

LASER INTERFERENCE PATTERN ENUMERATOR

Ankara University Faculty of Engineering

358 Linear Electronics Lab II

Final Project

Teoman Soygöl

April 2009

© 2009 Teoman Soygöl

ÖZ

Kendini tekrar eden desenleri saymak genel olarak oldukça zordur. Diğer monoton işlerde olduğu gibi dikkatin devamsızlık aralıkları sık olduğu için böyle durumlarda otomatik kontrol sistemleri kullanmak en doğru yaklaşımdır. Özellikle sayılan desenlerin kendiliğinden hareketli olduğu durumlar için (örneğin lazer interferometre girişim desenleri) yüksek hassasiyete sahip ve yeterince hızlı ölçüm almak gerekecektir. İşte böyle bir sistemin asıl parçasını oluşturacak bir desen sayacı devresi, bu projenin temel olarak yapılabilirliğini göstermek istediği sistem elemanıdır. Sonuçta böyle bir sistemin analog ve dijital elektronik alt sistemler arasındaki ne denli hassas bir bağlantıyla sağlandığı gösterilmekle birlikte, asıl amacı lazer girişim desenlerini saymak olan bir devrenin çok daha ötesine gidilmiştir.

For the greater good...

TEŞEKKÜRLER

Bu proje için verdikleri destekten oturu Dr. Avni Aksoy ve Dr. Ulas Kürüm'e
tesekkur ederim.

İÇİNDEKİLER

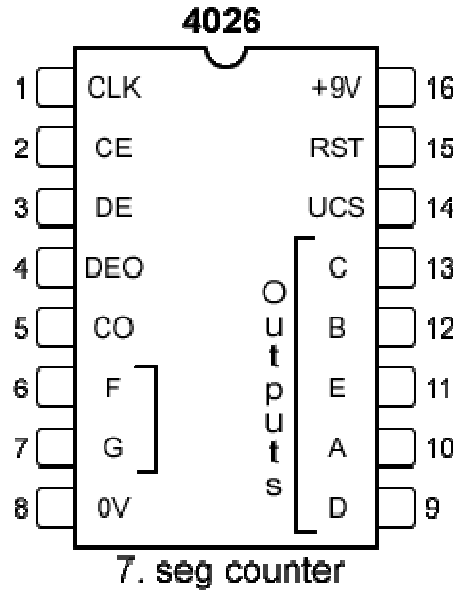
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 SENSÖR DEVRESİ.....	5
BÖLÜM 3 LAZER DESEN SAYAÇ DEVRESİ.....	8
BÖLÜM 4 FİZİKSEL DEVRE TASARIMI.....	11
BÖLÜM 5 SONUC	15
EK 1 KALİBRASYON VE KULLANIM KLAVUZU	17
KAYNAKLAR	18

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: 4026 Entegre sayac devresi, pinout diyagramı [1].....	1
Şekil 1.2: 4026 LED cikisi mantik orgusu [3].	2
Şekil 1.3: 7-Segment LED gosterge [4].	3
Şekil 1.4: 7-Segment LED gosterge pinout diyagramı [5].....	3
Şekil 1.5: Push button: “SPST Momentary Action” [6].	4
Şekil 2.1: LDR (light dependent resistor: photoresistor) [7].....	5
Şekil 2.2: Bu projeye degisken direnc islevini goren 10k Pot’lar (potentiometer) [8]...7	
Şekil 3.1: Butunu ile optik sayac devre semasi.....	8
Şekil 3.2: Devrenin simulasyonu. (88 miles per hour!)	9
Şekil 4.1: Fiziki devre ve tablası.	11
Şekil 4.2: Sade olarak dijital sayac kisminin islevsellik testi (sensor devresi yok).	11
Şekil 4.3: Devre tablasinin arka kismindaki baglantilar ve kutusundaki ilk hali.	12
Şekil 4.4: Kutunun on yuzundeki kesimler. Eski siyah tuslari ile birlikte.	13
Şekil 4.5: Lazer desen sayacini son hali.....	13
Şekil E1.1: Mavi (karanlık) ve Kirmizi (parlaklık) ayarlari.....	17

Bölüm 1 Giriş

Bu projenin amacı, analog ve dijital elektronik devre elemanlarının birarada kullanarak işlevsel bir lazer desen sayacı yapmaktır. Bu sayac, dijital sayac öğelerine sahip olduğu gibi analog sensor devresine de sahiptir. Bu projenin sonucunda, basit teknikler kullanılarak gelişmiş analog ve dijital devreler arasında iyi bir bağlantı kurulabileceğinin gösterilmesi beklenmektedir. Bu beklentinin gerçekleşmesi için yapılması gereken elektronik devrenin, dijital kısmının en önemli parçası, aşağıda görüleceği üzere DIP paketinde sunulan bir 4026 entegre sayac devresidir.

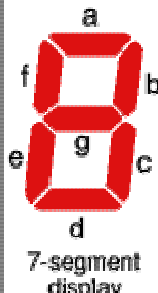


Şekil 1.1: 4026 Entegre sayac devresi, pinout diyagramı [1].

Entegre devre halinde bulunan 4026 sayaclar, 4000 CMOS serisi 16 pinli 7 segment sayac devresidir. Clock pulslarını sayarak, mevcut olarak sayılan değeri 7 segment LED ekranda gösterir. Bu sayede ayrıca bir 7-segment sürücü kullanmaya gerek kalmaz. Her bir entegre ile 0-9 arası sayılabilir [2]. 0-999 arası sayabilmek için bu

projede bunlardan 3 adet kullanilmistir. 4026'nin cikis pinleri ile LED girisleri arasindaki mantik orgusu asagidaki gibidir.

Outputs from the 4026 counter and display driver IC								
Count	a	b	c	d	e	f	g	h
0	•	•	•	•	•	•		•
1		•	•					•
2	•	•		•	•		•	•
3	•	•	•	•			•	•
4		•	•			•	•	•
5	•		•	•	•	•	•	
6	•		•	•	•	•	•	
7	•	•	•					
8	•	•	•	•	•	•	•	
9	•	•	•	•		•	•	



7-segment display

• = segment on. h is used to drive other counters.

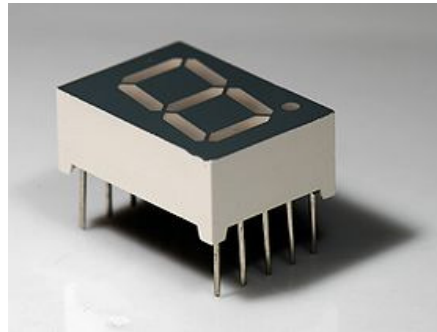
Şekil 1.2: 4026 LED cikisi mantik orgusu [3].

Yukarida goruldugu gibi 4026 cikisinda BCD yerine direk olarak LED ekranı suremeye yarayan mantik seviyeleri uretir. 4026 her bir cikis pinindeki yuku 5V 10mA besleyebildiginden, LED ekranın calismasi icin ayrıca yukseltece gerek kalmaz. 4026 entegrenin pin numaralari evrenseldir (yani butun paketlerde ayni sirada yapilir) ve islevi asagidaki gibidir.

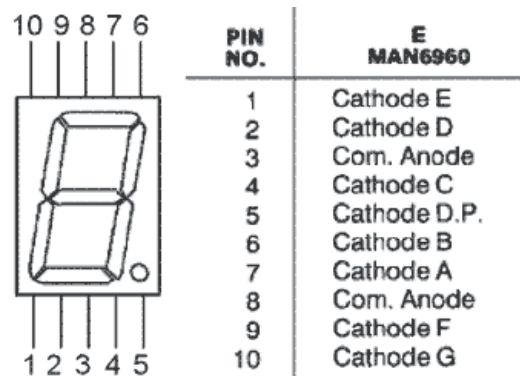
Tablo 1.1 4026 Pinout [2].		
Pin number	Name	Purpose
1	CLK	Clock in
2	CI	Clock inhibit - when low, clock pulses increment the seven-segment
3	DE	Display enable - the chip outputs to the seven-segment when this is high (i.e. when it's low, the seven-segment is off) - useful to conserve battery life, for instance
4	DEO	Display enable out - for chaining 4026s
5	CO	Carry out output - Is high when changing from 9 to 0. It provides an output at 1/10 of the clock frequency, to drive the clock input of another 4026 to provide multi-digit counting.
6	F	Output for the seven-segment's F input
7	G	Output for the seven-segment's G input

8	V _{DD}	The connection to the 0V rail
9	D	Output for the seven-segment's D input
10	A	Output for the seven-segment's A input
11	E	Output for the seven-segment's E input
12	B	Output for the seven-segment's B input
13	C	Output for the seven-segment's C input
14	UCS	Ungated C -segment - an output for the seven-segment's C input which isn't affected by the DE input. This output is high unless the count is 2, when it goes low.
15	RST	Reset - resets all outputs to low when taken high
16	V _{SS}	The connection to the +9V rail

Verilen pinout tablosu kullanılarak, her bir sayac basamagi 7-segment bir LED gostergeye rahatlıkla baglanabilir. Bunun icin sonraki bolumde gosterildigi uzere, dogru cikis pinleri ile giris pinleri eslestirilmelidir. Asagida gorulen 7-segment gosterge ve pinout diyagrami kullanilarak, bu eslestirme yapılabilir.

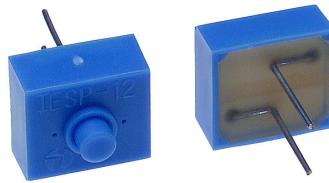


Şekil 1.3: 7-Segment LED gosterge [4].



Şekil 1.4: 7-Segment LED gosterge pinout diyagrami [5].

Verilen semalara uygun olarak baglantilar yapildiktan sonra, bu projenin dijital kismini tamamlamak icin tek gereken, sayaci resetlemek ve test etmek (bir artirmak) icin iki adet push-button eklemektir. “SPST Momentary Action” benzeri islev goren push-buttonlar, baski devre uzerinde dogru yukseklige ayarlanarak yerlestirilmelidirler.



Şekil 1.5: Push button: “SPST Momentary Action” [6].

Reset tusunun bir ucu +5V’a baglanirken, diger ucu 4026 uzerinde RST pinine (pin no 15) baglanmalidir. Ayni baglanti noktasi, 4K7 uzerinden devre GND’sine baglanmalidir. Bunun nedeni, CMOS chiplerde giris pinlerinin impedansinin cok yuksek olusu ve bu nedenle devredeki butun analog ve dijital gurultuden ve hatta cevredeki statikten bile etkilenmeleridir. 4K7’lik bir pull-down ile bu gurultuler onemsiz hale getirilmis olur. Test (+1) tusu icinde, benzeri bir yaklasim izlenir ama bu sefer kullanim pull-down, ayni zamanda kalibrasyon isi icin kullanilacagindan bir potansiyometreye baglanir. Bu konu, ayrintili bir sekilde sonraki bolumlerde aciklanmistir.

Bölüm 2 Sensör Devresi

Giris kisminde genel olarak aciklanan dijital devre elemanlari, bu projenin temeli olan sayac islevinin yerine getirmesi icin oldukca onemliyen, asil islev olan desen sayma isi icin optik bir sensor gereklidir. Bunun dizayninda en onemli unsur switching hizidir. Optik switching hizi 5ms olan bir phototransistor ile bu devre kullanilmaya calisilrsa, oldukca yavas tepki surelerinin olculdugu gorulecektir. Bunun nedeni, halihazirda bir devre sekansi olan sayac devresi, ayrıca sensor devresine de seri olarak baglanmasi ile devrenin toplam gecikme suresi, kabul edilemez seviyelere cikmasidir. Bu durumun ustesinden gelmek icin, uzerine dusen isigin siddetindeki degisimlere en hizli tepkiyi veren sensorlerden olan LDR (light dependent resistor veya photoresistor) kullanmak oldukca iyi bir secimdir. LDR'lerin kucuk versiyonlari (ayni zamanda bu projede kullanılan versiyonu), uzerine dusen isiga gore 100Ω ile $15k\Omega$ arasinda degisen bir resistansa sahiptir ki bu da bu projenin gereksinimleri icin oldukca uygundur.



Şekil 2.1: LDR (light dependent resistor: photoresistor) [7].

Sekilde gorulen LDR ile kullanılan pull-down resistoru, sayacin 1 yukselmesini saglayacak isigin siddetine gore sensorun hassasiyetinin ayarlanmasının saglar. Eger eger isik yeterince siddetli degilse LDR direnci 50Ω yerine ancak $1k\Omega$ mertebesinde bir degere kadar dusebilecektir. Bu halde dahi sayacin çalışması için, LDR tarafından gelen akıma karşı gelen akımı yaratmak için kullanılan pull-down resistoru $2k\Omega$ mertebesine cekilirse, az isikta dahi sayac basarili bir sekilde islevini gorecektir. Bunun yanında benzeri bir resistor LDR'a seri olarak baglanırsa, sayacin 1 yukselmesinden sonra tekrar 0'a dusmesi için gereken karanlık yeterince karanlık olamiyorsa (ornegin ambiyans isigi mevcutsa), LDR'in resistansi $15k\Omega$ yerine ancak $2-3k\Omega$ mertebesine kadar yukselebilecektir. Bu da bir onceki adimda kalibre ettigimiz pull-down resistoru ile cakistigindan, devre asla 0'a dusemeyecek ve boylece sayac islevinin yerine getiremeyecektir. Boyle bir durumdan kurtulmak için LDR'a seri olarak baglanan resistor ile karanlık direncini $2-3k\Omega$ dan $5k\Omega$ 'a kadar yukselterek bu sorundan da kurtulmus oluruz. Bu iki kalibrasyon ayari sayesinde, istenilen aydınlık ve karanlık seviyeleri dijital sayacda 0 ve 1 degerlerini uretecek sekilde ayarlanarak cihazın cok genis bir kullanım alanına sahip olması saglanır. Asli olarak lazer girism desenlerinin sayılması için tasarlanan bu devre ile, gercek bir resim uzerinde gorulen desenler bile sayilabilir veya bir ucak kanadi uzerinde eskime sonucu olusmus kucuk yipranma desenleri sayilabilir. Bunun için tek gereken, ortam yeteri kadar aydınlık hale getirilerek sayılması istenen desenen uygun kalibrasyon ayarlarını yapmaktır.

Kullanılan pull-down resistoru ve seri resistor, kolayca degistirilebilmeleri acısından birer 10k Pot olarak secilebilirler. Asagidaki sekilde gorulen ve bu islev için oldukca uygun olan 10k Pot, metal bir kalip icinde ve yeterli hassasiyet olculerinde gelmektedir.

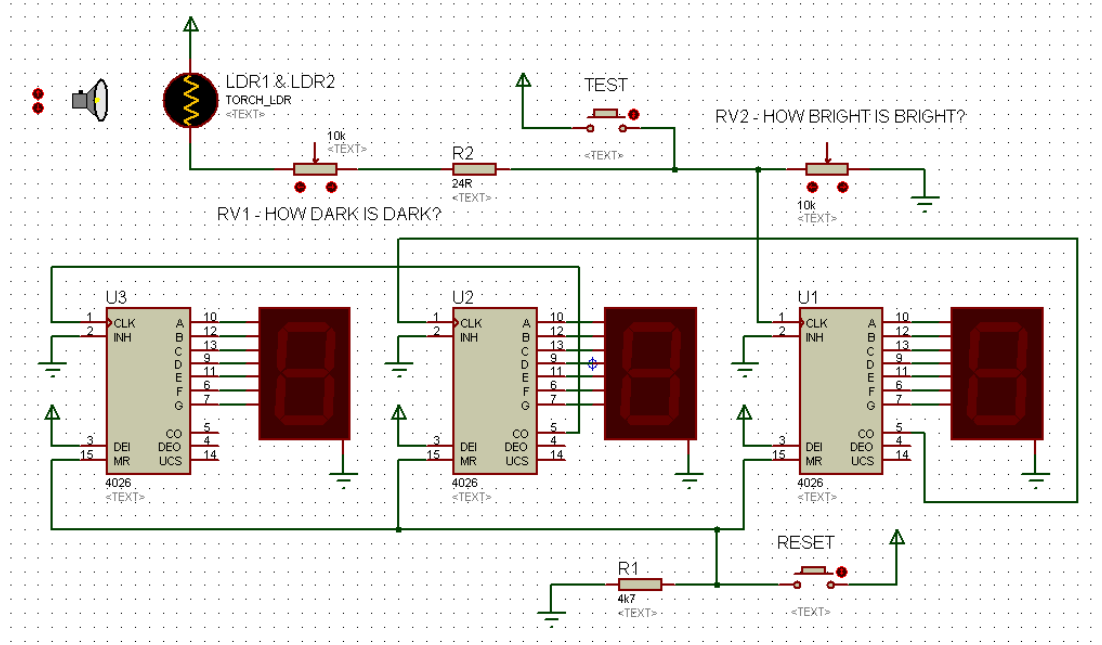


Şekil 2.2: Bu projeye degisken direnc islevini goren 10k Pot'lar (potentiometer) [8].

Projede kullanılan 4026 devrelerinin steady current kullanımı çok küçük olmasına rağmen, giriş uçları için kullanılan pull-down ve LED ekranların harcadığı güç fazla olması nedeniyle, basit bir SPST switch devre için açma kapama tusu olarak kullanılmıştır. 4026 lar için ani akım değişimleri önemsiz olduğundan, devreyi kapatmak için dijital bir transient switch'e gerek duyulmamıştır.

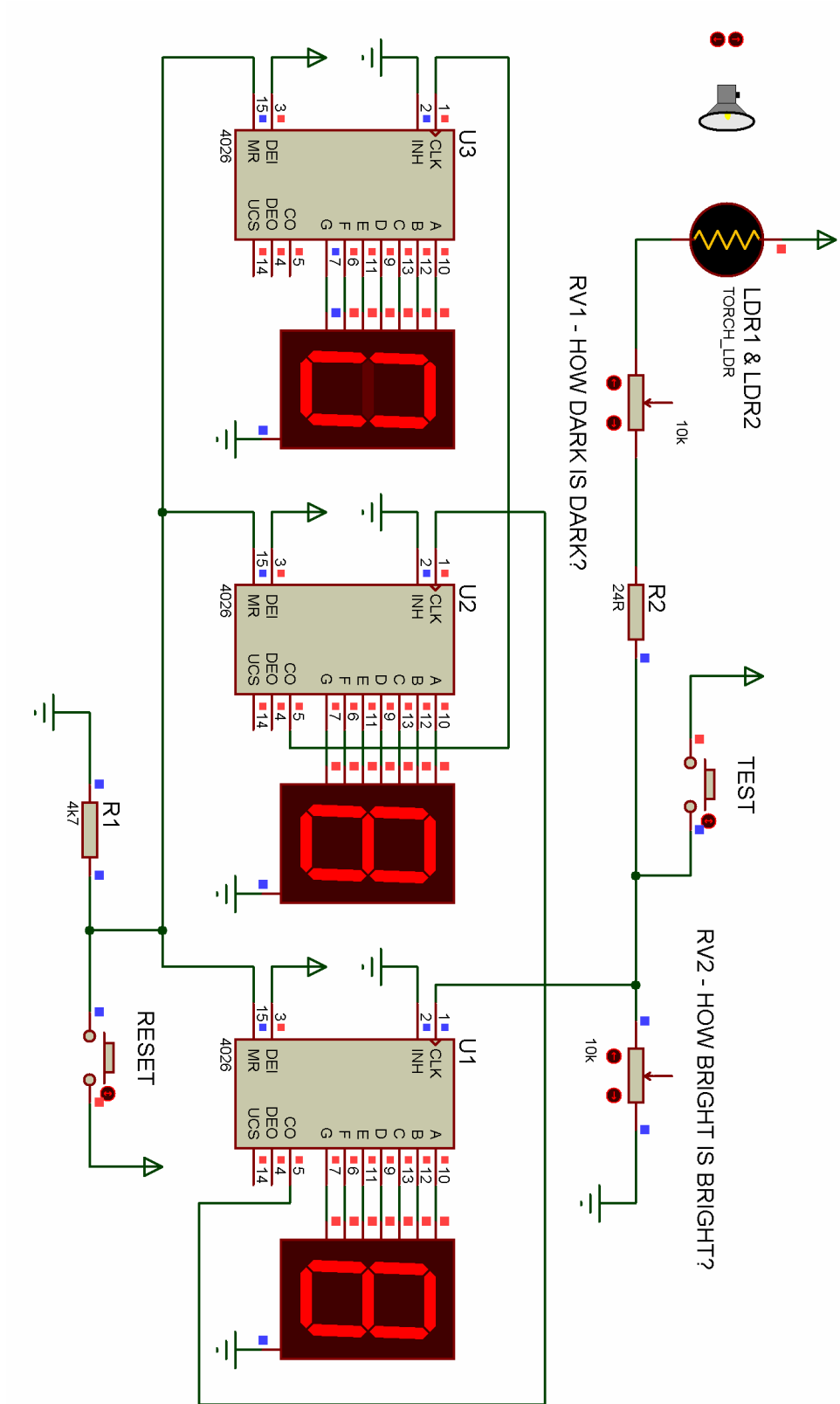
Bölüm 3 Lazer Desen Sayaç Devresi

Ayrı ayrı tasarlanan ve kalibrasyon sistemi ile birbirine bağlanan analog ve dijital parçaların birleştirilmesi ile, çok amaçlı lazer desen sayacı devresi son şeklini alır. Aşağıdaki semada, devrenin butunu ile çalışır son hali görülmektedir. Gelecekte bu ve benzeri aletler tasarlanmak istendiğinde, bu sema bas alınabilir. Özellikle kalibrasyon seçeneklerinin çok versatil olması, küçük modifikasyonlarla aletin çok geniş bir kullanım alanına sahip olmasına olanak tanır. Aşağıda görülen devre, harekete duyarlı güvenlik kameraları, insan hareketleriyle otomatik olarak yanıp sonen lamba otomatları, farklı desen ve ışık sayacıları türündeki devrelerinde temelidir.



Şekil 3.1: Butunu ile optik sayac devre seması..

Aşağıda görülen ise devrenin tam bir simülasyonudur. Proje dosyasına iletirilmiş olan Proteus VSM [9] dosyası kullanılarak devrenin işlevselliği önceden test edilebilir.

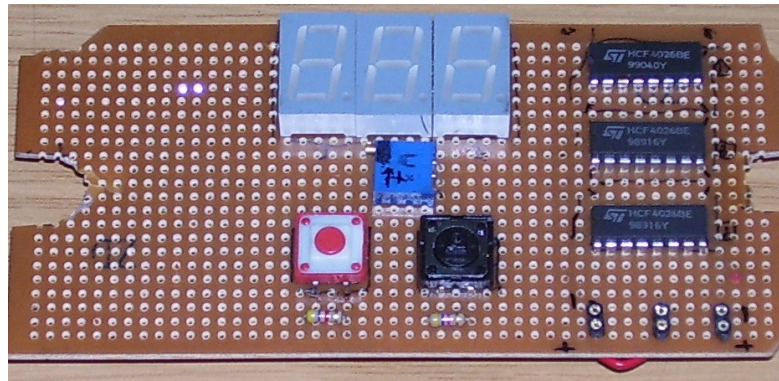


Şekil 3.2: Devrenin simülasyonu. (88 miles per hour!)

Proteus ve benzeri SPICE (circuit simulation) programları ile, henüz hiçbir fiziksel işlem yapılmadan bütün devrenin işlevselligi test edilebilir. Bu projede de kullanılan bu özellik ile, Şema 3.2 üzerinde görüldüğü şekli ile dijital ve analog mixed devre butunu ile test edilerek çalışırılığı onaylanmıştır. Görüleceği üzere, LDR üzerine düşen ışık bile değiştirilerek ışık kaynağının hareketleri simüle edilebilir. Bütün giriş ve çıkış pinlerindeki logic seviyeleri incelenerek, normalde ancak ayrı bir logic analyzer ile elde edilebilecek veriler canlı olarak takip edilebilir. Sayac devresinin simulator ortamında test edilmesinden sonra gerçek devrenin yapılması ve işlevselliğinin test edilmesi bir sonraki bölümde ayrıntılı bir şekilde işlenmektedir.

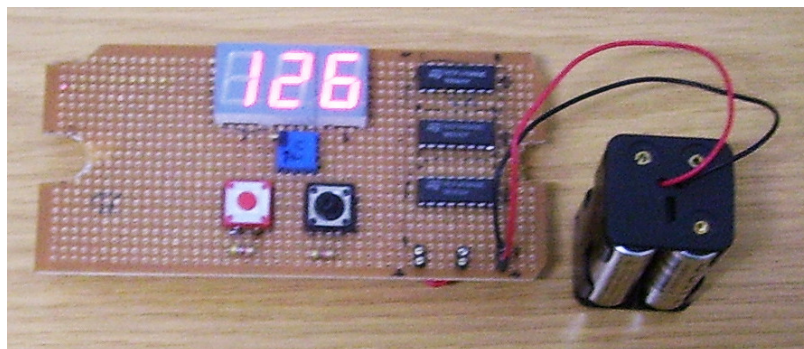
Bölüm 4 Fiziksel Devre Tasarımı

Devrenin ayrı parçalar halinde tasarlanıp bir bütün olarak tek bir çizim üzerine yerleştirilerek simulatorde test edilmesinden sonra, fiziksel devre tasarımı oldukça kolay bir hal almaktadır. Şekil 4.1 üzerinde görüleceği üzere, bu devrenin fiziki yapısının temeli, basit bir lehimlenebilir prototip tahtasıdır.



Şekil 4.1: Fiziki devre ve tablası.

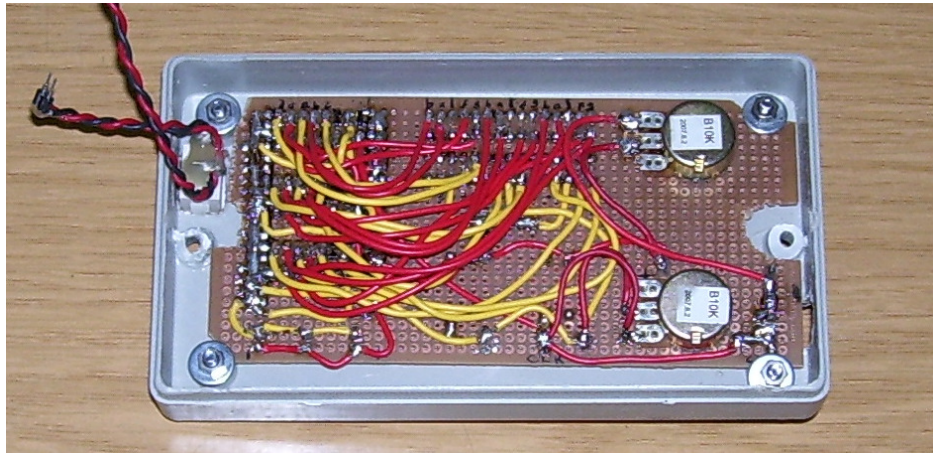
Yukarıda görülen, devrenin dijital kısmıdır. Tasarımdaki iki asama modeline uygun olarak, uygulama da iki asama yapılmıştır.



Şekil 4.2: Sade olarak dijital sayac kısmının islevsellik testi (sensor devresi yok).

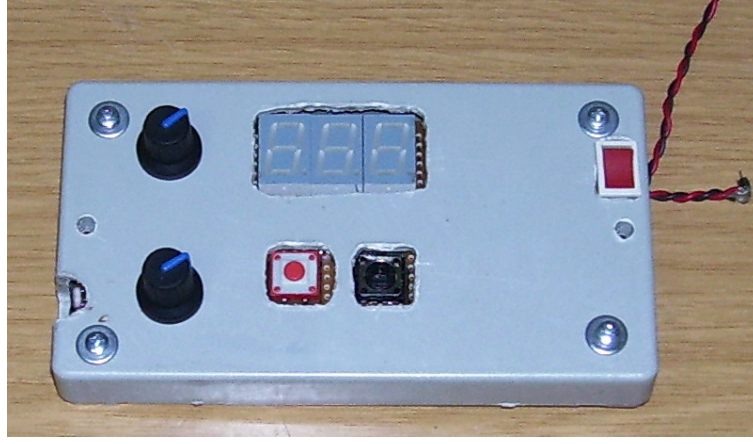
R Bu ilk kisimda, devrenenin dijital aksaninin islevselligi test edildikten sonra analog parcalar devre ustune yerlestirilmistir. LED ekranlari hemen altinda gorulen trimpot,

simulatorde devre semasi uzerinde gorulmeyen fakat gercekte cok islevsel olan ekran isiginin parlakligini ayarlamaya yaramaktadir. Butun devre tasarimi uzerinde, uygulanan giris gerilimine hassas tek parca bu LED ekrandir ve sadece 3.7V-4.3V araliginda calisir. Kullanilan bu trimpot, devrenin daha genis bir giris gerilimi araligi ile calismasini da saglamaktadir (3.7V-15V). Analog parcalar da yerlestirildikten sonra (sensor ve kalibrasyon POT'lari), devre tablasinin kutusuna tam olarak uydugundan emin olmak icin, ilk olcumler bu asamada yapilir.



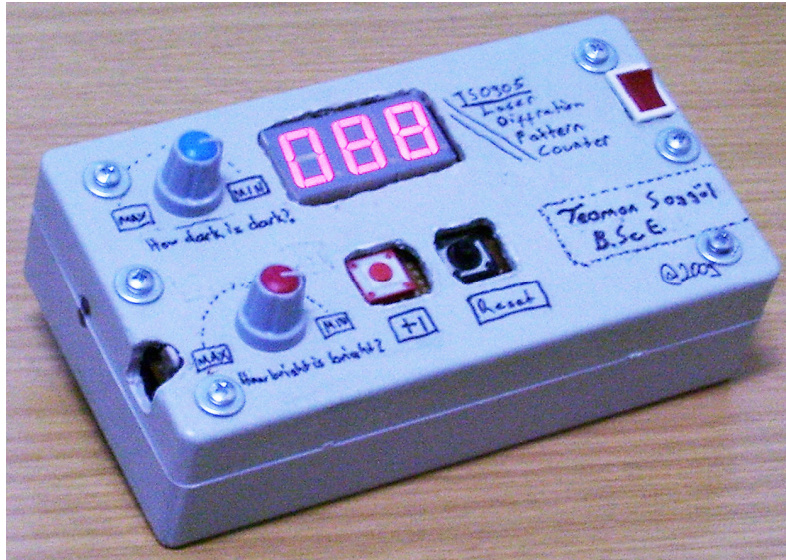
Şekil 4.3: Devre tablasinin arka kisimindeki baglantilar ve kutusundaki ilk hali.

Resim uzerinde gorulecegi uzere, butun baglantilar ayri kablolar ile lehimlenerek yapilmistir. Baski devre kullanilmamasinin nedeni, simulator asamasinda gorunmeyen hatalar ile uygulama asamasinda karsilasilirsa, gerektiginde baglantilarin kolaylikla degistirilebilmesi gerekliliginden ileri gelmektedir. Zaten bu yuzden bu tur devre tablalarina lehimlenebilir prototip tahtasi denmektedir.



Şekil 4.4: Kutunun on yuzundeki kesimler. Eski siyah tuslari ile birlikte.

Yukarida goruldugu gibi, son asamada kutu on yuzunde gerekli delikler acilir. Bu cihazin bir prototip tasarim oldugu dusunulerek, on paneldeki bu kesimler icin fazla zaman harcanmamistir. Bunun yerine devrenin islevselligi on planda tutulmustur. Seklin sag tarafinda gorulenler, devreyi guc kaynagina baglamak icin kullanılan baglanti kablolaridir. Tasarim asamasinda harici guc kaynagindan alinan guc, artik bu son asamada kullanim rahatligi acisindan kutu icine yerlestirilen sarj edilebilir piller ile saglanir.



Şekil 4.5: Lazer desen sayacini son hali.

Sekil 4.5 uzerinde gorulecegi uzere, sensor devresi kutunun sag tarafindaki ufak bosluktadir. Buraya istenilen filtre takilarak, olcum alinmak istenen isik turu disin kalanlar butunu ile suzulebilir. Ornegin basit bir infrared filtre konularak, sayacin sadece infrared isiklara tepki vermesi saglanabilir. Bu sayede belirtilen bir desenin sadece infrared ile gorus ozelligine sahip canlilar icin (ornegin bal arilari) gorunur veya sayilabilir olup olmadigi tespit edilebilir veya basitce bir kumandanin calisip calismadigi test edilebilir (kumandalar genel olarak infrared isik ile calisir).

Bölüm 5 Sonuc

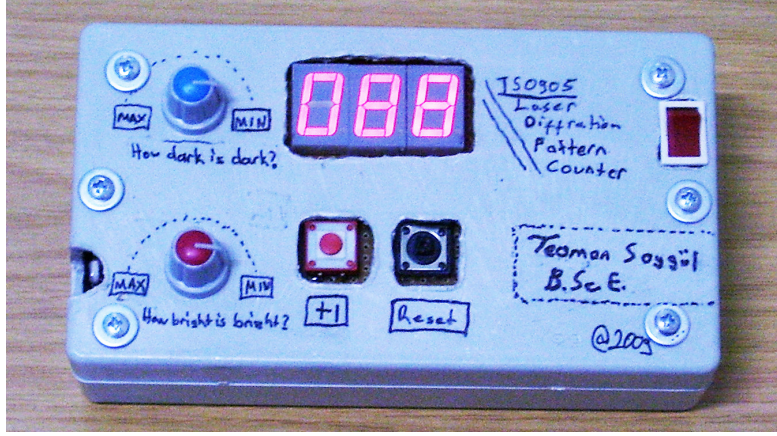
Sonuc itibari ile, bir önceki bölümde görüleceği üzere devrenin fiziksel tasarımı beklenilenden iyi sonuç vermiştir. Uzun süren işlevsellik testleri sırasında fark edilen birkaç hatanında giderilmesi ile (örneğin bazı özel durumlarda asiri güç tüketimi, bazı mekanik sorunlar vs.) sayac devresi verilen zaman zarfında olabilecek en iyi halini almıştır. Dizayn aşamasında algı hızının olabildiğinde yüksek tutulması sürekli olarak ana hedef olduğundan, sonuçta elde edilen devre 60 hareket / saniye gibi oldukça yüksek bir sayma kapasitesine sahip olmuştur (bu tam olarak 30 sayım / saniye manasına gelmektedir ki hemen hemen bütün uygulamalar için sayı atlama endisesi olmadan çalışma imkanı verir). Oldukça iyi düşünülmüş kalibrasyon ayarları ile devre, basta hayal edilenin çok çok ötesinde bir hassasiyette ölçüm alabilir hale gelmiştir. Güneş ışığı kadar parlak ambiyans ışığının var olduğu ortamlardan çok çok zayıf ışıklar ile çalışılan karanlık odalara kadar birçok aydınlatma seçeneği altında çalışma işlevi elde edilmiştir. Bunun doğal bir sonucu olarak, lazer desen sayac devresi olarak tasarlanan cihazın asıl amacının dışında birçok alanda da kullanılabilir oldukça versatil bir sistem olması sağlamıştır (örneğin metal yüzeyler üzerinde zamanla oluşmuş yıpranma desenlerinin sayılması, bir resimde kendinin tekrar eden şekillerin sayılması vs.). Sonuç itibari ile, bu projenin asıl amacı olan analog ve dijital elektronik devre elemanlarının birarada kullanarak işlevsel bir lazer desen sayacı yapma gayesi fazlasıyla gerçekleştirilmiştir.

En başta öğordüğümüz “basit teknikler kullanılarak gelişmiş analog ve dijital devreler arasında iyi bir bağlantı kurulabileceği” fikri de başarı ile hayata

gecirilmistir. Olabilecek en hizli tepki surelerine sahip olan analog sensor devresi ile dijital sayac devresinin temelini olusturan 4026 entegreleri arasinda, basit bir degisken direnc duzenegi ile beklenilenden daha iyi bir analog – dijital donusturucu / veri yolu devresi yapilmistir. Zaten bu degisken direncler, POT’lar seklinde secilerek sistemin kalibrasyon seceneklerinin temelini olusturmustur. Buna sonuca bakarak, dijital-analog donusturucu veya analog-dijital donusturucu gibi kompleks entegre devreler yerine basit yontemler ile de cok basarili analog – dijital devre baglantilarinin yapilabildigini rahatlikla soyleyebiliriz.

Ek 1 Kalibrasyon ve Kullanım Klavuzu

Cihazın en verimli şekilde kullanılabilmesi için, sayac işlevinin kullanmadan önce kalibre etmek en iyi sonucu verecektir. Bu amaç için cihaz üzerinde aşağıdaki şekilde görüleceği üzere iki adet kalibrasyon tusu bulunmaktadır.



Şekil E1.1: Mavi (karanlık) ve Kırmızı (parlaklık) ayarları.

Sayma işlemine başlamadan önce, şekilde görülen bu iki tusa da saat sonunun tersine en sola kadar çevirerek maximum üzerinden ters taraftan tekrar minimum'a kadar getirilir (şekilde görüldüğü üzere tuslar doğru tarafta minimumdadır. bu halde iken saat yönünün tersine gidebildiği kadar tuslar çevrilmelidir). İki tusta saat yönünün tersine son noktalarına kadar çevrildikten sonra, ölçüm alınacak sistem 1 konumuna getirilir. Örneğin bir lazer interferometre düzeneginin orta halkaları sayılacak ise, ortadaki halka en parlak olduğu konuma getirilir. Sistem ayarlandıktan sonra cihazın sensor kısmı, sayım yapılacak cisme veya perdeye olabildiğince yaklaştırılır. Tabi bunu yaparken, cisim üzerine düşen ışık bloke edilmemelidir. Bundan sonraki ilk adım, altta kırmızı kalibrasyon tusunu (parlaklık) yavaşca saat yönünde çevirmektir. Sayac ekranında görülen sayı bir arttığı anda çevirme işlemi durdurulmalıdır. Bu hali ile parlaklık ayarlığı, en küçük değişimlere bile tepki verecek hale getirilmiştir. Bundan sonraki adımda, aynı işlem mavi tus için tekrarlanır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, her iki tusun da sayılacak halka 1 (yani maximum parlaklık) konumunda iken aynı şekilde kalibre edilmesinin gerekliliğidir. Bu nedenle kırmızı (parlaklık) ayarını maximum ışıktaki kalibre ederken mavi (karanlık) ayarı da maximum ışıktaki kalibre edilir. Bu nedenle kalibrasyon işleminin butunu esnasında ışık kaynağı, sayılacak desen ve sayacın konumu hiç değiştirilmemelidir. Kalibrasyon işleminden sonra sayac "Reset" tusu ile resetlenerek ölçüm alınmaya başlanabilir. Tabi ölçüm alma işlemi sırasında da kalibrasyon sırasında kullanılan düzenek ayarları korunmalıdır.

Kaynaklar

- [1] *4026 Entegre pinout diyagramı*. Anonim, 2008.
< <http://en.wikipedia.org/wiki/File:4026-chip.png> >
- [2] Anonim. *4026 Counter and Display Decoder*. Wikipedia the Free Encyclopedi, 2009.
< http://en.wikipedia.org/wiki/4000_series#4026_counter_and_display_decoder >
- [3] John Hewes. *4026 Decade Counter and 7-segment Display Driver*. The Electronics Club, 2009.
< <http://www.kpsec.freeuk.com/components/74series.htm#4026> >
- [4] *Seven-segment Display*. Wikipedia the Free Encyclopedi, 2009.
< http://en.wikipedia.org/wiki/File:Seven_segment_02_Pengo.jpg >
- [5] Ken Bigelow. *Seven-segment Display*. Electronics-Lab.com, 2009.
< <http://www.electronics-lab.com/projects/test/014/7seg.gif> >
- [6] *Sensor Force 1.5KGF Push Button – IESP-12*. Digi-Key Electronic Part, 2009.
< <http://parts.digikey.co.uk/1/1/329284-sensor-force-1-5kgf-push-button-iesp-12.html> >
- [7] *Light Dependent Resistors (LDR)*. MUTR.co.uk, 2009.
< http://www.mutr.co.uk/product_info.php?products_id=265 >
- [8] *Pot 10K Ohm 0.5W Conduct – 308NPC10K, Honeywell Sensing and Control/Clarostat*. Digi-Key Electronic Part, 2009.
< <http://parts.digikey.com/1/parts/indexb6964.html> >
- [9] *Proteus VSM Suite v7.4 SP3*. Labcenter Electronics, 2009.
< <http://www.labcenter.co.uk/> >