

T.C.  
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MANYETİK ASKI SİSTEMİNDE KULLANILAN  
KONTROL ALGORİTMALARININ  
DENEYSEL VE TEORİK ARAŞTIRILMASI

Taşkın TEZ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Müh. Hilmi KUŞÇU  
2011  
EDİRNE

T.C.  
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MANYETİK ASKI SİSTEMİNDE KULLANILAN KONTROL  
ALGORİTMALARININ DENEYSEL VE TEORİK ARAŞTIRILMASI**

Taşkın TEZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 02.06.2011 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.



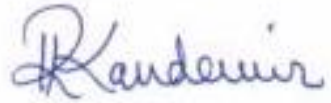
Yrd.Doç.Dr.  
Hilmi KUŞÇU

(Danışman)



Prof.Dr.-Ing.  
Ahmet CAN

(Jüri Üyesi)



Yrd.Doç.Dr.  
Rembiye KANDEMİR

(Jüri Üyesi)

## ÖZET

Bu çalışmada, teorik olarak matematiksel modeli çıkarılan sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun manyetik askı sistemi için Matlab ortamında simülasyonu yapılarak kontrol elemanları ve kontrol algoritmalarında kullanılacak olan parametreleri bulunmuştur. Bulunan bu parametrelerin mikrodenetleyicili askı sisteminde deneysel olarak incelenmesi sağlanmıştır.

Hava da serbest halde bırakılan sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun, yerçekimi etkisi nedeniyle yere düşmesine karşı dengede tutulmasını sağlayacak olan elektromıknatısın üreteceği elektromanyetik kuvvetin kontrolü oldukça zordur. Çünkü manyetik askı sisteminin transfer fonksiyonu doğrusal olmayan bir denklemdir. Doğadaki bozucu etkiler sistemi kararsız kılar. Bu bozucu etkileri gidermek için sistemi dengelemek gerekir. Bu nedenle, sistemdeki kararsızlığı ortadan kaldırmak için PD, PI ve PID kontrol elemanları tasarlanmıştır. Ancak PI kontrol elemanı ile çözüme ulaşılamamıştır. Buna rağmen, PD ve PID kontrol elemanları ile iyi sonuçlar alınmıştır. Ayrıca PID, PD kontrol elemanından daha da iyi olduğu gözlenmiştir.

Üniversiteler de öğrencilere deneysel gözlem becerisi kazandırabilecek olan bu çalışmada; matematik ve fizik teorisi, bilgisayar teknolojisi, elektronik teknolojisi ve makine teknolojisi birlikte kullanılarak “Manyetik askı sisteminde kullanılan kontrol algoritmalarının deneysel ve teorik araştırılması” amaçlanmış ve istenilen amaca ulaşılmıştır.

2011, 140 sayfa.

**Anahtar Kelimeler:** Manyetik askı sistemi, PD, PI, PID kontrol elemanı

## SUMMARY

In this study , permanent magnetic aluminium-box, of which mathematical model has been theoretically developed has been simulated in Matlab environment for magnetic levitation system and its compensators and the parameters to be used by control algorithms has been found. It has been provided, that those parameters has been examined experimentally in the system of microcontrolled levitation system.

It is quite hard to control the electromagnetic force produced by electromagnet, which ensure permanent magnetic aluminium-box that is set free in the air to be stabilized in spite of falling down due to geomagnetism. Because transfer function of magnetic levitation system is a nonlinear equation. Destructive effects in the nature make the system unstable. In order to eliminate those destructive effects, the system needs to be compensated. By this reason, PD, PI and PID compensators have been designed in order to remove the instability within the system. However, good results have been achieved with PD and PID compensators. Also, it has been observed that PID is beter than PD.

In this study, which can bring students in the universities in experimental observation ability ; “experimental and theoretical research of control algorithms used in magnetic levitation systems” has been intended by using maths, physical theory, computer technology, electrical technology and machinery technology and the intended aim has been achieved.

2011, 140 page.

**Key Words :** magnetic levitation system , PD, PI, PID compensator

## ÖNSÖZ

Bu önemli konu üzerine tez hazırlamamı sağlayan, tezin hazırlanmasında başından sonuna kadar engin teknik bilgi ve tecrübesini ve manevi desteğini benden esirgemeyen, bana yol gösteren, yoğun çalışma temposu içinde bana zaman ayıran saygıdeğer hocam ve danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Müh. Hilmi KUŞÇU'ya tüm katkılarından ve hiç eksiltmediği desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca Yüksek lisans öğrenimi boyunca ilgi ve desteğini hiç eksiltmeyen Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dekanı, saygıdeğer hocam Sayın Prof.Dr.-Ing. Ahmet CAN'a teşekkür ederim.

Bunun yanında yoğun zamanlarımda anlayışlı davranan tüm iş arkadaşlarıma ve sevgili eşim ile kızıma teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
SUMMARY .....	iv
ÖNSÖZ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
SİMGE LİSTESİ.....	xii
KISALTMA LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK BİLGİSİ .....	3
2.1. Manyetik Askı Sisteminin Tanımı .....	3
2.2. Doğal Manyetik Askı Sistemleri.....	4
2.3. Manyetik Askı Sistemlerinin Kullanılma Alanları .....	5
2.3.1. Manyetik yataklar.....	5
2.3.1.1. Pasif manyetik yataklar .....	6
2.3.1.2. Aktif manyetik yataklar.....	6
2.3.2. Yarı iletken levha taşımacılığı .....	8
2.3.3. Fotolitografi .....	9
2.3.4. Teleoperasyon .....	10
2.3.5. Rüzgar tüneli .....	10
2.3.6. Rüzgar türbini.....	11
2.3.7. Maglev trenleri .....	12
2.3.7.1. Elektromanyetik süspansiyon sistemi (EMS) .....	13
2.3.7.2. Elektrodinamik süspansiyon sistemi (EDS).....	13
2.4. Literatür Çalışması .....	14
3. MATERYAL VE METOD .....	31
3.1. Manyetik Askı Sisteminin Matematik Modellemesi.....	31
3.2. PD, PI ve PID Kontrol Elemanları.....	37
3.2.1. PD (Orantı-Türev Etki) kontrol elemanı ile tasarım .....	41
3.2.2. PI (Orantı-İntegral Etki) kontrol elemanı ile tasarım.....	43
3.2.3. PID (Orantı-İntegral-Türev Etki) kontrol elemanı ile tasarım .....	46
3.3 Kök-Yer Eğrileri(Root Locus) Metodu.....	49
3.3.1. Kök-yer eğrilerinin çizimi.....	49
3.3.2. Kök-yer eğrisi çizim kuralları .....	51
3.4. Darbe Genişlik Modülasyonu(Pulse-Width Modulation, PWM).....	53
3.5. Teze Konu Olan Projede Kullanılan Malzemelerin ve Programların Tanıtımı .....	56
3.5.1. Control System GUI Program for Controller Design programı.....	57
3.5.2. Konumu algılayan hall sensör .....	58
3.5.3. Kontrol Kartı .....	60
3.5.3.1. Kontrol Kartının Çizimi .....	60
3.5.3.2. Kontrol kartında kullanılan Microchip firmasının PIC18F4550 mikrodenetleyicisinin özellikleri ve yapısı .....	64
3.5.3.2.1. USB özellikleri.....	64
3.5.3.2.2. Güç Tasarruf Modları .....	65

3.5.3.2.3. Esnek Osilatör Yapısı.....	65
3.5.3.2.4. Çevrebirim Özellikleri .....	66
3.5.3.2.5. Özel mikrodnetleyici özellikleri.....	67
3.5.3.2.6. Hafıza özellikleri.....	67
3.5.3.2.7. PIC18F4550 giriş/çıkış portlarının fonksiyonları .....	68
3.5.3.2.7.a PORTA .....	69
3.5.3.2.7.b PORTB .....	70
3.5.3.2.7.c PORTC .....	70
3.5.3.2.7.d PORTD.....	71
3.5.3.2.7.e PORTE .....	72
3.5.3.3. MOSFET transistör .....	72
3.5.4. Kontrol yazılımı ve derleyicisi.....	75
3.5.5. Elektromıknatis .....	76
3.5.6. Sürekli mıknatıslı alüminyum kutu .....	78
3.5.7. 12-24 V DC güç kaynağı .....	79
3.5.8. Pleksiglasstan yapılmış kasa .....	80
4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	82
4.1. Hall Sensör Kazancının Bulunması .....	82
4.2. Transfer Fonksiyonunun bulunması.....	86
4.3. PD Kontrol Elemanının (kontrolörünün) Bulunması.....	91
4.4. PI Kontrol Elemanının (kontrolörünün) Bulunması .....	97
4.5. PID Kontrol Elemanının (kontrolörünün) Bulunması .....	102
4.6. Mikrodnetleyici Programının Hazırlanması .....	107
4.7. PD Parametrelerinin Denenmesi .....	116
4.8. PI Parametrelerinin Denenmesi.....	117
4.9. PID Parametrelerinin Denenmesi.....	118
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	123
6. KAYNAKLAR .....	124
7. EKLER.....	129
8. ÖZGEÇMİŞ .....	140

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1. Bizmut ile yapılmış diamanyetik askı sistemi .....	4
Şekil 2.2. Süperiletken üzerindeki manyetik askı sistemi .....	4
Şekil 2.3. Canlı bir kurbağanın diamanyetik askı sistemi.....	5
Şekil 2.4. Pasif manyetik yatak uygulaması, YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub> (50.000-120.000 rpm) .....	6
Şekil 2.5. Bir rotorun aktif elektromanyetik yatak uygulamasının prensip şekli.....	7
Şekil 2.6. Basit bir aktif elektromanyetik yatak uygulamasının prensip şekli.....	7
Şekil 2.7. Uçak rotoru süspansiyon şekli .....	8
Şekil 2.8. Yarı iletken levha taşıma sistemi .....	8
Şekil 2.9. Fotolitografi çalışma prensibi .....	9
Şekil 2.10. Manyetik Levitasyonlu Yüksek Çözünürlüklü Fotolitografi.....	9
Şekil 2.11. Telemanipulator için yapılmış sihirli bilek .....	10
Şekil 2.12. Nasa'nın manyetik askı ve denge sistemi için rüzgar tüneli.....	11
Şekil 2.13. 1 kW manyetik askılı rüzgar türbini .....	12
Şekil 2.14. İşletmede olan bir maglev treni .....	13
Şekil 2.15. EDS Maglev treni çalışma prensibi .....	14
Şekil 2.16. Price'ın çalışmaları .....	14
Şekil 2.17. Vollono'nun çalışmaları .....	15
Şekil 2.18. Williams'ın çalışmaları.....	15
Şekil 2.19. Barie ve Chiasson'ın çalışmaları .....	16
Şekil 2.20. Hurley ve Wölfle'nün çalışmaları.....	16
Şekil 2.21. Kim'in çalışması .....	17
Şekil 2.22. Gürdal ve Öner'in çalışması .....	17
Şekil 2.23. Shiao'nun çalışması .....	18
Şekil 2.24. Blumber'in çalışması .....	18
Şekil 2.25. Xie'nin çalışması .....	19
Şekil 2.26. Lilienkamp ve Lundberg'in çalışması .....	19
Şekil 2.27. Hurley, Senior Member, IEEE, Hynes ve Wölfle'in çalışması .....	20
Şekil 2.28. Abbadi'nin çalışması .....	20
Şekil 2.29. Li'nin çalışması.....	21
Şekil 2.30. Sinha ve Nagurka'nın çalışması.....	21
Şekil 2.31. Gürleyen ve Bahadır'ın çalışması .....	22
Şekil 2.32. Challa'nın çalışması.....	23
Şekil 2.33. Dolga ve Dolga'nın çalışması .....	23
Şekil 2.34. Erkan ve Koseki'nin çalışması.....	24
Şekil 2.35. Akıncı'nın çalışması .....	24
Şekil 2.36. Öztürk, Kizir, Bingül ve Oysu'nun çalışması.....	25
Şekil 2.37. Akat ve Efe'nin çalışması .....	25
Şekil 2.38. Yang, Tsubakihara, Kanae, Wada ve Su'nun çalışması .....	26
Şekil 2.39. Duka, Abrudean ve Dulau'nun çalışması .....	26
Şekil 2.40. Guo, Li, Lu, Wang, ve Ye'nin çalışması .....	27
Şekil 2.41. BAGHLI'nın çalışması .....	27
Şekil 2.42. BAGHLI'nın bilgisayar çalışması .....	28
Şekil 2.43. BAGHLI'nın cep telefonu ve el bilgisayarı çalışması.....	28



Şekil 2.44. Jürß ve Rudolph'un çalışması .....	29
Şekil 2.45. Erkal'ın çalışması .....	30
Şekil 3.1. Manyetik top askı sistemi .....	31
Şekil 3.2. Kontrol sistem dinamiği.....	38
Şekil 3.3. Seri-geri beslemeli kompanzasyon .....	39
Şekil 3.4. Blok şema halinde oransal+türevsel kontrol.....	42
Şekil 3.5. Oransal + Türevsel kontrol blok şema ve reaksiyon eğrisi.....	42
Şekil 3.6. PD Kontrol sistemi blok diyagramı .....	43
Şekil 3.7. Blok şema halinde oransal+integral kontrol .....	44
Şekil 3.8. Oransal+integral kontrol blok şema ve reaksiyon eğrisi .....	45
Şekil 3.9. PI kontrolör blok diyagramı.....	45
Şekil 3.10. Oransal +Integral + Türevsel kontrol reaksiyon eğrisi .....	47
Şekil 3.11. Kapalı-döngü sistemi .....	50
Şekil 3.12. Karmaşık kutuplardan ayrılma açısı .....	53
Şekil 3.13. PWM algoritması .....	54
Şekil 3.14. PWM tekniğinde değişik iş süreleri .....	55
Şekil 3.15. Control System GUI Program for Controller Design programı.....	58
Şekil 3.16. Hall sensörün blok diyagramı .....	59
Şekil 3.17. Hall sensörü .....	59
Şekil 3.18. Proteus ISIS'ta çizilen kontrol kartı devresi .....	61
Şekil 3.19. Proteus ARES'te çizilen kontrol kartı baskı devresi .....	62
Şekil 3.20. Proteus ARES'te çizilen kontrol kartı baskı devresi 3D görüntüsü.....	63
Şekil 3.21. Baskı devresi yapılmış kontrol kartı devresi.....	63
Şekil 3.22. PIC18F4550 ayak yapısı .....	68
Şekil 3.23. Mosfet Sembolleri.....	74
Şekil 3.24. IRF3205 HEXFET® Power MOSFET .....	74
Şekil 3.25. Elektromıknatıs .....	77
Şekil 3.26. Sürekli mıknatıslı alüminyum kutu.....	78
Şekil 3.27. Alüminyum kutunun içine konulan sürekli mıknatıs.....	79
Şekil 3.28. Güç kaynağı .....	80
Şekil 3.29. Manyetik askı sisteminin kasası.....	81
Şekil 4.1. Hall sensöründen okunan gerilimlerin grafiği .....	85
Şekil 4.2. Manyetik askı sisteminin dengelenmemiş basamak eğrisi .....	89
Şekil 4.3. Manyetik askı sisteminin dengelenmemiş impuls eğrisi .....	90
Şekil 4.4. Dengelenmemiş manyetik askı sisteminin kök yer eğrileri .....	91
Şekil 4.5. Manyetik askı sistemi için dengeleyici tasarımı .....	92
Şekil 4.6. Manyetik askı sistemi için PD kontrol elemanı tasarımı .....	93
Şekil 4.7. PD kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için basamak cevabı.....	95
Şekil 4.8. PD kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için tepki cevabı .....	95
Şekil 4.9. PD kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı(Phase) .....	96
Şekil 4.10. PD kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı .....	96
Şekil 4.11. PD kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için nyquist diyagramı .....	97
Şekil 4.12. Manyetik askı sistemi için PI kontrol elemanı tasarımı.....	98
Şekil 4.13. PI kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için basamak cevabı.....	100
Şekil 4.14. PI kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için tepki cevabı.....	100
Şekil 4.15. PI kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı(Phase) .....	101
Şekil 4.16. PI kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı .....	101
Şekil 4.17. PI kontrol elemanlı Manyetik askı sistemi için nyquist diyagramı .....	102

Şekil 4.18. Manyetik askı sistemi için PID kontrol elemanı tasarımı.....	103
Şekil 4.19. PID kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için basamak cevabı.....	105
Şekil 4.20. PID kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için impuls cevabı.....	105
Şekil 4.21. PID kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı(Phase) ..	106
Şekil 4.22. PID kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı .....	106
Şekil 4.23. PID kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için nyquist diyagramı .....	107
Şekil 4.24. Main programı akış şeması .....	108
Şekil 4.25. AD(Analog-sayısal çevrimi) kesme fonksiyonu akış şeması .....	109
Şekil 4.26. Menu fonksiyonu akış şeması .....	110
Şekil 4.27. Setpointayar fonksiyonu akış şeması .....	111
Şekil 4.28. Kpayar fonksiyonu akış şeması .....	112
Şekil 4.29. Kiayar fonksiyonu akış şeması .....	113
Şekil 4.30. Kdayar fonksiyonu akış şeması .....	114
Şekil 4.31. CIKayar fonksiyonu akış şeması .....	115
Şekil 4.32. CCS C’de yazılan PID algoritması kodları .....	115
Şekil 4.33. PD parametrelerinin uygulanması.....	116
Şekil 4.34. PD parametrelerinin uygulandığı manyetik askı sisteminin çalışması .....	117
Şekil 4.35. PID parametrelerinin uygulanması .....	118
Şekil 4.36. PID parametrelerinin uygulandığı manyetik askı sistemi çalışması .....	119
Şekil 4.37. Menüler arasında gezinme .....	120
Şekil 4.38. Setpoint ayarı .....	120
Şekil 4.39. Kp ayarı.....	121
Şekil 4.40. Ki ayarı.....	121
Şekil 4.41. Kd ayarı.....	122

**ÇİZELGE LİSTESİ**

Çizelge 3.1. Hall sensörü karakteristiği .....	59
Çizelge 4.1. Analizi yapılmış olan sistemin değerleri.....	82
Çizelge 4.2. Hall sensörü çıkış gerilimleri .....	83
Çizelge 4.3. İlk altı değeri ihmal edilen hall sensörü çıkış gerilimler.....	84
Çizelge 4.4. Hall sensörü grafiğinin türev değerleri ve ortalama eğimi .....	86

**SİMGE LİSTESİ**

$m$	Kütle
$g$	Yerçekimi sabiti
$C$	Manyetik kuvvet sabiti
$f$	Manyetik kuvvet
$dW_e$	Elektriksel enerji
$dW_{fi}$	Potansiyel enerji
$i$	Elektromıknatısın akımı
$L$	Elektromıknatısın indüktansı
$y$	Sürekli mıknatıslı kutunun konumu
$\beta$	Sensor kazancı
$h$	Sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun yüksekliği
$R$	Elektromıknatısın direnci
$V$	Sürekli mıknatıslı kutunun besleme gerilimi
$K_I$	Akım katsayısı
$K_Y$	Konum katsayısı
$K_1$	Transfer fonksiyonu katsayısı
$K_2$	Transfer fonksiyonu katsayısı
$p_3$	Transfer fonksiyonu katsayısı
$G(s)$	Transfer fonksiyonu

**KISALTMA LİSTESİ**

PD	Oransal – türevsel kontrol
PI	Oransal – integral kontrol
PID	Oransal – integral – türevsel kontrol
K <sub>p</sub>	Oransal parametre katsayısı
K <sub>i</sub>	İntegral parametre katsayısı
K <sub>d</sub>	Türevsel parametre katsayısı
Maglev	Manyetik askı sistemi treni
EMS	Elektromanyetik süspansiyon sistemi
EDS	Elektrodinamik süspansiyon sistemi
PWM	Darbe genişlik modülasyonu
GUI	Grafiksel kullanıcı ara birimi
PIC	Programlanabilir ara birim denetleyicisi
FET	Alan etkili transistör
MOSFET	Metal oksit yarıiletken alan etkili transistör
CCS	C Custom Computer Services firmasının C derleyicisi

## 1. GİRİŞ

Doğanın en güzel özelliklerinden biri de, sahip olduğu yerçekimi kuvvetidir. Yerçekimi kuvveti  $F = mg$  sayesinde, havada boşluğa bırakılan bir cisim en kısa sürede yere düşer. İşte bu yerçekimi kuvveti, yatay olarak hareket eden sistemlere dik olarak etki ederek bir sürtünme kuvvetinin doğmasına neden olur. Bilindiği gibi sürtünme kuvveti etkisi, sistemlerde enerji sarfiyatlarının artmasına neden olur. Örneğin, yatay olarak hareket eden bir trene yerçekimi kuvvetinden dolayı etki edecek olan bir sürtünme kuvveti trenin daha yavaş hareket etmesine neden olacak ve yakıt sarfiyatını önemli ölçüde artıracaktır. Günümüzde enerjinin verimli kullanılmasına bu kadar önem verilmesi nedeniyle, bu sürtünme kuvvetinin sıfıra yakın olacak şekilde ortadan kaldırılması bilim insanlarının en büyük hedeflerindedir.

İşte, havada serbest halde bırakılan bir cisme dikeyde etkileyen bu yerçekimi kuvvetine karşı uygulanacak olan bir kuvvet cismi havada boşlukta tutabilir. Havada boşlukta duran bu cisim, ferromanyetik malzeme veya ferrromanyetik bir malzeme ile birleştirilmişse, bir elektromıknatıs sayesinde oluşturulacak olan elektromanyetik kuvvet ile cisme uygulanan yerçekimi kuvvetine karşı zıt bir kuvvet üretilebilir. Elektromıknatıs sayesinde cisme etkileyen zıt elektromanyetik kuvveti, cisim ile arasındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Cisim denge noktasından aşağıya konulursa cisim aşağıya düşecek, yukarıya konulursa elektromıknatısa yapışacaktır. Bu nedenle cismi el ile denge noktasında tutmak mümkün değildir. Çünkü bozucu etkiler denge noktasını bozduklarından sistemi kararsız kılarlar ve bunun için kontrol sistemleri yapılması gerekir.

Tüm bu dış bozucu etkileri ortadan kaldıran geri beslemeli kontrol sistemlerinin yapılmasıyla havada asılı bir şekilde dengede duran bu sistemlere manyetik askı sistemleri denir. Bu sistemler sayesinde, sürtünme kuvveti ortadan kaldırılarak maglev trenleri, manyetik yataklar gibi uygulamalar sayesinde enerji sarfiyatında önemli ölçüde düşüşler yaşanmıştır. Ayrıca maglev trenlerine hız kazandırmaları nedeniyle insanlığın günlük yaşamını da kolaylaştırmışlardır.

Bu çalışmada da, sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun havada asılı olarak istenilen bir noktada kalması sağlanmıştır. Matematiksel modeli çıkarılan sistemin Matlab programı sayesinde PD, PI, PID kontrol elemanları tasarlanıp  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  parametreleri bulunarak hall sensörü ile alınan bilgiler sayesinde geri beslemeli bir mikrodenetleyici içine yazılan kodlar ile sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun havada askıda tutulması sağlanmış ve PI, PD, ve PID algoritmalarının sonuçları deneysel olarak gözlemlenmeleri amaçlanmıştır.

$$m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = mg - f(i, y) \quad (1.1)$$

Ayrıca, yukarıdaki (1.1) eşitliğinde verilen, davranışı doğrusal olmayan bir diferansiyel denklemle ifade edilen bir manyetik askı sistemi üzerinde PD, PI ve PID kontrol yöntemlerinin sınaması yapılmış ve her yöntemin basitlik, yerleşme zamanı ve kontrol sinyali uygulanabilirliği açısından değerlendirmesi yapılmıştır.

Tüm bu çalışmalara bilim dünyasında magnetic levitation, magnetic suspension, maglev gibi terimlerle ifade edilmekle birlikte Türkçe de bunu manyetik askı sistemleri olarak ifade edilmektedir.

Günümüzde manyetik askı sistemleri baş döndürücü bir hızla gelişmekte olup insanlığa ve doğaya bir çok katkıları olmaktadır. Ayrıca, süper iletkenlerin keşfedilmesiyle de yeni ürünlerin geliştirilmesinin de büyük bir ivme kazanmasına neden olmaktadır.

## 2. KAYNAK BİLGİSİ

### 2.1. Manyetik Askı Sisteminin Tanımı

Bir cisim boşlukta serbest olarak bırakıldığında yerçekiminin etkisinden dolayı çok kısa bir süre sonra yere düşer. Boşlukta serbest bırakılan bir cismin havada kalabilmesi için, yerçekimi kuvvetine karşı ters yönde bir kuvvet uygulanmalıdır. Eğer cisim ferromanyetik bir malzeme ise elektromıknatıs tarafından ters yönde uygulanacak olan elektromanyetik kuvveti ile havada asılı kalması sağlanabilir. Elektromıknatısın çekim kuvveti, cisim ile elektromıknatıs arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğundan, cisim denge noktasından aşağıya konulursa düşecek ve yukarıya konulursa elektromıknatısa yapışacaktır. Bu durumda cismin düşmeden tutulabilmesi için denge noktasında olması gerekir. Bu denge noktası ise dış ve bozucu etkilerden etkileneceğinden sistemi kararsız kılar. Bunun için sistemi kararsız durumdan kurtarmak için cismin bulunduğu yeri algılayan geri-beslemeli bir kontrol ünitesinin yapılması gerekir. Elektromıknatısın çekim kuvveti, elektromıknatıstan geçen akımın karesi ile orantılıdır. Kontrol sisteminde, cisim elektromıknatısa yaklaştığında akım azaltılarak çekim kuvveti azaltılır ve uzaklaştığında ise akım artırılarak çekim kuvveti artırılarak sistem kararlı hale getirilmiş olur. (Gürdal ve Öner, 1998)

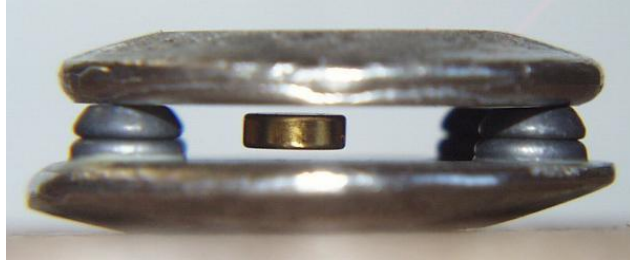
Earnshaw, 1842 yılındaki çalışmasında sabit yük, mıknatıslık veya akım taşıyan herhangi bir cismin, sabit bir elektrik veya manyetik alan tarafından kararlı olarak tutulamayacağını ortaya koymuştur. Earnshaw (1842) bu teoremi ile manyetik askı sistemleri kuramının kurucusu olarak kabul edilmiştir. (Hartavi, Tuncay, Şahinkaya ve Burrows, 2006)



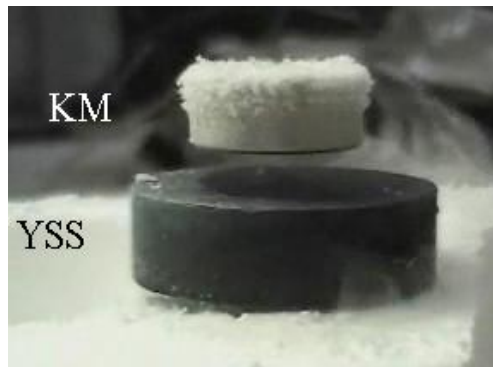
## 2.2. Doğal Manyetik Askı Sistemleri

Maddelerin diyamanyetikliği sayesinde, manyetik alan yayılım frekansına göre moleküler çapta ters yönelme eğilimi gösterirler. Bir mıknatısa yaklaştırıldığında kuzey kutbu gören maddenin yakın tarafı kuzey kutbu olarak yönelecektir. Bu nedenle itkisel bir yapı oluşmasına sebep olan bu maddeler doğal manyetik askı sistemi oluştururlar. Su, bu yapıya sahip maddelerden biridir.

1778’de S. J. Bergman, Bizmut ve Antimon ile yaptığı deneylerde manyetik alanları ittiğini görmüştür. Terim olarak ilk isimlendirme Michael Faraday tarafından Eylül 1845’de yapılmıştır. Bütün maddelerin, manyetik alanla karşılaştığında belirli bir diamanyetik etkiye sahip olduğunu keşfetmiştir. (<http://tr.wikipedia.org/wiki/Diyamanyetik>)



Şekil 2.1. Bizmut ile yapılmış diamanyetik askı sistemi



Şekil 2.2. Süperiletken üzerindeki manyetik askı sistemi



Şekil 2.3. Canlı bir kurbağanın diamanyetik askı sistemi

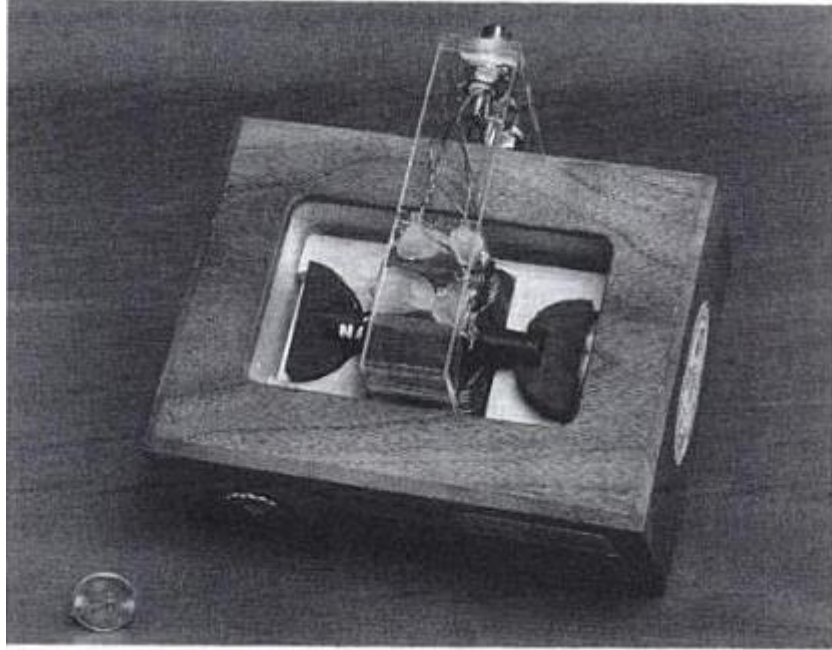
### 2.3. Manyetik Askı Sistemlerinin Kullanılma Alanları

#### 2.3.1. Manyetik yataklar

Manyetik yatak; manyetik alan içinde, boşlukta asılı kalarak serbest bir şekilde yatay veya dikey eksenini etrafında dönebilen ferromanyetik metal mil sistemidir. Yataklarda oluşan manyetik etkiler, sisteme eklenen stator tarafından sürekli olarak etki altına alınmakta ve bu sayede milin boşluk içerisinde merkezde tutulması ve radyal olarak havada asılı kalması sağlanmaktadır. Statorun mili manyetik olarak çekme ve itmesi ile meydana gelen elektromanyetik alanın düzenlenmesini ve döngüyü sağlayan elektronik servo devresi kapalı konumdayken bile mil normal durumda aksel olarak dengede tutulabilmektedir. Hiçbir şekilde mekaniksel sürtünme ve yağlanmaya maruz kalmadıklarından dolayı, sessiz çalışma ve temizlik gibi birçok avantajlara sahiptirler. Manyetik yatakların ömürleri uzun olduğu için ekipmanlarda aşırı tasarruf sağlanmasına neden olur. (Samtaş ve Güllü, 2006)

### 2.3.1.1. Pasif manyetik yataklar

Birbirini etkileyen iki manyetik parçadan oluşurlar. Manyetik yatağı oluşturan parçalar kalıcı mıknatıs olup konumlandırılmaları sabit veya hareketli olabilirler. Pasif manyetik yatakları oluşturmada kullanılan mıknatıslar çeşitli geometrik şekillerde yapılmaktadırlar.

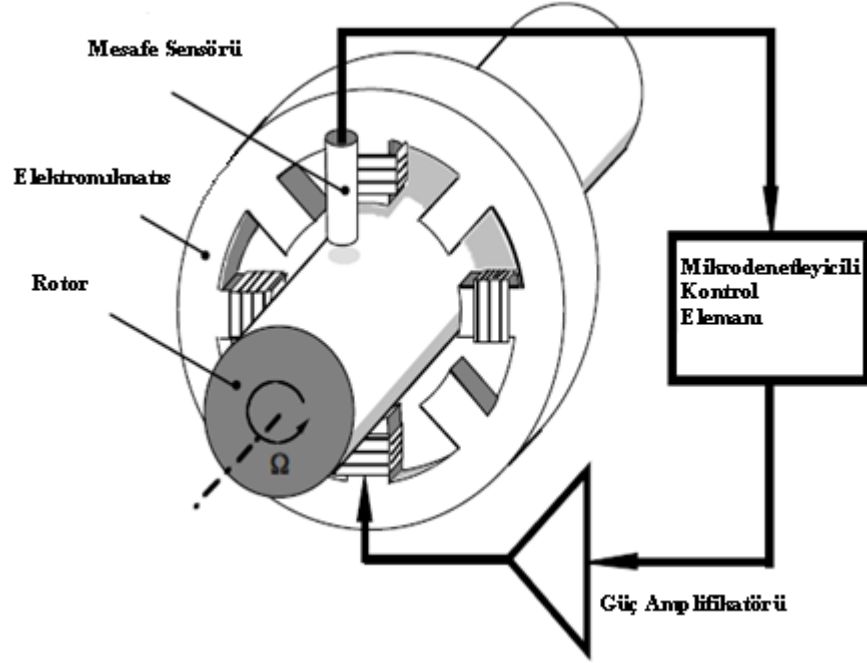


Şekil 2.4. Pasif manyetik yatak uygulaması,  $YBa_2Cu_3O_7$ (50.000-120.000 rpm)

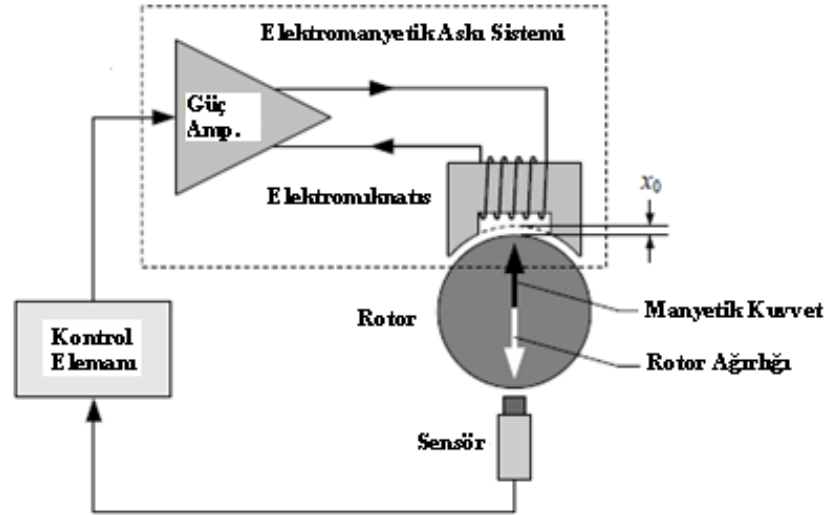
### 2.3.1.2. Aktif manyetik yataklar

Rotoru hiçbir mekanik temas olmaksızın manyetik olarak asılı duran ve bu nedenle çok az bir kayba neden olan, yüksek devir hızlarına müsaade eden, yağlamaya ihtiyaç duymayan, az bir bakım gerektiren ve büyük bir güvenilirlik sağlayan, elektromıknatıslarla oluşturulmuş manyetik düzenlere aktif manyetik yatak denir. Aktif

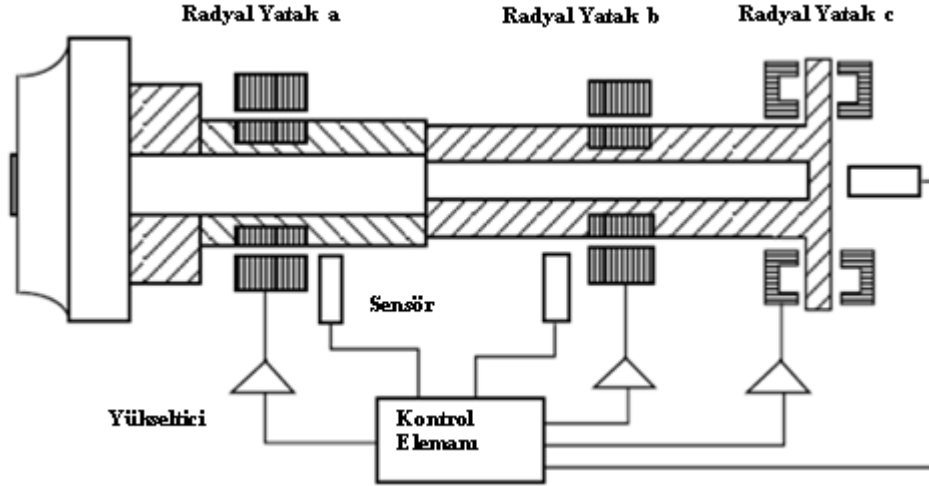
manyetik yataklarda stator sabit bir elektromıknatıstan ibarettir. Statorun yapısı tıpkı bir elektrik motorunun statorunu andırır. (Sarı, 2006)



Şekil 2.5. Bir rotorun aktif elektromanyetik yatak uygulamasının prensip şekli



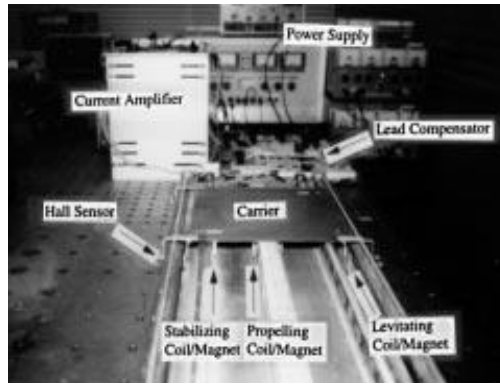
Şekil 2.6. Basit bir aktif elektromanyetik yatak uygulamasının prensip şekli



Şekil 2.7. Uçak rotoru süspansiyon şekli

### 2.3.2. Yarı iletken levha taşımacılığı

Manyetik askı sistemleri tozsuz ve temassız olduklarından, üretim esnasında yarıiletken levhalarının taşınmasında idealdirler. Şekil 2.8.'de çekici bir tip manyetik askı tahrik platformu gösterilmiş olup doğrusal ve temassız bir yarıiletken levhası taşınması için yapılmıştır. Dış kaynaktan aktarılan manyetik enerji ile platform doğrusal olarak temassız hareket yeteneğine sahiptir. Bu sistemde iki adet havada taşıyıcı, iki adet askıda tutan elektromanyetizma ve bir adet itici mevcuttur. (Shameli, 2008)

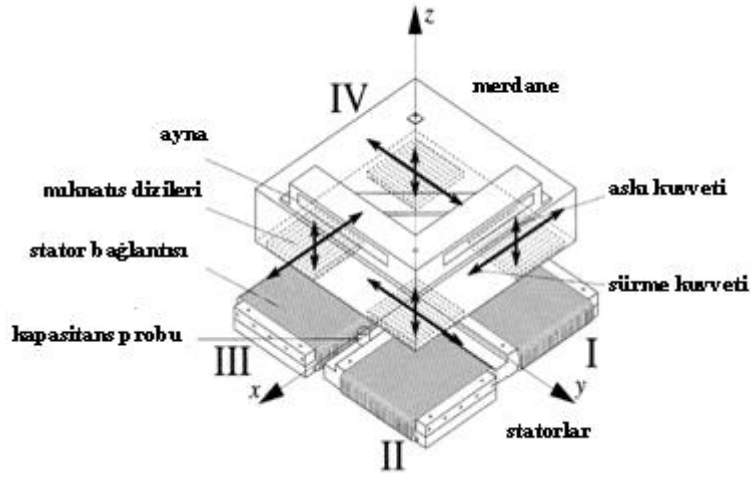


Şekil 2.8. Yarı iletken levha taşıma sistemi

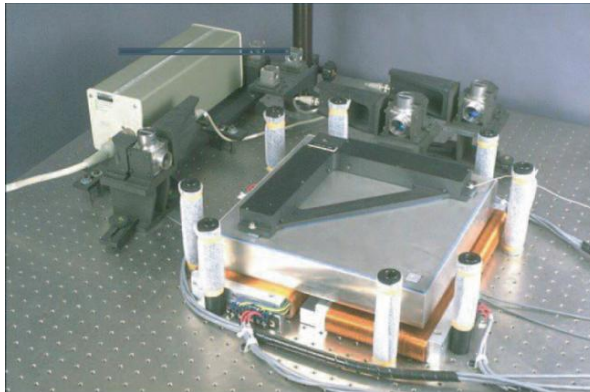
### 2.3.3. Fotolitografi

Manyetik askı sistemi, fotolitografi tekniği aşamaları için de uygundur. Bu aşamalarda manyetik askı sistemi, normal bir düzlemde küçük yer değiştirmeler için küçük donüşler ve küçük adımlar ile ilerlenmesini sağlar.

1.2.3.4'te 50(mm) x 50(mm)'ye 2D düzleminde manyetik askı sistemi ile yüksek hassasiyet baskı işlemleri yapılmıştır. (Shameli, 2006)



Şekil 2.9. Fotolitografi çalışma prensibi



Şekil 2.10. Manyetik askı sistemli yüksek çözünürlüklü fotolitografi

### 2.3.4. Teleoperasyon

Nükleer reaktörler, tehlikeli biyolojik laboratuvarlar ve kimyasal tesisler gibi çevresel tehlikelerin olduğu geniş bir sahada ve mini cerrahi uygulamalarda manyetik askı sistemi ile çalışan Teleoperasyon sistemleri ileri teknoloji ile uygulanabilmektedir. (Shameli, 2006)



Şekil 2.11. Telemanipulatör için yapılmış sihirli bilek

### 2.3.5. Rüzgar tüneli

Manyetik askılı rüzgar tünellerinde, savrulma kontrolü, büyük açıda saldırı testi, dijital sistem kontrolü, sistem hata tolerans testleri yapılabilmektedir. Büyük ölçekli tesislerin tasarım çalışmaları başlamış olup hala devam etmektedir. (Shameli, 2006)



Şekil 2.12. Nasa'nın manyetik askı ve denge sistemi için rüzgar tüneli

### 2.3.6. Rüzgar türbini

Manyetik askı sistemli rüzgar türbinleri verimi arttırmak için yapılmıştır. Maksimum elektrik üretirler. İlki Pekin'de Wind Power Asia fuarında tanıtılmıştır. Rüzgar türbini dikey duran bıçakları kaldırmak için daimi mıknatıs kullanarak manyetik kuvvet üretilir ve makinenin tabanı üzerinde havada asılı kalırlar. Bu sistem hiçbir elektrik harcamadığı için çalışması esnasında ek elektrik kaynağı gerektirmez. Türbin kanatları daimi mıknatıs tarafından manyetik kuvvet üretildiğinden rulmana gerek yoktur. Sürtünme olmadığından enerji kaybını en aza indirilir. Bu da bakım maliyetlerini azaltır, jeneratör ömrünü uzatır. Bu tasarım ile türbin kanatları ve taban arasındaki sürtünme önemli ölçüde azaltılabilir ve maksimum güç çıkışı üretilir. (<http://www.scribd.com/doc/30914921/Maglev-Wind-Turbine>)





Şekil 2.13. 1 kW manyetik askılı rüzgar türbini

### 2.3.7. Maglev trenleri

Maglev kavramı; iki mıknatısın aynı kutupları birbirini itmesi prensibine göre çalışan ve şu anda en fazla gündemde olan hızlı trenlerin adıdır. Alt alta uygun şekilde konulmuş iki mıknatıstan biri manyetik itme kuvvetlerinin etkisiyle diğerinin üzerinde hiçbir şeye değmeden havada durabilir. Maglev trenler de temelde bu ilkeyle çalışırlar. Maglev trenlerin altında mıknatıslar bulunur. Aynı zamanda maglev trenler için özel olarak üretilmiş tren raylarında da elektromıknatıslar bulunur. Elektromıknatıs, bir telin üzerinden elektrik akımı geçmesiyle oluşturulan manyetik alana sahip mıknatıstır. Tellerden akım geçmediğinde manyetik etki de ortadan kaybolur ya da akımın yönü kontrol edilerek mıknatısın kutupları değiştirilebilir. Bu mıknatıslar sayesinde tren, raylar üzerinde 1-10 cm arasında bir yükseklikte ilerler. Raylarla temas olmadığı için sürtünme büyük ölçüde azaltılmış olur. Trenin şekli de havayla sürtünmeyi en aza indirecek şekilde tasarlanır. (Erdem, 2007)



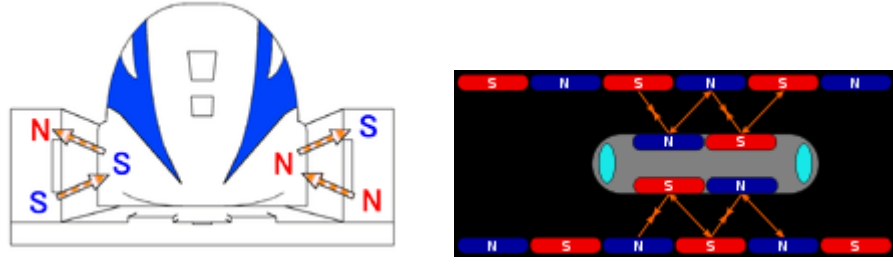
Şekil 2.14. İşletmede olan bir maglev treni

### **2.3.7.1. Elektromanyetik süspansiyon sistemi (EMS)**

EMS, elektromanyetik süspansiyon sistemidir. Günümüzdeki EMS sistemlerinde, tren bir çelik ray üzerinde geri bildirimli bir kontrol sistemi ile sabit bir yükseklikte havada asılı durur. Elektromanyetik süspansiyon sistemi (EMS) çekici kuvvetini araç üzerindeki elektromıknatıslar sayesinde yaratarak kılavuzlama yolundaki ferromanyetik malzemeden yapılmış raylarla etkileşimi sayesinde kızak üzerinde kayar gibi hareket eder. (Erdem, 2007)

### **2.3.7.2. Elektrodinamik süspansiyon sistemi (EDS)**

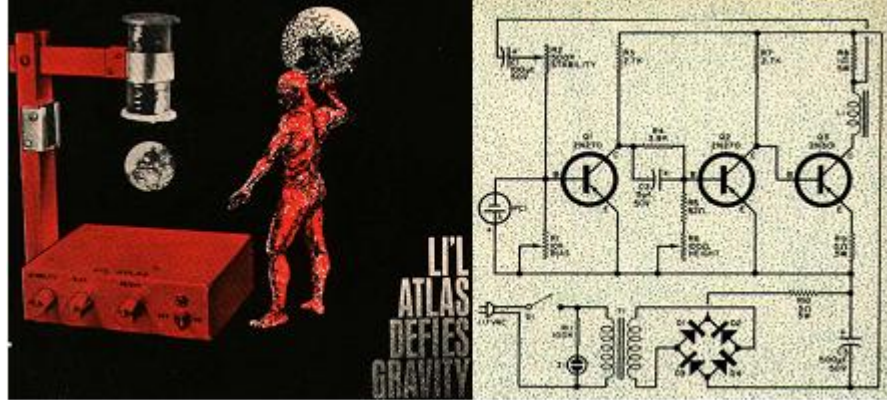
EDS, elektrodinamik süspansiyon sistemidir. Elektrodinamik süspansiyon sisteminde hem tren de hem de demiryolunda manyetik alanlar oluşturulur ve bu sayede tren havada askıda tutulur. Trendeki manyetik alanlar süper iletken mıknatıslar tarafından veya kalıcı mıknatıslar tarafından, treni iten kuvvet ise yol içindeki elektromıknatısların kutupları trene ileri yönde hareket verecek şekilde dinamik olarak değiştirilerek trene en yüksek hızı verecek şekilde kontrol edilir. (Erdem, 2007)



Şekil 2.15. EDS maglev treni çalışma prensibi

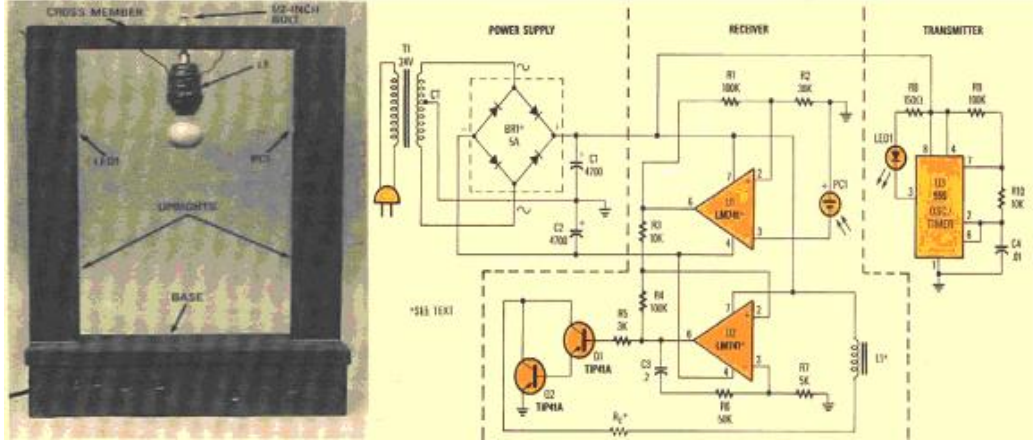
## 2.4. Literatür Çalışması

Price (Mayıs 1966), “Li'l Atlas Defies Gravity” isimli çalışmasında manyetik askı sisteminin, Yunan mitolojisindeki gökkubbeyi omuzunda taşıyan efsane tanrı Atlas gibi olmadığını, fotoelektrik ile konumunun belirlenmesi ve transistörler ile elektromanyetik kuvveti kontrol eden bir sistem olduğunu göstermiştir.



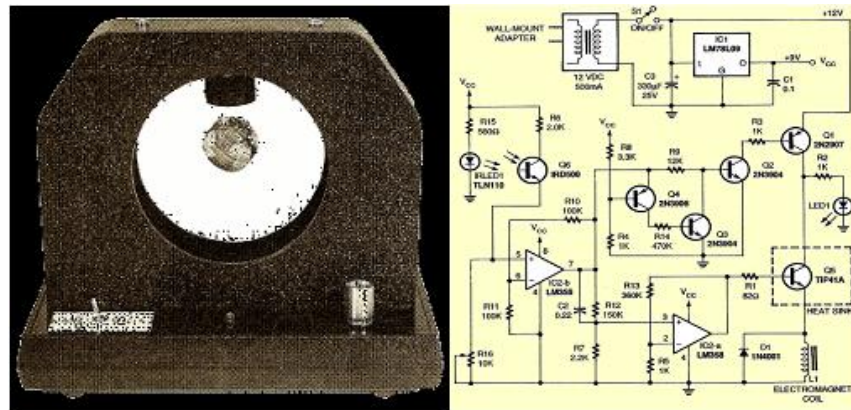
Şekil 2.16. Price'ın çalışmaları

Vollono (Mayıs 1989), “The Antigravity Generator” isimli çalışmasıyla dünyanın yer çekimi kuvvetine ters bir etki yapılması ile ücretsiz uzay yolculuğu yapılabileceğini ileri sürerek IR alıcı vericilerden gelen sinyalleri op-amplarla işlemiştir.



Şekil 2.17. Vollono'nun çalışmaları

Williams (Şubat 1996), “Electromagnetic Levitator” çalışmasıyla yerçekimine meydan okuyarak cisimlerin havada asılı kalılabileceğini op-amplarla kapalı döngü yaparak göstermiştir.



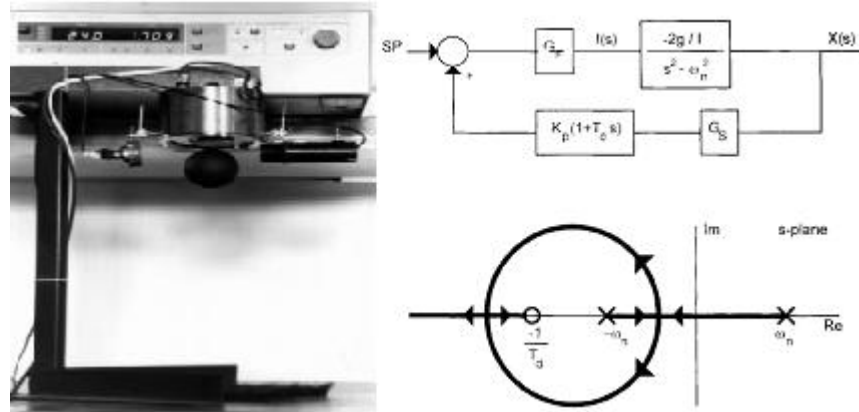
Şekil 2.18. Williams'ın çalışmaları

Barie ve Chiasson (1996), “Lineer and Nonlinear State-Space Controllers for Magnetic Levitation” çalışmalarında uzay durum denklemlerini kullanmışlardır.

$$\begin{aligned} dx_1/dt &= x_2 & z_1 &= T_1(x) = x_1 \\ dx_2/dt &= g - \frac{C}{m}(x_3/x_1)^2 & z_2 &= T^*(x) = x_2 \\ dx_3/dt &= -\frac{R}{L}x_3 + \frac{2C}{L}(x_2x_3/x_1^2) + \frac{u}{L} & z_3 &= T_3(x) = g - (C/m)(x_3/x_1)^2 \end{aligned}$$

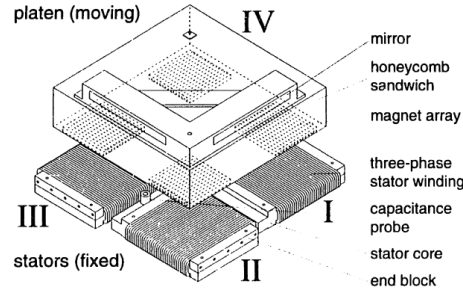
Şekil 2.19. Barie ve Chiasson’ın çalışmaları

Hurley ve Wölfle ( 2 Mayıs 1997), “Electromagnetic Design of a Magnetic Suspension System” çalışmalarlarıyla transfer fonksiyonunu sadeleştirip 2. dereceye indirgeyerek PD kontrol tasarımı gerçekleştirmişlerdir.



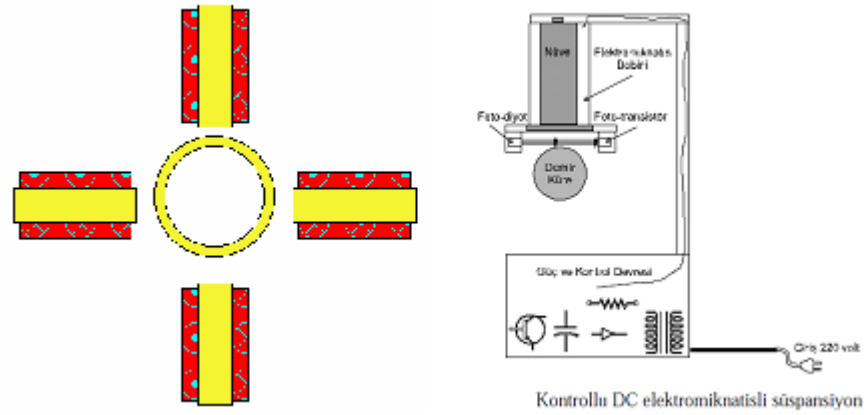
Şekil 2.20. Hurley ve Wölfle’nün çalışmaları

Kim (Haziran 1997), “High-Precision Planar Magnetic Levitation” çalışmasıyla fotolitografide ve yarı iletken levha yonga üretimine kullanılan taşıma sistemleri için düzlemsel manyetik askı sistemleri üzerine bir çalışma yaparak el değmeden üretim teknolojisini geliştirmiştir.



Şekil 2.21. Kim'in çalışması

Gürdal ve Öner (1998), “Üç Fazlı Bir Asenkron Motorda Manyetik Süspansiyonlu Yatak Uygulaması” çalışmalarıyla üç fazlı bir asenkron motorda manyetik süspansiyonlu yatak geliştirerek motorun boşta çalışma güç kayıplarında %15’lik bir azalma sağlanmış ve motorun gürültüsünde de düşük bir seviyeye inilmiştir.



Şekil 2.22. Gürdal ve Öner'in çalışması

Shiao (Mart 2001), “Design and Implementation of a Controller for a Magnetic Levitation System” çalışmasında “Phase-lead Compensated Controller” kullanarak sanal kutup iptali yöntemiyle topun havada kalmasında istikrar sağlamıştır.

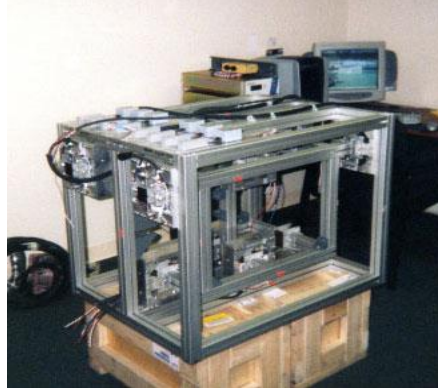


$$G_c(s) = \frac{V_c(s)}{V_e(s)} = K_c \frac{s + a}{s + b}$$

Phase-Lead Kontrol Elemanı

Şekil 2.23. Shiao'nun çalışması

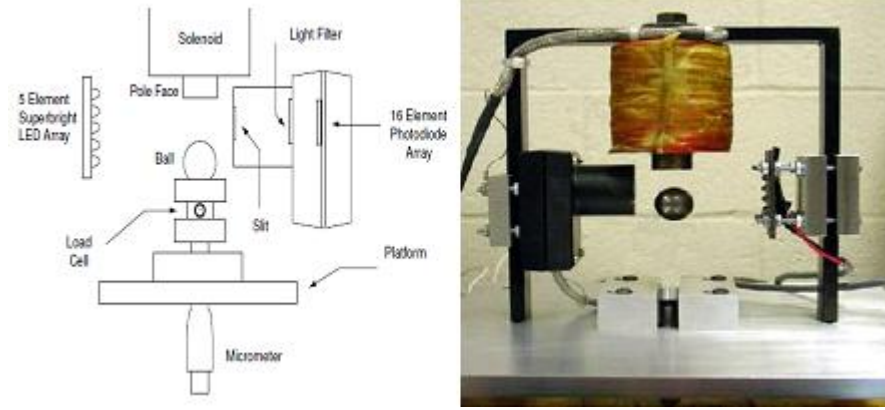
Blumber (13 Haziran 2002), "Testing of a Magnetically Levitated Rocket Thrust Measurement System Demonstrator for NASA" isimli çalışmalarında; NASA için Magnetik Roket İtme Ölçüm Sistemi adı verilen manyetik yatakların kullanılacağını yaptıkları prototip cihaz sayesinde simülasyon yaparak açıklamışlardır.



Şekil 2.24. Blumber'in çalışması

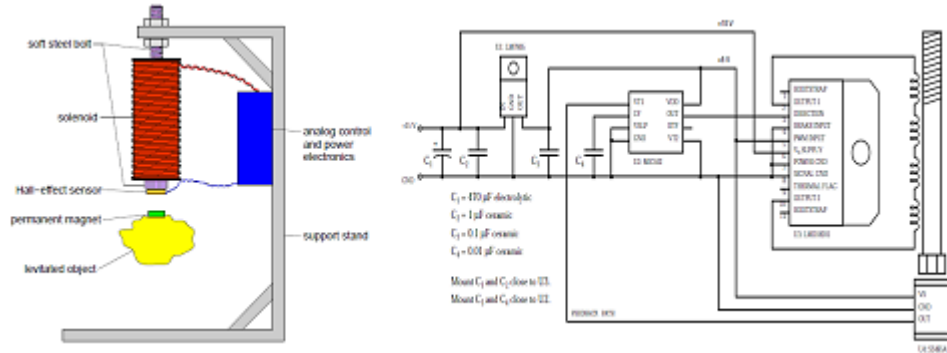
Xie (Mayıs 2003), "Mechatronics Examples For Teaching Modeling, Dynamics, and Control" çalışmasıyla daha önce kullanılan yükselteçlerin yerine doğrusal yükselteç kullanarak gürültü problemlerini ortadan kaldırmıştır. Ayrıca, konum belirleme algılayıcısı kullanımında daha fazla led kullanmıştır ve bu ledler süper parlak ledlerdir.





Şekil 2.25. Xie'nin çalışması

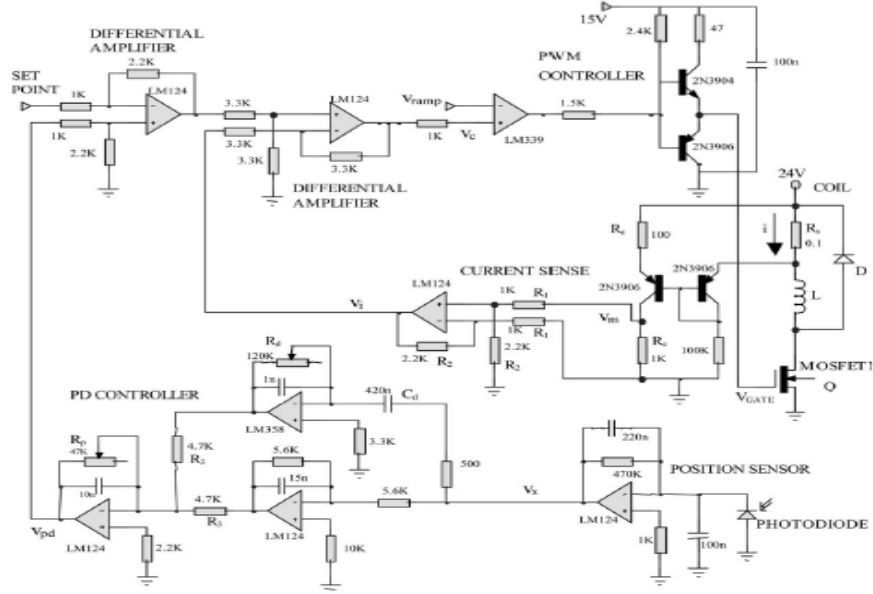
Lilienkamp ve Lundberg (2004), “Low-cost magnetic levitation project kits for teaching feedback system design” isimli çalışmalarıyla düşük maliyetli bir PWM sürücülü manyetik askı sistemi yapmışlardır.



Şekil 2.26. Lilienkamp ve Lundberg'in çalışması

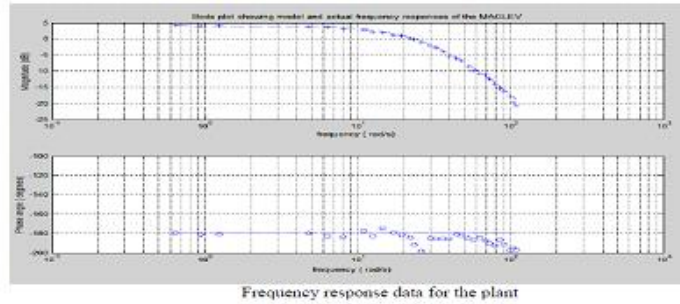
Hurley, Senior Member, IEEE, Hynes ve Wölfle (2 Mayıs 2004), “PWM Control of a Magnetic Suspension System” isimli çalışmalarıyla op-amp'larla PD kontrollü PWM sürücülü bir manyetik askı sistemi yapmışlardır.





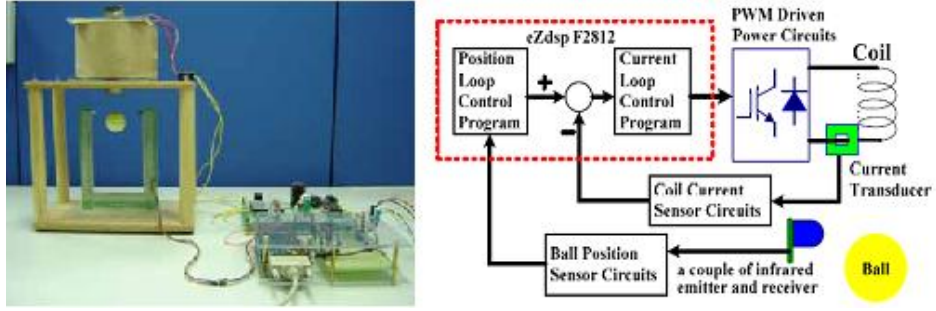
Şekil 2.27. Hurley, Senior Member, IEEE, Hynes ve Wölfle'in çalışması

Abbadi (13 Mayıs 2004), "Modeling and Control of a Magnetic Levitation System" çalışmasında "80515 Microcontroller" digital mikrodnetleyicisini kullanarak assembly dilinin gücünü test etmiştir.



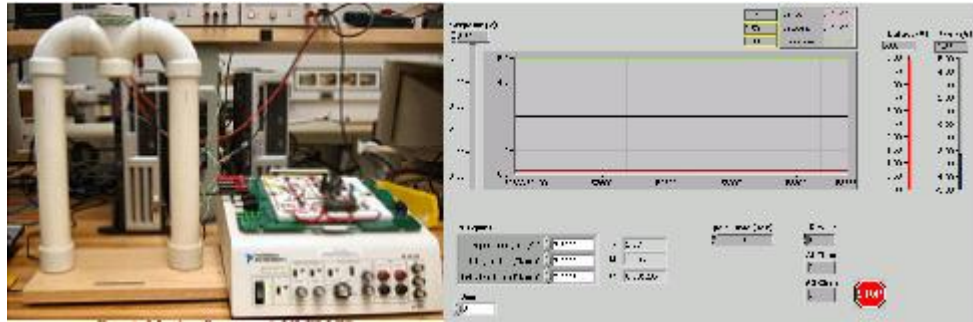
Şekil 2.28. Abbadi'nin çalışması

Li (2005), "DSP-Based Control of a PWM-driven Magnetic Levitation System" çalışmasında "eZdsp F2812" digital mikrodnetleyici ve PI kontrol elemanı kullanarak değişik bir yaklaşımla çözüme gitmiştir.



Şekil 2.29. Li'nin çalışması

Sinha ve Nagurka (5-11 Kasım 2005), “Analog and LABVIEW-Based Control of a Maglev System with NI-ELVIS” çalışmalarında National Instruments firmasının LABVIEW kontrol tabanlı National Instruments Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite (NI-ELVIS) deneme kartını kullanarak GUI (graphical user interface; grafiksel kullanıcı arabirimi) arayüzlü kontrol geliştirmişlerdir.

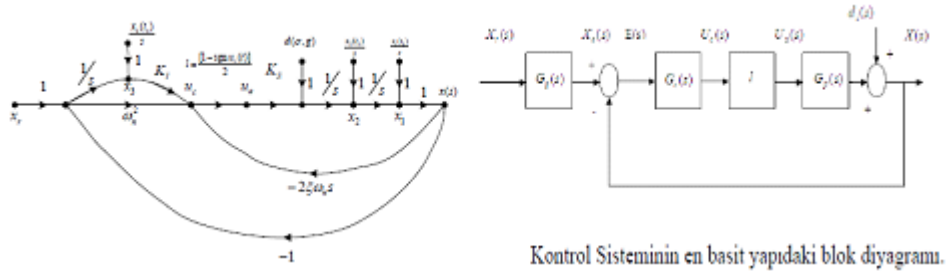


Şekil 2.30. Sinha ve Nagurka'nın çalışması

Kemih, Tekkouk ve Filali (Haziran 2006), “Constrained Generalised Predictive Control with Estimation by Genetic Algorithm for a Magnetic Levitation System” isimli çalışmalarında genelleştirilmiş kısıtlı öngörülü kontrol uygulaması ile manyetik askı sistemi genetik algoritma ile kontrol edilmiştir. Genelleştirilmiş kısıtlı öngörülü kontrol algoritmaları endüstriyel uygulamalarda yaygın kontrol yöntemleri olmalarına rağmen, uygulamaya bağlı olarak her zaman uygun değildir ve bazı deneme-yanılma yöntemleri, gerektirebilir. Bu çalışmanın amacı da, tahmini genetik algoritma

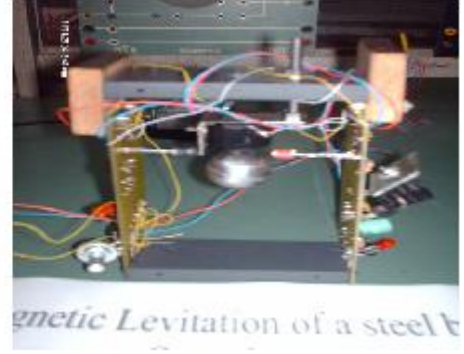
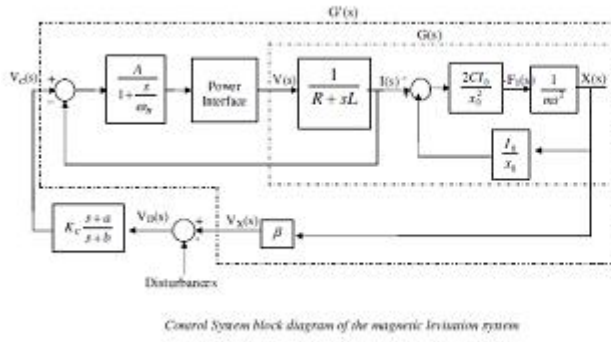
parametreleri kullanarak manyetik askı sisteminin kontrolü için geliştirilmiş kısıtlı öngörülü kontrol algoritmaları kullanılmasını önermiştir. Simülasyon sonuçları da önerilen yöntemin uygulanabilirliğini göstermiştir.

Gürleyen ve Bahadır (6-10 Aralık 2006), “Manyetik Askı Sistemleri için Dayanıklı PID ve Değişken Yapılı Kontrol” çalışmalarında, izin verilen fiziksel koşullar altındaki bütün dinamik çalışmalarda, manyetik cisimlerin manyetik askıda tamı tamına referans giriş ile tanımlı bir denge konumunda durması ve bir denge konumundan başka bir denge konumuna geçişin hemen hemen sabit olan en küçük aşım ve yerleşme zamanı değerleri ile gerçekleşmesini sağlayan bir doğrusallaştırıcı dinamik geri besleme kontrolünün tasarımı amaçlanmıştır. Tasarlanan kontrol elemanı iki serbestlik dereceli PID kontrol elemanı olup, sistem başarma performansı ve kararlılığının dayanıklı olması sağlanmıştır.



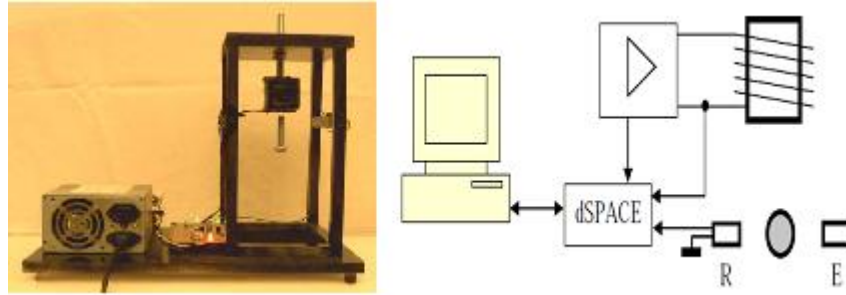
Şekil 2.31. Gürleyen ve Bahadır'ın çalışması

Challa (2007), “Magnetic Levitation On A Steel Ball” çalışmasında Phase-Lead kontrol elemanı tasarımı yaparak çelik bilyeyi askı tutarak Bode diyagramı ile sonuçları Matlab'ta izlemiştir.



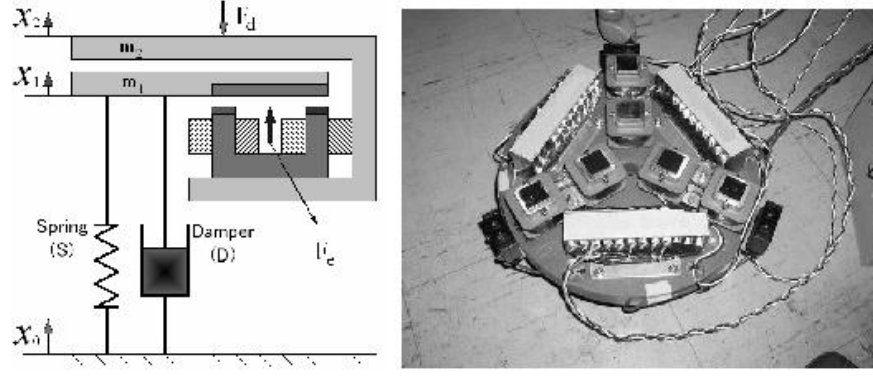
Şekil 2.32. Challa'nın çalışması

Dolga ve Dolga (2007), "Modelling and Simulation of a Magnetic Levitation System" isimli çalışmalarıyla manyetik askı sistemini LabView ve dSPACE ile simüle edip çalıştırmışlardır.



Şekil 2.33. Dolga ve Dolga'nın çalışması

Erkan ve Koseki (Mart 2007), "Fuzzy Model Based Nonlinear Maglev Control for Active Vibration Control Systems" çalışmalarlarıyla doğrusal olmayan melez manyetik askı sistemlerinde oluşan aktif titreşim kontrol sistemleri için iyi bilinen Takagi-Sugeno-Kang bulanık mantık ve doğrusal kontrol teorisi metodolojisi kullanılarak hem paralel dağıtılmış izleme ve gözlem ilkesi bazında hem de denetleyici ve gözlemci tasarımlar için bulanık mantık algoritmasını denemişlerdir.



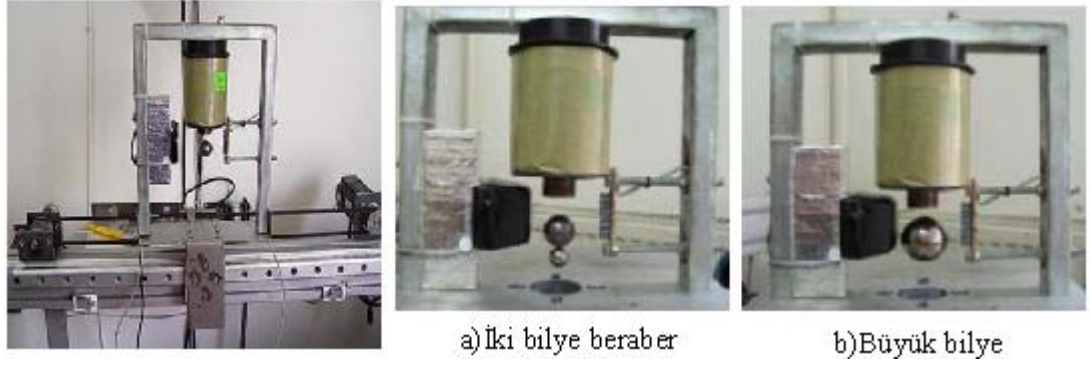
Şekil 2.34. Erkan ve Koseki'nin çalışması

Akıncı (Nisan 2007), “Manyetik Askı ve Manyetik Yataklamalı Sistemler” isimli çalışmasıyla ferromanyetik bir cismin manyetik askı veya yataklama sistemi ile fiziksel temasa gerek kalmadan havada tutulması ile sürtünme kuvvetini en aza indirgeyerek çok yüksek hızlı sistemler geliştirmenin mümkün olduğunu göstermiştir.



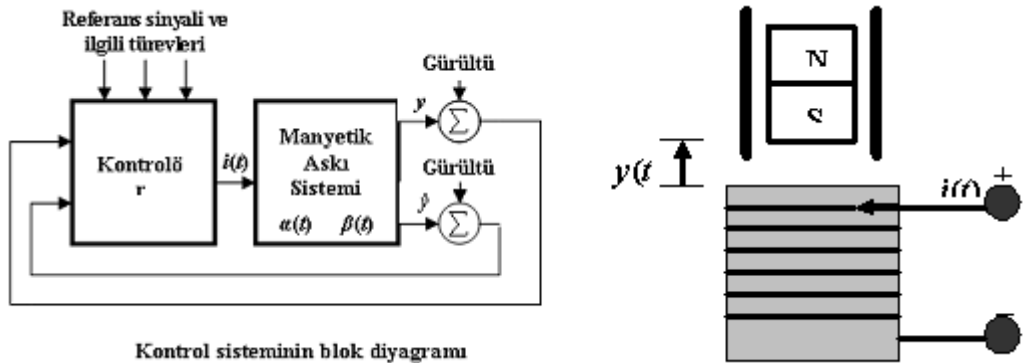
Şekil 2.35. Akıncı'nın çalışması

Öztürk, Kızır, Bingül ve Oysu (5-7 Eylül 2007), “Manyetik Süspansiyon Sisteminin Gerçeklenmesi ve Kontrolü” isimli çalışmalarıyla farklı kütleli bilyeler kullanılarak sistemin değişken kütleler karşısındaki dinamik davranışı incelenmiştir. Son olarak, sistemin gürbüzlüğünü test etmek amacıyla, sisteme düşey ve yatay eksenlerde bozucu dış kuvvetler uygulanmış ve manyetik askı sisteminin bu şartlar altında kontrolü gerçekleştirilmiştir.



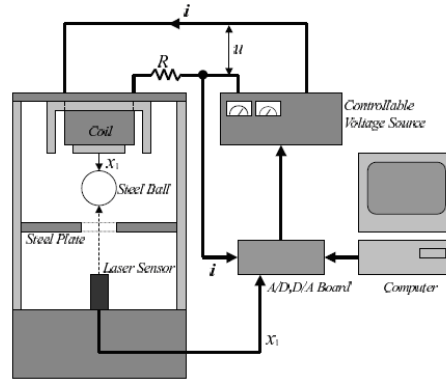
Şekil 2.36. Öztürk, Kızır, Bingül ve Oysu'nun çalışması

Akat ve Efe (6 Eylül 2007), “Bir Manyetik Askı Sisteminin Kontrolünde Dört Yöntemin Karşılaştırılması” isimli çalışmalarıyla bir manyetik askı sistemi ele alınmış ve sistem üzerinde dört farklı kontrol yöntemi denenerek bu yöntemlerin farklı karşılaştırma ölçütlerinin hangilerinde daha başarılı olduklarının cevabı aranmıştır. Kayan Kipli Denetim (KKD), Geribeslemeli Doğrusallaştırmaya (GD) dayalı denetim, doğrusallaştırma sonucu elde edilen modelle tasarlanan bir PI kontrol elemanı ve nümerik verilere dayanarak geliştirilen Nörokontrol (NK) yaklaşımı bildiriye konu olan dört yöntemdir. Geribeslemeli sistemin performansını irdeleyebilmek için sinüzoidal ve trapezoid tipte referans konum işaretleri öngörülmüştür. Yöntemler basitlik,  $i(t)$  akımının varyansı (uygulanabilirlik) ve izleme hatasının sifıra yakınsama zamanı ölçütleri göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır.



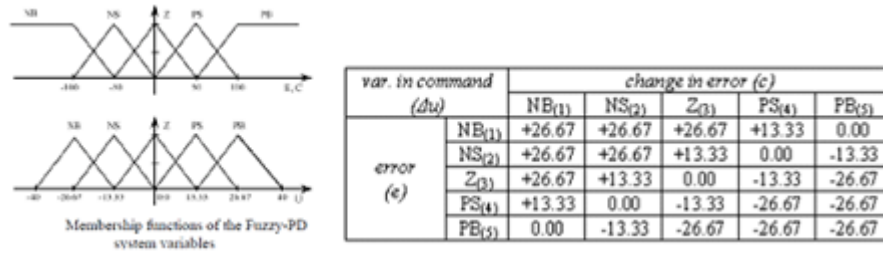
Şekil 2.37. Akat ve Efe'nin çalışması

Yang, Tsubakihara, Kanae, Wada ve Su (1-3 Ekim 2007), “Robust Nonlinear Control of a Voltage-Controlled Magnetic Levitation System with Disturbance Observer” isimli çalışmalarında çelik topun konumunu algılamak için lazer algılayıcısı kullanmışlardır. Ayrıca gerilim kontrollü bozucu gözlemci (disturbance observer “DOB”) tabanlı kontrol elemanını manyetik askı sistemleri için önermişlerdir.



Şekil 2.38. Yang, Tsubakihara, Kanae, Wada ve Su'nun çalışması

Duka, Abrudean ve Dulau (2008), “Positioning System Based on Electromagnetic Levitation Using Fuzzy Learning Control” isimli çalışmalarında geleneksel PD kontrol elemanlarının doğrusal olmayan sistemlerde yetersiz kaldıklarını, ancak; yeni geliştirilen Bulanık Mantık-PD kontrol elemanlarının doğrusal olmayan manyetik askı sisteminin kapalı döngüsünde çok hızlı yakınsama ile doğrusal etki yaparak sisteme sağlamlık kazandırdığını göstermişlerdir.



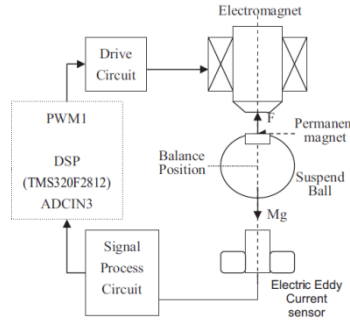
Şekil 2.39. Duka, Abrudean ve Dulau'nun çalışması



Guo, Li, Lu, Wang, ve Ye (24-28 Mart 2008), “Research on a Maglev Ball Control System Based on DSP2812” isimli çalışmalarında modellemeler yapıldıktan sonra TMS320F2812 dijital sinyal işleminde

$$u(kT) = u(kT - T) + Kp[e(kT) - e(kT - T)] + Ki * e(kT) + Kd[e(kT) - 2e(kT - T) + e(kT - 2T)]$$

formülünü kullanarak kontrol yapmışlardır.



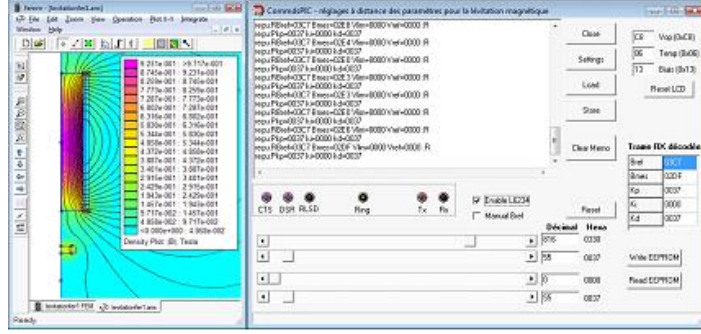
Şekil 2.40. Guo, Li, Lu, Wang, ve Ye'nin çalışması

Baghli (15 Mayıs 2008), “Levitation magnétique” çalışmasında Microchip firmasının dspic 30F3010 mikrodenetleyici ve Hall sensörü kullanılmıştır. Ancak, bu çalışmadaki PD kontrol elemanı parametrelerinin ayarlanması için bilgisayar bağlantısı, cep telefonu bağlantısı ve el bilgisayarı bağlantısı yapılarak kontrol çeşitliliği sağlanmıştır.

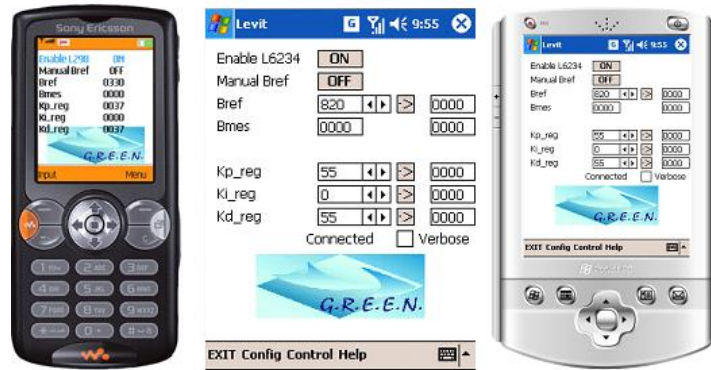


Şekil 2.41. Baghli'nın çalışması



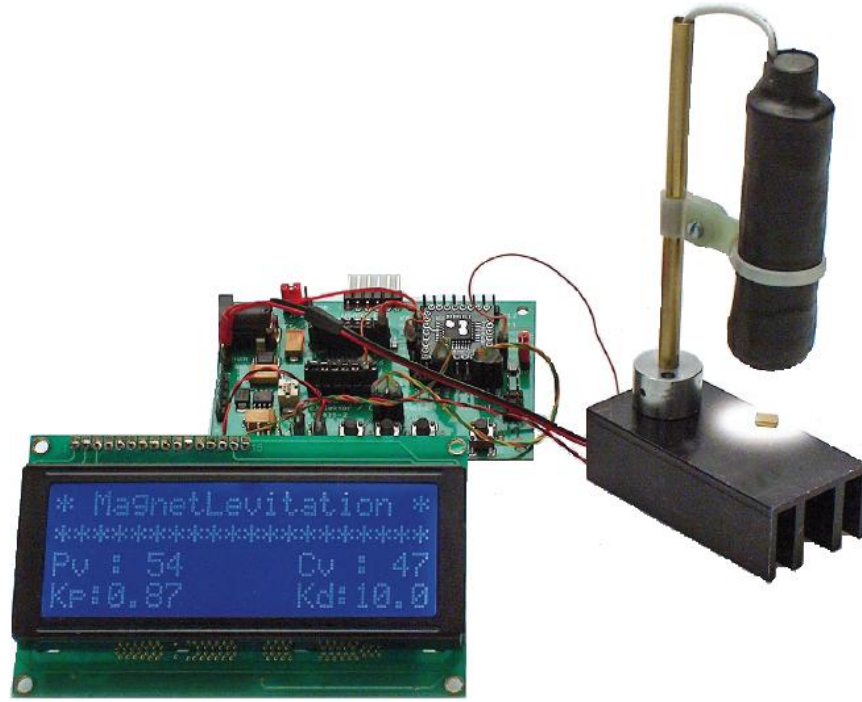


Şekil 2.42. Bağlı'nın bilgisayar çalışması



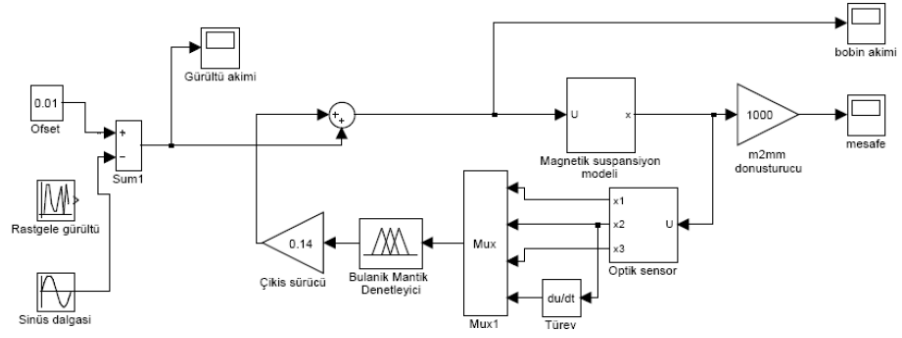
Şekil 2.43. Bağlı'nın cep telefonu ve el bilgisayarı çalışması

Jürß ve Rudolph (Eylül 2008), “Using the ATM18 to control a magnet levitation device” isimli çalışmalarında Atmel firmasının ATM18 mikrodenetleyicisi ve cismin konumunu tespit etmek için bir Hall sensörü kullanmışlardır. Ayrıca PD kontrol elemanının ayarlanması için 4x20 LCD menü ekran kullanarak sistemlerine esneklik kazandırmışlardır.



Şekil 2.44. Jürß ve Rudolph'un çalışması

Erkal (13-15 Mayıs 2009), “Eğitim Amaçlı Sinirsel Bulanık Denetimine Dayalı Bir Manyetik Askı Sisteminin Tasarlanması ve Simulink Ortamında Benzetimi” isimli çalışması, eğitim amacıyla tasarlanmış ve çelik bir bilyenin yerçekimine karşı havada asılı kalmasını sağlamak üzere bir elektromıknatısın ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System – Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Denetim Sistemi) ile kontrolünü gerçekleştiren bir sistemin tasarımı ve benzetimi üzerinedir. Sistemin bir modeli Matlab Simulink ortamında oluşturulmuştur. Sistem, öncelikle klasik bulanık mantık denetimi ile kontrol edilmiş, daha sonra ANFIS ile sistem yeniden tasarlanmıştır. Her iki denetçinin performansı karşılaştırılmıştır. Klasik bulanık mantığa dayalı kontrolde iyi sonuçlar elde edilmesine rağmen ANFIS’de sistem dinamiklerinin eğitimindeki güçlük nedeniyle yeterli performans elde edilememiştir.



Sugeno tipinde denetleyici kullanan ve sisteme gürültüyü de dahil eden Simulink modeli

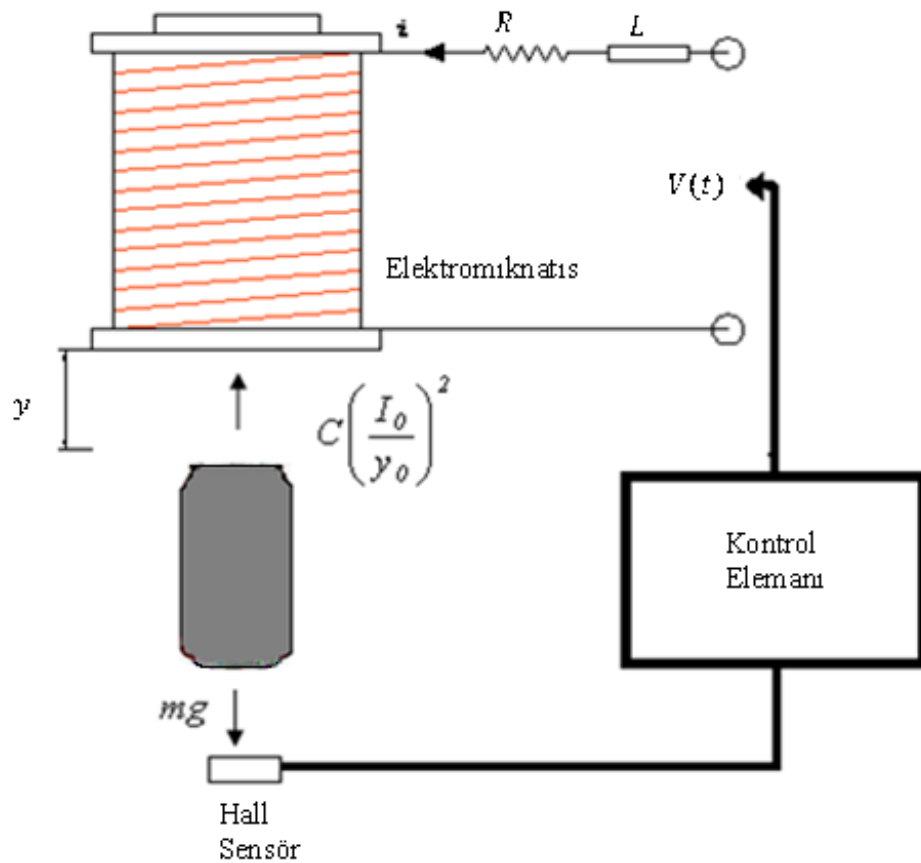
Şekil 2.45. Erkal'ın çalışması

Shen (2002), “ $H^\infty$  Control and Sliding Mode Control of Magnetic Levitation System” isimli çalışmasında; manyetik askı sistemi için,  $H^\infty$  kontrol elemanını, kayma kipli kontrol elemanı ve PID kontrol elemanı ile deneysel olarak karşılaştırmıştır.  $H^\infty$  kontrol elemanının performansının iyi olduğunu sonucuna varılmıştır.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Manyetik Askı Sisteminin Matematik Modellemesi

Şekil 3.1'deki sistemde, elektromıknatıs tarafından yer çekimine karşı bir elektromanyetik kuvvet uygulanması ile sürekli mıknatıslı alüminyum kutu havada tutulmaktadır. Sistemin teorik analizi ve davranışlarının incelenmesi için gerçek değerler seçilmiştir. Elektromıknatıs için  $R$  direnç,  $L$  indüktans ve  $C$  manyetik kuvvet sabiti kabul edilip, elektromıknatısın histerisiz etkisi ihmal edilmiştir. (Challa, 2007)



Şekil 3.1. Manyetik top askı sistemi

Newton'un 2. Kanununa göre;

$$m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = mg - f(i, y) \quad (3.1)$$

burada  $m$ , sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun kütlesi ve  $g$  'de yerçekimi sabitidir.

(3.1) eşitliği aşağıdaki gibi de tanımlanabilir.

$$[f(i, y)] dy = dW_g - dW_{fi}$$

$$f(i, y) = \frac{dW_g}{dy} - \frac{dW_{fi}}{dy} \quad (3.2)$$

Burada,  $dW_g$  elektriksel değişim olup  $dW_{fi}$  potansiyel enerjidir. Ancak,  $dW_g$  doğrusal sistemlerde sifıra eşit olduğundan, aşağıdaki eşitlik bulunur.

$$f(i, y) = - \left. \frac{dW_{fi}}{dy} \right|_{i=sabit} \quad (3.3)$$

Elektromanyetik kuvvet (3.3) eşitliğine uygulanır,

$$f(i, y) = - \left. \frac{i^2(t)}{2} \frac{dL(y)}{dy} \right|_{i=sabit} \quad (3.4)$$

Burada;  $L(y)$  elektromıknatısın indüktansı ve  $y$  sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun konumudur.

Sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun konumu elektromıknatısın indüktansını değiştirir. Sürekli mıknatıslı alüminyum kutu elektromıknatısa yaklaşıncı indüktans artar, uzaklaşıncı azalır

$$L(y) = L_1 + \frac{L_0 y_0}{y} \quad (3.5)$$

Toplam indüktans (3.4)'teki eşitliğe uygulanırsa,

$$f(i, y) = -\frac{i^2(t)}{2} \frac{dL(y)}{dy} = -\frac{i^2}{2} \frac{d}{dy} \left( L_1 + \frac{L_0 y_0}{y} \right)$$

$$f(i, y) = -\frac{i^2}{2} \left( -\frac{L_0 y_0}{y^2} \right) = \frac{L_0 y_0}{2} \frac{i^2}{y^2} = C \frac{i^2(t)}{y^2(t)} \quad (3.6)$$

Burada  $C$  manyetik kuvvet sabiti olarak ifade edilir.

$$C = \frac{L_0 y_0}{2} \quad (3.7)$$

Sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun konumu elektromıknatısı etkileyerek indüktansını değiştirir. Bu değişim doğrusal değildir. Ayrıca, denge noktası elektromanyetik kuvvet ve yerçekimi kuvveti arasındaki süreklilik kararlı değildir. Bu sorunun çözümü elektromanyetik kuvvetin doğrusallaştırılmasıyla çözülür.

$$f(i, y) = C \left( \frac{I_0}{y_0} \right)^2 + \left( \frac{2CI_0}{y_0^2} \right) i(t) - \left( \frac{2CI_0^2}{y_0^3} \right) y(t) \quad (3.8)$$

$$f(i, y) = f_0 + f_1 + \dots$$

Buradaki  $I_0$ , sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun  $y_0$  denge konumundaki elektromıknatısın çektiği akımdır.

Manyetik ve yerçekimi kuvvetlerinin etkilediği sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun ivmesi, denge anında sıfıra eşit olup (3.1) eşitliğinden,

$$f_0 = C \left( \frac{I_0}{y_0} \right)^2 = mg' \text{ dir} \quad (3.9)$$

(3.1), (3.8), ve (3.9) eşitliklerinde, yüksek dereceli terimleri ihmal edilebilir, bununla birlikte denge anında (3.10) eşitliğinde korunan  $f_1$  kontrol kuvveti aşağıda verilmiştir.

$$f(i, y)_1 = f + f_0$$

$$f(i, y)_1 = C \left( \frac{I_0}{y_0} \right)^2 + \left( \frac{2CI_0}{y_0^2} \right) i(t) - \left( \frac{2CI_0^2}{y_0^3} \right) y(t) - C \left( \frac{I_0}{y_0} \right)^2 \quad (3.10)$$

$$f_1 = \left( \frac{2CI_0}{y_0^2} \right) i(t) - \left( \frac{2CI_0^2}{y_0^3} \right) y(t)$$

(3.1), (3.8), ve (3.9) eşitliklerinden kontrol kuvveti denklem (3.11)'deki bulunur.

$$m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} = -f(i, y)_1 \quad (3.11)$$

Elektriksel eşitlikler için ise, elektromıknatıs dikkate alınır. Elektromıknatıs için seri direnç ve indüktans birleşimi olarak elektriksel modelleme yapılmıştır. Elektromıknatıs için akım-gerilim ilişkisi;

$$V(t) = Ri(t) + L(y) \frac{di(t)}{dt} \quad (3.12)$$

Aslında bu denklem, sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun pozisyonundan etkilendiği için doğrusal olmayan indüktörden dolayı oldukça karmaşıktır. Sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun,  $y = y_0$  noktasında dengede iken sistemi doğrusal kabul edip basit olarak analiz edilebilir. Yani,  $L(y)$  basit bir şekilde  $L + L_0$  dır. Elektromıknatısın indüktansının sürekli etkisi basitleştirebilir ki  $L_1$  daha fazla katkı yaptığından dolayı son eşitlik, son eşitlik aşağıdaki şekildeki gibi elde edilir.

$$V(t) = Ri(t) + L_1 \frac{di(t)}{dt} \quad \text{olur.} \quad (3.13)$$

Sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun yer değiştirme miktarı sensör yardımıyla ölçülerek aşağıdaki şekilde formüle edilebilir.

$$h = V_y(y) = \beta y \quad (3.14)$$

Burada  $\beta$  sensor kazancıdır.

(3.10), (3.11), (3.13), ve (3.14) denklemleri Laplace dönüşümü ile birleştirilebilir.

$$V(t) = Ri + L_1 \frac{di}{dt} \quad \Leftrightarrow \quad V(s) = RI(s) + sL_1I(s) \quad (3.15)$$

$$I(s) = \frac{V(s)}{R + sL_1}$$

$$F_1(s) = \left( \frac{2CI_0}{y_0^2} \right) I(s) - \left( \frac{2CI_0^2}{y_0^3} \right) Y(s)$$

$$F_1(s) = K_I I(s) - K_Y Y(s) \quad (3.16)$$

Burada;

$$K_I = \left( \frac{2CI_0}{y_0^2} \right) \quad \text{ve} \quad K_Y = - \left( \frac{2CI_0^2}{y_0^3} \right) \quad (3.17)$$

$$V_Y = \beta Y(s) \quad \text{dir.} \quad (3.18)$$



Aynı zamanda,

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = f_1(i, y) \quad \Rightarrow \quad ms^2 Y(s) = -F_1(s)$$

$$ms^2 Y(s) = -[K_I I(s) - K_Y Y(s)] \quad (3.19)$$

$$ms^2 Y(s) - K_Y Y(s) = -K_I I(s)$$

$Y(s)(ms^2 - K_Y) = -K_I I(s)$  şeklindeki eşitlikler yazılabilir.

Denklem (3.19) içine denklem (3.15) ve (3.18) konularak denklem (3.20) elde edilebilir.

$$\frac{V_Y(s)}{\beta} (ms^2 - K_Y) = -K_I \frac{V(s)}{R+sL_1} \quad (3.20)$$

Elektromıknatısın besleme gerilim  $V(s)$  ve sensor çıkış gerilimi  $V_Y(s)$  arasındaki genel transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$G(s) = \frac{V_Y(s)}{V(s)} = \frac{-K_I \beta}{(R+sL_1)(ms^2 - K_Y)} \quad (3.21)$$

$$G(s) = \frac{V_Y(s)}{V(s)} = \frac{-\beta K_I / mL_1}{\left(s + \frac{R}{L_1}\right) \left(s^2 - \frac{K_Y}{m}\right)}$$

$$G(s) = \frac{V_Y(s)}{V(s)} = \frac{K_1}{(s+p_3)(s^2 - K_2)} \quad (3.22)$$

Burada, aşağıdaki tanımlar geçerlidir.

$$K_1 = -\frac{\beta K_I}{mL_1}, \quad K_2 = \frac{K_Y}{m} \quad \text{ve} \quad p_3 = \frac{R}{L_1} \quad (3.23)$$

(3.22) eşitliği aynı zamanda aşağıdaki gibi de düzenlenebilir. (Challa, 2007)

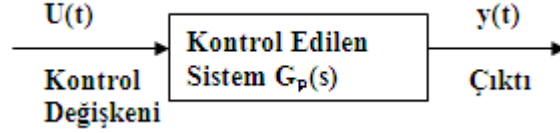
$$G(s) = \frac{K_1}{s^3 + p_3 s^2 - K_2 s - p_2 K_2} \quad (3.24)$$

### 3.2. PD, PI ve PID Kontrol Elemanları

Tasarım kriterleri her uygulamaya göre farklılık gösterir ve genellikle görelî kararlılık, kararlı hal hatası, geçici yanıt ve frekans yanıtı ile ilgili kısımlardan oluşur. Doğrusal kontrol sistemlerinin tasarımı zaman yada frekans tanım bölgelerinde gerçekleştirilebilir. Örneğin kararlı hal hatası genellikle birim basamak, rampa yada parabolik giriş için tanımlanır. Belirli tasarım kriterleri zaman tanım aralığında çok kolay değerlendirilebilir. En büyük aşım, yükselme zamanı ve yerleşme zamanı gibi birim basamak giriş için tanımlanan kriterler genellikle zaman tanım bölgesi tasarımında kullanılır. Görelî kararlılık kazanç payı, faz payı ve rezonans tepesi gibi büyüklüklerle ölçülür. Bu tip frekans tanım bölge kriterleri Bode diyagramı, kutupsal yer eğrisi, genlik faz eğrisi ve Nichols abağı ile birlikte kullanılırlar.

Doğrusal sistemlerin tasarımında Bode, Nyquist, genlik-faz eğrisi ve Nichols abağı gibi yöntemler yaklaşık çizimlerde ayrıntıya gerek duymazlar. Böylece kazanç payı, faz payı, rezonans tepesi gibi frekans tanım bölgesi kriterlerinden yararlanılarak yüksek mertebeden sistemler bile tasarlanabilir. Diğer taraftan, zaman tanım bölgesinde yükselme zamanı, gecikme zamanı, yerleşme zamanı, aşım vs. gibi davranış kriterleri

sadece ikinci mertebeden sistemlerde analitik tasarlanabilir, yada ikinci mertebeden sistemler cinsinden yaklaşık ifade edilebilir.



Şekil 3.2. Kontrol sistem dinamiği

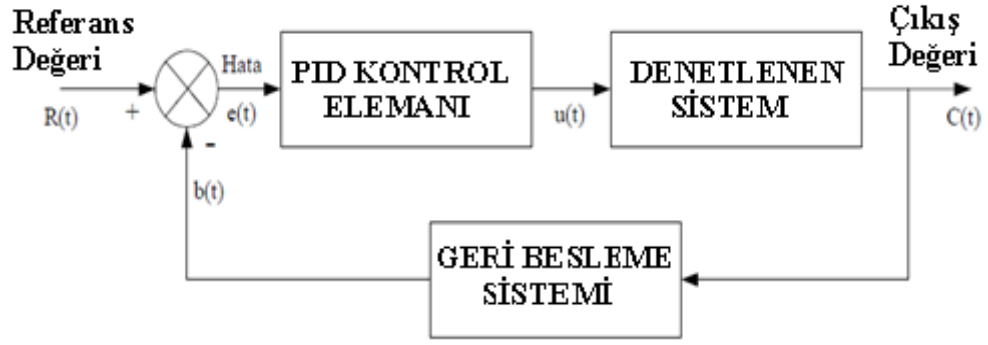
Kontrol edilen bir sistemin dinamiği genelde şekil 3.2.'de verilen blok diyagramı ile ifade edilir. Tasarımın amacı  $y(t)$  ile gösterilen kontrol edilen çıkış değişkeninin istenilen şekilde davranmasıdır. Sorun, temelde tasarım amaçlarının tümü gerçekleşecek biçimde  $u(t)$  kontrol işaretini belirli bir zaman aralığında belirtmektir.

Tasarım yönteminde, tasarımcı kontrol elemanını kontrol edilen processe göre nereye yerleştirmesi gerektiğini genellikle önceden belirler ve sisteme sabit yapıda bir tasarım uygular. Bu durumda sorun kontrol elemanlarını belirlemeye dönüşür.

Yaygın olarak kullanılan kontrol yapıları:

- Seri dengeleme
- Geribeslemeli dengeleme
- Durum geribeslemeli dengeleme
- Seri-geribeslemeli dengeleme
- İleri beslemeli dengeleme

Bu kontrol yapılarının içerisinde en yaygın kullanılanı seri-geri beslemeli dengeleme olup yapısı şekil 3.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Seri-geri beslemeli dengeleme

Yukarıdaki dengeleme yapıları içindeki PID kontrol elemanı yaygın uygulama alanı bulan ve etkin işaretin oransal, integral ve türevsel bir bileşimini sisteme uygulayan bir kontrol elemanıdır. Bu işaret bileşenleri zaman tanım bölgesinde kolaylıkla gerçekleştirilip görüntülenebildiğinden, PID kontrolü genellikle zaman tanım bölgesi yöntemleri ile tasarlanır.

Belirli bir kontrol elemanı yapısı seçildikten sonra, tasarımcı tüm tasarım koşullarını gerçekleyen bir kontrol elemanı türünü, eleman değerleri ile birlikte belirlemelidir. Mühendislik uygulamaları gereği tüm tasarım koşullarını sağlayan en basit yapıyı kontrol elemanı seçimi tercih edilir. Genellikle kontrol elemanının karmaşıklığı arttıkça fiyatı artar, güvenilirliği azalır ve tasarımı güçleşir.

Bir kontrolde karar kıldıktan sonra ikinci adım kontrol elemanının parametre değerlerini belirlemektir. Bu parametre değerleri kontrol elemanını oluşturan bir yada daha fazla transfer fonksiyona ilişkin katsayılardır.

Tasarım, zaman yada frekans, hangi tanım bölgesinde sürdürülürse sürdürülsün bazı yöntem yada tasarım kurallarını izlemelidir. Zaman tanım bölgesi tasarımın özellikle s-düzlemine ve kök eğrilerine dayandığını göz önünde bulundurulmalıdır. Frekans tanım bölgesi tasarımında ise, çevrim transfer fonksiyonu genlik ve faz etkilenecek, kriterler sağlatmaya çalışılır.

Tasarımda kullanılmak amacıyla zaman ve frekans tanım bölgesinin özellikleri;

- Kapalı çevrim transfer fonksiyonunda karmaşık eşlenik kutuplar az sönümlü basamak yanıtlarına neden olur. Tüm kutupların gerçek olması durumunda birim basamak yanıtı aşırı sönümlüdür. Ancak, kapalı çevrim transfer fonksiyonundaki sıfırlar, sistem aşırı sönümlü olsa bile, aşırma neden olabilir.
- Sistem yanıtı, s-düzleminde koordinat merkezine en yakın kutuplar tarafından belirlenir. Sola doğru uzaklaşan kutuplar geçici yanıtta daha hızlı söner.
- Baskın sistem kutupları s-düzleminde sola doğru uzaklaştıkça, sistem yanıtı hızlanır ve bant genişliği artar.
- Baskın sistem kutupları s-düzleminde sola doğru uzaklaştıkça, iç işaret genlikleri büyür ve sistemin işletim masrafı artar. Bu, her ne kadar analitik doğrulansa da, bir çiviye çekiçle daha sert vurulduğunda, çivinin daha fazla ötelendiği ve her darbeye daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulduğu gerçeğinden kaynaklanır. Benzer şekilde bir spor arabasının ivmesi fazladır, ancak normal bir arabaya göre daha fazla yakıt harcar.
- Sistem transfer fonksiyonunda bir sıfır bir kutbun yanında yer alması halinde, kutup sistem yanıtını çok küçük bir genlikle etkiler (sıfır-kutup silmesi).
- Zaman ve frekans tanım bölgesi kriterleri kendi aralarında ilişkilidir. Yükselme zamanı ve bant genişliği ters orantılıdır. Faz payı, kazanç payı, rezonans tepesi ve sönüm oranı ters orantılıdır. (Kuo, 1999)

Manyetik askı sistemlerinde kullanılan kontrol elemanlarından,

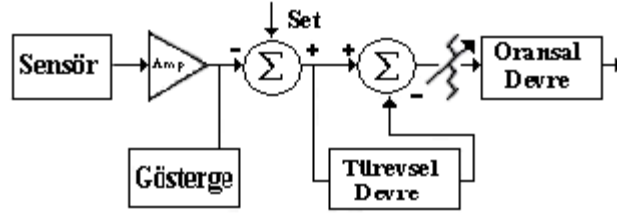
- PD (Orantı-Türev Etki) Kontrol Elemanı ile Tasarım,

- PI (Orantı-İntegral Etki) Kontrol Elemanıyla Tasarım,
- PID (Orantı-İntegral-Türev Etki) Kontrol Elemanıyla Tasarımları incelenecektir.

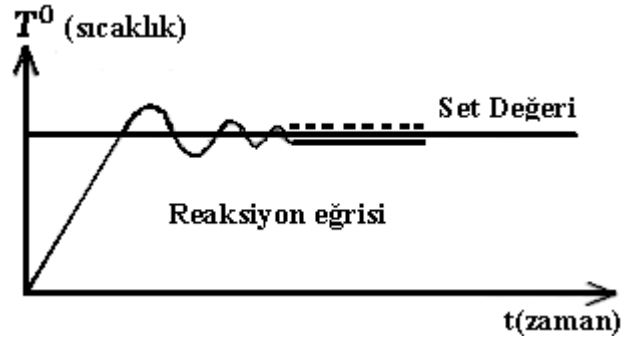
### 3.2.1. PD (Orantı-Türev Etki) kontrol elemanıyla tasarım

Oransal kontrolde oluşan ofset, Oransal+Türevsel kontrol ile de azaltılabilir. Oransal+Türevsel kontrolde set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark sinyalinin türevi alınır. Türevi alınan fark sinyali, tekrar fark sinyali ile toplanır ve oransal devreden geçer. Bu şekilde düzeltme yapılmış olur. Ancak türevsel etkinin asıl fonksiyonu üst-alt tepe (Overshoot-Undershoot) değerlerini azaltmak içindir. Üst ve alt tepe değerlerini azaltırken bir miktar sapma kalabilir. Oransal + Türevsel kontrolde set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark sinyali, elektronik türev devresine gider. Türevi alınan fark sinyali tekrar fark sinyali ile toplanır ve oransal devreden geçer. Bu şekilde düzeltme yapılmış olur. Şekil 3.4.' de blok şema halinde oransal+türevsel kontrolü göstermektedir. Ayrıca Şekil 3.5.'de göreceli olarak reaksiyon eğrisi verilmektedir.

Türevsel etki, düzeltici etkisini hızlı bir şekilde gösterdiği için hızlı değişimlerin olduğu kısa süreli proseslerde kullanılması uygundur. Banyo tipi proseslerde yani daldır-çıkarma gibi uygulamalarda hızlı değişimlere ayak uydurmak üzere PD seçilebilir. Sürekli tip uzun süreli fırın ya da proseslerde ve off-set arzu edilmeyen hallerde PI tip seçilebilir. Uygulayıcı, birçok faktörü göz önüne almalıdır. (Poyraz, 2006)



Şekil 3.4. Blok şema halinde oransal+türevsel kontrolü



Şekil 3.5. Oransal + türevsel kontrol blok şema ve reaksiyon eğrisi

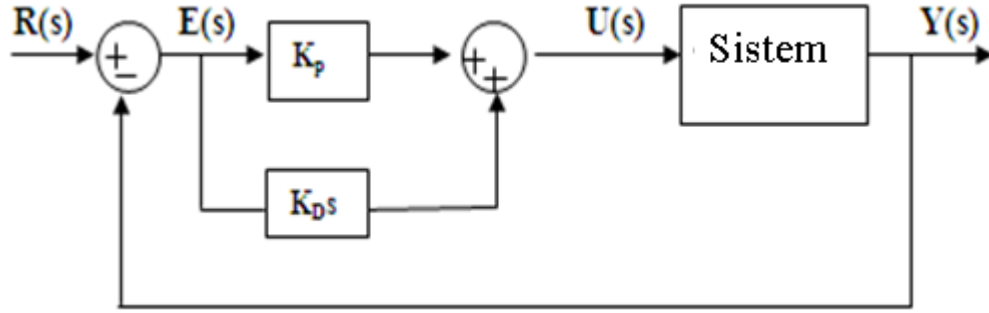
Orantı-Türev kontrol elemanları her iki denetim etkisinin özelliklerini taşırlar. Sistemin transfer fonksiyonu (3.25) denkleminde olduğu gibidir. PD kontrol elemanı sistem ileri yol transfer fonksiyonuna  $s = -K_P/K_D$  'de bir sıfır ekler.

- PD Kontrolü genelde bir öngörülü kontroldür.
- Türevsel yada PD kontrol kararlı hal hatasını sadece hata zamanla değişirse etkiler.
- PD kontrolü bir yüksek geçiren filtredir.
- Genellikle bant genişliğini artırır.
- Basamak yanıtında yükselme ve yerleşme zamanlarını azaltır.
- Sönümü artırır ve en büyük aşımı azaltır.
- Yüksek frekans gürültülerini arttırdığı için sakıncalıdır.

- Kazanç payı, faz payı ve rezonans tepesini düzeltir.
- Az sönümlü yada kararsız sistemlerde etkili olmaz.
- Devrenin tasarımında görece büyük kapasitelere ihtiyaç duyabilir. (Kuo, 1999)

Transfer fonksiyonu;

$$G_c(s) = (K_p + K_D s) \text{ 'dir.} \quad (3.25)$$



Şekil 3.6. PD kontrol sistemi blok diyagramı

### 3.2.2. PI (Orantı-İntegral Etki) kontrol elemanı ile tasarım

PD kontrol elemanının sistemin sönümünü ve yükselme zamanını, daha büyük bant genişliği ve rezonans frekansı uğruna düzelttiği ve birim basamak girişinde görüldüğü gibi zamanla değişmeyen girişlerde kontrol elemanının kararlı hal hatalarını etkilemediği görülmüştü. Buna göre PD kontrolü öngörülen hedefleri sağlamayabilir. (Kuo, 1999)

Oransal kontrolde oluşan sapmayı azaltmak veya ortadan kaldırmak için kontrol elemanı olarak integratör ( integral alıcı devre ) kullanılır. Ölçülen değer ile set edilen değer arasındaki fark sinyalinin zamana göre integrali alınır. Bu integral değeri, fark değeri ile toplanır ve oransal bant kaydırılmış olur.



Matematiksel olarak formüle edilebilir;

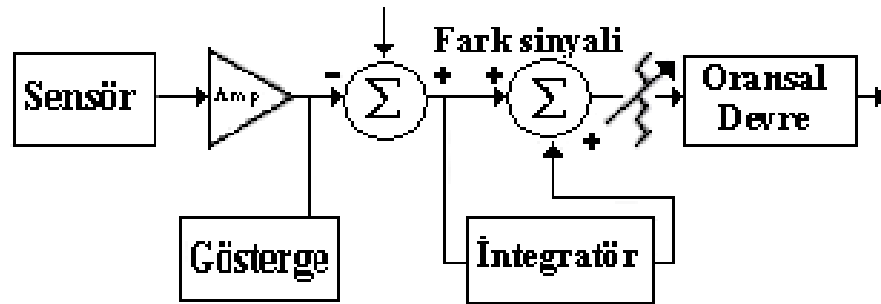
$$V_p = K_p e(t) + K_i \int e dt + V_0 \quad (3.26)$$

$V_p$  = Kontrol elemanı çıkışı

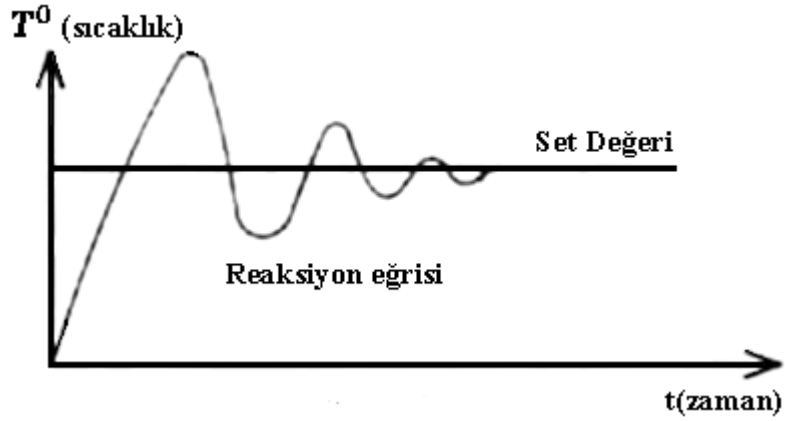
$K_i$  = İntegral kazancı

$t$  = Zaman

Bu şekilde sisteme verilen enerji otomatik olarak artırılır veya azaltılır ve proses değişkeni set değerine oturtulur. İntegratör devresi, gerekli enerji değişkenliğine set değeri ile ölçülen değer arasında fark kalmayınca kadar devam eder. Fark sinyali sıfır olduğu anda artık integratör devresinin integralini alacağı bir sinyal söz konusu değildir. Herhangi bir şekilde sistem dengesi bozulup, proses değişkeni değeri set değerinden uzaklaşacak olursa tekrar fark sinyali oluşur ve integratör devresi düzeltici etkisini gösterir. (Poyraz, 2006)



Şekil 3.7. Blok şema halinde oransal+integral kontrolü

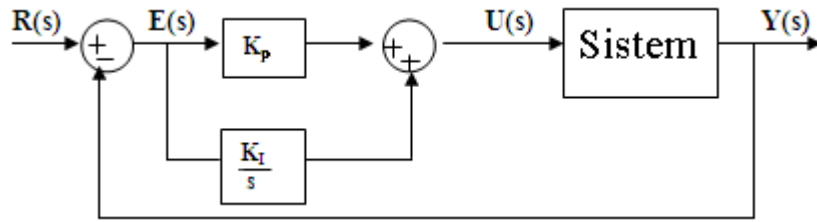


Şekil 3.8. Oransal+integral kontrol blok şeması ve reaksiyon eğrisi.

PI kontrol elemanının sistem ileri yol transfer fonksiyonuna  $s = -K_I/K_P$  'de bir sıfır,  $s = 0$ 'da bir kutup ekler. Şu halde özgün sistemin kararlı hal hatası bir merteye iyileşir. Buna göre belirli bir giriş için kararlı hal hatası sabit ise, sistem kararlı kaldığı sürece, PI kontrol elemanının bunu sıfırlayacağı anlamına gelir.

PI kontrol elemanının transfer fonksiyonu aşağıdaki şekildedir.

$$G_C(s) = K_P + \frac{K_I}{s} \quad (3.27)$$



Şekil 3.9. PI kontrol blok diyagramı

Uygun tasarlanırsa PI kontrol elemanı kontrol sistem davranışını şu şekilde etkiler;

- Sistemin geçici ve kararlı hal davranışını düzeltir.

- PI kontrol elemanı temelde bir alçak geçiren filtredir.
- Sönümü düzeltir ve aşımı azaltır.
- Yükselme zamanını arttırır.
- Bant genişliğini azaltır.
- Kazanç payı, faz payı ve rezonans tepesini iyileştirir.
- Yüksek frekans gürültülerini süzer.
- Kontrol devresindeki kapasite değerinin çok büyük olmaması için uygun seçilmesi gereken  $K_I$  ve  $K_P$  değerleri PD kontrol elemanından daha sınırlıdır.

Uygulanabilir bir PI kontrol elemanı tasarım yöntemi,  $s = -K_I/K_P$  kutbunu sistemin önemli etkin kutuplarından uzak, koordinat merkezine mümkün olduğu kadar yakın seçmeyi ve  $K_P$  ile  $K_I$  değerlerini küçük tutmayı amaçlar. (Kuo, 1999)

### 3.2.3. PID (Orantı-İntegral-Türev Etki) kontrol elemanı ile tasarım

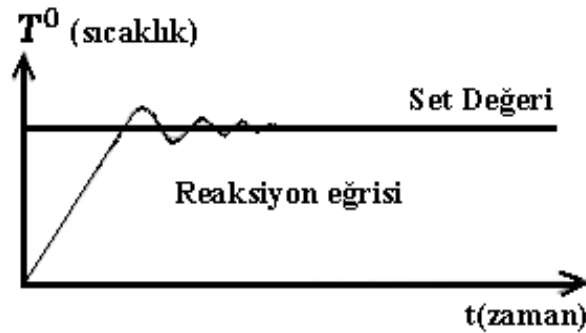
PD kontrolünün sisteme zayıflama getirdiği ancak sistemin kararlı hal davranışını etkilemediği görülmüştür. PI kontrol elemanının ise, görece kararlılığı ve aynı zamanda kararlı hal hatalarını düzelttiği, ancak yükselme zamanının arttığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar, PI ve PD kontrol elemanlarının iyi yönlerinden yararlanmayı sağlayan, PID kontrolünü kullanmaya yöneltir. (Kuo, 1999)

Kontrolü zor olan ve diğer kontrol türlerinin yeterli olmadığı proseslerde tercih edilen bu kontrol türünde; oransal kontrolde oluşan sapma, integral fonksiyonu ile giderilir. Meydana gelen alt ve üst tepe değerler bu kontrole türevsel etkinin

eklenmesiyle minimum seviyeye indirilir veya tamamen ortadan kaldırılır. (Poyraz, 2006)

Esas amaç ayar değeri ile ölçüm değeri arasındaki hatayı sifıra indirmek ve bu sayede istenen değere ulaşmak olan tüm kontrol türlerinde; Oransal (P), Integral (I), Türev (D) parametrelerinin uygun bir şekilde ayarlanmaları sayesinde kontrol edilen değişkenin ayar değerine;

- Minimum zamanda
- Minimum üst ve alt tepe ( overshoot ve undershoot ) değerlerinden geçerek ulaşmasını sağlarlar.



Şekil 3.10. Oransal +İntegral + Türevsel kontrol reaksiyon eğrisi

İntegral ve türevsel parametrelerin söz konusu olmadığı ve sadece P tipi kontrol cihazları ile kurulan sistemlerde de dengeye ulaşmak mümkündür. Ancak sadece P'nin aktif olduğu bu tür kontrol sistemlerinde az da olsa set değeri ile kontrol edilen değer arasında sıfırdan farklı + veya - değerinde ve de sifıra indirilmeyen bir sapma mevcuttur. Sadece P ile kontrol edilen böyle bir sisteme I'nın ilavesi sapmayı ortadan kaldırmaya yöneliktir. Diğer bir deyişle PI türündeki bir kontrol cihazı ile denetlenen bir proseste normal şartlar altında sistem dengeye oturduktan sonra sapma oluşması söz konusu

değildir. Integral etki sapmayı sıfıra indirirken sisteme faz gecikmesi katarak sistemin kararlılığını azaltır. (Poyraz, 2006)

Bununla beraber integral zamanının çok kısa olması prosesin osilasyona girmesine neden olabilir.

PI denetim mekanizmasına D ilavesi ise set değerine ulaşmak için geçen zamanı kısaltmaya yaramaktadır. Diferansiyel etki sisteme faz avansı getirir ve sistemin kararlı hale gelmesinde yardımcı olur. Böylece büyük orantı kazançları elde edilebilir. Fakat büyük nakil gecikmeleri olan sistemlerde diferansiyel etkinin önemi çok azalır. (Kuo, 1999)

PID uygulamaları için standart bir tanımlama yoktur. Karl Astrom'a göre PID algoritması aşağıdaki gibidir:

$$u(t) = K \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3.28)$$

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

Burada  $u(t)$  kontrol değişkeni,  $e(t)$  toplama noktası,  $y(t)$  çıkıştan ölçülen değerle aynıdır.  $K$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  PID parametreleridir. Yukarıdaki formül biraz daha basite indirgenirse, aşağıdaki eşitlik yazılır. (Poyraz, 2006)

$$u(t) = P(t) + I(t) + D(t) \quad (3.29)$$

$P$ : Oransal     $I$ : İntegral     $D$ :Türevsel

$$P_S = K_{p_S} S(t), \quad I_S = K_{i_S} \int_0^t S(\tau) d\tau, \quad D_S = K_{d_S} \frac{dS(t)}{dt}$$

### 3.3. Kök-Yer Eğrileri(Root Locus) Metodu

Bir kapalı çevrim kontrol sisteminin karakteristik denkleminin köklerinin değişimini, açık çevrim  $G(s)H(s)$  transfer fonksiyonunun kutup ve sıfırlarını kullanarak, sistem kazanç parametresi değişimine göre  $s$  düzleminde çizmeye köklerin yer eğrisi yöntemi denir. Karakteristik denklemin kökleri, açık çevrim transfer fonksiyonunun  $K$  kazanç sabiti, kutup ve sıfırlarına bağlıdır. Bu parametreler değiştikçe köklerde değişir. Köklerin  $s$  düzleminde oluşturduğu noktaların birleştirilmesi ile köklerin yer eğrisi elde edilmiş olur.

Kök-yer eğrisi tek-giriş, tek-çıkışlı sistemler için kullanılan bir kararlılık çözümleme aracıdır. Kök-yer eğrisinin çözümlenmesi ile, sistem tasarımcısı köklerin nerede yer aldığını ve istenilen kararlılık ve cevap için transfer fonksiyonunda ne tür değişimler yapılması gerektiğini belirler.

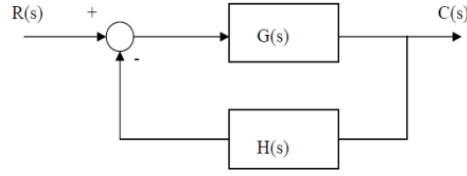
Değişken kazançlı bir kontrol sistemi tasarlarken dikkat edilecek temel nokta kullanılan kazanç değerlerinin sistemi karalı bölgede tutmasıdır.

Kök-yer eğrisi çizimi kararsız bölgeleri (kompleks düzlemde köklerin düşey eksenin sağ tarafı), aşırı sönümlü sistemleri, ve titreşimli sistemleri belirlemede oldukça kullanışlıdır.

Kök-yer eğrisi yöntemi bir miktar zaman alıcıdır, fakat elde edilen sonuçlar bir kontrol sistemini tasarlarken oldukça önemlidir.

#### 3.3.1. Kök-yer eğrilerinin çizimi

Şekil 3.11.'de verilen genel geri besleme sistemini ele alırsak, kapalı-döngü transfer fonksiyonunun kutupların bulunması için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekir.



Şekil 3.11. Kapalı-döngü sistemi

$$1 + G(s)H(s) = 0 \quad (3.30)$$

$$G(s)H(s) = -1 = 1 \angle 180^\circ (2k + 1) \quad (3.31)$$

burada,  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  dir. (3.31) nolu denklem, bir kapalı-döngü kutbu var olması halinde, açı koşulu ve modül koşulu olmak üzere iki durumu belirler. Burada  $G(s)H(s)$  bir karmaşık sayı fonksiyon olduğuna göre açı ve modül olmak üzere iki unsuru vardır. Açı koşulu,

$$\angle G(s)H(s) = 180^\circ(2k + 1) \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (3.32)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $G(s)H(s)$  in açısı  $180^\circ$  çarpımının tek katlarıdır. Modül (büyüklük) koşulu:  $G(s)H(s)$  modülü birim değere eşit olmalı. Bu da,

$$|G(s)H(s)| = 1 \quad (3.33)$$

şeklinde gösterilir. Açı ve modül koşullarını sağlayan  $s$  değerleri karakteristik denklemin kökleri veya kapalı-döngü kutuplarıdır. Karmaşık açı koşulunu sağlayan noktaların çizdiği eğri köklerin geometrik yerinin eğrisi kısaca kök-yer eğrisidir. Kazancın belirli bir değerine karşılık karakteristik denklemin kökleri ise modül koşulundan belirlenir. (Yüksel, 1997)

### 3.3.2. Kök-yer eğrisi çizim kuralları

Kural 1 : Kök-yer eğrisi birden fazla kollardan meydana gelebilir bu kollarin sayısı karakteristik denklemin derecesine eşittir. Diğer bir deyişle kol sayısı açık-döngü kutup sayısına eşittir. Kök-yer eğrilerinin her bir bölümü veya kolu, kazancın değişimine bağlı olarak kapalı-döngü sistemin belli bir kutbunun hareketini tanımlar.

Kural 2 : Açık-döngü kutupları kök-yer eğrisinin başlama noktası ( $K = 0$ ) ve açık-döngü sıfırları da kök-yer eğrisinin bitiş noktasını ( $K = \infty$ ) tanımlar. Buna göre kök yer eğrisi açık döngü kutuplarında başlar ve sıfırlarında sona erer. Eğer  $G(s)H(s)$  in paydasının derecesi payın derecesinden büyük ise kök-yer eğrisi sonsuzda biter ve payın derece paydanın derecesinden büyükse kök-yer eğrisi sonsuzda başlar. Genellik paydanın derecesi payın derecesinden büyük olduğundan kök-yer eğrisi sonsuza gider.

Kural 3 : Gerçek eksen üzerinde yer alan kök-yer eğrisi kolları açık-döngü kutup ve sıfırlarından bulunur. Açık-döngü transfer fonksiyonunun karmaşık eşlenik kutuplarının ve sıfırlarının gerçek eksen üzerinde yer alan kök-yer eğrisi üzerinde bir etkisi yoktur. Çünkü karmaşık-eşlenik kutupların ve sıfırların gerçek eksen üzerindeki açı paylan  $360^\circ$  dir ve  $180^\circ(2k+1)$  olan açı koşulunu sağlamaz. Gerçek eksen üzerinde yer alan kök-yer eğrisinin her bir kısmı bir kutup veya sıfırdan diğer kutup veya sıfıra doğru uzanır

Kural 4 : Kök-yer eğrisinin asimptot açısı aşağıdaki denklem yoluyla bulunur.

$$\alpha = \frac{180(2k+1)}{n-m} \quad (k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \dots) \quad (3.34)$$

Burada

$n$  açık-döngü,  $G(s)H(s)$  kutuplarının sayısı

$m$  açık-döngü,  $G(s)H(s)$  sıfırlarının sayısı



Burada  $k = 0$  asimptotun gerçek eksen ile yaptığı en küçük açığı karşılık gelir. Her ne kadar  $k$ 'nin sonsuz sayıda değeri olduğu kabul edilirse de  $k$ 'nin artışı ile birlikte açılar kendilerini tekrarlarlar ve asimptot sayısı  $(n - m)$  değerine eşit olur.

Kural 5 : Tüm asimptotlar gerçek eksenini keser ve gerçek eksenini kestiği noktalar aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$\sigma_a = \frac{\sum G(s)H(s) \text{ kutupları} - \sum G(s)H(s) \text{ sıfırları}}{(\text{kutup sayısı}) - (\text{sıfır sayısı})} \quad (3.35)$$

Kural 6 : Kök-yer eğrisinin gerçek eksenden ayrılma noktası gerçek eksen üzerindeki kazanç katsayısı,  $K$  değerinin maksimum ve kök-yer eğrisinin gerçek eksen varış noktası  $K$  değerinin minimum olduğu noktadır. Kök-yer eğrisinin gerçek eksen etrafında simetrik olmasından dolayı, ayrılma noktaları ve varış noktaları ya gerçek eksen üzerinde yer alır ya da karmaşık kök çifti şeklinde ortaya çıkar. Ayrılma ve varış noktaları, karakteristik denklemde  $K$ 'yı çektikten sonra  $s = \sigma$  koyarak hesaplanabilir, daha sonra

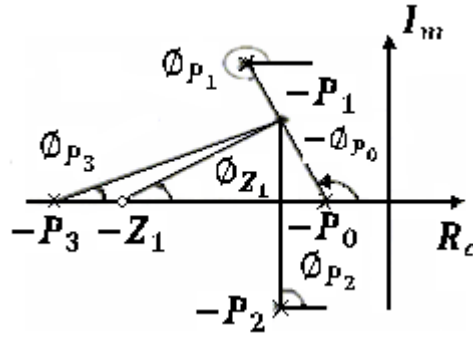
$$\frac{dK(\sigma)}{d\sigma} = 0$$

şeklinde türevi alındıktan sonra maksimum ve minimum yapan  $\sigma$  değerleri bulunur.

Kural 7 : Karmaşık kutuptan ayrılma açısı: Kök-yer eğrisinin bir karmaşık kutuptan ayrılma açısı açı koşulunu uygulayarak bulunur. Buna göre, Şekil 3.12.'de gösterildiği gibi karmaşık kutbun çok yakınında bir test noktası seçilir ve diğer kutup ve sıfırlardan çizilen doğruların yatay ile yaptığı açılar toplamından  $180^\circ$  çıkarılarak elde edilir.

$$\varphi_{z_1} - (\varphi_{p_1} + \varphi_{p_2} + \varphi_{p_3} + \varphi_{p_4}) = (2k + 1)180 \quad (3.36)$$

şeklinde ifade edilir. Simetriden dolayı diğer eşlenik kutuptan ayrılma açısı yukarıdaki değerlerin ters işaretlisi olur.



Şekil 3.12. Karmaşık kutuplardan ayrılma açısı

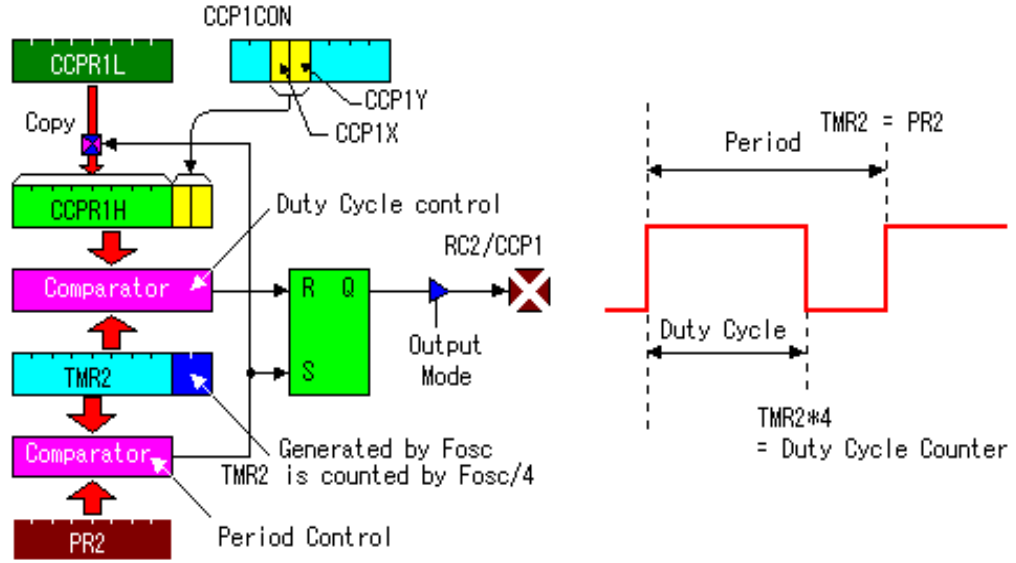
Kural 8 : Karmaşık sıfıra varış açısı: Kök-yer eğrisinin bir karmaşık sıfıra varış açısı yine açı koşulundan benzer şekilde bulunur.

Kural 9 : Kök-yer eğrisinin sanal eksenini kestiği nokta özyapısal denkleme Routh-Hurwitz kararlılık ölçütünün uygulamak suretiyle bulunabilir. Diğer bir yolda, özyapısal denklemde  $s = j\omega$  koyduktan sonra gerçekte ve sanal kısımları sıfırları eşitleyerek  $\omega$  ve  $K$  değerleri için çözüm elde edilir. Buradan bulunan  $\omega$  değeri kök-yer eğrisinin sanal eksenini kestiği yerdeki frekans değerine ve  $K$  da kritik kararlı duruma karşılık gelir. (Yüksel, 1997)

### 3.4. Darbe Genişlik Modülasyonu(Pulse-Width Modulation, PWM)

Üretilecek olan darbelerin, genişliklerini kontrol ederek, çıkışta üretilmek istenen analog elektriksel değerin veya sinyalin elde edilmesi tekniğidir. (Taştan, 2007)

Aslında yapılan iş çıkışa doğrudan lojik1 yada lojik 0 vermek yerine genişliği belirlenmiş periyotta sinyalin ne kadar sürede 1 ve ne kadar sürede 0 olarak kalacağını belirlemektir. Bu genişlik maksimum tutulursa çıkışa doğrudan 1, minimum tutulursa da 0 vermiş olunur. Diğer değerlerde ise yoğunluk ayarı yapılmış olunur. (<http://ccspic.com/ccs-c-dersleri/ccs-c-dersleri-pwm-uygulamaları.html>)



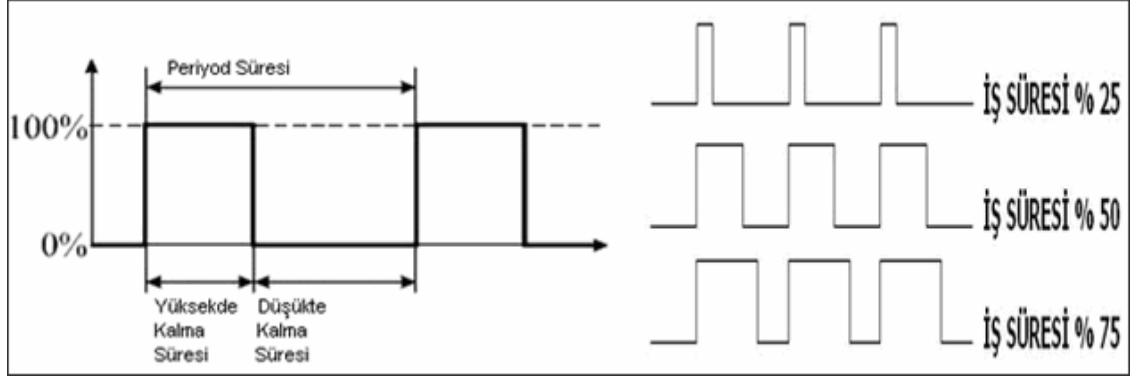
Şekil 3.13. PWM algoritması

PWM, elektrik ve elektronikte birçok alanda, farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Telekomünikasyon, güç üniteleri, voltaj düzenleyiciler, motor kontrolleri, ses üreteçleri veya yükselteçler gibi çeşitli uygulama alanları ve farklı uygulamaları bulunmaktadır. (Taştan, 2007)

Günümüzde, PWM'in en çok duyulduğu yer, güç kaynaklarıdır. SMPS (Switched mode power supply) güç kaynakları, düzenlenecek olan çıkış voltajlarını bu teknikten yararlanarak elde etmektedirler. Bu sayede, yüksek akım ve düşük voltajlı güç elde edimlerini için, transformatörlerden çok daha etkinlikli ve çok daha küçüklerdir. (Taştan, 2007)

Üretilen kare dalga darbe sinyallerinin genişliklerinin ortalaması, çıkışta üretilecek olan analog değerini elde edilmesini sağlar. (Taştan, 2007)

Bunu, bir şekilde açıklamak mümkündür.



Şekil 3.14. PWM tekniğinde değişik iş süreleri

Şekil 3.14.'te  $V_{cc}$  gerilimi 0-5 V olan sinyal için ortalama gerilim değeri

%25 için ortalama gerilim 1.25 V olur.

%50 için 2.5V olur.

%75 için 3.75 olur.

Eğer %100 PWM değeri için ortalama gerilim  $V_{cc}$  ye eşit 5 V olur.

Eğer bu darbe sinyalini PIC ile elde ediliyorsa genellikle  $V_{ss}=0$   $V_{cc} = 5$  voltur.

İşte bu dalganın  $V_{cc}$  de ve  $V_{ss}$  kalma süresinin oranı değiştirilerek 0-5 volt arasındaki tüm gerilimler elde edilebilir. PWM' nin en basit açıklaması bu şekildedir. (<http://320volt.com/pwm-teknigi-ve-microc-uygulama-ornegi/>)

Pic mikrodenetleyicilerinin PWM fonksiyonu, timer2 ile kontrol edilmektedir. Üretilecek PWM frekansı timer2 içerisine atandığında prescaler ile birlikte kullanılan kristalin hızı da belirleyecektir.

Frekans belirleme formülü;

$$T_{PWM} = T_{OSC} \times 4 \times (PR2 + 1) \times (TMR2 \text{ bölme oranı}) \quad (3.37)$$

$$f_{PWM} = \frac{1}{T_{PWM}} \quad (3.38)$$

Burada PR2 sayıcı değeri 0-255 arasında olmalıdır. Timer2 prescaler (TMR2 önbölücü) ise 1, 4 veya 16 değerlerini alabilir. Elde edilmek istenilen frekansı bulmak için PR2 yani timer2'nin saymaya başlayacağı değer ile birlikte prescaler değeri de uygun şekilde seçilmelidir. (<http://ccspic.com/ccs-c-dersleri/ccs-c-dersleri-pwm-uygulamaları.html>)

### **3.5. Teze Konu Olan Projede Kullanılan Malzemelerin ve Programların Tanıtımı**

Bu çalışmada, üç serbestlik dereceli matematiksel modellemeye sahip sürekli mıknatıs ile takviye edilmiş alüminyum kutunun yere düşmeden havada asılı kalması için PI, PD ve PID algoritmalarıyla kontrol elemanlarının tasarlanması ve çalışması amaçlanmıştır.

PI, PD ve PID algoritmalarında kullanılacak olan  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  katsayıları MATLAB ile hazırlanan "Control System Graphical User Interface(GUI, grafiksel kullanıcı arabirimi) Program for Controller Design" programıyla tespit edilmiştir. Manyetik askı sistemini kontrol edecek kontrol kartındaki mikrodenetleyiciyi programlamak için kullanılan kontrol yazılımı CCS C dili ile hazırlanmıştır.

Böylece hazırlanan yazılımda;

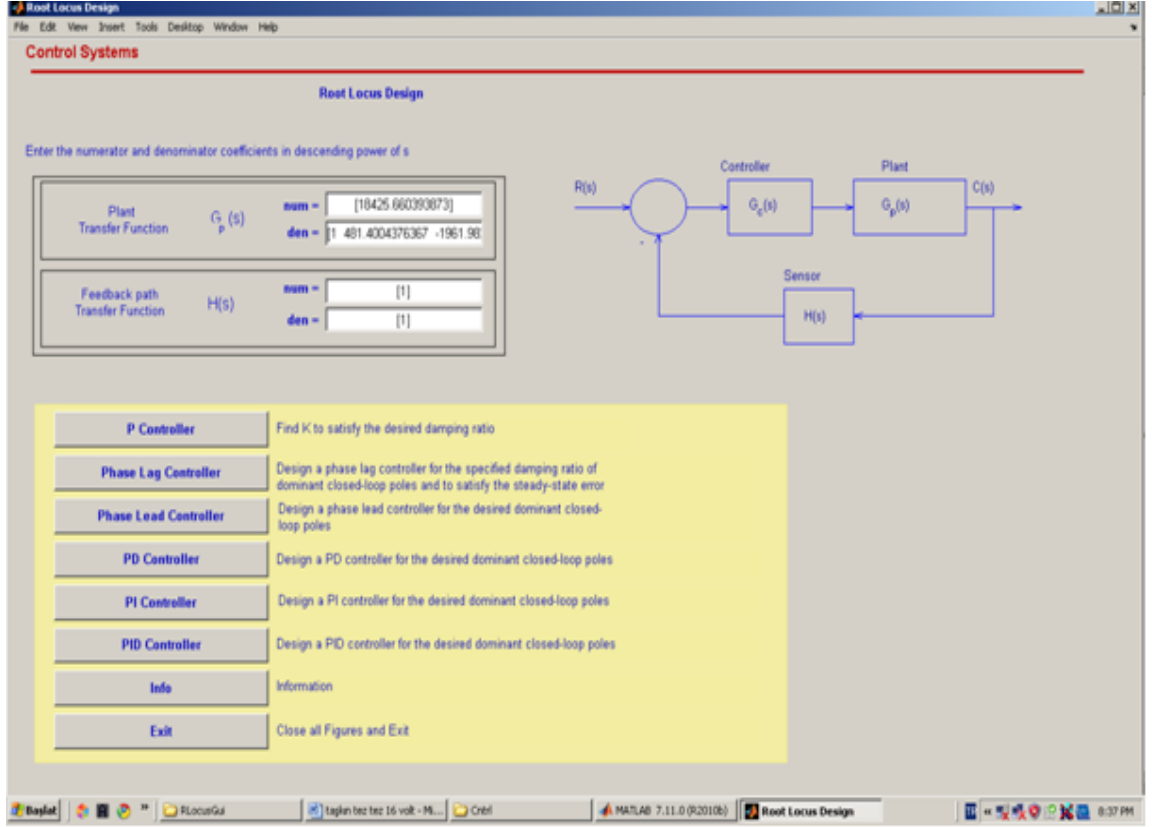
- Setpoint değeri,
- $K_p$  değeri,
- $K_i$  değeri,
- $K_d$  değerleri, üç butonlu menü ile hazırlanan algoritmaya göre istenilen değerlere göre ayarlanabilir.

Projede kullanılan sistem elemanları;

- Kp, Ki, Kd parametrelerini bulmaya yarayan Control System GUI Program for Controller Design programı,
- Sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun konumunu algılayan hall sensör,
- Hall sensörden alınan analog sinyali işleyip sürekli mıknatıs ile takviye edilmiş alüminyum kutunun havada askıda kontrol edilmesini sağlayan mikrodenetleyicili ve mosfetli kontrol kartı,
- Kontrol yazılımı ve derleyicisi,
- Kontrol kartından alınan sinyallere göre yerçekimi kuvvetine karşı kuvvet üretmeye yarayan elektromanyetik mıknatıs,
- Sürekli Mıknatıslı Alüminyum kutu,
- 12-24 VDC güç kaynağı,
- Pleksiglasstan yapılmış kasadan oluşmaktadır.

### **3.5.1. Control System GUI Program for Controller Design programı**

Prof. Dr. Saadat, tarafından Matlab ile hazırlanan Control System GUI Program for Controller Design programı, matematiksel modellemesi çıkarılmış sistemlerin kontrol elemanlarının tasarlanmasında kolaylıklar sağlamaktadır. Ayrıca dengelenmiş sistemlerin grafiğini de çıkartarak bizlere Kp, Ki ve Kd parametrelerini çok kısa bir zaman içinde sunmaktadır. (<http://myweb.msoe.edu/~saadat/matlabgui.htm>)

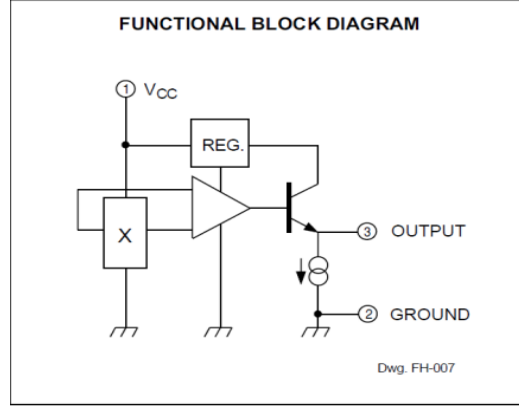


Şekil 3.15. Control System GUI Program for Controller Design programı

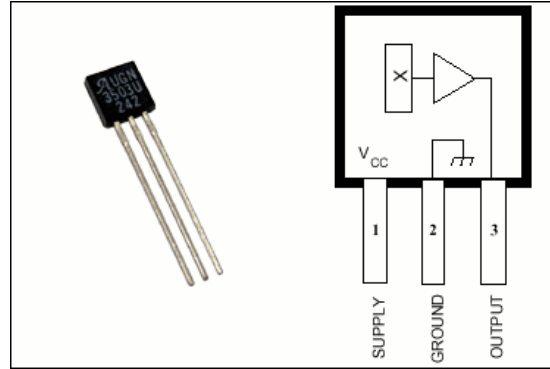
### 3.5.2. Konumu algılayan hall sensör

Bu projede, Allegro MicroSystems firmasının radyometrik doğrusal hall etkili UGN3503UA modeli olan sensör kullanılmıştır.

Hall sensörleri, manyetik akı yoğunluğundaki çok küçük değişiklikleri hall etkisi prensibiyle doğrulukla algırlar. Mekanik sistemlerdeki hareketleri, yaklaşımları kirli ortamlarda bile manyetik olarak algılayabilirler. Her Hall sensörü; Hall algılama elemanı, ldoğrusal yükselteç ve çıkış katı için emiter-takipçisi içerir. Tek bir çip üzerine yerleştirilmiş olan bu sensörler analog çıkış verirler. ([http://www.allegromicro.com/en/Products/Part\\_Numbers/3503/3503.pdf](http://www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/3503/3503.pdf))



Şekil 3.16. Hall sensörün blok diyagramı



Şekil 3.17. Hall sensörü

Çizelge 3.1. Hall sensörü karakteristiği

Elektriksel Özellikleri

 $T_A = +25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5\text{ V}$ 

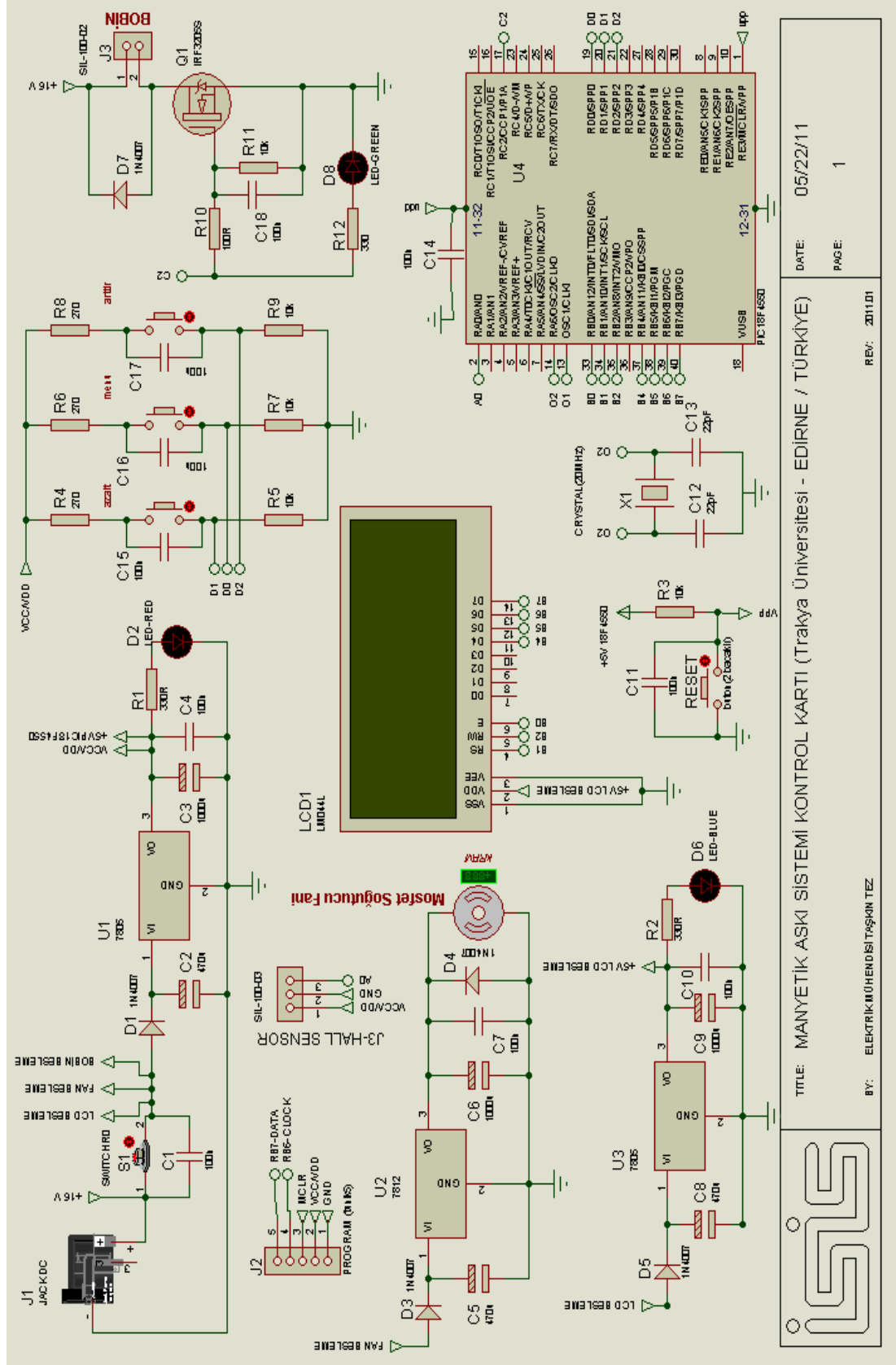
Özellikleri	Sembol	Test Durumları	Sınırlar			
			Min.	Tip	Max.	Birim
Besleme Gerilimi	$V_{CC}$		4.5	—	6.0	V
Besleme Akımı	$I_{CC}$		—	9.0	13	mA
Çıkar Gerilimi	$V_{OUT}$	$B = 0\text{ G}$	2.25	2.50	2.75	V
Hassasiyet	$\Delta V_{OUT}$	$B = 0\text{ G to } \pm 900\text{ G}$	0.75	1.30	1.75	mV/G
Bant Genişliği(-3dB)	BW		—	23	—	kHz
Genişbant Çıkar Gürültüsü	$V_{out}$	$BW = 10\text{ Hz to } 10\text{ kHz}$	—	90	—	$\mu\text{V}$
Çıkar Direnci	$R_{OUT}$		—	50	220	$\Omega$



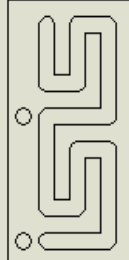
### **3.5.3. Kontrol kartı**

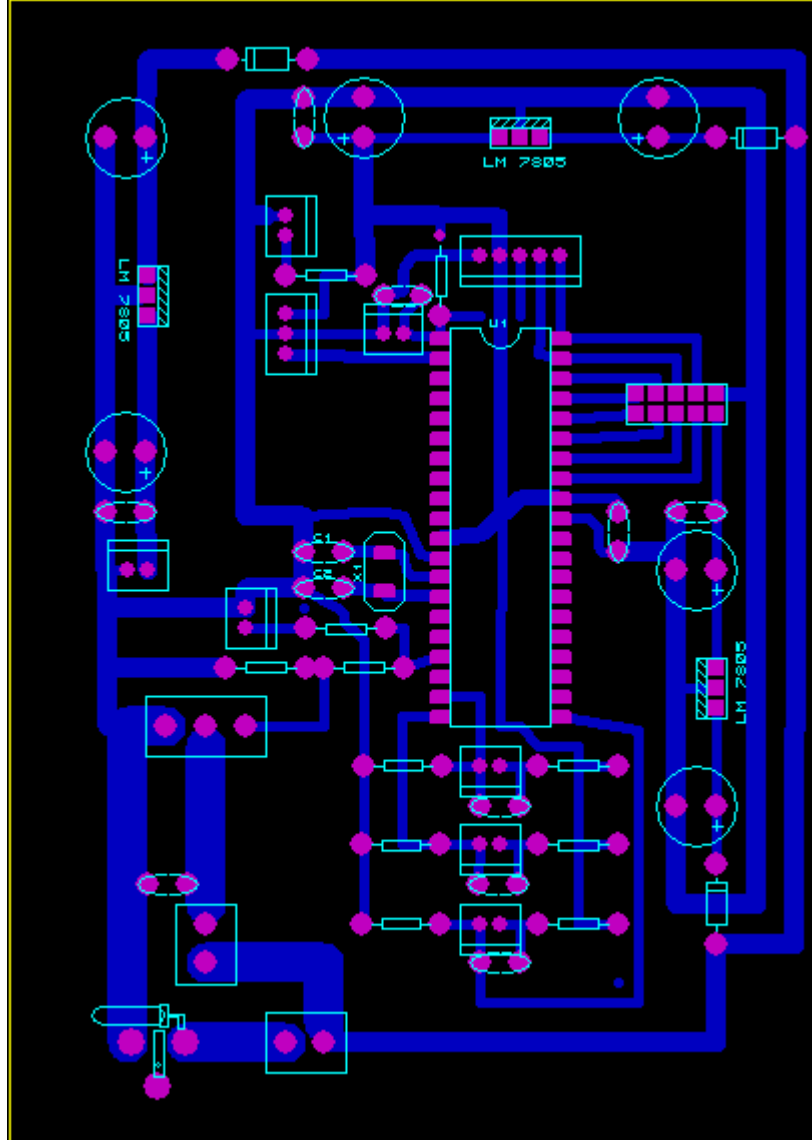
#### **3.5.3.1. Kontrol kartının çizimi**

Kontrol Kartı Proteus ISIS Programı ile hazırlanmış ve baskı devresi Proteus ARES tarafından çıkarılmıştır. ISIS programının en büyük avantajlarından biri hex. kodu hazırlanmış mikrodenetleyicinin simülasyonunun yapılarak baskı devrenin hazırlanmasında ortaya çıkacak sorunlarının önceden giderilmesini sağlar.

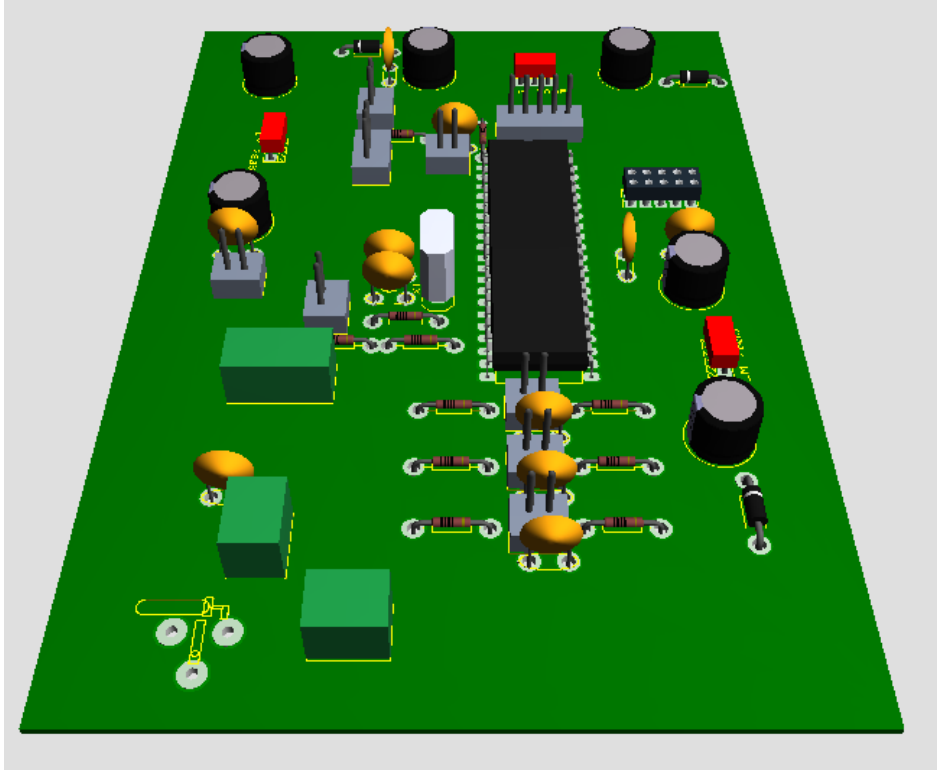


Şekil 3.18. Proteus ISIS'ta çizilen kontrol kartı devresi

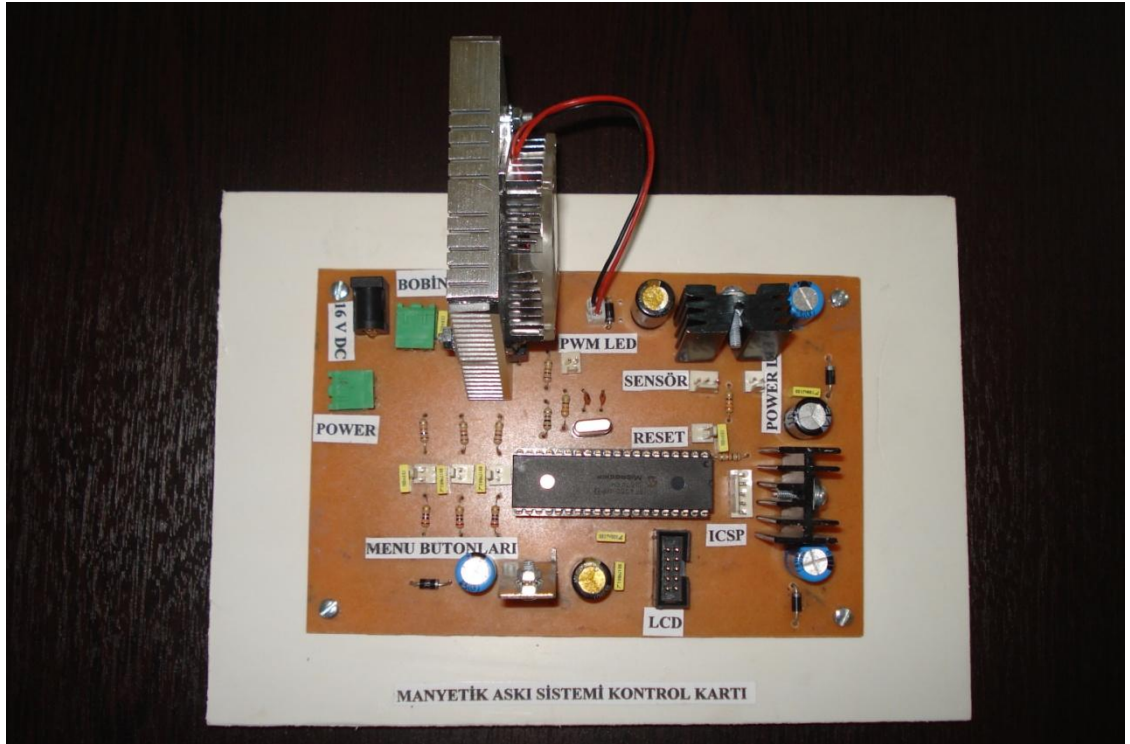




Şekil 3.19. Proteus ARES'te çizilen kontrol kartı baskı devresi



Şekil 3.20. Proteus ARES'te çizilen kontrol kartı baskı devresi 3D görüntüsü



Şekil 3.21. Baskı devresi yapılmış kontrol kartı devresi

### 3.5.3.2. Kontrol kartında kullanılan Microchip firmasının PIC18F4550 mikrodenetleyicisinin özellikleri ve yapısı

PIC18F4550 diğer tüm PIC18 ailesi mikrodenetleyicilerinin sahip olduğu gibi ucuz olmasının yanında yüksek hesaplama performansı ile birlikte yüksek dayanıklılığa ve geliştirilmiş Flash program hafızasına sahiptir. Aynı zamanda PIC18F4550'nin tasarımında yapılan geliştirmelerle, yüksek performanslı ve güç hassasiyetli uygulamalarda seçilmesi sağlanmıştır.

PIC18F4550 mikrodenetleyicisinin genel olarak özellikleri şu şekilde özetlenebilir: (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

#### 3.5.3.2.1. USB özellikleri

- USB 2.0 versiyonu ile uyumludur.
- Düşük Hız ve Tam Hız desteğine sahiptir.
- Kontrol, Kesme, Eşzamanlı ve Yığın tipi veri transfer tiplerini destekler.
- 32 uç noktasına kadar destek verir. (16 iki-yönlü)
- USB için çift erişimli 1 Kbayt'lık RAM'e sahiptir.
- Yonga üzeri USB alıcı-vericisi ve voltaj regülatörüne sahiptir.
- Harici USB alıcı-vericileri için arabirime sahiptir.
- USB duraksız transferler için Duraksız Paralel Port'a (SPP) sahiptir.

(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

### 3.5.3.2.2. Güç tasarruf modları

- Çalışma modu: CPU açık, çevrebirimler açık
  - Boşta modu: CPU kapalı, çevrebirimler kapalı.
  - Uyku modu: CPU kapalı, çevrebirimler kapalı.
  - Boşta modunda çekilen akım tipik olarak 5,8  $\mu\text{A}$  seviyelerindedir.
  - Uyku modunda çekilen akım tipik olarak 0,1  $\mu\text{A}$  seviyelerindedir.
  - Timer1 osilatörü: 1,1  $\mu\text{A}$  tipik, 32 kHz, 2 V
- (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

### 3.5.3.2.3. Esnek osilatör yapısı

PIC18F4550, kullanıcıların uygulama donanımı geliştirme işlemlerinde on iki farklı osilatör seçeneğiyle geniş bir çalışma aralığı sunmaktadır. Bunlar; kristallerle veya seramik rezonatörlerle gerçekleştirilebilecek olan dört kristal modu, dört harici saat modu, 8 MHz'lik dâhili osilatör ( $\pm\%2$  doğruluk), 31 kHz'lik INTRC kaynak, 125 kHz–4 MHz arasında kullanıcının seçebileceği 6 farklı saat seçeneği, PLL frekans çoğullayıcısı sayesinde 4 MHz–48 MHz arası saat hızına sahiptir.

- Yüksek duyarlıklı PLL içeren dört kristal modu,
- 48 MHz'e kadar iki farklı harici saat modu,
- Dâhili osilatör bloğu,
- 31 kHz – 8 MHz arası kullanıcının seçebileceği frekanslar,
- Frekans sapmasını dengelemek için kullanıcı tarafından ayarlanabilme özelliği,
- 32 kHz'lik Timer1 kullanılarak oluşturulan ikincil osilatör,
- Çiftli osilatör seçenekleri, mikrodenetleyici ve USB modülünün farklı saat hızlarında çalışabilmesini sağlar.

- Arıza-güvenli saat monitörü, herhangi bir saatin durması halinde güvenli kapanmayı sağlar.

(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

#### 3.5.3.2.4. Çevrebirim özellikleri

- Yüksek alıcı/kaynak akımı; 25 mA/25 mA,
  - Üç harici kesme,
  - Dört Zamanlayıcı Modülü; Timer0:Timer3,
  - 2 adet yakalama (capture)/karşılaştırma (compare)/darbe genişlik modülasyonu (PWM) modülü (CCP,)
  - Geliştirilmiş yakalama/karşılaştırma/darbe genişlik modülasyonu modülü (ECCP),
  - Geliştirilmiş USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter/Evrensel Senkron Asenkron Alıcı Verici) modülüne sahiptir. Bu sayede LIN (Local Interconnect Network/Yerel Bağlantılı Ağ) Yol'u destekler,
  - MSSP (Master Synchronous Serial Port/Ana Senkron Seri Port) modülü 3-tel SPI (Serial Peripheral Interface/Seri Çevrebirim Arabirimi) (dört modun tamamı) ve I2C (Inter-Integrated Circuit) ana-uydu modlarını desteklemektedir,
  - 13 adet elde etme zamanı programlanabilir 10-bitlik Analog/Dijital çevirici girişine sahiptir,
  - Giriş çoğullayıcı çift analog karşılaştırıcıya sahiptir.
- (<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

### 3.5.3.2.5. Özel mikrodenetleyici özellikleri

- Yazılım kontrolü ile kendi kendisini programlayabilme özelliğine sahiptir.
- Kesmeler için öncelik seviyelerine sahiptir.
- 8 x 8 tek-döngülü donanım çarpanına sahiptir.
- İki bacağından verilecek 5 Voltluk tek bir kaynakla ICSP (In-Circuit Serial Programming) sağlanır.
- Geniş bir çalışma voltaj aralığına sahiptir. (2,0 V–5,5 V)  
(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

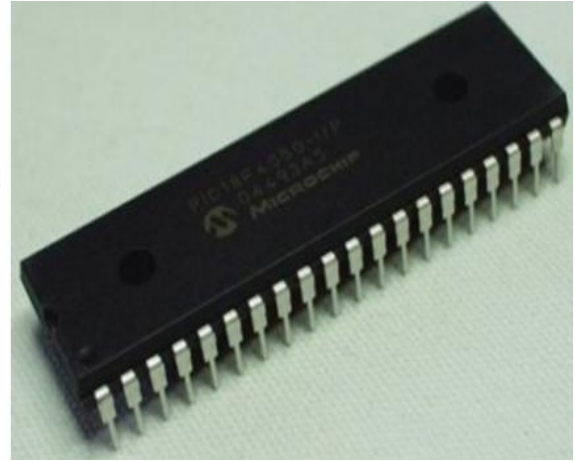
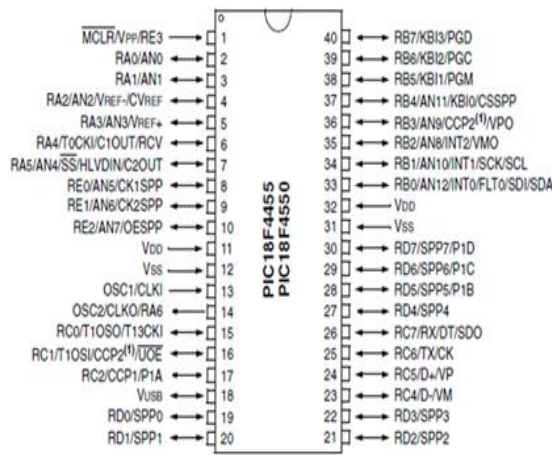
### 3.5.3.2.6. Hafıza özellikleri

PIC18F4550 mikrodenetleyicisi 32 kbyat'lık Flash memory'e, 2 kbyat'lık SRAM'e ve 256 bayt'lık EEPROM'a sahiptir. Ayrıca, Microchip Technology firması tarafından geliştirilmiş olan PEEC sayesinde, 100 000 yazma/silme kapasitesine sahip geliştirilmiş Flash program hafızası ve 1 000 000 yazma/silme kapasitesine sahip EEPROM'u ile verileri 40 yıla kadar hafızasında tutabilmektedir. PIC18F4550'nin en önemli avantajlarından biri de 32 kbyat'lık kendisini programlayabilme özelliğine sahip Geliştirilmiş Flash hafızasıdır. Bu sayede USB port üzerinden gerçekleştirilen sonlandırma uygulamalarında alan yükseltmelerine izin verilmiş olur .  
(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)



### 3.5.3.2.7. PIC18F4550 giriş/çıkış portlarının fonksiyonları

Şekil 3.22.'de gösterildiği gibi PIC18F4550 5 adet giriş/çıkış portuna sahiptir. Birkaç amaç için kullanılan mikrodenetleyici portlarının tümünde hangi amaç için kullanılacaksa ayağı oraya yönlendiren çoklayıcı bulunmaktadır. Giriş/çıkış portlarının bazı ayakları kullanılan çevrebirimin özelliklerine göre alternatif bir fonksiyonla çoklanabilir. Genel olarak, bir çevrebirim seçilir kılındığında, mikrodenetleyicinin ilgili ayağı artık sadece genel amaçlı bir giriş/çıkış ayağı olmayacaktır.



Şekil 3.22. PIC18F4550 ayak yapısı

Her port kendi işlemi için üç kaydediciye sahiptir. Bunlar;

- Port kaydedici (denetleyicinin ayaklarındaki seviyeleri okur)
- TRIS kaydedici (veri yönünü belirleyen yazmaçtır)
- LAT kaydedicisi (çıkış mandalı)

I/O portlarının tipleri analog, dijital, TTL veya Schmitt Trigger (ST) yapıda olabilir. Schmitt Trigger yapı ile TTL (Transistor-Transistor-Lojik) yapı arasındaki farklar şunlardır:

- ST yapılı uçlarda “0” dan “1” e veya “1”den “0”a geçiş süresi daha kısadır. Bu nedenle daha yüksek frekanslı veri giriş/çıkışı yapılmasına uygundur.

- ST yapılı uçlarda “0” ve “1”i belirleyen gerilim aralıkları birbirinden uzaktır. Bir uçtan girilen 0 – 1 Volt arasındaki gerilimler “0”, 4–5,5 Volt arasındaki gerilimler “1” olarak algılanır.

- TTL yapılı uçlarda “0”dan “1”e veya “1”den “0”a geçiş süresi daha uzundur.

- TTL yapılı uçlarda “0” ve “1”i belirleyen gerilim aralıkları birbirine daha yakındır. Bir uçtan girilen 0–2 Volt arasındaki gerilimler “0”, 2–5,5 Volt arasındaki gerilimler “1” olarak algılanır.

(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

### 3.5.3.2.7.a. PORTA

PORTA, 8-bit genişliğinde hem giriş hem çıkış özelliğine sahip iki-yönlü bir porttur. Hangi bit'in giriş, hangi bit'in çıkış olacağı TRISA kaydedicisi tarafından belirlenir. TRISA kaydedicisinde “1” olarak belirlenen bit'lerin karşılığındaki PORTA ayakları giriş, “0” olarak belirlenen bit'lerin karşılığındaki PORTA ayakları çıkış olarak belirlenir. PORTA tamponlanmıştır, yani bir veri gönderilene kadar eski veri PORTA kaydedicisinde tutulur. LATA kaydedicisi de hafıza eşlemelidir. LATA kaydedicisi, PORTA için mandallanmış çıkış verilerini okur ve yazar. RA4 bacağı Timer0 girişi ile çoklanmıştır ve RA4/TOCKI ayağı haline gelmiştir. RA4 aynı zamanda USB modülü ile de çoklanmış olup, harici bir USB alıcı-vericisinden gelen bilgiyi alacak bir alıcı gibi kullanılabilir. Yine RA6 ayağı ana osilatör girişi ile çoklanmış olup, konfigürasyon kaydedicisi vasıtasıyla bir giriş/çıkış bacağı veya ana osilatör girişi olarak seçilebilir. PORTA ayaklarının çoğu, VREF+, VREF- ve karşılaştırıcı referans çıkış voltajı gibi analog girişler olarak kullanılabilir. RA0, RA1, RA2, RA3 ve RA5 ayakları analog/dijital çevirici ile çoklanabilmektedirler. Tüm PORTA ayakları TTL giriş seviyelerine ve tam CMOS çıkış sürücülerine sahiptir.

(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

### 3.5.3.2.7.b. PORTB

PORTB, 8-bit genişliğinde hem giriş hem çıkış özelliğine sahip iki-yönlü bir porttur. Hangi bit'in giriş hangi bit'in çıkış olacağı TRISB kaydedicisi tarafından belirlenir. TRISB kaydedicisinde "1" olarak belirlenen bit'lerin karşılığındaki PORTB ayakları giriş, "0" olarak belirlenen bit'lerin karşılığındaki PORTB ayakları çıkış olarak belirlenir. LATB kaydedicisi de hafıza eşlemelidir. LATB kaydedicisi, PORTB için mandallanmış çıkış verilerini okur ve yazar. PORTB ayaklarından dördü (RB4, RB5, RB6 ve RB7) giriş olarak seçildiklerinde kesme değiştirme özelliğine sahip olurlar. RB2 ve RB3 ayakları harici USB alıcı vericileri için fark sinyali çıkışları olarak çoklanmıştır. RB4 ayağı aynı zamanda Duraksız Paralel Port için yonga seçim fonksiyonu (CSSPP) olarak çoklanmıştır.

(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

### 3.5.3.2.7.c. PORTC

PORTC 8-bit genişliğinde hem giriş hem çıkış özelliğine sahip iki-yönlü bir porttur. Hangi bit'in giriş hangi bit'in çıkış olacağı TRISC kaydedicisi tarafından belirlenir. TRISC kaydedicisinde "1" olarak belirlenen bit'lerin karşılığındaki PORTC ayakları giriş, "0" olarak belirlenen bit'lerin karşılığındaki PORTC ayakları çıkış olarak belirlenir. LATC kaydedicisi de hafıza eşlemelidir. LATC kaydedicisi, PORTC için mandallanmış çıkış verilerini okur ve yazar. PORTC öncelikle EUSART, MSSP ve USB modüllerini de içine alan seri haberleşme modülleri ile kullanılmak üzere çoklanmıştır. RC4 ve RC5 ayakları dışında PORTC Schmitt Trigger giriş tamponları kullanır. RC4 ve RC5 ayakları USB modül ile çoklanmıştır. USB modülünün konfigürasyonuna bağlı olarak, entegre üzerindeki USB alıcı-vericisi için fark veri hatları olarak ya da harici bir USB alıcı-vericiden gelen veri girişleri olarak kullanılabilirler. RC4 ve RC5 diğer PORTC ayaklarından farklı olarak TTL giriş tamponlarına sahiptirler ve aynı zamanda TRISC bitleriyle durum değiştirmezler. Dijital

portlar gibi sadece dijital giriş olarak kullanılırlar. USB işlemi için yapılandırıldıklarında; veri yönü, konfigürasyon tarafından ve USB modülünün belirlenen bir zamandaki durumuna göre belirlenir. Eğer harici bir USB alıcı-verici kullanılmışsa, RC4 ve RC5 her zaman vericiden gelen girişler olarak görev yaparlar. Eğer entegre üzerindeki alıcı-verici kullanılmışsa, veri yönü USB modülü tarafından işlemin gerçekleştirildiği anda belirlenir.

(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

#### **3.5.3.2.7.d. PORTD**

PORTD, 8-bit genişliğinde hem giriş hem çıkış özelliğine sahip iki-yönlü bir porttur. Hangi bit'in giriş hangi bit'in çıkış olacağı TRISD kaydedicisi tarafından belirlenir. TRISD kaydedicisinde "1" olarak belirlenen bit'lerin karşılığındaki PORTD ayakları giriş, "0" olarak belirlenen bit'lerin karşılığındaki PORTD ayakları çıkış olarak belirlenir. LATD kaydedicisi de hafıza eşlemelidir. LATD kaydedicisi, PORTD için mandallanmış çıkış verilerini okur ve yazar. PORTD'ye ait tüm ayaklar Schmitt Trigger giriş tamponları ile gerçekleştirilmiştir. Her ayak giriş veya çıkış olarak ayrı ayrı yapılandırılabilir. PORTD ayaklarından üçü (RD5, RD6 ve RD7) Geliştirilmiş CCP (Capture/Compare/PWM) modülünün çıkışları ile çoklanmıştır. PORTD aynı zamanda 8-bit genişliğinde Duraksız Paralel Port (Streaming Paralel Port, SPP) olarak yapılandırılabilir. Bu moda, giriş tamponları TTL'dir

(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

### 3.5.3.2.7.e. PORTE

PORTE, 4-bit genişliğinde bir porttur. Üç ayağı (RE0, RE1 ve RE2) ayrı ayrı giriş veya çıkış olarak yapılandırılabilir. Bu üç ayak Schmitt Trigger giriş tamponlarına sahiptir. Bu ayaklar analog giriş olarak seçildiklerinde '0'ları okuyacaklardır. Hangi bit'in giriş hangi bit'in çıkış olacağı TRISE kaydedicisi tarafından belirlenir. TRISE kaydedicisinde "1" olarak belirlenen bit'lerin karşılığındaki PORTE ayakları giriş, "0" olarak belirlenen bit'lerin karşılığındaki PORTE ayakları çıkış olarak belirlenir. TRISE ayakları analog girişler olarak kullanıldıklarında yönlerini kontrol eder. LATE kaydedicisi de hafıza eşlemelidir. LATE kaydedicisi, PORTE için mandallanmış çıkış verilerini okur ve yazar. PORTE'nin dördüncü ayağı (MCLR/VPP/RE3) sadece giriş bacağıdır. Bu bacağın işlevi MCLRE kontrol biti tarafından kontrol edilir. Eğer MCLRE = 0 seçilirse bu ayak dijital giriş olur ve TRIS veya LAT kaydedicilerinin bitlerine sahip olmaz, MCLRE = 1 seçildiğinde ise görevi cihazın Master Clear (Ana Temizleme) girişi olur. Her iki konfigürasyonda da, RE3 aynı zamanda programlama esnasında programlama voltaj girişi olarak görev yapar

(<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>)

### 3.5.3.3. MOSFET transistor

Alan etkili transistörün (FET) geliştirilmiş tipi genellikle MOSFET olarak bilinen metal oksit yarı iletkenidir. MOSFET kalimesinin açılımı metal oxide semiconductor field effect transistordür. (Metal oksit yarıiletken alan etkili transistör). MOSFET, İngilizce açılımının baş harfleri bir araya getirilerek oluşturulmuştur.

İzole edilmiş gate özelliğinden dolayı MOSFET'lerin giriş empedansı son derece yüksek olup ( $10^{14}$ ) elektrodlar arası iç direnci çok küçüktür. Bundan dolayı MOSFET'ler normal transistörlerin, frekans sahasının çok daha üstündeki frekanslarda ve yüksek giriş empedanslı yükselteçlere ihtiyaç duyulan devrelerde daha fazla

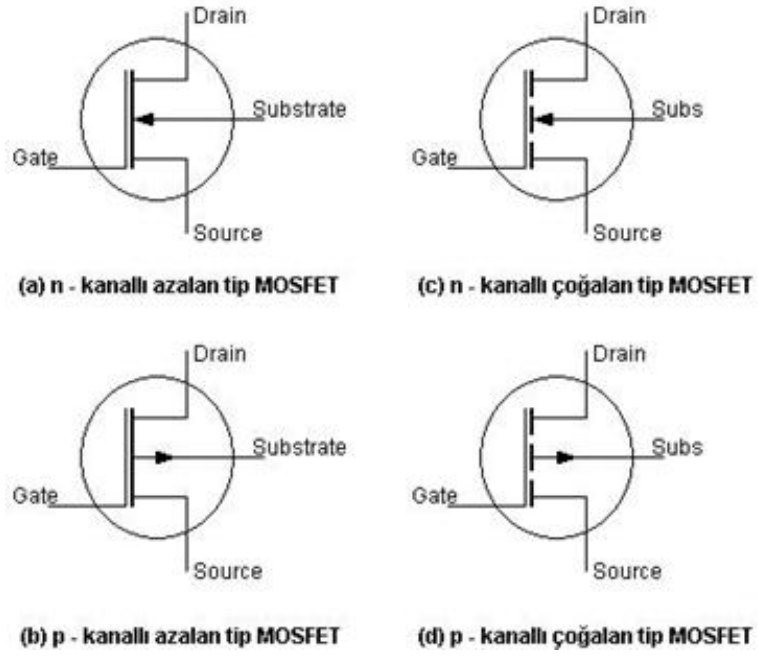
kullanılırlar. Bunun için MOSFET'ler voltmetre, ohmmetre ve diğer test aletlerinde kullanılırlar. MOSFET'lerde, JFET 'lere ve klasik transistörlere nazaran gürültü daha az olup, bant genişliği daha fazladır.

MOSFET'lerin bu üstünlüklerine nazaran bazı sakıncaları vardır. MOSFET, yapısındaki ince silikon oksit tabakası, kolaylıkla tahrip olabilir. MOSFET'e elle dokunulması halinde insan vücudu üzerindeki elektrostatik yük nedeniyle oksit tabakası delinerek, kullanılmayacak şekilde harap olabilir. Bundan dolayı MOSFET'ler, özel ambalajlarında korunmaya alınmalı, MOSFET'e dokunmadan önce kullanıcı, üzerindeki elektrostatik yükü topraklayarak boşaltmalıdır. MOSFET'i devre üzerinde montaj yaparken düşük güçlü havya kullanılmalı ve havya mutlaka topraklanmalıdır.

Mosfetler şu şekilde sınıflandırılır:

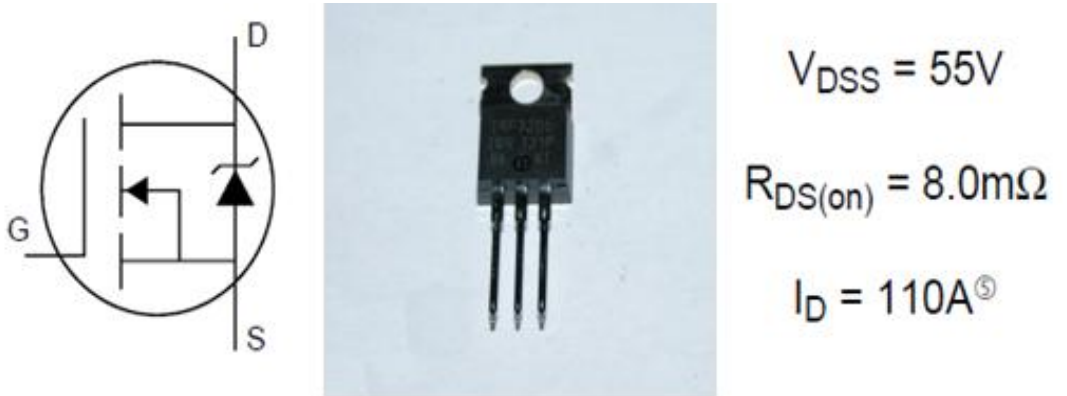
- Azalan (Boşluk şarjlı, depletion tipi) MOSFET
- Çoğalan (Enhancement) tipi MOSFET

JFET 'lerde olduğu gibi yine kendi aralarında, n-kanallı ve p-kanallı azalan ve çoğalan tip olarak ayrılırlar. (<http://www.silisyum.net/htm/fet/mosfet.htm>)



Şekil 3.23. MOSFET sembolleri

Mosfet sembollerinden görüleceği gibi JFET 'lerden ayıran, MOSFET'lerde Substrate (SS, Bulk, Altkatman) terminalinin bulunmasıdır.



Şekil 3.24. IRF3205 HEXFET® Power MOSFET (<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf3205.pdf>)

### 3.5.4. Kontrol yazılımı ve derleyicisi

CCS-C, “Custom Computer Services” Firmasının PIC Mikro Denetleyicileri için geliştirdiği özel bir C derleyicisidir. Standart C operatörleri yanı sıra PIC'lere özel dahili kütüphaneler ve önişlemci direktifleri de içeren program birçok donanım için hazır kodlar da sunmaktadır. CCS-C de PIC'ler için kod yazmak oldukça kolaydır.

MPLAB programı içerisine gömülebilen derleyici sahip olduğu IDE (Integrated Development Environment) arayüzü sayesinde program yazma, derleme, ve hata ayıklama fonksiyonlarını tek bir ekranda gerçekleştirme imkanı sunmaktadır. IDE' ye sahip olmayan derleyicilerle çalışırken kodları başka bir metin editöründe yazılması ve derlemeyi de komutla yada toplu iş dosyalarıyla yapılması gerekir.

CCS-C derleyicisi PIC10, PIC12, PIC14, PIC16, PIC18, PIC24 ve dsPIC serilerini desteklemektedir. CCS-C compiler değişik Opcode uzunluğundaki işlemciler için değişik derleyiciler içermektedir. Bunlar PCB, PCM, PCH, ve PCD derleyicileridir.

PCB = 12-Bit Opcode, Baseline

PCM = 14-Bit Opcode, Midrange

PCH = 16-Bit Opcode, PIC18

PCD = 16-Bit işlemci, PIC24/dsPIC (PIC24 ve dsPIC serisi 16-Bit, diğer Seriler 8-Bit denetleyicidir)

CCS-C derleyicisinde 1Bit, 8 Bit, 16 Bit, ve 32 bit tamsayı değişkenler ve 32 bit virgüllü sayı değişkenleri kullanılabilir. #byte ve #bit önişlemci direktifleri sayesinde 1 Byte veya 1 Bitlik değişkenler PIC içerisindeki saklayıcılara bağlanabilir. Diğer güzel bir özellik ise Bit dizilerinin tanımlanabilmesidir. (<http://www.teknobakis.com/ccs-c-ile-pic-programlama-ccs-c-compiler-resimli-anlatim>)



### 3.5.5. Elektromıknatıs

Akım doğrusal bir iletken yerine, makara biçiminde sarılmış bir iletkenen geçirilirse, oluşan mıknatıs alanının şiddeti daha da büyük olur. Makaranın sarım sayısı (N) ile iletkenen geçen akım şiddeti (I) ne kadar çok fazla olursa, buna karşılık makaranın boyu ne kadar kısa olursa oluşan mıknatıs alanı o kadar şiddetli olur. ( $H = NI/l$ ) Böyle bir iletken makara basit bir elektromıknatıstır.

Bu durumda manyetik kuvvet çizgileri makaranın bir ucundan çıkıp öteki ucunda sona ererler. Böylece iletken makara, üzerinden akım geçtiği sürece, bir ucu kuzey öteki ucu da güney kutbu gibi davranan bir mıknatıs olarak etki eder. Manyetik kuvvet çizgilerinin yoğunluğuyla belirlenen alan şiddeti, makaranın ekseni boyunca en büyük değerini alır. Bu şiddet, makaranın ekseni manyetik geçirgenliği ( $\mu$ ) büyük bir maddeden yapılmış ve bir çubuğa yerleştirilirse, daha da artırılabilir. Demir bu amaçla kullanılan maddelerden biridir.

Devrenin gerilimi ve çubuk üzerindeki sarım sayısının artırılması ile elektromıknatısın mıknatıslık özelliği artar. Bir başka deyişle gerilim ve sarım sayısını artırmakla daha kuvvetli bir elektromıknatıs elde edilir. (<http://www.fizikkulubu.net/elektromıknatıs/>)



Şekil 3.25. Elektromıknatıs

Manyetik askı sisteminde kullanılan elektromıknatısın karakteristikleri;

- $\text{Ø} = 0,63 \text{ mm}$
- $R = 6,6 \text{ } \Omega$
- $N = 1160 \text{ sarım}$

- $L = 0.01502 \text{ H}$
- $I = 2.25 \text{ A}$

### 3.5.6. Sürekli mıknatıslı alüminyum kutu

0,160 Kg kütlesindeki alüminyum kutu, manyetik özellik kazanması için dikey eksenine neodim mıknatıslar yerleştirilmiştir.



Şekil 3.26. Sürekli mıknatıslı alüminyum kutu



Şekil 3.27. Alüminyum kutunun içine konulan sürekli mıknatıs

### 3.5.7. 12-24 V DC güç kaynağı

Manyetik askı sistemi kontrol kartını ve elektromıknatısı beslemek için Powertech firmasının universal 70 W laptop şarj cihazı kullanılmıştır. 12 ile 24 V arasında DC çıkış vermektedir. Bunun 16 V kademesinde işlemler yapılmaktadır.



Şekil 3.28. Güç kaynağı

### 3.5.8. Pleksiglasstan yapılmış kasa

Manyetik askı sisteminin kasa kısmı 3 mm kalınlığında pleksiglastan yapılmıştır.



Şekil 3.29. Manyetik askı sisteminin kasası

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Çizelge 4.1. Analizi yapılmış olan sistemin değerleri

Parametreler	İlk Değerler
$y_0$	0,015 m
$m$	0,160 kg
$R$	6,6 $\Omega$
$L$	0,01502 H
$\beta$	62,3147 V/m
$I_0$	2,25 A

##### 4.1. Hall Sensör Kazancının Bulunması

Sensör kazancının bulunması için sürekli mıknatıs ile birleştirilmiş alüminyum kutuyu hall sensöründen 0.001 m uzaklaştırarak hall sensöründen okunan gerilim değerleri ile çizelge 4.2. oluşturulmuştur.



Çizelge 4.2. Hall sensörü çıkış gerilimleri

Hall Sensörünün Uzaklığa Göre Çıkış Değerleri	
Mesafe(m)	Gerilim(V)
0.000	4.32
0.001	4.32
0.002	4.32
0.003	4.32
0.004	4.32
0.005	4.26
0.006	4.02
0.007	3.92
0.008	3.84
0.009	3.71
0.010	3.66
0.011	3.55
0.012	3.42
0.013	3.34
0.014	3.30
0.015	3.25
0.016	3.16
0.017	3.12
0.018	3.05
0.019	3.02
0.020	2.99
0.021	2.95
0.022	2.92
0.023	2.89
0.024	2.86
0.025	2.83

Hall sensöründen okunan gerilim değerlerinin ilk altı tanesi hall sensörünün özelliğinden dolayı aynı değeri vermiştir. Bu nedenle bunlar ihmal edilerek yeniden çizelge 4.3. hazırlanmıştır.



Çizelge 4.3. İlk altı değeri ihmal edilen hall sensörü çıkış gerilimleri

Hall Sensörünün Uzaklığa Göre Çıkış Değerlerinden ilk 6 ölçümünün ihmal edilmiş hali	
Meseafe(m)	Gerilim(V)
0.001	4.02
0.002	3.92
0.003	3.84
0.004	3.71
0.005	3.66
0.006	3.55
0.007	3.42
0.008	3.34
0.009	3.30
0.010	3.25
0.011	3.16
0.012	3.12
0.013	3.05
0.014	3.02
0.015	2.99
0.016	2.95
0.017	2.92
0.018	2.89
0.019	2.86
0.020	2.83

Yukarıdaki çizelgedeki değerlerin excel ortamında grafiği çıkarıldı. Çıkarılan grafikte yine excel yardımıyla yaklaşık eğri bulundu.

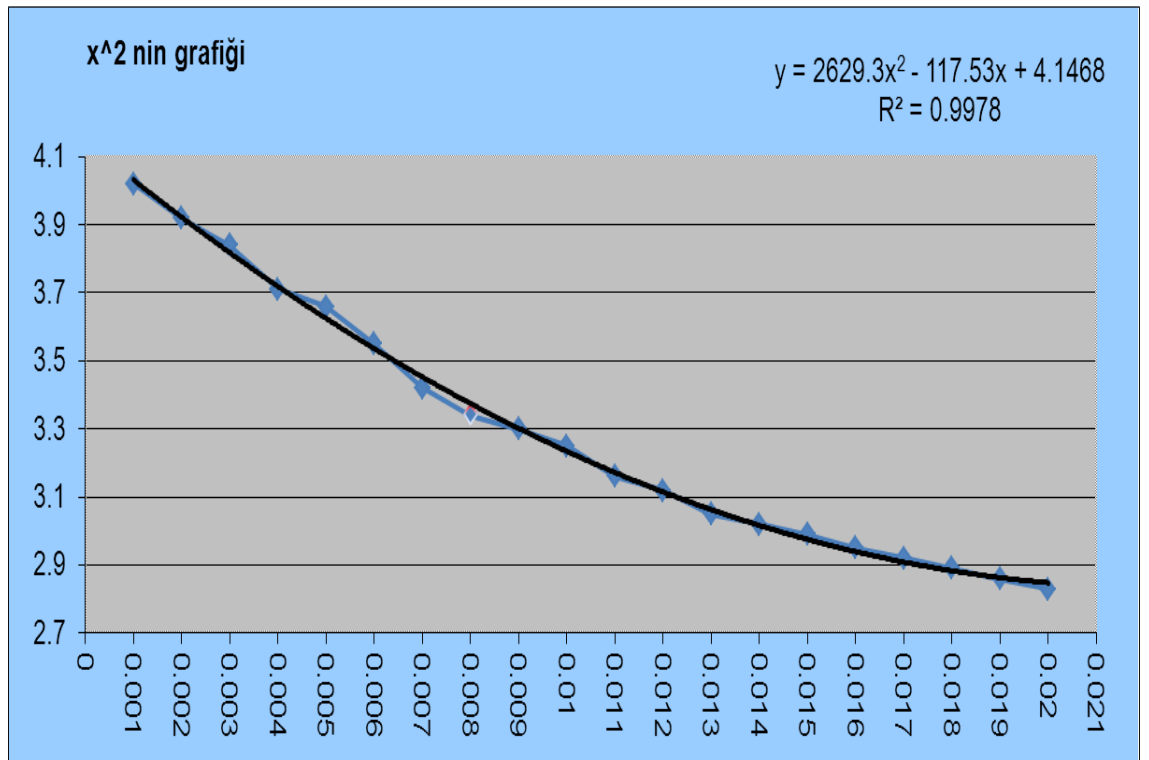
Bulunan eğrinin formülü;

$$y = 2629.3x^2 - 117.53x + 4.1468 \text{ 'dir.} \quad (4.1)$$

Bu eğrinin excel ortamında her nokta için türevi alınıp ortalama eğim;

$$\beta = 62.3147 \text{ bulunmuştur.}$$

Bu eğrinin eğimi  $\beta$  aynı zamanda hall sensörünün kazancıdır.



Şekil 4.1. Hall sensöründen okunan gerilimlerin grafiği

Çizelge 4.4. Hall sensörü grafiğinin türev değerleri ve ortalama eğimi

X-Değerleri	Y-Değerleri	dx/dy	d2x/d2y	Eğim
0.001	4.02	-100	20000	-112.271
0.002	3.92	-80	-50000	-107.013
0.003	3.84	-130	80000	-101.754
0.004	3.71	-50	-60000	-96.4956
0.005	3.66	-110	-20000	-91.237
0.006	3.55	-130	50000	-85.9784
0.007	3.42	-80	40000	-80.7198
0.008	3.34	-40	-10000	-75.4612
0.009	3.3	-50	-40000	-70.2026
0.01	3.25	-90	50000	-64.944
0.011	3.16	-40	-30000	-59.6854
0.012	3.12	-70	40000	-54.4268
0.013	3.05	-30	0	-49.1682
0.014	3.02	-30	-10000	-43.9096
0.015	2.99	-40	10000	-38.651
0.016	2.95	-30	2.98E-10	-33.3924
0.017	2.92	-30	-3E-10	-28.1338
0.018	2.89	-30	3.98E-10	-22.8752
0.019	2.86	-30	171500	-17.6166
0.02	2.83	141.5	7075	-12.358
			<b>Ortalama Eğim</b>	<b>-62.3147</b>

#### 4.2. Transfer Fonksiyonunun Bulunması

$$f_0 = mg = C \left( \frac{I_0}{y_0} \right)^2 \quad (4.2)$$

$$C = mg \left( \frac{y_0}{I_0} \right)^2 = \left( 0,160kg \times 9,81 m/s^2 \right) \left( \frac{0,015m}{2,25A} \right)^2 \quad (4.3)$$

$$C = 0,00006976 Nm^2 A^{-2}$$

$$K_I = 2C \frac{I_0}{y_0^2} = 2 \times 0,00006976 \times \frac{2,25}{0,015^2} = 1,3952 N/m \quad (4.4)$$

$$K_Y = 2C \frac{I_0^2}{J_0^3} = 2 \times 0,00006976 \times \frac{(2,25)^2}{(0,015)^3} = 209,28 \text{ N/m} \quad (4.5)$$

$$K_1 = -\frac{K_I \beta}{mL_1} = \frac{1,3952 \times 62,3147}{0,160 \times 0,01502} = -36177,3757656458 \quad (4.6)$$

$$K_2 = \frac{K_Y}{m} = \frac{209,28}{0,160} = 1308 \quad (4.7)$$

$$p_3 = \frac{R}{L_1} = \frac{6,6}{0,01502} = 439,4141145140 \quad (4.8)$$

$$G(s) = \frac{V_Y(s)}{V(s)} = -\frac{36177,3757656458}{(s+439,4141145140)(s^2-1308)} \quad (4.9)$$

Manyetik askı sisteminin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi bulunmuş olur.

$$G(s) = \frac{-36177,3757656458}{s^3 + 439,4141145140 s^2 - 1308 s - 574753,6617842880} \quad (4.10)$$

Bulunan bu transfer fonksiyonu,

- Matlab kodları ile analiz edilir;

```
num=[36177.3757656458];
```

```
den=[1 439.4141145140 -1308 -574753.6617842880];
```

```
sys=tf(num,den)
```

Transfer function:

3.618e004

-----

$s^3 + 439.4 s^2 - 1308 s - 5.748e005$

- Kökleri,

>> roots(den)

ans =

-439.4141

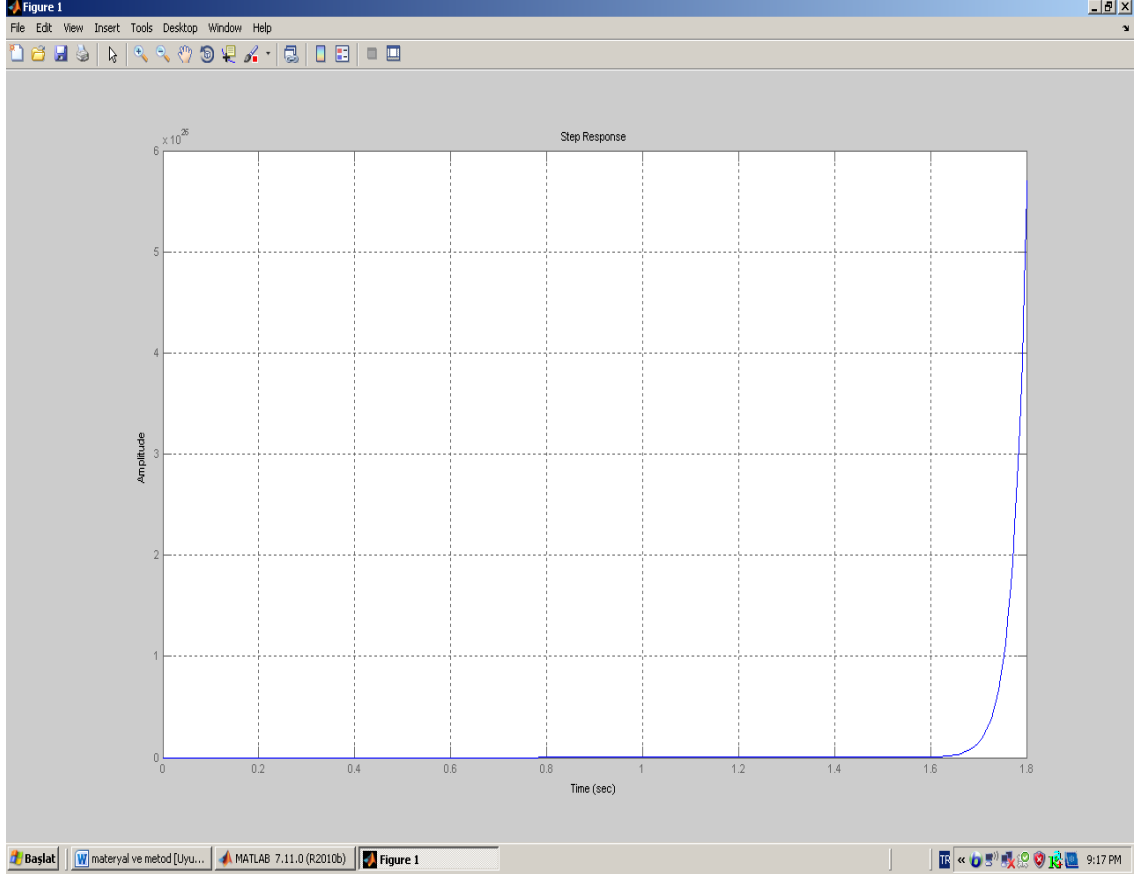
36.1663

-36.1663

sonuçları bulundu.

- Basamak cevabı,

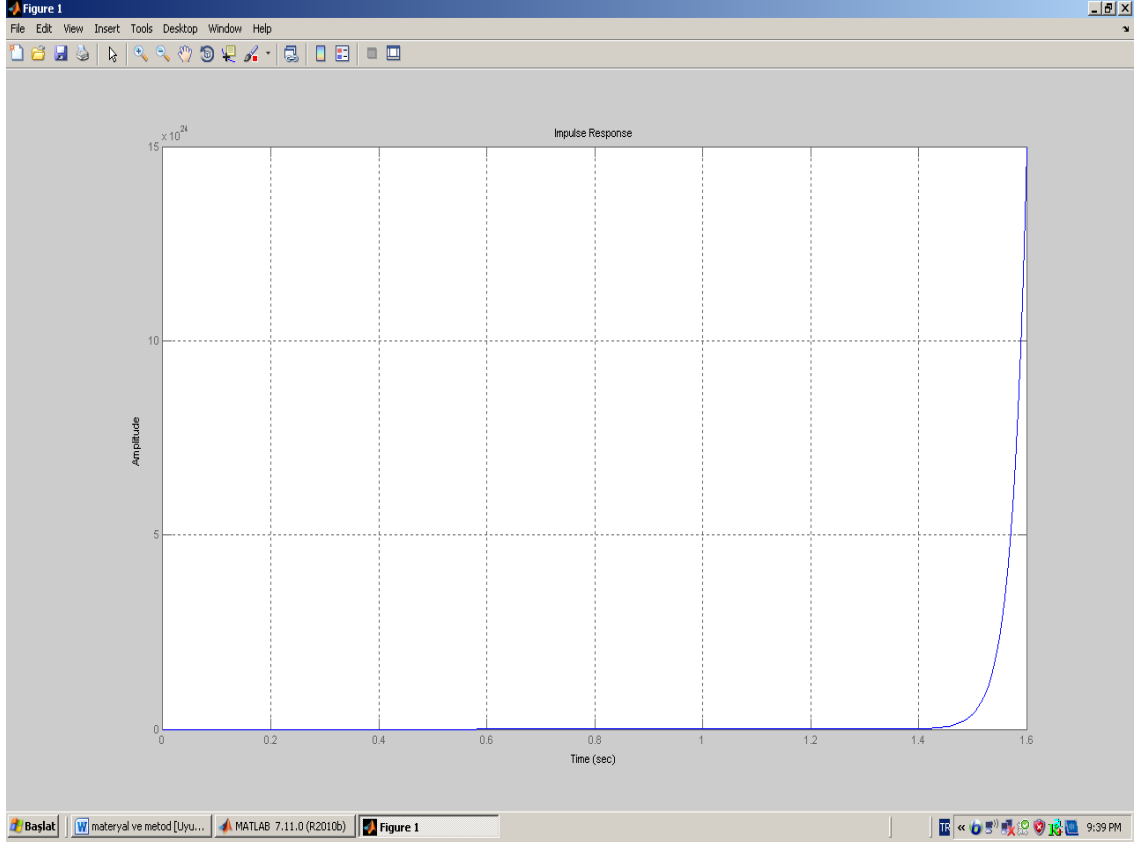
```
>> step(sys)
```



Şekil 4.2. Manyetik askı sisteminin dengelenmemiş basamak eğrisi

- Tepki cevabı,

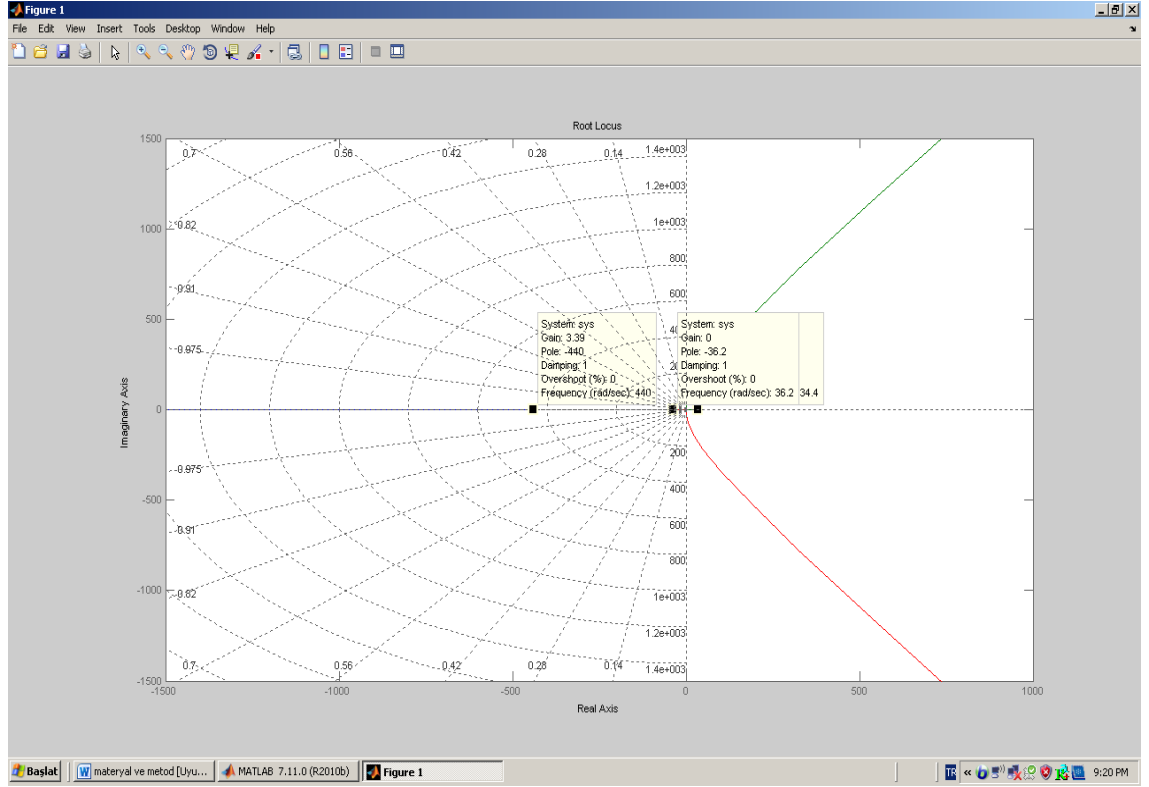
```
>>impulse(sys)
```



Şekil 4.3. Manyetik askı sisteminin dengelenmemiş impuls eğrisi

- Ayrıca dengelenmemiş sistemin kök yer eğrileri bulunur.

>> rlocus(num,den)



Şekil 4.4. Dengelenmemiş manyetik askı sisteminin kök yer eğrileri

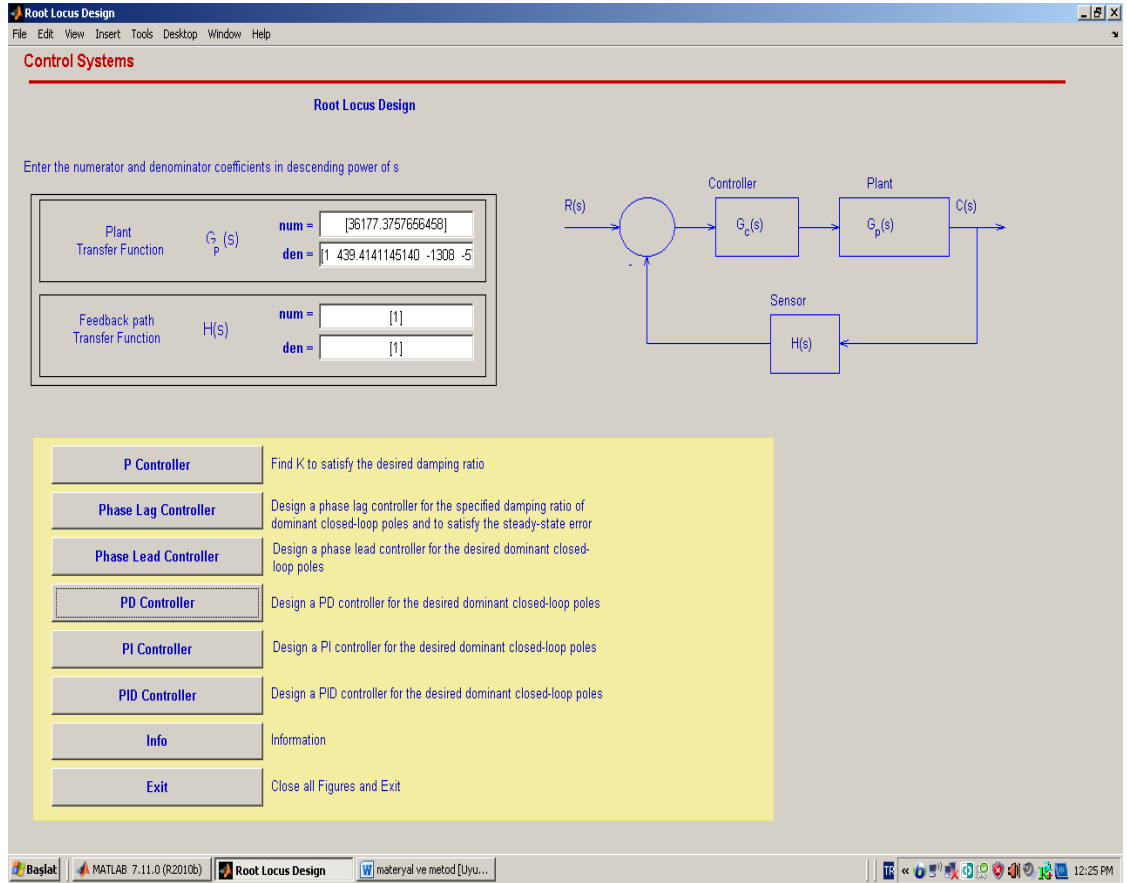
### 4.3. PD Kontrol Elemanının Bulunması

Manyetik askı sisteminin dengelenmemiş transfer fonksiyonu Control System GUI Program for Controller Design programında yerine konulup PD Kontrol Elemanı butonuna basılırsa ve kök yer eğrileri üzerinde deneme yanılma yoluyla istenilen nokta  $S_1 = (-18.5+j*5.5)$  seçilirse,

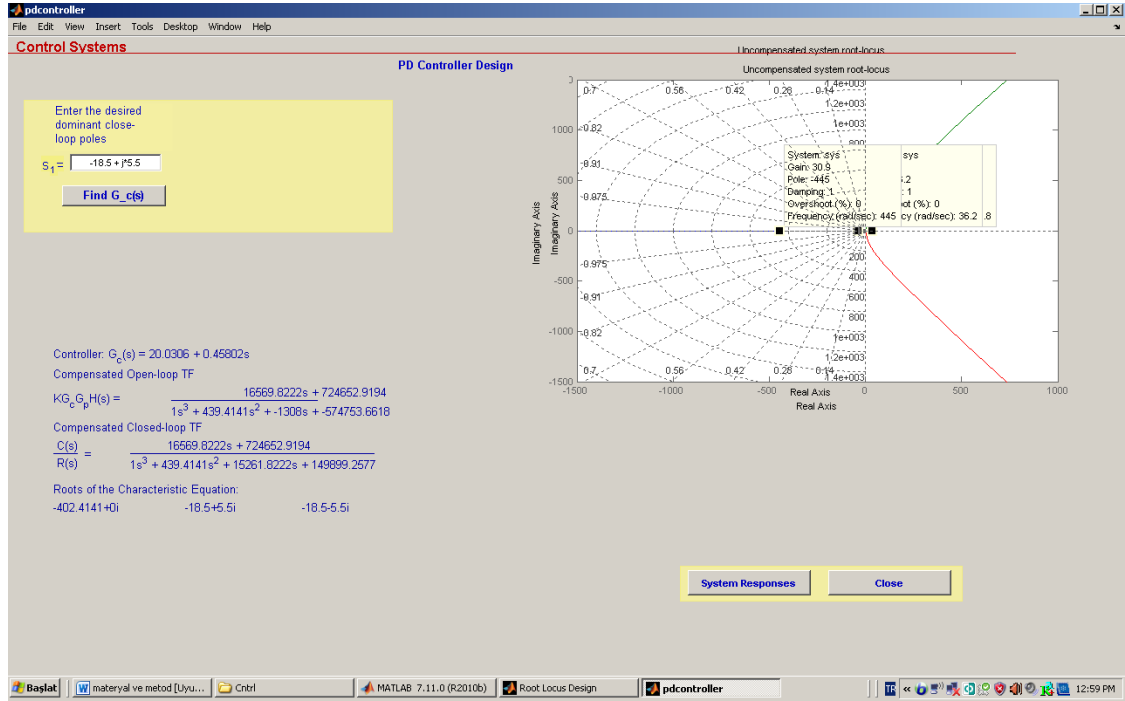
- Dengelenmemiş sistemin transfer fonksiyonu,



- KP parametresi,
- KD parametresi,
- Step response(basamak cevabı),
- Impuls response(tepki cevabı),
- Bode diyagramı(Phase),
- Bode diyagramı(Magnitude),
- Nyquist Diyagramları bulunur.



Şekil 4.5. Manyetik askı sistemi için dengeleyici tasarımı



Şekil 4.6. Manyetik askı sistemi için PD kontrol elemanı tasarımı

PD kontrol elemanı için Matlab sonuçları;

Compensator

Transfer function:

$$0.458 s + 20.03$$

Compensated open loop

Transfer function:

$$1.657e004 s + 7.247e005$$

---


$$s^3 + 439.4 s^2 - 1308 s - 5.748e005$$

Compensated closed loop

Transfer function:

$$1.657e004 s + 7.247e005$$

-----

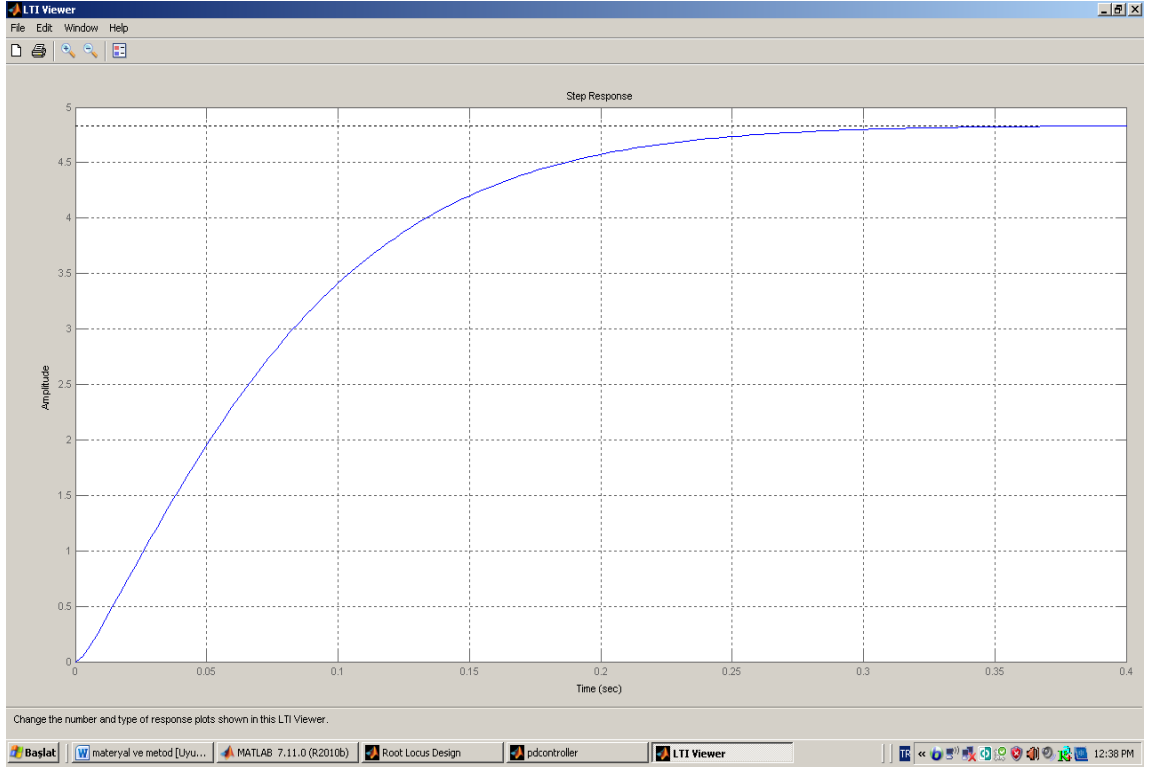
$$s^3 + 439.4 s^2 + 1.526e004 s + 1.499e005$$

KP =

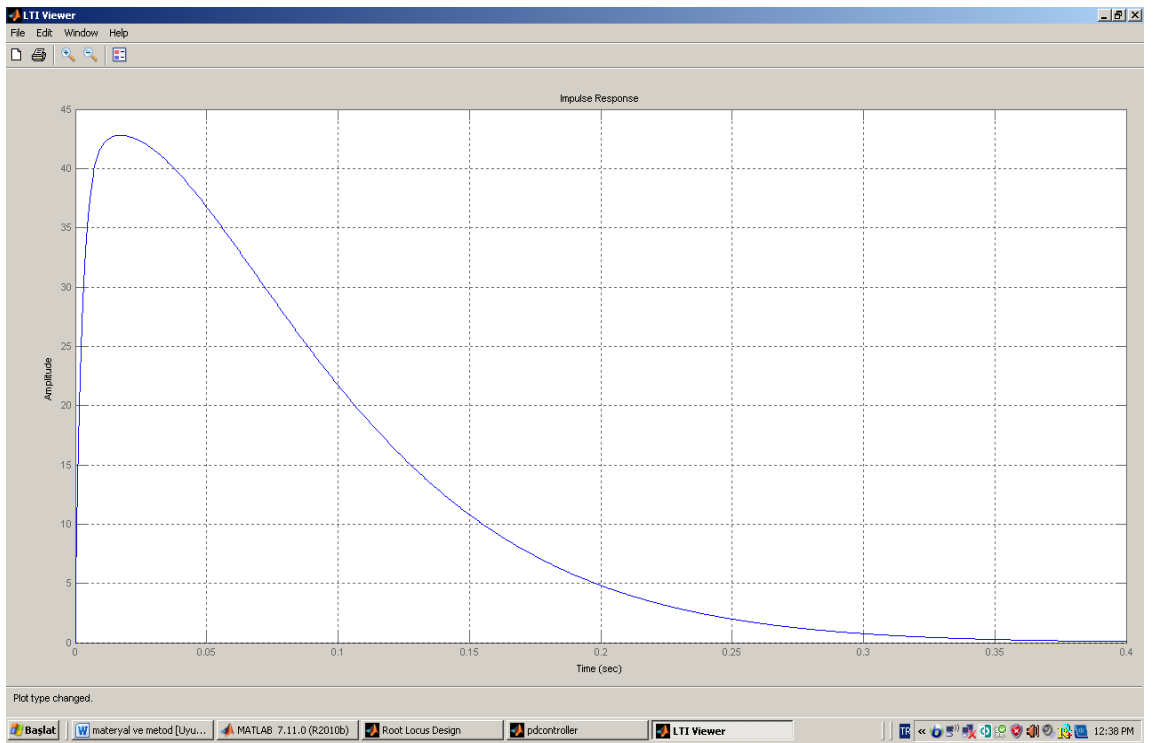
$$20.0306$$

KD =

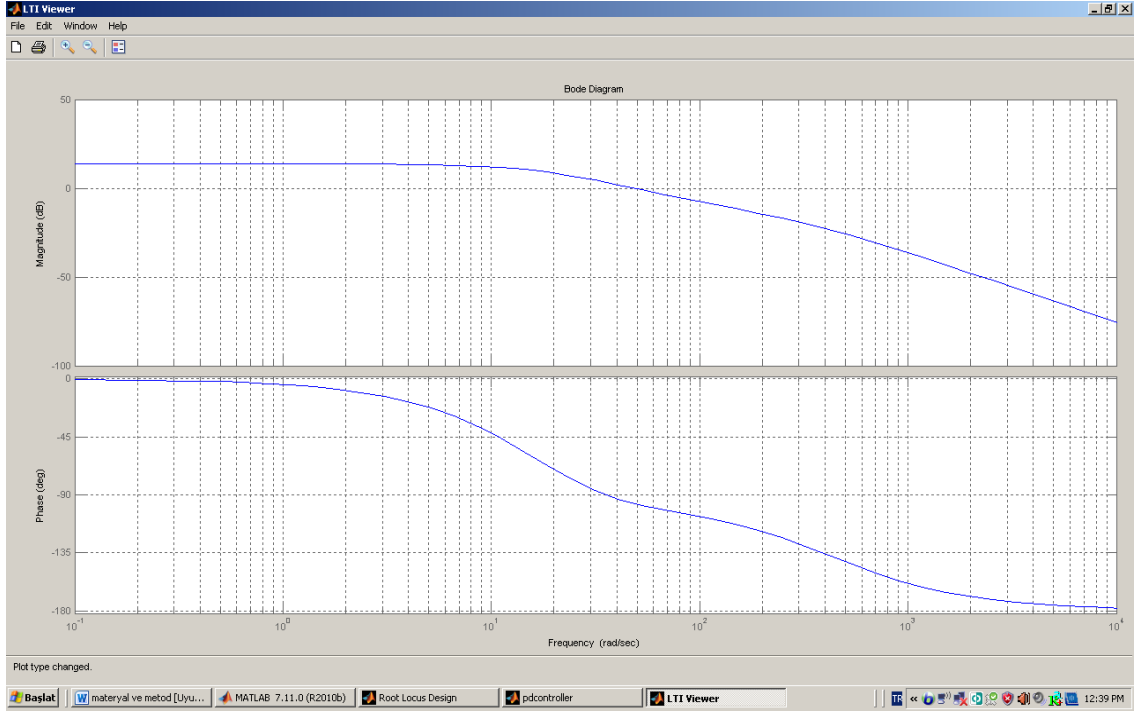
$$0.4580$$



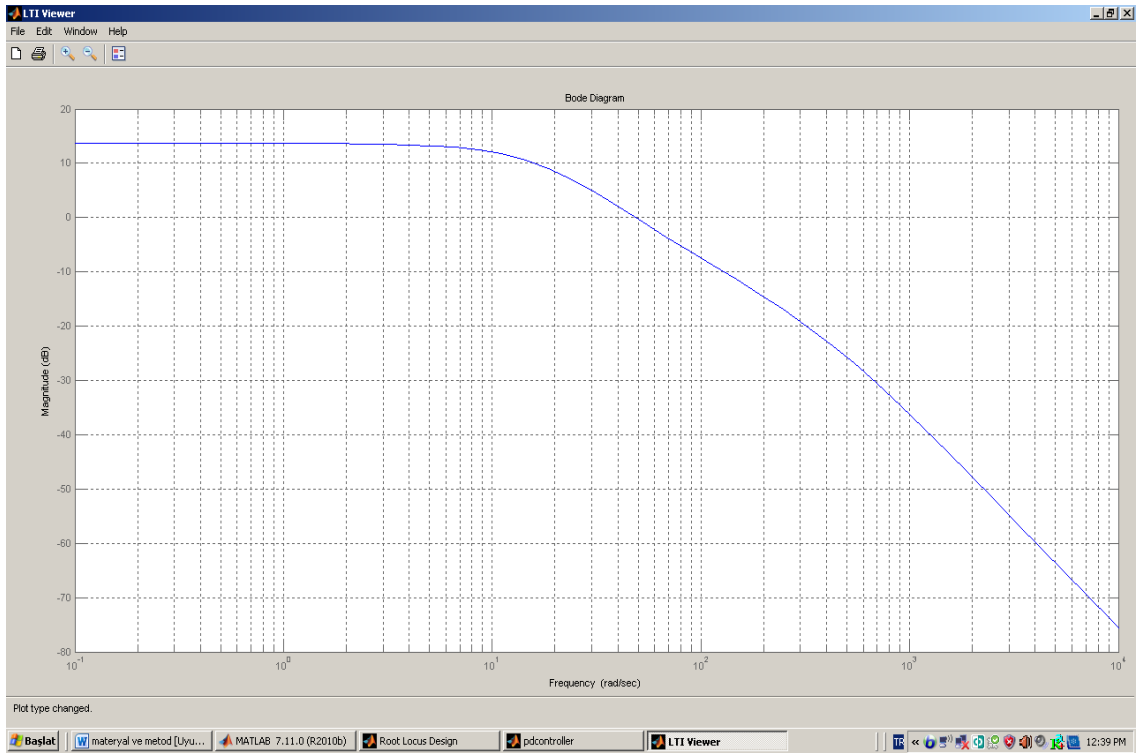
Şekil 4.7. PD kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için basamak cevabı



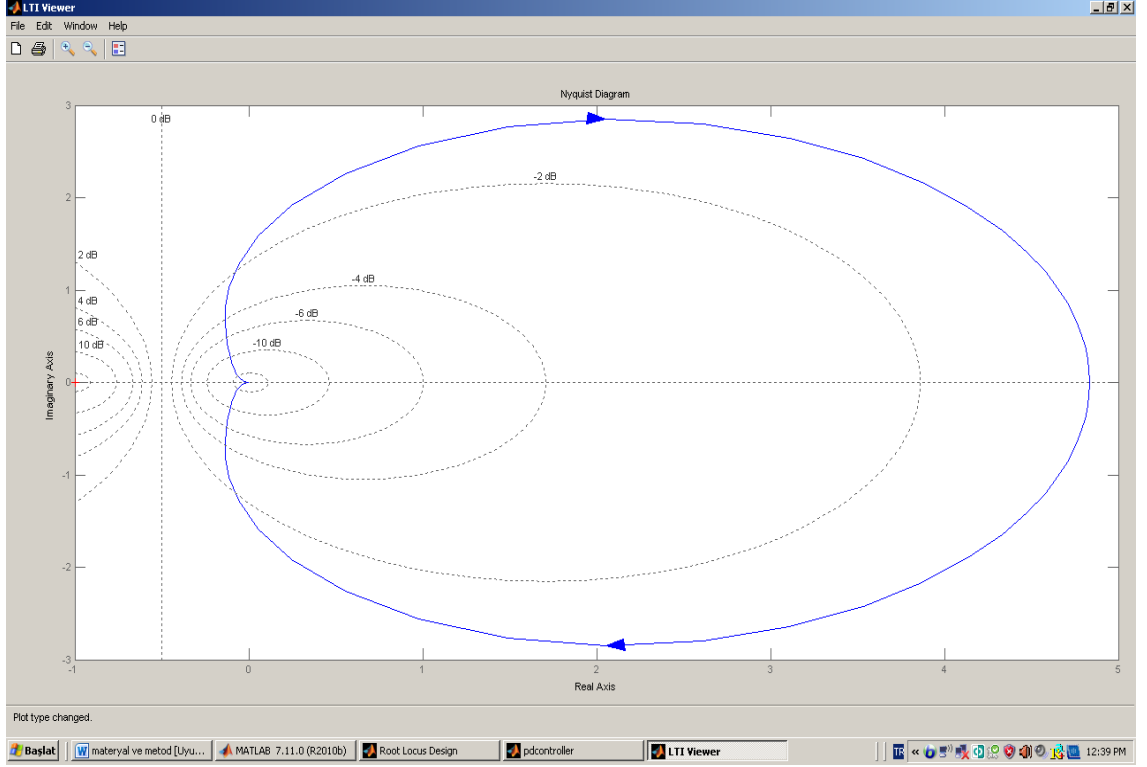
Şekil 4.8. PD kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için tepki cevabı



Şekil 4.9. PD kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı(Phase)



Şekil 4.10. PD kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı



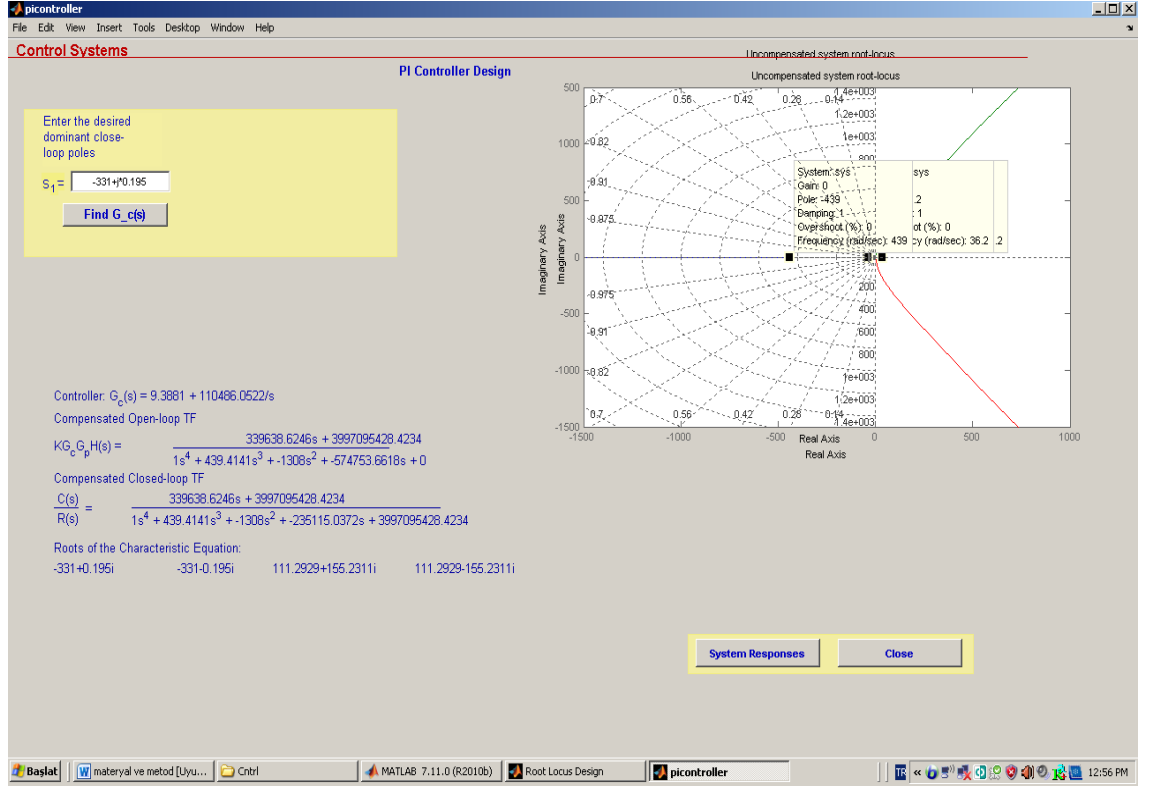
Şekil 4.11. PD kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için nyquist diyagramı

#### 4.4. PI Kontrol Elemanının Bulunması

Manyetik askı sisteminin dengelenmemiş transfer fonksiyonu Control System GUI Program for Controller Design programında yerine konular PI Controlor butonuna basılırsa ve kök yer eğrileri üzerinde deneme yanılma yoluyla istenilen nokta  $S_1 = (-331+j*0.195)$  seçilirse,

- Dengelenmiş sistemin transfer fonksiyonu,
- KP parametresi,
- KI parametresi,
- Step response(basamak cevabı),
- Impuls response(tepki cevabı),

- Bode diyagramı(Phase),
- Bode diyagramı(Magnitude),
- Nyquist Diyagramları bulunur.



Şekil 4.12. Manyetik askı sistemi için PI kontrol elemanı tasarımı

PI kontrol elemanı için Matlab sonuçları;

Compensator

Transfer function:

$$9.388 s + 1.105e005$$

-----

S

Compensated open loop

Transfer function:

$$3.396e005 s + 3.997e009$$

-----

$$s^4 + 439.4 s^3 - 1308 s^2 - 5.748e005 s$$

Compensated closed loop

Transfer function:

$$3.396e005 s + 3.997e009$$

-----

$$s^4 + 439.4 s^3 - 1308 s^2 - 2.351e005 s + 3.997e009$$

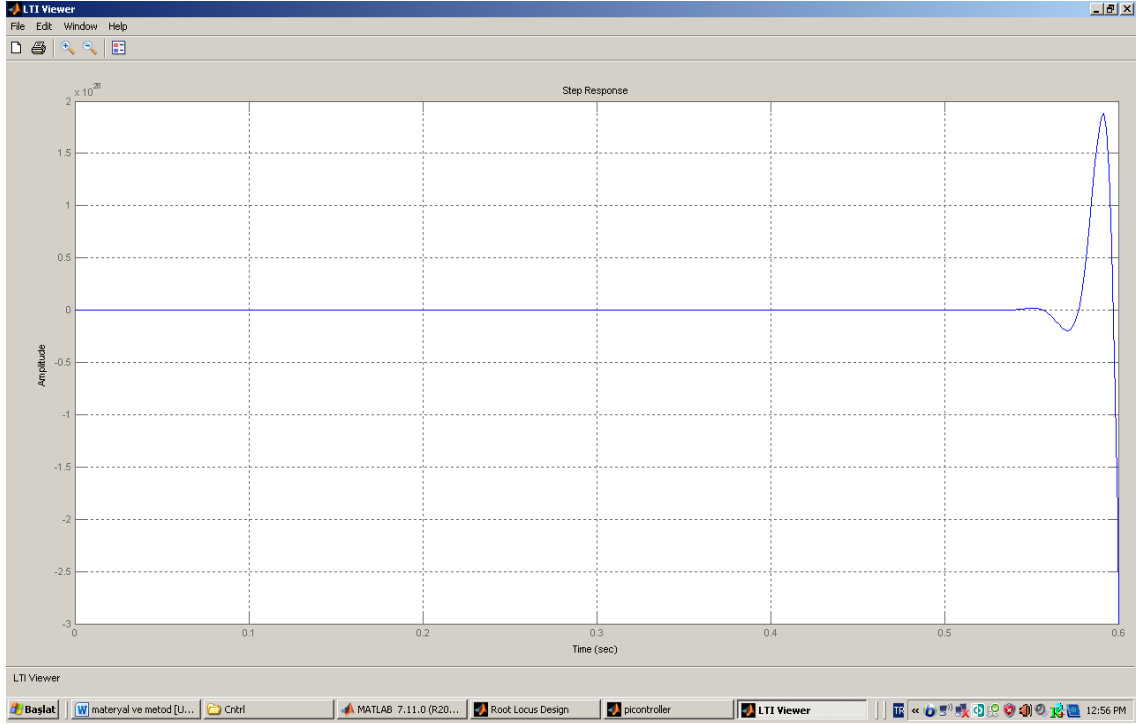
KP =

$$9.3881$$

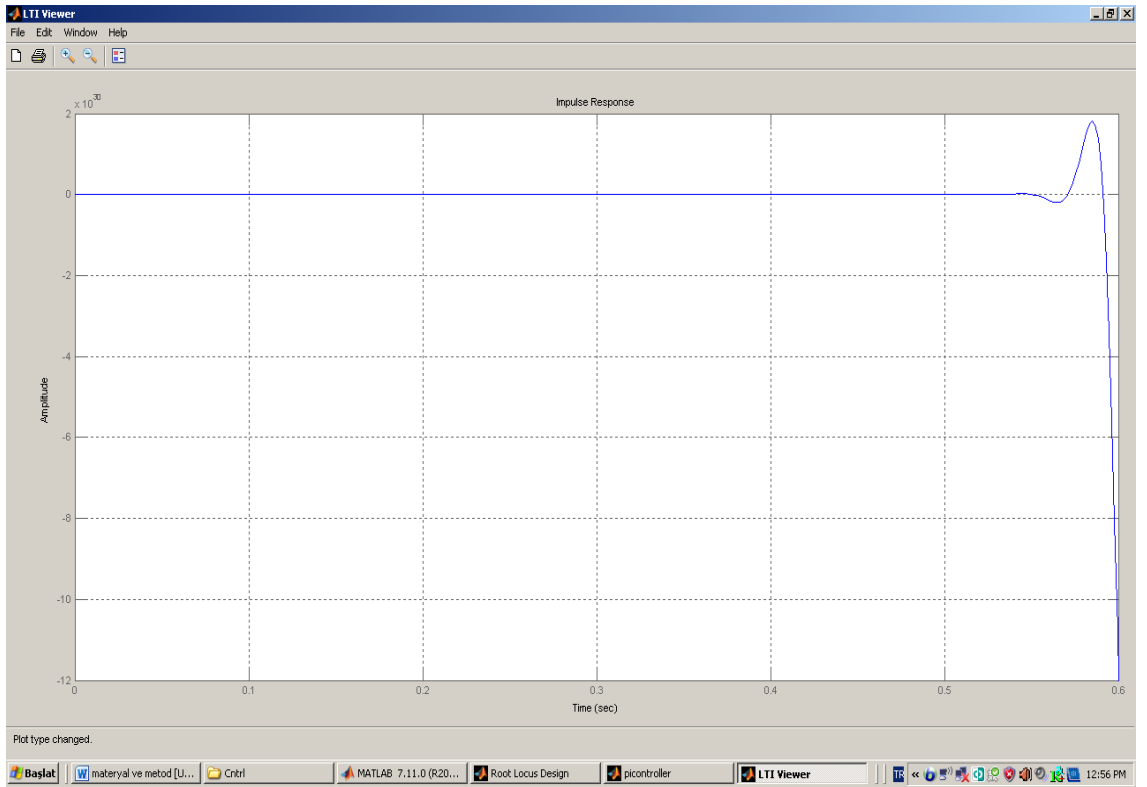
KI =

$$1.1049e+005$$

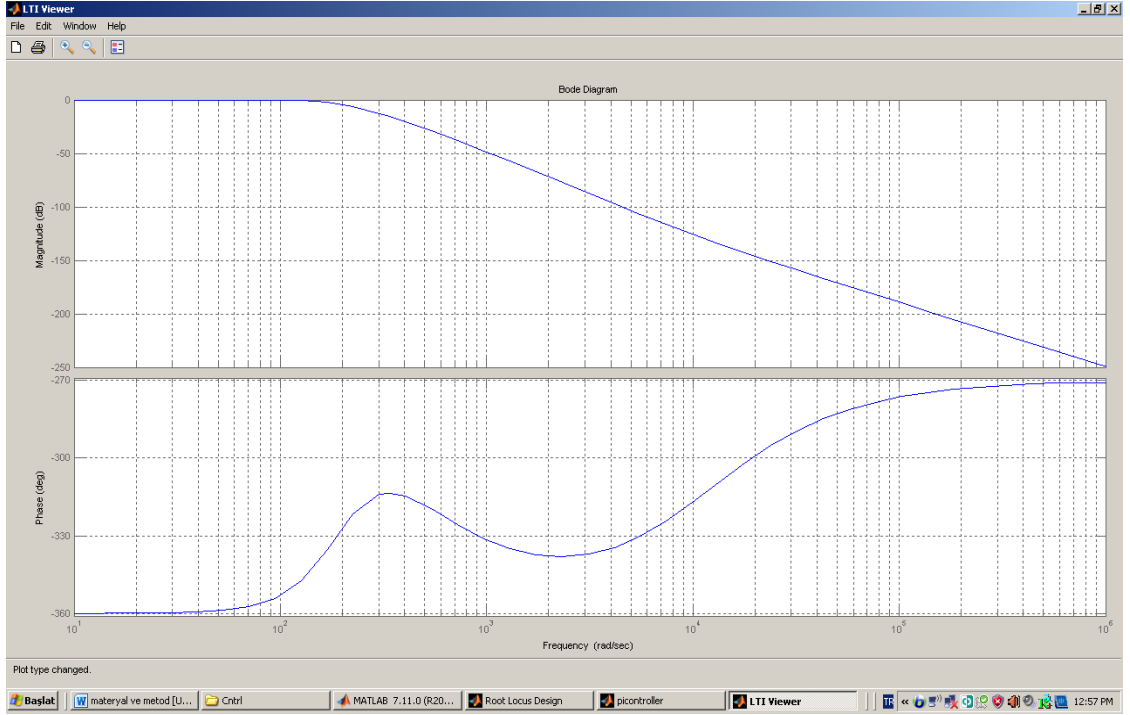




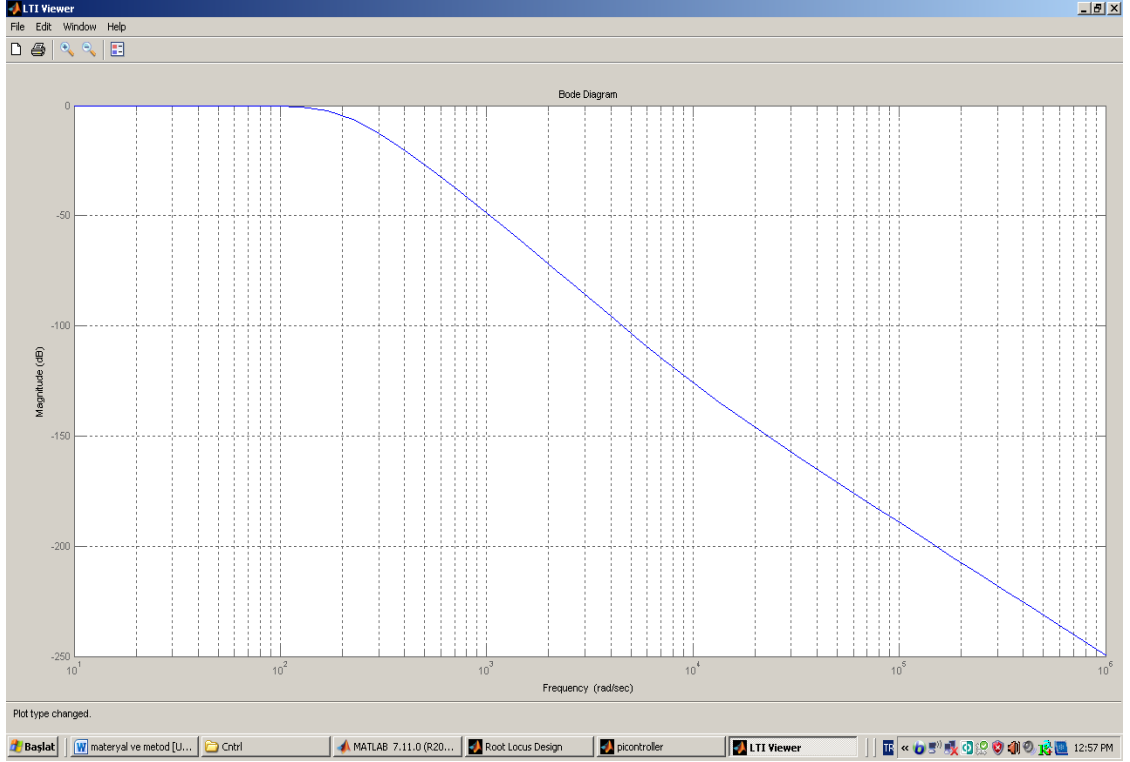
Şekil 4.13. PI kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için basamak cevabı



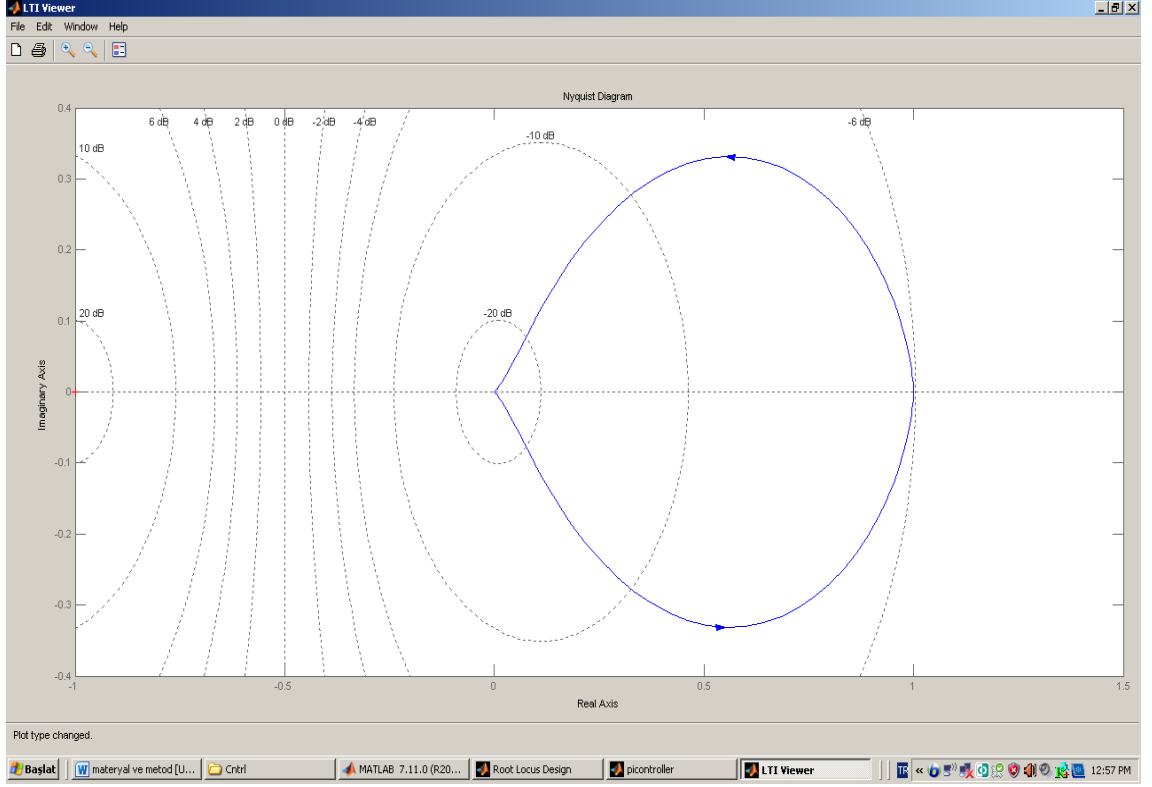
Şekil 4.14. PI kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için tepki cevabı



Şekil 4.15. PI kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı(Phase)



Şekil 4.16. PI kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı



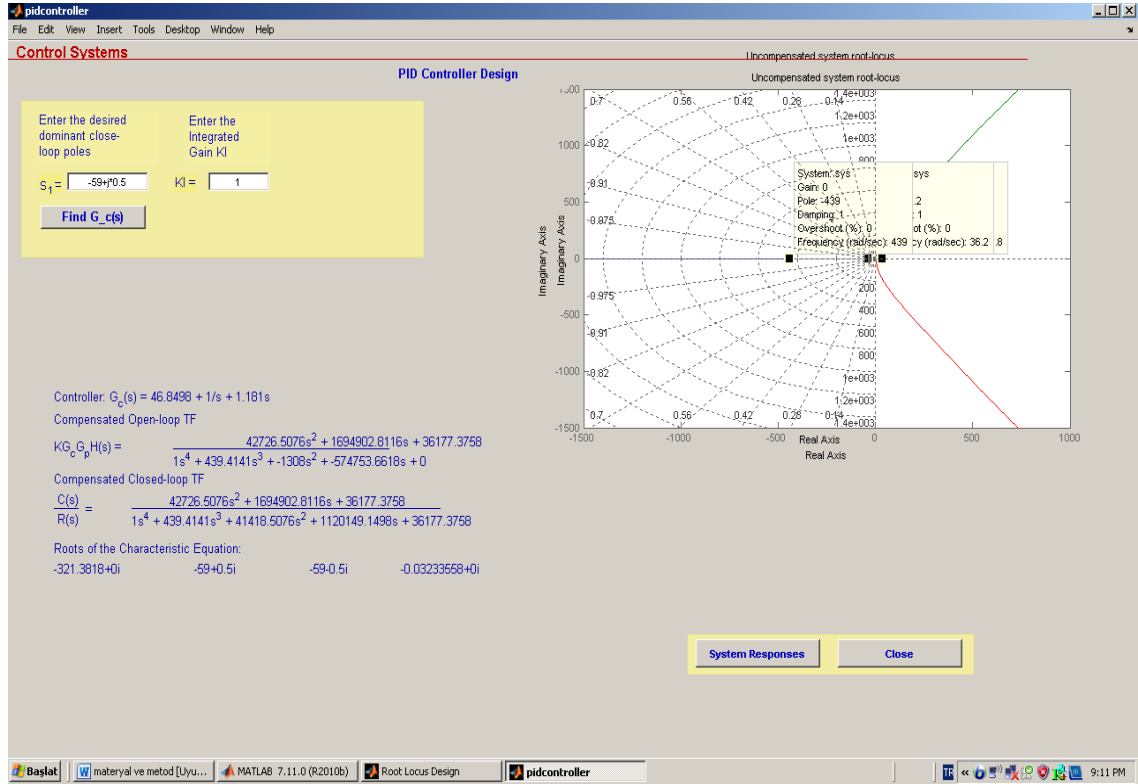
Şekil 4.17. PI kontrol elemanı manyetik askı sistemi için nyquist diyagramı

#### 4.5. PID Kontrol Elemanının Bulunması

Manyetik askı sisteminin dengelenmemiş transfer fonksiyonu Control System GUI Program for Controller Design programında yerine konular PID Controler butonuna basılırsa ve kök yer eğrileri üzerinde deneme yanılma yoluyla istenilen nokta  $S_1 = (-59+j*0.5)$  ve integral Kazancı  $KI = 1$  seçilirse,

- Dengelenmiş sistemin transfer fonksiyonu,
- KP parametresi,
- KI parametresi,
- KD parametresi,
- Step response(basamak cevabı),
- Impuls response (tepki cevabı),

- Bode diyagramı(Phase),
- Bode diyagramı(Magnitude),
- Nyquist Diyagramları bulunur.



Şekil 4.18. Manyetik askı sistemi için PID kontrol elemanı tasarımı

PID kontrol elemanı için Matlab sonuçları;

Compensator

Transfer function:

$$1.181 s^2 + 46.85 s + 1$$

-----

s

Compensated open loop

Transfer function:

$$4.273e004 s^2 + 1.695e006 s + 3.618e004$$

-----

$$s^4 + 439.4 s^3 - 1308 s^2 - 5.748e005 s$$

Compensated closed loop

Transfer function:

$$4.273e004 s^2 + 1.695e006 s + 3.618e004$$

-----

$$s^4 + 439.4 s^3 + 4.142e004 s^2 + 1.12e006 s + 3.618e004$$

KP =

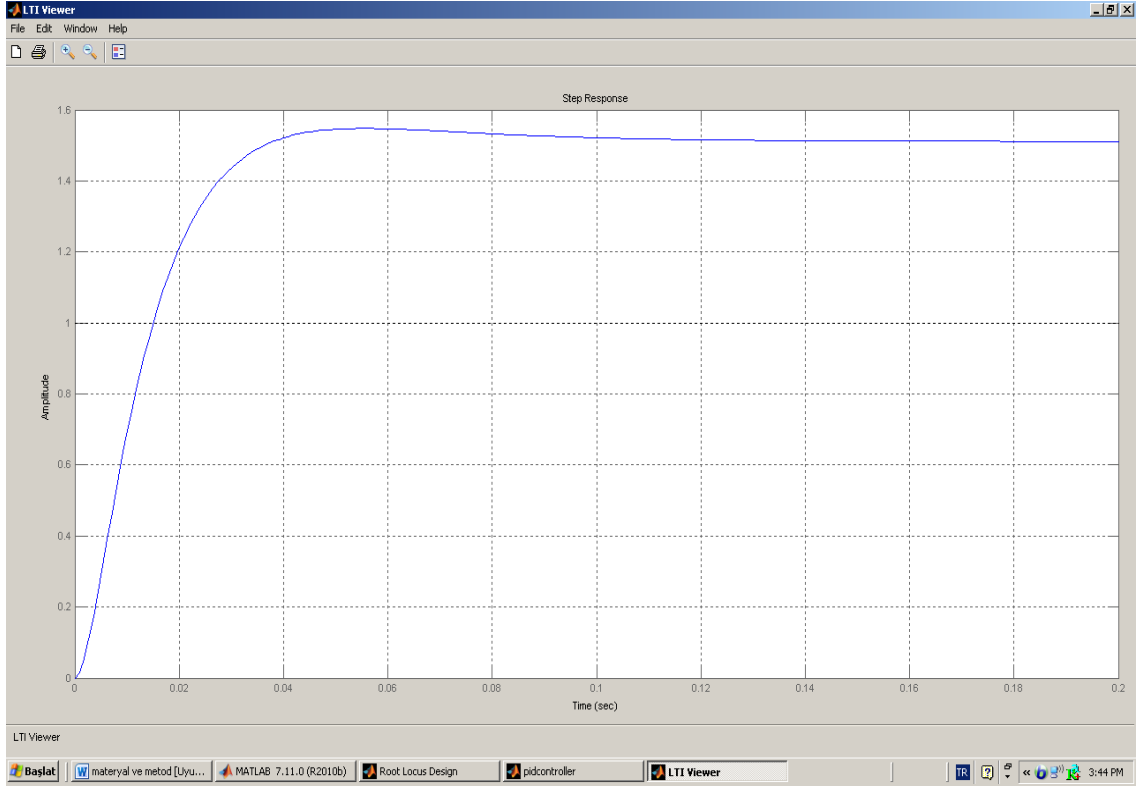
$$46.8498$$

KI =

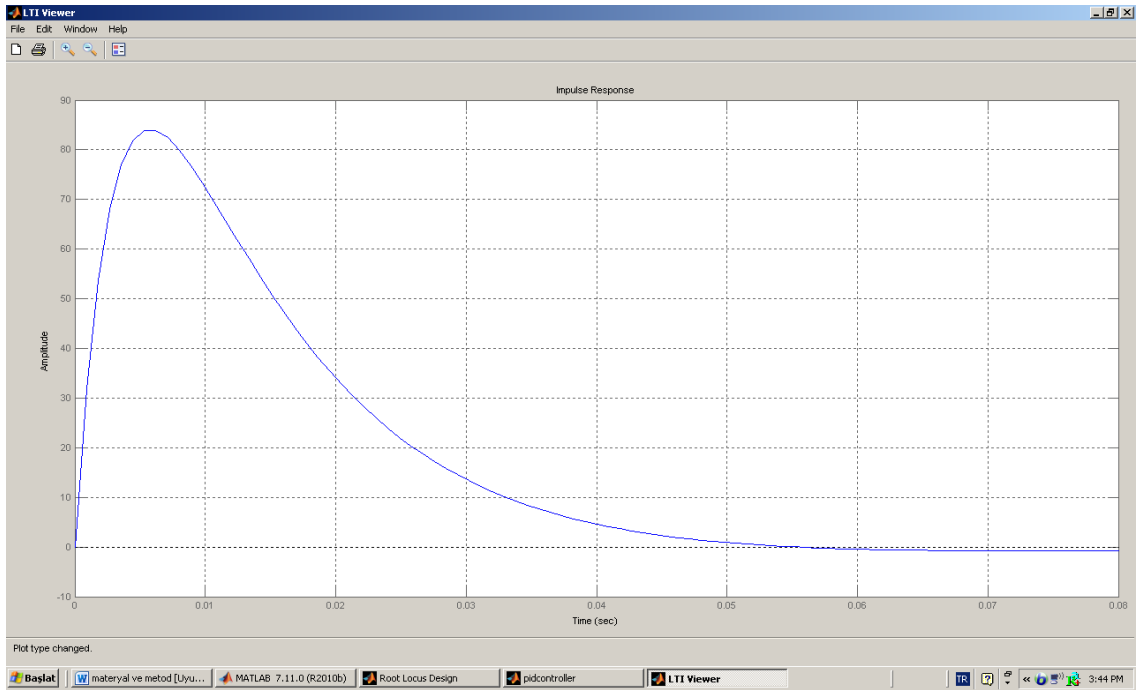
$$1$$

KD =

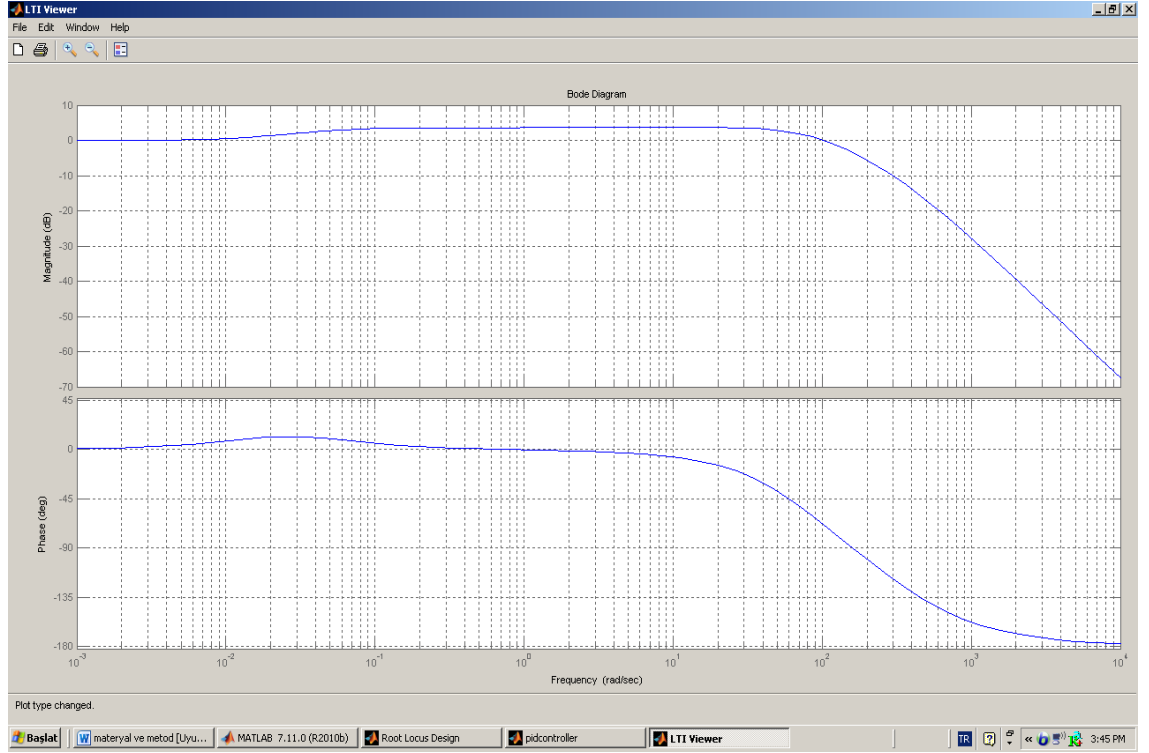
$$1.1810$$



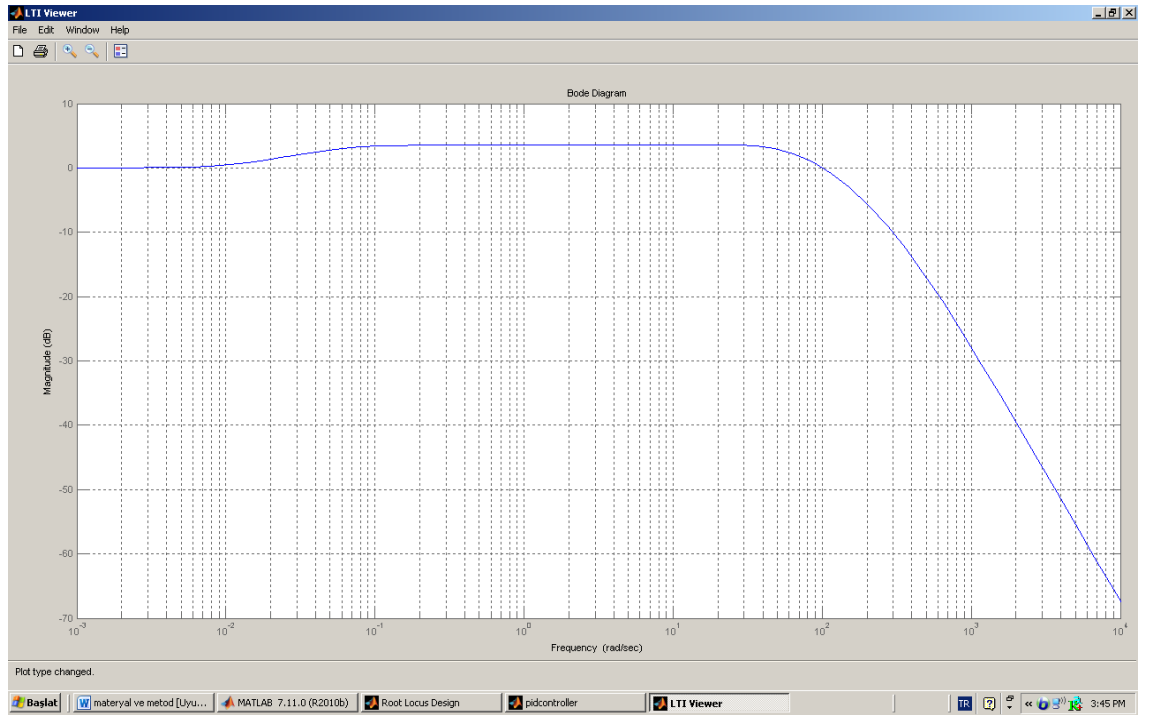
Şekil 4.19. PID kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için basamak cevabı



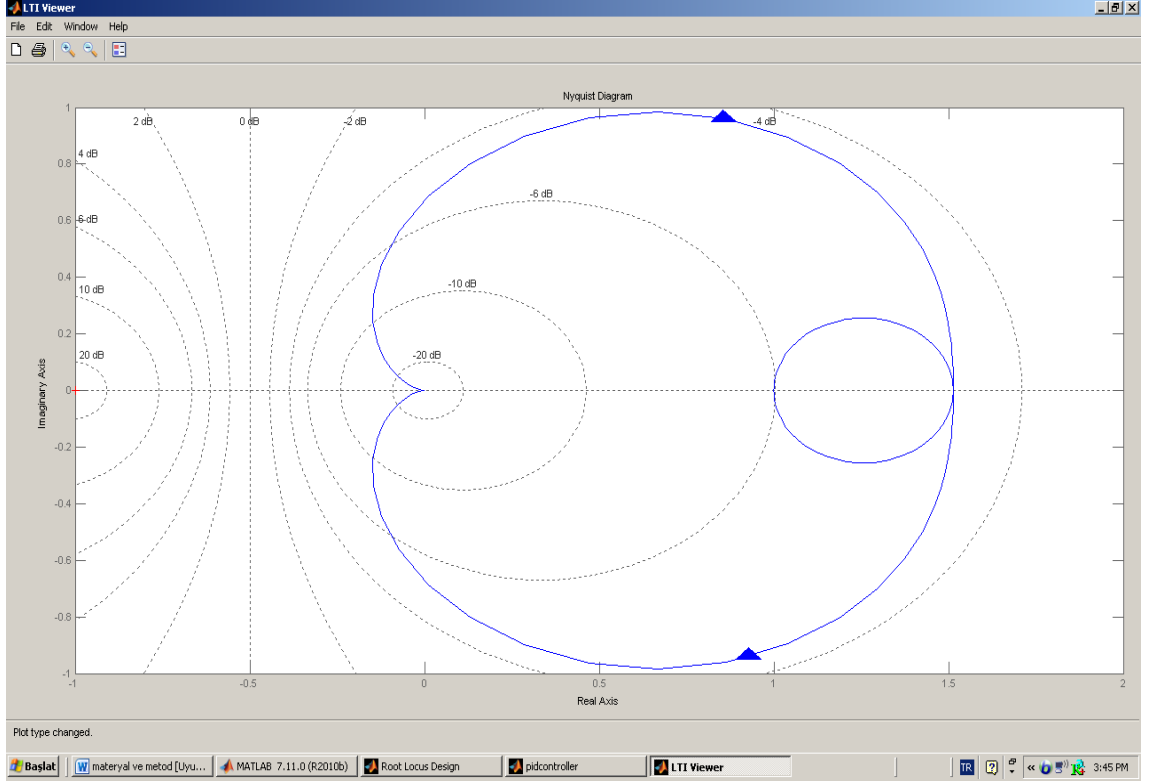
Şekil 4.20. PID kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için impuls cevabı



Şekil 4.21. PID kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı(Phase)



Şekil 4.22. PID kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için bode diyagramı

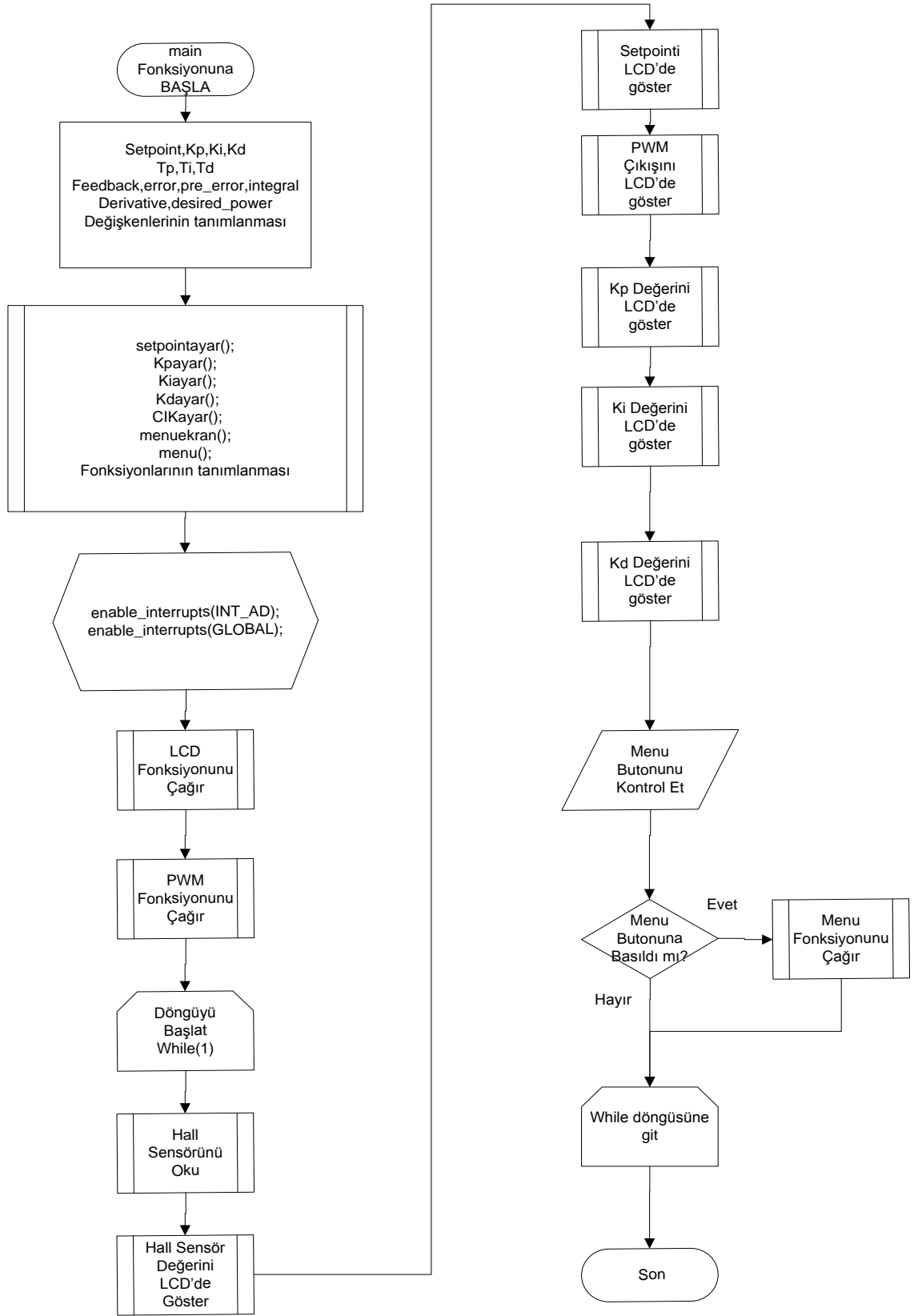


Şekil 4.23. PID kontrol elemanlı manyetik askı sistemi için nyquist diyagramı

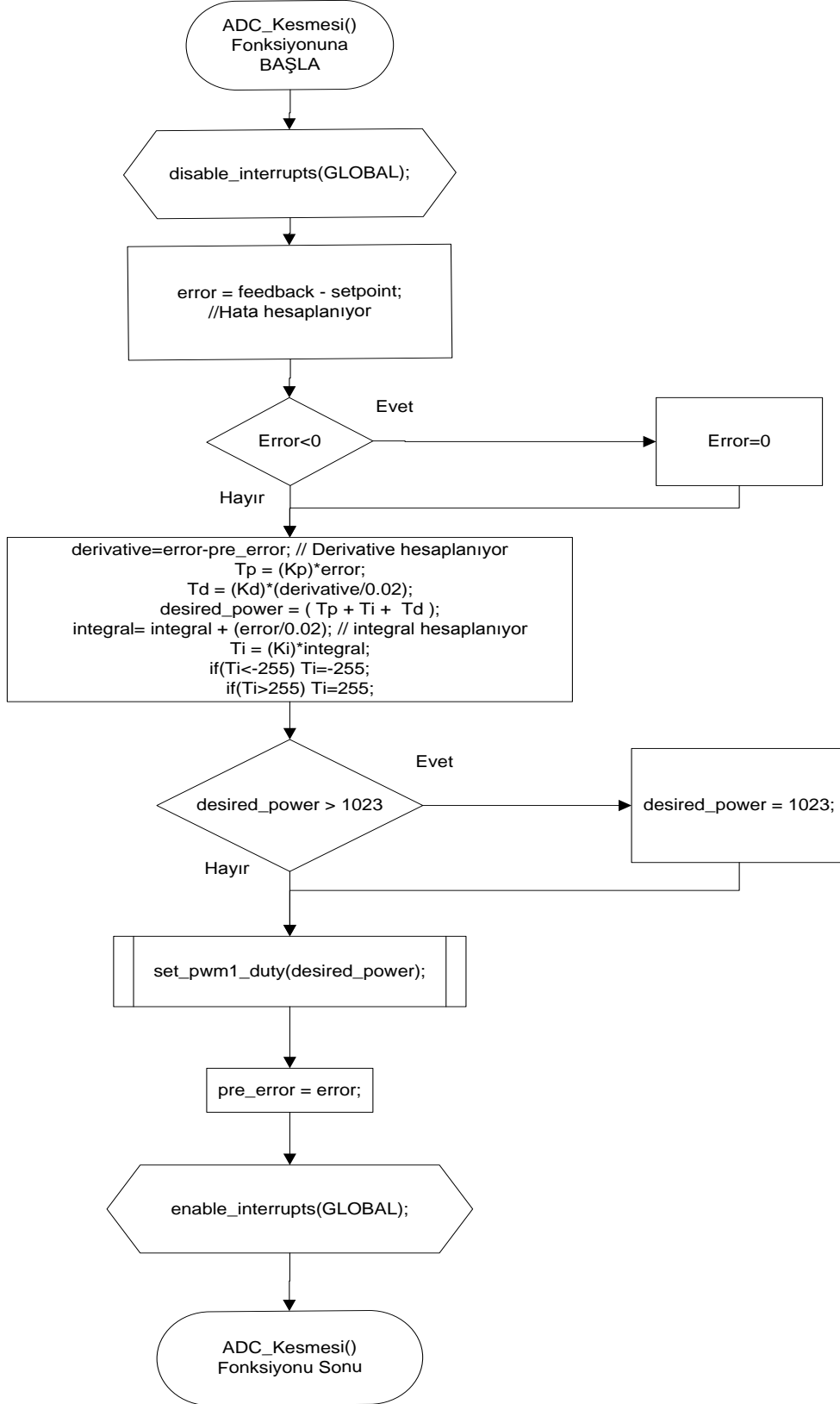
#### 4.6. Mikrodenetleyici Programının Hazırlanması

Mikrodenetleyici programı hazırlanmadan önce Microsoft Visio programı ile akış şemaları hazırlanmış ve sonra CCS C programı ile derlenmiştir. Derlenen program Proteus ile simülasyonu yapılmış ve deneysel olarak sistem çalıştırılmıştır.

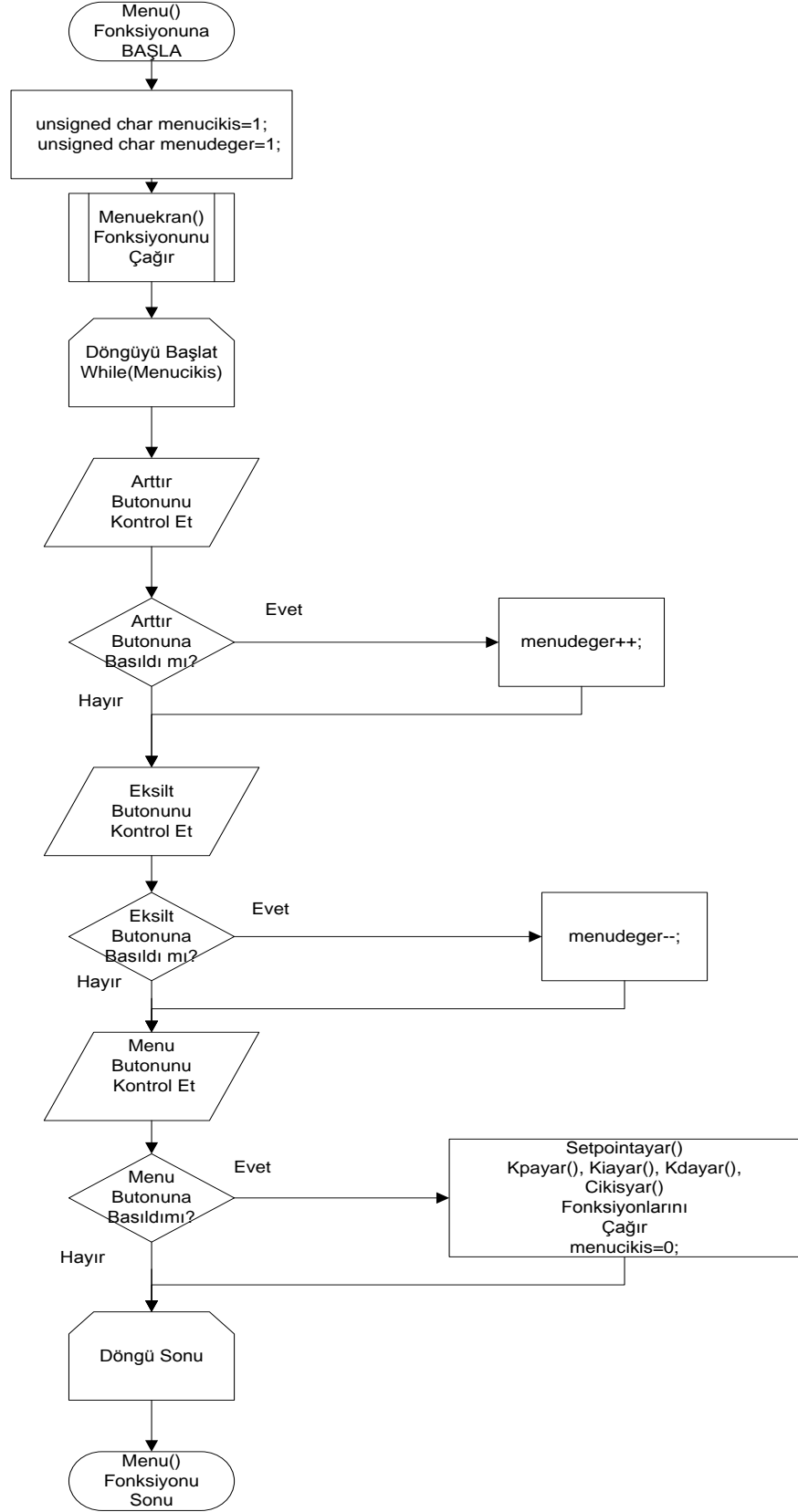




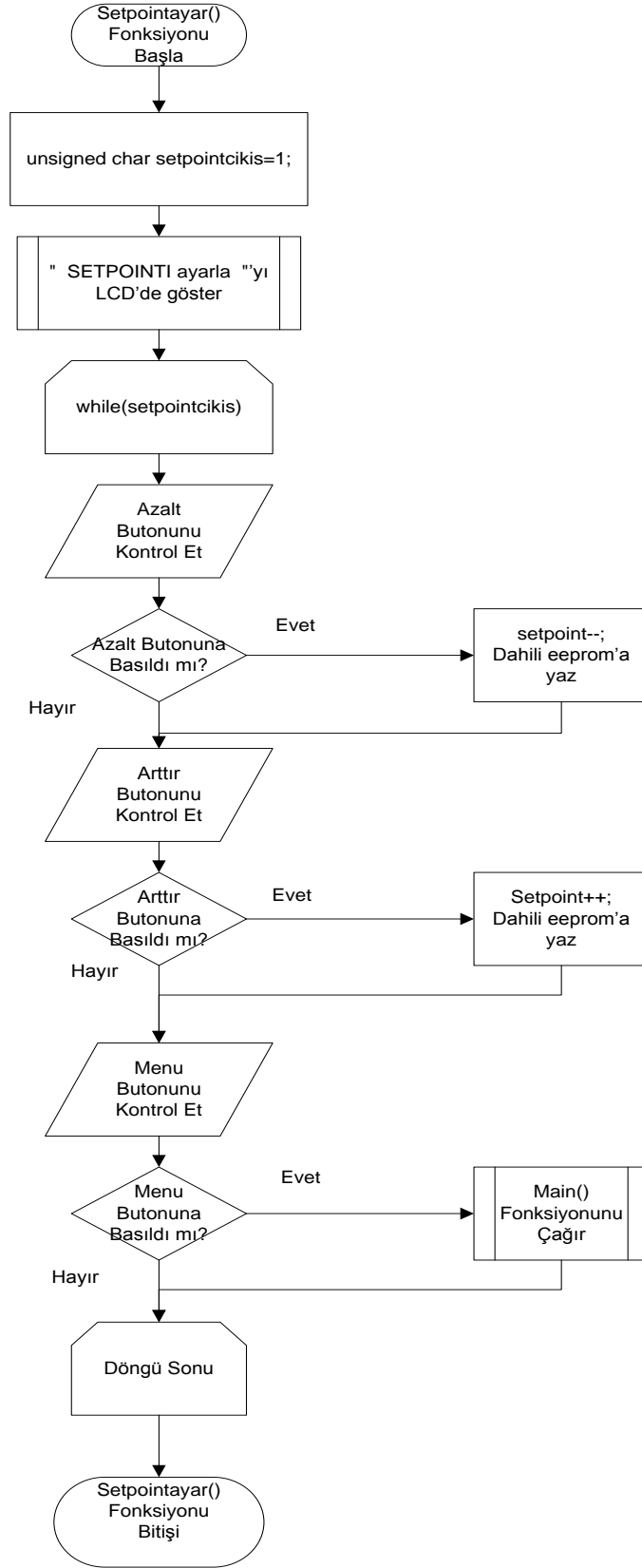
Şekil 4.24. Main programı akış şeması



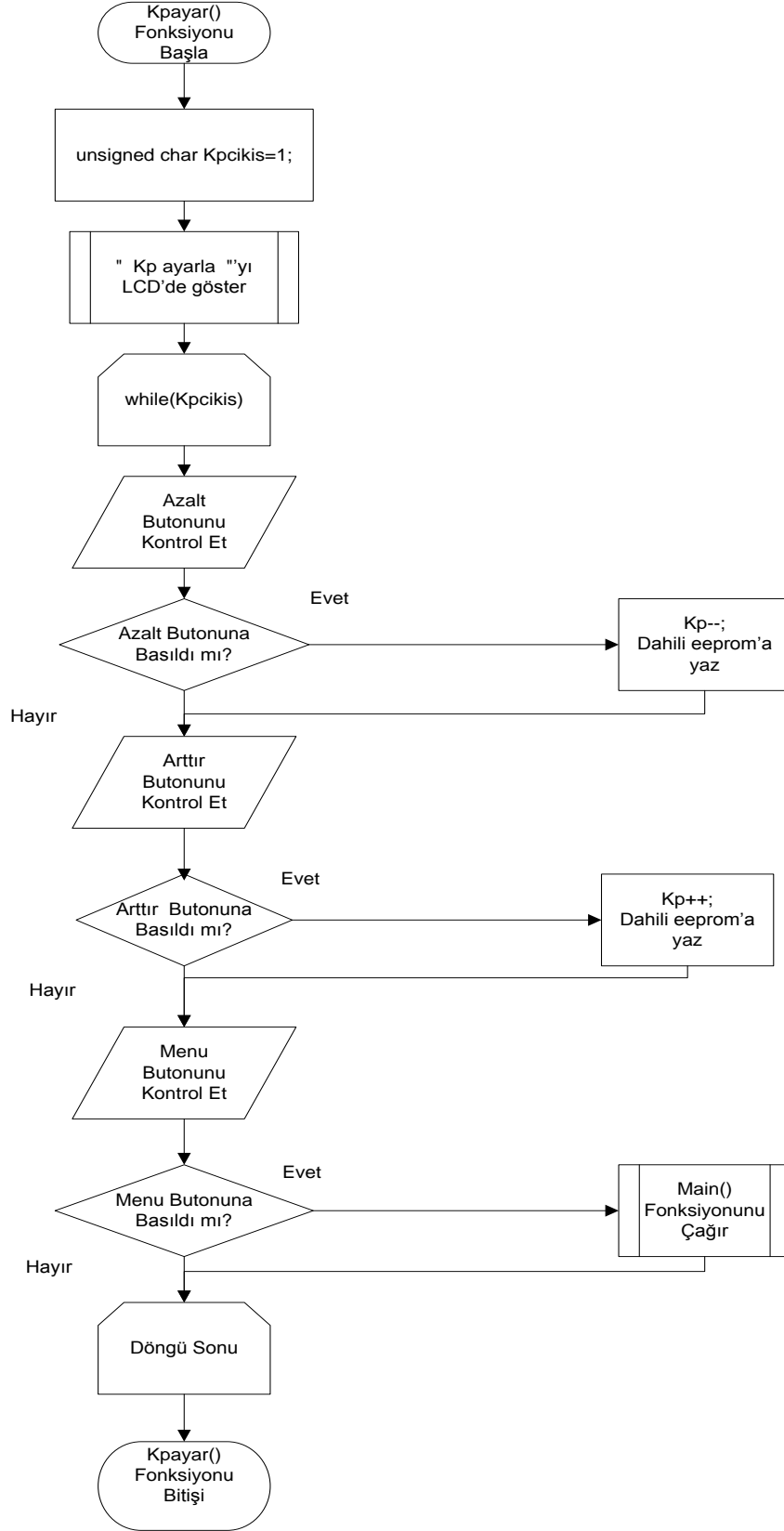
Şekil 4.25. AD(Analog-sayısal çevrimi) kesme fonksiyonu akış şeması



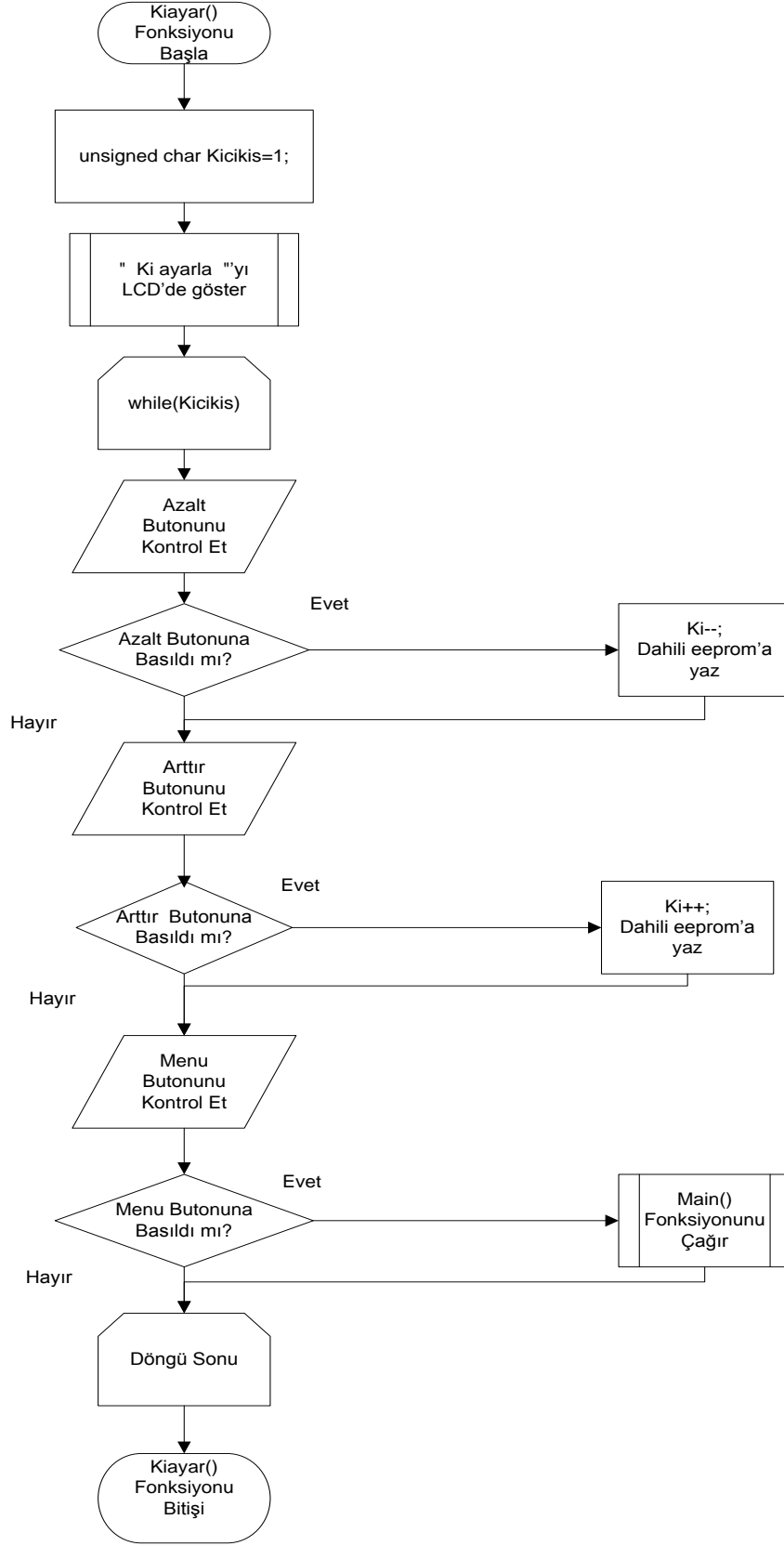
Şekil 4.26. Menu fonksiyonu akış şeması



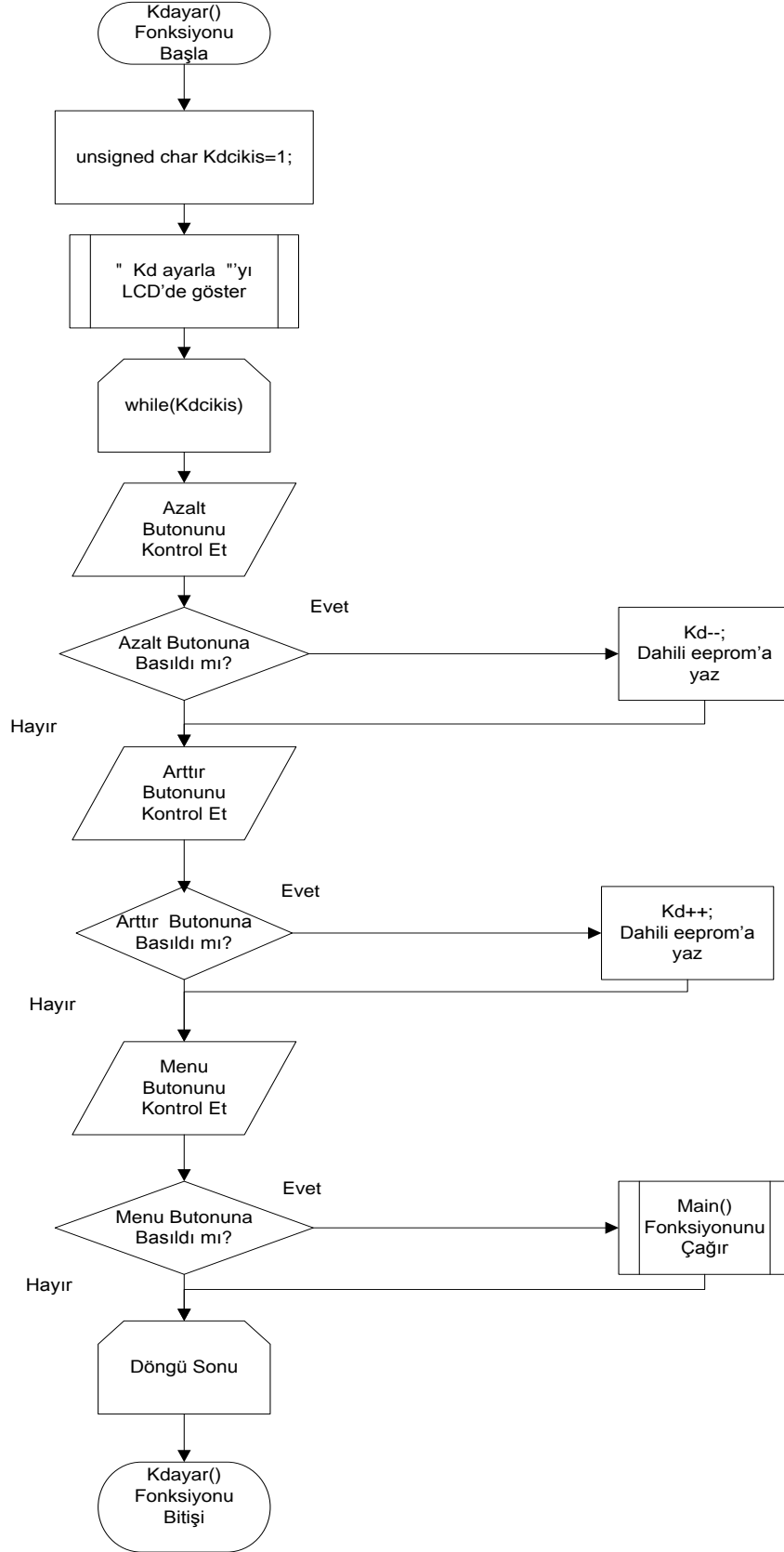
Şekil 4.27. Setpointayar fonksiyonu akış şeması



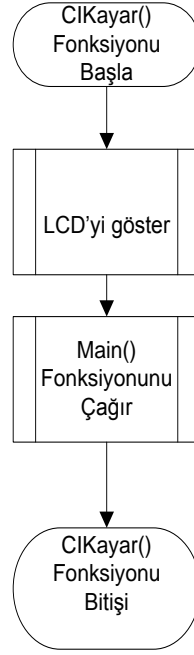
Şekil 4.28. Kpayar fonksiyonu akış şeması



Şekil 4.29. Kiayar fonksiyonu akış şeması



Şekil 4.30. Kdayar fonksiyonu akış şeması



Şekil 4.31. CIKayar fonksiyonu akış şeması

```

//AD KESMESİ -PID Algoritması
#INT_AD
void ADC_Kesmesi()
{
  disable_interrupts(GLOBAL);
  error = feedback - setpoint; //Hata hesaplanıyor
  if (error < 0) error = 0;
  derivative=error-pre_error;
  Tp = (Kp)*error; //Oransal parametre hesaplanıyor
  Td = (Kd)*(derivative/0.02); //Türevsel parametre hesaplanıyor
  desired_power = ( Tp + Ti + Td ); //PID hesaplanıyor
  integral= integral + (error/0.02); //Integral parametre hesaplanıyor
  Ti = (Ki)*integral;
  if(Ti<-255) Ti=-255;
  if(Ti>255) Ti=255;
  if (desired_power > 1023) desired_power = 1023;
  set_pwm1_duty(desired_power); //PWM sinyali mosfete gönderiliyor
  pre_error = error;
  enable_interrupts(GLOBAL);
}

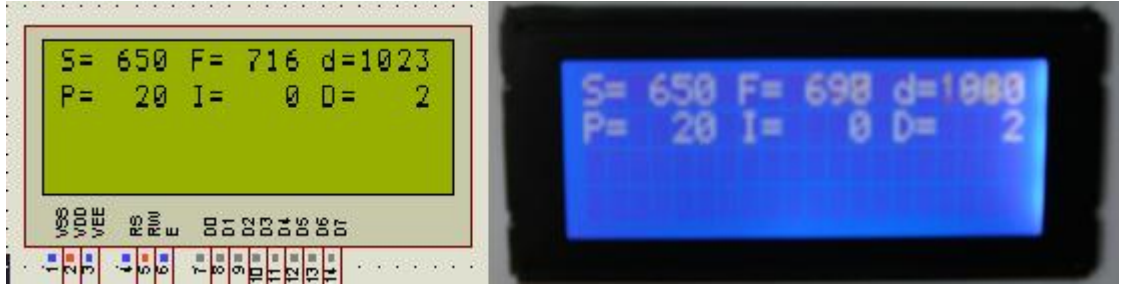
```

Şekil 4.32. CCS C'de yazılan PID algoritması kodları



#### 4.7. PD Parametrelerinin Denenmesi

Bölüm 4.3'te Control System GUI Program for Controller Design programı ile PD kontrol elemanı tasarımında bulunan  $KP = 20.0306$ ,  $KD = 0.4580$  değerleri basamak ve impuls cevaplarında istenilen sonuca ulaştıklarından dolayı üç butonlu menü aracı ile mikrodenetleyiciye  $KP = 20$  ve  $KD = 2$  olarak yüklendiği zaman manyetik askı sisteminde, sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun havada yere düşmeden dengede durduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.33. PD parametrelerinin uygulanması



Şekil 4.34. PD parametrelerinin uygulandığı manyetik askı sisteminin çalışması

#### 4.8. PI Parametrelerinin Denenmesi

Bölüm 4.4'te Control System GUI Program for Controller Design programı ile PI kontrol elemanı tasarımında bulunan  $K_P = 9.388$ ,  $K_I = 1.1049e+005$  değerleri, basamak ve impuls cevaplarında istenilen sonuca ulaşamadığından dolayı üç butonlu menü aracı ile mikrodenetleyiciye  $K_I$  değerinin çok büyük olması nedeniyle tasarlanan kontrol kartına yüklenememiştir. Dolayısıyla, manyetik askı sisteminde, sürekli

mıknatıslı alüminyum kutunun havada yere düşmeden dengede PI kontrolörüyle durmadığı gözlenmiştir.

#### 4.9. PID Parametrelerinin Denenmesi

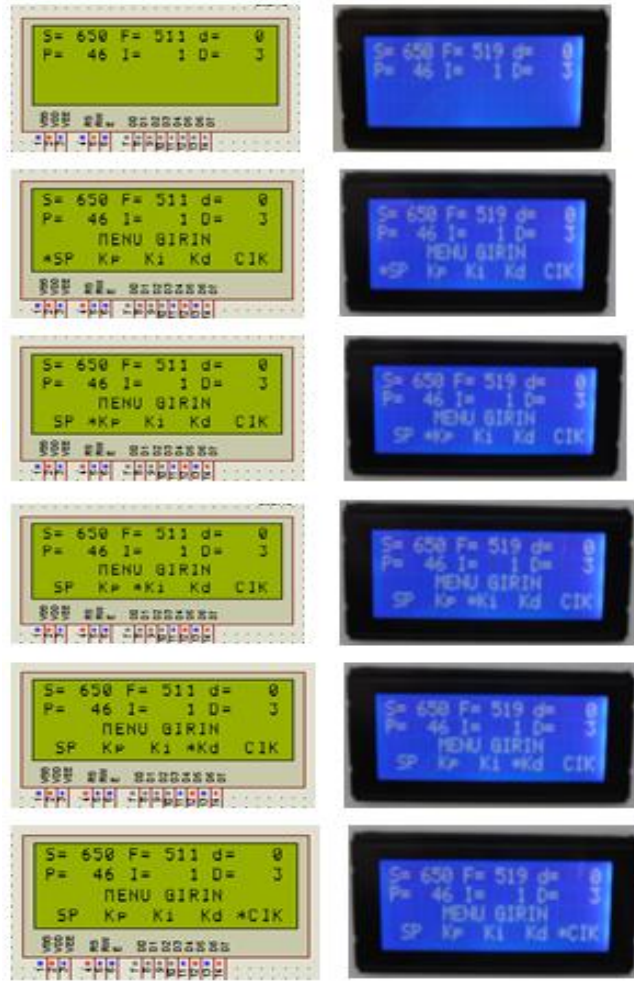
Bölüm 4.5'te Control System GUI Program for Controller Design programı ile PID kontrol elemanı tasarımında bulunan  $K_P = 46.8498$ ,  $K_I = 1$ ,  $K_D = 1.1810$  değerleri basamak ve impuls cevaplarında istenilen sonuca ulaşıldığından dolayı üç butonlu menü aracı ile mikrodenetleyiciye  $K_P = 46$ ,  $K_I = 1$  ve  $K_D = 3$  olarak yüklendiği zaman manyetik askı sisteminde, sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun havada yere düşmeden dengede durduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.35. PID parametrelerinin uygulanması



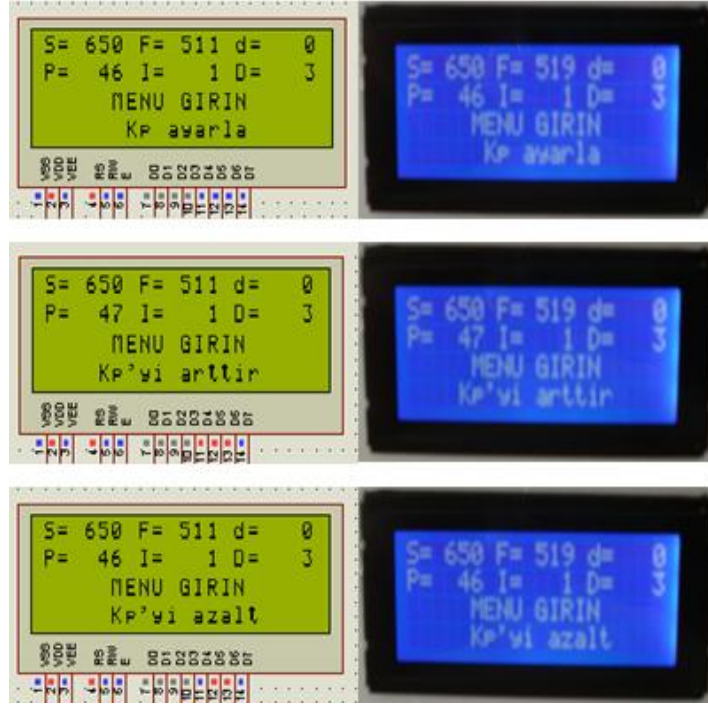
Şekil 4.36. PID parametrelerinin uygulandığı manyetik askı sisteminin çalışması



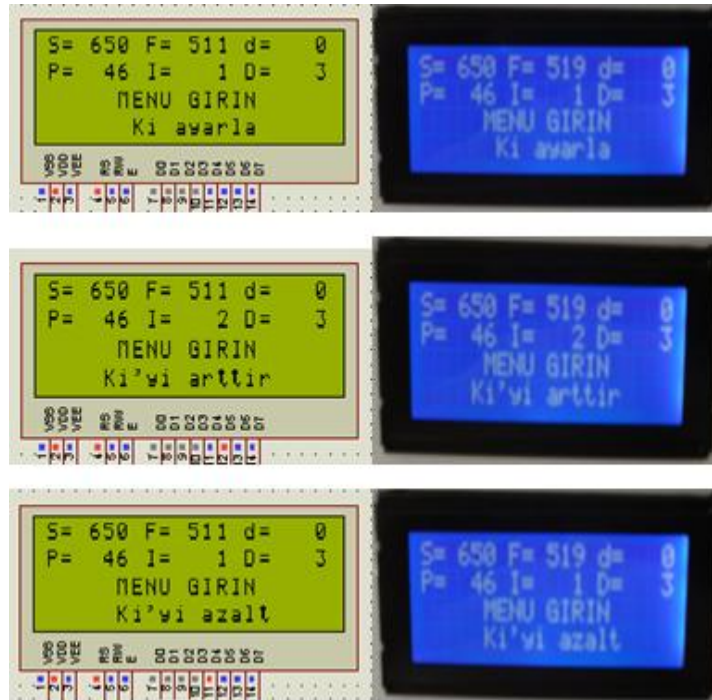
Şekil 4.37. Menüler arasında gezinme



Şekil 4.38. Setpoint ayarı



Şekil 4.39. Kp ayarı



Şekil 4.40. Ki ayarı



Şekil 4.41. Kd ayarı



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Matematiksel modellemesi sayesinde transfer fonksiyonu çıkarılan sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun, Matlab programında analizi yapıldığında kararsız olduğu basamak ve tepki cevaplarından anlaşılmıştır. Ayrıca kök-yer eğrilerinde bir kökünün sağ yarı düzlemde çıkması da sistemin kararsız olduğunu ispatlamıştır. İşte 4.3., 4.4. ve 4.5. bölümlerinde Control System GUI Program for Controller Design programı ile PD, PI ve PID kontrol elemanları tasarlanan sistemde PD ve PID kontrol elemanlarının sistemi kararlı yaptıkları ancak PI kontrol elemanının tüm denemelere rağmen kararlı hale getiremediği tespit edilmiştir. PD ve PID kontrol elemanlarındaki basamak ve tepki cevaplarının grafiklerinin incelenmesiyle PID kontrol elemanının PD'ye göre daha iyi cevap verdiği görülmüştür. PD ve PID kontrol elemanlarıyla bulunan  $K_p$ ,  $K_i$ , ve  $K_d$  parametrelerinin de kontrol kartında yaklaşık olarak ayarlanmasıyla sisteminde denge de durduğu ve sürekli mıknatıslı alüminyum kutunun havada asılı kaldığı görülmüştür.

Bu çalışmada yapılan manyetik askı sistemi, üniversitelerde öğrencilerin teorik olarak elde ettikleri parametreleri deneysel olarak gözlemlenmeleri için laboratuvarlarda deney seti olarak kullanılabilir. Bunun yanında reklamcılık sektöründe ürünlerin reklamının etkileyici olarak tanıtımının yapılmasını sağlayabilir. Ayrıca, şehircilik anlayışında yeni bir soluk getirmesi açısından bu deney setine benzer şekilde heykeller yapılabilir. İnsanların havada askıda tutulmasıyla uzay ortamının simülasyonu yapılabilir.

Söz konusu sistemin daha da geliştirilmesi mümkündür, ayrıca da ihtiyaçtır. Örneğin elektromıknatısın bobini ısınmaktadır. Bobinin makarası ve manyetik askı sisteminin kasası alüminyumdan yapılarak, fan ile soğutulması ve bir ısı sensörü vasıtasıyla belli bir sıcaklığın aşılması halinde sistemin durdurulması sağlanabilir.



## 6. KAYNAKLAR

Gürdal, O. ve Öner, Y., 1998, “Üç Fazlı Bir Asenkron Motorda Manyetik Süspansiyonlu Yatak Uygulaması”, <http://w3.gazi.edu.tr/~ogurdal/Denizli1998MagBear.pdf>, 16.05.2011

Hartavi, A.E., Tuncay, R.N., Şahinkaya, M.N., Burrows, C.R., 2006, “Rotor-AMY sisteminin bulanık denetleyici ile kontrolü ve denge akımı en iyileştirilmesi”, [http://www.itudergi.itu.edu.tr/tammetin/itu-d\\_2006\\_5\\_3\\_AE\\_Hartavi.pdf](http://www.itudergi.itu.edu.tr/tammetin/itu-d_2006_5_3_AE_Hartavi.pdf), 16.05.2011

Diyamanyetik, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Diyamanyetik>, 16.05.2011

Samtaş, G. ve Güllü, A., 2006, “Manyetik Yatak Sistemleri üzerine Bir Araştırma”, <http://mbdergi.pau.edu.tr/index.php/mbdergi/article/viewFile/245/229>, 16.05.2011

Sarı, A., 2006, “Düşük Kayıplı Manyetik Yataklamalı Volan Enerji Depolama Sistemlerinin H-Infinity Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü,

Shameli, E., 2008, “Design, Implementation and Control of a Magnetic Levitation Device”, Doktora Tezi, University of Waterloo, Mechanical Engineering, Waterloo, Ontario, Canada

Maglev Wind Turbine, <http://www.scribd.com/doc/30914921/Maglev-Wind-Turbine>, 16.05.2011

Erdem, S., 2007, “Maglev Trenler Böyle Çalışır”, Bilim ve Teknik Dergisi, TÜBİTAK, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bdergi/yildiztakimi/pdf/mayis07/114.pdf>, 16.05.2011

Price, W.J., 1966, “Li'l Atlas Defies Gravity”, Popular Electronics Dergisi, [http://www.coilgun.info/lev\\_popelex1966/home.htm](http://www.coilgun.info/lev_popelex1966/home.htm), 16.05.2011

Vollono, V., 1989, “The Antigravity Generator”, Popular Electronics Dergisi, [http://www.coilgun.info/lev\\_popelex1989/home.htm](http://www.coilgun.info/lev_popelex1989/home.htm), 16.05.2011

Williams, D., 1996, “Electromagnetic Levitator”, Popular Electronics Dergisi, [http://www.coilgun.info/lev\\_elexnow1996/home.htm](http://www.coilgun.info/lev_elexnow1996/home.htm), 16.05.2011

Barie, W. ve Chiasson, J., 1996, “Linear and Nonlinear State-Space Controllers for Magnetic Levitation”, International Journal of Systems Science, Volume 27, <http://power.eecs.utk.edu/pubs/ChiassonIJSS1996.pdf>, 16.05.2011

Hurley, W.G. ve Wölfle, W.H., 1997, “Electromagnetic Design of a Magnetic Suspension System”, IEEE Transactions On Education, Volume 40, [http://www.nuigalway.ie/power\\_electronics/documents/ieee\\_trans\\_education\\_1997.pdf](http://www.nuigalway.ie/power_electronics/documents/ieee_trans_education_1997.pdf), 16.05.2011

Kim, W.J., 1997, "High-Precision Planar Magnetic Levitation", Doktora Tezi, Massachusetts Institute of Technology,

Shiao, Y.S., 2001, "Design and Implementation of a Controller for a Magnetic Levitation System", Proc. Natl. Sci. Council. ROC(D), Volume 11, <http://faculty.kfupm.edu.sa/EE/aliawami/Ali%20Web%20Files%20EE432-032/MLS%20Root%20locus.pdf>, 16.05.2011

Blumber, E.J., 2002, "Testing of a Magnetically Levitated Rocket Thrust Measurement System Demonstrator for NASA", Yüksek Lisans Tezi, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University,

Xie, Y., 2003, "Mechatronics Examples For Teaching Modeling, Dynamics, and Control", Yüksek Lisans Tezi, Massachusetts Institute of Technology, Submitted to the Department of Electrical Engineering and Computer Science in partial fulfillment of the requirements for the degrees of Bachelor of Science in Electrical Science and Engineering and Master of Engineering in Electrical Engineering and Computer Science

Lilienkamp, K.A. ve Lundberg, K., 2004, "Low-cost magnetic levitation project kits for teaching feedback system design", Submitted To The 2004 American Control Conference, [http://web.mit.edu/klund/www/papers/ACC04\\_maglev.pdf](http://web.mit.edu/klund/www/papers/ACC04_maglev.pdf), 16.05.2011

Hurley, W.G., Hynes, M. ve Wölfle W.H., 2004, "PWM Control of a Magnetic Suspension System", IEEE Transactions On Education, Volume 47, [http://www.nuigalway.ie/power\\_electronics/documents/ieee\\_trans\\_education\\_2004.pdf](http://www.nuigalway.ie/power_electronics/documents/ieee_trans_education_2004.pdf), 16.05.2011

Abadi, M.K., 2004, "Modeling and Control of a Magnetic Levitation System", Department of Electrical and Computer Engineering-Bradley University, <http://cegt201.bradley.edu/projects/proj2003/maglev/docs/PDF/final.pdf>, 16.05.2011

Li, J. H., 2005, "DSP-Based Control of a PWM-driven Magnetic Levitation System", IEEE ICSS2005 International Conference On Systems & Signals, <http://old.mee.chu.edu.tw/labweb/ICS2005/PDF/CT020236.pdf>, 16.05.2011

Sinha, R. ve Nagurka, M.L., 2005, "Analog and LABVIEW-Based Control of a Maglev System with NI-ELVIS", Proceedings of IMECE2005 2005 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition November 5-11, 2005, Orlando, Florida USA, [http://www.eng.mu.edu/nagurka/SinhaNagurka\\_Analog%20and%20LabVIEW%20based%20Control%20Maglev%20System%20NI%20ELVIS\\_IMECE2005-81600.pdf](http://www.eng.mu.edu/nagurka/SinhaNagurka_Analog%20and%20LabVIEW%20based%20Control%20Maglev%20System%20NI%20ELVIS_IMECE2005-81600.pdf), 16.05.2011

Kemih, K., Tekkouk, O. ve Filali, S., 2006, "Constrained Generalised Predictive Control with Estimation by Genetic Algorithm for a Magnetic Levitation System",

International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Volume 2, <http://www.ijicic.org/04-037-1.pdf>, 17.05.2011

Gürleyen, F. ve Bahadır, Ç., 2006, “Manyetik Askı Sistemleri için Dayanıklı PID ve Değişken Yapılı Kontrol”, EMO ELECO'2006 II. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu , [http://www.emo.org.tr/ekler/04741413d7fe0e5\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/04741413d7fe0e5_ek.pdf), 17.05.2011

Challa, S., 2007, “Magnetic Levitation On A Steel Ball”, Yüksek Lisans Tezi, Addis Ababa University, Degree of Masters of Science in Electrical and Computer Engineering, <http://etd.aau.edu.et/dspace/bitstream/123456789/1562/1/Sintayehu.pdf>, 17.05.2011

Dolga, V. ve Dolga L., 2007, “Modelling and Simulation of a Magnetic Levitation System”, Annals of the Oradea University, Fascicle of Management and Technological Engineering, Volume VI (XVI), [http://imtuoradea.ro/auo.fmte/files-2007/MECATRONICA\\_files/DOLGA\\_Valer\\_1.pdf](http://imtuoradea.ro/auo.fmte/files-2007/MECATRONICA_files/DOLGA_Valer_1.pdf), 17.05.2011

Erkan, K. ve Koseki, T., 2007, “Fuzzy Model Based Nonlinear Maglev Control for Active Vibration Control Systems”, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Volume 25, <http://www.deepdyve.com/lp/ios-press/fuzzy-model-based-nonlinear-maglev-control-for-active-vibration-5tmCdnwawO>, 17.05.2011

Akıncı, H.M., 2007, “Manyetik Askı ve Manyetik Yataklamalı Sistemler”, İTÜ Kontrol Dergisi, Sayı 1, [www.otokon.itu.edu.tr/belgeler/?nu=85](http://www.otokon.itu.edu.tr/belgeler/?nu=85), 17.05.2011

Öztürk, S., Kizir, R S., Bingül, Z. ve Oysu, C., 2007, “Manyetik Süspansiyon Sisteminin Gerçeklenmesi ve Kontrolü”, TOK'07 Bildiriler Kitabı İstanbul, [http://akademikpersonel.kocaeli.edu.tr/zaferb/bildiri/zaferb22.10.2009\\_14.49.12bildiri.pdf](http://akademikpersonel.kocaeli.edu.tr/zaferb/bildiri/zaferb22.10.2009_14.49.12bildiri.pdf), 17.05.2011

Aakat, S.B. ve Efe, M.Ö., 2007, “Bir Manyetik Askı Sisteminin Kontrolünde Dört Yöntemin Karşılaştırılması”, TOK'07 Bildiriler Kitabı İstanbul,

Yang, Z. J., Tsubakihara, H., Kanae, S, Wada, K. ve Su, C.Y., 2007, “Robust Nonlinear Control of a Voltage-Controlled Magnetic Levitation System with Disturbance Observer”, 16th IEEE International Conference on Control Applications Part of IEEE Multi-conference on Systems and Control, Singapore

Duka, A.V., Abrudean, M. ve Dulau, M., 2008, “Positioning System Based on Electromagnetic Levitation Using Fuzzy Learning Control”, CEAI, Volume 10, No 3, Romania, <http://www.ceai.srait.ro/index.php/ceai/article/viewFile/256/191>, 16.05.2011

Guo, Q.H., Li, D.S., Lu, Z.Y., Wang, W., ve Ye L.Z., 2008, “Research on a Maglev Ball Control System Based on DSP2812”, Progress In Electromagnetic Research Symposium PIERS Proceedings, March 24-28, 2008, Hangzhou, China

Baghli, L., 2008, "Levitation magnétique", <http://www.baghli.com/>, 19.05.2011

Jürß, U. ve Rudolph, W., 2008, "Using the ATM18 to control a magnet levitation device", Elektor Dergisi, Eylül 2008, Sayfa 50.

Erkal, B., 2009, "Eğitim Amaçlı Sinirsel Bulanık Denetimine Dayalı Bir Manyetik Askı Sisteminin Tasarlanması ve Simulink Ortamında Benzetimi", 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (İATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye, [http://iats09.karabuk.edu.tr/press/bildiriler\\_pdf/IATS09\\_01-01\\_728.pdf](http://iats09.karabuk.edu.tr/press/bildiriler_pdf/IATS09_01-01_728.pdf), 19.05.2011

Shen, J.C., 2002, "H $\infty$  Control and Sliding Mode Control of Magnetic Levitation System", Asian Journal of Control, Volume 4, No. 3, pp. 333-340, September 2002, <http://www.ajc.org.tw/pages/paper/4.3PD/10-333-340.pdf>, 19.05.2011

Kuo, B.C., 1999, "Otomatik Kontrol Sistemleri", Literatür Yayınevi, Sayfa No:688

Poyraz, M., 2006, "PID Kontrol", Proje 1, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

Yüksel, İ., 1997, "Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri", Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Yayın No:21, Sayfa No:264

Taştan, T., 2007, "PWM nedir?", Antrak Dergisi, [http://www.antrak.org.tr/index.php?Itemid=27&id=58&option=com\\_content&task=view](http://www.antrak.org.tr/index.php?Itemid=27&id=58&option=com_content&task=view), 24.05.2011

CCS C Dersleri PWM Uygulamaları, <http://ccspic.com/ccs-c-dersleri/ccs-c-dersleri-pwm-uygulamalari.html>, 24.05.2011

PWM tekniği ve MicroC uygulama örneği, <http://320volt.com/pwm-tekniği-ve-microc-uygulama-orneği/>, 24.05.2011

Saadat, H., 2008, Control System GUI Program for Controller Design, <http://myweb.msos.edu/~saadat/matlabgui.htm>, 24.05.2011

UGN3503UA, Ratiometric Linear Hall Effect Sensor IC Data Sheet, [http://www.allegromicro.com/en/Products/Part\\_Numbers/3503/3503.pdf](http://www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/3503/3503.pdf), 24.05.2011

Microchip Technology Inc., 2004, DS39632B, PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet, Microchip Technology Incorporation, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>, 24.05.2011

Mosfet, <http://www.silisyum.net/htm/fet/mosfet.htm>, 24.05.2011

IRF3205 HEXFET® Power MOSFET, Data Sheet, <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf3205.pdf>, 24.05.2011

CCS-C Programının Özellikleri, <http://www.teknobakis.com/ccs-c-ile-pic-programlama-ccs-c-compiler-resimli-anlatim>, 24.05.2011

Elektromıknatis, <http://www.fizikkulubu.net/elektromiknatis/>, 24.05.2011

## 7. EKLER

### EK-A Manyetik Askı Sistemi Mikrodenetleyici CCS C Kodları

```

1: /*****
2: PIC18F4550 ile Manyetik Askı Sistemi Uygulaması (Taşkın Tez)
3: '* İsim : Manyetik Askı Sistemi *
4: '* Yazar : TAŞKIN TEZ *
5: '* Not : Copyright (c) 2011] *
6: '* : Tum Haklar. Saklıdır *
7: '* Tarih : 02.06.2011 *
8: '* Surum : 1.1 *
9: '* Notlar : TRAKYA ÜNİVERSİTESİ*
10: '* :4X20 LCD *
11: *****/
12:
13: *****/
14: #include <18f4550.h> // Kullanılacak denetleyicinin
//başlık dosyası tanıtılıyor.
15: #device ADC=10 //10 bitlik ADC kullanılacağı belirtiliyor.
16: #fuses HSPLL, NOWDT, NOPROTECT, NOLVP, USBDIV, PLL5, CPUDIV1
17: #use delay (clock=48000000) // osilatör frekansı belirtiliyor.
18: #use fast_io(a) //Port yönlendirme komutları A portu için geçerli
19: #use fast_io(c) //Port yönlendirme komutları C portu için geçerli
20: #use fast_io(d) //Port yönlendirme komutları D portu için geçerli
21: #define use_portb_lcd TRUE // LCD B portuna bağlı
22: #include <lcd42.c>
23: #include <stdio.h>
24: #include <math.h>
25: //-----
26: // Fonksiyon Tanımlamaları
27: void setpointayar();
28: void Kpayar();
29: void Kiayar();
30: void Kdayar();
31: void CIKayar();
32: void menu ekran();
33: void menu();
34:
35: unsigned int16 setpoint=0; //Set edilen(istenilen) değişken
36: unsigned int setpoint1;
37: unsigned int16 Kp=0; // Oransal kazanç
38: unsigned int Kp1;
39: unsigned int16 Ki=0; // İntegral kazanç
40: unsigned int Kil;
41: unsigned int16 Kd=0; // Türevsel kazanç
42: unsigned int Kd1;
43:
44: // PID terimleri
45: signed long Tp; // proportional term
46: signed long Ti; // integral term
47: signed long Td; // differential term
48:

```

```

49: unsigned long feedback;//AD çevriminden gelen bilgi
50: signed long error=0;//Hata değişkeni
51: signed long pre_error=0;//Eski hata değişkeni
52: signed long integral=0;
53: signed long derivative=0;
54: signed long desired_power=1023;
55:
56: void menuekran()//menuekran fonksiyonu
57: {
58:     lcd_gotoxy(1,3);
59:     printf(lcd_putc,"      MENU GIRIN      ");
60:     lcd_gotoxy(1,4);
61:     printf(lcd_putc," SP  Kp  Ki  Kd  CIK");
62: }
63:
64: void menu(void)//menu fonksiyonu
65: {
66:     unsigned char menucikis=1;
67:     unsigned char menudeger=1;
68:     menuekran();
69:     lcd_gotoxy(1,4);
70:     printf(lcd_putc,"*");
71:
72:     while(menucikis)
73:     {
74:         if (input(pin_d2)) // arttır
75:         {
76:             while(input(pin_d2));
77:             delay_ms(50);
78:             menudeger++;
79:             if(menudeger==6)
80:             {
81:                 menudeger=0;
82:             }
83:             if(menudeger==1)
84:             {
85:                 menuekran();
86:                 lcd_gotoxy(1,4);
87:                 printf(lcd_putc,"*");
88:             }
89:             if(menudeger==2)
90:             {
91:                 menuekran();
92:                 lcd_gotoxy(5,4);
93:                 printf(lcd_putc,"*");
94:             }
95:             if(menudeger==3)
96:             {
97:                 menuekran();
98:                 lcd_gotoxy(9,4);
99:                 printf(lcd_putc,"*");
100:             }
101:             if(menudeger==4)
102:             {
103:                 menuekran();
104:                 lcd_gotoxy(13,4);
105:                 printf(lcd_putc,"*");
106:             }

```

```

107:         if (menudeger==5)
108:             {
109:                 menuekran();
110:                 lcd_gotoxy(17,4);
111:                 printf(lcd_putc, "*");
112:             }
113:     }
114:
115:     if (input(pin_d1)) // azalt
116:     {
117:         while(input(pin_d1));
118:         delay_ms(50);
119:         menudeger--;
120:         if (menudeger==0)
121:             {
122:                 menudeger=5;
123:             }
124:         if (menudeger==1)
125:             {
126:                 menuekran();
127:                 lcd_gotoxy(1,4);
128:                 printf(lcd_putc, "*");
129:             }
130:         if (menudeger==2)
131:             {
132:                 menuekran();
133:                 lcd_gotoxy(5,4);
134:                 printf(lcd_putc, "*");
135:             }
136:         if (menudeger==3)
137:             {
138:                 menuekran();
139:                 lcd_gotoxy(9,4);
140:                 printf(lcd_putc, "*");
141:             }
142:         if (menudeger==4)
143:             {
144:                 menuekran();
145:                 lcd_gotoxy(13,4);
146:                 printf(lcd_putc, "*");
147:             }
148:         if (menudeger==5)
149:             {
150:                 menuekran();
151:                 lcd_gotoxy(17,4);
152:                 printf(lcd_putc, "*");
153:             }
154:     }
155:
156:     if (input(pin_d0)) //giris
157:     {
158:         while(input(pin_d0));
159:         delay_ms(50);
160:         if (menudeger==1) //setpoint ayarlama
161:             {
162:                 setpointayar();
163:                 delay_ms(50);
164:                 menucikis=0;
165:             }

```



```

166:         if(menudeger==2) //Kp ayarlama
167:         {
168:             Kpayar();
169:             delay_ms(50);
170:             menucikis=0;
171:         }
172:
173:         if(menudeger==3) //Ki ayarlama
174:         {
175:             Kiayar();
176:             delay_ms(50);
177:             menucikis=0;
178:         }
179:
180:         if(menudeger==4) //Kd ayarlama
181:         {
182:             Kdayar();
183:             delay_ms(50);
184:             menucikis=0;
185:         }
186:
187:         if(menudeger==5) //CIK ayarlama
188:         {
189:             CIKayar();
190:             delay_ms(50);
191:             menucikis=0;
192:         }
193:     }
194: }
195: }
196:
197: void setpointayar()//setpointayar fonksiyonu
198: {
199:     unsigned char setpointcikis=1;
200:     lcd_gotoxy(1,4);
201:     printf lcd_putc, "                ";
202:     lcd_gotoxy(1,4);
203:     printf lcd_putc, " SETPOINTI ayarla ";
204:     while(setpointcikis)
205:     {
206:         if (input(pin_d1))
207:         {
208:             lcd_gotoxy(1,4);
209:             printf lcd_putc, "                ";
210:             lcd_gotoxy(1,4);
211:             printf lcd_putc, " SETPOINTI azalt ";
212:             while(input(pin_d1));
213:             delay_ms(50);
214:             if(setpoint1>0)
215:             {
216:                 setpoint1--;
217:             }
218:             write_eeprom(0, setpoint1);
219:             setpoint1=read_eeprom(0);
220:             setpoint=540+setpoint1;
221:             lcd_gotoxy(3,1);
222:             printf lcd_putc, "%4lu", setpoint);
223:         }

```

```

224:
225:     if (input(pin_d2))
226:     {
227:         lcd_gotoxy(1,4);
228:         printf(lcd_putc, "                ");
229:         lcd_gotoxy(1,4);
230:         printf(lcd_putc, "  SETPOINTI arttir  ");
231:         while(input(pin_d2));
232:         delay_ms(50);
233:         if(setpoint1<255)
234:         {
235:             setpoint1++;
236:         }
237:         if(setpoint1==255)
238:         {
239:             setpoint1=0;
240:         }
241:         write_eeprom(0, setpoint1);
242:         setpoint1=read_eeprom(0);
243:         setpoint=540+setpoint1;
244:         lcd_gotoxy(3,1);
245:         printf(lcd_putc, "%4lu", setpoint);
246:     }
247:
248:     if (input(pin_d0))
249:     {
250:         while(input(pin_d0));
251:         delay_ms(50);
252:         lcd_gotoxy(1,3);
253:         printf(lcd_putc, "                ");
254:         lcd_gotoxy(1,4);
255:         printf(lcd_putc, "                ");
256:         setpointcikis=0;
257:     }
258: }
259: }
260:
261: //*****
262: void Kpayar()//Kpayar fonksiyonu
263: {
264:     unsigned char Kpcikis=1;
265:     lcd_gotoxy(1,4);
266:     printf(lcd_putc, "                ");
267:     lcd_gotoxy(1,4);
268:     printf(lcd_putc, "          Kp ayarla  ");
269:
270:     while(Kpcikis)
271:     {
272:         if (input(pin_d1))
273:         {
274:             lcd_gotoxy(1,4);
275:             printf(lcd_putc, "                ");
276:             lcd_gotoxy(1,4);
277:             printf(lcd_putc, "          Kp'yi azalt  ");
278:             while(input(pin_d1));
279:             delay_ms(50);
280:             if(Kp1>0)
281:             {
282:                 Kp1--;

```

```

283:         }
284:         write_eeprom(1,Kp1);
285:         Kp1=read_eeprom(1);
286:         Kp=Kp1;
287:         lcd_gotoxy(3,2);
288:         printf(lcd_putc,"%4lu",Kp);
289:     }
290:
291:     if (input(pin_d2))
292:     {
293:         lcd_gotoxy(1,4);
294:         printf(lcd_putc,"                ");
295:         lcd_gotoxy(1,4);
296:         printf(lcd_putc,"        Kp'yi arttir        ");
297:         while(input(pin_d2));
298:         delay_ms(50);
299:         if(Kp1<255)
300:         {
301:             Kp1++;
302:         }
303:         if(Kp1==255)
304:         {
305:             Kp1=0;
306:         }
307:         write_eeprom(1,Kp1);
308:         Kp1=read_eeprom(1);
309:         Kp=Kp1;
310:         lcd_gotoxy(3,2);
311:         printf(lcd_putc,"%4lu",Kp);
312:     }
313:
314:     if (input(pin_d0))
315:     {
316:         while(input(pin_d0));
317:         delay_ms(50);
318:         lcd_gotoxy(1,3);
319:         printf(lcd_putc,"                ");
320:         lcd_gotoxy(1,4);
321:         printf(lcd_putc,"                ");
322:         Kpcikis=0;
323:     }
324: }
325: }
326:
327: //*****
328:
329: void Kiayar()//Kiayar fonksiyonu
330: {
331:     unsigned char Kicikis=1;
332:     lcd_gotoxy(1,4);
333:     printf(lcd_putc,"                ");
334:     lcd_gotoxy(1,4);
335:     printf(lcd_putc,"        Ki ayarla        ");
336:
337:     while(Kicikis)
338:     {
339:         if (input(pin_d1))
340:         {
341:             lcd_gotoxy(1,4);

```



```

401:     printf(lcd_putc, "          Kd ayarla          ");
402:
403:     while(Kdcikis)
404:     {
405:         if (input (pin_d1))
406:         {
407:             lcd_gotoxy(1,4);
408:             printf(lcd_putc, "                                ");
409:             lcd_gotoxy(1,4);
410:             printf(lcd_putc, "          Kd'yi azalt          ");
411:             while(input (pin_d1));
412:             delay_ms(50);
413:             if(Kd1>0)
414:             {
415:                 Kd1--;
416:             }
417:             write_eeprom(3,Kd1);
418:             Kd1=read_eeprom(3);
419:             Kd=Kd1;
420:             lcd_gotoxy(17,2);
421:             printf(lcd_putc, "%4lu",Kd);
422:         }
423:
424:         if (input (pin_d2))
425:         {
426:             lcd_gotoxy(1,4);
427:             printf(lcd_putc, "                                ");
428:             lcd_gotoxy(1,4);
429:             printf(lcd_putc, "          Kd'yi arttir          ");
430:             while(input (pin_d2));
431:             delay_ms(50);
432:             if(Kd1<255)
433:             {
434:                 Kd1++;
435:             }
436:             if(Kd1==255)
437:             {
438:                 Kd1=0;
439:             }
440:             write_eeprom(3,Kd1);
441:             Kd1=read_eeprom(3);
442:             Kd=Kd1;
443:             lcd_gotoxy(17,2);
444:             printf(lcd_putc, "%4lu",Kd);
445:         }
446:
447:         if (input (pin_d0))
448:         {
449:             while(input (pin_d0));
450:             delay_ms(50);
451:             lcd_gotoxy(1,3);
452:             printf(lcd_putc, "                                ");
453:             lcd_gotoxy(1,4);
454:             printf(lcd_putc, "                                ");
455:             Kdcikis=0;
456:         }
457:     }
458: }
459:

```

```

460://*****
461: void CIKayar()//CIKayar fonksiyonu
462: {
463:   lcd_gotoxy(1,3);
464:   printf(lcd_putc, "                ");
465:   lcd_gotoxy(1,4);
466:   printf(lcd_putc, "                ");
467: }
468://*****
469://*****
470: //AD KESMESİ -PID Algoritması
471: #INT_AD
472: void ADC_Kesmesi()
473: {
474:   disable_interrupts(GLOBAL);
475:   error = feedback - setpoint; //Hata hesaplanıyor
476:   if (error < 0) error = 0;
477:   derivative=error-pre_error;
478:   Tp = (Kp)*error; // Oransal kazanç hesaplanıyor
479:   Td = (Kd)*(derivative/0.02); // Türevsel kazanç hesaplanıyor
480:   desired_power = ( Tp + Ti + Td );//İstenilen değer
hesaplanıyor
481:   integral= integral + (error/0.02);
482:   Ti = (Ki)*integral; // İntegral kazanç hesaplanıyor
483:   if(Ti<-255) Ti=-255;
484:   if(Ti>255) Ti=255;
485:   if (desired_power > 1023) desired_power = 1023;
486:   set_pwm1_duty(desired_power);//Mosfete istenilen değer
gönderiliyor
487:   pre_error = error;
488:   enable_interrupts(GLOBAL);
489: }
490://*****
491://***** MAIN PROGRAM FONKSİYONU*****
492:
493: void main ()
494: {
495:   setup_psp(PSP_DISABLED); // PSP birimi devre dışı
496:   setup_spi(false);
497:   setup_wdt(WDT_OFF);
498:   setup_timer_1(T1_DISABLED); // T1 zamanlayıcısı devre dışı
499:   setup_timer_2(t2_div_by_1,255,1); // T2 zamanlayıcısı devrede
500:   setup_timer_3(T1_DISABLED);
501:   setup_CCP1(CCP_PWM); // CCP1 birimi devre de
502:   setup_CCP2(CCP_OFF); // CCP2 birimi devre dışı
503:
504:   set_tris_a(0b0111111); // A0 giriş
505:   set_tris_c(0b1111011); // C2 çıkış
506:   set_tris_d(0xFF); // D koople giriş
507:
508:   setup_adc(adc_clock_div_32); // ADC clock frekansı fosc/32
509:   setup_adc_ports(AN0); // AN0 girişi analog
510:   setup_comparator(NC_NC_NC_NC);
511:   enable_interrupts(INT_AD); // AD çevrimi bitti kesmesi
tanıtılıyor
512:   enable_interrupts(GLOBAL); // Tüm kesmeler aktif
513:   lcd_init(); // LCD hazır hale getiriliyor
514:   set_pwm1_duty(desired_power);
515:

```

```

516: while (1)// sonsuz döngü
517:   {
518:     if (input(pin_d0))
519:     {
520:       while(input(pin_d0));
521:       menu();
522:     }
523:
524:     set_adc_channel(0); //RA0/AN0 ucundaki sinyal A/D işlemine
tabi tutuluyor
525:     feedback=read_adc();//ADC sonucu okunuyor ve feedback
değişkenine aktarılıyor
526:     lcd_gotoxy(8,1);
527:     printf(lcd_putc, "F=");
528:     lcd_gotoxy(10,1);
529:     printf(lcd_putc, "%4lu", feedback);//AN0 ucundaki sinyalin
gerilim
530:                                     // değeri LCD'ye aktarılıyor
531:
532:     lcd_gotoxy(15,1);
533:     printf(lcd_putc, "d=");
534:     lcd_gotoxy(17,1);
535:     printf(lcd_putc, "%4lu", (unsigned long)desired_power);
536:
537:     lcd_gotoxy(1,1);
538:     printf(lcd_putc, "S=");
539:     setpoint1=read_eeprom(0);
540:     if(setpoint1==255)
541:     {
542:       setpoint1=0;
543:     }
544:     setpoint=540+setpoint1;
545:     lcd_gotoxy(3,1);
546:     printf(lcd_putc, "%4lu", setpoint);
547:
548:     lcd_gotoxy(1,2);
549:     printf(lcd_putc, "P=");
550:     Kp1=read_eeprom(1);
551:     if(Kp1==255)
552:     {
553:       Kp1=0;
554:     }
555:     Kp=Kp1;
556:     lcd_gotoxy(3,2);
557:     printf(lcd_putc, "%4lu", Kp);
558:     lcd_gotoxy(8,2);
559:     printf(lcd_putc, "I=");
560:     Kil=read_eeprom(2);
561:     if(Kil==255)
562:     {
563:       Kil=0;
564:     }
565:     Ki=Kil;
566:     lcd_gotoxy(10,2);
567:     printf(lcd_putc, "%4lu", Ki);
568:

```

```
569:     lcd_gotoxy(15,2);
570:     printf lcd_putc, "D=");
571:     Kd1=read_eeprom(3);
572:     if(Kd1==255)
573:     {
574:         Kd1=0;
575:     }
576:     Kd=Kd1;
577:     lcd_gotoxy(17,2);
578:     printf lcd_putc, "%4lu", Kd);
579: }
580: }
```



## 8. ÖZGEÇMİŞ

Taşkın TEZ, 28.09.1972 tarihinde Kırklareli ili Lüleburgaz ilçesinde doğdu. İlköğrenimini Lüleburgaz ilçesi Kırıkköy Beldesi İlköğretim Okulunda tamamladı. 1989 yılında Lüleburgaz Lisesi Matematik bölümünden, 1995 yılında Yıldız Üniversitesi, Kocaeli Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Bitirme tezini PID kontrol üzerine yaptı.

AEG-ETİ ve Baykal Mühendislikte staj yaptı. Askerliğini P.Tğm olarak tamamladı. Sırasıyla ; Tikveşli, Mebal Tekstil, Elimsan, Plaskap Ambalaj fabrikalarında, bakım, arge ve vardiya mühendisi olarak çalıştı. 1998 yılında girdiği TREDAS'ta, İşletme Bakım, Proje Tesis, Müşteriler Başmühendisi olarak çalıştı. Bir süre Keşan İşletme Müdürü olarak çalıştıktan sonra 6 yıldır Edirne İşletme Müdürlüğü görevini yürütmektedir.

Halen, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi İşletme Bölümünde öğrenim görmektedir. Literatür takip seviyesinde İngilizce bilmektedir. Autocad, Proteus, CCS C, JAL, Matlab ve Ofis programlarını kullanabilmektedir.

Robotlar, uçaklar, bilgisayarlar, yüksek gerilim ve Fenerbahçe ilgi alanları arasındadır.

Taşkın TEZ, evli ve bir kız çocuğu babasıdır.