

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ASENKRON MOTORUN FARKLI YÖNTEMLER İLE HIZ KONTROLÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Fuat TOKTAŞ
DANIŞMAN : Prof. Dr. Naci GENÇ

VAN-2019

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ASENKRON MOTORUN FARKLI YÖNTEMLER İLE HIZ KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Fuat TOKTAŞ

VAN-2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Naci GENÇ danışmanlığında, Fuat TOKTAŞ tarafından sunulan “Asenkron Motorun Farklı Yöntemler İle Hız Kontrolü” isimli bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 03/10/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Naci GENÇ

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ali MAMİZADEH

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Behçet KOCAMAN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 11.10.2019 tarih ve 2019/55-1 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.

Fuat TOKTAŞ

ÖZET

ASENKRON MOTORUN FARKLI YÖNTEMLER İLE HIZ KONTROLÜ

TOKTAŞ, Fuat

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Naci GENÇ

Ekim 2019, 75 sayfa

Bu tez çalışmasında, üç-fazlı asenkron motorun modellenmesi yapılarak farklı kontrol yöntemleri ile hız kontrolü gerçekleştirilmiştir. Gerilim/frekans (V/f) sabit oran ve Alan Yönlendirme yöntemi ile asenkron motor kontrolü yapılmıştır. Bu iki yöntemin karşılaştırması yapılarak avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmada Matlab/Simulink programı tercih edilmiştir. V/f sabit oran kontrol metodu ve alan yönlendirme kontrol metodunda frekans, voltaj ve rotor dönme hız grafikleri incelenmiştir. Sapma miktarlarına değinilmiş ve yöntemlerin etkisi tartışılmıştır.

Bu çalışmada ele alınan her iki kontrol yönteminden elde edilen sonuçlarına göre asenkron motorlar için, Alan Yönlendirme yönteminin V/f sabit oran yöntemine göre daha hassas bir kontrol yöntemi olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonucun ana sebebi Alan Yönlendirme yönteminde frekans ve voltajın geri bildirimli PI kontrol sistemi ile sürekli olarak düzeltilmesi ve hatanın hızla ortadan kaldırılmasıdır. Ancak asenkron motorlarına uygulaması oldukça karmaşık ve zor olduğu için endüstride en yaygın kullanılan kontrol yöntemi V/f sabit oran kontrol yöntemidir.

Anahtar kelimeler: Alan yönlendirme yöntemi, Asenkron motor hız kontrol, V/f sabit oran yöntemi



ABSTRACT

SPEED CONTROL OF ASYNCHRONOUS MOTOR BY DIFFERENT METHODS

TOKTAŞ, Fuat

M. Sc. Thesis, Electrical-Electronics Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Naci GENÇ

October 2019, 75 pages

This study, speed control was made by using different methods of three-phase asynchronous motor with different models. Asynchronous motor control are performed by Voltage/frequency (V/f) constant ratio and Field Orientation method. Advantages and disadvantages was demonstrated by comparison of these two methods. In this study, Matlab/ Simulink program was preferred. Frequency, voltage and rotor rotation speed graphs were examined in V/f constant ratio control method and field orientation control method. Deviation amounts are discussed and the effect of the methods are discussed.

According to the results obtained from both control methods discussed in this study, Field Orientation Method are more sensitive control method than V/f constant ratio method for asynchronous motors. The main reason for this result is continuous correction of frequency and voltage with feedback PI control system and the rapid elimination of the error in the Field Orientation method. However, as the Field Orientation method is very complex and difficult to apply to asynchronous motors, therefore the most widely used control method in the industry is the V/f constant ratio control method.

Keywords: Asynchronous motor speed control, Field oriented control, V/f constant ratio control



ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında, her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Naci GENÇ'e teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışma esnasında bana yardımcı olan Dr. Öğr. Üyesi Ali MAMIZADEH'e, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü değerli hocalarına, kardeşim Öğretim Üyesi Osman TOKTAŞ'a, değerli aile fertlerime, devamlı arkamda dua eden kıymetli annem ve babama teşekkürlerimi sunarım.

2019
Fuat TOKTAŞ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. Asenkron (indüksiyon) motorları	9
3.2. Temel motor yasaları	12
3.3. Döner manyetik alan teorisi	13
3.4. Üç fazlı asenkron motorunun fiziksel yapısı	14
3.4.1. Rotor	15
3.4.1.1. Sincap kafesli rotor yapısı	15
3.4.1.2. Bilezik rotor yapısı	15
3.4.2. Stator	16
3.4.2.1. Sargılar ve kutuplar	17
3.5. Asenkron motorlarında kayma	17
3.6. Asenkron motorların matematiksel modellemesi	18
3.7. Uzay vektör tanımı	19
3.8. Referans düzlem dönüşümleri	19
3.8.1. Clarke dönüşümü(a, b, c) → (α, β).....	20
3.8.2. Park dönüşümü (α, β) → (d, q).....	22
3.8.3. Ters Park dönüşümü (d, q) → (α, β).....	24
3.8.4. Ters clarke dönüşümü (α, β) → (a, b, c)	25
3.9. Asenkron motor kontrol yöntemleri	26
3.9.1. V/f sabit oran kontrol yöntemi.....	27
3.9.2. Alan yönlendirme yöntemi	30
3.9.3. Darbe genişlik modülasyonu(PWM) tekniği.....	32

	Sayfa
3.9.4. Sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM) tekniği	32
3.9.5. Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu (SVPWM) tekniği	34
3.10. Stator gerilimini değiştirerek hız kontrolü	38
3.11. Asenkron motorlarında yön değiştirme ve frenleme	39
3.11.1. Asenkron motorlarında frenleme.....	40
3.11.1.1. Jeneratör frenleme	40
3.11.1.2. Ters akım frenleme	41
3.11.1.3. Dinamik frenleme	41
3.12. Asenkron motorlarında hız hesaplaması.....	41
3.13. Tasarım kriterleri	42
3.14. Kontrol mekanizması.....	42
3.14.1. V/f sabit oran kontrol tasarımı.....	43
3.14.1.1. V/f sabit oran yöntemi simülasyon akış şeması	45
3.14.2. Alan yönlendirme kontrol tasarımı.....	47
3.14.2.1. Alan yönlendirme yöntemi simülasyon akış şeması	50
4. BULGULAR	53
4.1. Simülasyon koşulları ve motor eşdeğer değerleri.....	53
4.2. V/f sabit oran kontrolü (yüksüz).....	54
4.3. V/f sabit oran kontrolü (5 N.m yük altında)	58
4.4. Alan yönlendirme kontrolü (yüksüz).....	60
4.5. Alan yönlendirme kontrolü (5 N.m yük altında)	63
4.6. V/f sabit oran kontrolü anahtarlama sinyali incelemesi	65
4.7. Alan yönlendirme kontrolü anahtarlama sinyali incelemesi	66
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	69
KAYNAKLAR.....	73
ÖZ GEÇMİŞ.....	75

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Asenkron motoru.....	2
Şekil 3.1. 3-faz elektrik sinyali.....	9
Şekil 3.2. 3-faz kaynağın doğru akıma dönüşüm devresi.....	10
Şekil 3.3. Doğrultucu ve invertör basitleştirilmiş devre şeması.....	11
Şekil 3.4. Basit bir RL devre şeması.....	12
Şekil 3.5. (a)3-faz sinüzoidal sinyal, (b)yıldız bağlı stator akım, (c)manyetik alan.....	14
Şekil 3.6. (a) Rotor (b) sincap kafesi.....	15
Şekil 3.7. Bilezikli rotor yapısı.....	16
Şekil 3.8. Referans düzlemler.....	20
Şekil 3.9. Clarke dönüşüm blok gösterimi.....	21
Şekil 3.10. Stator vektör uzayı ve bileşenleri.....	22
Şekil 3.11. Stator akım uzay vektörü ve referans sistemlerindeki bileşenleri.....	22
Şekil 3.12. Park dönüşüm blok gösterimi.....	24
Şekil 3.13. Ters park dönüşümü blok gösterimi.....	25
Şekil 3.14. Ters clark dönüşümü blok gösterimi.....	25
Şekil 3.15. V/f sabit oran kontrolü voltaj-frekans grafiği.....	27
Şekil 3.16. V/f sabit oran kontrol blok diagramı.....	29
Şekil 3.17. Asenkron motoru duran eksen modeli.....	29
Şekil 3.18. Alan yönlendirme kontrol yöntemi blok diagramı.....	31
Şekil 3.19. SPWM ve sinüs dalgası çıktısı.....	33
Şekil 3.20. 3 Faz invertör şematik devresi.....	36
Şekil 3.21. Değişken gerilimde hız tork grafiği.....	38
Şekil 3.22. Asenkron motoru kumanda ve güç devresi.....	39
Şekil 3.23. Kontrolcü yapısı.....	42
Şekil 3.24. DC gerilim üretimi.....	43
Şekil 3.25 3-faz sinyal üretimi ve motor beslemesi.....	43
Şekil 3.26. Sistem geri bildirim mekanizması.....	43

Şekil	Sayfa
Şekil 3.27. Çıktı işlem blokları.....	44
Şekil 3.28. V/f sabit oran kontrolü akış şeması.....	45
Şekil 3.29. Alan yönlendirme kontrol yöntemi motor ölçüm kısmı.....	46
Şekil 3.30. 3-faz elektrik girişi ve anahtarlama devresi.....	47
Şekil 3.31. Rotor açısı ve stator akımları kullanılarak hat gerilim geri bildiriminin hesaplanması.....	48
Şekil 3.32. Frekans geri bildirimli anahtarlama devresi ve asenkron motor.....	48
Şekil 3.33. Frekans geri bildirimini hesaplanması.....	49
Şekil 3.34. Alan yönlendirme yöntemi kontrol akış şeması.....	51
Şekil 4.1. V/f sabit oran kontrol yöntemi simulink modeli.....	55
Şekil 4.2. V/f sabit oran kontrolü rotor dönme hızı (yüksüz).....	56
Şekil 4.3. V/f sabit oran kontrolü elektromanyetik tork (yüksüz).....	57
Şekil 4.4. V/f sabit oran kontrolü rotor açısı (yüksüz).....	57
Şekil 4.5. V/f sabit oran kontrolü rotor dönme hızı (5 N.m yük altında).....	58
Şekil 4.6. V/f sabit oran kontrolü elektromanyetik tork (5N.m yük altında).....	59
Şekil 4.7. V/f sabit oran kontrolü rotor açısı (5N.m yük altında).....	59
Şekil 4.8. Alan yönlendirme kontrolü simulink modeli.....	61
Şekil 4.9. Alan yönlendirme kontrolü rotor dönme hızı (yüksüz).....	62
Şekil 4.10. Alan yönlendirme kontrolü rotor açısı (yüksüz).....	63
Şekil 4.11. Alan yönlendirme kontrolü rotor dönme hızı (5 N.m yük altında).....	63
Şekil 4.12. Alan yönlendirme kontrolü rotor açısı (5 N.m yük altında).....	64
Şekil 4.13. V/f sabit oran kontrolü anahtarlama sinyali.....	66
Şekil 4.14. Alan yönlendirme kontrolü anahtarlama sinyali.....	67

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Anahtarlama vektörlerine karşılık gelen faz gerilimleri.....	43
Çizelge 4.1. V/f kontrol yöntemi ile alan yönlendirme kontrol yönteminin boşta karşılaştırılması.....	64
Çizelge 4.2. V/f kontrol yöntemi ile alan yönlendirme kontrol yönteminin yük altında karşılaştırılması.....	64





SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklama

V	Gerilim
A	Amper
I	Akım
F	Kuvvet
τ	Tork
T	Periyot
f	Frekans
C	Kapasitans
R	Direnç
L	İndüktans

Kısaltmalar

Açıklama

P	Oransal
I	İntegral
D	Türevsel
PWM	Darbe Genişlik Modülü
SPWM	Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülü
SVPWM	Uzay Vektör Darbe Gereksinimi
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
RL	Direnç – Bobin Serisi

Kısaltmalar**Açıklama**

RMS	Kök Kare Ortamala
THD	Toplam Harmonik Distorsiyonu
PID	Oransal-İntegral-Türevsel Denetleyici
PI	Oransal- İntegral
VSI	Gerilim Kaynak İvertörü
CNC	Computer Numerical Control
RPM	Döner Alanın Devir Sayısı
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
AA	Alternatif Akım

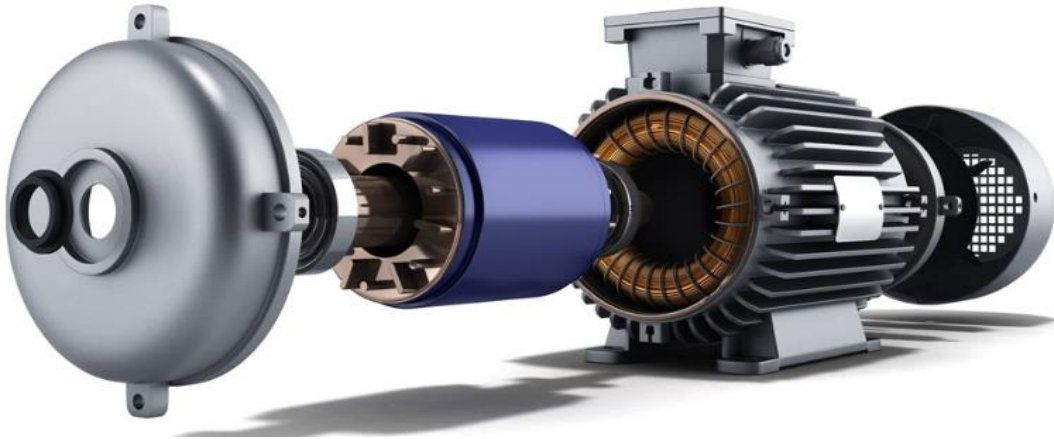
1. GİRİŞ

Endüstri devrimiyle makine gücünün sanayideki ve günlük yaşamdaki yeri ve önemi günden güne artmaktadır. Tarihin her döneminde artan talebe karşılık gelişmeler olmuştur. Önce buharlı trenlerde kullanılan buhar motorları, sonra içten yanmalı motorlar ve elektrik motorları endüstride yerini almıştır. Fosil yakıt kullanan motorların doğaya verdiği zarar sebebi ile günümüzde önem kazanan elektrik motorları uzun zamandır literatürde yer almasına rağmen batarya teknolojilerinin yeterli seviyelerde olmaması sebebi ile geçmişte uygulamaya konulamamışlardır. Birçok farklı elektrik motoru vardır. Her birinin avantaj ve dezavantajları farklı olmakla birlikte, çalışma mantıkları da birbirinden ayrışır.

1824'de, Fransız fizikçi François Arago döner manyetik alan matematik modelini ortaya atmıştır. El ile açılıp kapanan devirler, Arago devirleri olarak adlandırılmıştır. 1879 yılında Walter Baily ilk ilkel asenkron motoru üzerinde çalışmıştır. İlk alternatif akımlı ve kolektörü olmayan asenkron motorunu birbirlerinden bağımsız olarak Galileo Ferrais ve Nicola Tesla'nın, sırasıyla 1885 ve 1887'de icat etmişlerdir. 1887'de, Tesla amerikan patent enstitüsüne başvurmuş ve 1888 yılında bir kısmı kabul edilmiştir. Nisan 1888'de, the Royal Academy of Science of Turin Ferrais'in alternatif akım fazlı motorların çalışması üzerindeki araştırmalarını yayınlamıştır. Tesla 1888'de, kendini yeniden başlatamayan relüktans motor, kendini başlatabilen relüktans motor ve doğru akım kaynağıyla beslenen gerçek zamanlı sarma motor olmak üzere üç farklı dört kutuplu motor çeşidini tanımlayan “*A New System for Alternating Current Motors and Transformers*” isimli teknik bildirgeyi Amerikan Elektrik Mühendisleri Enstitüsü'ne (AIEE) yollamıştır. Michail Dolivo-Dobrovolsky 1889 da 3 fazlı kafes rotorlu asenkron motoru ve 1890 da üç bacaklı dönüştürücüyü icat etmiştir. Ancak, iki fazdan doğan öne sürmüştür ve üç fazlı çalışmalarına devam etmiştir. Westinghouse 1892'de ilk kullanışlı asenkron motoru elde edip, 1893'de çok fazlı 60 hertz asenkron motorları için bir hat geliştirmiştir. Ancak Westinghouse'un ilk motorları bilezikli iki fazlı motorlardı. 1891'de General Electric Company üç-fazlı asenkron motorları geliştirmeye başlamıştır. 1896 yılında, General Electric ve Westinghouse yeni motor tasarımı için bir çapraz lisans anlaşması imzalamıştır. Arthur

E. Kennelly, karmaşık sayı analizinde 90 derece döndürme operatörünü belirlemek için "i" harfinin anlamını ilk kez açığa kavuşturan kişi olmuştur. Charles Proteus Steinmetz artık daha çok asenkron motorun eş değer devrelerinin oluşturulmasında büyük rol oynamıştır. Günümüz bağlantı boyutları 1897'deki 7.5 beygir gücü motoruyla aynı olan 100 beygir gücü asenkron motor gibi buluş ve yeniklerle asenkron motorun gelişimi devam ederek günümüze kadar gelmiştir. Günümüzde asenkron motorlarının kontrolü, motorun yapımından daha büyük önem arz etmektedir (Langsdorf, 1955) (Kesler, 2006). Ayrıca, asenkron motorların verimi de önemli bir çalışma konusu olmuştur (Agamloh, 2011).

Bu tez çalışmasında asenkron motorlarının diğer bir adıyla indüksiyon motorların çalışma prensibi ele alınmıştır. Bu kapsamda, 3-fazlı bir asenkron motorun çalışma prensibi, modellemesi ve farklı metodlar ile hız kontrolü üzerine çalışma yapılmıştır. Birçok farklı kontrol mekanizması bulunmasına rağmen en çok kullanılan yöntemler V/f sabit oran ve Alan yönlendirme yöntemleridir. Her iki kontrol yöntemi de endüstriyel olarak kullanılmakla birlikte uygulama kolaylığı dolayısıyla V/f sabit oran yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Bu konuda detaya inilmeden önce asenkron motorlarının çalışma mantığı ele alınmıştır.



Şekil 1.1. Asenkron Motoru (Şenoğlu, 2019).

Şekil 1.1.'de aktarılan üç-fazlı bir asenkron motor 3 faz elektrik enerjisi ile beslenen ve uygulanan gerilimin yanısıra faz frekansına göre de hızı değişen bir motordur. Basite indirgemek amacıyla 3 sargısı bulunan bir asenkron motoru

düşünüldüğünde 50 Hz frekans ile 120 derece faz farkı bulunan 3 faz gerilimin sargılara ayrı ayrı uygulandığı bir durumda sinüs dalgası şeklinde verilen alternatif akım her bir sargının oluşturduğu elektrik alan söz konusu olduğunda sürekli dönen bir mıknatıs gibi davranır. Bu kısma asenkron motorun stator kısmı denir. Asenkron motorunun dönen parçası ise rotordur. Rotor kapalı çevrim iletkenler içermektedir. İletken bir kapalı çevrim, hareketli bir elektrik alan ile kesiştiğinde rotorun çevresine paralel, kapalı çevrime dik bir kuvvet oluşur. Kayıplar da söz konusu olduğunda elektrik alanın dönüş frekansından daha düşük bir hızla rotor dönmeye başlar. Burada hızı etkileyen tek faktör verilen 3 faz elektriğin frekansıdır. Bu frekansın kontrol edilebilmesi ile motor hızı kontrolü de mümkün olmaktadır (Takahashi ve ark., 1989).

Hiçbir asenkron motoru, tam güç ile devreye alınmamalıdır. Bu rotorun üzerinde oluşan indüksiyon akımının yarattığı elektrik alan ve stator tarafından üretilen elektrik alanın çakışması ve statorda indüksiyon tepmesine sebep olmaktadır. Bu da motorun sargılarının zarar görmesine sebep olmaktadır. Bunun yerine voltajın ve frekansın kontrolü yapılarak motor kalkışının yavaş olması ve stator-rotor dengesinin kurulması gerekmektedir.

Hızlanma eğrisi, motorun tork gereksinimine göre seçilmelidir. Çok hızlı kalkış yapan bir motor hali hazırda yük altındayken terse döner ve yine tepme indüksiyonu oluşturur. Bu durumun önüne geçmek için çok katlı sürücüler kullanılır böylece frekansın yanında voltaj çıkışı da kontrol edilir ve böylece V/f oranı korunmuş olur. Ancak hesaplanan oran ve olması gereken çıktı her zaman beklendiği gibi olmayabilir bu sebeple bir geri bildirim sistemi kurulmalıdır (Munoz ve ark., 1998).

Bu tez çalışması kapsamında tezin 3. bölümü olan “MATERYAL VE YÖNTEM” başlığı altında öncelikle asenkron motorlarının çalışma prensibi üzerine genel bir bilgilendirme yapılmıştır. Döner manyetik alan teorisi tanıtılmış ve ardından asenkron motorlarının fiziksel yapıları tanıtılmıştır. Farklı tipteki asenkron motorları incelenmiştir. Asenkron motorlarının matematiksel modeli incelenmiş ve eşdeğer devresi verilmiştir. Ayrıca bu bölüm altında asenkron motorlarının hız ve tork değerlerinin kontrol yöntemleri detaylı olarak anlatılmıştır. Bu yöntemler V/f sabit oran kontrolü ve Alan yönlendirme olarak iki ayrı başlıkta incelenmiştir. Yöntemlerin temelini oluşturan kavramlar olan “SPWM” ve “SVPWM” kavramları ve teknik

altyapısı detaylı olarak verilmiştir. Devamında ise V/f sabit oran kontrolü ve Alan yönlendirme kontrolü çalışma mekanizması incelenmiş, tez kapsamında yapılan çalışmalar detaylı olarak gösterilmiştir. Bu bölümde Clarke-Park dönüşümleri incelenmiş, alan yönlendirme kontrol yönteminde ise irdelenen matematiksel modellerin tez konusu olan kontrol yöntemlerinde kullanılış şekli detaylandırılmıştır. V/f sabit oran kontrol yönteminin de aynı şekilde matematik modellemesi ve sistem incelemesi yapılmıştır. Asenkron motorlarının frenleme mekanizmaları ve frenleme yöntemleri üzerine detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca asenkron motorlarının döner besleme frekansı ile ilişkili olan dönme hızı hesaplamasının matematiksel modeli verilmiştir.

Çalışma kapsamında Matlab/Simulink simülasyon programı kullanılarak hazırlanan matematiksel modellerin incelemesi “BULGULAR” başlığı altında incelenmiştir. Bu başlık altında V/f sabit oran kontrol yöntemi ve alan yönlendirme kontrol yöntemlerinin ayrı ayrı yüksüz ve yük altında verilen hız trendini takip etmekteki başarısı incelenmiştir. Ayrıca her iki yöntemde yük altında ve yüksüz olarak elektromanyetik tork ve rotor açısı değişkenleri incelenmiştir. Bulgular bölümünde kontrol yöntemlerinde kullanılan SVPWM ve SPWM anahtarlama sinyallerinin de incelemesi yapılarak bölüm tamamlanmıştır.

Çalışma kapsamında “TARTIŞMA VE SONUÇ” bölümünde bulgular bölümünde elde edilen sonuçların karşılaştırması yapılarak sistemde yapılan değişikliklerin çıktılara etkileri üzerine tartışılmıştır. Bu bağlamda kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması yapılarak yöntemlerin avantaj ve dezavantajları konusunda detaylı bilgi verilmiştir. Sonuç paragrafında son bildirişlerin yapılması ile birlikte çalışma sonlandırılmıştır.

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Asenkron motorlarının birçok uygulaması olması sebebi ile kontrolü oldukça önemli bir konudur. Alan yönlendirme ve V/f sabit oran yöntemi en yaygın asenkron motor hız kontrol yöntemleridir. Asenkron motor ve hız kontrol yöntemleri ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Racid (1997), yaptığı çalışmada Alan yönlendirme yöntemindeki manyetik akının mod karesi ile kuvvet denkleminin daha basite indirgenebileceğini göstermiştir. Sunulan sonuçlar göstermiştir ki manyetik alan akısının hesaplanmasının basite indirgenmesi yöntemin mikroişlemci teknolojisine entegre edilebilir basitliğe indirgemiş ve literatürde yerini almıştır.

Mora ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada asansör kontrol algoritmasının “S” şeklinde bir hız trendini izleyecek şekilde tekrar dizayn edilmesi konusunu kapsamaktadır. Çalışmada amaç yeni üretilen algoritma sayesinde asansör yolculuğunun konforunun artırılması ve asenkron motorun daha sağlıklı kontrolünü sağlamaktır. Kontrol algoritması olarak Bulanık Mantık algoritması tercih edilmiştir.

Çelik (2006), çalışmasında modülasyon tekniklerinin Matlab/Simulink ortamda benzetimleri yapılarak, kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmıştır. Ayrıca gerilim kaynaklı invertörden beslenen üç fazlı asenkron motorun skalar V/f hız kontrolü yapılarak, uzay vektör PWM'in gerçek bir sistem üzerinde diğer modülasyon tekniklerine göre üstünlükleri gösterilmiştir.

Öztürk (2006), çalışmasında AC motor kontrolünde kullanılan Uzay Vektör Modülasyonu yöntemi incelenmiştir. Uzay Vektör Modülasyonu yöntemi, Kare Dalga PWM ve Sinüsoidal PWM yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Uzay Vektör Modülasyonu ile Dc Bara geriliminin daha etkin kullanıldığı, bu yöntemin isimlerinin vektörel olarak yapılması açısından uygun olduğu üç fazlı sinüsoidal gerilimlerin dönen bir vektör ile kolaylıkla sentezlenebileceği ve sinüsoidal PWM yöntemine göre aynı anahtarlama frekansı için daha düşük THD değerinin elde edileceği tespit edilmiştir. Gerilim beslemeli invertör ve mikrodenetleyici yardımıyla bu kontrol yöntemleri ile asenkron motorun açık çevrim kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Böcker ve Mathapati (2007), konferans bildirelerinde öncelikle asenkron motor kontrol teknolojilerini tarihçesinin detaylandırılması ve kilometre taşlarının belirlenmesi ile başlamıştır. İkinci olarak endüstriyel sürücüler ile ilgili avantaj ve dezavantajlar, sistemlerin şu anki haline gelmek yapılan çalışmalara değinilmiştir. Son olarak şuan dünyadaki asenkron motor kontrolü üzerine yeni geliştirilen yöntemler üzerine bir bildirişte bulunulmuştur.

Chatterjee ve ark. (2008), yaptıkları çalışmada akıllı kontrol yöntemlerinin uygulaması yapılmıştır. Bulanık mantık algoritması oluşturulmuş ve gerçek zamanlı incelenmiştir. Ayrıca nöral ağ çalışması da yapılarak sistem eğitilmiş ve bulanık mantık algoritmasıyla çalışan sürücü ile karşılaştırması yapılmıştır.

Erdem ve ark. (2008), çalışmalarında darbe genlik modülasyonu kullanılarak asenkron bir motorun hız kontrolünün uygulamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla çalışmada, bu tekniğe uygun bir motor sürücü devre tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Tasarlanmış olan bu sistem ile hedeflenen, asenkron motorun besleme gerilim frekanslarının (V/f) değiştirilmesi ve buna bağlı olarak lineer değişen motorun dönüş hızını elde etmektir. Sistem bir asenkron motor ve motor sürücü devresinden oluşmuştur.

Xue ve Liu (2009), yaptıkları çalışmada V/f sabit oran yönteminin simülasyon ve gerçek zamanlı olarak kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Geri bildirim olarak stator manyetik alan akısını ölçmüşlerdir. Manyetik alan akısının ölçümünü ise stator sargı gerilimini ölçerek bulmuşlardır. Yapılan çalışmada simülasyon ortamındaki sonuçlar ile gerçek zamanlı sonuçlar örtüşerek birbirini doğrular cinstendir.

Yumurtacı ve ark. (2009), çalışmalarında Uzay Vektör Modülasyon (SVM) tekniği asenkron motor kontrolünde üç fazlı gerilim beslemeli inverter için popüler ve önemli bir PWM tekniğidir. Bu çalışmada Uzay Vektör PWM (SVPWM) inverterin çoklu darbeler yöntemini kullanarak yapılan harmonik analizi incelenmiştir. Çoklu darbeler yöntemi çıkış PWM dalga şeklinin her bir pozitif ve negatif darbesinin Fourier katsayılarını hesaplamakta ve tüm PWM çıkış sinyalinin Fourier katsayılarını hesaplamak için süper pozisyon ilkesini kullanarak birbirleriyle toplamaktadır. Harmonik genlikleri; doğrusallaştırma, tarama tabloları kullanımı ya da Bessel fonksiyonları olmaksızın bu yöntemle doğrudan hesaplanabilir. Çalışmasında, değişken

parametre değerleri için SVPWM uygulamasından elde edilen sonuçlar, çoklu darbeler yöntemiyle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmasını yapmıştır.

Marino ve ark. (2010), yaptıkları çalışmada sensörsüz indüsiyon motoru kontrolünün güvenilir ve daha uygun fiyatlı üretimine olanak sağlayacak önerilerde bulunulmuş ve bu öneriler hipotezler ile kanıtlanmaya çalışılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi için sensörlü bir geri bildirim sistemi de oluşturmuşlar ve sistemleri karşılaştırmışlardır. Kullanılan yöntem literatürde de önemini yeni kazanmaya başlamış olan adaptif sistem kontrolü yöntemidir. Adaptif kontrol yönteminde sistemin ne olduğuyla ilgilenilmeksizin girdi çıktı arasında sürekli güncellenen bir fonksiyonel direkt ilişki aranmakta ve bu ilişkiye göre girdi modifiye edilmektedir.

Yang ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada Alan yönlendirme yöntemini ve V/F sabit oran kontrol yöntemini mikroişlemci tabanlı uygulamalı karşılaştırmasını yapmışlardır. Yapılan çalışma göstermiştir ki alan yönlendirme yönteminin daha doğru ancak daha geç cevap veren bir sistem olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumun sebebinin ise analog değer okuma sürelerinin mikroişlemcilerde mikro saniye mertebelerinde olması ve buna bağlı olarak tepkide gecikmelerin olmasıdır. Kompanse edilemeyen bu gecikme mikroişlemci gücü arttırılarak aşılabileceği sonucuna varılmışlardır.

Nur ve Omaç (2015), çalışmalarında, üç fazlı sincap kafesli asenkron motorun stator gerilimi üzerinden hız kontrolü yapılmıştır. Bunun için öncelikle sincap kafesli asenkron motorun boştta çalışma ve kısa devre deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen gerilim, akım ve güç çarpanı ile asenkron motorun eşdeğer devresi elde edilmiştir. Bulunan parametreler üzerinden asenkron motorun giriş gerilim, çıkış hız olacak şekilde bir transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Ziegler-Nichols yöntemi ile asenkron motor transfer fonksiyonu kullanılarak PI denetleyici tasarlanmıştır. Devamında üç fazlı kontrolsüz doğrultucu ve buck tipi dc kıyıcı devreleri tasarlanmıştır. Bu devreler PWM inverter ile desteklenerek devre simülasyonu tamamlanmıştır. Bu çalışma sayesinde, endüstriyel uygulamalarda kullanılacak kararlı bir hız kontrol projesi tasarlanmıştır.

Açıkgöz ve ark. (2015), çalışmalarında üç fazlı uzay vektör darbe genişlik modülasyon (SVPWM) tabanlı doğrultucu için Matlab/Simulink paket programında

benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir Bu tip çevirici için ilk olarak PI denetleyici ve Bulanık-PI denetleyici tasarlanmış ve AC/DC çeviricinin gerilimi denetlenmiştir. Daha sonra her iki denetleyici aşma, yükselme zamanı, yerleşme zamanı, güç faktörü ve toplam harmonik bozulumu (THD) açısından karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

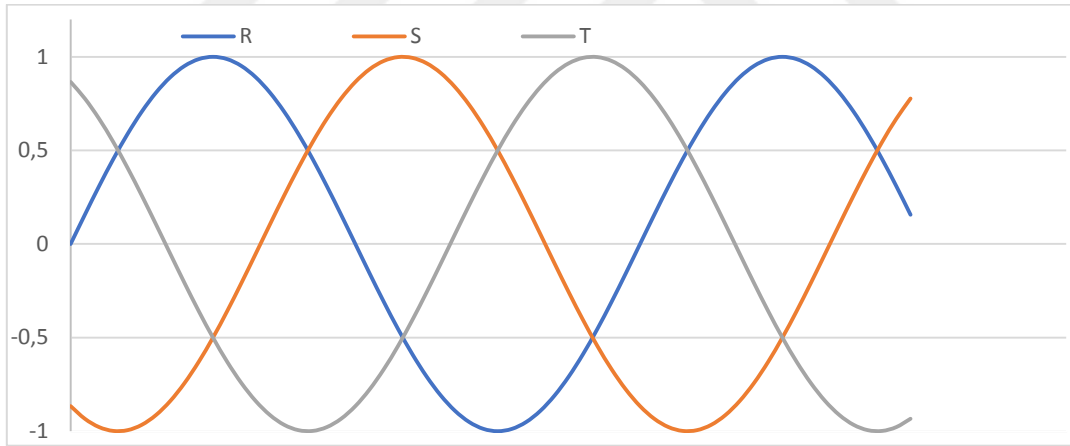
Velani (2018), çalışmasında V/f sabit oran yöntemini matlab/simulink programında simüle ederek açık çevrim, kapalı çevrim arasındaki performans farklılıklarını, avantaj ve dezavantajlarını incelemiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Asenkron (indüksiyon) motorları

Asenkron motorlar bir veya üç fazlı çalıştırılabilir. Motorlar için kullanılan üç fazlı elektrik şebekelerinde, her faz arası 120 derecelik bir sinyal farkı bulunmaktadır. Şekil 3.1.'de üç fazlı bir elektrik sinyali gösterilmiştir. Şekilde verilen değerler standart değerler olup çok katmanlı invertörler sayesinde voltaj değeri olan 380 Volt artırılıp, azaltılabilmektedir. Çok katmanlı invertörler başka bir bölümde detaylı olarak ele alınacaktır. İndüksiyon motorları önceden de bahsedildiği üzere frekans değerine göre dönmektedir. Voltaj ve amper kapasitesine göre de tork uygulamaktadır. Bu durumda asenkron motorlarının kontrolü için yapılması gereken temel kontrol frekans ve genlik üzerine olmaktadır. Ayrıca tork ayarı ise motorun sargı tellerinin gerekli akım değerini taşıyabilecek kapasitede seçilmesi ile gerçekleştirilebilir(Fernandez ve ark., 2017).



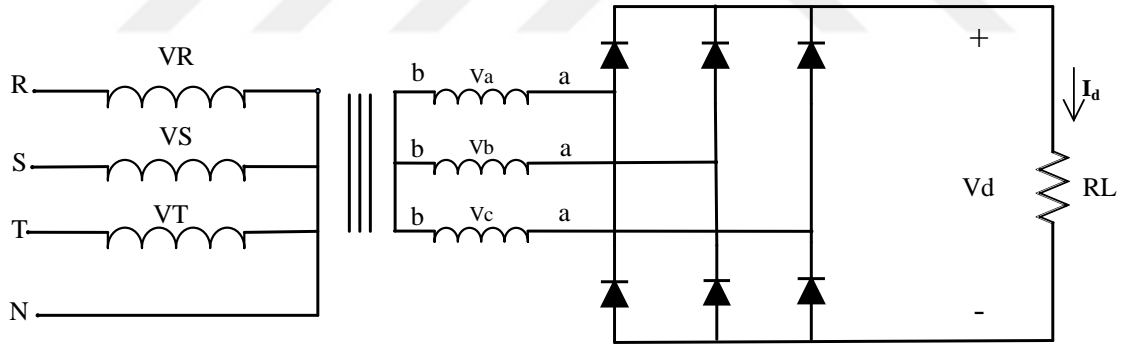
Şekil 3.1. 3-faz elektrik sinyali.

Asenkron motor bağlantısı yıldız ya da üçgen bağlantı şeklinde olabilir. Tam kapasite sürüş yani hız kontrolsüz sürüş için özel tasarlanmış sigorta tipi ürünler kullanılabilir. Ancak bu durumlarda dahi motor ömrü kısalmaktadır. Nasıl ki bir araba 5. Vites ve 3000 devir ile harekete geçemiyorsa aynı durum asenkron motorları için de geçerlidir. İndüksiyon motorları 200 kW değerlerine kadar standart üretimde

mevcuttur. Daha yüksek güçlü asenkron motorları da bulunmaktadır ancak özel üretim olarak yapılmaktadır. Asenkron motorun üstünlükleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Sürekli bakım istemez,
- Yük altında devir sayıları çok değişmez,
- Elektronik devreyle devir sayısı kolayca ayarlanabilir,
- Fiyatı diğerlerine oranla ucuzdur,
- Çalışma anında ark (kıvılcım) üretmez,
- Bir ve üç fazlı olarak üretilebilir,

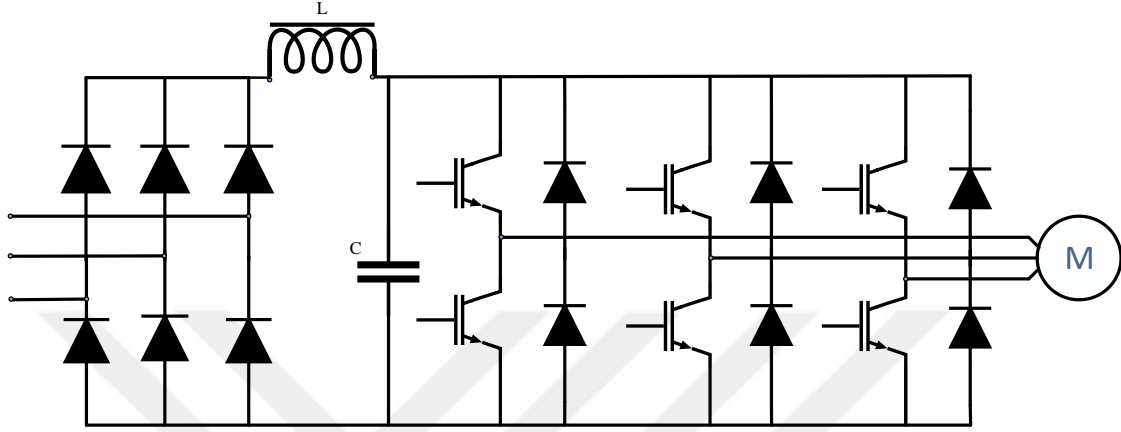
Bir asenkron motorunun sürülmesi için tasarlanan sürücüde 3 bölüm bulunur; doğrultma bölümü, invertör bölümü ve geribildirim. Geribildirim bölümü her sürücüde bulunmayabilir. Bu sistemler daha basit ve daha uygun fiyatlıdır. Hassasiyetin çok önemli olmadığı yerlerde kullanılır. Doğrultma denilen bölüm, 6 adet diyotun özel bir konfigürasyonda sıralanarak alternatif akımın doğru akıma çevriminin yapıldığı bölümdür. Şekil 3.2.'de doğrultma bölümünün şematik gösterimi yer almaktadır(Demirbaş ve ark., 2008).



Şekil 3.2. 3 Fazlı kaynağın Doğru Akıma Dönüşüm Devresi.

Şekil 3.2.'de görüldüğü üzere 3-faz giriş, fazlar arası 380 V olduğu varsayılırsa, şekildeki devre ile alternatif akım doğru akıma dönüştürülmüştür. Doğrultma devresi sonrasında motor için gerekli olan değişken gerilim ve değişken frekans elde edilebilen 3-faz inverter gereklidir. İnvörtörler genellikle MOSFET ya da IGBT gibi yüksek frekanslarda çalışabilen yarıiletken güç anahtarları ile tasarlanır. MOSFET'lerin birçoğu yüksek akım değerlerine dayanıklı değildir. Ayrıca sürekli çalışma durumunda arıza

verebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı yarı iletken üreticileri IGBT adı verilen ve invertörlerde yaygın olarak kullanılan güç yarıiletkenlerini üretmişlerdir. Güvenilir olması ve doğru kullanımda kolaylıkla bozulmayan bir teknolojidir.



Şekil 3.3. Doğrultucu ve invertör basitleştirilmiş devre şeması.

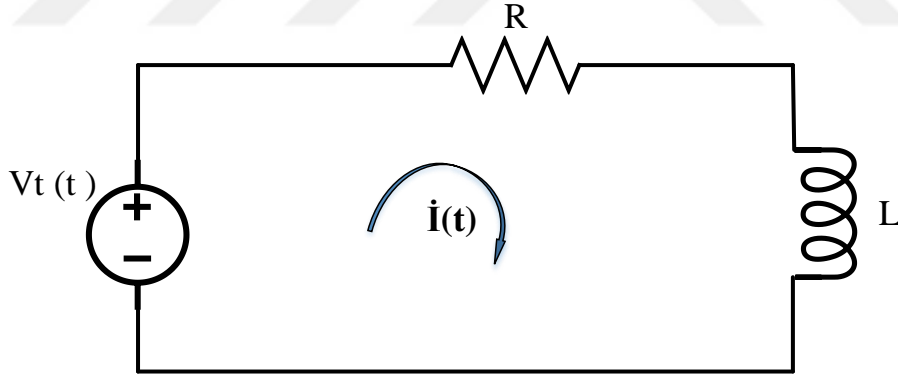
Şekil 3.3.'de bir invertör devresinin doğrultma bölümü ile birlikte en basite indirgenmiş hali gösterilmiştir. Bu devrede diotlar doğrultma konfigürasyonundadır. Şekil 3.3'ün sağ tarafında ise IGBT köprüsü yer almaktadır. IGBT'nin kontrol uçları bir kontrol sistemine bağlıdır. Bu sistem V/f sabit oran ve alan yönlendirme yöntemlerinde farklı bir işleyişe sahiptir. V/f sabit oran kontrolünde SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) algoritması kullanılmaktadır. Programlanmış IGBT kontrolü sayesinde ve bir sinüs dalgası karşılaştırması ile sıfır ve maksimum değer arasında değişken bir hız elde edilebilmektedir(Kılıç ve ark. 2015).

SPWM bir sinüs dalgasının darbe genişlik modülü ile taklit edilmesine verilen kısaltmadır. PWM modülü belli bir frekansta lojik yüksek yada lojik düşük sinyal üreten bir modüldür. Bir karşılaştırma devresi kurularak karşılaştırma sinyali verilir. Bu sinyal bir sinüs dalgasıdır. Sinüs dalgasının zamana göre karşılık gelen değerinin pozitif, negatif, artan ve azalan olmak üzere 4 özelliğine bakılır. Bu özellikler neticesinde Şekil 3.3.'de verilen devredeki IGBT'ler açılıp kapatılır. Her ikili IGBT bir sinüs dalgasından sorumludur. Bu halde 6 IGBT ile 3 adet sinüs dalgası oluşturulur.

SPWM ile dijital bir sinyal oluşturulmaktadır. Bu sinyalin kümülatif ortalamasına bakıldığında ortaya bir sinüs dalgası çıkmaktadır. PWM sinyalinin frekansı ne kadar yüksek olursa o kadar gerçek sinüs dalgasına yakın bir çıkış alınmaktadır. Bunun için genelde 2 MHz frekansa sahip özel PWM modülleri kullanılmaktadır.

Motor kontrol yöntemlerinde, motora uygulanan yük önemli bir dış etkidir. Motor yük altında kalkış yaparken kayma yapmaması için yüksek tork ile başlatılmalıdır. Yoksa kayma yaptığı için hesaplanan ve asıl hız değerleri farklılık gösterecektir.

Asenkron motorları bir RL devresi olarak tasarlanabilmektedir. Şekil 3.4.'de basit bir RL devresi gösterilmektedir. Simülasyon amacıyla bu tip uygulamalar yapılsa da Matlab/Simulink programı veritabanında farklı güçlerde motorların eşdeğer devreleri ve bağlantı şemaları bulunmaktadır. Simülasyon amacıyla asenkron motor bloğu kullanılmıştır. Bu bloktaki motor değişkenleri kullanılarak alan yönlendirme yöntemi uygulamasında da aynı motor kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Basit bir RL devre şeması.

3.2. Temel motor yasaları

Heinrich Lenz tarafından buluşu yapılan indüksiyon yasasına göre, indüksiyon elektromotor kuvvetinin elde edilmesi ve yönünün saptanması sağlanır. Michael Faraday ise manyetik alan değişimi ile oluşan elektromanyetik kuvvetin motorlarda kullanılmasının önünü açmıştır.

İndüksiyon yasasına göre, bir iletken üzerinde veya devrede indüklenen elektromanyetik kuvvet, o devreden geçen manyetik akının zamana göre türevi ile orantılıdır. Bu akı değişimi ya manyetik alan yönünün zamanla değiştirilmesi ile ya da manyetik alan yön ve genliği sabitlenerek, devreden geçirilen manyetik akının zamana göre değiştirilmesi ile sağlanır.

Asenkron motoru kullanılan makinelerde uygulanan yöntem ise alternatif bir manyetik alan kullanarak devrenin sabit tutulması yöntemidir. İndüklenen elektromanyetik kuvvet bir sargı için; $e = -\frac{d\phi}{dt}$ şeklinde gösterilebilmektedir. Seri bağlama durumunda ise seri bağlı sarım sayısı ile akının zamana göre türevinin çarpımı elektrik alanı verir.

Biot-Savart yasasına göre bir manyetik alan içerisinde bulunan iletken bir malzeme üzerinden akım geçiyorsa aynı zamanda akımın yönüne göre bu iletken üzerine bir kuvvet uygulanır. Bu kuvvetin kullanılması ile temassız olarak asenkron motorlarının dönmesi sağlanmaktadır. Etkiyen kuvvetin hesaplanmasında “Eş.3.1” kullanılmıştır.

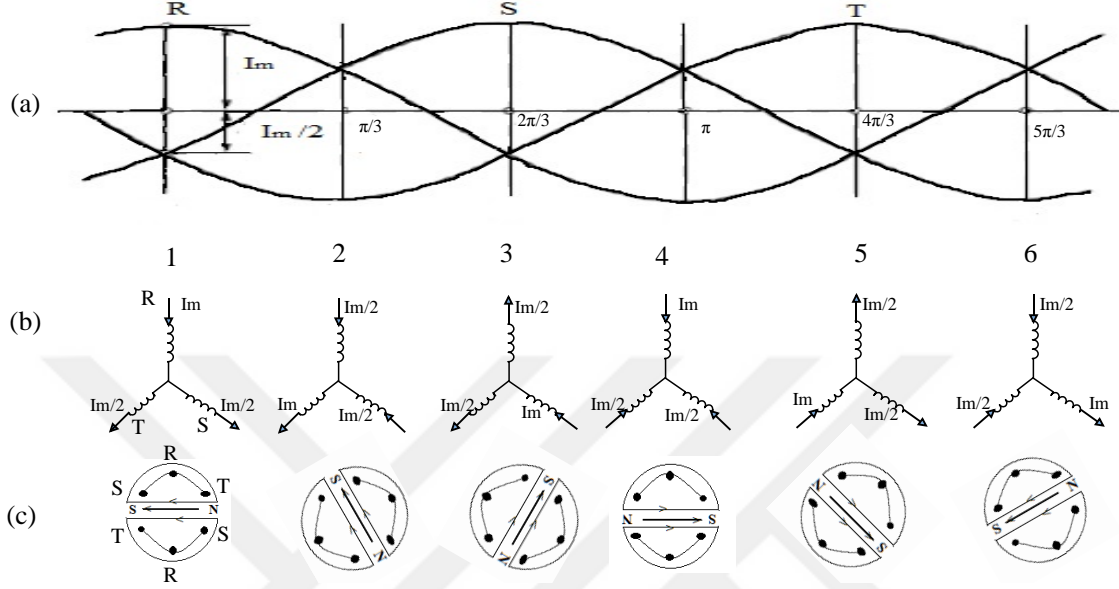
$$F = B.I.L \quad (3.1)$$

3.3. Döner manyetik alan teorisi

Döner manyetik alan teorisi sürekli merkez etrafında bir eksene dik olacak şekilde faz farkı ve frekans dolasıyla ile dönen manyetik alanı tarif eden bir teoridir.

Şekil 3.5. (c)'de 3-fazlı yıldız bağlı asenkron motorun stator sargılarındaki manyetik akı yönü değişimi gösterilmiştir. Her bölge için akım yönleri verilmiştir. İndüksiyon yasası dolayısıyla bir Φ akısı oluşur. Bu Φ akısının yönü sağ el kuralı ile bulunabilir. Sağ elin dört parmağı akımın giriş yönünden çıkış yönüne doğru kıvrıldığında başparmak yönü Φ akı yönünü gösterir. 0 derece için bu akı, R fazında Φ ise; S ve T fazlarında $\Phi/2$ 'dir. Çünkü, R fazından maksimum akım, S ve T fazlarından ise maksimum akımın yarısı kadar bir akım akmaktadır. Dolayısıyla toplam akı vektörel toplandığında $3\Phi/2$ 'lik bir akı elde edilir. Oluşan bu akı saat yönünde senkron bir hızla

hareket eder, bundan dolayı rotor akıyı takip eder ve motor saat yönünde dönmeye başlar.



Şekil 3.5. (a) 3 faz sinüzoidal sinyal (b) yıldız bağlı stator akım (c) manyetik alan.

Bunlara ek olarak motorun saat yönünün tersine dönmesi istenirse faz sıralama farkı oluşturulması gerekmektedir. Bu faz sıralama farkı sayesinde R-S-T sıralaması R-T-S şekline getirilir ve motor saat yönünün tersine hareket eder.

3.4. Üç fazlı asenkron motorunun fiziksel yapısı

Asenkron motorlarında meydana gelen indüksiyon akımı elektrik alan içinde “Eş.3.1” de verilen şekilde bir kuvvet oluşturur. Oluşan kuvvet motorun dönmesini sağlar. Dönen parçaya rotor denir. Sabit olan ve elektrik alanın üretilmesinden sorumlu olan kısım da stator olarak adlandırılır. Her iki parça da birbirine uyumlu olabilmesi için dönme mekanizması gereği silindirik yapıdadır. Rotor ve stator arasında çok küçük bir boşluk bulunur buna hava boşluğu denir. Boşluk ne kadar az olursa verim o kadar yüksek olur ancak mekanik problem riski de beraberinde artmaktadır. Herhangi bir yataklama probleminde stator zarar görebilir. Bu sebeple risk ve verimin birbirine oranla bir dengede tasarlanmaktadır.

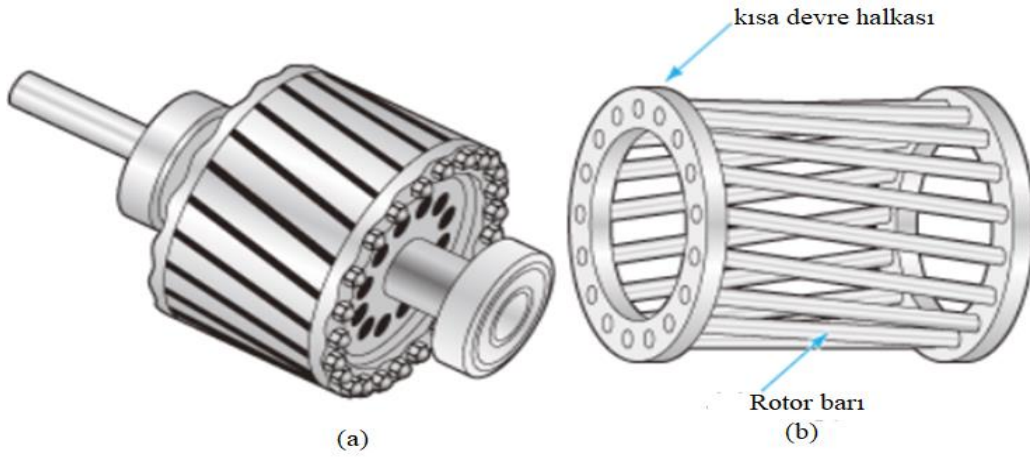
Asenkron motor rotorun yapısına göre; sincap kafesli ve bilezikli rotor asenkron motor olmak üzere iki tipte üretilir.

3.4.1. Rotor

Asenkron motorlarında iki tip rotor üretimi bulunmaktadır. Bunlar sincap kafesli ve bilezikli rotor olarak adlandırılır.

3.4.1.1. Sincap kafesli rotor yapısı

Sincap kafesli rotorlar birbirine paralel ve dönme eksenine hafif açılı şekilde dizilmiş barlardan oluşur. Barların ortasında lamine şekilde birleştirilmiş demir plakalar vardır. Şekil 3.6.'da sincap kafesli rotor gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi barlar birbirine paraleldir. Bunun sebebi elektromanyetik alanın aynı düzlemde olmasıdır. Bobin sarımları da bu açıya göre yapıldığında kuvvetten alınacak maksimum verim amaçlanmaktadır.



Şekil 3.6. (a) rotor, (b) sincap kafesi.

3.4.1.2. Bilezikli rotor yapısı

Bilezikli rotorda birçok bobin bulunur. Bobinler birçok ince telden oluşur ve uçları yıldız veya üçgen şeklinde ağırlantı yapılıdır. Böylece indüksiyon akımı çok telli

yapıdan daha düzgün dağılacağı için daha verimli bir rotor oluşur ancak üretimi maliyetlidir. Yüksek güçlü motorlarda verim artırma amacıyla kullanılan bir rotor tipidir. Şekil 3.7.'de bilezikli rotor gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Bilezikli rotor yapısı.

3.4.2. Stator

Manyetik alanın oluşturulduğu sargıyı içerir. İçerdiği bu sargıya stator sargısı adı verilir. Stator sargısı içerisinde bol miktarda manyetik akı akıttığı için sargılarda demir kayıpları denilen kayıplar meydana gelmektedir.

Statoru silindirik biçimine getirmek için halka şeklinde saçlar kesilerek art arda eklenir, böylece “stator saç paketi” oluşturulur. Bu paket karkas içerisine pres işlemiyle yerleştirilir. Yüksek güçlü makinalarda demir kayıplarından dolayı fazla miktarda ısı açığa çıkar ve bu ısının tahliye edilmesi gerekir. Birçok asenkron motorunun rotoruna bağlı fan bulunur. Demir kayıplarından dolayı oluşan ısının atılması için motor karkası finli bir yapıya sahiptir ve fan sayesinde motor hızlandıkça hızlanan ısı kayıp katsayısı ile motorun soğuması sağlanır. Motorun soğuması yapılmaması durumunda oluşacak sıcaklık artışı bakır tellerin direncinde artışa dolayısıyla verimde düşüşe sebep olmaktadır.

3.4.2.1. Sargılar ve kutuplar

Asenkron motorlarını daha basitleştirmek için Şekil 3.5.'de verilen N-S kutupları her motorda birer adet olmamaktadır. Birden fazla N-S ikili kutbu olabilir. Çok sayılı kutup için çok sayılı bobin sargısı gereklidir. Kutup sayısının artması, rotora uygulanan kuvvetin artması demektir. Dolayısı ile motor gücünün de artması demektir.

AC motor sargıları farklı tiplerde yapılabilir. İndüksiyon motorlarında bir çift kutup var ise elektriksel olarak bir periyot bir tura karşılık gelmektedir. Kutup çifti sayısı arttıkça elektriksel periyodun karşılığı olan tur sayısı aynı oranda azalır. Örneğin 2 çift kutuplu motorun tam tur dönmesi için 2 elektriksel periyot gereklidir. Bu yüzden ki yüksek hız isteyen uygulamalarda kutup sayısı 2 olurken sargı telleri kalın ve rotor üzerinde dengeleyici ağırlık tekeri bulunmaktadır.

Bobin yanları arasındaki bobin genişliğinin 180° olması veya bir kutup adımına eşit olması halinde sargıya “çap sargısı” denir. Bazı hallerde bu açı 180° 'den farklı olur. Böyle durumlarda sargıya “kirişlenmiş sargı” denir.

3.5. Asenkron motorlarında kayma

Manyetik alanın dönüş hızına -stator içerisinde oluşan- senkron hız(n_s) denilmektedir. Asenkron motorda, senkron hız her zaman, rotorun dönüş hızından(n_r) büyüktür. Çünkü, rotor hızı senkron hıza eşit olduğu anda -kararlı çalışma evresinde- bu sefer döner manyetik alanın oluşturduğu akılar rotor üzerinde zamanla değişmeyerek indüksiyon yasasına göre, elektromotor kuvvet ve kuvvet üretmeyecektir. Bu durumun gerçekleştiği varsayılsa da, rotoru ivmelendiren kuvvetin olmayışı, rotor hareketini sadece frenleyici kuvvetlere teslim edeceğinden, makine yavaşlamak mecburiyetinde kalır. Nihai durumda motor yavaşladığında tekrar indüksiyon akımı üretilerek dönme hareketi devam eder. Asenkron motorlarda kayma “s” ile gösterilir ve $s = \left(\frac{n_s - n_r}{n_s} \right)$ formül ile bulunur.

3.6. Asenkron motorların matematiksel modellemesi

Asenkron motorun stator sargılarından geçen akımın etkisiyle stator döner alanı oluşur. Bu alanın etkisiyle rotor sargılarında akım indüklenir. Rotor sargıları üzerinden geçen akımlar da rotor döner alanını oluşturur. Oluşan stator ve rotor döner alanlarının birbirini etkilemesi sonucu rotor dönmeye başlar. Asenkron motorun stator direnç ve indüktansı ve rotora indirgenmiş dirençleri gibi eşdeğer devre parametreleri ileri kontrol yöntemlerinde kullanıldığında, bu parametreler sıcaklıkla ve zamanla değişeceğinden kontrol için yetersiz kalmaktadır. Ayrıca motor üretildiğinde değerleri net olarak verilemeyen parametreler vardır. Bu nedenle, motor parametrelerini elde etmek için genellikle boşa ve kısa devre deneyleri yapılır(Uddin ve ark., 2002).

Asenkron motorlarla ilişkili birbirinden farklı sorunların çözümü için değişik matematiksel modeller kullanılmıştır. Bunlar basit eşdeğer devre modellerinden d-q modellerine kadar değişmektedir. Son yıllarda genel endüstriyel uygulamalar ve üretim otomasyonları için yüksek performanslı asenkron motor sürücülerini geniş araştırma konusudur. Asenkron motorların kararlı durum ve dinamik durumlardaki değişken halleri nedeniyle asenkron motorların matematiksel olarak modellenmeleri ilgi çekmektedir.

Mühendislik hesaplarında, genellikle dq0 dönüşümü veya 0dq dönüşümleri üç faz devrelerin analizini basitleştirmek için kullanılan matematiksel dönüşümlerdir. Dengelenmiş üç faz devrelerde dq0 dönüşümünün yapılması ile üç tane AC değişkenleri iki tane DC değişkenlerine indirilir. Basitleştirilmiş hesaplamalar bu hayali DC değerlerine bağlı olarak yapılır ve en son olarak ters dönüşüm yapılarak asıl AC parametrelerine dönülür.

Kontrol yöntemlerinde kontrol kolaylığı açısından ve sistemin daha iyi anlaşılabilmesi için motorun matematiksel modeline ihtiyaç vardır(Ohtani ve ark., 1992).

3.7. Uzay vektör tanımı

\dot{i}_a , i_b ve i_c anlık dengelenmiş üç faz stator akımlarıdır.

Bu durumda;

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad (3.2)$$

O halde stator akımı uzay vektörü Eş. 3.2'deki gibi tanımlanabilmektedir.

$$i_s = k(i_a + ai_b + a^2i_c) \quad (3.3)$$

denklemde a ve a^2 ; uzay vektör operatörleri, k ; transformasyon sabiti.

$a = e^{j2\pi/3}$ olarak tanımlanmıştır.

$k = 2/3$ olarak seçilmiştir.

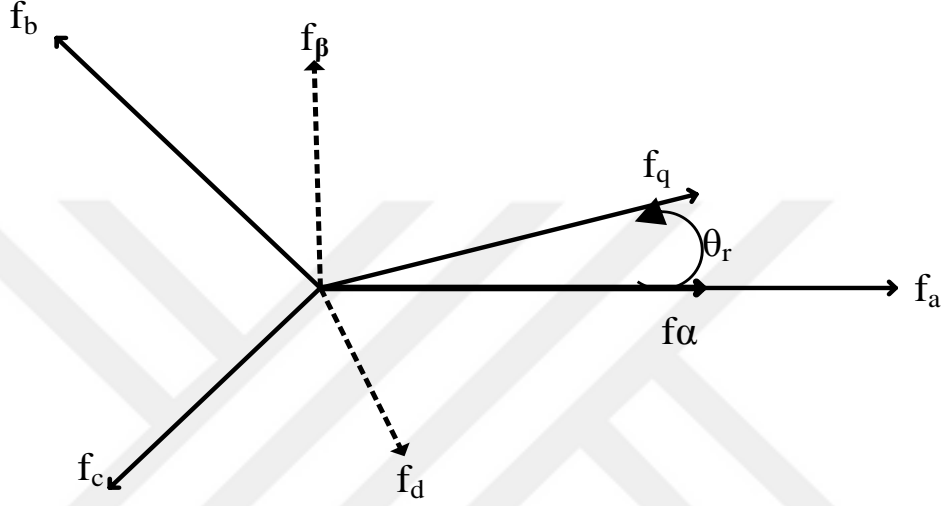
“Eş.3.3” de tanımlanmış olan uzay vektörü, çift eksen teorisinden yararlanılarak da ifade edilebilir. Uzay vektörünün reel kısmı, enine eksen stator akım bileşeninin ($i_{s\alpha}$) ani değeri ile eşittir ve boyuna eksen stator akım bileşeni ($i_{s\beta}$) ile de imajiner kısmı eşittir. Böylece sabit referans sisteminde, stator akımı uzay vektörü tanımlanmış olur ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Özçira ve ark., 2007).

$$i_s = i_{s\alpha} + i_{s\beta} \quad (3.4)$$

3.8. Referans düzlem dönüşümleri

Asenkron motor ya da sabit mıknatıslı senkron motor gibi alternatif akım motorlarında yüksek performanslı sürücü geliştirmek için faz düzlemleri arasında dönüşüm gerçekleştirilir. Faz dönüşümlerini kullanmak suretiyle motor dinamik eşitliklerinde değişkenlerin sayısı azaltılmakta, böylece eşitliklerin çözümü daha hızlı

olmaktadır. Faz dönüşüm işlemleri genellikle 3-faz sabit düzlemden 2-faz sabit düzleme (clark dönüşümü), 2-faz sabit düzlemden 3-faz sabit düzleme ters clark dönüşümü (clark), 2 veya 3-faz sabit düzlemden 2-faz rotor düzlemine (park dönüşümü) ve 2 faz rotor düzleminden 2 ya da 3-faz sabit düzleme ters park dönüşümü (park) şeklinde gerçekleştirilir. Referans düzlemler Şekil 3.8.'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Referans düzlemler(Özçıra ve ark., 2012).

Referans düzlemde f_a , f_b , f_c , birbirinden 120° faz farklı 3-faz sabit referans düzlemi, f_α, f_β , birbirinden 90° faz farklı 2-faz sabit referans düzlemi ve f_d , f_q 'da birbirinden 90° faz farklı 2-faz rotor referans düzlemini ifade etmektedir. Şekil 3.8.'de θ_r açısı rotor referans düzleminin dönme açısını göstermektedir(Özçıra, 2007).

3.8.1. Clarke dönüşümü(a, b, c) \rightarrow (α, β)

Üç eksenli koordinat sisteminden iki eksenli koordinat sistemine yapılan dönüşüm Clarke dönüşümü denmektedir. Clarke dönüşümün matris olarak genel gösterimi “Eş.3.5” de gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \\ i_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} & -\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

i_α ve i_β : dik açılı referans düzlem parametreleri,
 i_0 : homopolar sistem bileşenidir.

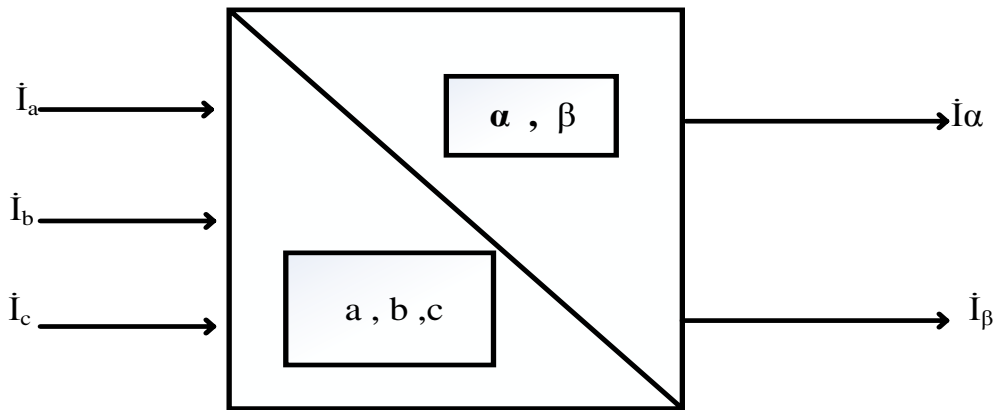
Birçok uygulamada homopolar bileşen yok kabul edilir veya önemsizdir. Bu durumda uzay vektörü

$$I = i_\alpha + i_\beta \text{ şeklinde ifade edilir.} \quad (3.6)$$

$$i_\alpha = i_a \quad , \quad i_a + i_b + i_c = 0 \quad (3.7)$$

Bu değerlere göre dönüşüm matrisi;

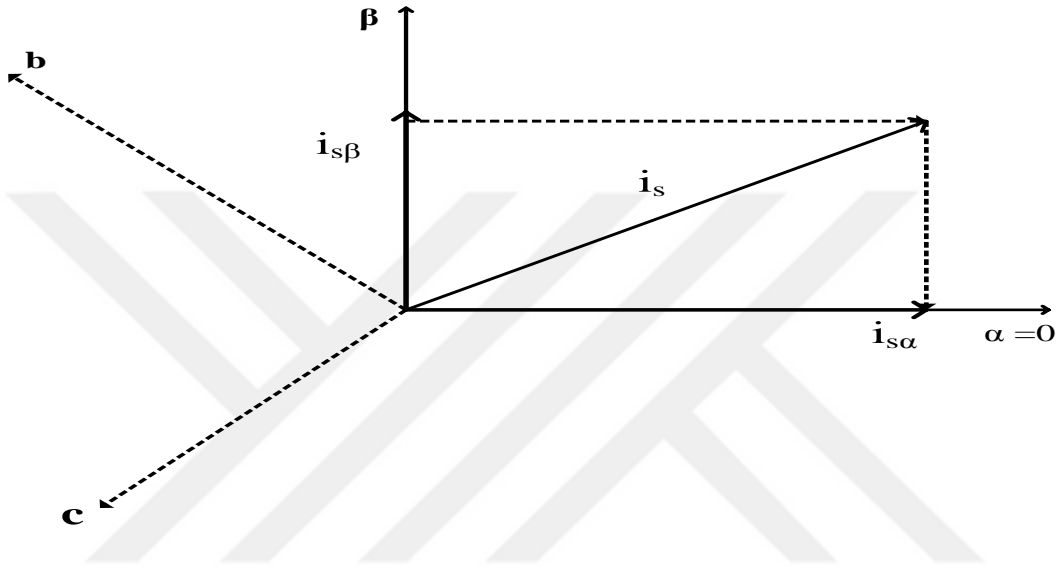
$$\begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{2}{\sqrt{3}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix} \quad (3.8)$$



Şekil 3.9. Clarke dönüşüm blok gösterimi.

Faz akımları toplamının sıfır olması sebebi ile clark dönüşümünde yalnızca iki faz akımı bilinmesi diğerinin bilinmesi demek olduğundan bu dönüşümde iki faz akımı “Eş.3.9” kullanılacaktır.

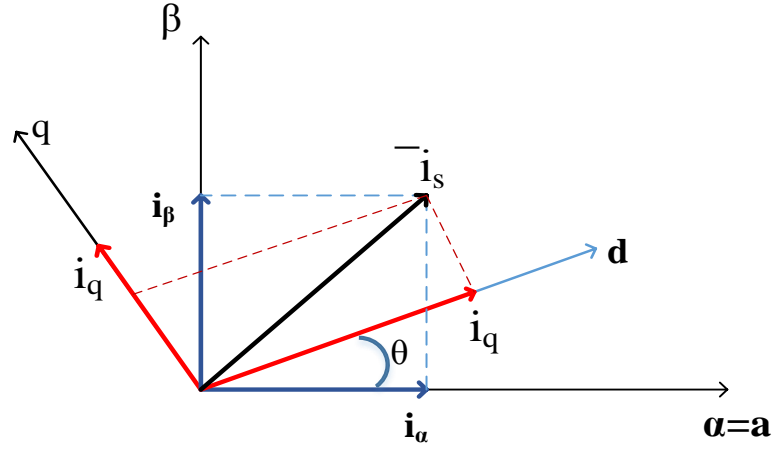
$$i_{\beta} = \frac{i_a + 2i_b}{\sqrt{3}} \quad (3.9)$$



Şekil 3.10. Stator vektör uzayı ve (α, β) 'daki bileşenleri.

3.8.2. Park dönüşümü $(\alpha, \beta) \rightarrow (d, q)$

Park dönüşümü vektör uzayı kontrol tekniğinde en önemli dönüşümdür. Bu dönüşüm sayesinde zaman ve hızdan bağımsız üç eksenli düzlemde, iki eksenli düzlemine geçiş yapılır. Clarke dönüşümüyle alfa ve beta düzlemine geçildikten sonra rotor akısının bağlı olduğu d-q düzlemine geçilir. Bu işlem için vektör açısı θ açısı kadar döner. Şekil 3.11.'de Stator akım uzay vektörü, (α, β) ve (d, q) referans sistemlerindeki bileşenleri gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Stator akım uzay vektörü ve referans sistemlerindeki bileşenleri.

Park Dönüşüm matrisi genel gösterimi “Eş.3.10” da verilmiştir.

$$\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_0 \end{pmatrix} = \frac{2}{3} \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin(\theta) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

θ : rotor akı pozisyonu;

$$\bar{i}_s = i_s e^{-j\theta} = i_d + j i_q \quad (3.11)$$

$$i_s = i_\alpha + i_\beta \quad (3.12)$$

$$\bar{i}_s = i_d + j i_q = (i_\alpha + i_\beta) e^{-j\theta} \quad (3.13)$$

Bu dönüşüm denklemleri ile “Eş.3.14” elde edilir.

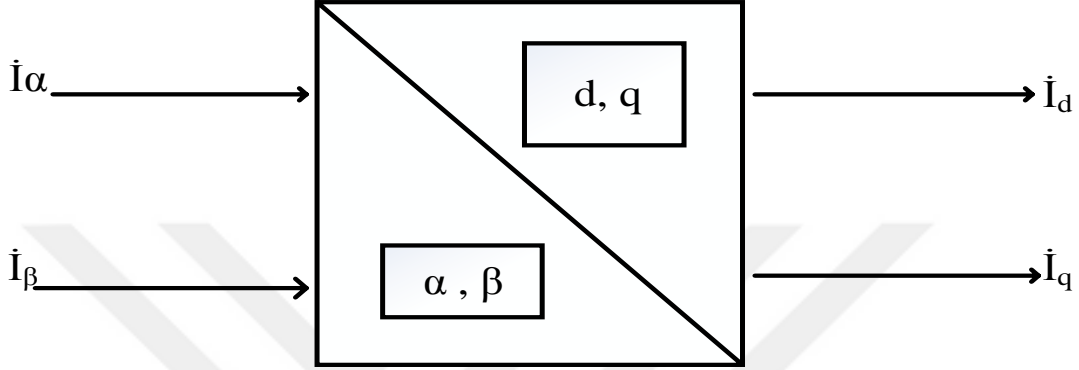
$$\begin{pmatrix} i_d \\ i_q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

Buna göre;

$$i_d = i_\alpha \cos\theta + i_\beta \sin\theta \quad (3.15)$$

$$i_q = -i_\alpha \sin\theta + i_\beta \cos\theta \quad (3.16)$$

olarak bulunur.



Şekil 3.12. Park dönüşüm blok gösterimi.

3.8.3. Ters Park dönüşümü (d, q) → (α, β)

Bu dönüşüm statora uygulanacak üç fazlı stator geriliminin iki eksenli koordinat sistemindeki izdüşümünü verir. Burada Park dönüşümünden elde edilmiş d-q eksen takımındaki akım izdüşümlerinin uygun PI denetim bloğuyla ayarlanmış referans gerilim vektörleri kullanılır. Bu bloğun giriş değerleri PI denetleyici ile elde edilir. i_{sdref} ve i_{sqref} referans akım değerleri ile Park dönüşümünden elde edilen akım değerleri PI kontrolör ile karşılaştırılarak hata miktarı kompanse edilir.

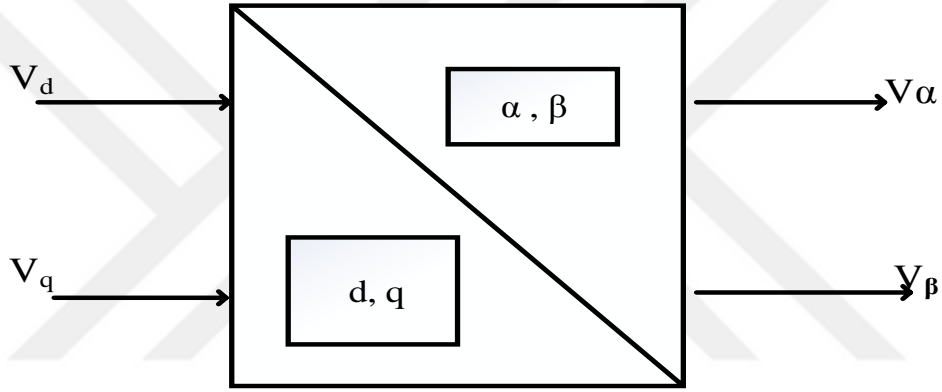
Sistemde oluşacak hata sinyali kontrolörde değerlendirilerek çıkışa aktarılmaktadır. Hata sinyali $e(t)$ sistem kazancı ile çarpılmakta ve hata sinyalinin integrali alınmaktadır. Sistemde integral kullanılarak çıkıştaki gerilimin limit değerleri aşması önlenir. Hata sinyalinin değerine göre PI çıkışı artırır veya azaltır. PI denetleyicinin çıkışında elde edilen vektörler gerilim vektörleridir.

Ters Park Dönüşüm matrisi formunun genel ifadesi “Eş.3.17” de gösterilmiştir.

$$\begin{pmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) & 1 \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & 1 \\ \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

Ters Park Dönüşümü ile gerilim vektörünün α - β düzlemindeki değeri “Eş.3.18” den hesaplanır.

$$\begin{pmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_d \\ v_q \end{pmatrix} \quad (3.18)$$

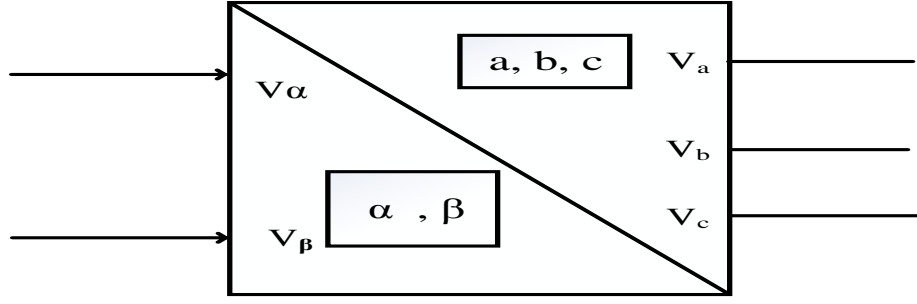


Şekil 3.13. Ters park dönüşümü blok gösterimi.

3.8.4. Ters clarke dönüşümü (α, β) \rightarrow (a, b, c)

Bu dönüşümde alfa-beta düzleminde üç boyutlu düzleme geçiş yapılır. Ters Clarke Dönüşüm sisteminin matrisi genel denklem ifadesi “Eş.3.19” de verilmiştir.

$$\begin{pmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 2 & 0 & 2 \\ -1 & \sqrt{6} & 2 \\ -1 & -\sqrt{6} & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \\ v_0 \end{pmatrix} \quad (3.19)$$



Şekil 3.14. Ters clark dönüşümü blok gösterimi.

3.9. Asenkron motor kontrol yöntemleri

Özellikle elektronik anahtarlama elemanlarının gelişimiyle güç elektroniğinde frekans dönüştürücü ve sürücü teknolojisindeki ilerlemeyle birlikte asenkron motorlar dikkat çekmişlerdir. Asenkron motorun devir sayısı miline bağlanan yük ve benzeri etkenlerden dolayı değişebilmektedir. Bazı uygulamalarda bu değişimler ciddi sorunlar oluşturur. Bu değişimi ortadan kaldırmak yani devir ayarını sabit tutmak için, motorun miline bağlanan yük miktarı artarsa motorun döndürme momenti de artırılır, motorun miline bağlanan yük miktarı azalır da döndürme momenti de azaltılır. Asenkron motor kontrolünde kullanılan çeşitli kontrol yöntemleri iki kategoride sınıflandırılabilir.

Bunlar;

- Skaler kontrol (V/f Kontrol)
- Vektör kontrol (Alan Yönlendirme Kontrolü)

Asenkron motorun değişken hızlı kontrollünde stator gerilimi, stator sargısı kutup çifti, stator frekansı ve rotor direncinin değiştirilerek motor kontrolü yapılır. Endüstriyel uygulamalarda motor stator gerilimini değiştirerek kontrol daha uygundur. Burada motora bağlanmış invertör vasıtasıyla motora üç fazlı sinüzoidal sinyaller uygulanarak çıkış kontrol edilir. Ancak burada çıkışın istenilen değere ayarlanabilmesi, darbe genlik modülasyon tekniği ile mümkündür.

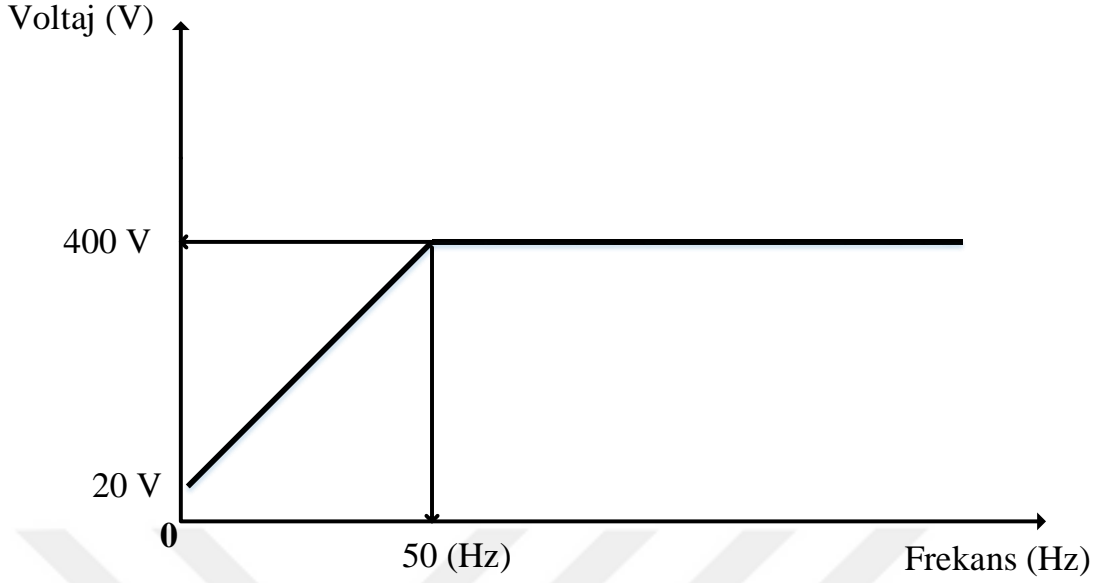
Darbe genişlik modülasyonu (PWM) invertörün AC çıkış geriliminin genlik ve frekansının kontrolü için kullanılan popüler bir tekniktir. Bu teknik değişken hızlı elektrik sürücüleri gibi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu

konudaki araştırmaların çoğu çeşitli Őema ve tekniklerden dolayı modülyasyon işleminin bir sonucu olarak oluşan harmonik bileşenlerinin belirlenmesi üzerinedir.

PWM en temel ifade ile üretilen anahtarlama darbelerinin geniliklerinin kontrol edilerek üretilmek istenen analog değerin elde edilmesidir. Sinyalin yüksekte kalma ve düşükte kalma süresi referans sinyale göre belirlenir. Uygulamalarda genelde referans sinyal sinüzoidal ve taşıyıcı sinyal üçgen dalga tercih edilir. PWM sinyalinin frekansını taşıyıcı üçgen sinyalin frekansına eşittir(Lai ve ark., 2001).

3.9.1. V/f sabit oran kontrol yöntemi

V/f kontrol yöntemi endüstride en çok kullanılan asenkron motoru sürme yöntemidir. Uygulama kolaylığı dolayısı ile fiyatı daha uygundur. V/f sabit oran kontrolünde voltaj “boost” denilen bir değerden başlar ve motor çalışma voltajına kadar yavaş yavaş tırmanış yapar. Bu durumda frekans da voltaj ile tırmanış yapar. Örneğin 400V, 50Hz bir asenkron motoru sürülüyorsa 20 volt girişten 400 volt tırmanış sonuna kadar frekans da yavaş yavaş tırmanır. Bu tırmanışın eğimi V/f oranını verir ve motor tam kapasiteye ulaşana kadar frekans 0-50 Hz arasında tırmanış yapar. Voltaj 400V seviyesine geldiğinde ise frekans rahatlıkla değiştirilerek motorun hızında kontrol yapılabilir. Şekil 3.15.’de V/f sabit oran kontrolü yapıldığında elde edilmesi gereken voltaj-frekans trendi ile Şekil 3.15.’de bu trendin oluşturulması için gereken kontrol blok diagramı gösterilmiştir(Abbordanti ve ark., 1975).



Şekil 3.15. V/f sabit oran kontrolü voltaj-frekans grafiği.

Bu yöntemle asenkron motorlarının hız kontrolü kolay bir şekilde gerçekleşir. Motoru, stator durgunken bile nominal torkta başlatmak, ayrıca hattan yüksek akımlar çekmemek mümkündür. Bu yöntemle hız kontrolün temel sebepleri, büyük ve ataleti yüksek yüklerin motorun başlangıç anında rotorda yüklenmesi istenmesidir.

Frekans değiştiriciler birincil olarak motorları devreye almak için kullanılmazlar. Asıl amaçları motor hızının ayarlanmasıdır. Diğer yöntemlere göre en yüksek maliyetlilerden biri olması sebebiyle motorları devreye almak için, motorda hız ayarlama gerekmedikçe tercih edilmezler.

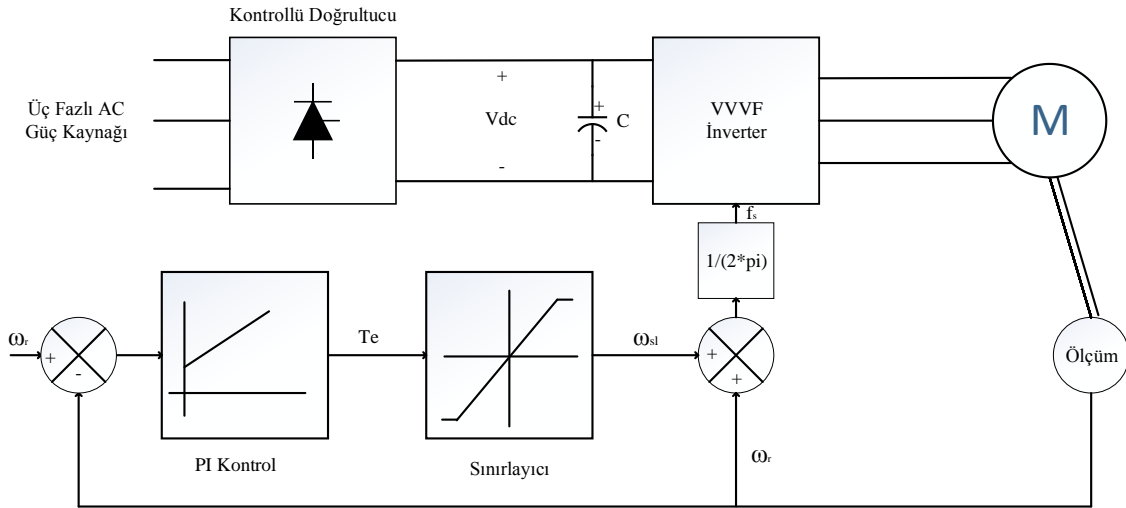
Bu yöntem sayesinde kademersiz, sürekli hız kontrolü yapılabilir. Statora uygulanan frekans değiştirilerek senkron hız (stator manyetik alan hızı) ayarlanabilir, buna bağlı olarak da rotor devri ayarlanabilir. Frekans artırıldıkça hız artar, azaltıldığında ise hız düşer. Fakat bu ayarın bir sınırlaması vardır. Küçülen frekansla eşdeğer devre empedansı da küçülür. Eğer bu sırada uygulanan gerilim sabit tutulursa, akım da artar. Bu durumda çekilen aşırı akımdan dolayı statorda meydana gelen büyük akım değerleri makinenin manyetik olarak doymasına neden olur. Bu durum da sargının yanmasına sebep olabilir.

Manyetik akı değerini sabit tutabilmek için, asenkron motorların nominal frekansının altında kalan bölgelerde, frekans yanında statora uygulanan gerilim de aynı

oranda değiştirilir. Yani V/f oranı sabit tutulur. Bu şekildeki hız kontrolüne bazen skaler kontrol de denir. Nominal frekanstan sonraki bölgede ise artık gerilim değeri nominal seviyede sabit tutulup sadece frekans değiştirilir.

V/f oranını ayarlayabilmek için şebekeye motordan hemen önce bir evirici (inverter) bağlanır. Eviricide, gerilimi istenilen frekansta ve genlikteki seviyeye getirmek için darbe genişliği modülasyonu (PWM) tekniği kullanılır. Yani sinüs şeklindeki AC gerilim önce bir tam kontrollü dalga doğrultucusu ve bir filtre yardımıyla DC gerilime doğrultulup daha sonra DC-AC evirici yardımıyla frekansı ve genliği ayarlanmış bir şekilde AC gerilime evrilir. Burada dikkat edilmesi gereken asıl nokta V/f sabit oranlı olmasına rağmen voltaj ve frekansın zamana göre türevlerinin de oranı sabittir ancak zamandaki değişim oranının herhangi bir bağlayıcılığı bulunmamaktadır. Ayarlanacak olan zamandaki değişim oranı motor gücüne göre sabitlenebilir.

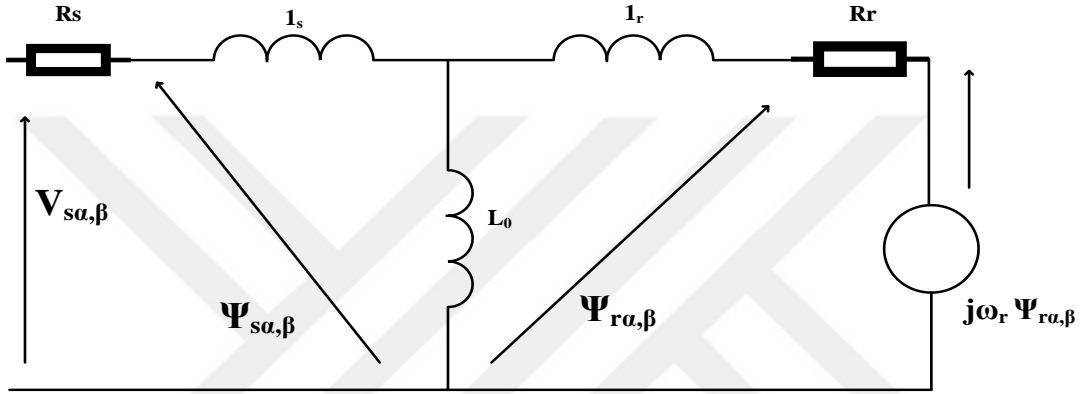
Küçük rotorlu motorlarda daha kısa zamanda tam frekansa ulaşırlarken büyük rotorlu motorlarda tam frekansa ulaşmak daha uzun zaman almaktadır. Bunun temel sebebi rotorun frekans değerindeki hızına erişmeden frekans değişikliği manyetik akıda artış göstereceğinden akımın yükselmesine ve kaymaya sebep olmaktadır. Bu da büyük motorlarda güç aybını arttırmaktadır. Şekil 3.16.'da V/f sabit oran kontrol blok diagramı gösterilmiştir.



Şekil 3.16. V/f sabit oran kontrol blok diagramı.

3.9.2. Alan yönlendirme yöntemi

Alan yönlendirme yöntemi, asenkron motorlarındaki rotora uygulanan kuvvetin her zaman rotora paralel ve hız vektörü yönünde olmasını sağlamaya çalışmaktır. Bunun için geri bildirim sistemi kullanılarak motorun çektiği akım değeri ve dönüş hızı hesaba katılarak hız kontrolü yapılmaktadır. Alan yönlendirme yönteminde rotor akısı ya da hız geri bildirimini ile kontrol yapılmaktadır. Şekil 3.17.'de duran eksen modeli verilmiştir.



Şekil 3.17. Asenkron motoru duran eksen modeli(Güldemir, 2001).

$$\underline{V}_{s\alpha,\beta} = R_s \underline{i}_{s\alpha,\beta} + \frac{d\underline{\Psi}_{s\alpha,\beta}}{dt} \quad (3.20)$$

$$0 = R_r \underline{i}_{r\alpha,\beta} + \frac{d\underline{\Psi}_{r\alpha,\beta}}{dt} - j\omega_r \underline{\Psi}_{r\alpha,\beta} \quad (3.21)$$

$$\underline{\Psi}_s = L_s \underline{i}_s + L_o \underline{i}_r \quad (3.22)$$

$$\underline{\Psi}_r = L_o \underline{i}_s + L_r \underline{i}_r \quad (3.23)$$

$$\underline{V}_{s\alpha,\beta} = R_s \underline{i}_{s\alpha,\beta} + \left(L_s - \frac{L_o^2}{L_r} \right) \frac{d\underline{i}_{s\alpha,\beta}}{dt} + \frac{L_o}{L_r} \frac{d\underline{\Psi}_{r\alpha,\beta}}{dt} \quad (3.24)$$

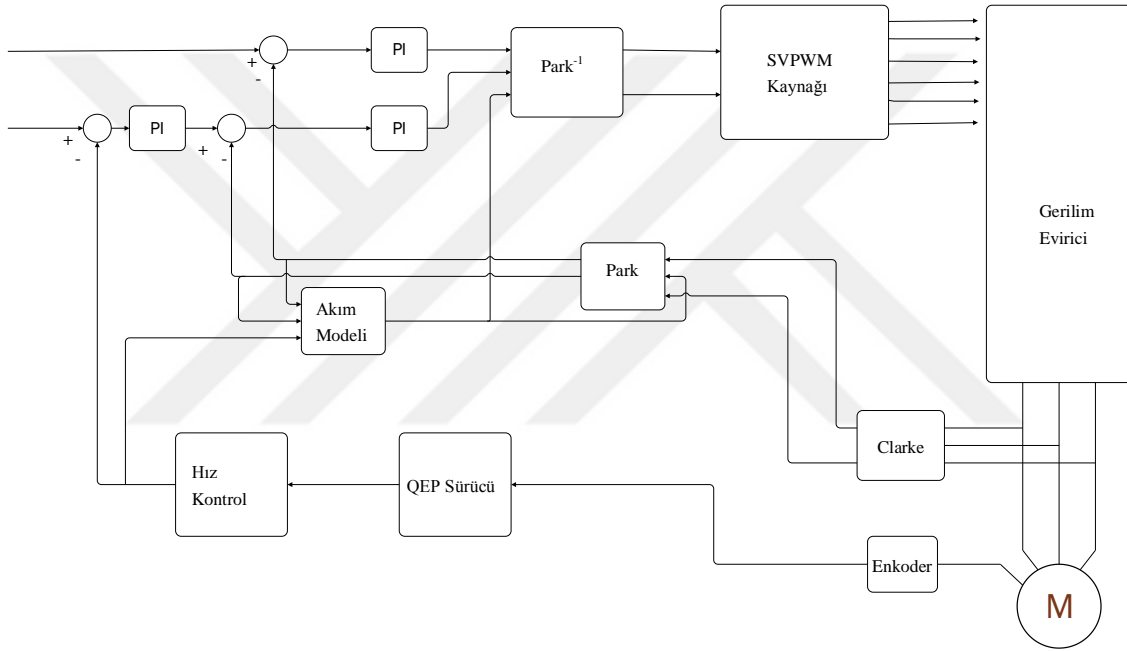
$$\sigma = \frac{L_s L_r - L_o^2}{L_s L_r} \quad (3.25)$$

$$\frac{d\underline{\Psi}_{r\alpha,\beta}}{dt} = \frac{L_r}{L_o} \left(\underline{v}_{s\alpha,\beta} - R_s \underline{i}_{s\alpha,\beta} - \sigma L_s \frac{d\underline{i}_{s\alpha,\beta}}{dt} \right) \quad (3.26)$$

Rotor Akısı:

$$\Psi_{ra,\beta} = \frac{L_r}{L_o} \left(\int (v_{sa,\beta} - R_s i_{sa,\beta}) dt - \sigma L_s i_{sa,\beta} \right) \quad (3.27)$$

Eş. 3.27’de rotor akısının formülü verilmiştir. Bu formüle göre bir blok diyagramı tasarımı yapılarak simülasyon yapılabilmektedir. Alan yönlendirme yönteminin uygulanmasında SVPWM modülü yani uzay vektör darbe genişlik modülü kullanılmaktadır(Omaç ve ark., 2011).



Şekil 3.18. Alan yönlendirme kontrol yöntemi blok diagramı.

Şekil 3.18.’de alan yönlendirme kontrol yönteminin kontrol mekanizmasını gösteren blok diagramı verilmiştir. Önceden bahsedildiği üzere bu yöntemde motordan enkoder yardımı ile alınan konum bilgisi ve gerilim eviricinin çıkışında ölçülen değerlerin clarke-park dönüşümleri ile 2-eksene düşürülmesi ve bu eksenlerde akım-gerilim değerlerinin tekrar hesaplanarak gerilim evirici bloğa SVPWM sinyali olarak beslemesi görülmektedir. Bu işlemin sonucunda fazlar arasında oluşturulan gerilim farkları sayesinde stator elektromanyetik alanının rotor elektromanyetik alanına sürekli dik olması sağlanarak yüksek tork değerleri elde edilmektedir.

3.9.3. Darbe genişlik modülasyonu(PWM) tekniği

Darbe Genişlik Modülasyonu(PWM) çıkış gerilimindeki darbe genişliklerini değiştirerek istenilen genlikte bir sinyalin elde edilmesini sağlayan bir kontrol tekniğidir. Darbe genişlik modülasyonu tekniğinin faydaları, anahtarlama kayıplarının azlığı, toplam harmonik distorsiyonunun(THD) düşüklüğü ve kolay uygulanabilir tekniklerden biridir. Üç fazlı sinüzoidal PWM kontrol tekniğinin uygulanması durumunda anahtarlara uygulanacak pozitif sinyaller ile referans sinüzoidal sinyaller taşıyıcı üçgen dalga ayrı ayrı kıyaslanır. Referans gerilimin üçgen dalgadan büyük olduğu yerde o referans gerilime ait faz kolundaki üst anahtar ilettime girer, bunun tersi durumunda da aynı faz koluna ait alt anahtar ilettime girer.

PWM tekniği ile çıkış gerilimi ayarlanabildiği gibi sinyalin frekansıda değiştirilebilir. Taşıyıcı dalganın frekansı (f_t) aynı zamanda anahtarlama frekansıdır. Bu anahtarlama frekansının yüksek değerde olması istenir. Çünkü yüksek frekanslı harmonikler daha kolay filtrelenebilir. Fakat bu durumda da inverterde yüksek anahtarlama kayıpları meydana gelmektedir.

$$m_f = \frac{f_t}{f_k} \quad (3.28)$$

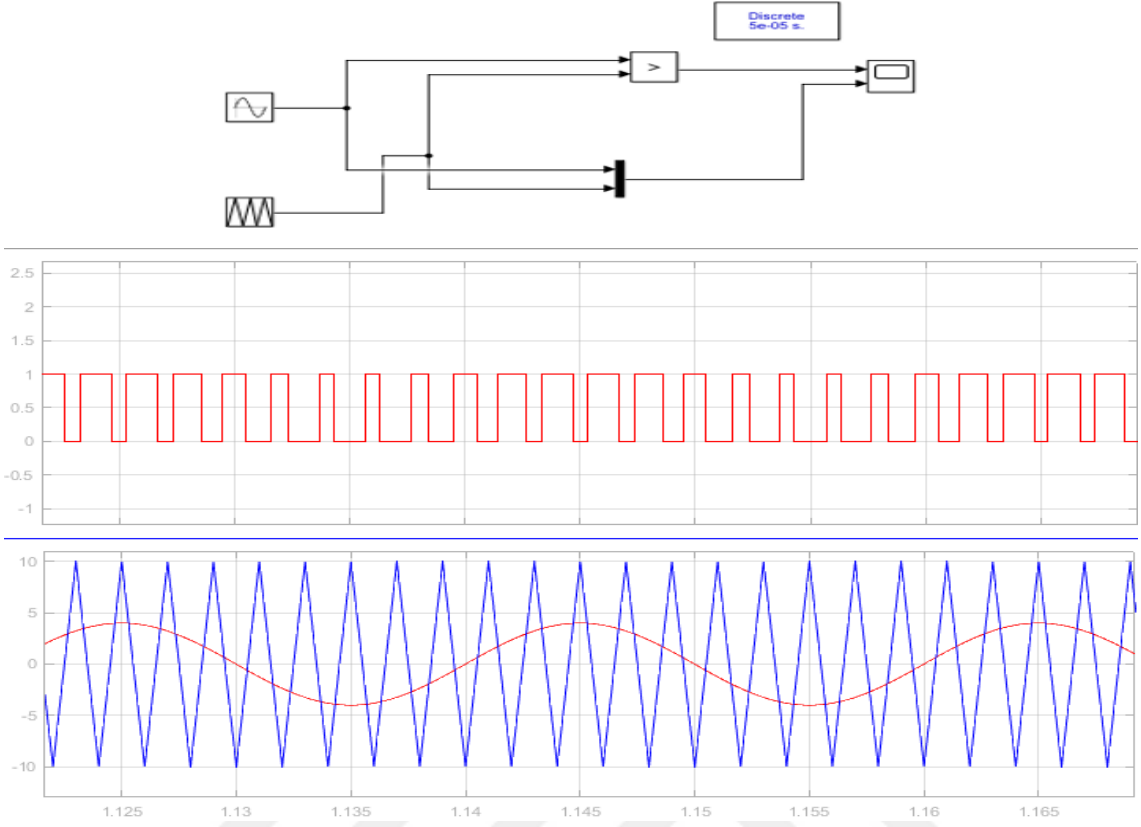
3.9.4. Sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM) tekniği

SPWM terimi “sinüzoidal darbe genişlik modülü” anlamına gelmektedir. Bir V/f sabit oran kontrollü invertör SPWM tekniği kullanarak farklı genlikteki kare dalgaların ard ardına oluşmasını sağlayarak ortalama gerilimin bir sinüs sinyali şeklini almasını sağlar.

SPWM yönteminde kullanılan birçok yöntem vardır. En popüler yöntemler analog sinyal takibi ve referans tablosu yöntemleridir. Sinyal takibi yöntemlerinde çıktı olarak istenilen sinüs dalgası ve yüksek frekanslı bir testere sinyali karşılaştırmaya tabii tutulur. Her iki sinyal de bir “OR” kapısı vasıtası ile karşılaştırılır. Eğer sinüs dalgasının testere sinyalinden büyük olduğu bir durum oluşur ise PWM sinyali 1 değerini alır ve durum tersine gönene kadar böyle kalır. Tersisi durumda ise 0 değerini alır. 1 değerinin

anlamı anahtarın kapalı konuma gelmesidir. Bir trifaze invertörde 6 adet anahtar vardır ve bu anahtarlar 1-3,4-6 ve 2-5 olarak gruplanmıştır. Bu durumda 3 adet referans sinyali ve testere sinyali kullanılır. Anahtarlama sinyalinde 1 olması durumu 1. anahtar grubunda 1. anahtarın kapalı, 3. Anahtarın ise açık konuma gelmesi demektir. 0 olması durumu ise tam tersidir.

SPWM yönteminde uygulanan diğer bir yöntem, sinüs dalgasının dijital aralıklı değerlerinin hesaplanarak önceden bilinen değerler arasında interpolasyon ya da ekstrapolasyon yöntemleri ile istenilen frekans değerindeki sinüs dalgasında olması gereken darbe sayısı ve bu darbelerin genişlik değerlerinin hesaplanması üzerine kuruludur. Bu yöntem daha çok tercih edilmektedir. Bunun sebebi ise basit bir sinüs dalgasının yalnızca çeyreğinin dijitalize edilmesi sonucunda eldeki verinin matematiksel olarak değerlendirilmesi ile tam dalga değerleri elde edilmiş olur ve ek komponent gereksiz frekans değişkenliğine göre sinüs dalgası elde edilebilir. Örneğin PWM darbe periyodu 1 mili saniye olan bir modülde 50 Hz bir sinyal oluşturmak istendiğinde istenilen sinyalin periyodunun darbe genişlik modülü periyoduna oranı 1 sinüs dalgası için uygulanacak darbe miktarını belirtir. Verilen örnek için bu değer 1000'dir. Önceden dijitalize edilmiş bir sinüs dalgasının toplam dijital değer sayısı 100 olduğunu varsayarsak, hesaplanan 1000 sayısının eldeki 100 adet veriye bölünmesi sonucunda ortaya çıkan 10 sayısı, her bir darbe genişlik değerinin kaç kez tekrar edileceğini belirler. Bu işlemler basit matematiksel işlemler olması sebebi ile mikro işlemcilerin ilerleme hızını düşürmemektedirler. Özellikle de bu yüzden tercih edilmektedirler. Şekil 3.19.' de SPWM ve Sinüs Dalgası Çıktısı verilmiştir.



Şekil 3.19. SPWM ve sinüs dalgası çıktısı.

3.9.5. Uzak vektör darbe genişlik modülasyonu (SVPWM) tekniği

SVPWM metodunun temel prensibi, gerilim beslemeli bir inverter tarafından üretilen 8 farklı gerilim vektörünü kullanarak ideal gerilim vektörüne mümkün olduğu kadar yaklaşan bir gerilim vektörü sağlamaktır. Elde edilecek olan gerilim vektörü inverterin altı aktif durumuna karşı gelen gerilim vektörleri tarafından şekillendirilen bir altıgen içerisinde bulunur. Bu vektör, altıgeni oluşturan altı sektör üzerinde hareket ederek dairesel bir yörünge çizer ve referans vektör olarak isimlendirilir. İnverter şebekeye verilecek olan akım referans değerine bağlı olarak çıkış gerilim vektörü üretmektedir. Bu gerilim vektörü, bulunduğu bölgenin aktif komşu vektörleri ve sıfır vektörleri kullanılarak üretilir.

SVPWM tekniği temelde üç fazlı invertörler için PWM üretmede vektörel bir yaklaşım olarak geliştirilmiştir. Motora daha düşük toplam harmonik bozulumu ile daha yüksek gerilim sağlayan sinüs dalga üretimi için oldukça karmaşık bir tekniktir. Bu teknik, çıkış gerilim vektörünün yerleştirildiği bölgeye göre uzak vektörlerini

sınırlandırmaktadır. PWM yaklaşımındaki farkı, α - düzleminde gerilimin uzay vektör gösterimine dayanmaktadır. α - bileşenleri dönüşümlerle bulunmaktadır. Anahtarlama anının belirlenmesi α - düzleminde anahtarlama vektörlerinin gösterimine dayanan SVPWM tekniği kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

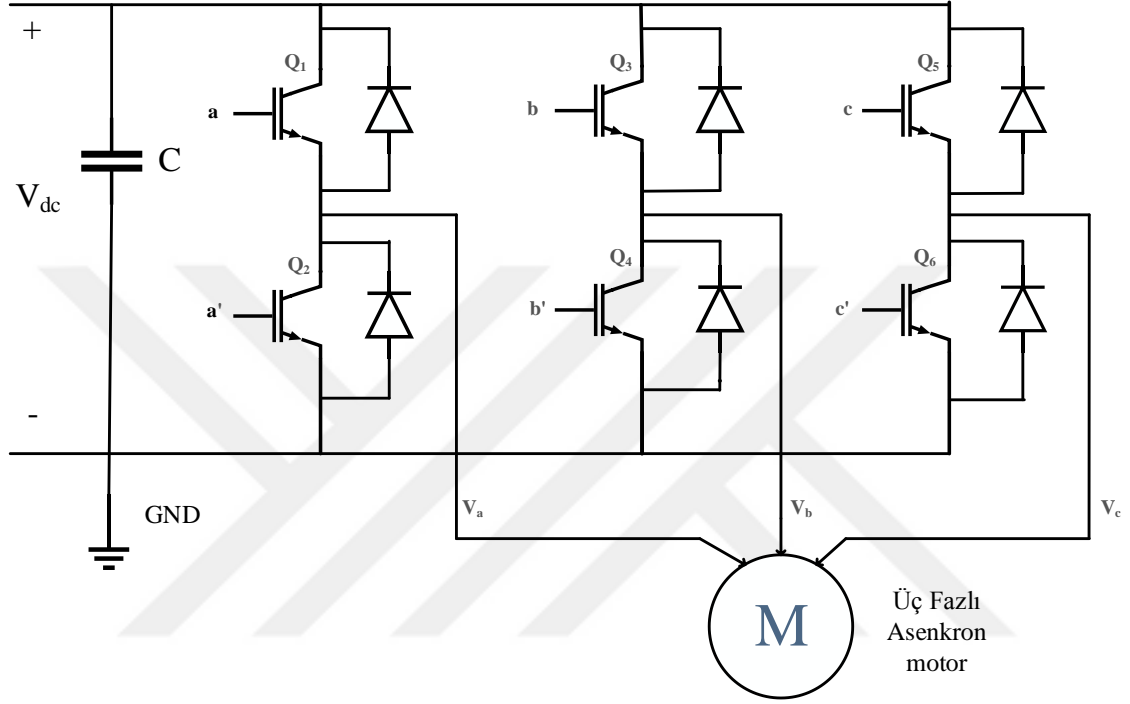
SVPWM tekniği yoğun hesaplama dayanan gelişmiş bir PWM tekniğidir ve vektör kontrol tekniği ile uyumlu olduğundan sürücü uygulamalarında, sinüzoidal hat gerilim ve akımları üretmek için kullanılan en yaygın yöntemdir. SVPWM aynı DC bara gerilimi için daha yüksek çıkış gerilimine, daha düşük anahtarlama kayıplarına ve daha iyi harmonik performansına sahip olduğundan değişik üç fazlı invertör uygulamaları için tercih edilen PWM tekniği olmuştur. Ancak, bu klasik SVPWM yaklaşımı uygulamasını gerçekleştirmek zor olabilmektedir. SVPWM gerçekleştirilmesi, Park dönüşümlerinin, sektör hesaplarının, altıgen durumların ve vektör ayrıştırılmalarının kullanılmasını gerektirmektedir. Bu nedenle SVPWM genellikle mikroişlemcilerin gerilim dalga şekilleri üretmek için kullanıldığı vektör kontrollü sürücü uygulamalarında kullanılmaktadır (Europe, 1998).

SVPWM üç fazlı sistemlere uygulanır. Temelde üç faz değişkenlerinin iki boyutlu uzayda temsil edilmelerine dayanır. Bunun için önce asenkron motorun matematiksel modelinin bilinmesi gereklidir. Üç fazlı sinüzoidal gerilimlerin uzay vektörü d ve q uzay sabit eksen takımında rotorun ω_r hızında dönen, sabit genlikli vektördür. Uzay vektörü, ω_r sabit açısal frekansta dönen fazör veya genlik vektörü olarak sinüzoidal gerilimle işler, bu genlik vektörü sanal d-q düzleminde temsil edilir. SVPWM çalışmasında üç modülasyon sinyali veya gerilimin tek değeri ile temsil edilmesi nedeniyle, üç modülasyon sinyal ve gerilimin toplamı V_{ref} olarak adlandırılır.

Üç fazlı gerilim beslemeli invertörlerin normal çalışması, aynı koldaki iki elemanın aynı anda iletimde olmamasını gerektirir. Bu sebeple üç fazlı invertör, yapı olarak iki durumlu üç mekanik anahtar ile tanımlanır.

SVPWM tekniğinde sekiz adet anahtarlama durumu vardır. Bunlar (000, 100, 110, 010, 011, 001, 101, 111) şeklindedir. Burada '1' ifadesi inverter devresinde gibi üst (S_a, S_b, S_c) anahtarın iletimde, aynı koldaki (S_a', S_b', S_c') alttaki anahtarın kesimde olduğunu gösterir. Aynı şekilde '0' ifadesi üst anahtarın kesimde alt anahtarın iletimde olduğunu belirtir. '000' üçlü ifadesinde birinci, ikinci ve üçüncü kollar sırasıyla ifade

edilir. Her bir invertör faz kolunun anahtarlama durumu ayrı ayrı S_a , S_b ve S_c anahtarlama fonksiyonları tarafından kontrol edilir. Anahtarlama fonksiyonu, invertör fazı kaynak geriliminin pozitif ucuna bağlandığında "1", negatif ucuna bağlandığında ise "0" değerini alır.



Şekil 3.20. 3-faz invertör şematik devresi.

SVPWM modülasyonu anlatmak için Şekil 3.20.'deki üç fazlı invertör modeli kullanılmıştır. Aynı faz kolunda kaynağın kısa devre olmaması için sadece bir IGBT iletimdedir. Buna göre toplamda 3 anahtar vardır, anahtarlar iletim veya kesim durumundadır. Buna göre toplamda $2^3 = 8$ adet sektör vardır.

Şekil 3.20.'de invertör devresindeki a,b,c fazlarında ve fazlar arası gerilim ifadeleri çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Anahtarlama vektörlerine karşılık gelen faz ve fazlar arası gerilimler.

	S_a	S_b	S_c	V_a	V_b	V_c	V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}
\bar{V}_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
\bar{V}_1	1	0	0	$\frac{2V_{dc}}{3}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$	V_{dc}	0	$-V_{dc}$
\bar{V}_2	1	1	0	$\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$-\frac{2V_{dc}}{3}$	0	V_{dc}	$-V_{dc}$
\bar{V}_3	0	1	0	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{2V_{dc}}{3}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$-V_{dc}$	V_{dc}	0
\bar{V}_4	0	1	1	$-\frac{2V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	$-V_{dc}$	0	V_{dc}
\bar{V}_5	0	0	1	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$-\frac{V_{dc}}{3}$	$\frac{2V_{dc}}{3}$	0	$-V_{dc}$	V_{dc}
\bar{V}_6	1	0	1	$\frac{V_{dc}}{3}$	$-\frac{2V_{dc}}{3}$	$\frac{V_{dc}}{3}$	V_{dc}	$-V_{dc}$	0
\bar{V}_7	1	1	1	0	0	0	0	0	0

SVPWM yaklaşımında uzay vektörü “Eş.3.29” da tanımlanmıştır.

$$V = \frac{2}{3}(V_a t + V_b t e^{j\frac{2\pi}{n}} + V_c t e^{-j\frac{2\pi}{n}}) \quad (3.29)$$

Burada n sektör numarasını ifade etmektedir. Buna göre uzay vektörün sabit bir büyüklüğü olduğu ve açısal frekans olarak faz nicelikleriyle aynı hızda döndüğü görülür. Sekiz adet anahtarlama durumunun altı tanesi aktif durumdur, iki tanesi sıfır durumudur. Bunlar uzay vektör altıgen oluşturur. Genlikleri sıfır olan vektörler sıfır anahtarlama durum vektörü veya sıfır gerilim vektörü olarak isimlendirilir.

SVPWM uygulamasında, üretilmek istenilen referans gerilim vektörünün sabit eksen takımındaki bileşenleri ve gerilimini giriş olarak alır. V_e kullanılarak referans gerilim vektörünün bulunduğu bölge tespit edilir. Komşu olan iki gerilim vektörü ve sıfır gerilim vektörleri, bir anahtarlama periyodu içinde uygun bir sırayla ve belirli

sürelerle seçilir. Böylece, bir anahtarlama periyodu boyunca ortalama olarak referans gerilim vektörü elde edilmiş olur.

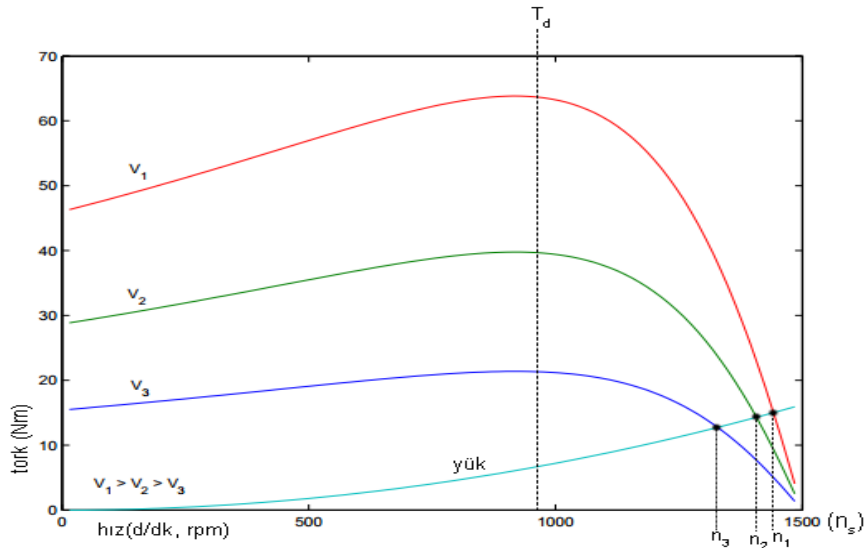
PWM sinyalindeki genlik miktarı değiştirilerek anahtarlama için hesaplanan tam değerler yerine ara değerlerde de manyetik alan oluşturulabilir. Bu yöntemin asıl avantajı yalnızca kutuplarda değil kutupların bileşimi olan manyetik alana göre hesap yapıyor olmasıdır. Bu işleme alan değiştirme ile kontrol denmektedir.

3.10. Stator gerilimini değiştirerek hız kontrolü

Sincap kafesli bir asenkron motorun hızını kontrol etmenin en basit ve ekonomik olanı stator gerilimini sabit frekans değerinde değiştirmektir. Stator geriliminin değiştirilmesi aynen asenkron motorları devreye alma metotlarında olduğu gibi; üç fazlı ayarlı gerilim kaynağı, oto trafosu veya bir AA/AA invertör yardımıyla gerçekleştirilir.

Asenkron motorunda üretilen tork, gerilimin karesiyle doğru orantılıdır. Dolayısıyla gerilim motorun nominal tork değeri ve devrilme torku gerilim ile “Eş.3.30” deki gibi ilişkilidir.

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \quad (3.30)$$

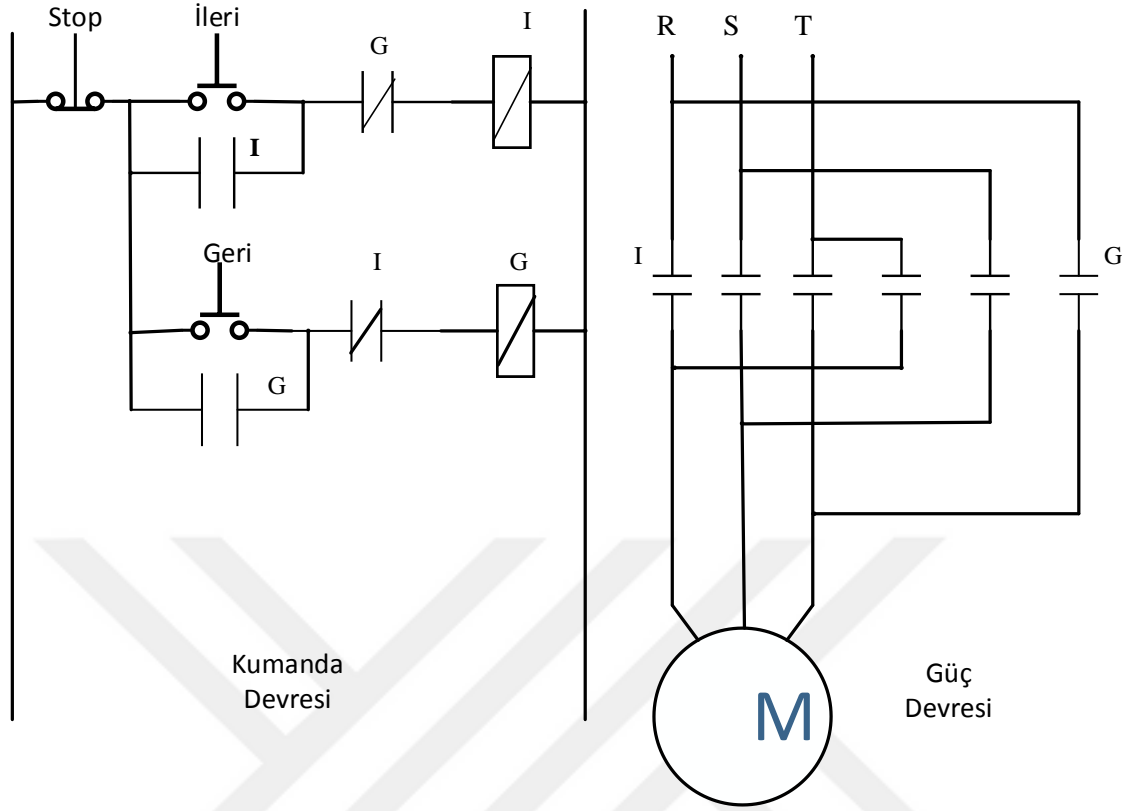


Şekil 3.21. Değişken gerilimde hız tork grafiği.

Stator sargularına uygulanan gerilim asenkron motorun nominal geriliminden itibaren daha düşük değerlere düşürülür. Yük torku, motor tork-hız karakteristiği ile çakıştığı noktalarda işletme koşulları sağlanır. Gerilim sırasıyla V_3 , V_2 ve V_1 değerlerine kademeli olarak getirildiğinde rotor n_3 , n_2 ve n_1 hızlarında dönecektir. Motor hızı bu şekilde devrilme torkuna kadar ayarlanabilir. Senkron devir sayısı civarında % 10-25 kaymaya kadar kesintisiz devir sayısı yapma olanağı vardır. Fakat hız ayarını geniş sınırlar içinde yapma olanağı yoktur ve ekonomik değildir. Bu nedenle ancak küçük güçlü uygulamalarda ve ekonomik işletme gereksinimi olmayan durumlarda kullanılır.

3.11. Asenkron motorlarında yön değiştirme ve frenleme

Üç fazlı asenkron motorların çalışma durumuna göre bazen devir yönlerinin değiştirilmesi gerekir. Bunu sağlamak için döner manyetik alanın yönü değiştirilir. Motor klemensine bağlanan şebeke uçlarının (RST) üç tanesinden herhangi ikisi yer değiştirilir. Örneğin UVW uçlarına bağlanan RST faz uçları, RTS, SRT veya TSR sırasıyla uygulandığında motor döner alanının yönü, dolayısıyla motor devir yönü değişir. Eğer faz uçlarının üçü birden yer değiştirilirse (TRS) motor devir yönü değişmez.



Şekil 3.22. Asenkron motoru kumanda ve güç devresi.

3.11.1. Asenkron motorlarında frenleme

Asenkron motorları gerektiğinde istenilen devirde döndürülebilmeli ve istenen zaman da frenlenmeli veya tam olarak durdurulabilmelidirler. Asenkron motorları elektriksel olarak veya mekanik frenlenebilmektedir. Balatalı frenler asansör ve vinç benzeri düzeneklerde kullanılan motorların frenlenmesinde sıkça kullanılırlar.

3.11.1.1. Jeneratör frenleme

Asenkron motorlarında dışarıdan tahrik edilerek senkron devir sayısının üzerine çıkarıldığında jeneratör olarak çalışırlar. Böylece milden alınan mekanik enerji şebekeye elektrik enerjisi olarak verilir. Bu durum fren etkisi yapar. Makine şebekeden sadece mıknatıslanması için gerekli olan mıknatıslanma akımını çeker. Motor olarak

çalışan asenkron makine, yük tarafından devir hızı senkron devir hızının üzerine çıkarıldığında motor halinden generatör haline geçerek fren etkisi yapar.

3.11.1.2. Ters akım frenleme

Döner manyetik alan yönünün bir süreliğine tersine çevrilmesi ile frenleme yapılır. Yani statora uygulanan gerilim, aynı motor devir yönü değiştirilmesinde olduğu gibi iki faz ucunun yer değiştirilmesi ile yapılır ve nominal akımın birkaç katı bir akım çekilir. Rotor yavaşlayarak durur ve diğer yönde hareket etmeye başlar. Yön değiştirme başlamadan önce motorun akımı kesilmelidir. Küçük güçlü motorlarda kullanılır.

3.11.1.3. Dinamik frenleme

Stator sargılarına kısa bir süre düşük değerli DC akım etkirse döner manyetik alan değişken olmaz. Bu yeni oluşan doğru manyetik alanda sadece rotor döner ve asenkron motoru jeneratör modunda çalışır. Üretilen enerji ya şebekeye geri sağlanır ya da rotor sargılarında kullanılarak hareket enerjisi, statorda ısı enerjisine dönüşür ve motor durur. Stator sargıları bu ısıyı kaldıramayacaksa rotora seri bir direnç bağlanır veya enerji başka bir yüke veya kaynağa aktarılabilir.

3.12. Asenkron motorlarında hız hesaplaması

Asenkron motorları elektrik alanın hareketi ile dönen bir rotor ile çalışmaktadır. Bu durumda rotor hız hesabı elektrik alanın dönme hızıyla yani giriş gücünün frekansıyla doğru orantılıdır. Motor kutup sayısı, elektrik giriş frekansına bağlıdır(Durunay ve Güldemir, 2017).

Stabil Teorik Elektrik Alan Dönüş Hızı = (120 x Elektrik Frekansı) / Kutup Sayısı

İfadesi ile bulunmaktadır. Örneğin 4 kutuplu 50 Hz frekans girişli bir motorun stabil elektrik alan dönüş hızı 1500 RPM seviyesindedir. Ancak teori olarak elektrik

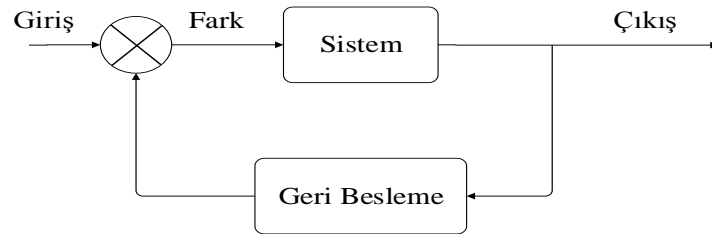
alanın rotordan daha hızlı dönmesi gerekmektedir. Aksi halde asenkron akımı oluşmaz ve rotora dönüş kuvveti etki etmez. İndüksiyon motorları bu sebeple çok küçük sapmalar ile dönmektedir. Örneğin 1500 RPM elektrik alan dönüş hızı olan bir motorun hızı 1500-1495 RPM arasında sürekli değişken olarak kalır ancak bu değişim o kadar hızlıdır ki ortalama olarak dönüş hızı neredeyse hesaplanana yakın olur. Aradaki farka ise kayma miktarı denir.

3.13. Tasarım kriterleri

Tasarım kriterleri motorun kullanılacağı alanlara göre farklılık gösterebilir. Hassas hız ve tork kontrolü yapılması gereken uygulamalarda geri bildirimli alan yönlendirme metodu daha çok tercih edilirken hız ve torkun hassas olmadığı uygulamalarda V/f sabit oran kontrolü kullanılmaktadır. Bu alanlara örnek olarak bir CNC yönlendiricinin spindle motoru kontrolün hassas olması gerekirken bir havuz pompasında V/f sabit oran kontrolü yeterlidir. Maliyet olarak iki uygulama arasında fark çok büyüktür. Bu yüzden gerekli olmadıkça alan yönlendirme sürücüsü kullanılmamaktadır.

3.14. Kontrol mekanizması

Bu bölümde karşılaştırılması yapılan V/f sabit oran kontrol ve alan yönlendirme kontrol yöntemlerinin Matlab/Simulink programındaki kontrol mekanizması ve blok diyagramı incelenmiştir.



Şekil 3.23. Kontrolcü yapısı.

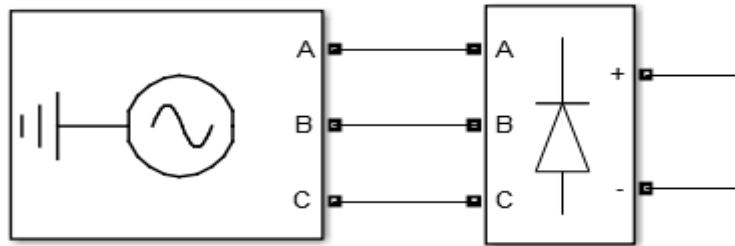
Kontrol edilen bir sistemin dinamiği genelde Şekil 3.23.'de verilen blok diyagramı ile ifade edilir. Tasarımın amacı $y(t)$ ile gösterilen kontrol edilen çıkış değişkeninin istenilen şekilde davranmasıdır. Sorun temelde tasarım amaçlarının tümü gerçekleşecek biçimde $u(t)$ kontrol işaretini belirli bir zaman aralığında belirtmektedir. Tasarım yönteminde, tasarımcı kontrolörünü kontrol edilen prosese göre nereye yerleştirmesi gerektiğini genellikle önceden belirler ve sisteme sabit yapıda bir tasarım uygular. Şekil 3.23.'de bir kapalı çevrim kontrol sistemi görülmektedir. Bu çalışmadaki karşılaştırma kapalı çevrim sistemler üzerinden yapılmıştır. Kapalı çevrimden kasıt çıkışa bağlı olarak sürekli giriş sinyalinin düzenlenmesi demektir. Şekil 3.23.'de çıkıştan girişe görülen bir geri besleme bulunmaktadır.

3.14.1. V/f sabit oran kontrol tasarımı

V/f sabit oran kontrolünde önemli olan hız artış ve azalışında V/f oranının sabit tutulmasıdır. Bu işlem geribildirim sistemi sayesinde gerçekleştirilebilmektedir. Kontrol mekanizmasının 3 aşaması vardır;

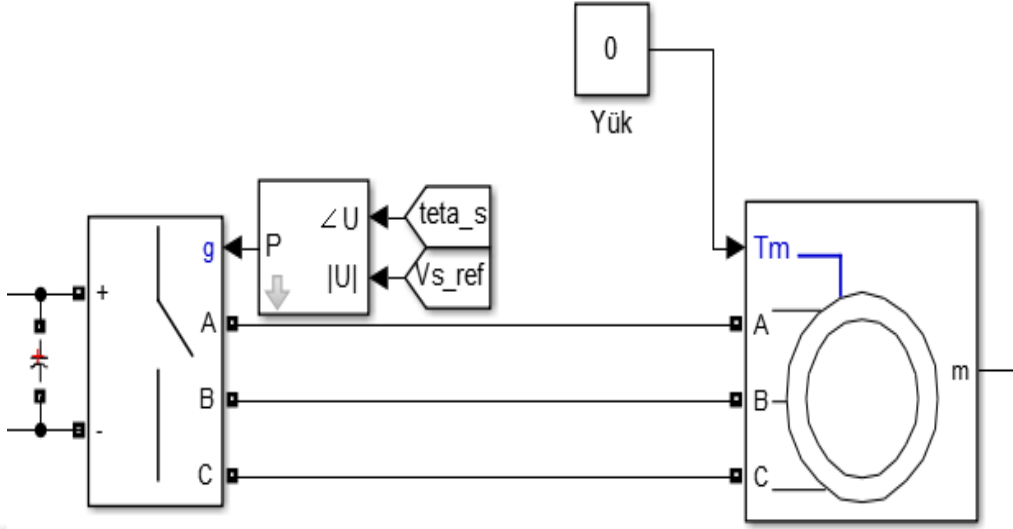
- DC Gerilim Üretilmesi
- Anahtarlama ile 3-Faz Frekans ve Gerilim Değiştirilebilir Sinyal Oluşturulması
- Geri bildirim sistemi ile çıktının düzenli olarak regüle edilmesi

Şekil 3.24.'de Matlab modelimizdeki DC gerilim üretimi aşaması görülmektedir.

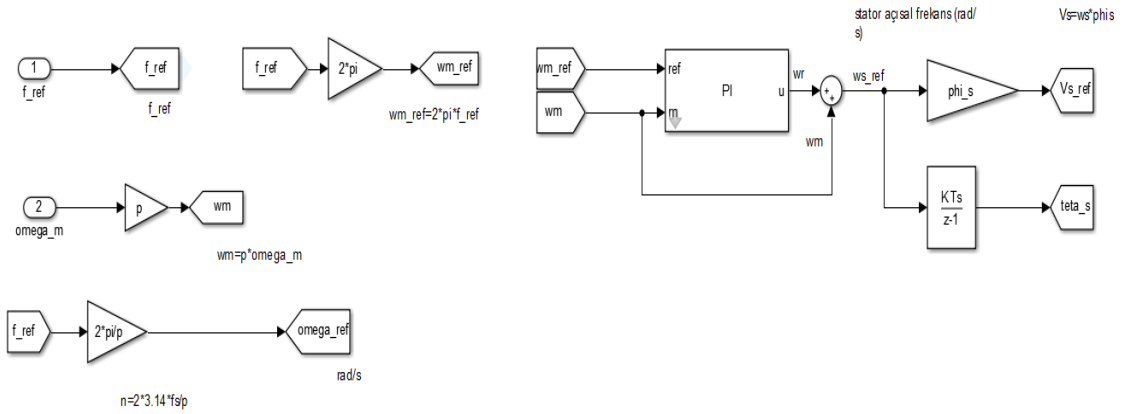


Şekil 3.24. DC gerilim üretimi

Şekil 3.25.'de anahtarlama ile 3-faz çıkış ve bu çıkışın frekans-gerilim referanslarının olduğu bölüm görülmektedir. Şekil 3.26.'da ise sistemin geri bildirim değerlerinin hesaplanarak girdiye olan etkisinin hesaplandığı kısım yer almaktadır.

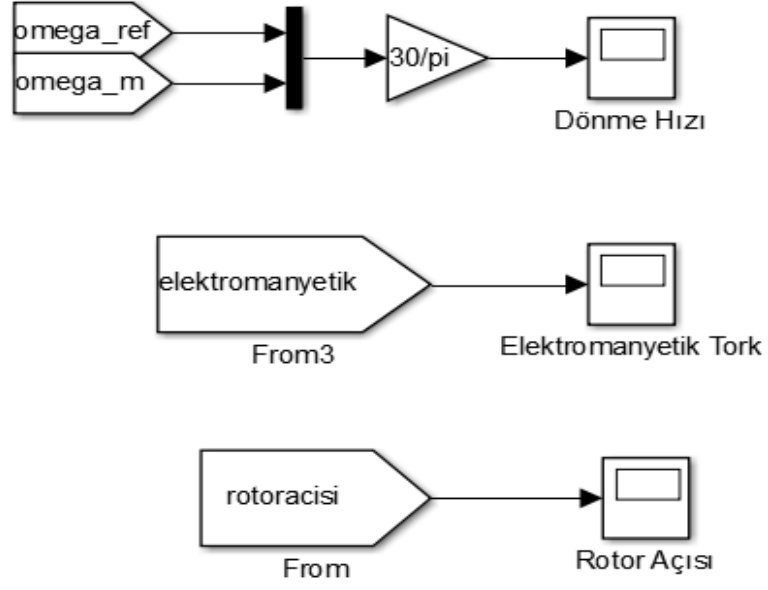


Şekil 3.25. 3-faz sinyal üretimi ve motor beslemesi.



Şekil 3.26. Sistem geri bildirim mekanizması.

Son olarak değerlendirme aşamasında kullandığımız çıktıları edindiğimiz işlem blokları ise Şekil 3.27.' de verilmiştir. Değerlendirme aşamasında rotor açısı, rotor dönme hızı ve elektromanyetik tork değerleri dikkate alınarak karşılaştırma yapılmıştır.

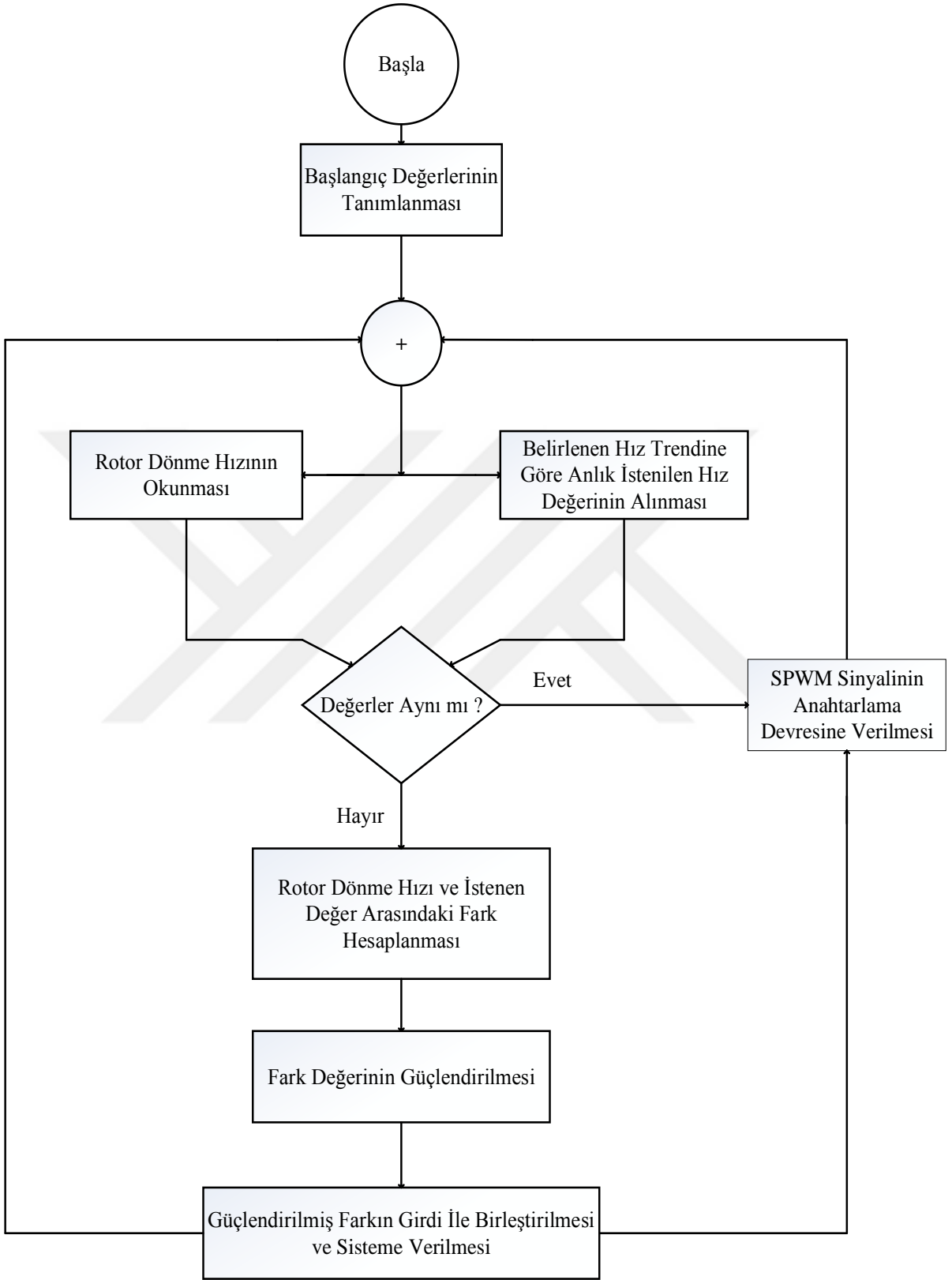


Şekil 3.27. Çıktı işlem blokları.

Modelimizde SPWM yöntemi ile 6 adet anahtarın açılıp kapatılması sağlanarak SPWM bölümünde anlatıldığı üzere sinus dalgası üretilmektedir. Bu dalga'nın genliği motor ihtiyacımıza göre RMS değeri olarak 450 V belirlenmiştir.

3.14.1.1. V/f sabit oran yöntemi simülasyon akış şeması

Simülasyon modelimiz Şekil 3.28.'de verilen basitleştirilmiş akış şemasına göre çalışmaktadır. Şemadan görüldüğü üzere tüm sistem rotor dönme hızının istenen dönme hızına farkının büyüklüğüne bağlıdır. Sistem toplamda 5 saniyelik bir zaman dilimi için çalıştırılmaktadır.

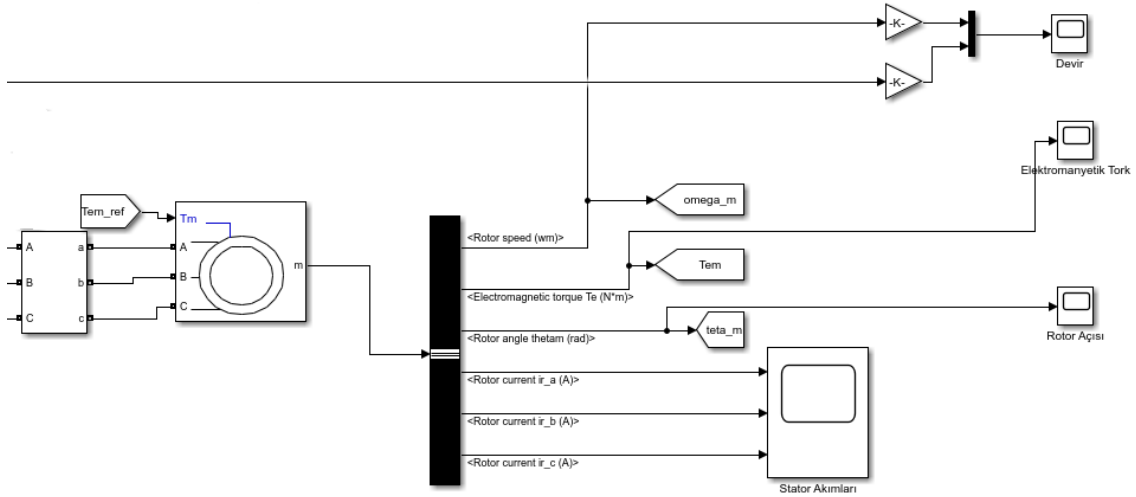


Şekil 3.28. V/F sabit oran kontrolü akış şeması.

3.14.2. Alan yönlendirme kontrol tasarımı

Alan yönlendirme kontrol mekanizması V/f sabit oran kontrol mekanizmasına oranla çok daha karmaşık bir yapıdadır. Stator akımları ve rotorun statora göre konumunun bilinmesi sistemdeki istenmeyen oluşumların önüne geçmeye olanak sağlar.

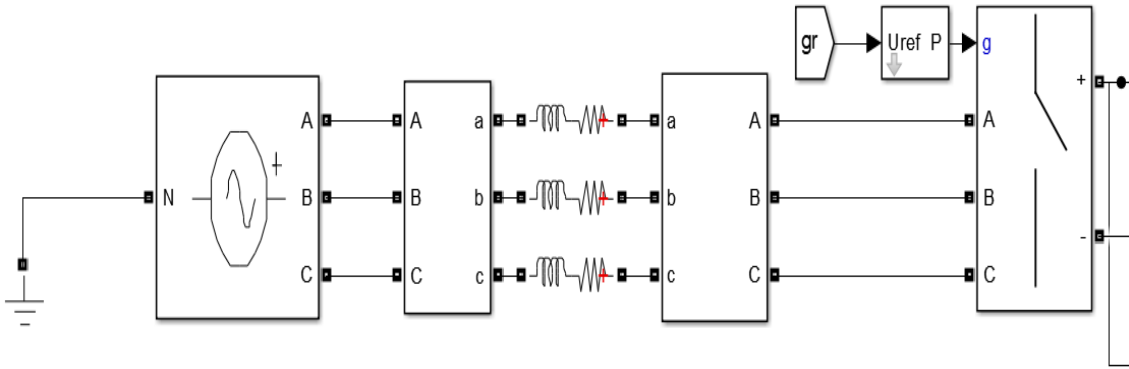
Örneğin sistem bir zorlama durumunda ise stator akımları artacaktır. Statora göre rotorun konumu bilindiği için rotorun o anki manyetik alanına dik bir kuvvet oluşturacak şekilde kutuplara verilen gerilim miktarları değiştirilir ve bileşke kuvvet rotorun dönüş yönüne dik konumda olur. Bu sayede rotor zorlama noktasından çıkar ve eski haline döner. Bu yöntemde asıl önemli olan sürekli olarak istenmeyen durumların kompanse edilebilir durumda olmasıdır. Motorda fiziksel bir problem oluşmadığı durumlarda en verimli kontrol yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Tek dezavantajı ise doğru kullanılmadığında yüksek gerilimler yüzünden motor ısınacak ve ömrünü azaltacak olmasıdır. Modelimiz endirek rotor manyetik alan yönlendirme yöntemi üzerine kurulmuştur. Şekil 3.29.'da asenkron motor ölçüm kısmının, Matlab/Simulink modeli görülmektedir.



Şekil 3.29. Alan yönlendirme kontrol yöntemi motor ölçüm kısmı.

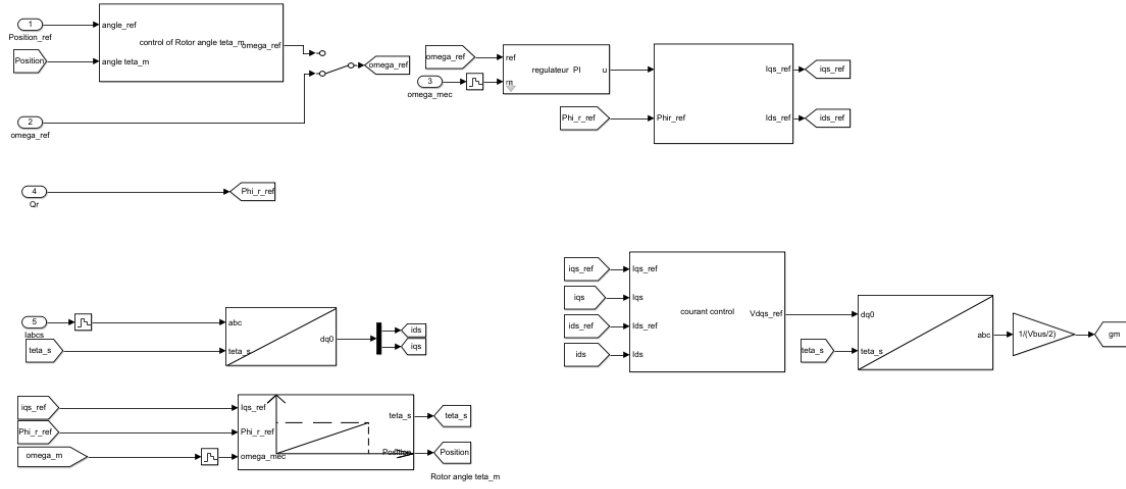
Modelimizde görüldüğü üzere 3-faz girişin anahtarlama kontrolü yapılmaktadır. Anahtarlama parametreleri ise clarke & park dönüşümleri sonucunda bulunmaktadır.

Simulink modelimizde motora alternatif akım-alternatif akım konvertörü kullanılarak güç verilmektedir. Öncelikle 3-faz elektrik sinyalinden DC Gerilim elde edilmiş ardından ise 6 anahtar ile hazırlanan devre sayesinde frekansı değiştirilebilir 3-faz elektrik çıkışı alınmıştır. Şekil 3.30.'da 3-faz elektrik girdisinin anahtarlama devresi sayesinde büyüklüğünün değiştirilmesine olanak sağlayan blok diyagramını göstermektedir.



Şekil 3.30. 3-Faz elektrik girişi ve anahtarlama devresi.

Şekil 3.30.'da 3-faz giriş ve büyüklüğü geri bildirimle bağlı anahtarlama blok diyagramında geri bildirim "Hat Gerilimi" olarak bilinen büyüklüğe direkt olarak bağlı bir birimdir. Hat gerilimi rotor akısındaki değişimler göre artırılıp azaltılarak sistemin stabil hale gelmesi sağlanmaktadır. Hat geriliminin rotor akısı üzerindeki etki bölüm 3.8'de verilen matematik modele göre clarke & park dönüşümleri ile elde edilmekte ve "gerilim referansı" açılımı olan "gr" geri bildirim "universal bridge" isimli bloğa verilmiştir. Bu geri bildirim hesaplanmasında Şekil 3.31.'de verilen Matlab/Simulink blok modeli kullanılmıştır.



Şekil 3.33. Frekans geri bildirimi hesaplanması.

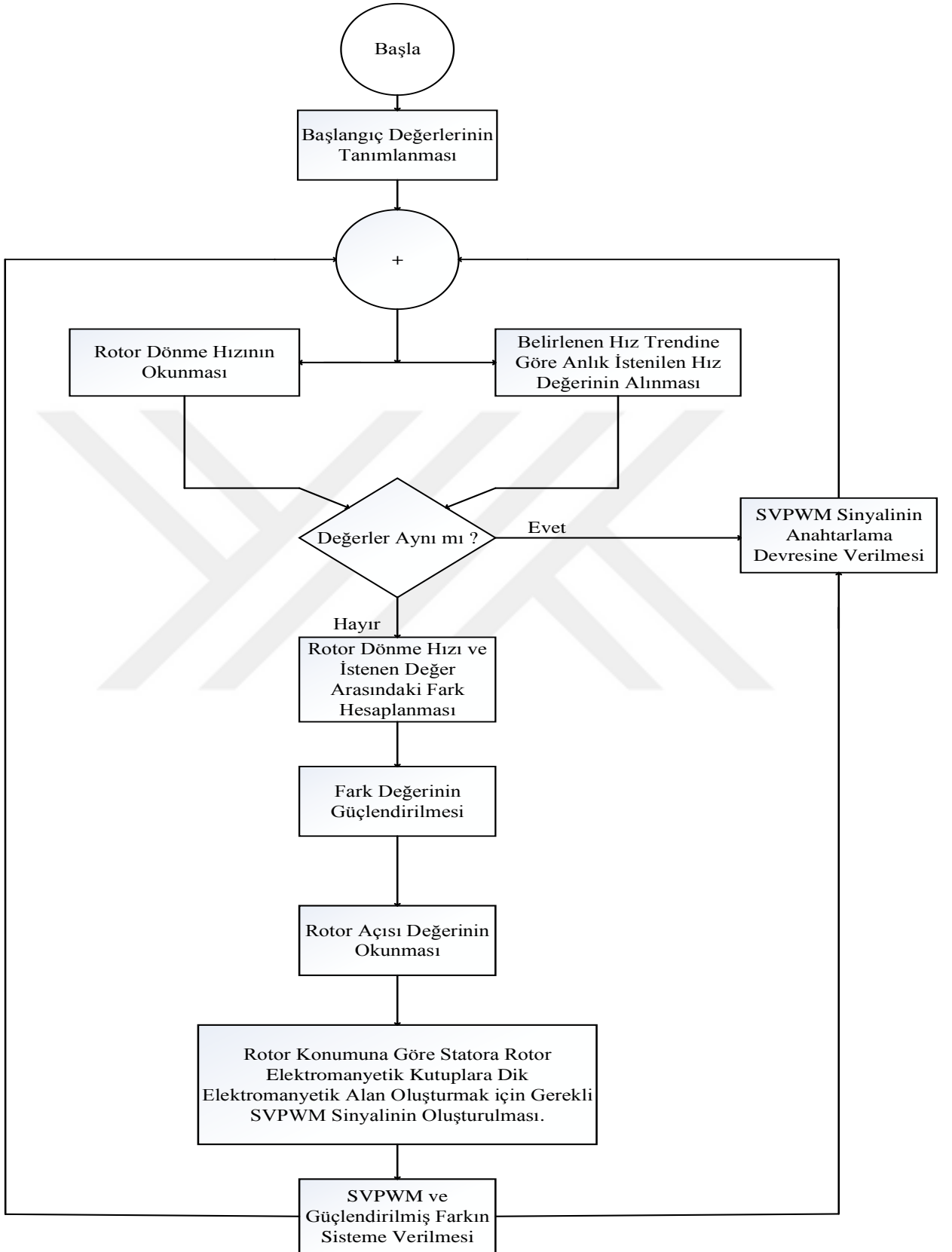
Modelde çıktı analizinde rotor dönme hızı ve elektromanyetik tork grafikleri incelenecektir. Bunun dışında birçok çıktı grafiği alınmış ve bulgular bölümünde karşılaştırmalı olarak gösterilecektir.

3.14.2.1. Alan yönlendirme yöntemi simülasyon akış şeması

Alan yönlendirme yöntemi V/f sabit oran yöntemine göre daha ayrıntılı bir kontrol mekanizmasına sahiptir. Öyle ki yine aynı şekilde 6 adet anahtar ile PWM yöntemi sonucunda ortaya çıkan sinyaller ile motor sürülmesi işlemidir ancak aradaki fark alan yönlendirme yöntemi V/f sabit oran kontrol yöntemine göre daha farklı bir PWM kullanılmaktadır. Kullanılan PWM stator sargılarına uygulanan gerilim değerlerini ve stator sargılarına verilen gerilimlerin frekansını ayarlamaktadır. Dikkat edilmesi gereken en önemli nokta alan yönlendirme yönteminde kullanılan gerilim değiştirme işlemi rotorun o anki statora göre bağış konumu, stator sargılarına uygulanacak olan gerilimi belirlemektedir. Çünkü rotorun konumuna göre statordaki sargılara verilen gerilim sonucunda ortaya çıkan N-S kutuplarının rotorda oluşan indükleme akımı ile oluşan elektromanyetik alana dik bir stator elektromanyetik alanı elde edilmiştir. Simülasyon modelimizin basitleştirilmiş akış diyagramı Şekil 3.34.'de verilmiştir.

Şekil 3.34.'de görüldüğü üzere akış şeması basitleştirilmiştir. Temel kontrol mekanizması verilen şekildedir. Verilen akış şeması modelimizin girişten çıkışa kadar olan bölümünü kapsamaktadır. Akış şemasına göre zaman aralığı bitmeden ya da herhangi bir durdurma komutu olmadığı durumlarda sonsuz bir çevrim şeklindedir.





Şekil 3.34. Alan yönlendirme yöntemi kontrol akış şeması.

4. BULGULAR

Tez çalışması kapsamında 2 farklı uygulama yapılmıştır; V/f sabit oran kontrolü ve Alan yönlendirme kontrolü. Kontrol edilen motor 4 kW gücünde, 400V taban çalışma geriliminde ve 50Hz frekansında olan bir sincap kafes konfigürasyonlu motordur. Analiz yüksüz ve 5 N.m yük altında şekilde yapılmıştır. Birinci analiz yüksüz olarak yapılan analizi göstermekte, ikinci analiz ise yük altındaki analizi göstermektedir. Tüm sonuçlar bu bölüm altında incelenecektir. Karşılaştırması yapılacak olan parametreler aşağıda listelenmiştir;

- Rotor Dönme Hızı
- Elektromanyetik Tork
- Rotor Açısı

4.1. Simülasyon koşulları ve motor eşdeğer değerleri

Simülasyon çalışmamızda kullandığımız motorun teknik özellikleri aşağıdaki gibidir;

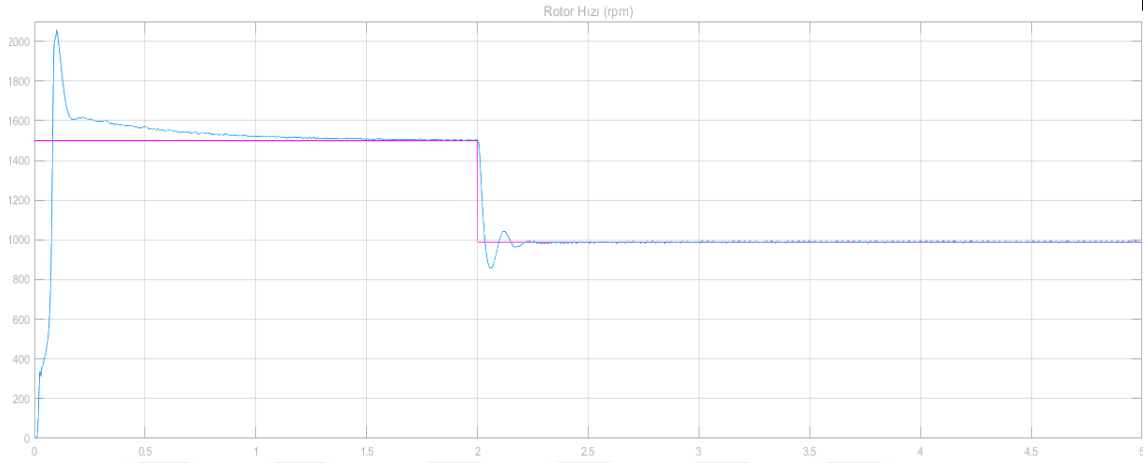
- 400V Taban Gerilim
- 50Hz Çalışma Frekansı
- 5,4 Hp Güç
- Sincap Kafes Konfigürasyonu
- Nominal Güç : 4 kW
- Stator Eşdeğer Direnci : 1.405 Ω
- Stator Eşdeğer İndüktansı : 0.005839 H
- Rotor Eşdeğer Direnci : 1.395 Ω
- Rotor Eşdeğer İndüktansı : 0.005839 H
- Ortak Eşdeğer İndüktansı : 0.1722 H
- Rotor Ataleti : 0.0131 kg.m²
- Sürtünme Faktörü : 0.0002985 N.m.s
- Kutup Sayısı : 2p(4)
- Başlangıç Koşulu : Durağan

Simülasyon çalışmamızda öncelikle motorun hızı 1500 d/d değerlerine çıkarılıyor ve belli bir süre sonra 1000 d/d değerine düşürülüyor ve stabil hale geçmesi bekleniyor. Bulgular başlığı altında yüksüz ve 5 N.m yük altında V/f sabit oran kontrol yöntemi ve alan yönlendirme yöntemlerinin yukarıda belirlenen 3 parametre açısından karşılaştırılması ve yorumlanması yapılmıştır.

4.2. V/f sabit oran kontrolü (yüksüz)

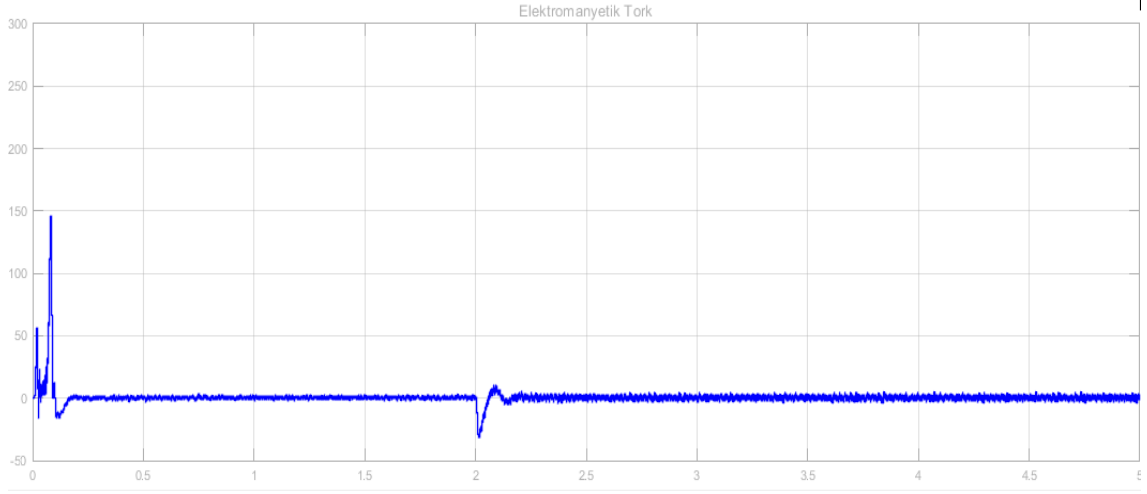
V/f sabit oran kontrolü simülasyon çalışmasının yüksüz motor kontrolü sonuçları bu bölümde incelenmiştir. Bu simülasyon için kullanılan Simulink modeli bölüm 3.14.1.'de detaylı olarak anlatılmıştır. Şekil 4.1.' de V/f sabit oran kontrol yönteminin Matlab/Simulink diyagram şekli verilmiştir.

İlk modelimiz V/f sabit oran kontrol modelidir. Motora uygulanan herhangi bir yük olmaması durumunda önceden belirlenen parametrelerinin grafikleri incelenmiştir.



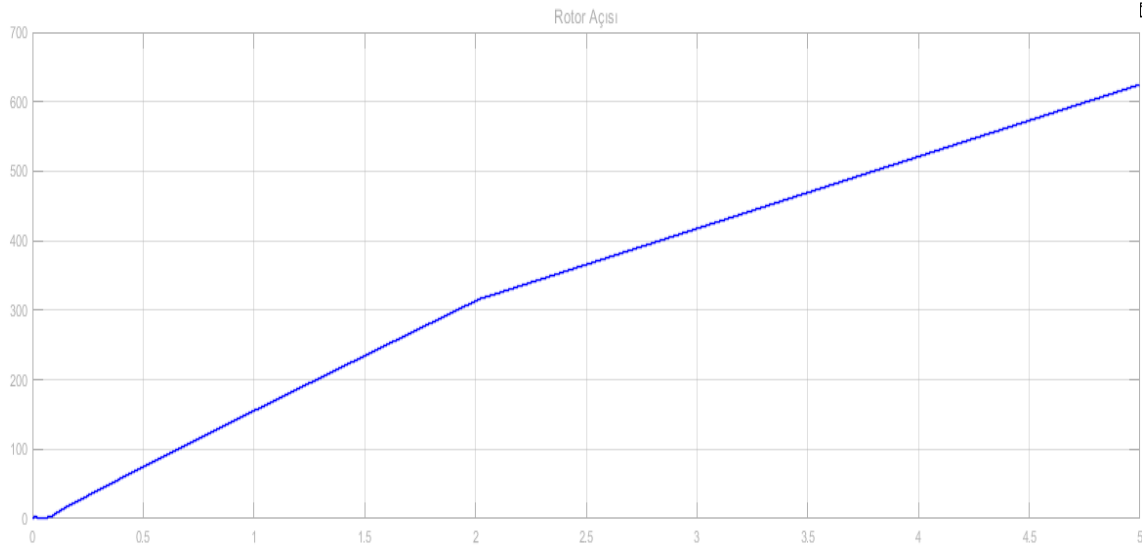
Şekil 4.2. V/f sabit oran kontrolü rotor dönme hızı (yüksüz).

Şekil 4.2. incelendiğinde görülmüştür ki rotor dönme hızı verilen hız trendini motor başlangıcında 0.15 saniyelik bir gecikme ile takip edip stabilize olmuştur. 1500 d/d değerine ulaştığında ise neredeyse birebir aynı hız trendini takip edebilmiştir. Devrin yükselişi gibi düşüşü de hız trendine dahil edilmiştir. 2. saniyede motor hızı 1500 d/d değerinden 1000 d/d değerine gerilemiştir. Sistemin cevabı sönümlenmeli salınım şeklinde olmuştur. Sönümlenme salınımının en büyük olduğu bölge toplam motor hızının yaklaşık 6% kadardır ve azalarak 0.5% değerinin altına düşmüştür. Stabilize olduktan sonra motor dönme hızı neredeyse istenen dönme hızı ile aynı hale gelmiştir.



Şekil 4.3 V/f sabit oran kontrolü elektromanyetik tork (yüksüz).

Şekil 4.3.'de elektromanyetik tork grafiği verilmiştir. Motor dönme hızını ayarlama da elektromanyetik tork değerleri rol almaktadır. Motorun hızı arttırılmak isteniyorsa elektromanyetik tork değeri yükselir ve istenilen hıza ulaşıldığı zaman indüksiyon akımı azalır. Bunun sonucunda ise tork değeri düşer. Grafikte de görülmektedir ki hızın yükseliş ve düşüş dönemlerinde elektromanyetik tork değerleri pozitif ve negatif yönde yükselmektedir.



Şekil 4.4. V/f sabit oran kontrolü rotor açısı (yüksüz).

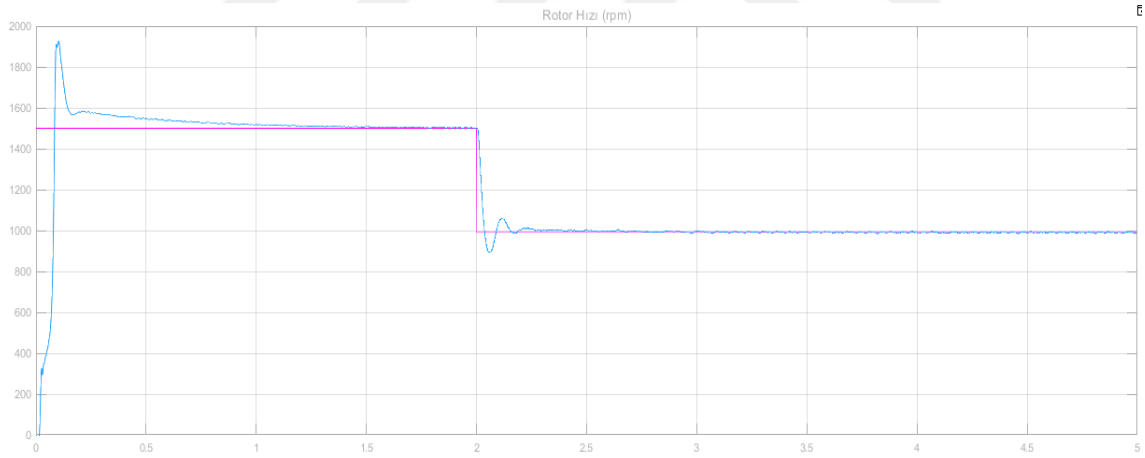
Şekil 4.4.'de rotorda herhangi bir kayma olup olmadığının araştırılması için belirlenmiş parametre olan rotor açısı verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere rotor açısında herhangi bir negatif eğilim görülmemiştir. Kayma olmadığı sonucuna varılmıştır.

4.3. V/f sabit oran kontrolü (5 N.m yük altında)

V/f sabit oran kontrolü simülasyon çalışmasının 5 N.m yük altında motor kontrolü sonuçları bu bölümde incelenmiştir. Bu simülasyon için kullanılan Simulink modeli bölüm 3.14.1.'de detaylı olarak anlatılmıştır.

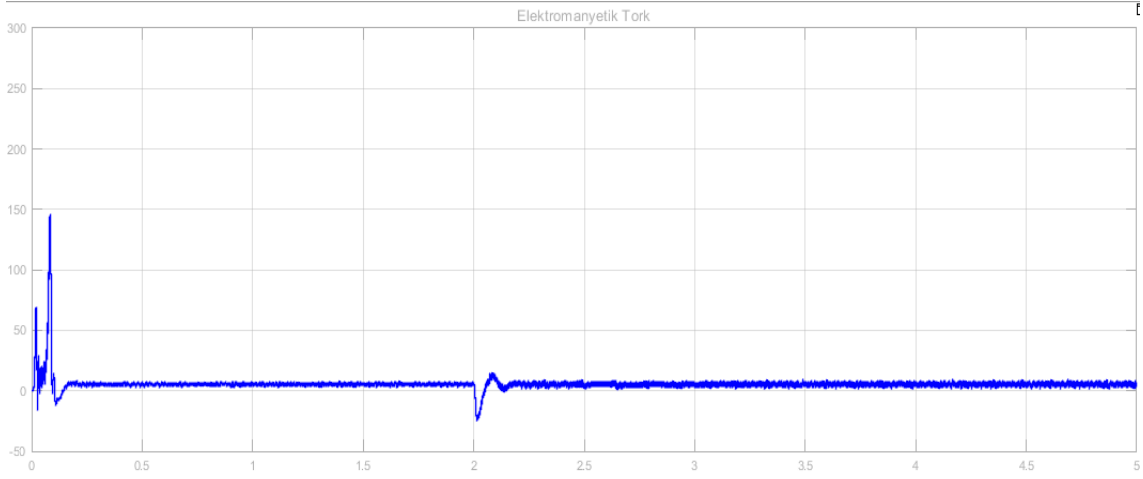
İlk modelimiz V/f sabit oran kontrol modelidir. Motora uygulanan 5 N.m yük olmaması durumunda önceden belirlenen parametrelerinin grafikleri incelenmiştir.

Şekil 4.5.'de 5 N.m yük altındaki motora uygulanan V/f sabit oran kontrol modelinin rotor dönme hızı istenen trendi alınan sonuç grafiği verilmiştir.



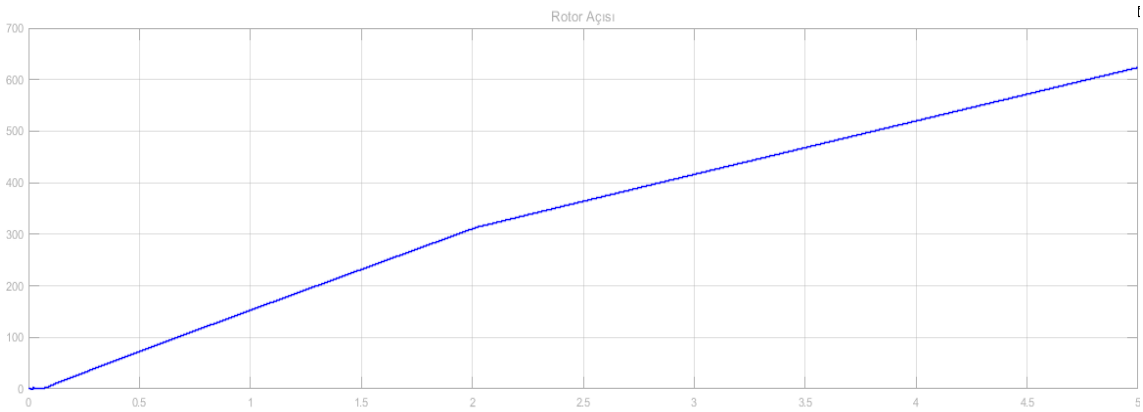
Şekil 4.5. V/f sabit oran kontrolü rotor dönme hızı (5 N.m yük altında).

Şekil 4.5.'de göstermektedir ki 5 N.m lik bir yük altında motorun tepkisi çok az değişmiştir. Gözle görülür bir değişikli gözlenmemiştir fakat grafik analiz programı kullanılarak incelendiğinde ise motor dönme hızı grafiğinde yüksüz değere göre yaklaşık olarak 2% daha az salınım yaptığı görülmüştür.



Şekil 4.6. V/f sabit oran kontrolü elektromanyetik tork (5 N.m yük altında).

Şekil 4.6.'de görülen elektromanyetik tork grafiği hız trendine uygun olarak hızın arttığı bölümlerde pozitif, azaldığı bölümlerde negatif ve stabil olduğu bölümlerde ise 0 etrafında salınım yapmaktadır. Yüksüz model ile arasındaki fark tahmin edilebileceği ve doğrulandığı üzere salınım miktarlarında artıştır. Hızın arttığı bölümlerde yük negatif etki yaparken azaldığı bölümlerde pozitif etki yaparak hız artışında elektromanyetik torkun yükselmesine, hız azalışında ise elektromanyetik torkun azalmasına sebep oluştur.



Şekil 4.7. V/f sabit oran kontrolü rotor açısı (5 N.m yük altında).

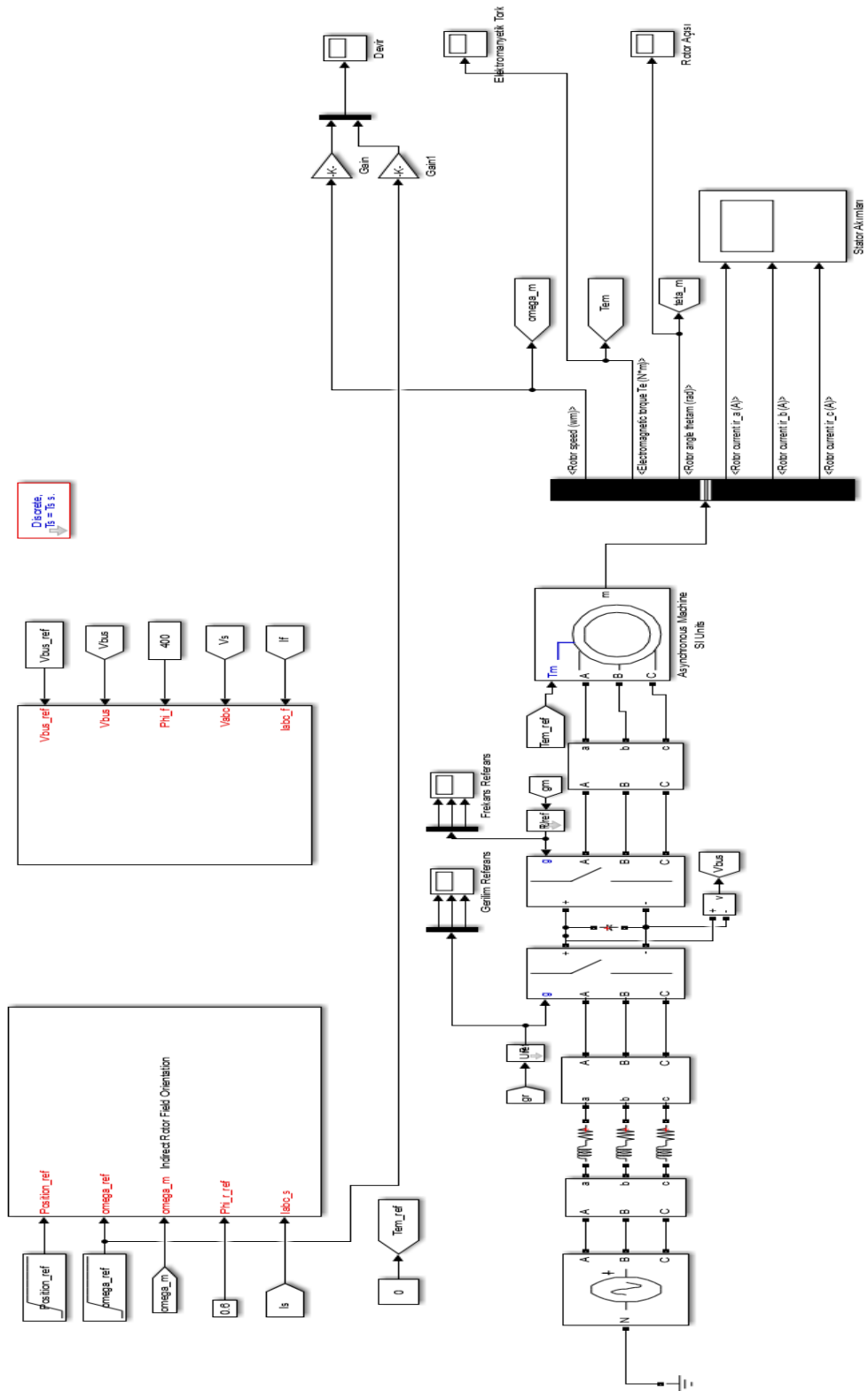
Şekil 4.7.'da rotor açısı grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde motorda herhangi bir kayma durumunun oluşmadığı gözlemlenmiştir. Uygulanan deneme yükü

olan 5 N.m kullanılan motor için kaymaya sebep olacak bir yük değildir. Sonuçlar beklentiler ile paralel olarak alınmıştır.

4.4. Alan yönlendirme kontrolü (yüksüz)

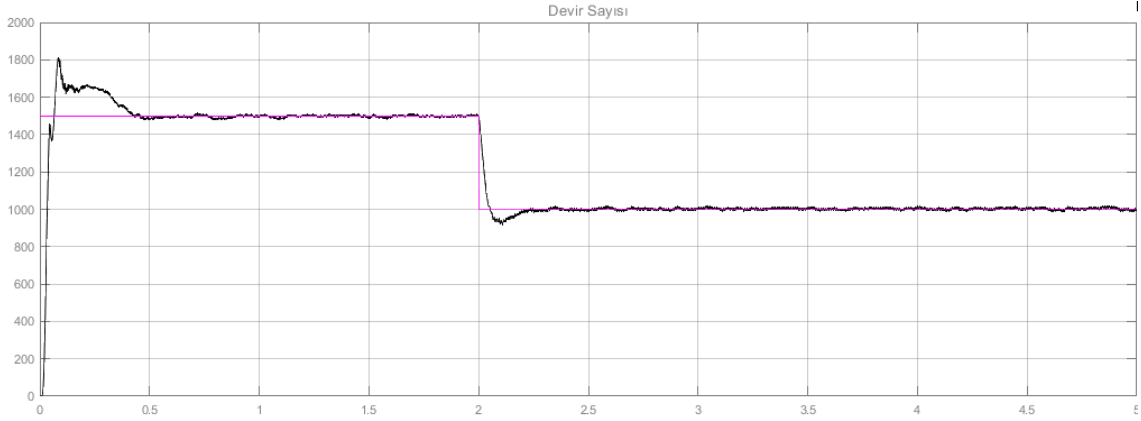
Alan yönlendirme kontrol simulink modelimiz 3.14.2. numaralı bölümde detaylarıyla açıklanmıştır. Bu bölümde alan yönlendirme yöntemi ile yüksüz bir motorun kontrol yöntemine cevabı incelenmiştir. Şekil 4.8.'de alan yönlendirme kontrolü Matlab/Simulink diyagramı verilmiştir.





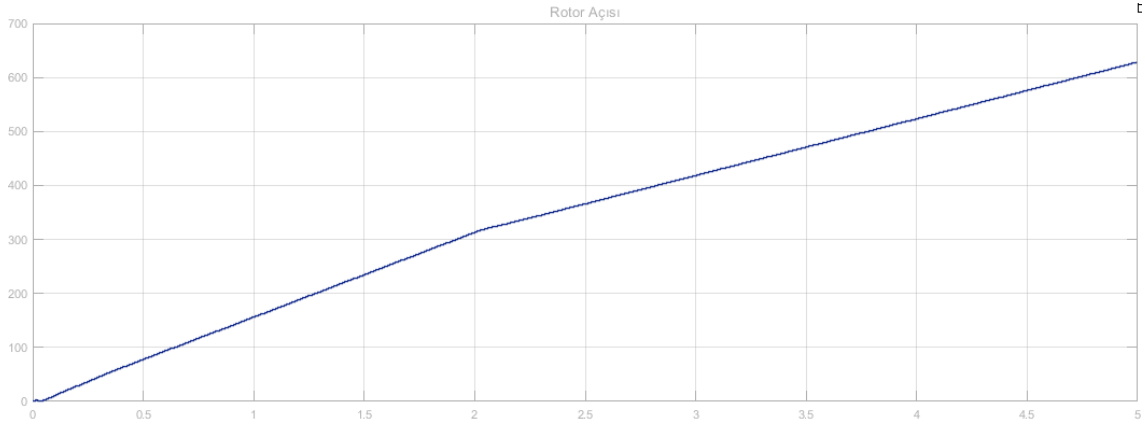
Şekil 4.8. Alan yönlendirme kontrolü simulink modeli.

Şekil 4.9.'da alan yönlendirme yöntemi ile kontrol edilmiş olan yüksüz bir motorun rotor dönme hızı ve istenen hız trendi görülmektedir. Hız trendi senaryosu V/f yöntemi ile aynıdır. Motor 1500 d/d değerine gelip stabilize olduktan sonra ani bir düşüş ile 1000 d/d değere indirilmiş ve sistemin cevabı incelenmiştir.



Şekil 4.9. Alan yönlendirme kontrolü rotor dönme hızı (yüksüz).

Şekil 4.9. incelendiğinde görülmektedir ki sistemin cevabı hız trendine oldukça yakındır. Yükseliş ve düşüş sırasında salınım görülmemiştir. Bunun temel sebebi ise tam olarak alan yönlendirme yönteminin kontrol mekanizmasıdır. Alan yönlendirmede asıl amaç rotor manyetik alanı ile stator manyetik alanının sürekli olarak dik kalmasını sağlamak ve maksimum tork elde etmektir. V/f kontrolde bu durum göz önünde bulundurulmadığı için normal tork değerlerinin ataletle üstün gelemediği bölgelerde salınım görülmüştür.

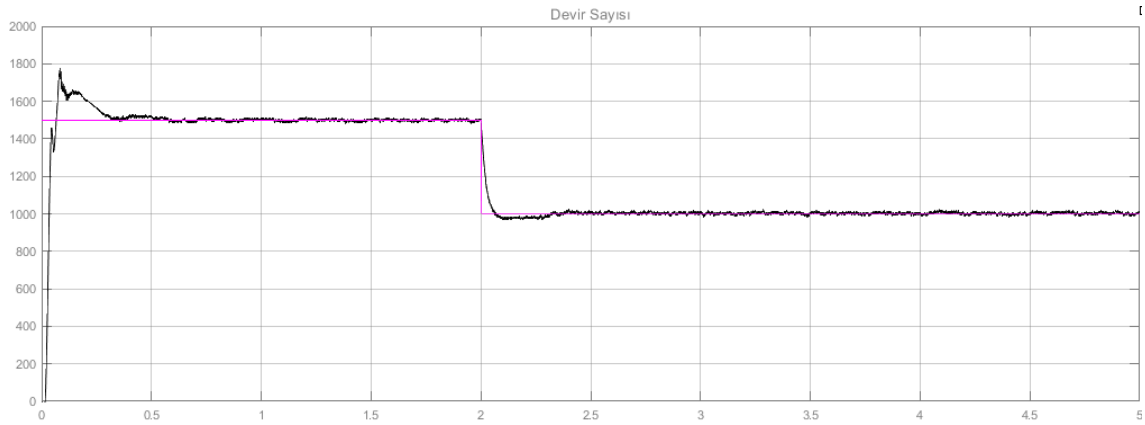


Şekil 4.10. Alan yönlendirme kontrolü rotor açısı (yüksüz).

Şekil 4.10. İncelendiğinde rotor açısında herhangi bir kayma görülmemiştir.

4.5. Alan yönlendirme kontrolü (5 N.m yük altında)

Alan yönlendirme kontrol yöntemi modelimizin 5 N.m yük altındaki cevabı bu bölümde incelenmiştir. Modelde yapılan tek değişiklik yük miktarıdır. Şekil 4.11.'de yük altındaki motorun alan yönlendirme yöntemi ile kontrolü sonucundaki rotor dönme hızı cevabını göstermektedir.

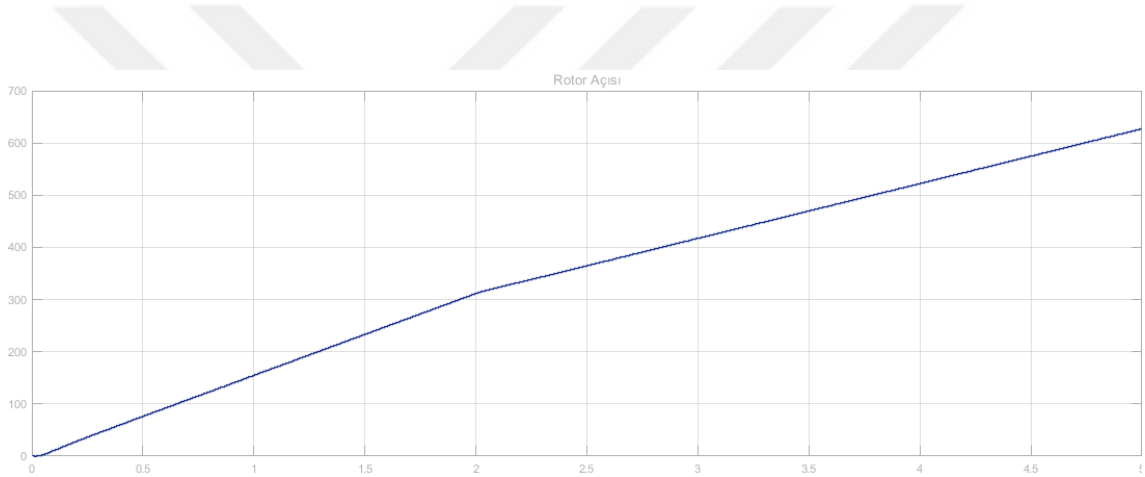


Şekil 4.11. Alan yönlendirme kontrolü rotor dönme hızı (5 N.m yük altında).

Şekil 4.11. incelendiğinde ve yüksüz model ile karşılaştırıldığında hız geçişlerinin daha yumuşak olduğu görülmüştür. Bunun temel sebebi uygulanan yükün hız artışında negatif hız azalışında pozitif ekti edecek şekilde elektromanyetik torka

katkıda bulunmasıdır. Hızın 1000 dev/dak değere indirildiği bölgede yüksüz modele göre daha yumuşak bir geçiş görülmüştür. Ayrıca hız trendinin üstüne çıkan hız değerlerinin frenlenmesinde daha yumuşak düşüşler görülmüştür.

Alan yönlendirme kontrol metodunda yüksüz ve 5 N.m yük altında Elektromanyetik tork grafikleri incelendiğinde negatif bölgedeki salınımın pozitif bölgeden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Önceden de bahsi geçtiği üzere uygulanan yükün negatif etki yapmasından kaynaklı bir durumdur. Ayrıca grafiğin pozitif bölgelerinde ise artış gözlenmiştir. Bu durumda yapılacak yorum, elektromanyetik tork grafiğinin uygulanan yük kadar yukarıya kaymasına sebep olduğu görülmüştür.



Şekil 4.12. Alan yönlendirme kontrolü rotor açısı (5 N.m yük altında).

Şekil 4.12. incelendiğinde diğer modellerde olduğu gibi bir kayma görülmemiştir. Çalışma şartları motor kapasitesini zorlayacak seviyelerde olmaması sebebi ile böyle bir sonuç alınmıştır.

Simülasyon neticesinde V/f kontrol yöntemi ile alan yönlendirme kontrol yönteminde elde ettiğimiz grafik derğerlerinin sonuçları aşağıdaki çizelgelere aktarılmıştır.

Çizelge 4.1. V/f kontrol yöntemi ile alan yönlendirme kontrol yönteminin boşa karşılaştırılması

Kontrol Yöntemi	Maksimum Değer(d/d)	Minimum Değer(d/d)	Oturma Süresi(Sn)	Test Süresi(Sn)
V/f Kontrol Yöntemi	2050	900	1,5	5
Alan Yönlendirme Kontrol Yöntemi	1800	960	0,5	5

Çizelge 4.2. V/f kontrol yöntemi ile alan yönlendirme kontrol yönteminin yük altında karşılaştırılması

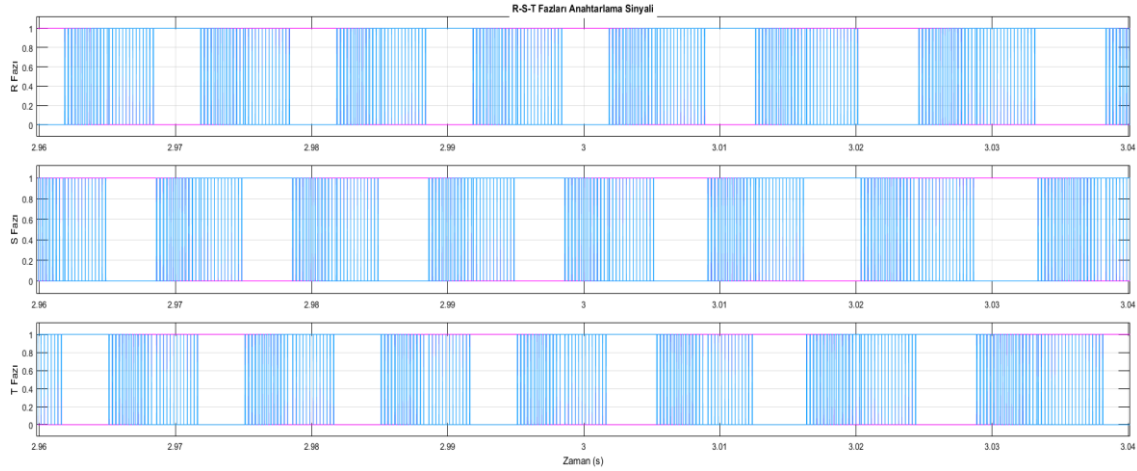
Kontrol Yöntemi	Maksimum Değer(d/d)	Minimum Değer(d/d)	Oturma Süresi(Sn)	Test Süresi(Sn)
V/f Kontrol Yöntemi	1870	950	1,25	5
Alan Yönlendirme Kontrol Yöntemi	1760	990	0,35	5

Asenkron motor, V/f kontrol yöntemi ile Alan Yönlendirme Yöntemini yüksüz ve 5 Nm yük altında 5 sn süre ile teste tabi tutulmuş ve elde edilen değerler çizelgeye aktarılmıştır. Simülasyon çalışmasında 2 sn sonra hızı 1500 d/d iken aniden 1000 d/d ya çekilmiş ve burumlarda motorun tepkisi gözlemlenmiştir. Bu gözlemeleme sonucunda asenkron motor yine küçük salınımlar yaptıktan sonra stabil konuma geçmiştir. Çizelgelerdeki değerleri incelediğimizde Alan Yönlendirme Yöntemi, V/f kontrol yöntemine nisbeten daha hızlı kararlı hale geldiği ve istenilen değer yakalanmasında daha kullanışlı bir kontrol yöntemi olduğu anlaşılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan motor değerleri ve Matlab/simulink konfigurasyon değerleri aynı tutulmuştur.

4.6. V/f sabit oran kontrolü anahtarlama sinyali incelemesi

Önceden değinildiği üzere V/f sabit oran kontrolünde SPWM adı verilen bir teknik ile 6 adet anahtarın açılıp kapatılması yöntemi kullanılmaktadır. 6 adet anahtar

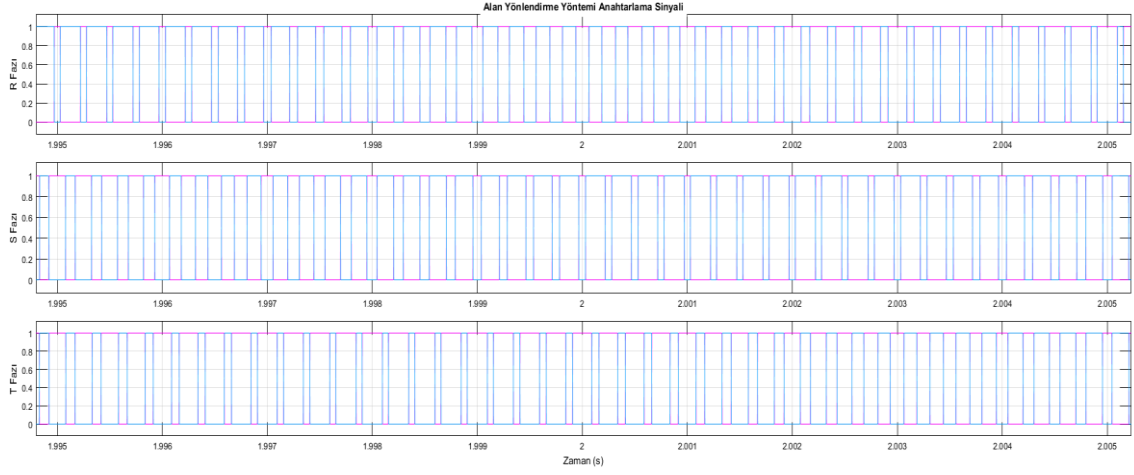
2'li gruplar halinde bölünmüştür. Her grupta zamanın herhangi bir anında yalnızca 1 adet anahtar açık olabilir. Bu kurala uyulmaması kısa devreye sebep olur ve devreye zarar verir. Şekil 4.13.'de V/f sabit oran kontrolünün 2'li grupları olan R-S-T fazları için anahtarlama sinyali verilmiştir.



Şekil 4.13. V/f sabit oran kontrolü anahtarlama sinyali.

4.7. Alan yönlendirme kontrolü anahtarlama sinyali incelemesi

Alan yönlendirme yönteminde svpwm yöntemi kullanılmıştır. Aynı zamanda geriliminde değiştirildiği bu sinyalde V/f sabit oran kontrol yöntemindeki gibi yalnızca faz kayması görülmemiştir. Aynı zamanda frekans farklılıkları da görülmektedir. Bunun sebebi ise alan yönlendirme kontrolünde önemli olan faktörün elektromanyetik alanın rotor elektromanyetik kutuplarına sürekli dik kalmasıdır. Bunun sağlanabilmesi için faz gerilimlerinin de değişmesi gerekebilmektedir. Bu durumda sürekli bir anahtarlama sinyali elde edilmektedir. Alan yönlendirme kontrol yönteminde elde edilen sinyal Şekil 4.14.'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Alan yönlendirme kontrolü anahtarlama sinyali.

Şekil 4.14.'de görüldüğü üzere anahtarlama sinyali SPWM yöntemindeki gibi kesik aralıklar ile oluşmamıştır. Süreklilik devam etmektedir.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Asenkron motorları ve bu motorları kullanan makineler endüstride oldukça yaygın kullanılan elektrik makineleridir. Bu motorlar düşük bakım maliyetleri nedeniyle değişik koşullar altında en az problemle çalışmaktadır. Uzun süre çalıştırılmadığında dahi bütünlüğünü kaybetmeden çalışabilir duruma gelirler. Asenkron motorları ve bu motorlar ile çalışan makineler beklenen ve elde edilen verim tamamen uygulamaya ve bu uygulama için kullanılan sürüş yöntemine bağlıdır. Son zamanlarda yapılan araştırmalar daha sorunsuz, daha verimli, daha kararlı ve daha ekonomik kontrol yöntemlerine yönelmektedir. Mikroişlemci ve entegre devre gelişmeleri bu çalışmaları destekleyici şekilde devam etmektedir.

Bu çalışmada önce asenkron motorlar tanıtılmış, asenkron motor çeşitlerinden bahsedilmiş, yol verme yöntemleri anlatılmış, hız kontrol yöntemleri ve motor hızına etki eden faktörlerden bahsedilmiştir. Daha sonra uzay vektör kavramı açıklanıp motorun matematiksel modeli verilerek kontrol uygulaması için temel bilgiler verilmiştir. Asenkron motor kontrol teknikleri ele alınmış ve bu tekniklerden V/f kontrol yöntemi ile alan yönlendirmeli kontrol yöntemi tercih edilmiştir. Kullanılan yöntemde Clark ve Park dönüşüm ve ters dönüşümleriyle üç fazlı motorun karmaşık yapısı basite indirgenerek kontrol karmaşıklığı ortadan kaldırılmıştır. Fakat bununla birlikte aritmetik işlem yoğunluğu artmıştır. Simulink modellerinin çözüm süresi aynı zaman aralığında kıyaslandığında alan yönlendirme kontrol yöntemi daha yavaş tepki vermiştir. Bunun sebebi aritmetik işlem ve PI kontrol ünitesi sayısının fazla kullanılmış olmasıdır. PI kontrol sayısı arttıkça kontrol ünitesi daha yavaş tepki vermiş ve bu tepki neticesinde rotor dönme hızı ve elektromanyetik tork grafikleri alan yönlendirme kontrol yönteminde, V/f sabit oran kontrol yöntemine göre daha salınımlı olmuştur.

Asenkron motorun kontrolünde, motorun sürülmesi amacıyla uzay vektör darbe genişlik modülasyon tekniği (SVPWM) ve frekans girdili trifaze yöntemleri uygulanmış ve bunun için Matlab/Simulink paket programı kullanılmıştır. Sinyal yapıları Bulgular bölümünde verilmiştir. Çalışma kapsamında kontrol yöntemlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

Her iki yöntem de yüksüz ve 5 N.m yük altında olacak şekilde uygulanmış ve sonuçları bulgular bölümünde incelenmiştir. Toplam 4 durum incelenmiş ve bu durumlar için rotor açısı, rotor dönme hızı ve elektromanyetik tork çıktıları incelenmiş ve bulgular kısmında verilmiştir. Hedef hızlar aynı iken elde edilen sonuçlara göre Alan yönlendirme yöntemindeki elektromanyetik tork cevapları daha hızlı ve daha yüksek genlikte olmakla birlikte motorun güç sarfiyatını arttırıcı şekilde çekilen akım miktarlarının da doğru orantılı olarak arttığı sonucuna varılmıştır. Elektromanyetik tork cevabının yüksek genlikte olması hız kompanse özelliğinin alan yönlendirme yönteminde daha hızlı bir mekanizma olduğu görülmektedir.

Yapılan çalışmada PI katsayılarının ayarlanması Matlab/Simulink PID TUNER aracı ile düşük hızlarda ve frekansın değiştiği düşük hız değerleri için hesaplanmıştır. Bu bağlamda hızın yükseldiği durumlarda düşük sönümlenme katsayısına sahip olan sistemde salınım görülmektedir. Bu problemin çözümü ise bir OR kapısı kullanılarak düşük hızlar için hesaplanan PI katsayısı değerlerinin yalnızca düşük hızlarda etkili olmasını sağlamak ve hız değeri belli bir limitin üstüne çıktığında katsayıların bu hızlara göre ayarlandığı PI kontrolcüyü devreye almak olabilir. Bu bağlamda elektromanyetik tork değerlerinin alan yönlendirmede yüksek hızlı tepkisinin ve yüksek genlik tepkisinin temel sebebi alan yönlendirme yönteminde gerilimin sürekli ayarlanması sebebi ile sargılara zaman zaman taban gerilim değerinden fazla gerilim uygulanmaktadır.

V/f sabit oran kontrol yöntemi alan yönlendirme kontrol yöntemine göre daha eski bir yöntemdir. Bulguların incelenmesi sonucunda görülmüştür ki geri bildirimli olmasına rağmen salınım oluşmaktadır. PI katsayılarının ayarlanması ise yalnızca gecikme gerçekleştirilerek salınımın önüne geçilebilmektedir. Salınımın önüne geçilmesi ancak kademeli PI kontrolcü ile gerçekleşmektedir. Bunun temel sebebi gerilimin sargı bazında değiştirilmemesidir. Alan yönlendirme yönteminde her sargının gerilimi zamanın herhangi bir anında birbirine eşit olmayabilir bu da sonsuz kutuplu bir asenkron motor haline dönüşmektedir. Ancak V/f sabit oran kontrol yöntemi uygulanabilirlik açısından daha olası bir seçenektir. Aşırı hassas bir kontrol istenmeyen durumlarda kullanılabilir ve mikroişlemci gibi küçük programlama hafızalarına sahip cihazlar ile kontrol edilebilir.

Her iki simülasyon sonuçlarına bakılıp karşılaştırma yapıldığında V/f sabit oran yönteminde daha düşük genliklerde ve daha yavaş cevap verilirken alan yönlendirme yöntemindeki elektromanyetik tork cevabı daha yüksek genliktedir. Ancak uygulanabilirlik açısından V/f yönteminin daha ekonomik ve asenkron motoru kullanılan uygulamaların çoğunluğuna hitap ettiği tespit edilmiştir. Yüksek doğruluk isteyen uygulamalar için Alan yönlendirme yöntemi tercih edilirken ekonomik çözümler için V/f sabit oran kontrolü tercih edilmelidir. Alan yönlendirme yönteminin bir diğer avantajı ise motor kapasitesinin üzerindeki yüklere kısa süreli dayanım sağlayabilmesidir. Faz gerilimlerinin ayarlanabilir olması sayesinde kayma, durma ya da tepme gibi problemler oluşturmayan bir kontrol yöntemidir.

Sonuç olarak yaptığımız çalışmalar ve bulgular neticesinde doğruluk ve güvenilirlik açısından alan yönlendirme yönteminin, V/f kontrol yönteminden daha üstün olduğu kanaatine varılmıştır. V/f sabit oran kontrol yönteminin kademeli PI kontrolü uygulaması sayesinde doğruluk oranının alan yönlendirme yöntemine yaklaşacağı tahmin edilmekle birlikte alan yönlendirme yönteminin sonucunda oluşan elektromanyetik tork ve motor gücü bakımından hiçbir durumda aynı oranlara gelemeyeceği öngörüsüne varılmıştır.



KAYNAKLAR

- Abbondanti, A., Brennen, M. B. 1975. *Variable Speed induction Motor Drives Use Electronic Slip Calculator Based on Motor Voltages and Currents. IEEE Transactions on Industry Applications* , **IA-11**(5):483-488.
- Agamloh, B. E. (2011). *Induction Motor Efficiency. IEEE Industry Applications* , 20-28.
- Antrak. 2016. Retrieved from Antrak. Org: <https://antrak.org.tr/blog/trifaze-guc-kayna%C4%9F%C4%B1-yap%C4%B1m%C4%B1/>
- Böcker, J., Mathapati, S. 2007. *State of the Art of Induction Motor Control*. (p. Volume: 2). *Electric Machines & Drives Conference, 2007. IEMDC '07. IEEE International*.
- Chatterjee, P., Karan, B. M., Sinha, P. K. 2008. *Intelligent drive for induction motor control. Control and Intelligent Systems* , **36**(2).
- Chiasson, J. 2005. *Induction Motor Control*.
- Demirbaş, Ş., Irmak, E., Bayhan, S., Çolak, İ. 2008. Mikrodenetleyici ile rotoru sargılı asenkron motor rotor direncinin değiştirilerek tork ve hız kontrolü. *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.* , **23**(4):801-809.
- Duranay, Z. B., Güldemir, H. 2017. Bir fazlı asenkron motor v/f hız kontrolü. *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi* - **29**(2):163-172.
- Europe, T. I. (1998). *Field Orientated Control of 3-Phase. Literature Number: BPRA073* , 2-14.
- Feng, G., Liu, Y.-F., Huang, L. 2004. A new robust algorithm to improve the dynamic performance on the speed control of induction motor drive. *IEEE Transactions on Power Electronics* , **19**(6):1614-1627.
- Fernández, L. D., Rodríguez, J. L., Peñaranda, E. A. 2017. *V/F Control of an Induction motor with THD optimization using cascaded multilevel converters. 10.1109/INTERCON.2017.8079716* (pp. 15-18). Cusco, Peru: *IEEE*.
- Güldemir, H. 2001. Hız Algılayıcısız İndüksiyon Motorun Model Referans Uyarlamalı Sistem Tabanlı Benzetimi. <http://www.emo.org.tr/etkinlikler/ulusal-etkinlik-bildirileri/detay.php?etkinlikkod=133&bilkod=2648>. Erişim tarihi: 04.05.2019.
- Kesler. 2006. *Bilezikli Asenkron Makinaların Bilezikleri Üzerinden Bulanık Mantık Tabanlı Hız Denetiminin Tms320f2812 Dsp Gerçekleştirilmesi. Trabzon*.
- Kılıç, E., Özçalık, H. R., Yılmaz, Ş., Şit, S. 2015. *Vektör Kontrollü Asenkron Motorların RTYSA Temelli Model Referans. APJES* , 27-33.
- Lai, Y.-S., Chen, J.-H. 2001. A new approach to direct torque control of induction motor drives for constant inverter switching frequency and torque ripple reduction. *IEEE Transactions on Energy Conversion* , **16**(3):220-227.
- Langsdorf, A. 1955. *Theory of Alternating Current Machinery*. In A. Langsdorf, *Theory of Alternating Current Machinery* (p. 272). Newyork: McGraw-Hill.
- Marino, R., Tomei, P., Verrelli, C. M. 2010. *Induction Motor Control Design. Springer-Verlag*.
- Mora, J. L., Barrero, F., Galvan, E. R. 2002. *Integrated Solution for Induction Motor Control*.

- Munoz-Garcia, A., Lipo, T., Novotny, D. 1998. A new induction motor V/f control method capable of high-performance regulation at low speeds. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **34**(4):813-821.
- Ohtani, T., Takada, N., Tanaka, K. 1992. Vector control of induction motor without shaft encoder. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **28**(1):157-164.
- Omaç, Z., Öksüztepe, E., Selçuk, A. H. 2011. *Sayısal Sinyal İşlemci Tabanlı Dolaylı Alan Yönlendirmeli Asenkron Motorun Hız Kontrolü. International Advanced Technologies Symposium*. Elazığ: LATS'11.
- Özçira, S., Bekiroğlu, N., Ayçiçek, E. 2007. *Simulation of Direct Torque Controlled Permanent Magnet Synchronous Motor Drive*.
- Özçira, S., Bekiroğlu, N., Şenol, İ., Ayçiçek, E. 2012. Sürekli mıknatıslı senkron motorlarda doğrudan moment kontrolünün incelenmesi ve benzetim çalışmasının gerçekleştirilmesi. *EMO Bilimsel Dergi*, **2**(3):1 - 6.
- Özçira, S. 2007. *Sabit Mıknatıslı Sekron Motorun Kontrol Yöntemleri ve Endüstriyel Uygulamaları*
- Racid, A. 1997. Induction motor control. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 380 - 382.
- Sarkar, P. 2016. *Quora*. Retrieved from Quora: <https://www.quora.com/What-is-induction-motor-in-physics>
- Takahashi, I., Ohmori, Y. 1989. *High-performance direct torque control of an induction motor. IEEE Transactions on Industry Applications* , **25**(2):257-264.
- Uddin, M., Radwan, T., Rahman, M. 2002. Performances of fuzzy-logic-based indirect vector control for induction motor drive. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **38**(5):1219-1225.
- Velani, M. 2018. *VFD Application on Induction Motor Control. Researchgate*.
- Xue, L., Liu, J. 2009. *Simulation and Experiment of Induction Motor Controller*. DOI: 10.1109/ICCAE.2009.66.
- Yang, G., Alemayehu, H., Wang, F., Cui, S., Zhao, L. 2012. *Design and Implementation of Induction Motor Control. Advances in Electrical Engineering and Automation*.
- Şenoğlu, G., 2019. Elektrik motoru nedir? <https://gucaktarim.com/elektrik-motoru-nedir/> . Erişim tarihi: 04.05.2019.

ÖZ GEÇMİŞ

Fuat TOTAŞ, 1982 yılında Muş ilinde dünyaya geldi. İlk, orta ve lise eğitimini Muş'ta tamamladı. 2003 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2017 yılında Ahmet Yesevi Üniversitesi'nde Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Bölümü'nde yüksek lisans eğitimini bitirdi. Toplu Konut İdaresi Başkanlığı'nda uzman olarak çalışmaya devam etmektedir.



**YUZUNCU YIL UNIVERSITESI
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: 08/10/2019

Tez Başlığı / Konusu:

Asenkron Motorun Farklı Yöntemler ile Hız Kontrolü

Yukarıda başlığı/konusu belirlenen tez çalışmamın Kapak sayfası, Giriş, Ana bölümler ve Sonuç bölümlerinden oluşan toplam 75 sayfalık kısmına ilişkin, 08/10/2019 tarihinde tez danışmanım tarafından Unplag.com intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtreleme uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezin benzerlik oranı % 1 (bir) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayımlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit inatch size to 7 words)

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu Kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

08/10/2019



Adı Soyadı: Fuat TOKTAŞ

Öğrenci No: 159101123

Anabilim Dalı: Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Statüsü: Y. Lisans

**DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR**


Prof. Dr. Naci GENÇ

