

YÜKSELTİCİ TIP DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN KAYMA MOD KONTROLÜ

Muzaffer ASLAN¹, Hanifi GÜLDEMİR²

¹M. Aslan, Gazi Tek. ve End. Mes. Lisesi, Elektronik Böl. Elazığ,
²H. Güldemir, Fırat Üniv. Tek. Eğt. Fak., Elektronik-Bil. Böl., Elazığ.

ÖZET

Bu çalışmada yükseltici tip bir da-da dönüştürücünün sürekli durum analizi ile dinamik davranışı detaylı olarak incelenmiştir. Kayma mod kontrol temel prensibi verilip, yükseltici tip da-da dönüştürücünün kayma mod kontrolü için ifadeler türetilmiştir. Matlab/Simulink paket programı kullanılarak simülasyonu yapıp simülasyon sonuçları verilmiştir. Simülasyon, değişik yük ve çıkış gerilimleri için yapılmış, giriş gerilimindeki değişiklikler ile yükteki değişimlerin çıkış gerilimi üzerine etkileri incelenmiş olup, tasarlanan kontrol sisteminin bu değişimlere karşı dayanıklı olduğu simülasyon sonuçlarından görülmüştür. Yükseltici tip da-da dönüştürücü modeli hem elde edilen dinamik denklemler kullanılarak oluşturulmuş hem de Matlab/Simpowersystem araç kutusu içerisindeki devre elemanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Yükseltici tip da-da dönüştürücü, Kayma mod kontrol, Anahtarlama modlu güç kaynakları

ABSTRACT

In this study, both the steady state and dynamic behavior of a boost converter are examined. After a brief theory of sliding mode control, the mathematical expressions for the sliding mode control of a boost converter are derived and simulated. The simulation is carried out using Matlab/Simulink simulation tool and the simulation results are presented. In order to examine the effect of load change and input voltage variations on the robustness of the designed control system, the simulation is done with different loads, output voltages, load changes and input voltage variations. The boost converter model has been constructed both using the mathematical equations and the circuit elements in Matlab/Simpowersystem blockset.

Keywords- Boost converter, sliding mode control, switch mode power supplies

1. GİRİŞ

Anahtarlama modlu da-da dönüştürücüler güç elektroniği sistemleri olup, anahtarlama yolu ile bir seviyedeki elektrik gerilimini başka bir seviyeye dönüştürürler. Yüksek verimli ve küçük boyutlu olduklarından günümüzde çok popüler olup bilgisayarlardan çevre birimlerine ve bir çok elektronik cihazlara da gerilim sağlayan güç kaynaklarında kullanılmaktadırlar [1]. Anahtarlama modlu da-da dönüştürücülerin bir çok elektronik sistemde yaygın olarak kullanılması bu dönüştürücülerin yapılarının elektronik sistem tasarım mühendisleri tarafından anlaşılmasını gerekli kılmıştır. Bu tür dönüştürücülerin tasarımı ve kontrolü oldukça güç olup dönüştürücü devreleri, elektronik, lineer ve lineer olmayan kontrol sistem teorisi ve alan teorisi gibi bir çok alanda bilgi sahibi olunmasını gerektirmektedir.

Anahtarlama modlu da-da dönüştürücüler lineer olmayan, zamanla değişen sistemler olduğundan yüksek performanslı kontrol tekniklerine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu kontrol sistemlerinin her türlü çalışma şartlarında dayanıklı olması ve giriş ve yükteki değişimleri bastırarak iyi bir statik ve dinamik cevap vermesi istenmektedir.

Da-da dönüştürücülerin kontrolünde klasik lineer kontrol tekniklerinin kullanılabilmesi için gerekli dönüştürücü transfer fonksiyonu, küçük işaret modeli kullanılarak elde edilir. Bunun için belirli bir çalışma noktası etrafında doğrusallaştırma yapılır. Ancak değişik çalışma noktalarında da dayanıklılığın sağlanıp sağlanmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir.

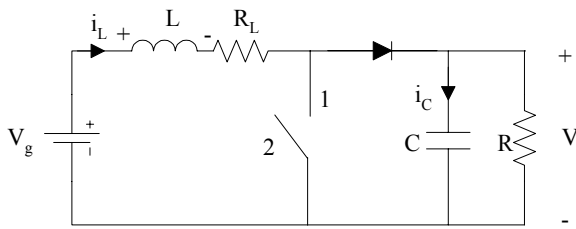
Anahtarlama modlu dönüştürücüler ya da güç kaynakları değişken yapıli sistemlerin özel bir sınıfını oluşturmakta olup, bu sınıf sistemler için geliştirilen nonlineer kontrol tekniklerinin avantajlarını kullanırlar [2]. Kayma mod

kontrol tekniği de değişken yapıli kontrol sistemlerinden olduğundan anahtarlama modlu güç kaynaklarının kontrolünde kullanılabilir. Kuramsal olarak kayma mod kontrol tekniği sistem girişi ile çıkışı arasındaki hata vektörünün herhangi bir başlangıç noktasından, belirlenen bir dinamiğe itilip, o dinamik içerisinde tutulmasını sağlayacak kontrol parametrelerinin hesaplanması temeline dayanmaktadır [3, 4].

2. YÜKSELTİCİ TİP DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ ANALİZİ

2.1 Sürekli Durum Analizi

Sürekli durumda da-da dönüştürücü gerilim ve akım dalga şekilleri incelendiğinde bir da bileşenin bir de anahtarlama frekansında bir dalgalanma ve harmoniklerinin olduğu görülür. İyi tasarlanmış bir da-da dönüştürücüde, da bileşenle kıyaslandığında dalgalanmanın çok küçük genlikte olması gerekir. İndüktans akımı ele alındığında anahtarlamının oluşturacağı dalgalanma maksimum yük için da bileşenin genliğinin %10-20'si civarında, çıkış gerilimindeki dalgalanmanın ise çıkış da geriliminin %1'inin altında olması istenmektedir. Her iki durumda da bileşenle kıyaslandığında dalgalanmanın genliği küçük olduğundan ihmal edilebilmektedir [5].



Şekil 1. Yükseltici tip da-da dönüştürücü

Şekildeki yükseltici tip da-da dönüştürücü ele alınıp indüktans akımı ve çıkış gerilimi ifadeleri anahtarın konumuna göre:

Anahtar 1 konumunda iken,

$$V_L(t) = V_g - i_L(t)R_L \quad (1)$$

dalgalanmanın küçük olduğu kabul edilip ihmal edildiğinde $i_L(t) = I_L$ olacağından,

$$V_L(t) = V_g - I_L R_L \quad (2)$$

elde edilir. Kapasitör akımı ise yine dalgalanma ihmal edildiğinde,

$$i_c(t) = -V/R \quad (3)$$

dir. Anahtar 2 konumunda iken indüktans gerilimi

$$V_L(t) = V_g - I_L R_L - V \quad (4)$$

kapasitör akımı,

$$i_c(t) = I_L - V/R \quad (5)$$

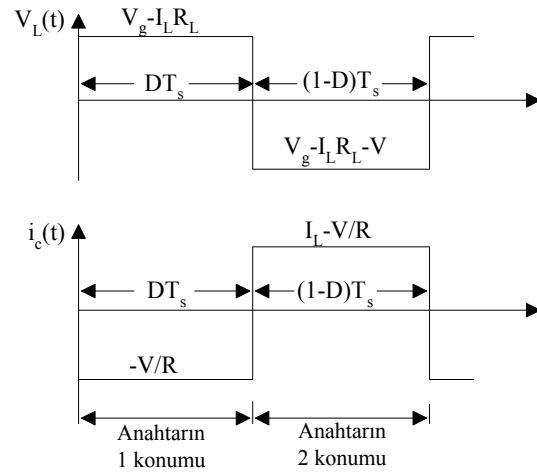
olarak elde edilir. Dönüştürücünün sürekli çalışma durumunda indüktans geriliminin ortalama değeri yada da bileşeni sıfır olur. Anahtarın 1 ve 2 konumundaki indüktans üzerindeki gerilim değerleri birbirine eşit olması gerektiğinden,

$$0 = D(V_g - I_L R_L) + (1-D)(V_g - I_L R_L - V) \quad (6)$$

elde edilir. Aynı şekilde kondansatörün şarj dengesinden

$$0 = D(-V/R) + (1-D)(I_L - V/R) \quad (7)$$

(6) ve (7) ifadeleri V ve I_L cinsinden çözüldüğünde,

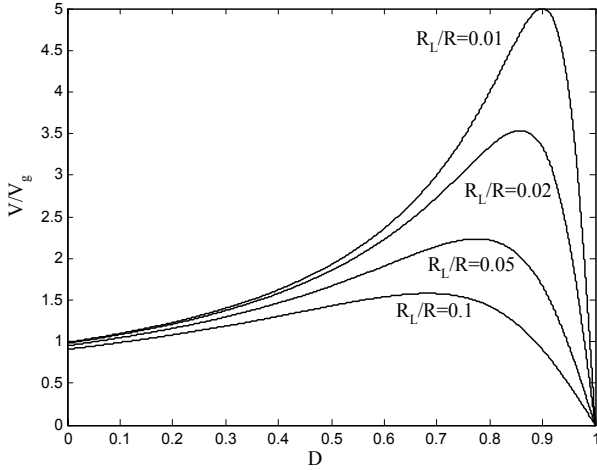


Şekil 2. Dönüştürücü akım ve gerilim dalga şekilleri

$$V = \frac{V_g}{1-D} \frac{1}{1 + \frac{R_L}{(1-D)^2 R}} \quad (8)$$

$$I_L = \frac{V_g}{(1-D)^2} \frac{1}{1 + \frac{R_L}{(1-D)^2 R}} \quad (9)$$

olarak elde edilir [5]. Burada D anahtarın çalışma oranı olarak adlandırılmaktadır. (8) ifadesi değişik R_L/R değerlerine göre çizildiğinde $R_L=0$ olduğunda (ideal durum) gerilim dönüştürme oranı $M(D)$ 'nin $D=0$ da 1'e eşit olduğu ve D 'nin 1'e yaklaşması durumunda ise sonsuza gittiği görülür. Pratikte ise her indüktansın küçük de olsa belirli bir direnci olacağından D , 1'e giderken çıkış geriliminin sıfıra gittiği Şekil 3'den görülmektedir. Yüksek çıkış geriliminin alınabilmesi indüktans sargı direncinin oldukça düşük olması gerektiği şekilden görülmektedir. Değişik R_L/R değerlerine göre V/V_g nin değişimi göstermektedir ki indüktans sargı direnci ve diğer elemanların omik kayıplarını ifade eden dirençler toplamı, dönüştürücünün üretebileceği maksimum gerilim değerini sınırlamaktadır.



Şekil 3. Değişik R_L/R değerleri için çıkış geriliminin D 'ye göre değişimi [5]

2.2 Yükseltici Tip Da-da Dönüştürücü Dinamik Davranışı

Yükseltici tip da-da dönüştürücünün dinamik davranışının incelenmesi yine Şekil 1'deki anahtarın 1 ve 2 konumunda olması durumuna göre incelenmektedir. Bu dönüştürücünün dinamiği anahtar 1 konumunda iken indüktans akımı ve kapasite gerilimi,

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{1}{L}(V_g - i_L(t)R_L) \quad (10)$$

$$\frac{dV_c(t)}{dt} = -\frac{V}{RC} \quad (11)$$

anahtar 2 konumunda iken

$$\frac{di_L(t)}{dt} = \frac{1}{L}(V_g - i_L(t)R_L - V) \quad (12)$$

$$\frac{dV_c(t)}{dt} = \frac{1}{C}(i_L(t) - \frac{V}{R}) \quad (13)$$

Böylece sürekli iletim modu için dönüştürücü dinamik davranışı iki lineer diferansiyel denklem tarafından belirlenebilir.

$$\dot{X} = A_1x + B_1 \text{ (anahtar 1 konumunda)} \quad (14)$$

$$\dot{X} = A_2x + B_2 \text{ (anahtar 2 konumunda)} \quad (15)$$

Burada x , dönüştürücünün durum değişkenleridir. Yeni bir u değişkeni tanımlanıp ve anahtar 1 konumunda iken $u=1$ ve anahtar 2 konumunda $u=0$ olduğu düşünüldüğünde dönüştürücünün dinamik modeli lineer olmayan bir diferansiyel denklem [6]

$$\dot{X} = (A_1x + B_1)u + (A_2x + B_2)(1-u) \quad (16)$$

tarafından belirlenir.

3. KAYMA MOD KONTROL TEORİSİ

Değişken yapıli kontrol, hem kararlılığı hem de sistem parametre belirsizliklerine karşı dayanıklılığı sağladığından, parametre belirsizlikleri olan bir çok

sistemlere başarı ile uygulanan bir yöntemdir. Yöntemin iki temel fonksiyonu vardır. Bunlardan birincisi sistem davranışının istenen davranışa doğru itilmesi olup diğeri ise istenen davranışa erişildiğinde bu durumun devam ettirilebilmesi için gerekli girişlerin bulunmasıdır. Yöntemin birinci işlevi ulaşma modu ikinci işlevi ise kayma modu olarak adlandırılmaktadır. Kayma modlu kontrol yöntemi ise ismini ikinci işlevden almaktadır. Kayma yüzeyini tanımlayan fonksiyon anahtarlama fonksiyonu olarak adlandırılmaktadır. Kayma yüzeyi ya da anahtarlama fonksiyonu parametrelerinin seçimi, kayma modlu kontrolörlerin performansında önemli rol oynamaktadır. Kontrolör performansının iyileştirilmesi amacıyla uyarlamalı kayma yüzeyleri ve yüzey parametrelerinin optimizasyonu ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır.

Kayma modlu kontrolde iki temel sorun bulunmaktadır. Bunlardan birincisi eşdeğer kontrolün hesaplanmasındaki zorluk olup sistem dinamiklerinin bilinip hesaba katılmasını gerektirmektedir. Diğeri ise kontrol çıkışındaki çatırtı olarak adlandırılan yüksek frekanslı salınımlardır. Bu sorunu gidermek için klasik kayma modlu kontrolde kullanılan işaret (sign) fonksiyonu yerine daha yumuşak geçişli doyma (sat) ya da hiperbolik tanjant fonksiyonu kullanılmaktadır [7, 8].

3.1. Kayma Mod Kontrol

Kayma modlu kontrol özellikle doğrusal olmayan sistemlere uygulanmaktadır [9]. Bu kontrol yönteminde temel amaç, hatayı anahtarlama yüzeyi veya kayma yüzeyine itmek ve bu yüzeyde tutmaktır. Bu durumda sistem kayma modundadır ve dış bozucu ve/veya modelleme hatalarından etkilenmez.

İkinci dereceden bir sistemi ele alalım;

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (17)$$

burada $B > 0$ olduğu kabul edilmiş olup u ise sistem girişidir. Dayanıklı bir kontrolör yapısı bir nominal kısım (u_{eq}) ve parametre değişimleri ile bozuculara karşılık gelen ilave bir terimden oluşmaktadır.

$$u = -k \operatorname{sgn}(S) + u_{eq} \quad (18)$$

ifadesi kayma mod kontrolör için bir yapı olarak verilebilir [7]. Parametre değişimleri ve dış bozucular olduğunda da ulaşma modunun sağlanabilmesi için $S=0$ da sürekli olmayan bir terim u_{eq} 'e eklenmiştir. Bu ifadede u_{eq} eşdeğer kontrol olarak adlandırılmakta ve sistem durumlarının kayma modunda olduğu durumda kullanılmaktadır. Başka bir deyişle, anahtarlama fonksiyonunun değişimini sıfır yapan ifade eşdeğer kontrol olarak adlandırılmaktadır. k ise bir sabit olup, maksimum kontrolör çıkışını belirtmektedir. S , anahtarlama fonksiyonu olarak adlandırılır. Çünkü kontrol işlemi işarete bağlı olarak $S=0$ yüzeyi etrafında

anahtarlama olarak gerçekleştirilmektedir. Değişken yapıli kontrol sistemlerinde amaç sistem hareketini

$$S = \left(\frac{d}{dt} + \lambda\right)e = Ce \quad (19)$$

olarak tanımlanan bu yüzey üzerinde tutmaktır [10].

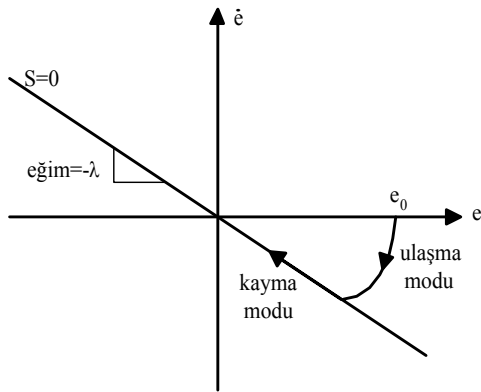
Burada $e=x-x_d$ olup hatayı x_d ise arzu edilen sistem durum değerini belirtir. $\text{sgn}(S)$, sign fonksiyonu olup aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\text{sgn}(S) = \begin{cases} -1 & S < 0 \\ 1 & S > 0 \end{cases} \quad (20)$$

Kayma mod kontrolde amaç sistem durumlarının herhangi bir başlangıç noktasından kayma yüzeyine gitmesinin (ulaşım modu) ve bu yüzey üzerinde orijine doğru kaymasının sağlanmasıdır (kayma modu). Bunun için ise

$$S \cdot \dot{S} \leq -\eta|S| \quad (21)$$

eşitsizliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu şart ulaşım şartı ya da kayma modun varolma şartı olarak adlandırılmakta olup, sağlandığı takdirde sistem kayma yüzeyine itilmektedir. Burada η pozitif bir sabit olup sistem hareketinin sonlu bir süre içerisinde anahtarlama yüzeyine ulaşmasını garanti eder [11]. Sistem, kayma yüzeyine ($S=0$) ulaştığında bu kayma yüzeyinde kalarak parametre belirsizlikleri ve dış bozuculardan etkilenmeden orijine ($e=0$) doğru kayması istenmektedir. Bu olay kayma modu olarak adlandırılır. Şekil 4, ikinci dereceden bir sistem için ulaşım ve kayma modu bölgelerini göstermektedir.



Şekil 4. Anahtarlama (kayma) fonksiyonu.

4. YÜKSELTİCİ TİP DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN KAYMA MOD KONTROLÜ

Da-da dönüştürücülerde, çıkış gerilimi anahtarlama çalışma oranı D ile orantılı olduğundan, kontrol sistemi de o şekilde tasarlanmalıdır ki, bu sistemin çalışma oranı değiştirilerek çıkış geriliminin verilen referans gerilimi izlemesi sağlansın. Böyle bir kontrol sisteminde çıkış gerilimi bir gerilim bölücü üzerinden algılanarak referans gerilim ile karşılaştırılıp ve aradaki hata işareti bir kompanzatör devresinden geçirilip bir darbe genişlik

modülatörüne uygulanmakta ve bu modülatör çıkışındaki anahtarlama işareti ile de anahtarlama elemanı kontrol edilmektedir. Anahtarlama işaretinin çalışma oranı D , kontrol gerilimi ile doğru orantılıdır. İyi tasarlanmış böyle bir kontrol devresi yardımı ile çalışma oranı otomatik olarak konvertör çıkış geriliminin, istenen referans gerilimi izlemesi sağlanabilir. Kontrol işleminde kullanılan kompanzatörler çok farklı şekillerde tasarlanabilirler.

Çok çevrimli kontrol yöntemlerinin kullanılması, da-da dönüştürücülerin dinamik performanslarını iyileştirdiği bilindiğinden, bu çalışmada hem akım hem de gerilim kontrolü yapılacaktır. Da-da dönüştürücü kontrolü genel blok diyagramı Şekil 5 de verilmiştir. Dönüştürücüde akım değişimi gerilim değişiminden daha hızlı olduğundan, dış çevrimdeki gerilim kontrolü için lineer kontrolörlerden PI tipi kontrolör, iç çevrimdeki akım kontrolü için ise kayma mod kontrolör (KMK) kullanılmıştır.

Arzu edilen referans akım değeri I^* , PI kontrolör çıkışından elde edilmiştir. Kayma mod kontrolör çıkışında elde edilen u kontrol girişi ile dönüştürücüdeki anahtarlama elemanı sürülmüş ve bu anahtarlama elemanının çalışma süresi değiştirilerek istenen çıkış elde edilmiştir. Çalışma prensibi 1. kısımda anlatılan yükseltici tip da-da dönüştürücü dinamik modeli $x_1=I_L$ ve $x_2=V_c$ durum değişkenleri olarak alınıp yeniden düzenlendiğinde

$$\dot{x}_1 = \frac{1}{L}[V - (1-u)x_2] \quad (22)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{C}\left[(1-u)x_1 - \frac{x_2}{R}\right]$$

elde edilir. Anahtarlama fonksiyonu olarak;

$$S = x_1 - x_1^* \quad (23)$$

olarak seçilip x_1 'in arzu edilen x_1^* 'i izlemesinin sağlanması için u kontrol girişi sadece 0 ve 1 değerlerini alabileceğinden,

$$u = \frac{1}{2}[1 - \text{sgn}(S)] \quad (24)$$

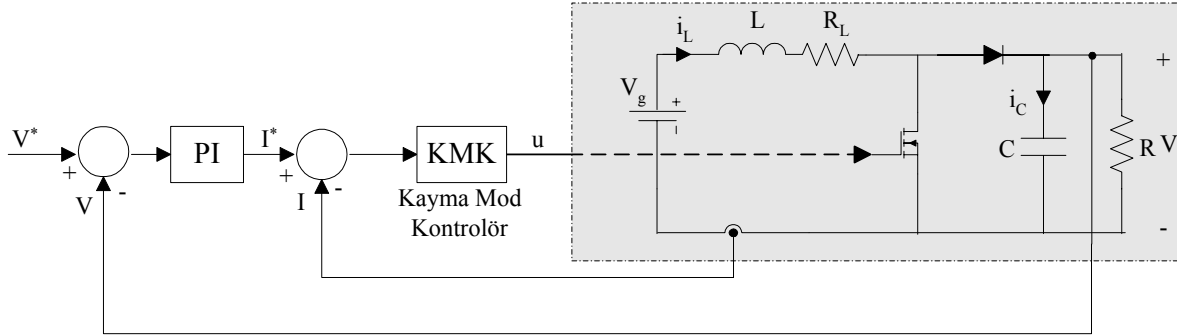
olarak tanımlanabilir. Sistem durumlarının kayma yüzeyinde kalabilmesi için gerekli eşdeğer kontrol

$$u_{eq} = u|_{S=0} \quad (25)$$

ifadesinden elde edilecektir.

$$S = x_1 - x_1^* \quad (26)$$

x_1^* arzu edilen değer olup sabit olduğundan,



Şekil 5. Yükseltici tip da-da dönüştürücü kontrolü blok diyagramı

$$\dot{S} = x_1 \quad (27)$$

olarak bulunup (20) ifadesi u 'ya göre çözüldüğünde

$$u_{eq} = 1 - \frac{V_g}{x_2} \quad (28)$$

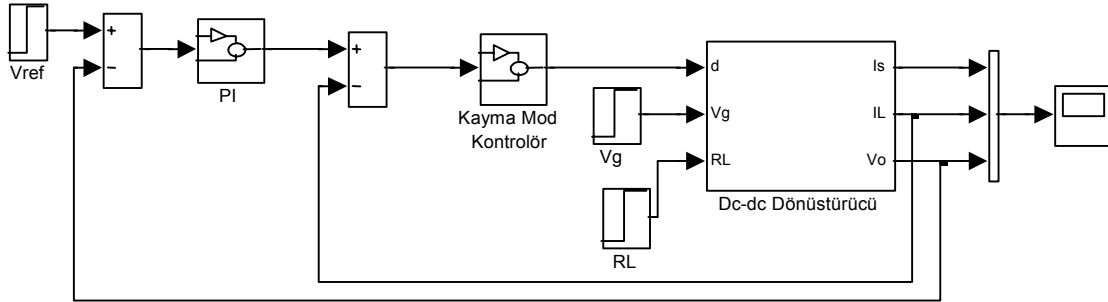
olarak bulunur. Herhangi bir başlangıç şartından anahtarlama yüzeyine ulaşılması,

$$S\dot{S} < 0 \quad (29)$$

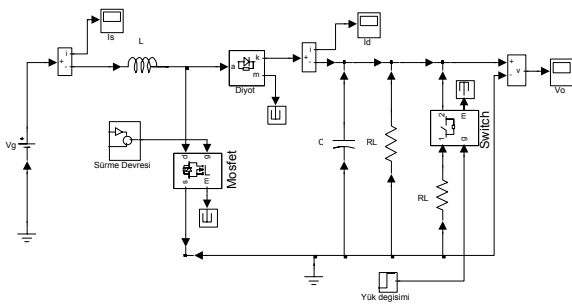
olması ile sağlanır. Bu durumda $x_2 > V_g$ ve $0 < u_{eq} < 1$ olur. Bu da göstermektedir ki, çıkış gerilimi giriş geriliminden büyük olduğu sürece kayma mod sağlanacaktır.

5. SİMULASYON SONUÇLARI

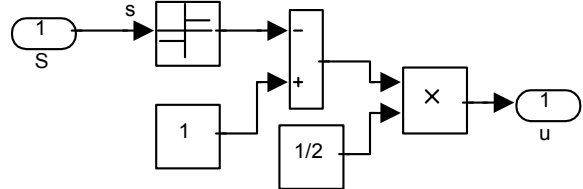
Bu çalışmada gerçekleştirilen simülasyonlar için bilgisayar destekli tasarım yazılımlarından olan Matlab/Simulink paket programı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada öncelikle yükseltici tip da-da dönüştürücü modeli hem dinamik denklemler hem de simpowersystem araç kutusundaki devre elemanları kullanılarak gerçekleştirilmiş, daha sonra da bu modelin kontrolü yapılmıştır. Kontrol sistemi simulink programı Şekil 6'da, da-da dönüştürücü modeli Şekil 7'de ve KMK simulink modeli ise Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 6. Yükseltici tip da-da dönüştürücü kontrolü Simulink blok diyagramı



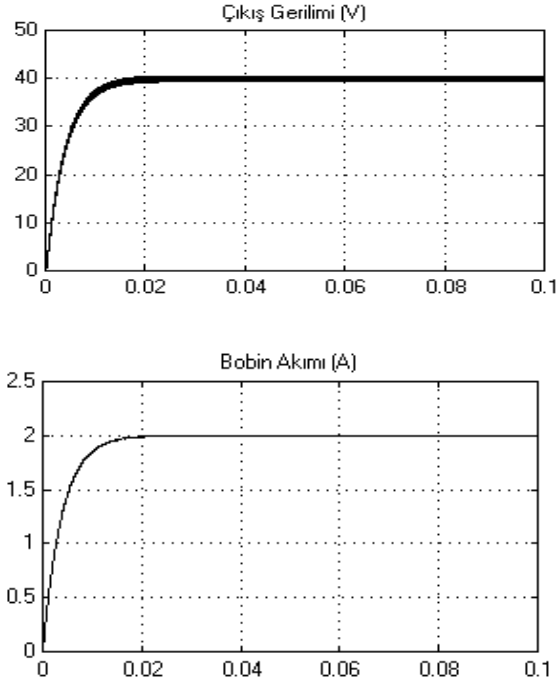
Şekil 7. Yükseltici tip da-da dönüştürücü modeli



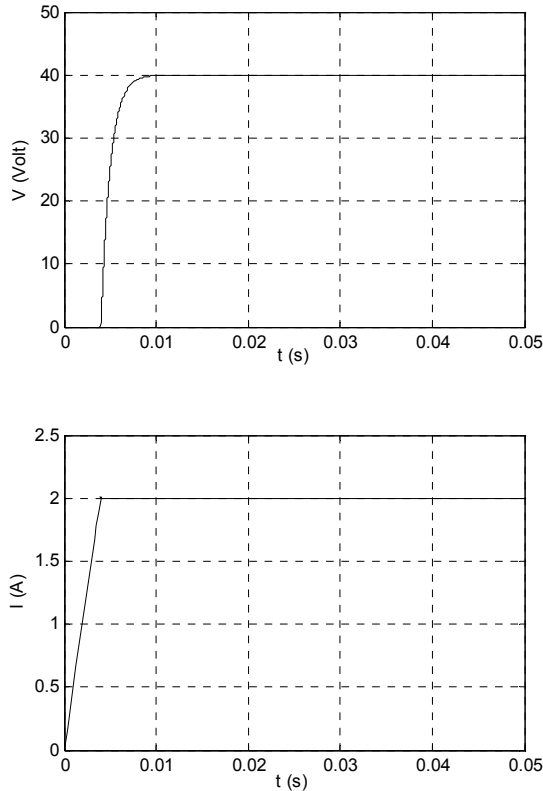
Şekil 8. KMK simulink modeli

Açık çevrim yükseltici tip da-da dönüştürücü çıkış gerilimi ve indüktans akımı dalgaşekilleri $D=0,5$ için Şekil 9'da verilmiştir. Simulasyonda devre parametreleri $L=40\text{mH}$, $C=4\mu\text{F}$, $V_g=20\text{ V}$, $R=40\ \Omega$, olarak ve PI için $K_p=50$ ve $K_i=1$ olarak alınmıştır.

Kayma mod kontrol kullanarak elde edilen çıkış gerilimi ve indüktans akımı ise şekil 10'da verilmiştir. Buradan görüldüğü yapılan kontrol sonucunda çıkış gerilimi 40 volt olan istenen referans gerilimini çok kısa bir sürede yakalamaktadır.



Şekil 9. D=0.5 için çıkış gerilimi ve indüktans akımı

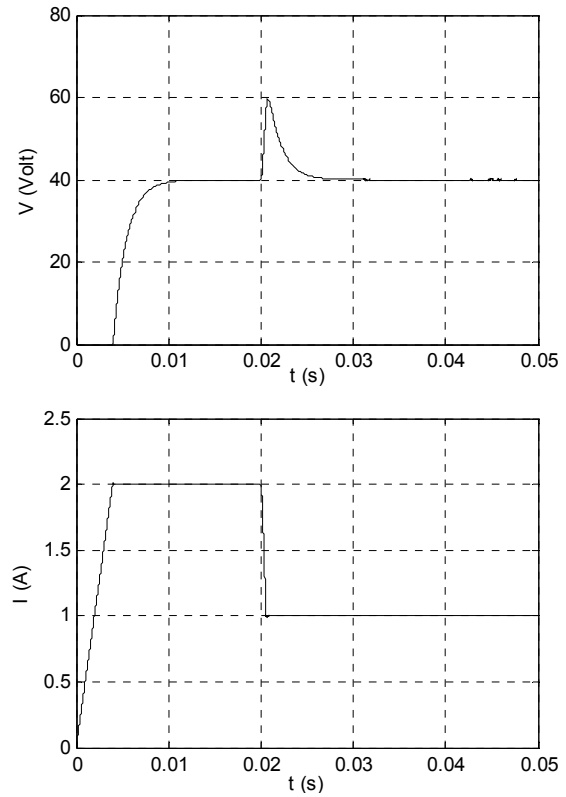


Şekil 10. Kayma mod kontrollü yükseltici tip da-da dönüştürücü çıkış gerilimi ve indüktans akımı

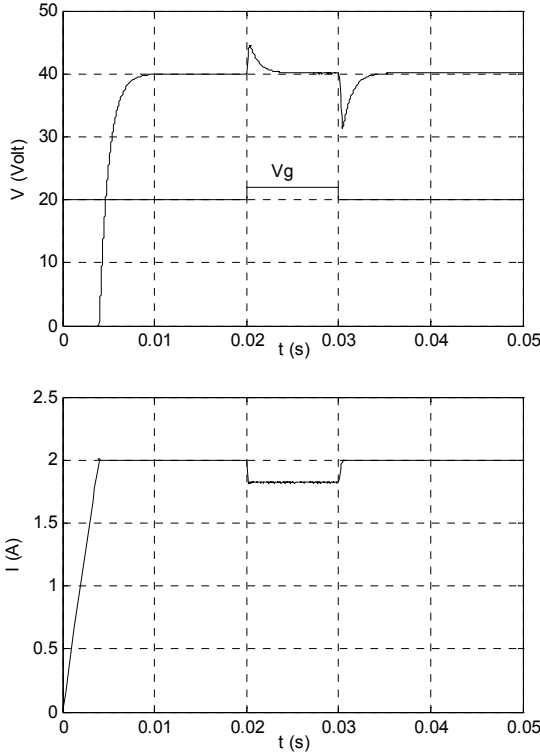
Tasarlanan kayma mod kontrol yöntemiyle yükseltici tip da-da dönüştürücü kontrol sisteminin yük değişimleri ve giriş gerilimindeki değişikliklere karşı dayanıklılığının test edilmesi için $t=0.02$ 'nci saniyede yük direnci 40Ω 'dan 80Ω 'a çıkarılmış olup bu durumdaki çıkış gerilimi ve indüktans akımı değişimleri şekil 11'de, ve yine $t=0.02$ 'nci saniyede giriş gerilimi 20 volttan 22 volt'a çıkarılmış ve $t=0.003$ 'ncü saniyede ise tekrar 20 volt'a geri düşürülüp bu durumdaki çıkış gerilimi ile indüktans akımındaki değişimler ise şekil 12'de verilmiştir.

Şekil 11 ve 12'den görüldüğü üzere tasarlanan kayma mod kontrollü yükseltici tip da-da dönüştürücü hem yük değişimleri hem de giriş gerilimindeki değişikliklere karşı dayanıklı olup, çıkış gerilimi bu değişimlerden çok az etkilenip çok kısa bir sürede istenen referans gerilimi izlemektedir.

Yük ya da giriş gerilimindeki değişme anında, bir başka deyişle bozucu girişlerin olduğu andaki, çıkış geriliminde meydana gelen anlık değişimlerin ise alçak geçiren bir filtre tarafından elimine edilmesi mümkündür.



Şekil 11. Yük değişiminde çıkış gerilimi ve indüktans akımı



Şekil 12. Giriş gerilimi değişimlerinde çıkış gerilimi ve indüktans akımı

6. SONUÇ

Yükseltici tip dönüştürücüler, çıkış gerilimi ayarlı doğru akım güç kaynakları olarak çeşitli uygulamalarda kullanılabilirler, bu çalışmada, yükseltici tip bir da-da dönüştürücü dinamik davranışı incelenmiş, dönüştürücüyü modelleyen matematiksel ifadeler türetilerek kayma mod kontrolü yapılmıştır. Gerçekleştirilen kontrol sisteminin bozucu girişlere ve parametre değişimlerine karşı dayanıklılığının test edilmesi amacıyla normal çalışma anında giriş gerilimi ve yükte değişimlerin oluşması sağlanarak simülasyon yapılmış ve sonuçları verilmiştir. Giriş gerilimi ve yükteki büyük değişimlerde de kayma mod kontrollü yükseltici tip da-da dönüştürücü sisteminin bozucu giriş ve parametre değişimlerine karşı dayanıklı olduğu ve iyi bir dinamik cevap verdiği görülmüştür. Bu özellikler yanında kolay gerçekleştirilebilmesi de kayma mod kontrolün da-da dönüştürücü kontrolünde kullanılmasının bir avantaj olduğu da söylenebilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Su, JH., Chen, JJ., Wu, DS., "Learning feedback controller design of switching converters via Matlab/Simulink", IEEE Trans. on Education, Vol.45, No.4, pp.307-315, 2002.
- [2]. Spiazzi, G., Mattavelli, P., "Small signal analysis of dc-dc converters with sliding mode control", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol.12, No.1, pp.96-102, 1997.
- [3]. Kaynak, O., Harashima, F., "Disturbance rejection by means of sliding mode", IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol.32, pp.85-87, 1985.
- [4]. Utkin, VI., "Sliding mode control design principles and applications to electric drives", IEEE Trans. on Industrial Applications, Vol.40, pp.23-36, 1993.
- [5]. Ericson, RW., "Dc-dc converters" in Encyclopedia of Electrical and Electrical Engineering, Edited by Webster, J., John Wiley and Sons, 1999.
- [6]. Tuncay, N., Gökaşan, M., Boğosyan, S., "Güç Elektroniği", Literatür Yayınları, 2003.
- [7]. Hung, JY, Gao, W., Hung, JC., "Variable structure control: A Survey", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.40, pp.2-21, 1993.
- [8]. Slotine, JJ., Liu, TS., "Applied nonlinear control", Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1991.
- [9]. Jezernik, K., "VSS control of unity power factor", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.40, No.2, pp.325-332, 1993.
- [10]. Spiazzi, G., Matavelli, P., Rosetto, L., Malesani, L., "Application of sliding mode control to switc-mode power supplies", Journal of Circuit, Systems and Computers, Vol.5, No.3, pp. 337-354, 1995.
- [11]. Gao, WB., Hung, JC., "Variable structure control of nonlinear systems: a new approach", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.40, pp.45-55, 1993.