

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

**ASENKRON MOTORLARIN GERİLİM SARKMALARINA
KARŞI DUYARLILIKLARINI GÖSTERMEK İÇİN
BULANIK MANTIK UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan ÖZTÜRK

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK – ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU

Kasım 2021

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

**ASENKRON MOTORLARIN GERİLİM SARKMALARINA
KARŞI DUYARLILIKLARINI GÖSTERMEK İÇİN
BULANIK MANTIK UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan ÖZTÜRK

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK – ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK**

Bu tez 05.11.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

BEYAN

Tez içinde yer alan tüm verilerin akademik yöntemler vasıtasıyla benim tarafımdan elde edilmiş olduğunu, görsel ile yazılı tüm bilgilerin ve sonuçların akademik ve etik kurallar çerçevesinde sunulduğunu, kullanılan tüm verilerde hiçbir tahrifat yapılmamış olduğunu, başka eserlerden alınması durumunda ise bilimsel ve kurallara uygun şekilde atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan tüm verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışmasında kullanılmamış olduğunu beyan ederim.

Hakan ÖZTÜRK

05.11.2021

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana destek olan, gerekli işleri yürüten, tezin yapımından yayınlanmasına kadar olan süreçte gerekli tüm işlerin yürütülmesini sağlayan Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü idari ve akademik personellerine teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Enerji Kalitesinin Optimizasyonu.....	3
2.2. Elektrik Makineleri	3
2.2.1. Asenkron makineler.....	4
2.2.2. Asenkron makinelerin yapısı	5
2.2.2.1. Asenkron makinelerin elektrik dağıtımına etkisi.....	7
2.3. Enerji Kalitesi ve Dinamik Performans.....	7
2.4. Enerji Kalitesi Problemleri.....	8
2.4.1. İletim hattı arızaları.....	9
2.4.2. Güç sistemi harmonikleri.....	10
2.4.2.1. Akım harmonikleri.....	11
2.4.2.2. Gerilim harmonikleri.....	12
2.4.3. Kısa süreli gerilim sarkmaları.....	12

2.4.3.1. Kısa süreli gerilim sarkmalarının nedenleri.....	13
2.4.3.2. Kısa süreli gerilim sarkmalarının özellikleri	15
2.4.3.3. KSGS'lerin asenkron makinelerdeki etkileri	17
2.4.3.4. Asenkron makinelerde KSGS'den korunma yöntemleri	21
2.5. Enerji Kalitesini Arttırma Yolları.....	21
2.5.1. Enerji kalitesi için tasarlanan cihazlar.....	22
2.5.1.1. STATCOM sistemi.....	22
2.5.1.2. SVC sistemi	23
2.5.1.3. DVR sistemi.....	24
2.6. Bulanık Mantık	25
2.6.1. Bulanık mantık teorisi.....	27
2.6.2. Bulanık mantık uygulamasının kullanım alanları	28
2.6.2.1. Bulanık mantık sistemlerinin avantajları ve dezavantajları.....	29
 BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	31
3.1. Materyal	31
3.2. Genel Sistemin Yapısı	31
3.3. Filtre Sisteminin Yapısı	33
3.4. Kontrol Sisteminin Yapısı.....	35
3.5. Elektrik Elektronik Çalışmalar ve Ölçümler	36
3.6. Bulanık Mantık Sistemi Tasarımı	37
3.6.1. Tasarlanan Matlab/Bulanık mantık modelinin kuralları.....	39
 BÖLÜM 4.	
ARAŞTIRMA BULGULARI	42
4.1. Tasarlanan Sistemin Gerilim Çıkışları.....	42
4.2. Sistemin Mekanik Sonuçları	45
4.2.1. Elektromanyetik tork duyarlılığı.....	45
4.2.2. Rotor hızı duyarlılığı	46

4.3. Sistemin Elektriksel Sonuçları	48
4.3.1. Sistemin gerilim performansı	48
4.3.2. Sistemin akım performansı	51
4.3.2.1. Asenkron makine akımının duyarlılıkları.....	53
4.3.3. Yük güçlerinin duyarlılıkları	56
4.3.3.1. Asenkron makine 3 fazlı görünür gücünün duyarlılıkları	56
4.3.3.2. Asenkron makine 3 fazlı aktif gücünün duyarlılıkları.....	57
4.3.3.3. Asenkron makine 3 fazlı reaktif gücünün duyarlılıkları	60
4.3.4. Yüküm arıza zamanına göre duyarlılıkları.....	62
4.4. Sistemin Bulanık Mantık Çıktıları	63
4.4.1. Elektromanyetik tork çıkışı	63
4.4.2. Rotor hızı çıkışı	65
4.4.3. Güç çıkışı	66
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	68
KAYNAKÇA	70
ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C	: Kapasite
CPD	: Özel güç aygıtları
DVR	: Dinamik gerilim onarıcı
FACTS	: Esnek alternatif akım iletim sistemi
I_{abc}	: 3 fazlı akım
I_L	: Yük akımı
I_r	: Rotor akımı
I_s	: Stator akımı
L	: Endüktans
KSGS	: Kısa süreli gerilim sarkmaları
R	: Direnç
STATCOM	: Statik senkron kondansatör
STS	: Statik Transfer Anahtar
SVC	: Statik VAR kompensatör
t	: Zaman
V	: Gerilim
VSC	: Gerilim kaynağı dönüştürücü
V_{abc}	: 3 fazlı gerilim
V_{dc}	: Besleme gerilimi
V_L	: Yük gerilimi
V_{inj}	: Yerleştirilen gerilim
V_s	: Stator Gerilimi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Transformatörün temel yapısı	4
Şekil 2.2. Asenkron makine örneği	5
Şekil 2.3. Asenkron makine iç yapısı	6
Şekil 2.4. Gerilim kalitesi problemleri	9
Şekil 2.5. İletim hattı arızası	10
Şekil 2.6. Gerilimde oluşabilecek harmoniklerin örneği	12
Şekil 2.7. Gerilim sarkmalarının bulanık mantıktaki parametreleri	13
Şekil 2.8. Üç fazlı gerilim sarkmalarının bulanık mantıktaki parametreleri	13
Şekil 2.9. Gerilim sarkmaları tiplerinin sınıflandırılması	16
Şekil 2.10. STATCOM'un genel yapısı	22
Şekil 2.11. Standart statik VAR yapısı	23
Şekil 2.12. Standart DVR Yapısı.....	25
Şekil 2.13. Temel bulanık mantık sistemi.....	26
Şekil 3.1. Tasarlanan sistemin genel yapısı.....	32
Şekil 3.2. Tasarlanan sistemin tek hat şeması.....	33
Şekil 3.3. Tasarlanan filtre devresi.....	34
Şekil 3.4. Tasarlanan filtre devresinin harici devresi.....	35
Şekil 3.5. Tasarlanan sistemin kontrol sisteminin modeli.....	36
Şekil 3.6. Tasarlanan sistemin elektronik ölçüm sisteminin modeli.....	36
Şekil 3.7. Tasarlanan bulanık mantık sisteminin arayüzü.....	37
Şekil 3.8. Bulanık Mantık uygulamasındaki sarkma büyüklüğünün üyelik fonksiyonu.....	38
Şekil 3.9. Bulanık Mantık uygulamasındaki sarkma süresinin üyelik fonksiyonu.....	38
Şekil 3.10. Bulanık Mantık uygulamasındaki örnek bir çıkışın üyelik fonksiyonu.....	39

Şekil 3.11. Bulanık Mantık uygulamasındaki aktif güç parametresinin kuralları.....	39
Şekil 3.12. Bulanık Mantık uygulamasındaki elektromanyetik tork parametresinin kuralları	40
Şekil 3.13. Bulanık Mantık uygulamasındaki DVR aktif değilken rotor hızı parametresinin kuralları	40
Şekil 3.14. Bulanık Mantık uygulamasındaki DVR aktif iken rotor hızı parametresinin kuralları.....	41
Şekil 4.1. Gerilim sarkması durumunda DVR aktifken şebekedeki, yükteki, yerleştirilen gerilim.....	43
Şekil 4.2. Gerilim sarkması durumunda DVR aktifken şebekedeki, yükteki, yerleştirilen gerilimin etkin değerleri	44
Şekil 4.3. Gerilim sarkması durumunda DVR aktif ve aktif değilken elektromanyetik tork.....	45
Şekil 4.4. Gerilim sarkması durumunda DVR aktif ve aktif değilken rotor hızı.....	47
Şekil 4.5. Gerilim sarkması durumunda asenkron makine gerilimi	49
Şekil 4.6. DVR sisteminin aktif edilmesi durumunda asenkron makine gerilimi	49
Şekil 4.7. DVR aktif değil iken sistemin stator gerilimleri (V) değerleri.....	50
Şekil 4.8. DVR aktif iken sistemin stator gerilimleri (V) değerleri.....	50
Şekil 4.9. DVR aktif değil iken asenkron makinenin akım (A) değerleri.....	51
Şekil 4.10. DVR aktif değil iken asenkron makinenin akım (A) değerlerinin etkin değeri.....	52
Şekil 4.11. DVR aktif iken asenkron makinenin akım (A) değerleri.....	52
Şekil 4.12. DVR aktif iken asenkron makinenin akım (A) değerlerinin etkin değeri.....	53
Şekil 4.13. DVR aktif değil iken asenkron makinenin rotor akımları (A) değerleri..	54
Şekil 4.14. DVR aktif iken asenkron makinenin rotor akımları (A) değerleri.....	54
Şekil 4.15. DVR aktif değil iken asenkron makinenin stator akımları (A) değerleri.....	55
Şekil 4.16. DVR aktif iken asenkron makinenin stator akımları (A) değerleri.....	55
Şekil 4.17. DVR aktif değil iken sistemin görünür gücünün (VA) değerleri.....	56

Şekil 4.18. DVR aktif iken sistemin görünür gücünün (VA) değerleri.....	57
Şekil 4.19. DVR aktif değil iken sistemin aktif gücünün (VA) değerleri	58
Şekil 4.20. DVR aktif değil iken sistemin aktif gücünün (VA) etkin değerleri	58
Şekil 4.21. DVR aktif iken sistemin aktif gücünün (W) değerleri	59
Şekil 4.22. DVR aktif iken sistemin aktif gücünün (W) etkin değerleri.....	59
Şekil 4.23. DVR aktif değil iken sistemin reaktif gücünün (VAr) değerleri	60
Şekil 4.24. DVR aktif değil iken sistemin reaktif gücünün (VAr) etkin değerleri ..	61
Şekil 4.25. DVR aktif iken sistemin reaktif gücünün (VAr) değerleri	61
Şekil 4.26. DVR aktif iken sistemin reaktif gücünün (VAr) etkin değerleri.....	62
Şekil 4.27. DVR aktif değilken sistemin elektromanyetik tork (Nm) duyarlılığının bulanık mantık çıktıları.....	64
Şekil 4.28. DVR aktifken sistemin elektromanyetik tork (Nm) duyarlılığının bulanık mantık çıktıları.....	64
Şekil 4.29. DVR aktif değilken sistemin rotor hızı (rad/s) duyarlılığının bulanık mantık çıktıları.....	65
Şekil 4.30. DVR aktifken sistemin rotor hızı (rad/s) duyarlılığının bulanık mantık çıktıları.....	66
Şekil 4.31. DVR aktifken sistemin güç (W) duyarlılığının bulanık mantık çıktıları.....	67

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Gerilim sarkmaları tiplerinin fazlarının ifadeleri.....	17
Tablo 2.2. Mantığın yaklaşımlarının karşılaştırması.....	30
Tablo 3.1. Kullanılan asenkron makinenin özellikleri.....	32
Tablo 4.1. Gerilim sarkması durumunda DVR aktif değilken elektromanyetik tork.....	46
Tablo 4.2. Gerilim sarkması durumunda DVR aktifken elektromanyetik tork.....	46
Tablo 4.3. DVR aktif değil iken sistemin rotor hızı (rad/saniye) değerleri.....	48
Tablo 4.4. DVR aktif iken sistemin rotor hızı (rad/saniye) değerleri.....	48
Tablo 4.5. DVR aktif iken sistemin gücünün (W) etkin değeri.....	60

ÖZET

Anahtar kelimeler: Bulanık mantık, Elektrik makineleri, Asenkron motorlar, Gerilim sarkmaları, Elektrik güç sistemleri, Hat arızaları

Bu çalışmada; gerilim sarkmaları özellikleri ve parametreleri ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Asenkron makinanın normal çalışma koşullarındaki durumu analiz edilmiştir. Asenkron makinanın performans parametreleri kaydedilmiştir. Ardından MATLAB/Simulink’de tasarlanan gerilim sarkması modeli, ilgili iletim ve dağıtım modellerine oradan da asenkron makinaya bağlanmıştır. Yani arıza olarak gerilim sarkmasının meydana geldiği bir iletim hattına yük bağlanmıştır. Bu yük asenkron makine seçilmiştir. Asenkron makinanın arızalı (gerilim sarkmalı haldeki) durumu ve performans parametreleri kaydedilmiştir.

Tasarlanan DVR sistemi arızalı sisteme bağlanmıştır. Arızalı sistemde DVR kullanıldığındaki asenkron makine duyarlılıkları kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler bulanık mantık algoritması oluşturulup grafiğe dökülmüştür.

FUZZY LOGIC APPLICATION FOR SHOWING SENSITIVITIES OF ASYNCHRONOUS MOTORS AGAINST VOLTAGE SAG

SUMMARY

Keywords: Fuzzy logic, Electrical machines, Induction motors, Voltage sags, Electric power systems, Line faults

In this study; voltage sag properties and parameters have been investigated in detail. The state of the asynchronous machine under normal operating has been analyzed. Performance parameters of the asynchronous machine have been reported. Then, the voltage sag model designed in MATLAB/Simulink was connected to the corresponding transmission-distribution models and from there to the asynchronous machine. In other words, a load is connected to a transmission line where voltage sag occurs as a fault. This load asynchronous machine is selected. The status and performance parameters of the asynchronous machine were reported.

The designed DVR system is connected to the faulty system. Asynchronous machine sensitivities are reported when the DVR is used in the faulty system. The reported data was created and graphed using a fuzzy logic algorithm.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Günümüzde elektrik enerjisi üretiminin maliyetli ve dağıtımının kısıtlı olması sebebiyle enerji üretimi büyük önem arz etmektedir. Elektrik enerjisinin dağıtımı ve iletimi esnasında birçok hata [kısa süreli gerilim sarkmaları (KSGS), gerilim yükselmeleri, harmonikler] meydana gelebilmektedir. Bu hatalardan kısa süreli gerilim sarkmaları (KSGS) önemli dağıtım sorunları arasındadır. KSGS'ler, 0.5 periyottan başlayarak 1 dakikaya kadar sürebilen gerilimde veya akımda meydana gelen bir miktar azalmalardır [1]. KSGS'ler güç sistemlerindeki arızalardan meydana gelip tüketici üzerinde olumsuz etkiler bırakmaktadır [2].

KSGS gibi hatalara karşı güç elektroniği tasarımı sistemler geliştirilmektedir. Bunların en yaygın olanı D-STATCOM ve DVR olarak bilinmektedir. D-STATCOM bir transformatör, bir depo cihazı ve bir dönüştürücü ile biçimlendirilmiş bir statik senkron kompensatördür [3]. DVR, elektrik güç dağıtımında meydana gelebilen gerilim düşüşlerine ve yükselmelerine karşı kullanılan bir cihaz ve yöntemi oluşturmaktadır [4]. DVR, kullanılan gücün parametrelerini etkileyebilecek yerleştirilmeleriyle enerji tasarrufu ve koruması sağlar. Bu şekilde tüketiciye yani yüke güç kalitesi sağlamaya çalışır. DVR, yük tarafındaki gerilimi düzenlemek için sisteme gerilim ekleyen seri bağlı bir katı hal cihazıdır. Böylece yükteki enerji kalitesi arttırılmaya çalışılmaktadır.

Asenkron motorlar, enerjinin tüketiminde en önemli role sahip makinelerdir. DVR, niteliği ve amacı vasıtasıyla asenkron motorlardaki etkisi, doğrudan tüketiciye etkisini yansıtacaktır. Asenkron makineler en temel ve en önemli yük sınıfında bulunmaktadır.

Bu alışmada DVR'nin performansı yk üzerinde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sonuçlar bulanık mantık algoritmasına aktarılmıştır. Kısa süreli gerilim sarkmalarına karşı yükün tüm parametrelerinde verdiği tepkiler oransal olarak karşılaştırılıp analiz edildikten sonra arıza koşullardaki ve DVR kullanıldığındaki yükün hassasiyeti incelenecektir. KSGS ve DVR sisteminin durumuna göre asenkron makinanın durumu analiz edilecektir. İlgili bulgular bulanık mantık sonuçları aracılığıyla sunulacaktır. Literatürdeki DVR'nin enerji kalitesinin geliştirilmesi ve yükler üzerinde analiz edilmesi amaçlanmaktadır.



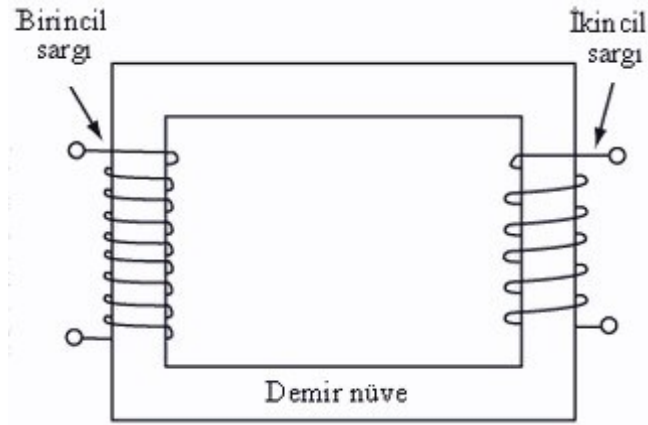
BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Enerji Kalitesinin Optimizasyonu

Enerjinin kalitesi ve verimliliği için en önemi cihazların başında D-STATCOM ve DVR gelmektedir. DVR sistemi ile ilgili olarak, hassas yük kompanzasyonu [5], gerilim sarkmaları ve yükselmeleri karşısında sonuçları [6], DVR sisteminin modellenmesi [7], kompanzasyon ve metodları [8], gerilimin kontrolü ve modellenmesi [9] konularında çalışmalar yapılmıştır. Bulanık mantık ve analizi, DVR ve D-STATCOM sistemlerine konu olan alanlar arasında bulunmaktadır. DVR performansının benzetimi [10, 11] gibi çalışmalar literatürde yer almaktadır. DVR sisteminin etkisinin ekipmanlar üzerinden analizi önem arz etmektedir.

2.2. Elektrik Makineleri

Elektrik makineleri, genel olarak elektromanyetik kuvvet prensibiyle çalışmakta olan elektrik motorları ve elektrik generatörleri benzeri cihazları kapsamaktadır. Temel anlamda elektrik motorları, elektriksel enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürmektedir. Elektrik generatörleri ise mekanik enerjiyi elektriksel enerjiye dönüştürmektedir. Elektrik makinesi, özetle mekanik enerjiyi elektriksel enerjiye veya tam tersine şekilde çalışan bir cihazdır. Elektrik makinelerinde, mekanik ve elektriksel enerji arasında dönüşüm yapmayıp, bir gerilim seviyesinden diğer bir gerilim seviyesine dönüştüren transformatörler de bulunmaktadır. [12]. Şekil 2.1.'de transformatörün temel yapısı görülmektedir.

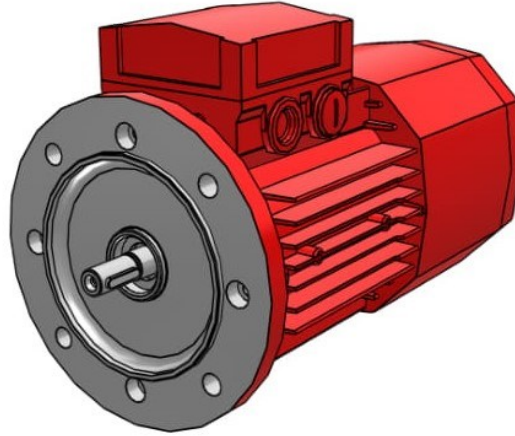


Şekil 2.1. Transformatörün temel yapısı

Transformatörler mekanik ve elektriksel enerji arasında dönüşüm yapmamaktadır, fakat elektriksel gücü bir devreden diğer bir devreye aktarmaktadır. İlgili gücü aktarırken gücün frekansını değiştirmeyip akımdaki azalma veya artışla gerilimi arttırabilir veya azaltabilirler. İdeal bir elektrik transformatörünün girişteki gücü ile çıkıştaki gücü aynı olmalıdır [13]. Yükseltme transformatörleri, gerilim seviyesini primerden sekondere, akımdaki meydana gelen düşüğe göre artırır. Oysa düşürücü transformatör, gücü sabit tutmak için akımdaki karşılık gelen artışla gerilim seviyesini düşürür [13, 14].

2.2.1. Asenkron makineler

Asenkron Makineler, asenkron generatör ve asenkron motor olarak çalışmaktadır. Asenkron generatörler, verilen mekanik enerjiyi elektriksel enerjisiye çevirmektedir. Asenkron motorlar, elektriksel enerjisiyi mekanik enerjiye dönüştürmektedir. Diğer yandan asenkron motorlar, diğer tüm makinelerden fazla sayıda kullanılmaktadır. Çok değişken olan güç değerlerinde üretilebilmektedir. Endüksiyon çalışma prensibinin basit olması, makinenin dayanıklı, güvenilir ve maliyetinin az olmasını sağlar. Şekil 2.2.'de asenkron makinenin temel yapısı görülebilmektedir. Asenkron makine, motor uygulamalarının çoğunda kullanılmaktadır [15].

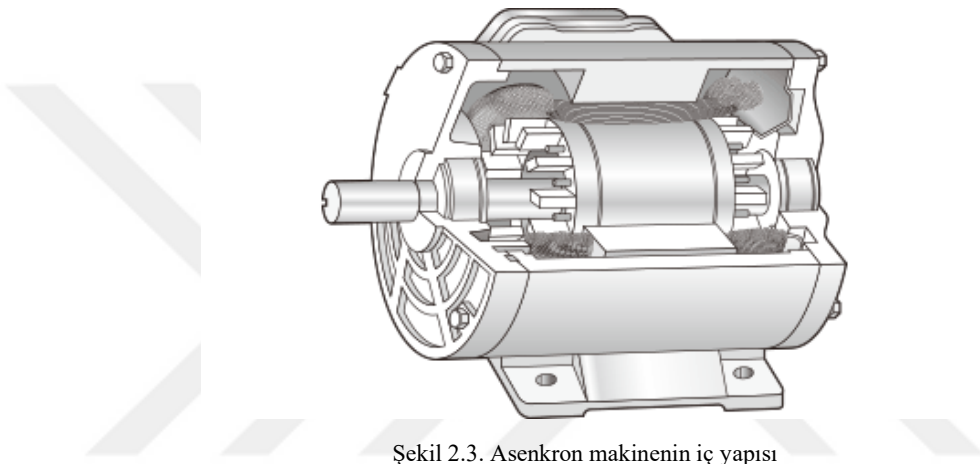


Şekil 2.2. Asenkron makine örneği

2.2.2. Asenkron makinelerin yapısı

Bir asenkron motor, rotorda bulunan elektrik akımını, stator sargısındaki manyetik alandan elektromanyetik indüksiyon vasıtasıyla elde eden AC elektrik motorudur. Asenkron ve senkron motorlarda, motorun statoruna verilen AC gücü, AC salınımları vasıtasıyla senkronize şekilde dönen bir manyetik alan oluşturmaktadır. Bir senkron motorun rotoru, stator alanı ile eş hızda dönmekteyken, asenkron motorun rotoru, statordaki alandan bir miktar daha yavaş bir hızda dönmektedir. Asenkron motor statorunun manyetik alanı bu sebeple rotora göre değişmekte veya dönmektedir. Bu, motorun sekonder sargısında kısa devre olduğu zaman veya dış bir empedans ile kapatıldığı zaman, asenkron motorun rotor kısmında zıt bir akım indükler. Dönen bir manyetik akı, ilgili transformatörün sekonder sargısında indüklenen akımlara benzer bir şekilde rotorun sargılarındaki akımları da indükler. Enerji, rotordaki sargılarda statorda meydana gelen manyetik alan vasıtasıyla aktarılır. Statordaki ve rotordaki sargılar arasında bir elektriksel ilişki bulunmamaktadır [16]. Şekil 2.3.'te asenkron makinenin iç yapısı görülmektedir.

Asenkron makineler yapısal olarak çok farklı koşullarda çalışmayı sürdürebilirler. Bu bağlamda düşük ve orta gerilim aralığından oldukça fazla kullanılmaktadır. Asenkron makineler yapısal olarak sincap kafesli ve bilezikli olmak üzere iki bölümde incelenmektedir. Asenkron motorda bulunan 3 fazlı sargıların manyetik alan meydana getirmektedir. Asenkron motordaki rotor, akım akmasını sağlayan iletkenleri taşımaktadır. Asenkron motorlar stator ve rotor olmak üzere 2 bölüm barındırmaktadır. Temel olarak stator, asenkron motordaki dönmeyen ve durağan kısım iken rotor ise dönen kısımdır [17].



Şekil 2.3. Asenkron makinenin iç yapısı

Sincap kafesli ile bilezikli asenkron makinenin statorları aynı şekilde üretilmiştir. Asenkron makinenin statoru, stator-sac paketleri, stator sargıları ve gövdeden oluşmaktadır. Rotoru bilezikli olan asenkron makinenin rotoru, statorun iç kısmında yataklanmıştır. Asenkron makinenin rotorunun mili üzerinde döner bilezikler ve rotor sac paketi bulunmaktadır. Rotor sac paketinin üzerine açılmış olan oluklara rotor sargıları yerleştirilmiştir. Genellikle bütün rotorlarda uç sargı bulunmaktadır. 3 fazlı sargı, uç sargı olarak adlandırılmaktadır. İlgili sargılar, genellikle yıldız olarak ve nadir olarak üçgen bağlanırlar. Bazı durumlarda, çift sargı veya çift faz sargısı kullanılmaktadır. Sargı uçları, çift ve uç sargılı durumda rotor üzerinde bulunan döner bileziklere bağlanmaktadır. Döner bilezikler ile akım devresi arasındaki bağlantı kömür fırçalar aracılığıyla gerçekleşir. Asenkron makinelerin sincap kafesli sınıfındakilerinde, rotor sac paketindeki oluklarında sargıların yerine alüminyum ya da bakırdan çubuklar vardır. Bu çubuklar, her iki ucundan kısa devre bilezikleri ile kısa devre edilmiştir [17, 18].

2.2.2.1. Asenkron makinelerin elektrik dağıtımına etkisi

Asenkron motorların kalkış zamanında çok büyük akım çekmeleri sebebiyle, birden çok motor aynı anda devreye girerse şebekelerde gerilim düşümlerine neden olur. Ataleti büyük olan motorlarda yol verme süresi artacağından dolayı ilgili gerilim düşümleri büyük önem arz etmektedir [16]. Bu sebeple gerilim sarkmaları veya gerilim düşümlerinin, enerji kalitesi ve elektrik dağıtımında büyük etkisi bulunmaktadır.

2.3. Enerji Kalitesi ve Dinamik Performans

Elektrik gücünün kalitesi, güç kaynağının gerilimi, frekansı ile dalga biçiminin belirlenen özelliklere uyma derecesine bağlı bir ölçüdür. Optimal olan güç kalitesi, istenen aralıkta, sabit AC gerilimde kalmakta olan sabit bir besleme gerilimi olarak tanımlanabilmektedir. Nominal değere yakın frekans ve düzgün gerilim eğrisi dalga formu sinüs dalgasına benzemektedir. Genel olarak, güç kalitesi bir elektrik üretim yerinden çıkanla ona takılan yük arasındaki uyumluluk olarak tanımlanır [19]. Güç kalitesi, bir elektrik yükünü çalıştıran elektrik gücünü ve yükün düzgün çalışma durumunu anlatmaktadır. Eğer optimum güç sağlanmazsa, ilgili elektrikli cihazın arızalanması olasıdır hatta elektrikli cihazın bozulmasına yol açar. Elektrik enerji gücünün kalitesiz nitelikte olmasının birçok yolu ve çok kalitesiz gücün birçok nedeni vardır.

Elektrik enerjisi endüstrisi, elektrik üretimini (AC gücü), elektrik enerjisi iletimini ve nihayetinde elektrik gücünün son kullanıcısının tesislerinde bulunan bir elektrik sayacına elektrik enerjisi dağıtımını içerir. Elektrik daha sonra yüke ulaşınca kadar son kullanıcının kablo sistemi üzerinden hareket eder. Sistemin elektrik enerjisini üretim noktasından tüketim noktasına taşıma karmaşıklığı, hava durumu, üretim, talep ve diğer faktörlerdeki değişikliklerle birleştiğinde arz kalitesinin tehlikeye atılması için birçok fırsat sağlar [20].

Güç kalitesi, temel olarak sistemdeki gerilimin kalitesini belirtmektedir. Temel olarak güç, enerji akışını belirtir. Bir tüketici aracılığıyla talep edilen akım çoğunlukla kontrol edilememektedir.

Elektrik güç dalga şekillerini okuyan, görüntüleyen ve dalga şekillerinin ilgili parametrelerini hesaplayan birçok cihaz vardır [21]. Bu parametreler, akımın ve gerilim etkin değeri, çok fazlı bir sinyalin dalga biçimleri ve faz ilişkisi, frekans, güç faktörü, aktif güç (W), reaktif güç (VAr), görünen güç (VA) ve aktif enerji (Wh) ve reaktif enerji (VArh) olabilmektedir. Bilinmeyen vakaları yeterli olarak izleyebilmek amacıyla Ribeiro [21] bu parametreleri izlemenin yeterli olmayıp, aynı zamanda daima gerilim dalga şekli verilerini analiz etmenin yeterli olduğunu açıklamıştır. Bu, içerdiği çok miktardaki veri sebebiyle basit bir yöntem değildir ve şişe etkisi olarak anılan olaya neden olur. Bir örnek olarak, periyot başına 50 örnek örnekleme hızında, saniyede 3000 örnek toplanır. Hem gerilim hem akım dalga şekillerini ölçen 3 fazlı sayaçlar için bu veriler 6-8 kat fazla olur. Zamanla gerçekleştirilen daha pratik çözümler, verileri sadece bir olay meydana geldiğinde (örnek olarak, yüksek seviyelerdeki güç sistemi harmonikleri olup tespit edildiğinde) ya da alternatif olarak elektrik sinyallerinin etkin değerini kaydetmek için kullanmaktır [21].

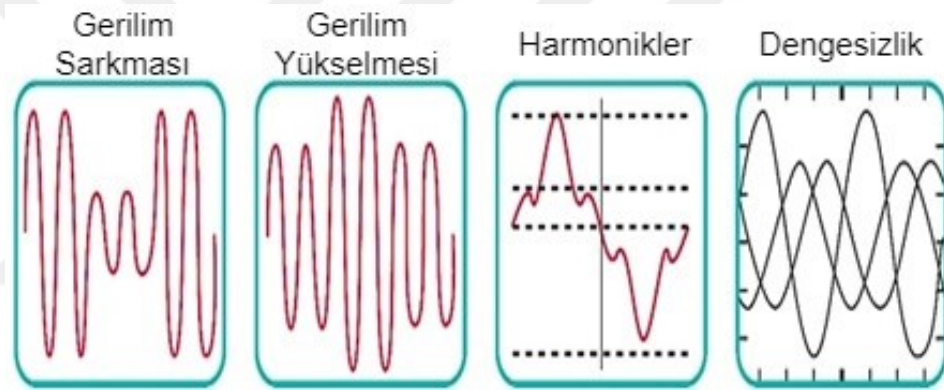
2.4. Enerji Kalitesi Problemleri

Bir gerilimin tepe veya etkin değerindeki değişimler, farklı cihaz türleri için önem taşımaktadır. Gerilimin etkin değeri, nominal gerilimin 0,5 periyot ile 1 dakika arasında %10 ile 80'ini aşarsa, bu olaya "gerilim yükselmesi" denir. Bir "düşüş" veya "sarkma" tam tersi durumdur: Etkin gerilimin, 0,5 periyot ile 1 dakika arasında nominal gerilimin %10 ile 90 altında kalmasıdır [22].

Nominal gerilimin %90 ile %110'u arasında gerilimin etkin değerinde rastgele veya tekrarlayan değişiklikler, aydınlatma ekipmanında "titreme" olarak bilinen bir olayı yaratabilmektedir. Titreme, ışık seviyesinin hızlı ve gözle görülür değişiklikleridir. Sakıncalı ışık titremesine neden olan gerilim dalgalanmalarının özelliklerinin tanımlanması, devam eden araştırmaların konusu olmuştur [22].

Çoğunlukla büyük endüktif yüklerin kapatılmasından veya daha şiddetli olarak yıldırımlardan meydana gelen, "ani yükselmeler", "darbeler" veya "dalgalanmalar" olarak adlandırılanlar, gerilimdeki ani ve çok kısa artışlardır [23] (Şekil 2.4.).

İlgili gerilim, nominal gerilimin 1 dakikadan daha uzun süre %90 veya daha altı büyüklüğüne düştüğünde “düşük gerilim” oluşur. Tam güç ile elektrik kesintisi arasında bir yerde gerilim düşüşleri genel olarak karartma olarak adlandırılır. Sistem arızaları, aşırı yükleme gibi olayları sırasında, genellikle iç aydınlatmada tam parlaklık elde etmek için yeterli güç bulunmadığında, normal akkor lambaların fark edilir ölçüde kısılmasından meydana gelir. [23, 24]. "Aşırı gerilim", ilgili gerilim, nominal gerilimin 1 dakikadan daha uzun süre %110'un üzerine çıktığında oluşur [24].

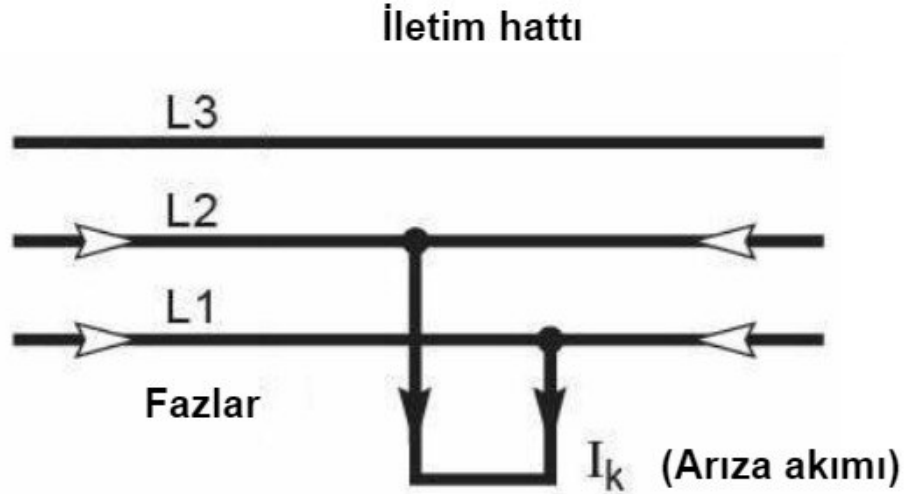


Şekil 2.4. Gerilim kalitesi problemleri

2.4.1. İletim hattı arızaları

Bir elektrik güç sisteminde, bir arıza veya arıza akımı, herhangi bir anormal elektrik akımıdır. Örnek olarak, kısa devre, akımın normal yükü atlayıp diğer bir kısma ulaştığı bir arıza biçimidir. Bir devre bir arıza nedeniyle kesintiye uğrarsa, açık devre hatası oluşur. 3 fazlı sistemlerde bir arıza bir veya daha çok faz ve toprak içerebilir veya arıza sadece fazlar arasında meydana gelebilir (Şekil 2.5.). Bir toprak arızasında akım toprağa akar. Öngörülebilir bir arızanın muhtemel kısa devre akımı çoğu durum için hesaplanabilir. Güç sistemlerinde koruyucu cihazlar, arıza durumlarını tespit edebilir

ve bir arıza nedeniyle hizmet kaybını sınırlamak için devre kesicileri ve diğer cihazları çalıştırabilir [25].



Şekil 2.5. İletim hattı arızası

Çok fazlı bir sistemde, bir arıza tüm aşamaları eşit olarak etkileyebilir, bu "simetrik bir arıza" dır. Yalnızca bazı fazlar etkilenirse, ortaya çıkan "asimetrik arıza" analizi daha karmaşık hale gelir. Bu tür hataların analizi genellikle simetrik bileşenler gibi yöntemler kullanılarak basitleştirilir [26].

Güç sistemindeki arızaları tespit etmek ve arızaları düzeltmek için sistemlerin tasarımı, güç sistemi korumasının temel amaçlarından biridir [25-27]. Bu amaçla birçok tasarım ile optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmektedir.

2.4.2. Güç sistemi harmonikleri

Akım ve gerilim dalga şekillerini bozan etkenlere harmonik denir. Harmonikler, bazen şebekedeki frekansın tam katları frekanslara sahip olan sinüs biçimindeki akım ve gerilimler olarak da adlandırılır [28]. 1920'li yıllarda güç sistemlerinde var olan harmoniklerin büyüklüğü sadece trafolar, doğrultucular ve motorlar ile sınırlı iken, gelişen teknolojiyle beraber, kullanılan güç elektroniği elemanlarının da artması ile harmoniklerin büyüklüğünde bir artış meydana gelmiştir. Gelişmiş ve çok hassas

yüklerin kullanılması ile beraber, harmonikler ciddi bir problem ve önemli bir konu haline gelmiştir [29].

2.4.2.1. Akım harmonikleri

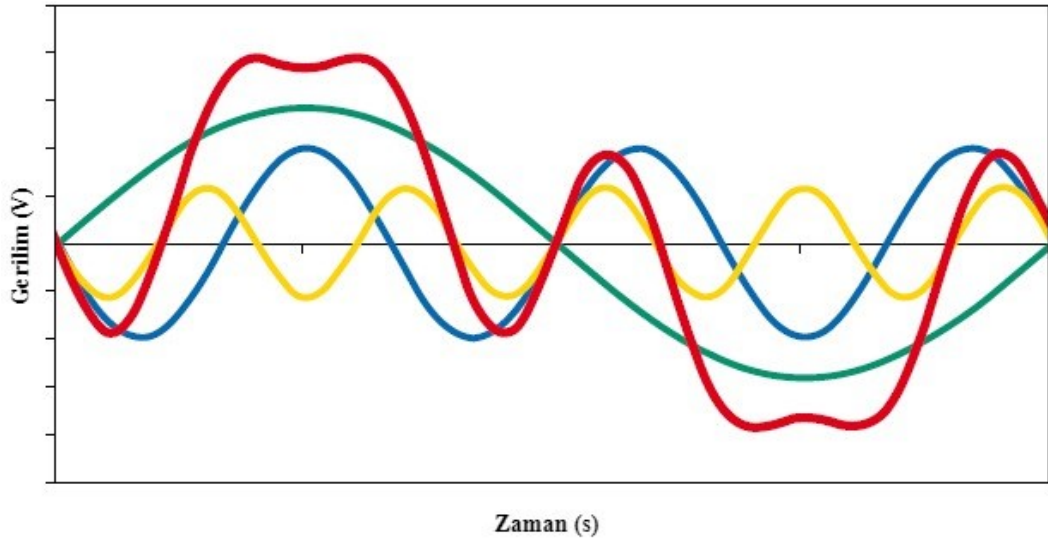
Akımdaki harmonikler, doğrusal olmayan yüklerden kaynaklanmaktadır. Doğrultucu benzeri doğrusal olmayan herhangi bir yük sisteme bağlanırsa, mutlaka sinüzoidal olmayan bir akım çeker. Akım dalga biçiminin bozulması, yükün tipine ve sistemin diğer bileşenleriyle etkileşimine bağlı olarak oldukça karmaşık olabilmektedir. Fourier serisi dönüşümü, karmaşık olan dalganın biçimini, güç sisteminin temel frekansında başlayıp temel frekansın tam katlarında meydana gelen bir dizi basit sinüs dalgasına çevirmeyi sağlar [30]. Bilgisayarlar ve yazıcılar, floresan aydınlatma, pil şarj cihazları ve ayrıca değişken hızlı sürücüler gibi yaygın ofis ekipmanları doğrusal olmayan yüklerin diğer örnekleridir [30, 31].

Güç sistemlerindeki harmonikler, temel frekansın pozitif tam sayı katları olarak tanımlanmaktadır. Güç sistemlerinde var olan harmonikler çoğunlukla doğrusal olmayan yükler tarafından üretilmektedir. Transistörler, IGBT'ler ve mosfetler, diyotlar gibi yarı iletken cihazlar doğrusal olmayan yüklerin birer örneğidir. Elektrik motorlarının harmonik üretimine önemli ölçüde katkısı bulunmamaktadır. Aynı zamanda, motorlar ve transformatörler aşırı doymuş durumdayken harmonik oluşturacaktır [32]. Doğrusal olmayan yük akımları, yardımcı program tarafından sağlanan saf sinüzoidal gerilim dalga formunda bozulma yaratır ve bu rezonansla sonuçlanabilir. Ek olarak, 3 fazın dalga formları simetrik durumdaysa, harmonikler, transformatörlerin ve motorların bağlantısıyla bastırılır [33].

Genel olarak güç, fazların aralarında 120'şer derece açıyla bulunduğu 3 fazlı sistem aracılığıyla sağlanmaktadır. Bu sistemin temel nedeni, 3 fazlı generatörlerin ile motorların, 3 faz ile geliştirilen sabit durumdaki tork sebebiyle kurulumunun daha pratik olmasıdır. Aynı zamanda, 3 faz dengelenmişse, vektörel toplamaları sifıra eşittir ve nötr durumdaki iletkenlerin boyutu ilgili durumlarda azaltılabilir hatta ihmal edilebilmektedir [35, 36].

2.4.2.2. Gerilim harmonikleri

Gerilim harmoniklerinin genel sebebi, gerilim kaynağı aracılığıyla verilen gerilimin, kaynağın ilgili empedansından ötürü akım harmonikleri aracılığıyla bozulur. Gerilim kaynağı çok küçük empendansa sahipse, akım harmonikleri sadece küçük gerilim harmonikleri oluşturur. Genellikle, gerilim harmoniklerinin akım harmoniklerinden oldukça küçük olduğu durumdur. Bu nedenle, gerilim dalga biçimi genellikle temel gerilim frekansı aracılığıyla tahmin edilebilmektedir. İlgili yaklaşıma göre, akım harmoniklerinin yüke aktarılan gerçek güce bir etkisi yoktur. [37]. Bu, gerilim dalgasını temel frekansta çizmekten ve faz kayması olmayan bir akım harmoniğinin üstünü kaplamaktan gelmektedir (Şekil 2.6.).

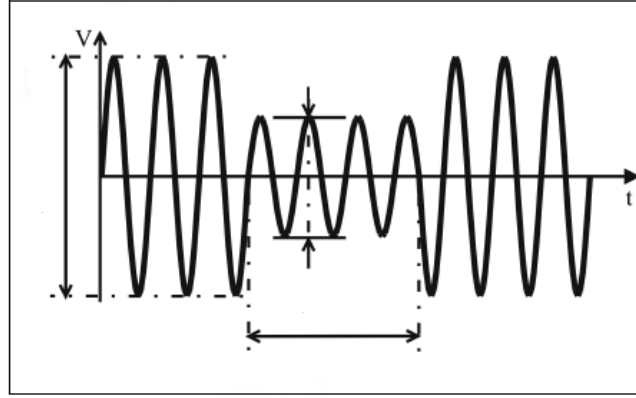


Şekil 2.6. Gerilimde oluşabilecek harmoniklerin örneği [34]

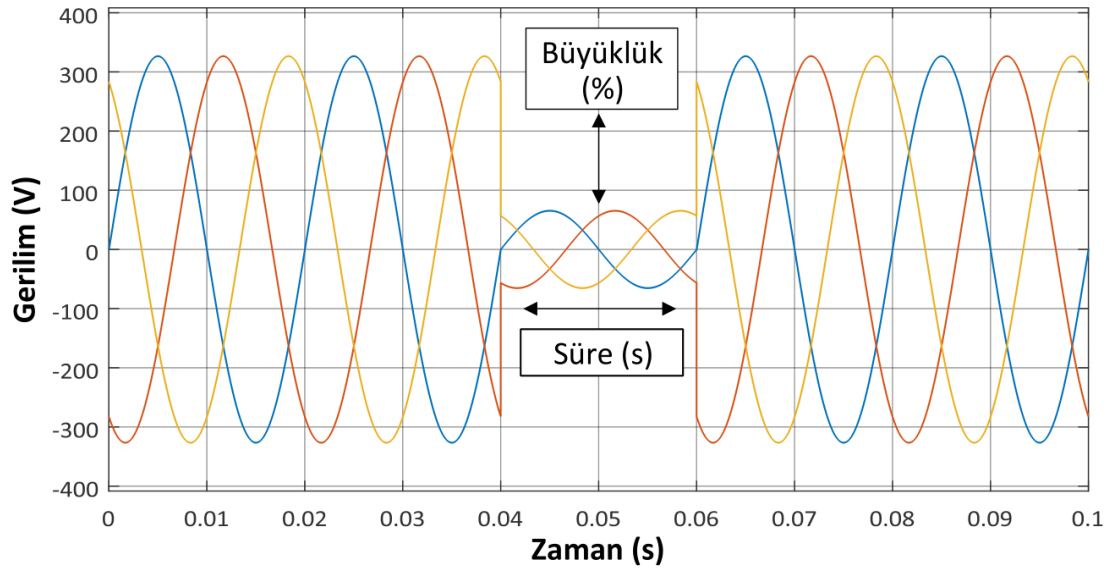
2.4.3. Kısa Süreli Gerilim sarkmaları

Bir gerilim sarkması 0,5 periyottan bir dakikaya kadar süreler için güç frekansındaki akım veya gerilimin etkin değerindeki bir azalmadır [38]. Gerilim Sarkmaları, genel olarak büyüklüğü ve var olduğu süre değerlerine göre incelenmektedir. Büyüklük oransal (%) olarak ifade edilmektedir. Literatürde büyüklüğü %10 ile %90 arasında incelenmektedir. Bu çalışmada değerler az indirgenerek %10, %30, %50, %70 ve %90 olarak incelenecektir. Süresi 1,5 saniyeye kadar eşit adımla değerlendirilecektir.

Bulanık mantıktaki işlem ve kural karmaşıklığını gidermek için ortalama değerler seçilmiştir. Şekil 2.7. ve 2.8.'de gerilim sarkmalarının ilgili parametreleri, gerilim yapısı üzerinde görülebilmektedir.



Şekil 2.7. Gerilim sarkmalarının bulanık mantıktaki parametreleri



Şekil 2.8. Üç fazlı gerilim sarkmalarının bulanık mantıktaki parametreleri

2.4.3.1. Kısa süreli gerilim sarkmalarının nedenleri

Gerilim sarkmasının meydana gelmesinde birçok neden olabilir. Bunlardan bir kaç aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Bir hat toprak arızası meydana geldiğinde, koruyucu anahtar dişlisi çalışıncaya dek gerilim sarkması olur.
- Ani yük değişimleri veya aşırı yükler gerilim sarkmasına neden olabilir.
- Elektrik şebekesinden gerilim düşüşleri gelebilir ancak çoğu bina içi ekipmandan kaynaklanır. Konutlarda bazen buzdolapları, klimalar veya fırın fanları çalıştırıldığında gerilim düşüşleri görülür.
- Yıldırım veya düşen bir nesne gibi elektrik hatlarındaki bazı kazalar, hattan toprağa arızaya ve bunun sonucunda bir gerilim düşüşüne neden olabilir.
- Transformatör bağlantılarına bağlı olarak, trafoların enerjilendirilmesi, gerilim düşüşlerinin meydana gelmesinin başka bir nedeni olabilir.
- Elektrik motorları, başlatıldıklarında nominal hızlarında çalıştıklarından daha fazla akım çektikleri için, bir elektrik motorunun çalıştırılması gerilim düşüşünün bir nedeni olabilir.

Kesintiler, bir koruyucu cihaz belirli bir müşteriye hizmet veren devreyi fiilen durdurduğunda meydana gelir. Bu normalde yalnızca o devrede bir arıza varsa ortaya çıkar. Güç sisteminin geniş bir bölümündeki arızalar için arıza süresi boyunca gerilim düşüşleri meydana gelir. Paralel besleyici devrelerindeki veya iletim sistemindeki arızalar, gerilim düşüşlerine neden olur ancak gerçek kesintilere neden olmaz. Bu nedenle gerilim düşüşleri kesintilerden çok daha siktir. Ekipman bu gerilim düşüşlerine duyarlıysa, sorunların sıklığı, ekipmanın yalnızca kesintilere duyarlı olmasına kıyasla çok daha büyük olacaktır.

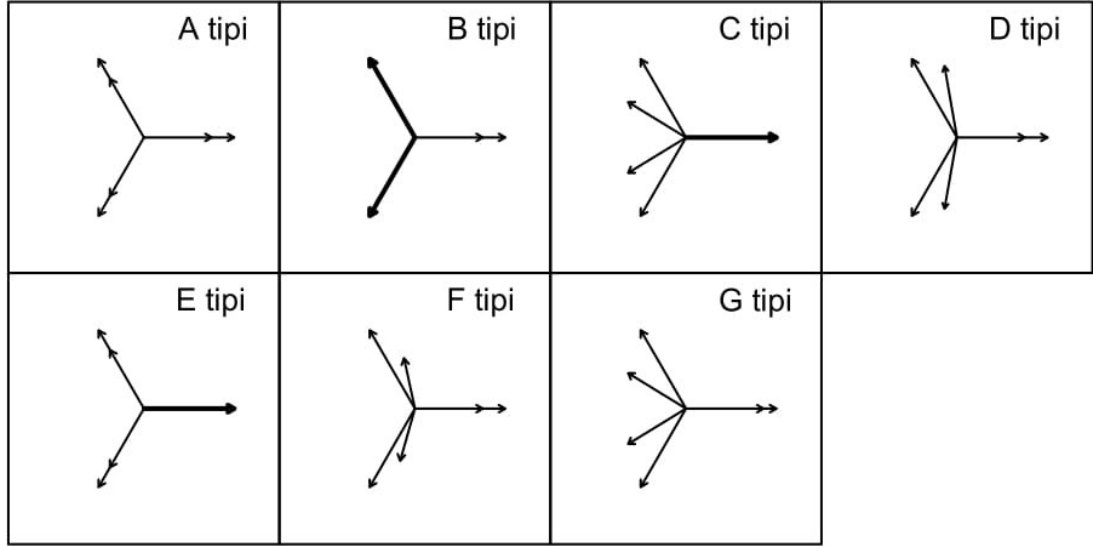
Gerilim sarkmaları tipik olarak arıza koşullarından kaynaklanır. Motorun çalıştırılması da düşük gerilimlere neden olabilir, ancak bunlar tipik olarak 30 periyottan daha uzun sürelidir ve ilgili gerilim büyüklükleri çok düşük değildir. Motor başlatma gerilimi değişimleri, özellikle motorun çalıştırılması sırasında da sık sık meydana gelebiliyorsa, genellikle "gerilim titremesi" olarak adlandırılır [39-41].

2.4.3.2. Kısa süreli gerilim sarkmalarının özellikleri

Tüketici barasındaki gerilim, arıza sırasında ve arızanın giderilmesinden sonra geçicidir (bu, gerilimin sinüzoidal olmadığı anlamına gelir). Basitlik açısından sarkmanın şekli dikdörtgen olarak kabul edilir. Daha sonra, bir süre, derinlik bir de olası ilişkili faz açısı kayması (faz atlama) [42] ile karakterize edilebilir.

Gerilim sarkmaları, nedenlere bağlı olarak dengeli veya dengesiz olabilir. Aynı Ayrı olarak faz gerilimleri eşitse, sarkma dengelidir. Aynı ayrı olarak faz gerilimleri farklıysa veya faz ilişkisi 120 derece dışında ise, sarkma dengesizdir. Şekil 2.9.'da gerilim sarkmalarının çeşitleri görülmektedir. A tipi sarkma dengeliyken diğerleri dengesizdir. A tipi gerilim sarkması aşırı yüklenme veya üç faz kısa devreden kaynaklanır. B, C ve D tipi gerilim sarkmaları tek faz toprak arızaları veya fazlararası arası arızadan kaynaklanırken; E, F ve G tipi gerilim sarkmaları iki faz-toprak arızası sebebiyle meydana gelir. Transformator ve yük bağlantıları gerilim sarkmasının çeşidini değiştirebilmektedir. Üç fazlı bir kısa devre veya büyük bir motor çalıştırma simetrik sarkmalara neden olabilir. Yıldırım, hayvanlar, kazalar ve diğerleri nedeniyle tek hattan toprağa, fazdan faza veya iki fazdan toprağa arızalar, simetrik olmayan sarkmalara neden olabilir. Yük ve trafo bağlantıları sarkmayı etkiler. [43]'de bir gerilim sarkması sınıflandırması bulunmaktadır.

Farklı endüstriyel ekipman kategorileri, gerilim düşüşlerine karşı farklı hassasiyetlere sahiptir [44]. Hassas yüklerin ana kategorileri şunlardır: motorlar, ayarlanabilir hızlı sürücüler, diğer güç elektroniği ekipmanı türleri, deşarj lambaları ve kontrol cihazları. Bu çalışmada gerilim sarkmaları için en önemli yük olan motor; uygulamada en fazla kullanılan asenkron motor olarak seçilmiştir.



Şekil 2.9. Gerilim sarkmaları tiplerinin sınıflandırılması [42]

Sarkma tipi B için, yalnızca bir fazör büyüklük olarak düşer. Sarkma tipleri C ve E için, iki fazör büyüklük olarak düşer ve sarkma tipi C’de faz açısı değişir. Sarkma tipleri D, F ve G için, iki fazörün büyüklüğü düşer ve faz açılarını değiştirir. Bu durumda, üçüncü fazör yalnızca büyüklük olarak düşer [42]. Gerilim sarkmaları tiplerinin faz denklemleri Tablo 2.1.’de gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Gerilim sarkmaları tiplerinin fazlarının ifadeleri [42]

A Tipi	B Tipi
$V_a = hV$	$V_a = hV$
$V_b = -\frac{1}{2}hV - j\frac{\sqrt{3}}{2}hV$	$V_b = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$
$V_c = -\frac{1}{2}hV + j\frac{\sqrt{3}}{2}hV$	$V_c = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$
C Tipi	D Tipi
$V_a = V$	$V_a = hV$
$V_b = -\frac{1}{2}V - j\frac{\sqrt{3}}{2}hV$	$V_b = -\frac{1}{2}hV - j\frac{\sqrt{3}}{2}V$
$V_c = -\frac{1}{2}V + j\frac{\sqrt{3}}{2}hV$	$V_c = -\frac{1}{2}hV + j\frac{\sqrt{3}}{2}V$
E Tipi	F Tipi
$V_a = V$	$V_a = hV$
$V_b = -\frac{1}{2}hV - j\frac{\sqrt{3}}{2}hV$	$V_b = -\frac{1}{2}hV - j\frac{1}{\sqrt{12}}(2+h)V$
$V_c = -\frac{1}{2}hV + j\frac{\sqrt{3}}{2}hV$	$V_c = -\frac{1}{2}hV + j\frac{1}{\sqrt{12}}(2+h)V$
G Tipi	
$V_a = \frac{1}{3}(2+h)V$	
$V_b = -\frac{1}{6}(2+h)V - j\frac{\sqrt{3}}{2}hV$	
$V_c = -\frac{1}{6}(2+h)V + j\frac{\sqrt{3}}{2}hV$	

Gerilim düşüşü genellikle iki temel özellik ile temsil edilir: büyüklük ve süre [45-47]. Bu basitleştirilmiş gösterim, bireysel gerilimler arasındaki farkı (faz gerilimlerinde asimetriklik) ve bir faz açısı değişimini dikkate almaz. Arıza tipi, yük ve trafo bağlantıları, sarkma tipini etkiler [48], yani bir üçgen / yıldız veya yıldız / üçgen transformatörün primer tarafındaki tek bir arıza, sekonder tarafta bir faz-faz arızasına dönüşecektir.

2.4.3.3. KSGS'lerin asenkron makinelerdeki etkileri

Gerilim sarkmalarının asenkron makine üzerindeki etkileri, sarkma büyüklüğü ve süresi, gerilim düşüşüne neden olan arıza tipi, arıza boyunca faz açısı değişimi, gerilim sarkmasının başlangıç ve son anları gibi birçok unsura bağlıdır. Elektrik sistemi

konfigürasyonu, gerilim sarkmasını ve toplanma gerilimini etkileyecektir, bununla birlikte, bu koşullar altında makinenin performansını hesaplamak için ilgili yük ve mekanik ataletin karakteristiği de dikkate alınmalıdır [49].

Şiddetli gerilim sarkmaları genellikle dağıtım sistemlerindeki veya tüketici tesisindeki arıza koşullarından kaynaklanır. Tüketici tesislerinde çalıştırılan motorlar da tahmin edilebilir özelliklere sahip gerilim sarkmalarına neden olabilir. Motorun ilk çalışmaya başlamasından kaynaklanan sarkma süresi genellikle daha uzundur, ancak gerilim sarkmalarının büyüklüğü genellikle küçüktür ve ekipman için ciddi sorunlara neden olmaz. Sistemin, motorun başlamasından kaynaklanan sarkmaların herhangi bir sorun yaratmayacağı şekilde tasarlanması nispeten kolaydır. Kısa devre nedeniyle oluşan KSGS'ler, endüstriyel müşterilerin karşılaştığı en önemli güç kalitesi sorunlarından biri haline gelmiştir. Endüstriyel tesiste kullanılan elektronik ekipmanların karmaşıklığı arttıkça, ekipman gerilim sarkmalarına daha duyarlı hale gelmektedir [49].

Bir KSGS çoğu zaman iki temel özellik tarafından tanımlanır: bir büyüklük ve bir süre. Bununla birlikte, birçok endüstriyel sistemde bulunan asenkron motorunun yükü nedeniyle sarkma büyüklüğü sabit değildir. Önceki çalışma endüstriyel bir sistemdeki sarkmalar için sabit bir sarkma büyüklüğü tanımlamanın genellikle zor olduğunu göstermiştir [50, 51]. Gerilim büyüklüğündeki düşüşün yanı sıra, gerilim ayrıca faz açısında ve üç fazlı dengesizlikte bir sıçrama gösterir [52, 53]. Belirli bir gerilim seviyesinde dengesiz bir gerilim düşüşü meydana geldiğinde (örn. 33 kV) ve daha sonra ekipman terminallerine (örn. 660 Volt) aktarıldığında, üç fazdaki büyüklük ve faz açısı sıçramaları işlemde değişecektir. Arıza noktası ile ekipman terminalleri arasındaki trafo sargı bağlantıları, dengesiz bir çökme durumunda üç faz gerilimlerini değiştirir. Üçgen/yıldız veya yıldız/üçgen transformatörün primer tarafındaki temel bir hat toprak arızası, onu sekonder taraftaki bir faz-faz arızası olarak değiştirecektir.

Şebeke gerilimindeki kısa kesinti (gerilim sarkması), endüksiyon makinesinin çalışmasını önemli ölçüde etkileyebilir. [54] 'de yazar, simetrik ve simetrik olmayan gerilim sarkmalarının sayısal analizi için özel amaçlı sayısal yöntem sunmaktadır.

Önceki bir çalışma, asenkron makinenin gerilim sarkmaları altında simüle edilmiş davranışını gösterdi [55]. Ancak, indüksiyon makinesindeki arıza sırasında yükün etkisi ve faz açısı kayması dikkate alınmadı. Asenkron motor yük etkisinin somut çalışmaları bir çalışmada sadece simetrik sarkmalar dikkate alınarak yapılmıştır [56].

Bununla birlikte, yöntemin parametrelerinin nasıl elde edileceğine dair bir bilgi sunulmamıştır. Aynı zamanda deneysel doğrulama da yoktur. Bir yazıda, simetrik ve simetrik olmayan gerilim sarkmalarının geniş bir yelpazesinin sayısal analizi için uygun başka bir yöntemi sunulmuştur. Bahsedilen çalışmada asenkron makine doğrudan şebekeye bağlanmıştır. Analizi gerçekleştirmek için asenkron makinenin d-q modeli kullanılmıştır. Modelin parametreleri genetik algoritma yardımı ile yükleme özelliklerinden belirlenir. Sayısal analiz, programlanabilir AC güç kaynağı CI15003iX tarafından üretilen gerilim sarkmalarının ölçümleriyle karşılaştırılır. Sayısal simülasyonlar ve deneysel ölçümler, besleme gerilimindeki gerilim düşüşünün akım tepe noktası, tork tepe noktası ve mekanik hız kaybına neden olduğunu göstermektedir. Akım tepe noktası makine koruma sistemlerini tetikleyebilir. Tork tepe değeri, tahrik edilen mekanik sisteme zarar verebilir [57].

Şebekedeki gerilimde gerilim sarkmaları, DC barasının düşük gerilimi, güç elektroniği bileşenlerinde aşırı akım ve yük torku veya hızı sağlayamama nedeniyle sürücünün arızalanmasına neden olur.

Üç fazlı gerilim sarkması, akım tepe noktaları ve hız kaybı için en kötü durum ile sonuçlanacaktır. Farklı gerilim sarkmalarını analiz etmek için simetrik bileşen teorisi geliştirilmiştir. A tipi gerilim sarkması için minimum pozitif bileşen gerilim sarkmasının meydana geldiğini gösterir; ve maksimum negatif dizi gerilimi C ve D tipi gerilim sarkmaları için gerçekleşir, negatif bileşen gerilimi tork tepe noktaları üzerindeki etkisi ve daha yüksek tork tepe noktaları, C ve D tipi sarkma tiplerinde meydana gelir. Yük tipleri ile sabit tork veya torkun hızın karesi ile orantılı olarak değerlendirirsek, sabit tork ile daha yüksek akım ve tork tepe değerleri meydana gelir.

Ölçülen ve simüle edilen veriler arasındaki karşılaştırma, genellikle simetrik gerilim sarkmaları için %1'den daha düşük ve asimetrik gerilim düşüşleri için %5'ten daha düşük bir hata verir. Simülasyon verileri üzerindeki mekanik zaman sabiti etkisi, daha yüksek mekanik zaman sabitleri için hata daha küçük olacaktır.

Daha önce asenkron motorların, üç fazlı arızalardan kaynaklanan arıza sonrası çökmeler üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği gösterilmiştir. Endüksiyon motorlarının tek hattan toprağa ve hattan hatta hataların neden olduğu sarkmalar için arıza sırasında sarkma üzerinde önemli bir etkiye sahip olabileceği gösterilmiştir. Asenkron motorların etkisi, önceki sarkma sınıflandırmasının [58] artık geçerli olmamasıdır. Ayrıca, tek hattan toprağa hatalardan kaynaklanan sarkmaların hala aşağı yukarı dikdörtgen olduğu gösterilmiştir. Dengesiz arızalar sırasında, endüksiyon motoru pozitif ve negatif dizi akımı çeker, sıfır akım dizisi yoktur. Bu nedenle tüm aşamalar aynı şekilde etkilenmez.

Dört tür sarkma şeklinde sınıflandırma, ayarlanabilir hızlı sürücüler gibi güç elektroniği yükleri için çok yararlı olsa da, pozitif ve negatif sıra gerilimlerini kullanan bir sınıflandırma, endüksiyon motor yükleri için daha kullanışlıdır. Transformatör bağlantıları, dizi gerilimlerinin büyüklüğünü etkilemez ve bu nedenle, endüksiyon motor davranışını incelerken dikkate alınmasına gerek yoktur. Gerilimlerin ve akımların simetrik bileşenlere dönüştürülmesi, sarkma üzerindeki yük etkisinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlar.

Negatif bileşen geriliminin hemen düşük bir değere düştüğü ve dengesiz sarkma sırasında düşük bir değerde kaldığı gösterilmiştir. Bunun nedeni, negatif dizi empedansının neredeyse motor kaymasından bağımsız olmasıdır. Pozitif sekans empedansı büyük ölçüde kaymaya bağlıdır, bu nedenle sarkma sırasında kayma arttığında, pozitif sekans empedansı azalır ve sonuç olarak pozitif sekans gerilimlerindeki düşüş artar. Hattan hatta arızalar sırasında motor daha hızlı yavaşlar ve pozitif bileşen gerilimde daha büyük bir düşüşe neden olur.

2.4.3.4. Asenkron makinelerde KSGS'den korunma yöntemleri

Giriş gerilim sarkmalarına karşı motorun hızını korumak için asenkron makinede önerilen çeşitli alan zayıflatma kontrol teknikleri kullanılabilir. [59] 'da, bir akım kontrol stratejisi ve [60] 'da, gerilim kontrol stratejisi, dc-link gerilimi düştükçe motorun hızını korumak için kullanılabilir. Bu teknikler, motorun analitik bir modelini elde etmek için makine ve dönüştürücü kısıtlamalarını kullanır. D eksen ve q eksen referans gerilimlerinin üretimi, temel hızın ötesine geçen komut hızının analizine dayanır. [61, 62] 'deki kontrol teknikleri, temel hızın ötesindeki hız için asenkron makinenin çalışma noktasını analiz eder. [63] 'de, rotor alanına yönelik endüksiyon motoru (RFO-IM) sürücüsündeki gerilim sarkmalarının etkisini incelemek için [64] 'deki akım kontrol tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemde, sürücü için düşük gerilim sınırını elde etmek için indirgenmiş dc-bara geriliminin bir fonksiyonu olarak maksimum elektromanyetik tork grafiği çizilirken, gerilim düşüşü sırasında hızı korumak için motorun çalışma noktası analiz edilmez. [65] 'de, sabit tork bölgesindeki gerilim düşüşü sırasında stator akım yörüngesi açıklanır, ancak motorun hızı tuttuğu gerilim sarkması sınırına hitap etmeden bırakılır.

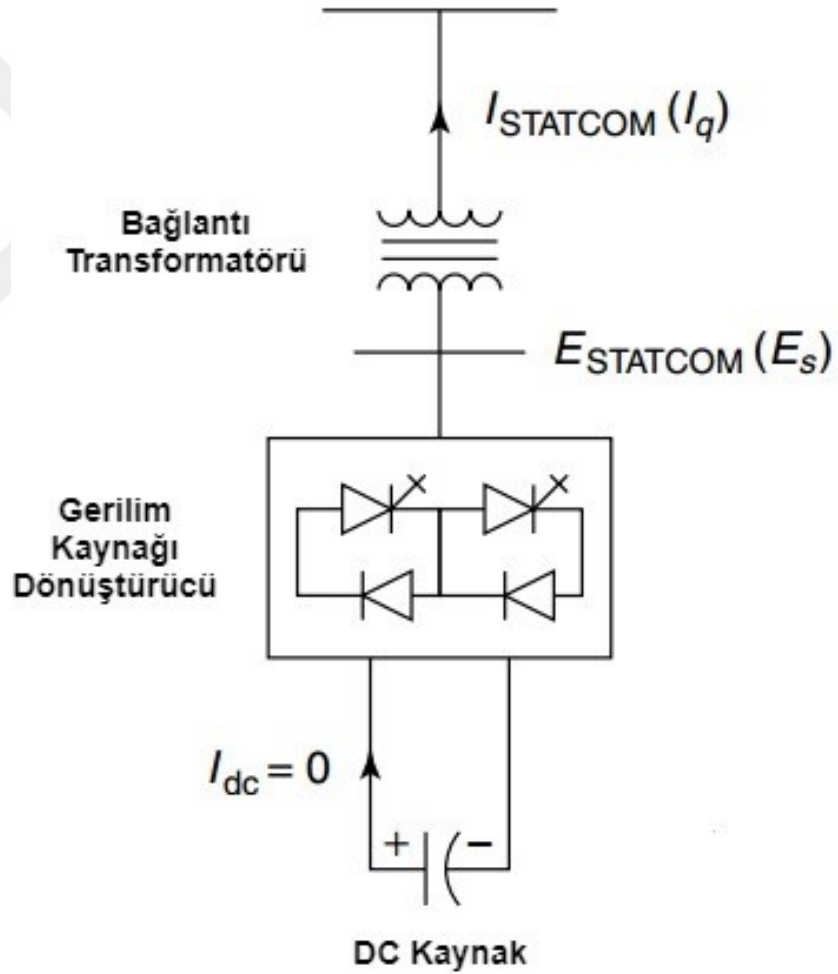
2.5. Enerji Kalitesini Arttırma Yolları

Tesis içinde veya şebeke sisteminde gerilim düşüşlerine neden olan arızalar meydana gelebilir. Gerilim düşüş durumu, arıza koruyucu bir cihazla giderilene kadar sürer. Tesislerde, bu cihaz arıza koruyucu bir sigorta veya kesici olabilir. Tesis dışındaki sistemlerde, arıza bir harici sigorta veya bir trafo merkezi kesicisi ile giderilebilir. Şebeke tarafından tekrar kapama kullanılıyorsa, gerilim düşüş durumu birden çok kez meydana gelebilir [66].

2.5.1. Enerji kalitesi için tasarlanan cihazlar

2.5.1.1. STATCOM sistemi

Statik senkron kondansatör (STATCON) olarak da bilinen statik senkronize kompansatör (STATCOM), alternatif akım elektrik iletim şebekelerinde kullanılan bir düzenleyici cihazdır. Bir güç elektroniği gerilim kaynağı dönüştürücüsüne dayanır ve bir elektrik şebekesine reaktif AC gücünün kaynağı veya alıcısı olarak işlev görebilir (Şekil 2.10.).

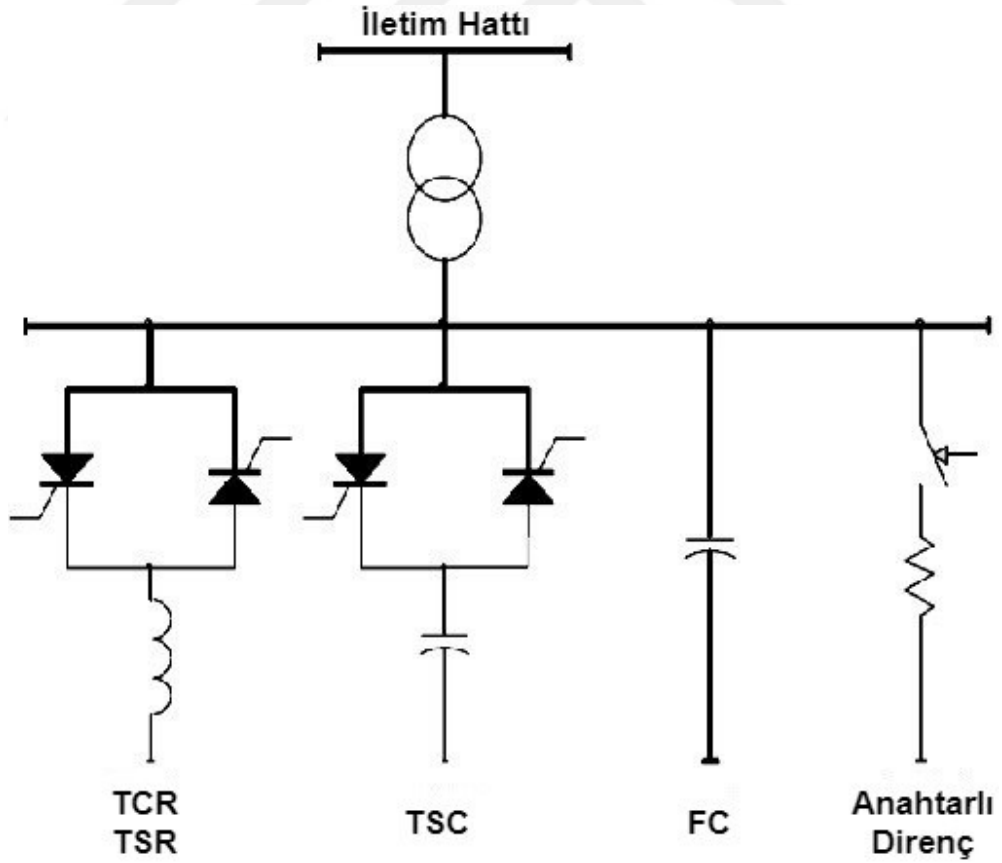


Şekil 2.10. STATCOM'un genel yapısı

Bir güç kaynağına bağlanırsa, aktif AC gücü de sağlayabilir. Esnek alternatif akım iletim sistemi (FACTS) cihaz ailesinin bir üyesidir. Doğası gereği modülerdir ve seçilebilir. Bu kompensatörler, gerilim dalgalanmalarını ve KSGS'yi azaltmak için de kullanılabilir [67].

2.5.1.2. SVC sistemi

Statik VAR kompensatör (SVC), yüksek gerilimli elektrik iletim şebekelerinde hızlı etkili reaktif güç sağlamak için bir dizi elektrikli cihazdır. SVC'ler, esnek AC iletim sistemi cihaz ailesinin bir parçasıdır, gerilimi, güç faktörünü, harmonikleri düzenler ve sistemi stabilize eder. Statik bir VAR kompensatörünün önemli hareketli parçaları yoktur (dahili anahtarlama donanımı dışında). Şekil 2.11.'de temel bir SVC görülmektedir. SVC'nin icadından önce, güç faktörü kompanzasyonu, senkron kondansatörler veya anahtarlama kondansatör bankları aracılığıyla yapılırdı. [68, 69].



Şekil 2.11. Standart statik VAR yapısı

SVC, sistemi birim güç faktörüne yaklaştırmak için tasarlanmış otomatik bir empedans eşleştirme cihazıdır. SVC'ler iki ana durumda kullanılır:

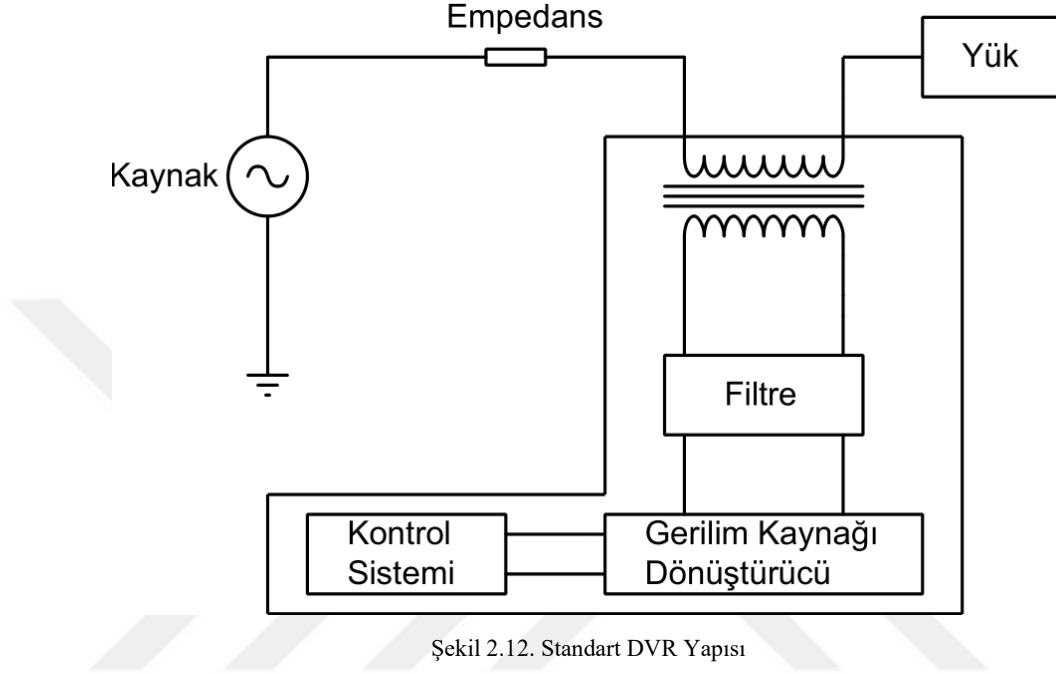
Bir "İletim SVC", iletim gerilimini düzenlemek için güç sistemine bağlı olarak kullanılmaktadır. "Endüstriyel SVC" ise güç kalitesini iyileştirmek için büyük endüstriyel yüklerin yakınına bağlanılarak kullanılmaktadır. İletim uygulamalarında, SVC şebeke gerilimini düzenlemek için kullanılır. Güç sisteminin reaktif yükü kapasitif ise, SVC, sistem gerilimini düşürerek sistemden VAR'ları tüketmek için tristör kontrollü reaktörler kullanacaktır. Endüktif yani gecikmeli koşullar altında, kapasitör bankları otomatik olarak açılır ve böylece daha yüksek bir sistem gerilimi sağlar. Bir kapasitör bankı adımı ile tristör kontrollü reaktörü bağlayarak ileri veya geri faktörlü güç elde edilir [68]. Endüstriyel uygulamalarda, SVC'ler tipik olarak yüksek ve hızla değişen yüklerin yakınına yerleştirilirler. Ark fırınları uygulamasında, titreşim gerilimini düzeltirler [69].

2.5.1.3. DVR sistemi

Her ne kadar tüm güç kalitesi problemleri önemli olsa da kısa süreli gerilim sarkmaları daha sık meydana gelir ve ciddi sorunlara neden olur. Yıldırımlardan dolayı meydana gelen arızaların en yaygın sonucu havai hatlardaki gerilim sarkmalarıdır. Günümüzde, güç kalitesini iyileştirmek için D-STATCOM, Özel Güç Aygıtları (CPD), Dinamik Gerilim Onarıcı (DVR) ve Statik Transfer Anahtar (STS) gibi birçok sistem ortaya konmuştur. D-STATCOM ve DVR en etkili Gerilim Kaynağı Dönüştürücüdür. VSC tabanlı cihazlar ve diğer SMG türleri arasında güç kalitesinin iyileştirilmesi için kullanılmaktadır.

Dinamik gerilim onarıcı (DVR), elektrik güç dağıtımında meydana gelen gerilim düşüşlerinin ve yükselmelerinin üstesinden gelmek için bir yöntemdir. DVR, sağlanan gücün fazını ve dalga şeklini etkileyebilecek gerilim enjeksiyonlarıyla enerji tasarrufu sağlar [70]. DVR, yük tarafı gerilimini düzenlemek için sisteme sırayla gerilim enjekte eden seri bağlı bir katı hal cihazıdır. Normalde besleme ile kritik yük besleyici arasındaki dağıtım sistemine monte edilir. Yükte herhangi bir güç kesintisi olmaması

için kısa süreli gerilim sarkmasında çalışır. Çeşitli devre topolojileri ve kontrol şemaları vardır [71-73]. Şekil 2.12.'de DVR sistemin temel yapısı görülmektedir. DVR'de bulunan iç sistemler ve güç kalitesi geliştirilmeye çalışılmaktadır. Yeni kontrol sistemleri tasarlanmaktadır.



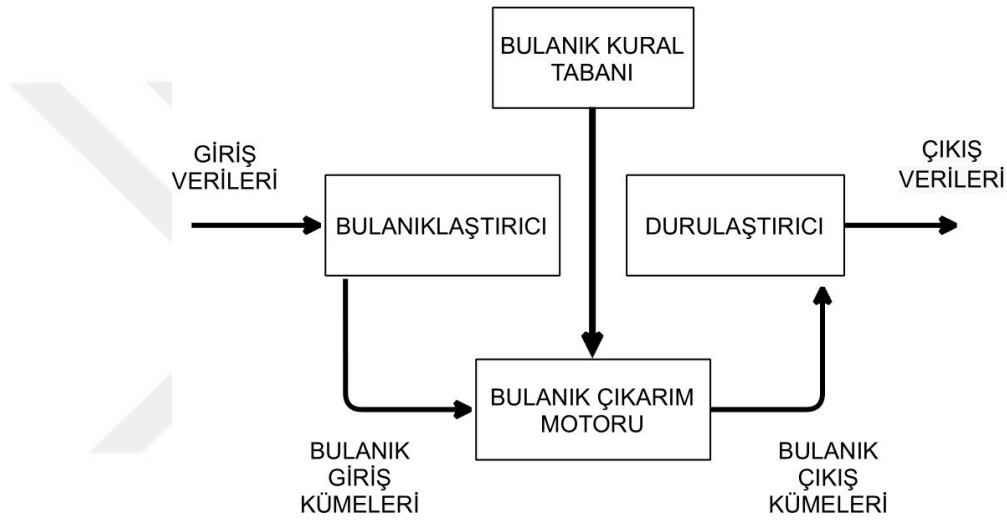
Şekil 2.12. Standart DVR Yapısı

DVR, darbe genişliği modülasyonlu (PWM) bir invertör yapısında IGBT katı hal güç elektroniği anahtarlama cihazlarını kullanır ve kendi ac çıkış terminalinde bağımsız olarak kontrol edilebilir, gerçek ve reaktif güç üretebilir veya emebilir. DC giriş terminali, bir enerji kaynağına veya uygun kapasitede bir enerji depolama cihazına bağlanır. DVR ve dağıtım sistemi arasında değiş tokuş edilen reaktif güç, herhangi bir ac pasif reaktif bileşen olmadan DVR tarafından dahili olarak üretilir (örn. reaktörler veya kapasitörler). DVR ac terminallerinde değiştirilen gerçek güç, harici bir enerji kaynağı veya enerji depolama sistemi ile DVR dc terminalinde sağlanmalıdır.

2.6. Bulanık Mantık

Bulanık Mantık kuramı 1965 yılında Lotfi Zadeh tarafından tanıtılmıştır. Belirsizlik ile başa çıkmak için bir matematik aracıdır. Kelimelerle hesaplamanın önemli konseptini sunarak programlama yapar. Belirsizlikle başa çıkabilme tekniği sağlar.

Bulanık teori "çok", "düşük", "orta", "sık sık", "az" gibi dil yapılarını temsil etmek için bir mekanizma sağlar. Bulanık mantık, genellikle uygun insani akıl yürütme yetenekleri etkin kılan bir çıkarım yapısı sağlar. Bulanık mantık sistemleri yaklaşık muhakeme için uygundur. Bulanık mantık sistemleri geleneksel sistemlerden daha hızlı ve akıcı bir cevaba sahiptir ve kontrol karmaşıklığı daha azdır [74]. Bulanık mantık sistemleri yaklaşık muhakeme için uygundur (Şekil 2.13.). Bulanık mantık sistemleri geleneksel sistemlerden daha hızlı ve akıcı bir cevaba sahiptir ve kontrol karmaşıklığı daha azdır [74].



Şekil 2.13. Temel bulanık mantık sistemi

Bulanık mantığın temelleri alt küme ve bulanık kümelerle dayanmaktadır. Klasik mantığa göre bir varlık kümenin elemanıdır veya değildir. Bunun matematiksel ifadesi, ilgili nesne küme ile olan üyelik ilişkisi bakımından kümenin elemanıysa “1”, değilse “0” değerini almaktadır. Bulanık mantık, klasik olan küme teorisini genişletmektedir. Bulanık kümelerle göre her nesnenin bir üyelik derecesi bulunmaktadır. Varlığın veya nesnenin üyeliğinin derecesi, 0 ile 1 aralığında bir değer olabilir ve ilgili üyelik fonksiyonu, $M(x)$ ile ifade edilmektedir [75].

Bulanık mantıkta, klasik kümeden farklı olarak bulanık kümelerde varlıkların üyelik dereceleri (0, 1) aralığındaki sonsuz sayıda olabilir. Bunlar üyelik derecelerinin sürekli olan aralıksız bütünüyle bir kümeyi oluşturmaktadır. Kesin kümelerdeki soğuk-sıcak, yüksek-alçak, çok-az gibi ikili olan değişkenler, bulanık kümelerde ise biraz soğuk,

biraz sıcak, biraz yüksek, biraz alçak gibi esnek olan niteleyiciler ile genişletilip günlük problemlere benzetilmektedir. Bulanık mantığın kesin kümelerden farkı, böyle bir çatı içinde bilginin kaynağında bulunan küme üyeliğinin, kesin olarak tanımlanmış ön koşullarının bulunmayışı ve ilgili değişkenlerin belli aralıkta olmasıdır. [76, 77].

2.6.1. Bulanık mantık teorisi

Bulanık küme kavramı, Zadeh (1965) tarafından yapılan "gerçek fiziksel dünyada karşılaşılan ihmal sınıflarının kesin olarak tanımlanmış üyelik kriterlerine sahip olmadığı" gözleminden kaynaklanmaktadır. Bu gözlem, gerçekliğin zihinsel temsilleri ile bunun ikili mantık, kesin sayılar, diferansiyel denklemler ve benzerlerine dayanan olağan matematiksel temsilleri arasında var olan boşluğu vurgular. Zadeh'in alıntısında atıfta bulunulan nesne sınıfları, yalnızca yüksek sıcaklık, genç adam, büyük beden vb. gibi doğal dil terimleri aracılığıyla ve ayrıca kuş, sandalye vb. isimlerle bu tür zihinsel temsiller yoluyla var olur. Üyeliğin ya hep ya hiç meselesi olmaktan çok kademeli bir kavram olduğu görünen bu tür kategoriler hesaba katılmalıdır. Gerçek sayıların ifade gücünün gücü, zihinsel temsillerde bulunan sınırlı kesinlik seviyesinin çok ötesindedir. İkincisi, dünyanın karmaşıklığını açıklayan algısal fenomenlerin anlamlı özetleridir. Fiziksel fenomenlerin analitik temsilleri, gerçeklik modelleri olarak sadık olabilir, ancak bazen kendi başlarına fazla açıklamadıkları için anlaşılması zordur ve uzman olmayanlara opak kalabilirler. Zihinsel temsiller daha anlamlıdır, ancak aynı zamanda dilbilimsel terimlerin özgüllüğünün ve atıfta bulundukları nesnelerin sınıfının iyi tanımlanmış sınırlarının eksikliğini de kapsayan belirsizlikle doludur [78].

İnsan bilgisini insan dostu, ancak titiz bir şekilde temsil etme tutkusu, yüz yıl önce, zaman harcamaya değmeyen, hatta bilimsel bir bakış açısından gülünç olan boş bir egzersiz gibi görünebilirdi. Ancak bu arada, bilgisayarların ortaya çıkışı bilim dünyasını önemli ölçüde etkiledi ve şimdi bilgi yönetimi çağına girilmişti. Bilginin temsili ve otomatik akıl yürütme için sağlam teorilerin ve verimli teknolojinin geliştirilmesi, artık birçok insanın bilgisayarlara sahip olması ve karar verirken onlara yardımcı olacak bilgileri bulmak için onlarla iletişim kurması nedeniyle büyük bir zorluk haline geldi. Önemli bir konu, insan bilgisini çok az nesnel ve kesin verilerin

mevcut olduğu çeşitli alanlarda depolamak ve kullanmaktır. Bulanık küme teorisi bu eğilime katılır ve bu nedenle yapay zeka ile yakın bağlantısı vardır [79, 80].

Özellikle bu yüzyılda, mantığın temsili yeteneklerini artırmak veya eklemeli olmayan belirsizlik modelleri önermek için birçok girişimde bulunulmuştur. Bu girişimlerin en radikal ve verimli olanlarından biri 1965 yılında Zadeh tarafından "Fuzzy Sets" adlı makalesinin yayınlanmasıyla başlatıldı. Kademeli üyelik fikrinden başlayarak, hem mülklerde kademeli olma mantığının hem de olasılık kavramlarını ele almak için Zadeh tarafından "Olasılık Teorisi" olarak adlandırılan yeni, özellikle basit ve etkili bir belirsizlik hesabı için temel oluşturmuştur [81].

Bulanık kümeler önerirken, Zadeh'in endişeleri, örüntü sınıflandırması, bilgi işleme ve iletişim, soyutlama ve özetleme alanlarındaki potansiyel katkılarına odaklanmıştır. Bu alanlar, ilk kez söylendikleri sırada, yani altmışlı yılların başlarında, bilgi bilimlerinin ve mühendisliğin gelecekteki gelişimi, bu sezgilerin tüm beklentilerin ötesinde doğru olduğunu kanıtlamıştır [82].

Bulanık kümeler literatüründe, bulanık sözcüğü genellikle belirsiz sözcüğünü temsil eder. Belirsizlik ve belirsizlik arasındaki bağlantılarla ilgili bazı yorumlar yararlıdır. Genel kullanımda, nesnelerin "bulanıklık" adı verilen bir özelliği vardır; Oxford İngilizce Sözlüğünden "bulanık" kelimesinin ya sağlam ya da sağlam değil ya da gevşek lifler halinde saçaklı anlamına geldiği bilinmektedir. Bulanık, aynı zamanda tüylerle, yani gevşek uçucu maddeyle kapsanan anlamına gelir. Diğer herhangi bir özellikten farklı olarak, "bulanık", formun ön tanımını oluşturmak için kullanılabilir [80, 81].

2.6.2. Bulanık mantık uygulamasının kullanım alanları

Bulanık mantık sistemleri 1970'li yıllarda doğuda oldukça önem kazanmaya başlayıp teknolojik aletlerin yapımı ve çalışmasında kullanılmıştır. 1975 yıllarında Mamdani ile Assilian tarafından yapılan bir çalışma vasıtasıyla da ilgili kavram dünyanın çok farklı araştırma merkezlerinde fark edilmiştir. Bulanık mantık sistemi, elektrikli

cihazlardan, otomotiv sektörüne, günlük kullanılan iş makinelerinden üretim mühendisliğine, endüstriyel teknolojilerden otomasyona kadar çok fazla alanda uygulama alanına sahip durumdadır. Aynı zamanda çeşitli beyaz eşyalarda, asansörlerde, trenlerde, trafik kontrolünde ve otomobil sanayisinde kullanılabilmektedir. Bulanık mantığın endüstriyel uygulaması, ilk olarak çimento sanayisinde gerçekleşmiştir. Ardından, bulanık kavramlar dünyanın çok yerinde kullanılmaya başlanmıştır. Tarihte diğer bir önemli uygulama ise 1987’de Japonya’da gerçekleşmiştir. Sendai Metro’sunda çalışan trenlerin, otomatik olarak kontrolü için bulanık mantık sistemi kullanılmıştır. Ardından çamaşır makineleri, asansörler ve elektrikli ev aletleri gibi konularda bulanık mantık uygulamaları gerçekleştirilerek günümüze kadar ulaşmıştır [83].

2.6.2.1. Bulanık mantık sistemlerinin avantajları ve dezavantajları

Bulanık Mantık sistemi, daha hızlı bir şekilde sonuca ulaşmaktadır. Çünkü, bulanık mantık sisteminde ilgili parametreler bir ön işleme alınır ve genellikle çok geniş bir alanda olan değerler azaltılır ve basitleştirilir. Bulanık Mantık sisteminin başka bir avantajı ise doğrudan ilgili kullanıcı girişlerine, kullanıcının deneyiminden yararlanabilme imkanı vermesidir [84].

İnsan zihni genellikle kelimeleri kullanmaktadır. Bulanık mantık da benzer olarak derecelendirilmiş kelimeleri kullanması sebebiyle insanın mantığına çok yakın sonuçlar çıkartabilmektedir. Karşılaşılan problemleri çözebilmek için gerekli sayısal verilere erişmek zor ve pahalı olabilmektedir. Böyle durumlarda, bulanık mantık sistemi kullanılırsa insani değerlerin yargıları ve düşüncelerin vasıtasıyla, net olmayan durumlarda makul sonuçlar çıkartabilmektedir.

Bulanık mantık sistemi gerçekleştiren kişilerin, sistem ile ilgili sayısal halde olmayan ve/veya formüle edilemeyen tecrübeleri bulunabilir. Sayısal verilerin elde edilmediği durumlarda mevcut tecrübelerin algoritma oluşturmada bulanık mantık yardımcı olmaktadır.

Bulanık mantık, insanın mantığına yakın çalışma yöntemi olduğundan dolayı birçok kontrol mekanizmasına kıyasla daha basit ve anlaşılırdır. Geri planda çalışan mekanizma ve matematiği anlamak kolaydır. Bulanık mantık, esnek yapısı aracılığıyla belirsiz olasılık durumlarında ve çok karışık fonksiyonlar ile bile doğru çalışmayı sürdürebilir.

Günlük yaşamdaki kelimeler kullanılarak bulanık mantık sistemi geliştirilebilir. Bundan dolayı, bulanık mantık sistemi yapılırken programlama, sistem ve model oluşturma hakkında uzman olmayan kişiler dahi zorluk çekmezler.

Bulanık mantık içinde klasik mantığı da bulundurur. Klasik mantık ile oluşturulmuş her olgu bulanık sistem ile de ortaya çıkartılabilir [85].

Bulanık mantık sistemlerinin dezavantajları:

- Bulanık sistem tasarımına sistematik bir yaklaşım bulunmamaktadır.
- Yalnızca basit olduklarında anlaşılabilirler.
- Yüksek doğruluk gerektirmeyen durumlar için uygundur [86].

Klasik mantık ile bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar Tablo 2.2.'de görülmektedir.

Tablo 2.2. Mantığın yaklaşımlarının karşılaştırması [86]

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
A veya A Değil	A ve A Değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

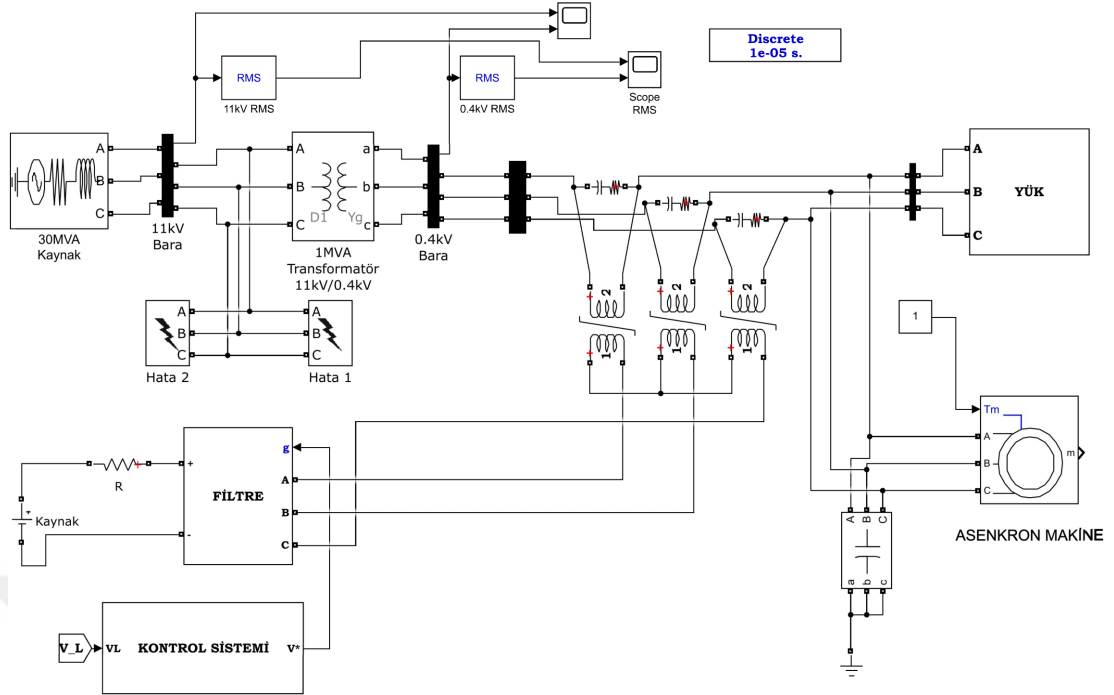
3.1. Materyal

Araştırmada, Matlab/Simulink’de tasarlanan iletim hattı modeli, kontrol yapısı ve dinamiği tasarlanan DVR sistemi kullanılmıştır. Elde edilen ilgili veriler kaydedilip Matlab/Bulanık Mantık uygulamasında analiz edilmiştir.

3.2. Genel Sistemin Yapısı

Şekil 3.1.’deki sistemde, iletim hattındaki arızadan kaynaklanan kısa süreli gerilim sarkmasını düzeltmek için oluşturulan DVR sistemi asenkron motor barasına bağlanmıştır. Burada, tasarlanan DVR’nin aktif olduğu sistemle olmadığı sistem arasındaki ilişki asenkron motor parametreleri üzerinde gösterilecektir. Seçilen asenkron makinanın özellikleri Tablo 3.1.’de görülebilmektedir. Sisteme uygulanan gerilim sarkma büyüklüğü ve süresi sürekli değiştirilmiştir. Kısa süreli gerilim sarkmaları programlanabilir gerilim kaynağı yardımıyla hattaki arıza modelinden elde edilmiştir.

İletim hattında bir faz-faz-toprak arızası oluşturulmuştur. Faz-faz-toprak arızası, dağıtım transformatöründen iletim hattına ulaşmaktadır. Dağıtım transformatörü, dağıtım barasına ve ardından yük barasına bağlıdır. Böylece, KSGS arıza yoluyla elde edilip yük barasında gerçekleşmektedir.

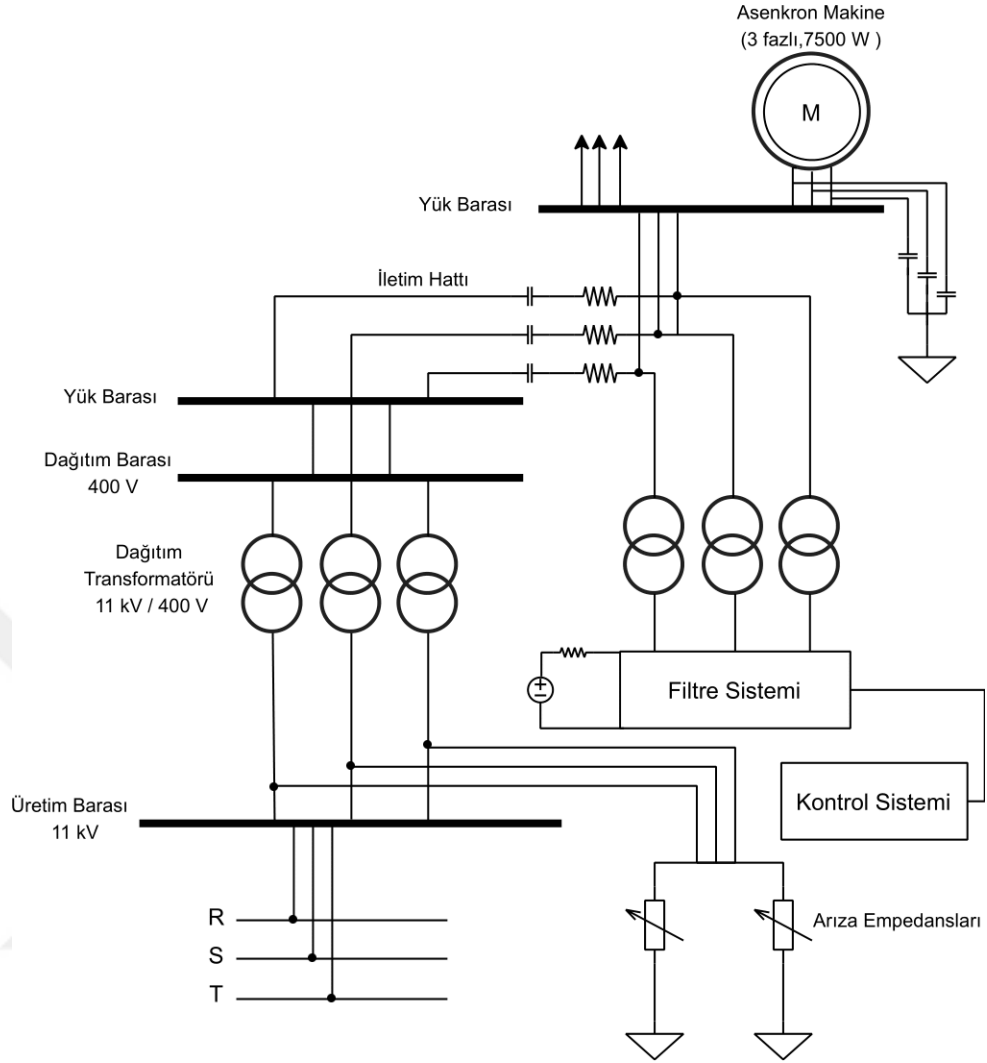


Şekil 3.1. Tasarlanan sistemin genel yapısı

Tablo 3.1. Kullanılan asenkron makinenin özellikleri

Parametre	Değeri
Sınıf	Sincap kafesli
Güç	7,5 kW
Gerilim	400 V
Frekans	50 Hz
Hız	1440 RPM

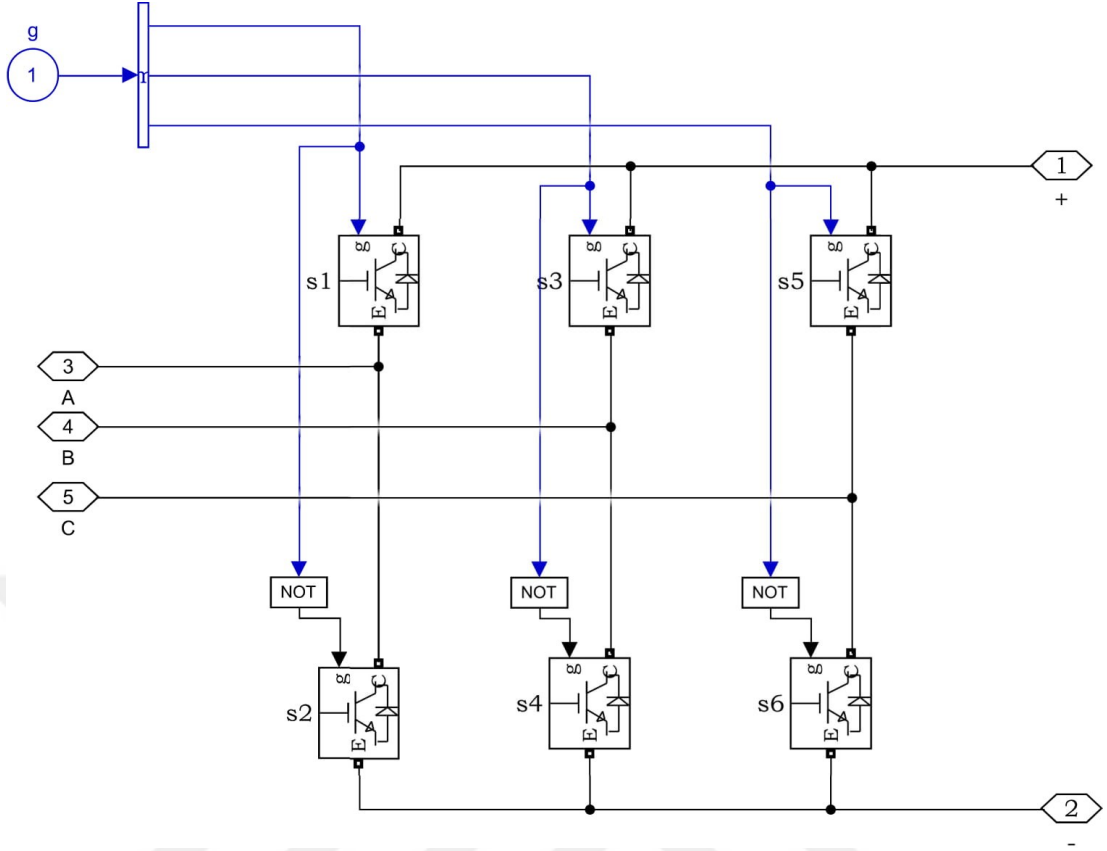
İlgili sistemde faz-faz toprak arızasını gerçeklemek için Şekil 3.2.'de gösterilen değişken arıza empedansları oluşturulmuştur. Üretim barası ile dağıtım barası arasında gerçekleştirilen arıza, kayıplar ihmal edilerek dağıtım ve yük barasına ulaşmaktadır. Yük baraları arasında tasarlanan DVR sistemi arızaya anlık gerilimler yerleştirerek sönmlemeye çalışmaktadır.



Şekil 3.2. Tasarlanan sistemin tek hat şeması

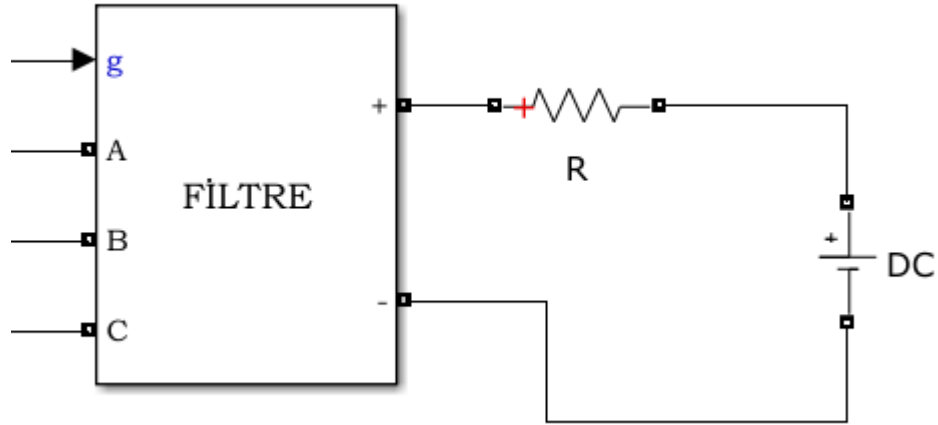
3.3. Filtre Sisteminin Yapısı

İletim hattında oluşan gerilim sarkması barayı geçtikten sonra yeni bir iletim hattına gelmektedir. Bu hattın direnci 1 ohm ve kapasitesi 1 μF olarak seçilmiştir. Buradan transformatörler yardımıyla DVR sistemine sabit bir sarkmalı gerilim iletilmektedir. Kullanılan transformatörün gücü 4 kVA, iç direnci 0,02 ohm ve iç endüktansı 0,02 H olarak seçilmiştir. Sarkmalı gerilim DVR sistemindeki filtreye ulaşmaktadır. Filtre sistemi, kaynak gerilimleri ve IGBT'lerden oluşmaktadır. Filtre devresinde kullanılan IGBT'lerin iç direnci, anahtarlama direnci ve anahtarlama kapasitesi sonsuz olarak alınmıştır. Kullanılan filtre devresi Şekil 3.3.'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Tasarlanan filtre devresi

İletim hattındaki arızas sebebiyle oluşan KSGS, kısaca tasarlanan DVR sistemine, ardından asenkron motora ulaşmaktadır. Arıza esnasındaki gerilime filtre devresinin yardımıyla müdahale edilmektedir. Filtre devresinin dış bağlantı şeması Şekil 3.4'te görülmektedir. Asenkron motorun duyarlılıkları, gerilimler, akımlar, rotor akımları, stator akımları, rotor hızı, elektromanyetik tork ve güç üzerinden incelenecektir.

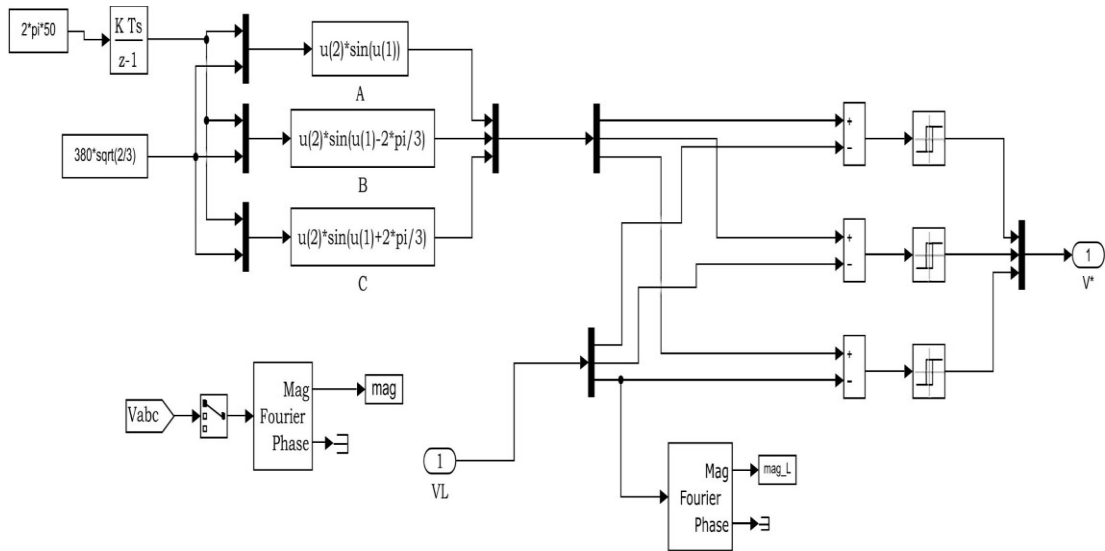


Şekil 3.4. Tasarlanan filtre devresinin harici devresi

Filtre devresinde kullanılan besleme gerilimi $V_{dc}=700$ V'dur. Devredeki sembolik direnç $R=0.1$ ohm olarak alınmıştır. Beslemesi yapılan filtre vasıtasıyla IGBT çalışmaktadır.

3.4. Kontrol Sisteminin Yapısı

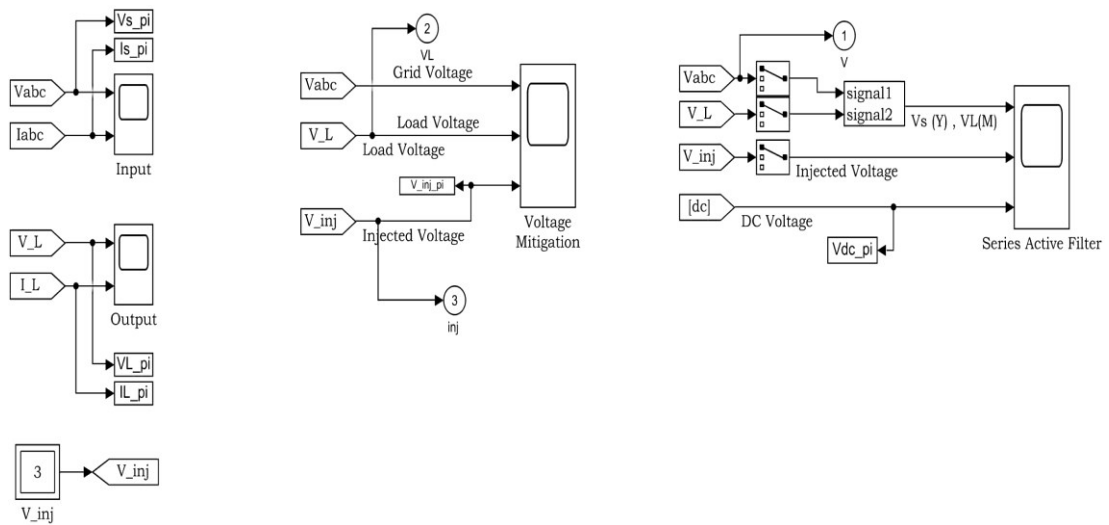
Çalışmadaki DVR için tasarlanan kontrol sistemi Şekil 3.5.'te görülmektedir. Bu sistemin amacı genel sistemin içinde gerilim kontrolünü sağlamaktır. Sistemdeki şebekeden alınan 3 fazlı V_{abc} gerilimi düzenlenerek yüke aktarılmaktadır. Filtre sistemi, kontrol sistemi aracılığıyla tetiklenmektedir.



Şekil 3.5. Tasarlanan sistemin kontrol sisteminin modeli

3.5. Elektrik Elektronik Çalışmalar ve Ölçümler

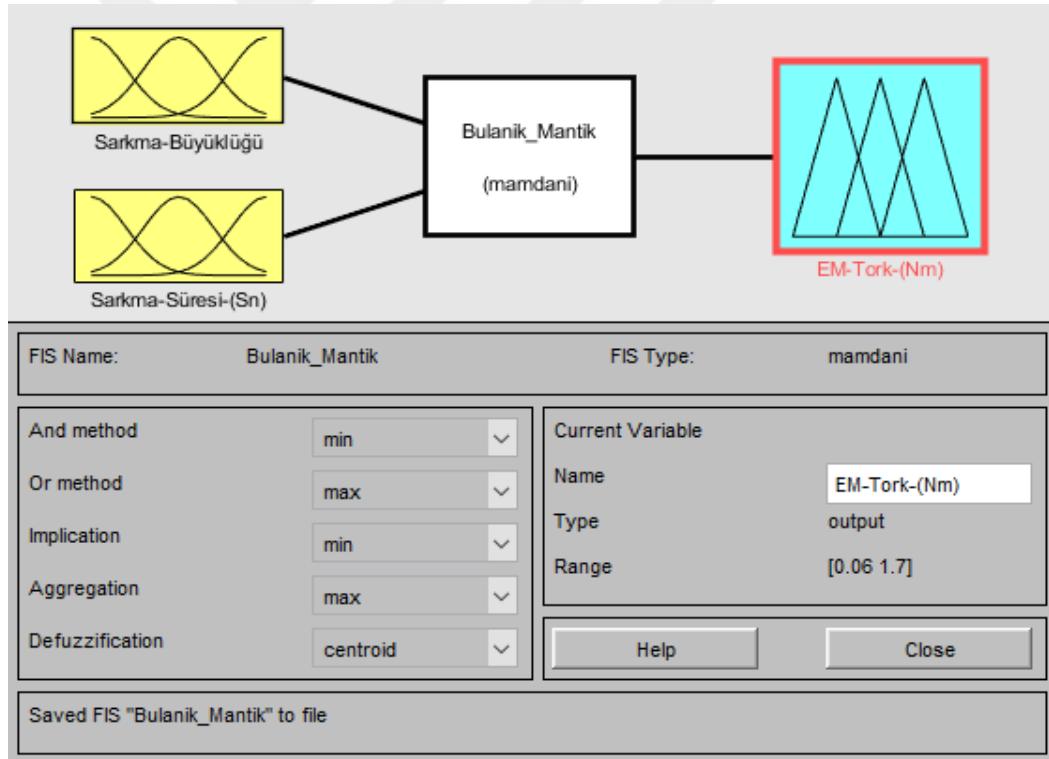
Sistemdeki mekanik ve elektrik ölçüm ile ilgili bilgiler Şekil 3.6.'da gösterilmiştir. Kontrol sistemi, filtre devresi ve diğer alt sistemlerin gerilimleri ve akımları analiz edilmiştir. Devrede kullanılan gerilim, akım gibi parametrelerin ölçüm şeması Şekil 3.6.'da görülmektedir.



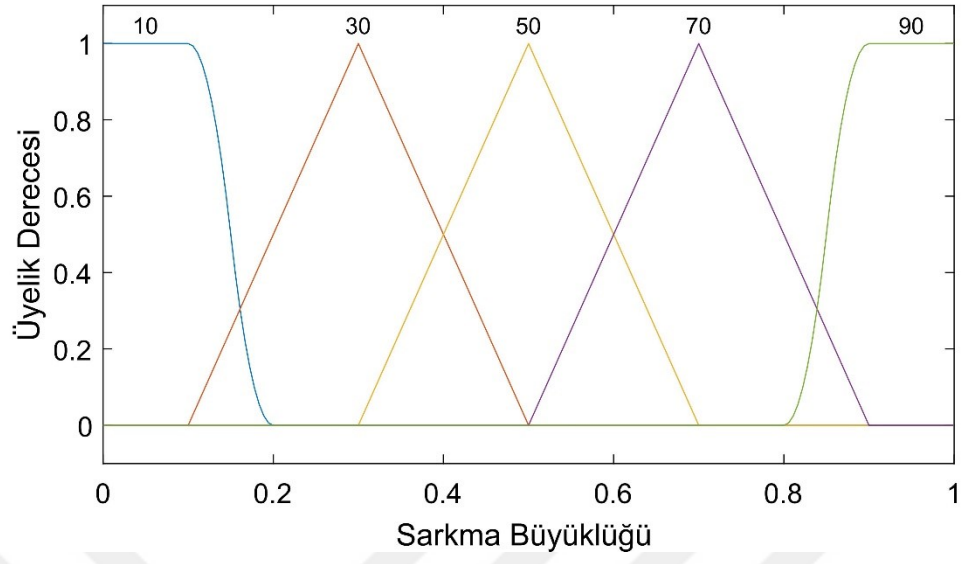
Şekil 3.6. Tasarlanan sistemin elektronik ölçüm sisteminin modeli

3.6. Bulanık Mantık Sistemi Tasarımı

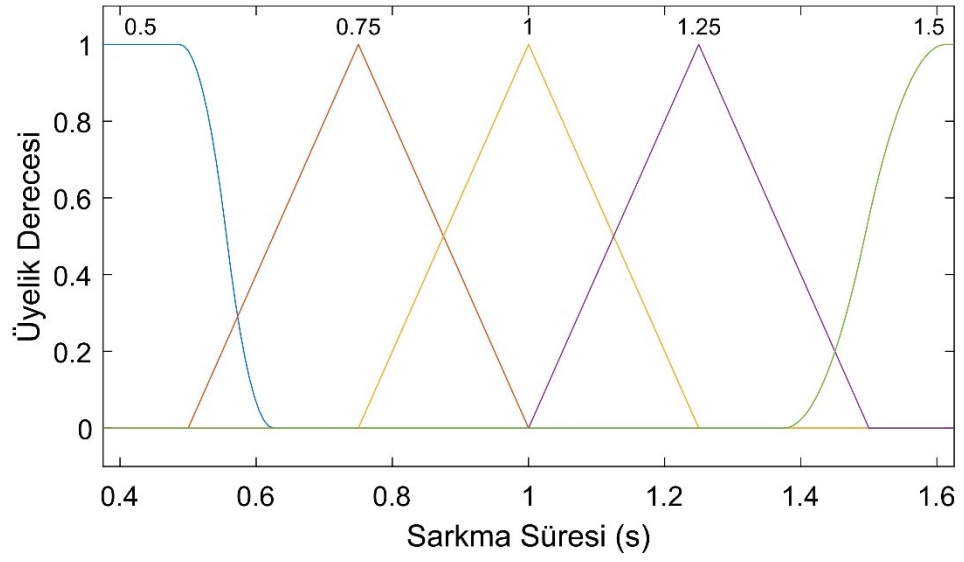
Bu çalışmada bulanık çıkarım yöntemi olarak Mamdani yöntemi kullanılmıştır. MATLAB/Simulink'den elde edilen veriler tabloleştirilmiştir. Ardından bu tablolardan elde edilen sonuçlar kurallara girilmiştir. Şekil 3.7.'de tasarlanan bir bulanık mantık arayüzü görülmektedir. Gerilim sarkmaları büyüklük ve süre parametreleri açısından ele alınmıştır. Bu parametrelerin üyelik fonksiyonları Şekil 3.8., Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.'da gösterilmiştir. Sarkmanın büyüklüğü %10 ile %90 arasındaki ortalama değerlerde seçilmiştir. Sarkmanın süresi ise 1,5 saniyeye kadar alınmıştır. Bulanık mantık sonuçları ara değerlerdeki durumu görmeye imkân vermektedir. Bulanık mantık algoritması asenkron motorun elektromanyetik torku, rotor hızı ve gücü için tasarlanmıştır. Diğer parametreler grafiklerle gerçekleştirmeye çalışılmıştır.



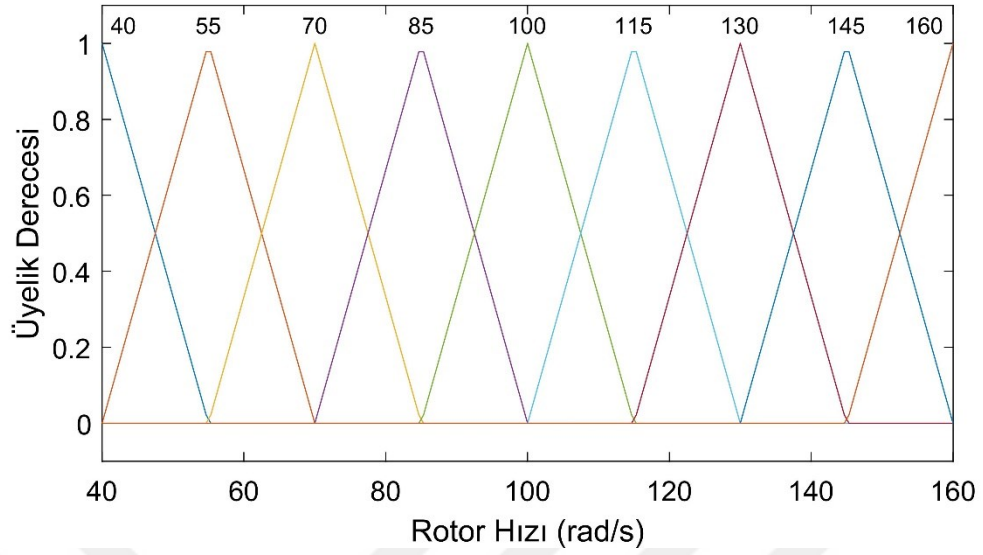
Şekil 3.7. Tasarlanan bulanık mantık sisteminin arayüzü



Şekil 3.8. Bulanık Mantık uygulamasındaki sarkma büyüklüğünün üyelik fonksiyonu



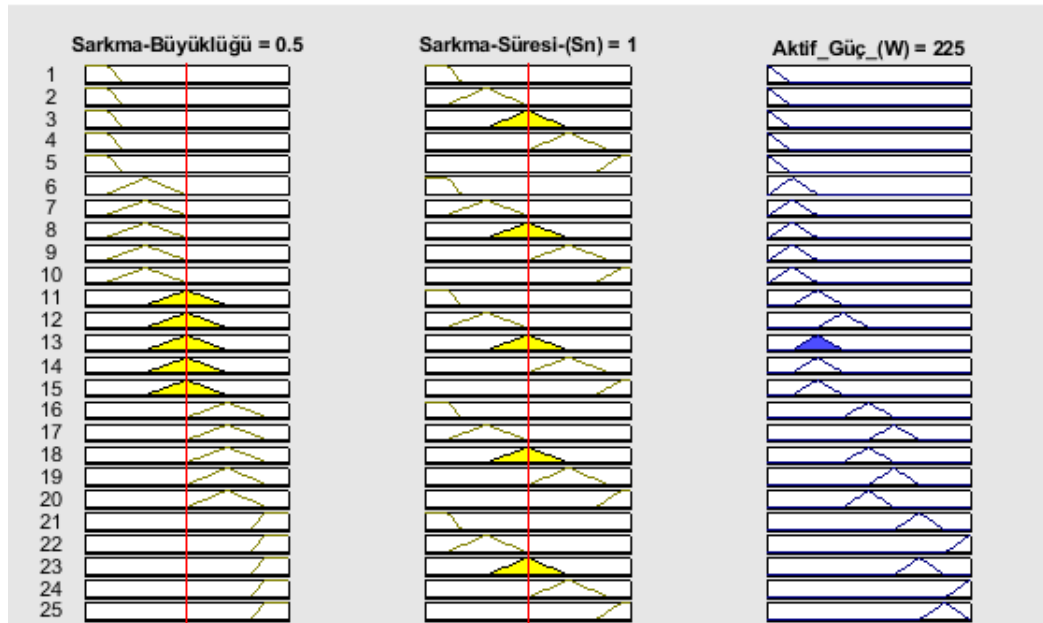
Şekil 3.9. Bulanık Mantık uygulamasındaki sarkma süresinin üyelik fonksiyonu



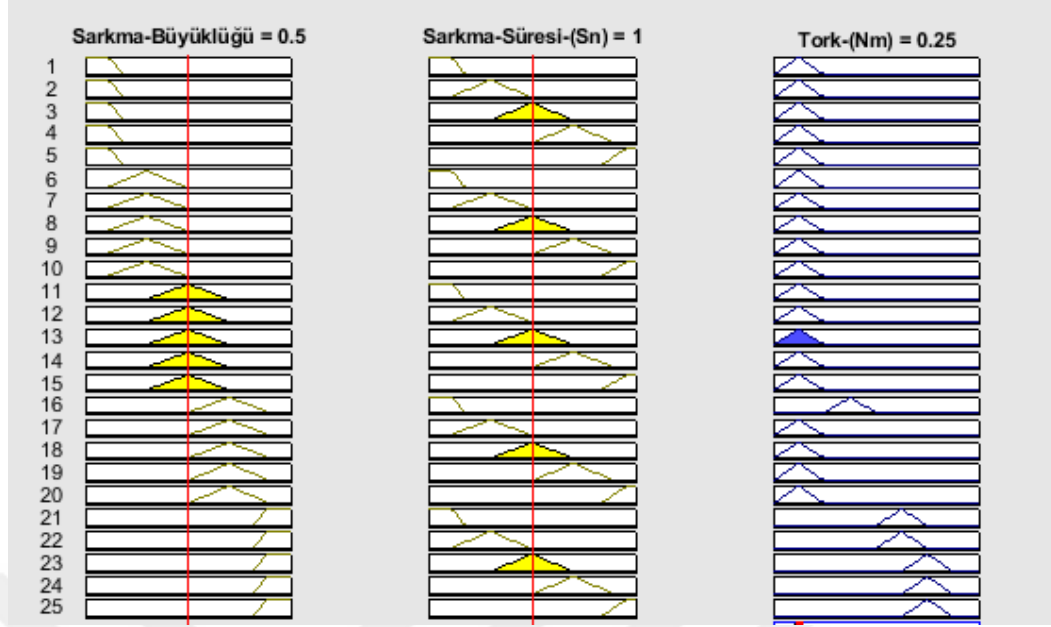
Şekil 3.10. Bulanık Mantık uygulamasındaki örnek bir çıkışın üyelik fonksiyonu

3.6.1. Tasarlanan Matlab/Bulanık mantık modelinin kuralları

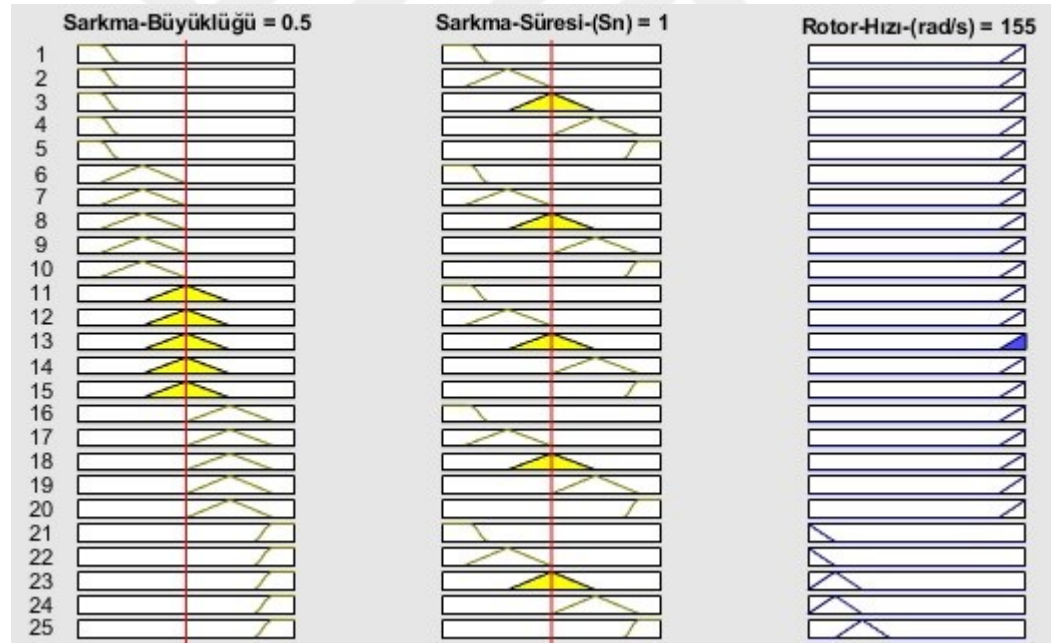
Sistemde kullanılan bulanık mantık kurallarından bazıları Şekil 3.11., 3.12., 3.13. ve 3.14.'teki gibi gösterilmiştir. Bulanık çıkarım yöntemi olarak Mamdani algoritması seçilmiştir. Arıza durumunda ve DVR sisteminin durumuna göre bulanık mantık kuralları elektromanyetik tork, rotor hızı ve aktif güç için gösterilmektedir.



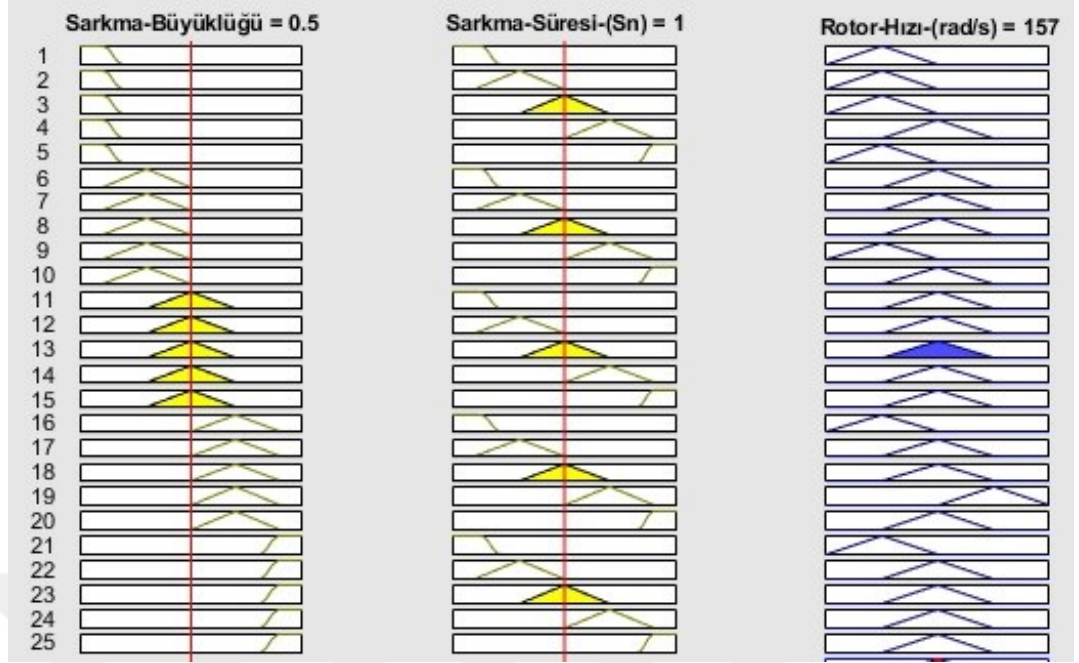
Şekil 3.11. Bulanık Mantık uygulamasındaki aktif güç parametresinin kuralları



Şekil 3.12. Bulanık mantık uygulamasındaki elektromanyetik tork parametresinin kuralları



Şekil 3.13. Bulanık mantık uygulamasındaki DVR aktif değilken rotor hızı parametresinin kuralları



Şekil 3.14. Bulanık mantık uygulamasındaki DVR aktif iken rotor hızı parametresinin kuralları

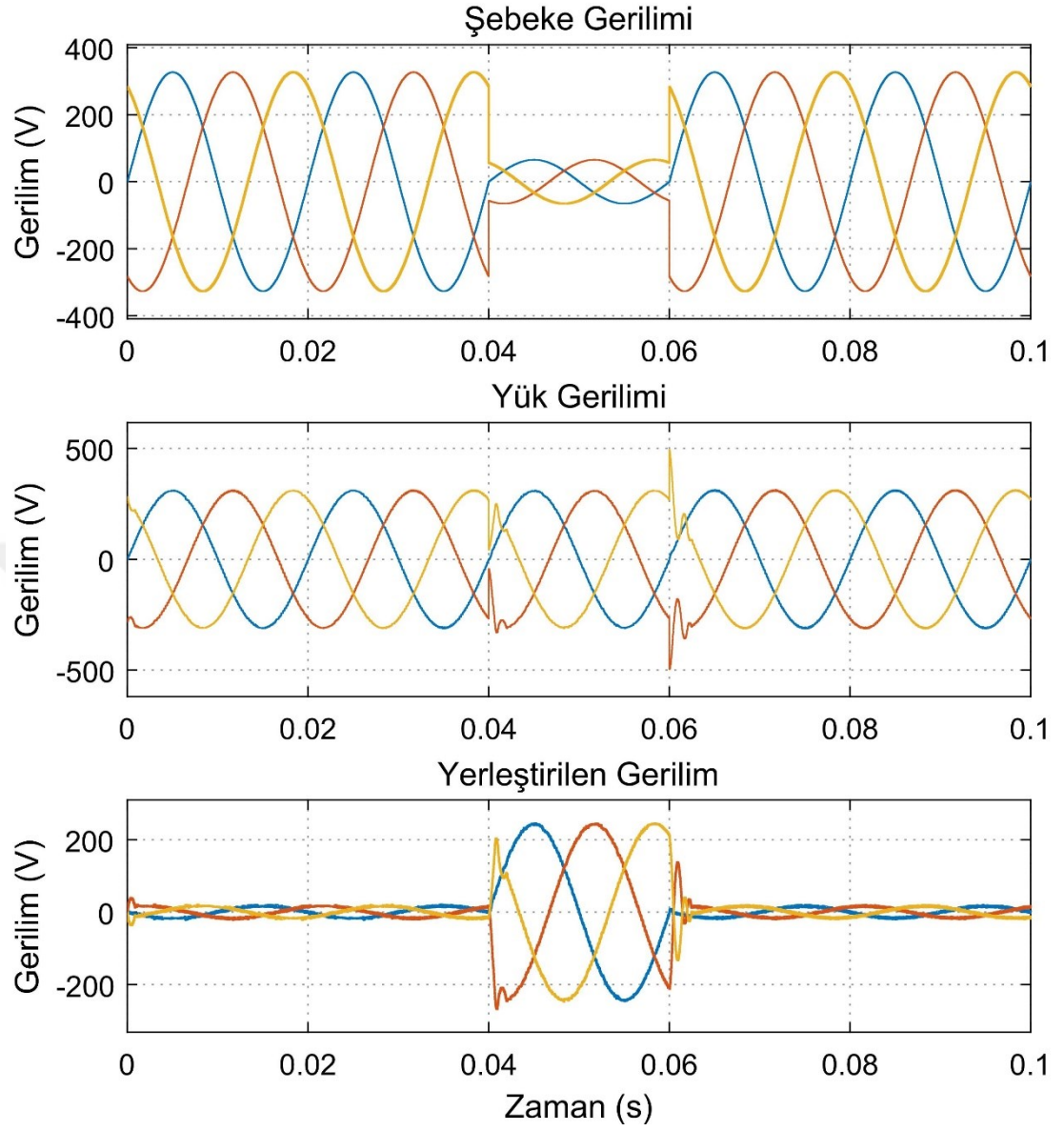
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Tasarlanan Sistemin Gerilim Çıkışları

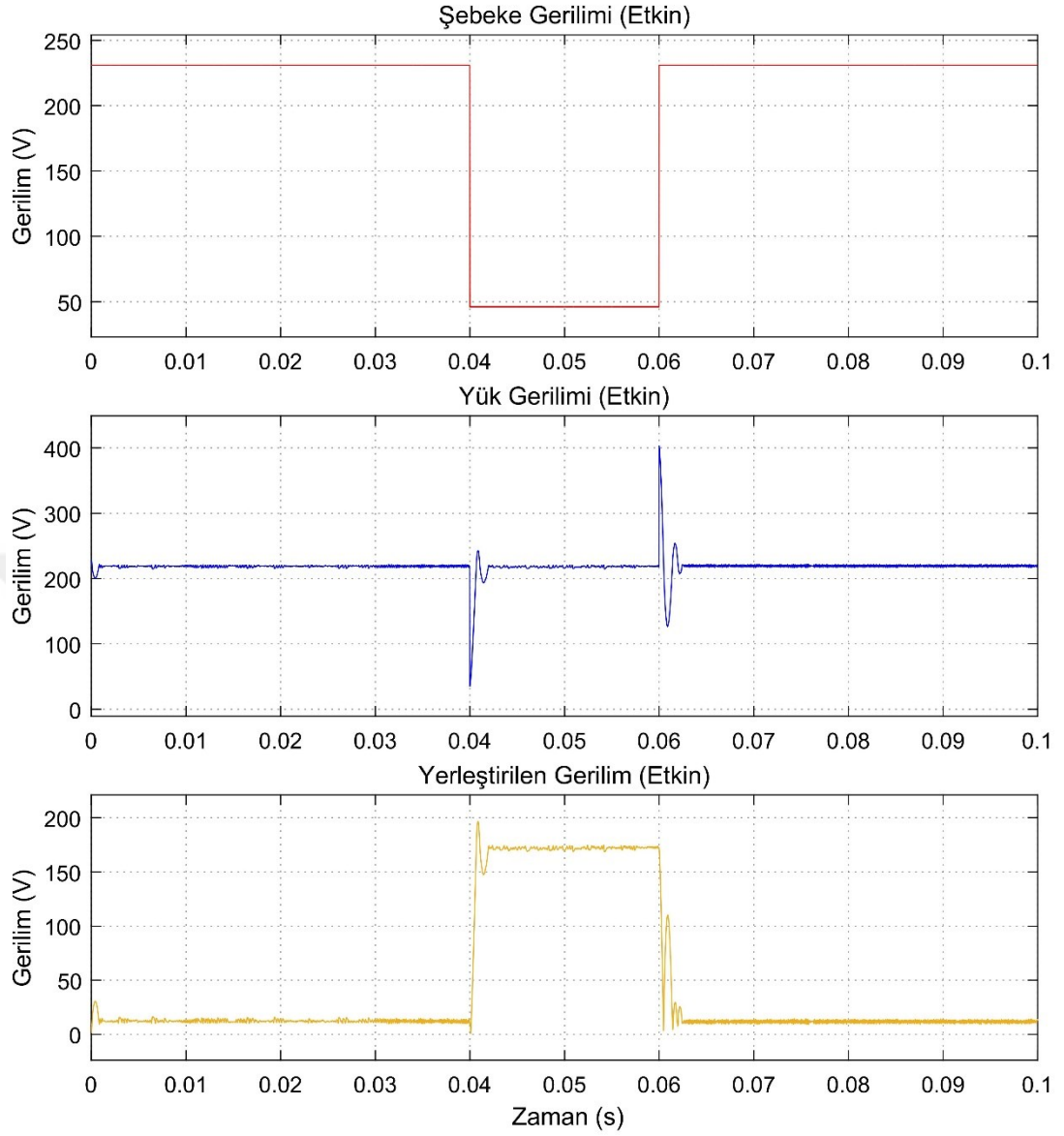
Tasarlanan sistem MATLAB/Simulink’de 5 saniye süreyle 10^{-5} zaman adımıyla çalıştırılmıştır. Hatta meydana gelen arıza tasarlanan DVR ile düzeltilmeye çalışılmıştır. Asenkron makinanın gerilim sarkmalarına ve tasarlanan DVR’ye göre durumu rapor edilmiştir.

Sistem çalıştığında %80 büyüklüğünde, 0,1 saniye süreli, 0.04. saniyede başlayıp 0,06. saniyede biten gerilim sarkması için ilgili gerilimler Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.’de gösterilmiştir. Asenkron motora gelen ilk gerilim bu şekildedir. DVR kullanan sistemde gerilim sarkmasına karşı sistemdeki gerilimlerdir. DVR aktif iken asenkron makine Şekil 4.2.’deki yük gerilimiyle çalışacaktır. DVR aktif değilken ise şebeke gerilimiyle çalışacaktır. Bulanık mantık uygulamasındaki ve tablodaki veriler arıza ortasındaki değerler için alınmıştır.

Sistemdeki parametrelerin hassasiyetlerini daha verimli analiz edebilmek amacıyla gerilim sarkmaları farklı şekillerde test edilmiştir. Bu amaçla, giriş gerilimleri ve akımları için 0,02 saniye süreli, 0,04. saniyede başlayıp 0,06. saniyede biten gerilim sarkması seçilmiştir. Mekanik sonuçlar ve güç için 1 saniye süreli, 2. saniyede başlayıp 3. saniyede biten gerilim sarkması, çıkış gerilimleri ve akımları için 0.2 saniye süreli, 0,4. saniyede başlayıp 0,6. saniyede biten gerilim sarkması seçilmiştir



Şekil 4.1. Gerilim sarkması durumunda DVR aktifken şebekedeki, yükteki, yerleştirilen gerilim



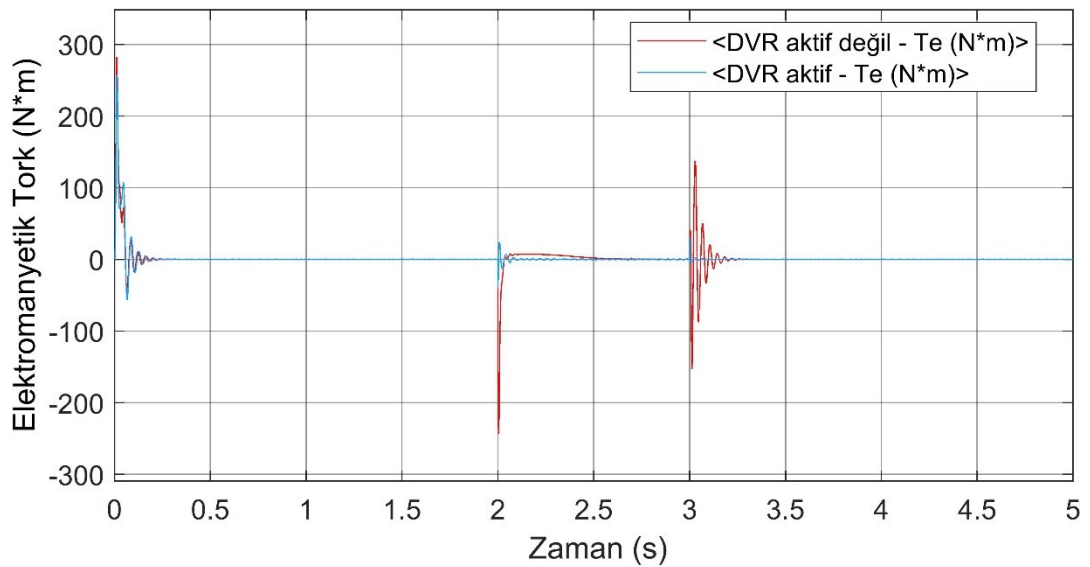
Şekil 4.2. Gerilim sarkması durumunda DVR aktifken şebekedeki, yükteki, yerleştirilen gerilimin etkin değerleri

DVR kullanıldıktan sonra yükteki gerilim yukarıdaki orta satırda görülmektedir. İletim hattındaki sarkma büyük ölçüde azaltılabilmektedir. Tasarlanan DVR sisteminin, sarkmanın başlangıç ve bitiş anlarında yük geriliminin değerlerinde aşırı yükselme ve düşüşler ortaya çıkarttığı Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.'de görülmektedir.

4.2. Sistemin Mekanik Sonuçları

4.2.1. Elektromanyetik tork duyarlılığı

Sistem ilk önce %50 büyüklüğünde, 2. saniyede başlayıp 3. saniyede biten ve 1 sn süreli gerilim sarkmasıyla çalıştırılmıştır. Sistemde DVR kullanılmamış iken 2. Saniyede elektromanyetik tork 0,07901 Nm iken DVR kullanıldığında 0,1751 Nm'dir. DVR kullanılmamış iken 3. Saniyede elektromanyetik tork 0,07899 Nm iken DVR kullanıldığında 0,2933 Nm'dir. Bu şekilde 1 saniye sürede %50 büyüklükte sarkma için DVR elektromanyetik torku %121,62 - %271,31 arttırmıştır. Çalışmada örnek olarak arıza ortasındaki, 2,5. saniyedeki değer alınmıştır. Benzer şekilde sistemdeki sarkmanın süresi ve büyüklüğü değiştirilip sonuçlara ulaşılmıştır. Şekil 4.3.'te DVR'nin durumuna göre asenkron makinenin elektromanyetik torku görülmektedir. Bu durum %80 büyüklüğündeki, 2. saniyede başlayıp 3. saniyede biten, 1 sn süreli gerilim sarkmasıyla çalışan asenkron makinenin çıkışıdır. Gerilim sarkmasının parametrelerine göre elektromanyetik torkun değeri Tablo 4.1. ve Tablo 4.2.'de verilmiştir. Bu veriler Mamdani yöntemiyle bulanık mantık algoritmasında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Gerilim sarkması durumunda DVR aktif ve aktif değilken elektromanyetik tork

Tablo 4.1. Gerilim sarkması durumunda DVR aktif değilken elektromanyetik tork

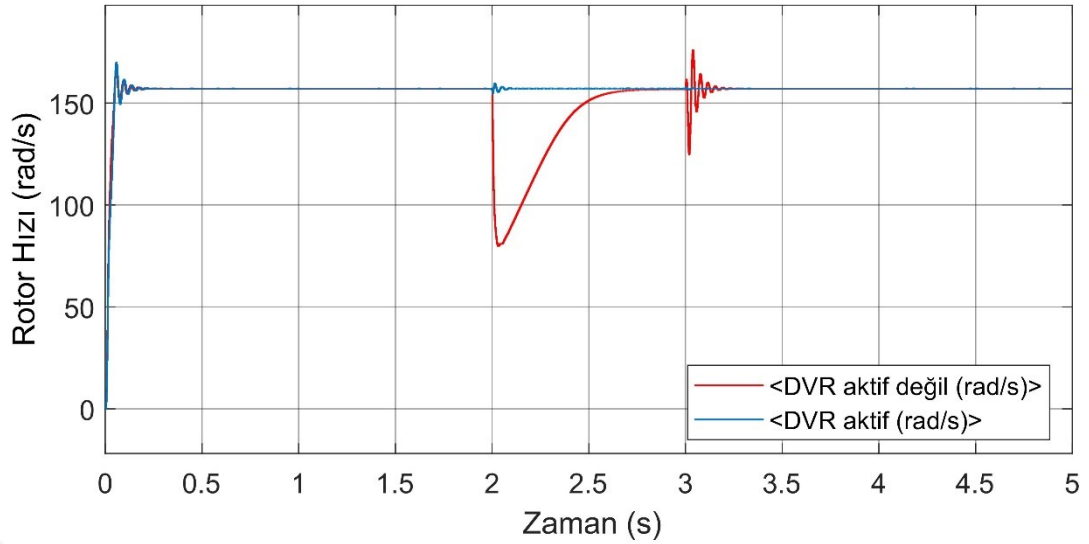
Sarkma Süresi (sn)	Sarkma Büyükülüğü(%)				
	10%	30%	50%	70%	90%
0.5	0.061	0.076	0.0789	0.8042	1.471
0.75	0.078	0.07901	0.0789	0.1031	1.486
1	0.078	0.079	0.0789	0.0797	1.595
1.25	0.079	0.079	0.0789	0.0789	1.637
1.5	0.079	0.079	0.0789	0.0789	1.672

Tablo 4.2. Gerilim sarkması durumunda DVR aktifken elektromanyetik tork

Sarkma Süresi (sn)	Sarkma Büyükülüğü(%)				
	10%	30%	50%	70%	90%
0.5	0.022	0.030	-0.078	-0.171	-0.510
0.75	0.144	0.039	0.298	-0.176	-0.295
1	0.330	0.016	0.046	-0.297	0.068
1.25	-0.018	0.040	0.012	-0.162	-0.558
1.5	0.173	0.100	-0.152	-0.115	0.258

4.2.2. Rotor hızı duyarlılığı

Gerilim sarkmasının rotor hızına etkisi Şekil 4.4.'te görülmektedir. Burada %80 büyüklüğünde, 1 saniye süreli, 2. saniyede başlayıp 3. saniyede biten gerilim sarkması kullanılmıştır. Rotor hızının nominal değeri 157.1 rad/sn'dir. Asenkron motordaki rotor hızının, sarkmanın başlangıç noktasında aniden büyük ölçüde azaldığı görülmüştür. Rotor hızı 79,87 rad/s'ye kadar düşmüştür. Bitiş noktasında başlayıp bir süre devam eden osilasyon gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Osilasyon sırasında rotor hızının büyüklüğü 176 rad/s'ye çıkabilmiştir. Gerilim sarkmasının bittiği 3. saniyeden itibaren osilasyon 0,252 sn sürmüştür. Rotor hızındaki asıl etki sarkma başlangıcında olmaktadır.



Şekil 4.4. Gerilim sarkması durumunda DVR aktif ve aktif değilken rotor hızı

Sarkma büyüklüğünün %75-%80'i geçtiğinde rotor hızındaki azalma çok yüksek seviyelere ulaşmıştır. Asenkron motorda şiddeti %90 gerilim sarkmalarında, sarkma süresi attırılınca rotor hızındaki azalmanın küçüldüğü Tablo 4.3.'teki gibi görülmektedir. Buradan asenkron motorun ani gerilim sarkmalarından daha çok etkilendiği sonucu çıkmaktadır. DVR sistemi kullanıldığında osilasyon çok büyük ölçüde azalmıştır. Rotor hızında, sarkma başlangıcındaki düşüş ve sarkma sonundaki osilasyon azalmıştır. Rotor hızı artıp rotor hızındaki değişimlerin 0,1 rad/s altına indiği Tablo 4.4'te görülmektedir.

Tablo 4.3. DVR aktif değil iken sistemin rotor hızı (rad/saniye) değerleri

Sarkma Süresi (sn)	Sarkma Büyükliği(%)				
	10%	30%	50%	70%	90%
0.5	157.1	157.1	157.0	156.2	48.71
0.75	157.1	157.1	157.0	156.9	54.14
1	157.1	157.1	157.0	157.0	59.81
1.25	157.1	157.1	157.0	157.0	65.60
1.5	157.1	157.1	157.0	157.0	71.50

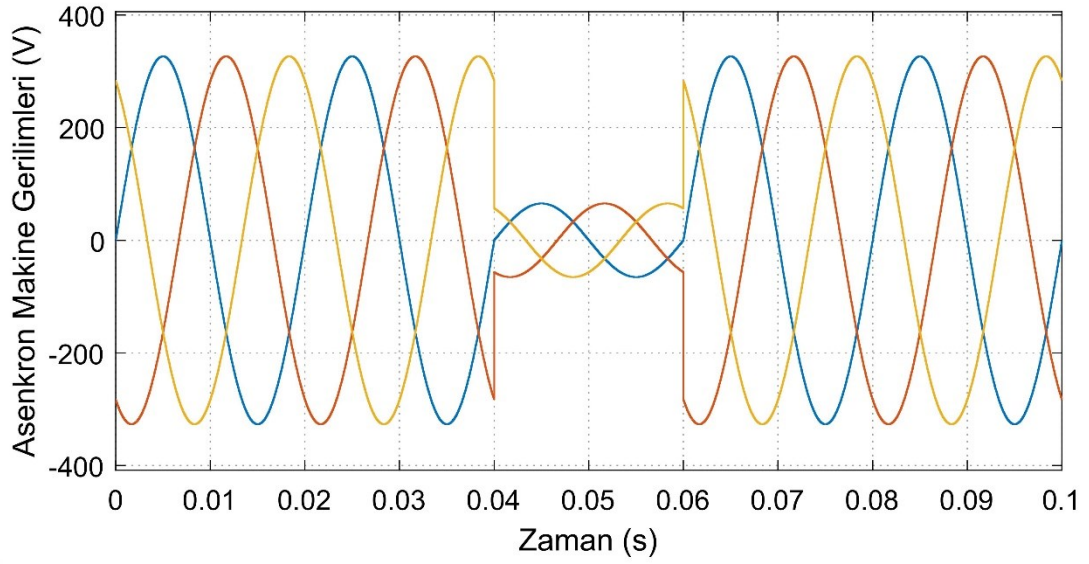
Tablo 4.4. DVR aktif iken sistemin rotor hızı (rad/saniye) değerleri

Sarkma Süresi (sn)	Sarkma Büyükliği(%)				
	10%	30%	50%	70%	90%
0.5	157.0	157.1	157.1	157.0	157.0
0.75	157.0	157.1	157.1	157.1	157.1
1	157.0	157.1	157.1	157.1	157.1
1.25	157.1	157.0	157.1	157.2	157.1
1.5	157.0	157.1	157.1	157.1	157.1

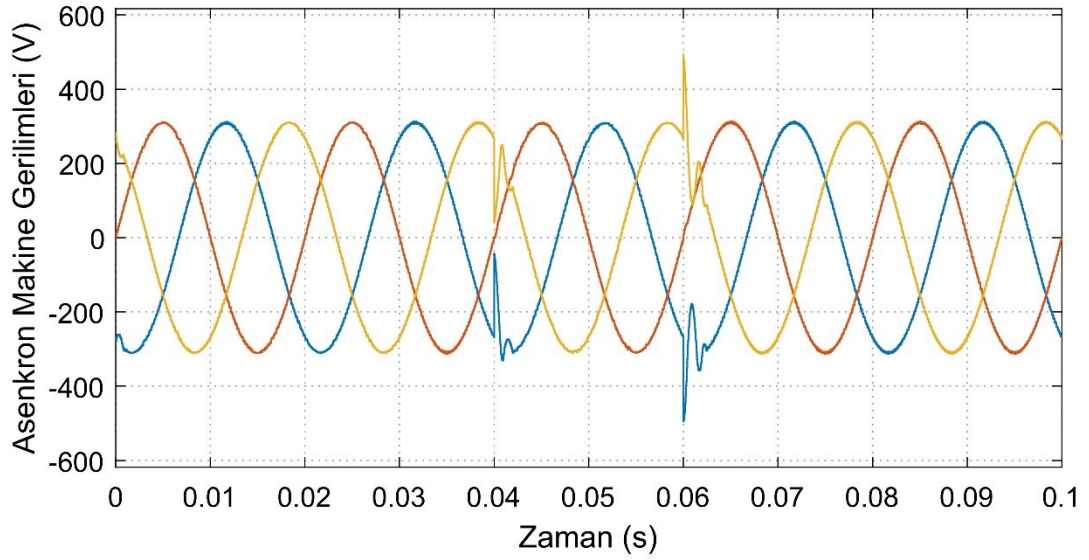
4.3. Sistemin Elektriksel Sonuçları

4.3.1. Sistemin gerilim performansı

Sistemde %80 büyüklüğünde, 0,02 saniye süreli, 0,04. saniyede başlayıp 0,06. saniyede biten gerilim sarkmasıyla çalışan asenkron motordaki gerilim değerleri Şekil 4.5. ve Şekil 4.6.'da gösterilmiştir. DVR sisteminin asenkron makinedeki gerilimleri düzeltirken büyük miktarda ve anlık değişimlere sebep olabilmektedir. Yük gerilimlerinde genliği değişken osilasyonlara sebep olmuştur.



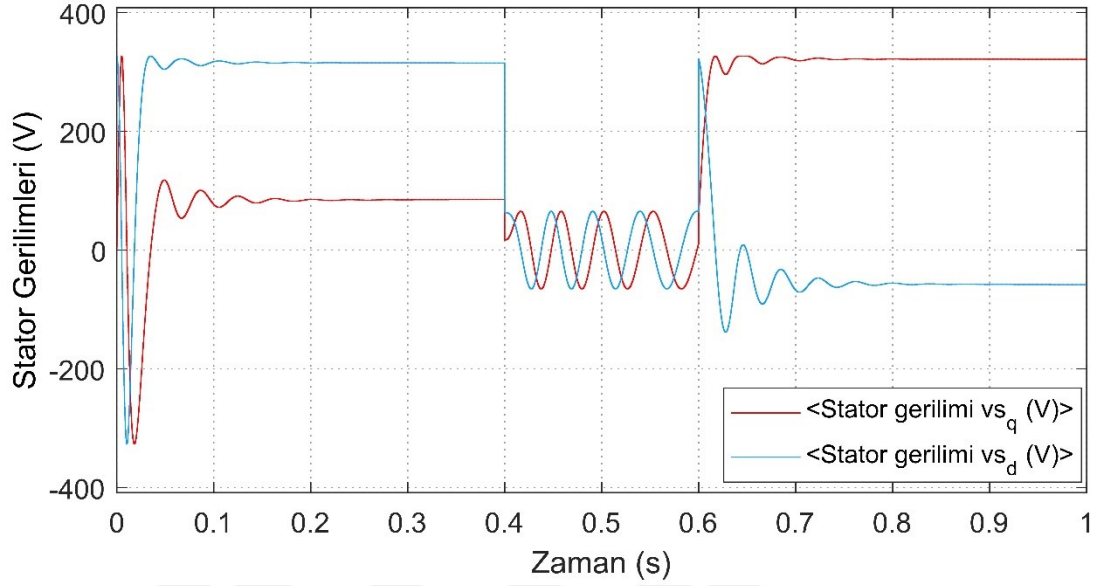
Şekil 4.5. Gerilim sarkması durumunda asenkron makine gerilimi



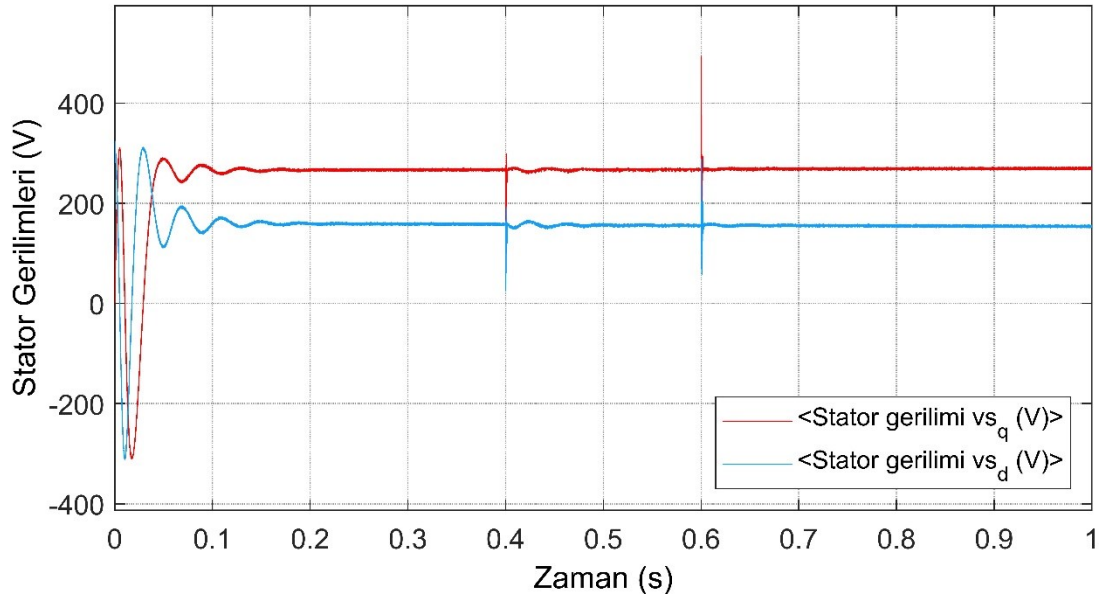
Şekil 4.6. DVR sisteminin aktif edilmesi durumunda asenkron makine gerilimi

Stator gerilimleri d ve q eksenini olmak üzere 2 faz olarak sunulmuştur. Gerilim sarkmasından asenkron makinenin stator geriliminin fazları birbirinden ayrı etkilenmiştir. Farklı büyüklükteki iki faz gerilimleri, sarkma sırasında aynı seviyelere yaklaşmıştır. V_{sq} gerilimi, sarkma sonucunda 32 V seviyesine yükselmiştir. V_{sd} gerilimi nominal değerlerinden çok azalıp -54 V seviyesine inmiştir. DVR sistemini aktifleştirmek d eksenindeki stator gerilimini, gerilim sarkmasının başlangıç ve bitiş anlarında sırasıyla 298,7 V ve 493,8 V değerlerine çıkarmıştır. Diğer zamanlarda

gerilim sarkmasına karşı DVR sistemi, stator gerilimlerini oldukça değiştirmiştir (Şekil 4.7. ve Şekil 4.8.).



Şekil 4.7. DVR aktif değil iken sistemin stator gerilimleri (V) değerleri



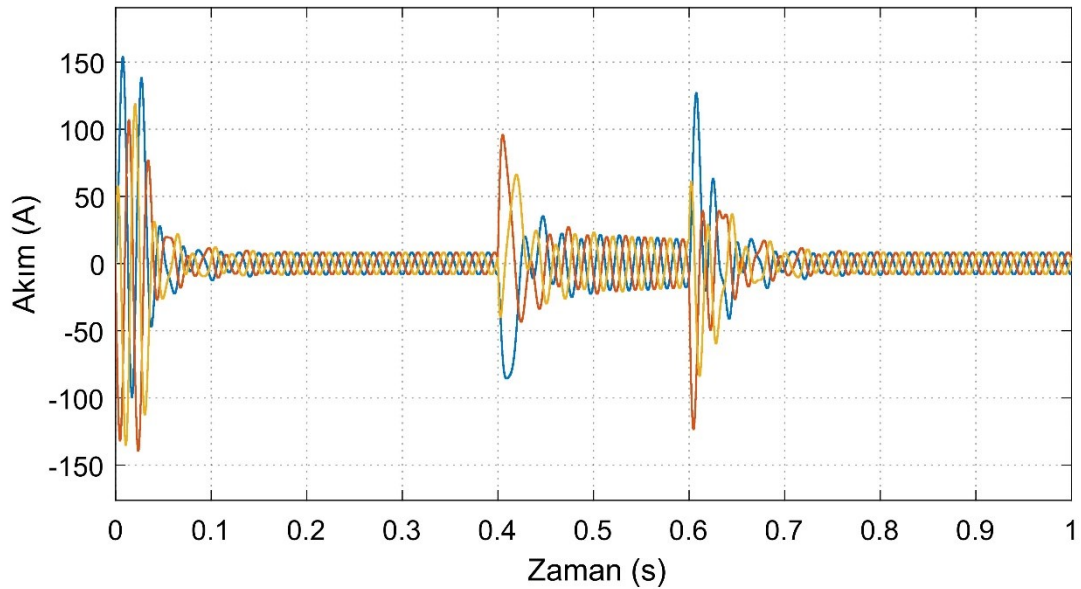
Şekil 4.8. DVR aktif iken sistemin stator gerilimleri (V) değerleri

Stator gerilimlerinde, DVR aktifleştirilince asenkron makine gerilimlerine benzer olarak arıza başlangıcında ani gerilim düşümü ve arıza sonunda ani gerilim yükselmesi meydana gelmiştir. Eksenleri ‘d’ ve ‘q’ olan stator gerilimleri, mutlak büyüklük

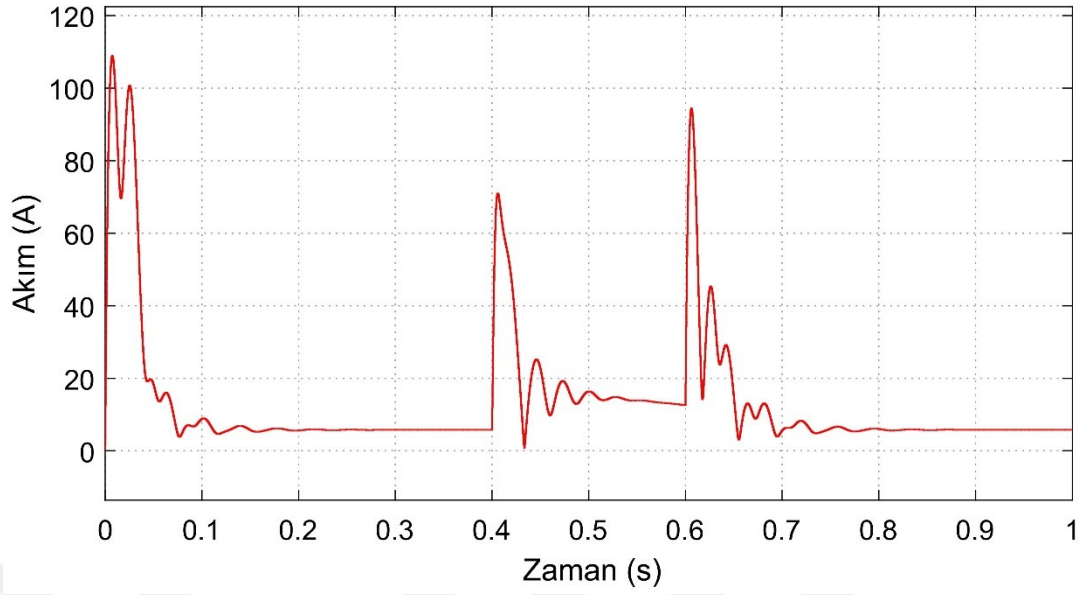
olarak şebeke gerilimiyle aynıdır. DVR sistemi aktifleştince stator gerilimlerinde küçük gürültüler, aynı zamanda gerilim dalgasındaki bundan dolayı meydana gelen kalınlaşmalar görülmektedir. Asenkron makinenin statorunda, arıza başlangıç ve bitiş anlarında meydana gelen değişimler çift yönlüdür.

4.3.2. Sistemin akım performansı

Asenkron motorun akımları, DVR sisteminin olmadığı ve olduğu durum için sırasıyla Şekil 4.9. ve Şekil 4.11.'de gösterilmektedir. Asenkron motorun akımlarının etkin değeri Şekil 4.10. ve Şekil 4.12. 'de hesaplanmıştır. Bunlar için 0,2 saniye süreli, 0,4. saniyede başlayıp 0,6. saniyede biten %80 büyüklüğündeki gerilim sarkması seçilmiştir. Sistemde DVR olmadığı zaman gerilim sarkması durumunda akım yükselmiştir. Akımların en yüksek değerleri arıza sonlarında gerçekleşmektedir. Asenkron makinenin akımlarının fazlarından birinin değeri 126,9 A olarak en yüksek değerine ulaşmıştır. En yüksek etkin değer ise 94,39 A'dır. Gerilim sarkmasının ortasında, 0,5. saniyede asenkron makinenin akımının etkin değeri 16,37 A'dır.

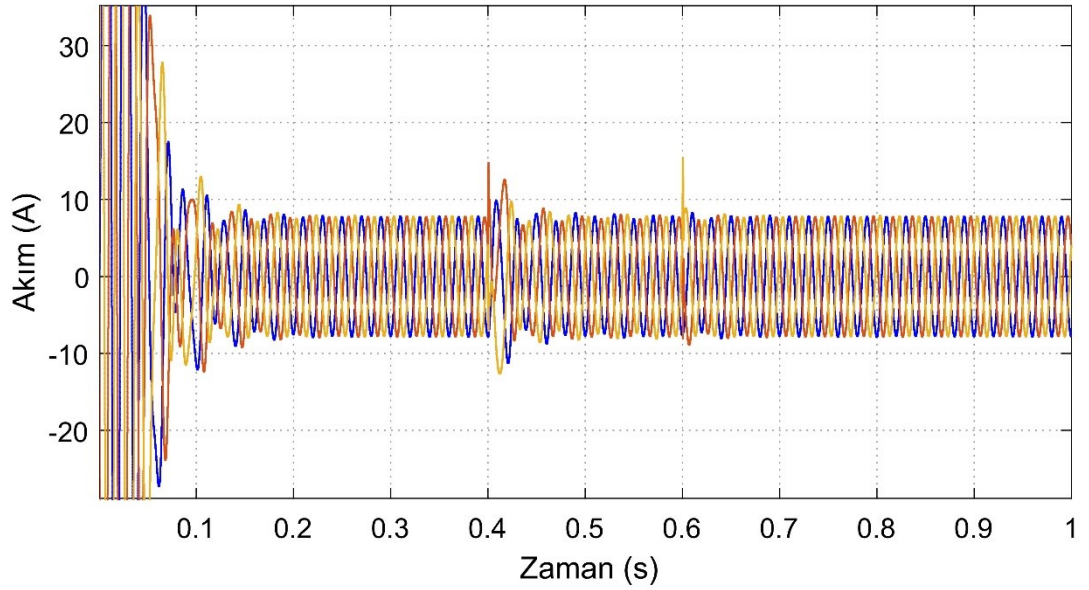


Şekil 4.9. DVR aktif değil iken asenkron makinenin akım (A) değerleri

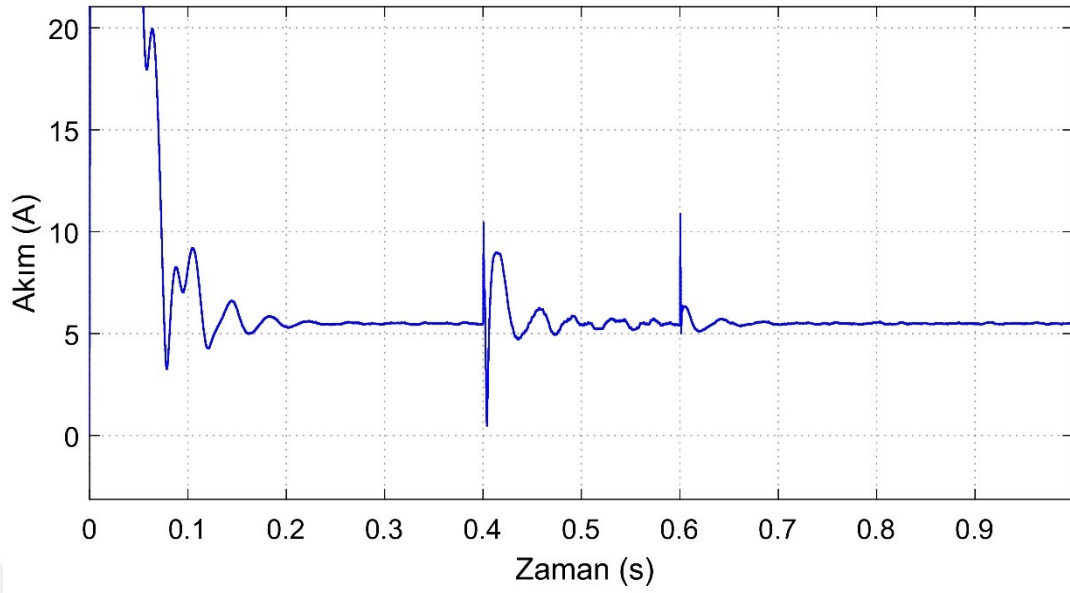


Şekil 4.10. DVR aktif değil iken asenkron makinenin akım (A) değerlerinin etkin değeri

Sistemde DVR kullanılması durumunda asenkron makinenin akımının en yüksek değerinin etkin değeri 10,88 A'dır. Akım fazlarının içindeki en yüksek değer ise 15,38 A'dır. DVR sistemi kullanmak gerilim sarkmasının en yüksek değerini %88,48 azaltmıştır.



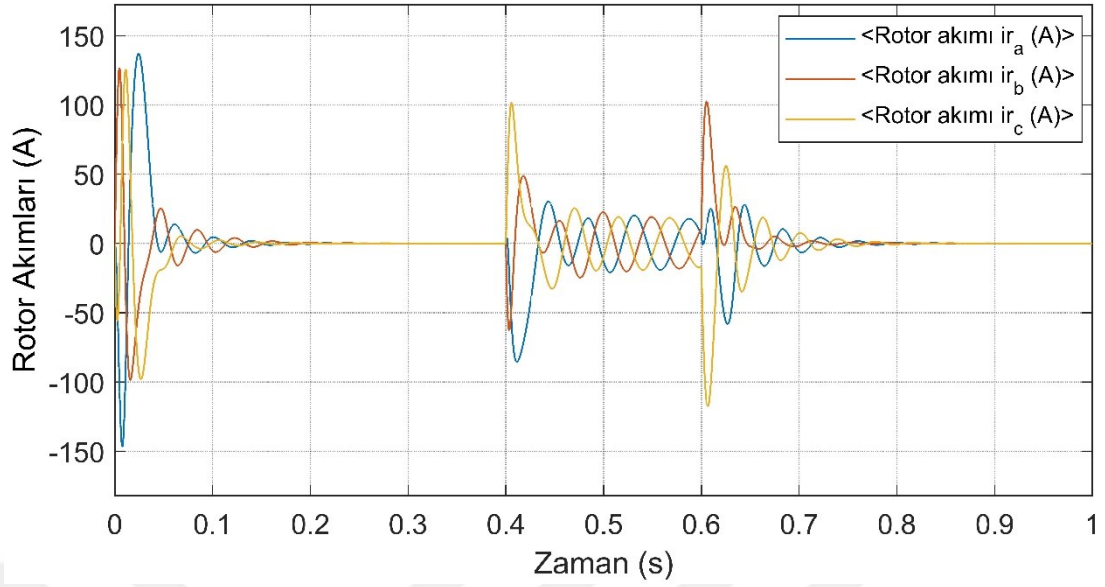
Şekil 4.11. DVR aktif iken asenkron makinenin akım (A) değerleri



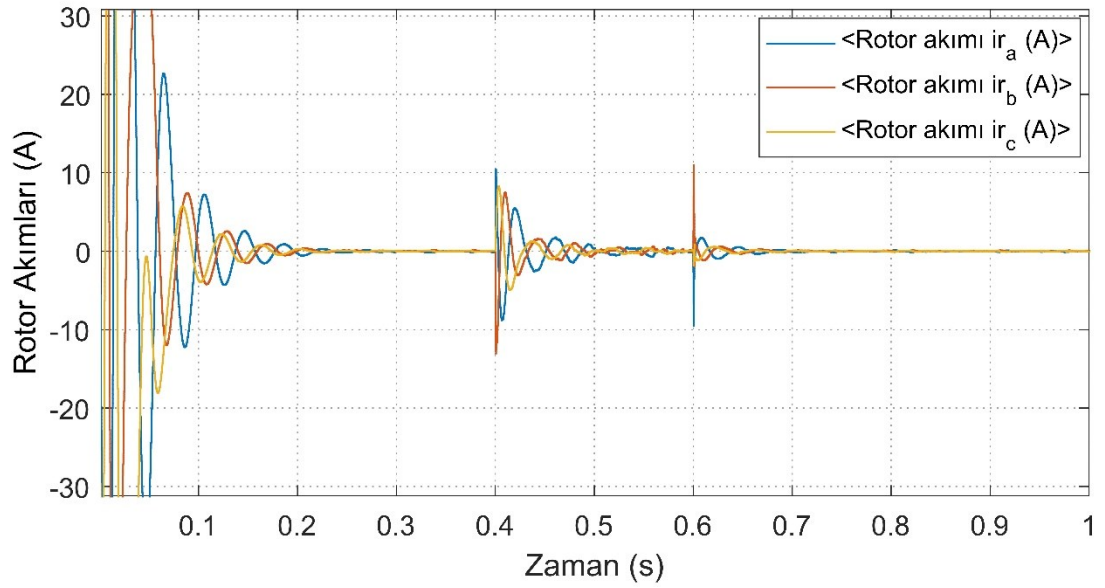
Şekil 4.12. DVR aktif iken asenkron makinenin akım (A) değerlerinin etkin değeri

4.3.2.1. Asenkron makine akımının duyarlılıkları

Sistem, %80 büyüklüğünde, 0,02 saniye süreli, 0,4. saniyede başlayıp 0,6. saniyede biten gerilim sarkmasıyla çalıştırılmıştır. Rotor akımları, DVR sisteminin olmadığı ve olduğu durum için sırasıyla Şekil 4.13. ve Şekil 4.14. 'te gösterilmektedir. Rotor akımı ani bir şekilde 101,4 A'e çıkmıştır. Ardından 22,63 A genliğinden başlayıp azalan osilasyon yapmaya başlamıştır. Gerilim sarkmasının ortasına denk gelen 0,5. saniyede osilasyon durmuştur. Gerilim sarkmasının sonu olan 0,6. saniyede aniden tekrar osilasyona başlamıştır. DVR sistemi kullanmak başlangıç ve bitişteki akım değerlerini sırasıyla 10,47 A ve 10,99 A altına çekmiştir. Gerilim sarkması ortasındaki rotor akımının genliği yaklaşık 0,37 A değerinin altına inmiştir.



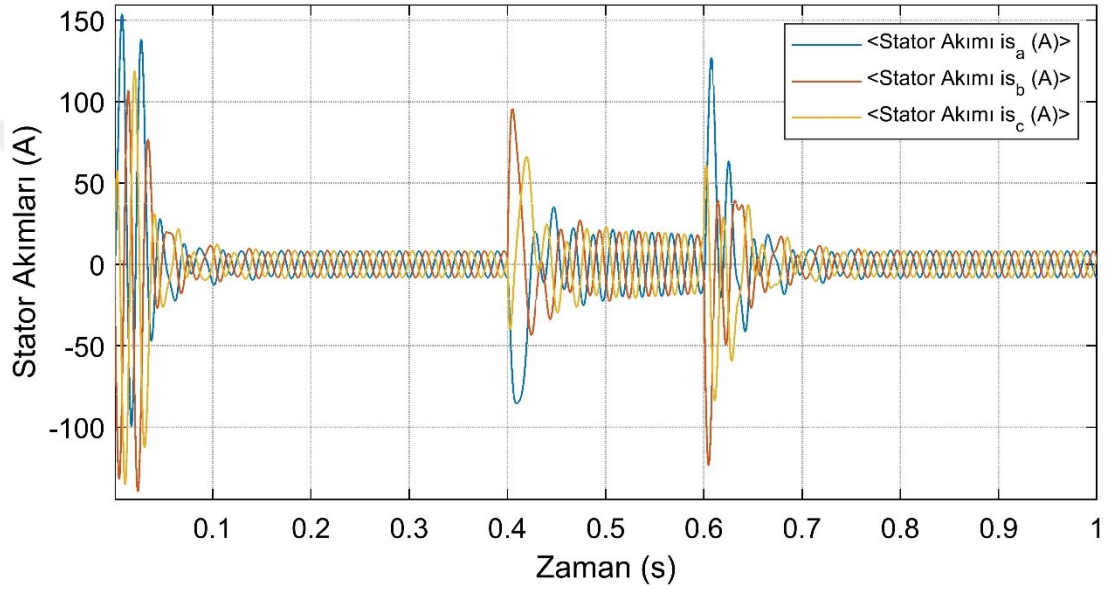
Şekil 4.13. DVR aktif değil iken asenkron makinenin rotor akımları (A) değerleri



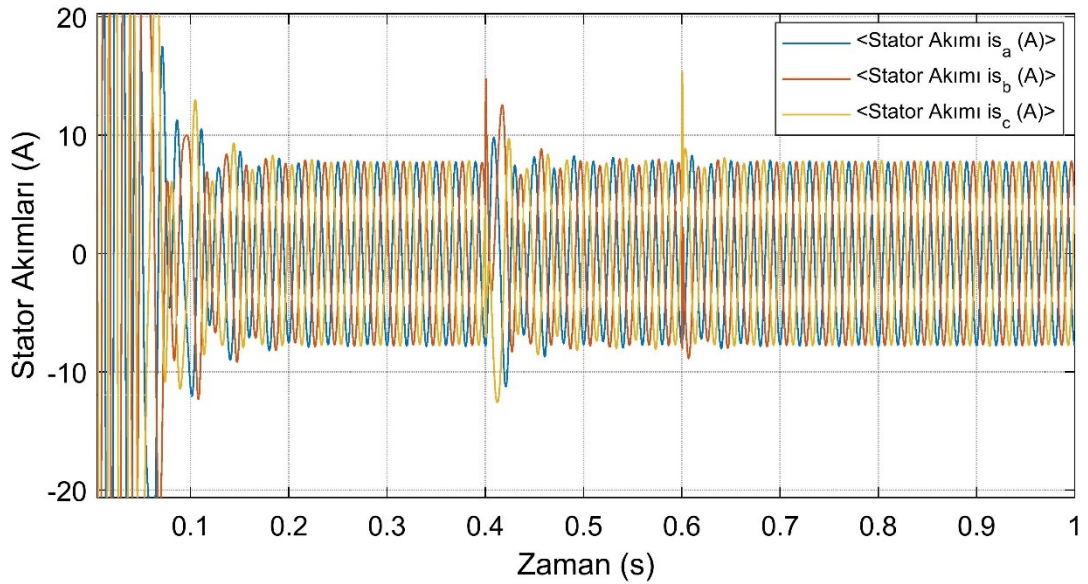
Şekil 4.14. DVR aktif iken asenkron makinenin rotor akımları (A) değerleri

Asenkron motordaki stator akımı değerleri Şekil 4.15. ve 4.16.'da gösterilmiştir. İlk önce DVR'nin aktif olmadığı sistem, sonra ise DVR'nin aktif olduğu sistemin sonuçları verilmiştir. Şekil 4.16.'da görüldüğü üzere stator akımları rotor akımlarından daha az etkilenmiştir.

Stator akımları, rotor akımlarına benzer olarak gerilim sarkmasının başlangıcında ani yükselme ve gerilim sarkması ortasına kadar osilasyon göstermiştir. Stator akımlarının nominal değeri yaklaşık 8,5 A'dır. Gerilim sarkması başlangıcında stator akımı 95,76 A değerine ulaşmıştır. Gerilim sarkması sonunda stator akımının genliği 126,9 A'e kadar yükselmiştir. DVR sistemi aktifleştince stator akımları neredeyse normal haline dönmüştür. Sadece gerilim sarkması başlangıcında ve sonunda akımda 16 A'e kadar yükselme oluşmuştur. Stator akımları, asenkron makinenin akımına eşittir.



Şekil 4.15. DVR aktif değil iken asenkron makinenin stator akımları (A) değerleri

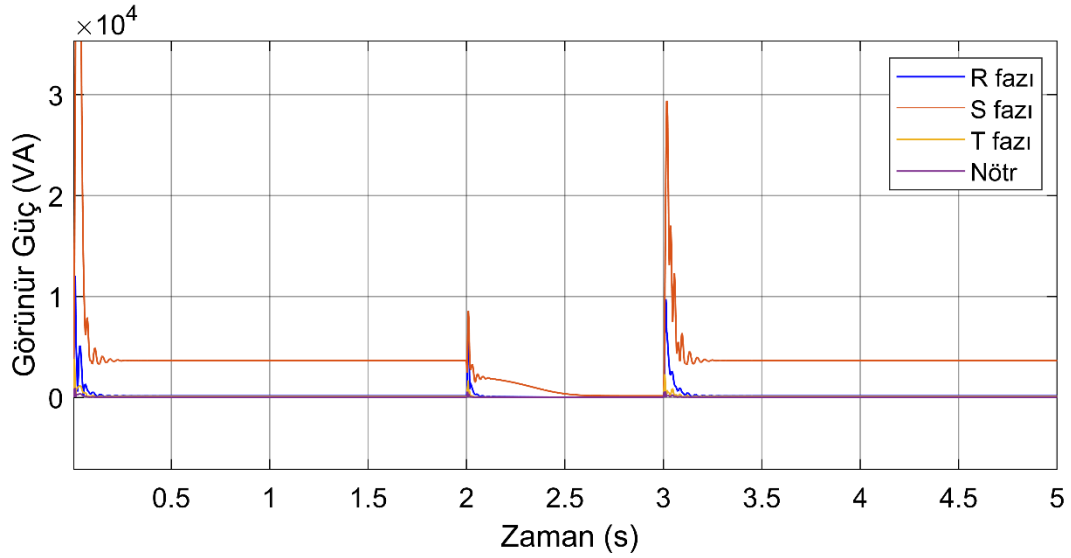


Şekil 4.16. DVR aktif iken asenkron makinenin stator akımları (A) değerleri

4.3.3. Yük güçlerinin duyarlılıkları

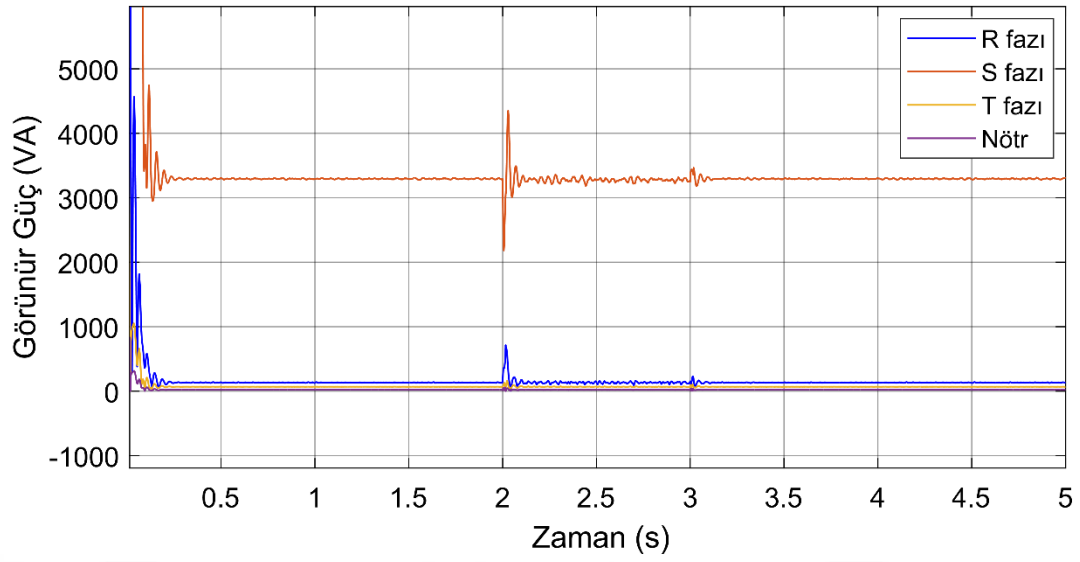
4.3.3.1. Asenkron makine 3 fazlı görünür gücünün duyarlılıkları

Asenkron makinenin DVR sistemi yok iken, şebekeden çekilen toplam güç olan görünür gücü Şekil 4.17.'de gösterilmektedir. Şekil 4.17.'deki görünür güç grafiği %80 büyüklüğünde, 1 saniye süreli, 2. saniyede başlayıp 3. saniyede biten gerilim sarkmasına karşı elde edilmiştir. Asenkron makinenin görünür güçleri arıza esnasında azalmıştır.



Şekil 4.17. DVR aktif değil iken sistemin görünür gücünün (VA) değerleri

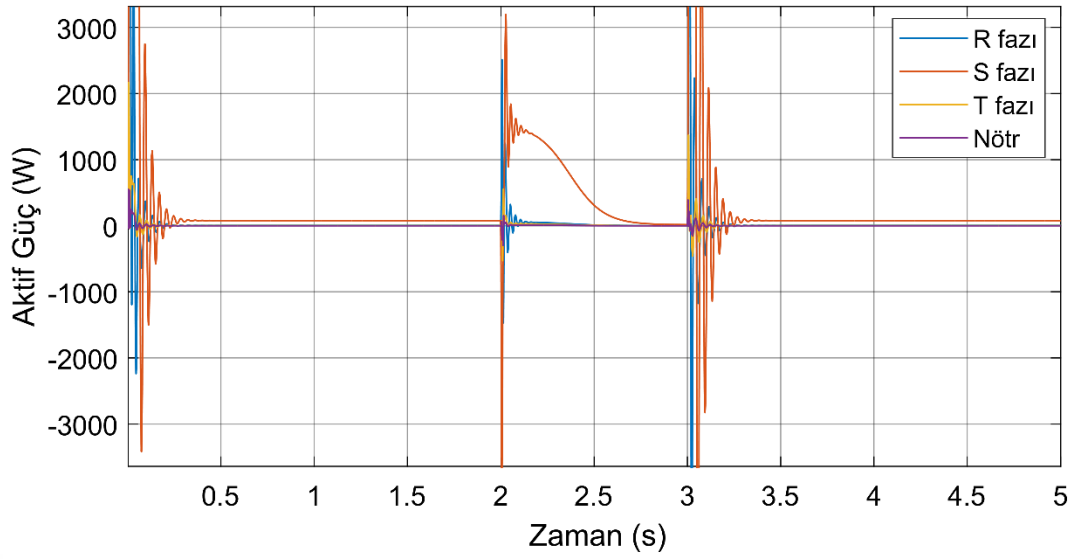
DVR sistemi kullanıldıktan sonraki görünür güç Şekil 4.18.'de gösterilmektedir. Asenkron makine büyük ölçüde nominal görünür gücüne ulaşmıştır. DVR kullanıldıktan sonra ani güç yükselmesi arıza başlangıcında meydana gelmiştir.



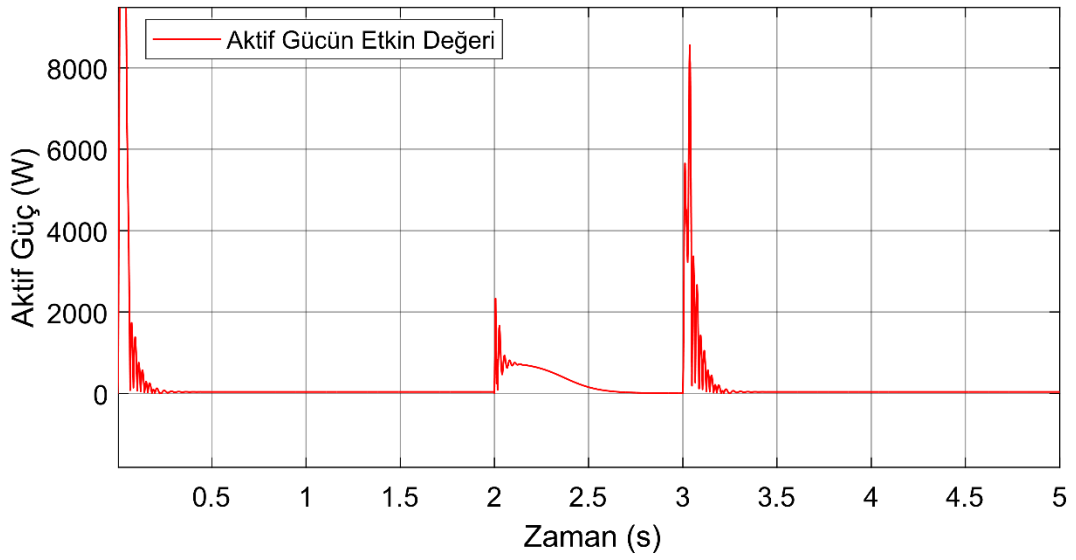
Şekil 4.18. DVR aktif iken sistemin görünür gücünün (VA) değerleri

4.3.3.2. Asenkron makine 3 fazlı aktif gücünün duyarlılıkları

Asenkron makinenin DVR sistemi yok iken aktif gücü Şekil 4.19.'da gösterilmektedir. Şekil 4.19.'daki aktif güç grafiği %80 büyüklüğünde, 1 saniye süreli, 2. saniyede başlayıp 3. saniyede biten gerilim sarkmasının sonunda elde edilmiştir. Arıza sonunda sistemin en büyük aktif gücü 7,405 kW çıkmıştır. Aktif güçlerdeki asıl bozulma arıza sonunda olduğu saptanmıştır. Sistemin nominal aktif gücünün faz büyüklükleri sırasıyla 3,152 W, 78,81 W ve 1,608 W'dır. Sistemin aktif güçleri arıza öncesinden önce aşırı yükselmişken, arıza sonrasında düşmüştür. Sistemdeki aktif gücün etkin değerleri Şekil 4.20.'de görülmektedir.

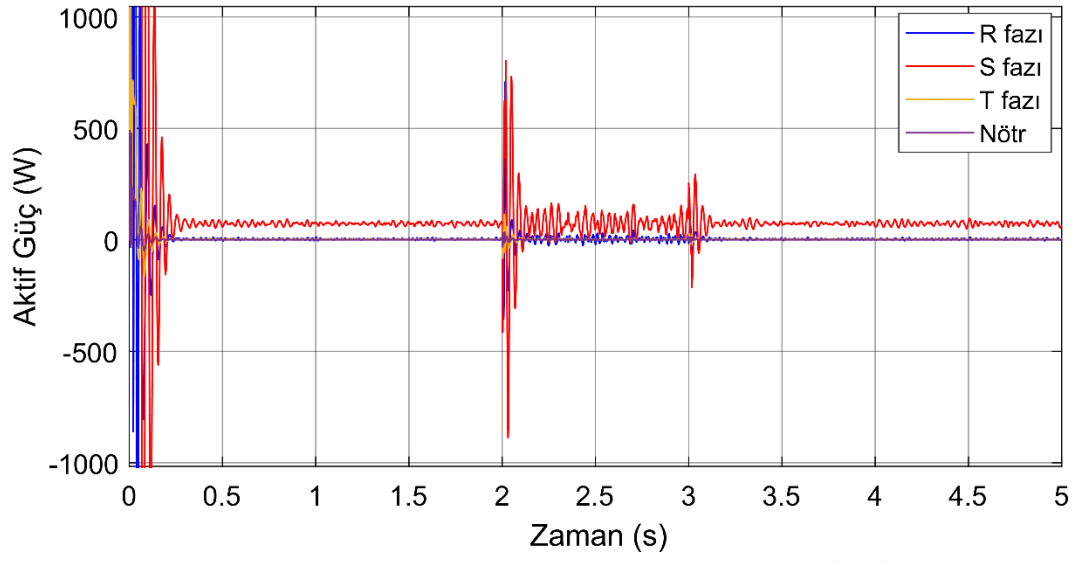


Şekil 4.19. DVR aktif değil iken sistemin aktif gücünün (W) değerleri

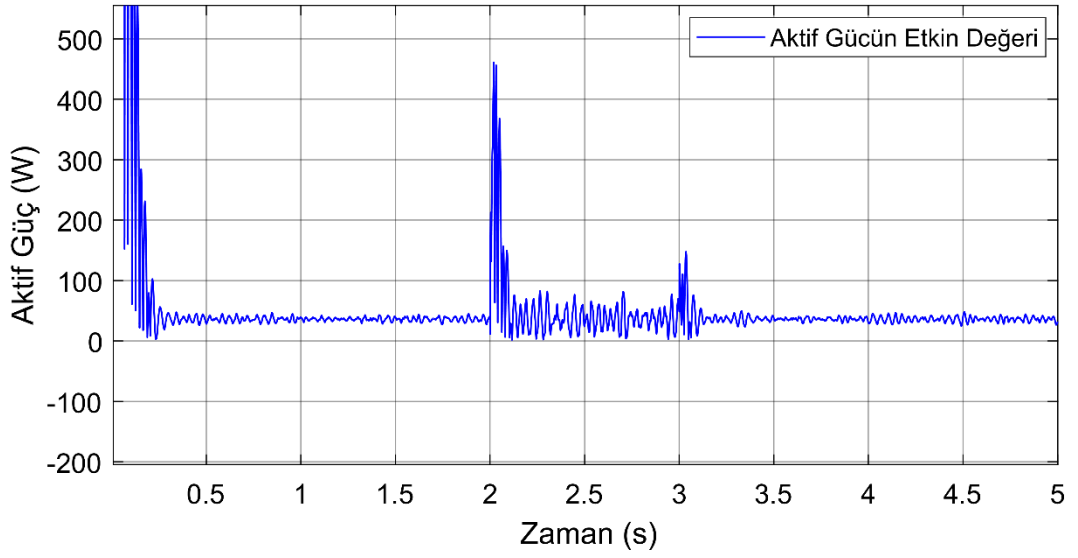


Şekil 4.20. DVR aktif değil iken sistemin aktif gücünün (W) etkin değerleri

DVR sistemi kullanıldıktan sonra aktif güç ve aktif gücün etkin değeri sırasıyla Şekil 4.21. ve Şekil 4.22.'de gösterilmektedir. DVR sistemi kullanılmadan önce asenkron makinedeki arıza etkisi arıza sonunda meydana gelirken, DVR kullanıldıktan sonra arıza etkisi arıza başlangıcında meydana gelmektedir. KSGS, asenkron makinenin çektiği aktif gücü çok arttırmıştır (Tablo 4.5.).



Şekil 4.21. DVR aktif iken sistemin aktif gücünün (W) değerleri



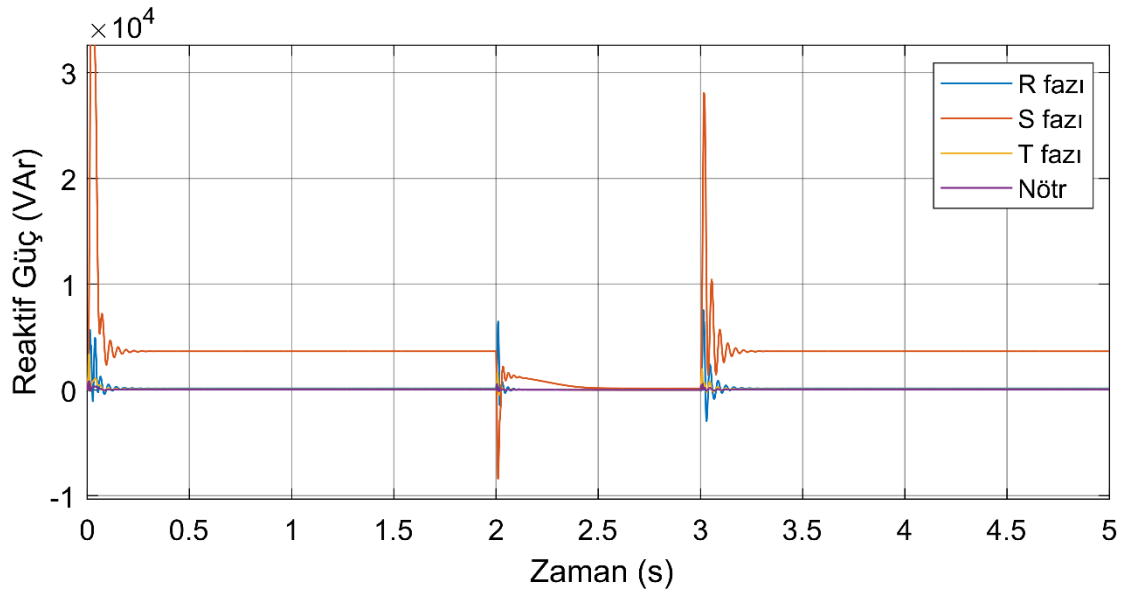
Şekil 4.22. DVR aktif iken sistemin aktif gücünün (W) etkin değerleri

Tablo 4.5. DVR aktif iken sistemin aktif gücünün (W) etkin değeri

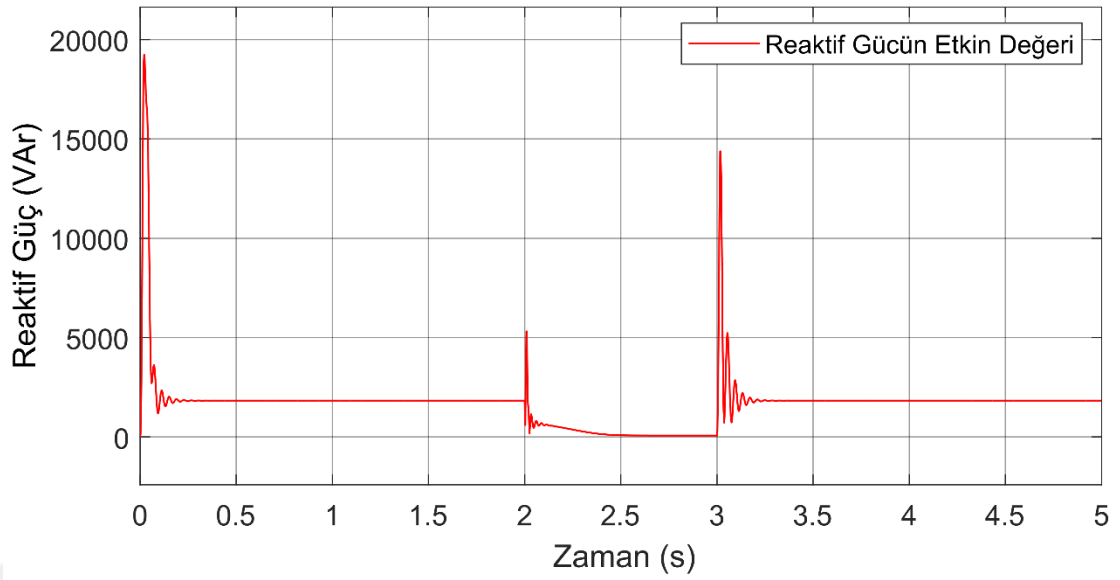
Sarkma Süresi (sn)	Sarkma Büyükülüğü(%)				
	10%	30%	50%	70%	90%
0.5	52.29	117.1	229.0	378.0	552.3
0.75	59.50	127.6	269.5	476.5	783.2
1	54.30	113.8	231.6	374.9	570.6
1.25	56.20	114.3	260.5	474.6	743.5
1.5	63.46	134.2	255.8	413.5	594.0

4.3.3.3. Asenkron makine 3 fazlı reaktif gücünün duyarlılıkları

Asenkron makinenin DVR sistemi yok iken duyarlılığı Şekil 4.23.'te gösterilmektedir. Arıza, 1 saniye süreli %80 büyüklükte gerilim sarkmasıdır ve 2. saniyede başlayıp 3. saniyede bitmektedir. Reaktif güç arıza başlangıcında azalmıştır. Arıza sonrasında 30 kVA ulaşan osilasyon göstermiştir. Şekil 4.24.'te gösterildiği gibi reaktif gücün etkin değeri 15 kVAr değerine çıkmıştır. Arıza ortasından sonra etkin değeri 72,90 VAr değerine inmiştir.

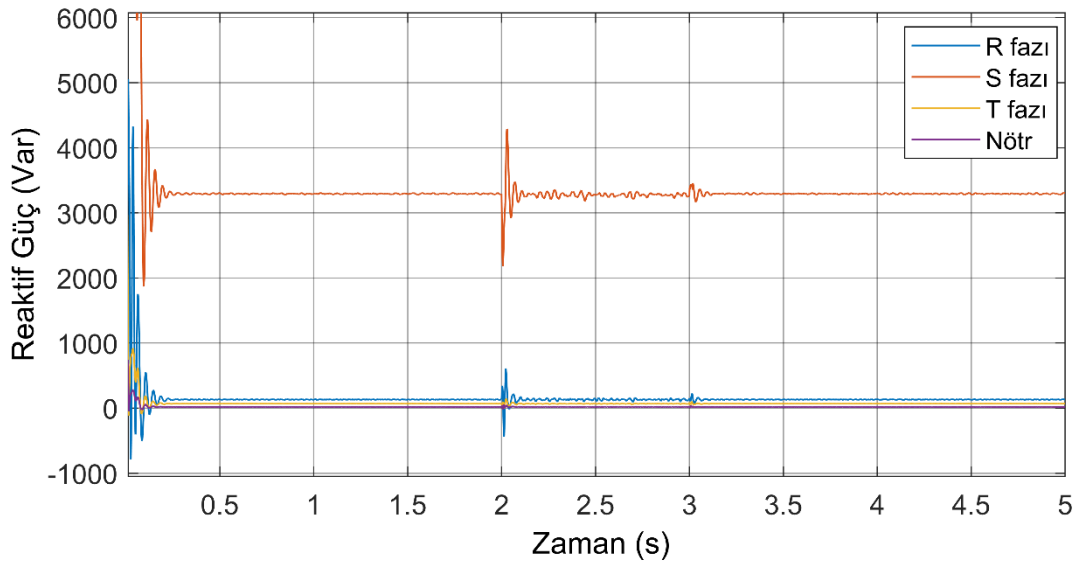


Şekil 4.23. DVR aktif değil iken sistemin reaktif gücünün (VA) değerleri

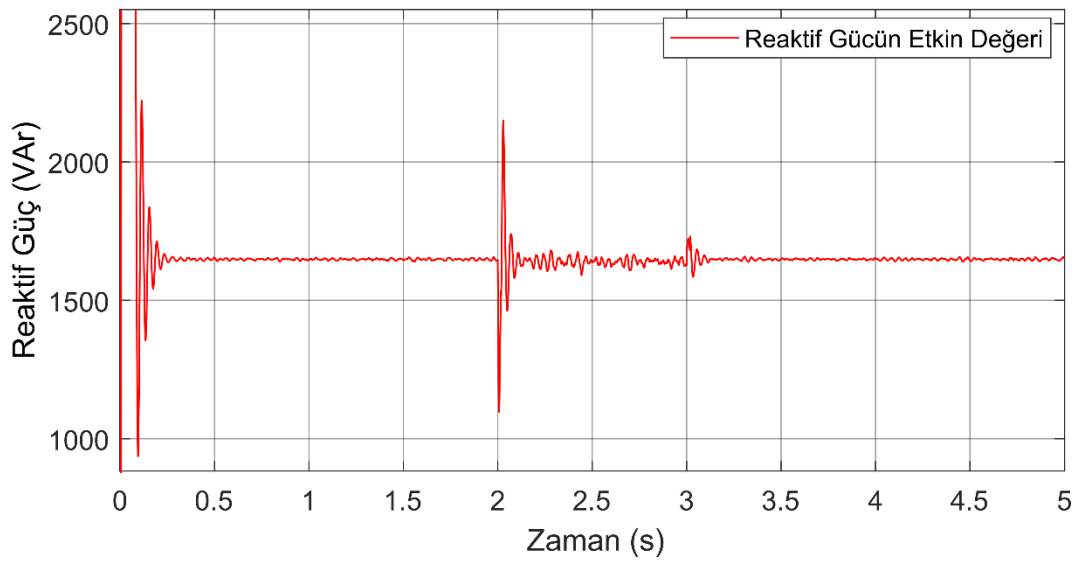


Şekil 4.24. DVR aktif değil iken sistemin reaktif gücünün (VAr) etkin değerleri

DVR sistemi kullanıldıktan sonra sistemin reaktif gücü Şekil 4.25.'te gösterilmektedir. Reaktif gücün etkin değeri Şekil 4.26.'da gösterilmektedir. Sistemdeki bozucu osilasyonların özellikle arıza başlangıcında meydana geldiği saptanmıştır. DVR sistemi kullanmak bozucu etkileri azaltmıştır.



Şekil 4.25. DVR aktif iken sistemin reaktif gücünün (VAr) değerleri



Şekil 4.26. DVR aktif iken sistemin reaktif gücünün (VAr) etkin değerleri

DVR sistemi kullandıktan sonra reaktif güç artımı arıza başlangıcında olmaktadır. Arıza başlangıcında (2,029 sn) reaktifin gücün en yüksek faz değeri 4290 VAr değerine ulaşmıştır. Arıza ortasında bu fazın değeri 3269 VAr'dir. DVR sistemi kullanmak reaktif gücün en yüksek değerinin etkin değerini 2150 VAr değerine indirmiştir.

4.3.4. Yükün arıza zamanına göre duyarlılıkları

Arızanın başlangıç, bitiş ve orta noktaları için yük barası incelenmiştir. Elde edilen verilen Tablo 4.6.'da gösterilmektedir. Asenkron makinenin nominal elektromanyetik torku 0,079 Nm'dir. Örnek olarak alınan %80 büyüklüğünde ve 1 saniye süreli gerilim sarkması meydana geldiğinde asenkron makinenin elektromanyetik torku arıza ortasında 1,919 Nm'ye yükselmiştir. Arıza ve başında sonunda ise -243,5 Nm ve 137,7 Nm genliğine ulaşan osilasyonlar oluşturmuştur. DVR sistemi kullanınca arıza ortasındaki elektromanyetik tork 1,034'dir. DVR arızanın etkisini %46,2 azaltmıştır. En büyük osilasyon genliği ise sırasıyla -40,26 Nm ve 30,96 Nm'dir. DVR'nin arıza düzeltme oranları sırasıyla %83,47 ve %77,52 olarak hesaplanır.

Asenkron makinenin nominal akımının etkin değeri 5,780 A'dir. Arıza ortasında bu değer 2,669 A değerine düşmüştür. Arıza başlangıcında ve sonunda genliği 70,96 A ve 86,96 A olan osilasyonlar meydana gelmiştir. DVR ile arıza ortası akım 5,417 A'dir.

DVR sistemi akımı %93,72 başarı ile düzeltmiştir. DVR ile osilasyonlar 10,70 A ve 10,26 A genliğindedir.

Tablo 4.6. Arızaya karşı yük parametreleri

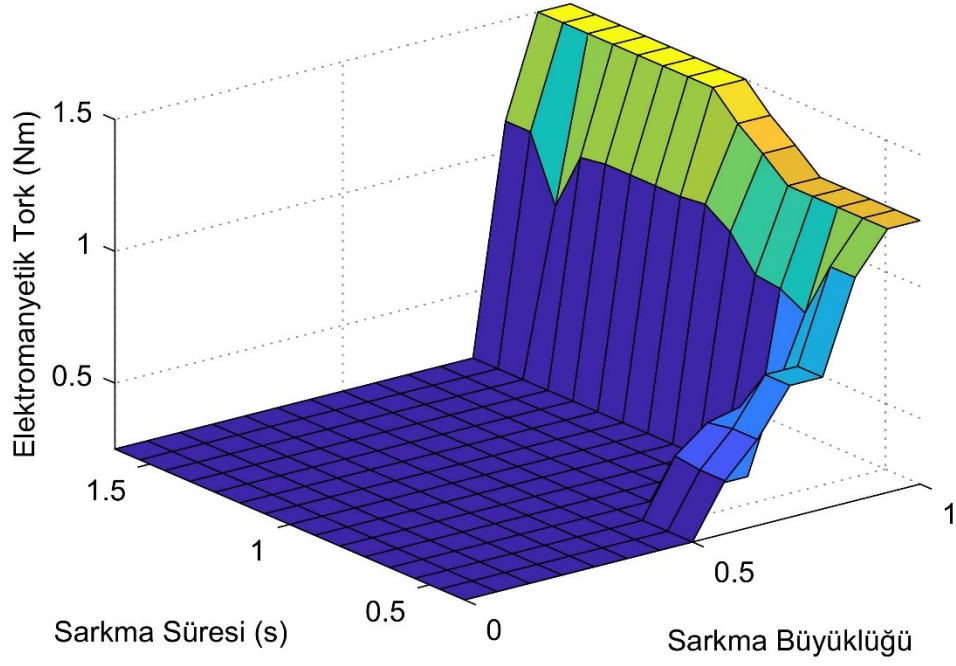
Parametre	Nominal Değer	Arızanın Zamanı	DVR Aktif Değil	DVR Aktif
Elektromanyetik tork	0,079 Nm	Başlangıç	-243,5 Nm	-40,26 Nm
		Orta	1,919 Nm	1,034
		Bitiş	137,7 Nm	30,96 Nm
Rotor Hızı	157,1 rad/s	Başlangıç	79,87 rad/s	155,5 rad/s
		Orta	151,2 rad/s	157 rad/s
		Bitiş	176 rad/s	157 rad/s
Gerilim	230,9 V	Başlangıç	46,19 V	35,65 V
		Orta	46,19 V	218,8 V
		Bitiş	230,9 V	403,1 V
Akım	5,78 A	Başlangıç	70,96 A	10,70 A
		Orta	2,699 A	5,417 A
		Bitiş	86,96 A	10,26 A
Aktif Güç	78,81 W	Başlangıç	4002 W	460,9 W
		Orta	311,2 W	26,27 W
		Bitiş	16,97 kW	147,7 W

4.4. Sistemin Bulanık Mantık Çıktıları

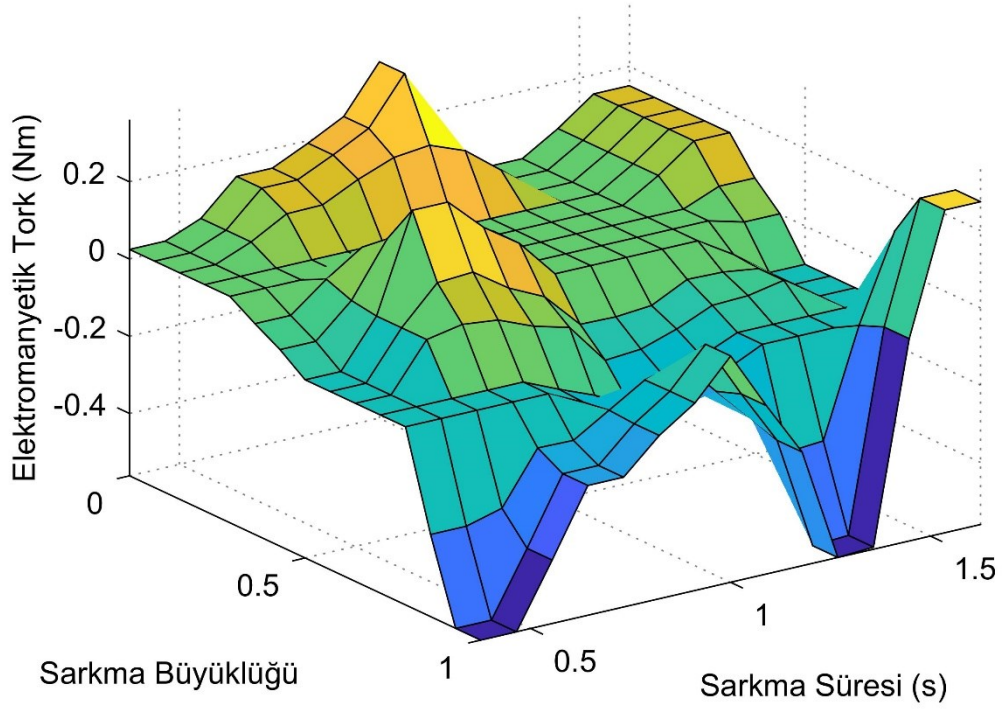
4.4.1. Elektromanyetik tork çıkışı

DVR sisteminin durumuna göre elektromanyetik tork değerleri Şekil 4.27. ve Şekil 4.28.'de gösterilmektedir. Arıza büyüklüğünün artması asenkron makinedeki elektromanyetik tork değerini en başta etkilememiştir. Yüksek genlikli arızalarda asenkron makinenin elektromanyetik değeri ani artmıştır.

DVR sistemi kullanınca, asenkron motorun elektromanyetik torklarda ani yükselmeler azalıp, küçük genlikli osilasyonlar ile devam etmiştir. Asenkron motorun elektromanyetik torkundaki arıza etkisi çok azalmıştır.



Şekil 4.27. DVR aktif değilken sistemin elektromanyetik tork (Nm) duyarlılığının bulanık mantık çıktıları

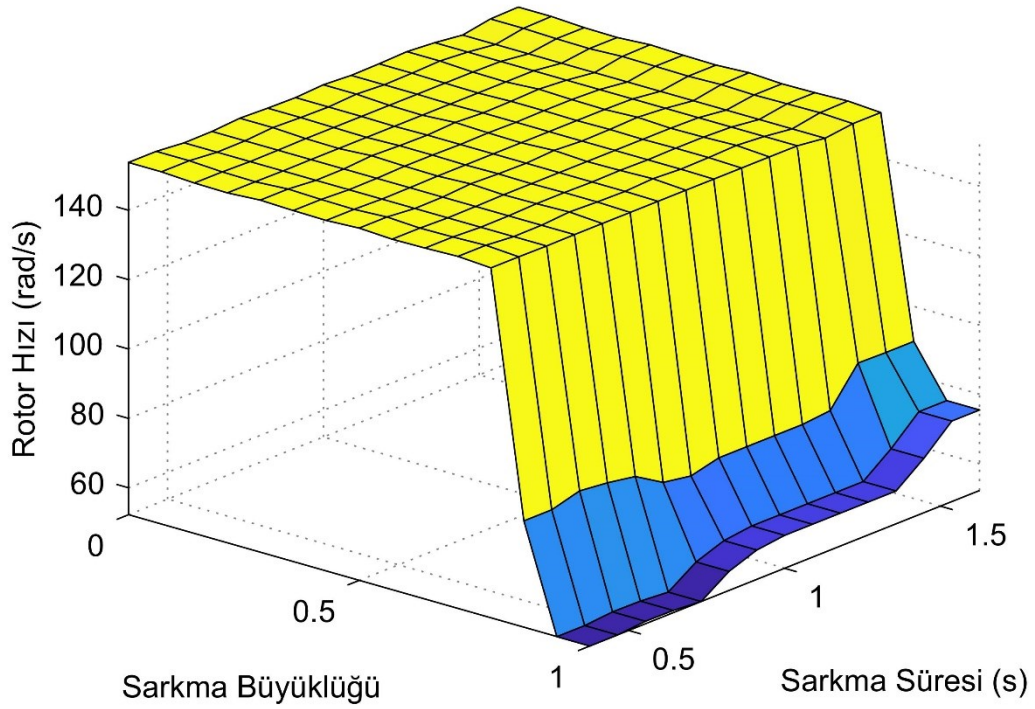


Şekil 4.28. DVR aktifken sistemin elektromanyetik tork (Nm) duyarlılığının bulanık mantık çıktıları

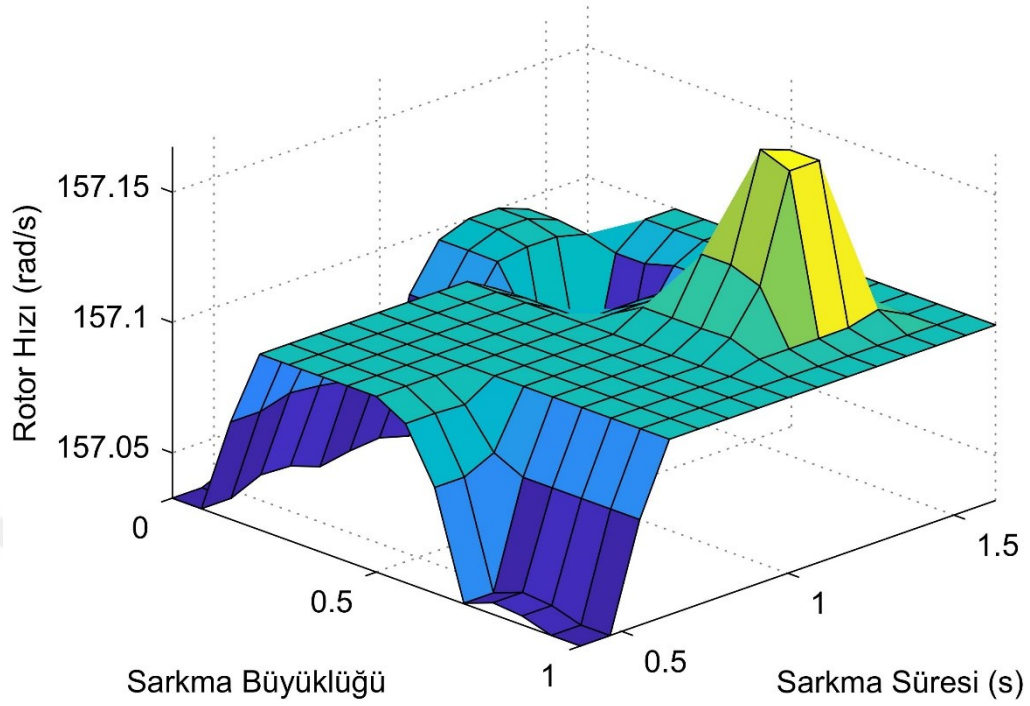
4.4.2. Rotor hızı çıkışı

DVR sisteminin durumuna göre rotor hızı değerleri Şekil 4.29. ve Şekil 4.30.'da gösterilmektedir. Arıza büyüklüğünün artması asenkron makinedeki rotor hızı değerini en başta etkilememiştir. Yüksek genlikli arızalarda asenkron makinenin elektromanyetik değeri ani azalmıştır.

DVR sistemi kullanınca, asenkron motorun elektromanyetik torklarda ani yükselmeler yaklaşık olarak kaybolmuştur. Rotor hızı değişimleri 0,1 rad/s altına inmiştir.



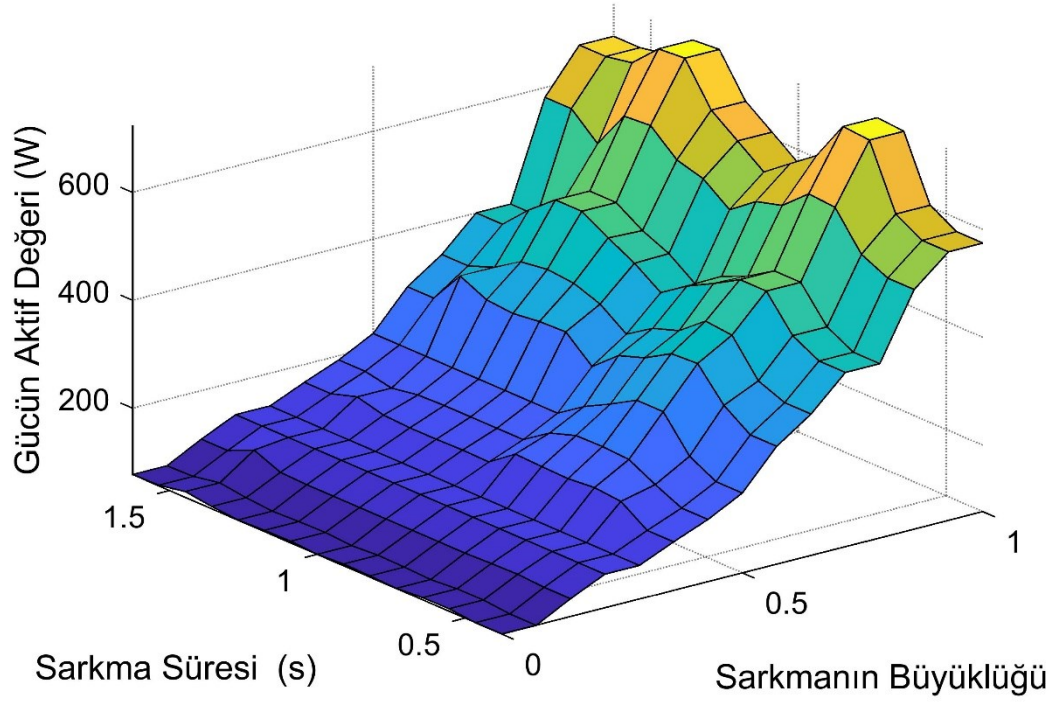
Şekil 4.29. DVR aktif değilken sistemin rotor hızı (rad/s) duyarlılığının bulanık mantık çıktıları



Şekil 4.30. DVR aktifken sistemin rotor hızı (rad/s) duyarlılığının bulanık mantık  ıktıları

4.4.3. G    ıkışı

Sistemin DVR kullanıldıktan sonra sistemdeki arıza başlangıç ve bitiş kısımlarındaki aşırı yükselme azalmıştır. Arıza ortalarındaki daha az genlikli aşırı g   çekimleri azalmıştır. Verilerin bulanık mantığa aktarılmış hali  ekil 4.31.'deki gibidir. Elde edilen bulanık mantık çıktılarına g  re asenkron makinedeki ani akım ve g   yükselmelerinin büyüklüğü arıza süresinden bağımsızdır. Gerilim sarkmasının büyüklüğünün artması çekilen ani akımları çok arttırmıştır. Arızadan önce ve sonra çekilen en büyük aktif g  ler  ekil 4.19. ve  ekil 4.21.'e g  re sırasıyla 7405 W ve 707,3 W olmaktadır. DVR sistemi, arızanın en büyük etkisini yaklaşık %90,4 azaltmıştır.



Şekil 4.31. DVR aktifken sistemin güç (W) duyarlılığının bulanık mantık çıktıları

DVR performansının arıza süresinden fazla etkilenmediği sonucu saptanmıştır. Büyük gerilim sarkmalarında DVR başarısının azaldığı görülmektedir. DVR sisteminin yük üzerindeki etkileri ilgili parametreler için sunulmuştur.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada gerilim sarkmaları ve tasarlanan DVR sistemine karşı asenkron makinenin duyarlılıkları analiz edilmektedir. Projede kullanılan yazılım Matlab'dır. Bu çalışmada bir şebekenin, iletim hatlarının ve dağıtım hattının modellenmesi gerçekleştirilmiş, arıza ve yük sistemleri kurulmuştur. Yükün bağlı olduğu yük barasında faz-faz-toprak arızası başta olmak üzere çeşitli arızalar yapılmıştır. Bu şekilde arızaların ve yüklerin iç yapısı daha iyi analiz edilip kavranmıştır. Sistemde iletim ve dağıtım hattının kontrolü, doğrultucu ve DVR sistemi devresiyle ayarlanıp sistem optimize edilmiştir. İlgili duyarlılıklar bulanık mantık algoritması kullanılarak sunulmuştur.

Yapılan çalışmadan çıkarılabilecek ana sonuçlar şu şekilde özetlenebilmektedir:

- a. Çalışmanın sonucunda, gerilim sarkmalarının yükte ani gerçekleşen, çok kısa süren, çok büyük genlikli ve genellikle ters yönde olan tork yükselmelerine sebep olduğu bulunmuştur.
- b. Şebekede, gerilim sarkması gerçekleştikten sonra yükte bozucu bir osilasyon oluşmuştur. DVR sisteminin kullanılması, tork yükselmelerinin yönlerini düzeltmiş ve genliklerini azaltmıştır. Gerilim sarkması sonrası osilasyonu çok azaltmıştır.
- c. Şebekedeki gerilim sarkmasının, yükün rotor hızında büyük düşüşe sebep olduğu anlaşılmıştır. DVR sisteminin kullanılması, gerilim sarkmasının rotor hızı üzerindeki etkilerinin neredeyse hepsini ortadan kaldırmıştır.
- d. DVR sistemi, bir gerilim onarıcı olarak başarılıdır. Ancak gerilimde ani, kısa süreli ve yüksek genlikli osilasyonlar meydana getirebilir..

- e. DVR sistemi, yük akımında arızanın ortalarında başarılı iken, arızanın başlangıcında ve sonlarında az başarılıdır.
- f. Yükün gücü, gerilim sarkmasından çok fazla etkilenip yükselmiştir. DVR sistemi, güç onarımında çok başarılı olamamıştır.
- g. Yüklerin, gerilim sarkmasının süresi yerine büyüklüğünden daha çok etkilendiği sonucuna ulaşılmıştır. Gerilim sarkmasında yükün durumu olumsuz olmaktadır. DVR sistemlerinin kullanması, gerilim sarkmalarının yüklerdeki etkilerini büyük miktarda azaltır. Ancak yüklerde beklenmeyen değişiklikler meydana getirebilir.

KAYNAKÇA

- [1] C. Balu and D. Maratukulam, Power system voltage stability. McGraw Hill, 1994.
- [2] T. V. Cutsem and C. Vournas, "Voltage stability of electric power systems," 1998.
- [3] C. J. I. I. Heising, New York, "IEEE recommended practice for the design of reliable industrial and commercial power systems," 2007.
- [4] M. F. McGranaghan, D. R. Mueller, and M. J. J. I. T. o. i. a. Samotyj, "Voltage sags in industrial systems," vol. 29, no. 2, pp. 397-403, 1993.
- [5] E. Babaei and M. F. J. E. P. S. R. Kangarlu, "Sensitive load voltage compensation against voltage sags/swells and harmonics in the grid voltage and limit downstream fault currents using DVR," vol. 83, no. 1, pp. 80-90, 2012.
- [6] C. Benachaiba, B. J. E. P. Q. Ferdi, and U. Journal, "Voltage quality improvement using DVR," vol. 14, pp. 39-46, 2008.
- [7] R. Omar and N. Abd Rahim, "Modeling and simulation for voltage sags/swells mitigation using dynamic voltage restorer (DVR)," in 2008 Australasian Universities Power Engineering Conference, 2008, pp. 1-5: IEEE.
- [8] A. K. Sadigh and K. Smedley, "Review of voltage compensation methods in dynamic voltage restorer (DVR)," in 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2012, pp. 1-8: IEEE.
- [9] F. A. Jowder, "Modeling and simulation of dynamic voltage restorer (DVR) based on hysteresis voltage control," in IECON 2007-33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2007, pp. 1726-1731: IEEE.
- [10] R. H. Salimin and M. Rahim, "Simulation analysis of DVR performance for voltage sag mitigation," in 2011 5th International Power Engineering and Optimization Conference, 2011, pp. 261-266: IEEE.

- [11] M. R. Azim and M. A. J. I. J. o. C. A. Hoque, "A fuzzy logic based dynamic voltage restorer for voltage sag and swell mitigation for industrial induction motor loads," vol. 30, no. 8, pp. 9-18, 2011.
- [12] Vas, Peter. Electrical machines and drives: a space-vector theory approach. Vol. 1. Oxford: Clarendon press, 1992.
- [13] Wildi, Theodore. Electrical machines, drives, and power systems. 2014.
- [14] Vas, Peter. Artificial-intelligence-based electrical machines and drives: application of fuzzy, neural, fuzzy-neural, and genetic-algorithm-based techniques. Vol. 45. Oxford university press, 1999.
- [15] www.elektrik-elektronik.adiyaman.edu.tr, Erişim Tarihi:16.11.2020
- [16] www.emo.org.tr, Erişim Tarihi:22.11.2020
- [17] Vukosavic, Slobodan N. Electrical machines. Springer Science & Business Media, 2012.
- [18] Gerling, Dieter. Electrical Machines. Springer-Verlag Berlin An, 2016.
- [19] A. J. A. C. I. Von Meier, "Electric power systems," 2006.
- [20] Benysek, Grzegorz. Improvement in the quality of delivery of electrical energy using power electronics systems. Springer Science & Business Media, 2007.
- [21] M. Haque, "Compensation of distribution system voltage sag by DVR and D-STATCOM," in 2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings (Cat. No. 01EX502), 2001, vol. 1, p. 5 pp. vol. 1: IEEE.
- [22] www.tr.qaz.wiki, Erişim Tarihi : 10.09.2020
- [23] Benysek, Grzegorz. Improvement in the quality of delivery of electrical energy using power electronics systems. Springer Science & Business Media, 2007.
- [24] Baker, J. N., and A. Collinson. "Electrical energy storage at the turn of the millennium." Power Engineering Journal 13.3 (1999): 107-112.
- [25] www.lightning.ece.ufl.edu/PDF/01516222.pdf, Erişim Tarihi: 11.08.2020
- [26] Saha, Murari Mohan, Jan Jozef Izykowski, and Eugeniusz Rosolowski. Fault location on power networks. Springer Science & Business Media, 2009.

- [27] Tyler, Edward J. 2005 National Electrical Estimator. Craftsman Book Company, 2004.
- [28] DEMİRBAŞ, Şevki, and Sertaç BAYHAN. "GÜÇ SİSTEMLERİNDE HARMONİKLERİN GERÇEK ZAMANLI ÖLÇÜM VE ANALİZİ." Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University 24.3 (2009).
- [29] www.studylibtr.com., Erişim Tarihi: 08.08.2020
- [30] www.ecmweb.com., Erişim Tarihi: 07.08.2020
- [31] Nasle, Adib. "Systems and methods for performing automatic real-time harmonics analyses for use in real-time power analytics of an electrical power distribution system." U.S. Patent No. 8,036,872. 11 Oct. 2011.
- [32] Zygarlicki, Jarosław, and Janusz Mroczka. "Prony's method used for testing harmonics and interharmonics in electrical power systems." Metrology and Measurement Systems 19.4 (2012): 659-672.
- [33] Lavopa, Elisabetta, et al. "Real-time estimation of fundamental frequency and harmonics for active shunt power filters in aircraft electrical systems." IEEE Transactions on Industrial Electronics 56.8 (2009): 2875-2884.
- [34] www.electricalengineeringtoolbox.com., Erişim Tarihi: 17.08.2020
- [35] Das, J. C. Power system analysis: short-circuit load flow and harmonics. Vol. 1. CRC press, 2017.
- [36] Wen, Pan, Qian Yushou, and E. Zhou. "Power Harmonics Measurement Based on Windows and Interpolated FFT (II) Dual Interpolated FFT Algorithms [J]." Transactions of China Electrotechnical Society 2 (1994).
- [37] Abdelaziz, A. Y., S. F. Mekhamer, and Sherif M. Ismael. "Sources and mitigation of harmonics in industrial electrical power systems: State of the art." The Online Journal on Power and Energy Engineering 3.4 (2012): 320-332.
- [38] A. J. A. C. I. Von Meier, "Electric power systems," 2006.
- [39] Bollen, Math HJ. "Fast assessment methods for voltage sags in distribution systems." IEEE Transactions on Industry Applications 32.6 (1996): 1414-1423.
- [40] Bollen, Math HJ. "The influence of motor reacceleration on voltage sags." IEEE Transactions on Industry Applications 31.4 (1995): 667-674.

- [41] Bollen, Math HJ. "Voltage sags: effects, mitigation and prediction." *Power Engineering Journal* 10.3 (1996): 129-135.
- [42] Guasch, Luis, Felipe Córcoles, and Joaquín Pedra. "Effects of unsymmetrical voltage sag types E, F and G on induction motors." *Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No. 00EX441). Vol. 3. IEEE, 2000.*
- [43] Bollen, Math HJ. "Understanding power quality problems." *Voltage sags and Interruptions. IEEE press, 2000.*
- [44] McGranaghan, Mark F., David R. Mueller, and Marek J. Samotyj. "Voltage sags in industrial systems." *IEEE Transactions on industry applications* 29.2 (1993): 397-403.
- [45] Yalcinkaya, G., Math HJ Bollen, and Peter A. Crossley. "Characterization of voltage sags in industrial distribution systems." *IEEE transactions on industry applications* 34.4 (1998): 682-688.
- [46] Yalçinkaya, G., and M. H. J. Bollen. "Stochastic assessment of voltage sags for systems with large induction motor loads." *Universities Power Engineering Conf.. 1994.*
- [47] Bollen, MATH HJ. "The influence of motor re-acceleration on voltage sags." *Proceedings of 1994 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting. Vol. 2. IEEE, 1994.*
- [48] Bollen, Math HJ, et al. "A voltage sag study in a large industrial distribution system." *IAS'96. Conference Record of the 1996 IEEE Industry Applications Conference Thirty-First IAS Annual Meeting. Vol. 4. IEEE, 1996.*
- [49] Llerena, M. T., and R. P. Homrich. "Estimation of the induction machine behaviour subjected to voltage sags." (2006): 286-290.
- [50] McGranaghan, Mark F., David R. Mueller, and Marek J. Samotyj. "Voltage sags in industrial systems." *IEEE Transactions on industry applications* 29.2 (1993): 397-403.
- [51] Franklin, D. C., and A. Morelato. "Improving dynamic aggregation of induction motor models." *IEEE Transactions on Power Systems* 9.4 (1994): 1934-1941.

- [52] Bollen, M. H. J., P. Wang, and N. Jenkins. "Analysis and consequences of the phase jump associated with a voltage sag." Power System Computation Conference, Dresden, Germany. 1996.
- [53] Guasch, Luis, Felipe Córcoles, and Joaquín Pedra. "Effects of unsymmetrical voltage sag types E, F and G on induction motors." Ninth International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No. 00EX441). Vol. 3. IEEE, 2000.
- [54] Bollen, Math HJ. "Characterisation of voltage sags experienced by three-phase adjustable-speed drives." IEEE Transactions on Power Delivery 12.4 (1997): 1666-1671.
- [55] Das, J. C. "Effects of momentary voltage dips on the operation of induction and synchronous motors." IEEE Transactions on Industry Applications 26.4 (1990): 711-718.
- [56] Gomez, Juan C., et al. "Behavior of induction motor due to voltage sags and short interruptions." IEEE Transactions on Power Delivery 17.2 (2002): 434-440.
- [57] Zlomek, M., and J. Drapela. "Experimental assessment of voltage sags effects on induction machine operation." 2005 IEEE Russia Power Tech. IEEE, 2005.
- [58] Zlomek, M. Voltage Sags Effects on Induction Machine Operation. Diss. PhD Thesis, Brno University of Technology, 2004 (in Czech), 2004.
- [59] Kim, Sang-Hoon, and Seung-Ki Sul. "Maximum torque control of an induction machine in the field weakening region." IEEE Transactions on Industry Applications 31.4 (1995): 787-794.
- [60] Stockman, Kurf, et al. "Torque behavior of a RFO induction motor drive under voltage sag conditions." 10th International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No. 02EX630). Vol. 1. IEEE, 2002.
- [61] Gallegos-Lopez, Gabriel, Fani S. Gunawan, and James E. Walters. "Current control of induction machines in the field-weakened region." IEEE Transactions on Industry Applications 43.4 (2007): 981-989.
- [62] Lin, Ping-Yi, and Yen-Shin Lai. "Novel voltage trajectory control for field-weakening operation of induction motor drives." IEEE Transactions on Industry Applications 47.1 (2010): 122-127.

- [63] Mora, Andrés, Pablo Lezana, and Jorge Juliet. "Control scheme for an induction motor fed by a cascade multicell converter under internal fault." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 61.11 (2014): 5948-5955.
- [64] Sahoo, Saroj Kumar, and Tanmoy Bhattacharya. "Field weakening strategy for a vector-controlled induction motor drive near the six-step mode of operation." *IEEE Transactions on Power Electronics* 31.4 (2015): 3043-3051.
- [65] Dong, Zhen, et al. "Flux-weakening control for induction motor in voltage extension region: Torque analysis and dynamic performance improvement." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 65.5 (2017): 3740-3751.
- [66] Kumar, S. Suresh, et al. "A state of the art STATCON for instantaneous VAR compensation and harmonic suppression to enhance power quality." *CIGRE/IEEE PES International Symposium Quality and Security of Electric Power Delivery Systems, 2003. CIGRE/PES 2003.. IEEE, 2003.*
- [67] Choudhry, M. A., K. N. Bangash, and T. Mahmood. "Network simulation with STATCON devices to avoid voltage collapse in the interconnected system." *Proceedings of the IEEE Symposium on Emerging Technologies, 2005.. IEEE, 2005.*
- [68] Anjan, K. Deb. "Powerline ampacity system, theory, modeling and applications—book." (2000).
- [69] Padiyar, K. R. *Analysis of subsynchronous resonance in power systems.* Springer Science & Business Media, 2012.
- [70] S. S. Choi, B. Li, and D. J. I. T. o. p. s. Vilathgamuwa, "Dynamic voltage restoration with minimum energy injection," vol. 15, no. 1, pp. 51-57, 2000.
- [71] S. Chattopadhyay, M. Mitra, and S. Sengupta, "Electric power quality," in *Electric Power Quality: Springer, 2011, pp. 5-12.*
- [72] A. Shokri, A. M. Hussain Shareef, H. Zayandehroodi, M. J. R. J. o. A. S. Farhoodnea, Engineering, and Technology, "Effect of network parameters on the injection current requirement of D-STATCOM designed to mitigate voltage sag," vol. 5, no. 1, pp. 161-166, 2013.
- [73] P. Roncero-Sánchez, E. Acha, J. E. Ortega-Calderon, V. Feliu, and A. J. I. T. o. p. d. García-Cerrada, "A versatile control scheme for a dynamic voltage restorer for power-quality improvement," vol. 24, no. 1, pp. 277-284, 2008.

- [74] P. Roncero-Sanchez and E. J. I. T. o. p. d. Acha, "Dynamic voltage restorer based on flying capacitor multilevel converters operated by repetitive control," vol. 24, no. 2, pp. 951-960, 2009.
- [75] www.ipfs.io., Erişim Tarihi: 08.08.2020
- [76] İbrahim, Ahmad M. "Gömülü Sistemlerle Bulanık Mantık." Bileřim, Türkiye (2006).
- [77] ESEN, Erol, and Fahriye Didem ACAR. "Popölizm ve Kimlik İlişkisinde Ulus-Kimlikten Sağ Popölist Avrupa Kimliđine." *Electronic Journal of Political Science Studies (EJPSS)* 11.1 (2020).
- [78] Yen, John, and Reza Langari. *Fuzzy logic: intelligence, control, and information*. Vol. 1. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
- [79] Ross, Timothy J. *Fuzzy logic with engineering applications*. Vol. 2. New York: wiley, 2004.
- [80] Zadeh, Lotfi A. "Fuzzy logic= computing with words." *Computing with Words in Information/Intelligent Systems 1*. Physica, Heidelberg, 1999. 3-23.
- [81] Hájek, Petr. *Metamathematics of fuzzy logic*. Vol. 4. Springer Science & Business Media, 2013.
- [82] Zadeh, Lotfi A. "Fuzzy logic and approximate reasoning." *Synthese* 30.3-4 (1975): 407-428.
- [83] www.endustri.eskisehir.edu.tr., Erişim Tarihi: 28.09.2020
- [84] Kaynak, Okyay ve Armađan, Gülçin, *Bulanık Denetim ve Endüstriyel Ugulamaları*, Tübitak Marmara Araştırma Merkezi, 1993.
- [85] www.iienstitu.com., Erişim Tarihi: 13.10.2020
- [86] www.wikipedia.org., Erişim Tarihi: 13.10.2020

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan Öztürk

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği	2019
Lise	Mustafa Kemal Anadolu Lisesi	2015

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2020-Halen	İstanbul Medeniyet Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce
Almanca

ESERLER

- Öztürk, Hakan. "A novel chaos application to observe performance of asynchronous machine under chaotic load." Chaos Theory and Applications 2.2 (2020): 90-97.
- Öztürk, Hakan. "An Analysis of Power System Stability against Hyperchaotic Noises and Blackouts." Chaos Theory and Applications 3.2: 67-76.