

Bu yayınlı ilgili tartışmalara, istatistiklere ve yazar profillerine şu adresten bakabilirsiniz: <https://www.researchgate.net/publication/334262857>

MATLAB Kullanarak Dinamik DC MOTOR için Sağlam PID Denetleyici ile Konum Kontrolü

International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering'de **Makale** - Temmuz 2019

DOI: 10.30534/ijatcse/2019/92832019

ATIFLAR

10

OKUYUN

3,281

1 yazar:



[Liqaa Mezher](#)

Al-Mustansiriya Üniversitesi

14 YAYIN 63 ATIF

PROFİLE BAKIN

Bu sayfadan sonraki tüm içerik 05 Temmuz 2019 tarihinde [Liqaa Mezher](#) tarafından yüklenmiştir.

Kullanıcı indirilen dosyanın geliştirilmesini talep etti.

MATLAB Kullanarak Dinamik DC MOTOR için Sağlam PID Denetleyici ile Konum Kontrolü

Liqa Saadi Mezher

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Al-Mustansiriyah Üniversitesi, Bağdat, Irak Liqa14@gmail.com

ÖZET

Dinamik DC motor, farklı uygulamalarda kullanılan önemli parçalardan biridir. Dinamik DC motor pozisyon kontrolü bu uygulamalar için önemli hususlardan biridir. Bu çalışmada dinamik DC motorun konum kontrolü robust PID denetleyici kullanılarak yapılmıştır, ve ayarlama.

PID parametreleri (K_d , K_p ve K_i) kullanılarak yapılmıştır. robust PID kontrolör olarak adlandırılan algoritmalar birçok MATLAB programları kullanılarak adım ve rampa birimi için Zaman Çarpımlı Mutlak Hata Kriterinin İntegrali (ITAE) için optimum katsayıya bağlı vaka çalışmaları.

Anahtar kelimeler: Konum Kontrolü, Dinamik DC Motor, Gürbüz PID Denetleyici, ITAE, Adım Birimi, Rampa Birimi, MATLAB.

1. GİRİŞ

Dinamik bir DC motor, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir cihazdır. Bu makalede, sağlam bir PID denetleyici kullanılarak kontrol edilebilen dinamik bir DC motor için tasarlanmış ve uygulanmıştır. Bir hedef konum değişimi için konum içi kontrol tutucusu otomatik olarak uygulanır Dinamik DC sürücüler büyük konum kontrolü için daha uygundur ve birçok ayarlanabilir hızlı motor vardır.

Oransal - Bütünleştirici - Türevsel (PID) dünyadaki kontrol sistemlerinin çoğunu kontrol eder ve PID birçok uygulama için yeterince esnek bir kontrolördür. Klasik bir PID kontrolörün sağlam parametreleri, dinamik DC sürücü konumunu kontrol etmek için kullanılır, yani (K_d , K_p ve K_i), genellikle çalışma sırasında sabittir [1].

Bir pozisyon kontrolöründe sağlam bir PID kontrolör algoritması uygulamak, dinamik bir DC motorda doğrusal olmamanın etkileridir [2]. Bir DC motorun doygunluk ve kurgu gibi doğrusal olmayan özellikleri, geleneksel kontrolörlerin performansını düşürebilir. PID parametreleri doğru ayarlanırsa, PID denetleyici çoğu sistem için sağlam ve güvenilir performans sağlar [3].

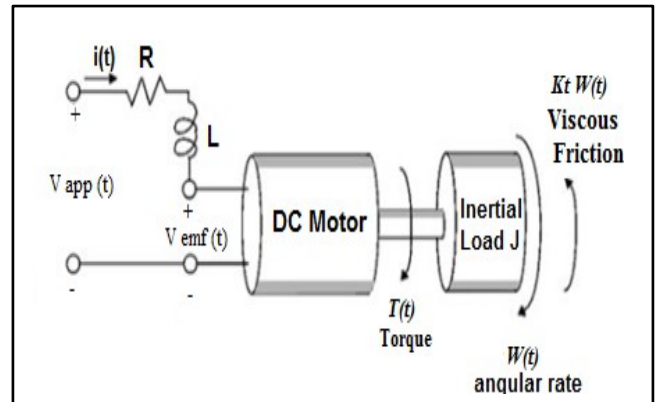
Çalışma aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. İçinde

İkinci bölümde, J_m , L_a , R_a , B_m , K_t ve K_b parametreleri ile ilgili dinamik DC motor teorisi gösterilmektedir. Üçüncü bölümde, matematiksel model (açık ve yakın çevrim) dinamik DC motor için sağlam PID denetleyicisi olmadan ve ile. Dördüncü bölümde, sağlam PID kontrol algoritması gösterilmektedir. Beşinci bölümde, MTLAB programı kullanılarak birçok durum çalışması için simülasyon ve sonuç temsil edilmektedir.

2. DİNAMİK DC MOTOR

Dinamik DC motorun transfer fonksiyonu şekil 1'deki dinamik DC motor şemasından bulunabilir. Ayrıca dinamik DC motor, kuvvetin yönünün (tork veya itme ($\tau(t)$)) başparmağının bulunduğu sol avuç tabanına bağlıdır. Arasındaki parmak başparmak ve merkez, başparmağın yönünü temsil eder. manyetik alan yönü (sabit (EMF)). Orta parmak teldeki akımın yönünü temsil eder (akım ($i(t)$)).

Gerçek dinamik DC motorda, bu bobinlerin çoğu rotora sarılır, hepsi kuvvetle karşılaşır ve dönmeye neden olur. Teldeki akım ne kadar yüksekse veya manyetik alan ne kadar büyükse, üretilen daha büyük kuvvet nedeniyle tel o kadar hızlı hareket eder. Aynı zamanda bu tork üretilir ve iletkenler bir manyetik alan içinde hareket eder. Birden fazla konumda, ilişkili akış değişir ve EMF'ye yol açar ($e = d\phi / dt$). Bu voltaj, akımın konektörden akmasına neden olan voltajla zıttır ve bir anti-voltaj veya EMF dönüşü olarak adlandırılır.



Şekil 1: Dinamik DC Motor Devresinin Şeması

Nerede: V= Armatür Gerilimi
(V). I= Armatür Akımı
(A).
Kt= Motor Tork Sabiti (Nm/A).
La= Motor endüktansı (H).
Jm= Armatür atalet momenti (Kg - m2).
Ra = Armatür Direnci (Ω).
Bm=Viskoz - Sürtünme Katsayısı (N-
m/Rad/Sn).
Kb= Geri EMF Sabiti (V/Rad/Sn).

3. MATEMATİKSEL MODEL

3.1. PID Kontrolör Modeli Olmadan Dinamik DC Motorun Konum Kontrolü

❖ Açık Döngü

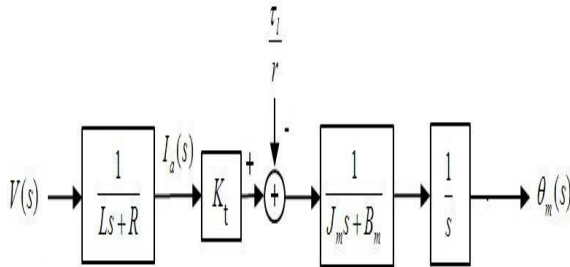
Şekil 2'de açık çevrim için PID Kontrolörsüz Dinamik DC Motorun blok diyagramı gösterilmektedir ve armatür gerilim denklemi şu şekilde verilmektedir:

$$G_{DC}(S) = \frac{\Theta(s)}{V(s)} = \left(\frac{1}{LaS + Ra} \right) (K_t) \left(\frac{1}{JmS + Bm} \right) \left(\frac{1}{s} \right) \quad (1)$$

$$G_{DC}(S) = \left(\frac{K_t}{JmLaS^3 + RaJmS^2 + BmLaS^2 + RaBmS} \right) \quad (2)$$

Açık çevrim için Dinamik DC modelinin denklemlerini türetilip basitleştirdikten sonra, $G_{DC}(S)$ transfer fonksiyonunun sonucu aşağıdaki gibidir:

$$G_{DC}(S) = \left(\frac{K_t}{JmLaS^3 + (RaJm + BmLa)S^2 + RaBmS} \right) \quad (3)$$



Şekil 2: Dinamik DC Motorun Blok Diyagramı
Açık Döngü için PID Kontrol Cihazı olmadan

❖ Yıkma

Şekil 3'te yakın çevrim için PID Kontrolörsüz Dinamik DC Motorun blok diyagramı gösterilmektedir ve armatür gerilim denklemi şu şekilde verilmektedir:

$$G_{DC}(S)$$

$$G_{DC}(S) = \frac{K_t}{JmLaS^3 + RaJmS^2 + BmLaS^2 + RaBmS}$$

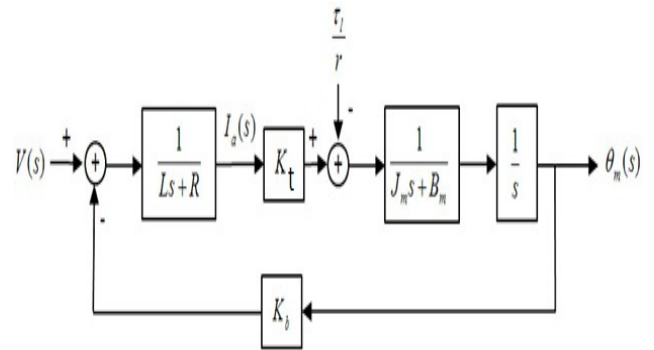
$$\& H(S) = K_b.$$

$$\therefore T.F$$

$$= \left(\frac{\frac{JmLaS^3 + RaJmS^2 + BmLaS^2 + RaBmS}{RaBmS} \cdot K_t}{1 + \frac{K_t}{JmLaS^3} + \frac{K_t}{RaJmS^2} + \frac{K_t}{BmLaS^2} + \frac{K_t}{RaBmS}} \right) * K_b \quad (4)$$

Yakın çevrim için PID Kontrolörsüz Dinamik DC modelinin tesis denklemlerini türetilip basitleştirdikten sonra, transfer fonksiyonu $G_P(S)$ 'nin sonucu aşağıdaki gibidir:

$$G_P(S) = \left(\frac{K_t}{JmLaS^3 + (RaJm + BmLa)S^2 + RaBmS + K_t K_b} \right) \quad (5)$$



Şekil 3: Yakın Çevrim için PID Kontrolörsüz Dinamik DC Motorun Blok Diyagramı

3.2. PID Kontrolör Modeli ile Dinamik DC Motorun Konum Kontrolü

❖ Açık Döngü

Şekil 4'te açık çevrim için PID Kontrolörlü Dinamik DC Motorun blok diyagramı gösterilmektedir ve armatür gerilim denklemi şu şekilde verilmektedir:

$$G_{sys}(S) = G_C(S) * G_P(S)$$

$$G_{sys}(S) = \left(K + \frac{K_P}{S} + K_D S \right) *$$

$$\left(\frac{K_t}{JmLaS^3 + (RaJm + BmLa)S^2 + RaBmS + K_t K_b} \right) \quad (6)$$

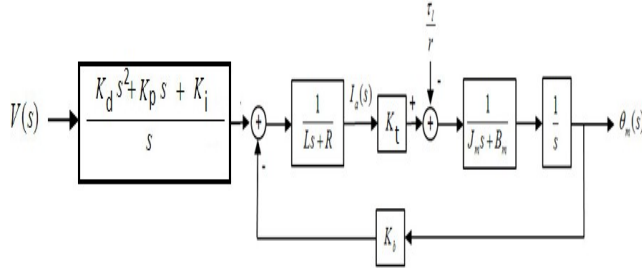
$$G_{sys}(S)$$

$$= \left(\frac{K * \left(K + \frac{K_P}{S} + K_D S \right)}{T.F(G(S))} \right) \quad (7)$$

$$\frac{JmLaS^3 + (RaJm + BmLa)S^2 + RaBmS + Kt Kb}{1 + GDC(S)H(S)}$$

Açık çevrim için PID Kontrolörlü Dinamik DC modelinin tesis denklemlerini türetilip basitleştirdikten sonra, $G_{sys}(S)$ transfer fonksiyonunun sonucu aşağıdaki gibidir:

$$G_{sys}(S) = \left(\frac{K_t K_a S^2 + K_t K_p S + K_t K_i}{J_m L_a S^4 + (R_a J_m + B_m L_a) S^3 + (R_a B_m) S^2 + (K_t K_b) S} \right) \quad (8)$$



Şekil 4: Açık Döngü için PID Kontrolörlü Dinamik DC Motorun Blok Diyagramı

❖ Yakın Döngü

Dinamik DC Motor için blok diyagramını gösteren Şekil 5'te yakın döngü için PID Denetleyici ile ve armatür gerilim denklemi tarafından verilir:

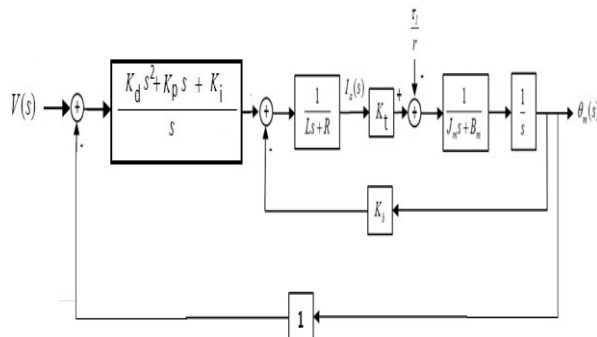
$$T.F = \frac{G_{sys}(S)}{1 + G_{sys}(S)H(S)}, \text{ where } H(S) = 1.$$

$$G(S) = \frac{K_t K_a S^2 + K_t K_p S + K_t K_i}{J_m L_a S^4 + (R_a J_m + B_m L_a) S^3 + (R_a B_m) S^2 + (K_t K_b) S} \quad (9)$$

$$G(S) = \left(\frac{K_t K_a S^2 + K_t K_p S + K_t K_i}{J_m L_a S^4 + (R_a J_m + B_m L_a) S^3 + (R_a B_m) S^2 + (K_t K_b) S + K_t K_i} \right) \quad (10)$$

Yakın çevrim için PID Kontrolörlü Dinamik DC modelinin bitki denklemini türetilip basitleştirdikten sonra, $G(S)$ transfer fonksiyonunun sonucu aşağıdaki gibidir:

$$G(S) = \left(\frac{K_t K_a S^2 + K_t K_p S + K_t K_i}{J_m L_a S^4 + (R_a J_m + B_m L_a) S^3 + (R_a B_m + K_t K_b) S^2 + (K_t K_b + K_t K_p) S + K_t K_i} \right) \quad (11)$$



Şekil 5: Yakın Çevrim için PID Kontrolörlü Dinamik DC Motorun Blok Diyagramı

4. ALGORITMA GÜRBÜZ PID KONTROL

1. Belirlenmiş ve giriş değerler of: L, B, R, J, K ve K .
a m a m t b
2. Aşağıdaki PID kontrolü olmayan dinamik DC motor için transfer fonksiyonu tesisi hesaplanmıştır:
 - Açık Döngü: (3) numaralı denklemden.
 - Yakın Döngü: (4) denklemden.
3. Zaman Çarpımlı Mutlak Hata Kriterinin İntegraline bağlı olarak adım birimi için w_n , K_p , K_d ve K_i parametrelerinin hesaplanması (ITAE) tarafından onaylanmıştır: -

$$w_n = \frac{(LaBm + RaIm)}{a1} \quad 2.1$$

$$K_p = \frac{\left(\frac{2.7}{a1} \right)^{w_n3} - K_t K_b}{K_t} ;$$

$$K_d = \frac{\left(\frac{3.4}{a1} \right)^{w_n2} - RaBm}{K_t} ;$$

$$K_i = \frac{\left(\frac{w_n4}{a1} \right)}{K_t}$$

4. Aşağıdaki adım birimi kullanılarak PID kontrollü dinamik DC motor için transfer fonksiyonu hesaplanmıştır:
 - Açık Döngü: denklem (8)'den.
 - Yakın Döngü: denklem (11)'den.
5. Aşağıdaki ITAE kriterine bağlı olarak rampa ünitesi için w_{nr} , K_{pr} , K_{dr} ve K_{ir} parametreleri hesaplanmıştır: -

$$w_{nr} = \frac{(LaBm + RaIm)}{a1} ;$$

$$K_{pr} = \frac{\left(\frac{2.41}{a1} \right)^{w_{nr}3} - K_t K_b}{K_t} ;$$

$$K_{dr} = \frac{\left(\frac{4.93}{a1} \right)^{w_{nr}2} - RaBm}{K_t} ;$$

$$K_{ir} = \frac{\left(\frac{w_{nr}4}{a1} \right)}{K_t}$$

6. Aşağıdaki rampa birimi kullanılarak PID kontrollü dinamik DC motor için transfer fonksiyonu hesaplanmıştır:
 - Açık Döngü: denklem (8)'den.
 - Yakın Döngü: denklem (11)'den.

5. SİMÜLASYON VE SONUÇ

Vaka Çalışması 1

Bu durumda kullanılan dinamik DC motor parametre değerleri, Motor-tork sabiti (k_t) = 0.05 Nm/A, Armatür yükü (L_a) = 0.1 H, Armatür direnci (R_a) = 1.39 Ohm, Motor atalet momenti (J_m) = 0.02 Kg.m², Viskoz sönümlleme katsayısı (B_m) = 0.02 N.m/rad/sn, Geri EMF Sabiti (k_b) = 0.05 V/Rad/Sn.

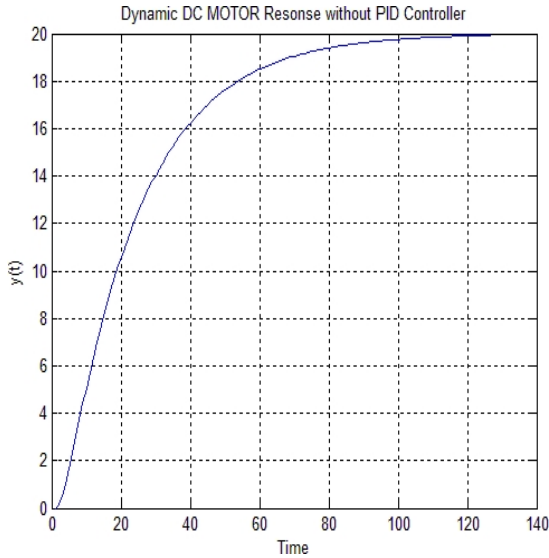
Sonuçlar:

Örnek çalışmada açık çevrim dinamik DC motor1

$$GDC(S) = \left(\frac{0.05}{0.002 S^3 + 0.0298 S^2 + 0.0278 S} \right)$$

Şekil 6'da PID denetleyici olmadan yakın çevrim dinamik DC motor yanıtının yapısı gösterilmiştir ve örnek olay 1'deki yakın çevrim dinamik DC motor denklemleri olacaktır:

$$G_p(S) = \left(\frac{0.05}{0.002 S^3 + 0.0298 S^2 + 0.0278 S + 0.0025} \right)$$

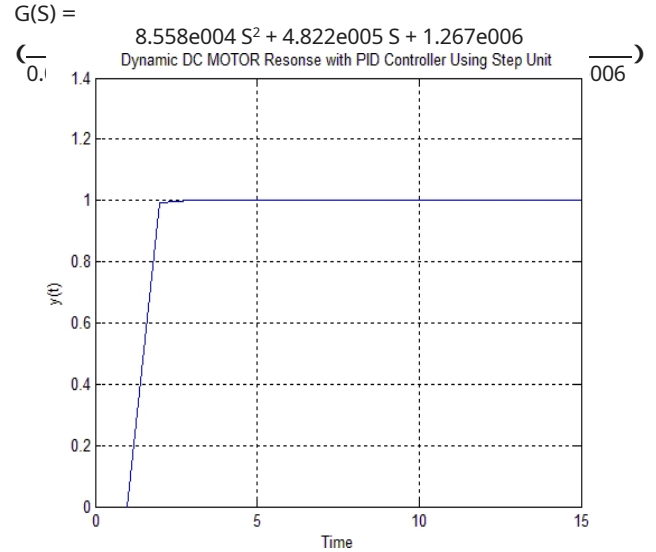


Şekil (6): Durum 1'de PID Denetleyici Olmadan Yakın Çevrim Dinamik DC Motor Yanıtının Yapısı

Sağlam PID denetleyicinin çıkış parametreleri (w_n , K_p , K_d ve K_i), örnek olay 1'de tablo 1'deki indeksi göstermektedir. Ve örnek çalışma 1'de adım birimi kullanılarak PID ile açık çevrim dinamik DC motor:

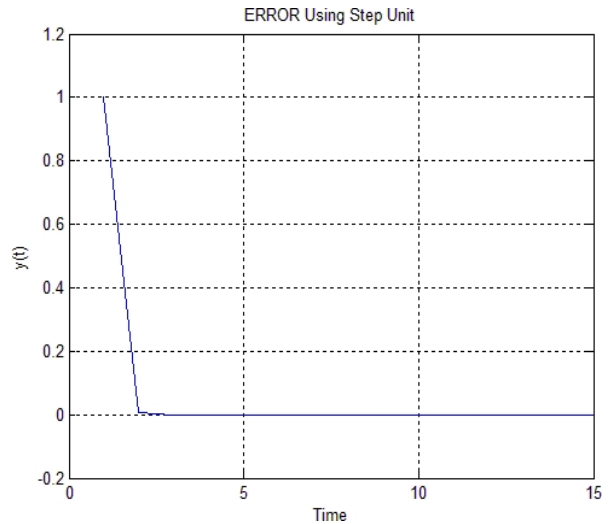
$$G_{sys}(S) = \left(\frac{8.558e004 S^2 + 4.822e005 S + 1.267e006}{0.002 S^4 + 0.0298 S^3 + 0.0278 S^2 + 0.0025 S} \right)$$

Şekil 7'de adım birimi kullanılarak PID denetleyicili yakın çevrim dinamik DC motor yanıtının yapısı gösterilmiştir ve örnek çalışmal'de PID denetleyicili yakın çevrim dinamik DC motorun denklemleri olacaktır:



Şekil (7): Durum1'de Adım Birimi Kullanılarak PID Denetleyici ile Yakın Çevrim Dinamik DC Motor Yanıtının Yapısı

Şekil 8'de, örnek çalışmal'de adım birimi kullanan PID denetleyicili yakın çevrim dinamik DC motor yanıtının yapısı için hata integrali zaman mutlak hatasını temsil etmektedir.



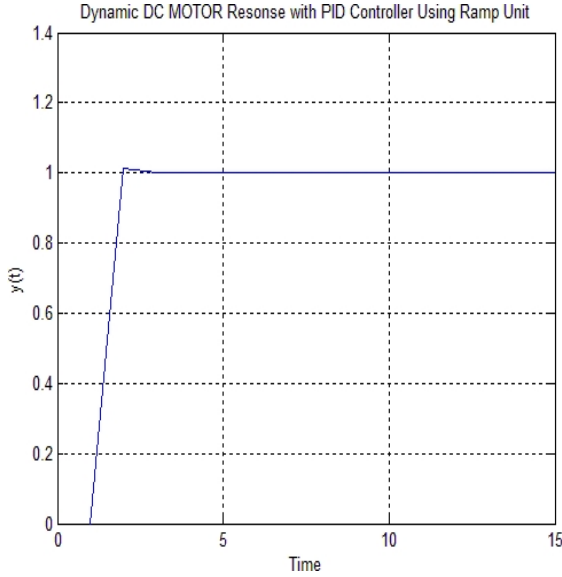
Şekil (8): Durum1'de Adım Birimi Kullanan PID Denetleyici ile Yakın Çevrim Dinamik DC Motor Yanıtının Yapı Hataları (ITAE)

Örnek çalışmada rampa ünitesi kullanan PID ile açık çevrim dinamik DC motor1:

$$G_{sys}(S) = \left(\frac{1.241e005 S + 9.18e005 S + 1.267e006}{0.002 S^4 + 0.0298 S^3 + 0.0278 S^2 + 0.0025 S} \right)$$

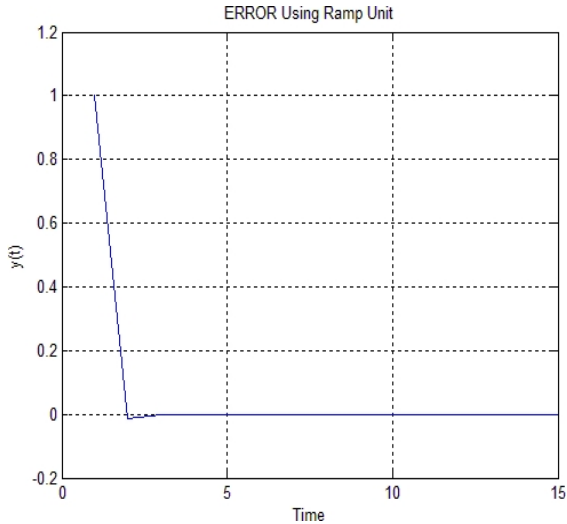
Şekil 9'da rampa ünitesi kullanan PID kontrolörlü yakın çevrim dinamik DC motor yanıtının yapısı ve örnek çalışma 1'de rampa ünitesi kullanan PID kontrolörlü yakın çevrim dinamik DC motorun denklemleri gösterilmektedir:

$$G(S) = \frac{1.241e005 S^2 + 9.18e005 S + 1.267e006}{0.002 S^4 + 0.0298 S^3 + 1.241e005 S^2 + 9.18e005 S + 1.267e006}$$



Şekil (9): Durum1'de Rampa Birimi Kullanılarak PID Denetleyici ile Yakın Çevrim Dinamik DC Motor Yanıtının Yapısı

Şekil 10'da, örnek çalışma 1'de rampa birimi kullanan PID denetleyicili yakın çevrim dinamik DC motor yanıtının yapısı için hata integral zaman mutlak hatasını temsil etmektedir.



Şekil (10): Durum1'de Rampa Birimi Kullanılarak PID Denetleyici ile Yakın Çevrim Dinamik DC Motor Yanıtının Yapı Hataları (ITAE)

Vaka Çalışması 2:

Bu durumda kullanılan dinamik DC motor parametre değerleri Motor-tork sabiti (K_t) = 0.01 Nm/A, Armatür yükü (L_a) = 0.5 H, Armatür direnci (R_a) = 1 Ohm, Motor atalet momenti (J_m) = 0.01 Kg.m², Viskoz sönümlenme katsayısı (B_m) = 0.1 N.m/rad/sn, Geri EMF Sabiti (K_b) = 0.01 V/Rad/Sn.

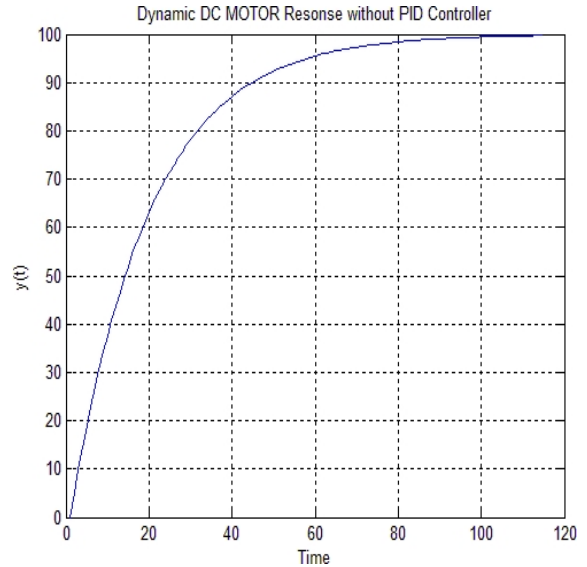
Sonuçlar:

Örnek çalışmada açık çevrim dinamik DC motor2

$$GDC(S) = \left(\frac{0.01}{0.005 S^3 + 0.06 S^2 + 0.1 S} \right)$$

Şekil 11'de PID denetleyici olmadan yakın çevrim dinamik DC motor yanıtının yapısı gösterilmiştir ve örnek çalışma 2'deki yakın çevrim dinamik DC motor denklemleri olacaktır:

$$Gp(S) = \left(\frac{0.01}{0.005 S^3 + 0.06 S^2 + 0.1 S + 0.0001} \right)$$



Şekil (11): Durum 2'de PID Denetleyici Olmadan Yakın Çevrim Dinamik DC Motor Yanıtının Yapısı

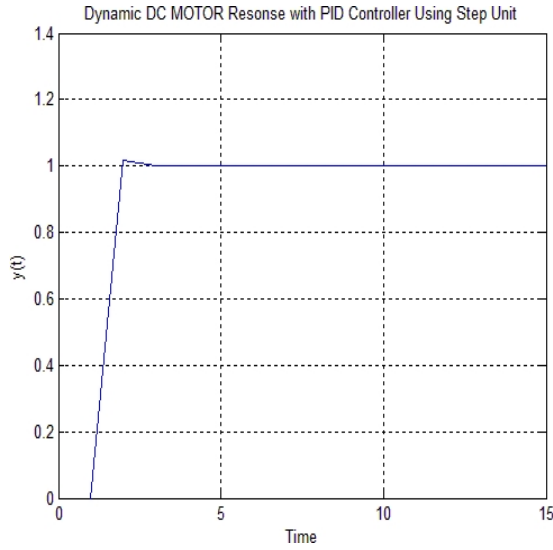
Sağlam PID kontrolörün çıkış parametreleri w_n , K_p , K_d ve K_i , örnek çalışma 2'de tablo (2)'de gösterilmiştir. Ve adım kullanan PID ile açık çevrim dinamik DC motor

vaka çalışması 2'deki birim:

$$G_{sys}(S) = \left(\frac{2.22e004 S^2 + 1.008e005 S + 2.132e005}{0.005 S^4 + 0.06 S^3 + 0.1 S^2 + 0.0001 S} \right)$$

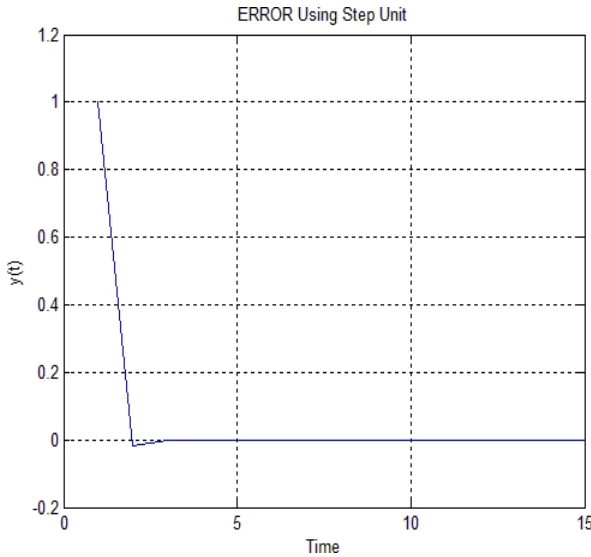
Şekil 12'de adım birimi kullanılarak PID denetleyicili yakın çevrim dinamik DC motor yanıtının yapısı gösterilmiştir ve örnek çalışma 2'de PID denetleyicili yakın çevrim dinamik DC motorun denklemleri olacaktır:

$$G(S) = \frac{2.22e004 S^2 + 1.008e005 S + 2.132e005}{(0,005 S^4 + 0,06 S^3 + 2,22e004 S^2 + 1,008e005 S + 2,132e005)}$$



Şekil (12): Durum2'de Adım Birimi Kullanılarak PID Denetleyici ile Yakın Çevrim Dinamik DC Motor Yanıtının Yapısı

Şekil 13'te, örnek çalışma 2'de adım birimi kullanan PID denetleyicili yakın çevrim dinamik DC motor yanıtının yapısı için hata integral zaman mutlak hatasını temsil etmektedir.



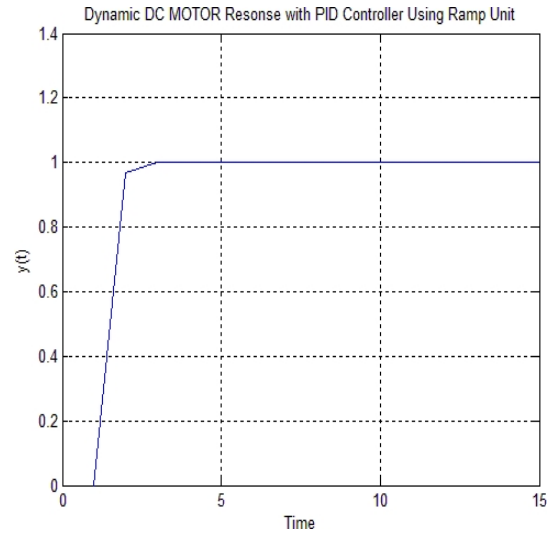
Şekil (13): Durum2'de Adım Birimi Kullanan PID Denetleyici ile Yakın Çevrim Dinamik DC Motor Yanıtının Yapı Hataları (ITAE)

Örnek çalışma2'de rampa ünitesi kullanan PID ile açık çevrim dinamik DC motor:

$$G_{sys}(S) = \frac{3.22e004 S^2 + 1.918e005 S + 2.132e005}{(0,005 S^4 + 0,06 S^3 + 0,1 S^2 + 0,0001 S)}$$

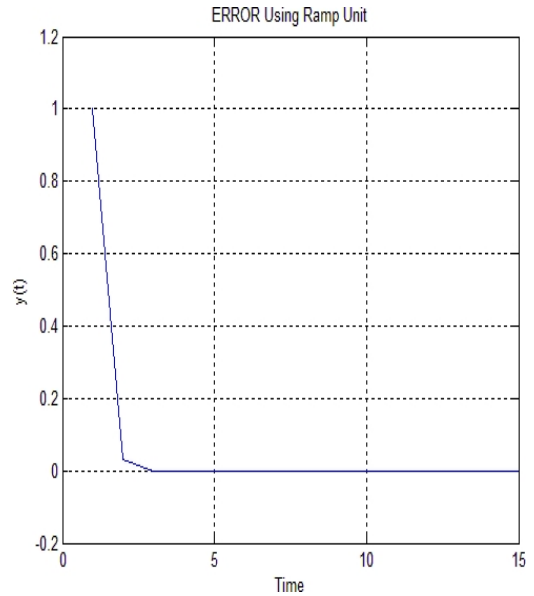
Şekil 14'te PID denetleyici kullanılarak yakın çevrim dinamik DC motor yanıtının yapısı gösterilmiştir rampa ünitesi ve örnek çalışma 2'de rampa ünitesi kullanan PID kontrolörlü yakın çevrim dinamik DC motor denklemleri olacaktır:

$$G(S) = \frac{3.22e004 S^2 + 1.918e005 S + 2.132e005}{(0,005 S^4 + 0,06 S^3 + 3,22e004 S^2 + 1,918e005 S + 2,132e005)}$$



Şekil (14): Durum2'de Rampa Birimi Kullanılarak PID Denetleyici ile Yakın Çevrim Dinamik DC Motor Yanıtının Yapısı

Şekil 15'te, örnek çalışma 2'de rampa birimi kullanan PID denetleyicili yakın çevrim dinamik DC motor yanıtının yapısı için hata integrali zaman mutlak hatasını temsil etmektedir.



Şekil (15): Durum2'de Rampa Birimi Kullanılarak PID Denetleyici ile Dinamik Dc Motor Yanıtının Yapı Hataları (ITAE)

Dizin 1:

Tablo 1: Örnek Çalışma1'de Adım ve Rampa Birimi kullanan Robust PID Kontrolörün Parametrelerini göstermektedir.

	Adım Birimi	Rampa Ünitesi
W_n	7.0952	6.1826
K_p	9.6442e+006	1.8360e+007
K_d	1.7116e+006	2.4819e+006
K_i	2.5344e+007	2.5344e+007

Dizin 2:

Tablo 2: Örnek Çalışma2'de Adım ve Rampa Birimi kullanan Robust PID Kontrolörün Parametrelerini göstermektedir.

	Adım Birimi	Rampa Ünitesi
W_n	5.7143	4.9793
K_p	1.0076e+007	1.9181e+007
K_d	2.2204e+006	3.2196e+006
K_i	2.1324e+007	2.1324e+007

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada dinamik bir DC motorun konumu sağlam PID denetleyici kullanılarak kontrol edilmiştir. Dinamik DC motor, sağlam PID denetleyici olmadan ve sağlam PID denetleyici ile (açık, kapalı) döngü sistemi kullanılmıştır. ITAE katsayılarına dayalı sağlam bir PID denetleyici. Sağlam yöntem algoritması kullanılarak PID denetleyicinin parametrelerinin ayarlanması. Sağlam PID denetleyicisinin parametreleri çıkarıldı: (W_n , K_d , K_p ve K_i) ve bu yöntem uygulandı kontrolör seçimi için ITAE performans indeksi yöntemi, denklemin uygulanması ve adım biriminin kullanımı. Ayrıca bu yöntem rampa ünitesi kullanılarak da uygulanmıştır. Sonuçlar adım ünitesi ve rampa ünitesinden elde edilmiştir, sistem kararlıdır, hata kararlı durum sıfıra eşit ($e_{ss} = 0$), konum dinamik DC motor için artan yanıt hızı MATLAB programını kullanarak.

REFERANSLAR

- [1] M. Anil Kumar ve B. Amaraendra Reddy, "Robust PID Controller Design for Non-Minimum Phase Systems Using Magnitude Optimum and Multiple Integration and Numerical Optimization Methods", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), ISSN: 2395, Vol. 04, Issue: 10, Oct., 2017.
- [2] Pankaj Kumari Meena ve Bharat Bhushan, "Bulanık Mantık Kullanarak DC Motorun Konum Kontrolü için Simülasyon", International Journal of Electronics, Electrical and Computation System (IJECS), ISSN 2348- 117X, Vol.6, Issue 6, June, 2017.
- [3] K. Jagatheesan, B. Anand, Sourav Samanta, Nilanjan Dey, Amira S. Ashour, Valentina E. Balas, "Design of a Proportional - Integral - Derivative Controller for an Automatic Generation Control of Multi - area Power Thermal Systems Using Firefly Algorithm", IEEE/ CAA Journal of Automatic a Sinica, Vol. PP, ISSN: 2329, PP 1-14, Issue : 99, Ocak, 2017.