

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



DEĞİŞKEN YOL ŞARTLARINDA ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ANLIK  
MOMENT İHTİYACININ LYAPUNOV TİPİ BİR GÖZLEMLEYİCİ İLE  
TESPİTİ VE KONTROLÜ

Umut KİTİŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2020

ANTALYA

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**DEĞİŞKEN YOL ŞARTLARINDA ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ANLIK  
MOMENT İHTİYACININ LYAPUNOV TİPİ BİR GÖZLEMLEYİCİ İLE  
TESPİTİ VE KONTROLÜ**

**Umut KİTİŞ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDSİLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OCAK 2020**

**ANTALYA**

T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEĞİŞKEN YOL ŞARTLARINDA ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ANLIK  
MOMENT İHTİYACININ LYAPUNOV TİPİ BİR GÖZLEMLEYİCİ İLE  
TESPİTİ VE KONTROLÜ

Umut KİTİŞ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 21.01/2020 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ÜSER (Danışman)

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Dr. Öğr. Üyesi Tuna GÖKSU



## ÖZET

# DEĞİŞKEN YOL ŞARTLARINDA ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN ANLIK MOMENT İHTİYACININ LYAPUNOV TİPİ BİR GÖZLEMLEYİCİ İLE TESPİTİ VE KONTROLÜ

Umut KİTİŞ

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ÜSER

Ocak 2020; 56 sayfa

Elektrikli araçlarda asenkron motorlar kullanılmaktadır ve elektrikli araçlarda kullanılan bu motorları kontrol edebilmek için çeşitli kontrol yöntemleri mevcuttur. Bunlar Skaler Kontrol (V/f Kontrol), Vektörel Kontrol (Dolaylı Moment Kontrolü) ve Doğrudan Moment Kontrolü (DMK)'dür. Elektrikli araçlarda kullanılan asenkron motorların kontrolü için tercih edilen yöntemlerin başında doğrudan moment kontrolü gelmektedir. Doğrudan moment kontrolü basit ve hızlı oluşuyla diğer yöntemlerin önüne geçmektedir. Aynı zamanda Doğrudan Moment Kontrol yöntemi güçlü bir yapıya sahiptir, akı ve moment ayrı olarak kontrol edilebilmektedir. Elektrikli araçlarda kullanılan asenkron motorlarda, yolun düz veya eğimli olmasına göre değişiklik gösteren yük momenti değerleri, motor kontrolünde kararsızlıklara yol açmakta ve akımda dalgalanmalara neden olmaktadır. Doğrudan moment kontrolü yapısına uzay vektör modülasyonu (UVM) eklenmesiyle akımdaki dalgalanmalar minimuma indirilebilmektedir. Elektrikli araçlarda yol boyunca, yolun düz veya eğimli olması gibi durumlar nedeniyle anahtarlama sürelerinde değişiklikler gözlemlenebilmekte ve bu durum motor kontrolünde kararsızlıklara yol açmaktadır. Uzay Vektör Modülasyonu uygulanan Doğrudan Moment Kontrolü yapısına Lyapunov tabanlı bir Akı Gözlemleyicisi ve yine Lyapunov tabanlı bir zamanlayıcı eklenerek motor kontrolünde yaşanan kararsızlıklar ve akım dalgalanmaları ortadan kaldırılmış, yokuş aşağı ve yokuş yukarı durumlarda daha rahat bir sürüş sağlanmaya çalışılmıştır. Tez çalışması sonucunda akı çemberinin daireye benzerlik yüzdesi %92'den %96'ya yükselmiş, akımdaki toplam harmonik bozulmada %23'lük, akıdaki toplam harmonik bozulmada %2,5'lik, torktaki toplam harmonik bozulmada ise yaklaşık %4'lük bir iyileşme kaydedilmiştir. Elektrikli aracın dinamik analizleri, aracın ve motorun matematiksel modellemeleri, Lyapunov Akı Gözlemleyicisi ve zamanlayıcısının matematiksel denklemleri ve sisteme uygulanması için gereken hesaplamalar yapılmıştır. Sistemin getirdiği sonuçların doğruluğu MATLAB/Simulink üzerinden yapılan simülasyonlar kanıtlanmıştır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Elektrikli Araçlar, Doğrudan Moment Kontrolü, Uzay Vektör Modülasyonu, Lyapunov, Gözlemleyici

**JÜRİ:** Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ÜSER

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Dr. Öğr. Üyesi Tuna GÖKSU

## ABSTRACT

### DETERMINATION AND CONTROL OF INSTANT MOMENT REQUIREMENT OF ELECTRIC VEHICLES WITH VARIABLE ROAD CONDITIONS WITH A LYAPUNOV TYPE OBSERVER

Umut KİTİŞ

MSc Thesis, in Electric Electronic Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yavuz ÜSER

January 2020; 56 pages

Asynchronous motors are used in electric vehicles and various control methods are available to control these motors used in electric vehicles. These are Scalar Control (V / f Control), Vector Control (Indirect Torque Control, ITK) and Direct Torque Control (DTC). Direct torque control is one of the preferred methods for the control of asynchronous motors used in electric vehicles. Direct torque control is simple and fast, which prevents other methods. At the same time, the Direct Torque Control method has a strong structure, the flux and torque can be controlled separately. In asynchronous motors used in electric vehicles, the load moment values vary depending on whether the road is flat or inclined, causing instability in motor control and causing fluctuations in current. By adding space vector modulation (SVM) to the direct torque control structure, fluctuations in current can be minimized. In electric vehicles, changes in switching times can be observed due to situations such as the road being flat or inclined, leading to instability in the motor control. As a result of the thesis study, the percentage of the flux circle similar to the full circle has increased from 92% to 96%. An improvement of 23% in total harmonic distortion in current, 2.5% in total harmonic distortion in flux and approximately 4% in total harmonic distortion in torque was recorded. A Lyapunov-based Flux Observer and a Lyapunov-based Timer were added to the Direct Torque Control structure where Space Vector Modulation was applied. The dynamic analysis of the electric vehicle, the mathematical modeling of the vehicle and the engine, the mathematical equations of the Lyapunov Flux Observer and the timer and the calculations required for its application to the system were made. The accuracy of the results of the system has been proven by using MATLAB / Simulink.

**KEYWORDS:** Electric Vehicles, Direct Torque Control, Space Vector Modulation, Lyapunov, Observer

**COMMITTEE:** Asst. Prof. Dr. Yavuz ÜSER

Prof. Dr. Selçuk HELHEL

Asst. Prof. Dr. Tuna GÖKSU

## ÖNSÖZ

Günümüzde çevre kirliliğinin dünyanın çoğu noktasında uç noktalara ulaşması, günümüzde petrol kaynaklı araçların üreticilerinin artık çevre dostu olan elektrikli otomobillere yönelmesine sebep olmuştur. Elektrikli otomobiller otomobil piyasasının geleceğini oluşturmakta ve gerek maddi gerekse çevresel anlamda sürücüye daha olumlu geri dönüşler vermektedir. Bu tezde elektrikli araçlarda kullanılan asenkron motorun kontrolü için Lyapunov Kararlılık Teoremi ışığında akı ve zaman gözlemcisi tasarlanmış, uzay vektör modülasyonu eklenmiş doğrudan moment kontrollü bir yapı ile birlikte elektrikli araçlardaki anlık moment ihtiyacının eğimli yollarda tespit edilmesi ve kontrolü amaçlanmıştır. Bana bu konuda çalışma olanağı veren danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Yavuz ÜSER'e (Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi) teşekkürlerimi sunarım. Çalışmam süresince beni destekleyen arkadaşlarıma, annem Hadiye KİTİŞ, babam Hasan KİTİŞ, abim M. Barış KİTİŞ ve anneannem Nezahat EROL'a teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
AKADEMİK BEYAN .....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK TARAMASI .....	2
2.1. Otomobiller .....	2
2.2. Elektrikli Araçlar .....	3
2.3. Elektrikli Motorları.....	4
2.4. Asenkron Motorlar .....	4
2.5. Inverterlar .....	5
3. MATERYAL VE METOD .....	11
3.1. Doğrudan Moment Kontrolü .....	11
3.2. Uzay Vektör Modülasyonu .....	11
3.3. $abc \rightarrow \alpha\beta$ Eksen Dönüşümü (Clarke Dönüşümü) .....	12
3.4. $\alpha\beta \rightarrow abc$ Eksen Dönüşümü (Ters Clarke Dönüşümü) .....	12
3.5. $abc \rightarrow dq$ Döner Eksen Dönüşümü (Park Dönüşümü).....	12
3.6. $dq \rightarrow abc$ Döner Eksen Dönüşümü (Ters Park Dönüşümü) .....	13
3.7. Uzay Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri .....	13
3.8. Lyapunov Tabanlı Akı Gözlemleyici Tasarımı.....	17
3.9. Lyapunov Tabanlı Zamanlayıcı Tasarımı .....	21
3.10. Lyapunov Tabanlı Geliştirilmiş Uzay Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri .....	26
3.11. Elektrikli Araç Dinamikleri.....	30
3.11.1. Elektrikli araca etki eden kuvvetler .....	30
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	34
5. SONUÇLAR .....	35

5.1. Elektrikli Aracın +30 Derecelik Aç İçin Uzay Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri .....	35
5.2. Elektrikli Aracın +30 Derecelik Aç İçin Lyapunov Tabanlı Geliştirilmiş Uzay Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri .....	39
5.3. Elektrikli Aracın -30 Derecelik Aç İçin Uzay Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri .....	43
5.4. Elektrikli Aracın -30 Derecelik Aç İçin Lyapunov Tabanlı Geliştirilmiş Uzay Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri.....	52
6. KAYNAKLAR .....	49
7. EKLER.....	55
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Değişken Yol Şartlarında Elektrikli Araçların Anlık Moment İhtiyacının Lyapunov Tipi Bir Gözlemleyici ile Tespiti ve Kontrolü” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

21/01/2020

Umut KİTİŞ



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$V$  : Voltaj

$f$  : Frekans

$V_{dc}$  : DC gerilim

$i_u$  : u noktasındaki akım

$i_v$  : v noktasındaki akım

$i_w$  : w noktasındaki akım

$R$  : Direnç

$L$  : Endüktans

$T_e$  : Akı – Moment kestirici tarafından tahmin edilen tork

$|\psi_e|$  : Akı – Moment kestirici tarafından tahmin edilen akı

$T_e^*$  : Akı – Moment kestirici tarafından tahmin edilen tork için referans değeri

$|\psi_e|^*$  : Akı – Moment kestirici tarafından tahmin edilen akı için referans değeri

$d_\psi$  : Akı hatası

$d_T$  : Tork hatası

$\alpha\beta$  : 2 Faz sabit eksen tanımı

$dq$  : 2 Faz rotorda sabit dönen eksen

$K$  : Dönüştürme sabiti

$i_{s\alpha}$  :  $\alpha$  ekseni stator referans düzlemi akımı

$i_{s\beta}$  :  $\beta$  ekseni stator referans düzlemi akımı

$i_{sd}$  : d ekseni rotor referans düzlemi akımı

$i_{sq}$  : q ekseni rotor referans düzlemi akımı

$i_0$  : Başlangıç akımı

a-b-c : Sırasıyla A,B,C fazları

a,b,c : ABC fazlarının alt indisleri, ABC fazlarını gösterir.

$\theta_r$  : d ekseni ile  $\alpha$  ekseninin yaptığı rotor açısıdır

X-axis : X koordinat eksenini

Y-akıs : Y koordinat eksenini

$u_s$  : Kaynak voltajı

$\psi_r$  : Rotor akısı

$K_i$  : Akım odaklı ek dengeleyici

$i_s$  : Stator akımı

$i'_s$  : Tahmini stator akımı

$\Psi_r$  : Rotor akısı

$R_s$  : Stator direnci

$L_s$  : Stator endüktansı

$e$  : Pozisyon hata değeri

$r$  : Filtrelenmiş hata değeri

$\alpha$  : Pozitif kazanç katsayısı

$u_f$  : İleri besleme bölümü

$u_o$  : Geri besleme bölümü

$U$  : Denetim sinyali girişı

$F_{ro}$  : Yuvarlanma direnci

$F_{ad}$  : Hava direnci kuvveti

$F_{cr}$  : Yokuş direnci

$F_{sf}$  : Stoke veya akışkan sürtünme kuvveti direnci

$F_w$  : Araca etki eden toplam kuvvet

## **Kısaltmalar**

- AC : Alternatif Akım
- DC : Doğru Akım
- DMK : Doğrudan Moment Kontrolü
- UVM : Uzay Vektör Modülasyonu
- THD : Toplam Harmonik Bozulma
- İYM : İçten Yanmalı Motor
- CO<sub>2</sub> : Karbondioksit
- PWM : Darbe Genlik Modülasyonu
- THD : Toplam Harmonik Bozulma
- PI : Oransal + İntegral Denetleyici
- VSI : Gerilim Beslemeli İnverter
- DSP : Dijital Sinyal İşleme
- FPGA : Alanda Programlanabilir kapı Dizileri
- PMSM : Daimi Mıknatıslı Senkron Motor
- NPC : Nötr Nokta Kelepçeli
- AM : Asenkron Motor
- ASM : Asenkron Motor
- EA : Elektrikli Araç

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Asenkron motor yapısı .....	5
Şekil 2.2. 3 Fazlı PWM inverter (Zhao, 2004) .....	6
Şekil 3.1. DMK akış diyagramı .....	11
Şekil 3.2. DMK - UVM akı çemberi .....	13
Şekil 3.3. DMK - UVM akım değerleri .....	14
Şekil 3.4. DMK - UVM yakınlaştırılmış akım değerleri .....	14
Şekil 3.5. DMK - UVM gerilim değerleri .....	15
Şekil 3.6. DMK - UVM akı değerleri .....	15
Şekil 3.7. DMK - UVM tork değerleri .....	16
Şekil 3.8. DMK - UVM yakınlaştırılmış tork değerleri .....	16
Şekil 3.9. DMK - UVM THD değerleri .....	17
Şekil 3.10. Klasik DMK - UVM akı gözlemleyicisi simulink blok şeması.....	20
Şekil 3.11. Lyapunov akı gözlemleyicisi simulink blok şeması.....	20
Şekil 3.12. Pozisyon hata değeri .....	22
Şekil 3.13. Filtrelenmiş hata sinyali.....	23
Şekil 3.14. $\dot{r}$ ifadesi.....	23
Şekil 3.15. İleri ve geri besleme bloklarıyla oluşturulmuş Lyapunov simulink bloğu ...	24
Şekil 3.16. Lyapunov zamanlayıcı simulink blok şeması.....	25
Şekil 3.17. Klasik DMK - UVM zamanlayıcı simulink blok şeması .....	25
Şekil 3.18. Geliştirilmiş DMK - UVM akı çemberi .....	26
Şekil 3.19. Geliştirilmiş DMK - UVM akım değerleri .....	26
Şekil 3.20. Geliştirilmiş DMK - UVM yakınlaştırılmış akım değerleri .....	27
Şekil 3.21. Geliştirilmiş DMK - UVM gerilim değerleri .....	27
Şekil 3.22. Geliştirilmiş DMK - UVM akı değerleri .....	28
Şekil 3.23. Geliştirilmiş DMK - UVM tork değerleri .....	28

<b>Şekil 3.24.</b> Geliştirilmiş DMK - UVM yakınlaştırılmış tork değerleri .....	29
<b>Şekil 3.25.</b> Geliştirilmiş DMK - UVM THD değerleri .....	29
<b>Şekil 3.26.</b> Araca etki eden kuvvetler .....	31
<b>Şekil 3.27.</b> Elektrikli araç yapısı .....	32
<b>Şekil 3.28.</b> Elektrikli aracın yol eksenine ile yaptığı açılar .....	32
<b>Şekil 5.1.</b> Elektrikli araç DMK - UVM akı çemberi (+30 Derece) .....	35
<b>Şekil 5.2.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM akım değerleri (+30 derece) .....	35
<b>Şekil 5.3.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM yakınlaştırılmış akım değerleri (+30 derece) .....	36
<b>Şekil 5.4.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM gerilim değerleri (+30 derece) .....	36
<b>Şekil 5.5.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM akı değerleri (+30 derece) .....	37
<b>Şekil 5.6.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM tork değerleri (+30 derece) .....	37
<b>Şekil 5.7.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM yakınlaştırılmış tork değerleri (+30 derece) ..	38
<b>Şekil 5.8.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM THD değerleri (+30 derece) .....	38
<b>Şekil 5.9.</b> Elektrikli araç geliştirilmiş DMK - UVM akı çemberi (+30 derece) .....	39
<b>Şekil 5.10.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM akım değerleri (+30 derece) ...	39
<b>Şekil 5.11.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM yakınlaştırılmış akım değerleri (+30 derece) .....	40
<b>Şekil 5.12.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM gerilim değerleri (+30 derece) .....	40
<b>Şekil 5.13.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM akı değerleri (+30 derece) .....	41
<b>Şekil 5.14.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM tork değerleri (+30 derece) ....	41
<b>Şekil 5.15.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM yakınlaştırılmış tork değerleri (+30 derece) .....	42
<b>Şekil 5.16.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM THD değerleri (+30 derece) ..	42
<b>Şekil 5.17.</b> Elektrikli araç DMK - UVM akı çemberi (-30 derece) .....	43
<b>Şekil 5.18.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM akım değerleri (-30 derece) .....	43

<b>Şekil 5.19.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM yakınlaştırılmış akım değerleri (-30 derece) .....	44
<b>Şekil 5.20.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM gerilim değerleri (-30 derece) .....	44
<b>Şekil 5.21.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM akı değerleri (-30 derece) .....	45
<b>Şekil 5.22.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM tork değerleri (-30 derece) .....	45
<b>Şekil 5.23.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM yakınlaştırılmış tork değerleri (-30 derece) .....	46
<b>Şekil 5.24.</b> Elektrikli aracın DMK - UVM THD değerleri (-30 derece) .....	46
<b>Şekil 5.25.</b> Elektrikli araç geliştirilmiş DMK - UVM akı çemberi (-30 derece) .....	47
<b>Şekil 5.26.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM akım değerleri (-30 derece) ....	47
<b>Şekil 5.27.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM yakınlaştırılmış akım değerleri (-30 derece) .....	48
<b>Şekil 5.28.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM gerilim değerleri (-30 derece) .....	48
<b>Şekil 5.29.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM akı değerleri (-30 derece) .....	49
<b>Şekil 5.30.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM tork değerleri (-30 derece) ....	49
<b>Şekil 5.31.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM yakınlaştırılmış tork değerleri (-30 derece) .....	50
<b>Şekil 5.32.</b> Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM THD değerleri (-30 derece) ...	50
<b>Şekil 7.1.</b> DMK-UVM Simulink blok diyagramı .....	55
<b>Şekil 7.2.</b> Geliştirilmiş DMK-UVM Simulink blok diyagramı .....	56

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Dünya üzerindeki otomobil sayılarının yıllara göre dağılımı.....	2
Çizelge 5.1. Sistemlerin THD değerleri.....	51



## 1. GİRİŞ

Çağımızda yaşanan kaynak sıkıntıları, dünyamızdaki çevre kirliliğinin sürekli olarak artış göstermesi ve bu sıkıntıların dünyadaki canlı yaşamını olumsuz yönde etkilemesi gibi nedenlerden dolayı otomobil üreticileri petrol kullanımını azaltmak istemiş ve bu sebeple elektrik ile çalışan araç konseptleri hazırlamaya başlamıştır. Elektrikli araçların, petrol kaynaklı araçlara göre hem daha çevre dostu hem de daha ekonomik olması nedeniyle piyasanın ilgisi petrol kaynaklı araçlardan elektrikli araçlara doğru bir yönelim göstermiştir. Elektrikli araçlara olan ilginin her geçen gün artması ile birlikte elektrikli araç çalışmaları hız kazanmış ve araç piyasasının geleceğinin elektrikli araçlar olacağı şüphesiz ki anlaşılmıştır.

Elektrikli araçlarda bugüne kadar pek çok motor kullanılmıştır. (doğru akım motoru, mıknatıslı motor, anahtarlamalı relüktanslı motor vb.) Ancak genel olarak bakıldığında tercih edilen motorlar asenkron motorlardır. Bunların sebebi ise asenkron motorların ağırlığına oranla daha çok güç verebilmesi, zorlu koşullar altında çalışabilmesi, fiyatlarının uygunluğu, kullanılan süre/bakım oranının yüksek oluşu ve sağlamlığı sebep olarak gösterilebilir.

Bu tezde günümüz elektrikli otomobillerin hız ve tork kontrollerinin geliştirilmesi, Lyapunov teoremi ile bir gözlemleyici yapılması ve bu gözlemleyicinin kontrol mekanizmasının elektrikli otomobile entegrasyonu, bu uygulamalar sonunda elektrikli otomobillerde farklı yol koşulları için daha keyifli sürüş deneyimi yaşanması, olumlu diğer bir etki olarak da kullanılan enerji miktarının azalmasıyla finansal verimin artması amaçlanmıştır.

Araçta kullanılan yöntemin diğer yöntemlere göre uygunluğu ve araca kazandıracağı avantajlar ortaya konacaktır. Tezde tasarlanan gözlemleyici ile elektrikli araçlarda anlık moment ihtiyacının tespit edilmesi ve kontrolü amaçlanmıştır. Bu sayede araç içerisindeki sürücü daha konforlu bir sürüş yaşayacak ve yol etkilerinden bağımsız hareket edebilecektir. Çalışmanın sonuçları değerlendirilecek, MATLAB/Simulink modelleri oluşturulacak, elde edilen sonuçlar açıklanacak ve yorumlanacaktır.

## 2. KAYNAK TARAMASI

### 2.1. Otomobiller

Dünya’da 19. Yüzyılda buharın kullanılmaya başlanmasıyla önemli değişiklikler yaşanmaya başlanmıştır. Buharlı otomobillerin tarih sahnesine çıkmasının ardından, petrolün kullanılmaya başlandığı içten yanmalı motorlar ile otomobilin gelişimi devam etmiştir. Günümüzde teknolojinin ileri seviyelere ulaşmasıyla farklı enerji kaynakları kullanılan otomobillerin çalışmaları da hızla devam etmektedir.

Otomobilin bulunması bir kişi tarafında gerçekleştirilmemiştir. 1600’lü yılların sonlarına doğru dünyanın çeşitli yerlerinde ortaya çıkan buluşların bir araya getirilmesiyle ilk otomobillerin temelleri atılmıştır. Günümüzde kullanılan modern otomobillerin ortaya çıkışı ise birçok patent alımını sonrasında gerçekleşmiştir. Modern otomobillerin ortaya çıkması için yaklaşık olarak 100.000 patent alındığı düşünülmektedir.

Yük ve insan taşımacılığında, gelişmiş ülkelerde kendini bir numaralı tercih olarak kabul ettirmeyi başaran otomobil, buna bağlı olarak da 2. Dünya Savaşı’ndan sonra dünyanın en önemli endüstri kollarından birinin oluşumuna da neden olmuştur. Dünya üzerindeki otomobil sayılarının yıllara göre istatistikleri ise şöyledir.

**Çizelge 2.1.** Dünya üzerindeki otomobil sayılarının yıllara göre dağılımı

Yıl	Dünya üzerindeki otomobil sayısı
1907	250.000
1914	500.000
2. Dünya Savaşı sonrası	50.000.000 +
1975	300.000.000 +

2007 yılındaki istatistiklere göre ise 1 yılda üretilen otomobil sayısı 70 milyonu geçmiştir ve her geçen gün hızla artmaya devam etmektedir.

Otomobilin, ortaya çıktığı günden beri ulaşımda çığır açması, kültürel ve ekonomik ilişkilerin gelişmesini kolaylaştırması, yollar, otobanlar, park yerleri gibi büyük altyapıların gelişimine yol açması, toplulukların arasında kültür ve teknoloji bakımında köprü vazifesi görmesinin yanı sıra çoğu kesim tarafından dezavantajları ile de eleştirilmiştir. Bu bağlamda otomobil çoğu zaman tartışma konusu olmuştur. Eleştirilerin başında sosyal yaşam üzerindeki olumsuz etkileri gelmekte ve insanlar 1920’lerden beri otomobillerin obeziteye neden olduğunu, çevre düzenini olumsuz etkilediği, kazalara bağlı olarak ölümlere neden olduğu gibi görüşler öne sürmektedirler.

Ancak eleştirilerin büyük kısmı ise petrol kaynaklı yakıt kullanan arabaların artış göstermesiyle birlikte otomobillerin çevreyi ve doğayı kirlettiği ve dünyadaki ekolojik

düzeni kötü yönde etkilediği üzerine yoğunlaşmıştır. Otomobiller dünyadaki doğal dengeyi bozduğu yönüyle her zaman eleştirilerin odağı olmuştur.

## 2.2. Elektrikli Araçlar

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte insanlar petrol kaynaklı araçlardan elektrikli araçlara yönelerek hem doğa dostu bir ulaşım aracı kullanmakta hem de kendi ekonomileri düşünüldüğünde daha olumlu sonuçlar doğuran bir sisteme geçiş yapmaya başlamışlardır.

Elektrikli araçlarda, aracı tahrik etmek için elektrik motoru kullanılır ve bataryalar bulunur. Bataryalar enerji depolama görevini üstlenir ve şarj edilebilir. Bataryalar, şebeke elektriğinden şarj edilebilir ve az da olsa aracın frenleme sisteminden gelen geri kazanım da aracın şarj edilmesine yardımcı olur. Aracın bütün hareket enerjisi ve diğer ihtiyaçları bu bataryalar üzerinden sağlanmaktadır. Elektrikli araçlarda İçten Yanmalı Motor (İYM) kullanılmaktadır. Türkiye’de elektrikli araçlar ile ilgili çalışmalar, özellikle TÜBİTAK öncülüğünde yürütülmektedir. (Ustabaş, 2014)

Elektrikli araçların avantajları şu şekilde sıralanabilir,

- Elektrikli araçlar emisyon yaymaz.
- İçten yanmalı motorlar yerine elektrikli motorlar kullanıldığı için sessiz çalışmaktadır.
- Yakıt maliyetleri düşüktür.
- İçten yanmalı mototr kullanan araçlara göre verimliliği çok daha yüksektir.
- Menzilleri daha uzundur.
- Elektrikli araçlar, yakıt masrafları konusunda eşdeğer motor gücündeki fosil yakıtlı araçlara göre daha avnatajlıdır.
- Fosil yakıt kullanan araçlara göre daha çevresel avantajları çok fazladır, sıfır CO2 salınımı yaparlar.
- Elektrik motoru ile sağlanan yüksek moment sayesinde araç kısa sürede hızlanabilir.
- Elektrikli araçlardan alınan vergiler birçok ülkede düşüktür, bu sebeple elektrikli araçların alınması desteklenmiş olur.
- Motor yağı, filtreler, triger kayışı, debriyaj baskı balata ve şanzıman gibi bakım masrafları yoktur.
- Bir elektrikli aracın yıllık bakım maliyeti fosil yakıtlı eşdeğerinkine göre yüzde 20-30 daha ucuza mal olmaktadır.

### 2.3. Elektrik Motorları

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürmek için kullanılan aygıta elektrik motoru denir. Elektrik motorları 2 ana parçadan oluşur. Bunlardan biri sabit dururken, diğeri kendi çevresinde dönüş gerçekleştirir. Sabit parçaya Stator, kendi çevresinde dönen parçaya ise Rotor ya da Endüvi adı verilir. Bu ana parçalarda kendi içinde elektrik akımını içeren parçalar (sargılar), manyetik akıyı ileten parçalar, konstrüksiyon parçaları (vidalar, yataklar gibi) çeşitli aprçalardan meydana gelmektedir. (Vas, 1992)

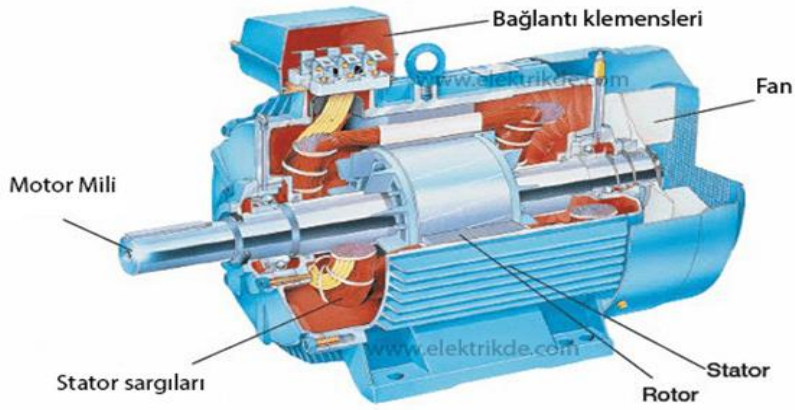
Elektrik motorları temelde 2'ye ayrılır. Bunlar alternatif akımla çalışan elektrik motorları ve doğru akımla çalışan elektrik motorlarıdır. Alternatif akımla çalışan elektrik motorları ise kendi içinde Asenkron Motorlar ve Senkron Motorlar olarak 2'ye ayrılır. Bu tezde ise elektrikli aracımızda senkron motor kullanılmıştır.

### 2.4. Asenkron Motorlar

Asenkron motorlar genellikle otomasyon ve kontrol sistemlerinde kullanılır ve bu sebeple endüstrinin çok önemli bir parçasıdır. Bu motorlar, endüstride kullanılan diğerk motorlara göre daha avantajlıdır. Asenkron motorlar daha sağlam, ucuz ve bakımları kolay motorlardır. Bu sebeplerle çok tercih edilirler. Asenkron motorların dönme hızı senkron makinalarda olduğu gibi sabit değildir. Zaten bu özelliği asenkron motorları senkron motorlardan ayıran en önemli özelliktir. Asenkron motor beslendiği anda, akm statorun içindeki sarılı iletkenlerde dönererek manyetik bir alan meydana getirir. Asnekron motor içinde fan ve bağlantı klemensleri gibi parçalar da bulunur.

Asenkron motorların avantajları şu şekilde sıralanabilir.

- Momentleri yüksektir.
- Devir sayıları kontrol cihazları ile istenilen devir sayısına ayarlanabilir.
- Bakıma olan ihtiyaçları, diğerk motorlara nazaran daha azdır.
- Sağlam ve güvenilir bir yapıya sahiptirler.
- Çalışmaları sırasında ark meydana gelmez, arkin tehlike arz ettiği ortamlarda rahatça kullanılabilirler.
- Farklı güçlerde, tek faz veya üç faz olarak üretilebilirler.



**Şekil 2.1.** Asenkron motor yapısı

Şekil 2.1.'de görüldüğü üzere asenkron motor çeşitli bölümlerden oluşmaktadır. Stator sargıları, rotor, stator, fan, bağlantı klemensleri, motor mili bunlardan bağlıdır.

## 2.5. Inverterler

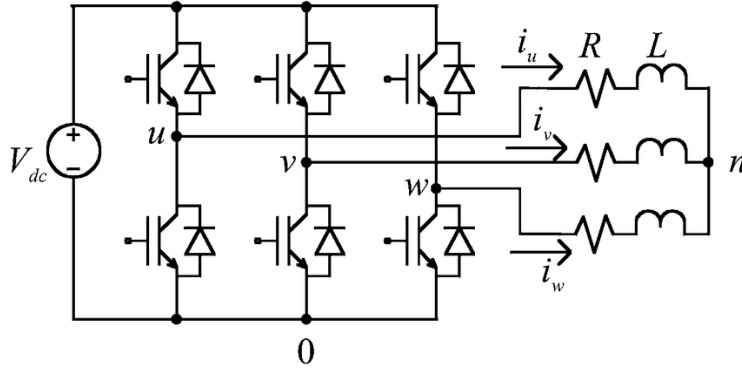
Elektriksel bir güç dönüştürme elemanı olarak tanımlanabilen invertör, güç dönüştürücü ya da evirici olarak da adlandırılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan inverter kelimesi ise invertörün İngilizcedeki karşılığıdır. İntertörler, herhangi bir DC kaynaktan aldığı gerilimi işleyerek, sabit veya değişken genlik ve frekanslı AC gerilim elde etmek için kullanılan güç elektroniği devreleridir.

Güç elektroniğinin temel devrelerinden olan invertörler, günümüzde bilgisayarlarda kullanılan küçük güç kaynaklarından elektrik dağıtım sistemlerine güç veren büyük sistemlere kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır.

İntertör istenilen gerilim, güç veya frekans değerlerinde AC akım elde edilmesini sağlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretmek için, araba, tekne ya da kamp alanı gibi mobil ortamlarda çalıştırılabilmesi için televizyonlarda, aydınlatma lambalarında invertör kullanılmaktadır. Inverterlar arasında en yaygın kullanılan inverter PWM inverterdir.

Darbe Genişliği Modülasyonu veya PWM teknolojisi, İntertörlerde, yükten bağımsız olarak 230 veya 110 V AC sabit çıkış voltajı vermek için kullanılır. PWM teknolojisine dayalı İntertörler, geleneksel invertörlerden daha üstündür. MOSFET'lerin çıkış aşamasında ve PWM teknolojisinin kullanılması, bu inverterleri her tür yük için ideal kılar. Darbe genişliği modülasyonuna ek olarak, PWM İntertörleri koruma ve voltaj kontrolü için ek devrelere sahiptir.

Eviriciden çıkan dalga formunun kalitesi, (230 / 110 Volt AC) verimini belirler. İntertör çıkış dalga formunun kalitesi, Toplam Harmonik Bozulmayı (THD) hesaplamak için Fourier analiz verileri kullanılarak ifade edilir.



**Şekil 2.2.** 3 Fazlı PWM inverter

Şekil 2.2.'de 3 fazlı PWM inverter yapısı ve bileşenleri gösterilmiştir.

Elektrikli araçlarda akımdaki dalgalanmaları minimuma indirmek için, Doğrudan Moment Kontrolü, Uzay Vektör Modülasyonu ve Lyapunov Tabanlı Gözlemleyici ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan abazıları aşağıda gösterilmiştir.

Böcker ve Janning, (1991) rotor akısı yönünün bilinmesine dayanan bir PWM invertör beslemeli asenkron motor sürücüsünün bir kontrolörü üzerine çalışmalarıdır. Yeni bir özellik, ölçüm verilerinin toplanması ve darbe genişliği modülasyonu dahil olmak üzere tüm kontrol yapısının homojen ayırık zamanlı tasarımıdır. Ayırık zamanlı akı gözlemcisi, doğru akı yönelimi sağlar ve ek olarak, hesaplama gecikmesini telafi eden bir akım tahmini sağlar. Bu ayırık zamanlı değerlendirmeler sayesinde hesaplama gücünden tasarruf edilebilirken, optimum kontrol performansına ulaşılabilir. Kontrolörün başarısı, 960 kW gücüne kadar çeşitli sürücülerde kanıtlanmıştır.

Habetler, Profuma, Pastorelli ve Tolbert (1992) stator akısı alan yönlendirme yöntemine dayanan asenkron makinelerin doğrudan tork ve akı kontrolü için bir kontrol şeması açıklamıştır. Önerilen öngörücü kontrol şeması ile, bir invertör görev döngüsü, tork ve akı hatalarına, makinenin geçici reaktansına ve geçici reaktansın arkasındaki voltajın tahmini değerine bağlı olarak her bir sabit anahtarlama periyodunu doğrudan hesaplamıştır. Torku ve akıyı doğrudan kontrol etmek için bir voltaj uzay vektörünün hesaplanabileceği bir yöntemi tarif etmiştir. İnvörtör görev döngüsünü PWM tekniği kullanılarak hesaplamıştır. PI kontrolünün ortadan kaldırarak, performans iyileşmesi gözlemlemiştir. DSP tabanlı donanım kullanılarak kontrol şemasının uygulaması yapmıştır. Önerilen kontrol düzenlemesi sonucunda tork düzenelmelerinin oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Buja, Casadei ve Serra (1997) doğrudan tork kontrolünü PWM inverter beslemeli endüksiyon motor sürücülerini kontrol etmek için yeni bir teknik olarak ortaya koymuştur. Karmaşık kontrol algoritmaları gerektirmeden asenkron motorun akışının ve torkunun hassas ve hızlı kontrolünü sağlamak istemiştir. Kullandığı tekniğin avantajı prensip olarak, sadece stator direnci hakkında bilgi gerektirmesidir. Uzay vektörü teorisini kullanarak bir asenkron motorun ve bir PWM invertörün temel çalışmasını gözden geçirmiş ve daha sonra DTC kavramı ve üç DTC tabanlı strateji göstermiştir.

Anahtarlama tablosu, doğrudan kontrol, uzay vektör modülasyonu kavramlarını açıklamıştır. Anahtarlama tablosunun farklı seçimleriyle elde edilebilen sonuçları tartışarak ayrıntılı olarak ele almıştır. Akı ve tork kontrolörlerinin histerezis bantlarının genliğinin seçilmesiyle ilgili problemler deneysel verilerle gösterilmiştir. Çalışmanın sonucunda doğrudan moment kontrolünün esasları ve sınırları rapor edilmiştir. Vektör kontrolüyle birlikte doğrudan moment kontrolünde akım döngüleri ve değişken transformasyona gerek olmadığı, indüksiyon makinesi akısı ve tork kontrolünü uygulamak için hız sensörüne gerek olmadığı, stator direncinin dışında asenkron motorun diğer parametrelerine gerek olmadığı gibi avantajları olduğu belirtilmiştir.

Belkacem ve Farid (2005) adaptif kontrol ve doğrudan tork kontrolü (DTC) teorisine dayalı olarak rotor hızının ve stator akısının tahmin edilmesi için bir yöntem sunmaktadır. Stator akısının tahmini için doğrusal bir gözlemci, bir Lyapunov fonksiyonu kullanılarak tasarlanmıştır. Uyarlamalı gözlemci, bir endüksiyon motorunun doğrudan tork kontrolüyle ilişkilendirilmiştir. Bu gözlemcinin performansı ve sağlamlığı simülasyon sonuçlarında gösterilmiştir.

Haddoun, Benbouzid, Diallo, Abdessemed, Ghouili ve Srairi (2007) elektrikli bir araçta kullanılan asenkron motorun kayıplarını en aza indirmek için bir strateji önermiştir. Doğrudan akı ve tork kontrol şemasına dayanarak kullanılan kontrol stratejisi ile, stator akısı bir kontrol değişkeni olarak kullanılmış ve akı seviyesi, verimliliği optimize edilmiş tahrik performansını elde etmek için elektrikli aracın tork talebine göre seçilmiştir. Tahrik sistemlerinde daha doğru sonuçlar elde etmek amacıyla elektrikli aracın parametreleri de hesaba katılmıştır.

Khoucka, Marouani, Kheloui ve Benbouzid (2009) elektrikli bir aracı veya hybrid bir aracı kontrol eden bir endüksiyon motorunun sensörsüz bir DTC-SVM uygulaması yapılmıştır. Sürücü, hız tahmini için bir adaptif akı gözlemcisi ve tork ve stator akı kontrolü için bir ayrı uzay vektör modülasyonu doğrudan tork kontrolü (DSVM-DTC) tekniği kullanır. Uyarlamalı akı gözlemcisi, hız geçişleri sırasındaki davranışı iyileştirmek için mekanik bir model kullanır. Uyarlamalı gözlemcinin tahmini stator akısı, DSVM-DTC yönteminde, tüm hız aralığı boyunca tork dalgalanması serbest çalışması ile birlikte hızlı tork yanıtı sağlamak için kullanılır. Sensörsüz tahrik sistemi, çok düşük hızdan yüksek hıza kadar çalışabilir ve iyi dinamik ve sabit durum performansı gösterir. Adaptif gözlemci ve DTC-SVM kombinasyonu, deney sonuçlarında gösterildiği gibi motorun anahtarlama kaybını ve tork dalgalanmalarını azaltmada oldukça etkilidir.

Arifi, Betka ve Guettaf (2010) üç fazlı bir sincap kafesli endüksiyon motoru, elektrikli bir aracın (EV) tahrik sistemi olarak kullanılmıştır. İki farklı kontrol yöntemi tasarlanmıştır. Birincisi, üç seviyeli evirici için uyarlanmış geleneksel DTC Şemasına dayanmaktadır. İkincisi, bulanık mantık denetleyicisinin DTC şemasına uygulanmasına dayanır. Motor, bulanık mantık tabanlı bir DTC tekniği kullanılarak farklı çalışma koşullarında kontrol edilmiştir. Elektrikli araç dinamikleri dikkate alınarak gerçekleştirilen simülasyonda kullanılan yeni teknik ile torktaki ve akıdaki dalgalanmalar azaltılmıştır. Bulanık mantık tabanlı DTC asenkron motor tahrik stratejisinin performansı, bir tabloya dayanan geleneksel yöntemle karşılaştırılmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi tabanlı DTC şemasında tork ve akım dalgalanmasında yaklaşık % 35 azalma vardır.

Salem ve Derbel (2014) DTC-SVM sistemi için parametre uyarlamalı tahminli sağlam bir kayan mod (sliding mode) kontrolü açıklamışlardır. Sabit anahtarlama frekansı üreten ve asenkron makine kontrolünün çeşitli problemlerinin üstesinden gelen DTC-SVM yaklaşımını ve faydalarını açıklamışlardır. Önerilen değişken yapı kontrolörleri, geleneksel histerezis karşılaştırıcılarının yerini alan hızlı ve doğru tork ve akı kontrolleri sağlamak üzere tasarlanmıştır. Bu tür kontrolörlerin ve parametre tahmincilerinin sentezi Lyapunov kararlılık teorisi kullanılarak yapılmıştır. Kontrollü endüksiyon motorunun sabit durumunun yanı sıra dinamik davranışlarıyla ilgili simülasyon sonuçları, tasarlanan kontrolörlerin ve tahmin edicilerin verimliliğini ve sağlamlığı gösterilmiştir.

Usta, Okumuş, Güven ve Durak (2015) üç seviyeli invertör kullanılarak asenkron motor (AM) için hız sensörsüz doğrudan tork kontrol (DTC) sürücüsü geliştirilmiştir. İlk olarak, üç seviyeli nötr nokta kelepçeli (NPC) invertör işlenir ve anahtarlama tablosuna dayalı DTC'de kullanılan anahtarlama vektörleri tanımlanmıştır. İkinci olarak, adaptif akı gözlemcisi rotor hızını ve yük torkunu tahmin etmek için kullanılmıştır. IM'nin gözlemci modeli, sabit referans çerçevesindeki IM denklemlerinden elde edilmiş ve hız tahmini için uyarlanabilir şema ayrıntılı olarak verilmiştir. Çalışma doğrultusunda amacı basit ve kolay bir şekilde uygulanan bir tahrik sistemi sunulmuştur.

Ammar, Benakcha ve Bourek, (2016) AC sürücüleri Doğrudan Moment Kontrol tekniği (DTC), akı ve moment kontrolü için yüksek performans elde etmek üzere tasarlanmıştır. Bazı dezavantajlar nedeniyle, bu makale, klasik DTC stratejisini geliştirmek ve sabit bir anahtarlama frekansı üreterek yüksek tork ve akı dalgalanmalarını azaltmak için uzay vektör modülasyonunun (SVM) eklenmesi araştırmıştır. Ayrıca, sensörsüz uygulama bu yazıda işlenen ikinci kısımdır. Adaptif bir gözlemci tasarımı sunulmuş ve hız / akı ve yük torku tahmini için DTC kontrol şeması ile birleştirilmiştir. Önerilen sensörsüz kontrol yöntemi gerçek zamanlı ortamda dSpace 1104 kullanılarak Matlab / Simulink kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir.

Fu ve Lİ (2017), 4 çeker elektrikli araçlar için AC endüksiyon motorunun iki zaman ölçeğinde yeni bir tork kontrol yöntemi önermiştir. AC endüksiyon motoru sürüş sisteminde mevcut olan doğal zaman ölçeği ayırmasına (yavaş dinamiklere karşılık gelen rotor akısına) ve hızlı dinamiklere karşılık gelen stator akımına bağlı olarak iki zaman ölçeği dikkate alınmıştır. Kontrolörün ve gözlemcinin ayrı ayrı tasarlandığı geleneksel kontrol yöntemi yerine gözlemci tasarımı gerçekleştirilirken kontrolörün yakınsama özelliğini göz önünde bulundurmıştır. Ayrıca, uzay vektörü modülasyonu (SVM) teknolojisi, minimum tork dalgalanması elde etmek için önerilen yöntemde de sunulmaktadır. Önerilen tork kontrol yönteminin etkinliği, 4 çeker elektrikli bir araç üzerindeki simülasyonlar ile gösterilmiştir.

Chen, Wu, Tan ve Hao (2019) doğrudan tork ve akı kontrolüne ve aktif akıya dayanan bir şema tasarlamıştır. Stator akı gözleminin hassasiyeti bu şema için çok önemlidir. Son zamanlarda, tahmini stator akısındaki DC kaymasını azaltmak için bir kayan modlu stator akı gözlemcisi önermiştir. Ancak, ancak önerdiği akı gözlemcisi DC ofsetini değerlerini tamamen ortadan kaldırmamıştı ve bu sorunları çözmek için, yeni bir süper bükümlü kayan mod stator akı gözlemcisi önermişti. Ayrıntılı bir matematiksel analiz, diğer üç geleneksel gözlemciyle karşılaştırılması için verilmiştir. Önerdiği

şemanın kapasitesini doğrulamak için bir mıknatıslı motor sürücü platformu ile sayısal simülasyonlar ve deneysel testler uygulanmıştır.

Gözlemleyici ve Lyapunov tabanlı yapılar ile ilgili ise yapılan çalışmalardan bazıları şu şekildedir,

Kazantzis ve Kravaris (1997) doğrusal olmayan gözlemci tasarım problemine yeni bir yaklaşım önermiştir. Doğrusal Luenberger gözlemci teorisinin gelişimini sağlayan ilk fikirlere Temel alınmıştır. Gözlemci tasarım probleminin formülasyonu, tekil birinci dereceden lineer kısmı diferansiyel denklemler ile gerçekleştirilmiştir. Çözüm için gerekli ve yeterli koşullar kümesi Lyapunov'un yardımcı teoremi kullanılarak türetilmiştir.

Jezernik (2000) Daimi Mıknatıslı Senkron Motor (PMSM) için basit ve etkili bir tork kontrolü tasarlamak için yeni bir yöntem sunmuştur. Sistemin genel kararlılığı Lyapunov tekniği kullanılarak gösterilmiştir. Kullanılan Lyapunov fonksiyonları, kontrol hatası, tork ve stator akısının artan enerjisini bulan ve kararlılığı artıran terimler içerir. Lyapunov teorisine dayanan yeni bir mantıksal FPGA tork kontrolörü ve akı gözlemcisi geliştirilmiştir, analiz edilmiş ve deneysel olarak doğrulanmıştır.

Ouassaid, Cherkoui, Nejmi ve Maaroufi (2005) mıknatıslı senkron motor için basit ve etkili bir tork kontrolörü tasarlamak için yeni bir yolunu sunmuştur. Sistemin genel kararlılığı Lyapunov tekniği kullanılarak gösterilmiştir. Kullanılan Lyapunov fonksiyonları, izleme hatasının integralini tespit eden ve kararlılığı artıran bir sistem içerir. İzleme hatasının küresel olarak aynı şekilde sınırlandırıldığı gösterilmiştir. Yaklaşımın etkinliğini göstermek için simülasyon sonuçları sunulmuştur.

Vaclavek ve Blaha (2006) AC endüksiyon motorlarında vektör kontrol algoritmasının kullanılması durumunda, sadece rotor hızı değil, aynı zamanda kontrol işlemi sırasında motor içindeki manyetik akının konumunun da bilinmesi gerektiği vurgulanmıştır. Lyapunov fonksiyonuna dayanan durum gözlemcisi kullanılarak yapılan ölçümün deterministik olarak değerlendirilmesine dayanan bir yöntem sunulmuştur. Sunulan hız gözlemci algoritması gerçek bir ac endüksiyon makinesinde test edilmiştir. Gözlemci algoritmasının zaman açısından verimli görüldüğü belirtilmiş ve algoritma hızlı tork değişimi durumunda bile rotor hızını izleyebildiği gözlenmiştir. Sunulan sonuçlar, klasik rotor akısı yönelimli vektör kontrolü ile kontrol edilen gerçek bir asenkron makine üzerinde yapılan testlerde elde edilmiştir. Doğru rotor hızı tahmini için rotor direnci değeri hakkında doğru bilginin şart olduğu gösterilmiştir. Sonuçlar doğrultusunda motor sürücüsünün tork kontrol sistemi için kullanılan Lyapunov tabanlı yaklaşımın tasarımı, kararlılık analizi ve simülasyonu başarıyla gösterilmiştir. Kullanılan geri besleme sistemi, Lyapunov yöntemi açısından küresel olarak kararlıdır. Lyapunov tabanlı kontrolörün geçici durumunun ve kararlı durumunun performanslarının, Lyapunov fonksiyonuna entegre bir işlemin sokulmasıyla artırılabilmesine değinilmiştir. Sonuç olarak, parametre belirsizlikleri veya bozulmalarına rağmen yüksek performans dinamikleri elde edilmiştir. Önerilen kontrolörün etkinliğini doğrulamak için bazı simülasyon sonuçları sunulmuştur.

Sahoo, Dasgupta, Panda ve Xu (2012) anahtarlamalı bir relüktans motor (SRM) tahrik sistemindeki tork dalgalanmalarını en aza indirmek için yeni bir Lyapunov

fonksiyon tabanlı doğrudan tork kontrolörü bu makalede bildirilmiştir. SRM mıknatıslanma karakteristiklerinin yüksek derecede doğrusal olmadığı, tork ve faz akımlarının, rotor pozisyonunun karmaşık ve birleşik bir fonksiyonu olduğu belirtilmiştir. Geleneksel DTC şemasında histerezis tipi bir tork kontrolörü kullandığı ve dijital olarak uygulandığında büyük miktarda tork dalgalanmasına yol açtığı açıklanmıştır. Lyapunov fonksiyon tabanlı kontrolörde, geri besleme kazancının sezgisel bir teknik kullanılarak değiştirilebildiği belirtilmiş ve kontrolörün istikrarı için Lyapunov denklemlerinin kullanıldığı açıklanmıştır.

Aimad, Madjid, Abdelhakim ve Yacine (2016) asenkron motorda kullanılan kayma modunun (Sliding Mode) ve Lyapunov'un ikinci fonksiyon ilkelerinin birleştirilmesine dayanan asenkron motor durum tahmininin deneysel bir incelemesini sunmuşlardır. Bu amaçla, endüksiyon motor sürücüsü standart doğrudan tork kontrolü kullanılarak oluşturulmuştur. Önerilen şema, sürücüye diğer geleneksel voltaj veya akım bazlı tekniklere kıyasla daha fazla sağlamlık vermiştir. Ayrıca ayarlanabilir eğimli hiperbolik bir fonksiyon ortaya konulmuştur. Önerilen gözlemcinin kararlılık analizi, Lyapunov'un ikinci yöntemi kavramına dayanarak büyük ölçüde başarı göstermiştir. Tüm algoritmanın esası ve fizibilitesi, kanıtlanmıştır.

Sangrody ve Shariatmadar, (2016) asenkron makinelerin vektör kontrolü için yararlı bir Lyapunov işlevi tanıtılmıştır. Bunu yapmak için bazı yararlı teoremler gözden geçirilmiş ve bu teoremleri ve durum denklemlerini bir vektör kontrol sürücüsüne uygulayarak Lyapunov fonksiyonu elde edilmiştir. Simüle edilmiş ve deneysel sonuçlar ile Lyapunov fonksiyonunun etkinliğini gösterilmiştir.

Luo, Chen ve Kuo (2019) hem hava boşluğu akışını hem de stator akımını kullanan bir endüksiyon motoru sürücüsünün hava boşluğu alan yönlendirme kontrolü için bir akı gözlemcisine dayanan hız tahmin yöntemi sunmuştur. Stator akımını Hall etkisini kullanan akım sensörleri kullanılarak elde edilmiştir. Hava boşluğu akı gözlemcisinin tasarımı Lyapunov kararlılık teorisi kullanılarak oluşturulmuş ve tahmini rotor hızı geliştirilen akı tahmincisinden türetilmiştir. Gözlemcinin kazanç matris parametreleri bir bulanık mantık kontrol stratejisi ile ayarlanmıştır. Hem simülasyonlar hem de deneysel sonuçlar önerilen sistemin etkinliğini doğruladı.

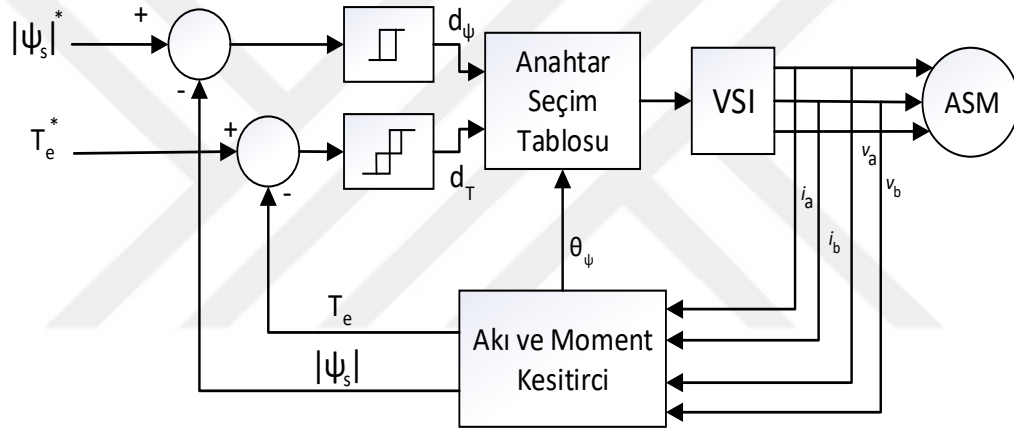
Luo ve Huang (2019) sensörsüz rotor alanı doğrudan yönlendirme kontrollü endüksiyon motor tahriki için parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması önermiş ve akı gözlemcisine dayanan bir hız tahmin şeması tasarlamıştır. Stator akımı ve rotor akısı, hem rotor alanı doğrudan yönlendirmeli kontrollü asenkron motor tahriki hem de rotor akısı gözlemcisi oluşturmak için kullanılmıştır. Bir akım ve voltaj paralel tahmin edicisinden yararlanılmıştır. Rotor akı gözlemcisi, Lyapunov kararlılık teorisi kullanılarak tasarlanmıştır ve tahmini rotor hızı, geliştirilen rotor-akı tahmincisinden türetilmiştir ve bu tahmini hız, kayma hızından etkilenmemiştir. Bu akı gözlemcisinin kazanç matrisi, basit, hızlı yakınsama sağlayan ve çeşitli koşullar için uygun olduğu için parçacık sürüsü optimizasyon algoritması kullanılarak elde edilmiştir.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Doğrudan Moment Kontrolü

Doğrudan Moment Kontrolünün temelinde uzay vektör teorisinin çalışma prensibi yatan akı ve momentin anlık olarak hesaplanmasına dayanmaktadır. Fakat bu değerler stator değişkenleri üzerinden hesaplanır. Şekil 3.1.'de gösterildiği gibi sistem temelde birkaç ana bölümden oluşur. Bunlar, stator akı ve moment kestirici, histerezis akı ve moment karşılaştırıcıları ile optimum anahtarlama vektör tablosu olarak sıralanabilir.

Motorun ürettiği tork/moment çıktısını, mil hızını, gerilim/akım girdilerinden faydalanarak tahmin etmemize olanak sağlar. Doğrudan Moment Kontrolü frekans kontrollü bir tekniktir. İstenirse motor hızı, geri besleme yoluyla kontrol şemasına dahil edilerek, kapalı çevrim yoluyla daha iyi bir kontrol mekanizması elde edilebilir.



Şekil 3.1. DMK akış diyagramı

#### 3.2. Uzay Vektör Modülasyonu

Asenkron motorlarda gerilim vektörleri kullanılmaktadır. Ancak bu vektörler, birden fazladır ve eğer bu vektörler tek bir vektöre dönüştürülebilirse işlemler daha kolay gerçekleşecektir. İşte 3 fazlı olan bu gerilim vektörlerini tek bir vektöre dönüştürmek için Uzay Vektör Modülasyonu kullanırız. 3 fazlı sinüs dalgaları Gerilim Beslemeli PWM Inverter tarafından uygulanabilir. Yöntemin çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Avantajları arasında, PWM anahtarlama frekansındaki çıkış harmoniklerinin daha iyi bir harmonik içeriğe sahip olması ve dijital olarak daha kolay gerçekleştirilebilir olması gösterilebilir. 3 fazlı vektörleri tek fazlı vektöre dönüştürmek için ise karmaşık işlemlerin gerekmesi dezavantaj olarak gösterilebilir. Üstelik DC geriliminin değerlendirilmesinden tam olarak faydalanılamaz.

Doğrudan Moment Kontrolüne ve Uzay Vektör Modülasyonunun eklenmesiyle dalgalanmalar minimuma indirilebilmektedir.

Vektör kontrollü akım denetim yapısı için motorun faz akımları Clarke dönüşümü kullanılarak 2 faz sabit düzlemine, daha sonra bu akımlara Park dönüşümünü uygulayarak 2 faz rotor düzlemine dönüştürülür. Park dönüşümü sonucunda elde edilen akımlar referans akımlarla karşılaştırılarak hata akımları bulunur. Hata akımları PI denetleyiciden geçirilerek d ve q gerilimleri elde edilir. Bu gerilimlere ters Park dönüşümü uygulayarak uzay vektörde kullanılacak referans d ve q gerilimleri elde edilir.

3 faz gerilimlerine Clarke dönüşümü uygulanmak suretiyle anahtar konumuna bağlı olarak motora uygulanan faz gerilimi  $\alpha$ ,  $\beta$  gerilimleri cinsinden ifade edilir. (Gençer, 2005)

### 3.3. abc $\rightarrow$ $\alpha\beta$ Eksen Dönüşümü (Clarke Dönüşümü)

Simetrik 3 fazlı bir motorda üç fazlı stator akımları ile  $\alpha\beta$  arasındaki ilişki Denklem 3.1.'de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} i_{s0} \\ i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sA} \\ i_{sB} \\ i_{sC} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Burada sistem değişken bir sistemse k değeri  $\sqrt{2/3}$ , sistem değişken değil ise  $2/3$  'tür.

### 3.4. $\alpha\beta \rightarrow$ abc Eksen Dönüşümü (Ters Clarke Dönüşümü)

Simetrik 3 fazlı bir motorda  $\alpha\beta$  ile üç fazlı stator akımları arasındaki ilişki Denklem 3.2.'de gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} i_{s0} \\ i_{s\alpha} \\ i_{s\beta} \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sA} \\ i_{sB} \\ i_{sC} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

### 3.5. abc $\rightarrow$ dq Döner Eksen Dönüşümü (Park Dönüşümü)

Park dönüşümleri Denklem 3.3.'te gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} i_{s0} \\ i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} & \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \cos\theta_s & \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_r - \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin\theta_s & -\sin(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_r - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sA} \\ i_{sB} \\ i_{sC} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Burada  $\theta_r$  , d eksenini ile  $\alpha$  ekseninin yaptığı rotor açısıdır.

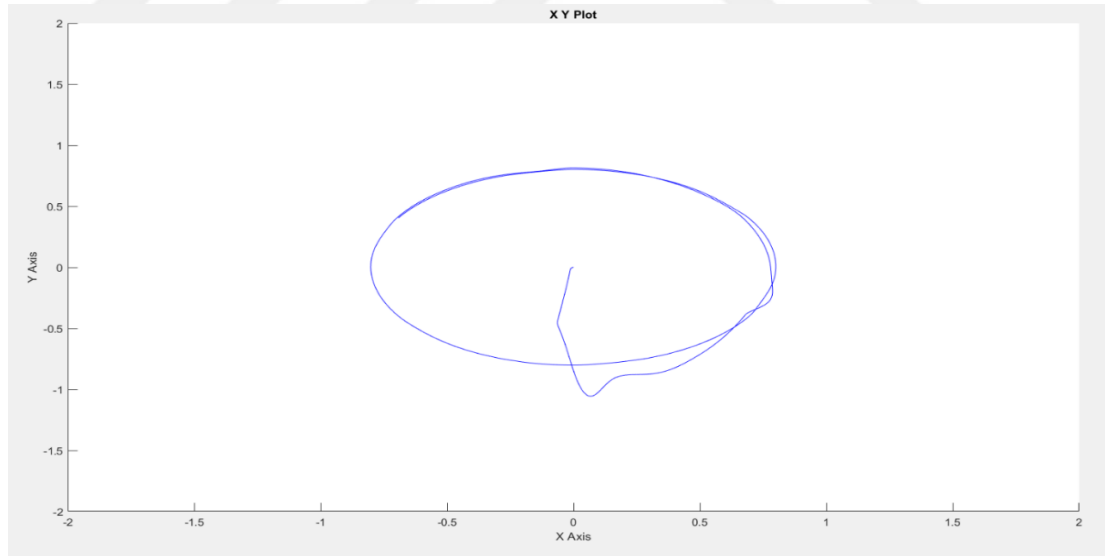
### 3.6. dq $\rightarrow$ abc Döner Eksen Dönüşümü (Ters Park Dönüşümü)

Ters Park Dönüşüm denklemleri Denklem 3.4.'te gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} i_{sA} \\ i_{sB} \\ i_{sC} \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} \cos\theta_r & -\sin\theta_r \\ \frac{\sqrt{2}}{2} \cos(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_r - \frac{2\pi}{3}) \\ \frac{\sqrt{2}}{2} \cos(\theta_r - \frac{4\pi}{3}) & -\sin(\theta_r - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{s0} \\ i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

İşlemler sonucunda DTC – SVM Modellememizin sonucunda asenkron motorumuzun gerilim, akım, trok akı ve akımın d ve q eksenlerinin birbirlerine göre grafiğe dökülmüş şekli olan akı çemberi değerleri aşağıdaki gibidir.

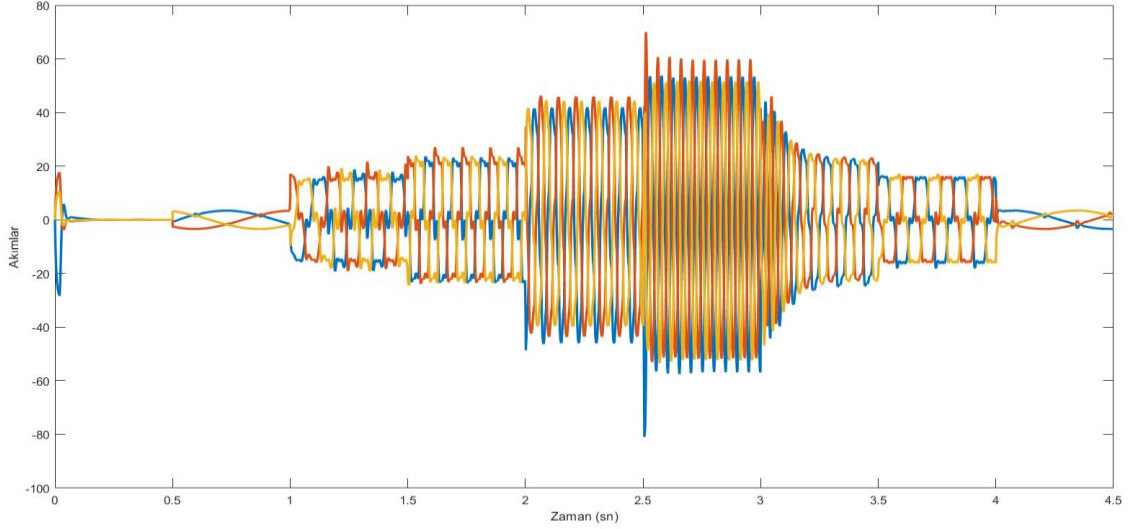
### 3.7. Uzay Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri



Şekil 3.2. DMK - UVM akı çemberi

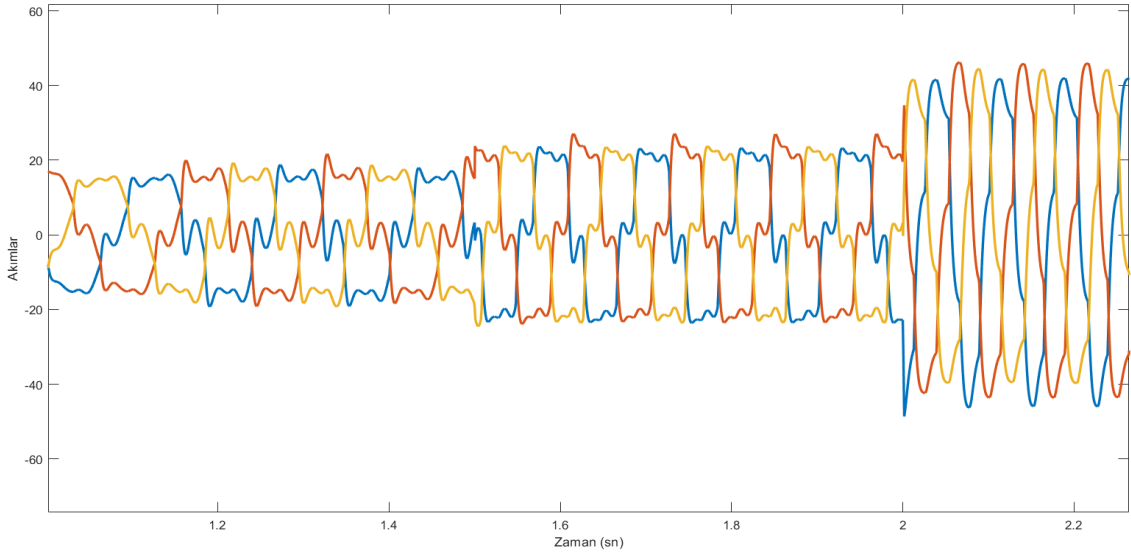
Şekil 3.2.'de gösterilen akı çemberi akımın d bileşeninin q bileşenine göre çizilmesiyle elde edilmiştir. Çemberin daireye benzeme oranı %92'dir.

Bu oran çember merkezinden çembere çizilen en kısa mesafenin en uzun mesafeye oranlanmasıyla elde edilir. Ancak daireye tam olarak benzemeyen şekillerde (dörtgen, beşgen vb.) bu değer sağlıklı sonuç veremeyebilmektedir.



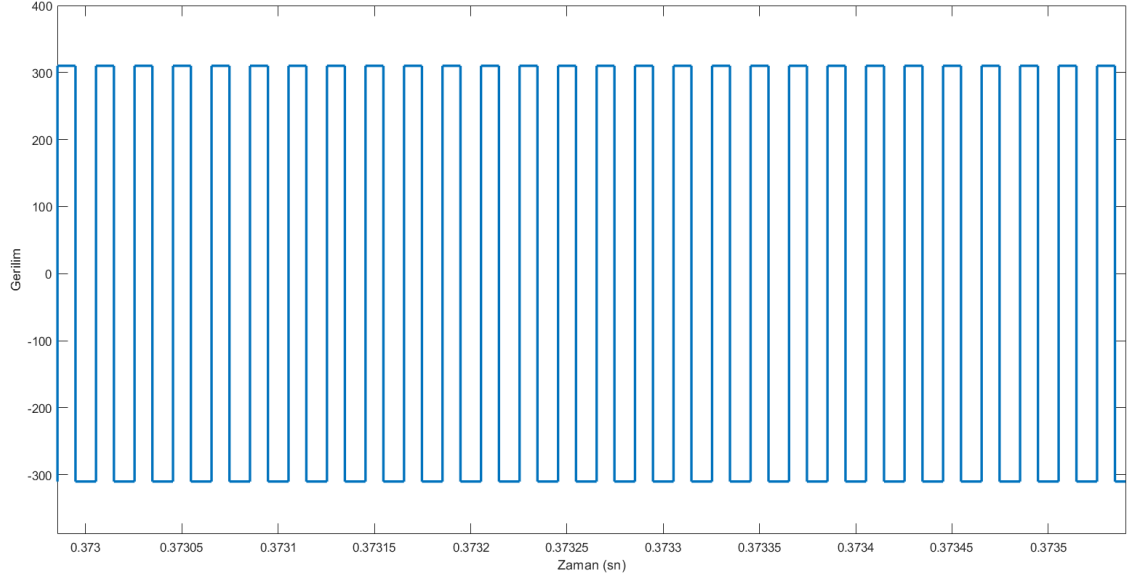
Şekil 3.3. DMK - UVM akım değerleri

Şekil 3.3'te akım değerleri gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 66,19'dur. Sistemin tork değerleri her 0,5 saniyede bir farklı tork değerlerine getirildiği için akımda da tork değerlerine göre değişim görülmüştür.



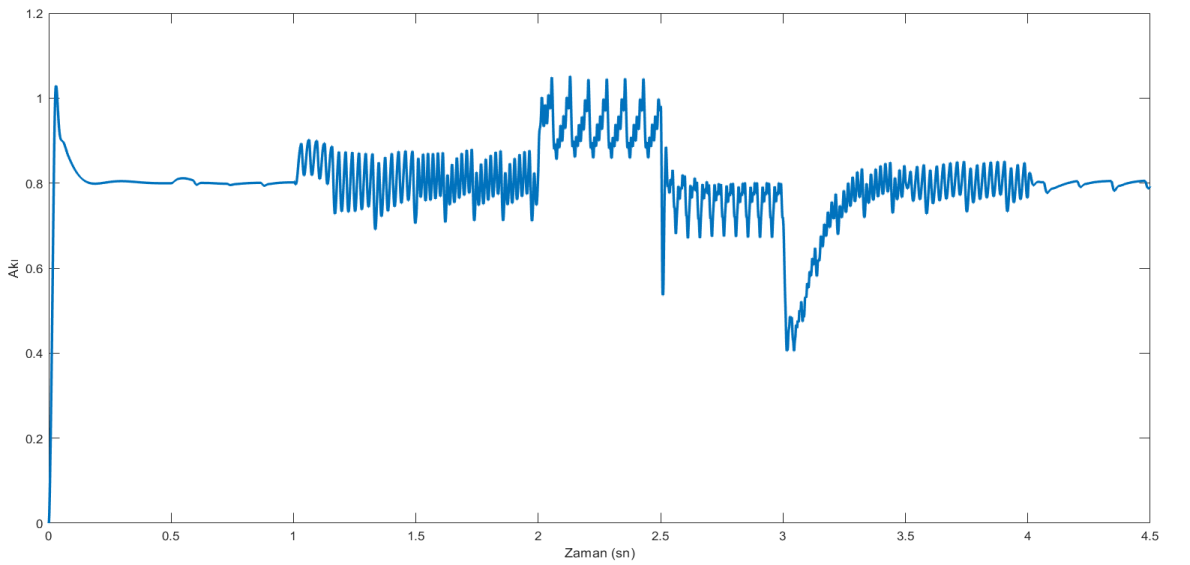
Şekil 3.4. DMK - UVM yakınlaştırılmış akım değerleri

Şekil 3.4'te gösterilen akım değerleri Şekil 3.3.'te gösterilen akım değerlerinin yakınlştırılmış görünümüdür.



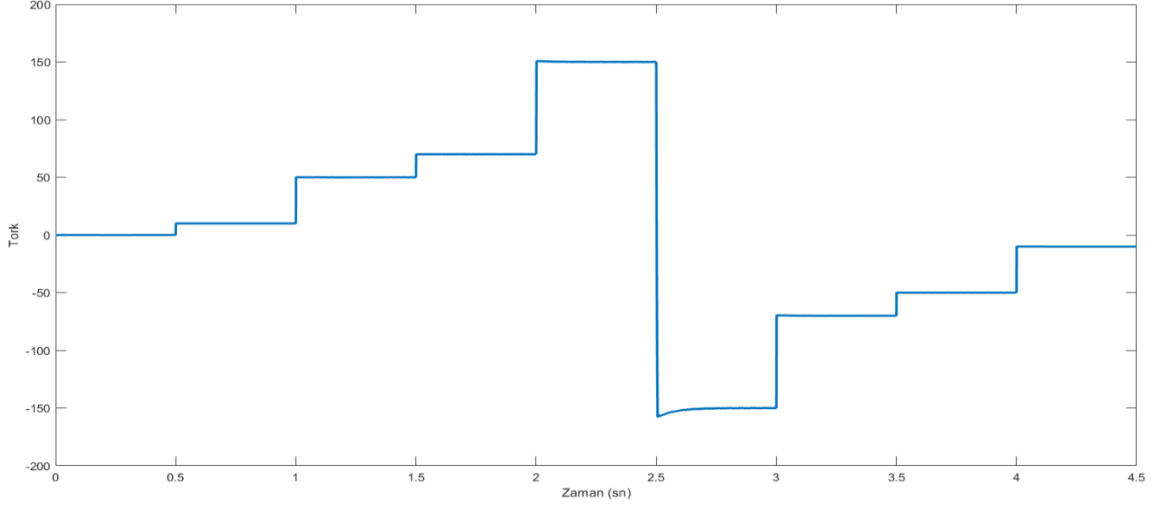
Şekil 3.5. DMK - UVM gerilim değerleri

Şekil 3.5.'te gerilim değerleri gösterilmiştir. Sistemin gerilim değerleri +311 Volt ve -311 Volt arasında değişmektedir.



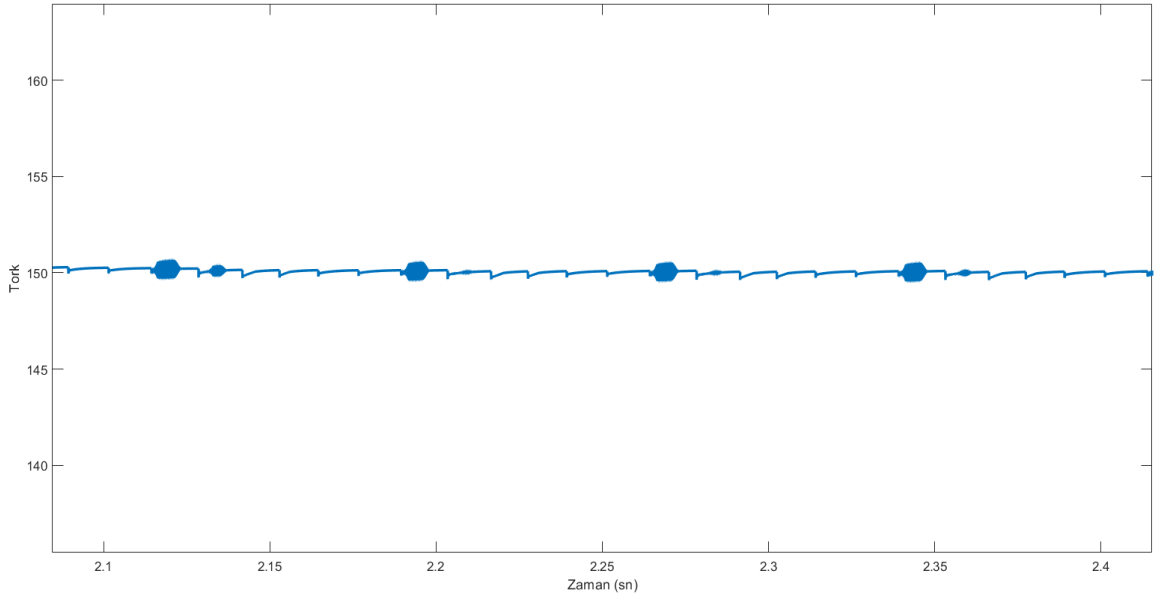
Şekil 3.6. DMK - UVM akı değerleri

Şekil 3.6’da akı değerleri gösterilmiştir. Sistemimizin akı referansı 0.8 değerine ayarlanmıştır. Tork değişiminden kaynaklı akıda değişimler görülse de sistem Şekil 3.6’da görüldüğü üzere akıyı 0.8 değerine başarıyla sabitlemiştir.



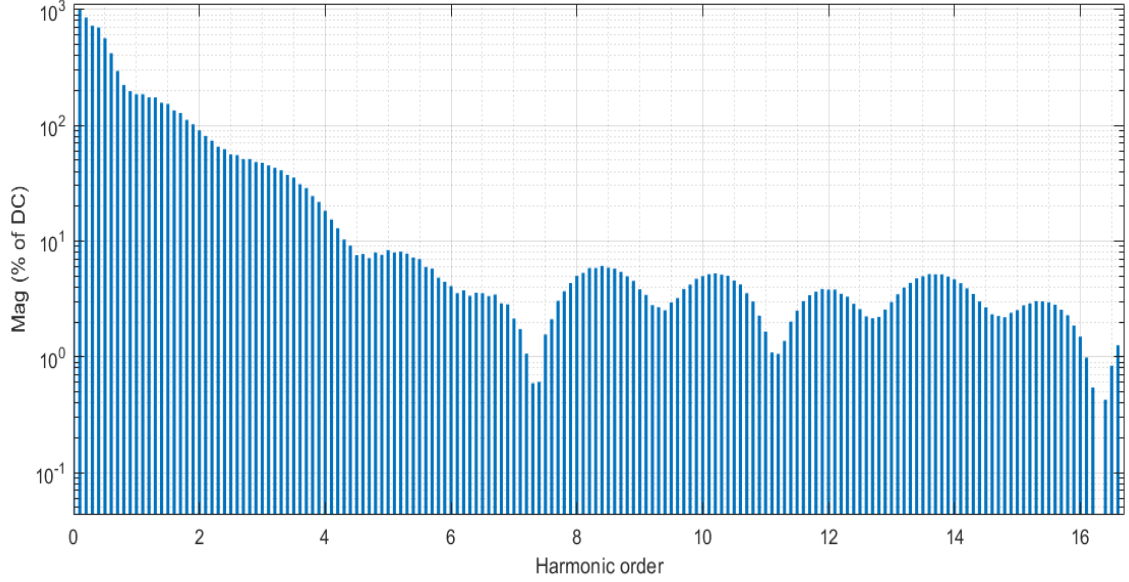
Şekil 3.7. DMK - UVM tork değerleri

Şekil 3.7.’de tork değerleri gösterilmiş ve sistemin farklı tork değerlerine verdiği tepkinin ölçülmesi için tork değerleri 0.5 saniyede bir değiştirilmiştir.



Şekil 3.8. DMK - UVM yakınlaştırılmış tork değerleri

Şekil 3.8’te gösterilen tork değerleri Şekil 3.7.’de gösterilen tork değerlerinin yakınlştırılmış görünümüdür.



**Şekil 3.9.** DMK - UVM THD değerleri

Şekil 3.9.’da akım değerlerinin toplam harmonik bozulması gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 66,19’dur.

### 3.8. Lyapunov Tabanlı Akı Gözlemleyici Tasarımı

Lyapunov Teoremine göre elimizde bir diferansiyel denkleminiz varsa ve bu denklemin çözümlerini bulmak istiyorsak ilk önce yapmamız gereken şey, sistemin kritik noktalarını (sabit nokta da denilebilir) bulmaya çalışmaktır. Skaler diferansiyel denklemlere otonom denklemler de denilmektedir. Diferansiyel denkleminizin otonom olduğunu ve Denklem 3.5.’teki gibi bir denkleminiz olduğunu kabul edersek,

$$\dot{x} = f(x) \quad (3.5)$$

Bu denklemin ilk durumunda yani başlangıç seviyesinde ( $t = 0$ ) çözümümüzün değeri bizim belirleyebileceğimiz herhangi bir sabit sayı olsun. Denklem 3.6.’da olduğu gibi bu sayıya  $c$  diyelim.

$$x(0) = c \quad (3.6)$$

Bu sistemin kritik yani sabit noktaları ( $f(x) = 0$ ) denkleminin çözümleridir. Mesela, ( $\dot{x} = -x$ ) sisteminin tek bir sabit noktası vardır:  $x' = 0$ . Eğer sistemimizi bu

kritik noktadan başlatırsanız ( $c = 0$ ), çözümünüz zamandan bağımsız olarak daima sıfır kalacaktır ( $x(t) = 0$ ). Ancak, sistemimizi istediğiniz herhangi başka bir değerden başlatırsanız (mesela  $c = 3,20$  ya da  $100$ ), çözümünüz zaman ilerledikçe sıfıra yakınsar ( $x(t) \rightarrow 0$ ). Eğer denkleminizin çözümlerini net bir şekilde görebiliyorsak bu çok da şaşırtıcı değildir. Mesela, örnek denkleminiz  $x(t) = ce^{-t}$  şeklinde olsun. Bu denkleminde  $c$ 'yi ne seçersek seçelim çözüm sıfıra yakınsar.

Ancak, verilen bir diferansiyel denklemin açık çözümlerini bulmak genelde zordur ve bu gibi durumlarda sistemin çözümlerinin zaman sonsuza giderken nasıl davrandığını anlamaya çalışmak, sistem hakkında oldukça fazla bilgi verebilir. Yukarıdaki örneğimizde, sabit nokta olan  $x' = 0$  sistem için oldukça önemli çünkü bütün çözümler bu sabit noktaya yakınsamakta. Bu bilgiyi diferansiyel denklemin çözmeden bulmak istersek, Lyapunov fonksiyonunu kullanmanız gerekir. Bu method Rus matematikçi Aleksandr Mikhailovich Lyapunov tarafından bulunmuş ve onun doktora tezinde yer almıştır

Lyapunov akı gözlemleyici için kullanacağımız Lyapunov teoremi Denklem 3.7.'de gösterildiği üzere bize şunu söyler,

$$L = \sigma_T \dot{\sigma}_T + \sigma_\psi \dot{\sigma}_\psi \quad (3.7)$$

Biz burada akı gözlemleyici ile ilgileneceğimiz için denkleminde ilgileneceğimiz kısım,

$$L = \sigma_T \dot{\sigma}_T \quad (3.8)$$

olacaktır. Denklem 3.8.'deki gibi Lyapunov teoremine göre zamanla değişen akı değeri  $\dot{\sigma}_T$  değerini sabit nokta kabul eder ve  $\dot{\sigma}_T$  ifadesini sıfıra eşitleyerek ve akı gözlemleyicimizi buna göre dizayn edersek  $\sigma_T$  ifadesi ne olursa olsun çözümümüz sıfıra yakınsayacaktır. Burada sıfıra yakınsayan değer gözlemcimizden istenen değer ile tahmin ettiği değer arasındaki farktır. Yani gözlemleyicimizin istenen değeri sıfıra yakın bir değer ile tahmin etmesi demektir. Akı hatasının türevi Denklem 3.9.'daki gibi ifade edilir,

$$\dot{\sigma}_\psi = -(\psi_s \odot (u_s(V_i) - R_s i_s)) / |\psi_s| \quad (3.9)$$

Bu denkleminde  $u_s(V_i)$  inverter voltajıdır. Biz bu denkleminde 0 sonucunu elde etmek istediğimiz için  $u_s(V_i) = u_s$  kabul edeceğiz. Yani diğer bir deyişle,  $u_s(V_i) = u_s = R_s i_s$ .

Akı denklemindeki  $\odot$  ifadesinin formülizasyonu Denklem 3.10'da gösterildiği üzere,

$$\psi_s \odot \psi_r = \psi_{sa} \psi_{ra} + \psi_{sb} \psi_{rb} \quad (3.10)$$

Bu ifadeyi  $\dot{\sigma}_\psi$  denkleminde uygularsak Denklem 3.11. elde edilir,

$$\dot{\sigma}_\psi = -(\psi_{sa}(u_{sa} - R_s i_{sa}) - \psi_{sb}(u_{sb} - R_s i_{sb})) / |\psi_s| \quad (3.11)$$

Bu denklemin sonucunun 0 sabit değerine ulaşması için,

$$u_{sa} - R_s i_{sa}$$

$$u_{sb} - R_s i_{sb}$$

denkliklerinin sıfıra eşit olması gerekir. Dolayısıyla böyle bir durumda

$$\dot{\psi} = -(\psi_{sa}(0) - \psi_{sb}(0))/|\psi_s| = 0 \text{ olacaktır.}$$

Denklemler ışığında elde edilen sonuç  $u_s - R_s i_s$  işleminin sıfır etmesi gerektiğidir. Lyapunov fonksiyonunun türevi her bir ayrı invertör gerilim vektörü için negatif olacaksa, invertörlü sistem AC motoru her iletken aralıkta kararlı anahtarlama üretir, ancak bizim sistemimizde sonuç sıfıra eşitlenmiştir.

$u_s - R_s i_s$  işlemi 0'a eşitlendiğinde yukarıdaki bütün işlemler sağlanacak ve hata değerimiz sıfıra sabitlenecektir.

Zamanla değişen hata değerimizi ifade etmek için akının zamana göre türevini almamız gerekmektedir çünkü, Türev, bir fonksiyonun belirli bir noktadaki değişim oranıdır. Değişim oranımız sıfıra eşit olacak dolayısıyla Denklem 3.12. elde edilecektir,

$$\frac{d\psi_s}{dt} = u_s - R_s i_s \quad (3.12)$$

$i_s = -(\psi_r - \psi_s)/L_s$  denkleğini yukarıdaki formülde yerine yazarsak,

$$\frac{d\psi_s}{dt} = u_s - R_s \cdot \left(-\frac{\psi_r - \psi_s}{L_s}\right) \quad (3.13)$$

$$\frac{d\psi_s}{dt} = u_s - \frac{R_s}{L_s} \psi_s + \frac{R_s}{L_s} \psi_r \quad (3.14)$$

Denklem 3.13 ve Denklem 3.14.'te elde edilen denklemlerden daha iyi bir performans sağlamak için, stator direncinin etkisine, akım odaklı ek bir dengeleyici eklenir. Bu dengeleyicinin görevi akımı kullanarak stator direncinin etkisini artırmaya yöneliktir.

$$\frac{d\psi_s}{dt} = u_s - \frac{R_s}{L_s} \psi_s + \frac{R_s}{L_s} \psi_r + K_i (i_s - i_s) \quad (3.15)$$

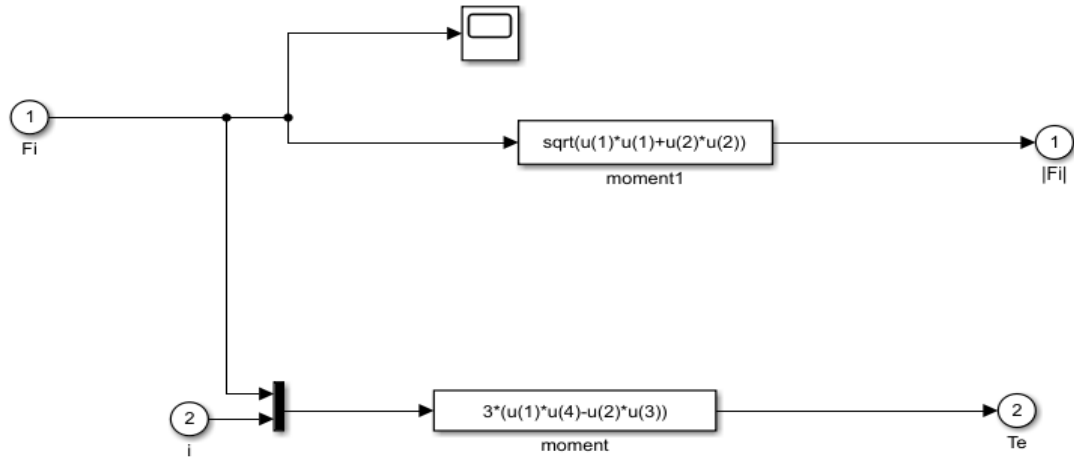
Denklem 3.15.'te kullanılan  $i_s$ , tahmini stator akısını ifade etmektedir.

Lyapunov teoremi doğrultusunda akının d ve q değerlerinin karesini almadan önce sistem değişkenlerinden etkilendiği gerçeğini sisteme uygulamaktır. Akı değerleri stator direnci, stator endüktansı, kaynak akımı ve voltajdan etkilendiği için denklemler doğrultusunda gözlemeleyici şeması tasarlanmıştır.

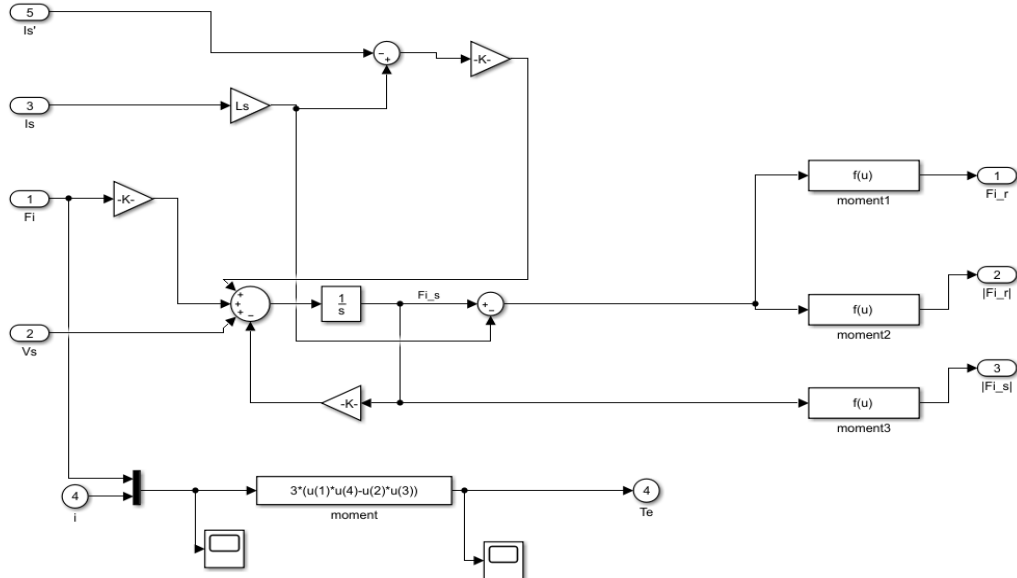
Kullanılan  $K_i$  değeri,  $R_s/L_s$  değerine ayarlanmıştır. Akı sistem değişkenlerinden geçtikten sonra, d ve q değerlerinin genlikleri alınmıştır. Sistemdeki tork hesaplanırken ise akının değişkenleri ve akımın değişkenleri direkt olarak formüle uygulanmıştır.

Sisteme stator akısı geri besleme olarak verilerek ayrıca istenilen değere ulaşmak için her defasında akının tekrar kontrol edilmesi ve sonucunda hatayı minimuma indirmek amaçlanmıştır.

Bu işlemlerden sonra akı bileşenlerine sistem değişkenleri etki ettirilerek akının dalgalanmasında azalma gözlemlenmiş ve daha kararlı bir akı grafiği elde edilmiştir.



Şekil 3.10. Klasik DMK - UVM akı gözlemleyicisi simulink blok şeması



Şekil 3.11. Lyapunov akı gözlemleyicisi simulink blok şeması

### 3.9. Lyapunov Tabanlı Zamanlayıcı Tasarım

Lyapunov zamanlayıcı teoremi için kullanacağımız Lyapunov teoremi bize şunu söyler,

Sistem denklemini ikinci dereceden dinamik sistem şeklinde ifade edilebilen sistemler için tasarladığımız kontrol denetim sinyali, pozisyon hatasının üstel olarak sönümlenmesi için gerekli koşulları sağlar. Burada bahsedilen ikinci dereceden dinamik sistemin elde edilişi, kontrol sistemimizin elde edilişi ve pozisyon hata değeri aşağıdaki formülasyonlarda ifade edilmiştir.

Burada ifade edilen ikinci dereceden dinamik sistem modelimiz için kullanmamız gereken denklem,  $\ddot{x} + f(x, \dot{x}, \theta) = u(t)$ ,

$$\text{Denetim sinyalimiz, } u = (\ddot{x}_d + \alpha \dot{e}) + f(x, \dot{x}, \theta) + kr,$$

Pozisyon hata değerimiz ise  $e = x_d - x$  olacaktır. Bu ifadelerin elde edilişleri ise şu şekildedir.

Endüstriyel ortamlarda ve doğal çevremizde genellikle en çok karşılaştığımız sistem çeşidi ikinci dereceden dinamik sistemlerdir. Bu tip denklemleri Lyapunov Kararlılık Teoremi ışığında incelersek Genel Model ve Tam Bilinen Model Bazlı Denetim yapmamız gerekecektir. Çünkü sistemimiz nonlineer bir sistemdir ve bulmak istediğimiz belirsizlikler olsa da genel modeli hakkında bilgimiz vardır, burada bulmak istediğimiz belirsizlik inverterimize vermek istediğimiz gate (kapı) sinyalindeki zaman süreleridir. Sistemimizde zamanlayıcı tasarımına geçmeden önce, sistemimizin içinde bulunan  $V_{dc}$ , 0.0005 saniyelik başlangıç zaman değeri ve sektör değerleri olduğu için ve bunların bileşenlerinin istenilen değerle kıyaslanması için, önce bizim tarafımızdan bir işleme tabi tutulması gerekmektedir. Sistemde zaman ve gerilim değerlerinin bileşenlerini içeren T1 ve T2 fonksiyonları için, denklemler şu şekildedir (Jung, 2005),

T1 ve T2 fonksiyonları sırasıyla,

$$T1 = u[1](\sin(u[3].\pi/3)\cos(u[2])-\cos(u[3].\pi/3).\sin(u[2]))$$

$$T2 = u[1](\cos((u[3]-1)(\pi/3))\sin(u[2])-\sin((u[3]-1)(\pi/3))\cos(u[2]))$$

Sektör hesaplamasının da dahil olduğu a, b ve c sürelerinin veren hesaplamaların denklemleri ise ilk etapta şu şekildedir,

$$Ta = (u[4]==1)(u[1]+u[2]+u[3])+(u[4]==2)(u[1]+u[2]+u[3])+(u[4]==3)(u[1]+u[3])+(u[4]==4).(u[1])+(u[4]==5)(u[1])+(u[4]==6)(u[1]+u[2])$$

$$Tb = (u[4]==1)(u[1])+(u[4]==2)(u[1]+u[2])+(u[4]==3)(u[1]+u[2]+u[3])+(u[4]$$

$$\begin{aligned}
&=4).(u[1]+u[2]+u[3])+(u[4]=5)(u[1]+u[3])+(u[4]=6)(u[1]) \\
T_c &= (u[4]=1)(u[1]+u[3])+(u[4]=2)(u[1])+(u[4]=3)(u[1])+(u[4]=4)(u[1] \\
&+2)+(u[4]=5)(u[1]+u[2]+u[3])+(u[4]=6)(u[1]+u[2]+u[3])
\end{aligned}$$

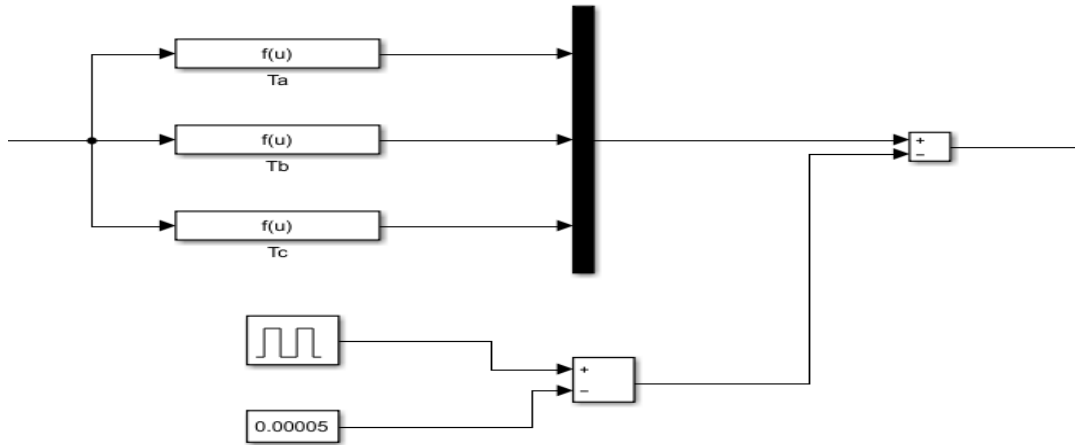
Burada hesaplamalarda kullanılan  $u$  değerleri Simulink bloğuna gelen voltaj, akı vs. gibi ifadelerin içindeki bileşenlerdir. Örneğin daha önceki açıklamamızda bahsettiğimiz akı bloğunun içinde aslında  $d$  ve  $q$  olmak üzere iki bileşen vardır. Bunlar simulink bloğunun içerisinde  $u[x]$  veya  $u[y]$  olarak 2 farklı  $u$  değeri olacak şekilde belirtilebilir. Hesaplamalardan sonra, Denklem 3.16.'da gösterildiği üzere

$$\ddot{x} + f(x, \dot{x}, \theta) = u(t) \quad (3.16)$$

İfadesi sistemin genel denklemdir. Ayrıca sistemimiz için pozisyon hata değerini de hesaplamamız gerekecektir.

Bu hesaplamalarda pozisyon hata değerimiz Denklem 3.17.'deki gibi olur,

$$e = x_d - x \quad (3.17)$$



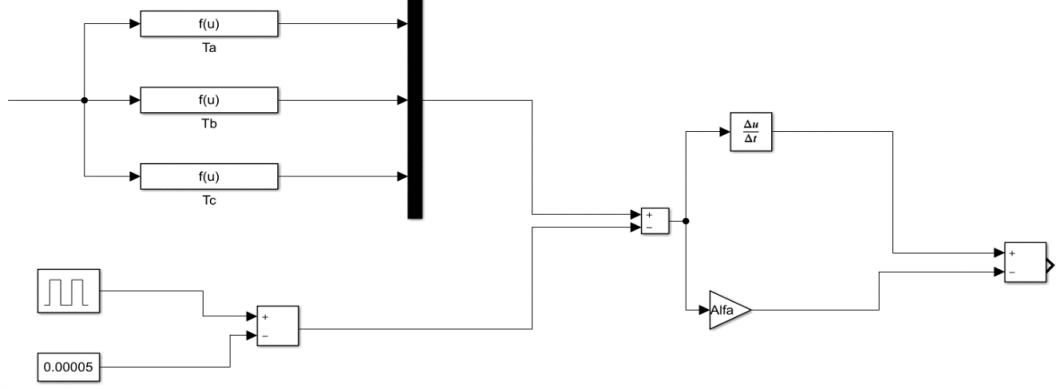
Şekil 3.12. Pozisyon Hata Değeri

Şeklinde ifade edilmektedir. Pozisyon hata değerimiz, basitçe anlatmak gerekirse, formülden de anlaşılacağı gibi istenilen değer ile sistemimizin verdiği değer arasındaki farktır.

Sistemimizin çıkışı için istenen referans sinyali sabit bir değer seçilme durumunda da aynı şekilde yukarıda kullandığımız tanım geçerliliğini korumaktadır. Ancak genel bir yaklaşım sağlayabilmek için çalışmamızda izleyici denetim sistemimizde çıkışın, zamanla değişen bir girişi en az hata ile önceden tanımlanan bir yörüngeyi izlemesi esas

alınmıştır. Bu hatayı ikinci dereceden sistemlere taşımak amacı ile "filtrelenmiş" hata sinyalini kullanırız ve Denklem 3.18.'deki gibi tanımlayabiliriz.

$$r = \dot{e} + \alpha e \quad (3.18)$$



**Şekil 3.13.** Filtrelenmiş hata sinyali

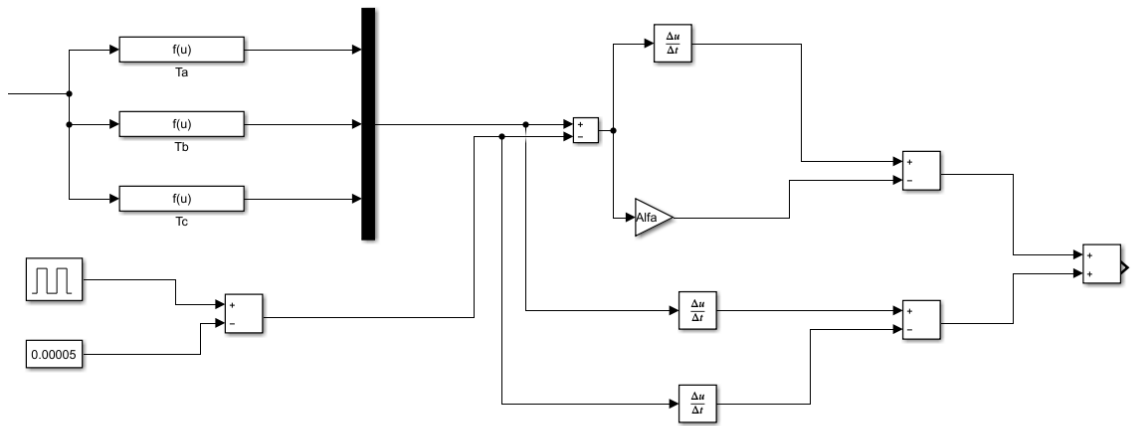
Burada kullanılan  $\alpha$ , sistemimizde yer alan pozitif bir kazanç katsayısıdır. Sonuç olarak hata ile filtrelenmiş hata değeri arasındaki ilişkiyi sunan transfer fonksiyonu,

$$e(s) = \frac{1}{s+\alpha} r(s) \quad (3.19)$$

Denklem 3.19.'daki gibi ifade edilir. Filtrelenmiş hata sinyalinin zaman içinde değişiminin, zamana göre türevini alıp hata değerini üstteki denklemde yerine koyarak,

$$\dot{r} = (\ddot{x}_d - \ddot{x}) + \alpha \dot{e} \quad (3.20)$$

Denklem 3.20. ifadesine ulaşırız.

Şekil 3.14.  $\dot{r}$  ifadesi

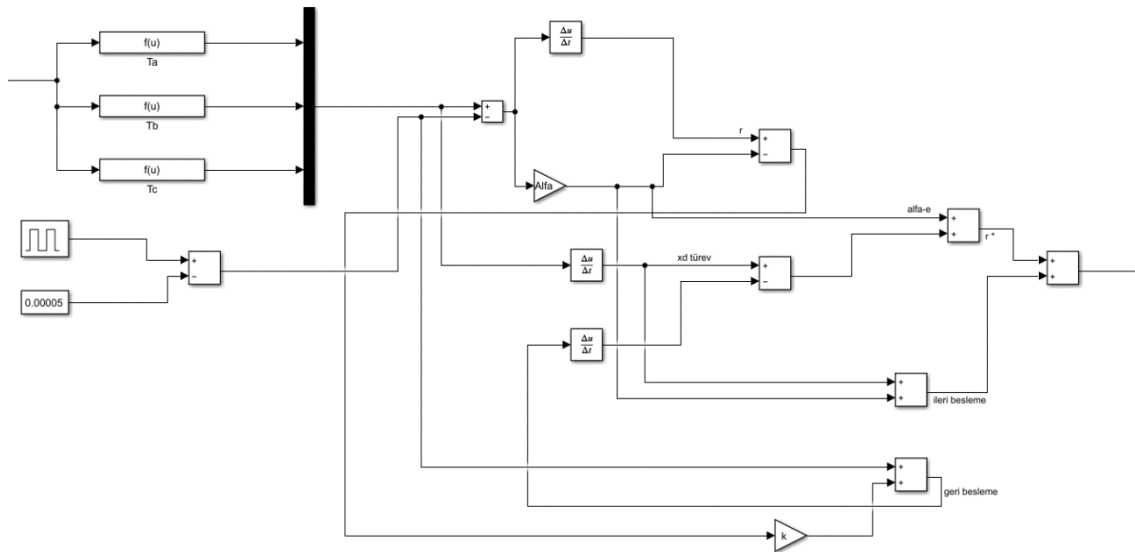
Sistem durumunun ikinci türevi ifadesini ilk sistem denklemleri ile ifade ederek oluşan denklemleri düzenleyerek

$$\dot{r} = (\ddot{x}_d + \alpha \dot{e}) - u + f(x, \dot{x}, \theta) \quad (3.21)$$

Denklem 3.21. elde edilir. Bu aşamada denetim giriş sinyalimizi

$$u = u_f + u_o \quad (3.22)$$

Denklem 3.22.'deki gibi yazılabilir.



Şekil 3.15. İleri ve geri besleme bloklarıyla oluşturulmuş Lyapunov simulink bloğu

İleri besleme bölümü  $u_f$  ve geri besleme bölümü  $u_o$  olarak iki parçaya ayırarak Denklem 3.23.'te gösterildiği gibi yazabiliriz. İleri besleme bölümümüz

$$u_f = (\ddot{x}_d + \alpha \dot{e}) \quad (3.23)$$

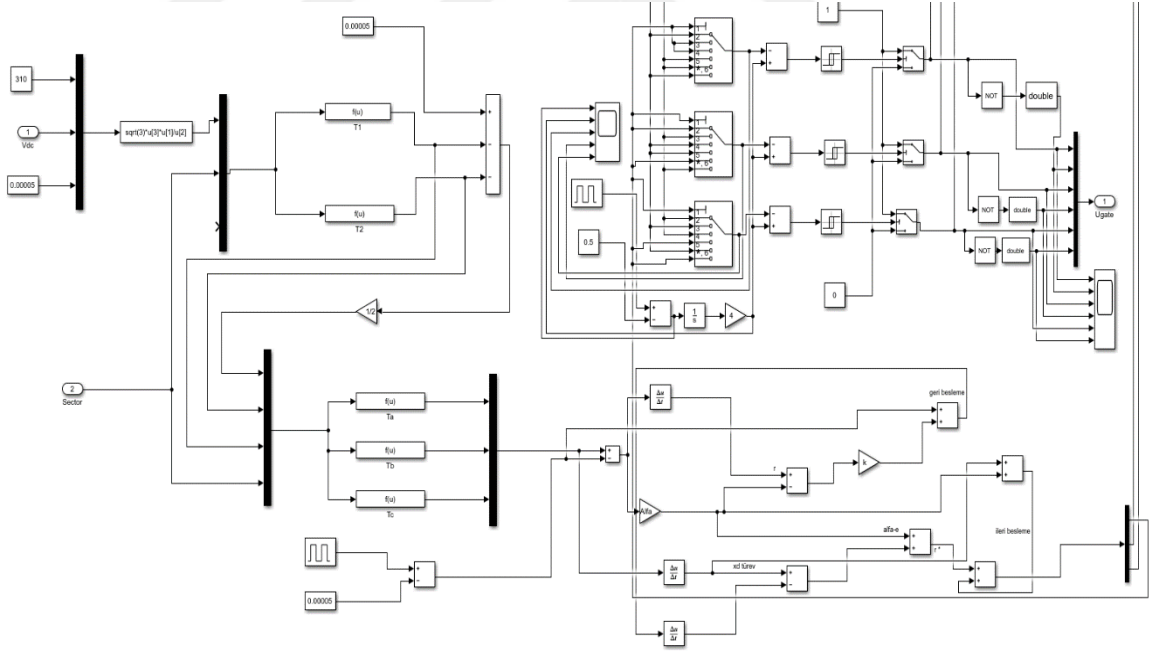
Denklem 3.23'teki tanımlanacak olup denetim sinyalimizin geri besleme kısmını içeren  $u_o$  'ı sunulacak kararlılık analizi ışığında Denklem 3.24.'te gösterilmiştir.

$$u_o = f(x, \dot{x}, \theta) + kr \quad (3.24)$$

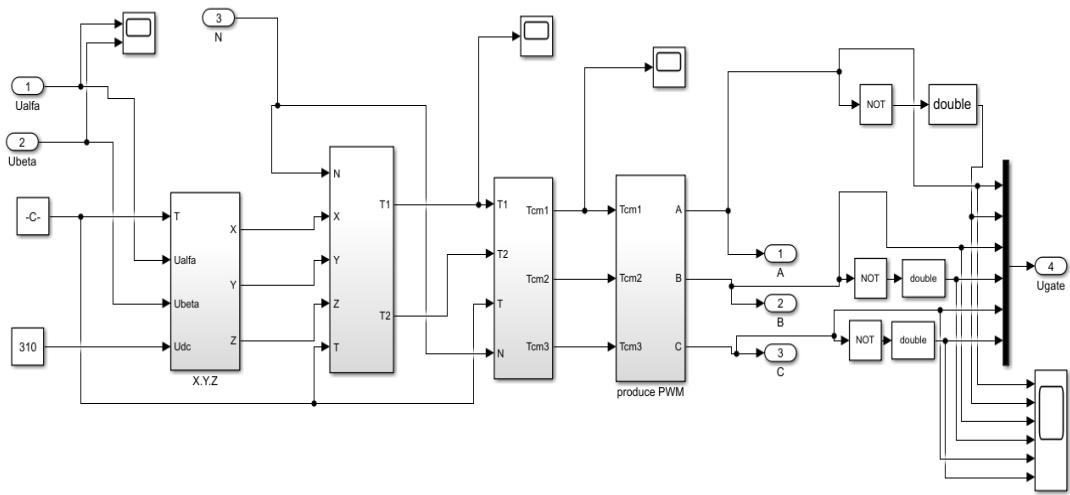
Bu ifadede yer alan  $k$ , pozitif bir kontrol kazanç katsayısı (geri besleme kazancı) olarak tanımlanmıştır. Denetim sinyali genel olarak Denklem 3.25.'te gösterildiği gibi,

$$u = (\ddot{x}_d + \alpha \dot{e}) + f(x, \dot{x}, \theta) + kr \quad (3.25)$$

Şeklinde tanımlanabilmektedir. Burada anlatılan denklemleri basitçe ifade edersek, hedeflenen değerimizi ve pozitif kazanç katsayısıyla çarptığımız hatamızı ileri besleme olarak, elde ettiğimiz sonuçları ise türevi alınmış çıkışımızla birlikte geri besleme olarak sistemimize eklememiz gerektiğini söyler. Hata değerimiz Lyapunov denklemlerine göre exponansiyel olarak sıfıra yaklaşacaktır.

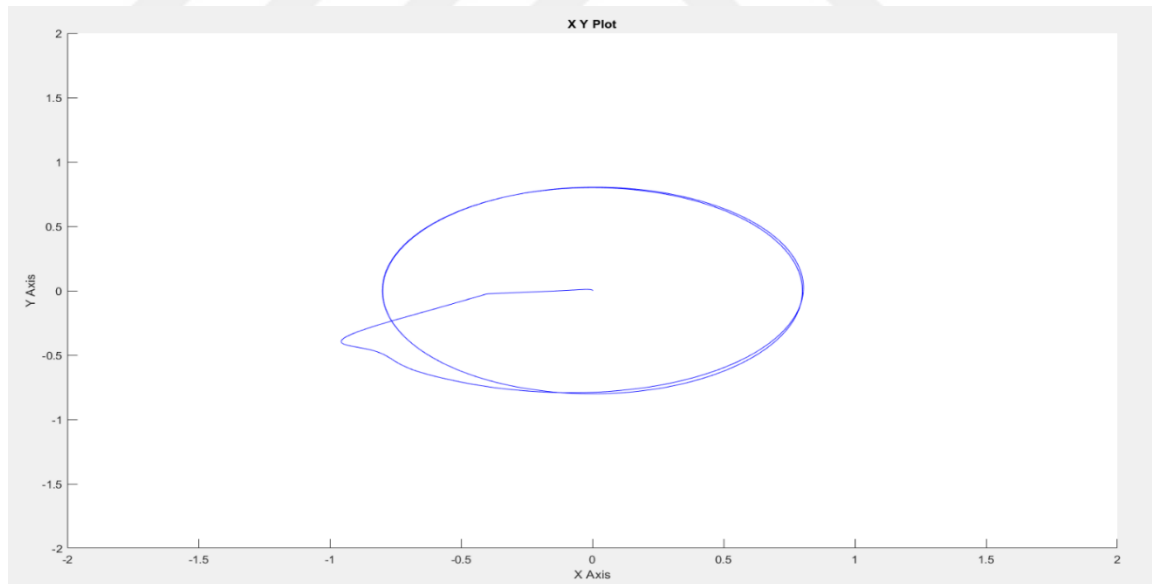


Şekil 3.16. Lyapunov zamanlayıcı simulink blok şeması



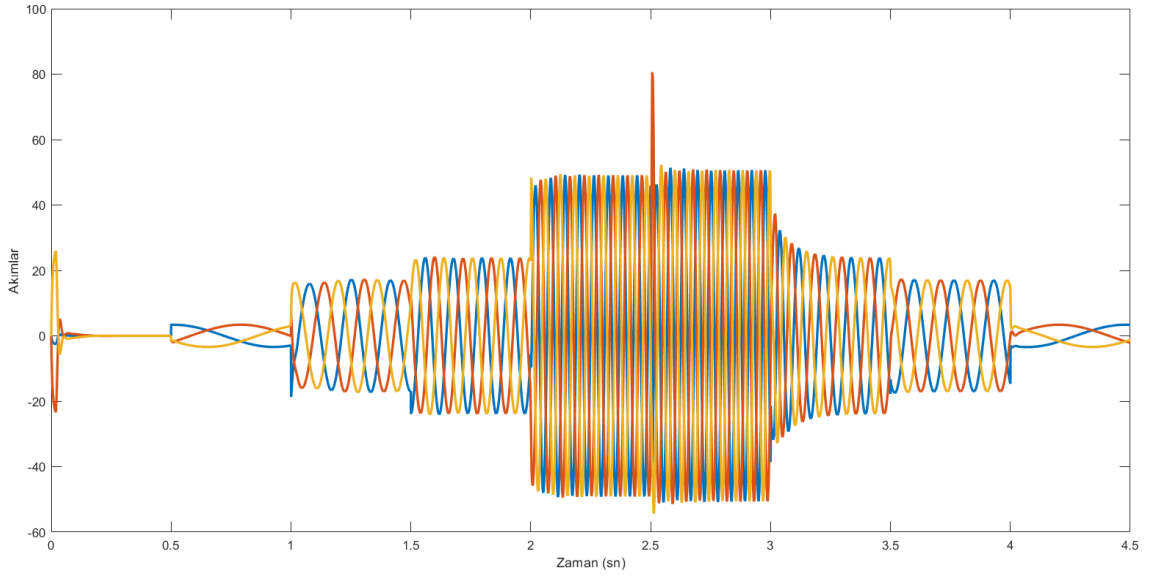
Şekil 3.17. Klasik DMK - UVM zamanlayıcı simulink blok şeması

### 3.10. Lyapunov Tabanlı Geliştirilmiş Uzay Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri



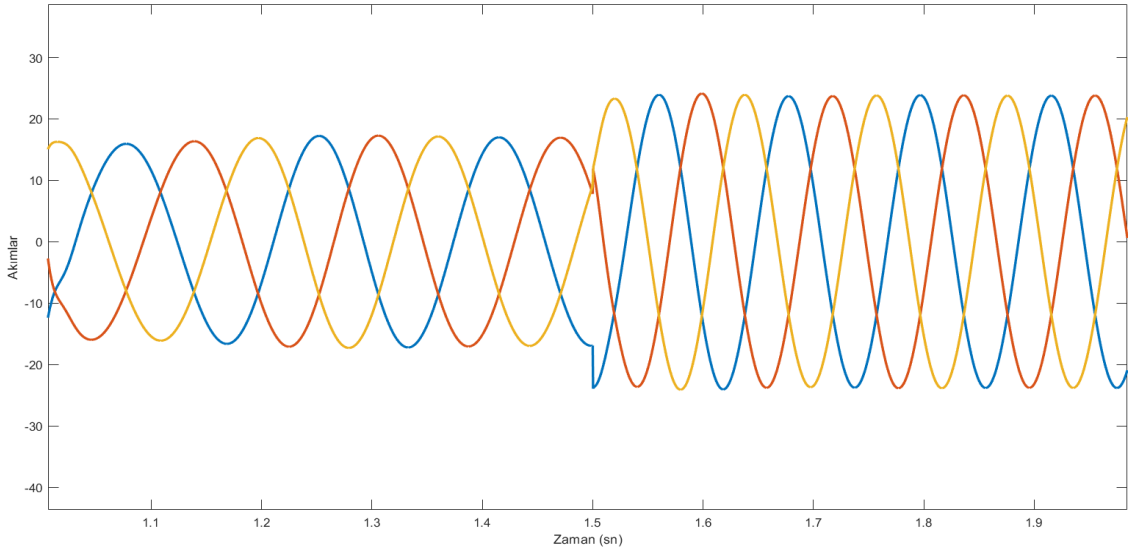
Şekil 3.18. Geliştirilmiş DMK - UVM akı çemberi

Şekil 3.18.'de gösterilen akı çemberi akının d bileşeninin q bileşenine göre çizilmesiyle elde edilmiştir. Çemberin daireye benzeme oranı %98'dir.



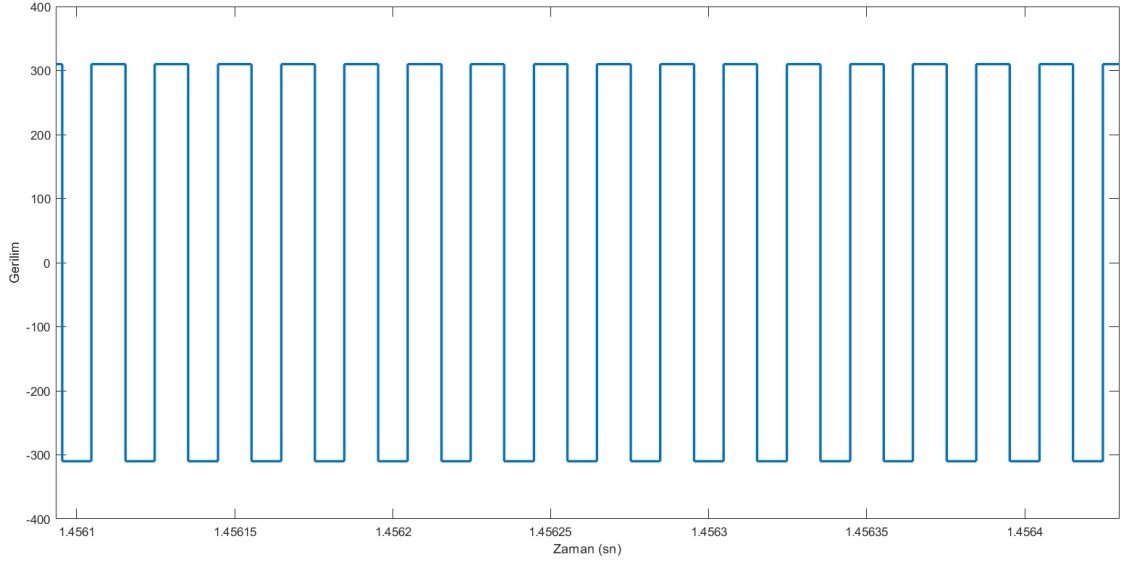
**Şekil 3.19.** Geliştirilmiş DMK - UVM akım değerleri

Şekil 3.19'da akım değerleri gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 58,12'dir. Sistemin tork değerleri her 0,5 saniyede bir farklı tork değerlerine getirildiği için akımda da tork değerlerine göre değişim görülmüştür.



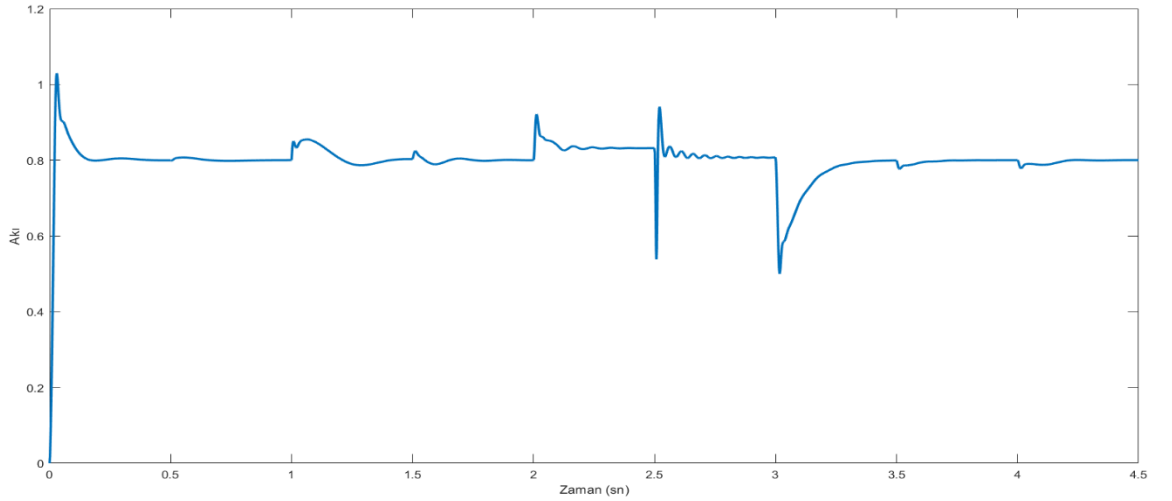
**Şekil 3.20.** Geliştirilmiş DMK - UVM Yakınlaştırılmış Akım Değerleri

Şekil 3.20'de gösterilen akım değerleri Şekil 3.19'da gösterilen akım değerlerinin yakınlaştırılmış görünümüdür.



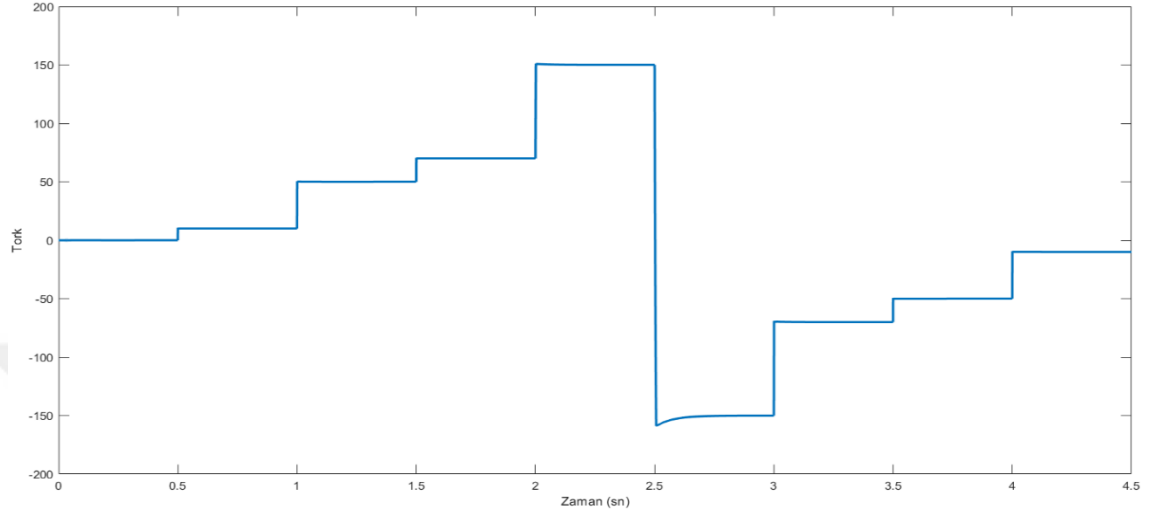
**Şekil 3.21.** Geliştirilmiş DMK - UVM gerilim değerleri

Şekil 3.21'de görülen gerilim değerleri, frekans olarak klasik DMK - UVM sisteminde görülen değerlerden daha düşüktür. Ancak kontrol sonuçları daha iyidir. Frekans azalmasına rağmen sistem üzerindeki kontrolümüz artmıştır.



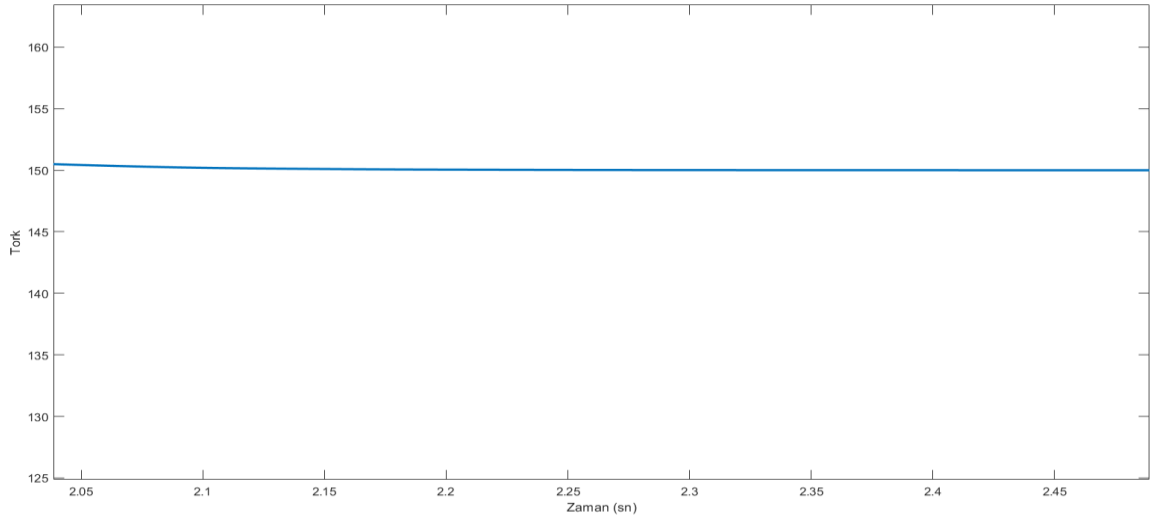
**Şekil 3.22.** Geliştirilmiş DMK - UVM akı değerleri

Sistemimizin akı değeri yine 0.8'e başarıyla sabitlenmiş ve şekil 3.22.'de gösterilen akım değerlerindeki harmonik bozulmalar klasik DTC - SVM sistemindeki harmonik bozulmaya göre %2 daha azdır.



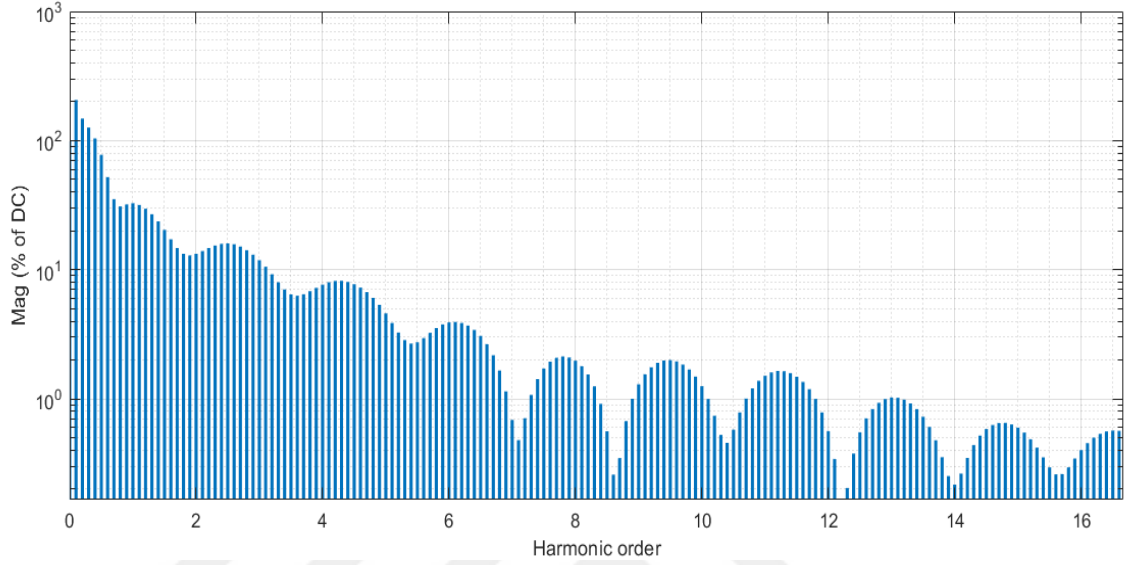
**Şekil 3.23.** Geliştirilmiş DMK - UVM tork değerleri

Şekil 3.23.'te sistemin tork değerleri gösterilmiş ve sistemin farklı tork değerlerine verdiği tepkinin ölçülmesi için tork değerleri 0.5 saniyede bir değiştirilmiştir.



**Şekil 3.24.** Geliştirilmiş DMK - UVM yakınlştırılmış tork değerleri

Şekil 3.24'te gösterilen tork değerleri Şekil 3.23.'te gösterilen tork değerlerinin yakınlştırılmış görünümüdür. Tork değerimizdeki toplam harmonik bozulma klasik sisteme göre %4 daha azdır.



Şekil 3.25. Geliştirilmiş DMK - UVM THD değerleri

Şekil 3.25.'te akım değerlerinin toplam harmonik bozulması gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 58.72'dir.

### 3.11. Elektrikli Araç Dinamikleri

#### 3.11.1. Elektrikli araca etki eden kuvvetler

Araç seyir halindeyken araca çeşitli kuvvetler etki etmektedir. Bu kuvvetler aşağıda gösterilmiştir.

- Yuvarlanma direnci, tekerleğin dönmesi esnasında yol ve lastiklerin şekil değiştirmelerinden kaynaklanır ( $F_{ro}$ )

$$F_{ro} = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \quad (3.26)$$

- Akışkanlar içlerinde hareket eden cisimlerin hareketlerine ters yönde bir kuvvete sebep olurlar. Havanın bir akışkan olduğu göz önünde bulundurulursa, durgun hava ortamında  $v$  hızı ile hareket eden araca hareket yönünün aksi istikamette hava direnci kuvveti etki eder ( $F_{ad}$ )

$$F_{ad} = \frac{1}{2 \cdot \rho \cdot C_W \cdot A_f} (v + v_0)^2 \quad (3.27)$$

- Aracın eğimli yolda hareketi esnasında ağırlığının yola paralel bileşeni yokuş direncini oluşturur ( $F_{cr}$ )

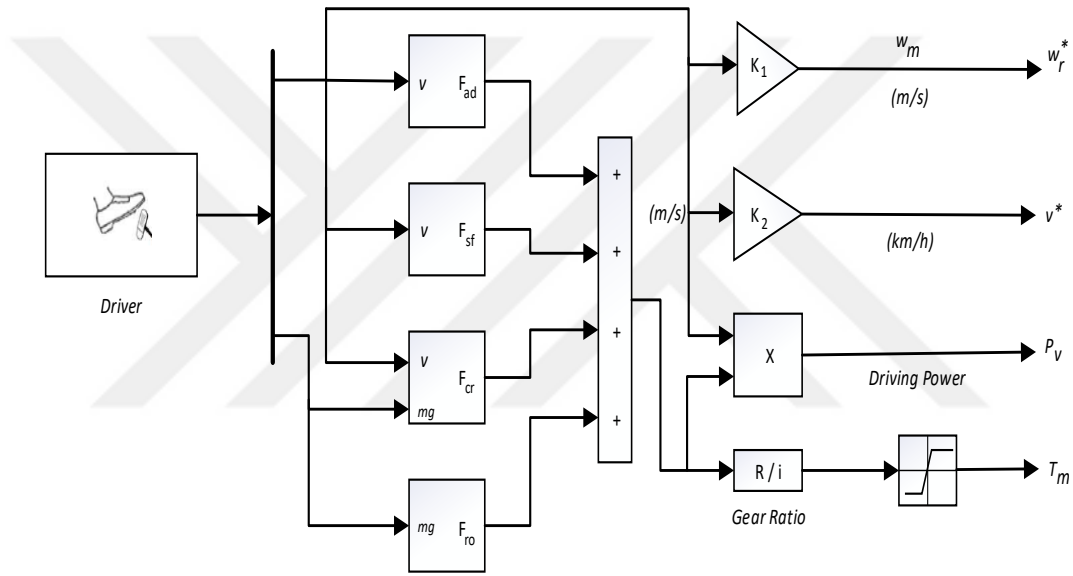
$$F_{cr} = \pm m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \quad (3.28)$$

- Stoke veya akışkan sürtünme kuvveti etkisi ( $F_{sf}$ ) genellikle ihmal edilir.

$$F_{sf} = k_A \cdot V \quad (3.29)$$

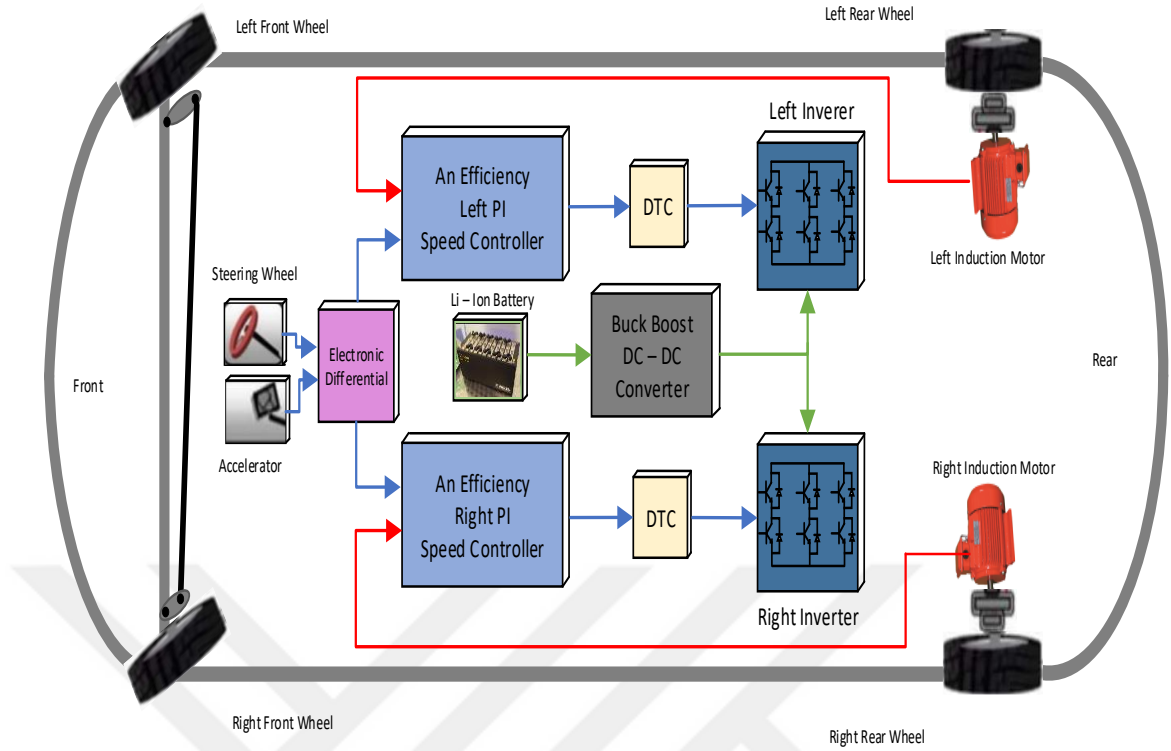
- Aracın hareketi bu dört kuvvetin birleşimi ile belirlenir.

$$F_W = F_{ro} + F_{sf} + F_{ad} + F_{cr} \quad (3.30)$$

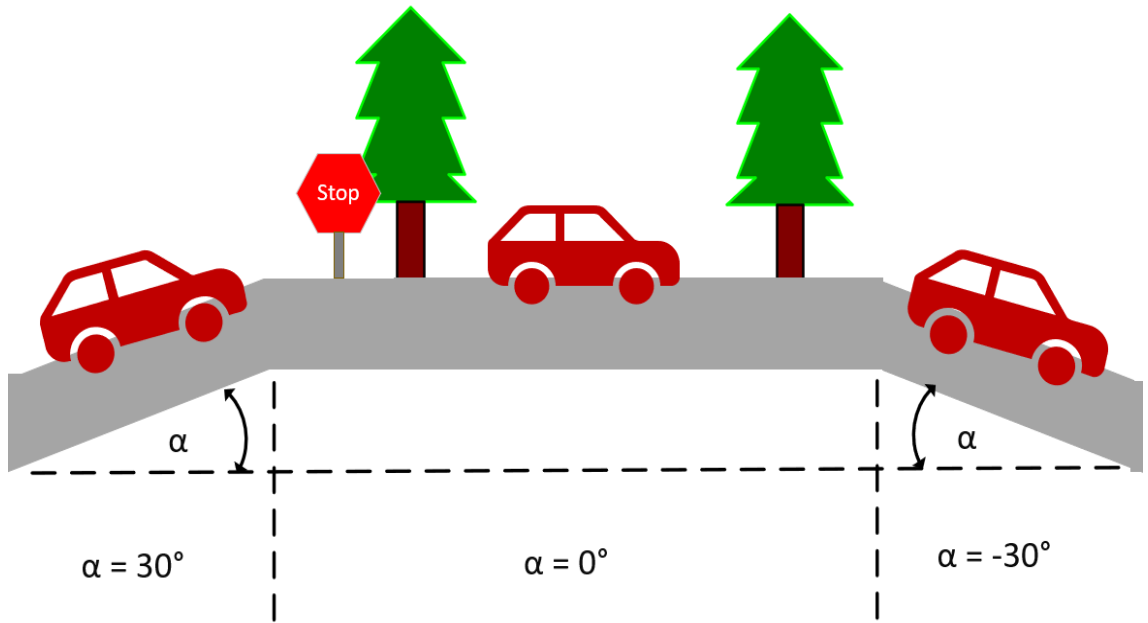


**Şekil 3.26.** Araca etki eden kuvvetler

Sistemimizin Tork referansını elektrikli araç üzerinden alarak bu sistemin elektrikli araçlar üzerindeki etkisini gösterebiliriz. Elektrikli aracımızın eğimli yollardaki etkisini gözlemlemek için yol eğimi olan  $\alpha$  değerini önce yer eksenine 30 derecelik bir açı yapacak şekilde, daha sonra ise yer eksenine -30 derecelik bir açı yapacak şekilde ayarladık. Önce elektrikli aracımızı +30 derecelik açı, daha sonra da -30 derecelik açı için daha önceden kullandığımız uzay vektör modülasyonu eklenmiş doğrudan moment kontrollü asenkron motora ekleyelim. Daha sonra bu sisteme eklediğimiz Lyapunov tabanlı gözlemleyicileri ekleyerek sistemdeki gelişmeleri gözlemleyebiliriz.



Şekil 3.27. Elektrikli araç yapısı



Şekil 3.28. Elektrikli aracın yol eksenine yaptığı açılar

Şekil 3.28.'de de gösterildiği üzere testlerimizde aracımız yer eksenini önce +30 derecelik bir açı (yokuş yukarı), daha sonra ise yer eksenini ile -30 derecelik bir açı (yokuş aşağı) yaptırılmış ve simülasyon sonuçlarımız bu eğimli durumlarda için edilmiştir. Burada amaç aracın değişik yol şartlarına verdiği tepkiyi gözlemlemektir.



#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tezde elektrikli araçlarda kullanılan asenkron motorların kontrolü için kullanılan Uzay Vektör Modülasyonu eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü yapıya Lyapunov Kararlılık Teoremi baz alınarak akı ve zaman gözlemleyicisi tasarlanmıştır. Bu akı ve zaman gözlemleyicileri ile birlikte elektrikli aracın yokuş aşağı ve yokuş yukarı konumlarında akım, tork, akı, gerilim ve flux çemberi çıktı sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçların hesaplanmasında simülasyon program Matlab / Simulink kullanılmıştır.

Sonuçlar doğrultusunda akı çemberinin uzay vektör modülasyonu eklenmiş doğrudan moment kontrollü sistemde, tam bir çember görünümünden uzak olduğu, ancak Lyapunov tabanlı sistemde bir çembere daha yakın bir görünüm gözlemlendiği görülmüştür. Yine Lyapunov tabanlı sistemde akı, tork, akım dalgalanmaları, uzay vektör modülasyonu eklenmiş doğrudan moment kontrollü sisteme göre azaltılmış, bu sayede sistem kararlılığı artırılmıştır.

Çeşitli sistemlerde elde edilen THD (Toplam Harmonik Bozulma) değerlerine bakıldığında, akım değerlerinde kayda değer bir azalma gözlemlenmiştir. DMK - UVM sisteminde akıdaki Toplam Harmonik Bozulma %66,19 iken sisteme Lyapunov akı ve zaman gözlemcileri eklendiğinde bozulma %58,72'e gerilemiştir. Elektrikli araç dinamiklerine bakıldığında DMK - UVM eklenmiş elektrikli araç akımında %53,21 değerinde bir Toplam Harmonik Bozulma varken, Lyapunov akı ve gözlemcisi eklendiğinde elektrikli araçtaki toplam harmonik bozulma %30,24 değerine düşmüştür.

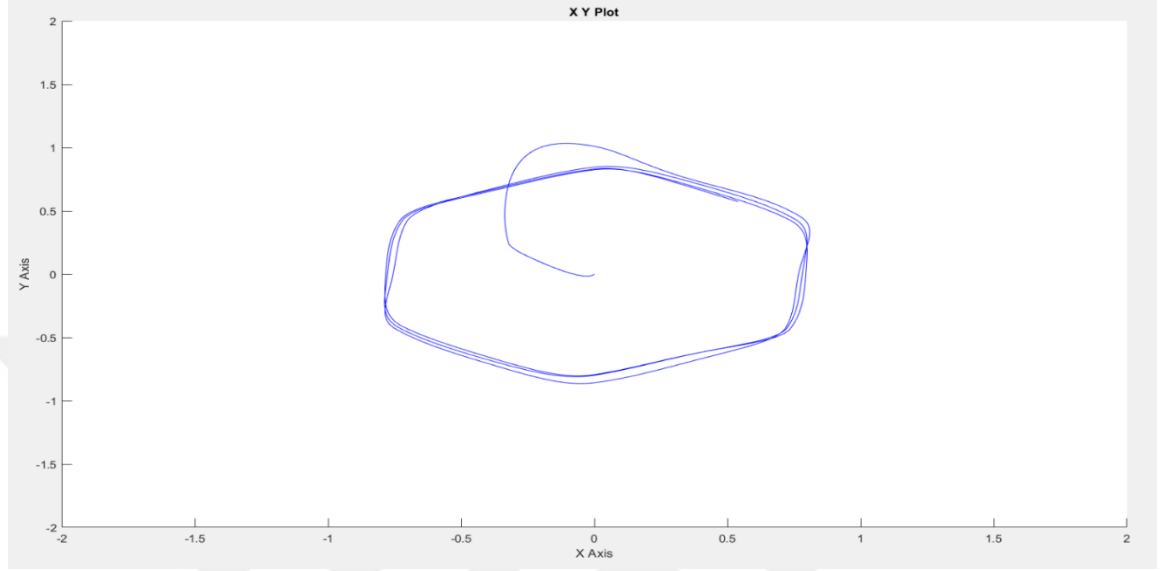
Bu tezde elde edilen sonuçlar doğrudan moment kontrolü, uzay vektör modülasyonu ve asenkron motorun matematiksel modelinden yararlanılarak MATLAB / Simulink platformunda gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde motorun pratikte meydana getirdiği kayma, ısınma vb. gibi doğrusal ötesi durumlar dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla bu yöntemde sistem gerçekte olduğuna göre daha kararlı davranış gösterebilmektedir. Bu tezde elde edilen sonuçların gerçeğe göre bir miktar daha farklı olacağı dikkate alınmalıdır. Bu tezde elde edilen sonuçlar bu gerekçeyle ideale biraz daha yakın olabilmektedir.

Tez çalışması sonucunda akı çemberinin daireye benzerlik yüzdesi %92'den %96'ya yükselmiş, akıdaki toplam harmonik bozulmada %23'lük, akıdaki toplam harmonik bozulmada %2,5'lik, torktaki toplam harmonik bozulmada ise yaklaşık %4'lük bir iyileşme kaydedilmiştir.

Gelecek planaması olarak daha sonra tez çalışmasına Lyapunov Akı Gözlemleyicisi ve Lyapunov Zamanlayıcısına ek olarak Lyapunov Tork Gözlemleyicisinin de eklenmesi düşünülmektedir.

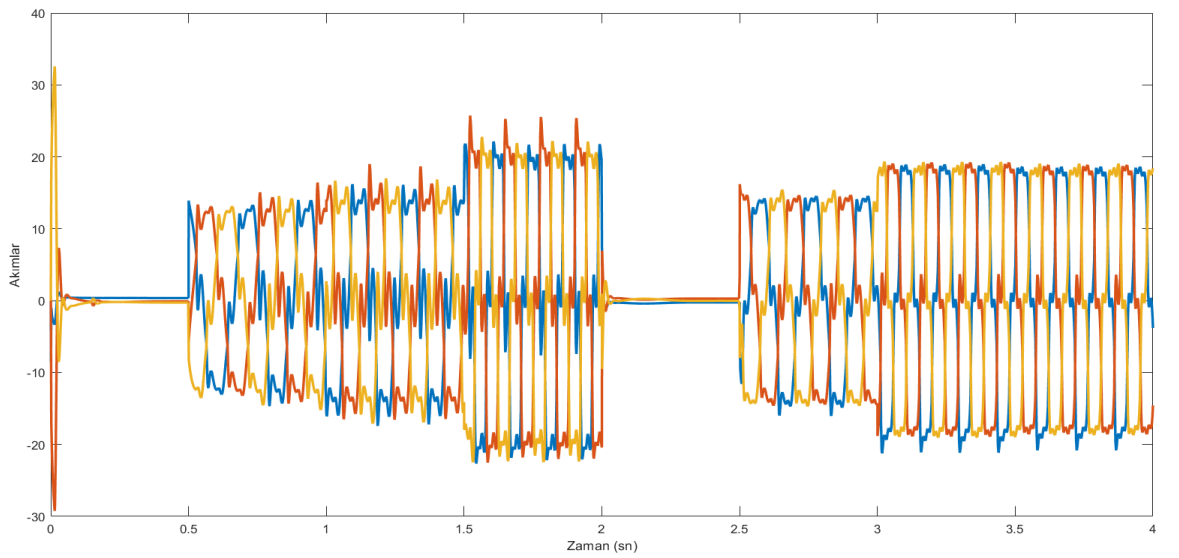
## 5. SONUÇLAR

### 5.1. Elektrikli Aracın +30 Derecelik Açı İçin Uzay Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri



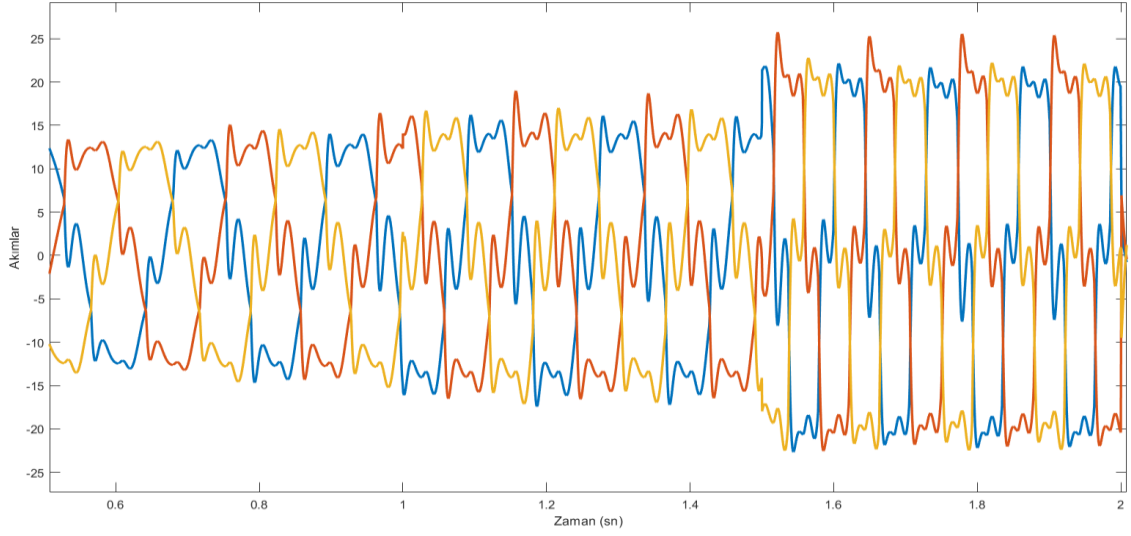
Şekil 5.1. Elektrikli araç DMK - UVM akı çemberi (+30 Derece)

Şekil 5.1.'de gösterilen akı çemberi akının d bileşeninin q bileşenine göre çizilmesiyle elde edilmiştir. Çemberin daireye benzeme oranı %91'dir.



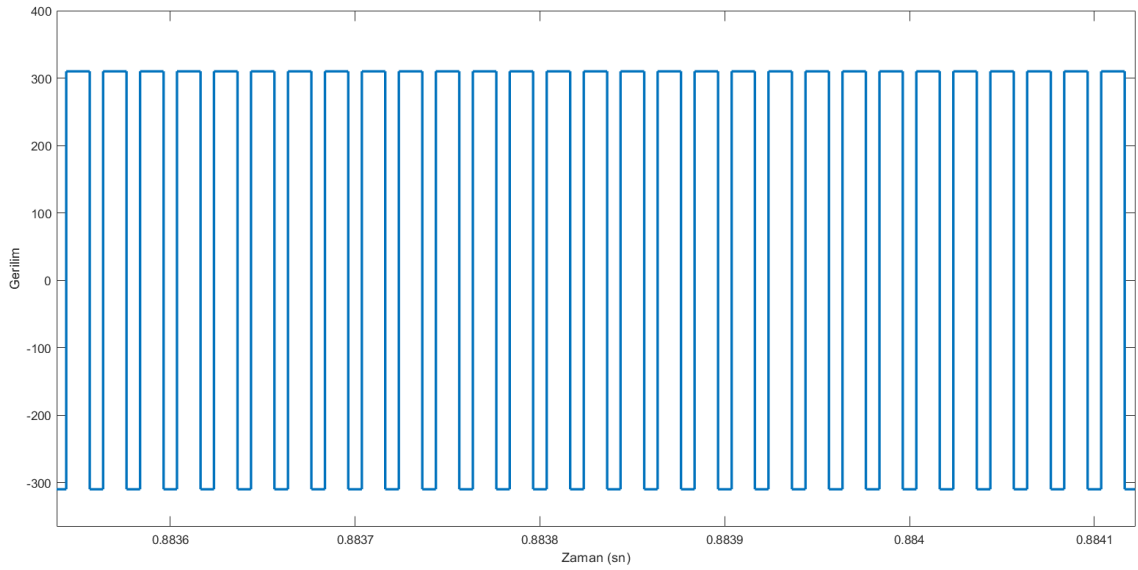
Şekil 5.2. Elektrikli aracın DMK - UVM akım değerleri (+30 derece)

Şekil 5.2’de akım değerleri gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 53,21’dir. Sistemin tork değerleri her 0,5 saniyede bir farklı tork değerlerine getirildiği için akımda da tork değerlerine göre değişim görülmüştür.



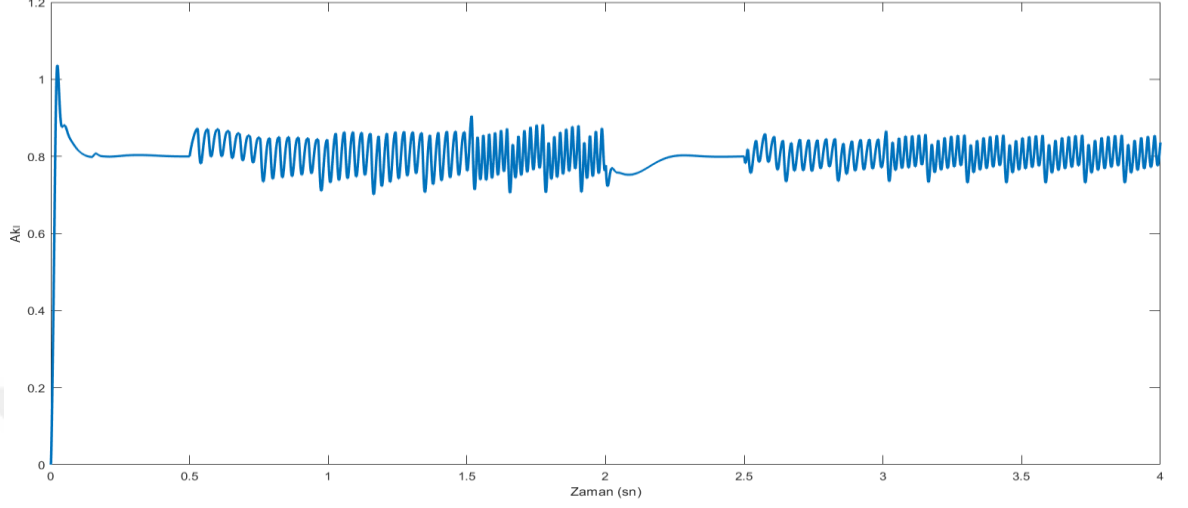
**Şekil 5.3.** Elektrikli aracın DMK - UVM yakınlaştırılmış akım değerleri (+30 derece)

Şekil 5.3.’te gösterilen akım değerleri Şekil 5.2.’de gösterilen akım değerlerinin yakınlaştırılmış görünümüdür.



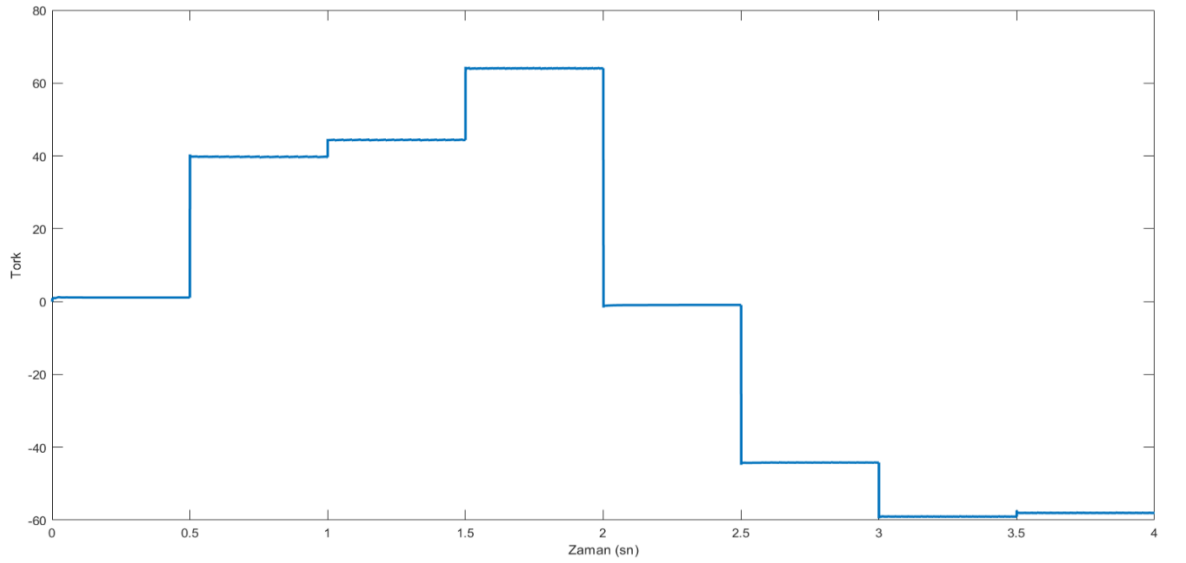
**Şekil 5.4.** Elektrikli aracın DMK - UVM gerilim değerleri (+30 derece)

Şekil 5.4.'te gerilim değerleri gösterilmiştir. Sistemin gerilim değerleri +311 Volt ve -311 Volt arasında değişmektedir.



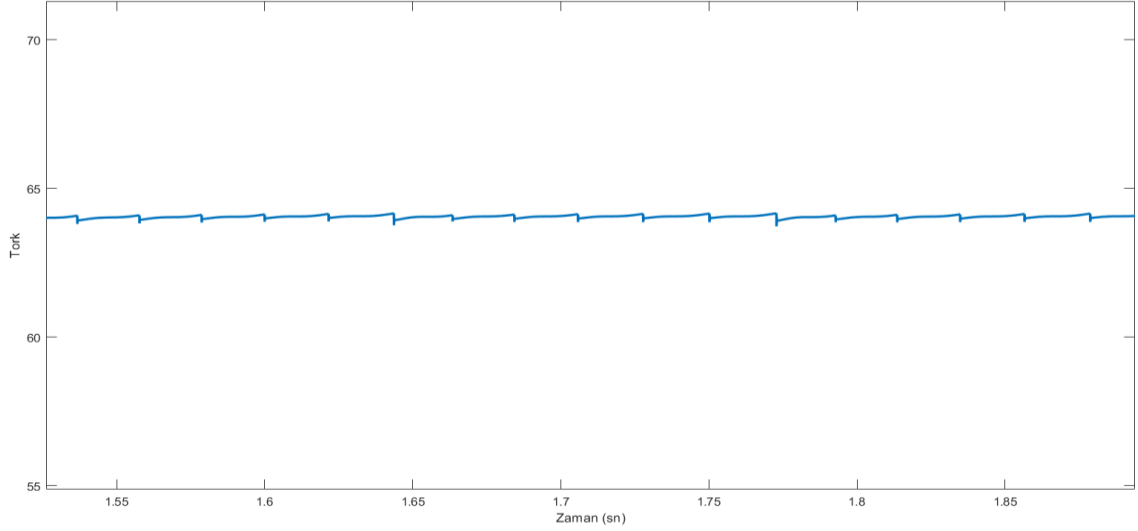
Şekil 5.5. Elektrikli aracın DMK - UVM akı değerleri (+30 derece)

Şekil 5.5.'te akı değerleri gösterilmiştir. Sistemimizin akı referansı 0.8 değerine ayarlanmıştır. Tork değişiminden kaynaklı akıda değişimler görülse de sistem Şekil 5.5'te görüldüğü üzere akıyı 0.8 değerine başarıyla sabitlemiştir.



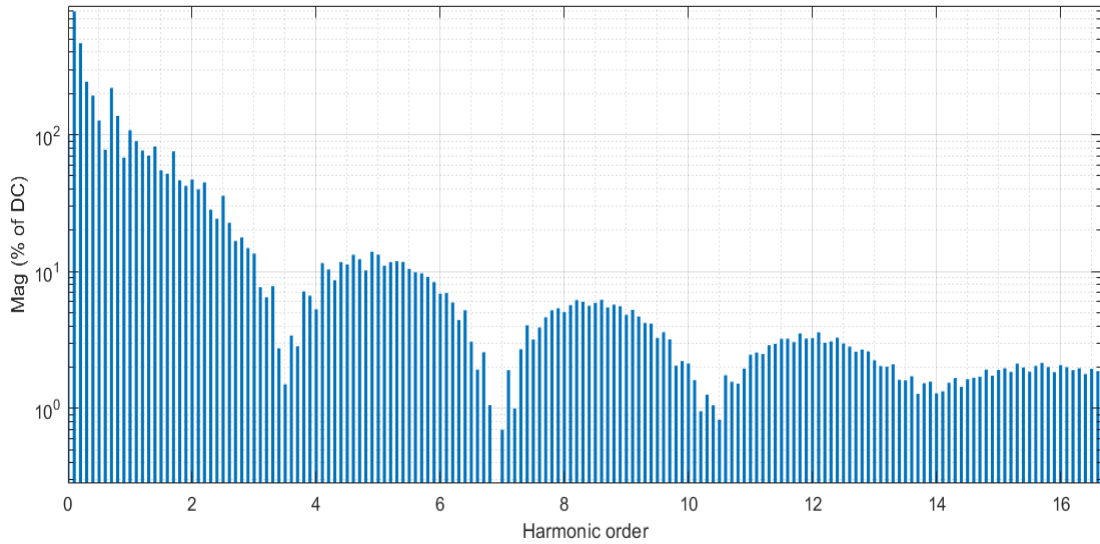
Şekil 5.6. Elektrikli aracın DMK - UVM tork değerleri (+30 derece)

Şekil 5.6.'da tork değerleri gösterilmiş ve sistemin farklı tork değerlerine verdiği tepkinin ölçülmesi için tork değerleri 0.5 saniyede bir değiştirilmiştir.



**Şekil 5.7.** Elektrikli aracın DMK - UVM yakınlaştırmış tork değerleri (+30 derece)

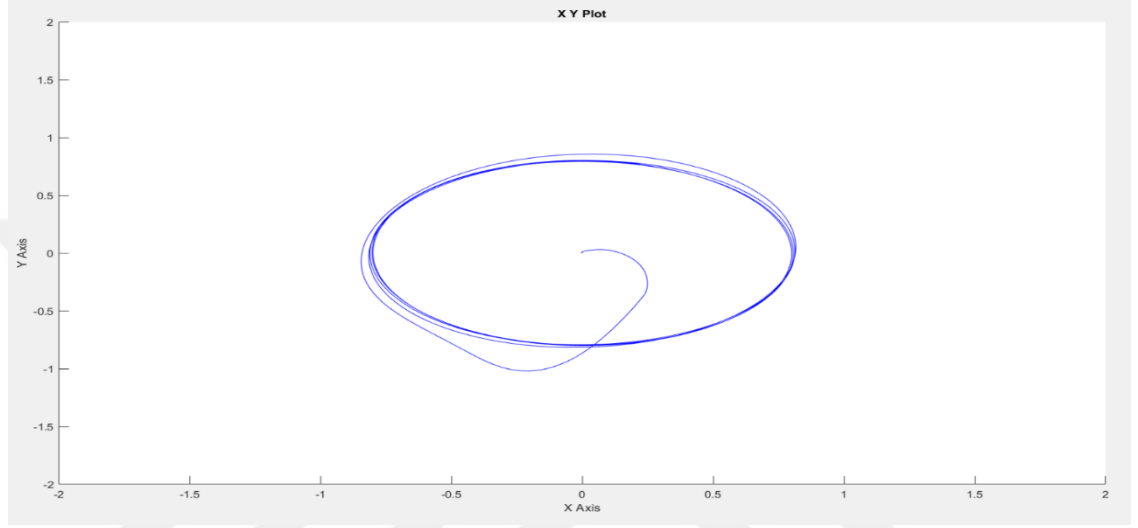
Şekil 5.7'de gösterilen tork değerleri Şekil 5.6.'de gösterilen tork değerlerinin yakınlaştırmış görünümüdür.



**Şekil 5.8.** Elektrikli aracın DMK - UVM THD değerleri (+30 derece)

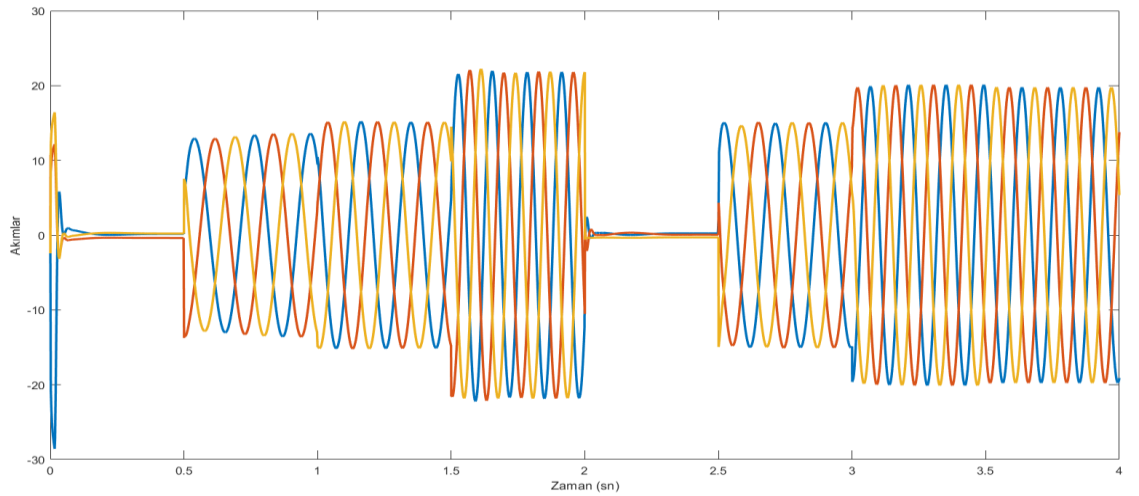
Şekil 5.8.'de akım değerlerinin toplam harmonik bozulması gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 53,71'dir.

## 5.2. Elektrikli Aracın +30 Derecelik Açılı İçin Lyapunov Tabanlı Geliştirilmiş Uzak Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri



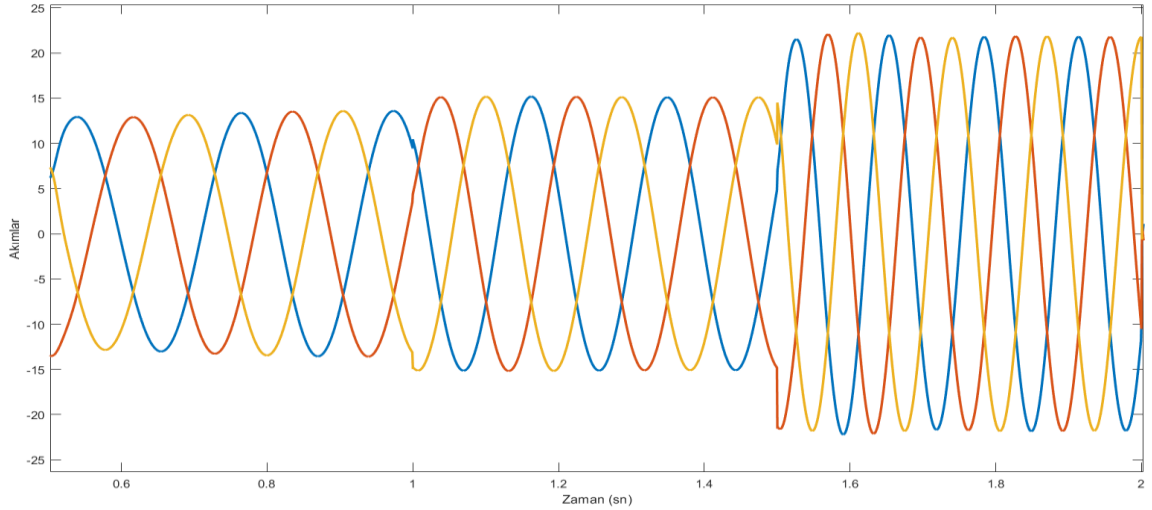
Şekil 5.9. Elektrikli araç geliştirilmiş DMK - UVM akı çemberi (+30 derece)

Şekil 5.9.'da gösterilen akı çemberi akının d bileşeninin q bileşenine göre çizilmesiyle elde edilmiştir. Çemberin daireye benzeme oranı %96'dır.



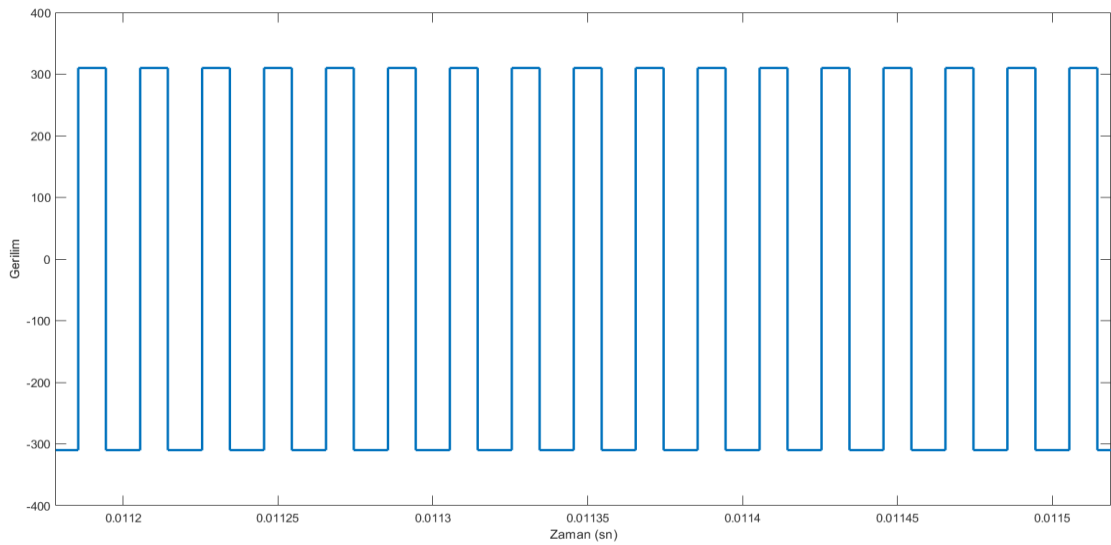
Şekil 5.10. Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM akım değerleri (+30 derece)

Şekil 5.10.'da akım değerleri gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 30,34'tür. Sistemin tork değerleri her 0,5 saniyede bir farklı tork değerlerine getirildiği için akımda da tork değerlerine göre değişim görülmüştür.



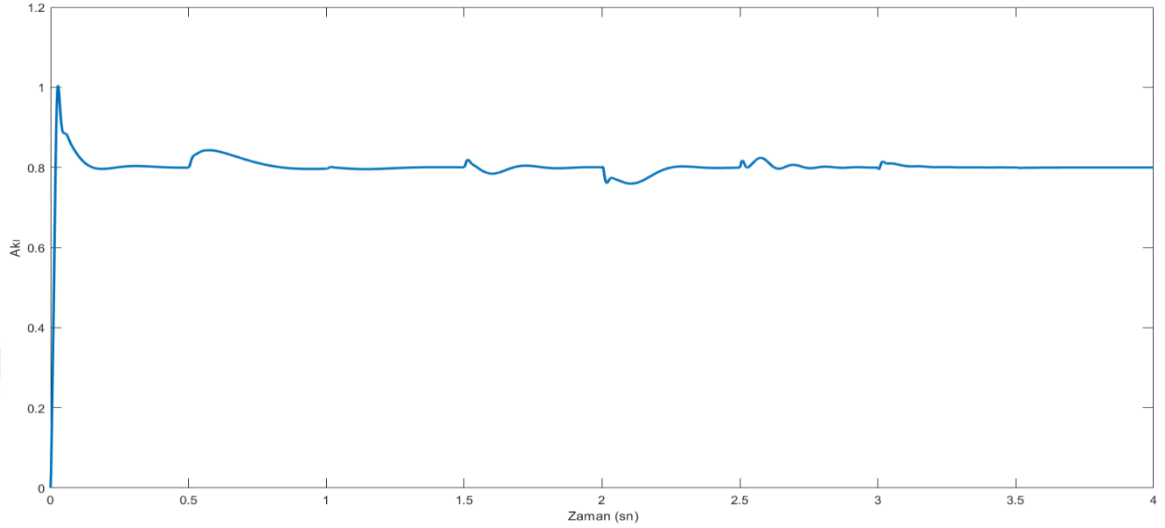
**Şekil 5.11.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM yaklaşırılmış akım değerleri (+30 derece)

Şekil 5.11.'de gösterilen akım değerleri Şekil 4.9.'da gösterilen akım değerlerinin yaklaşırılmış görünümüdür.



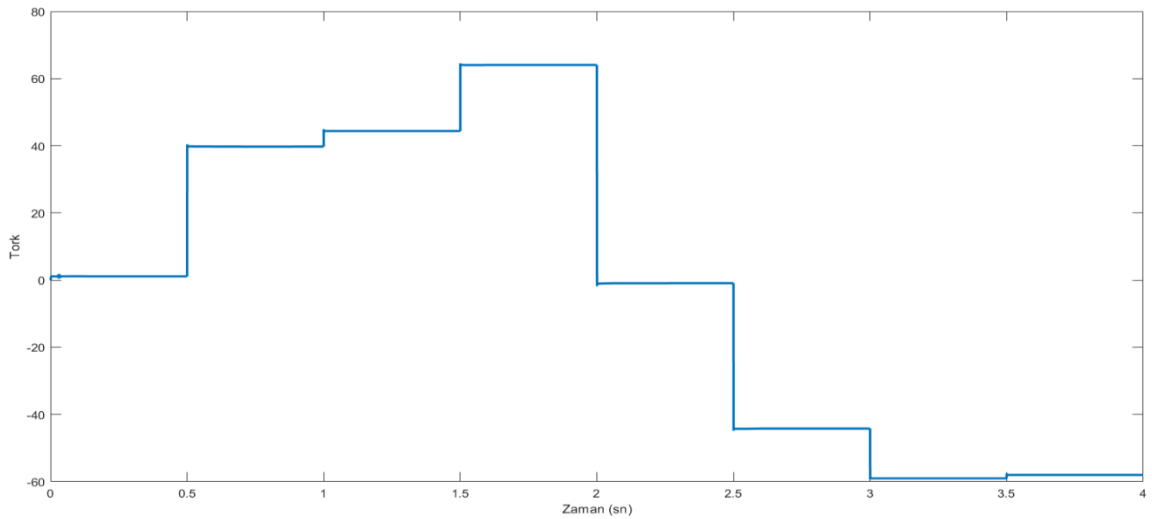
**Şekil 5.12.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM gerilim değerleri (+30 derece)

Şekil 5.12.'de görülen gerilim değerleri, frekans olarak klasik DMK - UVM sisteminde görülen değerlerden daha düşüktür. Ancak kontrol sonuçları daha iyidir. Frekans azalmasına rağmen sistem üzerindeki kontrolümüz artmıştır.



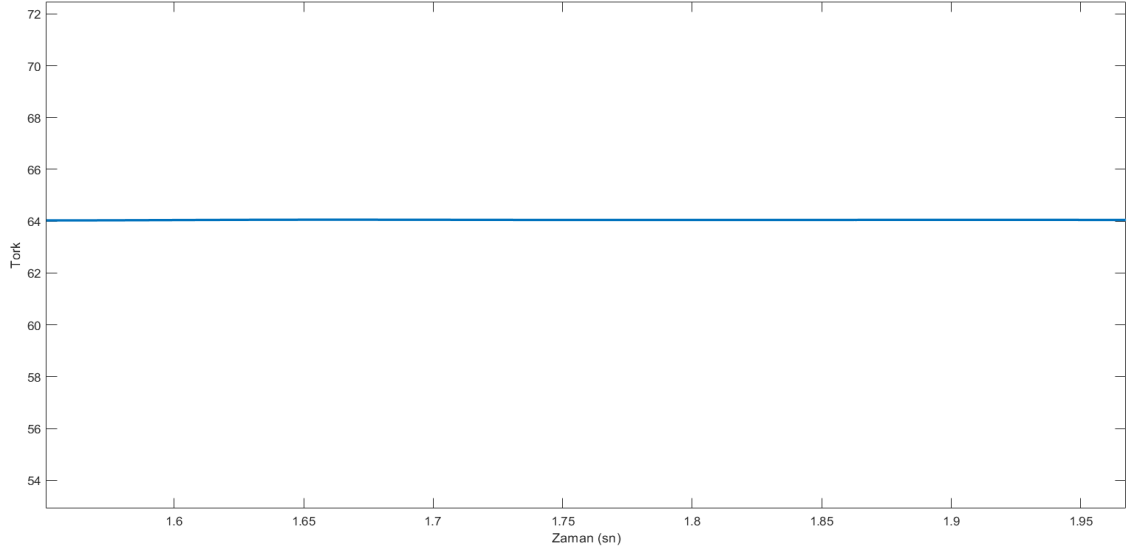
**Şekil 5.13.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM akı değerleri (+30 derece)

Şekil 5.13.'te akı değerleri gösterilmiştir. Sistemimizin akı referansı 0.8 değerine ayarlanmıştır. Tork değişiminden kaynaklı akıda değişimler görülse de sistem Şekil 5.13'te görüldüğü üzere akıyı 0.8 değerine başarıyla sabitlemiştir. Akı değerimizde toplam harmonik bozulma klasik sisteme göre %5 daha azdır.



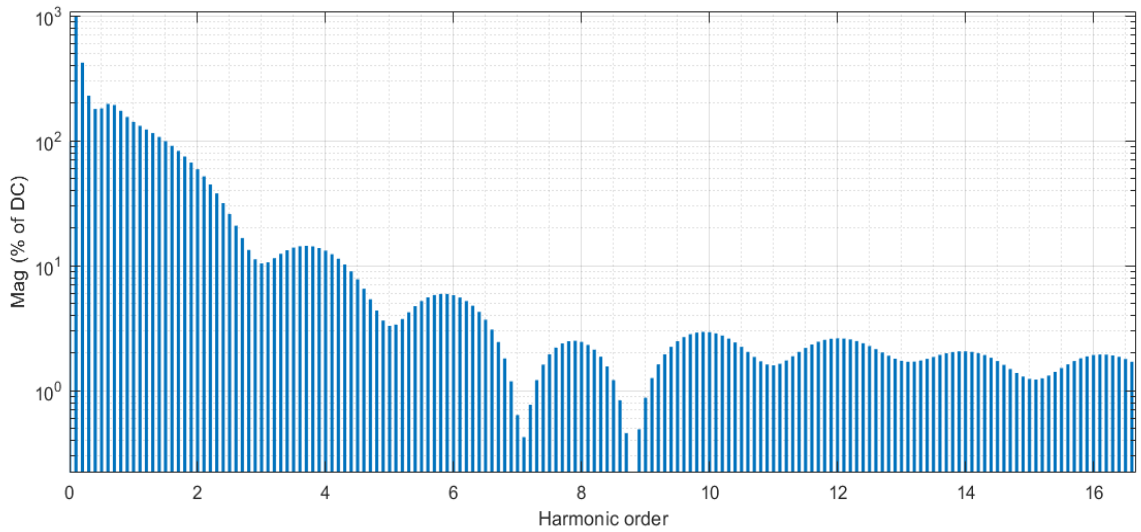
**Şekil 5.14.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM tork değerleri (+30 derece)

Şekil 5.14.'te tork değerleri gösterilmiş ve sistemin farklı tork değerlerine verdiği tepkinin ölçülmesi için tork değerleri 0.5 saniyede bir değiştirilmiştir.



**Şekil 5.15.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM yakınlaştırılmış tork değerleri (+30 derece)

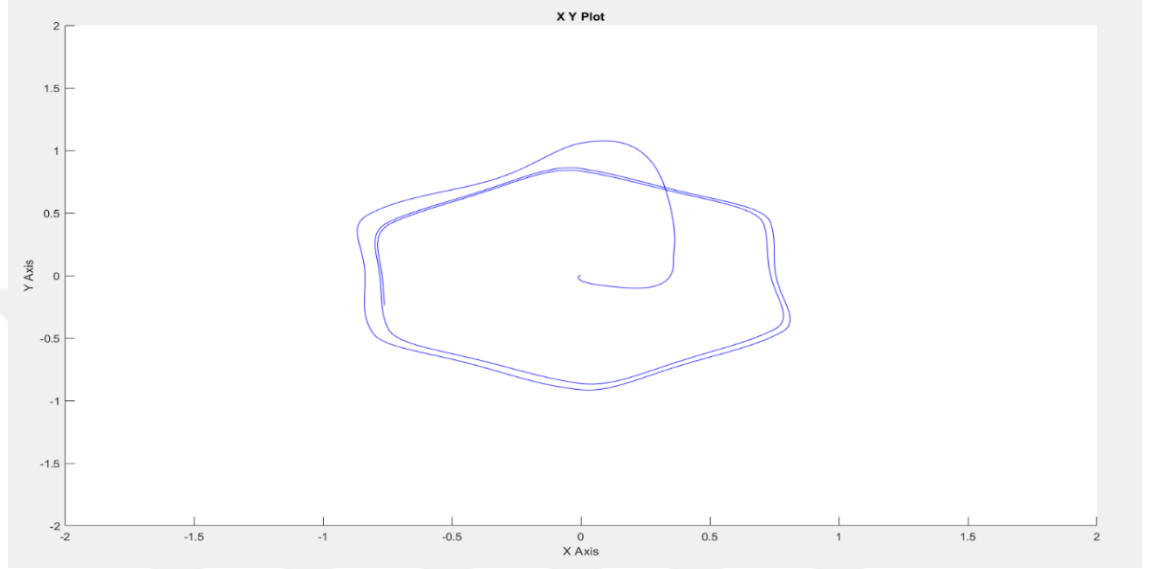
Şekil 5.15'te gösterilen tork değerleri Şekil 5.14.'te gösterilen tork değerlerinin yakınlaştırılmış görünümüdür. Tork değerimizdeki harmonik bozulma klasik sisteme göre %0.6 daha azdır.



**Şekil 5.16.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK – UVM THD değerleri (+30 derece)

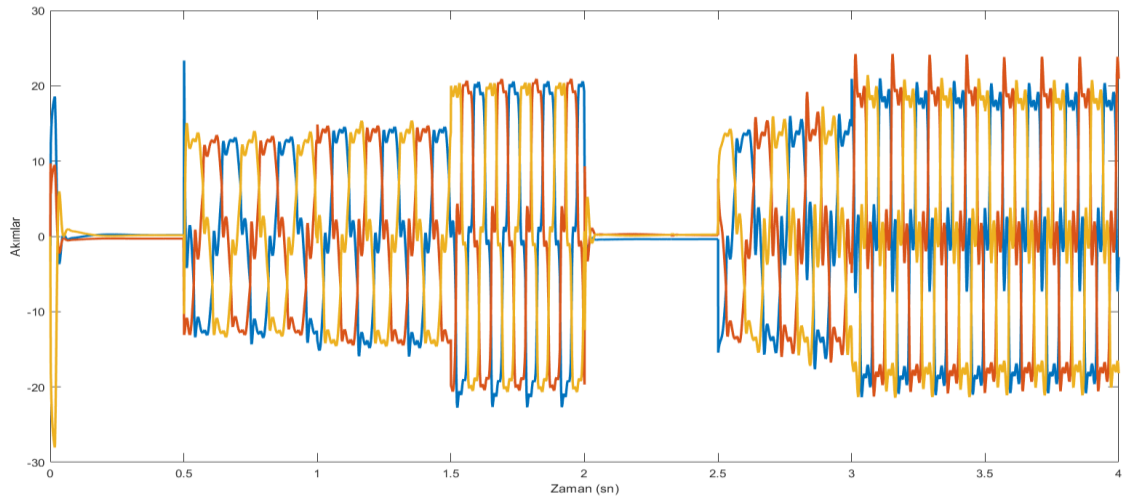
Şekil 5.16.'da akım değerlerinin toplam harmonik bozulması gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 30,34'tür.

### 5.3. Elektrikli Aracın -30 Derecelik Açı İçin Uzay Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri



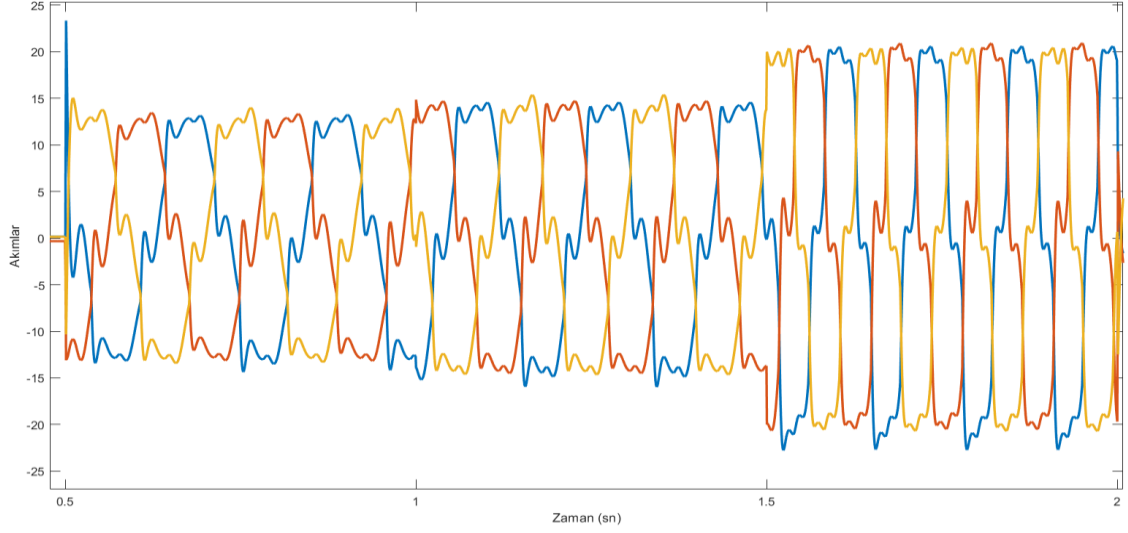
Şekil 5.17. Elektrikli araç DMK - UVM akı çemberi (-30 derece)

Şekil 5.17.'de gösterilen akı çemberi akının d bileşeninin q bileşenine göre çizilmesiyle elde edilmiştir. Çemberin daireye benzeme oranı %93'tür.



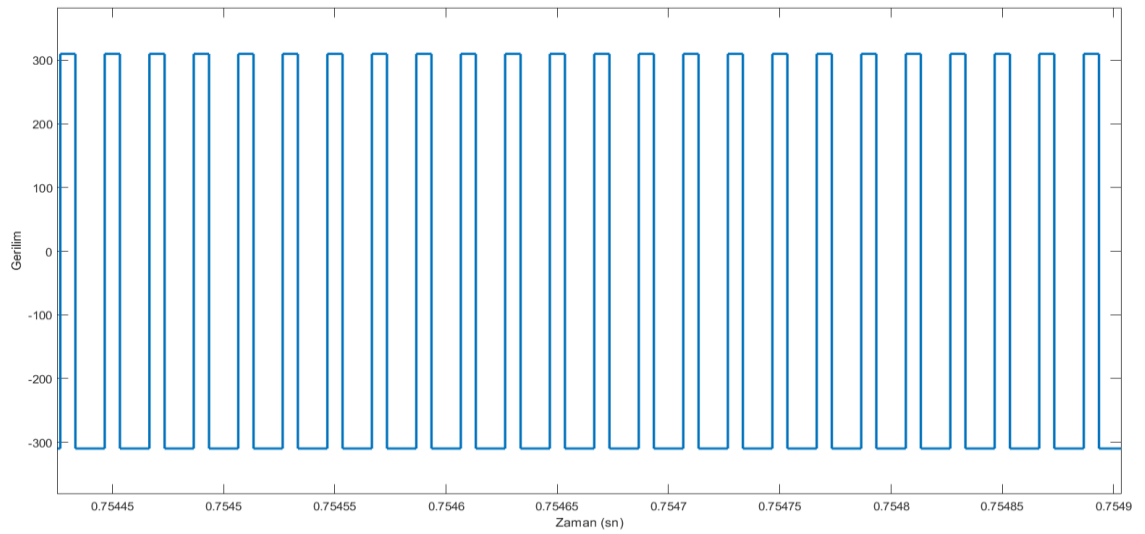
Şekil 5.18. Elektrikli aracın DMK - UVM akım değerleri (-30 derece)

Şekil 5.18’de akım değerleri gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 53,21’dir. Sistemin tork değerleri her 0,5 saniyede bir farklı tork değerlerine getirildiği için akımda da tork değerlerine göre değişim görülmüştür.



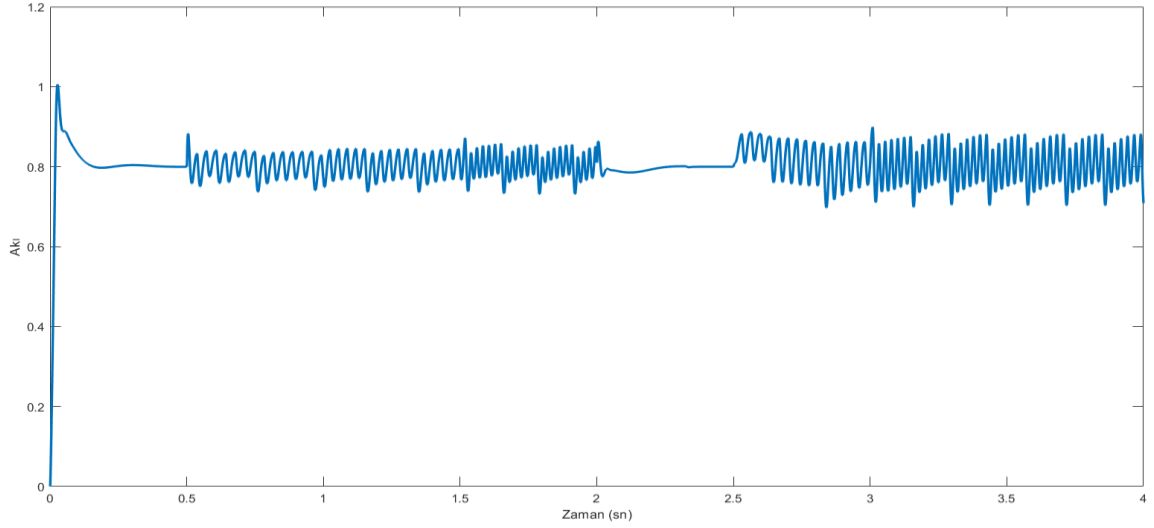
Şekil 5.19. Elektrikli aracın DMK - UVM yakınlaştırılmış akım değerleri (-30 derece)

Şekil 5.19.’da gösterilen akım değerleri Şekil 5.18.’de gösterilen akım değerlerinin yakınlaştırılmış görünümüdür.



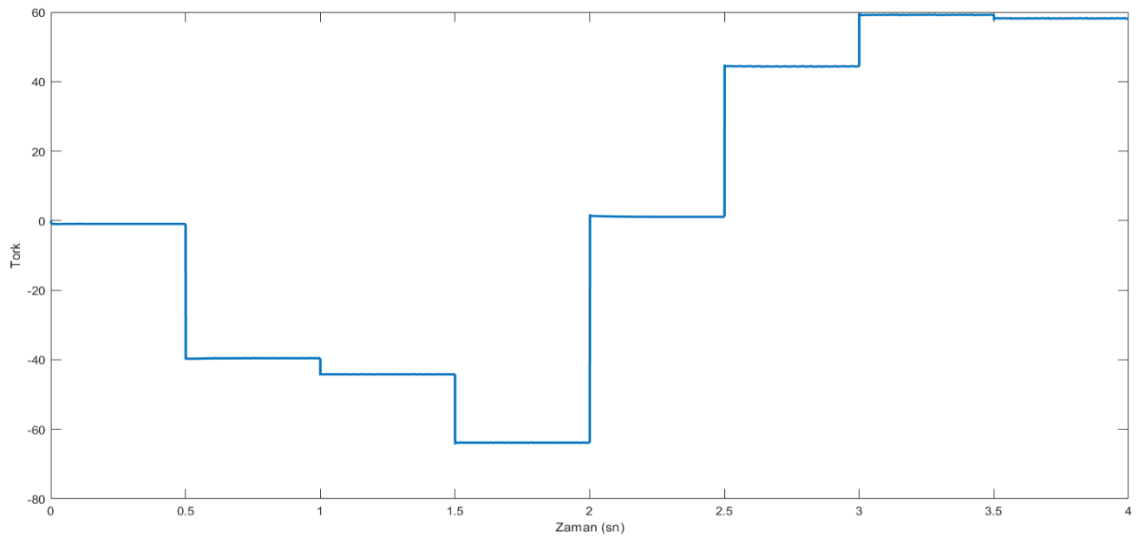
Şekil 5.20. Elektrikli aracın DMK - UVM gerilim değerleri (-30 derece)

Şekil 5.20.'de gerilim değerleri gösterilmiştir. Sistemin gerilim değerleri +311 Volt ve -311 Volt arasında değişmektedir. Gerilimde yaklaşık yüzde 10'luk bir dalgalanma gözlemlenmektedir.



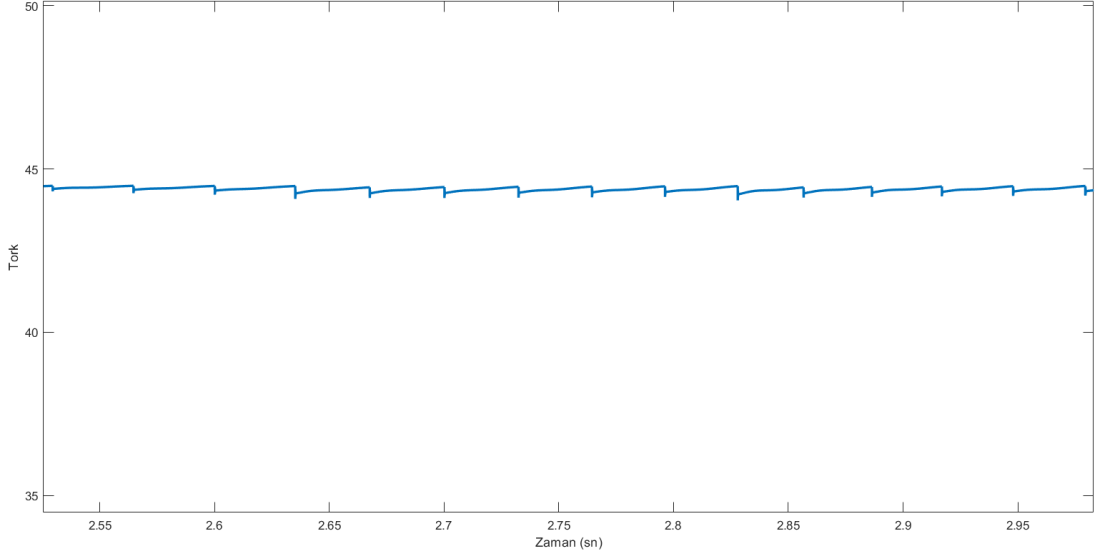
**Şekil 5.21.** Elektrikli aracın DMK - UVM akı değerleri (-30 derece)

Şekil 5.21.'de akı değerleri gösterilmiştir. Sistemimizin akı referansı 0.8 değerine ayarlanmıştır. Tork değişiminden kaynaklı akıda değişimler görülse de sistem Şekil 5.21.'de görüldüğü üzere akıyı 0.8 değerine başarıyla sabitlemiştir.



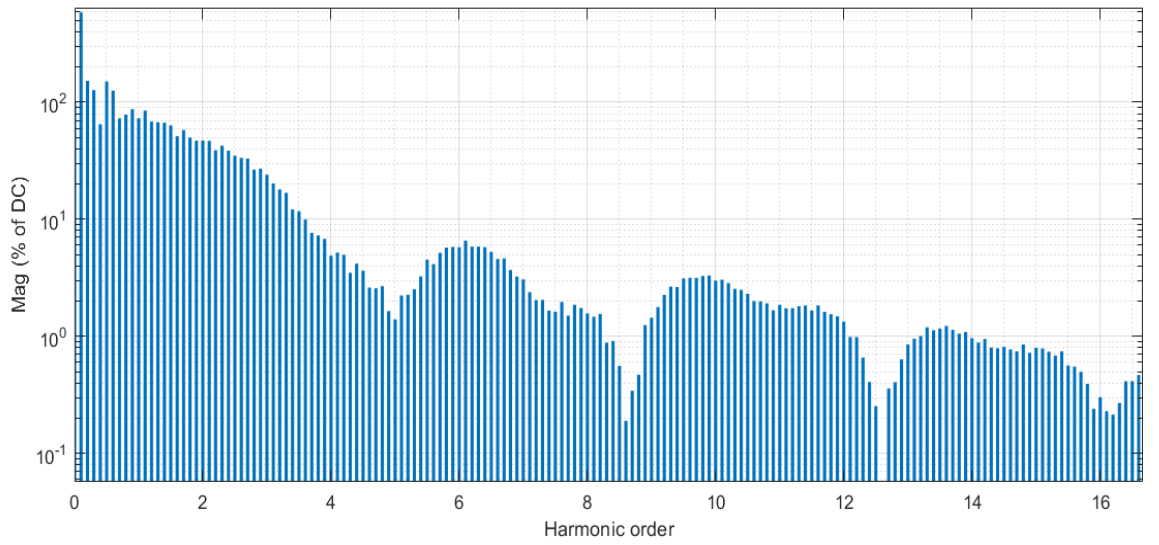
**Şekil 5.22.** Elektrikli aracın DMK - UVM tork değerleri (-30 derece)

Şekil 5.22.'de tork değerleri gösterilmiş ve sistemin farklı tork değerlerine verdiği tepkinin ölçülmesi için tork değerleri 0.5 saniyede bir değiştirilmiştir.



Şekil 5.23. Elektrikli aracın DMK - UVM yakınlştırılmış tork değerleri (-30 derece)

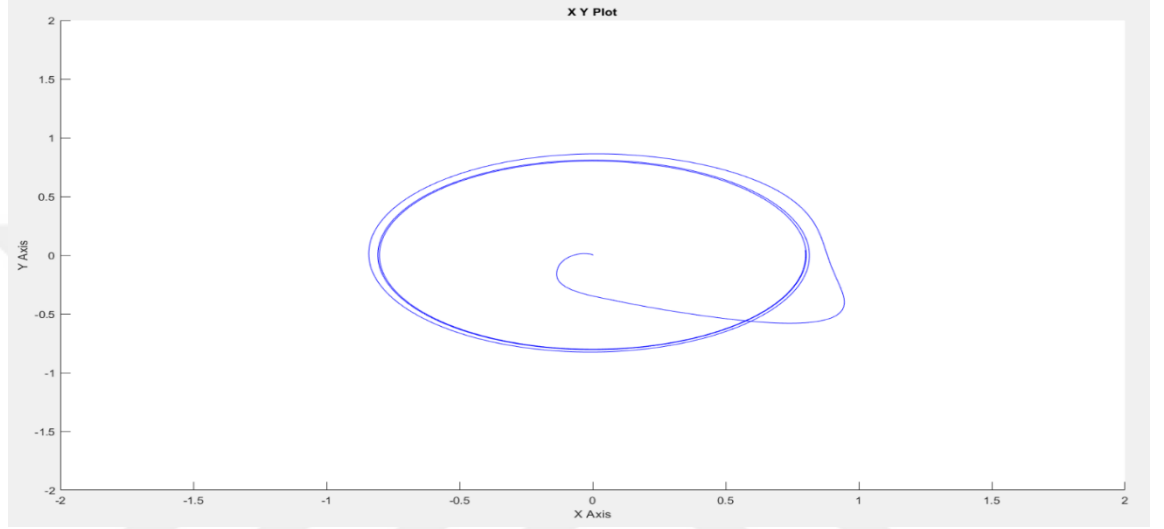
Şekil 5.23.'te gösterilen tork değerleri Şekil 5.22.'de gösterilen tork değerlerinin yakınlştırılmış görünümüdür.



Şekil 5.24. Elektrikli aracın DMK - UVM THD değerleri (-30 derece)

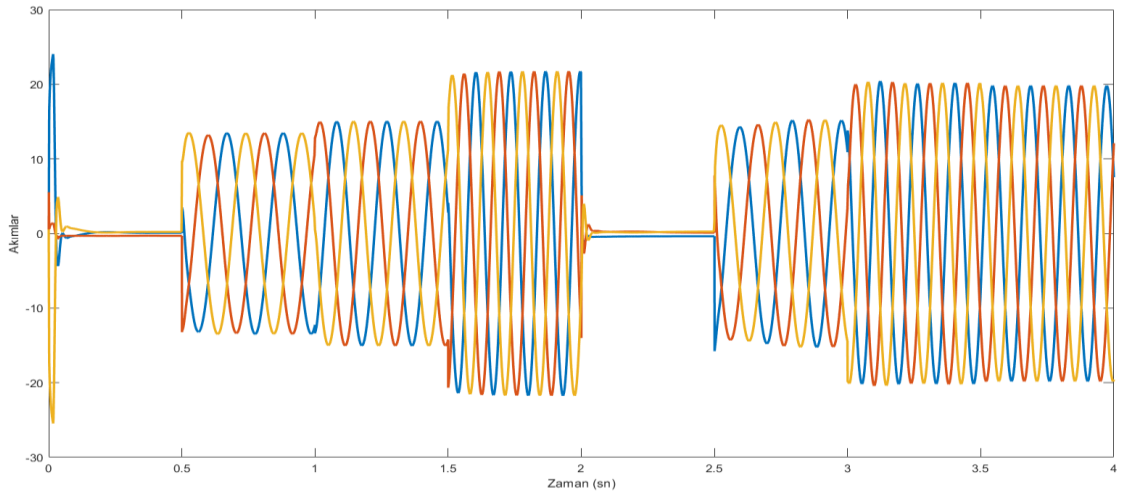
Şekil 5.24.'te akım değerlerinin toplam harmonik bozulması gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 53,21'dir.

#### 5.4. Elektrikli Aracın -30 Derecelik Açı İçin Lyapunov Tabanlı Geliştirilmiş Uzay Vektör Modülasyonu Eklenmiş Doğrudan Moment Kontrollü Sistem Grafikleri



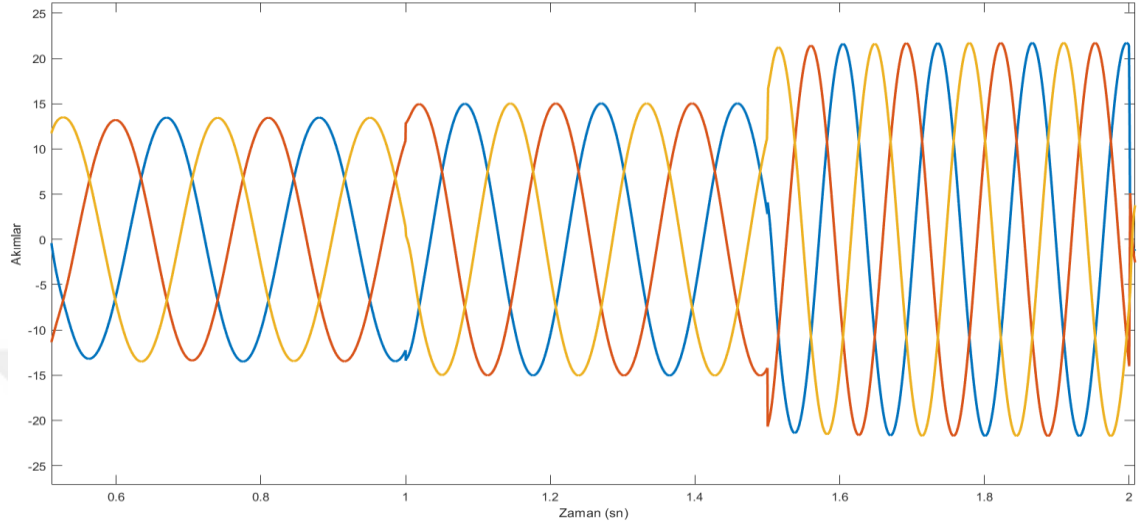
Şekil 5.25. Elektrikli araç geliştirilmiş DMK - UVM akı çemberi (-30 derece)

Şekil 5.25.'te gösterilen akı çemberi akının d bileşeninin q bileşenine göre çizilmesiyle elde edilmiştir. Çemberin daireye benzeme oranı %96'dır.



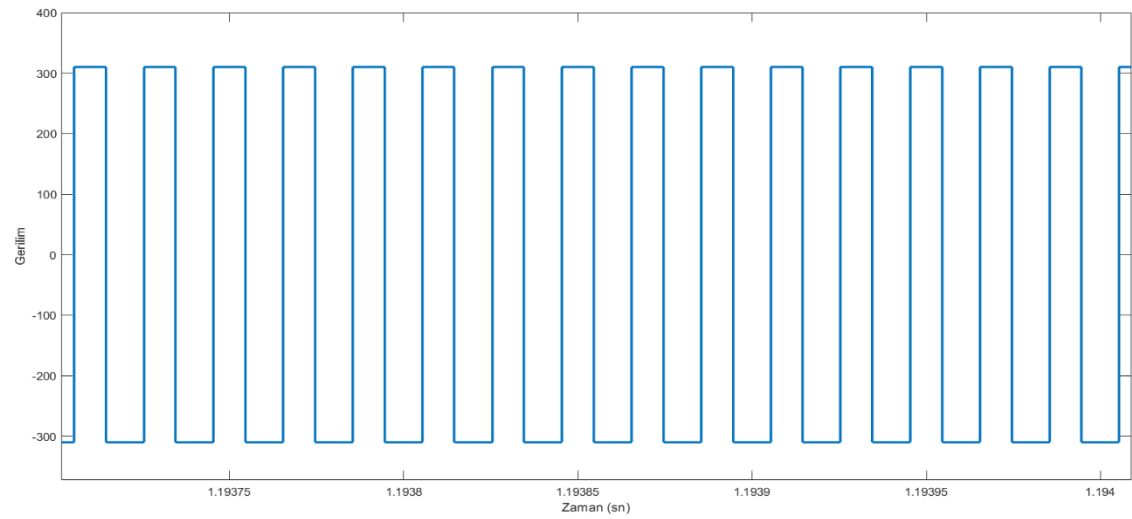
Şekil 5.26. Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM akım değerleri (-30 derece)

Şekil 5.26.'da akım değerleri gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 30,34'tür. Sistemin tork değerleri her 0,5 saniyede bir farklı tork değerlerine getirildiği için akımda da tork değerlerine göre değişim görülmüştür.



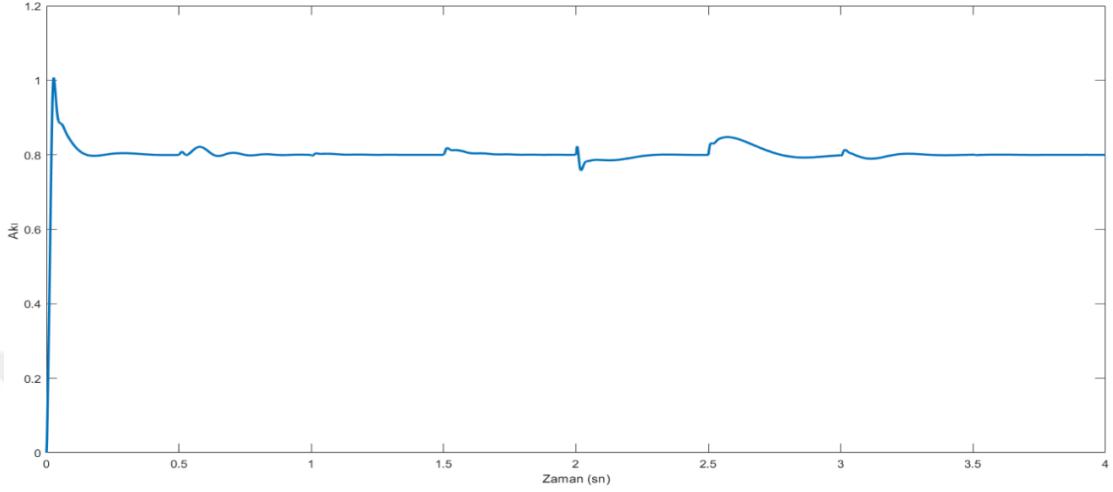
**Şekil 5.27.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM yakınlaştırılmış akım değerleri (-30 derece)

Şekil 5.27'de gösterilen akım değerleri Şekil 5.28'de gösterilen akım değerlerinin yakınlaştırılmış görünümüdür.



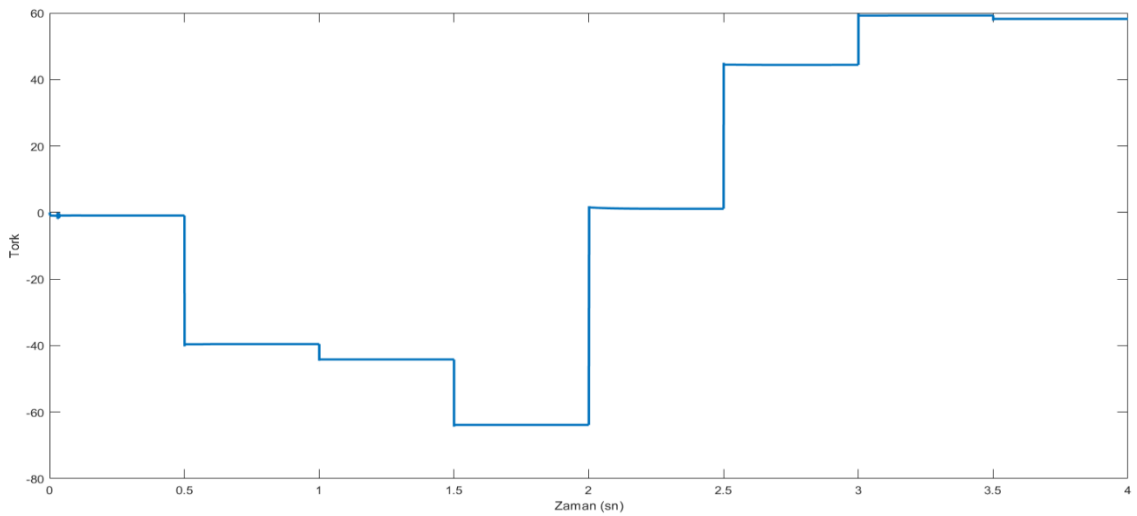
**Şekil 5.28.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM gerilim değerleri (-30 derece)

Şekil 5.28.'de görülen gerilim değerleri, frekans olarak klasik DMK - UVM sisteminde görülen değerlerden daha düşüktür. Ancak kontrol sonuçları daha iyidir. Frekans azalmasına rağmen sistem üzerindeki kontrolümüz artmıştır.



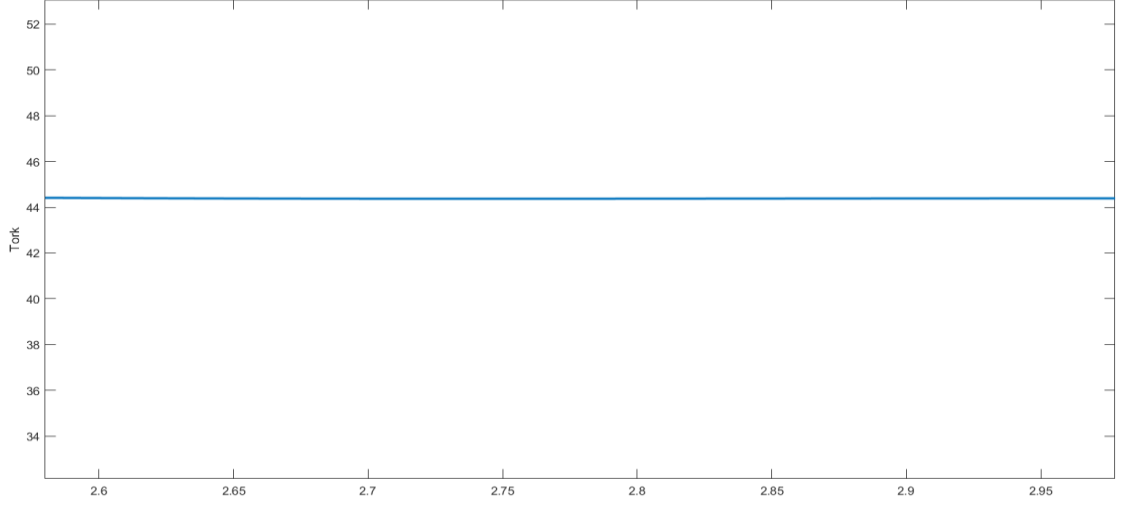
**Şekil 5.29.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM akı değerleri (-30 derece)

Şekil 5.29'da akı değerleri gösterilmiştir. Sistemimizin akı referansı 0.8 değerine ayarlanmıştır. Tork değişiminden kaynaklı akıda değişimler görülse de sistem Şekil 5.29'da görüldüğü üzere akıyı 0.8 değerine başarıyla sabitlemiştir. Toplam harmonik bozulmada klasik sisteme göre %1.05'lik bir iyileşme görülmüştür.



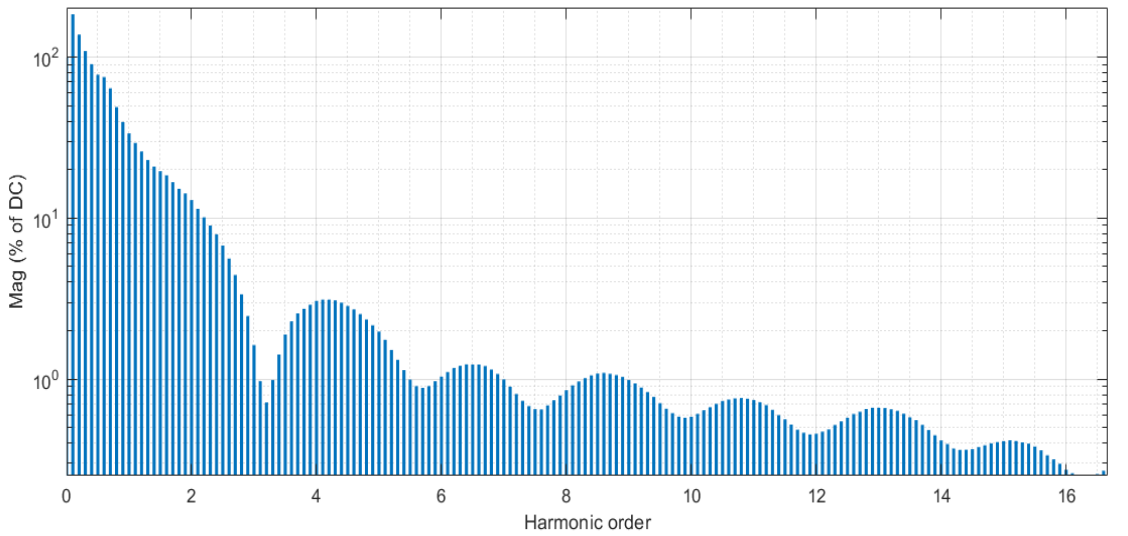
**Şekil 5.30.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM tork değerleri (-30 derece)

Şekil 5.30.'da tork değerleri gösterilmiş ve sistemin farklı tork değerlerine verdiği tepkinin ölçülmesi için tork değerleri 0.5 saniyede bir değiştirilmiştir.



**Şekil 5.31.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM yakınlaştırılmış tork değerleri (-30 derece)

Şekil 5.31.'de gösterilen tork değerleri Şekil 5.30.'da gösterilen tork değerlerinin yakınlaştırılmış görünümüdür. Toplam harmonik bozulma klasik sisteme göre %1,40 azalmıştır.



**Şekil 5.32.** Elektrikli aracın geliştirilmiş DMK - UVM THD değerleri (-30 derece)

Şekil 5.32.'de akım değerlerinin toplam harmonik bozulması gösterilmiştir. Akım değerlerinin harmonik bozulması % 30,34'tür.

**Çizelge 5.1.** Sistemlerin THD Değerleri

<b>Sistem</b>	<b>Akımdaki Toplam Harmonik Bozulma (THD)</b>
DMK - UVM	% 66,19
Geliştirilmiş DMK - UVM	% 58,72
Elektrikli Araca Uygulanan DMK - UVM	% 53, 21
Elektrikli Araca Uygulanan Geliştirilmiş DMK- UVM	% 30,34

## 6. KAYNAKLAR

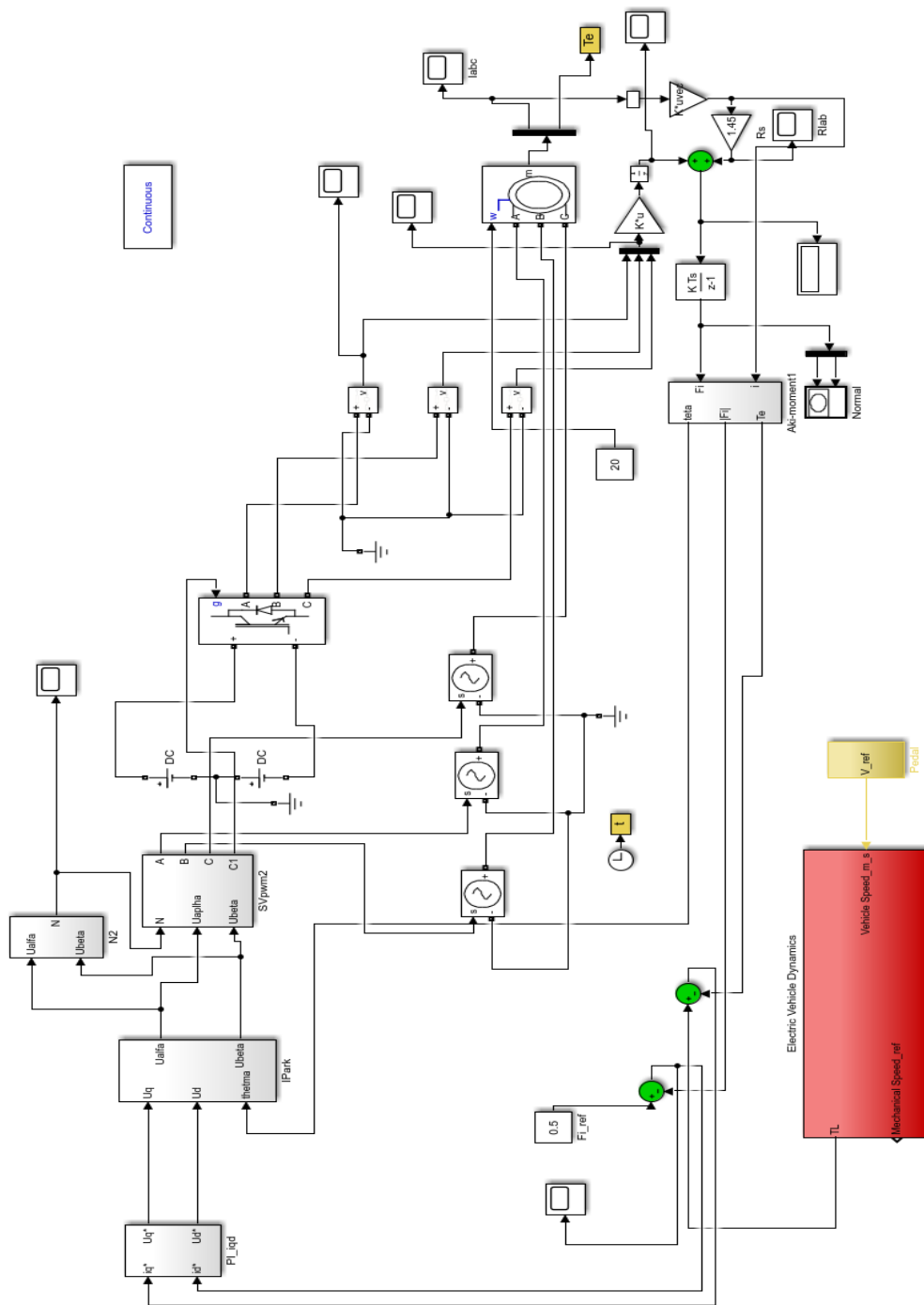
- Aimad, A., Madjid, K., Abdelhakim, I. And Yacine, D. 2016. Combining Sliding Mode and Second LYAPUNOV Function for Flux Estimation. *Rev. Roum. Sci.-Électrotechn. et Énerg.*, 61(2): 106-110.
- Ammar, A., Benakcha and A., Bourek, A. 2016. Real Time Implementation of Speed Sensorless SVM-DTC for Induction Motor Drive Based on Adaptive Flux Observer. The 9th International Conference on Electrical Engineering and First Workshop On Robotics And Controls, At Batna.
- Anonim 1: <https://www.elektrikde.com/asenkron-motor-nedir-kullanim-alanlari-nelerdir/> [Son erişim tarihi: 29.12.2019].
- Arif, A.H., Betka, A. and Guettaf, A. 2010. Improvement The DTC System For Electric Vehicles Induction Motors. *Serbian Journal Of Electrical Engineering*, 7(2): 149-165.
- Belkacem. S., and Farid, N. 2005. Speed sensorless DTC of induction motor based on an improved adaptive flux observer. IEEE International Conference on Industrial Technology, City University of Hong Kong, Hong Kong.
- Böcker, J., Janning, J. and Anbuhi, K. 1991. Realization of a high-dynamic discrete-time controller for PWM inverter-fed induction motor drives. 1993 Fifth European Conference on Power Electronics and Applications, Brighton.
- Buja, G., Casadei, D. and Serra, G. 1997. Direct torque control of induction motor drives. ISIE '97 Proceeding of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Guimaraes.
- Chen, J., Chen, S., Wu, X., Tan, G., and Hao, J. 2019. A Super-Twisting Sliding-Mode Stator Flux Observer for Sensorless Direct Torque and Flux Control of IPMSM. *Energies*, 12(13): 1:17.
- Fu, Z. and Li, B. 2017. High-Performance Torque Controller Design for AC Driving 4WD Electric Vehicle in Two Time Scales. *International Journal of Modelling Identification and Control*, 30(1): 9-18.
- Gençer, Ç. 2005. Vektör Kontrollü Fırçasız DA Motorun İki Seviyeli Evirici ile Uzay Vektör Modülasyonu. *Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi*, 3(2): 132-137.
- Habetler, T.G., Profuma, F., Pastorelli and M., Tolbert L.M. 1992. Direct Torque Control of Induction Machines Using Space Vector Modulation. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 28(5): 1045-1053.
- Haddoun, A., Benbouzid, M.E.H., Diallo, D., Abdessemed, R., Ghouili, J. and Srairi, K. 2007. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 56(1): 81-88.
- Inselel, B. 2005. Otomobil Tarihi. <https://otopark.com/2015/10/09/otomobil-tarihi/> [Son erişim tarihi: 29.12.2019].
- Jezernik, K. 2000. Nonlinear torque control for PMSM. 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, University of Maribor, Maribor.

- Jung, J. 2005. Space Vector PWM Inverter. Mechatronic Systems Laboratory Department of Electrical and Computer Engineering The Ohio State University, Ohio.
- Kazantzis, N. and Kravaris, C. 1998. Nonlinear observer design using Lyapunov's auxiliary theorem. *Systems & Control Letters*. 34(5): 241-247.
- Khoucha, F., Marouani, K., Kheloui, A. and Benbouzid, M. 2009. Electric Vehicle Induction Motor DSVM-DTC with Torque Ripple Minimization. *International Review of Electrical Engineering, Praise Worthy Prize*, 4(3): 501-508.
- Kitiş, U., Üser, Y. and Acar, H.C., 2018. Değişken Eğimli Durumlarda Elektrikli Araçların Performans Analizi. 4. INES International Academic Research Congress, Antalya.
- Küçükkaya, E. 2019. İntertör (Inverter)Nedir? Nerelerde Kullanılır? <https://www.enerjiportali.com/invertor-inverternedir-nerelerde-kullanilir/> [Son erişim tarihi: 29.12.2019].
- Luo C. and Huang, W. 2019. Sensorless Rotor Field Direct Orientation Controlled Induction Motor Drive with Particle Swarm Optimization Algorithm Flux Observer. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 38(2): 692-705.
- Luo, Y., Chen, Y. and Kuo, Y. 2019. Speed Estimation Air-gap Field-orientation-controlled Induction Motor Drive with Fuzzy Logic Control Flux Observer. *Sensors and Materials*, 31(1): 165–177.
- Oussaid, M., Cherkoui, M., Nejmi, A. and Maaroufi, M. 2005. Nonlinear Torque Control for PMSM: A Lyapunov Technique Approach. World Academy of Science, Engineering and Technology 6, Trieste.
- Sahoo, S.K., Dasgupta S., Panda, S.K. and Xu, J. 2012. A Lyapunov Function-Based Robust Direct Torque Controller for a Switched Reluctance Motor Drive System. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(2): 555-564.
- Salem F.B. and Derbel N. 2014. VSC-based DTC-SVM with Adaptive Parameter Estimation. 2014 IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD14), Barcelona
- Sangrody, R. Adn Shariatmadar S.M. 2016. A Lyapunov Function for Vector Control Drives in Induction Machines. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 6(5): 1167-1174.
- Singh, B., Jain, P., Alok, M., and Gupta, J.R.P. 2006. Direct torque control: a practical approach to electric vehicle. Power India Conference, New Delhi.
- Tabanlı, S.N. 2017. Elektrikli Araçların Eğimli Yollarda Oluşan Ani Moment İhtiyacını Karşılama İçin Geliştirilmiş Uzay Vektör Modülasyonlu Doğrudan Moment Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi. Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Usta, M.A., Okumuş, H.İ., Güven, S., Durak E.S. 2015.Speed Sensorless Direct Torque Control for Three-Level Diode-Clamped Inverter Fed Induction Motor Using Adaptive Flux Observer. 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), Bursa.
- Ustabaş, A., 2014. Mikro ve Makro Etkileri Yönünden Elektrikli Otomobiller (Türkiye

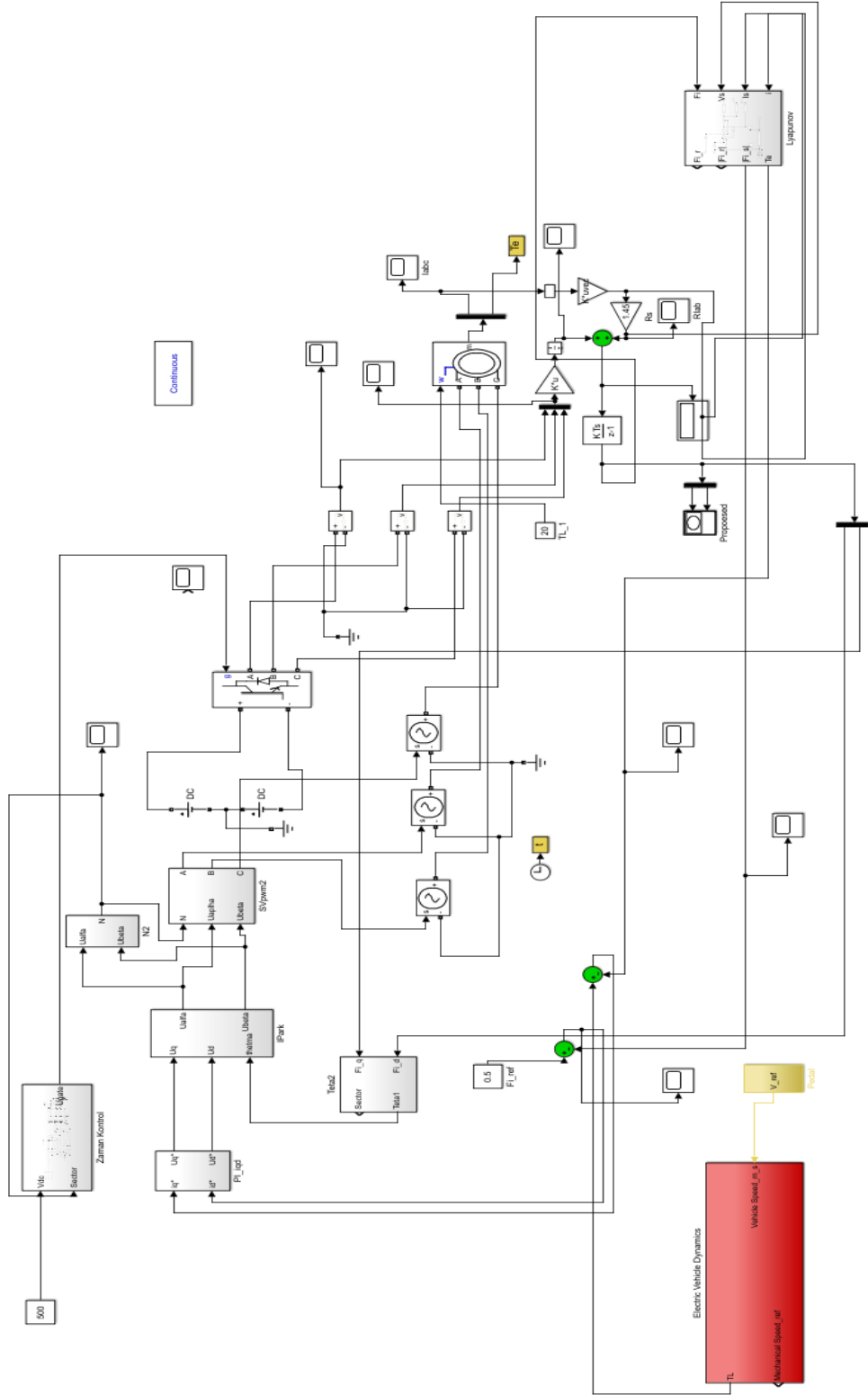
- Ekonomisi Örneği). *Marmara Üniversitesi İ.İ.B. Dergisi*. 36(1): 269-291.
- Üser, Y. Asenkron Motorda Moment Dalgalanmasının ve Elektromanyetik Gürültünün Kontrolü İçin Yeni Bir Kontrol Yaklaşımı. Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Vaclavek, P. and Blaha, P. 2006. Lyapunov-Function-Based Flux and Speed Observer for AC Induction Motor Sensorless Control and Parameters Estimation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 53(1): 138-145.
- Zergeroğlu, E., Kandemir, İ., Şeker, M. ve Eroğlu, E. 2006. Kontrol Sistemlerinde Belirsizlikle Baş Etme Yöntemleri: Lyapunov Tarzı Yaklaşımlar. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3): 587-602
- Zhou, K. and Wang, D. 2002. Relationship Between Space-Vector Modulation and Three-Phase Carrier-Based PWM: A Comprehensive Analysis. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 49(1): 186-196.



## 7. EKLER



Şekil 7.1. DMK-UVM Simulink blok diyagramı



Şekil 7.2. Geliştirilmiş DMK-UVM Simulink blok diyagramı

## ÖZGEÇMİŞ

**UMUT KİTİŞ**

**kitisumut@gmail.com**



## ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2017-2020	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans (ERASMUS+) 2019	AGH University of Science and Technology Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü Krakow/POLONYA
Lisans 2013-2017	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Antalya

## ESERLER

### Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

- 1- Kitiş, U., Üser, Y. ve Acar, H.C., 2018. Değişken Eğimli Durumlarda Elektrikli Araçların Performans Analizi. 4. INES International Academic Research Congress, Antalya.
- 2- Acar, H.C., Kitiş, U., Üser, Y. ve Atak, B. 2018. PID Parametrelerini Analitik Ve Yapay Sinir Ağlarına Göre Ayarlama Yöntemleri: DC Motor Modeline Uygulanması ve Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi. 4. INES International Academic Research Congress, Antalya.
- 3- Kitiş, U. ve Üser, Y. 2019. Lyapunov Tipi Bir Gözlemleyici Kullanarak Elektrikli Araçların Değişken Momentlerdeki Kararlılığının Sağlanması. Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi, Kocaeli