T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ELEKTROMANYETİK FIRLATICI SİSTEMİ TASARIMI

Murat DOĞAN

Danışman
Doç. Dr. Fadıl KUYUCUOĞLU

MANİSA–2025

MURAT
DOĞAN

ELEKTROMANYETİK FIRLATICI SİSTEMİ TASARIMI

2025

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, tezin yazımında akademik ve etik kurallara aykırı herhangi bir yapay zeka ve program kullanmadığımı beyan ederim.

İmza
Murat DOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Murat DOĞAN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman:
Doç. Dr. Fadıl KUYUCUOĞLU

Bu çalışmanın amacı sargılı elektromanyetik fırlatıcı sistemi geliştirmek ve devamında ek olarak hız devresi tasarlayarak merminin çıkış hızını ölçmekti. Günümüzde elektromanyetik fırlatıcı sistemleri savunma sanayindeki çalışmalar ile de gelişmeye devam etmektedir. Elektromanyetik fırlatıcılarının avantajları arasında barutla çalışan sistemlere göre yüksek enerji, kullanım kolaylığı, geri tepme durumunun daha minimum olması bu sistemleri cazip göstermektedir.

Projenin yapımında birçok mühendislik alanlarından ve konularından faydalanılmış olup en çok kullanılanları ise Lorentz kuvveti ve Biot–Savart yasasıdır. Projenin birinci kısmı elektromanyetik fırlatıcı, ikinci kısmı ise mermi çıkış hızı ölçüm devresidir.

İlk kısımda kondansatörler lipo batarya ile şarj edildikten sonra tristör kullanılarak elde edilen yüksek akımın bobinden geçerek güçlü bir elektromanyetik alan oluşmaktadır ve bununla beraber fırlatma işlemi gerçekleşmektedir.

İkinci kısımda mermi namludan çıktıktan sonra hız ölçümü için yapılan tasarımda 2 adet endüktif sensörden alınan veriler mikroişlemciye yazılan kodda kullanılarak merminin namludan çıkış hızı ölçülmektedir.

Projede hem farklı mermi tipleri hem de farklı voltaj seviyelerinde ölçümler yapılmıştır. Bu voltaj seviyeleri 50V ve 350V aralığındadır. Bu değişkenlere göre sistemin farklı hızlarda atış yapabildiği tespit edilmiştir. Projede elektromanyetik fırlatıcının ve mermi çıkış hızı ölçüm devresinin platformları için, Autodesk Fusion 360 programı kullanılarak üç boyutlu ortamda çizimler yapılmıştır ve 3 boyutlu yazıcıdan yararlanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcı, Elektromanyetik Alan, Elektrik Alan, Manyetik Kuvvet, Hız, Biot–Savart Yasası, Manyetik Alan

2025, 63 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Murat DOĞAN

Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Education
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor:
Doç. Dr. Fadıl KUYUCUOĞLU

The aim of this study was to develop a coil-based electromagnetic launcher system and, additionally, to design a velocity circuit to measure the projectile's exit speed. Nowadays, electromagnetic launcher systems continue to develop through research within the defense industry. Among the advantages of electromagnetic launchers compared to gunpowder-based systems are high energy, ease of use, and significantly reduced recoil, making these systems attractive.

Many engineering fields and topics were utilized in the construction of the project, with the most commonly used being the Lorentz force and the Biot–Savart law. The first part of the project is the electromagnetic launcher, and the second part is the projectile exit velocity measurement circuit.

In the first part, after the capacitors are charged with a LiPo battery, a high current is generated using a thyristor, which passes through the coil to create a strong electromagnetic field, thus initiating the launch process.

In the second part, in the design made for velocity measurement after the bullet leaves the barrel, the data received from 2 inductive sensors is used in the code written to the microcontroller to measure the bullet's exit velocity from the barrel.

In the project, measurements were conducted with both different types of projectiles and various voltage levels. These voltage levels ranged between 50V and 350V. Based on these variables, it was determined that the system is capable of launching at different speeds. For the platforms of both the electromagnetic launcher and the projectile velocity measurement circuit, 3D drawings were made using Autodesk Fusion 360, and a 3D printer was utilized.

Keywords: Coil Electromagnetic Launchers, Electromagnetic Field, Electric Field, Magnetic Force, Velocity, Biot–Savart Law, Magnetic Field,

2025, 63 pages

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tezde, elektromanyetik fırlatıcı sistemlerinden olan sargılı elektromanyetik fırlatıcının belirli voltaj aralıklarında ürettiği hızların hesaplanması ele alınarak, çalışma devamında, farklı çap ve uzunluktaki mermiler kullanılarak çeşitli deneysel ölçümler gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler ışığında sistemin performansı analiz edilmiştir. Böylelikle, farklı değişkenlerin fırlatma hızına olan etkisi incelenerek, elektromanyetik fırlatıcıların verimliliği üzerine değerlendirme sunulmuştur.

Tezin yapısı incelendiğinde, ilk olarak elektromanyetik fırlatıcıların tarihçesi ele alınacak; ardından bu fırlatıcıların çeşitleri ve teorik altyapıları detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Ardından, tasarım aşamasına geçilecek ve bu aşama iki ana bölümde anlatılacaktır. İlk bölümde fırlatıcı yapısının tasarımı, ikinci bölümde ise hız ölçer devresinin tasarımı ele alınacaktır. Her iki bölüm de tüm detaylarıyla incelendikten sonra, elde edilen verilerin analizleri yer alacaktır. Son olarak, karşılaşılan zorluklar ve bu zorlukların çözümü tartışılacak ve tez hakkında genel bir değerlendirme yapılarak, elde edilen sonuçlar ortaya konmuştur.

Hazırlanan projeye doğrudan veya dolaylı olarak katkı sağlayan herkese içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezin hazırlık ve yürütme sürecinde sürekli destek olan danışmanım Doç. Dr. Fadıl KUYUCUOĞLU'na gösterdiği sabır ve rehberlik için minnettarım. Projenin teknik aşamalarında vermiş olduğu değerli destek nedeniyle Sinan ALTINKİLİT'e teşekkür ederim.

Son olarak, eğitim hayatım boyunca beni her koşulda destekleyen aileme ve bu projede sayısız desteği geçen eşime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Murat DOĞAN
Manisa, 2025

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A : Amper

A : Kesit Alanı

AC : Alternatif Akım

$\vec{B}$: Manyetik Akı Yoğunluğu

b : Yarıçap

BJT : Çift Kutuplu Transistör

C : Bataryanın Kapasitesi

CCS-C : Custom Computer Services

cm : Santimetre

cm/s : Santimetre/Saniye

DARPA : Savunma İleri Araştırma Projeleri Ajansı

DC : Doğru Akım

g : Yerçekimi

GaAs : Galyum Arsenit

GTO : Kapıdan Kesmeli Tristör

h : Yükseklik

$\vec{H}$: Manyetik Alan Şiddeti

I : Akım

I : Yol

IGBT : İzole Edilmiş Kapılı, İki Kutuplu Transistör

kg : Kilogram

km/s : Kilometre/Saniye

L : Endüktans

LCD : Liquid Crystal Display

l : Manyetik Devre Uzunluğu / Bobin Uzunluğu

m/s : Metre/Saniye

mAh : Miliampersaat

MDF : Medium Density Fiberboard

mm : Milimetre

MOSFET : Metal Oksit Yarı İletkenli Alan Etkili Transistör

ms : Milisaniye

N : Sarım Sayısı

PLA : Bipolimer Poliaktik Asit

P_{max} : Dirençteki Maksimum Güç

P_{avg} : Dirençteki Ortalama Güç

R : Direnç

R_{menzil} : Cismin Yatayda Aldığı Mesafe

$\Re$: Manyetik Direnç (Relüktans)

r : Yarıçap

SCR : Silikon Kontrollü Doğrultucu

S : Saniye

t : Zaman

μ : Manyetik Geçirgenlik

μ_0 : Geçirgenlik Sabiti, Manyetik Sabit

μ_r : Bağıl Manyetik Geçirgenlik

µF : Mikrofarat

V : Volt

V_0 : İlk Hız

X : Mesafe

τ **:** Zaman Sabiti

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Raylı Fırlatıcının Gövde Yapısı 4
Şekil 2. Karma/Hibrit Elektromanyetik Fırlatıcı Şekli 5
Şekil 3. Doğrusal Elektromanyetik Fırlatıcı Modeli 5
Şekil 4. Yürüyen Dalga Elektromanyetik Fırlatıcı Modeli 6
Şekil 5. İndüksiyon Fırlatıcısı Modeli 7
Şekil 6. Relüktans Fırlatıcının Bölümleri 8
Şekil 7. Depolanan Enerjinin Diyot ile Sönümlenmesi 8
Şekil 8. Rondela, Boru ve Namlu Gösterimi 12
Şekil 9. Sargıdaki Relüktansın Şematize Hali 13
Şekil 10. CLA100E1200HB Tristörü Modeli 15
Şekil 11. 450V 2200uF Vidalı Kondansatör 16
Şekil 12. DC-DC Ayarlanabilir Yüksek Voltaj Modülü 19
Şekil 13. Bobin Etrafındaki Manyetik Kayıpları En Aza İndirmek İçin Kullanılan Rondelalar ve Saç Tel 19
Şekil 14. Farklı Çap ve Uzunluktaki Mermiler 21
Şekil 15. Elektromanyetik Fırlatıcı Devresinde Güç Kaynağı Olarak Kullanılan Li-Po Batarya 21
Şekil 16. Lazer Diyot Devre Modeli 22
Şekil 17. LJ12A3-4-Z/BY Endüktif Yakınlık Sensörünün Hız Devresine Yerleştirilmiş Hali 23
Şekil 18. PIC16F877A Mikrodenetleyici 24
Şekil 19. Merminin Namludan Çıkış Hızının ve Süresinin Gösterildiği 2x16 İ2c Modüllü LCD Ekran 25
Şekil 20. Mermi Çıkış Hızı Ölçüm Devresi Platformu 25
Şekil 21. Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcı Devre Modeli 27
Şekil 22. Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcı Tasarımı 28
Şekil 23. Mermi Çıkış Hızı Ölçüm Devresi Modeli 28
Şekil 24. Mermi Çıkış Hızı Ölçüm Devresi Tasarımı 29
Şekil 25. Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcı ve Mermi Çıkış Hızı Ölçüm Devresi Tasarımı 30
Şekil 26. Tasarımın Son Hali 30
Şekil 27. Mermilerin Voltaj Seviyelerine Göre Hız Değişimleri 32
Şekil 28. Mermilerin Voltaj Seviyelerine Göre Süreleri 33

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. CLA100E1200HB Tristörünün Teknik Özellikleri 15
Tablo 2. Kondansatörün Teknik Özellikleri 16
Tablo 3. DC-DC Ayarlanabilir Yüksek Voltaj Modülü Teknik Özellikleri 18
Tablo 4. Li-Po Batarya Teknik Özellikleri 22
Tablo 5. LJ12A3-4-Z/BY Endüktif Sensörünün Teknik Özellikleri 23
Tablo 6. PIC16F877A Mikrodenetleyicisinin Teknik Özellikleri 24
Tablo 7. Voltaja Göre Mermilerin Çıkış Hızları 31
Tablo 8. Voltaja Göre Mermilerin Geçiş Süreleri 32
Tablo 9 Verilen Hıza Göre Python İle Bulunan Değerler 34

İÇİNDEKİLER

TAAHHÜTNAME III
ÖZET IV
ABSTRACT V
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ VII
ŞEKİLLER DİZİNİ IX
TABLOLAR DİZİNİ X
İÇİNDEKİLER XI
GİRİŞ 1
ÇALIŞMANIN AMACI 2

BİRİNCİ BÖLÜM
ELEKTROMANYETİK FIRLATICILARIN ÇEŞİTLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

1.1 GENEL BİLGİ 3
1.2 ELEKTROMANYETİK FIRLATICILARIN ÇEŞİTLERİ 3
1.2.1 RAYLI ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR 3
1.2.2 KARMA ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR 4
1.2.3 DOĞRUSAL ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR 5
1.2.4 SARGILI ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR 5
1.2.4.1 YÜRÜYEN DALGA ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR 6
1.2.4.2 İNDÜKSİYON ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR 7
1.2.4.3 RELÜKTANS ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR 7

İKİNCİ BÖLÜM
TEORİK ALTYAPI

2.1 AMPERE YASASI 10
2.2 MANYETİK AKI YOĞUNLUĞU 10
2.3 BİOT-SAVART YASASI 10
2.4 ATIŞLAR 11
2.4.1 YATAY ATIŞ 11
2.4.2 EĞİK ATIŞ 11
2.5 ELEKTROMANYETİK FIRLATICININ BOBİN TASARIMINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER 12

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
TASARIM SÜRECİ

3.1 GİRİŞ 14

3.2 SARGILI ELEKTROMANYETİK FIRLATICI DEVRESİ 14
3.2.1 TRİSTÖR (SCR) 14
3.2.2 KONDANSATÖR 15
3.2.3 AKIM SINIRLAYICI DİRENÇ 16
3.2.4 ŞARJ DİRENCİ 17
3.2.5 DC-DC AYARLANABİLİR YÜKSEK VOLTAJ MODÜLÜ 18
3.2.6 BOBİN, RONDELA VE MERMİ 19
3.2.7 Li-Po BATARYA 21
3.3 LAZER DİYOT DEVRESİ 22
3.4 MERMİ ÇIKIŞ HIZI ÖLÇÜM DEVRESİ 22
3.4.1 ENDÜKTİF YAKINLIK SENSÖRÜ 22
3.4.2 MİKRODENETLEYİCİ 23
3.4.3 LCD EKRAN 24
3.5 PLATFORM PARÇALARININ MODELLEMESİ 25

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
SARGILI ELEKTROMANYETİK FIRLATICI VE MERMİ ÇIKIŞ HIZI ÖLÇÜM DEVRESİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

4.1 SARGILI ELEKTROMANYETİK FIRLATICI DEVRESİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ 27
4.2 MERMİ ÇIKIŞ HIZI ÖLÇÜM DEVRESİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ 28
4.3 HER İKİ DEVRENİN BİRLEŞTİRİLMESİ 29

BEŞİNCİ BÖLÜM
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

5.1 ANALİZ VERİLERİ 31
5.2 YORUM VE DEĞERLENDİRME 34
KAYNAKLAR 36
EKLER 38
Ek.1 Cla100e1200hb-DATASHEET 38
Ek.2 LJ12A3-4-Z/BY-DATASHEET 43
Ek.3 I2C LCD1602 EKRAN 44
Ek.4 PİC16F877A İÇERİSİNDEKİ KOD 46
Ek.5 PYHTON İLE YAPILAN KOD 49

GİRİŞ

Elektromanyetik fırlatıcıların ilk olarak tarih sahnesine çıkışı barutlu silahların yüksek maliyeti ve cephanesini insanların taşımasında oluşan zorluklardan dolayı farklı bir silah teknolojisi aramasıyla olmuştur. 1980'lerden de önce ABD elektromanyetik fırlatıcılar ile ilgili araştırmaları takip etmekteydi. İlk olarak yüksek hız ile minimum ağırlıktaki kütleler fırlatılmıştır (Akyazı & Akpınar, 2008). Bahsedilen nedenlerden dolayı resmi kaynaklara göre SIVA isimli fırlatıcı 1844 senesinde Amerika'da yapılmış olup yapan kişi ise Benningfield'dır, bu fırlatıcı tarihin ilk elektrikli fırlatıcısıdır (Dursun & Koç, 2013) (Sarı, 2015). Dr. Charles G. Pages 1845 senesinde daha detaylı bir çalışmayı Washington'da gerçekleştirmiştir (Dursun & Koç, 2013) (Sarı, 2015). Bu iki çalışmada fırlatılan ürün demir ya da çelik olarak tercih edilmiştir. 1900'lü senelerin ilk yıllarında Birkeland Norveç'te bu konu ile ilgili çalışmalar yapmış olup Egeland ise bu çalışmaları 1989 senesinde "Birkeland's Electromagnetic Gun: A Historical Review" ismi ile yayınlamıştır (Sarı, 2015).

1942-1944 senelerinde Japonya da ordunun araştırma merkezlerinde yapılan araştırmalar sonucunda 2 kg'lık mermilerin 335 m/s hız ile fırlatılması gerçekleştirilmiştir (Dursun & Koç, 2013).

"Principles of Electric Guns" ismi ile yayınlanan kitap elektromanyetik fırlatıcılar hakkındaki basılmış ilk kitaptır. Kitapta 1980'lerin de arkasında Çin de yapılan çalışmalar ele alınmıştır (Wang & Ren, 1999).

DARPA'nın 1985'lerden sonra ABD'ye ait askeri araçları yenebilecek bir elektromanyetik fırlatıcı üzerine çalışmaya başlaması ile (Fair H. D., 1990), ABD elektromanyetik fırlatıcılarla ilgili çalışmalarına yeniden hız vermiştir. Zırhlı araçlar için elektromanyetik fırlatıcılar geliştirilmeye başlanmış ancak buradaki temel aksaklık, fırlatılan mermilerin atmosferin yoğun olduğu katmanlardan geçerken mermilerin hızlarının 3 km/s ve altına düşmesidir (Akyazı & Akpınar, 2008). Aynı zamanda ilerleyen süreçlerde de neredeyse tüm dünya ülkeleri bu konu hakkında çalışmalara başlamıştır.

Elektromanyetik fırlatıcılar çalışmasına göre sargılı ve raylı elektromanyetik fırlatıcı olarak ayrılmaktaydı. Raylı elektromanyetik fırlatıcılar daha hızlıdır (Ulaby, Michielssen, & Ravaioli, 2010).

Günümüzde ise bazı dünya ülkeleri (ABD, Çin, Türkiye, Rusya) bu çalışmalara ağırlık vermiş, Amerika'da yapılan tasarımda merminin hızı 7000 km/s'ye kadar

çıkmıştır. Türkiye de ise yapılan bazı çalışmalara örnek olarak Tübitak SAGE'nin SAPAN, Aselsan'ın TUFAN gibi çalışmalarıdır (ASELSAN, 2018).

ÇALIŞMANIN AMACI

Bu proje için yapılan literatür çalışmaları sonrasında yapılmış olan diğer çalışmalara göre fırlatılan merminin menzilinin arttırılması, hızının yükseltilmesi konuları ele alınmıştır. Aynı zamanda kullanılacak olan platform üzerinde de diğer çalışmalara göre farklılıklar yapılmış ve üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılmıştır.

Menzilin artması için kullanılacak olan namlu, bobindeki sargı sayısı ve merminin boyu gibi değişkenler olduğu için en uygun olan malzemeler hesaplanıp ve denendikten sonra kullanılacaktır. Kullanılacak olan kondansatör ve meydana gelecek akımı taşıyacak bakır teli ve ona bağlı olan sargının direnç değerleri hesaplanacaktır. Ayrıca mermi hızının farklı uzunluk ve genişliğe göre nasıl değişeceği ve bunun için en uygun olan merminin hangisi olacağı saptanmaya çalışılacaktır. Ayrıca farklı voltaj değerlerine göre de mermilerin namludan çıkış hızları arasındaki değişimler de incelenecektir. En son hızı etkileyecek olan bütün değişkenler göz önünde bulundurularak hız, süre ve voltaj değerlerine yer verilerek grafik oluşturulacaktır.

Bahsedilen verilerin elde edilmesi için sargılı elektromanyetik fırlatıcı kullanılması düşünülmüş ve uygulanması hedeflenmiştir.

Günümüzde kullanılan silahların maliyetlerinin yüksek ve bakımlarının zor olması büyük derecede olumsuzluk oluşturmaktadır. Buna karşın elektromanyetik fırlatıcılar daha az maliyet ve bakım gerektirdiği için gelişmeye devam etmektedir.

BİRİNCİ BÖLÜM

ELEKTROMANYETİK FIRLATICILARIN ÇEŞİTLERİ VE ÇALIŞMA PRENSİPLERİ

1.1 GENEL BİLGİ

Elektromanyetik fırlatıcılar geçmişten günümüze kadar sürekli olarak gelişmiş ve gelişmeye devam etmektedir. Raylı ve sargılı elektromanyetik fırlatıcılar olarak başladıktan sonra devamında dört ana başlık altında çalışmalara devam edilmektedir. Bunlar ayrı başlıklar altında incelenecek resimlerde de çalışma tarzları ve o fırlatıcıya ait görsel model gösterilmektedir. Bu fırlatıcılar atış sıklığı, mermi çıkış hızı, mermi ağırlıklarına göre, merminin gidebileceği menzile ve daha pek çok etkene göre tercih edilirler.

Öte yandan barutlu silah teknolojilerinden kaynaklanan geri tepme, bakım maliyetleri ve bakım zorlukları gibi birçok etmenlerin olması elektromanyetik fırlatıcıların ülkelerin savunma sistemleri arasında yerini hızlıca almasında rol oynamıştır.

1.2 ELEKTROMANYETİK FIRLATICILARIN ÇEŞİTLERİ

Elektromanyetik fırlatıcılar genel çalışma prensiplerine göre;

- ✓ Raylı elektromanyetik fırlatıcılar
- ✓ Karma elektromanyetik fırlatıcılar
- ✓ Doğrusal elektromanyetik fırlatıcılar
- ✓ Sargılı elektromanyetik fırlatıcılar
    - Yürüyen dalga fırlatıcılar
    - İndüktans fırlatıcılar
    - Relüktans fırlatıcılar

olarak dörde ayrılır (Akyazı & Akpınar, 2008) (Sarı, 2015).

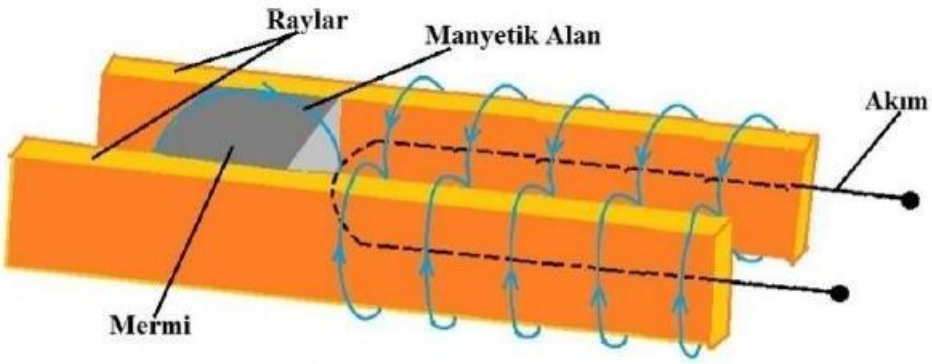
1.2.1 RAYLI ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR

Bu fırlatıcılar ray yapılarına göre üç gruba ayrılmaktadır;

- ✓ Klasik raylı
- ✓ Uzatılmış raylı
- ✓ Namlu beslemeli raylı

fırlatıcılardır.

Fazlaca tercih edilen ise raylı fırlatıcılardır. Şekil 1'de görüldüğü gibi iki paralel ray, kaymasını sağlayan bir platformdan meydana gelmektedir. Kontaklar ve temas yüzeyleri bu fırlatıcılar için önemli bir faktördür ve bunlar mermi hızına olumsuz yönde etki etmektedir. Kullanılan güç kaynağı performansı arttırır ve önemli bir unsurdur (Yu & Fan, 2011).

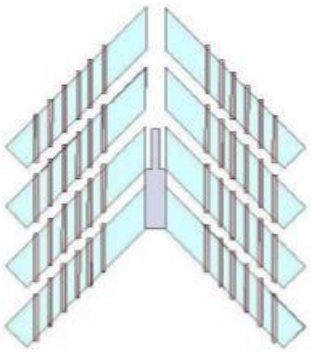


Şekil 1. Raylı Fırlatıcının Gövde Yapısı (Tunceroğlu, Hasırcı , Hüner, & Sarı, 2018)

DC güç kaynağı ve kondansatör ile beraber kullanılır ve bunlar ile beraber oluşan akım raylara ulaşır ve akım devreyi tamamladıktan sonra manyetik alan oluşur ve Lorentz kuvveti ile beraber ortaya bir kuvvet açığa çıkar. Bununla beraber platform hızı artar ve mermide onun hızı arttığı için hızlanır ve fırlatılma işlemi gerçekleşir. Burada önemli olan bir diğer nokta da raylar hem sağlam hem de iletken bir malzemeden tercih edilmelidir. Platformda meydana gelen sürtünme kuvvetini minimize edebilmelidir çünkü ne kadar minimize edilirse mermi hızı da o kadar artar (Akyazı & Akpınar, 2008) (Fair H. , 2005) (Yu & Fan, 2011) (Tzeng & Schmidt, 2011).

1.2.2 KARMA ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR

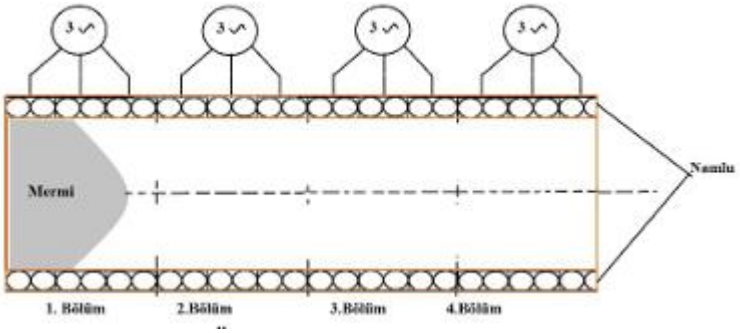
Bu fırlatıcılar sargılı ve raylı fırlatıcıların birleşimi ile elde edilmişlerdir. Raylı fırlatıcı mekanizmasına sargı sarılarak elde edildiği için ikisinin birleşimi ile elde edilmiş denmektedir ve Şekil 2'de de göründüğü gibi tasarlanmaktadır. Diğer bir ismi ise hibrit fırlatıcı da denir. İki fırlatıcının özelliğini taşıdığı içinde performansı daha yüksektir (Yang , ve diğerleri, 2005).



Şekil 2. Karma/Hibrit Elektromanyetik Fırlatıcı Şekli (Kabadayı, 2018)

1.2.3 DOĞRUSAL ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR

Bu fırlatıcılar kısmi olarak sargılı elektromanyetik fırlatıcılara benzemektedir, çünkü aynı sargılı fırlatıcı gibi namlu etrafında sargı vardır ve orada elektromanyetik alan oluşması ile oluşan kuvvetle beraber mermi fırlatılır. Şekil 3'de gösterildiği biçimde tasarlanabilmektedir. Namluda bulunan bölümler değişik frekanstaki güç kaynağı ile beslenmektedir. Genel olarak çalışma tarzı asenkron motorlara benzemektedir (Tunceroğlu, Hasırcı , Hüner, & Sarı, 2018)



Şekil 3. Doğrusal Elektromanyetik Fırlatıcı Modeli (Tunceroğlu, Hasırcı , Hüner, & Sarı, 2018)

1.2.4 SARGILI ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR

Sargılı fırlatıcılar, bir veya birkaç adet arka arkaya koyulan sargılar ile ortaya çıkan elektromanyetik alan ve buna bağlı kuvvet sonucunda namlu içerisindeki mermi fırlatılır. Bunlar daha ağır ve büyük kütlelerin ortalama hızlarla fırlatılmasını sağlar ve bu nedenle tercih edilir. Bunun yanı sıra sargılı fırlatıcılarda merminin namluya teması

en minimum olacağı için raylı fırlatıcılara göre performansı daha yüksektir (Liao, Zabar, Czarjtowski, Levi, & Birenbaum, 1999).

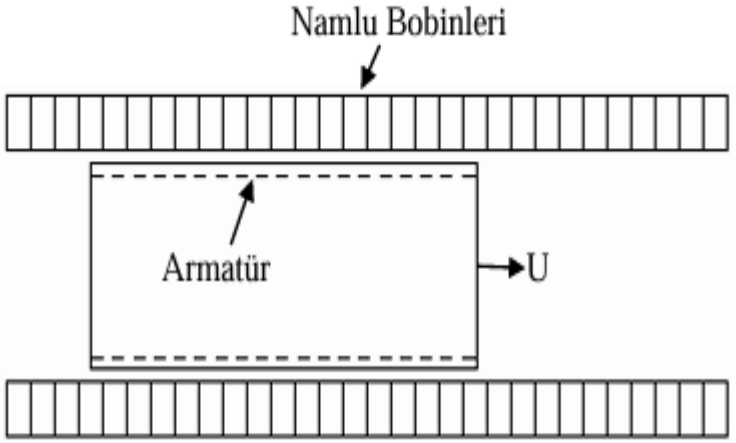
1.2.4.1 YÜRÜYEN DALGA ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR

Bu fırlatıcılar yapısal olarak doğrusal indüksiyon motorlarına benzerdir. Namlu ve platform silindirik bobinlerden meydana gelir ve platform ek olarak metaldir. Bobinlerin uyartımı anahtarlanan kondansatörlerle ya da jeneratörle yapılır. Armatür ve bobin arasında bağlantı yoktur. Çalışma tarzı anlatılan fırlatıcı modeli de Şekil 4' de göründüğü gibidir. Fırlatıcıda bulunan namluda bobindeki akımların manyetik alanın verimini arttırması gerekir. Oluşan manyetik alan platformdan hızlıdır. Bu ikisinin hızları arasındaki farka kayma hızı denir (Elliott D. , 1989) (Sarı, 2015).

Yürüyen dalga fırlatıcılarının iki çalışma şekli vardır. Bunlar;

- ✓ Senkron
- ✓ Asenkron

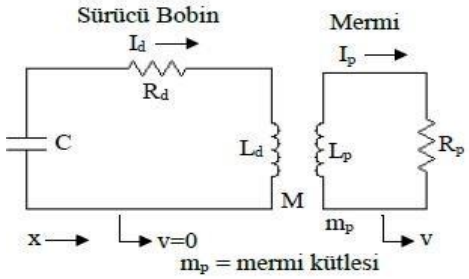
Senkron modda bobinler merminin duruşuna göre ayrı ayrı enerjilendirilmelidir, mermi için farklı güç kaynağı seçilip kullanılmalıdır. Yürüyen dalganın hızı ile merminin hızı birbirine eşittir. Bu modda mermiye akım uygulamak için fırçalar bulunmaktadır. Namlu sargıları seri bağlanır. Asenkron modda sargılar hem seri hem de paralel şekilde olabilir. Yürüyen dalganın hızı merminin hızından biraz daha büyüktür (Elliott D. G., 1991).



Şekil 4. Yürüyen Dalga Elektromanyetik Fırlatıcı Modeli (Sarı, 2015)

1.2.4.2 İNDÜKSİYON ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR

İndüksiyon fırlatıcılar, sürücü manyetik sargının birbiri ile ortaklaşama çalışması ile ortaya merminin fırlatılması için gereken kuvvet çıkar. Sürücü sargısının üzerinde zamana bağlı olarak değişen akımı ile mermide de bir akım oluşur ve ortaya bir kuvvet çıkar (McKinney, 1984). Bu anlatılan prensip Şekil 5' de gösterilmektedir.

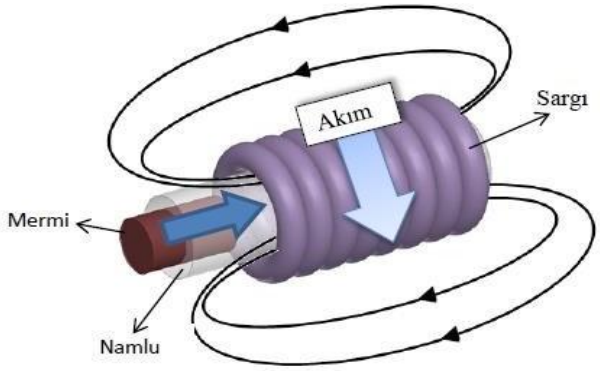


Şekil 5. İndüksiyon Fırlatıcısı Modeli (McKinney, 1984).

İndüksiyon fırlatıcılar da diğer sargılı fırlatıcılar gibi güçlerini güç kaynağı ve kondansatörden alır. Verimleri de onlara göre değişkenlik gösterir. Genel olarak lineer indüksiyon makinalarına benzerler. Öte yandan ferromanyetik malzememe olmaması, mermi uzunluğunun yapılan bobinden daha kısa olması gibi nedenlerden dolayı bu makine tipinden ayrılmaktadır (He, Zabar, Levi, & Birenbaum, 1991).

1.2.4.3 RELÜKTANS ELEKTROMANYETİK FIRLATICILAR

Bu fırlatıcı Şekil 6'da da görüldüğü gibi namlu bobin ve mermiden oluşur. Namlu manyetik olmayan ve merminin geçmesi için içinin boş olması gerekir. Bobin ise namlu etrafına sarılarak devrenin tamamlanmasına müteakip akacak olan akım ile beraber elektromanyetik alan sargı üzerinde oluşmuş olur. Mermi de ise oluşan elektromanyetik alanın etkisi ile ortaya çıkacak olan kuvvet ile beraber fırlatılabilir. Mermini seçimi için iletken bir malzeme tercih edilmelidir ve silindirik olmalıdır. Örnek verilmesi gerekirse çelik veya demir denebilir. Mermi sargının merkezine doğru hareket ettiğinde manyetik akı daha rahat akabilecek ve manyetik devredeki relüktans da azalacaktır. Mermi sargının merkezini geçtikten sonra uygulanan kuvvet tekrar artar ve manyetik kuvvet mermiyi yeniden sargının merkezine çeker (Bresie & Andrews, 1991).

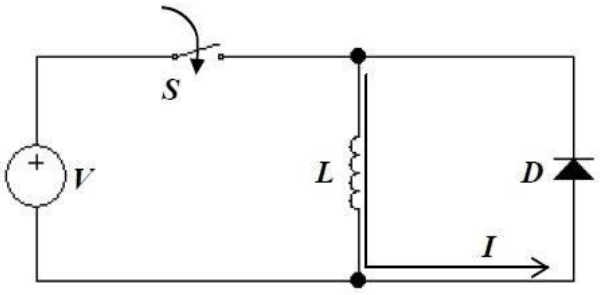


Şekil 6. Relüktans Fırlatıcının Bölümleri (Sarı, 2015)

Burada mermi itilmez sargı merkezine doğru çekilerek hareket etmesi sağlanır. Mermi merkezde iken sargıdaki enerji kesilmelidir ki mermi bir sonraki sargıya geçiş yapabilsin. Bu yüzden merminin nerede olacağının bilinmesi gerekir ve sensörler kullanılarak yeri anlaşılabilir. Eğer enerji kesilmez ise ya yavaş fırlatılma işlemi gerçekleşir ya da hiç fırlatılma olmaz (Sarı, 2015).

Bu sargılı elektromanyetik fırlatıcı tasarımı yapılırken de bir veya daha fazla sargıdan meydana gelebilir. Ancak enerji akışı durduğunda enerjinin sönümlenmesi için sargıya ya da sargılara paralel bir diyot bağlanmalıdır. Bu bağlantı Şekil 7'de gösterildiği gibidir. (Bresie & Andrews, 1991). Yukarıda anlatılanlara uygun şekilde tasarım gerçekleştirilince mermi hızlandırılarak fırlatılır.

Namlu dışına yerleştirilen bobin enerjilendirildiğinde bir manyetik alan oluşur ve namludaki iletken malzeme üzerinden manyetik akı devreyi tamamlar. Bu nedenden dolayı da malzeme hareket eder. (Bresie & Andrews, 1991)



Şekil 7. Depolanan Enerjinin Diyot ile Sönümlenmesi (Bresie & Andrews, 1991)

Anahtarlama yapmak için kullanılabilecek devre elemanı olarak Tristör, GTO, BJT, Güç Transistörü, MOSFET, IGBT tercih edilebilir. Bu elemanlardan hangisinin

kullanılacağını belirlemek için teknik özelliklerine bakılmalıdır. (Fairchild Semiconductor, 2002).

Relüktans fırlatıcıların çalışma şekli ise relüktans motorların çalışma şekline benzemektedir. Relüktans hesabı şu şekildedir (Bresie & Andrews, 1991):

$$\Re = \frac{l}{\mu r.\mu 0.A} \tag{1.1}$$

Bazen ivmelenmede sıkıntılar çıkabilir ya da yapılan hesaplamalar sonucunda sapmalar olabilir. Bu gibi problemler ise kaçak akı, doğrusal olmayan bir sisteme doğrusal analiz uygulama ve elektromanyetik fırlatıcılarda yüksek hız vardır, bu yüzden elektromanyetik geçiş ile mekanik geçiş işlemi birbiri ile bağlantılıdır ve ayrıymış gibi davranılmaz (Chaowei, ve diğerleri, 2008).

$\Re$: Manyetik direnç (Relüktans) - At/Wb

l : Manyetik devre uzunluğu – m

μ_r: Bağıl manyetik geçirgenlik

μ_0 : Manyetik geçirgenlik sabiti ≈ $4\pi 10^{-7}$ H/m

A : Kesit alanı - m^2

İKİNCİ BÖLÜM

TEORİK ALTYAPI

2.1 AMPERE YASASI

Bir iletken, üzerinde elektrik akımı taşıdığı esnada iletkenin etrafında oluşan manyetik alandır.

$$\oint \vec{H}\vec{d}\mathrm{l} = I_{net} \tag{2.1}$$

Ampere yasasında, akım çoğu zaman bilinir ve yasa $\vec{H}$'yi bulmayı sağlar. $\vec{H}$'nin belirlenmesinde Ampere yasasından yararlanmak için iki koşulun sağlanması gerekir:

1. Kapalı bir yolun her noktasından $\vec{H}$, yola dik veyahut teğettir.
2. $\vec{H}$'nin her yerinde $\vec{H}$ eşit değere sahip olur (Edminister & Mahmood, 2000).

2.2 MANYETİK AKI YOĞUNLUĞU

Belirli bir kesit alanından geçen manyetik alanın yoğunluğunu gösteren değerdir. Ortamdan etkilenmez. Birimi Tesla'dır.

$$\vec{B} = \mu\vec{H} = \mu_0\mu_r\vec{H} \tag{2.2}$$

ile verilen manyetik akı yoğunluğu $\vec{B}$'dir (Köksal & Saka, 2006).

2.3 BİOT-SAVART YASASI

Bu yasa elektrik alan sonucunda ortaya çıkan manyetik alanı belirtmek için kullanılır. Aynı zamanda manyeto statik yaklaşımda da geçerli olup ve manyetizma için Ampere yasası ile de uyumludur (Köksal & Saka, 2006).

$$d\vec{B} = \left(\frac{\mu_0}{4\pi}\right)\mathrm{I}.\frac{d\vec{l}x\vec{r}}{r^2} \tag{2.3}$$

I doğru akımını taşıyan, b yarıçaplı çember yapılı döngünün eksenindeki bir noktada oluşan manyetik akı (Köksal & Saka, 2006):

$$\vec{B} = \hat{a}_z\frac{\mu_0 I b^2}{2(z^2+b^2)^{3/2}} \tag{2.4}$$

2.4 ATIŞLAR

2.4.1 YATAY ATIŞ

Yatay atış hareketi, yapılan hesaplamada hava sürtünmesi dahil edilmediğinde, cismin yüksekliği "h" ve hız da ""V_0" olarak tanımlanmıştır. Cismin yere yatay olarak fırlatılması ile yapmış olduğu harekete denir. Yatay ve düşey doğrultu olarak ikiye ayrılır. Ortam sürtünmesiz olarak kabul edildiğinden dolayı yatayda sabit hızla hareket etmektedir (Serway & Beichner, 2007).

$$X_{menzil} = V_{0.}.t \tag{2.5}$$

$$H = \frac{gt^2}{2} \tag{2.6}$$

$$V_x = V_0 \tag{2.7}$$

$$V_y = gt \tag{2.8}$$

$$V_y^2 = 2gh \tag{2.9}$$

$$V^2 = V_y^2 + V_0^2 \tag{2.10}$$

2.4.2 EĞİK ATIŞ

Eğik atış hareketi için yapılan hesaplamalarda sürtünme değeri baz alınmaz. Burada cisim yatay ve düşey doğrultuda harekete sahiptir. Cismin düşey doğrultudaki hareketi, aşağıdan yukarı atış hareketidir, yatay doğrultudaki hareketinde ise hızı sabittir. Cisim fırlatıldığında başlangıçtaki ve yere ilk temas ettiğindeki hız ve hız bileşenleri aynıdır (Serway & Beichner, 2007).

$$V_{ix} = V_i \cos n\theta_{\text{i}} \tag{2.11}$$

$$V_{iy} = V_i \sin \theta_{\text{i}} \tag{2.12}$$

$$X_s = V_{xi}t = (V_i \cos \theta_{\text{i}})t \tag{2.13}$$

$$Y_s = V_{yi}t + \frac{1}{2}a_y t^2 = (V_i \sin \theta_{\text{i}})t - \frac{1}{2}gt^2 \tag{2.14}$$

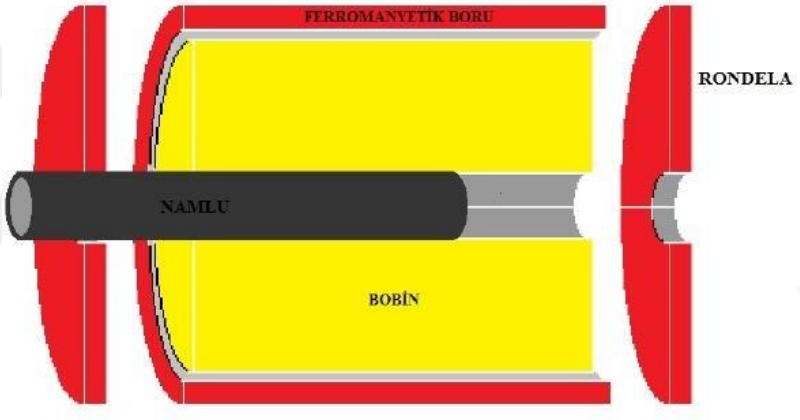
$$y = (\tan \theta_i)x - \left(\frac{g}{2V_{\text{i}}^2 \cos^2 \theta_i}\right)X^2 \tag{2.15}$$

$$h = \frac{V_i^2 \sin^2 \theta_{\text{i}}}{2g} \tag{2.16}$$

$$R_{menzil} = \frac{V_i^2 \sin 2\,\theta_i}{g} \tag{2.17}$$

2.5 ELEKTROMANYETİK FIRLATICININ BOBİN TASARIMINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER

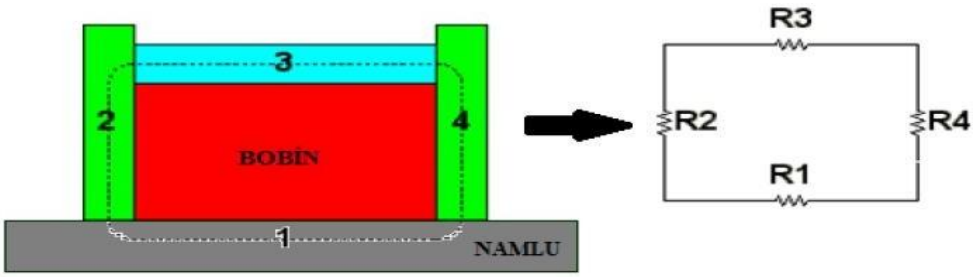
Namlu üzerine sargı yapıldıktan sonra sargının başlangıç ve sonuna denk gelecek şekilde ve sargının etrafını da saracak şekilde ferromanyetik malzemeyi, akı yolu oluşturacak şekilde monte edildiğinde buna rondela denir. Rondela olarak kullanılacak malzeme yumuşak olarak tercih edilmelidir. Örneğin yumuşak çelik, bakır, pirinç, alüminyum, kurşun gibi malzemeler olabilir. Buradaki amaç meydana gelebilecek olan hava boşluğunun en minimumda tutulması ve manyetik kayıpların en aza indirilmesidir. Yapılan tasarımda da kullanılan rondela bu şartları sağlayacak şekildedir ve ayrıca bu yol en kolay ve daha az maliyete sebep olur (Harmankaya & Çelik, 2013).



Şekil 8. Rondela, Boru ve Namlu Gösterimi (Harmankaya & Çelik, 2013)

Şekil 8 namlu etrafına sarım yapılarak elde edilen bobinin yüzey alanını ve bununla birlikte rondela ile borunun da bobin etrafını saracak şekilde nasıl konumlandırıldığını göstermektedir.

Oluşacak olan manyetik kaybı azaltmak için, kullanılan boru ve rondelanın, manyetik geçirgenliği yüksek birer yüzü yalıtkan sac levhaların kullanılması ve hava boşluğunu azaltmak için mümkün olduğunca yapılan rondelanın bobine yakın olmalı ve et kalınlığı en minimum olmalıdır (Çavuşoğlu, Topaloğlu, Tanrıkulu, & Bozkurt, 2014).



Şekil 9. Sargıdaki Relüktansın Şematize Hali (Harmankaya & Çelik, 2013)

Bobin ve etrafına yerleştirilen ekipmanlar ile ortaya çıkan manyetik devre Şekil 9'da gösterildiği gibidir. Her bir rondela, bobin ve sac levhanın dirençleri de gösterilmektedir.

Relüktansı hesaplamak için boru, rondela ve hava için ayrı ayrı hesap yapılır ve bunların toplanmasıyla da toplam relüktans değeri elde edilir.

$$\Re_{toplam} = \left[\frac{1}{\mu_0 \pi} + \frac{2\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{t_1 \mu_r} + \frac{\omega_1}{t_2 \mu_r (2r_4 + t_2)}\right] \tag{2.18}$$

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

TASARIM SÜRECİ

3.1 GİRİŞ

Proje aşamasında yapılan araştırmalar ve literatür taraması sonrasında ortaya çıkan tasarım başarıyla çalışır hale getirilmiştir. Tasarımın yapılması esnasında ortaya çıkan eksiklikler ve ihtiyaçlar belirlenmiştir. Bunlar doğrultusunda tasarım daha da geliştirilerek, mermi fırlatma bölümü başarıyla tamamlanmıştır. İkinci bölüm olarak, merminin namludan çıkış hızının ölçülmesi için bir hız devresi tasarlanmış olup, o da diğer aşamada olduğu gibi, meydana gelen eksiklikler ve ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilerek tamamlanmıştır.

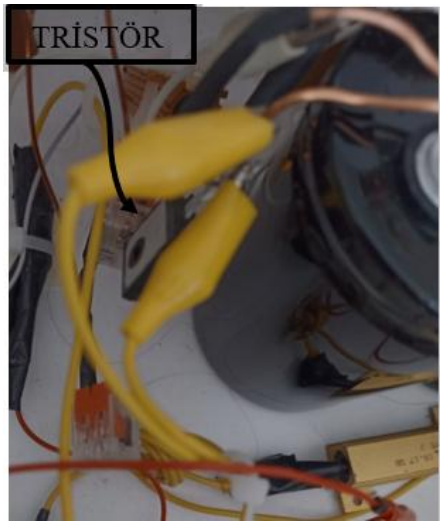
Hızı ölçmek için ve fırlatıcı için yapılan devrede kullanılan devre elemanlarını detaylı olarak ilerleyen bölümlerde ele alınmıştır. Mermi çıkış hızı ölçüm devresi merminin belirli bir mesafeye ve o mesafede geçirdiği süreyi ölçüp ona göre hız hesabını yapmaktadır. Ardından elde edilen sonuç da LCD ekranda gösterilmektedir.

Son olarak platform içinde özgün ve güzel bir dizayn olması için tasarım üç boyutlu çizim programında tasarlanıp ardından yazıcı ve daha sağlam olması gereken yerlerde MDF kullanılarak hazırlanmıştır.

3.2 SARGILI ELEKTROMANYETİK FIRLATICI DEVRESİ

3.2.1 TRİSTÖR (SCR)

Tristörler, güç elektroniği devrelerinde kullanılabilir. Bu devrelerde daha hızlı anahtarlama yapabilmesi için tercih edilirler. Tristörler, dört yarı iletken malzemenin birleşimiyle meydana gelir. Aynı zamanda Silikon Kontrollü Doğrultucu olarak da bilinirler. Tristörler, uzun ömürlü olup, mekanik darbelere karşı dayanıklıdır. Bakım gereksinimleri çok az olduğu için avantajlıdırlar. Bu nedenle, elektromanyetik fırlatıcı devresindeki anahtarlama işlevini gerçekleştirebilmesi için tristör tercih edilmiştir. Devrede yüksek gerilim ve akım bulunması nedeniyle, bu koşullarda en optimum düzeyde çalışabilecek ve ısınma gibi sorunlarla karşılaşmayacak bir tristör seçilmesi gerekiyordu. Bu nedenle, CLA100E1200HB modeli seçilmiştir. Teknik özellikleri Tablo 1'de yer almaktadır, aynı zamanda daha detaylı özellikleri Ek. 1'de yer almaktadır.



Şekil 10. CLA100E1200HB Tristörü Modeli

Devreye bağlantı yapılırken, katot ucundaki yüksek akımları dikkate alarak uygun kablo çapı seçilmiş ve kullanılmıştır. Tristörün anot ve gate uçlarında daha düşük akım olduğu için daha ince kablo kullanılmıştır. Yapılan bu bağlantı Şekil 10' da gösterildiği gibidir. Tristörün iletimi sağlaması için gerekli beslemeyi sağlamak amacıyla, gate ucundan harici olarak 36 volt ile beslenmektedir.

Tablo 1. CLA100E1200HB Tristörünün Teknik Özellikleri

TRİSTÖRÜN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Maksimum Besleme Voltajı	1200 V
Min. İşlem Sıcaklığı	-40 C°
Max. İşlem Sıcaklığı	125 C°
Akım Değeri	100 A

3.2.2 KONDANSATÖR

Elektrolitik kondansatörler, en çok kullanılan kondansatör türlerinden olup, pozitif (+) ve negatif (-) kutupları olduğu için kutuplu kondansatörler olarak da adlandırılırlar. DC devrelerde kullanılırken, bağlantı şekline dikkat edilip uygun şekilde bağlanması gerekir. Aksi takdirde, kısa devre veya patlama gibi durumlar meydana gelebilir. Bu tip kondansatörler, kapladıkları alanla doğru orantılı olarak büyük kapasitelere sahiptir. Kondansatör seçimi yapılırken, gerilim değeri ve kondansatörün maksimum şarj voltajı dikkate alınmalı ve bu değerler aşılmamalıdır.



Şekil 11. 450V 2200uF Vidalı Kondansatör

Bu devrede, belirtilen etkenler göz önünde bulundurulduğunda Tablo 2'de yer alan teknik özelliklere sahip olan kondansatör tercih edilmiştir. Şekil 11'de de görüldüğü üzere tasarımda 4 adet 2200 µF, 450 voltluk vidalı kondansatör kullanılmış ve devreye paralel bağlanmıştır. Bu kondansatörler, bobin sargısının ihtiyaç duyduğu enerjiyi depolamak amacıyla tasarımda tercih edilmiştir.

Tablo 2. Kondansatörün Teknik Özellikleri

KONDANSATÖR TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Tipi	Vidalı Kondansatör
Değeri	2200uF
Max. Çalışma Gerilimi	450V
Boyut	63x96mm
Max. Sıc. Çalışma Ömrü	1500 saat
Tolerans	20%
Bacak Aralığı	28.6mm
Çalışma Sıcaklığı	-40 C°~ +85 C°

3.2.3 AKIM SINIRLAYICI DİRENÇ

Kondansatörlerden akan akımın, tristörlerdeki anlık akım değerinden fazla olmasını önlemek adına devreye bu akımı sınırlandıracak küçük değerli ve yüksek güçlü bir direnç eklenmiştir. Seçilen direnç eğer büyük olursa, kapasite daha yavaş boşalır, bu istenilen bir durum değildir. Direnci seçerken tristör üzerinden akacak maksimum akım miktarına dikkat edilmiştir. Bobin akımı istenilenden daha kısa süreli olursa, mermi akımdan önce hareket eder. Tersi bir durumda, yani bobin akımı

istenilenden daha uzun süreli olursa, mermi bobinin ortasını geçtikten sonra tekrar geriye doğru çekilir. Bu yüzden bobin-mermi bağıntısı için doğru zamanlama ayarlanmalıdır. Akım sınırlayıcı direnç, Şekil 21'de görülen R2 direncidir.

3.2.4 ŞARJ DİRENCİ

Tasarımda kullanılan kondansatörlerin dolumu esnasında, DC-DC dönüştürücünün beklenmedik akım çekmesi olasılığı vardır. Lakin, kondansatörlerin çekebileceği aşırı akım miktarını, DC-DC dönüştürücü karşılayamayabilir. Bunu engellemek için devreye eklediğim direnç sayesinde akımın kontrolü sağlanmıştır. Aynı zamanda bu direnç, kondansatörlerin dolum süresini düzenlemeye de katkı sağlayacaktır. Şarj direnci, Şekil 21'de görülen R1 direncidir. R1 direncinin seçimi için gereken teorik hesaplama ve devredeki malzemeye göre yapılan hesaplama aşağıdaki gibidir.

Zaman sabiti (τ)

$$\tau = \mathrm{R} \times \mathrm{C} \tag{3.1}$$

R direnç değeri (Ω),

C kapasitans (F),

Şarj süresi (t)

Kondansatörlerin dolması için gereken süre:

$$t_{\%99} \approx 5\tau = 5\mathrm{RC} \tag{3.2}$$

Dirençteki maksimum güç:

$$P_{max} = \frac{V^2}{R} \tag{3.3}$$

Dirençteki ortalama güç:

$$P_{avg} \approx \frac{P_{max}}{5} \tag{3.4}$$

Teorik Hesaplama:

$$C = 4.2200\mu F = 8800\mu F = 0{,}0088F \tag{3.5}$$

$$R = \frac{t}{5.C} = \frac{5}{5\,.\,0{,}0088} \approx 114\ \Omega \tag{3.6}$$

$$P_{max} = \frac{V^2}{R} = \frac{(350)^2}{114} \approx 1074\ \mathrm{W} \tag{3.7}$$

$$P_{avg} \approx \frac{P_{max}}{5} = \frac{1074}{5} \approx 215\ \mathrm{W} \tag{3.8}$$

Bu hesaba göre 250 W'lık bir direnç kullanılabilir.

Devrede kullanılan dirence göre yapılan hesaplama:

$$5\tau = 5 \,.\, 1500 \,.\, 0{,}0088 = 66s \tag{3.9}$$

$$P_{max} = \frac{(350)^2}{1500} \approx 81{,}7 \text{ W} \tag{3.10}$$

$$P_{avg} \approx \frac{81{,}7}{5} \approx 16{,}3 \text{ W} \tag{3.11}$$

3.2.5 DC-DC AYARLANABİLİR YÜKSEK VOLTAJ MODÜLÜ

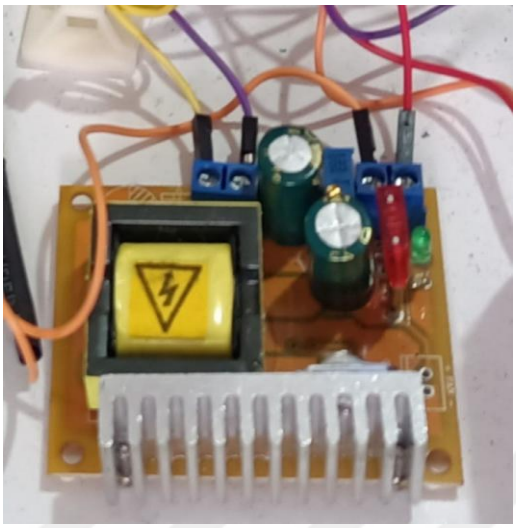
Tasarımda DC voltaj tercih edilmiştir. Seçilen batarya, aşağıda özellikleri ile birlikte anlatılmış olup, 11.1 volt DC voltaj sağlamaktadır. Ancak bu voltaj değerinin yükseltilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, DC-DC ayarlanabilir yüksek voltaj modülü seçilmiştir. Bu sayede devrenin voltajı ayarlanabilir hale gelmiş ve yaklaşık olarak voltaj seviyesi 50-350 volt aralığındaydı.

Tablo 3. DC-DC Ayarlanabilir Yüksek Voltaj Modülü Teknik Özellikleri

DC-DC AYARLANABİLİR YÜKSEK VOLTAJ MODÜLÜ TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Giriş Voltajı	8 - 32V
Giriş Akımı	3A (Max)
Çıkış Voltajı	45 - 390V ayarlanabilir
Çıkış Akımı	0.2A Max
Çıkış Gücü	40W
Tepe Çıkış Gücü	70W
Çalışma Sıcaklığı	-40 C°~ + 85 C°
Çalışma Frekansı	75 KHz
Dönüşüm Verimliliği	88%
AAK	Var
KDK	Var
AGK	Var
Boyut	60 x 50 x 20 mm

Piyasada yapılan araştırmalardan sonra en uygun voltaj aralığını sağlayabilecek ve gerekli çıkış voltajını ve akım seviyesini ayarlayabilecek olan modülün ve Tablo 3'de de daha detaylı olarak gösterilen DC-DC ayarlanabilir yüksek voltaj modülünde karar verilmiş ve alınmıştır. Diğer devre elemanları ile tüm

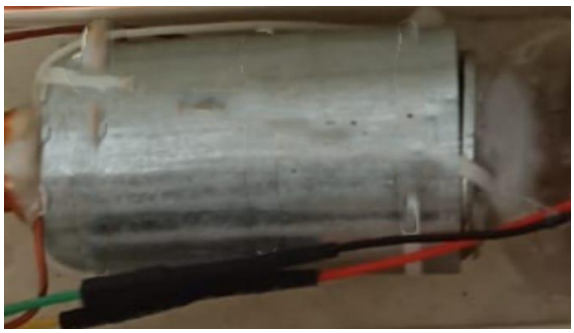
bağlantıları yapılmış olan DC-DC ayarlanabilir yüksek voltaj modülü Şekil 12'deki gibidir.



Şekil 12. DC-DC Ayarlanabilir Yüksek Voltaj Modülü

3.2.6 BOBİN, RONDELA VE MERMİ

Tasarımda bobin teli için emaye kaplı bobin teli kullanılmıştır. Kullanılan bobin teli çapı 1.05 mm²'dir. Bobin, 8 katlı sarım ile yapılmış olup, 280 sarımdan oluşmaktadır, uzunluğu ise 5,2 cm'dir. Ayrıca, en az manyetik alan kaybı için, yapılan bobinin fiziki yapısına uygun olan Şekil 13'de gösterilen rondela ve saç tel kullanılmıştır. Bobine olabilecek en yakın şekilde, yani boşluklar en az olacak biçimde bobinin her iki tarafına rondela ve etrafına da saç tel koyularak ayarlanmıştır.



Şekil 13. Bobin Etrafındaki Manyetik Kayıpları En Aza İndirmek İçin Kullanılan Rondelalar ve Saç Tel

Bobin Endüktansının Hesaplanması;

$$L = \frac{\mu_0 . N^2 . A}{l} \tag{3.12}$$

L: Endüktans (H)

$$\mu_0 = 4\pi . 10^{-7} (\mathrm{H/m}) \tag{3.13}$$

N: Sarım sayısı

A: Bobin kesit alanı (m^2)

l: Bobin uzunluğu (m)

Devredeki bobinin özellikleri;

Sarım sayısı (N) = 280

Bobin uzunluğu (l) = 5,2 (cm)

Bobin çapı (d) = 3,6 (cm)

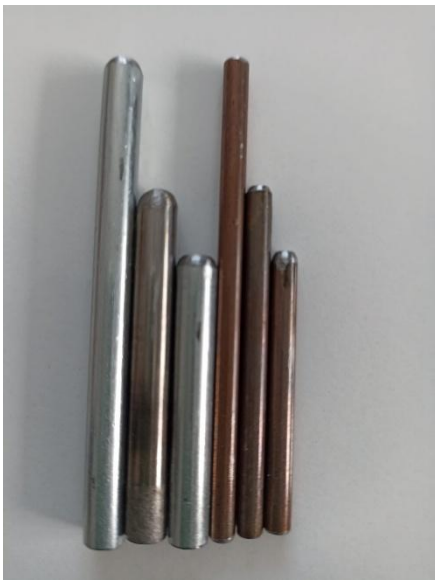
Kesit alanı (A) = $\pi . (0{,}018)^2$

Yukarıdaki değerler formülde yerleştirildiğinde elde edilen sonuç aşağıdaki gibidir;

$$L = \frac{4\pi . 10^{-7} . 280^2 . \pi . (0{,}018)^2}{0{,}052} \tag{3.14}$$

$$L \approx 0{,}001928\ (\mathrm{H}) = 1{,}928\ (\mathrm{mH}) \tag{3.15}$$

Merminin yapımında, manyetik iletkenliği yüksek olan çelik tercih edilmiştir. Aynı zamanda merminin havadaki sürtünmeyi daha rahat aşabilmesi için uç kısmı sivri olarak ayarlanmıştır. Mermi için farklı boyutlarda ve çaplarda mermiler kullanılmıştır. En verimli olanının ise bobin uzunluğu ve çapıyla farklılık göstereceği için en uygun mermi ortaya çıkan verilere göre değerlendirilecektir. Kullanılan mermiler ise şu şekildedir: 6 mm x 7 cm, 6 mm x 5 cm, 6 mm x 4 cm, 4 mm x 7 cm, 4 mm x 5 cm, 4 mm x 4 cm. Bunlar Şekil 14'te görüldüğü gibidir.



Şekil 14. Farklı Çap ve Uzunluktaki Mermiler

3.2.7 Li-Po BATARYA

Tasarımda mermiyi fırlatmak için gerekli olan enerjiyi elde etmek için güç kaynağı olarak Lityum Polimer batarya kullanılmıştır. Küçük, hafif ve çalışma süreleri uzun olması avantajlarındandır. Genel olarak ProFuse marka, 11.1V 35C 2800 mAh bir batarya tercih edilmiştir.



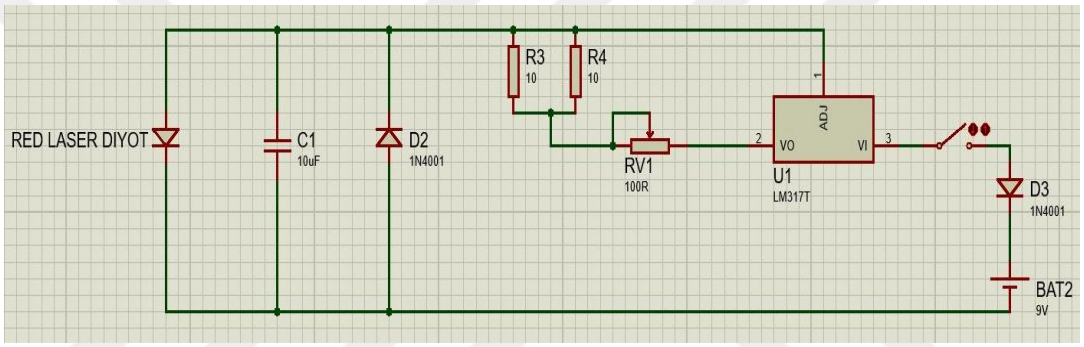
Şekil 15. Elektromanyetik Fırlatıcı Devresinde Güç Kaynağı Olarak Kullanılan Li-Po Batarya

Piyasadaki markalar arasında fiyat ve kalite araştırması yapıldığında en uygun bataryanın Şekil 15'de gösterilen ve Tablo 4'de teknik özellikleri yer alan Li-Po batarya olacağı değerlendirilmiştir. Ardından üretici markanın farklı voltaj, akım ve C değerlerindeki diğer batarya modellerini incelenerek fırlatıcı ile atış yaparken akım değerinin yüksek olacağından dolayı yüksek amper verebilen bir batarya tercih edilmiştir.

Tablo 4. Li-Po Batarya Teknik Özellikleri

Li-Po BATARYA ÖZELLİKLERİ	
Voltaj	11.1 V
Kapasitesi	2800 mAh
Ağırlık	230 gr
Boyut	135x44x18 mm
XT60 çıkış soketi ve balancer şarj soketi vardır.	
3 Hücrelidir.	
35 C (50 C anlık, max. 10)	

3.3 LAZER DİYOT DEVRESİ



Şekil 16. Lazer Diyot Devre Modeli

Lazerin tanımına bakarsak ışık ışınlarının yoğun ve ince bir ışık demeti haline getirilmesidir. Ayrıca lazer diyot yarı iletken bir malzemedir. Şekil 16'da gösterilen devre şeması çizilmiş olup ardından prototipi yapılmıştır. Bu tasarımın görselliğini artırmak için projeye lazer diyot sürücü devresi eklenmiştir.

3.4 MERMİ ÇIKIŞ HIZI ÖLÇÜM DEVRESİ

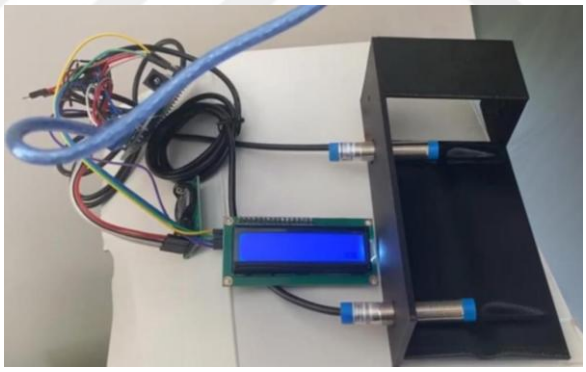
3.4.1 ENDÜKTİF YAKINLIK SENSÖRÜ

Endüktif sensörler, metal cisimleri tespit etmek için kullanılmaktadır. Hız ölçümü devresi için 2 adet LJ12A3-4-Z/BY endüktif sensörü kullanılmıştır. Birçok denemede, mermi sensöre çarpabilmekteydi ve bu durumda sensörler genellikle kullanılamaz hale geliyordu. Ancak, bu sensörün dayanıklılığı sayesinde böyle bir sorunla karşılaşılmamıştır.

Tablo 5. LJ12A3-4-Z/BY Endüktif Sensörünün Teknik Özellikleri

ENDÜKTİF SENSÖRÜN TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Çalışma Prensibi	Endüktif Tip Sensör
Anahtar Tipi	Silindirik Metal Mahfazalı
Çıkış Türü	PNP, NA
Algılama Mesafesi	4mm
Besleme Voltajı	DC6-36V
Çapı	12mm

Ayrıca, merminin hareketi esnasında sensör, merminin metalik yapısını algılar ve algılama mesafesindeki değişiklikleri yüksek hassasiyetle kaydeder. Bunun yanı sıra, LJ12A3-4-Z/BY sensörünün diğer teknik özellikleri de Tablo 5'de, ayrıca daha detaylı olarak da Ek. 2'de teknik özellikleri yer almaktadır. Yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı, bu çalışmada LJ12A3-4-Z/BY sensörü, yapılan projede hız ölçer devresinin önemli bir komponenti olarak tercih edilmiştir ve Şekil 17'deki gibi hız ölçüm devresine montajı yapılmıştır.



Şekil 17. LJ12A3-4-Z/BY Endüktif Yakınlık Sensörünün Hız Devresine Yerleştirilmiş Hali

3.4.2 MİKRODENETLEYİCİ

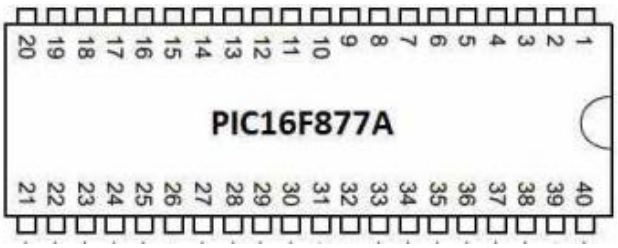
Burada PIC16F877A tercih edilme nedenleri arasında fiyatının düşük olması, çalışma performansının yüksek olması ve veri işleme hızı yüksek olmasındandır. Diğer bir nedeni üç adet zamanlayıcısının (Timer0, Timer1 ve Timer2) bulunmasıdır. Bu zamanlayıcılar sayesinde hassas zamanlama yapabilmektedirler. İlave olarak, analog sinyalleri dijitale dönüştürebilir. LCD ekran ve diğer devre elemanları ile kolayca

etkileşim sağlayabilmektedir. Bütün bunlara göre mikrodenetleyiciler arasında değerlendirme yapıldığında PIC16F877A elektromanyetik fırlatıcı ve mermi çıkış hızı ölçüm devresi için uygun olduğu görülmüştür. Hem Tablo 6'da görülen teknik özellikleri hem de maliyet açısından Şekil 18'de gösterilen PIC16F877A bu çalışmada kullanılmıştır.

Tablo 6. PIC16F877A Mikrodenetleyicisinin Teknik Özellikleri

PIC16F877A TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Bit Sayısı	8-Bit
Hız	20MHz
Program Bellek Boyutu	14KB (8K x 14)
RAM Boyutu	368 Bayt
EEPROM Boyutu	256 Bayt
G / Ç Sayısı	33
Besleme Gerilimi	4V ~ 5.5V
Çalışma Sıcaklığı	-40 °C ~ +85 °C

Ccs C Compiler ile merminin çıkış hızının ölçülmesi için yapılan devreye gerekli olan program yazılmıştır. Bu yazılan kod Ek. 4'de yer almaktadır. Bu kodun tercih edilme nedeni ise pic gibi mikrodenetleyicilerde yapılan kodlama işleri için kullanılan bir program olması ve yapan kişiye kullanım kolaylığı sağlamasıdır.



Şekil 18. PIC16F877A Mikrodenetleyici (Microchip Technology Inc., 2003)

3.4.3 LCD EKRAN

Bu devre elemanı tercih edilme nedenleri arasında I2C haberleşme protokolünün olması yani okuması gereken hız ve zaman bilgilerini anlık olarak göstermesidir, buna ek olarak devrede kullanılan PIC16F877A da bu haberleşme protokolü ile uyumlu olarak çalışabilmektedir, diğer teknik özellikleri ise Ek. 3'de yer

almaktadır ve ayrıca Ek. 3'den de Şekil 19 alınmış olup aşağıda daha detaylı gösterilmektedir. Ayrıca çalışma gerilimi 5V olması ve bağlantısının kolay olması da diğer bir avantajıdır.

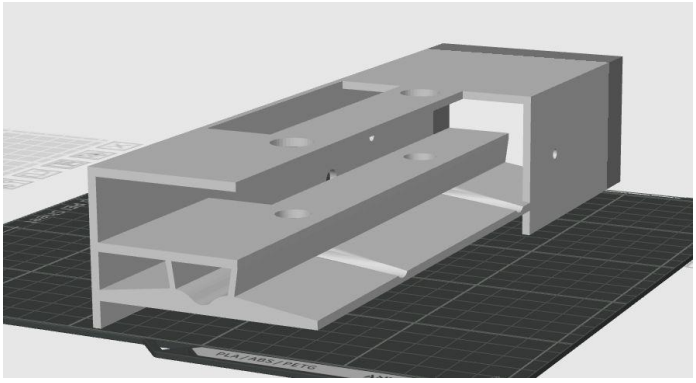
Hız ölçümü yapıldıktan sonra Şekil 19'da gösterildiği gibi ekranda hız cm/s olarak alt satırda, endüktif sensörlerin arasından geçme süresi ise milisaniye olarak sağ üst satırda gösterilmektedir. Bu sayede önemli olan iki sonuç da ekranda aynı anda anlık olarak gösterilebilmektedir.



Şekil 19. Merminin Namludan Çıkış Hızının ve Süresinin Gösterildiği 2x16 İ2c Modüllü LCD Ekran

3.5 PLATFORM PARÇALARININ MODELLEMESİ

Projenin dış tasarımı, AutoDesk Fusion 360 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Dış tasarımda namlu, elektromanyetik fırlatıcı platformu, mermi çıkış hızı ölçüm devresi platformu için 3D yazıcı teknolojisi kullanılarak tasarlanmış ve çıktıları alındıktan sonra prototipi hazırlanmıştır. Şekil 20'de mermi çıkış hızı ölçüm devresi platformu için hazırlanan çizim gösterilmektedir.



Şekil 20. Mermi Çıkış Hızı Ölçüm Devresi Platformu

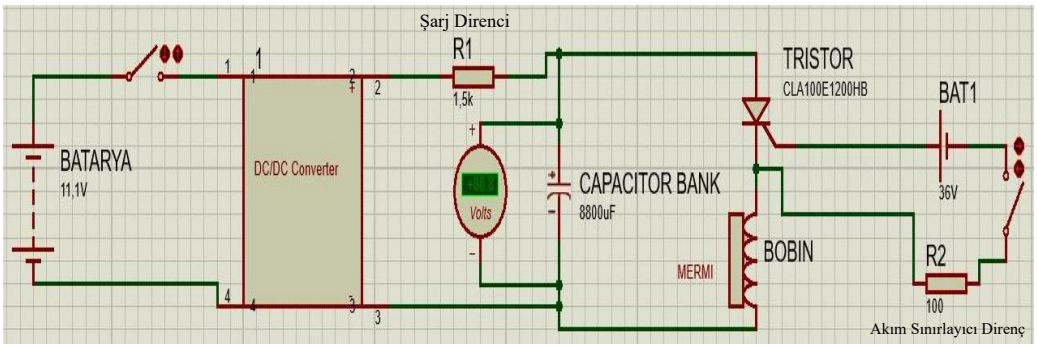
Devre koruma platformu ise, orta yoğunluklu lif levha yani MDF ve sunta malzemeleri kullanılarak hazırlanmıştır. MDF tercih edilme sebebi, dayanıklılığı sayesinde devre elemanlarının güvenli bir şekilde korunmasını sağlayacak uygun bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. Suntanın kullanılma nedeni ise daha yumuşak olduğu için kolayca MDF'nin kullanılamadığı bölgelerde tasarımın korunması için kullanılmıştır.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

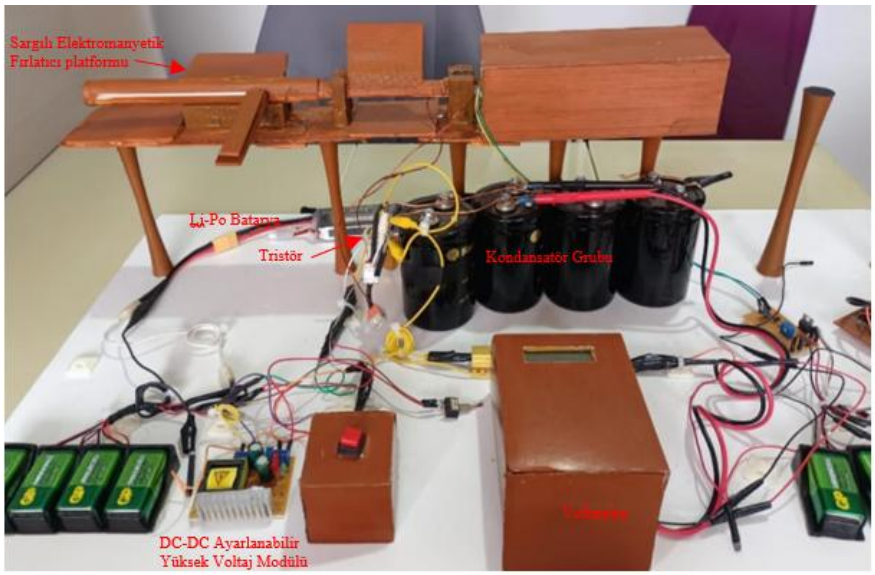
SARGILI ELEKTROMANYETİK FIRLATICI VE MERMİ ÇIKIŞ HIZI ÖLÇÜM DEVRESİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

4.1 SARGILI ELEKTROMANYETİK FIRLATICI DEVRESİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Sargılı elektromanyetik fırlatıcı devresi ilk olarak 11.1 V olan Li-Po batarya ile beslenmektedir. Bataryanın takılıp çıkarılabilmesi sağlanmıştır. Li-Po batarya ile DC-DC ayarlanabilir yüksek voltaj modül arasına ON-ON toggle switch kullanılıp devre daha güvenilir hale gelmiştir. Toggle switch sonrasında DC-DC ayarlanabilir yüksek voltaj modülü ile 11.1 V'u 350 V'a yükseltilmiştir, burada 50-350V arasında istenilen voltaj aralığı sisteme girilerek, oradan da 1.5k ohm şarj direncinden geçtikten sonra 2200 uF olan 4 adet kondansatörün dolması sağlanmıştır. Burada istenilen voltaj değeri girildiğinde kondansatör üzerinde girilmiş olan hedef voltaj değeri görüldüğünde sistemin otomatik olarak gücü kesiliyor ve kaç voltta olduğunu anlamak için kondansatörlere paralel bağlı olan voltmetreden takip edilebilmektedir. Bu adımın devamında tetiklemek için SCR 1200 V/100 A' kullanılmıştır ve tristörün beslenmesi için 36 V pil kullanılmıştır. Burada akım sınırlayıcı direnç olarak 100 ohm'luk direnç kullanılmıştır. Tristör ile akım sınırlayıcı direnç arasına yaylı push buton kullanılıp tetiklenme sağlanmıştır. En son olarak devre bobine bağlanıp atış gerçekleştirilmiştir. Şekil 21'de de anlatılmış olan çalışma prensibine dayanan sargılı elektromanyetik fırlatıcı devre modeli gösterilmektedir. Şekil 22'de de bütün yapılan çizimler ve uygulamalar sonrasında ortaya çıkan sargılı elektromanyetik fırlatıcı tasarımı görülmektedir.



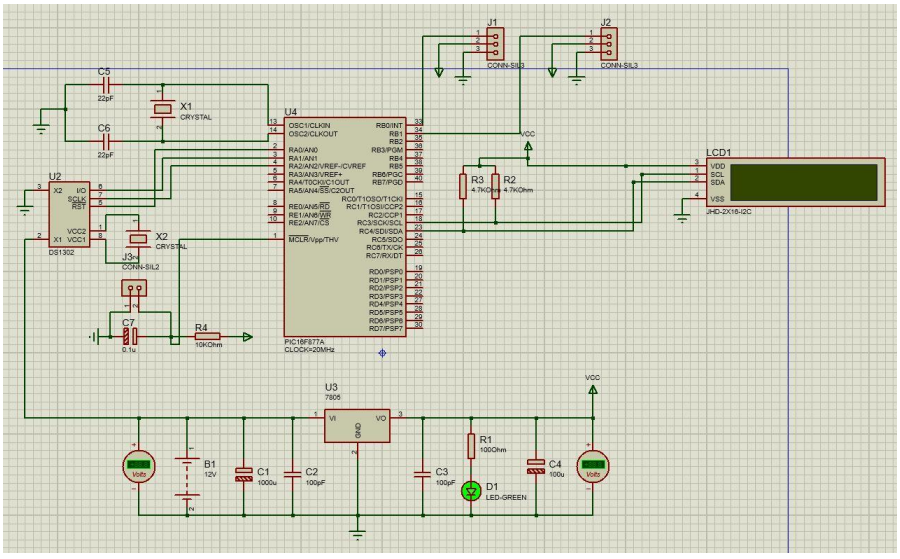
Şekil 21. Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcı Devre Modeli



Şekil 22. Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcı Tasarımı

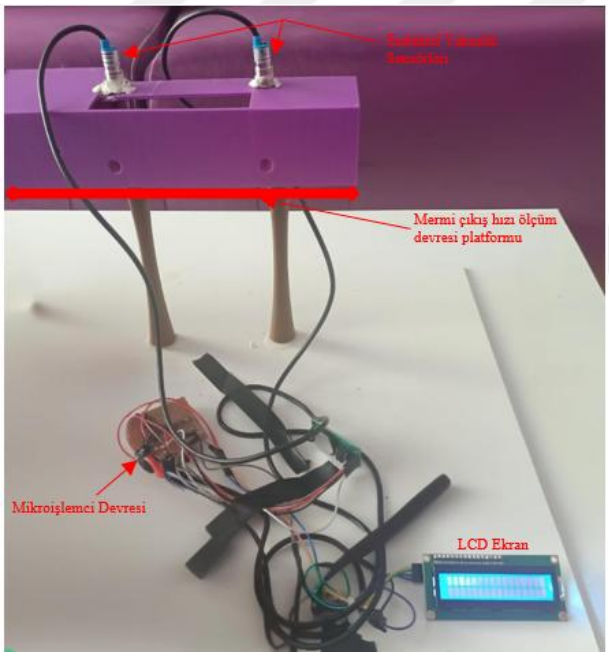
4.2 MERMİ ÇIKIŞ HIZI ÖLÇÜM DEVRESİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Şekil 23'de gösterilen mermi çıkış hızı ölçüm devresi modelinin çalışma prensibi açıklanacak olursa, devrede gerilim kaynağı olarak 12V DC kullanılmaktadır. Öte yandan, PIC16F877A ve diğer devre elemanları 5V çalışma gerilimine ihtiyaç olduğu için voltaj regülatörü ile gerilim ayarlanmaktadır, bu esnada regülatörün daha kararlı olması için 1000µF, 100µF ve 100pF kondansatörler kullanılmıştır.



Şekil 23. Mermi Çıkış Hızı Ölçüm Devresi Modeli

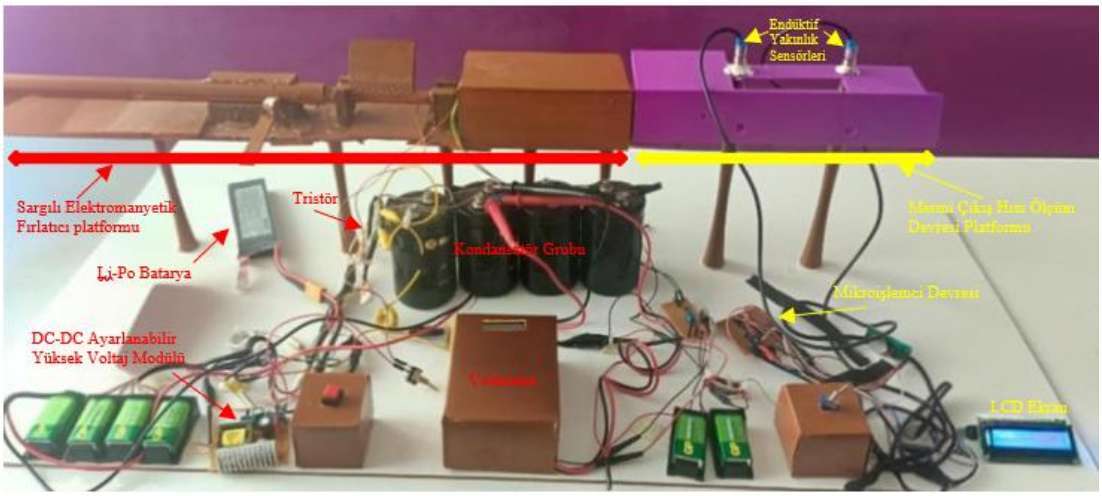
PIC16F877A 20MHz'lik bir kristal osilatöre sahiptir, onun ile devredeki zamanlama işlemlerinin yüksek doğruluk ile ölçülebilmektedir. Ayrıca mikrodenetleyiciye bağlı iki adet endüktif sensör vardır. Elektromanyetik fırlatıcıdan atılan mermi, ilk sensörü tetiklediğinde Timer0 sayacı sıfırlanır ve sürenin ölçümüne başlanır. Devam eden süreçte mermi, ikinci sensörü tetiklediğinde Timer0 sayacı durur ve iki sensör arasındaki merminin geçiş süresi hesaplanır. İki sensör arasındaki süre için Timer0 kullanılmaktadır ve sistem saatine bağlı olarak çalışıp her 1 milisaniyede bir artmaktadır. Aradaki zaman farkı hızın hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu devre için iki sensör arası yol 10 cm olup sabit değerdir. Bu işlemler tamamlandıktan sonra elde edilen veriler LCD ekranda gösterilir. Şekil 24 ise Şekil 23'de ve paragrafta anlatılan çalışma prensibine dayanan mermi çıkış hızı ölçüm devresi tasarımıdır.



Şekil 24. Mermi Çıkış Hızı Ölçüm Devresi Tasarımı

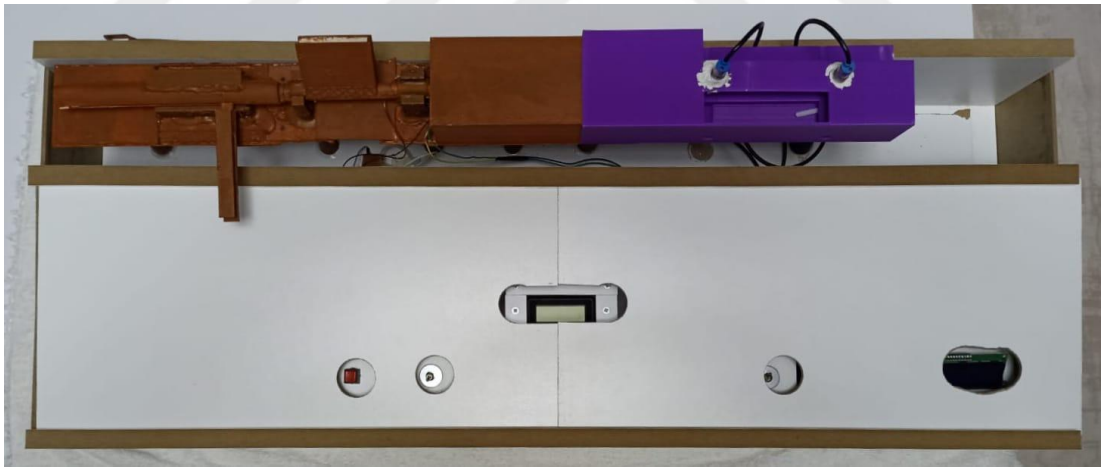
4.3 HER İKİ DEVRENİN BİRLEŞTİRİLMESİ

4.1 ve 4.2 de anlatılmış olan devrelerin birleştirilmesi ile de elektromanyetik fırlatıcı sistemi tasarımı tamamlanmıştır. Şekil 25'de gösterilen sargılı elektromanyetik fırlatıcı ve mermi çıkış hızı ölçüm devresinin tüm bağlantılarının yapıldıktan sonraki tasarımın durumunu göstermektedir.



Şekil 25. Sargılı Elektromanyetik Fırlatıcı ve Mermi Çıkış Hızı Ölçüm Devresi Tasarımı

İlk olarak 4.1 de anlatılan sargılı elektromanyetik fırlatıcı devresi çalışmaya başlar ve ardından merminin fırlatılmasından sonra da 4.2 de anlatılan mermi çıkış hızı ölçüm devresi çalışmaya başlar ve merminin hızı ölçülmüş olur.



Şekil 26. Tasarımın Son Hali

Bahsi geçen MDF ve sunta tasarımda kullanılan devre elemanlarının daha güvenli halde olması ve aynı zamanda tasarımın daha estetik bir görünüm almasını da sağlamak için kullanılmıştır. En son olarak Şekil 26'da da göründüğü gibi tasarım son halini almıştır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

5.1 ANALİZ VERİLERİ

Tasarımın tamamlanması ile beraber sargılı elektromanyetik fırlatıcı ile atışlar yaparak merminin namludan çıkış hızı ölçülmüştür. Ancak atış yaparken voltaj değerinin dışında devrenin art arda çalışması, Li-po bataryanın tam dolu halindeki durumu ile kullanılması arasındaki farklılıktan dolayı meydana gelen değişim, kullanılan mermilerin çaplarının değişkenlik göstermesi, bobin uzunluğuna göre kullanılan mermi uzunluklarının değişken oluşu, endüktif yakınlık sensörü ile yapılan ölçümlerde yine mermilerin çaplarının farklı olmasından dolayı meydana gelen değişiklikler gibi etkenlerde bulunmaktadır.

Bunun ile birlikte atışlar yapıldığında değişken voltajlara göre süre ve hız değerleri hesaplanmıştır. Tablo 7. voltaja göre mermilerin çıkış hızları gösterilmektedir. Tablonun mavi ile renklendirilmesindeki amaç her mermi için ayrı ayrı voltaj değerlerine göre hızı düşük olandan hızı yüksek olana göre bir sıralamanın yapılmasıdır.

Tablo 7. Voltaja Göre Mermilerin Çıkış Hızları

Voltaj	6mm x 7cm	6mm x 5cm	6mm x 4cm	4mm x 7cm	4mm x 5cm	4mm x 4cm
50V	3,54	9,52	6,06	13,33	22,22	5,26
100V	12,90	20,00	30,77	14,81	26,67	12,50
150V	14,81	22,47	33,33	18,20	33,33	23,52
200V	26,67	27,03	35,09	19,05	35,09	42,55
250V	37,04	29,41	36,36	22,22	35,71	50,00
300V	37,74	29,41	42,55	28,57	43,48	83,33
350V	39,22	31,25	50,00	40,00	57,14	105,26

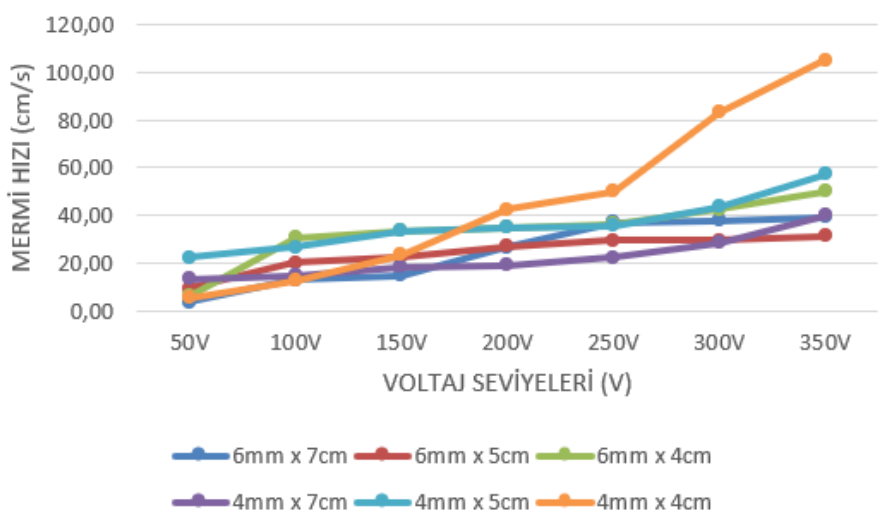
Tablo 8. voltaja göre mermilerin geçiş süresi gösterilmektedir. Burada tablonun yeşil ile renklendirilmesindeki amaç her mermi için ayrı ayrı voltaj seviyelerine göre merminin geçiş süresinin düşük olandan yüksek olana göre bir sıralamanın ortaya çıkması için yapılmıştır.

Tablo 8. Voltaja Göre Mermilerin Geçiş Süreleri

Voltaj	6mm x 7cm	6mm x 5cm	6mm x 4cm	4mm x 7cm	4mm x 5cm	4mm x 4cm
50V	2825ms	1050ms	1650ms	750ms	450ms	1900ms
100V	775ms	500ms	325ms	675ms	375ms	800ms
150V	675ms	445ms	300ms	550ms	300ms	425ms
200V	375ms	370ms	285ms	525ms	285ms	235ms
250V	270ms	340ms	275ms	450ms	280ms	200ms
300V	265ms	340ms	235ms	350ms	230ms	120ms
350V	255ms	320ms	200ms	250ms	175ms	95ms

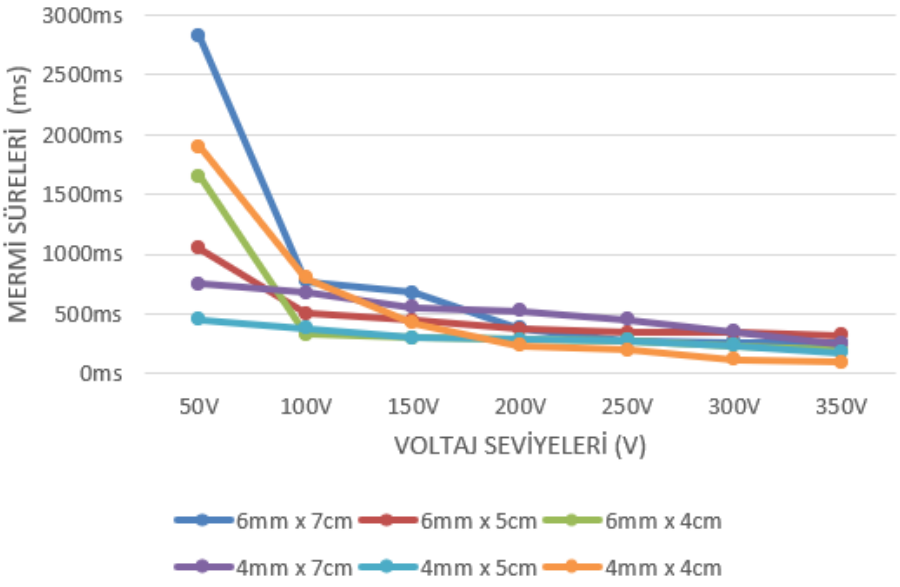
Tablo 7 ve 8 incelendiğinde genel olarak voltaj arttığında mermilerin hızlarının arttığı ve sürelerin ise azaldığı gözlemlenmiştir. Yapılan bu değerlendirmenin daha iyi anlaşılabileceği biçimde Şekil 27 ve Şekil 28 de sırasıyla mermilerin voltaj seviyelerine göre hız değişimleri ve geçiş süreleri gösterilmektedir.

Büyük çaplı ve uzunluklu mermilerde belirgin bir ölçüde voltaj ile beraber hızlarının arttığı, sürelerinin ise azaldığı görülmüştür. Küçük çaplı ve uzunluklu mermilerde büyük olanlara göre voltaj seviyesi arttığında hızları artıyor ancak süreleri daha hızlı azalmaktadır.



Şekil 27. Mermilerin Voltaj Seviyelerine Göre Hız Değişimleri

Ayrıca sonuçlardan ortaya çıkan diğer bir analiz ise çapı daha ince olan mermilerin yüksek voltajlarda daha fazla hızlarının arttığı, çapı büyük olan mermilerin ise belirli voltaj seviyelerinde daha etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 28. Mermilerin Voltaj Seviyelerine Göre Süreleri

En optimum mermi seçimini yapmak için ise voltaj ve istenilen hız ile süreye göre tercih yapılmalıdır. Yüksek voltaj seviyelerinde büyük mermiler tercih edilmelidir. Bunlar, 6mm x 7cm ve 6mm x 5cm olanlardır. Öte yandan düşük voltaj seviyelerinde daha kısa sürelerde daha yüksek performans isteniyorsa küçük olan mermiler tercih edilmelidir. Bunlar, 4mm x 4cm ve 4mm x 5cm olanlardır. Diğer 6mm x 4cm ve 4mm x 7cm olan mermiler hem süre hem de hız olarak neredeyse tüm voltaj değerlerinde daha stabil ve dengelidir.

Analizler sonucunda elde edilen voltaja göre süre ve namludan çıkış hızlarını kullanarak, Python programında bir kod yazılmıştır. Bu kod için 6 mermi türü ve 50 ile 350 volt arasında toplamda 84 adet hız değeri ham değer olarak verilmiştir. Kod buradaki değerleri kullanarak interpolasyon yöntemi ve sayısal analizler yaparak verilecek olan bir hız değerine karşılık mermi tipleri için kullanılması gereken voltaj değerini ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca da Ek.5'de de yer alan koda göre ortaya çıkan sonuçlar Tablo 9'da gösterilmektedir.

Tablo 9. Verilen Hıza Göre Python İle Bulunan Değerler

VERİLEN HIZA GÖRE BULUNAN DEĞERLER			
Mermi Tipi	**Voltaj (V)**	**Hız (cm/s)**	**Süre (ms)**
6mmx7cm	**241.0**	**35.0 cm/s**	**285.71 ms**
	217.0	**30.0 cm/s**	**333.33 ms**
	193.0	**25.0 cm/s**	**400.00 ms**
6mmx5cm	**145.0**	**30.0 cm/s**	**333.33 ms**
	123.0	**25.0 cm/s**	**400.00 ms**
	100.0	**20.0 cm/s**	**500.00 ms**
6mmx4cm	**148.0**	**45.0 cm/s**	**222.22 ms**
	100.0	**40.0 cm/s**	**250.00 ms**
	93.0	**35.0 cm/s**	**285.71 ms**
4mmx7cm	**350.0**	**40.0 cm/s**	**250.00 ms**
	329.0	**35.0 cm/s**	**285.71 ms**
	307.0	**30.0 cm/s**	**333.33 ms**
4mmx5cm	**343.0**	**55.0 cm/s**	**181.82 ms**
	325.0	**50.0 cm/s**	**200.00 ms**
	97.0	**45.0 cm/s**	**222.22 ms**
4mmx4cm	**350.0**	**115.0 cm/s**	**86.96 ms**
	313.0	**110.0 cm/s**	**90.91 ms**
	298.0	**105.0 cm/s**	**95.24 ms**

5.2 YORUM VE DEĞERLENDİRME

Projede yapılan çalışmalar ve elde edilen veriler sonucunda ortaya sonuçlara göre merminin ağırlığının çok önemli bir değişken olduğu, mermi boyunun ve çapının değişmesi ile de sonuçların değiştiği görülmüştür. En verimli sonuçların alınması için mermi çapı ve uzunluklarına göre yapılan bobin boyu ve çapının düzenlenmesi gerekmekte olduğu ortaya çıkmıştır.

Mermi çıkış hızı ölçüm devresindeki platformdan merminin çok hızlı geçmesi durumunda ve kısa mesafede bu ölçümün yapılması gerektiğinden mermi çıkış hızı ölçüm devresinde seçilen endüktif yakınlık sensörlerinin daha kaliteli ve daha hızlı tepki vermesinin önemli bir etken olduğu görülmüştür.

Elektriksel devre arka arkaya sürekli kullanıldığı zaman devre elemanlarında yorulmalar olduğu ve bunun atış hızını etkilediği ortaya çıkmıştır. Bu yüzden kullanılan devre elemanlarının daha kaliteli ve uzun sürelerce yapılan atışlara dayanabilecek şekilde seçilip, tedarik edilmesi, çünkü kullanılan voltaj seviyeleri yüksek olduğu için kullanılan DC-DC yükseltici modülde çok problemler meydana gelmiştir. Son olarak ise bobin sayısının artması ile de mermi çıkış hızının artacağı değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

Akyazı, Ö., & Akpınar, A. S. (2008). Elektromanyetik Fırlatıcılar. *20*(1), s. 117–126.

ASELSAN. (2018, Ağustos). *A-Bülten: Aylık iletişim bülteni.* https://www.aselsan.com.tr/a_bulten_02_7378.pdf adresinden alındı

Bresie, D., & Andrews, J. (1991). Design of a reluctance accelerator. *IEEE Transactions on Magnetics, 27*(1), s. 623–627. doi:doi.org/10.1109/20.101106

Chaowei, Z., Pengshu, D., Xiaojun, D., Zhiyuan, L., Sanqun, L., & Guanghui, Z. (2008). Analysis of reluctance coil launcher performance using coupled field-circuit method. *International Conference on Electrical Machines and Systems*, (s. 4049–4052). Wuhan, China.

Çavuşoğlu, Ö. Ş., Topaloğlu, E., Tanrıkulu, T., & Bozkurt, S. (2014). *Coilgun - Gauss silahı.* Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Dönmez, Ö., & Doğan, M. (2021). *Taşınabilir Elektromanyetik Fırlatıcı.* Lisans Bitirme Tezi.

Dursun, M., & Koç, F. (2013). Linear switched reluctance motor control with PIC18F452 microcontroller. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, s. 1107–1119.

Edminister, J. A., & Mahmood, N. (2000). *Elektromanyetik.* Nobel Yayın Dağıtım.

Elliott, D. (1989). Traveling-wave induction launchers. *IEEE Transactions on Magnetics, 29*(1), s. 159–163. doi:doi.org/10.1109/TMAG.1989.365406

Elliott, D. G. (1991). Traveling-wave synchronous coil gun. *IEEE Transactions on Magnetics, 27*(1), s. 647–649. doi:doi.org/10.1109/20.75628

Fair, H. (2005). Electromagnetic launch science and technology in the United States enters a new era. *IEEE Transactions on Magnetics, 41*(1), s. 158–164.

Fair, H. D. (1990). Hypervelocity hyperkinetic energy weapons. *Military Technology*, s. 39–55.

Fairchild Semiconductor. (2002). *IGBT basic II, Application note 9020.*

Harmankaya, A., & Çelik, S. (2013). *Elektromanyetik bobin silahı.* Karadeniz Teknik Üniversitesi.

He, J., Zabar, Z., Levi, E., & Birenbaum, L. (1991). Transient performance of linear induction launchers fed by generators and by capacitor bank. *IEEE Transactions on Magnetics, 27*(1), s. 585–590. doi:doi.org/10.1109/20.101099

Kabadayı, M. (2018). *LabVIEW tabanlı yeni bir helisel bobin elektromanyetik fırlatıcı tasarımı ve karakterizasyonu.* Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi.

Köksal, A., & Saka, B. (2006). *Mühendislik elektromanyetiğinin temelleri.* Palme Yayıncılık.

Liao, M., Zabar, Z., Czarjtowski, D., Levi, E., & Birenbaum, L. (1999). On the design of a coilgun as a rapid-fire grenade launcher. *IEEE Transactions on Magnetics, 35*(1), s. 148–153. doi:doi.org/10.1109/20.738393

McKinney, K. (1984). Multiple stage pulsed induction acceleration. *IEEE Transactions on Magnetics, 20*(2), s. 239–242. doi:doi.org/10.1109/TMAG.1984.1063213

Microchip Technology Inc. (2003). *PIC16F87X Data Sheet: 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers.* Microchip: https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf adresinden alındı

Sarı, V. (2015). *Elektromanyetik fırlatıcıların farklı manyetik özellikteki çekirdeklerle performans analizi.* ERCİYES ÜNİVERSİTESİ.

Serway, R., & Beichner, R. (2007). *Fen ve Mühendislik İçin Fizik-2.* (K. Çolakoğlu, Dü.) Palme Yayıncılık.

Tunceroğlu, Ç., Hasırcı , U., Hüner, E., & Sarı, Z. (2018). Elektromanyetik fırlatıcılar. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 7*(1), s. 98–106. https://dergipark.org.tr/tr/pub/duzceitbd/issue/31760/3308554. adresinden alındı

Tzeng, J., & Schmidt, E. (2011). Comparison of electromagnetic and conventional launchers based on Mauser 30-mm MK 30-2 barrels. *IEEE Transactions on Plasma Science, 39*(1), s. 149-152. doi:doi: 10.1109/TPS.2010.2050217.

Ulaby, F., Michielssen, E., & Ravaioli, U. (2010). *Fundamentals of applied electromagnetics (6th ed.).*

Wang, Y., & Ren, Z. (1999). EML technology research in China. *IEEE Transactions on Magnetics*, s. 44–46.

Yang , S., Wang , Y., Cui , S., Li, Q., Li, X., & Wang, W. (2005). A novel type rail coil hybrid electromagnetic launcher. *IEEE Transactions on Magnetics, 41*(1), s. 266–267. doi:doi.org/10.1109/ELT.2004.1398065

Yu, X., & Fan, Z. (2011). Simulation and two-objective optimization of the electromagnetic-railgun model considering VSEC resistance and contact resistance. *IEEE Transactions on Plasma Science, 39*(1), s. 405–410. doi:doi.10.1109/TPS.2010.2052636

EKLER

Ek.1 Cla100e1200hb-DATASHEET

IXYS **CLA100E1200HB**

High Efficiency Thyristor

V_{RRM} = 1200 V
I_{TAV} = 100 A
V_T = 1.34 V

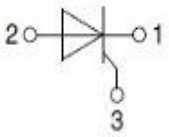
Single Thyristor

Part number

CLA100E1200HB



Backside: anode



Features / Advantages:
- Thyristor for line frequency
- Planar passivated chip
- Long-term stability

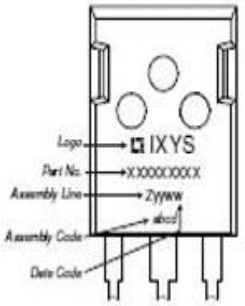
Applications:
- Line rectifying 50/60 Hz
- Softstart AC motor control
- DC Motor control
- Power converter
- AC power control
- Lighting and temperature control

Package: TO-247
- Industry standard outline
- RoHS compliant
- Epoxy meets UL 94V-0

Thyristor				Ratings			
Symbol	Definition	Conditions		min.	typ.	max.	Unit
$V_{RSM/DSM}$	max. non-repetitive reverse/forward blocking voltage		T_{VJ} = 25°C			1300	V
$V_{RRM/DRM}$	max. repetitive reverse/forward blocking voltage		T_{VJ} = 25°C			1200	V
I_{RD}	reverse current, drain current	V_{RD} = 1200 V	T_{VJ} = 25°C			50	µA
		V_{RD} = 1200 V	T_{VJ} = 125°C			5	mA
V_T	forward voltage drop	I_T = 100 A	T_{VJ} = 25°C			1.37	V
		I_T = 200 A				1.78	V
		I_T = 100 A	T_{VJ} = 125°C			1.34	V
		I_T = 200 A				1.85	V
I_{TAV}	average forward current	T_C = 105°C	T_{VJ} = 150°C			100	A
$I_{T(RMS)}$	RMS forward current	180° sine				160	A
V_{T0}	threshold voltage } for power loss calculation only		T_{VJ} = 150°C			0.82	V
r_T	slope resistance }					5.2	mΩ
R_{thJC}	thermal resistance junction to case					0.2	K/W
R_{thCH}	thermal resistance case to heatsink				0.15		K/W
P_{tot}	total power dissipation		T_C = 25°C			220	W
I_{TSM}	max. forward surge current	t = 10 ms; (50 Hz), sine	T_{VJ} = 45°C			1.10	kA
		t = 8,3 ms; (60 Hz), sine	V_R = 0 V			1.19	kA
		t = 10 ms; (50 Hz), sine	T_{VJ} = 150°C			935	A
		t = 8,3 ms; (60 Hz), sine	V_R = 0 V			1.01	kA
I^2t	value for fusing	t = 10 ms; (50 Hz), sine	T_{VJ} = 45°C			6.05	kA²s
		t = 8,3 ms; (60 Hz), sine	V_R = 0 V			5.89	kA²s
		t = 10 ms; (50 Hz), sine	T_{VJ} = 150°C			4.37	kA²s
		t = 8,3 ms; (60 Hz), sine	V_R = 0 V			4.25	kA²s
C_J	junction capacitance	V_R = 400V f = 1 MHz	T_{VJ} = 25°C		86		pF
P_{GM}	max. gate power dissipation	t_P = 30 µs	T_C = 150°C			10	W
		t_P = 300 µs				1	W
P_{GAV}	average gate power dissipation					0.5	W
$(di/dt)_{cr}$	critical rate of rise of current	T_{VJ} = 150°C; f = 50 Hz	repetitive, I_T = 300 A			150	A/µs
		t_P = 200 µs; di_G/dt = 0.45 A/µs;					
		I_G = 0.45 A; V = ⅔ V_{DRM}	non-repet., I_T = 100 A			500	A/µs
$(dv/dt)_{cr}$	critical rate of rise of voltage	V = ⅔ V_{DRM}	T_{VJ} = 150°C			1000	V/µs
		R_{GK} = ∞; method 1 (linear voltage rise)					
V_{GT}	gate trigger voltage	V_D = 6 V	T_{VJ} = 25°C			1.5	V
			T_{VJ} = -40°C			1.6	V
I_{GT}	gate trigger current	V_D = 6 V	T_{VJ} = 25°C			40	mA
			T_{VJ} = -40°C			80	mA
V_{GD}	gate non-trigger voltage	V_D = ⅔ V_{DRM}	T_{VJ} = 150°C			0.2	V
I_{GD}	gate non-trigger current					5	mA
I_L	latching current	t_P = 10 µs	T_{VJ} = 25°C			150	mA
		I_G = 0.45A; di_G/dt = 0.45 A/µs					
I_H	holding current	V_D = 6 V R_{GK} = ∞	T_{VJ} = 25°C			100	mA
t_{gd}	gate controlled delay time	V_D = ½ V_{DRM}	T_{VJ} = 25°C			2	µs
		I_G = 0.5A; di_G/dt = 0.5 A/µs					
t_q	turn-off time	V_R = 100 V; I_T = 100 A; V = ⅔ V_{DRM}	T_{VJ} = 125 °C		150		µs
		di/dt = 10 A/µs dv/dt = 20 V/µs t_P = 200 µs					

Package TO-247			Ratings			
Symbol	Definition	Conditions	min.	typ.	max.	Unit
I_{RMS}	*RMS current*	per terminal			70	A
T_{VJ}	*virtual junction temperature*		-40		150	°C
T_{op}	*operation temperature*		-40		125	°C
T_{stg}	*storage temperature*		-40		150	°C
Weight				6		g
M_D	*mounting torque*		0.8		1.2	Nm
F_C	*mounting force with clip*		20		120	N

Product Marking



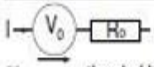
Part description

C = Thyristor (SCR)
L = High Efficiency Thyristor
A = (up to 1200V)
100 = Current Rating [A]
E = Single Thyristor
1200 = Reverse Voltage [V]
HB = TO-247AD (3)

Ordering	Ordering Number	Marking on Product	Delivery Mode	Quantity	Code No.
Standard	CLA100E1200HB	CLA100E1200HB	Tube	30	516408

Similar Part	Package	Voltage class
CLA100E1200KB	TO-264 (3)	1200

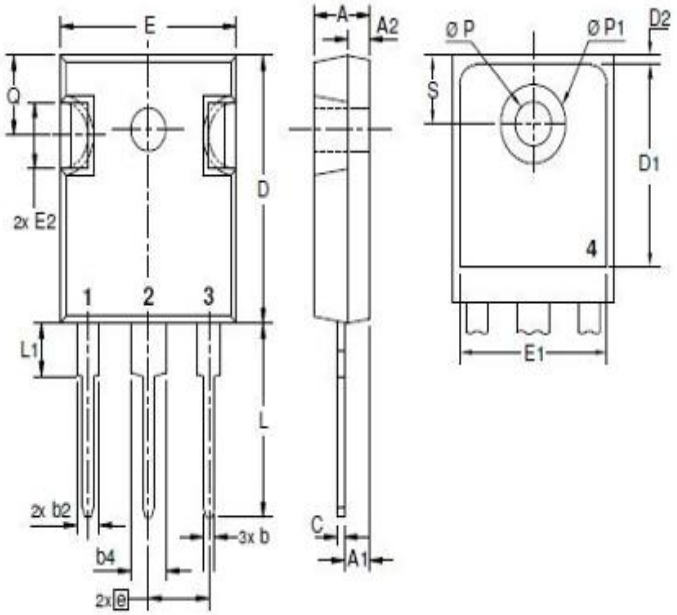
Equivalent Circuits for Simulation * on die level T_{VJ} = 150 °C



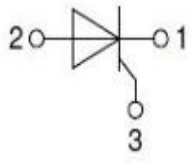
Thyristor

$V_{0\,max}$	*threshold voltage*	0.82	V
$R_{0\,max}$	*slope resistance* *	2.7	mΩ

Outlines TO-247



Sym.	Inches		Millimeter	
	min.	max.	min.	max.
A	0.185	0.209	4.70	5.30
A1	0.087	0.102	2.21	2.59
A2	0.059	0.098	1.50	2.49
D	0.819	0.845	20.79	21.45
E	0.610	0.640	15.48	16.24
E2	0.170	0.216	4.31	5.48
e	0.215 BSC		5.46 BSC	
L	0.780	0.800	19.80	20.30
L1	-	0.177	-	4.49
Ø P	0.140	0.144	3.55	3.65
Q	0.212	0.244	5.38	6.19
S	0.242 BSC		6.14 BSC	
b	0.039	0.055	0.99	1.40
b2	0.065	0.094	1.65	2.39
b4	0.102	0.135	2.59	3.43
c	0.015	0.035	0.38	0.89
D1	0.515	-	13.07	-
D2	0.020	0.053	0.51	1.35
E1	0.530	-	13.45	-
Ø P1	-	0.29	-	7.39



Thyristor

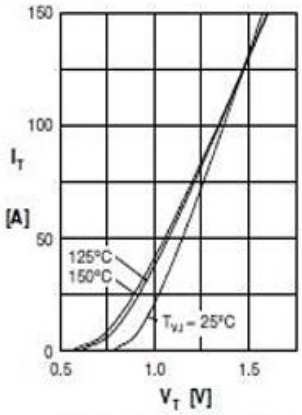


Fig. 1 Forward characteristics

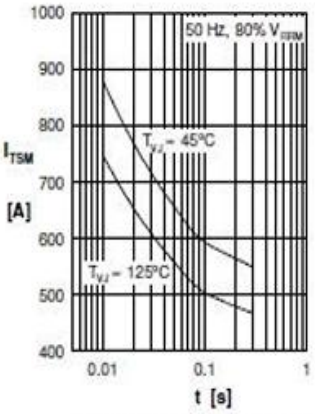


Fig. 2 Surge overload current

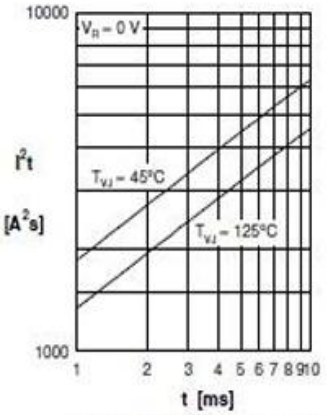


Fig. 3 I^2t versus time (1-10 ms)

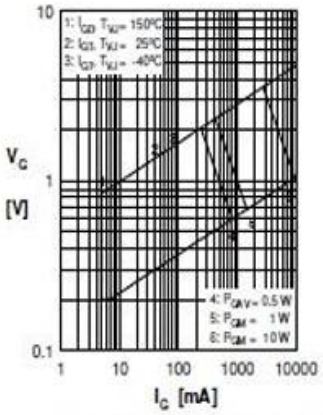


Fig. 4 Gate trigger characteristics

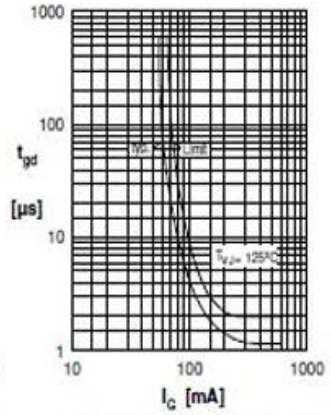


Fig. 5 Gate controlled delay time

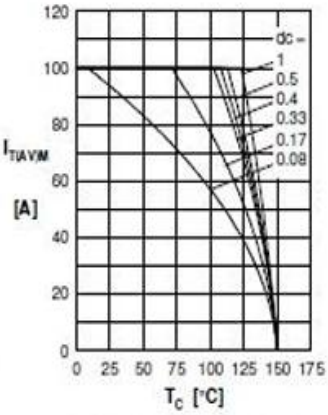


Fig. 6 Max. forward current at case temperature

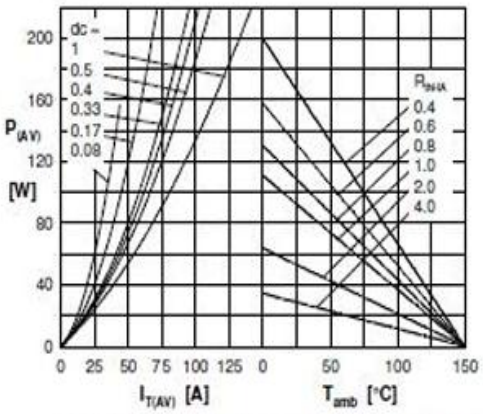
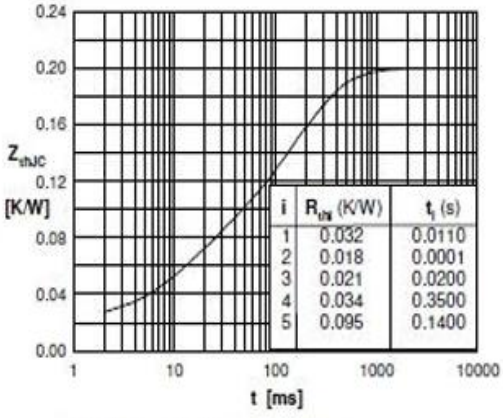


Fig. 7a Power dissipation versus direct output current
Fig. 7b and ambient temperature



i	R_{thi} (K/W)	t_i (s)
1	0.032	0.0110
2	0.018	0.0001
3	0.021	0.0200
4	0.034	0.3500
5	0.095	0.1400

Fig. 8 Transient thermal impedance

Ek.2 LJ12A3-4-Z/BY-DATASHEET

LJ12A3-4-Z/BY (A-RF-C-00015) * 140.-

INDUCTIVE PROXIMITY SENSOR LJ12A3-4-Z/BY

PNP, 3 WIRE ON, DIAMETER 12 mm.,

SIZE M12 X 55mm

PROXIMITY SW. (ใช้ได้กับโลหะเท่านั้น ในการตรวจจับ), ระยะตรวจจับ 4 mm.,
พร้อม LED สีแดง แสดงผลสถานะการทำงานตรวจจับ

Wiring BROWN= POWER 6-36VDC

BLACK= SIGNAL

BLUE= GND

PNP NO (Normal Open)



Product Name	Inductive Proximity Switch
Model	LJ12A3-4-Z/BY
Wire Type	Cylindrical DC 3 Wire Type (Black, Brown, Blue)
Switch Appearance Type	Cylinder Type
Theory	Inductive Sensor
Output Type	PNP NO(Normal Open)
Diameter of Head	12mm
Detecting Distance	4mm
Supply Voltage	DC 6-36VDC
Current Output	300mA
Response Frequency	0.5KHz
Detect Object	Iron
Operating Temperature	-25 C to +55 C (Non-freezingCondition)
Size	6.2 x 2cm/2.4'' x 0.8'' (L*Max. Dia)
Cable Length	110cm/43.3"
External Material	Plastic, Alloy
Net Weight	46g
Color	Silver Tone, Yellow, Gray

ETT บริษัท อีทีที จำกัด ETT CO., LTD.
Tel : 02-7121120 Fax : 02-3917216
e-mail : sale@etteam.com Line ID : etteam1
www.etteam.com
* ราคาสินค้ายังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% บริษัทขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงราคาและสินค้าโดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

Ek.3 I2C LCD1602 EKRAN

I2C LCD1602 Module

Introduction

As we all know, though LCD and some other displays greatly enrich the man-machine interaction, they share a common weakness. When they are connected to a controller, multiple IOs will be occupied of the controller which has no so many outer ports. Also it restricts other functions of the controller. Therefore, LCD1602 with an I2C bus is developed to solve the problem.

I2C bus is a type of serial bus invented by PHLIPS. It is a high performance serial bus which has bus ruling and high or low speed device synchronization function required by multiple host system. I2C bus has only two bidirectional signal lines, Serial Data Line (SDA) and Serial Clock Line (SCL). The blue potentiometer on the I2C LCD1602 is used to adjust backlight to make it easier to display on the I2C LCD1602.

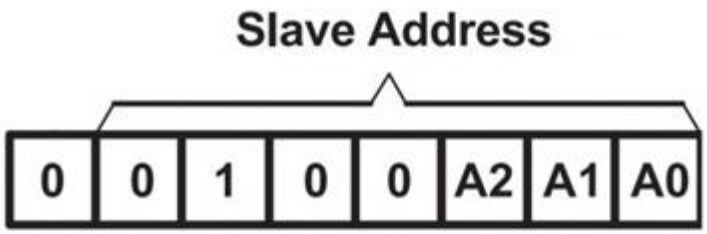


- **GND**: Ground
- **VCC**: Voltage supply, 5V.
- **SDA**: Serial data line. Connect to VCC through a pull_up resistor.
- **SCL**: Serial clock line. Connect to VCC through a pull_up resistor.

I2C Address

The default address is basically 0x27, in a few cases it may be 0x3F.

Taking the default address of 0x27 as an example, the device address can be modified by shorting the A0/A1/A2 pads; in the default state, A0/A1/A2 is 1, and if the pad is shorted, A0/A1/A2 is 0.



0	0	1	0	0	1	1	1	0x27
0	0	1	0	0	1	1	0	0x26
0	0	1	0	0	1	0	1	0x25
0	0	1	0	0	0	1	1	0x23
							.....	
0	0	1	0	0	0	0	0	0x20

Backlight/Contrast

Backlight can be enabled by jumper cap, unplug the jumper cap to disable the backlight. The blue potentiometer on the back is used to adjust the contrast (the ratio of brightness between the brightest white and the darkest black).



- **Shorting Cap**: Backlight can be enabled by this cap，unplug this cap to disable the backlight.
- **Potentiometer**: It is used to adjust the contrast (the clarity of the displayed text), which is increased in the clockwise direction and decreased in the counterclockwise direction.

Ek.4 PİC16F877A İÇERİSİNDEKİ KOD

```
#include <16F877A.h>
#fuses HS, NOWDT, NOPROTECT, NOLVP
#use delay(clock=20000000)
#use I2C(master, sda=PIN_C4, scl=PIN_C3)

#include <i2c_lcd.c>

#define LCD_I2C_ADDRESS 0x27
#define SENSOR1 PIN_B0
#define SENSOR2 PIN_B1
#define DISTANCE_CM 10.0

volatile unsigned int16 timer0_count = 0;
volatile unsigned int16 start_time = 0, end_time = 0;
volatile unsigned int1 sensor1_triggered = 0, sensor2_triggered = 0;

// Timer0 Kesmesi
#INT_TIMER0
void timer0_isr() {
   timer0_count++;
}

// Harici kesme: SENSOR1 (INT)
#INT_EXT
void sensor1_isr() {
   if (!sensor1_triggered) {
      set_timer0(0);
      start_time = timer0_count;
      sensor1_triggered = 1;
   }
}
```

```
// SENSOR2 kontrolü
void check_sensor2() {
   if (sensor1_triggered && !sensor2_triggered && input(SENSOR2) == 0) { // PNP
sensör
      end_time = timer0_count;
      sensor2_triggered = 1;
   }
}

// Timer0 yapılandırması
void init_timer0() {
   setup_timer_0(T0_INTERNAL | T0_DIV_4); // 1:4 prescaler = 0.8 µs/tick (20
MHz)
   set_timer0(0);
   enable_interrupts(INT_TIMER0);
}

// Kesmeleri başlat
void init_interrupts() {
   enable_interrupts(INT_EXT);        // SENSOR1 için
   ext_int_edge(H_TO_L);              // PNP için düşen kenar
   enable_interrupts(GLOBAL);
}

// Hız ölçümü
void measure_speed() {
   unsigned long time_diff_ms;
   float speed_cm_s;

   check_sensor2();

   if (sensor1_triggered && sensor2_triggered) {
      time_diff_ms = (end_time - start_time) * 2;  // 0.8µs → yaklaşık 2ms arası
      speed_cm_s = DISTANCE_CM / ((float)time_diff_ms / 1000.0);  // cm/s
```

```
        lcd_gotoxy(1, 2);
        printf(lcd_putc, "%.2fcm/s", (speed_cm_s / 10) * 8 / 10);

        lcd_gotoxy(10, 1);
        printf(lcd_putc, "%lums", (time_diff_ms * 100 / 8)); // orijinal formülün aynısı

        delay_ms(1);
        sensor1_triggered = 0;
        sensor2_triggered = 0;
    }
}

// Zaman göstergesi
void display_seconds() {
    lcd_gotoxy(1, 1);
    printf(lcd_putc, "%lusn", timer0_count / 80);
    delay_ms(1);
}
void main() {
    lcd_init();
    init_timer0();
    init_interrupts();

    lcd_gotoxy(1, 1);
    printf(lcd_putc, "SistemHazir");
    delay_ms(200);
    lcd_clear();
    while (TRUE) {
        display_seconds();
        measure_speed();
        delay_ms(1);
    }
}
```

Ek.5 PYHTON İLE YAPILAN KOD

```
import numpy as np

voltajlar = np.array([50, 100, 150, 200, 250, 300, 350])

hiz_veri_1 = {
    "6mmx7cm": np.array([3.53, 12.90, 14.81, 26.66, 36.66, 30.75, 39.22]),
    "6mmx5cm": np.array([9.52, 20.00, 40.00, 15.38, 16.00, 16.00, 16.13]),
    "6mmx4cm": np.array([6.06, 50.00, 57.14, 19.04, 36.36, 50.00, 42.36]),
    "4mmx7cm": np.array([13.33, 14.81, 27.77, 17.39, 14.81, 28.57, 40.00]),
    "4mmx5cm": np.array([22.22, 66.66, 33.33, 20.00, 35.09, 42.92, 57.14]),
    "4mmx4cm": np.array([5.26, 12.50, 23.52, 57.14, 50.00, 133.33, 125.00]),
}

hiz_veri_2 = {
    "6mmx7cm": np.array([3.54, 12.90, 14.81, 26.67, 37.04, 37.74, 39.22]),
    "6mmx5cm": np.array([9.52, 20.00, 22.47, 27.03, 29.41, 29.41, 31.25]),
    "6mmx4cm": np.array([6.06, 30.77, 33.33, 35.09, 36.36, 42.55, 50.00]),
    "4mmx7cm": np.array([13.33, 14.81, 18.20, 19.05, 22.22, 28.57, 40.00]),
    "4mmx5cm": np.array([22.22, 26.67, 33.33, 35.09, 35.71, 43.50, 57.14]),
    "4mmx4cm": np.array([5.26, 12.50, 23.52, 42.55, 50.00, 83.33, 105.26]),
}

namlu_uzunlugu = 10

def ortalama_hiz(mermi):
    return (hiz_veri_1[mermi] + hiz_veri_2[mermi]) / 2

def interpolate(x, x0, y0, x1, y1):
    return y0 + (y1 - y0) * (x - x0) / (x1 - x0)

def get_hiz_ve_sure(voltaj, mermi):
    gerilim = voltajlar
```

```
    hiz = ortalama_hiz(mermi)
    if voltaj < gerilim[0] or voltaj > gerilim[-1]:
        return None, None
    for i in range(len(gerilim)-1):
        if gerilim[i] <= voltaj <= gerilim[i+1]:
            hiz_i = interpolate(voltaj, gerilim[i], hiz[i], gerilim[i+1], hiz[i+1])
            hiz_i = hiz_i - (hiz_i % 5)
            if hiz_i <= 0:
                continue
            sure_i_ms = (namlu_uzunlugu / hiz_i) * 1000
            return hiz_i, sure_i_ms
    return None, None

def en_iyi_uc():
    sonuc_dict = {}
    voltaj_araligi = np.arange(50, 351, 1)
    for mermi in hiz_veri_1.keys():
        degerler = []
        kayitli_hizlar = set()
        for v in voltaj_araligi:
            hiz_i, sure_i = get_hiz_ve_sure(v, mermi)
            if hiz_i is None or sure_i is None:
                continue
            if hiz_i in kayitli_hizlar:
                continue
            kayitli_hizlar.add(hiz_i)
            degerler.append((v, hiz_i, sure_i))
        degerler_sorted = sorted(degerler, key=lambda x: x[1], reverse=True)[:3]
        sonuc_dict[mermi] = degerler_sorted
    return sonuc_dict

def yazdir(sonuclar):
    print("\n--- Bulunan degerler (Yüksek hızdan düşük hıza) ---")
    for mermi, degerler in sonuclar.items():
```

```
        print(f"\n{mermi} için belirli hızlara göre degerler:")
        print("Voltaj (V)\t Hız (cm/s)\t Süre (ms)")
        for volt, hiz, sure in degerler:
            print(f"{volt:.1f}\t\t{hiz} cm/s\t\t{sure:.2f} ms")

sonuclar = en_iyi_uc()
yazdir(sonuclar)
```