

**T.C.**  
**SIIRT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK DEVRE KESİCİLERİNİN ANAHTARLANMASINDA OLUŞAN  
ARKLARININ AZALTILMASINA YÖNELİK YENİ BİR MODEL TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sebğetullah MAMUK**  
**(153111006)**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fevzi HANSU**

**Nisan, 2019**  
**SIIRT**

## TEZ KABUL ve ONAY SAYFASI

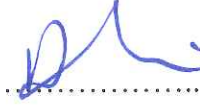
Sebğetullah MAMUK tarafından hazırlanan “Elektrik Devre Kesicilerinin Anahtarlanmasında Oluşan Arklarının Azaltılmasına Yönelik Yeni Bir Model Tasarımı” adlı tez çalışması 02/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

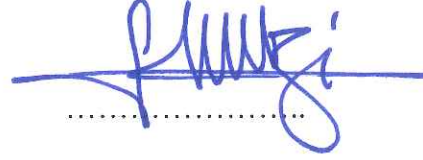
#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Davut SEVİM

  
.....

#### Danışman

Doç. Dr. Fevzi HANSU

  
.....

#### Üye

Doç. Dr. Sabit HOROZ

  
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

  
Doç. Dr. Fevzi HANSU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖN SÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren, destek ve önerilerini eksik etmeyen, bilimsel araştırmalar konusunda beni sürekli motive eden ve tezimin şekillenmesinde önemli katkıları olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fevzi HANSU'ya en derin duygularımınla teşekkür ederim.

Ayrıca;

Eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, benim için en iyi şartları sağlayan, daima fedakâr davranan ve bugünlere gelmeme vesile olan kıymetli aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Sebğetullah MAMUK  
SİİRT-2019



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖN SÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ .....	viii
ÖZET .....	x
ABSTRACT.....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Elektrik Devre Kesicilerinin Genel Yapısı .....	3
1.1.1. Kullanılan gerilim değerlerine göre kesiciler.....	4
1.2. Ark Boşalmaları .....	4
1.3. Ark Boşalmalarının Kesici Ömrü Üzerindeki Etkileri.....	7
1.4. Tez Konusunun Amacı ve Önemi .....	8
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>9</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>15</b>
3.1. Materyal .....	15
3.1.1. Arduino .....	15
3.1.1.1. Arduino Çeşitleri .....	15
3.1.1.2. Arduino Uno.....	16
3.1.1.3. Arduino Programının Kurulması (Windows).....	21
3.1.2. AC transformatör .....	21
3.1.3. Köprü diyot .....	22
3.1.4. SSR röle .....	22
3.2. Yöntem.....	23
<b>4. BULGULAR.....</b>	<b>24</b>
4.1. Devrenin Simülasyonu .....	24

4.2. Tasarılan Devrenin Prototipi .....	35
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>37</b>
5.1. Sonuçlar .....	37
5.2. Öneriler .....	38
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>39</b>
<b>7. EKLER .....</b>	<b>42</b>
Ek-1: Sistemin Arduino Kodları .....	42
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>46</b>



## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Elektriksel arkın oluşma anındaki davranışı .....	5
Şekil 1.2. 500 kV'luk bir havalı kesicide oluşan ark görüntüsü .....	6
Şekil 1.3. Alternatif gerilimle sağlanan arkın elektriksel eşdeğer devresi .....	7
Şekil 3.1. Arduino Uno devre kartı görüntüsü.....	17
Şekil 3.2. Arduino UNO Bileşenleri.....	18
Şekil 3.3. ATmega Mikro işlemciye ait pin çıkışları .....	20
Şekil 3.4. Transformatorün görüntüsü.....	21
Şekil 3.5. Körü Diyotun görüntüsü.....	22
Şekil 3.6. SSR Röle görüntüsü .....	22
Şekil 4.1. Buton açıkken elde edilen simülasyon görüntüsü .....	25
Şekil 4.2. Buton kapalı iken elde edilen simülasyon görüntüsü.....	25
Şekil 4.3. Tetikleme zamanı $t=t_1$ sırasında $R$ fazından elde edilen <i>KESME</i> işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü.....	26
Şekil 4.4. Tetikleme zamanı $t=t_2$ sırasında $R$ fazından elde edilen <i>AÇMA</i> işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü.....	27
Şekil 4.5. $t=t_1$ ve $t=t_2$ zamanlarında $R$ fazından elde edilen <i>KESME</i> ve <i>AÇMA</i> işlemlerinin Dijital Osiloskop görüntüsü .....	27
Şekil 4.6. Tetikleme zamanı $t=t_1$ zamanında $S$ fazından alınan <i>KESME</i> işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü.....	28
Şekil 4.7. Tetikleme zamanı $t=t_2$ anında $S$ fazından alınan <i>AÇMA</i> işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü .....	29
Şekil 4.8. $t=t_1$ ve $t=t_2$ zamanlarında $S$ fazından elde edilen <i>KESME</i> ve <i>AÇMA</i> işlemlerinin Dijital Osiloskop görüntüsü .....	30
Şekil 4.9. Tetikleme zamanı $t=t_1$ anında $T$ fazından alınan <i>KESME</i> işlemine ait Dijital Osiloskop görüntüsü .....	31

<b>Şekil 4.10.</b> Tetikleme zamanı $t=t_2$ anında $T$ fazından alınan $AÇMA$ işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü .....	31
<b>Şekil 4.11.</b> $t=t_1$ ve $t=t_2$ zamanlarında $T$ fazından elde edilen $KESME$ ve $AÇMA$ işlemlerinin Dijital Osiloskop görüntüsü .....	32
<b>Şekil 4.12.</b> $t=t_1$ tetikleme anından sonra üç faz ( $R$ , $S$ ve $T$ fazları) sisteminden alınan $KESME$ işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü.....	33
<b>Şekil 4.13.</b> $t=t_1$ tetikleme anından sonra üç faz ( $R$ , $S$ ve $T$ fazları) sisteminden alınan $AÇMA$ işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü.....	34
<b>Şekil 4.14.</b> $t=t_1$ ve $t=t_2$ zamanlarında üç faz ( $R$ , $S$ ve $T$ fazları) sisteminden elde edilen $KESME$ ve $AÇMA$ işlemlerinin Dijital Osiloskop görüntüsü.....	35
<b>Şekil 4.15.</b> Hazırlanan deneysel sistemin genel görüntüsü .....	36

## KISALTMALAR ve SİMGELER LİSTESİ

<b><u>Kısaltma</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
<i>AC</i>	: Alternatif Akım
<i>CB</i>	: Devre Kesici
<i>DC</i>	: Doğru Akım
<i>GND</i>	: Toprak
<i>HV</i>	: Yüksek Gerilim
<i>IDE</i>	: Entegre Geliştirme Ortamı
<i>IEC</i>	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
<i>I/O</i>	: Giriş/Çıkış
<i>kB</i>	: Kilobayt
<i>kV</i>	: Kilovolt
<i>mA</i>	: Miliamper
<i>MAID</i>	: Model Destekli Tanı
<i>max</i>	: Maksimum
<i>min</i>	: Minimum
<i>MVA</i>	: Megavoltamper
<i>OCB</i>	: Yağlı Devre Kesici
<i>PWM</i>	: Darbe Genişlik Modülasyonu
<i>SF<sub>6</sub></i>	: Sülfür Hekzaflorür
<i>SSR</i>	: Katı Hal Rölesi
<i>TTL</i>	: Transistörden Transistöre Mantık
<i>UNO</i>	: Evrensel Sistem Operatörleri
<i>USB</i>	: Evrensel Seri Veriyolu
<i>VCB</i>	: Vakum Devre Kesici



<b><u>Simge</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
<b><i>L</i></b>	: Endüktans
<b><i>R</i></b>	: Relüktans
<b><i>sin</i></b>	: Sinüs
<b><i>t</i></b>	: Zaman
<b><i><math>\omega</math></i></b>	: Açısal Hız



# ÖZET

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

### ELEKTRİK DEVRE KESİCİLERİNİN ANAHTARLANMASINDA OLUŞAN ARKLARININ AZALTILMASINA YÖNELİK YENİ BİR MODEL TASARIMI

**Sebğettullah MAMUK**

**Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Fevzi HANSU**

**2019, 46+xi Sayfa**

Gelişen teknoloji ile birlikte programlanabilir entegre devrelerin kullanım alanları da gün geçtikçe çeşitlilik göstermektedirler. Günümüzde birçok alanda ve yaygın olarak kullanılan programlanabilir Arduino devre kartları hem yazılım hem de donanım açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında, programlanabilir bir Arduino Uno kontrol devresinin kullanılmasıyla, elektrik devrelerinin açma veya kapama işlemleri sırasında meydana gelen arkları önlemeye yönelik yeni bir model önerilmiştir. Önerilen bu modelin kullanılmasıyla malzemede oluşabilecek tahribatların azaltılması ve ömürlerinin uzatılması sağlanacaktır.

Devre kesicilerinin, akımın yüksek değerlerinde açma veya kesme işlemlerini gerçekleştirme, ark oluşumunun başlıca sebebi olarak bilinir. Tezde önerilen modelde, alternatif gerilimin/akımın düşük değerlerinde (özellikle sıfır geçiş noktalarında veya bu noktalara yakın bölgelerde) açma veya kesme işlemlerini gerçekleştirerek arkin tahribat etkisi azaltılmıştır. Çalışma kapsamında, her faz için ayrı ayrı denemeler yapıldığı gibi üç fazlı sistem için de benzer şekilde testler yapılmıştır. Hazırlanan prototip devre üzerinde farklı zaman periyotlarında açma veya kesme komutları gönderilmek suretiyle çok sayıda deneme yapılmıştır. Prototip devrenin, dijital ortamda giriş ve çıkış gerilimleri gözlemlenmiş, kontrol kartı ile gerilimin veya akımın düşük değerlerinde kesme veya açma işlemlerini, belirlenen tolerans aralığında hatasız bir şekilde gerçekleştirdiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Arduino, Ark oluşumu, Devre kesici, Kontrol ve kumanda

## **ABSTRACT**

### **MSc. THESIS**

#### **DESIGN OF A NEW MODEL FOR REDUCING ARCING IN THE SWITCHING OF ELECTRIC CIRCUIT BREAKERS**

**Sebğētullah MAMUK**

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Siirt University  
The Degree of Master of Science  
In Electrical & Electronics Engineering**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fevzi HANSU**

**2019, 46+xi Pages**

The programmable Arduino circuit boards, which are now widely used in many fields, provide significant advantages in terms of both software and hardware. In addition to developing technology, the usage areas of programmable integrated circuits are changing day by day. Arduino Uno control circuit, a new model has been proposed to extend the life of the electrical circuits by preventing the arcs that occur during the opening or closing operations and thus reducing the damage that may occur in the material.

It is known as the main cause of arc formation of circuit breakers to perform opening or cutting operations at high values of voltage. Therefore, in the proposed model, arc formation is prevented by performing opening or cutting operations in the low values of alternating voltage or current (especially in areas at zero crossing points or near these points). Within the scope of the study, tests were conducted for each phase in a similar way for the three-phase system. Numerous attempts have been made by opening or cutting commands at different time periods on the installed prototype circuit. The input and output voltages of the prepared prototype circuit in the digital environment were observed and it was concluded that the control card carries out the switching on or switching off operations at low values of voltage or current without error in the specified tolerance range.

**Keywords:** Arduino, Arc formation, Circuit breaker, Control and command

## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin günümüzdeki kullanım yaygınlığı, bu enerjiye olan ilginin önemli bir kaynağını teşkil etmektedir. Bilinen enerji kaynaklarının giderek tükenmesi ve buna karşın son zamanlarda Endüstri 4.0 kavramının ön plana çıkması enerji kavramını gün geçtikçe daha da değerli hale getirmektedir. İnsan hayatını büyük ölçüde kolaylaştırabilecek potansiyele sahip olan elektrik enerjisinin sorunsuz bir şekilde kullanımı, bazı kurallara uymak ve birtakım tedbirler almakla mümkün olabilir. Bu nedenle, elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımının güvenli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ancak belirli bir eğitim düzeyine sahip olan uzman kişiler ile belirli standartlardaki gereçlerin kullanılmasıyla sağlanabilir. Elektrik enerjisinin kullanımında gerekli olan bilgi ve becerinin yanı sıra, kullanılacak malzemenin kalite standartları da son derece önemlidir. Bu nedenle kullanılacak malzemenin güvenilir, uzun ömürlü ve elektriksel açıdan iyi bir özelliğe sahip olması, enerji verimliliği bakımından da gerekli bir ön koşuldur. Bu koşul aynı zamanda mali açıdan ülke ekonomisini doğrudan veya dolaylı olarak etkileyecek bir öneme sahiptir. Dolayısıyla, elektriksel sistemlerde kullanılacak malzeme veya gereçlerin kalite standartlarının, en az kullanılacak enerji kadar önemli olduğu söylenebilir.

Elektrik enerjisinin güvenli bir şekilde taşınmasında ve dağıtılmasında kullanılan malzemelerin ve gereçlerin kalite standartları, bu malzemelerin çalışma verimliliklerini ve ömürlerini de önemli ölçüde etkilemektedir. Kullanılacak malzemelerin ömürlerini etkileyen bir diğer önemli etken ise, malzemenin doğru zamanda ve doğru yerde kullanılmasıdır.

Elektriksel sistemlerde malzemenin ömrünü veya tahribatını etkileyen nedenler genel olarak iç ve dış faktörler olarak iki grupta değerlendirilebilir. İç faktörler, kullanılacak (iletken) malzemenin içerisindeki imalat kusurları, malzemenin geçen elektrik akımının miktarı ve bu akımın meydana getirdiği ısı derecesine bağlı olarak oluşabilecek aşınma ve yanma durumları olarak tanımlanabilir. Dış faktörler ise, atmosferik koşulların (yağmur, kar, nem, rüzgâr, güneş vb.) etkisiyle meydana

gelebilecek olumsuzluklar ile çeşitli etkilerle maruz kalınan mekanik darbeler olarak tanımlanabilir. Dış faktörlerin meydana getirebilecekleri tahribatlara karşı çoğu zaman birtakım önlemler alınabilir fakat iç faktörlerin kontrolü ve müdahalesi daha zor olduğu için bu faktörlerin meydana getirdikleri tahribatları önlemek bazı özel yöntemler gerektirir. Bu nedenle elektriksel bazı koruma yöntemleri geliştirilmiş fakat bu yöntemler de günümüzde hâlâ yeterli düzeyde değildirler. Bu nedenle araştırmacılar daha gelişmiş çözümler üretmek amacıyla çalışmalarını sürdürmektedirler.

Elektriksel gereçlerde iç faktörler sonucu meydana gelebilecek tahribatlara, genellikle en çok devredeki kontrol elemanlarının anahtarlama sırasında rastlanılabilir. Bu kontrol elemanları arasında ise en çok *AÇIK/KAPALI (ON/OFF)* prensibiyle çalışan elemanlar ile karşılaşılabilir. Genel durumlarda *ON/OFF* prensibiyle çalışan elemanlardan en çok bilinenleri, küçük akımlı çeşitli anahtarlama elemanlarının yanı sıra Disjöntör olarak nitelendirilen büyük akımlı devre kesicileridir. Bu tip kesicilerin kontrolü ve kumandaları sırasında, meydana gelebilecek yüksek akımlı ark olayları, kesici kontaklarının yüzeylerinde önemli derecede tahribatlara ve mekanik aşınmalara yol açar. Bu durum, bir kesicinin ömrünü doğrudan etkilemekle beraber söz konusu kesicinin tamamen devre dışı kalarak bozulmasına neden olabilir (ÖZKAN, 1994).

Elektrik devre kesicilerinin yaptığı işlem, *KAPALI (OFF)* konumdayken devrenin tamamlanmasını; *AÇIK (ON)* konumdayken de devreyi sonlandırmasını sağlamaktır. Bu işlemi kontaklar yoluyla yaparken, devre açma işlemini ise kontak elemanlarını birbirinden ayırarak yerine getirmektedir. Elektrik devre kesicinin ana görevi, bu işlemi doğru biçimde yerine getirmesidir. Devrede aktif konumdaki kapalı bir elektrik devre kesiciden ani olarak gelen bir komutla devreyi açmasını istemek, kesiciye ağır bir görev yüklemek anlamına gelir. Dolayısıyla, bir kesicinin etkinliği böyle durumlarda ortaya çıkmaktadır. Çünkü yüksek gerilimli veya yüksek akımlı sistemlerde, yük altında devreyi açma veya kapama sırasında oluşabilecek ark olayı hem insanlar hem de sistemler açısından büyük ölçüde tehlikelidir.

Kesicilerin bir diğerk önemli görevi, kısa devre anında devreyi açmaktır. Teknolojinin sürekli geliştiğı son yıllarda enterkonnekte sistemlerin ve entegre şebekelerin giderek büyümesi ve buna bağılı olarak kısa devre akımları problemlerinin de artması olayı, elektrik devre kesicilerin işini daha da zorlaştırmıştır. Güç iletim sistemlerinde taşınan gerilim seviyelerinin artması, kısa devre açma güçlerini de artırmıştır. Bu durumda kararlı bir çalışma için, sistemin devreyi kesme işleminin süresi kısa tutulmalıdır (Freton, 2009).

Elektrik devre kesicileri, devrede yük altında çalışırken elektrik arklarını söndürme ekipmanlarına sahip olmaları yönüyle mevcut anahtarlama sistemlerine göre çok daha fazla tercih edilirler. Kesicilerin diğerk bir önemli görevi ise, sistemde meydana gelen herhangi bir arıza durumunda devreyi açarak akımı kesmek ve devreyi daha fazla tahribata karşı korumaktır. Bu yönüyle kesiciler, aynı zamanda kendilerinden sonra devreye bağılı bulunan cihazları aşırı akımlara karşı korumakta ve bu aşırı akımların verdiği tahribatı ortadan kaldırmaya çalışmaktadır. Böylece kesicilerin bu davranışı devrede bir sigorta elemanı gibi koruma sağlamaktadır. Kesicilerin görevini yapma ön şartı, kesici parametrelerinin kullanılacak sistemin özelliklerine uygun olacak şekilde seçilmesi, işletilmesi ve bakımlarının doğru zamanda ve uzman personel tarafından yapılmasıdır.

### **1.1. Elektrik Devre Kesicilerinin Genel Yapısı**

Elektrik devre kesicileri, çeşitli gerilimlerde akan akımı ve kısa devre akımlarını kesmekle veya açmakla (*AÇMA/KAPAMA-ON/OFF*) görevli elemanlardır. Bu elemanlar devrede *AÇMA/KAPAMA* işlemlerini otomatik kontrol yöntemiyle uzaktan veya el yardımıyla (manuel) olarak yapabilmektedirler. Böylece insanları oluşabilecek tehlikelerden korumakta, farklı gerilim devre elemanlarında oluşabilecek tahribatı engelleyip azaltmaktadır. Kesiciler devrede çok hızlı hareket ederler. Enerji iletim hattında enerji kesme işlemi sırasında, önce elektrik devre kesicisi sonra elektrik devre ayırıcısı kullanılarak yapılmaktadır. Elektrik devre kesicilerine, disjonktör de

denilmektedir. Elektrik devre kesicileri gerilim değerlerine ve kapama işlemine göre sınıflandırılırlar (Lester, 1974).

*İletim hatlarında kullanılan gerilim değerleri;*

- Orta Gerilim: 1- 35 kV arası gerilimler,
- Yüksek Gerilim: 35- 154 kV arası gerilimler,
- Çok yüksek Gerilim: 154 kV üzeri gerilimlerdir.

### **1.1.1. Kullanılan gerilim değerlerine göre kesiciler**

*Kullanılan gerilim değerlerine göre kesiciler;*

**Orta Gerilim Kesicileri:** Anma gerilimleri IEC' ye göre: 1- 6- 7,2- 12- 17,5- 24- 36 kV olan kesicilerdir.

**Yüksek Gerilim Kesicileri:** Anma gerilimleri IEC' ye göre 52- 72,5- 100- 123- 145- 170- 245- 300- 362- 420- 525- 765 kV olan kesicilerdir.

*Kesicilerin devreyi kapama işlemine kesiciler;*

- Tekrar kapamalı kesiciler
- Tekrar kapamasız kesiciler

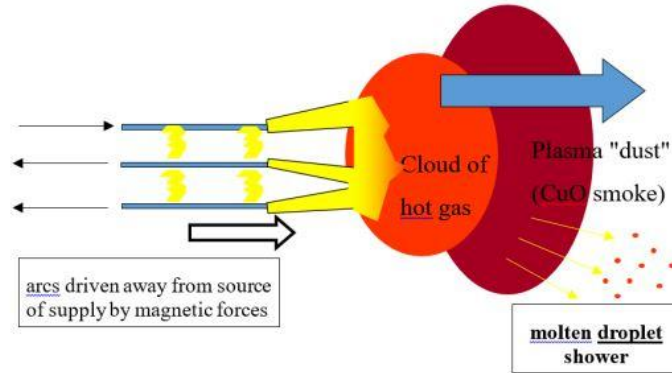
*Çalışma ortamına göre kesiciler;*

- Bina içi (dâhili) kesiciler
- Bina dışı (haricî) kesiciler

### **1.2. Ark Boşalmaları**

Ark, esas itibariyle yüksek akımlı ve yüksek basınçlı bir elektriksel gaz boşalmasıdır. Kesicilerde ark olayının oluşması, kesici kontaklarının tahrip olmasına ve malzemelerde bir elektriksel delinme olayının meydana gelmesine sebep olur. Eğer ark

boşalması kısa sürede önlenemez ise kesiciler görevlerini yapamaz konuma gelebilirler. Çünkü ark, yüksek akımlı ve kuvvetli bir elektrik boşalmasıdır (Becker, 2005).



Şekil 1.1. Elektriksel arkın oluşma anındaki davranışı

Arkı söndürmek için mutlaka ark akımını kesmek gerekmektedir. Bunun için de bilinen en iyi yöntem, ark yolunun uzatılması yöntemidir. Ark yolunun uzamasıyla ark uzayıp direnci artar. Uzayıp direnci artan ark akımının seviyesine düşmesine, sıcaklığın azalmasına ve arkın azalan enerjisinin iyonizasyon için yeterli gelmemesine neden olur (Hansu, 2012).

Sistem reaktansının sistem direncine oranı çok büyük olursa ark akımı, arkın gerilim seviyesinden geri kalacaktır. Bu yüzden endüktif ve kapasitif hatlarda, sistem rezonansa girip frekans  $60 \text{ Hz}$  değerlerine ulaşacaktır. Bu durum, akımın sıfır noktasından (*ZERO POINT*) geçmesine karşın gerilimin büyümesinden dolayı arkın yeniden oluşmasına sebep olacaktır. Bundan dolayı kontak yüzeyleri birbirinden uzaklaşmış olmalıdır.

Alternatif akımın tam sıfır noktasından geçtiği anda, devreyi açmak mümkün olabilseydi, akım sıfır olup kontaklar arasında hiçbir ark; dolayısıyla sıcaklık artışı oluşmayacaktı ve kesicide herhangi bir tahribat da meydana gelmeyecekti. Ancak mevcut devre kesicilerinin kontakları ve bunlara bağlı mekanizmaların ataleti, hâlihazırda kesici kontaklarının hassas bir şekilde ve yüksek bir açma hızına sahip olmalarına imkân vermemektedir.



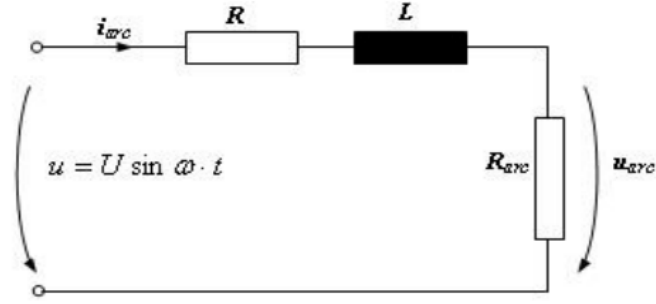
Şebeke gerilimi ve akımı düşünülduğünde kesicilerin açma zamanı bir periyot süresinin birkaç katıdır. Günümüzde kullanılan kesiciler incelendiğinde optimum açma süresi yaklaşık yarım periyottur. Bundan daha hızlı bir açma işlemi hatların indüktif veya kapasitif etkisi sebebiyle devrede aşırı ve çok aşırı gerilimler oluşmasına sebep olacaktır.



Şekil 1.2. 500 kV'luk bir havalı kesicide oluşan ark görüntüsü

Alternatif akımda (AC) açma işlemi, doğru akıma (DC) göre daha farklıdır. Alternatif akımda kaynak geriliminin sürekli değişmesinden dolayı ark, ardı ardına yanıp söner. DC akımda ise oluşan ark daha zor kesilir. Bunun sebebi, alternatif akım (AC) her yarım periyotta bir sıfır noktasından geçtiğinden dolayı, sıfıra yakın değerlerde devre açma işleminde arkın zayıfladığı bir an yakalanabilir. DC akımda ise akım sabittir ve zamanla sıfır olmayacağından dolayı arkın zayıfladığı bir yeri yakalamak oldukça zordur.

Alternatif gerilimde meydana gelen ark olayına karşılık gelen, elektrik ark eşdeğer devresi Şekil 1.3'te gösterilmiştir. Şekildeki eşdeğer devre, elektrik arkının elektriksel parametrelerinin dalga formlarını göstermektedir. Parametreler  $R$  ve  $L$  sırasıyla, güç kaynağı devresinin direncini ve eşdeğer indüktansını;  $R_{arc}$  ve  $U_{arc}$  ise sırasıyla elektriksel arkın direncini ve arkın gerilimini ifade etmektedirler.



Şekil 1.3. Alternatif gerilimle sağlanan arkın elektriksel eşdeğer devresi

### 1.3. Ark Boşalmalarının Kesici Ömrü Üzerindeki Etkileri

Elektriksel Boşalmalarda, birbirine yakın birkaç iletken arasındaki potansiyel farklılıklar ve çeşitli iç ve dış nedenlerden dolayı iletkenler arasında havayı iyonize edebilen düşük dirençli bir yol oluşur. Bu yol üzerinde önemli arıza akımları meydana gelir. Oluşan bu arıza akımları, ark flaşlarının oluşmasına neden olmaktadır. Ark oluşmasına neden olan en yaygın ihmaller, sistemlerde standartlara uygun olmayan aletlerin ve ekipmanların kullanılması, elektrik cihazlarındaki riskli bölgelerde oluşan korozyonlara dikkat edilmemesi, kurallara uygun olmayan çalışma teknikleri, elektrik iş güvenliği eğitiminin eksikliği ve periyodik bakım aksaklıkları olarak sıralanabilir.

Elektrik enerjisi sistemlerinde, mevcut tekniklerle ark flaşının oluşmasını tamamen önlemek neredeyse imkânsızdır. Ark oluşmasını engellemek yerine tercih edilen en iyi yöntem, arkı oluşturacak belirgin riskleri ortadan kaldırmaktır. Risk yönetiminde en öncelikli yol, oluşabilecek riski proaktif yollarla kontrol etmeye çalışmaktır. Kısacası bir ark olayının meydana gelmesi durumunda, bu olaya müdahalede reaktif yöntemler ikinci plana atılmalıdır.

Ark olayı hesaplamalarında sistemin tasarımı önemli bir rol oynamaktadır. Sistem konfigürasyonu, sistem hata seviyeleri ve açma süresi gibi parametreler bir ark flaşından kaynaklı enerjiye maruz kalma durumunu önemli derecede etkilemektedir. Mevcut arıza akımını ve açma süresini azaltmak için sistem yapılandırılmasına gidilerek sistem hata seviyesi azaltılabilir. Ayrıca tehlike anlarında maruz kalma süresinin

azaltılmasına yardımcı olmak için daha küçük ve/veya daha hızlı bir sigortanın kullanılabilir olup olmadığını belirlemek için sigorta derecelendirmeleri ve özellikleri de değerlendirilmelidir. Bu faktörlerin tümü tesisin güvenilirlik ihtiyaçları ve koruyucu bir cihaz koordinasyonu ile birlikte düşünüldüğünde, kesici sistemlerde ark flaşına maruz kalma risklerinin azaltılması ve oluşabilecek tehlikelerin minimuma indirilmesi açısından büyük bir adım atılması anlamına gelmektedir (Becker, 2005).

Kesiciler yüksek gerilim ve orta gerilim şebeke sistemlerinin yanı sıra alçak gerilim sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Alçak gerilim şebekelerinde kullanılan kesiciler genellikle çok daha büyük akımlı olabilmektedirler. Dolayısıyla bu tip kesicilerde meydana gelebilecek ark olayı, sistem açısından çok tehlikeli sonuçlar doğurabilecek potansiyele sahiptir. Bu nedenle kullanılacak kesicilerin belirli teknik özelliklere sahip olmaları ve belirli bir kalite standardına sahip olmaları gerekir (Electrical-Engineering-Portal, 2017).

#### **1.4. Tez Konusunun Amacı ve Önemi**

Teknolojinin önemli mesafeler kat ettiği günümüzde, kullanımları giderek yaygınlaşan ve önemli bir ihtiyaç olarak bilinen devre kesicileri, anahtarlama durumlarında maruz kalabildikleri yüksek akımlı arklar sonucunda önemli bir tahribata uğrayarak devre dışı kalabilmektedirler. Yapılarının ileri düzeyde karışık ve maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle bu tür devre elemanlarının belirtilen nedenler sonucunda arızalanmaları, hem iş kayıpları hem de ekonomik kayıplar açısından önemli bir maliyet teşkil etmektedir. Bu durum, araştırmacılar açısından güncel bir problemi oluşturmaktadır. Bu bağlamda, tez çalışmamızda bu problemin çözümüne yönelik geliştirilmiş olan yeni bir model önerilmiştir. Özellikle büyük akımlı kesicilere uygulanması önerilen bu yeni yöntemin, tüm devre kesicilerine ve ayırıcı sistemlere uygulanabilirliği yönüyle yakın gelecekte yaygın bir kullanım olanağına sahip olması beklenmektedir. Mevcut tez çalışmamızın konusu, bu yönüyle özgün ve güncel bir konu olarak ön plana çıkmaktadır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Michael Stanek tarafından 2000 yılında yapılmış olan Yüksek Gerilim Devre Kesicileri için Model Destekli Tanı başlıklı çalışmada, Yüksek Gerilim Devre Kesicileri konusu çalışılmış, “Model Destekli Tanı” (*MAID*) adlı yeni bir tanı yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde bazı yapay “hataların” bulunduğu laboratuvardaki gerçek bir devre kesicisinde ölçülen gerçek verilerin yanı sıra simüle edilmiş verilerin gözlem altında devre kesiciye tanıtılması sonucunda hatanın, yanlış alarm verilmeden doğru olarak teşhis edildiği gözlenmiştir (Stanek, 2000).

Pieter Schavemaker, Lou van der Sluis, R.P.P. Smeets ve Vikror Kertész tarafından 2000 yılında yapılmış olan Yüksek Gerilim Devre Kesicilerinin Dijital Testi başlıklı çalışmada, Yüksek Gerilim Devre Kesicilerinin laboratuvar koşullarında çalışma sınırlarını geliştirmek için birçok dijital test kullanılmış, ölçümler ve bu ölçümlerin analizleri doğrultusunda maliyet analizleri ve güvenlik analizleri yapılmış, dijital testlerle  $SF_6$  kesiciler üzerinde gerilimin tepkileri ve bu kesici tipinin ark sönmelenmesi ve ark direncini kırıcı etkisine yönelik bazı önemli sonuçlar alınmıştır (Schavemaker, der Sluis, Smeets ve Kertész, (2000).

Niklas Gustavsson tarafından 2004 yılında yapılmış olan Yüksek Gerilim Kesiciler için Kara Kutu Ark Modellerinin Değerlendirilmesi ve Simülasyonu başlıklı çalışmada, Yüksek Gerilim Güç Sistemleri üzerinde kesme işlemi sırasında oluşan ark oluşum modelleri konusu çalışılmış, birçok ark modeli karşılaştırılmış, birçok ark modelinin simülasyonlarında model parametrelerine bağlılıkları araştırılmış, parametreler uygun seçildiğinde Kara Kutu Ark Modelinin başarılı bir performans gösterdiği sonucu alınmıştır (Gustavsson, 2004).

Nıtın Ved tarafından 2005 yılında yapılmış olan Kablosuz İletişimi kullanarak Devre Kesicilerinin İzlenmesi başlıklı çalışmada, devre kesicilerinin güvenli bir şekilde çalışması için otomatik olarak izlenmesi konusu çalışılmıştır. Yöntem olarak; bir ara yüz tasarlanarak kablosuz iletişim kullanılmış ve izlenen kesicilerden arıza referans

sinyallerinin alınıp karşılaştırılarak entegre sistem çözümleri aranmış ve bu sayede maliyet analizleri yapılmıştır (Ved, 2005).

Sze-mei Wong tarafından 2005 yılında yapılmış olan Endüstriyel Tesisatlarda Devre Kesicinin Çalışmasından Kaynaklanan Aşırı Gerilim Stokastik Çalışmaları başlıklı çalışmada, endüstriyel tesislerde kullanılan devre kesiciler (özellikle yağlı devre kesicileri) konusu çalışılmış, sistem parametreleri incelenmiş, aşırı gerilimlerde ve anahtarlamalarda sistem ekipmanlarında meydana gelebilecek ciddi hasarlar tespit edilmiş, hızlı geçişlere karşılık gelen frekanslarda çeşitli simülasyonlar oluşturulmuş ve neticede bu tesisler için stokastik vakumlu devre kesicilerinin iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Wong, 2004).

H. K. Hoidalen ve M. Runde tarafından 2005 yılında yapılmış olan Titreşim Analizi Kullanarak Devre Kesicilerin Sürekli İzlenmesi başlıklı çalışmada, yüksek gerilim devreleri üzerindeki kesiciler konusu çalışılmıştır. Çalışma kapsamında, yüksek gerilim elektrik devre kesicileri üzerinde titreşim analizi metodu kullanılmış ve devrenin çalışma mekanizmasındaki arızaları tespit etmek amacıyla sürekli olarak kullanılabilir ve gelecek açısından umut verici teknikler geliştirilmiştir (Hoidalen ve Runde, 2005).

Jimei Wang, Zhiyuan Liu, Shixin Xiul, Zhongyi Wang, Shun Yuan, Li Jin, Heming Zhou, Ren Yang tarafından 2006 yılında yapılmış olan Çin'de Yüksek Gerilim Vakum Devre Kesicilerinin Gelişimi başlıklı çalışmada, Çin'de Yüksek Gerilim Sistemlerinde mevcut olan Vakumlu Devre Kesicileri konusu çalışılmıştır. Çalışmada, matematiksel parametrelerin iyileşme derecesi arttıkça, arkın hızlı bir şekilde sönmüldüğü gözlenmiştir. (Wang, Liu, Xiul, Wang, Yuan, Jin, Zhou, Yang, 2006).

Richard Thomas tarafından 2007 yılında yapılmış olan Yüksek Gerilim  $SF_6$  Devre Kesicileri Kullanarak 3 Faz Kontrollü Arıza Kesilmesi başlıklı çalışmada, devre kesicisinin elektriksel aşınma oranının azaltılması konusu çalışılmıştır. Çalışma kapsamında, devre kesicisinin her fazına, açma veya açma komutlarını senkronize etme

yöntemi kullanılmış, mevcut kesinti teknolojilerini optimize etme ve yeni kesintileri kolaylaştırmak amacıyla potansiyel yeni yöntemler elde edilmiştir (Thomas, 2007).

Zarko Djekic tarafından 2007 yılında yapılmış olan Online Devre Kesici İzleme Sistemi başlıklı çalışmada, Devre Kesiciler üzerinde çalışılmış, otomatik bir çevrimiçi devre izleme sistemi kullanılmış, bu sistem sayesinde kısa, orta ve uzun vadede devrenin durumu izlenmiştir. İzlenen veriler ışığında sadece ihtiyaç duyulduğu anda bakım hizmeti yapılarak yüksek hassasiyetli zaman senkronizasyonu sağlanarak genel bakım maliyetlerinin azaltılması ve ekipman güvenilirliğinin artmasına yönelik sonuçlar alınmıştır (Djekic, 2007).

Phuwanart Choonhapran tarafından 2007 yılında yapılmış olan Yüksek Gerilim Devre Kesici Uygulamaları ve Kesici Modellerinin Ömürlerinin Geliştirilmesi başlıklı çalışmada, yüksek gerilim devrelerinde bütün kesici modelleri konuları işlenmiş, kapasitans anahtarlama, hat kapatma, şönt reaktör anahtarlama, trafo anahtarlama ve jeneratör koruma üzerindeki elektrik devre kesicilerinin etkileri işlenmiştir. Çalışmada, ayrı ayrı olarak incelenen bütün kesicilerde bakım ve hata hesaplamaları yapılmış, hataların minimize edilmesi ve bakım giderlerinin azaltılması için elektrik devre kesicilerin tamamında devreye en uygun tasarım belirlenmiştir (Choonhapran, 2007).

Robin-Jouan ve Mohammed Yousfi tarafından 2008 yılında yapılmış olan  $SF_6$  Yüksek Gerilim Devre Kesici için Yeni Arıza Elektrik Alan Hesabı başlıklı çalışmada, yeni bir elektrik alan hesabı kullanılarak  $SF_6$  gazının ark sönmelenmesi sonrasında  $SF_6$  dielektriğinde ayrılmış olan sıcak gazın uygun olmayan gaz kırılmalarına çözüm aranmıştır. Böylece yeni arıza alan hesapları denenerek bu elektrik devre kesicisinin performans artışına yönelik önemli sonuçlar alınmıştır (Jouan ve Yousfi, 2008).

Pierre Freton ve Jean-Jacques Gonzalez tarafından 2009 yılında yapılmış olan Alçak Gerilim Devre Kesiciler İçin Güncel Araştırmalara Genel Bakış başlıklı çalışmada, bazı algoritmalar kullanılmış, alçak gerilim devre kesicileri üzerinde çeşitli analizlerin sonuçları yorumlanmış ve ark olayının başlaması ve gelişimi üzerinde çeşitli sonuçlar alınmıştır (Freton ve Gonzalez, 2009).

Satish Natti ve Mladen Kezunovic tarafından 2011 yılında yapılmış olan, Koşul tabanlı veri ve Bayesian yaklaşımı yapılarak devre kesici performansını değerlendirme metodolojisi kullanılmış, elektrik devrelerinin performansa dayalı veri endeksleri online olarak tutulmuş ve bu veriler ışığında bakım süreleri üzerinde ve bakımın hizmetlerinin geliştirilmesi noktasında önemli sonuçlar alınmıştır (Natti ve Kezunovic, 2011).

Omokhafa Tola ve James Garba Ambafi tarafından 2011 yılında yapılmış olan Elektrik Devre Kesicilerin Güvenilirlik Çalışması başlıklı çalışmada çeşitli tipteki devre kesicilerin performansları, Osogbo Power Holding Company of Nigeria (*PHCN*) ekipman merkezinde çalışılmış, üç dominant tip olarak kabul edilmiş olan ( $SF_6$  (Sülfür heksaflorid Devre Kesici), *VCB* (Vakumlu Devre Kesici) ve *OCB* (Yağlı Kesici)) tipi kesiciler için gerçekleştirilen analiz ve analizlere dayanarak  $SF_6$  tip kesicinin, minimum arıza oranı ile operasyon sayısı bakımından en yüksek performans oranına sahip olduğu, diğerleriyle karşılaştırıldığında  $SF_6$  tip gazlı kesicinin en yüksek güvenilirliğe ve kullanılabilirliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Tola ve Ambafi, 2011).

Brahim Hamaidi, Ali Haddouche ve Mohamed Ouadi tarafından 2011 yılında yapılmış olan Alçak Gerilim Akım Sınırlamalı Devre Kesicilerdeki Ark Olayları başlıklı çalışmada, ark hareketi ve ark oluşumunun matematiksel bir modeli üzerine çalışılmıştır. Bir açma solenoidi tarafından kumanda edilen düşük gerilimli ve akım sınırlamalı devre kesicilerinde, kritik akımın aşılması durumunda, geliştirilen bu matematiksel model kullanılarak, arkın olabildiğince erken sönmülenebileceği şeklinde bir tasarım gerçekleştirilmiştir (Hamaidi, Haddouche ve Ouadi, 2011).

Tadashi Mori tarafından 2011 yılında yapılmış olan Gaz Akışı Simülasyonuna Dayalı Düşük Çalışma Enerjisi ile Gaz Devre Kesici Odalarının Geliştirilmesi başlıklı çalışmada, gazlı devre kesiciler ve kesici parametreleri konusu çalışılmıştır. Çalışmada yöntem olarak çeşitli simülasyon programları kullanılmıştır. Alınan sonuçlara göre, gazlı devre kesicilerin bazı tiplerinin kompakt yapıda olduğu ve güvenilir yönde geliştirilebilmelerinin mümkün olduğu ileri sürülmüştür (Mori, 2011).

Xinming Zhang tarafından 2012 yılında yapılmış olan Devre Kesicilerinin Dielektrik Performanslarının İncelenmesi başlıklı çalışmada, devre kesicileri üzerinde oluşan kısa devre akımlarındaki kaçak akımları tanımlamış ve üzerinde oluşan doğal nano-partiküler tabakayı incelemiştir. Çalışmada, devre kesicilerinin tabanından alınan bakır ve polikarbonat örnekleri alınarak bir megger test yalıtım cihazı kullanılmış ve kısa devre anında kesici üzerinde oluşan kaçak akımlarda büyük artış olduğu sonucuna ulaşmıştır (Zhang, 2012).

Araitz Iturregi Aio tarafından 2013 yılında yapılmış olan Alçak Gerilim Devre Kesicilerinde oluşan Elektrik Arklarının Modelleştirilmesi ve Analizi başlıklı çalışmada, bazı simülasyon modelleri kullanılarak (kara kutu modelleri, grafiğe dayalı modeller ve diyagramlar, fiziksel modeller kullanılmış), düşük, orta ve yüksek gerilim devrelerinde ark oluşumu ve gelişimi incelenerek ark sönümlenmesi üzerinde bazı analizler yapılmıştır. Böylece, kullanılan modeller ışığında ve devrenin tasarımı noktasında yapılan optimizasyonlar neticesinde önemli verilerin alındığı görülmüştür (Aio, 2013).

Anton Janssen, Dirk Makareinis ve Carl-Ejnar Sölver tarafından 2014 yılında yapılmış olan Trafo Merkezi ve Sistem Çalışmaları için Devre Kesici Güvenilirlik Verileri Üzerine Uluslararası Araştırmalar başlıklı çalışmada, elektrik devre kesicileri konusu çalışılmıştır. Çalışmada özellikle anahtarlama için kullanılan elektrik devre kesicileri üzerinde hata gerilimlerinden kaynaklanan problemlerin daha etkin olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Janssen, Makareinis, Sölver, 2014).

Subhash NN, Vikrant Deshmukh, Sonil Singh ve Arnab Guha tarafından 2015 yılında yapılmış olan Birleştirilmiş Elektrik-Termal Analiz Kullanılarak Hava Devre Kesicisinin Isıl Performans Değerlendirmesi başlıklı çalışmada, havalı devre kesicilerinin performans konusu çalışılmıştır. Çalışma kapsamında bu devre kesicileri üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bazı elektrik-thermal analizler yapılmış ve bu analizler yardımıyla kesicinin ısı performansını üzerinde değerlendirmeler yapılarak



dayanıklılık ve güvenilirlik ile ilgili bazı karşılaştırmalar yapılmıştır (NN, Deshmukh, Singh ve Guha, 2015).

Jan-Thomas O'Reilly tarafından 2016 yılında yapılmış olan, Gelişmiş Durum İzleme Teşhis Teknikleri Yoluyla Şalt Sisteminin Orta Gerilim Analizi başlıklı çalışmada, bobin akımına dayalı mekanik mekanizmanın magnetron bazında termal izleme metodu kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasıyla, Vakumlu Elektrik Devre Kesicinin bakım maliyetlerinin azaltılması, güvenilirliğin artması, etkili arıza önlemleri alınmasına yönelik bazı önemli sonuçlar elde edilmiştir (O'Reilly, 2016).

Julien Pouilly tarafından 2017 yılında yapılmış olan Yüksek Gerilim Devre Kesicilerinin Çoklu Fiziksel Simülasyonları başlıklı çalışmada, yazılım yardımı ile simülasyonlar oluşturularak özel devrelerin analizi yapılmıştır. Bu çalışma ile hedeflenen endüstriyel bir projede düşük maliyetli yeni bir yüksek gerilim devre kesicisi tasarlanmıştır. Bu yöntemle, devrelerin karmaşık termo-kemo-mekanik ve elektriksel olayları simüle edilerek düşük maliyetli kesicilerin tasarlanabilmesine yönelik bazı etkili sonuçlar alınmıştır (Pouilly, 2017).

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Arduino

Arduino, *INPUT/OUTPUT*'a sahip paket program dilleriyle geliştirilen kendine özel ara yüz platformunda düzenlendikten sonra programlanabilen fiziksel bir kontrol kumanda kartıdır. Bu devre kartlarının donanımında Atmel AVR mikrodenetleyici (ATmega328, ATmega2560, ATmega32u4 vb.) ve diğer devrelere bağlantı yapılabilmesi için çeşitli elemanlar bulunmaktadır. Bunun yanı sıra devre kartlarında 5 voltluk regüle entegre devreleri, 16 MHz frekansına sahip olan kristal osilatörler de bulunmaktadır. Programın algoritma kodları, mikrodenetleyiciye önceden yüklenmiş olan bir bootloader programı yardımıyla yüklenir. Bu kontrol kumanda kartının günümüz sistemlerinde çok sık tercih edilmesinin sağladığı temel ve yararlı avantajlar şunlardır;

- Hem donanımı, hem de yazılımı açık kaynak kodludur. Hem donanımın hem de yazılımın açık kaynak kodlu olması, deneysel amaçlı veya ticari uygulamalar açısından daha ucuz geliştirme imkânı sağlamaktadır.
- Güncel kütüphane sayesinde gelişmiş teknolojiye dair bir çok donanım Arduino Boarda kolayca entegre edilebilmekte ve birçok sistemde yeni nesil kontrol kartı olarak kullanılabilir. *USB* ve *Bluetooth*'a sahip olmasından dolayı da uzaktan kontrol kumanda imkânı sağlar.
- Mikrodenetleyici ve işlemcisinin yardımıyla veri *INPUT/OUTPUT*'ları kolaylıkla sağlanabilir.
- Çok iyi bir mikroişlemci bilgisi gerektirmez.

##### 3.1.1.1. Arduino Çeşitleri

- Arduino Duemilanove
- Arduino Diecimila
- Arduino Mega

- Arduino LilyPad
- Arduino Nano
- Arduino Mini
- Arduino Primo
- Arduino Uno

Tez çalışmamızda kullanılan kart türü Arduino Uno olduğundan dolayı Arduino Uno hakkındaki detaylı bilgiler aşağıdaki başlık altında verilmiştir.

### **3.1.1.2. Arduino Uno**

Geliştirme ara yüzü (*IDE*), Arduino bootloader (Optiboot), Kütüphaneler, *AVR Dude* (Mikrodenetleyici programlayan algoritma kodları) ve derleyiciden (*AVR-GCC*) oluşmaktadır.

Arduino yazılımı geliştirme ara yüz(*IDE*) ve kütüphanelerden oluşmaktadır. *IDE*, Java dilinde yazılmış, Processing adlı dilin yapısına dayanmaktadır. Kütüphaneler ise *C* ve *C++* dillerinde yazılmış ve *AVR-GCC* ve *AVR Libc.* ile derlenmiştir. Arduino kaynak kodlarına buradan ulaşılmaktadır.

Optiboot elemanı Arduino 'nun bootloader elemanıdır. Bu eleman, mikrodenetleyicinin programlanmasını sağlayan bileşendir.

Arduino'nun günümüz sistemlerinde çok sık kullanılmasını sağlayan en önemli yapısı ise mikrodenetleyici bilgisi olmayan veya çok az mikrodenetleyici bilgisi olan herkesin kolayca programlama yapabilmesini sağlayan kütüphaneleridir. Arduino kütüphaneleri, *IDE* ile birlikte gelmekte ve "libraries" klasörünün altında yer almaktadır. Buradan program kodları incelenerek mikro denetleyicilerin ve kütüphanelerle olan bağ yapısı görülebilmektedir.

*AVR Dude* elemanı ise derlenen kodları programlamaya yöneliktir.

Arduino Uno'nun devre kartının görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir. Arduino Uno'nun diğer özellikleri;

6 tanesi *PWM* çıkışlı, 6 adet analog girişli 14 adet dijital *INPUT/OUTPUT* uçlarına sahiptir.

Arduino Uno'da ATmega328 işlemcisi kullanılmaktadır. ATmega8U2, *USB*-seri iletişim dönüştürücü görevini yapmaktadır. Bilindiği gibi birçok devrede bu işlemi FTDI entegre devresi yapmaktadır. Bu durum daha hızlı aktarım imkânı sunmaktadır.

ATmega8U2 aynı zamanda FTDI entegresinin imkan vermediği Arduino Uno'ya klavye, mouse, joystick vs. olarak tanıtılabilme ve sistemde bu şekilde kullanılabile olanağı da sağlamaktadır.

Arduino Uno, Arduino kartları içerisinde en sık kullanılan ve fiyat olarak da en uygun kartlardan biridir. Bu da onları, tedarik etmesi çok kolay kontrol kumanda kartları haline getirmektedir.



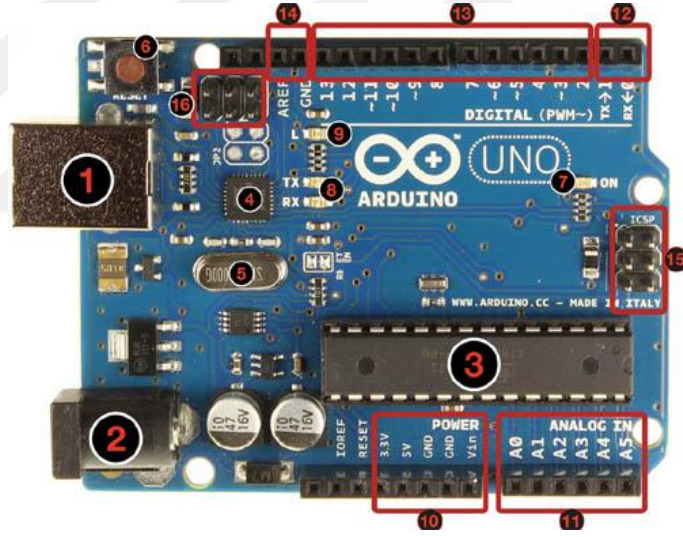
Şekil 3.1. Arduino Uno devre kartı görüntüsü

### ***Arduino Uno'nun Teknik Özellikleri***

- Mikrodenetleyici: ATmega328
- Çalışma gerilimi: +5 V DC
- Tavsiye edilen besleme gerilimi: 7 - 12 V DC

- Besleme gerilimi limitleri: 6 - 20 V
- Dijital giriş / çıkış pinleri: 14 tane (6 tanesi *PWM* çıkışını destekler)
- Analog giriş pinleri: 6 tane
- Giriş / çıkış pini başına düşen *DC* akım: 40 mA
- 3,3 V pini için akım: 50 mA
- Flash hafıza: 32 KB (0.5 KB bootloader için kullanılır)
- *SRAM*: 2 KB
- *EEPROM*: 1 KB
- Saat frekansı: 16 MHz

Arduino UNO Bileşenlerinin devre üzerindeki gösterimleri Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Arduino UNO Bileşenleri

### ***Arduino Uno'nun Besleme Gücü***

Arduino Uno dâhili beslemelerinin dışında, harici beslemelerinde ise, kartın üzerinde yer alan Şekil 3.2’de 2 numarada gösterilen jak girişi yardımıyla 7 ile 12 Volt arasındaki *DC* gerilimler ile beslenebilir.

Arduino kontrol kartı üzerinde yer alan ' $V_{in}$ ' pini, Arduino'nun jak girişine bağlı bulunduğu bir pindir. Bu pine uygulanan gerilim, bünyesine bağlı bulunan regülatör yardımıyla Arduino için çalışabileceği ve hasar görmeyeceği uygun gerilime düşürülür. Pilin artı (+) ucu ' $V_{in}$ ' pinine, pilin eksi (-) ucu ise Arduino'nun üzerinde yer alan ' $GND$ ' yani toprak ucuna bağlanır. ' $GND$ ' ve ' $V_{in}$ ' pinleri Şekil 3.2'de 10 numara ile gösterilmektedir.

Arduino üzerinde yer alan 5 Volt pini Arduino'yu beslemek için kullanılır. Bu gerilimden daha fazla bir gerilimin uygulanması, Arduino'nun bozulmasına sebep olabilir. 5 Volt gerilim veren bir kaynağın artı (+) ucu, Arduino'nun 5 Volt, eksi (-) ucu ise ' $GND$ ' pinine bağlanır. Bu pin Şekil 3.2'de 1 numara ile gösterilmiştir.

### ***Giriş ve Çıktılar***

Arduino Uno kartında yer alan 14 dijital *INPUT / OUTPUT* çıkış pini, `pinMode()`, `digitalWrite()` ve `digitalRead()` fonksiyonları yardımıyla *INPUT* ya da *OUTPUT* olarak ayarlanabilmektedir. Bu pinler 5 V, maksimum 40 mA çekebilir ya da sağlayabilir. 20-50 kOhm dâhili pull-up dirençleri bulunur. Bazı pinlerin özel fonksiyonları şu şekilde açıklanabilir;

***Serial 0 (RX) ve 1 (TX):*** TTL receive-transmit özellikler sayesinde seri datayı almayı ve yaymayı sağlar.

***Harici kesmeler (2 ve 3):*** Herhangi bir kesmeyi tetikler.

***PWM: 3, 5, 6, 9, 10, ve 11:*** `analogWrite ()` fonksiyonu ile gerekli 8-bit PWM sinyali oluşturur.

***SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK) :*** *SPI* kütüphanesi ile *SPI* haberleşmeyi sağlar.

***LED 13:*** Dijital pin 13 e bağlı olan led pinin değeri *High* olduğunda yanar, *Low* olduğunda ise söner.

Arduino Uno kartı üzerinde yer alan A0'dan A5'e kadar 6 adet analog girişi mevcuttur, her biri 10 bitlik çözünürlük destekler.

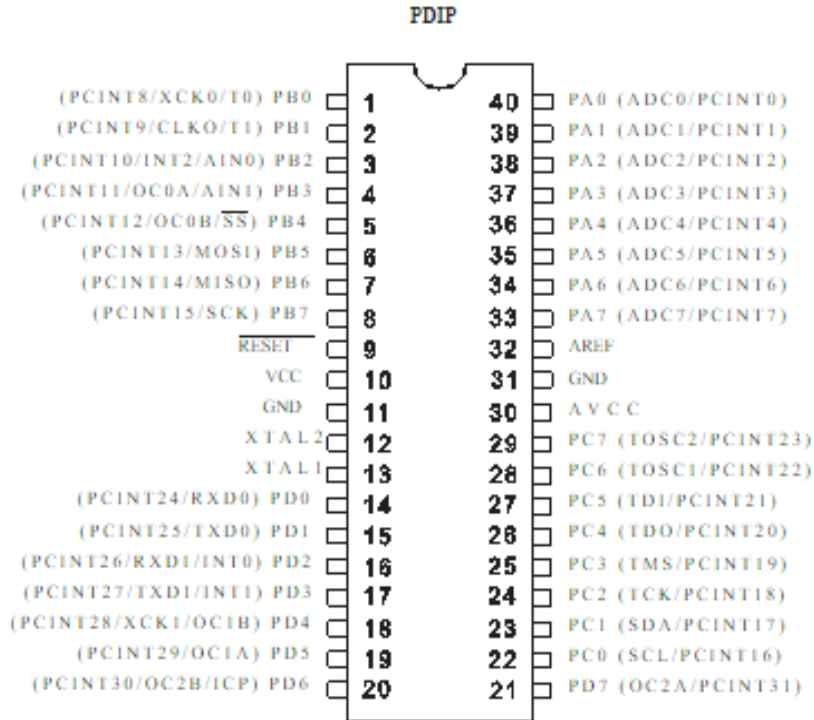
**TWI:** A4 ya da SDA pini ve A5 ya da SCL pini Wire kütüphanesini kullanarak TWI haberleşmesini destekler.

**AREF:** Analog girişler için referans voltajıdır. *analogReference()* fonksiyonu ile kullanılır.

**RESET:** Neredeyse bütün kontrol kartlarında yer alan RESET bileşenleri, bu kontrol kartında da mikro denetleyiciyi resetlemek içindir.

### ATmega328 Mikroişlemci

Şekil 3.3'te ATmega Mikro işlemciye ait pin çıkışları gösterilmiştir.



Şekil 3.3. ATmega Mikro işlemciye ait pin çıkışları

### ***Haberleşme işlemi***

Arduino Uno, ana bilgisayar ile bir başka Arduino kartı veya ana bilgisayar ile diğer mikro denetleyiciler arasında haberleşme olanağı sağlar. *RX* ve *TX* (alınan ve yayılan veri pinleri) pinlerinden erişilebilen *UART TTL (5 V)* seri haberleşmeyi destekler. Kart üzerinde yer alan *ATmega16U2* bileşeni ise seri haberleşmeyi *USB* kanalı üzerinden gerçekleştirir ve bilgisayardaki ara yüzde sanal *COM* portu olarak görünür. *ATmega16U2* *COM* sürücülerini kullanır. Ancak, *Windows*'ta bir *.inf* dosyası gereklidir. Kart üzerindeki *RX* ve *TX* ledleri *USB*'den seri çipe, *USB*'den de bilgisayara veri giderken yanıp söner. Arduino Uno'da *SoftwareSerial* kütüphanesi digital pinlerinden seri haberleşmeye olanak sağlar.

#### ***3.1.1.3. Arduino Programının Kurulması (Windows)***

Boardu programlamak için, *Windows*, *Mac* ve *Linux* işletim sistemlerinden herhangi biri kullanılabilir. Programın kurulması işletim sistemlerinin özelliklerine göre farklılık gösterir. Bunun yanı sıra program kodlarının yüklenmesi için çeşitli ayarlar gerekmektedir. Bir *SETUP*' programı yoktur. Arduino programı, sıkıştırılmış klasör içerisinde ilgili programlar kullanılarak istenilen alanda açılabilir. Kullanıcı tarafından program açıldıktan sonra, *Arduino UNO* boardun çalışması için gerekli olan *USB* sürücülerini yüklenir.

#### **3.1.2. AC transformatör**

Arduino devresinin besleme gerilimini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Kullanılan transformatörün görüntüsü ve parametreleri Şekil 3.4'te verilmiştir.



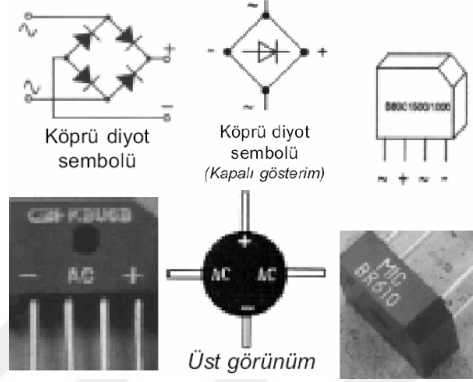
Giriş Voltajı: 220 VAC
Çıkış Voltajı: 6,5 VAC
Çalışma Frekansı: 50 ~ 60 Hz

**Şekil 3.4.** Transformatörün görüntüsü



### 3.1.3. Köprü diyot

Bünyesinde dört adet doğrultmaç diyodu içeren dört bacaklı diyotlardır. Bu diyotların gövde kısımlarının üzerinde ~ işareti bulunan bacaklar AC giriş uçları + ve - işaretlerinin bulunduğu bacaklar ise DC çıkış uçlarıdır (Bkz. Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Köprü Diyotun görüntüsü

### 3.1.4. SSR röle

Solid state röle, bütünüyle elektronik parçalardan oluşan bir anahtarlama düzeneğidir. Klasik röle veya kontaktörle aynı görevi üstlenmektedir. Kontaktörler ve röleler gibi güç ve kumanda devrelerine sahiptir. Genellikle güç devrelerinin anahtarlama yapmada kullanılır. 1-2 Amperden 1000-2000 Ampere kadar anahtarlama yapan, monofaze ve trifaze solid state röleler bulunmaktadır. Deney düzeneğinde kullanılan örnek bir SSR elemanı Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. SSR Röle görüntüsü

### 3.2. Yöntem

Literatürde günümüze kadar konuyla ilgili yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, çalışmaların neredeyse tamamının elektrik devre açma veya kapamalarında meydana gelen ark olaylarının söndürülmesine yönelik olduğu görülmüştür. Ark olayının söndürülmesine yönelik çok sayıda farklı model veya yöntem önerilmiştir. Fakat elektrik devre açma veya kapamalarında ark olayının, kaynağında oluşumunu önleyecek herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu noktadan hareketle yapılmış olan bu tez çalışmasında alternatif akım devre kesicilerinin kumanda işlemlerinde meydana gelebilecek arkların oluşmasını önleyebilecek yeni bir yöntem önerilmiştir.

Ark olayı, yüksek gerilimin ve dolayısıyla yüksek akımın, yüksek basınçlarda meydana getirdiği elektriksel bir boşalma olayı olarak tanımlanabilir. Arkın elektriksel gücü oldukça yüksek olduğundan dolayı tahrip gücü de yüksektir. Dolayısıyla ark, meydana geldiği bölgelerde veya noktalarda önemli tahribatlar meydana getirir. Bu durum, hem teknik açıdan hem de ekonomik açıdan önemli bir dezavantajdır.

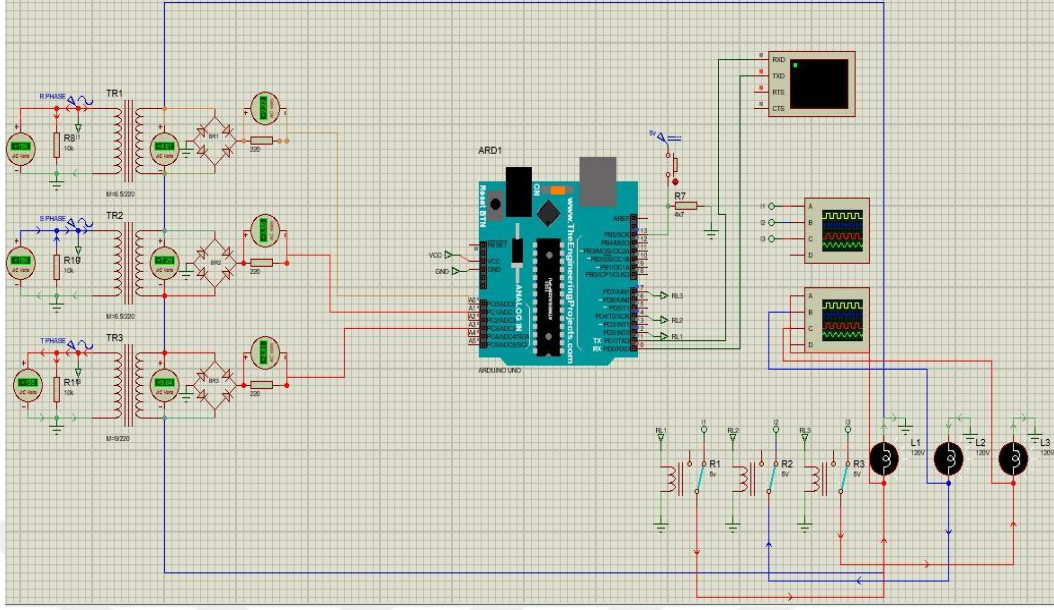
Yüklü enerji iletim hatlarında alternatif gerilimin yüksek (tepe) değerlerinde veya tepe değerlere yakın noktalarda kesicilerin anahtarlanması (akımın veya gerilimin büyüklüğüne bağlı olarak) büyük ark patlamalarına sebep olur. Bu ark olaylarını önlemek amacıyla önerilen yöntemde, özellikle alternatif akımın sıfır geçiş noktalarında veya sıfır geçiş noktalarına yakın bölgelerde anahtarlama işleminin yapılması büyük önem arz eder. Bu durumda, sözü edilen noktalarda Gerilim/Akım değerleri sıfıra eşit veya yakın olduğundan dolayı anahtarlama sırasında ark oluşumu gözlenmez. Önerilen sistemin kontrol devresi için bir Arduino işlemcinin *IDE*'sine yüklenen ve özel olarak hazırlanmış olan program kodlarıyla kontrol işlemi sağlanmıştır. Tasarlanan program sayesinde sıfır geçiş noktaları veya sıfıra yakın pozitif ve negatif bölgelerde (Bölgenin tolerans aralığının ne kadar olacağı programda isteğe bağlı olarak ayarlanabilir) çıkış (güç) devresine *AÇMA* veya *KESME* sinyali göndermek suretiyle kumanda işlemini gerçekleştirir. Hem kumanda hem de güç devresi için bu işlem her faz için bağımsız olarak tasarlanır ve uygulanır. Güç devresi ise hızlı kumanda edilebilen özelliklere sahip mekanizmalar veya güç elektroniği anahtarlama elemanlarından oluşur.

## 4. BULGULAR

Tez çalışmamızda önerilen yöntemin tasarımı yapıldıktan sonra pratik açıdan test edilebilmesi ve gerekli analizlerin yapılabilmesi için sistemin devresinin kurulması ve sorunsuz olarak çalıştırılması gerekir. Deneysel çalışmalara başlamadan önce, uygulama devresinin sanal ortamda simülasyonu yapılmış ve devrenin gerekli parametreleri optimize edilmiştir. Bu işlemler için Elektronik Çizim-Simülasyon Programı olan Proteus'tan yararlanılmıştır. Sonraki aşamalarda Arduino programlama ve Proteus programı kullanılarak gerekli devre kurulmuştur.

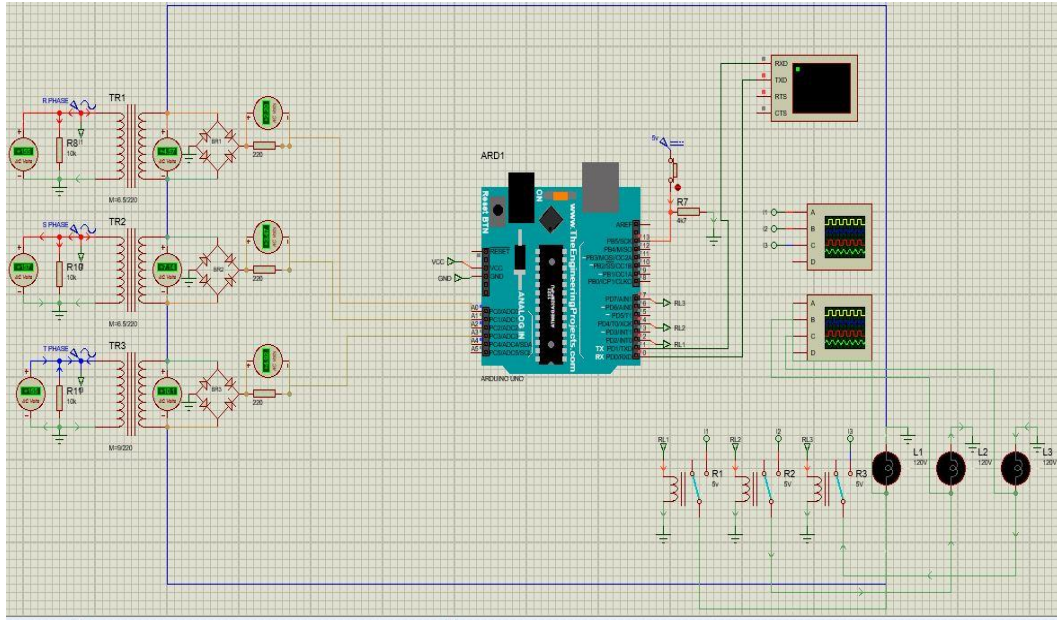
### 4.1. Devrenin Simülasyonu

Sanal ortamda oluşturulan devrenin çalışmasına ait veriler Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.1'den görüldüğü gibi simülasyon devresinde ilk olarak tedarik edilen 220:6,5 V trafo kullanılmıştır. Arduino devresi AC geriliminin negatif alternansını okuyamadığı için bu sorunu gidermek amacıyla sistemde negatif alternansı da pozitif alternansa dönüştürebilen köprü diyotlar kullanılmıştır. Ayrıca Arduino giriş gerilimi olarak max. 5 V verilmesi gerektiği için Arduino giriş akımı da baz alınarak uygun direnç değerleri seçilerek gerilim bölücü yöntemiyle istenilen gerilim değerleri elde edilmiştir. Sonraki adımda Arduino IDE'sinde oluşturulan algoritma, Arduino kontrol kartına yüklenmiştir. Oluşturulan algoritmaya göre, analog sinyaller olarak alınan giriş sinyalleri  $A_0$ ,  $A_2$  ve  $A_4$  analog pin uçlarına atanmış ve aynı zamanda  $RL_1$ ,  $RL_2$  ve  $RL_3$  röleleri, çıkış sinyalleri digital olarak atanmış olan 2, 4 ve 7 pin uçlarına bağlanmıştır. Referans gerilimi olarak 50 V belirlenmiştir. Programda bu değer istenilen gerilim değerine ayarlanabilir. Fakat bu çalışma için 50 V olarak seçilmiştir. Çünkü 50 voltta ark olayının meydana gelme olasılığı çok düşüktür. Anahtar (Switch) AÇIK (ON) konumuna alındığında bu eşik geriliminin karşılığı olan digit değer altına düştüğü anda devrenin kontrollü olarak sırasıyla  $RL_1$ ,  $RL_2$  ve  $RL_3$  rölelerini açması sağlanmıştır. Anahtar KAPALI (OFF) konumuna alındığında ise devre, eşik değerle karşılaştırıp  $RL_1$ ,  $RL_2$  ve  $RL_3$  rölelerinin kapatılması komutunu verir.



Şekil 4.1. Buton açıkken elde edilen simülasyon görüntüsü

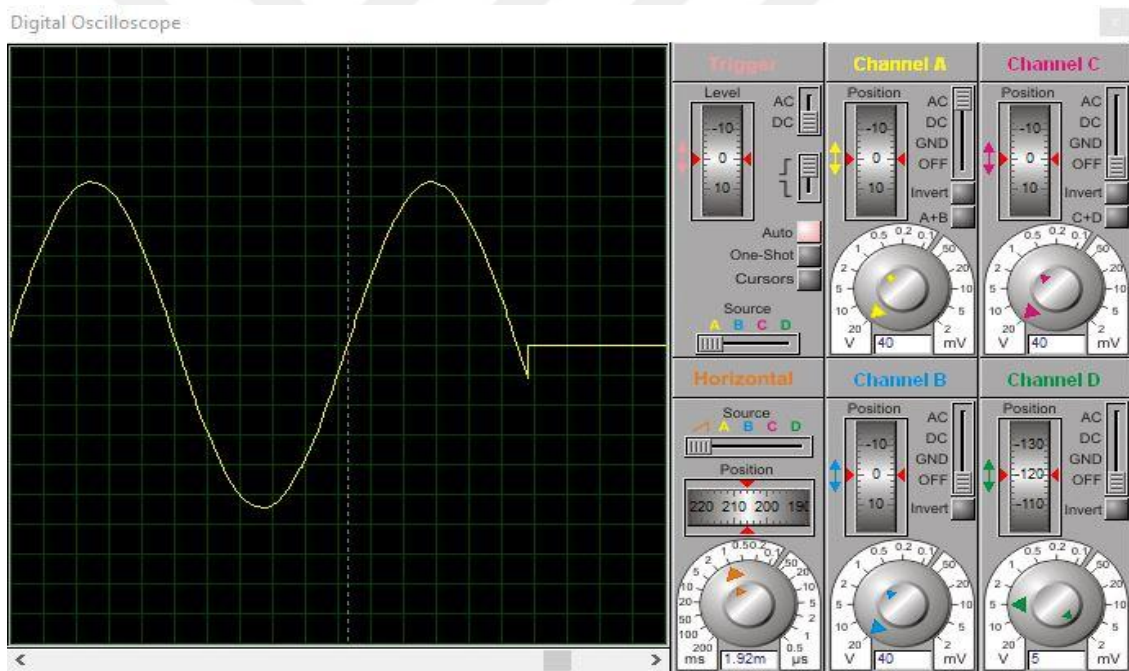
Switch Şekil 4.2’de görüldüğü gibi *ON* konumuna alındığında ise oluşturulan algoritmanın çalışmasıyla birlikte giriş sinyali, daha önce belirlenmiş eşik gerilimi olan  $50\text{ V}$ ’un altına düştüğü anda rölelerin açtığı gözlenmiştir.



Şekil 4.2. Buton kapalı iken elde edilen simülasyon görüntüsü

Simülasyon programında dijital osiloskoplar giriş ve çıkış noktalarına bağlanarak bazı gözlemler yapılmıştır. Özellikle çok farklı zamanlarda yapılan tetiklemelerle *AÇMA* veya *KESME* komutunun verilmesiyle birlikte oluşan tetikleme sinyalinin rölelere aktarılmasıyla birlikte kesme ve açma işlemlerinin fazlar üzerindeki etkileri görsel olarak incelenmiştir.

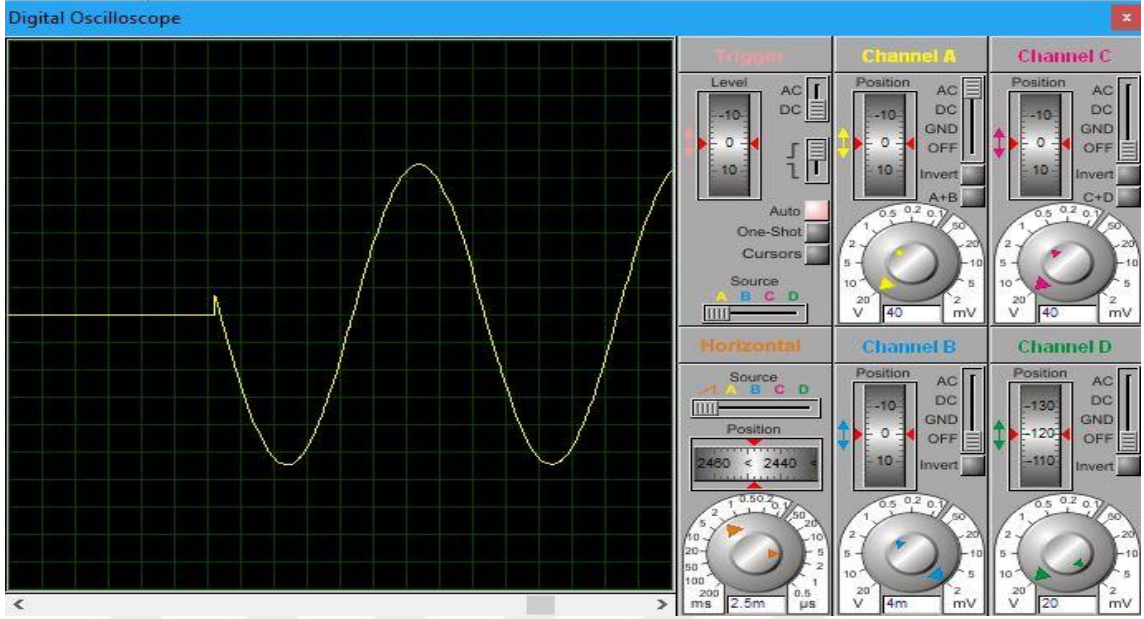
Şekil 4.3'te  $t=t_1$  zamanında yapılan tetiklemede *R* fazı üzerinde gerçekleşen *KESME* işleminin dijital osiloskop görüntüsü verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, şebeke geriliminin Arduino kartında referans gerilimi olarak belirlenmiş olan  $V=50\text{ V}$  eşliğine geldiği anda rölenin devreyi kestiği gözlenmiştir. Farklı zamanlarda yapılan her testte devrenin hatasız olarak çalıştığı görülmüştür.



Şekil 4.3. Tetikleme zamanı  $t=t_1$  sırasında *R* fazından elde edilen *KESME* işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü

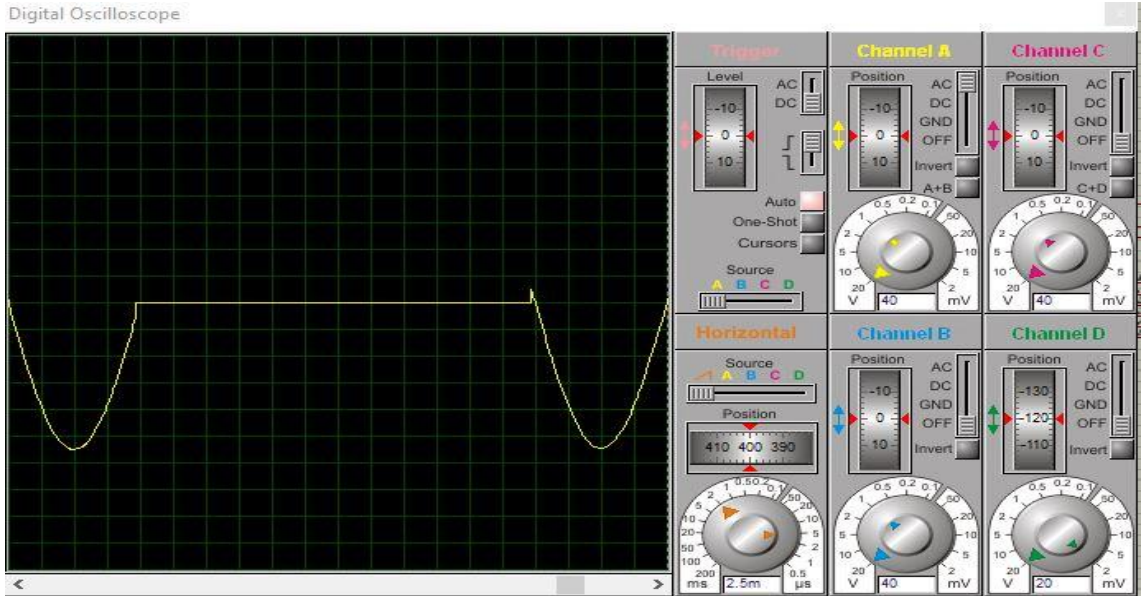
Şekil 4.4'te  $t=t_2$  zamanında yapılan tetiklemede *R* fazı üzerinde gerçekleşen *AÇMA* işleminin dijital osiloskop görüntüsü verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, şebeke geriliminin Arduino kartında referans gerilimi olarak belirlenmiş olan  $V=50\text{ V}$  gerilim aralığında rölenin devreyi açtığı gözlenmiştir. Yapılan her testte devrenin sorunsuz olarak çalıştığı görülmüştür.





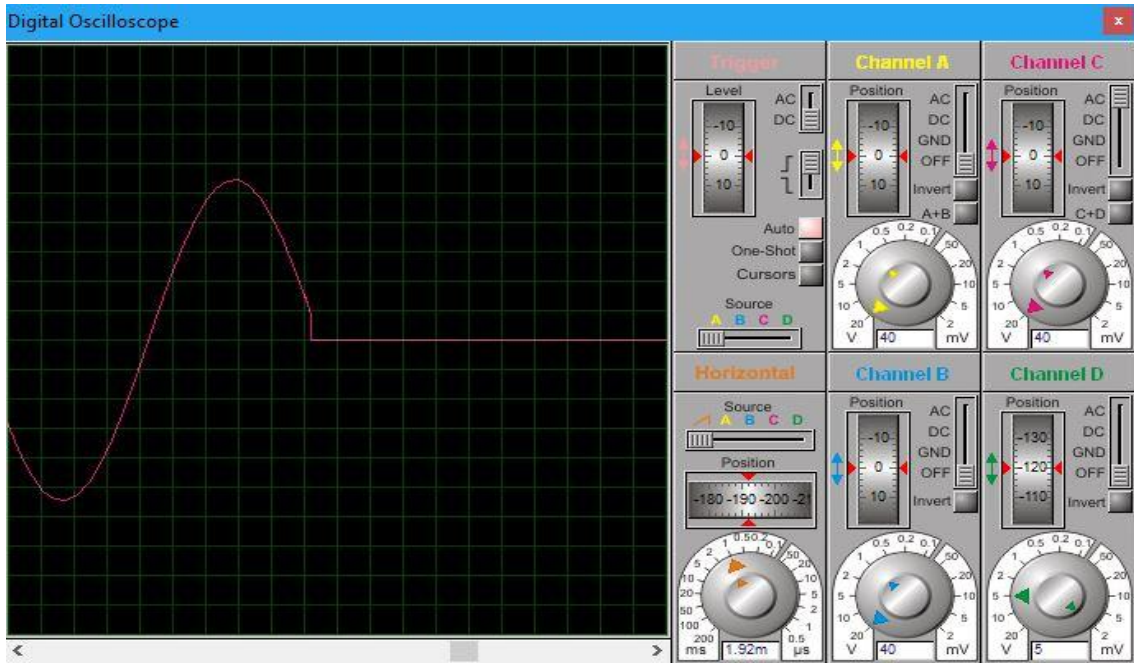
Şekil 4.4. Tetikleme zamanı  $t=t_2$  sırasında  $R$  fazından elde edilen  $AÇMA$  işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü

Şekil 4.5'te  $t=t_1$  ve  $t=t_2$  zamanlarında yapılan tetiklemelerde  $R$  fazı üzerinde gerçekleşen  $KESME$  ve  $AÇMA$  işlemlerinin dijital osiloskop görüntüsü verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, belirlenmiş olan  $\pm 50$  V gerilim aralığında rölenin devreyi hatasız olarak açtığı ve kapattığı gözlenmiştir.



Şekil 4.5.  $t=t_1$  ve  $t=t_2$  zamanlarında  $R$  fazından elde edilen  $KESME$  ve  $AÇMA$  işlemlerinin Dijital Osiloskop görüntüsü

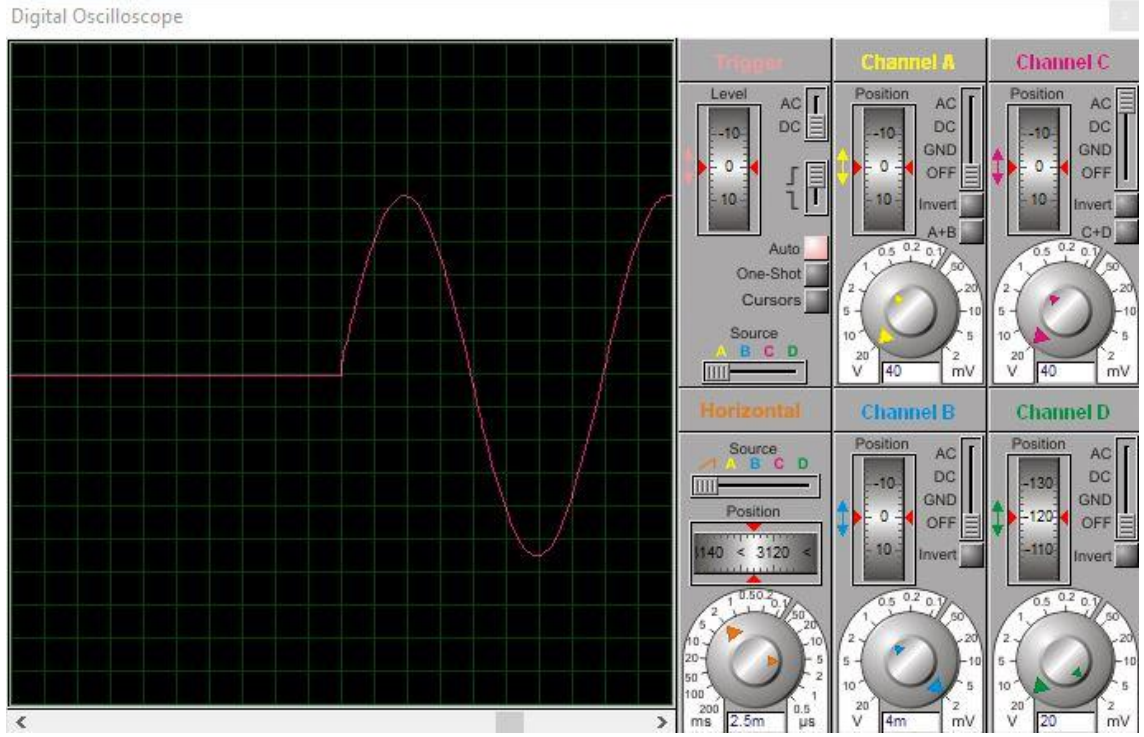
Şekil 4.6'da  $t=t_1$  anında yapılan tetiklemede  $S$  fazı üzerinde gerçekleşen *KESME* işleminin dijital osiloskop görüntüsü verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, şebeke geriliminin Arduino kartında referans gerilimi olarak belirlenmiş olan  $V=50 V$ 'un üstündeki bir değerde tetiklemenin yapıldığı ve tetikleme işleminin belirlenen aralık olan  $-50 V$  ile  $+50 V$  aralığındaki bir değere düştüğü anda rölenin devreyi kestiği gözlenmiştir. Bu şekilde çok sayıda işlem tekrarlanmış olup her durumda kesme işlemlerinin hatasız olarak ve belirlenen gerilim aralığında gerçekleştiği gözlenmiştir.



**Şekil 4.6.** Tetikleme zamanı  $t=t_1$  zamanında  $S$  fazından alınan *KESME* işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü

Benzer şekilde, Şekil 4.7'te  $t=t_2$  anında yapılan tetikleme işleminde  $S$  fazı üzerinde gerçekleşen *AÇMA* işleminin dijital osiloskop görüntüsü verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, şebeke geriliminin Arduino kartında referans gerilimi olarak belirlenmiş olan  $V=50 V$ 'un altında bir değerde tetiklemenin yapıldığı ve tetikleme işleminin pozitif alternans bölgesindeki bir noktada (belirlenen aralık olan  $-50 V$  ile  $+50 V$  aralığında) gerçekleştiği görülmüştür. Dolayısıyla kesme sinyali  $50 V$ 'tan daha düşük bir gerilimde geldiğinden dolayı rölenin devreyi kestiği gözlenmiştir. Her test işleminde çok sayıda işlem tekrarlanmış olup her durumda kesme işleminin hatasız olarak,

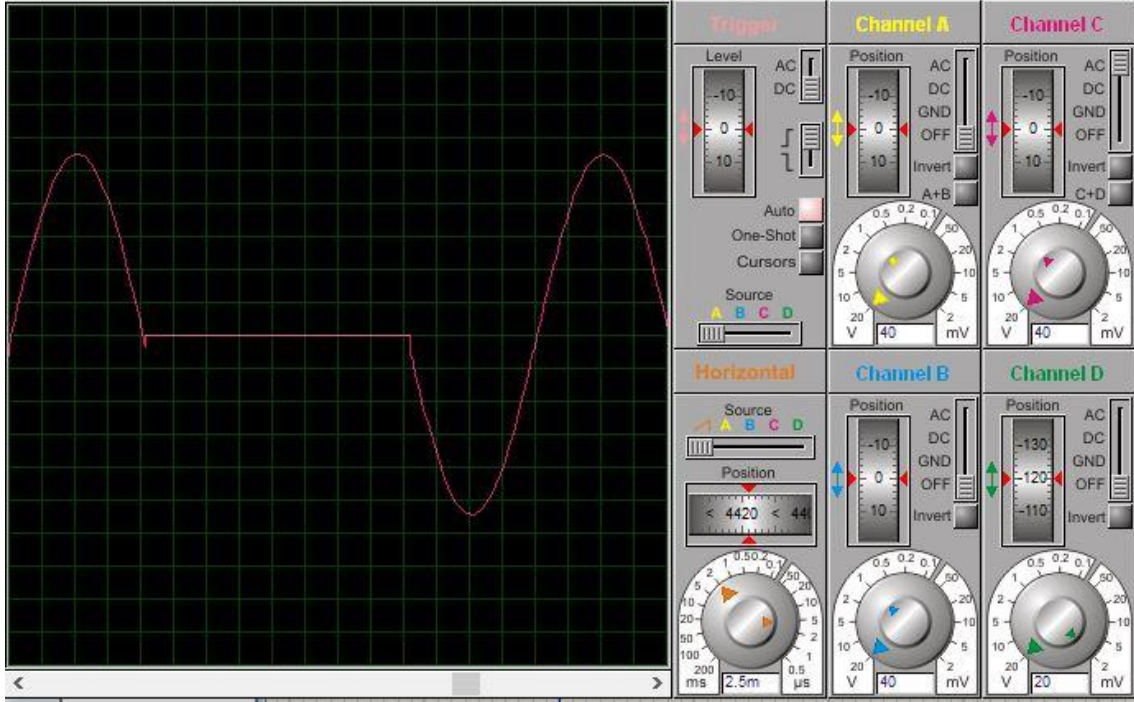
belirlenen aralıkta fakat değişik noktalarda gerekleştėđi gözlenmiştir. Bu testler, hazırlanmış olan algoritmanın ve tasarlanmış olan devrenin hatasız olarak çalıştığının önemini açıkça ortaya koymaktadır.



şekil 4.7. Tetikleme zamanı  $t=t_2$  anında  $S$  fazından alınan  $AMA$  işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü

şekil 4.8’de sırasıyla  $t=t_1$  ve  $t=t_2$  anlarındaki tetikleme işlemlerine bağlı olarak  $S$  fazının röle çıkışlarındaki  $AMA$  ve  $KESME$  işlemlerinin görüntüleri aynı ekran üzerinde verilmiştir. şekilden de görüldüğü üzere, gerilimin pozitif alternanstan negatif alternansa geçtikten hemen sonraki bir anında (sıfır geçiş noktasına çok yakın bir noktada)  $t=t_1$  anında  $KESME$  komutunun geldiği ve ardından röle devreyi kesmiştir. Benzer şekilde, kesme işleminin belirli bir süre sonra  $AMA$  komutunun gönderilmesiyle, gerilimin belirlenmiş olan  $\pm 50 V$  gerilim aralığında rölenin devreyi hatasız olarak kapattığı gözlenmiştir. Bu durumda gerilimin negatif alternans bölgesinde olduğu görülmektedir.



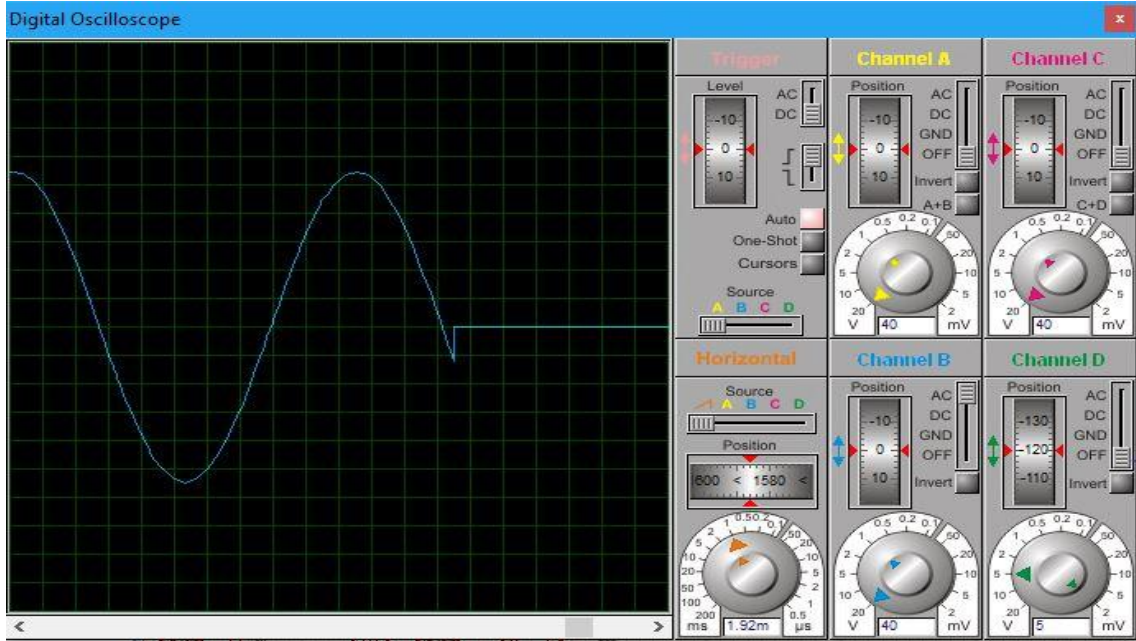


**Şekil 4.8.**  $t=t_1$  ve  $t=t_2$  zamanlarında  $S$  fazından elde edilen KESME ve AÇMA işlemlerinin Dijital Osiloskop görüntüsü

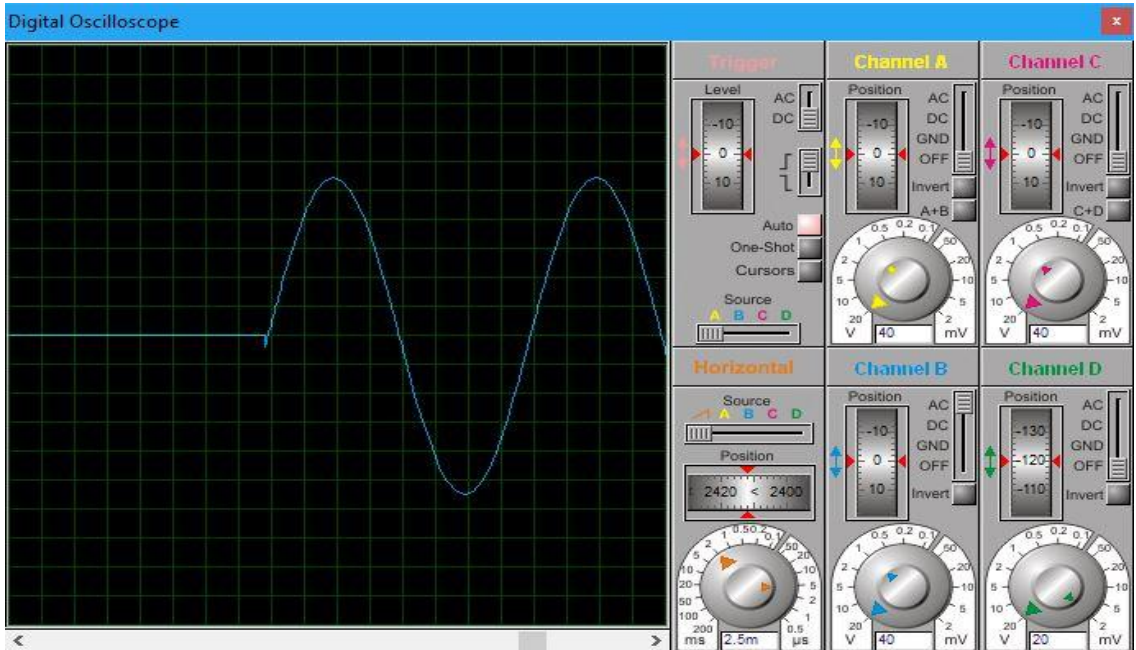
Yapılan analizlerde açma veya kesme işlemlerinin her durumda farklı noktalarda fakat belirlenen gerilim aralığının dâhilinde meydana geldiği görülmüştür. Bunun nedeni ise tetikleme komutunun Arduino kartında belirlenen  $+50\text{ V} \sim -50\text{ V}$  değerleri arasındaki herhangi bir anında gelmesinden kaynaklanmıştır. Ancak açma veya kesme komutlarının belirlenen gerilim aralığının dışındaki bir anda gelmesi durumunda sistemin, takip eden gerilim seviyesinin belirlenen aralığa düşmesiyle birlikte ilgili komutu yerine getirdiği gözlenmiştir. Kısacası, kesme komutu her ne kadar farklı zamanlarda gelse de; rölelerin kesme işlemini yine istenilen aralıkta hatasız olarak gerçekleştirdikleri gözlenmiştir.

Benzer şekilde Arduino kontrol kartı ile farklı zamanlarda  $T$  fazı üzerinde gerçekleştirilen örneklemelerde çok sayıda ve farklı kombinasyonlarda tetiklemeler yapılarak belirlenen referans gerilimleri aralığında istenilen ve beklenen sonuçlar hatasız olarak alınmıştır. Neticede rölelerin, önerilen Arduino algoritmasıyla uyumlu

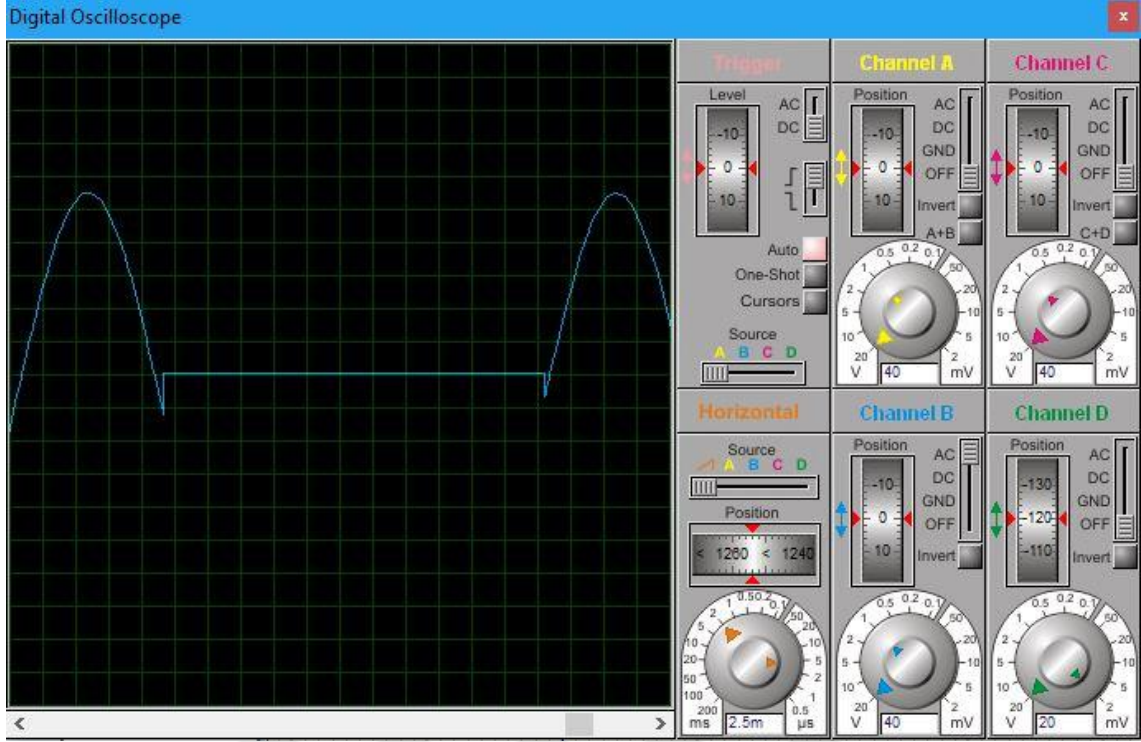
çalıştığı ve *AÇMA/KESME* işlemlerini hatasız olarak gerçekleştirdikleri görülmüştür. Bu durum Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’den görülebilir.



Şekil 4.9. Tetikleme zamanı  $t=t_1$  anında  $T$  fazından alınan *KESME* işlemine ait Dijital Osiloskop görüntüsü



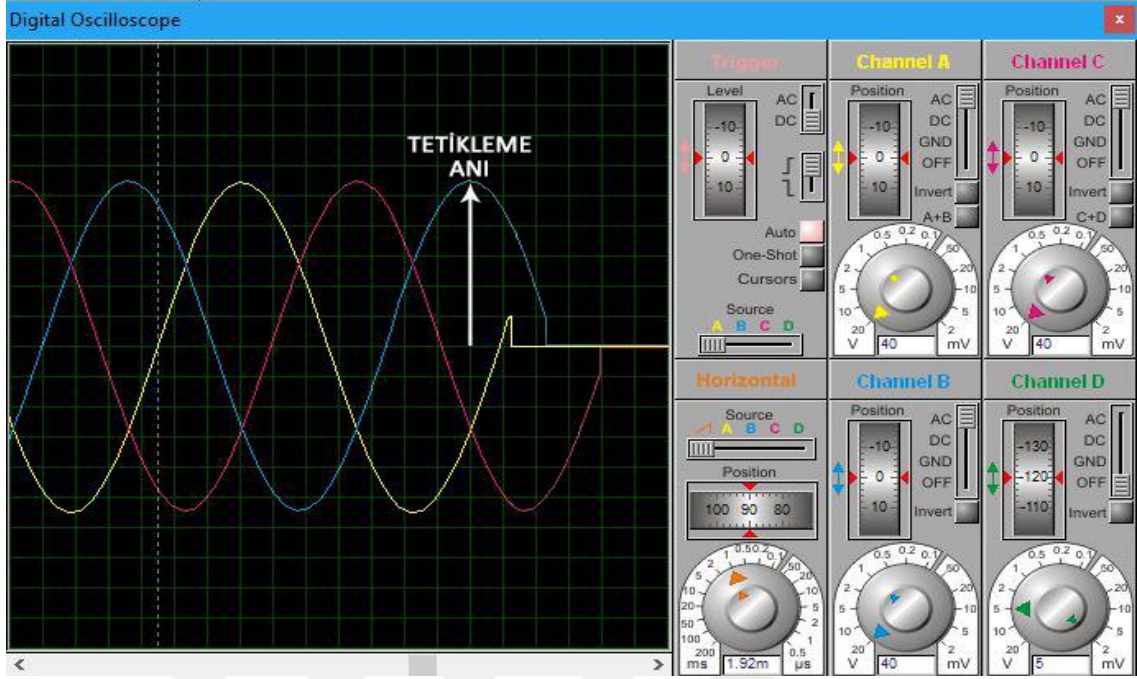
Şekil 4.10. Tetikleme zamanı  $t=t_2$  anında  $T$  fazından alınan *AÇMA* işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü



Şekil 4.11.  $t=t_1$  ve  $t=t_2$  zamanlarında  $T$  fazından elde edilen KESME ve AÇMA işlemlerinin Dijital Osiloskop görüntüsü

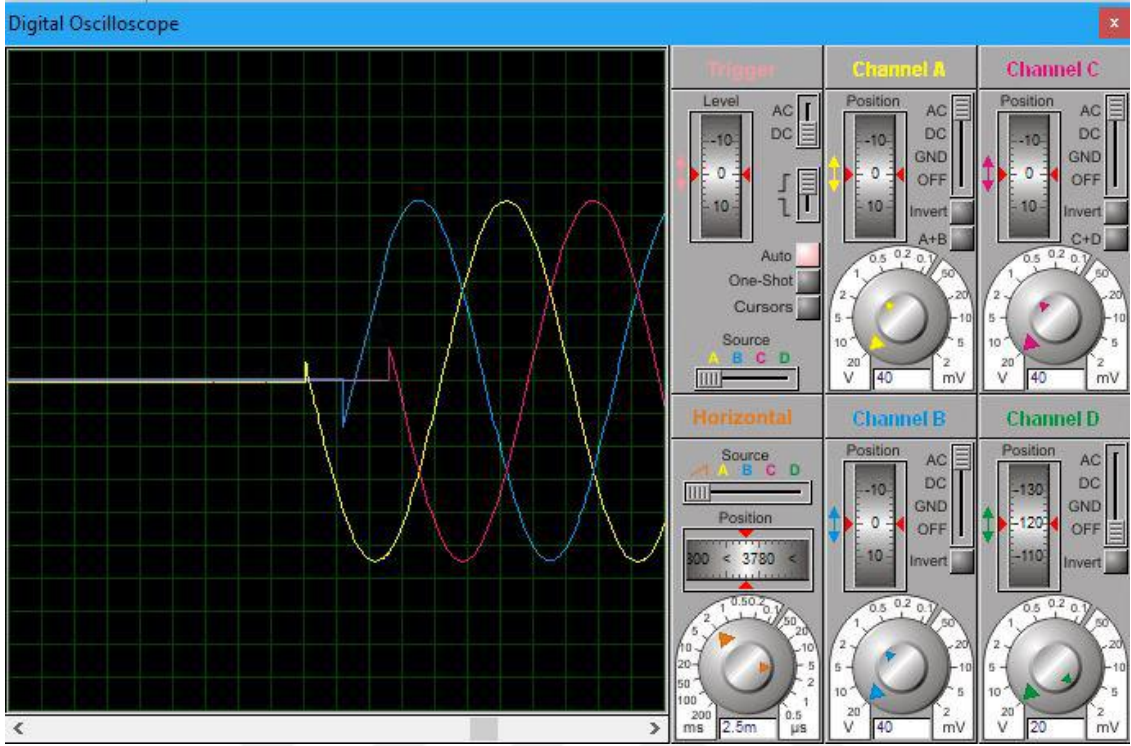
Şekil 4.12’de  $t=t_1$  anında yapılan tetiklemede üç fazlı bir sistem ( $R$ ,  $S$  ve  $T$  fazları) üzerinde gerçekleşen KESME işleminin dijital osiloskop görüntüsü verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, tetikleme işleminin faz bazında ve her faz için birbirinden bağımsız olarak kontrol işleminin yapılarak şebeke geriliminin belirlenen aralık olan -50 V ile +50 V aralığındaki bir değere düştüğü anda rölenin devreyi kestiği gözlenmiştir. Bu şekilde çok sayıda işlem tekrarlanmış olup her durumda kesme işlemlerinin hatasız olarak ve belirlenen gerilim aralığında gerçekleştiği gözlenmiştir. İlk komutun geldiği andaki gerilim seviyeleri kontrol edildiğinde, bu seviyelerin eşit olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla her üç fazın da aynı anda kesilmesi bu sistem için mümkün görünmemektedir. Bu durum istenmeyen bir durumdur fakat avantaj ve dezavantajları birlikte değerlendirildiğinde, bu sorunun önemli sonuçlarının bulunmadığı söylenebilir. Neticede en geç ortalama 6 milisaniyelik bir süre zarfında her üç fazın da kesime uğrayacağı kesindir. Dolayısıyla, üç fazlı bir sistemde bu süre ihmal edilebilir sınırlar içerisinde kabul edilebilir.





Şekil 4.12.  $t=t_1$  tetikleme anından sonra üç faz ( $R$ ,  $S$  ve  $T$  fazları) sisteminden alınan *KESME* işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü

Şekil 4.13'te  $t=t_1$  anında yapılan tetiklemede üç fazlı bir sistem ( $R$ ,  $S$  ve  $T$  fazları) üzerinde gerçekleşen *AÇMA* işleminin dijital osiloskop görüntüsü verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere, tetikleme işleminin faz bazında ve her faz için birbirinden bağımsız olarak kontrol işleminin yapılarak şebeke geriliminin belirlenen aralık olan  $-50\text{ V}$  ile  $+50\text{ V}$  aralığındaki bir değere düştüğü anda rölenin devreyi açtığı gözlenmiştir. Bu şekilde çok sayıda işlem tekrarlanmış olup her durumda açma işlemlerinin hatasız olarak ve belirlenen gerilim aralığında gerçekleştiği gözlenmiştir. İlk komutun geldiği andaki gerilim seviyeleri kontrol edildiğinde, bu seviyelerin eşit olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla her üç fazın da aynı anda açılması bu sistem için mümkün görünmemektedir. Bu durum istenmeyen bir durumdur fakat avantaj ve dezavantajları birlikte değerlendirildiğinde, bu sorunun önemli sonuçlarının bulunmadığı söylenebilir. Neticede en geç ortalama 6 milisaniyelik bir süre zarfında her üç fazın da açılacağı kesindir. Dolayısıyla, üç fazlı bir sistemde bu süre ihmal edilebilir sınırlar içerisinde kabul edilebilir.

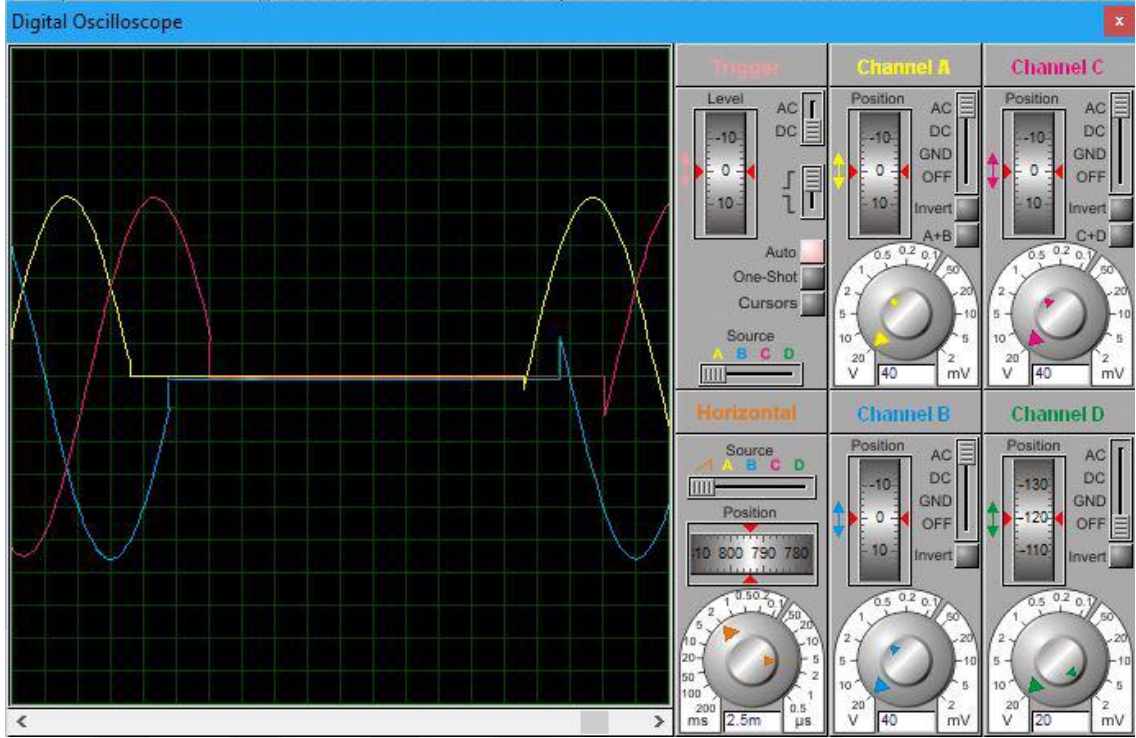


**Şekil 4.13.**  $t=t_1$  tetikleme anından sonra üç faz ( $R$ ,  $S$  ve  $T$  fazları) sisteminden alınan  $AÇMA$  işleminin Dijital Osiloskop görüntüsü

Yapılan analizlerde üç fazlı sistem için açma veya kesme işlemlerinin her durumda ileri faz için, komutun geldiği zamana bağlı olarak farklı noktalarda fakat belirlenen gerilim aralığının dâhilinde meydana geldiği görülmüştür ancak sıfır ve geri faz için ise  $+50 V$  veya  $-50 V$  noktalarında işlem gerçekleşmiştir. Açma veya kesme komutlarının belirlenen gerilim aralığının dışındaki bir anda gelmesi durumunda sistemin, takip eden gerilim seviyesinin belirlenen aralığa düşmesiyle birlikte her faz için sırasıyla ilgili komutu ardışık olarak yerine getirdiği gözlenmiştir. Kısacası, açma veya kesme komutu her ne kadar farklı zamanlarda gelse de; rölelerin açma veya kesme işlemini yine istenilen aralıkta hatasız olarak gerçekleştirdikleri gözlenmiştir.

Benzer şekilde Arduino kontrol kartı ile farklı zamanlarda  $R$ ,  $S$  ve  $T$  fazları üzerinde gerçekleştirilen örneklemlerde çok sayıda ve farklı kombinasyonlarda tetiklemeler yapılarak belirlenen referans gerilimleri aralığında istenilen ve beklenen sonuçlar hatasız olarak alınmıştır. Neticede rölelerin, önerilen Arduino algoritmasıyla

uyumlu olarak çalıştığı ve *KESME/AÇMA* işlemlerini hatasız olarak gerçekleştirdikleri görülmüştür. Bu durum Şekil 4.14'ten görülebilir.

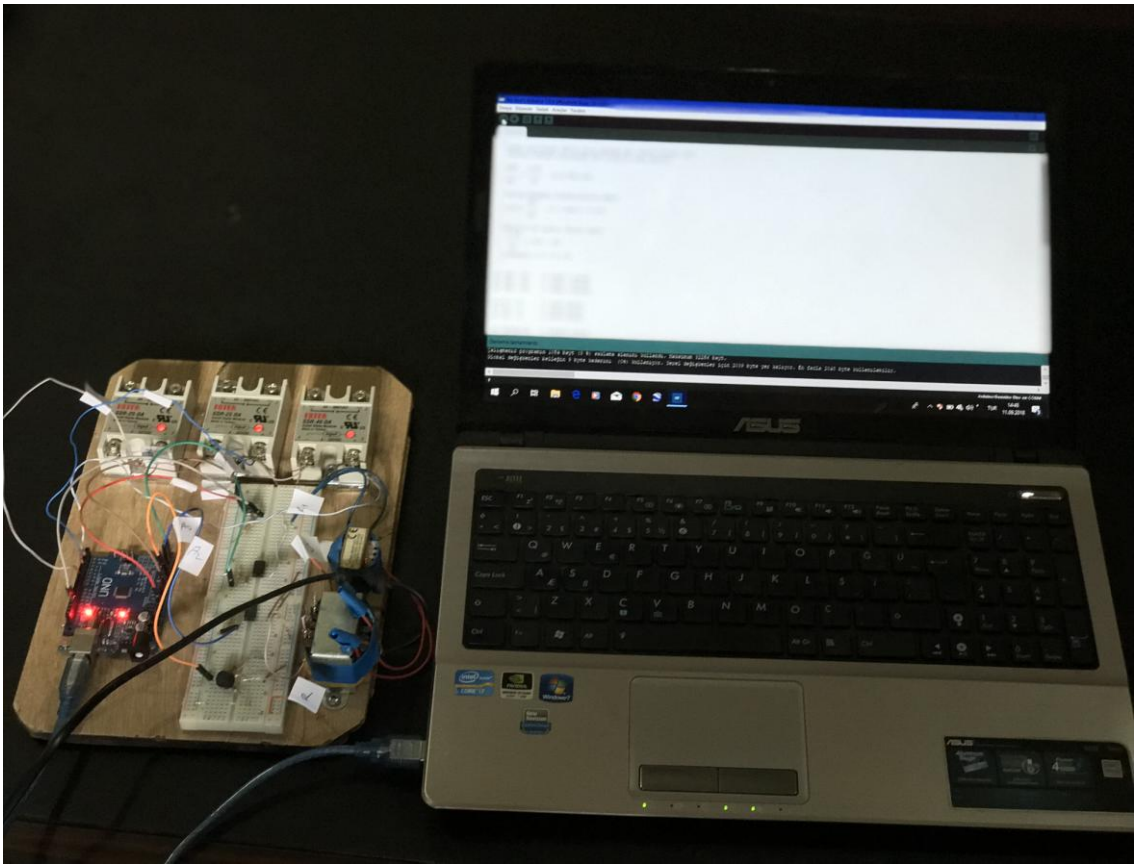


Şekil 4.14.  $t=t_1$  ve  $t=t_2$  zamanlarında üç faz (*R*, *S* ve *T* fazları) sisteminden elde edilen *KESME* ve *AÇMA* işlemlerinin Dijital Osiloskop görüntüsü

## 4.2. Tasarlanan Devrenin Prototipi

Deneysel analizlerin yapılabilmesi için tasarlanmış olan devrenin elemanları Şekil 4.15'teki gibi bir prototip devreye bağlanmıştır. Arduinonun bilgisayarda kurulabilmesi için öncelikle ilgili web sitesinden Arduinonun *IDE*'si indirilmiştir. Arduino Uygulaması kurulduktan sonra Arduino kartı bilgisayarın *USB* portuna takılarak gerekli bağlantı işlemleri sağlanmıştır. Diğer yandan, *AC* transformatör ve gerilim bölücü devre yardımı ile şebekeden alınan gerilim değeri 5 volta düşürülerek Arduinonun analog pinine bağlanmıştır. Arduinonun dijital pinine ise röle girişleri bağlanmıştır. Sonraki adımda ise Arduino kartı ve devre elemanları test edilmek amacıyla *IDE*'sinde yer alan birkaç algoritma denenmiştir. Daha önce Arduino *IDE*'sine

yazılan ve derlenen algoritma bilgisayar portu yardımıyla Arduino kartına yüklenmiştir. Son adımda ise devre elemanlarının giriş ve çıkışları uygun olacak şekilde osiloskop ve seri portta gözlemlenerek sorunsuz bir şekilde çalıştıkları görülmüştür. Kurulmuş olan prototip devre üzerinde çok sayıda ve farklı koşullarda açma veya kesme komutları gönderilmek suretiyle çeşitli denemeler yapılmıştır. Bu durumda mümkün olduğunca farklı durum kombinasyonları uygulanarak gerekli analiz ve testler yapılmıştır. Yapılan tüm analizler ve testlerde hatasız sonuçlar elde edilmiştir.



**Şekil 4.15.** Hazırlanan deneysel sistemin genel görüntüsü



## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Enerjinin ve enerji verimliliğinin oldukça önemli olduğu günümüzde enerjiyi kullanıma sunan devre elemanları da çok fazla önem arz etmektedirler. Elektrik devrelerinin açma veya kesme işlemlerinin neredeyse tamamı gerilimin/akımın yüksek değerlerinde gerçekleştiğinden dolayı, meydana gelen elektrik arkları devre elemanlarına ciddi zararlar vermekte ve buna bağlı olarak devre elemanlarının ömürleri önemli ölçüde kısalmaktadır.

Elektrik devre kesicilerinde oluşan arkların devre elemanlarına verdiği zararları azaltmaya yönelik birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin neredeyse tamamı, arkın oluşumundan sonraki adım olan arkın söndürülmesine yönelik olmuştur. Bu yöntemlerden hareketle, devre elemanlarının ömürlerinin uzatılmasına çalışılmıştır. Bu yöntemler, elektrik devre kesicilerine ark söndürme hücrelerinin entegre edilmesini de beraberinde getirmiştir. Günümüzde kullanılan ve ark söndürücü aksamlara sahip olan kesicilerin başlıcaları  $SF_6$ , Vakumlu, Basınçlı, Yağlı ve Manyetik Üfleli tip kesicilerdir.

Bu tez çalışmasında ark olayı kısaca incelenmiş ve önerilen yöntemde, ark olayına mahal vermeden devreleri açma veya kesme işlemlerinin gerçekleştirilmesi üzerine çalışılmıştır. Akımın yüksek değerlerindeki açma veya kesme işlemleri, ark olayının başlıca sebebi olarak bilinir. Dolayısıyla, alternatif akımın düşük değerlerinde (özellikle sıfır geçiş noktalarında veya bu noktalara yakın bölgelerde) açma veya kesme işlemlerinin gerçekleştirilmesinin ark olayını azaltacağı düşünülmüştür. Bu noktadan hareketle, elektrik iletim ve dağıtım hatlarında yer alan elektrik açma veya kesme işlemleri, bir kontrol kartı yardımıyla simülasyon olarak incelenmiş olup bu simülasyon doğrultusunda bir model devre hazırlanmıştır. Hazırlanan prototip devrenin, dijital ortamda giriş ve çıkış gerilimleri gözlemlenmiş, kontrol kartı ile gerilimin veya akımın düşük değerlerinde kesme veya açma işlemlerini belirlenen tolerans aralığında hatasız bir şekilde gerçekleştirebildiği tespit edilmiştir. Kurulmuş olan prototip devre üzerinde



farklı zaman periyotlarında açma veya kesme komutları gönderilmek suretiyle çok sayıda deneme yapılmıştır. Çalışma kapsamında, her bir faz için ayrı ayrı denemeler yapıldığı gibi üç fazlı sistem için de benzer şekilde testler yapılmıştır.

Üç fazlı bir sistemde, ilk komutun geldiği andaki gerilim seviyeleri eşit olmadığından dolayı, her üç fazın da aynı anda açılması veya kesilmesi bu sistem için mümkün görünmemektedir. Bu durum bir dezavantaj olarak görünse de; avantaj ve dezavantajları birlikte değerlendirildiğinde, en geç ortalama 6 *milisaniyelik* bir süre zarfında her üç fazın da açılacağı veya kapanacağı kesin olduğundan dolayı bu sorunun önemli sonuçlarının bulunmadığı söylenebilir.

Üç fazlı sistem için yapılan analiz ve simülasyonlarda, açma veya kesme işlemlerinin her durumda ileri faz için, komutun geldiği zamana bağlı olarak farklı noktalarda; fakat belirlenen gerilim aralığının dâhilinde meydana geldiği görülmüştür. Ancak sıfır ve geri faz için ise komutun geliş zamanına bağlı olarak +50 V veya -50 V noktalarında işlemin gerçekleştiği görülmüştür. Açma veya kesme komutlarının belirlenen gerilim aralığının dışındaki bir anda gelmesi durumunda ise sistemin, takip eden gerilim seviyesinin belirlenen aralığa düşmesiyle birlikte her faz için sırasıyla ilgili komutu ardışık olarak yerine getirdiği gözlenmiştir. Bu işlemler, mümkün olduğunca farklı durum kombinasyonlarında uygulanarak gerekli analiz ve testler yapılmış ve her durumda sistemin hatasız olarak çalıştığı sonucuna varılmıştır.

## 5.2. Öneriler

Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım hatlarında yakın bir gelecekte yoğun olarak talep edilmesi beklenen ve tez çalışmamıza konu olan bu yöntemde, anahtarlama süresi bir problem olarak karşımıza çıkabilir. Anahtarlama süresinin kısaltılmasının hatlarda yüksek gerilim darbelerine neden olabileceğinden dolayı, bu yöntemin soft anahtarlama yöntemleriyle birlikte kullanılması faydalı olacaktır. Ayrıca, büyük akımlı devrelerin kumanda edilebilmesi için yüksek akım kapasitesine sahip güç elemanlarının üretilmesine ağırlık verilebilir veya önerilen sistemle uyumlu çalışabilecek mekanik mekanizmaların geliştirilebilmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

Aio, Araitz Iturregi, 2013, Modelization And Analysis Of The Electric Arc In Low Voltage Circuit Breakers, *Ph.D Thesis, University of the Basque Country*, 201-203

Becker, K. H., Kogelschatz, U., Schoenbach, K. H., and Barker, R. J., 2005. Non-Equilibrium Air plasmas at atmospheric pressure, *Institute of Physics Publishing*, London ,UK, ISBN 0750309628.

Choonhapran, Phuwanart, 2007, Applications of High Voltage Circuit-Breakers and Development of Aging Models, *Master Thesis, "Institut für Elektrische Energieversorgung", Darmstadt University of Technology, January 2007*, 135-139

Djekic, Zarko, 2007, Online Circuit Breaker Monitoring System, *Master Thesis, Office of Graduate Studies of Texas A&M University, July 2007*, 1-6

Freton, Pierre ve Gonzalez, Jean-Jacques, 2009, Overview of Current Research into Low-Voltage Circuit Breakers, *The Open Plasma Physics Journal, 2009, 2*, 105-119

Gustavsson, Niklas, 2004, Evaluation and Simulation of Black-box Arc Models for High-Voltage Circuit-Breakers, *ABB Power Technologies, High Voltage Products, in Ludvika, Master Thesis, Mart 2004*, 60-62

Hamaidi, Brahim, Haddouche ,Ali ve Ouadi Mohamed, 2011, Study of Behavior of the Arc of the Circuit Breaker MT (15 Kv) from Magnetic Diagnostics. *Pioneer Journal of Computer Science and Engineering Technology*, 47-56

Hansu, F., 2012. Bariyer Boşalmasındaki Akım Kararsızlıklarının Deneysel ve Nümerik Analizi, Doktora tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya.

Hoidalen, H. K. ve Runde, M., 2005, Continuous Monitoring of Circuit Breakers Using Vibration Analysis, *IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 4, October 2005*, 2458 – 2465

<http://www.arduino.cc.html>

<http://www.Electrical-Engineering-Portal.html>

Janssen, Anton, Makareinis, Dirk ve Sölver, Carl-Ejnar, 2014, International Surveys on Circuit-Breaker Reliability Data for Substation and System Studies, *IEEE Transactions on Power Delivery. Volume: 29, Issue: 2, April 2014*, 808 - 814

Jouan, Robin ve Yousfi, Mohammed, 2006, New Breakdown electric field calculations for SF6 High Voltage Circuit Breaker applications, *Plasma Science and Technology* 9(6):690, September 2006, 161-165

Lester, George N., 1974, IEEE Trans. Power apparatus and system, History of circuit breaker standards, *IEEE Std Assoc. C37.010-1999* 590-600

Mori, Tadashi, 2011, Development of Gas Circuit Breaker Chambers with Low Operating Energy Based on Gas-Flow Simulation, *The Thesis submitted to Nagoya University, February 2011*, 139-140

Natti, Satish ve Kezunovic, Mladen, 2011, Assessing circuit breaker performance using condition-based data and Bayesian approach, *Electric Power Systems Research* 81 (2011) 1796–1804

NN, Subhash, Deshmukh, Vikrant, Singh, Sonil ve Guha, Arnab, 2015, Thermal performance evaluation of Air Circuit Breaker (ACB) using coupled electric-thermal analysis, *NAFEMS World Congress 2015 inc. the 2nd International SPDM Conference / San Diego, CA, 21-24 June 2015*, 13-14

Omokhafe, Tola and Ambafi, James Gaba, 2011/ Real-time multi-node data transmission: designing a low latency computer network. *Innovations in Science and Engineering* 1, 104-114

O'Reilly, Jan-Thomas, 2016, Analysis of medium voltage vacuum switchgear through advanced condition monitoring, trending and diagnostic techniques, *Master Thesis, University of the Witwatersrand, Johannesburg, June 2016*, 64-68

Özkan, F. Yılmaz 1994, Yüksek Gerilim Güç Kesicileri, *İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü; sayı:1550, İstanbul*, 169-170

Pouilly, Julien, 2017, Multi-physical Simulations of High Voltage Circuit Breakers, *Master Thesis, KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology EGI\_2017-0012 MSC EKV 1178 Division of Heat & Power SE-100 44 STOCKHOLM, March 2017*, 60

Schavemaker, P.H; der Sluis, L. Van; Smeets , R.P.P; Kertesz ,V., 2000, Digital testing of high-voltage circuit breakers, *IEEE Computer Applications in Power*, 13(2), April 2000, 52 – 56

Stanek, Michael, 2000, Model-Aided Diagnosis For High Voltage Circuit Breakers, *PhD. Thesis, January 2000*, 119

Thomas, Richard 2007, Three Phase Controlled Fault Interruption Using High Voltage SF6 Circuit Breakers, *PhD. Thesis, Chalmers University of Technology Göteborg, Sweden, 2007* 160-165

Ved, Nitin, 2005, Circuit Breaker Monitoring Application Using Wireless Communication, *Office of Graduate Studies of Texas A&M University, Master Thesis, December 2005, 76-78*

Wang, Jimei, Liu, Zhiyuan, Xiul, Shixin, Wang, Zhongyi, Yuan, Shun, Jin, Li, Zhou, Heming, Yang, Ren, 2006, Development of High-Voltage Vacuum Circuit Breakers in China, *IEEE Transactions on Plasma Science, Volume: 35, Issue: 4, September 2006, 856 – 865*

Wong, Sze-mei, 2004, Stochastic studies of overvoltages resulting from circuit breaker operation in industrial installations, *The Hong Kong Polytechnic University August 2004, viii, 136 leaves : ill. ; 30 cm. PolyU Library Call No.: [THS] LG51 .H577M EE 2005 Wong 97-99*

Zhang, Xinming, 2012 Investigation of Circuit Breaker Dielectric Performance. *Master Thesis, Iowa State University 76*

## 7. EKLER

### Ek-1: Sistemin Arduino Kodları

```
/*  
 * Şebeke gerilimimiz 50V'un altına düştüğü gibi röleler  
devreyi açsın  
 * Trafonun sekonder geriliminde 50V'a karşılık gelen  
gerilim  
 *  
 * 220V      6.5V  
 * ---- = ---- ==>> V2=1,48V  
 * 50V      V2  
 *  
 * Gerilim Bölücüyle bölünen gerilim değeri  
 *      220  
 * 1,48 x ---- ==> 1,48x0,5 = 0,74V  
 *      440  
 *  
 * Analog 0.74V arduino digital değeri  
 * 0.74V  
 * ----- x 1024 = 152  
 * 5V  
 * EsikDeger= 0.74 ==>> 152  
 */
```

```
int TR1 = A0;    // trafo 1 girişi
int TR2 = A2;    // trafo 2 girişi
int TR3 = A4;    // trafo 3 girişi

int R1 = 2;      // röle1 çıkışı
int R2 = 4;      // röle2 çıkışı
int R3 = 7;      // röle3 çıkışı

int button=13;   // anahtar girişi
int EsikDeger = 152;

void setup()
{
    pinMode(R1, OUTPUT);    // Röle1'e ait pin çıkış olarak
    ayarlandı
    pinMode(R2, OUTPUT);    // Röle2'ye ait pin çıkış
    olarak ayarlandı
    pinMode(R3, OUTPUT);    // Röle3'e ait pin çıkış olarak
    ayarlandı
    pinMode(button, INPUT); // Buton pini Girişi olarak
    ayarlandı
}

void loop()
{
```

```

if (digitalRead(button) == HIGH)
{
    int D1 = analogRead(TR1);      // 1. trafo çıkışından
okunan değer

    if(D1<EsikDeger)
    { digitalWrite(R1, HIGH); }

    int D2 = analogRead(TR2);      // 2. trafo çıkışından
okunan değer

    if(D2<EsikDeger)
    { digitalWrite(R2, HIGH); }

    int D3 = analogRead(TR3);      // 3. trafo çıkışından
okunan değer

    if(D3<EsikDeger)
    { digitalWrite(R3, HIGH); }
}

if (digitalRead(button) == LOW)
{
    int D1 = analogRead(TR1);      // 1. trafo çıkışından
okunan değer

    if(D1<EsikDeger)
    { digitalWrite(R1, LOW); }
}

```

```
int D2 = analogRead(TR2); // 2. trafo çıkışından
okunan değer

if(D2<EsikDeger)

{ digitalWrite(R2, LOW); }

int D3 = analogRead(TR3); // 3. trafo çıkışından
okunan değer

if(D3<EsikDeger)

{ digitalWrite(R3, LOW); }
}
```



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sebğettullah MAMUK  
Doğum Yeri ve Tarihi : Tatvan - 28.07.1985  
Telefon : 0434 226 65 60  
E-posta : engeneertaha13@gmail.com

### EĞİTİM

Derece		Bitirme Yılı
Lise	Tatvan Anadolu Lisesi, BİTLİS	2004
Üniversite	Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, TRABZON	2010

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010-2011	Tatvan Proje Ofisi	Proje Müellifi
2012-2013	Van Türk Telekom A.Ş	Erişim Uzman Yrd.
2013-Devam Ediyor	Vakıflar Genel Müdürlüğü	Kontrol Mühendisi

### UZMANLIK ALANI:

YABANCI DİLLER: İngilizce