

DA-DA Dönüştürücülerin Euler-Lagrange Modellemesi ve Pasif Olma Temelli Denetimi The Euler-Lagrange Modeling of DC-DC Converters and Theirs Passivity Based Control

Nedim Aktan Yalcin and *Fahri Vatansever
Electrical-Electronics Engineering, Uludag University, Bursa, Turkey

Abstract

Anahtarlamalı sistemlerin denetimi çok önemli olmakla birlikte son derece de zordur. Denetlenecek sistemin doğrusal olmaması, değişken yükler barındırması vb. denetleyici tasarımlarını zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada DA-DA dönüştürücülerin (buck, boost, buck-boost) Euler-Lagrange modellemeleri sunulmuş, pasif olma temelli denetimleri geliştirilen simülator ile analiz edilmiştir. Tasarlanan simülator hem sayısal hem de grafiksel olarak sistemdeki enerjileri (sağlanan, depolanan ve harcanan) anlık olarak hesaplamakta; devre parametrelerinin etkilerini, matematiksel modelleri, değişimleri hızlı, doğru ve etkin bir şekilde göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Euler-Lagrange sistemi, DA-DA dönüştürücü, pasif olma temelli denetim.

Abstract

Control of switching systems is crucial and also difficult. Nonlinearity nature, variable loads, etc. of controlled system, make design of controller difficult. In this study, Euler-Lagrange Models of DC-DC converters (buck, boost, buck-boost) are presented, Realization of PBC method is analyzed with developed simulator. Designed simulator can both numerically and graphically calculates energies in system (supplied, stored and dissipated) and shows effects of circuit parameters, mathematical models and variations in circuit in quick, accurate and efficient way.

Anahtar kelimeler: Euler-Lagrange systems, DC-DC converter, Passivity based control.

1. Giriş

Doğru akım- doğru akım (DA-DA) dönüştürücüler doğrusal olmayan karakteristik gösteren ve güç elektroniğinde sıklıkla kullanılan devrelerdir [1]. İçerisinde Boost, Buck, Buck-Boost ve Cuk türleri buluna DA-DA dönüştürücüler için birçok farklı denetim yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında Kayan Kipli Kontrol (SMC) [2] ile türetilen birçok denetim sistemi mevcuttur [3-8]. DA-DA çeviricilerin denetimi için geliştirilen diğer yöntemlere ise örnek olarak verilebilecek sistemler arasında ileriye yönelik tahmin yöntemleri yer alır. Bu yöntemler temel olarak sistemin o anki durumuna göre uygulanacak politikaları (doluluk oranı, anahtarlama frekansı v.b. değiştirerek) belirlemekte ve gelecekteki durum için sistem çıkışını optimal noktaya getirmeyi hedeflemektedir[9-12]. Bu yöntemlerden farklı olarak PID kontrolör tabanlı denetleyiciler mevcuttur, fakat değişken yük bölgelerinde veya farklı anahtarlama frekanslarında PID denetleyicinin performansı olumsuz yönde değişmektedir çünkü yapısından gelen durağanlık değişken yapıli sistemler için uygun değildir [13-15].

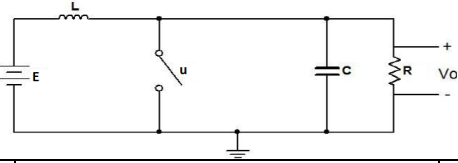
Gerçekleştirilen çalışmada DA-DA dönüştürücülerin Euler-Lagrange modelleri sunularak pasif olma temelli denetimi için grafiksel arayüz tasarlanmıştır. Etkileşimli arayüzde kullanıcının seçtiği ve belirlediği parametrelere göre benzetimler yapılarak sonuçlar hızlı, etkin ve doğru bir şekilde hem sayısal hem de grafiksel olarak sunulmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

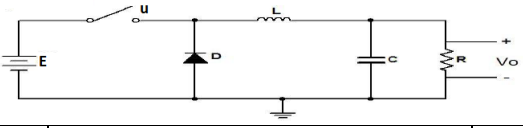
2.1. Dönüştürücü Devreleri

Güç elektroniği alanında DA-DA dönüşümü için yaygın olarak kullanılan devreler Buck, Boost, Buck-Boost ve Çuk dönüştürücü devreleridir [1]. DA-DA dönüştürücü devreleri değişken yapıli sistemlerdir [2] ve devrelerin şemaları ile denklemleri sırasıyla Tablo 1-4'te verilmektedir [16].

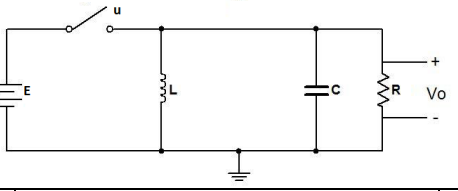
Tablo 1. Boost dönüştürücü denklemleri ve devresi

Boost Dönüştürücü		
		
<i>Lagrange Modeli</i>	<i>Anahtarlamalı Model</i>	<i>Durum Değişkenleri</i>
$L_u = T_u(q'_L) - V_u(q_C)$ $L_u = \frac{1}{2}L(q'_L)^2 - \frac{1}{2C}q_C^2$	$x'_1 = -(1-u)\frac{1}{L}x_2 + \frac{E}{L}$ $x'_2 = (1-u)\frac{1}{C}x_1 - \frac{1}{RC}x_2$	$x_1 = q'_L$ $x_2 = q_C/C$

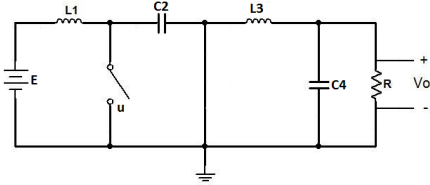
Tablo 2. Buck dönüştürücü denklemleri ve devresi

Buck Dönüştürücü		
		
<i>Lagrange Modeli</i>	<i>Anahtarlamalı Model</i>	<i>Durum Değişkenleri</i>
$L_u = T_u(q'_L) - V_u(q_C)$ $L_u = \frac{1}{2}L(q'_L)^2 - \frac{1}{2C}q_C^2$	$x'_1 = uE\frac{1}{L}$ $x'_2 = \frac{1}{C}x_1 - \frac{1}{L}x_2$	$x_1 = q'_L$ $x_2 = q_C/C$

Tablo 3. Buck-Boost dönüştürücü denklemleri ve devresi

Buck-Boost Dönüştürücü		
		
<i>Lagrange Modeli</i>	<i>Anahtarlamalı Model</i>	<i>Durum Değişkenleri</i>
$L_u = T_u(q'_L) - V_u(q_C)$ $L_u = \frac{1}{2}L(q'_L)^2 - \frac{1}{2C}q_C^2$	$x'_1 = (1-u)\frac{1}{L}x_2 + u\frac{E}{L}$ $x'_2 = -(1-u)\frac{1}{C}x_1 - \frac{1}{RC}x_2$	$x_1 = q'_L$ $x_2 = q_C/C$

Tablo 4. Çuk dönüştürücü denklemleri ve devresi

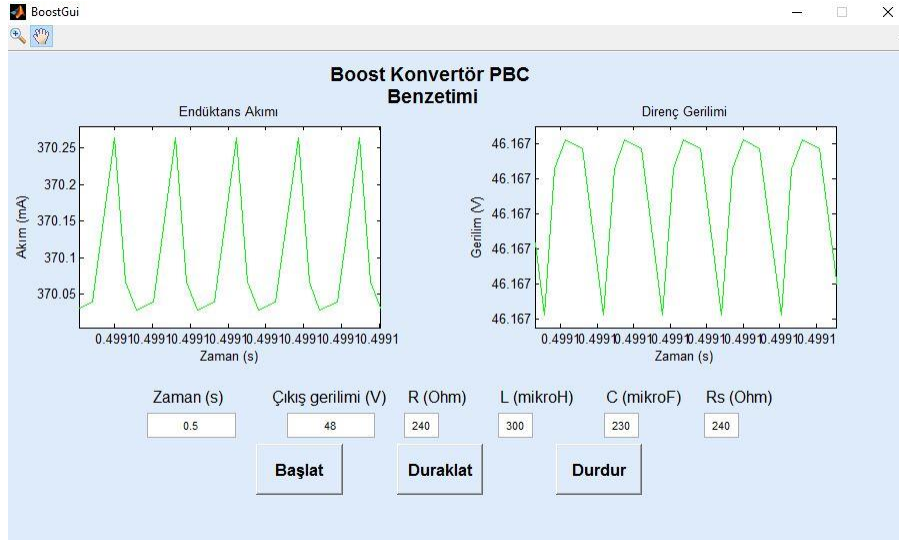
Çuk Dönüştürücü		
		
<i>Lagrange Modeli</i>	<i>Anahtarlamalı Model</i>	<i>Durum Değişkenleri</i>
$L_u = T_u(q_L) - V_u(q_C)$ $L_u(q_{L1}, q_{L3}, q_{L1}, q_{L3}, q_{C4}) = \frac{1}{2} L_1 (q_{L1}')^2 + \frac{1}{2} L (q_{L3}')^2 - \frac{1}{2C_2} [(1-u)q_{L1} + uq_{L3}]^2 - \frac{1}{2C_4} q_{C4}^2$ $\frac{q_{C4}}{C_4} = R(q_{L3}' - q_{C4}')$	$x_1' = -(1-u) \frac{1}{L_1} x_2 + \frac{E}{L_1}$ $x_2' = (1-u) \frac{1}{C_2} x_1 + u \frac{1}{C_2} x_3$ $x_3' = -u \frac{1}{L_3} x_2 - \frac{1}{L_3} x_4$ $x_4' = \frac{1}{C_4} x_3 - \frac{1}{RC_4} x_4$	$x_1 = q_{L1}'$ $x_2 = \frac{1}{C_2} (1-u)q_{L1} + uq_{L3}$ $x_3 = q_{L3}'$ $x_4 = \frac{q_{C4}}{C_4}$

2.2. Pasif Olma Temelli Kontrol

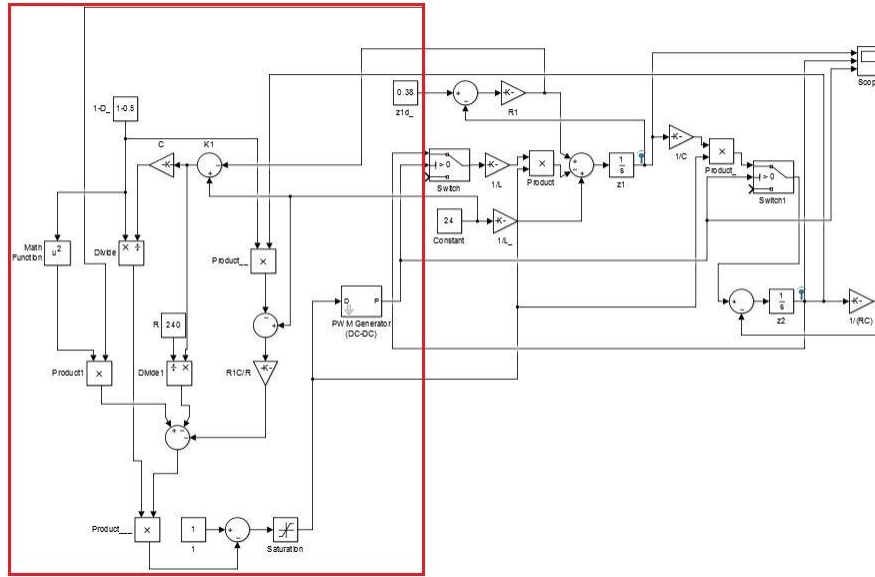
Pasif olma temelli kontrol (PBC), kapalı çevrim kontrolörün pasif hale getirilmesine yönelik amaca sahip olan bir denetim yöntemidir [16-17]. PBC, temel olarak enerji şekillendirme ve sönüm atama aşamalarını içerisinde barındırır. Enerji şekillendirme aşamasında sistemin potansiyel enerji fonksiyonu, istenilen bir denge noktasında global ve tek bir minimuma sahip olacak tarzda yeni bir potansiyel enerji fonksiyonuna dönüştürülür. Yeni potansiyel enerji fonksiyonu Euler-Lagrange denklemlerinden türetilir. Sönüm atama aşamasındaysa, sistemin tüketim fonksiyonunun asimptotik olarak yakınsaması hedeflenir [16]. Pasif olma temelli kontrol, Tablo 1-4'te verilen Euler-Lagrange modellerine bağlı olarak sisteme sağlanan enerjinin, sistemde depolanan ve tüketilen enerjiye eşit olma prensibine göre denetim yöntemini geliştirir.

2.3. Benzetimler

Bu bölümde pasif olma temelli yaklaşımlar ile gerçekleştirilen benzetimlere yer verilecektir. Benzetimlerin tasarımında yüksek seviyeli hesaplama dili olan ve mühendislik alanında sıklıkla kullanılan MATLAB programından yararlanılmıştır [18]. Sistemin kullanıcıya sunulması amacıyla MATLAB programında bir arayüz tasarlanmıştır. Arayüzden verilen komutlarla kontrol sisteminin SIMULINK ile tasarlanmış modeline erişim sağlanmaktadır. Sistemin arayüzü ve örnek bir uygulama Şekil-1'de, benzetim sisteminin arkasında çalışan SIMULINK modeli ise Şekil-2'de gösterilmektedir. Şekil-2'deki şemada, kırmızı ile belirtilen blok, denetim sistemini ifade etmektedir.



Şekil 1. Boost dönüştürücü devresi için GUI tasarımı ve örnek bir simülasyon



Şekil 2. Boost Dönüştürücü devresi için Simulink model tasarımı

3. Sonuçlar

Gerçekleştirilen çalışmada, pasif olma temelli kontrol yönteminin dönüştürücü devreleri üzerinde yeterliliği incelenmiştir. Dönüştürücü devrelerinin değişken yapılı olmalarından dolayı, farklı çalışma koşullarında, çıkış geriliminin kontrolü üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen bulgular, pasif olma temelli kontrolün, dönüştürücülerin farklı çalışma parametrelerinde de iyi bir regülasyon sağladığını göstermektedir. Bu çalışmadan kök olarak gerçekleştirilecek çalışmalarda, sistemde parametre bozulmaları veya ani yük değişimlerinin meydana gelmesi durumunda PBC yönteminin sistemi sabit gerilimde tutma yeteneği, PBC ile çalışan bir sistemin farklı gerilim seviyeleri arasında hızlı ve etkin bir şekilde geçişler sağlama becerisi konuları incelenebilir,

mevcut kontrol yöntemleri ile belirtilen konularda kıyaslamaları yapılabilir ve halihazırdaki metotlarla birleştirilerek karma (hibrit) yöntemler oluşturulabilir. PBC yönteminin, bu çalışmada gösterildiği gibi dönüştürücü devreleri üzerinde etkin bir regülasyon sağlaması ve yeni araştırmaların konusu olabilmesi bakımından önemli bir kontrol yöntemi olduğu açıklanmıştır.

Kaynaklar

- [1] Rashid M H. Power electronics : devices, circuits, and applications. 4th ed. USA: Pearson; 2014.
- [2] Utkin V. Sliding Modes in Control and Optimization. 1st ed. Berlin: Springer; 1992.
- [3] Guldemir H. Study of Sliding Mode Control of Dc-Dc Buck Converter. Energy Power Eng. 2011;3:401-406.
- [4] Utkin V. Sliding mode control of DC/DC converters. J. Franklin Inst. 2013;350:2146-2165.
- [5] Cavallo A, Guida B. Sliding mode control for DC/DC converters. 2012;7088-7094.
- [6] Venkataramanan R. Sliding Mode Control Of Power Converters. 1st ed. California: California Institute of Technology; 1986.
- [7] Muley S. S, Nagarale, R. M. Sliding Mode Control of Boost Converter. Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng. 2013;3:436-441.
- [8] Tan S.C, Lai Y.-M, Tse C. K. Sliding mode control of switching power converters : techniques and implementation. 1st ed. USA: CRC Press; 2011.
- [9] Kouro S, Cortes P, Vargas R, Ammann U, Rodriguez J. Model Predictive Control—A Simple and Powerful Method to Control Power Converters. IEEE Trans. Ind. Electron. 2009;56:1826-1838.
- [10] Cortes P, Kazmierkowski M.P, Kennel R. M, Quevedo D. E, Rodriguez K. Predictive Control in Power Electronics and Drives. IEEE Trans. Ind. Electron. 2008;55:4312-4324.
- [11] Jiangchao Q, Saeedifard m. Predictive Control of a Modular Multilevel Converter for a Back-to-Back HVDC System. IEEE Trans. Power Deliv. 2012;27:1538-1547.
- [12] Rodriguez J, Kazmierkowski M. P, Espinoza J. R, Zanchetta P, Abu-Rub H, Young H. A, Rojas C. A. State of the Art of Finite Control Set Model Predictive Control in Power Electronics. IEEE Trans. Ind. Informatics. 2013;9:1003-1016.
- [13] Garcera G, Abellan A, Figueres E. Sensitivity study of the control loops of DC-DC converters by means of robust parametric control theory. IEEE Trans. Ind. Electron. 2002;49:581-586.
- [14] Raviraj V. S. C, Sen V. S. C. Comparative study of proportional-integral, sliding mode and fuzzy logic controllers for power converters. IEEE Industry Applications Conference Thirtieth IAS Annual Meeting. 1995;2: 1651–1655.
- [15] Meng L, Xue D. Design of an optimal fractional-order PID controller using multi-objective GA optimization. 2009;3849-3853.
- [16] Ortega R, Loria A, Nicklasson P. J, Sira-Ramírez H. Passivity-based Control of Euler-Lagrange Systems. 1st ed. London: Springer; 1998.
- [17] Ortega R, Spong M W. Adaptive motion control of rigid robots: A tutorial. Automatica. 25:877-888.
- [18] “MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink.” [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/>. [Accessed: 20-Jul-2017].