

T.C
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASENKRON MOTORLARDA YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ
KULLANILARAK HIZ KONTROL TEKNİKLERİNİN
MODELENMESİ VE OPTİMİZASYONU

Ömer KÜLLAÇ

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Övünç POLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2011

TEZ ONAYI

Ömer KÜLLAÇ tarafından hazırlanan “**Asenkron Motorlarda Yapay Zeka Teknikleri Kullanılarak Hız Kontrol Tekniklerinin Modellenmesi ve Optimizasyonu**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Övünç POLAT

S.D.Ü Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Elektronik ve Haberleşme
Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Yrd. Doç. Dr. Mesud KAHRİMAN

S.D.Ü Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Elektronik ve Haberleşme
Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Bayram ÇETİŞLİ

S.D.Ü Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği
Ana Bilim Dalı

Doç. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN

Enstitü Müdürü v.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER DİZİNİ.....	xiii
1.GİRİŞ.....	1
2.KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Asenkron Motorlar ve Hız Kontrol Yöntemleri	4
2.2. Asenkron Motorların Çalışma Prensipleri.....	6
2.3. Asenkron Motorların Hız Kontrol Yöntemleri	8
2.3.1. Stator frekansını değiştirerek hız kontrolü	8
2.3.2. Stator kutup sayısını değiştirerek hız kontrolü.....	9
2.3.3. Stator gerilimi değiştirilerek hız kontrolü	9
2.3.4. Rotor direncini değiştirerek hız kontrolü	10
2.3.5. Skalar kontrol(V/f kontrol)	11
2.3.6. Vektör denetim yöntemleri ve asenkron motorun dinamikleri.....	13
2.3.7. Asenkron motorun matematiksel modelinin teorisi	14
2.3.8. Alan yönlendirmeli vektör denetimi	15
2.3.9. Clark dönüşümü	15
2.3.10. Park dönüşümü.....	17
2.3.11. Asenkron motorun vektör denetimi.....	18
2.3.12. Asenkron motorun doğrudan vektör kontrol yöntemi.....	19
2.3.13. Asenkron motorun gözlemci kullanan doğrudan vektör kontrolü	20
2.3.14. Asenkron motorun dolaylı vektör kontrolü	21
2.3.15. Doğrudan moment kontrol yöntemi	21
2.4. Kontrol Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları	22
2.5. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri	22
2.6. Yapay Sinir Ağlarının Avantaj ve Dezavantajları	23
2.7. Yapay Sinir Ağının Tanımı ve Modeli.....	23
2.7.1. Aktivasyon fonksiyonları	25

2.7.2. Yapay sinir ağlarının yapıları ve çeşitleri.....	27
2.8. Yapay Sinir Ağları ile Asenkron Motor Kontrolü ve Optimizasyonu Hakkında Yapılan Çalışmalar	28
3. MATERYAL VE METOT.....	31
3.1. Verilerin Simulink Ortamından Elde Edilmesi.....	35
3.2. Kullanılan YSA Modelleri	36
3.3. Abc-Dq Bloğunun YSA ile Eğitimi ve Modellenmesi	37
3.4. Teta Bloğunun Eğitilmesi.....	44
3.5. Eğitilen Blokların Referans Simulink Diyagramı Üzerine Yerleştirilmesi.....	45
3.6. Eğitilen YSA'ların Referans Sistemde Yerlerine Yerleştirilmesi	47
3.7. Oluşturulan Kontrol Sisteminin Farklı Hız ve Tork Değerlerinde Çalıştırılması	63
3.8. Abc-Dq ve Teta Bloğu YSA ile Modellenmiş Sistemin Optimizasyonu.....	75
4.ARAŞTIRMA BULGULARI.....	87
5.TARTIŞMA VE SONUÇ.....	91
6. KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	96

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ASENKRON MOTORLARDA YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ KULLANILARAK HIZ KONTROL TEKNİKLERİNİN MODELLENMESİ VE OPTİMİZASYONU

Ömer KÜLLAÇ

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Övünç POLAT

Günümüzde çeşitli elektrik motorları endüstrinin hemen her alanında kullanılmaktadır, asenkron motorlar her ortamda kullanılabilir olmaları, yapılarının basit olması, maliyetlerinin ve bakım ihtiyaçlarının düşük olması nedeni ile diğer elektrik motorlarından ayrılırlar. Bu avantajlarına rağmen kontrollerinin zor olması nedeniyle yüksek nitelikli sürücü sistemlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nedenle literatürde asenkron motorların hız ve konum kontrolü üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında Matlab Simulinkte oluşturulmuş bir dolaylı vektör hız kontrol sistemi referans alınmıştır. Referans alınan bu sistemden, yapay zeka tekniklerinden olan yapay sinir ağlarını eğitmek için gerekli veriler alınarak referans alınan sistemin eksenel dönüşüm yapan ve elektriksel konum bilgisi üreten teta bloğu yapay sinir ağlarıyla modellenmiştir. Daha sonra eğitilen YSA'lar referans sistem üzerine yerleştirilerek çalıştırılmış modellenen bloklar ile simülasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür. Modellenen bu sistemin performansının artırılması için sistemde optimizasyona gidilerek sistemin başarımı yükseltilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asenkron motorlar, asenkron makinelerde vektör kontrolü yapay zeka teknikleri, yapay sinir ağları, optimizasyon

2011, 96 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

MODELING AND OPTIMIZATION OF SPEED CONTROL TECHNIQUES OF ASYNCHRONOUS MOTORS USING ARTIFICIAL INTELLIGENT TECHNIQUES

Ömer KÜLLAÇ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Electronic Communication Engineering Department**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Övünç Polat

Nowadays various types of electric motors have been used almost in every branches of industry. Especially asynchronous electric motors differ from others with their usabilities in every environment, easy to use and study structures , less maintenance requirements and low costs. Despite these beneficial qualities they require high quality driving systems to control their positions and speed. there are studies in the literature that are tried to develop such high quality driving systems.

In this thesis an indirect vector speed control system refered which has been created by matlab simulink. The axial block and the teta (electrical position block) block of the system has been modelled with Artificial Neural Networks by taking necessary training data from referance system. Then, trained Artificial Neural Networks has been embedded to the system and it has observed that the system works in success. The performance of the system has been increased by optimizing.

Key words: asynchronous motors, vector control of asynchronous mechine, artifical intelligent, neural network, optimization

2011, 96 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Övünç Polat'a teşekkürlerimi sunarım.

.

2288-YL-10 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ömer KÜLLAÇ
ISPARTA,2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Asenkron motor stator yapısı	5
Şekil 2.2. Sincap kafesli asenkron motorun rotoru.....	5
Şekil 2.3. Kutup sayısı-moment değişimi.....	9
Şekil 2.4. Hız ve momentin gerilim ile değişimi	10
Şekil 2.5. Rotorla bağlı direncin değiştirilmesi ile elde edilen moment-hız karakteristiği.....	11
Şekil 2.6. V/f Kontrolü tork ve hız eğrileri.....	12
Şekil 2.7. Clark dönüşümü	16
Şekil 2.8. Ters Clark dönüşümü	16
Şekil 2.9. Düz Park dönüşümü	17
Şekil 2.10. Ters Clark dönüşümü	17
Şekil 2.11. Asenkron makinenin doğru akım makinesine benzetilmesi	18
Şekil 2.12. Doğrudan vektör kontrol prensip şeması.....	20
Şekil 2.13. Doğrudan moment kontrollü sürücü sisteminin blok şeması	21
Şekil 2.14. Temel yapay sinir ağı hücresi.....	24
Şekil 2.15. Eşik aktivasyon fonksiyonu	25
Şekil 2.16. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu	25
Şekil 2.17. Logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonu	26
Şekil 2.18. İleri beslemeli YSA yapısı	27
Şekil 2.19. Geri beslemeli YSA yapısı.	28
Şekil 3.1. Dolaylı vektör kontrolü Matlab simülin link simülasyonu.....	31
Şekil 3.2. Hız kontrol bloğu ve iç yapısı.....	32
Şekil 3.3. Dq-Abc bloğu ve iç yapısı.....	32
Şekil 3.4. Abc-Dq bloğu ve iç yapısı.....	33

Şekil 3.5. Akım regülatör bloğu ve iç yapısı.....	33
Şekil 3.6. Teta bloğu ve iç yapısı.....	34
Şekil 3.7 İqs bloğu ve iç yapısı.....	34
Şekil 3.8. Akı bloğu ve iç yapısı.....	35
Şekil 3.9. Verilerin alındığı simulink simülasyonu.....	36
Şekil 3.10. İleri beslemeli ağ yapısı.....	37
Şekil 3.11. Kaskat ileri beslemeli ağ yapısı.....	37
Şekil 3.12. Abc-dq bloğunun İd akımı çıkışının YSA kontrolörün eğitim sonucu....	38
Şekil 3.13. Abc-dq bloğunun İq akımı çıkışının YSA kontrolörün eğitim sonucu....	39
Şekil 3.14. Id ve Iq akımları için oluşturulan YSA kontrolörlerinin genel yapısı.....	39
Şekil 3.15. YSA kontrolörün giriş katmanının iç yapısı.....	40
Şekil 3.16. YSA kontrolörün giriş katmanında kullanılan işlem elemanları.....	41
Şekil 3.17. YSA kontrolörün gizli katmanın iç yapısı.....	41
Şekil 3.18. YSA kontrolörün gizli katmanda kullanılan işlem elemanları.....	42
Şekil 3.19. YSA kontrolörün çıkış katmanı iç yapısı.....	43
Şekil 3.20. YSA kontrolörün Çıkış katmanında kullanılan işlem elemanları.....	43
Şekil 3.21. Teta YSA kontrolörün eğitim sonucu.....	44
Şekil 3.22. Eğitilen Ysa'ların ların sistemde paralel çalışmaları.....	45
Şekil 3.23. 50 N/m, 50 Rad/s çalışma koşullarında Referans sistem Id akımı ve Abc-Dq blok YSA modelinin Id akımı çıkışı	46
Şekil 3.24. 50 N/m, 50 Rad/s çalışma koşullarında Referans sistem Iq akımı ve Abc Dq blok YSA modelinin Iq akımı çıkışı.....	46
Şekil 3.25. 50 N/m, 50 Rad/s çalışma koşullarında Referans sistem teta açısı ile teta blok YSA kontrolün teta açısı çıkışı	47
Şekil 3.26. Abc-Dq bloğu YSA ile eğitilmiş simülasyon.....	48
Şekil 3.27. (a) Abc-dq blokğu ysa ile modellenmiş sistemin inverter gerilimi	

scope görüntüsü	
(b) Referans sistemimin inverter gerilimi scope görüntüsü	
(c) Abc-dq blokğu YSA ile modellenmiş sistemin faz akımları scope görüntüsü	
(d) Referans sistemimin faz akımları scope görüntüsü	49
Şekil 3.28. Referans sistem ile Abc-Dq blokğu YSA ile modellenmiş sistemin 50N/m, 50 Rad/s çalışma koşullarında hız eğrileri.....	50
Şekil 3.29. Referans sistem ile Abc-Dq blokğu YSA ile modellenmiş sistemin 50N/m, 50 Rad/s çalışma koşullarında moment eğrileri.....	50
Şekil 3.30. (a) Referans sistem 50N/m, 50 Rad(s) koşullarında İd akım eğrisi scope görüntüsü	
(b) Referans sistem 50N/m, 50 Rad(s) koşullarında İq akım eğrisi scope görüntüsü	
(c) Referans sistem 50N/m, 50 Rad(s) koşullarında Teta açısı akım eğrisi scope görüntüsü	51
Şekil 3.31. (a) Abc-Dq blok YSA ile modellenmiş sistemin 50N/m, 50 Rad(s) koşullarında İd akım eğrisi scope görüntüsü	
(b) Abc-Dq blok YSA ile modellenmiş sistemin 50N/m, 50 Rad(s) koşullarında İq akım eğrisi scope görüntüsü	52
Şekil 3.32. Abc-Dq blok YSA modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında İd akımını eğrisinin referans sistem İd eğrisiyle karşılaştırılması	53
Şekil 3.33. Abc-Dq blok YSA modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında İdq akımını eğrisinin referans sistem İq eğrisiyle karşılaştırılması.....	53
Şekil 3.34. Abc-Dq YSA ile modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında moment eğrisinin referans sistem moment eğrisiyle karşılaştırılması...	54
Şekil 3.35. Abc-Dq YSA ile modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında hız eğrisinin referans hız eğrisiyle karşılaştırılması.....	54
Şekil 3.36. Abc-Dq YSA ile modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında İd akımını eğrisinin referans sistem İd eğrisiyle karşılaştırılması.....	55
Şekil 3.37. Abc-Dq YSA ile modellemiş sistemin 40 N/m,40 Rad/s koşullarında İq akımını eğrisinin referans sistem İq eğrisiyle karşılaştırılması.....	55
Şekil 3.38. 50 N/m, 50 Rad/s çalışma koşulları için Abc-Dq ve Teta blokğu modellenmiş similasyon	57
Şekil 3.39. Abc-Dq ve Teta blokğu YSA ile modellenmiş sitemin sırasıyla inverter terminal gerilimi, akımları, hız ve moment dalga şekilleri scope görüntüleri.....	58
Şekil 3.40. Abc-Dq ve Teta blokğu YSA modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s	

koşullarında moment eğrisinin referans sistem moment eğrisiyle karşılaştırılması...	59
Şekil 3.41. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA ile modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında hız eğrisinin referans sistem hız eğrisiyle karşılaştırılması.....	59
Şekil 3.42. 50 N/m, 50 Rad/s çalışma koşulları için Abc-Dq ve Teta bloğu gecikmeli girişlerle modellenmiş similasyon.....	60
Şekil 3.43. Abc-Dq ve Teta bloğu gecikmeli girişli YSA ile modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında hız eğrisinin referans sistem hız eğrisiyle karşılaştırılması.....	61
Şekil 3.44. Abc-Dq ve Teta bloğu gecikmeli girişli YSA modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında moment eğrisinin referans sistem moment eğrisiyle karşılaştırılması.....	61
Şekil 3.45. Abc-Dq ve Teta bloğu gecikmeli girişli YSA ile modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında Id akımının referans sistem Id akımıyla karşılaştırılması.....	62
Şekil 3.46. Abc-Dq ve Teta bloğu gecikmeli girişli YSA ile modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında İq akımının referans sistem İq akımıyla karşılaştırılması.....	62
Şekil.3.47. Abc-Dq ve Teta bloğu gecikmeli girişli YSA modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında teta açısının referans sistem teta açısıyla karşılaştırılması	63
Şekil 3.48. 50 N/m, 50 Rad/s çalışma koşulları için Abc-Dq ve Teta bloğu gecikmeli girişlerle modellenmiş similasyon.....	64
Şekil 3.49. 40 N/m, 40 Rad/s çalışma koşullarındaki referans sistem eğrileri scope görüntüler.....	65
Şekil 3.50. 40 N/m, 40 Rad/s çalışma koşullarındaki YSA kontrollü sistem eğrileri scope görüntüleri.....	66
Şekil 3.51. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında hız eğrisinin referans sistem hız eğrisiyle karşılaştırılması.....	67
Şekil 3.52. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında moment eğrisinin referans sistem moment eğrisiyle karşılaştırılması.....	67
Şekil 3.53. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında İd akımını eğrisinin referans sistem İd eğrisiyle karşılaştırılması.....	68

Şekil 3.54. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında İq akımını eğrisinin referans sistem İq eğrisiyle karşılaştırılması.....	68
Şekil 3.55. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında teta açısının referans sistem teta açısıyla karşılaştırılması.....	69
Şekil 3.56. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s çalışma koşullarında sırasıyla inverter gerilimi, faz akımları, hız ve moment eğrileri scope görüntüleri.....	70
Şekil 3.57. Referans sistemin 90 N/m, 100 Rad/s çalışma koşullarında sırasıyla inverter gerilimi, faz akımları, hız ve moment eğrileri scope görüntüleri...	71
Şekil 3.58. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s koşullarında hız eğrisinin referans sistem hız eğrisiyle karşılaştırılması.....	72
Şekil 3.59. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s koşullarında moment eğrisinin referans sistem moment eğrisiyle karşılaştırılması.....	73
Şekil 3.60. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s koşullarında İd akım eğrisinin referans sistem Id akım eğrisiyle karşılaştırılması	73
Şekil 3.61. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s koşullarında İq akım eğrisinin referans sistem İq akım eğrisiyle karşılaştırılması	74
Şekil 3.62. -Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s koşullarında teta açısının referans sistem teta açısıyla karşılaştırılması.....	74
Şekil 3.63. Hız kontrol PI bloğu ve iç yapısı.....	75
Şekil 3.64. Optimizasyon tool box yerleştirilmiş similasyon	76
Şekil 3.65. 50N/m, 50Rad/sn koşullarında çalışan referans sistemi hız kontrol bloğu çıkışıyla Abc-Dq ve Teta bloğu YSA ile modellenmiş sistemin hız kontrol bloğu çıkış sinyallerinin karşılaştırılması.....	77
Şekil 3.66. 50N/m, 50 Rad/sn koşullarında çalışan sistemin optimizasyon ayar Aralığı.....	78
Şekil 3.67. Optimizasyon sonuç eğrileri.....	78
Şekil 3.68. Optimizasyon ekranı.....	79
Şekil 3.69. 90 N/m, 100 Rad/sn koşullarında çalışan referans sistemi hız	

kontrol bloğu çıkışıyla Abc-dq ve teta bloğu YSA ile modellenmiş sistemin hız kontrol bloğu çıkış sinyallerinin karşılaştırılması.....	80
Şekil 3.70. 90N/m, 100 Rad/sn koşullarında çalışan sistemin optimizasyon ayar aralığı	80
Şekil 3.71. 90N/m, 100 Rad/sn koşullarında çalışan sistemin optimizasyon sonuç eğrileri.....	81
Şekil 3.72. 90N/m, 100 Rad/sn koşullarında çalışan sistemin optimizasyon sonuç ekranı	81
Şekil 3.73. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin hız kontrol bloklarının çıkışı.....	82
Şekil 3.74. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin hız çıkışları	82
Şekil 3.75. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin yaklaşılmış hız sonuçları.....	83
Şekil 3.76. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin moment çıkışları.....	84
Şekil 3.77. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin Id akımı çıkışları.....	85
Şekil 3.78. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin Iq akımı çıkışları.....	85

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1 Referans sistem, Abc-Dq bloğu YSA ile modellenmiş sistem ve Abc-Dq ve Teta bloğu YSA ile modellenmiş sistemlerin hız ve moment karesel hataları.....	89
--	----

SİMGELER DİZİNİ

W_s	Stator döner alternatif alan açısal hızı
N_s	Senkron hız
f_l	Frekans
p	Stator kutup sayısı
T_e	Moment
V_s	Stator gerilimi
R_s	Stator direnci
S	Kayma
R'_r	Rotor eşdeğer direnci
X_{ts}	Statorun eşdeğer reaktansı
X_{tr}	Rotorun eşdeğer reaktansı
Ψ_r	Rotor akısı
I_q	Stator akımı moment bileşeni
I_d	Stator akımı akı bileşeni
Θ	Elektriksel konum açısı
W	Ağırlıklar matrisi
X	Girişler matrisi
f	Aktivasyon fonksiyonu
b	Bias değeri
λ	Eğitim sabiti
o	Y_{sa} çıkışı

1.GİRİŞ

Robotlar, bilgisayar disk ve cd sürücüleri, üretim ve takım tezgahları gibi endüstrinin hemen her alanında sürme sistemi olarak kullanılan elektrik motorlarının sistemlerdeki davranışları sistemi olumlu ya da olumsuz olarak etkilemektedir. Serbest uyarımlı doğru akım makineleri, denetimlerinin kolay olması nedeniyle yüksek başarımlı sürücü uygulamalarında, uzun yıllar boyunca en çok tercih edilen motorlar olmuştur. Ancak bu makinelerin; belirli aralıklarda bakım gerektirmeleri, fırça ve kolektör teması nedeni ile patlayıcı, parlayıcı ve tozlu ortamlarda kullanılmaması ve yüksek devir sayılarına çıkamaması gibi önemli dezavantajları vardır. Doğru akım makinelerinin bu dezavantajlarından dolayı ve mikro-elektronik alanındaki önemli gelişmeler sayesinde hızlı tahrik sistemlerinde asenkron makineler kullanılmaya başlanmıştır. Yapılarının basit ve ekonomik olmaları sağlam olmaları, bakım gerektirmemeleri ve her türlü ortam koşullarında çalıştırılabilmeleri gibi üstün özellikleriyle asenkron motorlar, endüstride yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak bu motorların denetimleri zordur ve karmaşık bir denetim sistemine ihtiyaç duyarlar. Bu durum makinelerin doğusal olmayan yapısından kaynaklanmaktadır (Sarioğlu vd., 2003).

Asenkron motorların moment ve akı arasındaki kenetlenme etkisi nedeniyle bu motorlardan yüksek başarımlı elde edilmesi oldukça güçtür. Asenkron motorların kontrolünde karmaşık bazı sistemler kullanılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan denetim yöntemleri, motorun sürekli durum modelini çıkaran denetim yöntemleri ve motorun dinamik modelinden elde edilen vektörel denetim yöntemleridir. Yukarıda bahsedilen kontrol yöntemlerini sıralamak istersek:

- 1.Stator frekansını değiştirerek
- 2.Stator kutup sayısını değiştirerek
- 3.Rotor kaymasını değiştirerek
- 3a.Stator gerilimi değiştirerek
- 3b.Rotor direncini değiştirerek(Çolak, 2001)
- 4.Stator geriliminin genlik ve frekansının değiştirilmesiyle hız kontrolü
- 4a.Skalar kontrol yöntemleri
- 4b.Vektörel kontrol yöntemleri (Sarioğlu vd., 2003).

Yukarıda bahsettiğimiz üzere asenkron motorlarda ortaya çıkan akı ve moment arasındaki kenetlenme etkisini ortadan kaldırarak yüksek başarılı sürücü sistemlerinde de kullanılabilmesi amacıyla hız konum döngüsünden daha başka bir döngü oluşturacak şekilde vektör denetimi şekilleri geliştirilmiştir. Vektör kontrol sistemlerini de kendi arasında aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir.

- 1.Doğrudan vektör kontrol yöntemleri
- 2.Gözlemleyici kullanılan doğrudan vektör kontrol yöntemleri
- 3.Dolaylı vektör Kontrol yöntemleri
- 4.Doğrudan moment kontrol yöntemleri

Geleneksel yöntemlerle asenkron motorlara kontrolör tasarlanabilmekte fakat, bu kontrolörlerin motorun elektriksel ve mekaniksel parametrelerinin değişimine karşı dayanıklılığı yeterli olamamaktadır. Bu nedenle son yıllarda yapılan birçok çalışmada yapay sinir ağlarının, geleneksel yöntemlere göre doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesi ve denetimindeki üstünlükleri belirlenmiş ve yapay sinir ağları kullanarak çeşitli motorlar için kontrolörler geliştirilmiştir.

Yapay sinir ağları, insan beyninin bazı fonksiyonlarını ve özellikle öğrenme yöntemlerini benzetim yolu ile gerçekleştirmek için tasarlanır. Geleneksel yöntem ve bilgisayarların yetersiz kaldığı sınıflandırma, kümeleme, duyu-veri işleme gibi alanlarda başarılı sonuçlar verir. Genel olarak yapay sinir ağları, tek katmalı ya da çok katmanlı olarak düzenlenebilen ve paralel olarak çalışan çok sayıda doğrusal olmayan yapay hücreden (nöron) meydana gelen bir sistem ya da matematiksel model olarak tanımlanır (Özmen,2006).Yapay zeka teknikleri, birbirinden tümüyle farklı uygulamalar olmasına karşın, belirsizlikler üzerine kurulan sistemler olması bu tekniklerin ortak yönü olarak değerlendirilebilir. Başka bir deyişle klasik yöntemlerle ortaya çıkan belirsizlikler istenmeyen ve ayrıca değerlendirilmesi gereken durumlarken yapay zeka teknikleri belirsizlikleri içeren ve işleyen uygulamalardır. Yapay zeka tekniklerinden olan yapay sinir ağları, katmanlar halinde düzenlenmiş doğrusal olmayan hücrelerin her bir iterasyonda güncellenen ağırlıklarla birbirine bağlandığı paralel çalışma yeteneğine sahip sistemlerdir (Arias vd., 2000).Yapay sinir ağlarının, paralel çalışabilme yetilerinden dolayı çoğu uygulamalarda olduğu gibi denetim alanında da sık kullanılmaya başlamıştır. Yapay sinir ağları tek başına

bir denetleyici olarak kullanılabildiği gibi öğrenme yeteneği ve uyarlanabilir yapısından dolayı alışılmış denetleyicilerin parametrelerinin uyarlanmasında (Narendra ve Mukhopadhyay, 1997) ve sabit parametrelili denetleyici ile birlikte kullanılabilmektedir. Denetim sistemlerinde yapay sinir ağlarının giriş değişkenlerinin sistem dinamiklerinin geri beslemesi ile oluşturulmasından kaynaklı eğitimi sorunu, saklı katman sayısı ve bu katmanlarda kullanılacak hücre sayısının belirlenmesinde kesin bir kuralın olmaması yapay sinir ağlarının başlıca sorunudur.

Yapay sinir ağları ile asenkron motorlar üzerinde birçok çalışma yapılmıştır bu çalışmalarla bugüne kadar oluşan literatürü incelediğimiz de genel olarak asenkron motor dizaynı ve kontrol sistemleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

Bu tez çalışmasında *Matlab-Simulinkte* oluşturulan bir vektör kontrol sisteminden elde ettiğimiz veriler doğrultusunda oluşturduğumuz yapay sinir ağı bloklarını sisteme entegre ederek *Matlab-Simulink* ortamında çalıştırılmış ve optimize edilmiştir.

2.KAYNAK ÖZETLERİ VE KURAMSAL TEMELLER

2.1. Asenkron Motorlar ve Hız Kontrol Yöntemleri

Asenkron motorlar endüstriyel ve otomasyon uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu motorların diğer motorlara göre daha az bakım gerektirmesi, devir sayılarının yük değişimlerinden daha az etkilenmesi, fiyatlarının ucuz olması gibi üstünlüklerinden dolayı endüstride sıkça kullanılan motorlar olmuşlardır (Çakır, 2009).

Asenkron motorlar kısa bir tanımını yapmak istersek; stator, rotor, rotor yatakları, pervane ve yan kapaklardan meydana gelmiş enerji dönüşümü yapabilen elektrik makineleridir.

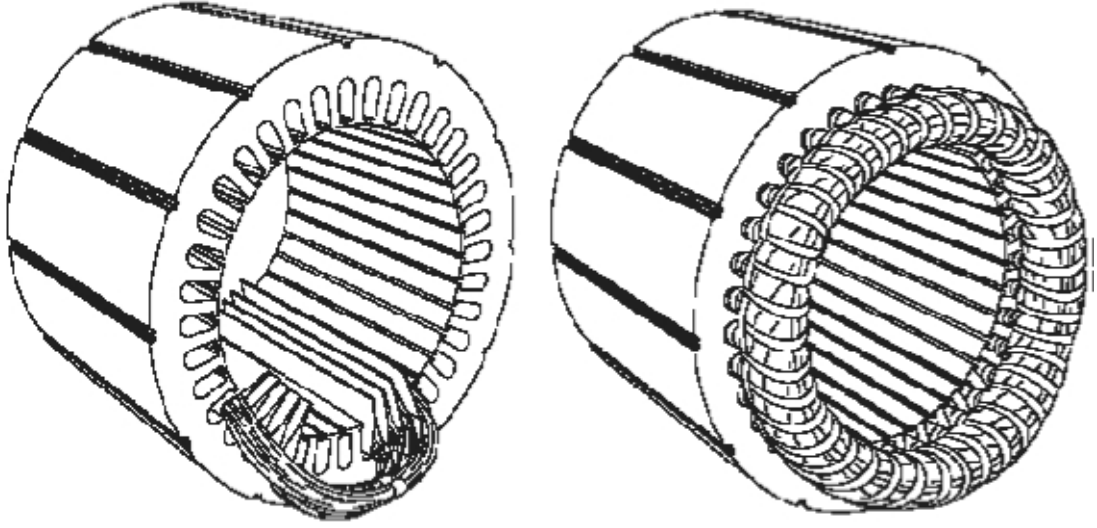
Stator üzerinde üç fazlı alternatif akım sargıları bulunmaktadır. Bu sargılar uygun şekilde düzenlenerek motorun istenen kutup sayısında üretilmesi sağlanır. Her faza ait sargı uçları motor gövdesi üzerindeki bağlantı kutusunda toplam altı uç olarak bağlanır. Daha sonra motorun çalışma durumuna göre bu uçlar üçgen veya yıldız şeklinde bağlanır.

Rotor ise kısa devre çubuklu ve sargılı olmak üzere iki değişik yapıda olabilir. Kısa devre çubukları rotor gövdesinde açılmış olukların içerisine eritilmiş alüminyum dökülerek oluşturulur. Bu çubukların uçları rotorun her iki dış kenarındaki birer alüminyum halka ile kısa devre edilmiştir. Rotoru sargılı olanlarda ise rotor sargıları statorda olduğu gibi üç fazlı olarak sarılır ve sargı uçları fırça ve bilezikler yardımıyla dışarıya çıkartılarak motor gövdesi bağlantı kutusuna bağlanırlar (Çolak, 2001).

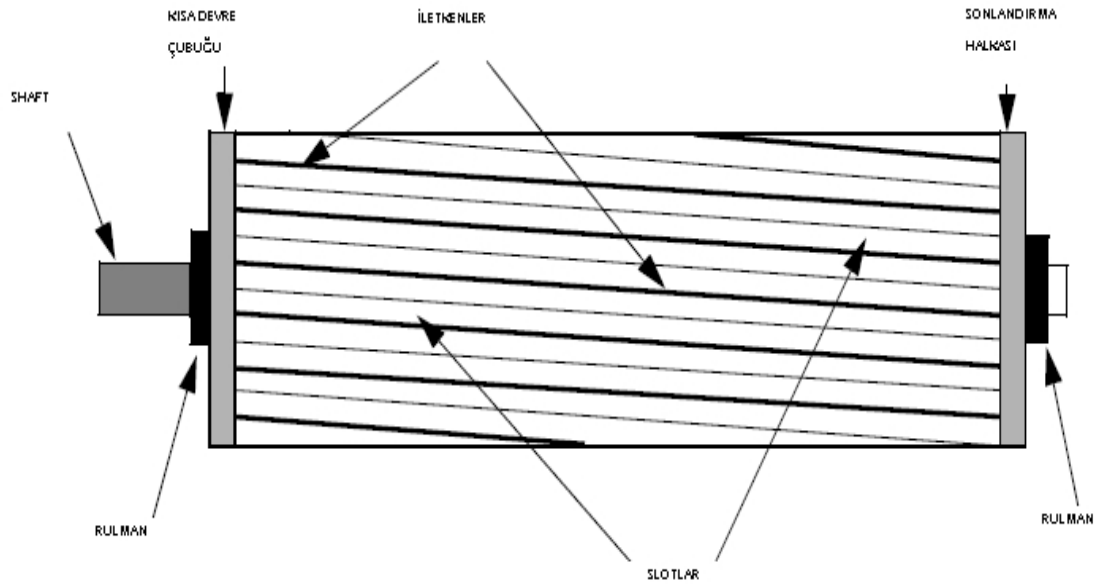
Asenkron makineleri yapılarına göre incelersek bunları iki gruba ayırmak mümkündür;

- 1.Kısa devre rotorlu (Sincap Kafesli) asenkron motorlar
2. Rotoru sargılı (Bilezikli) asenkron motorlar

Bu iki tip asenkron motorun statorlarını tamamen aynı, yalnız rotorların yapı tarzları farklıdır. Normal olarak statorlarında yıldız veya üçgen olarak bağlanabilen üç fazlı bir sargı mevcuttur. Kısa devre rotorlu asenkron motorun rotorunda kısa devre halinde sincap kafesli; bilezikli tip asenkron motorun rotorunda ise kural olarak yıldız bağlı üç fazlı diğer bir sargı bulunur.



Şekil 2.1. Asenkron motor stator yapısı (Microchip'den, 2003)



Şekil 2.2. Sincap kafesli asenkron motorun rotoru (Microchip'den, 2003)

2.2. Asenkron Motorların Çalışma Prensipleri

Asenkron motorlar ana parçalar olarak stator ve rotordan ve stator ve rotor üzerine açılan oluklara yerleştirilen sargılardan oluşmaktadırlar. Stator üzerine yerleştirilmiş olan üç faz sargıları bağlanma tiplerine göre yıldız yada üçgen bağlantı tipinde olabilmektedirler (Kontrolkalemi, 2007).

Stator uygulanan akım alternatif akım olduğundan statorda periyodik olarak değişen bir alternatif alan meydana getirir. Alternatif alanın her bir harmonik bileşenini iki alternatif döner alana ayırabilmek mümkündür. Bu alternatif döner alanlardan döner alanlardan birisi saat ibresi yönünde dönerken diğeri saat ibresi tersi yönünde döner ve her ikisinin de dönüş açısal hızı aynıdır. Üç fazlı asenkron motorlarda birbirinden 120 derecelik faz farkı olan akımlar stator sargılarından geçerek 3 adet alternatif alan meydana getireceklerdir. 3 adet alternatif alanın sadece birinci harmoniklerini dikkate alırsak 6 adet döner alan meydana gelir. Bu 6 adet döner alandan üçü saat ibresi yönünde, üçü de saat ibresinin tersi yönünde dönmektedirler. Döner alternatif alanların açısal hızları ω_s 'tir. Sağa doğru dönen 3 alternatif alan çakışık olarak döndürüldüğü takdirde sola doğru dönen alternatif döner alanlar arasında 120 derecelik faz farkı olduğu için bileşke değeri sıfır olur, ve motor sağa doğru dönen çakışık 3 alternatif döner alanın oluşturduğu moment ile sağa doğru dönmeye başlar bu açıklamadan anlaşılabilceği gibi stator sargılarından geçen alternatif akımlar ω_s açısal hızı ile dönerek stator alternatif döner alanın oluştururlar (Kontrolkalemi, 2007).

Motora statoruna gerilim uygulandığı anda motor duracaktır. N_s hızıyla dönen stator alternatif döner alanı, durmakta olan rotor iletkenini aynı hızda kesecek ve rotor alternatif gerilimin oluşmasını sağlayacaktır. Bu gerilim frekansı f olup bu değer şebeke frekansına eşit olacaktır. Motor senkron devirde döndüğü takdirde senkron devirde dönen stator alternatif alanı rotor iletkenlerini kesmeyecektir. Bu durumda rotor sargılarının sonunda alternatif gerilim üretilmeyecek sonuç olarak rotordan herhangi bir akım geçmeyecek ve döndürme momenti de oluşturulamayacaktır. Bu nedenle rotor devir sayısı her zaman senkron devir sayısını altında olacaktır. Bu

açıklamadan anlaşılacağı gibi asenkron motorun motor halinde çalışması durumunda motorun senkron devirde dönmesi mümkün olmayacaktır. Rotor senkron devirden daha küçük olan ve yük ile değişen devir sayılarında dönecektir (Kontrolkalemi, 2007).

Asenkron motorların en çok kullanılan tipleri bilezikli asenkron makineler ve sincap kafesli asenkron makinelerdir. Bilezikli asenkron makinelerin rotor oluklarına genellikle üç fazlı sargılar yerleştirilmektedir. Üç fazlı rotor sargısı yıldız olarak bağlanır ve yıldız noktası dışarı çıkartılmaz. Mil üzerine bağlı ve milden yalıtılmış üç bilezik rotor ile birlikte döner. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımı ile dış kaynaktan gerilimi ve frekansı değiştirilebilen gerilim uygulanabildiği gibi sargılara dışarıdan empedansa bağlanabilir. Rotor bileziklerine yol alma direnci bağlayarak yol alma akımı sınırlandırılabilir. Ayrıca rotora frekans ve güç faktörü kontrolü yapılabilir. Rotoru sargılı asenkron makinelere uygulanan bu kontrol sistemi sincap kafesli motora uygulanan hız kontrolünden daha ucuzdur. Bununla beraber rotor sargıları rotorda oldukça yer kapladığı için sincap kafesli motorlara göre bilezikli asenkron motorlardan hacim başına daha az güç elde edilir (Kontrolkalemi, 2007).

Sincap kafesli asenkron motorların statorlarında döner alan oluşturan sargılar vardır. Rotor kısa devre çubuklarının oluşturduğu hacim sincap kafesine benzediği için motora bu isim verilmiştir. Bilezikli asenkron motorlarda rotorun sargılı olması ile bileziklerin getirdiği avantaj devir sayısının kolaylıkla ayarlanmasını kalkış momentinin değiştirilebilmesi üstünlüğünü sağlar. Sincap kafesli makinede ise rotor sargısı yerine kısa devre edilmiş iletken çubukların bulunuşu makinenin hem kalkış momentini, hem de devir sayısı ayarı yapabilme yeteneklerini kısıtlamaktadır. Bu nedenle sincap kafesli makineler daha çok kalkış momenti değişmeyen ve devir sayısı mümkün olduğu kadar sabit olan iş makinelerinin tahrikinde kullanılır. Ancak yapım kolaylığından dolayı bilezikli makineye göre iki kat daha ucuzdur (Kontrolkalemi, 2007).

2.3. Asenkron Motorların Hız Kontrol Yöntemleri

2.3.1. Stator frekansını değiştirerek hız kontrolü

Alternatif akım makinelerinin hız kontrolünde, en kolay ve en etkin yol makinenin stator sargısına uygulanan gerilimin frekansının değiştirilmesidir. Makinenin stator sargısına uygulanan gerilimin frekansı yada kısaca senkron frekansı ile makinenin senkron hız arasında 2.1 denklemiyle verilen ilişki mevcuttur.

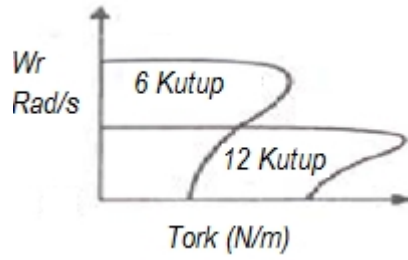
$$N_s = 120 \frac{F}{P} \quad (2.1)$$

Motor senkron hız değerine ancak boşta iken yaklaşabilir. Boşta çalışıyor olsa bile mildeki sürtünmenin oluşturduğu etkiden dolayı senkron hızın çok az bir miktar altında dönecektir. Motorun çalışma hızını senkron frekans ile şafta bağlı olan yük belirler, makinenin hız aralığı ise senkron hız ile devrilme momentine karşılık olan devrilme hızı arasındadır (Sarıoğlu vd., 2003).

Frekansın değiştirilmesi senkron devir sayısını değiştirdiği için motorun moment karakteristiği de değişir. Bu durumda iş makinesi ve motor ikilisi birlikte farklı hızlarda dönerler. Makinenin eşdeğer devresi göze alındığı zaman, motorda bulunan reaktansların frekansla değişeceği görülür. Küçülen frekansla eşdeğer devre empedansında küçülür. Eğer bu sırada uygulanan gerilim sabit tutulursa, akımda artar. Bu durumda çekilen aşırı akımdan dolayı statorda meydana gelen büyük amper-sarım, makinenin manyetik olarak doymasına neden olur, çünkü motorlar tasarım aşamasında mıknatıslanma eğrisinin dirsek bölgesinde çalışmak üzere tasarlanırlar. Doyan makinede mıknatıslanma akımı arttığı için, demirdeki alan yoğunluğu büyür, mıknatıslanma akımının şekli sinüs formundan iyice uzaklaşır ve harmonik içermeye başlar ve bu durum şebeke tarafından şebeke gerilimini değiştireceğinden ötürü istenmeyen bir durumdur (Megen ve Zorlu, 2005). Bu ancak değişen frekansla birlikte gerilimin değiştirilmesiyle düzeltilebilir.

2.3.2. Stator kutup sayısını değiştirerek hız kontrolü

Asenkron motorun senkron döner alan hızının kutup sayısı ile değiştirilebileceği denklem 2.1'den anlaşılmaktadır. Motorun kutup sayısı ise ancak motorun stator sargılarında yapılan bir bağlantı değişikliği ile gerçekleştirilebilir (Çolak, 2001). Genelde bu şekilde yapılan hız kontrolü ancak kademeli olarak yapılabilir ve genelde bu yöntem motorun hızını ancak 1/2 veya 1/3 oranında değiştirebilir (Sarıoğlu vd., 2003). Bahsedilen bu hız kontrolünün yapılabilmesi için asenkron motorun kutuplarının değiştirilebilir şekilde özel bir yapıya sahip olması gerekmektedir ve bu özel yapı da ekonomik olarak pek uygun olmadığından ve hız kontrol aralığında geniş bir yelpaze bulunmamasından dolayı yüksek sürücü sistemlerinde kullanılması uygun olmayan bir yöntemdir.



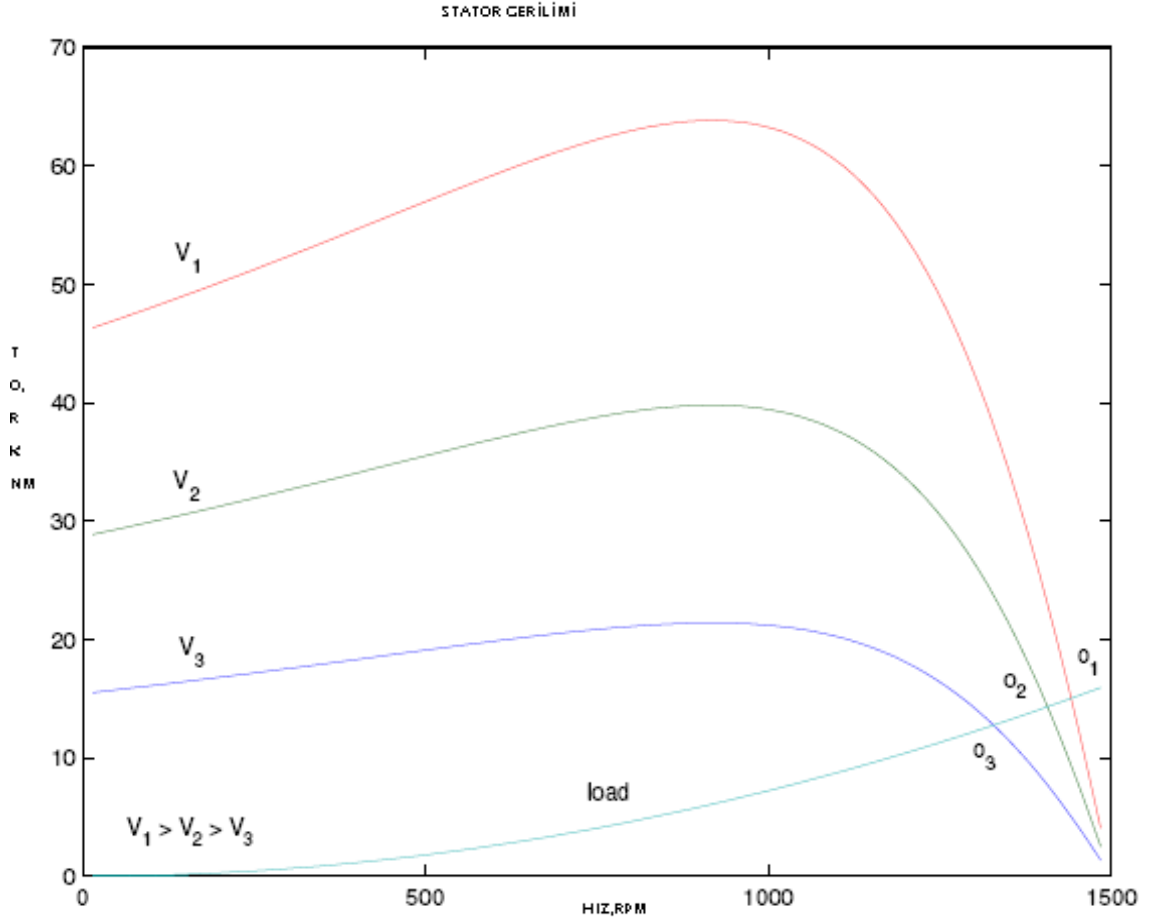
Şekil.2.3. Kutup Sayısı –moment Değişimi

2.3.3. Stator gerilimi değiştirilerek

$$T_e = \frac{3}{w_s} \times \frac{V_s^2}{(R_s + \frac{R'_r}{s})^2 + (X_{ts} + X'_{tr})^2} \times \frac{R'_r}{s} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2 de moment ifadesine bakıldığında asenkron makinelerin momentinin statora uygulanan gerilimin karesiyle doğru orantılı olduğu görülmektedir (Krishna vd., 2002). Daha çok sincap kafesli motorlarda uygulanan bu yöntemle sabit frekansta statora uygulanan gerilimi ayarlanabilir güç kaynakları veya gerilimi değiştirebilen sürücü sistemleri (inverter) ile uygulanabilmektedir. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi statora uygulanan gerilim ile paralel olarak motorun kalkış ve devrilme momenti de artmaktadır. Yine şekil 2.4'den çıkartılacak bir sonuç olarak tüm gerilim seviyeleri için maksimum momentin meydana geldiğin hız 1000 rpm

civarı olduğu görülmektedir, sonuç olarak stator voltajını değiştirerek motorun hızını 0 ile senkron hız arasında kontrol edilebilmesinin mümkün olduğu görülmektedir.

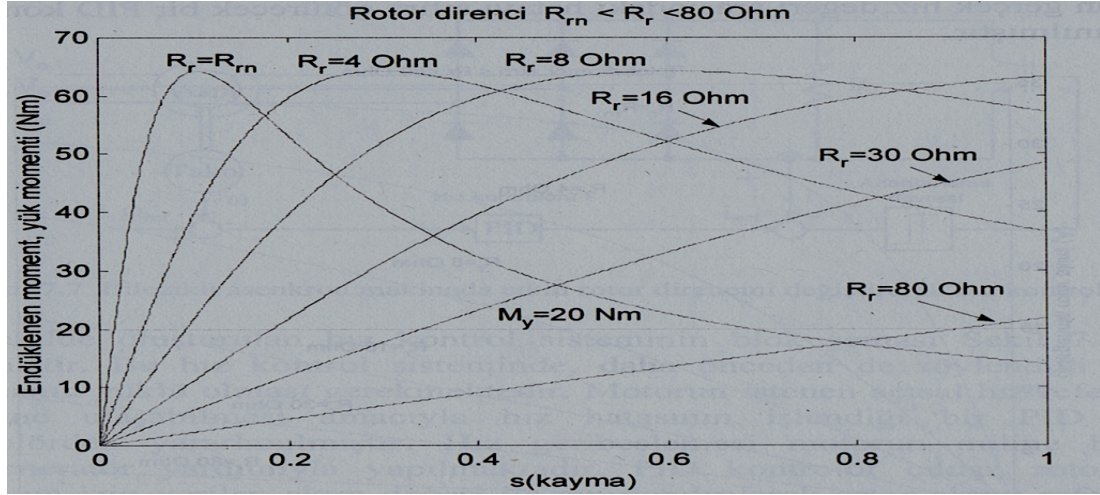


Şekil 2.4. Hız ve momentin gerilim ile değişimi (Krishna vd., 2002)

2.3.4. Rotor direncini değiştirerek hız kontrolü

Bu yöntem sadece rotorlarında sarım tekniği kullanılmasından dolayı sadece bilezikli asenkron makinelerde uygulanabilir. Rotor direncinin, dolayısıyla rotordan akan akımın değiştirilmesiyle motorun hız kontrolü yapılabilmektedir, ancak boştaki hız rotor direnciyle değiştirilmediğine göre hız kontrolü sadece motor yüklü iken gerçekleştirilebilmektedir. Bilezikli asenkron motorların rotor uçları dışarıya alındığından dışarıdan rotora direnç ilave edilebilir. Her bir faza dengeli olarak dışarıdan eklenen bir dizi dirençle kademeli ve kayıplı olarak motorun hız değiştirilebileceği gibi statik Kramer, Scherbius bağlantıları veya benzeri güç

elektroniği devrelerinden yararlanılarak rotordaki enerjinin şebekeye aktarılması sağlanarak bu işlem kayıpsız ve kademeli olarak gerçekleştirilebilir (Sarıoğlu vd., 2003).



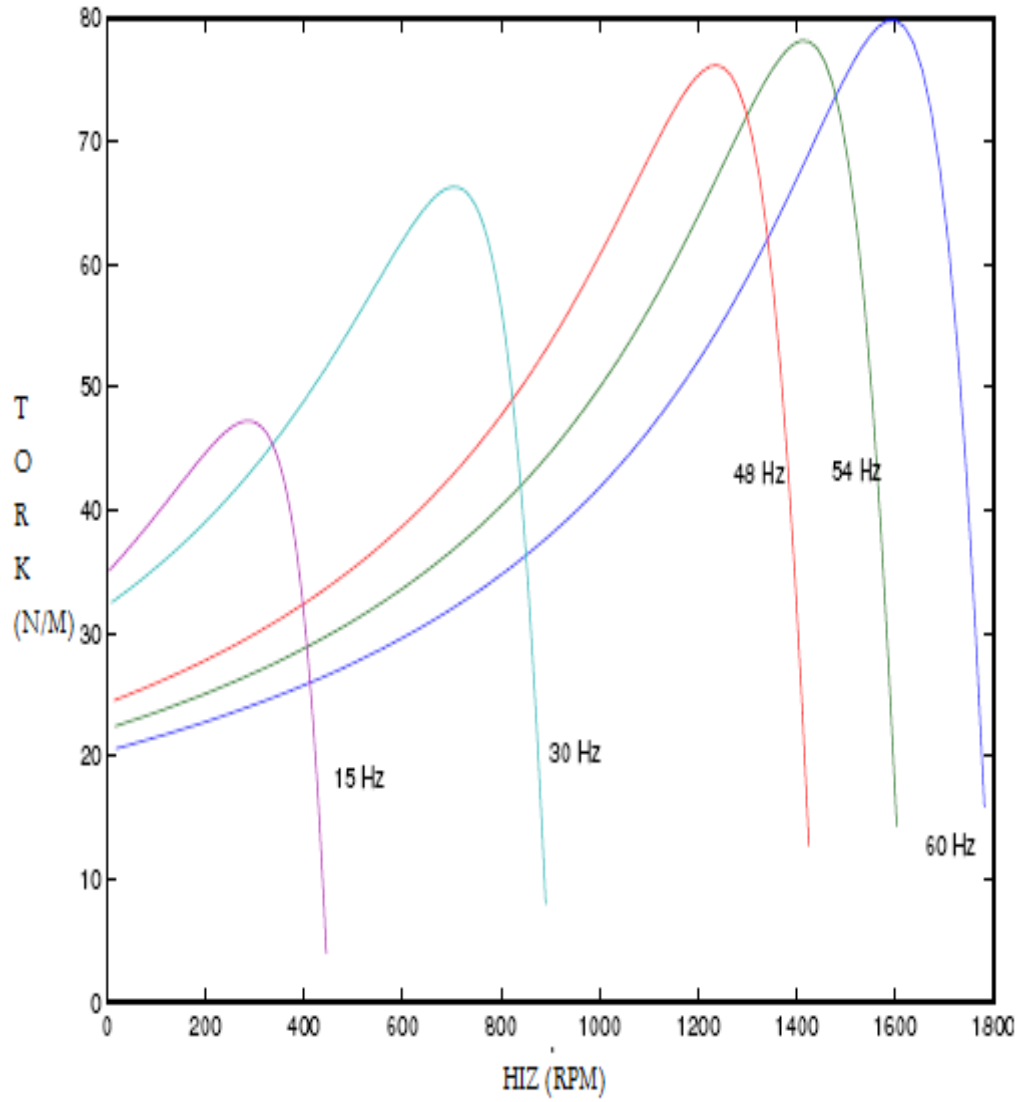
Şekil 2.5. Rotora bağlı direncin değiştirilmesi ile elde edilen moment hız karakteristiği (Sarıoğlu'dan, 2003)

2.3.5. Skalar kontrol(V/f kontrol)

Skalar kontrol adında da anlaşıldığı gibi kontrol değişkenlerin farkı varyasyonlarıdır, makinenin torkunu kontrol etmek için makineye uygulanan gerilim, akı, frekans ve kayma ile kontrol edilebilir nitekim akı ve tork karşılıklı olarak frekansın ve gerilimin fonksiyonudur (Bose, 2002). Bu hız kontrol sisteminde temel amaç asenkron motora uygulanan gerilimin değiştirilmesi halinde makinenin torkunda herhangi bir azalma olmaması için gerilimle orantılı olarak frekansında değiştirilmesidir, fakat bu uygulama motorun düşük hızlı kullanımlarında başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. Motoru düşük hızlarda sabit bir torkla çalıştırmak istediğimizde makineye uygulanan gerilimi düşürmek gerekmektedir, ancak motorun statorunda bulunan sarımların oluşturacağı direncin üzerine düşen gerilim düşümü ihmal edilebilir olmasına karşın statora uygulanan düşük gerilimlerde bu gerilim düşümü ihmal edilememektedir, bu nedenden ötürü düşük hızlarda istenilen torkun elde edilememesi söz konusu olur bu da bu kontrolün en önemli dezavantajıdır, Fakat günümüzde çok hassas hız ve tork kontrolü istenmeyen yerlerde uygulanabilirlik olarak daha sonra bahsedeceğimiz

gelişmiş hız kontrol sistemlerinden daha kolay ve ekonomik olarak daha uygundur. Günümüzde bu kontrolü aşağıdaki verilen sistemlerle yapmak mümkündür.

- Doğrudan frekans çeviriciler
- Ara devreli frekans çeviriciler
- Akım ara devreli frekans çeviriciler
- Gerilim ara devreli frekans çeviriciler
- Değişken gerilim ara devreli frekans çeviriciler
- Sabit gerilim ara devreli frekans çeviriciler
- Pwm (Darbe genişlik modülasyon)



Şekil 2.6. V/f Kontrolü tork ve hız eğrileri (Krishna vd., 2002)

2.3.6. Vektör denetim yöntemleri ve asenkron motorun dinamikleri

Bu başlık altında asenkron motorun denetiminin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan dinamikleri kısaca anlatmaya çalışılacaktır. Asenkron motorlarda en yaygın dinamik problemler motoru harekete geçirme (başlatma), motoru hareket dışı hale getirme (durdurma) ve mevcut sistemin gürültü olarak tanımlanan sistem performansını etkileyen parazitler süresince, motorun çalışmasını aksatmadan devam ettirebilmesi için motorun çalışma performansı ile yakından ilgili dinamiklerdir (Taşkafa, 2006).

Dinamik analizlerdeki asenkron motorun ifade metotları, gerçekleştirilebilir bir kapsam dahilinde problemin yapısının ve karmaşıklığının tam olarak tanımlanmış veya ifade edilmiş olma niteliğine bağlıdır. Yine bu analizler dahilinde elektriksel geçici rejimler makine dinamikleri için önemli bir yer tutmaktadırlar. Eğer elektriksel geçici rejimleri ihmal edilebilir olarak düşünürsek olay bir boyuta indirgenmiş olur. Çünkü elektriksel geçici rejim isminden de anlaşılacağı gibi, çok hızlı bir şekilde çalışmakta olduğumuz elektriksel şartların dışına çıkmakta ve sonra aniden kaybolmaktadır. (hareketli rejimin sürekliliği ile karşılaştırıldığında geçici rejim çok kısa bir zaman diliminde çok hızlı olarak kaybolmaktadır) (Gülez, 1999).

Karşılaşılan problemin daha sonraki dinamik analizi, özellikle sistem içinde karşılaşılan lineersizliklerden dolayı sistemi denetimi zor bir hale getirmeyecek olan oldukça basit, fakat oldukça gerçekçi bir şekilde (matematiksel olarak) ifade etmeyi amaçlar. Motor dinamikleri içinde zamana karşılık düşen motor hızı bilinirse, zamana karşılık gelen akım karakteristiği de, ya hıza karşı bir akım eğrisi ya da analitik ifadelerle elde edilen bir sonuç olur. Endüvi akımının büyüklüğü, mıknatıslama reaktansının düzeninde etkin rotor empedansı olduğu noktada hız artıncaya kadar sayısal değer olarak büyük kalır. Bu noktada akım sürekli durum çalışma değerine düşmeye başlar. Yüksüz halde bu akım motorun mıknatıslama akımıdır. Tam yük altında ise, bu akım mıknatıslama akımı ve stator yük akımının toplamını içerir (Taşkafa, 2006).

2.3.7. Asenkron motorun matematiksel modelinin teorisi

Genelde, bir sistemin matematiksel modeli, sistemin fiziksel davranışının simülasyonunu yapmak veya bir algoritmaya dayanarak gerçek zamanda denetimi gerçekleştirmek için gereklidir. Matematiksel modeller, sistemin gerçek fiziksel davranışına oldukça uyumlu olmalı ve o davranışı iyi bir şekilde yansıtmalıdır. Model basit olmalı ve en az varsayıma dayanarak oluşturulmalıdır. Modelin karmaşıklığı, kontrol işlemlerinin süresini uzatacak ve böylece sistem performansını düşürecektir. Modellerde kullanılan makinenin fiziksel büyüklüklerinin, skalar değil de vektörel olarak göz önüne alınabilmesi sistem modelinin doğruluğunu arttırmaktadır. Böylece, makinelerin geçici durum davranışından oluşacak hata önemli derecede azalır (Şahin, 2006).

Modellemenin en önemli aşamalarından biri de modellenen sistemin giriş ve çıkış büyüklüklerinin belirlenmesidir. Zira bu aşamadan sonra modelleme, bu giriş ve çıkışlar arasında uygun matematiksel model, diferansiyel denklemler oluşturulmasıyla son bulur. Bu durumda giriş ve çıkış arasındaki denklemlerin fiziksel sistemi mümkün olduğunca iyi modellemesi, buna karşın mümkün olduğunca da basit olması gerekmektedir. Asenkron motorda giriş büyüklükleri stator d - q eksen akımları, rotor hızı ve yük miktarı, çıkış büyüklüğü ise elektiriki yük momentidir (Hervey, 1994).

Bu bilgilere dayanarak sincap kafesli asenkron makine modeli oluşturulurken aşağıdaki modelleme varsayımlarının çalışma amacına yönelik olarak birkaçı veya tamamı uygulanabilir (Koca, 2006).

- Stator sargıları, stator çevresinde düzgün olarak yayılmıştır. Hava aralığında akı sinüsoidal biçimdedir.
- Üç fazlı stator sargıları çevreye 120 derecelik faz farklı olarak düzgün biçimde yayılmışlardır.
- Doyma, dış ve oluk etkileri ihmal edilmiştir.
- Manyetik kısımların geçirgenliği sonsuz varsayılmıştır.
- Histerisis ve Foucault kayıpları ihmal edilmiştir.
- Akım yığılması (deri olayı) ihmal edilmiştir.

- Rotor çubukları, rotor eksenine göre simetrik yayılmışlardır.
- Dirençler ve endüktansların sıcaklıktan bağımsız oldukları varsayılmıştır. (Şahin, 2006)

2.3.8. Alan yönlendirmeli vektör denetimi

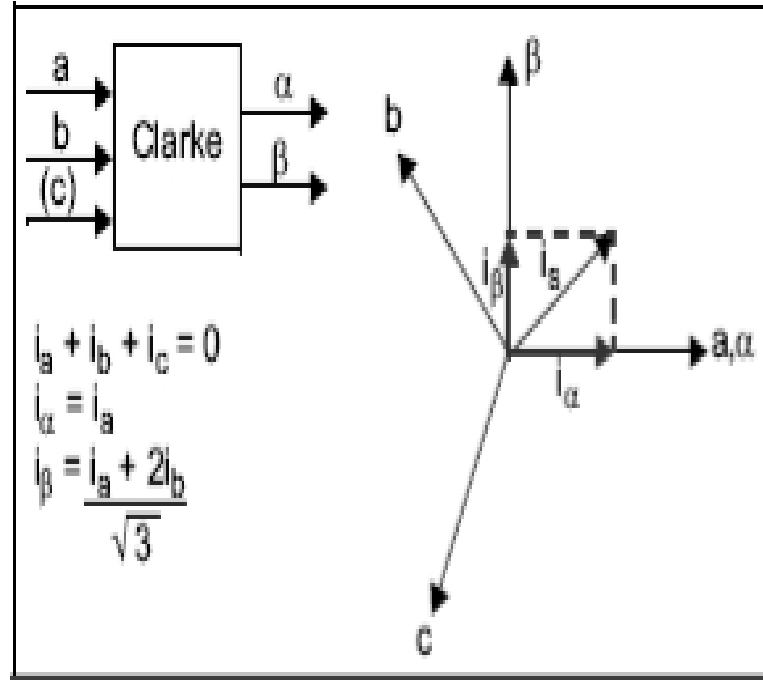
Asenkron motorun stator akımların bir vektör ile temsil edilerek kontrolüne alan yönlendirmeli vektör kontrolü adı verilir (Gabriele vd., 1997). Alan yönlendirmeli vektör kontrolü tamamen zamandan bağımsız olan d ve q eksen takımına dayanarak modellenen bir sistemdir. Bahsedilen d ve q eksenel dönüşümü yapabilmek için bazı dönüşüm kuralları vardır, bunlar sırasıyla 3 fazlı sistemi oluşturan a - b - c eksenel takımından zamanla değişen α - β 2 koordinatlı sisteme geçiş için kullanılan Clark dönüşümü ve bu dönüşümü takiben d ve q zamanla değişmeyen eksen takımına geçiş için kullanılan Park dönüşümüdür bu dönüşümler bir sonraki bölümde detaylı olarak anlatılacaktır. Bu sistemde d ve q koordinatlarına karşılık gelen sırasıyla akı ve moment bileşenleri ile asenkron makinenin kontrolünü doğru akım motorunun kontrolüne benzetilmiştir, işte bu nedenle asenkron motorun sürekli ve süreksiz durumda kontrolünü daha doğru yaparak sınırlı bant genişliği matematiksel modeli bağımsız hale dönüştürür.

Temel olarak kontrolde amaçlanan sabit bileşenler olan moment ve akı ifadelerine aşağıda verilen denklem de görüldüğü gibi doğrudan moment kontrolünü uygulamaktır,

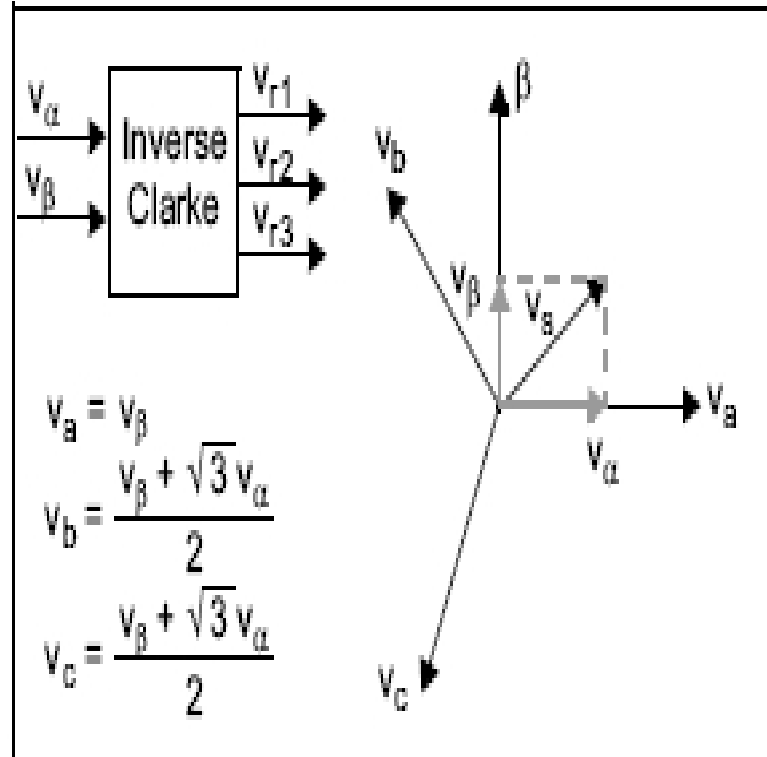
$$T_e \propto \psi_r i_q \quad (2.3)$$

2.3.9. Clark dönüşümü

Clark dönüşümünde asenkron motorun statorunda üç faza ait akım veya gerilim büyüklükleri (a , b , c) referans eksen sisteminde 2 boyuta taşınır. İki boyuttaki büyüklükler (α , β) tanımlanır (Koca, 2006). 3 fazlı sistemi 2 boyutlu sisteme çeviren Clark dönüşümü'nün formülleri ve vektörel gösterimleri şekil 2.7 ve 2.8'de verilmiştir.



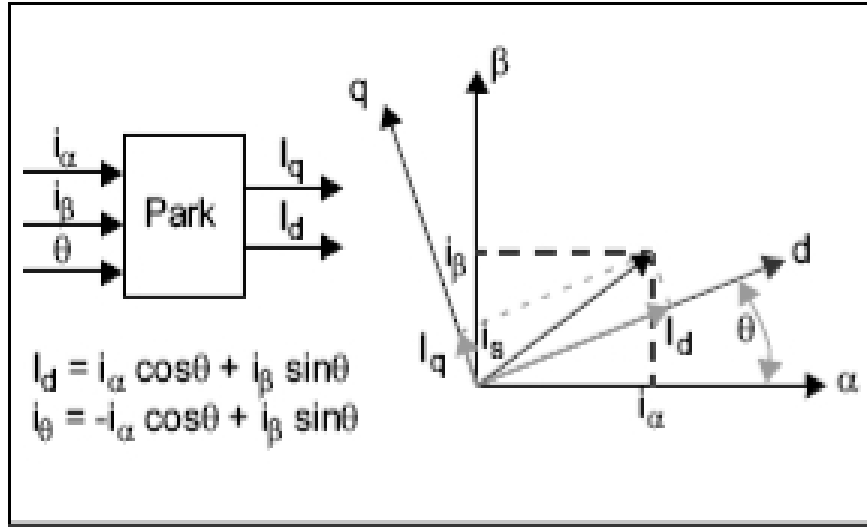
Şekil 2.7. Clark dönüşümü (Öztürk'den, 2006)



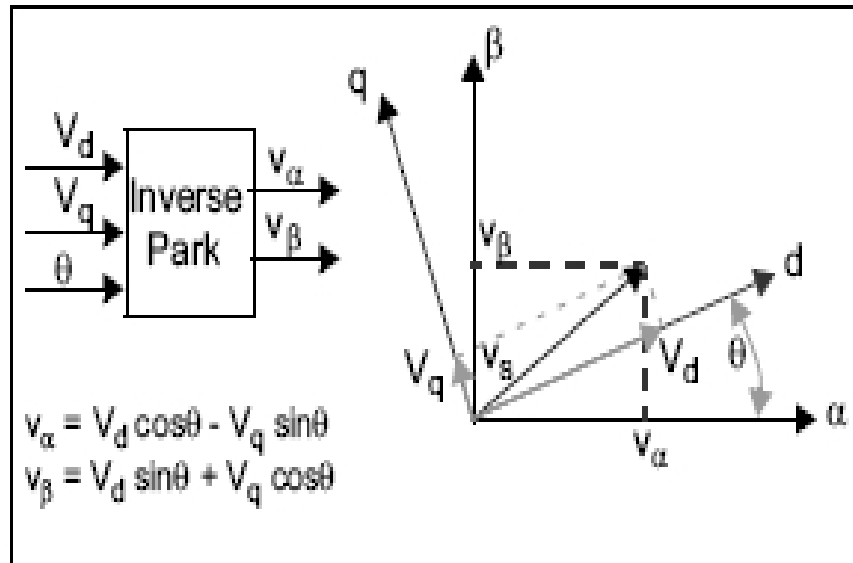
Şekil 2.8. Ters Clark dönüşümü (Öztürk'den, 2006)

2.3.10. Park dönüşümü

Park dönüşümü vektörel denetimin en önemli kısımlarından birisidir 3 fazlı sistemin α ve β eksenel sistemine dönüşmesinden sonra uygun olan θ açısı ile d - q eksen takımına taşınmadır, park dönüşümün daha iyi anlamak için şekil 2.9 ve şekil 2.10 verilmiştir.



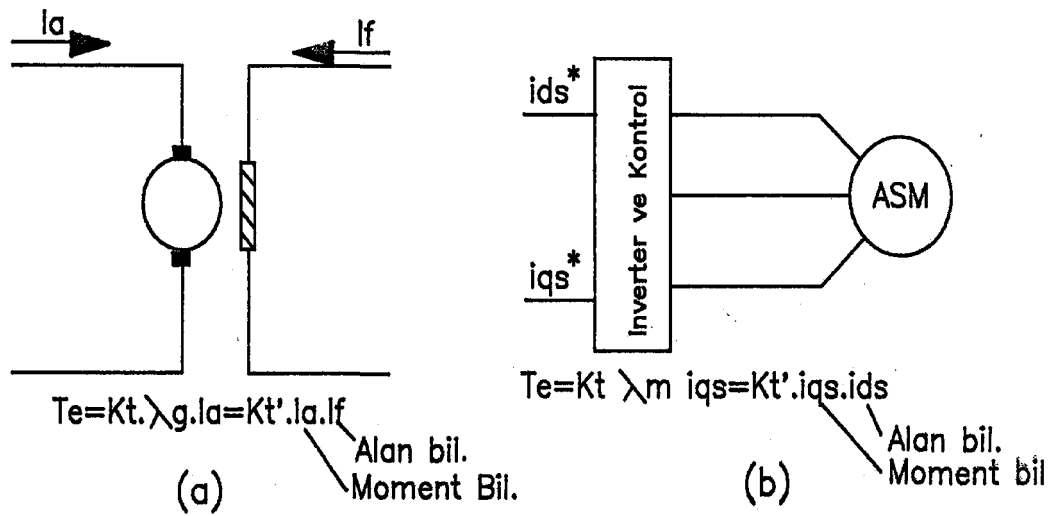
Şekil 2.9. Düz Park dönüşümü (Öztürk'den, 2006)



Şekil 2.10. Ters Park dönüşümü (Öztürk'den, 2006)

2.3.11. Asenkron motorun vektör denetimi

Alan yönlendirmeli vektör denetimi olarak da adlandırdığımız vektör denetimi asenkron motorun statorunun akım ve gerilimlerini genlik ve faz bakımından kontrol edebilmektir. Bu denetimi gerçekleştirebilmek için yukarıda bahsettiğimiz Clark ve Park eksenel dönüşümlerine ihtiyaç duyulur bu dönüşümler sayesinde asenkron makineyi doğru akım motorun benzetmek mümkün olmaktadır, Aşağıda verilen şekil 2.11 ile bu benzetimin nasıl olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 2.11. Asenkron makinenin doğru akım makinesine benzetilmesi (Kaya'dan, 1990)

Bu denetim yöntemi bahsedilen dönüşümlere gerek duyduğundan denetim yapısında elektriksel değişkenlerin ani değerleri her an için mevcuttur bu mevcudiyet vektör denetimli motorun performansının üst seviyelerde olmasını sağlamaktadır. Clark ve park dönüşümleriyle elde edilen stator akımının moment(I_q) ve akı(I_d) bileşenleriyle istenilen referans değerlerine ulaşmak hatta direk moment kontrolü yapmak daha da kolaylaşacaktır.

Vektör denetiminde moment aşağıdaki ifadeye göre kontrol edilir:

$$T_e \propto (3 \phi_r \frac{P}{2}) \times I_q \quad (2.4)$$

Burada ψ_r rotor akısı sabit tutulursa veya sabit olduğu kabul edilirse moment ile moment bileşeni I_q arasında doğrusal bir ilişki elde edilir. Bu nedenle moment, stator akım vektörünün moment bileşenini ile denetlenebilmektedir. Burada akı ve moment arasındaki kenetlenmenin kaldırılması için rotor, stator ya da hava aralığı akı vektörlerinden birinin genliğinin veya konumunun bilinmesi gereklidir. Bu akı vektörlerinin elde edilme sekline bağlı olarak vektör denetimi doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki farklı şekilde yapılmaktadır (Sarioğlu, 2003; Dandil, 2004).

2.3.12. Asenkron motorun doğrudan vektör kontrol yöntemi

İlk uygulanan vektör kontrol yöntemi olup Siemens Erlangen Almanya araştırma merkezinde çalışan F.Blaschke tarafından geliştirilmiştir. Blaschke'nin önerdiği vektör kontrol yönteminde rotor akısı, hava aralığı akısının sensörlerle ölçülmesiyle elde edilir (Sarioğlu vd., 2003). Bu sözü edilen hava aralığının akısını ölçen sensörler genelde araştırmacı bobinler veya hall etkili sondalardır, Rotor akısının genliği ve fazını oluşturabilmek için ölçülen akı bileşenleri dışında, makinenin faz akımlarının ($a-b-c$ eksen takımındaki büyüklükler) 'da ölçülmesi ve $a-b-c$ 'den $\alpha-\beta$ 'ya bir dönüşüm ile $\alpha-\beta$ eksenlerindeki bileşenlerinin elde edilmesi gereklidir (Koca, 2006). Fakat bu yöntemi gerçekleştirebilmek için özel üretim elektrik motorlarına ihtiyaç duyulduğundan uygulamada pratik değildir.

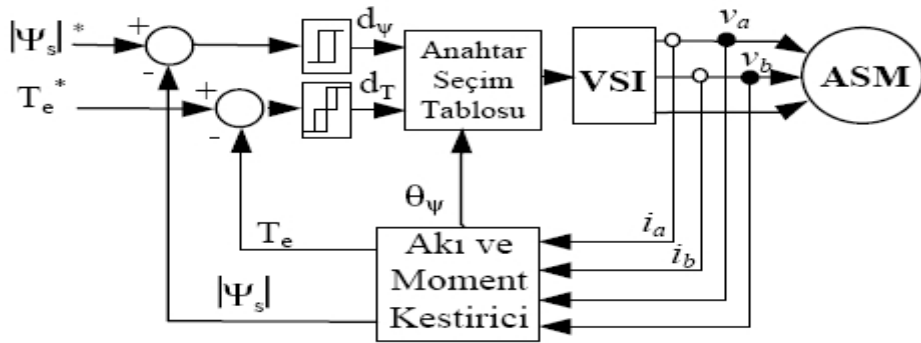
2.3.14. Asenkron motorun dolaylı vektör kontrolü

Dolaylı vektör kontrolünde, rotor akısının genlik ve faz bilgisinin elde edilmesinde doğrudan denetim yönteminde olduğu gibi akı algılayıcısına gerek duyulmaz (Şahin, 1997).

Bu denetiminde, akı vektörünün konumunun belirlenmesi için konum/hız algılayıcıları kullanılır. Rotor akısının konumu, motor miline yerleştirilen konum veya hız algılayıcılarından elde edilen konum bilgisi ile referans işaretten elde edilen referans kayma değerinden yararlanılarak bulunur (Dandil, 2004). Böylece rotor akısının konum bilgisi, doğrudan akı algılayıcıları veya gözlemleyicileri ile değil de dolaylı yoldan hesaplamalar ile elde edilir. Bu nedenle dolaylı vektör kontrolünde herhangi bir bağımlılık söz konusu olmayıp birçok yönden anlatılan diğer kontrol yöntemlerine nazaran daha avantajlıdır.

2.3.15. Doğrudan moment kontrol yöntemi

Doğrudan moment kontrol yöntemi adından da anlaşılacağı üzere doğrudan vektör kontrolünün bir koludur. Bu kontrol sisteminde temel amaç asenkron motor sürülürken moment ve akı hatasındaki oluşabilecek değişimleri düzeltmek ve hızlı bir moment cevabı sağlayabilmektir.



Şekil 2.13. Doğrudan moment kontrollü sürücü sisteminin blok şeması (Okumuş'dan, 2002)

Şekil 2.13'de görüldüğü gibi bu kontrol doğrudan vektör kontrolünün bir kolu

olmasına karşın akımlar için bir eksenel dönüşüme gerek olmayıp herhangi bir pwm kontrolüne de ihtiyacı yoktur kontrolü referans değerlerine göre anahtarlanabilen bir eviriciyle rahatlıkla sağlanabilir.

2.4. Kontrol Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan özellikle insan beyninin fonksiyonlarının taklit edebilme yeteneği bakımından oldukça gelişmiş olan bir kontrol sistemidir, bunun yanında yapay sinir ağlarının metodolojisini incelediğimizde öğrenme, genelleme yapabilme ve birden fazla veri ile çalışabilme özellikleri yapay sinir ağlarını popüler yapan özellikleridir.

Yapay sinir ağları günümüzde özellikle elektrik ve bilgisayar mühendisliğinde, matematik ve fizik dallarında klasik olarak çözümlenmesi zor olan problemlerde farklı ve doğru bir çözüm getirmesinden dolayı büyük bir alternatif durumundadır.

2.5. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Yapay sinir ağları yapıları itibariyle çeşitlerine de bağlı olarak klasik yöntemlerden farklı olarak bazı özellikleri vardır bunları sıralamak istersek (Karlık, 1995).

-Öğrenme: Ağın girişine verilen ve problemin yapısına göre değişen girişler ağ tarafından hafızaya alınarak problemin girişi ile çıkışı arasındaki ilişkiyi kavramaya çalışır örnek sayısı arttıkça öğrenme işlemi de başarılı olur.

-Genelleme: Problemin önceden öğretilmiş giriş ve çıkışlarından farklı olarak gelen herhangi bir giriş verisi için ağ öğrenmemiş dahi olsa ağın genelleme yaparak çıkış verebilme yeteneğidir.

Hız: Bilindiği gibi insan beyni kendine örnek olan yapay sinir ağları, insan beyninin temel özelliği olan gerçek zamanlı veri işleyebilme özelliğini teknolojinin gelişmesi ile yapısına katmış ve paralel çalışma yeteneği sayesinde hızlı bir şekilde problemlere çözüm bulabilmektedir.

2.6. Yapay Sinir Ağlarının Avantaj ve Dezavantajları

Yapay sinir ağlarının kullanımlarına göre avantaj ve dezavantajları mevcuttur bunları maddeler halinde sıralarsak (Öztemel, 2006);

Avantajları;

- Kullanılan verilerden hareketle bilinmeyen ilişkileri ortaya çıkarabilir,
- Genelleştirme yapabilirler.
- Nonlinear yapıları sayesinde nonlinear problemleri lineerleştirerek çözüm sunabilirler.
- Bağımsız işlemleri aynı anda yapabilme özellikleri vardır.

Dezavantajları;

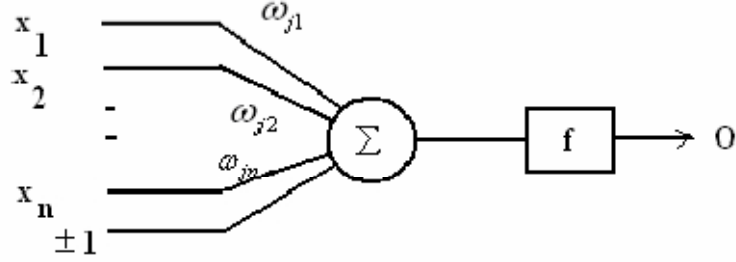
- Doğru bir sonuç almak için bazen pek çok veriye ihtiyaç duyabilirler.
- Eğitimin gerçekleştirmek ve veri temin etmek bazen çok yavaş ve pahalı olabilir.
- Herhangi bir problemin çözümünde genelmeye giderse bazen hiç istenmeyen sonuçlar elde edebilir.
- Bazı durumlarda özellikle veri sayısının çok miktarda olması halinde yapısal olarak gerçekleştirilip uygulanmaları oldukça zaman alabilir.
- Probleme uygun ağ yapısının bulunması genellikle deneme yanılma yöntemiyle bulunur bu da önemli bir dezavantajdır.

2.7. Yapay Sinir Ağının Tanımı ve Modeli

Yapay sinir ağları genel bir deyişle insan beyninin çalışma prensibini taklit etme esası üzerine kurulmuş bir bilgi işleme sistemidir (Taşkafa, 2006).

Yapay sinir ağları temel olarak, basit yapıda ve yönlü bir graf biçimindedir. Her bir düğüm hücre denilen n. dereceden lineer olmayan bir devredir. Düğümler işlem elemanı (nöron) olarak tanımlanır. Düğümler arasında bağlantılar vardır. Her bağlantı tek yönlü işaret iletim yolu olarak görev yapar. Her işlem elemanı istenildiği sayıda giriş bağlantısı ve tek bir çıkış bağlantısı alabilir. Fakat bu bağlantı kopya edilebilir. Yani bu tek çıkış birçok hücreyi besleyebilir. Ağdaki tek gecikme, çıkışları

ileten bağlantı yollarındaki iletim gecikmeleridir. İşlem elemanının çıkışı istenilen matematiksel tipte olabilir. Kısmen sürekli çalışma konumunda "aktif" halde eleman bir çıkış işareti üretir. Giriş işaretleri yapay sinir ağına bilgi taşır. Sonuç ise çıkış işaretlerinden alınabilir. Aşağıdaki şekilde yapay sinir ağlarının en küçük birimi olan yapay sinir ağı hücresi verilmiştir.



Şekil 2.14. Temel yapay sinir ağı hücresi (Koca'dan.2006)

Yukarıdaki şekilli referans olarak yapay sinir ağı hücresinin yaptığı işin matematiksel formüllerini verilmiştir;

$$o = f(w.x + b) \quad (2.5)$$

Denklemleri ile yapay sinir ağı hücresinin çıkışı hesaplanır buradaki w ağırlıklar matrisi, x ise girişler matrisidir. N giriş sayısı olmak üzere;

$$w = w_1, w_2, \dots, w_n \quad (2.6)$$

$$x = x_1, x_2, \dots, x_n \quad (2.7)$$

şeklinde yazılabilir. Formülize edildiğinde;

$$net = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \text{ ve } o = f(net) \quad (2.8)$$

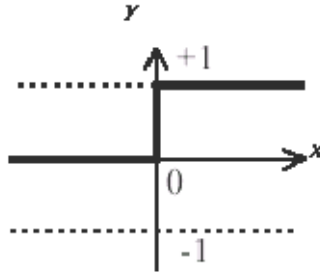
$$o = f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b) \quad (2.9)$$

Şeklinde de yazılabilmektedir.

Yukarıdaki eşitlikte görülen f aktivasyon fonksiyonudur. Genelde doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonunun çeşitli tipleri vardır (Anonim, 2004).

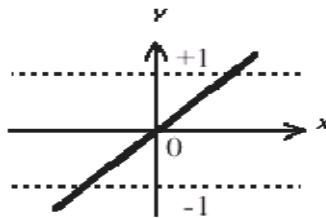
2.7.1. Aktivasyon fonksiyonları

Aktivasyon fonksiyonları yapay sinir ağı hücrelerine gelen net girdiyi işleyerek, hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirleyen fonksiyonlardır. Yapay sinir ağlarında kullanılan başlıca aktivasyon fonksiyonları verilmiştir (Öztemel, 2006).



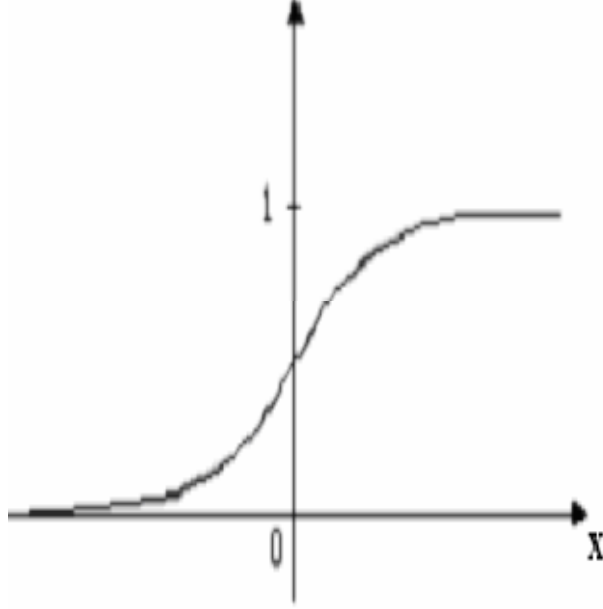
Şekil 2.15. Eşik aktivasyon fonksiyonu (Anonim, 2004).

Aşağıdaki Şekil 2.16'da doğrusal aktivasyon fonksiyonu görülmektedir. Lineer aktivasyon fonksiyonunun çıkışı girişine eşittir. Sürekli çıkışlar gerektiği zaman çıkış katmanındaki aktivasyon fonksiyonunun lineer aktivasyon fonksiyonu olabildiğine dikkat edilmelidir (Anonim, 2004).



Şekil 2.16. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu (Anonim, 2004).

Bu aktivasyon fonksiyonu $f(x) = x$ şeklinde ifade edilir. Şekil 2.17’de logaritmik sigmoid transfer fonksiyonu görülmektedir. Lojistik fonksiyon olarak da adlandırılmaktadır. Bu fonksiyon doğrusal olmamasından ötürü türevi alınabilen bir fonskiyondur (Anonim, 2004).



Şekil 2.17. Logaritmik sigmoid aktivasyon fonksiyonu (Anonim, 2004).

Lojistik fonksiyonu,

$$f(x) = \text{lojistik}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda \cdot x)} \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilir. Buradaki λ eğim sabiti olup genelde 1 olarak seçilmektedir. Diğer bir aktivasyon fonksiyonu olan hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu da lineer olmayan türevi alınabilir bir fonskiyondur. +1 ile -1 arasında çıkış değerleri üreten bu fonksiyon lojistik fonksiyona benzemektedir. Denklemi aşağıda görüldüğü gibidir (Anonim, 2004).

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.11)$$

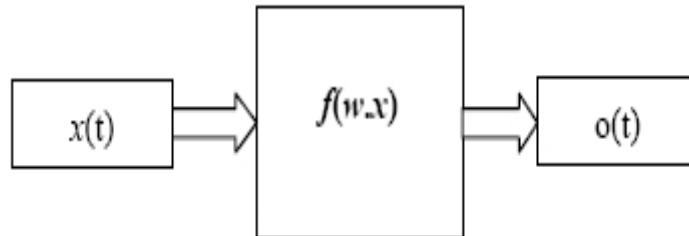
Bu aktivasyon fonksiyonlarından başka fonksiyonlar da vardır. Yapay sinir ağında hangi aktivasyon fonksiyonunun kullanılacağı probleme bağlı olarak değişmektedir. Yukarıda verilen fonksiyonlar en genel aktivasyon fonksiyonlarıdır (Anonim, 2004).

2.7.2. Yapay sinir ağlarının yapıları ve çeşitleri

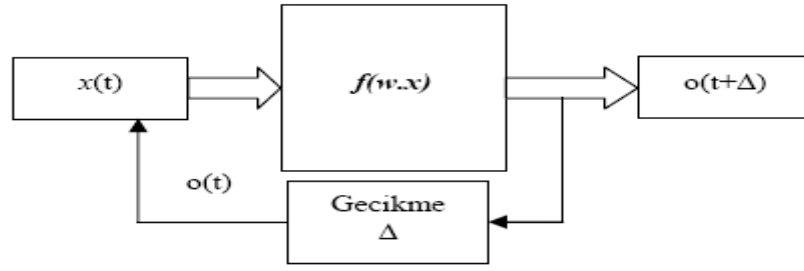
Yapay sinir ağları herhangi bir problemi çözerken, fiziki yapılarının da ne durumda olduğu önemlidir. Bu fiziki yapılarda kullanılan öğrenme algoritmaları, hücrelerin birbirlerine olan bağlantıları bu fiziki yapının değişmesine imkan sunar. Yapay sinir ağı hücrelerinin birbirlerine bağlantılarına göre de modelde bilgi akışı tek yönlü olabildiği gibi çift yönlüde olabilmektedir. Bir grup işlem elemanı (nöron) bir araya gelerek bir katman oluştururlar.

Genel itibariyle yapay sinir ağlarında 3 tür katman bulunur. Bunlar sinir ağının dış dünya ile bağlantısını kuran girdi katmanı, gelen bilgileri işleme kabiliyetine sahip ara katmanlar ve sinir ağının kararlarını dış dünyaya aktaran bir çıktı katmanıdır. Girdi katmanında çoğu zaman bilgi işleme söz konusu olmaz. Bu katmandaki işlem elemanları aldıkları bilgiyi herhangi bir değişikliğe uğratmadan ara katmandaki işlem elemanlarına aktarırlar. Burada sözü edilen bilgi, sinir ağının işlem elemanları arasındaki bağlantı hatları üzerinde bulunan ağırlıklarla ifade edilir. Dolayısı ile bilgi, bütün ağı dağıtılmış demektir. Bu bilgiler, yapay sinir ağının belleğidir veya diğer bir deyişle yapay sinir ağları eğitildikten sonra kullanılacağı sistem için bir veri tabanıdır (Taşkafa, 2006).

Yapay sinir ağlarını temel olarak iki grupta toplayabiliriz bunlardan birincisi ileri beslemeli yapay sinir ağlarıdır bu yapıda veri akışı tek yönlü olup herhangi bir geri besleme söz konusu değildir. Diğer yapı ise geri beslemeli yapay sinir ağlarıdır adından da anlaşılacağı gibi yapay sinir ağının çıktısı belirli bir gecikme verilerek girdi olarak yine yapay sinir ağının girişine gelir.



Şekil 2.18. İleri beslemeli YSA yapısı (Anonim'den, 2004).



Şekil 2.19. Geri beslemeli yapı (Anonim'den, 2004)

2.8. Yapay Sinir Ağları ile Asenkron Motor Kontrolü ve Optimizasyonu Hakkında Yapılan Çalışmalar

Bilindiği üzere asenkron motorların kontrolü için bizimde yukarıdaki bölümlerde bahsettiğimiz gibi birçok kontrol yöntemi mevcuttur, fakat bu kontrol yöntemlerinin hiç biri vektör kontrolü kadar duyarlı hız ve moment kontrolü yapamamaktadır, vektör kontrolünün büyük avantajları nedeniyle son yıllarda vektör kontrolü üzerine yapay sinir ağlarıyla birlikte birçok çalışma yapılmıştır.

Van Zuben vd. (1994) 'nin yaptıkları çalışmada doğrudan uyarımlı denetim yöntemi kullanılarak yapay sinir ağının eğitimi on-line olarak gerçekleştirilmiştir. Eğitim sinyali, referans hız ile motor hızı arasındaki hata ile hesaplanmıştır. Yapay sinir ağının girişleri referans hız, motor hızının iki gecikmiş ve referans tork akımının iki gecikmiş olmak üzere beş tanedir (Van Zuben vd,1994).

Mohamed ve Hew (2000) in yaptıkları çalışmada asenkron makinenin hız hatası ve hız hatasının oranı kullanılarak bir YSA modeli geliştirilmiş ve bu YSA'nın çıkışı inverter çıkış frekansını kontrol ederek hız kontrol mekanizması geliştirilmiştir (Mohamed ve Hew,2000).

Oh vd. (2002)'nin yaptığı çalışmada geri beslemeli yapay sinir ağı kullanılarak dolaylı uyarlamalı kontrol yapısı gerçekleştirilmiştir. Asenkron makineyi tanılamak için kullanılan yapay sinir ağına referans tork akımının iki gecikmiş ile motor hızının iki gecikmiş giriş olarak uygulanmış ve motor hızı tanımlanmıştır. Tanılama ağı ya da model ağına referans tork akımı giriş olarak verilmiş, ayrıca iki katmanlı lineer küresel geri beslemeli YSA

kullanılmıştır. Kontrolör yapay sinir ağına ise giriş olarak, referans hız ile birlikte motor hızı ve referans tork akımının birer gecikmişleri uygulanarak referans tork akımı I_q elde edilmiştir (Oh vd., 2002).

Miloudi vd. (2003) in yaptığı çalışmada PI hız denetimli asenkron motorda hız denetimi YSA ile modellenmiş daha sonra PI hız denetiminin yerine YSA bağlanmıştır (Miloudi vd., 2003).

Bhusvaneswari ve Suramania (2005)'in yaptıkları çalışmada bir YSA çeşidi olan RBF (Radial Bases Function)'ı kullanarak tek fazlı bir asenkron motoru dizayn parametrelerini optimize ederek iki adet motorun üzerinde oluşan parametreleri test etmişlerdir (Bhusvaneswari ve Suramania, 2005).

Ganzales vd.(2006)'nin yaptığı çalışmada dolaylı vektör kontrolü yapılan bir asenkron motorun YSA yardımı ile rotor direnci tahmin edilerek kontrolü yapılmıştır (Ganzales vd., 2006).

Özmen (2006)'in yaptığı çalışmada, asenkron motorların algılayıcısız kontrolü için yapay sinir ağları (YSA) ile motor hızını tahmin eden bir gözlemleyici önerilmiştir. YSA gözlemleyici, motorun gerçek akımları ile motor gerilimlerini ölçerek motor akımlarını ve akılarını belirlemeyi, akım ve akı hatalarından yararlanarak motor hızını tahmin etmeyi amaçlamaktadır (Özmen, 2006).

Ran ve Cher (2006)'in yaptığı çalışmada geri beslemeli yapay sinir ağı kullanılarak dolaylı uyarlamalı kontrol yapısı gerçekleştirilmiştir. Asenkron makineyi tanılamak için kullanılan yapay sinir ağına referans tork akımının iki gecikmişisi ile motor hızının iki gecikmişisi giriş olarak uygulanmış ve motor hızı tanımlanmıştır. Kontrolör yapay sinir ağına ise giriş olarak, referans hız ile birlikte motor hızı ve referans tork akımının birer gecikmişleri uygulanarak referans tork akımı I_q elde edilmiştir (Ran ve Cher, 2006).

Şahin (2006) 'nin çalışmasında, Dinamik Yapay Sinir Ağları ile asenkron motorların hız kontrolü gerçekleştirilmiştir. Motor hızı ile motor hızının değişimi YSA ya giriş olarak verilmiş ve motorun tork akımı çıkış olarak alınmıştır. YSA' nın eğitimi hız

hatası kullanılarak-gerçekleştirilmiştir. Hız kontrolörü olarak kullanılan YSA, yöresel geri beslemeli dinamik bir ağ yapısı olarak seçilmiş ve ileri beslemeli YSA ile asenkron motorun hız kontrol performansları karşılaştırılmıştır (Şahin, 2006).

Taşkafa (2006)'nin yaptığı çalışmada, YSA ile asenkron motorların vektör denetimi incelenmiştir. Motor akımı ile motor akımının değişimi YSA' ya giriş olarak verilmiş ve motor gerilimleri çıkış olarak alınmıştır. YSA' nın eğitimi akım hataları kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Taşkafa, 2006).

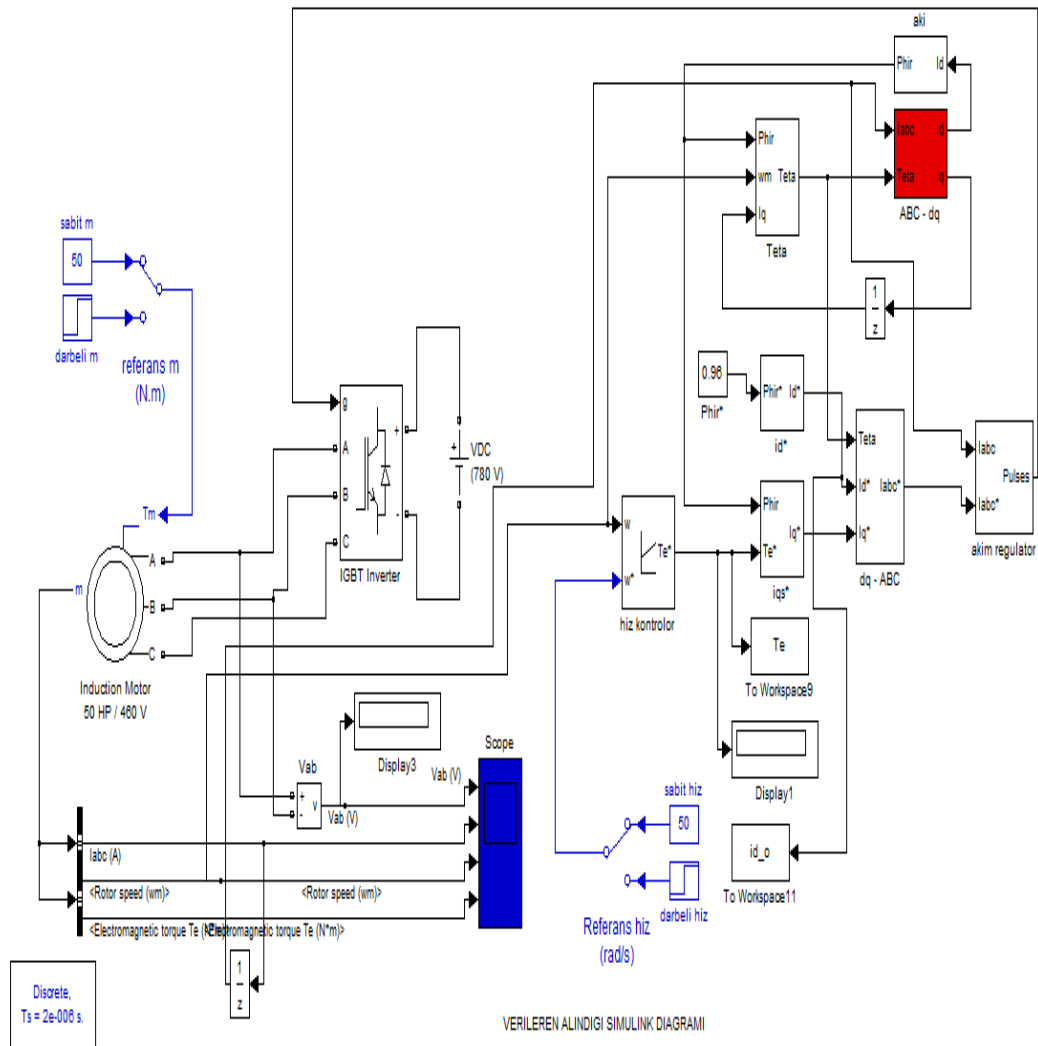
Douri vd. (2010) 'nin çalışmasında doğrudan moment kontrolü kullanılarak sürülen bir sistem için anahtarlama periyodu kontrolünü yapan PI kontrol bloğu YSA ile modellenerek motor değişkenlerinin başarımı test edilerek optimizasyonu yapılmıştır (Douri vd., 2010).

Özer, Akın (2001)'in çalışmalarında sincap kafesli asenkron motorun stator voltajları , stator akımları ve bir sensör yardımıyla alınan rotor hız bilgisi kullanılarak bir YSA oluşturulmuş ve bu kullanılan parametreler YSA'nın girişine verilip rotor hızı tahmin edilmeye çalışılmıştır, çalışma sonucunda yapılan kontrol sayesinde sistem parametrelerden ve yükten bağımsız hale getirilmiştir (Özer ve Akın, 2001).

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında bir önceki bölümlerde bahsettiğimiz asenkron motor hız kontrol sistemlerinden dolayı vektör kontrolünü kendimize referans alarak bu kontrol modeli üzerinde yapay sinir ağları kontrolleri ve optimizasyonunu gerçekleştirilmiştir.

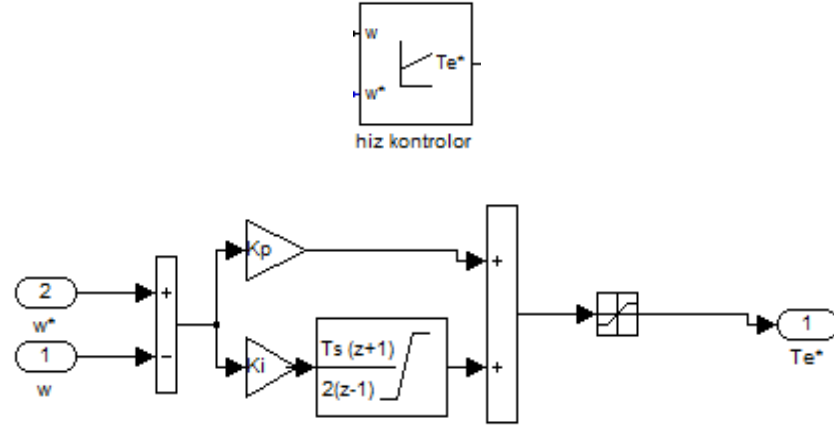
Çalışmada *Matlab*'da var olan H. Le-Huy tarafından tasarlanan '*Vector control of Ac Motor Drive*' (Le-Huy, 2006) adında PWM anahtarlama ile sürülen asenkron makinenin dolaylı vektör kontrolü, çalışmamızı doğru verilerle sonuçlandırmak ve ortaya çıkarılan sonuçları karşılaştırmak amacıyla kendimize referans ve bir veri kaynağı olarak belirlenmiştir. Kullandığımız bu model aşağıda ki şekil 3.1 'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Dolaylı vektör kontrolü Matlab simülink similasyonu

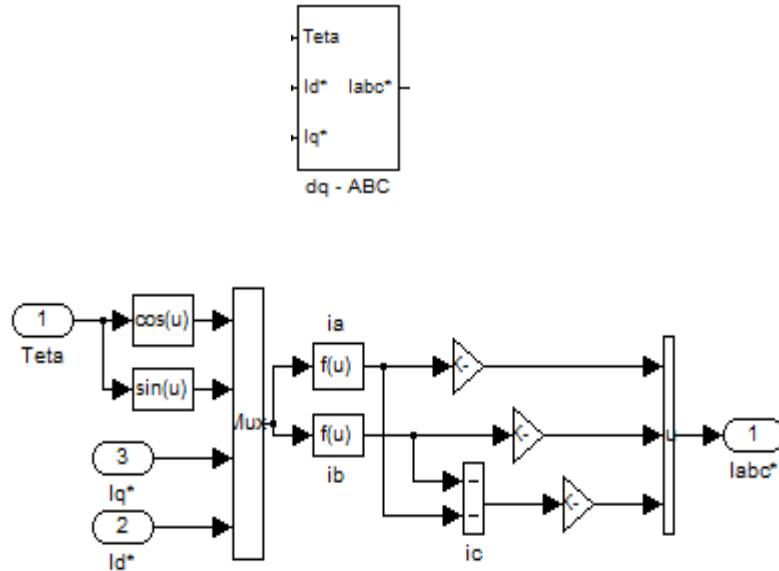
Şekil 3.1’de verilen Simülink similasyonunu oluşturan ana blokları aşağıda tanımlanmıştır;

Hız kontrol bloğu: Bu blok yapısal olarak bir PI kontrol mekanizmasıdır istenilen hız ile motordan alınan hız bilgisini karşılaştırarak bir moment kontrol sinyali üretir. Şekil 3.2’de blok ve iç yapısı gösterilmiştir.



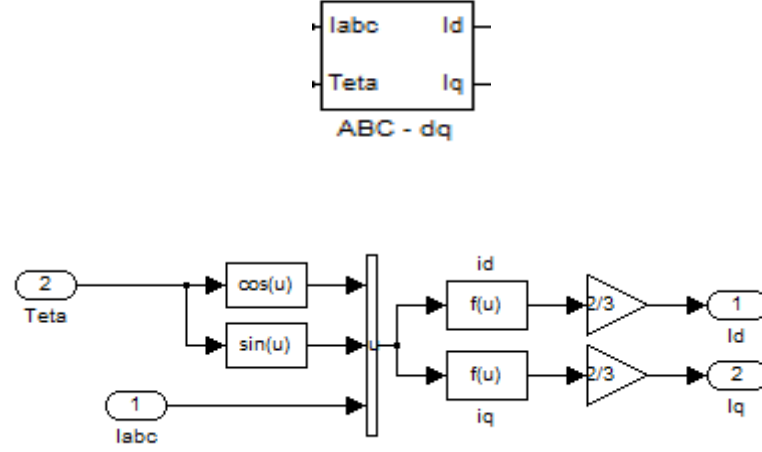
Şekil 3.2. Hız kontrol bloğu ve iç yapısı

Dq-abc bloğu: Bu blok $teta$, I_d , I_q değerlerini giriş olarak alan ve çıkışında üç faz akımına dönüştüren Ters Clark ve Park eksenel dönüşümlerini yapan bloktur.



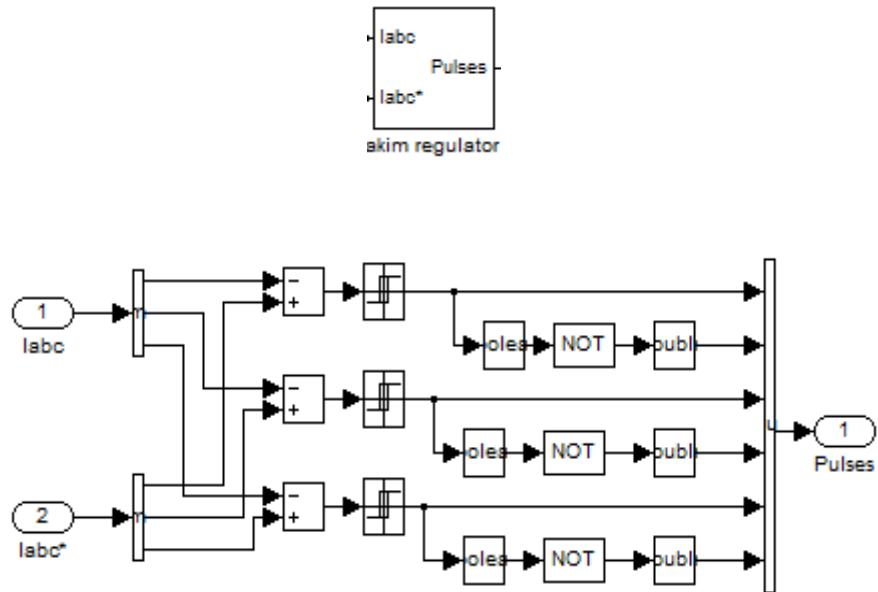
Şekil 3.3. Dq-Abc bloğu ve iç yapısı

Abc-Dq bloğu: Abc-Dq bloğu üç faz akımını ve *teta* açısını kullanarak Clark ve Park dönüşümlerini yapan bloktur ve çalışmada modellenen bloklardan birsidir.



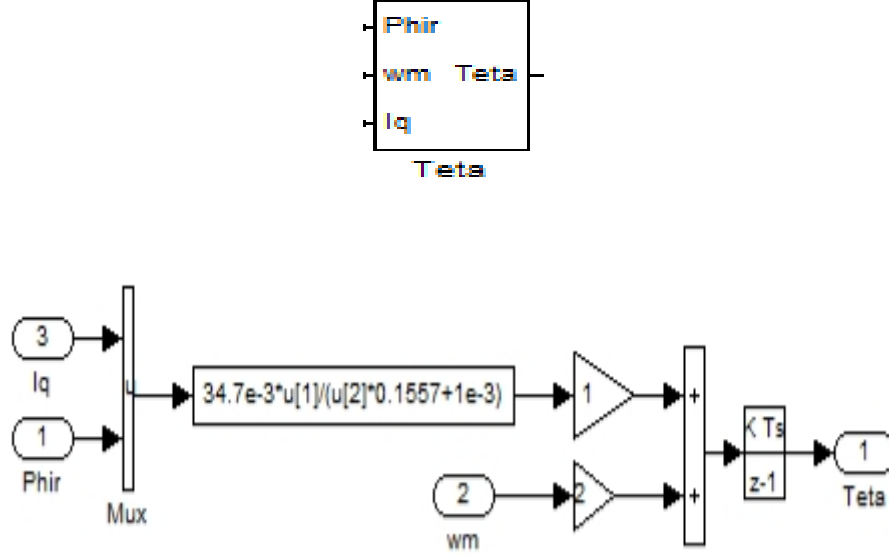
Şekil 3.4. Abc-Dq bloğu ve iç yapısı

Akim regülatör bloğu: Bu blok direkt olarak motordan alınan üç faz akım bilgisiyle vektörel denetimden geçmiş olan üç faz akım bilgisini karşılaştırarak inverttere sürme sinyali gönderen bloktur.



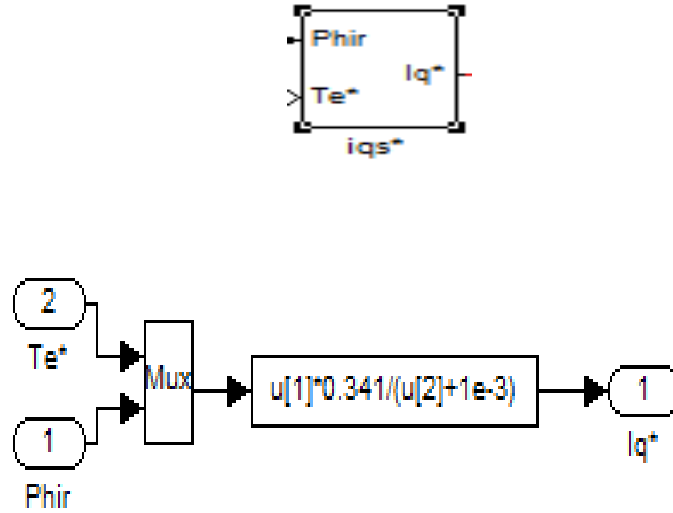
Şekil 3.5. Akım regülatör bloğu ve iç yapısı

Teta Bloğu: Motorun konum bilgisini elde etmek üzere *teta* açısının elde edildiği ve çalışmada YSA ile modellenen diğer bir bloktur.



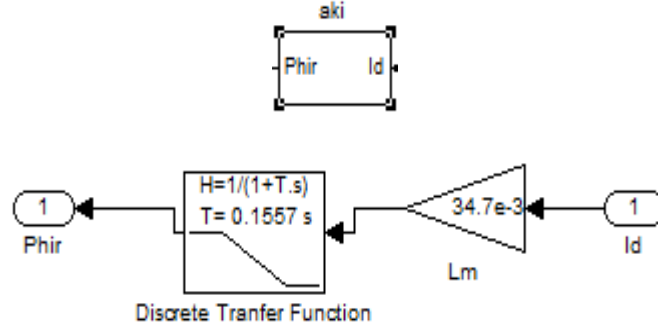
Şekil 3.6. Teta bloğu ve iç yapısı

İqs* bloğu: PI bloğundan aldığı moment kontrol bilgisi ve akı sinyali ile istenilen I_q^* akımını oluşturan bloktur.



Şekil 3.7. İqs bloğu ve iç yapısı

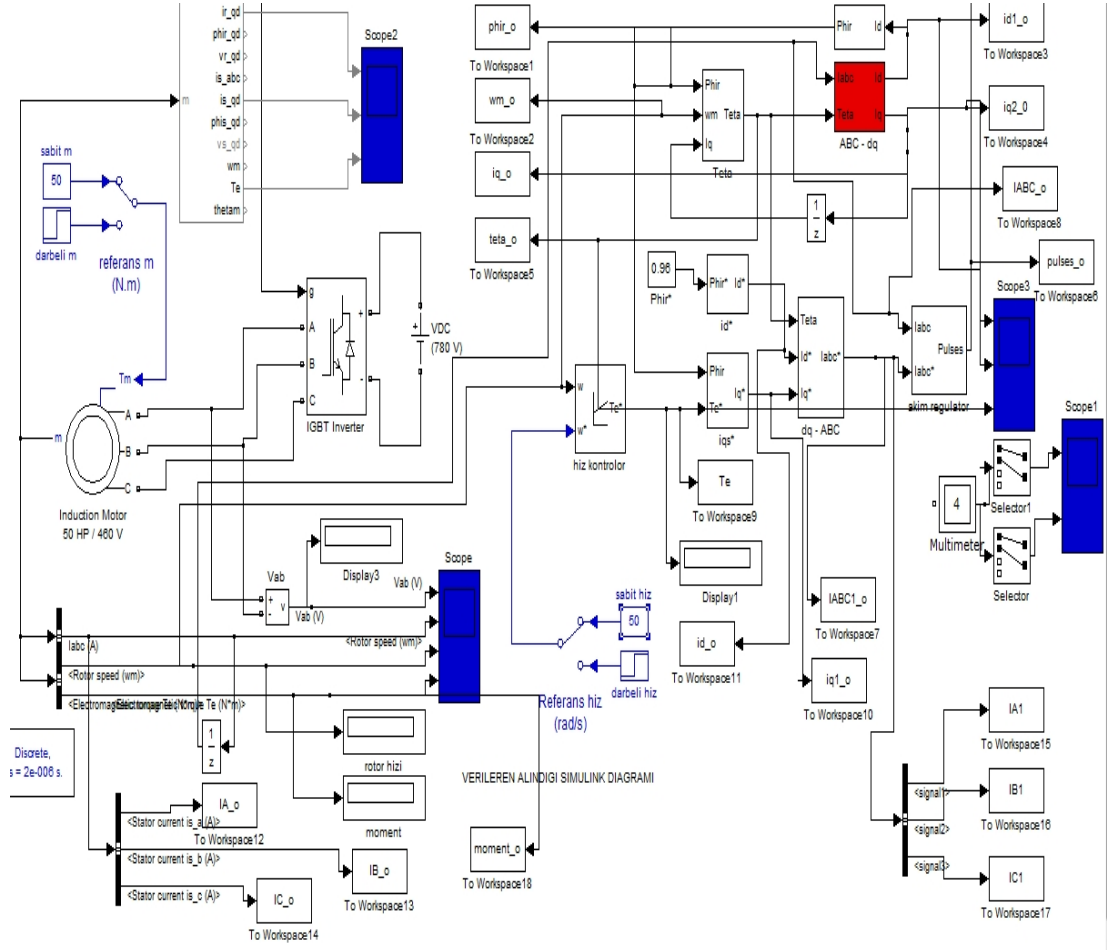
Akı bloğu: Abc-Dq bloğundan çıkan I_d akımını akı değerine dönüştüren bloktur.



Şekil 3.8. Akı bloğu ve iç yapısı

3.1. Verilerin Simulink Ortamından Elde Edilmesi

Bu aşamada yukarıda gösterilen bloklardan bazıları için yapay sinir ağı kontrolörleri tasarlanacağından dolayı bloklardan çalışmaları esnasında giriş ve çıkış verileri temini yapılmıştır, bu veriler blokların giriş ve çıkışlarına bağlanan *Simulink To Workspace* bloğuyla *Workspace* ortamına aktarılmıştır. Alınan verilerin sayısı örnekleme zamanına bağlı olarak artacağından örnekleme zamanı 2×10^{-6} saniyeye ayarlanarak 3 saniye boyunca toplam 1.500.000 veri temin edilmiştir.



Şekil 3.9. Verilerin alındığı simulink similasyonu

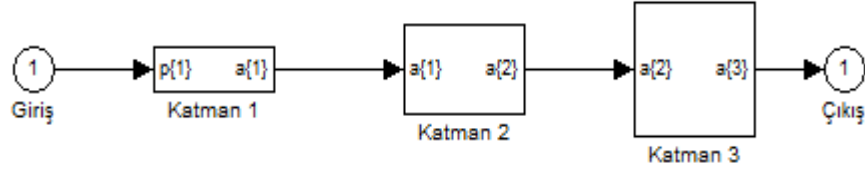
Tasarlanacak YSA ‘nın eğitiminde kullanılmak amacıyla alınan bu veriler sistem 50 N/m tork ve 50 Rad/sn hız da çalışırken alınmıştır.

3.2. Kullanılan YSA Modelleri

YSA ile modellenecek bloklar için birçok ağ modeli eğitime çalışılmıştır fakat bunlardan sadece ileri beslemeli ağ yapısı ve kaskat ileri beslemeli ağ yapısı minimum hata ile eğitilebilerek tatmin edici sonuçlar vermiştir. Minimum hata ile eğitilen bu ağ yapılarından kısaca bahsederek;

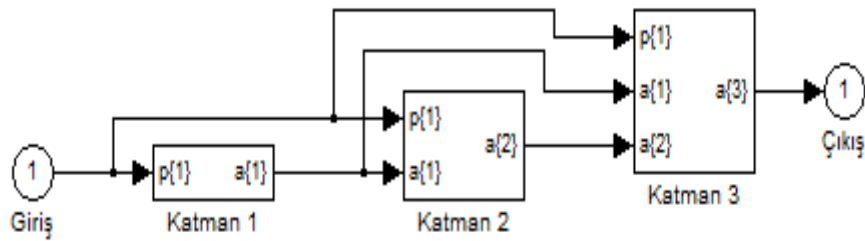
İleri beslemeli ağ yapısı: İleri beslemeli YSA’da, hücreler katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki hücrelerin çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar

üzerinden giriş olarak verilir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan orta (gizli) katmandaki hücrelere iletir. Bilgi, orta ve çıkış katmanında islenerek ağ çıkışı belirlenir (Taşkafa,2006). Şekil 3.10’da basit olarak üç katmanlı ileri beslemeli bir ağ yapısı verilmiştir.



Şekil 3.10. İleri beslemeli ağ yapısı

Kaskat ileri beslemeli ağ yapısı: Bu ağ yapısı ileri beslemeli ağ yapısından farklı olarak herhangi bir katman kendisinden önce gelen katmanın girişini de kendisine giriş almasıyla oluşturulmaktadır, böylece sistemde kullanılan katmanların girişleri periyodik olarak artmaktadır fakat bu sistemin ileri beslemeli YSA yapısına göre biraz daha yavaş çalışmasına sebep olmaktadır. Şekil 3.11’de kaskat ileri beslemeli ağ yapısı verilmektedir.



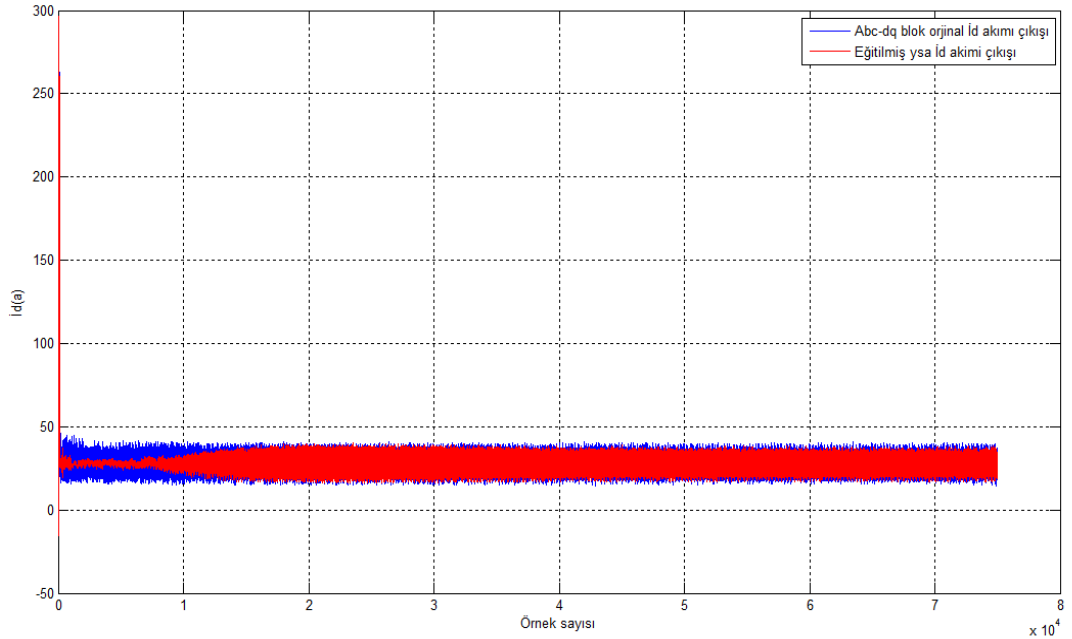
Şekil 3.11. Kaskat ileri beslemeli ağ yapısı

3.3. Abc-Dq Bloğunun YSA ile Eğitimi ve Modellenmesi

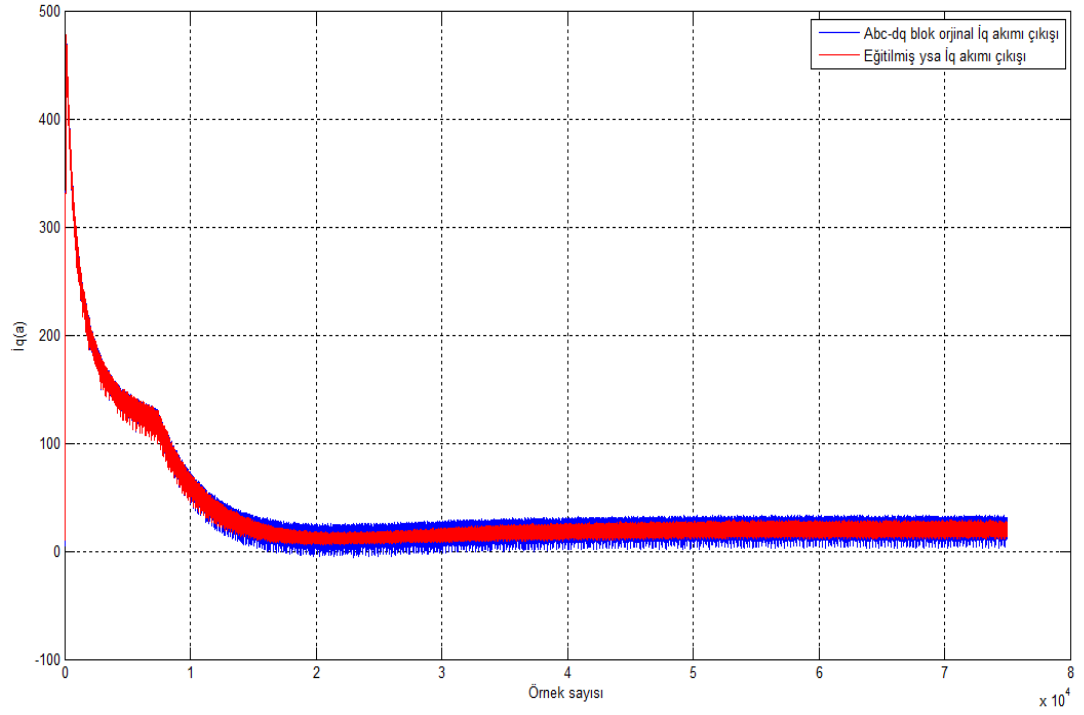
Çalışmamızda ilk olarak modellediğimiz blok Clark ve Park dönüşümlerini yapan,

Abc-Dq bloğudur. Bloğun girişine gelen I_a , I_b , I_c akımları ve $teta$ açısı'nın bloğun çıkışında oluşturulan I_d ve I_q akımlarının örnekleme zamanına bağlı olarak elimizde 1.500.000'ar tane sayısal değeri mevcuttur, bloğun modellenmesinde yukarıda da bahsedildiği gibi bir çok yapay sinir ağı modelleri kullanılmış ama en başarılı sonuç veren kaskat ileri beslemeli YSA yapısı olmuştur, 1.500.000'ar veriyle yapılan ilk denemede verilerin baştan 1'er adet atlayarak oluşturulan 750.000 adedi eğitim verisi, diğer 750.000 adedi ise test verisi olarak kullanılmıştır, fakat bu ilk denemede oluşturulan YSA yapısı verilen çok sayıda olması nedeniyle *Matlab*'ın hafıza hatası vermesiyle sonuçlanarak başarıya ulaşamamıştır, daha sonra veriler periyodik olarak azaltılarak denemeler yapılmış en son olarak 1.500.000'un %10'u olan 150.000 (75.000 eğitim verisi, 75.000 similasyon yerleştirilmeden test etmek için) adet veri kullanılmıştır, I_d ve I_q akımları için eğitimin kolay olması açısından aynı yapıda 2 adet YSA eğitilmiştir, eğitilen bu YSA'lar birbirlerinin tıpatıp aynısı olup YSA 'nın çıkışında oluşan I_d ve I_q değerleri gerçek değerlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Eğitilen YSA'ların eğitim sonuçlarını grafiksel olarak verildiğinde YSA'nin işlemsel bir Abc-Dq bloğunun yaptığı işi gayet başarılı bir şekilde gerçekleştirdiği görülmüştür.

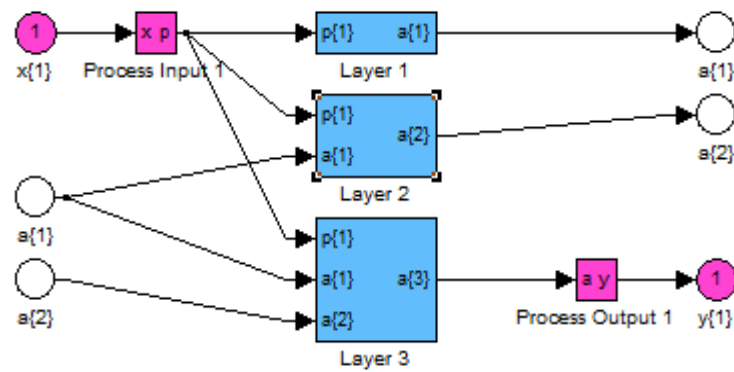


Şekil 3.12. Abc-Dq bloğunun I_d akımı çıkışının YSA kontrolörün eğitim sonucu



Şekil 3.13. Abc-Dq bloğunun I_q akımı çıkışının YSA kontrolörün eğitim sonucu

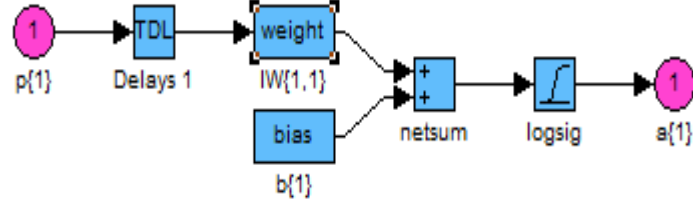
YSA'ların eğitimi başarıyla tamamlandıktan sonra *Matlab M-file* dosyasında eğitimi gerçekleştirilen YSA'ların *Simulink* modelleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.14'de I_d ve I_q akımları için oluşturulan YSA'ların ana blokları görülmektedir.



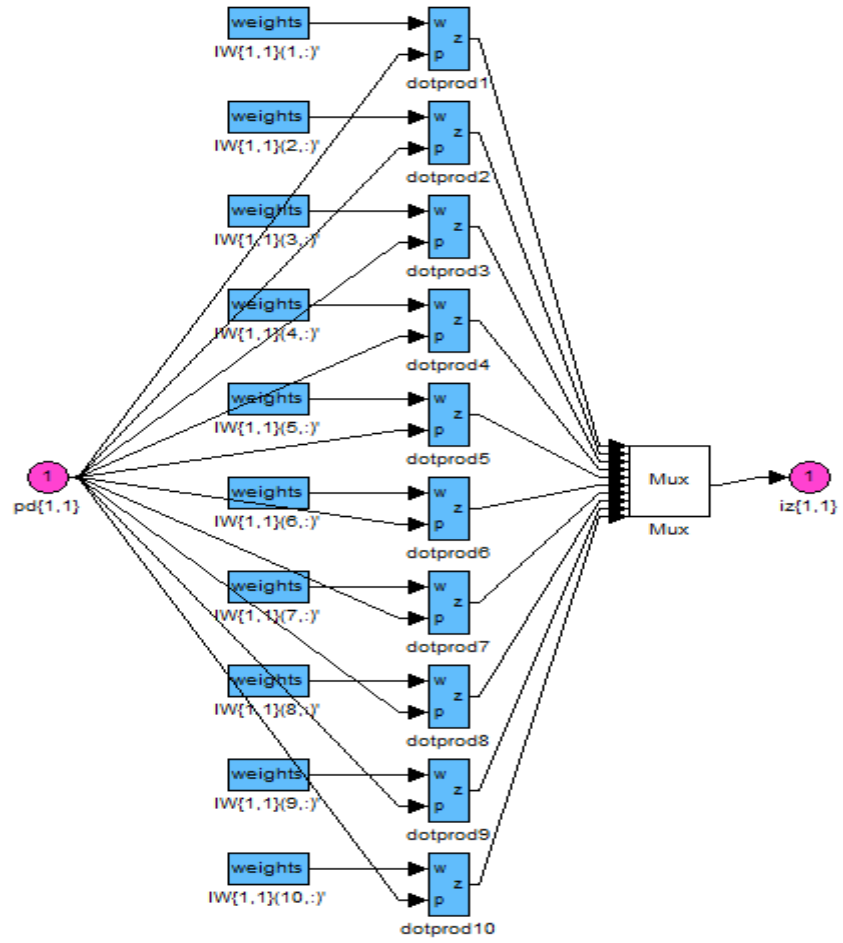
Şekil 3.14. I_d ve I_q akımları için oluşturulan YSA kontrolörünün genel yapısı

Şekil 3.14'den de anlaşılacağı üzere bir katmanın girişi kendinden önceki

katmanlarında girişini kendine giriş olarak alarak kaskat yapıda dizayn edilmiştir. Layer 1, Layer 2 ve Layer 3 'e sırasıyla biz giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olarak adlandırabiliriz, aşağıdaki şekillerde oluşturulan bu katmanların iç yapılarını görmek mümkündür.

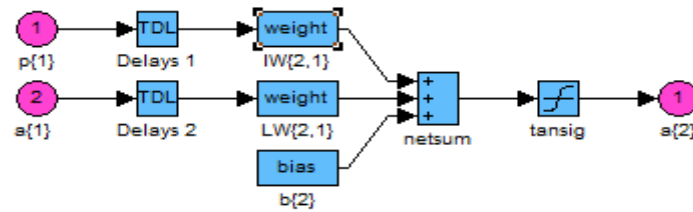


Şekil 3.15. YSA kontrolör giriş katmanının iç yapısı

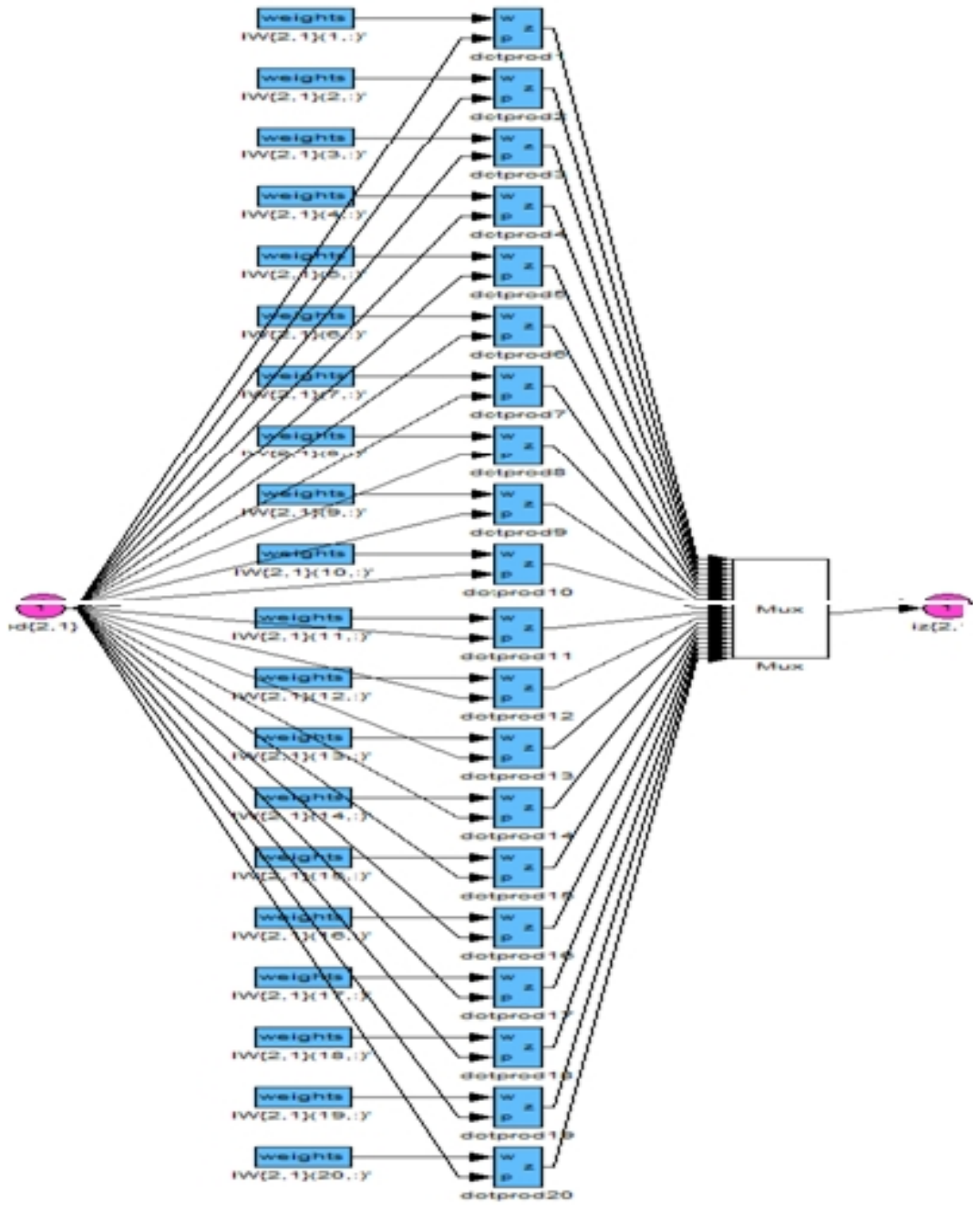


Şekil 3.16. YSA kontrolör giriş katmanında kullanılan işlem elemanları

Şekil 3.15’de giriş katmanında çıkış aktivasyon fonksiyonu olarak logaritmik aktivasyon fonksiyonu (*logsigmoid*) iyi bir sonuç vermesinden dolayı tercih edilmiştir. Bunun yanında şekil 3.16’da görüldüğü üzere giriş katmanı *dotprot* adı verilen 10 adet işlem elemanı (nöron) kullanılarak dizayn edilmiştir.



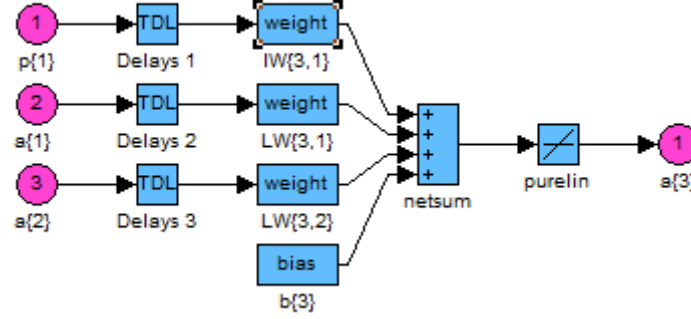
Şekil 3.17. YSA kontrolör gizli katmanın iç yapısı



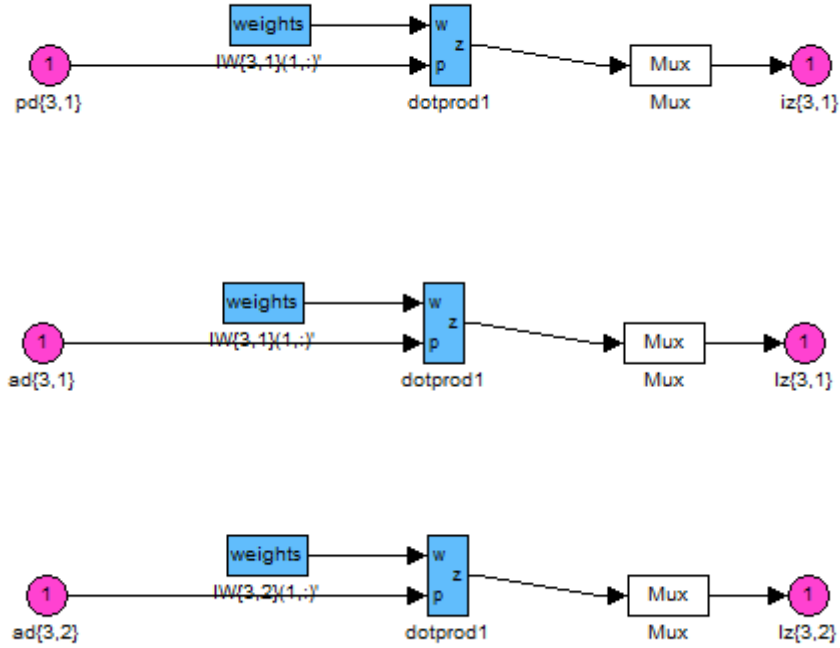
Şekil 3.18. YSA kontrolörün gizli katmanda kullanılan işlem elamanları

Şekil 3.18’de görüldüğü gibi gizli katmanda aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu (*tansigmoid*) kullanılmıştır, gizli katmanın girişi sayısı sistemin kaskat yapıda olmasından dolayı 2 adettir ve buna bağlı olarak 2 adet ağırlık bloğu mevcuttur, bu ağırlık bloklarının her ikisinin de içerisinde bulunan işlem

elamanları (nöronlar) şekil 3.18’de görüldüğü gibi 20’şer adet *dotprot* adı verilen işlem elemanlarından (nöronlar) oluşturulmuştur.



Şekil 3.19. YSA kontrolörün çıkış katmanı iç yapısı



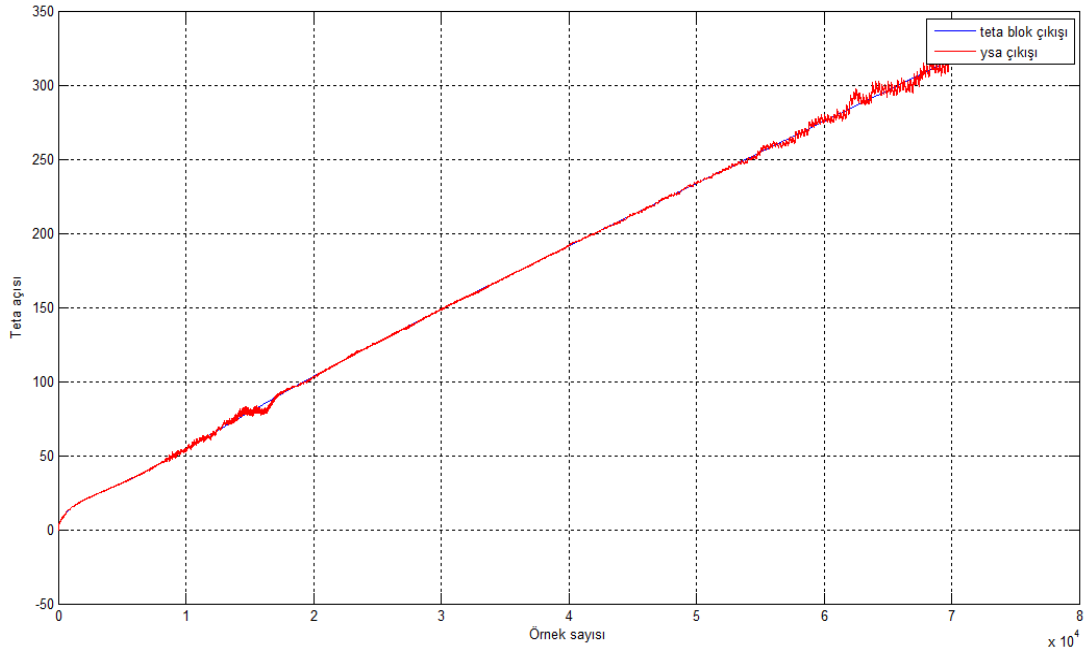
Şekil 3.20. YSA kontrolörün Çıkış katmanının da kullanılan işlem elemanları

Şekil 3.19’da gösterildiği üzere çıkış katmanında I_d ve I_q akım değerleri artan değerler gösterdiğinden sınırlandırılmaması için çıkış aktivasyon fonksiyonu olarak

lineer aktivasyon fonksiyonunu (*purelin*) kullanmak tercih edilmiştir yine kaskat yapıdan dolayı çıkış katmanının 3 adet girişi bulunmaktadır, Şekil 3.20’de ise çıkış katmanında kullanılan giriş sayısı kadar içlerinde 1’er *dotprod*’dan oluşan işlem elamanı (nöron) bulunmaktadır.

3.4. Teta Bloğunun Eğitilmesi

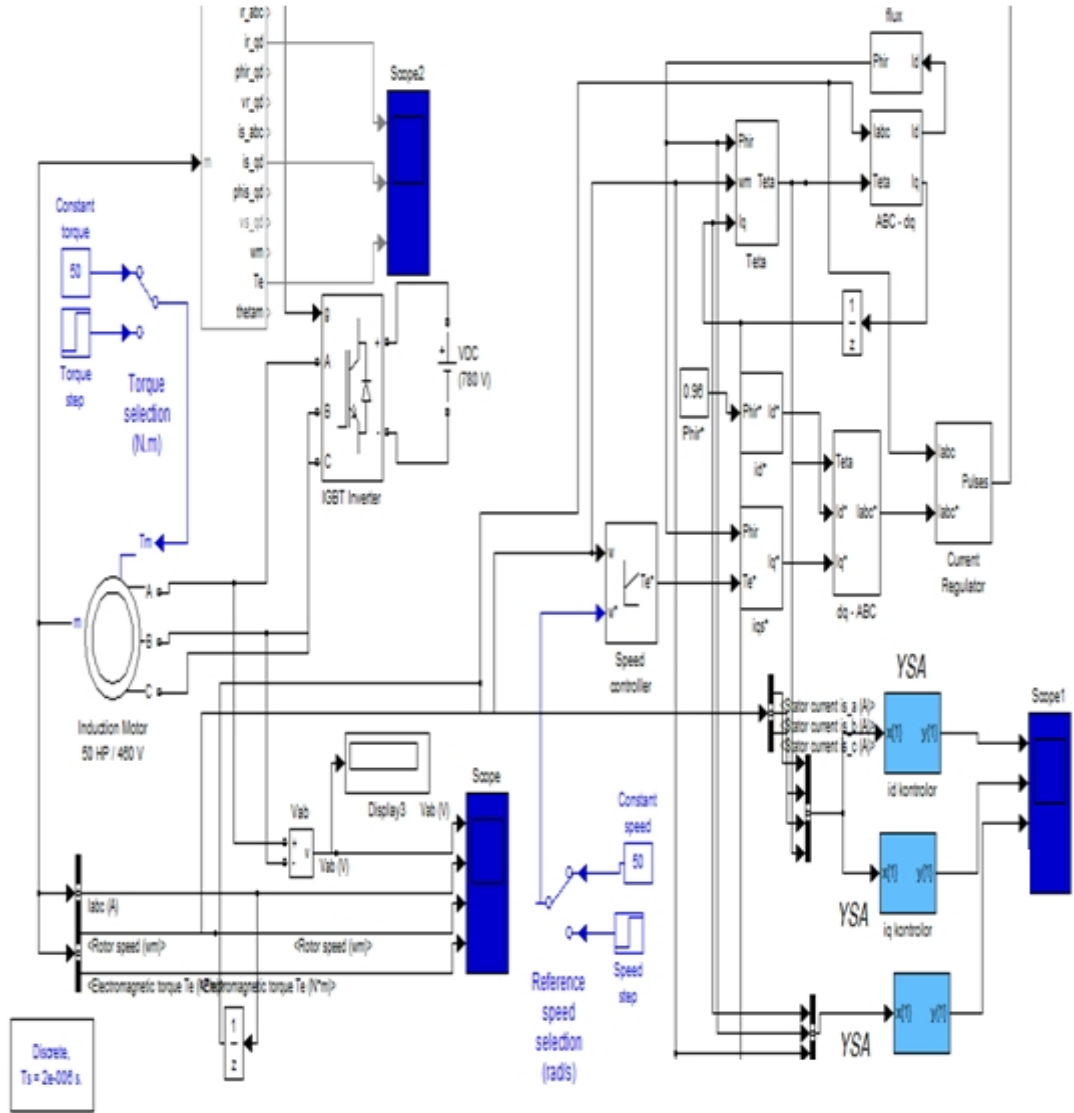
Çalışmada Abc-Dq bloğu modellendikten sonra Teta bloğunun modellenmesine geçilmiştir, Teta bloğunun YSA ile eğitiminde ilk olarak 50 N/m, 50 Rad/sn çalışma koşullarındaki referans sistemden alınan I_q , $Phir$, Wm ve $teta$ açısı verileri ile eğitim gerçekleştirilmiştir.. Daha sonra Abc-Dq bloğunda yapılan *simulink* ile modelleme işlemleri aynen burada da gerçekleştirilmiş eğitim ve modelleme esnasında yine en iyi sonucu veren YSA yapısı olan kaskat bağlantılı YSA yapısı kullanılmıştır. YSA’nın yapısı tamamen Abc-Dq YSA bloğuyla aynı olduğundan bu bölümde tekrar YSA’nın yapısı gösterilmeyecek sadece eğitim ve test verilerinin karşılaştırılması verilecektir. Aşağıdaki şekil 3.21’de eğitilen YSA’nın eğitim sonucu verilmiştir.



Şekil 3.21. Teta YSA kontrolörün eğitim sonucu

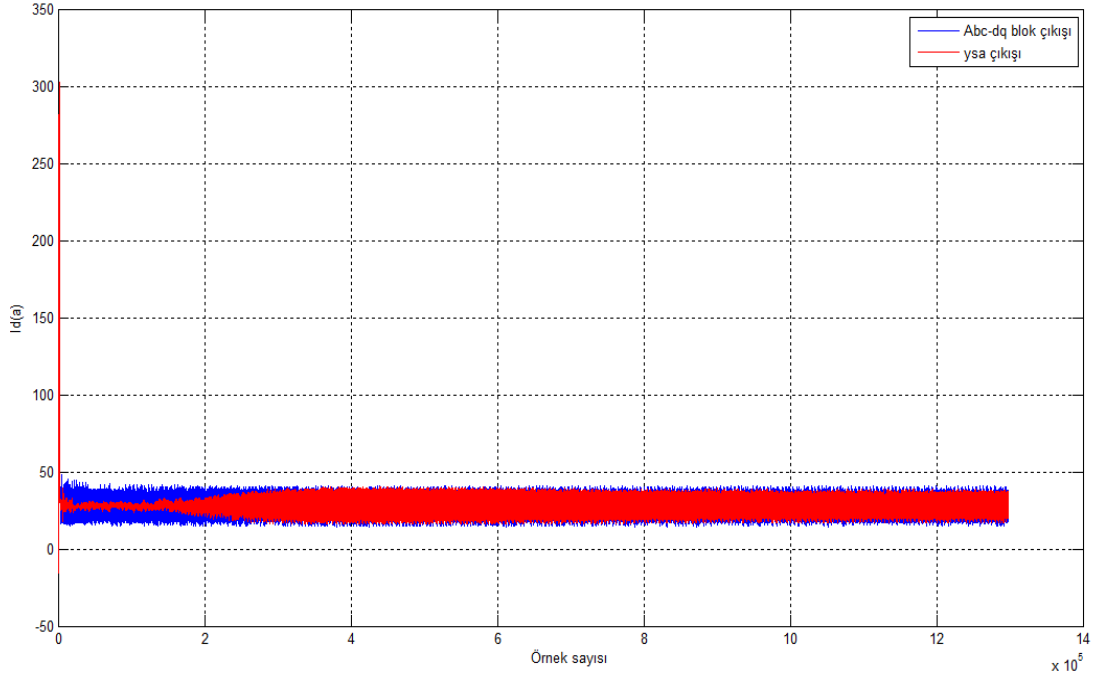
3.5. Eğitilen Blokların Referans Simulink Diyagramı Üzerine Yerleştirilmesi

Eğitimi ve testi başarıyla tamamlanan Abc-Dq blok ve Teta bloklarının referans sistemde tam bir çalışma periyodunda performanslarını test etmek için eğitilen YSA blokları sistemde bulunan Abc-Dq ve Teta bloklarına paralel bağlanarak 1.500.000 veri için testleri yapılmıştır.

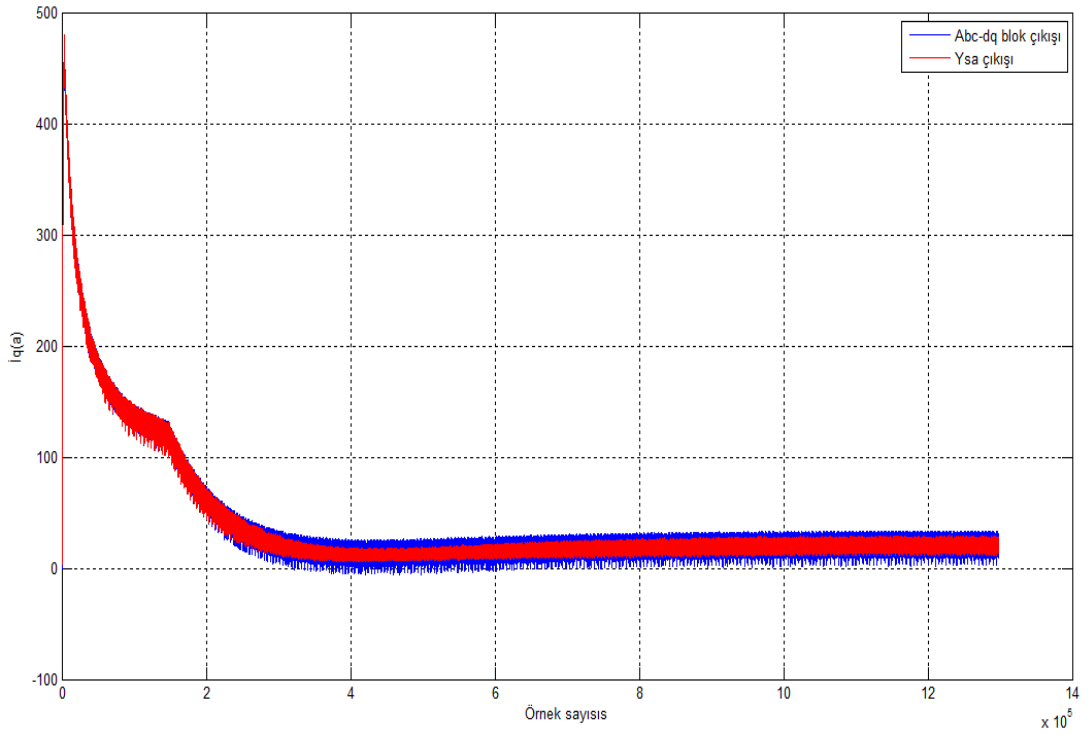


Şekil 3.22. Eğitilen YSA'ların sistemde paralel çalışmaları

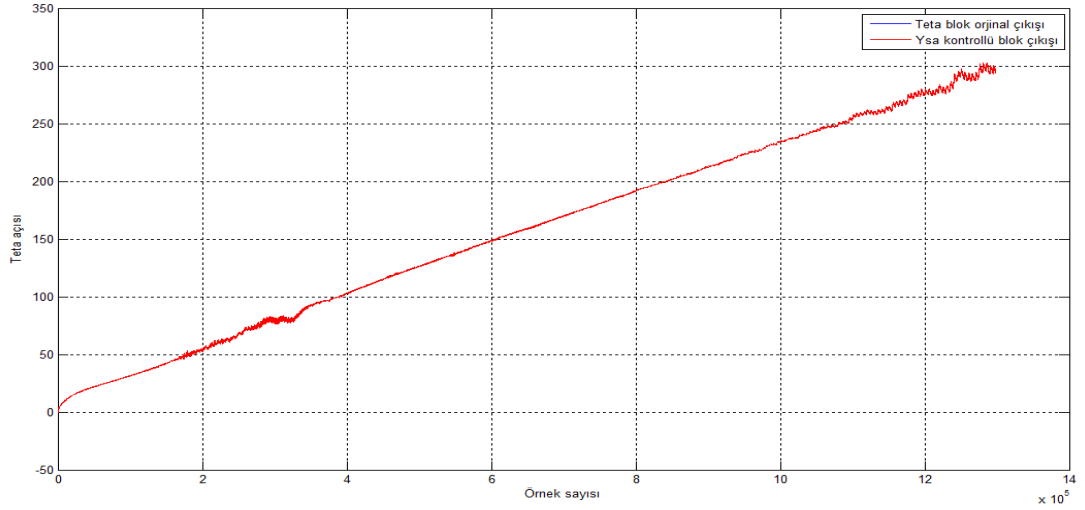
Modellenen YSA'lar referans alınan sistem üzerinde denemeleri yapılmış ve eğitim başarılarını simülasyon üzerinde de göstermişlerdir.



Şekil 3.23. 50 N/m, 50 Rad/s çalışma koşullarında Referans sistem I_d akımı ve Abc-Dq blok YSA modelinin I_d akımı çıkışı



Şekil 3.24. 50 N/m, 50 Rad/s çalışma koşullarında Referans sistem I_q akımı ve Abc-Dq blok YSA modelinin I_q akımı çıkışı

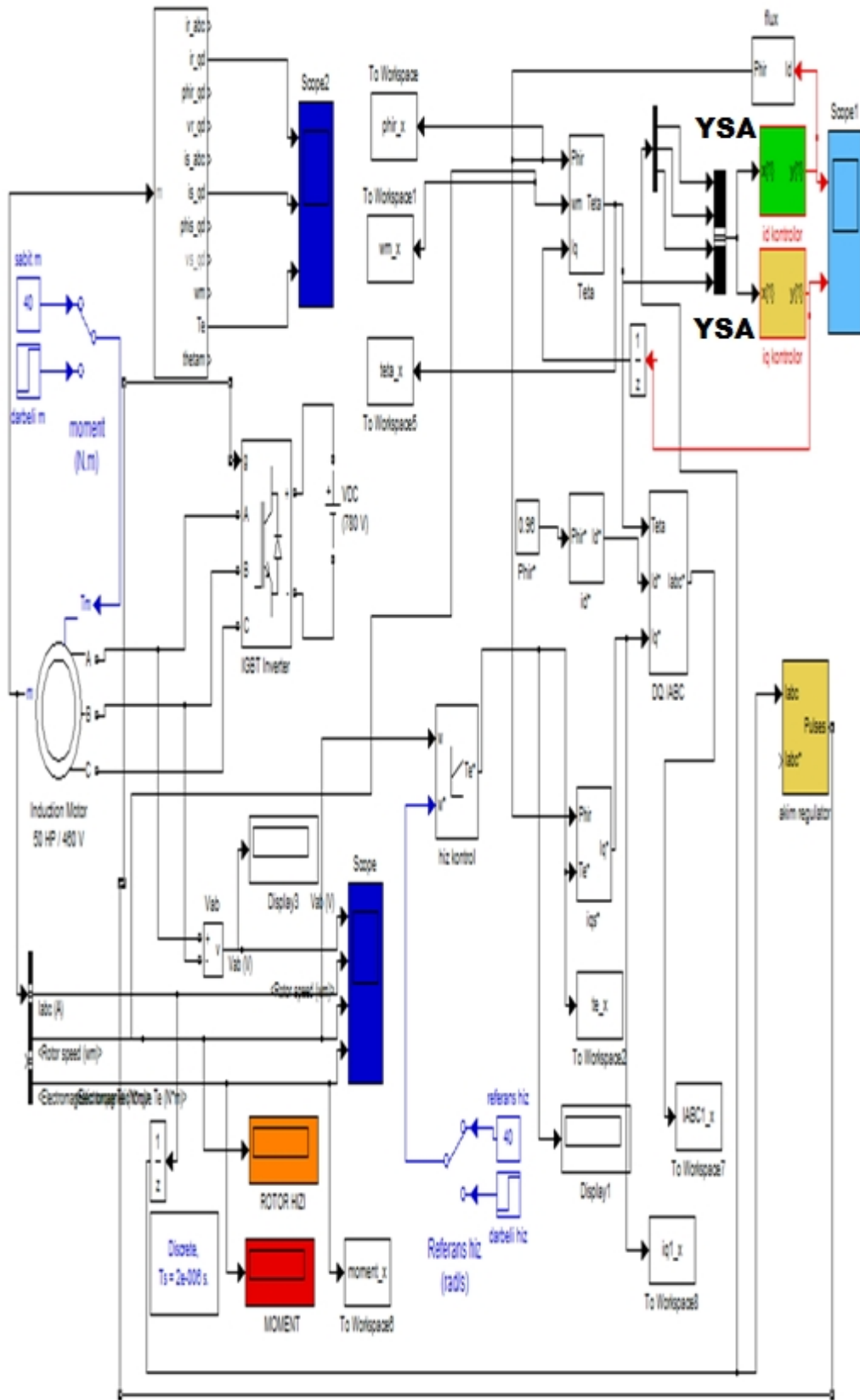


Şekil 3.25. 50 N/m, 50 Rad/s çalışma koşullarında Referans sistem teta açısı ile blok teta YSA kontrolörün teta açısı çıkışı

Şekil 3.23, şekil 3.23, şekil 3.25’den de anlaşılacağı gibi YSA’nın eğitimi sırasında 75.000 test verisiyle verdiği cevabın aynısını simülasyona paralel olarak bağlandığında da 1.500.000 veri içinde aynen vermiştir.

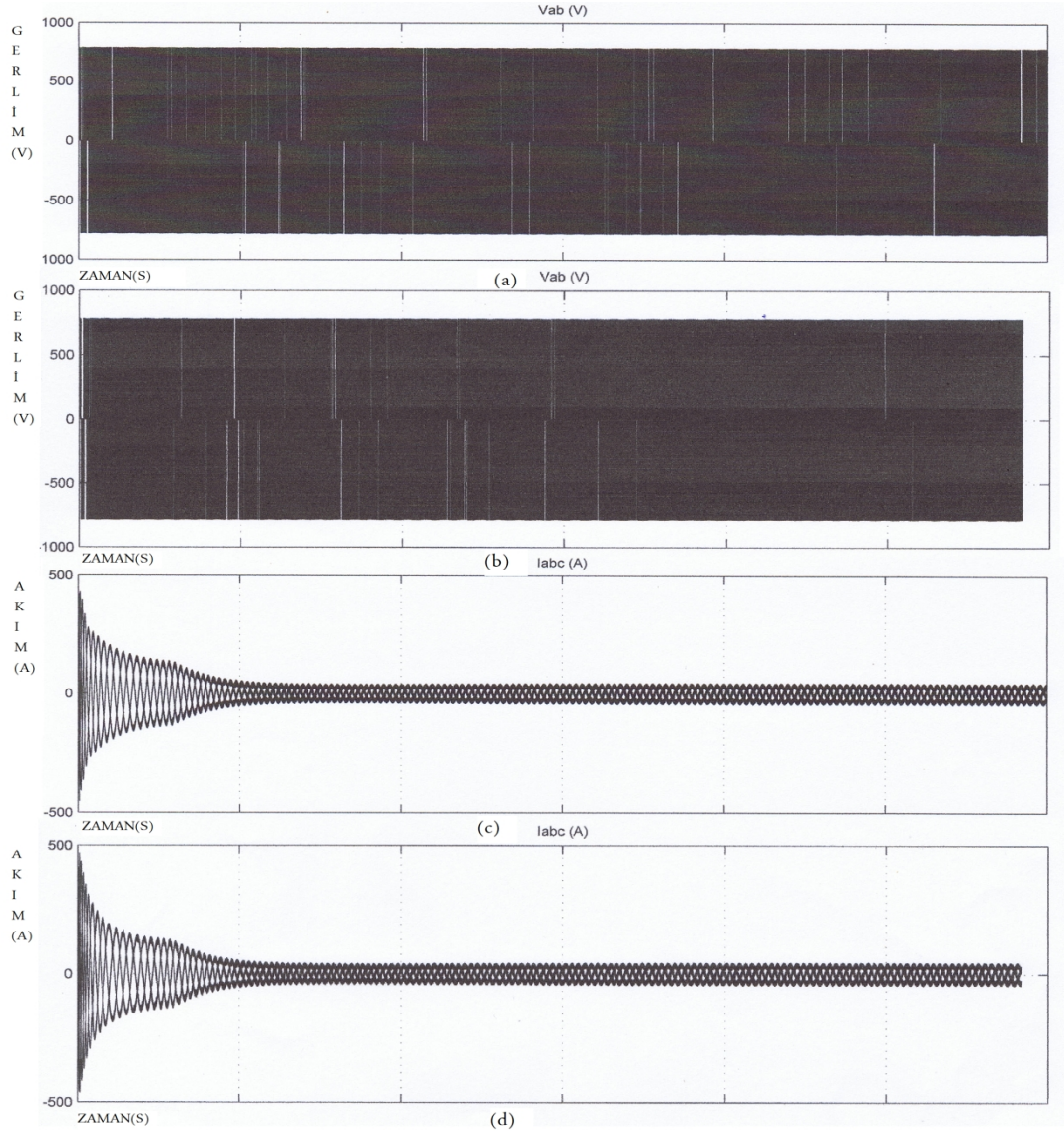
3.6. Eğitilen YSA’ların Referans Sistemde Yerlerine Yerleştirilmesi

Bu bölümde eğitilen YSA kontrolörlerini referans alınan simülasyona teker teker yerleştirilerek sistemin orijinalinde olduğu gibi çalışıp çalışmadığı test edilmiştir. İlk olarak Abc-Dq bloğunun yerine I_d ve I_q akımlarını çıkış olarak veren yukarıda bahsettiğimiz eğitilen YSA’lar sisteme dahil edilerek sistem çalıştırılmıştır. Sisteme dahil edilen YSA’lar ile birlikte oluşturulan simülasyon şekil 3.26’da verilmektedir.

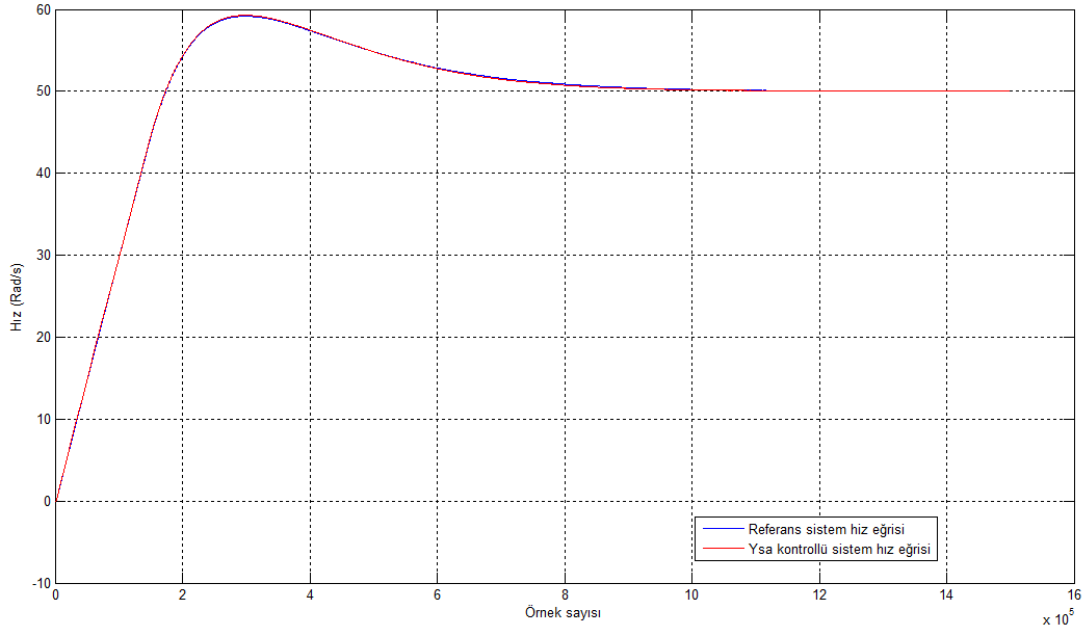


Şekil 3.26. Abc-Dq bloğu YSA ile eğitilmiş similasyon

Sistemin çalışma anındaki performansı görmek için YSA blokları eklenmeden önceki I_d , I_q akımları moment, hız, gerilim ve üç faz akım dalga şekilleriyle YSA eklendikten sonraki I_d , I_q akımları, moment, hız, gerilim ve üç faz akım dalga şekillerini karşılaştırsak sistemin performansı hakkında fikir sahibi olmak mümkün olacaktır.

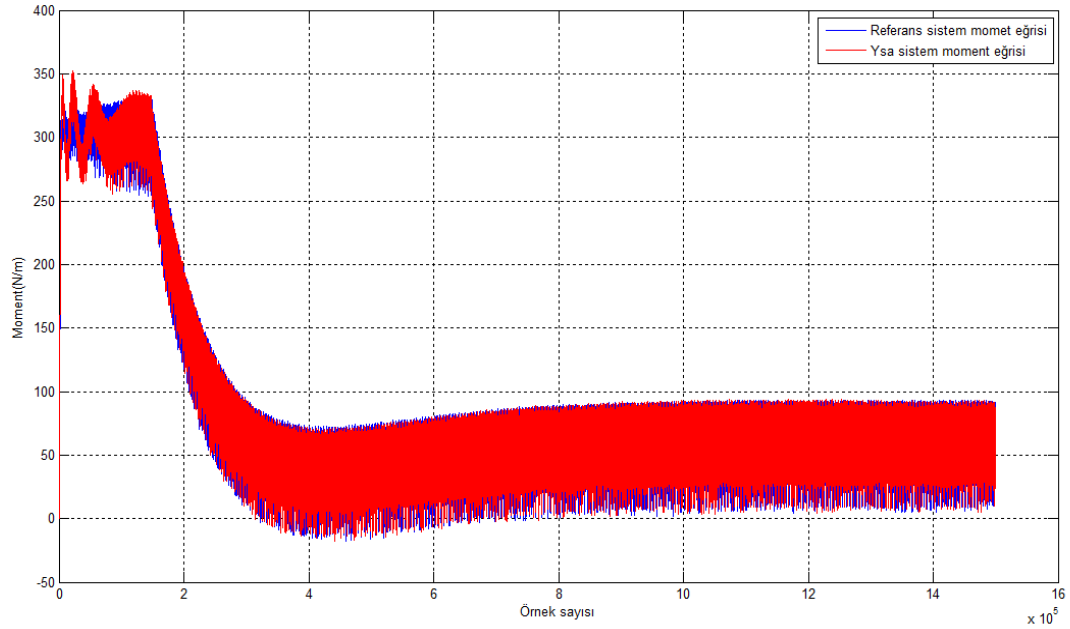


Şekil 3.27. (a) Abc-dq bloğu YSA ile modellenmiş sistemin inverter gerilimi scope görüntüsü
 (b) Referans sisteminin inverter gerilimi scope görüntüsü
 (c) Abc-dq blokğu YSA ile modellenmiş sistemin faz akımları scope görüntüsü
 (d) Referans sisteminin faz akımları scope görüntüsü



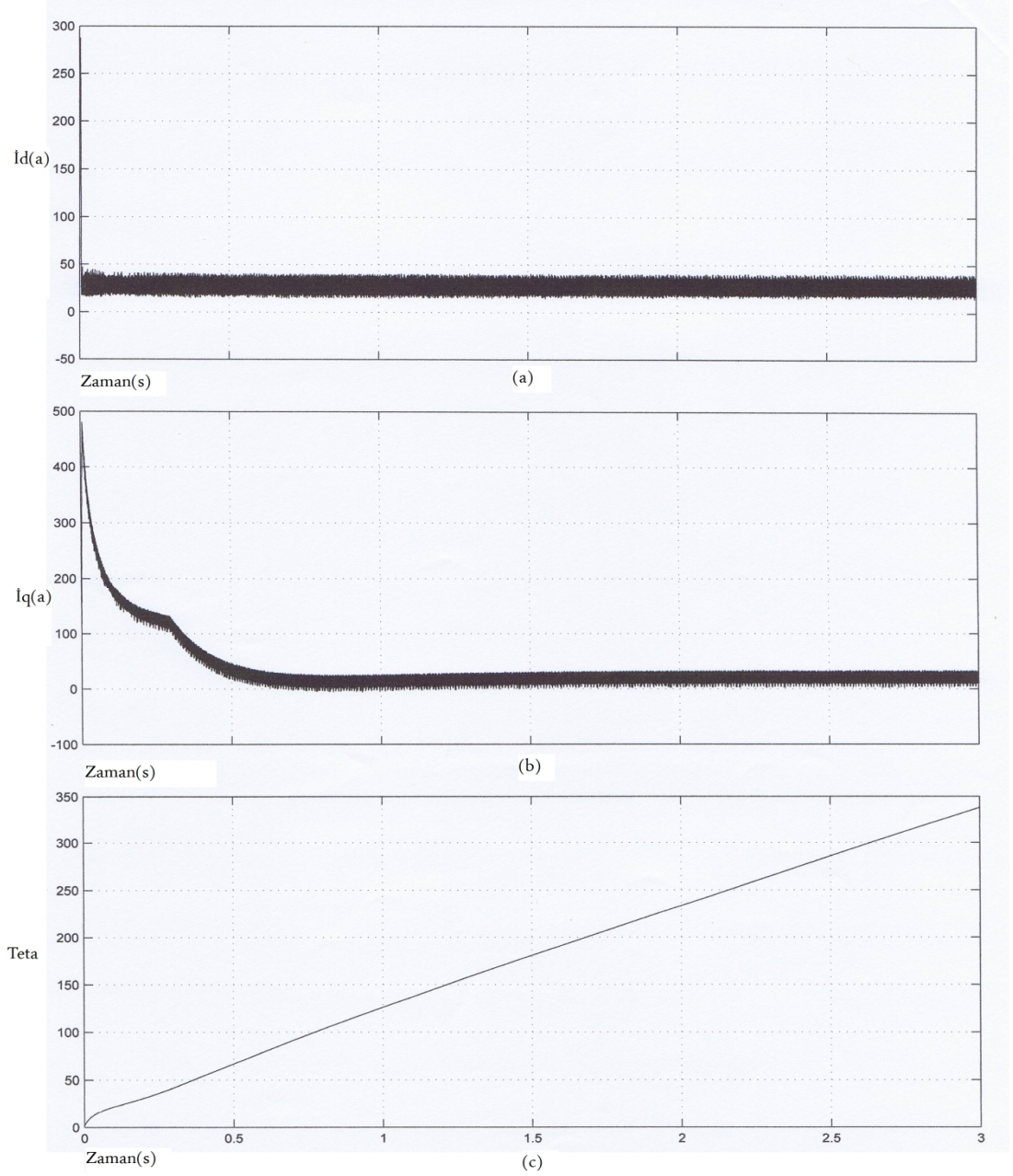
Şekil 3.28. Referans sistem ile Abc-Dq bloğu YSA ile modellenmiş sistemin 50N/m, 50 Rad/s çalışma koşullarında hız eğrileri

Şekil 3.28’de görüldüğü üzere referans sistem ile Abc-Dq bloğu YSA ile modellenmiş sistemin hızlarını çok az bir hata ile aynı olduğu görülmektedir.



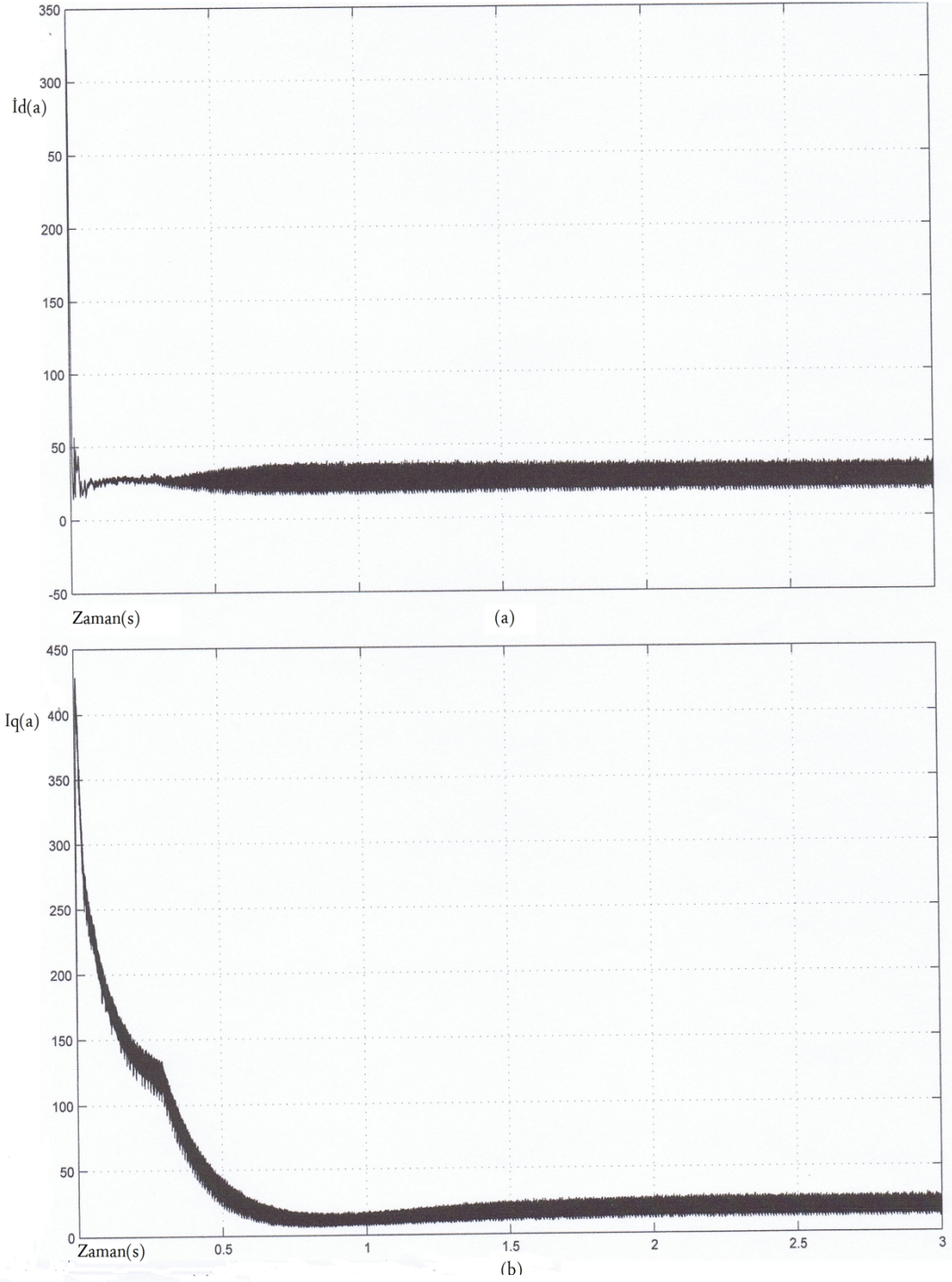
Şekil 3.29. Referans sistem ile Abc-Dq bloğu YSA ile modellenmiş sistemin 50N/m, 50 Rad/s çalışma koşullarında moment eğrileri

Şekil 3.29’da görüldüğü üzere referans sistem ile Abc-Dq bloğu YSA ile modellenmiş sistemin moment eğrileri çok az bir sapma ile aynı sayılabilir, YSA ile modellenmiş bir sistem için bu oldukça başarılı bir sonuçtur.



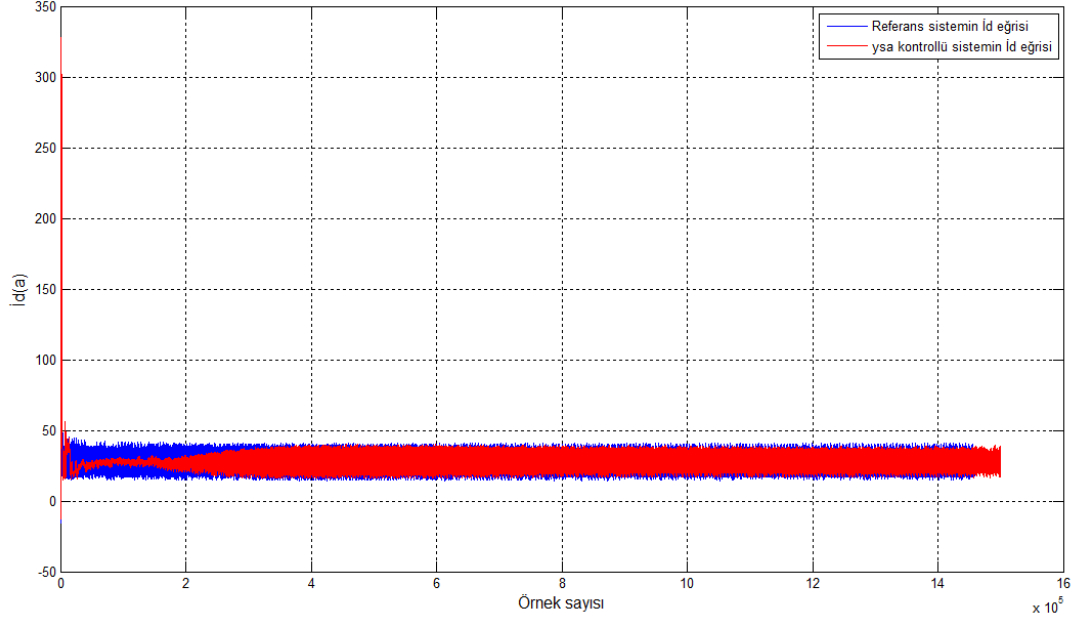
Şekil 3.30. (a) Referans sistem 50N/m, 50 Rad(s) koşullarında I_d akım eğrisi scope görüntüsü
(b) Referans sistem 50N/m, 50 Rad(s) koşullarında I_q akım eğrisi scope görüntüsü
(c) Referans sistem 50N/m, 50 Rad(s) koşullarında Teta açısı akım eğrisi scope görüntüsü

Şekil 3.30'da I_q , I_d akımları ve $teta$ açısı 50/Nm, 50 Rad/s ile çalışan sistemden osiloskop vasıtasıyla alınan referans eğrileridir.

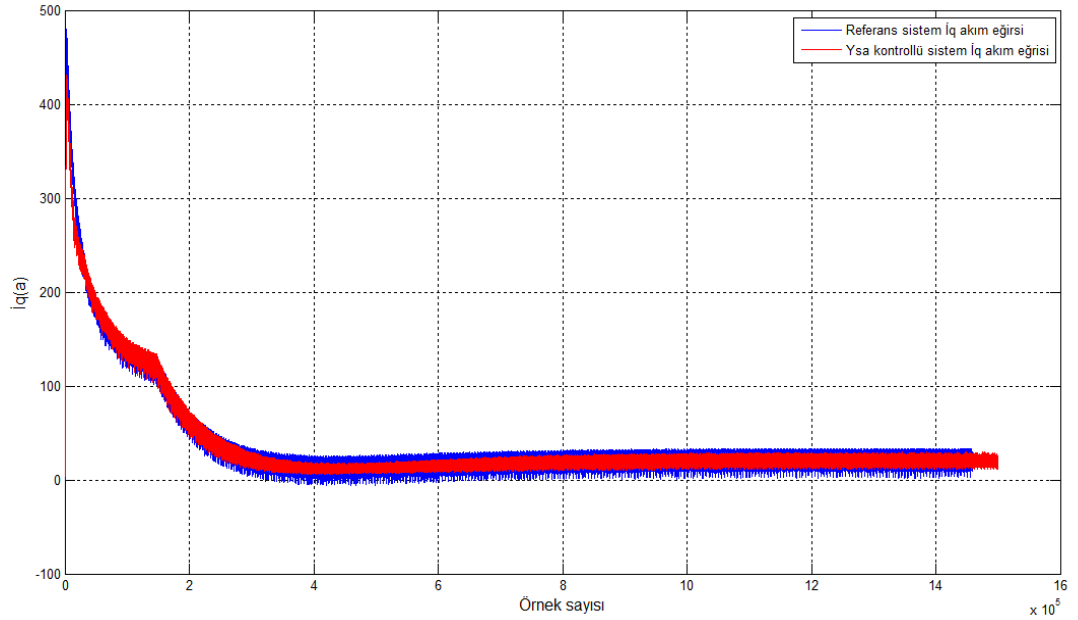


Şekil 3.31. (a) Abc-Dq blok YSA ile modellenmiş sistemin 50N/m, 50 Rad(s) koşullarında I_d akım eğrisi scope görüntüsü
(b) Abc-Dq blok YSA ile modellenmiş sistemin 50N/m, 50 Rad(s) koşullarında I_q akım eğrisi scope görüntüsü

Şekil 3.31’de I_q akımları 50/Nm, 50 Rad/s ile çalışan Abc-Dq bloğu YSA ile modellenmiş sistemden osiloskop vasıtasıyla alınan sonuç eğrileridir.

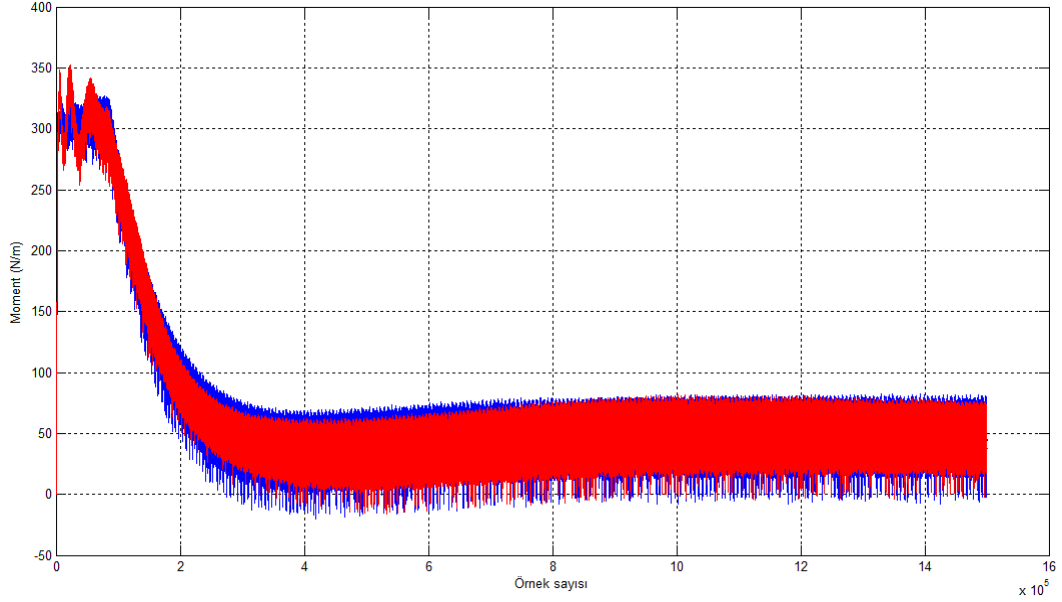


Şekil 3.32. Abc-Dq YSA modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında Id akımını eğrisinin referans sistem Id eğrisiyle karşılaştırılması

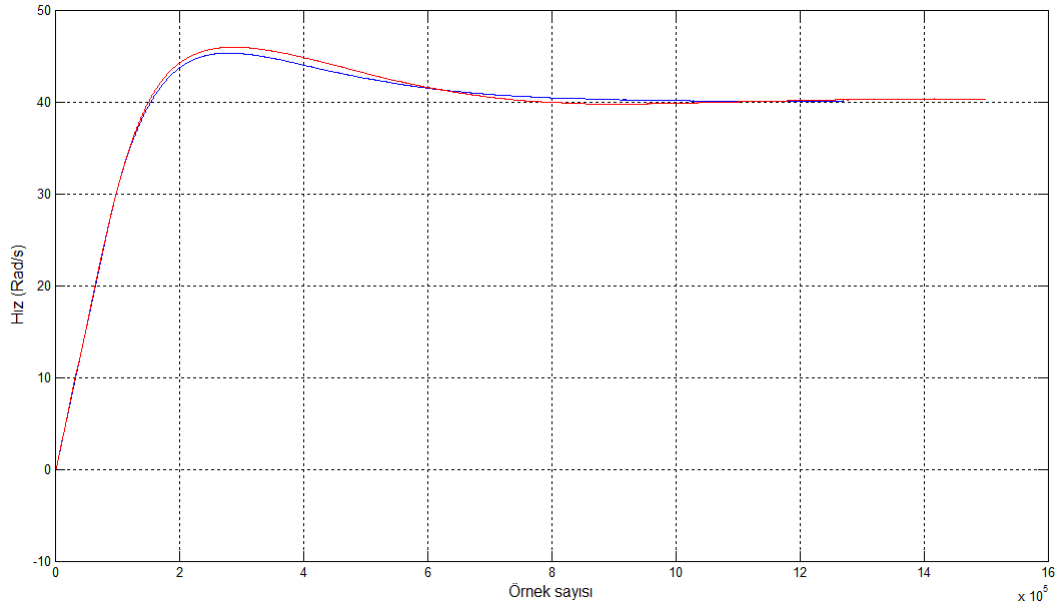


Şekil 3.33. Abc-Dq YSA modellemiş sistemin 50 N/m,50 Rad/s koşullarında Iq akımını eğrisinin referans sistem Iq eğrisiyle karşılaştırılması

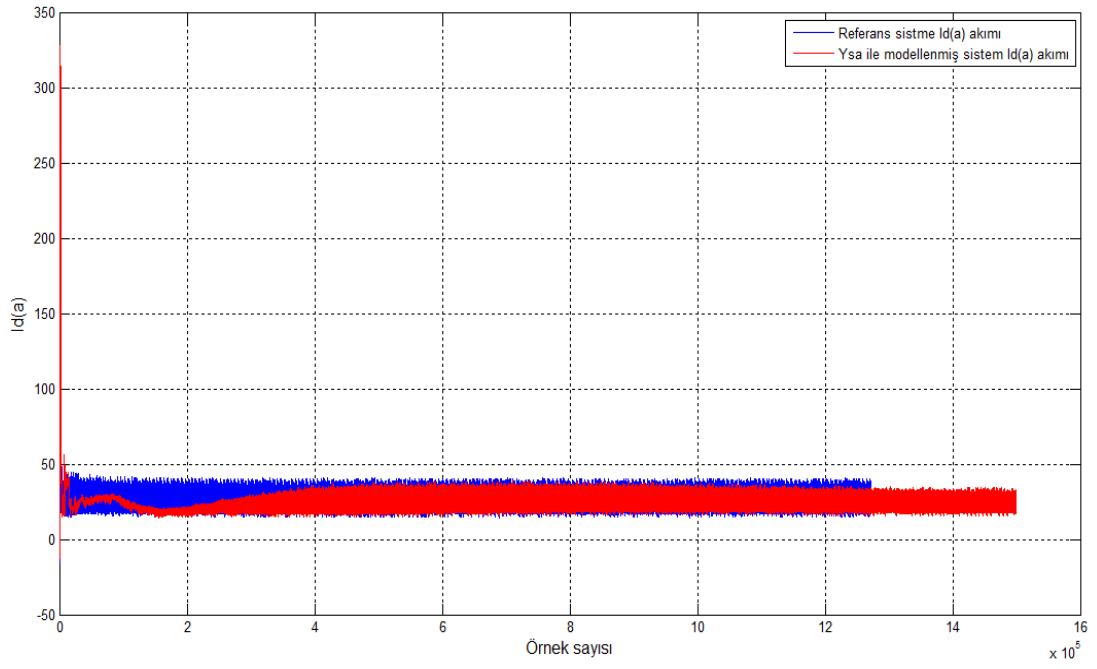
Şekil 3.32. ve şekil 3.33’de 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında çalışan referans sistem ve YSA ile modellenmiş sistemin I_d ve I_q akımları aynı eksenlerde çizdirilerek gösterilmiş ve performansın oldukça iyi olduğu görülmüştür.



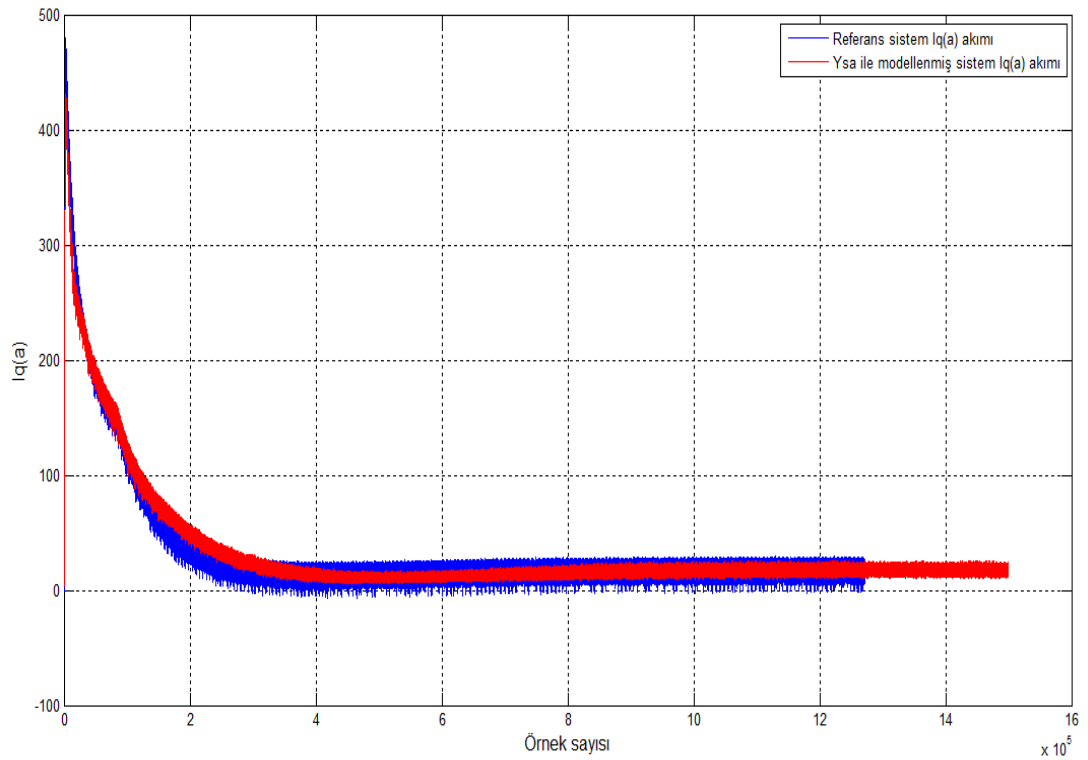
Şekil 3.34. Abc-Dq YSA ile modellenmiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında moment eğrisinin referans sistem moment eğrisiyle karşılaştırılması



Şekil 3.35. Abc-Dq YSA ile modellenmiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında hız eğrisinin referans hız eğrisiyle karşılaştırılması



Şekil 3.36. Abc-Dq YSA ile modellenmiş sistemin 40 N/m,40 Rad/s koşullarında I_d akımını eğrisinin referans sistem I_d eğrisiyle karşılaştırılması

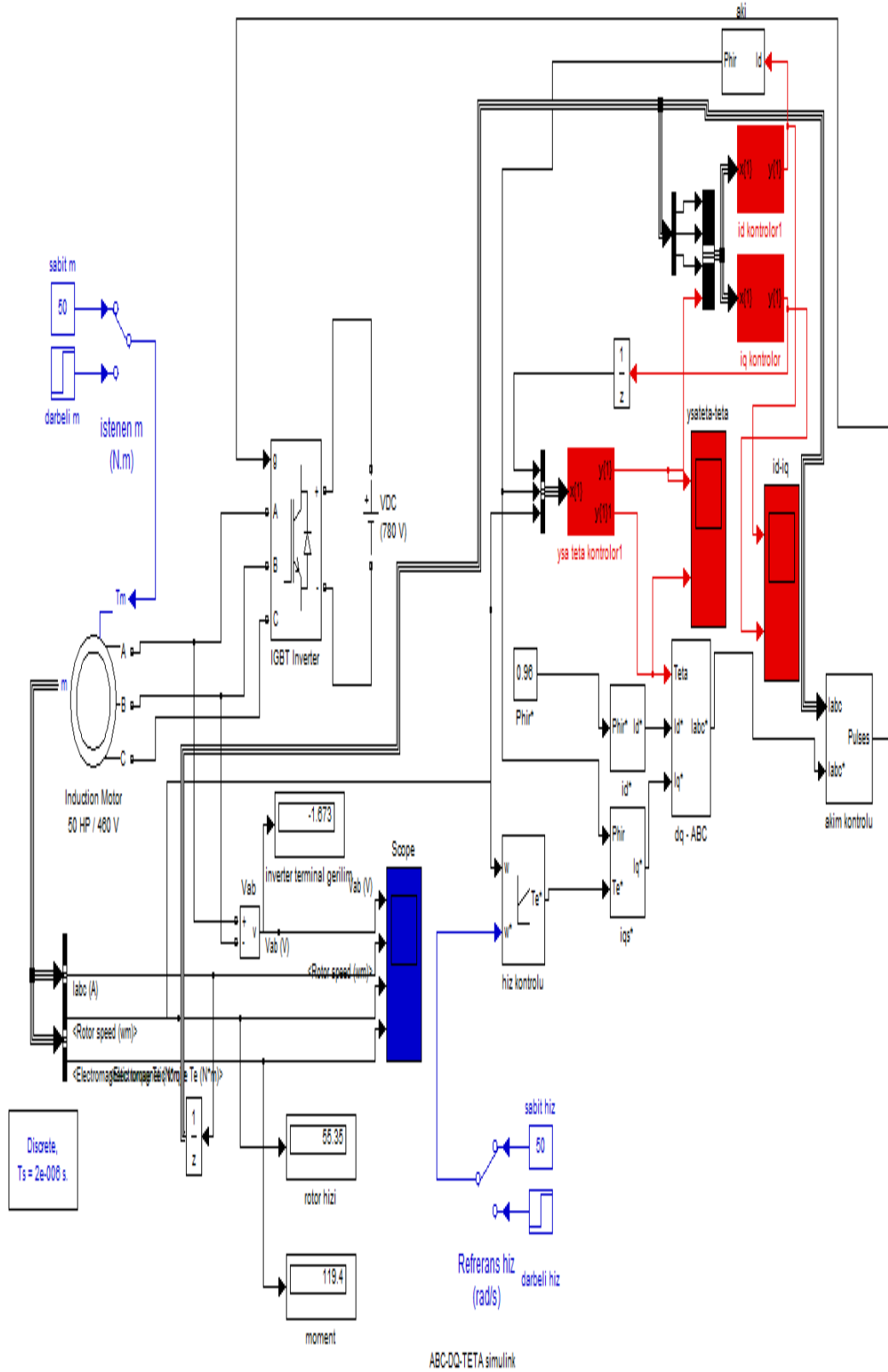


Şekil 3.37. Abc-Dq YSA ile modellenmiş sistemin 40 N/m,40 Rad/s koşullarında I_q akımını eğrisinin referans sistem I_q eğrisiyle karşılaştırılması

Şekil 3.34, şekil 3.35, şekil 3.36, şekil 3.37’de Abc-Dq bloğu modellenmiş sistemin 40N/m,40 Rad/s koşullarında çalışması sonucu referans sistemle karşılaştırmalı olarak hız, moment, I_d , I_q grafikleri verilmiştir, moment ve hız şekillerine baktığımızda YSA kontrollü sistemin referans sistemin moment ve hız eğrilerini gayet başarılı bir şekilde izlediğini hatta YSA kontrollü sistemin moment çıkışının referans istem moment çıkışından çok daha az osilasyon gösterdiği söylenebilir, momentin osilasyonunu az olması doğal olarak momenti kontrol eden I_q akımının osilasyonsuz olmasına ve akımın daha küçük değerlerde sabit kalmasına sağlamıştır, I_q akımının osilasyonsuz ve daha küçük değerlerde olması da doğal olarak faz akımlarına etki ederek sistemden çekilen gücün azalmasını sağlayacaktır.

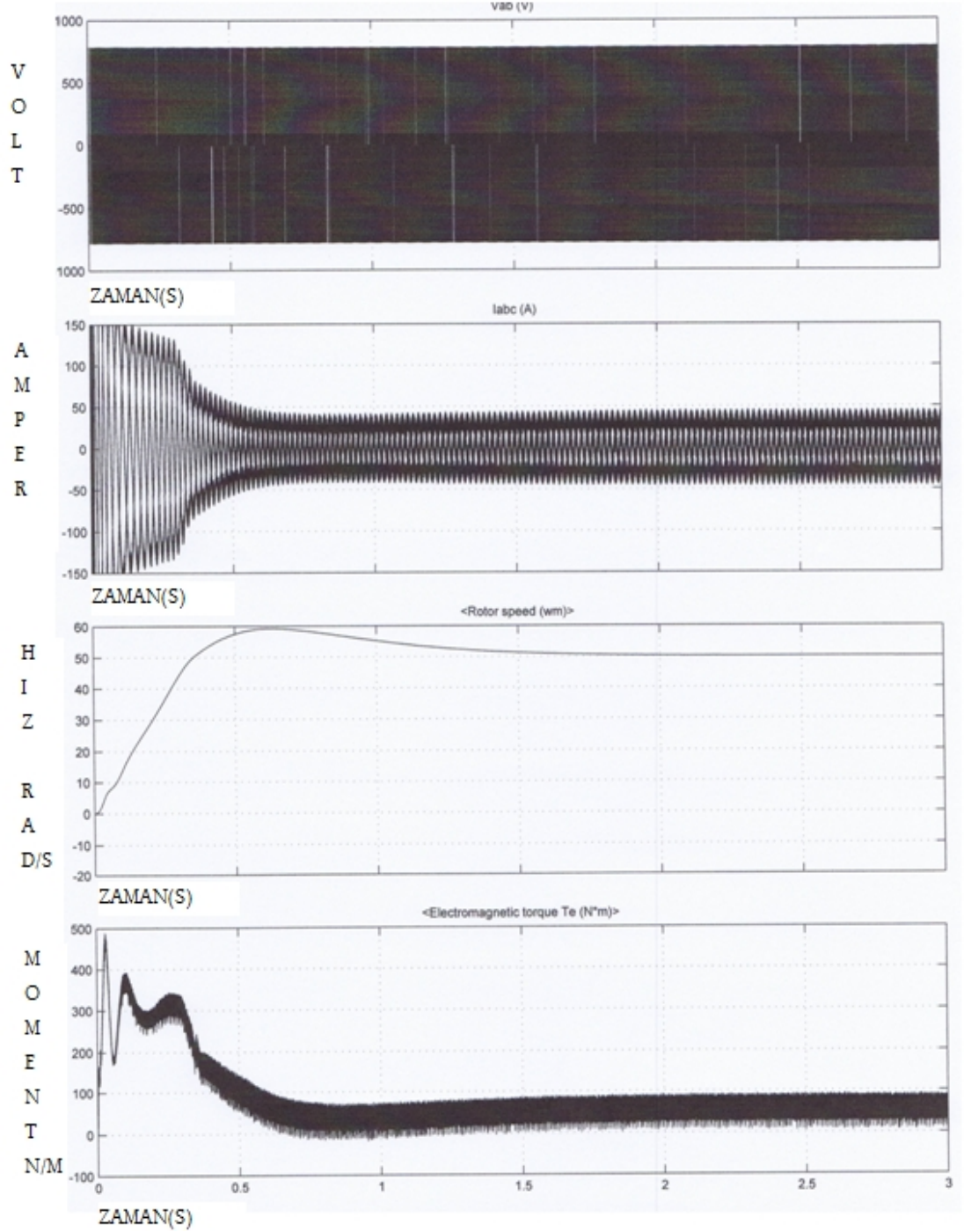
Yukarıdaki şekillerden de anlaşılacağı gibi eğitilmiş YSA’lar 75.000 gibi normalde olması gereken sayının %5’i kadar az bir eğitim verisiyle sistemin normal çalışma performansının neredeyse aynısını gösterebilmektedir. Asenkron motorun bizi burada daha çok ilgilendiren cevapları hız ve moment karakteristiğidir, referans sistemiyle Abc-Dq bloğu YSA ile modellenmiş sistemin hız ve momentinin arasındaki karesel hatayı hesaplayacak olursak hız hatası 0.0080 moment hatasında 755,300 buluruz moment hatasının çok olmasını sebebi sistemin yaptığı osilasyondan kaynaklanmaktadır, momentin referans sistem çıkış şekliyle YSA’lı sistemin moment çıkış şekline bakıldığında gayet uyumlu bir şekilde olduğu görülmektedir.

Sadece Abc-Dq bloğunun sistemdeki performansı gördükten sonra sisteme eğitilen Teta bloğunu da ekleyerek şekil 3.38 ‘daki similasyon oluşturulmuştur.



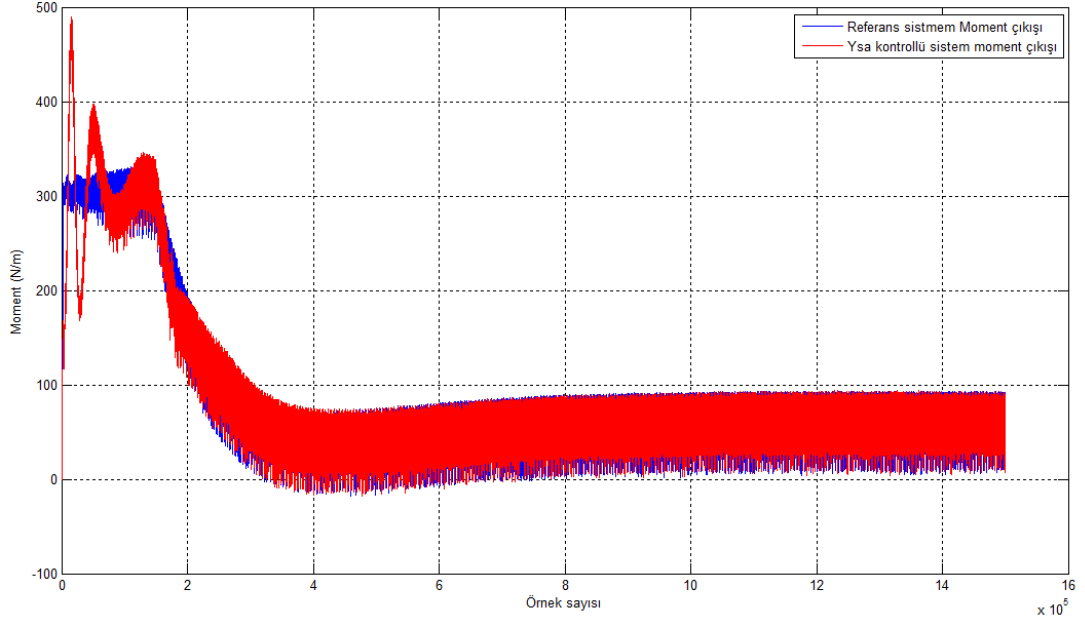
Şekil 3.38. 50 N/m, 50 Rad/s çalışma koşulları için Abc-Dq ve Teta bloğu modellenmiş similasyon

Eğitilen Abc-Dq ve Teta YSA kontrolörleri şekil 3.38'daki sisteme yerleştirilip çalıştırıldıktan sonra similasyonun performansının incelenmesi için alınan hız, tork, I_q ve I_d akımlarının dalga şekilleri şekil 3.40'da verilmiştir.

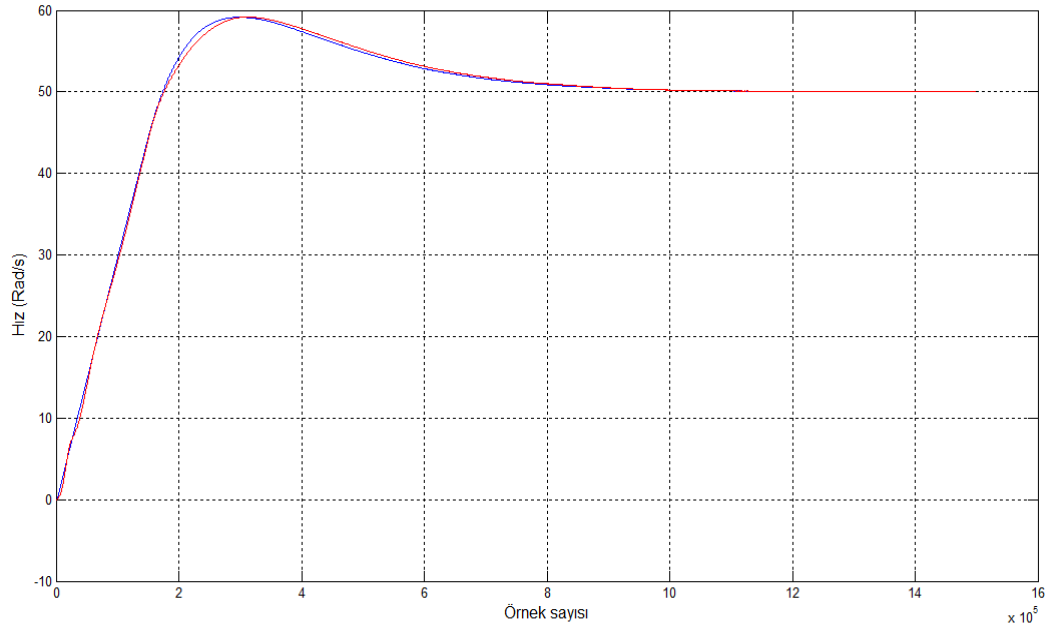


şekil 3.39. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA ile modellenmiş sitemin sırasıyla inverter terminal gerilimi, akımları, hız ve moment dalga şekilleri scope görüntüleri

Şekil 3.39’da verilen inverter terminal gerilimi, faz akımları, hız ve moment eğrileri sistem çalışırken osiloskop vasıtasıyla alınmış eğrilerdir.



Şekil 3.40. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında moment eğrisinin referans sistem moment eğrisiyle karşılaştırılması

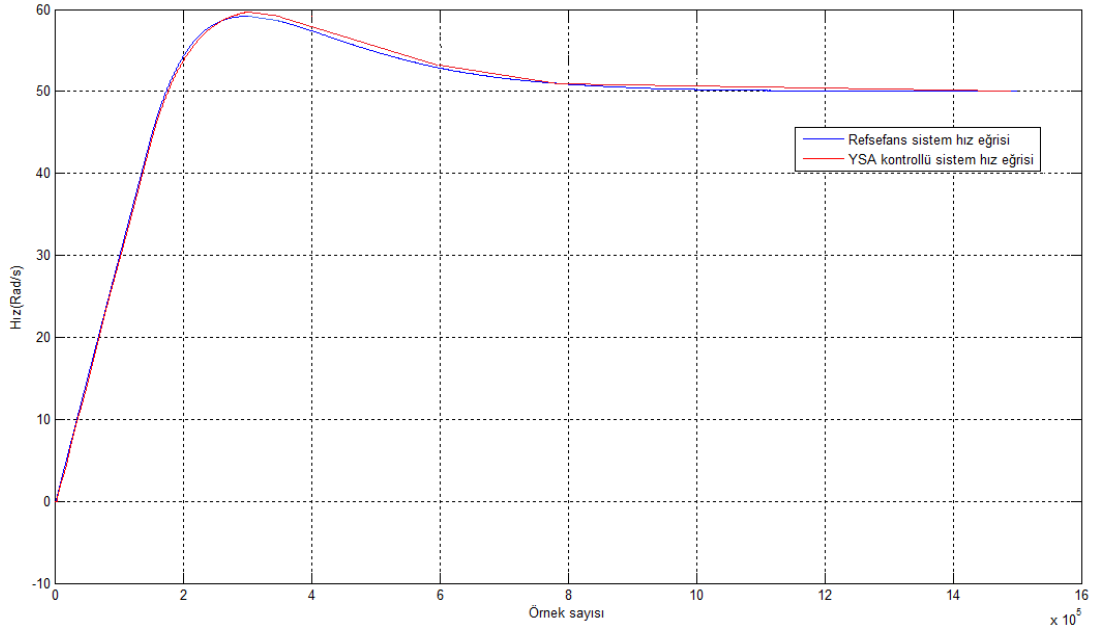


Şekil 3.41. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında hız eğrisinin referans sistem hız eğrisiyle karşılaştırılması

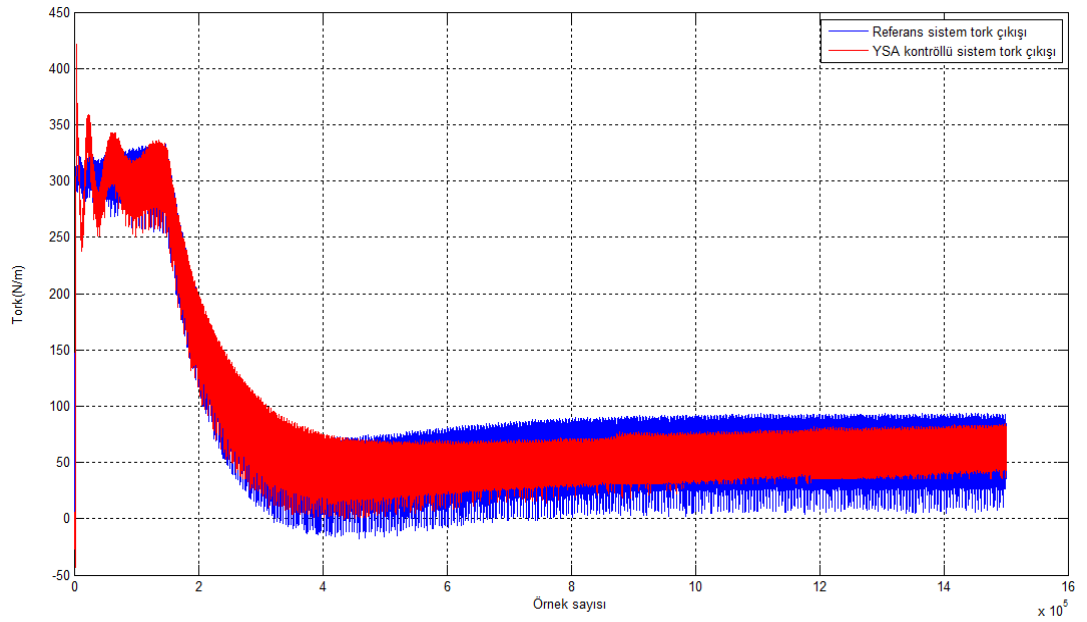
[illegible]

60

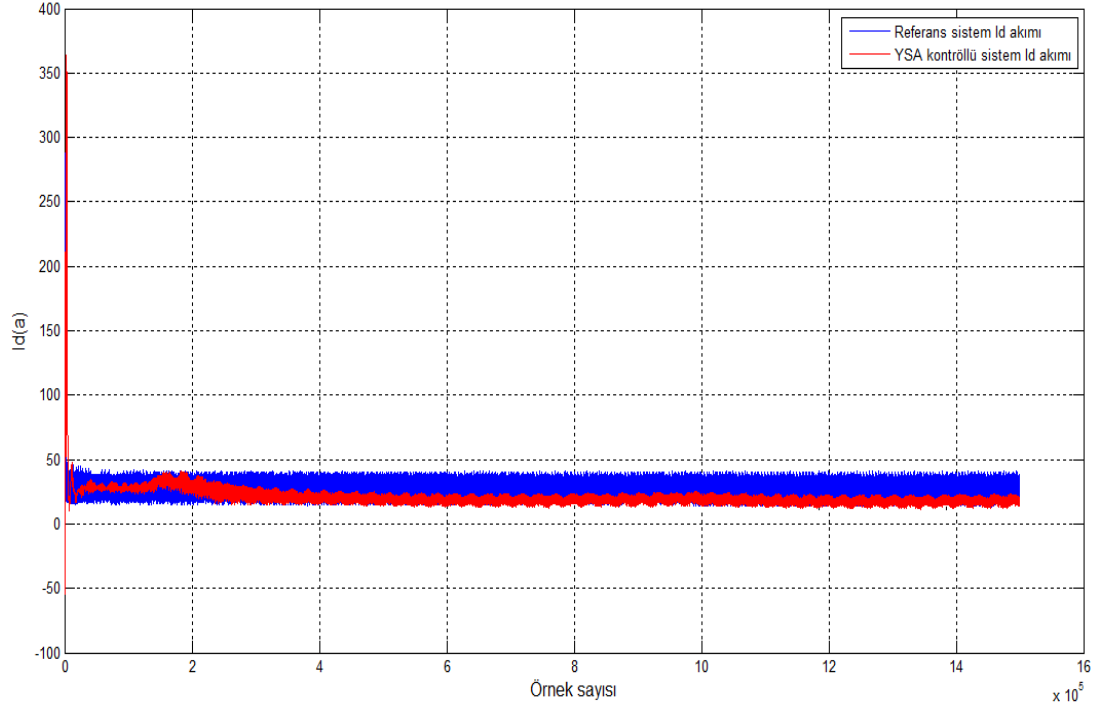
Similasyon sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir;



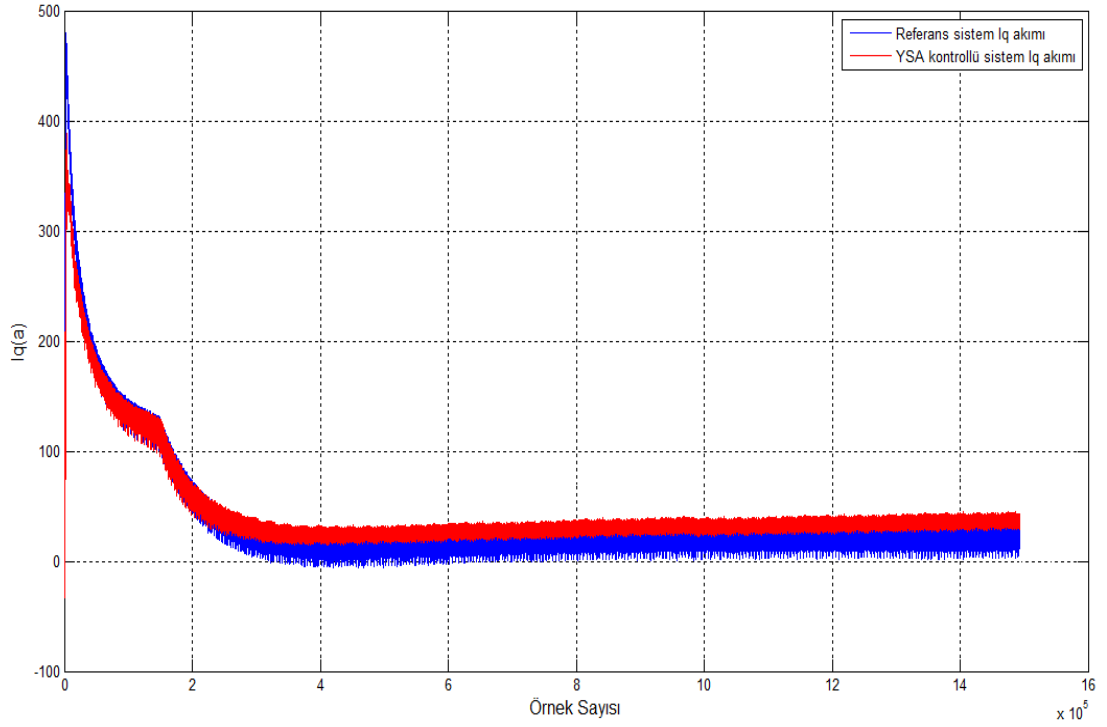
Şekil 3.43. Abc-Dq ve Teta bloğu gecikmeli girişli YSA modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında hız eğrisinin referans sistem hız eğrisiyle karşılaştırılması



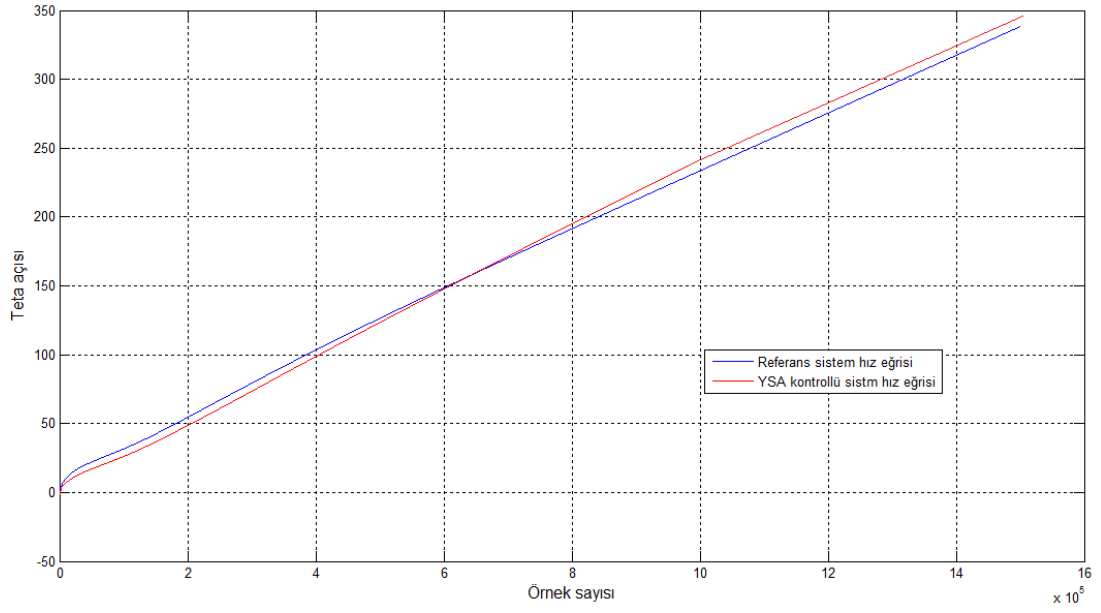
3.44.Abc-Dq ve Teta bloğu gecikmeli girişli YSA modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında moment eğrisinin referans sistem moment eğrisiyle karşılaştırılması



Şekil 3.45. Abc-Dq ve Theta bloğu gecikmeli girişli YSA ile modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında Id akımının referans sistem Id akımıyla karşılaştırılması



Şekil 3.46. Abc-Dq ve Theta bloğu gecikmeli girişli YSA ile modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında Iq akımının referans sistem Iq akımıyla karşılaştırılması



Şekil 3.47. Abc-Dq ve Teta bloğu gecikmeli girişli YSA modellemiş sistemin 50 N/m, 50 Rad/s koşullarında teta açısının referans sistem teta açısıyla karşılaştırılması

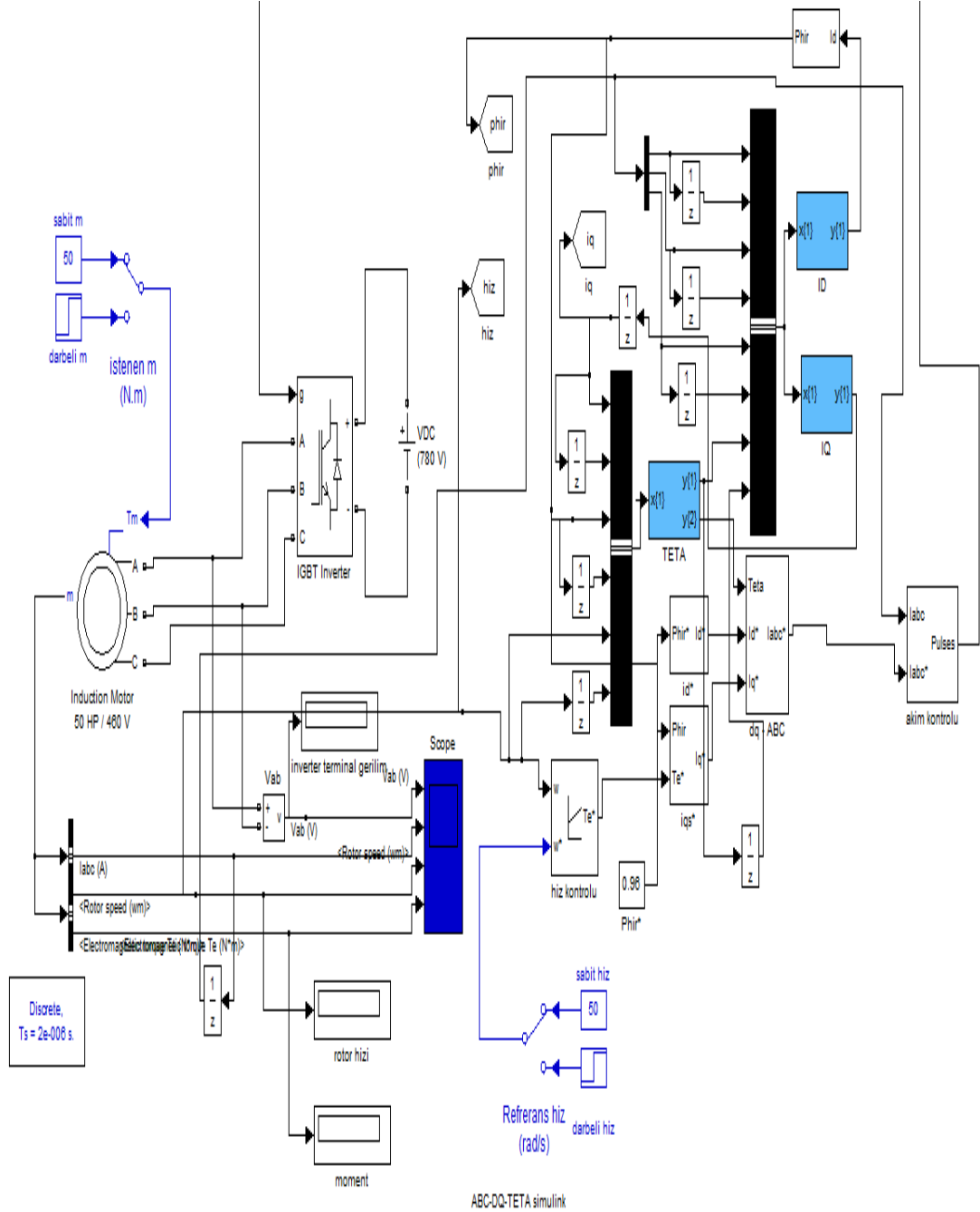
Şekil 3.43, Şekil 3.44’de görüldüğü gibi I_a , I_b , I_c , $teta$ girişleri ve bunların birer geçikmiş değerleriyle eğitilen YSA’lar ile kurulan sistemin moment ve hız cevapları referans sisteme oldukça yakındır.

Şekil 3.45, Şekil 3.46, Şekil 3.47’de eğitilen Ysa ların sistem üzerindeki çıkışları verilmiştir bu çıkışlar da referans sistem çıkışlarına oldukça yakındır ve bir önceki simülasyonlarda bu çıkışlar üzerinde 0.2 sn civarlarında oluşan sıçramalar kaybolduğu görülmektedir.

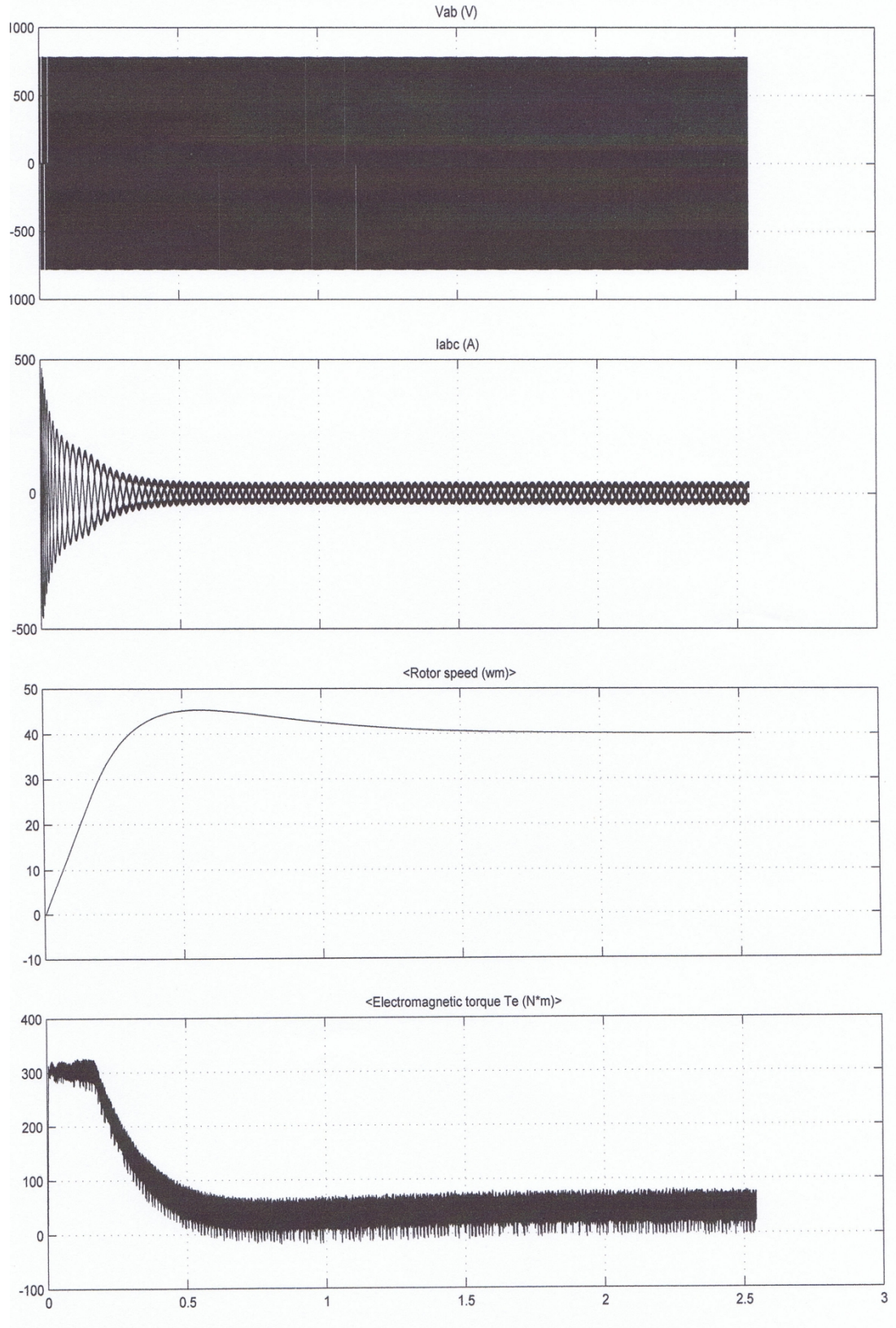
3.7. Oluşturulan Kontrol Sisteminin Farklı Hız ve Tork Değerlerinde Çalıştırılması

Yukarıdaki bölümlerde 50 N/m ve 50 Rad/sn hızı referans alınmıştır ve kontrollerin eğitimi bu hız ve moment değerlerinde yapılarak çalıştırılmıştır, bu bölümde oluşturulan kontrolörlerin farklı hız ve moment değerlerinde çalıştırılıp çalışma performansları gösterilecektir, bu farklı hız ve moment koşulları, 40N/m-40 ras/sn, 90N/m-100rad/sn koşullar olarak belirlenmiştir, bu koşulları bu aralıklarda

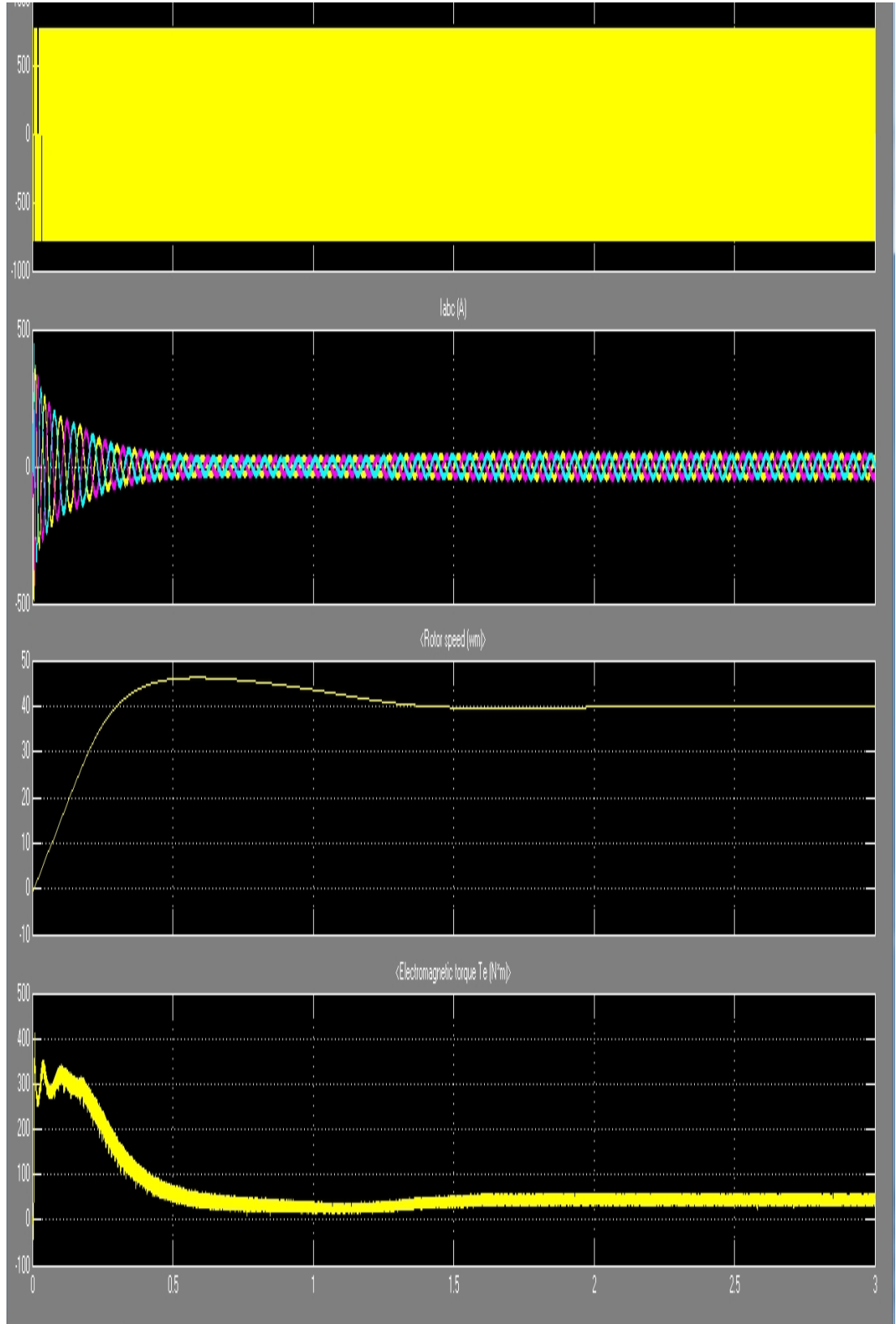
belirlenmesinin sebebi referans hız ve tork değerinin üst ve altında olan koşullarda 50N/m-50rad/sn de çalışan similasyonun verileriyle eğitilen YSA'ların bu koşullardaki davranışlarını belirlemektir. Farklı çalışma koşullarını denemek üzere kullanılan YSA kontrollü sistem şekil 3.48 'de verilmiştir.



Şekil 3.48. 50 N/m, 50 Rad/s çalışma koşulları için Abc-Dq ve Teta bloğu gecikmeli girişlerle modellenmiş similasyon

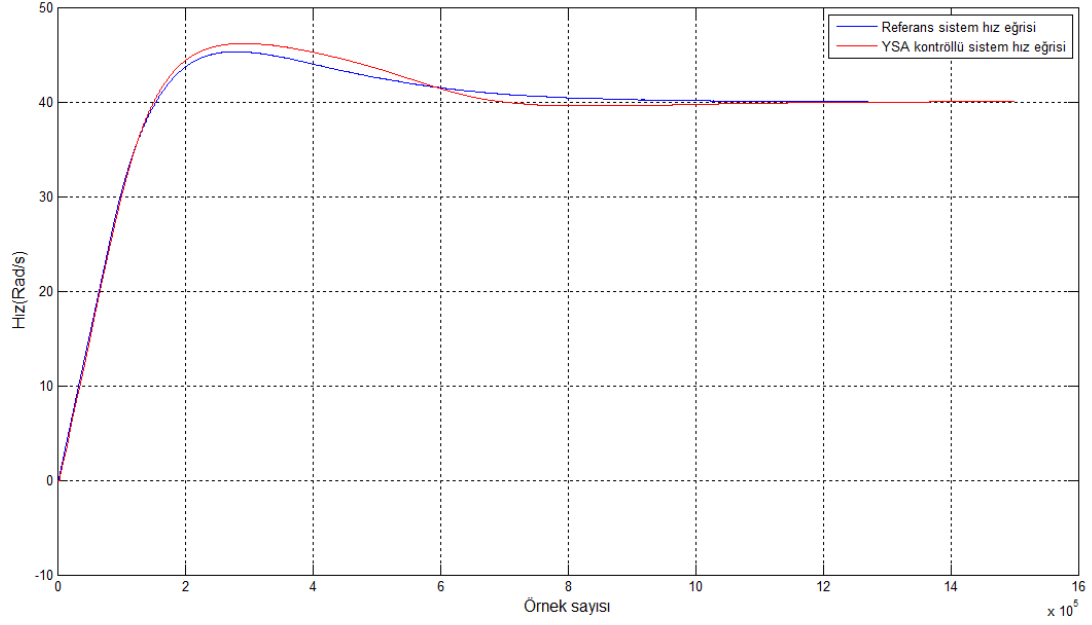


Şekil 3.49. 40 N/m, 40 Rad/s çalışma koşullarındaki referans sistem eğrileri scope görüntüleri

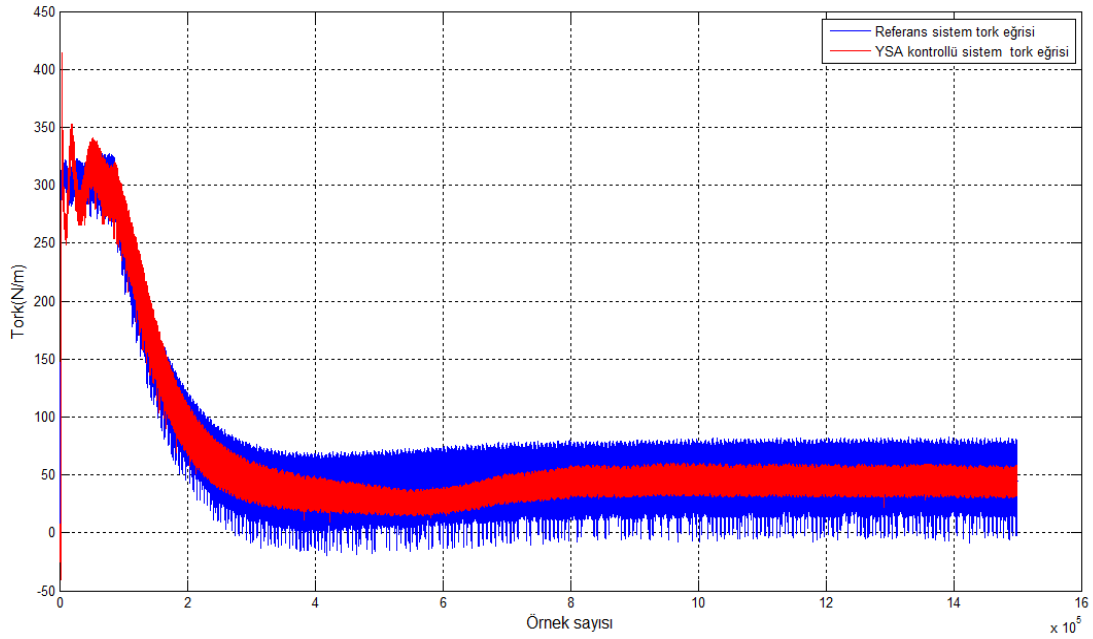


Şekil 3.50. 40 N/m, 40 Rad/s çalışma koşullarındaki YSA kontrollü sistem eğrileri scope görüntüleri

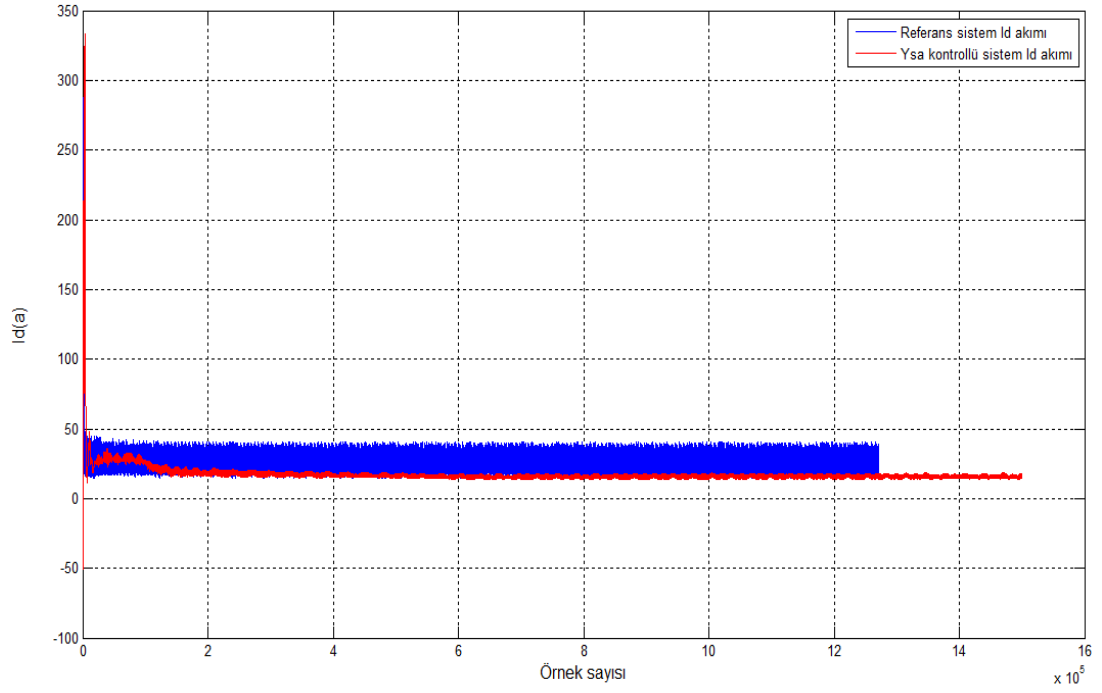
Şekil 3.49 ve şekil 3.50 sırasıyla referans sistemin ve YSA kontrollü sistemden çalışırken alınmış osiloskop görüntüleridir aradaki yakınlığı görmek için aşağıdaki şekiller verilmiştir.



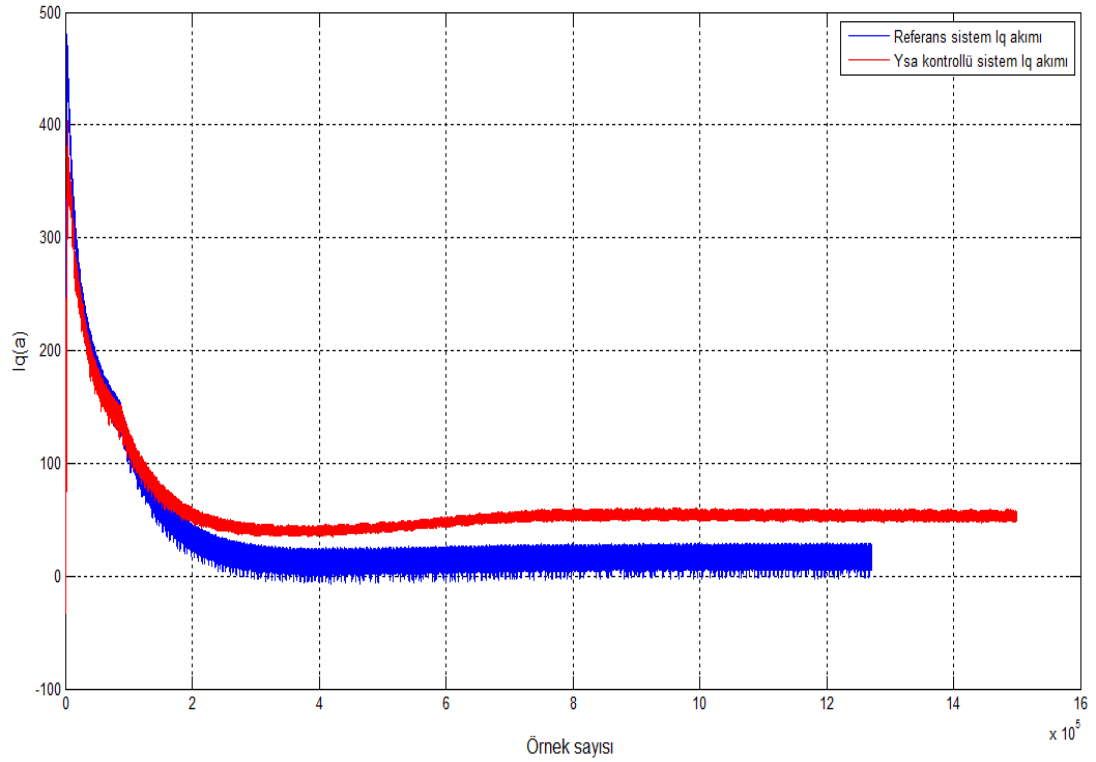
Şekil 3.51. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında hız eğrisinin referans sistem hız eğrisiyle karşılaştırılması



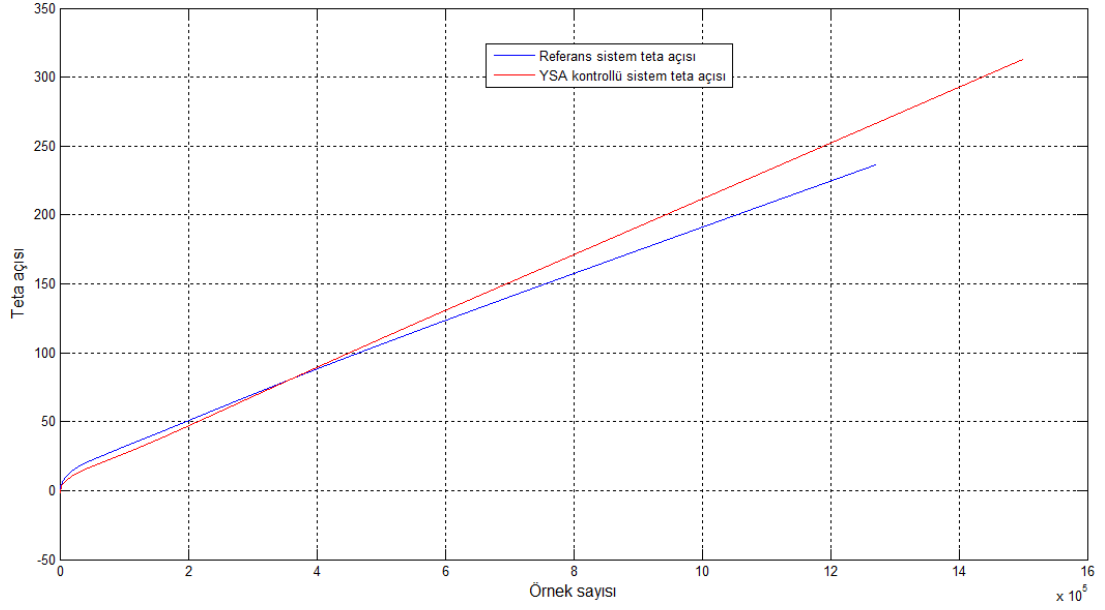
Şekil 3.52. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında moment eğrisinin referans sistem moment eğrisiyle karşılaştırılması



Şekil 3.53. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında Id akımını eğrisinin referans sistem Id eğrisiyle karşılaştırılması

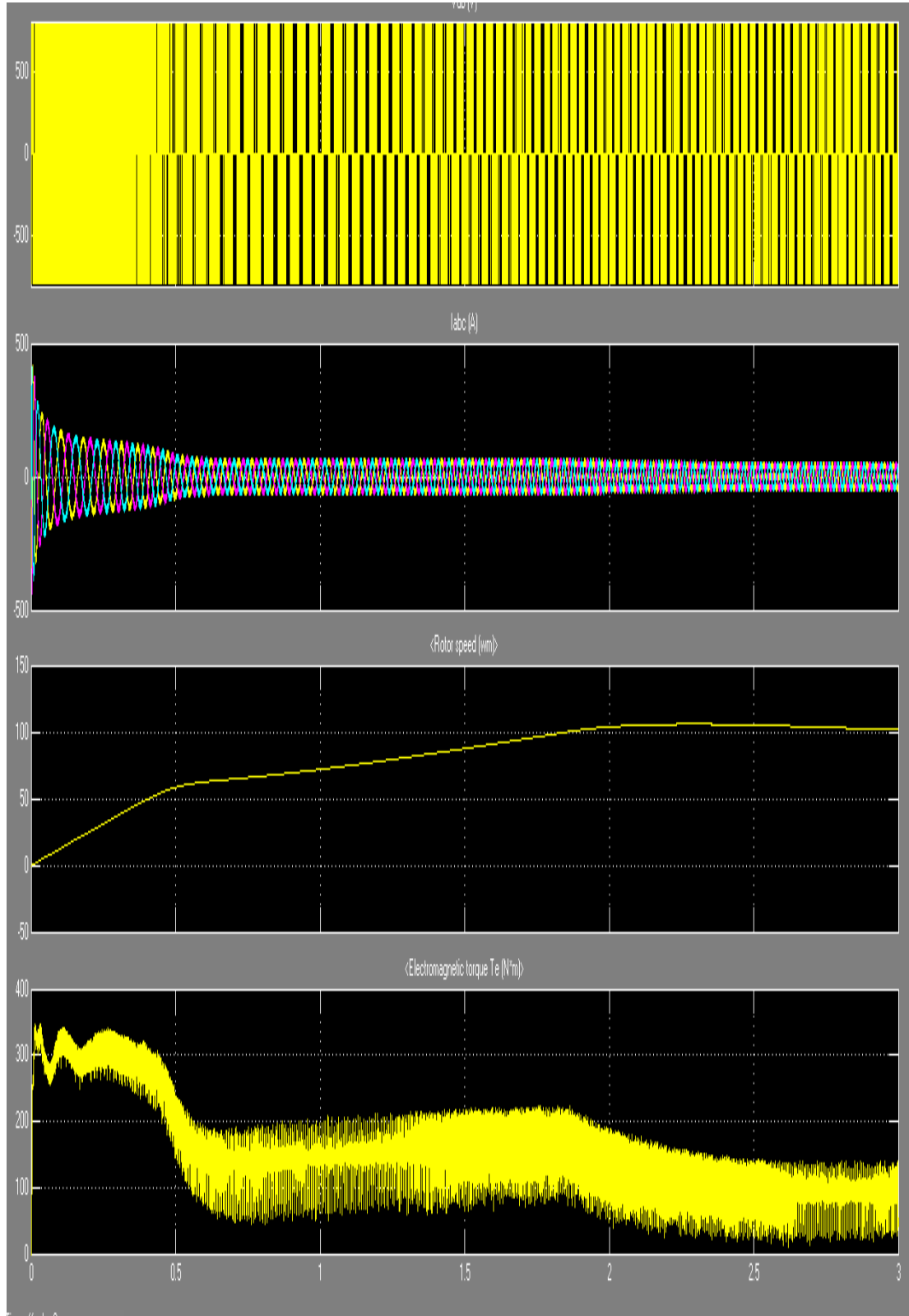


Şekil 3.54. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında Iq akımını eğrisinin referans sistem Iq eğrisiyle karşılaştırılması

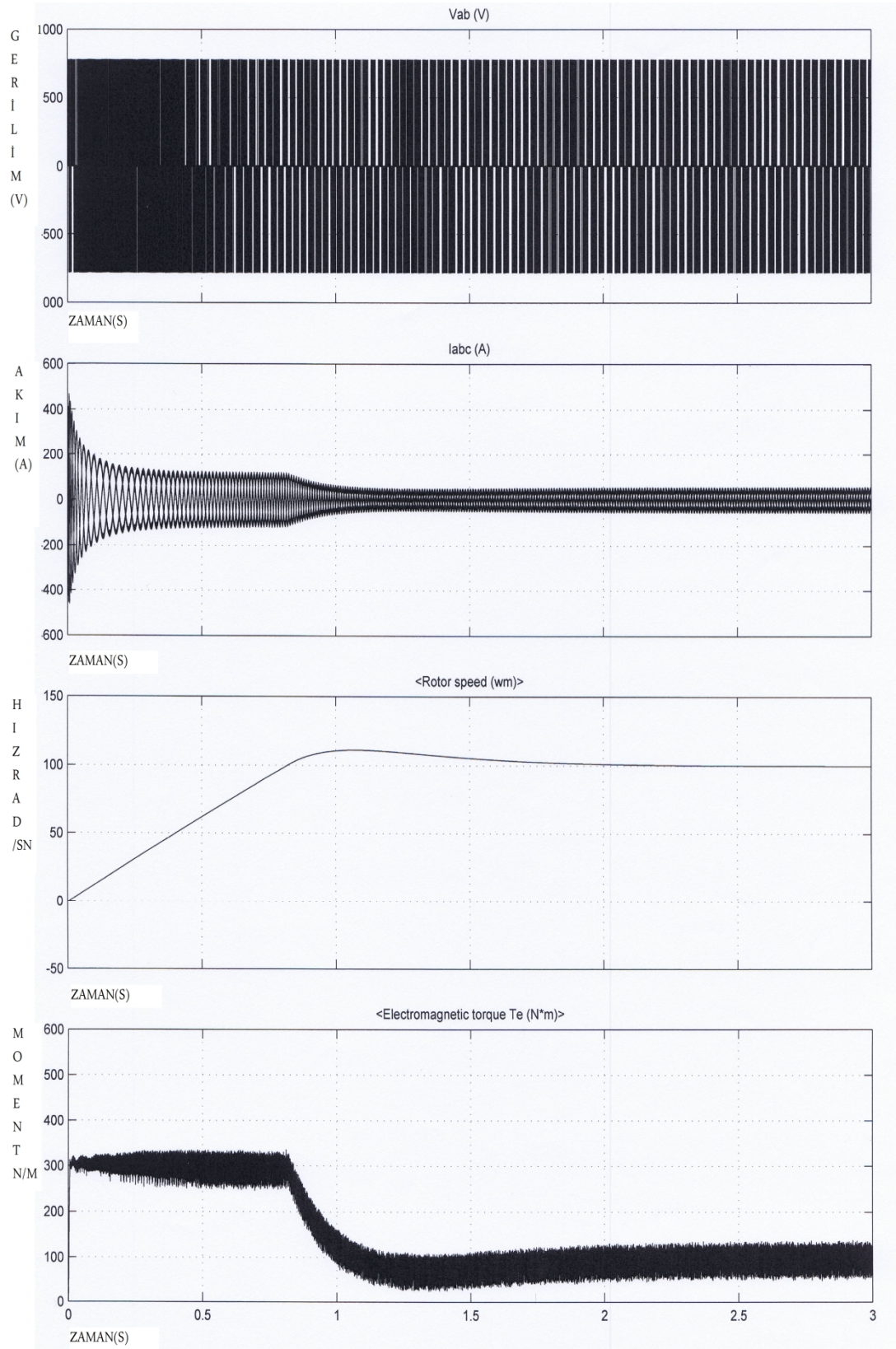


Şekil 3.55. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/s koşullarında teta açısının referans sistem teta açısıyla karşılaştırılması

Şekil 3.51, şekil 3.52, şekil 3.53, şekil 3.54, şekil 3.55'den de anlaşılacağı üzere Abc-Dq ve Teta bloğu YSA ile modellenmiş sistemin 40 N/m, 40 Rad/sn çalışma koşullarında hız, moment, I_d , I_q akımları, *teta* açısı çıkışlarının referans sistemin bahsedilen çıkışlarla olan yakınlığı görülmektedir.

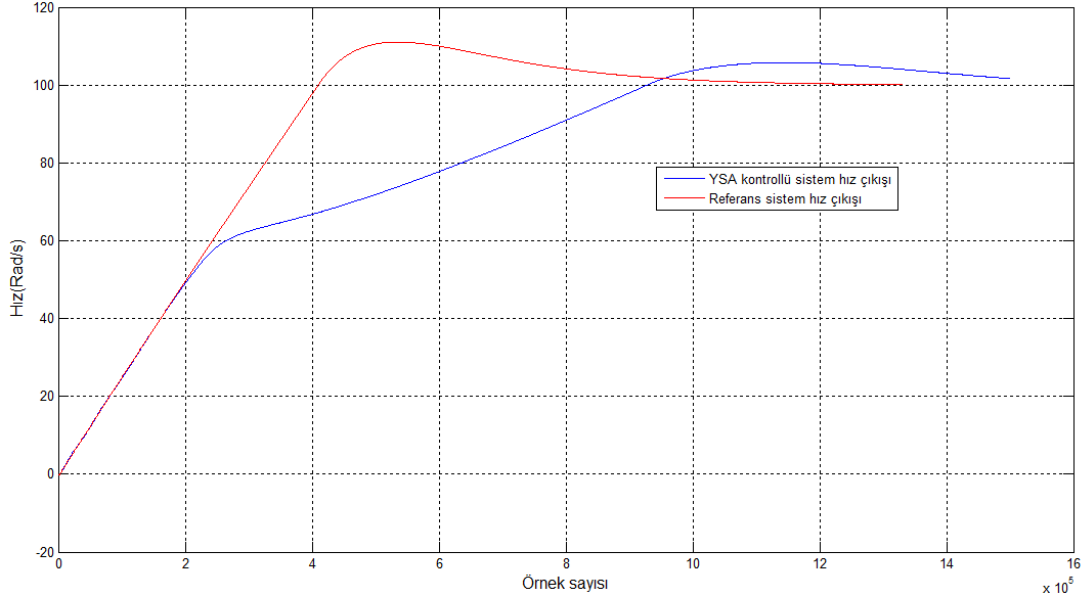


Şekil 3.56. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s çalışma koşullarında sırasıyla inverter gerilimi, faz akımları, hız ve moment eğrileri scope görüntüleri



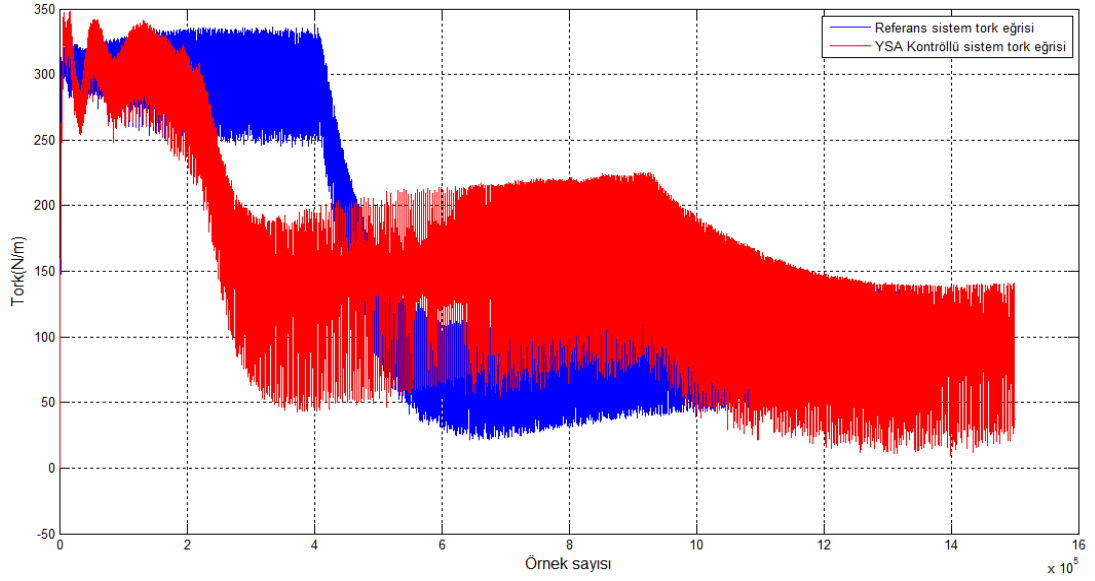
Şekil 3.57. Referans sistemin 90 N/m, 100 Rad/s çalışma koşullarında sırasıyla inverter gerilimi, faz akımları, hız ve moment eğrileri scope görüntüleri

Şekil 3.56 ve şekil 3.57’de 90 N/m, 100 Rad/s çalışma koşullarında çalışan referans sistem ve Abc-dq ve Teta bloğu YSA ile modellenmiş sistemin osiloskop görüntülerinde inverter gerilim, faz akımları, hız ve moment eğrilerine bakıldığında %2.5 gibi bir eğitim verisiyle daha önce 90 N/m,100 Rad/s çalışma koşullarında eğitilmemesine karşın sonuçların oldukça iyi olduğu görülmektedir.



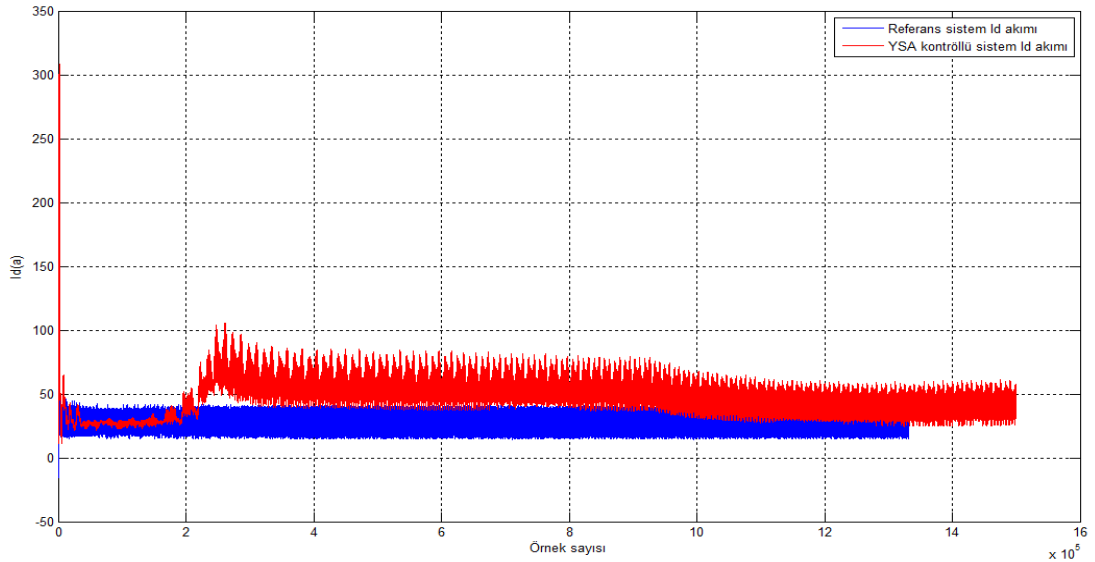
Şekil 3.58. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s koşullarında hız eğrisinin referans sistem hız eğrisiyle karşılaştırılması

Şekil 3.58’de görüldüğü üzere referans sistem ve 90 N/m, 100 Rad/s çalışma koşullarında çalışan sistem’in hızları aynı eksen üzerine çakıştırılarak verilmiştir ve 90 N/m, 100 Rad/s koşullarında çalışan sistem referans sistemin hız eğrisini 0.375-1.875 s aralıkları hariç başarılı bir şekilde takip edip 1.875.sn sonra set edilen hıza başarılı bir şekilde yaklaştığı görülmektedir.

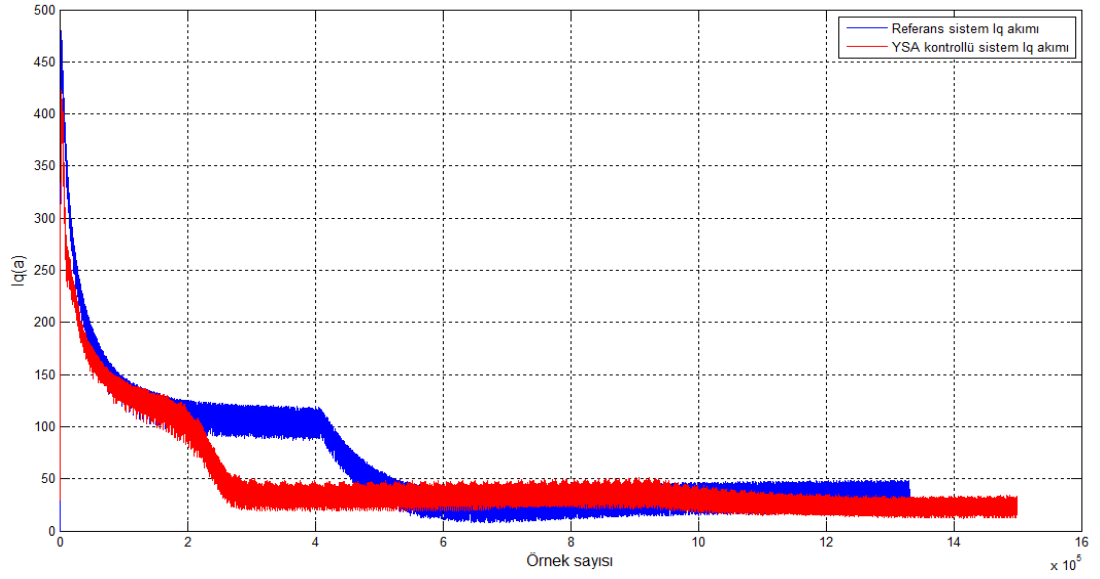


Şekil 3.59. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s koşullarında moment eğrisinin referans sistem moment eğrisiyle karşılaştırılması

Şekil 3.59’da görüldüğü gibi 90 N/m, 100 Rad/s çalışma koşullarında çalışan referans sistem ile Abc-dq ve Teta bloğu YSA ile modellenmiş sistemin momentleri aynı eksen üzerine çakıştırılarak verilmiştir ve YSA ile modellenmiş sistem referans sistemin moment eğrisini yakaladığı görülmektedir.

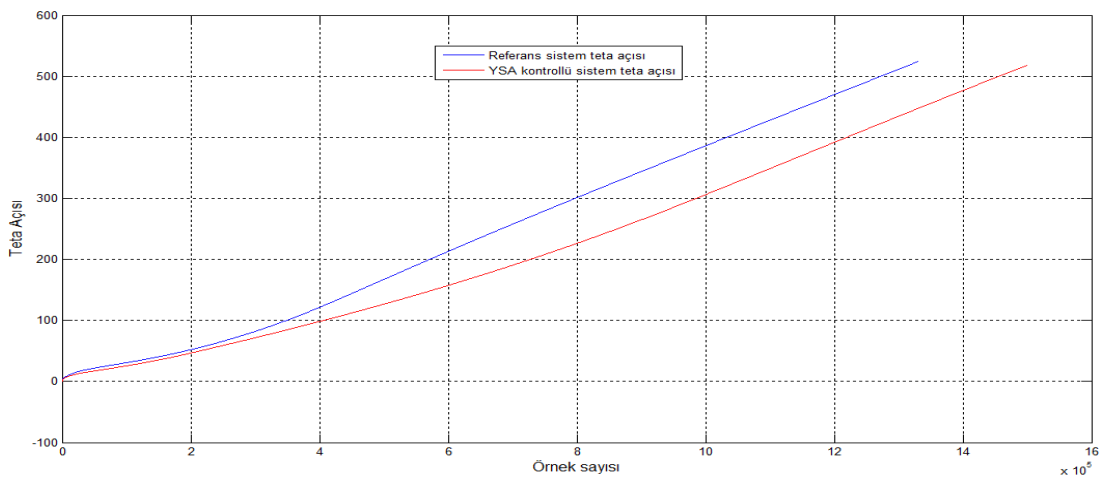


Şekil 3.60. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s koşullarında I_d akım eğrisinin referans sistem I_d akım eğrisiyle karşılaştırılması



Şekil 3.61. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s koşullarında I_q akım eğrisinin referans sistem I_q akım eğrisiyle karşılaştırılması

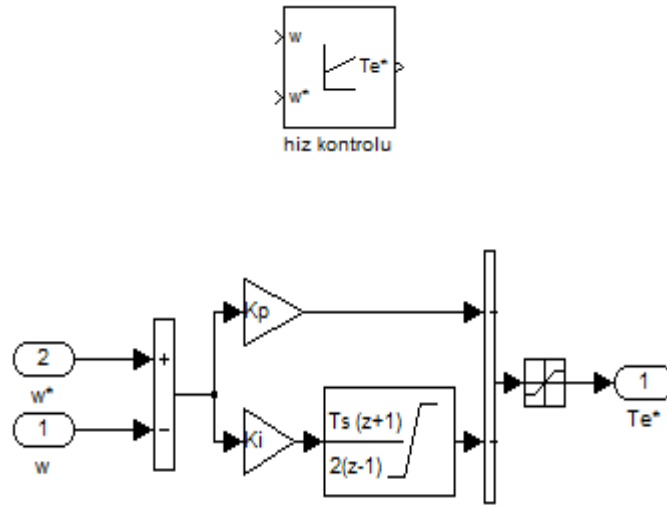
Şekil 3.60 ve şekil 3.61’de görüldüğü üzere referans sistem ve 90 N/m, 100 Rad/s çalışma koşullarında çalışan sistemin I_d ve I_q aynı eksen üzerine çakıştırılarak verilmiştir. I_d ve I_q akımı referans sistemin I_d ve I_q akımını neredeyse aynı eksen üzerinde takip etmektedir, I_d akımı için 0-0.468 sn arasındaki, I_q akımı içinse 0.468 - 0.843 sn aralıklarındaki farklılıklar blokların eğitiminde kullanılan verilerle test edilen verilerin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.62. Abc-Dq ve Teta bloğu YSA modellemiş sistemin 90 N/m, 100 Rad/s koşullarında teta açısının referans sistem teta açısıyla karşılaştırılması

3.8. Abc-Dq ve Teta Bloğu YSA ile Modellenmiş Sistemin Optimizasyonu

Önceki bölümlerde oluşturulan YSA kontrollü sistemlerin performanslarını şekiller vasıtasıyla verilmeye çalışılmıştır, oluşturulan bu sistemler toplam verilerin %5'i ve %2.5'i kadar veri sayısı ile eğitilmelerine rağmen iyi bir performans göstermişleridir. Bu bölümde gösterilen bu başarıyı sistemde bulunana PI hız kontrol bloğunun çıkış sinyalinin optimize ederek yani referans sistemin hız kontrol bloğu sinyaline benzetmeye çalışarak daha iyi bir sonuç elde etmeye çalışılmıştır.

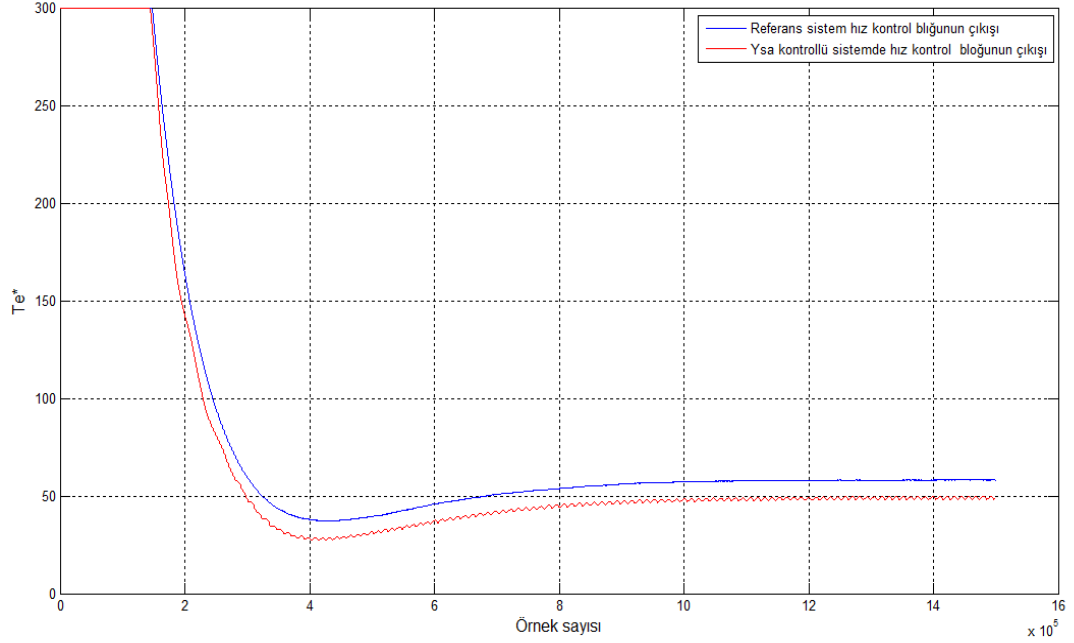


Şekil 3.63. Hız kontrol PI bloğu ve iç yapısı

Şekil 3.63'de verilen PI bloğunda optimize edilecek parametreler K_p ve K_i parametreleridir. Bu parametreler referans alınan sistemde $K_p=13$, $K_i=26$ olarak ayarlanmıştır, YSA ile modellenmiş sistemlerimizde ister istemez PI bloğunun çıkışı referans sistem çıkışından farklı olmaktadır, bu farklılık sistemlerin çalışma koşullarına göre fazla olmamasına karşın K_i ve K_p sabitlerini optimize ederek giderilmeye çalışılmıştır.

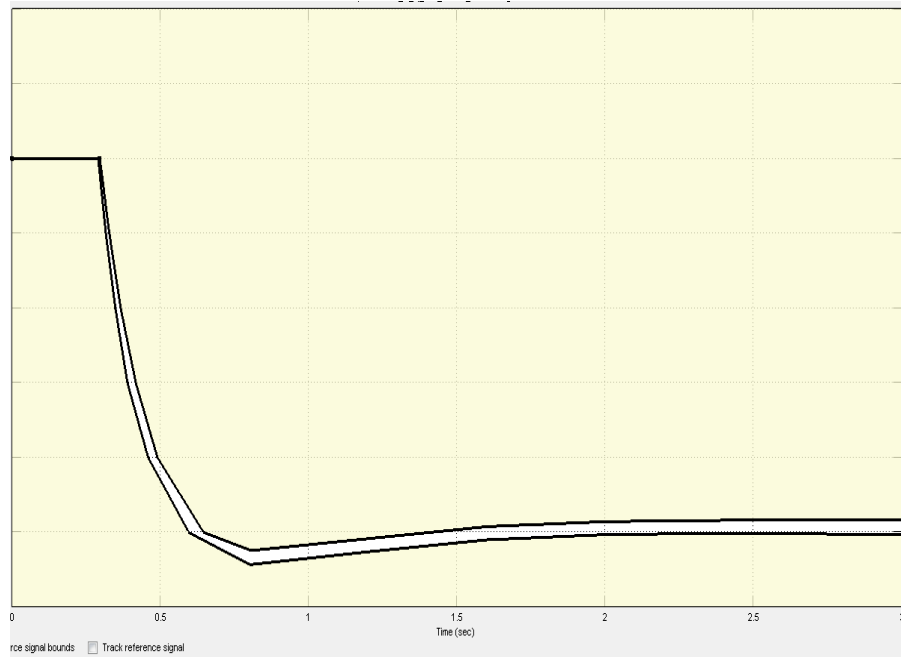
Hız kontrol PI bloğunun YSA kontrol sistemimizde optimize edilebilmesi için *Matlab-Simulink Response Optimization Tool Box*'ı kullanılmıştır. Kullanılan *toolbox*, optimize edilen sistemin çıkışını istenilen çıkışa yaklaştırmak için

bloğu YSA ile modellenmiş sistemim kullanılmıştır, 50 N/m, 50 Rad/sn koşullarında çalışan referans sistemin hız kontrol bloğu çıkışıyla YSA ile modellenmiş sistemin hız bloğunun çıkışını karşılaştırılması şekil 3.65’ da verilmiştir.

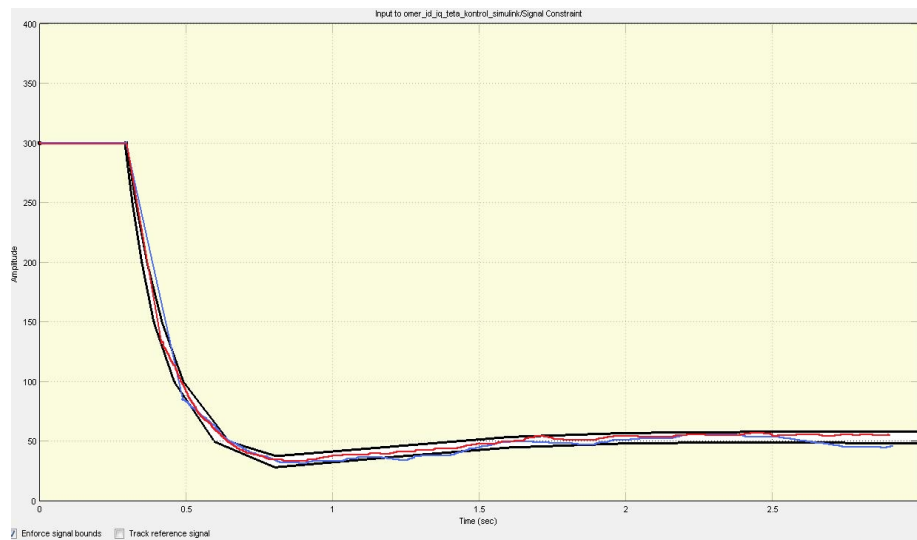


Şekil 3.65. 50N/m, 50Rad/sn koşullarında çalışan referans sistemi hız kontrol bloğu çıkışıyla Abc-Dq ve Teta bloğu YSA ile modellenmiş sistemin hız kontrol bloğu çıkış sinyallerinin karşılaştırılması

Şekil 3.65’da görüldüğü üzere Abc-dq ve Teta bloğu modellenmiş YSA kontrollü sistemin hız kontrol bloğunun çıkışı referans sistemi hız bloğunun çıkışının biraz altındadır bu nedenle YSA ile modellenmiş sistemin çıkışını optimum yapabilmek adına orijinal işarete yaklaştırılması gerekmektedir, similasyona optimizasyon yapmak için yerleştirdiğimiz bloğa şekil 3.67’de gösterilen iki işaret arasındaki aralığı ayarlayarak YSA kontrollü sistemi çıkışını referans sistemin çıkışına yaklaştırılmaya çalışılmıştır.

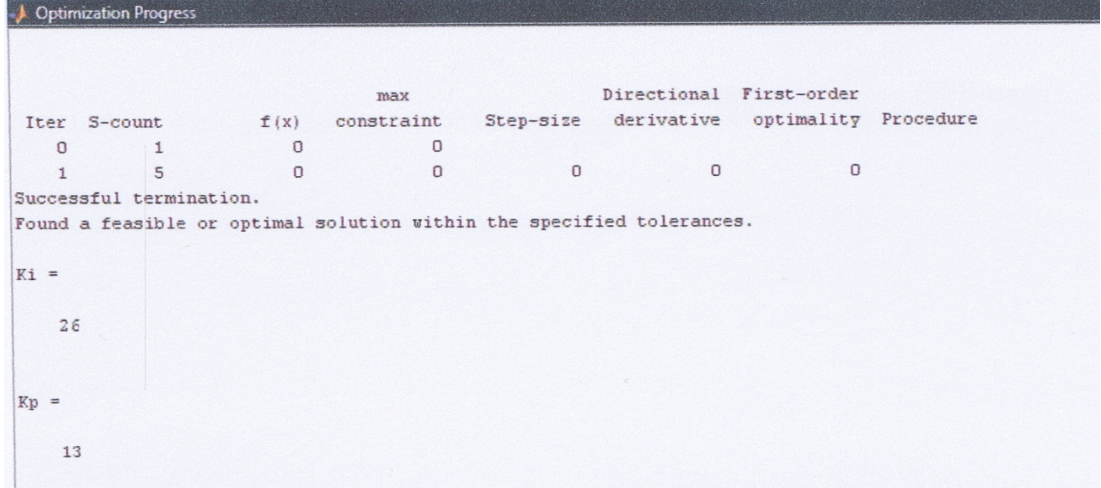


Şekil 3.66. 50N/m, 50 Rad/sn koşullarında çalışan sistemin optimizasyon ayar aralığı



Şekil 3.67’de görüldüğü üzere optimizasyon 2 iterasyon sonunda tamamlanmıştır.

Fakat optimizasyon toolbox optimum değerleri K_i ve K_p 'nin eski değerleri olan 26, 13 olarak bulmuştur buda bize 50N/m,50Rad/sn hızında çalışan Abc-Dq ve Teta bloğu YSA ile modellenmiş sistemin optimum değerlerle çalıştığını gösterir. Şekil 3.68' de optimizasyon ekranında bu değerleri görmek mümkündür.



Optimization Progress

Iter	S-count	f(x)	max constraint	Step-size	Directional derivative	First-order optimality	Procedure
0	1	0	0				
1	5	0	0	0	0	0	

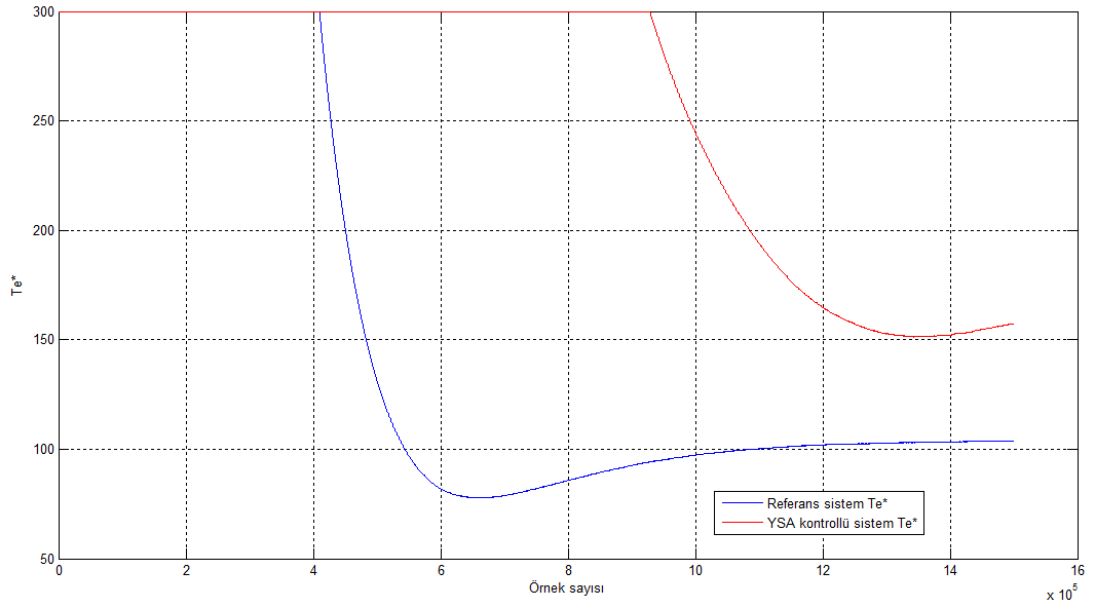
Successful termination.
Found a feasible or optimal solution within the specified tolerances.

$K_i =$
26

$K_p =$
13

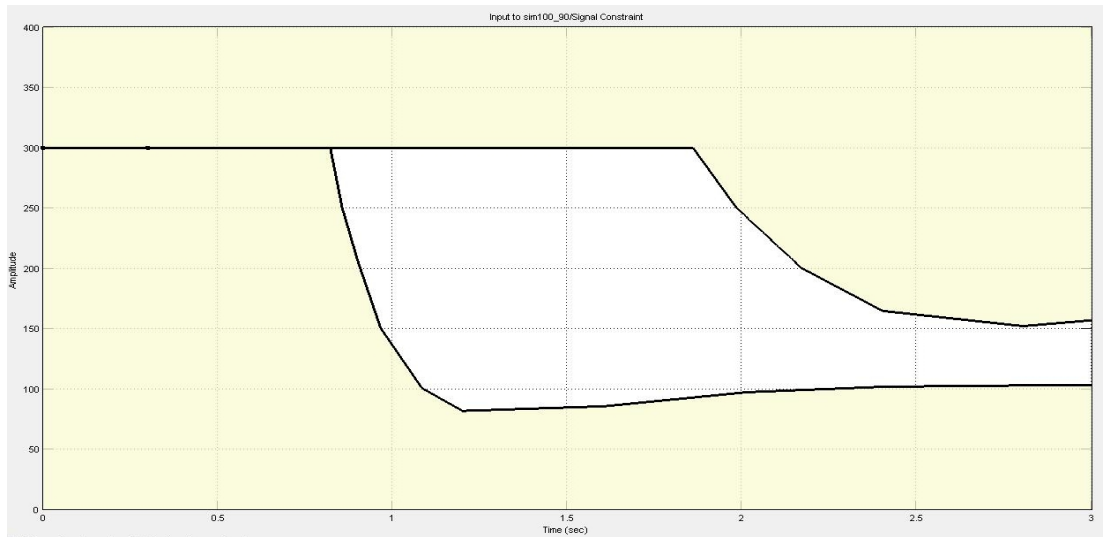
Şekil 3.68. Optimizasyon ekranı

50N/m, 50Rad/sn çalışma koşullarında çalışana Abc-Dq ve Teta bloğu modellenmiş sistemin optimizasyonunu gerçekleştirdikten sonra yukarıda bahsedilen aynı yöntem kullanılarak Şekil 3.48'deki geçikmeli girişli similasyonun 90N/m, 100 Rad/sn çalışma koşullarında çalışan sistemin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.



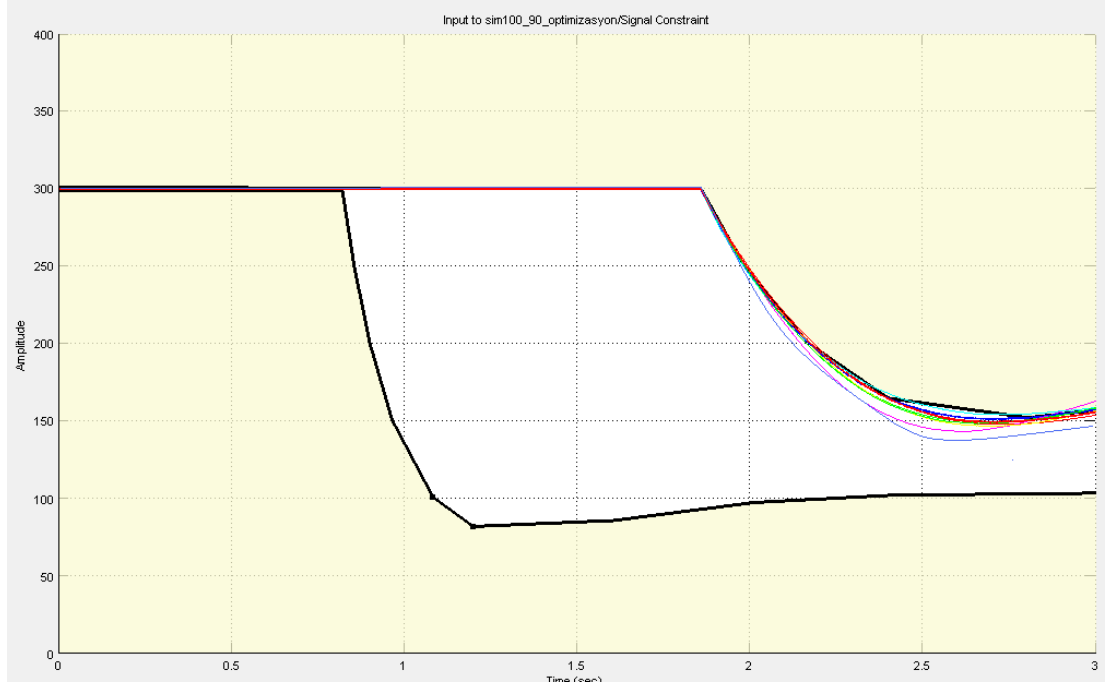
Şekil 3.69. 90 N/m, 100 Rad/sn koşullarında çalışan referans sistemi hız kontrol bloğu çıkışıyla Abc-dq ve teta bloğu YSA ile modellenmiş sistemin hız kontrol bloğu çıkış sinyallerinin karşılaştırılması

Şekil 3.69’da 90 N/m, 100 Rad/sn koşullarında çalışan referans sistem ve YSA kontrollü sistemin hız kontrol bloğu çıkışları görülmektedir, burada da Simulink’de kullanılan optimizasyon bloğuna her iki işaretin arasında kalan bölge girilerek YSA kontrollü sistemin çıkışı referans sistemin çıkışına yaklaştırılmaya çalışılmıştır. Şekil 3.68’de optimizasyon bloğuna girilen aralıklar verilmektedir.



Şekil 3.70. 90N/m, 100 Rad/sn koşullarında çalışan sistemin optimizasyon ayar aralığı

YSA kontrollü sistem optimize edilmek için çalıştırılarak optimizasyon sonucu şekil 3.71’de verilmiştir.



Şekil 3.71. 90N/m, 100 Rad/sn koşullarında çalışan sistemin optimizasyon sonuç eğrileri

Optimization Progress							
Iter	S-count	f(x)	max constraint	Step-size	Directional derivative	First-order optimality	Procedure
0	1	0	0.4072				
1	12	0	0.3924	4.39	0	286	
2	17	0	0.01563	4.48	0	1	infeasible
3	22	0	0.6151	13.9	0	1	infeasible
4	27	0	0.5451	17.4	0	1	infeasible
5	32	0	0.000829	8.05	0	1	infeasible
6	37	0	0.4249	4.65	0	0.00208	feasible

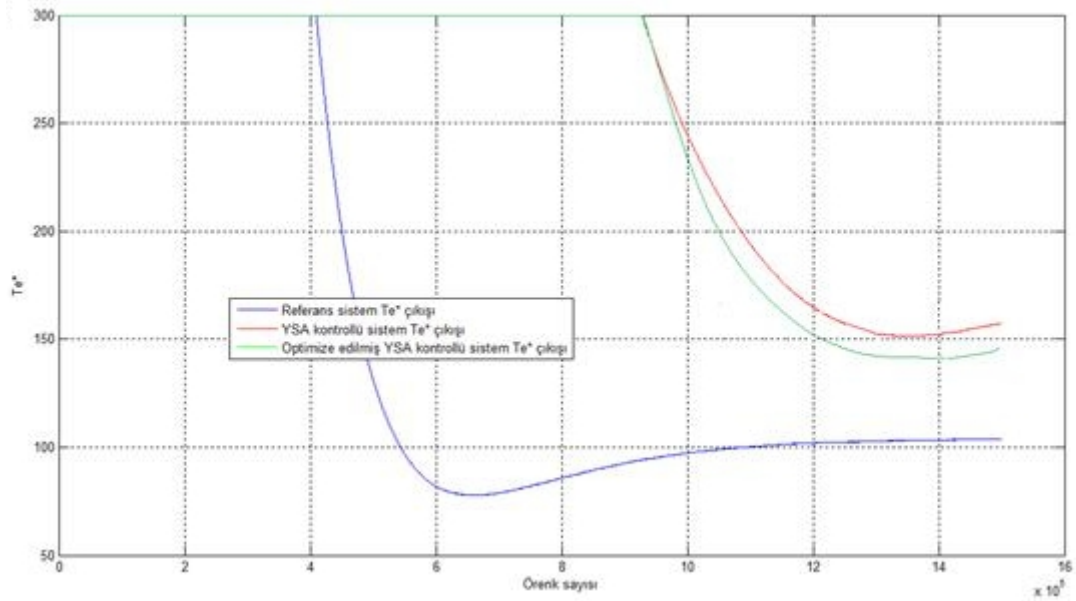
Successful termination.
Found a feasible or optimal solution within the specified tolerances.

Ki =
37.0054

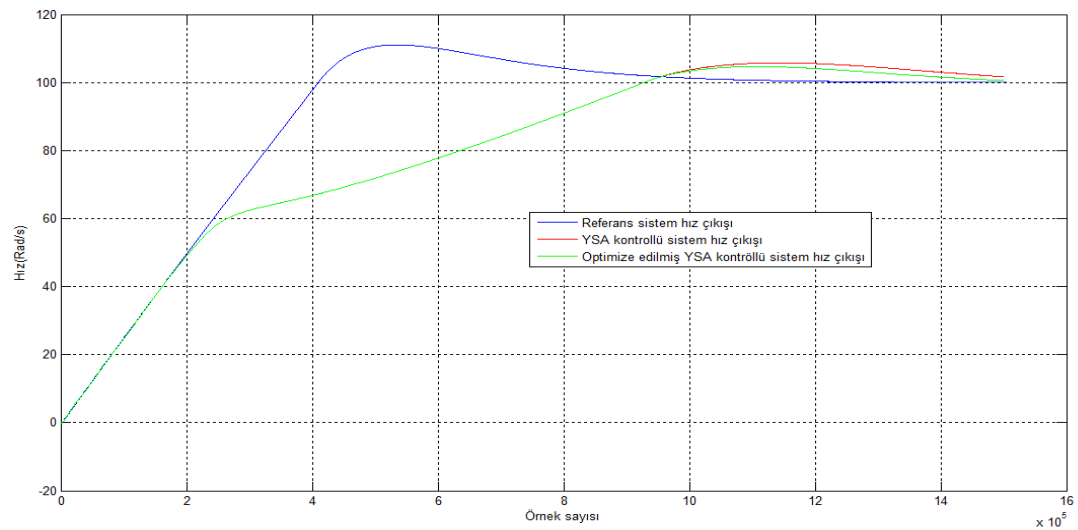
Kp =
16.9870

Şekil 3.72. 90N/m, 100 Rad/sn koşullarında çalışan sistemin optimizasyon sonuç ekranı

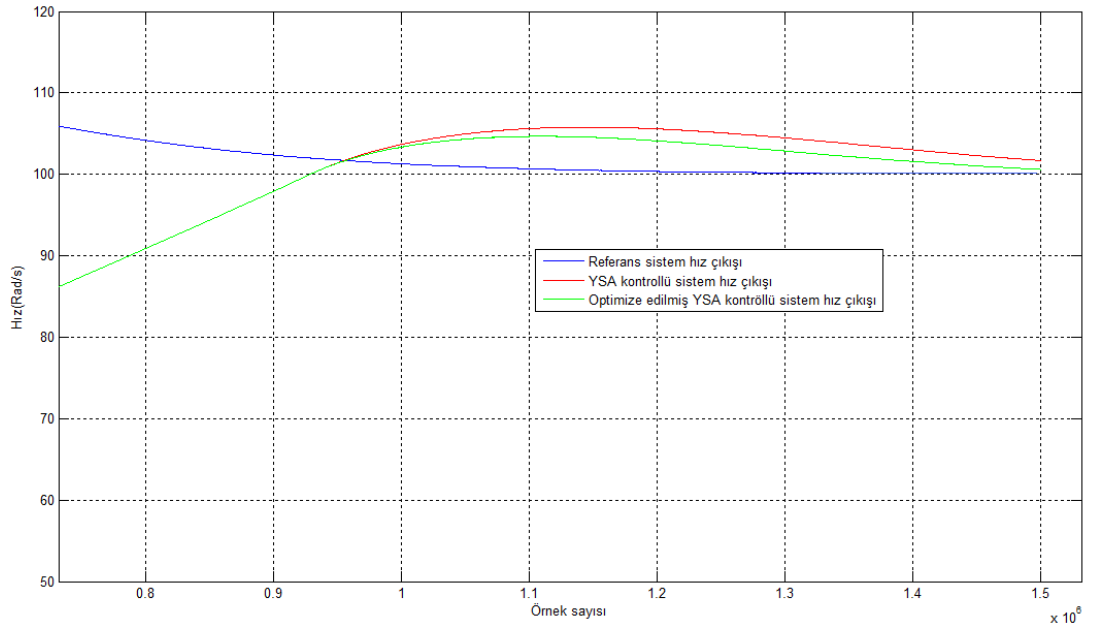
Şekil 3.72’de görüldüğü üzere 90N/m ve 100 Rad/sn koşullarında çalışan sistemi için optimize edilmiş parametreler $K_i=37.0054$, $K_p=16.9870$ olarak bulunmuştur, optimize edilmiş bu parametrelerle referans sistem, YSA kontrollü sistemi ve YSA kontrollü optimize edilmiş sistemin hız, hız kontrol bloğu çıkış ve moment eğrilerini karşılaştırılarak aşağıdaki şekiller elde edilmiştir.



Şekil 3.73. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin hız kontrol bloklarının çıkışı

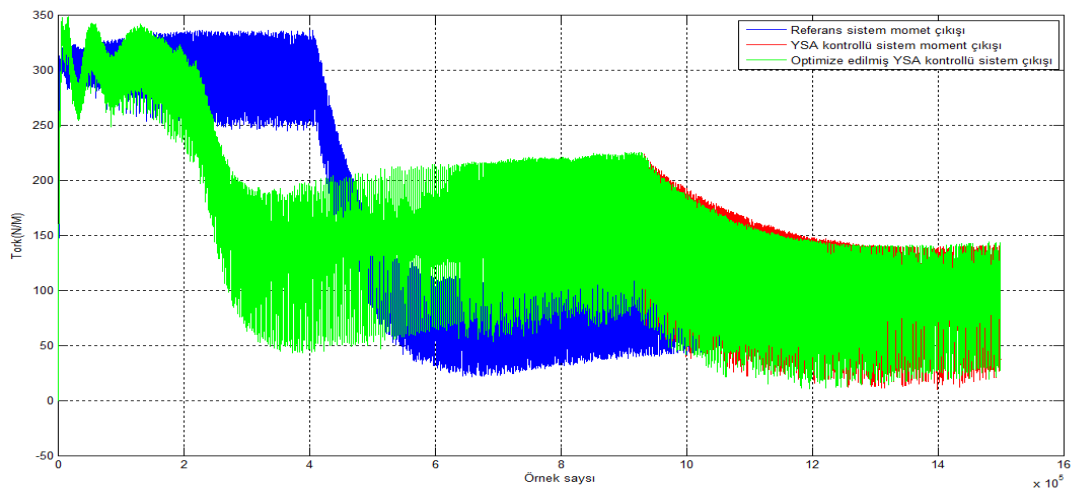


Şekil 3.74. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin hız çıkışları



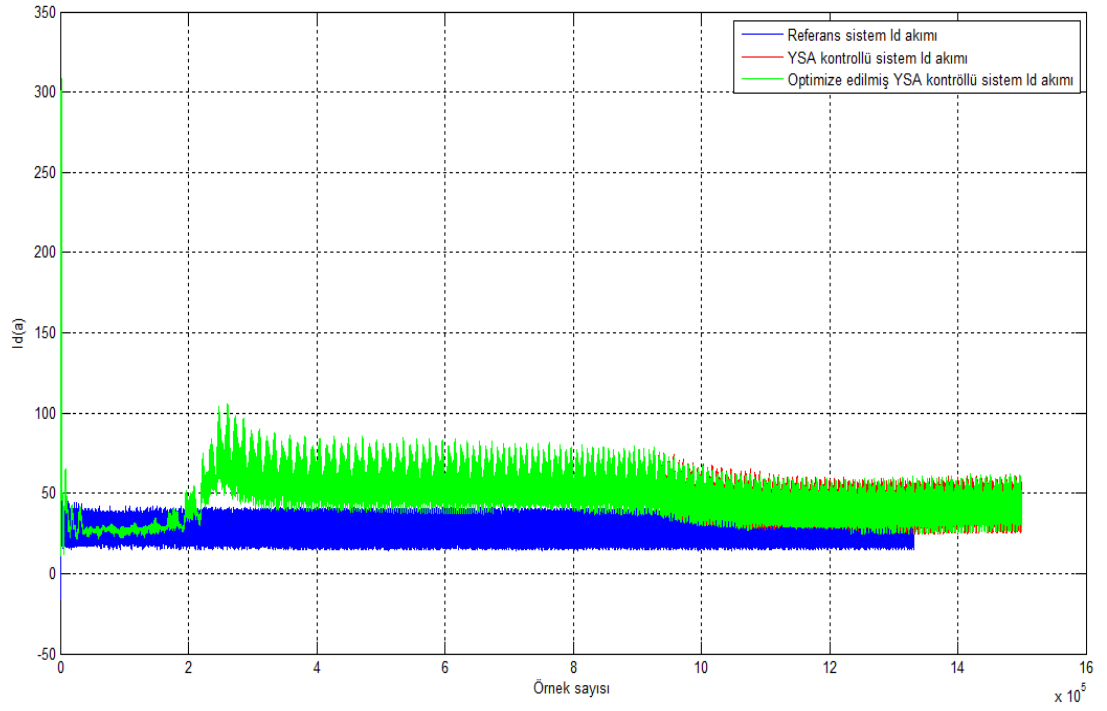
Şekil 3.75. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin yaklaşıtırlmış hız sonuçları

Şekil 3.74 ve şekil 3.75'e bakıldığında optimize edilmiş hız eğrisinin referans sistemin hız eğrisini daha yakın bir şekilde takip ettiği görülmektedir, sayısal olarak optimize edilmiş sistemle optimize edilmemiş sistemin referans sisteme göre karesel hatalarını vermek istenildiğinde sırasıyla bu hatalar 280.876 ve 332.683 olarak bulunmuşlardır.

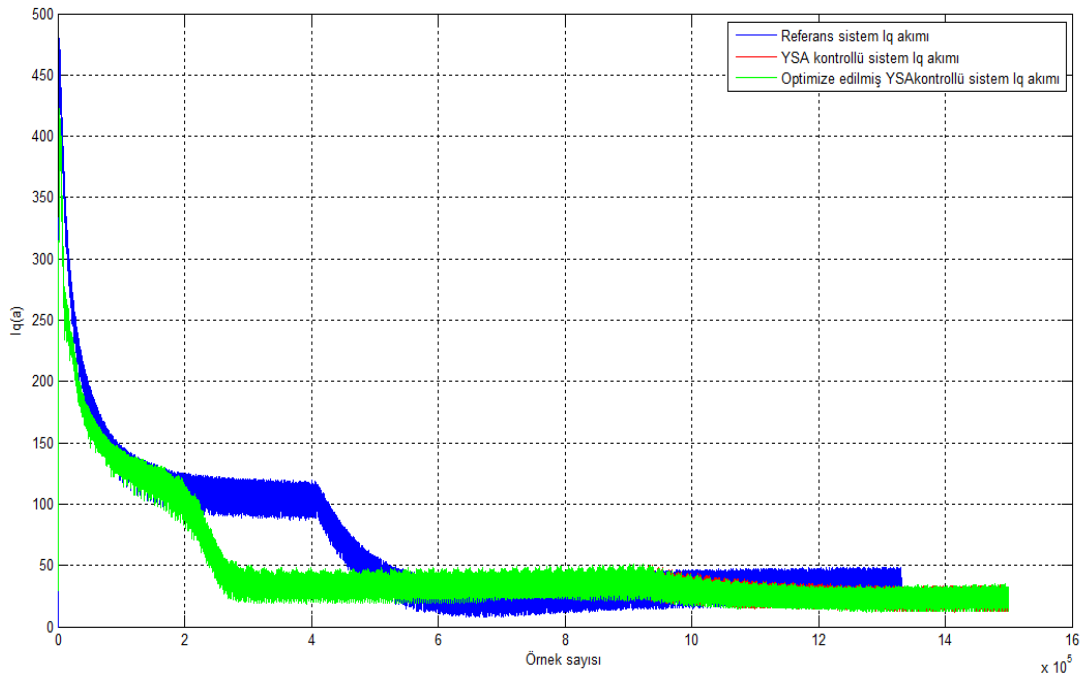


Şekil 3.76. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin moment çıkışları

Şekil 3.76'e baktığımızda optimize edilmiş sistemin moment eğrisinin optimize edilmemiş sisteme göre daha az osilasyon yaptığını görülmektedir, optimize edilmemiş sistem ile optimize edilmiş sistem'in moment çıkışları arasındaki karesel hatalar ise sırasıyla 6101.9 ve 6061.5 dir bu sayısal değerlerde optimize edilmiş sistemde osilasyonun daha az olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.77. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin Id akımı çıkışları



Şekil 3.78. Referans sistem, YSA kontrollü sistem ve optimizasyonlu YSA kontrollü sistemin Iq akımı çıkışları

Şekil 3.75 ve şekil.3.76’da görüldüğü üzere optimize edilmiş sistemin I_d ve I_q akımları optimize edilmemiş sisteme göre daha osilasyonsuzdur, osilasyonsuz olması doğal olarak referans sisteme daha yakın olduklarını göstermektedir. Optimize edilmemiş sistemin referans sisteme göre sırasıyla I_d ve I_q akımı karesel hataları 684.4571, 961.4838 iken optimize edilmiş sistemin referans sisteme göre sırasıyla I_d akımı karesel hataları 680.5379, 955.2611 olarak bulunmuştur bu sonuçlarda optimizasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapay sinir ağları kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada referans alınan sistem dolaylı vektör kontrolü bir sistemdir, bu sistemin referans alınmasındaki temel faktör kontrol yönteminin yaygın olarak kullanılmasıdır.

Çalışmada ilk olarak 50N/m,50Rad/s çalışma koşullarında çalışan referans sistemden örnekleme zamanına bağlı olarak kullanılacak her bir veri için 1.500.000 veri alınmıştır, alınan bu verilerin sayısının çok fazla miktarda olması YSA'yı başarılı bir şekilde eğitmek içindir. Alınan veriler doğrultusunda ilk olarak sistemin Abc-Dq bloğu modellenmiştir, modellenme sırasında YSA'yı eğitmek için referans sistemden alınan verilerin hepsi kullanılmak istenmiş fakat *Matlab*'ın hafıza sorunuyla karşılaşmıştır bu nedenle veriler periyodik olarak azaltılarak hafıza sorunu aşmaya çalışılmıştır, veri azaltma işlemi sonucunda 1.500.000 verinin %10 kadar bir veri sayısında eğitim gerçekleştirilebilmiştir (75.000 eğitim, 75.000 simülasyona yerleştirilmeden test etmek için kullanılan veri sayısı). Abc-Dq bloğu için eğitilen YSA'lar oldukça başarılı olmuşlardır. Eğitilen YSA'lar daha sonraki aşama olarak referans sisteme paralel olarak bağlanarak referans sistemin eğitimde kullanılan bloklarıyla YSA'ların çıkışları test edilmiştir, Paralel olarak bağlanmış YSA'lar burada da aynı performansı göstermişlerdir.

Abc-Dq bloğu YSA ile modellenmesinden sonra referans sistemde bulunan Teta bloğunun modellenmesine geçilmiştir. Abc-Dq blok modellenirken yapılan işlemler bu blokta da uygulanmıştır, Blokların eğitim sonuçları yine iyi bir başarı göstermiştir. Eğitimi tamamlanan YSA paralel olarak referans sistemin eğitimde kullanılan Teta bloğuna paralel bağlanmış ve burada da olumlu başarımlar sonuçları elde edilmiştir.

Her iki blok için modellenmiş YSA'ların eğitimi ve testi başarıyla gerçekleştirildikten sonra eğitilen YSA'lar 50 N/m,50 Rad/s çalıştırılan referans sisteme yerleştirilerek simülasyon çalıştırılmıştır, Simülasyonun sonuçlarına bakıldığında eğitilen blokların çıkışları olan moment ve hız çıkışı oldukça başarılıdır, fakat kullanılan YSA'ların I_d , I_q akımı ve $teta$ açısı çıkışlarında 0.2. sn de ani bir

yükselme mevcuttur, bu ani sıçramayı önlemek için oluşturulan 3 adet YSA bloğu mevcut girişlerine 1'er geçikmişleri de eklenerek her bir bloğun giriş sayısı 2 katına çıkartılmış ve her bir giriş için eğitim verisi sayısı 37.500 (%2.5) düşürülerek yeniden eğitim yapılarak yeni bir sistem oluşturulmuştur.

Oluşturulan bu sistemle eğitimin gerçekleştirildiği 50 N/m, 50 Rad/sn istenilen sonuçlar elde edilmiştir. Referans çalışma koşullarında istenilen performansın elde edilmesiyle sistem farklı hız ve moment koşullarında denenmiştir. Bu koşullar referans değerinin alt ve üst kademeleri olarak 40N/m, 40 Rad/s ve 90 N/m, 100 Rad/s değerlerinde seçilmiştir. Belirlenen bu çalışma değerlerinde simülasyon çalıştırılmıştır.

40 N/m,40 Rad/s çalışma koşullarında çalışan sistem için, hız eğrisi referans sistemin hız eğrisini gayet başarılı bir biçimde izlemiştir, moment eğrisi ise 0-0.2 sn aralığı boyunca osilasyonu fazla, ayarlanan moment değerine ulaştığı andan itibaren(0.2-3 sn) aralığında osilasyonu az ve daha kararlı bir biçimde çalışmaktadır. I_q ve I_d akımları ise referans sistem akımların küçük farklarla takip etmektedirler, I_d ve I_q akımının hız ve moment eğrisinden daha kötü olmasının sebebi; Abc-Dq YSA bloğunu besleyen $teta$ açısının da YSA bloğu tarafından oluşturulup Abc-Dq YSA bloğunun girişine verilmesidir, yani Abc-Dq bloğu için eğitilen YSA'nın Teta bloğu için eğitilen YSA'dan beslenmesidir. Dikkat edilirse simülasyona sadece bir YSA ile modellenen Abc-dq bloğu eklendiğinde tüm değerler için neredeyse birebir sonuçlar alınmaktadır.

90 N/m,100 N/m Çalışma koşullarında çalışan sistem için hız eğrisi 40 N/m,40 Rad/s çalışma koşullarındaki sistemin başarımını gösterememişse de yine iyi bir sonuç vermiştir.

Genel olarak YSA ile modellenen ve farklı koşullarda çalışan sistemler için I_d ve I_q akımının referans sistemlerdeki değerlerinden farklı olması YSA kontrollü sistemlerin faz akımlarında artış veya azalış meydana gelmiştir. Doğal olarak bu durum sistem den çekilen gücün artması veya azalmasıyla karşımıza çıkmaktadır.

Yukarıdaki çalışma koşullarında oluşturulan Abc-dq ve Teta bloğu YSA ile modellenen sistemin referans sistemin çalışmasına özellikle hız ve moment

karakteristiği bakımından uyum sağladığı görölmüştür, özellikle modellenen sistemler istenilen moment değerine ulaştıklarında referans alınan sistemlerden daha az osilasyon meydana getirerek daha stabil bir moment karakteristiği sağlamaktadırlar. Modellenen sistemleri referans sistemlere daha da yaklaştırılması sistemlerin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Optimizasyonda *Simulink Response Optimization Toolbox*'ı kullanılarak PI Hız kontrol bloğunun K_p ve K_i değerleri optimize edilmiştir, İlk olarak 50 N/m, 50 Rad/sn çalışma koşullarında modellenen sistemin optimizasyonu yapılmıştır, sistem bu çalışma koşullarında optimum K_i ve K_p parametrelerini orijinal sistem parametreleri olan 26 ve 13 değerlerini bulmuştur buda bize YSA ile modellenmiş 50 N/m, 50 Rad/sn koşullarında çalışan sistemim optimum olarak çalıştığını göstermektedir.

Optimizasyon 90 N/m, 100 Rad/sn koşullarında çalışan sistem için yapıldığında ise optimizasyon sistemi K_i ve K_p değerlerini sırasıyla 37.0054 ve 16.9870 olarak bulmuştur. Optimize edilen bu değerlerle çalışan sistemin hız ve moment eğrilerine bakıldığında sistemin referans sistem moment ve hız eğrilerine daha da yaklaştığı görölmüştür.

MODELLER	HIZ (RAD/S)	TORK (N/M)	HIZ MSE (KARESEL HATA)	TORK MSE (KARESEL HATA)
REFERANS SİSTEM -ABC/DQ BLOĞU YSA İLE MODELLENMİŞ SİSTEM	50	50	0.0080	755
REFERANS SİSTEM -ABC/DQ BLOĞU YSA İLE MODELLENMİŞ SİSTEM	40	40	0.1570	637
REFERANS SİSTEM -ABC/DQ BLOĞU YSA İLE MODELLENMİŞ SİSTEM	100	90	232	7573
REFERANS SİSTEM -ABC/DQ VE TETA BLOĞU YSA İLE MODELLENMİŞ SİSTEM	50	50	0.2046	1501
REFERANS SİSTEM -ABC/DQ VE TETA BLOĞU YSA İLE MODELLENMİŞ SİSTEM	40	40	0.1444	1590
REFERANS SİSTEM -ABC/DQ VE TETA BLOĞU YSA İLE MODELLENMİŞ SİSTEM	100	90	40.025	1474
REFERANS SİSTEM -ABC/DQ VE TETA BLOĞU YSA İLE MODELLENMİŞ SİSTEM GECİKMELİ GİRİŞLİ	50	50	0.3389	763.33
REFERANS SİSTEM -ABC/DQ VE TETA BLOĞU YSA İLE MODELLENMİŞ SİSTEM GECİKMELİ GİRİŞLİ	40	40	0.4861	548.26
REFERANS SİSTEM -ABC/DQ VE TETA BLOĞU YSA İLE MODELLENMİŞ SİSTEM GECİKMELİ GİRİŞLİ	100	90	332.683	6101.9
REFERANS SİSTEM -ABC/DQ VE TETA BLOĞU YSA İLE MODELLENMİŞ SİSTEM GECİKMELİ GİRİŞLİ OPTİMİZASYONLU	100	90	280.876	6061.5
REFERANS SİSTEM -ABC/DQ VE TETA BLOĞU YSA İLE MODELLENMİŞ SİSTEM OPTİMİZASYONLU	100	90	38.813	1449

Çizelge 4.1 Referans sistem Abc-Dq bloğu YSA ile modellenmiş sistem ve Abc-Dq ve Teta bloğu YSA ile modellenmiş sistemlerin hız ve moment karesel hataları

Çizelge 4.1'e bakıldığında tüm hız, moment referans modelleriyle olan karesel hata değerlerini görmek mümkündür. Karesel hatalardan da anlaşılacağı üzere genel olarak sistemde YSA sayısına ve YSA'ların birbirlerini besleme durumuna göre karesel hataların arttığı görülmüştür. Optimize edilmiş sistemlerde ise optimize edilmemiş sistemlere göre hataların azaldığı görülmüştür.

5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Literatürde bu konu üzerindeki çalışmalar daha çok PI ve PID Hız kontrol bloklarını yapay zeka teknikleri ile modellenmesi, akı gözlemleyicisi kullanan vektör kontrollü sistemlerde YSA ile akı gözlemleyici tasarımı, Doğrudan moment kontrollü sistemlerde YSA kontrolör tasarımı, optimizasyon hakkındaki çalışmalar ise daha çok motor parametrelerinin optimizasyonu ve motor çıkış gücünün üstünde yoğunlaşmıştır, çalışmamızda bu konuya farklı bir bakış açısı getirerek doğrudan vektör kontrolü yapan bir sistem üzerinde vektör denetimin temel prensibi olan Clark ve Park dönüşümlerini yapan blokları ve bu dönüşümlerde kullanılan *teta* açısını bulan blokları modellenmeye çalışılmıştır. Optimizasyon kısmında ise YSA ile modellenen sistemlerin hız kontrol sinyallerini değişik çalışma koşullarındaki referans sistemin hız kontrol sinyaline daha da yaklaştırmak için PI hız kontrol bloğunun K_i ve K_p parametreleri optimize edilmiştir. Çalışmamızda örnekleme zamanına göre 1.500.000 veriyle 50 N/m, 50 Rad/sn çalışma koşullarında çalışan bir sistemi YSA kontrolörleri bu verilerin %5 ve %2.5'i kadar bir kısım ile eğiterek başarılı sonuçlara ulaşılmış daha sonra farklı çalışma koşulları için herhangi bir YSA eğitimi yapılmaksızın 50N/m,50Rad/sn çalışma koşullarına göre eğitilmiş kontrolörler sırasıyla 40N/m, 40Rad/sn ve 90N/m,100Rad/sn çalışma değerlerinde denemiş eğitilen sistemdeki başarı oranı yakalanmasa da bu koşullarda da özellikle hız ve moment için başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuç olarak alınan 1500000 verinin %5 ve %2.5 i ile eğitilen YSA blokları gerek eğitimin yapıldığı çalışma koşullarında gerekse diğer çalışma koşullarında başarılı sonuçlar vermiştir, Asenkron motorların vektör kontrolü hakkında yapılan bu çalışmada YSA'ların daha önce eğitilmediği koşullarda dahi başarılı bir kontrol kontrol gerçekleştirdiğini, YSA'ların girişlerinin normal girişlerin gecikmiş değerlerinin eklenip örnek sayısının azaltılmasıyla da eğitimde ve çalışmada da başarılı sonuçlar elde edilebileceği, motorun herhangi bir yük ve hız koşulunda yada ani yük ve hız değişimlerinde motor sürücü sistemine bu hız ve yük değişimleri ayarlanmadan iyi bir kontrol sağlanabileceği sonucuna varılmıştır, bununla beraber daha farklı optimizasyon algoritmaları kullanılarak daha optimum değerlere ulaşılabilir. Gelecekteki çalışmalarda yapay zeka tekniklerinin gelişmesi ve hafıza

sorunu olmayan daha yüksek kapasiteli bilgisayarlar kullanılarak sorunlarının çözülmesiyle çok daha başarılı kontrolörler tasarlanarak uygulamaya geçirilebilir.

6.KAYNAKLAR

- Anonim. 2004.Yapay Sinir Ağları Temelleri.15s, www.yapay-zeka.org .Erişim tarihi: 01.11.2010.
- Ahmed, F.I., Zaki,A.M., Ebrahim, E.A., 2001. Neuro-Controller for High Performance İnduction Motor Drives . IEEE.
- Arias, A., Romeral, J.L., Albades, E.,Jayne, M.G., 2000. Fuzzy Logic Direct Torque Control.IEEE İnternational Sympposium on İndustrial Electronics. ISBN:84-699-2994-1, 253-258.
- Bose, B.K., 2002. Modern Power Electronics and Ac Drives. Prentice Hall Ptr, 691s. The Univercity of Tennessee Knoxville.
- Bhusvaneswari,R., Suramanian, S., 2005. Optimization of Single-Phase Inductiin Motor design Using Radial Basis Function Network.
- Çakır, A., Çalış,H., Ayrılmış, A., Kızıl, A.,2009 .Üç Fazlı Asenkron Motorun Sabit Oranlı Kpalı Döngü Hız Denetimi. 5. Uluslar Arası Teknoloji Sempozyumu.
- Çolak, İ., 2001 .Asenkron Motorlar. Nobel Yayınevi, 150s. Ankara.
- Dandil, B., 2004. Sinirsel Bulanık Denetliyecilerde Motorun Dayanıklı Hız Denetimi. Doktora Tezi, 84s, Elazığ.
- Di Gabriele, R., Parasiliti, F. Ve Tursini, T. (1997), Digital Field Oriented Control for Induction Motors: Implementation and Experimental Results . Universities Power Engineering Conferense (UPEC'97).
- Douiri, M.Y.R., Nosser, T.,Essadki ,A., Cherkaoui, M., 2010 .Direct Torque Conrol of Induction Motor Based on Artifiçal Neural Networks with Estimate and Regulation Speed Using The Mras and Neural PI Controller. Journal of Teoratical and Applied İnformation Technology, 15-21.
- Ganzeles, P.H., Rivas, J.R., Rodriguez, I.T., 2006. Indirect Vector-Controlled Induction Motor Drive System with Rotor Resistance Estimation using an Artifiçal Neural Network. Cientifica, 10, 191-197.
- Gülez, K., 1999. Asenkron Motorların DSP Tabanlı Bir Kontrol Sistemi Kullanarak YSA İle Performansının arttırılması. Doktora Tezi, 100s, Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul.
- Hervey, R.L., 1994. Neural Network Princibles.Prentice Hall. 197p. New Jersey.
- Le-Huy,H., 2006. Vector Control Of Ac Motor Drive. Inc.Published with MATLAB 7.7Matlab, Universite Laval, Quebec.

- Karlık, B., 1995 Yapay Sinir Ağları. Yüksek Lisans Ders Notları.
- Kaya, İ., 1990. Vektör Kontrollü Asenkron Motor Sürücü düzeneklerinin Analizi ve Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, 105s, Trabzon.
- Koca, Zafer., 2006. Asenkron Motorların Yapay Sinir Ağları ile Vektör Esaslı Hız Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, 72s, Kahramanmaraş.
- Kontrolkalemi 09.09.2007. www.kontrolkalemi.com.
<http://www.kontrolkalemi.com/forum/motor-suruculeri/2601-asekron-motorlarda-v-f-orani-tutularak.html>. Erişim tarihi: 02.02.2011.
- Krishna, V., Rao,G.S., Rao,A.S., 2002. Electrical Mechines 2 İnduction Motors .45p, İndian institute of Technology Madras.
- Mergen, A.F., Zorlu, S., 2005. Elektrik Makineleri 2 Asenkron Mekineler. BirsenYayınevi, 256s, İsyambul.
- Microchip2003.<http://ww1.microchip.com>.<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00887a.pdf>. Erişim Tarihi:02.02.2011.
- Miloudi, A., Miloud, Y., Drau ,A., 2003. A Neural Network Based Speed Control Design Strategy of An İndirect Vector Controlled İnduction Mechine Drive. Powertech Conference Proceedings., 4.
- Mohamed, H.A.F., Hew, W.P., 2000. A Neural Network Vector Controll of İnduction Motor. IEEE, 3, 336-341.
- Narendra, K.S., Mukhopadhyoy, S., 1997. Adaptive Control Using Neural Network and Approximate Models. IEEE Trans. On Neural Networks, 8-3, 478-485.
- Oh, W.S., Bose, B.K., Cho, K.M., Kim, H.J., 2002. Self Tunning Neural Network Controller for İnduction Motor Drives. IECON02, Vol 1, 152-156.
- Okumuş, H.İ., 2002. Doğrudan Moment Kontrollü Asenkron Makinelerde Akı Düşüşünün Azaltılması. ELECO'2002, 120-124.
- Özer, A.B., Akın, E.,2001. Artificial Neural Network Based Speed Estimator for vector Controlled İnduction Motor.ELOCCO'2001.
- Özmen, A., 2006. Asenkron Motorların Algılayıcısız Kontrolü için Yapay Sinir Ağları ile Hız ve Konum Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, 69s, Elazığ.
- Öztemel, E., 2006. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayın Evi, 232s , İstanbul.
- Öztürk, M., 2006. Uzak Vektör Modülasyonu ile Asenkron Motor Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, 62s,İstanbul.

- Ran, T.J., Cher, T.C., 2006. Robust Speed-Controlled İnduction Motor Drive Based on Recurrent Neural Network. Electric Power Systems Reserch.
- Sarioğlu, M., Gökaşan, M.,Boğasyan, S., 2003. Asenkron Makineler ve Kontrolü. Birsen Yayın Evi, 323s, İstanbul.
- Şahin, C., 1997. Asenkron Motorlar için Algılayıcısız, Akı Gözlemcisi ve Kontrolü. Doktora Tezi, İstanbul.
- Şahin, K., 2006. Asenkron Makinelerin Dinamik Yapay Sinir Ağları İle Hız Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, 70s, Elazığ.
- Taşkafa, Ş., 2006, Asenkron Motorların Yapay Sinir Ağları ile Vektör Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi. 74s, Elazığ.
- Van Zuben, F.J., Netto, M.L.A., Bim, E.,Szajner ,J., 1994. Adaptive Vector Control of AThree Phase İnduction Motor Using Neural Network. IEEE Word Congress An Computational İntelligence ,3750-3755.

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı : Ömer Küllaç

Doğum Yeri ve Yılı: Isparta / 1984

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Isparta Anadolu Lisesi (1995-2002)

Lisans : T.C. Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik
Mühendisliği (2003-2007)

Yüksek Lisans : T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Elektronik Haberleşme
Mühendisliği (2008-Halen)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

-Isparta Mensucat San. Ve Tic Anonim Şirketi (2007-2007)

-Serel Egemen İş Ortaklığı Isparta Ali Köy Mevki Toki Konutları İnşaatı (2007-
2008)

-Evyap İnşaat San. ve Tic. Ltd.Şti. (2008-2010)

-Isparta Deri Organize Bölgesi Müdürlüğü (2010-Halen)

Yayınları (SCI ve diğer makaleler)