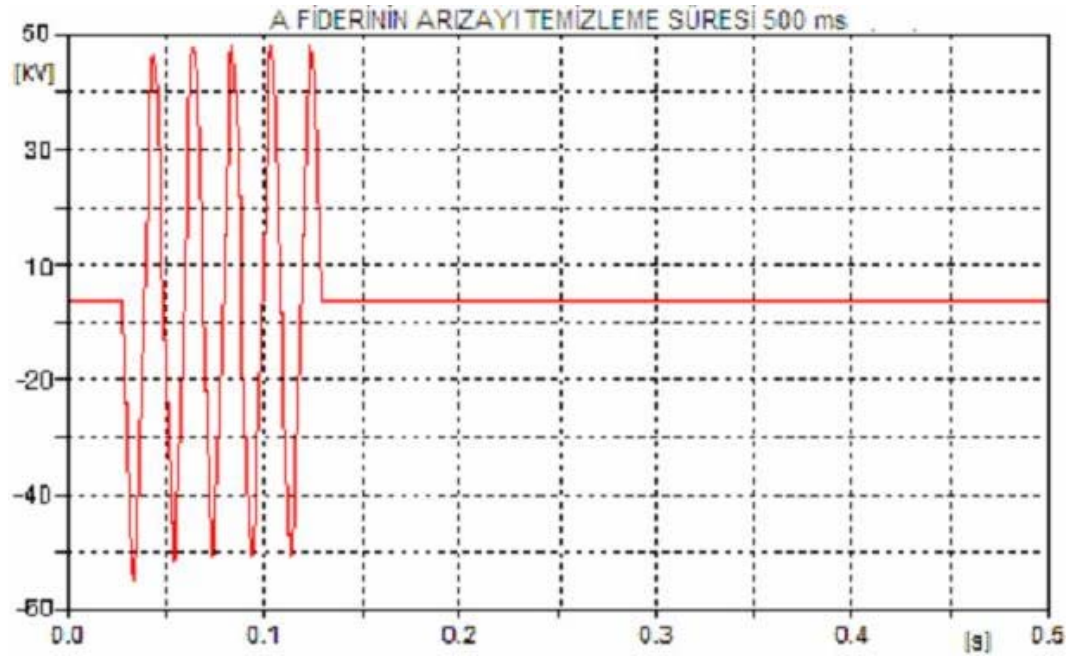


Şekil 6.11.b. Senaryo 5 için toparlanma gerilimi

**6.5.2. B T.M.'de A fiderine ait mesafe koruma rölesinin 2. kademesinde
yani 500 ms'de çalışması**



Şekil 6.12.a. Senaryo 5 için sekonder ark akımı



Şekil 6.12.b. Senaryo 5 için toparlanma gerilimi

Bundan önceki bölümlerde yapılan uygulamalarda hattın her iki tarafından mesefa koruma rölelerinin 1. kademesinde açtığı kabul edilmiştir.

Yapılan simülasyonlarda, hattın bir tarafından 1. kademedede (20 ms), diğer tarafından ise 2.kademedede (500ms) açması halinde sekonder ark akımının 18,75 A değerine sönümlenmesi 2,5 saniyede olduğu belirlenmiştir.

Hattın her iki fiderinin 1.kademedede açması halinde ise 18,75 A değerine sekonder ark akımının sönümlenmesi 2 saniyede gerçekleşmiştir.

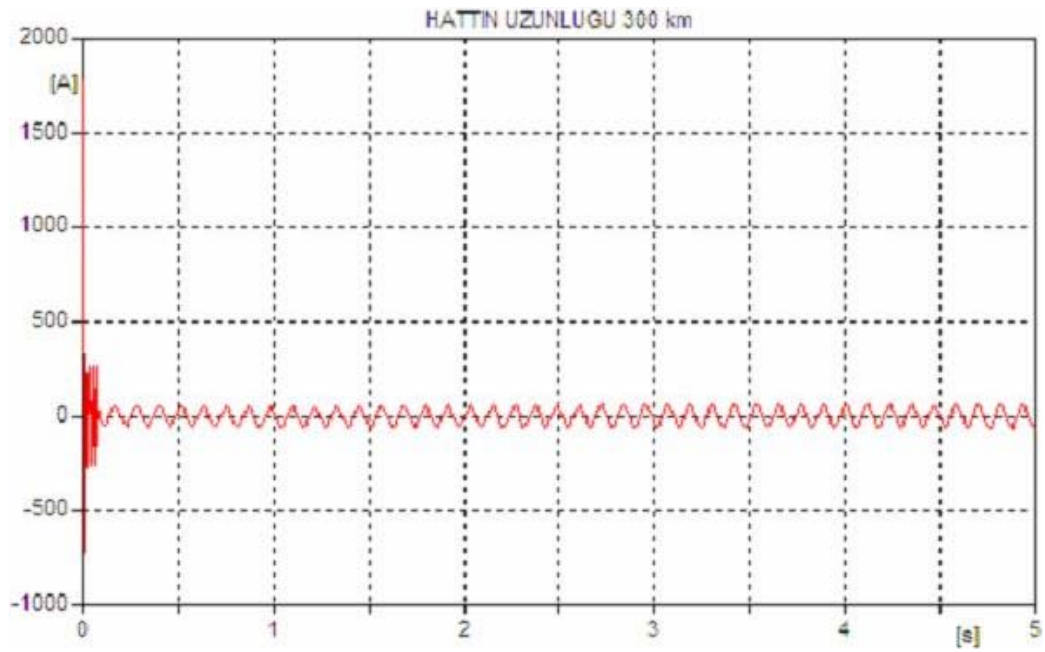
Bu durum, arıza temizleme süresinin artmasının, sekonder ark akımının sönümlenme süresini etkilediğini göstermektedir.

Sekonder ark akımındaki artışın önüne geçmek için 380 kV korumalarda, karşılıklı koruma sinyallerinin alış-verişi ile karşılıklı haberleşme yapılmakta böylece hattın iki tarafındaki mesafe koruma röleleri aynı anda 1. kademedede açması temin edilmektedir.

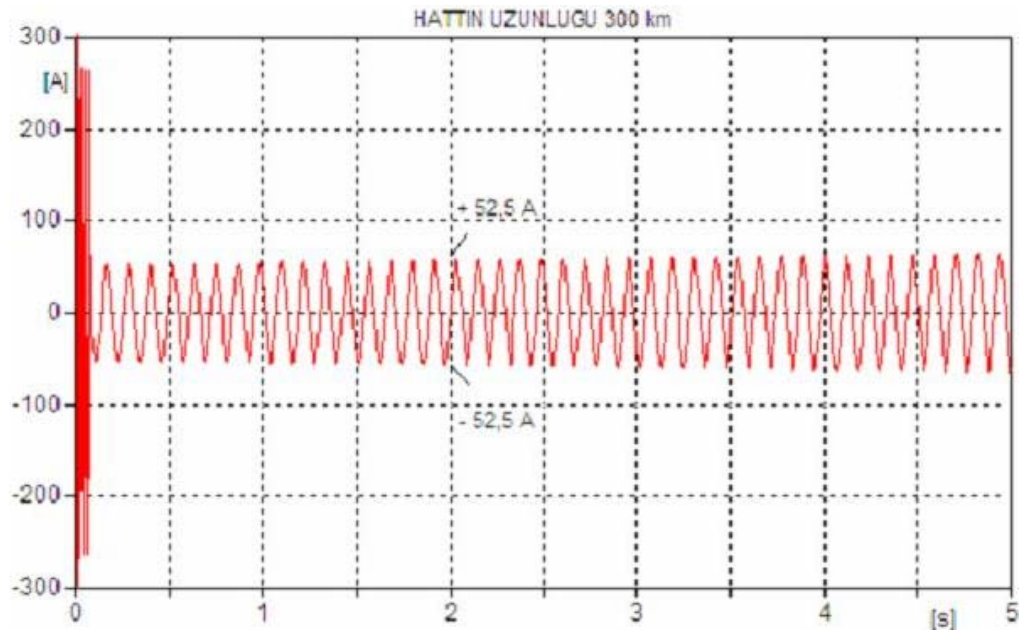
Sekonder toparlanma geriliminde bir değişme olmamaktadır. Bu duruma ilişkin değerlendirme sonuç bölümünde yapılmıştır.

6.6. Örnek Hatta Hat Uzunluğunun Etkisi

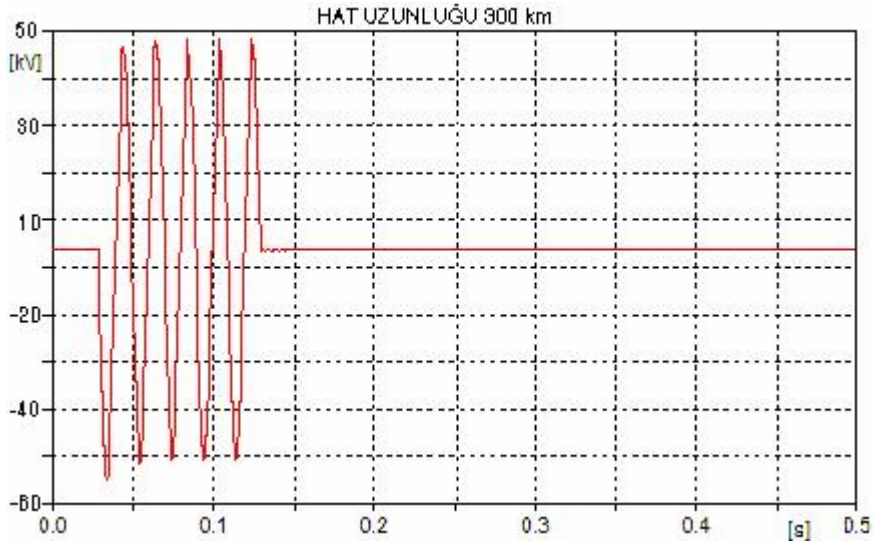
6.6.1. Hat uzunluğu 300 km



Şekil 6.13.a. Senaryo 6 için sekonder ark akımı



Şekil 6.13.b. Senaryo 6 için farklı ölçekte sekonder ark akımı



Şekil 6.14. Senaryo 6 için toparlanma gerilimi

Örnek hattının 240 km olan uzunluğu sırasıyla; 100, 200, 300 ve 400 km olarak değiştirilmiştir.

Şekil 6.13.a, hat uzunluğu 300 km alındığında oluşan arıza akımının zamana göre değişimini göstermektedir. Sekonder ark akımı 37,12 A (rms) olmaktadır. Bu değer Eş.4.6'dan bulunan 37,40 A (rms) değeri ile uyushmaktadır.

Şekil 6.13.b, hat uzunluğu 300 km alındığında oluşan sekonder toparlanma geriliminin zamana göre değişimini göstermektedir. Sekonder toparlanma gerilimi 33,94 kV (rms) olmaktadır. Bu değer Eş.4.7'den bulunan 32,67 kV (rms) değeri ile uyushmaktadır.

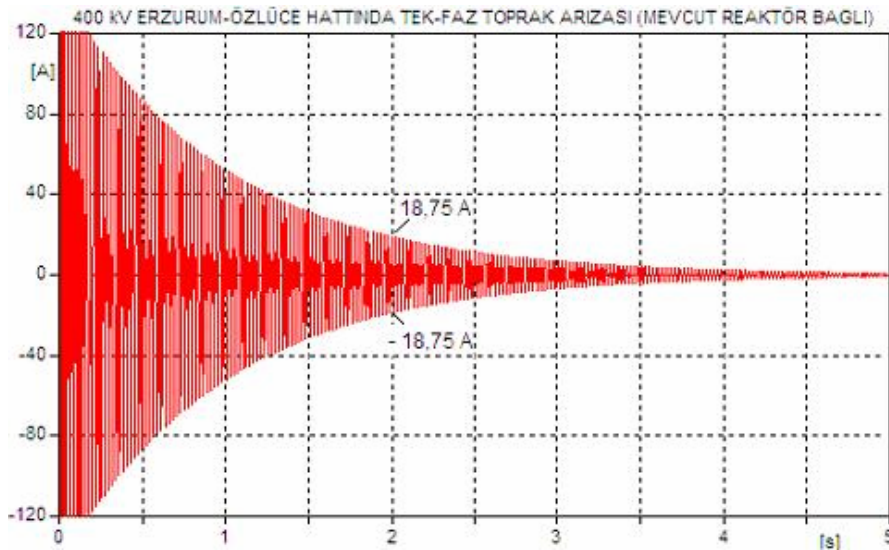
Çizelge 6.1. Hat uzunluklarına karşılık gelen sekonder ark akımları

Hat uzunluğu (km)	Sekonder Ark Akımı (A)	
	Hesaplanan değeri	Elde edilen değeri
100	12,5	12,9
200	30	30,4
300	37,4	37,12
400	49,8	50,2

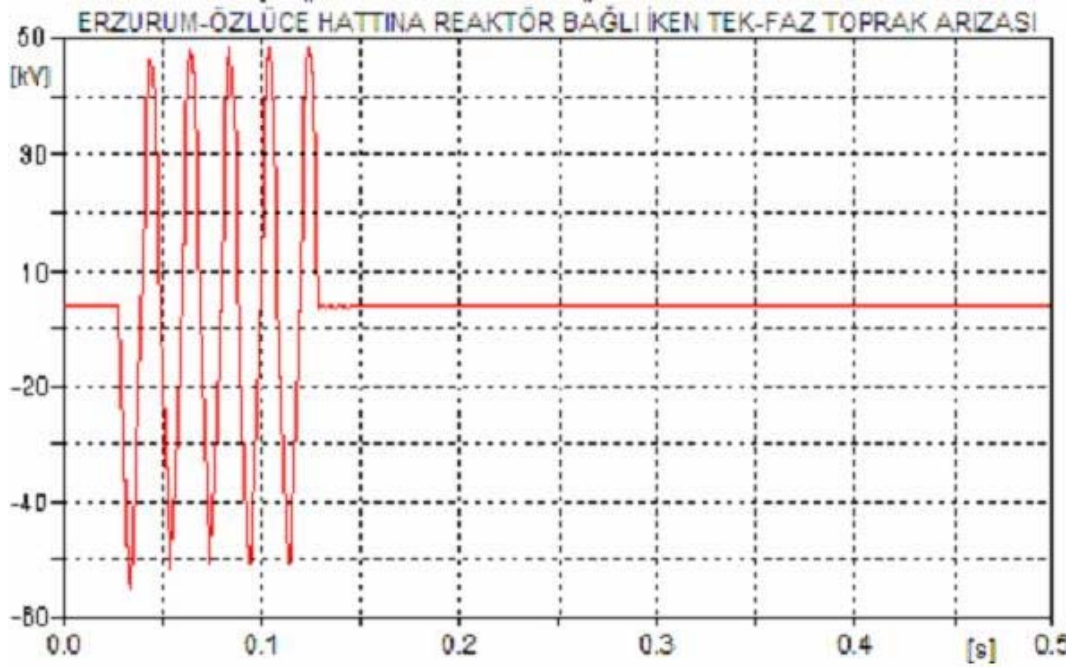
Bu sonuçlar bize sekonder ark akımının hat uzunluğu ile bariz biçimde değiştiğini göstermektedir. Bununla birlikte sekonder toparlanma gerilimi hat uzunluğundan etkilenmemektedir.

Bu çerçevede tekrar kapama uygulamalarında, hat uzunluğu önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır.

6.7. Erzurum-Özlüce Hattının Reaktör Mevcut Haliyle (Nötrü Direk Topraklı) Bağlı İken Tekrar Kapaması



Şekil 6.15. Senaryo 7 için sekonder ark akımı



Şekil 6.16. Senaryo 7 için toparlanma gerilimi

Mevcut durumda 40 MVar'lık şönt reaktörün, nötrü doğrudan topraklıdır. Bu durumda yapılan simülasyon neticesinde, sekonder ark akımının 18,75 A değerine 2 saniye sonunda düşmektedir.

Şönt reaktörün nötrünün direk topraklı olması halinde, nötrünün izole durumuna göre sekonder ark akımının sönümlenmesinin daha uzun bir zaman aldığı tespit edilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Örnek hattın reaktörsüz ve reaktörlü durumuna tek-faz tekrar kapama incelendikten sonra kısa devre gücünün, arıza yerinin, rölelerin çalışma zamanlarının ve hattın uzunluğunun sekonder ark akımı ile toparlanma gerilimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Daha sonra Erzurum-Özlüce hattında tekrar kapamanın uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada, tekrar kapama uygulamasının gerçekleştirilmesi için yapılan teorik ve EMTP’de yapılan simülasyon çalışmaları neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Sekonder ark akımı; hattın bağlı olduğu baraların kısa devre gücünün değişmesinden, hattaki arızanın olduğu yerden etkilenmemektedir.
- Sekonder ark akımı; hatta meydana gelen arızanın yerine bağlı olarak değişmemektedir.

Sekonder ark akımının, hattın gerilimine ve arızalı faz ile arızalı olmayan fazlar arasındaki admitansa bağlı olduğundan (Eşitlik 4.6), simülasyon neticesinden elde edilen, baraların kısa devre gücünün değişmesinden ve arıza yerinden etkilenmemesini sonucu, teorik durumla da uyuşmaktadır.

- Sekonder ark akımı; hattın bağlı baralardaki mesafe koruma rölelerinin farklı zamanlarda açmasına bağlı olarak bariz biçimde artmaktadır. Ancak artan bu akımın sönümlenme süresi değişmemektedir.

Hattın iki ucunun aynı anda arızayı temizlememesinden dolayı, arıza akımı 500 ms süresince hattın 2. kademedede açan tarafından beslenmektedir. Bu nedenle sekonder ark akımı artmaktadır. 500 ms’nin sonunda sadece sekonder kuplaj tarafından sekonder ark akımı beslenmekte ve sekonder ark

akımının sönümlenmesi hattın kuplaj admitansı aynı olduğundan değişmemektedir.

- Sekonder ark akımı; hattın uzunluğu ile kayda değer biçimde etkilenmektedir.

Sekonder ark akımının, hattın gerilimine ve arızalı faz ile arızalı olmayan fazlar arasındaki admitansa bağlı olduğundan Eş.4.6, hattın uzunluğunun değişmesiyle söz konusu admitansın değişmesi neticesinde sekonder ark akımının değişimi beklenen neticedir.

- Sekonder toparlanma gerilimi hattın gerilimine bağlı olduğu için Eş.4.7; hattın kısa devre gücünden, hatta meydana gelen arızanın yerinden, hatta bağlı baralardaki mesafe koruma rölelerinin farklı zamanlardan açmasından ve hattın uzunluğundan etkilenmemektedir.

Tüm bu çalışmaların ışığı altında, tekrar kapamanın uygulanabilirliği; tekrar kapama için seçilen ölü-zaman süresine bağlıdır. Normal uygulamalarda seçilen 0.5 saniye ölü-zaman süresi için tekrar kapama uygulaması 100 km'den uzun 400 kV hatlar için sekonder ark akımının 20 A'den daha yüksek olması nedeniyle mümkün görülmemektedir.

Özlüce-Erzurum hattı için hattın 202 km olmasına ve bu hat için 80 MVar değerinde nötrü izole bir şönt reaktör kullanılması gerekirken, 40 MVar değerinde nötrü direk topraklı bir reaktör mevcut olmasına rağmen, ölü-zaman süresinin 2 saniye seçilmesi durumunda bu hatta tek faz tekrar kapama uygulamasının yapılabileceği simülasyonlar neticesine varılmıştır. Bununla birlikte, yapılan teorik ve simülasyonlardaki kabullerden doğacak hatalarda göz önüne alınarak ölü-zamanın 2,5 saniye seçilmesi daha sağlıklı bir çözüm olacaktır.

Özlüce-Erzurum hattına tek faz tekrar kapama uygulamasının ölü-zamanın 2,5 saniye seçilmesi halinde uygulanabilir. Bu sonuç yalnızca tekrar kapamanın uygulanması halinde arızanın meydana gelmesine müteakip hattın enerjisiz kalmasından sonra sekonder ark akımı ile sekonder gerilim tarafından tekrar arızanın tutuşması olasılığının olmadığını göstermektedir.

Ancak tekrar kapamanın Özlüce-Erzurum hattına uygulanmasına için nihai kararı almadan önce ilk olarak kararlılık analizi yapılarak, tekrar kapamanın başarısız olması durumuna senkron jeneratörlerin kararlılık durumu incelenmelidir. 2,5 saniyelik ölü-zamanda uygulanan tekrar kapamanın başarısız olması yani arızanın kalıcı olması durumunda senkron jeneratör ve/veya jeneratörlerin kararlılık analiz sonuçların olumlu olması durumunda Özlüce-Erzurum hattında tekrar kapama uygulaması yapılabilir.

Özlüce-Erzurum hattında tekrar kapama uygulamasına geçildikten sonra, bu hatta meydana gelen arızaların, Özlüce HES ve Keban HES'deki jeneratörlerin jeneratör millerine olan etkileri yakından takip edilmeli, elde edilen sonuçlara göre gerekirse ölü-zaman süresi artırılmasına veya tekrar kapama uygulamasının devamı hususunda nihaî karar verilmelidir.

Sonuç olarak; bu çalışma neticesinde 400 kV Türkiye iletim sisteminde, reaktörlü bir hatta tekrar kapama uygulamasının ilk defa yürürlüğe konulması hususunda uygun ölü-zaman seçimiyle (Özlüce-Erzurum hattı için 2,5 saniye), kararlılık analizleri ve jeneratör millerinin tekrar kapamadan dolayı maruz kaldıkları titreşimler dikkate alınarak, tekrar kapama uygulamasının yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

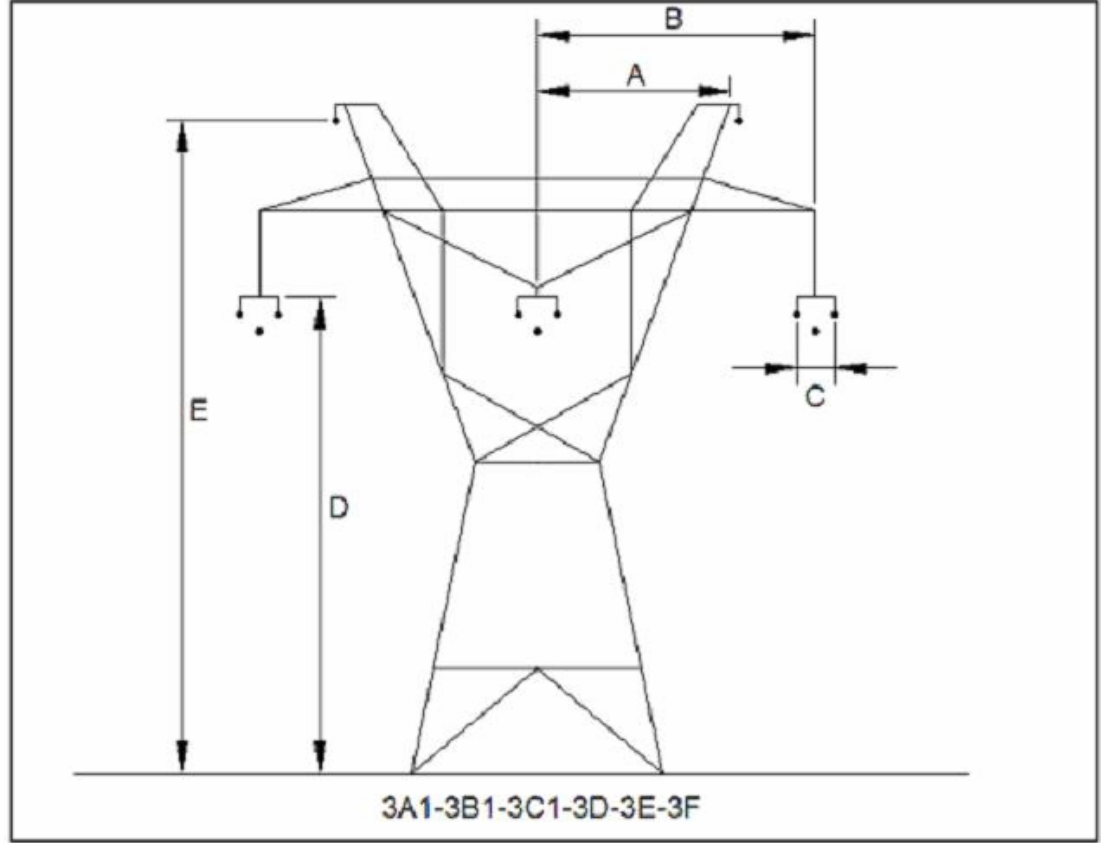
KAYNAKLAR

- 1) Kundur, P.S., "Power System Stability and Control 1st ed.", **Mc Graw Hill**, New York, 1104-1107 (1994).
- 2) Özay, N., Ertaş, A. ve Özdemir, A., "Türkiye Elektrik Kurumu 380 kV Sisteminde Tek Faz Tekrar Kapama", **TUBİTAK Rapor No:4**, Ankara, 108-109 (1989).
- 3) Meyer, W., Liu, T., "EMTP Rule Book 1st ed.", **EMPT User Group**, TACS 5-12 (1992).
- 4) Özdemir, M., Taplamacıoğlu, M. C., "Tekrar Kapamaların Güç Sistemleri Üzerindeki Etkileri", **11.Ulusal Kongresi**, İstanbul, 429-433 (2005).
- 5) Brown, P.G. and Quay, R., "Transmission Line Reclosure-Turbine-Generator Duties and Stability Considerations", **Texas A&M Relay Conference**, 317-321 (1976).
- 6) Bowler, C. E. J., Brown, P. G. and Walker, D. N., "Evaluation of the Effect of Power Circuit Breaker Reclosing Practices on Turbine-Generator Shafts", **IEEE Winter Power Meeting**, 1:216-219 (1990).
- 7) Walker, D. N., Adams, S. L., Placek, R. J., "Torsional Vibration and Fatigue of Turbine-Generator Shafts", **IEEE Summer Meeting**, 3:568-571 (1979).
- 8) IEEE Working Group, "Proposed Screening Guide for Planned Steady State Switching Operations to Minimize Harmful Effects on Stream Turbine-Generators", **Winter Power Meeting**, 1:202-206 (1980).
- 9) Berdy, J. and Brown, P. G., "High-Speed Reclosing System and Machine Considerations", **Pacific Coast Electrical Association Engineering And Operating Conference**, 128-132 (1980).
- 10) E.E.Gibbs and D.N.Walker, Torsional Vibration Monitoring, **Pacific Coast Electrical Association Engineering And Operating Conference**, 167-171 (1980).
- 11) St. Leonard's Works, "Network Protection Automation Guide 2nd", **Gec**, Stanford, 245-269 (1985).
- 12) Atmuri, S. R., Thallam, R. S., Gerlach, D. W., Lundquist, T.G., Selin, D. A., "Natural Reactors on Shunt Compensated EHV Lines", **IEEE**, 1:121-128 (1994).

- 13) Kimbark, E. W., "Selective-Pole Switching of Long Double-Circuit EHV Line", ***IEEE Transactions on Power Systems***, PAS-95, 1:219-230 (1976).
- 14) Carlsson, L., "Single-pole Reclosing on EHV Lines", ***International Cofrence on Large High Voltage Electric Systems***, 31-03 (1974).
- 15) Peterson, H. A., Dravid, N. V., "A Method for Reducing Dead Time for Single-Phase Reclosing in EHV Transmission", ***IEEE***, 3:414-420 (1969).
- 16) Tor, O. B., "Switching Overvoltages on The New Interconnection Between Turkey and Bulgaria", Yüksek Lisans Tezi, ***Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, 87-92 (2001).
- 17) TEİAŞ Çalışanları, "380 kV İletim Sisteminde Uygulanan Tekrar Kapama Proje Kriterleri", ***TEİAŞ***, Ankara, 143-157 (1990).
- 18) Kimbark, E. W., "Suppression of Ground-Fault Arcs on Single-Pole Swithed EHV Lines by Shunt Reactors", ***IEEE Trans. On Power App. and Syst.***, 3:408-413 (1964).

EKLER

EK-1 400 kV Erzurum-Özlüce hattına ilişkin karakteristikler



Şekil Ek.1.1. Direk profili

Çizelge Ek.1.1. Direk Parametreleri

Hat (Tek Devre)	A (m)	B (m)	C (m)	D (m)	E (m)	Sehim (ortalama) (m)	Transpoze (Evet/Hayır)
Özlüce- Erzurum	7,31	12	0,46	32	44	8	Evet
Durdurucu 6m ayak 3D Taşıyıcı 8m ayak 3A	4,75	7,5	0,46	35,6	44,5	10	Evet

EK-1 (Devam) 400 kV Erzurum-Özlüce hattına ilişkin karakteristikler

Çizelge EK-1.2. İletken ve toprak teli parametreleri

Özlüce-Erzurum	Uzunluk (m)	Dış çap (mm)	20 °C'da d.a. direnci (ohm/km)
İletken 3C 954 MCM	202	30,42	0,05906
Toprak teli 96 mm ² OPGW	202 202	12,7 15,4	2,132 0,38

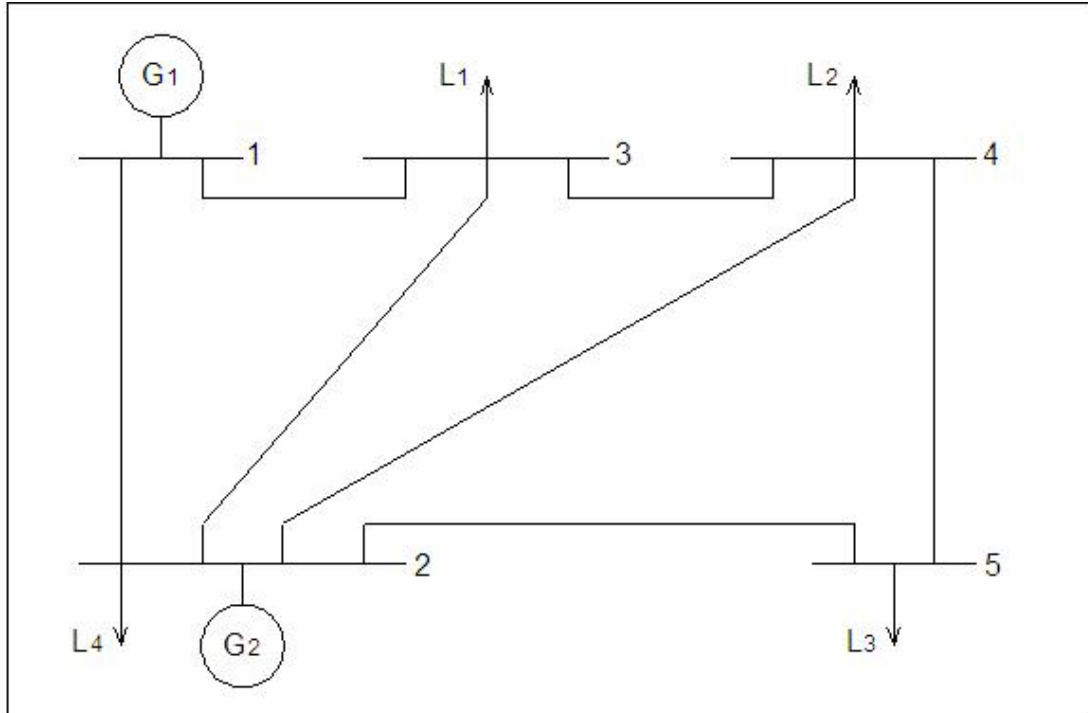
Çizelge EK.1.3. Sistemin Thevenin Eşdeğeri

	R	X
Özlüce T.M.'den görülen	0,82	7,06
Erzurum T.M'den görülen	3,54	22,11

EK-2 Örnek kararlılık analizi çalışması

Aşağıda verilen sisteminde, Bara-2’de 100 ms ve 200 ms 3 faz arıza olması durumunda jeneratörlerin stabilesinin Matlap 6.5 kullanılarak incelenmesi.

Salınım denklemlerinin çözümü için Modified Eurler Yöntemi kullanılmıştır.



Şekil Ek.2.1. Beş baralı güç sistemi

Sistem verileri: Arıza öncesi yük akış analizinden elde edilen bara gerilimleri, jeneratör ile yüklerin değerleri;

Baranın Adı	Bara gerilimi (pu)	Jeneratör		Yük	
		MW	MVar	MW	MVar
1	$1,06 + j 0,0$	129,565	-7,480	0	0
2	$1,04621 + j 0,05128$	40	30	20	10
3	$1,02032 + j 0,08920$	0	0	45	15
4	$1,01917 + j 0,09506$	0	0	40	5
5	$1,01209 + j 0,10906$	0	0	60	20

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

Senkron jeneratörlerin verileri:

Jeneratör	Atalet sabitesi H(pu)	Geçici reaktans X_d' (pu)
G_1	50	0,25
G_2	1	1,5

Bara admitans matrisi (pu)

$$Y_{11} = 6,25 - j18,695$$

$$Y_{12} = -5 + j15$$

$$Y_{13} = -1,25 + j3,75$$

$$Y_{22} = 10,83334 - j32,415$$

$$Y_{23} = -1,66667 + j5$$

$$Y_{24} = -1,66667 + j5$$

$$Y_{25} = -2,5 + j7,5$$

$$Y_{33} = 12,91667 - j38,695$$

$$Y_{34} = -10 + j30$$

$$Y_{44} = 12,91667 - j38,695$$

$$Y_{45} = -1,25 + j3,75$$

$$Y_{55} = -3,75 - j11,21$$

$$S_{base} = 100 \text{ MVA}$$

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

```
% bara verileri
clear
a(1,1)=0*pi/180;
V1=1.06*[cos(a(1,1))+i*sin(a(1,1))];
a(1,2)=-2.806*pi/180;
V2=1.0475*[cos(a(1,2))+i*sin(a(1,2))];
a(1,3)=-4.996*pi/180;
V3=1.0242*[cos(a(1,3))+i*sin(a(1,3))];
a(1,4)=-5.329*pi/180;
V4=1.0236*[cos(a(1,4))+i*sin(a(1,4))];
a(1,5)=-6.15*pi/180;
V5=1.018*[cos(a(1,5))+i*sin(a(1,5))];
V=[V1 0 0 0 0;0 V2 0 0 0;0 0 V3 0 0;0 0 0 V4 0;0 0 0 0 V5];
f=60;
H1=50;
H2=1;
Ws=377;
t=0.1;
h=0.001;
PG(1,1)=1.29565;
QG(1,1)=-.0748;
PL(1,1)=0;
QL(1,1)=0;
PG(2,2)=.4;
QG(2,2)=.3;
PL(2,2)=.2;
QL(2,2)=.1;
PL(3,3)=.45;
QL(3,3)=.15;
PL(4,4)=.4;
QL(4,4)=.05;
PL(5,5)=.60;
QL(5,5)=.1;
```

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

% jeneratörlerin verileri

Rg1=0;

Xg1=.25;

Rg2=0;

Xg2=1.5;

% şebeke verileri

Y(1,1)=(6.25-i*18.695);

Y(1,2)=(-5+i*15);

Y(1,3)=(-1.25+i*3.75);

Y(1,4)=0;

Y(1,5)=0;

Y(2,1)=(-5+i*15);

Y(2,2)=(10.83334-i*32.415);

Y(2,3)=(-1.66667+i*5);

Y(2,4)=(-1.66667+i*5);

Y(2,5)=(-2.5+i*7.5);

Y(3,1)=(-1.25+i*3.75);

Y(3,2)=(-1.66667+i*5);

Y(3,3)=(12.91667-i*38.695);

Y(3,4)=(-10+i*30);

Y(3,5)=0;

Y(4,1)=0;

Y(4,2)=(-1.66667+i*5);

Y(4,3)=(-10+i*30);

Y(4,4)=(12.91667-i*38.695);

Y(4,5)=(-1.25+i*3.75);

Y(5,1)=0;

Y(5,2)=(-2.5+i*7.5);

Y(5,3)=0;

Y(5,4)=(-1.25+i*3.75);

Y(5,5)=(3.75-i*11.21);

% Adım-2 arıza öncesi değerler

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

```

lg(1,1)=conj((S(1,1)/V(1,1)));
E1=(Rg1+i*Xg1)*lg(1,1)+V(1,1);
LA1=angle(E1)*180/pi;
W1=377;
S(2,2)=PG(2,2)+i*(QG(2,2));
lg(2,2)=conj(S(2,2))/conj(V(2,2));
E2=(Rg2+i*Xg2)*lg(2,2)+V(2,2);
LA2=angle(E2)*180/pi;
W2=377;
Pm1=PG(1,1);
Pe1(1)=Pm1;
Pm2=PG(2,2);
Pe2(1)=Pm2;

% Adım-3
YL(1,1)=0;
YG(1,1)=1/(Rg1+i*Xg1);
SL(2,2)=PL(2,2)+i*QL(2,2);
YL(2,2)=conj(SL(2,2))/abs(V(2,2)*V(2,2));
YG(2,2)=1/(Rg2+i*Xg2);
SL(3,3)=PL(3,3)+i*QL(3,3);
YL(3,3)=conj(SL(3,3))/abs(V(3,3)*V(3,3));
YG(3,3)=0;
SL(4,4)=PL(4,4)+i*QL(4,4);
YL(4,4)=conj(SL(4,4))/abs(V(4,4)*V(4,4));
YG(4,4)=0;
SL(5,5)=PL(5,5)+i*QL(5,5);
YL(5,5)=conj(SL(5,5))/abs(V(5,5)*V(5,5));
YG(5,5)=0;
modY=Y;
for s=1:1:5
    modY(s,s)=Y(s,s)+YG(s,s)+YL(s,s);
end
Zbus=inv(modY);

```

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

```
modV(1,1)=V(1,1)-(Zbus(1,2)/Zbus(2,2))*V(2,2);
modV(2,2)=0;
```

% Adım-5

```
modlg1=(E1-modV(1,1))/(Rg1+i*Xg1);
modS1=E1*conj(modlg1);
modPe1=real(modS1);
modPe2=0;
```

%Adım-6

%Tahmin

```
modPe1(2)=modPe1(1);
modPe2(2)=modPe2(1);
for z=1:1:100
LA1(z+1)=LA1(z)+h*(W1(z)-Ws)*(180/pi);
W1(z+1)=W1(z)+h*((pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z)));
LA2(z+1)=LA2(z)+h*(W2(z)-Ws)*(180/pi);
W2(z+1)=W2(z)+h*((pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z)));
```

%Düzeltilme

```
LA1c=LA1;
LA1c(z+1)=LA1c(z)+(h/2)*((W1(z)-Ws)+((W1(z+1)-Ws)))*(180/pi);
W1c=W1;
W1c(z+1)=W1c(z)+(h/2)*(((pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z)))+(pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z+1))));
LA2c=LA2;
LA2c(z+1)=LA2c(z)+(h/2)*((W2(z)-Ws)+((W2(z+1)-Ws)))*(180/pi);
W2c=W2;
W2c(z+1)=W2c(z)+(h/2)*(((pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z)))+(pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z+1))));
```

%Adım-7

```
l1(z)=(abs(E1)*(cos(LA1c(z+1)*pi/180)+i*sin(LA1c(z+1)*pi/180)))/(Rg1+i*Xg1);
l2(z)=(abs(E2)*(cos(LA2c(z+1)*pi/180)+i*sin(LA2c(z+1)*pi/180)))/(Rg2+i*Xg2);
la=[l1(z);l2(z);0;0;0];
Va=Zbus*la;
```

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

```

modE1=abs(E1)*(cos(LA1c(1,z+1)*pi/180)+i*sin(LA1c(1,z+1)*pi/180));
modS=conj((modE1-Vf(1,1))/(Rg1+i*Xg1))*modE1;
modPe1(z+2)=real(modS);
modPe2(z+2)=0;
end
modPe1(z+1)=modPe1(z+2);
modPe2(z+1)=modPe2(z+2);

```

% Adım-8 arıza temizlendikten sonra

```

modV(1,1)=Va(1,1);
modV(2,2)=Va(2,1);

```

% Adım-9

```

modlg1=(modE1-modV(1,1))/(Rg1+i*Xg1);
modS1=modE1*conj(modlg1);
modPe1(z+2)=real(modS1);
modE2=abs(E2)*(cos(LA2c(z+1)*pi/180)+i*sin(LA2c(z+1)*pi/180));
modlg2=(modE2-modV(2,2))/(Rg2+i*Xg2);
modS2=modE2*conj(modlg2);
modPe2(z+2)=real(modS2);

```

%Adım-10 Tahmin

```

for z=100:1:1000
LA1(z+1)=LA1(z)+h*(W1(z)-Ws)*(180/pi);
W1(z+1)=W1(z)+h*((pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z)));
LA2(z+1)=LA2(z)+h*(W2(z)-Ws)*(180/pi);
W2(z+1)=W2(z)+h*((pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z)));
l1p=(abs(E1)*(cos(LA1(z+1)*pi/180)+i*sin(LA1(z+1)*pi/180)))/(Rg1+i*Xg1);
l2p=(abs(E2)*(cos(LA2(z+1)*pi/180)+i*sin(LA2(z+1)*pi/180)))/(Rg2+i*Xg2);
modlap=[l1p;l2p;0;0;0];
Va=Zbus*modlap;
modE1=abs(E1)*(cos(LA1(z+1)*pi/180)+i*sin(LA1(z+1)*pi/180));
modS=conj((modE1-Va(1,1))/(Rg1+i*Xg1))*modE1;
modPe1(z+1)=real(modS);
modE2=abs(E2)*(cos(LA2(z+1)*pi/180)+i*sin(LA2(z+1)*pi/180));

```

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

```

LA1c(z+1)=LA1c(z)+(h/2)*((W1(z)-Ws)+((W1(z+1)-Ws)))*(180/pi);
W1c=W1;
W1c(z+1)=W1c(z)+(h/2)*(((pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z)))+((pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z+1))));
LA2c=LA2;
LA2c(z+1)=LA2c(z)+(h/2)*((W2(z)-Ws)+((W2(z+1)-Ws)))*(180/pi);
W2c=W2;
W2c(z+1)=W2c(z)+(h/2)*(((pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z)))+((pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z+1))));

```

%Adım-11

```

l1=(abs(E1)*(cos(LA1c(1,z+1)*pi/180)+i*sin(LA1c(1,z+1)*pi/180)))/(Rg1+i*Xg1);
l2=(abs(E2)*(cos(LA2c(1,z+1)*pi/180)+i*sin(LA2c(1,z+1)*pi/180)))/(Rg2+i*Xg2);
modla=[l1;l2;0;0;0];
Va=Zbus*modla;
modE1=abs(E1)*(cos(LA1c(1,z+1)*pi/180)+i*sin(LA1c(1,z+1)*pi/180));
modS=conj((modE1-Va(1,1))/(Rg1+i*Xg1))*modE1;
modPe1(z+2)=real(modS);
modE2=abs(E2)*(cos(LA2c(1,z+1)*pi/180)+i*sin(LA2c(1,z+1)*pi/180));
modS=conj((modE2-Va(2,1))/(Rg2+i*Xg2))*modE2;
modPe2(z+2)=real(modS);
end
subplot(2,1,1), plot(LA1)
axis([0 900 -20 100])
hold on
subplot(2,1,1), plot(LA2)
grid
subplot(2,1,2), plot(W1/Ws)
axis([0 900 0.96 1.08])
hold on
subplot(2,1,2), plot(W2/Ws)
grid

```

SONUÇ:

Sistem, bu arıza için kararlıdır.

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

```
%bara verileri
clear
a(1,1)=0*pi/180;
V1=1.06*[cos(a(1,1))+i*sin(a(1,1))];
a(1,2)=-2.806*pi/180;
V2=1.0475*[cos(a(1,2))+i*sin(a(1,2))];
a(1,3)=-4.996*pi/180;
V3=1.0242*[cos(a(1,3))+i*sin(a(1,3))];
a(1,4)=-5.329*pi/180;
V4=1.0236*[cos(a(1,4))+i*sin(a(1,4))];
a(1,5)=-6.15*pi/180;
V5=1.018*[cos(a(1,5))+i*sin(a(1,5))];
V=[V1 0 0 0 0;0 V2 0 0 0;0 0 V3 0 0;0 0 0 V4 0;0 0 0 0 V5];
f=60;
H1=50;
H2=1;
Ws=377;
t=0.1;
h=0.001;
PG(1,1)=1.29565;
QG(1,1)=-.0748;
PL(1,1)=0;
QL(1,1)=0;
PG(2,2)=.4;
QG(2,2)=.3;
PL(2,2)=.2;
QL(2,2)=.1;
PL(3,3)=.45;
QL(3,3)=.15;
PL(4,4)=.4;
QL(4,4)=.05;
PL(5,5)=.60;
QL(5,5)=.1;
```

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

%jeneratörlerin verileri

Rg1=0;

Xg1=.25;

Rg2=0;

Xg2=1.5;

%şebeke verileri

Y(1,1)=(6.25-i*18.695);

Y(1,2)=(-5+i*15);

Y(1,3)=(-1.25+i*3.75);

Y(1,4)=0;

Y(1,5)=0;

Y(2,1)=(-5+i*15);

Y(2,2)=(10.83334-i*32.415);

Y(2,3)=(-1.66667+i*5);

Y(2,4)=(-1.66667+i*5);

Y(2,5)=(-2.5+i*7.5);

Y(3,1)=(-1.25+i*3.75);

Y(3,2)=(-1.66667+i*5);

Y(3,3)=(12.91667-i*38.695);

Y(3,4)=(-10+i*30);

Y(3,5)=0;

Y(4,1)=0;

Y(4,2)=(-1.66667+i*5);

Y(4,3)=(-10+i*30);

Y(4,4)=(12.91667-i*38.695);

Y(4,5)=(-1.25+i*3.75);

Y(5,1)=0;

Y(5,2)=(-2.5+i*7.5);

Y(5,3)=0;

Y(5,4)=(-1.25+i*3.75);

Y(5,5)=(3.75-i*11.21);

% Adım-2 arıza öncesi değerler

S(1,1)=PG(1,1)+i*(QG(1,1));

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

```

E1=(Rg1+i*Xg1)*Ig(1,1)+V(1,1);
LA1=angle(E1)*180/pi;
W1=377;
S(2,2)=PG(2,2)+i*(QG(2,2));
Ig(2,2)=conj(S(2,2))/conj(V(2,2));
E2=(Rg2+i*Xg2)*Ig(2,2)+V(2,2);
LA2=angle(E2)*180/pi;
W2=377;
Pm1=PG(1,1);
Pe1(1)=Pm1;
Pm2=PG(2,2);
Pe2(1)=Pm2;

% Adım-3
YL(1,1)=0;
YG(1,1)=1/(Rg1+i*Xg1);
SL(2,2)=PL(2,2)+i*QL(2,2);
YL(2,2)=conj(SL(2,2))/abs(V(2,2)*V(2,2));
YG(2,2)=1/(Rg2+i*Xg2);
SL(3,3)=PL(3,3)+i*QL(3,3);
YL(3,3)=conj(SL(3,3))/abs(V(3,3)*V(3,3));
YG(3,3)=0;
SL(4,4)=PL(4,4)+i*QL(4,4);
YL(4,4)=conj(SL(4,4))/abs(V(4,4)*V(4,4));
YG(4,4)=0;
SL(5,5)=PL(5,5)+i*QL(5,5);
YL(5,5)=conj(SL(5,5))/abs(V(5,5)*V(5,5));
YG(5,5)=0;
modY=Y;
for s=1:1:5
    modY(s,s)=Y(s,s)+YG(s,s)+YL(s,s);
end
Zbus=inv(modY);

```

% Adım-4

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

```
modV(2,2)=0;
```

```
% Adım-5
```

```
modlg1=(E1-modV(1,1))/(Rg1+i*Xg1);
```

```
modS1=E1*conj(modlg1);
```

```
modPe1=real(modS1);
```

```
modPe2=0;
```

```
%Adım-6 Tahmin
```

```
modPe1(2)=modPe1(1);
```

```
modPe2(2)=modPe2(1);
```

```
for z=1:1:200
```

```
LA1(z+1)=LA1(z)+h*(W1(z)-Ws)*(180/pi);
```

```
W1(z+1)=W1(z)+h*((pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z)));
```

```
LA2(z+1)=LA2(z)+h*(W2(z)-Ws)*(180/pi);
```

```
W2(z+1)=W2(z)+h*((pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z)));
```

```
%Düzeltilme
```

```
LA1c=LA1;
```

```
LA1c(z+1)=LA1c(z)+(h/2)*((W1(z)-Ws)+((W1(z+1)-Ws)))*(180/pi);
```

```
W1c=W1;
```

```
W1c(z+1)=W1c(z)+(h/2)*(((pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z)))+(pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z+1))));
```

```
LA2c=LA2;
```

```
LA2c(z+1)=LA2c(z)+(h/2)*((W2(z)-Ws)+((W2(z+1)-Ws)))*(180/pi);
```

```
W2c=W2;
```

```
W2c(z+1)=W2c(z)+(h/2)*(((pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z)))+(pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z+1))));
```

```
%Adım-7
```

```
I1(z)=(abs(E1)*(cos(LA1c(z+1)*pi/180)+i*sin(LA1c(z+1)*pi/180)))/(Rg1+i*Xg1);
```

```
I2(z)=(abs(E2)*(cos(LA2c(z+1)*pi/180)+i*sin(LA2c(z+1)*pi/180)))/(Rg2+i*Xg2);
```

```
Ia=[I1(z);I2(z);0;0;0];
```

```
Va=Zbus*Ia;
```

```
Vf(1,1)=Va(1,1)-(Zbus(1,2)/Zbus(2,2))*Va(2,1);
```

```
modE1=abs(E1)*(cos(LA1c(1,z+1)*pi/180)+i*sin(LA1c(1,z+1)*pi/180));
```

```
modS=conj((modE1-Vf(1,1))/(Rg1+i*Xg1))*modE1;
```

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

```

modPe2(z+2)=0;
end
modPe1(z+1)=modPe1(z+2);
modPe2(z+1)=modPe2(z+2);

% Adım-8 arıza temizlendikten sonra
modV(1,1)=Va(1,1);
modV(2,2)=Va(2,1);

% Adım-9
modlg1=(modE1-modV(1,1))/(Rg1+i*Xg1);
modS1=modE1*conj(modlg1);
modPe1(z+2)=real(modS1);
modE2=abs(E2)*(cos(LA2c(z+1)*pi/180)+i*sin(LA2c(z+1)*pi/180));
modlg2=(modE2-modV(2,2))/(Rg2+i*Xg2);
modS2=modE2*conj(modlg2);
modPe2(z+2)=real(modS2);

% Adım -10 Tahmin
for z=200:1:1000
LA1(z+1)=LA1(z)+h*(W1(z)-Ws)*(180/pi);
W1(z+1)=W1(z)+h*((pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z)));
LA2(z+1)=LA2(z)+h*(W2(z)-Ws)*(180/pi);
W2(z+1)=W2(z)+h*((pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z)));
l1p=(abs(E1)*(cos(LA1(z+1)*pi/180)+i*sin(LA1(z+1)*pi/180)))/(Rg1+i*Xg1);

l2p=(abs(E2)*(cos(LA2(z+1)*pi/180)+i*sin(LA2(z+1)*pi/180)))/(Rg2+i*Xg2);
modlap=[l1p;l2p;0;0;0];
Va=Zbus*modlap;
modE1=abs(E1)*(cos(LA1(z+1)*pi/180)+i*sin(LA1(z+1)*pi/180));
modS=conj((modE1-Va(1,1))/(Rg1+i*Xg1))*modE1;
modPe1(z+1)=real(modS);
modE2=abs(E2)*(cos(LA2(z+1)*pi/180)+i*sin(LA2(z+1)*pi/180));
modS=conj((modE2-Va(2,1))/(Rg2+i*Xg2))*modE2;
modPe2(z+1)=real(modS);

```

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması

```
%düzeltme
LA1c=LA1;
LA1c(z+1)=LA1c(z)+(h/2)*((W1(z)-Ws)+((W1(z+1)-Ws)))*(180/pi);
W1c=W1;
W1c(z+1)=W1c(z)+(h/2)*(((pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z)))+(pi*f/H1)*(Pm1-modPe1(z+1))));
LA2c=LA2;
LA2c(z+1)=LA2c(z)+(h/2)*((W2(z)-Ws)+((W2(z+1)-Ws)))*(180/pi);
W2c=W2;
W2c(z+1)=W2c(z)+(h/2)*(((pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z)))+(pi*f/H2)*(Pm2-modPe2(z+1))));
```

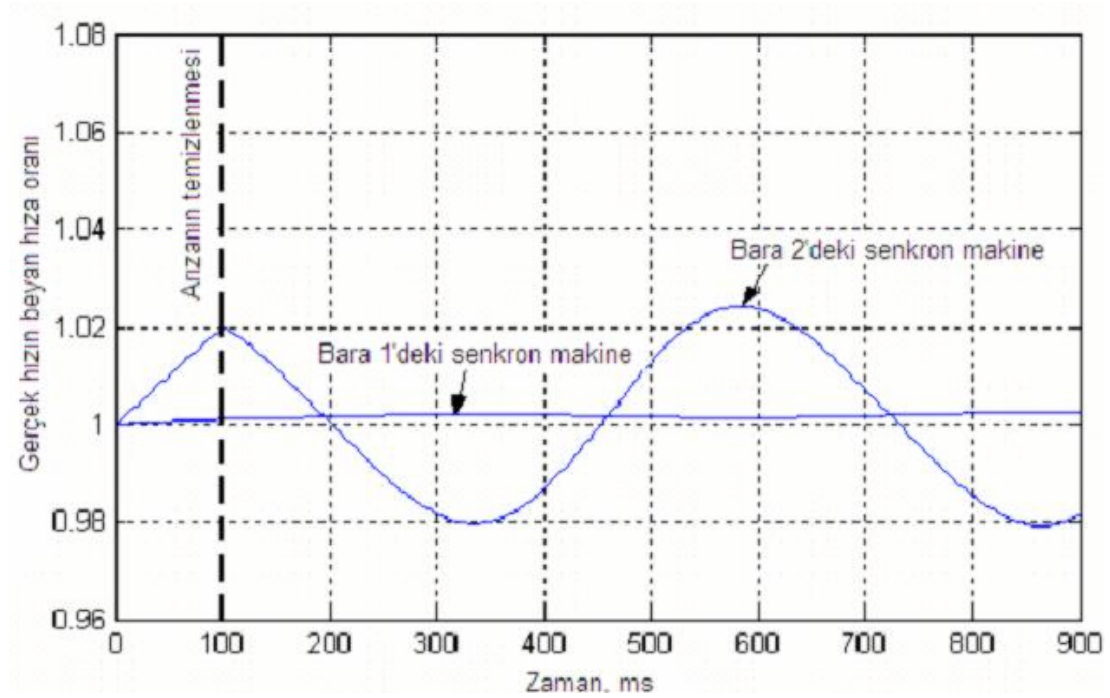
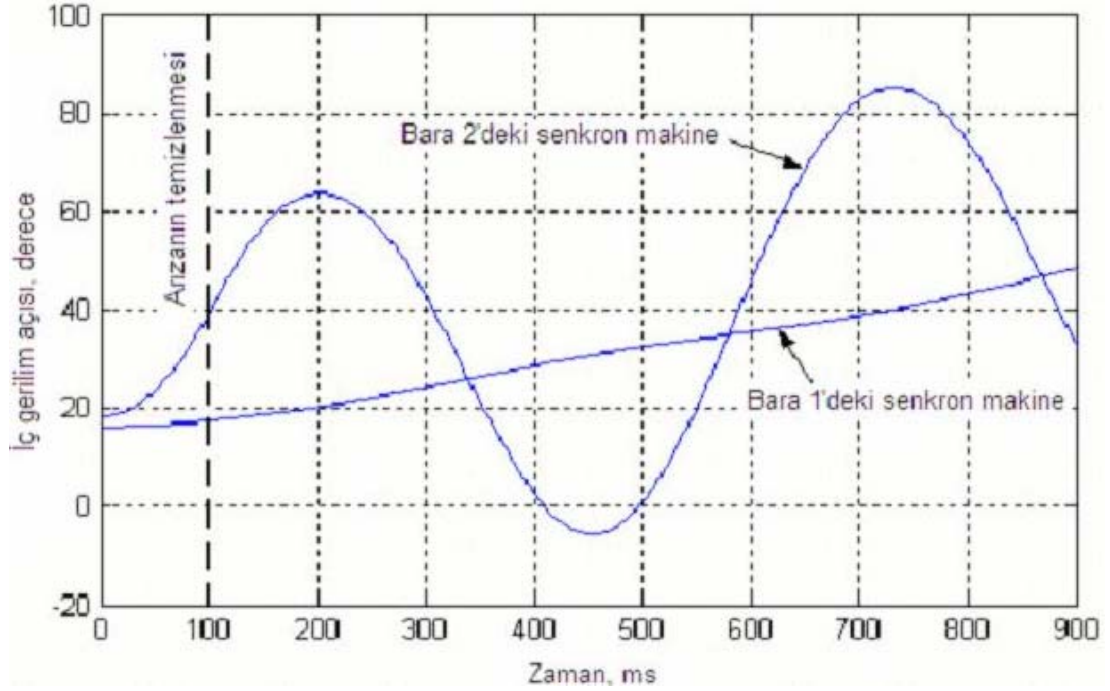
% Adım -11

```
I1=(abs(E1)*(cos(LA1c(1,z+1)*pi/180)+i*sin(LA1c(1,z+1)*pi/180)))/(Rg1+i*Xg1);
I2=(abs(E2)*(cos(LA2c(1,z+1)*pi/180)+i*sin(LA2c(1,z+1)*pi/180)))/(Rg2+i*Xg2);
modla=[I1;I2;0;0;0];
Va=Zbus*modla;
modE1=abs(E1)*(cos(LA1c(1,z+1)*pi/180)+i*sin(LA1c(1,z+1)*pi/180));
modS=conj((modE1-Va(1,1))/(Rg1+i*Xg1))*modE1;
modPe1(z+2)=real(modS);
modE2=abs(E2)*(cos(LA2c(1,z+1)*pi/180)+i*sin(LA2c(1,z+1)*pi/180));
modS=conj((modE2-Va(2,1))/(Rg2+i*Xg2))*modE2;
modPe2(z+2)=real(modS);
end
subplot(2,1,1), plot(LA1)
axis([0 700 0 120])
hold on
subplot(2,1,1), plot(LA2)
grid
subplot(2,1,2), plot(W2/Ws)
grid
```

SONUÇ:

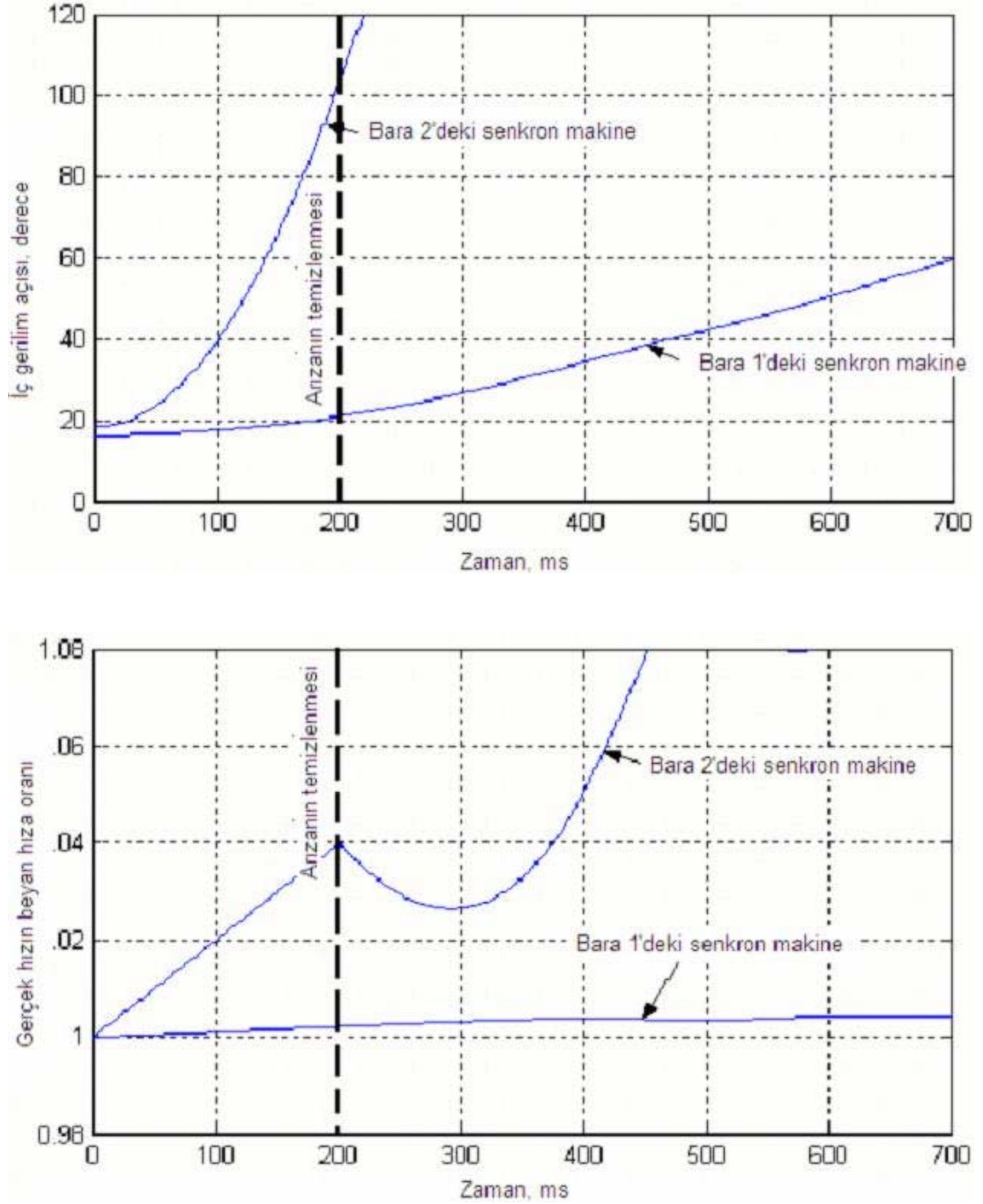
Sistem bu arıza için kararsızdır.

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması



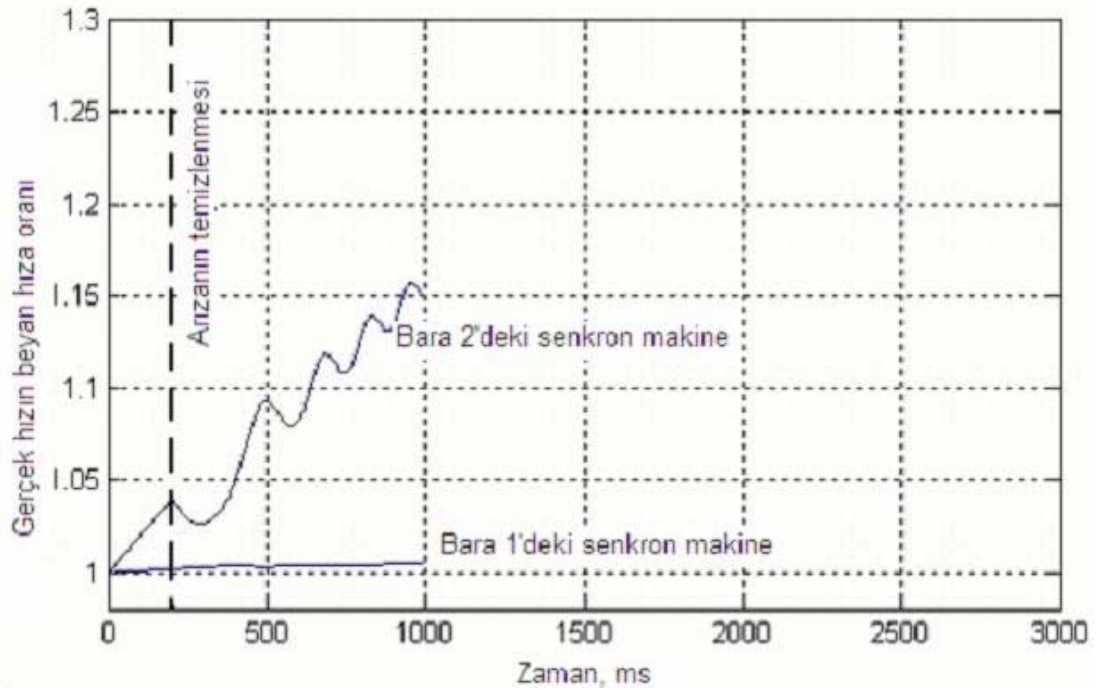
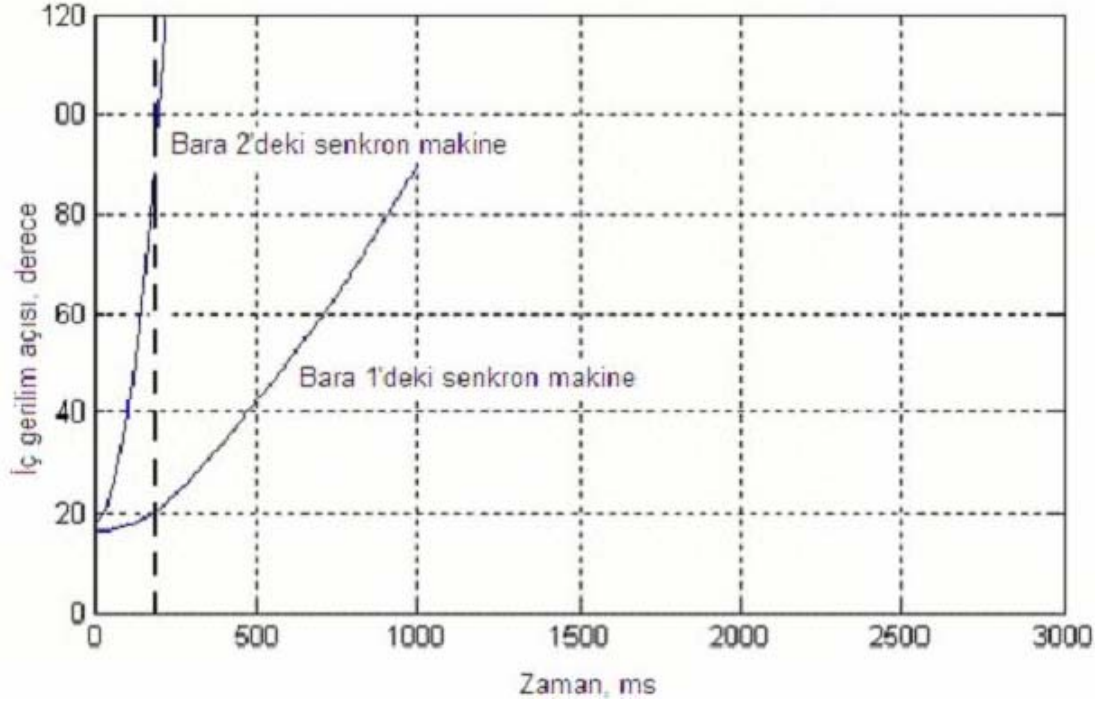
Şekil EK-2.2. Arıza süresi 100 ms iken senkron makinelerin güç açıları ve hızları

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması



Şekil EK-2.3. Arıza süresi 200 ms iken senkron makinelerin güç açıları ve hızları

EK-2 (Devam) Örnek kararlılık analizi çalışması



Şekil EK-2.4. Arıza süresi 200 ms iken senkron makinelerin farklı ölçekte güç açıları ve hızları

EK - 3 Türkiye İletim Sisteminde Kullanılan Tekrar Kapama Kriterleri (17)

- Her hat kesicisi tek kapamalı, kendinden resetli, hızlı ve zaman gecikmeli tekrar kapama rölesi ile donatılacaktır.
- Otomatik tekrar kapama röleleri Ana Koruma 1 ve 2' nin kademe 1 röleleri ile müsaadeli aşırı menzil düzenindeki yönlü ani aşırı akım toprak röleleri tarafından enerjilenecektir.
- Röleler gerekli tüm mantık ve zaman ayar olanaklarını taşıyacaktır.
- Hızlı tekrar kapama röleleri aşağıdaki çalışma tiplerini yapabilecektir;

a) Tek faz tekrar kapama

Tek faz arızalarda, tek faz açma ve tekrar kapama, diğer tüm arızalarda nihai açma

b) Tek faz ve üç faz tekrar kapama

Tek faz arızalar için tek faz açma ve tekrar kapama, diğer tüm arızalarda üç faz açma ve tekrar kapama

c) Üç faz tekrar kapama

Tüm arıza türlerinde üç faz açma ve tekrar kapama

d) Tekrar kapama yok

Tüm arızalarda nihai açma ;

EK - 3 (Devam) Türkiye İletim Sisteminde Kullanılan Tekrar Kapama Kriterleri

- Röle, yukarıda tarif edilen dört çalışma konumundan birini seçebilecek, seçici bir anahtarla donatılacaktır. Röleye, mesafe koruma rölesinden sadece arızalı fazların başlatma sinyalleri gönderilecek, fakat, röle, seçici anahtarlarla belirlenen konuma göre çalışacaktır.
- Başarısız bir tekrar kapamadan sonraki açma her zaman üç faz olacaktır.
- Kesici arızalı hat üzerine kapatıldığında veya kapama yapıldıktan sonra kurma (kilitleme) zamanı içinde arıza olursa, tekrar kapama rölesi üç faz nihai açma yaptıracaktır.
- Devamlılık gösteren arızalarda, açma üç faz olacak ve tekrar kapama bloke edilecektir.
- Tekrar kapama rölesi hangi pozisyonda olursa olsun, dışarıdan verilecek sinyalle kilitlenebilecektir.
- Tekrar kapama rölesinde, tek faz ve üç faz tekrar kapamaların sayısını gösteren iki adet sayıcı olacaktır. Gecikmeli tekrar kapama, bir uçta hattın enerjisiz olduğu kontrol edilerek, diğer uçta senkronizasyon koşulları kontrol edilerek yapılacaktır.
- Hat gerilim kontrolü kesicinin hat tarafındaki gerilim büyüklüğü ölçülerek yapılacak ve kesici 1-10 saniye arasında ayarlanabilen zaman rölesi süresi bitiminde hat gerilimsiz ise kapanacaktır.
- Senkronizasyon kontrol rölesi, enterkonneksiyonun yapılacağı noktasının her iki tarafında gerilim olduğunda ve faz açısı, gerilim ve frekans farkları öngörülen sınırlar içinde kaldığında kapama komutu verecektir.
- Hızlı ve gecikmeli tekrar kapama konumlarını seçmek için seçici bir anahtar sağlanacaktır.
- Otomatik tekrar kapama aşağıdaki durumlarda yapılmayacaktır;

. Bara koruma çalışması

. Lokal kesici arıza rölesi çalışması

EK - 3 (Devam) Türkiye İletim Sisteminde Kullanılan Tekrar Kapama Kriterleri

- . Faz uyuşmazlığı veya diğer kesici arızası
- . Kesicinin elle kumanda edilmesi
- . Hattın transfer kesici üzerinden beslenmesi

- . Hat koruma herhangi bir gecikmeli çalışması
- . Transfer açma sinyalinin alınması
- . Transfer açma fonksiyonu arızası veya servis dışı kalması

Proje Kriterleri

380 kV korumada kullanılan tekrar kapama çeşitleri

- I) Hızlı Tekrar Kapama,
- II) Yavaş Tekrar Kapama.

Hızlı tekrar kapama: Bu tekrar kapamanın yapılması için gereken şartlar;

- 1) Q₇ (Transfer ayırıcısı) açık olacak,
- 2) S 201 (Tekrar kapama tipini seçen anahtar) HSR konumunda olacak,
- 3) S 202 (Tekrar kapama biçimini seçen anahtar) 1 ph veya 1+3 ph konumlarından birinde olacak,
- 4) PLC 1 ve PLC 2 kanallarının çalışır vaziyette olması, yani K219 rölesinin enerjili olması,
- 5) K214 rölesinin enerjili olması böylece açmaların 3 faza çevrilmemesi gerekmektedir,
- 6) K205 tekrar kapamayı başlatan rölenin enerjilenmesi gerekmektedir.
Bu röle Ana Koruma-1 rölesi açmaya karar verince çalışır.
- 7) Ayrıca tekrar kapamayı iptal barasında (+) olmamalıdır. Aksi takdirde tekrar kapama bloke olur. açmalar nihai açma olur.

Tekrar kapamayı iptal eden durumlar şunlardır;

- 1) K224, K225, K226 röleleri çalışmış ve K212 rölesi çalışmış ise,

EK - 3 (Devam) Türkiye İletim Sisteminde Kullanılan Tekrar Kapama Kriterleri

- 2) Ana Koruma-1'in 2. kademe açmalarında K270 rölesi enerjilenerek tekrar kapamayı iptal eder,
- 3) S₀ manuel kesici anahtarı ile kesiciye açma verilince röle tekrar kapamayı iptal eder,
- 4) K260 (nihai açma) rölesi enerjilenerek HSR konumunda tekrar kapamayı iptal eder,
- 5) K210 tekrar kapama rölesi enerjilendiğinde, aynı anda tekrar kapamayı iptal ederek tekrar kapamanın sürekli gitmesine mani olur.
- 8) K213 rölesi ise tekrar kapama esnasında kesicinin faz uyuşmazlığı devresini iptal ederek yanlış çalışmasını önlenir.

Not: Ana Koruma-1 tekrar kapama şartlarına uygun ise Ana Koruma-2 mesafe koruma rölesinden gelen tekrar kapama bloke edilir.

Yavaş tekrar kapama: Bu tip tekrar kapama, hattın önce karşılıklı olarak boşaltılmasını, arkasından bir uçtan deadline - check ile diğer uçtan ise synchro – check yaparak kapatılması esasına dayanır ve tekrar kapamalar 3 faz olarak gerçekleşir.

Tekrar kapamanın oluşu;

- 1) S201 anahtarı DR konumunda olacak,
- 2) Q₇ transfer ayırıcısı açık olacak,
- 3) K205 rölesi çalışacak. Bu röle Ana Koruma-1 mesafe koruma rölesi çalıştığında çalışır,
- 4) K251 rölesi çalışacak. Bu röle Ana Koruma-2 mesafe koruma rölesi çalıştığında çalışır.

Ek-4 Türkiye İletim Sitemindeki 380 kV Hatların Tipik ölü-zaman Değerleri

EK-4.1. Uzunluğu 100 km'den az, sekonder ark arkımı 10 A'den küçük ve santrallere bağlı olmayan (18);

380 kV Hatlar	Ölü-zaman süresi (saniye)
İkitelli – Alibeyköy (22 km)	1,5
Alibeyköy – Ümraniye (39 km)	1,5
Adapazarı – Osmanca (66 km)	1,5
Ümraniye – Gebze (çift) (32 km)	1,5
Gebze – Adapazarı (çift) (87 km)	1,5
Ankara II – Gölbaşı (34 km)	1,5
Aliağa – Işıklar (46 km)	1,5

380 kV hatlarda tek faz tekrar kapama uygulamasına gidilmiştir. Bu hatlar için 1 saniye ölü- zaman süresi yeterli olmakla beraber, emniyetli bir işletme için 1,5 saniye ölü-zaman süresi alınmıştır.

Ek-4 (Devam) Türkiye İletim Sitemindeki 380 kV Hatların Tipik ölü-zaman Değerleri

EK-4.2. Sekonder ark akımı 15 A'den küçük, sadece bir ucu santrale bağlı olan;

380 kV Hatlar	Ölü-zaman süresi (saniye)
Babaeski – Hamidabad (25 km)	1
İkitelli – Hamidabad (147 km)	1,5
Adapazarı – Bursa (156 km)	1,5
Adapazarı – Çayırhan (136)	1,5
Çayırhan – Ankara II (78)	1,5
Kayabaşı – Altinkaya (103)	1,5
H.Uğurlu – Çarşamba (19)	1
Bursa – Tunçbilek (88)	1,5
Bursa – Soma (174)	1,5
Soma – Aliağa (82)	1,5
Işıklar – Yatağan (147)	1,5
Oymapınar – Varsak (76)	1,5
Oymapınar – Seydişehir (84)	1,5
Kangal – Sivas (61)	1,5
Elbistan – Kayseri (146)	1,5
Erzin – Gaziantep (120)	1,5

Ek-4 (Devam) Türkiye İletim Sitemindeki 380 kV Hatların Tipik ölü-zaman Değerleri

Ek-4.3. Sekonder ark akımı 15-30 A arasında olan, hattın her iki ucuna da santral bağlı olan;

380 kV Hatlar	Ölü-zaman süresi (saniye)
Alibeyköy – Hamidabad (150)	2
İkitelli – Osmanca (229)	2
Ankara II – Osmanca (174)	2
Osmanca – Çankırı (206)	1,5
Gökçekaya – Adapazarı (100)	1,5
Gökçekaya – Gölbaşı (167)	1,5
Gökçekaya – Seyitömer (114)	1,5
Seyitömer – Tunçbilek (44)	1
Seyitömer – Işıklar (283)	2
Işıklar – Yatağan (146)	2
Yatağan – Yeniköy (çift) (41)	1
Keban – Kangal (139)	2
Keban – Karakaya (çift) (87)	1,5

ÖZGEÇMİŞ

1963 yılında Elazığ'da doğdu. İlk,orta eğitimden sonra Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümünü bitirdi. 1984 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Mülga TEK ve daha sonra TEİAŞ Genel Müdürlüğünde; 1984-1987 yılları arasında işletme mühendisi, 1988-1992 yılları arasında röle mühendisi ve 1993-2003 yılları arasında yüksek gerilim laboratuvarında teknik şef ve trafo merkezleri proje müdür yardımcısı olarak görev yaptı. 2004-2005 yılları arasında Sistem Etüt Koruma Müdürü olarak görev yaptı. 2005'ten itibaren TEİAŞ Genel Müdürlüğü Araştırma Planlama Koordinasyon Daire Başkanlığında Sistem Bağlantı ve Kullanım Müdürü olarak görevine devam etmektedir.