

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**BİR MAKARA SARIM MAKİNASININ
MODELLENMESİ, BENZETİMİ VE GERGİ
KONTROLÜ**

Osman ÖZENÇ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İlhami YİĞİT**

Yozgat 2018



**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**BİR MAKARA SARIM MAKİNASININ
MODELLENMESİ, BENZETİMİ VE GERGİ
KONTROLÜ**

Osman ÖZENÇ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İlhami YİĞİT**

Yozgat 2018

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Makina Mühendisliği Anabilim Dalı 70110914007 numaralı öğrencisi Osman ÖZENÇ'in hazırladığı “**Bir Makara Sarım Makinasının Modellenmesi, Benzetimi ve Gergi Kontrolü**” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 20/07/2018 Cuma günü saat 14:00'te yapılmış, tezin onayına OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ömer KELEŞ



Üye : Doç. Dr. İlhami YİĞİT (Danışman)



Üye : Doç. Dr. Hamza Kemal AKYILDIZ



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 27.07.2018 tarih ve 28 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

08.08.2018
Prof. Dr. Fuat KÖKSAL
Müdür


İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
SEMBOL LİSTESİ	xi
GİRİŞ	1
1. GERGİ KONTROLÜ VE MAKARALAR	3
2. SİSTEMİN TASARIMI	11
2.1. Ana Makara ve Sürtünme Sistemi.....	12
2.2. Gergi Ölçme Düzenegi.....	13
2.3. Doğrusal Kılavuz Mekanizması	14
2.4. Sarma Mekanizması	15
2.5. Kontrol Elektroniği ve Yazılım	16
3. SİSTEMİN MODELLENMESİ	19
3.1. Sarım Sistemi	19
3.2. Doğrusal Kılavuz Sistemi.....	22
3.3. Gergi Kontrol Sistemi	25
3.4. Kontrol Sistemleri	27
3.4.1. PID Kontrol.....	27
3.4.2. Kayan Kipli Kontrol.....	28
4. BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
4.1. Deneysel Çalışmalar	34
4.1.1. PID Kontrolcü Deneyleri	35
4.1.2. KKK Kontrolcü Deneyleri	44
4.1.3. Deney Sonuçları.....	51
4.2. Benzetim Çalışmaları	52
SONUÇ.....	54

KAYNAKLAR	56
EKLER.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	105



BİR MAKARA SARIM MAKİNASININ MODELLENMESİ, BENZETİMİ VE GERGİ KONTROLÜ

Osman ÖZENÇ

**Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

2018; Sayfa:105

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İlhami YİĞİT

ÖZET

İplik veya tel gibi çapı boyuna oranla çok küçük malzemelerin üretimi sırasında veya üretimden sonra sarıldıkları büyük makaralardan daha küçük makaralara sarımı esnasında kopmadan veya zarar görmeden sarılabilmesi için gerginliğinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Kullanım esnasında manyetik alan ve direnç gibi birçok özelliğinin optimum seviyede olması için küçük makaralara sarılan tellerin sarım gerginliğinin belirli bir değerde olması istenir. Ayrıca sarım sırasında gerginliğin malzemenin akma sınırından büyük bir değerde olması malzemenin plastik olarak şekil değiştirmesine ve telin çapının kopmadan küçülmesine sebep olmaktadır. Tel çapının küçüldüğü kısımda kesit alanı daralacak ve normal tel kesitinin taşıyabileceği akımdan daha az akımlara dayanmasına ve aşırı ısınmadan dolayı kopmasına sebep olacaktır. Bu çalışmada emaye kaplı bakır telin büyük makaradan küçük makaraya istenilen gerginlikte ve düzgün sarımı için tasarlanmış ve imal edilmiş sistemin bilgisayarla kontrolü teorik ve uygulamalı olarak incelenmiştir. Çalışma sonunda tatmin edici sonuçlara ulaşılmış ve çok sayıda grafikte verilmiş; ileriye yönelik çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Makara tel sarımı, gergi kontrolü, kayan kipli kontrol, sistem modelleme, benzetim

MODELING, SIMULATION AND TENSION CONTROL OF A COIL WINDING MACHINE

Osman ÖZENÇ

**Bozok University
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Master of Science Thesis**

2018; Page: 105

Advisor: Assoc. Prof. Dr. İlhami YİĞİT

ABSTRACT

It is necessary to control the tension of materials such as string or wire having very small diameter to length ratio during production or winding from big spools to small spools after production to avoid breaking or damage. It is desirable for the winding tension of the small spools to be at a certain value in order to ensure that the various characteristics such as magnetic field and resistance are in an optimum level during usage. Besides, the tension of the material during winding to be greater than the yield point of material causes plastic deformation and shrink in diameter of the wire without breaking. In the section where the wire diameter is shrunk, the cross-sectional area will narrow and cause to bear less currents than that of a normal wire section can carry and induce to break due to overheating. In this study, computer control of a system designed and manufactured for winding enameled copper wire from big spools to small spools at a desired tension and a proper shape has been investigated both theoretically and practically. Satisfactory results have been obtained and presented giving a great number of graphics. Recommendations have been made for further studies.

Keywords: Coil winding, tension control, sliding mode control, system modeling, simulation

TEŞEKKÜR

Yaptığım çalışmalarda, değerli bilgilerini, emeklerini ve yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. İlhami YİĞİT'e, maddi manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3-1. Sarım Sistemi Parametreleri	22
Tablo 3-2. Doğrusal Kılavuz Sistem Parametreleri	25
Tablo 3-3. Kontrol Konfigürasyonu.....	26



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Büyük Makaralar [22].....	6
Şekil 1.2. Küçük makara çeşitleri [23].....	7
Şekil 1.3. Sarım hatalarına örnekler: a) Düzensiz sarım, b) üst üste binmiş sarım, c) gevşek sarım.....	8
Şekil 1.4. AVO Dougles marka mekanik sarım makinası [24]	8
Şekil 1.5. Elektromekanik Sarım makinası - Ingrid West Machinery Ltd.WH752 [25]	9
Şekil 1.6. Hareketli kol ve yük hücresi sistemleri	10
Şekil 2.1. Sistemin Genel Görünümü	11
Şekil 2.2. Sistemin Genel Şeması	12
Şekil 2.3. Ana Makara ve Sürtünme Sisteminin Genel Görünümü	12
Şekil 2.4. Gergi Ölçme Düzeneginin Görünümü.....	13
Şekil 2.5. Gergi Ölçer Kalibrasyon Eğrisi	14
Şekil 2.6. Doğrusal Kılavuz Mekanizmasının Görünümü	15
Şekil 2.7. Sarma Mekanizmasının Görünümü	15
Şekil 2.8. Enkodere Ait Filitreli ve Filitresiz Sinyaller	16
Şekil 2.9. Sistemin Elektronik Kısımının Görünümü	17
Şekil 2.10. Yazılımın Görünümü	18
Şekil 3.1. Sarım Sistemi Şematik Görünümü	19
Şekil 3.2. Doğrusal Kılavuz Sisteminin Şematik Görünümü	22
Şekil 3.3. Gergi Kontrol Sistemi Genel Görünümü	25
Şekil 3.4. (a) ve (b) iki kararlı yapı (c) bu kararlı yapılardan oluşturulan asimptotik kararlı VSS, (d) ve (e) iki kararsız yapı (f) bu kararsız oluşturulan asimptotik kararlı VSS [30]	29
Şekil 3.5. İkinci Mertebeden bir Sistemin Kayan Kipli Kontrolü [27].....	30
Şekil 3.6. Anahtarlama Fonksiyonları (sgn, sat ve tanh) [28]	31
Şekil 4.1. Benzetim Arayüzü	33
Şekil 4.2. Sistemin Blok Diyagramı	34

Şekil 4.3. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=50$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)	35
Şekil 4.4. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)	35
Şekil 4.5. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=10$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)	36
Şekil 4.6. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=0.1$)	36
Şekil 4.7. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=10$)	37
Şekil 4.8. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$, $T_d=0.1$)	37
Şekil 4.9. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$, $T_d=0.01$)	38
Şekil 4.10. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$, $K_i=0.1$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)	38
Şekil 4.11. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$, $K_i=0.01$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)	39
Şekil 4.12. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=500$, $K_i=0.01$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)	39
Şekil 4.13. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=500$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)	40
Şekil 4.14. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=200$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)	40
Şekil 4.15. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$, $K_i=0.1$)	41
Şekil 4.16. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)	41
Şekil 4.17. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$), Hız Referans 700 rpm	42
Şekil 4.18. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$), Hız Referans 1000 rpm	42
Şekil 4.19. Kılavuz Kontrol (Şekil 4.16 Büyütülmüş Grafik)	43
Şekil 4.20. Hız Kontrol (Şekil 4.16 Büyütülmüş Grafik)	43
Şekil 4.21. Hız Kontrol (Şekil 4.16 Büyütülmüş Grafik)	44
Şekil 4.22. Gergi Kontrol Katsayıları ($\lambda:0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($\lambda:500$)	44
Şekil 4.23. Gergi Kontrol Katsayıları ($\lambda:0.01$), Hız Kontrol Katsayıları ($\lambda:500$)	45
Şekil 4.24. Gergi Kontrol Katsayıları ($\lambda:100$), Hız Kontrol Katsayıları ($\lambda:500$)	45

Şekil 4.25. Gergi Kontrol Katsayıları(λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :10)	46
Şekil 4.26. Gergi Kontrol Katsayıları(λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :100)	46
Şekil 4.27. Gergi Kontrol Katsayıları(λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :1000)	47
Şekil 4.28. Gergi Kontrol Katsayıları (λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :500, δ :100)	47
Şekil 4.29. Gergi Kontrol Katsayıları(λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :500)	48
Şekil 4.30. Gergi Kontrol Katsayıları(λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :500), Hız Referansı 700 rpm	48
Şekil 4.31. Gergi Kontrol Katsayıları(λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :500), Hız Referansı 1000 rpm	49
Şekil 4.32. Kılavuz Kontrol (Şekil 4.28 Büyütülmüş Grafik)	49
Şekil 4.33. Hız Kontrol (Şekil 4.28 Büyütülmüş Grafik)	50
Şekil 4.34. Gergi Kontrol (Şekil 4.28 Büyütülmüş Grafik)	50
Şekil 4.35. PID İle Sarılan Makara	51
Şekil 4.36. KKK İle Sarılan Makara	52
Şekil 4.37. Gergi Kontrol Katsayıları(K_p =100, T_d =0.1), Hız Kontrol Katsayıları (K_p =1)	52
Şekil 4.38. Gergi Kontrol Katsayıları(λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :500)	53

KISALTMALAR LİSTESİ

PPR	: Pulse Per Revolution (devirdeki darbe)
DAC	: Digital to Analog Converter (Dijitali Analoga Dönüştürücü)
ADC	: Analog to Digital Converter (Analogu Dijitale Dönüştürücü)
OP-AMP	: Operational Amplifier (İşlemsel Yükselteç)
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
KKK	: Kayan kipli kontrol
PID	: Proportional-Integral-Derivative (Oransal integral türev)
VSS	: Variable Structure Systems (değişken yapılı sistem)

SEMBOL LİSTESİ

u_{pid}	: PID kontrol sinyali
e	: Hata
t	: Zaman
K_p	: Oransal kazanç
K_i	: İntegral kazancı
T_d	: Türev kazancı
u	: Kayan kipli kontrol sinyali (kontrol girişi)
u_{sw}	: Kayan kipli kontrol anahtarlama sinyali
u_{eq}	: Kayan kipli kontrol eşdeğer sinyal
s	: Kayma yüzeyi
θ	: Sarım motorunun açısı değeri
i	: Sarım motoru akımı
L_m	: Sarım motoru bobin endüktansı
R_m	: Sarım motoru bobin iç direnci
B	: Sarım motoru viskoz sönüm sabiti
J_s	: Sarım motoru atalet momenti
i_m	: Sarım motoru bobinlerinden geçen akım
$e_a(t)$	: Sarım motoru kontrol sinyali
K_e	: Sarım motoru motor hız sabiti
ω	: Sarım motoru açısal hızı
K_t	: Sarım motoru tork sabiti
$r_1(\theta)$	: Sarılan makara yarıçapı
$r_2(\theta)$	: Sağılan makara yarıçapı
$J_e(\theta)$	: Sarım motoru miline indirgenmiş sistemin eşdeğer atalet momenti
ω_s	: Sarım motoru açısal hızı
J_{Md}	: Sarım motor dişlisi atalet momenti
ω_{Md}	: Sarım motor dişlisi açısal hızı
J_{En}	: Sarım motoru enkoderi atalet momenti
ω_{En}	: Sarım motoru enkoderi açısal hızı
$J_{\dot{s}}$	: Sarım makarası mili atalet momenti
$J_{\dot{s}d}$	: Sarım makarası mil dişlisi atalet momenti

ω_s : Sarım makarası mili açısal hızı
 $J_b(\Theta)$: Sarılan makara atalet momenti
 ω_b : Sarılan makara açısal hızı
 J_M : Sağılan makara mil atalet momenti
 $J_M(\Theta)$: Sağılan makara atalet momenti
 ω_M : Sağılan makara açısal hızı
 F_{sk} : Sarım sistemi kuru sürtünme kuvveti
 M_{el} : Sarım mekanizması elektriksel sistemin oluşturduğu moment
 M_{sis} : Sarım mekanizması dönel sistemin oluşturduğu moment
 $M_b(t)$: Bozucu moment girişi
 u_s : Sarım sistemi kontrol sinyal girişi
 M_{elk} : Kılavuz mekanizması elektriksel sistemin oluşturduğu moment
 M_{sistk} : Kılavuz mekanizması dönel sistemin oluşturduğu moment
 $e_{ak}(t)$: Kılavuz motoru kontrol sinyali
 ω_k : Kılavuz motoru açısal hızı
 B_k : Kılavuz motoru viskoz sönüm sabiti
 J_k : Kılavuz motoru atalet momenti
 K_{tk} : Kılavuz motoru tork sabiti
 r_k : Kılavuz motoru kasnak yarıçapı
 m_{ek} : Kılavuz sistemi eşdeğer kütle
 B_k : Kılavuz sistemi eşdeğer viskoz sönüm sabiti
 F : Kılavuz arabaya etkiyen kuvvet
 F_s : Kılavuz arabaya etkiyen kuru sürtünme kuvveti
 F_{bk} : Kılavuz sistemi bozucu kuvvet
 K_{ek} : motorun voltaj sabiti
 L_k : motorun bobin endüktansı
 R_k : motorun bobin iç direnci
 i_k : motor bobinlerinden geçen akım
 u_k : Kılavuz sistemi kontrol sinyal girişi
 T : Gergi kuvveti
 F_{max} : Sarım sistemine etkiyen max. kuru sürtünme kuvveti
 F_{min} : Sarım sistemine etkiyen min. kuru sürtünme kuvveti
 u_g : Gergi sistemi kontrol sinyal girişi

d : Sarılan tel çapı
 Y : Yön katsayısı
 smb : Sarılan makara boyu



GİRİŞ

Gergi kontrolü genellikle uzun ve süreklilik istenen birçok üretim sürecinde önem arz eden bir durumdur. Örneğin çeşitli metal saclar, kablo, hortum, kumaş, iplik, kâğıt, streç film, alüminyum folyo, her çeşit tel üretimi, fiber optik kablolar bunlara örnek olarak verilebilir. Üretimin sürekliliği ve malzeme kalitesi gerginliğin etkilediği en önemli faktörlerdir. Bu yüzden malzeme ve işçilik kaybının yaşanmaması, üretim hatalarının en aza indirgenmesi, kalitenin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi için üretim sürecinde gerginliğin kontrol edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde, birçok alanda kullanılan motorlar, transformatörler, radyo alıcı ve vericileri, hassas doğrusal yatak ve tahrik sistemlerinin temelinde makaralara sarılan teller kullanılmaktadır. Bu makaralar için kullanılan teller üretim sırasında önce büyük makaralara sarılmaktadır. Daha sonra bu makaralardan isteğe göre küçük makaralara sarılmaktadır. Makara sarımında yukarıda bahsedilen nedenlerden ötürü gergi kontrolü yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada dairesel kesitli emaye kaplı bakır tellerin gergi kontrollü olarak sarılması için tasarlanmış ve imal edilmiş bir düzeneğin modellenmesi, benzetimi ve kontrolü yapılmıştır.

GERGİ KONTROLÜ VE MAKARALAR bölümünde daha önceden yapılmış literatür çalışmalarına değinilmiş, makara için sarım gerginliğinin önemi ve kullanıma etkisi üzerinde durulmuştur.

SİSTEMİN TASARIMI bölümünde imal edilen sistemin yapısından bahsedilmiştir. Sistem beş bölüme ayrılmış ve tek tek ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Sistem elemanlarının özellikleri literatürdeki farklılık ve benzerlikleri hakkında bilgi verilmiştir.

SİSTEMİN MODELLENMESİ sistemin dinamik davranışı göz önüne alınarak matematiksel modeli oluşturulmuştur.

BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR bölümünde sistemin benzetim ve deneysel çalışmaları yapılmış; kontrolcü kazançlarının belirlenmesi ve farklı referans girişler için sistem cevap eğrileri çok sayıda grafikte verilmiştir.

SONUÇ bölümünde elde edilen bulgular ve gözlemlenen durumlara yer verilmiş ve sonuçlar yorumlanmış; gelecekteki çalışmalarda daha iyi sonuçlar elde edilebilmesi için tavsiyelerde bulunulmuştur.



1. GERGİ KONTROLÜ VE MAKARALAR

Makara sarımında üretim hızını artırmak ve hataları azaltmak amacı ile farklı alanlarda farklı kontrol teknikleri ile birçok çalışma yapılmıştır. Aşağıda daha önceki çalışmalara ait bilgiler yer almaktadır.

Delis, makara sarım makina dizaynının makara karmaşıklığına, materyal gerginliğine, makina çok yönlülüğüne, otomasyon/operatör müdahalesine, üretim hacmine ve bütçeye bağlı olduğunu söylemiştir. Sadece düz makara türü sarım makinalarından mil sargı ve pilot sargı tipi cihazların prensiplerinden ve farklarından bahsetmiş, sargı kalitelerinin eşit sayılabileceğini söylemiştir. Ancak klasik makinaların zayıf kaldığı çok yönlülük, ürün gereksinimleri ve fiyat gibi değişkenlerin otomasyonu zorunlu kıldığını belirtmiştir. Ayrıca sarım sırasında gerginliğin sarımın dağılmasının önlenmesi, düzenli ve sıralı sarım, telde uzama, deformasyon ve kopma olmaması için gerekli, ölçülmesi ve kontrol edilmesi gereken bir parametre olduğundan bahsetmiştir. Statik gergi için yaylı, sürtünme yüzeyli ve pnömatik araçlar kullanılmakta olduğunu ancak dinamik sarım esnasında bunların yetersiz kaldığını, gerginin dinamik olarak ölçülmesi ve kontrol edilmesi gereken bir parametre olduğunu belirtmiştir. Sarım sırasında istenen ancak giderilemeyen olumsuzluklardan bahsetmiştir.[1]

Norbert ve arkadaşları, gergi kontrolü için kol-makara (dancer roll) ve yük hücresinin (load cell) teorik olarak karşılaştırmasını yapmışlardır. Güney Avrupa'daki bir kâğıt kaplama (off machine coater) makinasının verilerini kullanarak kararlılık ve cevap analizi yapmışlardır. Burada kullanılan iki sistem ana makaradan sağılarak kaplama yapılan kâğıdın gerginliğini ölçmektedir. Buradaki ölçümden elde edilen değere göre sarımın hızı ve dolayısıyla gerginliği kontrol edilmektedir. Sonuç olarak gezer makara ve yük hücresi kullanılarak yapılan kontrollerin farkının olmadığını, ancak 10 ms altındaki filtreler ile yük hücresinin daha iyi kontrol kazancı, cevap zamanı ve gerginlikte düşüş sağladığını belirtmiştir.[2]

Yeung ve arkadaşları, tekstil iplikleri sarım hızını sarım gerginliğindeki değişimi minimize ederek 800 m/d'dan 2000 m/d'ya çıkartan kontrol tekniği uygulamışlardır. Gergi ölçer olarak 1 kHz frekans cevabına sahip düşük deplasmanlı yüksek bant genişlikli üçgen strain gauge tipi bir yapı kullanmışlardır. Uyguladıkları bulanık

kontrol tekniği ile 2000 m/d sarım hızına ulaşmışlardır. Senkronize edilmiş kompensatör kullanarak 800 m/d'da gergideki değışimi kullanılmamış duruma göre yaklaşık %50 azaltmayı başarmışlardır.[3]

Gerd Voss ve Kurt Hefti, 0.02-0.2 mm tel çapları için kullanılan tel sarım makinalarında kullanılan makara sağım kısmının pasif gergi sistemleri ile elektronik aktif sistemlerin karşılaştırılmasını yapmıştır. Yüksek hızlar ve üretim esnekliği için gereklilikleri pasif kontrol sistemlerinin istenilen seviyelerde veremediğini belirtmiştir. Aktif kontrol sistemi için 30 m/s sarım hızları ile daha ekonomik üretimlere ulaşılabilceğini söylemiştir.[4]

Benjamin C. Mcdow ve Christopher D. Rahn, kalınlığı genişliğine göre çok çok küçük olan film malzemelerin gerginliğinin kontrolü için kol-makara sisteminin dinamik modelini oluşturmuşlar, klasik PID ve model tabanlı adaptif kontrolcü ile sistemi kontrol ederek karşılaştırma yapmışlardır. Çalışmalarında PID kontrolcüye göre model tabanlı adaptif kontrolcü ile 3 kata kadar hızlı cevap süresi, yarı oranda izleme hatası, 5 kata kadar bozucu giriş bertaraf etme özelliği kazandırmışlardır. PID kontrolcünün de yeterli olduğunu ancak değışken hız veya gerilme durumunda adaptif kontrolcünün uygun olacağını söylemiştir.[5]

Seung Ho Song ve Seung Ki Sul, şerit makinalarındaki gerginliği kontrol etmek için ileri besleme ile gerginliği hesaplamış ve böylece dinamik cevabı daha hızlı bir kontrol sağlamışlardır. Tamburun tork balansını ivmelenme torkunu da dâhil edecek bir gözlemleyici geliştirerek ileri beslemeli bir kontrolcü oluşturmuşlardır.[6]

Manning, makara sarım makinaları hakkında bilgi vermiştir. Bu makinalarda gerginin öneminden ve amacından bahsetmiştir. Ayrıca sarılan tellerin durumu, makinadan istenilenler, makina türleri ve gergi mekanizması hakkında bilgiler vermiştir.[7]

Lin, dokunmuş kumaş sarımında üretkenliği artırmak için hızı artırmanın gerekli olduğunu, artan hızlarda ise sistem sürtünmesi ve ataletindeki değışimin gözlemleyici tekniklerinde probleme yol açacağını söylemiştir. Lineerleştirme ve yeniden ortalama teknikleri kullanarak, sürtünme ve atalet etkilerini de göz önüne alan bir gözlemleyici

ile gerginliği daha hassas kestirmeyi hedeflemiştir. Simülasyon ve deneysel çalışmalar ile klasik kontrolcülere yakın bir değer elde etmiştir.[8]

Mu Tian Yan ve Pin Hsum Huang, bir tel erozyon makinasında tel gerginliğinin kontrolü üzerinde çalışmışlardır. Bir adım nden adaptif kontrolcü tekniği ile kalıcı hatada %7 köşelerdeki geometrik kontur hatasını da %40 ile %50 oranında azaltmışlardır.[9]

Chunxiang Wang ve arkadaşları, filament sarma makinasında hassas gergi kontrolü için Back Propagation Neural Network (BPNN) yani Geri Yayılım Yapay Sinir Ağları kontrol tekniği olarak kullanmışlar ve klasik PID'ye göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir. Bu yöntemin hız ve gergiyi izole ettiğinden PID'nin dezavantajlarının üstesinden geldiğini belirtmişlerdir.[10]

Film malzemeler ve sarılı makaralardan tekrar açma sistemleri için sistemlerin modellemesi, farklı kontrol tekniklerinin uygulanması, bunların klasik kontrol ile veya açık çevrim kontrole göre karşılaştırmalarının yapılması üzerine birçok çalışma yapılmıştır.[11,12,13,14,15]

Yoshinori Ando ve arkadaşları, makara sarımında gergi kontrolü için kol-makara sistemini bir yaya bağlamışlar ve bu sistemin matematiksel modelini oluşturmuşlardır. Oluşturdukları sistem modeline hıza bağı bir giriş vererek PID kontrolcü ile kontrol uygulamışlar ve referans gergiyi %10.3'lk bir değişim ile kontrol etmişlerdir.[16]

Jun Pan ve arkadaşları, kablosuz Radio Frequency Identification (RFID) algılama makaralarında küçük çaplar ($<0.1\text{mm}$) için yüksek hızlarda sarımda başlama/bitiş anlarında ve zamanla artan atalet yüzünden oluşan gerilme dalgalanması problemi için kontrolcü gelişmişlerdir. Sistemin modelini oluşturmuşlar ve Bulanık mantık ile klasik PID kontrolcü katsayılarını belirleyen bir kontrolcünün benzetimini yapmışlardır.[17]

Stephen J. Dodds ve arkadaşları, doğal mıknatıslı senkron motorların parçalı stator kısmındaki sarımın ve gerginliğinin kontrolü için gözlemleyici kullanarak kontrol benzetimini yapmışlardır. Gergi kontrolü için Gözlemleyici Tabanlı Kararlı Kontrol ve zorlanmış dinamik kontrol tekniği kullanmışlardır. Bilinen sistem matematiksel modeli ve tasarladıkları gözlemleyici ile kontrol benzetimini gerçekleştirmişlerdir.[18]

Gang Yuan Mao ve arkadaşları, gergi kontrolü için klasik PID'nin parametrelerinin ayarlanmasının zor olduğunu söylemişlerdir. Bunun yerine adaptif öğrenme üzerine kurulu Bulanık PID kontrolcü geliştirerek gerçek zamanda parametrelerini değiştirebilen bir sistemin benzetimini gerçekleştirmişlerdir.[19]

Van Tu Duong ve arkadaşları, fırçasız DC motor sarımında gergi kontrolü üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada dikdörtgen kesitli makaraya sarım sırasında oluşacak gergi dalgalanmalarını, teldeki uzamaları ve bükülmeleri önüne geçmek için aktif tel aküsü kullanmışlardır. Burada sarılan tel konumu servo valf ile ayarlanan pnömatik silindir ile kontrol edilmiştir. Klasik PID kontrolcü kullanarak tasarladıkları sistemin benzetimini gerçekleştirmişler ve istenilen gerginliğe 0.8 s'de ulaşmışlardır. Sonraki çalışmalarında Bulanık Mantık Kontrolcü kullanmışlar ve deneysel olarak aktif tel aküsü ile pasif kontrol arasındaki sarım hacmi ve gergi değişimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.[20,21]

Küçük makaralar, üzeri yalıtkan kaplı çeşitli kesit geometrisine sahip bakır, alüminyum gibi iletken malzemelerden yapılan tellerinin manyetik alan üretmek için plastik, çelik gibi malzemelerden yapılmış farklı geometrilere sahip gövdelere çeşitli sayıda ve yönde sarıldığı malzemelerdir. Küçük makaralar için kullanılan teller üretim sırasında büyük makaralara sarılmaktadır (Şekil 1.1). Daha sonra bu büyük makaralardan istenilen küçük makara ölçülerine göre daha küçük hacimlerdeki (Şekil 1.2) makaralara sarılmaktadır.



Şekil 1.1. Büyük Makaralar [22]

Günümüzde, birçok alanda kullanılan motorlar, transformatörler, radyo alıcı ve vericileri, hassas doğrusal yatak ve tahrik sistemlerinin temelinde bu küçük makaralar kullanılmaktadır.

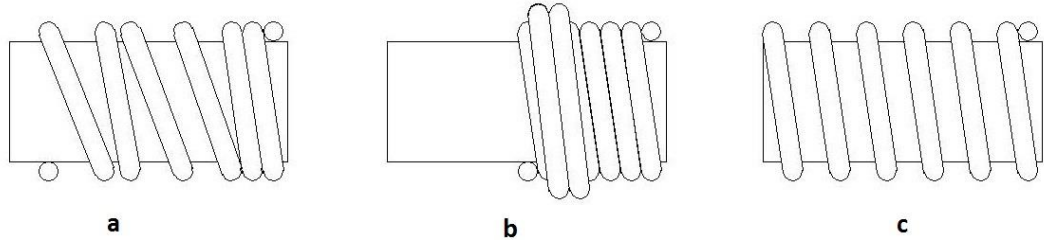


Şekil 1.2. Küçük makara çeşitleri [23]

Küçük makara tellerinin ise kullanımı esnasında manyetik alan, direnç ve diğer birçok özelliğinin optimum seviyede olması için sarım gerginliğinin belirli bir değerde olması istenir. Sarım sırasında gerginliğin malzemenin akma sınırından büyük bir değerde olması malzemenin kopmadan plastik olarak şekil değiştirmesine bu da telin kesit alanının küçülmesine sebep olmaktadır. Tel kesit alanının küçüldüğü kısım doğal olarak normal tel kesitinin taşıyabileceği akımdan daha azına dayanabilecektir. Bu durumda aşırı ısınmaya ve kopmalara sebep olacaktır. Fazla gergi tel üzerine bulunan kaplamaya da sarım esnasında zarar verebilir.

Direnç tel sarılmış makaralarda temel karakteristiği oluşturan unsurlardan biridir. Uygun gergide sarılan makaralar aynı sarım sayısını sağlamak için toplamda daha az tel harcanmasına sebep olacaktır. Makaralardaki toplam tel uzunluğunun az olması da toplam direncin azalmasını sağlayacaktır.[7]

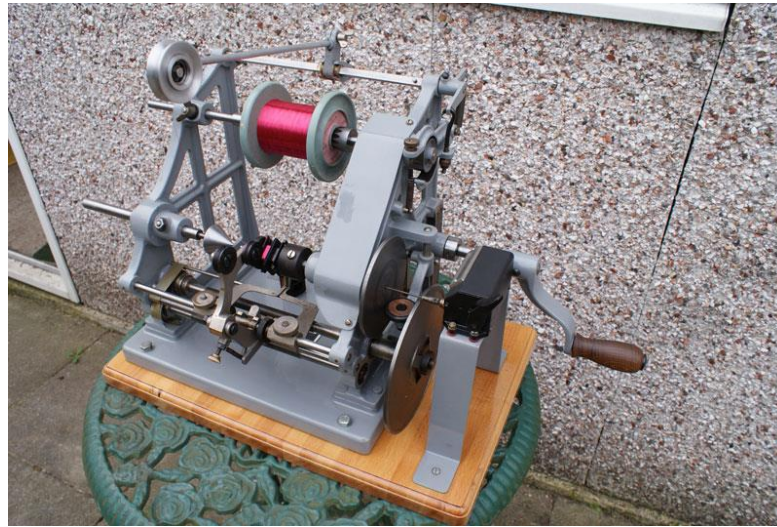
Bu çalışmada silindirik profile sahip plastik makara üzerine emaye kaplı bakır telin hem geometrik olarak hem de gerginlik olarak kontrollü bir şekilde sarımının gerçekleştirilmesi için bir deney düzeneği kurulmuştur. Sarım sırasında birim hacimdeki dolgunluk sarım kalitesine etki eden önemli faktörlerdendir. Bundan dolayı sarılan telin arasında boşluk kalmaması, tellerin üst üste binmemesi ve sarım geometrisinin düzgün olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir.[1]



Şekil 1.3. Sarım hatalarına örnekler: a) Düzensiz sarım, b) üst üste binmiş sarım, c) gevşek sarım

Bunu sağlamak için burada kontrolcü kullanmak gerekir. Bu kontrolcüler mekanik (Şekil 1.4) veya elektro-mekanik (Şekil 1.5) olabilir.

Mekanik kontrollü sarıcılarda tel sarım gerginliği bir yay ve kol ile kontrol edilirken telin sarılırken ilerlemesi çeşitli dişliler ve vida mekanizmaları yardımı ile olmaktadır. Farklı çaplarda tel sarmak için uygun dişliler takılarak sarım yapılabilir. Mekanik kontrolcülü sarım mekanizmalarında kontrol organları arasında mekanik bağ vardır. Bu da doğal olarak atalet ve sürtünmeyi beraberinde getirmektedir. Bu makinalar iş görmekle birlikte mekanik nedenlerden ötürü üretim hızı ve esnekliği bakımından yavaş kalmaktadırlar.



Şekil 1.4. AVO Douglas marka mekanik sarım makinası [24]

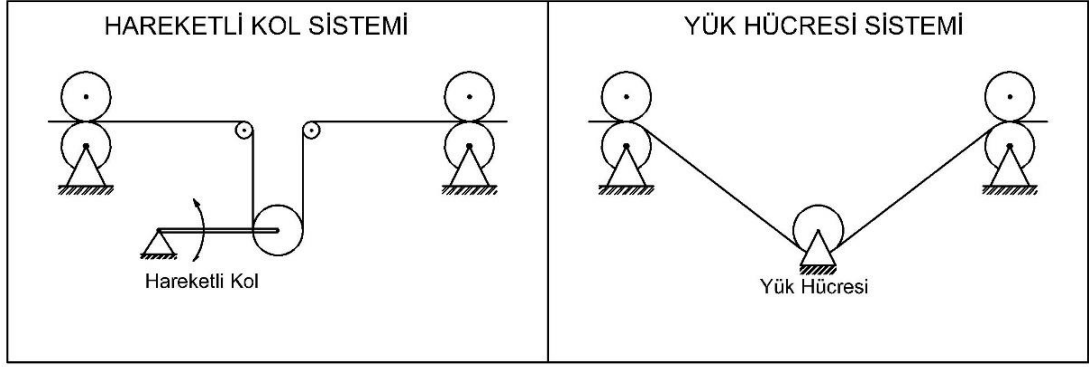
Günümüzde yüksek hızlar, hassasiyet ve güvenilirlik açısından elektromekanik kontrolcülü sarım makinaları kullanılmaktadır.



Şekil 1.5. Elektromekanik Sarım makinası - Ingrid West Machinery Ltd.WH752 [25]

Elektromekanik kontrolcülü sarım makinalarında (Şekil 1.5) kılavuz kısmı elektronik olarak takip edillerek yüksek hızda ileri geri hareket yapan elektromekanik mekanizmlar ile hareket sağlanmaktadır. Gerginlik ise Şekil 1.6’de gösterilen hareketli kol (dancer arm) veya yük hücreli algılayıcıları bulunan meknizmalar ile ölçülmekte ve kontrol edilmektedir.

Yük hücresi ile ölçümde tel sabit gövdeye bir mil ile bağlı serbest makara üzerinden akmaktadır. Daha önceden kalibre edilmiş bu hücre, sabit gövdeye bağlı milde oluşan gerinim ile yükü voltaj veya akım olarak vermektedir. Hareketli kol algılayıcı sistemlerde ise tel bir kol ucuna mil ile bağlı bir makaradan akmaktadır. Kolun diğer ucu ise sabit bir gövdeye bağlanmaktadır. Sarım sırasında tel üzerindeki gerginliğe göre kol aşağı yukarı hareket etmektedir ve kolun bu hareket açısı ölçülmektedir. Kol ve makaranın ağırlığı ve kolun açısı ile hesaplanan denklem sayesinde teldeki gerginlik ölçülmektedir veya kontrol edilmektedir. Hareketli kol sistemi uygun makara ağırlığı ile aynı zamanda gerginlik kontrolü iş için de kullanılmaktadır.



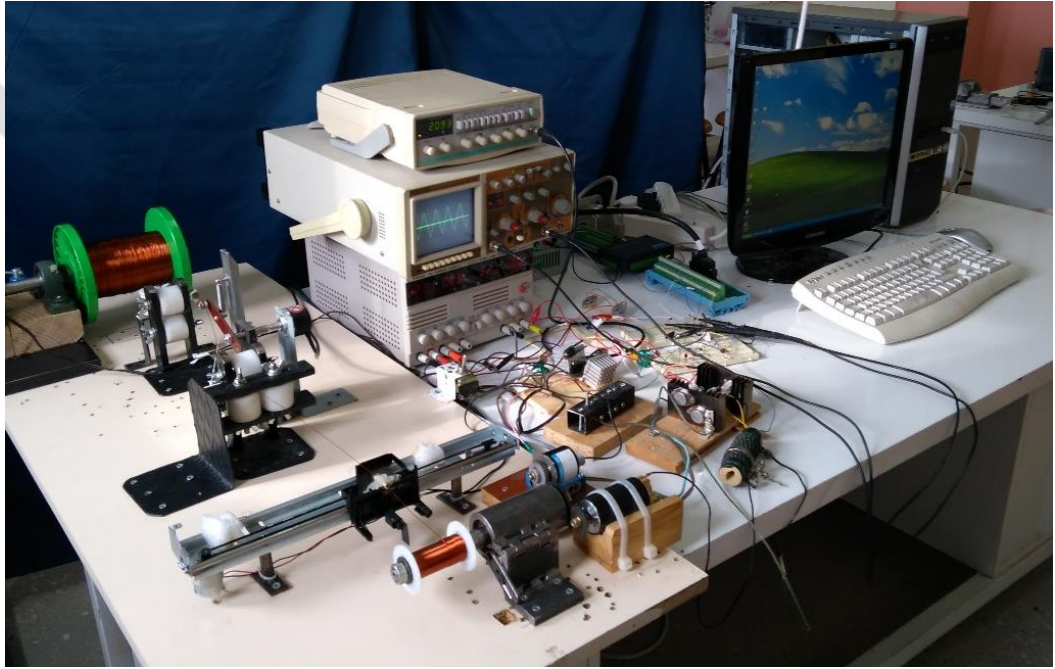
Şekil 1.6. Hareketli kol ve yük hücresi sistemleri

Her iki sistemin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Örnek verecek olursak yük hücresinde tel hareket etmediği için yapı daha basittir ve yük hücresi cevap süreleri yeterince hızlıdır. Ancak sistemde ani bir gerilme durumunda telin kopma olasılığı daha yüksektir. Hareketli kol mekanizmalarında kolun hareketli olması ani gerilme sırasında telin kopmasını önler fakat sistemde hareketli bir eleman olduğu için yapı daha karmaşık ve elemanların dinamiği ölçüm açısından gecikme ve hassasiyette azalmalara sebep olabilmektedir.

Uygulamalarda iki prensibi de içeren elektronik gergi kontrol üniteleri de bulunmaktadır. Sistemde tel yük hücresi ve bir kol üzerinden akmaktadır. Yük hücresi gerginliği ölçerken kol ise anlık tel besleme ve alma görevini üstlenmektedir. Böylece telin kopmasının ve ani gerginlik oluşmasının önüne geçilebilmektedir.

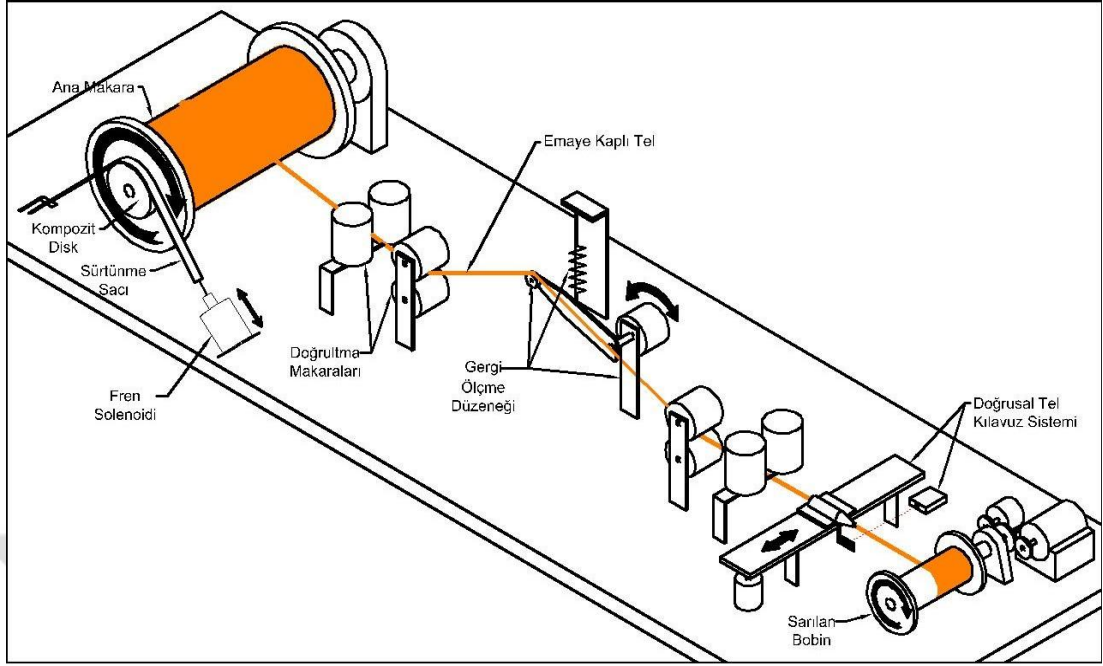
2. SİSTEMİN TASARIMI

Sistemin genel görünümü ve şeması Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de verilmiştir. Deney düzeneğinde emaye kaplı tel sarılı ana makara yatay olarak yataklanmış bir mile bağlıdır. Milin diğer ucuna da solenoid tahrikli sürtünmeli fren mekanizması bağlıdır.



Şekil 2.1. Sistemin Genel Görünümü

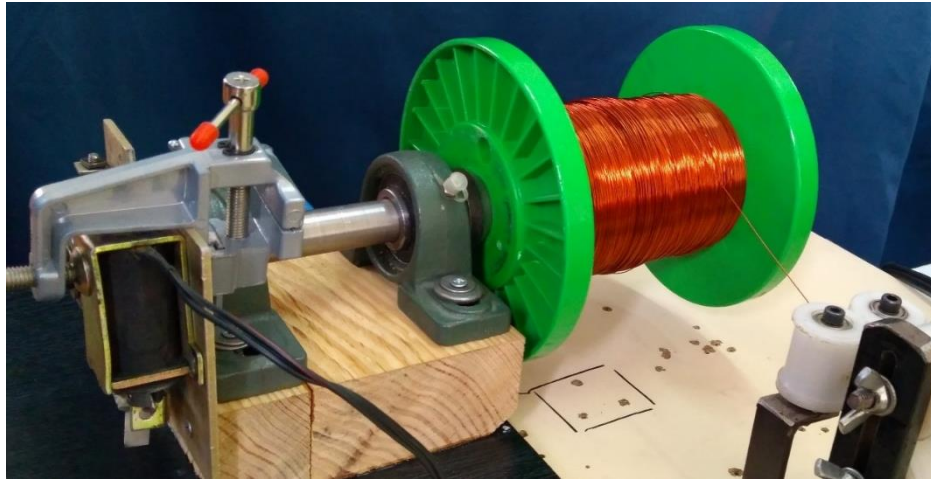
Makaradan çıkan tel serbestçe dönebilen doğrultma makarasından geçerek gergi ölçme düzeneğine ve oradan tekrar bir doğrultma makarasından geçerek doğrusal tel kılavuz mekanizmasına gelmektedir. Burada tel doğrusal hareket eden bir kılavuz sistemi içinden geçerek sarılacak bobine ulaşır. Sistemde sarım hızı, gerginlik ve kılavuz mekanizmasının konumu ölçülmektedir. Yapılan ölçümler ile kılavuz motoru, sarım motoru ve solenoid fren sistemi eş zamanlı olarak kontrol edilmektedir. Sistemin bölümleri aşağıda daha detaylı olarak ele alınmıştır.



Şekil 2.2. Sistemin Genel Şeması

2.1. Ana Makara ve Sürtünme Sistemi

Ana makara ve bu makaraya bağlı sürtünme sistemini Şekil 2.3'te daha yakından görülmektedir.

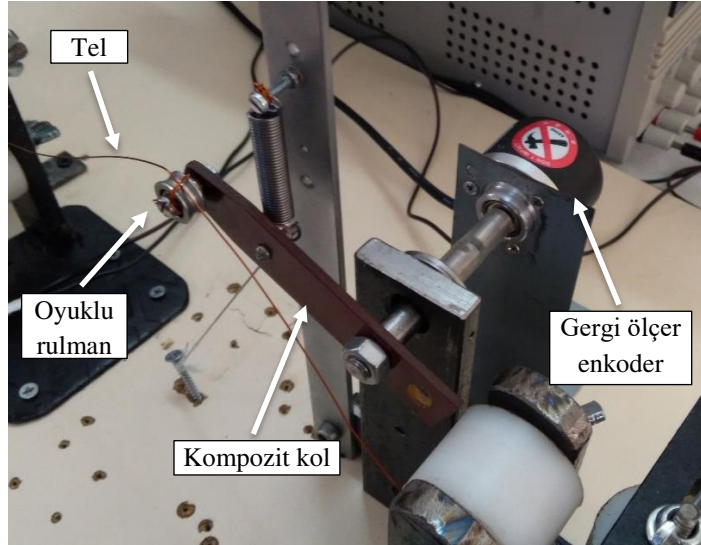


Şekil 2.3. Ana Makara ve Sürtünme Sisteminin Genel Görünümü

Burada IEC 262-2 standardına uygun plastik makara üzerine sarılmış IEC 60317-8-2 standardında 0.5 mm çaplı emaye kaplı bakır tel sarılı ana makara, bu makarayı yatay biçimde tutan bir yatağa monte edilmiş mile bağlıdır ve serbest olarak dönebilmektedir. Milin diğer ucu makara ile birlikte dönen kompozit bir diske bağlıdır. Bu kompozit diskin üzerinden bir ucu sabit diğer ucu hareket edebilen metal şerit temaslı bir şekilde geçmektedir. Mekanizma solenoid aktif olmadığında metal şerit ile kompozit diskin sürtünmesini sağlayacak şekilde ve gerginliği ayarlanabilen bir yay ile bastırılarak sürtünmekte, solenoid hareketi ile disk üzerindeki yay kuvveti azaltılarak sürtünme kuvveti azaltılmak suretiyle ana makaranın sürtünmesi kontrol edilmektedir.

2.2. Gergi Ölçme Düzeneği

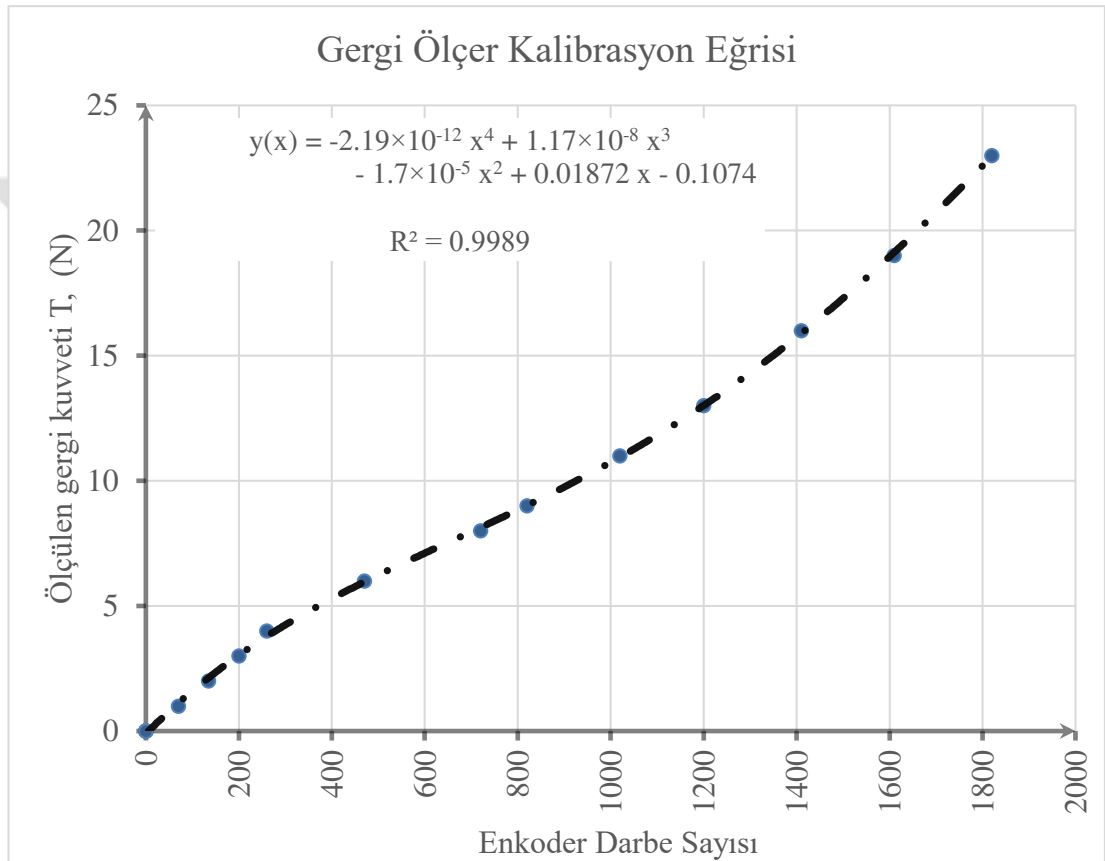
Sistemin bu kısmının görünümü Şekil 2.4'te verilmiştir. Gergi ölçme düzeneğinde kompozit malzemeden yapılmış bir kol, bu kolun ucunda küçük bir oyuklu rulman, kolu serbestçe dönmesini sağlayan zemine bağlı bir yatak ve mili, kolun açısını ölçen mile bağlı 5000 ppr dönel tip enkoder (Autonics E40S6-5000-3-N-24) ve yay bulunmaktadır.



Şekil 2.4. Gergi Ölçme Düzeneğinin Görünümü

Ana makaradan çıkan emaye kaplı bakır tel doğrultma makarasından geçerek kompozit kol ucunda bulunan küçük oyuklu rulman üzerinden geçmekte ve sonra yine

doğrultma makarasından doğrusal kılavuz mekanizmasına buradan da sarılan makaraya ulaşmaktadır. Yay vasıtasıyla yatayla belirli bir açı yapan kol, tel üzerinde gergi oluşması durumunda aşağı doğru hareket etmektedir. Kolun hareketi dönel tip enkoder ile ölçülerek sisteme geri beslenmektedir. Burada kol açıları farklı yükler bağlanarak kalibre edilip 4. mertebeden kalibrasyon fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Bu sayede tel üzerinde oluşan gergi T Newton cinsinden ölçülmüştür.

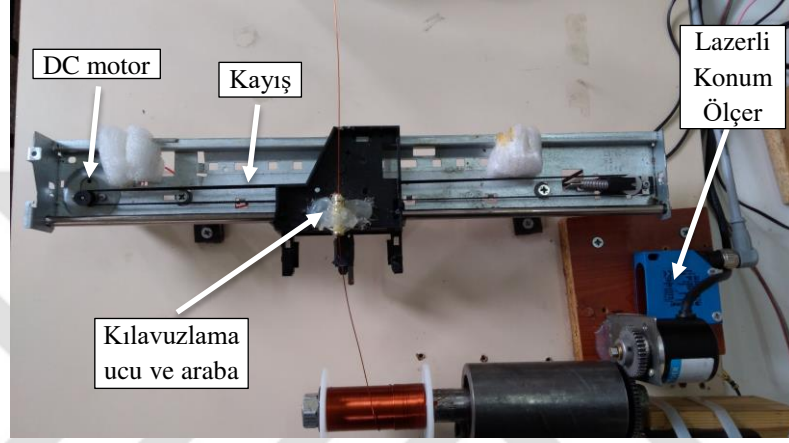


Şekil 2.5. Gergi Ölçer Kalibrasyon Eğrisi

2.3. Doğrusal Kılavuz Mekanizması

Doğrusal kılavuz mekanizması sarılacak teli, anlık olarak hesaplanan doğru geometrik pozisyonunda olması için hareket ettiren mekanizmadır. Şekil 2.5'deki bu mekanizma zemine bağlı doğrusal bir yatak, kılavuzlama ucu, bu ucu taşıyan araba, arabaya bağlı dişli kayış, dişli kasnak bağlı fırçalı DC motor, dişli kayışı gerdiren kasnak ve arabanın konumunu ölçen lazerli konum ölçerden (Sensopart FT50 RLA 220S1L8) oluşmaktadır.

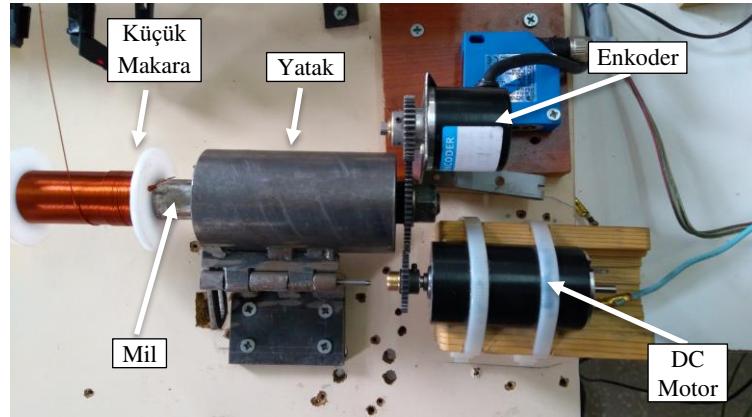
Gergi ölçme düzeneğinden ve doğrultma makarasından gelen tel kılavuzlama ucundan geçerek sarılacak olan makaraya ulaşmaktadır. Lazerli konum ölçer ile konumu ölçülen araba ve dolayısıyla kılavuzlama ucu makaranın başlangıç noktasından başlayarak sarılan makaranın hızına göre sağa ve sola, sarımda boşluk kalmayacak veya üst üste sarılmayacak şekilde hesaplanan referans değerine göre kontrollü olarak hareket etmektedir.



Şekil 2.6. Doğrusal Kılavuz Mekanizmasının Görünümü

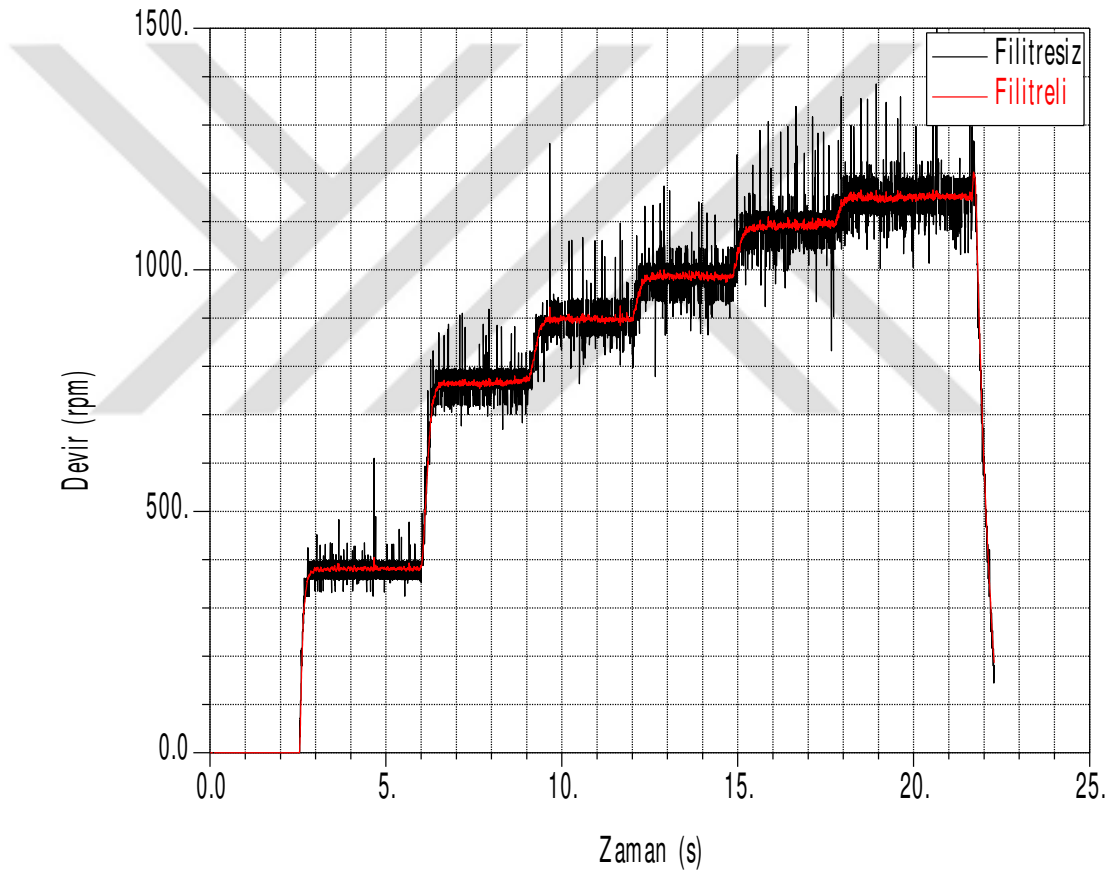
2.4. Sarma Mekanizması

Sarma mekanizmasının görünümü Şekil 2.6’da verilmiştir. Sarılacak küçük makara plastiği zemine sabitlenmiş bir yataklı mile monte edilmiştir. Milin diğer ucunda mile sabitlenmiş büyük dişli bulunmaktadır.



Şekil 2.7. Sarma Mekanizmasının Görünümü

Bu büyük dişlinin bir tarafında ucunda küçük dişli bulunan 400 ppr dönel enkoder, diğer tarafında yine ucunda küçük dişli bulunan ve sarımı sağlayan fırçalı DC motor (Maxon 148867) bulunmaktadır. Burada enkoder ile dönme açısı ve hızı ölçülerek sisteme geri beslenmektedir. Enkodere ait hız ölçümünde uygulana dijital filtre ile parazit etkileri azaltılırken filtreli değer de Şekil 2.8’de de gösterildiği gibi yeterince hızlı ve gerçek değerine yakındır. Sistem yazılımı sayesinde geri besleme sinyalleri kontrolcü ile değerlendirilerek uygun sinyaller sürücü üzerinden motora iletilerek sarım kontrolü sağlanmaktadır.

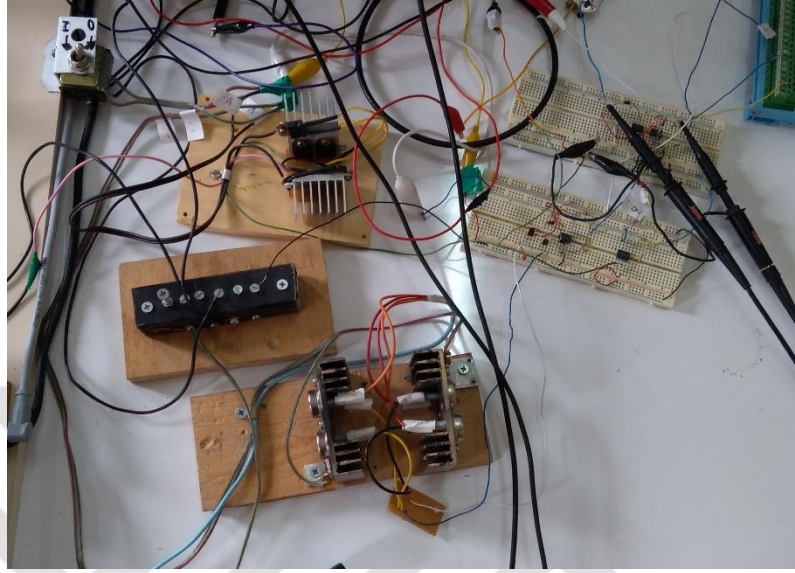


Şekil 2.8. Enkodere Ait Filtreli ve Filtresiz Sinyaller

2.5. Kontrol Elektronik ve Yazılım

Sistemin elektronik kısmında iki adet enkoderdan gelen dijital sinyal ve bir adet lazerli konum ölçerden gelen analog sinyal ölçülerek bilgisayara aktarılmakta, bilgisayardan

hesaplanan kontrol sinyalleri de kılavuz motoru, sarım motorunu ve fren selonoidine güç yükseltici devreleri üzerinden aktarılarak kontrol gerçekleştirilmektedir (Şekil 2.7).



Şekil 2.9. Sistemin Elektronik Kısımının Görünümü

Enkoderlar ve lazerli konum ölçer DC 24V ile anahtarlamalı bir güç kaynağından beslenmektedir. Enkoderların darbeleri yüksek hızda Advantech marka PCI-1784U model 4 eksen bir enkoder okuma kartı ile okunarak yazılıma aktarılmaktadır. Lazerli konum ölçer tarafından konuma bağlı olarak üretilen 4-20 mA analog çıkış sinyali bir dönüştürücü vasıtasıyla 0-10V'a dönüştürülmekte ve Advantech marka USB-4711A veri toplama ve kontrol kartı ile okunarak yazılıma aktarılmaktadır. Yazılım tarafından üretilen kontrol sinyaller $\pm 10V$ olarak yine PCI-1723 analog çıkış kartı ile güç yükseltici devrelere gönderilmektedir.

Güç yükseltme devreleri bilgisayar tarafında üretilen $\pm 10V$ kontrol sinyalleri op-amp devreleri vasıtasıyla doğrusal olarak $\pm 22V$ 'a çıkarılmaktadır. Daha sonra yükseltilecek ancak zayıf akım değerlerine sahip kontrol sinyalleri push-pull yükseltici devreler ile $\pm 22V$ 5A'ye kadar çıkabilen güçlü sinyallere çevrilerek fırçalı DC motorlar beslenmektedir. Fren selonoidi frekans üretici ile üretilen üçgen dalga ve PCI-1723 analog çıkış kartı ile üretilen 0-10V kontrol sinyal op-amp vasıtası ile PWM sinyale dönüştürülerek güç yükseltici üzerinden kontrol edilmektedir.

Sistem yazılımı (Ek-1) Delphi 7.0 programı kullanılarak görsel arayüzlü olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.8). Bu program ile kontrolcü katsayıları, tel çapı, makara genişliği, sarım hızı, veri dosyaları gibi birçok parametre arayüzden rahatlıkla girilebilmekte, sonuçlar grafik veya dosya olarak kaydedilip açılabilir.

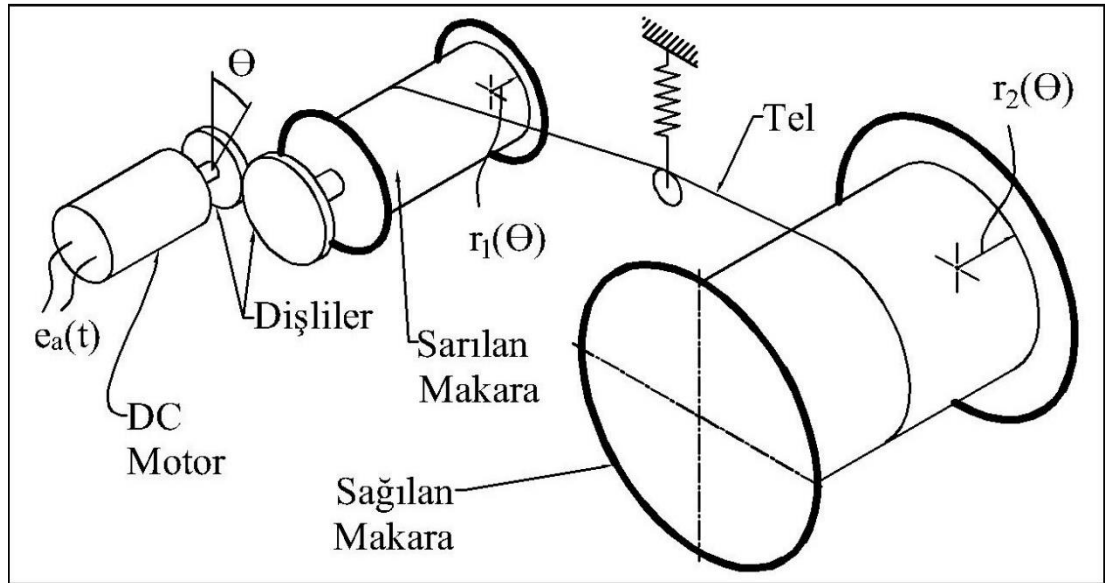
Şekil 2.10. Yazılımın Görünümü

3. SİSTEMİN MODELLENMESİ

Bu bölümde sistemin matematiksel modelinin elde edilmesine yer verilmiştir. Burada sistem, sarım sistemi, doğrusal kılavuz sistemi ve gergi kontrol sistemi olarak üç kısımda ele alınmıştır. Ayrıca sistem parametreleri de kısımların altında yer almaktadır.

3.1. Sarım Sistemi

Sarım sistemi dinamiği sağılan ana makara, sarılan makara, dişliler ve motordan oluşmaktadır. Sarım sisteminin şematik görünüşü Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Sarım Sistemi Şematik Görünümü

Şekil 3.2’deki sisteme hareket veren fırçalı DC motorun elektrik kısmının dinamik davranışı doğrusal kılavuz mekanizmasındaki gibidir.

$$e_a(t) = L_m \frac{di}{dt} + R_m i + K_e \omega \quad (3.1)$$

DC motorun dönel mekanik kısmının hareket denklemi,

$$M_{el} - M_{sist} = J_s \dot{\omega} + B\omega \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Sistem motor miline indirgenirse;

$$M_{el} - M_{sist} = 0 \quad (3.3)$$

elde edilir. Burada,

$$M_{el} = K_t i \quad (3.4)$$

ve

$$M_{sist} = J_e(\theta)\ddot{\theta} + B_e\dot{\theta} + F_{sk}r_1(\theta) + M_b(t) \quad (3.5)$$

olarak elde edilir. Gergi ölçer dinamiğinin sistemin dinamiğine etkisi gergi ölçerin sistemle birlikte modellenmesi, detaylı sürekli sistemler mekaniği yaklaşımı ve karmaşık bir modelleme gerektirmekte olduğundan, kontrol sisteminin telafi edici özelliği dikkate alınarak ihmal edilerek bağımsız yalnızca bir algılayıcı olarak kabul edilmiştir. Geriye kalan sistem ise çözüm kolaylığı açısından motor miline indirgenmiş dönel mekanik bir sistem olarak düşünülmüştür. Burada $J_e(\theta)$ sarım motoru miline indirgenmiş eşdeğer sistemin atalet momentidir ve motor açısı θ 'ya göre değişmektedir. Ana makara, sarılan makara ve kalan sistemin toplam sürtünmesi ile ataletlerinin dinamiği motor milindeki dönel mekanik eşdeğerine indirgenirse $J_e(\theta)$ aşağıdaki gibi bulunur;

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}J_e(\theta)\omega^2 &= \frac{1}{2}J_s\omega_s^2 + \frac{1}{2}J_{Md}\omega_{Md}^2 + \frac{1}{2}J_{En}\omega_{En}^2 + \frac{1}{2}(J_{\dot{s}} + J_{\dot{s}d})\omega_{\dot{s}}^2 + \frac{1}{2}J_b(\theta)\omega_b^2 \\ &+ \frac{1}{2}(J_M + J_M(\theta))\omega_M^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Buradaki açısal hızlar yarıçaplar oranında yazılır ve gerekli sadeleştirmeler yapılırsa denklem 3.6'dan $J(\theta)_e$;

$$\begin{aligned} J(\theta)_e &= J_s + J_{Md} + J_{En} + \left[\frac{36}{60}\right]^2 (J_{\dot{s}} + J_{\dot{s}d}) + \left[\frac{36}{60}\right]^2 J_b(\theta) \\ &+ \left[\frac{36}{60} * \frac{r_1(\theta)}{r_2(\theta)}\right]^2 (J_M + J_M(\theta)) \end{aligned} \quad (3.7)$$

olarak elde edilir.

Denklem 3.5'teki bozucu moment $M_b(t)$ tel sarılırken sisteme dışarıdan etkiyen bozucu momenttir ve sisteme herhangi bir dış bozucu etkilediğinden $M_b(t) = 0$ alınmıştır. Sisteme ait eşdeğer vizkoz sönüm B_e sistem kuru sürtünmesine F_{sk} kıyasla çok küçük kalacağından $B_e \approx 0$ alınmıştır. Buradan durum değişkenleri ve kontrol sinyali aşağıdaki gibi tanımlanırsa,

$$\theta = x_1$$

$$\omega = x_2$$

$$\dot{i} = x_3$$

$$e_a(t) = u_s \quad (3.8)$$

Denklem 3.1 ve 3.7 düzenlenerek sistemin durum denklemleri (3.8) aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (3.9)$$

$$\dot{x}_2 = -\frac{F_{sk}r_1(\theta)}{J_e(\theta)} + \frac{K_t}{J_e(\theta)} x_3 \quad (3.10)$$

$$\dot{x}_3 = -\frac{K_e}{L_m} x_2 - \frac{R_m}{L_m} x_3 + \frac{1}{L_m} u_s \quad (3.11)$$

Durum uzayı formunda yazılırsa,

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_t}{J_e(\theta)} \\ 0 & -\frac{K_e}{L_m} & -\frac{R_m}{L_m} \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L_m} \end{bmatrix} u_s + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{F_{sk}r_1(\theta)}{J_e(\theta)} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

elde edilir. Burada;

K_t : motorun tork sabiti, (N.m/A)

$J_e(\theta)$: motor miline indirgenmiş eşdeğer sistemin atalet momenti (Nm)

K_e : motorun voltaj sabiti, (V/rads⁻¹)

L_m : motorun bobin endüktansı, (H)

R_m : motorun bobin iç direnci, (Ω)

F_{sk} : sarım sistemi kuru sürtünme kuvveti, (N)

i : motor bobinlerinden geçen akım, (A)

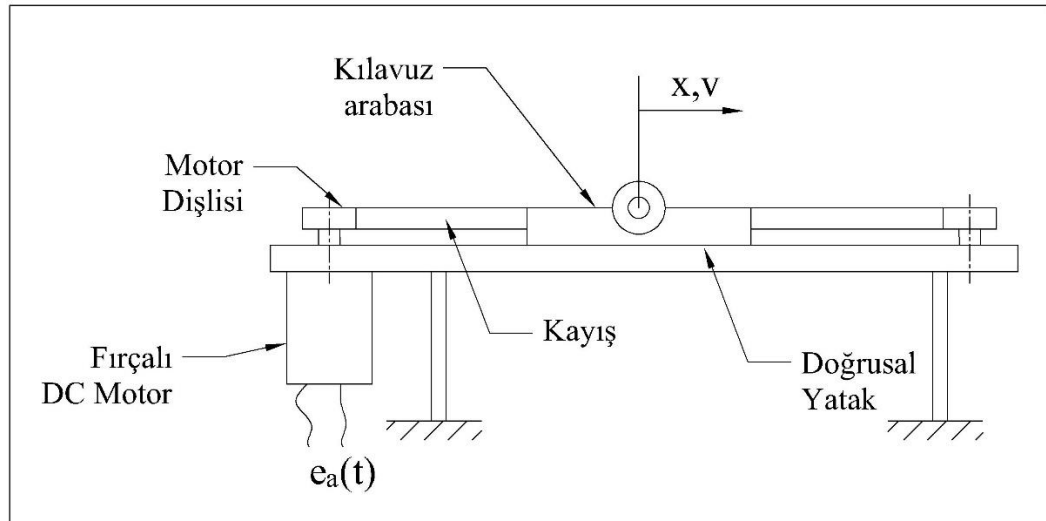
Sistemin parametreleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Bu parametreler deneysel olarak elde edilmiştir.[26]

Tablo 3-1. Sarım Sistemi Parametreleri

$K_t = K_e$	0.0302
R_m	3.599
B_e	0.014717
L_m	0.0823×10^{-3}

3.2. Doğrusal Kılavuz Sistemi

Doğrusal kılavuz sistemi modelinde zemine sabitlenmiş fırçalı doğru akım motoru ve bu motora dişli kayış ile bağlanmış arabadan ibarettir. Sistemin şematik görünümü Şekil 3.2’deki (Ayrıca bkz. şekil 2.6) gibidir.



Şekil 3.2. Doğrusal Kılavuz Sisteminin Şematik Görünümü

Şekil 3.2’de görülen DC motorun elektrik kısmının dinamik davranışı,

$$e_{ak}(t) = L_k \frac{di_k}{dt} + R_k i_k + K_{ek} \omega_k \quad (3.13)$$

olup, motorun dönel mekanik kısmının hareket denklemi,

$$M_{el_k} - M_{sist_k} = J_k \dot{\omega} + B_k \omega_k \quad (3.14)$$

şeklinde yazılabilir. Motorun dinamiği ötelemeli mekanik eşdeğere indirgenirse,

$$M_{el_k} - M_{sist_k} = 0 \quad (3.15)$$

elde edilir. Burada,

$$M_{el_k} = K_{tk} i_k \quad (3.16)$$

ve

$$M_{sist_k} = r_k F \quad (3.17)$$

Ötelemeli mekanik sistemin dinamiği,

$$F = m_{ek} \ddot{x} + B_{ek} \dot{x} + F_{bk}(t) + F_s \quad (3.18)$$

olarak yazılır. Toplam hareket denklemi,

$$K_{tk} i_k = r_k m_{ek} \ddot{x} + r_k B_{ek} \dot{x} + r_k F_{bk}(t) + r_k F_s \quad (3.19)$$

olarak elde edilir. Buradaki bozucu kuvvet $F_{bk}(t)$ tel sarılırken kılavuzlama ucuna gelen kuvvettir ve sistemin dinamiğine etkisi ihmal edilebilir düzeyde olduğundan $F_{bk}(t) \approx 0$ alınmıştır. Sisteme ait eşdeğer viskoz sönüm B_{ek} sistem kuru sürtünmesine F_s kıyasla çok küçük kalacağından $B_{ek} \approx 0$ alınmıştır. Buradan durum değişkenleri ve kontrol sinyali aşağıdaki gibi tanımlanırsa,

$$x = x_4$$

$$v = x_5$$

$$i_k = x_6$$

$$e_{ak}(t) = u_k \quad (3.20)$$

Denklem 3.13 ve 3.19 düzenlenerek sistemin durum denklemleri (3.20) aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\dot{x}_4 = x_5 \quad (3.21)$$

$$\dot{x}_5 = -\frac{F_s}{m_{ek}} + \frac{K_{tk}}{m_{ek}r_k} x_6 \quad (3.22)$$

$$\dot{x}_6 = -\frac{K_{ek}}{r_k L_k} x_5 - \frac{R_k}{L_k} x_6 + \frac{1}{L_k} u_k \quad (3.23)$$

Durum uzayı formunda yazılırsa,

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{K_{tk}}{m_{ek}r_k} \\ 0 & -\frac{K_{ek}}{r_k L_k} & -\frac{R_k}{L_k} \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L_k} \end{bmatrix} u_k + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{F_s}{m_{ek}} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

elde edilir. Burada;

K_{tk} : motorun tork sabiti, (N.m/A)

K_{ek} : motorun voltaj sabiti, (V/rads⁻¹)

L_k : motorun bobin endüktansı, (H)

R_k : motorun bobin iç direnci, (Ω)

F_s : sistem eşdeğer kuru sürtünmesi, (N)

i_k : motor bobinlerinden geçen akım, (A)

m_{ek} : sistemin eşdeğer kütlesi, (kg)

r_k : motorun kasnak yarıçapı, (m)

Burada kılavuz sisteminin konumu x_4 düzgün sarım yapılabilmesi için sarım motorunun hızına bağlı olarak değişmektedir;

$$x_4 = Y(x_2/60)d, \quad Y = \begin{cases} -1, & x_4 \geq smb \\ 1, & x_4 < smb \end{cases} \quad (3.25)$$

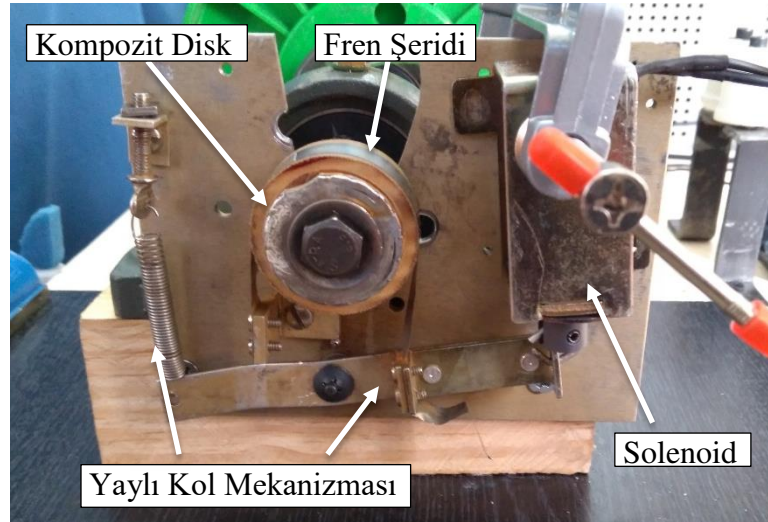
Sistemin parametreleri Tablo 3.2’de verilmiştir. Bu parametreler ölçüm aletleri ile ölçülerek ve çeşitli yöntemlerle deneysel olarak elde edilmiştir.[26]

Tablo 3-2. Doğrusal Kılavuz Sistem Parametreleri

$K_{tk} = K_{ek}$	0.0141
R_k	28.38
m_{ek}	9.472 e^{-8}
F_s	2.8
L_k	9.341 e^{-3}
r_k	0.004

3.3. Gergi Kontrol Sistemi

Gergi kontrol sistemi solenoid bobinden, bobine bağlı yaylı kol mekanizmasından, bu mekanizmaya bağlı fren şeridi ve ana makaraya bağlı kompozit diskten oluşmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Gergi Kontrol Sistemi Genel Görünümü

Sistemde enerji bulunmadığı durumda solenoid serbest halde bulunmakta, mekanizmaya bağlı yay kolu çektiirmekte ve kola bağlı fren şeridi ana makaraya bağlı kompozit diske baskı uygulamakta ve bu şekilde fren yapmaktadır. Sisteme enerji

verildiğinde ise solenoid yayın kuvvetini yenerek kolu yukarı yönde hareket ettirmektedir. Bu esnada kola bağlı fren şeridinin kompozit diske uyguladığı baskı azalmakta ve böylece ana makara üzerindeki fren azalmakta daha rahat dönebilmektedir.

Gergi kontrol sistemi için ilk olarak yay gerdirmeli sabit ve sürekli sürtünme uygulanan bir frenleme mekanizması kullanılmıştı ancak aktif olarak kontrol edilmeyen bu fren, sistem üzerindeki nonlineer etkileri artırmasına sebep oldu. Bu mekanizmada tel gerginliği sadece sarım motoru tarafından kontrol edilebilmekteydi. Ana makaradaki sarım düzgünsüzlükleri, telin makaranın başından sonuna doğru ani hareketleri, telin yer yer üst üste binmesi sarımın kontrolünü zorlaştırmaktaydı. Bazı bölgelerde hızlı sarmakta, bazı bölgelerde ise durma noktasına gelmekteydi.

Fren ile gergi sistemi modellemesinde mevcut imkânlar ve altyapı ve sürtünme dinamiklerinin kompleksliği göz önünde bulundurularak gergi kontrol sistemi 1. mertebeden gecikmeli cevap veren bir sistem olarak modellenmiştir (Denklem 3.26).

$$F_{sk}(s) = F_{max} \frac{1}{\tau s + 1} u_g + F_{min} \quad (3.26)$$

Tablo 3-3. Kontrol Konfigürasyonu

Ölçülen Değişkenler	x_2, x_4, T	Sarım motoru açısal hızı, kılavuz mekanizmasının konumu, tel gerginliği
Durum Değişkenleri	$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$	Sarım sistemi motoru açısal konumu, hızı ve akımı, kılavuz sistemi konumu, hızı ve akımı
Kontrol Değişkenleri	x_2, x_4, T	Tel gerginliği, sarım motoru hızı ve kılavuz sistemi konumu
Sistem girişleri	$e_a(t), e_{ak}(t)$	Sarım sistemi ve kılavuz sistemi motorlarına uygulanan voltajlar

3.4. Kontrol Sistemleri

Sistemlerden istenilen çıktıların istenilen kalitede alınabilmesi için çalışma mekanizmasının içerisinde kontrol mekanizmasını da dâhil etmek gerekmektedir. Genelde bu kontrol mekanizmaları açık çevrim ve kapalı çevrim gibi farklı türde olabilmektedir. En çok kullanılan kapalı çevrim kontrol, temel olarak kontrol edilmek istenen çıktıyı doğrudan veya dolaylı olarak ölçüp istenen referans girişi ile karşılaştırarak bulunan hatayı sıfıra indirgeyecek bir sistem uygulamaktır. Günümüzde birçok ileri kontrol sistemleri kullanılsa da en yaygın olanlarından PID ve Kayan Kipli Kontrol (KKK) teknikleri yukarıda tasarımından bahsedilen ve matematiksel modelleri oluşturulan sistemin kapalı çevrim kontrolü için kullanılmıştır.

3.4.1. PID Kontrol

PID kontrolcü kapalı çevrim kontrolcü olarak endüstride ve birçok alanda kullanılan klasik, kullanımı kolay ve birçok alanda yeterli sonuç veren bir kontrolcüdür. Kullanımı basit ve anlaşılabilir olması bu kontrolcünün tercih edilme sebeplerindendir. Klasik kullanımının yanı sıra yeni tekniklerle geliştirmeye ve kullanılmaya devam edilmektedir. PID kontrolcü temel olarak P-Propotional (Oransal), I-Integral (İntegral) ve D-Derivative (Türevsel) olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler ve hata sinyali “e(t)” ile standart PID kontrol sinyali

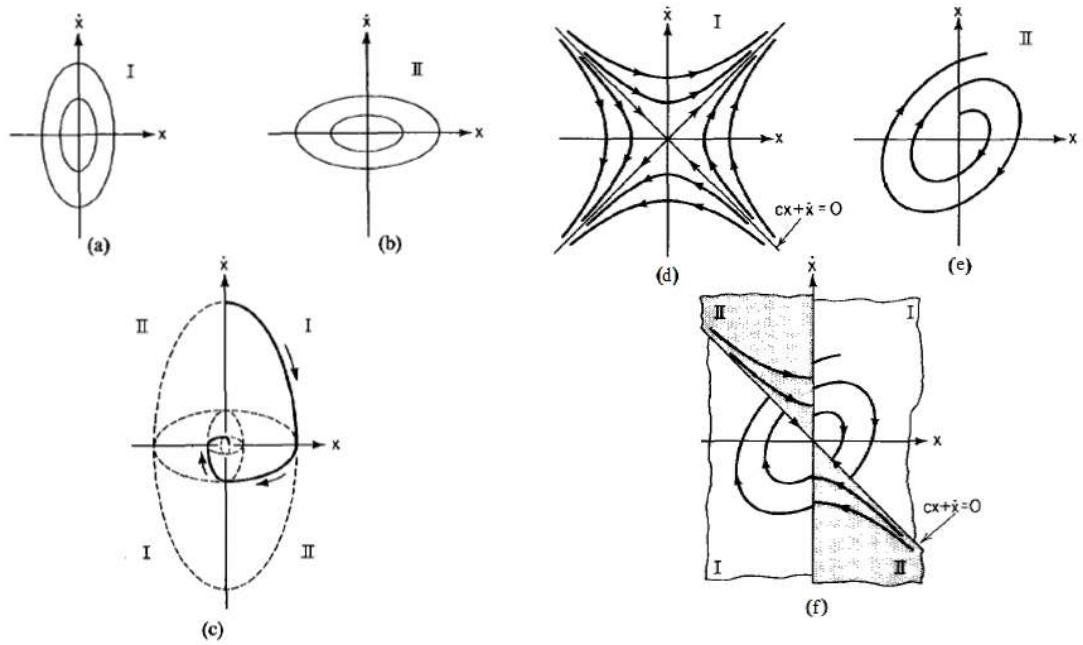
$$u = K_p \left(e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (3.27)$$

şeklinde ifade edilir. Burada K_p oransal, K_i integral ve T_d türevsel kazançlardır. Arzu edilen seviyeyi elde etmek için bu katsayılar çeşitli yöntemlerle ayarlanarak kontrolcü tasarlanır. Tasarlanan kontrolcü K_i kazancı sıfırlanarak PD (Oransal-Türev) kontrol, T_d kazancı sıfırlanarak PI (Oransal-İntegral), kontrol üç kazancı da kullanarak PID (Oransal-İntegral-Türev) kontrolcü olarak kullanılabilir. Bu kazançlar çeşitli yöntemlerle elde edilmekle birlikte deneme yanılma (trial and error) yöntemi de yaygın olarak kullanılmaktadır.[27,28]

3.4.2. Kayan Kipli Kontrol

Günümüzde kullanılan sistemler, her ne kadar ileri teknikler kullanılsa da, oluşabilecek modelleme hatalarından, öngörülemeyen veya modellenemeyen titreşim, sıcaklık değişimi, malzeme yapısındaki ve karakteristiğindeki değişimlerden, çevresel bozucu faktörler gibi dinamiklerden meydana gelen olumsuzlukların olduğu ortamlarda çalışmaktadır. Bu olumsuzluklar PID gibi klasik kontrolcüler kullanarak bertaraf edilmesinde yeterince tatmin edici sonuçlar almak mümkün olamamaktadır. Bundan dolayı sistemlerin değişen parametrelerine, modellenemeyen dinamiklerine, hesap edilemeyen çevre faktörlerine karşı daha dirençli kontrol sistemleri arayışları devam etmektedir. Bu sorunun çözümünde belirsizliklerin sistem cevabına etkisini en aza indirebilen kayan kipli kontrol yöntemi gittikçe yaygınlaşmakta ve geliştirilen teknikleri ile tercih edilmektedir.

Temelleri değişken yapılı sistem (VSS) modeline dayanan kayan kipli kontrol ilk olarak 1950'li yıllarda Rusya'da ortaya çıkmasına rağmen dünya literatüründe yer alması Itkis'in [29] 1976'da yayımlanan kitabı ve 1977 yılında Utkin'in [30] İngilizce yayımlanan makalesi ile gerçekleşmiştir[31]. Değişken yapılı sistem modelinde, sistem faz düzleminde incelendiğinde kararlı veya kararsız bir yapıya sahip ama asimptotik olarak kararlı olmasalar da parametreleri arasında değişim yapılarak sistem kararlı hale getirilebilmektedir.



Şekil 3.4. (a) ve (b) iki kararlı yapı (c) bu kararlı yapılardan oluşturulan asimptotik kararlı VSS, (d) ve (e) iki kararsız yapı (f) bu kararsız oluşturulan asimptotik kararlı VSS [30]

Şekil 3.3 (f)'teki iki kararsız yapıda oluşturulan asimptotik kararlı VSSyi ikinci mertebeden zamanla değişmeyen doğrusal bir sistem olarak örnek alalım;

$$\ddot{x} + k_1\dot{x} + k_2x = u, \quad (3.28)$$

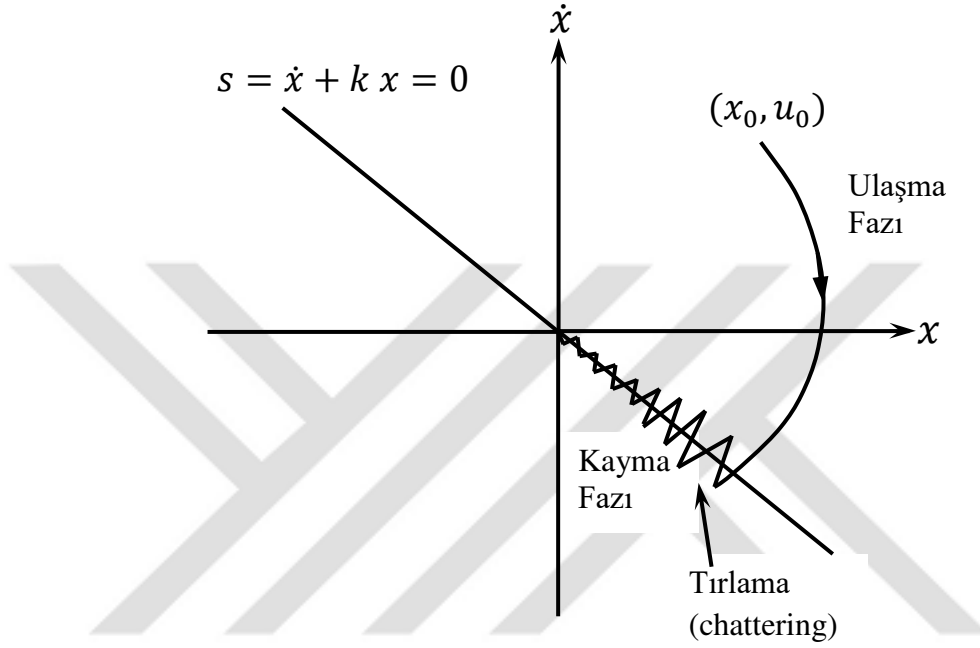
$$s = \dot{x} + cx, \quad u = -M \operatorname{sign}(s), \quad (3.29)$$

$$\operatorname{sign}(s) = \begin{cases} 1, & s > 0 \\ -1, & s < 0 \end{cases} \quad (3.30)$$

Burada k_1, k_2 sistem parametreleri, k kontrol kazancı, M ise anahtarlama (switching) sinyalinin maksimum değeri olup, hepsi de sabit değerlerdir.

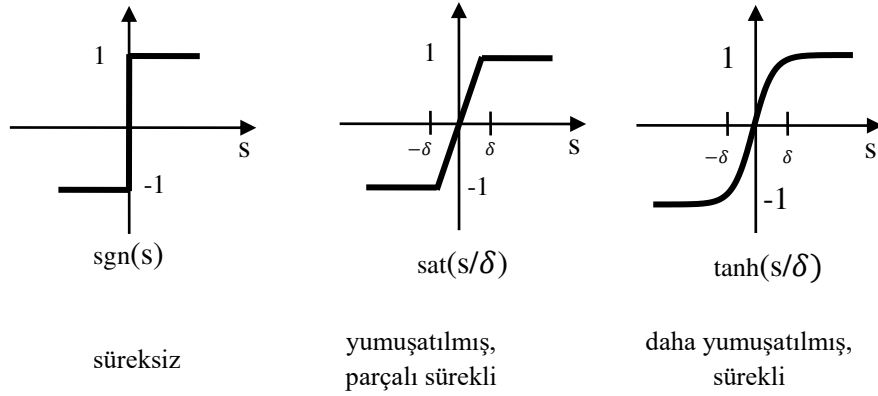
Kontrol sinyali süreksizdir ve sistemi yüzey üzerine çeker. Sistem ulaşma fazındadır (reaching phase) ve bir t_1 anında sistem bu yüzeye erişir ve kayma fazına girer (Şekil 3.5). Yüzey üzerinde sistem kayma fazına girmiş olup $s = \dot{x} + cx = 0$ denklemi geçerlidir ve çözümü $x(t) = x(t_1)e^{-c(t-t_1)}$ şeklindedir. Görüldüğü üzere çözüm düşük mertebededir ve sistem parametreleri ile bozucu girişlerden bağımsızdır.

Çözüm sadece yüzey parametrelerine bağlıdır ve yeni dinamiği seçtiğimiz yüzey belirlemektedir. Kayan kipli kontrolün duyarsızlık ve gürbüzlük özelliği buradan gelmektedir. Ancak ulaşma fazında kontrol dinamiği sistem parametrelerine bağlıdır; kayma fazında ise yüzeye bağlıdır, gürbüzlük özelliği kayma fazında geçerli olur.



Şekil 3.5. İkinci Mertebeden bir Sistemin Kayan Kipli Kontrolü [27]

Kayan kipli kontrol süreksiz ve anahtarlama kontrol sinyal yapısına sahiptir. Ancak yüksek frekansta anahtarlama sonucu sistemde tırlama (chattering) meydana gelir (Şekil 3.5). Tırlama yüksek frekanstaki sistem dinamiklerine de etkiyerek gereksiz yere titreşim oluşturabilecek, sistemin ömrünü kısaltan ve gereksiz enerji tüketimine neden olan olumsuz bir etkidir. Tırlama azaltmak ve ortadan kaldırmak için ani geçişleri olan “sign” fonksiyonu yerine “sat “ doyma fonksiyonu veya “tanh” fonksiyonu gibi yumuşak geçişleri olan “yumuşatma fonksiyonları” kullanılabilir (Şekil 3.6). Böylelikle yüzeyin yakınlarında daha yumuşak ve azalan sinyal üretilmiş olur. Bu ise kayma yüzeyinin yakınlarında yüzeye paralel sınır tabakalar tanımlanarak ve sinyal bu sınırlar içerisinde yumuşatılarak gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.6. Anahtarlama Fonksiyonları (sgn , sat ve $\tanh$) [28]

Kayan kipli kontrol teorisinde, kontrol dinamiğinin birbirini tamamlayan iki ardışık fazı vardır; birincisi ulaşma fazı ve ikincisi kayma fazıdır. Bu nedenle kayan kipli kontrol tasarımı iki aşamadan oluşur. İlk aşaması istenen parametreleri sağlayacak ve en kısa sürede ikinci aşamaya ulaşacak bir biçimde kayan yüzeyin tasarlanmasıdır. İkinci aşaması kayma yüzeyi üzerindeki kontrolcünün tasarlanmasıdır. Kayan yüzey, arzu edilen kapalı çevrim sistem cevabı şekline göre kök yerleştirme metoduyla durum uzayında tasarlanır. İkinci aşamada ise kontrol sinyali Lyapunov kararlılık kriteri ile elde edilir. Lyapunov kayma koşulu sistemi yüzeye ulaşmaya zorlar ve yüzey üzerinde tutar. Sistemin kararlılığı (Lyapunov kararlılık kriteri teoremi) seçtiğimiz kararlı yüzey ve kayma koşulu ile sağlanmış olur. Ulaşma fazında, kontrol dinamiği sistem parametrelerine bağlıdır; kayma fazında ise sistemin dinamiği tasarlanan yüzey parametrelerince belirlenir, kayan kipli kontrolün gürbüzlük özelliği kayma fazında daha belirgin, baskın ve geçerli olur.

Kayan kipli kontrolcü tasarımında birçok farklı tasarım olsa da kontrolcü sinyali u genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$u = u_{sw} + u_{eq} \quad (3.31)$$

Buradaki u_{sw} anahtarlama sinyali, u_{eq} ise eşdeğer sinyal olarak adlandırılır. Anahtarlama sinyali u_{sw} ulaşma fazında etkili olurken eşdeğer sinyal u_{eq} kayma

fazında daha etkili olmaktadır. Ancak düşük mertebeli sistemlerde anahtarlama fonksiyonu ideal değerlerde seçilirse gürbüz, sistem parametre ve diğer değişimlerden bağımsız bir kayan kipli kontrolcü tasarlanabilir. Kayan kipli kontrolün, sadece anahtarlama sinyali ile tasarlanması birçok gerçek endüstriyel uygulamada yeterli sonuç verdiği bilindiğinden bu çalışmada bu yaklaşım tercih edilmiştir. [27,28]

Denklem 3.29'den kayan kipli için s yüzeyi hata üzerinden yazılırsa;

$$s = \dot{e} + \lambda e \quad (3.31)$$

Buradan da u_{sw} kontrol fonksiyonu;

$$u_{sw} = \begin{cases} u_{max} & , \quad s > \delta \\ u_{max} \tanh(s/\delta) & , \quad \delta > s > -\delta \\ -u_{max} & , \quad -\delta > s \end{cases} \quad (3.32)$$

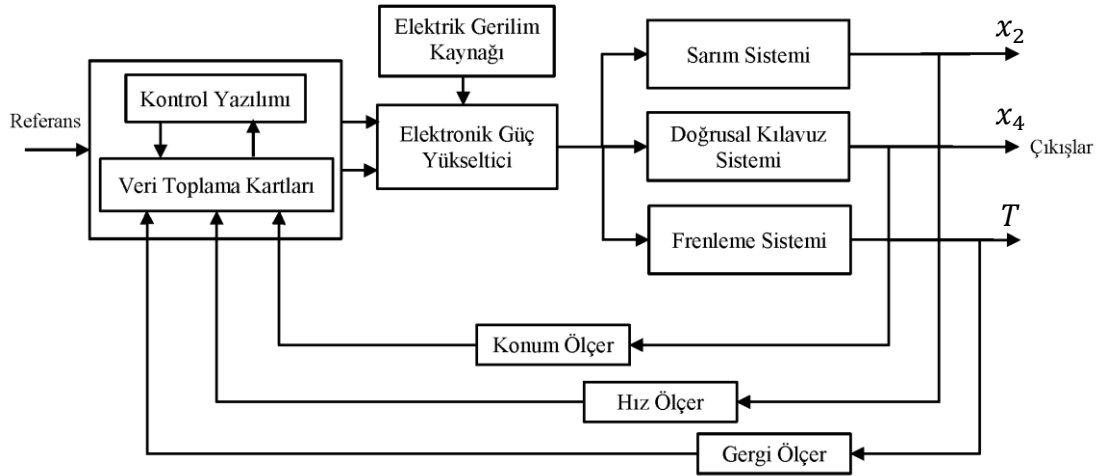
Burada δ tırlama etkisini azaltmak için s yüzeyini (Şekil 3.5) genişleten bir aralık olarak düşünülebilir.

4. BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Benzetim ve deneysel çalışmalar Delphi 7 programlama dili kullanılarak yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında sistemlerin diferansiyel denklemleri nümerik yöntemlerle çözülmüş ve cevap şekilleri elde edilmiştir. Bu çalışmalarının yapıldığı programın arayüzü Şekil 4.1’de program kodları Ek-2’de verilmiştir.

Şekil 4.1. Benzetim Arayüzü

Deneysel çalışmada sistem çalışması ve kontrol Şekil 4.2’deki blok diyagramındaki akış şemasındaki gösterildiği gibi sağlanmıştır. Delphi programı ile yazılan Şekil 2.10’da arayüzü gösterilen diğer bir program ile bilgisayar tarafından üretilen kontrol sinyal değeri veri toplama ve kontrol kartlarından DAC vasıtasıyla ± 10 V aralığında voltaj olarak elektronik güç yükselticiye (Şekil 2.9) iletilmektedir.



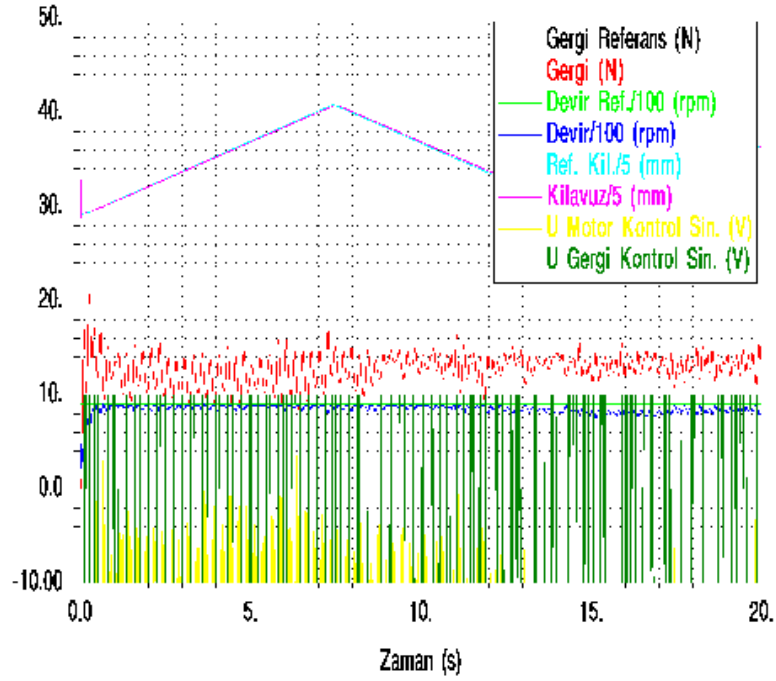
Şekil 4.2. Sistemin Blok Diyagramı

Elektronik güç yükseltici aldığı düşük akımlı kontrol sinyali önce ± 22 V düşük akımlı sinyale daha sonraki kademede de ± 22 V 5A'e kadar yüksek akıma çevirerek bağlı olduğu sisteme iletmektedir. Doğrusal kılavuz sisteminin konumu 4-20 mA olarak sensörden alınmakta ve 0-10V aralığına çevrilerek veri toplama ve üretme kartlarındaki ADC tarafından okunarak yazılıma iletilmektedir. Sarım sistemine bağlı enkoder ile sarılan makara hızı ve gergi ölçer mekanizmasına bağlı enkoder ile tel üzerindeki gergi 4 eksen enkoder okuma kartı ile yazılıma iletilmektedir.

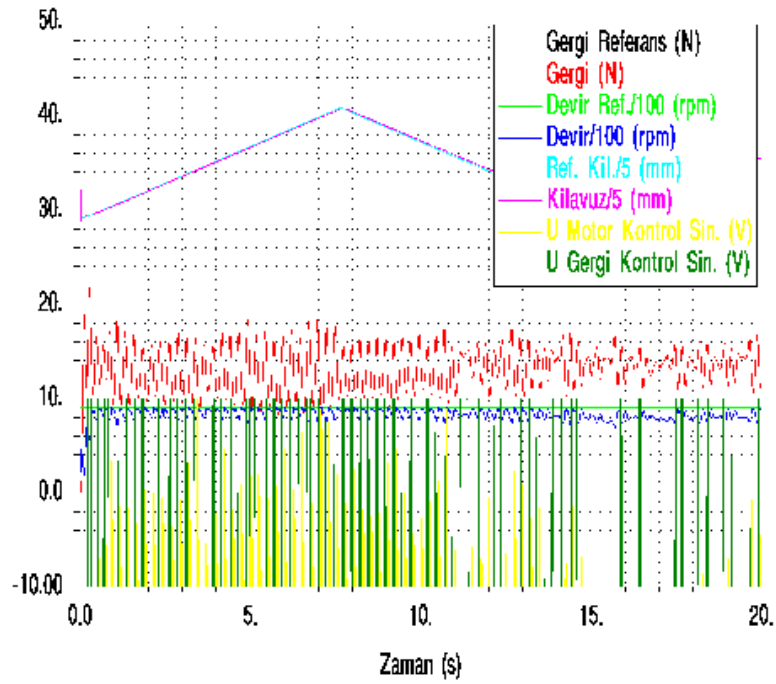
4.1. Deneysel Çalışmalar

Deneyler Bölüm 2.1'de de bahsedilen IEC 60317-8-2 standardında 0.5 mm çaplı emaye kaplı bakır tel ile gerçekleştirilmiştir. Sistem referans gerginlik değeri kataloglarda[32],[33] tavsiye edilen maksimum sarım değerleri de göz önünde bulundurulmuştur. Deneyler gerginlik referansı 15 N, hız referansı 900 rpm alınarak yapılmıştır. Deney katsayıları deneme-yanılma metodu ile belirlenmiştir. Sarım sisteminin kontrolünde PID ve KKK kontrol türleri uygulanmıştır. Aşağıda yapılan deneylere ait grafikler verilmektedir.

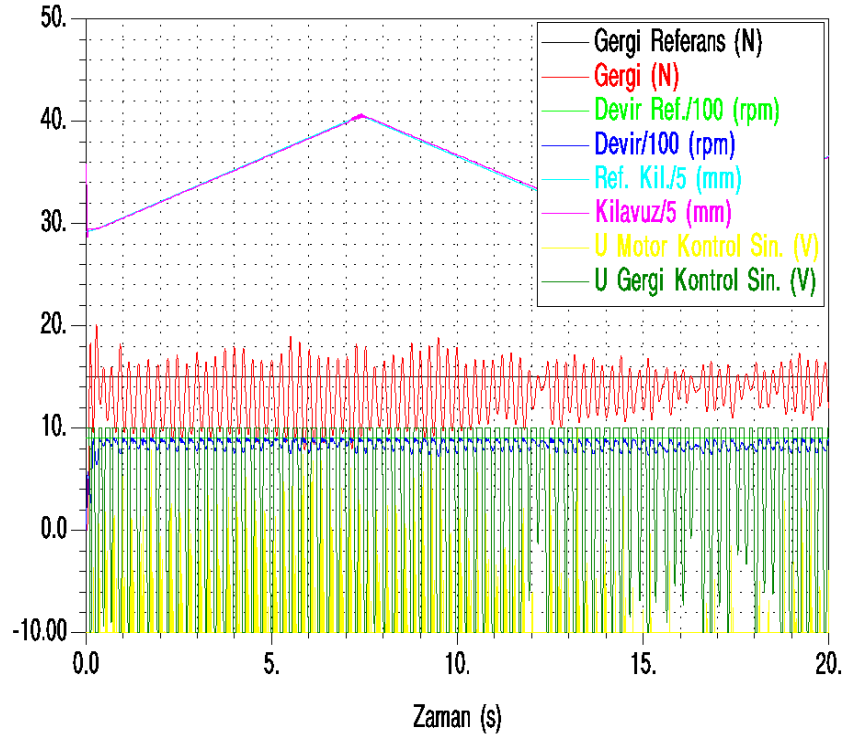
4.1.1. PID Kontrolcü Deneyleri



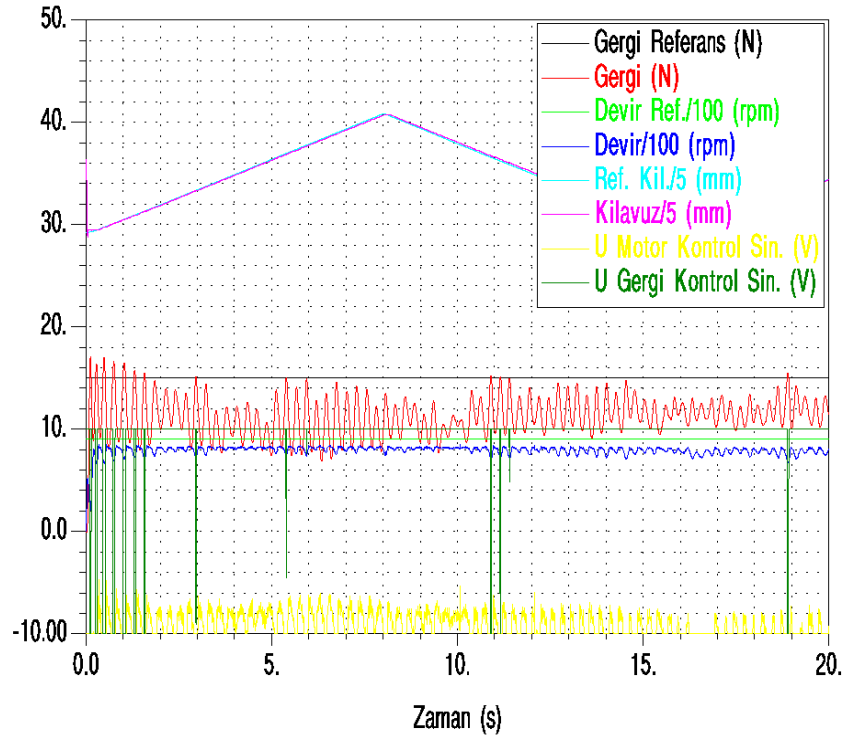
Şekil 4.3. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=50$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)



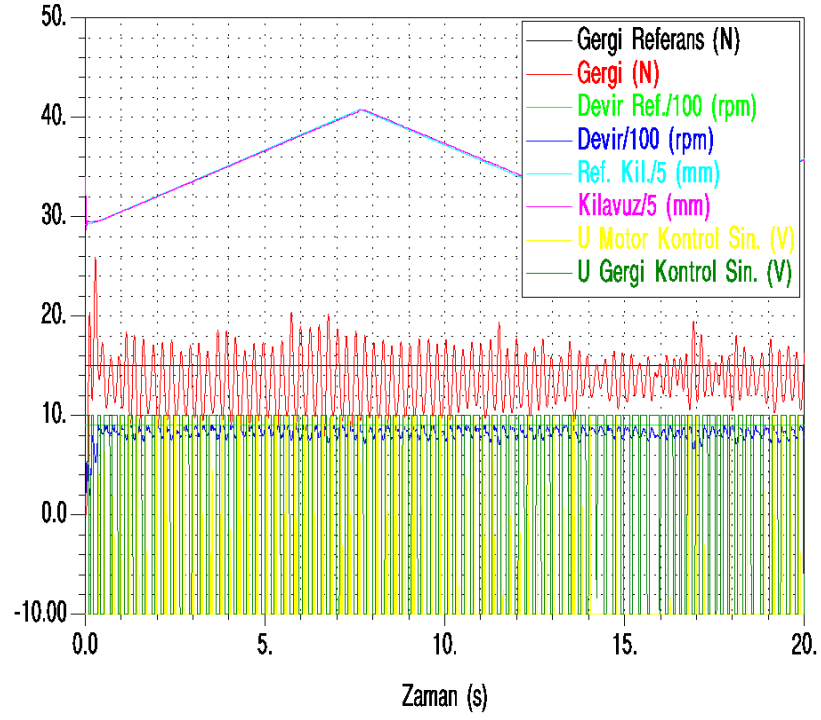
Şekil 4.4. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)



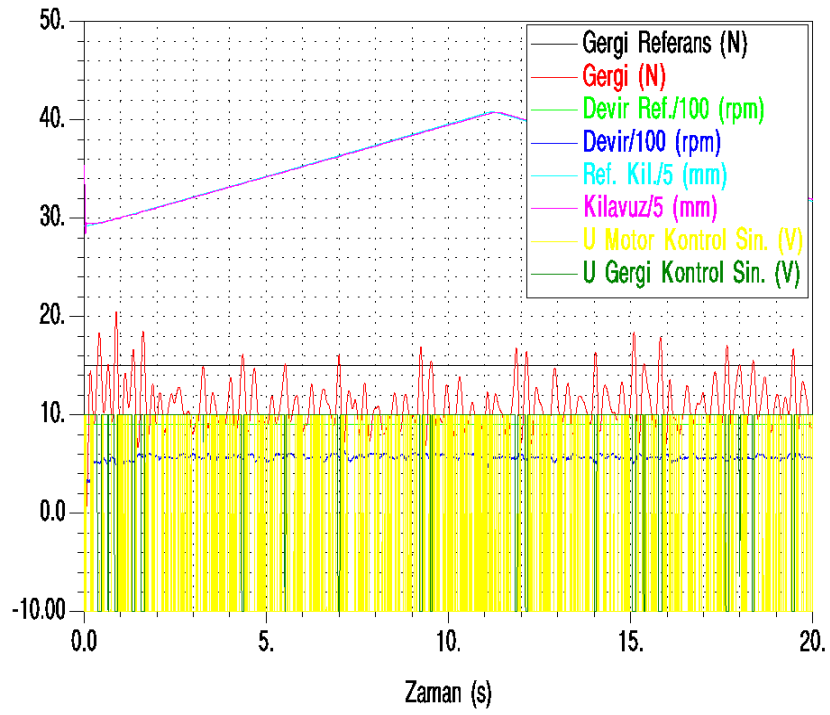
Şekil 4.5. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=10$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)



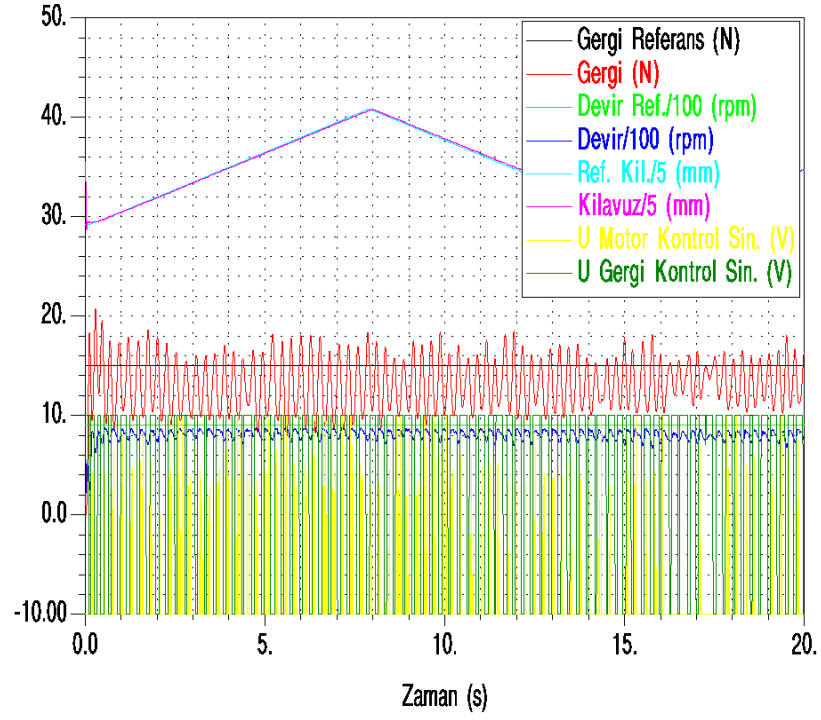
Şekil 4.6. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=0.1$)



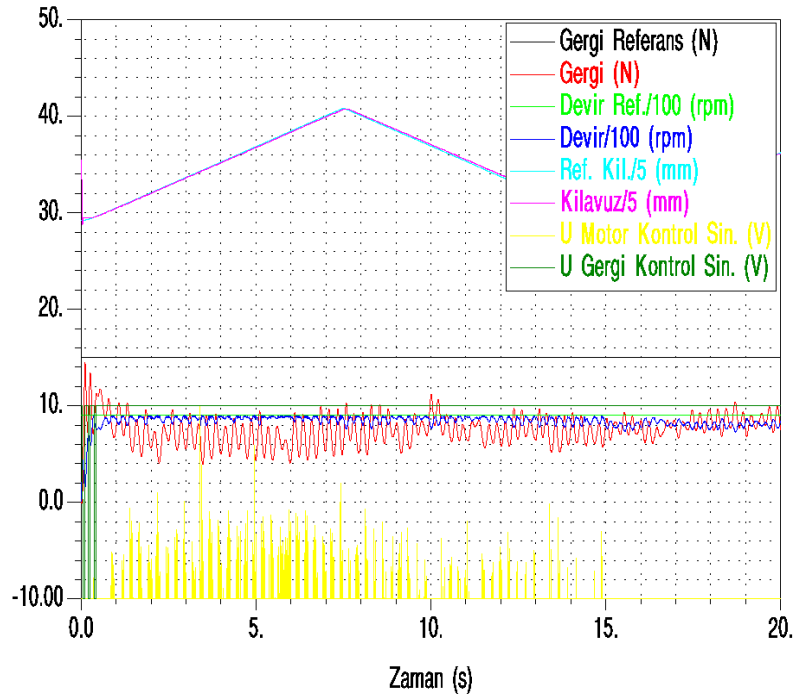
Şekil 4.7. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=10$)



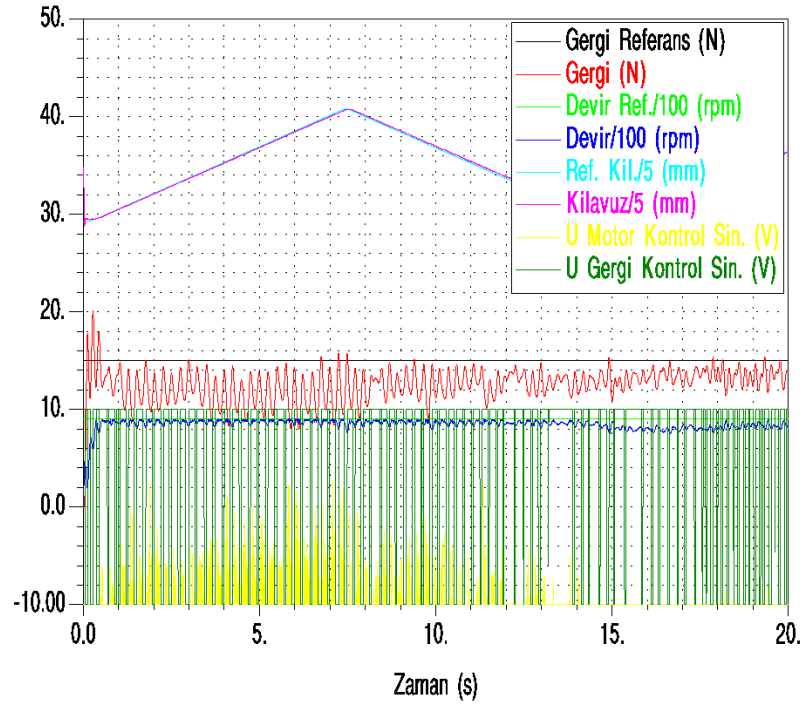
Şekil 4.8. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$, $T_d=0.1$)



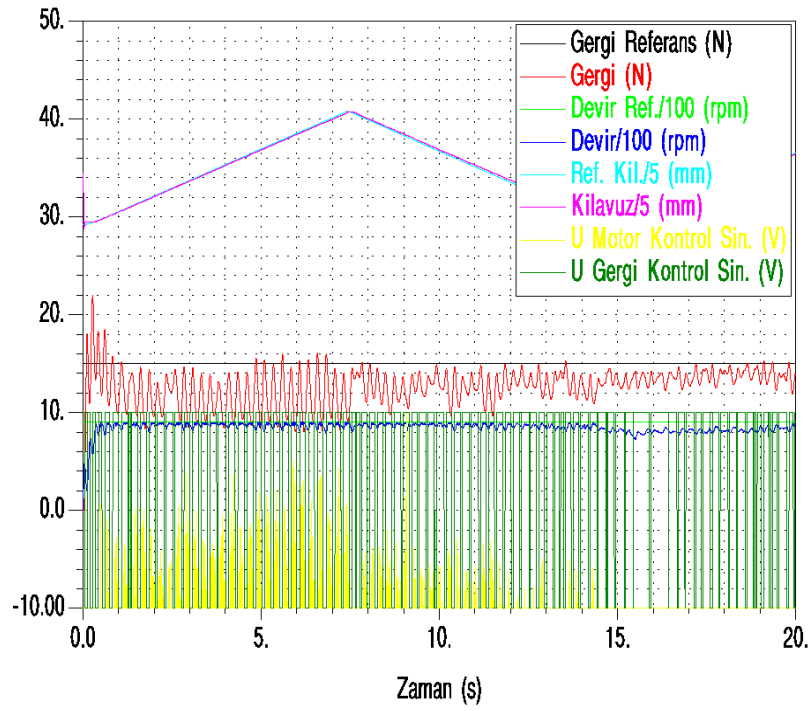
Şekil 4.9. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$, $T_d=0.01$)



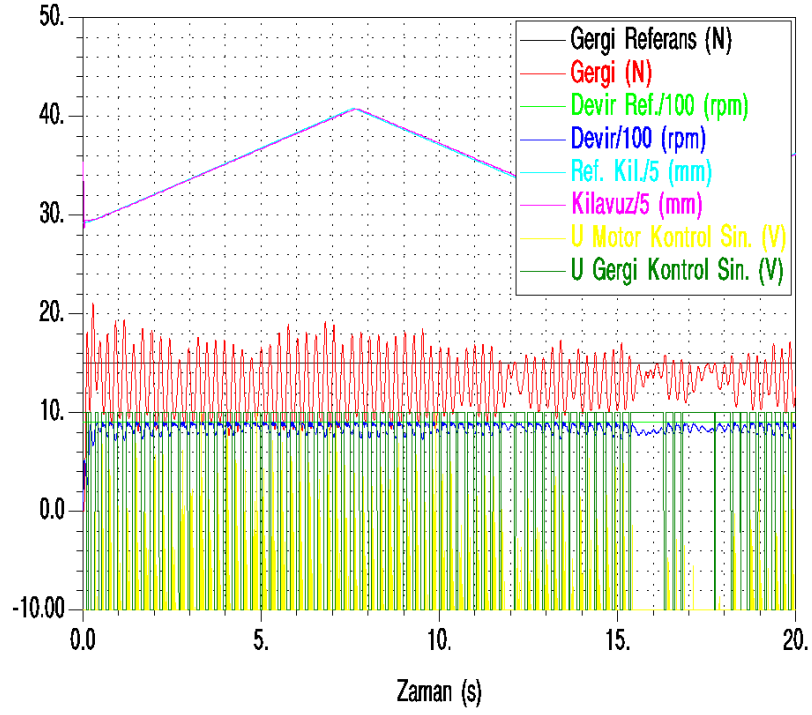
Şekil 4.10. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$, $K_i=0.1$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)



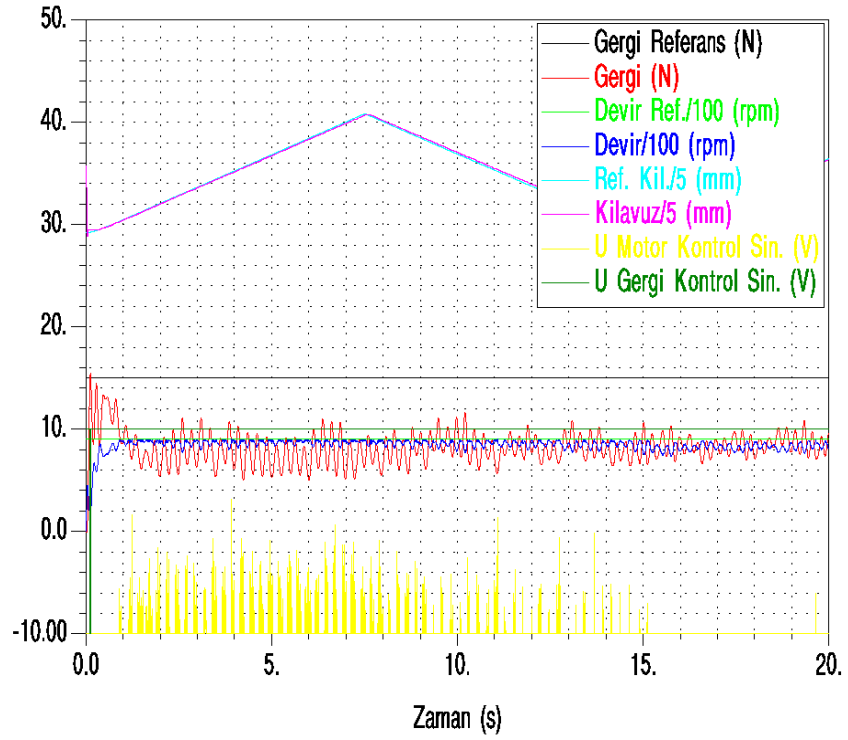
Şekil 4.11. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$, $K_i=0.01$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)



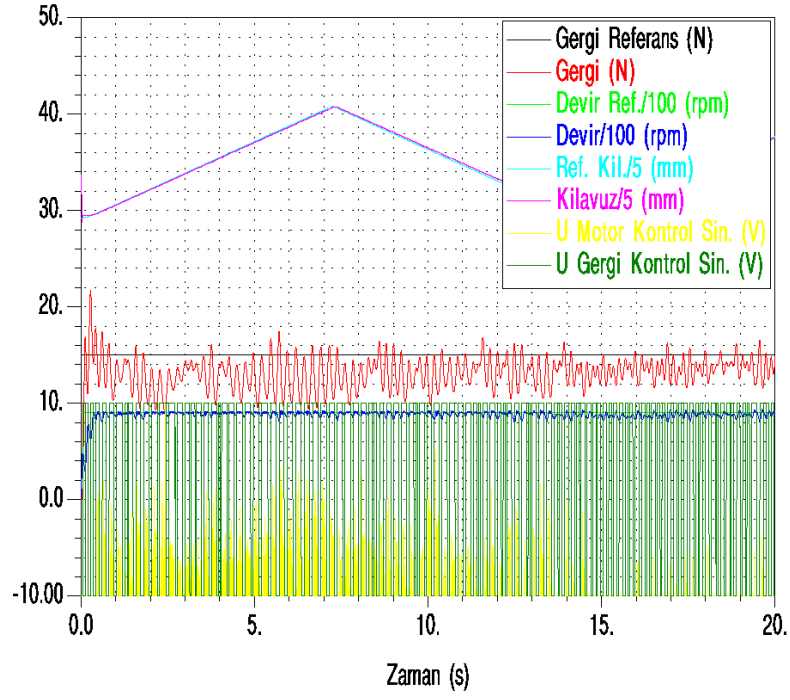
Şekil 4.12. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=500$, $K_i=0.01$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)



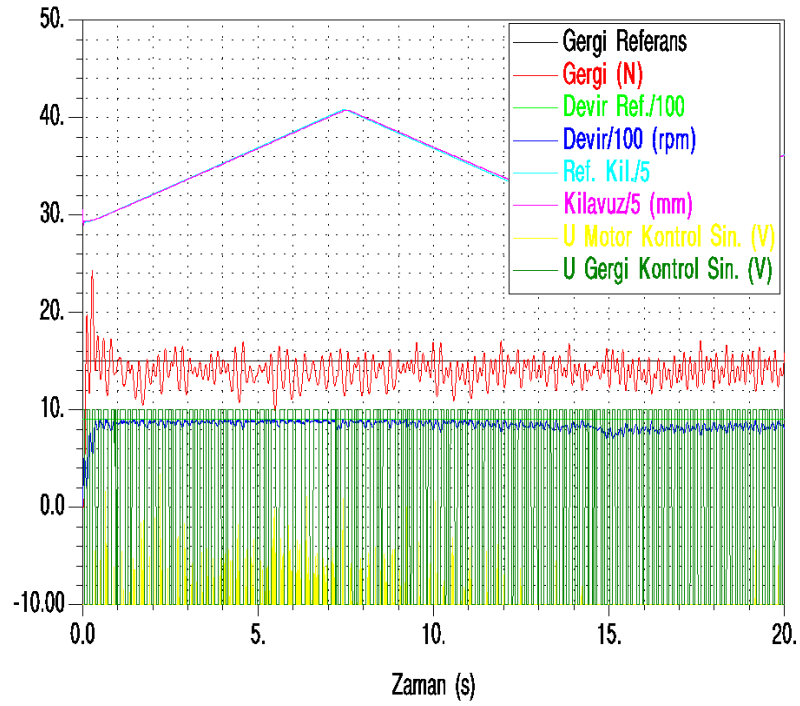
Şekil 4.13. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=500$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)



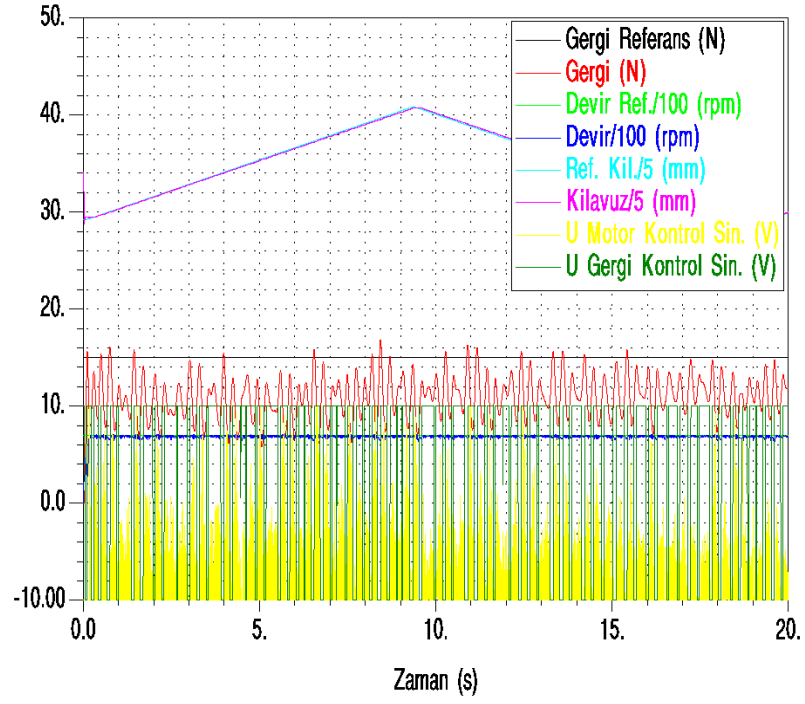
Şekil 4.14. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=200$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)



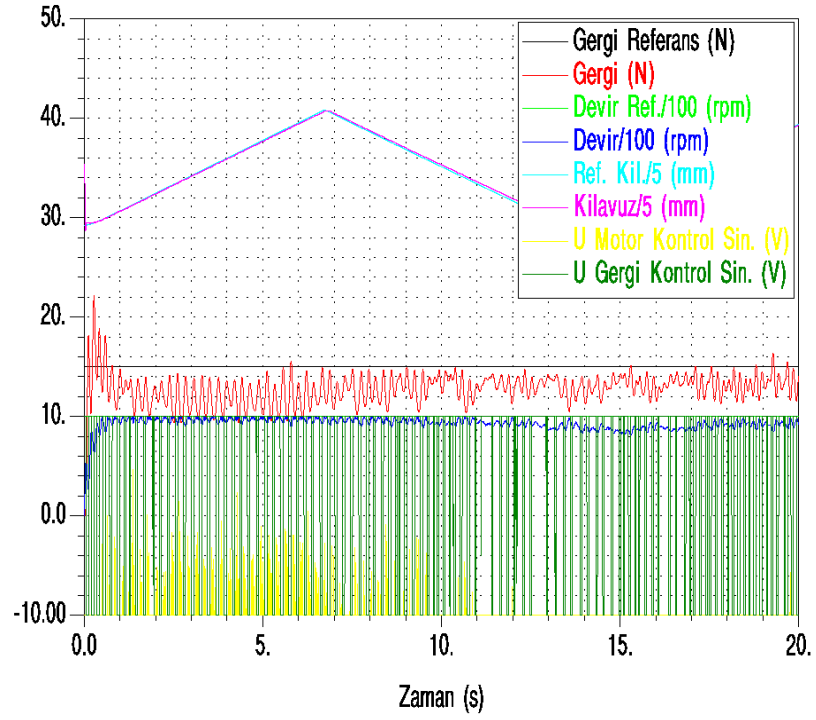
Şekil 4.15. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$, $K_i=0.1$)



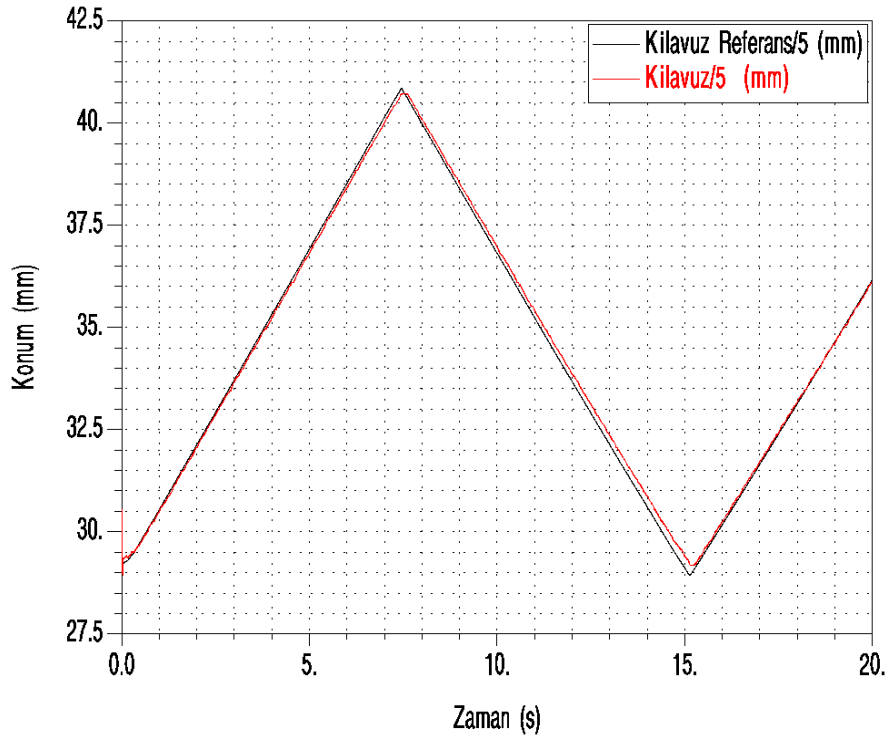
Şekil 4.16. Gergi Kontrol Katsayıları ($K_p=100$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)



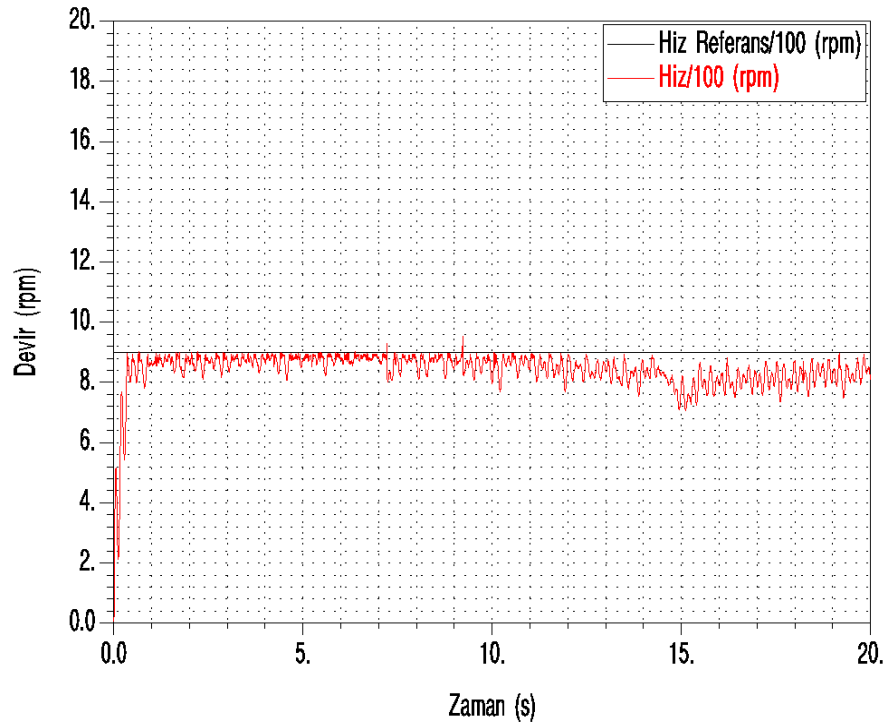
Şekil 4.17. Gergi Kontrol Katsayıları($K_p=100$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$), Hız Referans 700 rpm



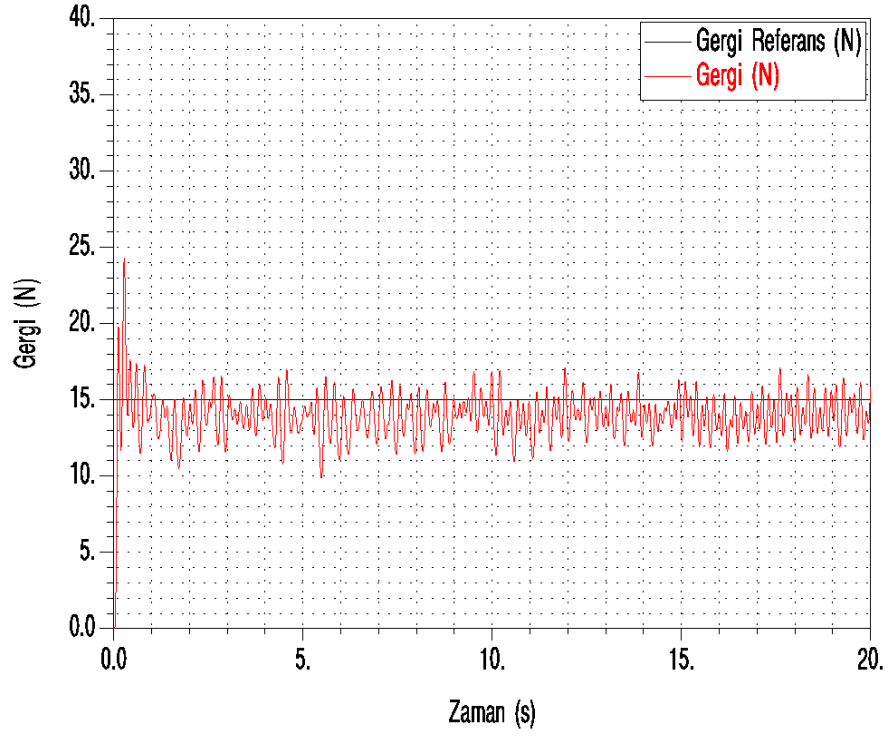
Şekil 4.18. Gergi Kontrol Katsayıları($K_p=100$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$), Hız Referans 1000 rpm



Şekil 4.19. Kılavuz Kontrol (Şekil 4.16 Büyütülmüş Grafik)

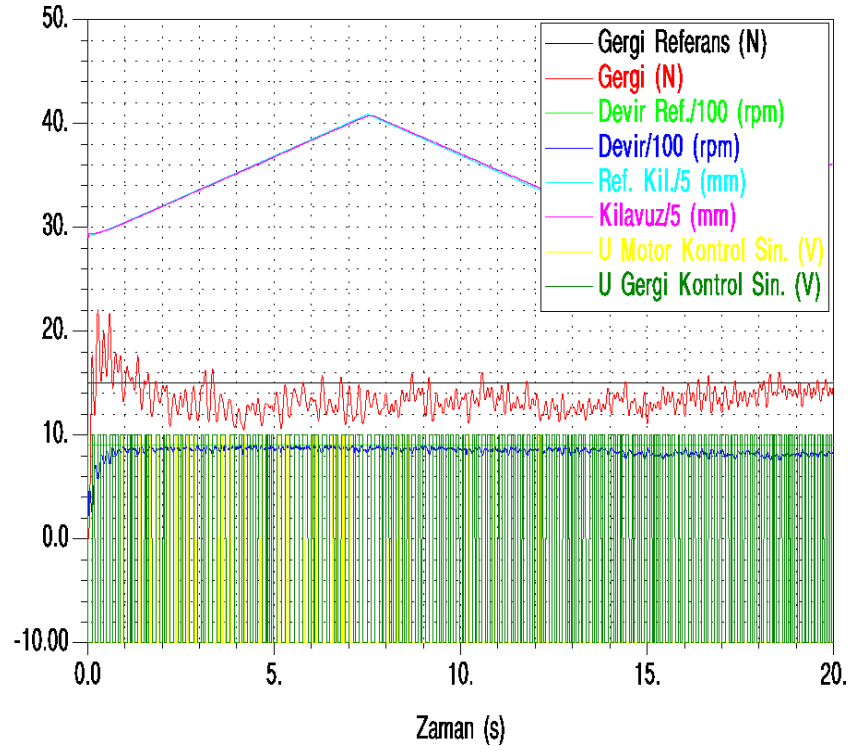


Şekil 4.20. Hız Kontrol (Şekil 4.16 Büyütülmüş Grafik)

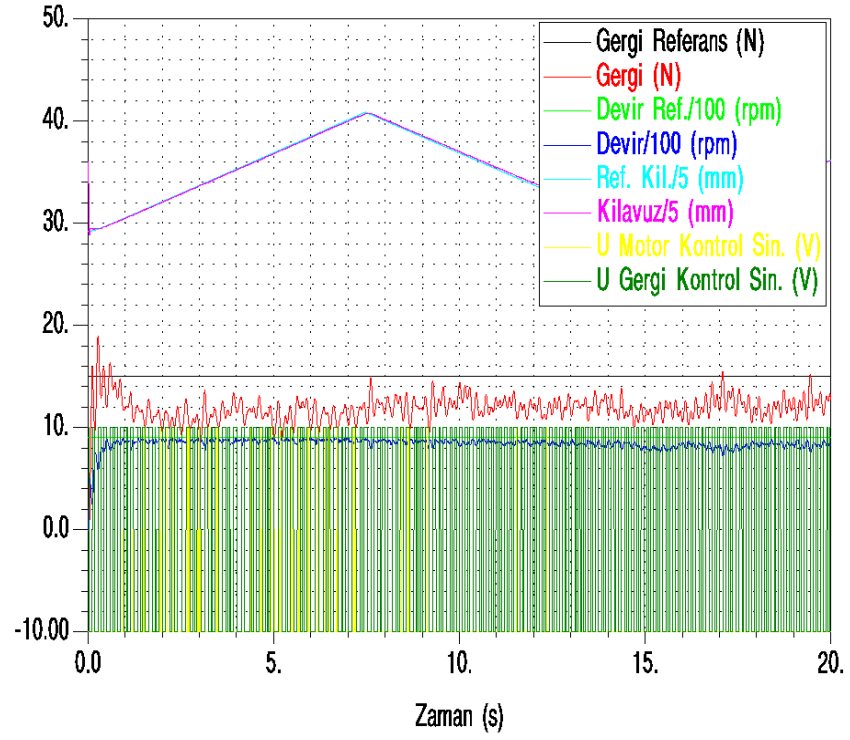


Şekil 4.21. Hız Kontrol (Şekil 4.16 Büyütülmüş Grafik)

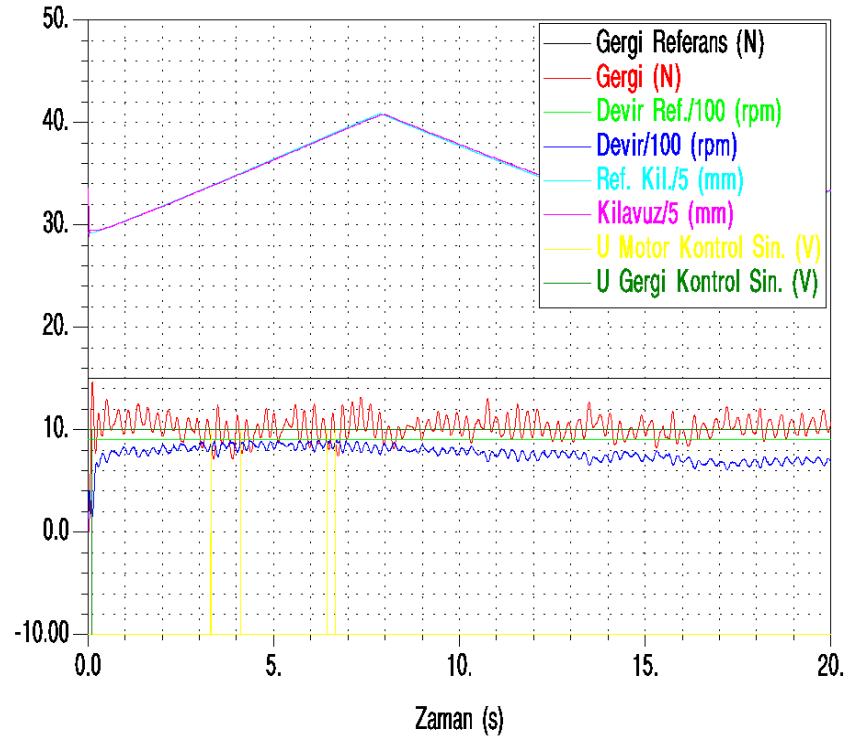
4.1.2. KKK Kontrolcü Deneyleri



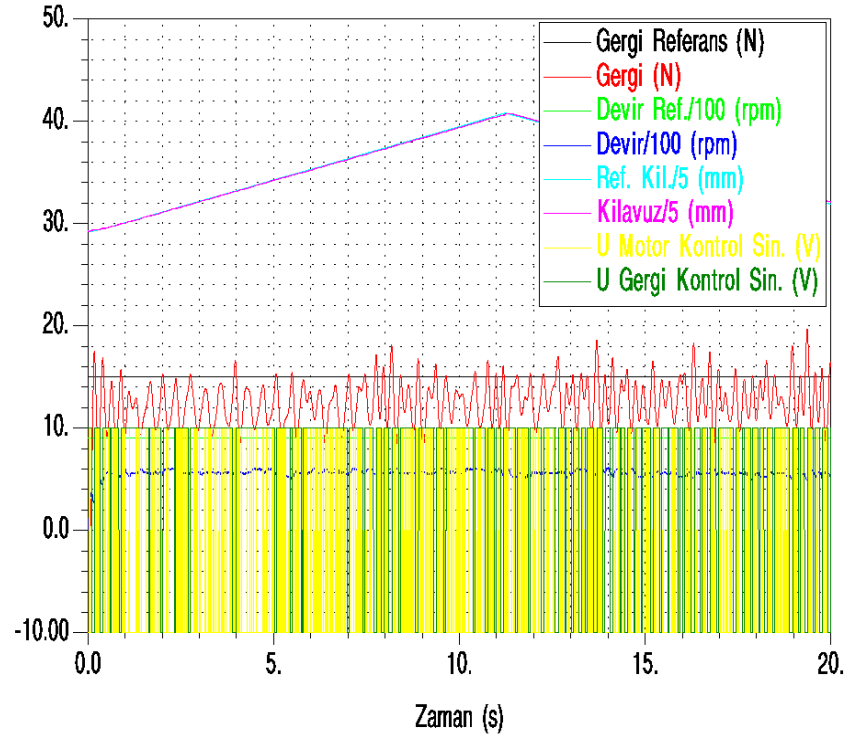
Şekil 4.22. Gergi Kontrol Katsayıları($\lambda:0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($\lambda:500$)



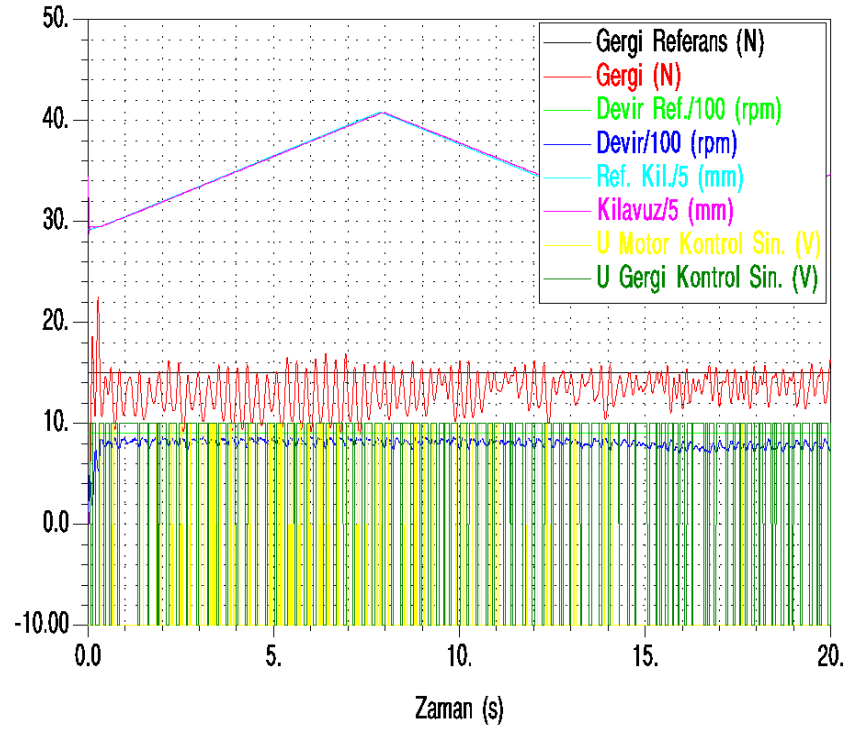
Şekil 4.23. Gergi Kontrol Katsayıları($\lambda:0.01$), Hız Kontrol Katsayıları ($\lambda:500$)



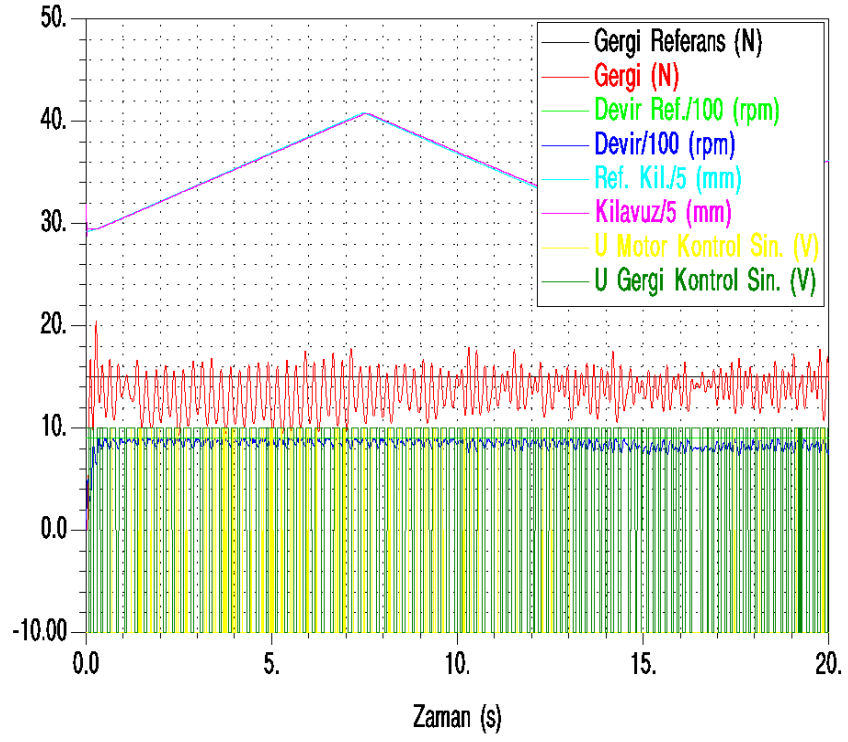
Şekil 4.24. Gergi Kontrol Katsayıları($\lambda:100$), Hız Kontrol Katsayıları ($\lambda:500$)



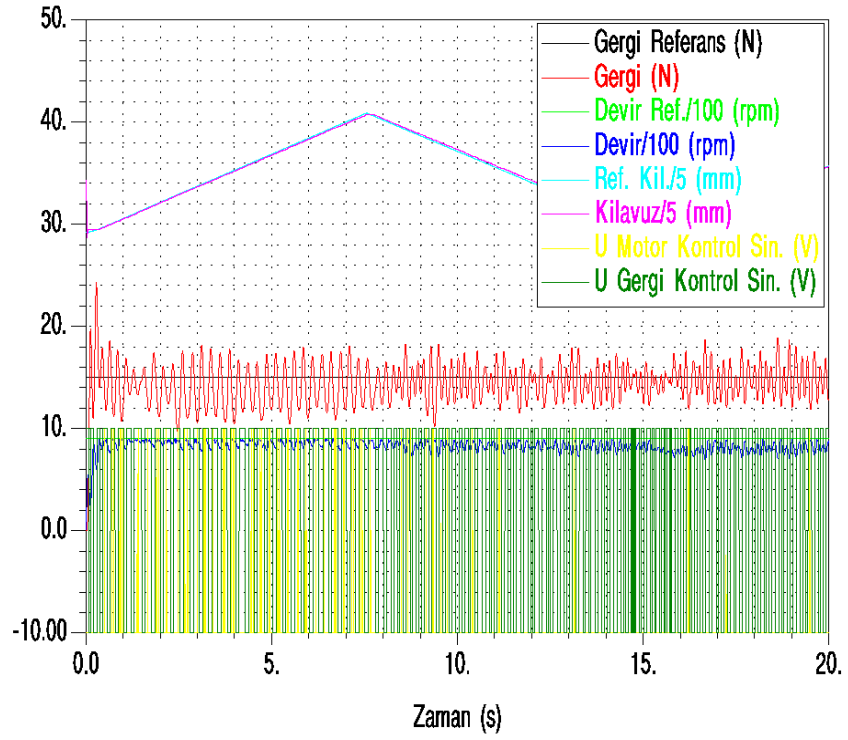
Şekil 4.25. Gergi Kontrol Katsayıları($\lambda:30$), Hız Kontrol Katsayıları ($\lambda:10$)



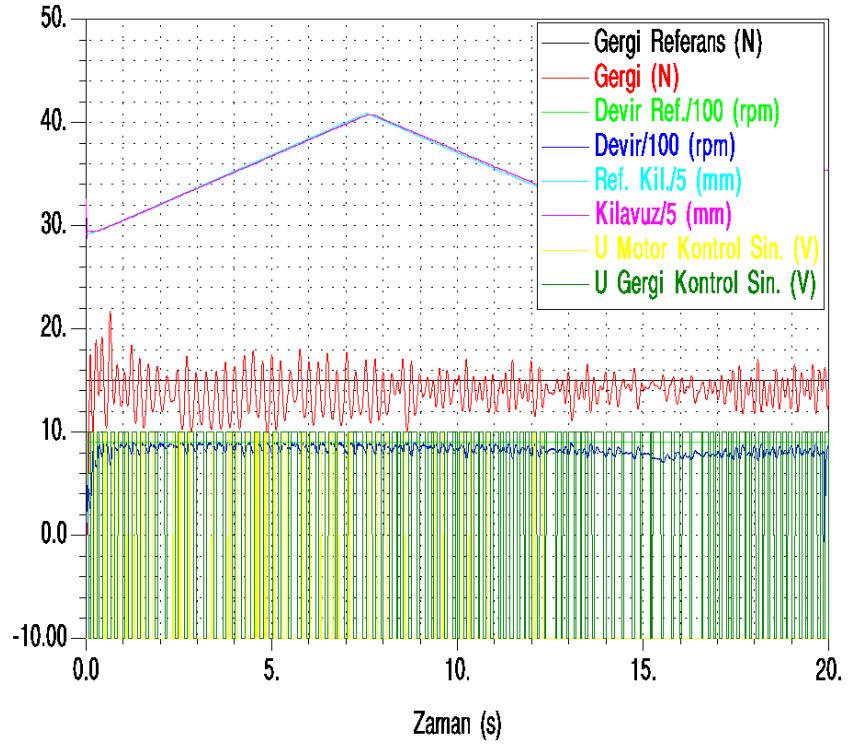
Şekil 4.26. Gergi Kontrol Katsayıları($\lambda:30$), Hız Kontrol Katsayıları ($\lambda:100$)



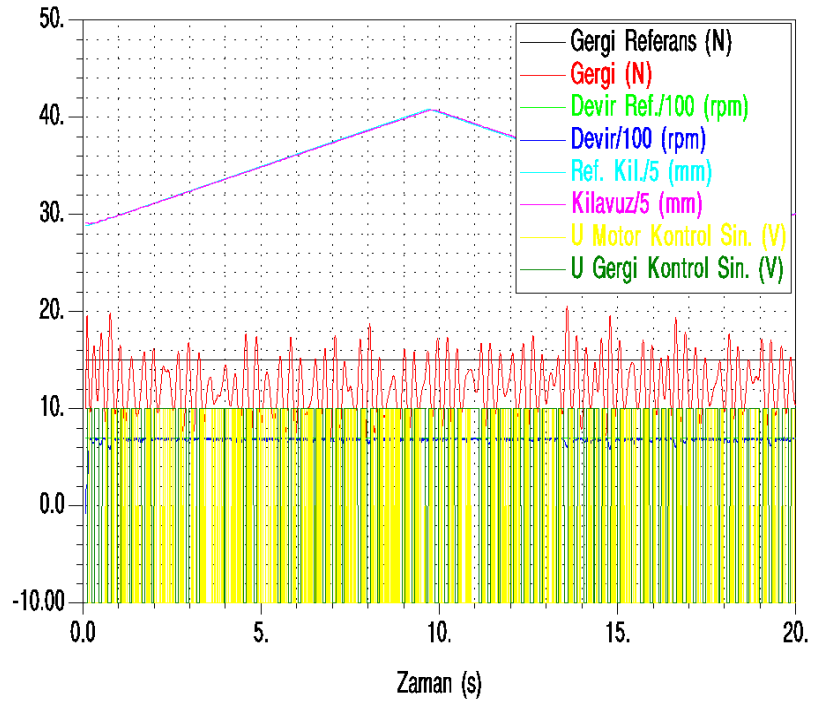
Şekil 4.27. Gergi Kontrol Katsayıları($\lambda:30$), Hız Kontrol Katsayıları ($\lambda:1000$)



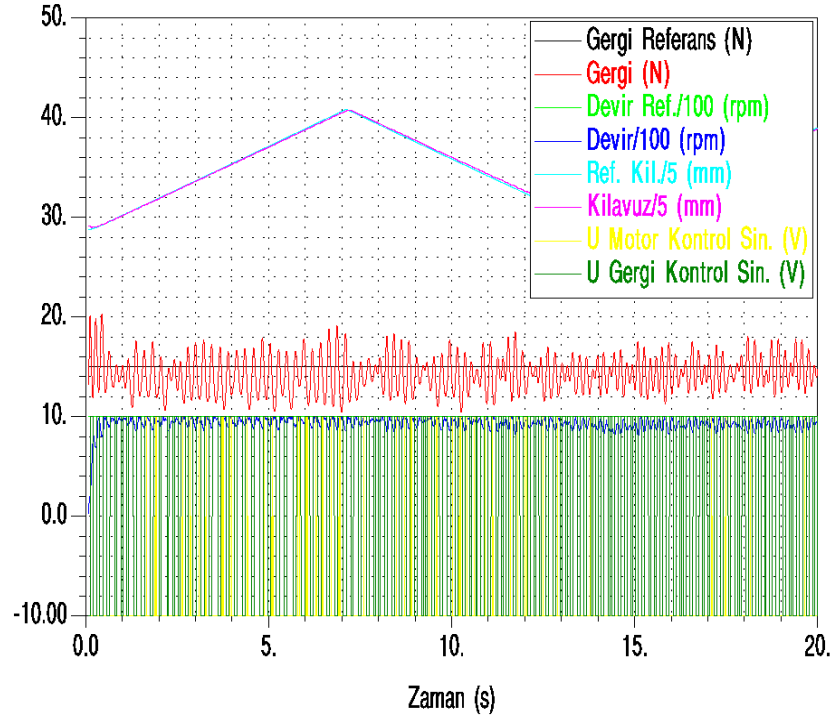
Şekil 4.28. Gergi Kontrol Katsayıları ($\lambda:30$), Hız Kontrol Katsayıları ($\lambda:500$, $\delta:100$)



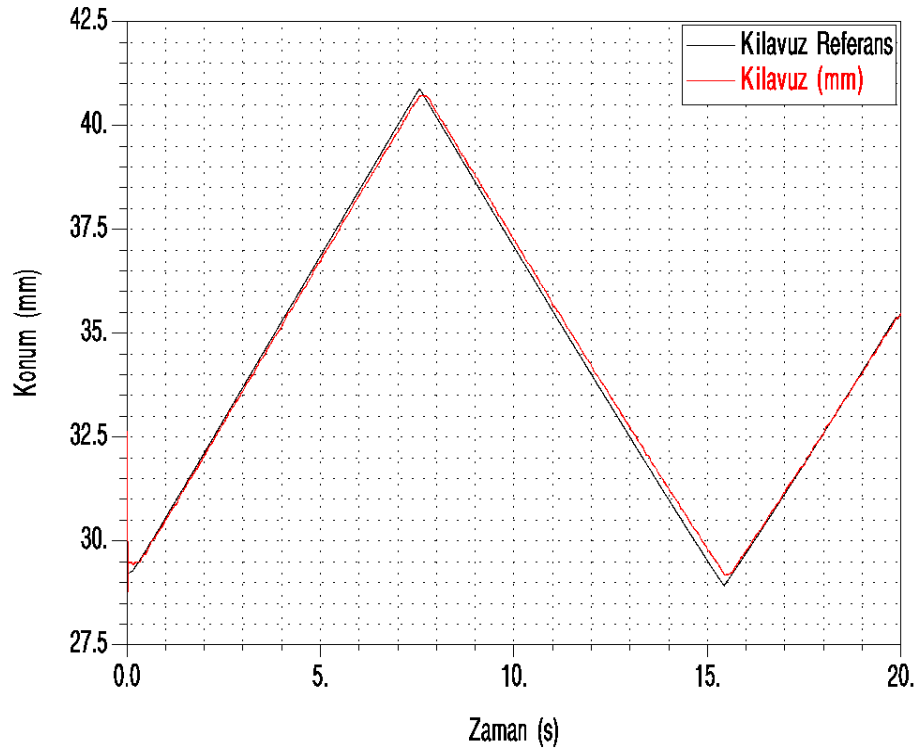
Şekil 4.29. Gergi Kontrol Katsayıları(λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :500)



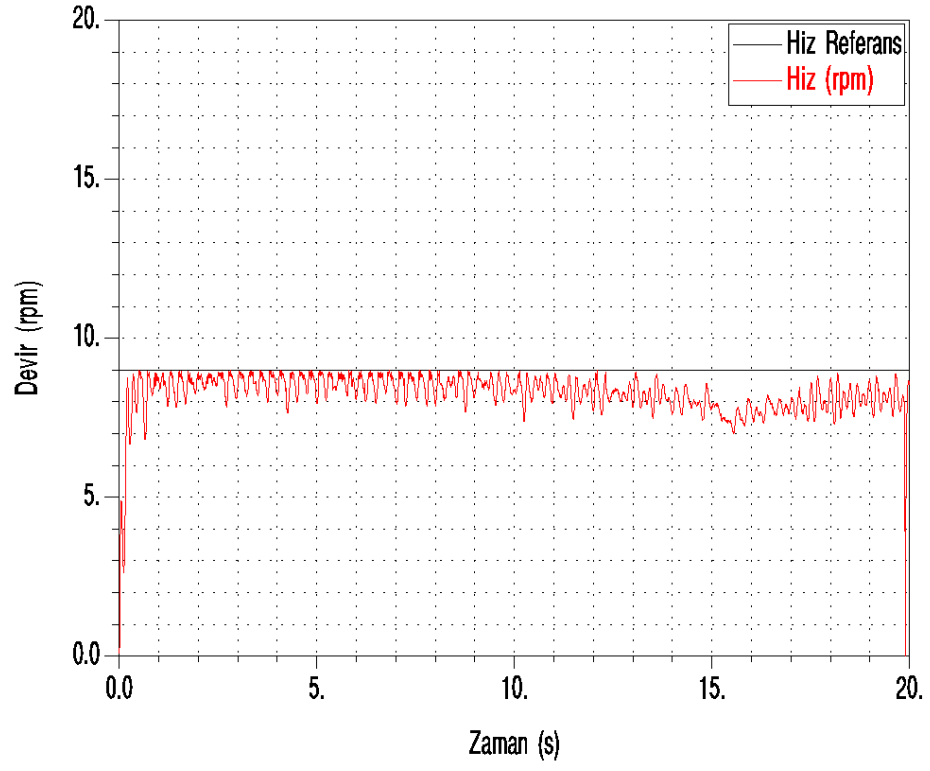
Şekil 4.30. Gergi Kontrol Katsayıları(λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :500), Hız Referansı 700 rpm



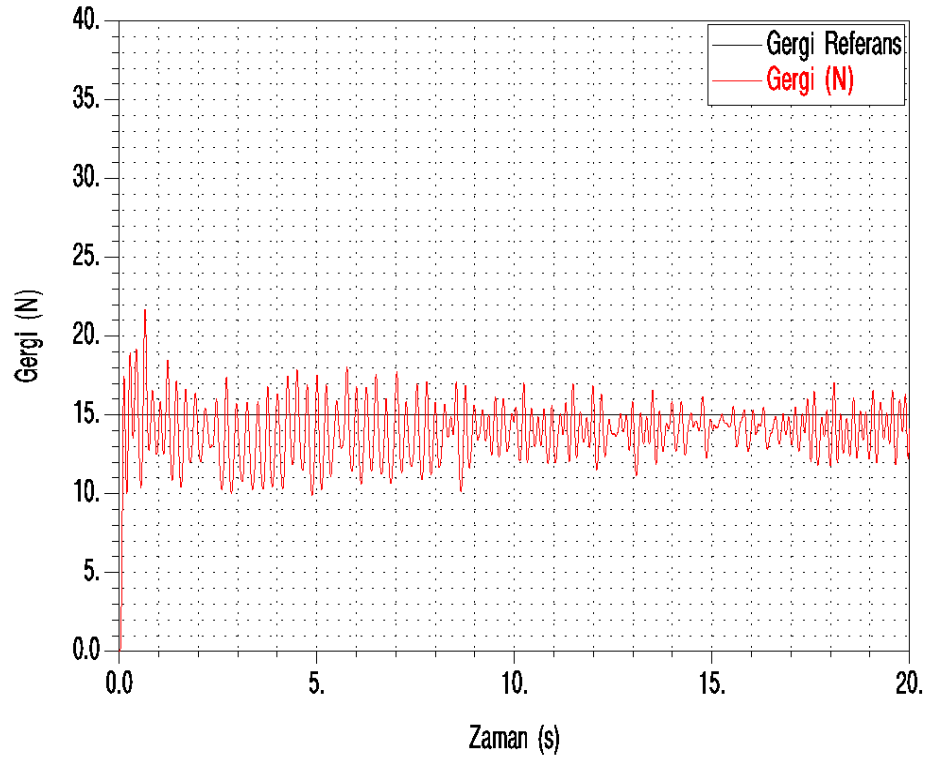
Şekil 4.31. Gergi Kontrol Katsayıları(λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :500), Hız Referansı 1000 rpm



Şekil 4.32. Kılavuz Kontrol (Şekil 4.28 Büyütülmüş Grafik)



Şekil 4.33. Hız Kontrol (Şekil 4.28 Büyütülmüş Grafik)



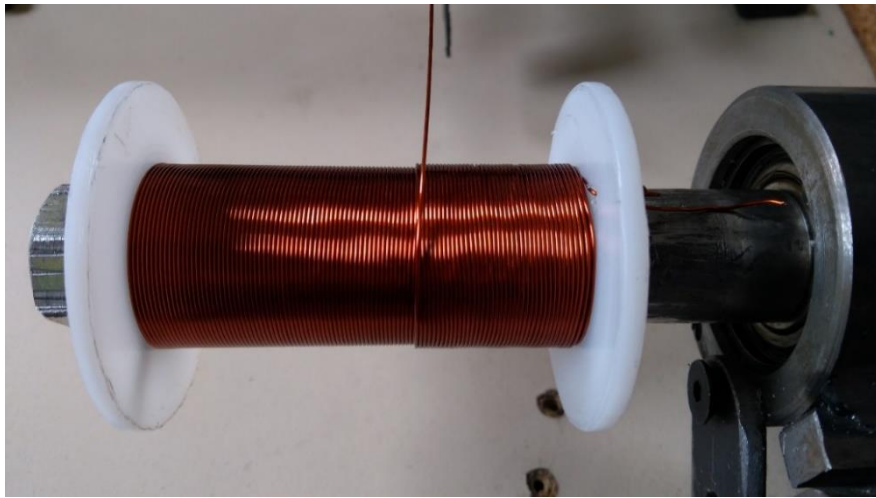
Şekil 4.34. Gergi Kontrol (Şekil 4.28 Büyütülmüş Grafik)

4.1.3. Deney Sonuçları

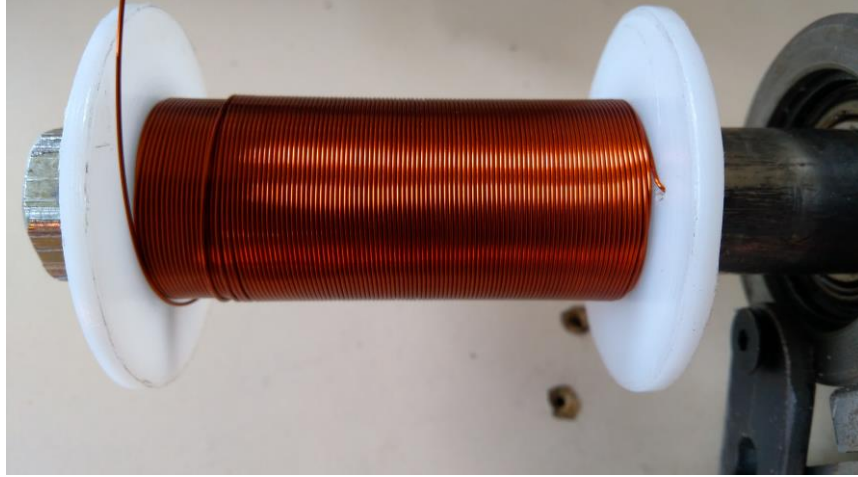
Deneyisel çalışmalarda deneme-yanılma yöntemi kullanılarak birçok deney yapılmıştır. PID ve KKK kontrolcüler ile yapılan ve belirlenen kontrolcü katsayılarının etkisini gösteren deneylerden belirgin olanlar seçilerek konmuştur. Sadece oransal (K_p) kontrolcü ile cevaplar daha salınımlı olduğu görülmektedir. Türev (T_d) etkisinin hız kontrolcünde cevabı bozduğu görülürken, gergi kontrolcünde uygun değerinin olumlu etki yaptığı tespit edilmiştir. İntegral (K_i) katsayısının gergi kontrolde cevabı istenen değer altında bıraktığı, hız kontrolde de pek bir etki oluşturmadığı görülmüştür.

KKK kontrolcünde yine PID kontrolcünde olduğu gibi birçok değer taranmıştır. Bu deneylerde Lamda değerleri gergi kontrolcü için 30 hız kontrolcü için 500 civarı olduğunda daha iyi sonuç verdiği, delta değerinin kontrol kalitesine etkisi olmayıp salınımı artırdığı gözlenmiştir.

Ayrıca 1000 ve 700 rpm hız referans değerlerinde belirlenen en iyi katsayılar ile de deney yapılmıştır. PID kontrolcü deneylerde referans değerlerin altında bir cevap vermiş. KKK kontrolcü ise PID kontrolcüye kıyasla daha yakın değerlerde kontrol yaptığı gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarına ait fotoğraflar aşağıda verilmiştir.



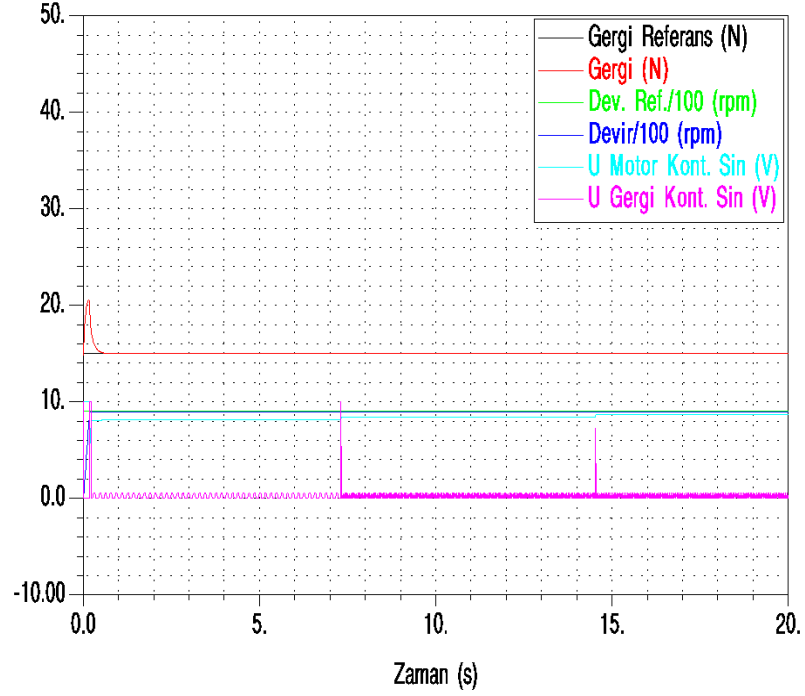
Şekil 4.35. PID İle Sarılan Makara



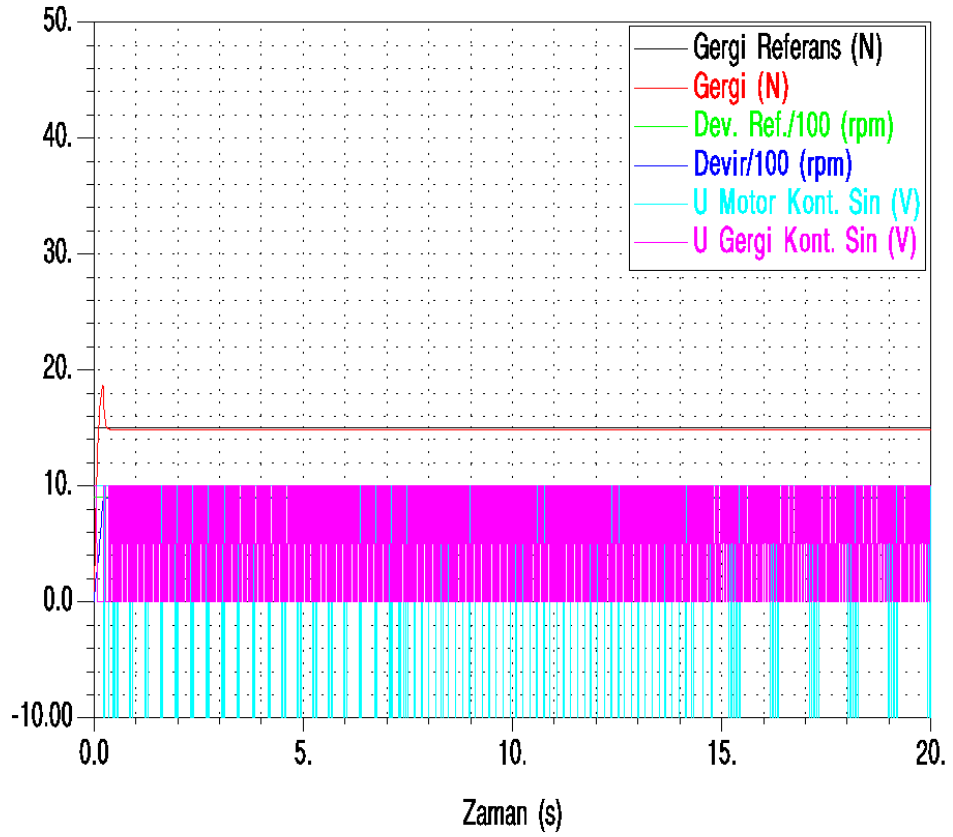
Şekil 4.36. KKK İle Sarılan Makara

4.2. Benzetim Çalışmaları

Sarım sisteminin modelinden elde edilen denklemler, Delphi programla dili ile yazılan nümerik yöntemlerle çözülerek sistemin benzetimi yapılmıştır.



Şekil 4.37. Gergi Kontrol Katsayıları($K_p=100$, $T_d=0.1$), Hız Kontrol Katsayıları ($K_p=1$)



Şekil 4.38. Gergi Kontrol Katsayıları(λ :30), Hız Kontrol Katsayıları (λ :500)

Yukarıdaki benzetim sonuçları PID ve KKK deneyleri ile belirlenen katsayılar göz önüne alınarak yapılmıştır. Buradaki grafikler incelendiğinde deney sonuçlarına benzer cevaplar elde edildiği görülmüştür. Tam olarak modellenemeyen sürtünme dinamikleri ve sisteme ait nonlinear etkiler bu sonuçlardaki farklılıkların temel sebebidir.

SONUÇ

Bu çalışmada emaye kaplı bakır telin büyük makaradan küçük makaraya sarımı için masaüstü boyutlarında bir düzenek tasarlanarak imal edilmiş ve istenilen gerginlikte sarım yapılabilmesi için kontrol sistemi geliştirilmiştir. Sisteme ait benzetim ve deneysel çalışmaları yaygın kullanılan PID ve KKK kontrolcüler kullanılmış ve ilerdeki çalışmalara ışık tutması açısından önerilerde bulunulmuştur.

Burada kullanılan düzenek çok giriş ve çok çıkışlı bir yapıya sahiptir. Hız ve gerginlik kontrol eden sistemler birbiri ile etkileşimli olarak çalıştığı görüldüğü halde kılavuz sisteminin gergi ve hız durumlarına neredeyse hiç etki yapmadığı görülmüştür. PID kontrolcü kullanıldığında PD gergi kontrolcü ($K_p=100$, $T_d=0.1$) ve P hız kontrolcü ($K_p=1$) ile ortalama ± 3 N gerginlik hassasiyetinde kontrol gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.16). KKK kontrolcü ile de gergi kontrolcünde 30, hız kontrolcünde de 500 Lamda katsayısı ile yaklaşık ± 3 N gerginlik hassasiyetinde kontrol gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.26). Farklı hızlarda yapılan deneylerde KKK kontrolcüler PID kontrolcülerden daha gürbüz sonuçlar vermiştir.

Literatürde daha çok kâğıt, streç film veya alüminyum folyo gibi ana makarada zamanla kalınlığın düzenli olarak azaldığı materyaller üzerine çalışmalara rastlanılmıştır. Ancak buradaki sistemde ana makaradaki tel sarıldıkça makara kalınlığı düzgün olarak azalmamaktadır. Ayrıca ana makaranın da düzenli olarak sarılmamış olması yüksek hızlarda sarım sırasında telin sağa ve sola doğru hızla hareketine sebep olmaktadır. Buna ek olarak ana makarada telin üst üste binmesinden kaynaklı kısa süreli ani yük değişimleri ve buna bağlı telde elastik uzamalar oluşturmaktadır. Ayrıca sarım esnasında ana makaranın da dönmesi bu etkileri artırmaktadır. Benzetimde ve cevaplarda görülen düzensizliklerin burada bahsedilen nonlineer durumlardan ve tam olarak modellenemeyen sürtünme dinamiğinden kaynaklandığı anlaşılmıştır.

Yukarıdaki etkileri azaltabilmek için sistem boyunun kısaltılarak telde oluşan etkiler azaltılabilir. Sadece kol makara gergi ölçme düzeneği yerine yük hücreli ve kol makara ile hibrit bir sistem kullanılarak ölçüm kalitesi artırılabilir. Ana makaranın sabit olduğu

ve sağılan telin kontrollü ön yükleme ile sarılabileceği bir tasarım ile makara ataletinden bağımsız bir sistem kullanılabilir.

Sonuç olarak çok giriş çok çıkış olan makara sarım makinasında nonlineer etkileri azaltmak ve yukarıda bahsedilen önlemler ile daha iyi sonuçlar alınabileceği görülmüştür. Geleneksel PID kontrolcünün iyi sonuçlar vermesine karşın kayan kipli kontrolcü basit yapısı ve gürbüzlüğü ile ön plana çıkmıştır. İleride yapılacak olan çalışmalara yön gösterecek bulgular elde edilmiştir.



KAYNAKLAR

1. Delis, J. S., Design considerations, machinery and control options in coil winding, IEEE Electr. Insul. Mag., 9, 16–22, 1993.
2. Ebler, N. A. *et al.*, Tension control: dancer rolls or load cells, IEEE Trans. Ind. Appl., 29, 727–739, 1993.
3. Yeung, M. F., Falkner, A. H., Gergely, S., The control of tension in textile filament winding, Mechatronics, 5, 117–131, 1995.
4. Voss, G., Hefti, K., Importance and methods of tension control [coil winding process], *Proceedings: Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing and Coil Winding Conference*, 517–523, IEEE, 1997., doi:10.1109/EEIC.1997.651212
5. MCDOW, B. C., RAHN, C. D., Adaptive web-tension control using a dancer arm, Tappi J., 81, 197–205, 1998.
6. Song, S. H., Sul, S. K., A new tension controller for continuous strip processing line, IEEE Trans. Ind. Appl., 36, 633–639, 2000.
7. Manning, T. A., Tension control during the coil winding process, Proc. Electr. Insul. Conf. Electr. Manuf. Coil Wind. Technol. Conf. (Cat. No.03CH37480), 527–530, 2003., doi:10.1109/EICEMC.2003.1247942
8. Lin, K. C., Observer-based tension feedback control with friction and inertia compensation, IEEE Trans. Control Syst. Technol., 11, 109–118, 2003.
9. Yan, M.-T., Huang, P.-H., Accuracy improvement of wire-EDM by real-time wire tension control, Int. J. Mach. Tools Manuf., 44, 807–814, 2004.
10. Wang, C. *et al.*, Research on precision tension control system based on neural network, IEEE Trans. Ind. Electron., 51, 381–386, 2004.
11. Chul-Goo Kang, Bong-Ju Lee., Stability analysis for design parameters of a roll-to-roll printing machine, *2007 International Conference on Control, Automation and Systems*, 1460–1465, IEEE, 2007., doi:10.1109/ICCAS.2007.4406569
12. Chen, D., Zhang, H., Wang, M., An intelligent tension control system in strip unwinding process, 2007 IEEE Int. Conf. Control Autom. ICCA, 00, 342–345, 2008.
13. Sakamoto, T., Fujino, Y., Modelling and analysis of a web tension control system, Proc. IEEE Int. Symp. Ind. Electron., 1, 358–362, 1995.
14. Şefkat, G., Elektromekanik Gergi Denetim Sisteminin DGM Kullanarak İyileştirilmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg., 14, 11–22, 2009.

15. Kim, J. K. J., Choi, O.-K. C. O.-K., Lee, J. S., Adaptive transition disturbance observer for winding machine, 2009 Iccas-Sice, 4693–4697, 2009.
16. Ando, Y. *et al.*, Control of tension device for coil winding, 2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2749–2754, IEEE, 2009., doi:10.1109/ICIEA.2009.5138710
17. Pan, J. *et al.*, Electronic Tension Control of High-Speed and Active Sending Line Based on Fuzzy PID Control, Adv. Mater. Res., 338, 677–684, 2011.
18. Dodds, S. J., Sooriyakumar, G., Observer based robust tension control for a segmented stator coil winding machine, 2011 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 1925–1930, IEEE, 2011., doi:10.1109/ISIE.2011.5984452
19. Mao, G. Y., Wu, M., Liu, H. K., Based on the Application of Self-Learning Fuzzy PID Control in Tension Control System, Adv. Mater. Res., 655–657, 1505–1509, 2013.
20. Duong, V. T., Doan, P. T., Jeong, J. H., Active Real-time Tension Control for Coil Winding Machine of BLDC Motors, 765–770, 2014.
21. Duong, V. T. *et al.*, Implementation of an Active Wire Tensioner Using a Cascade Fuzzy Logical Controller for a Brush-Less Direct Current Coil Winding Machine, Int. J. Fuzzy Syst., 2015., doi:10.1007/s40815-015-0100-x
22. Özteknik Elektrik, SEYHAN / ADANA, <http://ozteknikelektrik.com/urun-detay/bemka-emaye-bobin-teli-ve-kablo/>, Nisan 2018.
23. Aumann North Americe Inc., http://www.aumannusa.com/prod_coils1.htm, Nisan 2018.
24. Avo Douglas Coil Winding Machine, <http://www.machsupport.com/forum/index.php?topic=25540.0>, Nisan 2018.
25. Ingrid West Machinery Ltd., http://www.coilwindingmachines.eu/linear_benchtop_winding_machines/two_spindle_coil_winding_machine_wh752.html, Nisan 2018.
26. Yiğit, İ., Arabalı Ters Sarkaç Sisteminin Modellenmesi ve Parametrelerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, TOK2010, Otomatik Kontrol Ulusal Kongresi, 2010.
27. Kalaycı, Mehmet, B., Kayan Kipli Kontrol Tekniklerinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Bozok Üniversitesi, 2013.
28. Yiğit, İ., Model free sliding mode stabilizing control of a real rotary inverted pendulum, J. Vib. Control, 23, 1645–1662, 2017.
29. Itkis, U., *Control systems of variable structure*, Wiley, 1976.
30. Utkin, V., Variable structure systems with sliding modes, IEEE Trans.

Automat. Contr., 22, 212–222, 1977.

31. Kalaycı, M. B., Yiğit, İ., Pratikte Kullanılan Bazı Kayan Kipli Kontrol Tekniklerinin Teorik ve Deneysel İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Derg., 30, 131–142, 2015.
32. Emtel Emaye Tel ve Kablo Sanayi A.Ş., *İstanbul, Türkiye*, <http://www.emtel.com.tr/faydali-bilgiler/#tab-id-4>, Nisan 2018.
33. ACE Equipment Company, *Ohio, USA*, <https://www.armaturecoil.com/UploadFiles/image/file/PDF/Coil-Winding-Machines/Tension-wire-chart.pdf>, Nisan 2018.





Ek-1: Sistem Yazılımı Delphi Programı Kaynak Kodu

```
unit Bobin10;

interface

uses

    Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
    ExtCtrls, StdCtrls, Driver, Db, DBTables, Mask, DBCtrls, Math, ShellAPI,
    FileCtrl;

type

    TForm1 = class(TForm)
    ...
    private
        isStartChan      : Boolean;
        usGainCode       : array [0..15] of Smallint;
        usStartChan      : Smallint;    { Start Channel }
        usStopChan       : Smallint;    { Stop Channel }
        AiCtrMode        : Integer;
        ptMAIConfig      : PT_MAIConfig; { Structure for MAIConfig table }
        ptMAIVoltageIn   : PT_MAIVoltageIn; { Structure for MAIVoltageIn table }
        ptAOConfig       : PT_AOConfig;
        ptAOVoltageOut   : PT_AOVoltageOut;
        ptAOConfig_1     : PT_AOConfig;
        ptAOVoltageOut_1 : PT_AOVoltageOut;
        ptDevGetFeatures : PT_DeviceGetFeatures;
        ptCounterFreqStart : PT_CounterFreqStart;
        ptCounterFreqRead : PT_CounterFreqRead;
        ptQCounterConfig : PT_QCounterConfig ;
```

```

ptQCounterStart      : PT_QCounterStart ;
ptQCounterRead       : PT_QCounterRead ;
dwDeviceNum          : Longint;
AODwDeviceNum        : Longint;
CounterDeviceNo      : Longint;
DeviceHandle         : Longint;
AODeviceHandle       : Longint;
CounterHandle        : Longint;
AODeviceHandle_1     : Longint;
AODevice_1           : Longint;
fVoltage             : array [0..15] of Single;
//-----
xg,ff,ubang,upid,usmc,Ukil,Umotor,Ugergi    : real;
Bitmap              : TBitmap;
ymin,ymax,y10       : real;
mx,my,mfx,mfy,yt,xt : integer;
sct,scy             : real;
in1,in2,out1,out2,out3,out4 : text;
public
    ErrCde          : Longint;
    szErrMsg         : array[0..80] of Char;
    pszErrMsg        : Pchar;
    Response,tMessage : Integer;
    satirs           : longint;
    Vout,Vout1,Vout_gergi,AAAFreq           : double;
    makaragenislik,makarabslg,yon          : Single;

```

buffer : array [0..255] of char;
 FileToFind : string;
 outFilename1,outFilename2,outFilename3,
 outFilename4,outFilename4old,outFilename1old : string;
 DevFeatures : DEVFEATURES;
 t,te,ti,tf,h,tg,t10,t2,
 x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,aa1,aa2,aa3,aa4,kilavuz,tako,gergi,rgergi,eegergi,
 y1,y2,y3,y4,y5,y6,y7,y8,ekil,ekili,ekild,etako, etako0,etakoi, etakod,
 ekile,etakoe,rkil,rkile,rtako,germax,eegergii,eegergid,eegergie,pidgergi,
 Kpg,Kig,Tdg,usmcg,Lamg,Delg,uhiz,e2tako,rtako1
 : double;
 r,rr,Xr,Ar,xg0,xgg,freq,y,e,ei,ed,ee,pp,ii,dd,u,
 Kp,Ki,Td,strokSehimHizi,x1min,x2min,gcy,Kp1,Ki1,Td1,
 x10,x20,x30,x40,x50,x60,x70,
 Kh1,Kh2,Kh3,Kh4,Kh5,Kh6,Kh7,
 tg1,f1,tg2,f2,tg3,f3,tg4,f4,x1baz,rbaz,z2,tbaz,w2,x2baz,
 yaklasma,x1r,sl,del,Lam,ff1,ff2,f,re,del1,Lam1,tonceki,
 devir
 : double;
 ri,i1,iyaklas,nort,icontrol,ibaz,isifre,
 frqchannel,qcounterport,owf,loco,hico,loco1,loco1e,upg,usg : integer;
 dSifre1,dSifre2 : string;
 MaxFileNameLength,VolFlags,SerNum,Largo : DWord;
 Nombre : array [0..100] of char;

```

    dt,t1,tau,tau1      : real;

    ni                   : longint;

end;

var

    Form1: TForm1;

    bRun: Boolean = False;

    bOpen: Boolean = False;

    const frilk: real = 10;

implementation

{$R *.DFM}

procedure TForm1.BaslatClick(Sender: TObject);

var

    start,stop,freq, ss, sse      : int64;

    i,ii,iii                   : longint;

    chan,ub,up,us,up1,us1,up2,us2,soft,soft1      : Smallint;

    inp1, out1                  : TextFile;

    ix,ixf,isound,iiie ,cc,cce   : integer;

    ddd                          : double;

    Label

    git;

begin

    Kp:= table1P1.AsFloat;

    Ki:= table1I1.AsFloat;

    Td:= table1D1.AsFloat;

```


Lam:= table1LAM1.AsFloat;

del:= table1DEL1.AsFloat;

Kp1:= table1P2.AsFloat;

Ki1:= table1I2.AsFloat;

Td1:= table1D2.AsFloat;

Lam1:= table1LAM2.AsFloat;

del1:= table1DEL2.AsFloat;

Kpg:=Table1Pger.AsFloat ;

Kig:=Table1Iger.AsFloat;

Tdg:=Table1Dger.AsFloat;

Lamg:= table1Lamg.AsFloat;

delg:= table1Delg.AsFloat;

//-----

baslat.Enabled:= False;

//-----

tf:=table1tf.AsFloat;

satirs:=table1satirs.AsInteger;

outFilename4:=table1OutFilename4.AsString;

outFilename1:=table1OutFilename1.AsString;

tMessage:=0;

if CheckBox3.Checked then

begin

```

if (outFilename4old=outFilename4) and CheckBox4.Checked then
begin
    messagebeep(MB_ICONEXCLAMATION);
    tMessage:=MessageDlgPos('Önceki Deney Verilerinin Üzerine Yazılsın Mı?'
,mtWarning,[mbYES,mbNO],0,500,350);
end;

```

```

if (outFilename1old=outFilename1) and CheckBox5.Checked then
begin
    messagebeep(MB_ICONEXCLAMATION);
    tMessage:=MessageDlgPos('Önceki Deney Verilerinin Üzerine Yazılsın Mı?'
,mtWarning,[mbYES,mbNO],0,500,350);
end;
end;

```

```

if tMessage=mrNO then goto git;
//-----

```

```

AssignFile(out4, outFilename4); Rewrite(out4);
AssignFile(out1, outFilename1); Rewrite(out1);

```

```

case RadioGroup4.ItemIndex of

```

```

0: Begin

```

```

    write(out4,

```

```

        '$ '

```

```

    + 'GK('

```

```

    + 'Kp:'+ table1Pger.asstring

```

```

    + '-Ki:'+ table1Iger.asstring

```

```

+ '-Td:' + table1Dger.asstring
//+ ' - Ger. Kp :'+ Table1Pger.asstring
+ ')' );
end;

```

1: Begin

```

write(out4, '$ '
+ 'GK('
+ 'L:' + table1lamg.asstring// table1LAM2.asstring
+ '-D:' + table1delg.asstring+')' );
end;

```

end;

case RadioGroup3.ItemIndex of

0: Begin

```

writeln(out4,
' HK('
+ 'Kp:' + table1P2.asstring
+ '-Ki:' + table1I2.asstring
+ '-Td:' + table1D2.asstring
+ ')' );
end;

```

1: Begin writeln(out4,

```

' HK('
+ 'L:' + table1LAM2.asstring

```

```

        +'-D:'+ table1DEL2.asstring
    +')' );
end;
end;

```

```

writeln(out4, '! '+'Gergi Referans');
writeln(out4, '! '+'Gergi (N) ');
writeln(out4, '! '+'Devir Ref./100');
writeln(out4, '! '+'Devir/100 ');
writeln(out4, '! '+'Ref. Kil./5 ');
writeln(out4, '! '+'Kilavuz/5 ');
writeln(out4, '! '+'U(Motor Kontrol Sin.));
writeln(out4, '! '+'U(Gergi Kontrol Sin.));

```

```

case RadioGroup2.ItemIndex of

```

```

    0: Begin

```

```

        writeln(out1,
        '$ '
        +'K.KONTROL('
        +'Kp:'+ table1P1.asstring
        +'- Ki:'+ table1I1.asstring
        +'- Td:'+ table1D1.asstring
        +')' );
    end;

```

```

    1: Begin writeln(out1,

```

```

'$ '
+'K.KONTROL('
+' Lamda:'+ table1LAM1.asstring
+' Delta:'+ table1DEL1.asstring
+')' );
end;
end;

```

```

writeln(out1, '! '+'Kilavuz Ref/5');
writeln(out1, '! '+'Kilavuz/5');
writeln(out1, '! '+'U(Kontrol Sin.));

```

```

QueryPerformanceFrequency(freq);
QueryPerformanceCounter(start);

```

```
//-----
```

```

case RadioGroup2.ItemIndex of
  0: Begin up:= 1; us:= 0; end;
  1: Begin up:= 0; us:= 1; end;
end;

```

```

case RadioGroup3.ItemIndex of
  0: Begin up1:= 1; us1:= 0; end;
  1: Begin up1:= 0; us1:= 1; end;
end;

```

```

case RadioGroup4.ItemIndex of
  0: Begin upg:= 1; usg:= 0; end;

```

```

1: Begin upg:= 0; usg:= 1; end;

end;

//----- İlk Değerler -----

y1:= 0;

y2:=0;

Vout1:=0;

soft:=1;

uhiz:=0;

pidgergi:=0;

if CheckBox1.Checked then rkile:=makarabslg; // Sarım Başlama Noktası

ekili:= 0;

ekile:= 0;

etakoi:=0;

etakoe:=0;

egergi:=0;

egergii:=0;

//yon:=0;

te:= 0;

loco1e:=0;

Dt:=table1Kh2.AsFloat; //Tel Çapı - mm

rgergi:=strtofloat(DBEdit7.Text) ; //Referans Gerginlik - Newton

rtako:=strtofloat(DBEdit3.Text);

makaragenislik:= strtofloat(Edit8.Text);

```

```
//-----
```

```
cc:=0; cce:=0;
```

```
i:= -1;
```

```
ii:=0;
```

```
ymax:=20;
```

```
REPEAT
```

```
rtako:=strtofloat(DBEdit3.Text);
```

```
QueryPerformanceCounter(stop);
```

```
ss:=stop-start;
```

```
i:= i+1;
```

```
t:= ss/freq;
```

```
ptMAIVoltageIn.VoltageArray := @fVoltage[ptMAIConfig.StartChan];
```

```
ErrCde:=DRV_MAIVoltageIn(DeviceHandle, ptMAIVoltageIn);
```

```
ptQCounterRead.counter:=qcounterport;
```

```
ptQCounterRead.overflow:=@owf;
```

```
ptQCounterRead.LoCount:=@loco;
```

```
ptQCounterRead.HiCount:=@hico;
```

```
DRV_QCounterRead(CounterHandle,ptQCounterRead);
```

```

ptQCounterRead.counter:=0;

ptQCounterRead.LoCount:=@loco1;

DRV_QCounterRead(CounterHandle,ptQCounterRead);

aa1:= loco;      //Gergi

aa2:= fvoltage[0]; //Git-gel konum

aa3:= loco1;      //Takometre

//***** Dijital Filtreler *****

tau1:= 0.110;

ff2:=(1/tau1)*y2+(1/tau1)*aa1;

y2:=y2+ff2*h;

aa1:=y2;

//***** Okunan Girişlerin Dönüşümü *****

h:= t-te;

gergi:=- ( aa1*1.87*Power(10,-2)+Power(aa1,2)*-1.74*Power(10,-5)

+Power(aa1,3)*1.17*Power(10,-8)+Power(aa1,4)*-2.18*Power(10,-

12));/*24/1720 ;    // Gerginlik N cinsinden

kilavuz:=300-aa2*22;      // Kılavuzun Konumu mm cinsinden

ddd :=loco1-loco1e;

devir:= (ddd /(400*power(2,(3-1)))) * 60/h * 36/60; //dev/dak (RPM)

gcy:=devir;

loco1e:=loco1;

tau:= 0.010;

ff1:=(1/tau)*y1+(1/tau)*devir;

```



```

y1:=y1+ff1*h;

devir:=y1;

tako:= - devir; // Yön Değişikliği için "-" konu

//tako:=aa3/400*60*36/60; //Takometre RPM cinsinden

//Enkoder 400 puls ,Motor=36 Diş ,Makara=60 Diş , Enkoder=36 Diş

//*****

//----- --- KILAVUZ KONTROL --- -----

if kilavuz>=makaragenislik+makarabslg then yon:=-1;

if kilavuz<=makarabslg then yon:=1;

rkil:= rkile + yon * (tako/60)*Dt*h;

rkile:=rkil;

ekil:= rkil-kilavuz;

ekili:= ekili+h*ekil;

ekild:= (ekil-ekile)/h;

ekile:= ekil;

u:= Kp*(ekil + Ki*ekili + Td*ekild);

upid:= u;

sl:= ekild + Lam*ekil;

if sl>del then u:= 10;

if (sl<=del) and (sl>=-del) then u:=10* tanh(sl/del);

if sl<-del then u:= -10;

usmc:= u;

```

```
Vout:= -(up*upid + us*usmc);
```

```
if Vout>+10 then Vout:=+10; //Pozitif Doyma kısmı
```

```
if Vout<-10 then Vout:=-10; //Negatif Doyma kısmı
```

```
//***** Gergi Kontrol *****
```

```
egergi:=(rgergi-gergi);
```

```
egergii:= egergii+h*egergi;
```

```
egergid:= (egergi-egergie)/h;
```

```
egergie:= egergi;
```

```
pidgergi:= Kpg*(egergi + Kig*egergii + Tdg*egergid);
```

```
sl:= egergid + Lamg*egergi;
```

```
if sl>delg then u:= 10;
```

```
if (sl<=delg) and (sl>=-delg) then u:=10*tanh(sl/delg);
```

```
if sl<-delg then u:=-10;
```

```
usmcg:= u;
```

```
Vout_gergi:= (upg*pidgergi+usg*usmcg);
```

```
if Vout_gergi>+10 then Vout_gergi:=+10; //Pozitif Doyma kısmı
```

```
if Vout_gergi<-10 then Vout_gergi:=-10; //Negatif Doyma kısmı
```

```
//***** HIZ Kontrol *****
```

```
etako:=(rtako-tako);
```

```
etakoi:= etakoi+h*etako;
```

```
etakod:= (etako-etakoe)/h;
```

```
etakoe:= etako;
```

```
te:= t;
```

```
upid:= Kp1*(etako + Ki1*etakoi + Td1*etakod);
```

```
sl:= etakod + Lam1*etako + (egergid + Lamg*egergi);
```

```
if sl>del1 then u:= 10;
```

```
if (sl<=del1) and (sl>=-del1) then u:=10* tanh(sl/del1);
```

```
if sl<-del1 then u:=-10;
```

```
usmc:= u ;
```

```
Vout1:= (up1*upid + us1*usmc);
```

```
if Vout1>+10 then Vout1:=+10; //Pozitif Doyma kısmı
```

```
if Vout1<-10 then Vout1:=-10; //Negatif Doyma kısmı
```

```
//***** Analog Çıkışlar *****
```

```
//***** KILAVUZ MOTOR *****
```

```
ptAOVoltageOut.Chan := 0;
```

```
ptAOVoltageOut.OutputValue := Vout;
```

```
DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);
```

```
//***** ANA MOTOR *****
```

```

ptAOVoltageOut.Chan := 2;

ptAOVoltageOut.OutputValue := Vout1;

DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);

//***** GERGİ *****

ptAOVoltageOut.Chan := 3;

ptAOVoltageOut.OutputValue := -Vout_gergi;

DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);

DRV_WriteSyncAO(AODeviceHandle);

//***** Ekrana Yazdırma *****

if i=0 then t:=0;

if (i mod satirs=0)and (i>0)then

begin

edit17.text:= floattostrF(tako, ffFixed,5,2);

edit2.text:= floattostrF(kilavuz, ffFixed,5,2);

edit14.text:= floattostrF(gergi, ffFixed,5,2);

label10.caption:= inttostr(round(i/t))+ ' / ' + floattostrF(t,ffFixed,4,1);

edit17.Refresh;

edit2.Refresh;

edit14.Refresh;

label10.Refresh;

end;

//----- Dosyaya Yazdırma -----

if (i mod satirs=0)and(i>0)then

begin

writeln(out4, t:24:6

```

```

        , ' ', floatToStrF( rgergi , ffFixed,24,6)
        , ' ', floatToStrF( gergi , ffFixed,24,6)
        , ' ', floatToStrF( rtako/100 , ffFixed,24,6)
        , ' ', floatToStrF( tako/100 , ffFixed,24,6)
        , ' ', floatToStrF( rkil/5 , ffFixed,24,6)
        , ' ', floatToStrF( kilavuz/5 , ffFixed,24,6)
        , ' ', floatToStrF( -Vout1 , ffFixed,24,6)
        , ' ', floatToStrF( Vout_gergi , ffFixed,24,6)
    );

    writeln(out1, floatToStrF( t , ffFixed,24,6)
        , ' ', floatToStrF( rkil , ffFixed,24,6)
        , ' ', floatToStrF( kilavuz , ffFixed,24,6)
    );

end;

UNTIL (t>=tf) or (HiWord(GetAsyncKeyState(VK_LBUTTON))<>0) or
    (HiWord(GetAsyncKeyState(VK_ESCAPE))<>0);

//*****

ptAOVoltageOut.Chan := 0;

ptAOVoltageOut.OutputValue := 0;

DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);

ptAOVoltageOut.Chan := 2;

ptAOVoltageOut.OutputValue := 0;

DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);

```

```

ptAOVoltageOut.Chan := 3;

ptAOVoltageOut.OutputValue := frilk;

DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);


DRV_WriteSyncAO(AODeviceHandle);


DRV_CounterReset(CounterHandle,frqchannel);
DRV_CounterReset(CounterHandle,qcounterport);


CloseFile(out4);
CloseFile(out1);


label10.caption:= inttostr(round(i/t))+ ' / ' + floattostrF(t,ffFixed,2,1);
label15.caption:= inttostr(cce);//round(i/t));

table1.edit;

table1.post;

outFilename4old:=outFilename4;

outFilename1old:=outFilename1;

git:

Beep;

end;


procedure TForm1.cikisClick(Sender: TObject);
begin
    DRV_EnableSyncAO(AODeviceHandle, AOdwDeviceNum);

    DRV_AOConfig(AODeviceHandle,ptAOConfig);

```

```

ptAOVoltageOut.Chan := 0;
ptAOVoltageOut.OutputValue := 0;
DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);

ptAOVoltageOut.Chan := 2;
ptAOVoltageOut.OutputValue := 0;
DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);

ptAOVoltageOut.Chan := 3;
ptAOVoltageOut.OutputValue := 0;
DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);

DRV_WriteSyncAO(AODeviceHandle);

DRV_CounterReset(CounterHandle,frqchannel);
DRV_CounterReset(CounterHandle,qcounterport);

DRV_DeviceClose(CounterHandle);
DRV_DeviceClose(AODeviceHandle); //Analog Çıkış Kartını Kapatma
DRV_DeviceClose(DeviceHandle); //Analog Giriş Kartını Kapatma
table1.edit;
table1.post;
close;
end;

//*****

```

```

procedure TForm1.durdurClick(Sender: TObject);

begin
    baslat.Enabled:= True;

    DRV_EnableSyncAO(AODeviceHandle, AOdwDeviceNum);
    DRV_AOConfig(AODeviceHandle,ptAOConfig);

    ptAOVoltageOut.Chan := 0;
    ptAOVoltageOut.OutputValue := 0;
    DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);

    ptAOVoltageOut.Chan := 2;
    ptAOVoltageOut.OutputValue := 0;
    DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);

    ptAOVoltageOut.Chan := 3;
    ptAOVoltageOut.OutputValue := frilk;
    DRV_AOVoltageOut(AODeviceHandle,ptAOVoltageOut);
    DRV_WriteSyncAO(AODeviceHandle);
    DRV_CounterReset(CounterHandle,frqchannel);
    DRV_CounterReset(CounterHandle,qcounterport);
    table1.edit;
    table1.post;
end;

//*****

procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);

```



```

begin

    if radiobutton11.checked then

        shellexecute(handle,'open', pansichar(GetCurrentDir+"\EsPlot\EsPlot.exe"),
            pansichar(outfilename4),nil,sw_shownormal);

    if radiobutton12.checked then

        shellexecute(handle,'open', pansichar(GetCurrentDir+"\np\np.exe"),
            pansichar(outfilename4),nil,sw_shownormal);

end;

//*****

procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
var
    lDeviceNum,lDriverHandle : Longint;
    szDescription: array[0..80] of Char;
    k :integer;
    dtb, dizin : string;
begin
    //----- Analog Giriş Konfigürasyonu -----

    dwDeviceNum:= 2;
    DRV_DeviceOpen(dwDeviceNum, DeviceHandle);

    usstartChan:= 0;
    usstopChan:= 0;
    ptMAIConfig.NumChan := usStopChan - usStartChan + 1;
    ptMAIConfig.StartChan := usStartChan;

```

```

for k := usstartChan to usStopChan do
usGainCode[k]:=4;

ptMAIConfig.GainArray := @usGainCode[usStartChan];
ptMAIVoltageIn.TrigMode := 0; //Software trigger mode
ptMAIVoltageIn.NumChan := ptMAIConfig.NumChan;
ptMAIVoltageIn.StartChan := ptMAIConfig.StartChan;
ptMAIVoltageIn.GainArray := @usGainCode[ptMAIConfig.StartChan];
ErrCde:=DRV_MAIConfig(DeviceHandle, ptMAIConfig);
if(ErrCde <> SUCCESS) then
begin
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde,@szErrMsg);
    Application.MessageBox(szErrMsg,'AI Driver Message', MB_OK);
    // Exit;
end;

//----- Analog Çıkış Konfigürasyonu -----

AOdwDeviceNum:= 0;

ErrCde:=DRV_DeviceOpen(AOdwDeviceNum, AODeviceHandle);
if(ErrCde <> SUCCESS) then
begin
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde,@szErrMsg);
    Application.MessageBox(szErrMsg,'ANALOG ÇIKIŞ KART AÇMA', MB_OK);
end;

ptDevGetFeatures.buffer := @DevFeatures;
ptDevGetFeatures.size := sizeof(DEVFEATURES);

```

```
DRV_DeviceGetFeatures(AODeviceHandle ,ptDevGetFeatures);
```

```
for k:=0 to DevFeatures.usMaxAOChl-1 do
```

```
begin
```

```
ptAOconfig.chan:=k;
```

```
ptAOConfig.MinValue := -10;
```

```
ptAOConfig.MaxValue := 10;
```

```
DRV_AOConfig(AODeviceHandle,ptAOConfig);
```

```
end;
```

```
ErrCde:=DRV_EnableSyncAO(AODeviceHandle, AOdwDeviceNum); //Eş zamanlı  
voltaj çıkışını açma
```

```
if(ErrCde <> SUCCESS) then
```

```
begin
```

```
DRV_GetErrorMessage(ErrCde,@szErrMsg);
```

```
Application.MessageBox(szErrMsg,'AO Driver Message', MB_OK);
```

```
Exit;
```

```
end;
```

```
//-----Counter Frekans Okuma Konfigürasyonu-----
```

```
CounterDeviceNo:=1;
```

```
DRV_DeviceOpen(CounterDeviceNo, CounterHandle);
```

```
//----- Counter quadrat sayıcı Konfigürasyonu -----
```

```
qcounterport:=1;
```

```
ptQCounterConfig.counter:=qcounterport;
```

```
ptQCounterConfig.LatchSrc:=0;
```

```

ptQCounterConfig.LatchOverflow:=0;

ptQCounterConfig.ResetOnLatch:=0;

ptQCounterConfig.ResetValue:=0;

DRV_Qcounterconfig(CounterHandle,ptQCounterConfig);


ptQCounterStart.counter:=qcounterport;

ptQCounterStart.InputMode:=3; //) Quadrature ABPHASEX4

```

```

ErrCde := DRV_QCounterStart(CounterHandle,ptQCounterStart);
if(ErrCde <> SUCCESS) then
begin
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde,@szErrMsg);
    Application.MessageBox(szErrMsg,'Counter Driver Message', MB_OK);
    Exit;
end;

```

```

ptQCounterStart.counter:=0;

ptQCounterStart.InputMode:=3; //) Quadrature ABPHASEX4

```

```

ErrCde := DRV_QCounterStart(CounterHandle,ptQCounterStart);
if(ErrCde <> SUCCESS) then
begin
    DRV_GetErrorMessage(ErrCde,@szErrMsg);
    Application.MessageBox(szErrMsg,'Driver Message', MB_OK);
    Exit;
end;

```

```

end;

makarabslg:= 146;

ptMAIVoltageIn.VoltageArray := @fVoltage[ptMAIConfig.StartChan];

ErrCde:=DRV_MAIVoltageIn(DeviceHandle, ptMAIVoltageIn);

if(ErrCde <> SUCCESS) then

begin

    DRV_GetErrorMessage(ErrCde,@szErrMsg);

    Application.MessageBox(szErrMsg,'Driver Message', MB_OK);

end;

rkile:=300-22*fVoltage[0]; // Sarım Başlama Noktası

yon:=0;

dtb:='Bobin_Sarma.DB';

dizin:= GetCurrentDir;

table1.Active:=False;

table1.DatabaseName:= dizin+'\DATABASE\';

table1.TableName:=dtb;

table1.Active:=True;

outFilename4:=table1.OutFilename4.AsString;

outFilename4old:=outFilename4;

outFilename1:=table1.OutFilename1.AsString;

outFilename1old:=outFilename1;

//---

end;

```

```

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    if radiobutton1.checked then
        shellexecute(handle,'open', pansichar(GetCurrentDir+'EsPlot\EsPlot.exe'),
            pansichar(outfilename1),nil,sw_shownormal);

    if radiobutton2.checked then
        shellexecute(handle,'open', pansichar(GetCurrentDir+'np\np.exe'),
            pansichar(outfilename1),nil,sw_shownormal);
end;

procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
    DRV_CounterReset(CounterHandle,frqchannel);
    DRV_CounterReset(CounterHandle,qcounterport);

    DRV_DeviceClose(CounterHandle);
    DRV_DeviceClose (AODeviceHandle); //Analog Çıkış Kartını Kapatma
    DRV_DeviceClose (AODeviceHandle_1);
    DRV_DeviceClose (DeviceHandle); //Analog Giriş Kartını Kapatma

end;

procedure TForm1.DBEdit17Exit(Sender: TObject);
begin

```

With Table1 do

Begin

Edit;

FieldByName('outfilename1').AsString := DBEdit17.Text;

Post;

outFilename1:=table1OutFilename1.AsString;//+'\' +LabeledEdit3.Text+'.txt';

end;

end;

procedure TForm1.Label3DbClick(Sender: TObject);

var

chosenDirectory : string;

begin

chosenDirectory := table1outfilename4.AsString;

SelectDirectory(chosenDirectory, [sdAllowCreate, sdPerformCreate, sdPrompt], 0);

With Table1 do

Begin

Edit;//Set the table in the edit mode

FieldByName('outfilename4').AsString := chosenDirectory+'\'Deneme.txt';

Post;

outFilename4:=table1OutFilename4.AsString;

DBEdit6.Text:=outFilename4;

end;

end;

```

procedure TForm1.Label13DbClick(Sender: TObject);

var

    chosenDirectory : string;

begin
    chosenDirectory := table1outfilename1.AsString;
    SelectDirectory(chosenDirectory, [sdAllowCreate, sdPerformCreate, sdPrompt], 0);
    With Table1 do
        Begin
            Edit;//Set the table in the edit mode
            FieldByName('outfilename1').AsString := chosenDirectory+'\Den.txt';
        Post;
            outFilename1:=table1OutFilename1.AsString;//+'\' +LabeledEdit3.Text+'.txt';
            DBEdit17.Text:=outFilename1;
        end;
    end;
end;
END.

```


Ek-2: Benzetim Yazılımı Delphi Programı Kaynak Kodu

```
unit Makara_benzetim_2pas;

interface

uses

    Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
    Dialogs, StdCtrls, Mask, DBCtrls, DB, DBTables, ExtCtrls, MATH, ShellAPI,
    ADODB;

type

    TForm1 = class(TForm)
    ...
    procedure Button5Click(Sender: TObject);

    private
        { Private declarations }

    public
        { Public declarations }

//=====

    out1, out2                : text;

    outFilename1, outFilename2 : string;

    ss, ipid, ismc, ipwm, aa, yaz : integer;

    Kp, Ki, Td,
    Lam, del, umax,
    xr, Ar, xsr, xsg, fre      : real;

    Fmax, Fmin, Bson, tau1, y1, ugergi, fun1 : real;
```

```

ehg,eig,edg,ug,upidg,sg,Lamg,delg,eeg,
usmcg,ipidg,ismcg, Kpg, Kig, Tdg,tau2,y2,fun2    : real;

//=====

t,te,ti,tf,h,r,y,e,ee,ed,eh,ei,ni,
x1,x2,x3,x4,x5,x6, x1r,x3r,
f1,f2,f3,f4,f5,f6,
C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,R12,R56,
m1,m2,l11,l21,l1,l1z1,I2x2,I2y2,I2z2,I2x2y2,I2y2x2,
Kt,Ms,Md,Rm,Lm,Ke,Jm,Bm,Be,Je,Bte,Balf,
Tfte,Tfalf,g,Tauelec,Taumech,isurt,
Ky,Kh,PP,II,DD,
u,upid,usmc,upwm,usmcw,usmcb,ubang,ueng,eat,
s,fm,tp,gm,um,tn,lum,uu,Tbt,rgergi,rtako,egergi,gergi,etako,
tako,mcap,tcap,ro,genis,kat,rb,rt,x1,tetha ,mri,mrd,kat1,
w2,teta2,w4,teta4, mgenis, ro_bakir, Mm, r2t, r4t,Jrotor,Jmdisli,
JEndisli, JMildisli, JMil, Jsarilan, Jsagilan, tetha2,tetha4, xlm,r2,r1,
Jsarilan_eski, Jsagilan_eski,katm,Kte,Fbt

: real;

end;

var

Form1: TForm1;

implementation

```

```
{ $R *.dfm }
```

```
//*****
```

```
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
```

```
label 2,3;
```

```
var i : longint;
```

```
begin
```

```
//=====
```

```
Button2.Enabled:= False;
```

```
outFilename1:= ADOTable1OutFile1.AsString;
```

```
assignfile(out1, outFilename1); rewrite(out1);
```

```
outFilename2:= ADOTable1OutFile2.AsString;
```

```
assignfile(out2, outFilename2); rewrite(out2);
```

```
tf:= ADOTable1Tf.AsFloat;
```

```
h:= ADOTable1h.AsFloat;
```

```
ss:= ADOTable1Ss.AsInteger;
```

Kp:= ADOTable1Kp.AsFloat;

Ki:= ADOTable1Ki.AsFloat;

Td:= ADOTable1Td.AsFloat;

Lam:= ADOTable1Lam.AsFloat;

del:= ADOTable1Del.AsFloat;

Kpg:= ADOTable1Kpg.AsFloat;

Kig:= ADOTable1Kig.AsFloat;

Tdg:= ADOTable1Tdg.AsFloat;

Lamg:= ADOTable1Lamg.AsFloat;

delg:= ADOTable1Delg.AsFloat;

rgergi:= ADOTable1Xr.AsFloat;

rtako:= ADOTable1Ar.AsFloat;

//xsr:= ADOTable1Xsr.AsFloat; // Geçici kasyayılar

xsg:= ADOTable1Xsg.AsFloat; // Geçici kasyayılar

fre:= ADOTable1Fre.AsFloat; // Geçici kasyayılar

//=====

Fmax:=10;

Fmin:=3;

umax:= 10;

//=====

Rm:= 3.599; //Ohm

Lm:= 0.0823*power(10,-3); //Henry

Ke:= 0.0302; // Motor voltaj katsa

Kt:= Ke; // Motor tork katsatısı

Be:= fre; //0.00014717; //5.09456*power(10,-4); 0.014717

Ky:= 2.2; Kh:= 1;

Tbt:=0; // Max sürtünme

//-----00000000-----

mcap := 24.5 *power(10,-3); //m

tcap := 0.55*power(10,-3); //m

ro := 1.7534*power(10,-3); //kg/m

genis := 59*power(10,-3); //m

kat := 1; // telin kaç kat olduğu

rb := mcap/2; //temel / başlangıç çapı

rt := tcap/2 ; // tel yarıçapı

xl := rt ; //sarım genişliği

mri:=100/2*power(10,-3); //makara iç yarıçap

mrd:=110/2*power(10,-3); //makara dış yarıçap ?

mgenis:=129*power(10,-3); //makara genişlik

ro_bakir:=8900; //kg/m^3

kat1:= round((mrd-mri)/tcap); //makara kat

Mm:= 3.14*(power(mrd,2)-power(mri,2))*mgenis*ro_bakir; //Makara ağırlık

```
Jm:= 0.5*Mm*(power(mrd,2)+power(mri,2));           // Makara atalet ilk
```

```
r2t:= rb;
```

```
r4t:= mrd;
```

```
katm:=1; // Ana makara sayacı için kat
```

```
Je      := 0;
```

```
Jrotor  := 1.42E-5;
```

```
Jmdisli := 1.98E-6;
```

```
JEndisli := 3.101E-6;
```

```
JMildisli := 1.413E-5;
```

```
JMil     := 2.573E-5;
```

```
Jsarilan := 0;
```

```
Jsagilan := 0;
```

```
Jsarilan_eski := 0;
```

```
Jsagilan_eski := Jm;
```

```
r1:=36;
```

```
r2:=60;
```

```
//-----00000000-----
```

```
x1:=0; x2:=0; x3:= 6;
```

```
ei:= 0; //ee:= 0; ed:=0;
```

```
te:= 0;
```

```
eig:=0; eeg:=0; edg:=0;
```

egergi:=0; gergi:=0; tako:=0;

tetha4:=0; tetha2:=0;

Ium:= 0;

//-----00000000-----

case RadioGroup3.ItemIndex of

0: Begin ipid:= 1; ismc:= 0; end;

1: Begin ipid:= 0; ismc:= 1; end;

end;

case RadioGroup4.ItemIndex of

0: Begin ipidg:= 1; ismcg:= 0; end;

1: Begin ipidg:= 0; ismcg:= 1; end;

end;

yaz:=0;

aa:=0;

//*****

//***** DÖNGÜ BAŞLANGIÇ *****

FOR i:= round(0/h) TO round(tf/h) DO

BEGIN

```

t:=h*i;

tetha:=x1;

tako:=(r1/r2)*x2*9.5493;    // rad/s to rpm

gergi:=Kt*x3/r2t*60/36;    // F=M/r * Dişli oranı

```

```

tau2:= 0.11;                // Gergi Ölçer Filitresi

fun2:=- (1/tau2)*y2+(1/tau2)*gergi;

y2:=y2+fun2*h;

gergi:=y2;

yaz:=yaz+1;

if yaz=1 then x2:=ADOTable1Xsg.AsFloat;

```

```

// ----- GERGİ KONTROL -----

```

```

egergi:=rgergi-gergi;

ehg:= Kh*egergi;    { volt }

eig:= eig+h*ehg;

if i>1 then edg:=(ehg-eeg)/h ;//else edg:=0;

if i>0 then eeg:= ehg;

ug:= Kpg*(ehg + Kig*eig + Tdg*edg );

upidg:= ug;        { volt }

```



```
s:= ed + Lam*eh;  
if s<=-del then u:= -umax;  
if (s>-del) and (s<del) then u:= umax*tanh(s/del);  
if s>=del then u:= umax;
```

```
xlm := (tetha4*tcap/(2*pi));
```

```
if xlm>=katm*mgenis then begin kat1:=kat1-1; katm:=katm+1; r4t:= r4t-tcap;
Jsagilan_eski:=Jsagilan end;
```

```
if x1>=kat*genis then begin kat:=kat+1; r2t:= r2t+tcap; Jsarilan_eski:=Jsarilan end;
```

```
Jsarilan:= Jsarilan_eski + ro*(x1-(kat-1)*genis)*pi*(power((rb+kat*tcap),2)-
power((rb+(kat-1)*tcap),2))*power((rb+kat*rt),2);
```

```
Jsagilan:= Jsagilan_eski - ro*(xlm-(katm-1)*mgenis)*pi*(power((mrd-(kat1-
1)*tcap),2)-power((mrd-kat1*tcap),2))*power((mrd-kat1*rt),2);
```

```
Je := Jrotor + Jmdisli + JEndisli + power((36/60),2)* (JMildisli+JMil)
+ power((36/60),2)* Jsarilan + power(((36/60)*(r2t/r4t)),2)* Jsagilan ;
```

```
Tbt:=Fbt*r2t;
```

```
f3:= x2;
```

```
f4:= (-Fmin*r2t)/Je + (1/Je)*Kt*x3 - Tbt/Je;
```

```
f5:= (-Ke/Lm)*x2 + (-Rm/Lm)*x3 + (1/Lm)*eat;
```

```
x1:= x1 + h*f3;
```

```
x2:= x2 + h*f4;
```

```
x3:= x3 + h*f5;
```

```
w2:=(r1/r2)*x2; //x2=w1 motor açısal hızı
```

```
//w2 sarılan makara açısal hızı rad/s
```

```
tetha2:= tetha2 + h*w2;
```

```
w4:=(r2t/r4t)*w2;
```

```
tetha4:= tetha4 + h*w4;
```

```
ni:= tf/h/ss;
```

```
if (round(tf/h)>ss) and (round(t/h)<>round(ni*round(t/h/ni))) then goto 2;
```

```
if yaz=1 then
```

```
begin
```

```
case RadioGroup4.ItemIndex of
```

```
0: Begin
```

```
write(out1, '$ '
```

```
+'GK('
```

```
+'Kp:'+ ADOTable1Kpg.asstring
```

```
+'-Ki:'+ ADOTable1Kig.asstring
```

```
+'-Td:'+ ADOTable1Tdг.asstring
```

```
+')' );
```

```
end;
```

```
1: Begin
```

```
write(out1, '$ '
```

```
+'GK('
```

```

+'L:'+ ADOTable1Lamg.asstring
+'-D:'+ ADOTable1Delg.asstring
+')' );
end;
end;

```

case RadioGroup3.ItemIndex of

```

0: Begin
writeln(out1,
' HK('
+'Kp:'+ ADOTable1Kp.asstring
+'-Ki:'+ ADOTable1Ki.asstring
+'-Td:'+ ADOTable1Td.asstring
+')' );
end;

```

```

1: Begin
writeln(out1,
' HK('
+'L:'+ ADOTable1Lam.asstring
+'-D:'+ ADOTable1Del.asstring
+')' );
end;
end;

```

```

writeln(out1, '! '+'Gergi Referans (N)');

writeln(out1, '! '+'Gergi (N) ');

writeln(out1, '! '+'Dev. Ref./100 (rpm)');

writeln(out1, '! '+'Devir/100 (rpm)');

//writeln(out1, '! '+'Akim');

writeln(out1, '! '+'U Motor Kont. Sin (V)');

writeln(out1, '! '+'U Gergi Kont. Sin (V)');

end;

writeln(out1, t:15:6, rgergi:18:9, gergi:18:9, rtako/100:16:3,
      tako/100:18:9
      , u:18:9, ugergi:18:9
      );

```

```

writeln(out2, t:15:6, x1:16:8, x2:16:8, x3:16:8, r2t:35:18 );

```

```

2:

```

```

    Application.ProcessMessages;

```

```

    if GetKeyState(VK_Escape) and 128 =128 then goto 3;

```

```

    if aa=1 then goto 3;

```

```

END;

```

```

3:

```

```

//=====

closefile(out1);

closefile(out2);


ADOTable1.Edit;

ADOTable1.Post;

Button2.Enabled:= True;


Beep;

//=====

end;

//*****

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    while HiWord(GetAsyncKeyState(VK_LBUTTON))<>0 do
    aa:=1;

    close;

end;


//*****


procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
    if radiobutton1.checked then
        shellexecute(handle,'open', pansichar(GetCurrentDir+'EsPlot\EsPlot.exe'),

```

```

        pansichar(outfilename1),nil,sw_shownormal);

    if radiobutton2.checked then

        shellexecute(handle,'open', pansichar(GetCurrentDir+"\np\np.exe'),

            pansichar(outfilename1),nil,sw_shownormal);

    end;

//*****

procedure TForm1.DBEdit2Change(Sender: TObject);

begin

    outFilename1:= Dbedit2.Text;

    ADOTable1.Edit;

end;

//*****

procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);

begin

    if radiobutton6.checked then

        shellexecute(handle,'open', pansichar(GetCurrentDir+"\EsPlot\EsPlot.exe'),

            pansichar(outfilename2),nil,sw_shownormal);

    if radiobutton7.checked then

        shellexecute(handle,'open', pansichar(GetCurrentDir+"\np\np.exe'),

            pansichar(outfilename2),nil,sw_shownormal);

end;

//*****

```



```

procedure TForm1.DBEdit15Change(Sender: TObject);
begin
    outFilename2:= Dbedit15.Text;
    ADOTable1.Edit;
end;

//*****

procedure TForm1.Button3MouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
    Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
    button2.enabled:= True;
    while HiWord(GetAsyncKeyState(VK_LBUTTON))<>0 do
        aa:=1;
    end;

procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
begin
    closefile(out1);
    closefile(out2);
    ADOTable1.Edit;
    ADOTable1.Post;

    Button2.Enabled:=True;
end;

end.

```

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Ankara’da doğan Osman ÖZENÇ, ilköğrenimi Yahya Kemal İlkokulunda, orta öğrenimini Yavuz Sultan Selim Ortaokulunda, lise öğrenimini ise Anıttepe Lisesinde tamamlamıştır. 2004 yılında kazandığı Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 2008 yılında bölüm birinciliği ve fakülte ikinciliği dereceleri ile bitirmiştir.

2009 yılında yüksek lisans eğitimine Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında başlamış ve daha sonra Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında devam etmiştir. Bu süre içerisinde Avrupa Birliği Leonardo da Vinci Hayat Boyu Öğrenme Programı kapsamında 2009 yılında Almanya’da kısa süreli bulunmuş ve kısa dönem olarak vatani görevini de tamamlamıştır.

Bir yıl kadar özel sektörde makina mühendisi, 2010 yılı Eylül ayından bu yana Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışan Osman Özenç, evli ve 2 çocuk babasıdır.

İletişim Bilgileri

Adres:

Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Atatürk Yolu 8. km 66100 Merkez / YOZGAT

Telefon:

E-posta: