

## **PWM SİNYALİNİN DUTY CYCLE SÜRESİNİN %0 İLE %100 ARASINDA DEĞİŞİMİ İLE DC MOTORUN HASSAS KONTROLÜ**

**Oğuz YAZ<sup>1</sup>, Ozan KARAKULAK<sup>2</sup>, Erman KÖYBAŞI<sup>3</sup>,  
Sabri BİCAKCI<sup>4</sup>, Can Candan<sup>5</sup>, Davut AKDAŞ<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>[oguzyaz@bau.edu.tr](mailto:oguzyaz@bau.edu.tr) Balıkesir Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Balıkesir

<sup>2</sup>[ozankarakulak@bau.edu.tr](mailto:ozankarakulak@bau.edu.tr) Balıkesir Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Balıkesir

<sup>3</sup>[koybasi@balikesir.edu.tr](mailto:koybasi@balikesir.edu.tr) Balıkesir Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Balıkesir

<sup>4</sup>[sbicakci@balikesir.edu.tr](mailto:sbicakci@balikesir.edu.tr) Balıkesir Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Balıkesir

<sup>5</sup>[ccandan@kkk.tsk.tr](mailto:ccandan@kkk.tsk.tr) 6. Ana Bakım Merkez Komutanlığı, Balıkesir

<sup>6</sup>[davut\\_akdas@yahoo.co.uk](mailto:davut_akdas@yahoo.co.uk) Balıkesir Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Balıkesir

### **ÖZET**

Bu çalışmada, PWM (Pulse Width Modulation) sinyalinin Duty Cycle (görev süresi) zamanının %0 ile %100 arasında değişimi ile dc motorun hassas kontrolü işlemi teorik ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan kontrol devresi Ters Sarkaç Kontrol Deney Seti'nde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. İlk önce devrenin istenilen hassasiyette olabilmesi için eleman seçimine yönelik araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucu kullanılacak elemanlar belirlenmiş ve devre oluşturulmuştur. Çeşitli benzetim programları kullanılarak devrenin benzetimi yapılmış ve hataları giderilmiştir. Devrenin doğru çalıştığı gözlemlendikten sonra bilgisayar yardımı ile baskı devresi çizilmiştir. Çizilen baskı devrenin imalatı yapıp elemanları lehimleme işlemine geçilmiştir. Devre üzerine eleman yerleşimi tamamlanınca devrenin deney setine montajı yapılarak çalışması gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** PWM, Duty Cycle, Dc Motor, H-Bridge.

### **ABSTRACT**

In this study, precise control of dc motor with the change of Duty Cycle of PWM (Pulse Width Modulation) signal between 0% and 100% was carried out experimentally and theoretically.

The control circuit is designed to be used with the Inverted Pendulum Control Experiment Set. First, component research for the circuit to be in the desired accuracy has been made. After research components to be used have been identified and the circuit was built. Simulation of the circuit was made using a variety of programs and errors were corrected. After observing the correct operation of the circuit, printed circuit board is drawn with the use of computer. Manufacturing of the printed circuit board and soldering of the components have been made. Finally when component placement is finished circuit has been installed to the experiment set and observed in action.

**Keywords:** PWM, Duty Cycle, Dc Motor, H-Bridge.

## 1. GİRİŞ

Hassas işlemler yapan cihazlar için konum kontrolünün önemi büyüktür. Endüstride en yaygın olarak kullanılan motor türlerinden biri DC motorlardır. DC motorlar genellikle PWM metodu ile sürülürler. Motorun gideceği konumu küçük hatalar ile takip etmesi bu PWM sinyalinin çözünürlüğüne yani ne kadar hassas değerler alabilmesine bağlıdır. Tabii kullanılacak DC motorun da bu hassas sinyal değerlerine cevap verebilecek nitelik ve kalitede olması gerekir.

Piyasada bulunan birçok mikro denetleyici ve mikroişlemciler kendi bünyelerinde PWM sinyali üretmektedirler. Fakat bu PWM sinyali istenildiği gibi hassas olamamaktadır, yani Duty Cycle süresi tam olarak %0 ve %100 olamamaktadır. Yapmış olduğumuz devre analog olarak çalıştığı için bu Duty Cycle değerlerine ulaşabilmektedir. Böylece mikro denetleyici ve mikroişlemcilerin yapamayacağı kadar hassas işlemleri, tasarlamış olduğumuz devre kolaylıkla yapabilmektedir.

## 2.DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONU (PULSE WIDTH MODULATION PWM)

PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu), üretilecek olan darbelerin, genişliklerini kontrol ederek, çıkışta üretilmek istenen analog elektriksel değer veya sinyalin elde edilmesi tekniğidir. PWM elektrik ve elektronikte birçok alanda, farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Telekomünikasyon, güç, voltaj düzenleyiciler, ses üreticileri veya yükselteçler gibi çeşitli uygulama alanları ve farklı uygulamaları bulunmaktadır. Herhalde günümüzde PWM'in en çok kullanıldığı yer, güç kaynaklarıdır. SMPS (Switched mode power supply) [1], güç kaynakları, düzenlenecek olan çıkış voltajını bu teknikten yararlanarak elde etmektedirler. Bu sayede, yüksek akım ve düşük voltajlı güç edinmeleri için, transformatörlerden çok daha etkin ve çok daha küçüklerdir. Bilgisayarınızın kasasındaki güç kaynağını düşündüğünüzde, 350 Wattlık çıkış gücüne sahip olan bir güç kaynağının nasıl bu kadar küçük ve etkin tasarlandığının cevabı SMPS olmasıdır.

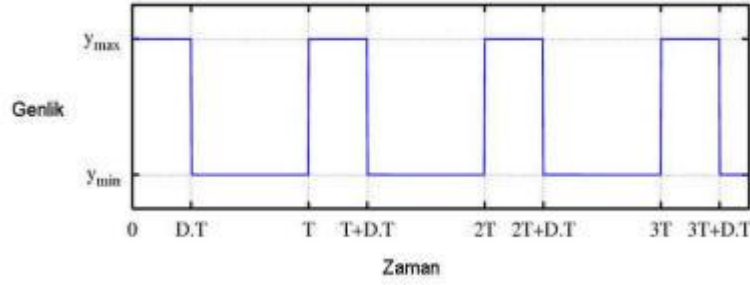
### 2.1 Temelleri

Üretilen kare dalga darbe sinyallerinin genişliklerinin ortalaması, çıkışta üretilen analog değer elde edilmesini sağlar. Şekil 1'de kare dalga gösterilmiştir. Bu şekil üzerinden açıklamak istersek;

Ortalama sinyal,

$$\bar{y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (1)$$

- f(t) : Kare Dalga'nın Frekansı (Hz)  
 $y_{min}$  : En düşük genliğin değeri  
 $y_{max}$  : En yüksek genliğin değeri  
 D : Sinyal Oranı (Duty Cycle)



Şekil 1. Kare dalga

$f(t)$  kare dalga olduğundan  $f(t)$ ,  $y_{max}$  için

$$0 < t < D \cdot T \quad (2)$$

ve  $y_{min}$  için

$$D \cdot T < t < T \quad (3)$$

değerlerini alabilir.

Buradan,

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{1}{T} \left( \int_0^{DT} y_{max} dt + \int_{DT}^T y_{min} dt \right) \\ &= \frac{D \cdot T \cdot y_{max} + T(1-D)y_{min}}{T} \\ &= D \cdot y_{max} + (1 - D) y_{min} \end{aligned} \quad (4)$$

elde edilir.

Yukarıda verilen formül genellikle  $y_{min} = 0$  iken

$$\bar{y} = D \cdot y_{max} \quad (5)$$

olarak kullanılır. Görüldüğü gibi elde edilecek ortalama değer direk sinyal oranına (duty cycle) bağlıdır [2].

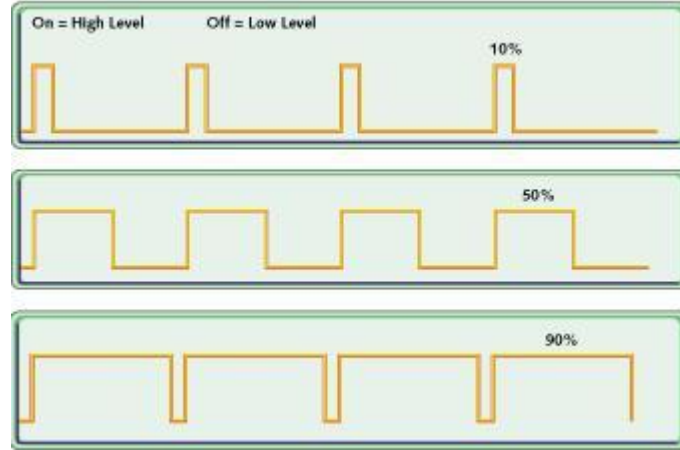
## 2.2 Sayısal Kontrol

PWM tekniği, motor sürücülerde, voltaj düzenleyicilerde, telekomünikasyon kodlama ve çözme teknikleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır. PWM analog devrelerin sayısal çıkışlarla kontrol edilmelerinde kullanılan en güçlü tekniktir. Piyasada bulunan bir çok farklı mikrodenetleyici pwm modülü içermektedir. Bu PWM modülü, frekans ve sinyal oranı programlanarak çalıştırılabilir.

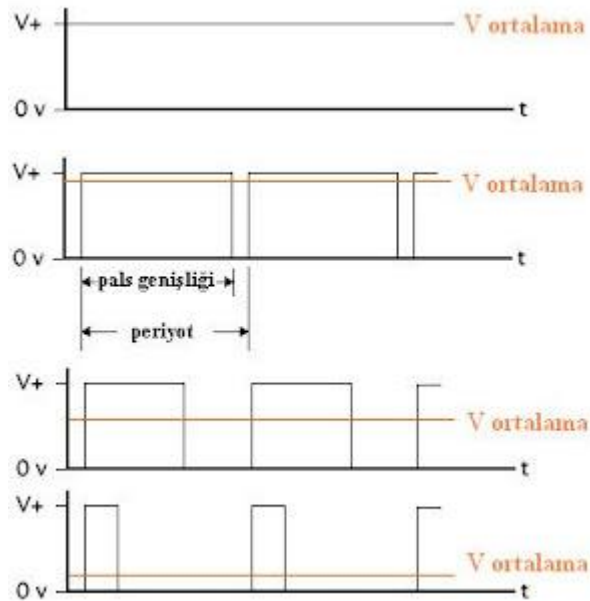
PWM ile üretilebilecek çeşitli oranlar Şekil 2'de verilmiştir. Burada en üstte verilen grafik, Duty Cycle %10, ortadaki %50, alttaki ise %90 için çizilmiştir. Bu oranlarla üretilecek olan analog sinyal değeri, örneğin 9 V giriş değerinde %10 için 0.9V, %50 için 4.5V ve %90 için 8.1 V olacaktır.

Elbette üretilen sinyalin frekansı da göz ardı edilmemelidir. Çok düşük bir frekans ile üretilen darbe sinyalleri ve bunlarla kontrol edilen bir anahtar ile kontrol edilen bir lambada, lambanın yanma ve

sönme zamanları hissedilebilir. Bu durum size ışığın şiddetinin değişikliğinden öte, titretme şeklinde görülecektir. Bunu engellemek için anahtarlama frekansı yükseltilmelidir. Genellikle uygulamalarda, 1Khz-200 Khz arasındaki frekanslarda çalışılır.



Şekil 2. Farklı duty cycle (Görev Süresi) süreleri



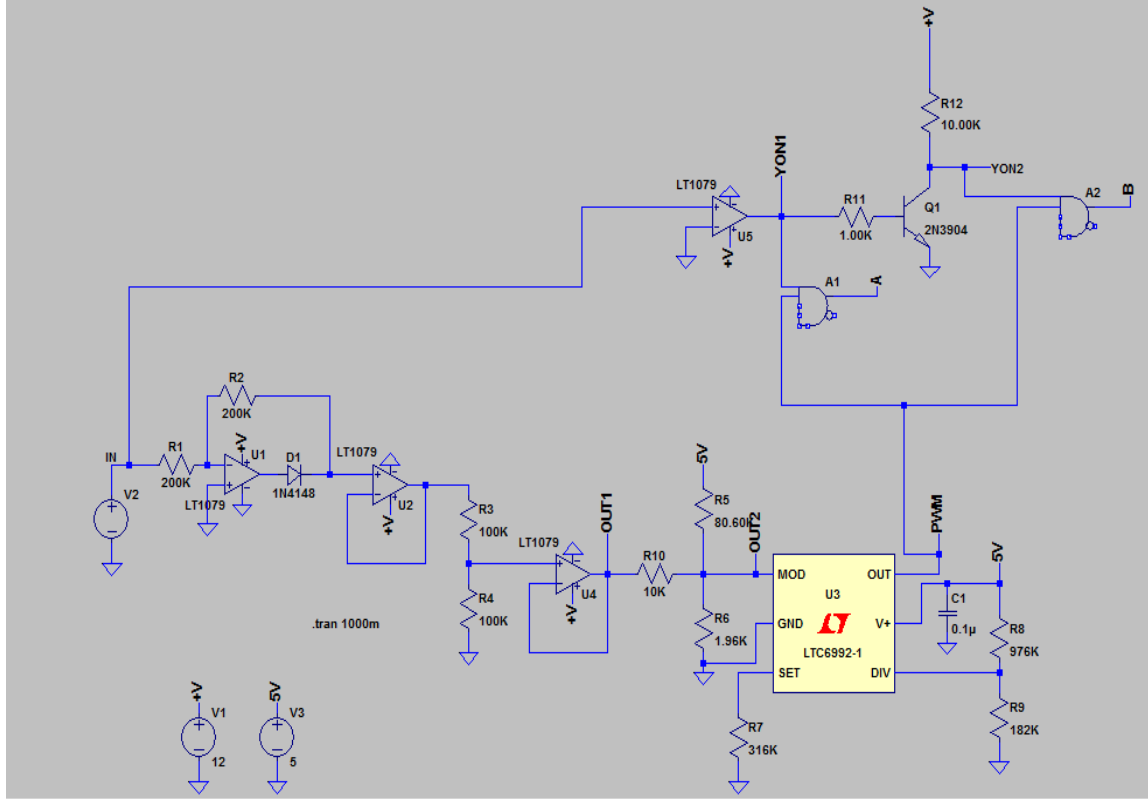
Şekil 3. Duty cycle in değişmesinin ortalama gerilime etkisi

Şekil 3'de PWM sinyalimizin değişen Duty Cycle (Kullanım Oranı) a göre ortalama gerilimdeki değişimi görülmektedir.

### 3. PWM DALGASI ÜRETİMİ

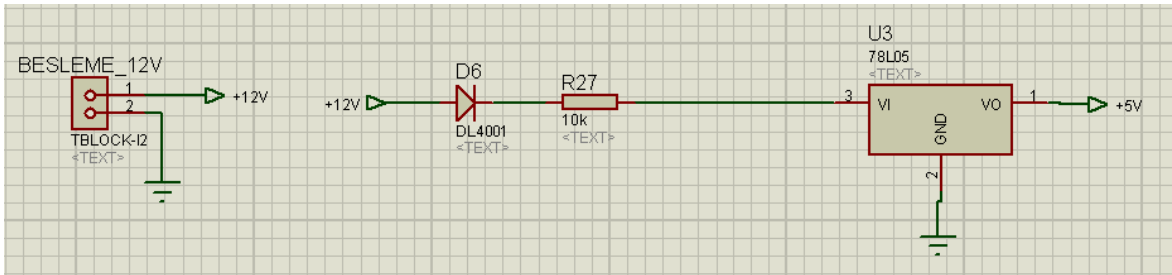
Yapmış olduğumuz devre analog giriş kısmından verilen voltaja göre Duty Cycle süresi %0 ile %100 arasında değişebilen hassas PWM sinyalleri üretmektedir. Devrede çok küçük miktarlarda

gerilim değişimlerini algılayıp işlem yapabilen özel op-amp'lar kullanılmıştır. Linear Technology firmasına ait LTspice IV [3] benzetim programı kullanılarak devrenin benzetimi yapılmıştır. Şekil 4'de bu çizim gösterilmektedir. Devrenin burada doğru çalıştığı gözlemlenince baskı devresini oluşturmak için Proteus [4] programı ile çizime geçilmiştir.



Şekil 4. LTspice IV Programı ile Devrenin Simule Edilmesi

İlk olarak besleme girişine uygulanan 12V, 7805 [5] entegresi ile 5V'a düşürülmüştür. Şekil 5'de bu bağlantı gösterilmektedir.

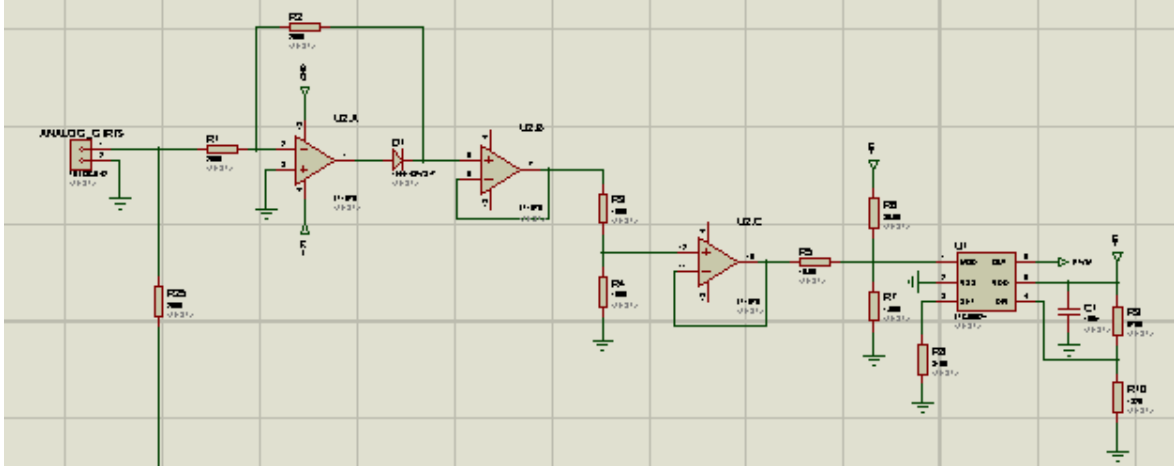


Şekil 5. Besleme Voltajının 5V'a düşürülmesi

Devremizde bulunan analog giriş kısmına uygulanan sinyalin LT1079 [6] op-amp'ı ile mutlak değeri alınmıştır [7]. Mutlak değeri alınan bu sinyalimiz gerilim izleyici op-amp devresi ile izole edilmiştir. Bu gerilim izleyici devresinin özelliği, yüksek giriş empedansından dolayı devreden akım çekmeden, sinyali daha kararlı hale getirmesidir. Gerilim izleyici devresinden sonra dirençlerden oluşan gerilim bölme devresi ile sinyalimiz 5V seviyesine indirilmiştir. Bu aşamadan sonra sinyal tekrar gerilim izleyici devresine girilerek izole edilmiştir.

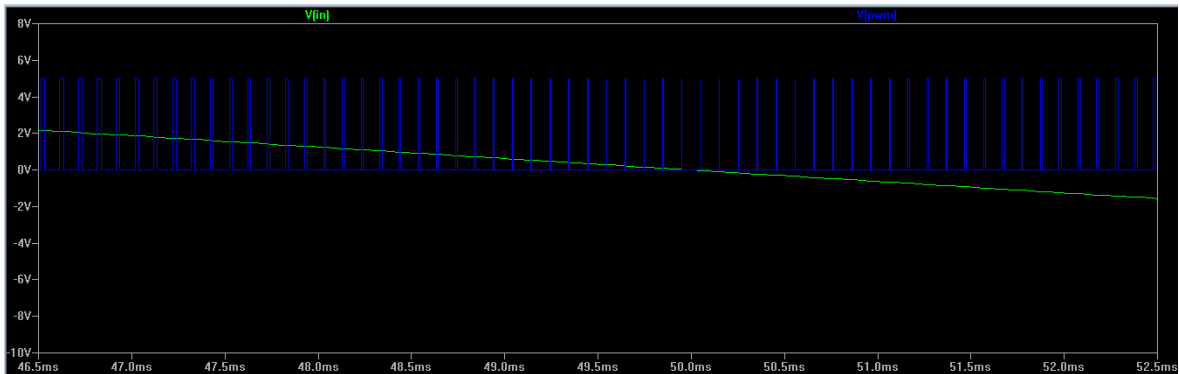
29-30 Kasım 2012- Balıkesir

Elde edilen bu sinyal LTC6992-1 [8] entegresine girilerek yüksek hassasiyetli PWM sinyali oluşturulmuştur. LTC6992-1 entegresinin yüksek hassasiyetle sinyal üretmesi için özel bağlantı şekli oluşturulmuş ve özel dirençler kullanılmıştır. Bu bağlantı Şekil 6' da gösterilmektedir.

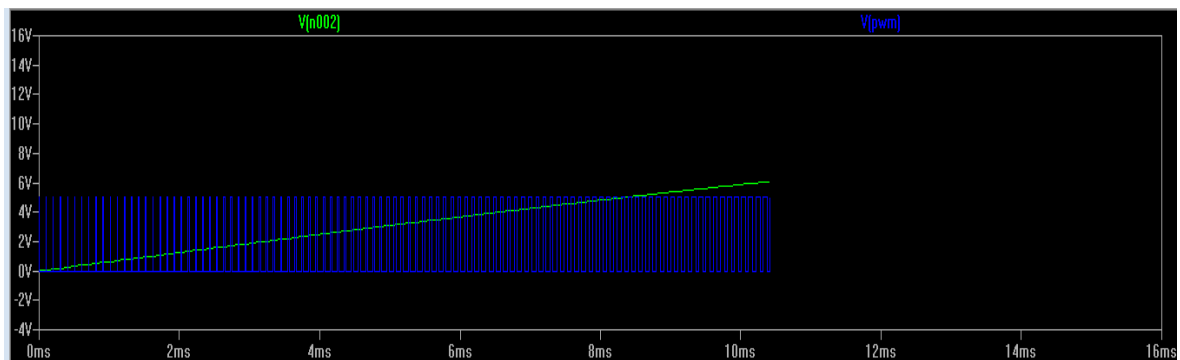


Şekil 6. PWM in Oluşturulması

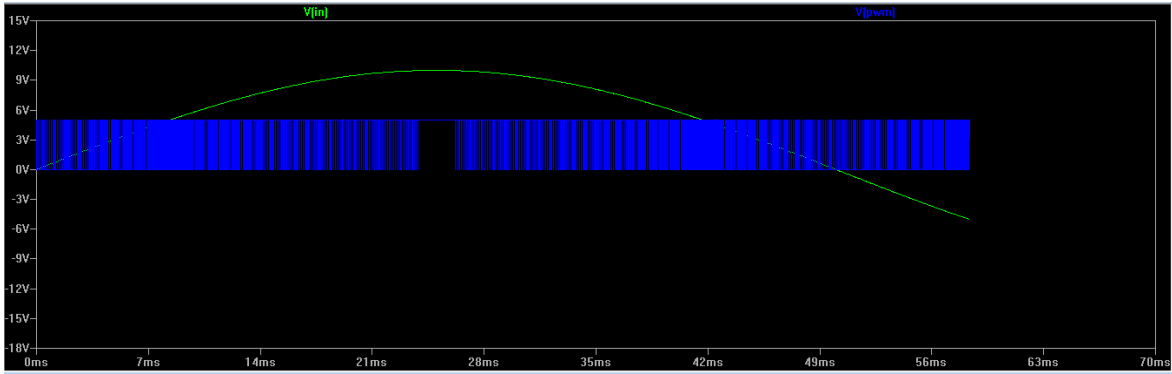
Oluşturulan yüksek hassasiyetli PWM sinyalinin Duty Cycle süresinin girişten verilen analog sinyale göre %0 , ara değerlerde ve %100 değerinde olması Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 7. Duty Cycle in girişteki değerin minimum noktasında %0 olması

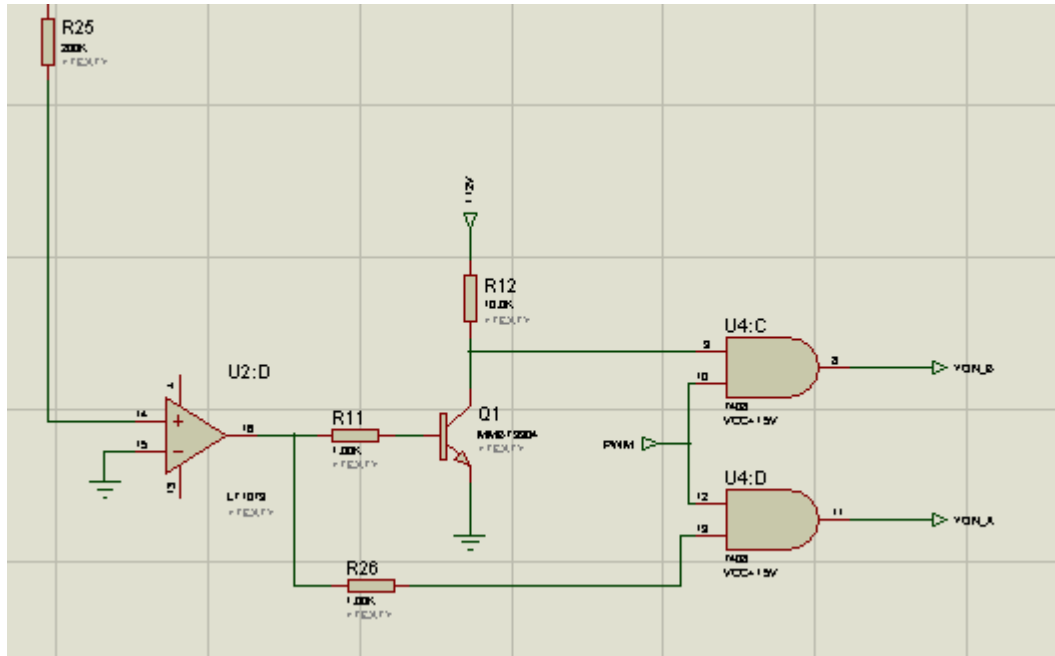


Şekil 8. Duty Cycle in ara değerler alması



Şekil 9. Duty Cycle in girişteki değerin maksimum noktasında %100 olması

Analog girişten gelen sinyal yine op-amp kullanılarak motorun yönünün tayin edilmesinde kullanılmıştır. İlk olarak bu analog sinyal op-amp a girilerek izole edilmiştir. Elde edilen sinyal transistöre ve AND kapısına [9] dağıtılmıştır. Daha önceden üretmiş olduğumuz PWM sinyali de bu AND kapılarına girilerek buradan elde edilen çıkış sinyali motora yön bilgisi olarak gönderilmiştir. AND kapısı olarak 74LS08 [10] entegresi kullanılmıştır. Transistörün buradaki kullanıma sebebi yükseltmek değil yön tayin etmektir. Yani transistör sayesinde iki AND kapısı aynı anda aktif olmamaktadır. Eğer aynı anda iki AND kapısı da aktif olursa bu kapılardan çıkacak olan yön sinyalleri mosfetleri süreceği için mosfetlerin yanmasına ve devrenin kısa devre olmasına neden olur. Bu tehlikeli duruma dikkat edilmelidir. AND kapıları ile yönün belirlenmesi Şekil 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. AND kapıları ile motorun yönünün belirlenmesi

Üretmiş olduğumuz PWM sinyalinin frekansı 10 KHz dir. Bu değerin seçilmesinde çeşitli etkenler mevcuttur.

$$2 * \pi * f * L \gg R$$

(6)

F = Frekans (Hz)

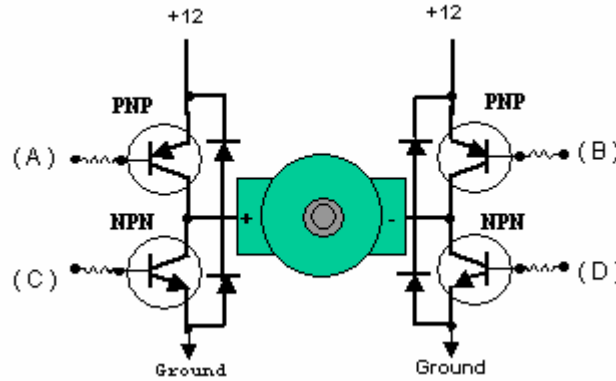
L = Motor İndüktansı (H)

R = Motor İç Direnci (R)

Denklemden de ifade edildiği gibi frekans ile motor indüktansı ve pi sayısının çarpımı motor iç direncinden büyük olmalıdır. Bu büyüklük 10 kat seviyesinde idealdir. Bizim devremizde frekans 10kHz dir. Bu frekans değerinden daha az değerde sinyal uyguladığımızda motorumuzdan manyetik çıktığını gözlemledik. Daha yüksek frekanslar ise motorun gücünü düşürme, ısı kayıplarını artırma gibi kötü sonuçlar doğurmaktadır. Bu yüzden 10 kHz değerinde karar kıldık.

#### 4. H-BRIDGE MOTOR SÜRÜCÜ

DC motorun uçlarını bir gerilim kaynağına bağlarsak, motor bir yönde dönmeye başlar, DC motorun uçlarını gerilim kaynağına ters olarak bağladığımızda ise motorun ters yöne hareket ettiğini görürüz. DC motorun yön kontrolünü sağlayabilmek için H-Bridge (H-Köprü) denilen bir yöntem geliştirilmiştir. Devre görüntü olarak H harfine benzediği için H-Bridge denmiştir. H-Bridge genel olarak 4 adet transistör, diyot ya da MOSFET ile gerçekleştirilen, motorun iki yönlü dönebilmesini sağlayan bir yöntemdir.



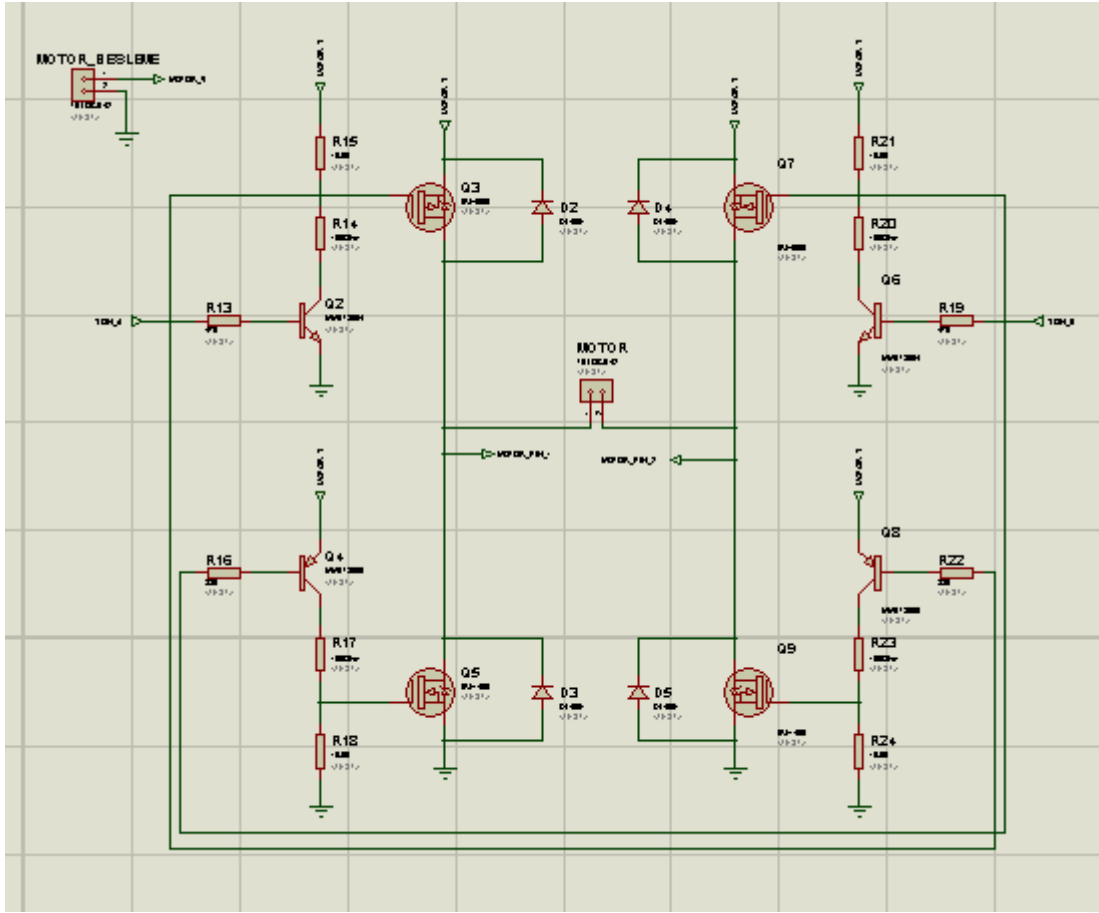
Şekil 7. H-Bridge Yapısı

Yukarıdaki şekilde 4 adet transistörle yapılmış bir H-Bridge devresi görülmektedir. Bu devrede 2 adet PNP ve 2 adet NPN transistör kullanılmıştır. Bu devrede A=1, D=1, B=0 ve C=0 yapıldığında motor sağa doğru dönecektir. Ters durumda A=0, D=0, B=1 ve C=1 yapıldığında ise motor sola doğru dönecektir. A=0, D=1, B=0, C=1 ve A=1, D=0, B=1, C=0 durumlarında ise motor fren yapacaktır.

A=1, D=0, B=0, C=1 ve A=0, D=1, B=1, C=0 durumlarında ise 12V ile toprak kısa devre olduklarından böyle bir durum devre için çok sakıncalıdır. H-Bridge yöntemi kullanılırken hiçbir şekilde bu iki durumun oluşmasına fırsat verilmemelidir. Tablo 1 'de H-Bridge yön tanımlamaları verilmiştir.

Tasarlanan devrede 2 adet PNP IRF4905 [11] ve 2 adet NPN IRF1405 [12] mosfetleri kullanılmıştır. Daha önceden üretmiş olduğumuz yön sinyallerini transistör ile sürerek mosfetlere uygulandı. Şekil 8'de tasarlanmış olduğumuz devre gösterilmektedir.





Şekil 8. Tasarlanmış Olduğumuz H-Bridge

Tablo 1. H-Bridge Yön Tanımlamaları

A	B	C	D	Fonksiyon
1	0	0	1	İleri Dönme
0	1	1	0	Geri Dönme
1	1	0	0	Fren
0	0	1	1	Fren
1	0	1	0	Kısa Devre (!)
0	1	0	1	Kısa Devre (!)

Motorda açma ve kapama anlarında indüklenerek gerilim çoğu zaman besleme geriliminin bile üzerine çıkabileceğinden böyle bir durumda mosfetlerin üzerinden ters akım geçecek ve mosfetler yanacaktır. Bu durumdan korunmak için mosfetlere hızlı koruma diyotları bağlanmıştır.

Devrelerin simülasyonu yapıp hataları giderildikten sonra yine Proteus programının Ares modülü ile devrenin baskı devresi çizilmiştir.

Devrenin elemanları lehimlendikten sonra devrenin Ters Sarkac Denet Seti'ne montajı yapılmıştır. Yapılan ilk denemelerde devrede birkaç hata gözlemlenmiştir. Yapılan çeşitli analizlerden sonra bu hataların motorun ani yön değişimlerinde meydana getirdiği manyetik alandan kaynaklandığı belirlenmiştir. Motorun uçlarına yüksek kapasitede elektrolitik kondansatör bağlanarak bu sorun çözülmüştür.

Devremizin dış etkenler tarafından oluşturulan manyetik alandan da etkilenmemesi için Faraday Kafesi [13] yapılmıştır. Böylece devre tam korunaklı hale getirilmiştir.

## 5. SONUÇ

Sonuç olarak 170 Amperlik çok yüksek hassasiyette konum kontrolü yapabilen bir devre meydana getirilmiştir. Sistem çok hassas olarak çalışmasına karşın, yüksek amperli motorlar ile de çalışabilecek kapasitede tasarlanmıştır. Birçok DC motorda çok başarılı bir şekilde devre kullanılmıştır.

Analog sinyal kullanılması ile istenilen hassasiyeti sağlayabilmektedir. Ayrıca sistem analog olarak çalıştığı için manyetik gürültüden etkilenmesi dijital sistemlere göre daha azdır. Piyasadaki mevcut olan aynı görevi yapan pahalı devrelere nazaran, maliyeti çok düşük bir devre uygulamaya konmuştur.

En ufak denge kayıplarını bile algılayıp dengeyi sağlayacak yönde motoru döndürmesi devrenin başarılı bir çalışma olduğunun göstergesidir.

## 6. KAYNAKÇA

- [1] ÖZTÜRK, F., Anahtarlama Güç Kaynakları, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, (2009).
- [2] <http://www.antrak.org.tr/gazete/022007/tolga-tastan.html> (Erişim Tarihi : 16.05.2012)
- [3] <http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice> (Erişim Tarihi : 01.10.2012)
- [4] <http://www.labcenter.com/index.cfm> (Erişim Tarihi : 20.11.2011)
- [5] <http://search.datasheetcatalog.net/key/7805> (Erişim Tarihi : 05.12.2011)
- [6] <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/10789fe.pdf> (Erişim Tarihi : 21.02.2012)
- [7] <http://circuits.linear.com/457> (Erişim Tarihi : 16.05.2012)
- [8] <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/69921234fc.pdf> (Erişim Tarihi : 21.02.2012)
- [9] T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP, **Elektrik Elektronik Teknolojisi, Lojik Devreler**, 38, Ankara, (2007).
- [10] <http://search.datasheetcatalog.net/key/74LS08> (Erişim Tarihi : 21.02.2012)
- [11] <http://search.datasheetcatalog.net/key/IRF4905> (Erişim Tarihi : 22.02.2012)
- [12] <http://search.datasheetcatalog.net/key/IRF1405> (Erişim Tarihi : 22.02.2012)
- [13] [http://tr.wikipedia.org/wiki/Faraday\\_kafesi](http://tr.wikipedia.org/wiki/Faraday_kafesi) (Erişim Tarihi : 08.03.2012)