

**DİZEL MOTOR YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİ TEST CİHAZININ
ELEKTRONİK KONTROLÜNÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Piro PAMUKÇU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK – BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2014

ANKARA

Piro PAMUKÇU tarafından hazırlanan DİZEL MOTOR YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİ TEST CİHAZININ ELEKTRONİK KONTROLÜNÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ömer Faruk BAY
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Elektronik – Bilgisayar Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Yakup İÇİNGÜR

Üye : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

Üye : Yard. Doc. Dr. Necmi ALTIN

Tarih : 06 /01/2014

Bu tez, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Piro PAMUKÇU

**DİZEL MOTOR YAKIT ENJEKSİYON SİSTEMİ TEST CİHAZININ
ELEKTRONİK KONTROLÜNÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Piro PAMUKÇU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2014

ÖZET

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan dizel motorların yakıt püskürtme sisteminde ateşleme elamanı olarak kullanılan, pompa ve enjektörlerden altı tanesini eş zamanlı olarak test edebilen bir cihazın elektronik kontrolü tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem, dizel motorun benzetimini yaparak altı adet pompa ve enjektörün testini aynı anda gerçekleştirmektedir. Uygulama çalışmalarında, pompa ve enjektörlerin dizel motor üzerinde çalışması gözlemlenerek veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak pompa ve enjektörlerin elektronik kontrolü ARM tabanlı denetleyici kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pompa ve enjektörlerin akım kontrolü PID denetim uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Bilim Kodu : 702.3.006

Anahtar Kelimeler : birim pompa, birim enjektör, yakıt sistemi test cihazı,
dizel motor yakıt sistemi

Sayfa Adedi : 39

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

**IMPLEMENTATION OF ELECTRONIC CONTROL OF THE DIESEL
ENGINE FUEL INJECTION SYSTEM TEST DEVICE**

(M.Sc. Thesis)

Piro PAMUKÇU

**GAZİ UNIVERSITY
INFORMATICS INSTITUTE**

January 2014

ABSTRACT

In this study, electronic control of the fuel injection test device is implemented. Fuel injection pumps and injectors are used as an ignition system devices used in diesel engines in automotive industry. Developed test device has capable of testing six unit pump-injector simultaneously. In application studies, the required data were obtained from operation of the pump and injectors on the diesel engine. Electronic control of the pump and injectors is implemented using observed data. PID control algorithm is used to control of the pump and injectors.

Science Code : 702.3.006
Key Words : unit pump, unit injector, fuel system tester, diesel engine
fuel system
Page Number : 39
Adviser : Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla ben yönlendiren hocam Prof. Dr. Ömer Faruk BAY' a yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Dr. Meral Özarslan YATAK' a, maddi ve manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli eőim Eda Gende PAMUKÇU' ya teőekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalıőmalarıma San-Tez projeleri kapsamında maddi olarak destek sağlayan Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na (00822.STZ.2011-1 kodlu proje) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. DİZEL YAKIT PÜSKÜRTME SİSTEMLERİ	4
2.1. Hava ile Püskürtme Sistemi	6
2.2. Mekanik Püskürtme	6
2.2.1. Common rail dizel yakıt enjeksiyon sistemi	7
2.2.2. Birim pompa – enjektör yakıt enjeksiyon sistemi.....	8
3. BİRİM POMPA - ENJEKTÖR YAKIT SİSTEMİ TEST CİHAZININ ELEKTRONİK KONTROLÜNÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	11
3.1. Kontrol Donanımı	12
3.1.1. Konum algılayıcısı	12
3.1.2. Akım algılayıcısı	14
3.1.3. Mikrodenetleyici kontrol kartı	15
3.1.4. Sürücü devresi.....	19
3.2. Kontrol Yazılımı	22
3.2.1. Açık çevrim kontrol sistemi	27

	Sayfa
3.2.2. Kapalı çevrimli kontrol sistemleri.....	27
3.2.3. PID kontrol yöntemi.....	28
4. UYGULAMA SONUÇLARI	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	36
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	30

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Birim pompa – enjektörlerin çalışma zamanları	11
Şekil 2.2. Birim pompa – enjektörlerin çalışma zamanı sinyalleri	11
Şekil 3.1. Elektronik kontrol sistemi blok diyagramı	14
Şekil 3.2. Tek üniteye ait elektronik kontrol sisteminin blok diyagramı	15
Şekil 3.3. Konum algılayıcı devresi	17
Şekil 3.4. Akım algılayıcı devresi	18
Şekil 3.5. Mikrodenetleyici blok diyagramı	22
Şekil 3.6. Sürücü devresi	23
Şekil 3.7. Opto izolatör	24
Şekil 3.8. Yarı iletken anahtarlar	25
Şekil 3.9. Açık çevrimli kontrol sistemlerin öğeleri	27
Şekil 3.10. Kapalı çevrimli kontrol sistemi blok şeması	28
Şekil 3.11. PID kontrol yazılımı	28
Şekil 3.12. Kontrol yazılımı akış şeması	30

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Commonrail yakıt enjeksiyon sistemi.....	8
Resim 2.2. Birim pompa - enjektör yakıt enjeksiyon sistemi	9
Resim 2.3. Birim pompa - enjektör iç görünümü.....	10
Resim 3.1. Endüktif konum algılayıcısı.....	16
Resim 3.2. Konum algılayıcı devre kartı	17
Resim 3.3. Akım algılayıcı	18
Resim 3.4. Mikrodenetleyici kontrol kartı	20
Resim 3.5. Sürücü devresi kartı	26
Resim 3.6. Tek üniteye ait sistem donanımı	32
Resim 4.1. Birim pompa – enjektörün çalışma akımı.....	33
Resim 4.2. Birim pompa – enjektörün çalışma sinyali	34
Resim 4.3. Birim pompa – enjektörün uygulama akım dalgası	34
Resim 4.4. Birim pompa – enjektörün uygulama çalışma sinyali.....	35

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
K_d	Diferansiyel Kazanç
K_i	İntegral Kazanç
K_p	Oransal Kazanç
Kısaltmalar	Açıklama
ADC	Analog Dijital Dönüştürücü
ARM	Gelişmiş RISC Makineleri
CPU	Merkezi İşlem Birimi
DA	Doğru Akım
DAC	Dijital Analog Dönüştürücü
DSP	Sayısal İşaret İşlemci
ECU	Elektronik Kontrol Birimi
KB	Kilobayt
kW	Kilowatt
MB	Megabayt
MHz	Megahertz
PDA	Kişisel Dijital Yardımcı
PID	Oransal – İntegral – Türev Denetleyici
USB	Evrensel Seri Veriyolu

1. GİRİŞ

Dizel motorlar içten yanmalı makineler olup, yakıtın kimyasal enerjisi silindirler içinde doğrudan mekanik enerjiye çevrilir. Dizel motorları elektrik enerjisi üretmek üzere termik santrallerde; kara taşımacılığında, lokomotif, kamyon, tır ve otobüslerde; deniz taşımacılığında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dizel motorlar geçmişten günümüze her geçen gün gelişmekte, daha az yakıt tüketimi ile daha verimli çalışmaktadırlar. Teknolojinin gelişmesiyle zeki kontrol sistemlerinin, motorların daha verimli çalışmasına etkisi büyüktür. Böylelikle sanayi alanında kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Bunun yanında benzinli motora göre daha verimli olması, dizel motor yakıtının daha ucuz olması, dizel motorun ömrünün daha uzun olması dizel motorun yaygınlaşmasını sağlamıştır[1].

Dizel motorlarda yakıt pompası ile enjektörler, yakıt püskürtme sistemi olarak nitelendirilirler. Bu sistem motorun en önemli ve maliyetli birimidir. Yakıt püskürtme sistemi dizel yakıtı, hareket enerjisi sağlamak için dizel motorun pistonlarına yüksek sıcaklık ve basınç altında püskürtme işlemini yapmaktadır. Çalışmaması veya görevini tam olarak yapamaması halinde dizel motor bir değer ifade etmez ve iş yapamaz hale gelir. Yakıt püskürtme sistemi püskürtme miktarını gerekenden fazla yapar ise dizel motorun yakıt sarfiyatı fazla olmakta, az yapar ise dizel motorun çekiş gücü azalmaktadır. Dizel motorlarda en yaygın arızalar yakıt püskürtme sisteminden kaynaklı olmaktadır[2].

Günümüzde dizel motor arızalarının tespitine yönelik yetkili servisler yaygın olarak hizmet vermektedir. Yetkili servisler, yakıt sistemindeki en ufak arızalarda dahi yakıt sistemini yenilemeyi önermektedirler. Yakıt sistemini yenilemek çok maliyetli olmaktadır. Bu nedenle kullanıcılar özel servislerde sistemi tamir ettirme yoluna gitmektedir. Özel servisler ise yakıt sistemini teste tabii tutarak arızayı tespit edip tamir etme yoluna gitmektedirler. Tamir yöntemi araç sahiplerinin ihtiyacını karşılayarak aynı zamanda ekonomiye de katkı sağlamaktadır[3].

Endüstride, kurumsal firmaların üretmiş olduğu test cihazları mevcuttur. Firmaların büyük kısmının yurt dışı kaynaklı olması, test cihazlarının maliyetini

yükseltmektedir. Ayrıca kullanımının karmaşık olması teknik servisleri alternatif test cihazı üreten firmalara yöneltmiştir.

Bu çalışmada otomotiv sektörüne hizmet veren teknik servisler için mevcut test cihazlarına alternatif olarak geliştirilen yeni model cihazın elektronik kontrolü gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen yeni model, kullanımı kolay, düşük maliyetli, her marka ve model ürün grubunu kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Geliştirilen sistem ile yerli üretim yapan firmaların üretim bandı arttırılarak yapancı firmalar ile rekabet etmesi sağlanmaktadır.

Dizel motor yakıt püskürtme sistemi test cihazları elektro-mekanik cihazlardır. Yakıt sisteminde bulunan pompa ve enjektörler mekaniksel olarak sıkıştırılarak yakıt emmesi sağlanır. Sıkışma miktarı en üst noktaya ulaşınca elektronik olarak tetiklenmesi sağlanır. Böylelikle yakıt pistonlara yüksek basınç altında püskürtme yaparak yanma işlemini gerçekleştirir. Püskürtme miktarı motor için önemlidir. Gerekinden az veya fazla olmamalıdır. Aksi takdirde dizel motorun verimi düşer. Dizel yakıt püskürtme test cihazı motorun benzetimini yaparak pompa ve enjektörleri teste tabii tutar. Enjektör ve pompalar motor üzerinde çalışıyormuş gibi test edilirler. Test cihazının testi sağlıklı bir şekilde yapabilmesi için zamanlamanın dizel motor üzerindeki zamanlama ile aynı olması gerekmektedir. Pompa ve enjektörleri tam olarak püskürtme anına kadar mekanik olarak sıkıştırılması yapılmalı ve tam olarak tepe noktasına ulaşınca elektronik olarak tetikleme sinyali verilmelidir. Püskürtme miktarının sağlıklı bir şekilde ölçülebilmesi, zamanlamanın doğru olmasıyla doğrudan ilişkilidir[4].

Dizel motor yakıt püskürtme sistemi test edilirken, test cihazının taşınması gereken özellikler bulunmaktadır. Test cihazının; güvenilir, zamandan tasarruf sağlayan, düşük maliyetli, desteklediği ürünlerin çeşitliliği bakımından yaygın olması beklenir. Güvenilirlik göz önünde bulundurulduğunda, test cihazının dışında kullanıcının hata faktörü de dikkate alınmalıdır. Hatayı en aza indirmek için her geçen gün yeni teknikler geliştirilmektedir[5].

Yakıt püskürtme test cihazlarında, pompa ve enjektörleri test edilirken iki parametre önem kazanmaktadır. Birinci parametre, pompa ve enjektörler test sistemi üzerinde iken gerekli olan püskürtmenin sağlanması. İkinci parametre, pompa ve enjektörlerin tetikleme esnasında püskürtme yapan biriminin gereken çekim gücünü yapabilmesi. Otomotiv endüstrisinde kullanılan test cihazlarının sadece belirli kısmında her iki parametre ölçülerek test yapılmaktadır. Özellikle yerli firmalar tarafından üretilen test cihazları sadece püskürtme miktarını ölçecek şekilde tasarlanmışlardır. Bu nedenden dolayı test cihazlarının güvenilirliği tam olmayıp uzun vadede sorunlara yol açmaktadır.

Bu çalışmada, test cihazının güvenilirliği açısından her iki test parametresi ölçülerek elde edilen veriler işlenmiştir. Çalışmanın yenilikçi yanı ise mevcut test cihazları içerisinde ilk olarak altı adet pompa ve enjektörü aynı anda test ederek zamandan tasarruf sağlamayı başarmıştır.

Bu tez, beş bölümden meydana gelmektedir. Birinci bölüm tezin giriş bölümüdür. İkinci bölümde testin gerçekleştirileceği dizel motor hakkında bilgiler içermektedir. Üçüncü bölümde gerçekleştirilen elektronik kontrol sisteminin donanım ve yazılımını içermektedir. Dördüncü bölüm uygulama çalışmalarının sonuçlarını içermektedir. Beşinci bölüm sonuç ve önerilerden oluşmaktadır.

2. DİZEL YAKIT PÜSKÜRTME SİSTEMLERİ

Dizel motorlar, sıkıştırma ile yanmalı motorlar olarak da nitelendirilirler. Dizel motorlarda silindirlerin içinde yanma işlemi, içerisine püskürtülecek yakıtın tutuşma sıcaklığından daha yüksek değerlere çıkararak kendiliğinden yanmasını sağlayarak oluşmaktadır. İyi bir yanmayı sağlayabilmek için koşullardan biri sıkıştırılan havanın sıcaklığı ise, diğeri de yakıtın çok küçük küreciklerden oluşan bir sis biçiminde bu havanın içine püskürtülmesidir. Bu görevi yerine getiren sisteme yakıt püskürtme sistemi adı verilir. Gerekli bakım ve onarımın yapılmadığı durumlarda yanma sorunları oluşturarak, dizel motorun en önemli sistemi olan yakıt püskürtme sisteminin önemli arızalara neden olmaktadır[2].

Yakıt püskürtme sistemleri, püskürtülecek yakıt miktarını duyarlı bir biçimde pistonlara vererek, dizel motorun çeşitli devir ve yüklerinde yakıtı tam olarak yanma noktasında yanacak şekilde püskürtmelidir. Püskürtmenin hızlı başlayıp hızlı sona ermesi sağlanmalıdır. İyi bir yanma oluşturabilmek için yakıt püskürtme sistemi, yakıtı çok küçük partiküller veya kürecikler halinde yanma odasının her tarafına düzgün bir biçimde dağıtmalıdır. Bunun yanında sabit yük durumlarında ve her bir püskürtme durumunda, püskürtülen yakıt miktarı değişmez olmalıdır. Aynı zamanda her bir silindire püskürtülen yakıt miktarı üretilen güç için eşit olmalıdır. Böylelikle, dizel motorun silindirlerinden bir bölümü normalden daha az yük altında çalışırken, diğeri bölümünün aşırı yükte çalışması ve aşırı ısınmaları tehlikesi giderilmiş olur[4].

Dizel motorların piston hareketinin bir çevrimi şu şekilde ifade edilmektedir. Öncelikle piston yanma odasında en alt noktaya doğru ilerler. Bu hareket yanma odasında bir vakum oluşturarak yanma odasının içerisine hava dolmasını sağlar. Piston en alt noktaya ulaştıktan sonra yukarı doğru hareket etmeye başlar. Bu hareket içeri dolan havayı sıkıştırarak basıncını ve sıcaklığını yükseltir. Piston, üst noktaya çok yaklaştığı bir anda enjektörden yakıt püskürtülmeye başlanır. Silindir içerisinde sıkıştırılmış olan havanın sıcaklığı, püskürtülen yakıtın tutuşma sıcaklığından çok yüksek olduğu için yakıt kendiliğinden tutuşur. Yakıtın püskürtülmesi ile tutuşması

arasında çok küçük bir zaman aralığı vardır. Yanma sonucu oluşan yüksek basınçlı kızgın gazlar pistonu etkileyerek onun hareketini ve dolayısıyla işi sağlamaktadır[4].

Dizel motorlarda; en yüksek güç, iyi bir yakıt ekonomisi ve iyi bir yanma için, püskürtmenin çevrimin belirli bir noktasında başlaması gerekir. Çevrime göre, yakıt çok erken püskürtüldüğünde yanma odasındaki havanın sıcaklığı yeteri kadar yüksek olmayacağı için tutuşma işlemi gecikecektir. Bu esnada yakıt püskürmesi devam ettiği için tutuşma ve yanma patlama şeklinde oluşacak, dizel motor gürültülü bir biçimde çalışacaktır. Bununla beraber yanma odası ve pistonlar yakıtla ıslanacağından bir miktar yakıt enerjisi ziyan olacak, aynı zamanda yağlama yağının kirlenme tehlikesi belirecektir. Sonuç olarak dumanlı egzoz ve zayıf yakıt ekonomisi meydana gelecektir. Çevrime göre yakıt çok geç püskürtülürse, pistonlar üst tepe noktasını geçtikten sonra yanma meydana gelecek, dizel motor yüksek güç üretemeyecek, yakıt sarfiyatı artacak ve dumanlı egzoz oluşacaktır[5].

Silindirlere püskürtülen yakıt miktarı, dizel motoru püskürtme zamanlamasında olduğu gibi doğrudan etkiler. Eğer püskürtülen yakıt miktarı, püskürtülmesi gereken yakıt miktarından fazla ise, pistonlara yakıtı çok erken püskürtme durumu gibi sonuçlar doğurur. Eğer püskürtülen yakıt miktarı olması gerekenden çok az ise, pistonlara yakıtı çok geç püskürtme durumu gibi sonuçlar doğurur. Bazı dizel motorlarda, püskürtülecek yakıt miktarı denetlenerek verim artırılabilir. İyi bir yanma oluşabilmesi için, bazı dizel motorlarda çok iyi ve küçük partiküller halinde püskürtme gerekirken, bazılarında ise daha kaba bir püskürtme ile çalışabilmektedir. Bir dizel motorun gücü ve yanmanın tamamlanması, püskürtülen yakıtın yanma odasındaki havanın her kısmına düzgün bir biçimde dağıtılmasına bağlıdır. Ancak çoğu zaman püskürtülen yakıtın bir bölümü yanma odası duvarları ve piston kafasına çarpar. Dolayısıyla yakıtın tam yanması mümkün değildir. Bu nedenden dolayı dizel motorlarda çeşitli arızalar meydana gelir[6].

Dizel motorlarda başlıca iki tür yakıt püskürtme sistemi uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi, belirli miktardaki yakıtı yüksek basınçlı hava ile silindirlere gönderen “hava ile püskürtme” sistemidir. İkincisi ise, yakıtın yüksek basınçla yanma odasına püskürtüldüğü “mekanik püskürtme” sistemidir.

2.1. Hava ile Püskürtme Sistemi

Verimli mekanik püskürtme sistemlerinin icat edilmediği yıllarda, dizel motorlarda hava ile püskürtme sistemleri kullanılmaktaydı. Bu sistemde, yüksek basınçlı püskürtme havasını sağlamak amacıyla iki veya üç kademeli kompresörler kullanılmakta ve bu kompresörler doğrudan dizel makinesinin hareket organlarından yararlanmaktaydı. Çok iyi bir yanma ve yanma verimi oluşturmasına rağmen, kompresörlerin ağırlığı ve maliyeti nedeniyle bu sistem, mekanik püskürtme sistemlerinin geliştirilmesiyle kullanımı son buldu. Hava ile püskürtme sistemi, hava kompresörleri, yakıt pompaları, püskürtme valfları veya enjektörler ile hareket mekanizmasından oluşmaktadır. Hava ile püskürtme sistemlerinde pistonlu kompresörlerin sağladığı havanın basıncı 55 ile 70 bar arasındadır. Böyle yüksek basınçlı hava sağlayabilmeleri için kompresörler önemli miktarda güç tüketirler. Hava ile püskürtmeli sistemlerde bu güç, yararlı gücün %10 ile %20'si arasındadır. Ayrıca kompresörler çok ağır olup önemli miktarda yer kaplamakta ve buna ek olarak maliyeti %20 oranında arttırmaktadır. Bu sakıncaları nedeniyle hava ile püskürtme sistemi yerini mekanik püskürtme sistemine bırakmıştır[7].

2.2. Mekanik Püskürtme

Mekanik püskürtme sistemlerinde yakıtın partikülleşmesi, yüksek basınçlı yakıtın enjektör püskürtme kanallarından geçerek, kendisine göre düşük basınçlı kızgın hava ile dolu yanma odasına verilerek oluşur. Yakıt, enjektör kanallarından geçerken yüksek bir hız kazanır. Bu hız, sıvı yakıt ile yanma odasındaki hava arasında büyük bir sürtünme oluşturur. Hava içerisine püskürtülen yakıt, önce sürtünme nedeniyle küçük, şekilsiz partiküllere dönüşür. Sonra bu parçacıklar küresel damlacık şeklini alır. Hareketli kürecikler hava tarafından ısıtılarak buharlaşır ve bu yakıt buharları hava ile karışır. Böylece yakıtın parçalanması, küreciklere ayrılması ve tüm yanma odasına dağılma işlemi tamamlanmış olur. Yakıt püskürtme işlemi karmaşık bir işlem olup, bu işlemi hesaplayacak duyarlı bir yöntem yoktur. Bu bakımdan çoğu zaman deneysel yöntemlerle saptanır[7].

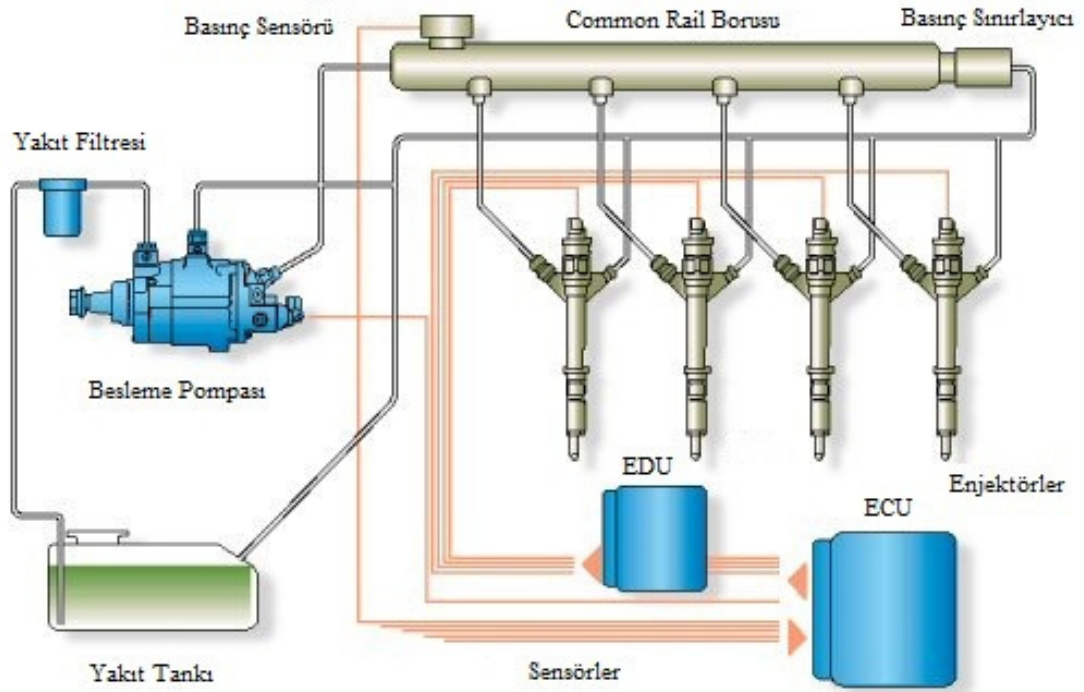
Dizel motorlarına uygulanan mekanik püskürtme yöntemleri iki ana başlık olarak ayrılmıştır. Bunlar; Common-Rail (Ortak Hat) ve Birim Pompa sistemleridir.

2.2.1. Common rail dizel yakıt enjeksiyon sistemi

Common rail sistemi, düşük güçlü araçları için geliştirilen bir dizel direkt enjeksiyon sistemidir. Bu sistemin, bugüne kadar kullanılan aynı türdeki sistemlere göre yakıt sarfiyatı, egzoz gazı emisyonu, çalışma sistemi ve gürültü oluşumunda da net bir şekilde daha üstün olduğu görülmüştür.

Resim 2.1’de Common rail sistemi blok diyagramı görülmektedir. Tutuculu püskürtme veya ortak boru anlamına gelen common rail’de, doğrudan tahrik edilen blok veya tek pompalı sistemlerden farklı olarak basınç oluşumu ve püskürtme ayrılmaktadır. Püskürtme basıncı, motor devir sayısına ve püskürtme miktarına bağımlı kalmadan oluşturulur aynı zamanda belli sınırlar içerisinde serbest olarak seçilebilmektedir. Geleneksel dizel direkt püskürtücüleri yaklaşık 900 bar’lık basınç ile çalışırken, common rail sistemi, yakıtı 1600 bar’a kadar yükselen bir basınç ile ortak bir boru üzerinden enjektörlere dağıtır. Elektronik kontrol ünitesi, bu yüksek basıncı motorun devir sayısına ve yüküne bağlı olarak ayarlar. Püskürtmeyi, enjektörler üzerinde bulunan ve süratle anahtarlanabilen manyetik supaplar sağlamaktadır. Bu da yine püskürtmenin şekillendirilmesini, püskürtme miktarının ölçülmesini sağlamaktadır. Ayrıca yine bu imkânlar sayesinde yeni sistemin mükemmel bir avantajı olan ön püskürtme ortaya çıkmaktadır. Ön püskürtme, ana püskürtmeden önce oluşarak yakıtın yanmasına ilişkin emisyon oranlarını yüksek derecede iyileştirmektedir. Ön veya çoklu püskürtme, enjektörün süratli manyetik supaplarını çok defa kumanda edilmesi ile oluşturulur. Ön püskürtme sayesinde direkt püskürtmeli yanma odalarında da, hem zararlı madde ve gürültü emisyonu, hem de yakıt sarfiyat değerleri daha da azaltılmaktadır. Common rail sistemi, motorda önemli değişiklikler yapılmadan kullanılan püskürtme sisteminin yerini alabilmektedir. Basınç oluşumunun ve püskürtmenin ayrılmasına ilişkin tek şart, bir dağıtıcı boru ve enjektörlere giden borulardan oluşan, yüksek basınç tutucusudur. Sistemin çekirdek parçası, manyetik kumandalı supapları olan enjektörlerdir. Püskürtme olayı, elektronik kontrol ünitesinden manyetik supapa giden bir sinyal ile

başlatılır. Bu arada püskürtülen yakıtın miktarı hem manyetik supapın açılma süresine hem de sistem basıncına bağlıdır[8].



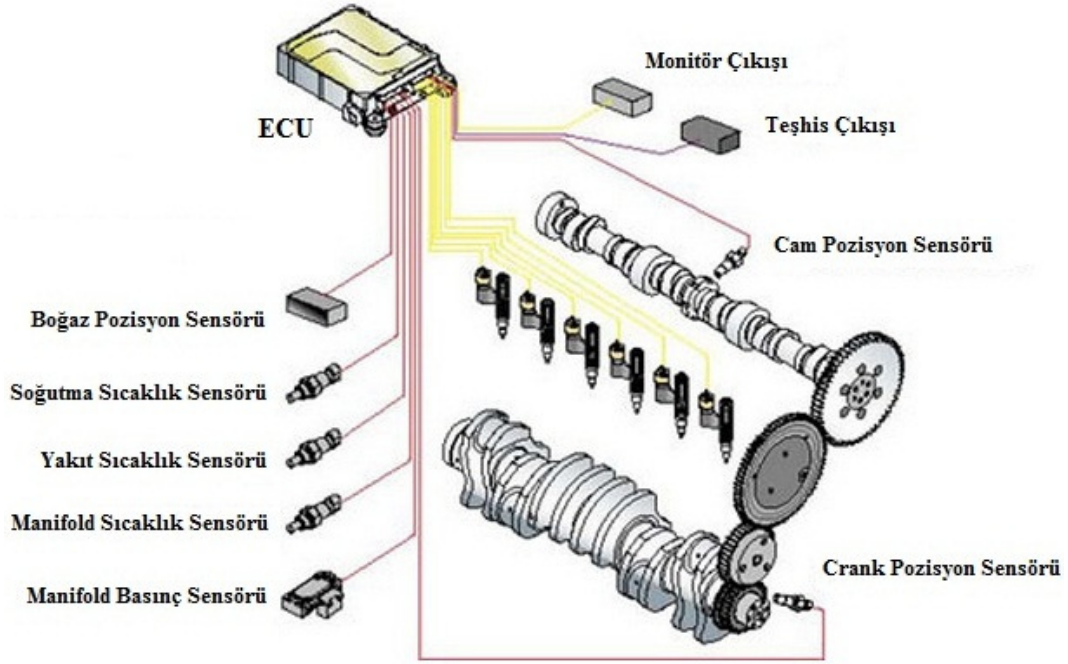
Resim 2.1. Common rail yakıt enjeksiyon sistemi

2.2.2. Birim pompa – enjektör yakıt enjeksiyon sistemi

Birim pompa, birim enjektör sisteminde pompa ve enjektörler tek bir birim olarak üretilmektedirler. Pompa ve enjektörlerin bir arada olması ile yüksek basınç borularının kullanımının dezavantajları ortadan kaldırılmış olur. Tek üniteli pompa-enjektör sistemleri bir veya iki silindirli motorlar ile silindir başına 100 kW'a kadar güç üreten büyük motorlarda kullanılırlar. En önemli özelliklerinden biri, hareketini süpaplara gibi kam-itici-külbütör mekanizması veya üstten kamlı motorlarda doğrudan kamlardan almalarıdır. Yakıtı plancının hareketi ile çok delikli enjektörden püskürtürler[8].

Resim 2.2'de birim pompa – enjektör yakıt enjeksiyon sistemi görülmektedir. Birim enjektör sisteminin ilk nesli 1600 bar olarak üretilmişken günümüzde 2200 bar olarak üretilmektedir. Bu da son derece yüksek enjeksiyon basınçları oluşturmak anlamına gelmektedir. Sistemin avantajı sadece düşük emisyon oluşturmak değil aynı zamanda verimliliği arttırmaktır. Enjektörler elektronik olarak tetiklenerek

çalıştırılırlar ve ön püskürtme yapmaya elverişli şekilde üretilmektedirler. Bu sayede motor gürültü seviyesi düşürülmüş olur. Elektronik kontrol ünitesi sekiz silindire kadar olan sistemi tetikleyebilir. İkinci bir kontrol ünitesi ile bu sayı 16 silindire kadar çıkabilmektedir[9].



Resim 2.2. Birim pompa - enjektör yakıt enjeksiyon sistemi

Elektronik kontrol birimi (ECU), birim pompa – enjektör yakıt sisteminin çalışmasını kontrol eden ve sağlayan birimdir. Motorun çalışmasından itibaren sistemi kontrol etmeye başlamaktadır. Isıtma ve soğutma sistemlerini kontrol ederek sistemi çalışma sıcaklığında tutmaktadır. Aynı zamanda motorun hareketini sağlayan pompa – enjektörlerin çalışmasını kontrol etmektedir. Bunun için kam miline bağlı sensörler vasıtası ile pompa – enjektörlerin hangi sırayla çalışacağına karar verip çalışmasını gerçekleştirmektedir.

Resim 2.3’de Scania marka çekicilerde kullanılan birim pompa – enjektörün iç yapısı görülmektedir. Birim pompa – enjektörlerin iç yapısı hassas biçimde ayarlanarak üretilmiştir. Yapılmış ayarların bozulması dahi enjektörün yanlış çalışmasını sağlamaktadır.



Resim 2.3. Birim pompa - enjektör iç görünümü

Birim pompa – enjektörlerin çalışması prensibi dört adımda incelenebilir. Bu çalışma zamanları Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Şekil 2.1a’da bu dört çalışma zamanının ilki olan emme zamanı görülmektedir. Bu anda 2 numara ile işaretlenen pompa plançeri 3 numara ile işaretlenen pompa yayına yukarıya doğru baskı uygulamaktadır. Bu anda oluşan düşük iç basınçtan dolayı dizel yakıt, borular vasıtası ile motor bloğundan geçerek 7 numara ile işaretlenen giriş yolundan 6 numara ile işaretlenen selenoid valf haznesine doğru akmaktadır.

Şekil 2.1b’de birim pompa – enjektörün ikinci zamanı olan başlangıç zamanı görülmektedir. Bu zamanda 1 numara ile işaretlenen tahrik kamı dönmeye devam etmekte ve pompa plançerine aşağı doğru baskı uygulamaktadır. Selenoid valf bu anda açık olduğundan pompa plançeri fazla gelen yakıtı 8 numara ile işaretlenen geri dönüş yoluna kuvvet uygulayarak atmaktadır.

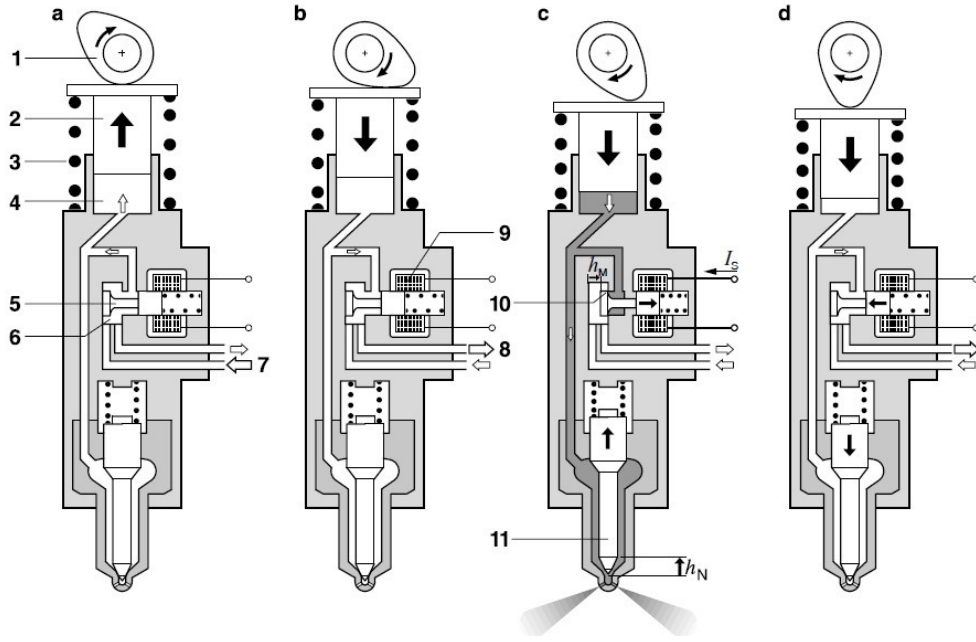
Şekil 2.1c’de üçüncü zaman olan çıkış zamanı ve yakıt püskürtmesi görülmektedir. Bu anda elektronik kontrol birimi 9 numara ile işaretlenmiş selenoid valf bobinine sinyal uygulayarak selenoid valf ucunu 10 numara ile işaretlenmiş yuvasına yerleştirmektedir ve böylelikle yüksek basınç haznesi ile düşük basınç haznesi arasındaki bağlantı ayrılmaktadır. Bu an BIP (Beginning of injection period = yakıt

püskürtme başlangıcı) olarak adlandırılmaktadır. Selenoid valf ucunun kapanması bobin akımının değişmesine neden olmaktadır. BIP değeri elektronik kontrol birimi tarafından algılanır. Pompa plançerinin dönmeye devam etmesi yüksek basınç haznesindeki yakıtın basıncını arttırır. Aynı anda 11 numara ile işaretlenmiş iğne ucunun da basıncı arttırmış olur. İğne ucu yaklaşık 300 bar olan açılma basıncına ulaşınca yuvasına oturarak yakıtın motor pistonuna püskürtülmesini sağlar. Bu an gerçek püskürtme anı olarak adlandırılır. Pompa plançerinin dönmeye devam etmesi yakıt basıncının püskürtme anında da artmasını sağlamaktadır.

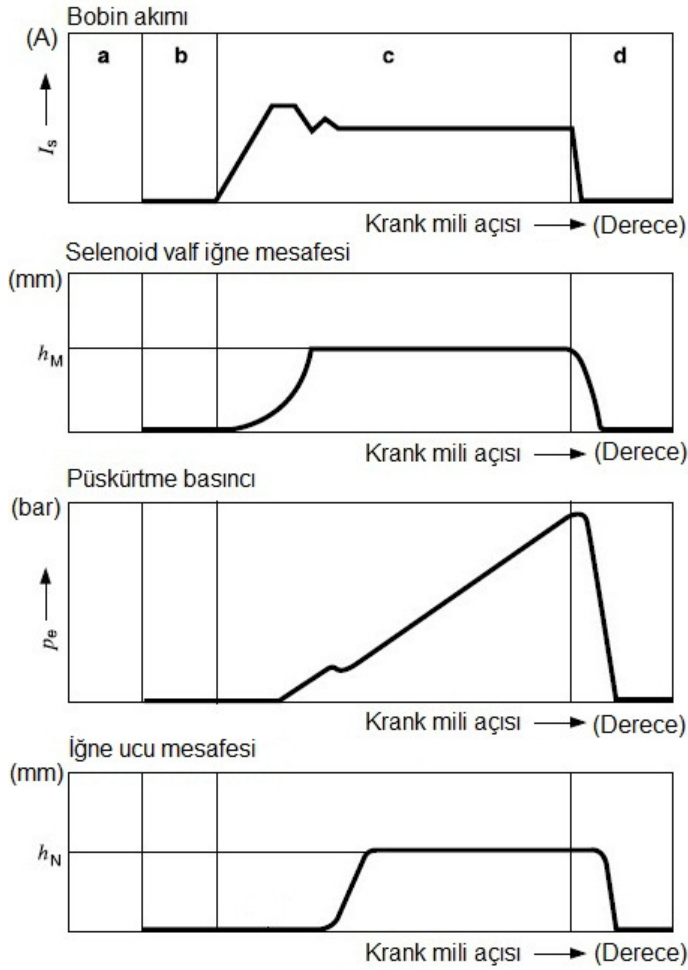
Şekil 2.1d'de dördüncü zaman olan artık zamanı görülmektedir. Bu zamanda selenoid valf bobinindeki sinyalin kesilmesi ile selenoid valf, yüksek basınç haznesi ile düşük basınç haznesi arasındaki bağlantıyı sağlamış olur.

Püskürtme basıncı tepe değerine çıkış zamanı ile artık zamanı arasında ulaşmaktadır. Basıncın tepe değeri birim pompa – enjektör modeline göre değişmekle beraber en fazla 1800 ile 2050 bar arasında olmaktadır. Selenoid valf bobinindeki sinyal kesilir kesilmez yakıt basıncı bir anda düşmekte ve selenoid valf kapanma basıncının altına düştüğünde ise püskürtme işlemi sona ermektedir[10].

Şekil 2.2'de birim pompa – enjektörünün çalışma zamanları sırasındaki sinyaller görülmektedir. Elektronik kontrol birimi için bobin akım sinyali kontrol edilmektedir. Bobin akımı püskürme miktarını doğrudan etkilemektedir.



Şekil 2.1. Birim pompa – enjektörlerin çalışma zamanları



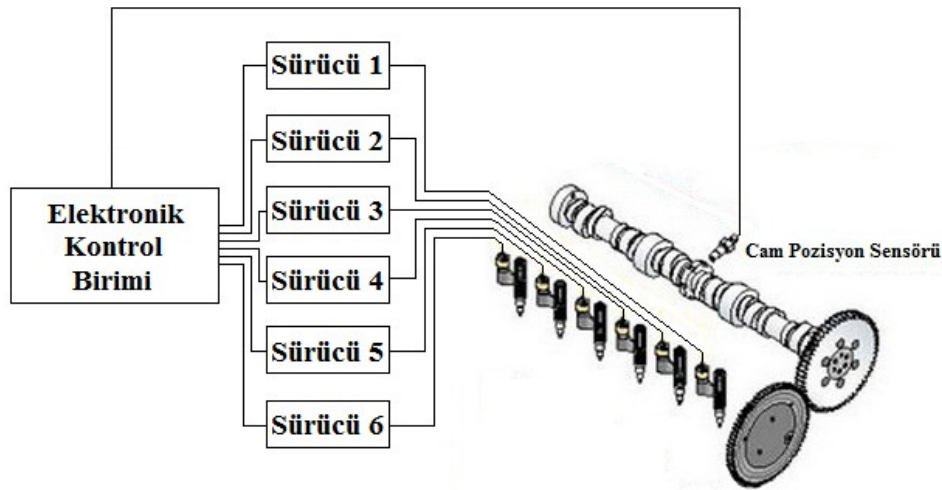
Şekil 2.2. Birim pompa – enjektörlerin çalışma zamanı sinyalleri

Bu çalışmada birim pompa – enjektör yakıt sisteminin en önemli parçası olan pompa – enjektörlerin testini gerçekleştirmek amacıyla elektronik kontrol birimi tasarlanarak çalışması gerçekleştirilmiştir.

3. BİRİM POMPA - ENJEKTÖR YAKIT SİSTEMİ TEST CİHAZININ ELEKTRONİK KONTROLÜNÜN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Şekil 3.1’de gerçekleştirilen elektronik kontrol sistemi blok diyagramı görülmektedir. Sistemin elektronik kontrol birimi algılayıcılardan gelen verileri okumak, yorumlamak ve cevap vermek üzere programlanmıştır.

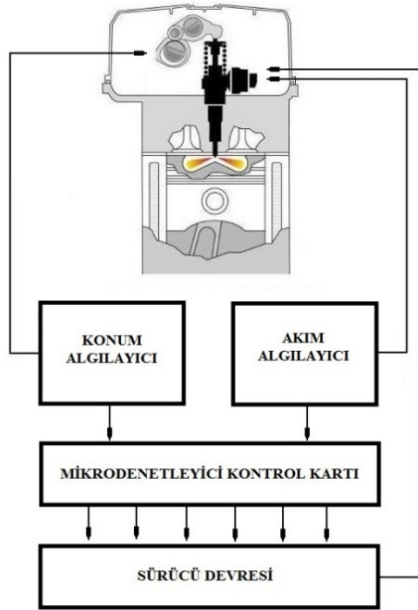
Sistem modüler olarak tasarlanmıştır. Elektronik kontrol birimi zayıf akım kartı olarak mikrodenetleyici kontrol kartı bulunmaktadır. Her bir birim pompa için bir adet sürücü kartı kullanılmaktadır. Sistem algılayıcılardan aldığı konum bilgisine göre birim pompa ve enjektörleri sıralı bir biçimde çalıştırmaktadır.



Şekil 3.1. Elektronik kontrol sistemi blok diyagramı

Şekil 3.2’de tek üniteye ait elektronik kontrol sisteminin blok diyagramı görülmektedir. Sistem, birinci adımında öncelikle bir adet birim pompa – enjektörü çalıştıracak şekilde tasarlanmıştır. Sistem, ikinci adımında altı adet birim pompa – enjektör çalıştırılarak tamamlanmıştır.

Her ünite birbirinin benzeri şeklinde çalışmaktadır. Konum algılayıcısından gelen bilgiye göre çalışma anı belirlenir. Birim pompanın çalışması akım algılayıcısından alınan geri besleme ile gerçekleştirilir. Birim pompanın referans noktasına ulaşması gözlemlenir.



Şekil 3.2. Tek üniteye ait elektronik kontrol sisteminin blok diyagramı

Birim pompa – enjektör yakıt sistemi test cihazının elektronik kontrolü, kontrol donanımı ve yazılımı olmak üzere iki kısımdan meydana gelmektedir.

3.1. Kontrol Donanımı

Birim pompa – enjektör yakıt sistemi test cihazının elektronik kontrol donanımı, algılayıcılar (konum ve akım algılayıcıları), mikrodeneleyici kontrol kartı ve sürücü devresi birimlerinden oluşmaktadır. Konum algılayıcısından gelen bilgi ile birim pompa – enjektörün tetiklenme anı okunarak mikrodeneleyici kontrol kartına iletilmektedir. Konum sırası gelince birim pompa – enjektörün elektronik tetiklenmesi sürücü devresi sayesinde gerçekleşmektedir. Akım algılayıcısından alınan geri besleme bilgisi ile birim pompa – enjektörün çalışması için gereken akım PID denetimi ile sabit tutulmaktadır. Bu bize birim pompa – enjektörün sağlamlık kontrolünü sağlamada önemli olan parametreyi vermektedir. Aynı zamanda akım algılayıcısından alınan geri besleme birim pompa – enjektörün çalışma süresini belirlemektedir.

3.1.1. Konum algılayıcısı

Elektronik kontrol sisteminde, birim pompa – enjektörün tetiklenme zamanının tespitinde konum algılayıcısı kullanılmıştır. Birim pompa – enjektörün tetiklenebilmesi için tam sıkıştırma uygulanması gerekmektedir. Bunu gerçekleştirebilmek için birim pompa – enjektör motor üzerinde cam mili vasıtasıyla sıkıştırılmaktadır. Birim pompa – enjektörün tam sıkıştırma zamanını algılayabilmek için konum algılayıcısı kullanılmıştır. Böylelikle pompa – enjektör tam sıkışma anı algılanarak bu anda tetiklenilmesi sağlanmıştır. Tam sıkıştırma anı sistemin çalışması için önemlidir. Pompa – enjektör tam sıkıştırma anından önce veya sonra tetiklenirse püskürtme miktarı düşecektir ve sağlıklı bir test olmayacaktır.

Konum algılayıcısı olarak çeşitli türlerde algılayıcılar mevcuttur. Uygulamada endüktif konum algılayıcısı kullanılmıştır. Resim 3.1’de endüstriyel olarak kullanılan endüktif konum algılayıcı görülmektedir. Konum algılayıcıları, endüstriyel alanda mekanik hareket algılamak amacıyla kullanılan en yaygın algılayıcı türüdür. Konum algılayıcılarının en büyük özelliği, mekanik hareketi, fiziksel bir temas olmadan algılayabilmesidir. Bu nedenle, mekanik sınır anahtarlarında olduğu gibi aşınma ve kontakların yıpranması veya tozlanması söz konusu değildir. Ancak konum algılayıcıları, elektronik bir devre içerdiğinden, mekanik anahtarlama elemanları için iki kablo ile bağlantı yeterli iken yaklaşım algılayıcılarına ayrıca besleme hattı ve bu hattı besleyecek bir güç kaynağı gerekir.

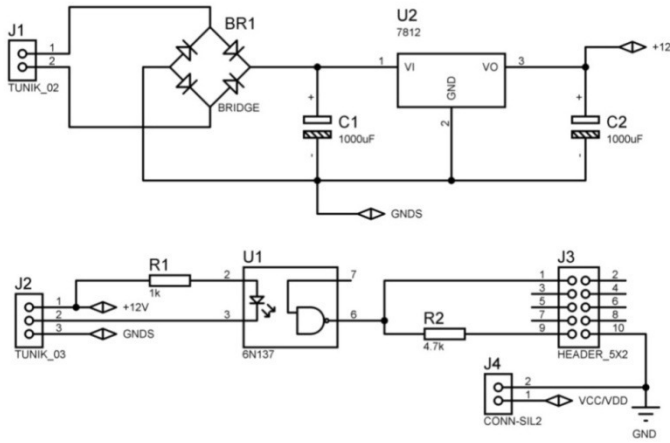


Resim 3.1. Endüktif konum algılayıcısı

Endüktif yaklaşım algılayıcılarının uç kısmında bir ferit nüve üzerine sarılmış bobin, yüksek frekansta bir elektromanyetik alan oluşturur. Algılayıcı ucuna metal bir cisim yaklaştırıldığında bu alan, metal cisim tarafından cisim tarafından bozularak bobinin

endüktansı değişir. Bozulan bu elektromanyetik alanın algılanmasıyla, metal bir cismin algılayıcıya yaklaştığı anlaşılır ve çıkış transistörü iletime geçer[11].

Şekil 3.3’de konum algılayıcı devresi görülmektedir. Konum algılayıcısı için devre tasarımı gerçekleştirilerek sisteme eklenmiştir. Bu doğrultuda cam milinin pozisyonu tam olarak ölçülerek sistemin hangi anda tetikleneceği doğru bir şekilde bilinmektedir. Tasarlanan devrede algılayıcı ile mikrodenetleyici kontrol kartı arasında potansiyel fark uygunlaştırması yapılmıştır. Aynı zamanda elektriksel olarak yalıtım yapılmış bu sayede gürültü sinyalleri engellenmiştir.



Şekil 3.3. Konum algılayıcı devresi

Tasarlanan konum algılayıcı devresinin bitmiş hali Resim 3.2’de görülmektedir. Devre modüler olarak tasarlanmış olup sisteme dahil edilmiştir.



Resim 3.2. Konum algılayıcı devre kartı

3.1.2. Akım algılayıcısı

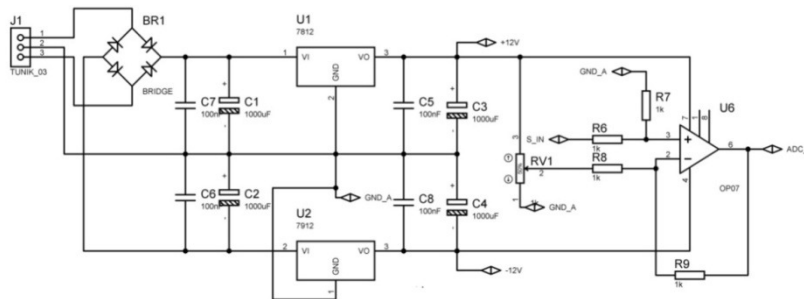
Birim pompa – enjektörün testi esnasında iki parametre test edilmektedir. Bunlardan ilki birim pompa – enjektörün birim zamanda püskürttüğü yakıt miktarı, ikincisi ise birim pompa – enjektörün çalışması sırasında çekmesi gereken akım miktarıdır. Birim pompa – enjektörün çalışabilmesi için bu iki parametre düzgün ayarlanmalıdır.

Resim 3.3’de tasarımda kullanılan LEM firmasının üretmiş olduğu akım algılayıcı görülmektedir. Elektronik kontrol sisteminde, birim pompa – enjektörün çalışma akımını tam olarak ayarlayabilmek için akım algılayıcısı kullanılmıştır. Akım algılayıcısı devresi tasarlanarak elektronik kontrol sistemine eklenmiştir. Kullanılan akım algılayıcısı alan etkisi prensibini kullanarak çalışmaktadır. Böylelikle birim pompa – enjektör ile elektronik kontrol sistemi arasında elektriksel yalıtım gerçekleşmiştir.



Resim 3.3. Akım algılayıcı

Şekil 3.4’te tasarlanan akım algılayıcı devresi görülmektedir. Tasarlanan akım algılayıcı devresi ile ölçülmek istenen akım değeri, mikrodenetleyicinin ADC giriş blokları için uygun seviyeye dönüştürülmüştür. Akım, algılayıcı tarafından izoleli olarak okunmakta ve kullanılan op-amp devresi sayesinde analog giriş kanalları için uygun seviyeye dönüştürülmektedir.



Şekil 3.4. Akım algılayıcı devresi

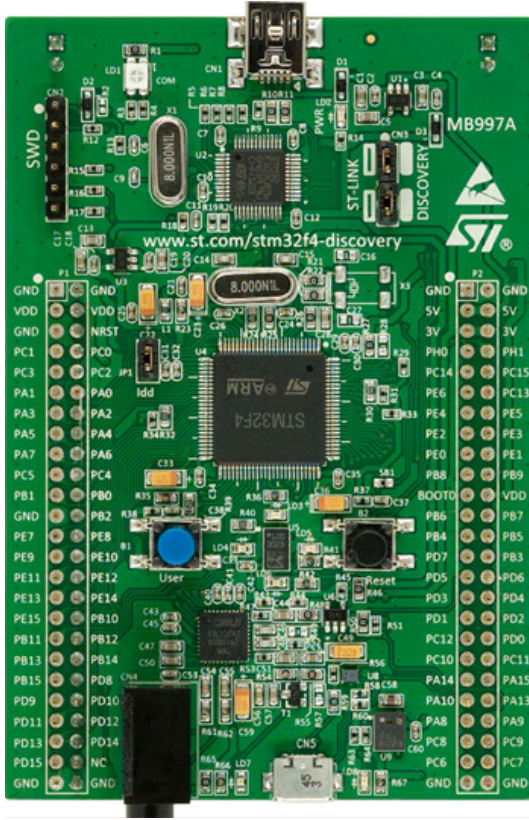
3.1.3. Mikrodenetleyici kontrol kartı

Mikrodenetleyici kontrol kartı olarak STM32F4 Discovery kartı kullanılmıştır. ST firmasının üretmiş olduğu kontrol kartı ARM Cortex - M4 serisi STM32F407VG işlemciye sahiptir. Cortex - M4 serisi 32 bit işlem yapabilen yüksek performans sağlayan yeni nesil ARM tabanlı işlemcidir.

ARM (Acorn RISC Machine) mimarisi pek çok gömülü tasarımda kullanılan 32-bit RISC işlemci mimarisidir. Güç tasarruf özelliklerinden dolayı, ARM işlemciler mobil elektronik gibi düşük güç tüketiminin kritik bir parametre olduğu pazarda en fazla tercih edilen mikrodenetleyicilerdir. Günümüzde ARM işlemci ailesi tüm yeryüzündeki 32-bit gömülü işlemcilerin %75' ini oluşturmaktadır. ARM işlemciler taşınabilir cihazlardan (PDA, cep telefonu, medya oynatıcılar, avuç içi oyun üniteleri, hesap makineleri v.b.) bilgisayar parçalarına kadar (disk sürücüler, masaüstü modemler v.b.) tüketici elektroniğinin her alanında yoğun olarak kullanılmaktadır[12].

Gömülü tasarım uygulamalarında en sık kullanılan ARM mimarisi komut kümeleri, 32-bit'lik ARM ve 16-bit'lik Thumb komut kümeleridir. Her Thumb komutunun bir ARM komut karşılığı vardır fakat bunun tersi doğru değildir. Bu sorun bu iki komut kümesinin bir arada çalışmasının mümkün olması ile aşılmıştır. Bu sayede, 16-bit'lik komut kümesinin daha az bellek kullanımı ve 32-bit'lik komut kümesinin üstün işlevsellik özellikleri bir arada kullanılabilir[13].

Resim 3.4'te kullanılan mikrodenetleyici kontrol kartı görülmektedir. ST Microelectronics firmasının üretmiş olduğu kart yeni nesil ARM Cortex-M4 serisi mikrodenetleyicisi kullanmaktadır.



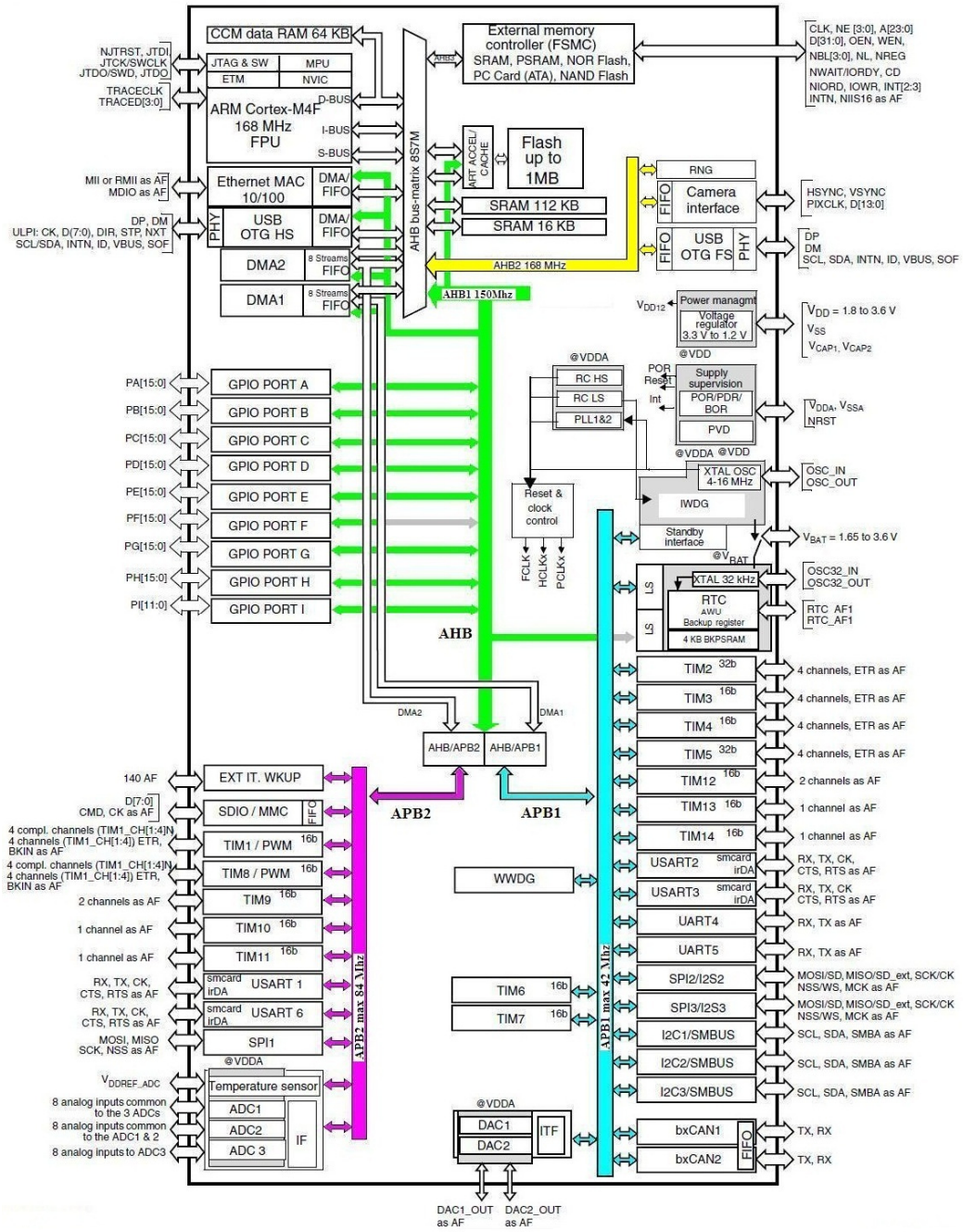
Resim 3.4. Mikrodenetleyici kontrol kartı

Kullanılan mikrodenetleyici kontrol kartı aşağıdaki özellikleri içermektedir:

- 168 MHz/210 DMIPS Cortex-M4 CPU tek çevirim DSP MAC birimi
- 1 MB flash hafızası
- 192 KB RAM bellek
- 140 adet giriş/çıkış (I/O) birimi
- 24 adet ADC birimi
- 14 adet zamanlayıcı
- USB Host ve Slave özelliği
- Ethernet kontrolü
- Dahili hata ayıklama özelliği
- 3 eksen hareket sensörü
- Çok yönlü dijital mikrofon
- Hoparlör sürücü entegre edilmiş DAC birimi

Mikrodenetleyici kontrol kartı sistemin çalışmasında en önemli birim olarak görev yapmaktadır. Test işlemi gerçekleştirilirken yapılan işlemler göz önüne alınarak mikrodenetleyici seçimi yapılmıştır. Bu sayede sistem tepkisinin hızlı olması sağlanmıştır. Mikrodenetleyici için geliştirilen yazılım ile gerekli analog ve dijital işlemler ile gerekli giriş çıkış işlemleri bilgisayardan bağımsız bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.5'te kullanılan mikrodenetleyiciye ait kontrol kartının blok diyagramı görülmektedir. Diyagramda ARM Cortex-M4 çekirdeği diğer birimler ile data hatları ile haberleşmektedir. Giriş – çıkış işlemleri yapılırken, data hatları ile birimler arası bağlantı sağlanarak işlemler gerçekleştirilir.

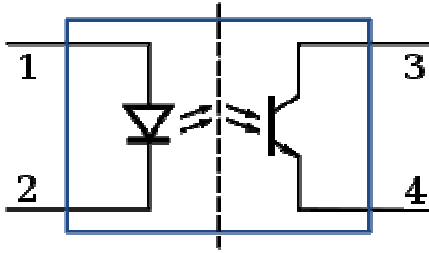


Şekil 3.5. Mikrodenetleyici blok diyagramı

3.1.4. Sürücü devresi

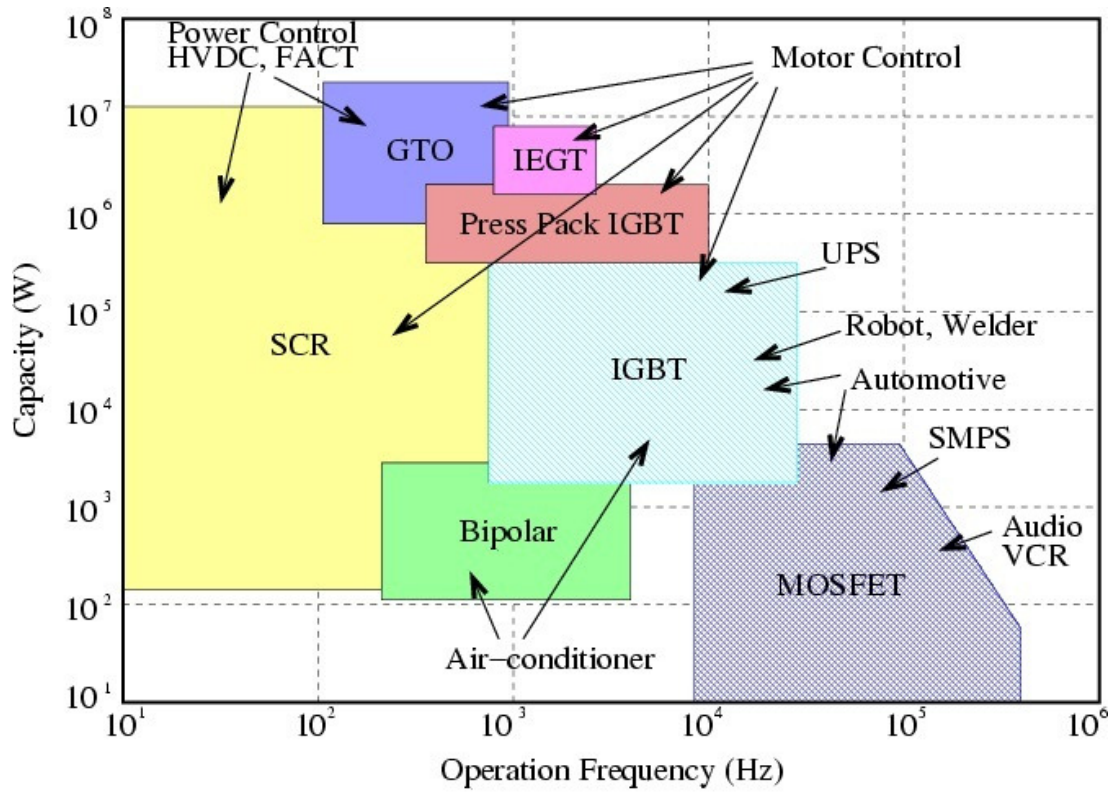
Birim pompa – enjektörün test işlemi yapılabilmesi için elektronik olarak tetiklenmesi gerekmektedir. Bu tetik sinyali pompa – enjektörün çalışması için sağlıklı bir şekilde üretilmesi gerekmektedir. Bunun için elektronik yarı iletken anahtarlar kullanılmıştır.

Sürücü devresi, mikrodnetleyici devresinden elektriksel olarak yalıtılmış şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede birim pompa – enjektör çalışırken oluşan elektriksel dalgalanmalar mikrodnetleyici devresinden izole edilmiş olur. Bunu gerçekleştirebilmek için opto izolatör kullanılmıştır. Şekil 3.7’de kullanılan opto izolatörün iç yapısı görülmektedir. Birim pompa – enjektörün çalışması için gereken sinyal yarıiletken anahtara opto izolatör ile iletilerek elektriksel yalıtım sağlanır. Sinyal kızılötesi sinyal şeklinde sürücü devresine aktarılmış olur.



Şekil 3.7. Opto izolatör

Birim pompa – enjektörün çalışması dizel motor üzerinde 4500 dev/dk’ya kadar çıkmaktadır. Birim pompa – enjektörün test işlemi, marka ve modele göre değişmekle beraber 300 – 1500 dev/dk hızlarda yapılmaktadır. Bundan dolayı test işlemi yapılırken birim pompa – enjektörün hızlı bir şekilde sinyal uygulanması gerekmektedir. Bunun için yarı iletken elektronik anahtar olan mosfet kullanılmıştır. Mosfet kullanılmasının amacı hızlı tepki verebilmesi, orta seviye güç devrelerinde kullanılması ve maliyetinin düşük olmasıdır.

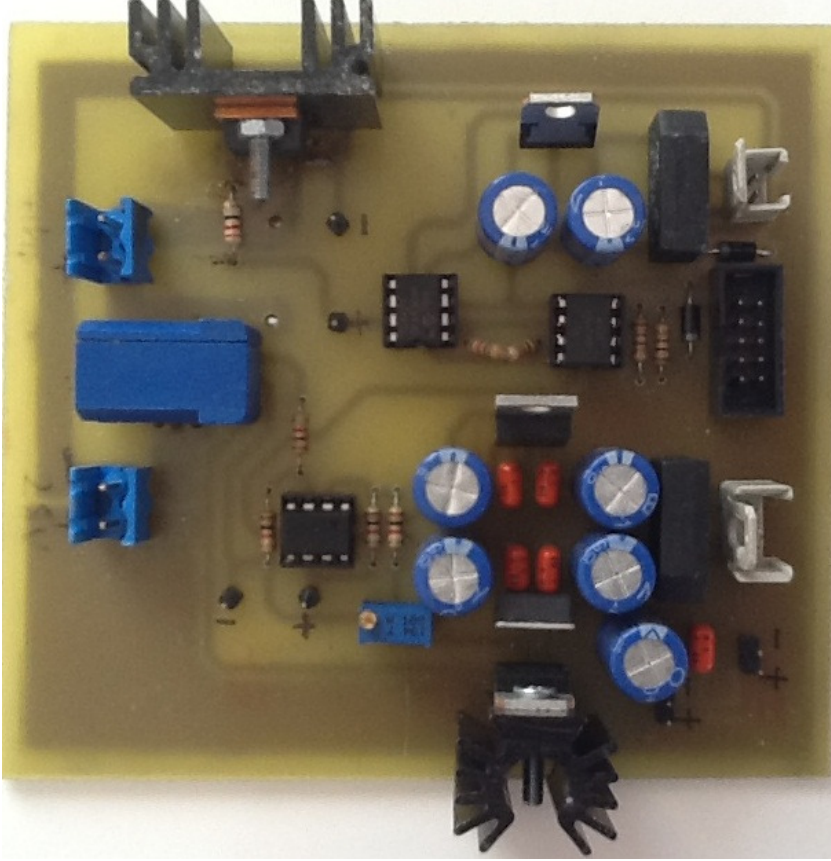


Şekil 3.8. Yarı iletken anahtarlar

Şekil 3.8’da elektronik yarı iletken anahtarların kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Sürücü katında kullanılan yarı iletken anahtar olan mosfet, yüksek frekanslarda sinyal uygulamaya izin vermektedir. Bunun yanında orta güç devrelerinde kullanılmaktadır.

Mosfet yarı iletken anahtarlarına yüksek frekanslarda sinyal uygulandığında giriş kısmında yüksek empedans gösterirler. Bundan dolayı mosfet yarı iletken anahtarları doğrudan mikrodenetleyici ile kontrol edilemezler. Yüksek frekanslarda sinyal uygulamak için mosfet sürücü entegre kullanılmalıdır. Mosfet sürücü entegreleri, mosfet yarı iletken anahtarların girişindeki yüksek empedansı karşılayacak akımı sağlamaktadır. Bu sayede uygulanan sinyal bozulmaya uğramadan mosfet yarı iletken anahtarına uygulanabilmektedir[14].

Resim 3.5’de sürücü devresi kartı görülmektedir. Sürücü devresi modüler olarak tasarlanmıştır. Böylelikle yapılan değişiklikler sistemin bütünü yerine sadece ilgili birimde yapılmaktadır.



Resim 3.5. Sürücü devresi kartı

3.2. Kontrol Yazılımı

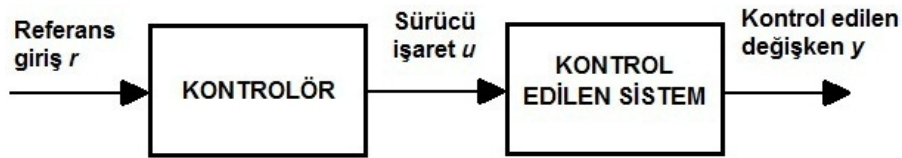
Kontrol sistemleri günümüzde sanayi alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir sistemin kontrolü açık çevrimli ve kapalı çevrimli olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

Birim pompa – enjektör yakıt sistemi test cihazı elektronik kontrolü yazılımı, MDK ARM Keil derleyicisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen yazılım ile PID denetleyici tasarlanarak sistemin kontrolü kapalı çevrimli olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Açık çevrim kontrol sistemi

Açık çevrim kontrol sistemleri aynı zamanda geri beslemesiz sistemler olarak da adlandırılırlar. Açık çevrimli kontrol sistemleri en basit kontrol sistemidir. Bu sistemlerin kritik davranış koşullarını yerine getirmeyeceğini görmek zor değildir. Açık çevrim kontrol sistemler ekonomiktir ancak hassas değildir.

Açık çevrim kontrol sistemlerinin öğeleri Şekil 3.9'da görüldüğü gibi kontrolör ve kontrol edilen sistem olmak üzere iki kısma ayrılır. u sürücü işaret çıkışlı kontrolöre r komutu ya da giriş işareti uygulanır. Bu sürücü işaret, kontrol edilen sistem çıkışındaki y kontrol edilen işareti, önceden belirlenen standartlara göre davranmasını sağlayacak şekilde etkiler. Bu tür açık çevrimli kontrol sistemlerine, basit ve ekonomik olmaları nedeniyle, çok sayıda karmaşık olmayan uygulamalarda rastlamak mümkündür.

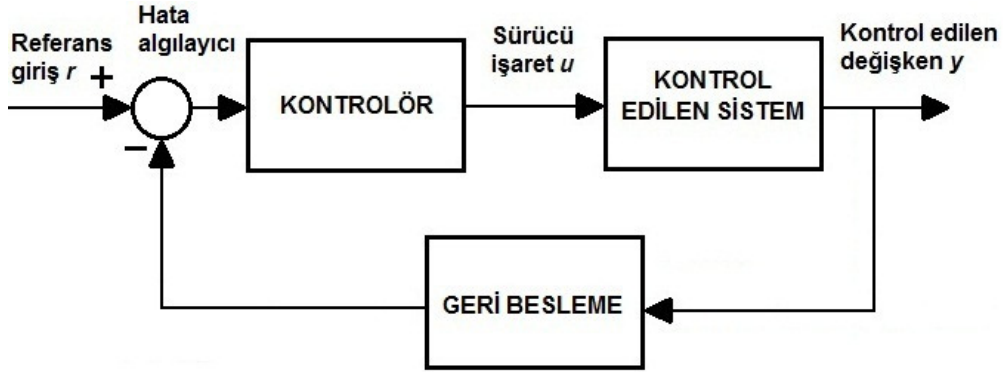


Şekil 3.9. Açık çevrimli kontrol sistemlerin öğeleri

3.2.2. Kapalı çevrimli kontrol sistemleri

Açık çevrimli kontrol sistemlerinin hatasız ve adaptif kontrolü için gerekli olan kısım, sistem çıkışından girişine bir bağlantının oluşturulması ve ya geri beslemedir. Hatasız bir kontrol elde etmek için, y kontrol edilen işaret geri beslemeli ve referans işaretle karşılaştırılmalıdır. Giriş – çıkış işaretleri farkı ile orantılı bir sürücü işaret, hatayı gidermek üzere sisteme uygulanmalıdır. Bir veya daha fazla geri besleme yoluna sahip bir sisteme kapalı çevrimli sistem denmektedir.

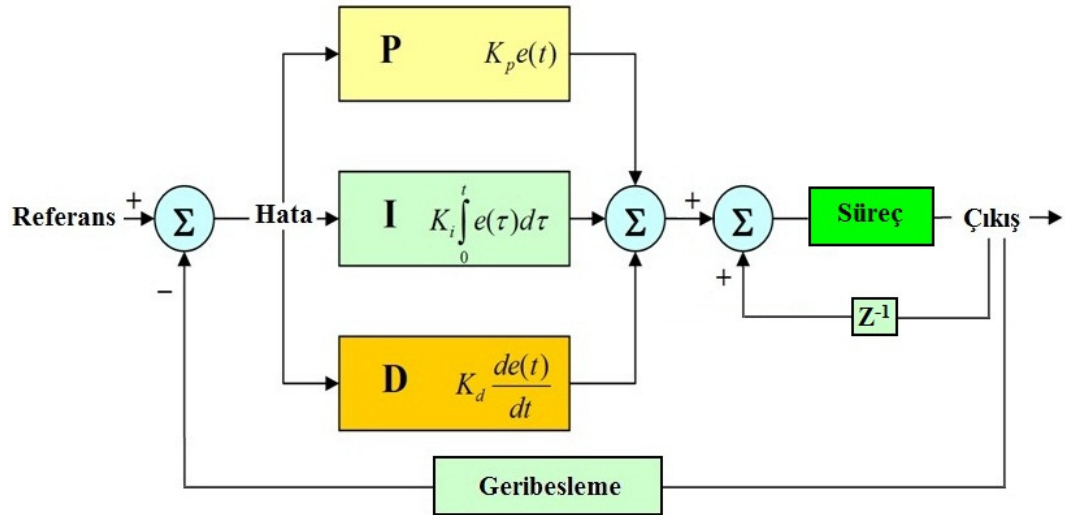
Şekil 3.10'da kapalı çevrimli kontrol sistemi blok şeması görülmektedir. Referans girişi sistem çıkışının olması istenen değeridir. İstenilen değer ile o anki gerçek değer arasındaki fark hata algılayıcı tarafından algılanmalıdır. Kontrolör farka göre devreye girer ve hatayı gidermek için uygun şekilde u sürücü işaretini değiştirir.



Şekil 3.10. Kapalı çevrimli kontrol sistemi blok şeması

3.2.3. PID kontrol yöntemi

PID kontrol döngüsü yöntemi, yaygın olarak endüstriyel kontrol sistemlerinde kullanılan genel bir kontrol döngüsü geribildirim mekanizmasıdır. Bir PID denetleyici, istenilen ayar noktası ile o an ölçülen nokta arasındaki farkı hata değeri olarak hesaplar. Mikrodenetleyici kontrol girişini, alınan geri besleme ile ayarlayarak istenilen ayar değerine ulaşmak için hatayı en aza indirmek için çalışır. PID kontrol yazılımının blok diyagramı Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Sistem akım kontrollü olarak çalıştığından alınan geri besleme akım algılayıcısı olmaktadır.



Şekil 3.11. PID kontrol yazılımı blok diyagramı

PID denetleyicinin matematiksel ifadesi Eşitlik 3.1 ile elde edilir.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (3.1)$$

Denklemden K_p oransal kazancın katsayısını, K_i integral kazancın katsayısını, K_d türev kazancının katsayısını, $e(t)$ akım hatasını, $u(t)$ denetleyicinin çıkış sinyalini göstermektedir. Sistemin hızlı tepki vermesi ve kolay uygulanabilir bir yapıya sahip olması için kazanç katsayılarının uygun olarak belirlenmesi gerekmektedir. Kazanç katsayılarının belirlenmesi için metotlar geliştirilmiştir. Bunların başında elle yapılan ayarlama vardır. Elle yapılan ayarlama, deneme yanılma yöntemine dayalı olduğundan çok yaygın kullanılmamaktadır. Katsayıların ayarlanması için bir diğer yöntem Ziegler – Nicholas yöntemidir. Bu yöntem sistematik bir çalışma olduğundan hızlı ve kesin sonuç vermektedir. Katsayıların ayarlanmasında Ziegler – Nicholas yöntemi kullanılmıştır.

Ziegler – Nicholas yönteminde katsayıları ayarlamak için öncelikle I ve D katsayılarını sıfır yapılmaktadır. Daha sonra P parametresi artırılarak sistemin tepkisi gözlemlenir. Sistem osilasyona girinceye kadar P parametresi artırılır. Sistemin osilasyona gittiği andaki P değerine K_U , osilasyon frekansına P_U dersek, K_p katsayısı Eşitlik 3.2 ile, K_i katsayısı Eşitlik 3.3 ile, K_d katsayısı Eşitlik 3.4 ile hesaplanmaktadır[15].

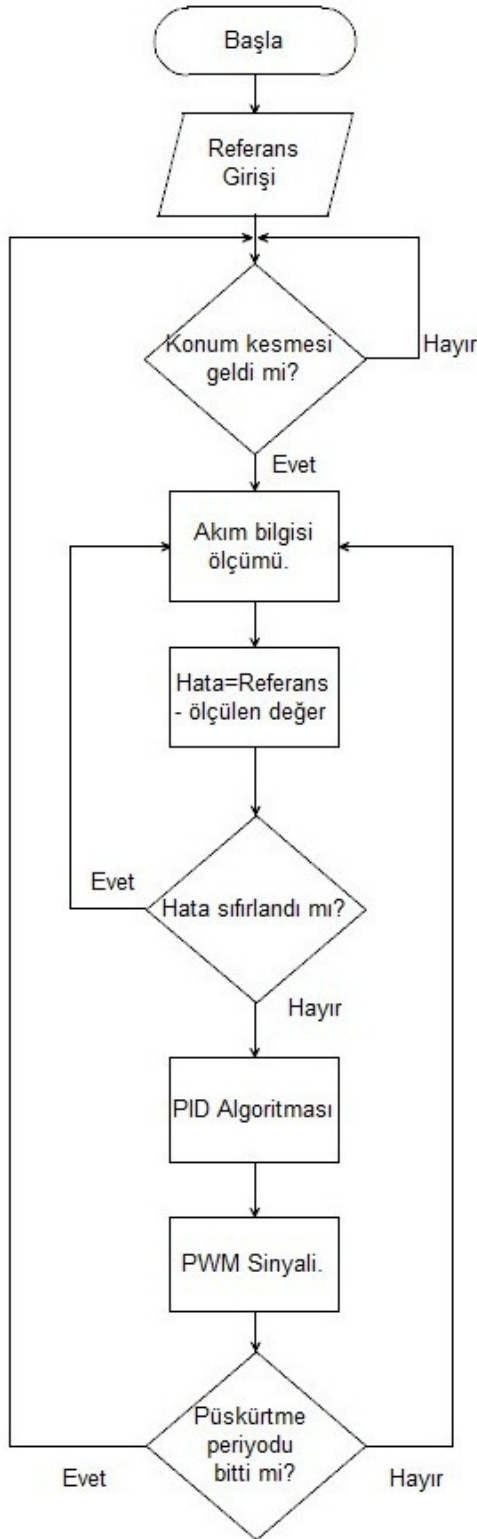
$$K_p = \frac{K_u}{1.7} \quad (3.2)$$

$$K_i = \frac{2}{P_u} \quad (3.3)$$

$$K_d = \frac{P_u}{8} \quad (3.4)$$

Kontrol yazılımının akış şeması Şekil 3.12’de görülmektedir. Sistem konum algılayıcısından tetikleme anını ölçmektedir. Tetikleme anında akım algılayıcısından gelen geri besleme ile hatayı hesaplamaktadır. Hata sıfırdan farklı bir değer ise PID

algoritmasını işleterek çıkışa uygun sinyal gönderilir. Tetikleme süresi bitiminde sistem bir sonraki tetikleme anına kadar beklemektedir.



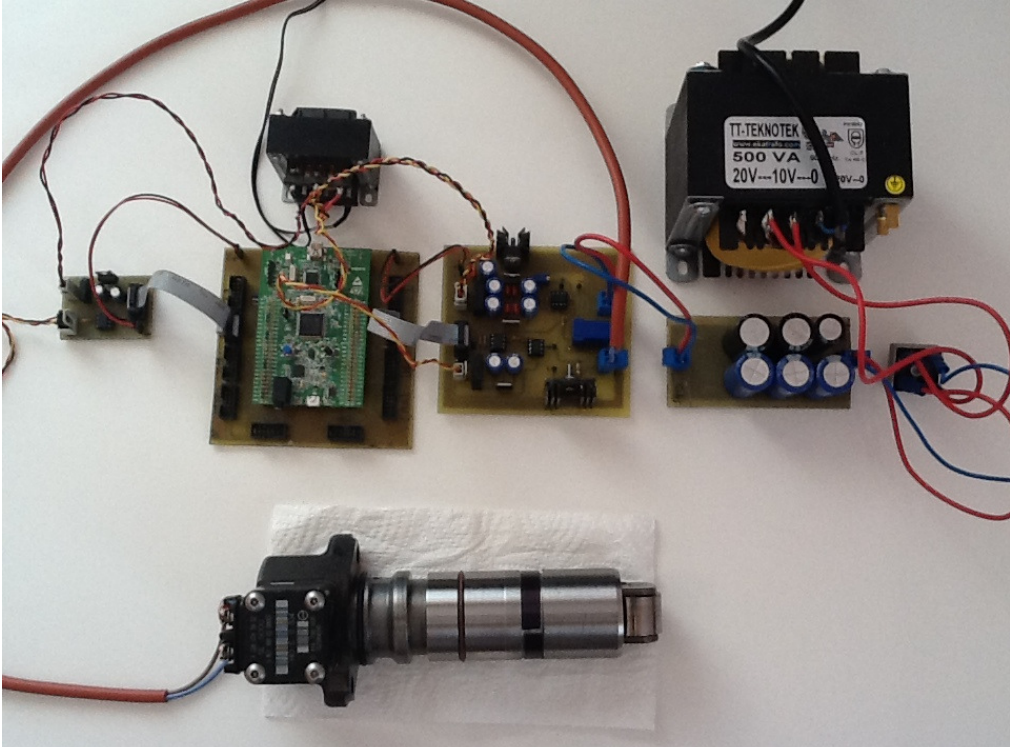
Şekil 3.12. Kontrol yazılımı akış şeması

Yapılan ölçümlerde birim pompa – enjektör, marka ve modele göre farklılık göstermekle beraber ilk 700 ile 800 us zamanında 10 A akımda çalışmaktadır. Bu ilk aşama birim pompa – enjektörün sağlamlık kontrolünde birinci adım olan BIP değerini vermektedir. Birim pompa – enjektör ilk anda BIP değerine ulaşamazsa birim pompa – enjektör arızalıdır demektir. 800 us sonunda ikinci adım olan püskürtme aşaması bulunmaktadır. Bu süre yaklaşık 2,5 ms sürmektedir. Bu süre boyunca enjektör 6 A akımda sabit tutulmaktadır. İkinci adımda birim pompa – enjektörün mazot püskürtmesi gözlemlenir. Püskürtme işlemi 90 saniye boyunca devam ettirilir ve milimetrik kaplarda biriktirilerek gözlem yapılır. Buna göre birim pompa – enjektörün sağlamlık testi gerçekleştirilmiş olur.

Test işleminin birinci adımında referans noktamız 10 A olmaktadır. PID denetleyicisi hatayı hesaplayarak referans değerine ulaşmak için işlem yapmaktadır. 800 us sonunda referans noktası değişerek 6 A seviyesi olmaktadır. PID denetleyicisi hatayı tekrar hesaplayarak bu noktada sabit tutabilmek için giriş sinyalini değiştirerek işlem yapmaktadır.

Sistemin doğru tepki verebilmesi, sistemin çıkışından alınan geri besleme ile doğrudan ilişkilidir. Sistem çıkışından alınan geri beslemeler hatayı belirler. Geri beslemenin sağlıklı ölçülebilmesi için 1 Msps örnek alınarak hata hesaplanmış ve PID denetleyicisine gönderilmiştir.

Resim 3.6’da gerçekleştirilen sistemin donanımı Mercedes Axor aracının birim pompası ile beraber görülmektedir.

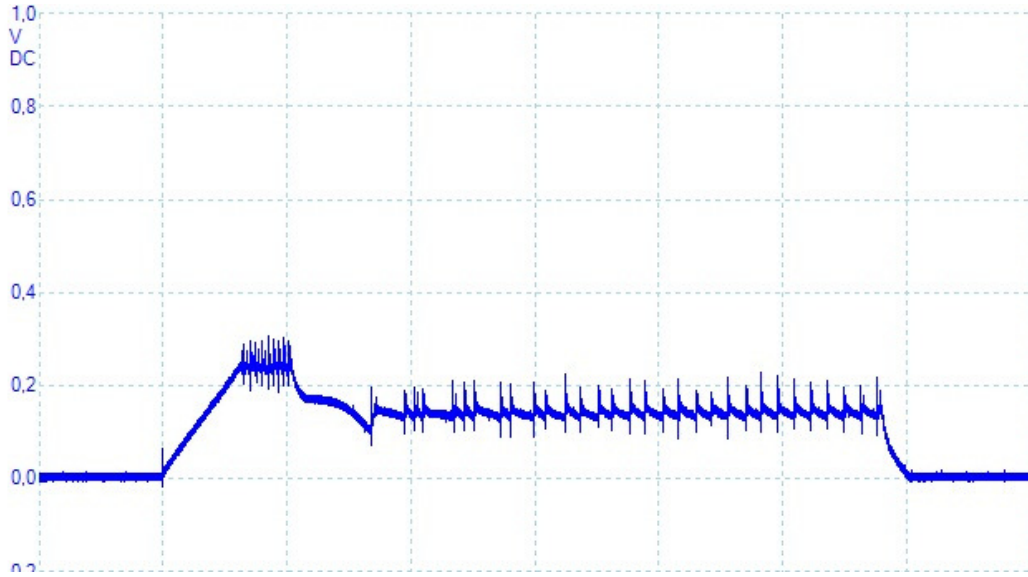


Resim 3.6. Tek üniteye ait sistem donanımı

4. UYGULAMA SONUÇLARI

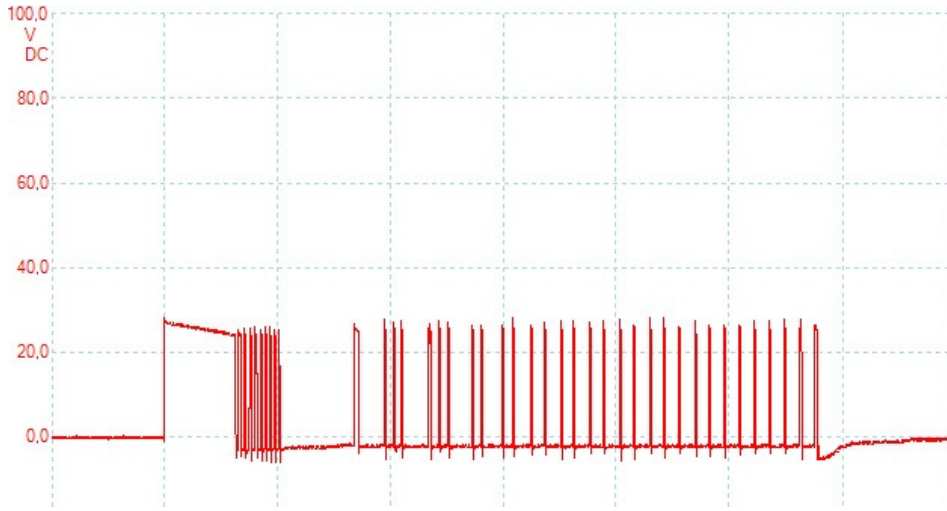
Bu çalışmada birim pompa – enjektörün elektronik kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sistemin çalışması birim pompa – enjektörün dizel motor üzerinde çalışması ile karşılaştırılmıştır.

Resim 4.1’de Mercedes Axor marka aracın birim pompa – enjektörünün dizel motor üzerinde çalışırken sistemden çektiği akım dalgası görülmektedir. Akım algılayıcısının ölçüm aralığı amper başına 25 mV olmaktadır. Sinyalin tepe noktası yaklaşık 250 mV olmaktadır. Buradan da birim pompa – enjektör çalışırken ilk anda 10 A seviyesinde akım çektiği görülmektedir. Bu da BIP değerinin doğru olduğunun göstergesidir. Daha sonra referans seviyesi 6 A seviyesine düşerek birim pompa – enjektörün püskürtme işlemi gerçekleştirilir. Yapılan ölçümlerde püskürtme işleminin 26,6 mL olarak doğru bir şekilde gerçekleştiği gözlemlenmektedir.



Resim 4.1. Birim pompa – enjektörün çalışma akımı

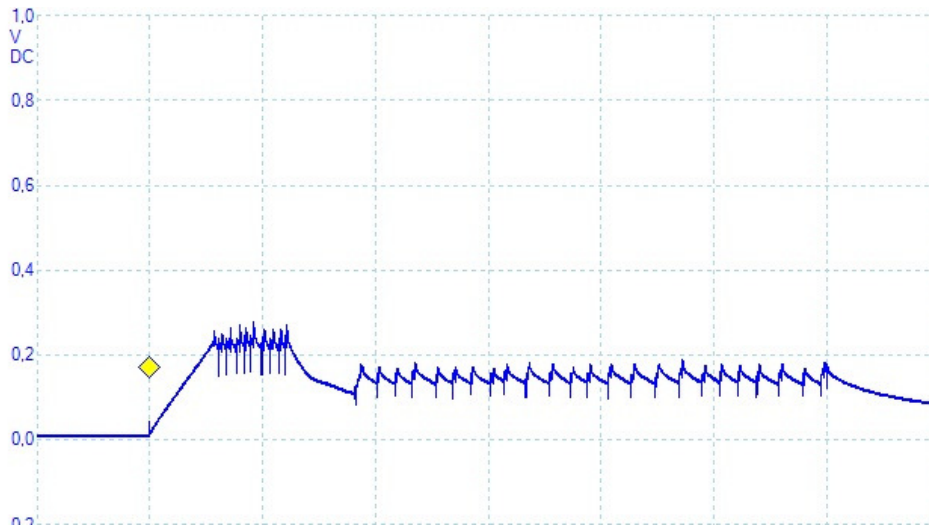
Resim 4.2’de Mercedes Axor aracının birim pompa – enjektörünün dizel motor üzerinde çalışması için uygulanmış sinyal görülmektedir. Birim pompa – enjektörün çalışması için 28 V genliğe sahip DA sinyal uygulanmıştır.



Resim 4.2. Birim pompa – enjektörün çalışma sinyali

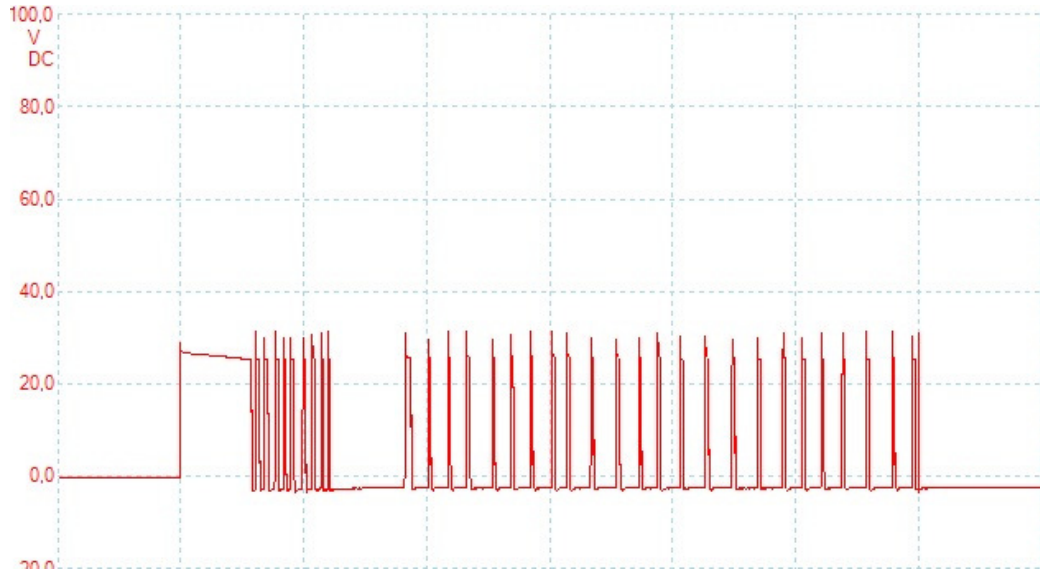
Birim pompa – enjektörün dizel motor üzerinde çalışması gözlemlenerek çalışma aralığı tespit edilmiştir. Buna göre aynı marka ve model sağlam olduğu bilinen birim pompa – enjektör uygulama sırasında kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir.

Resim 4.3'te Mercedes Axor aracının birim pompa – enjektörünün uygulama çalışmasında çektiği akım gözlenmektedir. Dizel motor üzerinde çalışma ile aynı çalışma şeklini göstermektedir. Birim pompa - enjektörün başlangıçta 10 A seviyesinde akım çekmesi sağlanmıştır. Daha sonra referans 6 A seviyesine çekilerek çalışma gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde akım algılayıcısı amper başına 25 mV'luk bir çıkış vermektedir.



Resim 4.3. Birim pompa – enjektörün uygulama akım dalgası

Resim 4.4'te Mercedes Axor aracının birim pompa – enjektörünün çalışması için uygulanan sinyal görülmektedir. Benzer şekilde birim pompa – enjektörün çalışması için 28 V DA uygulanmıştır. Sinyal PID denetleyicisinin çıkışı olarak görülmektedir. PID denetleyicisi birim pompa – enjektörünü ilk önce 10 A'de çalışacak şekilde referans verilmiştir. Ardından bu değer 6 A seviyesine düşürülerek çalışma gerçekleştirilmiştir.



Resim 4.4. Birim pompa – enjektörün uygulama çalışma sinyali

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dizel motorlar endüstrinin her alanında kullanılmaktadır. Gelişen toplumumuzu gözlemlediğimiz zaman bu oran gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmada dizel motor yakıt enjeksiyon sistemi test cihazının elektronik kontrolü gerçekleştirilerek yerli olarak üretilmiş test cihazı geliştirilmiştir. Geliştirilen cihaz ile dizel pompa – enjektör testi yapan sanayinin talepleri yerli üretim cihaz ile karşılanması hedeflenmektedir. Ayrıca yeni nesil test cihazı geliştirilerek endüstride kullanılan test cihazlarından farklı olarak zamandan tasarruf yapılması da sağlanmıştır. Bunun için diğer test cihazlarından farklı olarak aynı anda altı adet birim pompa – enjektörü test ederek daha hızlı arıza tespiti yapan bir cihaz geliştirilmiştir.

Çalışma gerçekleştirilirken öncelikle birim pompa – enjektörlerin çalışması gözlemlenerek veriler elde edilmiştir. Birim pompa – enjektörlerin çalışması her marka ve modele göre değişiklik göstermektedir. Sistemin önce elektronik donanımı tasarlanmıştır. Elektronik kontrol için ARM Cortex-M4 serisi 168 Mhz hızına sahip mikrodenetleyici kullanılmıştır.

Sistemin sürücü kısmı tasarlanırken birim pompa – enjektörlerin çalışma aralıkları dikkate alınarak tasarlanmıştır. Sistem tepkisinin hızlı olması açısından elektronik yarı iletken anahtar olarak IRF540 serisi mosfet kullanılmıştır. Mosfet yarı iletken anahtar tetiklenirken kapı sürücüsü olarak TC4427 kullanılmıştır. Sürücü devresi yüksek anahtarlamalarda mosfetin kapı akımını sağlaması için kullanılması gereklidir. Sürücü katında gönderilen sinyaller opto izolatörler kullanılarak iletilmektedir. Bunun amacı gönderilen sinyallerin sürücü katında oluşabilecek parazitlerden korumaktır. Opto izolatör olarak hızlı tepki vermesi bakımından 6N137 kullanılmıştır.

Sistemde bulunan birim pompa – enjektörlerin çalışma zamanlarının belirlenmesi için konum algılayıcısı kullanılmıştır. Kullanılan konum algılayıcı temassız endüktif konum algılayıcısıdır. Konum algılayıcısının temassız olarak seçilmesinin sistemin uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. Ayrıca hızlı tepki verebilmektedir.

Elektronik kontrol sistemi PID denetleyici tasarlanarak gerçekleştirilmiştir. Birim pompa – enjektörlerin çalışması akım kontrolüne dayanmasından dolayı sistemin geri beslemesi birim pompa – enjektörünün bobin akımı olmaktadır. Bobin akımını ölçebilmek için sistemde akım algılayıcısı kullanılmıştır. Kullanılan akım algılayıcısı trafolu tip yalıtılmış olması bakımından LTS25 kullanılmıştır. Böylelikle sistem 25 A’ e kadar olan birim pompa – enjektörleri çalıştıracak şekilde tasarlanmıştır.

Elektronik kontrol sistemi test işlemini gerçekleştirirken iki parametreyi ölçmektedir. İlk olarak birim pompa – enjektörün başlangıç anında selenoid valfinin çekmesi gereken akımın süresini belirten BIP değeridir. Her test cihazı bu değeri ölçmemektedir. BIP değeri doğru olan birim pompa – enjektörün ikinci adım olarak püskürtme miktarı ölçülür. Püskürtme miktarı birim pompa belirli periyotlarda önceden belirlenmiş zaman dilimi içerisindeki püskürtmenin, milimetrik kapta biriktirilmesi ve gözlenmesi yolu ile ölçülmektedir. Bu iki parametrenin biri veya her ikisi doğru değerlerde olmaması durumunda birim pompa mekaniksel olarak parçalarına ayrılarak tamir ve ayar yapılmalıdır. Parametreler tam olarak sağlanıncaya kadar bu işlemler tekrarlanır.

Test cihazlarının taşınması gereken özellikler bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri güvenilir sonuçlar vermesi ve kullanım kolaylığı sağlamasıdır. Test cihazı verileri ölçerken hataları en aza indirmesi beklenir. Bu çalışmada birim pompa – enjektörleri test ederken tetikleme anın tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu amaç için kullanılan konum algılayıcısı olarak enkoder kullanılması daha hassas ölçüm yapılmasını sağlayabilecektir. Bunun yanında kullanıcılara kullanım kolaylığı ve görsellik sağlaması açısından sistemin bilgisayar ara yüzü ile kontrolü sistemin daha işlevsel olmasını sağlayabilecektir.

KAYNAKLAR

1. Yardım, M. H., "Motor Teknolojisi", *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 273 – 307, (2008).
2. Kayan, A., "Dizel Motorları", *Yüce Yayın*, İstanbul, 164 – 194, (2003).
3. Toboldt, B., "Diesel Fundamentals, Service, Repair", *TheGoodheart – WillcoxCompany, Inc.*, USA, 53 – 122,(1983).
4. Sabancı, A., Işık, A., "Dizel Motorlar", *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 93 – 116, (2012).
5. Schulz, E. J., Evridge, B. L., "Diesel Mechanics Third Edition", *Glencoe Division Macmillan / McGraw – Hill*, U.S.A, 220 – 230,(1992).
6. Küçükşahin F., "Dizel Motorları", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 329 – 380,(2008).
7. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E., Soruşbay, C., "İçten Yanmalı Motorlar", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 175 – 209,(2008).
8. Pulkrabek, W. W., "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine Second Edition", *Pearson Education Inc.*, USA, 205 – 216, (2004).
9. Borat, O., Sürmen, A., Balcı, M., "İçten Yanmalı Motorlar", Cilt 1, İstanbul, Ankara, Bursa, (2008).
10. Basshuysen, R. V., Schafer, F., "Internal Combustion Engine Handbook", *Sea International Warrendale. Pa.*, USA, 457 – 470, (2004).
11. Nyce, D. S., "Linear Position Sensors: Theory and Application", *John Wiley & Sons Inc.*, Canada, 78 – 93,(2003).
12. Furber, S., "ARM System-on-chip Architecture", *Addison-Wesley Longman Publishing Co.*, USA, 15 – 45, (2000).
13. Sloss, A., Symes, D., Wright, C., "ARM System Developer's Guide", *Morgan Kaufmann*, USA, 3 – 15,(2004).
14. Türköz, M. S., "Elektronik", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 151 – 168,(2004).
15. Kuo, B. C., Bir, A., "Otomatik Kontrol Sistemleri", *Literatür Yayınları*, İstanbul, 1- 9, (1999).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : PAMUKÇU, Piro
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 02.12.1984 Diyarbakır
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (505) 432 05 21
e-mail : ppamukcu@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Elektronik Öğrt.	2009
Lise	Burhanettin Yıldız A.T.L.	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009 – 2010	Armas Elektronik	Teknik Personel
2010 – 2011	T&T Teknotek Otomotiv	Ar-Ge Personeli
2011 – 2013	Gazi Üniversitesi	Öğrenci Asistan

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bisiklet, Basketbol, Video Oyunları