

İNDÜKSİYON BOBİN SİLAHINDA MERMİ GÖZLEM VE KONTROLÜ

İsmail COŞKUN ve Osman KALENDER

Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fak., Gazi Üniversitesi, Beşevler, Ankara
Teknik Bilimler Bölümü, Kara Harp Okulu Dekanlığı, Bakanlıklar, Ankara
icoskun@gazi.edu.tr, okalender@kho.edu.tr

(Geliş/Received: 15.01.2007; Kabul/Excepted: 10.05.2007)

ÖZET

Bu çalışmada çok kademeli indüksiyon bobin silahı için bir mermi gözlem ve kontrol sistemi tasarlanmış ve prototipi gerçekleştirilmiştir. İndüksiyon bobin silahında, mermi bobini ile stator bobini arasındaki senkronizasyon, özellikle kademe sayısı arttıkça son derece önem kazanmaktadır. Mermi bobini ile stator bobini arasında mekanik veya elektriksel bir bağlantı olmaması, mermi ve sürücü bobini arasında sadece manyetik kuplajın olması da bu iki bobin arasındaki senkronizasyon probleminin çözümünü güçlendirmektedir. Bu çalışmada, çok kademeli indüksiyon bobin silahları için 6000m/s mermi hızına kadar, kararlı bir biçimde senkronizasyon problemini ortadan kaldıran ve bu suretle ateşleme zamanlaması hatalarını minimuma indiren mikrodenetleyici kontrollü yeni bir gözlem ve kontrol sistemi önerilmiştir. Gerçekleştirilen kontrol sistemi ve bu sistem için hazırlanan yazılım bu makale kapsamında ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok kademeli indüksiyon bobin silahı, gözlem ve kontrol, PIC mikrodenetleyici

MONITORING AND CONTROL OF THE PROJECTILE IN AN INDUCTION COIL GUN

ABSTRACT

In this study a projectile monitoring and control system for multistage induction coil gun has been designed, and relevant prototype is produced. Synchronization between the projectile coil and stator coil becomes more important, especially, as the number of stages increases. Both the absence of a mechanical or electrical contact between the coils and presence of only magnetic coupling between the projectile and stator coils also render solving the problem of synchronization between these two coils difficult. A new microcontroller monitoring and control system is proposed to minimize timing error for multistage coil guns up to 6000m/s. The control system produced and the related software prepared have been elaborated within the context of this study.

Keywords: Multistage induction coil gun, monitoring and control, PIC microcontroller

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İndüksiyon Bobin Silahı (İBS), esasen aralarında manyetik kuplaj olan, sürücü ve mermi bobini olarak adlandırılan, iki bobinden oluşan bir elektromanyetik fırlatıcıdır. Zamanla değişen sürücü bobini akımı, mermi bobininde bir akım indükler. Böylece, iki bobin arasında Lenz kanununa göre bir itme kuvveti oluşur. Çok kademeli İBS'da bu itme işlemi her kademede tekrarlanır.

İBS için temel sınırlamalar; sürücü ve mermi bobini arasındaki senkronizasyon ile hızlı kontrol ve anahtarlama. Sürücü bobinin enerjilendirilmesi için mermi bobininin uygun kuplaj bölgesinde olması ve bu bölgeyi terk etmeden de sürücü bobine aktarılacak enerjinin tamamının aktarılması gerekmektedir. Mermi bobini hızı arttıkça, bu bobinin uygun kuplaj bölgesinde kalma süresi azalır ve bu da sinyal yayılma ve anahtarlama zamanını kısaltır.

Mermi için uygun konumunun belirlenmesi maksadıyla yapılan ilk çalışmalarda, mermi hareketinin sağlandığı kanal (namlu) boyunca karşılıklı metal çubuklar yerleştirilmiştir. Mermi namludan geçerken, bu çubukları kısa devre etmekte ve bu yolla merminin konumu hakkında bilgi edinilmektedir. Daha sonraki çalışmalarda mekanik algılama yerine optik sistemlerle mermi konumu algılanmaya başlanmıştır. Belli başlı noktalarda mermi algılanmakta ve uygun kuplaj bölgesine ulaşması için geçmesi gereken zaman kadar gecikme sağlanmaktadır[1,2]. Bu uygulamalarda mekanik problemlere ilave olarak, yapılacak gecikme, 0.1µs'lik adım aralıklarıyla olmak ve 4500 µs'yi geçmemek zorundadır. Başka bir deyişle uygun kuplaj bölgesi ve sürücü bobinin enerjilendirilme zamanının tespitinde önemli hata payı vardır.

Mermi hızını ölçmede iki noktaya yerleştirilen optik sensörleri kullanmak, bu iki nokta arasındaki geçiş hızına bağlı olarak ölçülen hız bilgisini kullanarak uygun kuplaj bölgesini bulmak da başka bir yöntemdir[3]. Burada, elde edilen mermi hızı için önceden bir EPROM'a kaydedilmiş bir düzeltme tablosundan yararlanılarak sürücü bobin için uygun kuplaj bölgesi ve enerjilendirilme zamanı tespit edilmektedir. Hız ölçümünün iki nokta arasında yapılması; ölçüm doğruluğunu artırmakla birlikte, hızlı anahtarlama ihtiyacı bakımından olumsuz bir uygulamadır. Ayrıca, hazırlanacak düzeltme tablosu yapılacak her atışın özdeş olacağı varsayımına dayanmaktadır.

Merminin namlu içerisindeki konumunu gerçek zamanlı olarak belirlemek için, Lazer mesafe ölçüm cihazından da yararlanılmıştır. Bu çalışmada, 50 mm çapında ve 200-400 gr arasındaki mermiler için 1000 m/s hıza kadar uygun kuplaj bölgesi tespiti yapılmıştır[4]. Bu çalışmada, mermilerin arka yüzeyine yapıştırılan yansıtıcı bir malzeme ile gönderilen Lazer sinyali yansıtılmış ve geri gelen sinyal yardımı ile gerçek zamanlı hız ve konum ölçümü yapılmıştır. Ancak mermi çapı küçüldükçe bu uygulamanın yapılması mümkün olmamakla birlikte, hızlı anahtarlama ve kontrol işlemi için gerekli zaman ihtiyacı yüksek mermi hızları için karşılanamamaktadır. Merminin uygun kuplaj bölgesinde olmaması, sürücü bobinin biraz erken veya geç enerjilendirilmesi durumunda bir itici kuvvet elde edilememektedir[5]. Hatta kuplaj bölgesinin tespitinde yapılacak daha büyük hatalarla ters yönde itici kuvvetlerin elde edilmesi de olasıdır[6,7].

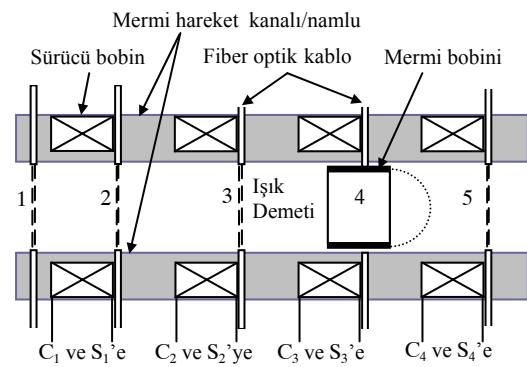
Bu çalışmada önerilen ve prototipi gerçekleştirilen kontrol sistemi ile, kullanıcının mermi çapı ve kütlelerinden bağımsız olarak, kuplaj bölgesi tanımını basit bir biçimde her atış için değiştirebilmesine olanak sağlanmıştır. PIC

mikrodenetleyici ile her kademe girişinde mermi bobini hızı tek nokta referans alınarak ölçülmüştür. Ölçümün yapıldığı nokta başlangıç olacak biçimde mevcut hız ile merminin namlu içerisinde alacağı yol hesaplanmakta ve hazırlanan arayüzde ateşlemenin yapılması istenen konum bilgisi milimetrik olarak seçilebilmektedir. İkinci kademenin girişinde yapılan hız ölçümü aynı zamanda birinci kademe sürücü bobin için çıkış hızı bilgisidir. Mermi hızı ölçümünün iki nokta arasında yapılması yerine tek noktada yapılması, hız bilgisinin elde edilmesi için gerekli süreyi azaltmış ve bu suretle kontrol işlemi için gereken toplam süre de azaltılmıştır. Buna ilave olarak mermi gözlem ve kontrolü için gerekli hız bilgileri birinci kademe dışında, tüm kademeler için bir önceki kademenin çıkışından alınarak, merminin bu noktadan sıradaki kademeye geçişi için geçen süre de kontrol için gerekli hesaplamaların yapılması için kullanılmıştır.

Bu makale kapsamında, ilk olarak bu alanda yapılan çalışmalar değerlendirilerek sistem kısaca tanımlanmıştır. İkinci bölümde sistemin yapısı, üçüncü bölümde kontrol sistemi için hazırlanan yazılım, dördüncü bölümde deneysel sonuçlar ve beşinci bölümde de elde edilen bulgular değerlendirilmiştir.

2. MERMİ GÖZLEM VE KONTROL SİSTEMİ (PROJECTİLE MONITORING AND CONTROL SYSTEM)

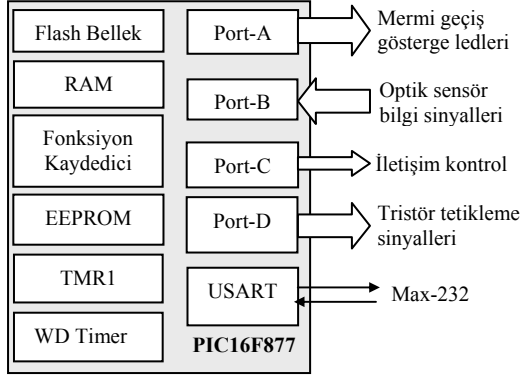
Bu çalışmada dört kademeli İBS [8] için bir mermi gözlem ve kontrol düzeneği tasarlanmış ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.'de çalışmaya esas olan İBS eşdeğer yapısı görülmektedir.



Şekil 1. Tasarlanan İBS eşdeğer yapısı
(The equivalent construction of induction coil gun designed)

Şekil 1'deki yapı, dört kademeli bir İBS için kesit görünümüdür. Şekildeki 1 nolu ışık demeti mermi giriş hızını ölçmede kullanılmaktadır. Bu hız bilgisi birinci kademede uygun kuplaj bölgesinin tespiti için kullanılmaktadır. Birinci kademe çıkışındaki 2 nolu ışık demeti de birinci kademe çıkış hızını

ölçmek için kullanılmaktadır. Bu hız aynı zamanda ikinci kademe için giriş hızı bilgisidir. 5 nolu ışık demeti ile ölçülen hız İBS için nihai çıkış hızı bilgisidir. Kontrole yönelik bir maksatla kullanılmamaktadır. İBS’da mermi gözlem ve kontrolü için PIC16F877 mikrodnetleyicisi kullanılmıştır. Şekil 2’de PIC mikrodnetleyicinin hafıza ve port yapısı görülmektedir.



Şekil 2. PIC Mikrodnetleyici hafıza ve port yapısı
(The memory and port construction of the microcontroller)

PIC16F877’nin giriş olarak ayarlanan B portunun ilk beş biti optik sensörlerden gelen darbe genişliklerini alarak ölçmektedir. Bu darbenin genişliği merminin sensöre giriş ve çıkışı arasındaki zaman farkıdır. Sensör bu süre boyunca bağlı olduğu giriş pinine mantık’1’ değeri göndermektedir. Ölçülen bu değer kullanılarak tristörlerin en uygun noktada anahtarlanması için gerekli olan tetikleme zamanları hesaplanmaktadır. Tristörlerin en uygun tetikleme zamanları bilgisayardan girilmiş olan mermi ateşleme mesafeleri ve mermi boyu kullanılarak hesaplanmaktadır. Tristör tetikleme sinyalleri mikrodnetleyicinin D portunun ilk dört pininden üretilmektedir. Tetikleme sinyallerinin darbe sayısı ve genişliği bir değışkene bağlanarak istenilen şekilde ayarlanabilmektedir.

Merminin her sensörden geçiş bilgisi A portuna gönderilerek ilgili ledin yanması sağlanır. Böylece merminin namlu içindeki hareketi de gözlenmiş olur. Eğer mermi namluyu sorunsuz bir şekilde terk ederse bobinlere ait ledler sırayla yanar veya söner. Yanma veya sönme durumu portun bir önceki konumuna bağlıdır. Mermi herhangi bir nedenle namlu içinde kalırsa veya ölçme sisteminden kaynaklanan bir hata olursa ledlerin sırasıyla yanması veya sönmesi gözlenemez.. Bu durumda

mikrodnetleyicideki Watch Dog Timer devreye girerek 3 saniye sonra mikrodnetleyiciyi sıfırlar.

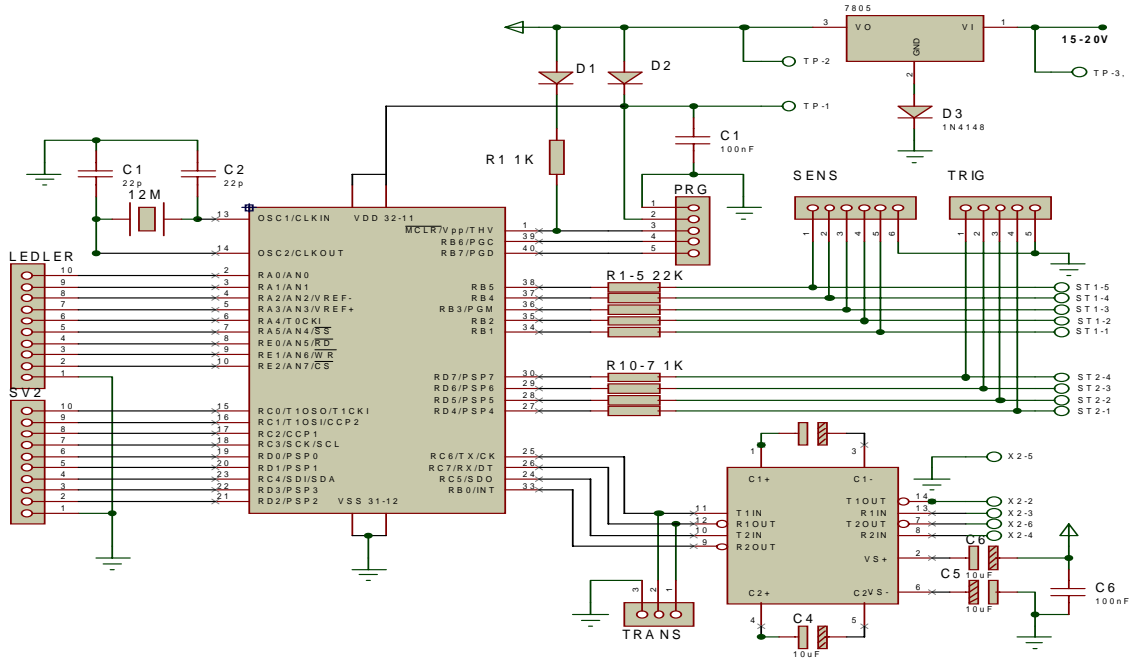
Bilgisayar ile mikrodnetleyici arasındaki iletişimi test etmek için C portunun 5. pini çıkış olarak kullanılmıştır. Ekrandaki “Bağlan” düğmesine basıldığında bilgisayar seri portundan mikrodnetleyiciye ilk bağlantı için bir kod gönderilir. Eğer bağlantıda herhangi bir problem yoksa mikrodnetleyici bu kodu alır ve C portunun 5. ininin sayısal konumunu değıştirir. Bu konum değışikliği Max-232 entegresi aracılığı ile bilgisayarın seri portuna aktarılır. Bilgisayar Delphi yazılımı ile ekrana bağlantının gerçekleştirildiğini gösteren bir mesaj verir. Aksi durumda bağlantı ile ilgili bir uyarı mesajı verir.

Tetikleme zamanı 16F877’nin 16 bit TMR1 zamanlayıcısı kullanılarak hesaplanır. Mermi optik sensöre girer girmez TMR1 sıfırdan itibaren yukarı doğru saymaya başlar. Mermi, sensörü tamamen terk edince merminin sensörden geçiş periyodu hesaplanır. Buradan da mermi boyu daha önce girilmiş olduğundan temel hız denklemi ile merminin sensörden geçiş hızı hesaplanmış olur. Merminin bu hızla göre istenen ateşleme noktasına ulaşmaya kadar geçen süre TMR1’e eklenir. Böylece merminin bobine giriş hızı ve boyu farklı olsa da daha önce belirlenen ateşleme noktasında tristör tetiklenmiş olur. Bu sistemin önemli bir avantajıdır. Tristör tetikleme sinyalleri için D portunun ilk dört biti çıkış olarak ayarlanmıştır.

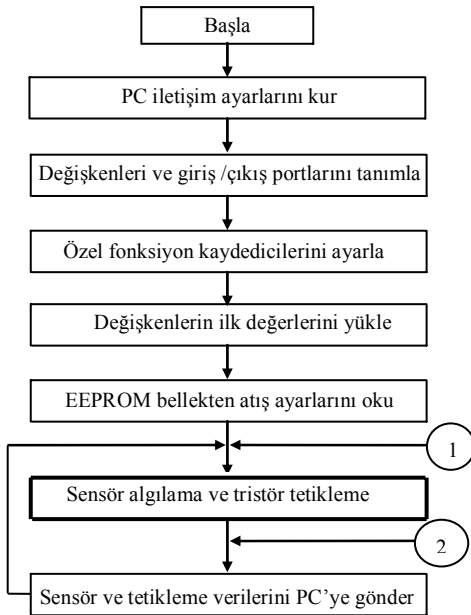
Merminin ateşleme mesafesi, mermi boyu, tetikleme darbe genişliği ve darbe sayısı Delphi yazılımı ile geliştirilen bir ekrandan girilebilmekte ve mikrodnetleyiciye seri iletişim arabirimi yardımıyla aktarılmaktadır. Bu iletişim mikrodnetleyicide bulunan USART biriminin Rx ve Tx pinleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mikroişlemeicide üretilen bu sinyaller Max-232 entegresi kullanılarak uygun gerilim seviyelerine getirilerek bilgisayara aktarılmıştır. İletişim iki yönlü olarak 2400 baud hızında yapılmaktadır. Şekil 3’de PIC mikrodnetleyicinin çevre birimleri ile bağlantısı gösterilmiştir.

3. YAZILIM (SOFTWARE)

Bu çalışmada, ölçümler ve gerekli kontrol sinyallerini üretmek için kullanılan mikrodnetleyici ana programına ait akış şeması Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 3. PIC mikrodenetleyicinin çevre birimleri ile bağlantısı (The scheme for PIC microcontroller and peripheral units)



Şekil 4. Mikrodenetleyici ana programı akış şeması (Flowchart of the main software of microcontroller)

Sistem çalıştırıldığında mikrodenetleyicide ilk olarak PC iletişim ayarları yapılır. Program içinde kullanılacak değişkenler tanımlanır ve portlara ait pinler kullanım maksatlarına göre giriş veya çıkış olarak ayarlanır. Kullanılacak kesme bayraklarına ait özel fonksiyon kaydedicilerine ve kullanıcı tanımlı değişkenlere ait ilk değerler yüklenir. EEPROM'da daha önce kaydedilmiş olan atış ayarlarına ait veriler okunup karşılığı olan değişkenlere atanır. Bu işlemlerden sonra akış şeması Şekil 5'de gösterilen sensör algılama ve tristör tetikleme alt programı devreye girer. Bu alt

programda mikrodenetleyici hem PC'den gelebilecek bir iletişim sinyalini hem de merminin ilk sensörden geçişini bekler. Mermi geçişini tamamladıktan sonra elde edilen sensör ve tristör tetikleme verileri bilgisayara aktarılır.

Sensör algılama ve tristör tetikleme alt programı, her bobin grubunun ateşlenmesi için tekrarlanan bir program parçasıdır. Namluda mermi hareketi olmadığı sürece, başka bir deyişle ilk sensör mermiyi algılamadığı sürece, sistem bilgisayardan her an veri alınacakmış gibi hazır tutulur. Veri alındığında, veri okuma alt programı çalıştırılarak alınan veriler EEPROM'a kaydedilir ve program, sensör algılama ve tristör tetikleme alt programının başına döner. Mermi namludan geçerken merminin hızı ölçülerek EEPROM'dan okunan değerlere göre tristör tetikleme zamanı hesaplanır. TMR1 zamanlayıcısı hesaplanan zamana kurulur.

Mikrodenetleyici D portunda tristör tetikleme sinyalini üretmek için TMR1'in zaman aşımına uğramasını bekler. Bu işlem merminin her bir sensörden geçişinde tekrarlanır. Mermi sensörlerin tümünden geçtikten sonra sensör ve tetikleme verileri bilgisayara gönderilir. Merminin namluda sıkışması veya sensör okuma hatası gibi nedenlerden dolayı sistemin çalışması esnasında bir problem olursa, mikrodenetleyici otomatik olarak resetlenir.

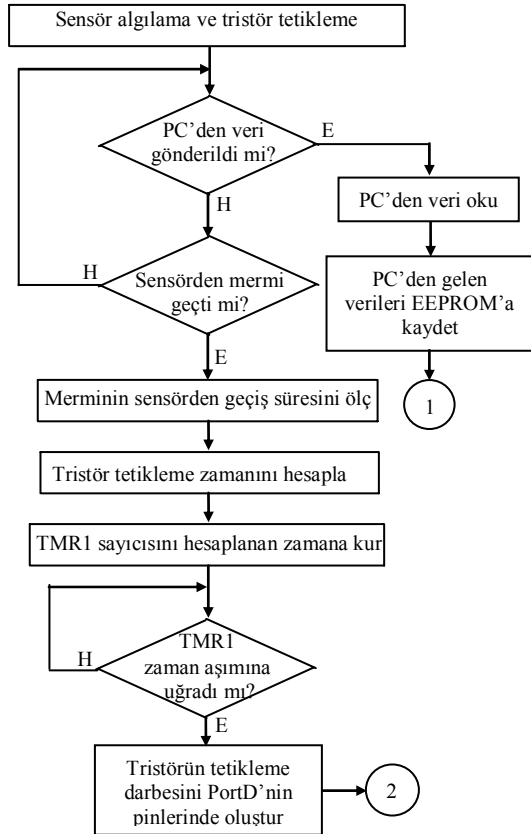
4. DENEYSEL SONUÇLAR (EXPERIMENTAL RESULTS)

Şekil 6'da bu çalışmada geliştirilen indüksiyon bobin silahı ve deney düzeneği görülmektedir. Şekildeki bilgisayarlardan bir tanesi sistemin

gözlem ve kontrolü görevini gerçekleştirirken diğeri de osiloskop sinyallerini kaydetmek için kullanılmaktadır.

Sistemin çalışması sırasında gerekli olan kontrol sinyalleri ve ölçümler Delphi yazılımı ile geliştirilen program ile izlenebilmektedir. Şekil 7’de ekran görüntüsü verilen program temel olarak, sensör bilgileri, ateşleme zamanları, ayarlar, port ayarları ve ölçüm kayıt alanından oluşmaktadır. Atış ölçüm ve kontrol sistemi (AÖKS) olarak adlandırılan sistemin port ayarları kısmında, bilgisayarın mikrodenetleyici ile iletişim sağlayacak portu seçilmekte ve bağlan düğmesine basıldığında da mikrodenetleyici ile bilgisayar arasında bağlantı kurulmaktadır.

Çalışma esnasında yapılan atışların hatalı olup olmadıkları bilgisayar ekranından görülebilmektedir. Yapılan atışın geçerliliği ile

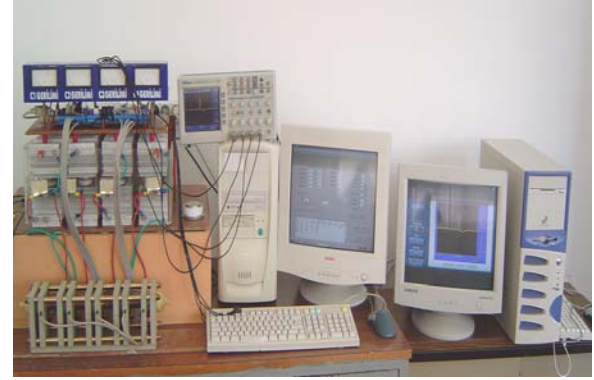


Şekil 5. Sensör algılama ve tristör tetikleme alt programı akış şeması (Flowchart of the sensing and thyristor triggering subroutine)

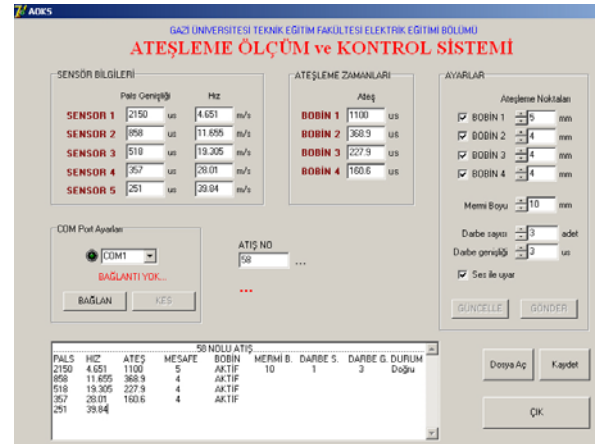
ilgili bilginin alınması için bilgisayar ekranını takip zorunluluğunu ortadan kaldırmak amacıyla, istendiğinde farklı seviyedeki iki ses sinyali ile de yapılan atışın geçerliliği kontrol edilebilmektedir.

Şekil 7’deki ekran görüntüsünün ayarlar kısmında hangi bobinlerin ateşleneceği, her bobine ait ateşleme noktası, mermi boyu, tetikleme sinyalinin

darbe sayısı ve genişliği ile ilgili bilgiler girilmektedir. Bu bilgiler girildikten sonra gönder düğmesi yardımıyla bilgiler, bilgisayarın seri portundan mikrodenetleyiciye gönderilmektedir. Gönderilen bu bilgilere bağlı olarak, merminin ilk sensöre girmesiyle birlikte ateşleme sistemi çalışmakta ve mermi hareketini gerçekleştirmektedir. Merminin her sensörden geçiş zamanı ve buna bağlı olarak hesaplanan mermi hızı, sensör bilgileri kısmında görüntülenmektedir.



Şekil 6. İBS Deney ve ölçüm düzeneği (The setup of the experiment and measurement system of induction coil gun)



Şekil 7. AÖKS genel görünümü (The monitoring and control system)

Kaçıncı atışın yapıldığı, atış no kısmında gösterilmektedir. Atış gerçekleştiğinde atışa ait tüm bilgiler ölçüm kayıt alanına yazdırılmaktadır. Bu bilgiler ayrıca metin dosyasına gönderilerek istenildiğinde veri dosyası olarak kaydetme olanağı da sağlanmaktadır.

Şekil 8’de AÖKS ekran görüntüsünün sensör bilgileri ve ateşleme kısımları görülmektedir. sensör bilgileri kısmında beş sensöre ait darbe genişlikleri ve mermi hızları görüntülenmektedir. Her bobinin ateşleme zamanı bilgileri, ateşleme zamanları kısmına yazdırılmaktadır. Ateşleme zamanları bilgisi, sistemin ateşleme hassasiyetini test etmek için konulmuştur.

Bilgisayardan okunan bu ateşleme zamanlarının doğruluğunu kontrol etmek üzere, yakalama özelliği olan, 100 MHz'lik sayısal bir osiloskop ile mermi geçiş sinyali ve bu sinyalden elde edilen mermi hızına bağlı olarak üretilen ateşleme sinyali aynı anda kaydedilmiştir.

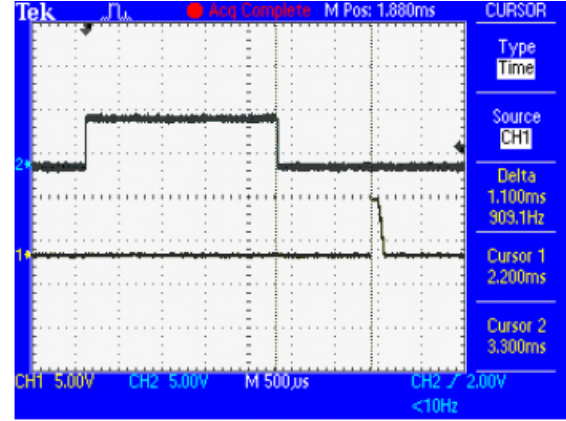
SENSÖR BİLGİLERİ				ATEŞLEME ZAMANLARI			
	Puls Genişliği		Hız	Ateş			
SENSOR 1	2150 us		4.651 m/s	BOBIN 1	1100 us		
SENSOR 2	858 us		11.655 m/s	BOBIN 2	368.9 us		
SENSOR 3	518 us		19.305 m/s	BOBIN 3	227.9 us		
SENSOR 4	357 us		28.01 m/s	BOBIN 4	160.6 us		
SENSOR 5	251 us		39.84 m/s				

Şekil 8. Sensör bilgileri ve ateşleme zamanları (The sensor data and firing timing)

Şekil 9'da seçilen atış bilgilerine bağlı olarak elde edilen osiloskop görüntüsü görülmektedir. Birinci kanaldaki sinyale ait zaman bilgisi, mermi hızını hesaplamada kullanılmaktadır. Yine, birinci kanaldaki sinyalin tamamlanma noktası ile ikinci kanaldaki sinyalin başlangıç noktası arasındaki Dt zamanı da sürücü bobinin ne kadar zaman sonra ateşleneceğini göstermektedir.

İBS'nın atış sonrası elde edilen AÖKS'ne ait bu bilgilere göre, birinci sensör darbe genişliği $2150\mu s$ 'dir. Darbe genişliğine ait bu bilgi, mermi giriş hızını ölçmek için kullanılır. Ayarlar bölümünde mermi boyu 10mm olarak girilmiştir. Ölçülen darbe genişliği merminin optik sensör çiftinin önünden geçme süresidir. Mermi boyu bu zamana bölünerek, mermi hızı 4.651m/s olarak bulunmakta ve bu bilgi 1 nolu sensörün hız bilgisi olarak AÖKS'de görülmektedir.

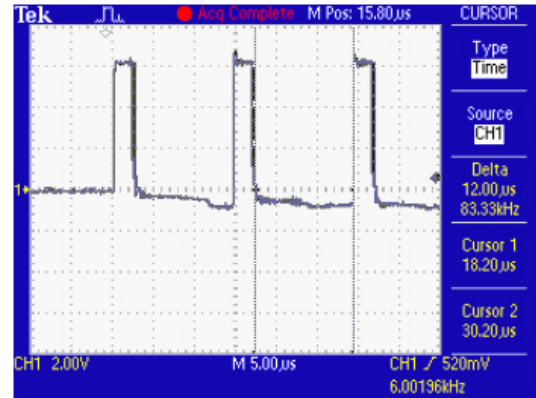
AÖKS'nin ateşleme noktaları başlığı altında, 1 nolu bobin için, 5 mm bilgisi kullanıcı tarafından daha önce tespit edilen uygun ateşleme noktası olarak girilmiştir. Merminin bu hızla 5mm yolu $1100\mu s$ 'de kat edeceği bu çalışmada geliştirilen yazılım tarafından hesaplanır. Hesaplanan bu değer AÖKS'de "Ateş" başlığı altında "Bobin 1" bölümüne $1100\mu s$ olarak kaydedilir.



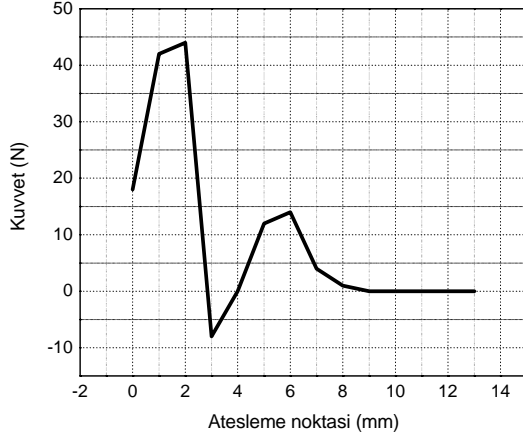
Şekil 9. Ateşleme zamanına ait osiloskop görüntüsü (The appearance of oscilloscope of firing timing)

İBS için, hızlı kontrol ve anahtarlama son derece önemlidir. Bu çalışmada anahtarlama elemanı olarak tristör kullanılmıştır. Tristörün uygun bir biçimde anahtarlama için gate sinyalinin biçimi de son derece önemlidir [8]. AÖKS'de tristör tetikleme sinyaline ait bilgiler bölümünde kullanıcı, darbe sayısını, darbe genişliğini belirleyebilmektedir. Yapılan deneysel çalışmada, kullanıcı tarafından girilen tristör tetikleme darbesinin genişliği $3\mu s$ ve darbe sayısı da 3'dür. Deney esnasında tristörün gate ucuna gönderilen tetikleme sinyali Şekil 10'da gösterilmiştir.

Yapılan ölçümler değerlendirildiğinde, mermi hızı, ateşleme zamanları ve tristör tetikleme sinyali gibi AÖKS verilerinin ölçülen büyüklüklerle uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 11'de İBS için ateşleme noktasına bağlı olarak mermiye aktarılan kuvvetler görülmektedir.



Şekil 10. Tristör tetikleme sinyali (Thyristor triggering signal)



Şekil 11. Ateşleme noktasına bağlı mermi kuvveti
(The projectile force depending on movement)

Şekil 11 incelendiğinde, ateşleme zamanlamasında yapılacak hataların mermiye etki eden kuvvet üzerinde çok etkili olduğu, uygun noktadan yapılacak çok küçük sapmaların bile, mermiye etki eden kuvvetin sadece azalmasıyla sonuçlanmayacağı, hatta ters yönlü kuvvetlerin dahi söz konusu olacağı görülmektedir.

5. SONUÇ (RESULT)

Bu çalışmada dört kademeli bir indüksiyon bobin silahı için gözlem ve kontrol sistemi tasarlanmış ve prototipi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada, mermi hızı her kademede ölçülerek dinamik bir kontrol işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu tür uygulamalar için ateşleme zamanlamasının mermi hızı üzerinde son derece etkili olduğu, sağlanan hızlı kontrol ve uygun tristör tetiklemesi sayesinde, İBS'nın atış gözlem ve kontrolünde zamanlama hatalarının minimuma indirilebileceği görülmüştür.

Atış parametrelerinin geliştirilen bilgisayar ekranı üzerinden kontrol edilebilmesi kullanıcının kontrol sistemine kolayca müdahalesini ve çalışmada elde edeceği tecrübelerini de çalışmalarına yansıtmasına olanak sağlamıştır.

Bu uygulamada, 10 cm boyunda mermi kullanarak kontrol edilebilecek hızın 6000 m/s ile sınırlı olduğu, ancak bu sınırlamanın, kullanılan mikrodenetleyicinin çalışma hızından kaynaklandığı görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Cnare, E.C., Widner M.M., Dugin B.W., “10-Stage Reconnection Demonstration Launcher,” **IEEE Trans. on Mag.**, vol.27, No 1, 644-646, 1991.
2. Kaye, R.J., Brawley, E.L., Dugin B.W., Cnare, E.C., Rovang, D.C., Widner M.M., “Design and Performance of a Multi Stage

Cylindrical Reconnection Launcher,” **IEEE Trans. on Mag.**, vol.27, No 1, 596-600, 1991.

3. Ingram, M.W., Andrews, J.A., Bresie, D.A., “An Actively Switched Pulsed Induction Accelerator,” **IEEE Trans. on Mag.**, vol.27, No 1, 591-595, 1991.
4. Kaye, R.J., Cnare, E.C., Duggin, B.W., Lipsinki, J.R., Marder, B.M., “Design and Performance of Sandia’s Contactless Coilgun for 50 mm Projectiles,” **IEEE Trans. on Mag.**, vol.29, No 1, 644-646, 1993.
5. Kaye, R.J., “Operational Requirements and Issues for Coilgun Electromagnetic Launchers,” **IEEE Trans. on Mag.**, vol.41, No 1, 194-199, 2005.
6. Kalender, O., **Bir Merminin Elektromanyetik Enerji ile Sevkinin Optimizasyonu**, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
7. Coşkun, İ., Kalender, O., Ege, Y., “İndüksiyon Bobin Silahı için Uygun Stator Bobini Geometrisinin Araştırılması”, **BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi**, Sayı 8, N0 2, 40-48, 2006.
8. Coşkun, İ., Kalender, O., “Dört Kademeli Bir İndüksiyon Bobin Silahı Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi”, **Kara Harp Okulu Savunma Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Cilt 5, Sayı 2, 141-154, 2006.