

## Güç Elektroniği Elemanlarının Sağlamlık Kontrolü için Test Devresi Tasarımı

Muhammed Emin Gügenir<sup>1\*</sup>, Esra Arslan<sup>2</sup>, Eyüp Emre Kasap<sup>3</sup>, Emin Demirbaş<sup>4</sup>,  
Nimet Korkmaz<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

<sup>3</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

<sup>4</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

<sup>5</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kayseri Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

\*mgugen5838@gmail.com

**Özet** - Laboratuvar derslerinde öğrenci performansını etkileyen parametrelerden biri devrede kullanılan elemanların sağlam olup olmadığıdır. Devrede kullanılan elemanların işlevini yerine getiremez durumda olması öğrencilerin performans çıktılarını olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, öğrencilerin deney gerçekleştirimi sürecinde karşılaştıkları bu problemin üstesinden gelmek için güç elektroniği elemanların sağlamlıklarını kontrol eden bir test devresi tasarımının yapılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda DİYOT, BJT, MOSFET, JFET, IGBT, SCR, TRIYAK elemanlarının sağlamlık kontrolleri tasarlanan test devresi ile başarılı bir şekilde yapılabilmektedir. Devrede test edilmesi istenen eleman giriş konektörüne bağlandıktan sonra, hangi güç elektroniği elemanının test edileceği devrede bulunan çoklu anahtar ile seçilmektedir. İlgili elemanın sağlam olup olmadığı 2x16 LCD panel ile ekrana yazdırılmakta ve test devresi üzerindeki bu kontrol süreci PIC16F877A mikrodenetleyicisi ile sağlanmaktadır. Böylece deney öncesi ve sonrası kullanılan elemanların sağlamlıkları ilave bir test sürecine ihtiyaç duyulmaksızın öğrenciler ya da laboratuvar sorumlusu tarafından kısa sürede test edilebilmektedir. Ayrıca, öğrencilerin arızalı bir elemanla yapmaya çalıştığı deneyde karşılaştığı probleme harcadığı zamanın yerine, bilgilerini pratik uygulamayla pekiştirdiği daha verimli bir derste zaman harcaması ve sorun çözme yeteneğini geliştirmesi sağlanmaktadır.

*Anahtar Kelimeler: Test devresi, Güç elektroniği, Mikrodenetleyici, PCB tasarım, Donanım uygulaması*

## A Test Circuit Design for Robustness Checking of the Power Electronic Components

**Abstract**- One of the parameters affecting student performance in laboratory courses is whether the used components in the circuit are robust or not. The failure of the used components in the circuit affects the performance outputs of the students, negatively. In this study, it is aimed to design a test circuit that checks the robustness of the power electronic elements in order to overcome this problem that the students encounter during their experiments. For this purpose, the robustness checks of DIODE, BJT, MOSFET, JFET, IGBT, SCR, TRIAC components can be successfully performed with this designed test circuit. After the component, which power electronic component will be tested, is connected to the input connector to be tested in this circuit and this component is selected with the multiple switches in this circuit. Whether the relevant component is intact or not is printed on the screen with a 2x16 LCD panel and this control process on the test circuit is provided by the PIC16F877A microcontroller. Thus, the robustness of the used component can be tested before and after the experiments in a short time by the students or the laboratory manager without the need for an additional testing process. In addition, instead of spending time on a problem encountered in an experiment with a faulty component, the students are provided with the opportunity to spend time in a more productive lesson where they reinforce their knowledge with practical application and develop their problem-solving skills.

*Keywords: Test circuit, Power electronics, Microcontroller, PCB design, Hardware implementation*

### I. GİRİŞ

Mühendislik eğitiminde pratik uygulamalar oldukça önemlidir [1]. Elektrik-Elektronik Mühendisliği lisans eğitimi müfredatlarında öğrencilerin, zorunlu veya seçmeli ders olarak aldıkları ve pratik bilgilerine katkı sağlayan çeşitli laboratuvar dersleri yer almaktadır [2]. Pratik devre gerçekleştirimlerinin

yapıldığı ilgili derslerde, öğrencilerin devre gerçekleştirim sürecinde sergiledikleri performanslar ders öğrenme çıktılarında da etkili olmaktadır [3].

Elektrik Elektronik Mühendisliği eğitiminde öğrencinin öğrenme sürecine katkı sağlamak, bilgilerini pekiştirmek ve ders verimliliğini artırmak amacı ile literatüre çeşitli

çalışmalar sunulmuştur. Örneğin Vahidi ve Taherkhani'nin çalışmalarında son sınıf lisans öğrencilerine yüksek gerilim dersinin bir parçası olarak yüksek gerilim devre kesicilerinin kısa devre kesme testini öğretmek için devre ve kesici test bileşenlerinin nasıl simüle edileceğini ele alan bir test aracı tanıtılmıştır [4]. Benzer bir çalışmada, güç trafosu üzerinde kısa devre dayanım testini güç sistemi lisansüstü öğrencilerine ve güç mühendislerine öğretmek için bir yöntem sunulmuş ve test devresi ile trafo bileşenlerinin nasıl simüle edileceğini ele alan bir çalışma kaydedilmiştir [5]. Soto vd.'lerinin çalışmalarında reaktif sistemlerin tasarımlarını gerçekleştirmek ve doğrulamak için bilgisayar tabanlı bir araç önerilerek, reaktif sistemlerle ilgili çeşitli laboratuvar egzersizleri yapılmış ve lisans öğrencilerinin öğrenme verimliliği tartışılmıştır [7]. Kılıç ve Karauz'un çalışmalarında, lisans programlarında kaos ve kaotik dinamikleri deneysel olarak incelemek için iki kaotik eğitim kartı ve sanal bir ölçüm sisteminden oluşan bir tasarım tanıtılmıştır [8]. Çınar'ın çalışmasında, lojik devre laboratuvarlarında kullanılan entegrelerin sağlık kontrollerinin yapılabilmesi amacı ile mikrodenetleyici tabanlı bir test devresi tasarımı yapılmıştır [9]. Laboratuvar derslerinde karşılaşılan temel problemlerden biri, deneylerde kullanılan malzemelerin sağlık kontrolüdür. Doğru bir şekilde çalışmayan bir deney elemanı, deneyin öğrenci tarafından anlaşılmasından doğru çıktının alınmasına kadar birçok aşamayı olumsuz etkilemektedir. Bu problemi zaman, maliyet ve doğruluk gözeterek çözmek; öğrencinin arızalı bir elemanla yapmaya çalıştığı deneyde karşılaştığı probleme harcadığı zamanın yerine, bilgilerini pratik uygulamayla pekiştirdiği daha verimli bir derse zaman harcaması ve sorun çözüme yeteneğini geliştirmesini sağlayacaktır.

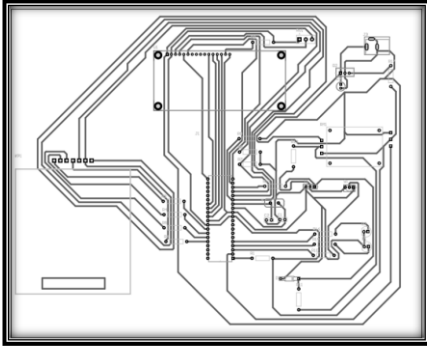
Bu çalışmada, öğrencilerin deney gerçekleştirimi sürecinde kullandıkları güç elektroniği elemanların sağlıklarını kontrol eden bir test devresi tasarımının yapılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, güç elektroniği laboratuvarlarında kullanılan DİYOT, BJT, MOSFET, JFET, IGBT, SCR, TRİYAK elemanlarının sağlık kontrollerinin yapılabilmesi amacı ile mikrodenetleyici tabanlı bir test devresi tasarımı yapılmıştır. Devrede test edilmesi istenen eleman giriş konektörüne bağlandıktan sonra, hangi güç elektroniği elemanının test edileceği devrede bulunan çoklu anahtar ile seçilmektedir. İlgili elemanın sağlam olup olmadığı 2x16 LCD panel ile ekrana yazdırılmakta ve kart üzerindeki bu kontrol süreci PIC16F877A mikrodenetleyicisi ile sağlanmaktadır. Böylece deney öncesi ve sonrası kullanılan elemanların sağlıklarını ilave bir test sürecine ihtiyaç duyulmaksızın öğrenciler ya da laboratuvar sorumlusu tarafından kısa sürede test edilebilmektedir.

Bu kapsamda, çalışmanın ikinci bölümünde güç elektroniği laboratuvarında kullanılan elemanlarının temel özelliklerinden kısaca bahsedilmesinin ardından, bu elemanların sağlık kontrolleri için tasarlanan test devresinin detayları ele alınacaktır. Bölüm 3'te test devresi kullanıcılarına kartın tanıtılmasına yönelik hazırlanan aşamalar ve test sonuçları sunulacaktır. Çalışmanın sonuçları son bölümde ele alınacaktır.

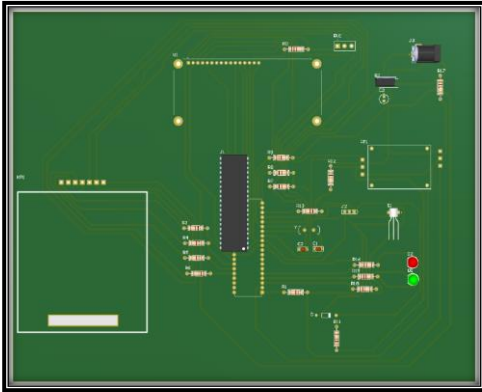
## II. TEST DEVRESİ TASARIMI

Güç elektroniği, temel olarak yüke verilen enerjinin kontrol edilmesi ve enerji şekillerinin birbirlerine dönüştürülmesini

inceleyen bilim dalıdır [10] [11]. Güç elektroniği elemanları elektrik motorları sürücü devrelerinde ve dönüştürücü devrelerde sıklıkla kullanılırlar. En sık kullanılan güç elektroniği elemanları; DİYOT, BJT, MOSFET, JFET, IGBT, SCR ve TRİYAK elemanlarıdır [12][7]. *Diyot*, akımı tek yönde ileten bir elemandır. Eşik seviyesi üzerindeki ileri öngerilimlemede iletme geçer, ters öngerilimlemede açık bir anahtar gibi davranır. *BJT- Bipolar Junction Transistör*; iki kutuplu jonksiyon transistörleri iki adet n- ve bir adet p- tipi malzeme tabakasından veya iki adet p- ve bir adet n- tipi malzeme tabakasından oluşan üç katmanlı bir elemandır. BJT'nin base-emitter bağlantısına eşik seviyesinin altında bir voltaj uygulandığında, BJT kesim durumundadır. Base-emitter arasına eşik seviyesinin üzerinde bir voltaj uygulandığında, baseden emitere elektronların hareketi ile bir elektron akışı meydana gelir. Emiter akımının etkisi, kolektör akımının oluşmasına neden olur. *MOSFET-Metal Oxide Semiconductor Field effect Transistor*; elemanında source ve drain terminaleri arasına bir gerilim uygulanır. Bu gerilim, MOSFET'in anahtarlama işlevini gerçekleştirir. Gate terminaline uygulanan kontrol gerilimi MOSFET'in çalışma durumunu belirler. Eğer gate gerilimi yeterince yüksek ise, MOSFET ON durumunda olur. Elemana gerilimi uygulandığında, yarı iletken tabaka altında bir elektrik alanı oluşur. Bu elektrik alanı, yarı iletken içindeki taşıyıcıların hareketini kontrol eder. Elektrik alanının etkisiyle, yarıiletken içindeki taşıyıcıların yol açtığı iletkenlikle iletim oluşur. Bu, source ve drain terminaleri arasındaki akımın akmasına neden olur. Gate gerilimi düşürüldüğünde, MOSFET OFF durumunda olur. Elektrik alanı kaybolur ve yarı iletken içindeki taşıyıcılar akımı keser. *JFET* elemanları da MOSFET'lere benzer çalışma karakteristiği sergiler. *IGBT- Insulated Gate Bipolar Transistor*; dört katmandan (p-n-p-n) oluşur ve metal oksit yarı iletken ile kontrol edilir. IGBT, gate terminaline uygulanan voltajla çalışır. Kontrol elektrotuna pozitif bir voltaj uygulandığında, iletim haline geçer ve elektronlar ile boşluklar arasında bir akış gerçekleşir. Bu, IGBT'nin iletim durumunda olduğu anlamına gelir. Kontrol elektrotuna negatif bir voltaj uygulandığında, kesime gider ve elektronların ve boşlukların akışı durur, bu da IGBT'nin kesimde durumunda olduğu anlamına gelir. *SCR-Silicon-Controlled Rectifier*; ileri yönde iletimde olduğu zaman, SCR normal bir doğrultucu ile aynı karakteristiklere sahiptir. SCR'nin durumu başlangıçta kapalıdır ve anot-katot arasındaki akım akışı engellenmiştir. SCR'nin açılması için bir tetikleme sinyali gereklidir. Bu tetikleme sinyali, gate terminaline gate uygulanır. SCR'nin durumu tetiklendikten sonra, anot ve katot arasında akım akışı başlar. SCR'nin anoduna pozitif bir voltaj ve katoduna negatif bir voltaj uygulandığında iletkenir ve bir anahtar gibi çalışır. Katot üzerinden çıkış akımı, gate terminaline uygulanan tetikleme sinyali kesilene kadar devam eder. *Triyak*, üç terminali, iletim kontrolünü bir kapı terminali ile sağlayan ve kontrol süreci SCR ile benzer olan bir elemandır.



Şekil 1. Test devresine ait şematik çizim



Şekil 2. Test devresine ait üç boyutlu tasarım

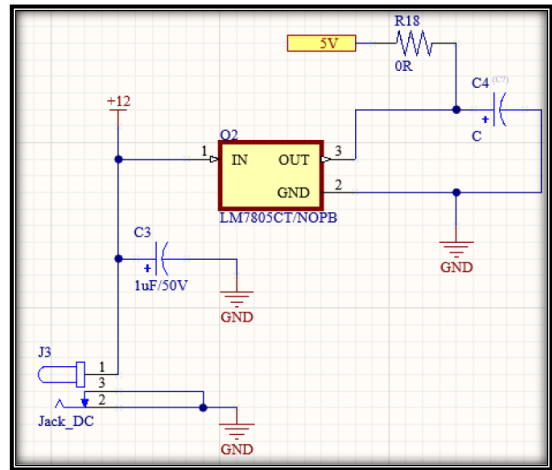
Bahsi geçen bu elemanların sağlığını kontrol etmek için yukarıda özetlenen sürme yöntemleri kullanarak elemanların test devreleri tek bir baskı devre kartı üzerinde tasarlanmıştır. Tasarlanan test devresine ait şematik çizim ve üç boyutlu çizim sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2’de görülmektedir.

Test devresi; güç katı, kontrol kısmı (PIC16F877A), tuş takımı ve gösterge paneli olmak üzere dört temel kısımdan oluşmaktadır. Şekil 3’de şematik gösterimi verilen güç katının temel işlevi; mikrodenetleyici, devre elemanları ve gösterge paneli için ihtiyaç duyulan besleme gerilimini sağlamaktır. Test devresinin beslemesi Jack\_DC olarak isimlendirilen bağlantı üzerinden 9-15V arası gerilim uygulanarak sağlanmaktadır. JACK üzerinden uygulanan gerilim, LM7805 entegresi ile mikrodenetleyici ve gösterge panelinin beslenmesi için gerekli gerilim olan 5V seviyesine düşürülmektedir.

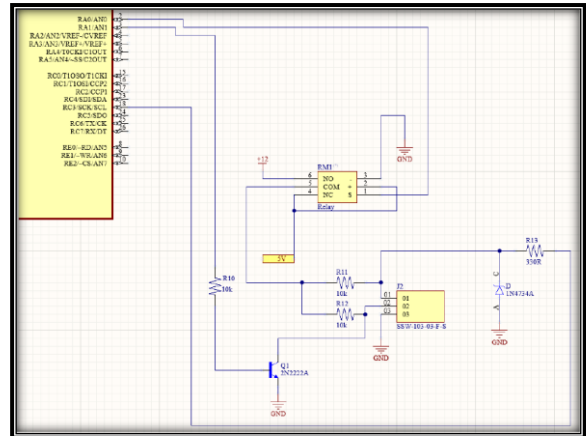
Test devresinin kontrol kısmındaki PIC16F877A denetleyicisi ile test edilecek güç elektroniği elemanının devre bağlantısının yapılacağı üç pinli konnektör bağlantısı Şekil 4’de gösterilmiştir (. Şekil 4’deki Q1 transistörü giriş konektörüne bağlanan BJT ya da FET elemanlarının giriş kısımlarında bulunan ileri öngerilimleme durumlarının kontrol edilmesi için kullanılmaktadır. IGBT elemanları 9-15V arası gerilim seviyeleri arasında tetiklendiği için devreyi korumak ve devrenin güç tüketimini azaltmak için Şekil 4’de RM1 ile isimlendirilen röle modülü kullanılmıştır. IGBT elemanı takıldığında röle modülü çeker ve 9-15V arası gate gerilimi sağlanır. Şekil 4’de D ile adlandırılan 4.7V zener diyot sayesinde bozuk bir güç elektroniği elemanı test edilirken mikrodenetleyicide oluşabilecek hasarlar önlenir.

Sağlıklı kontrolleri yapılacak elemanların mikrodenetleyici ile bağlantıları devre üzerindeki tek bir bağlantı noktasından sağlanmaktadır. Devre tasarımındaki diğer bağlantıların test edilecek elemana göre düzenlenebilmesi gerekmektedir. Bu sebeple kullanıcının hangi elemanı test edeceğini seçebileceği bir tuş takımı kullanılmıştır. Tuş takımı sayesinde kullanıcı dostu bir arayüz sağlanmıştır. Tuş takımı ile mikrodenetleyici arasındaki bağlantı Şekil 5’te görülmektedir.

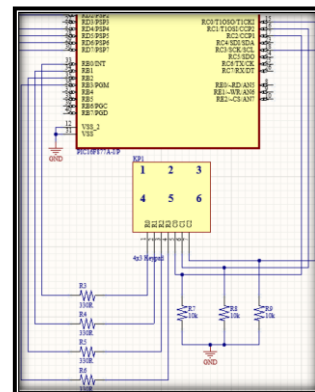
Şekil 6’deki gösterge paneli kısmı ile kullanıcıya yaptığı işlem hakkında bilgi verilmektedir. Gösterge olarak 2x16 LCD kullanılmıştır.



Şekil 3. Tasarlanan test devresinin güç katı

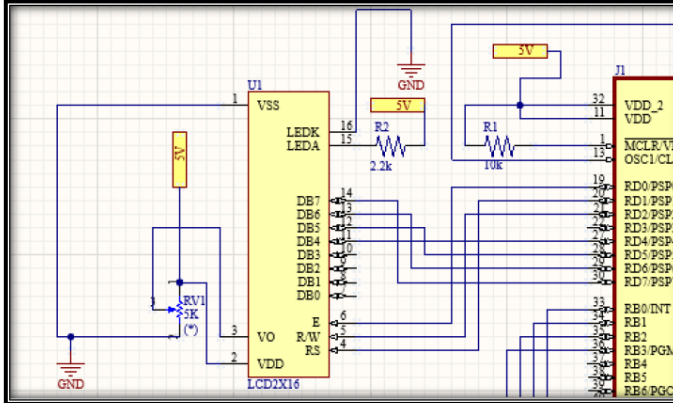


Şekil 4. Tasarlanan test devresinin kontrol katı



Şekil 5. Tasarlanan test devresinin tuş takımı





Şekil 6. Tasarlanan test devresinin gösterge paneli

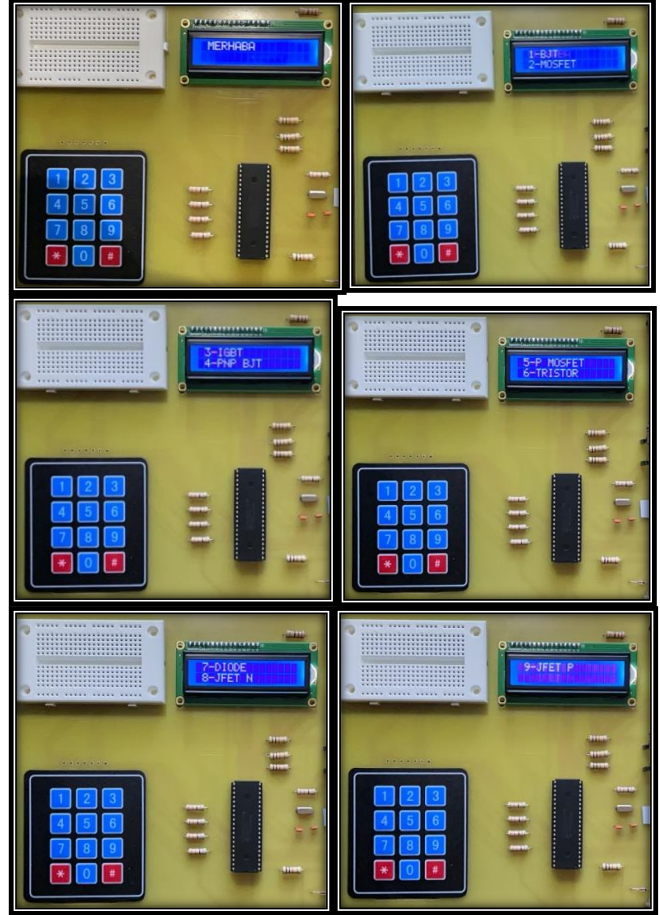
### III. TEST KARTI VE TEST SONUÇLARI

Bu bölümde güç elektroniği elemanlarının sağlıklı kontrolü için tasarlanan test devresinin kullanıcılara tanıtılmasına yönelik hazırlanan aşamalar ve test sonuçları sunulacaktır.

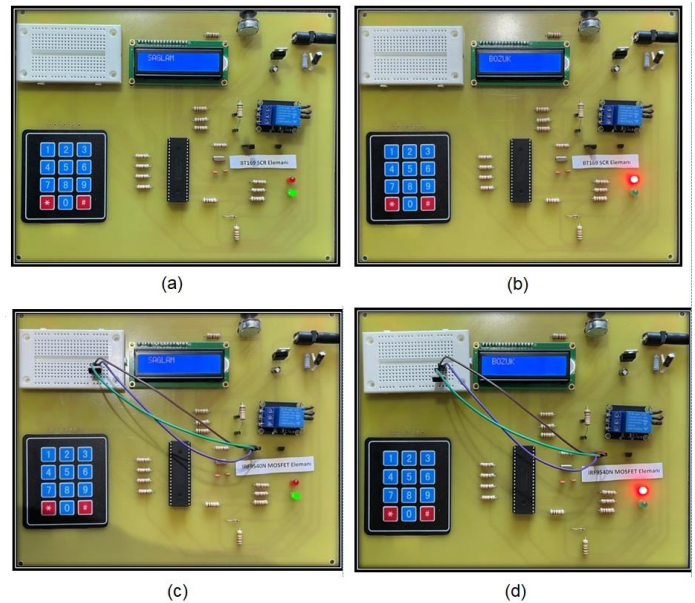
1. Test edilecek elemanın bacak bağlantıları aşağıdaki sıralamalarla giriş konektörüne bağlanır.

- Diyot elemanını test etmek için test cihazı üzerinde bulunan üç pinli giriş konektörünün bir numaralı pinine diyotun anot terminali, üç numaralı pinine katot terminali bağlanmalıdır.
  - BJT elemanını test etmek için test cihazı üzerinde bulunan üç pinli giriş konektörünün bir numaralı pinine BJT'nin emiter terminali, iki numaralı pinine base terminali, üç numaralı pinine kollektör terminali bağlanmalıdır.
  - MOSFET ve JFET elemanlarını test etmek için test cihazı üzerinde bulunan üç pinli giriş konektörünün bir numaralı pinine MOSFET/JFET elemanının source terminali, iki numaralı pinine gate terminali, üç numaralı pinine drain terminali bağlanmalıdır.
  - IGBT elemanını test etmek için test cihazı üzerinde bulunan üç pinli giriş konektörünün bir numaralı pinine IGBT'nin emiter terminali, iki numaralı pinine gate terminali, üç numaralı pinine ise kollektör terminali bağlanmalıdır.
  - SCR ve Tristör elemanlarını test etmek için test cihazı üzerinde bulunan üç pinli giriş konektörünün bir numaralı pinine elemanın katot terminali, iki numaralı pinine gate terminali, üç numaralı pinine anot terminali bağlanmalıdır.
2. Cihaz çalıştıktan sonra LCD ekran üzerinde karşılama ekranı gelir ve test edeceğimiz elemanı seçmek için hangi tuşa basmamız gerektiği hakkında bilgi verir (Şekil 7).
3. LCD ekranda yazan rakamlara göre test edilecek eleman keypad üzerinden seçildikten sonra, elemanın düzgün bir şekilde çalışıp çalışmadığı LCD ekran üzerinde 'SAĞLAM' ve 'BOZUK' yazılarının yanı sıra sağlam elemanlar için yeşil, bozuk elemanlar için kırmızı uyarı ledleri kullanıcıya bildirilir. Şekil 4a ve 4b'de BT196 SCR elemanı için test sonuçları paylaşılırken, Şekil 4c ve 4d'de IRF9540N MOSFET elemanının sağlıklı testi sonuçları sunulmaktadır.
4. Güç elektroniği elemanlarının sağlıklı testlerinin yapılması için tasarlanan test devresi kullanıcıları için ilaveten aşağıdaki uyarıların da dikkate alınması gereklidir:

- Besleme kaynağı olarak 9-15V arası gerilim değerlerini seçiniz.
- Sadece yüksek güçlü SCR'ler için 220Ω direnç bağlantısını devreye dâhil ediniz.
- Röle modülünün normalde açık ve normalde kapalı terminal bağlantılarını kesmeden COM terminaline harici gerilim kaynağı ile gerilim uygulamayınız.



Şekil 7. Güç elektroniği elemanlarının sağlıklı testlerinin yapılması için tasarlanan test devresinin karşılama ekranı ve test edilecek elemanın seçimi.



Şekil 8. Güç elektroniği elemanlarının sağlık testlerinin yapılması için tasarlanan test devresinde a) BT196 SCR elemanı için ‘SAĞLAM’, b) BT196 SCR elemanı için ‘BOZUK’, c) IRF9540N MOSFET elemanı için ‘SAĞLAM’, d) IRF9540N MOSFET elemanı için ‘BOZUK’ uyarılarının elde edildiği sonuçlar.

#### IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada güç elektroniği laboratuvarı derslerinde kullanılan temel yarıiletken elemanların sağlık kontrollerini yapmak için bu elemanların öngerilimleme karakteristiklerinden yararlanarak bir test devresi tasarımı yapılmıştır. Tasarlanan sistemin kontrolü bir mikrodenetleyici ile sağlanmıştır. Kullanıcı dostu bir tasarım hedeflenerek, hangi elemanın test edileceğinin seçimi kullanıcı tarafından yapılabilirken, test sonrasında elemanın ‘SAĞLAM’ ya da ‘BOZUK’ bilgisi bir LCD panel çıktısı ile kullanıcıyla paylaşılmıştır. Sağlık kontrolleri yapılacak elemanların mikrodenetleyici ile bağlantıları devre üzerindeki tek bir bağlantı noktasından yapılmıştır. Bu şekilde yapılan tasarım ile devreye ilave bir işlevsellik daha kazandırılabilir. Test kartı üzerinde bulunan röle modülünün normalde açık ve normalde kapalı terminallerinin bağlantılarının kesilir. Modülün COM terminalinden 0-12V arası gerilim tatbik edilmesinin ardından, çıkış akım işaretlerinin bir direnç üzerinden ölçülmesiyle test edilen elemanların akım-gerilim karakteristikleri de gözlemlenebilir. Bu sayede yapılan tasarım elemanların sağlığını test etmenin yanı sıra mini bir güç elektroniği laboratuvarı deney seti olarak da kullanılabilir. Bütün bu çıktılara ilaveten, tasarlanan prototip test devresi geliştirilip çoğaltılabilir. Paydaşlarla paylaşarak, zaman tasarrufu konusunda ciddi bir katma değer sağlanır.

#### V. TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı’nın 1919B012322619 başvuru numaralı projesi kapsamında desteklenmiştir.

#### REFERENCES

- [1] A. Akgül, M. K. Uçar, M. M. Öztürk, ve Z. Ekşi, Mühendislik Eğitiminin İyileştirilmesine Yönelik Öneriler, Geleceğin Mühendisleri ve İşgücü Analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 17, no. 1, pp. 14-18, 2013.
- [2] E. Can, Laboratuvar Çalışmalarının Bilgisayar Mühendisliği Eğitimindeki Yeri ve Önemi. *Elektr. MÜHENDİSLİĞİ*, 430, pp. 94-96, 2007.
- [3] C. S. Lee, J. H. Su, K. E. Lin, J. H. Chang ve G. H. Lin, A project-based laboratory for learning embedded system design with industry support. *IEEE Transactions on Education*, vol. 53, no. 2, pp. 173-181, 2009.
- [4] B. Vahidi ve M. Taherkhani, Teaching short circuit breaking test on high-voltage circuit breakers to undergraduate students by using MATLAB-SIMULINK. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 21, no. 3, pp. 459-466, 2013.
- [5] B. Vahidi, S. A. Agheli, S. Jazebi, Teaching short-circuit withstand test on power transformers to M. Sc. students and junior engineers using MATLAB-SIMULINK. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 20, no. 3, pp. 484-492, 2012.
- [6] F. Soto, P. Sánchez, A. Mateo, D. Alonso ve P. J. Navarro, An educational tool for implementing reactive systems following a

- goal-driven approach. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 22, no. 4, pp. 764-773, 2014.
- [7] R. Boylestad, L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*, Prentice Hall, 2002.
- [8] R. Kilic, ve B. Karauz, Chaos training boards: Versatile pedagogical tools for teaching chaotic circuits and systems. *International Journal of Engineering Education*, vol. 24, no. 3, pp. 634-644, 2008.
- [9] S. Çınar, Lojik Devre Laboratuvarları için Entegre Test Devresi Tasarımı. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 165-174, 2019.
- [10] O. Gürdal, V. Türkmenoğlu, *Güç elektroniği: meslek yüksek okulları için*. Seçkin Yayıncılık, Ankara, Türkiye, ISBN 978-975-02-0640-5, 2008.
- [11] R. H. Muhammad, K. Narendra, R. K. Ashish, *Power Electronics Devices, Circuits and Applications*. ed: Pearson, Nobel Yayınevi, Türkçe çeviri, 2014.
- [12] A. S. Sedra, K. C. Smith, T. C. Carusone, V. Gaudet, *Microelectronic Circuits*. International 6th edition. New York: Oxford University Press, 2011.
- [13] H. A. Şahin, Dayanık, C. Altınbaşak, *PIC programlama teknikleri ve PIC16F877A*. Altaş Yayıncılık, Türkiye, 2013.