

ELEKTRONİK KONTROLLÜ MOTORLARDA
MOTOR HIZINA BAĞLI YAKIT MİKTARI KONTROLÜ

Volkan Devir

Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İmalat ve Konstrüksiyon Bilim Dalı
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr.Naci Zafer

Ekim 2005

ÖZET

Günümüzde dizel motor teknolojisinde meydana gelen gelişmeler ışığında bu motorlara talep ve kullanım alanları artmıştır. Bu gelişmeler motorların kontrolünü işletim sistemlerine teslim etmiştir. Elektronik kontrollü dizel motorlar, bünyelerinde buldukları sensörler ile ısı, basınç, konum vb gibi verileri toplar ve operatörden gelen talep doğrultusunda, kendisi için yapılmış özel yazılım yardımıyla ne kadar yakıtı, ne zaman, nasıl, hangi silindirlere püskürteceğini belirler.

Bu tezde iki tip elektronik kontrollü dizel motor incelenecektir. Yapı olarak bu iki motor aynıdır. Sadece kullanım alanları ve elektronik kontrolörlerinde çalışan program vasıtasıyla değiştirilen kalibrasyonları farklıdır.

Jeneratörde sabit devirde çalışan motora yük bindiğinde, motorun kendini toplayıp aynı sabit devire ulaşması için geçen zaman ve gereken yakıt miktarlarının, kontrol parametrelerinin (P, I, D) değiştirilmesi ile nasıl değiştiği incelenmiştir. Kamyon üzerinde 700 – 2600 rpm aralığında çalışan motorda ise devir artırımı yapıldığında, istenen devire çıkması için geçen zaman ve gereken yakıt miktarlarının değişimi aynı parametrelerinin değiştirilmesi ile incelenmiştir.

Deneyle motorların gerçek çalışma ortamlarında yapılmış olup, test sırasında parametrelere bağlı ölçümleri yapılacak değerlerin kaydı alınmıştır. Testler sırasında çevresel faktörlerin sabit tutulmasına dikkat edilmiştir.

SUMMARY

Recent advances in diesel engine technology have paved the way for a higher customer demand and increase in the usage areas for these engines. These improvements provide control of engines by digital operating systems. Electronic diesel engines are equipped by the sensors such as heat, pressure, displacement etc.. It enables itself to process sensors and gets data, processes these data together with software in its ECU. These decide how much fuel to inject.

In this study two types of engines were used. Both engines are same as the structure. They differ only in terms of their usage purposes and calibration softwares are different.

In a generator set, running at a constant engine speed as the load is applied, effects of different types of PID controllers on engine performance were researched. The type of a truck engine was specifically examined while it was run between 700-2600 rpm. Its speed was increased by remote control.

The tests were performed in real life test conditions. The environmental effects were kept constant, while data from engines were collected.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması sırasında yol gösteren ve deneyimleri ile çalışmalarımı yönlendiren Sn.Yrd.Doç.Dr. Naci ZAFER'e, deneysel ve pratik çalışmalarında bilgi ve olanak sağlayan Ford Otosan çalışanı yönetici ve arkadaşlarıma ve beni sürekli destekleyen aileme en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

Volkan DEVİR
Eskişehir_Ekim-2005

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	ii
SUMMARY	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER	viii
ÇİZELGELER	ix
KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ ve TARİHÇE	1
1.1 Giriş.....	1
1.2 Tarihten Bugüne Motor Devir Kontrolü.....	2
1.3 Elektronik Kontrol Ünitesi.....	3
2. KONTROL TEORİ	5
2.1 Açık ve Kapalı Döngü Sistemleri.....	5
2.2 Duyarlılık ve Baskınlık.....	6
2.2.1 Duyarlılık.....	6
2.2.2 Baskınlık.....	8
2.3 Modelleme.....	9
2.3.1 Model Yapısı ve Parametre Belirleme.....	9
2.4 PID Kontrol.....	10
2.4.1 Genel Bilgi.....	11
2.4.1.1 Doğru Orantılı Etkili.....	12
2.4.1.2 İntegral Etki.....	12
2.4.1.3 Türevsel Etki.....	13
2.4.2 İntegral Windup ve Anti Windup.....	13
2.4.3 Sinyal Gürültüsünün Ölçüme Etkisi.....	14
2.4.4 Dijital Çalıştırma.....	15
2.4.4.1 Örnekleme ve Anti-Aliasing.....	15
2.4.4.2 Farklılaştırma.....	15
2.5 PID Kontrolörün Otomatik Uyarlanması.....	16

İÇİNDEKİLER (Devam)

2.5.1 Uygulama Kuralları.....	16
2.5.1.1 Zeigler-Nichols Metod.....	17
2.5.1.2 Cohen-Coons Metod.....	17
2.5.1.3 Kutup Yerleşimi.....	18
3. ECOTORQ MOTOR İÇİN BOSCH TARAFINDAN GELİŞTİRİLEN	
KONTROL ALGORİTMASI.....	22
3.1 Doğru Orantısal Bölüm.....	22
3.2 İntegral Bölüm.....	24
3.3 Zaman Gecikmeli Orantısal Bölüm.....	25
3.4 Zaman Gecikmeli Diferansiyel Bölüm.....	25
3.5 Zaman Gecikmeli Orantısal ve Diferansiyel Bölüm.....	26
4. TEST PROSEDÜRLERİ.....	29
4.1 P Kontrol Testi.....	29
4.2 I Kontrol Testi.....	30
4.3 D Kontrol Testi.....	30
4.4 Jeneratör Setindeki Testler.....	31
4.5 Kamyon Motoru ile Yapılan Testler.....	31
5.DENEYSEL EKİPMANLAR.....	32
6.ÖLÇÜMLER.....	35
6.1 Jenseit Ölçümleri.....	35
6.1.1 P Test.....	37
6.1.2 I Test.....	42
6.1.3 D Test.....	47
6.2 Kamyon Motoru Ölçümleri.....	52
6.2.1 P Test.....	54
6.2.2 I Test.....	61
6.2.3 D Test.....	68

İÇİNDEKİLER (Devam)

7.ÖLÇÜM DEĞERLENDİRMELERİ.....	75
7.1 Jenset Ölçüm Değerlendirmeleri.....	75
7.1.1 P Test.....	75
7.1.2 I Test.....	77
7.1.3 D Test.....	80
7.2 Kamyon Motoru Ölçüm Değerlendirmeleri.....	82
7.2.1 P Test.....	82
7.2.2 I Test.....	84
7.2.3 D Test.....	86
8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	88
KAYNAKLAR.....	90

ŞEKİLLER

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 Kapalı Döngü Sistemi.....	5
Şekil 2.2 Açık Döngü Sistemi.....	5
Şekil 2.3 Model Parametrelerinin Grafikselsel Belirlenmesi.....	10
Şekil 2.4 2. Dereceden Sistem İçin Kutup Yerleşimi.....	20
Şekil 2.5 Kutuplar İçin Uygun Yerleşim.....	20
Şekil 3.1 BOSCH Tarafından Geliştirilen Girdi&Hata Grafiği... ..	23
Şekil 3.2 CD katsayısına Göre Motor Devir Azalımı.....	25
Şekil 3.3 Motor Devrinin Artış Hızı.....	27
Şekil 6.a_Yüke Binen Motorun Devrinin Zamana Bağlı Grafiği (PI Testinde).....	35
Şekil 6.b_Yüke Binen Motorun Devrinin Zamana Bağlı Grafiği (D Testinde).....	36
Şekil (1-5) Jenset P Test.....	(37-41)
Şekil (6-10) Jenset I Test.....	(42-46)
Şekil (11-15) Jenset D Test.....	(47-51)
Şekil 6.c_Artırılan Motor Devrinin Zamana Bağlı Grafiği (PI Testinde).....	52
Şekil 6.d_Azaltılan Motor Devrinin Zamana Bağlı Grafiği (D Testinde).....	53
Şekil (16-22) Kamyon Motoru P Test.....	(54-60)
Şekil (23-29) Kamyon Motoru I Test.....	(61-67)
Şekil (30-36) Kamyon Motoru D Test.....	(68-74)

ÇİZELGELER

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1_ Zeigler-Nichols Adım Tepki Metodu ile Parametreler.....	17
Çizelge 2.2_ Cohen-Coon'dan Elde edilen kontrol Parametreleri.....	19
Çizelge 5.1_ ECOTORQ Motor Özellikleri.....	32
Çizelge 7.1 Jense P Test.....	75
Çizelge 7.2 Jense P Test.....	72
Çizelge 7.3 Jense P Test.....	77
Çizelge 7.4 Jense I Test.....	78
Çizelge 7.5/7.6 Jense I Test.....	79
Çizelge 7.7 Jense D Test.....	80
Çizelge 7.8 Kamyon Motoru P Test.....	82
Çizelge 7.9 Kamyon Motoru P Test.....	83
Çizelge 7.10 Kamyon Motoru I Test.....	84
Çizelge 7.11 Kamyon Motoru I Test.....	85
Çizelge 7.12 Kamyon Motoru D Test.....	86

KISALTMALAR

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
<i>CPWIN</i> :	Küçük sinyaller için orantısal sabit
<i>CPPOS</i> :	Pozitif büyük sinyaller için orantısal sabit
<i>CPNEG</i> :	Negatif büyük sinyaller için orantısal sabit
<i>WIPOS</i> :	Pozitif pencere genişliği
<i>WINEG</i> :	Negatif pencere genişliği
<i>CIWIN</i> :	Küçük sinyaller için integral sabit
<i>CIPOS</i> :	Pozitif büyük sinyaller için integral sabit
<i>CINEG</i> :	Negatif büyük sinyaller için integral sabit
<i>WIPOS</i> :	Pozitif pencere genişliği (sıfırdan küçük değer alır)
<i>WINEG</i> :	Negatif pencere genişliği
LICO_PW_CSTR.WINEG.....	Orantısal kontrol negatif sınır değeri
LICO_PW_CSTR.WIPOS.....	Orantısal kontrol pozitif sınır değeri
LICO_PW_CSTR.CPWIN.....	Orantısal kontrol katsayı değeri
Lico_q_p_w.....	Orantısal kontrolörden okunan yakıt miktarı
LICO_IW_CSTR.WINEG.....	İntegral kontrol negatif sınır değeri
LICO_IW_CSTR.WIPOS.....	İntegral kontrol pozitif sınır değeri
LICO_IW_CSTR.CPWIN.....	İntegral kontrol katsayı değeri
Lico_q_i_w.....	İntegral kontrolörden okunan yakıt
LICO_NDON_CW.....	Türevsel kontrolörün çalışma sınırı
LICO_DCONW_CSTR.C.....	Türevsel kontrolörün katasayı değeri
Lico_q_dt1_w.....	Türevsel kontrolörden okunan yakıt miktarı

1. GİRİŞ VE TARİHÇE

1.1 Giriş

Ford-Otosan, Türkiye’de kendi patenti ile tek ağır dizel motor üreticisi konumundadır. Sadece Türkiye pazarı olmak üzere yılda 10,000 adet kamyon motoru üretimi yapmaktadır. Şu anda yürütülmekte olan sabit devir motor adaptasyonu ile, tamamen ithale dayalı jeneratör motor pazarına da girmeye çalışıyor.

Ford Otosan tarafından üretilen bu motorlar hem kamyonlarda hem de ufak değişiklikler yapılarak başka sistemlerde kullanılabilir. Bu motorların kamyon motorundan çok bir farkı yoktur. Sadece çalışma şartlarından dolayı kalibrasyonu değiştirilmiştir. Kamyon motorları gibi elektronik kontrollü enjeksiyon sistemi ile donatılmış, Elektronik Kontrol Ünitesi tarafından kontrol edilmekte ve yönetilmektedir. İş makinelerinde, lift makinelerinde, merkezi sistem sulama ve söndürme istasyonlarında kullanılır. Bu uygulamalarda motor daha önce belirlenen sabit devirde döner. En yaygın kullanım alanı jeneratör setleridir. Bu tezde aynı motorun kamyon üzerinde ve jeneratör setinde olan uygulaması incelenecektir.

Elektronik kontrollü dizel motorun yakıt ayarlaması, elektronik kontrol ünitesi tarafından yapılarak; yakıtın hangi krank açısında, ne kadar miktarda ve hangi basınçta verileceğinin kontrolü mekanik sistemlerden alınıp, elektronik sistemlere bırakılmıştır. Bu uygulama motorların kalibrasyonuna müdahale etmeyi çok kolaylaştırmış ve basitleştirmiştir. Tez sırasında kamyon motorunun çalışma devirini değiştirerek, jeneratör motoruna bağlı alternatörden elektriksel yük alarak testler yapılacaktır. Bu testler esnasında motorların bir takım tepkileri olacaktır. Motorların kontrol ünitelerindeki programda bulunan kalibrasyon parametreleri değiştirilmesiyle motor tepkilerinin değişimi gözlenecektir. Temelde gözlemlenecek tepkiler zaman ve yakıt miktarlarıdır.

1.2 Tarihten Bugüne Motor Devir Kontrolü

Motor devir kontrolü, kontrol teori ile yakından ilişkilendirilmiştir. Geri besleme ve regülasyon içerdiği söylenen eski cihazlardan birçok örnek vardır, ve bazı temel kontrol içerikli kitaplarda eski geri besleme mekanizmalardan bahsedilir. Ancak, modern geri beslemeli kontrol sistemlerin başlangıcında, santrifüj governer ve motor hızının regülasyonunu görmekteyiz. Makinalaşmanın başında, motor gücü su ve rüzgardan elde edildi. Ancak 18. yüzyılın başlarında buhar motoru ile büyük değişim yaşandı. Bu buluş endüstride dönüm noktası olmuştur. 18. yüzyılın son çeyreğine doğru aynı değerde yeni bir başarı santrifüj motor hız governörü yapıldı. James Watt bu buluşla özdeşleştirildi. Aslında, Watt'dan önce buna benzer buluşlar olmuştur, fakat onun dizaynının basit ve etkili oluşu, buhar makineleri ile aynı döneme gelişi, güvenli devir kontrolörü olmasına neden oldu. Watt bu işi dönen bir çift ağırlığa buhar valfi bağlayarak yaptı. Motor devri arttıkça, ağırlıklar üzerindeki merkez kaç kuvveti artar ve ayarlayıcı şaft üzerindeki halkayı kaldırır. Halka, motor devri arttığında silindirlerin içine giden buhar akışının azalmasına neden olan valfe bağlıdır. Motor devri azaldıkça buhar akışının artmasına neden olur. Buhar valfine bağlantı hattı ve santrifüjal kontrolör, motor devrinin kontrol edileceği çevrime negatif geri besleme verir.

Watt'ın santrifüj governörü, su gücünden buhar gücüyle çalışan motorların hepsinde sabit devir uygulamasında güvenli ve pratiktir. Santrifüj governörün buluşu, gerçekte endüstriyel devrime bir görüş oldu. Onun doğuşu bugünkü kontrol teorisine öncülük etmiştir. Bu devrimden sonra analizin matematiksel uygulaması ve mühendislik problemlerinin birleştirilmesi gelmiştir. 18.yüzyıl süresince birçok bilimadamı ve mühendis, şaşırtıcı ve mükemmel sonuçlar ile santrifüj governörün gelişimine katkıda bulunmuşlar. Ancak bu insanlar, Oxford, Londra ve Cambridge tarafından oluşturulan İngiliz Eğitim Kurumunun dışındandırlar. Bu yüzden 19.yüzyılın sonlarında dinamik analizi yapıldıktan ve Londra Royal Topluluğu için 'On Governors' Maxwell yayımı olduktan sonra santrifüj governör Cambridge bünyesine alındı.

Motor devir kontrolünün neden bu kadar önemli olduğunu görmek için, buhar makinesinden otomobil motoruna kadar hızlı bir gözden geçiriş yapacağız. Günümüzde benzinli ve dizel motorlar en önemlileridir. Kontrol mühendisleri için en heyecan verici olan bu motorların kontrol edilebilirliğidir. Motor devrinin yanında daha kontrol

edilebilecek bir çok yönü vardır; ateşleme zamanı, yakıt-hava karışımı..vb. Motor bir EKÜ (Elektronik kontrol ünitesi) tarafından kontrol edilir.

Dizel motorların kontrolü, temeli santrifüj governöre bağlanması ile benzer yol izler. Dizel motorun EKÜ'si benzinli motorlarla aynı karmaşıklığa sahiptir. Devir kontrolü, kontrol sistem dizaynı ve teorik analizin önemini artırmıştır. Buna ilaveten, devir kontrolü dünyadaki en sofistike kontrol sistemlerin içinde yatar.

1.3 Elektronik Kontrol Ünitesi (EKÜ)

Son yıllarda içten yanmalı motorlar genelde elektronik kontrol ünitesi tarafından kontrol edilir ve sensörler aracılığıyla alınan sinyaller fiziksel değerlere çevrilir. Küçük bir bilgisayar sensör değerlerini okur özel bir yazılımda hesaplamalarını yapar. Çıktı sinyalleri oluşturulur ve eylemi gerçekleştirecek elemanlara gönderilir; örnek: yakıt enjektörleri.

Ford Otosan tarafından üretilen motorun yazılımı BOSCH firması tarafından Almanyada yapılmıştır. Yazılım EKÜ içindeki çipe yüklenir. Yazılımın bir kısmı silinemez özelliktedir. Yazılıma müdahale KWP:2000 serial interface ile yapılır. EKÜ ile veri hızı 250 kbaud'a ulaşır. Yüksek veri hızları sadece kısa bağlantı kabloları içindir. Bağlantı programları ETAS Company tarafından 'PROF'(DOS) ve 'INCA'(WINDOWS) programları ile sağlanır. Bu programların ikisi de 'KIC' adında bilgisayarla EKÜ'ye bağlantı cihazı gerektirir. 'KIC', 'MAC' ve 'SIC' bağlantı cihazlarının bir parçasıdır.

EKÜdeki RAM'de yeterince boşluk olduğunda datasete bağlantı kurulur. Bu işlem sırasında datasetin bir kopyası RAM üzerine indirilir. Bu yazılımda max. 8kByte data RAM üzerine yüklenebilir. Bu uygulama için KWP2000 protokolü kullanılır. EKÜ'den her 10ms için 20 değer okunabilir. Bu uygulama içinde INCA kullanılır. Bu tez için kullanılan motorlarda kalibrasyon değerlerine 'INCA' programı, KIC bağlantı cihazı, KWP2000 protokolü kullanılmıştır.

Tablo 1.1

Battery Voltage	12 or 24 volts
Connector	141 pins (89/36/16) on Top
Temperature Spec.	85 ⁰ C /105 ⁰ C ; short time (< 1%): 105 ⁰ C /105 ⁰ C
Vibration	$a_{eff} < 14g$ (frequency level: K8/EKM970143-1)
Int.Protection	IP69 (water jet, steam cleaner)
Injector Power Outputs (CRI 1.6)	max. 6 cylinders (2 Banks)
Injector Control	MPC555 TPU (SW Seguece Control) CY220B (Injector Control IC)
Frekans Inputs	7 (4x variable Reluctance, 2x Hall,1x VR or Hall)
Analog Inputs	16 (8 activ, 8 passive); + internal Ambient Air Pressure Sensor
Switch Inputs	23 Highside + 6 Lowside + Key Switch
Highside Outputs	7x2A; 2x6A; 2x3A with current feedback
Lowside Outputs	5x0,3A+1x0,3A DIA-lamp; 4 x 65mA
Main Relay	Electronic Internal Relay
Data links	2 x CAN J1939 + ISO 9141 veya SAE J1708
Processor	Motorola MPC555 (Performans: 4-5 kat MS6.x)
Quartz	20 Mhz (means 40 MHz internal clock)
RAM	26 kByte internal
FLASH	44& kByte internal
EEPROM	8 kByte
Software	RB / ANSI-C
Real Time Clock	Yes;external power supply required
Operating time	ERCOS (ETAS)
Application Tools	ETK-ECU + INCA 2 veya VS100 4.4&PROF Standart ECU + INCA 2

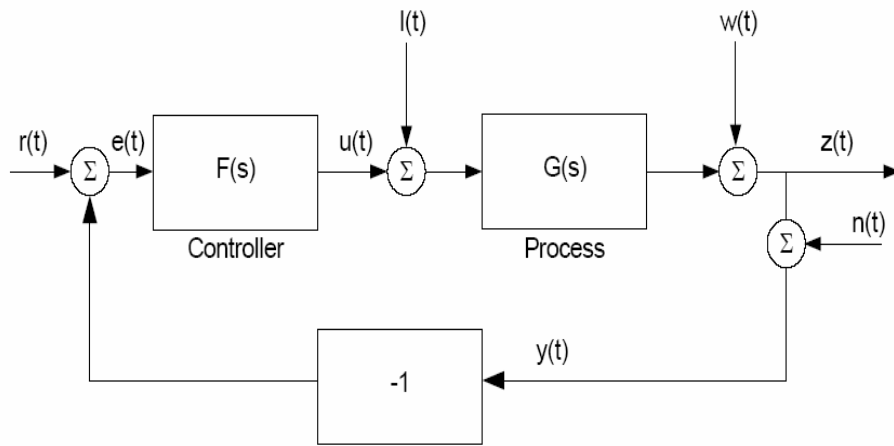
Tablo 1.1 EKÜ teknik özellikler

2. KONTROL TEORİSİ

Bu bölümde, kullanılan geri beslemeli kontrol teorisinin arkasında yatan temel kurallar, formüle edilmiş olan kontrol teorileri, hassasiyet ve robustness, birinci dereceden model oluşumu, PID kontrol, çıkış sinyalinin referans sinyalini takibi ve çıktı sinyalinin kontrol döngüsüne giren düzensizliklerden nasıl etkilendiği gibi temel konular ve bunlara bağlı bilgiler açıklanacaktır.

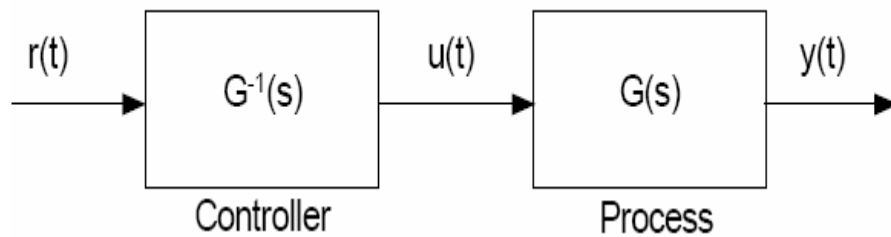
2.1 Açık ve Kapalı Döngü Sistemler

Tezde çalışılacak olan kapalı çevrim kontrol sisteminin şeması şekil 2.1 de verilmiştir. Bu bölümde genel kontrol problemleri incelenecek.



Şekil 2.1 Kapalı Döngü Sistem

Eğer sistemdeki 'z(t)' ölçülemiyorsa, kontrolörün bunu kontrol etmesi için sistemin doğru dinamiği 'G(s)' bilinmelidir. 'G(s)'yi bilmek aynı zamanda sisteme giren yük düzensizliklerini de bilmek demektir. Eğer düzensizlikler ihmal edilirse, sistem şekil 2.2'deki gibi olur.



Şekil 2.2 Açık Döngü Sistem

Eğer çıktı 'z(t)' geri besleme süresince bilinirse, şekil 2.1, kontrolör sistem dinamiğini 'F(s)' yaklaşık olarak kontrol eder. Sistemde 'l(t)' yük düzensizliği, 'w(t)' sistem düzensizliği; 'n(t)' ise gürültü ölçümüdür, şekil 2.1. 'W(t)' ve 'n(t)' küçük olduklarından ihmal edilebilir. Geri besleme kullanıldığında, kontrolör giriş sinyalini 'u(t)' ve kontrol hatasını 'e(t)' gözlemleyerek sürekli ayarlayabilir. Eğer sinyal çıktısı 'y(t)', referans sinyalini 'r(t)' takip ederse; 'F(s)', 'G(s)'in dinamiğine yaklaşır.

$$Y(s) = \frac{F(s) * G(s)}{1 + F(s) * G(s)} * R(s) \quad (2.1)$$

$$\frac{F(s) * G(s)}{1 + F(s) * G(s)} \quad \text{bağıntısının } 1 \text{ 'e yaklaşması istenir.}$$

Buradaki amaç kapalı çevrim sistemini düzensiz yapmadan 'F(s)' dizaynını (2.2) elde edecek şekilde yapabilmektir.

$$F(s) * G(s) \gg 1 \quad (2.2)$$

2.2 Duyarlılık ve Baskınlık

Gerçekte; kontrolörün dizaynında kullanılan 'G(s)' modeli gerçek sistemin tamamını tanımlamaz. Gerçek sistem tanımlanandan daha karmaşıktır. Ölçüm gürültüsü ve başka düzensizlikler sisteme girebilir. Modelin bütün sistem dinamiklerini yakalayamamasına ve gürültü&düzensizliklerin olmasına rağmen , kontrolörün amacına ulaşması önemlidir.

2.2.1 Duyarlılık

Kapalı çevrim sistem modelinin gürültüye, düzensizliklere ve hatalara duyarsız olması istenir. Şekil 2.1'deki kontrol edilen 'z(t)' miktarını etkileyen 'l(t)' ve 'w(t)' düzensizlikleri ile ölçülen çıktı sinyalini etkileyen gürültünün 'n(t)' bulunduğu kapalı çevrim sistemi göz önünde bulundurulur. W'den y'ye olan transfer fonksiyon (2.3) ile

verilir. $S(s)$ duyarlılık fonksiyonudur ve sistem tarafından düzensizliklerin nasıl bastırıldığını tanımlar.

$$S(s) = \frac{1}{1 + G(s) * F(s)} \quad (2.3)$$

Gerçek sistemde, ' $G(s)$ ' nin doğru sistemi olan [$G_o(s)$] modeli ve $\Delta G(s)$ ' ninde göreceli hatası olarak farzederek (2.4) 'te gösteriliyor. Eğer gürültü ihmal edilirse, kapalı çevrim sisteminin doğru çıktısı (2.6) yerine (2.5) ile verilir. Z ile Z_o arasındaki fark (2.7) ile verilir.

$$G_o(s) = (1 + \Delta G(s)) * G(s) \quad (2.4)$$

$$Z_o = \frac{G_o(s) * F(s) * r}{1 + G_o(s) * F(s)} \quad (2.5)$$

$$Z = \frac{G(s) * F(s) * r}{1 + G(s) * F(s)} \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} Z_o &= (1 + \Delta z) * z \\ \Delta z &= S_o(s) * \Delta G(s) \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$S_o(s) = \frac{1}{1 + G_o * F(s)}$$

' $S_o(s)$ ' duyarlılık fonksiyonu modelin göreceli hatasının nasıl göreceli çıktı hatasının içine transfer olduğunu tanımlar. Kapalı çevrim sistem, duyarlılık fonksiyonunun küçük olduğu frekanslardaki model hatalarına duyarsızdır.

Model hatalarının sıkça oluştuğu düşük frekanslarda ‘ $S(s)$ ’ fonksiyonunun küçük tutulması gerekir.

2.2.2 Baskınlık

Eğer ‘ $G(s)$ ’ gerçek sistemin mükemmel modeli değilse $\Delta_G(s)$ modelin göreceli hatası olur. Kapalı çevrim sisteminin kararlılığını etkilemeksizin ne kadar büyüklüğünde bir göreceli hata olabileceğini bilmek önemlidir.

$\Delta_G(s)$ ‘nin kararlı transfer fonksiyon olduğunu düşünelim. Aynı zamanda, G ve G_o aynı kararlılık özelliklere sahip olması demektir. (2.8)’da verilen kararlı transfer fonksiyonu, tamamlayıcı duyarlılık fonksiyonu olarak da adlandırılır. (2.9) her zaman oluşturulmaya çalışılır. Tamamlayıcı duyarlılık fonksiyonunun kapalı çevrim sisteminin transfer fonksiyonuna eşit olduğu bilinmelidir.

$$T(s) = \frac{G(s) * F(s)}{1 + G(s) * F(s)} \quad (2.8)$$

$$T(s) + S(s) = 1 \quad (2.9)$$

‘ $G(s)$ ’ ve ‘ $\Delta_G(s)$ ’ kararlı olduğundan, kapalı çevrim sisteminin kararlı olup olmadığının sonucuna varmak için teorem kullanılabilir. Kararlılık durumu, teoremin kullanıldığı (2.10)’de veriliyor. Bu teorem tezde açıklanmayacaktır. (Kontrol Teorileri literatürüne bakılabilir.)

$$|T(i\omega)| < \frac{1}{|\Delta_G(i\omega)|}, \forall \omega \quad (2.10)$$

Gürültünün, ölçümleri bozduğu frekanslarda ‘ $T(s)$ ’ küçük tutulması istenen bir durumdur.

2.3 Modelleme

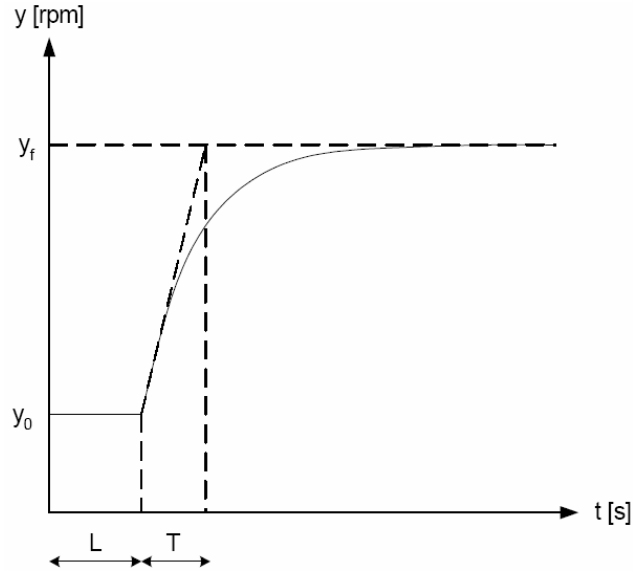
Kontrolörleri ayarlayan birçok metot, sistem dinamiklerini tanımlayan bazı modellere bağımlıdır. Model bazı durumlarda karmaşık olabilir, fakat kontrol dizayn prosedürü için yeterince dinamik elde edecek basit bir model bulunur. Modeli elde etmenin değişik yolları vardır. Fizik kuralları ile gerçekte bilinenleri birleştirerek ve bunları sistem değişkenleri arasında kullanmak bu yollardan bir tanesidir. Diğer bir yol ise sisteme bilinen bir girdi vererek, sistemin çıktısı yorumlanır ve sistem için bir model oluşturulmaya çalışılır. Bu tip metodlar sistemin çıktı frekansına veya onun geçici cevabına bağlıdır. Geçici cevap metodlar genelde basit model oluşturmada kullanılır.

2.3.1 Model yapısı ve parametre belirleme

Burada sistem bir adet ECOTORQ motor ve motora sabitlenmiş bir adet alternatörden oluşur. Motor kendi başına birinci dereceden modellenebilir. Model, (2.11)'de verilmiştir. K_p sabit, T zaman sabiti, L sönümlenme zamanıdır. K_p birim püskürme miktarındaki motor devri (rpm/mg/str), T ve L ise zaman cinsinden ifade edilir.

$$G(s) = \frac{K_p}{1 + sT} * e^{(-sL)} \quad (2.11)$$

Bu denklemdeki modeli kullanırken, sistem zaman gecikmesi dışında lineer olarak kabul edilir. Bu varsayım tamamen doğru değildir. Çünkü bazı lineer olmayan durumlar vardır, motor sürtünmesi, turbo gecikmesi gibi.



Şekil 2.3 Model Parametrelerinin Grafiksel Belirlenmesi

Sisteme girdi veri yakıt miktarıdır (mg/str). Çıktı veri olarak sistemden motor devri alınır. Model parametreleri sistemden step girdi kullanılarak alınır. Motor rölanti devrinde çalışırken, öngörülen bir miktar yakıt sisteme verilir, motor devrinin artışı gözlenir. Girdinin verildiği zaman $t=0$, gecikme zamanı L ise sisteme input verildikten sonra motor devrinin artmaya başladığı zaman ile aradaki fark olarak alınır. Zaman sabiti T ise grafiğe en dik yerinden çizilen tanjant ile belirlenir. T ; tanjant ile rölanti zamanının bitişi arasındaki farktır ($Y_f - Y_o$). T 'yi belirlemenin diğer yolu da girdinin uygulandığı an ile çıktının son değerine ulaştığı anın %63 arasındaki farktır. Eğer sistem dinamikleri (2.11) de mükemmel uygulanırsa bu iki şekilde hesaplanan T aynı bulunur. Aksi durumda birinci metotla T daha büyük değer alır. Sisteme girdi verildiğinde, Y_f ve yakıt miktarında K_p 'nin payı vardır.

2.4 PID Kontrol

PID kontrolör en yaygın algoritmadır. Başka algoritmalar olmasına karşın, ECOTORQ motorun kontrol ünitesinde PID algoritma kullanılmıştır. Bu bölümde, performansın göz önünde bulundurulduğu kapalı çevrimdeki kontrolörün özelliklerinin tanımlandığı PID algoritma yer alacak. Kontrolördeki integral hareket alınca ve yeterince kontrol sinyali olan proses olduğunda oluşan İNTEGRAL WINDUP ın önlenme yolları tariflenecek. Dijital araçların bazı yönleri verilecek.

2.4.1 Genel bilgi

PID 'nin genel formu, 'u' kontrol edilen değişken ve set değeri 'r' ile ölçülen değer arasındaki farkı 'y' veren kontrol hatası 'e' nin bulunduğu (2.12) ile verilmiştir. Kontrol değişkeni 'u' bu 3 adet terimin toplamıdır. P terimi hatayla doğru orantılı, I terimi hatanın integrali ile orantılı, D terimi ise hatanın türevi ile orantılıdır. Bu üç terim oransal K terimi, integral zaman katsayısı T_i ve türevsel zaman katsayısı T_d ile belirtilir.

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{\int e(s) ds}{T_i} + \frac{T_d de(t)}{dt} \right] \quad (2.12)$$

Laplace teoremi kullanılarak (2.12) , (2.13) 'e çevrilir.

$$U(s) = K \left[1 + \frac{1}{T_i s} + s T_d \right] * E(s) \quad (2.13)$$

2.4.1.1 Doğru orantılı etki

Doğru orantılı kontrol, geri besleme formunun en basitidir. Eğer sadece doğru orantılı kontrol kullanılırsa, (2.12) kontrol hatasının katsayısı ile orantılı olarak gösterildiği (2.14)'e dönüşür.

$$u(t) = Ke(t) \quad (2.14)$$

K değeri yüksek olursa, yüksek çevrim kazancı olacak, kapalı çevrim yük düzensizliklerine duyarsız ancak ölçüm sinyal gürültülerine duyarlı olacaktır. Bu değer çok artırıldığında ise, kapalı çevrim kararsız olacaktır. Daima doğru orantılı kontrolde kararlı bir hata olacaktır. (2.14)'ten de anlaşılacağı üzere, sinyal olması için muhakkak ufak da olsa bir hata olmak zorunda. Uygun kararlılığı elde etmek için doğru orantılı kontrolör I terimi ile detaylandırılır. Buna uyan kontrol denklemi (2.15)'de verilmiştir.

$$u(t) = Ke(t) + I \quad (2.15)$$

2.4.1.2 İntegral etki

İntegral etkinin başlıca amacı sıfır hata elde etmektir. Daha önce bahsedildiği gibi orantılı kontrolde sinyal olabilmesi için hatanın olması gerekli idi. İntegral etki kullanılırken, küçük pozitif bir hatanın olması kontrol sinyalinin her zaman artmasına neden olacaktır. Kararlı hatanın sıfır olacağı gerçeği basit bir ispatla açıklanabilir. Sistemin sabit bir kontrol sinyali ve sabit bir kontrol hatası ile kararlı olduğunu kabul edelim. (2.12) göz önünde bulundurularak, (2.16) elde edilecek.

$$U_o = K \left[e_o + \frac{e_o t}{T_i} \right] \quad (2.16)$$

Hatanın sıfır olmaması, kontrol sinyalinin sabit olması ile çelişir. Böylece, integral etkili kontrol sistemi her zaman kararlı sıfır hata verecek. Bu durum integral etkiyi çok önemli kılar. İntegral zamanı ' T_i ' hatanın ne kadar hızlı giderileceğini belirler. ' T_i ' arttıkça, kontrolör çıktısı yavaşça set değerine yaklaşır. ' T_i ' daha küçülürse hedef değere daha hızlı yaklaşır ancak bu durumda titreşim çok olur.

2.4.1.3 Türevsel etki

Türevsel etki kapalı çevrimin kararlılığını artırmak için kullanılır. İşlem dinamikleri sonucunda, kontrol sinyalindeki değişiklik çıktıda hemen fark edilmeyecek. Hatayı doğrularken, kontrolör bir adım geride kalır. Bu durumda türevsel etki kontrolörün işlem sırasında neler olabileceğini tahmin etmesini sağlar. Aslında, tahmin sonucu ' T_d ' süre kadar önde ulaşır. Sönümleme ' T_d ' ile artar, kapalı çevrimde titreşim çoğalır.

2.4.2 İntegral winup ve anti windup

Bu zamana kadar PID kontrolör ve özellikleri lineer teori kullanılarak hesaplandı. Ancak, birçok prosesi kontrol ederken, lineer olmayan durumları da düşünmek gerekir. Bütün hareket sağlayıcıların limitleri vardır. Örneğin; bir valfin açılıp kapanma konum sınırları vardır. Eğer kontrol sinyali sistem elemanlarının limitlerine ulaşırsa, geri besleme mekanizması bozulur ve kontrolör açık çevrim gibi davranır, çünkü hareket sağlayan elemanlar işlem çıktısından bağımsız olarak limitlerinde kalır. İntegral etkili kontrolör kullanılırsa hatanın integrali alınır ve integral terimi çok büyük olur. Bu olay wind-up olarak adlandırılır. Bundan sonra hata ters işarete, integral terim azalmadan ve elemanların sinyalle boğulmadığı aralığa kontrol sinyali ulaşmadan gereksinim duyar. Bu durum anti-windup algoritma, integral teriminin gereğinden fazla büyümesini önlemek için kullanılmıştır.

2.4.3 Sinyal gürültüsünün ölçüme etkisi

Eğer gürültü ölçümü çevrime girerse, kontrolörün türevsel etkisi bazı problemlere neden olabilir. Gürültü ölçümü genel türevsel terim tarafından yükselticeği işareti verilen yüksek frekans alanında oluşur. (2.17) 'de gürültüyü 'n', frekansı da 'w' sinüsoidal olarak gösterelim.

$$N = a * \sin(\omega t) \quad (2.17)$$

Factor 'w' tarafından artırılan gürültü, (2.19)'da kontrol sinyaline katkıda bulunduğu görülüyor.

$$u_n = K * T_d \frac{dn}{dt} = a * K * T_d * \omega * \cos(\omega t) \quad (2.18)$$

Bunu engellemek için, türevselin yüksek frekans terimi limitlenmelidir. Bu işlem türevsel terimi alçak geçiş filtresinden geçirilerek yapılır. 1.derece filtre için, türevsel terim, N değerinin istenen bitiş frekansını verecek şekilde ayarlandığı (2.19) deki gibi

olur. Bu yüksek frekansı $\frac{K}{T_f}$ değerine

limitler.

$$D = \frac{sK * T_d}{1 + sT_f} \quad (2.19)$$

2.4.4 Dijital alıştırma

PID kontrolörler günümüzde mikro işlemciler kullanılarak dijital olarak çalıştırılır. Kontrolörlerin mekanik veya analog elektrik devreleri ile çalıştırılmasından daha kolay sentez imkanı sağlar. Ancak integrasyon ve trevsellere ayrı bir zen gösterilmelidir.

2.4.4.1 Örnekleme ve düzeltme

Bir mikro işlemci kontrol algoritmasını farklı anlık zamanlarda çalıştırır, sistemi rnekleme. Eğer rnek frekans özenle seçilmezse, yüksek frekans sinyalleri sistemde alçak frekans gibi görülebilir. Örnekleme teoremine göre, bu olay örneklenmiş frekansı , en yüksek frekansın yksekliliğinin iki kez daha yükseği kadar rnekleyerek engellenebilir. Bütün sinyalleri örneklemeden önce, anti-aliasing filtreden hiçbir sinyalin değeri örneklenmiş sinyalin değerinin yarısından daha fazla olmayacak şekilde filtrelenerek geçirilir.

2.4.4.2 Farklılaştırma

(2.13)'deki sürekli zaman kontrolörü dijital bilgisayarda çalıştırıldığında, orantı integral ve türev bölümleri elde edilebilen değişkenlerin farklı değerleri kullanarak bazı yolla tahmini olarak oluşturulur. Doğru orantılısal bölüm basit olarak katsayı ile farklı hatayı çarparak etkinleştirilir.

Sürekli zaman integrali (2.20) ile verilmiştir.

$$I(t) = \frac{K}{T_i} * \int_0^t e(s) ds \quad (2.20)$$

Bu denklem genelde örnekleme aralığı olan 'h' değerinde (2.21)'de gösterilir.

$$I(k) = I(k-1) + \frac{K * h}{T_i} * e(k) \quad (2.21)$$

Türevsel terim (2.23)'deki gibi tersine fark ile etkinleştirilebilen (2.22) tarafından verilir.

$$D(t) = KT_d * \frac{de}{dt} \quad (2.22)$$

$$D(k) = K * T_d * \frac{(e(k) - e(k-1))}{H} \quad (2.23)$$

2.5 PID Kontrolörlerin Otomatik Uyarlanması

Kullanıcıda gelen bir talep doğrultusunda kontrolör çalışır. Kullanıcı düğmeye basabilir veya kontrolöre bir çeşit talimat gönderebilir. Otomatik uyarlama 3 adımda olur.

- İşlem düzensizliğin oluşması
- Tepki düzensizliğinin değerlendirilmesi
- Kontrol parametrelerinin hesaplanması

Bu olay otomatikleştirilmiş formda , tecrübeli insanlar tarafından yapılmaktadır.

Düzensizliklerin oluşumu ve tepkinin değerlendirilmesi daha önce bölüm 2.3.1'de açıklanmıştır. Bu bölümde parametre hesaplamasına farklı yaklaşımlar başlığı altında son adımda anlatılacak. İlk olarak, PID için farklı uygulama kuralları tanımlanacak. PI kontrolör için kutup dizayn gösterilecektir.

2.5.1 Uygulama kuralları

Eğer işlem dinamikleri bilinirse, uygulama kuralları yapılır. Bu kurallar, işlemi tanımlayan parametrelerin fonksiyonu gibi kontrol parametreleri verir. Kurallar genelde kapsamlı, deneysel, uyarlama deneyimler üzerine kurulur. Kontrolörler manuel olarak geniş bir işlem aralığında uygulanır, sonuçlar denklem içinde formüle edilir. Farklı uyarlama metodları farklı kapalı çevrim karakteristikleri verir. Bazısı iyi set noktası takibi veren kontrolör üretebilir, bir diğeri yük düzensizliklerinin bastırılmasına odaklanabilir.

2.5.1.1 Zeigler-Nichols metod

Uygulama metodları içinde en yaygın olanı Ziegler-Nichols metodudur. 1942’de bulundu, orijinal ve geliştirilmiş haliyle uzun yıllardır kullanılıyor. Metod işleyişi işlem dinamiklerinin bazı özelliklerine oturtulmuştur. Kontrol parametreleri bu özellikler tarafından tanımlanmaktadır. Frekans tepkisi üzerine kurulmuş bir set Ziegler-Nichols kuralı vardır.

Yaygın kullanımına rağmen, çağın gerisinde olarak nitelendirilir. Ziegler-Nichols metod kontrol dizaynı için en iyi metod olmamasına karşın uygulaması basit olduğundan kullanılmaktadır. Ziegler-Nichols step-response(tepki) metodu işleminin karakteristiğini belirleyen iki parametre üzerine kurulur, a ve L. Bunlar adım tepkiden belirlenir. 2.3.1 bölümde, işlem parametreleri olan K_p , L, T bulunması tanımlandı. L metotta olduğu gibi kullanıldı, a (2.24)’ten çıkarıldı.

$$a = \frac{K_{p^*L}}{T} \quad (2.24)$$

Kontrol parametreleri çizelge 2.1’de veriliyor.

Kontrolör	K	T_i	T_d
P	1/a		
PI	0,9/a	3L	
PID	1,2/a	2L	L/2

Çizelge 2.1 _ PID kontrolör parametreleri Ziegler-Nichols adım tepki metodu ile gösterimi.

2.5.1.2 Cohen-Coons metod

Cohen-Coons metod, bölüm 2.3.1’de (2.11)’de tanımlanan işlem modeli üzerine kurulmuştur.

Denklem aşağıda birkez daha tekrarlanmıştır.

$$G(s) = \frac{K_p}{1+sT} * e^{(-sL)} \quad (2.11)$$

Başlıca dizayn kriteri yük düzensizliklerinden arındırılmasıdır. Metod, çeyrek büyüklük azalma oranı verecek baskın kutup pozisyona uygundur. PID kontrolörler için, integral kazanç $I - \frac{K}{T_i}$ maksimize edilir. Birim adım yük düzensizliğinden ötürü integral hatanın minimize edilmesine karşılık gelir. PID kontrolörler için üç adet kapalı çevrim kutbu belirlenir, 2 kutub kompleks, 3. olan gerçektir ve diğer kutupların orjin noktasında eşit uzaklıkta olacak şekilde konuştırılır. Kutup şablonu çeyrek büyüklük azalma oranı verecek şekilde ve kutupların orijine olan uzaklıkları integral hatayı minimize etmek üzere ayarlanır.

İşlem K_p , L ve T parametreleri tarafından karakterize edildiğinden, kontrolör parametrelerinin bu üç parametre tarafından ifade edildiği uyarlama kuralını vermesi mümkündür. Cohen-Coon tarafından türetilen bu tip formüller analitik ve numerik hesaplamalara dayandırılır. Formüller çizelge 2.2 'de verilmiştir. Parametreler a ve t (2.25) tarafından hesaplanır. Tekrardan çizelge 2.2'de kullanılır.

$$A = \frac{K_p * L}{T} \quad (2.25)$$

$$t = \frac{L}{L+T}$$

Kontrolör	K	T_i	T_d
P	$\frac{[1 + \frac{0,35t}{(1-t)}]}{a}$		
PI	$\frac{0,9*[1 + \frac{0,92t}{(1-t)}]}{a}$	$\frac{3L*(1-t)}{1+1,2t}$	
PID	$\frac{1,35*[1 + \frac{0,18t}{(1-t)}]}{a}$	$\frac{(2,5-2t)*L}{1-0,39t}$	$\frac{(0,37-0,37t)}{1-0,81t}$

Çizelge 2.2_Cohen-Coon'dan elde edilen kontrol parametreleri.

2.5.1.3 Kutup yerleşimi

Adım tepkiden ve diğer ayrıntılardan dolayı kapalı çevrim sistemin özellikleri kutupların nerelere konulduğuna bağlıdır. Kontrol edilecek işlemin modeli eğer bilinirse, kapalı çevrimin kutupları belirlenebilir ve dahası kontrol parametreleri bu detayları karşılamak için hesaplanabilir. Sistemin hızı kutupların frekansına veya kutupların orijinden uzaklıklarına bağlıdır. Sistemin sönümlenmesi, kompleks alandaki kutupların kosinüsü olan göreceli sönümleme faktörü tarafından belirlenir. Şekil C5 'e bakılabilir. Verilen bir uzaklık için, 0,7 sönümleme faktörü ile güzel sönümleme özelliklerine varılır. Tabiki bütün kutuplar kapalı çevrim sisteminin kararlı olması için sol yarı alana konulmalıdır. Doğru yerleşim şekil C6'da gösterilmiştir.

$$I + FG = 0 \quad (2.27)$$

$$s^2 + s * \frac{1 + K_p * K}{T} + \frac{K_p * K}{T * T_i} = 0 \quad (2.28)$$

zaman azalımı L iptal edilmiştir. Eğer kutuplar göreceli sönümlenme ζ ve frekansı ω tarafından gösterilirse, denklemler;

$$s^2 + 2\zeta\omega s + \omega^2 = 0 \quad (2.29)$$

(2.28)'un katsayıları (2.29)'da belirtilerek ve daha sonra kontrol parametreleri için çözümlenerek (2.30) elde edilir.

$$K = \frac{2\zeta\omega T - 1}{K_p} \quad (2.30)$$

$$T_i = \frac{2\zeta\omega T - 1}{\omega^2 T}$$

3. ECOTORQ MOTOR İÇİN BOSCH TARAFINDAN GELİŞTİRLEN KONTROL ALGORİTMASI

3.1 Doğru Orantısal Bölüm

Doğru orantısal bölüm iki tipte sınıflandırılır.

1) Standart orantısal bölüm

$$y(k) = \frac{CP * x(k)}{2^{16}}$$

$$x(k) = \text{girdi}$$

$$y(k) = \text{çıktı}$$

Data yapısı CP sabitinden oluşur. Standart orantısal bölümün çıktısı bu formül ile hesaplanır.

2) Pencere şeklinde sınırlandırılmış orantısal bölüm.

Bu algoritmada set değerinin etrafına sınırlar belirlenir. Bu sınırlar sistem çıktısı cinsindedir. Sistem çıktısı bu sınırların içinde veya dışında olmasına göre algoritmadaki katsayılar, formüller ve sistemin cevap verme süreleri, enjekte edilen yakıt miktarları değişir.

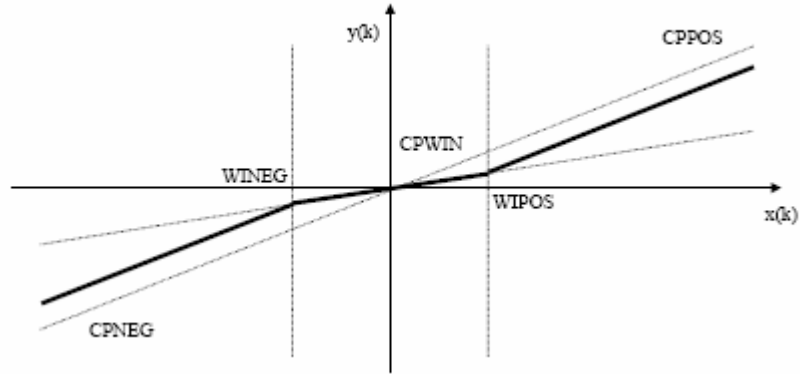
CPWIN : Küçük sinyaller için orantısal sabit

CPPOS : Pozitif büyük sinyaller için orantısal sabit

CPNEG : Negatif büyük sinyaller için orantısal sabit

WIPOS : Pozitif pencere genişliği

WIPOS : Negatif pencere genişliği



Şekil 3.1 BOSCH tarafından geliştirilen girdi-hata grafiği.

Eğer girdi $x(k)$, WIPOS'tan büyük ise katsayı olarak CPPOS kullanılır. Çıktı hesaplaması aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$y(k) = \frac{WIPOS * CPWIN + (x(k) - WIPOS) * CPPOS}{2^{16}} \quad (3.1)$$

Eğer girdi $x(k)$, WINEG'ten küçük ise katsayı olarak CPNEG kullanılır. Çıktı hesaplaması aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$y(k) = \frac{WINEG * CPWIN + (x(k) - WINEG) * CPNEG}{2^{16}} \quad (3.2)$$

Eğer girdi bu WINEG ve WIPOS arasında ise katsayı olarak CPWIN kullanılır.

$$y(k) = \frac{CPWIN * x(k)}{2^{16}} \quad (3.3)$$

3.2 İntegral Bölüm

1) Standart integral bölüm

CI: İntegral sabiti

Çıktı, kontrol algoritmasında bulunan integral ile bu formülle hesaplanır.

$$y(k) = y(k-1) + \frac{x(k) * CI * T_o}{2^{16}} \quad (3.4)$$

T_o ; referans ilk değer olarak alınmıştır.

2) Pencere şeklinde sınırlandırılmış integral bölüm.

CPWIN : Küçük sinyaller için orantısal sabit

CPPOS : Pozitif büyük sinyaller için orantısal sabit

CPNEG : Negatif büyük sinyaller için orantısal sabit

WIPOS : Pozitif pencere genişliği (sıfırdan küçük değer alır)

WINEG : Negatif pencere genişliği

Eğer girdi $x(k)$, *WIPOS*'tan büyük ise sabit olarak *CPPOS* kullanılır.

$$y(k) = y(k-1) + \frac{x(k) * CIPOS * T_o}{2^{16}} \quad (3.5)$$

Eğer girdi $x(k)$, *WINEG*'ten küçük ise sabit olarak *CPNEG* kullanılır.

$$y(k) = y(k-1) + \frac{x(k) * CINEG * T_o}{2^{16}} \quad (3.6)$$

Eğer girdi bu *WINEG* ve *WIPOS* arasında ise katsayı olarak *CPWIN* kullanılır.

$$y(k) = y(k-1) + \frac{CIWIN * x(k) * T_o}{2^{16}} \quad (3.7)$$

3.3 Zaman Gecikmeli Orantısal Bölüm

Data Girdisi olarak T1 alınır.

$$y(k) = Q * y(k-1) + (1-Q) * x(k) \quad (3.8)$$

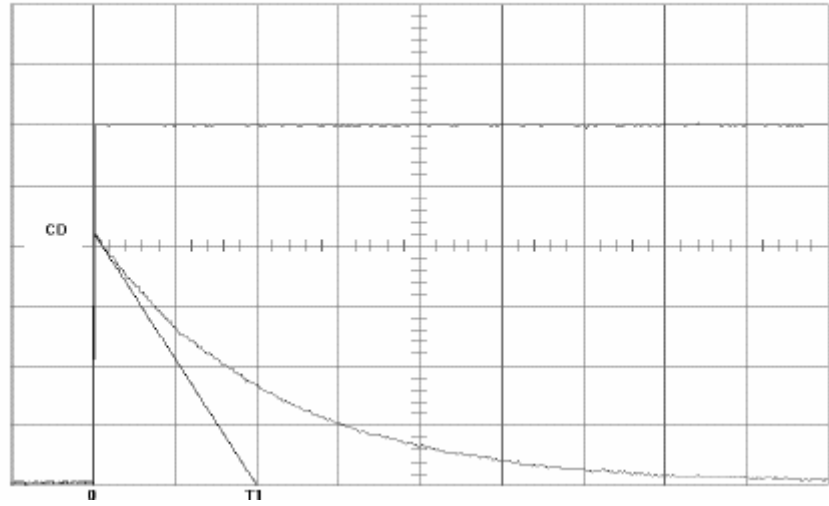
$$Q = e^{-\frac{T_0}{T_1}}$$

Herhangi bir k anında x(k) girdi,y(k) çıktı olarak alınır. T_0 referans zamanıdır. Girdi değeri x(k) limitlenir.

3.4 Zaman Gecikmeli Diferansiyel Bölüm

1) Standart Diferansiyel Bölüm

T_1 : Zaman sabiti ; $CD = \frac{T_D}{T_1}$



Şekil 3.2 CD katsayısına göre motor devir azalımı

Grafikte girdi sinyalinde sıçrama yapmış standart bir data görünüyor.

Standart diferansiyel bölümün çıktısı;

$$y(k) = \frac{CD * [x(k) - x(k-1)]}{2^{16}} + Q * y(k-1) \quad (3.9)$$

T_0 : Referans zamanı

2) Pencere şeklinde sınırlandırılmış diferansiyel bölüm.

T_1 : Zaman sabiti

$CDWIN$: Küçük sinyal için orantısal başlangıç değeri ; $\frac{T_D}{T_1}$

$CDPOS$: Pozitif büyük sinyal için orantısal başlangıç değeri; $\frac{T_D}{T_1}$

$CDNEG$: Negatif büyük sinyal için orantısal başlangıç değeri; $\frac{T_D}{T_1}$

$WIPOS$: Pozitif pencere sınırı genişliği

$WIPOS$: Negatif pencere genişliği

$$y(k) = \frac{CD}{2^{16} * [x(k) - x(k-1)]} + Q * y(k-1) \quad (3.10)$$

$$Q = e^{\left(\frac{-T_0}{T_1}\right)}$$

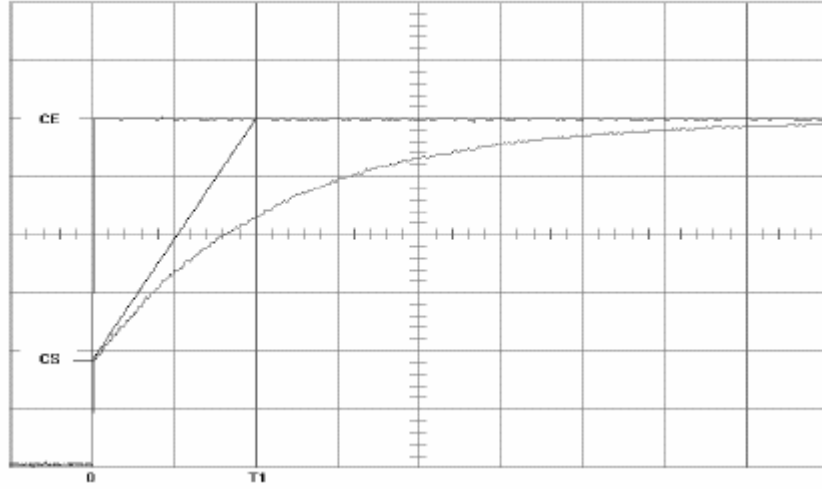
Herhangi bir k anında $x(k)$ girdi, $y(k)$ çıktı olarak alınır. T_0 referans zamanıdır.

CD değeri girdi sinyalinin deviasyonuna bağlı $CDWIN$, $CDPOS$, $CDNEG$ parametrelerden seçilir.

3.5 Zaman Gecikmeli Orantısal ve Diferansiyel Bölüm

1) Standart Orantısal & Diferansiyel Bölüm

T_1 : Zaman sabiti ; CE: Orantısal son değer ; CS : Orantısal Başlangıç değeri $\frac{T_D}{T_1}$



Şekil 3.3 Motor devrinin artış hızı.

Grafik bu fonksiyonda girdi sinyalindeki sıçramayı gösterir.

$$y(k) = Q_1 * y(k-1) + \frac{CS * x(k)}{2^{16}} + Q_2 * x(k-1) \quad (3.11)$$

$y(k)$ ve $x(k)$ herhangi bir k anındaki çıktı ve girdi değerleridir.

T_0 :Referans zamanı

2) Pencere şeklinde sınırlandırılmış Orantısız ve Diferensiyal bölüm.

T_1 : Zaman sabiti

CE: Orantısız son değer

$CSWIN$: Küçük sinyal için orantısız başlangıç değeri ; $\frac{T_D}{T_1}$

$CSPOS$: Pozitif büyük sinyal için orantısız başlangıç değeri; $\frac{T_D}{T_1}$

$CSNEG$: Negatif büyük sinyal için orantısız başlangıç değeri; $\frac{T_D}{T_1}$

$WIPOS$: Pozitif pencere sınırı genişliği

$WINEG$: Negatif pencere genişliği

$$y(k) = Q_1 * y(k-1) + \frac{CS * x(k)}{2^{16}} + Q_2 * x(k-1) \quad (3.12)$$

$y(k)$ ve $x(k)$ herhangi bir k anındaki çıktı ve girdi değerleridir.

$$Q_1 = e^{-\frac{T_0}{T_1}}$$

$$Q_2 = 1 - Q_1 - \frac{CS}{2^{16}}$$

CS değeri girdi sinyalinin deviasyonuna bağlı CSWIN , CSPOS, CSNEG parametrelerden seçilir.

Şekil 3.1’de gösterilen grafik PI kontrol için ortak kullanımdır. ECOTORQ motorda temel esas devir kontrolü üzerinedir. Kontrolör sisteme yakıtı verir, sonucunda elde ettiği deviri gerçek değerle kıyaslayarak $e(k)=y(k):(\text{ölçülen değer}) - (\text{gerçek değer})$ farkını minimumda tutmak üzere yakıtı ayarlar.

P ve I için belirli bölgelerde (Şekil 3.1) değişik formüller çalışır. Sensörler vasıtasıyla motordan deviri ölçen EKÜ, bu değerini şekil 3.1 de hangi bölgede olduğunu kontrol ederek formül seçimi yapar. Motordan ölçülen anlık değer ile set değer arasındaki fark [$e(t)$], WINEG ile WIPOS arasında ise, bu iki sınır için hazırlanmış kontrol denklemi kullanılır. Değer WINEG’ten küçük veya WIPOS’tan büyük ise, duruma göre katsayı olarak CINEG veya CIPOS kullanılır. Türevsel bölüm için hesaplama şekil 3.2 deki yapılacaktır. Bu bölümde açıklanan parametrelerinin hepsinin değerleri INCA programı aracılığıyla EKÜ’yle iletişim kurularak değiştirilir.

4. TEST PROSEDÜRLERİ

3 ve 4. bölümde açıklanan kontrol parametrelerinin pratik uygulamalar sistem dinamiğine nasıl etkidiklerini motorlar üzerinde yapılan testler görülecektir. Elde edilen sonuçlar incelenecek. 3. bölümde açıklanan kontrol parametreleri olayın temelini oluşturmaktadır. Diğer bilim dallarında olduğu gibi burada da temel bilgiler üzerinde yapılan uzun araştırma çalışmaları sonucunda BOSCH firması Ford Otosan için bölüm 4'deki kontrol algoritmalarını geliştirmiştir. Optimum verimlilik alınması için bu parametrelerin uygulama anları ve yerleri şartlara göre değişiklik göstermiştir (şekil 3.1). Temelde incelenecek parametrelerin (P, I, D) mantığı aynı kalmıştır. Bu parametrelerin etkisini ölçüm cihazlarının el verdiği imkanda daha net ve anlaşılır incelemek üzere test sınırlarımızı belirledik. Şekil 3.1 de görüleceği üzere motor devri gezinme bantını WIPOS ve WINEG değerleri geniş atanarak bu iki sınır içinde tutuldu. Motora uygulanan girdiler bu iki sınır arasında olduğunda dolayı kontrol parametreleri için yazılımda belirtilen formüller kullanılmıştır. Şayet motor devri gezinmesi bu iki sınır dışına çıktığında formülasyonda sürekli değişecek, formül değişmesinden ötürü kontrol parametreleri katsayıları hızla değişecektir. Bu hızlı değişimden dolayı hangi kontrol parametresinin ve formülasyonun yakıt miktarına ve motor hızına etkisi tam olarak kestirilemeyecekti. Amaç kontrol parametrelerini daha yakından ve etkileri daha net izleyebilmek için bu yöntem tercih edilmiştir. P, I ve D kontrol parametreleri kontrol etmek için EKÜ'ye bağlandığımız programın test ekranında bazı parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler 'simgeler&kısaltmalar' bölümünde açıklanmıştır.

4.1 P Kontrolör Testi

LICO_PW_CSTR.WINEG, *LICO_PW_CSTR.WIPOS* parametrelerine devir sınırları girilerek WIPOS ve WINEG belirlenir (şekil 3.1). Bu belirleme ile her iki motor içinde motor devir gezinmesi sınırlar içinde kalacağından testler sırasında P kontrolör (3.3) ile kontrol edilecek. Testler sırasında (3.3)'deki CPWIN katsayısı, *LICO_PW_CSTR.CPWIN* girilen değerler ile belirlenecek. Bu değerde P kontrolörden hesaplanan yakıt miktarının değişmesine neden olacak. *lico_q_p_w* parametresi ile P kontrolörden hesaplanan yakıt miktarı EKÜ'den alınan veriler ile

INCA programı vasıtasıyla okunacak. Bu veriler aynı grafik üzerinde zamana bağlı motor devri ve yakıt miktarı olarak eş zamanlı elde edilecektir.

4.2 I Kontrolör Testi

I kontrolördeki uygulama, P kontrolördeki uygulamanın aynısıdır. Sadece kullanılan parametrelerin ismi değişecektir. I kontrolör için de motor devir değişimi *WIPOS & WINEG* parametreleri ile belirlenen sınırlar arasında kalması sağlanacaktır. Bu sınır değerleri P kontrolör ile aynı olacak. I kontrolör için sınırlar arasında kullanılan formül (3.7) ile verilmiştir. Buradaki *CIWIN* katsayısı, *LICO_IW_CSTR.CIWIN* parametresine değer girilerek P kontrolör değeri belirlenecek, bu sonuca göre enjekte edilen yakıt miktarı değişecek. Bu miktar *lico_q_i_w* parametresinden mg/str cinsinden okunur. I kontrolörden hesaplanan yakıt miktarı EKÜ'den alınan veriler ile INCA programı vasıtasıyla okunacak. Bu veriler aynı grafik üzerinde zamana bağlı motor devri ve yakıt miktarı olarak eş zamanlı elde edilecek.

4.3 D Kontrolör Testi

D kontrolörün motorun ivmelenmesinde bir etkisi yoktur. Motor üzerinden yük kaldırıldığında, motor devri hazır olan fazla yakıt miktarı yüzünden azda olsa artar. Bu artışı bastırmak için D kontrolör kullanılmıştır. Bu devir artışı P ve I kontrolörlerdeki belirlenen sınırların içinde olması için *LICO_NDON_CW* değer ile P ve I kontrolördeki değerler atanmıştır. D kontrolör, artan bu devrin istenen hızda set değere inmesinde *LICO_DCONW_CSTR.C* parametresi etkin edilir. Bu parametre aslında (3.10) CD katsayısının hesaplanmasında etkindir. *LICO_DCONW_CSTR.C* parametresi vasıtası ile her testte hesaplanan yakıt miktarı *lico_q_dt1_w*, motor devri aynı grafikte zamana bağlı ölçülür.

4.4 Jeneratör Setindeki Testler

Jeneratör motoru sabit 1500 rpm'de çalışacak şekilde kalibre edilmiştir. Elektrik kesintisi olmadan motor çalışmaz. Elektrik kesildiğinde otomatik olarak marş rölesine gelen akımla motor çalışır ve 1500 rpm'e yükselir. Bu işlemin ardından 5 sn sonra sistemin üreteceği maksimum elektriğin %60'ı ana şebekeye verilir. Ana şebekenin %60 lık kısmının beslenmesi sırasında ani yük binmesi sebebiyle 1500 rpm'de çalışan motor devir kaybetmeye başlar. Bu istenmeyen bir durumdur. Bu devir kaybının hızlı bir şekilde telafi edilmesi, $1500 \pm \%3$ rpm sınırları içinde kalması gerekmektedir.

Test sırasında yüksüz olan sistem 1500 rpm de çalışmaktadır. Bu sırada sistemden ani olarak 100 kw elektrik çekildi. Bu esnada motor devir kaybetmeye başlar, EKÜ'de çalışan programa motorun devamlı 1500 rpm'de çalışması öğretilmiştir. Devreye giren kontrolör P ve I kontrolör parametreleri yardımıyla bu kaybı hızlı bir şekilde kapatmaya ve motor hızını 1500'e çıkarmaya çalışır.

Bu testlerde değişik P ve I değerleri ile motora ani yüklenen 100 kw'a karşı set değere ulaşma performansı izlendi. D kontrolör için 1500 rpm'de 100 kw üreterek çalışan motor üzerinden bu yük kaldırıldığında sisteme verilen fazla yakıt çekilinceye kadar motor devri artacaktır. Bu yakıt çekilme hızı D kontrolör tarafından belirleniyor.

4.5 Kamyon Motoru ile Yapılan Testler

Kamyon motoru 700 rpm (rölanti devri) ile 2600 rpm arasında çalışır. Devirlenme gaz pedalından alınan sinyalin EKÜ'de yorumlanması ile gaz miktarında artışı ile olur. Boşta çalışan motor 1500 rpm'e çıkarılır. INCA programındaki *LISC_BAS_N_W* set edilen 1700 rpm değeri sonucu EKÜ motor devrini 1700 rpm'e çıkarmak için yakıt miktarını artırmaya çalışır. P,I kontrolörler kamyon motorunun 1500 rpm'den 1700 rpm'e çıkması ve bu değerinde sabitlenebilmesi için geçen zamana ve yakıt miktarına etkileri test edilecek. P ve I kontrolörler motor hızının set değerine ulaşmasında değişik değerlerde çalıştırılarak performansı test edilecektir.

D kontrolör testi kamyon motorunda *LISC_BAS_N_W* parametresi ile 1700 rpm'e çıkmış olan devir 1500 rpm'e indirilerek yapılır. (3.10) daki CD katsayısı değiştirilerek 1700 den 1500 rpm'e motorun düşme hızı test edilecektir.

5. DENEYSEL EKİPMANLAR

Ölçümler ve deneyler kamyon motoru ve jeneratör motoru üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her iki motorda mekanik parçalar bakımdan eşdeğerdir. Motorlarda sadece yazılım farkından dolayı güç ve torklar değişmiştir. Bunun yanında çalışma şartları da farklıdır.

- Kamyon ve Jenset motoru için teknik özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

	Kamyon Motoru	Jenset Motoru
Motor Tipi	ECOTORQ 7,3 LT	ECOTORQ 7,3 LT
Silindir Sayısı	6	6
Silindir Yapısı	Sıra Tip	Sıra Tip
Max Güç	300 PS / 2400 rpm	287 PS / 1500rpm
Max Tork	1100 Nm / 1800 rpm	1347 Nm / 1500 rpm

Çizelge 5.1_ECOTORQ motor özellikleri

- Jeneratör max. 204 kw'a kadar yüklenebilir, ancak bu çalışmada ani yükleme 100 kw'a kadar yapılacak. Yük direncinden kaynaklanan ısınma fan ile soğutulur. Sisteme elektrik yükleme ve boşaltma step girdi olarak kabul edilecektir. Jenset 100kw @ 380 V enerji üretecektir.



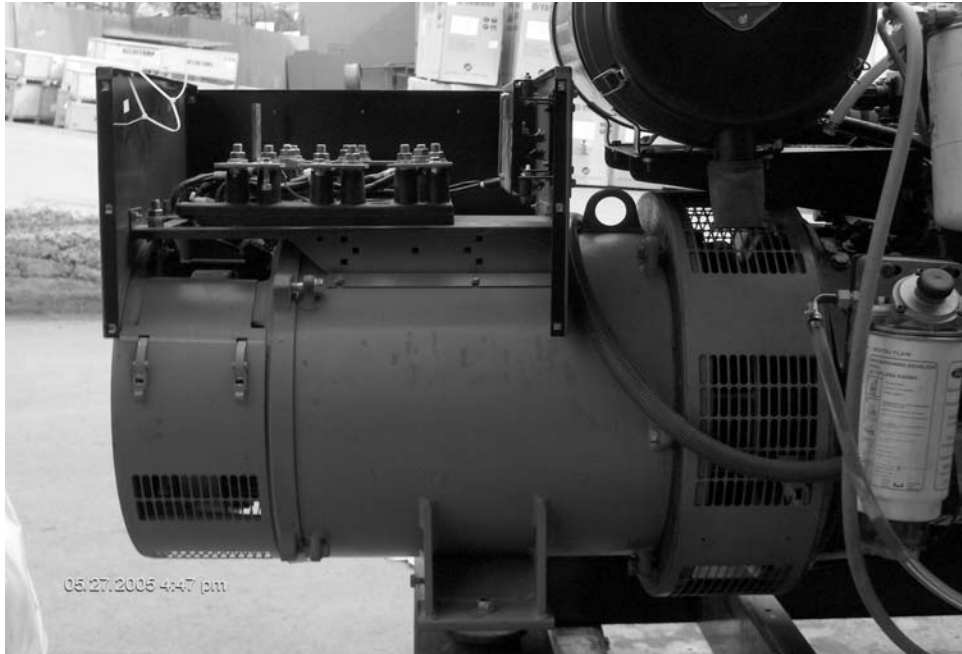
Resim 5.1_Jeneratör seti

- Jeneratör setinde kullanılan alternatörün resmi aşağıda verilmiştir.

Markası: Leroy-Somer

Model: Partner LSA 46.2L6 J 6/4

Güç:275 Kva Stand Bye



Resim 5.2_Jeneratör setindeki alternatör

■ Kamyon motoru ile yapılan ölçümlerde kullanılan motorun araç üzerindeki görüntüsü aşağıda verilmiştir.



Resim 5.3_Motorun kamyon üzerindeki görünüşü

■ Motorun elektronik kontrol ünitesine bağlantı kurulması kullanılan bilgisayar ve ara cihaz aşağıda verilmiştir.



Resim 5.4_EKÜ'ye bağlanmada kullanılan bilgisayar ve bağlantı cihazı (KIC _ 1.3 bakınız)

6. ÖLÇÜMLER

6.1 Jenset Ölçümleri

Jenset ölçümleri motor devri sabit 1500 rpm'de çalışırken, 100 kw elektrik üretmek için sisteme ani yükleme yapılır.

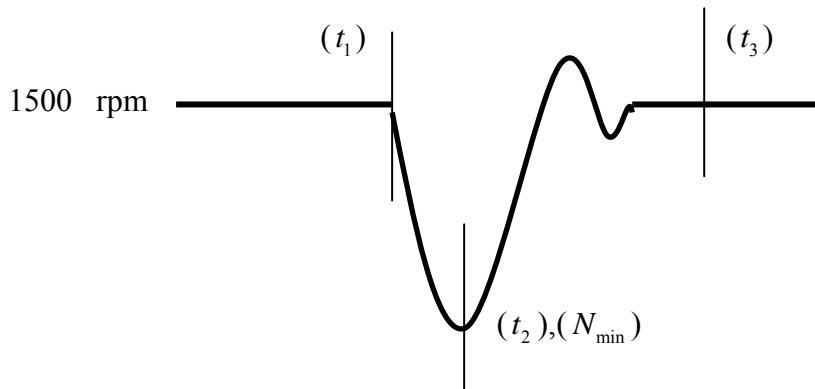
Ölçüm noktaları ;

- Motora yük bindiğinde, motor devrinin azalmaya başladığı zaman. (t_1)
- Motor devrinin düştüğü minimum devir ve zaman. (t_2), (N_{\min})
- Motor devrinin yükselmeye başladığı andan itibaren set değerine ilk ulaşma süresi. (t_3)
- Derivativ kontrolörde devrin azalmaya başladığı an (t_1), devrin sabitlenmeye başladığı zamanı an (t_2) olarak gösterilir.
- Kontrolör P,I ve D kontrolörlerden herbir test için sırasıyla hesaplanan yakıt miktarları izlenecek.

Lico_q_p_w ; Lico_q_i_w ; Lico_q_dt1_w

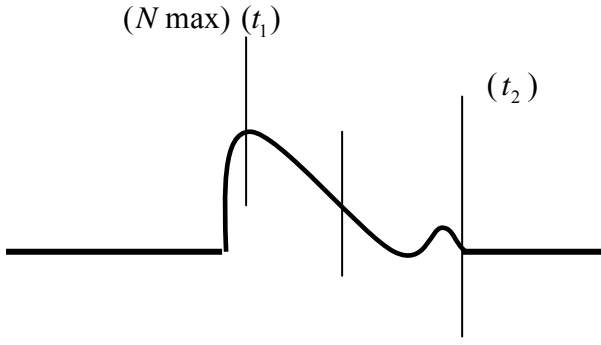
- P,I ve D parametrelerinden herhangi biri test edilirken diğer ikisi orjinal programdaki set değerlerinde olacaktır.

P&I Kontrolör



Şekil 6.a : Yüke Binen Motorun Devrinin Zamana Bağlı Grafiği (PI Testinde)

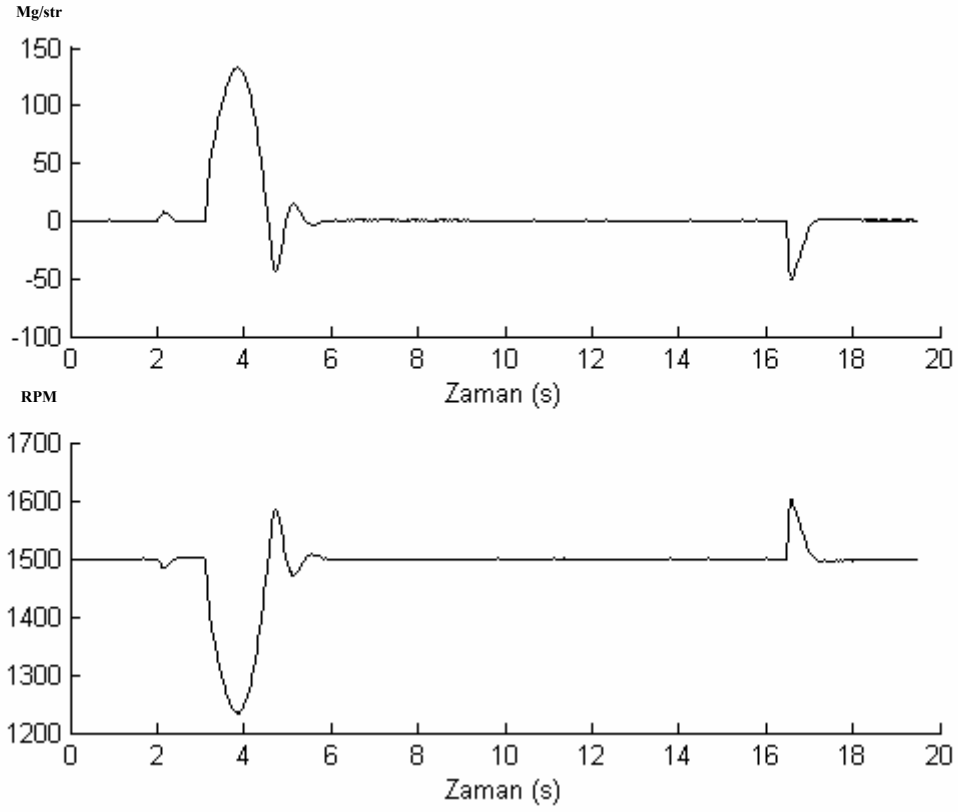
D Kontrolör



Şekil 6.b: Yüke Binen Motorun Devrinin Zamana Bağlı Grafiği (D Testinde)

6.1.1 P Test

6.1.1.T1



Şekil 6.1: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.1 de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN:**0,5**

(3.3) katsayısı

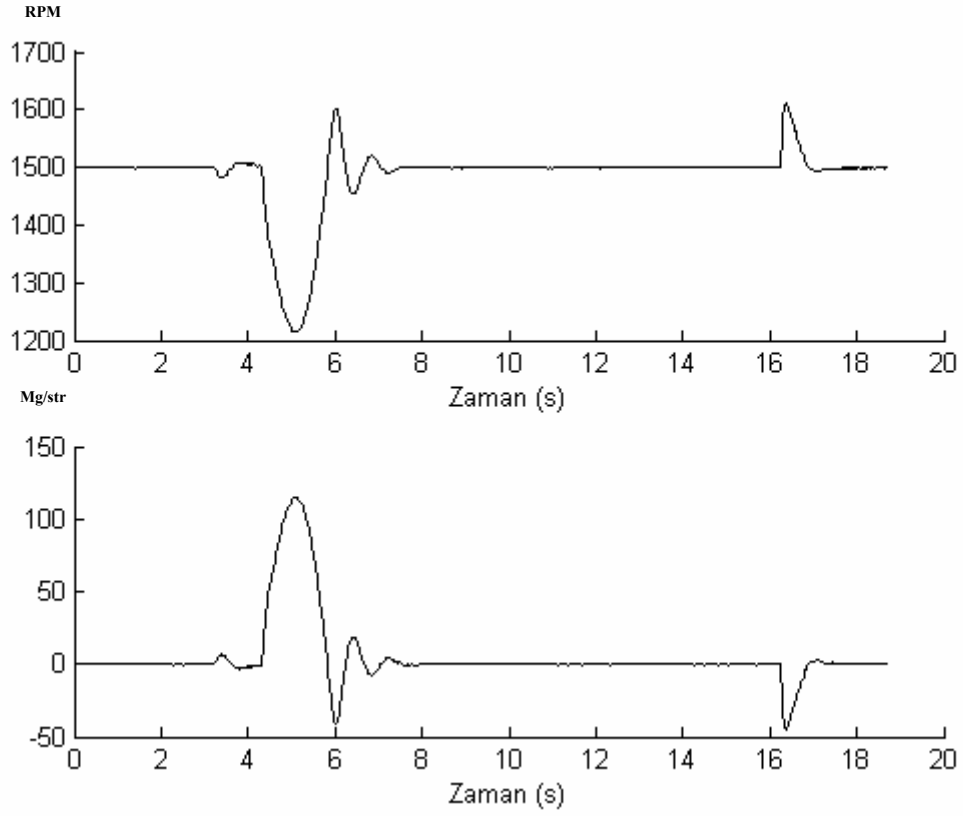
t_1 :3,1 sn

t_2 :3,849 sn@ N_{\min} :1234 rpm

t_3 :5,409 sn

$lico_q_p_w_{(\max)}$: 133 mg/str

6.1.1.T2



Şekil 6.2: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.2'de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN:0,4

(3.3) katsayısı

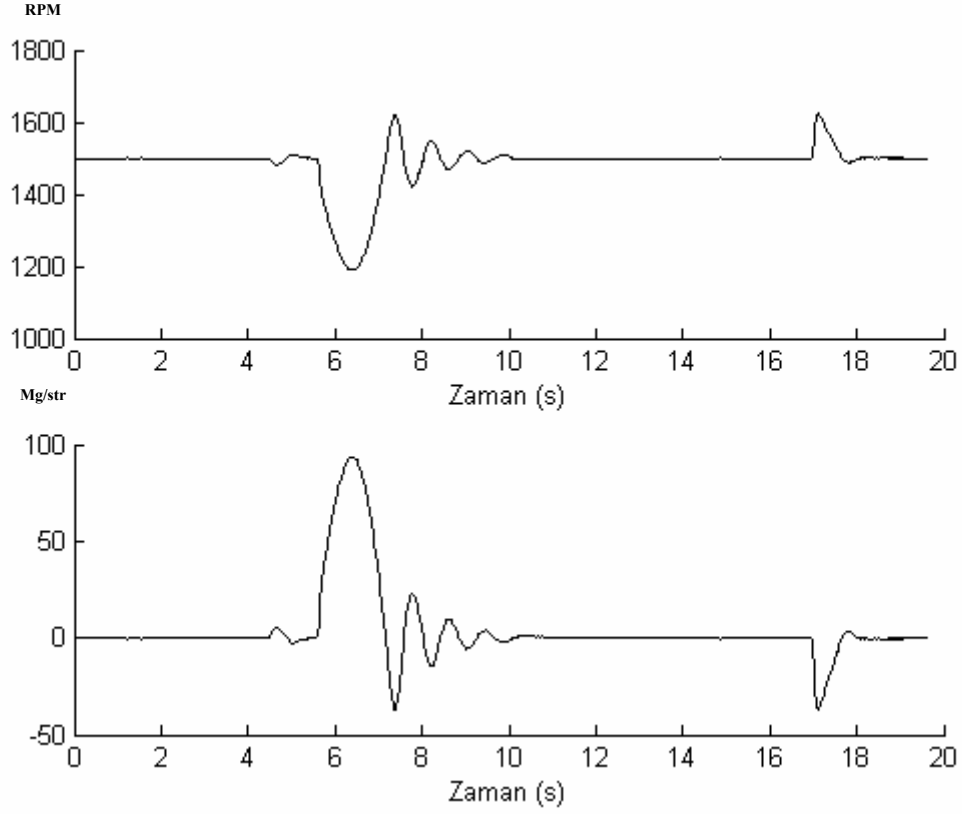
t_1 :4,309 sn

t_2 :5,039 sn@ N_{\min} :1214 rpm

t_3 :7,488 sn

$lico_q_p_w_{(\max)}$: 114,4 mg/str

6.1.1.T3



Şekil 6.3: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.3'de 100 kw ani yüklemeye ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN:0,3

(3.3) katsayısı

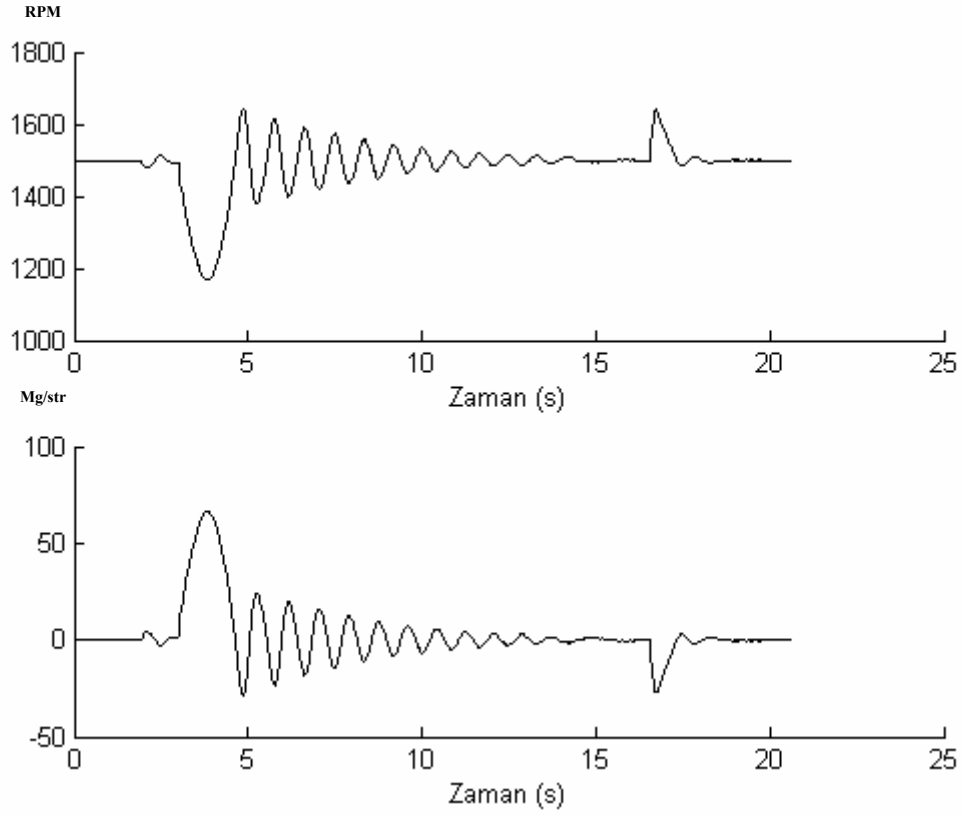
t_1 :5,60 sn

t_2 :6,37 sn@ N_{\min} :1188 rpm

t_3 :10,87 sn

$lico_q_p_w_{(max)}$: 93,6 mg/str

6.1.1.T4



Şekil 6.4: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.4'de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN:0,2

(3.3) katsayısı

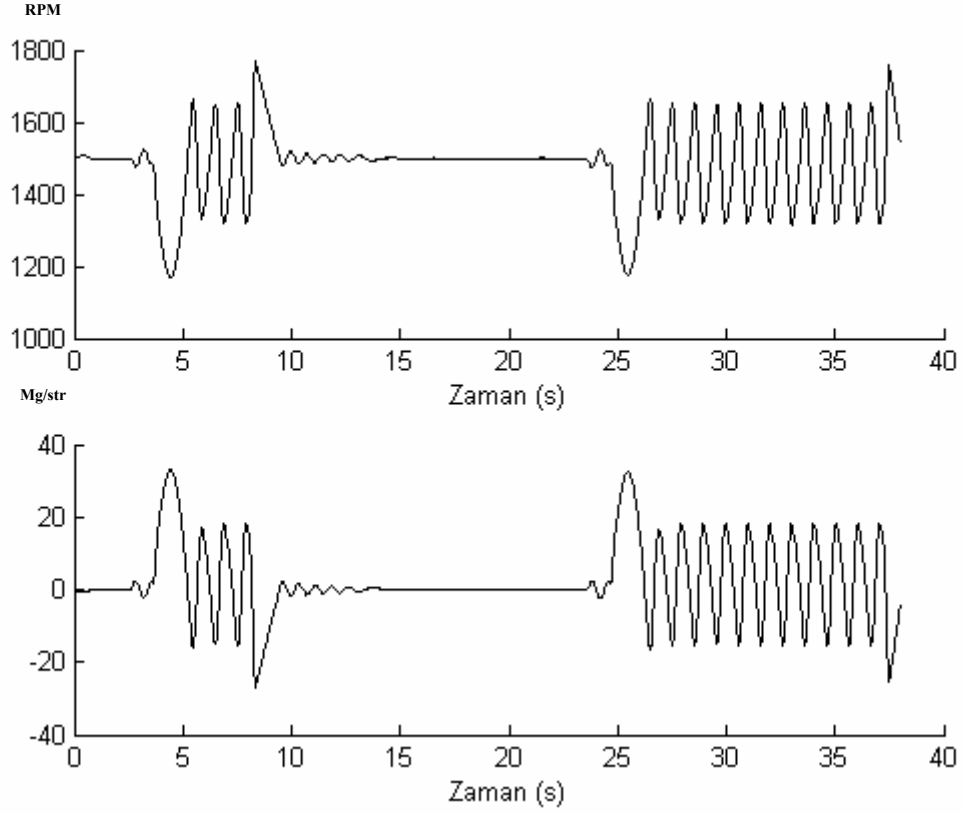
t_1 :1,95 sn

t_2 :3,80 sn@ N_{\min} :1165 rpm

t_3 :15,40 sn

$lico_q_p_w_{(\max)}$: 66,40 mg/str

6.1.1.T5



Şekil 6.5: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.5' de 100 kw ani yüklemeye karşılık olarak motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN:0,1

(3.3) katsayısı

t_1 :23,637 sn

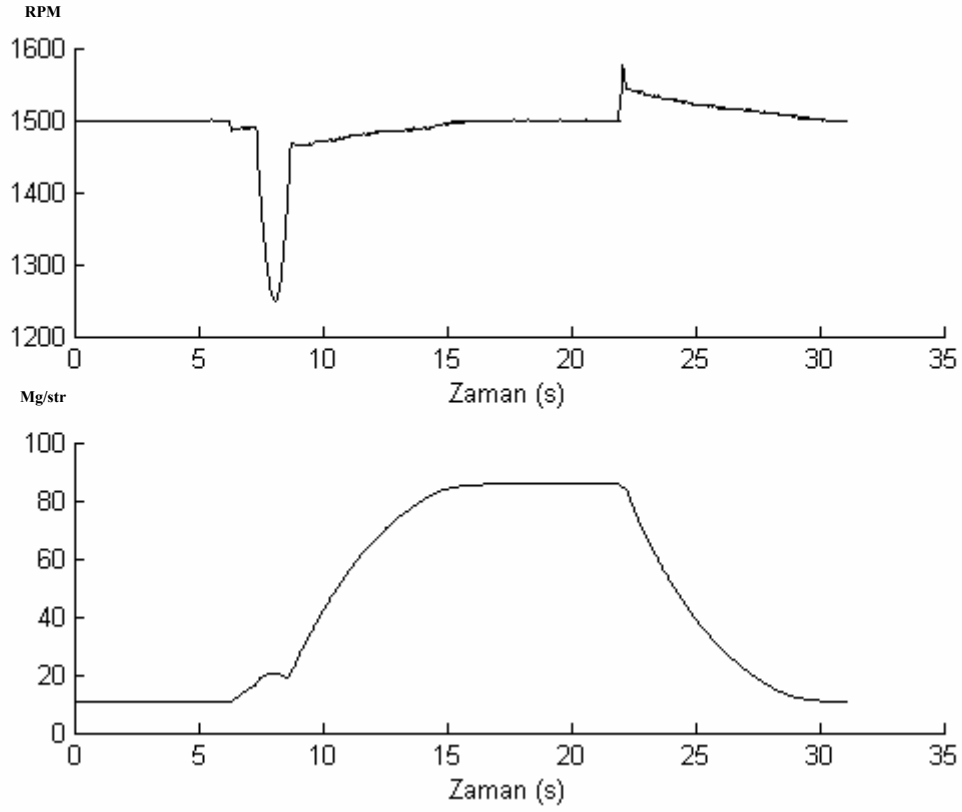
t_2 :25,478 sn@ N_{min} :1176 rpm

t_3 :∞ sn

$lico_q_p_w_{(max)}$: 32,6 mg/str

6.1.2 I Test

6.1.2.T1



Şekil 6.6: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.6'da 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN:0,5

(3.7) katsayısı

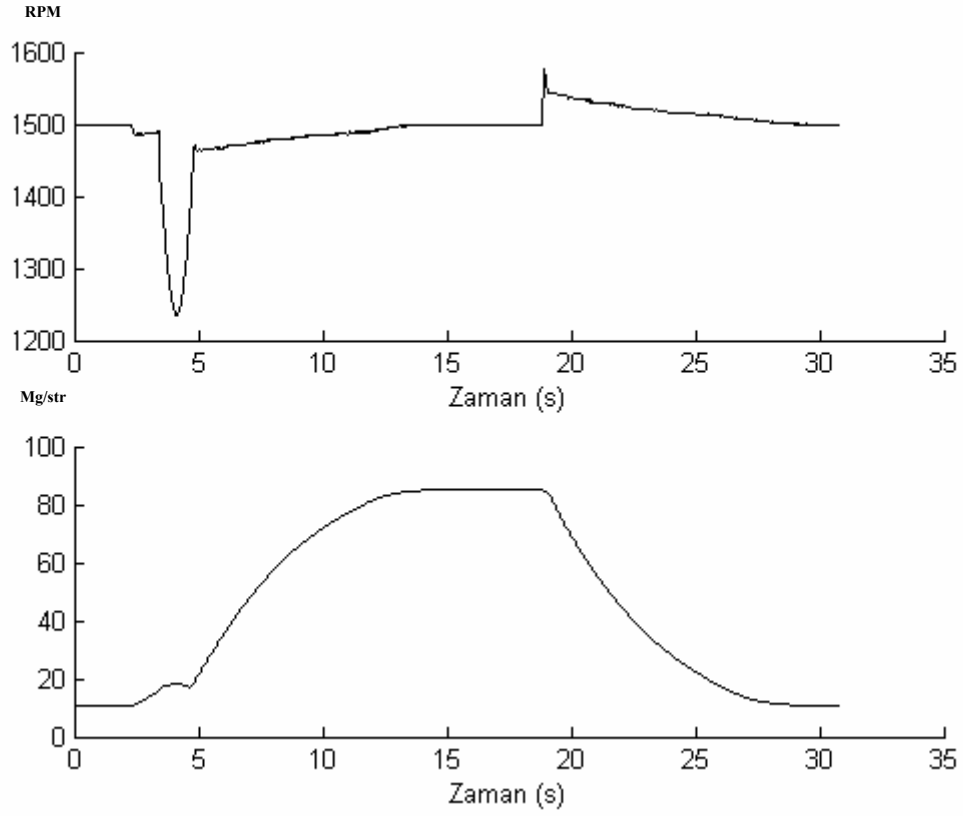
t_1 :6,26 sn

t_2 :8,10 sn@ N_{\min} :1248 rpm

t_3 :15,80 sn

$lico_q_i_w_{(\max)}$: 85 mg/str

6.1.2.T2



Şekil 6.7: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.7' de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN:0,4

(3.7) katsayısı

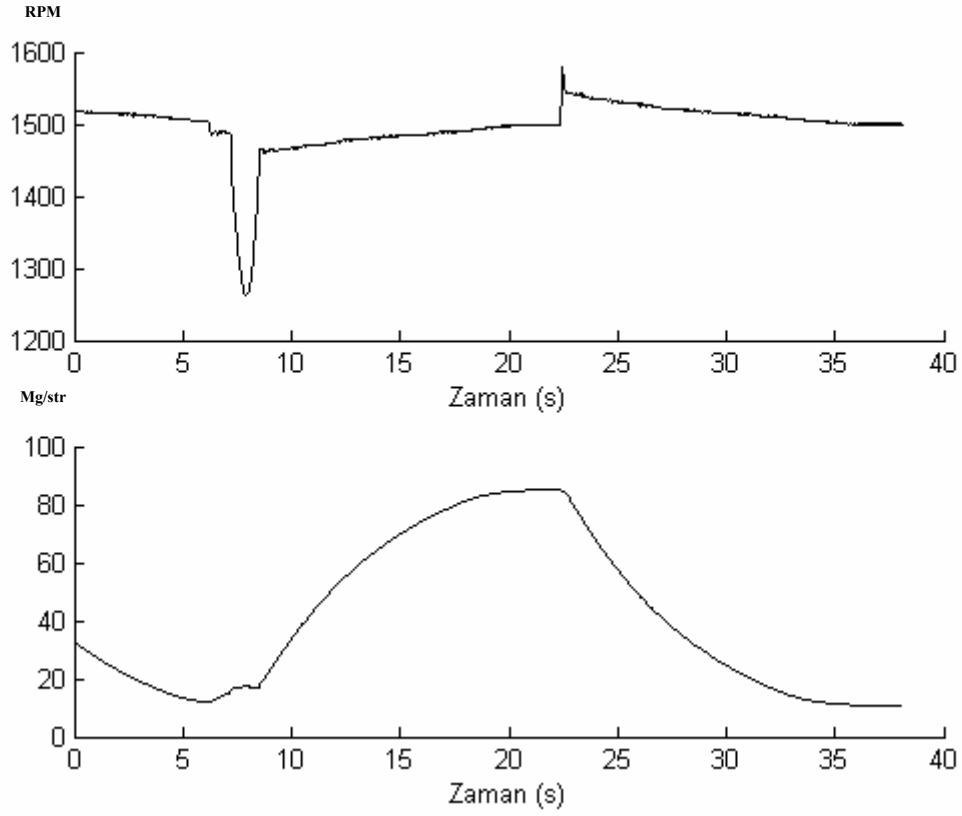
t_1 :2,33 sn

t_2 :4,11 sn@ N_{\min} :1236 rpm

t_3 :13,74 sn

$lico_q_i_w_{(\max)}$: 84,7 mg/str

6.1.2.T3



Şekil 6.8: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.8' de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN:0,3

(3.7) katsayısı

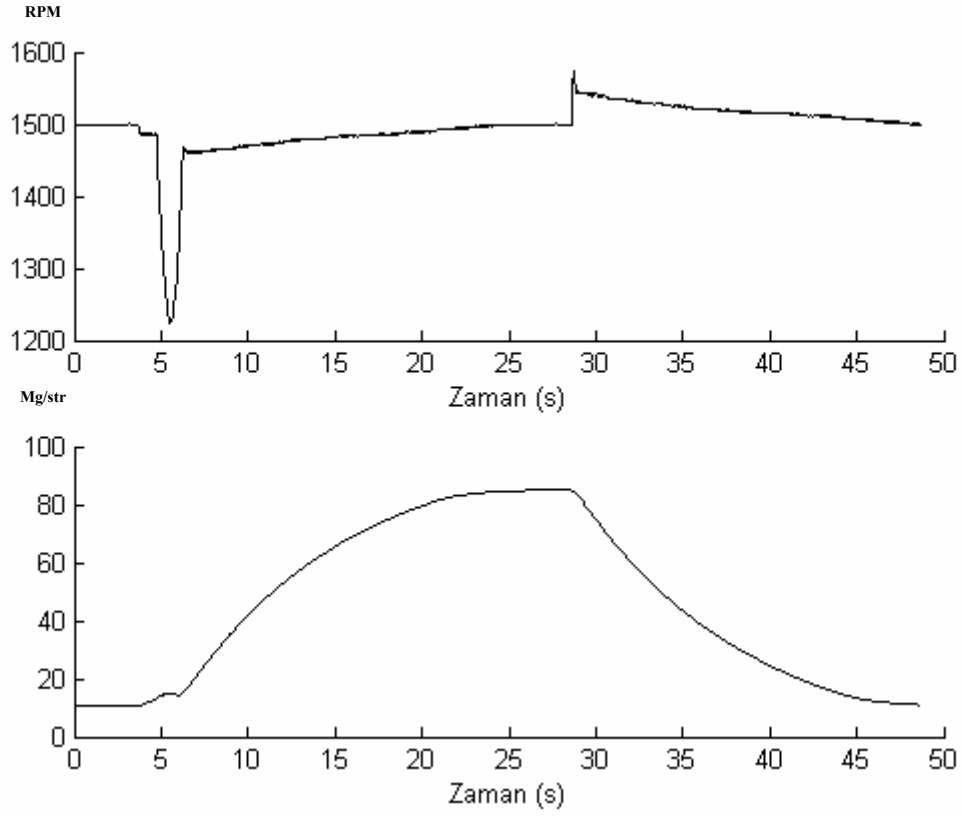
t_1 :6,21 sn

t_2 :7,91 sn@ N_{\min} :1262 rpm

t_3 :20,55 sn

$lico_q_i_w_{(\max)}$: 84,7 mg/str

6.1.2.T4



Şekil 6.9: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.9'da 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN:0,2

(3.7) katsayısı

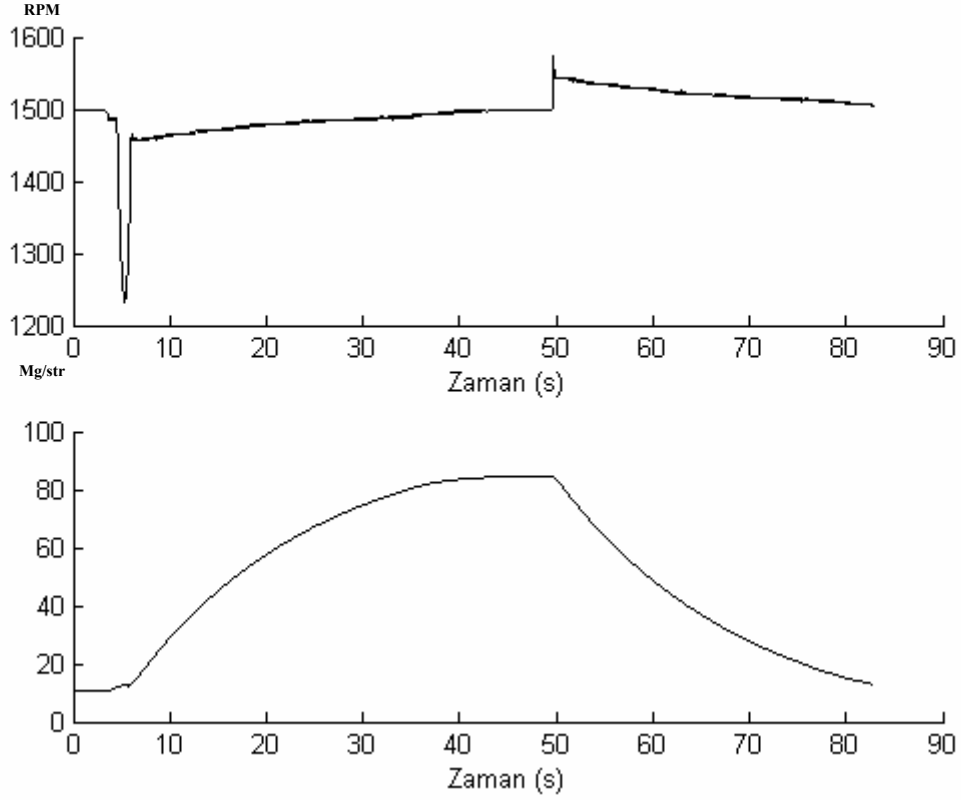
t_1 :3,73 sn

t_2 :5,53 sn@ N_{\min} :1224 rpm

t_3 :25,86 sn

$lico_q_i_w_{(\max)}$: 84,8 mg/str

6.1.2.T5



Şekil 6.10: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.10'da 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN:0,1

(3.7) katsayısı

t_1 :3,49 sn

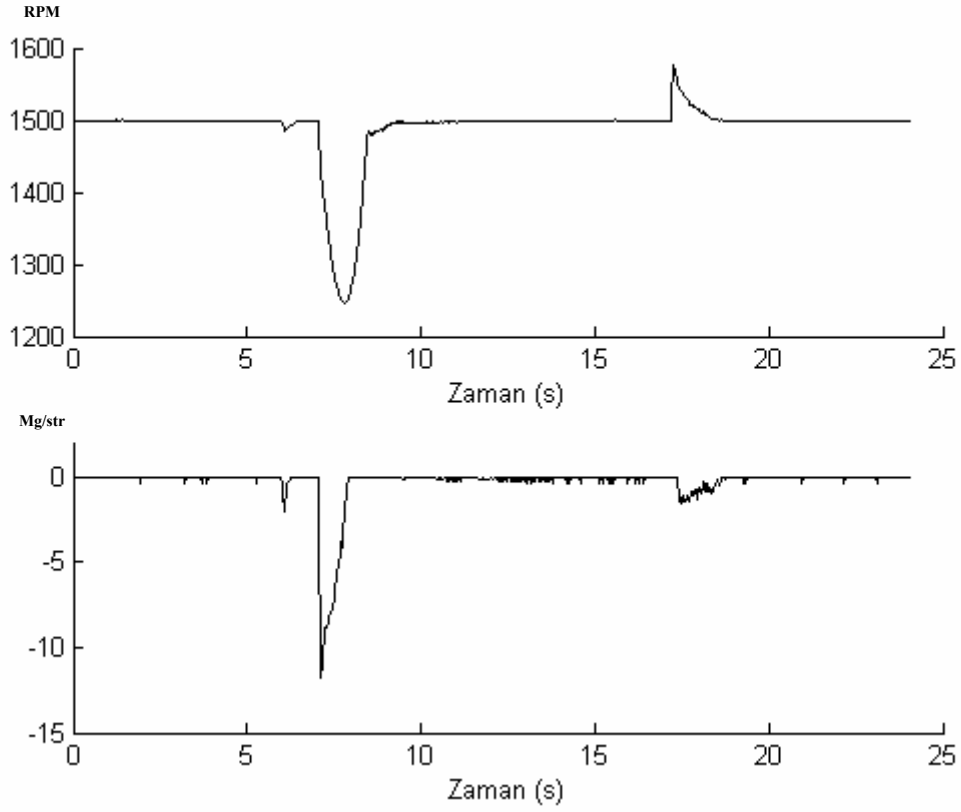
t_2 :5,34 sn@ N_{\min} :1234 rpm

t_3 :43,9 sn

$lico_q_i_w_{(\max)}$: 84,4 mg/str

6.1.3 D Test

6.1.3.T1



Şekil 6.11: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.11’de 100 kw yüklemenin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW:**0,2**

(3.10) katsayısı

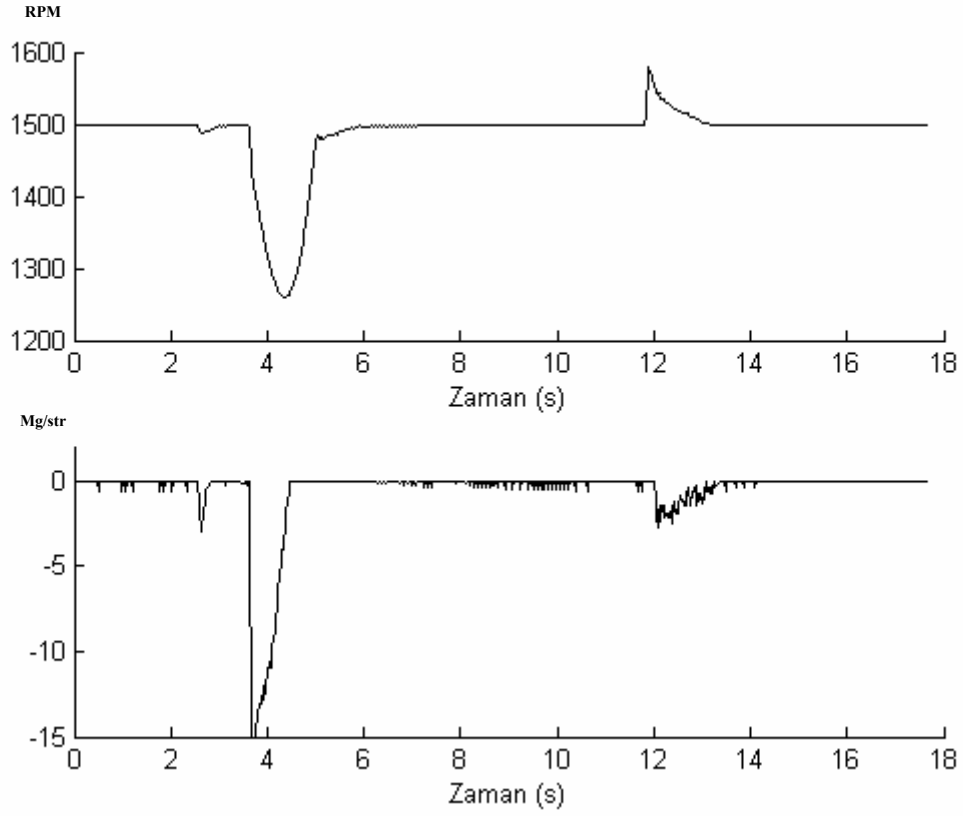
t_1 :17,37 sn

t_2 :18,87 sn

N_{max} :1576 rpm

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: -1,5 mg/str

6.1.3.T2



Şekil 6.12: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.12’de 100 kw yüklemenin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW:**0,3**

(3.10) katsayısı

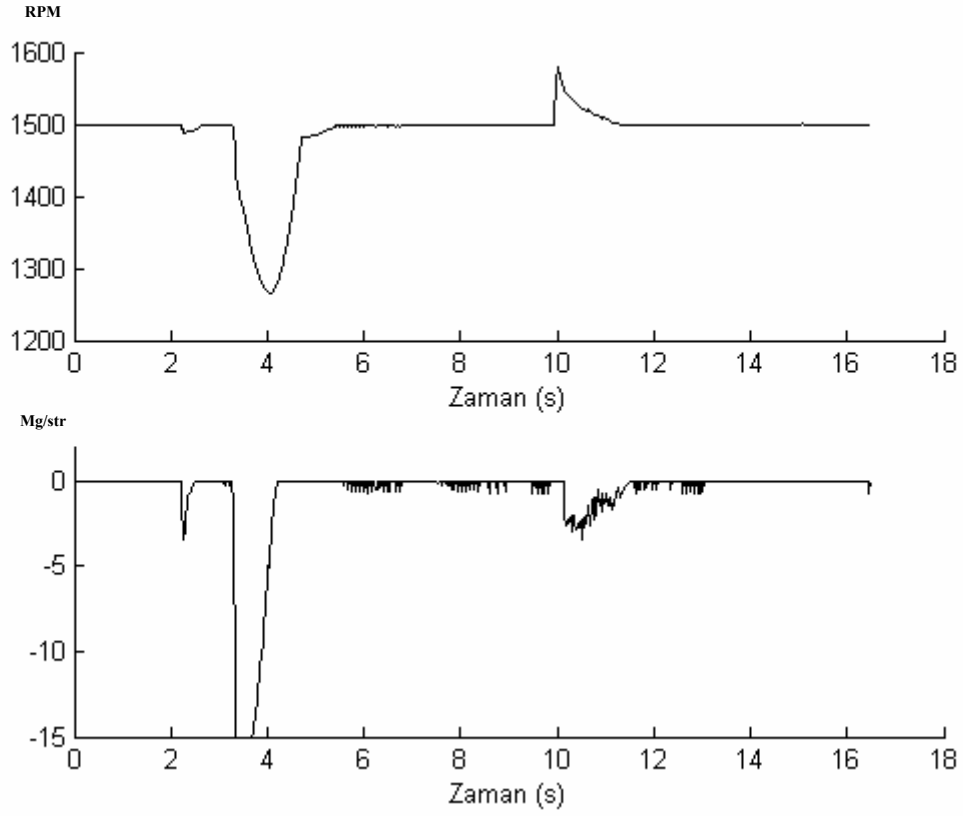
t_1 :12,01 sn

t_2 :14,12 sn

N_{max} :1580 rpm

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: -2,7 mg/str

6.1.3.T3



Şekil 6.13: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.13'de 100 kw yüklenmesinin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW:0,4

(3.10) katsayısı

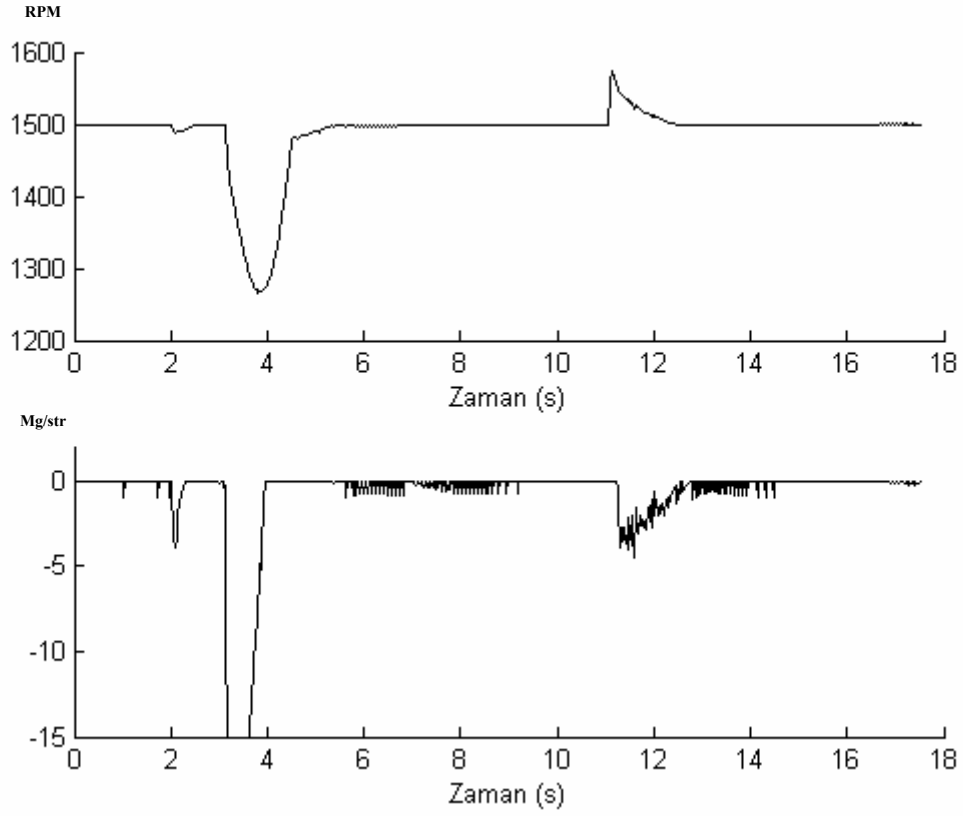
t_1 :10,12 sn

t_2 :13,03 sn

N_{max} :1578 rpm

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: -3,0 mg/str

6.1.3.T4



Şekil 6.14: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.14'de 100 kw yüklemenin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW:0,5

(3.10) katsayısı

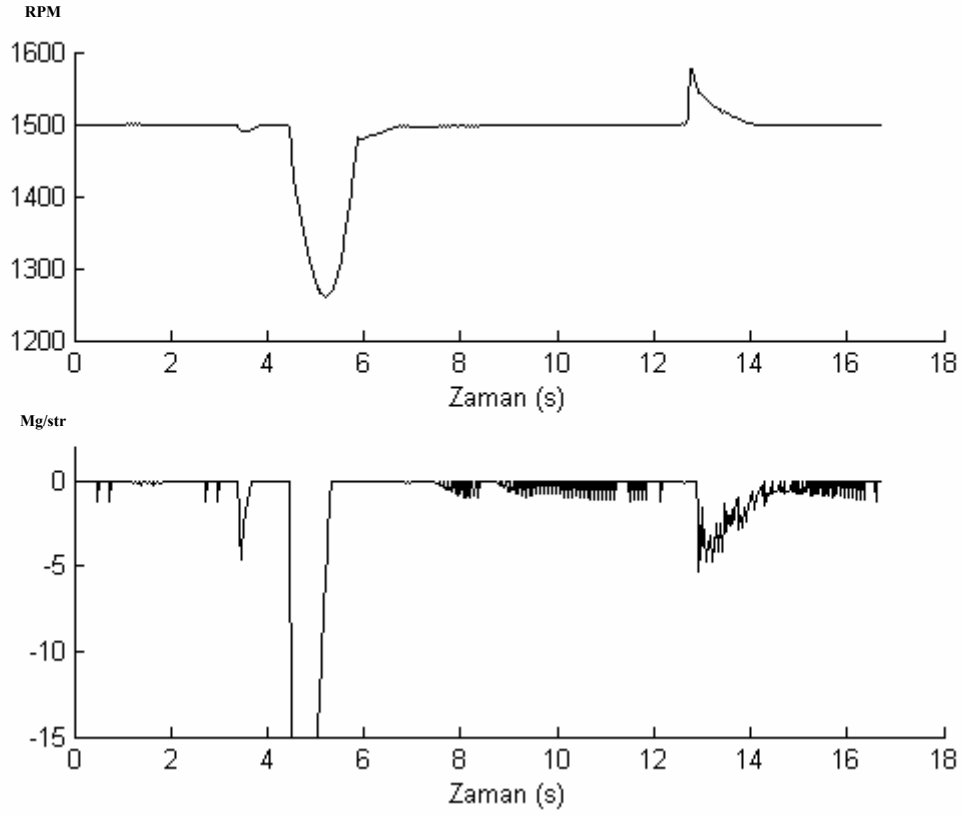
t_1 :11,2 sn

t_2 :14,5 sn

N_{max} :1576 rpm

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: -4,5 mg/str

6.1.3.T5



Şekil 6.15: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.15'de 100 kw yüklemenin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW: **0,6**

(3.10) katsayısı

t_1 : 12,88 sn

t_2 : 16,617 sn

N_{max} : 1576 rpm

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: -5,3 mg/str

6.2 Kamyon Motoru Ölçümleri

Kamyon motoru ölçümleri, motor sabit 1500 devirde çalışırken, INCA yardımı ile set değerini 1700 devire çıkararak, motorun bu devirde (1700) sabit çalışmasına kadar geçen aralıkta yapılacak.

Ölçüm noktaları ;

- Elektronik Kontrol Ünitesinden 1700 devire çıkması için gerekli gaz miktarının verilmeye başladığı zaman . (t_1)

- Motor devrinin 1700 devirde sabitlenmeye başladığı zaman.(t_2)

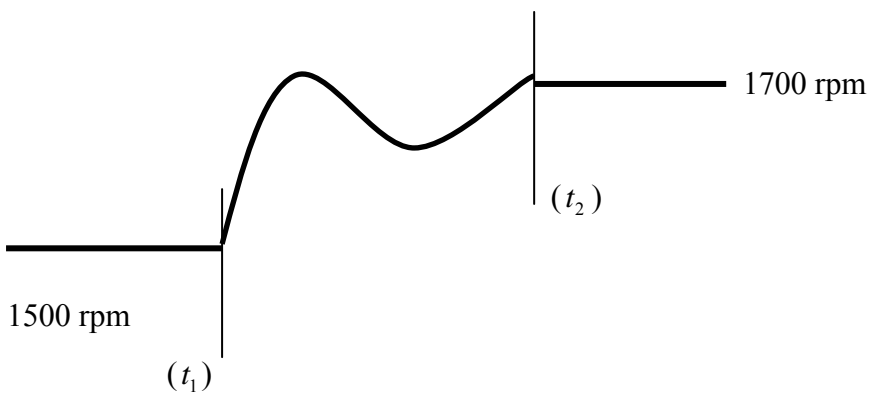
- Derivativ kontrolörde ,(t_1) devrin azalmaya, (t_2) devrin sabitlenmeye başladığı zamanı gösterir.

- Kontrolör P,I ve D kontrolörlerden sırasıyla hesaplanan yakıt miktarları izlenecek.

Lico_q_p_w ; Lico_q_i_w ; Lico_q_dt1_w

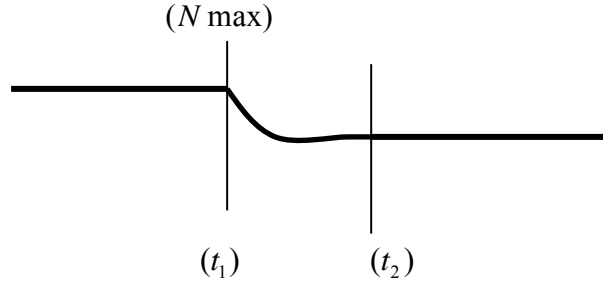
- P,I ve D parametrelerinden herhangibiri test edilirken diğer ikisi orjinal programdaki set değerlerinde olacaktır.

P&I Kontrolör



Şekil 6.c: Artırılan Motor Devrinin Zamana Bağlı Grafiği (PI Testinde)

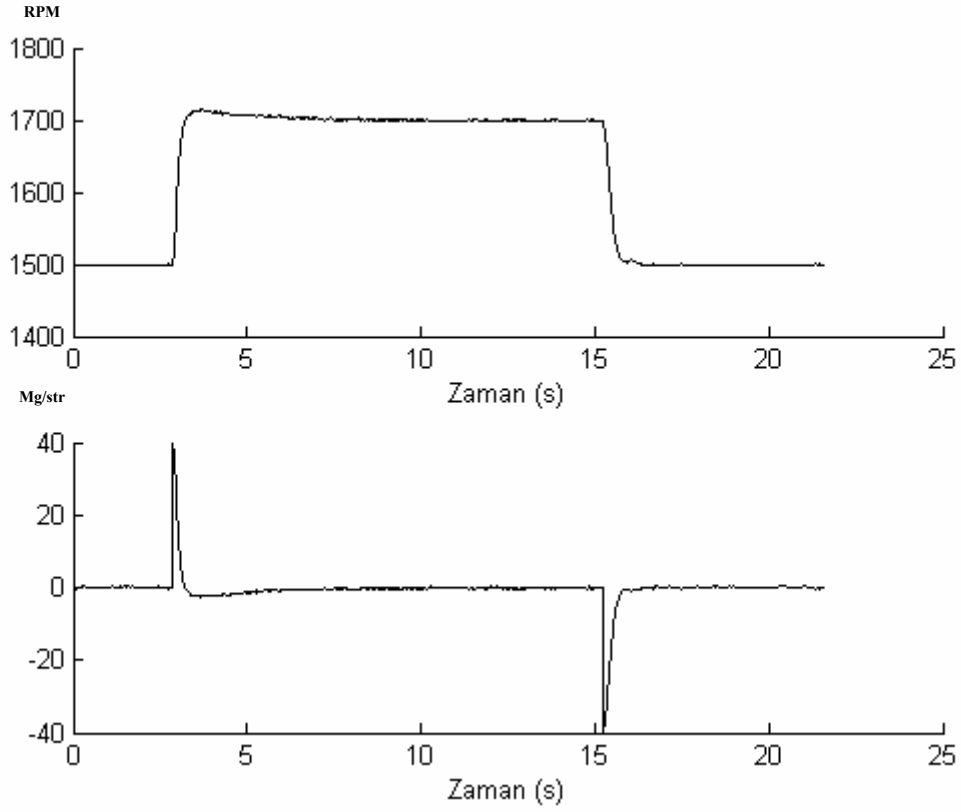
D Kontrolör



Şekil 6.d. Azaltılan Motor Devrinin Zamana Bağlı Grafiği (D Testinde)

6.2.1 P TEST

6.2.1 T1



Şekil 6.16: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.16'da 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN: **0,1**

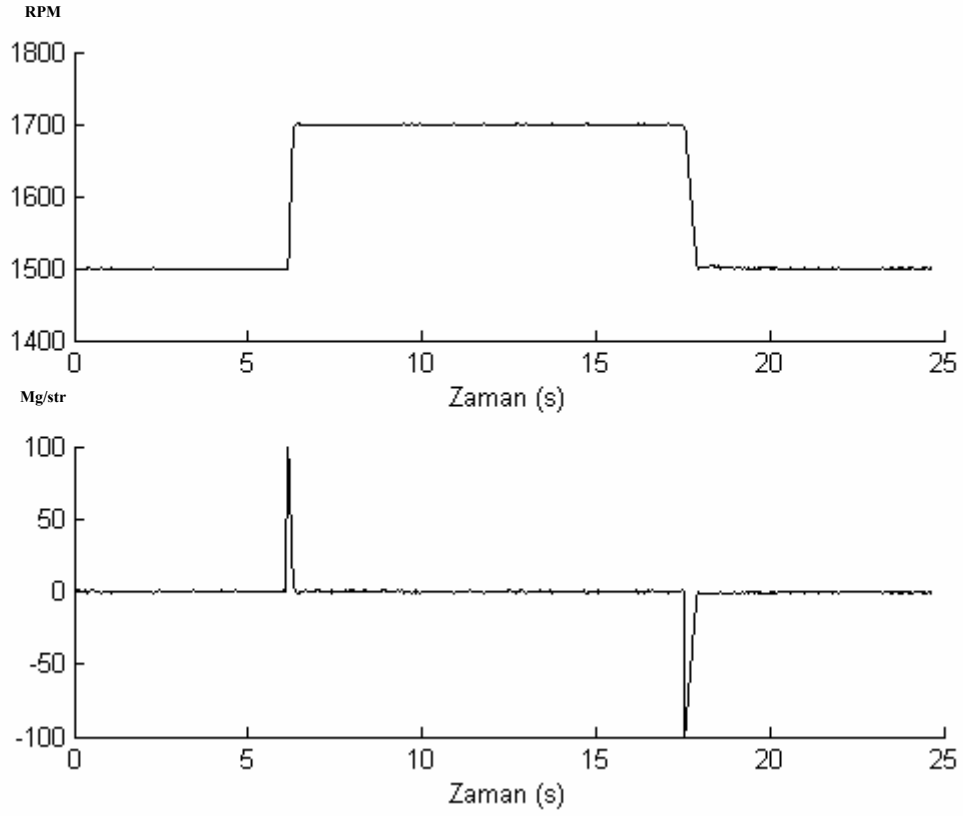
(3.3) katsayısı

t_1 :4,879 sn

t_2 :8,359 sn

$lico_q_p_w_{(max)}$: 20,2 mg/str

6.2.1 T2



Şekil 6.17: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.17 de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN: **0,2**

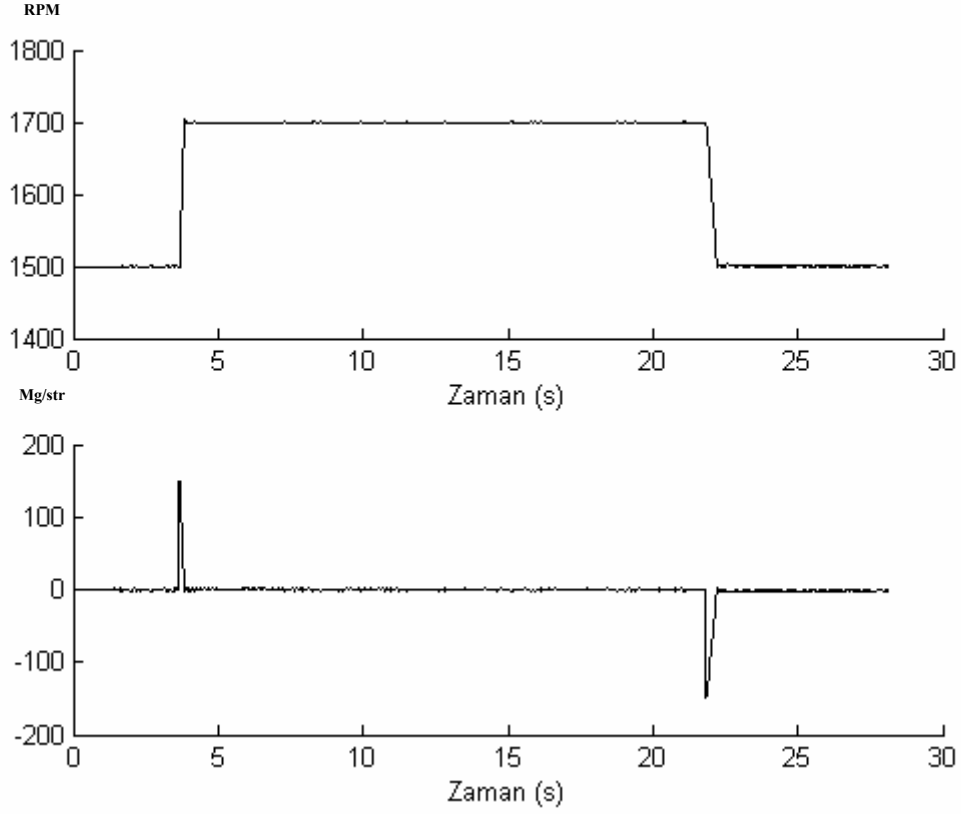
(3.3) katsayısı

t_1 : 2,839 sn

t_2 : 7,536 sn

$lico_q_p_w_{(max)}$: 40 mg/str

6.2.1 T3



Şekil 6.18: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.18'de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN: **0,5**

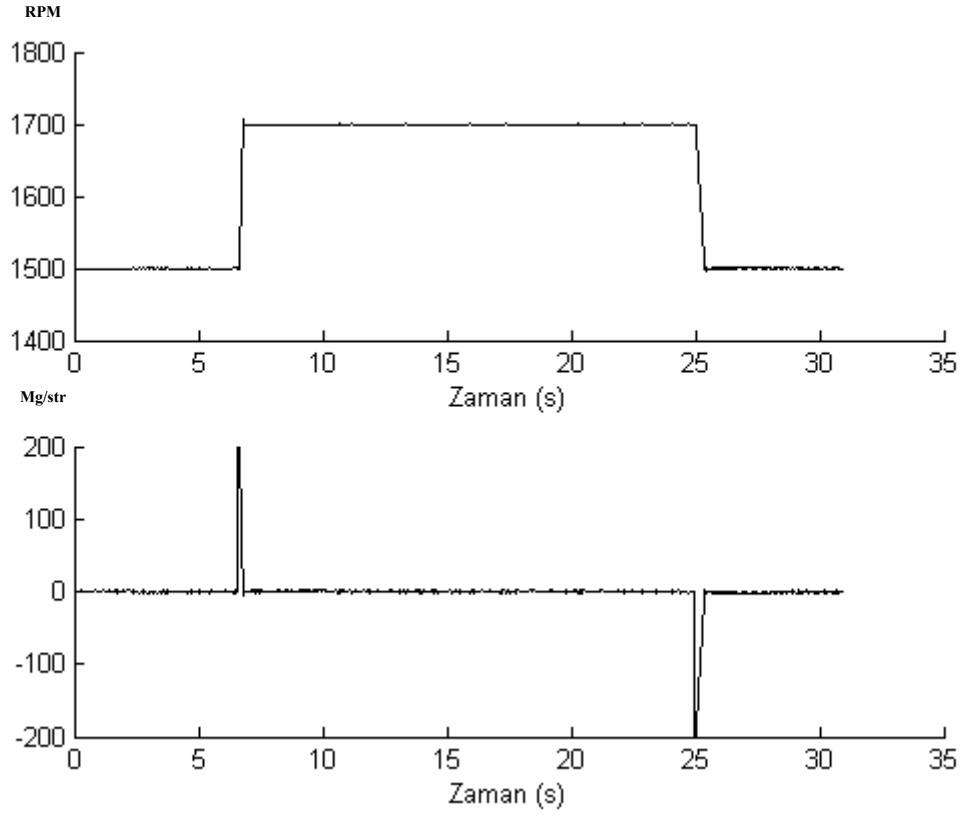
(3.3) katsayısı

t_1 : 6,089 sn

t_2 : 6,389 sn

$lico_q_p_w_{(max)}$: 100 mg/str

6.2.1 T4



Şekil 6.19: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.19'da 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN: **0,75**

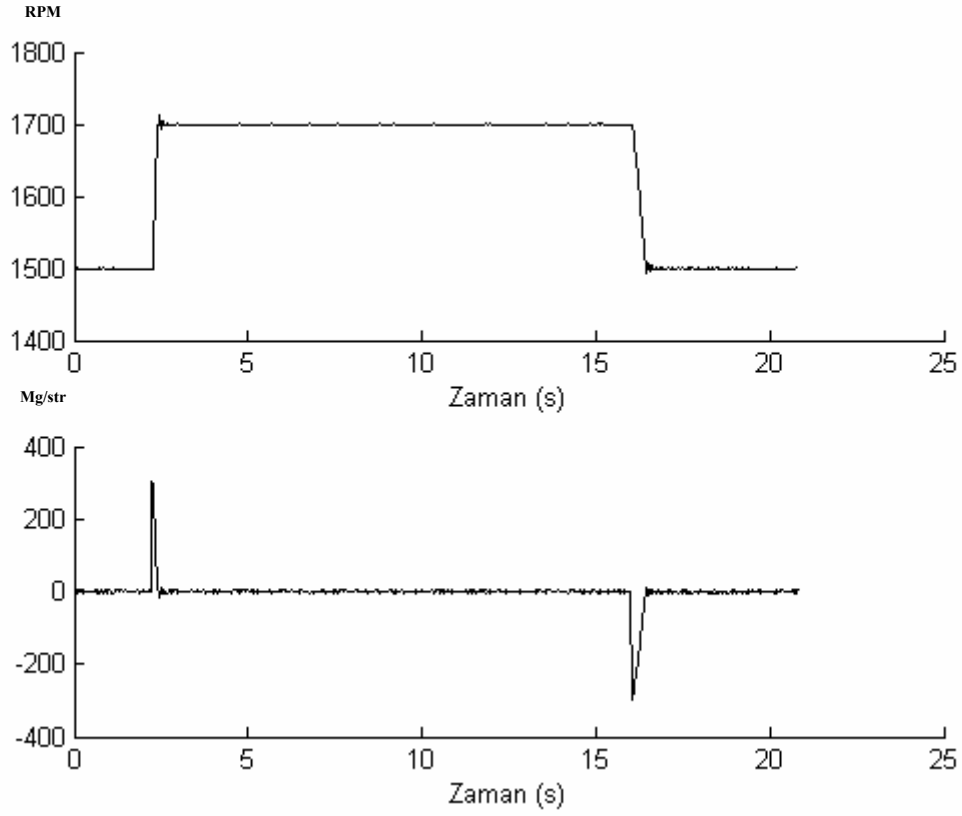
(3.3) katsayısı

t_1 : 3,649 sn

t_2 : 3,929 sn

$lico_q_p_w_{(max)}$: 150 mg/str

6.2.1 T5



Şekil 6.20: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.20'de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN: 1.0

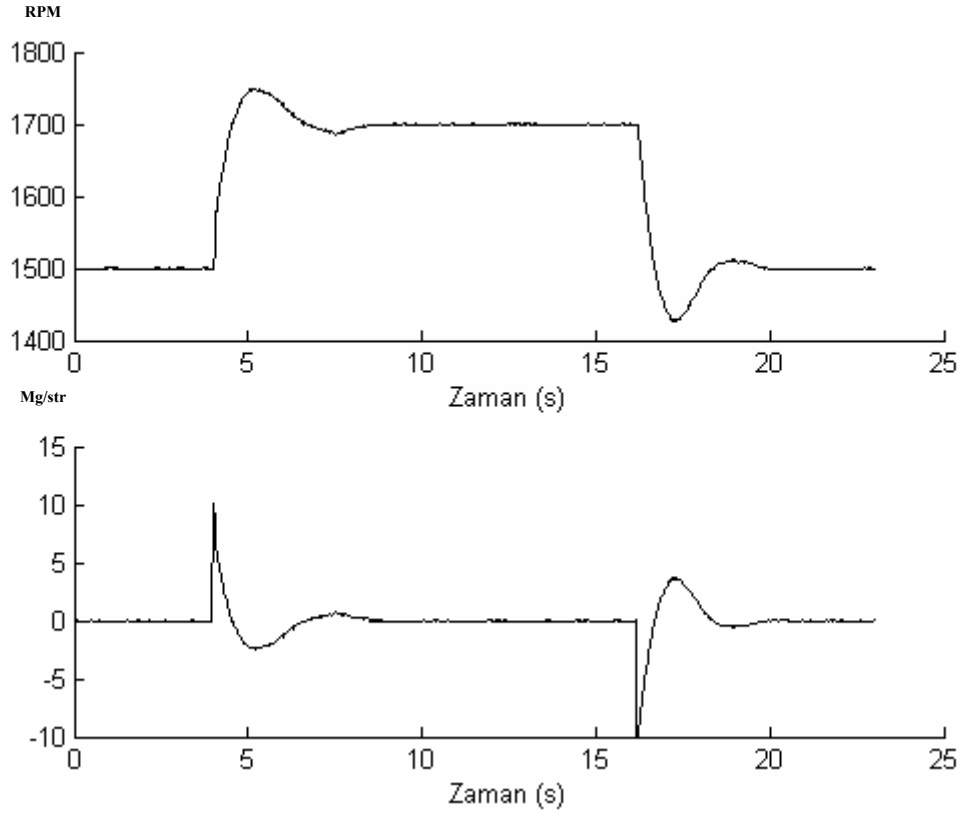
(3.3) katsayısı

t_1 : 6,576 sn

t_2 : 6,897 sn

$lico_q_p_w_{(max)}$: 200 mg/str

6.2.1 T6



Şekil 6.21: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.21'de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN: 1,5

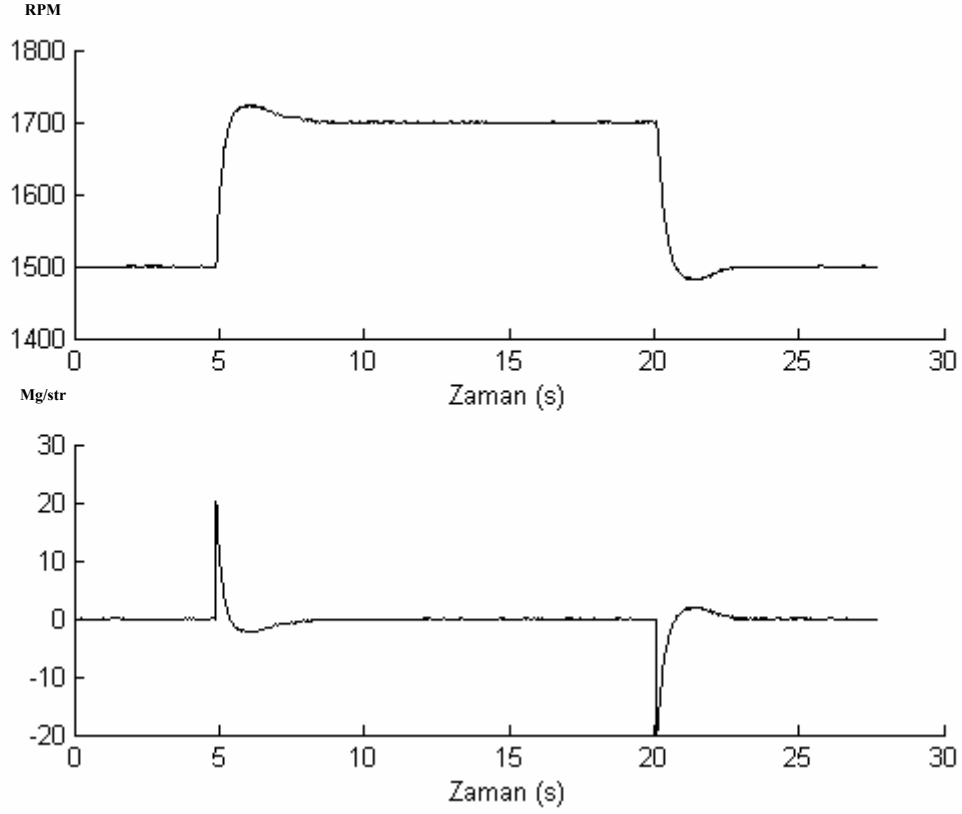
(3.3) katsayısı

t_1 : 2,19 sn

t_2 : 2,639 sn

$lico_q_p_w_{(max)}$: 300 mg/str

6.2.1 T7



Şekil 6.22: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.22'de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_PW_CSTR.CPWIN: **0,05**

(3.3) katsayısı

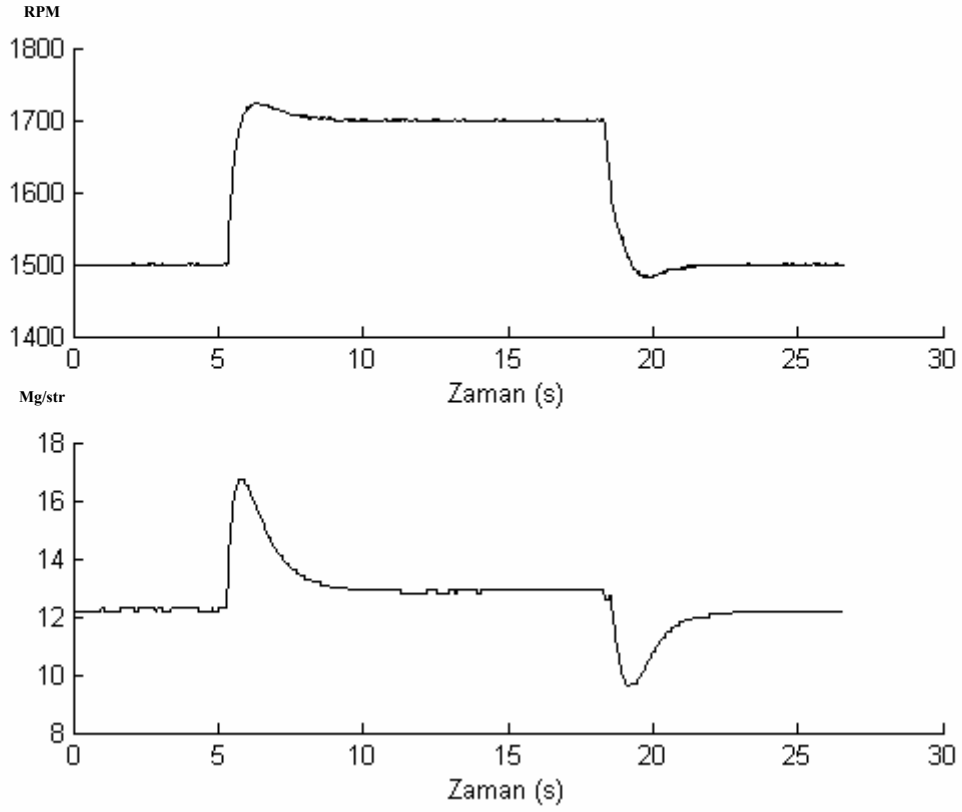
t_1 : 3,960 sn

t_2 : 8,519 sn

$lico_q_p_w_{(max)}$: 10 mg/str

6.2.2 I TEST

6.2.2 T1



Şekil 6.23: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.23' de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN: **0,1**

(3.7) katsayısı

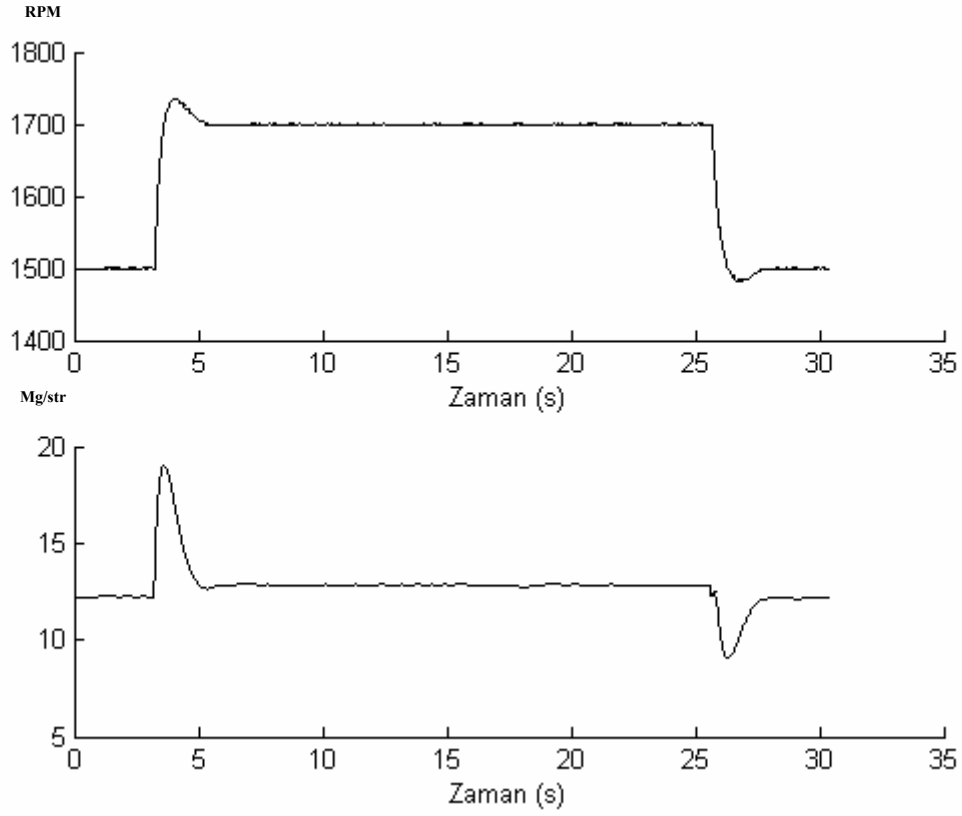
t_1 :5,289 sn

t_2 :9,048 sn

N_{max} @ $t_{N_{max}}$:1724 @ 6,29

$lico_q_i_w_{(max)}$: 16,7 mg/str

6.2.2 T2



Şekil 6.24: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.24' de 100 kw ani yüklenme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN: **0,2**

(3.7) katsayısı

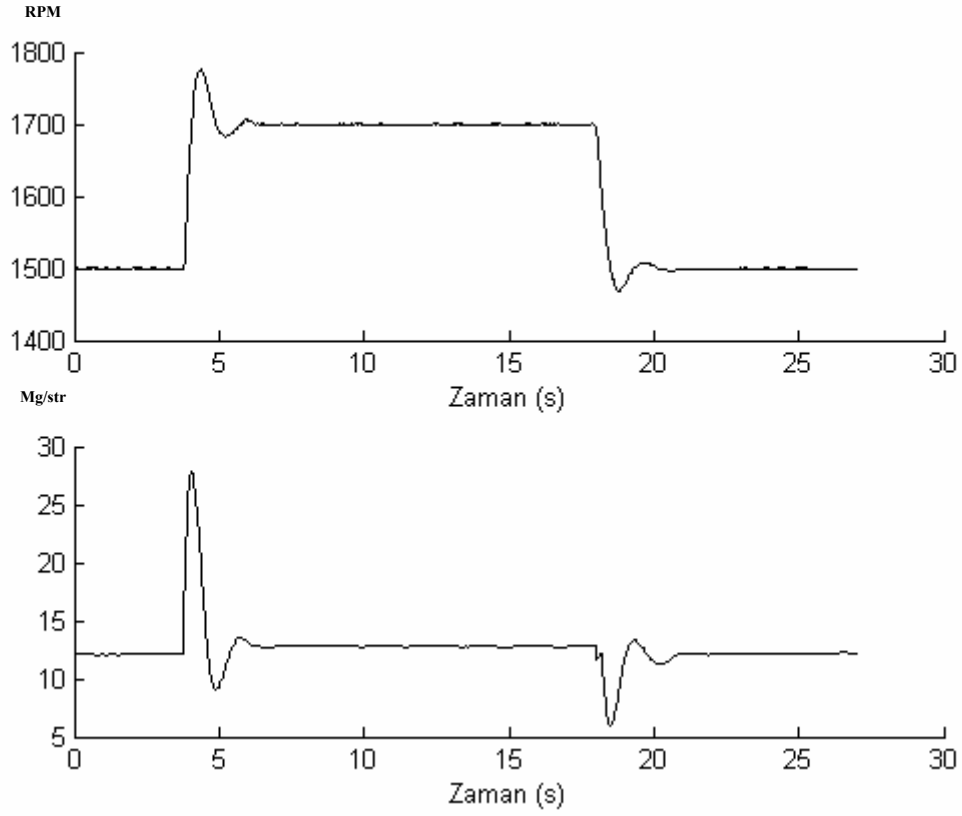
t_1 : 3,20 sn

t_2 : 5,31 sn

N_{\max} @ $t_{N_{\max}}$: 1736 @ 4,00

$lico_q_i_w_{(\max)}$: 19 mg/str

6.2.2 T3



Şekil 6.25: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.25'te 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN: **0,5**

(3.7) katsayısı

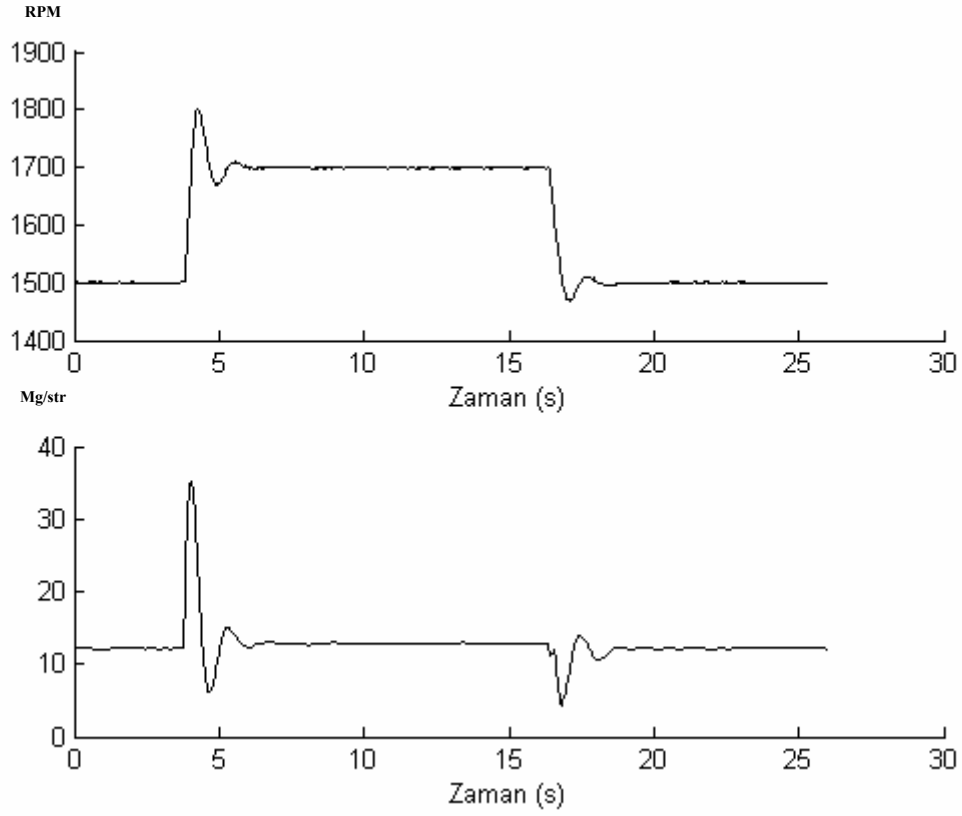
t_1 :3,759 sn

t_2 :6,272 sn

N_{max} @ $t_{N_{max}}$:1776 @ 4,378

$lico_q_i_w_{(max)}$: 27,8 mg/str

6.2.2 T4



Şekil 6.26: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.26'de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN: **0,75**

(3.7) katsayısı

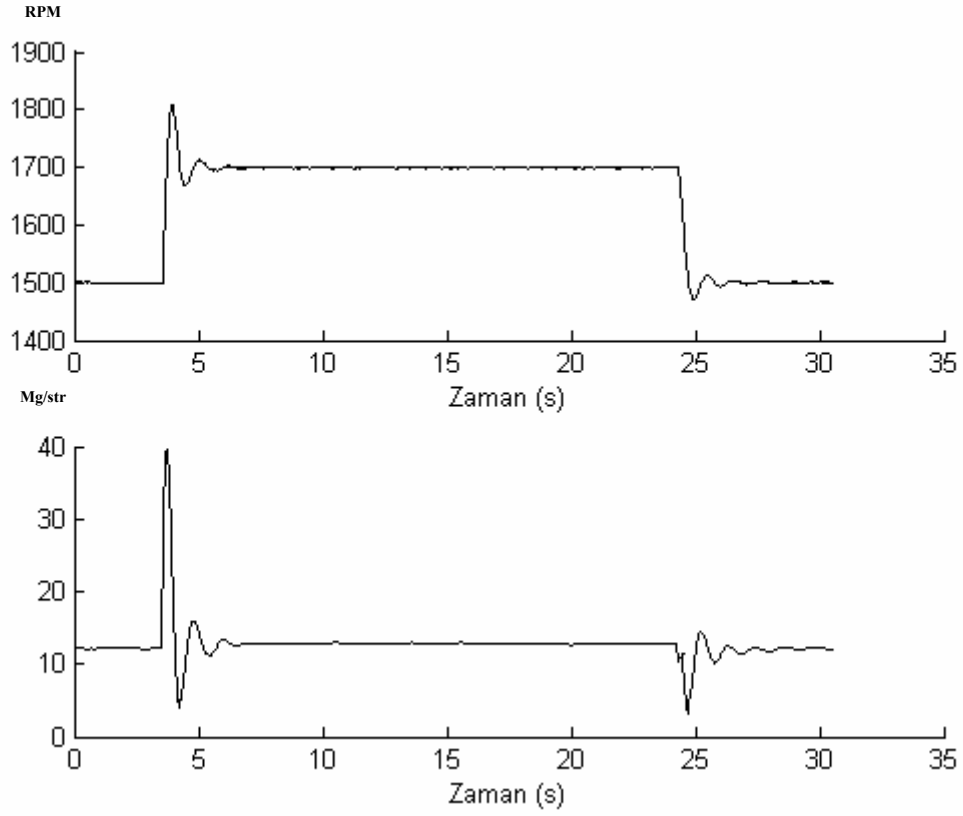
t_1 :3,771 sn

t_2 :5,948 sn

N_{max} @ $t_{N_{max}}$:1802 @ 4,272

$lico_q_i_w_{(max)}$: 35,3 mg/str

6.2.2 T5



Şekil 6.27: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.27'da 100 kw ani yüklemeye ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN: 1.0

(3.7) katsayısı

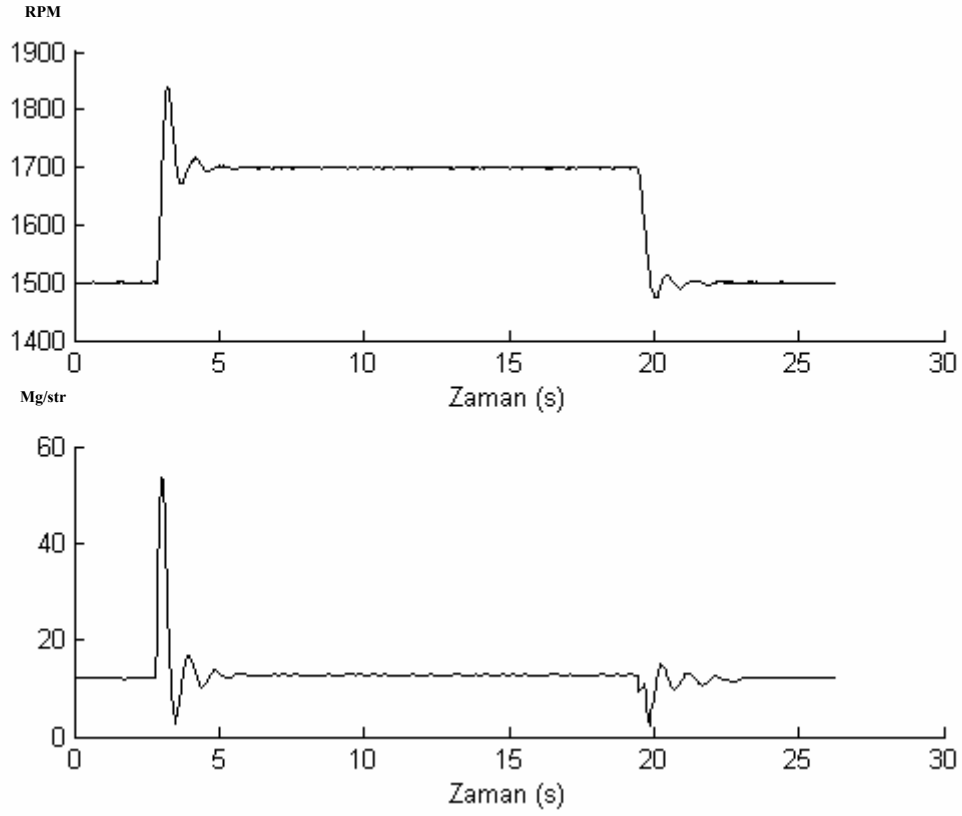
t_1 :3,495 sn

t_2 :6,413 sn

N_{max} @ $t_{N_{max}}$:1808 @ 3,898

$lico_q_i_w_{(max)}$: 39,6 mg/str

6.2.2 T6



Şekil 6.28: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.28'de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN: 1.5

(3.7) katsayısı

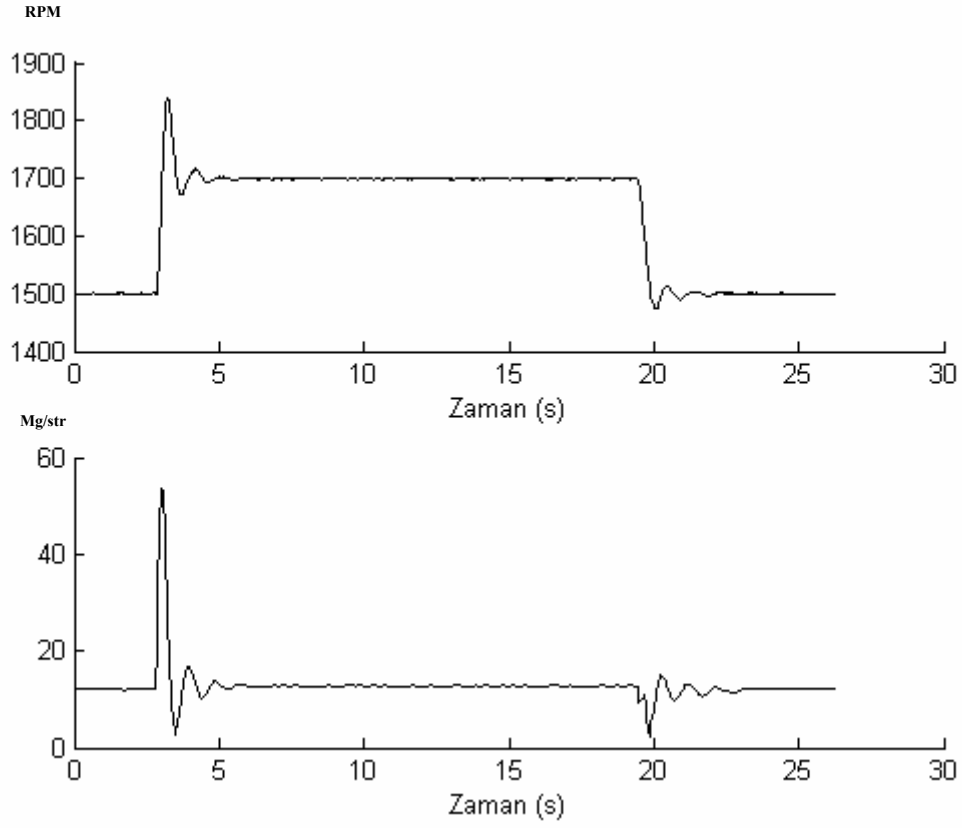
t_1 : 2,82 sn

t_2 : 5,25 sn

N_{max} @ $t_{N_{max}}$: 1840 @ 3,22

$lico_q_i_w_{(max)}$: 53,5 mg/str

6.2.2 T7



Şekil 6.29: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.29'de 100 kw ani yükleme ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_IW_CSTR.CPWIN: **0,05**

(3.7) katsayısı

t_1 : 5,327 sn

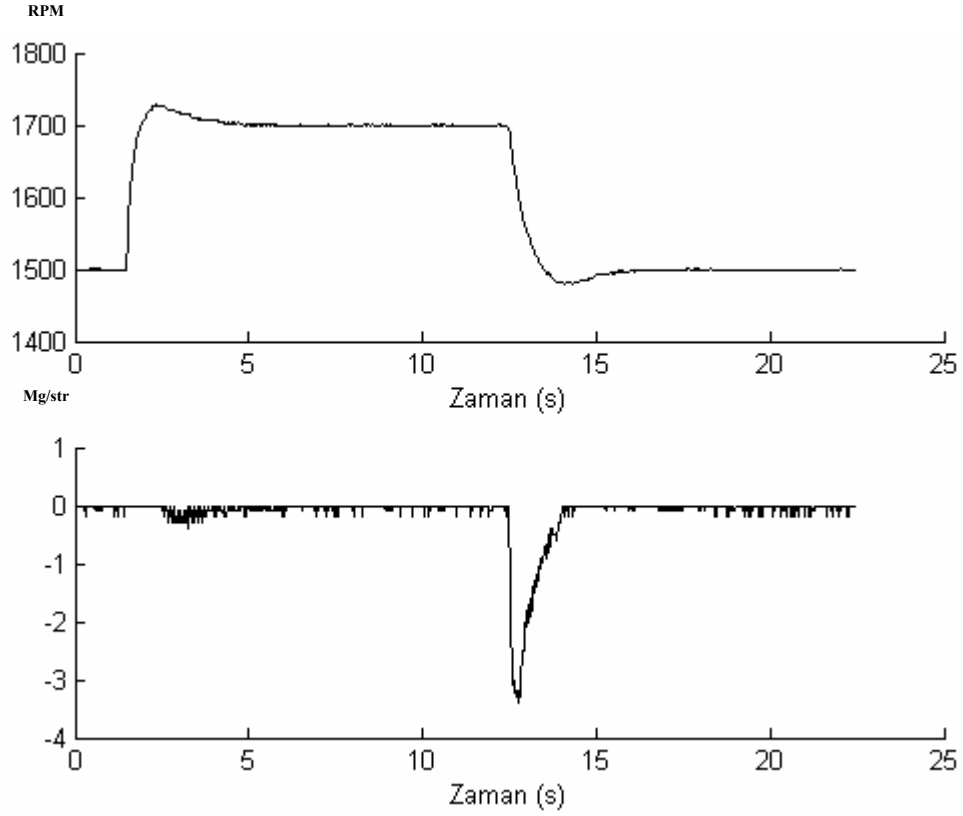
t_2 : 10,875 sn

N_{\max} @ $t_{N_{\max}}$: 1712 @ 6,855

$lico_q_i_w_{(\max)}$: 14,3 mg/str

6.2.3 D TEST

6.2.3 T1



Şekil 6.30: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.30'da 100 kw yüklemenin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW: 0

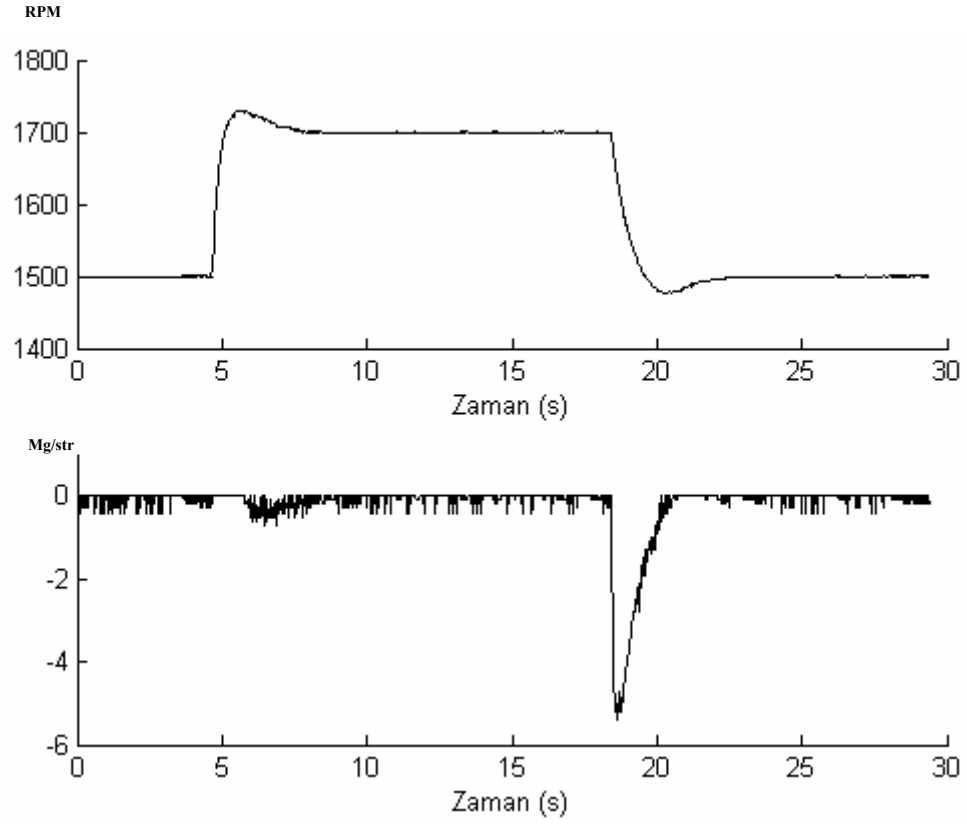
(3.10) katsayısı

t_1 : 15,483 sn

t_2 : 18,738 sn

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: 0 mg/str

6.2.3 T2



Şekil 6.31: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.31'de 100 kw yüklemenin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW: **0,1**

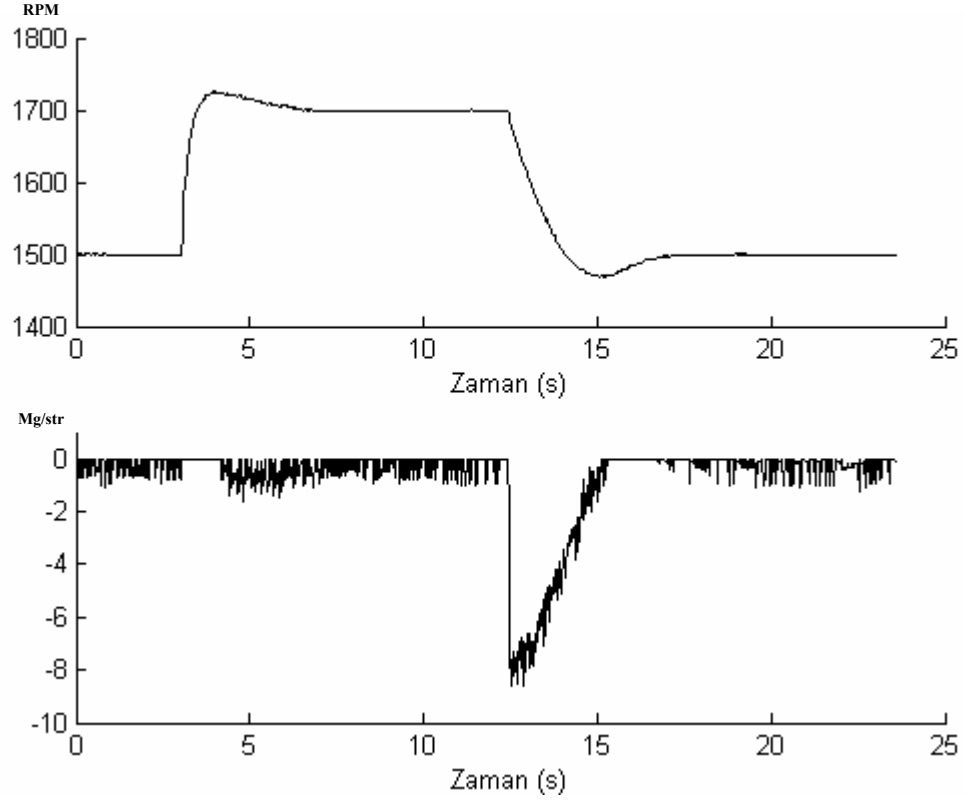
(3.10) katsayısı

t_1 : 12,493 sn

t_2 : 16,70 sn

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: -3,4 mg/str

6.2.3 T3



Şekil 6.32: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.32’de 100 kw yüklemenin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW: **0,2**

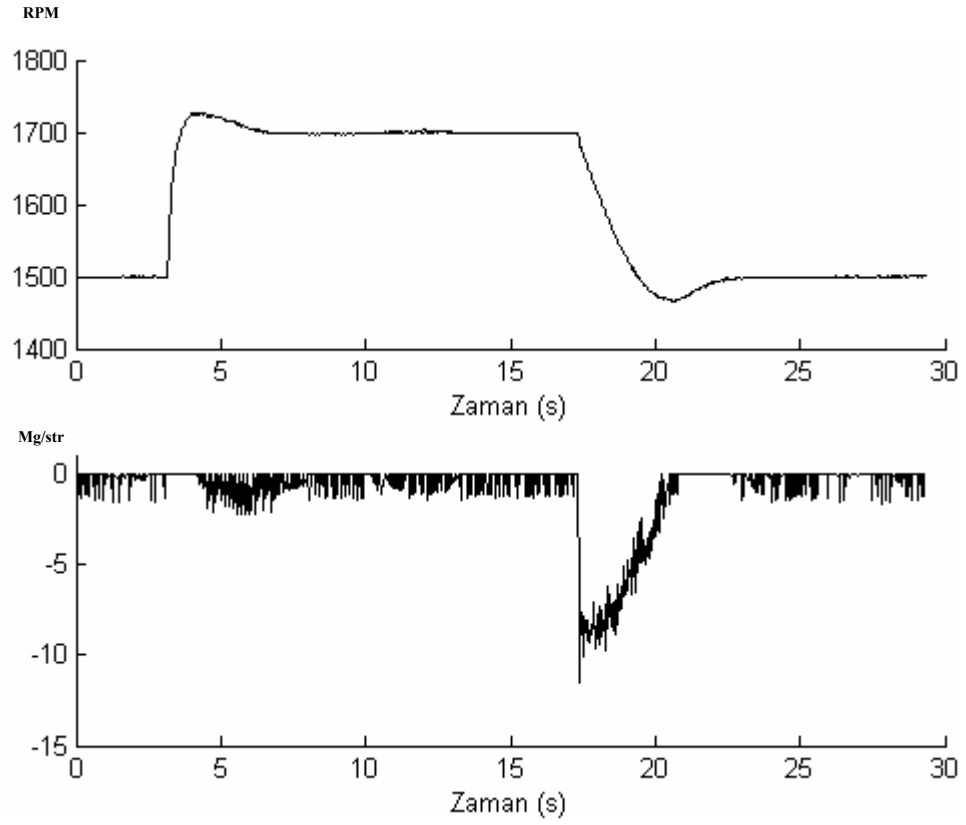
(3.10) katsayısı

t_1 : 18,450 sn

t_2 : 22,811 sn

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: -5,4 mg/str

6.2.3 T4



Şekil 6.33: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.33’de 100 kw yüklemenin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW: **0,5**

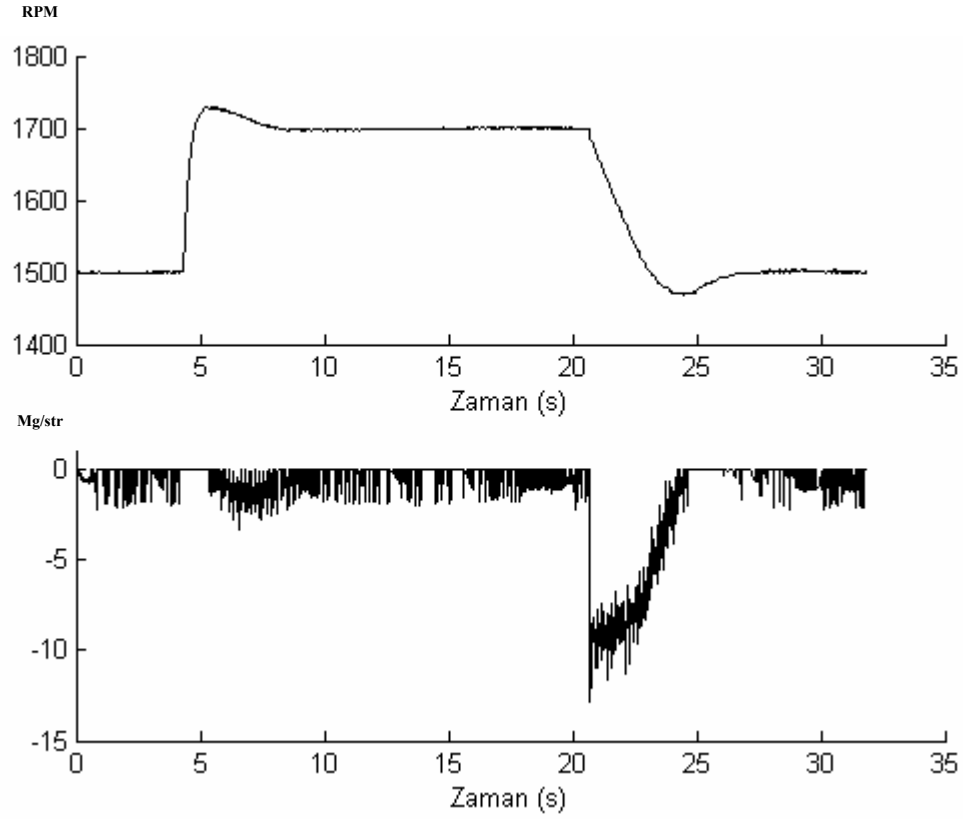
(3.10) katsayısı

t_1 :12,462 sn

t_2 :17,5 sn

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: -8,6 mg/str

6.2.3 T5



Şekil 6.34: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.34’de 100 kw yüklemenin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW: **0,8**

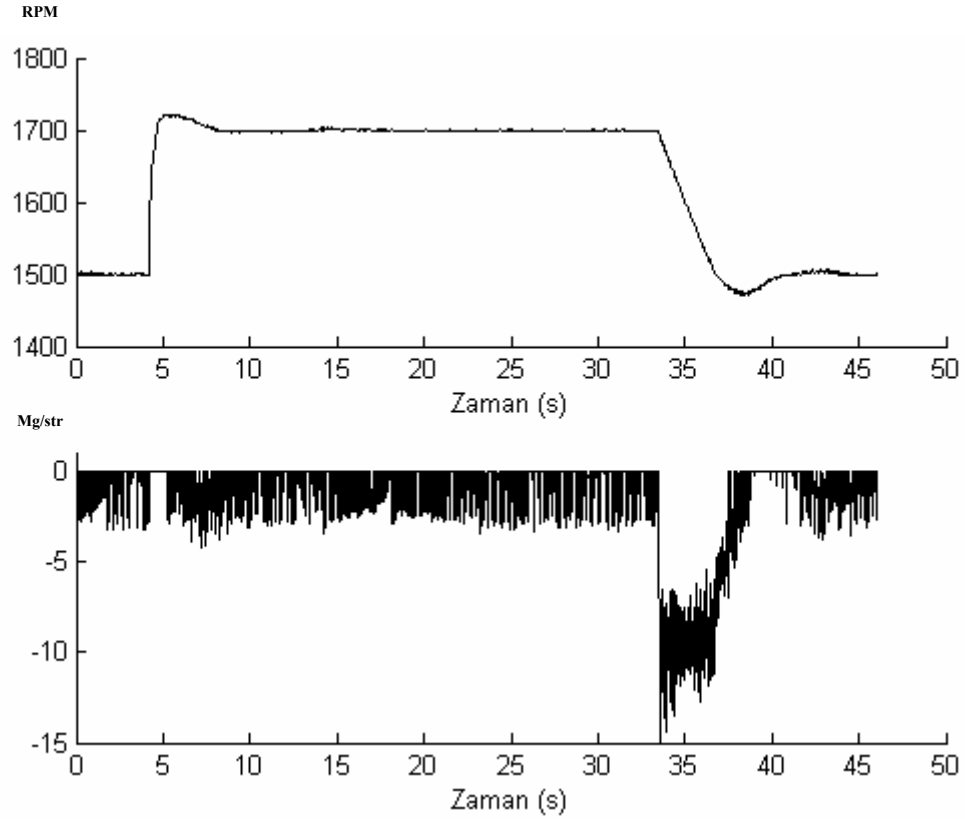
(3.10) katsayısı

t_1 :17,351 sn

t_2 :23,521 sn

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: -11,5 mg/str

6.2.3 T6



Şekil 6.35: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.35’de 100 kw yüklemenin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW: **1.0**

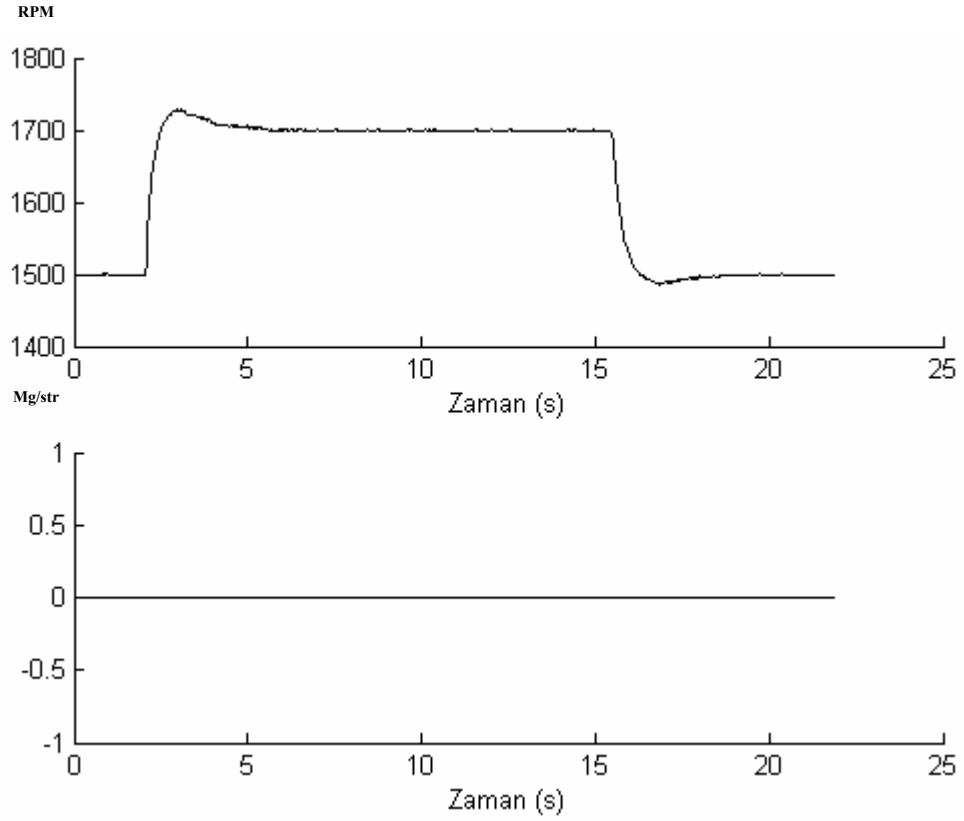
(3.10) katsayısı

t_1 :20,683 sn

t_2 :27,453 sn

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: -12,8 mg/str

6.2.3 T7



Şekil 6.36: Zamana bağlı yakıt ve devir grafikleri

Şekil 6.36'de 100 kw yüklemenin aniden kaldırılması ile motor devri ve enjekte edilen yakıt miktarı izlenmektedir.

LICO_NDON_CW: **1.5**

(3.10) katsayısı

t_1 : 33,540 sn

t_2 : 40,861 sn

$lico_q_dt1_w_{(max)}$: -13,6 mg/str

7 ÖLÇÜM DEĞERLENDİRMELERİ

7.1 Jenset Ölçüm Değerlendirmeleri

7.1.1 P Test

1500 devirde çalışan motora 100kw yük bindirildiğinde motor devir grafiği Şekil 6.a deki gibi olur. Bu grafik genel gösterimdir. Grafik üzerinde belirtilen noktalar değerlendirilecektir.

Ölçümlerde kontrol parametreleri devirin gezinme aralığında incelenmiştir.

LICO_PW_CSTR.WINEG:-350 rpm

LICO_PW_CSTR.WIPOS: 350 rpm

Bölüm 4’de açıklandığı üzere, devir gezinmesi yukarıdaki aralık arasında olduğu için kontrol parametresi için

$$y(k) = \frac{CPWIN * x(k)}{2^{16}} \quad \text{seçilir.}$$

LICO_PW_CSTR.CPWIN (CPWIN) değeri değiştirilerek motorun tepkisi ölçülür.

Test No	LICO_PW_CSTR.CPWIN	t_1 sn	t_2 sn	N_{\min} rpm	t_3 sn	$lico_q_p_w_{(max)}$ mg/str
1	0,5	3,1	3,85	1234	5,41	133
2	0,4	4,31	5,04	1214	7,48	114,4
3	0,3	5,60	6,37	1188	10,87	93,6
4	0,2	1,95	3,80	1165	15,40	66,40
5	0,1	23,64	25,48	1176	∞	32,6

Çizelge 7.1

Test No	LICO_PW_CSTR.CPWIN	N_{\min} rpm	$lico_q_p_w_{(max)}$ mg/str
1	0,5	1234	133
2	0,4	1214	114,4
3	0,3	1188	93,6
4	0,2	1165	66,40
5	0,1	1176	32,6

Çizelge 7.2

Formüldeki CPWIN değerleri değiştirildikçe yüke binen motorun tekrar set değeri olan 1500 devire ulaşma performansı Çizelge 7.1 'de görülmektedir.

CPWIN katsayısı azaldıkça kontrolörden çıkan yakıt miktarı azalmaktadır. Buna bağlı olarak da devir kaybı daha fazla oluyor (Çizelge 7.3). $t_3 - t_1$ arasındaki fark motorun yüke binmesiyle, set değerine ulaşması arasındaki geçen süreyi veriyor. CPWIN değeri azaldıkça bu süre artıyor. CPWIN: 0,5 motorda kalibrasyon değeridir. Bu değer üzerine çıkıldığında $lico_q_p_w_{(max)}$ miktarı çok artıyor. Bu artış motorda ani devirlenmeye, hedef deviri tutturamamasına ve yakıt tüketimi artışına neden oluyor. CPWIN katsayısı 0,1 'in altına indiğinde yakıt miktarının çok azalmasında hedef değer tutturulması çok zaman alacaktır.

Test No	LICO_PW_CSTR.CPWIN	t_1 sn	t_3 sn	$t_3 - t_1$
1	0,5	3,1	5,41	2,31
2	0,4	4,31	7,48	3,17
3	0,3	5,60	10,87	5,27
4	0,2	1,95	15,40	15,45
5	0,1	23,64	∞	∞

Çizelge 7.3

7.1.2 I Test

I test , P test gibi aynı şartlar altında yapılmıştır. Motor devri gezinme aralığı

LICO_IW_CSTR.WINEG:-350

LICO_IW_CSTR.WIPOS : 350 olarak tayin edilmiştir.

Motora 100 kw ani yük bindiğinde motor devir gezinmesi set değerden 350 rpm bantı içinde kalacağından, kontrolör için kullanılacak formül 4.2 bölümde belirtilmiştir.

$$y(k) = y(k-1) + \frac{x(k) * CIWIN * T_0}{2^{16}}$$

LICO_IW_CSTR.CIWIN (CIWIN) değeri değiştirilerek motorun tepkisi ölçülür.

Test No	LICO_IW_CSTR.CPWIN	t_1 sn	t_2 sn	N_{\min} rpm	t_3 sn	$lico_q_i_w_{(\max)}$ mg/str
1	0,5	6,26	8,10	1248	15,80	85
2	0,4	2,33	4,11	1236	13,74	84,7
3	0,3	6,21	7,91	1262	20,55	84,7
4	0,2	3,73	5,53	1224	25,86	84,8
5	0,1	3,49	5,34	1234	43,9	84,4

Çizelge 7.4

I kontrolörde CIWIN değeri motorda 0,5 olarak kalibre edilmiştir. Çizelge 7.4 ve 7.5 incelendiğinde $t_2 - t_1$ süresi her CIWIN değeri için yaklaşık olarak aynıdır. Bu süre motorun yüklenmesi ile minimum devire gerilemesi arasındaki zamandır. Bölüm 6.1.2; Şekil 6.6-6.10 arası incelenirse, her CIWIN değeri için hesaplanan maksimum yakıt değerlerinin çok azı devir kaybı sırasında kullanılıyor. Kontrolör motoru belli devire kadar kontrollü gerilemesine izin veriyor, ardından hızlı bir şekilde yakıt püskürtüyor. Ayrıca her CIWIN değeri için yakıt değeri ($lico_q_i_w_{(\max)}$) aynı olmasına karşın (Çizelge 7.4), motorların 1500 devire sabitlenme süreleri ($t_3 - t_1$), CIWIN değeri azaldıkça artmaktadır. Bunun başlıca nedeni CIWIN değeri azaldıkça, yakıt enjektörlere daha gecikmeli verilir. Buda motorun set değerine ulaşmasını geciktirir. Sistem ani olarak yüklendiğinde enjektöre yakıt hızlı ama az miktarda verilerek motorda fazla devir kaybı önlenir ve dip değerden set değerine tırmandırılmaya çalışılır. Sisteme ikinci kez yakıt daha fazla ve daha uzun süreli verilir. Bu enjekte esnasında motor set değerinde tutunmaya çalışır. İkinci kez yakıt verilmiş ve set değerine ulaşma süresi Çizelge 7.6 da verilmiştir.

$t_3 - t_1$ sn: Sisteme ikinci kez uzun yakıt verme süresi

Test No	LICO_IW_CSTR. CPWIN	t_1 sn	t_2 sn	$t_2 - t_1$	t_3 sn	$t_3 - t_1$ sn
1	0,5	6,26	8,10	1,84	15,80	9,54
2	0,4	2,33	4,11	1,78	13,74	11,41
3	0,3	6,21	7,91	1,70	20,55	14,34
4	0,2	3,73	5,53	1,80	25,86	22,13
5	0,1	3,49	5,34	1,85	43,9	40,41

Çizelge 7.5

Test No	LICO_IW_CSTR.CPWIN	t' sn	t_3 sn	$t_3 - t'$ sn
1	0,5	8,66	15,80	7,14
2	0,4	4,72	13,74	9,02
3	0,3	8,41	20,55	12,14
4	0,2	6,17	25,86	19,68
5	0,1	5,95	43,9	37,95

Çizelge 7.6

7.1.3 D Test

100 kw enerji üreterek çalışan motor, boşa çıktığında kontrolör yakıtı kesinceye kadar fazla olan yakıt miktarından dolayı devir 1500 rpm üzerine çıkar. Bu tezde devir artımı P ve I kontrolördeki gibi

LICO_NDON_CW :350 rpm parametresinde belirlenen bantın içinde kalacaktır. Kontrolör bu bantın içinde kalan formül (3.10) kullanacak (bölüm 4.4).

$$y(k) = \frac{CD}{2^{16} * [x(k) - x(k-1)]} + Q * y(k-1) \quad Q = e^{-\frac{T_0}{T_1}}$$

Buradan hesaplanan yakıt miktarına göre, 1500 rpm üzerine çıkan devirin tekrar 1500 rpm'e düşmesinin süresi belirlenir.

Test No	LICO_DCONW_CSTR.C	t_1 sn	t_2 sn	$t_2 - t_1$	N_{\max} rpm	lico_q_dt1_w_max
1	0,2	17,37	18,87	1,5	1576	-1,5
2	0,3	12,01	14,12	2,11	1580	-2,7
3	0,4	10,12	13,03	2,91	1578	-3,0
4	0,5	11,2	14,50	3,30	1576	-4,5
5	0,6	12,88	16,61	3,73	1576	-5,3

Çizelge 7.7

2. sütünde (LICO_DCONW_CSTR.C) her test için atanan parametreler (3.10)'da CD değerinin belirlenmesine yardımcı olur. CD parametresi LICO_DCONW_CSTR.C; CINEG ve CIPOS parametrelerine doğrudan bağlıdır. CINEG: -350 rpm ve CIPOS : +350 rpm sınırlarını belirler. Test sırasında devir bu sınırların dışına çıkmadığından, CD parametresi, sadece LICO_DCONW_CSTR.C parametresine bağlıdır.

Test sonuçlarında max. devir değişmemektedir. Bu da kalibrasyonda devir artarken D kontrolörün çalışmadığını ($lico_q_dt1_w_{max}:0$) gösterir.

DCONW arttıkça $lico_q_dt1_w_{max}$ (yakıt miktarı) değeri artmakta ve motorun çıktığı max. devirden set değerine düşme süresi uzamaktadır. D kontrol parametresi arttıkça kontrolör yakıtı sistemden daha geç çekmektedir.

7.2 Kamyon Motoru Ölçüm Değerlendirmeleri

7.2.1 P Test

1500 devirde çalışan motor LISC_N_BAS.CW parametresi ile 1700 devire set edilirse kontrolör motor hızını bu değere çıkarmak için yakıtı artıracak. P test koşulları jenset ile benzerdir. 200 devirlik bir artış aşağıda belirlenen sınırlanan değerler içinde olacağından, aynı denklem yakıt miktarını belirleyecek.

LICO_PW_CSTR.WINEG:-350

LICO_PW_CSTR.WIPOS: 350

Bölüm 4.1 de açıklandığı üzere, devir gezinmesi yukarıdaki aralık arasında olduğu için kontrol parametresi için

$$y(k) = \frac{CPWIN * x(k)}{2^{16}} \quad \text{seçilir.}$$

LICO_PW_CSTR.CPWIN değeri değiştirilerek motorun tepkisi ölçülür.

Test No	LICO_PW_CSTR.CPWIN	t_1 sn	t_2 sn	$t_2 - t_1$ sn	$lico_q_p_w_{(max)}$ mg/str
1	0,1	4,88	8,36	3,48	20,2
2	0,2	2,84	7,53	4,69	40
3	0,5	6,09	6,39	0,3	100
4	0,75	3,65	3,93	0,28	150
5	1,0	6,58	6,90	0,32	200
6	1,5	2,19	2,64	0,45	300
7	0,05	3,96	8,52	4,56	10

Çizelge 7.8

Formüldeki CPWIN değerleri değiştirildikçe, hedef devire (1500 rpm) ulaşma performansı Çizelge 7.8 'de görülmektedir.

CPWIN katsayısı arttıkça kontrolörden çıkan yakıt miktarı artmaktadır. $t_2 - t_1$ hedef set değere ulaşmak için geçen süreyi veriyor. CPWIN değeri arttıkça enjekte edilen yakıt ($lico_q_p_w_{(max)}$) artıyor ve süre azalıyor. CPWIN: 0,1 motorda optimum kalibrasyon değeridir.

Sonuçlar incelendiğinde, CPWIN parametresi artırıldığında hedef değere ulaşma süresi belli bir kalibrasyon noktasına kadar azalmaktadır. CPWIN değerinin normalden fazla artmasıyla enjekte edilen yakıt çok artar, bu fazla yakıtı kontrolör düzenlemekte fazla vakit harcar ve hedef değerinin etrafında sinüsoidal gezinmeye neden olur. 0,1 ile 0,75 arasındaki değerler, motor devrinin hızlı yükselmesi istendiği ve yakıt tüketiminin geri planda tutulduğu dizaynlar için kullanılıyor.

Test No	LICO_PW_CSTR.CPWIN	t_1 sn	t_2 sn	$t_2 - t_1$ sn	$lico_q_p_w_{(max)}$ mg/str
1	0,1	4,88	8,36	3,48	20,2
2	0,2	2,84	7,53	4,69	40
3	0,5	6,09	6,39	0,3	100
4	0,75	3,65	3,93	0,28	150
5	1,0	6,58	6,90	0,32	200
6	1,5	2,19	2,64	0,45	300
7	0,05	3,96	8,52	4,56	10

Çizelge 7.9

7.2.2 I Test

I test, P test gibi aynı şartlar altında yapılmıştır. Motor devri gezinme aralığı

LICO_IW_CSTR.WINEG:-350

LICO_IW_CSTR.WIPOS : 350 olarak tayin edilmiştir.

4.2 bölümde açıklandığı üzere motor set değeri 1500 rpm'den 1700 rpm'e çıkarıldığında kontrolörün motor devrini düzenlemesi incelenmiştir. 200 rpm'lik artış devir gezinme bantı içinde tutulduğundan kontrolör aşağıdaki denklemi kullanmıştır.

$$y(k) = y(k-1) + \frac{x(k) * CIWIN * T_0}{2^{16}}$$

LICO_IW_CSTR.CIWIN değeri değiştirilerek motorun tepkisi ölçülür.

Test No	LICO_IW_CSTR.CPWIN	t_1 sn	t_2 sn	$t_{N_{max}}$ sn	N_{max}	$lico_q_i_w_{(max)}$ mg/str
1	0,1	5,29	9,048	6,29	1724	16,7
2	0,2	3,20	5,31	4,00	1736	19
3	0,5	3,76	6,27	4,38	1776	27,8
4	0,75	3,77	5,95	4,27	1802	35,3
5	1,0	3,50	6,41	3,90	1808	39,6
6	1,5	2,82	5,25	3,22	1840	53,5
7	0,05	5,33	10,88	6,85	1712	14,3

Çizelge 7.10

$t_{N_{max}}$:Max. Devire ulaşma süresi

Test No	LICO_IW_CSTR.CPWIN	$t_{N_{\max}} - t_1$ sn	$t_2 - t_1$ sn	$lico_q_i_w_{(\max)}$ mg/str
1	0,1	1,00	3,76	16,7
2	0,2	0,80	2,11	19
3	0,5	0,62	2,51	27,8
4	0,75	0,5	2,18	35,3
5	1,0	0,40	2,91	39,6
6	1,5	0,40	2,43	53,5
7	0,05	1,52	5,55	14,3

Çizelge 7.11

Çizelgelerde CPWIN değeri arttıkça doğal olarak enjektörlerden püskürtülen yakıt miktarı da artıyor ($lico_q_i_w_{(\max)}$). Bununla beraber motor hızının çıktığı max. devir artıyor, $t_{N_{\max}}$ süresi azalmaktadır. Ancak motor devrinin max. değeri arttığı için hedef (1700 rpm) değerinde (1700 ± 2 rpm) motor kendini sabitlemekte gecikiyor. Motorda bu parametreler performans için kullanıldığından $t_{N_{\max}}$ belirleyici özellik konumunda oluyor. 7.testte CIWIN değeri kalibrasyon değeri (cıwin:0,11) altında test edildi. Kontrolörün hedef değerine ulaşması uzun sürmüştür. Bunun nedeni aşağıdaki denklemde bir önceki devir $[y(k-1)]$ üzerine konulan parametre değerinin düşük olmasıdır.

$$y(k) = y(k-1) + \frac{x(k) * CIWIN * T_0}{2^{16}}$$

7.2.3 D Test

1700 rpm'de çalışan motor daha sonra tekrar 1500 rpm'e düşürülmek istendiğinde D kontrolör etkinleşir. D kontrolör, devir düşerken standart kalibrasyonda görev yapmaz ancak özel uygulamalarda aktif hale getirilerek devirin daha geç düşmesi sağlanır.

LICO_DCONW_CSTR.C parametresine değer girilerek (CD katsayısı belirlenmesinde rol oynar) hedef değerden (1700 rpm) 1500 devire düşme süresi ayarlanabilir. Prosedür jenset uygulamasındaki ile aynı çalışır. Devir azalması sınırların içinde tutularak aşağıdaki denklem ile D kontrolör çalışır (bölüm 4.4).

$$y(k) = \frac{CD}{2^{16} * [x(k) - x(k-1)]} + Q * y(k-1) \quad Q = e^{-\frac{T_0}{T_1}}$$

Buradan hesaplanan yakıt miktarına göre, 1700 rpm'e devirin tekrar 1500 rpm'e düşmesinin süresi sağlanır.

Test No	LICO_DCONW_CSTR.C	t_1 sn	t_2 sn	$t_2 - t_1$ sn	$lico_q_dt1_w_{max}$ mg/str
1	0,0	15,48	18,74	3,26	0
2	0,1	12,50	16,70	4,2	-3,4
3	0,2	18,45	22,81	4,36	-5,4
4	0,5	12,46	17,5	5,04	-8,6
5	0,8	17,35	23,52	6,17	-11,5
6	1,0	20,68	27,45	6,77	-12,8
7	1,5	33,54	40,86	7,32	-13,6

Çizelge 7.12

2. sütünde her test için atanan parametreler denklemdaki CD değerinin belirlenmesine yardımcı olur. CD parametresi LICO_DCONW_CSTR.C; CINEG ve CIPOS parametrelerine doğrudan bağlıdır. CINEG: -350 rpm ve CIPOS : +350 rpm devir gezinme sınırlarını belirler. Test sırasında devir bu sınırların dışına çıkmadığından, CD parametresi, sadece LICO_DCONW_CSTR.C parametresine bağlıdır ve (3.10) kullanılır.

Test sonuçlarında max. devir değişmemektedir. Bu da kalibrasyonda devir artarken D kontrolörün çalışmadığını ($lico_q_dt1_w_{max}:0$) gösterir.

DCONW arttıkça $lico_q_dt1_w_{max}$ değeri artmakta ve motorun çıktığı hedef (1700 rpm) devirden başlangıç değerine (1500 rpm)düşme süresi uzamaktadır.

8 SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yukarıda yapılan testler esnasında P , I ve D parametrelerinin iki farklı motor kullanımında kontrolör içindeki görevleri incelendi. Jenset motorunun çalışma prensibi ile kamyon motorunun çalışma prensibi farklıdır. Jenset motoru sabit devirde çalışırken yüke biner, kamyon motoru ise gaz verilerek deviri artırılır.

P kontrolör her iki motorda da hızlı tepki almak için kullanılır. Parametre değeri CPWIN arttıkça hedefe ulaşma süresi kısalmır.

I kontrolör jenset motorunda, motor devri alt noktaya geldikten sonra sabit devire ulaştırmak için etkin görev yapar. Motorun sabit devirden alt noktaya gerilemesi sırasında CIWIN değişmesinin performansı etkilemediği görülmüştür.

I kontrolör kamyon motorunda hedef devire çıkarken CIWIN değerinin artmasıyla max. devire çıkma süresi kısalmaktadır. Ancak yakıtın artmasıyla devir artışı fazla olduğundan set değerine geri dönmesi zaman açısından negatif etki yaratır. Bu tip uygulama motorda daima yük bulunan durumlar için geçerlidir. Motorda yük olduğundan yakıtı artırsanız dahi devir fazla artmayacağından set değere ulaşması daha kısa sürecektir. Bu tezde kamyon motoru boşta çalıştırıldığından I kontrolörün yükte olan performansı test edilememiştir. CIWIN: 0,5 - 1,5 değerlerinde hedefe ulaşma performansında iyileşme görülmüştür.

P kontrolör I kontrolöre göre kalibrasyonu daha kolay ve etkilerini daha net hissediliyor. Ancak I kontrolör set değerine tutunmada sıfır hata mantığına göre çalıştığından heriki motordada grafikler incelendiğinde devir $\pm 2; \pm 3$ gezinmekte bu da %0,2 gezinme gibi çok hassas sonuca denk gelmektedir.

D kontrolör her iki uygulamada da benzer performans göstermiştir. D kontrolörün parametresi arttıkça motor yüksüz devrine gerilerken daha geç zamanda geliyor, kısaca kontrolör sistemden yakıtı hemen çekmesi gerekirken yavaş yavaş uzaklaştırıyor.

Motorun performansının kalibre edilmesinde öncelikle motorun çalışma durumunun tayin edilmesi gerekir. Kontrolörler her çalışma ortamı için aynı tepkiyi vermezler. Sorun sadece kontrolörün ayarlanması ile bitmiyor. Kontrolör sinyal iletisini yaptıktan sonra bu iletiye göre davranacak ekipmanların da (yakıt pompası, enjektör, yakıt, motor yapısı vs) sonuca katkısı büyüktür.

KAYNAKLAR

1. K.J.Aström and T.Hagglund. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. Instrument Society of America 1995.
2. K.J.Aström and T.Hagglund. Automatic Tuning of PID Controllers. Instrument Society of America 1988.
3. IEEE Control Systems Magazine, Vol.22, No.2, April 2002
4. Cook, P. Non-Linear Dynamical Systems', (2th ed.) Prentice-Hall International
5. Peter Wellstead and Mark Readman, control systems principles.co.uk
6. BOSCH software documentation
7. Otomotiv Elektroniği, BOSCH. Ali Sürmen, Rıdvan Arslan
8. Automotive Handbook, BOSCH. 4th ed
9. PID Controllers, Control Engineering by Dr.L.K.Wong