

AKÜ FEMÜBİD 17 (2017) 025201 (537-545)
DOI: 10.5578/fmbd.58653

AKU J. Sci. Eng.17 (2017) 025201 (537-545)

Araştırma Makalesi / Research Article

PID ve Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrol Yöntemleri ile Doğru Akım Motorunun Hız Kontrolü

Veysel Özbulur

İstanbul Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Avcılar, İstanbul, Türkiye

e-posta: veyselozbulur@gmail.com

Geliş Tarihi: ; Kabul Tarihi:

Özet

Anahtar kelimeler
DA Motor; Kayan Kipli Kontrol; Kesir Mertebeli Kontrol; PID Kontrol

Bugün endüstride Doğru Akım Motorları yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle hız ve moment kontrolünde başarılı uygulamalarla çokça karşılaşılmaktadır. Motor hız kontrolü için çeşitli yöntemler kullanılmakta. Bu çalışmada Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak PID Kontrol ve Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrol yöntemlerinin performansı karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda, değişken çalışma şartları altında, Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrol metodunun PID Kontrolle göre oldukça dayanıklı olduğu görülmüştür.

Speed Control of Direct Current Motor with PID and Fractional Order Sliding Mode Control Methods

Keywords
DC Motor; Sliding Mode Control; Fractional Order Control; PID Control

Abstract

Today, Direct Current Motors are widely used in the industry. Especially, it is frequently encountered in speed and torque control with successful applications. Various methods are used for motor speed control. In this study, the performance of PID Control and Fractional Order Sliding Mode Control methods were compared using Matlab / Simulink software. At the end of the study, under variable operating conditions, the Fractional Order Sliding Mode Control Method was found to be highly robust compared to the PID Control.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Doğru Akım Motorları, yapısının basit, kontrolünün diğer elektrik motorlarına göre daha kolay olmasından dolayı değişik güçlerde ve değişik hızlarda hala üretilmekte, sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır. Özellikle hız ve moment kontrolündeki başarısı, bu motorun günümüzde hala tercih edilmesine neden olmaktadır. Düşük hızlarda kontrolünün zor ve güvenilirliğinin az olması, büyük güçlerdeki motor boyutlarının, aynı güçteki alternatif akım motorlara oranla daha büyük olması ise bu motorun dezavantajları olarak sıralanabilir.

Doğru Akım Motorlarının kontrolü için sanayide birçok kontrol yöntemi kullanılmaktadır. Kolay uygulanabilmesi ve lineer sistemlerde başarılı sonuçlar vermesinden dolayı PID kontrol bu yöntemlerinin başında gelmektedir. (Suman and Giri 2016), (Kanojiya and Meshram 2012), (Meshram and Kanojiya 2012), (Huang and Lee 2008) Doğru akım motor hız kontrol uygulamalarında PID kontrollü kullanmışlardır. Bununla beraber gerçek hayatta karşılaştığımız sistemlerin çoğu lineer değildir. Bu yüzden PID kontrol, lineer olmayan bu sistemlerin kontrolünde istenen başarıyı gösterememektedir. PID kontrolün bu dezavantajlarını ortadan kaldırmak için modern kontrol yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.

Kayan Kipli Kontrol, Bulanık Kontrol, Adaptif Kontrol, H^∞ Kontrol gibi yöntemleri, modern kontrol yöntemlerine örnek verebiliriz.(Thepsatom

at all 2006) yaptıkları çalışmada doğru akım motor hız kontrol uygulamalarında Bulanık kontrollü kullanmışlardır. (Zhang, 2005) yaptığı çalışmada doğru akım motor hız kontrolünü PID ve Bulanık Kontrolü birlikte uygulamıştır. Lineer olmayan sistemlerde bu modern kontrol yöntemleri kullanıldığında, çalışma şartlarında öngörülemeyen değişiklikler olsa dahi, istenilen güçlü performansı gösterebilmektedir. (Yaras at all 2014) yaptıkları çalışmada doğru akım motor hız kontrol uygulamalarında Bulanık Kontrol ve Kayan Kipli kontrol yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Kayan Kipli kontrolde kesir mertebeli türev yerine, tam mertebeli türev kontrollü kullanmışlardır.(Dil Kumar and Mija2015) yaptıkları çalışmada doğru akım motor hız kontrolünü Adaptif PID kontrol ile

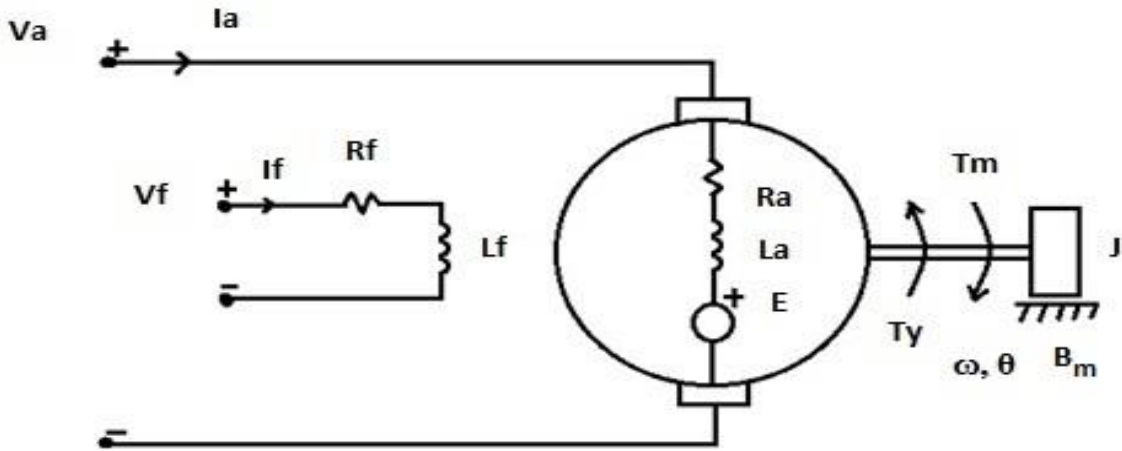
yapmışlar.Kontrol parametleri için tam mertebeli Kayan Kipli kontrolden yararlanmışlardır. (Muresan

at all 2013) yaptıkları çalışmada doğru akım motor hız kontrol uygulamalarında Kesir Mertebeli PID kontrol yöntemini kullanmışlar.

Bu çalışmada Matlab/simulink ortamında PID ve Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrol yöntemleri kullanılarak serbest uyarımalı bir Doğru Akım Motorunun hız kontrolü için simülasyon yapılmış ve her iki kontrol yönteminden elde edilen simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. DC Motor Modeli

Yaygın olarak kullanılan serbest uyarımalı doğru akım motorunun modeli şekil 1'de verilmiştir(Güzelbeyoğlu N. 2005).Motorun elektrik ve mekanik yanına ilişkin denklemler yazılacak olursa;



Şekil 1. DC Motor Modeli

$$V_a = E + R_a * I_a + L_a * \frac{dI_a}{dt} \quad (1)$$

$$E = k_e * \omega \quad (2)$$

$$T_m = J * \frac{d\omega}{dt} + B_m * \omega + T_y \quad (3)$$

$$T_m = k_m * I_a \quad (4)$$

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (5)$$

Burada,

V_a endüvi gerilimi (V),

I_a endüvi akımı (A),

R_a endüvi sargı direnci (Ω),

L_a endüvi sargı endüktansı (H),

E zıt emk (V),

V_f uyarıma sargı gerilimi (V),

I_f uyarıma sargı akımı (A),

R_f uyarıma sargı direnci (Ω),

L_f uyarıma sargı endüktansı (H),

k_e zıt emk katsayısı (Vs/rad),

ω açısal hız (rad/s),

θ rotor konumu (açısı) (rad),

J rotor atalet momenti ($Nm s^2/rad$),

B_m viskoz sürtünme katsayısı ($Nm s/rad$),

T_m motorun ürettiği moment (Nm),
 T_v yük momenti (Nm),
 k_m motor moment katsayısı (Nm/A)

durum, sistemin kontrolü açısından bize çok kolaylık sağlar. Genel olarak sistemimizi,

Eş.3, Eş.4 ve Eş.5 yardımıyla,

$$\dot{x} = f(x, t) + B * u(t) \quad (9)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} * \{ k_m * I_a - (B_m * \omega + T_v) \} \quad (6)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada x ; durum değişkenimizdir, t ; zaman, $\{rank(B) \neq 0\}$; Kayan kipli kontrolde önce bir Skayma fonksiyonu seçilir. Seçilecek S kayma fonksiyonu,

Eş.1 ve Eş.2 yardımıyla,

$$\frac{dI_a}{dt} = \frac{1}{L_a} * (V_a - R_a * I_a - k_e * \omega) \quad (7)$$

$$S = \{ x: \sigma(x, t) = 0 \} \quad (10)$$

elde edilir. Etiket değerleri $V_a = V_f = 240V$ ve $4.5kw$ gücündeki Motorumuzun deneysel ve ampirik yöntemlerle belirlediğimiz parametreler aşağıdaki şekildedir;

şeklinde olsun. Sistemin kararlı bir çözümünün elde edilebilmesi için durum değişkenlerinin bu kayma yüzeyi üzerinde kalması, bir başka deyişle $\sigma(x, t)=0$ olması gerekir. Doğru akım motorunun hız kontrolü için kayma yüzeyi denklemi şu şekilde seçilebilir.

$R_a = 11,5 \Omega$, $L_a = 0.1250H$, $J = 0.02250 \text{ Nm s}^2/\text{rad}$,
 $B_m = 0.00298 \text{ Nms/rad}$, $k_m = 1.3 \text{ Nm/A}$, $k_e = 1.31 \text{ Vs/rad}$.

$$\sigma = \dot{e} + Ge \quad (11)$$

$$\dot{e} = \dot{\omega}_{ref} - \dot{\omega} \quad (12)$$

$$e = \omega_{ref} - \omega \quad (13)$$

3. Kontrol

3.1. PID kontrol

Basit ve kolay uygulanabilmesinden dolayı lineer sistemlerde başarılı sonuçlar verdiği için PID kontrol günümüzde hala kullanılmaktadır. Hatayı $e(t)$ sıfırlamak için sisteme uygulanacak kontrol kuralı $u(t)$, aşağıdaki şekilde üretilir.

e : hız hatası, \dot{e} : ivme hatası, ω_{ref} : referans veya istenen hız, G ise kayma yüzeyinin eğimini gösteren sabit katsayılı bir değerdir. σ kayma yüzeyi şekil.2'de verilmiştir. Bu şekle bakıldığında, sistemin başlangıç şartlarına göre hız hatası ve ivme hatası hızlı bir şekilde önce kayma yüzeyine taşınır daha sonra kayma yüzeyi üzerinde kayarak hız ve ivme hatası sıfırlanır.

$$u(t) = k_p * e(t) + k_i * \int_0^t e(t) * dt + k_d * \frac{de(t)}{dt} \quad (8)$$

Eş.11 şu şekilde de yazılabilir;

$$\sigma = \varphi(t) - \phi(x) \quad (14)$$

burada k_p : oransal kontrol katsayısı, k_i : integral kontrol katsayısı, k_d : türev kontrol katsayısı olup, çeşitli yöntemlerle hesaplanabilmekle birlikte bu çalışmada Ziegler-Nichols metodu kullanıldı. Bu metoda göre hesaplanan ve simülasyonda kullanılan PID parametleri ($k_p=40$; $k_i=10$; $k_d=5$) şeklindedir.

burada $\varphi(t)$; kayma fonksiyonunun zamanla değişen bileşeni ve $\phi(x)$; kayma fonksiyonunun durum değişkeni ile değişen bileşenidir.

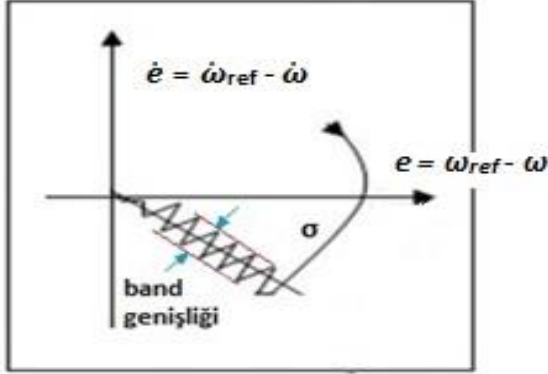
3.2. Kestirilmiş eşdeğerli kayan kipli kontrol

Kayan kipli kontrol lineer olmayan sistemlerde çok iyi sonuç vermektedir. Bu kontrol tekniğinde sistem modelinin çok iyi bilinmesine gerek yoktur. Bu

Kontrol edilen sistemin kararlılığı için önce bir aday Lyapunov fonksiyonu (v) seçilir. Seçilen aday Lyapunov fonksiyonu,

$$\dot{v} = \sigma^T \sigma / 2 > 0 \text{ şeklinde ise} \quad (15)$$

$$\dot{v} * v < 0 \quad (16)$$



Şekil 2. Kayma Yüzeyi (σ)

şeklinde olması sağlanırsa sistemin kararlılığı gerçekleşmiş olur. Bunu için Lyapunov fonksiyonunun türevini aşağıdaki gibi seçebiliriz (Sabanovic at all 2006).

$$\dot{v} = -\sigma^T \Gamma \sigma < 0 \quad (17)$$

Eş.15 ve Eş.17 denklemlerinden

$$\dot{\sigma} + \Gamma \sigma = 0 \quad (18)$$

elde edilir. Burada Γ : durum değişken hatasının kayma yüzeyine yaklaşım hızını belirler ve pozitif bir değerdir. Bu yüzden Lyapunov fonksiyonunun türevi negatif olacaktır ve bu da kararlılığı sağlayacaktır. Eş.17 ve Eş.18 nolu denklemlerinden

$$\sigma^T (\Gamma \sigma + \dot{\sigma}) = 0 \quad (19)$$

yazılır ise Eş.14 ve Eş.15 nolu denklemlerinden eşdeğer kontrolcüyu bulmak için $\dot{\sigma} = 0$ olacak şekilde,

$$\dot{\sigma} = \dot{\phi}(t) - \dot{\phi}(x) = \dot{\phi}(t) - (GAx(t) + GB * u) = 0 \quad (20)$$

olur. Ayrıca;

$$\dot{\phi}(t) - (GAy(t) + GB) u_{eq} \quad (21)$$

olduğundan

$$(GB) (u_{eq} - u) = -\Gamma \sigma \quad (22)$$

Eş.22'den u çekilecek olursa;

$$u = u_{eq} + (GB)^{-1} \Gamma \sigma \quad (23)$$

elde edilir. Burada kontrol kuralında eşdeğer kontrolün hesaplanarak toplam kontrol kuralının elde edilmesindeki hesaplama güçlüğüne karşılıklı eşdeğer kontrolörün bir yaklaşıklıkla kestirilmişinin (\hat{u}_{eq}) hesaplanması yoluna gidilecektir.

$$u = \hat{u}_{eq} + (GB)^{-1} \Gamma \sigma \quad (24)$$

Eş.19 ve Eş.22den u_{eq} çekilirse,

$$u_{eq}(t) = u(t) + (GB)^{-1} \dot{\sigma} \quad (25)$$

olur. u_{eq} eşdeğer kontrol kuralı için mantıklı bir kestirim kuralı discrete modda (\hat{u}_{eq}) şöyle yazılabilir;

$$\hat{u}_{eq}(t) = u(t - \Delta t) + (GB)^{-1} \dot{\sigma} \quad (26)$$

Burada Δt çok küçük bir zaman gecikmesidir. Bu ifade Eş.24de yerine konular ise yeni kontrol kuralı;

$$u(t) = u(t - \Delta t) + (GB)^{-1} (\Gamma \sigma + \dot{\sigma}) \quad (27)$$

şeklinde elde edilir (Sabanovic at all 2006). (Derdiyok et al. 2000), (Eker I.2006), (Ozdal O. 2008), (Floquet T. 2010), (Derdiyok and Basci. 2013), (Soysal B. 2014).

Şimdi Eş.27'yi doğru akım motorunun hız kontrolü için düzenleyelim. Bunun için Eş.6 yeniden düzenlenir ve $T_y = 0$ kabul edilirse (işlem kolaylığı açısından), aşağıdaki şekli alır.

$$\dot{\omega} = -\frac{Bm}{J} \omega + \frac{km}{J} Ia \quad (28)$$

Eş.9 ve Eş.28 karşılaştırılacak olursa $\dot{x} = \dot{\omega}$;

$$f(x, t) = -\frac{Bm}{J} \omega; B = \frac{km}{J}; u(t) = Ia; \text{ olduğu}$$

görülür. Eş.12 deki kayma fonksiyonunun eğimini $G = g1$ şeklinde seçersek Eş.27 aşağıdaki şekli alır.

$$Ia(t) = Ia(t - \Delta t) + \frac{J}{g1 \cdot km} (\Gamma \sigma + \dot{\sigma}) \quad (29)$$

3.3. Kesir mertebeli türev kontrol

Kesir mertebeli kontrol sistemlerinde genel olarak üç farklı yaklaşım kullanılır. Bunlar;

- Kontrol edilecek sistemin türev/integral derecesi (tam sayı) ve Kontrolcü türev/integral derecesi (kesir),
- Kontrol edilecek sistemin türev/integral derecesi (kesir) ve Kontrolcü türev/integral derecesi (tam sayı),
- Kontrol edilecek sistemin türev/integral derecesi (kesir) ve Kontrolcü türev/integral derecesi (kesir),

şeklindedir. Kontrol edilecek sisteme ve kontrolcüye ait entegro-diferansiyel denklemlerin derecelerinin tam sayı olmadığı yapılara kesir mertebeli sistemler denilmektedir. Kesir mertebeli entegro-diferansiyel operatörü Eş.30'daki gibi tanımlanmaktadır.

Kesir mertebeli türev için genel olarak ${}_v D_t^\mu$ gösterimi kullanılacak olursa, kesir mertebeli türev ve integral aşağıdaki şekilde gösterilir. Burada v ve t sınır değerlerdir.

Eş.30'da μ türev veya integral derecesini göstermektedir. Kesir mertebeli kontrol için farklı tanımlar verilmektedir. Bunlardan en fazla

kullanılanları Riemann-Liouville (RL), Caputo, Grünwald-Letnikov (GL), Wely, Riesz kesirli türevleridir (Podlubny, I., 1999), (Sabatier at all 2007).

$${}_v D_t^\mu = \begin{cases} \frac{d^\mu}{dt^\mu} & : \mu > 0 \\ 1 & : \mu = 0 \\ \int_v^t dt^{-\mu} & : \mu < 0 \end{cases} \quad (30)$$

RL'nin tanımına göre ,

$${}_v D_t^\mu f(t) = \frac{1}{\xi^{(n-\mu)}} \frac{d^n}{dt^n} \int_v^t \frac{f(\tau)}{(t-\tau)^{\mu-n+1}} d\tau \quad (31)$$

Burada $n-1 < \mu < n$ ve ξ Euler gamma fonksiyonudur.

3.4. Kesir mertebeli kayan kipli kontrol

Kestirilmiş Eşdeğer kontrollü Kayan Kipli Kontrolcünün Eş.29'da $Ia(t)$ kontrol kuralına bakıldığında $\dot{\sigma}$ kayma yüzeyinin birinci türevi (tam türevi) kullanılmıştır. Daha ince ve hassas bir kontrol için bu eşitlikteki tam türev operatörü yerine Eş.31'deki RL'nin kesir mertebeli türev operatörü kullanıldığında yeni Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrol (KMKKK) kuralı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$Ia(t) = Ia(t - \Delta t) + \frac{J}{g1 \cdot km} (\Gamma \sigma + {}_v D_t^\mu \sigma) \quad (32)$$

4. Simülasyon Sonuçları ve Tartışma

DC Motor için Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrol sisteminin yapısı, motor hız hatasını ($\omega_{ref} - \omega$) ve onun türevini kullanır. Bir başka deyişle hız hatasını sınırlarken, hız hatasının değişim hızını da kontrol eder. Bu yaklaşım, kontrolcünün başarısına önemli katkı sağlar.

Eş.32 kontrol kuralına bakıldığında kontrolcüyü tasarlarken kontrol edilecek sistem ile ilgili bilmemiz gereken sadece (J) ve (k_m) değerleridir. Bu

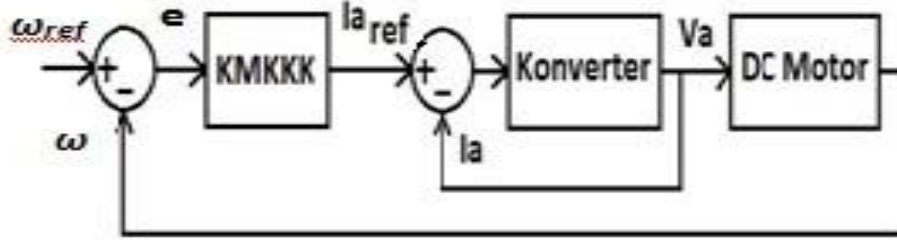
durum, kontrolcünün daha kolay tasarlanabilmesini ve daha kolay uygulanabilmesini sağlar. Kontrolcü tasarımında kullanılan (J) ve (km) parametreleri kontrolcü, bundan olumsuz etkilenmez. Bu durum kontrolcümüze arzu ettiğimiz robust olma özelliğini sağlar.

Eş.32 kontrol kuralına bakıldığında tasarlanacak kontrolcü ile ilgili belirlememiz gereken ise üç parametre bulunmaktadır. Bunlar (g_1), (Γ) ve (μ) parametreleridir. Eş.12’de belirttiğimiz gibi (g_1) kayma yüzeyinin eğimidir ve şekil 2’deki band genişliğini etkiler. Genellikle ($g_1=0...100$) arasında değişen tamsayıdır ve çok büyük seçildiğinde sistem kararsızlaşır. Kontrolcü parametrelerinden olan (Γ) ise referansı yakalamada etkilidir. Genellikle ($\Gamma=0...10000$) arası değişen tam sayıdır ve çok küçük seçilirse referansı yakalayamaz, çok büyük seçilirse sistem osilasyon yapar. Kontrolcü parametrelerinden olan (μ), kesir mertebeli türevin

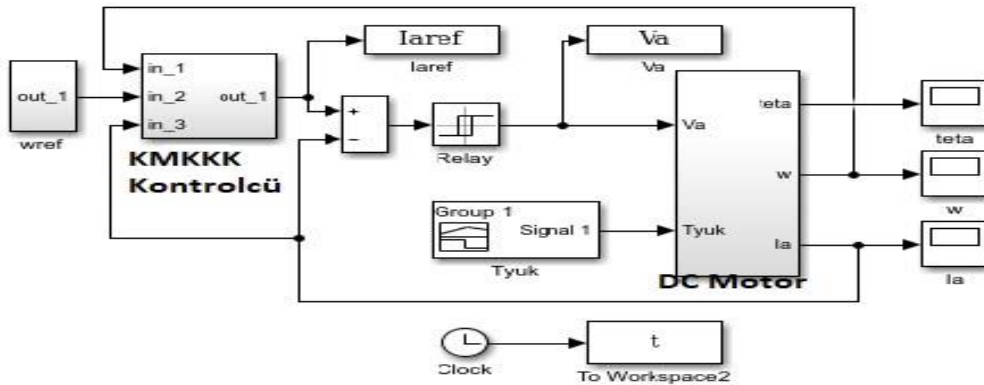
motorun sabit parametreleri olduğu için motorun değişik şartlarla karşılaşması söz konusu olsa dahi

kesir derecesini gösterir ve $0 < \mu < 1$ değerleri arasında ondalıklı bir sayıdır. (μ) parametresi kontrolcü parametreleri olan (Γ) ve (g_1) ile yapılan kontrolün daha ince ve hassas yapılabilmesini sağlar. Bu makaledeki yapılan simülasyon çalışmalarında ($g_1=50$; $\Gamma=50$) değerleri kullanılmıştır.

Eş.32 deki kontrol kuralına bakıldığında KMKK Kontrolcü, ($e = \omega_{ref} - \omega$) hız hatasını sıfırlayabilmek için olması gereken referans motor akımını ($I_{a,ref}$) belirler. KMKK Kontrolcü tarafından belirlenen ($I_{a,ref}$) bir histerisiz kontrolcü ile konvertör üzerinde motora gerekli olan besleme gerilimi (V_a)’yı uygular. Eş.32’deki yeni kontrol kuralına ait blok diyagramı Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrol (KMKKK) Blok Diyagramı



Şekil 4. Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrol (KMKKK) Sisteminin Blok Diyagramı

KMKK Kontrol Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiş olup buna ilişkin tüm sistemin programı şekil 4’te ve KMKK Kontrolcünün programı ise şekil 5’te verilmiştir. Kural tabanında

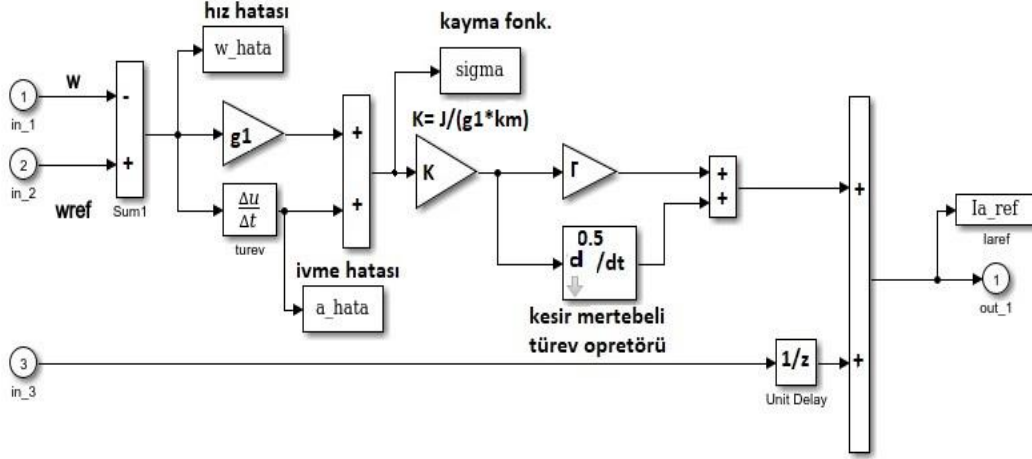
kontrol işareti limitleri $V_a=240V$, $I_{a,max}=15A$, $\omega_{ref} = 80rad/s$, $T_y=0Nm$ ve $\mu=0.6$ için Matlab/Simulink programı ile yapılan simülasyon sonucunda PID ve KMKKK kontrolcü hız hataları şekil 6’da

görülmektedir. Kesir Mertebeli Kayan Kipli kontrolcünün hız hatası yaklaşık $t=0.1s$ de

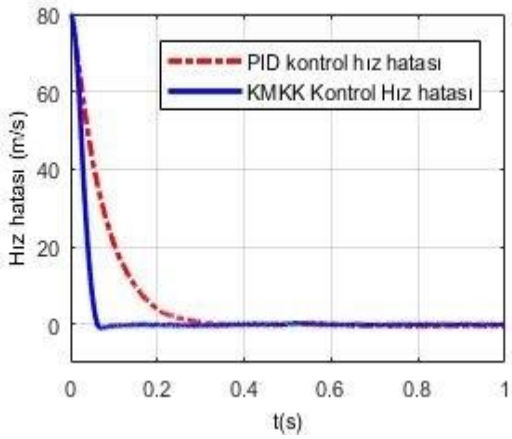
sıfırlanırken PID kontrolcünün hız hatası yaklaşık $t=0.4s$ de sıfırlanmakta fakat bu andan sonra da

hız hatasında küçüğe olsa sıfırdan uzaklaşmalar görülmektedir. Bu, KMKKK kontrolcünün, PID

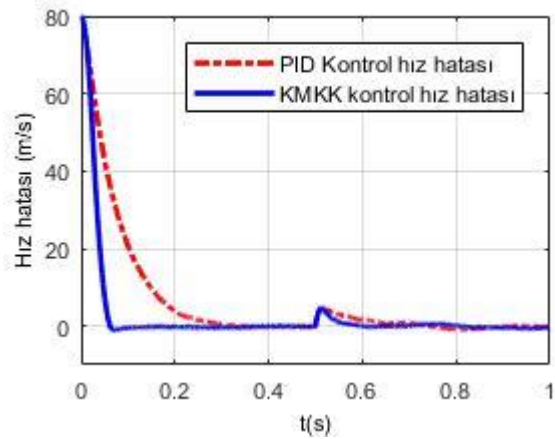
kontrolcüye göre daha başarılı olduğunu bize gösterir.



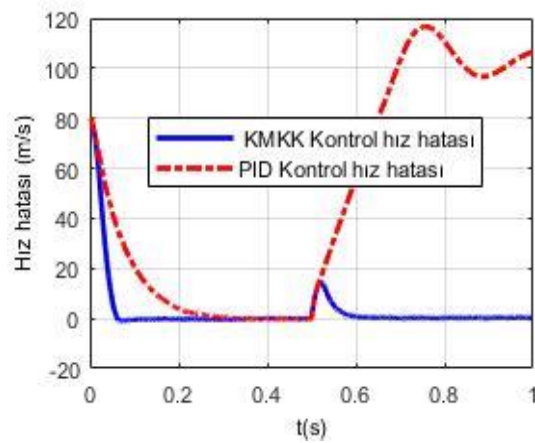
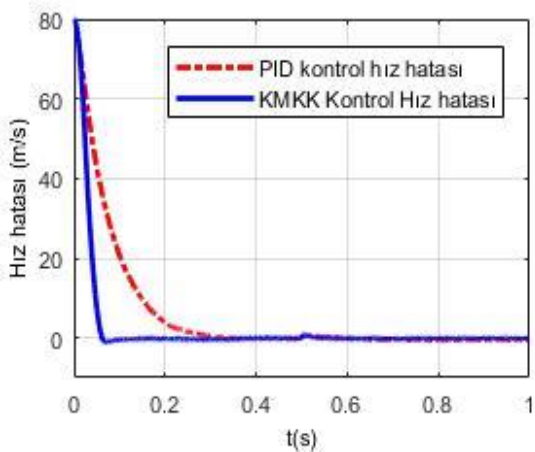
Şekil 7. Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrolcünün (KMKKK) Blok Diyagramı



Şekil 5. Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrolcü (KMKK) ve PID Kontrolcü için hız hatası ($T_y=0Nm$, $\mu=0.6$)



Şekil 6. Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrolcü (KMKK) ve PID Kontrolcü için hız hatası ($T_y=17Nm$, $t=0.5s$ de $\mu=0.6$)

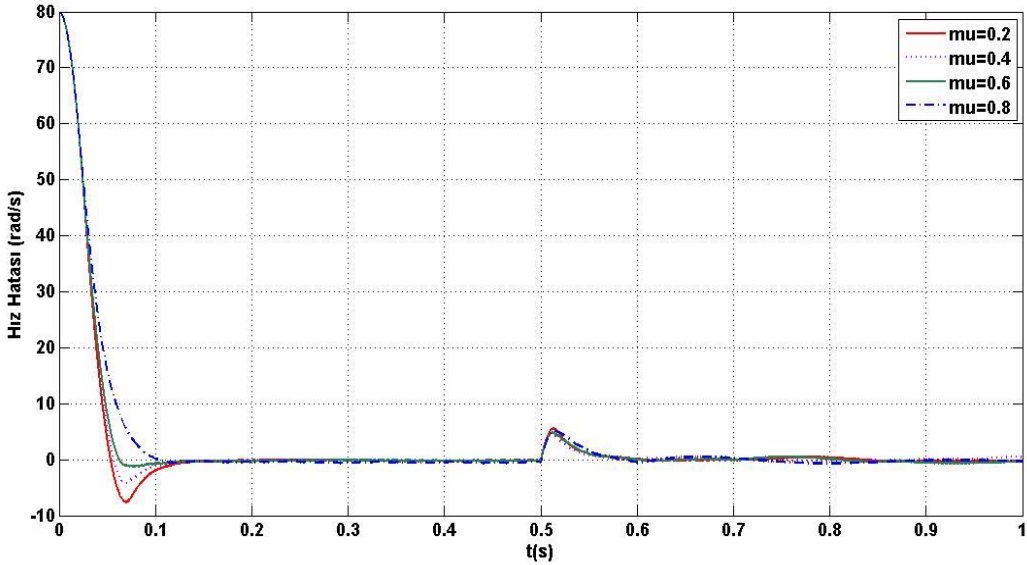


Şekil 8. Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrolcü (KMKK) ve PID Kontrolcü için hız hatası ($T_y=30Nm$, $t=0.5s$ de $\mu=0.6$)

Şekil 9. Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrolcü (KMKK) ve PID Kontrolcü için hız hatası ($T_y=7Nm$, $t=0.5s$ de $\mu=0.6$)

$V_a=240V$, $I_{a_{max}}=15A$, $\omega_{ref} = 80rad/s$, $\mu=0.6$ ve yük momentini $T_y=7Nm$, $T_y=17Nm$ ve $T_y=30Nm$ için Matlab/Simulink programı ile yapılan simülasyon sonucunda PID ve KMKK kontrolcü hız hataları şekil.7, şekil.8 ve şekil.9'da görülmektedir. Bu yük momentleri $t=0.5s$ 'de uygulanmıştır. Şekil.7, Şekil.8 ve Şekil.9'a bakıldığında KMKK Kontrol hız hatasının, PID kontrol hız hatasına göre daha hızlı bir şekilde sifira gittiği görülmektedir. Şekil.7'ye bakıldığında $t=0.5s$ 'de uygulanan $T_y=7Nm$ bozucu yük momentinin etkisini KMKK kontrolcü ve PID kontrolcü hız hatasını çok çabuk sifirleyabilmektedir. Şekil.8'e bakıldığında $t=0.5s$ 'de uygulanan $T_y=17Nm$ bozucu yük momentinin etkisini KMKK kontrolcü, PID kontrolcüye göre hız hatasını daha hızlı sifirleyabilmektedir. Şekil.9'a bakıldığında $t=0.5s$ 'de uygulanan $T_y=30Nm$ bozucu

yük momentinin etkisini KMKK kontrolcü yaklaşık $t=0.1s$ 'de hız hatasını sifirleyebilme başarısını gösterebilmiş fakat PID kontrolcü sistemi kararsız bir noktaya götürerek başarısız olmuştur. Bu sonuç, bize KMKK kontrolcünün, PID kontrolcüye göre değişen şartlara göre daha Robust olduğunu bize göstermektedir. Eş.32'de KMKK kontrolcüde kesir mertebeli türevin (${}_sD_t^H$), hız hatasına etkisini görmek için $V_a=240V$, $I_{a_{max}}=15A$, $\omega_{ref} = 80rad/s$, yük momentini $T_y=17Nm$ şartlarında kesir mertebesi μ için ($\mu=0.2$; $\mu=0.4$; $\mu=0.6$; $\mu=0.8$) değerleri kullanılarak Matlab/Simulink programı ile yapılan simülasyon sonucunda KMKK kontrolcü hız hataları şekil.10'da görülmektedir. Bu şekle bakıldığında μ 'nün değeri arttıkça hız hatası daha az aşım yaparak sifirlanmaktadır. Bu çalışmada $\mu=0.8$ için en iyi sonucu elde edebildiğimizi görmekteyiz.



Şekil 10. Kesir Mertebeli Kayan Kipli Kontrolcü (KMKK) için hız hatası ($T_y=17Nm$, $t=0.5s$ de ve $\mu=0.2$; $\mu=0.4$; $\mu=0.6$; $\mu=0.8$ için)

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, bir DC Motorun hız kontrolü için kesir mertebeli kayan kipli kontrolcüsü tasarlanmış ve PID kontrolcü sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kesir mertebeli kayan kipli kontrolcünün, PID kontrolcüye göre hız hatasını değişik çalışma şartlarına rağmen başarılı bir şekilde daha hızlı sifirlemiştir. KMKK Kontrolcü, motorun değişmeyen

iki parametresine bağlı olduğu için PID kontrolcüye göre oldukça Robust olduğu da görülmüştür. KMKK kontrolcünün ince ve hassas kontrolüne, kesir mertebeli türevin etkisi görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar neticesinde yapısı ve çalışma şartları bakımından oldukça nonlineer özellik gösteren DC Motor hız kontrolünün, PID kontrol yerine KMKK kullanılarak yapılması uygulamada çok daha iyi sonuçlar vereceği açıktır.

Kaynaklar

- Suman S.K. and Giri V.K., 2016. Speed Control Of DC Motor Using Optimization Techniques Based PID Controller. *2nd IEEE International Conference on Engineering and Technology (ICETECH)*, India.
- Kanojiya R.G. and Meshram P.M., 2012. Optimal Tuning of PI Controller for Speed Control of DC motor drive using Particle Swarm Optimization. *IEEE*, 978-1-4673-2043-6.
- Meshram P.M. and Kanojiya R.G., 2012. Tuning of PID Controller using Ziegler-Nichols Method for Speed Control of DC Motor. *IEEE- International Conference On Advances In Engineering, Science And Management*, India, pp. 117-122.
- Huang G. and Lee S., 2008. PC-based PID Speed Control in DC Motor. *IEEE ICALIP*, 978-1-4244-1724-7, pp. 400-407.
- Thepsatom P., Numsomran A., Tipsuwanporn V. and Teanthong T., 2006. DC Motor Speed Control using Fuzzy Logic based on LabVIEW. *SICE-ICASE International Joint Conference 2006 Korea*, pp. 3617-3620.
- Zhang J., 2005. Structural research of fuzzy PID controllers. *International Conference on Control and Automation, ICCA*, Northeastern University, Qinhuangdao Hebei China .
- Yaras B., Huseyinov R., Namazov M., Celikkale I.E. and Seker M., 2014. Fuzzy Control And Sliding Mode Fuzzy Control Of Dc Motor. *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Sigma* **32**, pp. 97-108.
- Dil Kumar T.R. and Mija S.J., 2015. Dynamic SMC Control Scheme with Adaptively Tuned PID Controller for Speed Control of DC Motor. *IEEE*, 978-1-4673-2043-6. pp. 187-191.
- Muresan C.I., Folea S., Mois G. and Dulf E.H., 2013. Development and implementation of an FPGA based fractional order controller for a DC motor. *Elsevier Mechatronics* **23**. pp. 798-804.
- Güzelbeyoğlu N., 2005. Elektrik Makinaları I-II /Teori – Çözümlü Problemler. Birsen Yayınevi.
- Sabanovic A., Abidi K. and Elitas M., 2006. A Study on High Accuracy Discrete-Time Sliding Mode Control. *IEEE International Conference EPE-PEMC , Portorož, Slovenia*, pp. 355-360.
- Derdiyok, A., Guven, M. K., Inanc, N. and Rehman, H. U. & Xu, L. 2000. A DSP-based indirect field oriented induction machine control by using chattering-free sliding mode. *National Aerospace and Electronics Conf., NAECON*. pp. 568- 573.
- Eker, I., 2006. Sliding Mode Control with PID Sliding Surface and Experimental Application to An Electromechanical Plant. *ISA Transactions*, vol.45, Number 1, pp.109-118.
- Ozdal, O., 2008. Model Dayanaklı Kayan Kipli Denetim. *Master Thesis, Hacettepe Üniversitesi FBE*, Ankara
- Floquet T., Spurgeon S. K. and Edwards C., 2010. An Output Feedback Sliding Mode Control Strategy for MIMO Systems of Arbitrary Relative Degree. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, Vol. 21, 2.
- Derdiyok, A. and Basci, A., 2013. The application of chattering-free sliding mode controller in coupled tank liquid-level control system. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 30(3), pp.540-545.
- Soysal B., 2014. Real-time control of an automated guided vehicle using a continuous mode of sliding mode control. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences* **22.5**, pp.1298-1306.
- Podlubny, I., 1999. Fractional differential equations, Academic Pres, New York.
- Sabatier J., Agrawal O.P., Machado J.A.T. 2007. Advances in Fractional Calculus. *Springer*, 978-1-4020-6041-0 (Print) 978-1-4020-6042-7 (Online)