



T.C.
Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

**BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN ATEŞLEME
KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI**

Aylin Ekmekçi

Yüksek Lisans Tezi

**BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN ATEŞLEME
KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI**

Aylin Ekmekçi



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN ATEŞLEME KONTROL ÜNİTESİ
TASARIMI

Aylin EKMEKÇİ
0000-0002-8466-7173

Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

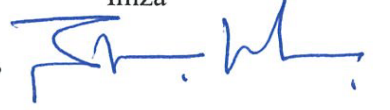
TEZ ONAYI

Aylin Ekmekçi tarafından hazırlanan “BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN ATEŞLEME KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ
ORCID ID: 0000-0002-4452-5744
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye : Doç.Dr. Nurullah ARSLANOĞLU
ORCID ID: 0000-0003-4970-4490
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Celalettin YÜCE
ORCID ID: 0000-0003-1387-907X
Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa
Bilimleri Fakültesi,
Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. HÜSA YİN AKSEL EREN
Enstitü Müdürü

.../.../...

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

15.10.2021..



Aylin EKMEKÇİ

ÖZET

Yüksek Lisans

BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN ATEŞLEME KONTROL ÜNİTESİ TASARIMI

Aylin EKMEKÇİ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERKUŞ

Bu çalışmada içten yanmalı motorlar için ateşleme sisteminin dizayn edilmesi ele alınmıştır. Ateşleme sistemi farklı motor devri, piston pozisyonu ve gaz kelebeği açıklıklarında çalıştırılarak karışımın hava fazlalık katsayısı, ateşleme gerilimi ve avansı tasarlanacak elektronik kontrol ünitesi vasıtasıyla değiştirilmesi sağlanabilecektir bu sayede farklı motorlar için kullanılabilir bir dizayn elde edilmek istenmiştir. Kartlar orijinal parça üreticilerinin sahip olduğu standartlar yorumlanarak, uygun kurallar dahilinde olması gerekenler belirtmiştir. Kartların ISO standartlarının bahsettiği sinyallere verdiği tepkiler, LTSPICE simülasyon ortamında denenmiştir. Elektronik kontrol ünitesinin herhangi bir durumda zarar görmeden çalışmaya devam etmesi ve elektromanyetik gürültüden en az etkilenecek seviyeye getirilmesi sağlanmıştır. Ortam şartlarının değerlendirilip motorun çalışması için gömülü yazılım geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Buji ateşleme, LPG, ECU dizayn, Ateşleme gerilimi

2020, ix + 46 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

DESIGN OF IGNITION CONTROL UNIT FOR SPARK IGNITION ENGINE

Aylin EKMEKÇİ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Dr. Barış Erkuş

In this study, the design of the ignition system in a spark ignition engine converted to LPG is discussed. A spark ignition engine with LPG can be operated at different engine speed and throttle openings, and the mixture can be changed by means of the electronic control unit to be designed for the air excess coefficient, ignition voltage and advance, so that it can be used for different engines. The standards of the original part manufacturers of the cards are interpreted, and what should be within the appropriate rules has been specified. The simulations of the cards on LTSPICE have enabled ISO standards to be tested. It has been ensured that the electronic control unit continues to operate without being damaged in any case and is brought to a level that is least affected by electromagnetic noise.

Key words: Ignition voltage, SI Engine, LPG

2020, ix + 46 pages

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca hem teknik hem de psikolojik olarak yardımda bulunup beni yönlendiren danışman hocam Barış ERKUŞ'a en içten teőekkürlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca beni hep destekleyen maddi manevi yanımda olan annem babam ve ağabeyime en içten teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarım boyunca yanımda olan arkadaşlarım Ergün YİĞİT ve Hakan YILMAZ'a teőekkürlerimi sunarım.

15.10.2021..



Aylin EKMEKÇİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM	6
3.1. Materyal	6
3.1.1. Ateşleme kontrol kartı.....	6
3.1.2. Güç kartı.....	10
3.1.3. Sensör arayüz kartı.....	15
3.1.4. Kontrol kartı/işlemci	18
3.2 Yöntem.....	23
3.2.1. ISO 7637	23
3.2.4. CISPR 25.....	31
4. BULGULAR.....	33
4.1 Hesaplamalar.....	33
4.2. Simülasyon sonuçları	41
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	45
KAYNAKLAR	46
ÖZGEÇMİŞ	48

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
°	Derece
μ	mikro
Ω	Ohm
%	Yüzde
°C	Santigrat Derece

Kısaltmalar	Açıklama
A	Amper
ADC	Analog Digital Converter
AEC-Q	Automotive Electronics Council Qualified
AM	Amplitude Modulation
CAN	Controller Area Network
CNG	Sıkıştırılmış doğal gaz
CO	Karbonmonoksit
CPU	Central Process Unit
DAC	Digital Analog Converter
EKÜ	Elektronik Kontrol Ünitesi
EMC	Elektromanyetik Uyumluluk
EMI	Elektromanyetik Girişim
ESD	Elektrostatic Discharge
F	Farad
FS	Full speed
FSMC	Flexible Static Memory Controller
GPIOs	General Purpose Input Outputs
H	Henry
HAD	Hesaplama Akışkanlar Dinamiği
HS	High Speed
Hz	Hertz
I ² C	Inter-Integrated Circuit
I2S	Inter-IC Sound
IWDG	Independent Watchdog
k	Kilo
kBytes	Kilobaytlar
kHz	Kilo Hertz
LOLIMOT	Local linear model tree
MHz	Mega Hertz
MLCC	Multilayer Ceramic Capacitor
n	nano
NO	Azot monoksit
OTG	On the go

Kısaltmalar	Açıklama
PCB	Programable Circuit Board
PLRBF	Pseudolinear radial basis function
SDIO	Secure Digital Input Output
SMD	Surface Mount Device
SPI	Serial Protocol Interface
SRAM	Static Random Access Memory
UART	Universal asynchronous receiver-transmitter
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter
USB	Universal serial Bus
V	Volt
W	Watt
WWDG	Window Watchdog

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Ateşleme kontrol kartı şematik görüntüsü	7
Şekil 3.2. Ateşleme Kontrol Kartının görüntüsü A) Ateşleme Kontrol Kartının 2 boyutlu görüntüsü B) Ateşleme Kontrol Kartının 3 boyutlu görüntüsü.....	9
Şekil 3.3. Ateşleme kontrol kartı gerçek görüntüleri A) Ateşleme kontrol kartı üstten görünüşü B) Ateşleme kontrol kartı arkadan görünüşü C) Ateşleme kontrol kartı önden görünüşü.....	9
Şekil 3.4. Güç kartı akü giriş koruması şematik görüntüsü	11
Şekil 3.5. Entegre devre 5V çıkış şematik görüntüsü	11
Şekil 3.6. 3,3V çıkış veren entegre devrenin şematik gösterimi.....	12
Şekil 3.7. Header şematik görüntüsü.....	12
Şekil 3.8. A) Güç kartı 2 boyutlu görüntüsü B) Güç kartı 3 boyutlu görüntüsü.....	13
Şekil 3.9. A) Güç kartı önden görünüş B) Güç kartı arkadan görünüş C) Güç kartı perspektif görünüşü.....	15
Şekil 3.10. Sensör arayüz kartı şematik görüntüsü	16
Şekil 3.11. A) sensör arayüz kartı 2 boyutlu görüntü B) sensör arayüz kartı 3 boyutlu görüntüsü.....	18
Şekil 3.12. A) Sensör arayüz kartı üstten görünüş B) sensör arayüz kartı alttan görünüş	18
Şekil 3.13. A) Kontrol kartın gerçek görünümü B) Kontrol kartının diyagramı	19
Şekil 3.14. Kontrol algoritması	22
Şekil 3.15. ISO7637-2 Darbe 1 sistem diyagramı.....	24
Şekil 3.16. Darbe 1'in şekli.....	25
Şekil 3.17. Darbenin oluştuğu sistemlerin diyagramı A) Darbe 2a diyagramı	26
B) Darbe 2b diyagramı.....	26
Şekil 3.18. Darbe 2a nın görünümü	27
Şekil 3.19. Darbe 2b 'nin görünümü.....	27
Şekil 3.20. Darbe 3a nın diyagram görünümü	28
Şekil 3.21. Darbe 3a	29
Şekil 3.22. Darbe 3b.....	30
Şekil 4.1. TPS54302 Undervoltage Lockout Set Point devre şeması	38

Şekil 4.2. ISO7637-2 dalga formunun güç kartı devre şeması	42
Şekil 4.3. Şekil 4.2.'de verilen devre simülasyon grafiği ISO 7637-2 Darbe 1 Darbe 2a ve Darbe 2b etkisi.....	43
Şekil 4.4. Ters akü bağlantı çıkış grafiği.....	43
Şekil 4.5. ISO 7637 Sinyal 2a etkisi	44
Şekil 4.6. Şekil 4.5.'in yakınlaştırılmış hali	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Malzeme listesi ve açıklaması	8
Çizelge 3.2. Güç kartında kullanılan malzemelerin listesi.....	13
Çizelge 3.2. Güç kartında kullanılan malzemelerin listesi (devam)	14
Çizelge 3.3. Sensör arayüz kartı malzeme listesi.....	17
Çizelge 3.4. Kontrol Kartı özellikler çizelgesi.....	19
Çizelge 3.4. Kontrol Kartı özellikler çizelgesi (Devam).....	20
Çizelge 3.5. Darbe 1 darbesinin 12V sistem ve 24V sisteme göre değerleri	25
Çizelge 3.6. Darbe 2a'nın 12V ve 24 V sistem için değerleri.....	27
Çizelge 3.7. Darbe 2b'nin 12V ve 24 V sistem için değerleri	28
Çizelge 3.8. 12V ve 24V sistemler için darbe 3a'nın alacağı değerler tablosu	29
Çizelge 3.9. 12V ve 24V sistemler için 3b darbesinin değerleri.....	30

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca hayatı kolaylaştırmak için çeşitli araçlar kullanılmıştır. Bu araçlar, dönemin gerektirdiği ölçüde hızla gelişmiş ya da kullanımı sonlanmış. Gelişimi devam eden araçlardan biri olan otomobiller, sosyolojik, teknolojik ve ekonomik olarak hayatlarımızı derinden etkilemiş ve otomotiv sektörünü hayatımıza katmıştır.

Otomotiv sektörünü derinden etkileyen fizik, kimya, malzeme bilimi, elektronik alanlarındaki gelişimler ile otomobiller ve içten yanmalı motorlar günümüzde gelişmeye devam etmektedir. Otomotiv sektörünün rekabetçi yapısı, devletlerin düzenlediği çevresel kurallar ise otomotiv üreticilerini direkt etkileyerek zorunlu değişiklikler ve gelişimleri sağlamıştır.

Otomotiv sektörünü derinden etkileyen başka bir konu ise petrol ve türevlerinin kullanımınıdır ki bu konu devletlerin son dönemlerde özellikle üzerinde durduğu konulardan biri olup çevresel etkileri üzerine zorunlu yaptırımları bulunmaktadır. Otomobillerde bu konu kirletici egzoz emisyon oranları olarak algılanmalıdır. Kirletici egzoz emisyon oranlarını direkt etkileyen motorda ki karışımın yanma olayıdır. Motorda oluşan yanma olayının kontrolü ateşleme sistemi ile direkt kontrol edilmektedir.

Ateşleme sistemi çok uzun yıllar önce mekanik sistemlerle kontrol edilmiştir. Genel olarak elektroniğin gelişmesiyle beraber mekanik kontrol yerini elektronik tabanlı kontrole bırakmıştır. Bu değişim sayesinde daha iyi ateşleme avansı ayarı yapılabilmekte ve yanmanın kontrolü motor hızı dışında diğer veriler kullanılarak daha iyi sağlanabilmekte ayrıca vuruntu olayını da önleme de önemli yol katedilmektedir.

Bu tez kapsamında buji ateşlemeli içten yanmalı motorların ateşleme sistemi ve kontrolü incelenmiş olup mikroişlemci tabanlı yönetimi için gerekliliklere yer verilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüzde çevre bilincinin artması ile birlikte fosil yakıtların daha ekonomik kullanılmasının gerekliliği ve teknolojinin gelişmesi ile içten yanmalı motorların performans optimizasyonları araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Teknolojik gelişmeler sayesinde içten yanmalı motorların performans optimizasyonlarına etki eden parametreler kontrol edilebilir seviyeye gelmiştir.

Ateşleme sisteminin kontrol ettiği parametreler: akü gerilimi, motor hızı, vuruğu, emme manifoldu basıncı, motor soğutma suyu sıcaklığı, hava akışı, gaz keleşbeği pozisyonu, hava/yakıt oranı ve motor sıcaklığı gibi parametreler ateşleme avansına etki etmektedir ve ateşleme avans hesabı yapılırken, yakıt tüketiminin azaltılması, maksimum motor gücünün elde edilmesi, vuruğu ve emisyonların azaltılması ana hedeflerdir.

Literatürde içten yanmalı motorlarda ateşleme ile ilgili pek çok araştırmaya rastlamak mümkündür. Bu çalışmalarda esas itibari ile; ateşleme avansı, ateşleme gerilimi parametreleri üzerinde motor performans ve egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri incelenmiş, ayrıca elektromanyetik girişimin bu sistemlerde nasıl önlenebileceği üzerinde durulmuştur.

Ateşleme zamanının benzin, etenol ve bütanol yakıtlarının çalışma modlarında emisyon oranlarını etkisini teorik olarak incelenmesini Papagiannakis ve ark. (2017) yapmışlardır. Bu inceleme 4 silindirli, buji ateşlemeli bir içten yanmalı motor modeli ve yakıtlar değiştirilerek, %100 yükte oluşturulmuş modelde ateşleme avansı değiştirilerek CO ve NO emisyonları karşılaştırılmıştır. Deney sonucunda ateşleme avansı 23 derece ölü nokta öncesinde üç yakıt değerinde ideal olartak bulunmuştur. Aynı motor yükünde her üç yakıt türü için ateşleme zamanının biraz ileri alınması özgül yakıt tüketiminin artmasına sebep olduğu, ateşleme zamanının biraz geriye alınması ise motor performansına hafif artışa sebep olabileceği bu durumun motorun aşırı yüklenmesi durumunda göz önünde bulundurulabileceği sonucuna varılmıştır. Ateşleme avansı, motordaki yanma olayının başlangıcındaki durumu NO ve CO emisyonlarını

direkt etkiler ve ateşleme avansının ileri alınması emisyon artmasına neden olur. Motor aşırı yüklendiği emisyon artışı daha da artar.

CNG kullanılan sıralı çift ateşlemeli motorun HAD analizi yapılarak emisyon değeri ve motor performansının en iyi olduğu ateşleme avansı çalışması Yontar ve ark. (2017) tarafından yapılmıştır. Motor devri 3000 d/dak, hava fazlalık katsayısı 1.2, sıkıştırma oranı 10.8:1 değerlerinde sabit tutulmuşken ateşleme avansı 1. buji için 60°-10° krank mili açıları arasında, 2. buji için 55°-5° krank mili açıları arasında değiştirilerek analizler yapmışlar ve ateşleme avansının motor performansı ve emisyon dengesi bakımından en uygun ateşleme avansı; üst ölü noktadan 1. buji için sırasıyla 30° krank mili açısında ve 2. buji için 25° krank mili açısında olduğu belirlemişlerdir.

Sasayama ve ark. (1978) çift eğimli integral yöntemini kullanarak ateşleme zamanlamasını kontrol etmişlerdir. Çift eğimli integral yöntemi bilindiği üzere Analog Dijital dönüşüm ve faz entegrasyonunda uygulanmalarında kullanılmaktadır. Araç ateşleme kontrolünde de kendini tekrar eden fazlar bulunmaktadır. Ateşleme zaman kontrolü doğrusal olarak motor hızı ile ilişkili olmadığı için başka parametreler ile sentezleme yapılmış bu sentezlemelerde faz açıları arasında oluşan geçici durumlarda incelenmiştir. Aracın en ağır çalışma durumlarında dahil bu geçici durumlar sebebiyle oluşan sapmaların aracın çalışmasına engel olmayacak ve ilerlemeye devam edecek düzeyde görülmüştür. Ateşleme kontrolü için araç hızı ve giriş manifold vakumu seçilmiştir buna karşın geleneksel zamanlayıcılara göre daha temiz egzoz emisyonlarına ve daha az yakıt tüketimine ulaşmışlardır. Daha iyi sonuçlar için motor soğutma suyu sıcaklığı, giriş hava sıcaklığı gibi parametreler eklenerek daha verimli hale getirebileceklerini ifade etmişlerdir.

Fujun ve ark. (1999) 80C552 mikrodenetleyici kullanarak ateşleme sistemini adaptif olarak kontrol etmişlerdir. Bu çalışmada giriş sinyalleri olarak manifold basınç sensörü, kelebek konum sensörü, su sıcaklık sensörü, krankşaft pozisyon sensörü, senkronizasyon sensörü ve vuruş sensörü kullanılmıştır. 368Q motorunda yapılacak deney için ayrıca bir software programda hazırlanmıştır ve program kapalı döngüde

vuruntu sensörü direkt ateşleme zamanını etkileyecek biçimde kurulmuştur . Bu deney sonucunda motorda açıkça verim ve moment artışı gözlemlenmiştir.

Shamekhi ve Ghaffari (2006) iyon akımını algılayarak ateşleme avansını bulanık mantık ile kontrol etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada motor silindiri iç basıncı, iyon akımı sensörüyle doğru orantılı veriler vermektedir ve silindir içi maksimum basınç aynı krank açılarında denk gelmektedir. İyon akımı sensörü sayesinde motor silindirindeki maksimum basınç aynı krank açısına denk getirilmeye çalışılması için kapalı döngü bir sistem geliştirmişlerdir. Bulanık mantığın doğrusal olmayan sistemlerde daha uygun kullanımı olması dolayısıyla ve buji ateşlemeli motorların çalışma dinamiğine uymasından dolayı seçmişlerdir. Yaptıkları simülasyon sonuçlarına göre kapalı döngü bu sistemin sonuçları oldukça başarılıdır.

Eriksson (1999) ateşleme avansı modellenmesi ve kontrolü çalışmasında, kapalı döngü bir sistemin ateşleme avansının ölçülüp optimum seviyede tutulması için gerekenler üzerinde durmuştur. Silindir içi basınç ölçümü tork hakkında bilgi verirken yanma içinde önemli bilgiler içermektedir bu sebeple silindir içi basınç single-zone termodinamik modeli, kayıp mekanizmaları olarak ısı transferi ve crevice flowlar eklenerek doğru bir modelleme elde edinebileceği bu sebeple de sistematik bir prosedür için modelleme parametreleri verilmiştir. Optimum ateşleme zamanlaması için basınç ve yanmanın tanımlandığı literatürce bilinen 3 tanımın yanı sıra iyonizasyon akımının kullanımından bahsedilmiştir ve bu bahsi geçen iyonizasyon akımının kapalı döngü sistemde silindir içi maksimum basınç ile model parametreleri arasındaki ilişkiye dayanarak oluşturulmuş kontrol sisteminde bir de su enjeksiyon sistemi ekleyerek çevresel nem ve sıcaklık etkilerini en aza indirgeyecek bir sistem oluşturmuştur. Bu sistemi 4 zamanlı 2,3 L SAAB motor verileri ile doğrulamıştır.

Beham ve Yu (2004) klasik bir ateşleme açısı için kullanılan avans tablosu (look-up table) ile kontrolü yerine iki yapay sinir ağı ile ateşleme kontrolü üzerine çalışmışlardır. PLRBF network ve LOLIMOT network ateşleme açısı davranışını modellemek için kullanılmıştır. LOLIMOT bilgisayar performansı ve PLRBF networküne eşlenebilmesi gibi üstünlükleri sebebi ile tercih edilmiştir. LOLIMOT'un ilk avantajı ise look-up table

da geçişleri sağlamak için bir yumuşatmaya ihtiyaç duymadan kalibrasyon sağlayabilmesidir, diğer avantajı ise bağıl yk sinyaline ihtiyaç olmadığı için air mass meter verileri kaydedilebilir hale gelmektedir. Başka bir avantaj ise ateşleme zamanlaması için gerekli ek bilgileri yanmayı etkileyen artık gaz miktarı, eksantrik mil giriş ve çıkış konumu bilgilerinden kontrolü sağlanabilir. Son olarak dinamik ölçüm strateji yeteneği sayesinde, kalibrasyon hızı geliştirilebilir ve prosesin dinamik davranış bilgisi sisteme uygulanabilir. MATLAB arayüzü ve BMW AG farklı sürüş koşullarında bu sistem test edilmiştir. Bu alışma sayesinde yanma odasındaki basınç sensörüne ihtiyaç duyulmadan ateşleme zamanlaması yapılabileceği gösterilmiştir. Bu alışma ile içten yanmalı motorlar gibi oldukça dinamik doğrusal olmayan yöntemlerle (Multi input Multi Output) oklu giriş ıkl çıkış olan sistemleri için nrol ağlarını kullanan kontrol için ortak bir adım olup değişken valf zamanlama motorlarının ateşleme zamanlaması için kalibrasyon yöntemleriyle birleştirilmiş yinelemeli adaptasyon yöntemlerini kullanan otomasyona doğru ilk adım olduğunu belirtmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu tez kapsamında buji ateşlemeli motorun ateşleme kontrol ünitesi dizayn edilirken 3 ana başlık üzerinde durulmuştur. Bunlar ; güç kaynağı, volan açısı, ateşleme gerilimi kontrolü. Bu üç başlıkta EMI ve EMC'nin hem kaynağı hem de sonucuna maruz kalmaktadırlar. Her bir başlık içinde ayrı kartlar dizayn edilmiştir bunun sebebi aynı kart üzerinde kendi oluşturdukları gürültüden etkilenmelerini azaltmak ve bilindiği üzere araç içinde PCB'ler için ayrı yer bulmak zor olacağı için kartları ayırarak fiziksel boşluklar değerlendirilmek istenmiştir.

Kartların dizaynında hepsinin ayrı amacı olmakla beraber birbiriyle bağlantısı vardır ve katlardan herhangi biri düzgün çalışmadığı durumda motora hareket verdirmek olanaklı olmayacaktır bu sebeple her kart ayrı ayrı incelenmiştir ve topolojileri kendi içinde değerlendirilmiştir.

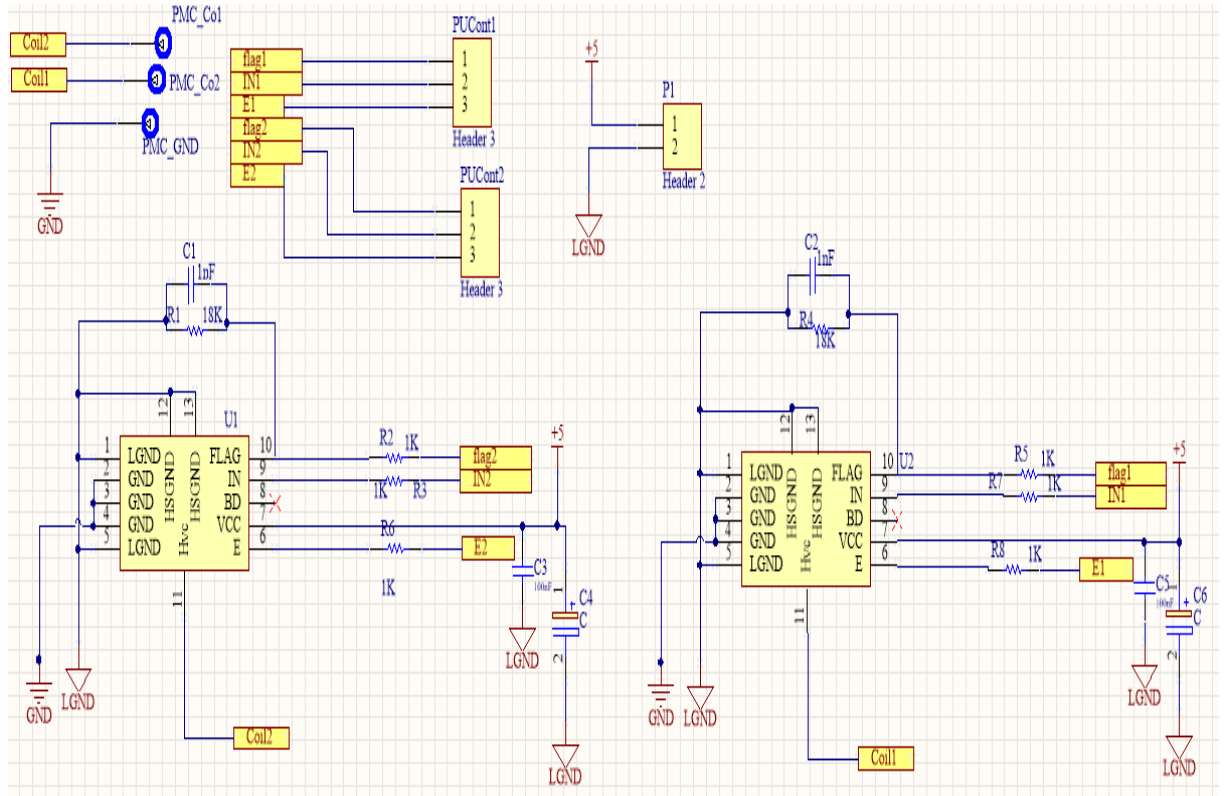
3.1.1. Ateşleme kontrol kartı

Ateşleme kontrol kartının ana görevi 2 bobinin doğru zamanlama ile gerilim indüklenmesini sağlamak için yüksek gerilim ve akımın EKÜ tarafından okunup kontrolünü sağlamasıdır. Bu kartta kontrolü sağlamak için özel olarak tasarlanmış VB525SP-E entegre devresi kullanılmıştır. Bu entegre devre, temel olarak bir mantık seviyesi girişi tarafından tahrik edilen ve doğrudan yüksek enerjili bir elektronik ateşleme bobinine arayüz sağlayan yüksek voltajlı bir güç anahtarı cihazı olarak tasarlanmış olup bobin için gerekli enerjiyi sağlayabilecek özelliklere sahiptir.

Entegrenin VIN girişi, hem bekleme süresini hem de ateşleme noktasını belirleyen harici bir kontrolör tarafından, yani kontrol kartı tarafından, üretilen düşük güç sinyali ile kontrol edilebilir. VIN pinindeki gerilim yüksek (≥ 4 V) seviyedeysen, bobin içindeki akımı istenen, dahili olarak ayarlanmış, akım seviyesine yükseltir. Bu seviyeye ulaştıktan sonra, bobin akımı ateşleme noktasına kadar sabit kalır, bu da VIN pinindeki gerilim yüksek seviyeden alçak seviyeye geçişine karşılık gelir (tipik 1.9 V eşığı).

Bobin akımının kesilmesi sırasında, birincil bobin voltajı HVC pininde dahili olarak ayarlanmış değer olan Vcl'ye yükselir bu ayarlanmış değer tipik olarak 380 V olarak clamplenir.

Kart dizaynında EKÜ tarafından kontrol için 2 adet ayrı header kullanılmıştır. Bu headerlar EKÜ'ye flag bilgisi verirken, EN ve IN pinlerinin kontrolünü sağlamak için EKÜ'den bilgi alır ayrıca 5V besleme girişi için ayrı header oluşturulmuştur, bu headerın ayrı olması farklı kartlara gidecek kabloları kullanıcı için ayırmaktır. Bobinler gidecek kablo bağlantısı ise daha büyük header girişi ile sağlanmıştır çünkü yüksek gerilim için daha büyük çapta kablo kullanımı gerekmektedir. VB525SP-E entegre devresinin düzgün sinyaller alması ve iletmesi için gerekli pasif devre elemanları eklenmiştir. Bu kartın şematik görüntüsü Şekil 3.1.'de verilmiştir.



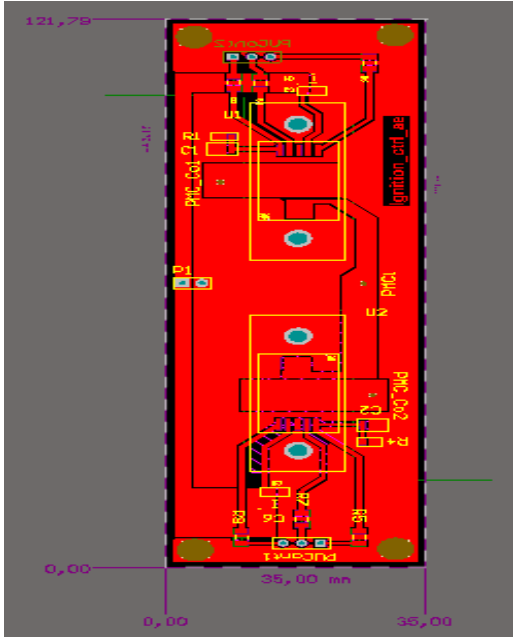
Şekil 3.1. Ateşleme kontrol kartı şematik görüntüsü

Şematikte bahsi geçen malzemelerin detaylı açıklamaları ile değerleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

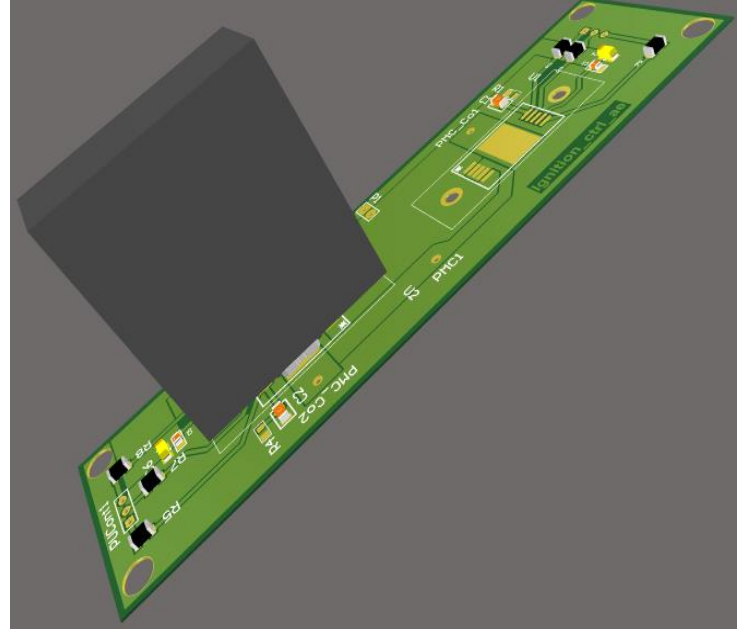
Çizelge 3.1. Malzeme listesi ve açıklaması

Sıra	İsim	Açıklama	Designator	Miktar	Değer
1	Kapasitör	MLCC, 1nF, AEC-Q standardına sahip	C1, C2	2	1nF
2	Kapasitör	MLCC, 100nF, AEC-Q standardına sahip	C3, C5	2	100nF
3	Kapasitör	TANTAL 1uF AEC-Q syandardına sahip	C4, C6	2	1uF
4	Header 2	Header, 2-Pin	P1	1	
5	Header 3	Header, 3-Pin	PUCont1, PUCont2	2	
6	Direnç	Pull-down olarak kullanılan SMD direnç, AEC-Q ya sahip	R1, R4	2	18K
7	Direnç	İşemci veri yoluna seri bağlı SMD direnç, AEC-Q standardına sahip	R2, R3, R5, R6, R7, R8	6	1K
8	VB525SP-E	VB525SP-E , bobin akım ve gerilimini dahili ayarlama yapan ateşleme bobin sürtücü	U1, U2	2	

Kartın dizaynı ve yolların oluşturulması için özel bir software kullanılmış olup kartın yolları, boyutları ve malzemelerin yerleşimi 2 boyutlu olarak şekil 3.2. A)'da , 3 boyutlu görüntüsü ise 3.2. B)'de verilmiştir. 3 boyutlu görüntüde soğutucu tüm malzemeleri kapatmaması içinden birinde verilmiş diğerinde verilmemiştir bu sayede yolların gidişleri ve topraklama görüntüsü net bir biçimde görünmektedir.



A)



B)

Şekil 3.2. Ateşleme Kontrol Kartının görüntüsü A) Ateşleme Kontrol Kartının 2 boyutlu görüntüsü B) Ateşleme Kontrol Kartının 3 boyutlu görüntüsü

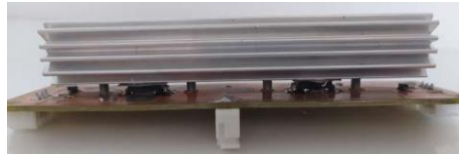
Ateşleme kontrol kartının üretilip malzemelerinin lehimlenmesi sonrası görüntüsü ise Şekil 3.3.'de hem üstten hem arkadan hem de önden görünüşü açık bir şekilde görülmektedir.



A)



B)



C)

Şekil 3.3. Ateşleme kontrol kartı gerçek görüntüleri A) Ateşleme kontrol kartı üstten görünüşü B) Ateşleme kontrol kartı arkadan görünüşü C) Ateşleme kontrol kartı önden görünüşü

3.1.2. Güç kartı

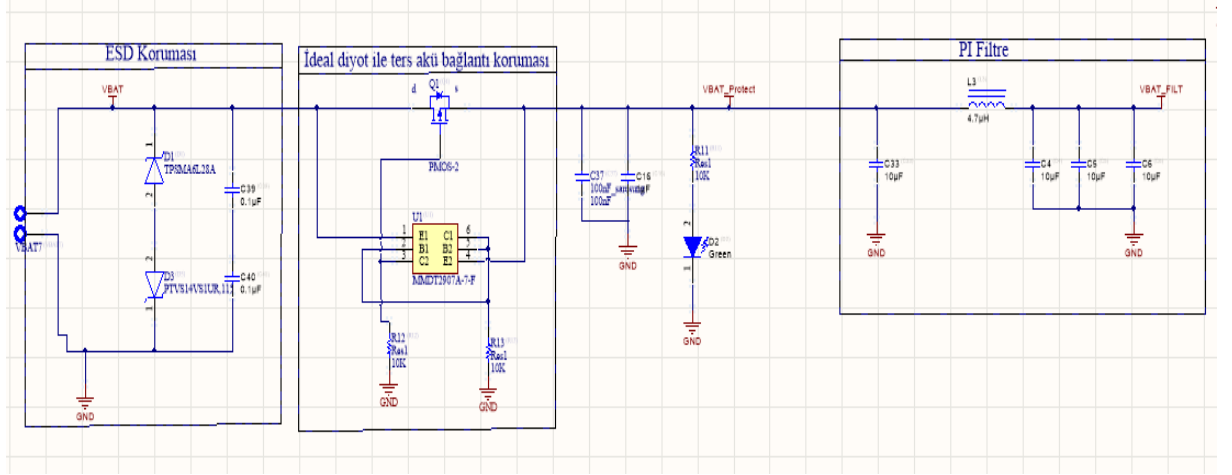
Bu kart diğer kartlar için gerekli güçleri sağlamak için dizayn edilmiştir. Ateşleme kontrol kartı için gerekli olan 5V ve 12V bu kart üzerinden temin edilecek şekilde ayrıca sensör arayüz kartı için 5V ve kontrol kartı için gerekli olan 5V ve 3,3V bu kart üzerinden temin edilecek şekilde dizayn edilmiştir. Bu kartta ESD koruması ve EMC korumaları özel dizayn edilmiş ve hesaplanmıştır. Çünkü anlık yük değişimi çok yüksek olduğu için anlık güç kayıplarına sebebiyet verebilir ayrıca bu kart için simülasyonlar yapılmış ve hepsinde başarılı olmuştur. Bu kartta asıl işlem buck dönüştürücüler ile yapılmıştır ve özel bir entegre olan TPS54360 buck converter kullanılmıştır.

TPS54360, entegre bir high side MOSFET'e sahip 60V, 3,5A, step down buck regülatördür.. Akım modu kontrolü basit harici kompanzasyon ve esnek komponent seçimi sağlar. Düşük dalgalanma darbesi skip modu yüksüz besleme akımını 146 μ A'ya düşürür. Etkinleştirme pimi düşük gerilim seviyesine çekildiğinde kapalı besleme akımı 2 μ A'ya düşürülür.

Undervoltage Lockout dahili olarak 4,3V'a ayarlanmıştır, ancak etkinleştirme pimi kullanılarak artırılabilir. Bu devrede gerilim artırılmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Çıkış gerilimi başlatma rampası, kontrollü bir başlatma sağlamak ve aşırı gerilim aşımını ortadan kaldırmak için dahili olarak kontrol edilir.

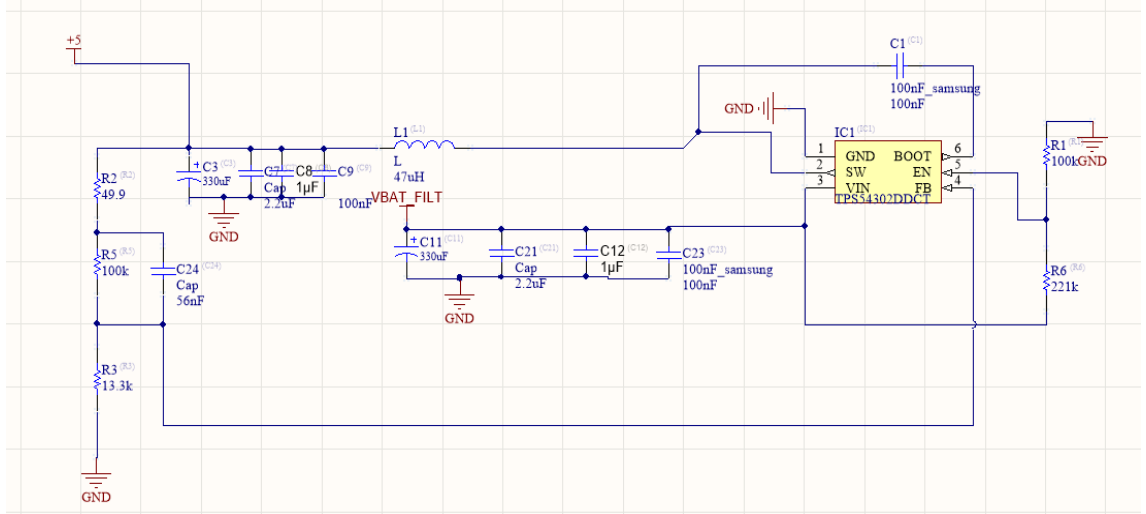
Geniş anahtarlama frekansı aralığı, verimliliğin veya harici komponent boyutunun optimize edilmesini sağlar. Frekans foldback ve termal kapatma, aşırı yük durumu sırasında dahili ve harici bileşenleri korur. Anahtarlama frekansı EMC'nin en büyük sebebi olabileceği için EMC ye etki etmeyecek aralıkta ama diğer kartların çalışmasını etkilemeyecek biçimde hesaplanmıştır matematiksel kısmında detaylıca açıklanmıştır ve uygulanması için gerekli yöntemleri yöntemler kısmında açıklanmıştır.

Bütün bu devrelerin şematik görüntüsü şekil 3.4.'de verilmiştir.



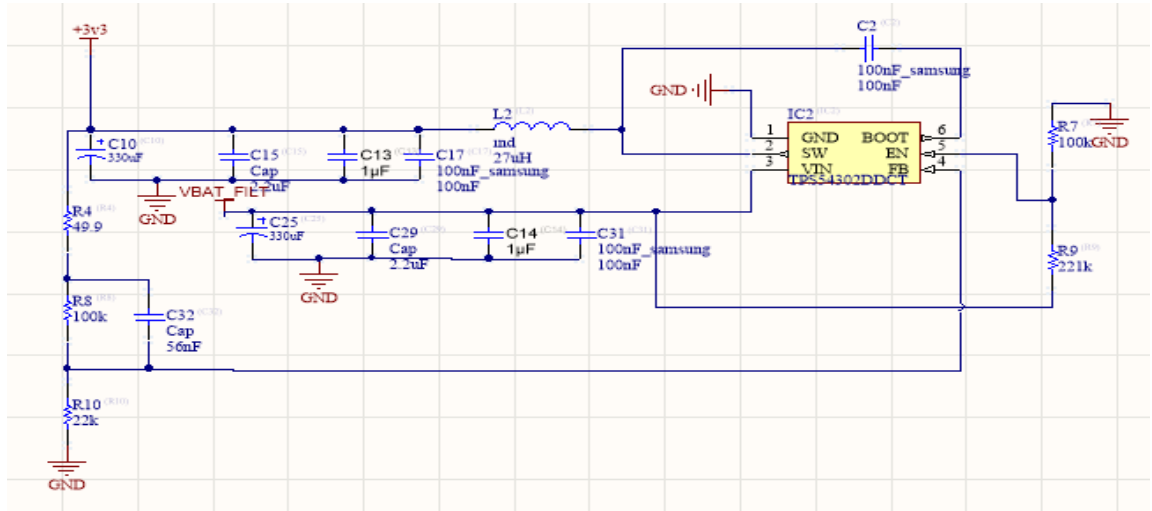
Şekil 3.4. Güç kartı akü giriş koruması şematik görüntüsü

5V diğer kartlar içinde gerekli olduğu için akım ve gerilim dalgalanmaları hesaplanmış simule edilmiş ve sonucunda oluşturulmuş 5V için gerekli devre şeması Şekil 3.5.'de verilmiştir.



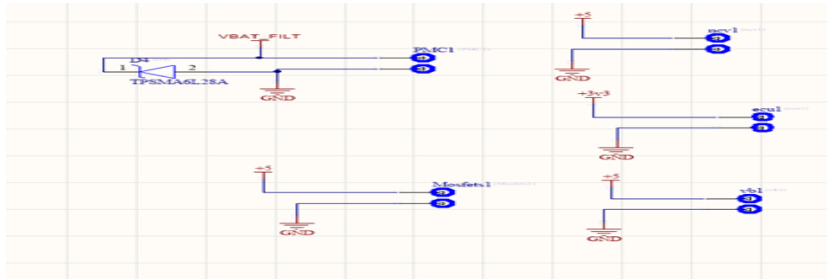
Şekil 3.5. Entegre devre 5V çıkış şematik görüntüsü

3,3V çıkış programın yazılacağı kontrol kartında işlemcinin beslenmesi için tasarlanmıştır. Bu devrenin ayrıca tasarlanma sebebi işlemcinin herhangi bir gürültüden etkilenecek 5V'un çalışmadığı durumda uyanık kalması ve kontrolü sağlaması durumu kontrol etmesi içindir. 3,3V giriş ve çıkışları için ayrı hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalardan Bulgular kısmında detaylıca anlatılmıştır. Devre şemasını 3.6.'da verilmiştir.



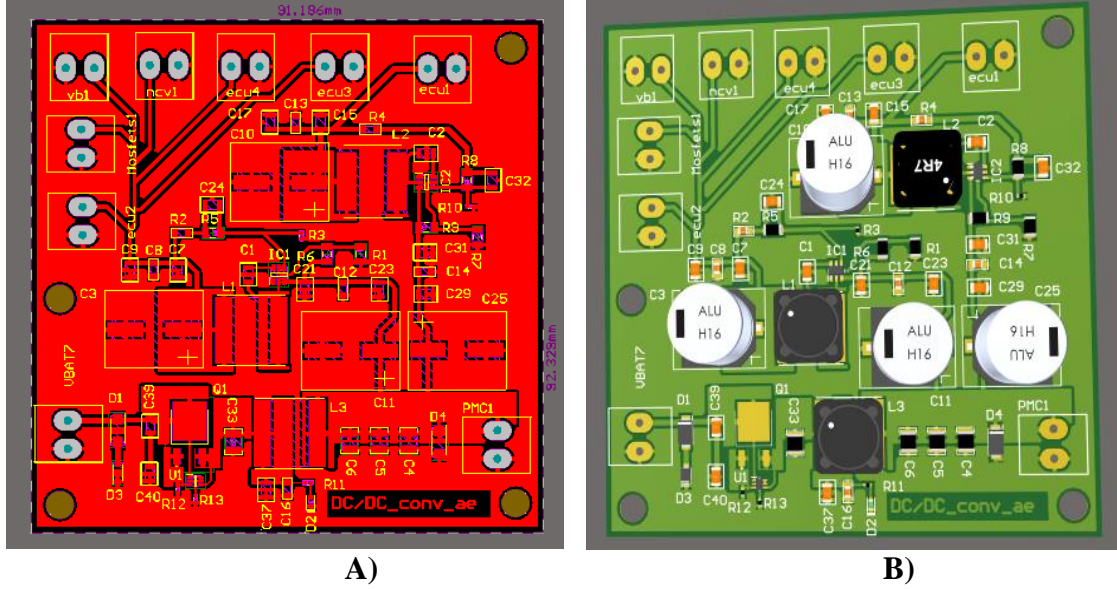
Şekil 3.6. 3,3V çıkış veren entegre devrenin şematik gösterimi

Bu kartın toplamda 5 adet çıkışı için ayrı headerlar tasarlanmıştır. Bunun sebebi farklı kartlara giden bu çıkışların gerekli görülen yerlere kolayca kablo bağlantısı yapabilmek ve çıkışlardaki gürültülerin birbirini etkilemesini önlemek içindir. 12V çıkış için ayrıca ESD koruması konulmuştur. Bunun sebebi 12V çıkış alan ateşleme kontrol kartından çekilen yükün her iki kartta olumsuz etkilememesi ve ters bağlanması durumunda zarar görmemesi içindir. Çıkış headerlarının şematik görüntüsü Şekil 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Header şematik görüntüsü

Kartın dizaynı yapılan software’de 2 boyutlu görüntüsü Şekil 3.8. A)’da verilmiştir 3 boyutlu görüntüsü ise şekil 3.8.B)’de verilmiştir



Şekil 3.8. A) Güç kartı 2 boyutlu görüntüsü B) Güç kartı 3 boyutlu görüntüsü

Bu devrede kullanılan malzemelerin detaylı açıklanması şematikteki isimleri ile birlikte Çizelge 3.2.’de verilmiştir.

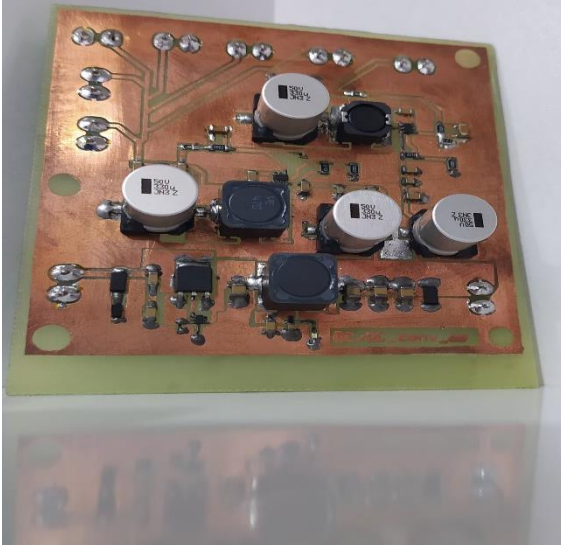
Çizelge 3.2. Güç kartında kullanılan malzemelerin listesi

Sıra	İsim	Açıklama	Designator	Değer
1	50V, 100 nF, X7R, MLCC	Giriş /çıkış dalgalanmalarını önlemek ayrıca converterın bootstrap girişinde Mosfet’i uyandırmak için SW ucu ile bağlantısını sağlar	C1, C2, C9, C17, C23, C31, C37, C39, C40	100nF
2	330 uF, 50V, Aluminum Electrolytic Capacitors SMD (Chip)	AEC-Q standardına sahip Alüminium electrolytic kapasitör, Buck converter giriş/çıkış dalgalanmalarını azaltmak için kullanılır.	C3, C10, C11, C25	330uF
3	10 µF, 50 V, X7R, MLCC	AEC-Q standardına sahip MLCC kapasitör batarya girişi ve PI filtrede kullanılmıştır.	C4, C5, C6, C33	10uF
4	2.2 µF, 50 V, X7R, MLCC	AEC-Q standardına sahip MLCC kapasitör Buck dönüştürücü girişi/çıkışında dalgalanmaları önlemek amacıyla ve Alüminium electrolytic kapasitör ESR’sini düşürmek amacı ile eklenmiştir kullanılmıştır.	C7, C15, C21, C29	2.2uF

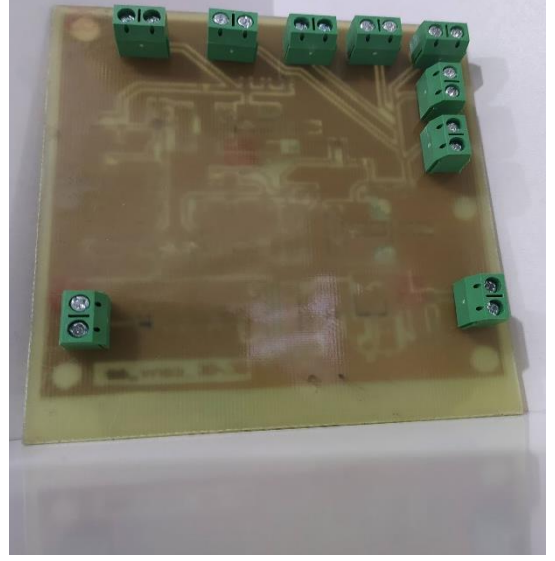
Çizelge 3.2. Güç kartında kullanılan malzemelerin listesi (devam)

5	1 μ F, 50 V, X7R, MLCC	AEC-Q standardına sahip MLCC kapasitör Buck dönüştürücü girişi/çıkışında dalgalımları önlemek amacıyla ve Aluminium electrolytic kapasitör ESR'sini düşürmek amacı ile eklenmiştir kullanılmıştır.	C8, C12, C13, C14, C16	1uF
6	56nF, 50 V, X7R, MLCC	AEC-Q standardına sahip MLCC kapasitör Buck dönüştürücü feedback ucunda bir RC low pass filtre oluşturmak için kullanılmıştır.	C24, C32	56nF
7	TPSMA6L28A	TVS Diode (Uni-directional), ESD koruması için kullanılmıştır. Hem 12V giriş hem de 12V çıkış için.	D1, D4	
8	150060GS75000	Kart üzerine güç geldiğini görmek için kullanıldı	D2	Green
9	PTVS14VS1UR,115	TVS Diode (Uni-directional), ESD koruması için kullanılmıştır.	D3	
10	TPS54302DDCT	Entegre Buck converter devresi	IC1, IC2	
11	Bobin	AEC-Q200, 47uH, 3.1A rated curent, 3.4A saturation current, 5V çıkış bobini	L1	47uH
12	Bobin	AEC-Q200, 22uH, 3.7 A rated curent, 5.2 A saturation current, 3.3 V çıkış bobini	L2	22uH
13	Bobin	4.7 μ H, rated current 6 A, 11A saturation current, PI filtre bobini	L3	4.7uH
14	IRFR9024NTRPBF	P-Channel Power MOSFET, AEC standardına uygun-55V, 11A	Q1	
15	Resistor	Buck dönüştürücü Enable girişi ve feedback girişi için gerilim bölücü direnç değeri	R1, R5, R7, R8	100k
16	Direnç	Buck dönüştürücü Feedback girişi için kompanze edici direnç değeri	R2, R4	49.9
17	Direnç	Buck dönüştürücü Feedback girişi için gerilim bölücü direnç değeri	R3, R10	13.3k
18	Direnç	Buck dönüştürücü Enable girişi için gerilim bölücü direnç değeri	R6, R9	221k
19	Direnç	Tranzistörlerin hesaplanmış direnç değeridir.	R11, R12, R13	10K
20	MMDT2907A-7-F	İdeal diyot devresi için PNP tranzistör çifti	U1	

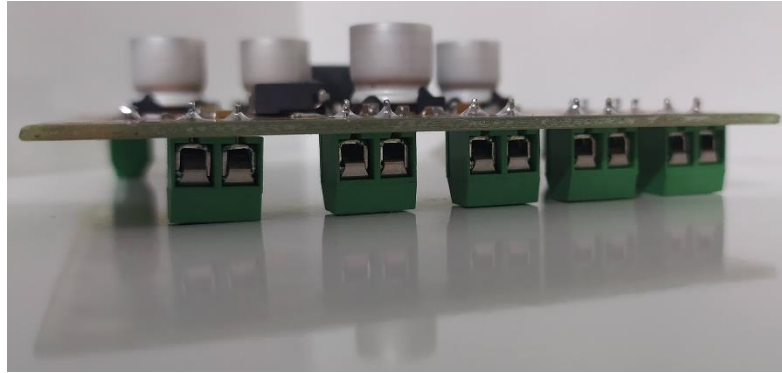
Yapılan devrenin gerçekenmiş hali önden arkadan ve perspektif görünüşü Şekil 3.9.'da verilmiştir.



A)



B)



C)

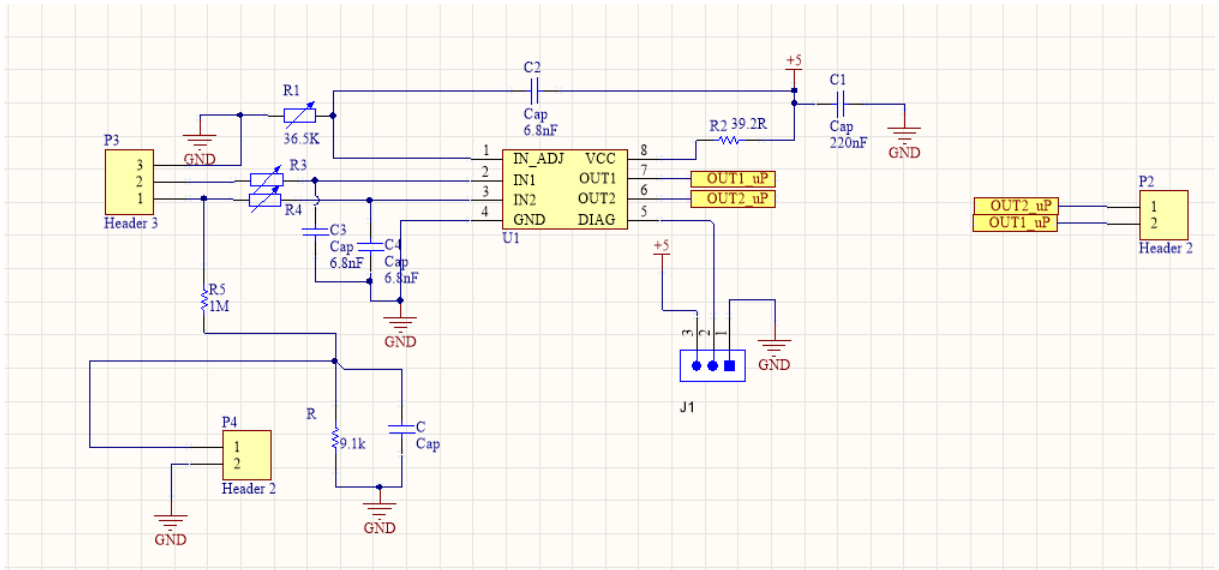
Şekil 3.9. A) Güç kartı önden görünüş B) Güç kartı arkadan görünüş C) Güç kartı perspektif görünüşü

3.1.3. Sensör arayüz kartı

Bu kart ateşleme zamanını ayarlamak için özel olarak dizayn edilmiştir. Üzerinde NCV1124 Dual Variable-Reluctance Sensor Interface entegre devresi bulunmaktadır. Tüm bileşenleri otomotiv standartlarına uygun olarak seçilmiş bu kartta program yazarken kullanılacak verilerin otomotiv standartları içinde kalması için ek filtreler eklenmiştir.

NCV1124 dönen parçaların izlenmesi için kullanılan sensörlerden gelen durum sinyalleri esas olarak tasarlanmış bir monolitik entegre devredir. NCV1124, çift kanallı bir cihazdır. İki özdeş kanalın her biri değişken relüktans sensörüyle arayüz oluşturur ve sensör çıkış sinyalini kullanıcı tarafından programlanabilir dahili referansla sürekli olarak karşılaştırır. IN1 veya IN2'de uygun genliğe sahip alternatif bir giriş sinyali, karşılık gelen OUT terminalinde, standart mikroişlemciler veya standart mantık ailelerine arayüz için uygun olan dikdörtgen bir dalga formuyla sonuçlanacaktır. Her iki kanalda ortak olan bir diagnostic girişi, her iki sensöre fiziksel konektörün bozulmasını veya kaybını test etmek için bir alan sağlar.

Bu kartta sinyalin doğruluğu ateşleme için çok önemli olması entegrede herhangi bir sorun olursa işlemcinin analog dijital dönüştürücü girişine direkt sensör çıkışını bağlanmasını sağlayan bir gerilim bölücü dizaynı da eklenmiştir. Bu ayrıca programda karşılaştırma sağlayacağı gibi aracın yarı yolda kalmasını engelleyecektir. Devrenin şematik görüntüsü Şekil 3.10.'da verilmiştir.



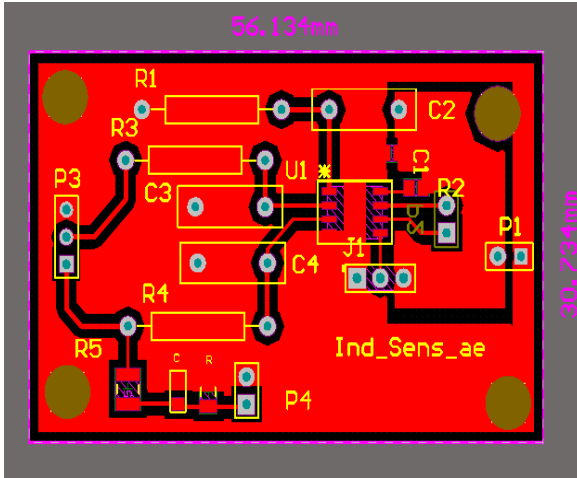
Şekil 3.10. Sensör arayüz kartı şematik görüntüsü

Kartın dizayn edilmiş malzemeleri ise Çizelge 3.3.'de detaylı açıklamalar ile verilmiştir.

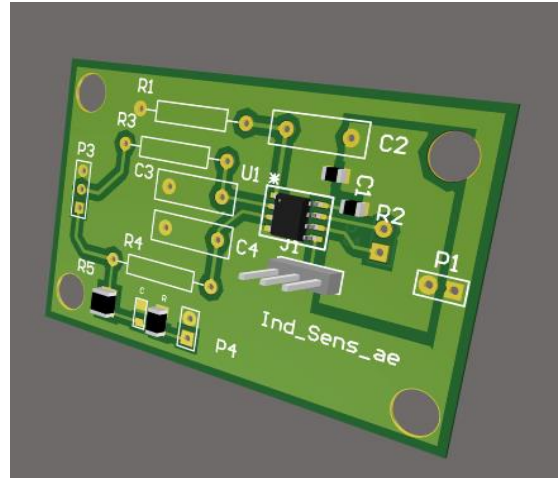
Çizelge 3.3. Sensör arayüz kartı malzeme listesi

	İSİM	AÇIKLAMA	Designator	DEĞER
1	MLCC 2.2 nF 200VDC ±10% X7R	Girişi ADC üzerinden okumak için tasarlanan gerilim bölücü için RC filtre dizaynı için gerekli kapasitör	C	2.2nF
2	MLCC 220 nF 16VDC ±10% X7R	Sensör arayüzü entegre devresinde giriş akımı ve slew rate düzenleme kapasitörü	C1	220nF
3	THT 6.8nF 200VDC ±10% X7R	Sensör girişi RC filtre için gerekli kapasitör	C2, C3, C4	6.8nF
7	SMD DİRENÇ, 9.1K, 1% 1/4W	Girişi ADC üzerinden okumak için tasarlanan gerilim bölücü için gerekli direnç	R	9.1k
8	THT 36.5K Ohm, 1% Tolerans	Adjustable girişinde karşılaştırma yapmak ve histerisiz eğrisini düzenlemek için hesaplanmış direnç değeri	R1	36.5K
9	SMD DİRENÇ, 39.2 Ohm, 1% 1/4W	Sensör arayüzü entegre devresinde giriş akımı ve slew rate düzenleme direnci	R2	39.2R
10	THT 36K Ohm, 1% Tolerans	Sensör girişi RC filtre için gerekli kapasitör	R3, R4	36K
12	SMD Direnç, 1M Ohms 1% 1/3W	Girişi ADC üzerinden okumak için tasarlanan gerilim bölücü için gerekli direnç	R5	1M
13	NCV1124	Değişken relüktanslı sensör arayüz entegre devresi.	U1	

Sensör arayüz kartının tamamlandığı software'den 2 boyutlu ve 3 boyutlu görüntüleri Şekil 3.11.'de verilmiştir. 3.11. A) görüntüsü kartın 2 boyutlu bilgisi ile birlikte kart boyutlarının bilgisini içerir. Şekil 3.11. B) görüntüsü 3 boyutlu komponent yerleşimi görüntüsünü içerir.



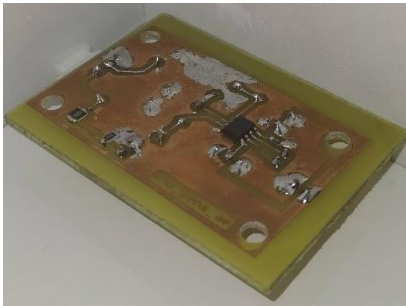
A)



B)

Şekil 3.11. A) sensör arayüz kartı 2 boyutlu görüntü B) sensör arayüz kartı 3 boyutlu görüntüsü

Kartın gerçekleştirilmiş görüntüsünün önden ve arkadan olarak şekil 3.12.'de gösterilmiştir.



A)



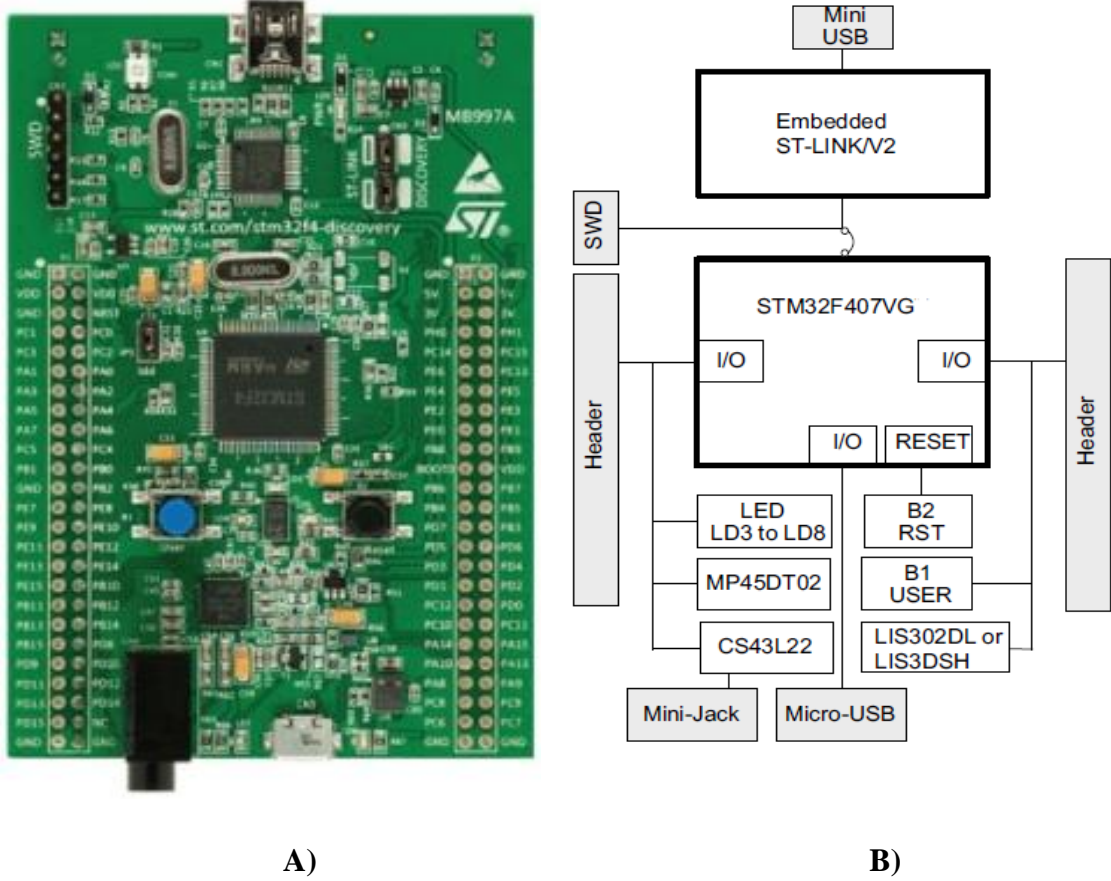
B)

Şekil 3.12. A) Sensör arayüz kartı üstten görünüş B) sensör arayüz kartı alttan görünüş

3.1.4. Kontrol kartı/işlemci

Sistemi kontrol edebilmesi için STM32F407 discovery board kullanılmıştır. Board üzerinde STM32f407VG işlemci bulunmaktadır ve board 3V ya da 5V besleme ile çalışabilmektedir. Boardın beslemesi diğer beslemeler ile karışmaması ve gürültüyü azaltmak için 3,3V olarak ayrıca güç kartında tasarlanmıştır. Board görünümü Şekil

3.13. A)'da gösterilmiş olup Şekil 3.13. B)'de kartın diyagramı verilmiştir. Teknik özellikleri Çizelge 3.4.'deki gibidir.



Şekil 3.13. A) Kontrol kartın gerçek görünümü B) Kontrol kartının diyagramı

Çizelge 3.4. Kontrol Kartı özellikler çizelgesi

Özellikler		STM32F407VG
Kalıcı Hafıza (Kbytes)		1024
SRAM in Kbytes	Sistem	192(112+16+64)
	Yedek	4
FSMC hafıza kontrolcüsü		V
Ethernet		Var
Sayıcılar	Genel amaçlı	10
	Gelişmiş Denetim	2
	Temel	2
	IWDG	Var
	WWDG	Var
	RTC	Var

Çizelge 3.4. Kontrol Kartı özellikler çizelgesi (Devam)

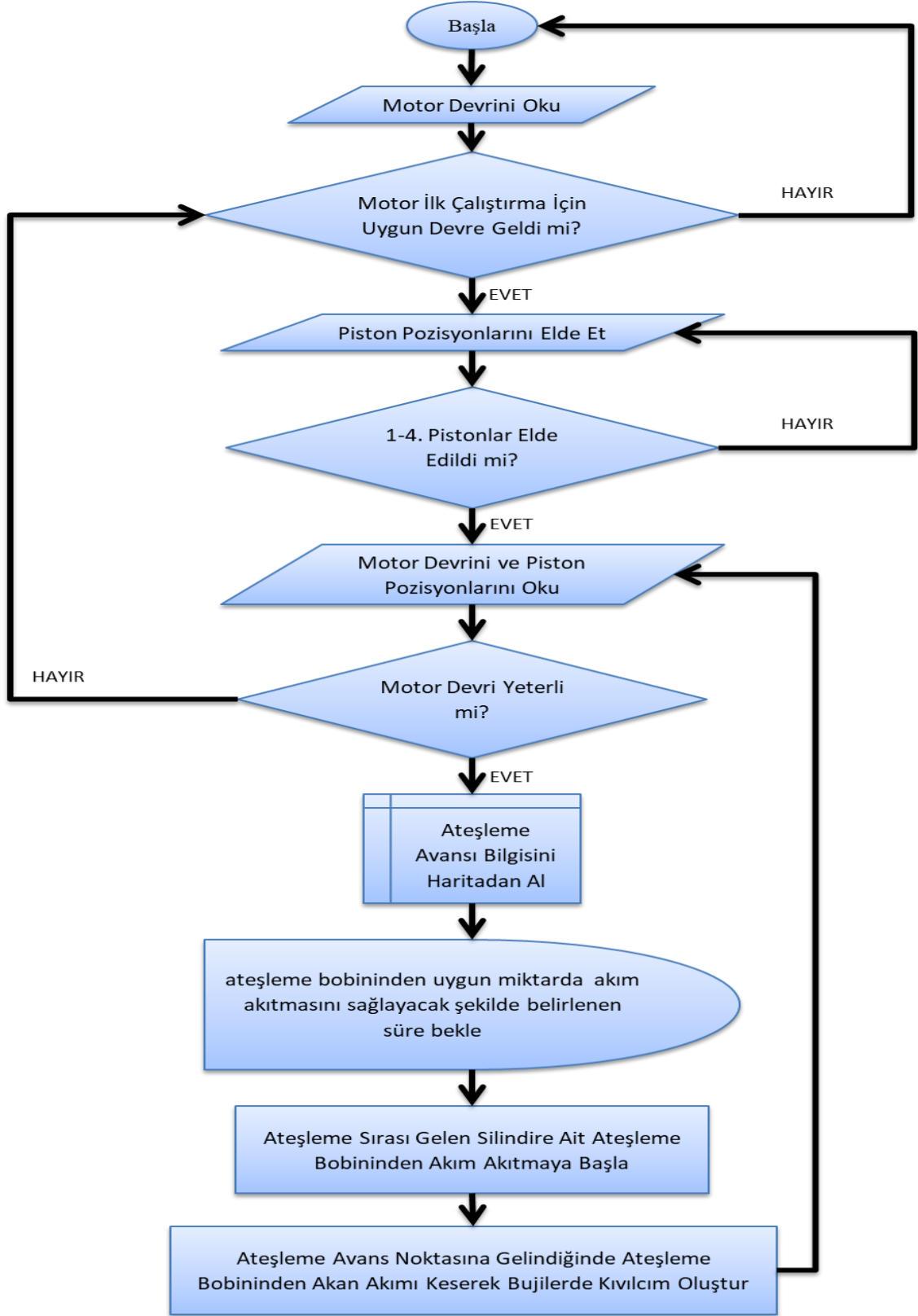
Rastgele numara üretici		Var
Haberleşme arayüzleri	SPI / I2S	3/2 (full duplex)
	I ² C	3
	USART/ UART	4/2
	USB OTG FS	Var
	USB OTG HS	Var
	CAN	2
	SDIO	Var
Kamera arayüzü		Var
GPIOs		82
12-bit ADC		3
Kanalların sayısı		16
12-bit DAC		Var
Kanalların Sayısı		2
Maksimum CPU frekansı		168 MHz
Çalışma gerilimi		1.8 to 3.6 V
Çalışma Sıcaklığı		Ortam Sıcaklığı: -40 to +85 °C / -40 to +105 °C
		Kartın Sıcaklığı: -40 to + 125 °C

Bu kartın kontrol kartı olarak seçilme sebebi çok fazla giriş çıkışı olması ve hafızasının bizim için fazla olması diğer algoritma ve sensör girişlerine olanak sağlanabilmesi için uygun görünmüştür ayrıca programlanması kolay ve yeterince kaynağa sahiptir.

Şekil 3.14.'deki algoritmaya sahip program C programlama dili kullanılarak oluşturulmuştur ve kontrol kartı üzerinde koşturmaktadır. Bu algoritmaya göre;

- Program ilk adım olarak bütün arabirimleri kullanılır hale getirir .
- Öncelikli olarak sinyal arayüzü kartından aldığı bilgi ile volan üzerindeki 1.pimi bulur.
- Bulduğu 1. pim ile sayıcı sıfırlanır ve 2. pim bilgisi gelene kadar timer çalışmaya devam eder.
- 1 ve 2. pim arasında 9 derecelik açı farkından volanın hızı timer bilgisi ile hesaplanır.
- Eğer motor devri yaklaşık olarak 150 d/dak'nın altında ise motorun 150 d/dak motor devrine erişilmesi beklenir. (Bunun için motorun diğer pim aralıklarında da timer çalıştırılarak 90 derece farka göre hız hesabı yaptırılır)
- 150 d/dak motor devrine erişildiğinde, volan üzerindeki 1. ve 2. pimin algılanması beklenir.

- 1. ve 4. pistonlara ait üst ölü noktalarının tespiti yapılır ve volanın turunu tamamlaması beklenir.
- Volanın 1 tam turunu tamamladıktan sonra, program 2. ve 5. pimlerin algılanması arasında geçen süreyi tespit ederek motor devir bilgisini yeniden elde eder.
- Eğer ki motor devri 150 d/dak'nın altında ise program sonraki satırların işlenmesine izin verilmez ve ilk satıra dallanır.
- Eğer motor devri 150 d/dak'nın üzerinde ise motor devrine ilişkin ateşleme avans haritasına gidilir ve ateşleme avans bilgisi alınır.
- İlgili ateşleme bobininden geçen akımın uygun düzeye gelmesi için beklenen süre pot üzerinden gelen bilgi ile alınır.
- Tam ateşleme avans noktasına gelindiğinde akan akımın kesilmesi ile beraber 2. ve 3. silindirlere ait bujilerde kıvılcım oluşturularak ateşleme işlemi gerçekleştirilir ve 4. pim tespit edilir.
- 4. ve 3. pimlerin algılanması sırasında geçen süre boyunca motor devri hesaplanır ve devir yaklaşık olarak 150 d/dak'nın altında ise program ilerlemeye devam etmez ve ilk çalışma koşuluna geri döner.
- Elde edilen motor devir bilgisi 150 d/dak'nın üzerinde ise bu motor devrine ilişkin ateşleme avans haritasına gidilir ve ateşleme avans bilgisi elde edilir.
- İlgili ateşleme bobininden geçen akımın uygun düzeye gelmesi için beklenen süre pot üzerinden gelen bilgi ile alınır. Tam ateşleme avans noktasına gelindiğinde akan akımın kesilmesi suretiyle 1. ve 4. silindirlere ait bujilerde kıvılcım oluşturularak ateşleme işlemi gerçekleştirilir.
- Ateşleme işlemleri algoritmada belirtildiği üzere sonsuz bir çevrim içinde ardı ardına devam ederler.



Şekil 3.14. Kontrol algoritması

3.2 Yöntem

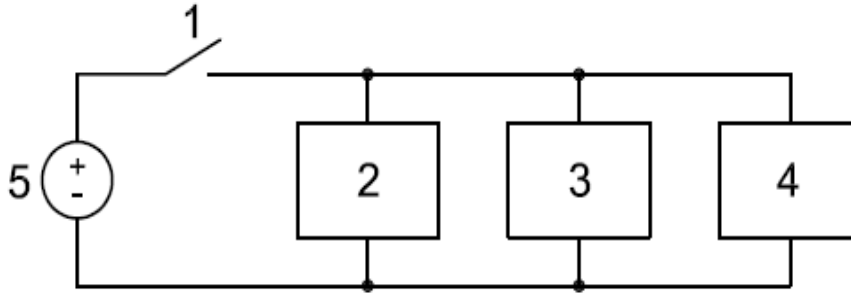
Otomotiv için EKÜ tasarımı yaparken önemli standartlar konulmuştur. Bu standartlar araç içinde oluşan elektriksel gürültü, sıcaklık değişimleri vb. olumsuz etkilere dayanıklı ve daha sağlıklı çalışması için gereklidir. Standartlar testlere bağlı olup bu testler araç içinde oluşan, oluşabilecek durumların sinyallerini, PCB tasarımlar üzerinde etkisi ve tepkisi ölçülür. Bu ölçümlerin sonuçları bu standartların sınırına dahil ise dizaynınız araç içinde sorun oluşturmadan çalışmaktadır. Otomotiv için PCB dizayn ederken burada en çok EMC/EMI dizaynı için oluşturulmuş standartlar incelenmiş ve bu uygunlukta PCB dizaynı yapılmıştır. Birçok önemli standart / test bulunmasına karşın güç kaynakların kapanıp açılması durumuna en uygun olanlar incelenmiştir çünkü ateşleme sistemi güç kaynaklarını en çok etkileyen yapıdır. Bu durumları içeren standartlar ise ISO7637-2 ve CISPR25'dir.

Otomobil üreticilerinin EMC için kendi iç standartları vardır, ancak dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, bunların genellikle uluslararası ISO / IEC standartlarına dayandırılmasıdır; değişiklikler tipik olarak sadece farklı testlerin veya sınırların birkaç parametresindedir, ancak gereksinimlerin özü aynıdır.

3.2.1. ISO 7637

ISO 7637 “Karayolu taşıtları - İletim ve kuplajdan kaynaklanan elektriksel bozukluklar” olarak adlandırılmıştır ve 2. bölüm “Yalnızca besleme hatları boyunca elektriksel geçici iletim” adını taşımaktadır. Bir alt sistemin güç kaynağının, doğrudan besleme hatlarından gelen kısmını tasarıma dahil edildiği için bu bölüm önem arz etmektedir. Standart, bir elektrik alt sisteminin çalışmasına potansiyel olarak zararlı olabilecek geçici akımlara karşı duyarlılığını test etmek için darbelerin açıklaması da dahil olmak üzere bir test prosedürünü tanımlar. Her darbe, arabadaki gerçek bir olay tarafından yaratılabilecek bir geçici sinyali simüle etmek için modellenmiştir.

ISO 7637-2 Darbe 1'in testteki karşılığı, endüktif yüklerden beslemenin ayrılması nedeniyle geçici akımların bir simülasyonudur. Araçta kullanıldığı gibi endüktif yüke doğrudan paralel bağlı kalan test altındaki PCB için geçerlidir. Böyle bir sistem için diyagram Şekil 3.15. gibidir.

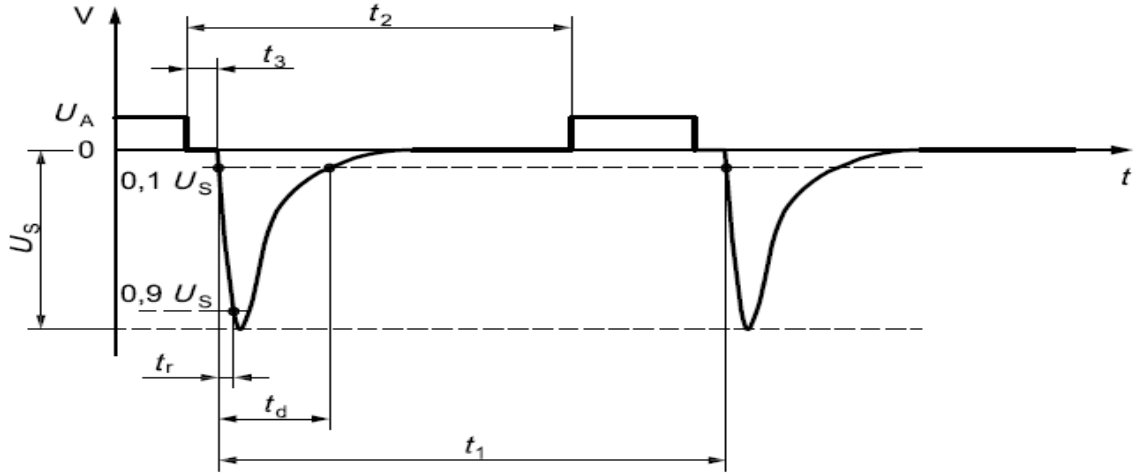


Şekil 3.15. ISO7637-2 Darbe 1 sistem diyagramı

Diagramdaki devre elemanları:

1. Ateşleme anahtar
2. Endüktif yük
3. R_s direnci
4. Test cihazı
5. Güç kaynağı

ISO 7637-2’de ayrıca Darbe 1 in nasıl oluştuğu, ‘endüktif yüklerden beslemenin ayrılması nedeniyle oluşur’ ifadesiyle belirtilirken. Bu darbeye sigortaların atması veya çıkarılması da dahil olduğu belirtilmiştir. Bu durumda endüktansa paralel olarak doğrudan bağlı kalan cihazların hepsini etkiler. Darbe şekli Şekil 3.16.’da verilmiştir, Çizelge 3.5.’de şekildeki değerlerin karşılıkları gösterilmektedir ve çizelgede araç içinde kullanılacak 12V ve 24V sistem için iki ayrı değer verilir. Bu darbenin doğası gereği tasarlanan PCB’nin güç bağlantısının kesilmesi, bazı test planlarında sıfırlama ve / veya yeniden başlatma gibi olaylar kabul edilebilir.’ diye açıklanmaktadır. Tasarlanan PCB’de bu durum bütün aracın hareketini etkilediği için kapanması durumundan ya da sıfırlanmasından söz edilemez. Bu sürede tasarlanan PCB’nin çalışmaya devam etmesi gerekir.



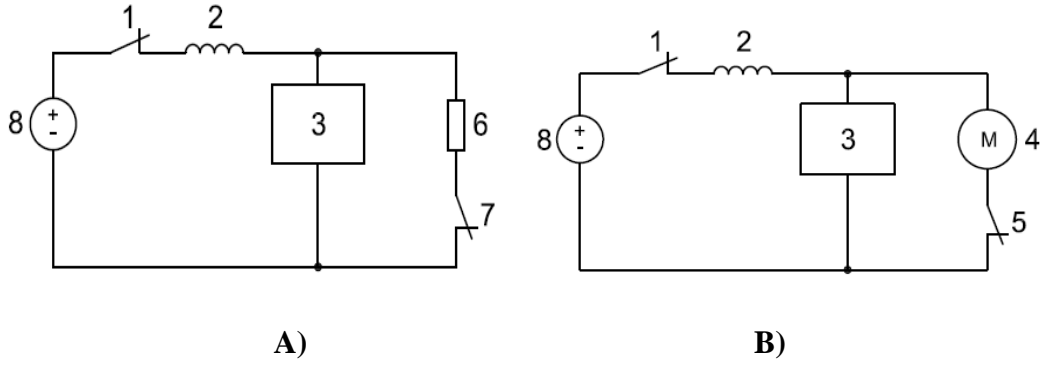
Şekil 3.16. Darbe 1'in şekli

Çizelge 3.5. Darbe 1 darbesinin 12V sistem ve 24V sisteme göre değerleri

Parametreler	Nominal 12 V Sistem	Nominal 24 V Sistem
U_s	-75V'dan-150V kadar	-300V'dan -600V kadar
R_i	10 Ω	50 Ω
t_d	2ms	1 ms
t_r	$\begin{pmatrix} 0 \\ 1-0,5 \end{pmatrix} \mu s$	$\begin{pmatrix} 0 \\ 3-1,5 \end{pmatrix} \mu s$
t_1^a	$\geq 0,5s$	
t_2	200 ms	
t_3^b	$<100 \mu s$	
a	t_1 DUT için uygulamanın bir sonraki darbe sinyali gelmeden minimum zaman seçilebilir ve $\geq 0,5$ saniyeden büyük olabilir.	
b	t_3 uygulamanın sinyali ve güç kaynağı arasındaki bağlantı kopmasında en küçük uygun zamandır.	

Spesifik değerler standartta standarda göre değişiklik gösterebilir. Fakat tasarlanan PCB üzerinde 12V'luk sistem gereksinimleri düşünülerek dizaynı yapılmıştır.

Darbe 2a ve Darbe 2b standartta ki tanımı şu şekildedir: “Darbe 2a, kablo demetinin endüktansına bağlı olarak tasarlanan PCB ile paralel bağlanan bir cihazdaki akımların aniden kesilmesinden dolayı geçici durumları simüle eder. Darbe 2b, kontak kapatıldıktan sonra jeneratör olarak işlev gören DC motorlardan gelen geçici akımları simülesidir”. Bu sistemin diyagramı Şekil 3.17.'de verilmiştir.



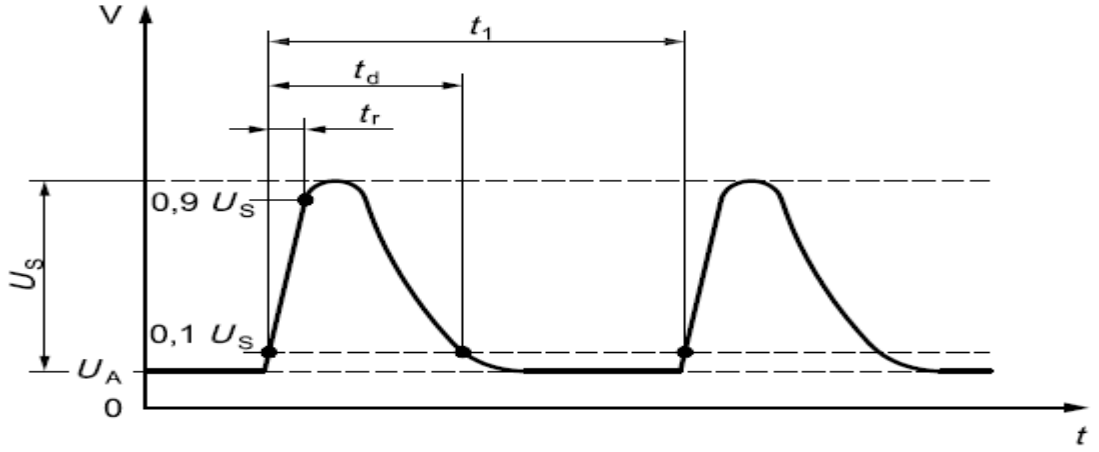
Şekil 3.17. Darbenin oluştuğu sistemlerin diyagramı **A)** Darbe 2a diyagramı
B) Darbe 2b diyagramı

Diagramdaki devre elemanları:

1. Ateşleme anahtarı
2. Endüktif kablo demeti
3. DUT
4. DC motor ve iç indüktansı
5. Motor Anahtarı
6. Yük
7. Yük Anahtarı
8. Güç kaynağı

Standart darbelerin oluşma şeklini şöyle ayırır: ‘Darbe 2a ateşleme anahtarı (1) kapalıyken yük anahtarı (7) açıldığında meydana gelir. Bu sinyal, sigorta attığında, çektiğinde ve zıplayan anahtarlarla da ortaya çıkabilir. Darbe şekli Şekil 3.18.’de gösterilmiştir ve darbenin karşılık geldiği değerler ise Çizelge 3.6.’da verilmiştir.

Darbe 2b, motor çalışırken ve ateşleme anahtarı (1) açıldığında meydana gelir.’ Darbe 2b Şekil 3.19.’da gösterilmektedir Darbe 2b’nin karşılık geldiği değerler ise Çizelge 3.7.’de verilmiştir.

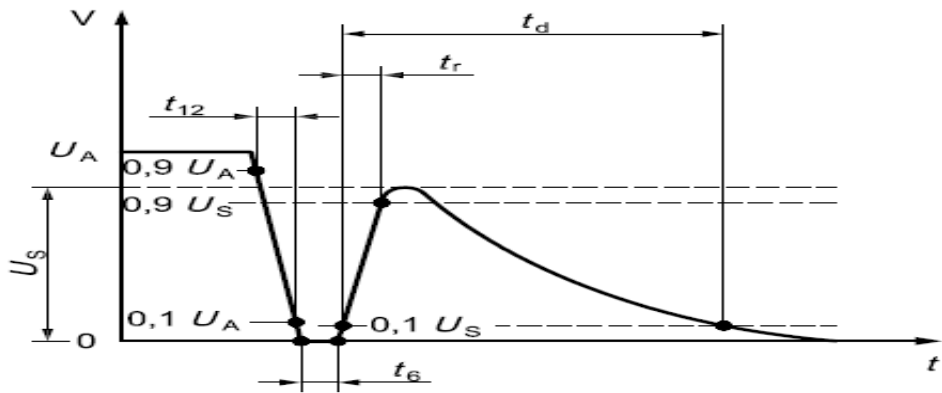


Şekil 3.18. Darbe 2a'nın görünümü

Çizelge 3.6. Darbe 2a'nın 12V ve 24 V sistem için değerleri

Parametreler	Nominal 12 V ve 24 V Sistem
U_s	+37V'dan +112V kadar
R_i	2Ω
t_d	0,05 ms
t_r	$\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ -0,5 \end{pmatrix} \mu s$
t_1^a	0,2 s'den 0,5 saniyeye

a t_1 tekrarlılama zamanı anahtarlamaya bağlı olarak kısa olabilir.Kısa tekrarlılama zamanının kullanımı test süresini azaltır.



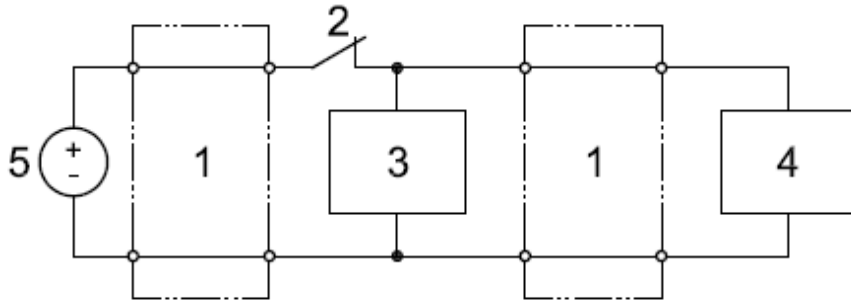
Şekil 3.19. Darbe 2b'nin görünümü

Çizelge 3.7. Darbe 2b'nin 12V ve 24 V sistem için değerleri

Parametreler	Nominal 12 V Sistem	Nominal 24 V Sistem
U_s	10 V	20 V
R_i	0 Ω 'dan 0,05 Ω 'a kadar	
t_d	0,2 s'den 2 s'ye kadar	
t_{12}	1ms \pm 0,5 ms	
t_r	1ms \pm 0,5 ms	
t_6	1ms \pm 0,5 ms	

Şekil 3.16.'da oluşan dalga formu (12V için), kablo demetinin neden olduğu endüktif bir yükün sinyalinin yükselmesinin (kick) simulesi olup pozitif giden transient sinyalidir.

ISO 7637-2 Darbe 3a ve 3b standartta şöyle tanımlanır: “Bu test darbeleri, anahtarlama işlemlerinin bir sonucu olarak ortaya çıkan geçici akımların bir simülasyonudur. Bu geçici akımların karakteristikleri, kablo demetinin dağıtılmış kapasitansından ve endüktansından etkilenir.” Böyle bir sistem diyagramı Şekil 3.17.'de verilmiştir.



Şekil 3.20. Darbe 3a'nın diyagram görünümü

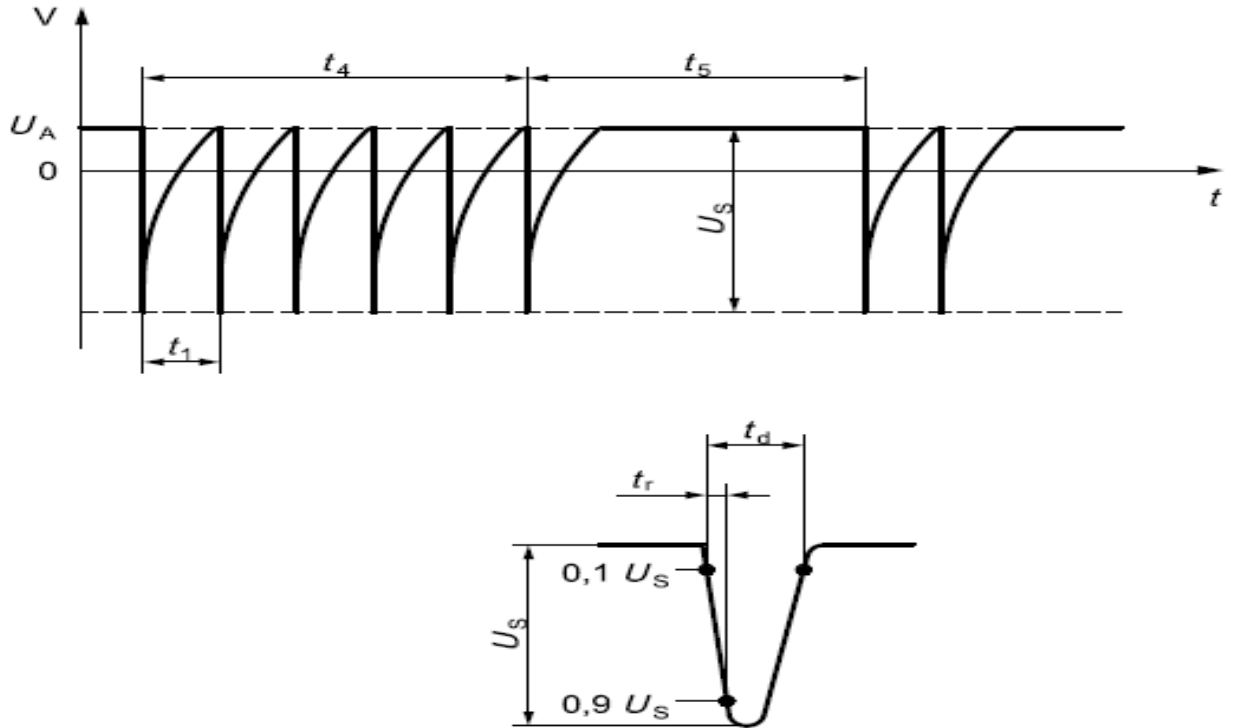
Diagramdaki devre elemanları:

1. indüktanslı ve kapasitesi yayılmış kablo demeti
2. Anahtar
3. DUT
4. Endüktif yük
5. Güç kaynağı

Açıklama biraz belirsizdir çünkü “anahtarlama işlemlerinin bir sonucu olarak”, bahsedilen dalga tam olarak ifade edilmemiştir olsa esasen mekanik bir anahtarın temasının ve kesilmesinin neden olduğu geçici durumlardır. Darbe 3a'nın dalga formu Şekil 3.18.'de verilmiştir ve parametreleri Çizelge 3.8.'de 12V ve 24V sistem için ayrı ayrı verilmiştir. Darbe 3b'nin formu Şekil 3.9.'da gösterilmiş olup Çizelge 3.9.'de dalga parametreleri ifade edilmiştir 12V ve 24V sistem için.

Diagramdaki devre elemanları:

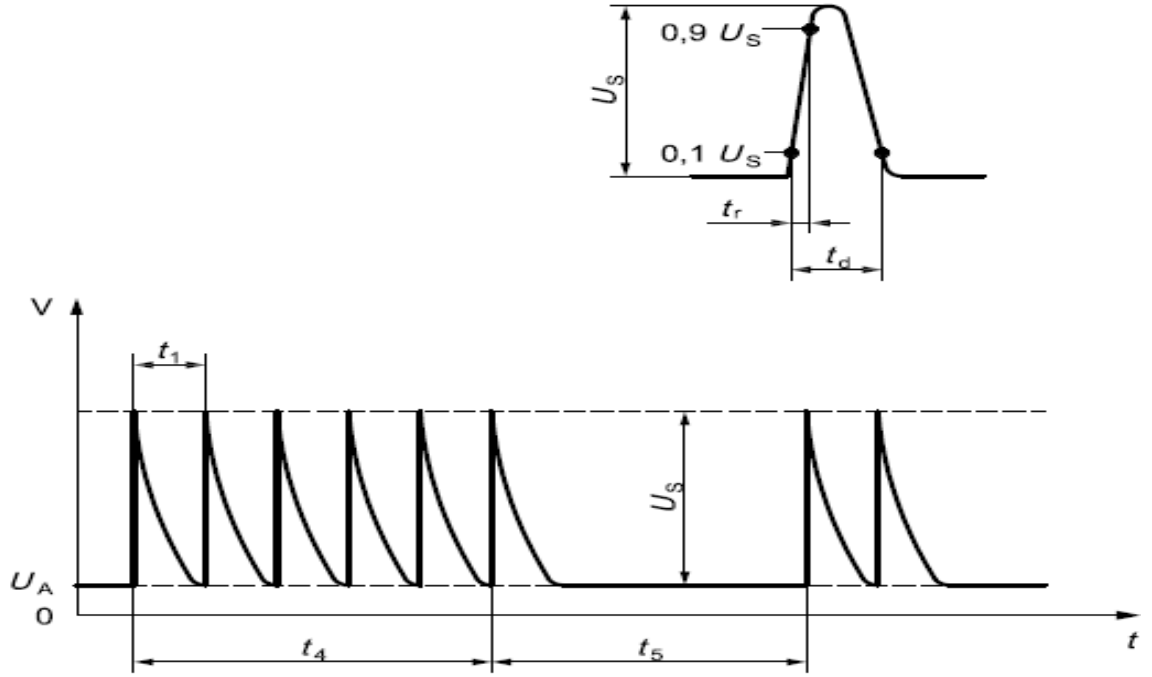
1. indüktanslı ve kapasitesi yayılmış kablo demeti
2. Anahtar
3. DUT
4. Endüktif yük
5. Güç kaynağı



Şekil 3.21. Darbe 3a

Çizelge 3.8. 12V ve 24V sistemler için darbe 3a'nın alacağı değerler tablosu

Parametreler	Nominal 12 V Sistem	Nominal 24 V Sistem
U_s	-112V'dan -220V'a kadar	-150V'dan -300V'a kadar
R_i	50 Ω	
t_d	150 ns \pm 45 ns	
t_r	5 ns \pm 1,5 ns	
t_1	100 μ s	
t_4	10 ms	
t_5	90 ms	



Şekil 3.22. Darbe 3b

Çizelge 3.9. 12V ve 24V sistemler için 3b darbesinin değerleri

Parametreler	Nominal 12 V Sistem	Nominal 24 V Sistem
U_s	+75V'dan +150V'a kadar	+150V'dan +300V'a kadar
R_i	50 Ω	
t_d	150 ns \pm 45 ns	
t_r	5 ns \pm 1,5 ns	
t_1	100 μ s	
t_4	10 ms	
t_5	90 ms	

3.2.4. CISPR 25

CISPR25, çoğu orijinal parça üreticisinin kendi gereksinimlerini temel aldığı otomotiv EMI standardıdır. Başlığı “Taşıtlar, tekneler ve içten yanmalı motorlar - Radyo parazit özellikleri - Dahili alıcıların korunması için sınırlar ve ölçüm yöntemleri.” Temel olarak, standardın amacı, bir alt sistemden emisyon miktarını birkaç önemli frekans bandında sınırlamak ve bu bantları baz alarak çalışan diğer sistemlere müdahale etmemesini sağlamaktır.

Örneğin, bir AM radyo alıcısı belirli bir frekansta (örneğin 710 kHz) “dinleniyor” (ayarlandı) ve bir radyo istasyonunun o frekansa yayılan sinyalini alıyor. Sadece bu frekansta AM Radyo yayını için öngörülen sinyalleri almak ve yükseltmek istiyor. Bununla birlikte, araçtaki başka bir sistem yanlışlıkla bu frekansta çok fazla enerji (gürültü) yayıyorsa, radyo istasyonunun sinyalini temiz bir şekilde çözme yeteneğini engeller ve kullanıcı sinyalde çok fazla gürültü duyabilir veya anlaşılmaz biçime dönüşmüş sinyal duyulamaz olabilir. CISPR25 gibi standartlar, bu sistemlerde kabul edilebilir sınırlar belirleyerek bundan kaçınmak için özel olarak tasarlanmıştır. OEM'ler kendi sınırlarını belirlese de CISPR25 standardını baz almaktadırlar.

Testler ve limitler iki ayrı emisyon tipine ayrılmıştır: Conducted ve Radiated. Conducted emisyonlar doğrudan iletkenler (yollar, kablolar, vb.) üzerinden besleme hatlarına bağlanır ve yayılan emisyonlar EM dalgaları olarak yayılır ve diğer sistemlerde ayarlanmış / ayarlanmamış antenler tarafından alınabilir.

Test prosedürleri, ilgili frekans bantları ve limitler her ikisi için de farklıdır, ancak temel bilgiler benzerdir: alt sistem yani tasarlanan PCB yalıtılmış bir odaya / bölmeye yerleştirilir ve iyi tanımlanmış, tekrarlanabilir bir elektrik kurulumu yapılır. Diğer tüm olası yayıcılar bölmeden çıkarılır, tasarlanan PCB açılır ve normal şekilde çalışmasına izin verilir. Tasarlanan PCB, bir Yapay Ağ (veya LISN) ile enerjilendirilir ve normal çalışma yükü bağlanır. Daha sonra (LISN veya Anten üzerinden) farklı frekanslardaki emisyonlarını ölçmek için bir spektrum analizörü kullanılır ve CISPR 25 sınırlarıyla karşılaştırılır. Emisyonların hem pik hem de ortalama değerleri ölçülür.

Bu tez kapsamında üretilen PCB'ler, sistemdeki DC/DC regülatörleri ve buji ateşleme sürücüsü, iletilen emisyonların ana kaynakları olacaktır. Giriş akımı dalga formlarının anahtarlama eylemi, besleme hatlarına geri enerji yayar ve bu filtrelenmelidir. Temel anahtarlama frekanslarında ve harmoniklerinde yayılırlar. Bu sebeple CISPR 25'de belirlenmiş AM bandı dışındaki aralıkta frekansları ayarlamak önemli bir gürültü önleyici durum oluşturur.

4. BULGULAR

Elektronik Kontrol Ünitesi gerçekleştirilmesi planlanan işler için özel olarak tasarlanmış olup. Tasarım otomotiv standartlarına uygun EMI ve EMC'den korunacak şekilde dizaynı yapılmıştır. Bu dizaynda gerekli olabileceği düşünülen özel prototip kartlar düzenlenmiştir. Bu tez kapsamında en önemli olan ateşleme kontrol ünitesi, motor hızı için sensör arayüz kartı ve güç dağıtıcı (DC/DC dönüştürücü) kart dizayn edilmiştir.

4.1 Hesaplamalar

Güç kartı için gerekli hesaplamalar standartlar ve sistemin gerekliliklerini sağlayacak malzeme seçimi büyük önem arz etmektedir. Güç kartı akü girişinden başlayarak sistem diyagramı şu şekilde ilerler; 12V akü girişi, ESD koruması, ters akü bağlantı koruması, PI filtre, DC DC dönüştürücü giriş kapasitör seçimi ve DC DC çıkış gerilimi ayar direnci, çıkış dalgası ripple hesapları şeklindedir.

ESD koruması için TVS diyotları ile sağlanmıştır çünkü güç hatlarında veya veri hatlarında hem pozitif hem de negatif transient geçişlerine karşı koruma sağlamak için ve ESD koruması gerektiren uygulamalar için geliştirilmiş devre elemanlarıdır. TVS, transient voltajı güvenli bir seviyede tutarak koruma sağlar. Transient voltajı doğrudan yönlendirmek ve "Clamping Voltage" seviyesini sabit olarak korumak için değişken bir empedans olarak işlev görür. Transient gerilimler ISO 7637-2: 2004, sinyal 1 ve 2a'da detaylandırılmıştır. 3a / b darbeleri de önemlidir ve hem TVS diyotları hem de akımın geçiş yönündeki LC pi filtresi tarafından filtrelenir. Araçtaki birçok sistem, transient durumlar sırasında kolayca kapanabilir ve transient durum geçtikten sonra normale döner, ancak bunların içinden çalışmaya devam etmesi gereken birçok alt sistem olabilir.

Diyot kırılma gerilimleri, MOSFET kapalıyken oluşacak transient gerilimlerine dayanacak şekilde seçilmelidir. Pozitif yöndeki TVS, çift akü (jump-start) üzerinde clamp yapması gerekir ve Load Dump geriliminde clamp oluşur, fakat maksimum çalışma voltajından daha düşük olmalıdır. Otomotiv için bu, 28V civarında clamp oluşmaya başlamasıdır, ancak 40V'un altında maksimum clamp voltajına sahip olmak

demektir. İdeal olarak, 36V civarında (maksimum clamp gerilimi) bir yer en iyi seçim olacaktır.

Ters yöndeki TVS, ters akü bağlantı durumu sırasında kısa devre yapmayacak şekilde tüm negatif gerilimleri akü geriliminden daha fazla clamp oluşturmalıdır. TVS diyotları için seçilecek diğer parametre Tepe Güç oranıdır. Bu oran diyotların paket büyüklüğü ile orantılıdır. TVS diyot güç derecesini hesaplamak için önemli parametreler şunlardır: clamp voltajı, clamp darbesinin voltajı ve darbenin kaynak empedansı. Bu durum ISO 7637 darbe 2a standardına göre;

- $V_{PULSE} = 75 \text{ V}$
- $R_{SOURCE} = 4 \Omega$
- $V_{CLAMP} = 33 \text{ V}$
- V_{PULSE} , TVS diyotunun clamp oluşturduğu sinyal darbesinin voltajıdır.
- R_{SOURCE} , pulse'un kaynak empedansıdır.
- V_{CLAMP} , TVS diyotundan gelen clamp voltajıdır.

En kötü durum varsayımı, yükün sıfır akım çekmesi ve tüm akımın TVS diyot üzerinden toprağa gitmesidir. Böyle bir durum için, diyotun güç değeri şu şekilde hesaplanır:

$$P_{TVS} = \frac{V_{PULSE} - V_{CLAMP}}{R_{SOURCE}} * V_{CLAMP} = \frac{75 - 33}{4} * 33 = 346,5 [W] \quad (4.1)$$

Bu sonuca göre Çizelge Çizelge 3.2.'de D1 ve D3 diyotları seçilmiştir.

İdeal diyot sürücü devresi ile ters polarite koruması, harici N-Kanallı MOSFET için bir gate sürücüsü ve ters polarite durumunda MOSFET Kapısını boşaltmak için hızlı yanıt veren bir komparatör sağlar. Bu hızlı aşağı çekme özelliği, ters polarite algılanırsa ters akım akışının miktarını ve süresini sınırlar. Cihaz tasarımı ayrıca uygun bir TVS diyot ile CISPR25 Sınıf 5 EMI spesifikasyonlarını ve otomotiv ISO7637 transient gerekliliklerini karşılar ve ideal diyot sürücü için özel entegreler olmasına karşın ayna tranzistör yapısı kullanılarak ideal diyot sürücüsünün zamanını yakalamakta ve ters polarite korumasını karşılamaktadır. Bu yapılan simülasyonlar desteklenmektedir.

Güç kartı PI filtresi dizaynı gereklidir çünkü aküden alınan gerilim anahtarlama frekansı sebebiyle gürültülere sebebiyet verir ve çıkışında bir buck dönüştürücü olması anahtarlama frekansı ve harmonikleri gürültüye sebebiyet verir bunları önlemek için en yaygın ve efektif yöntem alçak geçiren filtredir. Bu filtreler arasında CISPR25 standardında AM bandında (530 kHz ile 1800 kHz arası) gürültünün yüksek olduğu belirlendiği için filtre dizaynı AM bandının en düşük frekansından daha düşük bir değer olan 400 kHz seçilmiştir. PI filtre dizaynında deneysel ya da teorik hesaplamalar yapılabilir. Bu çalışmada teorik hesaplama ile yapılmıştır. Hesap için öncelikle buck dönüştürücüye giren akım dalga şekli incelenmelidir. Bu çalışmada giriş dalga formu asimetrik üçgen şeklinde olup $I_{ripple}=1,5A$ 'dir. Bir periyot boyunca yükselme zamanı 0,655 ($D=0.655$)'dir buna göre yükselme zamanı :

$$t_{on} = D * 1/f_{anahtarlama} = 0,655 * 1/400000 = 1,63\mu s$$

(4.2.)

$$t_{off} = (D - 1) * 1/f_{anahtarlama} = 0,345 * 1/400000 = 862,5ns$$

(4.3.)

Giriş voltajı aslında giriş akımının giriş kapasitöründe üretilen voltajdır. Bu çalışmada giriş kapasitörü olarak seramik kapasitör kullanılmış olup ESR değeri $5m\Omega$ 'dur. Buna göre giriş voltajının en yüksek değeri;

$$V = I * R = I_{ripple} * ESR = 1,5 * 5 * 10^{-3} = 7,5mV$$

(4.4.)

Bunula beraber 400 kHz'deki frekans ile ilgelenilmesi gerekli bu da zaman domaininde değil frekans domaininde bakılması demek. Giriş dalgası üçgen asimetrik olduğu için Fourier dönüşümü alınarak bileşen frekanslarının her birinin katsayısı 0,8 olarak bulunur, bu nedenle 400 kHz'de enerjiyi bulmak için katsayı ve en yüksek voltaj seviyesi çarpılmalıdır:

$$0,8 * 7,5mV = 6mV \quad (4.5.)$$

CISPR 25 standardına göre analiz etmek için dB μ V a dönüştürülürse enerji;

$$20 \log \left(\frac{6mV}{1\mu V} \right) = \sim 76dB\mu V \quad (4.6.)$$

CISPR25 sınırının dışında en yakın olduğumuz 530 kHz'de 5. sınıf conducted emission için sınır tepe değeri 54dB μ V olduğuna göre en az 22dB μ V'luk bir zayıflamaya gidilmesine karar verildi bunun için 2. derece alçak geçiren filtre yani LC Pi filtre seçildi. Dizaynı için gerekli olan köşe frekansı 40dB/decade zayıflama oluşturacak ve 400kHz'de köşe frekansı 40 kHz'e oturtulmalıdır.

$$2\pi * f_{köşe} = \frac{1}{\sqrt{L*C}} \quad (4.7.)$$

Denklem 4.7. esneklik sağlamaktadır bobin değeri 4.7 μ H olarak seçildi. Bu durumda kapasite değeri 3,368 μ F olarak hesaplanacaktır ama üretilen en yakın kapasitör değeri 10 μ F olarak seçilmiştir ayrıca DC bias etkisinden dolayı kapasitörler rated değerinden daha düşük değerlerden çalışırlar.

Son olarak DC tank kapasitörleri eklenmesi gereklidir bu kapasitansların 2 şartı sağlanması beklenir bunlar giriş kapasitansının 4 katından daha büyük bir kapasiteye sahip olması ve ESR'sinin, bobin değerinin kapasitans değerine oranın karekökünden büyük olması şartlarını sağlamalıdır. Bu durumda tankların bu değerleri sağlayacak tasarımda ESR düşürülmesi gerekmiştir çünkü bu devre çıkışında 3,3V ve 5V input kapasitörleri de eklenmektedir ve son olarak 3 adet 10 μ F eklenerek gerekli değerlere ulaşılmıştır.

Güç kartı TPS54302 entegre devresi V_{IN} pini giriş kapasitörleri seçilirken Denklem 4.8., Denklem 4.9. kullanılmıştır;

$$\Delta V_{IN} = \frac{I_{OUT(MAX)} * 0.25}{C_{Bulk} * f_{sw}} + (I_{OUT(MAX)} * ESR_{MAX}) = \frac{2 * 0.25}{363,3 * 10^{-6} * 400 * 10^3} + (2 * 8,33 * 10^{-3}) = 5mV \quad (4.8.)$$

C_{Bulk} : Giriş kapasitör değeri

f_{sw} : Anahtarlama frekansı

$I_{OUT(MAX)}$: Maksimum çıkış akımı

ESR_{MAX} : Giriş kapasitörlerinin seri direncinin maksimum değeri

ΔV_{IN} : Giriş gerilim dalgalanma değeri

Giriş dalgalanma gerilimi 20mV'a kadar normal karşılanmaktadır ve giriş kapasitör değeri 10µF'tan büyük olması gerektiği belirtilmektedir ayrıca bu denklemin yanında 3 karta da akımın yetmesi gerektiği için ve akımdaki dalgalanmaların hesaplanması Denklem 4.1.9. ile elde edilmiştir.

$$I_{C(IN)} = \frac{I_{OUT(MAX)}}{2} = \frac{2}{2} = 1A \quad (4.9.)$$

$I_{OUT(MAX)}$: Çıkıştaki maksimum akım

$I_{C(IN)}$: Kapasitörlere uygulanan maksimum akım değeri

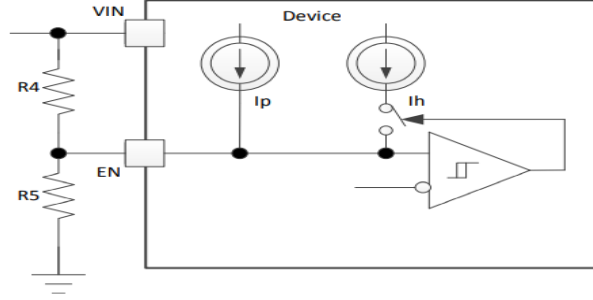
Giriş kapasitörü maksimum gerilim değeri seçilirken $V_{maksimum} + \Delta V_{in}/2$ 'den büyük olmalıdır. Bunların dışında kapasitörlerin yolları kısa ve entegrenin VIN pinine en yakın konumda seçilmiştir. Giriş için elektrolitik kapasitör seçimi yapılmıştır ve bu kapasitörler sıcaklık düştükçe kapasitans değeri düşmekte ESR değeri ise yükselmektedir. Otomotiv standartları çalışma şartları göz önünde bulundurulduğunda bunu ayarlamak için seramik kapasitörlerle destek olunmuştur. Bu sayede düşük frekanstaki gürültüler de önlenmiştir.

TPS54302 datasheetinde düzgün çalışma için BOOT ile SW pin arasına 0,1 µF seramik kapasitör bağlanmasının önemli olduğu vurgulandığı için bu çalışmada C1 ve C2 kapasitörleri eklenmiştir.

EN pini entegrenin çalışma ve durmasını kontrol eder bu pin sayesinde eşik geriliminin altında bir gerilim uygulandığında cihaz sessiz durumda kalarak çalışmaya geçmez gelen gerilim eşik değerini aştığında entegre çalışmaya başlar bu sebeple eşik gerilimi

hesaplamaları önemlidir. Histerisiz gerilimi 480mV olmasına karşın daha yüksek seviyeye çekilmek istenirse I_p ve I_h akımlarından faydalanılarak UVLO ayarlanabilir.

Undervoltage Lockout Set Point ayarlanması gerilim bölücü mantığı ile V_{EN} pini ile V_{IN} pini arasına yerleştirilen direnç ve V_{EN} toprak arasına bağlanan iki direcin değerleri ile sınır değiştirilebilmektedir. Entegre devrenin ayarlanması ve iç yapısını gösterir Şekil 4.1.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. TPS54302 Undervoltage Lockout Set Point devre şeması

Bu direçlerin hesapları ise datasheette Denklem 4.10. ve Denklem 4.11. ile gösterilmiştir.

$$R4 = \frac{V_{START} \left(\frac{V_{ENFallig}}{V_{ENRising}} \right) - V_{Stop}}{I_p \left(1 - \frac{V_{ENFallig}}{V_{ENRising}} \right) + I_h} \quad (4.10.)$$

$$R5 = \frac{R4 * V_{ENFallig}}{V_{Stop} - V_{ENFallig} + R4(I_p + I_h)} \quad (4.11.)$$

Denklemlerde bilinmeyenler ise ;

$$I_p : 0,7\mu A$$

$$I_h : 1,55\mu A$$

$$V_{ENFallig} : 1,19V$$

$$V_{ENRising} : 1,22V$$

Verilen bu bilgilere ek olarak $V_{start}=1,94V$ ve $V_{stop} = 1,93$ değerleri belirlenmiştir. Cold crank durumunda herhangi bir sorun yaşanmaması için bu seviyede seçilmiştir. Bağlanmadığı durumda 480mV olan histerisiz gürültülerle karşılaşabileceği ve hesaplarda da görüldüğü üzere EN pinin düşme ve yükselme gerilimlerinden biraz yukarda seçilerek sabitleme yapılmak istenmiştir ve iki entegre devrede de uygulanmıştır bu durumda R4 direnci 221k Ω ve R5 direnci 100k Ω olarak belirlenmiştir. Bu dirençlerde R4'e karşılık gelenler R6 ve R9'dur, R5'e karşılık gelenler ise R1 ve R7 isimli dirençlerdir.

Entegrenin çıkış voltajı ayarlanması direnç bölücü mantığı ile seçimi yapılmaktadır. Datasheette bu seçim için kullanılacak denklemler Denklem 4.12. ve Denklem 4.13. ile ifade edilmiştir.

$$R3 = \frac{R2 \cdot V_{ref}}{V_{OUT} - V_{ref}} \quad (4.12.)$$

$$V_{OUT} = V_{ref} * \left[\frac{R2}{R3} + 1 \right] \quad (4.13.)$$

Denklemlerde V_{ref} olarak ifade edilen değer 0,586V olup bu entegreye özgü bir değerdir. Ayrıca R2 direnci seçiminde 100k Ω seçilmesinin daha iyi bir sonuç vereceğini R3 direnç değeri de istenen çıkış voltaj değerine göre ayarlanabilir. 2 adet entegre de 2 farklı direnç değeri kullanılmış olup datasheette ki öneriye uyularak R2 direncine karşılık gelen R5 ve R8 dirençleri 100k Ω olarak seçilmiş tolerans değeri %1 olan dirençler kullanılmıştır.

R3 direnci yerine 5V çıkış için 13,3k Ω hesaplanmış ve toleransı %1 olan direnç kullanılmıştır R3 ismi ile çizelge 3.1.3.1'de görülebilir. R3 direnci 3,3V çıkış için 22k Ω olarak hesaplanmıştır ve yüzde bir toleranslı direnç tercih edilmiş olup çizelge 3.1.3.1'de R10 ismiyle görülebilir.

Entegre çıkış geriliminin düzgün olması V_{out} pininden sonra dalgalanmayı önlemek için bir LC filtre dizaynı yapılmalıdır. Dizayn için kullanılması gereken bobin değeri Denklem 4.14.'de verilen denklemi sağlamalıdır.

$$L_{min} = \frac{V_{out} * (V_{in(maks)} - V_{out})}{V_{in(maks)} * k_{IND} * I_{out} * f_{anahtarlama}} \quad (4.14.)$$

Denklemdaki değişkenlerin anlamları ve değerleri şu şekildedir:

L_{min} : Minimum indüktör değeri bu alanda belirlenmek istenendir.

V_{out} : Çıkış gerilim değeri olup 2 ayrı çözüm yapılmalıdır bir değeri 5V diğer değeri 3,3V'dur.

$V_{in(maks)}$: Maksimum giriş gerilimi olup anlık ifadeden ziyade ISO7637 darbe 3b baz alınıp 150V belirlenmiştir.

k_{IND} : Maksimum çıkış akımına göre indüktör dalgalanmasını ifade eden bir katsayı olup çıkış kapasitörünün ESR değerine göre seçim yapılır datasheette düşük ESR için 0,2 kullanılması önerilir. Bu çalışmada 0,35 seçilmiştir.

I_{out} : Çıkış akımı olup bu çalışmada 2A olarak belirlenmiştir.

$f_{anahtarlama}$: Anahtarlama frekansı olup 400kHz olarak belirlenmiştir.

Bu değerlere göre 5V çıkış için minimum indüktör değeri 34,52 μ H değeri bulunmuştur üretimde olan indüktör değeri 47 μ H seçilmiştir, 3,3V içinse 20,17 μ H değerler bulunmuştur üretimde en yakın değer olan 22 μ H indüktör seçilmiştir.

Bu değerlerle bir indüktör seçmek yeterli değildir indüktörün saturasyona uğramaması için maksimum akım değeri de belirlenmelidir bu sebeple Denklem 4.14. ve Denklem 4.15. ile hesabı yapılmalıdır.

$$I_{L(maksimum)} = \sqrt{I_{OUT(maks)} + \frac{1}{12} * \left(\frac{V_{OUT} * (V_{IN(maks)} - V_{OUT})}{V_{IN(maks)} * L_{OUT} * f_{anahtarlama} * 0.8} \right)^2} \quad (4.15.)$$

Bu denklem değişkenlerinde 4.14. denkleminde farklı olan değerler ve anlamları şu şekildedir:

$I_{OUT(maks)}$: Maksimum çıkış akımı 5V ve 3,3V için entegrenin de en yüksek değeri olan 3A olarak belirlenmiştir.

L_{OUT} :Çıkış bobin değeri olup 5V çıkış için en yakın değer olan 47 μ H seçilmiştir 3,3V içinse en yakın değer olan 22 μ H seçilmiştir.

5V için bobin üzerindeki maksimum akım değeri 1,73A olarak hesaplanmıştır. 3,3V için bu değer 1,737A olarak bulunmuştur.

$$I_{L(peak)} = I_{OUT(maks)} + \frac{V_{OUT}*(V_{IN(maks)}-V_{OUT})}{V_{IN(maks)}*L_{OUT}*f_{anahtarlama}*1,6} \quad (4.16.)$$

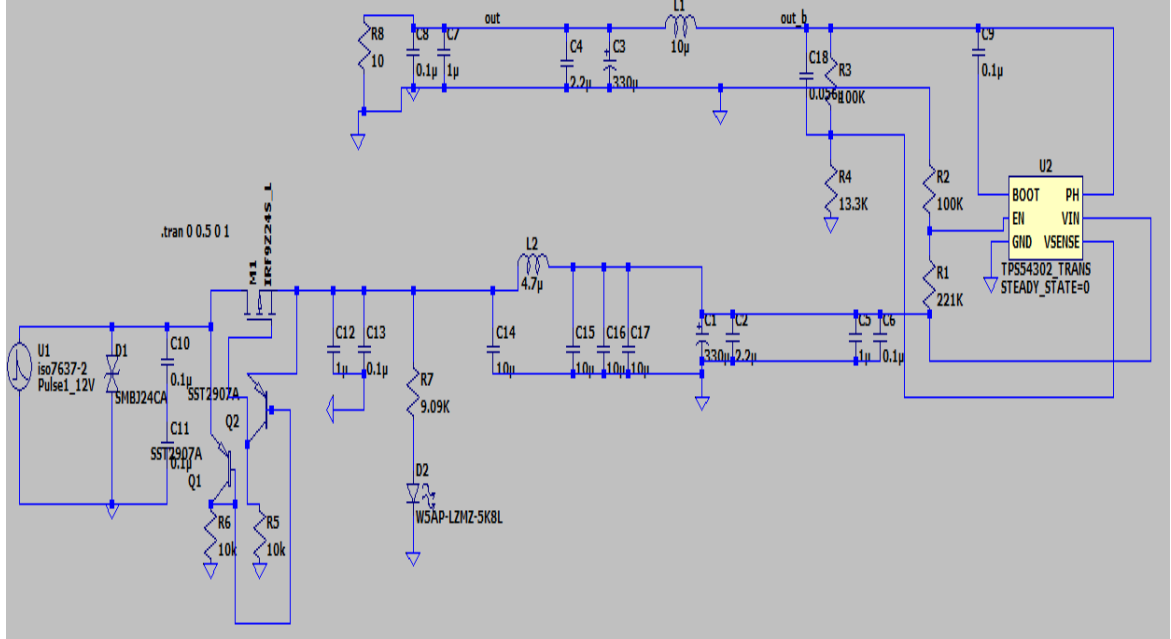
Denklem 4.15. ve Denklem 4.16. değişkenlerinin tanımları ve değerleri aynı olup 5V için bobinin peak akımı 3,16A olarak belirlenmiş olup seçilen bobinde 47 μ H, rated akımı 3,1A olan saturasyon akımı 3,4A olan L1 bobini kullanılmıştır. 3,3V için peak akımı 3,23A olarak belirlenmiş olup 22 μ H değerinde 3A rated akımı olan 3,6A saturasyon akımı olan L2 bobini kullanılmıştır.

Güç kartı malzeme seçimi ve teorik hesaplarında datasheet ve standart değerleri kullanılmış olup simülasyon sonuçlarında bunun üzerine yorumlanmıştır.

4.2. Simülasyon sonuçları

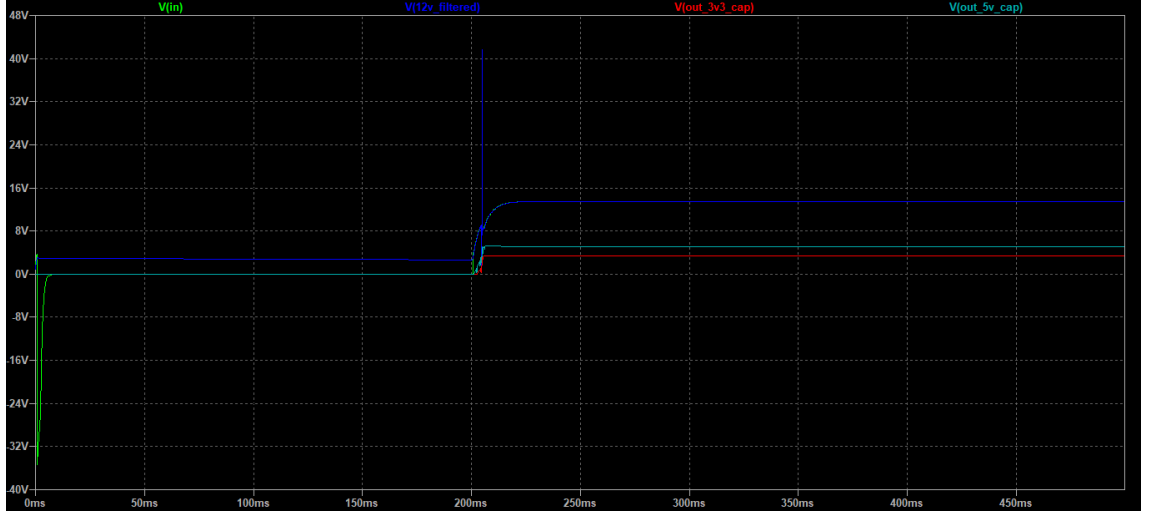
Bu çalışmada 3 adet programlanabilir devre kartı tasarlanmıştır. Tasarlanan kartların en önemlisi güç kartıdır çünkü diğer birimler bu kart üzerinden beslenmektedir. Sensör arayüz kartı için 5V çıkışını sağlamaktadır. Ateşleme kartı içinse 5V ve 12V değerini sağlamaktadır bu sebeple ateşleme kartı yerine burada filtrelenmiş 12V kullanılacaktır. Kontrol kartı için gerekli olan 3,3V, bu kart üzerinde ayrıca dizayn edilmiştir çünkü bu kartın beslediği diğer kartların aşırı güç çekimi ve gürültüleri elimine edilmesi sağlanacaktır. Kart üzerinde 3 farklı gerilim bulunduğu ve 2 tanesi anahtarlama yoluyla elde edildiği için frekans hesapları EMC'ye etki etmeyecek şekilde yapılmıştır ayrıca giriş filtesi CISPR25'e uygun olarak tasarlanmıştır ve çıkışları kart üzerinde ki yerleşiminde olabildiğince uzak alanlara konulmuştur. Bu kart üzerinde ki malzemelerin ISO standartlarına uyması ve çıkış sinyallerinin düzgün olması çok önemlidir. Bu sebeple güç kaynağı için gerekli hesaplamalar sonucunda standartlara uygun olarak simülasyonları yapılmıştır. Bu kart için yapılan simülasyonlar çok önemlidir gürültü yayan ve gürültüden etkilendiğinde diğer kartların çalışmasında sorun

yaratan durumunda olacağı için sadece bu kart için simülasyon yapılmıştır. Simülasyonlar çeşitli durumlarda akü de oluşan dalgalanmaları simüle etmektedir. Güç kartında bulunan 12V filtrelenmiş çıkış, 5V çıkış ve 3,3V çıkış sinyalleri için ISO-7637 nin 2. dalga formuna göre yapılan simülasyon için devre şekli şekil 4.2.1’de verilmiştir.



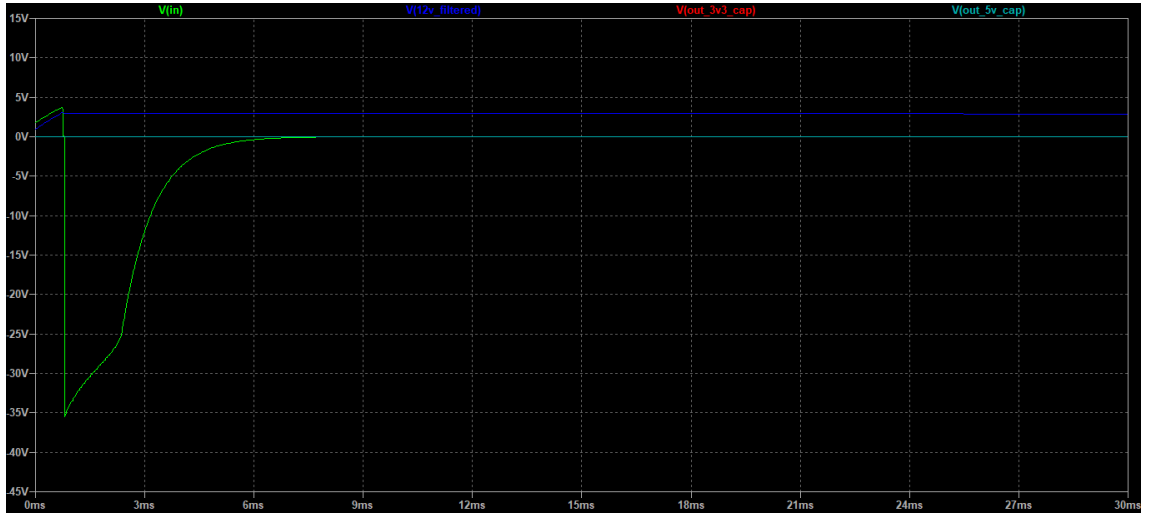
Şekil 4.2. ISO7637-2 dalga formunun güç kartı devre şeması

Şekil 4.3.’de verilen sinyal değerlerine göre giriş ve çıkış için kullanılan kapasitörlerin yeterli olacağı görülmüştür. 200 milisaniyelik ters akü bağlantısı yani ISO 7637 Darbe 1 etkisinden etkilenmediğini, Darbe 2a ve Darbe 2b ile 3,3V ve 5V için düzgün sinyaller ürettiğini göstermektedir.



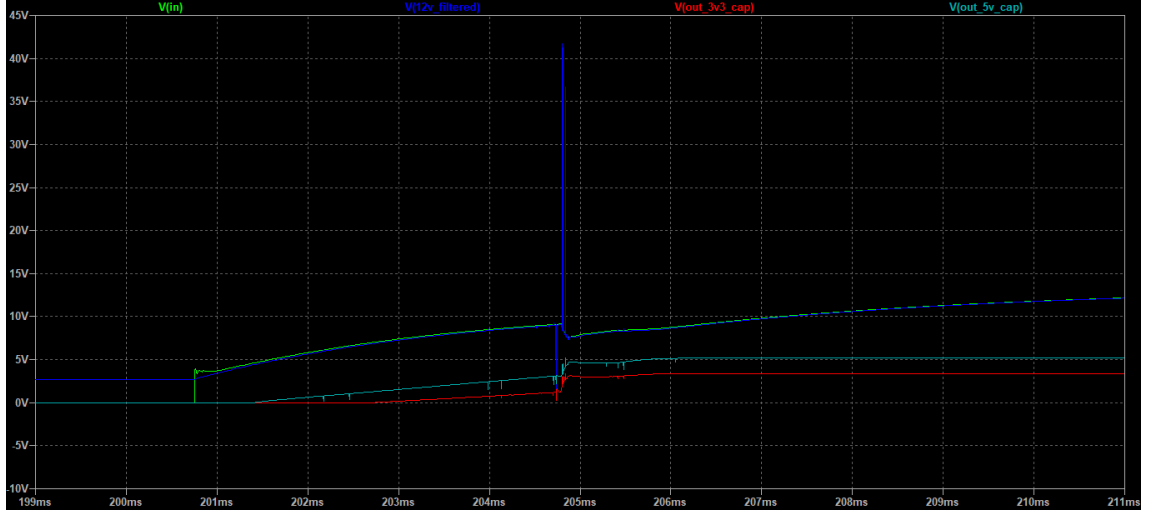
Şekil 4.3. Şekil 4.2.'de verilen devre simülasyon grafiği ISO 7637-2 Darbe 1 Darbe 2a ve Darbe 2b etkisi

Şekil 4.4.'de görüldüğü üzere ters akü bağlantısında devrede herhangi bir sorun olmadığı görülmektedir.

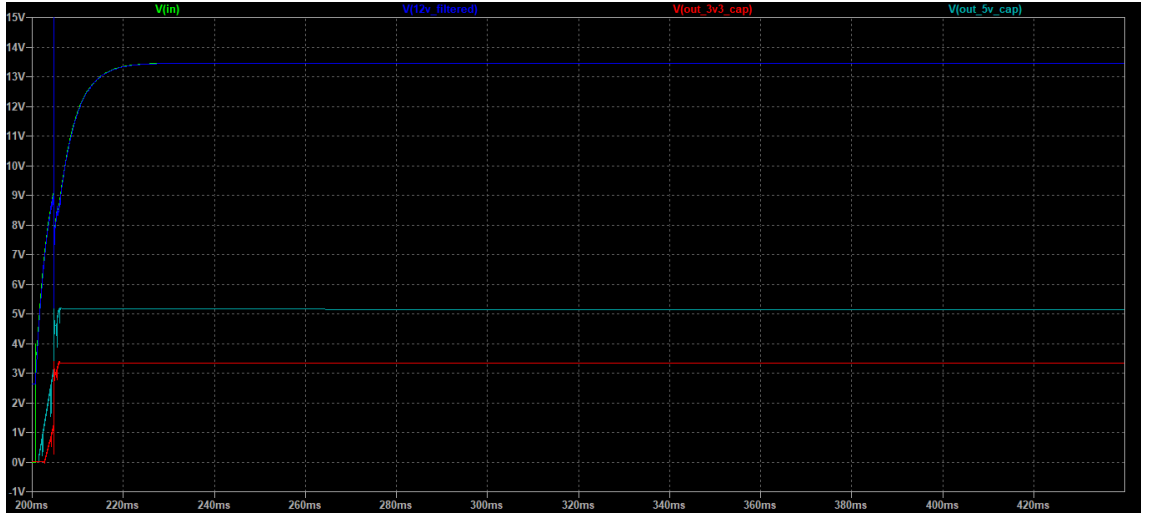


Şekil 4.4. Ters akü bağlantı çıkış grafiği

Şekil 4.5.'de verilen simülasyon ISO 7637 sinyal 2a Sinyal 2b uyulanmıştır çıkışında 42V'luk ani peak ve dalgalanmaların çıkış gerilimini 3,3V için çok büyük değişikliğe sebep olmamıştır. 5V içinse ani çıkış malzemelere zarar vermemiş artış durumunda ise istenilen değere doğru yükseldiği görülmüştür.



Şekil 4.5. ISO 7637 Sinyal 2a etkisi



Şekil 4.6. Şekil 4.5.'in yakınlaştırılmış hali

Şekil 4.6. etkiyi daha iyi göstermek için koyulmuştur. Çıkış geriliminde 1-10ms sonrasında çok büyük gerilim değişikliği görülmemiştir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

İçten yanmalı motorların ateşleme sistemlerinin dizaynlarını konu alan bu çalışmada elektronik kontrol ünitesinde yapılmış değişikliklerle kullanılabilir bir tasarım elde edilmesi çalışılmıştır.

3 farklı devre kartı tasarımında, “buck boost topolojisi” ile sağlanan EMI ve EMC’den korunmuş güç aktarımını yerine, tasarlanan güç kontrol kartında yalnızca “buck topolojisi” kullanılarak benzer güç aktarımı sağlanmıştır.

Ateşleme kontrol kartında ayrı şekilde tasarlanmış olması diğer kartların gürültüden daha az etkilenmesi sağlanmıştır. Bunun yanında farklı silindir sayısına sahip olan motorların bu sistem ile sadece algoritma değişikliği ile ateşlemelerinin sağlanabileceği şekilde tasarlanması tamamlanmıştır.

Sensör arayüz kartı ile volan devir sayısı hem ADC hem de GPIO’dan giriş verilerek algoritma içinde karşılaştırma ile daha efektif sonuç alması için tasarlanmıştır.

Tasarlanan kartlar ile maliyetlerin azaltılması ve ülkemizdeki altyapı ile bu kartların hazırlanması mümkündür. Daha ileriki çalışmalarda araç emisyonlarının azaltılmasını için bu kartların kullanılması çevresel boyutta da fayda sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2013**, High voltage ignition coil driver power integrated circuit datasheet. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vb525sp-e.pdf> -(Erişim tarihi: 30.12.20)
- Anonim, 2017.** AND8231/APPLICATION NOTE ONSEMI. <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/AND8231-D.PDF> -(Erişim tarihi: 30.12.20)
- Anonim, 2018a.** Dual Variable–Reluctance Sensor Interface IC datasheet. <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/NCV1124%20DATA%20SHEET.PDF> - (Erişim tarihi: 30.12.20)
- Anonim, 2018b,** TPS54360 60-V Input, 3.5-A, Step-Down DC/DC Converter With Eco-Mode™ datasheet. https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps54360.pdf?ts=1592033683758&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F -(Erişim tarihi: 30.12.20)
- Anonim, 2020a.** Discovery kit with STM32F407VG MCU user manuel. https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00039084-discovery-kit-with-stm32f407vg-mcu-stmicroelectronics.pdf -(Erişim tarihi: 30.12.20)
- Anonim, 2020b.** STM32F405xx STM32F407xx datasheet- production data. <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f407vg.pdf> -(Erişim tarihi: 30.12.20)
- Beham, M., Yu, D.L., 2004.** On-line control for optimal ignition timing using the pseudolinear radial basis function and the local linear model tree. *Sage J.*,219(2), 227-240.
- Eriksson, L., 1999.** Spark Advance Modeling and Control. *Ph.D. Thesis*, Division of Vehicular Systems Department of Electrical Engineering Linköping University, Linköping, Sweden.
- Fujun, Z., Yunshan, G., Ying, H., Fushui, L., Yiebao, S., Sijin, W., 1999.** A Micro-Processor Based Adaptive Ignition Control System. *IEEE*, 0-7803(5296), 34-37
- Papagiannakis, R.G., Rakopoulos, D.C., Rakopoulos C.D., 2017.** Theoretical Study of the Effects of Spark Timing on the Performance and Emissions of a Light-Duty Spark Ignited Engine Running under Either Gasoline or Ethanol or Butanol Fuel Operating Modes. *Energies*, 10(8), 1198-1219.
- Sasayama, T., Skomoto, S., Moori Y., 1978.** A New Ignition Timing Control Method Using Dual-Slope Integration. *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, 27(1), 35-41.
- Shamekhi, A.H., Ghaffari, A., 2007.** Fuzzy control of spark advance by ion current sensing. *Sage J.*, 221(3), 335-342.

Yontar, A.A., Doğru, Y., 2018. Sıralı çift ateşlemeli bir benzin motorunda CNG kullanımını için ateşleme avansı etkilerinin silindir içi yanma had analizi ile incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34:2 (2019) 1087-1100.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aylin EKMEKÇİ
Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli/Güney 19.03.1995
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Türk Eğitim Vakfı Anadolu Lisesi
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Robotek Makina Ltd. Şti. (2017-2018)
Agmati A.Ş. (2018-2019)
Modern Teknik Aspiratör (2019-2020)
Nestle Karacabey Fabrikası(2020- devam ediyor)

İletişim (e-posta) : aylinekmekci1995@gmail.com