

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

**TEK MAKİNE SONSUZ BARA GÜÇ SİSTEMİNDE
KAOTİK DURUM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgehan TOZLU

**ENSTİTÜ ANABİLİM DALI : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
ENSTİTÜ BİLİM DALI : ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ**

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Yılmaz UYAROĞLU

Ağustos 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEK MAKİNE SONSUZ BARA GÜÇ SİSTEMİNDE KAOTİK
DURUM ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilgehan TOZLU

Enstitü Anabilim Dalı : Elektrik-Elektronik Mühendisliği

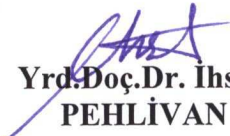
Enstitü Bilim Dalı : Elektrik Mühendisliği

Bu tez 18/08/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Yrd.Doç.Dr. Yılmaz
UYAROĞLU

Jüri Başkanı

- Kabul
 Red
 Düzeltme


Yrd.Doç.Dr. Ihsan
PEHLİVAN

Jüri Üyesi

- Kabul
 Red
 Düzeltme


Yrd.Doç.Dr. M. Server
FIRAT

Jüri Üyesi

- Kabul
 Red
 Düzeltme

ÖNSÖZ

Bu tez, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı Yüksek Lisans Programı'nda hazırlanmıştır. Çalışmamda Tek Makine Sonsuz Bara Güç Sisteminde Kaotik Durum Analizi konusu işlenmiştir.

Tüm eğitim-öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve çok kıymetli eşime, tez çalışmam süresince bilimsel desteği ve değerli düşünceleriyle bana her aşamada yardımcı olan danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Yılmaz UYAROĞLU'na ve yetişmemde katkıları bulunan diğer bütün hocalarıma teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Bu tezin, bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Bilgehan TOZLU

Ağustos 2010

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. TEK MAKİNE-SONSUZ BARA GÜÇ SİSTEMİ.....	5
2.1. Bir Senkron Generatör-Sonsuz Bara Güç Sistemi.....	9
BÖLÜM 3. TEK MAKİNE-SONSUZ BARA GÜÇ SİSTEMİNDE AÇI KARARLILIĞI VE KAOTİK OLAYLAR.....	11
3.1. Gerilim Kararlılığı.....	14
3.2. Frekans Kararlılığı.....	15
3.3. Rotor Açısı Kararlılığı.....	15
3.4. Kaotik Olaylar.....	16
3.5. Güç Sisteminde Kaotik Olaylar.....	17
BÖLÜM 4. AÇI KARARLILIĞI BENZETİMLERİ.....	19
4.1. Makine Sabiti Etkisi.....	19
4.2. Sönümlenme Sabiti Etkisi.....	37
4.3. Hata Temizleme Süresi Etkisi.....	52
4.4. Yeniden Kapanma Süresi Etkisi.....	64
BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	86

SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

E_t	: Terminal gerilim
E_b	: Bara gerilimi
r_e	: Enerji hattının direnci
x_e	: Enerji hattının reaktansı
M	: Atalet momenti
D	: Sönümlenme sabiti
P_{max}	: Maksimum genaratör gücü
P_m	: Makine gücü
A	: Makine gücünün maksimum değeri
w	: Açısal hız (radyan/saniye)
t	: Zaman (saniye)
H	: Senkron makine (atalet) sabiti
T_{mek}	: Mekanik tork
T_{el}	: Elektrik torku
$T_{sön}$: Sönümlenme torku
J	: Türbin ve rotorun toplam ataleti
S	: Görünür güç (MVA)
W_{kin}	: Kinetik enerji
HTS	: Hata temizleme süresi
YKS	: Yeniden kapanma süresi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Değişik rotor tipleri.....	6
Şekil 2.2.	190MVA üç fazlı 12 kV 375 devir/dk hidroelektrik generatörün statoru.....	6
Şekil 2.3.	190 MVA hidroelektrik generatörün su soğutmalı rotoru.....	7
Şekil 2.4.	İki kutuplu 3600 devir/dk türbin generatörün rotoru.....	7
Şekil 2.5.	Elektrik üretim-tüketim ile frekans ilişkisi.....	8
Şekil 2.6.	Bir Senkron Generatör Sonsuz Bara Güç Sistemi.....	10
Şekil 3.1.	Güç sistemi kararlılığının sınıflandırılması.....	13
Şekil 3.2.	Açısal hız-rotor açısı grafiği.....	16
Şekil 4.1.	H=3 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	21
Şekil 4.2.	H=3 için rotor açısı-zaman grafiği.....	21
Şekil 4.3.	H=3.15 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	22
Şekil 4.4.	H=3.15 için rotor açısı-zaman grafiği.....	22
Şekil 4.5.	H=3.18 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	23
Şekil 4.6.	H=3.18 için rotor açısı-zaman grafiği.....	23
Şekil 4.7.	H=3.19 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	24
Şekil 4.8.	H=3.19 için rotor açısı-zaman grafiği.....	24
Şekil 4.9.	H=3.199489 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	25
Şekil 4.10.	H=3.199489 için rotor açısı-zaman grafiği.....	25
Şekil 4.11.	H=3.1995 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	26
Şekil 4.12.	H=3.1995 için rotor açısı-zaman grafiği.....	26
Şekil 4.13.	H=3.2 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	27
Şekil 4.14.	H=3.2 için rotor açısı-zaman grafiği.....	27
Şekil 4.15.	H=3.25 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	28
Şekil 4.16.	H=3.25 için rotor açısı-zaman grafiği.....	28
Şekil 4.17.	H=3.5 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	29
Şekil 4.18.	H=3.5 için rotor açısı-zaman grafiği.....	29
Şekil 4.19.	H=3.75 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	30

Şekil 4.20.	H=3.75 için rotor açısı-zaman grafiği.....	30
Şekil 4.21.	H=4 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	31
Şekil 4.22.	H=4 için rotor açısı-zaman grafiği.....	31
Şekil 4.23.	H=5 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	32
Şekil 4.24.	H=5 için rotor açısı-zaman grafiği.....	32
Şekil 4.25.	H=6 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	33
Şekil 4.26.	H=6 için rotor açısı-zaman grafiği.....	33
Şekil 4.27.	H=8 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	34
Şekil 4.28.	H=8 için rotor açısı-zaman grafiği.....	34
Şekil 4.29.	H=10 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	35
Şekil 4.30.	H=10 için rotor açısı-zaman grafiği.....	35
Şekil 4.31.	D=0.01 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	37
Şekil 4.32.	D=0.01 için rotor açısı-zaman grafiği.....	37
Şekil 4.33.	D=0.013 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	38
Şekil 4.34.	D=0.013 için rotor açısı-zaman grafiği.....	38
Şekil 4.35.	D=0.013780048 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	39
Şekil 4.36.	D=0.013780048 için rotor açısı-zaman grafiği.....	39
Şekil 4.37.	D=0.0137801 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	40
Şekil 4.38.	D=0.0137801 için rotor açısı-zaman grafiği.....	40
Şekil 4.39.	D=0.0137803 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	41
Şekil 4.40.	D=0.0137803 için rotor açısı-zaman grafiği.....	41
Şekil 4.41.	D=0.0137805 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	42
Şekil 4.42.	D=0.0137805 için rotor açısı-zaman grafiği.....	42
Şekil 4.43.	D=0.014 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	43
Şekil 4.44.	D=0.014 için rotor açısı-zaman grafiği.....	43
Şekil 4.45.	D=0.015 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	44
Şekil 4.46.	D=0.015 için rotor açısı-zaman grafiği.....	44
Şekil 4.47.	D=0.02 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	45
Şekil 4.48.	D=0.02 için rotor açısı-zaman grafiği.....	45
Şekil 4.49.	D=0.04 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	46
Şekil 4.50.	D=0.04 için rotor açısı-zaman grafiği.....	46
Şekil 4.51.	D=0.08 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	47
Şekil 4.52.	D=0.08 için rotor açısı-zaman grafiği.....	47

Şekil 4.53.	D=0.1 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	48
Şekil 4.54.	D=0.1 için rotor açısı-zaman grafiği.....	48
Şekil 4.55.	D=0.2 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	49
Şekil 4.56.	D=0.2 için rotor açısı-zaman grafiği.....	49
Şekil 4.57.	D=0.4 için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	50
Şekil 4.58.	D=0.4 için rotor açısı-zaman grafiği.....	50
Şekil 4.59.	HTS=2 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	53
Şekil 4.60.	HTS=2 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	53
Şekil 4.61.	HTS=4 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	54
Şekil 4.62.	HTS=4 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	54
Şekil 4.63.	HTS=6 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	55
Şekil 4.64.	HTS=6 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	55
Şekil 4.65.	HTS=6.2 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	56
Şekil 4.66.	HTS=6.2 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	56
Şekil 4.67.	HTS=6.392 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	57
Şekil 4.68.	HTS=6.392 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	57
Şekil 4.69.	HTS=6.3924 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	58
Şekil 4.70.	HTS=6.3924 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	58
Şekil 4.71.	HTS=6.3925 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	59
Şekil 4.72.	HTS=6.3925 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	59
Şekil 4.73.	HTS=6.4 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	60
Şekil 4.74.	HTS=6.4 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	60
Şekil 4.75.	HTS=6.5 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	61
Şekil 4.76.	HTS=6.5 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	61
Şekil 4.77.	HTS=7 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	62
Şekil 4.78.	HTS=7 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	62
Şekil 4.79.	YKS=1 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	65
Şekil 4.80.	YKS=1 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	65
Şekil 4.81.	YKS=5 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	66
Şekil 4.82.	YKS=5 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	66
Şekil 4.83.	YKS=10 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	67
Şekil 4.84.	YKS=10 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	67
Şekil 4.85.	YKS=20 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	68

Şekil 4.86.	YKS=20 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	68
Şekil 4.87.	YKS=40 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	69
Şekil 4.88.	YKS=40 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	69
Şekil 4.89.	YKS=50 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	70
Şekil 4.90.	YKS=50 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	70
Şekil 4.91.	YKS=85 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	71
Şekil 4.92.	YKS=85 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	71
Şekil 4.93.	YKS=100 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	72
Şekil 4.94.	YKS=100 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	72
Şekil 4.95.	YKS=125 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	73
Şekil 4.96.	YKS=125 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	73
Şekil 4.97.	YKS=140 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	74
Şekil 4.98.	YKS=140 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	74
Şekil 4.99.	YKS=141 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	75
Şekil 4.100.	YKS=141 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	75
Şekil 4.101.	YKS=250 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	76
Şekil 4.102.	YKS=250 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	76
Şekil 4.103.	YKS=500 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	77
Şekil 4.104.	YKS=500 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	77
Şekil 4.105.	YKS=1000 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği.....	78
Şekil 4.106.	YKS=1000 periyot için rotor açısı-zaman grafiği.....	78

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	Senkron makinelerin değişik türleri için H değer aralıkları.....	20
Tablo 4.2.	Senkron makine sabiti değişimine göre rotor açısı kararlılığı tablosu.....	36
Tablo 4.3.	Sönümlleme sabiti değişimine göre rotor açısı kararlılığı tablosu..	51
Tablo 4.4.	Hata temizleme süresi değişimine göre rotor açısı kararlılığı tablosu.....	63
Tablo 4.5.	Yeniden kapanma süresi göre rotor açısı kararlılığı tablosu.....	79

ÖZET

Anahtar kelimeler: Rotor açısı kararlılığı, SMIB, kaos, güç sistemi, makine sabiti, sönümleme sabiti, hata temizleme süresi, yeniden kapanma süresi.

Bu tezde, tek makine (bir senkron generatör)-sonsuz bara güç sisteminde rotor açısı kararlılığı konusu çalışılmıştır. Çalışmada ayrıca tez konusu Tek Makine Sonsuz Bara Güç Sisteminde Kaotik Durumlarla ilgili olan; senkron generatör, sonsuz bara, bir senkron generatör-sonsuz bara güç sistemi, güç sisteminde kararlılık, gerilim kararlılığı, frekans kararlılığı, rotor açısı kararlılığı, kaotik olaylar ve güç sisteminde kaos gibi konular da işlenmiştir.

Matlab/Simulink kullanılarak elektrik güç sisteminde rotor açısı kararlılığı simülasyonları yapılmıştır. Senkron makine sabiti, sönümleme sargısı sabiti, hata temizleme süresi ve yeniden kapanma süresinin rotor açısı kararlılığına etkileri yapılan simülasyonlarla görülmüştür.

Bu çalışma ile tek makine-sonsuz bara bağlantısı sisteminde oluşabilecek rotor açısı kararsızlığı kaotik olayları gözlemlenerek, bir senkron generatör sonsuz bara güç sisteminin kararlı bir şekilde çalışmasına, senkron makine sabiti, sönümleme sabiti, hata temizleme süresi ve yeniden kapanma sürelerinin etkileri araştırılmıştır.

CHAOTIC BEHAVIOURS ANALYSIS ON SMIB POWER SYSTEM

SUMMARY

Keywords: Rotor Angle Stability, SMIB, chaos, power system, machine constant, damping constant, fault clearing time, reclosure time.

The subject of a this thesis is the rotor angle stability in a single machine infinite bus power system. And subjects which are synchronous generator, infinite bus, SMIB power system, stability on power systems, voltage stability, frequency stability, rotor angle stability are studied in this work.

The rotor angle stability is simulated by MATLAB/SIMULINK. It is researched and observed that what are the effects to rotor angle stability of synchronous machine constant, damping constant, fault clearin time and reclosure time.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Özellikle 90'lı yılların başlangıcından itibaren çevre dostu enerji üretimi dünya genelinde birçok uluslararası kurum tarafından teknolojik araştırma-geliştirme ve buna paralel olarak yatırım yapılması teşvik edilen bir alandır. Ancak, yenilenebilir enerji teknolojileri olarak tanımlanan bu yeni nesil elektrik üretim tesislerinin birçoğunun değişken üretim yapıyor olması, bu tip santrallerin mevcut elektrik şebekesiyle bütünleşmesini zorlaştırmaktadır. Yenilenebilir enerji santrallerinin genellikle şebekenin güçlü olmadığı arazilerde tesis edilmesi, bu santrallerin genellikle şebekenin uç noktalarından elektrik sistemine bağlanmasını gerektirmektedir. Bu durum şebekenin mevcut enerji akışını önemli ölçüde değiştirebilmekte ve özellikle rüzgar santrallerinin değişken enerji üretim karakteristikleri sistemin nominal gerilim ve frekans değerlerini olumsuz yönde etkilemektedir [1].

Elektrik güç sistemi kararlılığını olumsuz yönde etkileyen bir diğer faktör de aşırı yüküdür. Sürekli yük artımı ile birlikte ekonomik ve çevresel baskılar güç sistemlerini kararlılık limitine yakın noktalarda çalışmaya zorladığından kararlılık sınırları azalmaya ve gerilim kararlılığı kritik bir konu olmaya başlamıştır [2f].

Doğrusal olmayan büyük bir enterkonnekte güç sistemi, sürekli haldeki bir çalışma noktasından uzaklaştığı zaman çok karmaşık olaylar göstermektedir. Ekonomik ve çevresel imkansızlıklar yeni iletim ve üretim kapasitesi artırımını sınırladığı için güç sistemleri gittikçe daha da çok yüklenmektedir ve güç sistemleri kararlılık limitlerine her geçen gün daha da yaklaşmaktadır. Bu ağır şartlar altında çalışan güç sistemlerinde, gerilim düşümlerinin yanı sıra gerilim çökmesi olarak da adlandırılan yeni bir kararsızlık problemiyle karşı karşıya kalınmaktadır. Bu nedenle güç sistemlerinin dinamik analizine son yıllarda önemli bir şekilde ihtiyaç duyulmaktadır [4,5].

“Tuhaf çekici” olarak da adlandırılan kaos; kısaca düzensizliğin düzeni şeklinde tanımlanan doğrusal olmayan bir bilim dalıdır. Kaosun ve kaotik işaretlerin temel özellikleri; zaman boyutunda düzensizlik, başlangıç şartlarına hassas bağlılık ve gürültüye benzeyen geniş güç spektrumuna sahip olmalarıdır [6].

Kaos teorisi bilimsel bir disiplin olarak 1960’lı yıllarda Edward Lorenz’in hava tahmini için topladığı verileri kullanarak meteorolojik sistemleri Klasik Lorenz Eşitlikleri ile bilgisayar ortamında modellemeye çalışması ile ortaya çıkmıştır. Günümüzde Kaos teorisinin güvenli haberleşme, otomatik kontrol sistemleri, lazer fiziği ve finansal modelleme gibi alanlarda başarılı uygulamaları vardır [7].

Bilimdeki temel bir inanış, deterministik sistemlerin önceden belli olmasıdır. Verilen deterministik model, bir başlangıç şartını ve bir sistemi tanımlar ise, sistem davranışı bütün zamanlar için önceden bilinebilir [6].

Kaotik sistemlerin başlangıç şartlarına hassas bağımlılığı ve herhangi bir sayısal simülasyondaki kalıcı kesme hataları yüzünden, kaotik davranışların gözlemlenmesi büyük bir dikkat gerektirir. Genellikle, pratik açıdan kaos olayı, denge noktaları, periyodik çözümler ve yaklaşık periyodik çözümler gibi üç adet sürekli hal davranışı kategorilerinin içine girmeyen ancak sürekli hal davranışıyla sınırlanmış durum olarak tanımlanabilir [8].

Tuhaf çekiciler çok karmaşıktır ve boyutları da çok ufaktır. Sistem hiçbir zaman aynen tekrar etmediği için, yörünge kendi kendisiyle asla kesişmez. Sonsuza kadar kendi etrafında sarılmaya devam eder. Kaos, karmaşıklığın temelinde yatan muazzam ve hassas yapıyı yakalayabilmek için hem bilgisayar kullanımında özel bazı teknikler hem de birtakım özel grafik resim ve çizgi türleri icat etmiştir. Bilgisayar üzerindeki bu hareket soyut olmasına rağmen, gerçek sistemin hareketi hakkında bir fikir vermektedir [8]. Ucuz bilgisayar gücü ve doğrusal olmayan sistem teorilerindeki son ilerlemeler güç sistemlerinde birçok karmaşık davranışın analiz edilmesine ve anlaşılmasına imkan tanır [6]. MATLAB ise matematiksel olarak ifade edilebilen sistemlerin modellenmesi ve benzetimiyle kullanılan güçlü bir uygulama olarak, karmaşık kaotik durumların modellenmesi ve benzetimiyle gerçek fiziksel

olayların davranışı, performansı ve incelenmesi hakkında geçerli bilgiler sağlayacak yazılım programı olarak kullanılmaktadır[7].

Tze-Fun CHAN senkron generatörün sonsuz barada çalışmasından bahsetmiştir [10]. Yi-Sung YANG ve W.JI senkron generatör sonsuz bara salınım denklemini vermişlerdir [11,12]. Hsiao-Dong CHIANG, “Tuhaf çekici” olarak adlandırılan kaosu ve kaotik işaretlerin; zaman boyutunda düzensizlik, başlangıç şartlarına hassas bağlılık ve gürültüye benzeyen geniş güç spektrumuna sahip olduklarını söylemiştir [6]. Yılmaz UYAROĞLU kaos teorisinin bilimsel bir disiplin olarak 1960’lı yıllarda Edward Lorenz’in hava tahmini için topladığı verileri kullanarak meteorolojik sistemleri Klasik Lorenz Eşitlikleri ile bilgisayar ortamında modellemeye çalışması ile ortaya çıktığından ve kaosu haberleşmeden finansal uygulamalara kadar birçok alanda kullanıldığını açıklamıştır [7].

Song XUFENG, güç sistemlerinin kararlılık limitlerine çok daha yakın çalıştığını, bu ağır şartlar altında çalışan güç sistemlerinde de yavaş gerilim düşümleri ve gerilim çökmesi gibi dinamik davranışların gözlemlendiğini, bu nedenle güç sistemlerinin dinamik analizine son yıllarda önemli bir şekilde ihtiyaç duyulduğunu söylemiştir [4]. Saffet AYASUN, güç sistemlerinde parametre değişimine bağlı olarak oldukça kompleks dinamikler gözlemlendiğinden, bunlardan en yaygın olanının yük artışının bir sonucu olarak denge noktalarının çatallaşması olduğundan ve güç sistemlerindeki gerilim kararlılığı ve açısal kararlılık gibi sorunların analizinden bahsetmiştir [13].

M. A. PAI ve Antonio GRİFFO eserlerinde, IEEE ve CIGRE Komitelerinin 1978 ve 1982 yıllarında yayınladıkları raporlarda; güç sistemi kararlılığının bütün sistem değişkenlerinin kısıtlanmasıyla fiziksel bir karışıklık sonrası, elektrik güç sisteminin verilen başlangıç çalışma şartları için yeniden dengeli çalışma durumunu kazanma kabiliyeti olduğunu ifade etmişlerdir [14,15]. C. P. STEINMETZ ve G. S. VASSEL elektrik güç sistemi kararsızlığının 1920’lerden bu yana önemli bir problem olarak görülmeye başladığını ve güç sistem kararsızlığı sebebiyle oluşan sistem çökmelerinin olayın önemini gösterdiğini söylemektedirler [16,17]. S.B.CRARY, I.HERLITZ ve B.FAVEZ, hazırladıkları CIGRE SC32 Raporunda, yeni teknolojilerin ve kontrolün kullanımından dolayı elektrik güç sistem kararlılığında;

gerilim kararlılığı, frekans kararlılığı ve iç salınımlar (rotor açısı kararlılığı) gibi yeni biçimlerinin ortaya çıktığını belirtmişlerdir [18,19].

T. Van Cutsem gerilim kararlılığını bir güç sisteminin karışıklığa uğraması sonrası bütün baralardaki gerilim genliğinin kabul edilebilir sınırlarda olması kabiliyeti olarak tanımlamıştır [20, 21]. Anjan BOSE frekansın üretim ve tüketim arasındaki denge ile kontrol edildiğini söylemiştir [22]. Antonio GRİFFO rotor açısı kararlılığını, iletim şebekesi üzerinden birbirine bağlı bütün senkron makinelerin senkron işleyişi sürdürme yeteneği olarak tanımlamıştır [15].

Bu çalışmada elektrik güç sistemlerinde rotor açısı kararlılığını inceleyebilmek için MATLAB/SIMULINK kullanılmıştır.

Yapılan Çalışma Kapsamı:

Çalışmada bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi açıklanmıştır. Bu sistemdeki halihazırda mevcut olan ve yakın gelecekte artması beklenen güç sistemi problemleri anlatılmıştır.

Elektrik güç sistemi problemlerinden bir tanesi olan rotor açısı kararlılığı konusu ele alınmıştır. MATLAB/SIMULINK kullanılarak açı kararlılığı benzetimleri yapılmıştır.

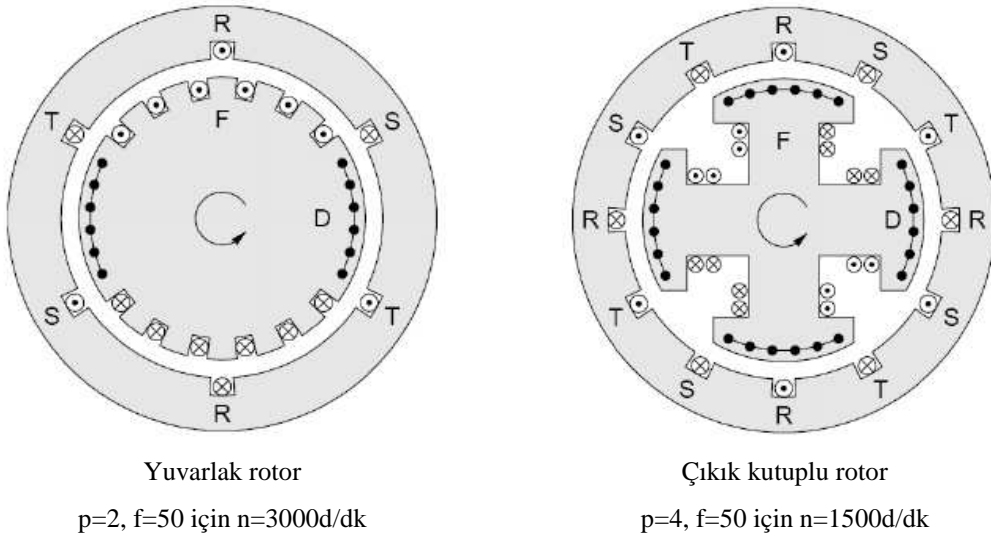
Senkron makine sabiti, sönümleme sargısı sabiti, hata temizleme süresi ve yeniden kapanma süresinin rotor açısı kararlılığına etkileri belirlenmiştir.

BÖLÜM 2. TEK MAKİNE-SONSUZ BARA GÜÇ SİSTEMİ

Elektrik güç üretimi elektrik santrallerinde mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren senkron generatörler aracılığıyla gerçekleşmektedir. Alternatif akım senkron generatörlerle üretilir. Bu makinelere alternatörler de denir. Milinden aldığı mekanik enerjiyi, gerek 1 fazlı gerekse 3 fazlı alternatif gerilime dönüştüren veya alternatif gerilim üreten makineler alternatör diye tanımlanır. Genel olarak üç fazlı olarak karşılaşılan alternatörlerden günümüzde elde edilen maksimum güç 1500 MVA'ya ulaşmıştır (Nükleer santraller için turbo alternatörler). Bugünkü teknolojiyle 4 kutuplu 2500 MVA'lık turbo generatörler yapılabilmektedir [35].

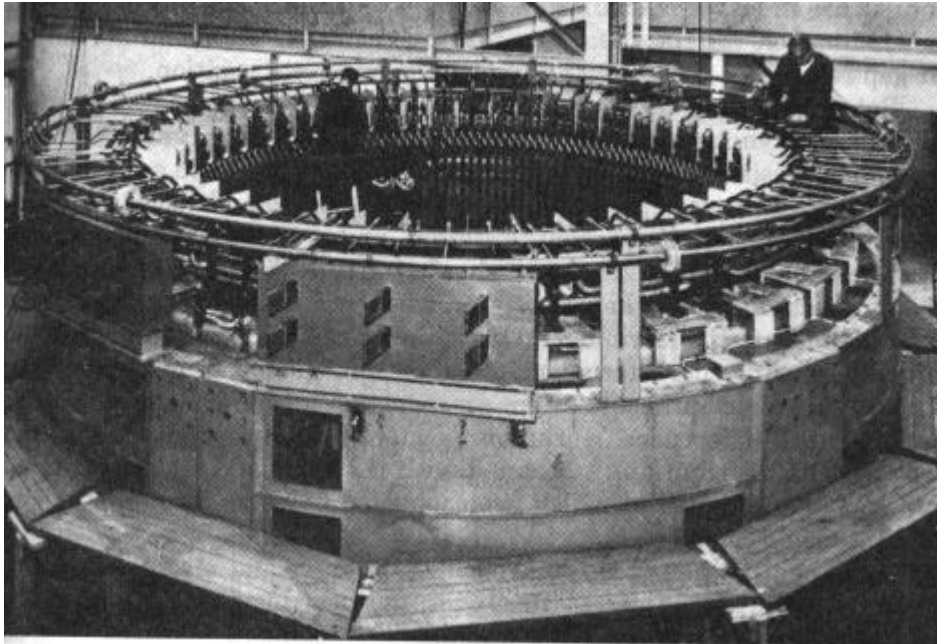
Senkron makineler grubuna, alternatörler (generatörler), senkron motorlar ve senkron konvertörler girer. Senkron motor ile alternatör arasında yapı bakımından bir fark yoktur. Rotor devri ile stator devri eşit olan makinelerdir. Senkron makineye mekanik enerji verilip, elektrik enerjisi alınırsa alternatör; elektrik enerjisi verilip mekanik enerji alınırsa senkron motor olur. Bir başka tanımlamayla senkron makine; stator sargılarında alternatif akım, rotor sargılarında ise doğru akım bulunan ve rotor hızı statordaki manyetik alan dönüş hızı ile senkron devirle dönen veya döndürülen makinelerdir.

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi yuvarlak (silindirik) rotor ve çıkık kutup rotor olmak üzere iki tip rotor yapısı vardır. Genellikle çıkık kutup rotorlu senkron makineler su türbinleri gibi düşük devirli uygulamalarda kullanılırken, yuvarlak (silindirik) rotorlu senkron makineler buhar türbini gibi yüksek devirli türbinlerde kullanılırlar [35].



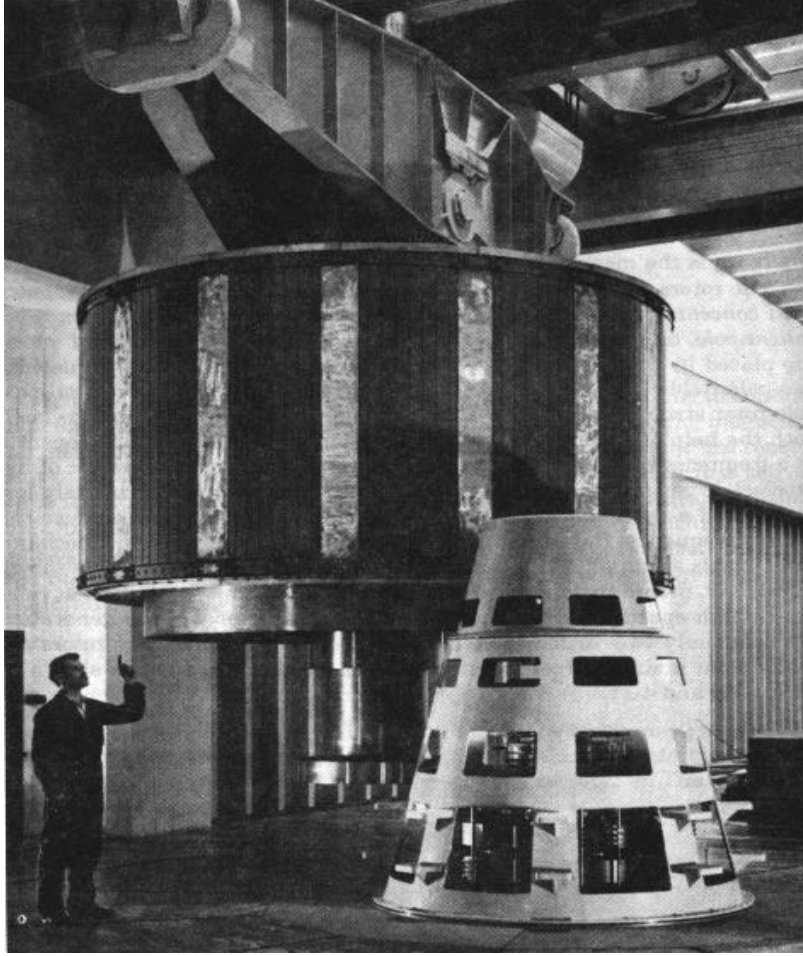
Şekil 2.1. Değişik rotor tipleri

Şekil 2.2.'de 190 MVA üç fazlı 12 kV 375 devir/dk hidroelektrik generatörün statoru gösterilmiştir. Görüldüğü gibi iletkenlerde soğutma suyunun dolaştığı oyuklar vardır.



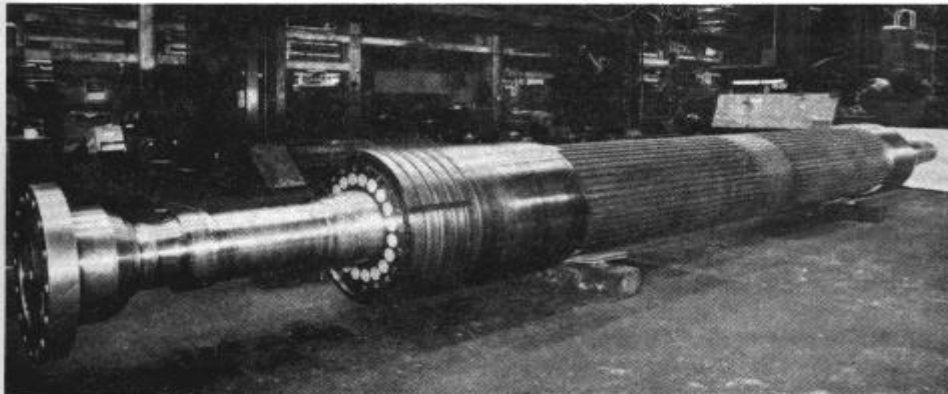
Şekil 2.2. 190MVA üç fazlı 12 kV 375 devir/dk hidroelektrik generatörün statoru.

Şekil 2.3.'de yine aynı 190 MVA'lık hidroelektrik generatörün su soğutmalı rotoru görülmektedir.



Şekil 2.3. 190 MVA hidroelektrik generatörün su soğutmalı rotoru

Şekil 2.4.'de iki kutuplu 3600 devir/dk türbin generatörünün rotoru görülmektedir.

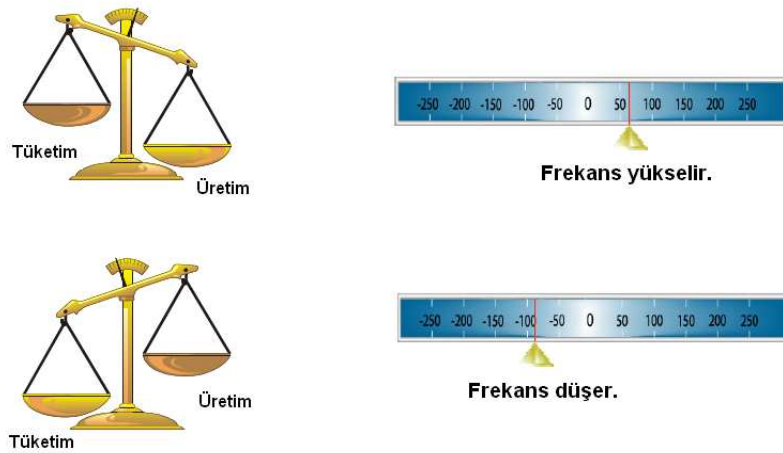


Şekil 2.4. İki kutuplu 3600 devir/dk türbin generatörün rotoru

Generatörler, güç sistemine bağlandıklarında sistemin gerilim ve frekansını belli ölçüde etkilerler. Ancak küçük bir generatör sisteme bağlandığında gerilim ve frekansta ihmal edilebilecek kadar küçük bir etkiye sahip olacağından, sonuçta sistem bu küçük generatöre karşı sonsuz bir bara gibi davranacaktır [36]. Bu sonsuz baraya enterkonnekte sistem denir. Sonsuz bara, sabit gerilim ve sabit frekansa sahip rezistif bir baradır.

Enterkonnekte ismi İngilizce “interconnect” (birbirine bağlı olma) kelimesinden gelmektedir. Birbirinden uzak olan elektrik üretim santralleriyle tüketim merkezleri arasındaki bağlantı enterkonnekte sistemlerle sağlanır. Elektrik depolanamadığı için üretildiğinde hemen kullanıcıya ulaştırılması ve tüketilmesi gerekmektedir. Bu da üretim ve tüketimin her an dengede tutulmasını gerektirir. Aksi takdirde frekans değişimleri veya gerilim çökmeleri yaşanabilir.

Elektrik üretim ve tüketimi ile frekans arasında şöyle bir ilişki vardır [37]:



Şekil 2.5. Elektrik üretim-tüketim ile frekans ilişkisi

Elektrik üretimi elektrik tüketiminden fazla olduğunda frekans artar, üretim tüketimi karşılayamadığında frekans azalır.

Tüketim miktarı bölgelere, mevsimlere ve hatta günün saatlerine göre büyük değişiklikler gösterir. Enterkonnekte sistemler üretimi tüketime göre ayarlamayı sağlar. Elektrik iletimiyle, gerilimin gücüne bağlı olarak taşıma iletim sığası

değişen elektrik hatları aracılığıyla gerçekleştirilir. Eşitlik (2.1)de verilen bağıl güç kaybı formülünden görüldüğü gibi;

$$P_k = \frac{\Delta P}{P} = \frac{R}{U^2 \cos^2 \phi} P \quad (2.1)$$

bağıl güç kaybı gerilim düzeyiyle ters orantılı olduğu için gerilim arttığında iletimdeki kayıplar azaltılır [3]. Bu nedenle güç mümkün olduğunca büyük gerilim değerleriyle taşınır. Mesela 1000 MW'lık bir santralin ürettiği elektrik gücünü taşımak için 380 kV'luk 1 hat kullanılır, oysa aynı işi görmek için 154 kV'luk 6 hat, 66 kV'luk ise 30 hat kullanmak gerekir. Hat sayısı azaldığı için hattın çekileceği güzergahtan, şebekedeki bakım masrafları azaldığı için de harcamalardan tasarruf edilir [38].

Enterkonnekte sistemler üretim-tüketim dengesini en uygun şekilde sağlarlar. Enterkonnekte sistem bulunduğu bölgenin elektrik üretim imkânlarını birleştirir. Bir iletim hattında veya başka bir elektrik tesisinde arıza meydana geldiğinde, yerinde değiştirilmesi gereken parçalar o an için hazır bulunmayabilir. Bu durumda enterkonnekte sistem devreye girer; elektrik dağıtım merkezlerinde gerilimin yönü ayarlanır ve en az harcamayla üretim ile tüketim arasındaki denge yeniden sağlanır.

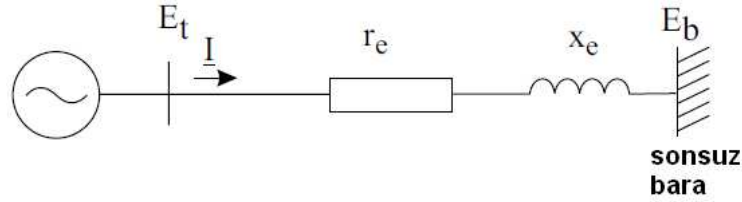
Gerilim ne kadar yüksek olursa, bir hattın iletebileceği güç o kadar yüksek olur. Üretim santrallerinden çıkan çok büyük miktarlardaki akımı iletebilen hatlar Türkiye'de 380kV veya 154kV düzeyindedir. Uzak mesafeler arasına kurulan büyük iletişim şebekeleri ve enterkonnekte sistemler bu tip hatlardan oluşur. Bu şebekeler, bütün üretim santrallerini birbirine bağlar. Elektrik, gerilimi düşürüldükten sonra bölgesel şebekelere iletilir ve bu şebekeler yardımıyla ayrılarak dağıtım merkezlerine gönderilir [38].

2.1. Bir Senkron Generatör-Sonsuz Bara Güç Sistemi

Senkron generatörler nadiren tek başına çalışır. Senkron makinelerin büyük çoğunluğu enterkonnekte sisteme paralel bağlanır. Senkron generatör baraya bağlandığında, rotor hızı ve terminal gerilimi sonsuz barayla sabitlenir ve sonsuz

barada çalışıyor denilir. Genellikle mekanik güç girişindeki değişim elektrik güç çıkışındaki bir değişime sebep olurken, uyarma alanındaki bir değişim çalışma güç faktöründeki değişimle sonuçlanır [10].

Şekil 2.6.da bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Bir Senkron Generatör Sonsuz Bara Güç Sistemi

Şekil 2.6.'da gösterilen klasik bir senkron generatör sonsuz bara güç sisteminde, bu sistemin salınım denklemi adı verilen denklemi şöyledir:

$$M \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt} + P_{\max} \sin \theta = P_m \quad (2.2)$$

Sistem şöyle düzenlenebilir:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= -cx_2 - \beta \sin x_1 + f \sin \omega t \end{aligned} \quad (2.3)$$

buradan;

$$x_1 = \theta, \quad x_2 = \frac{d\theta}{dt}, \quad c = \frac{D}{M}, \quad \beta = \frac{P_{\max}}{M}, \quad f = \frac{A}{M}, \quad (2.4)$$

$$P_m = A \sin \omega t \quad (2.5)$$

olarak verilmiştir [11,12].

BÖLÜM 3. TEK MAKİNE-SONSUZ BARA GÜÇ SİSTEMİNDE AÇI KARARLILIĞI VE KAOTİK OLAYLAR

Bu bölümde güç sistem kararlılığının tanımı ve sınıflandırılması yapılacaktır. Güç sisteminde kararlılık tanımı IEEE Komitesi (1982) ve CIGRE Komitesi 32. Raporuna (1978) dayanmaktadır. İki çeşit karışıklık tanımlanmıştır; küçük ve büyük karışıklıklar. Güç sisteminin dinamiği için küçük olan karışıklık doğrusallaştırılabilir. Büyük karışıklığın doğrusallaştırılması mümkün değildir, bundan dolayı matematiksel model, cebirsel kısıtlamalı veya kısıtlamasız bir takım doğrusal olmayan diferansiyel denklemdir [14].

IEEE ve CIGRE Komitelerinin tanımı şöyledir:

Güç sistemi kararlılığı, fiziksel bir karışıklık sonrası, elektrik güç sisteminin verilen başlangıç çalışma şartları için yeniden dengeli çalışma durumunu kazanma kabiliyetidir [15].

1920'lerden bu yana, elektrik güç sistem kararsızlığı güvenli sistem çalışması açısından önemli bir problem olarak görülmeye başlamıştır [16,9]. Elektrik güç sistem kararsızlığı sebebiyle oluşan sistem çökmeleri olayın önemini göstermiştir [17].

Birçok sistemde kararsızlık olarak geçici kararsızlık baskındı. Bu nedenle elektrik güç sistem kararlılığı denildiğinde geçici hal kararsızlığı problemi akla gelirdi. Yeni teknolojilerin ve kontrolün kullanımı, yüksek stresli koşullardaki çalışmaların artışı gibi gelişen güç sistem şartlarında, elektrik güç sistem kararsızlığının yeni biçimleri ortaya çıkmıştır. Örneğin, gerilim kararlılığı, frekans kararlılığı ve iç salınımlar geçmişe nazaran daha çok önem kazanmaya başladı. Bu da güç sistem kararlılığının tanımını ve sınıflandırılmasını yeniden gözden geçirme ihtiyacı doğurmuştur [18,19].

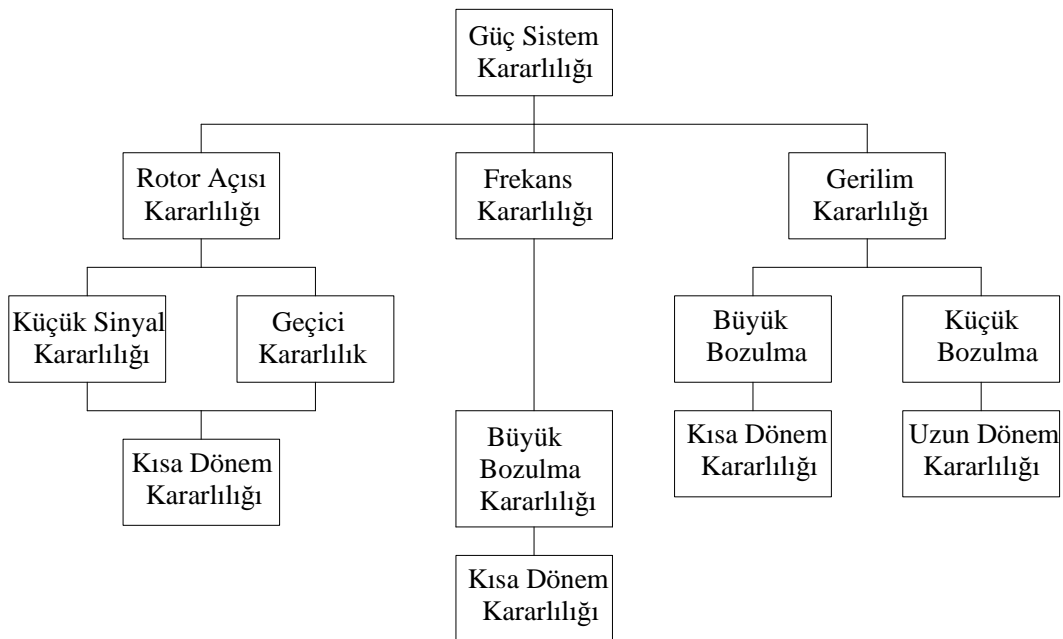
Bozucu etki küçük ya da büyük olabilir. Yük değişimi gibi küçük bozucu etkiler sürekli olur ve sistem bu değişen koşullara adapte olur. Güç sistemi; iletim hattındaki kısa devre, büyük generatör-yük kaybı veya iki bara arasındaki hattın kopması gibi çeşitli tiplerdeki bozulmalara hazırlıklı olmalıdır. Rotor açısı kararlılığı, bir güç sistemindeki birbirine bağlı senkron makinelerin senkronizasyon içinde kalabilme yeteneğidir. Bu kararlılık problemi güç sistemindeki elektromekanik salınımlarla ilgilidir. Frekans kararsızlığı, generatör ve yükler arasındaki aktif güç dengesizliğinden kaynaklanmaktadır. Kararlılık problemlerinin anlaşılması için kararlılığı alanlara göre sınıflandırmak gerekir.

Güç sistem kararlılığı, bir elektrik güç sisteminin, belli ilk koşullarda sistemin herhangi bir bozucu etki sonrasında normal çalışma koşullarına dönebilme kabiliyetidir. Bu tanım bütün enterkonnekte sistemleri kapsar. Güç sistemleri çok çeşitli büyük-küçük bozulmalarla karşı karşıya kalabilir. Yük değişimi gibi küçük bozulmalar sürekli olur. Bunun için sistem değişen koşullara uyum sağlamalı ve işletim aksatılmamalıdır. Güç sistemi aynı zamanda başka tip bozulmalarla da karşılaşabilir. İletim hattındaki bir kısa devre veya büyük bir generatörün devre dışı kalması gibi örnekler verilebilir. Büyük bozulmalar arıza yerinin devre dışı kalmasıyla yapısal değişime sebep olabilirler. Bir denge setinde bir güç sistemi bir bozulma için kararlı kalırken diğer bir bozulma için kararsız olabilir. Güç sistemlerinin bütün bozulma ihtimaline karşı kararlı kalmasını sağlayacak şekilde tasarlanması hem pratik olarak mümkün değildir hem de pahalıdır. Güç sistemi tasarlarken olma olasılığı en büyük bozulmalar üzerinde durulur.

Bu yüzden büyük bozulma kararlılığı daima belli bir bozulma ihtimalini kapsar. Kararlı bir denge setinin sınırlı bir çekim alanı vardır. Bu alan büyüdükçe sistemin bozulmalara karşı direnci artar. Bu çekim alanı sistemin çalışma koşulları ile değişmektedir. Güç sisteminin bir bozulmaya karşı cevabı birçok elemanı etkiler. Örneğin, kritik bir devre elemanı üzerindeki bir arıza sonrasında arızalı yerin röleler tarafından devre dışı edilmesiyle güç akışı, iletim hattı bara gerilimi ve makina rotor hızları değişecektir. Gerilim değişimleri generatör ve iletim hattı gerilim regülatörlerini harekete geçirecektir. Generatör hız değişimleri gerilim ve frekansı etkileyecektir. Gerilim ve frekans değişimleri sistem yükünü etkileyecektir. Ayrıca

devre elemanlarını korumak amacıyla kullanılan cihazlar sistem değişikliklerine cevap verebilir ve istenmeyen kararsızlıklar oluşabilir. Herhangi bir bozucu etki sonrasında sistem yeni denge durumunda bütünlüğünü bozmadan çalışmaya devam eder. Bazı elemanlar yük, generatör gibi sistemi korumak için sistemden ayrılmış olabilir. Enterkonnekte sistemler bu tür bozulmalarda sistemi maksimum yük ve üretim açısından korumak için adacıklara bölünebilir. Otomatik kontrol işlemleri ya da elle kontrol sonucu sistem tekrar normal durumuna getirilebilir.

Modern bir güç sistemi, dinamik davranışı için farklı cevap hızları ve karakteristikleri olan cihazlarla donatılmış, yüksek seviyeli çok değişkenli bir yapıdan oluşur. Güç sistemi kararlılık analizi için sınıflandırma yapmak önemlidir. Şekil 3.1’de güç sistem kararlılığının sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 3.1. Güç sistemi kararlılığının sınıflandırılması

3.1. Gerilim Kararlılığı

Gerilim kararlılığı, bir güç sisteminin bozucu etki sonrası, normal çalışma koşullarında ve bütün baralardaki gerilimin sabit kabul edilebilecek bir değerde tutulması olarak tanımlanabilir. Gerilim bozucu etki sonrasında normal çalışma koşullarındaki değerde ise güç sistemi kararlıdır.

Yük ile kaynak arasındaki dengenin kaybı, şebekedeki kabul edilemez alçak gerilime sebep olan gerilim kararsızlığının ana sebebidir [20, 21]. Gerilim kararlılığına yük kararlılığı da denir. Gerilim kararsızlığının esas sebebi, aşırı yüklü sistemlerde gerilimi istenen değerde tutabilmek için sistemin ihtiyaç duyduğu reaktif gücü, sistemin karşılayamamasıdır [23,24,25]. Gerilim kararsızlığı olayı, genel olarak “gerilim çökmesi” adı verilen gerilimdeki ani düşüş olarak görülür [15].

Bir elemanın (generatör, hat, transformatör, bara vb.) herhangi bir sebeple devre dışı edilmesiyle, yük artışıyla veya yetersiz gerilim kontrolü sonucu kontrolsüz gerilim düşümü olursa güç sistemi kararsız olur. Gerilim kararlılığı aşırı yüklü veya yetersiz reaktif güce sahip güç sistemlerinde de meydana gelir.

Gerilim kararlılığı yükün niteliğine bağlıdır. Örneğin, asenkron motor gibi bir yük gerilim çöküşünü hızlandırırken, sabit empedans karakteristikli bir ısıtıcı gerilim çöküşünü engeller. Gerilim kararlılığı, yük dinamiklerine göre uzun dönem ve kısa dönem olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Kısa dönem kararlılık, indüksiyon motorlar ve elektronik kontrollü HVDC cihazları ve statik var kompanzasyonu (SVC) gibi elemanlarla karakterize edilir. Uzun dönem gerilim kararlılığı analizi, uzun dönem dinamiklerinin detaylı modellenmesini gerektirir. Modellemede, statik yüklerin karakteristikleri, yük altındaki trafo kademe değiştiricileri, otomatik üretim kontrol ve operatörlerin elle müdahaleleri göz önünde bulundurulmalıdır. Analizde gerilim kararlılığı küçük ve büyük bozulmalar diye sınıflandırılmalıdır [26,27,28,29].

3.2. Frekans Kararlılığı

Bir güç sisteminin kararlı çalışması için sistem frekansını nominal çalışma aralığında tutmak gerekir. Termal güç işletmelerinin kontrol devrelerinin ideal ayarları için, kabul edilebilir en büyük frekans değişikliği genellikle 2 Hz olarak belirlenmiştir. Bu sınır aşıldığında ünite koruma güç işletmesiyle bağlantıyı keser. Bu daha kötü bir durum olan; frekansın daha da düşüp, sonuç olarak bütün bir sistemin tamamen çöküşüne sebep olabilmektedir [30].

Frekans üretimle tüketim arasındaki denge ile kontrol edilir. Generatörlerdeki governerler dönüş hızındaki herhangi bir değişikliği algılar ve mekanik güç girişini ayarlar. Frekans ayarı için ilk kontrolü governer yapar [22].

3.3. Rotor Açısı Kararlılığı

İletim şebekesi üzerinden birbirine bağlı bütün senkron makinelerin senkron işleyişi sürdürme yeteneğine rotor açısı kararlılığı denir. Kararlı çalışan bir güç sisteminde, senkron generatörde üretilen güç ile yükler tarafından çekilen güç arasında devamlı dengeli çalışma söz konusudur [15].

Rotor denklemi şöyle verilir:

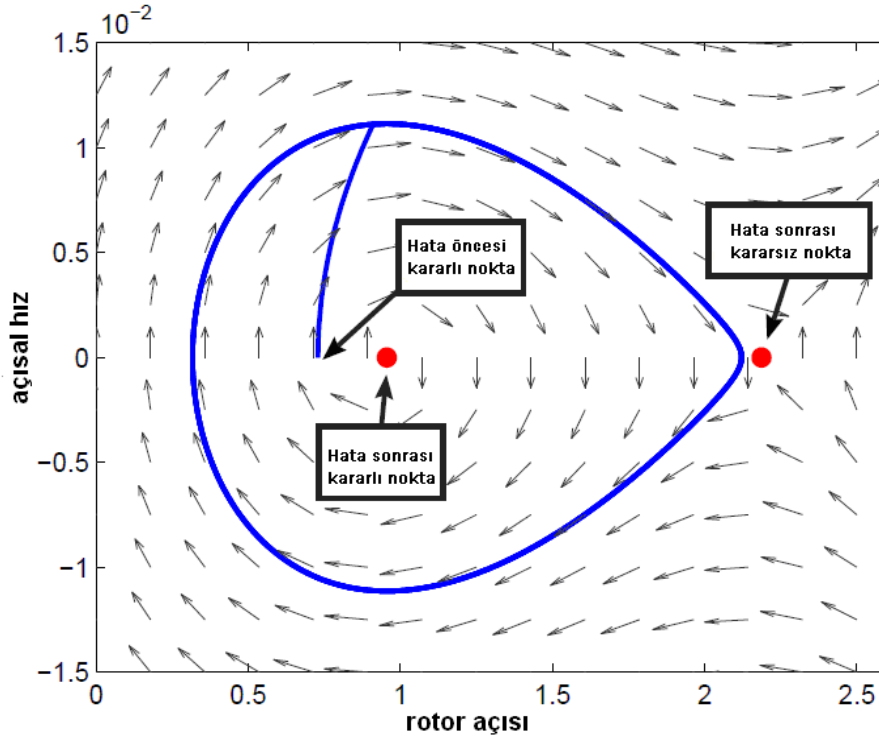
$$2H \frac{d\omega}{dt} = T_{mek} - T_{el} - T_{sön}$$

$$T_{sön} = D\Delta\omega$$

olarak verilmiştir [31].

Kararlılık analiziyle ilgili klasik rotor açısı sınıflandırması karışıklığın genliğine bağlıdır. Güç sistemi analizinde esas olarak büyük karışıklıklarla ilgili olan geçici kararlılık çalışmaları küçük sinyal kararlılığından ayrılır [15].

Aşağıda Şekil 3.2.'de bir hata sonrası rotor açısının zamana göre grafiği verilmiştir. Grafik sönümlenme sargısı $D=0$ için çizdirilmiştir. Grafikte rotor açısının hangi sınırlarda hata öncesi ve hata sonrası kararlı veya kararsız olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2. Açısal hız-rotor açısı grafiği

3.4. Kaotik Olaylar

“Tuhaf çekici” olarak da adlandırılan kaos; kısaca düzensizliğin düzeni şeklinde tanımlanan doğrusal olmayan bir bilim dalıdır. Kaosun ve kaotik işaretlerin temel özellikleri; zaman boyutunda düzensizlik, başlangıç şartlarına hassas bağlılık ve gürültüye benzeyen geniş güç spektrumuna sahip olmalarıdır [6].

Kaos Teorisi bilimsel bir disiplin olarak 1960’lı yıllarda Edward Lorenz’in hava tahmini için topladığı verileri kullanarak meteorolojik sistemleri Klasik Lorenz Eşitlikleri ile bilgisayar ortamında modellemeye çalışması ile ortaya çıkmıştır. Günümüzde Kaos Teorisinin güvenli haberleşme, otomatik kontrol sistemleri, lazer fiziği ve finansal modelleme gibi alanlarda başarılı uygulamaları vardır [7].

Bilimdeki temel bir inanış, deterministik sistemlerin önceden belli olmasıdır. Verilen deterministik model, bir başlangıç şartı ve çalışma altındaki bir sistemi tanımlar ise, sistem davranışı bütün zamanlar için önceden bilinebilir [6].

Kaotik sistemlerin başlangıç şartlarına hassas bağımlılığı ve herhangi bir sayısal simülasyonlardaki kalıcı kesme hataları yüzünden, kaotik davranışların gözlemlenmesi büyük bir dikkat gerektirir. Genellikle, pratik açıdan kaos olayı, denge noktaları, periyodik çözümler ve yaklaşık periyodik çözümler gibi üç adet sürekli hal davranışlı kategorilerin içine girmeyen ancak sürekli hal davranışıyla sınırlanmış durum olarak tanımlanabilir [8].

Tuhaf çekiciler çok karmaşıktır ve boyutları da çok ufaktır. Sistem hiçbir zaman aynen tekrar etmediği için, yörünge kendi kendisiyle asla kesişmez. Sonsuza kadar kendi etrafında sarılmaya devam eder. Kaos, karmaşıklığın temelinde yatan muazzam ve hassas yapıyı yakalayabilmek için hem bilgisayar kullanımında özel bazı teknikler hem de birtakım özel grafik resim ve çizgi türleri icat etmiştir. Çekici üzerindeki bu hareket soyut olmasına rağmen, gerçek sistemin hareketi hakkında bir fikir vermektedir [8].

MATLAB ise matematiksel olarak ifade edilebilen sistemlerin modellenmesi ve benzetimiyle kullanılan güçlü bir uygulama olarak; karmaşık kaotik eşitliklerin modellenmesi ve benzetimiyle gerçek fiziksel olayların davranışı, performansı ve incelenmesi hakkında geçerli bilgiler sağlayacak yazılım programı olarak kullanılmaktadır[7].

3.5. Güç Sisteminde Kaotik Durumlar

Sürekli yük artımı ile birlikte ekonomik ve çevresel baskılar güç sistemlerini kararlılık limitine yakın noktalarda çalışmaya zorladığından kararlılık sınırları azalmaya ve gerilim kararlılığı kritik bir konu olmaya başlamıştır [2,3].

Doğrusal olmayan büyük bir enterkonnekte güç sistemi, sürekli haldeki bir çalışma noktasından uzaklaştığı zaman çok karmaşık olaylar göstermektedir. Ekonomik ve

çevre baskıları yeni iletim ve üretim kapasitesi artırımını sınırladığı için güç sistemleri gittikçe daha da çok yüklenmektedir ve güç sistemleri kararlılık limitlerine çok daha yakın çalışmaktadır. Bu ağır şartlar altında çalışan güç sistemlerinde yavaş gerilim düşümlerinin yanı sıra gerilim çökmesi gibi dinamik davranışlar gözlenmektedir. Bu nedenle güç sistemlerinin dinamik analizine son yıllarda önemli bir şekilde ihtiyaç duyulmaktadır [4,5].

Gerilim çökmesi analizlerinde, hesaplama metotları kullanılarak güç sistemlerinin çatalanma noktalarına ulaşılır. Geçmiş yıllarda güç sistemlerinin kararlılığı ve özellikle gerilim kararlılığı ile ilgili olarak bazı şirketler ciddi şikâyetleri içeren raporlar sunmuş ve sistemlerinde bu konuda meydana gelen bazı olayları dile getirmişlerdir [32,33].

Güç sistemlerinde parametre değişimine bağlı olarak oldukça karmaşık dinamikler gözlenebilmektedir. Bunlardan en yaygın olanı yük artışının bir sonucu olarak denge noktalarının çatalaşmasıdır. Çatalaşma teorisi güç sistemlerindeki açısal kararlılık ve gerilim kararlılığı gibi değişik sorunların analizinde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir [13].

BÖLÜM 4. AÇI KARARLILIĞI BENZETİMLERİ

Bu bölümde rotor açısı kararlılığının; (H) senkron generatör sabiti, (D) sönümleme sargısı sabiti, (HTS) hata temizleme süresi ve (YKS) yeniden kapanma süresine göre nasıl değiştiği incelenmiştir. Çalışma; senkron generatör sabiti, sönümleme sargısı sabiti, hata temizleme süresi ve yeniden kapanma süreleri sabit tutularak bu değerlerden sadece birinin değiştirilmesi sonucu ortaya çıkan rotor açısı dinamiğinin hareketi izlenerek yapılmıştır. Bu çalışma MATLAB/SIMULINK kullanılarak yapılmıştır.

4.1. Senkron Makine Sabiti Etkisi

İngilizcesi inertia constant olan atalet sabiti, makinenin atalet sabitidir. Makine atalet sabiti makinenin büyük veya küçük bir makine olmasına göre ve hatta kullanılan malzemenin çeşidine göre bile atalet sabiti değişebilir.

Makine (atalet) sabiti şöyle elde edilir:

$$H = \frac{0.5 \cdot J \cdot \omega_{m0}^2}{S} = \frac{W_{kin}}{S} \quad (4.1)$$

Güç iletim şebekesine gücü ve atalet sabiti büyük generatörler bağlanırken, dağıtım şebekelerine küçük güçlü ve küçük atalet sabitli generatörler entegre edilmektedir [34].

Tablo 4.1.de senkron makinelerin atalet sabiti değer aralıkları verilmiştir.

Tablo 4.1. Senkron makinelerin değişik türleri için H değer aralıkları

Senkron Makine Türü	Makine (Atalet) Sabiti H (s)
Termal Güç	
- Buhar Türbini	4-9
- Gaz Türbini	7-10
Su Gücü	
- Yavaş (<200 dk ⁻¹)	2-3
- Hızlı (>200 dk ⁻¹)	2-4
- Senkron Kompensatör	1-1,5
- Senkron Motor	≈ 2

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

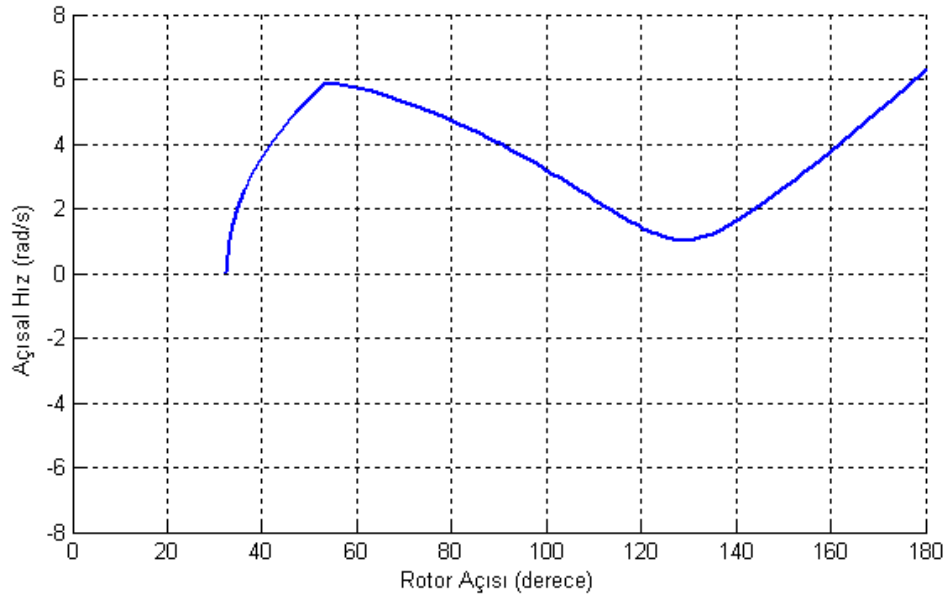
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

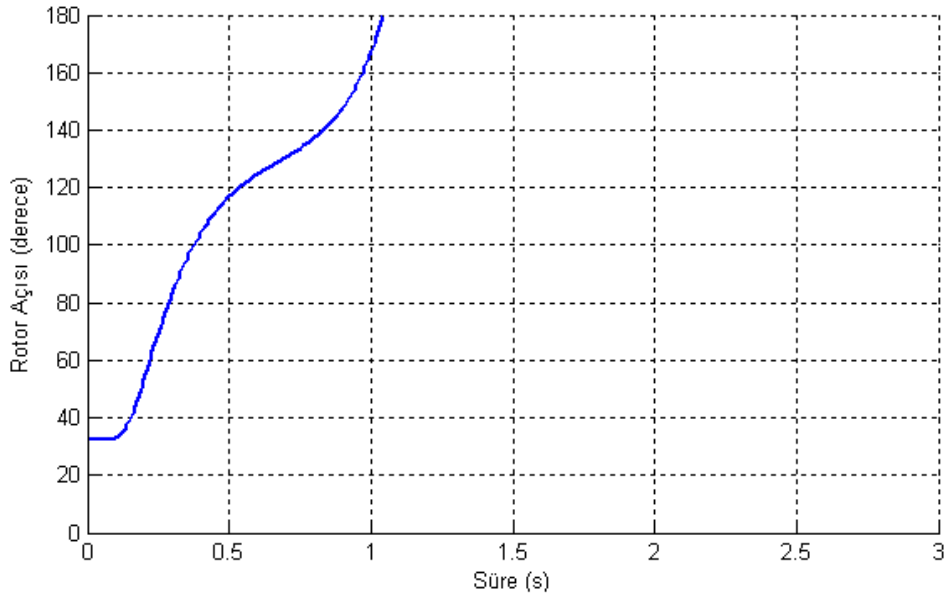
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

H=3 için



Şekil 4.1. H=3 için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.2. H=3 için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 0.8 saniyeden sonra kaçtı. Bu değerler için verilen senkron makine sabiti yeterli değildir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

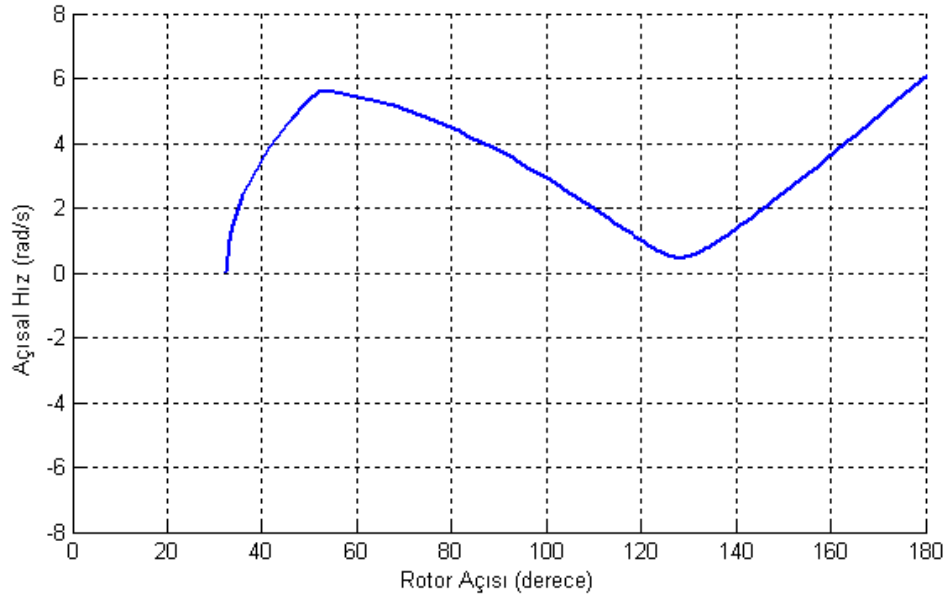
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

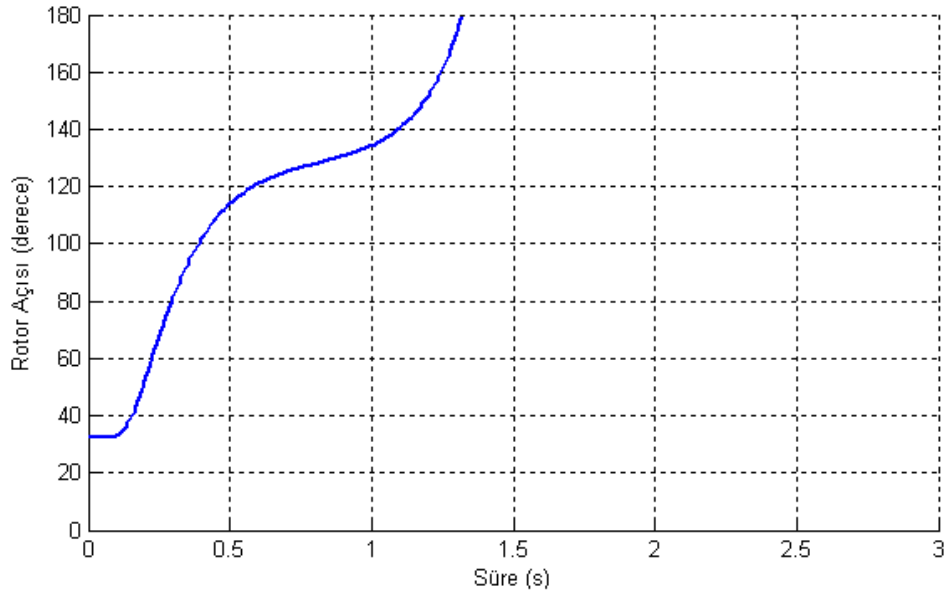
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$H=3.15$ için



Şekil 4.3. $H=3.15$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.4. $H=3.15$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1 saniyeden sonra kaçtı. Bu değerler için verilen senkron makine sabiti yeterli değildir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

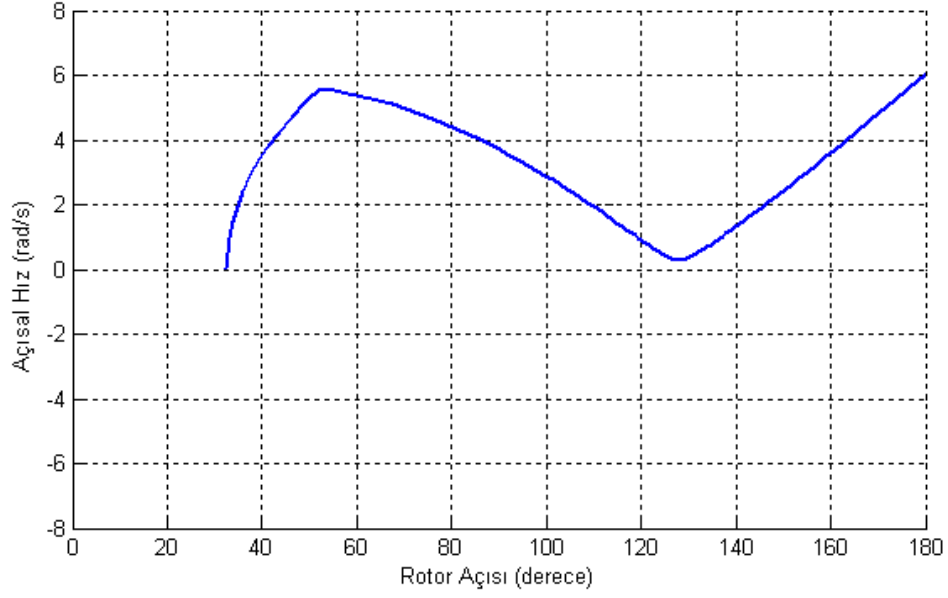
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

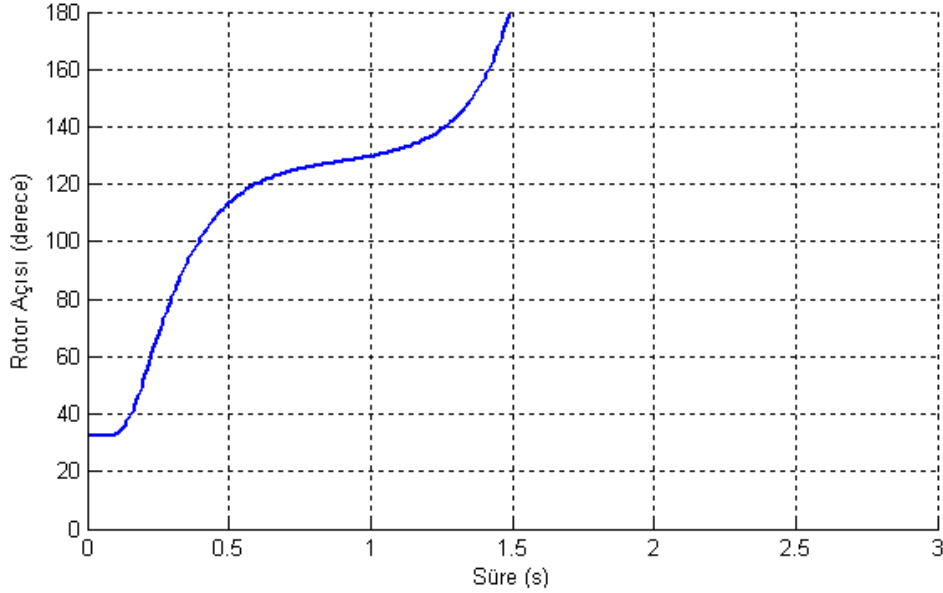
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$H=3.18$ için



Şekil 4.5. $H=3.18$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.6. $H=3.18$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1.3 saniyeden sonra kaçtı. Bu değerler için verilen senkron makine sabiti yeterli değildir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

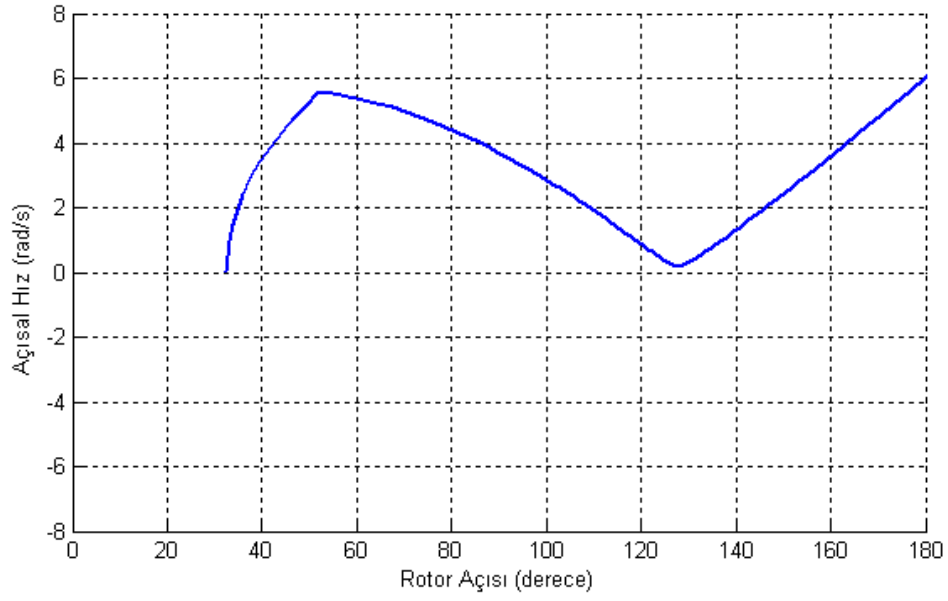
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

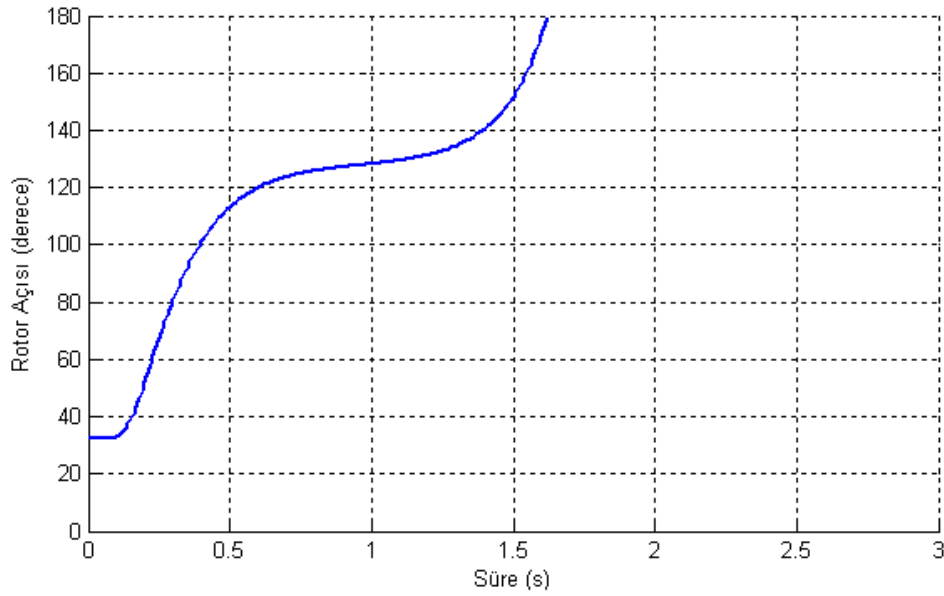
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$H=3.19$ için



Şekil 4.7. $H=3.19$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.8. $H=3.19$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1.4 saniyeden sonra kaçtı. Bu değerler için verilen senkron makine sabiti yeterli değildir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

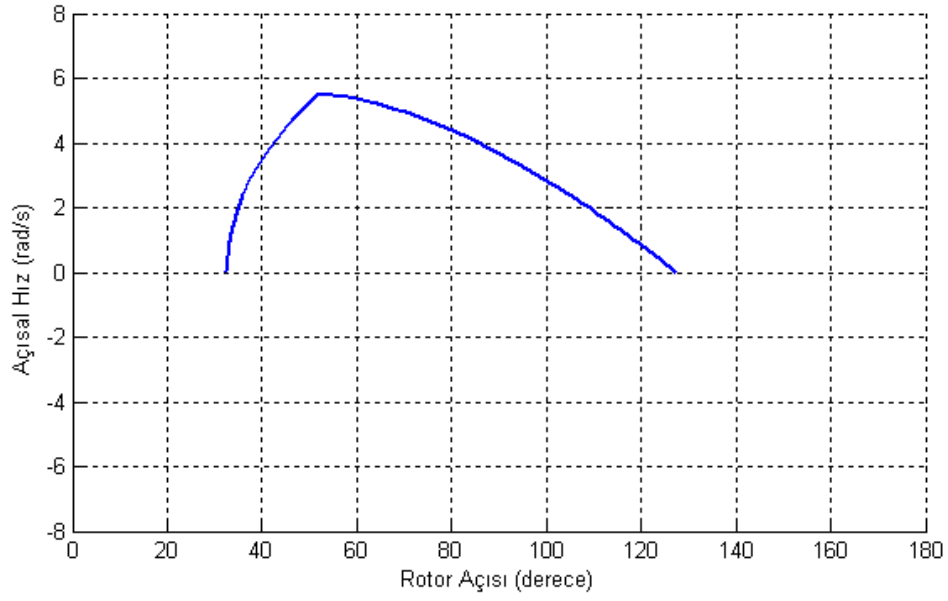
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

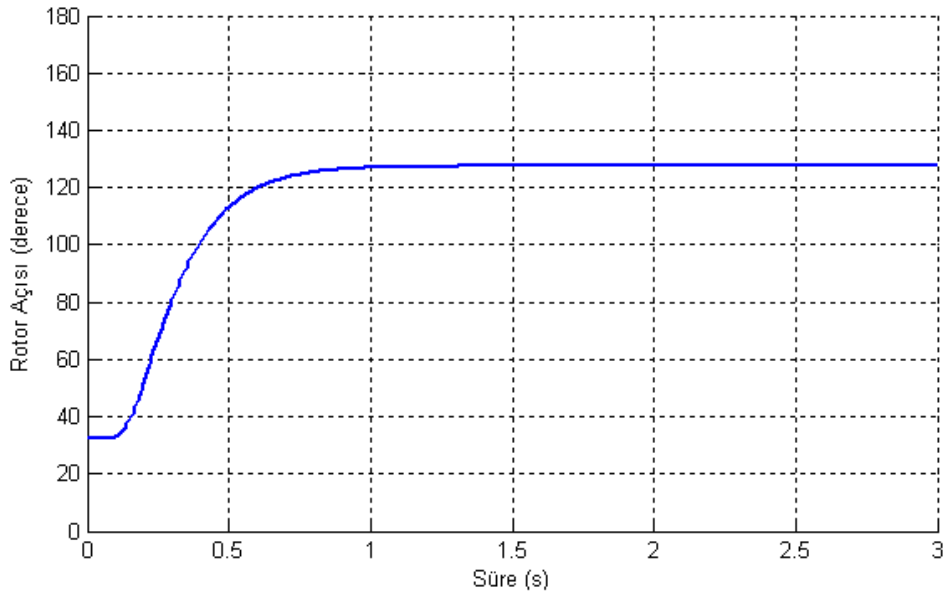
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$H=3.199489$ için



Şekil 4.9. $H=3.199489$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.10. $H=3.199489$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı kaçmamıştır ancak kararlı haleden gelememiştir. Bu değerler için verilen senkron makine sabiti eşik değerdedir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

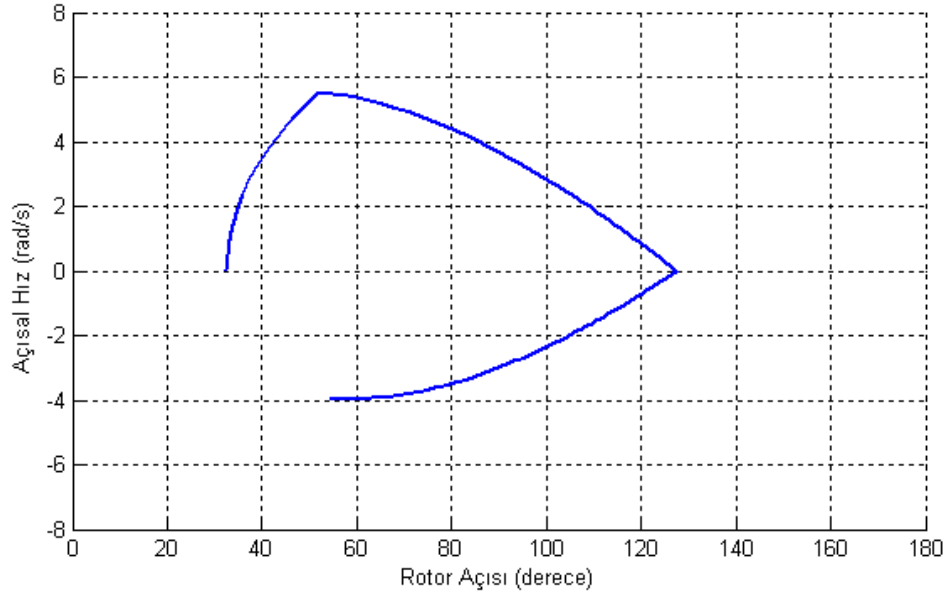
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

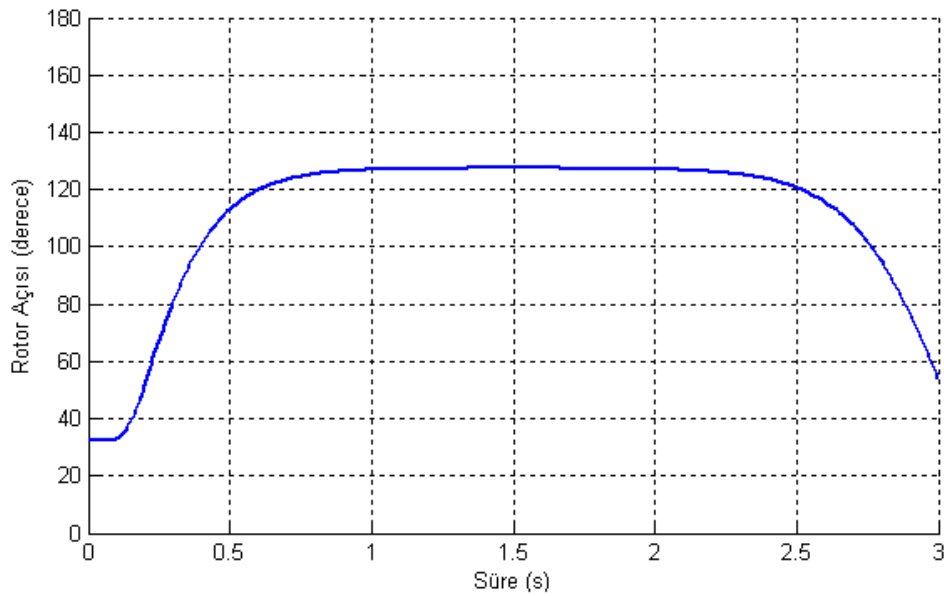
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

H=3.1995 için



Şekil 4.11. H=3.1995 için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.12. H=3.1995 için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 3 saniyeden sonra ilk salınımı yapıyor. Artık verilen değerler için makine sabiti kararlılık eşik değeri aşılmıştır. Sistem kararlılığı başlamıştır ancak sistem geç toparlanmaktadır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

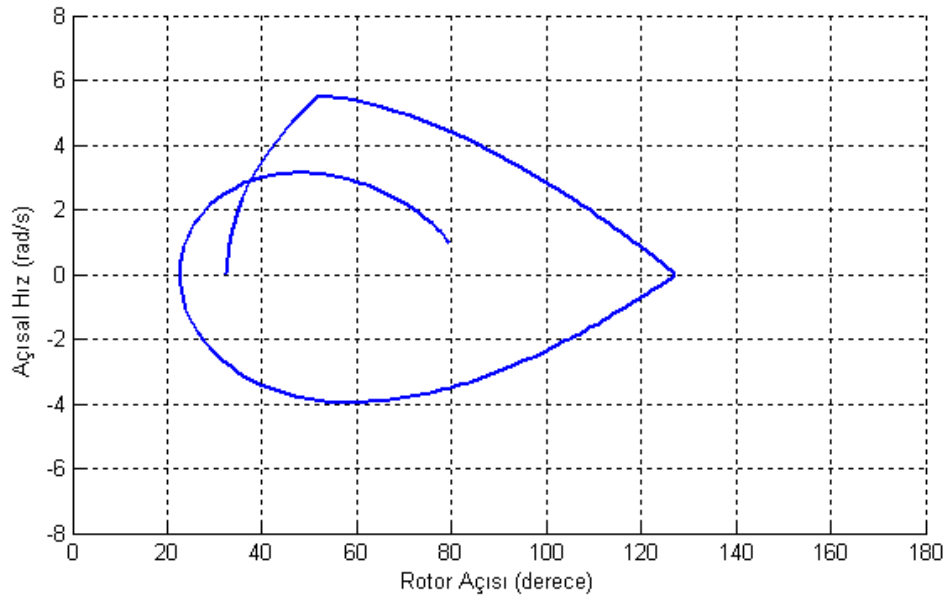
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

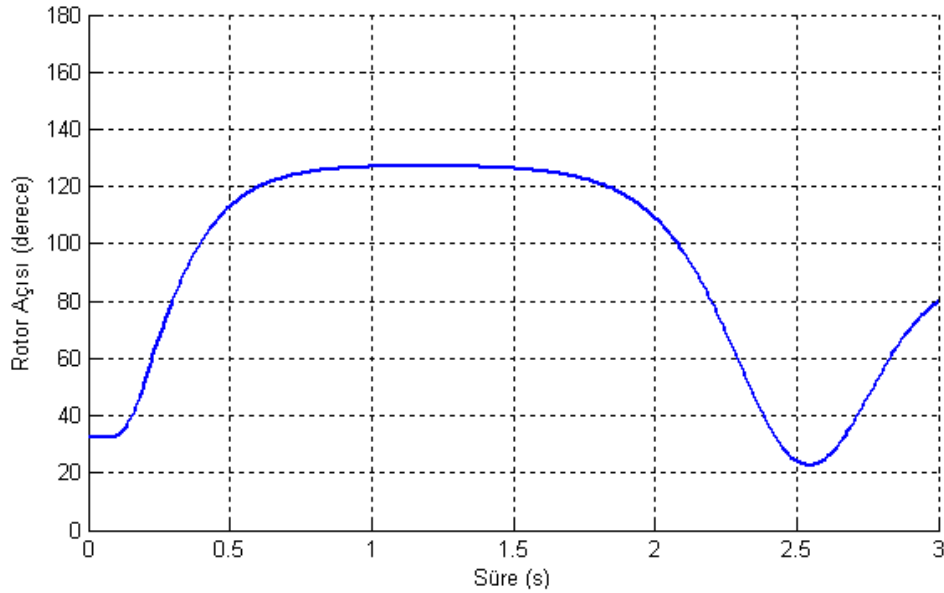
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

H=3.2 için



Şekil 4.13. H=3.2 için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.14. H=3.2 için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 2,5 saniyede ilk salınımı yapıyor. Sistem kararlılığı başlamıştır ancak sistem geç toparlanmaktadır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

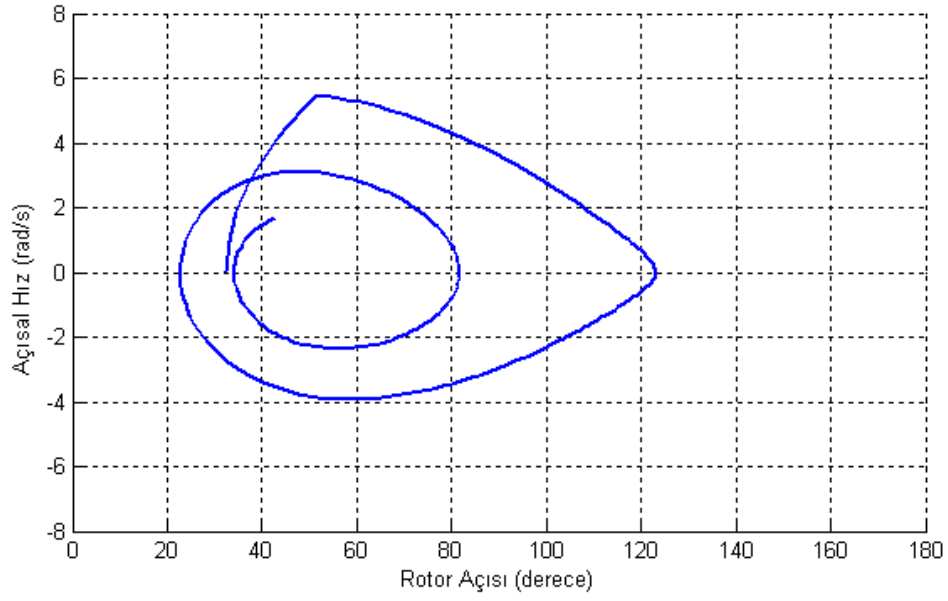
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

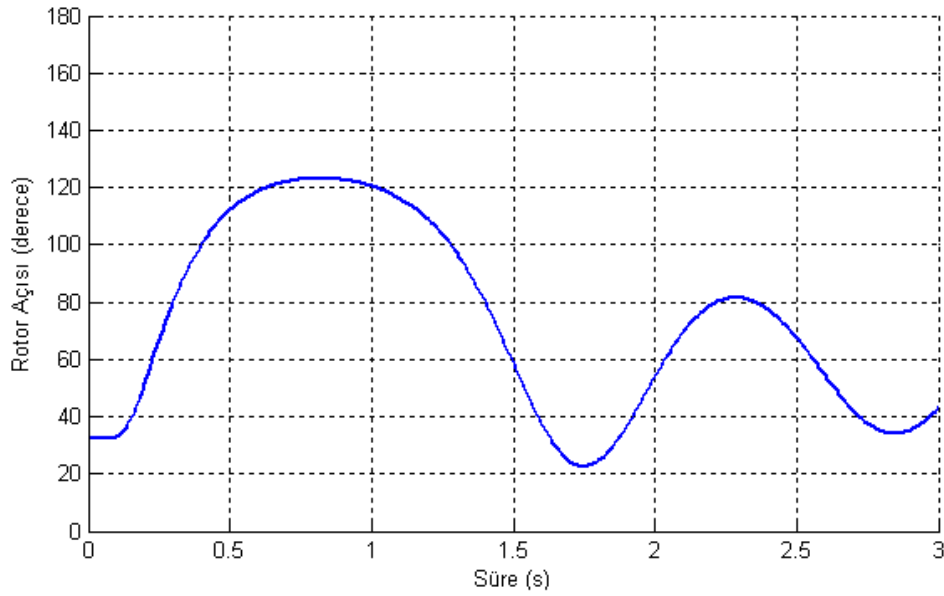
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$H=3.25$ için



Şekil 4.15. $H=3.25$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.16. $H=3.25$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,7 saniyede ilk salınımı, 2,8 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Sistem kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

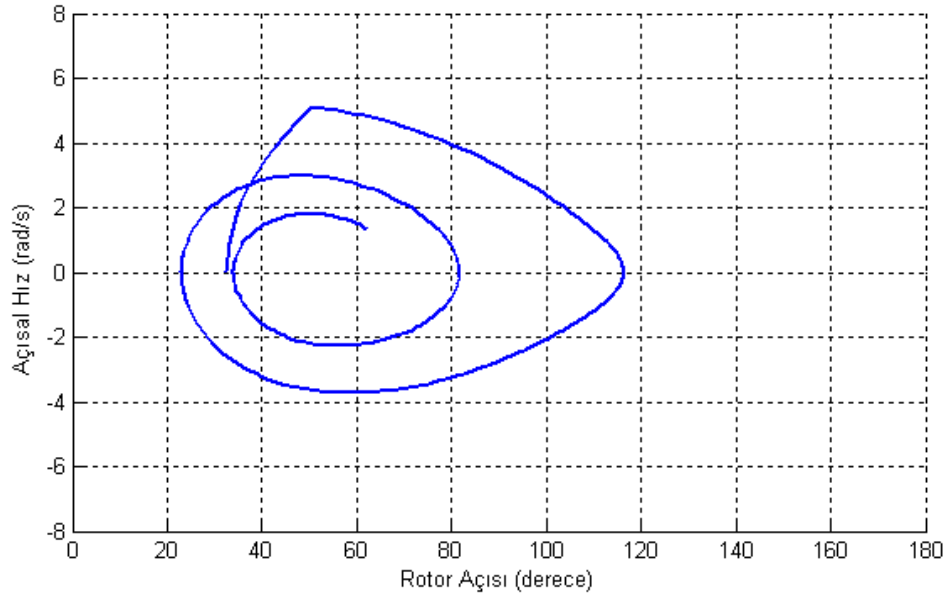
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

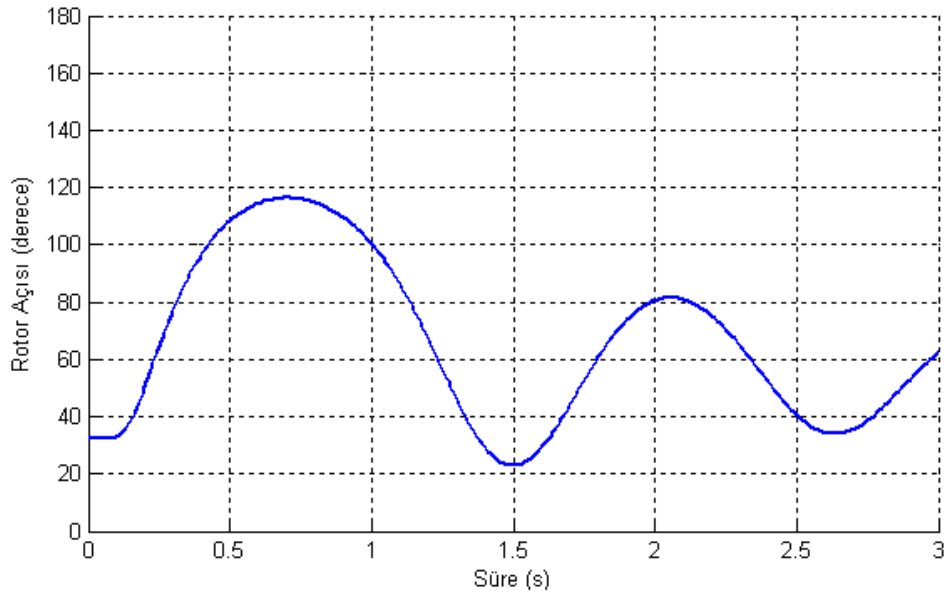
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$H=3.5$ için



Şekil 4.17. $H=3.5$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.18. $H=3.5$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,5 saniyede ilk salınımı, 2,6 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Sistem kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

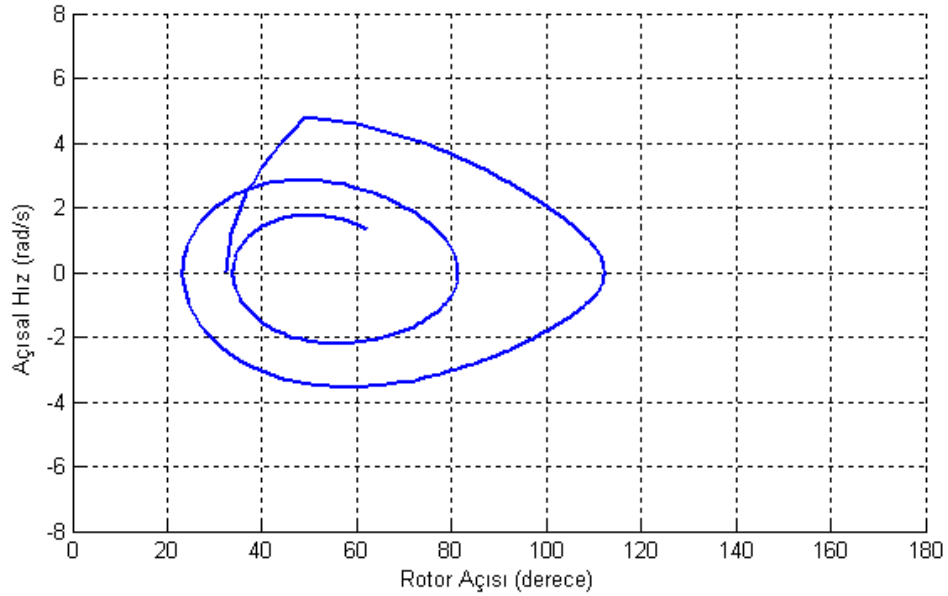
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

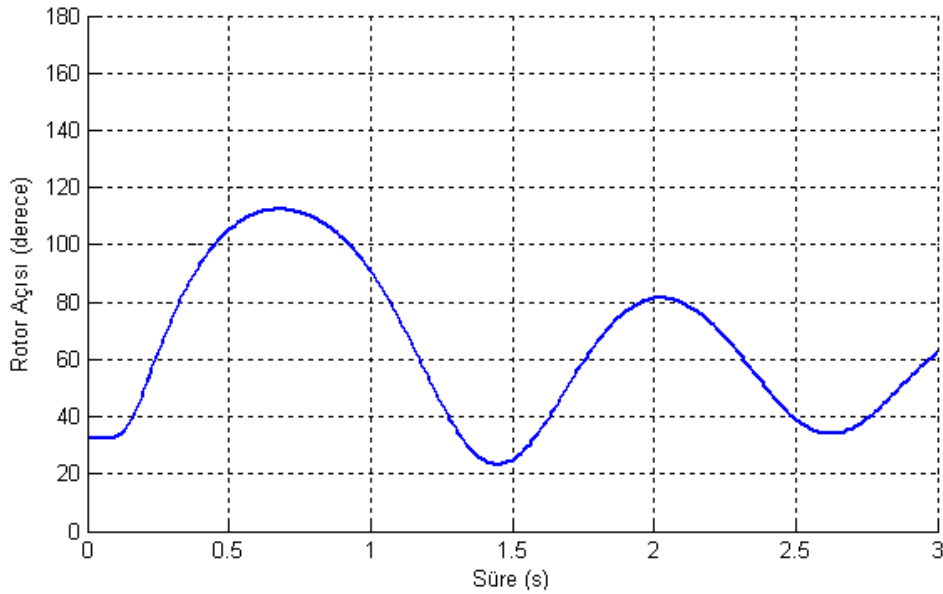
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$H=3.75$ için



Şekil 4.19. $H=3.75$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.20. $H=3.75$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,5 saniyede ilk salınımı, 2,6 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Sistem kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

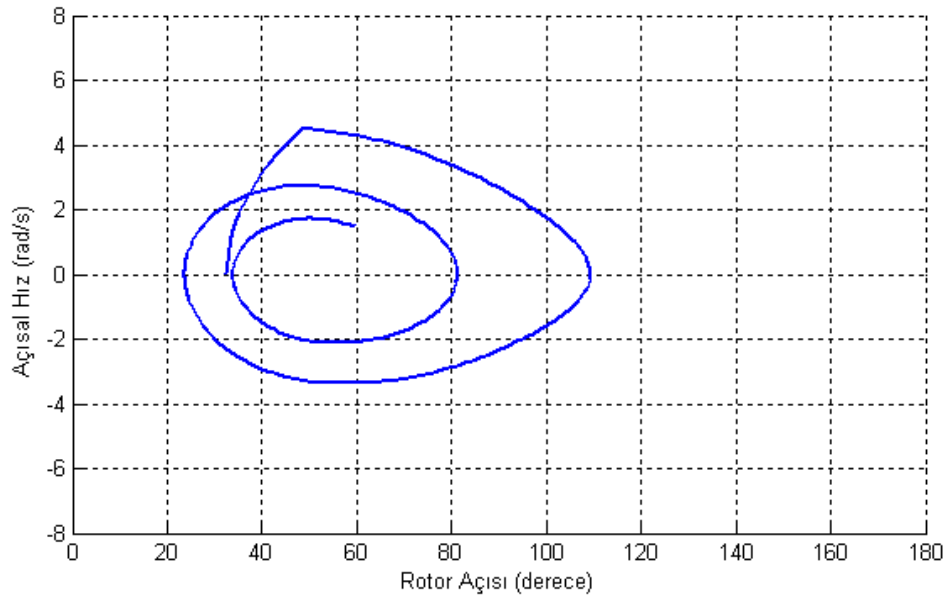
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

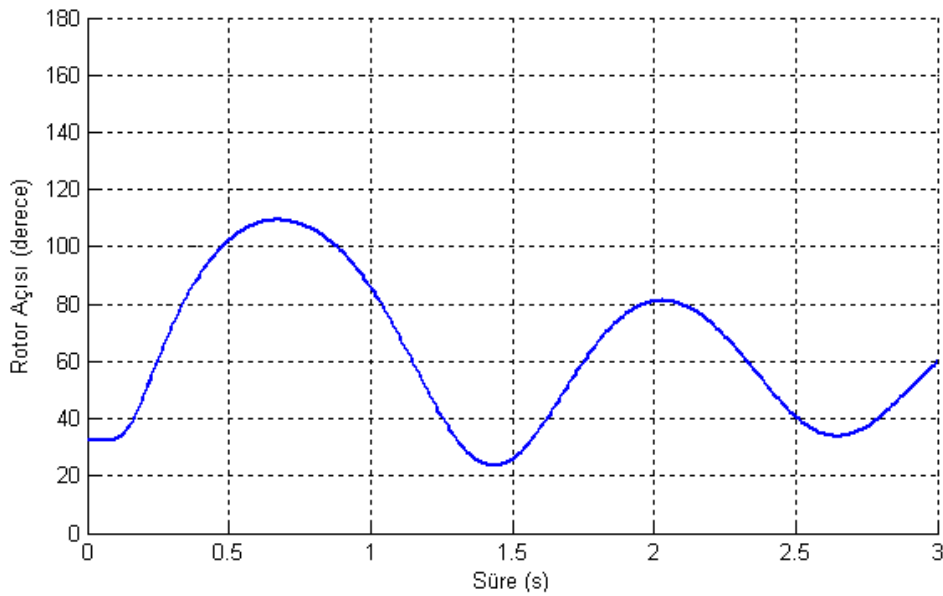
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

H=4 için



Şekil 4.21. H=4 için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.22. H=4 için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,4 saniyede ilk salınımı, 2,6 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Sistem kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

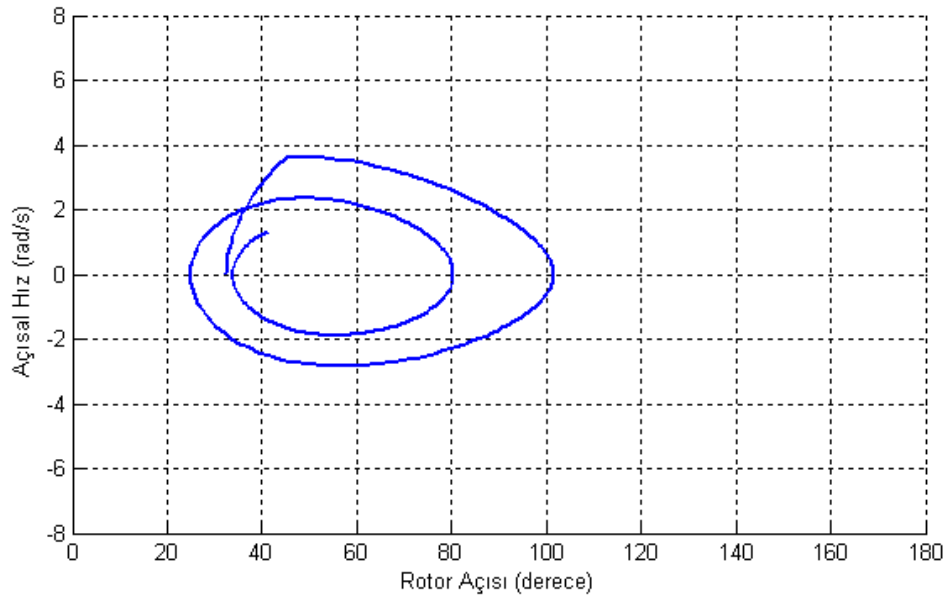
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

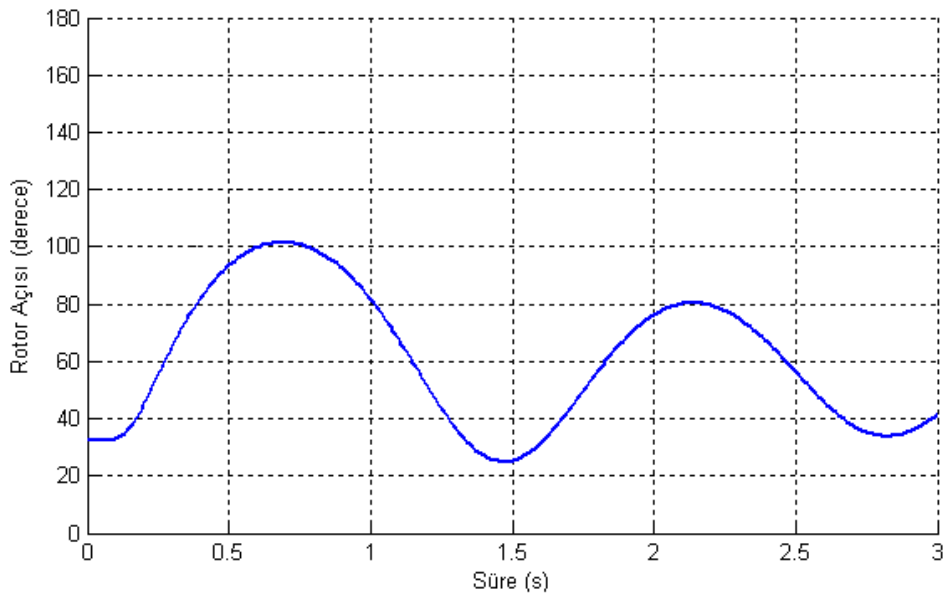
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

H=5 için



Şekil 4.23. H=5 için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.24. H=5 için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,5 saniyede ilk salınımı, 2,8 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Rotor açısının ikinci salınım süresi uzamıştır ancak rotor açısı azalmıştır ve sistem daha kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

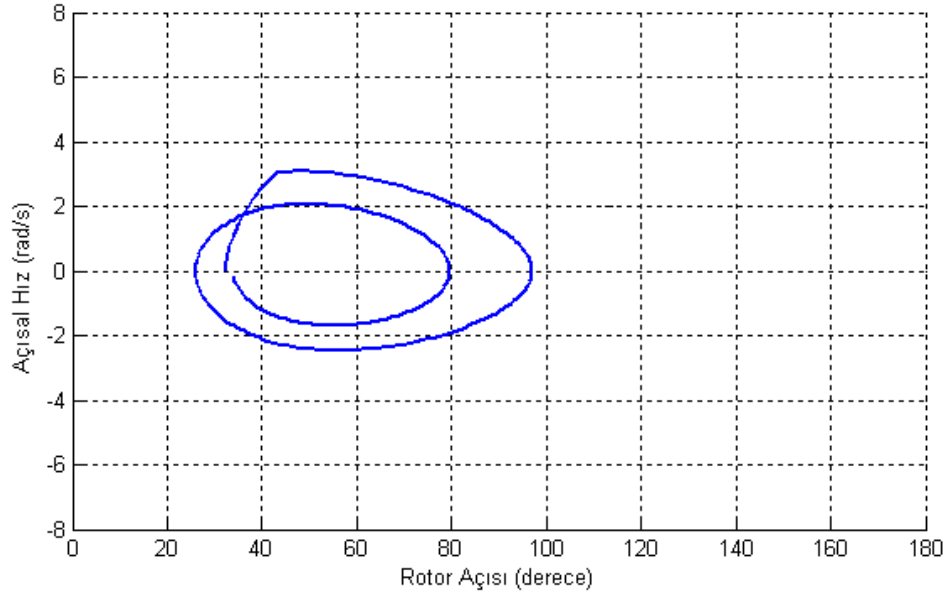
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

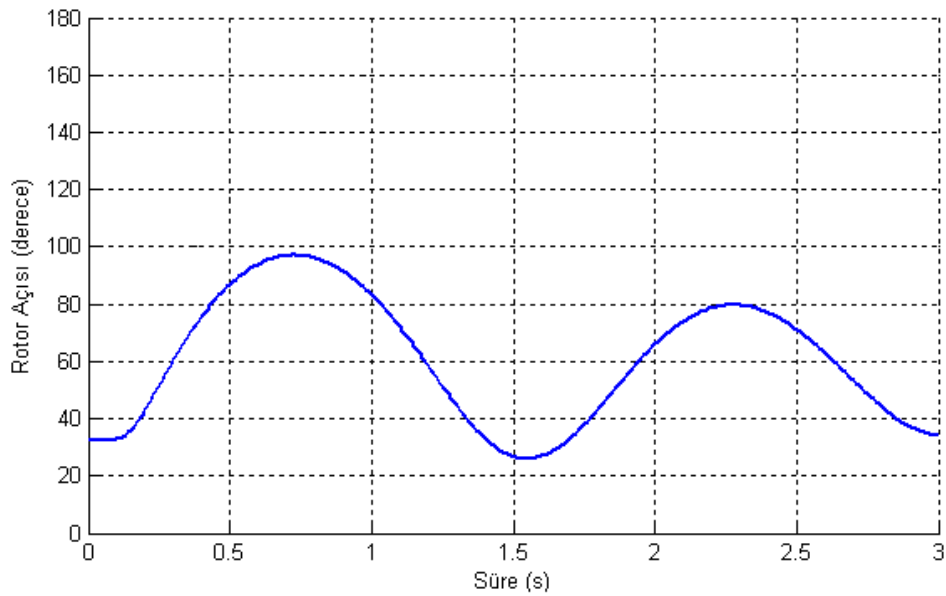
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

H=6 için



Şekil 4.25. H=6 için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.26. H=6 için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,5 saniyede ilk salınımı, 3 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Rotor açısının ikinci salınım süresi uzamıştır ancak rotor açısı azalmıştır ve sistem daha kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

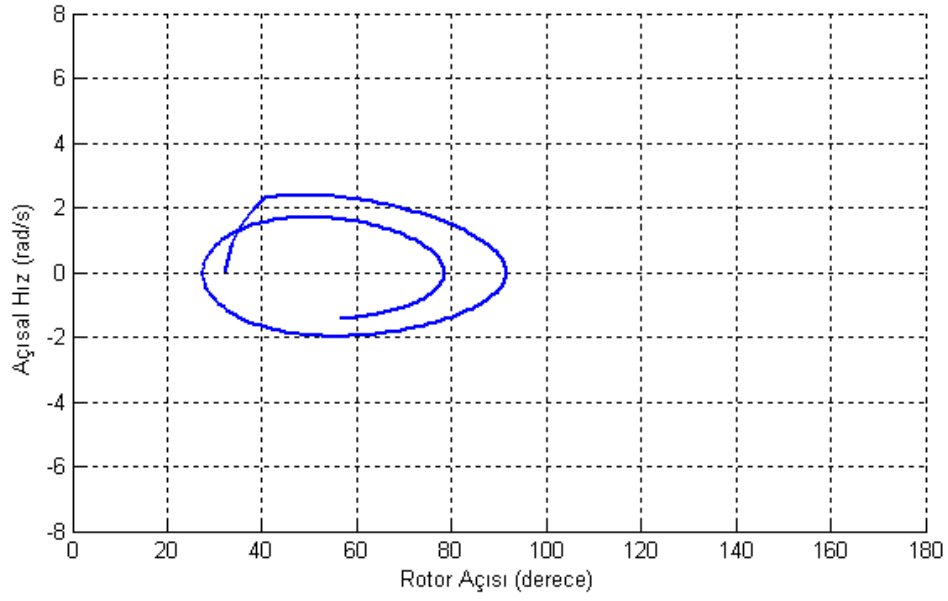
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

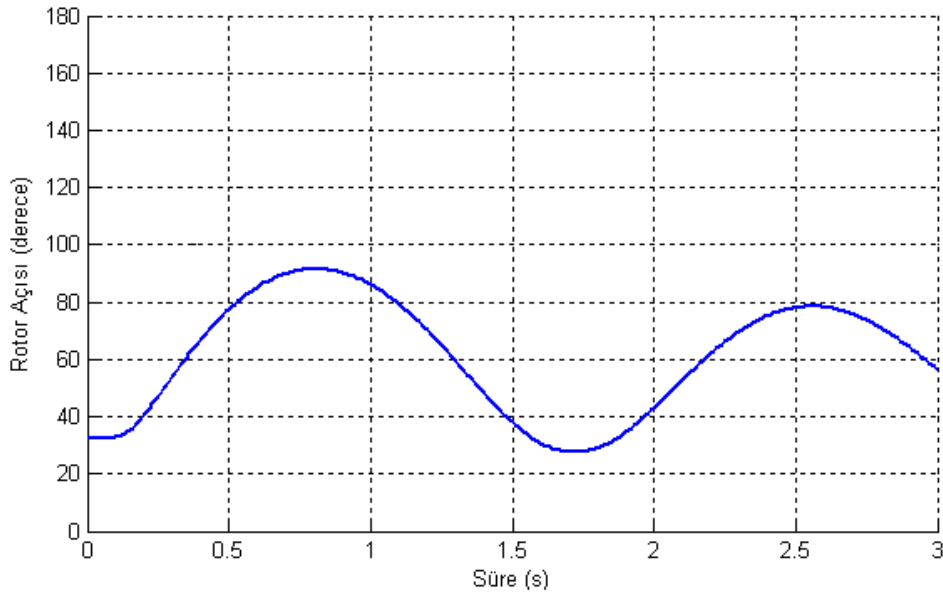
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

H=8 için



Şekil 4.27. H=8 için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.28. H=8 için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,7 saniyede ilk salınımı yapıyor. Rotor açısı azalmıştır ve sistem daha kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

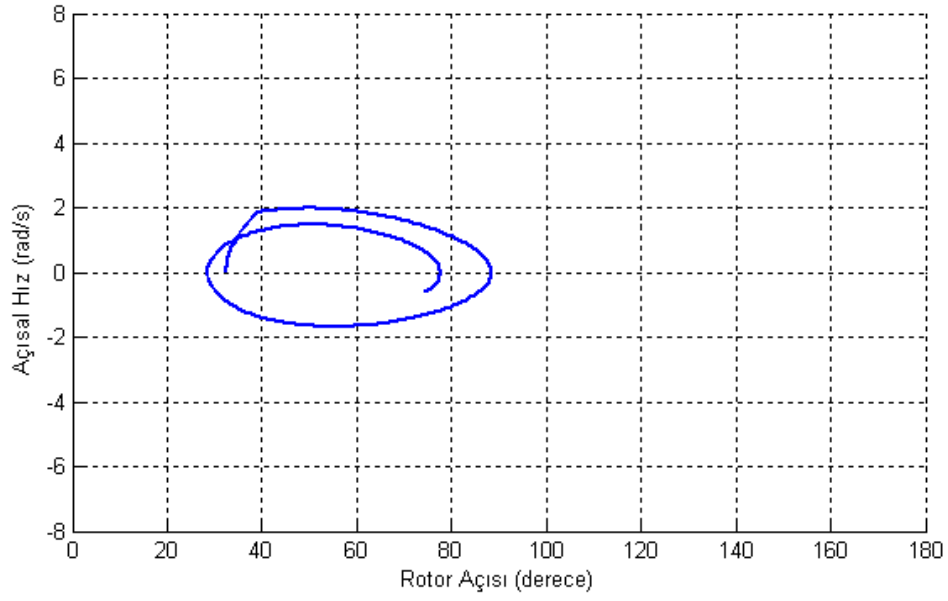
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

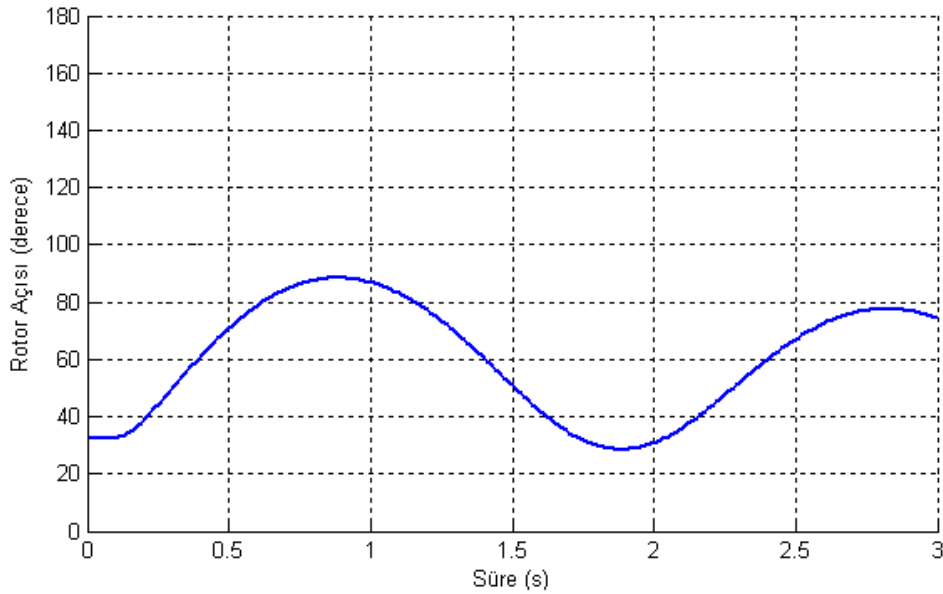
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

H=10 için



Şekil 4.29. H=10 için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.30. H=10 için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,9 saniyede ilk salınımı yapıyor. Rotor açısı daha da azalmıştır ve sistem daha kararlıdır.

Şekil 4.1-Şekil 4.30’de sistemin bütün parametreleri sabit iken sadece senkron makine sabiti değişimine göre rotor açısı kararlılığı izlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.2.de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. Senkron makine sabiti değişimine göre rotor açısı kararlılığı tablosu

H	HTS	D	YKS	Mekanik güç	Hata öncesi elektrik gücü	Hata sonrası elektrik gücü	Sonuç	Rotor Açısı Aralığı	Açısal Hız Aralığı (rad/sn)
3	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	32-∞	0 6
3.15	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	34-∞	0 5.8
3.18	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	34-∞	0 5.7
3.19	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	34-∞	0 5.7
3.1994894	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	34-126	0 5.7
3.1995	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	34-126	-4 5.7
3.2	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	22-126	-4 5.7
3.25	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	22-124	-4 5.6
3.5	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	22-116	-3.8 5.2
3.75	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	22-112	-3.6 5
4	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	22-110	-3.2 4.6
5	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	24-101	-2.8 3.8
6	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	26-96	-2.4 3.2
8	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	26-92	-2 2.4
10	6	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	28-88	-1.8 2

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için;

Sönümlenme sabiti: 0.02 , Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot) , Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot , Mekanik güç: 1 p.u.,

olarak sabit generatör değerleri verilmiştir. Senkron makine sabitinin çeşitli büyüklükleri için rotor açısı kararlılığı incelenmiştir.

Şekil 4.1-Şekil 4.30’da görüldüğü gibi senkron makine sabiti H değeri büyüdükçe;

- rotor açısının salınımı azalıyor ve daha kısa sürede kararlı hale geliyor.

- açısal hız daha küçük aralıklarda salınım yapıyor.

- Rotor açısı salınım aralığı daralıyor.

Senkron makine sabiti H değeri büyüdükçe sistem daha kararlı hale gelmiştir.

4.2. Sönümleme Sabiti Etkisi

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

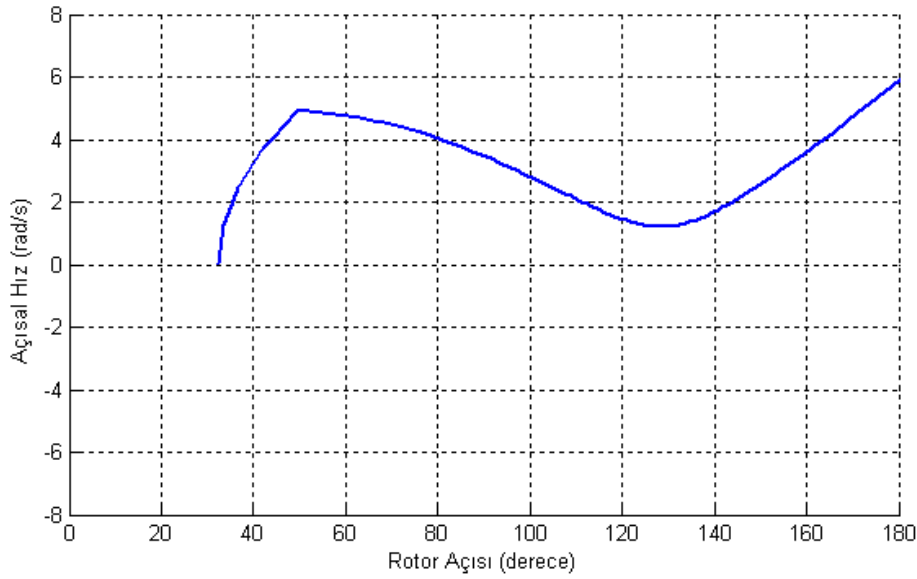
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

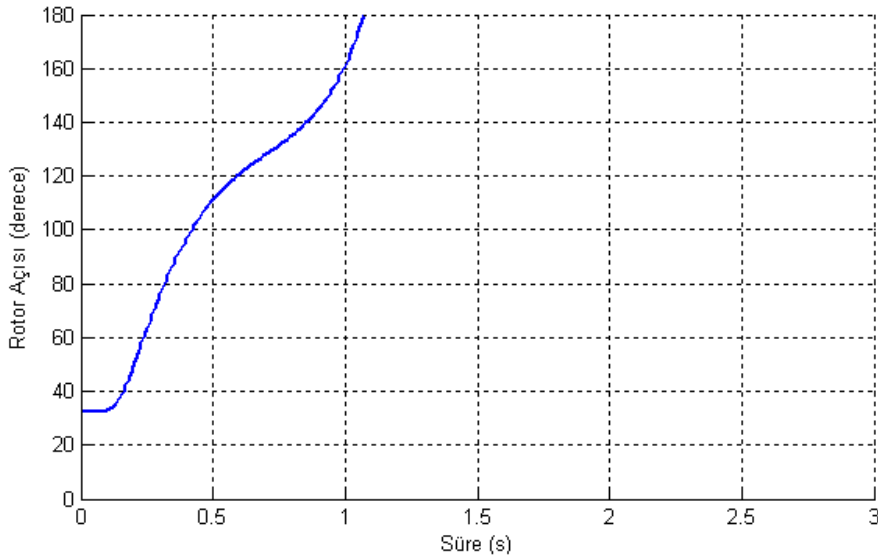
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$D=0.01$ için



Şekil 4.31. $D=0.01$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.32. $D=0.01$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1 saniyeden sonra kaçtı. Bu değerler için verilen sönümleme sabiti yeterli değildir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

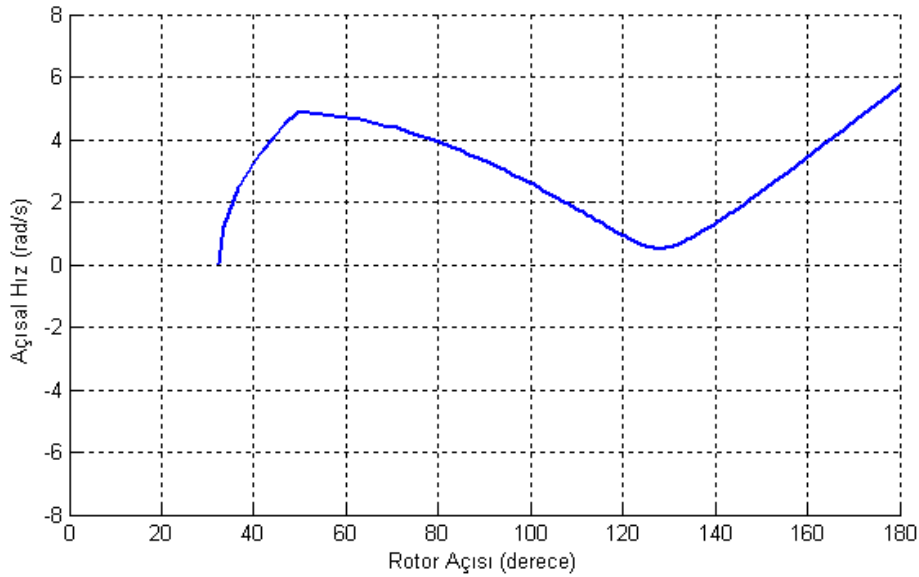
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

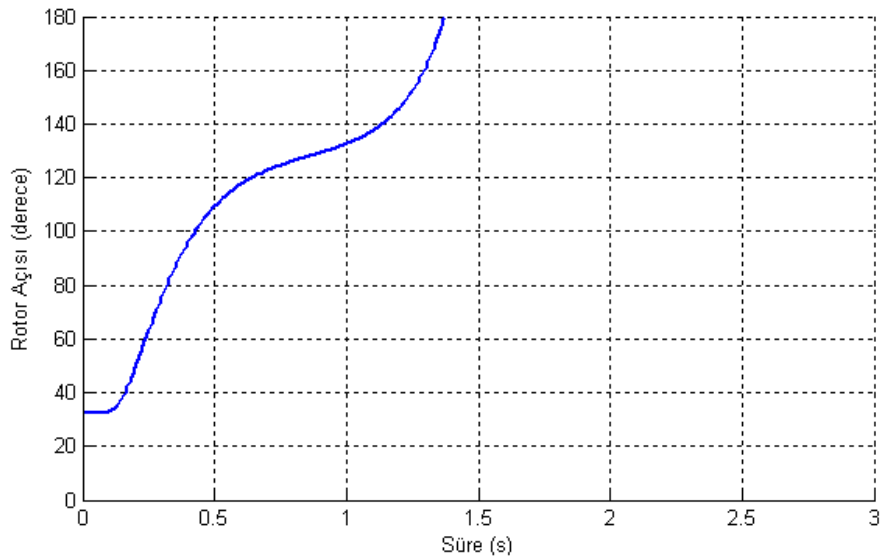
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$D=0.013$ için



Şekil 4.33. $D=0.013$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.34. $D=0.013$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1.3 saniyeden sonra kaçtı. Bu değerler için verilen sönümleme sabiti yeterli değildir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

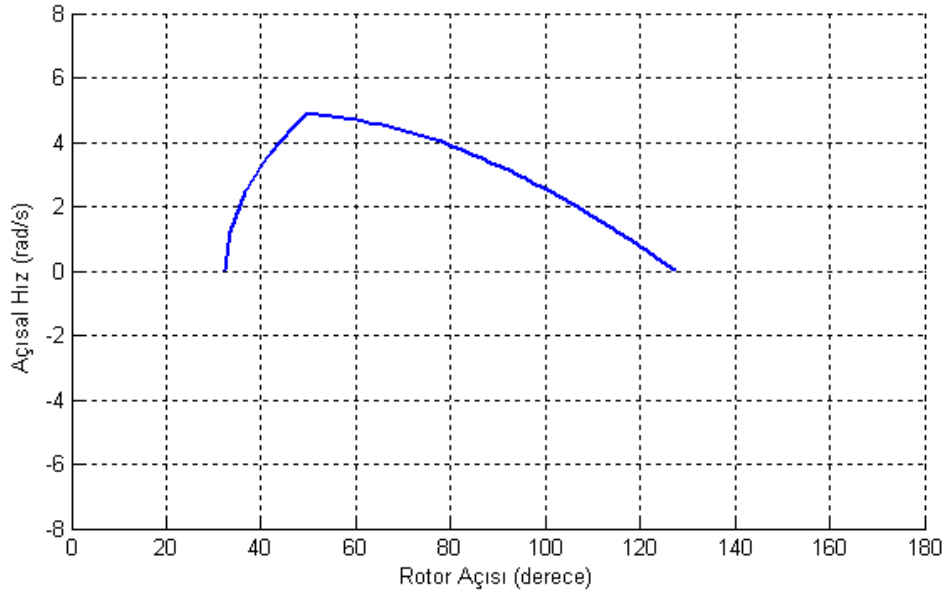
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

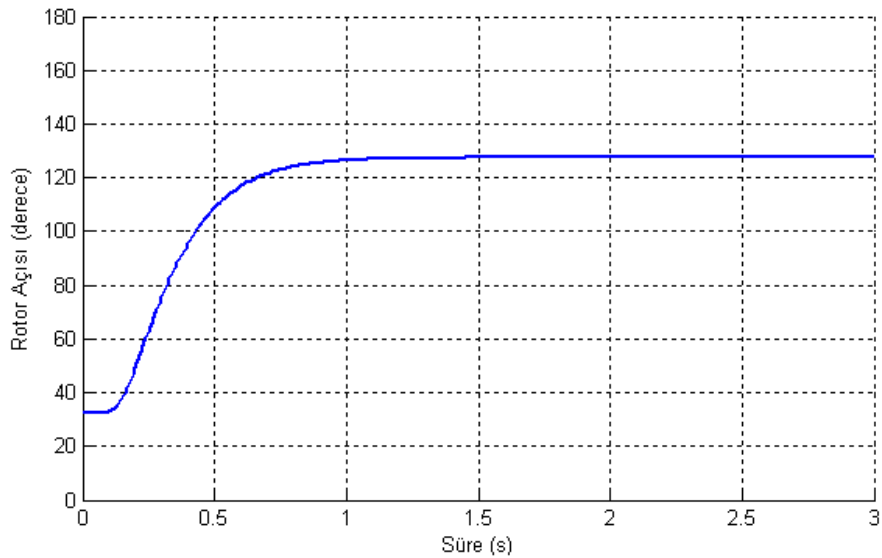
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$D=0.013780048$ için



Şekil 4.35. $D=0.013780048$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.36. $D=0.013780048$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı kaçmamıştır ancak kararlı hale de gelememiştir. Bu değerler için verilen sönümlenme sabiti eşik değerdedir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

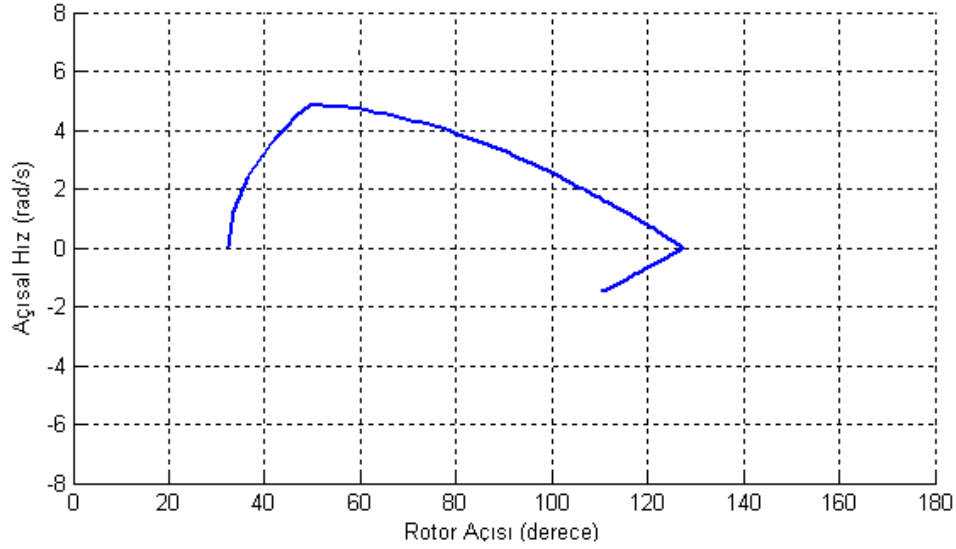
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

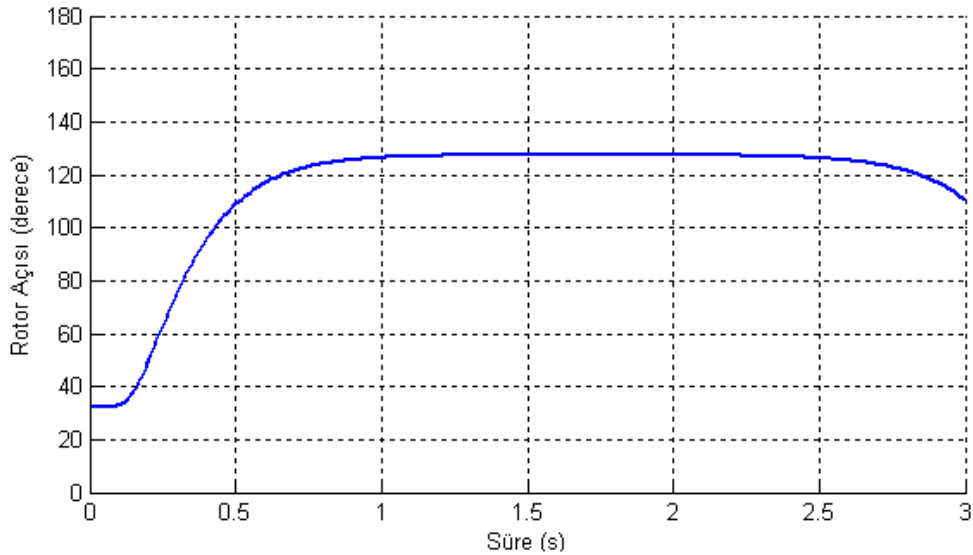
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$D=0.01337801$ için



Şekil 4.37. $D=0.0137801$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.38. $D=0.0137801$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı kaçmamıştır ancak 3 sn sonra salınım yapmaya başlamıştır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

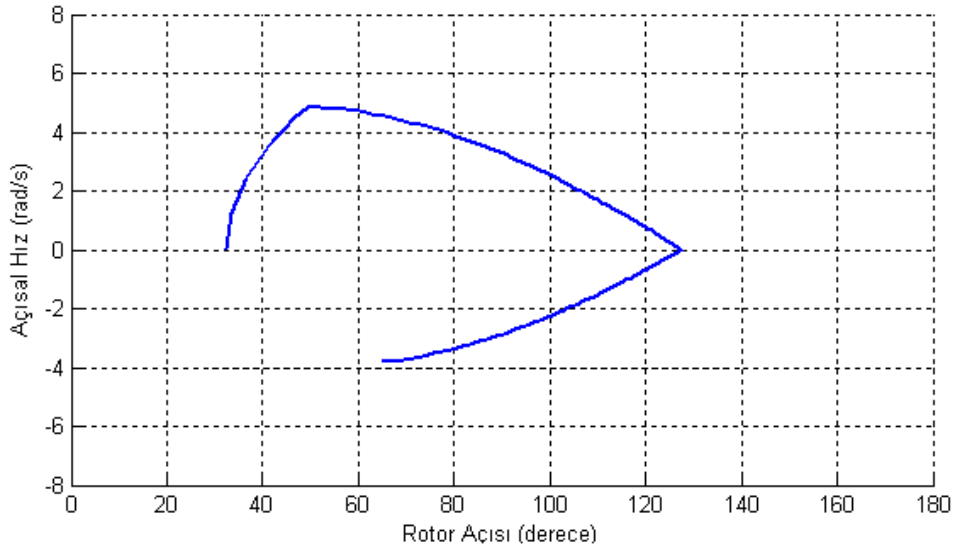
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

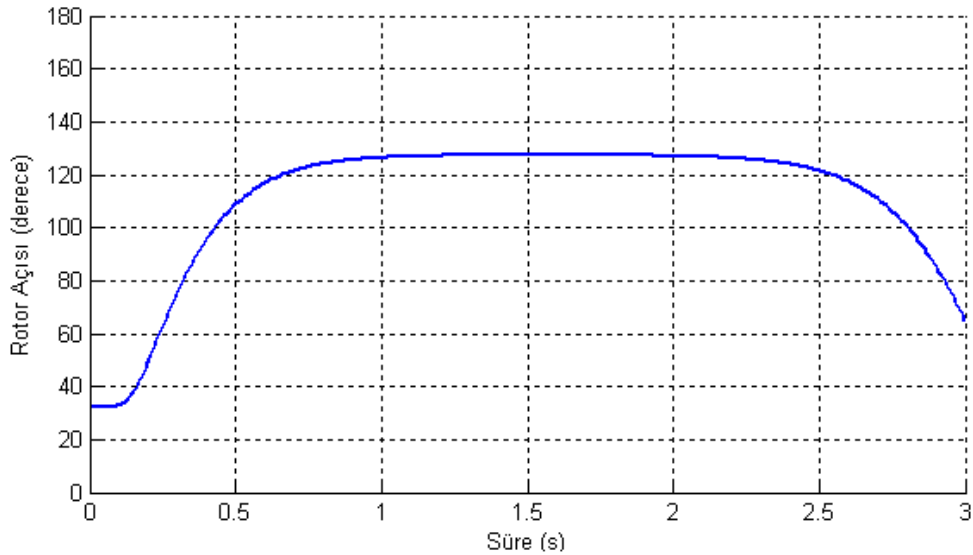
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$D=0.01337803$ için



Şekil 4.39. $D=0.0137803$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.40. $D=0.0137803$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 3 saniyeden sonra ilk salınımı yapıyor. Artık verilen değerler için sönümlenme sabiti kararlılık eşik değeri aşılmıştır. Sistem kararlılığı başlamıştır ancak sistem geç toparlanmaktadır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

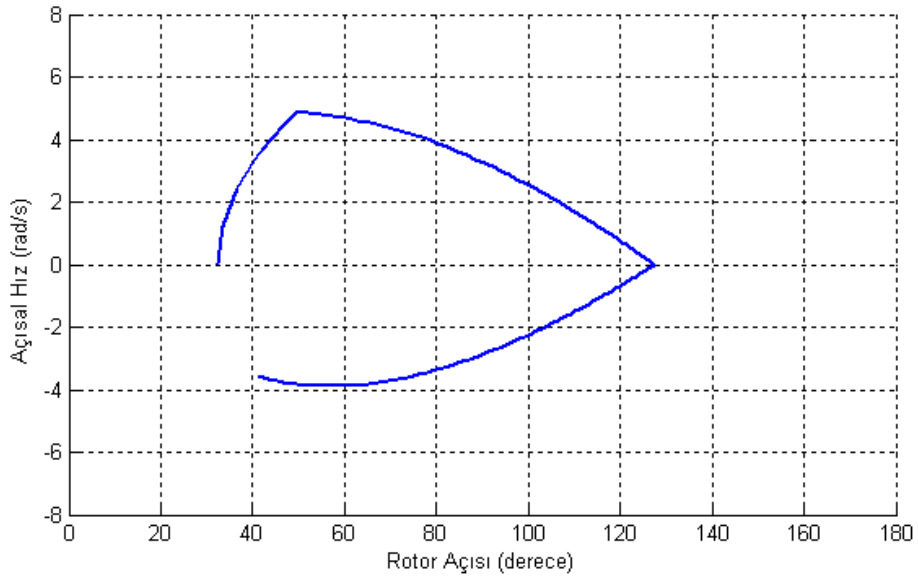
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

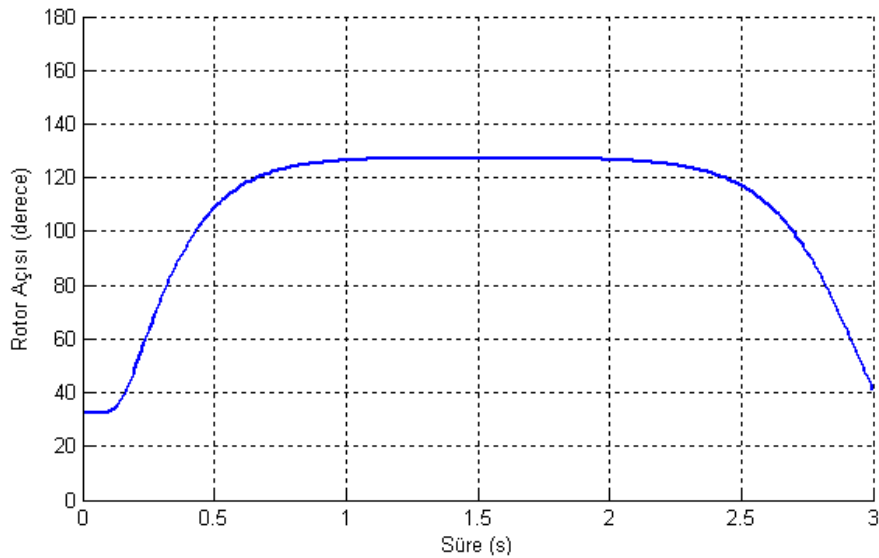
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$D=0.0137805$ için



Şekil 4.41. $D=0.0137805$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.42. $D=0.0137805$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 2,5 saniyede ilk salınımı yapıyor. Sistem kararlılığı başlamıştır ancak sistem geç toparlanmaktadır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

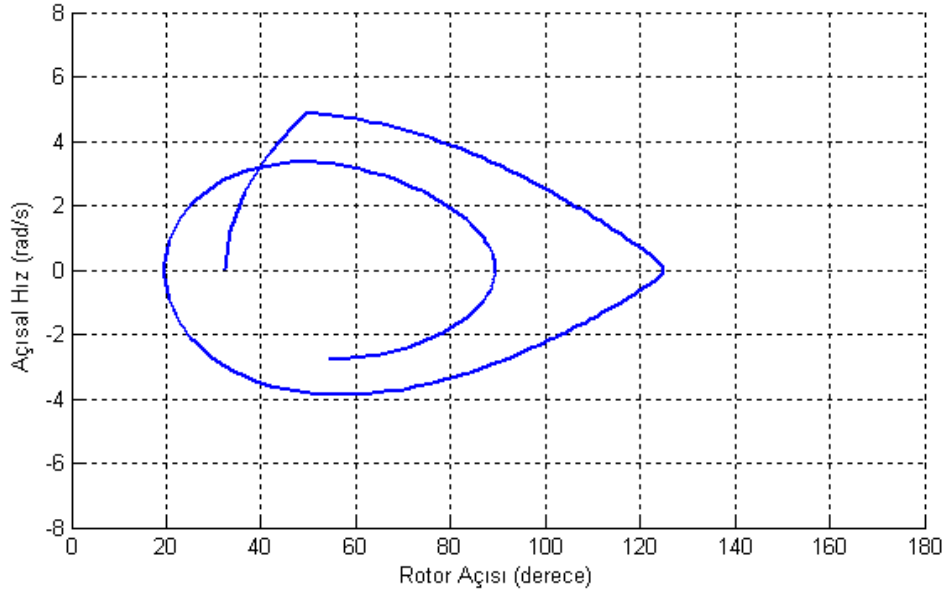
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

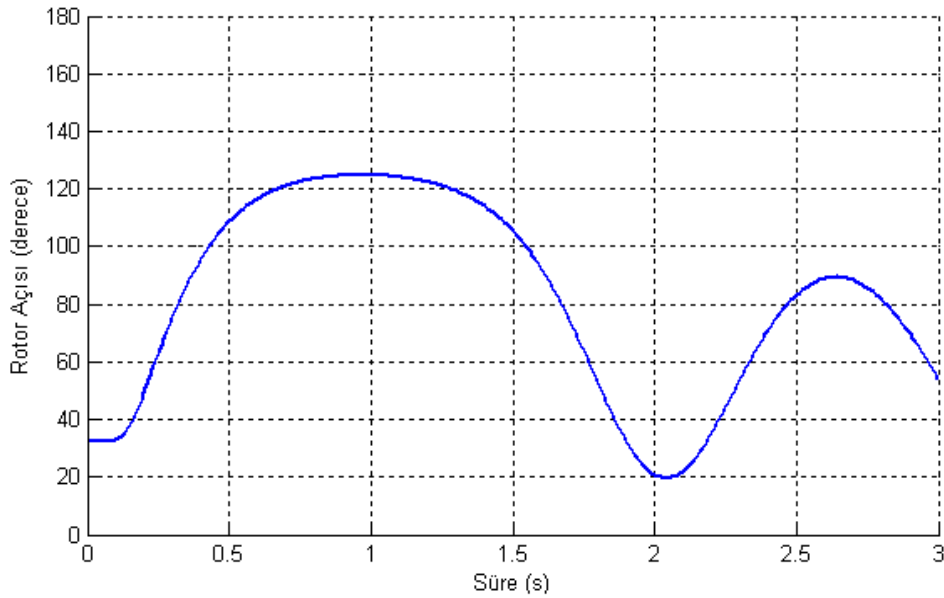
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$D=0.014$ için



Şekil 4.43. $D=0.014$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.44. $D=0.014$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 2 saniyede ilk salınımı yapıyor. Sistem kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

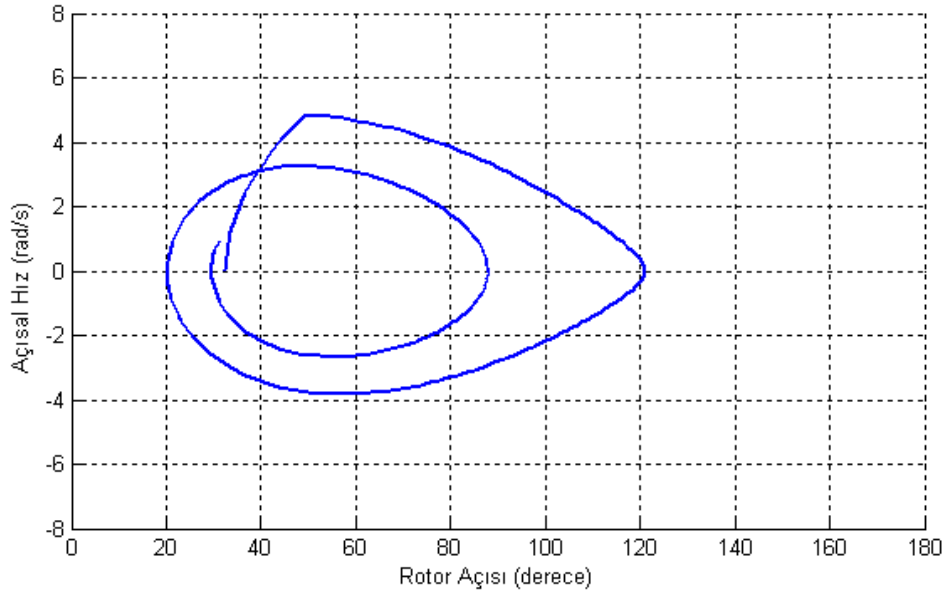
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

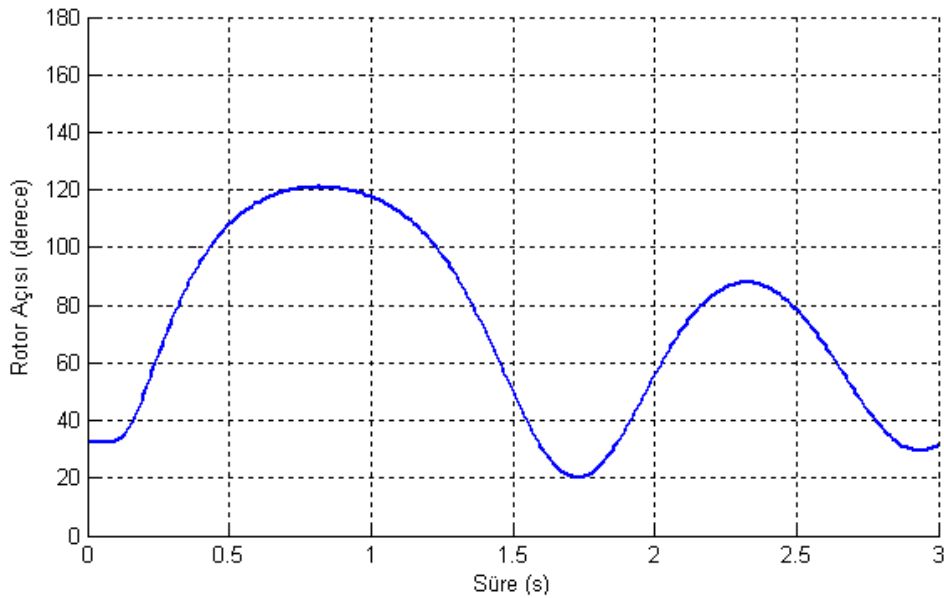
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$D=0.015$ için



Şekil 4.45. $D=0.015$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.46. $D=0.015$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,7 saniyede ilk salınımı, 2,9 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Sistem kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

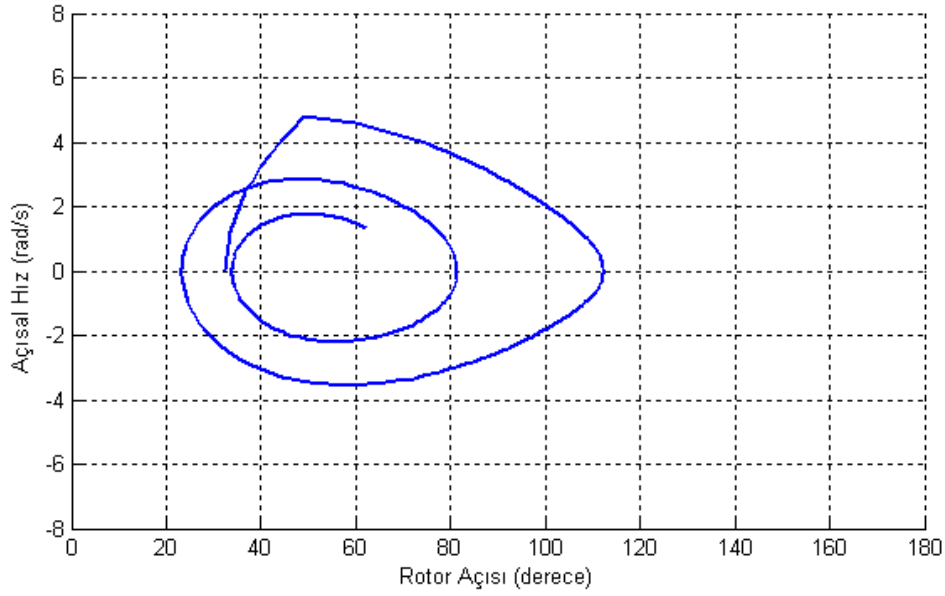
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

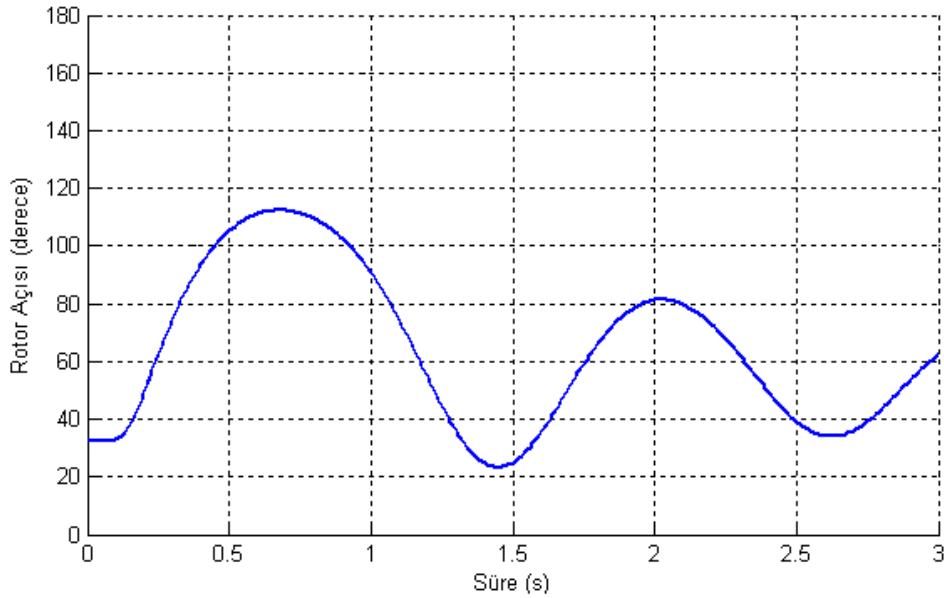
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$D=0.02$ için



Şekil 4.47. $D=0.02$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.48. $D=0.02$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,5 saniyede ilk salınımı, 2,6 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Sistem kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

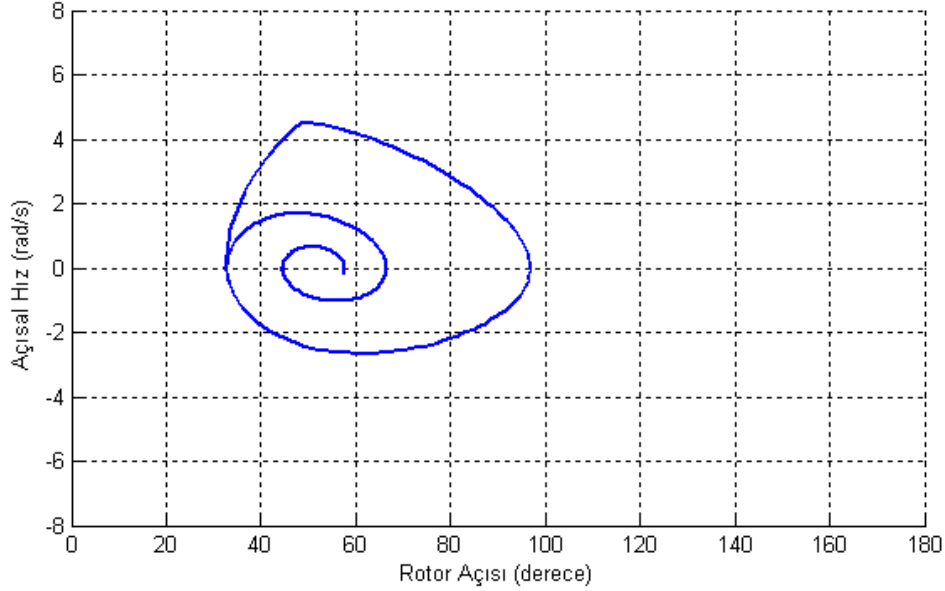
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

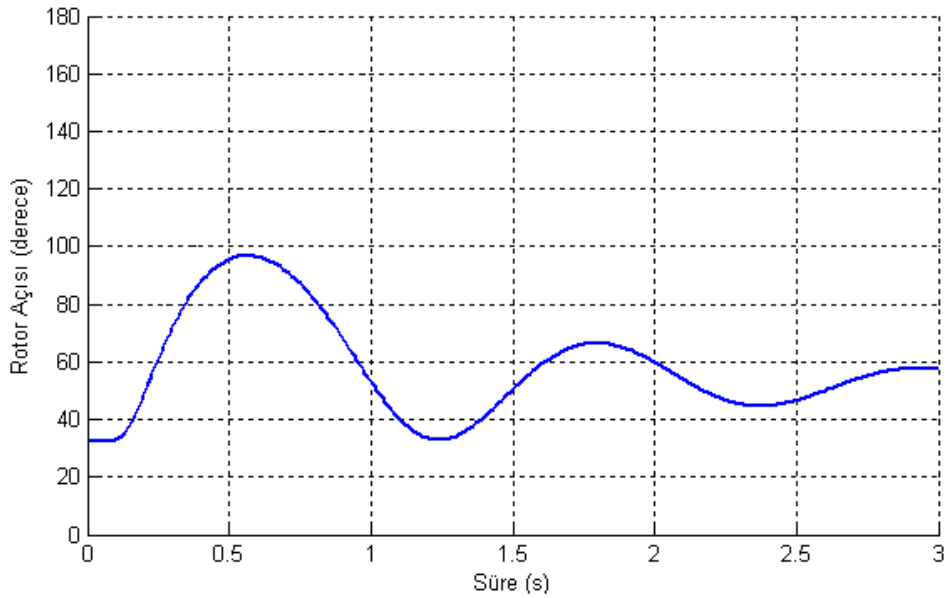
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$D=0.04$ için



Şekil 4.49. $D=0.04$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.50. $D=0.04$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,2 saniyede ilk salınımı, 2,4 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Sistem kararlıdır. Sistem artık daha erken kararlı hale geçiyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

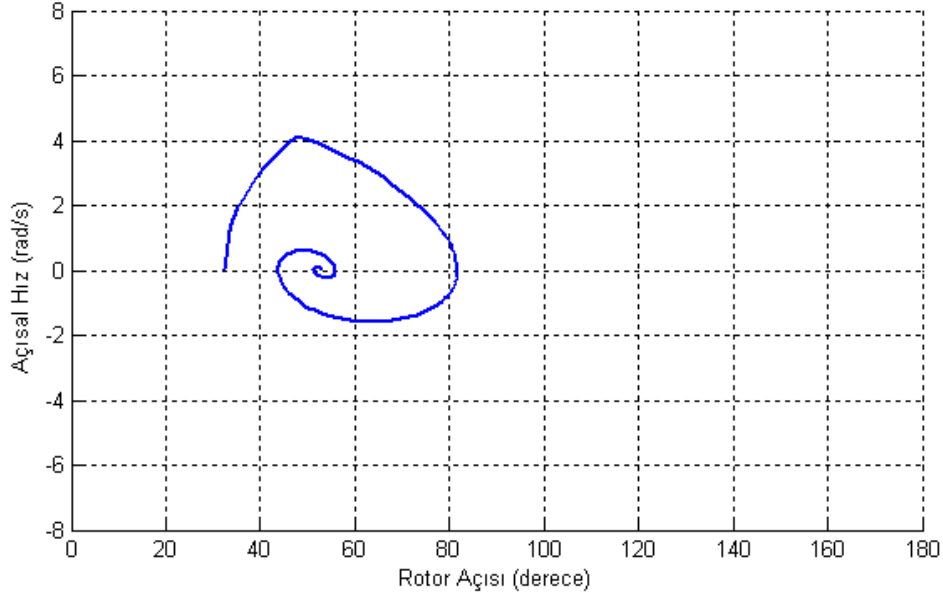
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

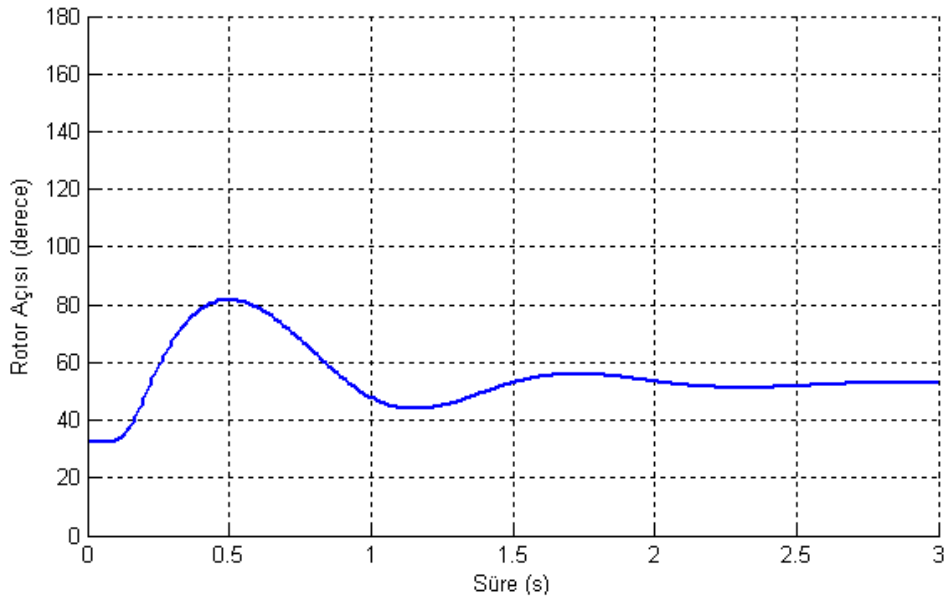
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

$D=0.08$ için



Şekil 4.51. $D=0.08$ için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.52. $D=0.08$ için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,2 saniyede ilk salınımı, 2,4 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Sistem 3 saniyede tamamen kararlı hale geçmiştir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

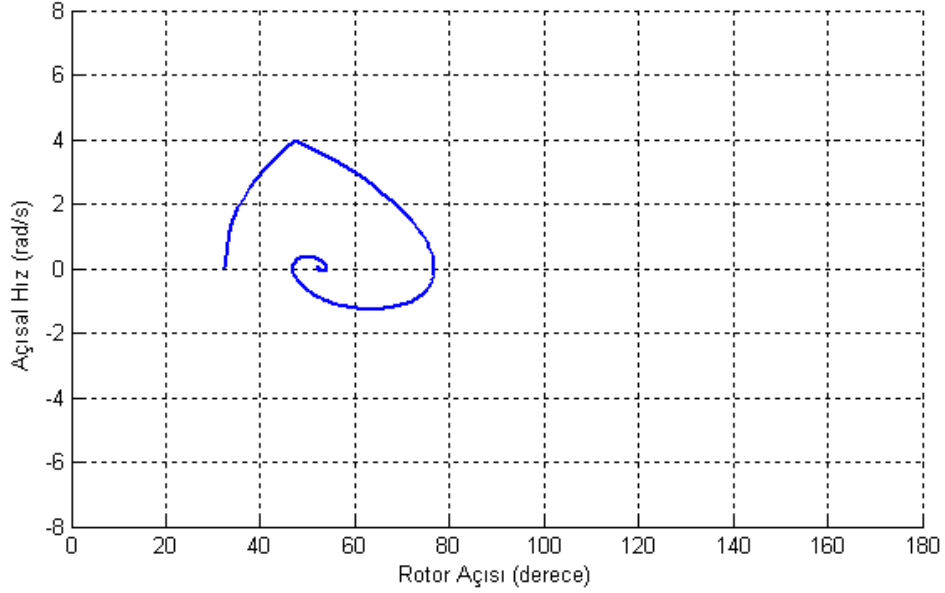
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

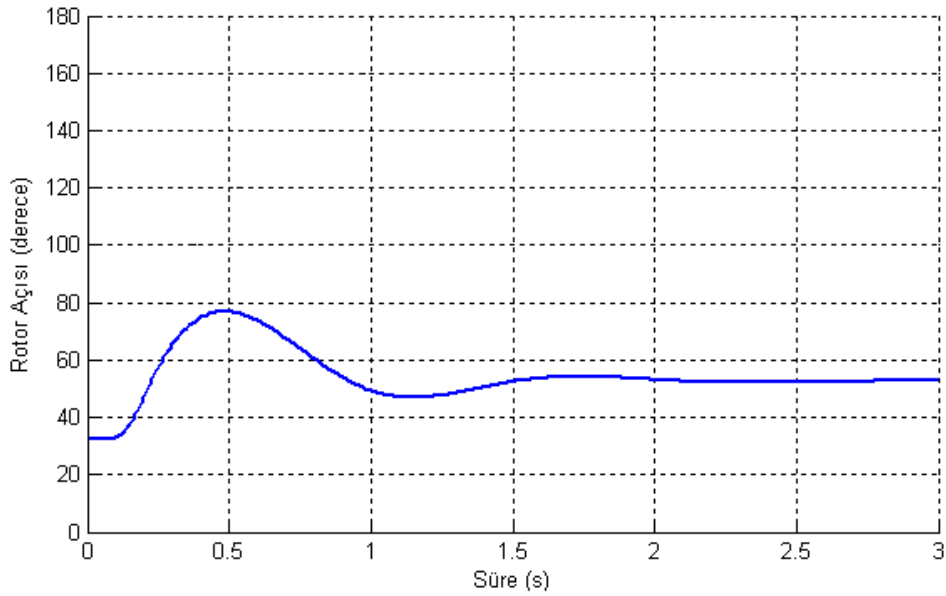
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

D=0.1 için



Şekil 4.53. D=0.1 için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.54. D=0.1 için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,1 saniyede ilk salınımı, 2,2 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Sistem 3 saniyede tamamen kararlı hale geçmiştir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

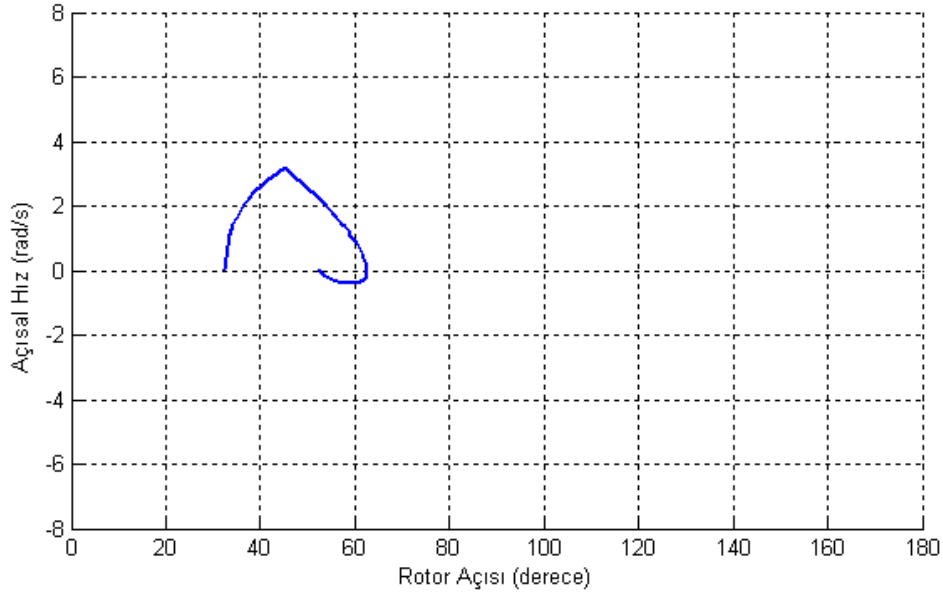
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

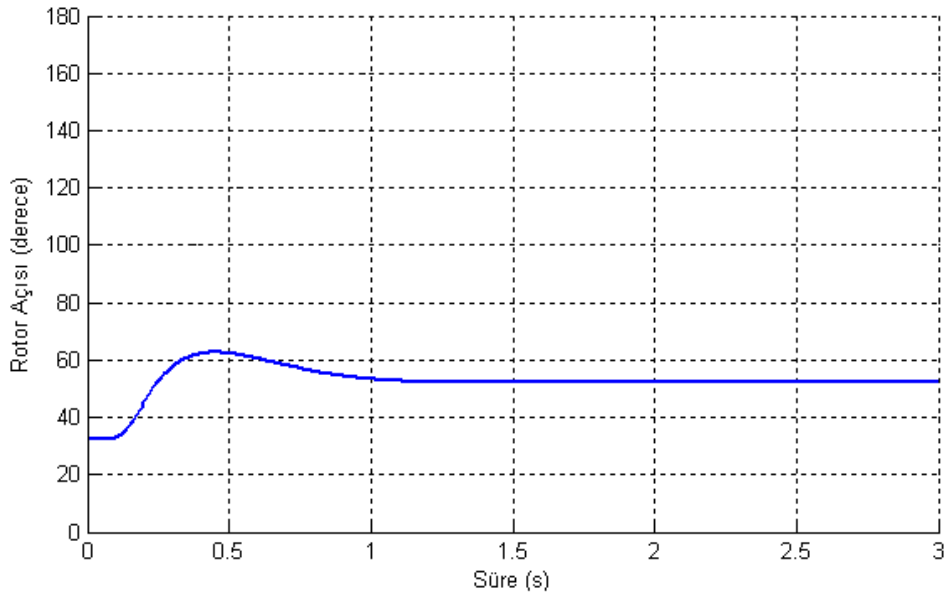
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

D=0.2 için



Şekil 4.55. D=0.2 için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.56. D=0.2 için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1 saniyede kararlı hale gelmiştir. Sönümlenme değeri oldukça fazladır, sistem neredeyse hiç salınmamıştır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

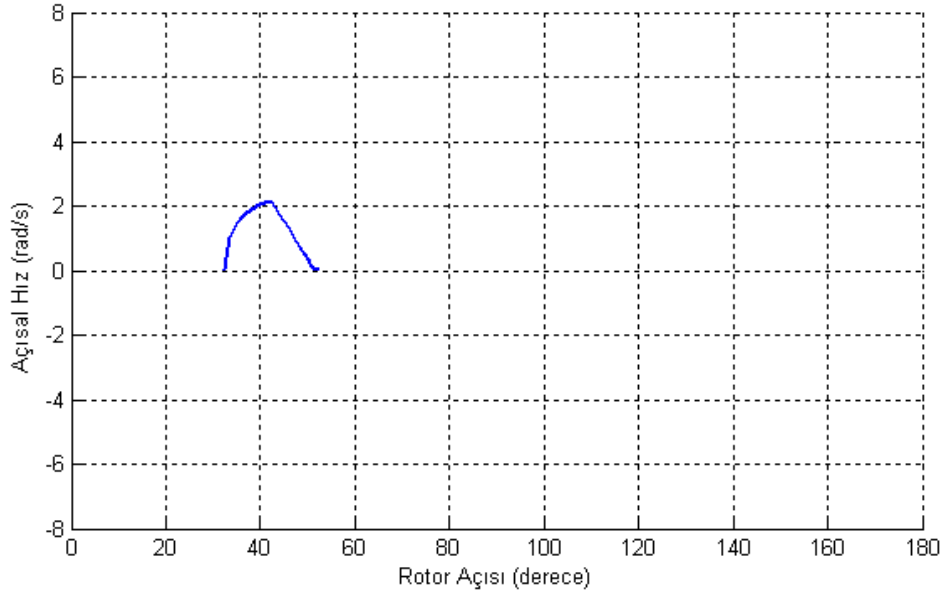
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

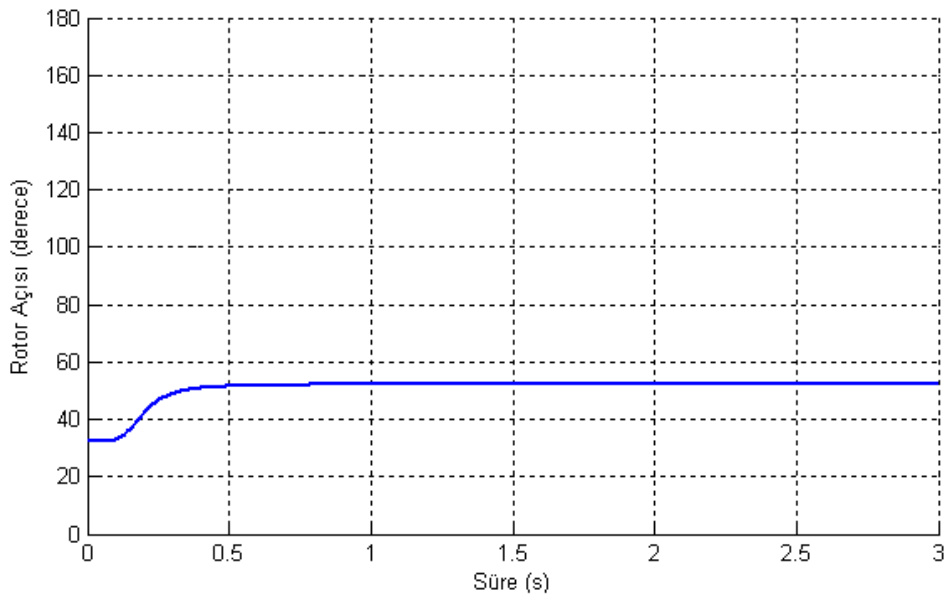
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

D=0.4 için



Şekil 4.57. D=0.4 için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.58. D=0.4 için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 0.5 saniyede kararlı hale gelmiştir. Sönümlenme çok fazladır, Görüldüğü gibi sistemin salınmasına müsaade etmemiştir.

Şekil 4.31-Şekil 4.58’de sistemin bütün parametreleri sabit iken sadece sönümlenme sabiti değişimine göre rotor açısı kararlılığı izlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.3.de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Sönümlenme sabiti değişimine göre rotor açısı kararlılığı tablosu

D	H	HTS	YKS	Mekanik güç	Hata öncesi elektrik gücü	Hata sonrası elektrik gücü	Sonuç	Rotor Açısı Aralığı	Açısal Hız Aralığı
0.01	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	32-∞	0 5.2
0.013	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	34-∞	0 5
0.013780048	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	34-126	0 5
0.0137805	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	34-126	-4 5
0.014	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	20-124	-4 5
0.015	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	20-120	-3.9 5
0.02	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	22-112	-3.6 4.8
0.04	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	32-96	-2.6 4.6
0.08	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	34-82	-1.6 4
0.1	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	34-76	-1.2 4
0.2	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	34-62	-0.2 3.2
0.4	3.75	6	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	34-52	0 2

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için;

Senkron makine sabiti: 3.75 , Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot) , Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot , Mekanik güç: 1 p.u.,

olarak sabit generatör değerleri verilmiştir. Sönümlenme sabitinin çeşitli büyüklükleri için rotor açısı kararlılığı incelenmiştir.

Şekil 4.31-Şekil 4.58’de görüldüğü gibi senkron sönümlenme sabiti D değeri büyüdükçe;

- rotor açısının zamana göre salınımı azalıyor ve daha kısa sürede kararlı hale geliyor.

- açısal hız daha küçük aralıklarda salınım yapıyor.

- Rotor açısı salınım aralığı daralıyor.

Senkron generatörün sönümlenme sabiti büyüdükçe sistem daha kararlı hale gelmiştir.

4.3. Hata Temizleme Süresi Etkisi

Hata temizleme süresi oluşan hatanın giderilme süresidir. Hata temizleme süresi saniye olarak verilebileceği gibi periyot olarak da verilebilir. Bu çalışmada periyot olarak kullanılmıştır. Periyot-saniye arasındaki bağıntı şöyledir:

$$f = \frac{1}{T} \quad (4.2)$$

Türkiye’de kullanılan elektrik frekansı 50 Hz. olduğuna göre bir periyot;

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 20\text{ms} \quad (4.3)$$

olarak hesaplanır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

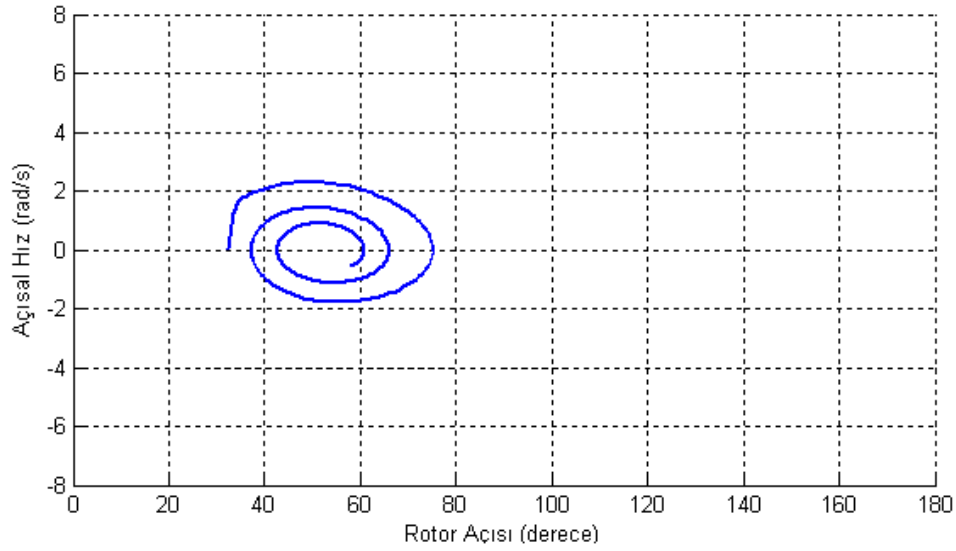
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

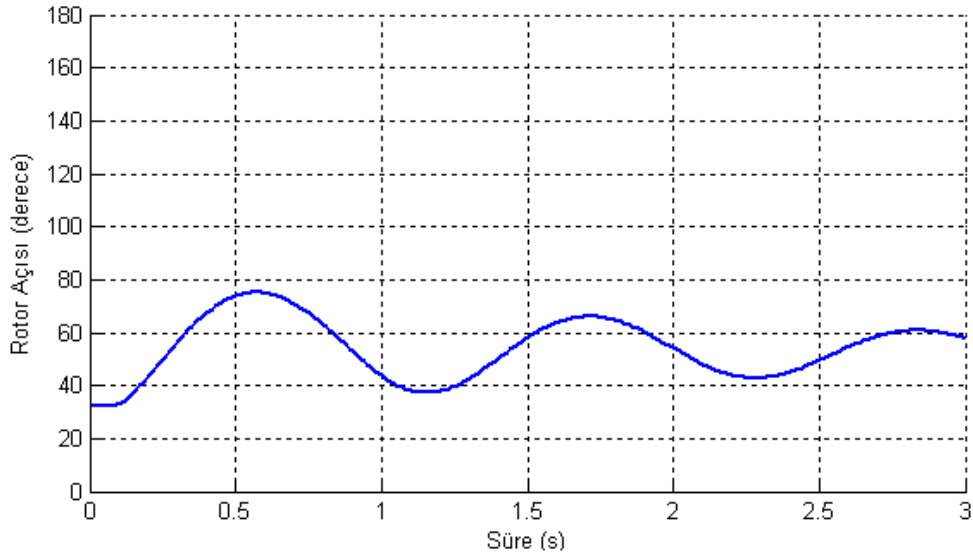
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

HTS=2 periyot için



Şekil 4.59. HTS=2 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.60. HTS=2 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,1 saniyede ilk salınımı, 2,3 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Sistem kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

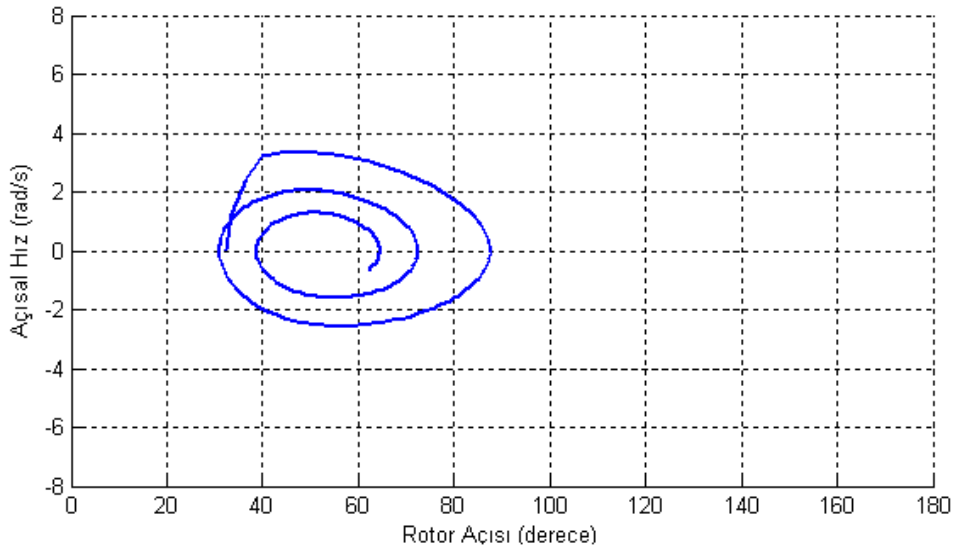
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

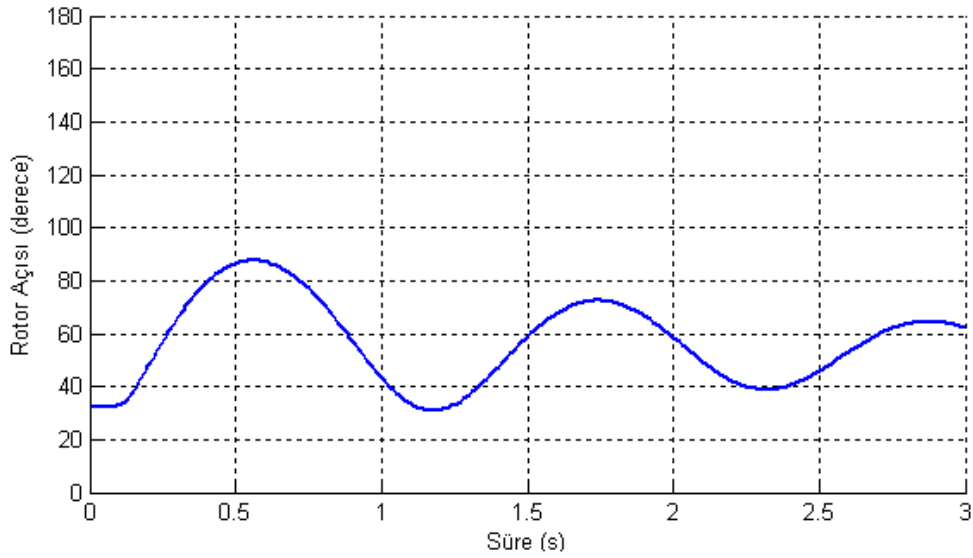
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

HTS=4 periyot için



Şekil 4.61. HTS=4 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.62. HTS=4 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,1 saniyede ilk salınımı, 2,3 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Sistem kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

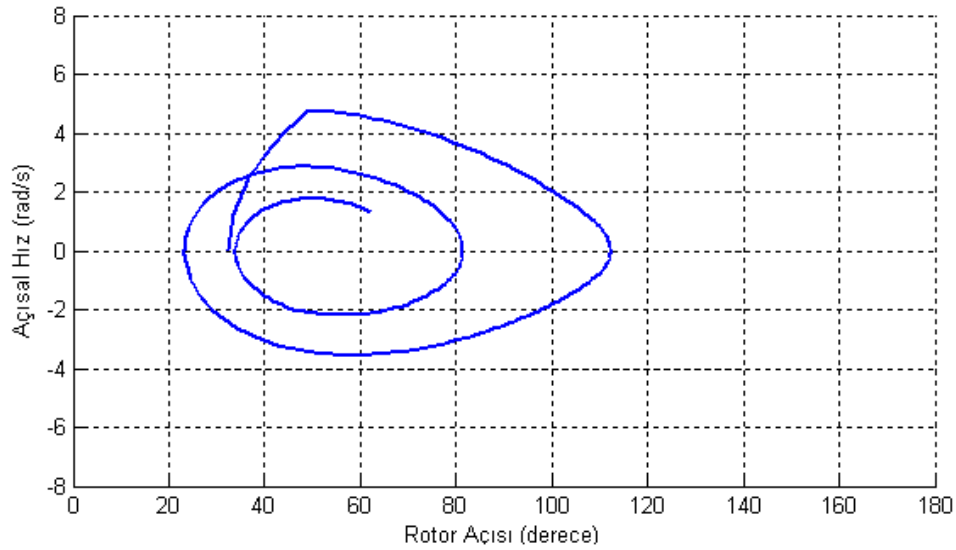
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

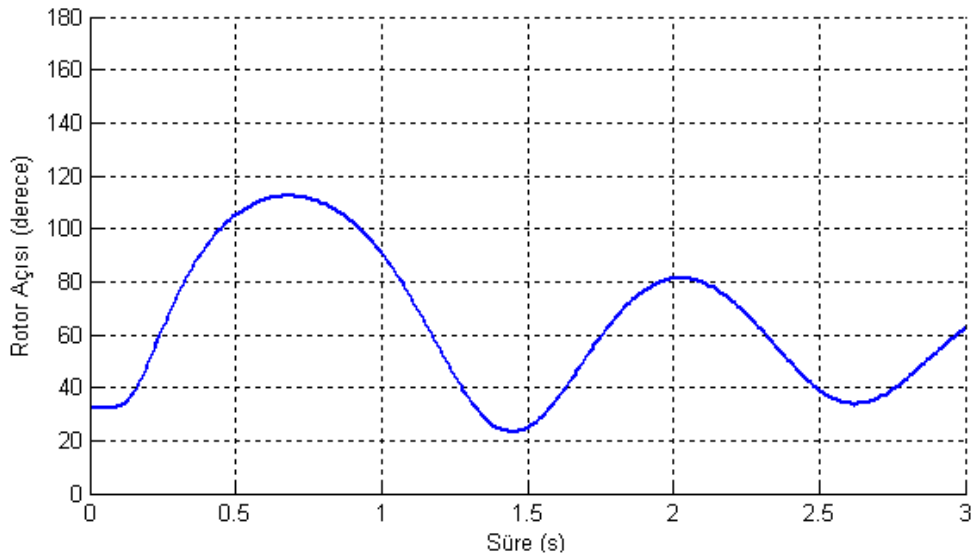
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

HTS=6 periyot için



Şekil 4.63. HTS=6 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.64. HTS=6 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1,4 saniyede ilk salınımı, 2,6 saniyede ikinci salınımı yapıyor. Rotor açısı salınım aralığı açılmaya başladı. Sistem kararlıdır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

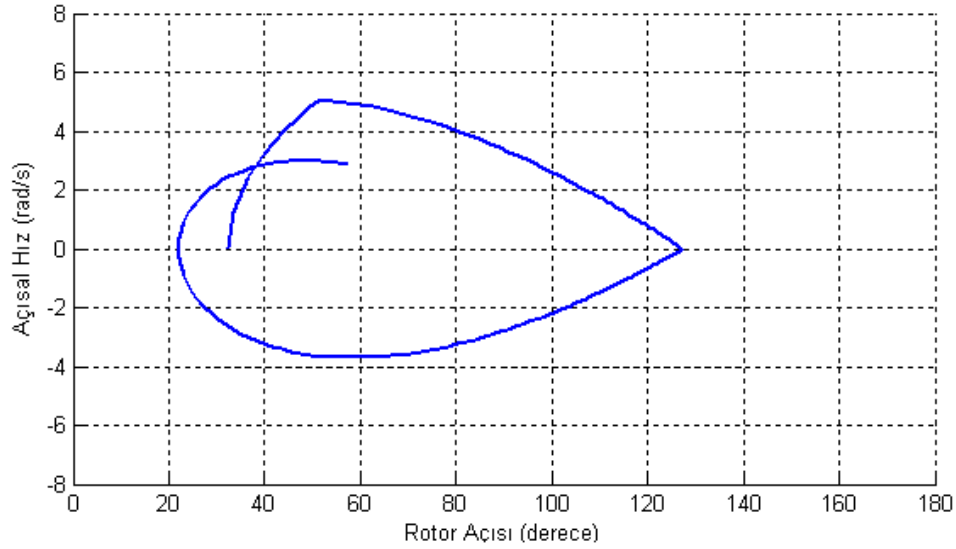
Sönümleme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

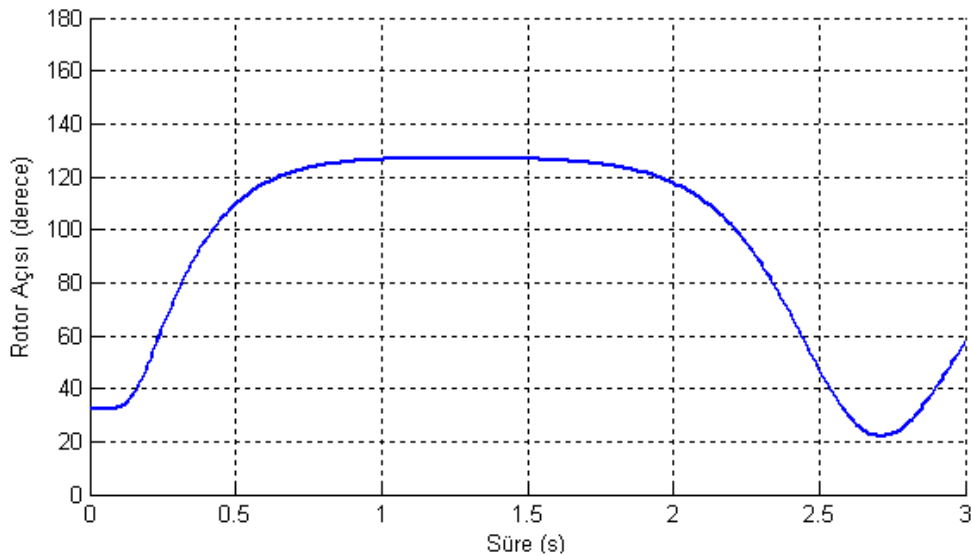
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

HTS=6.392 periyot için



Şekil 4.67. HTS=6.392 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.68. HTS=6.392 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 2,7 saniyede ilk salınımı yapıyor. Sistem hala kararludur ancak geç toparlanmaktadır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

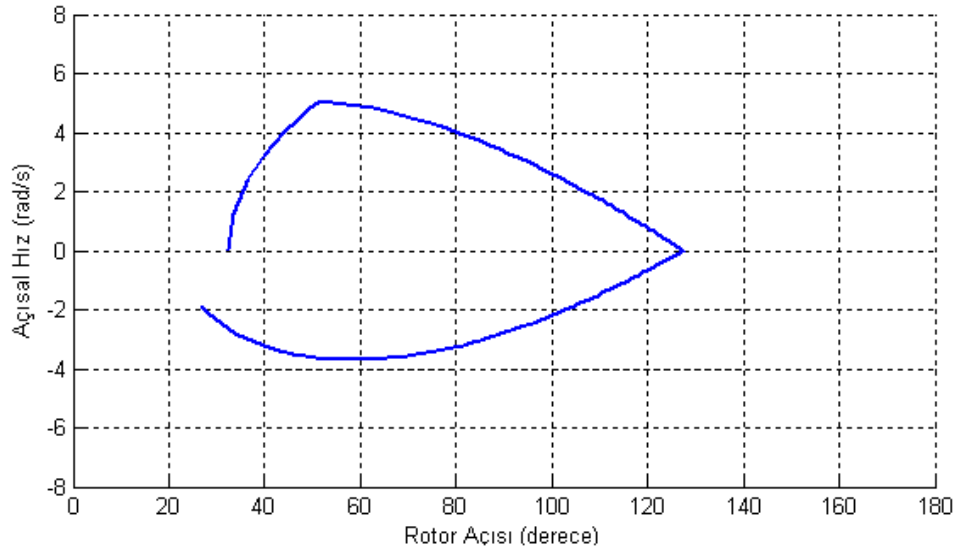
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

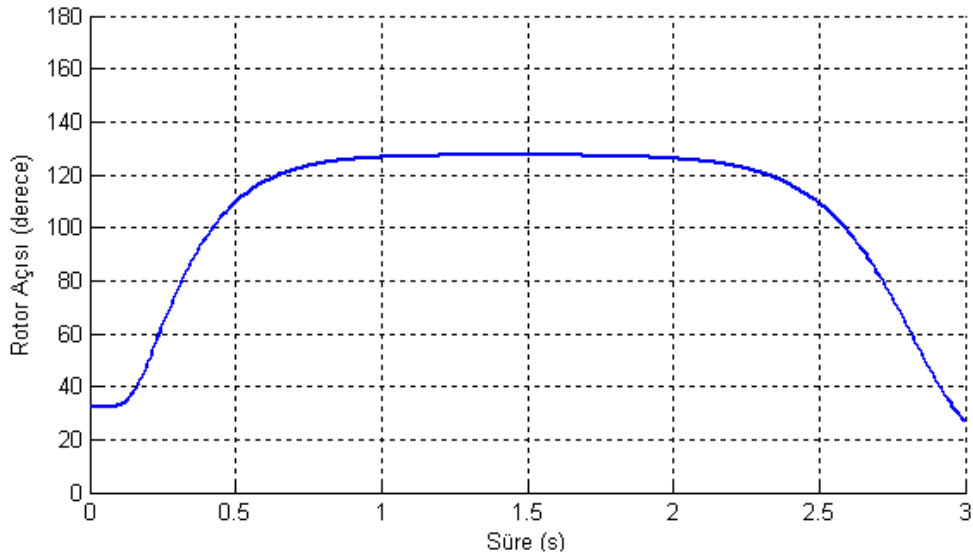
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

HTS=6.3924 periyot için



Şekil 4.69. HTS=6.3924 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.70. HTS=6.3924 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 3 saniyede ilk salınımı yapıyor. Sistem hala kararludur ancak geç toparlanmaktadır.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

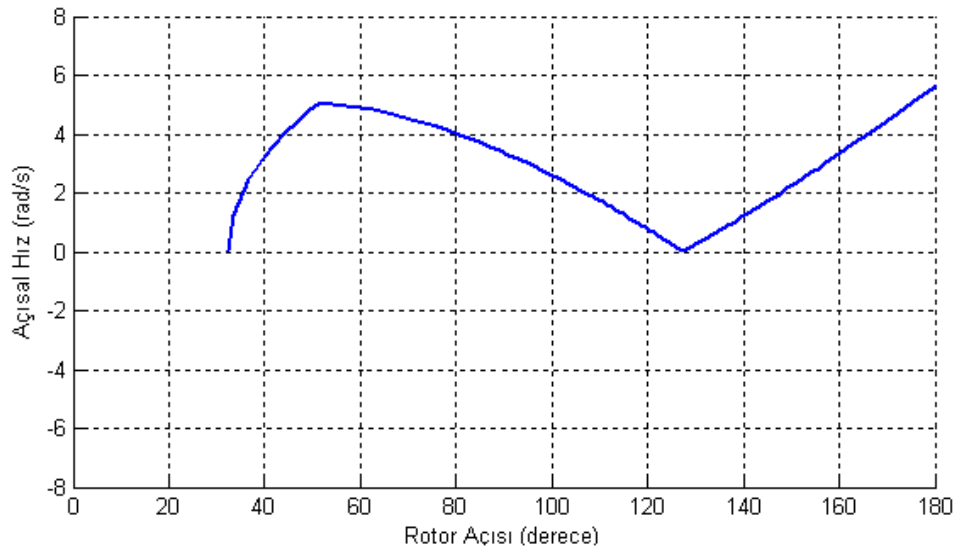
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

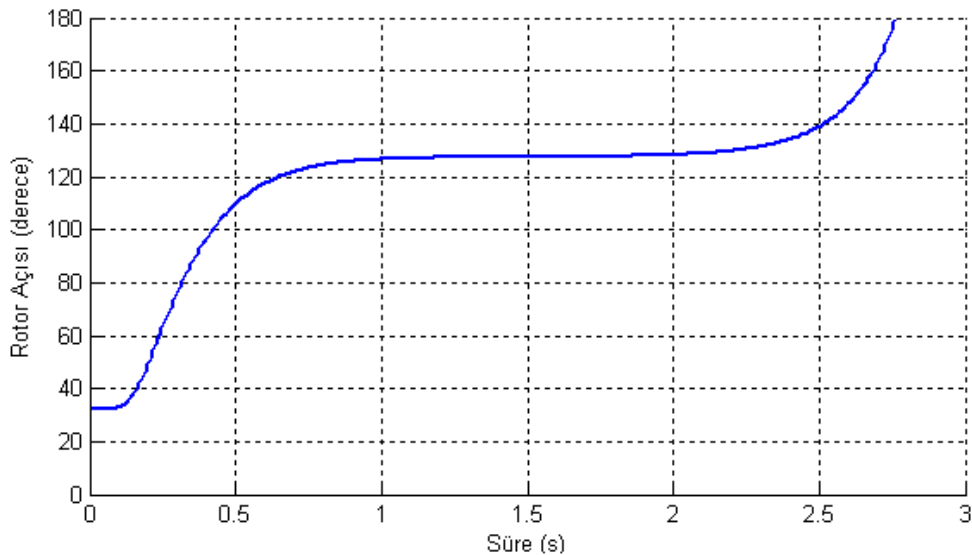
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

HTS=6.3925 periyot için



Şekil 4.71. HTS=6.3925 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.72. HTS=6.3925 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 2.5 saniyeden sonra kaçtı. Bu değerler için verilen hata temizleme süresi yeterince kısa değildir. Verilen değerler için hata 6.3925 periyotta yani $6.3925 \times 20 = 127.85$ ms.'de temizlenemediği için sistem çökmüştür.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

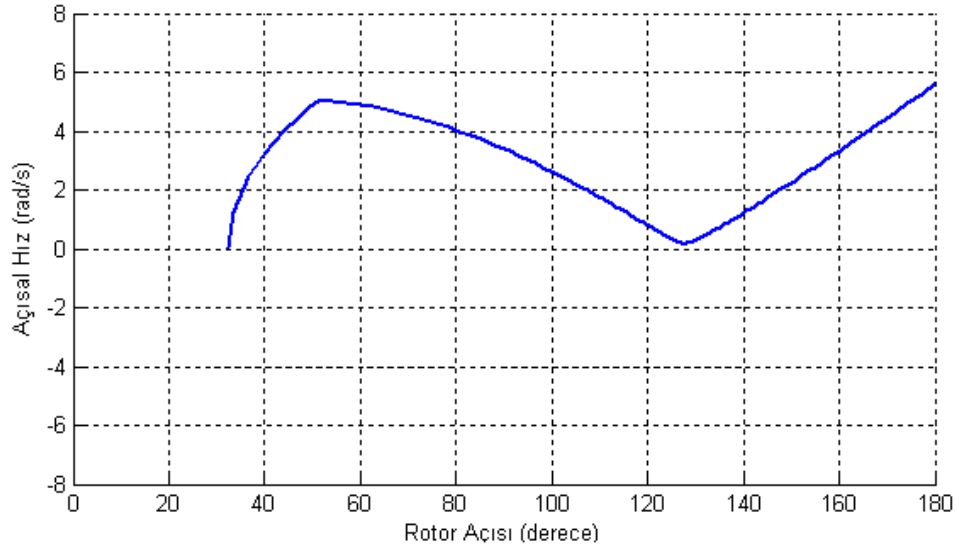
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

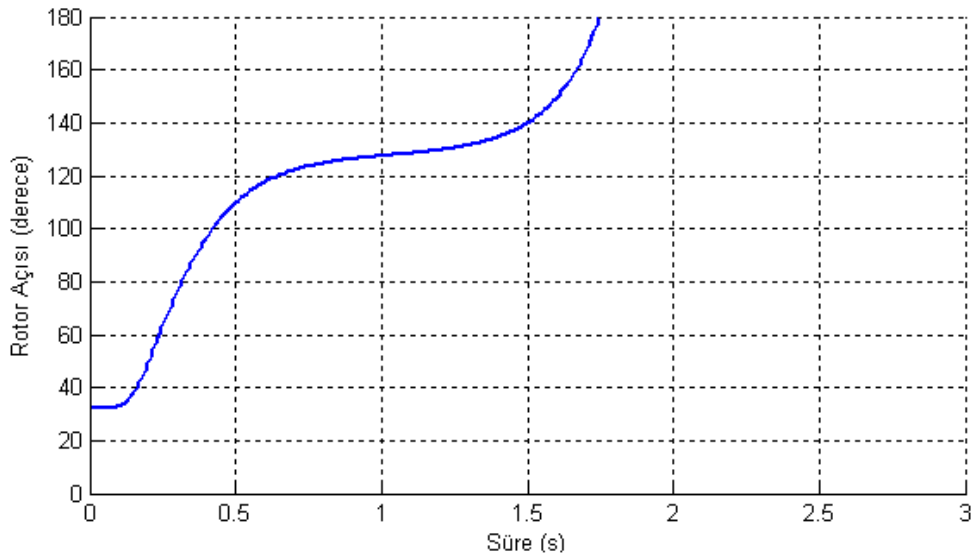
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

HTS=6.4 periyot için



Şekil 4.73. HTS=6.4 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.74. HTS=6.4 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1.5 saniyeden sonra kaçtı. Bu değerler için verilen hata temizleme süresi uzundur. Sistem toparlanamamış çökmüştür.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

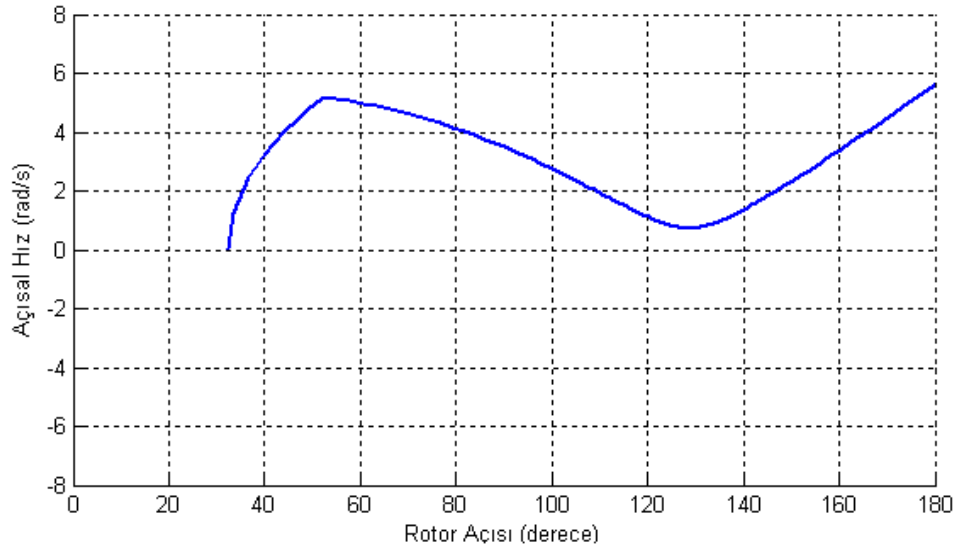
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

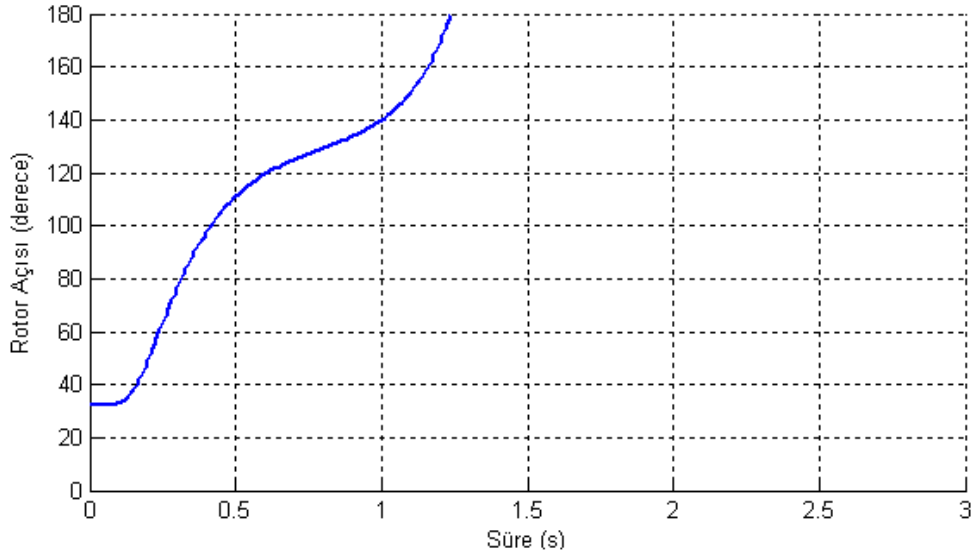
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

HTS=6.5 periyot için



Şekil 4.75. HTS=6.5 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.76. HTS=6.5 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 1.5 saniyeden sonra kaçtı. Bu değerler için verilen hata temizleme süresi uzundur. Sistem toparlanamamış çökmüştür.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

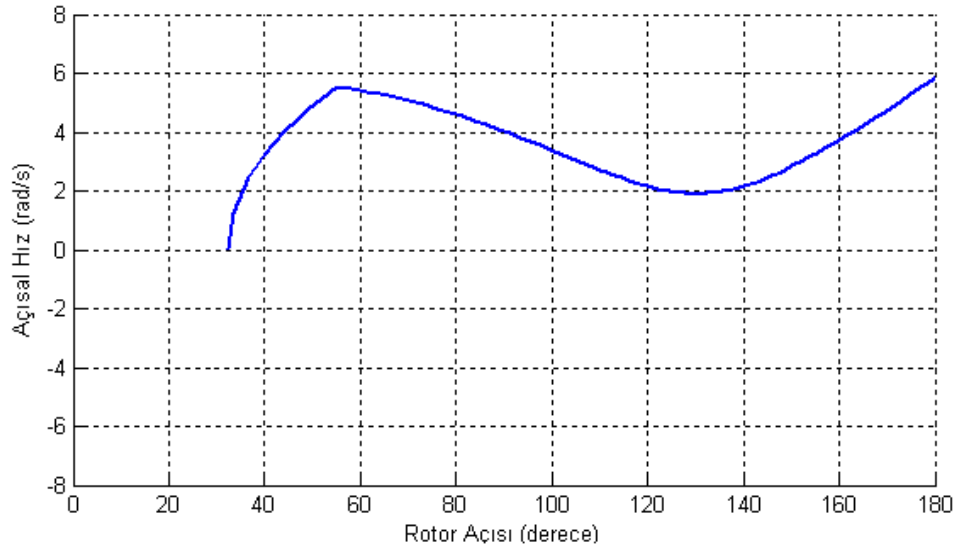
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

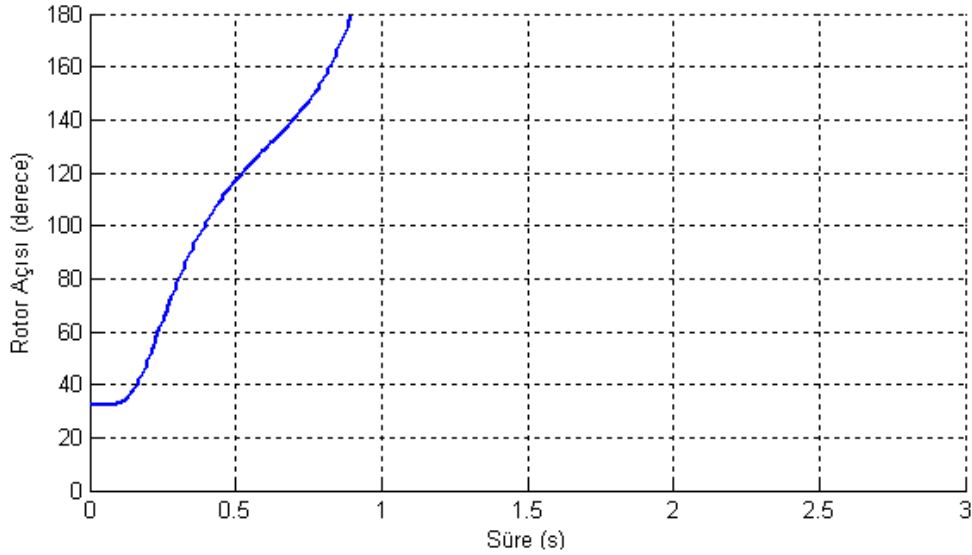
Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot

Mekanik güç: 1 p.u.,

HTS=7 periyot için



Şekil 4.77. HTS=7 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.78. HTS=7 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Rotor açısı 0.7 saniyede kaçtı. Bu değerler için verilen hata temizleme süresi uzundur. Sistem toparlanamamış çökmüştür.

Şekil 4.59-Şekil 4.78’de sistemin bütün parametreleri sabit iken sadece hata temizleme süresi değişimine göre rotor açısı kararlılığı izlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.4.de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Hata temizleme süresi değişimine göre rotor açısı kararlılığı tablosu

HTS	H	D	YKS	Mekanik güç	Hata öncesi elektrik gücü	Hata sonrası elektrik gücü	Sonuç	Rotor Açısı Aralığı	Açısal Hız Aralığı
2	3.75	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	32-74	-1.8 2.4
4	3.75	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	32-88	-2.4 3.4
6	3.75	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	24-112	-3.6 5
6.2	3.75	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	22-118	-3.6 5
6.392	3.75	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	22-126	-3.8 5.2
6.3924	3.75	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	24-126	-3.8 5.2
6.3925	3.75	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	32-126	0 5.2
6.4	3.75	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	32-∞	0 5.4
6.5	3.75	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	34-∞	0 5.4
7	3.75	0.02	1000	1	1.86	1.26	Sistem çöktü	34-∞	0 5.6

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için;

Senkron makine sabiti: 3.75 , Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

Sönümlenme sabiti: 0.02 , Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

Yeniden kapanma süresi: 1000 periyot , Mekanik güç: 1 p.u.,

olarak sabit generatör değerleri verilmiştir. Hata temizleme süresinin çeşitli büyüklükleri için rotor açısı kararlılığı incelenmiştir.

Şekil 4.59-Şekil 4.78’de ve Tablo 4.4.de görüldüğü gibi hata temizleme süresi arttıkça;

- rotor açısının zamana göre salınımı artıyor ve daha uzun sürede kararlı hale geliyor, eşik değeri aştığında sistem çöküyor.

- açısal hız daha büyük aralıklarda salınım yapıyor.

- Rotor açısı salınım aralığı artıyor.

Hata temizleme süresi HTS azaldıkça sistem daha kararlı hale gelmiştir.

4.4. Yeniden Kapanma Süresi Etkisi

Üretilen elektrik enerjisi gücüne ve taşınacağı uzaklığa göre bir, iki veya daha fazla iletim hattından taşınır. Hatların birinde arıza meydana geldiğinde hata temizleme süresi başlar, eğer hata temizlenirse yeniden kapanma süresi başlar ve bu sürenin sonunda açılan hat tekrar kapatılarak devreye alınır.

Bu çalışmada iki hatlı bir tek generatör sonsuz bara bağlantısı çalışılmıştır. Hatların bir tanesinde bozulma meydana geldiği daha sonra bu hatanın temizlendiği ve yeniden kapanma süresinin başladığı varsayılmıştır. Yeniden kapanma süresinin senkron generatör rotor açısı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

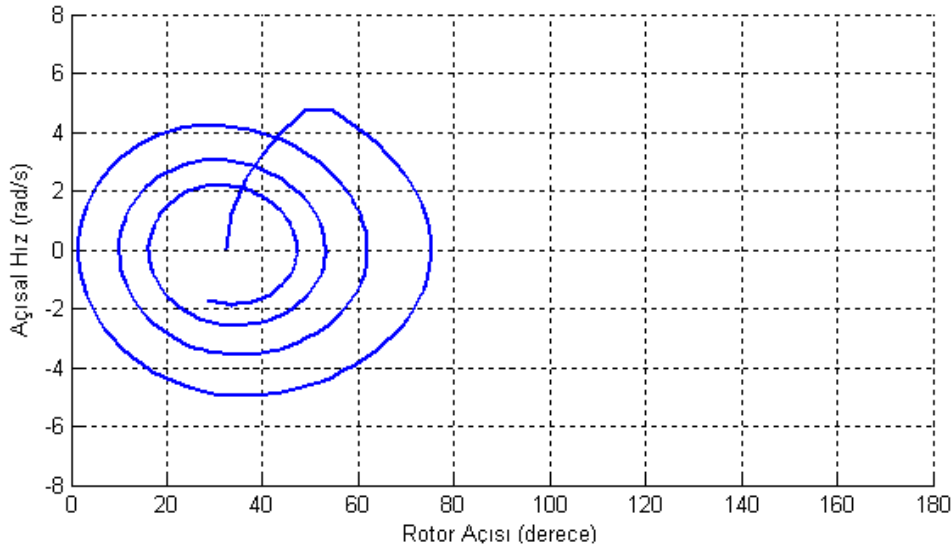
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

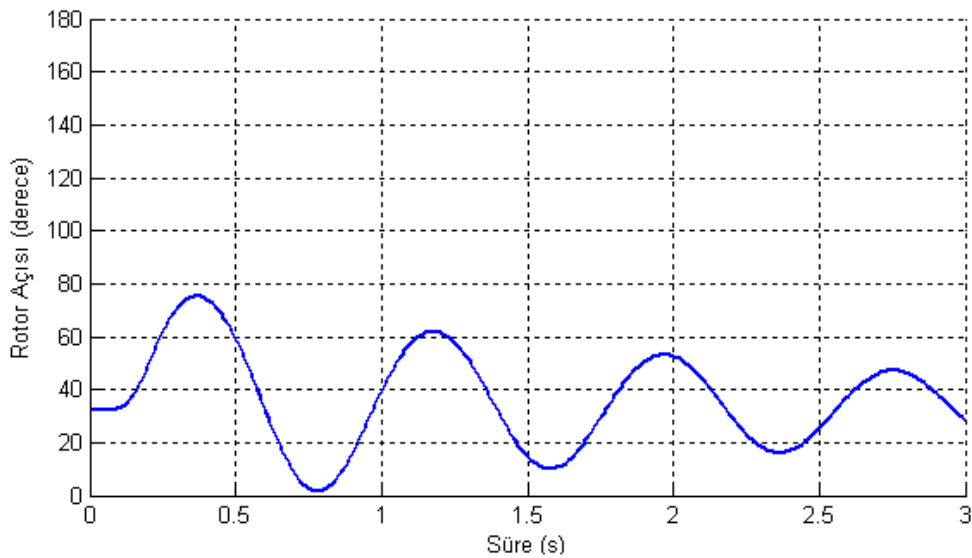
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=1 periyot için



Şekil 4.79. YKS=1 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.80. YKS=1 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi $YKS=1$ periyot olarak alındığında rotor açısı hata öncesindeki sabit noktasına doğru hareket ediyor. Sistemin çökmesi söz konusu değildir çünkü hata temizlendikten sonra ikinci hat şalteri yeniden kapanarak ikinci hat devreye giriyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

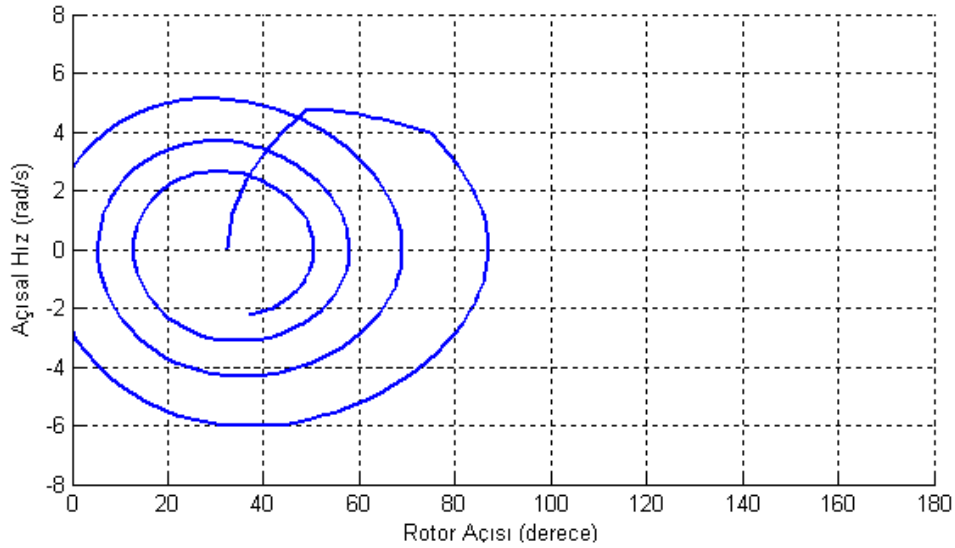
Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

Sönümlenme sabiti: 0.02

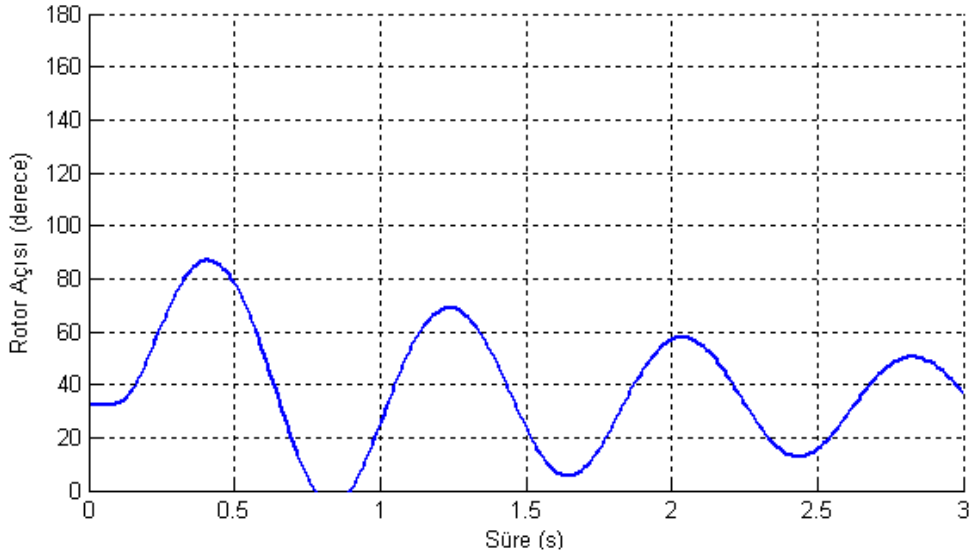
Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot) Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=5 periyot için



Şekil 4.81. YKS=5 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.82. YKS=5 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=5 periyot olarak alındığında rotor açısı hata öncesindeki sabit noktasına doğru 5 periyot yani $5 \times 20 = 100$ ms sonra hareket ediyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

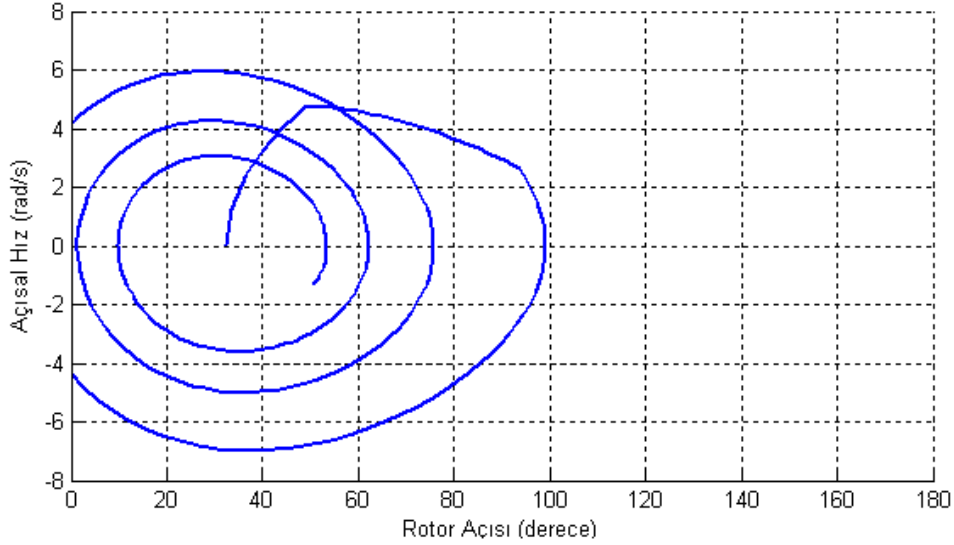
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

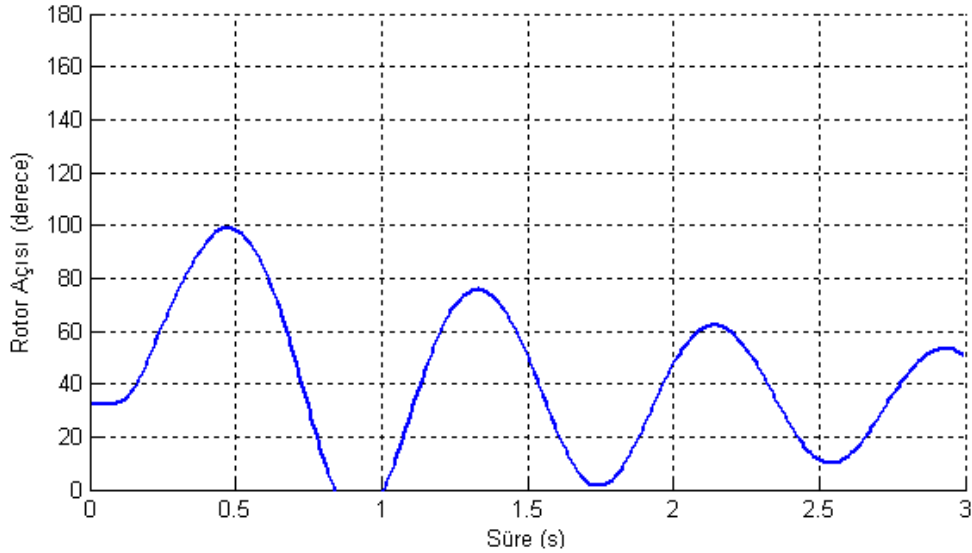
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=10 periyot için



Şekil 4.83. YKS=10 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.84. YKS=10 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=10 periyot olarak alındığında rotor açısı hata öncesindeki sabit noktaya doğru 10 periyot sonra hareket ediyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

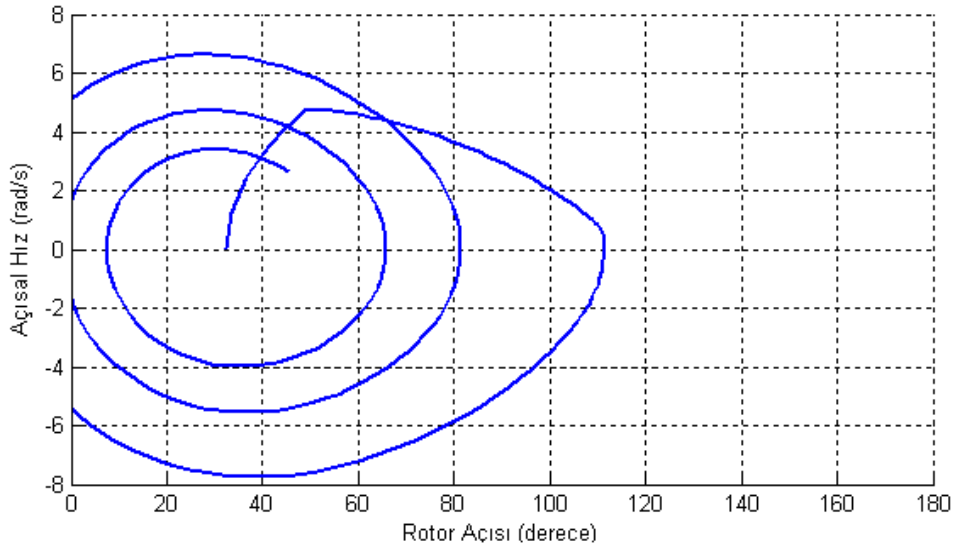
Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

Sönümlenme sabiti: 0.02

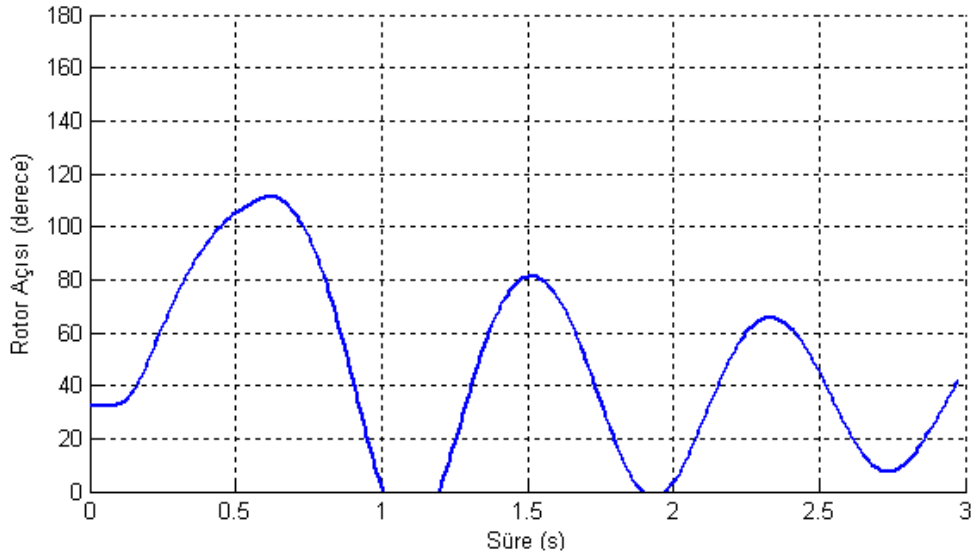
Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot) Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=20 periyot için



Şekil 4.85. YKS=20 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.86. YKS=20 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=20 periyot olarak alındığında rotor açısı hata öncesindeki sabit noktasına doğru 20 periyot sonra hareket ediyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

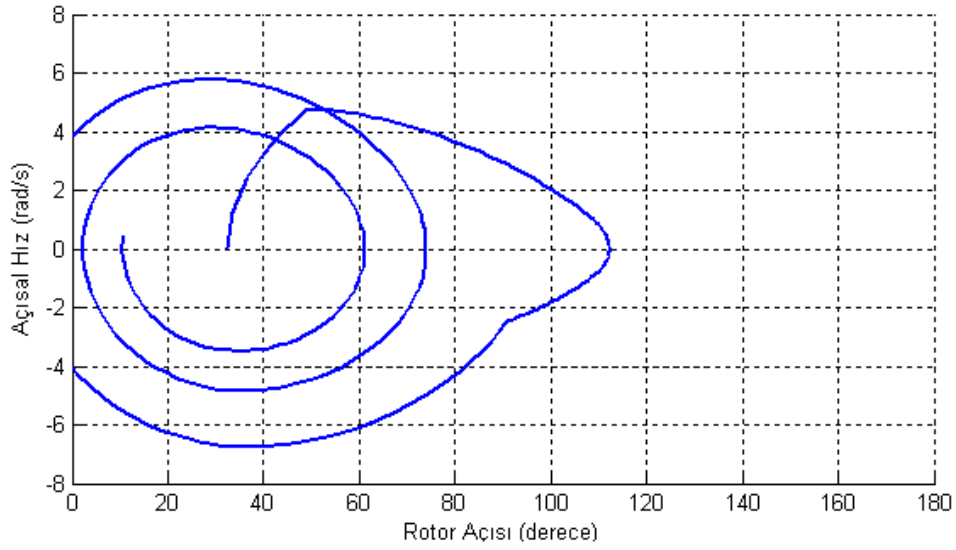
Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

Sönümlenme sabiti: 0.02

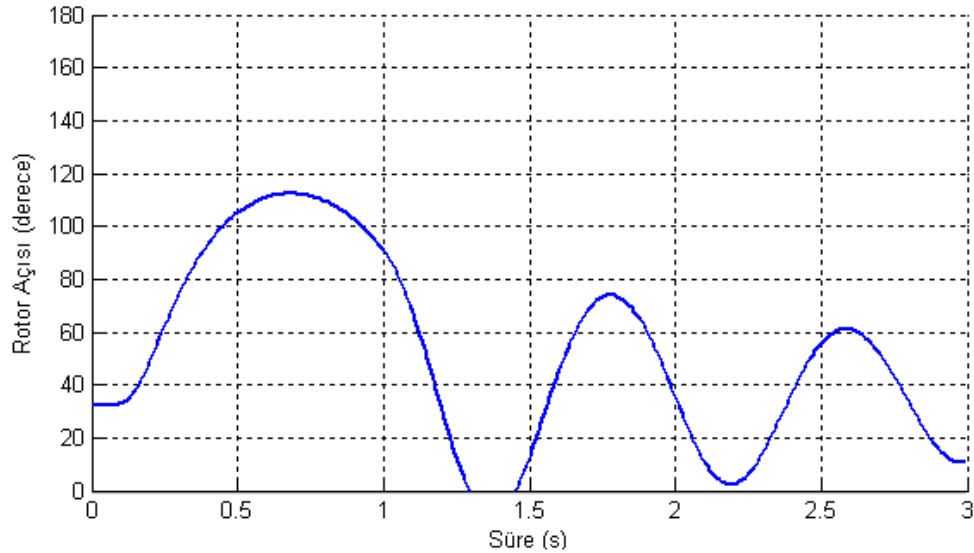
Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot) Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=40 periyot için



Şekil 4.87. YKS=40 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.88. YKS=40 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=40 periyot olarak alındığında rotor açısı hata öncesindeki sabit noktasına doğru 40 periyot sonra hareket ediyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

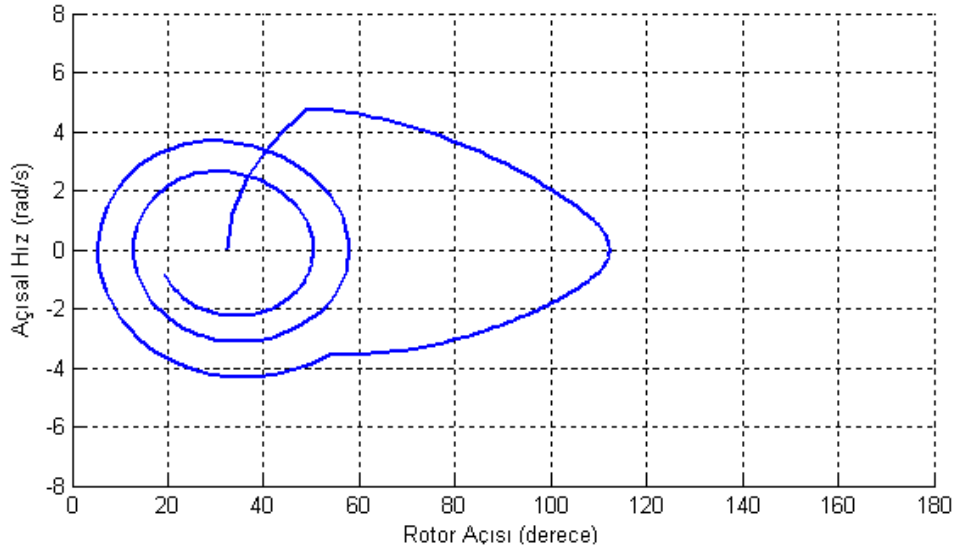
Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

Sönümlenme sabiti: 0.02

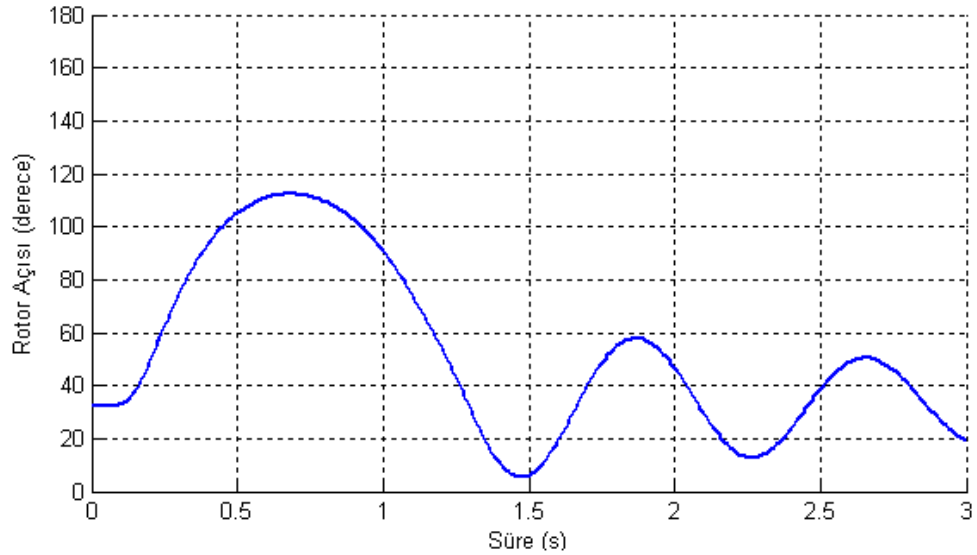
Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot) Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=50 periyot için



Şekil 4.89. YKS=50 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.90. YKS=50 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=50 periyot olarak alındığında rotor açısı hata öncesindeki sabit noktasına doğru 50 periyot sonra hareket ediyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

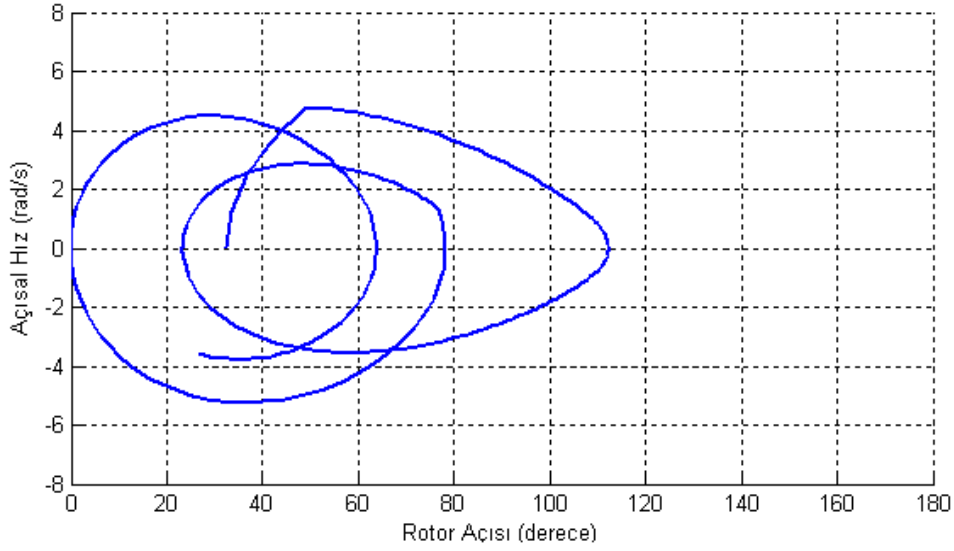
Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

Sönümlenme sabiti: 0.02

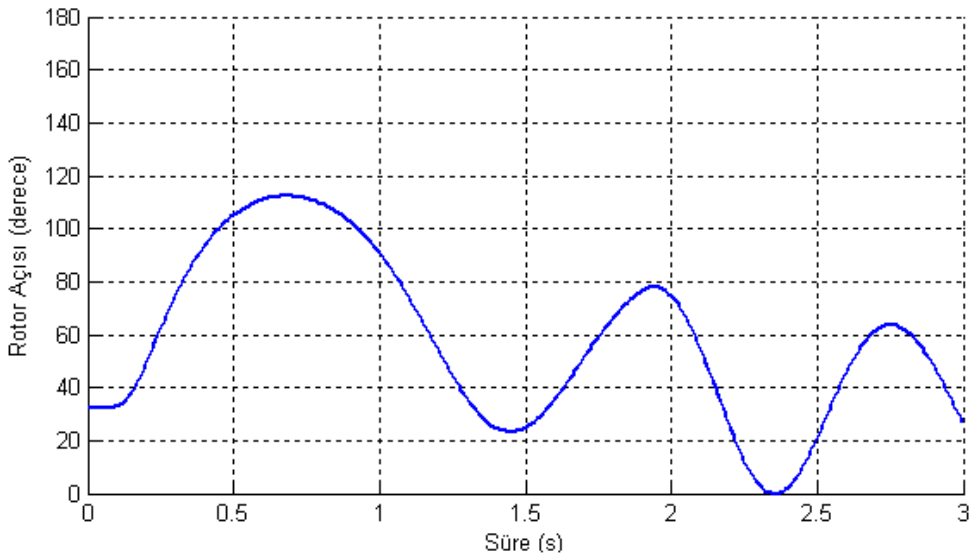
Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot) Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=85 periyot için



Şekil 4.91. YKS=85 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.92. YKS=85 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=85 periyot olarak alındığında rotor açısı hata sonrası kararlı noktaya giderken 85 periyot sonra hata öncesindeki kararlı noktaya doğru hareket ediyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

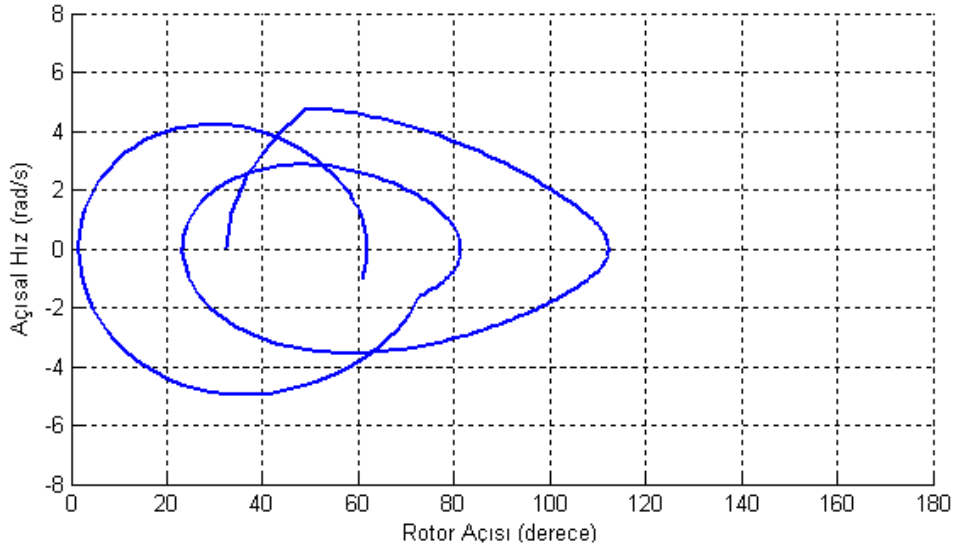
Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

Sönümlenme sabiti: 0.02

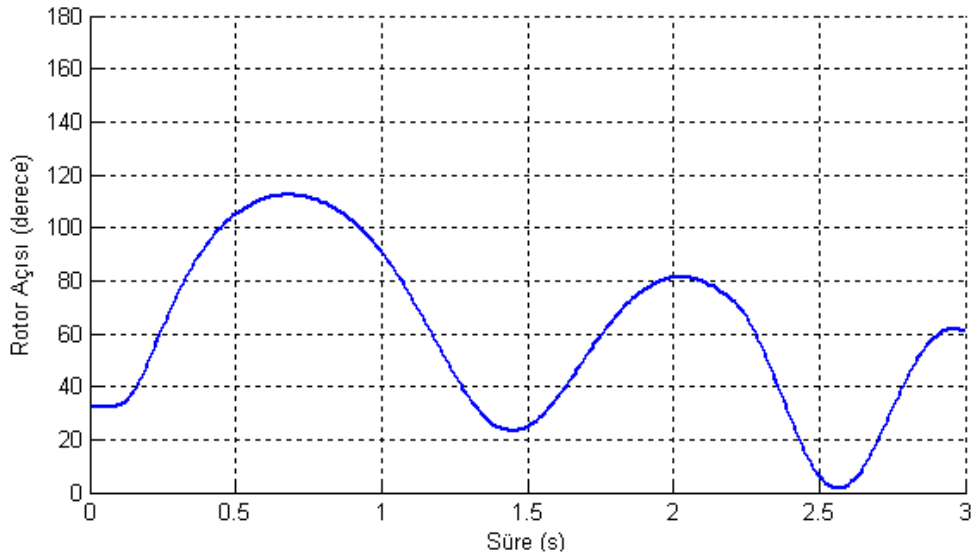
Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot) Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=100 periyot için



Şekil 4.93. YKS=100 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.94. YKS=100 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=100 periyot olarak alındığında rotor açısı hata sonrası kararlı noktaya giderken 100 periyot sonra hata öncesindeki kararlı noktaya doğru hareket ediyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

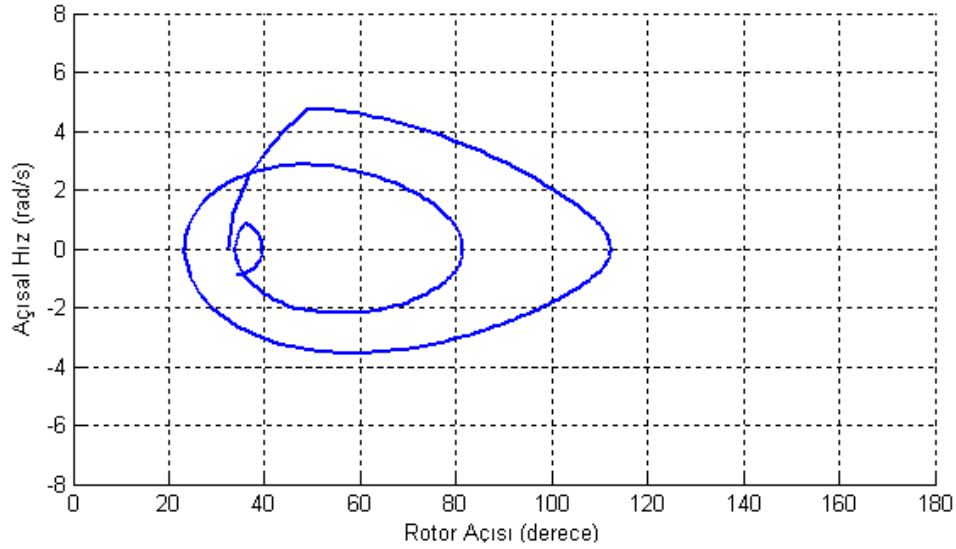
Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

Sönümlenme sabiti: 0.02

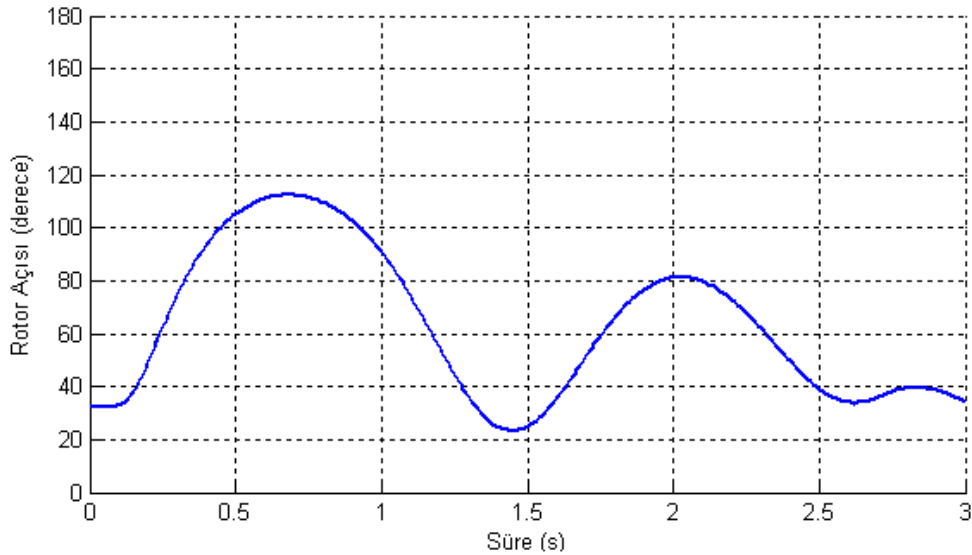
Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot) Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=125 periyot için



Şekil 4.95. YKS=125 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.96. YKS=125 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=125 periyot olarak alındığında rotor açısı hata sonrası kararlı noktaya giderken 125 periyot sonra hata öncesindeki kararlı noktaya doğru hareket ediyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

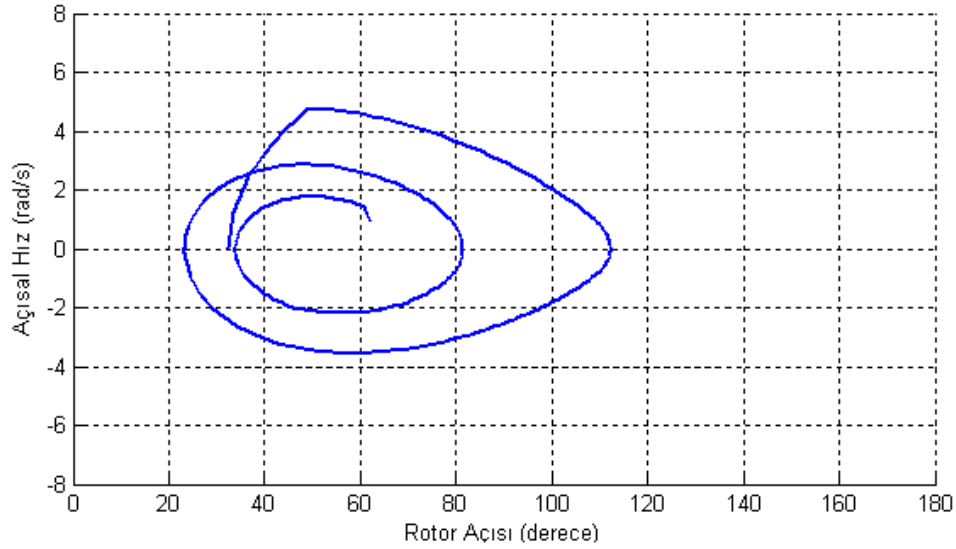
Sönümleme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

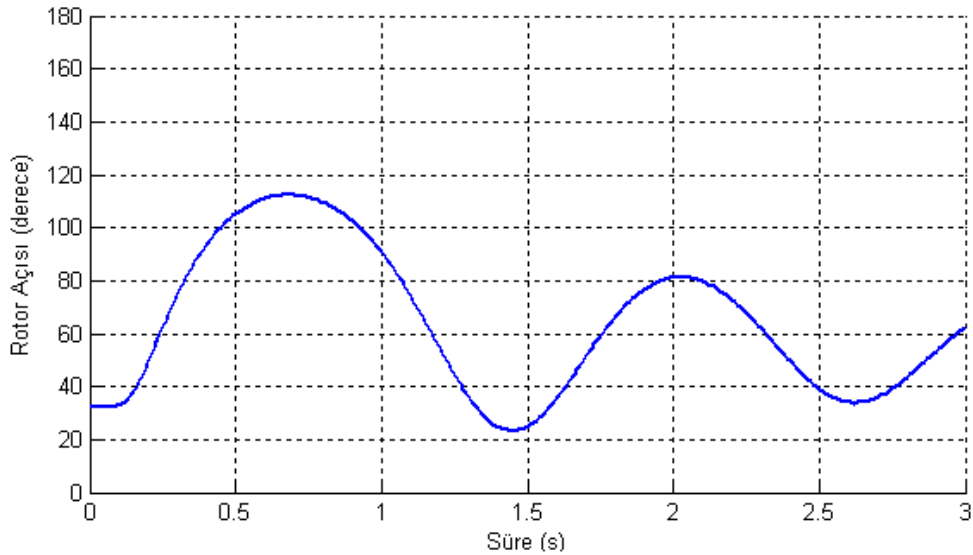
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=140 periyot için



Şekil 4.97. YKS=140 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.98. YKS=140 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=140 periyot olarak alındığında rotor açısı hata sonrası kararlı noktaya giderken 140 periyot sonra hata öncesindeki kararlı noktaya doğru hareket ediyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

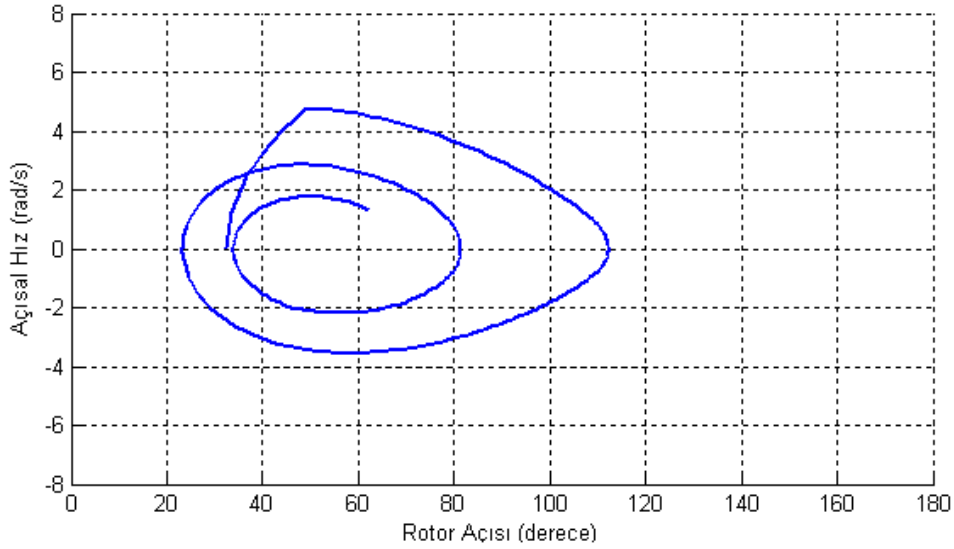
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

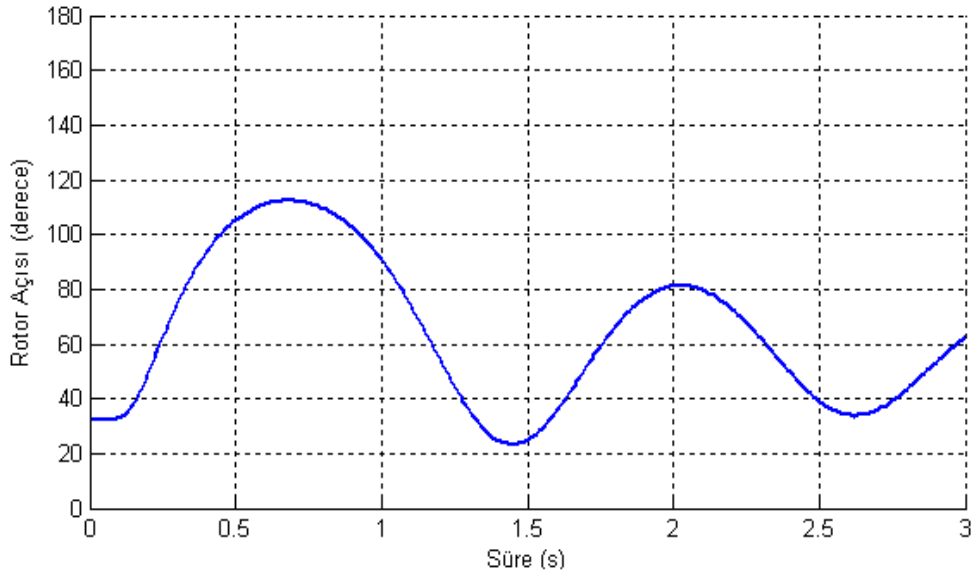
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=141 periyot için



Şekil 4.99. YKS=141 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.100. YKS=141 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=141 periyot olarak alındığında rotor açısı hata sonrası kararlı noktaya doğru hareket ediyor. Bu yeniden kapanma süresi eşik değeri üzerindeki herhangi bir YKS değeri için rotorun hareketi değişmemektedir.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

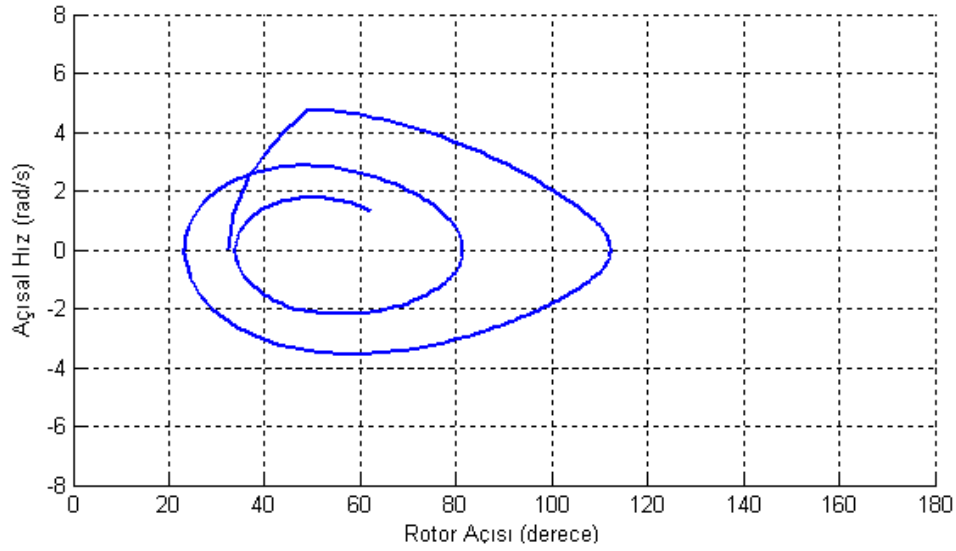
Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

Sönümlenme sabiti: 0.02

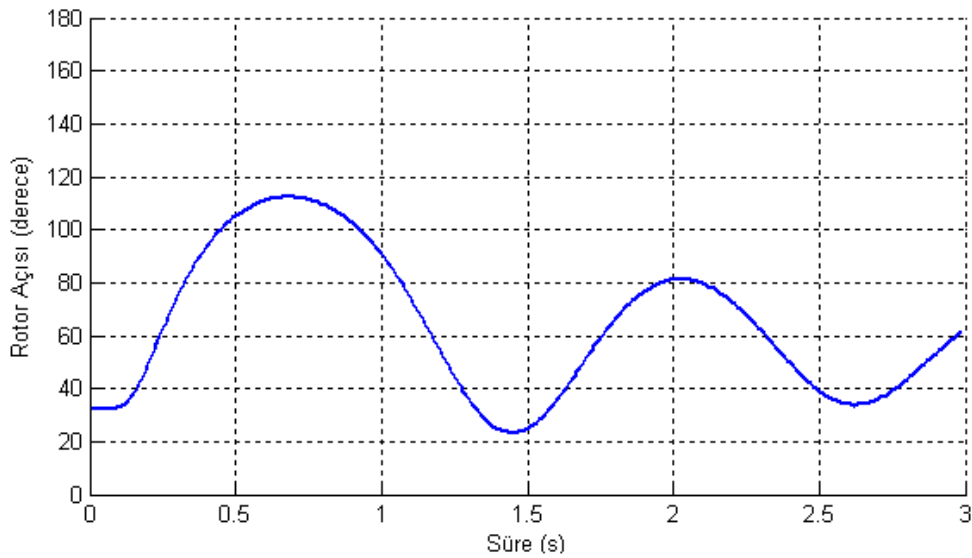
Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot) Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=250 periyot için



Şekil 4.101. YKS=250 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.102. YKS=250 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=250 periyot olarak alındığında rotor açısı hata sonrası kararlı noktaya doğru hareket ediyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

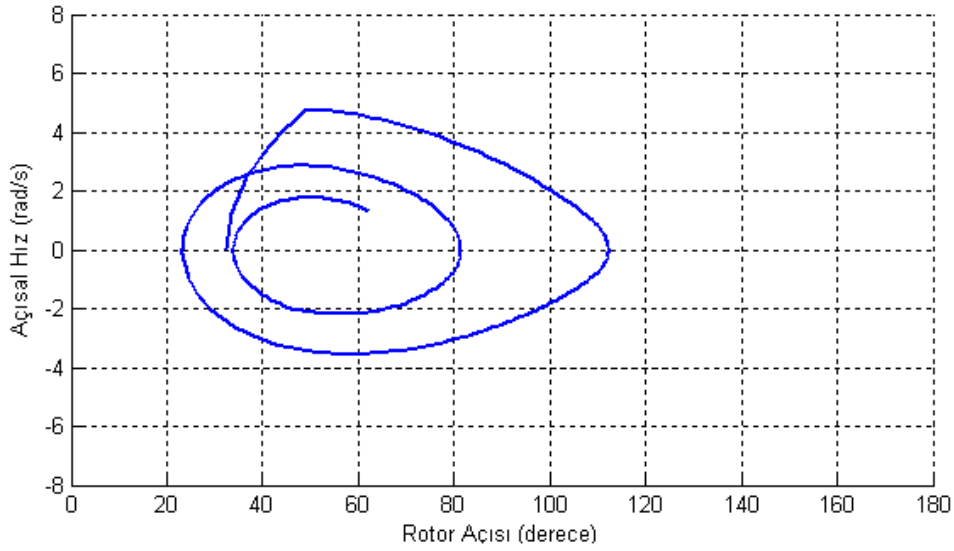
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

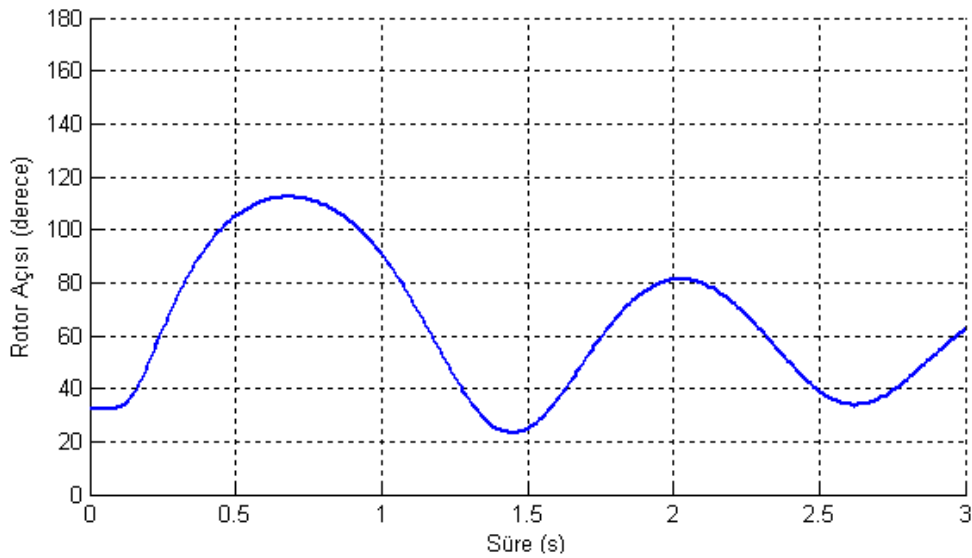
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=500 periyot için



Şekil 4.103. YKS=500 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.104. YKS=500 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=500 periyot olarak alındığında rotor açısı hata sonrası kararlı noktaya doğru hareket ediyor.

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için generatör değerleri;

Senkron makine sabiti: 3.75

Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.

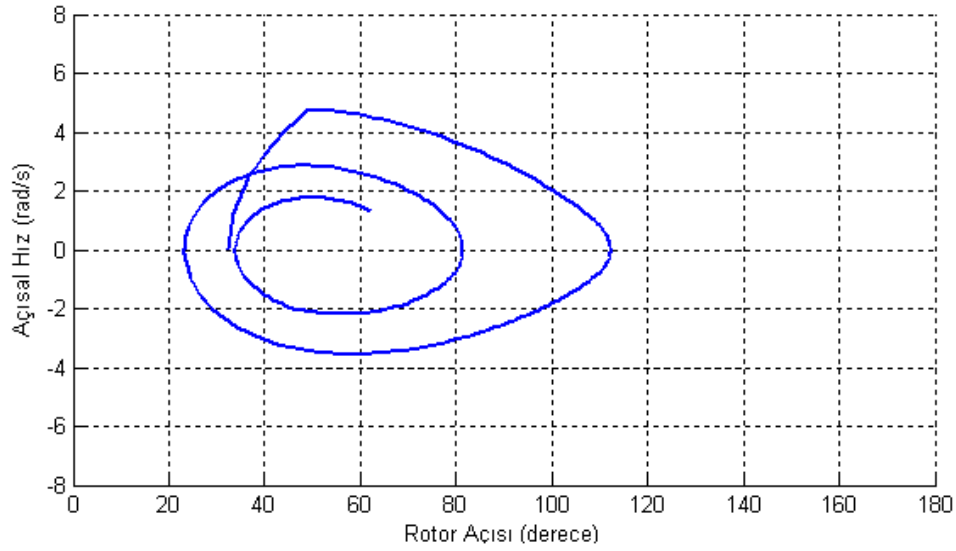
Sönümlenme sabiti: 0.02

Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.

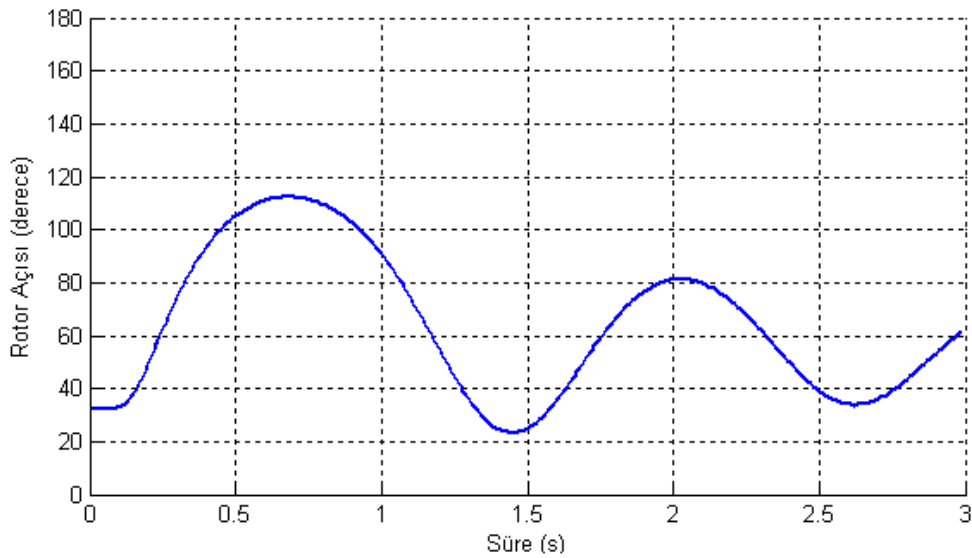
Hata temizleme süresi: 6 devir (periyot)

Mekanik güç: 1 p.u.,

YKS=1000 periyot için



Şekil 4.105. YKS=1000 periyot için rotor açısı-açısal hız grafiği



Şekil 4.106. YKS=1000 periyot için rotor açısı-zaman grafiği

Yeniden kapanma süresi YKS=1000 periyot olarak alındığında rotor açısı hata sonrası kararlı noktaya doğru hareket ediyor.

Şekil 4.79-Şekil 4.106'da sistemin bütün parametreleri sabit iken sadece yeniden kapanma süresi değişimine göre rotor açısı kararlılığı izlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.5.de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Yeniden kapanma süresi göre rotor açısı kararlılığı tablosu

YKS	H	HTS	D	Mekanik güç	Hata öncesi elektrik gücü	Hata sonrası elektrik gücü	Sonuç	Rotor Açısı Aralığı	Açısal Hız Aralığı
1	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	0-74	-4.8 5
5	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	-5-87	-6 5.4
10	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	-10-100	-7 6
20	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	-20-110	-7 6.5-
40	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	-10-110	-6.5 6
50	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	5-112	-4.2 5
85	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	-2 ile 112	-5.2 4.8
100	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	0-112	-4.8 4.8
125	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	24-112	-3.6 4.8
140	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	24-112	-3.6 4.8
141	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	24-112	-3.6 4.8
250	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	24-112	-3.6 4.8
500	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	24-112	-3.6 4.8
1000	3.75	6	0.02	1	1.86	1.26	Sistem kararlı	24-112	-3.6 4.8

Bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi için;

Senkron makine sabiti: 3.75 , Hata öncesi elektrik gücü: 1.86 p.u.
 Sönümleme sabiti: 0.02 , Hata sonrası elektrik gücü: 1.26 p.u.
 Hata temizleme süresi: 6 periyot , Mekanik güç: 1 p.u.,

olarak sabit generatör değerleri verilmiştir. Yeniden kapanma süresinin çeşitli büyüklükleri için rotor açısı kararlılığı incelenmiştir.

Şekil 4.79-Şekil 4.106'de ve Tablo 4.5.'de görüldüğü gibi yeniden kapanma süresi arttıkça eşik değeri 140 periyoda kadar hata öncesi gibi davranıp rotor açısını hata öncesi değere eşitleye çalışıyor, ancak bu değerler için yeniden kapanma süresi eşik değeri olan 140 periyottan sonra rotor hızı hata sonrası kararlı değerine ulaşmaktadır.

Sistemin çökmesi söz konusu değildir çünkü hata temizlendikten sonra ikinci hat şalteri yeniden kapanarak ikinci hat devreye giriyor.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada bir senkron generatör sonsuz bara güç sistemi açıklanmıştır. Bu sistemdeki halihazırda mevcut olan ve yakın gelecekte artması beklenen güç sistemi problemleri anlatılmıştır.

Elektrik güç sistemi problemlerinden bir tanesi olan rotor açısı kararlılığı konusu ele alınmıştır. MATLAB/SIMULINK kullanılarak açı kararlılığı benzetimleri yapılmıştır.

Senkron makine sabiti, sönümlenme sargısı sabiti, hata temizleme süresi ve yeniden kapanma süresinin rotor açısı kararlılığına etkileri belirlenmiştir.

Şekil 4.1-Şekil 4.30'da ve Tablo 4.2.'de görüldüğü gibi senkron makine sabiti H değeri büyüdükçe;

- rotor açısının zamana göre salınımı azalıyor ve daha kısa sürede kararlı hale geliyor.
- açısal hız daha küçük aralıklarda salınım yapıyor.
- rotor açısı salınım aralığı daralıyor.

Senkron makine sabiti H değeri büyüdükçe sistem daha kararlı hale gelmiştir.

Şekil 4.31-Şekil 4.58'de ve Tablo 4.3.'de görüldüğü gibi senkron sönümlenme sabiti D değeri büyüdükçe;

- rotor açısının zamana göre salınımı azalıyor ve daha kısa sürede kararlı hale geliyor.

- açısal hız daha küçük aralıklarda salınım yapıyor.

- Rotor açısı salınım aralığı daralıyor.

Senkron generatörün sönümlenme sabiti büyüdükçe sistem daha kararlı hale gelmiştir.

Şekil 4.59-Şekil 4.78'de ve Tablo 4.4.'de görüldüğü gibi hata temizleme süresi arttıkça;

- rotor açısının zamana göre salınımı artıyor ve daha uzun sürede kararlı hale geliyor, eşik değeri aştığında ise sistem çöküyor.

- açısal hız daha büyük aralıklarda salınım yapıyor.

- Rotor açısı salınım aralığı artıyor.

Hata temizleme süresi HTS azaldıkça sistem daha kararlı hale gelmiştir.

Şekil 4.79-Şekil 4.106'da ve Tablo 4.5.'de görüldüğü gibi yeniden kapanma süresi arttıkça, eşik değeri 140 periyoda kadar hata öncesi gibi davranıp rotor açısı hata öncesi kararlı noktaya geliyor, ancak bu değerler için yeniden kapanma süresi eşik değeri olan 140 periyottan sonra rotor hızı hata sonrası kararlılık değerine ulaşmaktadır.

Yeniden kapanma süresi için sistemin çökmesi söz konusu değildir çünkü hata temizlendikten sonra ikinci hat şalteri yeniden kapanarak ikinci hat devreye giriyor. Sistem çökmez ancak rotor açısı salınımı değişir.

Bu çalışmada tek makine sonsuz bara güç sistemi kaotik durum analizi yapılmıştır. Bir generatör sonsuz bara güç sisteminin rotor açısı kararlılığı için;

- Senkron makine sabiti en büyük,
- Sönümlenme sabiti en büyük,
- Hata temizleme süresi en küçük,
- Yeniden kapanma süresi en küçük seçilmelidir.

Çalışmanın bundan sonraki güç sistemi kararlılık çalışmaları için faydalı olacağını düşünüyorum.

KAYNAKLAR

- [1] KAYPMAZ, A., E. Akdeniz ve E. A. Yağmur, “Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [2] Reactive Power Reserve Work Group. Final Report, voltage stability criteria, undervoltage load shedding strategy, and reactive power reserve monitoring methodology, p.154, 1999.
- [3] AKPINAR, S., Yüksek Gerilim Tekniğinin Temelleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 1997.
- [4] Xufeng S., “Dynamic Modeling Issues For power System Applications”, Master Thesis, Texas A&M University, December 2003.
- [5] Abacı, K., M. Yıldız, M.A.Yalçın, Y.Uyaroğlu, Hat Sonunda Svc Bulunan Güç Sisteminde Çatallaşma Analizi İle Dinamik Gerilim Kararlılığının İncelenmesi, Saü. Fen Bilimleri Dergisi, 12. Cilt, 1. Sayı, S.32-37, 2008.
- [6] CHIANG, H., C. Liu, P.P. Varaiya, FF. Wu, Mark G. Lauby, “Chaos in a Simple Power System”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 4, 1993.
- [7] UYAROĞLU, Y., S. GÜNDÜZ, İ.H.YIĞIN, HKESKİN, Kaos Teorisindeki Lorenz Eşitliklerinin Matlab Ve Simulink Ortamında Benzetimi İle Karakterize Edilmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük, 2009.
- [8] UYAROĞLU, Y. ve M.A. YALÇIN, “Elektrik Güç Sistemlerinde Salınım Dinamiklerinin Kaotik Olaylarının İncelenmesi”, Elektrik-Elektronik–Bilgisayar Mühendisliği sempozyumu, Sayfa 60-64, Bursa, 2002.
- [9] AIEE Subcommittee on Interconnections and Stability Factors, “First Report of Power System Stability”, AIEE Transactions, pp. 51-80, 1926.
- [10] CHAN, T., Synchronous Machines, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong.
- [11] YANG, Y., M. Hung, Teh-Lu Liao, J. Yan, Chaos synchronization in SMIB power system and its application to secure communication, 2007 International Symposium on Nonlinear Dynamics (2007 ISND).

- [12] JI, W., V. Venkatasubramanian, Hard-limit induced chaos in a fundamental power system model, *Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 18, No. 5, pp. 279-295, 1996.
- [13] Ayasun, S., “Tekil Noktaların Güç sistemlerin Dinamiğine olan Etkileri”, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi*, Sayfa 28-31.
- [14] PAI, M. A., *Energy Function Analysis For Power System Stability*, pp. 4, Kluwer Academic Publishers, USA, 1989.
- [15] GRİFFO, A., Novel FACTS controllers for power system stability enhancement, s.5, November 2006.
- [16] STEINMETZ, C. P., “Power Control and Stability of Electric Generating Stations”, *AIEE Transactions*, Vol. XXXIX, Part II, pp. 1215-1287, July 1920.
- [17] VASSEL, G. S., “Northeast Blackout of 1965”, *IEEE Power Engineering Review*, pp. 4-8, January 1991.
- [18] CRARY S. B., HERLITZ I., FAVEZ B., CIGRE SC32 Report, “System Stability and Voltage, Power and Frequency Control”, CIGRE, Appendix 1, Rep. 347, 1948.
- [19] CIGRE Report, “Definitions of General Terms Relating to The Stability of Interconnected Synchronous Machine”, CIGRE, paper no: 334a, 1966.
- [20] T. V. Cutsem and C. Vournas, *Voltage Stability of Electric Power Systems*. Norwell, MA: Kluwer, 1998. [cited at p. 19, 56]
- [21] T. Van Cutsem, “Voltage instability: phenomena, countermeasures, and analysis methods,” *Proc. IEEE*, vol. 88, no. 2, pp. 208 {227, Feb. 2000.
- [22] BOSE, A., *Power System Stability: New Opportunities For Control*, Washington State University.
- [23] TAYLOR, C. W., “Power System Voltage Stability”, New York, McGraw-Hill, 1994.
- [24] IEEE Special Publication 90TH0358-2-PWR, “Voltage Stability of Power Systems Concepts, Analytical Tools and Industry Experience”, 1990.
- [25] Hill, D. J., “Nonlinear Dynamic Load Models with Recovery for Voltage Stability Studies”, *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 8, pp. 166-176, February, 1993.

- [26] V. CUTSEM, T., and MAILHOT, R., “Validation of a Fast Voltage Stability Analysis Method on The Hydro-Quebec System”, IEEE Trans. Power Systems, vol. 12, pp. 282-292, February, 1997.
- [27] AINSWORTH, J. D., GAVRILOVIC, A., and THANAWALA, H. L., “Static and Synchronous Compensators for HVDC Transmission Convertors Connected to Weak AC Systems”, 28th Session, pp. 31-01, CIGRE, 1980.
- [28] CIGRE Working Group 14.05 Report, “Guide for Planning DC Links Terminating at AC Systems Locations Having Low Short Circuit Capacities Part I: AC/DC Interaction Phenomena”, CIGRE Guide No: 95, 1992.
- [29] CIGRE Working Group 14.05 Report, “Interaction Between HVDC Convertors and Nearby Synchronous Machines”, CIGRE Brochure 119, October, 1997.
- [30] ZİMA, M., Special Protection Schemes in Electric Power Systems, ETH Zürich - Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
- [31] SADIKOVIC, R., Single-machine infinite bus system, Internal Report, Zurich, 2003.
- [32] Claudio A.C., “On bifurcations, voltage collapse and load modelling”, IEEE Trans. On Power Systems, Vol.10, No. 1, pp.512-522, February,
- [33] Abacı, K., A. Yalçın, Y. Uyaroğlu, H. Gelberi, Güç Sistemlerinde Kademe Değiştirici Transformatörlerin Kaotik Osilasyonları, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [34] USTA Ö., GENÇ İ., Embedded Elektrik Üretim Sistemlerinin Ana şebeke İle Entegrasyonu, www.emo.org.tr/ekler/7c8dd44858d3568_ek.pdf
- [35] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP Elektrik Elektronik Teknolojisi-Enerji Üretimi, s.56, Ankara, 2007.
- [36] Nuclear Training Center (1982), “Electrical Equipment, Course 230.2”, <http://canteach.candu.org/library/20050818.pdf>
- [37] “Power System Dynamics”, ETH - Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, s.95, Zürich, 2009.
- [38] BAYINDIR, R., Elektrik Enerjisinin İletimi (Taşınması) ve Dağıtılması, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [39] AIEE Subcommittee on Interconnections and Stability Factors, “First Report of Power System Stability”, AIEE Transactions, pp. 51-80, 1926.

ÖZGEÇMİŞ

25.11.1983 tarihinde Bursa'da doğdu. İlkokulu Bursa-Setbaşı İlköğretim Okulu'nda başlayıp, Van-Atatürk İlkokulu'nda, ortaokulu Van-Zeve İlköğretim Okulu'nda, liseyi Van-Atatürk Lisesi'nde tamamladı. 2007'de Trabzon-Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2008 Yılı güz döneminde Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2006-2007 yıllarında Adıyaman'da bir tekstil fabrikasında yönetici olarak çalıştı. 2007-2008 yıllarında askerlik görevini tamamladı. 2008 yılında 7 ay süreyle İstanbul'da bir elektrik müteahhitliği firmasında mühendislik yaptıktan sonra 2010 Şubat ayına kadar Kocaeli Türk Telekom'da mühendis olarak çalıştı. 2010 Şubat itibariyle Artvin Çoruh Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaya başlamış olup halen aynı görevi sürdürmektedir. Evli ve 1 çocuk babasıdır.