

## Elektromanyetik Fırlatıcılar

Ömür AKYAZI ve Adem Sefa AKPINAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon  
oakyazi@ktu.edu.tr

(Geliş/Received: 05.11.2007; Kabul/Accepted: 29.01.2008)

**Özet:** Bu çalışmada, Elektromanyetik Fırlatıcılar konusu ele alınmaktadır. Elektromanyetik fırlatıcıların günümüze kadar geçirmiş olduğu evrelere kısaca göz atılmakta, elektromanyetik fırlatıcıların temel çalışma ilkeleri, çeşitleri, kullanım alanları anlatılmaktadır. Çalışmamızda, herhangi bir mekanik itici kullanılmadan sargının oluşturduğu manyetik alanın etkisiyle elektromanyetik fırlatıcıyla cismin fırlatılması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla bir kumanda devresi, ivmelendirici sargılar ve bu sargıları besleyen güç katı tasarlanmış ve cismin yatay (doğrusal) olarak fırlatılması sağlanmıştır. Bir elektromanyetik fırlatıcı tasarlanırken göz önünde bulundurulması gereken hususlar incelenmiş, hem teorik hem de pratik olarak izlenmesi gereken yollar belirtilmiştir. Diğer taraftan pratikte gerçekleştirdiğimiz fırlatıcının daha yüksek verimli nasıl çalışacağı bu çalışmada yine anlatılmıştır. Elektromanyetik fırlatıcı çeşitlerinden Hibrit (Karma: sargılı ve raylı) fırlatıcı ve Sargılı fırlatıcı deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Elektromanyetik Fırlatıcı, İvmelendirici Sargı, Sargılı Fırlatıcı, Karma Fırlatıcı

## Electromagnetic Launcher

**Abstract:** In this paper, an Electromagnetic launcher is taken into account. A development of electromagnetic launcher up till now is considered shortly, basic working principles, types, and locations of use of electromagnetic launcher are explained. In this study, a throwing of matter is realized without use any mechanical launcher by the electromagnetic launcher using magnetic field effects produced by windings. For this purpose, a control circuit, accelerator windings and power stage, which energize the windings, have been designed and a throwing of matter has been realized through horizontal direction. Cases, which are taken into consideration while design of an electromagnetic launcher, have been examined and also both theoretical and practical ways have been indicated. On the other hand, how the launcher can work more efficient than has still been described in this study. Hybrid and winding launchers, which are types of electromagnetic launcher, have been realized experimentally.

**Keywords:** Electromagnetic Launcher, Accelerator Winding, Winding Launcher, Hybrid Launcher

### 1. Giriş

Birçok başarılı uygulamasını iletişim alanında gördüğümüz ve uygulamaları sadece yüz yıllık bir geçmişe sahip olan elektromanyetik (EM) dalgalar, yeni bir boyutta daha karşımıza çıkıyor. Varlıkları milattan önceki çağlarda fark edilen elektrik ve manyetik alanlar, ancak teknolojinin de yeterli olgunluğa ulaşması ile birlikte çağımızda gün geçtikçe artan uygulama alanları bulmaktadır.

Elektromanyetik fırlatıcılar ile ilgili çalışmalar, 1980'lerin öncesinden beri ABD'de ciddi olarak takip edilmektedir. İlk çalışma bir kaç gramdan daha ağır kütlelerin yüksek hızlarla fırlatılabileceğini göstermek için yapılmıştı [1]. ABD Ordusu ve İleri Savunma Araştırma

Projeleri Ajansı (DARPA) tarafından gerçekleştirilen ilk başarılı fizibilite gösterilimi ardından, ABD'nin çalışmaları manyetik olarak kaldırılan trenleri içeren manyetik tahrik, elektromanyetik mancınıklar (katapult) kullanılarak uçakların fırlatılması, metallerin uzaya fırlatılması, küçük mermilerin aşırı yüksek hızlarda fırlatılması, füzyon reaktörleri için yakıt elde etmek amacı ile eritilerek elde edilen ufak topların hızlandırılması vb. birçok konuda yaygınlaşmıştır.

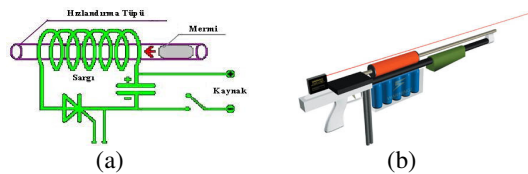
Daha sonra 1985'lerde DARPA, ABD Denizcilik İşletmeleri ve ABD Ordusunun gelişmiş zırhlı savaş araçlarını yenilgiye uğratabilecek kapasiteye sahip arazi savaş

araçları için elektromanyetik fırlatıcı teknolojilerini değerlendirmeye yönelmesiyle [2], ABD Savunma Bilimi Biriminin (DSB) desteği ile ABD'nin araştırmaları tekrar elektromanyetik fırlatıcılar konusuna yönelmiştir. Fakat bu yönelmede hâlihazırda kullanılabilen teknolojiler, SDIO'nun belirlediği ihtiyaçları karşılamaktan uzak kalmıştır. Çünkü zırhlı araçları tahrip etmek amacı ile fırlatılacak mermilerin tüm uçuşları atmosferin yoğun olduğu yerlerde gerçekleşecek olması nedeni ile fırlatma hızları, 3km/s ve aşağısına limitlenmiş durumda kalmıştır. Bu ise elektromanyetik fırlatıcıların ağır savaş araçlarının önündeki zırhlarını delme (tahrip etme) kabiliyetini zorlaştıran bir etkidir. Bu nedenle sonraki elektromanyetik fırlatıcı sistemlerinde yüksek verim amaçlı, raylı silahlardan fırlatmalar için plazma armatürleri yerine katı armatürler seçilmiştir. Potansiyel güç kaynakları olarak da kondansatörler ve darbeli alternatörler kullanılmıştır.

Günümüzün gelişen teknolojisi askeri alanda da inanılmaz boyutlara ulaşabilmekte, var olan silahların geliştirilmesi ve etkilerinin artırılmasının yanında, yeni tiplerde silahlar da araştırılmakta ve geliştirilmektedir.

## 2. Elektromanyetik Fırlatıcılar Kuramı

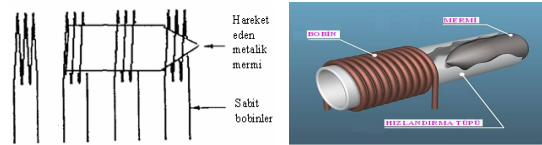
Elektromanyetik fırlatıcıların çalışmasının temel ilkesi, elektromanyetik teoriye dayanır. Gerçekleştirilmek istenen durum, değişen ya da hareket eden güçlü bir elektromanyetik alan yaratarak, hareket ettirilecek ya da fırlatılacak nesnenin bu elektromanyetik alanı takip etmesini sağlamaktır. Kuramsal olarak elektromanyetik alanın hareket etme hızında bir sınır olmadığı için, itici kuvvetin hızına ulaşması beklenen durumda, hızlandırılan nesne için de bir hız limiti yoktur. Bu tip uygulamaları bu denli ilginç kılan özellik de gelişmeye açık olmasıdır. Şekil 1 de basit bir elektromanyetik fırlatıcının açık ve kapalı yapısı gösterilmiştir [3-4].



Şekil 1. Basit bir elektromanyetik fırlatıcının

a) açık yapısı, b) kapalı yapısı

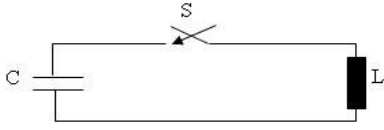
Hareket eden elektromanyetik alan ile nesnelere hareket ettirmek ilkesinden yararlanarak, farklı tipte uygulamalar yapmak mümkündür. Aslında bu yeni değildir; günlük hayatta sık sık kullandığımız elektrik motorları bunun çok genel uygulamalarıdır. Bu fırlatıcı türünde asenkron motorlarda olduğu gibi, elektromıknatıslara benzer bir yapı kullanılmaktadır. Bir sargıdan akım aktığında sargının çevresinde manyetik alan oluşturacaktır. Sargının iç hacminde bu manyetik akı yoğunlaşacaktır. Metalik bir cisim (mermi) sargının yakınına yerleştirilecek olursa manyetik akı, düşük relüktanslı olması nedeniyle bu cisim içinden akmayı tercih edecek ve manyetik indüksiyon oluşturarak cisim içine çekecektir. Şekil 2 de sargılı fırlatıcının ilkesel gösterimi verilmiştir [5-6].



Şekil 2. Sargılı fırlatıcının ilkesel gösterimi

Tek bir sargı kullanmak yerine, yan yana dizilmiş belirli sayıda sargılar kullanıldığında ve içinde hareket eden cismin hızına da bağlı olarak uygun bir hızda “elektrik akımın tetiklenmesi (ateşleme)” gerçekleştirildiğinde, fırlatma işlemi yapılmış olacaktır. Şekil 2 deki sargıdan akım geçirildiğinde, sargı içinde oluşan elektromanyetik alan mermiyi içine doğru çekmek isteyecektir. Bu noktadan hareketle, yan yana dizilmiş ve sıra ile akım verilen sargılar mermiyi içlerine çekerek hızlandıracaklar ve sargıların bittiği yerde kazandığı kinetik enerji ile mermi dışarı fırlatılacaktır.

Bu fırlatıcının elektrik eşdeğer devresi, temelde bir anahtar üzerinden paralel olarak bağlanmış bir sargı ve bir kondansatörden ibarettir. Bu elektriksel eşdeğer devresi Şekil 3 de gösterilmiştir [7].



**Şekil 3.** Sargılı fırlatıcının elektriksel eşdeğer devresi

Şekil 3 deki devre oldukça sade olup, sargıdan tekrar kondansatöre akacak ters (negatif) akım, aynı devreden birden fazla bağlanması durumunda, tetikleme zamanının ayarlanması gibi ihtiyaçlardan dolayı devreye bazı ilave elemanların da bağlanmasını zorunlu kılar.

Şekil 3 deki devreden görüleceği gibi elektromanyetik fırlatıcılarda kullanılan sargıdan dolayı indüktans ve direnç, sargıyı besleyen kapasiteden dolayı seri bir RLC devresine benzemektedir. Dolayısıyla elektromanyetik fırlatıcıları incelerken RLC devrelerinin özelliklerini de dikkate almak gerekir. Seri RLC devreleri, çoğu yüksek gerilim ve darbeli boşalma devrelerinde öncelikli bir modeldir.

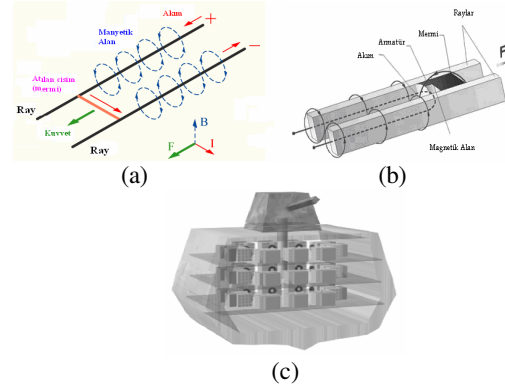
### 3. Elektromanyetik Fırlatıcıların Çeşitleri

- Raylı elektromanyetik fırlatıcılar
- Sargılı elektromanyetik fırlatıcılar
- Karma elektromanyetik fırlatıcılar
- Doğrusal hareketli fırlatıcılar

#### 3.1. Raylı elektromanyetik fırlatıcılar

Raylı elektromanyetik fırlatıcılar metal iki ray kullanılarak bu raylar arasındaki cismin, üzerinde (daha çok ufak kütlelerin) oluşturulan elektriksel itme kuvveti ile fırlatılması ilkesine dayanır. Ray malzemesi olarak çoğunlukla bakır kullanılmakla beraber, yüksek etkinlıklı raylı silahlar için daha yüksek iletkenlıklı, daha yüksek mekanik dayanımlı ve mega amperler mertebesindeki akımları taşıyabilecek daha özel çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Raylı fırlatıcılar konusunda ray direnci ile ilgili olarak raylarda oluşan ısınma nedeni ile ray ömrü, ray oyuk geometrilerinin verimliliğe etkisi vb. birçok konuda çalışmalar devam etmektedir. Şekil 4 de raylı fırlatıcıların genel yapısı ve gemilerden güdümlü mermilerin aşırı hızlarda fırlatılarak uzak kıyılardaki askerlere destek verilmesini

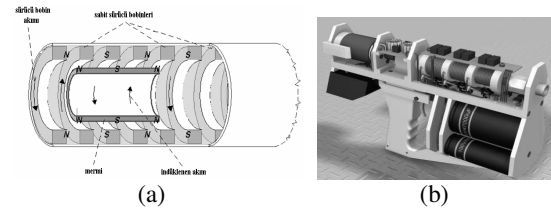
sağlayacak örnek bir raylı fırlatıcı prototip gösterilmiştir [8-10].



**Şekil 4.** Raylı elektromanyetik fırlatıcı a) genel yapı, b) fiziki yapı, c) örnek prototip

#### 3.2. Sargılı elektromanyetik fırlatıcılar

Sargılı fırlatıcılar ardışık sürücü sargılar kullanılarak oluşturulan elektriksel itme kuvveti ile bu sargılar arasındaki cismin fırlatılması ilkesine dayanır. Sargılı fırlatıcılar daha çok orta hızlarda fakat büyük kütleli cisimlerin fırlatılmasında önemli rol oynamaktadırlar. Şekil 5 de sargılı fırlatıcıların genel yapısı ile örnek bir sargılı fırlatıcı tabanca prototipi gösterilmiştir [11-12].



**Şekil 5.** Sargılı elektromanyetik fırlatıcı a) genel yapı, b) tabanca prototipi

Sargılı fırlatıcıların raylı fırlatıcılara göre temel üstünlükleri mevcut mekanik zorlanmanın daha geniş bir yüzeye yayılmış olması, mermi ve namlu arasındaki temassızlık nedeni ile uzun ömür ve daha yüksek verim olarak sayılabilir. Sargılı fırlatıcılar tek ya da çok bölmeli sargı yapıları kullanılarak üretilenlerdir.

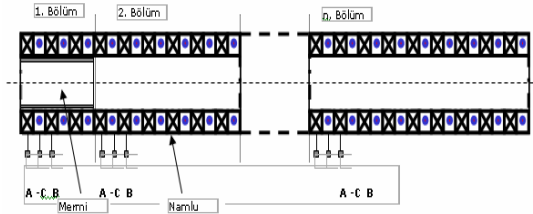
#### 3.3. Karma elektromanyetik fırlatıcılar

Karma fırlatıcılar, yapılarında hem raylı hem de sargılı fırlatıcıları bulunduran

sistemlerdir. Karma fırlatıcılar, yüksek akımlara ihtiyaç duyan raylı fırlatıcılar ve yüksek maliyetlerle gerçekleştirilebilen sargılı fırlatıcılara karşı en büyük üstünlüğü aynı sonuçlara ulaşmak için daha az akıma ihtiyaç duymalarıdır. Yine karma fırlatıcıların tasarımları ve gerçeklemlerinin raylı ya da sargılı fırlatıcılara karşı daha basit olduğu belirlenmektedir [13].

### 3.4. Doğrusal hareketli fırlatıcılar

Doğrusal hareketli fırlatıcılar, asenkron motor prensibine göre çalışan hava nüveli sargılı fırlatıcılardır. Namludaki sargılar, çok fazlı (3, 5 veya daha fazla) alternatif akım kaynağından beslenerek namluda seyahat eden dalga oluşması sağlanmaktadır. Mermi kapsülü ise içi boş bir alüminyum tüpten oluşmaktadır. Enerji kaynağı olarak kapasitör grupları veya motor/jeneratör sistemi kullanılmaktadır. Enerji verimliliğinin artırılması için namlu birden fazla bölüme ayrılabilir. Her bölüm farklı frekanslara sahip enerji kaynakları tarafından beslenmektedir. Bir bölümdeki enerji kaynağının frekansı, bir önceki bölümden daha yüksektir. Şekil 6 da üç fazlı çok bölmeli bir doğrusal hareketli fırlatıcı yapısı gösterilmiştir [14-15].

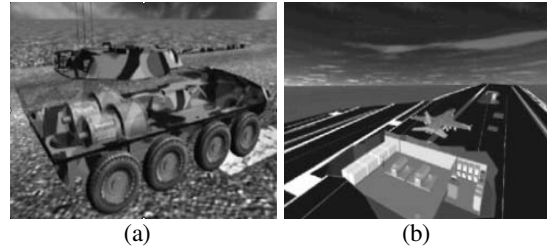


Şekil 6. Üç fazlı çok bölmeli doğrusal hareketli fırlatıcı

Yukarıda bahsedilen fırlatıcılardan başka elektrotermal-kimyasal (ETC) fırlatıcılar da mevcut olup, bu tür fırlatıcılar uygun bir maddenin elektromanyetik enerji ile etkileşimi sonucu ortaya çıkan ısı enerjisinin oluşturduğu itme kuvveti ile çalışır. Ayrıca ETC'ler ile raylı ve sargılı fırlatıcıların birlikte kullanıldığı karma sistemler mevcuttur [16].

### 4. Elektromanyetik Fırlatıcıların Kullanım Alanları

Son yıllarda özellikle ABD'de, elektromanyetik fırlatıcı bilimi ve teknolojisi yeni bir ilerlemenin eşiğindedir [10]. Bu ilerleme yüksek ve çok yüksek hızlı elektromanyetik fırlatıcılardaki yeni gelişmelere paralel olarak, gelişmiş elektromanyetik silah sistemleri için önemli bir adım olmuştur. Elektromanyetik fırlatıcıların kullanıldığı elektromanyetik silah sistemleri, uçak gemilerinden uçakların kaldırılması (fırlatılması), güdümlü silah sistemlerine karşı koruma sağlanması, mermilerin olağanüstü 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. Şekil 7 de elektromanyetik fırlatıcıların kullanıldığı sistemler gösterilmektedir [10].



Şekil 7. a) Elektromanyetik fırlatıcı yerleştirilmiş askeri savaş aracı, b) elektromanyetik fırlatıcı kullanılan uçak fırlatma sistemi

## 5. Yapılan Çalışmalar ve Bulgular

### 5.1. Gerçekleştirilmiş devre modeli

Gerçekleştirilen elektromanyetik fırlatıcı şekil 8 de gösterilmektedir.



Şekil 8. Gerçekleştirilen elektromanyetik fırlatıcı devresi

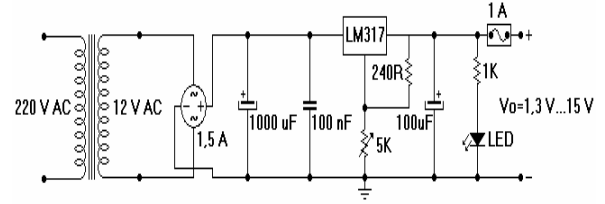
Şekil 8 de görüldüğü gibi elektromanyetik fırlatıcı dört ana bölümden oluşmaktadır:

- Anahtarlama devresini besleyen güç kaynağı
- Anahtarlama devresi
- Güç katı
- İvmelendirici sargılar

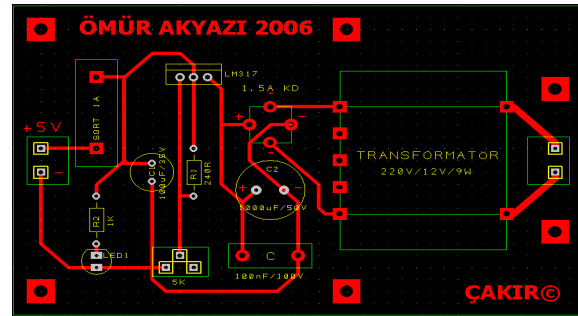
### 5.2. Anahtarlama devresini besleyen güç kaynağı

Güç kaynağının devre şeması Şekil 9 da ve baskı devre şeması Şekil 10 da görülmektedir. Devrenin giriş gerilimi 220V AC'dir. 220V şebeke gerilimi 9W'lık bir transformatorle 12V AC'ye indirilmekte ve AC çıkış gerilimi 1,5A'lık bir köprü diyotla DC'ye dönüştürülmektedir. Köprü diyot çıkışındaki 1000 $\mu$ F'lık kapasite DC işaretteki dalgalanmaları azaltmak için koyulmuştur. Kapasite çıkışındaki DC işaret LM317 doğru akım gerilim düzenleyicisi ve çevre elemanları (240 $\Omega$ , 5k $\Omega$  potansiyometre) ile regüle edilmektedir. Devrenin çıkışında, güç kaynağının çalıştığını gösteren bir LED ve aşırı akımlara karşı devreyi koruyan 1A'lık bir sigorta bulunmaktadır. Güç

kaynağının çıkış gerilimi, 5k $\Omega$ 'luk potansiyometre yardımıyla 1,3V ile 15V arasındaki herhangi bir değere ayarlanabilir.



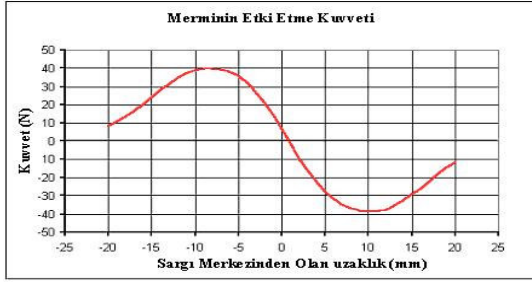
Şekil 9. Güç kaynağının devre şeması



Şekil 10. Güç kaynağının baskı devre şeması

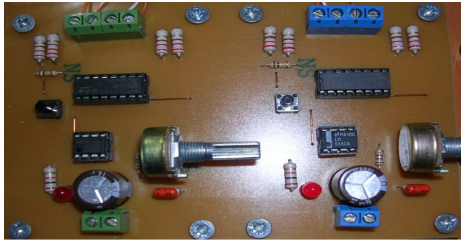
### 5.3. Anahtarlama devresi

Elektromanyetik fırlatıcılarda sargıların tetiklenme zamanı büyük önem taşımaktadır. Mermi daha sargının başlangıcında iken sargı enerjilenmeli, tam orta noktada yani sargı ile mermi merkezleri aynı hizaya geldiğinde sargının enerjisi kesilmelidir. Böyle yapılmak suretiyle merminin maksimum hıza erişmesi sağlana bilir. Sargılı fırlatıcılarda en iyi sonucu elde etmenin yolu kuvvetin sargı içinde mermi hareketi ile değişimini anlamaktır. Şekil 11 deki grafik, 20mm $\times$ 10mm boyundaki yuvarlak burunlu bir mermi üzerinde tipik kuvvet değişiminin göstermektedir. Kuvvet eğrileri neredeyse simetriklerdir. Fakat merminin simetrisi orta noktanın hemen önünde kuvvetin sıfıra düştüğü manasına gelmektedir [17].

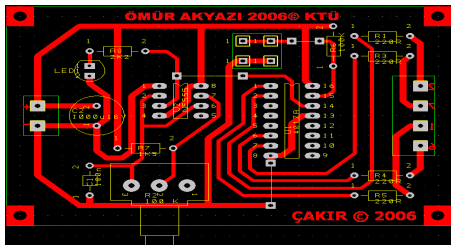


Şekil 11. Sargının merkezinden olan uzaklığa bağlı olarak kuvvetin değişimi

50Amm<sup>2</sup> sabit akım yoğunluğu ve düz bir şekilde yerleştirilmiş namlu içindeki mermi ile yapılan 21 simülasyonluk bir seri işlem sonucunda kuvvet eğrisi çizilmiştir [17]. Burada önemli olan şey; bu eğrinin, sargının içinde yarı yolda meydana gelen maksimum kuvveti aşağı yukarı veriyor olmasıdır. Şu bilinmelidir ki mermi orta noktayı geçerken kuvvetin eğimi hayli diktir. Burada akım darbesinin tamamen söndürülmesi önerilir. Aksi takdirde mermi bizim kaçınmamız gereken şekilde ters yönde bir ivmeye maruz kalacaktır. Tasarlanan devrede sargıların sıra ile tetiklenmesini sağlayan anahtarlama devresi ve bu devrenin baskı devre şeması şekil 12 de gösterilmiştir.



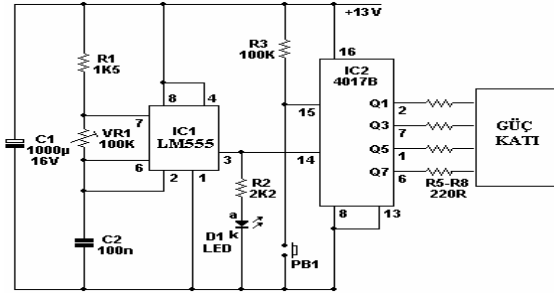
(a)



(b)

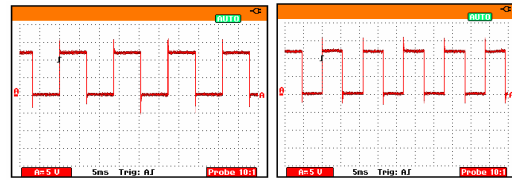
Şekil 12. a) Sargıların tetiklenmesini sağlayan anahtarlama devresi, b) anahtarlama devresi baskı devre şeması

LM555 entegresi, devre içinde osilatör olarak kullanılmıştır. İstenilen frekans ve doluluk oranının doğru olarak ayarlanması için iki adet direnç ve bir adet kapasitör LM555'in ilgili bacaklarına bağlanmıştır. LM555'te üretilen kare dalga, 10 bölümlü Johnson sayıcısı olan CD4017'nin 14 nolu bacağına bağlanmıştır. LM555 ve CD4017 entegrelerinden oluşan anahtarlama devresinin bağlantı şeması şekil 13 de verilmiştir.



Şekil 13. Anahtarlama devresi bağlantı şeması

LM555'in gerekli işlevini yerine getirip getirmediği, entegrenin 3 nolu bacağına bağlı D1 nolu LED'in ON-OFF durumundan anlaşılmaktadır. LM555'in 6 ve 7 nolu bacakları arasında bağlanmış olan 100K değerindeki ayarlanabilen direnç ile CD4017'nin girişine uygulanan kare dalganın frekansı değiştirilir. Direnç değerleri sırasıyla 96.5KΩ ve 76.5KΩ iken elde edilen LM555 çıkış sinyalleri şekil 14 de gösterilmiştir.

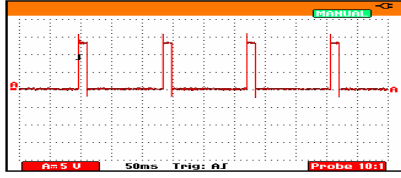


Şekil 14. LM555 çıkış sinyali

a) VR1=96.5KΩ,  $f = 74\text{Hz}$

b) VR1=76.5KΩ,  $f = 91\text{Hz}$

CD4017'nin 15 nolu bacağına bağlanan tetikleme düğmesi yardımı ile Güç Katı için gerekli olan tetikleme işaretlerinin üretimi gerçekleştirilir. CD4017'nin 2 nolu bacağından elde edilen çıkış sinyali şekil 15 de verilmiştir.

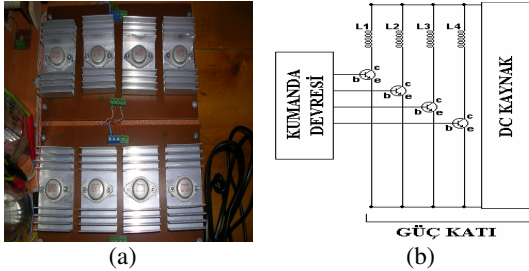


Şekil 15. Fluke 199C osiloskobundan alınan CD4017 çıkış işareti

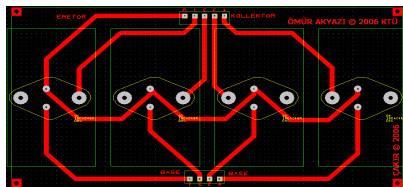
Şekil 15 de görülen çıkış sinyalleri, güç katında bulunan 2N3773 NPN güç transistörlerinin base bacağına uygulanarak, sargıların sırasıyla enerjilenmesi sağlanır.

#### 5.4. Güç katı

Güç Katı, toplam 8 güç transistöründen oluşmaktadır. Transistörler 16A, 140V NPN 2N3773 özelliklerine sahiptir. Anahtarlama devresinde üretilen sinyaller, ilgili transistörlerin base uçlarını iletme sokarak, transistörlerin kolektör ve emiter uçlarının kısa devre olmasını sağlar. Transistörlerin iletme geçmesiyle transistörlere bağlı sargılar enerjilenir ve böylece fırlatılacak olan cisim üzerinde harekete geçmesi için gerekli olan manyetik alan elde edilir. Güç katı devresi, devre şeması ve baskı devre şeması sırasıyla şekil 16 ve 17 de verilmiştir.



Şekil 16. Güç katı a) genel görünüşü, b) devre şeması



Şekil 17. Güç katı baskı devre şeması

Transistör anahtarlama elektromanyetik fırlatıcılarda mermi sargının merkezini geçtikten

sonra sargı akımının kesilmesine izin verir. Burada sargıları besleyen enerji kaynağı olarak varyak, tam köprü doğrultucu ve kondansatörden oluşan sistem kullanılmıştır. Kondansatörün devredeki rolü, plakalar arasında depolanan gerilimi tutmaktır. Kondansatör uçlarında depolanan gerilim, güç transistörlerinin iletme geçmesiyle sargılar üzerinden boşalır.

#### 5.5. İvmelendirici sargılar

Elektromanyetik fırlatıcılarda mermiyi ivmelendiren sargılar tasarlanırken, sargıların belirlenen akımı taşıyabilecek en küçük kesite ve tepe akımının belirlenen akım değerini aşmasını engelleyecek yeterli dirence sahip olmasına dikkat edilmelidir.

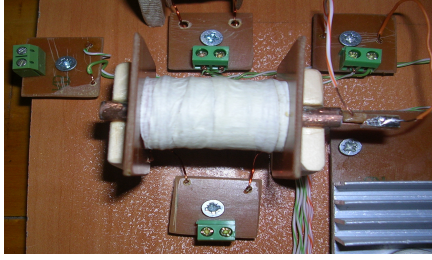
Şu bilinmelidir ki sargı akımını sınırlayan sargının indüktansı değil sargının direncidir. Akımın oluşması için gerekli zaman devrenin " $L/R$ " zaman sabiti ile belirlenir. Burada " $R$ " sargının iç direncini ve aynı zamanda harici direnci içermektedir. Eğer " $L/R$ " çok büyükse mermi sargıdan geçerken akım maksimum değerine ulaşacak yeterli zamana sahip olamayacaktır. Maksimum kuvveti elde edebilmek için sargı akımı mermi bobine girmeden önce anahtarlanarak devreye verilmelidir. Bu anahtarlama mesafesi merminin yaklaşık hızına ve devrenin " $L/R$ " zaman sabitine bağlıdır.

Akım, mermi sargının merkezinden geçerken (veya az öncesinden) mümkün olduğu kadar hızlı bir biçimde düşürülmeli veya kesilmelidir. Akımı kesme karakteristiği açma karakteristiğinden daha önemlidir. Çünkü mermi bu anda daha hızlı hareket etmektedir. Tasarım prosedürü merminin bobinin dışarısında olmasını gerektirir. Mermi bobinin dışında olduğu zaman endüktans en düşük değerini alır ve tepe akımıysa en büyük değerini alır. Şekil 18 de merminin ivmelendirilmesi için kullanılan sargılar gösterilmektedir.



Merminin yerleştirildiği pozisyon manyetik akımın yönü üzerinde de etkili olacaktır.

Sargılı fırlatıcıların çalışma ilkeleri karma fırlatıcılar içinde geçerlidir. Bu tür fırlatıcılar, yapılarında hem raylı hem de sargılı fırlatıcıları bulundurmaktadır. Karma fırlatıcıların maliyeti daha düşük, verimi daha yüksektir. Karma fırlatıcıların tasarımı ve gerçeklenmeleri diğer fırlatıcı türlerine göre daha basittir. Yapılan çalışmada gerçekleştirilen karma fırlatıcı genel görünümü şekil 20 de gösterilmiştir.



Şekil 20. Karma fırlatıcı genel görünüşü

Karma fırlatıcı, sargılı fırlatıcı sisteminde kullanılan kontrol devresi ile çalıştırılmaktadır. Ancak sargılı fırlatıcılardan farklı olarak ray sistemine sahip olmasından dolayı bu ray sistemini besleyecek ayrı bir DC güç kaynağına ihtiyaç vardır. Karma fırlatıcılarda kullanılan sargı kesiti 0.60mm, sarım sayısı 500, sargı direnci 1.8  $\Omega$  , sargı indüktansı 0.846 mH, ray olarak kullanılan malzeme türü bakırdır.

Yapılan çalışmada gerek sargılı fırlatıcıda gerekse karma fırlatıcıda sargıların ürettiği kuvvet aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$F_{\ddot{u}} = B.i.l \quad (1)$$

Burada,  $F_{\ddot{u}}$  üretilen kuvvet,  $B$  sargıların oluşturduğu manyetik akı yoğunluğu,  $i$  fırlatılacak nesne üzerinden akan girdap akımı ve  $l$  fırlatılacak nesnenin boyudur.

Üretilen bu kuvvetin karşıladığı kuvvetler, "Hareket Deklemi" ile şu şekilde ifade edilir.

$$F_{\ddot{u}} = F_i + F_s + F_y \quad (2)$$

$$F_i = M \frac{dv}{dt} , \quad F_s = f.v , \quad F_y = G \quad (3)$$

Burada,  $F_i$  ivme kuvveti,  $F_s$  sürtünme kuvveti ve  $F_y$  yük kuvvetidir.  $G$  hareket eden nesnenin ağırlığı,  $M$  hareket eden nesnenin kütlesi,  $f$  hareket eden nesnenin sürtünmesidir.

Yerçekimi ivmesi  $g$  olmak üzere  $M$  kütlesi şu şekilde ifade edilir.

$$M = \frac{G}{g} \quad (4)$$

Sürtünme kuvvetini ihmal ettiğimizde sargıların oluşturduğu kuvvet şu şekildedir.

$$F = M \frac{dv}{dt} + G \quad (5)$$

Ağırlığı, silindirik yapıyı dikkate alarak yazacak olursak

$$G = \gamma.D.l \quad (6)$$

Burada  $\gamma$  , özgül ağırlığı göstermektedir.

(4) ve (6) denklemleri (5) denkleminde yerine yazılırsa;

$$F = \frac{\gamma.D.l}{g} \frac{dv}{dt} + \gamma.D.l \quad (7)$$

elde edilir. Buradan  $\frac{dv}{dt}$  çekilerek hızın kuvvete ve fırlatılacak cismin ağırlığına bağımlılığını inceleyebiliriz. Bu durumda hız,  $V_0$  ilk hız olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$v = \int \frac{F.g - G}{G} dt + V_0 \quad (8)$$

Denklem (8)'den de anlaşılacağı gibi hız kütlelerin ağırlığıyla ters orantılı, sargıların oluşturduğu kuvvet ve ilk hızla doğru orantılıdır. Yukarıda fırlatıcının hız ve kuvvet ilişkisini belirten bağındılar verilmiştir. Kullanılan ivmelendirici sargıların tasarımı başka bir makalede sunulacaktır.

## 6. Sonuçlar

Mermi boyu sargı boyuna eşit olmalıdır. Mermi, başlangıçta sargının dışında olmalı, sargı ortasına geldiğinde sargının enerjisi kesilmelidir.

Enerji kaybını önlemek için namlu olarak kullanılacak malzeme manyetik yalıtkan olmalıdır. Mermi olarak kullanılacak cisim manyetik iletken olmalıdır.

Hava boşluğu dolayısıyla oluşan manyetik relüktans olabildiğince azaltılmalı ve hava boşluğunu en aza indirmek için namlu et kalınlığı olabildiğince az olmalıdır.

Tek sargılı elektromanyetik fırlatıcılarda sargının tetiklenmesi çok önemli değildir ancak yan yana sıralanmış birden fazla sargılı fırlatıcılarda sargıların sıra ile tetiklenmesi önemlidir. Mermi sargının başında iken enerji uygulanmalı sargının ortasına gelince sargının enerjisi kesilmelidir. Aksi taktirde mermi ileri yönde ivmeleneyeceğine ters yönde ivmelenilebilir.

Karma elektromanyetik fırlatıcıların sargılı elektromanyetik fırlatıcılara göre verimi daha yüksek, maliyeti daha düşüktür.

Elektromanyetik fırlatıcıların diğer mekanik fırlatıcılara nazaran kayıpları daha az, verimleri daha fazladır ve gelişmeye daha açıktırlar.

## 7. Kaynaklar

1. H. D. Fair, "Introduction", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 22, No. 1, pp.1379, 1986.
2. H. D. Fair, "Hypervelocity hyperkinetic energy weapons", Mil. Technol. Vol XIV, pp. 39–55, 1990
3. 19 Nisan 2007 tarihindeki aktif adres: <http://www.rappinstruments.de/accelerator/Coilgun/coilgun.htm>
4. 19 Nisan 2007 tarihindeki aktif adres: [www.sfwar.com/pyodogi/pyodogi0001b.htm](http://www.sfwar.com/pyodogi/pyodogi0001b.htm)
5. 19 Nisan 2007 tarihindeki aktif adres: [www.nas.nasa.gov/.../Nowicki/SPBI112.HTM](http://www.nas.nasa.gov/.../Nowicki/SPBI112.HTM)
6. 19 Nisan 2007 tarihindeki aktif adres: <http://members.home.nl/yja.wolters/Coilgun/Coilgun1.htm>
7. F. Yenigün, İ.H. Çavdar "Bobin Silahı", Bitirme Tezi 2004 K.T.Ü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
8. 19 Nisan 2007 tarihindeki aktif adres: [http://www.physics4u.gr/articles/2006/electromagnetic\\_propulsion.html](http://www.physics4u.gr/articles/2006/electromagnetic_propulsion.html)
9. 19 Nisan 2007 tarihindeki aktif adres: <http://www.global-defence.com/1997/High-speed.html>
10. H.D. Fair, "Electromagnetic Launch Science and Technology in the United States Enters a New Era", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 41, No. 1, pp. 158–164, January 2005
11. M.Liao, Z.Zabar, D.Czarkowski, E.Levi and L.Birenbaum, "On the Design of as a Rapid-Fire Grenade Launcher" IEEE Transaction on Magnetics, Vol.35, No.1, January 1999
12. 19 Nisan 2007 tarihindeki aktif adres: [http://www.coilgun.eclipse.co.uk/electromagnetic\\_pistol.html](http://www.coilgun.eclipse.co.uk/electromagnetic_pistol.html)
13. Y. Shirong, W. Ying, C. Shanbao, P. Guohua, L. Xuqiong, W. Wei, "A Novel Type Rail-Coil Hybrid Electromagnetic Launcher", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 41, No. 1, pp. 266–267, 2005.
14. A.Balikci, "Flywheel Motor/Generator Set as an Energy Source for Coil Launchers", Ph. D. Dissertation, Polytechnic University, June 2003.
15. E. Bıcağ, "Elektromanyetik Fırlatıcı", Lisans bitirme tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze, Kocaeli, Haziran 2005.
16. J. Sun, Y. Lv, Y. Wang, G. Feng, "Simulation and Research of One-Dimensional Coupling Model of Solid Propellant Electrothermal-Chemical Gun", IEEE Transaction on Magnetics, Vol. 41, No. 1, pp. 360-363, 2005.
17. 19 Nisan 2007 tarihindeki aktif adres: [http://www.coilgun.eclipse.co.uk/coilgun\\_fundamentals\\_1.html](http://www.coilgun.eclipse.co.uk/coilgun_fundamentals_1.html)