

169393

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

169393
**ASENKRON MOTOR SÜRÜCÜLERİ İÇİN DOĞAL ALAN
YÖNLENDİRMELİ KONTROLÜN YAPAY SİNİR AĞI İLE
MODELENMESİ**

Gamze YILDIZ

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ELAZIĞ, 2005

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASENKRON MOTOR SÜRÜCÜLERİ İÇİN DOĞAL ALAN YÖNLENDİRMELİ KONTROLÜN YAPAY SINIR AĞI İLE MODELLENMESİ

Gamze YILDIZ

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu tez, 08.07.2025 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı /başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN

Üye:

Doç. Dr. Hakan AKPOLAT

Üye:

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZDEMİR
Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bölümü

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15.07.2025 tarih ve 2025/22-5... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans eğitimideki tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN, Doç. Dr. Erhan AKIN, Arş. Gör. Mehmet KARAKÖSE ve Arş. Gör. Abuzer ÇALIŐKAN'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER LİSTESİ	III
SİMGELER LİSTESİ	V
KISALTMALAR LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	X
1. GİRİŞ	
1.1. Genel Bakış	01
1.2. Tezin Amacı	03
1.3. Tezin Yapısı	04
2. ASENKRON MOTOR KONTROL YÖNTEMLERİ	
2.1. Genel.....	06
2.2. Vektör Kontrol Yönteminde Akı Tahmini	07
3. DOĞAL ALAN YÖNLENDİRMELİ KONTROL YÖNTEMİ	
3.1. Duyargasız Vektör Kontrol Yöntemi	09
3.2. Doğal Alan Yönlendirmeli Sürücülerinin Temelleri.....	10
3.3. Düşük Frekans Ve Sıfır Frekans Çalışması.....	13
3.4. Doğal Alan Yönlendirme Denklemlerinin Elde Edilmesi.....	15
4. YAPAY SİNİR AĞLARI	
4.1. Giriş	25

4.2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı	25
4.3. Yapay Sinir Ağı Modelleri	27
4.3.1. Tek Katmanlı Algılayıcı Modeli	28
4.3.2. Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli	28
4.3.3. Doğrusal Vektör Parçalama Modeli (LVQ)	30
4.3.4. Adaptif Rezonans Teorisi Modeli (ART).....	30
4.4. Yapay Sinir Ağı Öğrenme Yöntemleri.....	31
5. SİMÜLASYON SONUÇLARI	
5.1. Matlab'ta Modellenen Doğal Alan Yönlendirmeli Kontrolün Simülasyonu	33
5.2. Yapay Sinir Ağı İle Yapılan Eğitimin Sonuçları.....	45
6. SONUÇ	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Asenkron motor kontrol yöntemleri.....	6
Şekil 3.1. NFO (Natural Field Orientation - Doğal Alan Yönlendirme) blok diyagramı	12
Şekil 3.2. Rotor akısı, stator akımı ve gerilim vektörlerinin duran ve dönen eksen çatıda ifade edilmesi	18
Şekil 3.3. Motor T eşdeğer devresi	20
Şekil 3.4. Motor ters Γ eşdeğer devresi	22
Şekil 3.5. Motor ters Γ eşdeğer devresinin vektör diyagramı	23
Şekil 3.6. Doğal alan yönlendirme ile vektör kontrolü	24
Şekil 4.1. Bir sinir hücresinin yapısı	26
Şekil 4.2. Bir yapay sinir hücresinin yapısı.....	26
Şekil 4.3. Yapay sinir ağı katmanları	27
Şekil 4.4. İki giriş ve bir çıkıştan oluşan tek katmanlı algılayıcı modeli	28
Şekil 4.5. Çok katmanlı algılayıcı modeli	29
Şekil 4.6. Adaptif rezonans teorisi modelinin ağ yapısı.....	30
Şekil 4.7. Öğretmenli (eğitici) öğrenme yönteminin blok diyagramı	31
Şekil 4.8. Öğretmensiz öğrenme yönteminin blok diyagramı	31
Şekil 4.9. Destekleyici öğrenme yönteminin blok diyagramı	32
Şekil 5.1. Doğal alan yönlendirme kontrolüne ilişkin blok diyagramı	33
Şekil 5.2. 1 dev/dak'lık hız için boşta çalışma.....	34
Şekil 5.3. 1 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma.....	34
Şekil 5.4. 3 dev/dak'lık hız için boşta çalışma.....	35
Şekil 5.5. 3 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma.....	36
Şekil 5.6. 5 dev/dak'lık hız için boşta çalışma.....	36
Şekil 5.7. 5 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma.....	37
Şekil 5.8. 10 dev/dak'lık hız için boşta çalışma.....	37
Şekil 5.9. 10 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma.....	38
Şekil 5.10. 20 dev/dak'lık hız için boşta çalışma.....	39
Şekil 5.11. 20 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma.....	39
Şekil 5.12. 100 dev/dak'lık hız için boşta çalışma.....	40

Şekil 5.13. 100 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma.....	40
Şekil 5.14. 500 dev/dak'lık hız için boşta çalışma.....	41
Şekil 5.15. 500 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma.....	41
Şekil 5.16. 1000 dev/dak'lık hız için boşta çalışma.....	42
Şekil 5.17. 1000 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma.....	42
Şekil 5.18. 3000 dev/dak'lık hız için boşta çalışma.....	43
Şekil 5.19. 3000 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma.....	43
Şekil 5.20. Farklı hız için tam yükte çalışma	44
Şekil 5.21. 25 dev/dak'lık hız ve 5 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu.....	45
Şekil 5.22. 50 dev/dak.'lık hız ve 5 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu.....	46
Şekil 5.23. 10 dev/dak'lık hız ve 10 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu.....	46
Şekil 5.24. 25 dev/dak'lık hız ve 10 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu.....	47
Şekil 5.25. 50 devir/dakika'lık hız ve 10 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu	47
Şekil 5.26. Farklı hız ve 20 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu	48
Şekil 5.27. 10 dev/dak'lık hız ve 10 sinir hücreli ysa için eğitim-amaç grafiği.....	48

SİMGELER LİSTESİ

- ψ_{sa} : Stator a-faz akısı skaler büyüklüğü
 V_{sa} : Stator a-faz gerilimi skaler büyüklüğü
 i_{sa} : Stator a-faz akımı skaler büyüklüğü
 ψ_{ra} : Rotor a-faz akısı skaler büyüklüğü
 V_{ra} : Rotor a-faz gerilimi skaler büyüklüğü
 i_{ra} : Rotor a-faz akımı skaler büyüklüğü
 i_{sb} : Stator b-faz akımı skaler büyüklüğü
 i_{sc} : Stator c-faz akımı skaler büyüklüğü
 i_{rb} : Rotor b-faz akımı skaler büyüklüğü
 i_{rc} : Rotor c-faz akımı skaler büyüklüğü
 $L_{s\sigma}$: Stator kaçak indüktansı
 L_m : Ortak indüktans
 \vec{i}_s : Stator akımı uzay vektörü
 \vec{i}_r : Rotor akımı uzay vektörü
 R_s : Stator direnci
 \vec{i}_r' : Referans alınmış rotor akımı uzay vektörü
 \vec{V}_s : Stator gerilimi uzay vektörü
 \vec{V}_r' : Referans alınmış rotor gerilimi uzay vektörü
 R_r : Rotor direnci
 R_r' : Referans alınmış rotor direnci
 $L_{r\sigma}$: Rotor kaçak indüktansı
 $L_{r\sigma}'$: Referans alınmış rotor kaçak indüktansı
 \vec{i}_r' : Referans alınmış rotor akımı uzay vektörü
 $\vec{\psi}_s$: Stator akısı uzay vektörü
 θ_{er} : Stator eksenine rotor eksenine arasındaki açı

- $\vec{\psi}_r$: Referans alınmış rotor akısı uzay vektörü
- ω_k : d-q referans sisteminin açısal dönüş hızı
- $\vec{\psi}_{sk}$: ω_k hızıyla dönen eksen üzerindeki stator akısı uzay vektörü
- \vec{i}_{sk} : ω_k hızıyla dönen eksen üzerindeki stator akımı uzay vektörü
- \vec{V}_{sk} : ω_k hızıyla dönen eksen üzerindeki stator gerilimi uzay vektörü
- $\vec{\psi}_{rk}$: ω_k hızıyla dönen eksen üzerindeki rotor akısı uzay vektörü
- \vec{i}_{rk} : ω_k hızıyla dönen eksen üzerindeki rotor akımı uzay vektörü
- \vec{V}_{rk} : ω_k hızıyla dönen eksen üzerindeki rotor gerilimi uzay vektörü
- ω_r : Rotor ekseni açısal hızı
- \vec{i}_{mk} : ω_k hızıyla dönen eksen üzerindeki hava aralığı akımı uzay vektörü
- ψ_R : Ters Γ eşdeğer devredeki rotor akısı
- i_R : Ters Γ eşdeğer devredeki rotor akımı
- R_r : Ters Γ eşdeğer devredeki rotor direnci
- V : Motor zıt EMK büyüklüğü
- σ : Kaçak faktörü
- L_s : Stator indüktansı
- L_r : Rotor indüktansı
- i_{sd} : Stator akımı d-bileşeni
- i_{sq} : Stator akımı q bileşeni
- θ_s : akı açısı
- i_{sc} : Stator c-faz akımı skaler büyüklüğü
- ω_s : Stator açısal hızı
- ψ_s : Stator akısı büyüklüğü
- T_e : Elektriksel moment

KISALTMALAR LİSTESİ

YSA : Yapay Sinir Ağı

KDH : Kısa Dönemli Hafıza

UDH : Uzun Dönemli Hafıza

TKA : Tek Katmanlı Algılayıcı

ART : Adaptif Rezonans Teori

NFO : Natural Field Orientation-Doğal Alan Yönlendirme



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ASENKRON MOTOR SÜRÜCÜLERİ İÇİN DOĞAL ALAN YÖNLENDİRMELİ KONTROLÜN YAPAY SİNİR AĞI İLE MODELLENMESİ

Gamze YILDIZ

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2005, Sayfa:53

Modern bir sürücü sisteminden beklenen temel özellikler; moment-hız düzleminin dört bölgesinde verimli bir şekilde çalışabilmesi, geçici ve sürekli durum performansının iyi olmasıdır. Bunu gerçekleştirebilen doğru akım motorunun boyutunun büyük, fırça ve kollektörlerinden dolayı bakımının zor, pahalı olması, patlamalı ve tozlu ortamlarda çalıştırılmaması gibi olumsuz özelliklerinden dolayı bu çalışmada asenkron motor tercih edilmiştir.

Asenkron motorun kontrol teknikleri genel olarak verilmiştir. Duyargasız vektör kontrolünün diğer vektör kontrol çeşitlerine göre avantajları olduğundan bu metot kullanılmıştır. Bu avantajlar maliyet, doğruluk ve sistemin kararlılığıdır. NFO (Natural Field Orientation - doğal alan yönlendirme) duyargasız vektör kontrol çeşididir. Bu kontrol tekniğinin düşük hızlardaki performansı yüksek ve denklemleri basittir. Bu yüzden diğer kontrol tekniklerine göre avantaj sağlamıştır.

Bu alışmada, Matlab/Simulink programı yardımıyla modellenen doğal alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin hız ve moment kontrolü yapılıştır. Grafikler doğal alan yönlendirmeli kontrolün performansının hem düşük hem de yüksek hızlarda çok iyi olduğunu göstermiştir. Yapay sinir ağı modeli oluşturularak akı açısı grafikleri çizdirilmiştir. Farklı hız ve farklı sayıda sinir hücreleri için elde edilen şekillerde hata oranı 0,0001'e inmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asenkron Motor, Doğal Alan Yönlendirmeli Kontrol, Yapay Sinir Ağ Modeli



ABSTRACT

Master Thesis

MODELLING OF NATURAL FIELD ORIENTATION CONTROL FOR INDUCTION MOTOR DRIVERS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Gamze YILDIZ

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric and Electronics Engineering

2005, Page:53

Efficient four-quadrant operation and good transient and steady state performance are the main desired features of a modern drive system. In this study, induction motor is preferred because of the direct current motor has several drawbacks such as big size, difficult maintenance due to brushes and commutators, being expensive, not working at explosion and dusty environment.

Control techniques of induction motor are generally given. This method is used because of several advantages of sensorless vector control compared with other vector controls. These advantages are cost, accuracy and stability of systems. Natural field orientation is a kind of sensorless vector control. The performance of this control technique in low speed is high and their equations are simple. Thus this method has advantages compared to other methods.

In this study, speed and torque controls of natural field orientation control techniques modeled by Matlab/Simulink software, are done. The results showed that the performance of natural field orientation control in low and high speed is very well. Flux angles are plotted using

artificial neural network models. Error rates are decreased to 0,0001 in figures which are plotted in different speed and number of neural cells.

Keywords: Induction Motor, Natural Field Orientation Control, Artificial Neural Network Model



1. GİRİŞ

1.1. Genel Bakış

Modern bir sürücü sistemden; moment-hız düzleminin dört bölgesinde verimli bir şekilde çalışabilmesi, yüksek geçici ve sürekli durum performansına sahip olması beklenir.

Yüksek verim ve yüksek dinamik cevap özelliklerinden dolayı 1970'li yıllara kadar en çok kullanılan makine doğru akım makinesi olmuştur. Doğru akım motorunun hız ve moment kontrolünün kolayca gerçekleşmesi en önemli avantajıdır. Buna ilaveten; doğru akım motoru yüksek dinamik cevap özelliğine sahiptir. Fakat bu avantajlarının yanı sıra dezavantajları da mevcuttur. Boyutu büyük ve pahalıdır. Fırça ve kollektörlerinden dolayı bakımı zordur. Fırça kollektör teması nedeni ile patlamalı ve tozlu ortamlarda çalıştırılmaları tehlikelidir. Yine fırça ve kollektör yapısından dolayı yüksek devir sayılarına ve yüksek gerilimlere çıkılamaz. Bu sıralananlar, doğru akım motorlarının değişken hızlı sürücü düzeneklerde kullanımlarını sınırlayan etkenlerin başında gelmektedir. Bütün bu dezavantajları nedeni ile doğru akım motoru yerine güvenle çalışabilen ve aynı zamanda doğru akım motorunun sahip olduğu olumlu özellikleri kendinde taşıyan başka bir motora ihtiyaç duyulmuştur. Dolayısıyla yüksek hız ve güçlerde alternatif akım motorlarının kullanımı zorunludur [1]. Asenkron motorların sağlam yapıları, her türlü ortamda çalışabilmeleri kullanımının yaygın hale gelmesine neden olmuştur. Asenkron motorlar; motor olarak birkaç wattan, 300 megawatt'lık bir güce kadar üretilmektedir. Doğrusal olmayan bir yapıya sahiptirler. Bu nedenle kontrolleri karmaşıktır. Ancak asenkron motorların doğru akım motorlarındaki gibi yüksek performans gösterebilmeleri sürücü sistemlerdeki güç elektroniği devrelerine ve kontrollerine bağlıdır.

Güç elektroniğinin ilerlemesiyle asenkron motorlar hız ve moment açısından kolay kontrol edilebilir olmuştur. Bu avantajına ilaveten diğer motorlara göre üstünlükleri de vardır. Asenkron motorlar daha ucuz, bakım gereksinimi daha az olan, nem ve toz gibi olumsuz çevre koşullarından daha az etkilenen motorlardır. Onarımları daha kolaydır. Asenkron motorun dezavantajlarından biri; verimli olarak ulaşabildiği hızın düşük olmasıdır. Fakat bu dezavantaj alan zayıflatmalı çalışma durumu ile yok edilmektedir. Asenkron motorun diğer bir dezavantajı da hız ve moment kontrolünün kötü olmasıdır. Kullanılan skalar yöntemlerin performansı, doğru akım motorlu sürücülerdeki gibi iyi sonuç vermemektedir. Asenkron motorun moment ve hız kontrolünü daha iyi yapabilmek için uygulanan vektör kontrol yöntemleri sayesinde asenkron motorun bu dezavantajı da ortadan kaldırılabilir. Vektör kontrol yöntemleri kullanılarak asenkron motorlar doğru akım motorları gibi yüksek performans

gösterebilmektedirler. Akımın; akı üreten bileşeni (uyarma akımı) ile moment üreten bileşeni (endüvi akımı) tıpkı doğru akım motorlarında olduğu gibi birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilirler. Akı baz alınarak stator akımı iki bileşene ayrılır. Akı çeşitlerine göre yapılan bu ayrıştırma ile, vektör kontrolüne farklı isimler verilir. Bunlar rotor akı yönlendirmesi, stator akı yönlendirmesi ve hava aralığı akı yönlendirmesidir. Vektör kontrol (alan yönlendirilmeli kontrol) tekniğinde amacımız asenkron motoru doğru akım motoruna benzetmektir. Son yıllarda asenkron motorların vektör kontrolü, güç elektroniği teknolojisi ve işlemci teknolojisindeki gelişmelerle yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir.

Vektör kontrol yapabilmek için hız veya konum bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun için kullanılan hız ölçücüler ise sistemin güvenilirliğini azaltıp aynı zamanda ek maliyet getirmektedirler. Motor mili üzerindeki hız duyargası ortadan kaldırılırsa hız duyargasının mekanik bileşenleri ortadan kalkacağından güvenilirlikte de artış sağlanır. Bazı yüksek performans uygulamalarında asenkron motor üzerinde hız duyargası istenmeyebilir. Vektör kontrollü sürücülerde eğilim; sadece motor gerilimi ve/veya akımlarının gözlemlendiği, hız veya pozisyon duyargasız sürücülere doğru kaymaktadır [2]. Bu tip uygulamalarda öyle bir algoritma geliştirilmelidir ki; hem standart motor kullanılmalı hem kontrol sistemi fazla bir ek maliyet getirmemelidir. Sadece akım ve gerilim duyargası ile sistemin gerçekleşmesi istenen durumlarda duyargasız vektör kontrol kullanılmaktadır. Duyargasız vektör kontrolde motorun hız veya konumu, ölçülen stator fazı akım ve gerilimlerinden hesaplanabilir.

Akı açısını bulma teknikleri çeşitli vektör kontrol stratejilerini ortaya çıkarmaktadır. Bu stratejiler doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki çeşittir. Bunlar vektör kontrolüne isim vermiştir. Vektör kontrol, doğrudan vektör kontrolü (doğrudan alan yönlendirme) ve dolaylı vektör kontrolü (dolaylı alan yönlendirme) olmak üzere iki ana kategoride sınıflandırılabilir.

Doğrudan vektör kontrolünde; motorun içindeki manyetik alan doğrudan Hall etkili duyargalar, sezici bobinler, stator geriliminin üçüncü harmoniği, kademeli (tapped) stator sargıları veya stator akım-gerilim-hız ölçümleri tarafından kullanılan gözlemleyiciler üzerinden elde edilir [2].

Dolaylı vektör kontrolünde; amaç akı ölçümüne gerek kalmadan akı açısını hesap etmektir. Bunun için iki yöntem vardır. Bunlardan birincisi; ileri beslemeli veya kayma kazanç kontrolü yöntemidir. İkincisi de; akı açısı gözlemcisi yöntemidir.

Akı tahmini için kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Akı (stator akısı) tahmini için yaygın olarak iki model kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi akım modeli, ikincisi de gerilim modelidir. Akım modeli kullanılarak yapılan akı hesaplamasında motor hızına ve rotor parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan gerilim modeli kullanılarak yapılan akı hesaplaması da gerilim-akım ölçümlerine ve ölçülmesi daha kolay olan stator parametrelerine

ihtiyaç duymaktadır. Bu özelliğinden dolayı hız duyargasız olarak gerçekleştirilen bir sürücü sistemi için gerilim modeli daha çok kullanılmaktadır. Gerilim modelinde; eşdeğer devrede stator direnci arkasına düşen gerilimin integralinin alınması ile elde edilir. Ancak düşük frekanslarda stator direncindeki değişimlerden, integratör sürüklenmelerinden (driftlerinden) ve gürültülerden dolayı stator akısı üzerinde oldukça büyük hatalar olmaktadır [3].

Akı tahmini için yaygın olarak kullanılan akım ve gerilim modeli dışında, duyargasız vektör kontrol çeşitlerinden biri olan doğal alan yönlendirme son zamanlarda popüler hale gelmiştir. Bunun nedeni; akı açısı tahmininde kullanılan algoritmanın basitliği ve parametre değişimlerine karşı güvenle çalışabilmesidir.

Johnson [4] tarafından yapılan çalışmada doğal alan yönlendirmeyi kullanan kontrol sistemlerinin sıfır frekansta doğru olarak çalıştığı, motorun kontrol komutuna hemen tepki gösterip moment üretebildiği, bu moment üretilmeden önce bir manyetik alan toparlanmasına ihtiyaç olmadığı ve geçici cevabının iyi olduğu gösterilmiştir.

Vas ve diğ. [5] tarafından geliştirilen doğal alan yönlendirme sürücüsünün devamlı sıfır frekans çalışmasında parametre sapmalarına karşı yapılan deneylerinin sonucunda yeni duyargasız doğal alan yönlendirme sürücüsünün parametre sapmalarından etkilenmediği görülmüştür. Stator direncinin değiştirilmesi sağlanarak parametre değişimine karşı performansının iyi olduğu, tahmin edilen hızın gerçek rotor hızını takip ettiği gözlenmiştir.

Peresada ve diğ. [6] ise yaptıkları deneyleri değerlendirerek sabit durum ve dinamik performans açısından doğal alan yönlendirmeli asenkron motorun genel endüstriyel uygulamalar için uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Çalışmalarında gözlemci kullanmayan bir kontrolör amaçlanmıştır. Sabit yük momentinde hız takibi başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir. Geliştirilen kontrolörün en büyük avantajı basit bir şekilde gerçekleştirilmiş olmasıdır. Kontrolörde gözlemci yoktur. Dolaylı alan yönlendirmesine dayanmaktadır. V/f kontrolör kadar kolaydır. Fakat V/f kontrolörden daha yüksek performans göstermektedir. Artan hız aralığında asenkron motorun hız kontrolü dinamik açıdan yüksek performans göstermiştir.

1.2. Tezin Amacı

Günümüzde asenkron motorun kontrolünde duyargasız kontrol tercih edilmektedir. Bunun nedeni; asenkron motorun hız ve konum bilgisini ölçmek için kullanılan ölçü aletlerinin (takometre, encoder, resolver gibi) sisteme ek maliyet getirmesidir. Bazen hız ölçücülerin fiyatı, motorun ve sürücünün fiyatından fazla olmaktadır. Ayrıca ölçü aletlerinin mekanik bileşenlerinden dolayı sistemin kararlılığı bozulabilmektedir. Farklı tipteki hız ölçücülerin tam olarak hassas çalıştığı bölgeler olduğu gibi hatalı sonuçlar verdiği bölgelerde olmaktadır. Bu

sebeplerden dolayı son yıllarda duyargasız vektör kontrol yöntemi üzerinde yoğun bir şekilde çalışılmaktadır.

Bu çalışmada; duyargasız vektör kontrol yöntemlerinden biri olan doğal alan yönlendirmeli kontrol tekniği kullanılarak asenkron motorun kontrolü amaçlanmıştır. Bu yöntemin tercih edilmesinin sebebi, stator frekansının tahmininde kayma frekansının kullanılmamasıdır. Stator frekansının tahmininde, stator akı vektörü bileşenleri yerine stator gerilimleri kullanılır. Böylece integrasyon problemlerinden kaçınılmış olunur. Akı açısının hesaplanmasında kullanılan basit algoritmada sadece stator direnci üzerine düşen gerilim mevcuttur. Özellikle durmaya yakın hızlarda gerçekleştirilen kontrolde motor, kontrol komutuna hemen tepki gösterip bir manyetik alan toparlanmasına ihtiyaç duymamakta ve yüksek geçici durum performansına sahip olabilmektedir. Doğal alan yönlendirme kontrol bloğu ve asenkron motor Matlab / Simulink programı yardımıyla modellenerek hız kontrolünün incelenmesi amacına ulaşılmıştır. Asenkron motordan hem düşük hem de yüksek hızlarda girilen referans hızı takip etmesi istenmiştir. Elde edilen grafiklerde gerçek hızla referans hız arasındaki hatanın fark edilmeyecek kadar az olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada diğer amaç, doğal alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin yapay sinir ağı ile modellenmesidir. Doğal alan yönlendirmeli vektör kontrolünün daha sağlam ve güvenilir bir yapıya sahip olması, sistemin dış etkilere karşı daha akıllı davranması için bu kontrol yöntemi yapay sinir ağı ile modellenmiştir. Yapay sinir ağıyla modellendiğinde çıkış bilgisi olan akı açısının değeri 0,00001 hata oranı ile gerçek değerini takip etmiştir.

1.3. Tezin Yapısı

Tezin giriş bölümünde; modern bir sürücü sisteminden beklenenleri karşılayan bir motorun sahip olması gereken özellikler verilmiştir. Bu nedenle doğru akım motorları ile alternatif akım motorları karşılaştırılmıştır. Yapılan araştırmalarda sürücü düzeneklerde en yaygın kullanılan motorun asenkron motor olduğu görülmüştür.

İkinci bölümde; asenkron motorun kontrol teknikleri genel olarak verilmiştir. Vektör kontrolünün tercih edilmesinin sebebi açıkça sunulmuş ve üstünlükleri sıralanmıştır. Duyargasız vektör kontrolün diğer vektör kontrol çeşitlerine göre maliyet, doğruluk ve sistemin kararlılığı açısından avantajlarının olduğu bu bölümde açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde; duyargasız vektör kontrol çeşidi olan NFO (Natural Field Orientation - doğal alan yönlendirme) kontrol tekniğinin avantajları, özellikleri, düşük hızlardaki performansı, denklemleri ve kontrol bloğu verilmiştir.

Dördüncü bölümde; doğal alan yönlendirmeli kontrol tekniği yapay sinir ağıyla da modellendiği için yapay sinir ağı genel olarak özetlenmiştir. Ağ modeline duyulan ihtiyaçtan, yaygın olarak kullanılan yapay sinir ağı model çeşitlerinden ve öğrenme yöntemlerinden kısaca bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde; doğal alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin Matlab/Simulink programı ile benzetim programı oluşturulmuştur. Farklı hızlar için performansı incelenmiştir. Bir sonraki aşamada, yapay sinir ağı ile modellenen bu kontrol sisteminde akı açısı bilgisi grafikleri çizdirilmiştir. Hata oranına bakılarak farklı hız ve farklı sayıda sinir hücreleri için elde edilen şekiller irdelenmiştir.

Altıncı bölümde ise tüm elde edilen bilgiler ve benzetim sonuçları ışığında genel bir değerlendirme yapılmıştır.



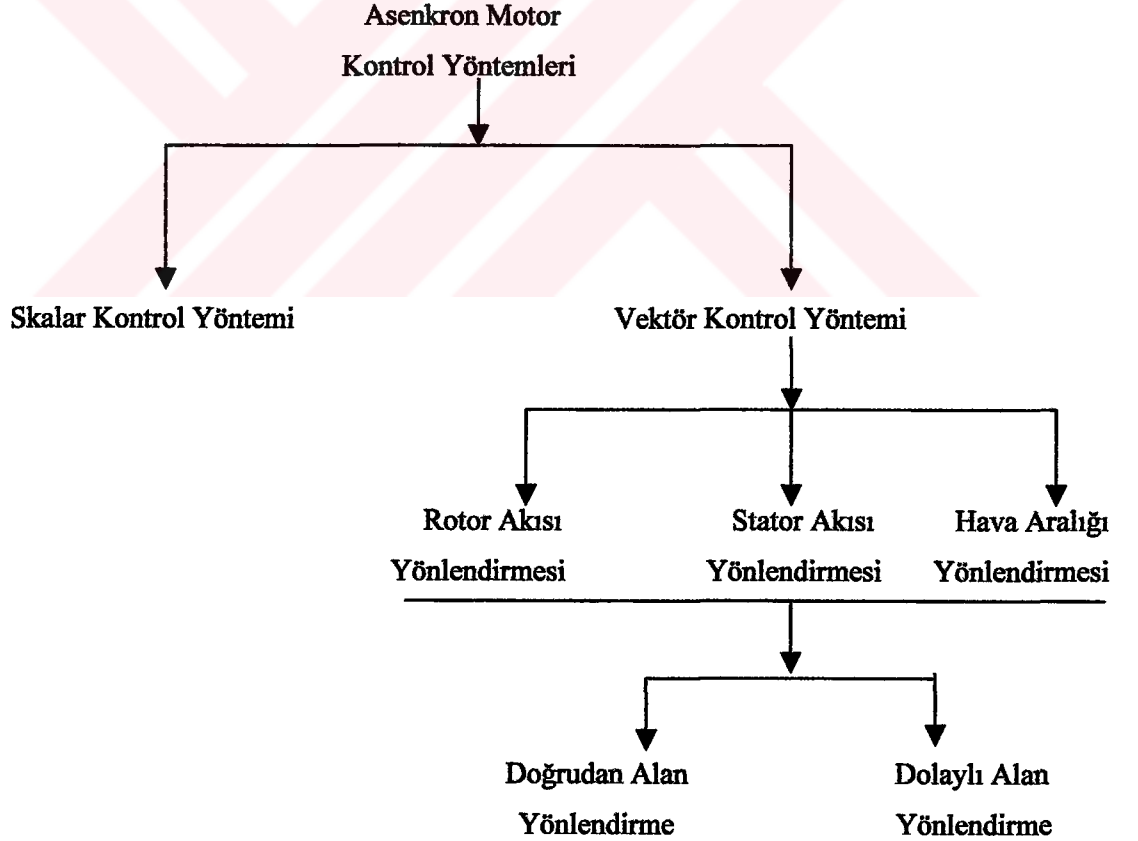
2. ASENKRON MOTOR KONTROL YÖNTEMLERİ

1.1. Genel

Asenkron motorların hız veya moment kontrolü, doğrusal olmayan yapılarından dolayı doğru akım motorlarına göre daha karmaşıktır. Doğru akım motorlarının momenti bağımsız olarak kontrol edilebilen iki ortogonal bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler; rotor akımı ve stator sargısının oluşturduğu akıdır.

Bir alternatif akım makinesinde akımın; akı üreten bileşeni (uyarma akımı) ile moment üreten bileşeni (endüvi akımı) tıpkı doğru akım motorlarında olduğu gibi birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilirler. Böylece kenetlemesiz bir yapı elde edilerek yüksek performansa ulaşılır. Bu amaç için farklı kontrol yöntemleri geliştirilmiştir.

Asenkron motorların kontrol yöntemlerinin en genel sınıflandırılması şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1. Asenkron motor kontrol yöntemleri

Manyetik devrenin en iyi şekilde kullanılabilmesini ve doyumun biraz altındaki bir noktada çalışmayı sağlayabilmek için stator geriliminin frekansına oranının sabit tutulması gerekir [7]. Buna sabit V/f kontrol yöntemi denir. Basit bir skalar kontrol yöntemidir. Genelde tek inverterden çoklu motor kontrollerinde kullanılır. V/f oranı sabit tutularak gerçekleştirilen bu kontrol genellikle gerilim kaynağı inverterleriyle gerçekleştirilir. Asenkron motorlarda hava aralığında oluşturulan manyetik akı, uygulanan gerilime ve frekansa bağlıdır. Statorun kaçak empedansı ihmal edilecek olursa indüklenen gerilim yaklaşık olarak uygulanan gerilime eşit olur. Böylece akı, uygulanan gerilimin frekansa oranına bağlı olarak ifade edilebilir. Bu kontrol sisteminin basitlik avantajının dışında geçici durumda (örneğin; akım ve moment kontrolü eksikliğinde, uzun bir geçici durumda) gözlenebilir birçok dezavantajı vardır [8].

Skalar kontrol sistemlerine göre performansı daha yüksek olan kontrol yöntemi, alan yönlendirmeli kontrol yani vektör kontrol yöntemidir. Stator akısı, hava aralığı akısı veya rotor akısı yönlendirmesinin gerçekleştirilmesinde i_{sd} (stator akımının d-ekseni bileşeni) ve i_{sq} (stator akımının q-ekseni bileşeni) akımlarının hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu akımlar ise akı ve moment referanslarından başlayarak modelin ters yönde çözülmesi ile elde edilir.

Asenkron motorun akı ve moment kontrolü, vektör kontrol tekniği ile doğru akım motorlarında olduğu gibi birbirini etkilemeden yapılabilir. Zaten vektör kontrol (alan yönlendirmeli kontrol) tekniğinde amacımız asenkron motoru doğru akım motoruna benzetmektir. Duyarga kullanılarak gerçekleştirilen vektör kontrolünde asenkron motorun hız ve konum bilgisini ölçmek için kullanılan ölçü aletleri (takometre, encoder, resolver gibi) sisteme ek maliyet getirmektedir. Bazen hız ölçücülerin fiyatı, motorun ve sürücünün fiyatından fazla olmaktadır. İlâveten ölçü aletlerinin mekanik bileşenlerinden dolayı sistemin kararlılığı bozulabilir. Farklı tipteki hız ölçücülerin tam olarak hassas çalıştığı bölgeler olduğu gibi hatalı sonuçlar verdiği bölgelerde olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı son yıllarda duyargasız vektör kontrol yöntemi üzerinde yoğun bir şekilde çalışılmaktadır.

2.2. Vektör Kontrol Yönteminde Akı Tahmini

Vektör kontrol yönteminin uygulanmasında en önemli noktalardan biri, akı vektörünün pozisyonunun belirlenmesidir. En çok kullanılan akı tahmin modelleri aşağıda sıralanmıştır.

1-) Akı tahmininde stator akımı ve rotor hızının kullanılması (akım modeli): Rotor hızının ölçülmesine ihtiyaç duymaktadır. Aynı zamanda rotor parametrelerine bağlıdır. En önemli avantajı açık integrasyon içermemesidir. Böylece akı hesabı çok düşük hızlarda gerçekleştirilebilir.

2-) Akı tahmininde stator akımı, gerilimi ve rotor hızının kullanılması: Açık integrasyon içermemesi ve ölçülen rotor hızından kaynaklanan hataların sisteme etkisini düşük olması en önemli avantajlardır. Dezavantajı ise stator ve rotor parametrelerine ihtiyaç göstermesidir.

3-) Akı tahmininde stator akımı ve geriliminin kullanılması (gerilim modeli): Akı hesabında gerilim ve akım ölçümüne ihtiyaç duymaktadır. Aynı zamanda stator parametrelerine bağımlıdır. Akım modeline göre avantajı; stator parametrelerinin ölçümünün rotor parametrelerinin ölçümünden daha kolay olmasıdır. En önemli dezavantajı ise açık integrasyon içermesidir.

4-) Akı tahmininde adaptif kontrol tekniğinin kullanılması: Oldukça uzun hesaplama süresine ihtiyaç duymaktadır.

5-) Akı tahmininde gözlemleyici (observer) kullanılması: Motorun modeline dayanan gözlemleyici tasarlamak güçtür. Bunun nedeni motor modelinin doğrusal olmaması ve parametrelerin değişmesidir. Bunun için indirgenmiş dereceli gözlemleyici geliştirilmiştir [9].

6-) Akı tahmininde stator gerilimi ölçülerek üçüncü harmonik bileşenin hesaplanması yönteminin kullanılması: Motorun doyumda çalıştığı bölgede stator geriliminin üçüncü harmoniği hava aralığı akısının bir fonksiyonudur [10].

7-) Akı tahmininde NFO (Natural Field Orientation - doğal alan yönlendirme) tekniğinin kullanılması: Alan yönlendirmenin temelini oluşturan akı vektörünün genliği ve faz açısının tahmininde kullanılan bu yöntem ilk olarak Jonsson [4], tarafından önerilmiştir. Bu yöntemin en önemli üstünlüğü, stator frekansının tahmininde kayma frekansının kullanılmamasıdır. Bu yöntemde stator frekansının tahmininde, stator akı vektörü bileşenleri yerine stator gerilimleri kullanılır. Böylece integrasyon problemlerinden kaçınılmış olunur. Fakat bu yöntemin performansını olumsuz yönde etkileyen en önemli parametre stator direncidir. Stator direncine bağımlı olmasının nedeni; akı açısının hesaplanmasında kullanılan basit algoritmada stator direnci üzerine düşen gerilimin mevcut olmasıdır. Bu problem özellikle düşük hızlarda daha fazla önem kazanmaktadır. Çünkü stator direnci üzerine düşen gerilimin değeri, sargının toplam gerilim değeri yanında oransal olarak daha büyük olmaktadır.

3. DOĞAL ALAN YÖNLENDİRMELİ KONTROL YÖNTEMİ

3.1. Duyargasız Vektör Kontrol Yöntemi

Duyargasız değişken hız sürücülerini başlıca iki kategoriye ayırılır:

1. Duyargasız Sürücüler
2. Yarı -duyargasız Sürücüler

Duyargasız sürücülerde klasik hız ve pozisyon duyargaları yoktur. Bunların yerine matematiksel modele ve/veya yapay zekaya dayanan tahmin ediciler vardır [5].

Yarı - duyargasız sürücülerde geleneksel hız ve pozisyon duyargaları yerine içerisinde akıllı duyarga bulunan yataklar (örneğin SKF akıllı duyarga mil yatakları) kullanılır [5]. SKF tarafından üretilen akıllı duyarga mil yatakları geleneksel pozisyon dönüştürücülerinin (konum algılayıcılarının) yerini alabilir. Mil yatakları içerisinde Hall etkili duyargalar yerleştirilmiştir. Yarı duyargasız sürücülerin birçok avantajı vardır. Oldukça düşük maliyetle üretilmektedirler. Bunlar oldukça sağlamdırlar. Yarı duyargasız vektör kontrolünü kullanan yüksek güçlü motorlar, artan çalışma sıcaklığına dayanabilmektedirler. Yüksek güç uygulamalarında yine bu teknik sayesinde titreşimlere dayanabilmektedirler. Ayrıca yarı duyargasız sürücülerin elektromanyetik açıdan gürültülü ortamlarda çalışmaları uygundur.

SKF tarafından üretilen duyargalı mil yatakları; elektrik motorlarının rotor hızları, ivmeleri ve rotor pozisyonları hakkında bilgi sağlarlar [11]. Akıllı duyarga mil yataklarının çok fazla sayıda kullanım alanları vardır. Örneğin; elektriksel araçlarda, servo sürücülerde kullanılırlar. Mevcut uygulamalara otomobillerde, trenlerde, kepeçelerde ve asansörlerde karşılaşılmaktadır. Uygulamaların büyük bir bölümünü; otomotiv ve tekstil endüstrisi, anahtarlamalı relüktans motor sürücülerini, vektör ve doğrudan moment kontrollü asenkron motor ve senkron motor sürücülerini oluşturmaktadır [11].

Son zamanlarda değişik duyargasız asenkron motor sürücülerinin geliştirilmesi için çok fazla çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda değişik tipteki duyargasız sürücü sistemler arasında NFO (natural field orientation-doğal alan yönlendirme) sürücüler de katılmıştır [4,12,13,14]. Teorik olarak NFO'yu kullanan birçok özel vektör kontrol sürücü sistemi tartışılmış ancak şimdiye kadar çok az sayıda deneysel sonuçlar literatürde verilmiştir. Akı açısını elde etmek için alan yönlendirmeli geleneksel kontrol sistemlerinde integrasyon gereklidir [8]. Ancak doğal alan yönlendirmeli kontrolde bu integrasyona ihtiyaç olmadığı görülmüştür. Doğal alan yönlendirme ilkesi, doğrudan moment kontrollü sürücülerde bile yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

Yarı duyargasız NFO (natural field orientation-doğal alan yönlendirme) ile vektör kontrol tekniği asenkron ve sabit mıknatıslı senkron motor sürücülerinde de kullanılabilir. Bu tip sürücülerde, rotor pozisyonu ve hızı hakkında bilgi elde etmek için içerisinde entegre akıllı duyarga bulunan yataklar kullanılır. Duyarga bilyeleri SKF tarafından imal edilir ve buradaki mil yataklarına Hall etki duyargaları katılır [15,16,17]. Bu pahalı ve etkili bir çözümdür. Farklı hız sürücülerini tiplerinde etkili olarak kullanılmaktadır.

Doğal alan yönlendirmeyi kullanan asenkron motor sürücüler kontrol açısından yüksek performans göstermesi sebebiyle değişken hız uygulamalarında daha çok tercih edilir hale gelmişlerdir. Hız kontrollü asenkron motor sürücüler endüstriyel uygulamaların geniş bir alanında yaygın olarak kullanılan elektro-mekanik sistemlerdir [6]. Bir kontrolörden, geniş hız bölgesinde yüksek dinamik performans ve yüksek hassasiyet istenir. Bunu gerçekleştirmek için hız duyargasının var olmamasına dayanan vektör kontrollü indüksiyon motor kullanılır. Yani; indüksiyon motorun duyargasız vektör kontrolü ortalama ve düşük hız performansı için bir endüstriyel standart olmaktadır [6].

Doğrusal olmayan çıkış geri besleme teorisine dayanan, teorik olarak ispatlanmış algoritmalar duyargasız indüksiyon motor kontrolünü teorik açıdan geliştirmek için kullanılmaktadır [6]. Uygulamada var olan çözümlerin dinamik ve sürekli durum performansı yüksektir. Fakat duyargasız vektör kontrolünün de problemleri mevcuttur. Bu problemler; parametre bağımlılığı, akım ve gerilim ölçümünden kaynaklanan hatalar ve akı tahmininde karşılaşılan zorluklar olarak sıralanabilir. Duyargasız asenkron motor kontrolündeki problemlere dikkat edilmesine rağmen hala problemler çözümlenememiştir [6].

Stator akı denklemlerinin integrasyonuna veya stator akımlarının türevine dayanan çözümler pratik açıdan sınırlar taşır. Vektör kontrol tekniği açısından; adaptif (uyarlamalı) teori yaklaşımları kullanıldığında zaman sabit hız tahmini elde edilebilir. Fakat bunun için bir varsayım yapmak gerekir. Mekanik dinamiklerin olmadığını varsayarak bu sonuca ulaşılabilir. Böyle bir varsayım altında akı ve hız tahmini problemi, [18]'de çözümlenen akı ve rotor direnci tahmini problemine benzerdir.

Uygulanan stator gerilimlerinin ölçümleri, inverterin doğrusal olmaması ve parametre değişimi gibi farklı problemler hem teorik hem de pratik açıdan ulaşılacak istenen amaçlara engel olmaktadır.

3.2. Doğal Alan Yönlendirmeli Sürücülerinin Temelleri

Doğal alan yönlendirme, genel endüstriyel uygulamalara uygun olan asenkron motor sürücüler için basit bir duyargasız vektör kontrol yöntemidir. Doğal alan yönlendirmeyi

kullanan vektör kontrol yöntemi, klasik skalar kontrol yöntemlerine göre statik hız regülasyonu alanının artmasını sağlamaktadır. Bu kontrol tekniğini araştırmanın asıl amacı düşük maliyetli platformlarda uygulama için uygun bir yöntemin kararlılığını sağlamaktır [19]. Doğal alan yönlendirme, diğer duyargasız algoritmalarından daha basittir. Peresada ve diğ. [20] tarafından önerilen kontrol algoritması, elektro-mekanik ve elektromanyetik alt sistemlerin içindeki indüksiyon motor dinamiklerinin alan yönlendirmeli ayrışımının yapısal özelliklerine dayanmaktadır. Akı ve hız tahmini olmaksızın yapılan duyargasız dolaylı alan yönlendirmesi, sabit yük momenti olmak koşuluyla referans hızı takip etmeyi ve rotor akı regülasyonu kontrol amaçlarını başarabilmektedir [20]. Kontrol algoritması indüksiyon motorun özelliklerine uygun bir şekilde kararlı olmaktadır.

Doğal alan yönlendirme sürücülerini orijinal olarak asenkron motor sürücüler için geliştirilmiş olmasına rağmen, doğal alan yönlendirme yöntemi duyargasız kalıcı mıknatıslı senkron motor sürücülerinde de kullanılmaktadır [5]. Fakat kalıcı mıknatıslı motorlarda doğal alan yönlendirmeli vektör kontrol tekniğinin kullanımı; yüksek akımlara ve büyük moment dalgalanmalarına neden olmaktadır.

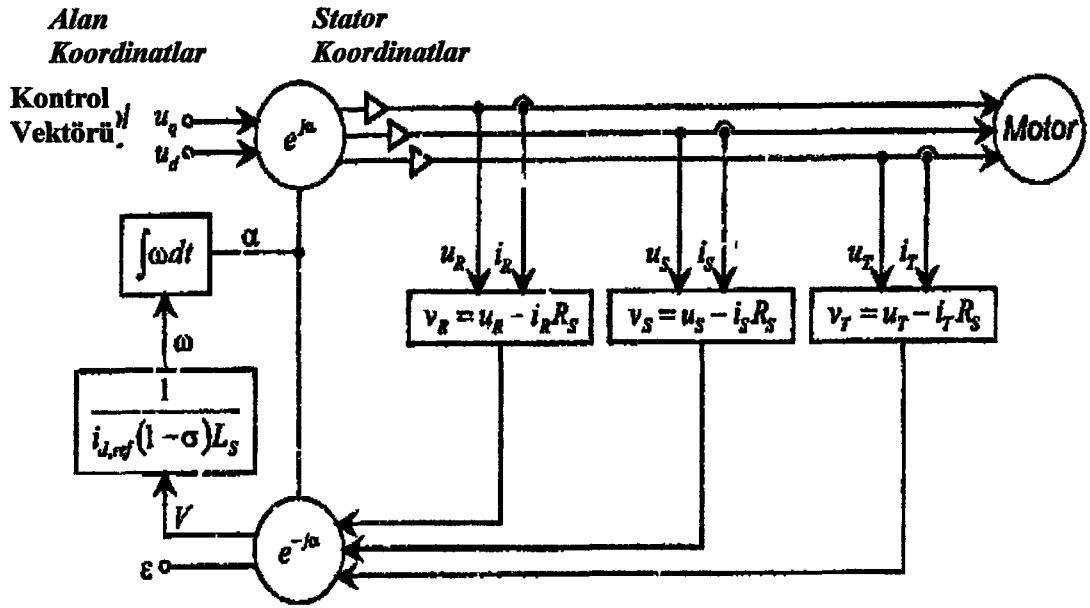
Doğal alan yönlendirmedeki asıl amaç, stator frekansını kolayca tahmin etmek için asenkron motor stator denklemlerini kullanmaktır. Mıknatıslanma geriliminin (V) tahmin edilen değerinden ve stator akımının ürettiği akımın referans değerinden faydalanılır. Stator frekansının hesabında $(1-\sigma).L_s$ ifadesi de kullanılır.

σ : Sonuç kaçak faktörü

L_s : Stator indüktansı

V : Mıknatıslama gerilimidir.

Buradaki V değeri bir DC gerilim değeridir.



Şekil 3.1. NFO (Natural Field Orientation - Doğal Alan Yönledirme) blok diyagramı

Şekil 3.1 doğal alan yönlendirmeli kontrol sisteminin blok diyagramını göstermektedir. α akı açısı stator frekansının integrasyonu ile elde edilmektedir. Blok diyagramında iki dönüştürme kullanılmıştır. Şeklin üst kısmında yer alan dönüştürme alan koordinatlarından stator koordinatlarına olan dönüştürmedir ve bu blok diyagramının temelini oluşturmaktadır. Ters dönüştürmede $e^{-j\alpha}$ kullanılır. ϵ değeri ise ideal alan yönlendirme için sıfırdır. Blok diyagramında stator akımlarının değişim aralığının etkileri (mıknatıslanma gerilimi tahmin edildiği zaman) ihmal edilmiştir [5].

Şekil 3.1'de doğal alan yönlendirmeli sürücüdeki anahtar parametre stator direncidir. Klasik dolaylı vektör kontrolünde stator frekansını elde etmek için açısız kayma frekansı hesaplanır. Buna karşılık doğal alan yönlendirmede stator frekansı tahmin edicisi, kayma frekansı hesabını kullanmaz. Klasik stator akı yönlendirmeli kontrol yöntemlerinden bir diğer farkı ise; doğal alan yönlendirmede stator frekansının stator akı vektörü kullanılarak elde edilmeyişidir. Stator frekansı terminal gerilimden direnç üzerine düşen gerilimin çıkarılmasıyla elde edilen sonucun integrasyonu ile elde edilir. Fakat bu yöntem düşük stator frekansı çalışmasında integrasyonun sürüklenme (drift) problemi yüzünden zorlanmaktadır.

3.3. Düşük Frekans Ve Sıfır Frekans Çalışması

Düşük hızda akı açısı bilgisini doğru elde etmek son derece zordur. Bu nedenle yüksek performanslı kontrolün düşük hızlarda gerçekleştirilmesi oldukça güçtür.

Akım duyargalarının DC ofseti, parametrelerin yeniden ayarı performansı etkileyen önemli faktörlerdir. Özellikle düşük hız ve bir de alan zayıflama bölgesinde motor yüklenirse sürücü düzeneğin performansı oldukça düşmektedir. Genelde sıfır frekanstaki problem, rotor dinamiklerinin stator ölçümlerinden gözlenememesidir. Johnson [4] çalışmasında şunlara dikkat etmiştir:

1-) Doğal alan yönlendirmeyi kullanan kontrol sistemleri sıfır frekansta doğru olarak çalışmaktadır.

2-) Hem frekans hem de hava aralığı gerilimi sıfırdır; ancak mıknatıslanma akımı hala doğru değerindedir. Bunun anlamı şudur: Motor, kontrol komutuna hemen tepki gösterebilir, moment üretebilir ve moment üretilmeden önce bir manyetik alan toparlanmasına ihtiyaç yoktur. Bu motorların geçici cevabı için önemlidir ve motorun bir servo motor gibi kullanılma nedenini açıklayabilir. Bir pozisyon kontrollü servo motor genellikle durma pozisyonunda ve kontrol sinyali bekler durumdadır. Motor hareketsiz olarak durabilir fakat frekans sıfır olmadığı için moment üretilir.

Her ne kadar dünyanın çeşitli yerlerinde önemli akademik ve endüstriyel çalışmalar yapılsa da şu anda dünyada sıfır frekansta ve aynı zamanda dört bölgede çok düşük hızlarda kararlı durumda çalışabilen, duyargasız yüksek performanslı AC sürücü yoktur.

Bununla birlikte doğal alan yönlendirmeyi kullanan duyargasız AC sürücülerin yeni bir ailesi Aberdeen'de geliştirilmiş olup sıfır frekansını da içeren tüm frekanslarda kararlı durumda çalışabilmektedir [5]. Buna ek olarak; devamlı bir şekilde sıfır frekansta çalışmak da mümkün olabilmektedir.

Doğal alan yönlendirme vektör kontrol tekniğini kullanan bu sürücüler; vinç, yük asansörü, kaldıraç, çekme, otomotiv ve benzeri uygulamalarda kullanılabilirler.

Vas ve diğ. [5], değişken hız sürücülerinin yeni doğal alan yönlendirme yönteminin özelliklerini aşağıdaki gibi sıralamışlardır:

1-) Sürücü algoritması basittir. Aynı zamanda ucuz bir sabit nokta DSP (digital signal processor-dijital sinyal işlemcisi) ile çalıştırılabilir.

2-) Sürücü değişik motor ve inverter parametreleri elde etmek için başlangıçta kendi kendini tanıma aşamasına sahiptir. Bu parametrelerden biri stator direncidir.

3-) Stator gerilimi ölçülmez. Sadece DC link gerilimi ölçülür ve stator gerilimleri inverterin anahtarlama durumları kullanılarak yeniden düzenlenir. Sürücü; bir inverter modelini, inverter

anahtarlama elemanlarının ölü zaman kompanzasyonunu ve uygun gerilim düşümünü içerir. Donanım, ölü zaman telafisi için kullanılmaz.

4-) İki stator akımı belirli zaman aralıklarında (gerçek zamanda) izlenir.

5-) Sürücü gerçek zamanlı parametre tahmin bloğu içerir. Başlangıçtaki motor parametreleri çalışma esnasında değiştiği için buna ihtiyaç duyulur. Sıcaklık etkisi ve deri olayından dolayı parametrelerin değişmesi nedeniyle bu blok kullanılır.

6-) Sürücü düşük hız ve sürekli sıfır frekans çalışma durumu için kullanılabilir.

7-) Standart asenkron motor kullanılır.

8-) Tam bir akı kontrolünün yanı sıra verimli ve hızlı bir moment kontrolü de vardır.

Vas ve diğ. [5] tarafından geliştirilen; değişken hız sürücülerinin yeni doğal alan yönlendirme yönteminin sürekli sıfır frekans çalışmasında parametre değişimlerine karşı yapılan deneylerin sonucunda aşağıdaki özelliklere sahip olduğu gözlenmiştir:

1-) Parametre sapmalarına karşı sürücünün parametre sapmalarından etkilenmediği görülmüştür.

2-) Stator direncinin değiştirilmesi sağlanarak sıfır frekans çalışmasında parametre değişimine karşı performansının iyi olduğu gözlenmiştir.

3-) Devamlı sıfır frekans çalışmasının başarılı bir şekilde gerçekleştiği gözlenmiştir.

4-) Sıfır stator frekansı çalışmasında tahmin edilen hızın, gerçek rotor hızını takip ettiği gözlenmiştir.

5-) Sıfır stator frekansı çalışmasında tahmin edilen rotor akı hızının, gerçek rotor akı hızını takip ettiği gözlenmiştir.

Özellikle sürekli sıfır frekans çalışmanın 15 dakikadan daha fazla bir süre için başarılı olduğu vurgulanmıştır. Bu önemli bir sonuçtur. Duyargasız vektör kontrolü; doğal alan yönlendirme yöntemi sayesinde yük asansörü, vinç, kepçe ve asansör gibi uygulamalar için yeni bakış açıları ortaya çıkmıştır.

Yeni duyargasız doğal alan yönlendirme DTC (direct torque control-doğrudan moment kontrol) tipli asenkron motor sürücüsü için elde edilmiş bazı sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

1-) Mükemmel bir performans elde edilmiştir.

2-) Hem moment hem de akı dalgalanması minimize edilmiştir.

3-) Tahmin edilen hızın gerçek hızı takip ettiği gözlenmiştir.

4-) Geri besleme momentinin ortalama değerinin referans moment değerine tamamen eşit olduğu gözlenmiştir ki bu durum geleneksel yani doğal alan yönlendirmesiz DTC (direct torque control-doğrudan moment kontrol) için mümkün değildir. Geleneksel doğrudan moment kontrolünde, referans moment ile geri besleme moment sinyali arasında her zaman bir ofset vardır.

5-) Gerçek momentin referans momenti takip ettiği gözlenmiştir.

6-) Stator akı dalgalanmalarının minimize edildiği gözlenmiştir.

Diğer duyargasız vektör kontrol çeşitlerinde de karşımıza çıkan düşük hızlarda çalışma problemi doğal alan yönlendirme sayesinde mükemmel bir şekilde çözümlenmiştir. Asenkron motorun, çok düşük hızlarda çalışmasının yanı sıra devamlı sıfır frekans çalışmasının da gerçekleştirilebildiği görülmüştür.

Doğal alan yönlendirme sayesinde, parametre sapmalarına karşı asenkron motorun sağlıklı bir şekilde çalışabildiği sonucuna varılmıştır.

Doğal alan yönlendirmeyi kullanan duyargasız vektör kontrolü; otomotiv, çekme sistemi, dokuma ve diğer uygulamalarda da karşımıza çıkmaktadır. Bunlar basitçe yerine getirilmektedir. Bu amaç için düşük maliyetli sabit nokta DSP (digital signal processor-dijital sinyal işlemcisi) kullanılır.

Günümüzde yüksek performanslı farklı tipte doğal alan yönlendirme sürücülerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca akıllı duyarga mil yataklarını (yarı duyargasız doğal alan yönlendirme) kullanan doğal alan yönlendirmeli sürücüler de geliştirilmektedir.

Peresada ve diğ. [6], yaptıkları deneyleri değerlendirerek sabit durum ve dinamik performans açısından doğal alan yönlendirmeli asenkron motorun genel endüstriyel uygulamalar için uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

[6]'de gözlemci kullanmayan bir kontrolör amaçlanmıştır. Sabit yük momenti altında hız takibi ve akı regülasyonu başarılı bir şekilde gerçekleşmiştir. Kontrolörün geliştirilmesi, elektro-mekanik ve elektromanyetik olmak üzere birbirine bağlı iki alt sistemin ayrışımına bağlıdır [6]. En büyük avantajı basit bir şekilde gerçekleştirilmiş olmasıdır. Kontrolörde gözlemci yoktur. Dolaylı alan yönlendirmesine dayanmaktadır. V/f kontrolör kadar kolaydır. Fakat V/f kontrolörden daha yüksek performans göstermektedir. Artan hız aralığında asenkron motorun hız kontrolü sabit durum ve dinamik açıdan yüksek performans göstermiştir.

3.4. Doğal Alan Yönlendirme Denklemlerinin Elde Edilmesi

A fazı stator ve rotor gerilim denklemleri aşağıdaki gibi denklem 3.1 ile ifade edilebilir.

$$\frac{d\psi_{sa}}{dt} = V_{sa} - R_s \cdot i_{sa}$$

$$\frac{d\psi_{ra}}{dt} = V_{ra} - R_r \cdot i_{ra}$$

3.1

Stator ve rotor sargılarının sinüzoidal dağılımlı ve aralarında 120° faz farkı olduğu düşünülerek, stator ve rotor sargıları için akı ifadeleri denklem 3.2'deki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned}
 \psi_{sa} &= L_{s\sigma} i_{sa} + L_{ms} i_{sa} + L_{ms} \cos \frac{2\pi}{3} i_{sb} + L_{ms} \cos \frac{4\pi}{3} i_{sc} + L_{msr} \cos \theta_{er} i_{ra} + \\
 &L_{msr} \cos(\theta_{er} + \frac{2\pi}{3}) i_{rb} + \cos(\theta_{er} + \frac{4\pi}{3}) i_{rc} L_{msr} \\
 \psi_{ra} &= L_{r\sigma} i_{ra} + L_{ms} i_{ra} + L_{mr} \cos \frac{2\pi}{3} i_{rb} + L_{mr} \cos \frac{4\pi}{3} i_{rc} + L_{msr} \cos(-\theta_{er}) i_{sa} + \\
 &L_{msr} \cos(-\theta_{er} + \frac{2\pi}{3}) i_{sb} + L_{msr} \cos(-\theta_{er} + \frac{4\pi}{3}) i_{sc}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Stator ve rotor sargıları için akı denklemlerini daha yalın bir şekilde ifade etmek için denklem 3.3'deki uzay vektörü tanımlanabilir.

$$\begin{aligned}
 a &= e^{j\frac{2\pi}{3}} \\
 \text{Re}[a] &= \cos \frac{2\pi}{3} \\
 \text{Re}[a^2] &= \cos \frac{4\pi}{3} \\
 \text{Re}[a.e^{j\theta_{er}}] &= \cos(\theta_{er} + \frac{2\pi}{3}) \\
 \text{Re}[a^2.e^{j\theta_{er}}] &= \cos(\theta_{er} + \frac{4\pi}{3})
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Yukarıda tanımlanan uzay vektörleri kullanılarak, stator ve rotor a fazı için akı ifadeleri denklem 3.4'deki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}
 \psi_{sa} &= L_{s\sigma} i_{sa} + L_{ms} \text{Re}[i_{sa} + a i_{sb} + a^2 i_{sc}] + L_{msr} \text{Re}[(i_{ra} + a i_{rb} + a^2 i_{rc}) e^{j\theta_{er}}] \\
 \psi_{ra} &= L_{r\sigma} i_{ra} + L_{mr} \text{Re}[i_{ra} + a i_{rb} + a^2 i_{rc}] + L_{msr} \text{Re}[(i_{sa} + a i_{sb} + a^2 i_{sc}) e^{-j\theta_{er}}]
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Stator ve rotor sargısı için akım vektörleri 3.5'deki gibi tanımlanmıştır.

$$\begin{aligned}
 \vec{i}_s &= \frac{2}{3} (i_{sa} + a i_{sb} + a^2 i_{sc}) \\
 \vec{i}_r &= \frac{2}{3} (i_{ra} + a i_{rb} + a^2 i_{rc})
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

Denklem 3.5'in reel kısımları alınacak olursa denklem 3.6 elde edilebilir.

$$\begin{aligned}\operatorname{Re}[\vec{i}_s] &= \frac{2 \cdot \operatorname{Re}[i_{sa} + a i_{sb} + a^2 i_{sc}]}{3} = i_{sa} \\ \operatorname{Re}[\vec{i}_r] &= \frac{2 \cdot \operatorname{Re}[i_{ra} + a i_{rb} + a^2 i_{rc}]}{3} = i_{ra}\end{aligned}\quad 3.6$$

Akı denklemlerini daha yalın şekilde ifade etmek için rotor sargı büyüklükleri denklem 3.7'deki gibi stator tarafına indirgenebilir.

$$\begin{aligned}i_r' &= \frac{L_{msr}}{L_{ms}} i_r \\ \psi_{ra}' &= \frac{L_{ms} \psi_{ra}}{L_{msr}} \\ R_r' &= \left(\frac{L_{ms}}{L_{msr}} \right)^2 R_r \\ L_{r\sigma}' &= \left(\frac{L_{ms}}{L_{msr}} \right)^2 L_{r\sigma}\end{aligned}\quad 3.7$$

Denklem 3.5'deki uzay vektörleri ve stator tarafına indirgenmiş rotor değişkenleri kullanılarak akı denklemleri ifade edilecek olursa denklem 3.8 elde edilir.

$$\begin{aligned}\psi_{sa}' &= L_{s\sigma} \cdot \operatorname{Re}[\vec{i}_s] + L_m \cdot \operatorname{Re}[\vec{i}_s + \vec{i}_r \cdot e^{j\theta_{er}}] \\ \psi_{ra}' &= L_{r\sigma} \cdot \operatorname{Re}[\vec{i}_r] + L_m \cdot \operatorname{Re}[\vec{i}_r + \vec{i}_s \cdot e^{-j\theta_{er}}]\end{aligned}\quad 3.8$$

Denklem 3.1'deki stator ve rotor akıları yerine denklem 3.8 yazılırsa, denklem 3.9 ve 3.10 elde edilir.

$$\vec{V}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + \frac{d\vec{\psi}_s}{dt} = R_s \cdot \vec{i}_s + (L_{s\sigma} + L_m) \cdot \frac{d\vec{i}_s}{dt} + L_m \cdot \frac{d(\vec{i}_r \cdot e^{j\theta_{er}})}{dt}\quad 3.9$$

$$\vec{V}_r = R_r \cdot \vec{i}_r + \frac{d\vec{\psi}_r}{dt} = R_r \cdot \vec{i}_r + (L_{r\sigma} + L_m) \cdot \frac{d\vec{i}_r}{dt} + L_m \cdot \frac{d(\vec{i}_s \cdot e^{-j\theta_{er}})}{dt}\quad 3.10$$

Aynı işlemler rotor sargısı için de yapılırsa ve rotor gerilimi sıfır alınırsa stator ve rotor sargıları için denklem 3.15 elde edilir.

$$\begin{aligned} \vec{V}_{sk} &= R_s \cdot \vec{i}_{sk} + \frac{d\vec{\psi}_{sk}}{dt} + j \cdot \omega_k \cdot \vec{\psi}_{sk} \\ 0 &= R_r \cdot \vec{i}_{rk} + \frac{d\vec{\psi}_{rk}}{dt} + j \cdot (\omega_k - \omega_r) \cdot \vec{\psi}_{rk} \end{aligned} \quad 3.15$$

Stator gerilim denkleminde stator akısı yerine stator ve rotor akımı kullanılarak elde edilen denklem konulursa denklem 3.16 ve 3.17 elde edilir.

$$\vec{V}_{sk} = R_s \cdot \vec{i}_{sk} + \frac{d\left(L_s \cdot \vec{i}_{sk} + L_m \cdot \vec{i}_{rk}\right)}{dt} + j \cdot \omega_k \cdot \vec{\psi}_{sk} \quad 3.16$$

$$\vec{V}_{sk} = R_s \cdot \vec{i}_{sk} + L_s \cdot \frac{d\vec{i}_{sk}}{dt} + L_m \cdot \frac{d\vec{i}_{rk}}{dt} + j \cdot \omega_k \cdot \vec{\psi}_{sk} \quad 3.17$$

Motor modeli oluşturmak için hava aralığı akımı denklem 3.18'deki gibi ifade edilir.

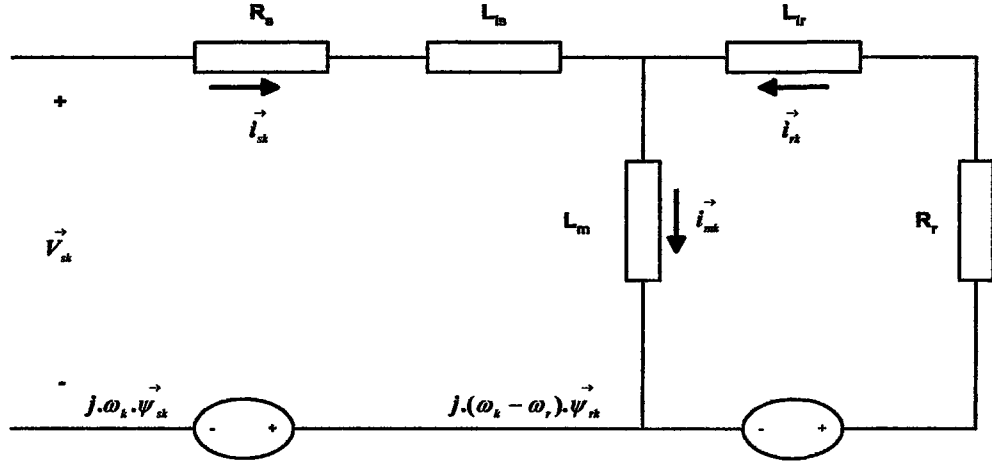
$$\vec{i}_{mk} = \vec{i}_{sk} + \vec{i}_{rk} \quad 3.18$$

Stator gerilim ifadesi denklem 3.19'daki gibi olur.

$$\vec{V}_{sk} = R_s \cdot \vec{i}_{sk} + L_s \cdot \frac{d\vec{i}_{sk}}{dt} + L_m \cdot \frac{d\vec{i}_{mk}}{dt} + j \cdot \omega_k \cdot \vec{\psi}_{sk} \quad 3.19$$

Rotor sargısı için kullanılan gerilim denklemlerinde rotor akısı yerine stator ve rotor akımlarından elde edilen ifadeler yazılırsa denklem 3.20 elde edilir.

$$\begin{aligned} 0 &= R_r \cdot \vec{i}_{rk} + \frac{d\left(L_r \cdot \vec{i}_{rk} + L_m \cdot \vec{i}_{sk}\right)}{dt} + j \cdot (\omega_k - \omega_r) \cdot \vec{\psi}_{rk} \\ 0 &= R_r \cdot \vec{i}_{rk} + L_r \cdot \frac{d\vec{i}_{rk}}{dt} + L_m \cdot \frac{d\vec{i}_{mk}}{dt} + j \cdot (\omega_k - \omega_r) \cdot \vec{\psi}_{rk} \end{aligned} \quad 3.20$$



Şekil 3.3. Motor T eşdeğer devresi

Stator ve rotor sargısı için gerilim denklemleri kullanılarak şekil 3.3'deki motor modeli elde edilir. Daha basit bir motor modeli elde etmek için mevcut olan motor modeli ters [eşdeğer devreye dönüştürülebilir. Bu dönüşümü elde etmek için denklem 3.21 kullanılabilir.

$$\vec{\psi}_R = x \cdot \vec{\psi}_{rk}$$

$$\vec{i}_R = \frac{\vec{i}_{rk}}{x}$$

$$x = \frac{L_m}{L_r}$$

$$L_M = x \cdot L_m$$

$$R_R = x^2 \cdot R_r \quad 3.21$$

$$\vec{\psi}_{rk}' = L_r \cdot \vec{i}_{rk}' + L_m \cdot \vec{i}_s' \quad 3.22$$

Denklem 3.22'deki rotor akımı yerine $x \cdot \vec{i}_r$ yazılırsa denklem 3.23 elde edilir.

$$\vec{\psi}_{rk}' = L_r \cdot \vec{i}_r' \cdot x + L_m \cdot \vec{i}_s' = (\vec{i}_R + \vec{i}_s) \cdot L_m \quad 3.23$$

Denklem 3.23'ün her iki tarafı x ile çarpılırsa denklem 3.24 elde edilir.

$$x \cdot \vec{\psi}_{rk}' = x \cdot (\vec{i}_R + \vec{i}_s) \cdot L_m$$

$$\vec{\psi}_R = L_M (\vec{i}_R + \vec{i}_s) \quad 3.24$$

Denklem 3.15'in her iki tarafı x ile çarpılırsa denklem 3.25 bulunur.

$$0 = x.R_r \cdot \vec{i}_r + \frac{d(x.\vec{\psi}_r)}{dt} + j.(\omega_k - \omega_r).x.\vec{\psi}_r \quad 3.25$$

Denklem 3.25'deki rotor akımı yerine $x.i_R$ yazılırsa denklem 3.26 elde edilir.

$$0 = R_R \vec{i}_R + \frac{d\vec{\psi}_R}{dt} + j.(\omega_k - \omega_r)\vec{\psi}_R \quad 3.26$$

Denklem 3.26'daki ψ_R yerine denklem 3.24'deki ifade yazılırsa denklem 3.27 elde edilir.

$$0 = R_R \vec{i}_R + L_M \cdot \frac{d(\vec{i}_R + \vec{i}_s)}{dt} + j.(\omega_k - \omega_r).\vec{\psi}_R \quad 3.27$$

Stator gerilim ifadesi denklem 3.21 kullanılarak düzenlenecek olursa denklem 3.28 elde edilir

$$\vec{V}_{sk} = R_s \vec{i}_{sk} + \frac{d\vec{\psi}_{sk}}{dt} + j.\omega_k.\vec{\psi}_{sk}$$

$$\vec{V}_{sk} = R_s \vec{i}_{sk} + \frac{d(L_s \vec{i}_{sk} + L_m \vec{i}_r)}{dt} + j.\omega_k.\vec{\psi}_{sk} \quad 3.28$$

Rotor akımı yerine $x.i_R$ konursa denklem 3.29 elde edilir.

$$\vec{V}_{sk} = R_s \vec{i}_{sk} + L_s \frac{d\vec{i}_{sk}}{dt} + L_M \cdot \frac{d\vec{i}_R}{dt} + j.\omega_k.\vec{\psi}_{sk} \quad 3.29$$

Denklem 3.29'daki L_M yerine aşağıdaki ifadeler yazılırsa denklem 3.30 elde edilir. Aşağıdaki ifadelerdeki σ kaçak akı faktörüdür.

$$L_M = x \cdot L_m = \frac{L_m}{L_r} J_m = \frac{L_m^2}{L_r}$$

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s \cdot L_r}$$

$$L_M = \frac{L_m^2}{L_r} = (1 - \sigma) \cdot L_s$$

Motor modelini oluştururken hava aralığı akımı $i_{mk} = i_{sk} + i_R$ şeklinde tanımlanır. Rotor akımı i_R yerine $(i_{mk} - i_{sk})$ yazılırsa denklem 3.30 elde edilir

$$\vec{V}_{sk} = R_s \vec{i}_{sk} + (L_s - L_M) \frac{d\vec{i}_{sk}}{dt} + L_M \frac{d\vec{i}_{mk}}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_{sk} \quad 3.30$$

Aşağıdaki denklem 3.30'da yerine yazılırsa denklem 3.31 elde edilir

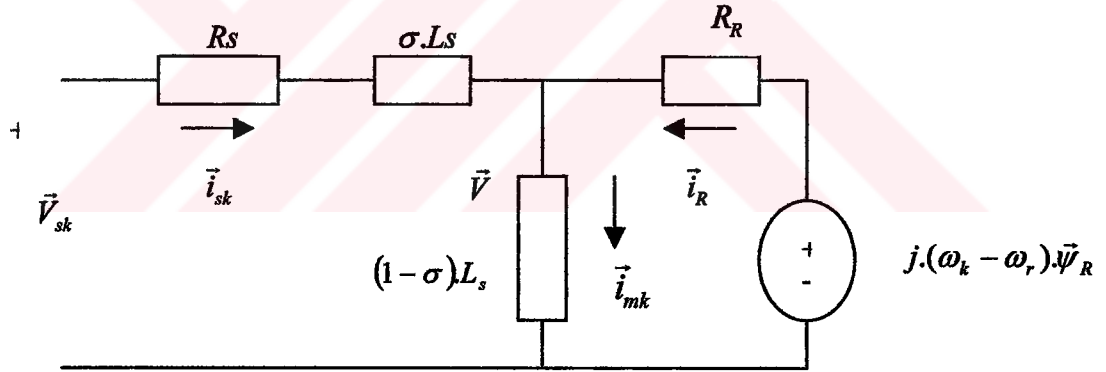
$$L_s - L_M = L_s - (1 - \sigma)L_s = \sigma L_s$$

$$\vec{V}_{sk} = R_s \vec{i}_{sk} + \sigma L_s \frac{d\vec{i}_{sk}}{dt} + L_M \frac{d\vec{i}_{mk}}{dt} + j\omega_k \vec{\psi}_{sk} \quad 3.31$$

Aynı şekilde rotor gerilim ifadesi düzenlenirse denklem 3.32 elde edilir.

$$0 = R_R \vec{i}_R + (1 - \sigma)L_s \frac{d\vec{i}_{mk}}{dt} + j(\omega_k - \omega_r) \vec{\psi}_R \quad 3.32$$

Elde edilen gerilim denklemleri motor modelini oluşturmak için kullanılırsa Şekil 3.4 elde edilir.



Şekil 3.4. Motor ters eşdeğer devresi

Motor akısı yerine stator açısal hızı tahmin edilir. Tahmin edilen stator açısal hızının integrali alınır. Böylece akı açısı (θ_s) elde edilir.

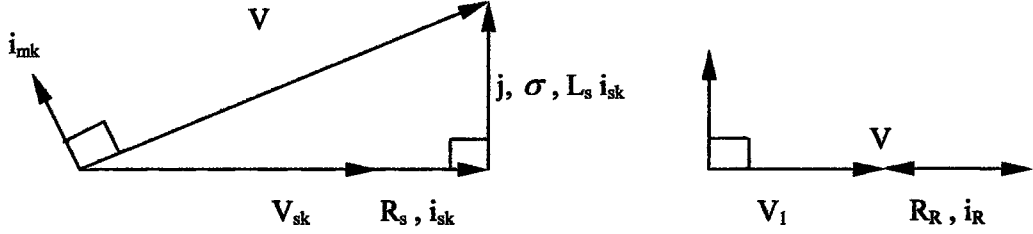
Bilindiği gibi motor moment ifadesi denklem 3.33'deki gibidir.

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \vec{\psi}_m \times \vec{i}_R$$

$$\vec{\psi}_m = (1 - \sigma)L_s \vec{i}_{mk} \times \vec{i}_R \quad 3.33$$

Motor modelindeki hava aralığı akısı moment denkleminde yazılırsa denklem 3.34 elde edilir.

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot (1 - \sigma) \cdot L_s \cdot \vec{i}_{mk} \times \vec{i}_R \quad 3.34$$



Şekil 3.5. Motor ters eşdeğer devresinin vektör diyagramı

Denklem 3.34'deki $(\vec{i}_{mk} \times \vec{i}_{sk})$ 'yı elde etmek için iki vektör arasındaki açının bilinmesi gerekir. Şekil 3.5'den açı bulunabilir. Açı 90° 'dir.

Aşağıdaki ifade denklem 3.34'de yerine yazılırsa denklem 3.35 elde edilir

$$(1 - \sigma) \cdot L_s = \left(1 - \left(1 - \frac{L_m^2}{L_r}\right)\right) = \frac{L_m^2}{L_r}$$

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{L_m^2}{L_r} \cdot |\vec{i}_{mk}| \cdot |\vec{i}_R| \quad 3.35$$

Buradaki moment akım bileşeni $|\vec{i}_R|$ yerine i_{sq} akımı, akıdan gelen akım bileşeni $|\vec{i}_{mk}|$ yerine i_{sd} akımı yazılabilir. Bu akım dönüşümleri ve şekil 3.4'deki elektrik devreleri denklemleri kullanılarak çözüm yapılırsa i_{sd} akımı denklem 3.36'daki gibi elde edilir.

$$i_{sd} = \frac{\vec{V}}{j \cdot \omega_s \cdot (1 - \sigma) \cdot L_s} \quad 3.36$$

Denklem 3.36 tekrar düzenlenirse denklem 3.37 elde edilir.

$$i_{sd} = \frac{|\vec{V}|}{\omega_s \cdot (1 - \sigma) \cdot L_s} \quad 3.37$$

ω_s , denklem 3.37'den aşağıdaki gibi elde edilir.

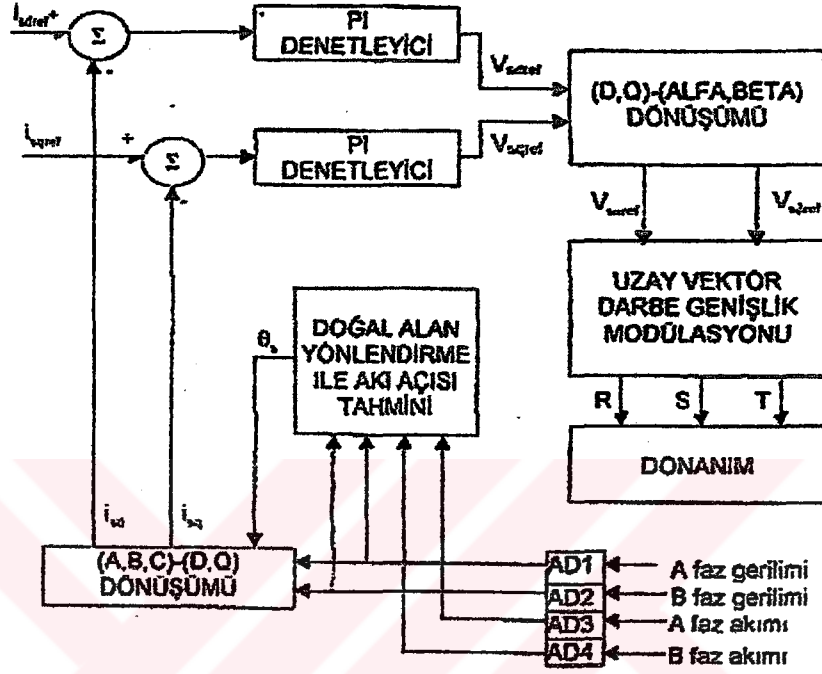
$$\omega_s = \frac{|\vec{V}|}{i_{sd} \cdot (1 - \sigma) \cdot L_s} \quad 3.38$$

Denklemler 3.38 kullanılarak stator akısının açısı bulunabilir.

$$\theta_s = \int \omega_s dt$$

3.39

Doğal alan yönlendirmede akı açısı (θ_s) tahmini, denklemler 3.39'dan yararlanılarak yapılmaktadır.



Şekil 3.6. Doğal alan yönlendirme ile vektör kontrolü [21]

4. YAPAY SİNİR AĞLARI

4.1. Giriş

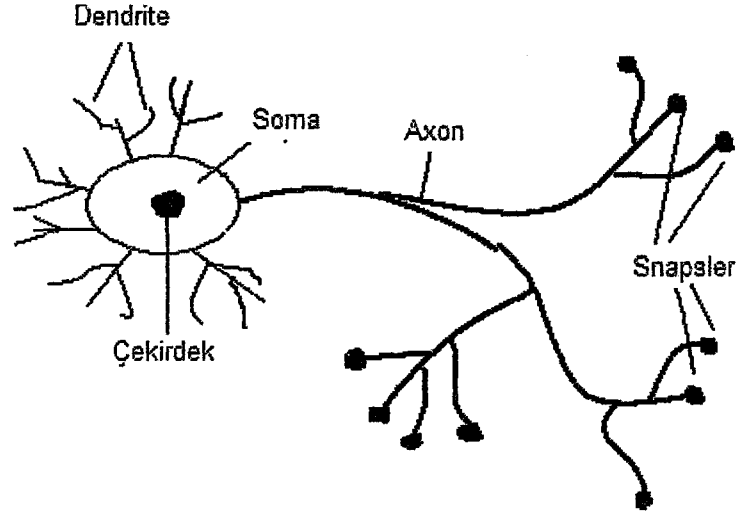
Yapay sinir ağı kavramı, insan beyninin nasıl çalıştığının merak edilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Matematiksel olarak yazılamayan, çözümü yapılamayan ve karmaşık hesaplama gerektiren problemlerin çözülebilmesi için dilsel ve sezgisel yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Hopfield [22,23] tarafından yapılan çalışmalar ile yapay sinir ağlarının genelleştirilebileceği ve özellikle geleneksel bilgisayar programlama ile çözülmesi zor olan problemlere çözüm üretilebileceğini gösterdi. Yapay zeka çalışmaları sezgisel yöntemlerin geliştirilmesini sağlamıştır. Yapay sinir ağları da yapay zeka yöntemlerinden biridir.

İnsanın düşünme ve hesaplama mekanizmasını taklit etmek için insanın sinir sistemini taklit etmek gerekir. İnsanın düşünme sistemi beyin ve sinir sisteminden meydana gelmektedir. Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir [24].

Yapay sinir ağlarının günlük hayatta kullanım yerleri vardır. Tıp alanında; kanserin saptanmasında, kan analizlerinde, kalp krizi tedavisinde, ekonomi alanında; kredi başvurularını değerlendirmede, kredi kartı hilelerini saptamada, mühendislik alanında; robot teknolojisinde, güvenlik sistemlerinde ve mekanik parçaların ömürlerinin tespitinde kullanılmaktadır.

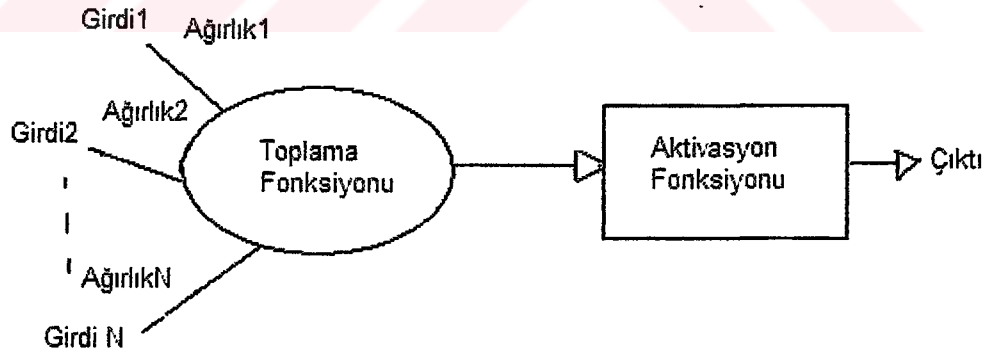
4.2. Yapay Sinir Ağlarının Yapısı

Yapay sinir ağı, insan sinir sistemi taklit edilerek ortaya çıktığı için insanın sinir sistemini incelemek gerekir. İnsan sinir sistemi birçok sinir hücresinden oluşmaktadır. Bir sinir hücresi milyonlarca sinir hücresi ile iletişim kurmaktadır. Sinir hücresi öğrendikçe hücreler arası bağlantıları artmaktadır.



Şekil 4.1. Bir sinir hücresinin yapısı

Şekil 4.1'deki snapsler, sinir hücreleri arasındaki iletişimi sağlarlar. Snapsler'daki bilgiler soma'ya gider. Buradaki bilgiler de axon adı verilen yollarla dendrite'lere gönderilir. Dendrite'ler, bilgileri snapsler'e ileterek diğer sinir hücrelerine gönderilmesini sağlarlar. İnsan sinir sisteminde bilgi alışverişi gerçekleşmiş olur. İnsan sinir hücresinin yapısından yola çıkılarak bir yapay sinir hücresinin yapısı çizilebilir.



Şekil 4.2. Bir yapay sinir hücresinin yapısı

Girdiler, yapay sinir hücresine dış ortamdan ya da başka sinir hücrelerinden gelen bilgilerdir.

Ağırlıklar, hücreye giren bilginin hücredeki etkisini belirler.

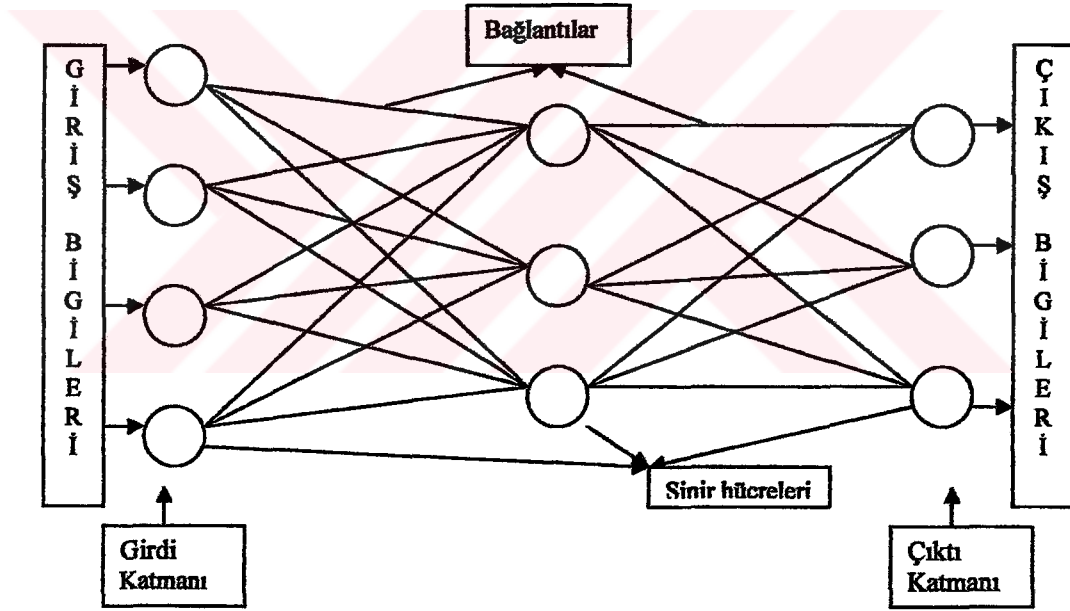
Toplama fonksiyonu hücreye gelen net girdiyi hesaplar. Bu hesap için farklı toplama fonksiyonları vardır. Çarpım, minimum, maksimum, çoğunluk ve ağırlıklı toplam fonksiyonları olarak sıralanabilir.

Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonundan elde edilen net girdiyi işlemde geçirerek hücre çıktısını belirler. Sigmoid, hiperbolik tanjant, doğrusal, eşik değer, sinüs ve step ağırlık fonksiyonları vardır.

Hücre çıktısı aktivasyon fonksiyonundan elde edilen, dış ortama ya da farklı bir yapay sinir hücresine gönderilen değerdir.

Yapay sinir hücreleri birleşerek yapay sinir ağını oluştururlar. Yapay sinir ağında üç katman vardır.

- 1) Girdi katmanı: Buradaki sinir hücreleri dış ortamdaki bilgileri alıp ara katmanlara gönderir.
- 2) Ara katmanlar: Girdi katmanından gelen bilgileri işleyerek çıktı katmanına gönderir.
- 3) Çıktı katmanı: Ara katmandan gelen bilgileri işleyerek dış ortama gelen bilgilere göre uygun çıktı bilgisini üretir.



Şekil 4.3. Yapay sinir ağı katmanları

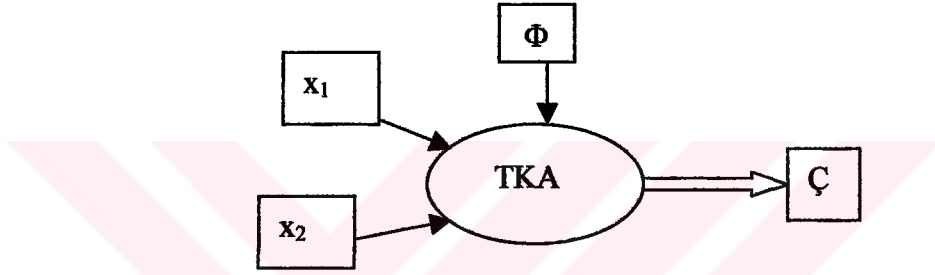
4.3. Yapay Sinir Ağı Modelleri

Yapay sinir hücrelerinin bağlanması ile oluşan ağ topolojisi, seçilen toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu, öğrenme yöntemi ve öğrenme kuralı kullanılacak ağı modelini belirler. En çok kullanılan modeller aşağıda sıralanmıştır:

- 1) Tek katmanlı algılayıcı modeli
- 2) Çok katmanlı algılayıcı modeli
- 3) Doğrusal vektör parçalama modeli (LVQ)
- 4) Adaptif rezonans teorisi modeli (ART)
- 5) Kendi kendini organize eden model (SOM)
- 6) Elman ağ modeli

4.3.1. Tek Katmanlı Algılayıcı Modeli

Tek katmanlı algılayıcı modeli doğrusal problemlerin çözümünde kullanılabilir. Girdi ve çıktı katmanları olmak üzere iki katmandan meydana gelmektedir. En basit tek katmanlı algılayıcıda iki girdi ve bir çıktı vardır. Öğretmenli öğrenme yöntemi kullanılır.



Şekil 4.4. İki giriş ve bir çıkıştan oluşan tek katmanlı algılayıcı modeli

x_1 : Birinci giriş bilgisi, x_2 : İkinci giriş bilgisi, w_1 : Birinci girişin ağırlık değeri, w_2 : İkinci girişin ağırlık değeri, Φ : Eşik değeri, $\Ç$: Çıkış bilgisi, TKA: Tek katmanlı algılayıcı modeli

Kullanılan toplama fonksiyonu ağırlıklı toplama fonksiyonudur. Çıktı ise aşağıdaki denklemdedir.

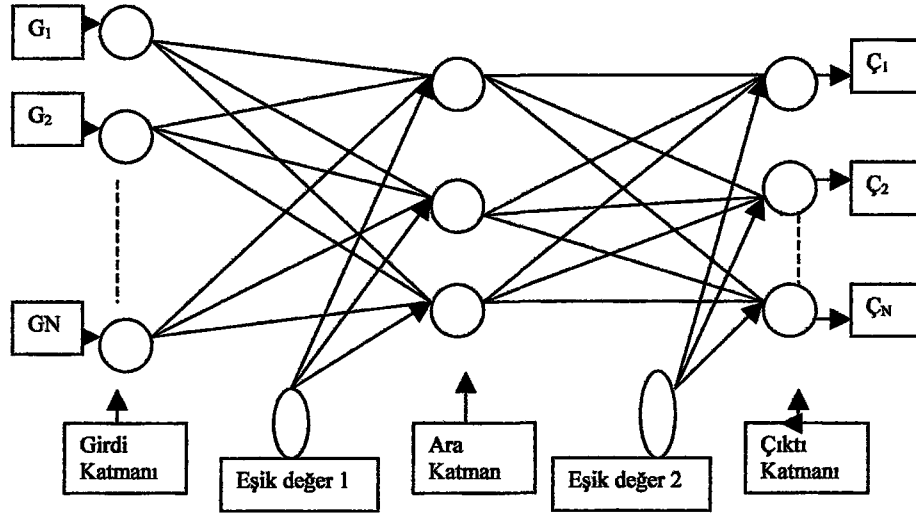
$$\Ç = f\left(\sum_{i=1}^m w_i x_i + \Phi\right) \quad \text{Eğer } \Ç > 0 \text{ ise } f(g) = 1, \text{ diğer durumlarda } f(g) = -1 \text{ dir.}$$

$$w_1 x_1 + w_2 x_2 + \Phi = 0$$

4.3.2. Çok Katmanlı Algılayıcı Modeli

Çok katmanlı algılayıcı modeli doğrusal olmayan problemleri çözebilmektedir. Doğrusal olmayan iki girişli veya problemi doğrusal olmayan bir problemdir. Minsky [25] özellikle basit algılayıcı modelinin bu probleme çözüm üretmediğini göstermiştir. Bu problemi çözmek amacıyla Rumelhart ve arkadaşları [26] tarafından çok katmanlı algılayıcı modeli geliştirilmiştir.

Çok katmanlı algılayıcı modelinde öğretmenli öğrenme yöntemine göre öğrenme gerçekleşir.



Şekil 4.5. Çok katmanlı algılayıcı modeli

Dış ortamdaki bilgiler girdi katmanından yapay sinir ağına girerler. Daha sonra ara katmanda işlenip çıktı katmanına giderler. Girdilere karşılık oluşan çıktılar dış ortama verilirler.

Ağın çalışma prensibi aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Örneklerin toplanması: Ağın eğitilmesi ve ağın test edilmesi için daha önceden gerçekleşmiş örnekler toplanır.
- Topolojik yapının oluşturulması: Girdi, ara ve çıktı katmanındaki elemanların sayısının tespiti yapılır.
- Öğrenme parametrelerinin tespiti: Öğrenme katsayısının, toplama ve aktivasyon fonksiyonlarının seçimi yapılır.
- Ağırlık değerlerinin bulunması: Hücrelerin ağırlık değerleri ve eşik değerleri başlangıçta rasgele belirlenir. Öğrenme esnasında en uygun değeri ağ kendi belirler.
- Öğrenme setindeki örneklerin ağı gösterilmesi: Öğrenme esnasında uygun değerlerin tespiti için gereklidir.
- İleri hesaplamanın yapılması: Her giriş için çıktı değerleri bulunur.
- Gerçek çıktı ile istenen çıktının karşılaştırılması: Hata oranı hesaplanır.
- Ağırlıkların değiştirilmesi: Geri hesaplama ile hata oranının azalması için ağırlıklar değiştirilir.

Hata oranı istenen seviyeye düşünceye kadar yukarıdaki aşamalar tekrarlanır.

4.3.3 Doğrusal Vektör Parçalama Modeli (LVQ)

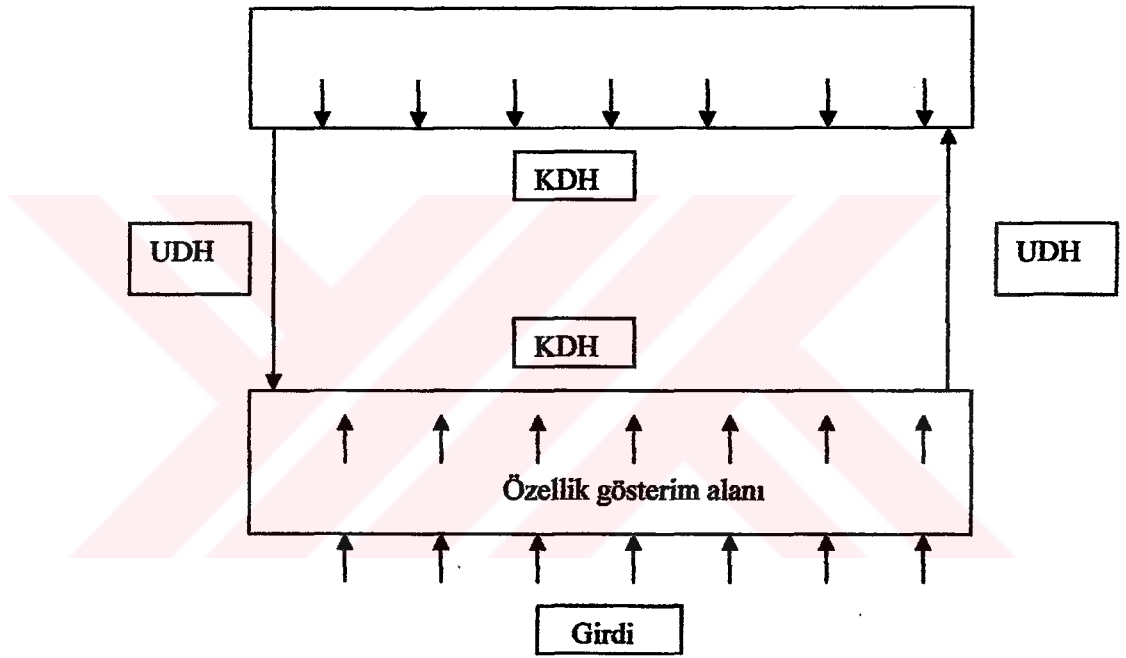
Destekleyici öğrenme yöntemini kullanır. Çalışma prensibi aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Örneklerin tespiti

- Ağın topolojisinin oluşturulması
- Öğrenme parametrelerinin tespiti
- Ağırlıkların başlangıç değerlerinin bulunması
- Öğrenme setinden seçilen örneğin ağa tanıtılması
- Yarışı kazanan yapay sinir hücresinin tespiti
- Ağırlıkların değiştirilmesi

4.3.4 Adaptif Rezonans Teorisi Modeli (ART)

Öğretmensiz öğrenme yöntemini kullanır.



Şekil 4.6. Adaptif rezonans teorisi modelinin ağ yapısı

KDH: Bilgilerin geçici olarak saklandığı kısa dönemli hafızadır.

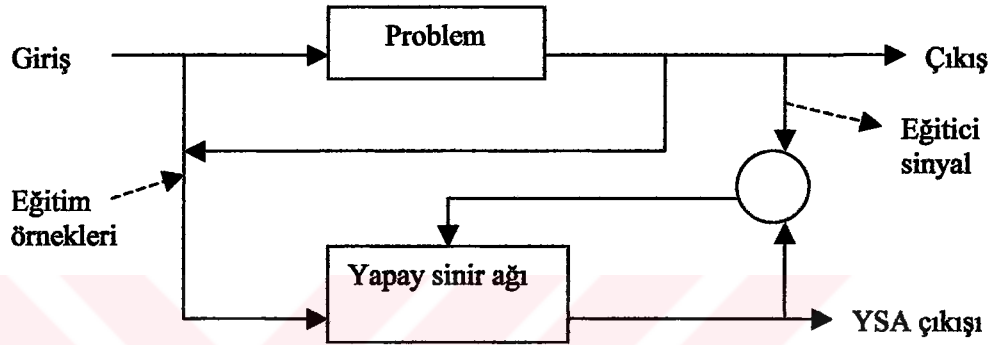
UDH: Bilgilerin kalıcı olarak saklandığı uzun dönemli hafızadır.

Alt katmanda girdilerin özellikleri incelenerek bu katmanın aktivasyonu tespit edilir. UDH'daki bağlantı değerleri ile gelen bilgiler kategorilere ayrılarak üst katmana gönderilir. Üst katmandaki sınıflandırma ile alt katmandaki sınıflandırma birbiri ile eşleştirilir. Girdi sınıfa uyuyorsa o kategoride sınıflandırılır. Uymadığı takdirde ya yeni bir sınıf oluşturulur ya da o girdinin sınıflandırılması yapılmaz.

4.4. Yapay Sinir Ağı Öğrenme Yöntemleri

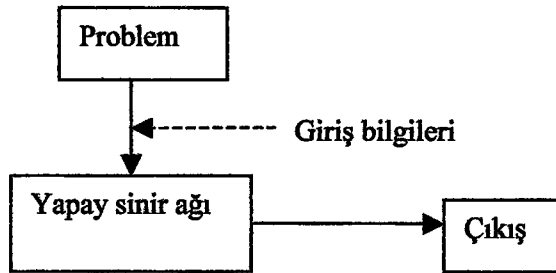
Öğretmenli (eğitici) öğrenme, öğretmensiz (eğitici) öğrenme ve destekleyici öğrenme olmak üzere üç çeşittir.

1) Öğretmenli öğrenme: Problemin davranışlarını içeren eğitici sinyal ile giriş bilgileri eğitim için örnek setini oluşturur. Gerçek çıkış ile eğitici çıkış arasındaki hata sinyaline göre sinir hücrelerinin ağırlıkları değiştirilir. Blok diyagramı aşağıdaki gibidir.



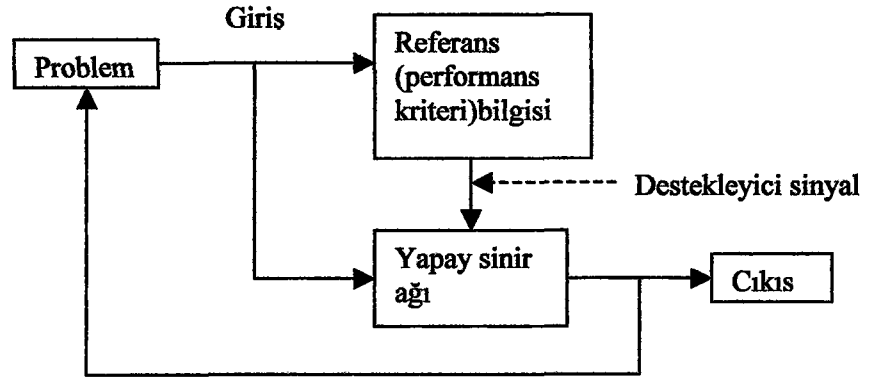
Şekil 4.7. Öğretmenli (eğitici) öğrenme yönteminin blok diyagramı

2) Öğretmensiz öğrenme: Ağın öğrenmesi için gereken örnek seti mevcut değildir. Ulaşılacak istenen amaca uygun bir şekilde ağırlıklar tespit edilir. Blok diyagramı aşağıdaki gibidir.

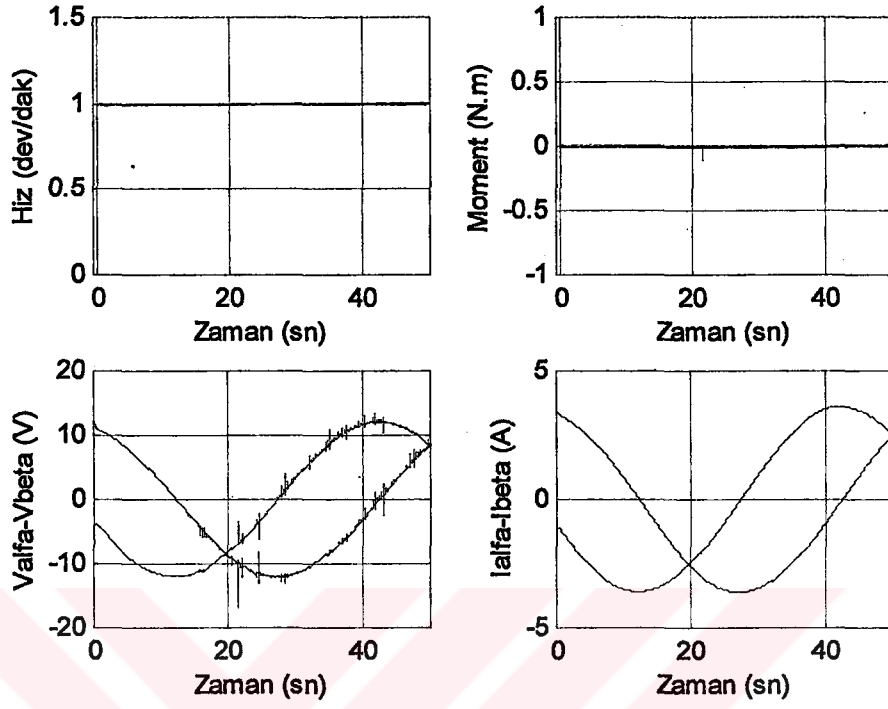


Şekil 4.8. Öğretmensiz öğrenme yönteminin blok diyagramı

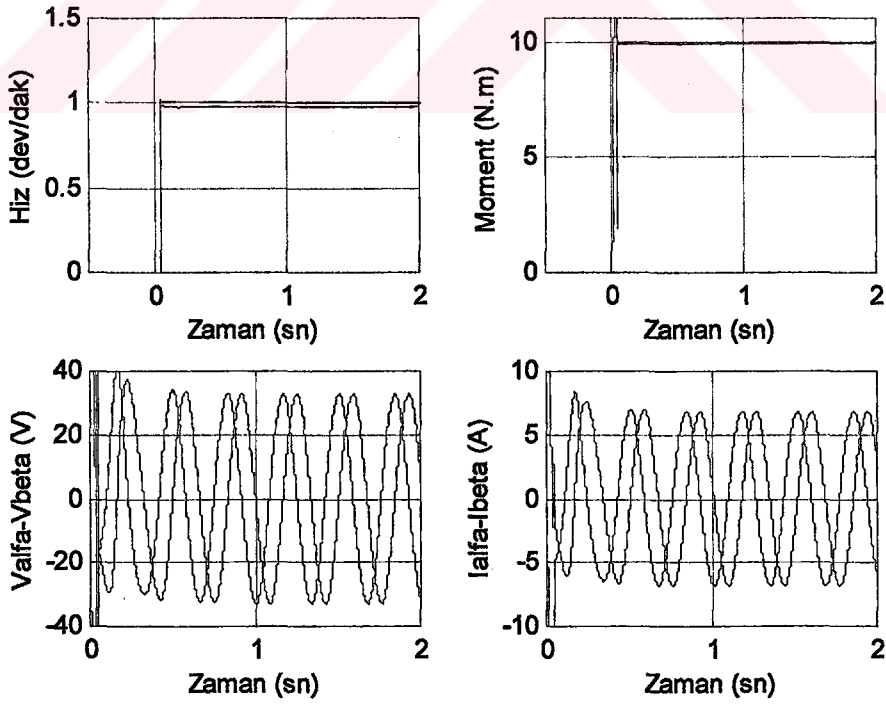
3) Destekleyici öğrenme: Öğretmensiz öğrenmedeki gibi eğitici sinyal yoktur. Ağın çıktısının doğru olup olmadığını kontrol eden referans bilgisine göre ağırlıklar değiştirilir.



Şekil 4.9. Destekleyici öğrenme yönteminin blok diyagramı

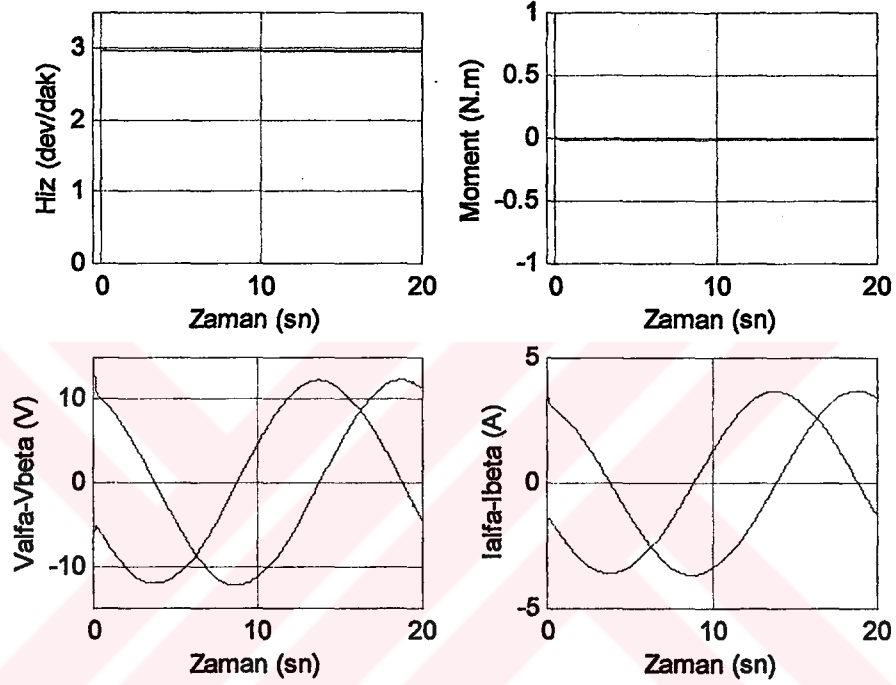


Şekil 5.2. 1 dev/dak'lık hız için boşa çalışma



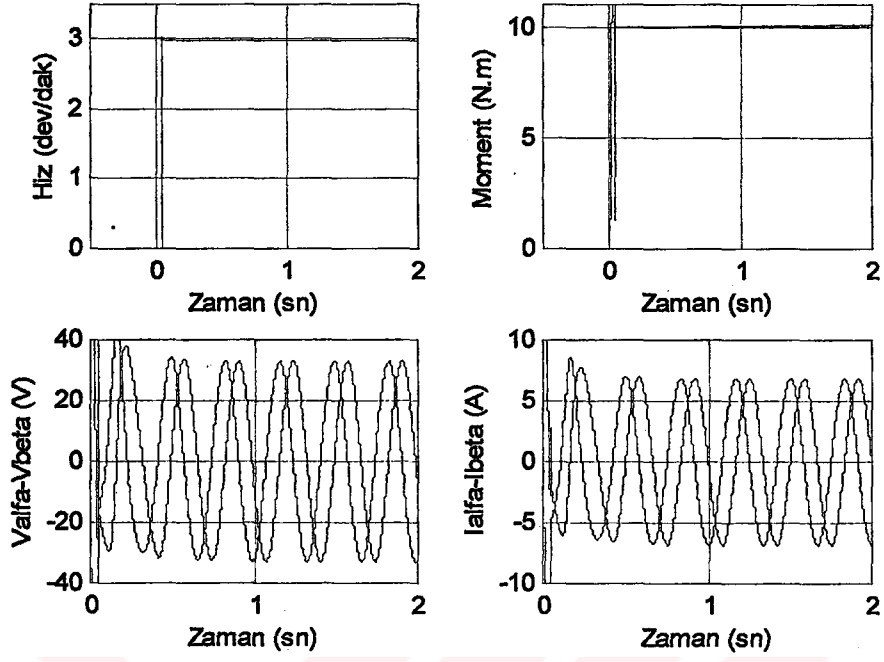
Şekil 5.3. 1 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma

Şekil 5.2'deki grafikler 1 dev/dak'lık bir hız için elde edilmiştir. Bu hızda motorun kontrolü amaçlanmıştır. Gerçek hızın, istenen yani referans olarak girilen hızı düzgün bir şekilde takip ettiği görülmüştür. Yük momenti sıfır olduğu için moment sıfırda kalmıştır. Akım ve gerilim ise düzgün birer sinüs olarak elde edilmiştir. Şekil 5.3'deki grafikte gerçek hız, çok az bir farkla referans hızı takip etmiştir. Bunun sebebi tam yükte çalışılmış olmasıdır. Tam yük çalışma durumunda asenkron motorun momenti 10 ntm'dir.

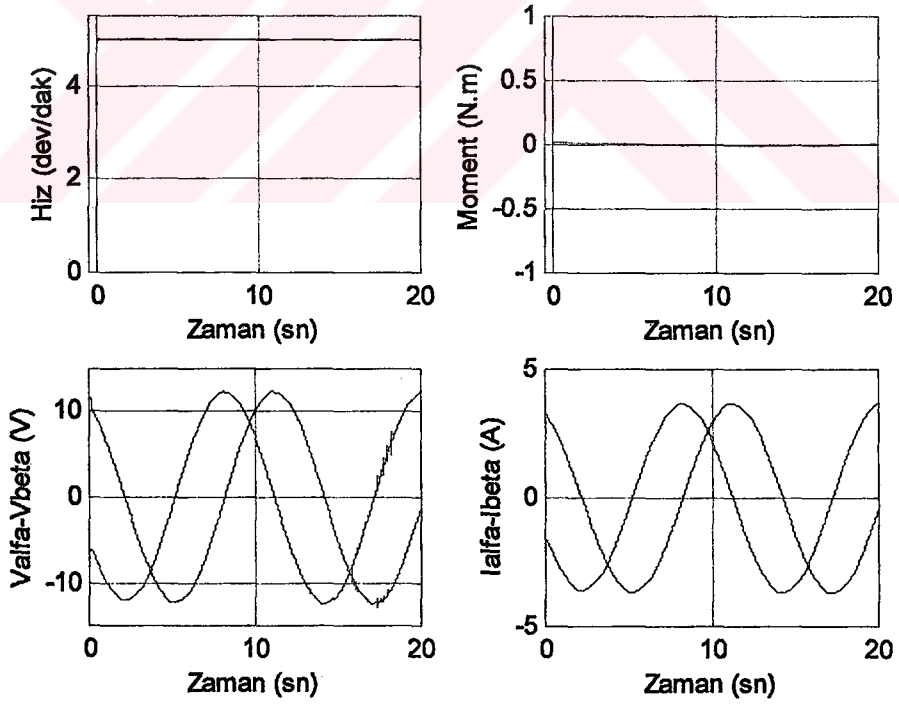


Şekil 5.4. 3 dev/dak'lık hız için boşa çalışma

Şekil 5.4'de referans hız olarak 3 dev/dak girilmiştir. Boşa yani yük momenti sıfır iken akım, moment, gerilim ve hız grafikleri elde edilmiştir. Gerçek hız fark edilmeyecek kadar az bir hata ile referans hızı takip etmiştir.

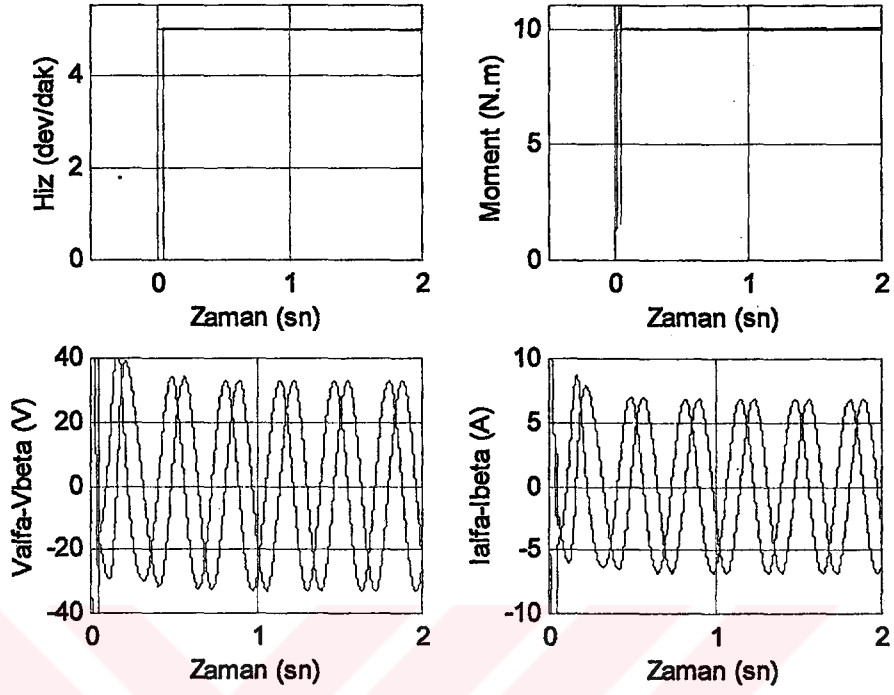


Şekil 5.5. 3 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma



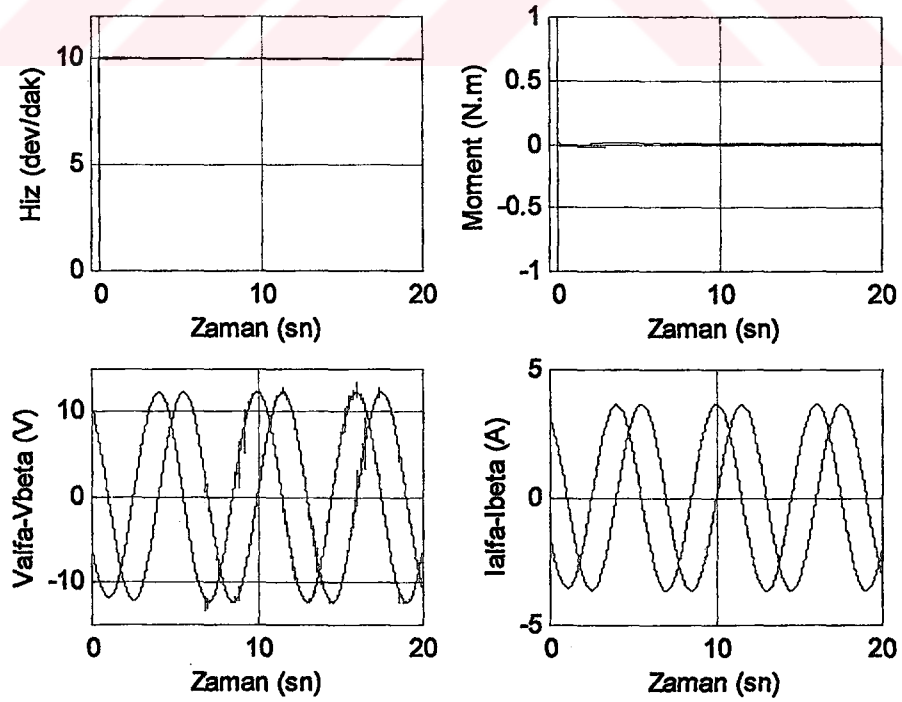
Şekil 5.6. 5 dev/dak'lık hız için boşa çalışma

Şekil 5.6'da referans hız değerinin motor milinde yük yokken tam olarak yakalanabildiği görülmüştür.

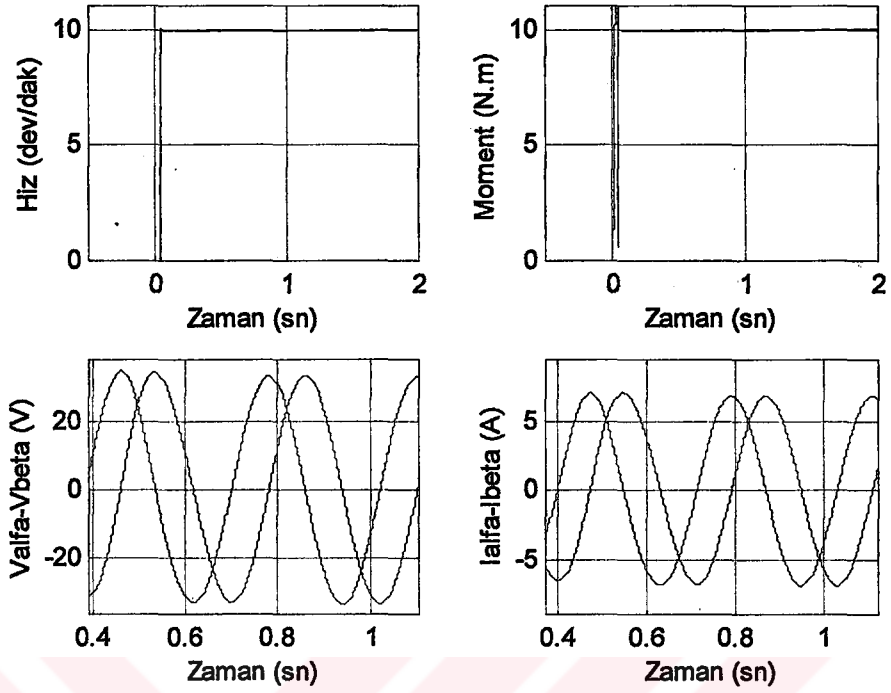


Şekil 5.7. 5 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma

Şekil 5.7'den de görüldüğü gibi motorun tam yükte yüklenme durumunda da referans hız değeri olan 5 dev/dak tam olarak yakalanmaktadır.

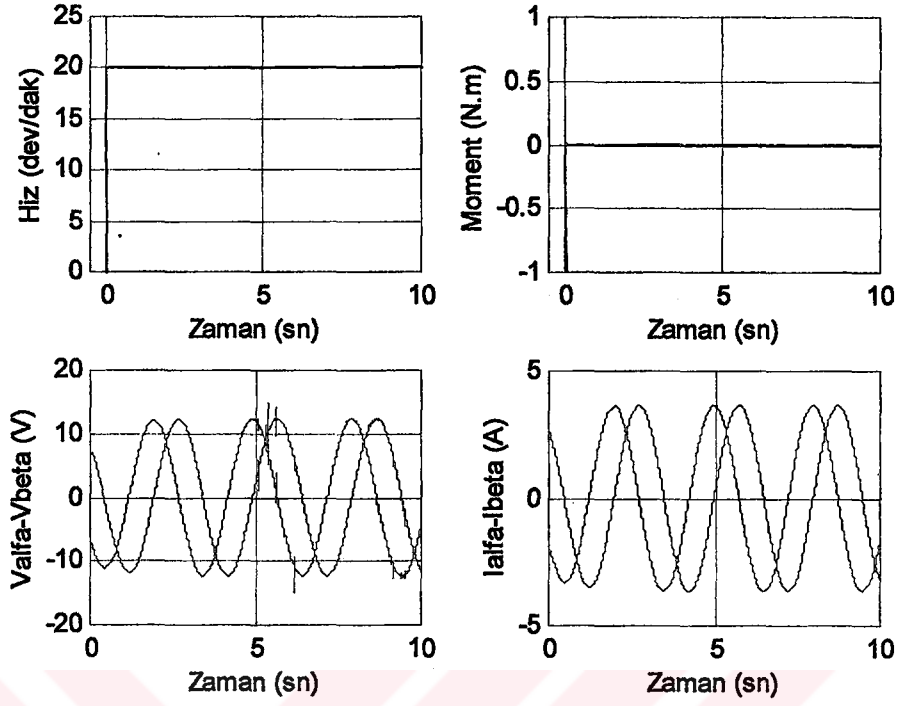


Şekil 5.8. 10 dev/dak'lık hız için boşta çalışma

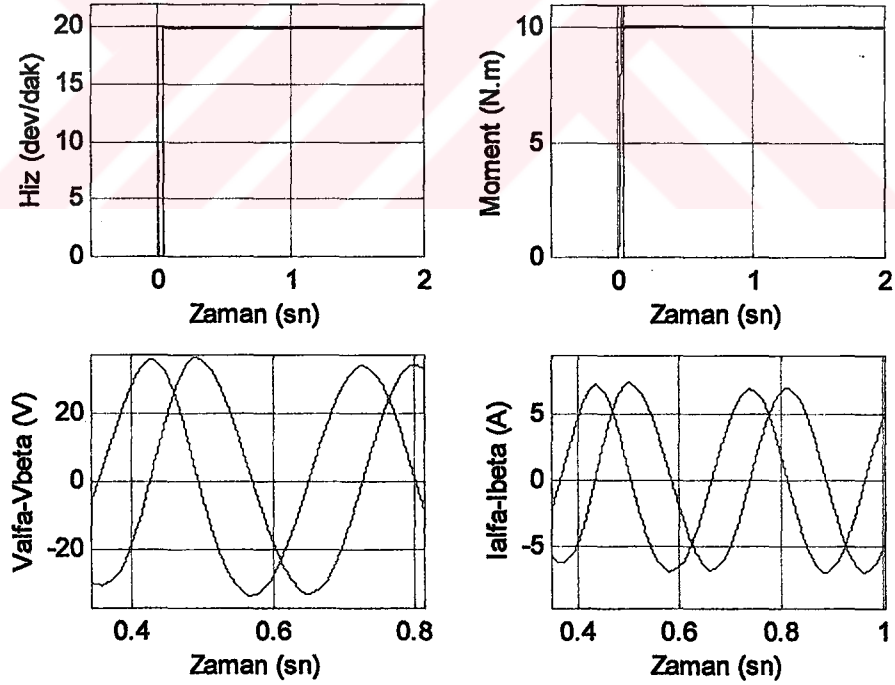


Şekil 5.9. 10 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma

Şekil 5.8 ve 5.9'dan görüldüğü gibi 10 dev/dak'lık referans hızda da motorun bu değeri tam olarak yakaladığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar düşük hızlarda doğal alan yönlendirmeli kontrol yönteminin duyargasız vektör kontrol sistemleri için oldukça iyi bir alternatif olduğunu göstermiştir. Hem tam yükte hem de boşta çalışma durumunda diğer kontrol yöntemlerine göre düşük hızlarda çalışmada üstünlük sağlamıştır.

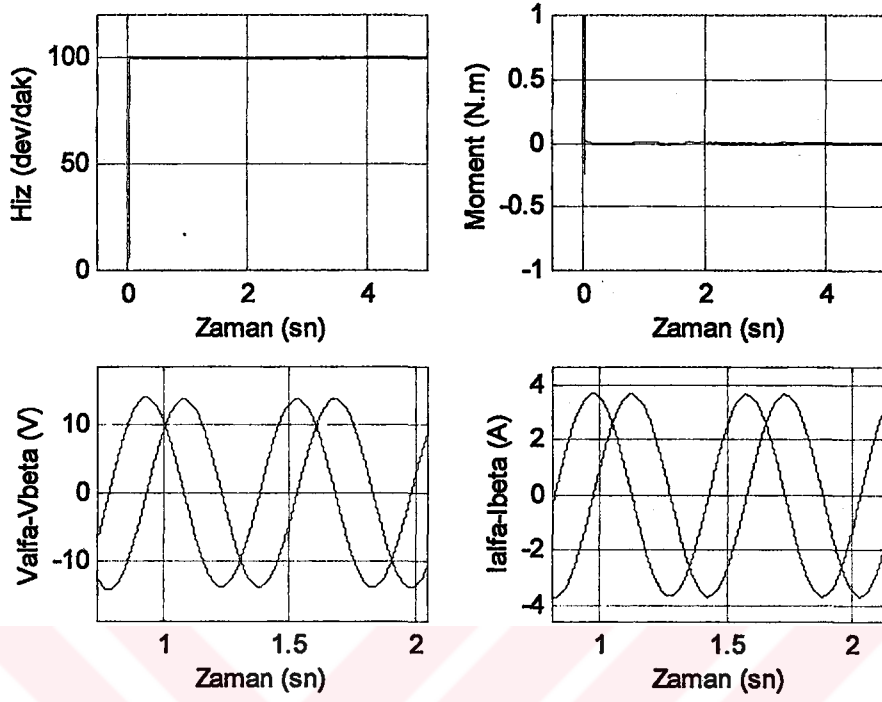


Şekil 5.10. 20 dev/dak'lık hız için boşa çalışma

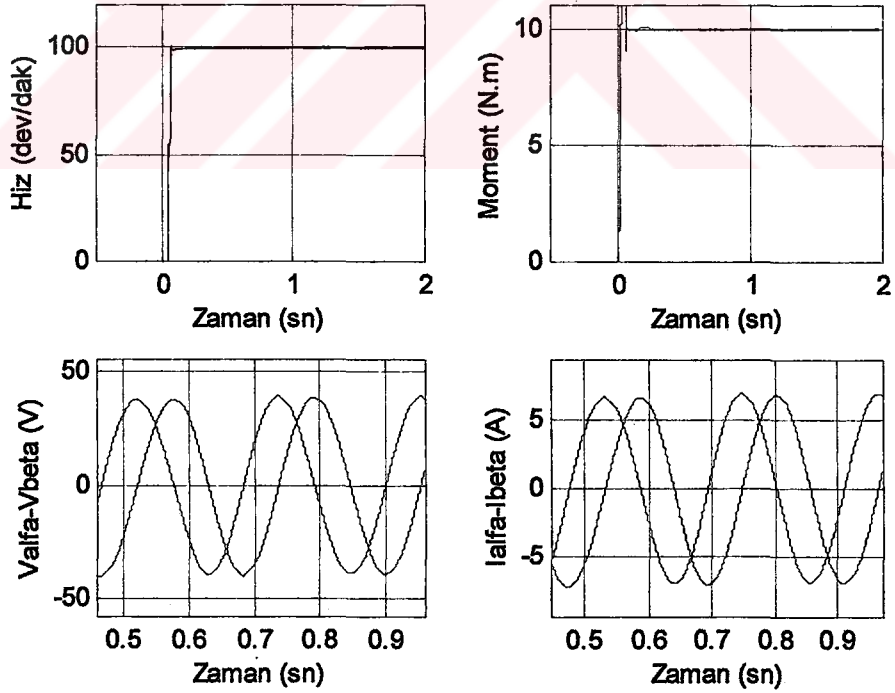


Şekil 5.11. 20 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma

Şekil 5.10 ve 5.11'de ise referans hız 20 dev/dak olarak girilmiştir. Hız grafiğinde iki hız elde edilmiş olmasına rağmen tek bir hız çizilmiş gibi durmaktadır. Performansının yüksek olduğunu göstermiştir.

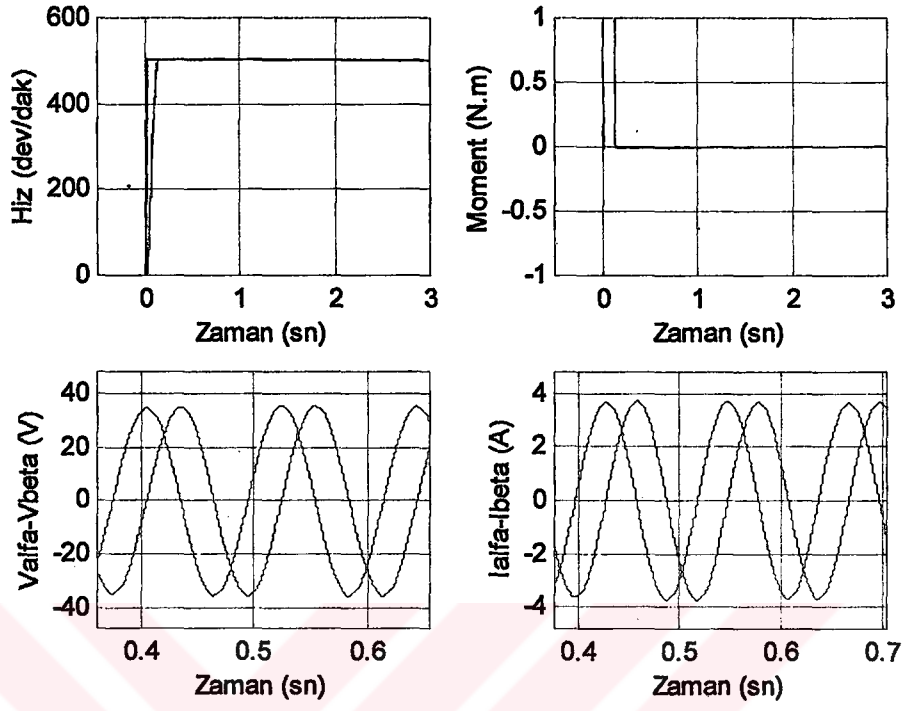


Şekil 5.12. 100 dev/dak'lık hız için boşa çalışma

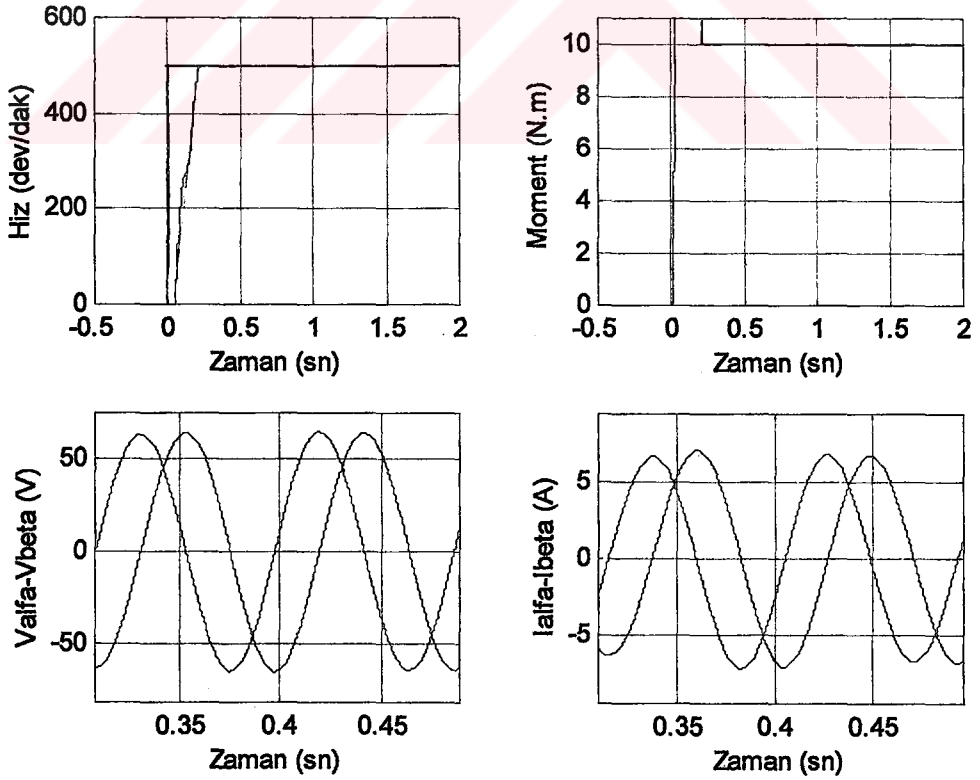


Şekil 5.13. 100 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma

Şekil 5.12 ve 5.13'de hız bir önceki hıza göre 5 kat arttırılmıştır. Düşük hızlarda gösterdiği yüksek performans bu hız için de değişmemiştir.

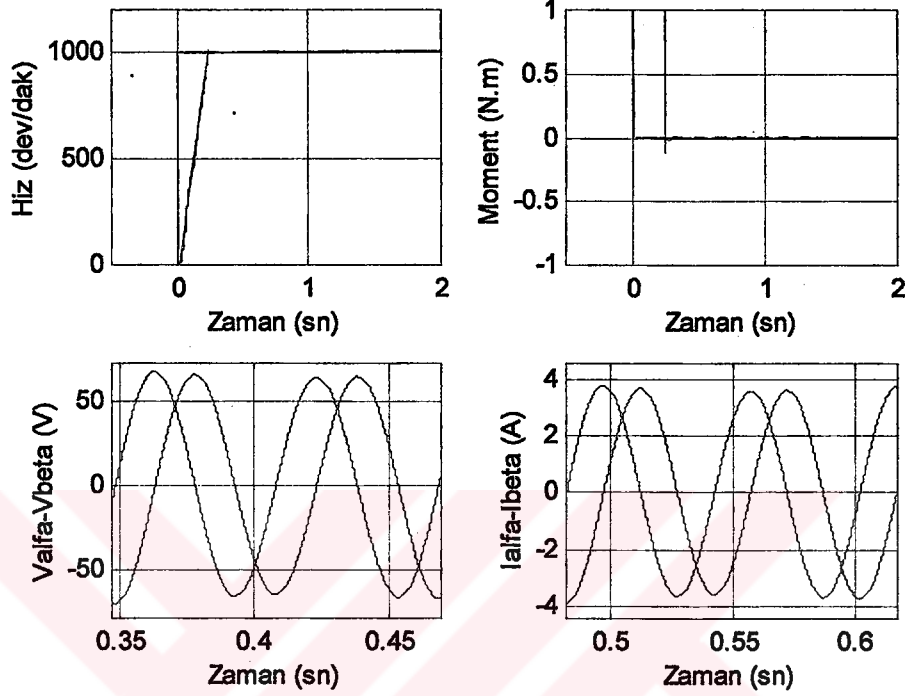


Şekil 5.14. 500 dev/dak'lık hız için boşa çalışma

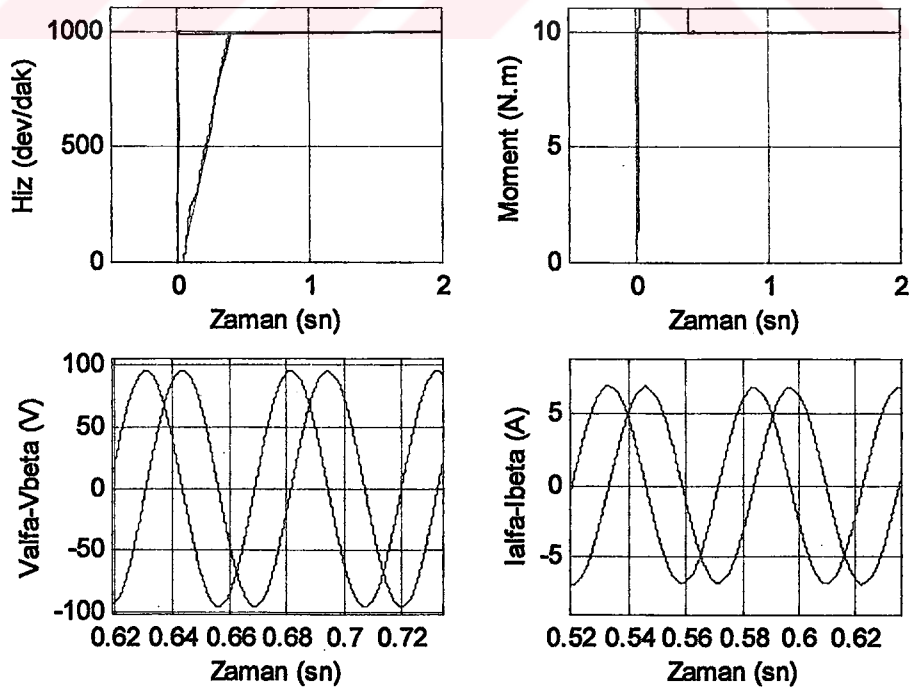


Şekil 5.15. 500 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma

Şekil 5.14 ve 5.15'de referans hız daha da artırılarak 500 dev/dak olarak sisteme girilmiştir. Gerçek hız oldukça kısa bir sürede referans hızı yakalayabilmeyi başarmıştır. 0.2 saniye kadar az bir sürede bunu gerçekleştirebilmiştir.

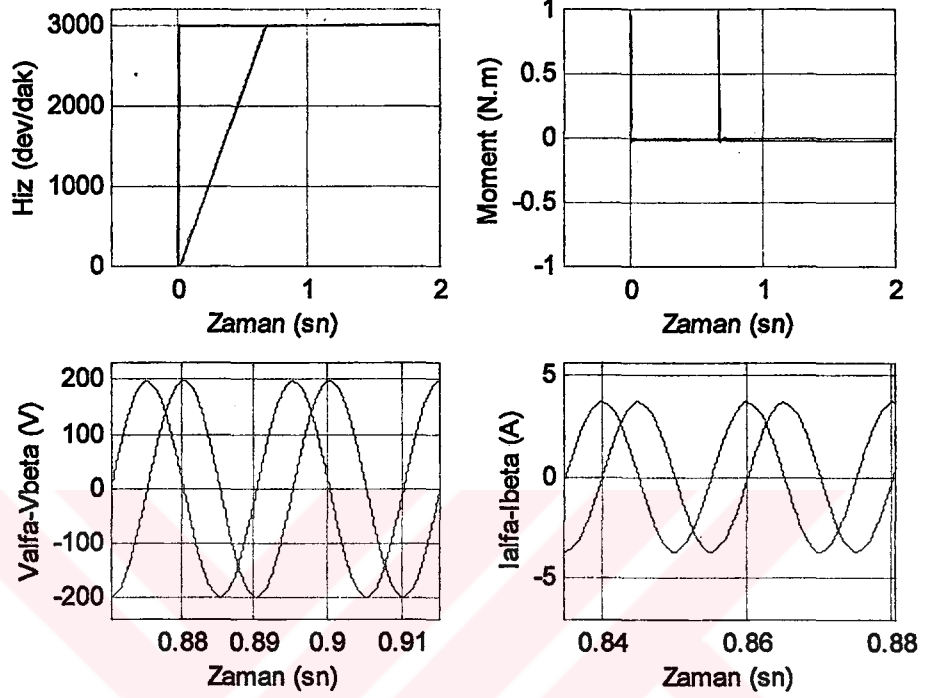


Şekil 5.16. 1000 dev/dak'lık hız için boşa çalışma

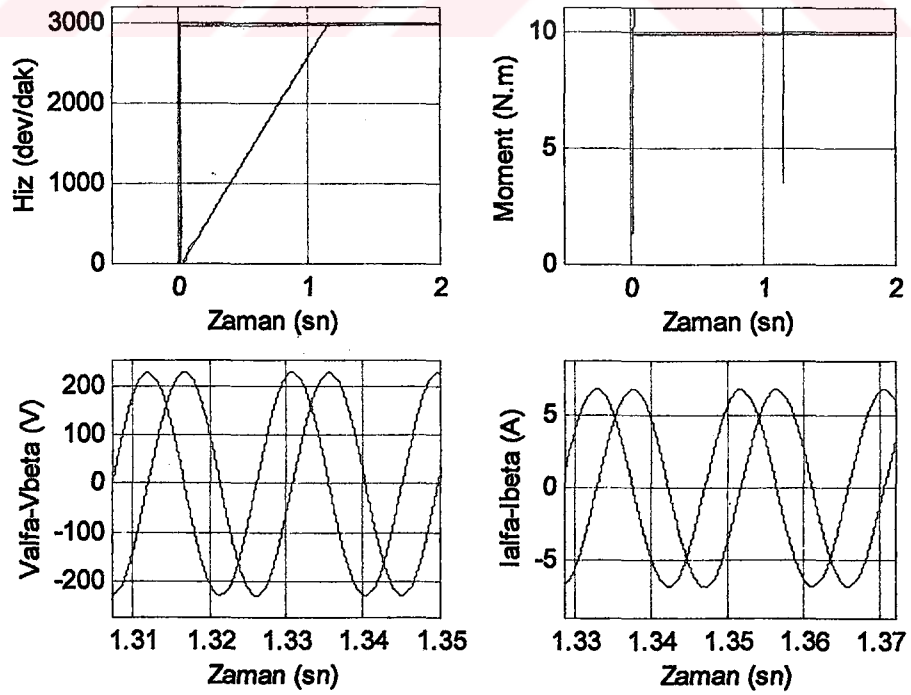


Şekil 5.17. 1000 dev/dak'lık hız için tam yükte çalışma

Şekil 5.16 ve 5.17’de referans hız 1000 dev/dak olarak tespit edilmiştir. Hızın artması doğal alan yönlendirmeli vektör kontrolün performansını değiştirmemiştir. Tıpkı düşük hızlarda olduğu gibi yüksek hızlarda da diğer vektör kontrol yöntemleri ile rekabet edebilir.



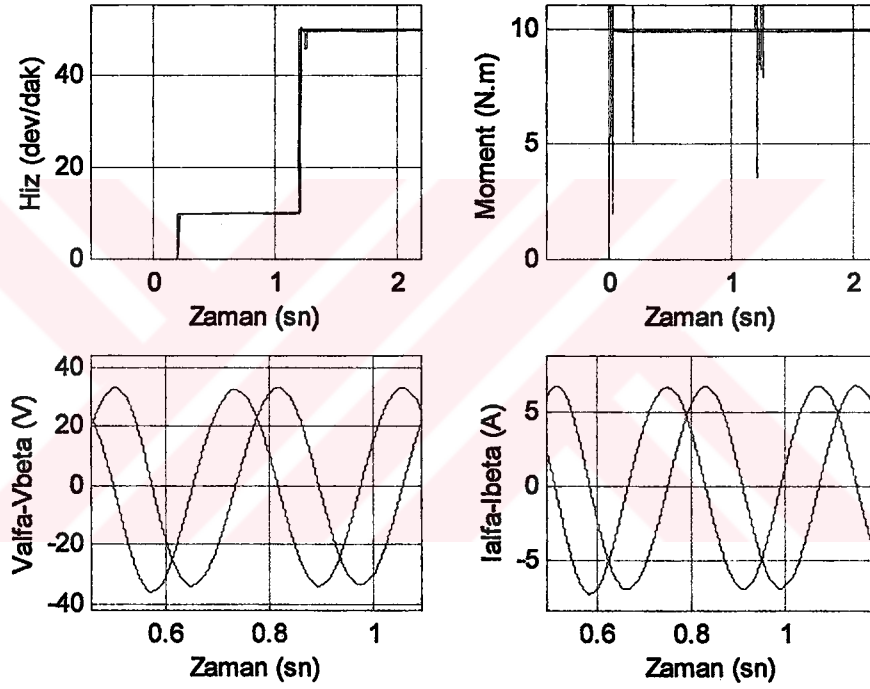
Şekil 5.18. 3000 dev/dak’lık hız için boşa çalışma



Şekil 5.19. 3000 dev/dak’lık hız için tam yükte çalışma

Şekil 5.18 ve 5.19'da ise referans hız 3000 dev/dak'ya çıkarılmıştır. Buna rağmen akım ve gerilim şekilleri düzgün sinüs olarak elde edilmiştir. Gerçek hız, referans hızı milinde yük var olsa da olmasa da yakalayabilmiştir.

Oldukça geniş hız aralığında doğal alan yönlendirmeli kontrolün benzetimi Matlab/Simulink ile gerçekleştirilmiştir. 1 dev/dak ile 3000 dev/dak arasında yapılan hız kontrolünde, gerçek hızın referans hızı başarılı bir şekilde yakalayabildiği görülmüştür. Hız grafiğinde iki hız çizdirilmiş olmasına rağmen hata çok az olduğu için tek bir hız çizdirilmiş gibi durmaktadır. Çizilmiş olan bu grafikler doğal alan yönlendirmeli kontrolün performansının hem düşük hem de yüksek hızlarda çok iyi olduğunu göstermiştir.



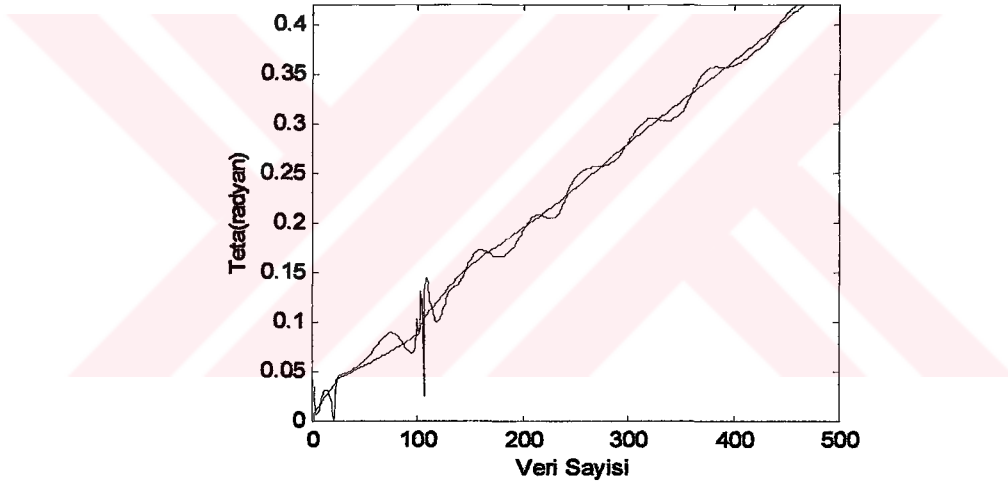
Şekil 5.20. Farklı referans hız için tam yükte çalışma

Şekil 5.20'de 2,2 saniyelik bir zaman aralığında farklı hızlar referans olarak girilmiştir. 0,2 saniyeye kadar 0 dev/dak, 0,2'den 1,2'ye kadar 10 dev/dak, 1,2'den 2,2'ye kadar 50 dev/dak'lık hızlar girilmiştir. Hız grafiğine referans hız ile gerçek hız olmak üzere iki hız çizdirilmiştir. Yapılan kontrolün üstünlüğü sayesinde gerçek hız ile referans hız çakışmıştır. Moment grafiğinde 0 dev/dak'lık hızdan 10 dev/dak'lık hıza ve 10 dev/dak'lık hızdan 50 dev/dak'lık hıza geçişte momentte pikler oluşmuştur. Akım ve gerilim şekilleri düzgün bir sinüs olarak elde edilmiştir.

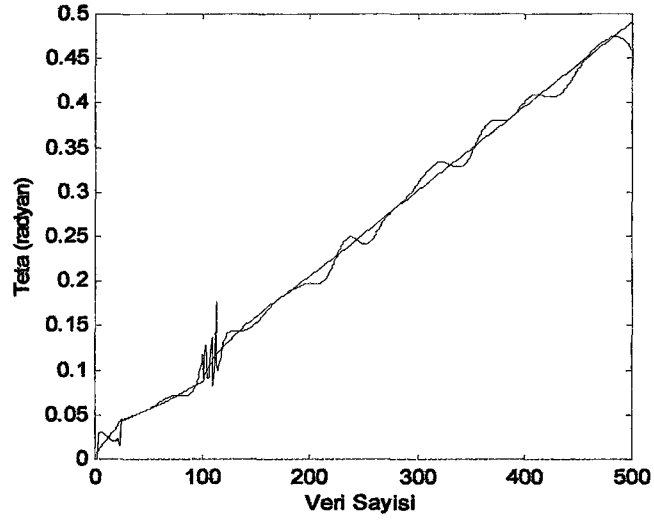
5.2. Yapay Sinir Ağı İle Yapılan Eğitimin Sonuçları

Şekil 5.1' de verilen doğal alan yönlendirmeli kontrol bloğunda teta'yı hesaplayan NFO bloğu yerine eğitilmiş yapay sinir ağı modeli konulmuştur. Çok katmanlı algılayıcı modeli ve öğretmenli öğrenme yöntemi kullanılarak yapay sinir ağı modellenmiştir. Çıkış bilgisi olan akı açısı bilgisinin istenen amacı yakalaması hedeflenmiştir. Farklı hızlar için farklı sayıda sinir hücreleri seçilerek hata oranı tespit edilmiştir. Hatanın 0,0001'e düşmesi yapay sinir ağı ile gerçekleştirilen modelin performansının iyi olduğunu göstermektedir.

Aşağıdaki grafiklerde 10 dev/dak, 25 dev/dak, 50 dev/dak'lık stepler referans hız olarak girilmiştir. Doğal alan yönlendirme kontrol bloğunun çıkışı olan akı açısı bilgisi teta ve yapay sinir ağı ile yapılan eğitim sonucu elde edilen teta birlikte tek bir grafikte çizilmiştir. Her bir hız yapay sinir ağındaki sinir hücreleri sayısı değiştirilerek hata oranı gözlenmiştir.



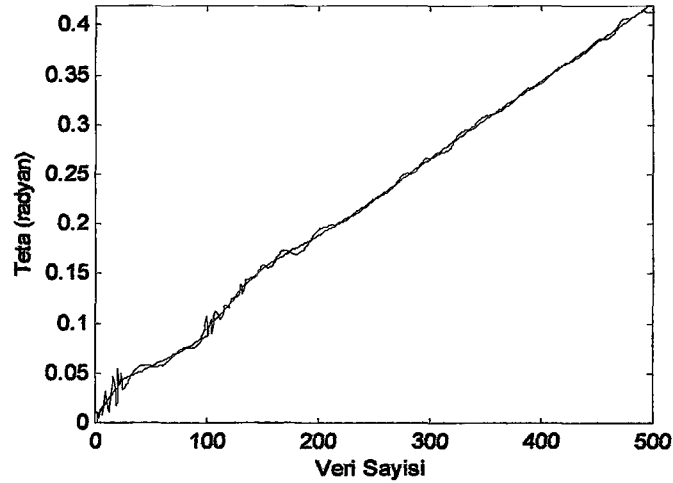
Şekil 5.21. 25 dev/dak'lık hız ve 5 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu



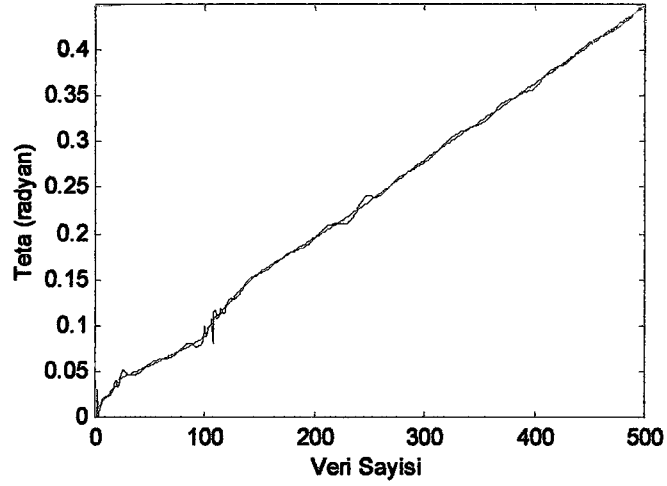
Şekil 5.22. 50 dev/dak.'lık hız ve 5 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu

Şekil 5.21 ve 5.22'de yapay sinir hücre sayısı 5 alınarak ağ modellenmiştir. 0,2 saniyeye kadar 0 dev/dak ve 0,2'den 1 saniyeye kadar 25 dev/dak'lık hızlar referans hız olarak girilmiştir. 50 dev/dak'lık hız da aynı şekilde girilmiştir. Her iki şekilde de hata oranı 0,0001'e inmiştir. Bu, yapay sinir ağı ile yapılan modelin performansının yüksek olduğunu göstermiştir.

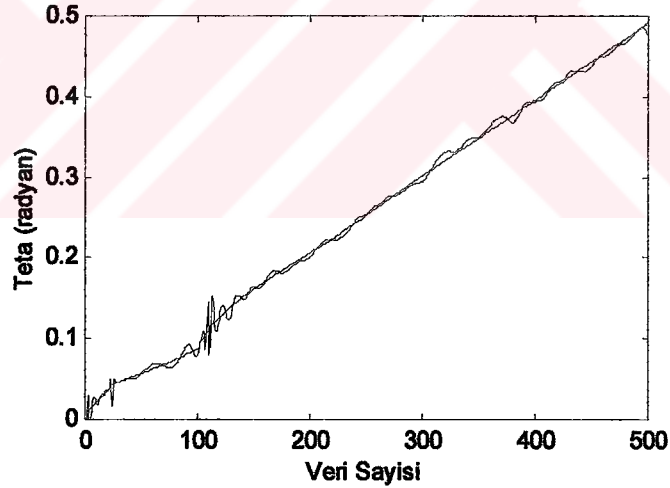
Daha sonra modeldeki yapay sinir hücre sayısı iki katına çıkarılmıştır. Tekrar farklı hızlar için yapay sinir ağının performansına bakılmıştır. Aşağıda 10 sinir hücresi kullanılarak her bir hız için çizilen şekiller görülmektedir.



Şekil 5.23. 10 dev/dak.'lık hız ve 10 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu

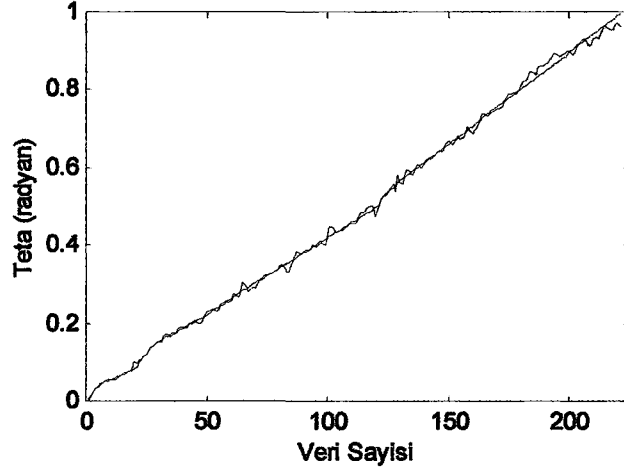


Şekil 5.24. 25 dev/dak'lık hız ve 10 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu



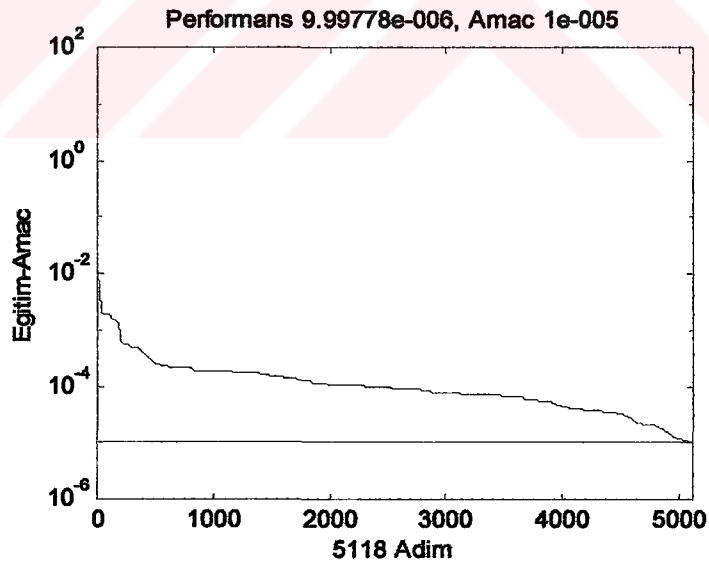
Şekil 5.25. 50 devir/dakika'lık hız ve 10 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu

Şekil 5.23'de hata oranı oldukça düşmüş ve hata 0,0000135 olarak kaydedilmiştir. Şekil 5.24'de hata oranı 0,00001'e inmiştir. Aynı hızda 5 sinir hücreli olarak gerçekleştirilen yapay sinir ağında hata 0,0001 iken sinir hücre sayısı iki katına yani 10'a çıkarıldığında hata oranı 0,00001'e inmiştir. Performansı yükselmiştir. Şekil 5.24 ve 5.25'de hız değerleri 10 dev/dak, 25 dev/dak ve 50 dev/dak'lık olarak değiştirilmiştir. Fakat hata oranı yine 0,00001'de kalmıştır. Bu hata oranı yapılan eğitimin ne kadar başarılı sonuç verdiğini göstermektedir. Sinir hücre sayısı iki katına çıkınca hata 0,1 kat daha da azalmıştır.



Şekil 5.26. Farklı hız ve 20 sinir hücreli ysa için eğitim sonucu

Şekil 5.26 için 2,2 saniyelik süre içerisinde üç farklı hız referans olarak girilmiştir. 0,2 saniyeye kadar 0 dev/dak, 0,2'den 1,2 saniyeye kadar 10 dev/dak, 1,2'den 2,2 saniyeye kadar da 50 dev/dak'lık hızlar girilmiştir. Sinir hücre sayısı 20 olarak belirlenmiştir. Hata oranı 0,0001'de kalmıştır. Diğer hızlarda olduğu gibi hata oranı oldukça düşük bir değere sahiptir.



Şekil 5.27. 10 dev/dak'lık hız ve 10 sinir hücreli ysa için eğitim-amaç grafiği

Son şekilde ise eğitim sonucu ile elde edilen bilginin amacı yakalama eğrisi çizdirilmiştir. 5118. adımda amaca yani 0,00001'e ulaşılmıştır. Ağ için 10 sinir hücresi kullanılmıştır. Hata oranı oldukça düşük olduğu için modelin performansı oldukça yüksektir.

6. SONUÇ

Duyargasız vektör kontrolünde karşımıza çıkan en büyük problemler; düşük hızlarda çalışamama, parametre bağımlılığı, akım ve gerilim ölçümünden kaynaklanan hatalar ve akı tahmininde karşılaşılan zorluklar olarak sıralanabilir. Bu problemler, doğal alan yönlendirme sayesinde mükemmel bir şekilde çözümlenmiştir. Doğal alan yönlendirmeli kontrol tekniği, geniş hız bölgesinde yüksek dinamik performans ve yüksek hassasiyet göstermiştir.

Doğal alan yönlendirme, vektör kontrolünde akı açısı tahmini için kullanılan yöntemlerde karşılaşılan açık integrasyon, stator ve rotor parametrelerine bağımlılık, uzun hesaplama süresi, gözlemleyici tasarımının zorluğu gibi dezavantajları ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca bu yöntemle asenkron motorun, çok düşük hızlarda çalışmasının yanı sıra devamlı sıfır frekansta çalışması da sağlanmıştır.

Bu yöntemin en önemli üstünlüğü ise; stator frekansının tahmininde kayma frekansının kullanılmamasıdır. Bu yöntemde, stator akı vektörü bileşenleri yerine stator gerilimleri kullanılır. Böylece integrasyon problemlerinden kaçınılmış olunur. Fakat bu yöntemin performansını olumsuz yönde etkileyen en önemli parametre stator direncidir.

Doğal alan yönlendirme kontrol bloğu ve asenkron motor, Matlab / Simulink programı yardımıyla modellenerek hız ve moment kontrolünün yapılması sağlanmıştır. Oldukça geniş hız aralığında kontrol yapılmıştır. 1 dev/dak ile 3000 dev/dak arasında yapılan hız kontrolünde, gerçek hızın yakalaması istenen hızı fark edilmeyecek kadar az bir farkla takip ettiği görülmüştür. Hız grafiğinde iki hız çizdirilmiş olmasına rağmen hata çok az olduğu için tek bir hız çizdirilmiş gibi durmaktadır. Çizilmiş olan bu grafikler doğal alan yönlendirmeli kontrolün performansının hem düşük hem de yüksek hızlarda çok iyi olduğunu göstermiştir.

Son olarak bu çalışmada, doğal alan yönlendirmeli kontrol tekniğinin yapay sinir ağı ile modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Doğal alan yönlendirmeli vektör kontrolünün daha sağlam ve güvenilir bir yapıya sahip olması, sistemin dış etkilere karşı daha akıllı davranması kontrol yönteminin yapay sinir ağı modeli ile sağlanmıştır. Yapay sinir ağıyla modellendiğinde çıkış bilgisi olan akı açısının değeri 0,00001 hata oranı ile gerçek değerini takip etmiştir.

Doğal alan yönlendirmeyi kullanan duyargasız vektör kontrollü asenkron motorların tüm çalışma şartlarında yani hem boşta hem de tam yükte kararlı çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır. Moment ve hızın istenilen referans değerlerini çok kısa sürede ve doğru bir şekilde yakaladığı benzetim programı kullanılarak ortaya çıkarılmıştır.

Yapay sinir ağı ile modellendiğinde ise; performansının Matlab'ta çizdirilen grafikler yardımıyla yüksek olduğu gözlenmiştir. Çıkış bilgisi olan teta'nın istenen amacı yakalaması

hedeflenmiştir. Farklı hızlar için farklı sayıda sinir hücreleri seçilerek hata oranı tespit edilmiştir. Hatanın 0,0001'e düşmesi yapay sinir ağı ile gerçekleştirilen modelin amaca uygun tasarlandığını göstermektedir.

İlerideki çalışmalarda doğal alan yönlendirmeli kontroldeki basit algoritmada kullanılan stator direncinin kontrolün performansını nasıl etkilediği araştırılabilir. Çünkü doğal alan yönlendirmeli kontrolün performansını olumsuz yönde etkileyen parametre stator direncidir. Matlab/Simulink programı yardımıyla modellenen asenkron motorun doğal alan yönlendirmeli kontrolü pratik olarak gerçekleştirilebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Jakubowicz, A., Perret, R., 1980, Simplified Model and Closed Loop Control of a Commutatorless DC Motor, IEEE Trans. On Ind. Appl., Ia-16:2
- [2] Vas, P., 1998, Sensorless Vector and Direct Torque Control, Oxford University Press, Oxford
- [3] Can, H., 2003, Asenkron Motorların Düşük Hızlarda Duyargasız Vektör Kontrolü. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ
- [4] Jonsson R., NFO controller for frequency Inverters, PCIM, Nurnberg 377-385, 1997.
- [5] Vas P., Rashed M., Joukhadar A.K.M., Ng C.H., 2002, Sensorless induction motor and permanent magnet synchronous motor drives using natural field orientation, COMPEL, Vol. 21, No. 2, 2002, sayfa 323-337
- [6] Peresada S., Tilli A., Kovbasa S., Montanari M. and Ronchi F., “Simple Sensorless Vector Control of Induction Motors with Natural Field Orientation”, Department of Electrical Engineering, National Technical University of Ukraine Prospect Pobedy 37, Kiev 252056, Ukraine
- [7] Prof Dr. M. Okyay Kaynak İstanbul, ağustos 1988, bölüm8, sayfa 182
- [8] Marian P. Kazmierkowski, Mriusz Malinowski, Dariusz L. Sobczuk, Frede Blaabjerg, John K. Pedersen, Simplified Stator Flux Oriented Control, 1999 IEEE
- [9] Kazmierkowski, M. P., Nilsen, R., 1989, reduced order observer with parameter adaption for fast rotor flux estimation in induction machines, IEEE proceedings Vol. 136, pk. D. No:1.
- [10] Moreira, J. C., Lipo, T. A., 1990, Direct field orientation control using the third harmonic component of stator voltage, ICEM
- [11] Vas P., Rashed M., Joukhadar A.K.M., Ng C.H., “Recent developments in sensorless and quasi-sensorless drives”, COMPEL, Vol. 21, No. 2, 2002, sayfa 307-322
- [12] Jonsson, R., “Method and apparatus for controlling an ac induction motor by indirect measurement of the air-gap voltage”, US Patent 5294876, 1994, European Patent 0515460, 1994
- [13] Jonsson, R., “Natural Field Orientation (NFO) Provides Sensorless Control of ac Induction Servo Motors”, PCIM magazine, 1995
- [14] Stabler M. And Jonsson R., “Sensorless Control Algorithms for ac Motors-Overview of DSP Implementations, PCIM, Nurnberg, 2000, sayfa 105-111
- [15] Vas P., “Artificial –intelligence-based electrical machines”, in, Rashid M.H. (Ed), Power Electronics Handbook, Chapter 28. Academic Press, New York, NY, 2001, sayfa 769-777

- [16] Vas P. and Tiitinen P., “Sensorless vector and direct torque controlled drives”, in Rashid M. (Ed), *Power Electronics Handbook*, Chapter 20. Academic Press, New York, 2001
- [17] Vas P., Rashed M., Joukhadar A.K.M., Zordan M., Duits J. And Holweg E., “High Performance Drives Employing Smart SKF Sensor Bearings”, *PCIM*, Nunberg, 2000, sayfa 35-39
- [18] Marino R., Peresada S. and Tomei P., “Global adaptive output-feedback control of induction motors with uncertain rotor resistance”, in *Proc. 35th IEEE CDC*, Kobe, Japan., 1996 Aralık, sayfa 4701-4706
- [19] F. Castelli Dezza, F.L. Mapelli, A. Monti, *Sensorless Induction Motor Drive For Low Cost Applications*, 1999 IEEE
- [20] Peresada S. and Tonielli A., “High performance speed-flux tracking controller for induction motor”, *Int. Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, 2000, Sayfa 177-200
- [21] Akın M., “Bir vektör kontrol yönteminin uygulama hız sınırlarının genişletilmesi için yöntem geliştirme”, yüksek mühendislik tezi, 2002
- [22] Hopfield, J. J.(1982), “Neural networks and physical systems with emergent collective computational capabilities”, *Proceedings of the National. Academy of Sciences*, 79, pp. 2554-2558.
- [23] Hopfield, J. J.(1982), “Neurons with graded response have collective computational properties like those of two state neurons”, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 81, pp. 3088-3092.
- [24] Prof Dr Ercan Öztemel *Yapay Sinir Ağları Sayfa 29, Bölüm 2.1.*
- [25] Minsky M. Ve Papert S., (1969), *Perceptrons*. The MIT Pres.
- [26] Rumelhart D.E, Hinton G.E, Williams R.J, “Learning representations by backpropagation errors”, *Nature*, vol. 323, pp 533-536.

ÖZGEÇMİŞ

17.09.1980, Niğde' de doğdu. 1998 yılında kayıt yaptırdığı Elazığ Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden 2002 yılında mezun oldu. Eylül 2002 tarihinde Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Elektrik Makineleri Ana Bilim Dalı altıncı dönem yüksek lisans öğrencisidir. Yabancı dili İngilizcedir.

