

BİR MOTORDA YAKIT/HAVA ORANININ DENETİMİNİ KARARLI KILAN PI^λ DENETÇİLERİNİN ÇÖZÜMLEMESİ

Cem Onat

*Yrd. Doç. Dr., İnönü Üniversitesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya
cem.onat@inonu.edu.tr*

ÖZET

Verimli ve temiz çalışan motorların ortak noktası, yakıt/hava oranını ideal değerde denetleyen bir kapalı çevrim denetim sistemine sahip olmalarıdır. Bu çalışmada, bir motorda yakıt/hava oranı denetimini kararlı kıلان kesir dereceli oransal-integral (PI^λ) denetçiler hesaplanmıştır. Kararlılık bölgelerinin çözümlemesi, oransal kazanç-integral kazanç (K_p - K_i) düzleminde, integral alıcıının kesir derecesine (λ) bağlı olarak, kararlılık sınır yer eğrilerinin çizilmesi ve ardından denetçi parametrelerinin kararlı kıلان değerlerinin hesaplanması temeline dayalıdır. Elde edilen kararlılık bölgeleri farklı PI^λ denetçi tasarımları yöntemlerinin geliştirilmesine dayanak teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yakıt/hava oranı, PI^λ denetçi, otomotiv

Analysis of Stabilizing PI^λ Controllers For Fuel/Air Ratio in an Engine

ABSTRACT

The common point of the engines working efficiently and cleanly is to have a closed loop control system controlling fuel/air ratio on its ideal value. In this study, proportional-fractional integral (PI^λ) controllers stabilizing for the control of fuel/air ratio in an engine are computed. The analysis of the stability regions are based on plotting the stability boundary locus on the proportional gain-integral gain (K_p - K_i) plane according to fractional order of the integrator (λ) and then computing stabilizing values of the controller parameters. Obtained stability regions are to form a basis on development of the different design methods for PI^λ controller design.

Keywords : Fuel/air ratio, PI^λ controller, automotive

Geliş tarihi : 15.12.2011
Kabul tarihi : 12.03.2012

Onat C., 2012. "Bir Motorda Yakıt/Hava Oranının Denetimini Kararlı Kıلان PI^λ Denetçilerinin Çözümlemesi," TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 53, sayı 626, s. 42-45.

1. GİRİŞ

Motorlarda, yakıt/hava karışımı oranının ideal değerinde tutacak bir kapalı çevrim denetim sisteminin oluşturulması, zararlı egzoz emisyonlarının azaltılması ve daha iyi motor performansı sağlanması açısından gereklidir [1-4]. Yanmamış hidrokarbonları ve karbon monoksiti aynı anda oksitleyip nitrojen oksidinin miktarını azaltan üç fonksiyonlu bir cihaz olan katalitik çevirici, hava yakıt karışımı oranının 0.068 (1/14.7) değerinden sapması durumunda neredeyse etkisiz hâle gelir [5, 6]. Bunun için kapalı çevrim denetim sisteminin amacı çeviricinin en yüksek verimde kırletici tutabileceği ideal hava yakıt karışımı oranının sağlanmasıdır.

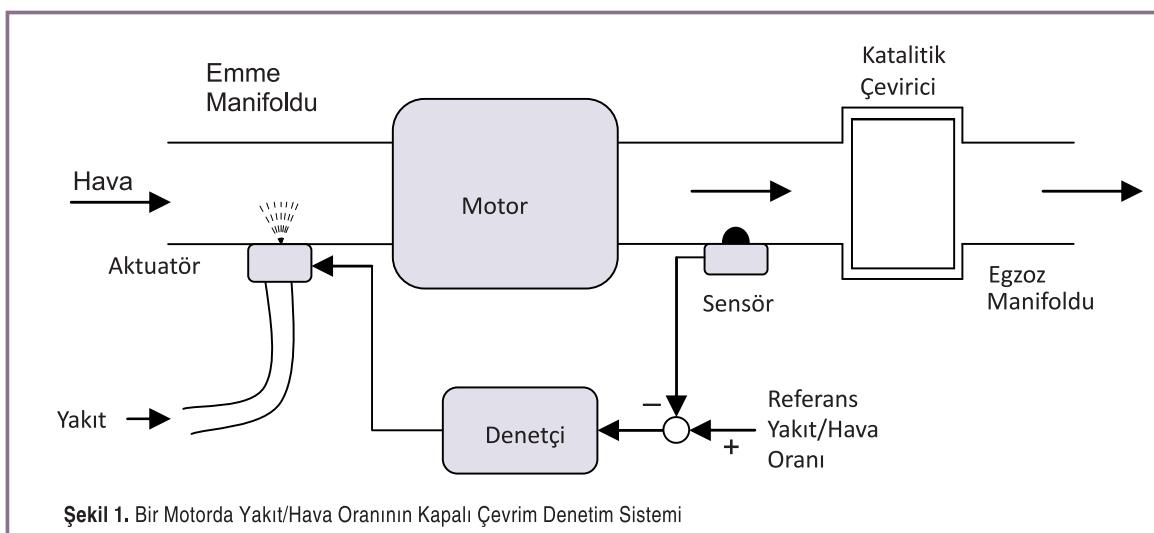
Süphesiz sanayide en yaygın kullanılan denetçiler, basit yapıları ve yüksek dayanıklılıkları sebebiyle PID denetçilere rıltır. Bu durum birçok araştırmacıyı daha iyi PID denetçi ayarlama yöntemleri geliştirmek konusunda teşvik

Ardından bu karakteristik denklem kullanılarak, integral alıcıının derecesine (λ) bağlı biçimde, K_p , K_i düzleminde kararlılık bölgeleri hesaplanmıştır.

2. MODEL

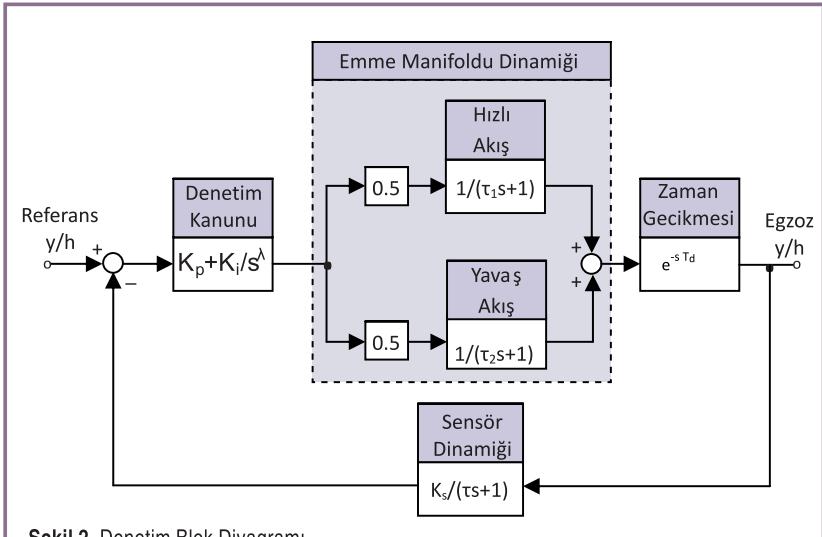
Bir motorda, hava-yakıt karışımı oranının kapalı çevrim olarak ayarlandığı bir sistem Şekil 1'de verilmektedir [10, 11]. Burada, içinde zirkonyum oksit aktif elementi bulunan sensör, egzoz gazının geçtiği yere yerleştirilmiştir. Bu cihaz egzoz gazi içindeki oksijen miktarına karşılık bir gerilim sinyali üretmektedir. Hava yakıt karışımı oranı oksijen seviyesiyle belirlenebildiğinden, cihazın ürettiği gerilim sinyali aynı zamanda motor silindirlerinde yakılan yakıt/hava oranını da belirlemektedir.

Şekil 2'de sistemin PI^λ denetçili denetim blok diyagramı verilmektedir. Burada K_p , K_i ve λ parametreleri sırasıyla oransal ve integral etkinin katsayıları ve integral alıcıının



etmektedir. Bu yüzden, son zamanlarda kesir dereceli PID denetçilere konusundaki çalışmalar artmıştır. Bunun en büyük sebebi geleneksel PID denetçilere göre kesir dereceli PID denetçilere kazanç ve faz payı karakteristiklerinin ayarlanması daha iyi bir esneklik sağlamasıdır [7-9].

Bu çalışmada bir motorda hava yakıt oranının PI^λ denetimi için integral alıcıının derecesine bağlı olarak bütün kararlı kılan denetçilere çözümlemiştir. Bunun için ilk olarak, zaman gecikmeli ikinci mertebeden bir sistem olarak modellenmiş bir motorda hava yakıt karışımı oranı prosesine PI^λ denetim kanunu uygulanarak, içine kontrol parametrelerinin (K_p , K_i ve λ) gömülüdür kapalı çevrim karakteristik denklemi elde edilmiştir.



derecesidir. Emme manifoldu dinamiği için τ_1 ve τ_2 zaman sabitleri sırasıyla, manifold duvarı üzerinde bir sıvı tabaka formundaki yavaş yakıt akışını ve buhar formundaki hızlı yakıt akışını göstermektedir. Zaman gecikmesi; giriş prosesinden egzoz prosesine kadar dört zamanlı motorun bir çevrimi için geçen sürenin, sensöre kadar devam eden egzozun geçiş süresiyle toplanmasıyla elde edilir. τ zamanındaki sensör gecikmesi egzoz manifoldunda olan gecikmeyi ifade etmektedir. Benzetimde kullanılan zaman sabiti ve zaman gecikmesi değerleri Tablo 1'de verilmektedir.

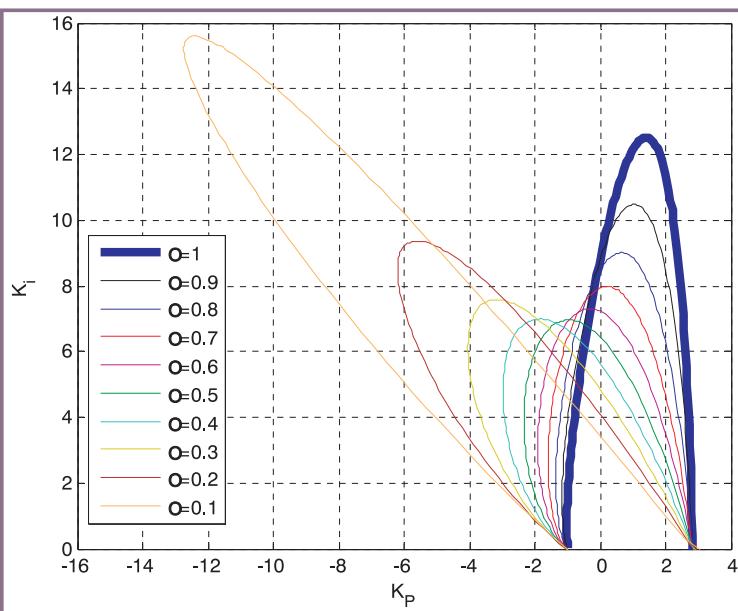
Tablo 1. Benzetim Parametreleri

T_d	τ_1	τ_2	τ
0.2 s	0.02 s	1 s	0.1 s

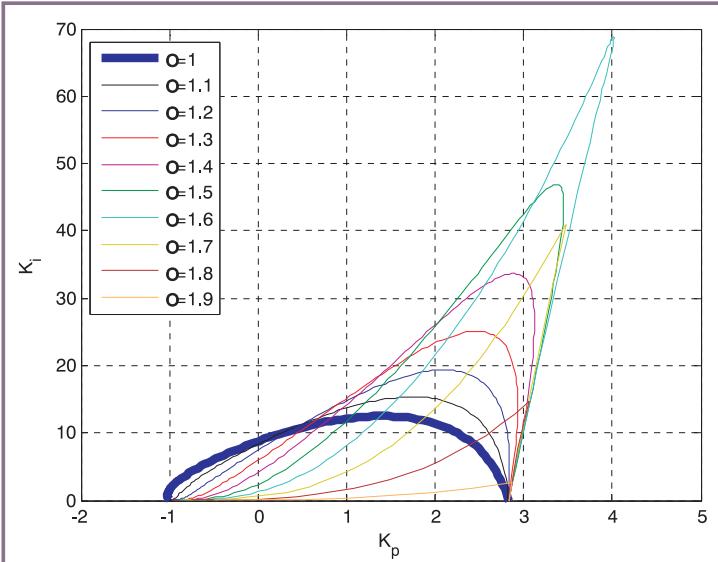
3. DENETİMİ KARARLI KILAN PI^λ DENETÇİLERİN ÇÖZÜMLEMESİ

Yakıt/hava oranı denetimini kararlı kıلان tüm PI^λ denetçilerin hesaplanması iki adımda gerçekleştirilmektedir. İlk adımda, Şekil 2'de verilen PI^λ denetçili kapalı çevrim denetim sisteminin karakteristik denklemi (Δ) denetçi parametrelerine bağlı olarak ifade edilip, $s=i\omega$ dönüşümü

$$\begin{aligned} \Delta(s) = & 2.04 \cdot i \cdot \omega \cdot \cos(0.2\omega) \cdot K_p \cdot (\omega i)^\lambda + 2.04 \cdot i \cdot \omega \cdot \cos(0.2\omega) \cdot K_i + 2.04 \cdot \omega \cdot \sin(0.2\omega) \cdot K_p \cdot (\omega i)^\lambda \\ & + 2.04 \cdot \omega \cdot \sin(0.2\omega) \cdot K_i + 4 \cdot \cos(0.2\omega) \cdot K_p \cdot (\omega i)^\lambda + 4 \cdot \cos(0.2\omega) \cdot K_i - 4 \cdot i \cdot \sin(0.2\omega) \cdot K_p \cdot (\omega i)^\lambda \\ & - 4 \cdot i \cdot \sin(0.2\omega) \cdot K_i - 0.008 \cdot i \cdot \omega^3 \cdot (\omega i)^\lambda - 0.488 \cdot \omega^2 \cdot (\omega i)^\lambda + 4.48 \cdot i \cdot \omega \cdot (\omega i)^\lambda + 4 \cdot (\omega i)^\lambda \end{aligned} \quad (1)$$



Şekil 3. İntegral Alıcı Derecesinin 1'den Küçük Değerleri İçin Kararlılık Bölgeleri



Şekil 4. İntegral Alıcı Derecesinin 1'den Büyük Değerleri İçin Kararlılık Bölgeleri

yapılarak denklem 1 elde edilmektedir. Burada $i=\sqrt{-1}$ dir.

İkinci adımda, denklem 1 de verilen karakteristik denklemi karmaşık terimleri ve real terimleri birbirinden ayrılarak integral alıcının derecesine bağlı olarak iki adet denklem elde

$$\begin{aligned} & \text{Denklem 1: } \Delta(s) = 2.04 \cdot i \cdot \omega \cdot \cos(0.2\omega) \cdot K_p \cdot (\omega i)^\lambda + 2.04 \cdot i \cdot \omega \cdot \cos(0.2\omega) \cdot K_i + 2.04 \cdot \omega \cdot \sin(0.2\omega) \cdot K_p \cdot (\omega i)^\lambda \\ & + 2.04 \cdot \omega \cdot \sin(0.2\omega) \cdot K_i + 4 \cdot \cos(0.2\omega) \cdot K_p \cdot (\omega i)^\lambda + 4 \cdot \cos(0.2\omega) \cdot K_i - 4 \cdot i \cdot \sin(0.2\omega) \cdot K_p \cdot (\omega i)^\lambda \\ & - 4 \cdot i \cdot \sin(0.2\omega) \cdot K_i - 0.008 \cdot i \cdot \omega^3 \cdot (\omega i)^\lambda - 0.488 \cdot \omega^2 \cdot (\omega i)^\lambda + 4.48 \cdot i \cdot \omega \cdot (\omega i)^\lambda + 4 \cdot (\omega i)^\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

edilmektedir. Bu denklemler integral alıcı derecesinin her bir değeri için ayrı ayrı çözülmektedir. K_p ve K_i denetçi parametreleri düzleminde kararlılık bölgeleri elde edilmektedir.

Şekil 3'te integral alıcının derecesini azaltılarak elde edilen denetçiler için kararlılık bölgeleri gösterilmektedir.

Şekil 4'te ise integral alıcının derecesi yükseltilerek elde edilen denetçiler için kararlılık bölgeleri verilmektedir.

Şekil 3 ve 4'ten aşağıdaki hususlar tespit edilmiştir.

- Integral alıcı derecesinin artması, kararlı kılan denetçilere bölgelerinin konvekslığını azaltmaktadır.
- $\lambda=1.5$ değerine kadar olan artma kararlılık bölgelerinin alanını genişletmeye olup, bu değerden sonra alan gittikçe küçülmektedir.
- Integral alıcının derecesinin artması, kararlılık bölgelerini $+K_p$ eksenine doğru evirmektedir.
- Integral alıcı derecesinin azalması, kararlı kılan

denetçiler bölgesinin konveksliğini bozmamaktadır.

- $\lambda=0.5$ değerine kadar olan azalma, kararlılık bölgesinin alanını küçültmekte olup, bu değerden daha küçük değerlerde gittikçe genişletmektedir.
- İntegral alıcının derecesinin azalması, kararlılık bölgesini $-K_p$ eksenine doğru evirmektedir.

3. SONUÇ VE YORUMLAR

Bu çalışmada, bir motorun yakıt/hava oranı kapalı çevrim denetim sistemi için PI^λ denetçilərinin genel bir değerlendirmesi yapılmıştır. Bunun için, integral alıcının derecesi λ ya bağlı olarak kararlı kılan denetçi bölgeleri çözümlenmiştir. Çözümleme sonucunda, kararlılık bölgelerinin yapısal değişimi bakımından, $\lambda = 0.5$ ve $\lambda = 1.5$ değerlerinin özel değerler olduğu tespit edilmiştir. Zira integral alıcının derecesi 1.5 değerine kadar artarken kararlılık bölgesi sıralı biçimde genişlemekte olup, bu değerden sonra küçülmeye başlamaktadır. Benzer şekilde, integral alıcının derecesindeki azalma 0.5 değerine kadar kararlılık bölgesini sıralı biçimde küçültmekte olup, bu değerden sonra kararlılık bölgesi tekrar genişlemektedir. Bu çalışmada elde edilen kararlılık bölgeleri, yeni denetçi tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi çalışmalarına dayanak teşkil edecektir.

SEMBOLLER

y/h	Yakit-hava oranı
K _p	Oransal kazanç
K _i	İntegral kazanç
K _s	Sensör kazancı
λ	İntegral alıcının derecesi
τ	Sensör zaman sabiti
τ ₁	Hızlı akış zaman sabiti
τ ₂	Yavaş akış zaman sabiti
T _d	Zaman gecikmesi
s	Laplace değişkeni
i	$\sqrt{-1}$
ω	Frekans

KAYNAKÇA

1. **Onder, C. H., Geering, H. P.** 1993. "Model Based Multivariable Speed and Air to Fuel Ratio Control of an SI Engine," SAE paper (930859).
2. **Powell, J. D., Fekete, N. P., Chang, C. F.** 1998. "Observer Based Air Fuel Ratio Control," IEEE Control Systems Magazine, vol. 18(5), p. 72–83.
3. **Rupp, D., Onder, C., Guzzella, L.** 2008. "Iterative Adaptive Air/Fuel Ratio Control, In Proceedings of the Advances in Automotive Control," Seaside Resort, USA.
4. **Rupp, D.** 2009. "Model Based Adaptive Air/fuel Ratio Control For An Automotive Gasoline Engine," Ph.D. thesis, ETH Zurich.
5. **Zhang, F., Grigoriadis, K., Franchek, M., Makki, I.** 2007. "Linear Parameter Varying Lean Burn Air-Fuel Ratio Control for a Spark Ignition Engine, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, vol. 129(4), p. 404–414.
6. **Guzzella, L., Onder, C. H.** 2004. Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems," 1st Edition, Springer.
7. **Jifeng, W., Yuankai, L.** 2005. "Frequency Domain Analysis and Applications for Fractional Order Control System," IOP, Journal of Physics: Conf., vol. 13, p. 268–273.
8. **Vinagre, B., Podlubny, I., Dorcak, L., Feliu V.** 2000 "On Fractional PID Controllers: A Frequency Domain Approach," IFAC Workshop on Digital Control. Past, Present and Future of PID Control, Terrasa, Spain, p. 53–58.
9. **Xue, D., Chen, Y. Q.** 2002. "A Comparative Introduction of Four Fractional Order Controllers," Proceeding the 4th World Congress, Intelligent Control and Auto, vol. 4, p. 3228–3235.
10. **Yıldız, Y., Annaswamy, A. M., Yanakiev, D., Kolmanovsky, I.** 2010. "Spark Ignition Engine Fuel-to-Air Ratio Control: An Adaptive Control Approach," Control Engineering Practice, vol. 18 , p.1369–1378.
11. **Franklin, G. F., Powell, G. F., Naeini, A. E.** 2002. Feedback Control of Dynamic Systems, 4th Fourth Edition, Prentice Hill.