

MASAÜSTÜ CNC EKSEN KARTLARI İÇİN TEST DEVRESİ TASARIMI

Ahmet KÖBELOĞLU*, **Arif GÖK****, **Kerim ÇETİNKAYA*****

*akobeloglu@kastamonu.edu.tr Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu Meslek Yüksekokulu, Elektrik Bölümü,
37100-Kastamonu

**agok@kastamonu.edu.tr Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü,
37100-Kastamonu

*** kcetinkaya@karabuk.edu.tr Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü
78050-Karabük

ÖZET

Bu çalışmada, 470x650x320mm ölçülerine sahip olan Masaüstü CNC Torna Tezgahı Prototipi'nin eksen kontrol kartları için test devresi tasarlanmıştır. Sistemdeki eksen kontrol kartları ile 4V/faz 1,6A/faz 2,5ohm/faz 1,8 deg/step özelliklerine sahip step motorlar sürülmektedir. Üretilen test devresi ile eksen kontrol kartlarının sağlamlık kontrolleri yapılabilmekte ve sorunlu kartların arızalı çıkışları tespit edilebilmektedir. Tasarlanan test devresi çıkışındaki olası hata verileri, Visual Basic 6.0 programında geliştirilmiş program arayüzünde işlenerek arıza çözüm önerileri üretilebilmektedir. Tasarlanan sistemin etkinliği, prototip tezgaha ait step motor sürücü kartlarında kullanılarak doğrulanmıştır.

Anahtar Sözcükler: CNC, Arıza, Test Devresi

ABSTRACT

In this study, a test circuit for the axis motion control cards of a Desktop CNC Lathe prototype (470x650x320mm) has been designed. Step motors of 4V/phase, 1,6A/phase, 5 ohm/phase, 1,8 deg/step can be driven by axis motion control cards. The test circuit designed permits the controls fro the durability of the axis motion cards and enables the detection of the faulty outputs of the faulty cards. Solutions for the correction of the faults can be offered by processing the possible data for the faults in the software interface designed with Visual Basic 6.0. The efficiency of the designed system has been verified by using it on the step motor driver cards of the prototype lathe.

Keywords: CNC, Fault, Test Circuit

1. GİRİŞ

Yarı iletken teknolojisindeki ilerlemeler karmaşık devrelerin yapımına olanak sağlamıştır. Çevredeki kalıcı ve geçici durumlar (gerilim dalgalanmaları, manyetik gürültüler, yük değişimleri, kısa devreler, aşırı yüklenmeler...) bu tür karmaşık devrelerin olumsuz etkilenmelerine sebep olabilmektedir[1].

Elektronik sistemler yekpare bir biçimde oluşturulabileceği gibi, fonksiyonel kartlardan oluşan çok katlı elektronik sistemler şeklinde de imal edilebilir. Çok katlı elektronik sistemlerde olası arıza tespiti ve tamiri, yekpare sistemlere göre daha hızlı ve ekonomik olarak gerçekleştirilmektedir. Nitekim bütün bir elektronik sistem yerine, sadece ilgili devre katı değiştirilecektir. Bu devrelerin yedeklerinin bulunması cihazın tamir süresini kısaltmaktadır.

Arıza olayı kartın üretimi aşamasında da oluşabilmektedir. Bu yüzden sistem tamamı montajlanmadan önce sistem elektronik kartlarının sağlamlığının bilinmesi gerekmektedir. Günümüzde elektronik kart devrelerini test etmek için Otomatik Test Sistemleri geliştirilmiştir. Bu tür sistemler ilgili sistemi simüle ederek (tüm fonksiyonlarını çalıştırıp deneyerek) arızalı kısmı ve malzemeyi belirleyebilmektedir[2].

Elektronik sistemler akıllı ve akıllı olmayan sistemler olarak iki grupta incelenebilir. Akıllı sistemler her açılışlarında kendilerini self-test (kendi kendini test) edip bir arıza (error) uyarısı verebilirler. Tasarımcı bu arıza bilgisi ile ilgili detayları genellikle modül veya elektronik ünite bazında belirtir. Akıllı sistemler genellikle mikro işlemcili veya bilgisayar tabanlı sistemlerdir. Fakat bu sistemlerin arızayı modül seviyesine indirmesi, arızalı modüldeki arızalı malzemenin bulunmasını gündeme getirmektedir[3].

Elektronik test sistemleri, arızalı sistem ve verilerin diğer parçalara yayılmadan erken arama ve önlem alma fırsatı vermektedir. Düzeltici eylemlerin alınmasının temel amaçları şunlardır: Veri bozulmaları olmadan hatalar mümkün olduğu kadar erken taranarak düzeltici önlemler başlatılabilir ve hatalı kısım özdeş başka bir birimle değiştirilebilir[1].

Sayısal çıkışlı elektronik devrelerde, devrenin çıkışları ile sağlamlığı bilinen başka bir özdeş devrenin çıkışları bir karşılaştırıcı devresi ile karşılaştırılır. Karşılaştırma işlemi sonrasında iki devrenin çıkış sinyalleri arasında bir farklılık oluşursa hata durumu olduğu anlaşılır. Bu yöntem ile yapılan test işlemi düşük maliyetli olup %100 etkili bir sonuç meydana getirmektedir. Bu yöntemin doğruluğu MCNC 91 test devreleri üzerinde denenerek ispatlanmıştır [1,4].

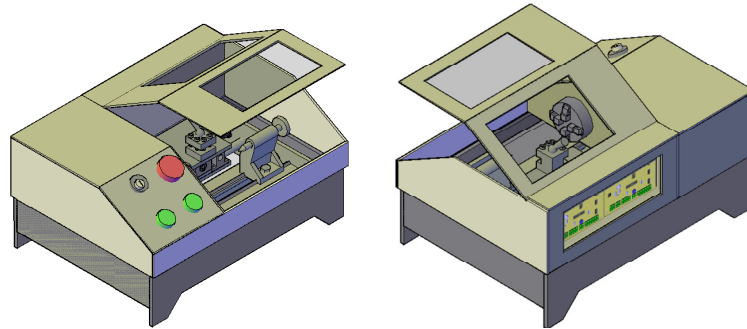
Bu çalışmada kullanılan Masaüstü CNC Torna Tezgahı Prototipi; iş mili hız kontrol devresi, arabirim kontrol devresi, eksen kontrol devreleri ve soğutma sıvısı açma/kapama devresinden oluşmaktadır. Sistemi oluşturan bu devrelerin her biri ayrı kart üzerinde imal edilmiştir. Devreye girme sıklığı ve zamanı dikkate alınırsa sistemde en çok arıza yapma ihtimali olan devreler eksen kontrol devreleridir. Olası arıza durumunda değiştirilen kartın tamir edilmesi de büyük tasarruf sağlayacaktır. Bu çalışmada arızalı eksen kartlarının tamiri için muayene yapan bir uzman sistem tasarımı geliştirilmiş ve Masaüstü CNC Torna Tezgahı Prototipi kartları üzerinde uygulama yapılmıştır.

İkililik ağırlıklı sayısal çıkışlı olan step motor sürücü devrelerinin kontrolü için referans [1,4] 'de bahsi geçen test devresi kullanılabilir. Bu çalışmada da Masaüstü CNC Torna

Tezgahtarına ait eksen kontrol devreleri sağlamlık testi için benzer bir test devresi tasarlandı ve doğruluğu uygulamalar ile ispatlandı.

2. EKSEN KONTROL DEVRELERİ ARIZALARI VE TESPİTİ

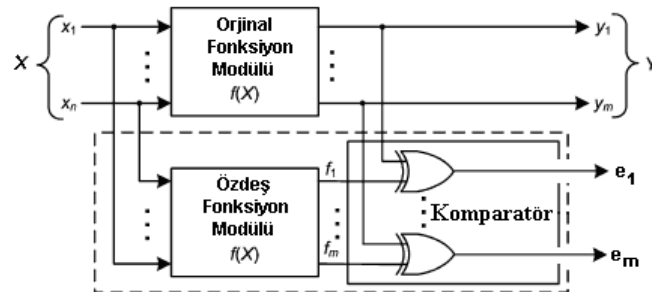
Kullanılan prototip takım tezgahında, eksenlerde tahrik elemanı olarak step motorlar tercih edilmiştir. Eksen kontrol devreleri bilgisayar paralel portundan gönderilen Step, Dir, Enable sinyallerinin denetimi ile bu step motorları sürebilmektedir. Bu sistemde sürücü entegresi olarak L297 kullanılmıştır. Güç katında ise motorlar, IRLZ44N mosfetleri üzerinden beslenmektedir. Tezgahta enine hareket, boyuna hareket ve punta hareketi için toplam üç adet eksen kontrol devresi kullanılmıştır.



Şekil 1: Masaüstü CNC torna tezgahı prototipi

Eksen kartında arıza yapması muhtemel 2 adet entegre (IC1,IC2) ve 4 adet mosfet(T1,T2,T3,T4) bulunmaktadır. Olası bir arıza halinde sorun entegrelerde ise; devre görevini yapamamaktadır ve bu durum kolaylıkla teşhis edilebilmektedir. Yalnız entegreler sağlam olup, mosfetlerin herhangi birinde sorun varsa sistem eksik adımlarla da olsa çalışmaya devam edebilmektedir. Bu durum sistem hassasiyetini (eksen ilerleme miktarını ve hızını) olumsuz etkilemektedir.

Devredeki giriş ve çıkış sinyalleri ikililik ağırlıklıdır. Test edilecek devrenin 4 adet girişi (kontrol sinyali) ve 4 adet çıkışı bulunmaktadır. Her giriş kombinasyonu için $X \in \{0,1\}^4$ değerleri alınabilir. Devrenin hatasız çıkışı $Y=f(x)$, sistemin hata yanıtı da $E = \{Y \in \{0,1\}^4 | Y \neq f(x)\}$ şeklinde gösterilebilir[1].



Orjinal Fonksiyon Modülü : Test Edilecek Elektronik Kart.

Özdeş Fonksiyon Modülü : Test Edilecek Elektronik Kart ile özdeş olan ve sağlamlığı bilinen kart .

Şekil 2: Test devresi prensip şeması

Şekil 2'deki sistemde devreler özdeş olduğu için aynı giriş sinyallerine aynı çıkış tepkilerini göstermektedirler. Eğer devrelerden bir tanesi farklı bir çıkış verirse sistemde sorun var diye yorumlanıp hata çıkışı verilmelidir. Bu husus dikkate alınarak hata fonksiyonu olasılıkları tablosu oluşturulmuştur(Tablo 1).

Tablo 1'deki veriler karnough haritasına yerleştirilerek karşılaştırıcı (komparatör) devresinin lojik ifadesi çıkarılabilir.

Tablo 1: Çıkışlara göre hata fonksiyonu olasılıkları

y ₁	f ₁	e ₁
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

y ₂	f ₂	e ₂
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

y ₃	f ₃	e ₃
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

y ₄	f ₄	e ₄
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

		f	
		0	1
y	0	0	1
	1	1	0

Şekil 3: Test devresinde 1 çıkış için tasarlanan karnough haritası

Şekil 3'deki karnough haritasındaki ifade çözüldüğünde denklem.1 elde edilir. Bu ifadeyi sağlayan sayısal elektronik devresi karşılaştırıcı olarak kullanılabilir.

$$e_i = y_i \cdot \overline{f_i} + \overline{y_i} \cdot f_i \quad (1)$$

Burada;

- e : Hata çıkışı
- y : Orijinal fonksiyon modülü çıkışı
- f : Özdeş fonksiyon modülü çıkışı
- $i = \{0,1,2,3,4\}$

Denklem.1'deki ifade Özel Veya (XOR) lojik kapısının açılımıdır. Denklem 1 XOR olarak yazılırsa Denklem 2'deki sayısal ifade elde edilir.

$$e_i = y_i \oplus f_i \quad (2)$$

3. ARIZA TESBİTİ İÇİN UZMAN SİSTEM TEMELLİ KULLANICI ARAYÜZLÜ YAZILIM TASARIMI

3.1.Uzman Sistem

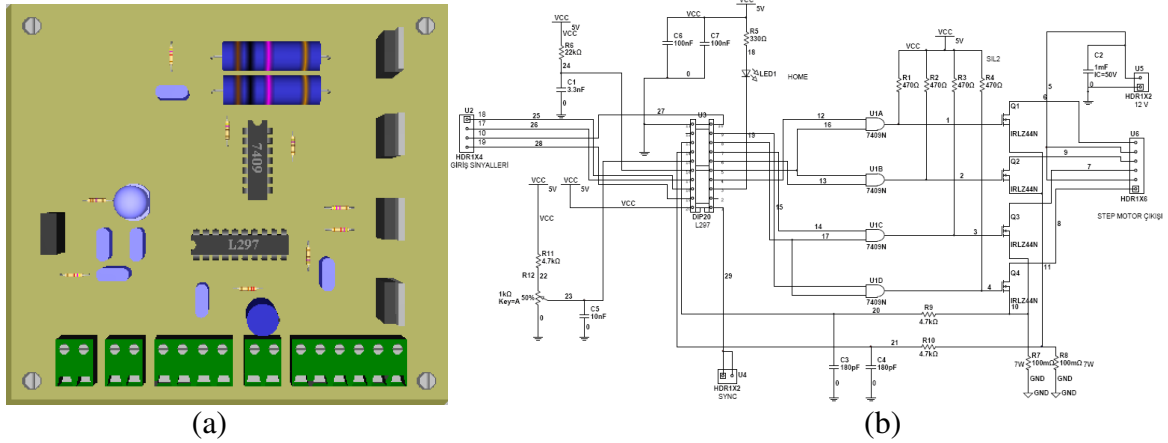
Uzman Sistemler belirli bir alanda sadece o alan ile ilgili bilgilerle donatılmış ve problemlere o alanda uzman bir kişinin getirdiği şekilde çözümler getirebilen bilgisayar programlarıdır[5]. Uzman sistem programları genel olarak "Muhakeme Etme"; yani eldeki verilere göre en uygun durumu belirleme esasına göre çalışırlar[6].

Bu çalışmada kullanılan uzman sistem Şekil 5’deki sistemin çıktısı olan 4 bitlik hata bilgisini ($e_4e_3e_2e_1$) okuyarak Tablo 3’deki kurallara göre devreyi test etmektedir. Test sonucunda devrenin arızalı olduğu kanısına varılırsa uzman sistem arızalı elemanı bulup, bu elemanla ilgili çözüm önerisi üretmektedir. Arıza çözüm önerileri ekran çıktısı olarak rapor edilmekte ve istenirse metin dosyası olarak kayıt edilebilmektedir.

Kullanıcı arayüzü ve rapor tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, gerek arayüzlerin gerekse raporun son derece anlaşılabilir ve akıcı bir dilde hazırlanmasıdır [7].

3.2.Deney Düzenegi

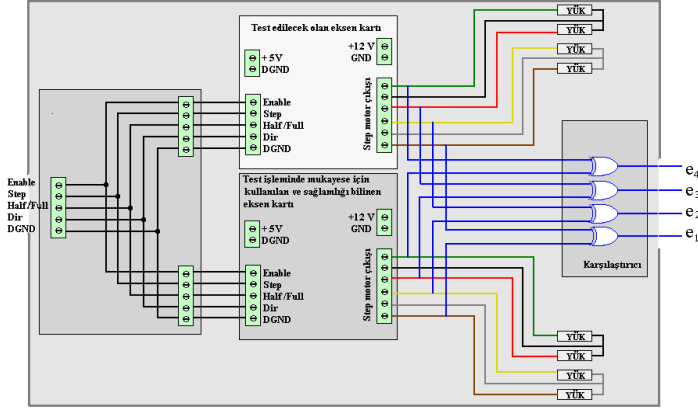
Bu sistemde sağlamlık kontrolü için, literatür [1,4]’de olduğu gibi test edilecek devrenin çıkışları ile sağlamlığı bilinen başka bir özdeş devrenin çıkışları bir karşılaştırıcı devresi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan devreler özdeş oldukları için aynı giriş sinyallerine, aynı tepkileri vermek zorundadırlar. Çıkış sinyalleri arasında bir farklılık oluşursa, farklı olan çıkışı ilgilendiren devre elemanında veya bağlantılarında bir sorun olduğu kanısına varılır. Bu tür test sistemlerinde devre maliyeti %100’ün üstüne çıkmaktadır.



Şekil 4: Masaüstü CNC Eksen Kartının Model Görünüşü (a) ve Devre Şeması (b)

Karşılaştırıcı devresinde CMOS 4070 entegresi kullanılmıştır. CMOS 4070 entegresi, 2 girişli 4 adet XOR mantık kapısından oluşmaktadır. 2 girişli XOR kapısının özelliği; girişinde bulunan iki sinyalin birbirinden farklı olması halinde çıkış sinyali üretiyor olmasıdır. Sistemde kullanılan XOR kapıları, karşılaştırılan devrelerin çıkışları arasındaki farklılık durumlarına göre hata sinyalleri üretmektedirler. Hata sinyalleri bir bütün halinde dikkate alınırsa ($e_4e_3e_2e_1$)₂ şeklinde 4 bitlik hata verisi elde edilebilmektedir (Şekil 5). Bu hata verilerinin gerilim seviyesi 12 V düzeyindedir. Bu yüzden her bir çıkışa 7805 regüle entegresi bağlanarak gerilim seviyesi 5 V’a düşürülmüştür. Böylelikle hata bilgisi paralel port üzerinden bilgisayara alınabilir.

Tablo 2: Hata durumlarının beraber meydana gelme olasılığı ve hata kodları (E)



Şekil 5: Devre test düzeni

e ₄	e ₃	e ₂	e ₁	E
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

3.3.Arıza Tespiti İçin Bilgisayar Arayüzü Tasarımı

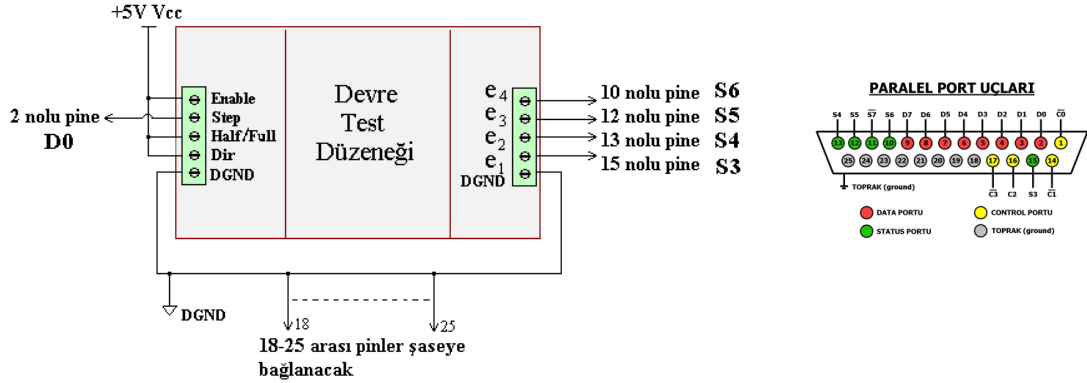
Kontrol sistemlerinde birçok elektronik kart bulunmaktadır. Bu kartların herhangi biri veya birkaçının görevini yerine getirememesi halinde sistemde aksaklıklar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle üretilen elektronik kartların montajlanmadan önce sağlamlık testinden geçirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Visual Basic 6.0'da tasarlanan arayüz ile bu tür bir işlem yapılabilmektedir.

Tablo 3: Devre testi için tasarlanan uzman sistem kural tablosu

HATA KODU (E)	UYARI MESAJI	ARIZA ÇÖZÜM ÖNERİLERİ
0	Devrede sorun yoktur.	Devre düzgün çalışıyor
1	1. çıkışta sorun var.	1. çıkış bağlantısını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T1 mosfetini değiştirmeyi deneyiniz.
2	2. çıkışta sorun var.	2. çıkış bağlantısını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T2 mosfetini değiştirmeyi deneyiniz.
3	1. ve 2. çıkışlarda sorun var.	1. ve 2. çıkış bağlantısını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T1 ve T2 mosfetlerini değiştirmeyi deneyiniz.
4	3. çıkışta sorun var.	3. çıkış bağlantısını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T3 mosfetini değiştirmeyi deneyiniz.
5	1. ve 3. çıkışlarda sorun var.	1. ve 3. çıkış bağlantılarını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T1 ve T3 mosfetlerini değiştirmeyi deneyiniz.
6	2.ve 3. çıkışlarda sorun var.	2. ve 3.çıkış bağlantılarını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T2 ve T3 mosfetlerini değiştirmeyi deneyiniz.
7	1.,2. ve 3. çıkışlarda sorun var.	1. 2. ve 3.çıkış bağlantılarını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T1, T2 ve T3 mosfetlerini değiştirmeyi deneyiniz.
8	4. çıkışta sorun var.	4.çıkış bağlantısını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T4 mosfetini değiştirmeyi deneyiniz.
9	1. ve 4. çıkışlarda sorun var.	1. ve 4.çıkış bağlantılarını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T1 ve T4 mosfetlerini değiştirmeyi deneyiniz.
10	2. ve 4. çıkışlarda sorun var.	2. ve 4.çıkış bağlantılarını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T2 ve T4 mosfetlerini değiştirmeyi deneyiniz.
11	1., 2. ve 4. çıkışlarda sorun var.	1., 2. ve 4.çıkış bağlantılarını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T1, T2 ve T4 mosfetlerini değiştirmeyi deneyiniz.
12	3. ve 4. çıkışlarda sorun var.	3. ve 4.çıkış bağlantılarını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T3 ve T4 mosfetlerini değiştirmeyi deneyiniz.
13	1., 3. ve 4. çıkışlarda sorun var.	1., 3. ve 4.çıkış bağlantılarını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T1, T3 ve T4 mosfetlerini değiştirmeyi deneyiniz.
14	2., 3., 4. çıkışlarda sorun var	2., 3. ve 4.çıkış bağlantılarını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise T2, T3 ve T4 mosfetlerini değiştirmeyi deneyiniz.
15	Devre hiçbir çıkış vermiyor.	Çıkış bağlantılarını kontrol ediniz. Bağlantılarda sorun yok ise IC1 ve/veya IC2 entegrelerini değiştirmeyi deneyiniz.

Devre test düzeneği ile bilgisayar arasındaki bağlantı paralel port üzerinden sağlanmaktadır. Paralel port (giriş) 25 pinden oluşmaktadır. Bu pinler üzerinde data, status, control adında 3 adet port vardır [9]. Şekil 6'daki sistemde "hata fonksiyonu" çıkışları bilgisayar paralel portunun status pinlerine, giriş sinyalleri de data pinlerine bağlanmıştır. Bu bağlantının ardından test programı çalıştırılarak kart kontrol edilebilir. Programda test işlemi 4 aşamadan oluşmaktadır. Her bir aşamada iki çıkış denetlenmektedir. 4. Aşamamın

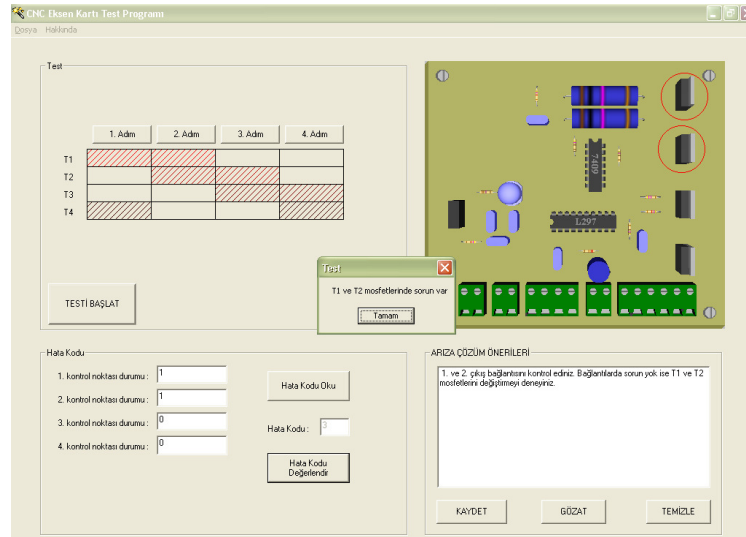
sonunda denetleme sonuçları bilgisayar tarafından yorumlanarak hata mesajı ve çözüm önerisi üretilmektedir. Tablo 3’de belirtildiği üzere test sonucunda hata kodu (E)=0 bilgisi okunursa kartın sağlam olduğu, Hata kodu (E) ≠ 0 ise kartın arızalı olduğu kanısına varılır. Kartta arızalı bir durum söz konusu ise arayüzdeki “ARIZA ÇÖZÜM ÖNERİLERİ” kısmında sunulan yönergeye göre hareket edilerek kart tamir edilebilir.



Şekil 6: Devre test düzeneğinin bilgisayar paralel port bağlantısı

PRISM programlama dili kullanılarak test edici sistem oluşturulması üzerine literatürde çalışmalara rastlanmıştır [8]. Bu sistem sensörlerden aldığı bilgiyi gerçek zamanlı olarak işleyerek, hata kaydı yapıp, raporlayabilmektedir.

Elektronik cihazlarda arıza arama-bulma elektronğin en zor branşlarından biridir. Bazen o kadar sıkıntılı arızalarla karşılaşılır ki, sistemi yeniden tasarlamak daha kolay gözükür [2]. Arızalı olduğu bilinen eksen kartları, test programında test edilirse arızalı bölgenin tespiti çok kısa bir sürede gerçekleştirilebilir.



Şekil 7: CNC eksen kartı test programının örnek ekran çıktısı

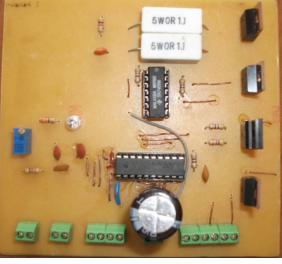
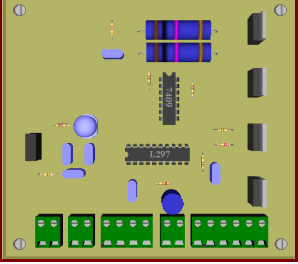
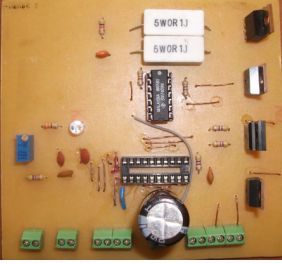
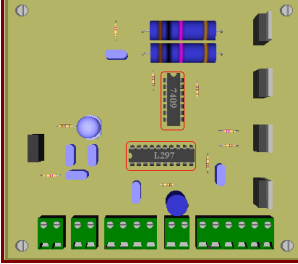
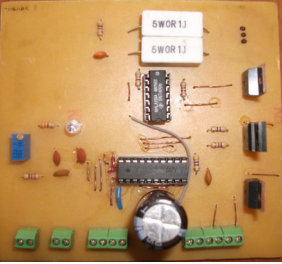
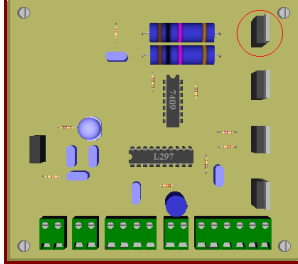
4. TEST İŞLEMLERİNDE UYGULAMA

Eksen kontrol devresi 4 aşamalı periyotlarla step motor sargılarına pulsler göndermektedir. Her bir aşamada iki adet mosfet sürülmektedir. Bu devrede mosfetlerin devreye girme sıralarını ve zamanlarını L297 step motor sürücü entegresi, 7409 (2 girişli) “VE” kapı

entegresi ile beraber belirlemektedir. Bu elemanların herhangi birinin görevini yerine getirememesi halinde sistemin tamamı olumsuz bir şekilde etkilenmektedir.

Tablo 4’de sağlam ve arızalı eksen kontrol kartlarının, sağlamlığı bilinen eksen kontrol kartı ile karşılaştırılması sonucu elde edilen çıktı ifadeleri verilmiştir.

Tablo 4: Yapılan test işlemlerinde elde edilen arıza tespitleri

Test No	Test Edilecek Gerçek Kart Görüntüsü	Programda Algılanan Arızalı Elamanlar	Hata Kodu (Tablo.3)	Açıklama
1			0	Bu işlemden sağlam bir eksen kontrol kartı test edilmiştir. Test sonrasında programdan gönderilen mesajda kartın sağlam olduğu bilgisi alınmıştır.
2			15	Bu işlemden Step motor sürücü entegresi (L297) montajlanmamış bir eksen kontrol kartının sağlamlığı test edilmiştir. Test sonrasında programdan gönderilen mesajda devreden hiçbir çıkış alınmadığı ve sorunun entegrelerde olduğu bilgisi alınmıştır. Program arızalı olduğunu düşündüğü iki entegreyi ekran çıktısı üzerinde işaretlemiştir.
3			1	Bu işlemden bir adet mosfeti açık devre olan eksen kontrol kartı test edilmiştir. Test sonrasında programdan gönderilen mesajda T1 mosfetinde veya bağlantılarında bir sorun olduğu bilgisi alınmıştır. Program T1 mosfetini ekran çıktısı üzerinde işaretlemiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bilgisayar destekli test sistemleri, sağlamlık testi ve arıza bulma konularında zamandan tasarruf sağlamaktadır. Bilgisayar destekli test sistemleri uzman sistem oldukları için, alan bilgisi zayıf olan kullanıcılar bile test işlemini gerçekleştirebilmektedirler. Uzman sistemler programını yazan uzman kişinin koyduğu kural dizine göre mukayese yapabilmektedir. Devre kartlarının bu tür test sistemleri ile test edildikten sonra montajlanması sistem bütününe doğruluğunu artıracaktır. Yine arızalı olduğu bilinen devre kartları bu tür sistemler ile test edilerek arızalı bölgeye en kısa zamanda ulaşılabilir ve tamirat gerçekleştirilebilir.

Bu çalışmada 4 bitlik sayısal çıkışa sahip olan bir devrenin bilgisayar destekli sağlamlık testi gerçekleştirilmiştir. Bu test işleminde devrenin durumu uzman sistem kural tablosundaki kurallara göre denetlenerek, uygun uyarı mesajları ve çözüm önerileri üretilebilmektedir. Bu sistem, kural tablosunda yapılacak değişiklikler ile sayısal çıkışlı başka tür devrelere de kolayca adapte edilebilir.

Test işleminde en fazla süreyi devre bağlantısı almaktadır. Bu sürenin kısaltılabilmesi için devrelerde kolay takılıp çıkarılabilir soketler kullanılabilir.

5. KAYNAKÇA

[1] DJORDJEVIC, G. L., STOJCEV, M. K., STANKOVIC, T. R., Approach to partially self-checking combinational circuits design, **Microelectronics Journal**, 35, 945–952, (2004).

[2] ŞİŞER, Ö.,Elektronik Test Bakım Onarım Arıza Bulma-Giderme-1
http://www.reelektronik.com/Elektronik_Test_Ariza_Bulma_Giderme_Metotlari_1.html
(Erişim Tarihi 09.05.2010)

[3] ŞİŞER, Ö., Profesyonel Elektronik Arıza Bulma, (2001)
http://antrak.org.tr/index.php?option=com_content&task=view&id=747&Itemid=83
(Erişim Tarihi 09.05.2010)

[4] KARTIK MOHANRAM, K., TOUBA N. A., Cost-effective approach for reducing soft error failure rate in logic circuits, in **Proceedings of IEEE International Test Conference 2003**, 893–901.(2003).

[5] ÜNSAL, V., BAYIR, R., İçten Yanmalı Motorlarda Gerçek Zamanlı Olarak Arıza Teşhisi, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)**, Karabük (2009).

[6] ÖZKAN, M. T., GÜLESİN, M., Uzman Sistem Yaklaşımı ile Cıvata ve Dişli Çark Seçimi, **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, 25,169-177, TUBİTAK (2001).

[7] ÖZ, E., BAYKOÇ, Ö. F., Tedarikçi Seçimi Problemine Karar Teorisi Destekli Uzman Sistem Yaklaşımı, **Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.**, Cilt 19, No 3, (2004).

[8] PARKER, D., NORMAN, G., KWIATKOWSKA, M., Controller dependability analysis by probabilistic model checking, **Control Engineering Practice**,15, 1427–1434, (2007).

[9] EGE, Y., GÖKTEPE, M., ÇITAK, H., ERSOY, T., Mekanik Sistemlerin Hareket Kontrolünde Paralel Portun Kullanımı, **Tasarım İmalat Analiz Kongresi (TİMAK'06)**, Balıkesir (2006).