



T.C.
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Mühendislik Fakültesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

COILGUN - GAUSS SİLAHI **BİTİRME PROJESİ**

210369 Ömer Şerif ÇAVUŞOĞLU
210307 Emel TOPALOĞLU
210393 Talip TANRIKULU
228541 Selçuk BOZKURT

Danışman
Doç. Dr. Salim KAHVECİ

Mayıs 2014
TRABZON



T.C.
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Mühendislik Fakültesi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

COILGUN - GAUSS SİLAHI **BİTİRME PROJESİ**

210369 Ömer Şerif ÇAVUŞOĞLU
210307 Emel TOPALOĞLU
210393 Talip TANRIKULU
228541 Selçuk BOZKURT

Danışman
Doç. Dr. Salim KAHVECİ

Mayıs 2014
TRABZON

LİSANS BİTİRME PROJESİ ONAY FORMU

Ömer Şerif ÇAVUŞOĞLU, Emel TOPALOĞLU, Talip TANRIKULU ve Selçuk BOZKURT tarafından Doç.Dr Salim KAHVECİ yönetiminde hazırlanan “CoilGun – Gauss Silahı ” başlıklı lisans bitirme projesi tarafımızdan incelenmiş, kapsamı ve niteliği açısından bir Lisans Bitirme Projesi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Unvanı Adı ve SOYADI Doç.Dr. Salim KAHVECİ

Jüri Üyesi 1 : Unvanı Adı ve SOYADI

Jüri Üyesi 2 : Unvanı Adı ve SOYADI

Bölüm Başkanı : Unvanı Adı ve SOYADI Prof.Dr. İ.Hakkı ALTAŞ

ÖNSÖZ

Bu kılavuzun ilk taslaklarının hazırlanmasında emeği geçenlere, kılavuzun son halini almasında yol gösterici olan kıymetli hocamız Sayın Salim KAHVECİ' ye Őukranlarımızı sunmak istiyoruz. Ayrıca bu çalıŐmayı destekleyen Karadeniz Teknik Üniversitesi Rektörlüğü'ne Mühendislik Fakültesi Dekanlığına ve Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanlığına içten teşekkürlerimizi sunarız.

Her Őeyden öte, eğitimimiz süresince bizlere her konuda tam destek veren ailelerimize ve bizlere hayatlarıyla örnek olan tüm hocalarımıza saygı ve sevgilerimizi sunarız.

Mayıs, 2014

Ömer Şerif AVUŐOđLU

Emel TOPALOğLU

Talip TANRIKULU

Selçuk BOZKURT

İÇİNDEKİLER

LİSANS BİTİRME PROJESİ ONAY FORMU	i
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL DİZİNİ	v
ÖZET	vi
SEMBOLLER VE KISITLAMALAR	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Elektromanyetik Fırlatıcıların Tarihçesi.....	1
2. TEORİK ALTYAPI.....	2
2.1. Elektromanyetik Fırlatıcılarda Kullanılan Kütlelerin Manyetik Özelliği.....	2
2.2. Elektromanyetik Kuvvet.....	3
2.3. Akımın Manyetik Etkisi.....	3
2.4. Elektromanyetik Fırlatıcıların Temel Çalışma Prensipleri.....	3
2.5. Elektromanyetik Fırlatıcıların Çeşitleri.....	5
2.5.1. Sargılı Fırlatıcı.....	5
2.6. Elektromanyetik Fırlatıcıların Kullanım Alanları.....	5
2.7. Boru ve Rondela da Relüktans Hesaplama.....	6
2.8. Elektromanyetik Fırlatıcıların Temel İlkeleri.....	10
2.8.1. Sargılı İvmelendirici.....	10
2.9. Çekirdek (Kütle) Doyması.....	11
3. TASARIM.....	13
3.1. Direnç (R) Etkisi.....	13
3.1.1. Akımı Sınırlayan Direnç Ekleme.....	13

3.1.2. Koruyucu Direnç Ekleme	15
3.2. Endüktans Etkisi	15
3.3. Kapasitör Etkisi	16
3.4. Merminin Başlangıç Pozisyonu	16
3.5. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	17
3.5.1. Tristör (SCR)	17
3.5.2. Kapasitör	18
3.5.2.1. Elektrolitik Kondansatör	18
3.6. Tasarımın Gerçekleştirilmesi	19
3.7. Merminin Tasarımı	22
4. SONUÇLAR	26
5. YORUMLAR ve DEĞERLENDİRME	27
KAYNAKLAR	28
EKLER	29
EK-1. IEEE ETİK KURALLARI	29
EK-2. DİSİPLİNLERARASI ÇALIŞMA	32
EK-3. TRİSTÖRÜN DATASHEETİ	33
EK-4. STANDARTLAR VE KISITLAR FORMU	33
ÖZGEÇMİŞ	36

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil-1: Coil Gun Basit Eşdeğer Devresi

Şekil-2: Rondela, Bobin ve Namlu Düzenegi

Şekil-3: Bir Hava Silindiri

Şekil-4: Rondela

Şekil-5: Boru Yan Kesiti

Şekil-6: Akım Sınırlayıcı Direnç

Şekil-7: Koruyucu Direnç

Şekil-8: Silikon Kontrollü Doğrultucu

Şekil-9: Elektrolitik Kondansatör

Şekil-10: DC-DC Converter Devresinin Proteus-Isiste Simülasyonu

Şekil-11: Devrenin Gerçekleştirilmesi

Şekil-12: Kondansatörün Dolması

Şekil-13: Devre Şeması

Şekil-14: Çelik Mermi

Şekil-15: Mermi Hızı

ÖZET

Yaptığımız bu bitirme çalışmasında Gauss Silahı gerçekleştirilecektir. Günümüze gelene kadar, birçok değişim ve gelişmeler kaydedilen bir konu olan Elektromanyetik Fırlatıcılar geniş kapsamlı bir savaş ve uzay araştırmaları endüstrisi konusudur. Elektromanyetik Fırlatıcı'yı oluşturan parçalar, çalışma prensibini açıklayan kabul ve teoremler, parçalar üzerinde meydana gelen manyetik alan ve etkisi bu çalışmada esas alınacak temel konulardır.

Cismin fırlatılması için herhangi bir mekanik itici kullanılmamış, fırlatma işlemi sargının oluşturduğu manyetik alan etkisiyle sağlanmıştır. Bu amaçla bir anahtarlama devresi oluşturulmuş, ivmelendirici sargılar yardımıyla ve ayrıca bu sargıları besleyen güç katıyla merminin doğrusal olarak fırlatılması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmamızın amacı bir Elektromanyetik Fırlatıcı gerçekleştirmek ve tasarım yaparken göz önüne almamız gereken hususları incelemek, kuramsal ve uygulama da izlenecek olan önceden belirlediğimiz basamakları takip etmek; bir yandan da uygulamasını gerçekleştirmiş olduğumuz fırlatıcının verimini istediğimiz ölçüde arttırmaktır.

SEMBOLLER VE KISITLAMALAR

μ_0 : Havanın Manyetik Geçirgenliği

B : Manyetik Alan

B_0 : Havanın Manyetik Alanı

M : Manyetizasyon

C : Curie Sabiti

T : Sıcaklık

F : Kuvvet

S : Anahtar

C : Kondansatör

L : Endüktans

R : Direnç

Mmk : Manyetomotor Kuvvet

P : Kutup Alan Şiddeti

H : Manyetik Alan Şiddeti

N : Bobin Sarım Sayısı

V : Voltaj

Q : Elektrik yükü

A : Amper

SCR: Silikon Kontrollü Doğrultucu

μF : Mikrofarad

W : Watt

Ω : Ohm

E : Gerilim

AC: Alternatif Akım

DC: Doğru Akım

kJ : Kilo joule

m/s : Metre/saniye

1.GİRİŞ

1.1. Elektromanyetik Fırlatıcıların Tarihçesi

Elektromanyetik fırlatıcılar ile ilgili ilk çalışmalar, 1980'ler ABD'sinde başlamış ve gelişme kaydetmiştir. İlk uygulamalar, birkaç gramdan daha ağır kütlelerin yüksek hızlarda fırlatılması deneyleri şeklindedir. ABD ordusu ve İleri Savunma Araştırma Projeleri Ajansı (DARPA) tarafından ilk başarılı fizibilite gösterilimi gerçekleştirilmiştir. ABD'nin bu çalışmalarından yola çıkılarak; manyetik olarak kaldırılan trenleri içeren manyetik tahrik konusu, elektromanyetik mancınıklar kullanılarak uçakların fırlatılması çalışmaları, füzyon reaktörleri için yakıt elde etmek amacı ile eritilerek elde edilen ufak topların hızlandırılması vb. konuların araştırılmasına yol açmıştır.

Bir dönem tüm bu elektromanyetik fırlatıcılar konusu rafa kaldırılmış olsa da, 1985'lerde DARPA, ABD Denizcilik İşletmeleri ve ABD Ordusunun dönemin en gelişmiş savaş araçlarını geliştirebilmek için, elektromanyetik fırlatıcı teknolojilerini değerlendirmeye başlamasıyla, ABD Savunma Bilimi Birimi'nin desteğiyle, ABD'nin araştırmaları tekrar elektromanyetik fırlatıcılar konusuna yönlendirmesine neden olmuştur. Fakat bu yönelme SDIO'nun belirlediği ihtiyaçların karşılanmasına yetmemiştir. Çünkü zırhlı araçları tahrip etmek amacı ile fırlatılacak mermilerin tüm uçuşları atmosferin yoğun olduğu yerlerde gerçekleşecek fırlatma hızları, 3 km/s ve aşağısına limitlenmiş durumda kalacaktı. Bu ise elektromanyetik fırlatıcıların ağır savaş araçlarının önündeki zırhları tahrip etme kabiliyetini azaltan bir durumdur. Bundan dolayı sonraki elektromanyetik fırlatıcı sistemlerinde verimi artırmak amacıyla, raylı silahlardan fırlatmalar için plazma armatürleri yerine katı armatürler kullanılmıştır. Potansiyel güç kaynakları olarak da kondansatörler ve darbeli armatürler tercih edilmiştir.

Sadece yüzyıllık bir geçmişe sahip olan elektromanyetik (EM) dalgaların birçok başarılı uygulaması iletişim alanında görülmektedir. Bu gelişmelerle birlikte EM dalgalar başka bir boyutta daha karşımıza çıkmaktadır. Varlıkları milattan önceki çağlarda fark edilen elektrik ve manyetik alanlar, teknolojinin de yeterli olgunluğa ulaşması sayesinde çağımızda gün geçtikçe büyüyen uygulama alanları bulabilmiştir.

Elektromanyetik fırlatıcıların çalışmasının esas ilkeleri elektromanyetik teoriye dayanır. Sargılı fırlatıcının özel durumlarını incelemeden önce elektromanyetik alan ve oluşturduğu kuvvetlerin genel bir incelenmesi daha açıklayıcı olacaktır [1].

2. TEORİK ALTYAPI

2.1. Elektromanyetik Fırlatıcılarda Kullanılan Kütlenin Manyetik Özelliği

Maddelerin manyetik alanla etkileşimini rakamsal olarak ifade eden bağıl manyetik geçirgenlik μ_b değeridir;

$$\mu_b = B/B_0 \quad (1.1)$$

şeklindedir.

Bağıl manyetik geçirgenliği 1 den biraz küçük olan maddeler *diyamanyetik*, 1'den biraz büyük olan maddeler *paramanyetik*, 1'den çok büyük olan maddeler *ferromanyetik* maddeler adını alırlar. Maddelerin manyetik özellikleri, onu oluşturan elektronların hareketleriyle belirlenir. Elektronların yörüngesel ve spin hareketleri atomda bir akım, dolayısıyla bir dipol moment meydana getirir. Net dipol momentin büyüklüğü maddenin manyetik özelliğini belirler.

Diyamanyetik maddeler mıknatısa yaklaştırıldığında mıknatıs tarafından itme etkisi oluşur, yani bunlar manyetik alanı zayıflatırlar. Bakır, kurşun, bizmut, karbon, gümüş, civa diyamanyetik maddelerdir. Paramanyetik maddeler mıknatısa yaklaştırıldığında mıknatıstan çok az etkilenir, yani içine konduğu manyetik alanı biraz sıkılaştırmış olur. Platin, hava, uranyum, mangan, alüminyum, sodyum ve oksijen paramanyetik maddelerdir. Paramanyetik maddenin manyetizasyonu manyetik alan arttıkça artar fakat sıcaklık artarsa düşer. Buna göre manyetizasyon $M = CB / T'$ dir. Burada C curie sabiti olup, bu kanun *Curie kanunu* olarak adlandırılır.

Ferromanyetik maddeler mıknatıs tarafından çekilirler. Bu maddelere örnek olarak demir, yumuşak çelik, nikel, kobalt verilebilir. Bu maddeler ısıtıldıklarında belli bir sıcaklıkta (curie sıcaklığı) mıknatıslık özelliğini kaybederler ve aniden paramanyetik olurlar.

Elektromanyetik fırlatıcılarda kullanılacak mermi (çekirdek) sargının oluşturduğu manyetik alanın etkisiyle ivmelendiği için, merminin diyamanyetik özellik göstermemesi, yani paramanyetik veya ferromanyetik özellik göstermesi gerekir [2].

2.2. Elektromanyetik Kuvvet

Sürekli mıknatıs tarafından üretilen manyetik akının yönü, her zaman N-kutbundan S-kutbuna doğrudur. Manyetik alan içerisine, içinden akım geçen bir iletken konulursa, manyetik alan ve akım “elektromanyetik kuvvet” endüklerler.

Fleming’in sol el kuralı akım, manyetik alan ve akının yönünü belirlemede kullanılır. Orta parmak akımı, işaret parmağı manyetik akının yönünü gösterdiği zaman, baş parmağın yönü kuvvetin yönünü gösterir [2].

2.3. Akımın Manyetik Etkisi

Manyetizmanın temelinde hareket eden yüklü parçacıklar vardır. Mıknatısın sahip olduğu manyetik alanının kaynağı, atomlarında aynı yönde dönen elektronlardır. Yüklü parçacıkların hareket etmesi manyetik alan, yani mıknatıslık etkisi yaratır. Elektrik akımı da yüklerin hareketinden kaynaklandığından, içinden akım geçen tel mıknatıs gibi davranır, yani manyetik alan endükler.

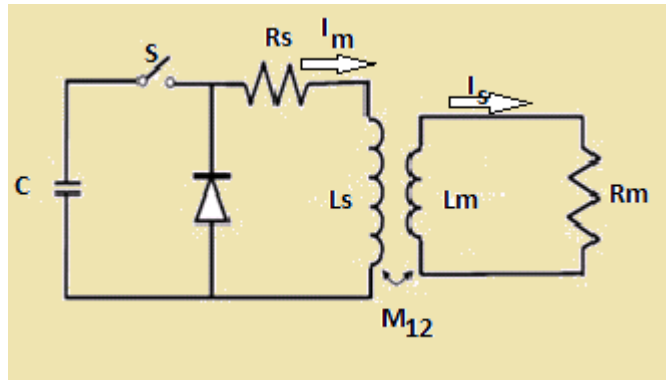
2.4. Elektromanyetik Fırlatıcıların Temel Çalışma Prensibi

Elektromanyetik fırlatıcıların temel çalışma prensipleri elektromanyetik teoriye dayanır. Yapılmak istenen, değişen ya da hareket eden güçlü bir elektromanyetik alan oluşturarak, hareket ettirilecek manyetik iletken malzemenin (merminin) bu elektromanyetik alanı takip etmesini sağlamaktır. Elektromanyetik alanın hareket etme hızında bir sınır olmadığı için, fırlatılan malzeme için de bir hız limiti yoktur. Bu tip uygulamaları bu denli ilgi odağı haline çeviren bu özel durumdur.

Elektromanyetik fırlatıcılarda asenkron motorlarda olduğu gibi elektromıknatıslara benzeyen bir yapı kullanılmaktadır. Bir sargıdan akım aktığında sargının çevresinde manyetik alan meydana gelir. Manyetik akı sargının iç hacminde yoğunlaşır. Metalik bir cisim örneğin mermi sargının yakınına yerleştirilirse manyetik akı, düşük relüktanslı olması nedeniyle bu cisim içinden akmayı tercih eder ve manyetik indüksiyon oluşturarak cismi içine doğru çekecektir.

Bu oluşan manyetik alanın oluşturduğu F kuvveti, namlunun ucuna yerleştirilen, manyetik geçirgenliği yüksek olarak seçilmiş mermiyi fırlatacaktır. Bu manyetik F kuvvetinin büyüklüğü bobin üzerinden geçen akımla ilişkilidir. Bu nedenle elektrik devrelerinde, akımı küçültücü etkide bulunacak direncin manyetik devredeki karşılığı olan relüktans birçok noktada minimize edilmelidir. Bunun için bobin çevresine manyetik geçirgenliği yüksek malzemeler yerleştirilmelidir. Hareket eden elektromanyetik alan ile nesnelere hareket ettirme prensibi ile farklı tipte uygulamalar yapmak mümkündür.

Burada tek bir sargı yerine, yan yana dizilmiş olan belirli saydaki sargılar kullanarak ve içinde hareket eden cismin hızına da bağlı olarak uygun bir hızda “elektrik akımın tetiklenmesi (ateşleme)” gerçekleştirildiğinde, fırlatma işlemi yapılmış olacaktır. Şekil-1’ deki sargıdan akım geçirilince, sargı içinde oluşan elektromanyetik alan mermiyi içine doğru çekmeye çalışacaktır. Buradan hareketle, yan yana dizilmiş ve sıra ile akım verilen sargılar mermiyi içlerine çekip hızlandıracaklar ve sargıların bittiği yerde kazanmış olduğu kinetik enerji ile mermi dışarı fırlatılacaktır. Bu fırlatıcının elektrik eşdeğer devresi aşağıda gösterilmektedir. Bu devre temelde bir anahtar üzerinden paralel olarak bağlanmış bir sargı ve bir kondansatörden oluşmaktadır.



Şekil-1: Coil Gun Basit Eşdeğer Devresi

Devrede sargıdan tekrar kondansatöre akacak ters akım, bu devreden birden fazla bağlandığında tetikleme zamanını ayarlama gibi durumlar göz önüne alınarak yeni elemanlar eklemek gerekecektir. Ayrıca Şekil-1’de de görüldüğü üzere elektromanyetik fırlatıcılar da kullanılan sargı dolayısıyla indüktans ve direnç, sargıyı besleyen kapasiteden dolayı seri bir RLC devresine benzemektedir. Bu durumdan hareketle elektromanyetik fırlatıcıları incelerken RLC devrelerinin özellikleri de dikkate alınmalıdır. Seri RLC devreleri çoğunlukla yüksek gerilimde ve darbeli boşalma devrelerinde kullanılır [3].

2.5. Elektromanyetik Fırlatıcıların Çeşitleri

Elektromanyetik fırlatıcılar temelde;

- Raylı elektromanyetik fırlatıcılar
- Sargılı elektromanyetik fırlatıcılar
- Karma elektromanyetik fırlatıcılar
- Doğrusal hareketli fırlatıcılar olmak üzere dört gruba ayrılır.

2.5.1. Sargılı Fırlatıcı

Klasik boru (tüpsel) şeklindeki sargılı fırlatıcı, genel yapı açısından tek kademeli ve çok kademeli şekilde adlandırılan çeşitlere sahiptir. Bu kullanılan bobin sayısını belirten bir sınıflandırmadır. Çalışma prensibi; mermi, mermi içinde indüklenmiş girdap akımlarının etkisiyle sargıdan dışarıya doğru itilir. Mermi diyamanyetik olmamalıdır (bakır veya alüminyum gibi) ve başlama konumunun ise sargının merkezinden biraz dışında olması gerekmektedir. Aksi takdirde sargı ateşlendiğinde net kuvvet oluşturmayacaktır. Mermi üzerinde elde edilen itme, iyi bir etki elde etmek için göz önünde tutulması gereken, ortak indüktans ve manyetik yayılma süreçleridir. Çok kademeli fırlatıcı tasarlanırken, daha düzgün ivmelenme görüntüsü vermesi için bağımsız sürücü sargıları mermi uzunluğuna göre daha kısa yapılabilir. Ayrıca şuna dikkat edilmelidir ki; merminin katı bir iletken olması ihtiyaç yoktur. Kendi üzerine kısa devre edilmiş sargı içeren mermi kullanılabilir ve bu durum verimde bize katkı sağlar. Aynı zamanda mermi, sürücü sargılarıyla şekillendirilmiş iç tarafı yivli mil şeklinde üzerine binen oyukta bulunan tüpler biçiminde olabilir. Mil sürücü kuvvetinin radyal bileşenine karşı dönme esnasında destek sağlar. Bu özel biçim Theta Gun olarak adlandırılmıştır [3].

2.6. Elektromanyetik Fırlatıcıların Kullanım Alanları

Elektromanyetik fırlatıcılar elektromanyetik silah sistemleri, uçak gemilerinden uçakların kaldırılması (fırlatılması), güdümlü silah sistemlerine karşı koruma sağlanması, mermilerin çok uzak menzillerde fırlatılması, askeri araçlara uygulanabilen elektromanyetik zırh koruma sistemlerin geliştirilmesi, denizaltı ve gemilerden torpido fırlatılması, zırh delme yolu ile zırhlı sistemlerin bozguna uğratılması vb. birçok uygulama alanına sahiptir. Bu bağlamda Elektromanyetik Fırlatıcı teknolojileri

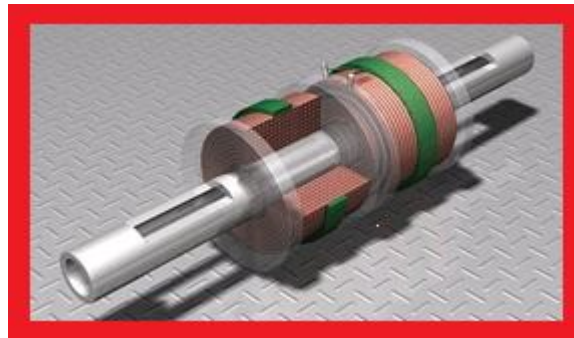
geleneksel silah ve füze sistemlerine karşı esas tehlike ve önemli bir rakip olarak gösterilmektedir.

Askeri açıdan sargılı fırlatıcılar takip edilmesi gereken teknoloji konumundadır ancak raylı fırlatıcılar kinetik enerji fırlatma sistemlerinin öncelikli araştırma konusudur [4].

2.7. Boru ve Rondela da Relüktans Hesaplama

Manyetik devredeki relüktans; sargılı fırlatıcıların çalışmasında en önemli etkenlerden biridir. Merminin hareket etmesini sağlayan güç bu fırlatıcıda, manyetik akıdır. Bu akının oldukça kısa süreli olmasından dolayı elektrik devrelerinde bulunan direncin manyetik devredeki karşılığına denk gelen relüktansın birçok noktadaki değeri minimuma çekilmelidir. Bundan dolayı manyetik geçirgenliği yüksek olan olan materyallerin bobin etrafına yerleştirilmesi gerekmektedir.

Toplam manyetik akıyı arttırmak için sargının etrafında bulunan, akı geri dönüş yoluna demir eklenilmesi gerekmektedir. Akının namluya gitmesini sağlayan yine demirdir. Dış demir eklemek basit ve ekonomik bir yöntemdir. Sargıyı bir demir boruyla çevrelemek ve iki uca düz rondela takviye etmek yeterlidir. Şekil-2' deki resim bir kesit örneğidir. Asıl amaç ısı kaybının önüne geçmekten ziyade manyetik kayıpları azaltabilmektir. Fırlatıcının ısınmasının dikkate alınması gerektiği yerlerde belirtilen muhafazanın olması istenmez.



Şekil-2: Rondela, Bobin ve Namlu Düzenegi

Sargının etrafına konulan boru ve rondelalar manyetik devre olarak modellenebilir. Elektrik devresi ile manyetik devre birbirlerine fazlasıyla benzemektedir. Direncin karşılığı relüktans, akımın karşılığı akı ve voltajın karşılığı mmk (manyeto motor kuvvet) olarak belirtilir.

Elektrik devreler için akım = voltaj / direnç

Manyetik devreler için akı = mmk / relüktans' ır.

Toplam manyetik enerji relüktans değerleri ile orantılı bir şekilde boşluk ile demir arasında paylaşılır. Her ne kadar havanın boşluğu küçük olsa da demir manyetik iletkenlik bakımından havadan kat kat daha iyi olduğundan hava boşluğunda harcanan enerji manyetik enerjinin büyük bir kısmıdır.

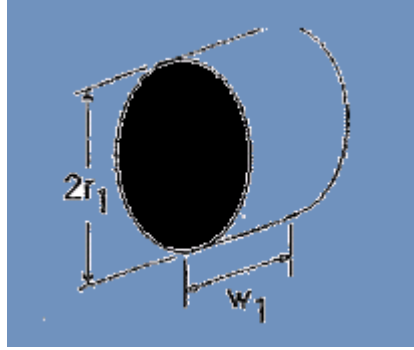
Manyetik yolun relüktansı;

- Yolun uzunluğu arttıkça,
- Kesit küçüldükçe,
- Yoldaki malzemenin relüktivitesi yükseldikçe yükselir. Dolayısıyla R (relüktansı) şu şekilde ifade edilebilir;

$$R = \frac{\text{yol uzunluğu}}{\text{kesit alanı} \times \text{geçirgenlik}} \quad (1.2)$$

Bu formül, tüm manyetik yolun ortalama toplam relüktansını hesaplamada kullanılır.

Hava Kesiti Relüktansının Hesaplanması (R_j);



Şekil-3: Bir Hava Silindiri

$$R_1 = \frac{\text{yol uzunluğu}}{\text{kesit alanı}} \times \frac{1}{\mu_0} \quad (1.3)$$

Şekil-3'de görülen hava silindiri için, r_1 sargının yarıçap uzunluğu, w_1 sargının genişliği olarak alınmaktadır. Bu alınan değerler ortalama değerlerdir ve akı sargının fiziksel genişliğine kıyasla daha uzun bir yol takip etmektedir. Dairenin kesit alanı πr^2 'dir. Havanın göreceli geçirgenlik değeri 1 olduğundan kesin geçirgenlik ise μ_0 'dır. Yukarıdaki eşitlikte bu değerler yerine yazılınca relüktans ifadesi (1.4)'teki gibi olur.

$$R_1 = \frac{w_1}{\pi r_1^2} \times \frac{1}{\mu_0} \quad (1.4)$$

Düz Rondelanın Relüktansının Hesabı (R_2, R_4);

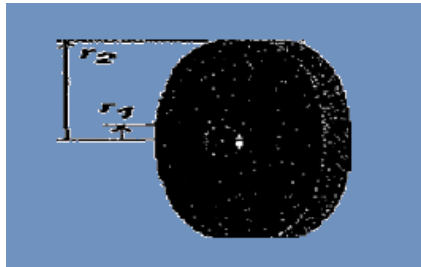
Yukarıdaki şekil ile hesaplama yapmak biraz zordur. Akı dış kısımdan girer ve merkeze radyal olarak ilerler. Neticesinde rondelanın iç kısmına açılan kısma çıkar. Rondelanın iç yarıçapı ile hava kesiti ifadeleri aynı alınacaktır. İç yarıçapı r_1 , dış yarıçapı r_2 , rondelanın kalınlığı t_1 'dir. Dış kenar kesiti oldukça geniştir ve bobinin tüm kesit alanı dış kenardır.

$$A_2 = 2\pi r_2 t_1 \quad (1.5)$$

Akım dalgaları rondelanın içine doğru gittikçe kesit alanı yavaş yavaş azalır. İç delikte alan daha azdır.

$$A_1 = 2\pi r_1 t_1 \quad (1.6)$$

Şekil-4'de gösterilen rondela etrafındaki net relüktans sonsuz küçük çemberlerin relüktanslarının ayrı ayrı toplanmasına eşittir. Aynı zamanda çemberler gittikçe küçülür. Böylelikle relüktansın değeri birbiri içerisine konulmuş olan sonsuz inceliğe ve sayıya sahip çemberlerin toplamıdır.



Şekil-4: Rondela

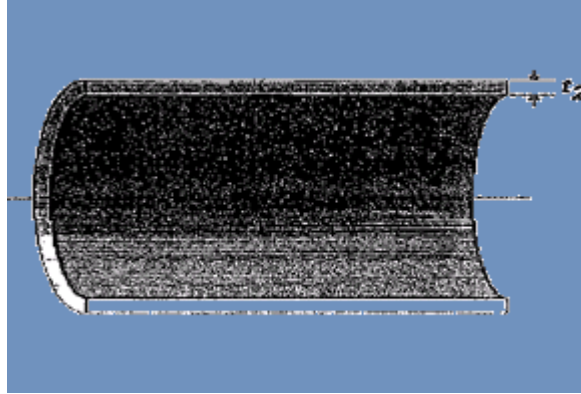
$$\begin{aligned}
R_2 &= \int_{r=r_1}^{r_2} \left(\frac{\text{boy}}{\text{alan}} \times \frac{1}{\mu} \right) dr = \int_{r=r_1}^{r_2} \left(\frac{1}{2\pi r t_1} \times \frac{1}{\mu} \right) dr \\
&= \frac{1}{2\pi t_1 \mu} \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{r} dr = \frac{1}{2\pi t_1 \mu} [\ln r_2 - \ln r_1]
\end{aligned} \tag{1.7}$$

Formülden de anlaşılacağı gibi relüktans, rondelanın iç çapı azaldıkça artar. İç dairenin çapı sıfıra doğru giderken büyüyen relüktans değeri, rondelanın dış yüzeyinde bulunan kaçak akının yanında işleme katılmayacak bir değere sahiptir. Dolayısıyla şu ifade yazılabilir;

$$R_2 = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi t_1 \mu} \tag{1.8}$$

Boru Relüktansının Hesabı (R_3);

Dış kısmın etrafında kalın halka şeklinde oluşmuş katman, borunun kesit alanıdır. Borunun iç yarıçapı ifadesi r_2 , dış yarıçapı ise r_2+t_2 dir. Bu şekilde, dıştaki daire ile içteki dairenin arasındaki değişim, alanı ifade eder.



Şekil-5: Boru Yan Kesiti

$$A = \pi(r_2+t_2)^2 - \pi r_2^2 = \pi(r_2^2 + 2r_2 t_2 + t_2^2 - r_2^2) = \pi t_2(2r_2 + t_2) \tag{1.9}$$

Şekil-5'de kesit alan belirlenmiştir ve borunun relüktansı formül yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R_3 = \frac{w_1}{\pi\mu(2r_2+t_2)} \quad (1.10)$$

Toplam relüktans ise yukarıdaki kısımlar toplanarak bulunur.

$$R_{toplam} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{toplam} = \left[\frac{w_1}{\pi r_1^2} \times \frac{1}{\mu_0} \right] + 2 \left[\frac{\ln(r_2/r_1)}{t_1 \mu_1} \times \frac{1}{\mu_0} \right] + \left[\frac{w_1}{\pi \mu_1 t_2 (2r_2 + t_2)} \times \frac{1}{\mu_0} \right]$$

$$R_{toplam} = \frac{1}{\mu_0 \pi} \left[\frac{w_1}{2\pi r_1^2} + \frac{2 \ln(r_2/r_1)}{t_1 \mu_1} + \frac{w_1}{t_2 \mu_1 (2r_2 + t_2)} \right] \quad (1.11)$$

Hava Rondela Boru

Sargılı fırlatıcılara rondela ve boru eklenirken dikkat edilmesi gereken maddeler:

- Hava boşluğu, dolayısı ile manyetik relüktans mümkün olduğu kadar azaltılmalıdır.
- Sargı öyle bir indüktansa sahip olmalıdır ki, mermi sargı içinde olduğu sürece enerji olmalı, ancak sargı terk edilirken manyetik alan ortadan kalkmalıdır.
- Hava boşluğunu en aza indirmek için namlu et kalınlığı mümkün olduğunca az olmalıdır.
- Manyetik kaybı azaltmak için kullanılan boru ve rondelanın paketlenmiş ve manyetik geçirgenliği yüksek (birer yüzü yalıtkan) saç levhalardan olması gerekir [5].

2.8. Elektromanyetik Fırlatıcıların Temel İlkeleri

2.8.1. Sargılı İvmelendirici

Sargılı fırlatıcılar iki bölümden meydana gelir; mermi (çekirdek) ve sargı. Boyutu kısa olan çelik ya da demir bir çubuk sargının yan kısmına yerleştirilsin. Çubuk, sargıdan akım geçmesiyle sargının içine doğru çekilecektir. Sargının ayrı iki kutup meydana getirecek şekilde çubuğu mıknatıslaması, çekmenin oluşma sebebidir. Çubuk da sargının maruz

kaldığı mıknatıslanmaya maruz kalır. Bu şekilde çubuğun bobini gören kısmı zıt kutbu görmüş olur. Bobinin hangi uç kısmına konulduğuna dikkat edilmeksizin bir çekme meydana gelecektir. Bunun sebebi sargı, çubuğu kendi manyetik alanı ile aynı yönde kutuplayacaktır. Çubuk daimi bir mıknatıs ise durum daha farklı olacaktır. Bunun sebebi de çubuğun yönlenmesi ve akımın yönü, çubuğu çekecek veya itecektir.

Sargının mermiyi çekme kuvveti değeri imkansız olan bir hesaplamadır. Bobinin tüm eleman parçaları için ayrı ayrı belirlenen kuvvetlerin toplanması bir diğer deyişle integral alma işlemi yapılması gereklidir. Analitik matematikten yararlanmanın mümkün olmaması durumu akı dağılımının bir kestirimini gerektirmektedir. Bundan dolayı sayısal alan çözüm programları olan FEMM ve Quickfield'e başvurmak gerekecektir. Dolayısıyla akı dağılımı ile statik bir manyetik sistemi kuvvetleri hatasız olarak hesaplanabilir.

Sargının iç kısmında mermi hazırlanırken; akı çizgilerini azaltan, kaynak gerilimine zıt yönde bir gerilimdir. Manyetik alanı ve sargı akımını azaltmaya çalışan da bu durumdur. Manyeto dinamik çözümler pratikte dinamik performansın uygun ve iyi bir göstergesi olmayabilirler. Merminin ağır hareket etmesiyle indüklenen gerilimin kaynak gerilimi ile kıyaslanınca ihmal edilebilecek bir değere sahip olması bu durumun bir istisnasıdır. Bu şekilde akım değeri biraz etkilenmektedir. Buradan çıkarılan uç hızını belirlemede, seri manyeto statik benzetim etkin bir kestirim oluşturabilir [5].

2.9. Çekirdek (Kütle) Doyması

Çekirdek (kütle) doyması en kolay şekilde, doymanın maksimum mıknatıslanmaya ulaşması olarak ifade edilebilir. Mıknatıslanma birbiriyle aynı sırada bulunan birçok mikroskobik atomik iki kutuplular olarak ifade edilebilir. Bir dış alan uygulanması halinde bu alanla beraber bu dipoller düzgün bir biçimde yönlenirler. Ne kadar güçlü bir dış alan uygulanırsa o kadar çok dipol hızlanır.

Hızlanan dipollerin hepsi doymaya gider. Peki mermi ile sargı arasındaki çekme kuvvetinin nedeni nedir? Neticede yük hareketinden kuvvet oluşmaktadır. Sargının iç kısmında mevcut olan bir yük hareketi vardır. Elektromanyetizma ile ilgili her kitapta paralel olan sonsuz uzunluktaki iki akım taşıyan telin arasındaki kuvvet ifadesi görülebilir. Teller arasındaki kuvvetin çekme eğiliminde olması için tellerden geçen akım aynı yönlü olmalıdır. Fakat itme eğiliminde ise akımlar ters yönlüdür.

Sargılar arasında oluşan bu kuvvet sargıların çapına, dağılımlarına, buldukları ortama ve kendi çaplarına bağlı olarak değişir. Dikkat edilmesi gereken kısım ise akımın artması ile sargıları etkileyecek kuvvetin doğru orantılı olmasıdır. Mermi ve bir sargı düşünülürse, burada sargıların hepsi aynı değerde akım değerine sahiptir. Mermi de birçok küçük akım sargılarıyla meydana gelir. Normalde küçük gruplara ayrılarak organize olan ferromanyetik malzemede akım sargıları domenler adını alır. Bahsedilen domenler makroskobik boyutta öyle bir yönlendirilmiştir ki rastgele karışık olarak malzeme hiç mıknatıslanma göstermez. Domenler halindeki halkalara harici bir alan uygulandığı takdirde, onları alanla sıralayacak gibi moment uygulanır. Buradan; alan ile beraber daha iyi hizalanan domenler, daha az hizalanan domenlerin kendilerini zayıflatmasına sebep olur. Daha iyi hizalanmış olan domenler, çevresindeki daha az hizalanan domenlerin halkalarına sahip olur.

Sargı alanı arttırıldıkça o kadar fazla halka hizalanır. Bir yere kadar bu şekilde gider. Neticede malzeme tüm halkalar hizalandığından doyuma gider. Harici bir alan dipollerin hizalanmasını ve aynı zamanda çekim kuvvetinin gelişmesini sağlar. Merminin doyması netice olarak bir sınırlamadır. Bununla beraber çekme kuvveti için bir sınırlama söz konusu değildir. Fakat fırlatıcı, doymuş bir mermi ile çalıştırıldığında verimi azalacaktır.

Mermi, maksimum kutup şiddetine sahip kendisinin doyma mıknatıslanması tarafından belirlenen büyük bir dipol olarak ele alınabilir. Bir manyetik alana manyetik kutup konulduğunda kuvvete maruz kalır. Mermi ele alınırsa zıt iki kutba sahip olduğu görülür. Manyetik alana konulması halinde etrafındaki alan şiddetine bağlı olarak bir kuvvet etkisi altında kalacaktır. Kutupların işaretine göre kuvvetin yönü değişir. Kutbun işareti kuvvet yönünü tayin edeceğinden merminin sonu sargının dış kısmına doğru itilirken merminin ön kısmı ise sargı merkezine doğru çekilecektir. Normalde olay bu şekilde gerçekleşmez iken kutupların kullanımı geçerli bir yaklaşım olacaktır. Buradaki püf nokta; alanın bobinin merkez kısmında daha güçlü olacağından merminin ön kutbuna etki ettiği çekme kuvveti, arka kısmına etki ettiği itme kuvvetine kıyasla daha güçlü olacaktır. Bu da net bir çekme kuvveti oluşmasına neden olur. Yani doymuş bir mermi maksimum şiddete sahip bir dipol olarak düşünülebilir. Fakat sargı akımı halen yükseltilebilir ve beraberinde çekme kuvveti artırılabilir. Daha büyük bir kuvvete, alan değişimi yükseltildikçe sebep olacaktır. Kutuplardaki kuvvetlerin ifadesi şu şekildedir:

$$F = \mu_0 PH \quad (1.12)$$

Burada 'P' kutup alan şiddetidir. Mermi zıt yönde iki farklı alan şiddetine sahip olduğuna göre denklem (1.13) yazılabilir. Eğer kutupların eşit genlikli olduğu düşünülürse;

$$F=\mu_0P(H_1 - H_2) \quad (1.13)$$

elde edilir.

Akıldan çıkarılmaması gereken bir noktada şudur; malzemeler doyma akı yoğunluğu değeri ile sık sık belirtilmesine rağmen bu akı yoğunluğunun bu değerle sınırlandığı anlamına gelmez. Doymuş bir malzemenin etrafındaki alan arttırıldığında boşluğunkine eşit bir şekilde artmaya devam edecektir. Bunun sonucunda malzeme tamamen boşluk olmuştur. Boşluk=1 bağıl geçirgenliği ile akı oluşturmaya devam etmektedir. Bu sonlu eleman analizinde B-H eğrilerinin kullanılması da oldukça önemlidir. Çünkü malzemenin doyma noktasının arkasında olabilecek çok büyük alan değerleri için doğru dB/dH kullanılmalıdır.

Özetle doymanın basit açıklamasından ve çekme kuvvetinin nedenlerinin altının çizilmesinden görülebilir ki; doymuş bir mermi kullanılsa da bobin silahının mermi hızı artırılabilir. Buradaki problem ise; mermi doyuma gittiğinde kuvvet alanla (ya da akımla) orantılı olmasına rağmen, akımın karesi ile artan bir alan oluşturulabilmesi için daha fazla enerji gerekebilir. Kuvveti ikiye katlamak için bobine verilen enerjinin 4 katına çıkması gereklidir [6].

3.TASARIM

3.1. Direnç (R) Etkisi

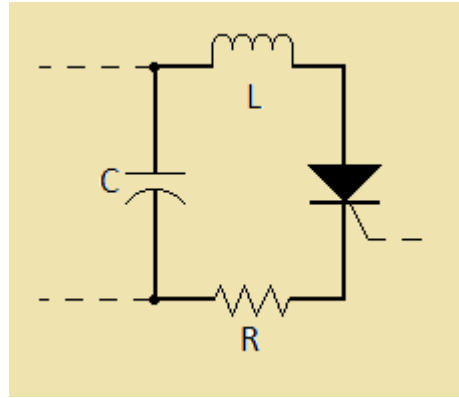
3.1.1. Akımı Sınırlayan Direnç Ekleme

Paralel bir RL devresi için direnç son derece önemli bir elemandır. Bu direncin yanında kapasitemizden boşalan akımı sınırlamak amacıyla ufak değerli bir direnç koymak gerekmektedir. Şekil-6'da akım sınırlayıcı direnç gösterilmiştir. Ekleyeceğimiz direnç ne kadar büyük olursa kapasitör o kadar yavaş boşalır.

Seçilecek olan direncin değerini belirlerken, tristörden akıtılabilecek maximum akım göz önüne alınmalıdır. Bu özellikler kullanacağımız tristörün datasheet'inden bakılabilir. Bobinden akıtılacak olan akım büyük olduğunda, oluşacak manyetik alanın da büyük

olacağı ve bunun da fırlatıcının F kuvvetini arttırarak hızlı bir şekilde mermimizin hareket etmesini sağlayacağı unutulmamalıdır.

Direnç büyüklük değeri önemlidir aynı zamanda bu direncin gücü de önemli olan başka bir özelliktir. Direnç üzerinden çok yüksek akım geçeceğinden dolayı (süresi çok kısa olsa bile), bu akım direnç üzerinde bir ısınmaya neden olacaktır. Devredeki direnç küçüldükçe kapasitör yükünü hızlı bir şekilde bobin üzerinden boşaltır. Ancak direncin çok fazla küçültülmesi de ayrı bir probleme sebep olacaktır. Bu durumdan dolayı devre osilasyona girecek ve enerji kapasitör ile bobin arasında gidip gelecektir. Fırlatılacak mermi, bobin enerjisinin çoğunu absorbe ederek, osilasyona neden olacak enerjiyi kayda alınmayacak kadar küçük bir seviyeye düşürecek, bundan dolayı burada oluşan osilasyondan korkmaya gerek yoktur.

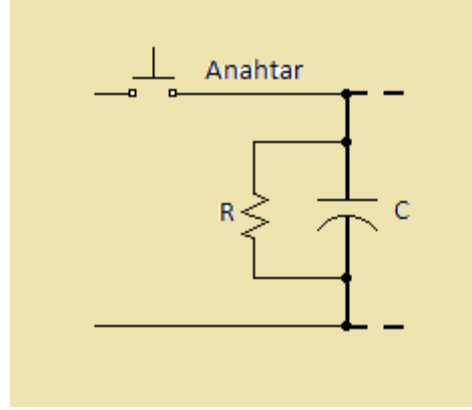


Şekil-6: Akım Sınırlayıcı Direnç

Tasarım yapılırken diğer bir amaç ise doğru zamanlamadır. Bobin akımı çok kısa süreli olursa mermi akımdan sonra hareket edecektir. Yani mermi bobin boyunca hareket ederken, hareket sırasında bobinde akmakta olan bir akımda söz konusu olmayacaktır. Akım çok uzun süreli olursa mermi bobinin orta noktasını geçtikten sonra tekrar geri çekilecektir. Tüm bu koşullardan dolayı mermi ve bobin ilişkisi için doğru zamanlamanın yapılması gerekmektedir [7].

3.1.2.Koruyucu Direnç Ekleme

Kapasitemize eklenecek olan yüksek değerli paralel bir direnç, tetikleme işleminin gerçekleşmemesi durumunda kapasitemizin bu direnç üzerinden boşalmasına neden olacaktır. Bağlanacak olan paralel direncin düşük değerli seçilmesi durumunda kapasitemiz kısa sürede bu koruyucu direnç üzerinden boşalabilir. Bu, tasarımda istemediğimiz bir durumdur. Şekil-7’de koruyucu direnç gösterilmiştir[7].



Şekil-7: Koruyucu Direnç

3.2. Endüktans Etkisi

LC devresinde bulunan C’ nin kare köküyle osilasyon frekansı ters orantılıdır.

$$f=1/2\pi\sqrt{LC} \quad (1.14)$$

Formülden faydalanılarak, kapasitör ile bobin arasındaki enerji aktarım hızı hesaplanabilir. Rezonans frekansını azaltmak için C veya L değerlerinden biri veya her ikisi artırılabilir. Yukarıda kullanılan formül LC devresi için geçerlidir.

Bobin silahında L endüktansının değeri sabittir. L endüktans değerini değiştirmek için merminin yerleştirildiği konumun değişmesi gerekir. Bobine giden yarı sinüs dalgası şeklindeki akımın fazı da bobindeki bu değişimden önemli ölçüde etkilenecektir. Merminin konumu manyetik akımın yönü üzerinde de etkili olacaktır.

Bobinin endüktans değerini arttırmak için;

-Bobinin sarım sayısı N' yi arttırmak,

-Bobine sarılan telin kesitini arttırmak,

-Bobinin daha sık sarılması, daha kısa bir makara kullanılması ve et kalınlığının daha kalın yapmak, gerekir.

Ayrıca manyetik alanın maksimize edilmesi için, bobin üzerinde bulunan nüvenin manyetik özellik barındırmaması gerekmektedir [8].

3.3. Kapasitör Etkisi

Kapasitörün devrede üstlendiği görev, plakaları arasında indüklenen gerilimi tutmaktır. Kapasite ile gerilim arasındaki bağıntı $Q = C \times V$ ' dir.

Kapasite seçilirken sadece gerilime değil, LC devresinde ki rezonans frekansının oluşturduğu etkiye de dikkat edilmelidir. Bunlara ek olarak, yüksek gerilim değerlerine uygun bir değere sahip kapasite seçilmelidir. Bu seçimde dikkat edilmesi gereken, devrenin çok yüksek gerilim değerlerinde manyetik doyuma girebileceğidir [8].

3.4. Merminin Başlangıç Pozisyonu

Merminin başlangıçtaki konumu, bobin silahı tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biridir. Faz uyumsuzluklarından dolayı, kuvvetin ters yönde indüklenmesinden dolayı başlangıç konumuna göre mermi geriye doğru fırlatılabilir. Bu durum merminin başlangıç pozisyonu değiştirilerek giderilebilir. Ayrıca mermi çıkış hızı da değiştirilebilir.

Yapılan çalışmalar sonucunda gözlenen; en hızlı fırlatma gerçekleştirilebilmesi için merminin, bobinin başlangıç kısmına yerleştirilmesi gerekmektedir. Bobinin başlangıç noktasından ileri doğrultuda hareket ettirilmesi durumunda, manyetik alanın mermiye sadece kısa süreli etki edeceğinden hızı azalacaktır.

3.5. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

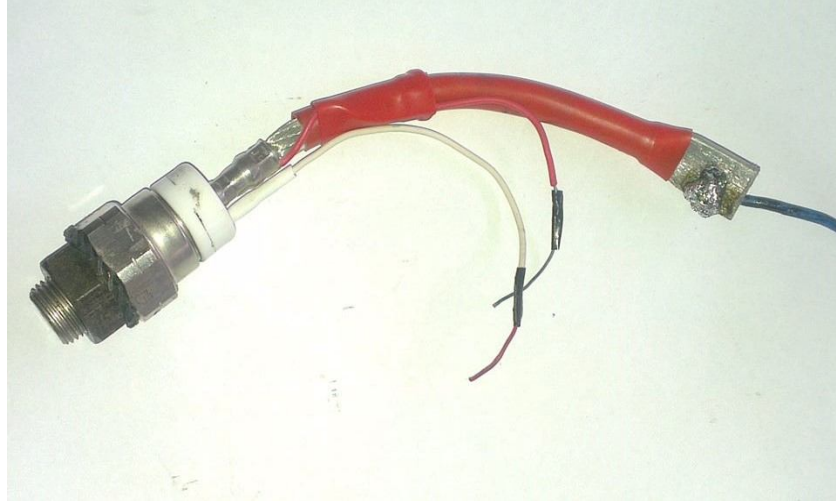
3.5.1. Tristör (SCR)

Tristör, kontrollü yarı iletken anahtarlama elemanıdır. Diğer adı SCR' dir. SCR silikon kontrollü doğrultucu anlamındadır. Tristörün önemli özelliği çok hızlı açma ve kapama yapabilmesidir. Dört katlı bir yarı iletkenen meydana gelmiştir (P-N-P-N).

Tristör doğru akımda çalışmaktadır. Yani akımı tek yönlü geçirir. Anot, katot ve gate olmak üzere üç tane bağlantı ucu bulunur.

Yüksek güçlü tristörlerde (devremizde kullandığımız gibi) anot geniş bir taban üzerine tespit edilir (Şekil-8'de görüldüğü gibi). Bu tristörün hem kolay soğutulmasını hem de kolay monte edilmesini sağlar. Katot kalın bir kablo ile gate ucu ince bir bükülebilir kablo ile çıkartılmıştır. Tristörler bir kere iletken oldu mu (eğer besleme voltajı kesilmezse) devamlı iletimde kalır.

Tasarım esnasında kullanılan tristör, çok yüksek akımları üzerinden akıtmaya uygundur. Tetikleme için gate ucuna verilmesi gereken akım ve gerilim değerleri Şekil-9'da gösterilmiştir [9].



Şekil-8: Silikon Kontrollü Doğrultucu

3.5.2. Kapasitör

Bir kapasite elemanı elektriksel yükü elektronların kutuplanması ile depolayabilen, yalıtkan bir maddenin iki iletken tabaka arasında yerleştirilmesi ile oluşturulmuş elektronik ve temel elektrik devre elemanıdır. Piyasada kapasitör, sığaç, kapasite gibi isimler kullanılır. Kondansatörlerin başlıca kullanım amaçları, reaktif güç kontrolü, AC-DC arasında dönüşüm yapma, elektrik yükü depolama ve bilgi kaybı engelleme vb. dir. Ayrıca kondansatör bütün elektronik devrelerin vazgeçilmezidir.

Kondansatörler;

-plakalar arasında kullanılan yalıtkanın cinsi,

-çalışma ve dayanma gerilimleri,

-depolayabildikleri yük miktarı,

gibi özelliklere göre değişiklik gösterebilir. Tasarımımızda kullanılacak kondansatör ise elektrolitik kondansatördür [9].

3.5.2.1. Elektrolitik Kondansatör

Yüksek kapasite değerlerinde imal edilen, pozitif ve negatif kutupları belli olan kondansatör çeşididir. Üretim aşamasında çalışabileceği gerilim aralığı üzerinde belirtilmektedir. Yüksek frekans üretilen devrelerde, frekans karakteristiği kötü olduğundan tercih edilmeyen devre elemanıdır. Üzerinde belirtilen maksimum voltaj değeri aşılmamalıdır. Devreye göre kapasite seçimine dikkat edilmelidir. Doğrultucu filtre devrelerinde, gerilim artırıcılarda, konvertör devrelerinde, ses, frekans yükselteçlerinde, kuplaj ve dekuplaj devrelerinde, zamanlama devrelerinde kullanılmaktadır. Şekil-10'da elektrolitik kondansatörün bir örneği gösterilmiştir [10].

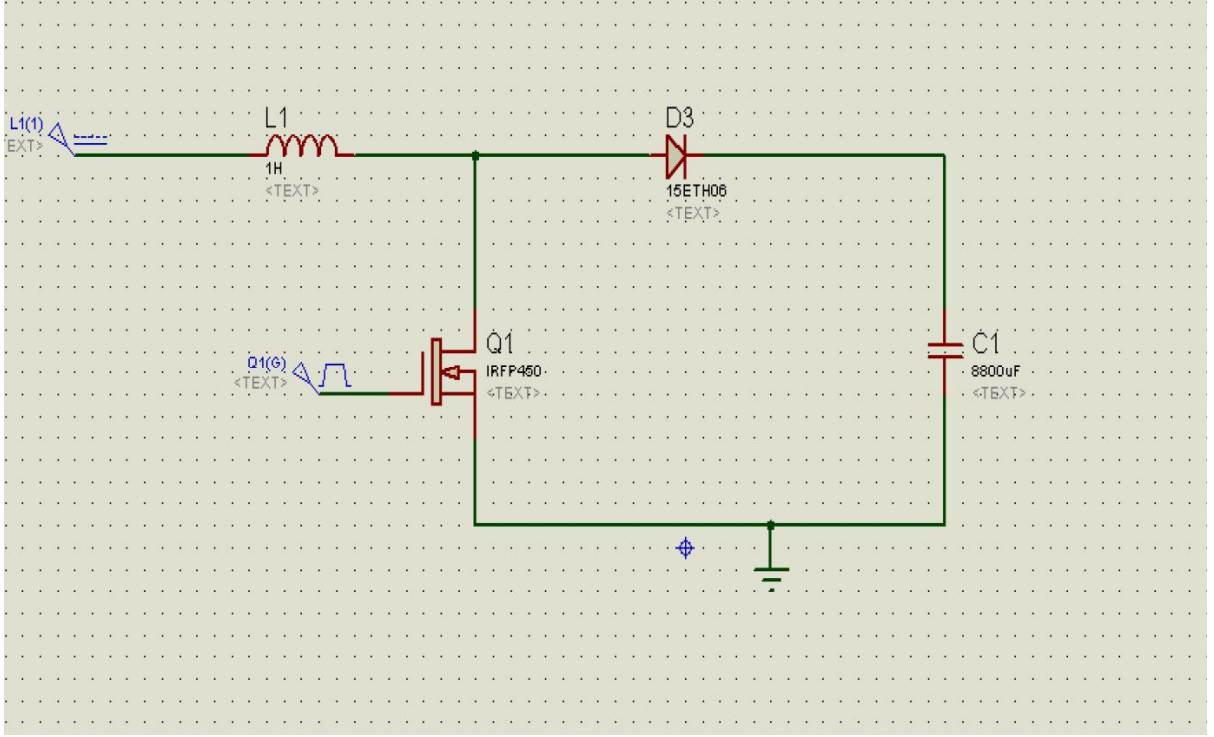


Şekil-9: Elektrolitik Kondansatör

3.6. Tasarımın Gerçekleştirilmesi

Tasarımın gerçekleştirilmesinde, besleme gerilimini şebeke gerilimi olan 220 volt AC ile değil 12 volt DC ile sağlanmıştır. Bunun sebebi ise projemizin bir kablo ile bağlantılı olmaması ve portatif olmasının daha kullanışlı olabileceğini düşünmemizdir. Projenin portatif olmasını sağlamak için, 12V DC besleme kaynağından alınan gerilim bir DC-DC konverter yardımı ile istenilen gerilim kademelerine çıkartılabilecektir.

Aşağıda, bu projede kullanılacak olan DC-DC konverter devresinin proteus-isis programında çizilmiş hali verilmiştir. Teoride ve pratikte hemen hemen aynı değerleri yakaladığımız bu devre ile 12V DC bir kaynaktan 300-350V DC gerilim üretebilmek mümkündür. Şekil-11'de dc-dc konverter devresinin proteus-isteste simülasyonu gösterilmektedir. Şekil-12'de ise devrenin gerçekleştirilmesi gösterilmektedir.



Şekil-10: DC-DC Konverter Devresinin Proteus-isiste Simülasyonu



Şekil-11: Devrenin Gerçekleştirilmesi

DC-DC konverter ile elde edilen 300V DC gerilim ile kondansatör dolmaya başlar.

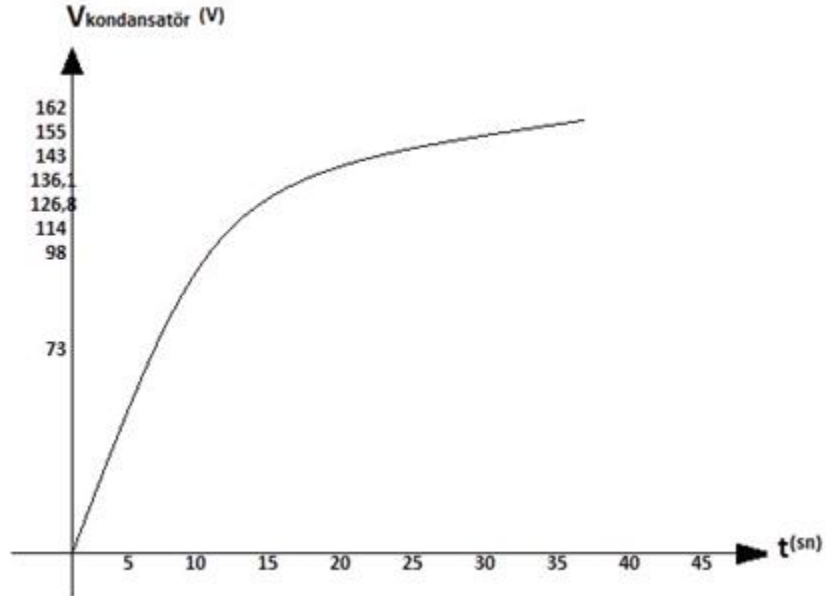
Kondansatörün dolması;

$$E: V * (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1.15)$$

R:330 Ω , 50W

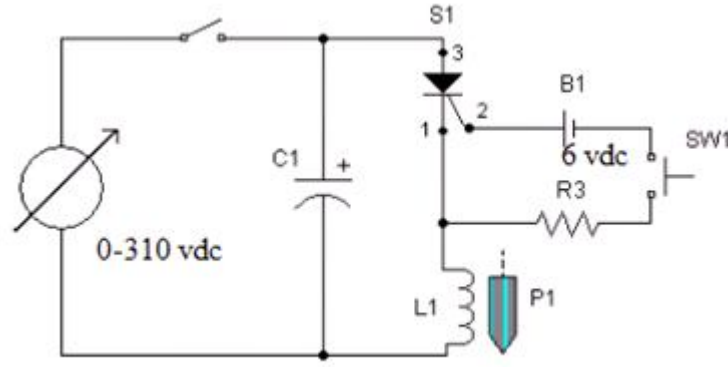
C:8800 μ F, 400V

Depolanan gerilim belirli bir zaman aralığında 400 Volt'a ulaşmaktadır. Burada dirençte oluşacak ısınmayı önlemek için kapasitenin tam olarak dolması beklenmemelidir. Şekil-13 'de kondansatör geriliminin grafiği gösterilmiştir.



Şekil-12: Kondansatörün Dolması

Kapasitenin istenilen düzeyde dolmasının ardından tristör çok kısa bir sürede tetiklenir, bobin üzerinden yüksek bir akım geçirerek namlu içinde yüksek bir manyetik alan oluşturulup merminin fırlatılması işlemi gerçekleştirilir. Şekil-14'de devre şeması gösterilmektedir.



Şekil-13: Devre Şeması

Tristörün gate ucunu tetiklemek için bir DC kaynağa ihtiyaç duyulur. Kaynaktan çekilen akımın, tristörün datasheetinde tetikleme için verilen değeri yakalaması gerekmektedir. Kaynaktan alınan yaklaşık 0.2 A akım tetikleme işlemi için yeterli görülmüştür. Bu devrede birinci anahtar kapatıldığında kapasite dolmaya başlar. İstenilen gerilim elde edildiğinde birinci anahtar açılıp ikinci anahtar kapatılır ve tristörün de tetiklenmesiyle bobin üzerinden çok yüksek bir akım akar. Selenoid içerisinde oluşan manyetik alan, manyetik itme kuvvetini oluşturur ve bu itme kuvvetiyle birlikte merminin fırlatılması gerçekleştirilmiş olur.

3.7. Merminin Tasarımı

Mermi tasarımında dikkat edilecek olan en önemli husus, kullanılan materyalin iyi bir manyetik iletken ya da manyetik yalıtkan olduğudur.

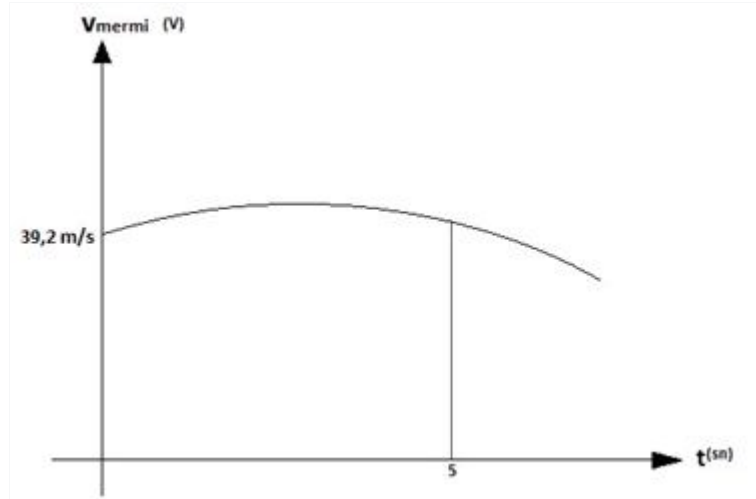
Cismin manyetik alanda hareket etmesini sağlayan o cismin manyetik iletken olmasıdır. Aynı zamanda kullanılan bu cismin ağırlığı da önemli bir rol oynamaktadır. Kullanılacak cismin ağır olması durumunda tetikleme işlemiyle namludan çıkacaktır ve ağırlığı sebebiyle yer çekimine fazla direnemeyip yere kısa sürede düşecektir.

Merminin daha hızlı gitmesini sağlamak amacıyla yapılması gerekenlerden en önemlisi de merminin ucunu sivirtmektir. Bu sayede mermi havayı daha kolay delecektir. Şekil-15’de çelik mermi örneği verilmiştir [10].



Şekil-14: Çelik Mermi

Şekil-16' da merminin namludan çıkış hızı ve zamana göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil-15: Mermi Hızı

Çizelge.1. Maliyet Analizi

Dış Demir	20TL
Rondelalar	15TL
Plastik Zemin	70TL
Dirençler (Toplam)	5TL
Kablo	2TL
İndüktans (Bobin)	10TL
Kapasitör (2200 μ F 400V 85Derece Vidalı Elektrolitik)	4*60=240TL
Tristör (SCR) Vidalı Kamçılı Tristör 330A-1200 V	260 TL
PM438 LCD Panelmeter	10TL
DC-DC Converter	40TL
Yaylı Buton	6TL
Akü (12V-7A)	25TL
Mermi	5*2=10TL
Pil (5V)	4*5=20TL
TOPLAM	733TL

Çizelge 2. Çalışma Takvimi

İş/Zaman	1-31 Ekim	1-30 Kasım	1-31 Aralık	1-31 Ocak	1-28 Şubat	1-31 Mart	1-31 Nisan	1-24 Mayıs
Konunun Belirlenmesi	*****							
Genel Bilgilerin Toplanması	*****							
Taslak Belirlenmesi	*****	*****						
Laboratuar Ölçümleri		*****	*****					
Malzeme Alımı			*****	*****	*****			
Anahtarlama Devresi ve Kontrolü					*****	*****	*****	
Bitirme Tezinin Yazılıp Teslimi						*****	*****	*****

4. SONUÇLAR

Bu bitirme çalışmasının sonucunda aşağıdaki tespitlere ulaşılmıştır;

Tek kademeli olarak tasarlanan fırlatıcımızın toplam kütlesi 3.5 kg kadardır. Güç kaynağı olarak kullanılan ve kondansatörü bir yükseltici konvertör devresi ile doldurmaya yarayan pillerin her 15 fırlatımın ardından şarj edilmesi gerekmektedir. Kapasitörlerin değerleri 8800 μ f ve besleyecek gerilim 400 V dc gerilimdir. Denklem $E=0.5.C.V^2$ yi göz önüne alırsak, bu değerler denklemde ilgili kısımlara yerleştirildiğinde kapasitörler de depolanan elektrik enerjisi 0,704 kJ büyüklüğünde olacaktır. Deneylerimizde elde ettiğimiz verilere göre namlu çıkış hızının 39.2 m/s olarak saptanmıştır. Kullandığımız manyetik merminin kütlesi 32.8 gramdır. Sistemin toplam çıkış verimi % 2.02 dir.

Tasarımımız da etkili ve daha verimli bir sonuç almak için; bobin endüktansı, kondansatör kapasitesi, çalışma gerilimi, akımı sınırlayan direnç değerleri en uygun değerlerde seçilmesi gerekir. Bobin endüktansı ile mermi bobin içinde olduğu sürece enerji olduğundan, ancak bobin terk edilirken manyetik alanın ortadan kalkması dikkate alınması gereken önemli bir durumdur.

Hava boşluğu, dolayısı ile manyetik relüktans mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Hava boşluğunu en aza indirmek için namlu et kalınlığının minimum olması gerekir. Manyetik kaybı azaltmak için kullanılan boruyla rondelanın, paketlenmiş ve manyetik geçirgenliği yüksek ayrıca birer yüzü yalıtkan olan sac levhalardan olması tasarımımız için son derece yararlıdır.

Mermi boyu, yüksek bir hız da manyetik kuvvetin etkisinde en fazla süreyle etkilenmesi gerektiğinden, bobin boyuna eşit olmalıdır.

Enerji kaybını önlemek için namlu malzemesi, manyetik yalıtkan olarak seçilmelidir. Sarılacak bobinin Q yani kalite faktörü yüksek değerde olmalıdır. Bunun için de mümkün olduğunca sıkı sarılmalı ve sargılar vernik vb. tutucu özelliği olan bir yapıştırıcı ile sabitlenmelidir.

5. YORUMLAR ve DEĞERLENDİRME

1. Kullanılacak kondansatörün gerilim değeri, güvenlik amaçlı olarak, kondansatörü beslemek için düşünülen maksimum DC gerilim değerinden yüksek olmalıdır.
2. Tristörün geçirebileceği maksimum anlık akım, datasheet yardımıyla kontrol edilerek, farklı denemeler yapılacağı göz önünde bulundurularak yüksek değerde seçilmelidir.
3. Direnç değerlerinin yanı sıra, ısınmanın olmaması için kullanılan dirençlerin güç değerleri yüksek olmalıdır.
4. Mermi olarak seçilen malzemenin iyi bir manyetik iletken olması verimli olur.

KAYNAKLAR

- [1]. Fair, H.D., "Introduction", IEEE Transaction on Magnetics. 22,1 ,1986.
- [2]. H. D. Fair, "Hypervelocity Hyperkinetic Energy Weapons", MIL Technol. XTV (1990) 39-55.
- [3]. Edminister, J.A. çev: Aydemir, M.T., Afacan, E. ve Nakibođlu, K.C., "Elektromanyetik" SCHAUM'S Outlines, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2000.
- [4]. (2006) <http://home.san.rr.com/nessengr/techdata/rlc/rlc.html>
- [5]. Andrews, J.A. ve Devine, J.R., "Armature Design for Coaxial Induction Launchers". IEEE Transactions on Magnetics. 27.1 ,1991.
- [6]. Cowan, M., "The Reconnection Gun", IEEE Transactions on Magnetics. 22,6 ,1986.
- [7]. Cowan, M., Widner, M.M., Cnare, E.C., Duggin, B.W., Kaye, R.J., ve Freeman, J.R., "Exploratory Development of the Reconnection Launcher 1986-1990", IEEE Transactions on Magnetics. 27,1 ,1991.
- [8]. Kaye, R.J., "Design and Performance of a Multi-Stage Cylindrical Reconnection Launcher", IEEE Transactions on Magnetics. 27,1 ,1991.
- [9]. Engel, T.G., Suris, D. ve Nunnally, W.C., "Prediction and Verification of Electromagnetic Forces in Helical Coil Launchers", IEEE Transactions on Magnetics. 39,1 ,2003.
- [10]. Burgess, T.J., Cnare, E.C., Oberkampf, W.L., Beard, S.G. ve Cowan, M., "The Electromagnetic Theta Gun and Tubular Projectiles", IEEE Transactions on Magnetics, 18,1 ,1982.

EKLER

EK-1. IEEE ETİK KURALLARI



IEEE Etik Kuralları IEEE Code of Ethics



IEEE üyeleri olarak bizler bütün dünya üzerinde teknolojilerimizin hayat standartlarını etkilemesindeki önemin farkındayız. Mesleğimize karşı şahsi sorumluluğumuzu kabul ederek, hizmet ettiğimiz toplumlara ve üyelerine en yüksek etik ve mesleki davranışta bulunmayı söz verdiğimizizi ve aşağıdaki etik kuralları kabul ettiğimizi ifade ederiz.

1. Kamu güvenliği, sağlığı ve refahı ile uyumlu kararlar vermenin sorumluluğunu kabul etmek ve kamu veya çevreyi tehdit edebilecek faktörleri derhal açıklamak;
2. Mümkün olabilecek çıkar çatışması, ister gerçekten var olması isterse sadece algı olması, durumlarından kaçınmak. Çıkar çatışması olması durumunda, etkilenen taraflara durumu bildirmek;
3. Mevcut verilere dayalı tahminlerde ve fikir beyan etmelerde gerçekçi ve dürüst olmak;
4. Her türlü rüşveti reddetmek;
5. Mütenasip uygulamalarını ve muhtemel sonuçlarını gözeterek teknoloji anlayışını geliştirmek;
6. Teknik yeterliliklerimizi sürdürmek ve geliştirmek, yeterli eğitim veya tecrübe olması veya işin zorluk sınırları ifade edilmesi durumunda ancak başkaları için teknolojik sorumlulukları üstlenmek;
7. Teknik bir çalışma hakkında yansız bir eleştiri için uğraşmak, eleştiriyi kabul etmek ve eleştiriyi yapmak; hatları kabul etmek ve düzeltmek; diğer katkı sunanların emeklerini ifade etmek;
8. Bütün kişilere adilane davranmak; ırk, din, cinsiyet, yaş, milliyet, cinsi tercih, cinsiyet kimliği, veya cinsiyet ifadesi üzerinden ayrımcılık yapma durumuna girişmemek;
9. Yanlış veya kötü amaçlı eylemler sonucu kimsenin yaralanması, mülklerinin zarar görmesi, itibarlarının veya istihdamlarının zedelenmesi durumlarının oluşmasından kaçınmak;
10. Meslektaşlara ve yardımcı personele mesleki gelişimlerinde yardımcı olmak ve onları desteklemek.



IEEE Etik Kuralları IEEE Code of Ethics



IEEE üyeleri olarak bizler bütün dünya üzerinde teknolojilerimizin hayat standartlarını etkilemesindeki önemin farkındayız. Mesleğimize karşı şahsi sorumluluğumuzu kabul ederek, hizmet ettiğimiz toplumlara ve üyelerine en yüksek etik ve mesleki davranışta bulunmayı söz verdiğimizizi ve aşağıdaki etik kuralları kabul ettiğimizi ifade ederiz.

1. Kamu güvenliği, sağlığı ve refahı ile uyumlu kararlar vermenin sorumluluğunu kabul etmek ve kamu veya çevreyi tehdit edebilecek faktörleri derhal açıklamak;
2. Mümkün olabilecek çıkar çatışması, ister gerçekten var olması isterse sadece algı olması, durumlarından kaçınmak. Çıkar çatışması olması durumunda, etkilenen taraflara durumu bildirmek;
3. Mevcut verilere dayalı tahminlerde ve fikir beyan etmelerde gerçekçi ve dürüst olmak;
4. Her türlü rüşveti reddetmek;
5. Mütenasip uygulamalarını ve muhtemel sonuçlarını gözeterek teknoloji anlayışını geliştirmek;
6. Teknik yeterliliklerimizi sürdürmek ve geliştirmek, yeterli eğitim veya tecrübe olması veya işin zorluk sınırları ifade edilmesi durumunda ancak başkaları için teknolojik sorumlulukları üstlenmek;
7. Teknik bir çalışma hakkında yansız bir eleştiri için uğraşmak, eleştiriyi kabul etmek ve eleştiriyi yapmak; hatları kabul etmek ve düzeltmek; diğer katkı sunanların emeklerini ifade etmek;
8. Bütün kişilere adilane davranmak; ırk, din, cinsiyet, yaş, milliyet, cinsi tercih, cinsiyet kimliği, veya cinsiyet ifadesi üzerinden ayrımcılık yapma durumuna girişmemek;
9. Yanlış veya kötü amaçlı eylemler sonucu kimsenin yaralanması, mülklerinin zarar görmesi, itibarlarının veya istihdamlarının zedelenmesi durumlarının oluşmasından kaçınmak;
10. Meslektaşlara ve yardımcı personele mesleki gelişimlerinde yardımcı olmak ve onları desteklemek.



IEEE Code of Ethics



We, the members of the IEEE, in recognition of the importance of our technologies in affecting the quality of life throughout the world, and in accepting a personal obligation to our profession, its members and the communities we serve, do hereby commit ourselves to the highest ethical and professional conduct and agree:

1. to accept responsibility in making engineering decisions consistent with the safety, health and welfare of the public, and to disclose promptly factors that might endanger the public or the environment;
2. to avoid real or perceived conflicts of interest whenever possible, and to disclose them to affected parties when they do exist;
3. to be honest and realistic in stating claims or estimates based on available data;
4. to reject bribery in all its forms;
5. to improve the understanding of technology, its appropriate application, and potential consequences;
6. to maintain and improve our technical competence and to undertake technological tasks for others only if qualified by training or experience, or after full disclosure of pertinent limitations;
7. to seek, accept, and offer honest criticism of technical work, to acknowledge and correct errors, and to credit properly the contributions of others;
8. to treat fairly all persons regardless of such factors as race, religion, gender, disability, age, or national origin;
9. to avoid injuring others, their property, reputation, or employment by false or malicious action;
10. to assist colleagues and co-workers in their professional development and to support them in following this code of ethics.

Approved by the IEEE Board of Directors August 1990

iee-ies.org/resources/media/about/history/ieee_codeofethics.pdf

EK-2. DİSİPLİNLERARASI ÇALIŞMA

Coil gun bobin silahının dış cephesinin kaplama işlemi için lazer kesim saydam plastik kullanılmış, ön ve arka kapakların kesimi için çeşitli firmalarla görüşülmüştür. Dış kasa boyutları 20x30x50 cm olarak tasarlanmış ve bu boyutlarda plastik levhalar kestirilmiştir. Proje için gerekli olan elektronik ve mekanik malzemelerin bir kısmı bu tür malzemeleri bulabildiğimiz Çağdaş Elektronik'ten satın alınmıştır. Tüm malzemelerin listesi daha önceki kısımlarda çizelge şeklinde yazılmıştır.

Maliyete tekrar değinilirse ;

TOPLAM 733TL

Şeklinde bir maliyet hesabı oluşmuştur. Eklerdeki envanterler dışında dışardan alınan herhangi bir yardım olmamıştır. Danışman hocamızın rehberliğinde projemiz sonuca ulaştırılmıştır.

EK-3. TRISTÖR'ÜN DATASHEET'İ

T71-300 Phase Control Thyristor

LAMINA S.I.

KKT71300 August 2003 version

Electrical properties

Parameter	Unit	Test conditions	Value
Average on-state current	$I_{T(AV)}$	A	300
Case temperature	T_c	°C	70
RMS on-state current	$I_{T(RMS)}$	A	470
Surge current	I_{TSM}	A	$T_f=125^\circ\text{C}$, $U_G=0,8U_{GSM}$, $t_f=10\text{ms}$
I^2t - value	I^2t	kJ^2/s	290
On-state voltage max.	U_{TM}	V	$T_f=25^\circ\text{C}$, $I_{TM}=625\text{A}$
Threshold voltage	$U_{T(TH)}$	V	1,02
Slope resistance	r_T	m Ω	0,80
Latching current	I_L	mA	$T_f=25^\circ\text{C}$, $U_G=12\text{V}$
Holding current	I_H	mA	$T_f=25^\circ\text{C}$, $U_G=12\text{V}$
Circuit commutated turn-off time (typical)	t_q	μs	$T_f=125^\circ\text{C}$, $I_{TM}=250\text{A}$, $dI/dt=25\text{A}/\mu\text{s}$, $dU/dt=20\text{V}/\mu\text{s}$, $U_G=0,67U_{GSM}$, $U_{GM}=100\text{V}$
Turn-On time (typical)	t_{on}	μs	$I_{TM}=100\text{A}$, $U_{GM}=100\text{V}$
Rate of rise of on-state current-repetitive	dI/dt	$\text{A}/\mu\text{s}$	$T_f=125^\circ\text{C}$, $I_{TM}=3I_{L(TH)}$, $U_G=0,67U_{GSM}$, $f=50\text{Hz}$, $I_{GM}=1\text{A}$, $dI_G/dt=1\text{A}/\mu\text{s}$
Critical rate of rise of off-state voltage	dU/dt	$\text{V}/\mu\text{s}$	$T_f=125^\circ\text{C}$, $I_G=0,67U_{GSM}$
Gate current to trigger	I_{GT}	mA	$T_f=25^\circ\text{C}$, $U_G=12\text{V}$
Gate voltage to trigger	U_{GT}	V	$T_f=25^\circ\text{C}$, $U_G=12\text{V}$

Thermal properties

Parameter	Unit	Test conditions	Value
Thermal resistance, junction to case	$R_{th,jc}$	°C/W	0,10
Thermal resistance, case to heatsink	$R_{th,cs}$	°C/W	0,05
Operating junction temperature	$T_{jmax} \dots T_{jmin}$	°C	-40...+125
Storage temperature	T_{stg}	°C	-40...+125

Mechanical properties

Parameter	Unit	Value
Mounting torque	M	Nm
Weight	m	g

EK-4. STANDARTLAR VE KISITLAR FORMU



Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

STANDARTLAR VE KISITLAR
FORMU

1. Projenizin tasarım boyutu nedir? Açıklayınız.

Projemiz her alanda geliştirilebilir ve kullanılabilir bir sistemdir. Savunma sanayi, uzay teknolojileri, havacılık vb. birçok alanda kullanımı olan bir sistemdir.

2. Projenizde bir mühendislik problemini kendiniz formüle edip, çözdünüz mü?

Projemiz bir bitirme projesi olması sebebiyle tasarlamak istediğimiz devreyi açıklayan matematiksel verileri elimizden geldiğince açıklamaya çalıştık. Güç elektroniği devreleri ayrıntılı formüle edilerek gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Fakat bir mühendislik problemini kendimizin formüle edip çözdüğümüzden söz edemeyiz.

3. Önceki derslerde edindiğiniz hangi bilgi ve becerileri kullandınız?

Dersler kapsamında gördüğümüz genel Fizik yasaları ve EMT vb. devamı birçok derste gördüğümüz enerji ve manyetik alan, bobin bilgilerini kullandık. Manyetik Alanlar dersi bilgileri çokça önümüze çıkan verilerdir.

4. Kullandığınız veya dikkate aldığınız mühendislik standartları nelerdir?

Projemizde kullandığımız her bir elemanda en uygun maliyet ve en yüksek verim standartları amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra değinilen standartlar;

IEC 60.270 Yüksek Gerilim Test Teknikleri - Kısmi Boşalma Ölçümleri
IEC 61.097 Küresel Deniz Tehlike ve Güvenlik Sistemi (GMDSS)
IEC 61.378 Converter Transformers

5. Kullandığınız veya dikkate aldığınız gerçekçi kısıtlar nelerdir?

a) Ekonomi

Yaptığımız projede yüksek maliyet içermeyen elemanlar kullanmayı hedefledik.

b) Üretilirlik:

Projemiz genel olarak savunma sanayii alanında halen kullanımda olan bir tür sistemi içermektedir. Bu günkü kullanılan tanklar, uçak gemileri vb. bir çok alanda bu sistem kullanılmakta ve üretimi devam etmektedir.

c) Etik:

Yaptığımız proje herhangi bir etik değeri çışnememektedir.

e) Sağlık:

Projemiz gerekli önlemler alındığında, insan sağlığını tehdit edici hiçbir unsur içermemektedir.

f) Güvenlik:

Güvenlik açısından İş Güvenliği ve Sağlığı kurallarına uyulduğu takdirde herhangi bir sorun teşkil etmemektedir.

g) Sosyal ve politik sorunlar:

Savunma sanayi ve savaş endüstrisi günümüzde birçok çevre tarafından onanmayan bir yatırım türü olarak görölmektedir. Fakat bulunduğu coğrafya ve jeopolitik konumu nedeniyle bu konuda güçlü olması gereken bir ülke olduğumuzdan dolayı, ülke geleceği için kabul görececek bir projeyi ele almış bulunmaktayız.

ÖZGEÇMİŞ

Ömer Şerif ÇAVUŞOĞLU

1989'da Trabzon/Sürmene'de doğdu. İlköğretimini Hasan Tahsin Krali İlköğretim Okulu, lise eğitimini Araklı Anadolu Öğretmen Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Bölümü'nde lisans programına başladı. Yabancı dil olarak iyi derece İngilizce ve Almanca bilmektedir.

Emel TOPALOĞLU

1989 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğretim eğitimini Aydınlıkevler İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini Tefrik Serdar Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği lisans eğitimine başladı. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

Talip TANRIKULU

1990 yılında Bursa'da doğdu. İlköğretimi Ali Fuat Cebesoy İlköğretim Okulu'nda, lise eğitimini Mehmet Zelzele Kilis Fen Lisesinde tamamladı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği lisans eğitimine başladı. Yabancı dil olarak orta düzeyde İngilizce bilmektedir.

Selçuk BOZKURT

1990'da Zonguldak/Ereğli'de doğdu. İlköğretimini Kepez İlköğretim Okulu, lise eğitimini Karadeniz Ereğli Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Bölümü'nde lisans programına başladı. Yabancı dil olarak iyi derece İngilizce bilmektedir.