

DC MOTORLA ÇALIŞAN MOTORUN SİMÜLİNK ORTAMINDA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ, MODELLENMESİ, HIZ KONTROLÜ VE SİMÜLASYONU

SİMÜLİNK BASED DETERMINATION, MODELING, SPEED CONTROL AND SIMULATION OF DC WORKING MOTOR

Arda Can İREN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Zonguldak, Türkiye
Acan.iren@mf.karaelmas.edu.tr

Özet

Yapılan bu çalışma ile birlikte DC ile çalışan bir motorun bilgisayar ortamında incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Başlangıç olarak hedeflenen, doğru akım motorunun parametrelerini belirlemek ve bu parametrelere uygun modellenmesini ve simülasyonunu gerçekleştirmek olmuştur. Belirlenen parametreler ve oluşturulan simülasyonlar sonucu elde edilen veriler kaydedilmiş ve bu çalışmada paylaşılmıştır. Bu süreçte Matlab Simulink uygulamasından yararlanılmıştır.

Anahtar kelimeler: DC motor, Simulink, PID denetleyici, Parametre belirleme, Modelleme

Abstract

With this study, a DC-operated motor has been examined in a computer environment. Initially, the aim was to determine the parameters of the direct current motor and to perform the modeling and simulation in accordance with these parameters. The data obtained as a result of the determined parameters and the simulations created were recorded and shared in this study. In this process, Matlab Simulink application was used.

Keywords: DC motor, Simulink, PID controller, Parameter specification, Modelling

1.Giriş

Sistem tanılama, gerçek sistemin giriş-çıkış ölçümleri kullanılarak oluşturulan dinamik bir sistemin modelinin elde edilmesi anlamına gelir. Bu sistemde hedeflenen belirli bir sisteme uygulanacak veri giriş-çıkış ilişkisini kullanarak güvenilir bir matematiksel model oluşturulmasıdır. Bu model ile sistem davranışlarını öngörebilmek ve istenen şekilde kontrol edip yönlendirebilmek amaçlanmaktadır. Sistem tanılama süreci, deneysel planlama ve veri

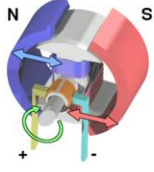
toplama, model oluşturma, bilinmeyen sistem parametrelerinin tahmini ve bunların sonucunda elde edilen çıktıların karşılaştırılması adımlarını içerir. Bu sayede, sistem modeli bilinir hale gelir, sistem karakteristikleri formüle edilir ve yüksek performanslı kontrol sistemlerinin tasarımı ve oluşturulması için temel oluşturulur.[1]

2. DC Motorun Yapısı

Bu çalışmada hedeflenen sonuca ulaşmak adına gerekli sınırlar ve parametreler bulunmalıdır. Bu amaçla öncelikle DC motorun yapısını iyi bir şekilde anlamak gerekmektedir.

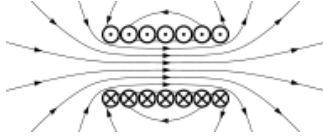
Bir DC motor, doğru akım (DC) elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir elektrik motorudur. Bu doğrultuda en yaygını, bobinde akan akım nedeniyle indüklenen manyetik alanların ürettiği kuvvetlere dayanır. Neredeyse tüm DC motor türleri, motorun bir kısmındaki akımın yönünü periyodik olarak değiştirmek için elektromekanik veya elektronik şeklinde bazı dahili mekanizmalara sahiptir. DC motorlar, mevcut doğru akım aydınlatma güç dağıtım sistemlerinden beslenebildikleri için yaygın olarak kullanılan motorların ilk biçimidir. Bir DC motorun hızı, değişken bir besleme voltajı kullanılarak veya alan sargılarındaki akımın gücü değiştirilerek geniş bir aralıkta kontrol edilebilir. Küçük DC motorlar aletlerde, oyuncaklarda ve cihazlarda kullanılır. Taşınabilir elektrikli aletler ve cihazlar için kullanılan hafif fırçalanmış bir motor olan universal motor, doğru akım ve alternatif akımla çalışabilir.

Daha büyük DC motorlar şu anda elektrikli taşıtların, asansörlerin ve vinçlerin tahrikinde ve çelik haddehanelerin tahriklerinde kullanılmaktadır. Güç elektroniğinin ortaya çıkışı, birçok uygulamada DC motorların AC motorlarla değiştirilmesini mümkün kılmıştır. **Şekil 1'**de DC motorun iki kutuplu rotor (armatür) ve sabit mıknatıs statorlu fırçalanmış bir elektrik motorunun çalışması gösterilmektedir.



Şekil 1

Elektromanyetik motorlar; İçinden akım geçen bir tel bobini, bobinin merkeziyle hizalanmış bir elektromanyetik alan oluşturur. Bobinin ürettiği manyetik alanın yönü ve büyüklüğü, içinden geçen akımın yönü ve büyüklüğü ile değiştirilebilir. **Şekil 2**'de buna örnek olarak çalışma alanı gösterilmiştir.



Şekil 2

Basit bir DC motor, statorda sabit bir mıknatıs setine ve manyetik alanı yoğunlaştıran yumuşak bir demir çekirdeğin etrafına sarılmış bir veya daha fazla yalıtılmış tel sargısına sahip bir armatüre sahiptir. Sargılar genellikle çekirdeğin etrafında birden fazla dönüşe sahiptir ve büyük motorlarda birkaç paralel akım yolu olabilir. Tel sargısının uçları bir komütatöre bağlanır. Komütatör, her bir armatür bobinine sırayla enerji verilmesini sağlar ve dönen bobinleri fırçalar aracılığıyla harici güç kaynağına bağlar. (Fırçasız DC motorlar, DC akımını her bir bobine açan ve kapatan elektroniklere sahiptir ve fırçaları yoktur.) Bobine gönderilen toplam akım miktarı, bobinin boyutu ve etrafına sarıldığı şey, oluşturulan elektromanyetik alanın gücünü belirler. Belirli bir bobinin açılıp kapanma sırası, etkili elektromanyetik alanların hangi yöne işaret ettiğini belirler. Bobinleri sırayla açıp kapatarak dönen bir manyetik alan oluşturulabilir. Bu dönen manyetik alanlar, motorun sabit kısmındaki (stator) mıknatısların (sürekli veya elektromıknatıslar) manyetik alanlarıyla etkileşerek armatür üzerinde dönmeye neden olan bir tork oluşturur. Bazı DC motor tasarımlarında, stator alanları, motor üzerinde daha fazla kontrol sağlayan kendi manyetik alanlarını oluşturmak için elektromıknatıslar kullanır. Yüksek güç seviyelerinde, DC motorlar neredeyse her zaman basınçlı hava kullanılarak soğutulur. Farklı sayıda stator ve armatür alanı ve nasıl bağlandıkları, farklı doğal hız ve tork düzenleme özellikleri sağlar. Bir DC motorun hızı, armatüre uygulanan voltajı değiştirilerek kontrol edilebilir. Armatür devresindeki veya alan devresindeki değişken direnç, hız kontrolüne izin verir. Modern DC motorlar genellikle, DC akımını etkili bir düşük gerilime sahip olan açma ve kapama döngülerine 'keserek' gerilimi ayarlayan güç elektroniği sistemleri tarafından kontrol edilir.

Seri sargılı DC motor, en yüksek torkunu düşük hızda geliştirdiğinden, genellikle elektrikli lokomotifler ve tramvaylar gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır. DC motorlar, doğrudan şarj edilebilir pillerden çalışarak, ilk elektrikli araçlar ve günümüzün hibrit arabaları ve elektrikli arabalarının yanı sıra bir dizi kablosuz aletin çalıştırılması için hareket gücü sağlar. Günümüzde DC motorlar, oyuncaklar ve disk sürücüler gibi küçük uygulamalarda veya çelik haddehaneleri ve kağıt makinelerini çalıştırmak için büyük boyutlarda hala bulunmaktadır. Aynı olarak uyarılmış alanlara sahip büyük DC motorlar, genellikle yüksek tork ve tristör sürücülerini kullanılarak yumuşak hız kontrolü için maden vinçleri için sarıcı sürücülerle birlikte kullanıldı. Bunlar artık değişken frekanslı sürücülere sahip büyük AC motorlarla değiştirilmiştir. [2]

2.1 DC Motorun Parametreleri

DC motorun matematiksel hesaplamalarını yapmaya başlamadan önce parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreleri iyice anlamak, parametreleri belirlemek adına büyük önem taşımaktadır. Nominal Gerilim (V): DC motorun tasarlandığı ve nominal olarak çalışması gereken gerilim seviyesidir. Bu parametrelere örnek olarak;

1. Nominal Akım (I): DC motorun tasarlandığı ve nominal olarak çekeceği akım seviyesidir.

2. Nominal Güç (P): DC motorun tasarlandığı ve nominal olarak üreteceği güç miktarıdır.

Genellikle watt (W) birimiyle ifade edilir.

3. Devir Hızı (N): DC motorun dönme hızıdır. RPM (devir/dakika) veya rad/s (radyan/saniye) birimiyle ölçülür.

4. Tork Sabiti (Kt): Tork sabiti, motorun torkunu akıma orantılı olarak belirleyen bir parametredir. Genellikle Nm/A (Newton-metre/Ampere) birimiyle ifade edilir.

5. Hız Sabiti (Ke): Hız sabiti, motorun hızını gerilime orantılı olarak belirleyen bir parametredir. Genellikle rad/s/V (radyan/saniye/Volt) birimiyle ifade edilir.

6. Direnç (R): DC motorun armatür direncidir. Genellikle ohm (Ω) birimiyle ifade edilir.

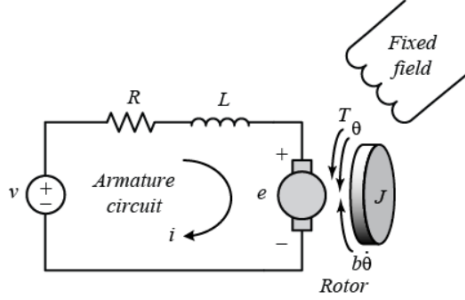
7. Endüktans (L): DC motorun armatür endüktansıdır. Genellikle henry (H) birimiyle ifade edilir.

8. Moment Sabiti (Km): Moment sabiti, motorun torkunu manyetik akıma orantılı olarak belirleyen bir parametredir. Genellikle Nm/A (Newton-metre/Ampere) birimiyle ifade edilir.

9. Verimlilik (η): DC motorun enerji verimliliğini gösterir. Yani, elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüşümündeki etkinlik seviyesidir. Genellikle yüzde (%) olarak ifade edilir.

2.2 DC Motorun Matematiksel Hesaplamaları

Parametrelerin belirlenmesi için örnek olarak DC motorlarda yaygın olarak kullanılan armatür devresi seçilmiştir. Bu devre **Şekil 3**'de gösterilmektedir.



Şekil3

Bu örnekte, sistemin girişinin motor armatürüne uygulanan gerilim kaynağı (V) olduğunu, çıkışın ise milin dönüş hızı olduğunu varsayacağız. Rotor ve milin rijit olduğu varsayılmıştır. Ayrıca viskoz bir sürtünme modeli varsayıyoruz, yani sürtünme torku şaftın açısal hızıyla orantılıdır. **Şekil 4**'de matematiksel hesaplamalarda sıkça kullanılan semboller ve bu sembollerin birimleri görülmektedir.

Sembol	İsim	Birim
V	Giriş Gerilimi	Volt(V)
R	Endüvi Direnci	Ohm(Ω)
L	Nominal Endüktans	Henry(H)
J	Toplam Atalet Momenti(Yük+Motor)	$kg \cdot m^2/s^2$
V_{emk}	Ters emk Gerilimi	Volt(V)
b	Sönümlenme Sabiti	Nms
τ	Motor torku	Nm
θ	Motor Şaft Açısı	Radyan(rad)
K_t	Tork sabiti	Nm/A
K_e	Motor Gerilim sabiti	V/rad/s

Şekil 4

Dc motor sisteminde oluşacak denklemlerden ilki motor torku (T) armatür akımı ilişkisidir. Bu parametreler birbirleriyle doğru orantılıdır. Bu ilişki aşağıdaki gibi formülize edilir.

$$T = K_t i$$

Armatür döndükçe armatüre bağlı şaftın açısal hızıyla doğru orantılı olarak bir ters emk gerilimi oluşur. Ters emk geriliminin formülü aşağıdaki gibidir.

$$e = K_e \dot{\theta}$$

SI birim sisteminde, K_t tork sabiti ile K_e motor gerilim sabiti eşittir. ($K_t=K_e=K$) Ve son olarak ta Newton ve Kirchoff kanunları kullanılarak aşağıdaki denklemler elde edilir:

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = K i$$

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V - K \dot{\theta}$$

Şimdi bu denklemleri simulink ortamında modelleme kısmına geçelim. Newton ve Kirchoff kanunlarını kullanarak az önce oluşturduğumuz denklemlerden aşağıdaki denklemleri türetiriz.

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} = T - b \frac{d\theta}{dt} \Rightarrow \frac{d^2 \theta}{dt^2} = \frac{1}{J} (K_t i - b \frac{d\theta}{dt})$$

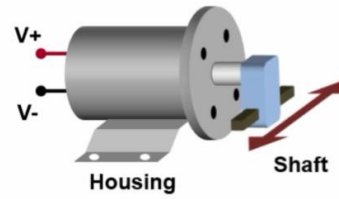
$$L \frac{di}{dt} = -Ri + V - e \Rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{1}{L} (-Ri + V - K_e \frac{d\theta}{dt})$$

[3]

2.3 DC Motorun Modellemesi

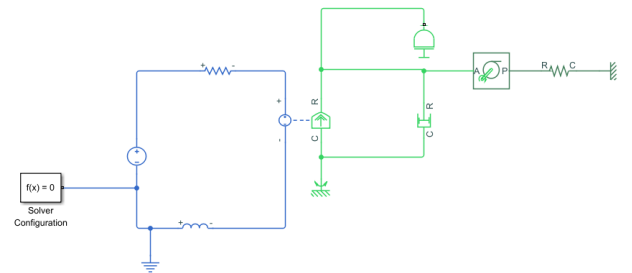
Bu parametrelerle ilişkili olarak bir MATLAB Simulink modeli oluşturmak gerekmektedir. Bu amaçla **Şekil 5**'teki modelden yararlanılmıştır.

Model:



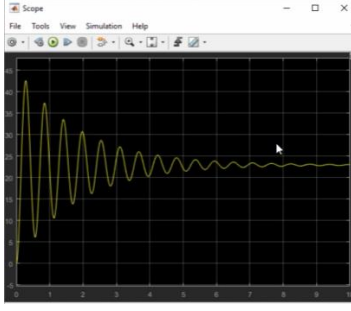
Şekil 5

Simscape™, bir DC motoru modellemek için kullanılır. Model, elektrik dirençleri, mil ataletleri ve sürtünme dahil olmak üzere Simscape bileşenlerinden oluşan fiziksel bir ağ birleştirilerek oluşturulur. Simülasyon sonuçları Simscape Sonuç Gezgininde değerlendirilir. Modelde kullanılan fiziksel bağlantılar, anlamayı, değiştirmeyi ve sürdürmeyi kolaylaştırır ve birden çok fiziksel alana yayılan modelleri hızlı bir şekilde oluşturmayı mümkün kılar. Bu uygulamadan yararlanarak DC motor modeli **Şekil 6**'deki gibi tasarlandı.



Şekil 6

Bu devrede elde edilen sonuçları görmek adına dönüştürücü aracılığıyla scope kutusunu bağlarsak **Şekil 7**'teki sonuçlar görülür.



Şekil 7

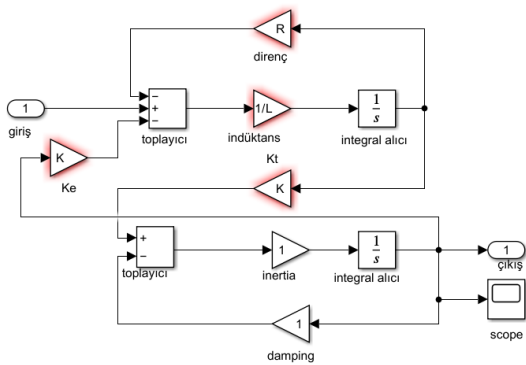
[4]

Bir başka modelleme olarak başlangıçta seçmiş olduğumuz şekil 3'teki armatür devresinden yararlanılabilir.

Parametreler

(J) Rotorun atalet momenti	0.02 kg.m ²
(b) Motor viskoz sürtünme sabiti	0.2 N.m.s
(Ke) Elektromotor kuvvet sabiti	0.01 V/rad/sec
(Kt) Motor tork sabiti	0.02 N.m/Amp
(R) Direnç	2 Ohm
(L) İndüktans	0.5 H

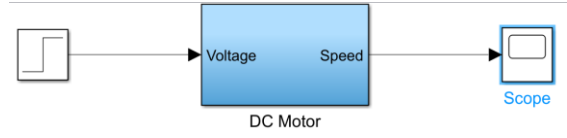
Burada sistemin modellemesi gerçekleştirilmeden önce parametre ataması yapılmış ve yukarıdaki değerler alınmıştır. Burada aldığımız değerleri uygulamak üzerine oluşturmuş olduğumuz model **şekil 8**'de gösterilmektedir.



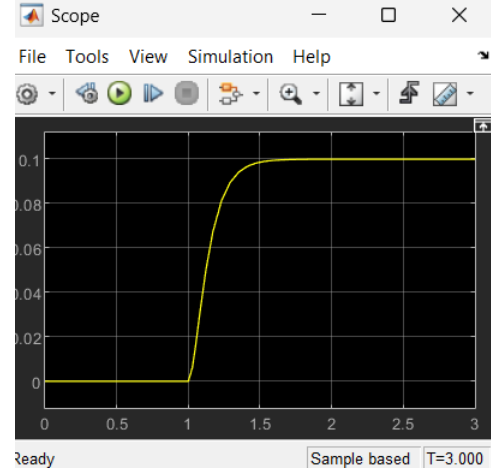
Şekil 8

Belirlediğimiz parametreleri Simulinkte girip simüle ederek parametrelerin değişimlerine göre analiz kısmında karşılaştığımız değişiklikleri gözlemleyebiliriz. DC motorun girişine 1V'luk bir Step ögesi bağlandığında ve çıkışta da gözlemlemek

için scope ögesi bağlandığında karşımıza çıkan sonuç **şekil 9**'de ve **şekil 10**'da görülmektedir.



Şekil 9



Şekil 10

3. DC Motorun Hız Kontrolü

DC motorun hız kontrolü, DC motorun dönüş hızını istenen bir hız değerine uygun şekilde ayarlamak ve bu hızı sabit tutmak için yapılan işlemlerdir. Hız kontrolü, motorun çeşitli uygulamalarda belirli bir hızda çalışmasını sağlamak için önemlidir.

DC motor hız kontrolü genellikle aşağıdaki yöntemlerle gerçekleştirilir:

Gerilim Kontrolü: DC motorun hızını kontrol etmek için motorun uygulanan gerilim düzeyi ayarlanır. Gerilim artırıldığında, motorun hızı da artar. Bu yöntem genellikle basit ve düşük maliyetli uygulamalarda kullanılır, ancak yük altında hız sabitliği sağlamak zor olabilir.

Akım Kontrolü: DC motorun hızını kontrol etmek için motorun uygulanan akım düzeyi ayarlanır. Akım artırıldığında, motorun torku ve dolayısıyla hızı da artar. Akım kontrollü hız kontrolü, yük altında daha iyi performans sağlayabilir, ancak daha karmaşık bir kontrol gerektirir.

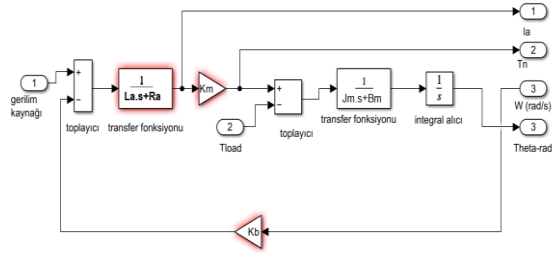
Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM): PWM, motorun hızını kontrol etmek için darbe genişlik modülasyonu kullanır. PWM, motorun besleme gerilimini belirli bir süre boyunca açık ve kapalı durumda bırakarak ortalama gerilimi kontrol eder. Darbe genişlik oranı arttıkça, ortalama gerilim ve

dolayısıyla motorun hızı artar. Bu yöntem, genellikle hassas hız kontrolü sağlamak için kullanılır.

PID Kontrolü: PID (Proportional-Integral-Derivative) kontrolü, DC motor hız kontrolünde yaygın olarak kullanılan bir geri besleme kontrol yöntemidir. PID kontrolcüsü, motorun gerçek hızı ile hedef hızı arasındaki farka dayalı olarak bir çıkış sinyali üretir. Bu yöntem, hız farkını azaltmak ve istikrarlı bir hız kontrolü sağlamak için kullanılır.

DC motorun hız kontrolü, endüstriyel otomasyon, robotik, elektrikli araçlar, HVAC sistemleri ve daha birçok alanda önemli bir konudur. Doğru hız kontrolü, motorun verimliliğini, performansını ve kullanım ömrünü artırabilir ve uygulamanın gereksinimlerini karşılamak için motorun istenen hızda çalışmasını sağlar.

DC motorun hız kontrolü hakkında analiz yapmak için önceki modellerde belirlenen parametrelerden yardım alacağız. DC motorun hız kontrolünü PID denetleyici ile tasarlayacağız.



[5]

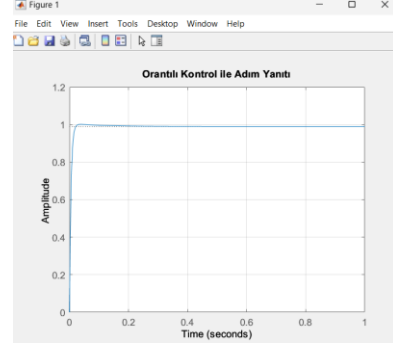
Matlab kodları

```
clc;
clearvars

J = 0.02;
b = 0.1;
K = 0.02;
R = 2;
L = 0.5;
% Td = -0.5;
s=tf('s');
% numz1=[L,R];
% denz1=(K);
% z=tf(numz1,denz1);
% f=Td*z;
Kp=1000;
Ki=0;
Kd=100;
C=pid(Kp,Ki,Kd);
% numin1=[f,1];
% denin2=[1];
% in=tf(numin1,denin2);
P_motor=K/((J*s+b)*(L*s+R)+K^2);
```

```
sys_c1=feedback(C*P_motor,1);
t=0:0.0025:1;
step(sys_c1,t); grid;
title('Orantılı Kontrol ile Adım Yanıtı')
```

kodlarından yararlanarak oluşturduğumuz genlik/zaman adım yanıtı grafiği **şekil 11**'de gösterilmektedir.



Şekil 11

[6]

4. Sonuçlar

Tanılamak yani bir başka deyişle bir şeye tahmini bir değer atamak ve bu sayede elde edilen sonuçları kıyaslamak sonuca ulaşmada son derece etkili ve faydalı bir yoldur. Bu çalışmada belirlediğimiz parametreler ile birlikte sonuçlar elde edildi. Sonuçları elde ederken hem DC motorun modellemesi hem de DC motorun hız kontrolü isteklerine uygun olarak modeller ve simülasyonlar yapıldı ve elde edilen çıktılar paylaşıldı. Bu çalışma sonucunda bir sistemin matematiksel formülü türetilmiş, formülün parametreleri hesaplanmış ve optimize edilmiştir. Elde edilen parametreler, ileride aynı DC motorun kontrolüyle ilgili yapılacak çalışmalara temel teşkil edecektir.

KAYNAKLAR

[1] <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/75888>

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/DC_motor

[3] <https://mekatronikbilim.wordpress.com/2014/05/17/dc-motor-modelleme-pid-kontrolu-ve-simulasyonu/>

[4] <https://www.mathworks.com/videos/modeling-a-dc-motor-68852.html>

[5] <https://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=MotorSpeed§ion=ControlPID>

[6] <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/860270-speed-control-of-dc-motor-using-pid>