

Bir Güç Sistemi için Geçici Kararlılık Çalışması

ZAİD AMER SHAFEEQ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül 2012

Transient Stability Study for a Power System

ZAÏD AMER SHAFEEQ

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Electrical and Electronics Engineering

September 2012

Bir Güç Sistemi için Geçici Kararlılık Çalışması

ZAİD AMER SHAFEEQ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Kontrol-Kumanda Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Eylül 2012

ONAY

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Zaid Amer SHAFEEQ'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Bir Güç Sistemi için Geçici Kararlılık Çalışması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Üye: Prof. Dr. Hasan Hüseyin ERKAYA

Üye: Prof. Dr. Osman PARLAKTUNA

Üye: Yrd. Doç. Dr. Bünyamin TAMYÜREK

Üye: Yrd. Doç Dr. Ahmet YAZICI

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr.Nimetullah BURNAK
Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu tezin amacı bir elektrik güç sistemi için geçici kararlılık analizi yapmak üzere bir bilgisayar programı geliştirmektir. Bu çalışma, bir güç sistemi modeli kullanarak bir yük akış analizi yapılması, geçici kararlılık analizi diferansiyel denklemlerinin elde edilmesi ve bu denklemlerin çözümü için gerekli uygun bir bilgisayar programının kullanımını içermektedir. Senkron makine kararlılığını tanımlayan doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerin sayısal çözümü MATLAB ortamında gelişkin Euler yöntemi ile yapılmıştır. Daha sonra, geliştirilen bilgisayar programı iki farklı güç sistemi hatası için denenmiş ve geçici kararlılık analizleri başarıyla yapılmıştır. Sonuç olarak, geliştirilen program ile nominal gerilimi 400 kV olan Irak ulusal ağı için üç-faz simetrik arıza durumunda geçici kararlılık analizi yapılmış ve sistemdeki her bir bara için kritik açma süreleri hesaplanmış ve tablo halinde verilmiştir.

SUMMARY

The aim of this thesis is developing a computer program to conduct a transient stability analysis for an electric power system. This study covers realisation of a load flow analysis by using a power system model, obtainment of differential equations for transient stability analysis, and utilisation of an appropriate computer program for the solution of these equations. Quantitative solution of the nonlinear differential equations defining synchronous machine stability has been done via developed Euler method at MATLAB environment. Afterwards, the developed computer program has been tested for two different power system errors and the transient stability analyses have been conducted successfully. Finally, a transient stability analysis has been conducted for the Iraq national mains grid that has 400 kV nominal voltage regarding the occurrence of a three phase symmetric fault, and the critical clearing times for each system busbar have been calculated and provided in the form of a table.

TEŐEKKÖR

Yüksek Lisans çalışmalarım sırasında, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi'ne bu amaçla adım attığım ilk günden bu yana desteğini esirgemeyen ve sonuna kadar da aynı içtenlikte devam eden danışmanlarımı Prof. Dr. Abdurrahman Karamancıoğlu'na ve Yrd. Doç. Dr. Bünyamin Tamyürek'e sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Bu günlere gelmemde en büyük paya sahip olan, bana maddi manevi her türlü destek veren annem'e ve hep yanımda olan arkadaşım Zuher Kazancı'ya da minnetlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 İletim hattı nominal π eşdeğer gösterimi	10
Şekil 2.2 Yük akış çalışmalarında kullanılan senkron jeneratör modeli.....	10
Şekil 3.1 Senkron makinenin basitleştirilmiş gösterimi.....	16
Şekil 3.2 Bir senkron makinenin basitleştirilmiş gösterimi.....	17
Şekil 4.1 Kararlı bir durum.....	24
Şekil 4.2 Kararsız bir durum.....	25
Şekil 4.3 Sonsuz(ideal bara) bus sistemi ile tek makine şeması.....	26
Şekil 4.4 Basit bir sistem eşdeğer devreleri.....	27
Şekil 4.5 Swing eğrisi arıza temizleme açısı ($\delta = 80^\circ$)	29
Şekil 4.6 Swing eğrisi arıza temizleme açısı ($\delta = 100^\circ$).....	30
Şekil 4.7 Bir iletim hattı üzerinde tesisi şalt bir SLG hata ile basit bir sistemi.....	31
Şekil 4.8 Sistemin(pozitif, negatif ve sıfır) sırasıyla bileşen ağları ile SLG hatası.....	31
Şekil 4.9 Hata SLG için basitleştirilmiş eşdeğer devre.....	32
Şekil 4.10 Swing eğrisi arıza temizleme açısı ($\delta = 80^\circ$).....	35
Şekil 4.11 Swing eğrisi arıza temizleme açısı ($\delta = 90^\circ$)	35
Şekil 5.1 Irak elektrik şebekesinin (400 KV) konfigürasyonu	60
Şekil 5.2 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn ile oluştuğunda (Baiji G.P.S)Swing eğrisi.....	41
Şekil 5.3 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn ile oluştuğunda (Musul Barajı) Swing eğrisi.....	41
Şekil 5.4 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn ile oluştuğunda (Hadiytha Barajı) Swing eğrisi.....	42
Şekil 5.5 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn ile oluştuğunda (Qudis) Swing eğrisi.....	42
Şekil 5.6 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn ile oluştuğunda (Musayab) Swing eğrisi.....	43
Şekil 5.7 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn ile oluştuğunda (Nassiriyah) Swing eğrisi.....	43

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.8 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn ile oluştuğunda (Hartha) Swing eğrisi.....	44
Şekil 5.9 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn ile oluştuğunda (Baiji G.P.S) Swing eğrisi.....	44
Şekil 5.10 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn ile oluştuğunda (MuDam) Swing eğrisi.....	45
Şekil 5.11 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn ile oluştuğunda (Hadiytha Barajı) Swing eğrisi.....	45
Şekil 5.12 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn ile oluştuğunda (Qudis) Swing eğrisi.....	46
Şekil 5.13 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn ile oluştuğunda (Musayab) Swing eğrisi.....	46
Şekil 5.14 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn ile oluştuğunda (Nassiriyah) Swing eğrisi.....	47
Şekil 5.15 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn ile oluştuğunda (Hartha) Swing eğrisi.....	47
Şekil 5.16 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S bara yakınında FCT= 0.3089 sn ile oluştuğunda (Baiji G.P.S) Swing eğrisi.....	50
Şekil 5.17 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S bara yakınında FCT= 0.3089 sn ile oluştuğunda (Musul Barajı) Swing eğrisi.....	50
Şekil 5.18 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT=0.3089 sn ile oluştuğunda (Hadiytha Barajı) Swing eğrisi.....	51
Şekil 5.19 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT=0.3089 sn ile oluştuğunda (Qudis) Swing eğrisi.....	51
Şekil 5.20 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT=0.3089 sn ile oluştuğunda (Musayab)Swing eğrisi.....	52
Şekil 5.21 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT=0.3089 sn ile oluştuğunda (Nassiriyah) Swing eğrisi.....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.22 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında $FCT=0.3089$ sn ile oluştuğunda (Hartha) Swing eğrisi.....	53
Şekil 5.23 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında $FCT=0.3095$ sn ile oluştuğunda (Bajji G.P.S) Swing eğrisi.....	53
Şekil 5.24 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında $FCT=0.3095$ sn ile oluştuğunda (Musul Barajı) Swing eğrisi.....	54
Şekil 5.25 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında $FCT=0.3095$ sn ile oluştuğunda (Hadiytha Barajı) Swing eğrisi.....	54
Şekil 5.26 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında $FCT=0.3095$ sn ile oluştuğunda (Qudis) Swing eğrisi.....	55
Şekil 5.27 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında $FCT=0.3095$ sn ile oluştuğunda (Musayab) Swing eğrisi.....	55
Şekil 5.28 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında $FCT=0.3095$ sn ile oluştuğunda (Nassiriyah) Swing eğrisi.....	56
Şekil 5.29 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında $FCT=0.3095$ sn ile oluştuğunda (Hartha) Swing eğrisi.....	56

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablolar</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 5.1 Irak ulusal üst şebeke sistemi (400 KV) için güç akış çözümlemesi.....	38
Tablo 5.2 Baiji p.s ve Hadiytha Barajı arası Baiji p.s barasına yakın noktada 3-faz hata oluşması sonrası geçici kararlılık programı FCT zamanlarına göre sonuçlar.....	40
Tablo 5.3 Nassiriyah ve Kadisiyah arası Nassiriyah barasına yakın noktada 3-faz hata oluşması sonrası geçici kararlılık programı FCT zamanlarına göre sonuçlar.....	49
Tablo 5.4 Irak elektrik şebekesinin (400 KV) farklı noktalarındaki bara yakınlarında 3-faz hataların hata çözümleme süreleri.....	58
Table 5.5 Irak elektrik şebekesinin (400 KV) farklı noktalarındaki bara yakınlarında 3-faz hataların hata çözümleme süreleri.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
P_{Gi}	baranın gerçek gücü
Q_{Gi}	baranın reaktif gücü
V_i	bara voltaj büyüklüğü
δ_i	bara güç açısı
$FDLF$	fast decoupled load flow method
$(R+j\omega L)$	Seri impedans
$(G+j\omega C)$	Şönt admitans
l	km cinsinden hat uzunluğu
y	yayıma sabiti
V_T	uç gerilim
S	kompleks güç
X'_d	direkt eksen geçici reaktansın
X_d	direkt eksen reaktansı
X_q	quadrature eksen senkron reaktans
T	birim başına net tork
H	nominal hızda kinetik enerji tarafından verilen makine eylemsizlik sabiti, birimi KW.sn/KVA
δ	senkron dönen referans eksenine kıyasla rotorun elektriksel açısal konumu, birimi radyan
f	frekans, birimi Hz
t	zaman, birimi saniye
T_m	mekanik tork

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
T_e	elektriksel tork
P_m	mekanik güç
P_e	elektriksel güç
θ_e	elektriksel radyan cinsinden rotor açısı
ω_o	$2\pi f$ rad/sn cinsinden nominal senkron hız
$\omega_o t$	radyan cinsinden senkron dönen referans ekseninin açısı
P_i	gerçek makine uç gücü
Q_i	reaktif makine uç gücü
V_i	bara gerilimleri
Y	şönt admitansı
Z	seri empedans
Z_c	karakteristik empedansı
Y_{ext}	genişletilmiş matris
I_i	makine uç akımı
ω_i	makine hızı
e'_i	iç gerilim
I_i	makine uç akımı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
P_{ei}	makine gücü
ω_i	makine hızı
δ_{cc}	güç açısı (arızayı giderme kritik açısı)
t_{cc}	arızayı giderme kritik süresi
FCT	hata çözümleme süresi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Güç sistem kararlılığı genel anlamda sistemin bir arızaya normal işletim konumundan yanıt verip işletimin tekrar normal olduğu noktaya geri dönme yeteneği olarak tanımlanabilir. Analiz amaçları uyarınca, dikkate alınması gereken üç kararlılık tanımı mevcuttur [1].

1. Denge durumu kararlılığı

2. Geçici kararlılık

3. Dinamik kararlılık

1. Denge-durumu kararlılığı, bir elektriksel güç sisteminin sistem içi makineler ve harici irtibat hatları arasında küçük ve yavaş bir arıza sonrası (normal yük dalgalanmaları otomatik gerilim regülatörleri ve türbin güvenerlerinin eylemleri) senkronizasyonu temin edebilme yetisi olarak tanımlanabilir. Maksimum güç aktarımı bu koşul altında aşıldığı takdirde, tekil makineler ya da makine grupları senkronizasyon içinde çalışmayı bırakacak, şiddetli gerilim dalgalanmaları meydana gelecek ve sistem için denge-durumu limiti bütün olarak aşılmış olacaktır. Denge durum kararlılık limiti, kararlılık kaybına uğramaksızın sistemden aktarılacak maksimum güce karşılık gelmektedir. Buna karşın senkronizasyon kaybı, yükler aniden uygulanır yahut çekilirse denge-durum limiti altında yüklerde (ya da arızalarda da) meydana gelebilmektedir. Böylesi büyük ani arızalarla uğraşırken bir geçici kararlılık kavramı kullanıma girmektedir. Ani büyük bir arıza hata oluşumlarını, hata çözümlerinin, ani yük değişimlerini ve dikkatsizlikten kaynaklı hat ve jeneratör tahribatlarını içermektedir. Ani arıza durumları altında kararlılık kaybına uğramaksızın sistemden aktarılacak maksimum güce geçici kararlılık limiti adı verilir.

2- Geçici kararlılık sistemin arıza sonrası ve güvenerlerin çalışması öncesindeki süre içerisinde senkronizasyon içinde kalma yetisidir.

Normalde makine rotorlarının ilk salınımı arıza sonrası yaklaşık bir saniye içerisinde meydana gelecektir ama tam süre makinelerin ve iletim sisteminin karakteristiklerine bağlıdır. Bu süreç sonrasında güvönlörler devreye girmeye başlayacak ve dinamik kararlılık koşulları etkili olacaktır [1,2].

3- Dinamik kararlılık bir güç sisteminin“ ilk salınım” sonrasında sistem yeni denge durumu kararlılığı koşullarına erişinceye kadar senkronizasyon içerisinde kalma yetisidir. Bir arıza sonrası yeterli zaman geçtiğinde ana işleticilerin güvönlörleri enerji girdisi ve mevcut yük arası bir dengeyi tekrar tesis etmek için gerektiği şekilde enerji girdisini artırmak yahut azaltmak üzere tepki vereceklerdir [1,2].

1.1. Literatür Taraması

Ghazi faisal Al-Fayyadh: Kritik hata çözümleme süresinin, hata çözümleme olduğu anda ortaya çıkan kinetik enerji minimum değişme hızı (rate of change of the kinetic energy (RACKE)) ile yakından ilişkili olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bu çalışma dahilinde (RACKE) yöntemiyle elde edilen sonuçlar adım adım yöntem ye elde edilenlerle karşılaştırılmıştır [3].

B.Abdul Majeed: Dinamik analiz için yük modelleme hususuyla ilgilidir. Sonuçlandırma ve genel yük yöntemi tavsiye edilmektedir. Model bir yükün statik ve dinamik karakteristiklerini içermektedir. Çalışma yük gösterim şekillerinin geçici kararlılık üzerindeki kesin etkisini araştırmaya adanmıştır burada mevcut yaklaşım yük modelleme yük akış analizi ve kararlılık çalışmasının anlaşılması için çok yararlıdır [4].

Forooq omar: Bu çalışmada frenin devreye sokulma ve çıkarılmasının belirli anları tanımlanmıştır. Devreye sokma kinetik enerji değişme hızı (RACKE) maksimum negatif olduğunda ve çıkarılma ise (RACKE) sıfır ve arıza hızı sıfır olup işaret pozitiften negatife dönüştüğünde etkilenmektedir [5].

Ali K. Jasim Al-Salihi :(RACKE) direkt yöntemi böyle komplikasyonlara sahip değildir dolayısıyla burada sistemin fren son anahtarlama işleminde kararlı olup olmadığına karar verilmesi için kullanılmıştır. Bu da RACKE zaman eğrisinin altındaki son

anahtarlama anından hemen önce ortaya çıkan son iki pozitif ve negatif alanların karşılaştırılmasıyla mümkün olur. Bu alanlar eşit ise sistem kararlıdır aksi takdirde ise sistem kararsızdır [6].

Sreerama Kumar, R. Ramanu Jam: Bu çalışma büyük çaplı güç sistemi dinamiklerinin geçici kararlılık simülasyonları için hesaba dayalı etkin bir algoritma anlatmaktadır. Dommel Sato yöntemine sayesinde hesaplama verimliliğinde kayda değer iyileşme sağlanabilecek belirli değişiklikler öne sürmektedir. Standart bir test sistemi ve büyük uygulamalı bir sistem üzerine yapılan öncül araştırmalar, zaman adımları için yakınsamanın gereksindiği şebeke çözümüleme sayısı en az yarı oranında azaltılabileceğini işaret etmektedir. Bu algoritma işletim eğitimi amaçlı jeneratör dinamiklerinin gerçek zaman simülasyonunda uygulama alanı bulmaktadır [7].

Robert J. Devy and Ian A. Hiskens: Çalışma, dinamik reaktif güç yükleri olan güç sistemi için Lyapunov fonksiyonu geliştirmiştir. Bu fonksiyonlar, statik yükleri olan yapı koruyucu güç sistem modelleri için türetilen eski Lyapunov fonksiyonunun eklentileridir. Kesin Lyapunov fonksiyonları elde edebilmek için, dinamik yükün geçici yanıtı gerilime algoritmik bağımlılık göstermelidir. Bir Lyapunov fonksiyonu başlangıçta bir ilk integral analizi yapılarak üretilir. Bundan sonra karşılaştırma amaçlı olarak bir Popov analizi gerçekleştirilir. Geliştirilen Lyapunov fonksiyonları çoklu makine güç sistemindeki jeneratör (açı) ve yük dinamikleri arasındaki etkileşimin incelenbilmesine olanak tanır [8].

Vikas Singhvi: Ara bağlantı jeneratörleri için en sık rastlanan kararsızlık şekli kayıp senkronizasyondur. Bunun incelenmesi lineer olmayan diferansiyel denklemlerin çözümünü gerektirmektedir. Küçük sinyal kararsızlığını incelemek için burada büyük çaplı N makineli güç sistemlerine uygulanabilecek bir yöntem geliştirilmiştir. Bu noktada denklemler bir durum uzay model formu şeklinde yazılmış ve bu durum uzay modelinden öz değerler elde edilmiştir.

Bu öz değerleri ve katılım faktörlerini kullanarak herhangi bir sistemin serbest yanıtı incelenebilir [9].

Ramnarayan Patel, T.S. Bhatti: Pek çok araştırma alanı için giderek artan oranda temel yapıtaşı olarak kullanılmaktadır. Bundan dolayı güç sistem simülasyonu için de büyük potansiyele sahiptir. Bu çalışma çoklu makine güç sistemi örneğini almak suretiyle geçici kararlılık analizi için bir simulink temelli modelin nitelik ve kapsamını ortaya koymaktadır. Gelişkin ve ayrıntılı bir çalışma için temel yapı olarak değerlendirilebilecek bir kendine-yeterli model tüm ayrıntılarıyla verilmiştir [10].

1.2. Çalışmanın Hedefi

Bu tezin hedefi aşağıda özetlenmektedir.

1. Herhangi bir elektrik güç şebekesi için geçici kararlılık limiti saptamak üzere matematiksel model ve bilgisayar programı geliştirmek.
2. Yukarıda bahsi geçen model ve programı, Irak Ulusal Şebekesi (400 KV) geçici kararlılığını incelemek üzere kullanıma koymak.

BÖLÜM 2

YÜK AKIŞ ANALİZİ

Güç sistem analizindeki en önemli matematiksel işlem yük akışlarının incelenmesidir. Bir yük akış çalışması, durum değişkenlerinin (gerilim, akım, güç ve güç faktörü) güç şebekesinin çeşitli noktalarında belirlenmesiyle ilgilenir. Yük akış çalışmaları tüm güç sistem problemleri için gereklidir ve kolay bir iş de değildir. Denklemlerin yapısından ve güç sistemlerinin sürekli artan karmaşıklığından dolayı bir yük akış problemine hiçbir direkt çözüm bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu hususta geleneksel olarak tekrarlı yöntemler kullanılmaktadır. Güç şebekesinin her nodunda dört değişken mevcuttur; gerçek güç, reaktif güç, gerilim büyüklüğü ve faz kayması. Bu dört değişken bir kompleks matematiksel denklem içerisinde birleştirilebilir ve denklem iki gerçek denklem haline çözümlenebilir. Yük akış çalışmaları için, yüklerin sabit olması ve gerçek ve reaktif güç tüketimleri ile tanımlanmış olduğu varsayılır. Ayrıca, jeneratör terminal gerilimlerinin sıkıca düzenlenmiş olması ve bu yüzden sabit olduğu düşünülmektedir. Güç akışının temel amacı, güçler oluşturulduğunda ve yükler önceden belirtildiğinde her bir baranın voltaj büyüklüğünü ve açısını bulmaktır [11].

2.1. Baralar Sınıflandırılması

Yükleme (load) Barası Bu bara hiçbir jeneratör ile bağlantı halinde değildir. Bu yüzden oluşturulan gerçek güç P_G ve reaktif güç Q_G sıfır olarak alınır. Bu bara ile hesaplanan yük, bara dışına güç akışı için negatif işaretin uygun olduğu yerde yani gerçek güç $-P_L$ ve reaktif güç $-Q_L$ içindedir. Bu durum, neden bu tür bara bazen $P-Q$ bara olarak anıldığına sebebdir. Güç akışının temel amacı, bara voltaj büyüklüğü $|V_i|$ ve onun açısını δ_i bulmaktır.

Voltaj Kontrollü Bara Jeneratörlerin bağlantıda olduğu baradır. Bu yüzden bu tür bara güç üretimi güç kaynağı ile terminal voltaj ise jeneratör uyarması ile kontrol

edilmektedir. Giriş gücünü türbin yönetici kontrol ile sabit tutarak ve bara voltajını da otomatik voltaj düzenleyici ile sabitleyerek bu bara için sabit P_G ve $|V_i|$ belirtebiliriz. Bu nedenle bu tür bara $P-V$ olarak da bilinirler. Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise, Q_G jeneratör tarafından sağlanan reaktif gücün biçime bağlı olması ve önceden belirtilememesidir. Bu yüzden bara voltajının bilinmeyen δ_i açısını bulmak gereklidir.

Serbest Bara (Swing bus) Bu tür bara yük akış çalışmaları için daima 1 ile numaralandırılır. Bu bara diğer tüm baralar için açısal referans oluşturur. İki voltaj kaynağı arasındaki gerçek ve reaktif güç akışını yöneten açı farklılığı olduğu için serbest bara özel açısı önemli değildir. Fakat diğer tüm voltajların ölçüldüğü açılara karşın referans oluşturur. Bu yüzden bu bara açısı daima 0° olarak seçilir.

Ayrıca, bu bara voltajının büyüklüğünün bilindiği varsayılmaktadır. Şimdi tüm yük taleplerinin bilindiği tipik bir yük akışı problemi düşünelim. Üretim bu taleplerin toplamı ile eşleşse bile hat I^2R kayıplarından dolayı üretim ve yükleme arasındaki yanlış eşleşme kaçınılmaz olacaktır. Hat I^2R yitimi hat ile bağlantılı olan iki veri yolunun voltajlarının büyüklükleri ve açılara bağlı olduğu için, voltajları ve açıları hesaplamadan kaybı tahmin etmek oldukça zordur. Bu nedenle bir jeneratörün bağlı bara genellikle serbest veya gevşek olarak gerçek gücünü belirlemeden seçilir. Bu bara ile bağlantılı jeneratörün gereken gerçek gücü ve yitici hattı dengeleyeceği düşünülmektedir. Swing bara her zaman ilk olarak seçilir. Bu önceden tam olarak bilinmeyen gerçek güç kaybı miktarını verecektir. Dolayısıyla genellikle müsait $P-V$ baralarından seçilir ve aktif gücü bilinmiyor varsayılır. Yük akış problem çözümüne dair bir erken dönem yaklaşımı, nodal admitans matrisi kullanan Gauss-Seidel tekrarlı yöntemidir [12] ve daha sonra bu nodal impedans matrisi [13] kullanılarak daha da geliştirilmiştir. Gauss-Seidel yöntemi temel olarak bir düz değiştirme ve düzeltme işlemidir. Yavaş yakınsama özelliğinden ve düşük bilgisayar depolama gereksinimlerinden dolayı küçük sistemler için kullanılmaktadır. Nodal admitans matrisi kullanan Newton Raphson yöntemi [14], yük akış analizindeki ikilenik yakınsama karakteristikleri sebebiyle geniş yaygınlık kazanmıştır. Tekrarlı işleyiş şu şekilde özetlenebilir Sürecin her aşamasında bir dizi lineer olmayan cebirsel denklemler bara gerilimlerinin mevcut değerlerini ifade eden noktada lineerleştirilir ve bara

gerilimlerinin daha iyi bir çözümünü elde etmek üzere bir dizi lineer denklem çözümlenir. Hızlı yakınsaması ve isabetli çözümlenmesi sebebiyle temel olarak büyük, iyi durumda güç sistemlerinde kullanılır. Sayısal yöntemler genellikle çözümlenmekte olan sistemin fiziksel özelliklerinden faydalandığı noktada en etkin kullanımına erişmektedir. Bundan dolayı, örneğin Newton yönteminde hızı ve depolama kapasitesini iyileştirmek adına komutlu eleme ve ustalıklı programlamalı şebeke seyrek istifade yolu kullanılmıştır. Yakın zamanda, MW- θ ve Mvar-V hesaplamalarını ayırıştırması yoluyla bir güç sistemindeki MW- θ ve Mvar-V akışları arasındaki gevşek fiziksel etkileşimden istifade etmek üzerine yoğunlaşmıştır [15,16].

Ayrıştırılmış Newton-yönteminde; (i) çözümlenmenin erken aşamalarındaki Newton yöntemine kıyasla bu yöntemin yakınsaması daha hızlıdır, (ii) yöntem yüksek isabetli çözümlenmeye yol açamaz, ve (iii) yüksek bir kararlılık derecesine sahiptir ve düşük depolama kapasitesi gerektirir. Yük akış çalışmaları için pek çok güçlü yöntem [15] bulunmaktadır ancak hızlı ayırıştırılmalı yük akış yöntemi (fast decoupled load flow method (FDLF)) [17,18], güç akış çözümlenmelerinin elde edilmesi için hizmet sanayii tarafından geçtiğimiz yıllar içinde en iyi yaklaşım olarak benimsenmiştir. FDLF yöntemi, sistem planlama, işletim planlama ve işletim kontrol alanlarında kullanılmaktadır. Bunun sebebi, düşük bellek gereksinimlerine, yüksek hıza ve pratik problemler için çok iyi yakınsama karakteristiklerine sahip olmasıdır. Hızlı ayırıştırılmış güç akış yöntemi güç akış problem çözümlenmeleri elde etmek için çok hızlı ve etkin bir yöntemdir. Bu yöntemde hem hızlar hem de seyreklikten faydalanılmaktadır. Bu aslolarak Newton-Raphson yönteminin kutupsal koordinatlarda güç akış çözümlenmeleri için hızlı bir algoritmaya ulaşmak üzere belirli yakınsamalarla formüle edilen bir genişletmesidir. Bu yöntem güç sistemi karakteristiğindeki MW akış gerilim açısı ve Mvar akış gerilim büyüklüğünün gevşek bağlarla bağlı olması gerçeğinden faydalanmaktadır. Diğer bir deyişle bara gerilim büyüklüğündeki küçük bir değişim baradaki gerçek güç akışını etkilemez ve aynı şekilde bara gerilimi faz açısındaki küçük bir değişim de reaktif güç akışı üzerinde bir etkiye sahip değildir. Bir güç sistemi içinde varolan MW ve Mvar akışları arası bu gevşek fiziksel etkileşimden dolayı MW- δ ve Mvar-V hesaplamaları ayırıştırılabilir [1].

2.2. Güç Sistem Bileşenlerinin Gösterimi

Güç sistemi birleşelerinin gösterimi alt başlıklar altında incelenecektir

2.2.1. Genel Gösterim

Sistemdeki her bir bileşen, yük akış çalışmasında kullanılan programların gereksinimlerine uyacak şekilde ifade edilir.

İletim hattı parametrelerinin tümü p.u. temel üstünde yüzde değer olarak gösterilir, tüm sistemler için iletim hattı parametrelerinin gerçek ve isabetli değerleri kullanılır. Yük baralarındaki gerilim p.u. ya da bara nominal gerilim yüzdesi cinsinden ifade edilir. Jeneratör parametreleri makine gövdesi üzerinde aktif ve reaktif çıktılarıyla sırasıyla MW ve Mvar olarak ve gerilimleri ise p.u. olarak gösterilir. trafo verisi, bara nominal değerlerine göre yüzde kademe değiştiricili iletim hat kolu olarak gösterilir.

2.2.2. Yük Gösterimi

Pek çok uygulamada, yük kompozisyonunun detaylı bir bilgisi gerekli değildir. Başlıca hususlar toplam gerçek güç tüketimi ve ilgili güç faktörüdür. Bu genel pratik olan gerçek ve reaktif güç tüketiminin belirlenmesine eşdeğerdir. Dolayısıyla yük akış çalışmalarında bu iki miktar normal olarak her yük barasında belirtilir. Bunlar da o bara tarafından ortaya konulan elektriksel ihtiyacı belirtir.

2.2.3. İletim Hattı Gösterimi

Bir iletim hattı, Şekil 2.1’de gösterildiği gibi birarada devre elemanlarının bir nominal π eşdeğer modeliyle ifade edilir [19]

$$Y_{12} = 1/Z_{12} \quad (2.1)$$

burada

$$Z_{12} = Z_C \sinh \gamma l \quad (2.2)$$

$$Y_{10} = Y_{20} = (1/Z_C) \tanh \frac{\gamma l}{2} \quad (2.3)$$

$$Z_C = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}$$

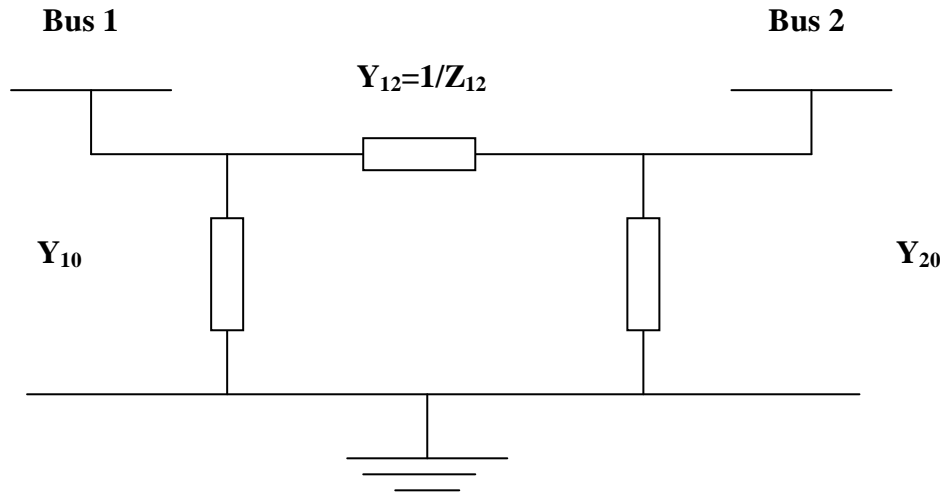
$R+j\omega L$ Seri impedansı / km

$G+j\omega C$ Şönt admitansı / km

l km cinsinden hat uzunluğu

Z_C karakteristik empedans

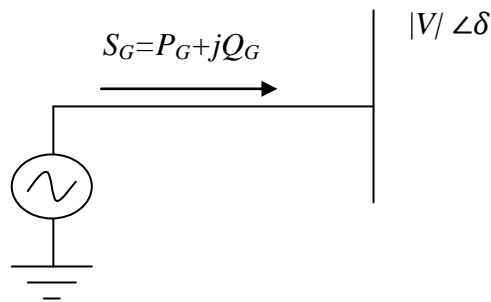
Ve γ yayılma sabiti (propagation constant)



Şekil 2.1 İletim hattı nominal π eşdeğer gösterimi

2.3. Senkron Jeneratör Gösterimi

Her büyüklükte elektrik enerjisi senkron jeneratörle üretilebilir. Mekanik türbin gücünü elektrik gücüne istenilen 50 Hz frekans ve istenilen gerilimde dönüştürmede ana sorumluluk bu bileşene aittir. Güç akış çalışmalarında sadece senkron jeneratörden elde edilen denge durumu güç çıktısıyla ilgilendiğimize göre yalnız uç gerilim ve akımı bilerek basitçe senkron jeneratörü bir sabit gerilim kaynağı olarak modellememiz yeterlidir [20]. Şekil 2.2 en basit senkron jeneratör modelini göstermektedir.



Şekil 2.2 Yük akış çalışmalarında kullanılan senkron jeneratör modeli

Denge durumu koşullarında enerji jeneratörleri, belirlenmiş uç gerilim V_T büyüklüklerinde belirli bir miktarda gerçek güç P_G üretebilirler. Jeneratörler ayrıca uyarım seviyesine bağlı olarak reaktif güç Q_G üretebilir ya da tüketebilirler. δ ve S sırasıyla güç açısı ve kompleks güçtür.

BÖLÜM 3

GEÇİCİ KARARLILIK ANALİZİ

Geçici kararlılık çalışmaları, üretim veya iletim tesislerinin kaybindan, ani veya süregelen yük değişikliklerinden ya da anlık hatalardan kaynaklanan büyük arızalar esnasında bir güç sisteminin senkronizasyon dahilinde kalabilme kabiliyetine dair bilgi sağlar. Özel olarak bu çalışmalar, bir arıza esnasında ya da hemen sonrasında sistem gerilimleri ve güç akışlarındaki değişiklikleri olduğu kadar güç sistemindeki makinelerin gerilimleri, akımları, güçleri, hızları, tork açıları ve torklarındaki değişiklikleri vermektedir. Bir güç sisteminin kararlılığı, yeni tesislerin planması için önem arzeden bir etkidir. Sürekli elektrik hizmetine olan bağımlılığın gerektirdiği kararlılığı temin etmek için, güç sistemlerinin her türlü öngörülebilir arıza durumu altında kararlı olacak şekilde tasarlanması gerekmektedir [24,25].

Geçici kararlılık hesaplamaları için ana prensipleri geliştirmek üzere, otomatik gerilim regülatörleri ve türbin güvenerlerinin analiz sürecinde etki edebilmek için çok yavaş olduğu varsayımı yapılır. Dolayısıyla daha basitleştirilmiş bir gösterim için makine, direkt eksen geçici reaktansın (X'_d) ardında bir sabit gerilim kaynağı olarak gösterilir. Bu durum aşağıdaki şekilde gerekçelendirilir:

1. Arıza esnasında şebekenin endüktif reaktansı direncinden çok daha büyüktür, böylece akım gerilimi yaklaşık olarak 90° duraklatır ve makine gerilimi kuadratur ekseninde olduğundan ötürü de direkt eksen reaktanslarına etkimek için direkt eksen akımları kullanılmalıdır.

2. Çalışmada ilk birkaç devir ya da saniye düşünüldüğünde, bir geçici reaktansın ardındaki geçici gerilim kullanılmalıdır. Çıkıklık ve alan akı bağlantılarındaki değişimlerin etkilerini içeren, direkt ve kuadratur eksenlerin kullanıldığı ve makinenin bir kuadratur eksen senkron reaktans (x_q) ardındaki gerilim kaynağı tarafından temsil edildiği bir başka gösterim şekilde düşünülmektedir [26]. Senkron makine denklemleri ile gerilim regülatörünün ve hız güvenerünün denklemleri, her bir makinenin gerilim

ve akım bileşenlerini şebekenin senkron dönen referans eksenlerine uydurmak için her bağlantı nodunda eksen dönüştürmesi yapılması gereklidir.

Bir geçici kararlılık analizi, şebekeyi tanımlayan cebirsel denklemlerin bir çözümüyle diferansiyel denklemlerinin sayısal çözümünün birleştirilmesi ile gerçekleştirilir. Şebeke denklemlerinin çözümü sistemin kimliğini devam ettirerek geçici periyod esnasında sistem gerilimleri ve akımlarına erişimi temin eder. Geçici kararlılık çalışmalarında diferansiyel denklemlerinin çözümleri üzerinde değiştirilmiş Euler yöntemi uygulanmıştır [24].

3.1. Swing Denklemi

Bir makinenin rotoru üzerine etkileyen net tork aşağıdaki şekilde verilir:

$$T = \frac{H}{\pi f} \frac{d^2\delta}{dt^2} \quad (3.1)$$

burada

T : birim başına net tork

H : nominal hızda kinetik enerji tarafından verilen makine eylemsizlik sabiti, KW.sn/KVA

δ : senkron dönen referans eksenine kıyasla rotorun elektriksel açısal konumu, birimi radyan

f : frekans, birimi Hz

t : zaman, birimi saniye

olarak tanımlanmaktadır.

Bir jeneratör rotoruna eklenen net tork, ana işleticiden gelen mekanik girdi torkunu, dönmesel kayıplardan kaynaklı torkları (sürtünme, rüzgarlama ve çekirdek kayıpları),

elektriksel çıktı torklarını ve ana işletici, jeneratör ve güç sistemi kaynaklı sönümlendirme torklarını içermektedir.

Bir motorun rotoru üzerine etkiyen elektriksel ve mekanik torklar zıt işaretlidir ve elektriksel girdiyle mekanik yükün sonuçlarıdır. Sönümlendirme ve eksenel kayıpları ihmal edersek tork T_a :

$$T_a = T_m - T_e$$

T_m : mekanik tork

ve T_e : elektriksel torkudur

olarak tanımlanmaktadır.

Böylece denklem (3.1)'den şu şekli alır:

$$\frac{H}{\pi f} \frac{d^2\delta}{dt^2} = T_m - T_e \quad (3.2)$$

Birim başına tork ve güç hızdaki küçük sapmalar için eşit olduğuna göre yukardaki denklem şu şekli alır:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \quad (3.3)$$

Burada, P_m ve P_e sırasıyla mekanik ve elektriksel güçlerdir.

Şimdi, aşağıdaki

$$\delta = \theta_e - \omega_o t \quad (3.4)$$

doğru olduğuna göre denklem (3.4)'ün zamana göre türevi alındığında şu sonucu verir:

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{d\theta_e}{dt} - \omega_o \quad (3.5)$$

burada

θ_e : elektriksel radyan cinsinden rotor açısı

ω_o : $2\pi f$ rad/sn cinsinden nominal senkron hız

ve ω_{ot} : radyan cinsinden senkron dönen referans ekseninin açısıdır.

Açısal hız ya da kayma

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_o \quad (3.6)$$

olup zamana göre türevi alındığında

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = d\omega/dt$$

elde edilir. Dolayısıyla, ikinci derece bir diferansiyel denklem olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \quad (3.7)$$

3.2. Senkron Makine Denklemleri

3.2.1. Geçici Reaktans Gerisinde Gerilim Kaynağı Tarafından Temsil Edilen Makine

Şebeke çözümleri için kullanılan senkron makine gösterimi ve buna karşılık gelen fazör şeması Şekil 3.1'de gösterilmiştir

Geçici reaktans gerisindeki gerilim şu şekilde ifade edilir

$$E' = V + r_a I + jX'_d I \quad (3.8)$$

burada

E' geçici reaktans gerisindeki gerilim

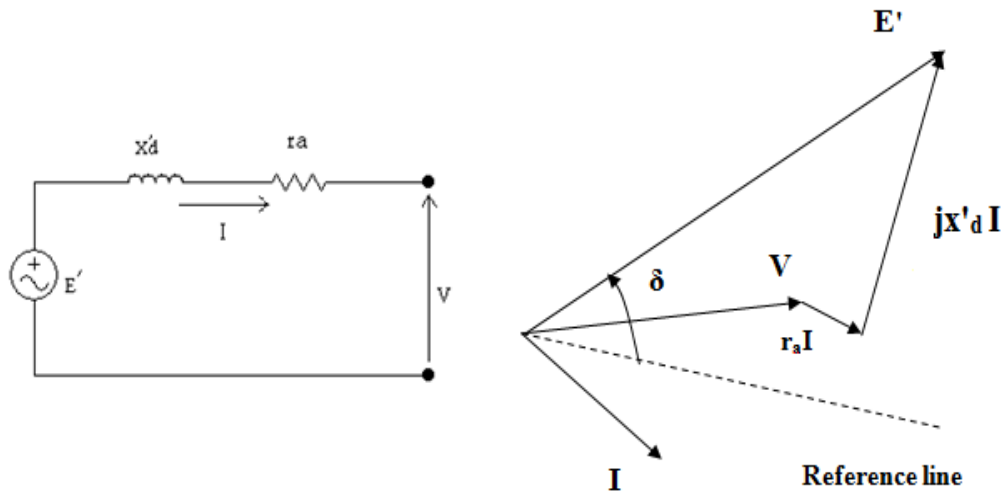
V makine uç gerilimi

I makine uç akımı

r_a armatür direnci

X'_d direkt-eksen geçici reaktansı

olarak tanımlanmaktadır [27].



Şekil 3.1 Senkron makinenin basitleştirilmiş gösterimi

3.2.2. Alan Akı Bağlantılarındaki Değişimler Dikkate Alınan Çıkık-Kutup Makinelerin Gösterimi

Çıkıklık ve alan akı bağlantılarındaki değişimler, bir senkron makinenin üç fazlı alternatif akım miktarlarının etkileri direkt ve kuadratur eksenler ifade edilerek dikkate alınabilir. Kuadratur eksenin konumu bu eksen üzerinde konumlu bir kurmaca gerilim hesaplanarak belirlenebilir. Kuadratur eksen senkron reaktansın gerisindeki bir gerilimdir ve şu şekilde gösterilir.

$$E_q = V + r_a I + jX_q I \quad (3.9)$$

burada

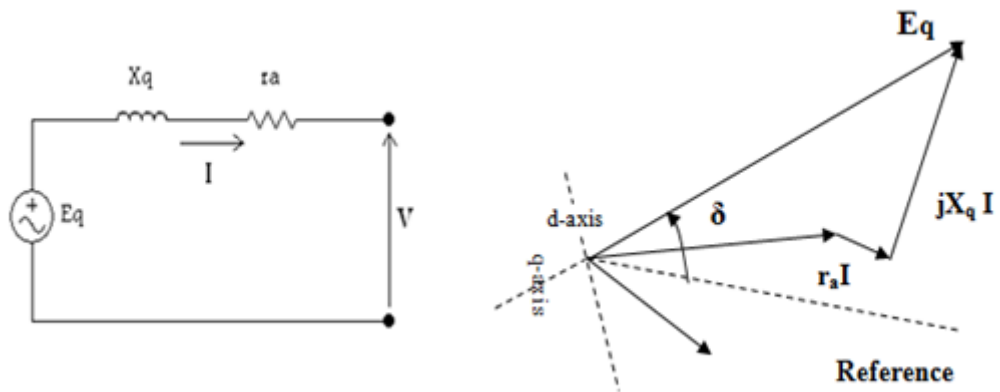
E_q : kuadratur eksen senkron reaktansın gerisindeki gerilim

ve

X_q : kuadratur eksen senkron reaktans

olarak tanımlanmaktadır.

Şebeke çözümleri için kullanılan senkron makine gösterimi ve buna karşılık gelen fazör şeması Şekil 3.2’de gösterilmiştir



Şekil 3.2 Bir senkron makinenin basitleştirilmiş gösterimi [27]

Alan akımı tarafından üretilen sinüzoidal akı, direkt eksen boyunca etkir. Alan akımı tarafından indüklenen gerilim bu akıyı 90° duraklatır ve dolayısıyla kuadratur eksen üzerine konuşlanır. Bu gerilim uç gerilim V 'ye armatür direnci kaynaklı gerilim düşüşleri ile direkt ve kuadratur eksenler boyunca demanyetize etkileri ifade eden gerilim düşüşleri ilave edilerek bulunabilir. Bu durumda doygunluğu ihmal edersek

$$E_I = V + r_a I + jX_d I_d + jX_q I_q \quad (3.10)$$

burada E_I alan akımına orantılı gerilim, X_d direkt eksen senkron reaktans, I_d ve I_q makine çıkış akımının sırasıyla direkt ve kuadratur eksenler üstündeki bileşenleridir.

3.3. Geçici Kararlılık Hesaplamasında Ana Adımlar Basitleştirilmiş Gösterim

1. Arıza öncesi yük akışını hesaplayın. Buradaki önemli sonuçlar bara gerilimleridir

$$V_i \quad i = (1, \dots, n) \quad \text{burada } n : \text{ bara sayısıdır}$$

2. Makine akımlarını aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (3.11)$$

Burada P_i ve Q_i makine çıkış güçleridir.

3. Makine iç gerilimleri hesaplayın

Makine reaktans gerisindeki bir sabit büyüklükte gerilim kaynağı olarak gösterildiğinde, gerilim aşağıdaki denklemden elde edilebilir:

$$E'_i(0) = V_i + r_{ai} I_i + jX'_{di} I_i \quad (3.12)$$

burada

$$E'_i(0) = e'_i(0) + jff'_i(0) \quad (3.13)$$

şeklindedir.

$E'_i(0)$ diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılan başlangıç değeri, $e'_i(0)$ ve $f'_i(0)$ ise gerilim $E'_i(0)$ 'nin gerçek ve imajiner bileşenlerinin başlangıç değerleridir.

Başlangıç iç gerilim açısı

$$\delta_{i(0)} = \tan^{-1} \left(\frac{f'_{i(0)}}{e'_{i(0)}} \right)$$

ve başlangıç hızı $\omega_i(0) = 2\pi f \text{ rad/sn}$ şeklindedir.

Başlangıç mekanik güç girdisi $P_{mi(0)}$ aşağıdaki şekilde elde edilen arıza öncesi elektriksel gücü $P_{ei(0)}$ 'ye eşittir:

$$P_{ei(0)} = Re(I_{i(0)}^* E'_{i(0)}) \quad (3.14)$$

4. Arıza öncesi güç akışlarındaki yük akış verileri eşdeğer empedanslara ya da admitanslara çevrilir V_{Li} gerilim çözümüne sahip belirli bir yükleme barası (bus) için $S_{Li}=P_{Li}+jQ_{Li}$ olduğuna göre $S_{Li}= V_{Li}I_i^*$ kullanarak admitanslar hesaplanır:

$$Y_{Li} = \frac{S_{Li}^*}{|V_{Li}|^2} = \frac{P_{Li}-jQ_{Li}}{|V_{Li}|^2} \quad (3.15)$$

5. Arıza öncesi, arıza esnası ve arıza sonrası şebeke koşulları için Y_{bus} matrisleri hesaplanır. Makinelerin iç nodlarındaki elektriksel güç için basit bir ifade elde etmek üzere sistemi iç nodlarına indirgemek kolaylaştırıcı bir yöntemdir. Dolayısıyla gereksinilen şey Y_{bus} matrisinin indirgenmesidir. Bu indirgemeye Kron indirgemesi adı verilir. Bu indirgemeyi elde etmek için, şönt yük admitansları admitans matrisi Y_{bus} 'ın köşegenel elemanlarına dahil edilir [28].

$$Y_{busnew}(i,i) = Y_{bus}(i,i) + Y_L(i) \quad (3.16)$$

İndirgenmiş sistemin nihai matrisini elde etmek için, Y_{12} , Y_{21} , ve Y_{22} alt matrisleri oluşturulur. Bu üç matris, orijinal baraları ve iç nodları içeren genişletilmiş matris Y_{ext} 'in parçasıdır. Y_{ext} 'in bölüntüleri aşağıdaki şekilde verilir

$$Y_{ext} = \begin{bmatrix} Y_{new}^{bus} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Yük baralarında herhangi bir akım enjeksiyonu öngörülmediğine göre, genişletilmiş sistem aşağıdaki denklem sistemine götürür

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{new}^{bus} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} V \\ E' \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

Tüm dış nodları elemek suretiyle indirgenmiş sistem admitans matrisi elde edilir ve aşağıdaki gibi yazılır:

$$Y_{red} = Y_{22} - Y_{21}[Y_{busnew}]^{-1}Y_{12} \quad (3.19)$$

Y_{busnew} , Y_{22} , Y_{21} , ve Y_{12} değerleri hesaplanır.

6. Bu adımda sistem arızasını simüle edilir.

Üretim, yük yahut iletim tesislerinin kaybı uygun elemanları şebekeden ayırarak etkilenebilir. Ana arızalar genelde baraya yakınındaki üç fazlı hatalardır.

7. Şebeke için yeni bara gerilimlerini hesaplanır.

Şebeke performans denklemleri, arıza meydana geldikten hemen sonraki sistem koşullarını elde etmek üzere çözümlenir. Ancak tekrarlı çözümde, makine empedanslarının gerisindeki baralar makine gösterimine bağlı olarak farklı şekilde değerlendirilir. Makine geçici reaktans gerisindeki sabit büyüklükte bir gerilimle ifade edildiğinde, iç makine bara gerilimi tüm tekrarlı süreç boyunca sabit tutulur.

8. Makine çıkış akımları ve güçlerini hesaplanır:

$$I_i = \frac{E'_i - V_i}{r_{ai} + jX_{di}} \quad (3.20)$$

ve makine gücü ise aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$P_{ei} = R_e (I_i^* E'_i) \quad (3.21)$$

9. Diferansiyel denklemlerin sayısal çözümü

Değiştirilmiş Euler Yöntemi

Bir makine geçici reaktans gerisindeki sabit büyüklükte bir gerilimle ifade edildiğinde, iç gerilimler açısı δ_i ve makine hızı ω_i 'deki değişimleri elde edebilmek için iki birinci derece diferansiyel denkleminin çözülmesi gerekmektedir

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\delta_i}{dt} &= \omega_i(t) - 2\pi f \\ \frac{d\omega_i}{dt} &= \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei}(t)) \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

Hiçbir güvener eylem öngörülmezse P_{mi} sabit kalır

$$P_{mi} = P_{mi(0)} = P_{ei(0)}$$

Ayrıca $(t+\Delta t)$ zamanındaki iç gerilim açıları ve makine hızlarına dair başlangıç tahminleri aşağıdaki gibi elde edilir

$$\left. \begin{aligned} \delta_{i(t+\Delta t)}^{(0)} &= \delta_{i(t)} + \frac{d\delta_i}{dt} \Big|_{(t)} \Delta t \\ \omega_{i(t+\Delta t)}^{(0)} &= \omega_{i(t)} + \frac{d\omega_i}{dt} \Big|_{(t)} \Delta t \end{aligned} \right\} \quad (3.23)$$

Burada türevler (3.22)'den denklemlerinden çekilmiştir ve $P_{ei(t)}$ 'de t zamanındaki makine güçleridir, $t = 0$ kabul edildiğinde, makine gücü $P_{ei(0)}$ arıza oluşuktan sonraki andaki şebeke çözümlemesinden elde edilir

İkinci tahminler $(t + \Delta t)$ zamandaki türevlerin değerlendirilmesiyle elde edilir. Bu işlem, başlangıç tahminlerinin $(t+\Delta t)$ 'deki makine gücü için belirlenmesini gerektirmektedir. Bu güçler iç gerilimin yeni bileşenlerinin aşağıdaki şekilde hesaplanmasıyla elde edilir.

$$\left. \begin{aligned} e'_{i(t+\Delta t)} &= |E'_i| \cos \delta_{i(t+\Delta t)}^{(0)} \\ f'_{i(t+\Delta t)} &= |E'_i| \sin \delta_{i(t+\Delta t)}^{(0)} \end{aligned} \right\} \quad (3.24)$$

Bu şekilde iç makine baralarında gerilimleri sabit tutarak bir şebeke çözümü elde edilir. Hesaplanan bara gerilimleriyle makine uç akımları şu şekilde bulunur:

$$I_{i(t+\Delta t)}^{(0)} = \left[E'_{i(t+\Delta t)} - V_{i(t+\Delta t)}^{(0)} \right] \frac{1}{r_{ai} + jX'_{di}} \quad (3.25)$$

ve makine güçleri de aşağıdaki şekilde değerlendirilebilir:

$$P_{ei(t+\Delta t)}^{(0)} = Re \left\{ I_{i(t+\Delta t)}^{(0)} \left[E'_{i(t+\Delta t)} \right]^* \right\} \quad (3.26)$$

İç gerilim açıları ve makine hızları için ikinci tahminler aşağıdaki yolla elde edilir:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{i(t+\Delta t)}^{(1)} &= \delta_{i(t)} + \left(\frac{\frac{d\delta_i}{dt} \Big|_{(t)} + \frac{d\delta_i}{dt} \Big|_{(t+\Delta t)}}{2} \right) \Delta t \\ \omega_{i(t+\Delta t)}^{(1)} &= \omega_{i(t)} + \left(\frac{\frac{d\omega_i}{dt} \Big|_{(t)} + \frac{d\omega_i}{dt} \Big|_{(t+\Delta t)}}{2} \right) \Delta t \end{aligned} \right\} \quad (3.27)$$

burada

$$\frac{d\delta_i}{dt} \Big|_{(t+\Delta t)} = \omega_{i(t+\Delta t)}^{(0)} - 2\pi f$$

$$\frac{d\omega_i}{dt} \Big|_{(t+\Delta t)} = \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei(t+\Delta t)}^{(0)})$$

$(t+\Delta t)$ zamandaki iç makine baraları için nihai geril

$$\left. \begin{aligned} e'_{i(t+\Delta t)} &= |E'_i| \cos \delta_{i(t+\Delta t)}^{(1)} \\ f'_{i(t+\Delta t)} &= |E'_i| \sin \delta_{i(t+\Delta t)}^{(1)} \end{aligned} \right\} \quad (3.28)$$

olur. Bundan sonra şebeke denklemleri, $(t + \Delta t)$ zamandaki nihai sistem gerilimlerinin elde edilmesi için tekrar çözülür.

10. Makine akım ve güçleriyle şebeke güç akımlarının elde edilmesi için bara gerilimleri iç gerilimlerle birlikte kullanılır.

Zaman Δt kadar ilerletilir ve bir anahtarlama işlemi etkilenecek mi ya da hata durumu değişecek mi belirlemek üzere bir test yapılır. Bir işlem belirlenmişse şebeke parametrelerinde, değişkenlerinde ya da her ikisinde uygun değişiklikler yapılır. Bundan sonra, değişiklik meydana geldiği andan hemen sonraki sistem koşullarının belirlenmesi için şebeke denklemleri çözülür. Bu hesaplamalarda iç gerilimler mevcut değerlerde sabit tutulur. Ardından bir sonraki zaman artırımını için tahminler elde edilir. Bu süreç t çalışma için belirlenen maksimum zamana eşit oluncaya kadar tekrarlanır.

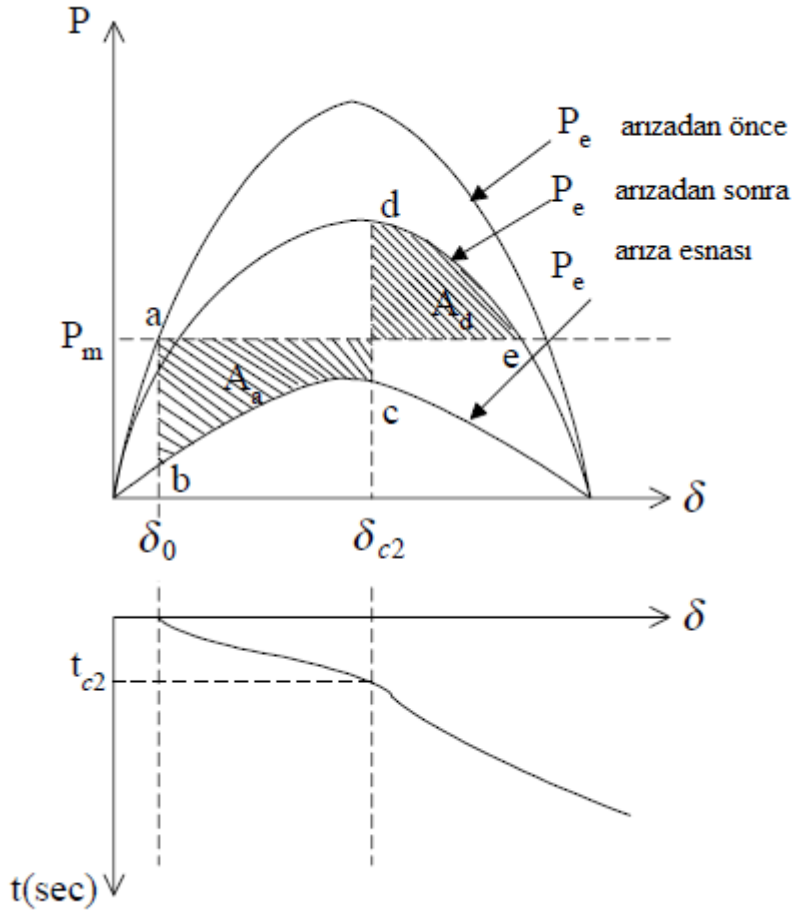
11. Önem arz eden sonuçlar alırsak, zamana göre iç gerilim açıları alırsak.

BÖLÜM 4

GEÇİCİ KARARLILIĞIN UYGULAMASI

Geçici kararlılık, yıldırım çarpmalarının sebep olduğu elektrik kaçağı ya da kısa devre, jeneratör ve/veya bir elektrik hattının aniden devreden çıkarılması ve anahtarlama dolayısıyla sistemin ani bir şoka uğratılması gibi, güç sisteminin ciddi arızalarla karşı karşıya kaldığı zamanlarda bütün jeneratörler arasındaki senkronizasyonu sürdürmekle ilgilenen alandır. Arızanın ciddiyetinden ve aniden ortaya çıkmasından ötürü, geçici kararlılık analizi arıza oluşumundan veya anahtarlama işleminden sonraki ilk birkaç saniyeye, hatta ilk birkaç periyoda odaklanır.

Ciddi bir arızanın ortaya çıkmasının ardından kısa süre içerisinde jeneratör ilk geçici sapma veya aşamaya maruz kaldığından, geçici kararlılık çalışmalarına ilk aşama analizi de denir. Eğer jeneratör bu aşamayı senkronizasyon kaybına uğramadan atlarsa, geçici durum kararlılığına sahiptir. Fakat eğer jeneratör senkronizasyon kaybına uğrar ve ilk aşamayı geçemezse, geçici durum kararlılığına sahip değildir. Sistemin kararlı kalması için arızanın giderilmesinin gerektiği kritik bir açı vardır. Güç sisteminin kararlılığının anlaşılmasında yardımcı olabileceğinden, bu noktada eşit alan kriterine ihtiyaç vardır. Nesneyle ilgili detaylı bir tartışmaya girmeden önce, kararlı bir durumla kararsız bir durum arasındaki farkı grafiklerle gösteren bazı basit figürlerden yararlanılabilir. Şekil 4.1’de gösterildiği gibi kararlı bir durumda, eğer arıza t_{c1} saniye içinde veya Aa bölgesinin (jeneratörün hızlandırılmasıyla ilgili olan bölge) Ad bölgesiyle (jeneratörün yavaşlatılmasıyla ilgili olan bölge) eşit olduğu t_{c1} açısında giderilirse, açının t_{c1} ’de maksimum düzeyine eriştiği ve bu açığı asla aşmadığı görülebilir. Şekil 4.2’de gösterildiği gibi kararsız bir durumda, arıza t_{c2} saniyede gideriliyor ve Aa bölgesi Ad bölgesinden daha büyüktür. Ayrıca arızanın t_{c2} açısında giderildiği kararsız bir durumda. Şekil 4.2’de gösterildiği gibi açının sürekli arttığı ve gittikçe uyumsuzlaştığı, kararsızlaştığı görülür. Eşit alan kriteriyle ilgili daha sonra detaylı bilgi verilecektir.



Şekil 4.2 kararsız bir durum

Kararsız durumda $A_a > A_d$ olmaktadır (Şekil 4.2).

4.1. Eşit Alan Kriteri

Geçici kararlılığın temel kavramlarını anlayabilmek için eşit alan kriteri doğru bir seçimdir. Dört iletim hattı ve bir sistem reaktansı ile ideal bir baraya bağlayan bir tek hat şeması Şekil 4.3'te görülmektedir. Güç üretim merkezi (central) şalt sahasında üç fazlı bir arıza oluştuğunu farz ediyoruz. Geçici jeneratör reaktansı ve jeneratör voltaj kaynağından oluşan klasik bir yöntemle eşdeğer devresi alınabilir.

Deney (1)

Bu program swing eğrisi hesaplamaktadır. Burada bir jeneratör ve transformatör ve iletim hatlarını bağlıdır ve o da bir sonsuz baraya (infinite bus sistemine) bağlıdır. Aşağıda semboller ve temsil ettikleri nicelikler belirtilmektedir:

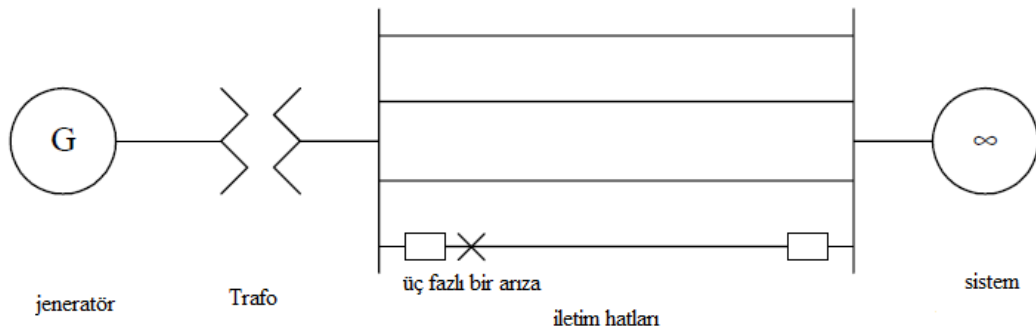
X_{pd} jeneratör reaktansı

E_{sys} sistemin gerilimi

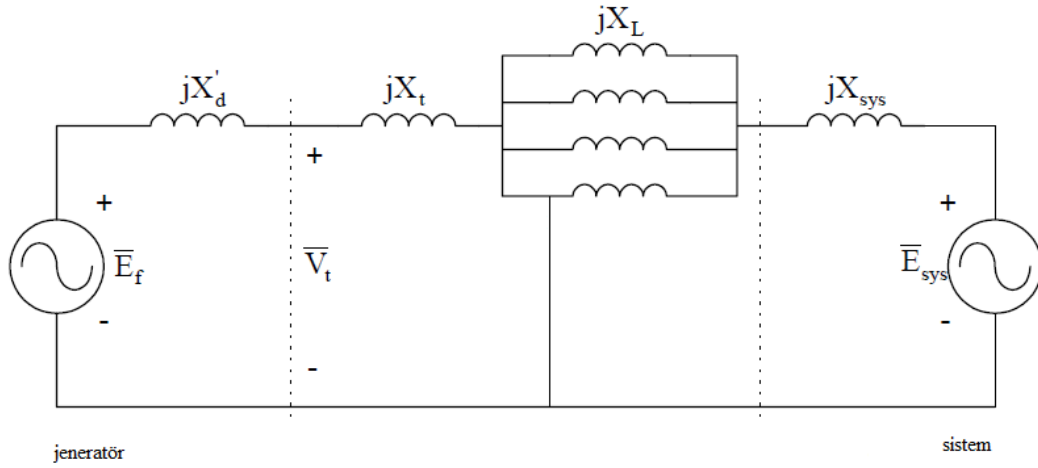
E_f jeneratör geçici reaktansı arkasındaki gerilimi

X_L iletim hatlarının reaktansı

X_{sys} sistem reaktansı



Şekil 4.3 Sonsuz (ideal bara) sistemi ile tek makine şeması



Şekil 4.4 Bir sistem eşdeğer devreleri

Aşağıdaki parametreler bu sistem için kullanılmıştır:

$S = 1.0$ makinenin başlangıç VA çıkışı (p.u.)

$Pf = -0.8$ makinenin ilk güç faktörü (geri kalmış)(lagging)

$\bar{V}_t = 1.0 \angle 0^\circ$ ilk terminal gerilimi (p.u.)

$X_t = 0.1$ transformer reaktansı (p.u.)

$X_L = 0.4$ iletim hattı reaktansı (p.u.)

$X_{sys} = 0.1$ sistem reaktansı (p.u.)

$X'_d = 0.25$ jeneratör geçici reaktansı (p.u.)

$H = 4$ makinenin sabiti (inertia constant)

Baştaki jeneratör akımı

$$\bar{I}_{gen} = \frac{S}{\bar{V}_t} \angle -\cos^{-1}(p.f.) = 1 \angle -36.8^\circ$$

Jeneratör ve sistem voltajı

$$\bar{E}_{sys} = \bar{V}_t - j(X_t + \frac{X_L}{4} + X_{sys}) \bar{I}_{gen}$$

$$= 0.854 \angle -16.31^\circ$$

$$\bar{E}_f = \bar{V}_t + (jX'_d) \bar{I}_{gen} = 1.167 \angle 9.87^\circ$$

İlk güç açısı

$$\delta_0 = 9.87^\circ + 16.31^\circ = 26.18^\circ$$

Maksimum güç

$$P_{max 0} = \frac{E_f E_{sys}}{X_{total 0}} = 1.812$$

İlk Makine gücü

$$P_{mech 0} = P_{max 0} \sin(\delta_0) = 0.8$$

Maksimum güç (arızada)

$$P_{max f} = \frac{E_f E_{sys}}{X_{total 0}} = 1.7096$$

Güç açısı (arızadan sonrası)

$$\delta_f = 180^\circ - \sin^{-1}\left(\frac{P_{mech 0}}{P_{max f}}\right) = 152.11^\circ$$

Arıza temizlendikten (bitikten) sonra $\delta_{c1} = 80^\circ$

$$A_a = \int_{\delta_0}^{\delta_{c1}} (P_{mech 0} - 0) d\delta = 0.752$$

$$A_d = \int_{\delta_{c1}}^{\delta_f} (P_{max f} \sin\delta - P_{mech 0}) d\delta = 0.801 \quad A_a < A_d \quad \text{kararlı}$$

Ve arıza temizlendikten sonra $\delta_{c2} = 120^\circ$

$$A_a = \int_{\delta_0}^{\delta_{c2}} (P_{mech} - 0) d\delta = 1.1704$$

$$A_d = \int_{\delta_{c2}}^{\delta_f} (P_{max f} \sin\delta - P_{mech 0}) d\delta = 0.3385 \quad A_a > A_d \quad \text{kararsız}$$

$$R = \frac{X_{total 0}}{X_{total f}}$$

Arızadan sonra δ_{cc}

Bölge $A_a = A_d$

Kritik açı (güç açısı)

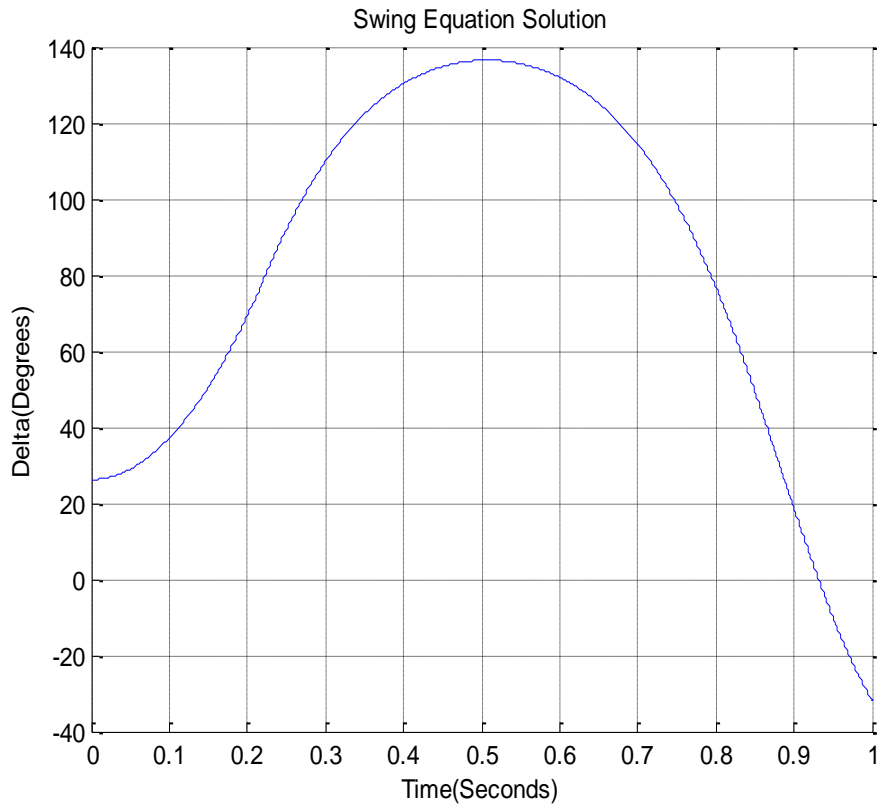
$$\delta_{cc} = \cos^{-1} \left[\frac{(\delta_f - \delta_0) \sin \delta_0 + R \cos \delta_f}{R_2} \right]$$

$$= 81.69^\circ$$

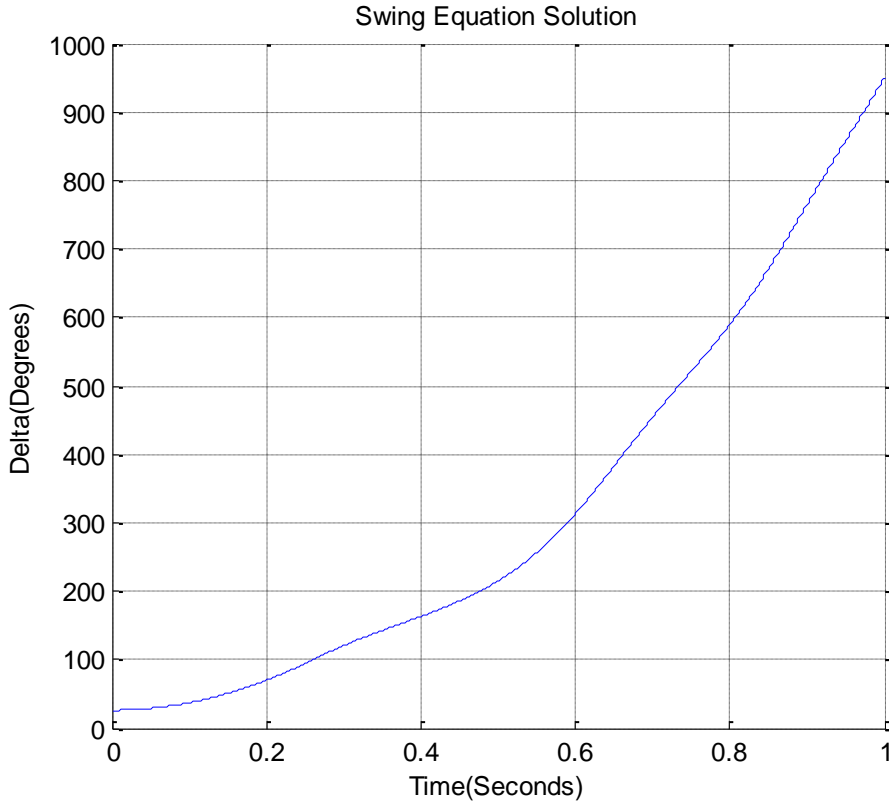
Kritik zaman

$$t_{cc} = \sqrt{\frac{2M(\delta_{cc} - \delta_0)}{P_{mech 0}}}$$

$$t_{cc} = 0.226 \text{ s}$$



Şekil 4.5 Swing eğrisi arıza temizleme açısı ($\delta = 80^\circ$)

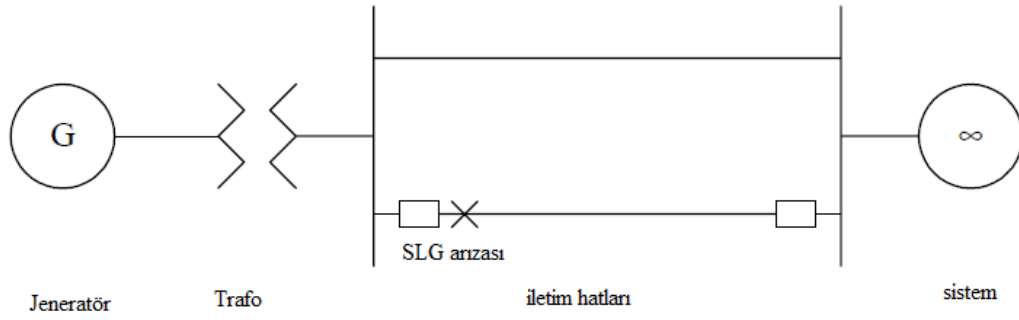


Şekil 4.6 Swing eğrisi arıza temizleme açısı ($\delta = 100^\circ$)

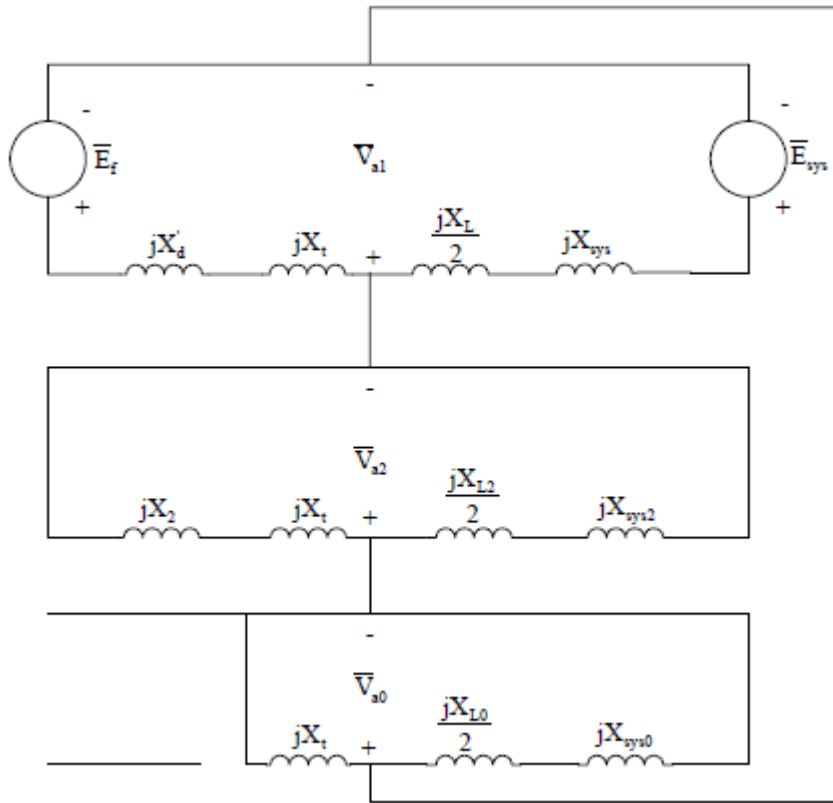
Bu deneyde iki örnekte δ_c (arıza temizleme açısı) birincisi $A_a < A_d$ örnekte kararlı durumda Şekil 4.5 ve ikincisi $A_a > A_d$ örnekte kararsız durumda şekil 4.6 ve bu sistem için $\delta_{cc} = 81.69^\circ$, $t_{cc} = 0.226$ s olduğunu görmektedir.

Deney (2)

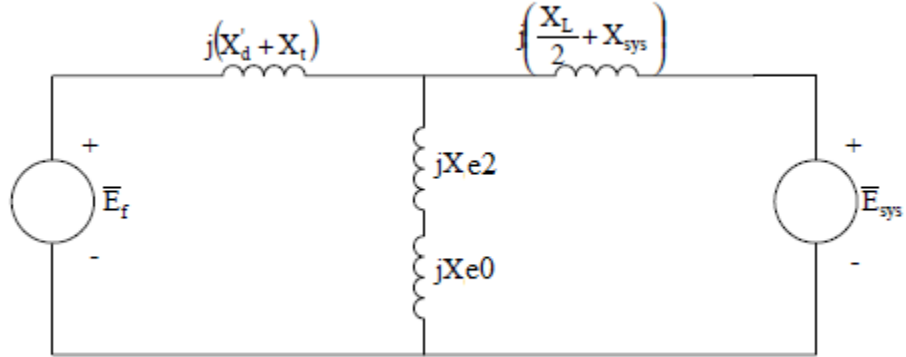
Bu programda kritik bir temizleme süresi tcc hesaplanır, jeneratör ve iki iletim hattı bağlıdır, transformatör ile sonsuz bir baraya sistemi bağlanmış. Trafoya yakın bir hat üzerinde bu durumda bir hat-toprak (SLG) hatası olmaktadır.



Şekil 4.7 Bir iletim hattı üzerinde tesisi şalt bir SLG hata ile bir sistem



Şekil 4.8 Sistemi için (pozitif, negatif ve sıfır) sırasıyla bileşen ağları ile SLG hatası



Şekil 4.9 Hata SLG için basitleştirilmiş eşdeğer devre

$$S = 1.0$$

$$Pf = -0.8$$

$$\bar{V}_t = 1.0 \angle 0^\circ$$

$$H = 4$$

$$X_{L1} = X_{L2} = 0.4, X_{L0} = 1.0$$

$$X_{sys1} = X_{sys2} = 0.1, X_{sys0} = 0.05$$

$$X_t = 0.2$$

$$X'_d = 0.25, X_2 = 0.1$$

$$\bar{I}_{gen} = \frac{S}{V_t} \angle -\cos^{-1}(p.f.)$$

$$= 1 \angle -36.8^\circ$$

$$\bar{E}_{sys} = \bar{V}_t - j(X_t + \frac{X_L}{2} + X_{sys}) \bar{I}_{gen}$$

$$= 0.806 \angle -29.74^\circ$$

$$\bar{E}_f = \bar{V}_t + (jX'_d) \bar{I}_{gen}$$

$$= 1.167 \angle 9.87^\circ$$

İlk güç açısı

$$\delta_0 = 9.87^\circ + 29.61^\circ = 39.61^\circ = 0.6913 \text{ rad}$$

Maximum güç (arızadan önce)

$$P_{max\ 0} = \frac{E_f E_{sys}}{X_{total\ 0}}$$

$$= 1.254$$

$$P_{mech\ 0} = P_{max\ 0} \sin(\delta_0) = 0.8$$

Negatif dizisi (sequence) reaktansı

$$X_{e2} = (X_2 + X_t) // \left(\frac{X_{L2}}{2} + X_{sys2} \right) = 0.15$$

Sıfır sequence reaktansı

$$X_{e0} = (X_t) // \left(\frac{X_{L0}}{2} + X_{sys0} \right) = 0.1467$$

Arıza sırasında reaktans (during fault)

$$X_{in} = \frac{(X'_d + X_t)(X_{e2} + X_{e0}) + \left(\frac{X_L}{2} + X_{sys} \right)(X_{e2} + X_{e0}) + (X'_d + X_t) \left(\frac{X_L}{2} + X_{sys} \right)}{(X_{e2} + X_{e0})}$$

$$= 1.205$$

$$P_{max\ in} = \frac{E_f E_{sys}}{X_{in}}$$

$$P_{max\ in} = \frac{X_{total\ 0} P_{max\ 0}}{X_{in}}$$

$$P_{max\ in} = R P_{max\ 0} = 0.7809$$

$$R = \frac{X_{total\ 0}}{X_{in}} = 0.6224$$

Arızadan sonra t_{c1} (one transmission line) tek hat

$$P_{max\ f} = \frac{E_f E_{sys}}{X_{total\ f}}$$

$$P_{\max f} = \frac{X_{total 0} P_{\max 0}}{X_{total f}}$$

$$P_{\max f} = R_2 P_{\max 0} = 0.9906$$

$$R_2 = \frac{X_{total 0}}{X_{total f}} = 0.7895$$

Final power angle (güç açısı)

$$\delta_f = 180^\circ - \sin^{-1}\left(\frac{P_{mech 0}}{P_{\max f}}\right) = 126.14 \text{ derece, } 2.201 \text{ rad}$$

Arıza temizlendikten sonra $\delta_{c1} = 80^\circ$

$$A_a = \int_{\delta_0}^{\delta_{c1}} (P_{mech} - R P_{\max 0} \sin \delta) d\delta = 0.0979$$

$$A_d = \int_{\delta_{c1}}^{\delta_f} (P_{\max f} \sin \delta - P_{mech 0}) d\delta = 0.1121$$

$A_a < A_d$ kararlı

Arıza temizlendikten sonra $\delta_{c2} = 90^\circ$

$$A_a = \int_{\delta_0}^{\delta_{c2}} (P_{mech} - P_{\max in} \sin \delta) d\delta = 0.1019$$

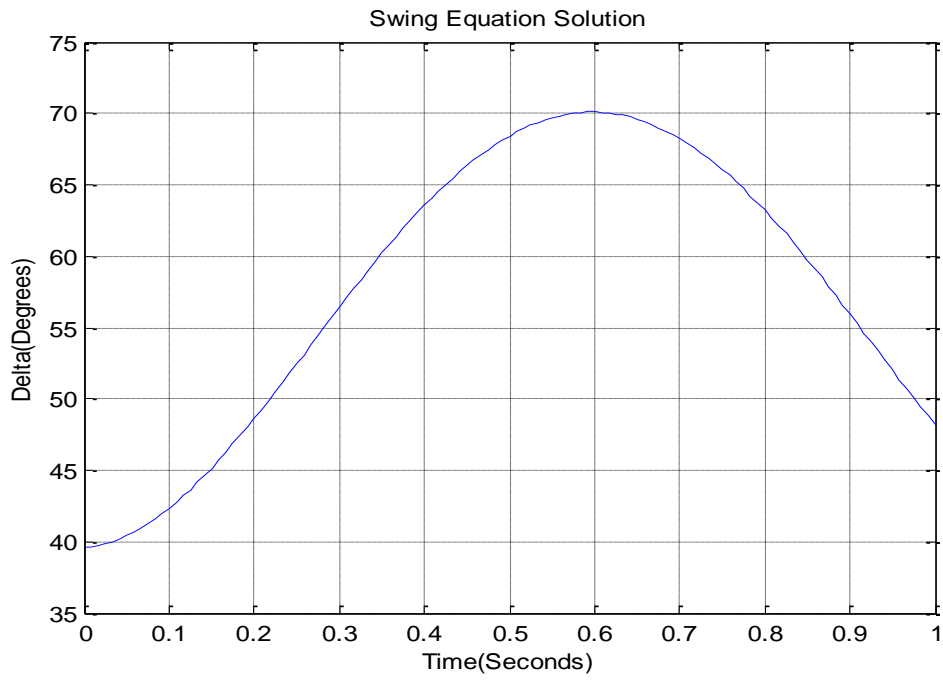
$$A_d = \int_{\delta_{c2}}^{\delta_f} (P_{\max f} \sin \delta - P_{mech 0}) d\delta = 0.0796$$

$A_a > A_d$ kararsız

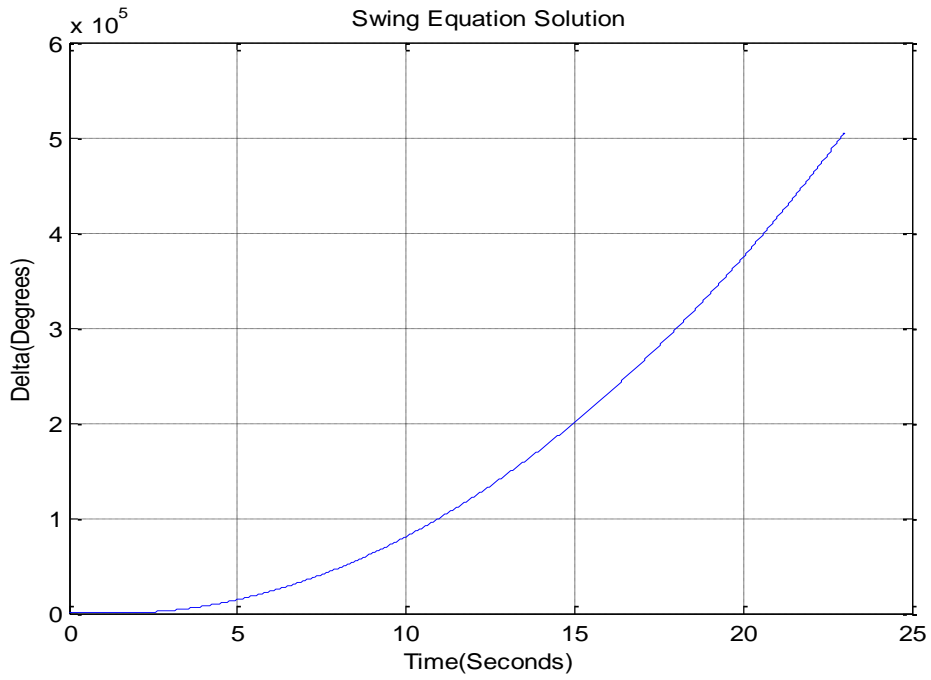
Arızadan sonra (güç açısı) δ_{cc}

$$A_a = A_d$$

$$\delta_{cc} = \cos^{-1} \left[\frac{(\delta_f - \delta_0) \sin \delta_0 - R \cos \delta_0 + R_2 \cos \delta_f}{R_2 - R} \right] = 83.89^\circ$$



Şekil 4.10 Swing eğrisi arıza temizleme açısı ($\delta = 80^\circ$)



Şekil 4.11 Swing eğrisi arıza temizleme açısı ($\delta = 100^\circ$)

Örnekte verilen tek hattın topraklama arızası yaşanan sistemde, sistemi kararlı hale getirmek için arızanın 83.89° da giderilmesi gerekir. Aksi takdirde sistem kararsız hale gelir.

Bu modülde verilen iki örnekle ilgili iki MATLAB programı (m-dosyası) vardır. İlk arıza anında söz konusu jeneratörün çıkış gücünün sıfır olduğu örnektir. İkinci m-dosyası, arızanın değeri sıfır değilken jeneratörün çıkış gücünün olduğu örnektir, MATLAB programı olan okuyucular basit kararlılık değerlendirmelerinde bu iki m-dosyasından faydalanabilir.

BÖLÜM 5

MODEL VE PROGRAMIN IRAK ELEKTRİK ŞEBEKESİNE UYGULANMASI

Geliştirilen model ve program Irak Elektrik Şebekesine (400 KV) uygulanmıştır, çalışmada kullanılan veriler, Irak Kontrol Merkezi [30] kaynaklı gerçek bilgiye dayanan talep ve üretime dayanmaktadır ve tüm veriler verilmiştir. Yükler bir statik admitansla ve hatlar da nominal π bölütleriyle ifade edilmektedir. Tüm şebeke verileri, bir ortak temel güç 100 MVA ve ortak temel gerilim 400 KV üzerinden birim başı olarak ifade edilmektedir. Arıza öncesi şebeke yük akış hesaplamalarının sonuçları Tablo 5.1'de verilmiştir. Yük akış çözümünde Baiji P.S. istasyonu referans seçilmiştir.

B-B adı	V (p.u)	Açı (derece)	P_g (MW)	Q_g (MVAR)	P_L (MW)	Q_L (MVAR)
BAJP	1.01	0.00	775.267	-105.5509	200	98
BAJG	1.01	0.0373	200	80.5038	90	10
MMDH	1.02	4.1614	600	30.0823	50	20
HDTH	1.0	0.8441	500	-105.7605	100	60
QDSG	1.01	-8.1502	237	1064.816	60	70
MSUP	0.96	-5.7740	600	-445.1307	120	70
NSRP	0.98	-1.9102	650	-189.5682	100	54
H RTP	1.03	-4.2027	380	202.3727	38	22

MSL4	1.0138	2.3872	0.0	0.0	300	180
KRK4	0.9952	-4.1148	0.0	0.0	70	40
DAL4	0.9859	-7.2783	0.0	0.0	150	80
BGE4	0.9870	-8.3068	0.0	0.0	500	360
BGN4	1.0030	-8.1763	0.0	0.0	300	200
BGW4	0.9874	-6.7099	0.0	0.0	500	360
QIM4	0.9973	0.0253	0.0	0.0	60	40
BGS4	0.9779	-6.9992	0.0	0.0	100	50
AMN4	0.9820	-8.3893	0.0	0.0	350	47
KUK4	0.9833	-6.6603	0.0	0.0	100	60
QRNA	1.0285	-5.0276	0.0	0.0	70	30
KAZG	1.0051	-5.3292	0.0	0.0	350	200
BAB4	0.9629	-6.0696	0.0	0.0	100	50
KDS4	0.9699	-6.2982	0.0	0.0	200	100

Tablo 5.1'de Irak ulusal üst şebeke sistemi (400 KV) için güç akış çözümlemesi

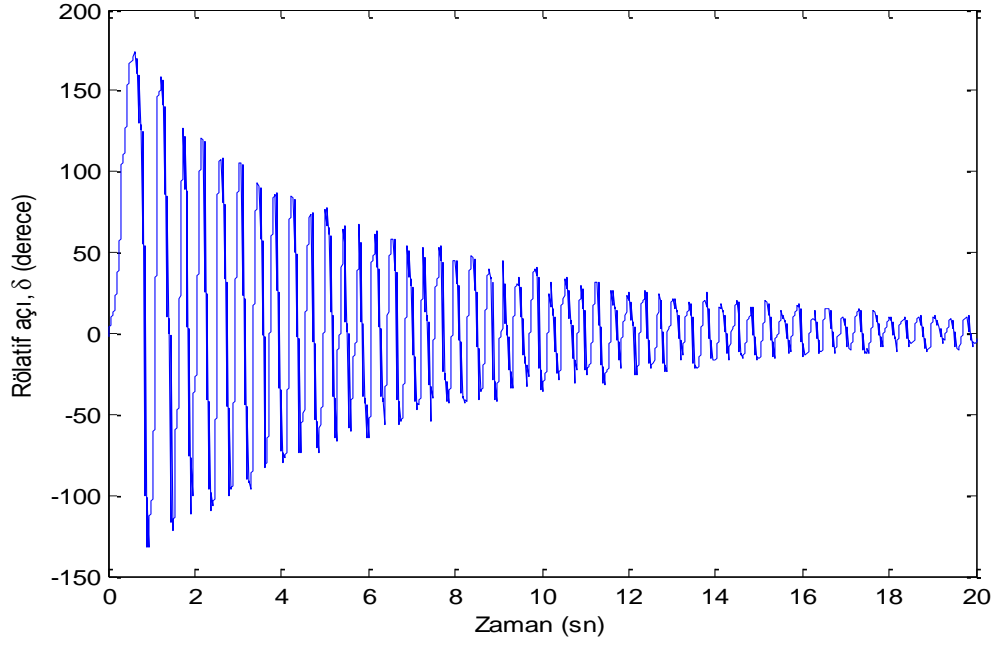
Geçiciliği başlatan arıza Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında Baiji P.S barasına yakın noktada gerçekleşen bir üç fazlı hatadır ve hata, hattın her iki ucundaki devre kesicilerin açılmasıyla çözümlenmiştir. Hata çözümleme süresine göre kararlılık durum sonuçları Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Hata çözümleme süresi (sn) FCT	Kararlılık durumu
0.12	Kararlı
0.14	Kararlı
0.16	Kararlı
0.18	Kararlı
0.2	Kararlı
0.22	Kararlı
0.26	Kararlı
0.28	Kararlı
0.32	Kararlı
0.34	Kararlı
0.38	Kararlı
0.427 Kritik(Maksimum)	kararlı
0.429	kararsız

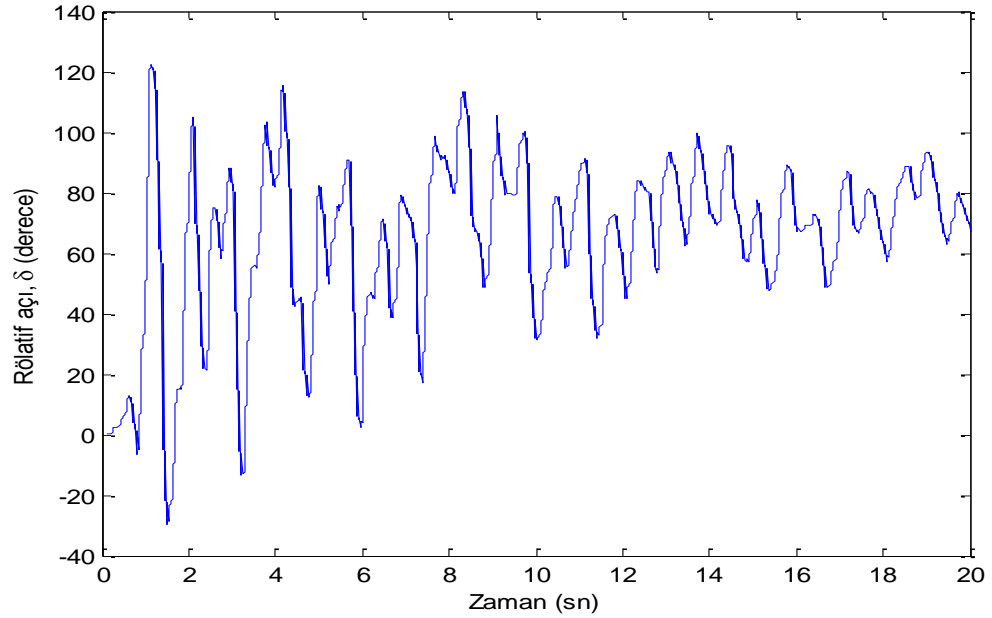
Tablo 5.2’de Baiji p.s ve Hadiytha Barajı arası Baiji p.s barasına yakın noktada 3-faz hata oluşması sonrası geçici kararlılık programı FCT zamanlarına göre sonuçlar

Sonuçlar, hata çözümleme süresi 0.427 sn. olduğunda sistemin kararlı ve 0.429 sn. olduğunda sistemin kararsız olduğunu göstermektedir. Şekiller 2 - 8'de gösterilen salınım eğrileri, bütün güç istasyonu için boş (Swing) bara ya göre tüm açı farklarının (δ) bir maksimum salınım (Swing) sonrası geri döndüğünü yani sistem sönülmendirme dahil edilmesiyle dalgalanmaların sona ereceğini ortaya koymaktadır. Bundan dolayı sistem, bu hata çözümleme süresi uyarınca kararlı bulunmuştur.

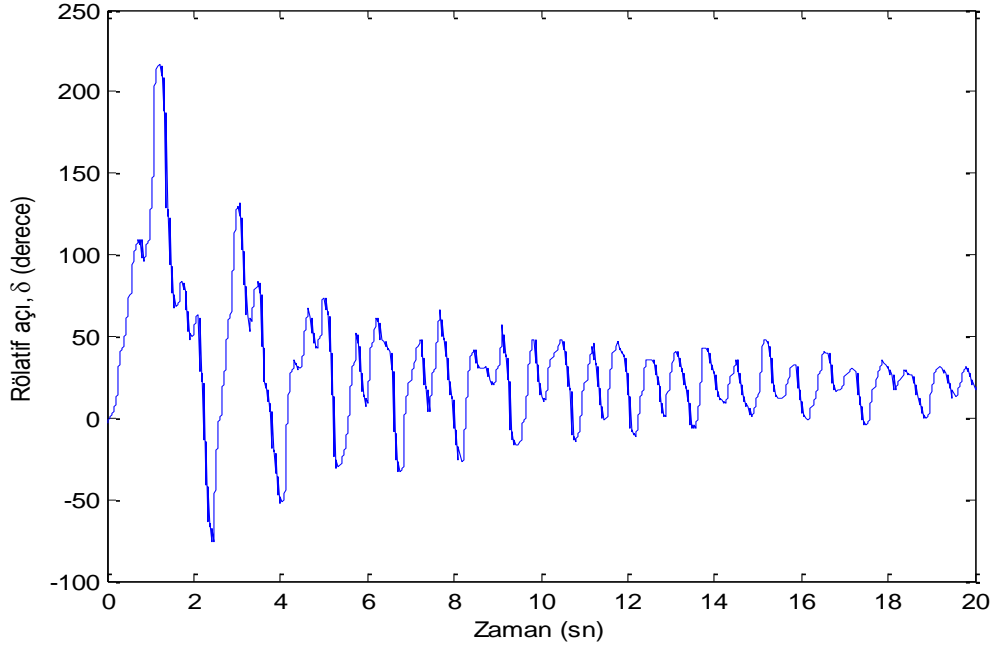
Şekiller 9 - 15'te gösterilen salınım eğrileri, bütün güç istasyonları (Baiji G.P.S ve Hadiytha Barajı) için boş bara ya göre tüm açı farklarının (δ) sonsuza uzanarak arttığını, dolayısıyla sistemin kararsız olduğunu göstermektedir. Yani sistem, FCT değeri 0.427 sn. altında olduğunda kararlı aksi takdirde kararsızdır.



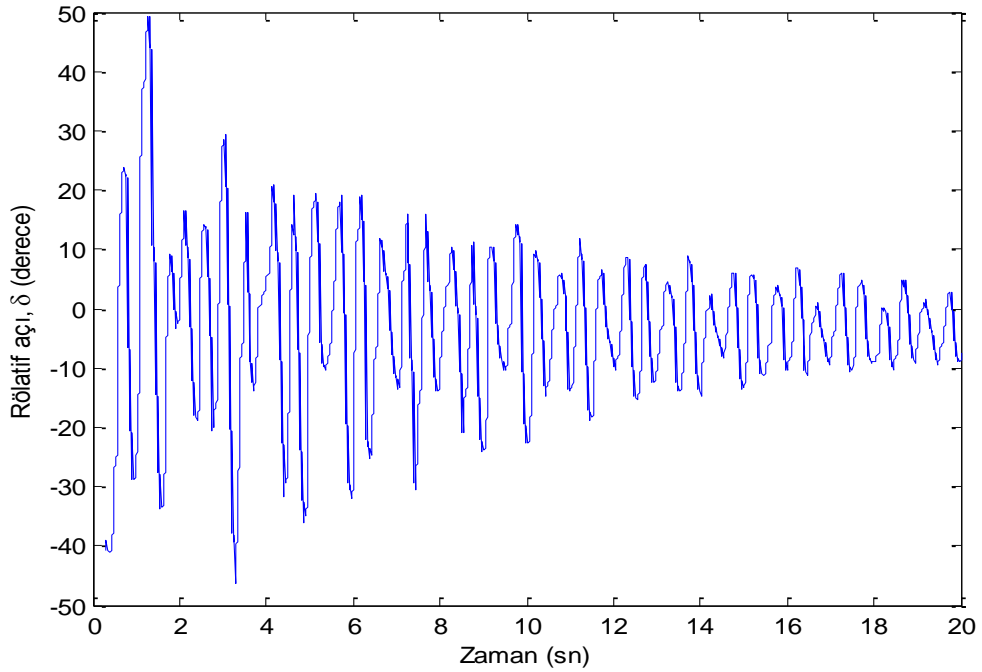
Şekil 5.2 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn. ile oluştuğunda (Baiji G.P.S) swing eğrisi



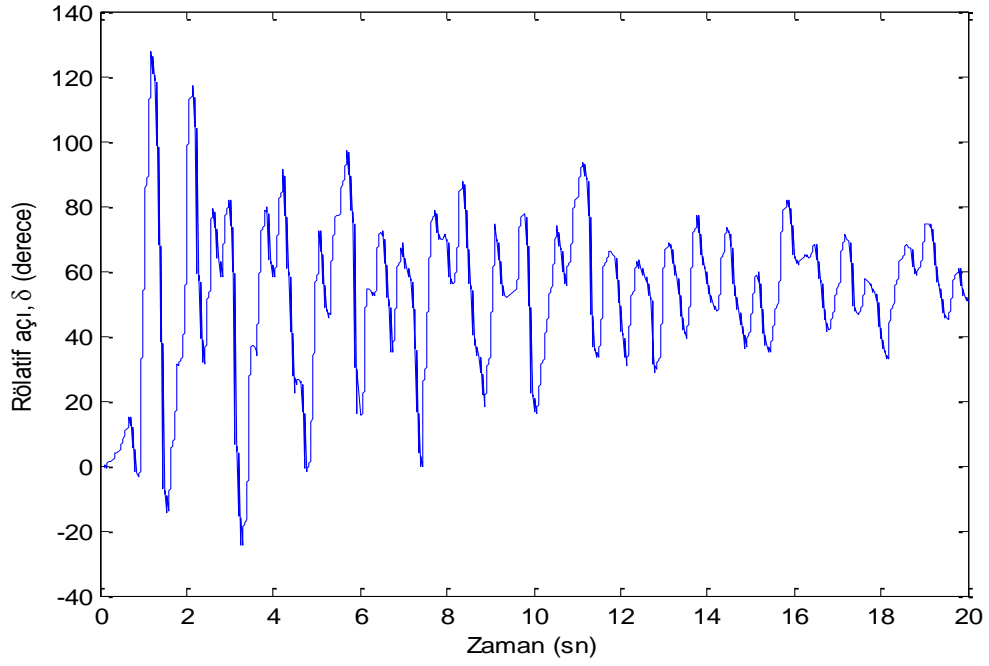
Şekil 5.3 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn. ile oluştuğunda (Musul Barajı) swing eğrisi



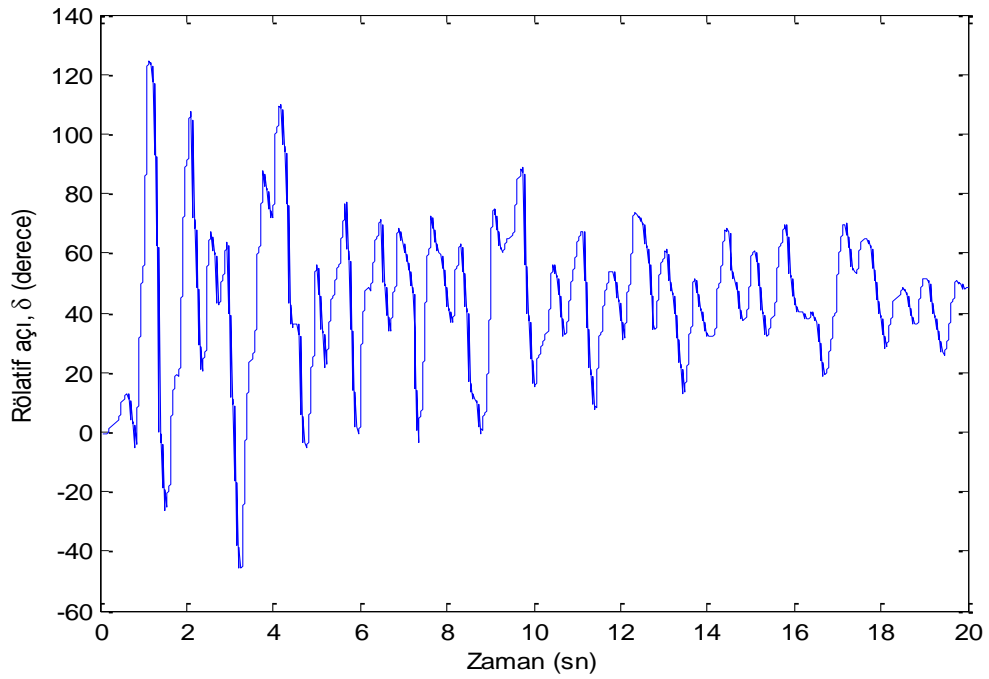
Şekil 5.4 Baiji P.S ve Hadiyahtha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn. ile oluştuğunda (Hadiyahtha Barajı) swing eğrisi



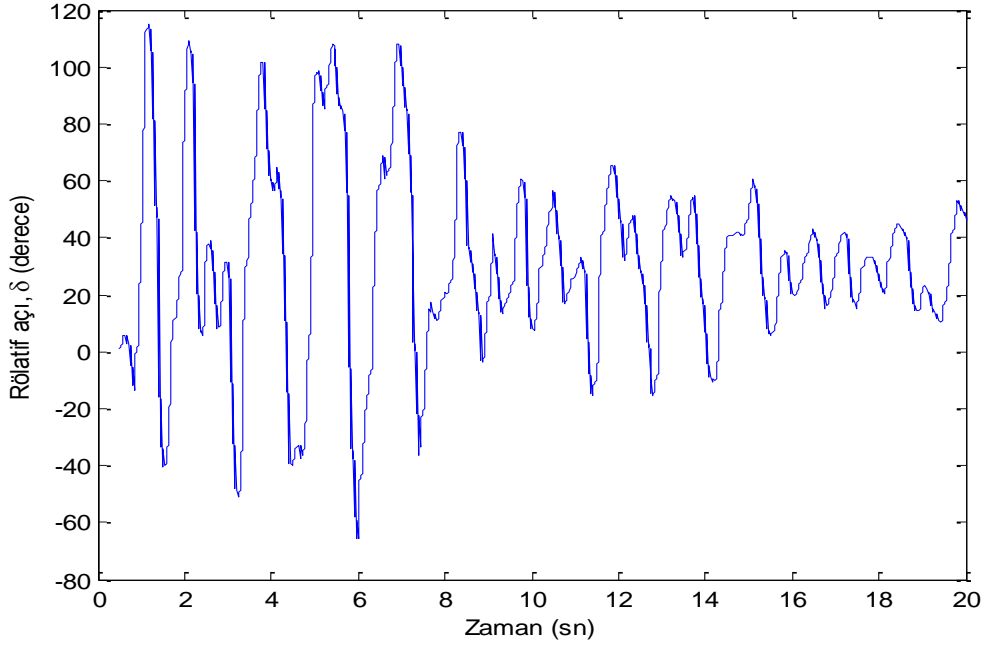
Şekil 5.5 Baiji P.S ve Hadiyahtha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn. ile oluştuğunda (Qudis) swing eğrisi



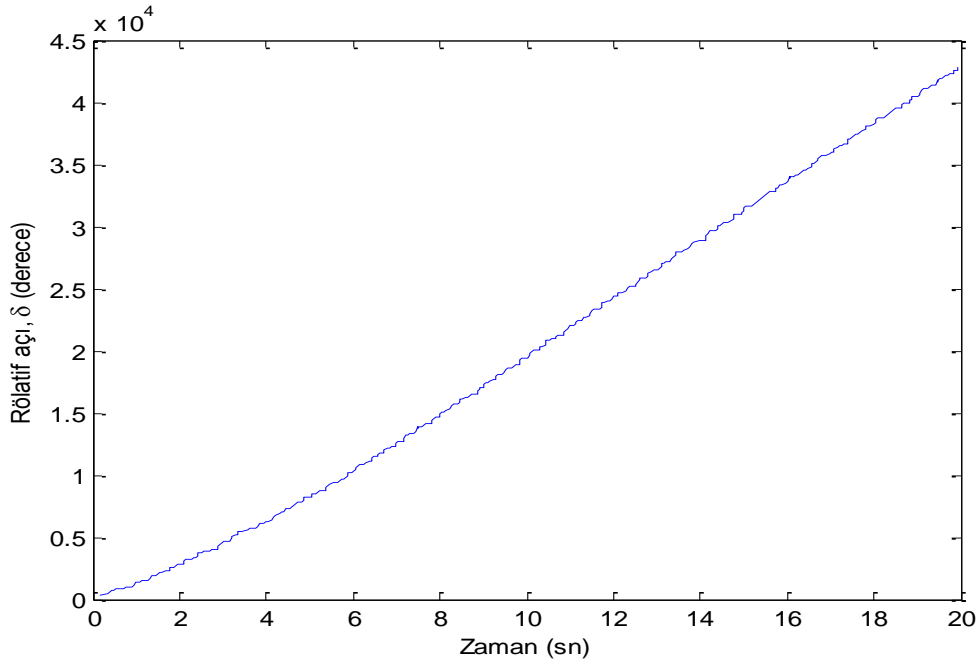
Şekil 5.6 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn. ile oluştuğunda (Musayab) swing eğrisi



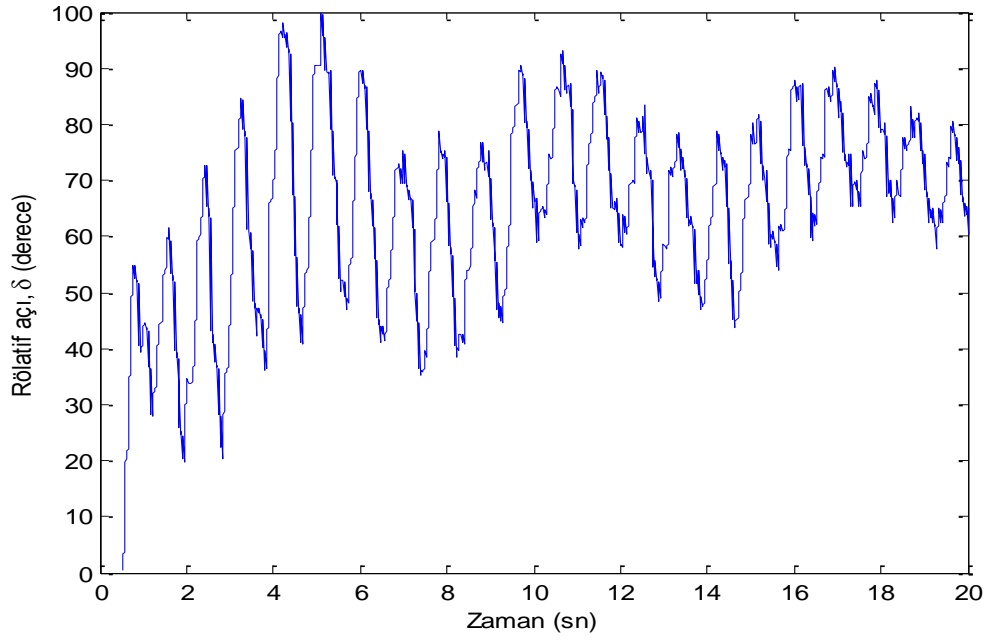
Şekil 5.7 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn. ile oluştuğunda (Nassiriyah) swing eğrisi



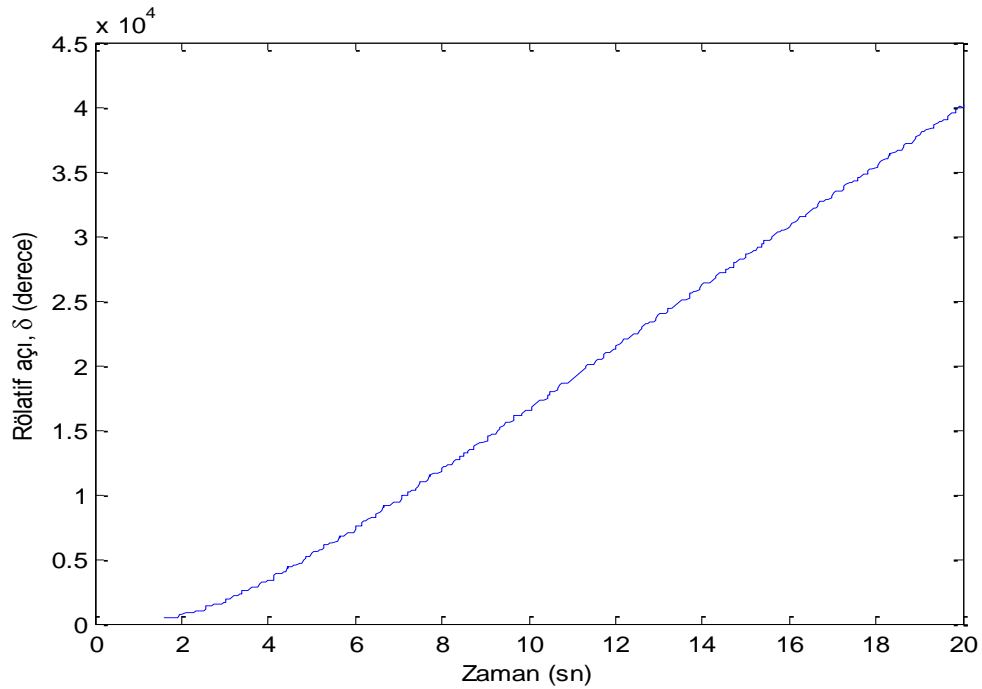
Şekil 5.8 Baiji P.S ve Hadiyahtha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.427 sn. ile oluştuğunda (Hartha) swing eğrisi



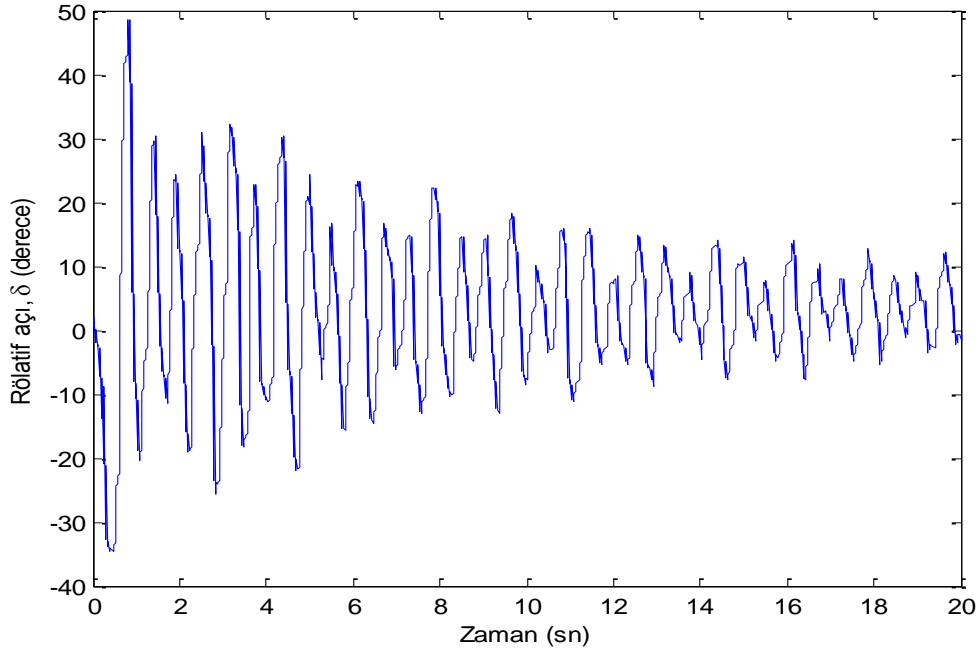
Şekil 5.9 Baiji P.S ve Hadiyahtha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn. ile oluştuğunda (Baiji G.P.S) swing eğrisi



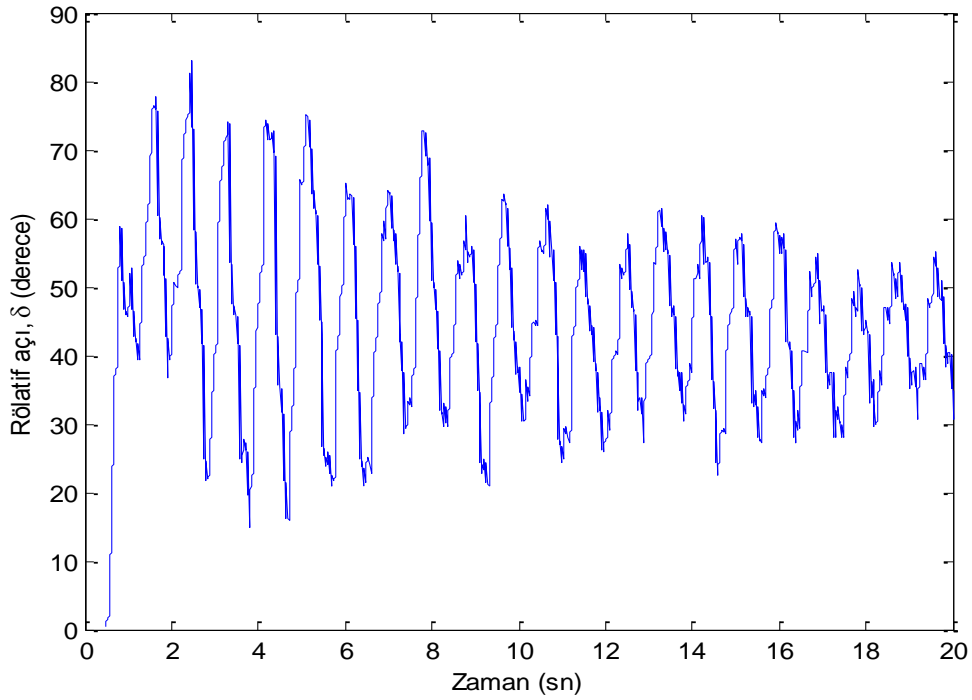
Şekil 5.10 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn. ile oluştuğunda (MuDam) swing eğrisi



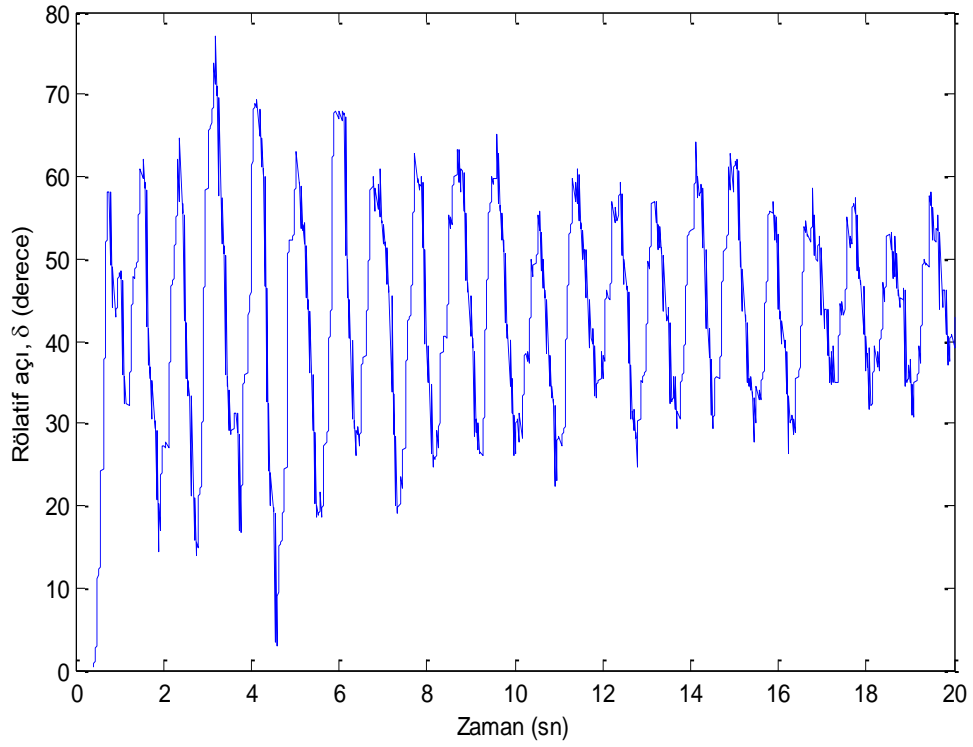
Şekil 5.11 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn. ile oluştuğunda (Hadiytha Barajı) swing eğrisi



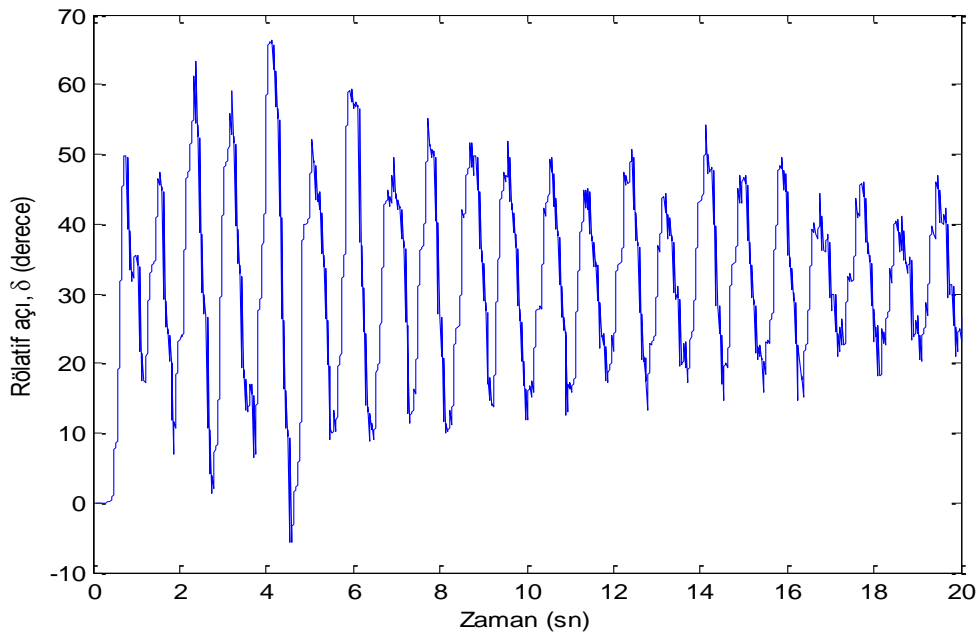
Şekil 5.12 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn. ile oluştuğunda (Qudis) swing eğrisi



Şekil 5.13 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn. ile oluştuğunda (Musayab) swing eğrisi



Şekil 5.14 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn. ile oluştuğunda (Nassiriyah) swing eğrisi



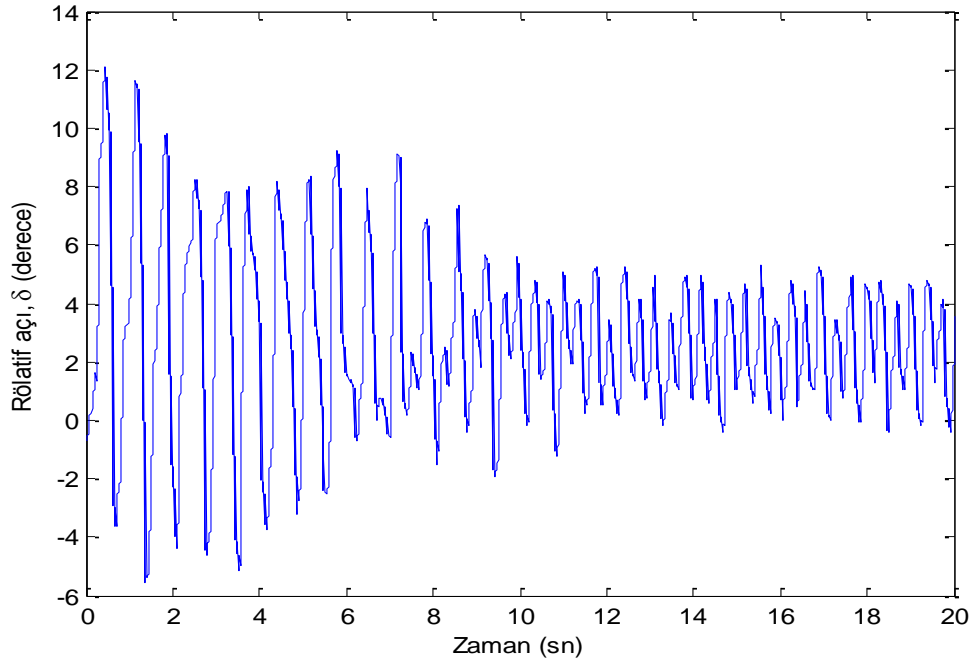
Şekil 5.15 Baiji P.S ve Hadiytha Barajı arasında 3-faz hata Baiji P.S bara yakınında FCT=0.429 sn. ile oluştuğunda (Hartha) swing eğrisi

Hata çözümleme süresi sn.(FCT)	Durum kararlılığı
0.1	Kararlı
0.12	Kararlı
0.14	Kararlı
0.16	Kararlı
0.18	Kararlı
0.2	Kararlı
0.22	Kararlı
0.24	Kararlı
0.26	Kararlı
0.28	Kararlı
0.3	Kararlı
0.3089 Kritik (Maksimum)	Kararlı
0.3095	Kararsız
0.32	Kararsız

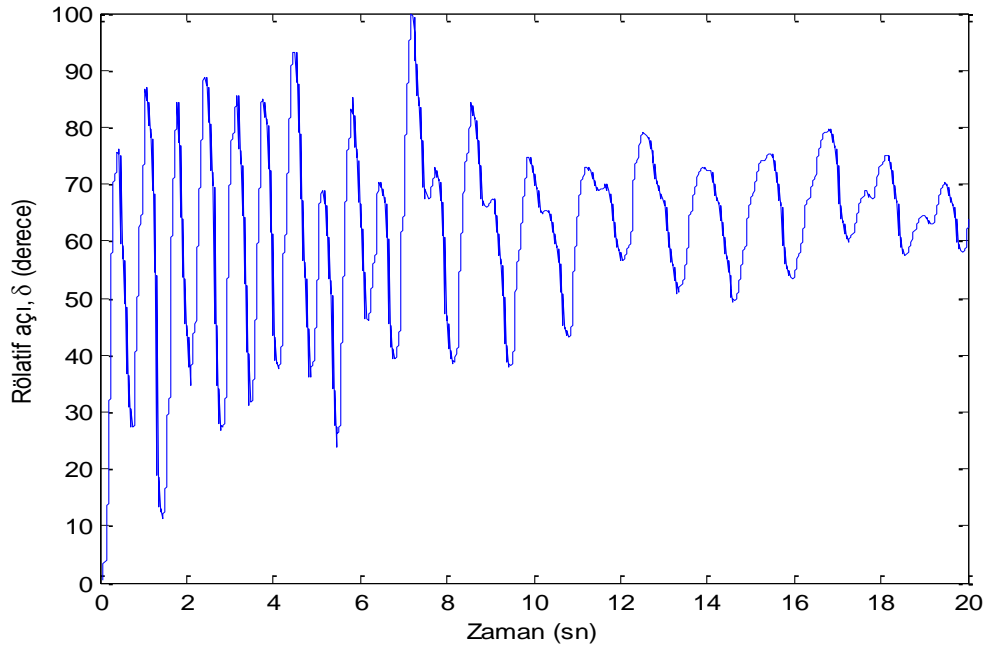
Tablo 5.3'te Nassiriyah ve Kadisiyah arası Nassiriyah barasına yakın noktada 3-faz hata oluşması sonrası geçici kararlılık programı FCT zamanlarına göre sonuçlar

Program, Nassiriyah ve Kadisiyah baraları arası hat üzerinde, Nassiriyah barası yakınında bir diğer hata konumu sorgulamaktadır hata hattın her iki ucundaki devre kesicilerin açılmasıyla çözümlenmiştir. Hata çözümleme süresine kararlılık durum sonuçları Tablo 5.3'te gösterilmiştir ve hata çözümleme süresi 0.3089 sn olduğunda sistemin kararlı ve 0.3095 sn olduğunda sistemin kararsız olduğunu göstermektedir. Şekiller 5.16-5.22'de gösterilen salınım eğrileri, bütün güç istasyonu için boş (swing) bara ya göre tüm açı farklarının (δ) bir maksimum salınım sonrası geri döndüğünü yani sistem sönümlendirme dahil edilmesiyle dalgalanmaların sona ereceğini ortaya koymaktadır. Bundan dolayı sistem, bu hata çözümleme süresi uyarınca kararlı bulunmuştur.

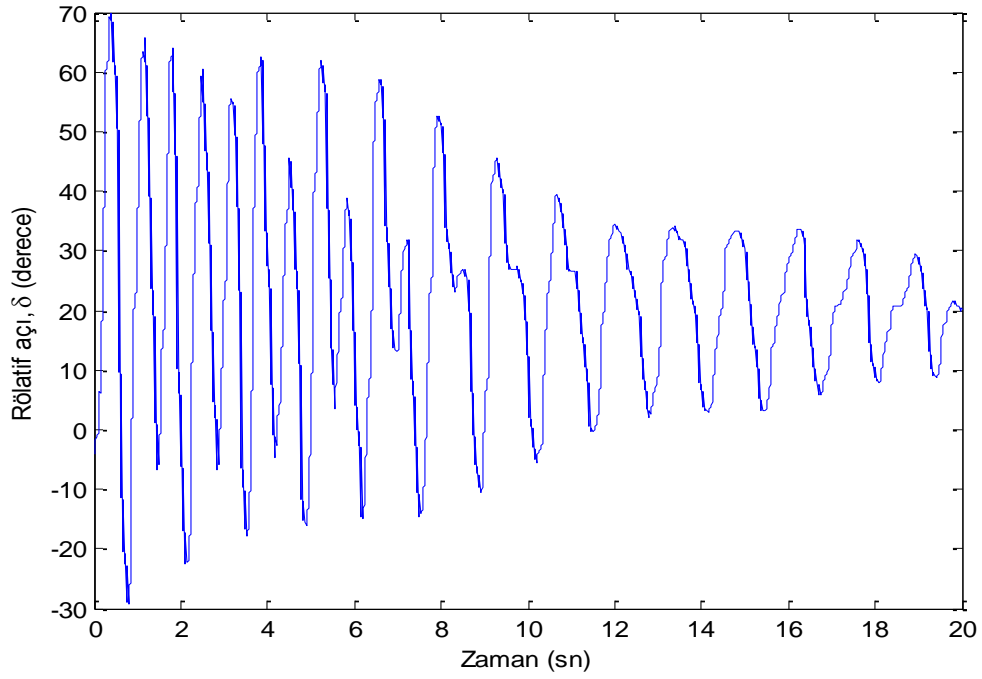
Şekiller 5.23-5.29'da gösterilen salınım eğrileri, bütün güç istasyonları (Nassiriyah) için boş bara ya göre tüm açı farklarının (δ) sonsuza uzanarak arttığını, dolayısıyla sistemin kararsız olduğunu göstermektedir. Yani sistem, FCT değeri 0.3089 sn altında olduğunda kararlı aksi takdirde kararsızdır.



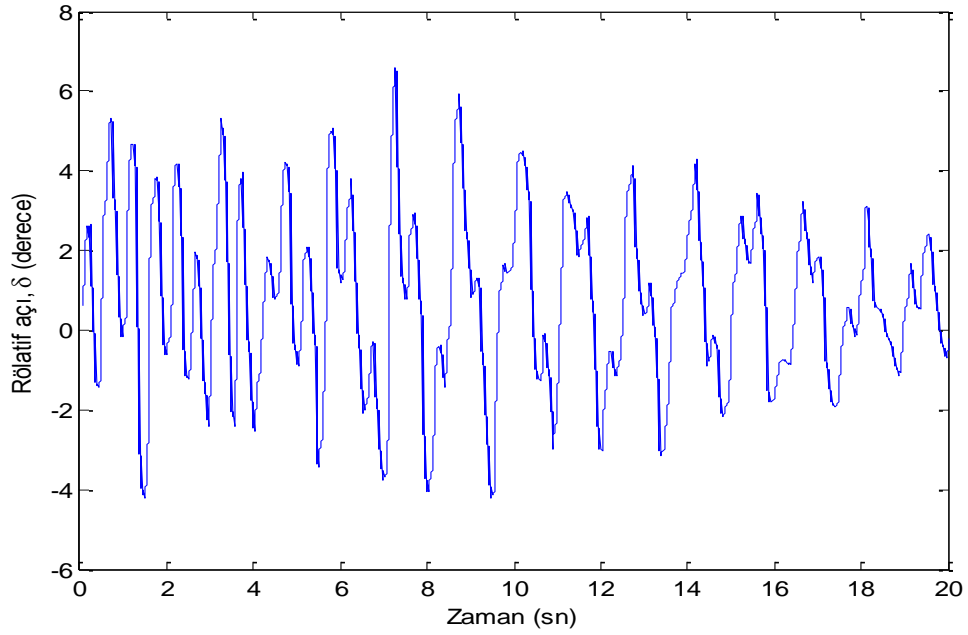
Şekil 5.16 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S bara yakınında FCT= 0.3089 sn. ile oluştuğunda (Baiji G.P.S) swing eğrisi



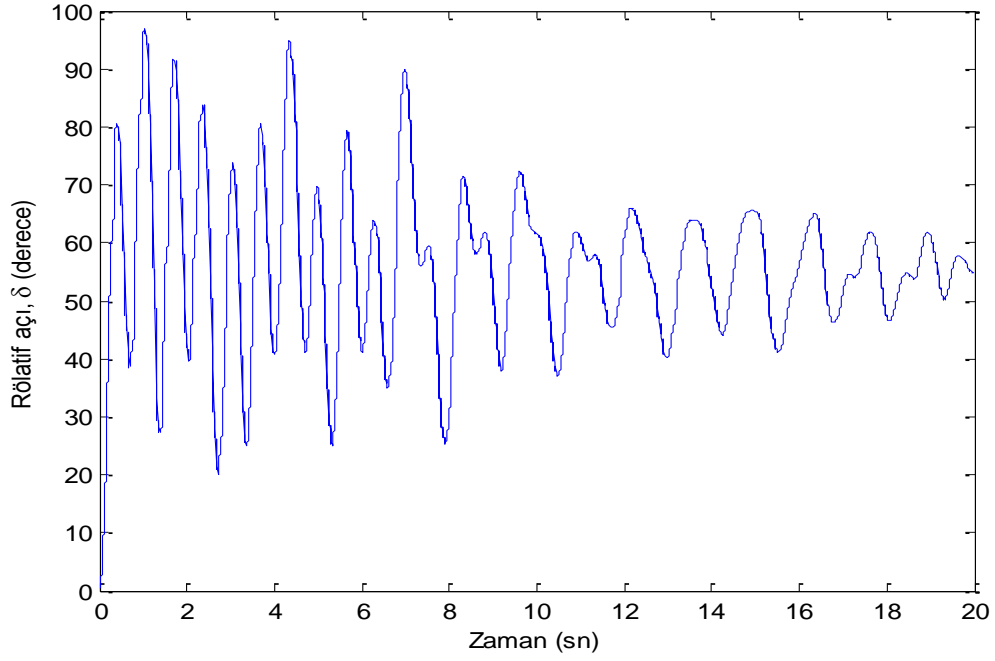
Şekil 5.17 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S bara yakınında FCT= 0.3089 sn. ile oluştuğunda (Musul Barajı) swing eğrisi



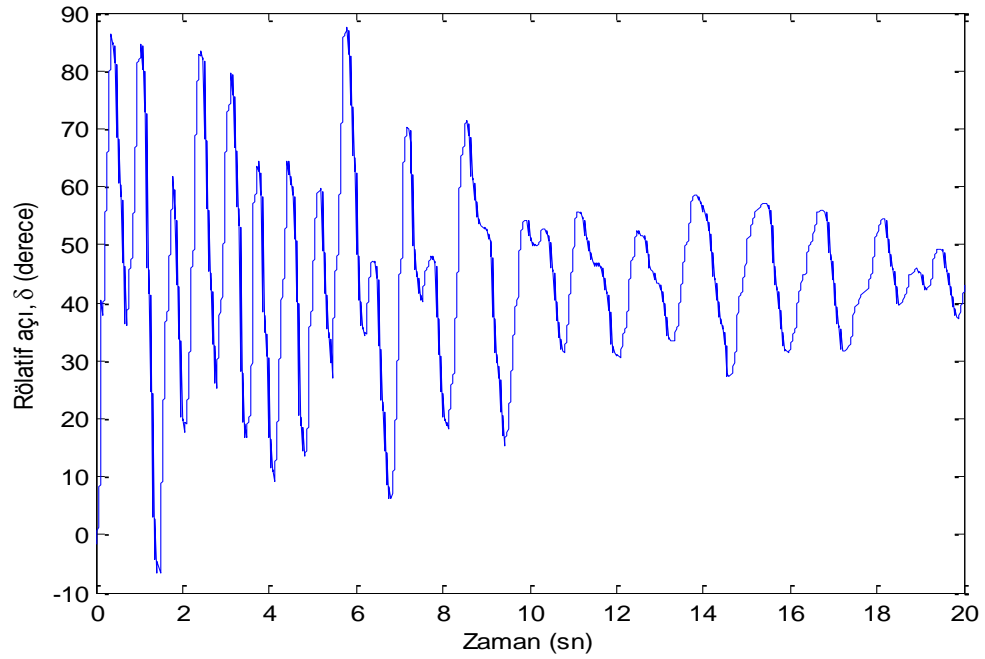
Şekil 5.18 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT=0.3089 sn. ile oluştuğunda (Had.Barajı) swing eğrisi



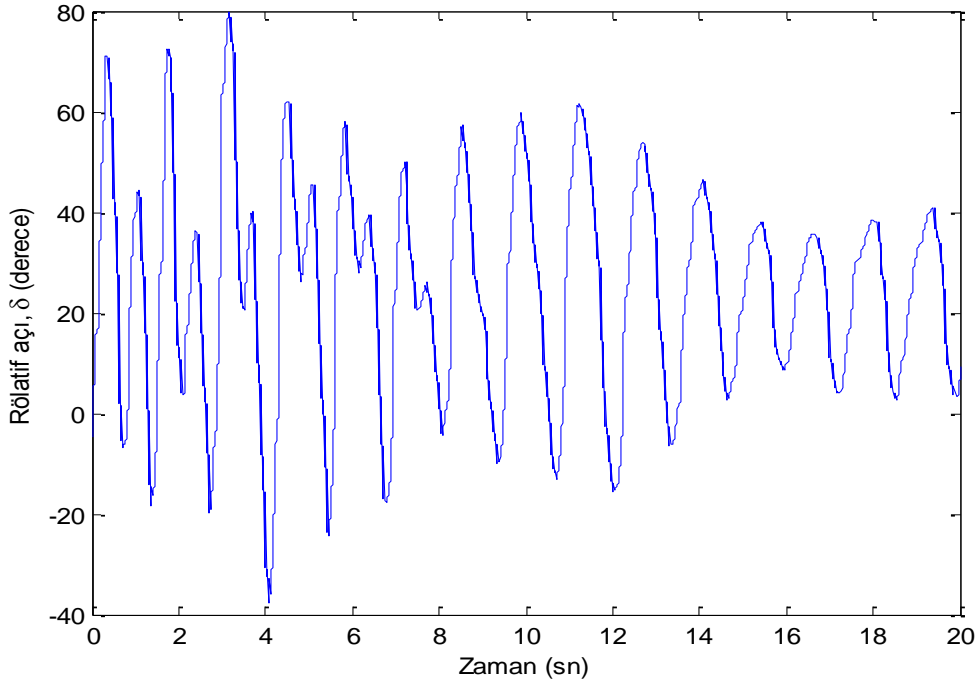
Şekil 5.19 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nass. P.S. bara yakınında FCT=0.3089 sn. ile oluştuğunda (Qudis) swing eğrisi



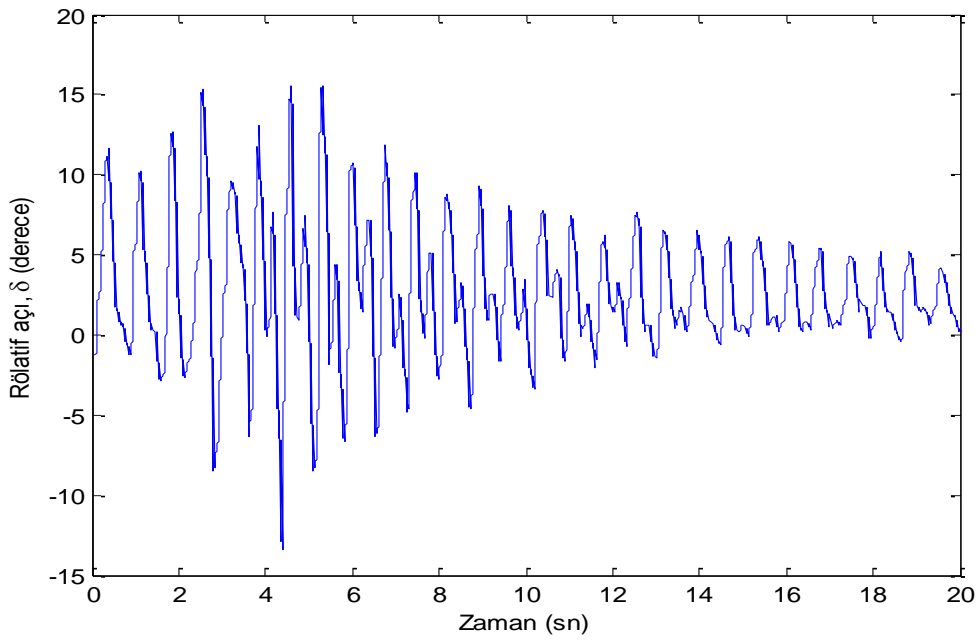
Şekil 5.20 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-Faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT=0.3089 sn. ile oluştuğunda (Musayab) swing eğrisi



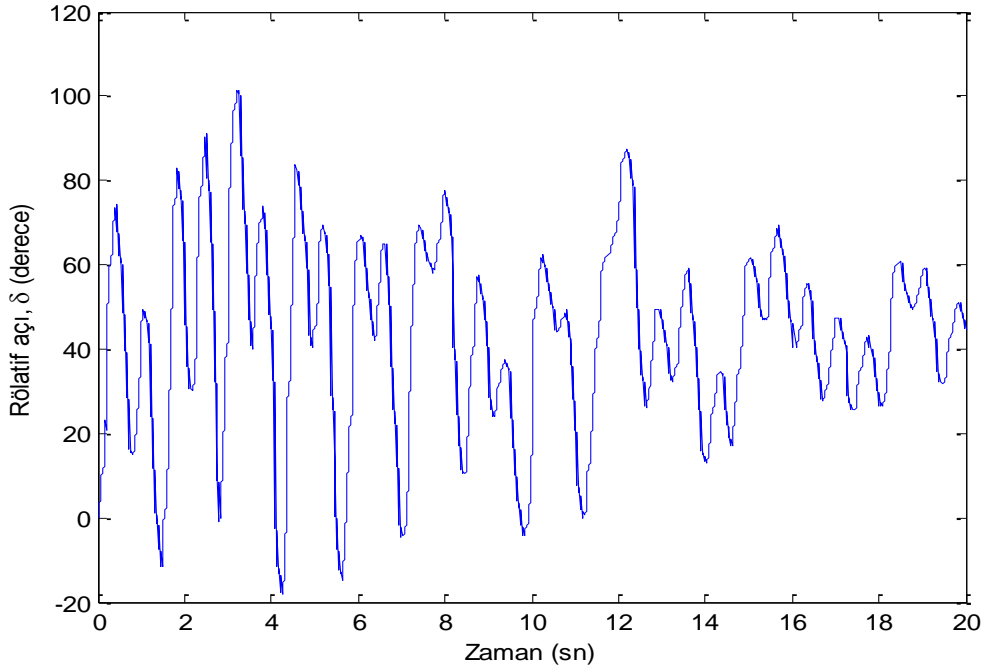
Şekil 5.21 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT=0.3089 sn. ile oluştuğunda (Nassiriyah) swing eğrisi



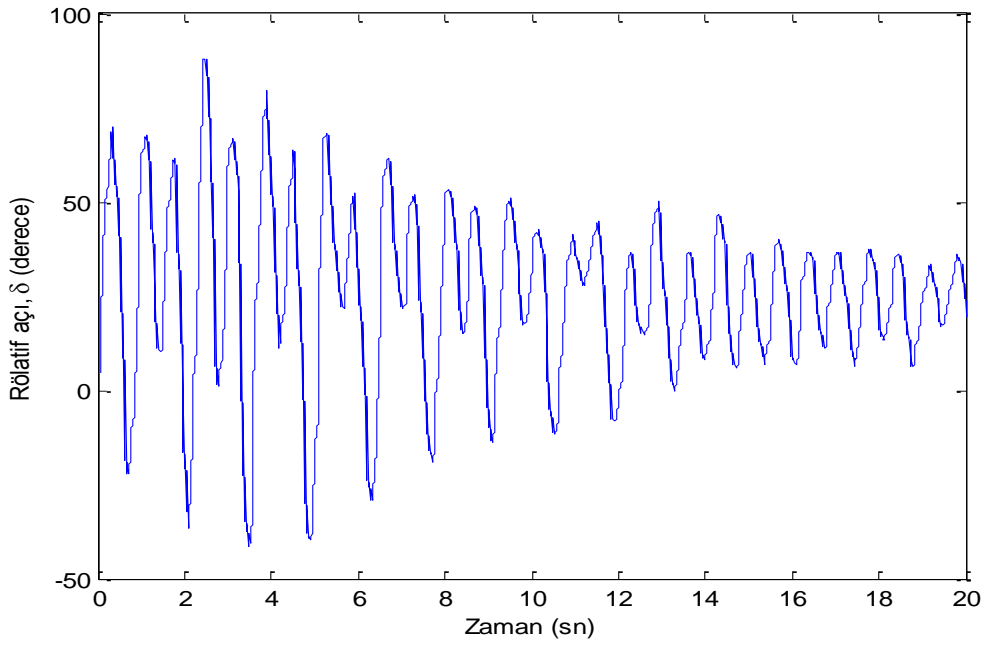
Şekil 5.22 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT= 0.3089 sn. ile oluştuğunda (Hartha) swing eğrisi



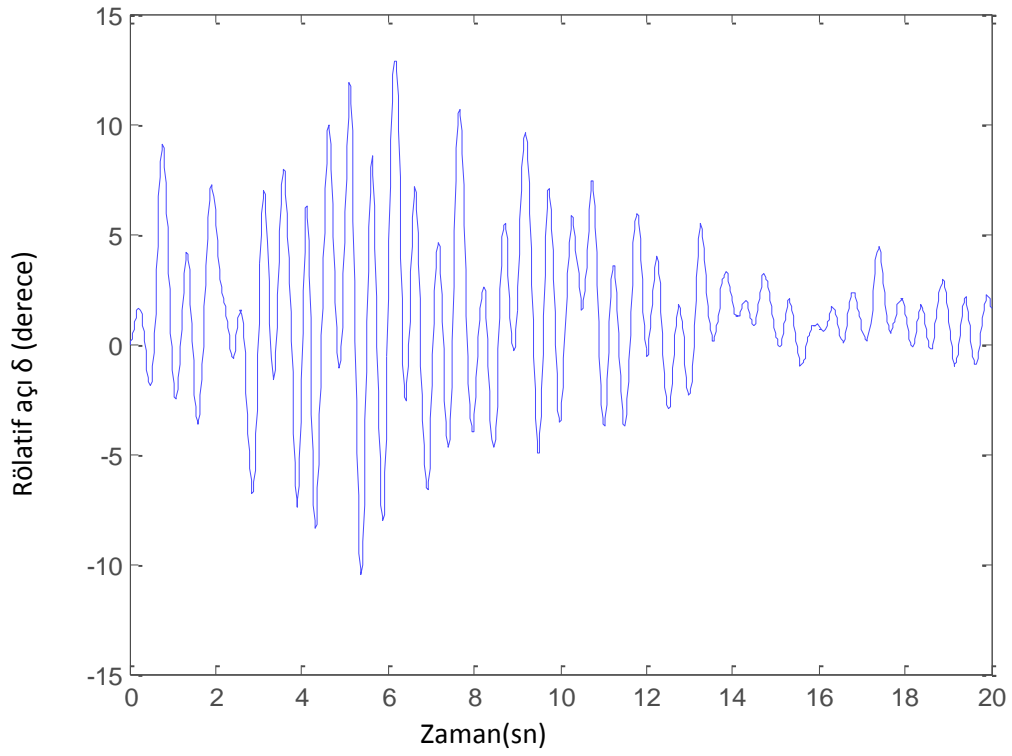
Şekil 5.23 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT= 0.3095 sn. ile oluştuğunda (Baiji G.P.S) swing eğrisi



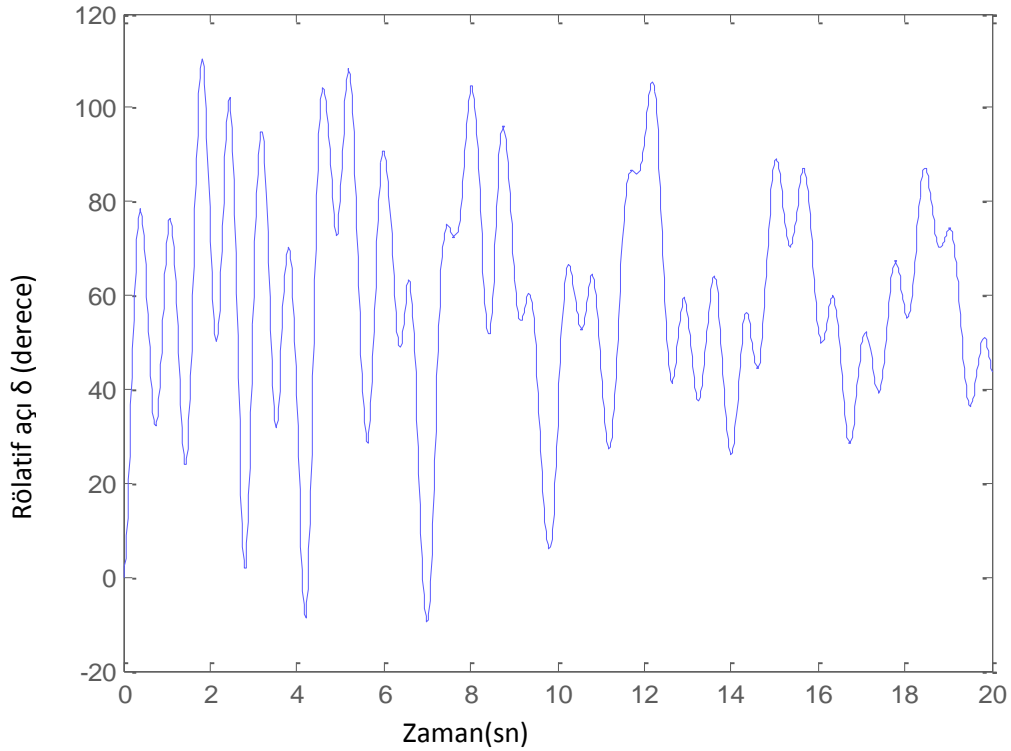
Şekil 5.24 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT= 0.3095 sn. ile oluştuğunda (Musul Barajı) swing eğrisi



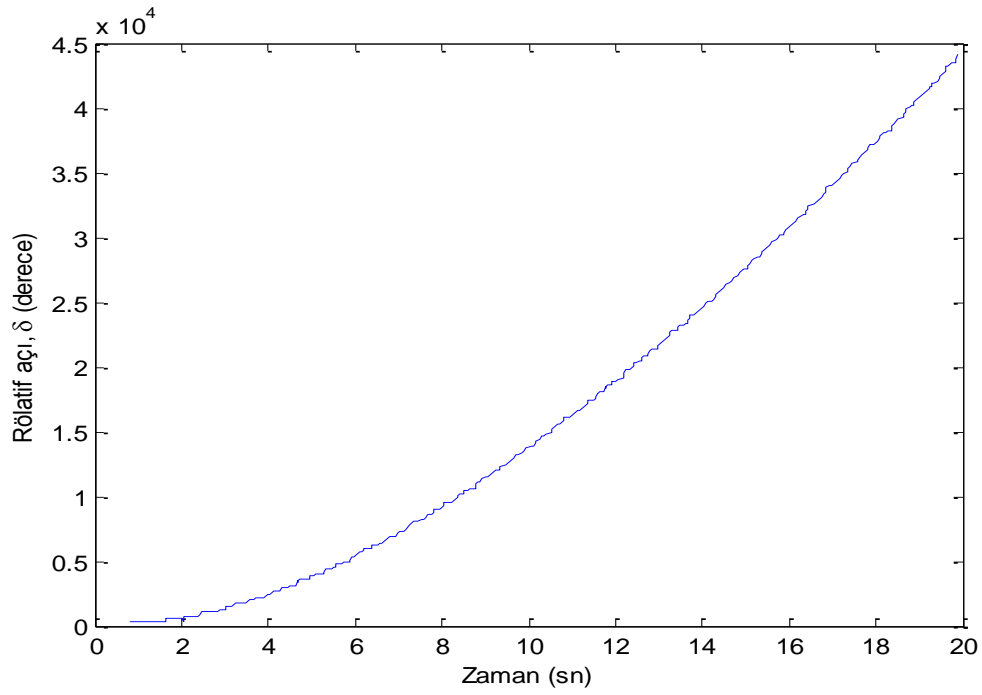
Şekil 5.25 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT= 0.3095 sn. ile oluştuğunda (Hadiytha Barajı) swing eğrisi



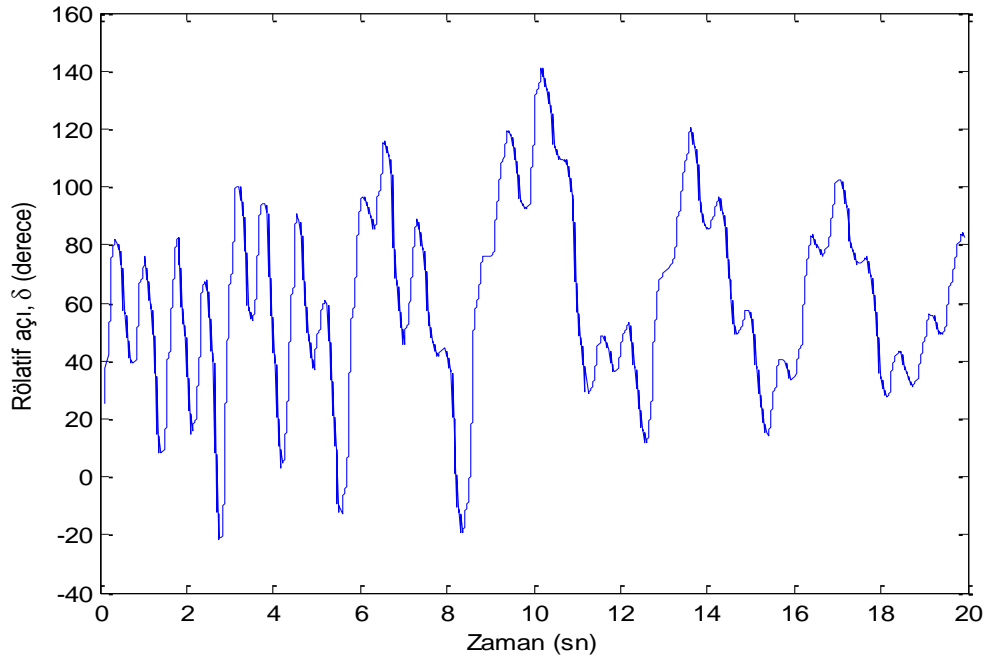
Şekil 5.26 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nas bara yakınında
FCT= 0.3095 sn. ile oluştuğunda (Oudis) swing eğrisi



Şekil 5.27 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nas bara yakınında
FCT= 0.3095 sn. ile oluştuğunda (Musayab) swing eğrisi



Şekil 5.28 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT= 0.3095 sn. ile oluştuğunda (Nassiriyah) swing eğrisi



Şekil 5.29 Nassiriyah P.S ve Kadisiyah arasında 3-faz hata Nassiriyah P.S. bara yakınında FCT= 0.3095 sn. ile oluştuğunda (Hartha) swing eğrisi

Aynı prosedürde, hata çözümü zamanı FCT'yi Irak elektrik şebekesinin (400 KV) farklı noktalarında diğer hat durumları için belirlemek üzere bölgelerin her iki hat ucunda baralar yakınında 3-faz hatalar oluşturulmuş ve sonuçlar aşağıdaki Tablolar 5.4 ve 5.5'te verilmiştir.

Hata Konumu	Yakın Baralar	Kritik (Maksimum) FCT (sn)
BAJP-BAJG	BAJP	0.575
BAJP-HDTH	BAJP	0.4273
BAJG-KRK4	BAJG	0.1534
HDTH-BGW4	HDTH	0.2415
HDTH-QIM4	HDTH	0.3042
NSRP-KUT4	NSRP	0.351
NSRP-KAZG	NSRP	0.3429
NSRP-KDS4	NSRP	0.3062
H RTP-QRNA	H RTP	0.3821
H RTP-KAZG	H RTP	0.4625
KRK4-DAL4	KRK4	0.4125
DAK4-BGA4	DAK4	0.4822
BGE4-BGN4	BGE4	0.3615
BGE4-BGS4	BGE4	0.3592
BGE4-AMN4	BGE4	0.3481
BGN4-BGW4	BGN4	0.4152

BGW4-BGS4	BGW4	0.2915
BGS4-AMN4	BGS4	0.3431
BGS4-KUT4	BGS4	0.4654
BGS4-KDS4	BGS4	0.3944
KUT4-QRN4	KUT4	0.3257

Tablo 5.4'te Irak elektrik şebekesinin (400 KV) farklı noktalarındaki bara yakınlarında 3-faz hataların hata çözümleme süreleri

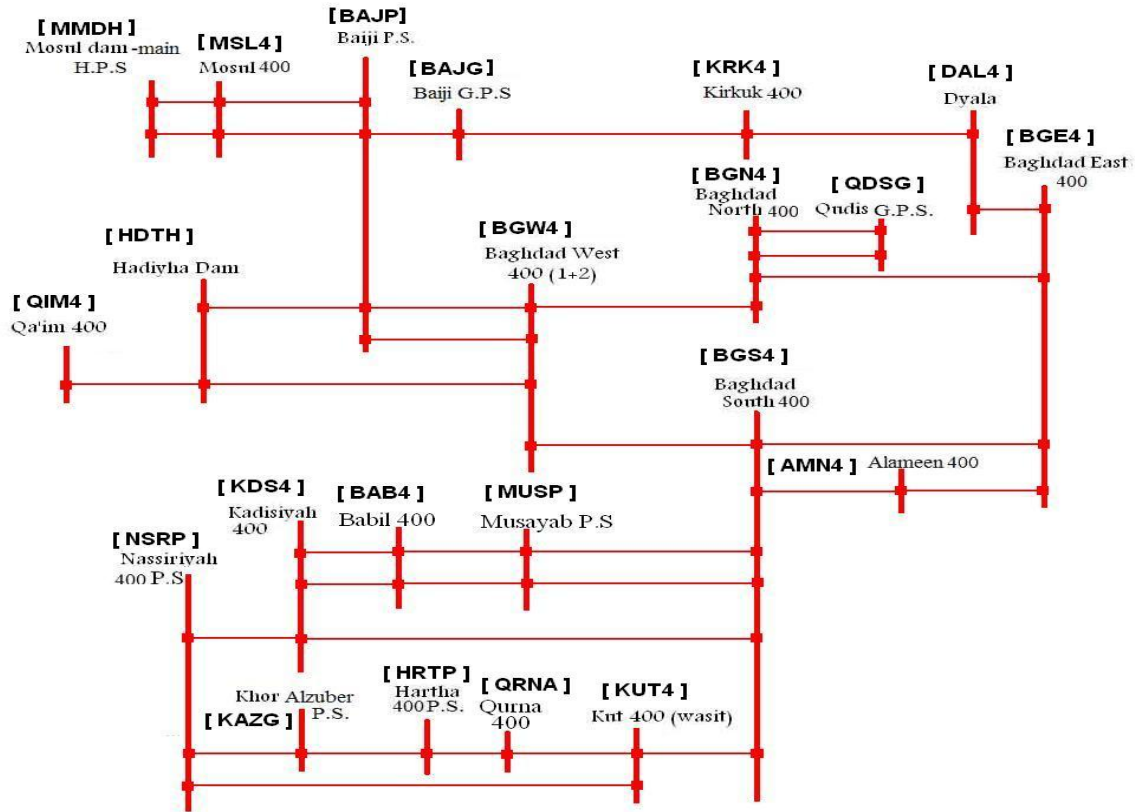
Hata Konumu	Yakın Baralar	Kritik (Maksimum) FCT (sn)
BAJP-BAJG	BAJG	0.3375
BAJP-HDTH	HDTH	0.4281
BAJG-KRK4	KRK4	0.244
HDTH-BGW4	BGW4	0.346
HDTH-QIM4	QIM4	1.794
NSRP-KUT4	KUT4	0.2875
NSRP-KAZG	KAZG	0.454
NSRP-KDS4	KDS4	0.357
H RTP-QRNA	QRNA	0.456
H RTP-KAZG	KAZG	0.452

KRK4-DAL4	DAL4	0.314
DAK4-BGA4	BGA4	0.284
BGE4-BGN4	BGN4	0.3625
BGE4-BGS4	BGS4	0.3075
BGE4-AMN4	AMN4	0.347
BGN4-BGW4	BGW4	0.305
BGW4-BGS4	BGS4	0.3025
BGS4-AMN4	AMN4	0.3125
BGS4-KUT4	KUT4	0.488
BGS4-KDS4	KDS4	0.3012
KUT4-QRN4	QRN4	0.443

Table 5.5'te Irak elektrik şebekesinin (400 KV) farklı noktalarındaki bara yakınlarında 3-faz hataların hata çözümlene süreleri

Tablo 5.4'te Irak elektrik net iş hatları (400 KV) üzerinde simüle edilen bara yakınlarındaki 3-faz hataların hata çözümü sürelerini vermektedir. Hatayı çözmek için en uzun süre, tüm güç istasyonlarının kararlılık durumunda kaldığı son noktaya belirlenmiştir. Prosedürler hatların diğer uçlarındaki hatalarla tekrarlanmış ve sonuçlar Tablo 5.5'te gösterilmiştir.

Tabloları 5.4-5.5'te karşılaştırdığımızda, hata çözümü süreleri arasındaki farkların, (HDTH) ve (QIMH) arasındaki hata dışında hata barasından görülen eşdeğer empedansa bağlı olduğunu gözlemliyoruz.



Şekil 5.1'de Irak elektrik şebekesinin (400 KV) konfigürasyonu

BÖLÜM 6

SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR İÇİN TAVSİYELER

Bu çalışmadan çıkarılacak sonuç aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1- Geçici kararlılık limitini belirleyebileceğimiz bir matematik modeli ve bir hesaplama programı geliştirilmelidir.
- 2- Çıkıklık ve alan akı bağlantılarındaki değişimlerin ihmal edilmesinin geçici kararlılık analizi bağlamında senkron makine denklemleri üzerindeki etkisi çok küçüktür, dolayısıyla hesaplama zamanını azaltmak için büyük sistemler üzerine çalışılırken ihmal edilebilir.
- 3- Irak ulusal şebekesi (400 KV) program bağlamında test edilmiştir ve pek çok noktadaki baralar yakını 3-faz hatalar için hata çözümleme süreleri hesaplanmıştır.
- 4- Bra yakınındaki 3-faz hatanın konumunu hattın diğer ucunda değiştirmek farklı hata çözümleme değerlerinin elde edilmesine sebep olur.

Sonuçlar, şebekenin belli bir alanında meydana gelen hatanın neredeyse sadece o bölgedeki istasyonu etkilediğini göstermektedir.

6.1. Gelecek Çalışmalar İçin Tavsiyeler

Sunulan çalışma gelecekte aşağıdaki noktaları dikkate alacak şekilde genişletilip geliştirilebilir

- 1- Otomatik gerilim regülatörünün, hız güvönör ve uyarıcısının(exciter) etkileri dikkate alınabilir.
- 2- Diğer tip hatalar dikkate alınabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] J.B Gupta “**A course in power system**” 2004.
- [2] Kundur P. “**Power system stability and control**” 1994.
- [3] Ghazi Faisal AlFayyadh “**Effect of frequency variation and saturation of the rate of change of kinetic energy criterion when applied to multi-machine power system**” thesis, university of Technology, Feb. 1999.
- [4] Bassim Abdel Majeed “**Effect of load representation on power system stability studies**” thesis, university of Technology, May. 1985.
- [5] Farooq Omar “**Direct approach to the switching of dynamic braking used for transient stability augmentation of power system**” thesis, university of Technology, Oct. 1998.
- [6] Ali K. Jasim Al-saili “**Application of direct methods to decide switching times of automatic braking elements used for transient stability augmentation of power system**” thesis, university of Technology, Aug. 1989.
- [7] Sreerame Kumar, R. Ramanu Jam, R. Khincha, H.P. Jenkins L. “**Fast transient stability simulation of large scale power system**” IEE . 1992.
- [8] Robert J. Davy and Tan A. Hiskens “**Lyapunov functions for multi machine power systems with dynamic loads**” IEEE 1997.
- [9] Vikas Singhvi “**Small signal stability of an unregulated power system**”, 2002.
- [10] Ramnarayan pater, T.S. Bhatti and D.P.Kothari “**transient stability analysis of a multi-machine power system**”2003.
- [11] W.D. Humpage “**Power system load flow analysis**”
- [12] A.F. Glimn and G.W. stag “**Automatic calculation of load flows**” IEEE.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [13] A. Bramaller and J.K. Denmead “**same improve methods for digital network analysis**”IEEE, 1962.
- [14] W.F. Tinney and C.E. Hart “**Power flow solution by Newton’s method**” IEEE.1967.
- [15] B. Stott “**decoupled Newton load flow**” IEEE.1972.
- [16] S. elangovan and C.kanniyappan”**New contributions to load flow studies by the method of Reduction and Restoration**” IEEE,1983.
- [17] Brian Stott “**Review of load flow calculation methods**”IEEE, July 1974.
- [18] Stott B. Alsaco “**Fast decoupled load flow**” IEEE, Sep 1974.
- [19] Ali Abdul “**A study of some problems on the Iraqi National Grid and establishing a modified algorithm for load flow study**” M. Sc. Thesis, university of Baghdad, 1994.
- [20] S.S. Vadhera “**Power system analysis and stability**” khanna publishers, 1987.
- [21] A Keyhani “**Fast decoupled load flow algorithms with stability reduced memory requirements**” Aug. 1984.
- [22] hadi Saadat “**Power system analysis**” 1999.
- [23] A. Al-Hinai “**Voltage collapse prediction for interconnected power system**” 2000.
- [24] Stagg.G.W and El-Abiad A.H. “**Computer methods in power system analysis**” 1998.
- [25] A.E Guile and W. Paterson “**Electrical power systems** ” Oliver and Boyd. 1972.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [26] K. Prabhashankar and Wasyt Janisehewyj “**Digital simulation of multi-machine power system for stability studies**” IEEE. Jan 1968.
- [27] L.P. Singhe “ **Advanced power system analysis and Dynamics**” 1983.
- [28] Afaneen Anwar “**Impiementation of Geograpic information system (GIS) in transient stability Assessments**” thesis, university of Technology, Des. 2004.
- [29] J. Duncan Glover and Mulukutal “**Power system analysis and design**”
- [30] **National Dispatch Centre (NDC) Baghdad, Iraq,**