



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University

## Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 15.06.2024  
Kabul Tarihi : 18.09.2024

Received Date : 15.06.2024  
Accepted Date : 18.09.2024

### DA-DA GERİLİM YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN KAYAN KIPLI KONTROLÜNÜN TASARIM VE SIMÜLASYONU

### DESIGN AND SIMULATION OF SLIDING MODE CONTROL FOR DC-DC BOOST CONVERTER

Ömer Faruk ÇIRIŞ<sup>\*1</sup> (ORCID: 0009-0004-6236-9546)

Süleyman ADAK<sup>2</sup> (ORCID: 0000-0003-1436-2830)

Hasan CANGİ<sup>3</sup> (ORCID: 0000-0001-6954-7299)

Ramazan ALTINTAŞ<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0002-0573-8456)

<sup>1,4</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

<sup>2</sup>Mardin Artuklu Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Mardin,

<sup>3</sup>Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ömer Faruk ÇIRIŞ, cirisomer@hotmail.com

#### ÖZET

Güç elektroniği devre elemanları kullanılarak tasarlanan doğru akım-doğru akım (DA-DA) dönüştürücüler, DA gerilimi başka bir gerilim değerine dönüştüren devrelerdir. DA-DA dönüştürücüler elektronik cihazlarda, cep telefonu, dizüstü bilgisayarın şarj devrelerinde, DA motorların beslemesinde ve güneş enerji santrallerine kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahiptirler. DA-DA dönüştürücülerde kullanılan anahtarlama elemanlarından dolayı bu sistemler doğrusal olmayan bir özellik gösteren yapısal sistemlerdir. Kontrollerinde doğrusal olmayan sistemleri kontrol eden yöntemler kullanılmalıdır. Bundan dolayı kaymalı kip kontrolü DA-DA dönüştürücüler için uygun bir kontrol yöntemidir. Bu çalışmada, kayan kipli kontrol yöntemi kullanılarak DA-DA yükseltici dönüştürücünün kontrolüne ait analiz işlemleri yapılmıştır. Kayan kipli kontrol yöntemi ile kontrolü sağlanan DA-DA gerilim yükselten dönüştürücüler diğer dönüştürücü türlerine göre daha iyi performans gösterirler. Kayan kipli kontrolün geleneksel kontrol sistemlerine göre en önemli avantajı ; yük, hat ve parametrik belirsizliklere karşı uygulanabilir olmasıdır. Bu çalışmada, DA-DA yükselten dönüştürücünün MATLAB/Simulink ile modellenmesi yapılmış olup simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kayan kipli kontrol, gerilim yükselten dönüştürücü, kontrol tekniği, DA-DA çevirici, doğrusal olmayan kontrol

#### ABSTRACT

DC-to-DC converters designed using power electronic circuit elements are circuits that convert DC voltage to another voltage value. DC-DC converters have a wide range of applications, from electronic devices to charging circuits for cell phones and laptops, powering DC motors, and solar energy plants. Due to the switching elements used in DC-DC converters, these systems display nonlinear characteristics, making them structural systems that require the use of methods for controlling nonlinear systems. Therefore, sliding mode control is a suitable control method for DC-DC converters. In this study, analysis procedures related to the control of the DC-DC boost converter using the sliding mode control method have been carried out. DC-DC voltage boost converters controlled by sliding mode control method exhibit better performance compared to other types of converters. The most significant advantage of sliding mode control over traditional control systems is its applicability against load, line, and parametric uncertainties. In this study, the DC-DC voltage boost converter has been modeled using MATLAB/Simulink, and simulations have been carried out.

To Cite: ÇIRIŞ, O. F., ADAK, S., CANGİ, H., & ALTINTAŞ, R., (2024). DA-DA GERİLİM YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN KAYAN KIPLI KONTROLÜNÜN TASARIM VE SIMÜLASYONU. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(4), 1145-1161.

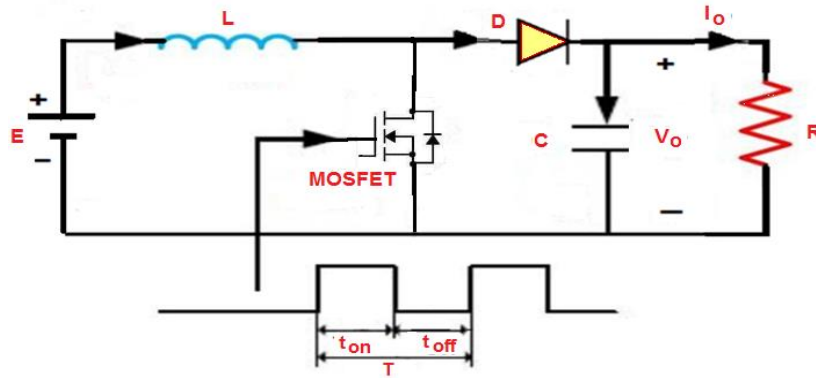
**Keywords:** Sliding mode control, voltage boost converter, control technique, dc-dc converter, nonlinear control

## GİRİŞ

DC-DC gerilim yükselten dönüştürücüler, enerji dönüşümü ve güç yönetimi alanlarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu tür dönüştürücüler, düşük bir gerilim kaynağından daha yüksek bir gerilim seviyesine çıkarma işlevi yaparak geniş bir uygulama yelpazesine sahiptirler. Özellikle taşınabilir elektronik cihazlardan endüstriyel güç sistemlerine kadar birçok alanda kullanılmaktadırlar. Ancak DC-DC gerilim yükselten dönüştürücülerin istikrarlı ve etkili bir şekilde çalışmalarını sağlamak için uygun kontrol tekniklerinin kullanılması önemlidir. Kayan kipli kontrol, bu tür dönüştürücülerde genellikle tercih edilen bir kontrol stratejisidir. Bu kontrol sonucu sistemin belirli bir hedefe ulaşmasını sağlamak için kontrol sinyali parametrelerini sürekli olarak ayarlayarak istikrarlı bir performans elde etmeyi amaçlar (Sachin ve Nayak, 2017). Bu makalede, DC-DC gerilim yükselten dönüştürücülerin kayan kipli kontrolü yöntemi incelenecek ve bu yöntemin dönüştürücü performansı üzerindeki etkisi araştırılacaktır. Ayrıca, bu kontrol stratejisinin avantajları ve dezavantajları da ele alınarak, DC-DC dönüştürücülerin verimliliği, güvenilirliği ve kararlılığı üzerindeki potansiyel etkileri değerlendirilecektir. Bu çalışma, DC-DC gerilim yükselten dönüştürücülerin kontrolünde kayan kipli kontrolün önemini vurgulayarak bu alandaki araştırmalara yeni bir bakış açısı sunmayı amaçlamaktadır.

## DC-DC GERİLİM YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN MODELLEMESİ

DC-DC gerilim yükselten dönüştürücünün modellenmesi, genellikle matematiksel ve devre teorisi prensiplerine dayanır. Bu modelleme işlemi, dönüştürücünün davranışını açıklayan bir matematiksel model oluşturmayı amaçlar. Bu model dönüştürücünün giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişkiyi, akım akışını ve genel sistem davranışını tanımlar (Özçelik ve Yılmaz, 2015). Bu dönüştürücüler genellikle bir indüktör, bir anahtar ve bir çıkış kapasitörden oluşur. Anahtar, genellikle bir transistor veya Mosfet gibi bir yarı iletken cihazdır. Ayrıca güneş panellerinden veya araç akülerinden elde edilen düşük gerilimli enerjiyi yüksek gerilimli sistemlere entegre etmek için güneş enerjisi uygulamalarında ve araç elektroniğinde de kullanılırlar.



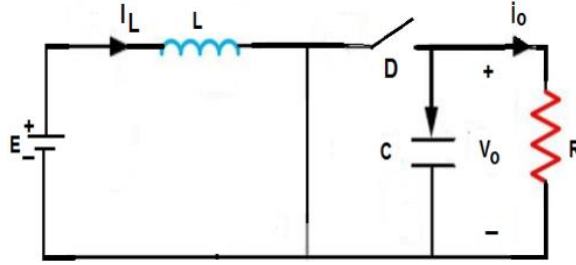
Şekil 1. DA-DA Gerilim Artırıcı Dönüştürücü

Modelleme işlemi, dönüştürücünün fiziksel yapısını ve bileşenlerini anlamayı ardından devre denklemlerini ve kontrol denklemlerini türetmeyi içerir. Bu genellikle devre teorisi, elektromanyetik teori ve kontrol teorisi prensipleri kullanılarak yapılır (Wai ve Shih, 2011). DA-DA gerilim artırıcı konvektörler genellikle verimliliği artırmak ve istenen çıkış gerilimini elde etmek için modülasyon teknikleriyle birleştirilir. Darbe genişlik modülasyonu (PWM) ve Darbe frekansı modülasyonu (PFM) gibi teknikler sıkça kullanılır (Guldemir, 2005).

Devre elemanlarının (indüktör, kondansatör, anahtar, diyot vb.) devre denklemleri yazılır. Bu, dönüştürücünün anahtarlamalı veya doğrusal olup olmadığına bağlı olarak değişir. Dönüştürücünün kontrol stratejisi belirlenir. Bu stratejiye göre kontrol denklemleri yazılır (Ardhenta ve Rusli, 2021). Elde edilen devre denklemleri ve kontrol denklemleri kullanılarak dönüştürücünün matematiksel modeli oluşturulur. Matematiksel model genellikle diferansiyel denklemler veya transfer fonksiyonları şeklinde ifade edilir. Oluşturulan model, simülasyon yazılımı veya diğer araçlar kullanılarak simüle edilir ve dönüştürücünün gerçek davranışıyla karşılaştırılır. Modelin doğruluğu ve güvenilirliği doğrulanır (Chincholkar vd., 2018).

DA-DA yükselten (artırıcı) dönüştürücüde anahtarın iletim (ON) durumunda olduğu eşdeğer devre, tipik olarak

bir yarı iletken anahtar (genellikle bir Mosfet) kullanılarak gerçekleştirilir. Anahtarın iletim durumunda giriş voltajı, indüktör ve çıkış devresi üzerinde bir yol oluşturulur; böylece indüktör enerji depolar ve çıkış gerilimi yükseltilir. Şekil 2. ve Şekil 3. artırıcı (boost) dönüştürücünün anahtarın açık ve kapalı durumlarını göstermektedir; burada L, C, R, ve sırasıyla indüktör, kapasitör, dirençli yük, giriş ve çıkış voltajını temsil eder. Burada yük, indüktör ve kapasitör akımlarını gösterir. Artırıcı dönüştürücünün anahtarın açık ve kapalı durumlarından denklemler elde edilir. Gerilim artıran dönüştürücüde anahtarın kapalı olduğu durumda (switch ON), enerji kaynağından indüklenen gerilim indüktör (L) üzerinde bir manyetik alan oluşturur (Cavallo ve Guida, 2012). Bu durumda indüktör, enerjinin bir kısmını depolar ve çıkış (yük) devresine aktarır.



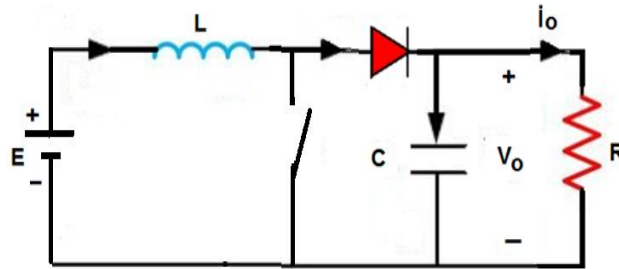
Şekil 2. Anahtarın İletimde Olmasına İlişkin Eşdeğer Devre

Mosfet, anahtarı temsil eder ve iletim durumunda olduğu için giriş gerilimi (E), indüktör (L) ve çıkış devresi arasında bir yol oluşturur. Bu yol boyunca indüktör enerjiyi depolar ve çıkış gerilimini artırır. Gerilim artırıcı dönüştürücünün anahtarın açık olması durumunda aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$i_L = \int_{t_{on}}^T E u dt \quad (1)$$

$$\frac{dV_0}{dt} = -\frac{V_0}{RC} \quad (2)$$

Anahtarın açık durumda (switch OFF), indüktörün manyetik alanı enerjiyi çıkış devresine aktarmaya devam eder. İndüktör üzerinde oluşan manyetik alan, diyot (D) üzerinde ters yönlü bir voltaj indükler. Bu, çıkış voltajının artırılmasına yardımcı olur. Bu eşdeğer devre, anahtar kesildiğinde bile çıkış voltajının artırılmasını sağlar. DA-DA yükselten (boost) dönüştürücüde, anahtarın kesim (off) durumunda eşdeğer devre aşağıdaki gibidir. Formun Üstü



Şekil 3. Anahtarın Kesimde Olmasına İlişkin Eşdeğer Devre

$$L \frac{di_L}{dt} = E - V_0 \quad (3)$$

indüktör akımı :

$$i_L = \frac{1}{L} \int (E - V_0) u dt \quad (4)$$

olarak ifade edilir. Yükseltici dönüştürücünün çıkış gerilimi :

$$V_0 = \frac{1}{C} \int (i_L - i_R) dt \quad (5)$$

şeklinde ifade edilir. İndüktör akımının ifadesi :

$$i_L = \frac{1}{L} \int [(Eu) + (E - V_0)\bar{u}] dt \quad (6)$$

olarak elde edilir. Burada, u'nun değeri S anahtarını pozisyonuna bağlı olarak bir veya sıfır değerini alır.  $\bar{u}$  ise u'nun lojik olarak tersidir. Burada u aşağıdaki gibi temsil edilir:

$$u = \begin{cases} 1 & S > 0 \\ 0 & S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

## YÜKSELTEN DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN DURUM DEĞİŞKENLERİ YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ VE KONTROLÖR TASARIMI

Yükselten DA-DA dönüştürücüsünün durum değişkenleri yöntemiyle modellenmesi, sistemin dinamik davranışını matematiksel olarak ifade etmek için kullanılır. Bu, sistem analizi, kontrol tasarımı ve performansın tahmin edilmesi gibi amaçlar için önemlidir. Yükselten DA-DA dönüştürücünün durum değişkenleri modellenmesi için durum değişkenlerinin belirlenmesi gerekir. Sistemdeki önemli değişkenler belirlenir. Bunlar durum değişkenleri olarak seçilir (Lopez-Santos vd. 2015). Durum değişkenleri olarak kondansatördeki şarj miktarı, indüktör akımı ve anahtarlama elemanlarının durumu seçilebilir. Daha sonra durum değişkenlerinin zamana göre değişimlerini ifade eden diferansiyel denklemler oluşturulur. Bu denklemler, sistemin dinamik davranışını tanımlar. Sistemin çıkışını, genellikle yük akımını veya gerilimini ifade eden denklemler oluşturulur. Bu, kontrol hedeflerinin belirlenmesine yardımcı olur (Zhang vd., 2015). Oluşturulan diferansiyel denklemler matris formuna dönüştürülür. Bu, sistem denklemlerinin daha kolay analiz edilmesini ve çözülmesini sağlar.

Bu adımların tamamlanmasıyla yükselten DA-DA dönüştürücünün durum değişkenleri modeli elde edilmiş olur. Bu model sistem davranışının analiz edilmesi, kontrol tasarımı ve performansın tahmin edilmesi gibi birçok uygulamada kullanılır (Martínez-Treviño vd., 2019).  $x(t)$  durum değişkenlerini göstermek üzere  $u(t)$  denetim girişi işareti göstermesi durumunda durum denklemlerinin vektör matris formunda aşağıda verildiği gibi gösterilebilir:

$$\frac{dx_n(t)}{dt} A_n(t) + B_n u(t) \quad (8)$$

$$y_n(t) = C_n(t) \quad (9)$$

$dT_s$  çalışma modu ve  $n=1$  için durum denklemleri aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_L(t) \\ V_c(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{RC} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L(t) \\ V_c(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{pmatrix} E \quad (10)$$

Kaynak fonksiyonu:

$$Y_1(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L(t) \\ V_c(t) \end{pmatrix} \quad (11)$$

Olarak bulunur. (1-d)Ts modu ve  $n=2$  için durum denklemleri aşağıda verilmiştir:

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} i_L(t) \\ V_c(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L(t) \\ V_c(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{pmatrix} E \quad (12)$$

kaynak fonksiyonu :

$$y_2(t) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_L(t) \\ V_c(t) \end{pmatrix} \quad (13)$$

olarak belirlenir. Kontrol değişkenleri için durum uzayı oluşturulabilir. Gerilim yükselten çevirici için durum değişkenlerine ait matrisel formun gösterimi aşağıdaki gibidir (Malla vd., 2013). Genellikle kayan kip kontrolünde çıkış gerilimi  $(V_o)$  belirli bir referans değerinde  $(V_{ref})$  tutulmaya çalışılır. Bu, geri beslemenin sağlanması ve hata sinyalinin hesaplanmasıyla gerçekleştirilir (Repecho vd., 2018). Hata sinyali, çıkış gerilimi ile referans gerilim arasındaki farktır. Bu hata sinyali, kontrol algoritması tarafından işlenir ve  $u$ 'nun değerinin ayarlanmasına neden olur.  $e_1$ ,  $e_2$  ve  $e_3$  gerilim hatalarını göstermek üzere :

$$e_1 = V_{ref} - \beta V_o \quad (14)$$

$$e_2 = \frac{d}{dt}(V_{ref} - \beta V_o) \quad (15)$$

$$e_3 = \int (V_{ref} - \beta V_o) dt \quad (16)$$

olarak bulunur. Şeklinde yazılır.  $e_1=x_1$ ,  $e_2=x_2$  ve  $e_3=x_3$  dönüşümü yapılırsa durum değişkenleri matrisi aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ref} - \beta V_o \\ \frac{d}{dt}(V_{ref} - \beta V_o) \\ \int (V_{ref} - \beta V_o) dt \end{pmatrix} \quad (17)$$

$V_{ref}$  referans gerilimini,  $\beta$  geri bildirim ağı oranını ve  $V_o$  çevirici çıkış gerilimini göstermektedir. Durum değişkenleri elektrik devrelerinde çeşitli elemanlarla ilişkilendirilebilir (Keçecioglu vd. 2019). Örneğin bir devredeki durum değişkenleri şunlar olabilir: kondansatörlerin şarj durumu (Volt-saniye cinsinden yük), indüktörlerin akımı (ampere cinsinden), dirençlerdeki gerilim veya akım (Volt veya Amper cinsinden). Anahtarlama elemanları (transistörler, Mosfet'ler vb.) ve durumları (açık/kapalı). Sistemdeki enerji depolama bileşenlerinin (örneğin batarya) şarj durumu. Bu durum değişkenleri, bir elektrik devresinin dinamik davranışını açıklamak için kullanılabilir. Bu bilgileri kullanarak sistemdeki değişimleri zamanla izleyebilir ve kontrol algoritmaları oluşturabiliriz (Marouani vd., 2012). Kayma kipli kontrol geri besleme ağı oranı ( $\beta$ ), genellikle sistemin istenilen performans özelliklerini sağlamak için dikkatle seçilir. Bu oran, kontrol sisteminin istikrarını, hassasiyetini ve hızını etkiler. Genellikle deneyimli kontrol mühendisleri tarafından sistemin dinamik davranışı ve istenen performans kriterleri göz önünde bulundurularak belirlenir (Giral vd. 2015).  $\beta$  Kayma kipli kontrolde geri besleme ağı oranı, kayma yüzeyi tasarımıyla ilişkilidir (Mishra vd., 2020).

Kayma yüzeyi, kontrol hedeflerini ve istenen davranışı tanımlar. Bu nedenle geri besleme ağı oranı, kayma yüzeyinin doğru şekilde oluşturulmasıyla birlikte dikkatlice seçilmelidir (Lopez-Santos vd., 2015). Sistemin istenen performans özellikleri, geri besleme ağı oranının seçiminde belirleyici olabilir. Örneğin kararlılık, hızlı cevap, düşük geçici aşırı vuruş gibi performans kriterleri dikkate alınmalıdır (Muktiadji vd., 2018). Sonuç olarak kayma kipli kontrol geri besleme ağı oranı sistem özellikleri, kontrol hedefleri ve tasarım tecrübesi göz önünde bulundurularak dikkatlice seçilmelidir (Al Zawaideh ve Boiko, 2022). Doğru oran, istenen performansı sağlamak ve istikrarlı bir kontrol sağlamak için önemlidir. Kondansatör gerilimi ile indüktör akımının karşılığı (17) denkleminde yerleştirirsek aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_{ref} - \beta V_o \\ \frac{\beta V_o}{R_L C} + \frac{\beta}{L C} \int (V_o - E) \bar{u} dt \\ \int (V_{ref} - \beta V_o) dt \end{pmatrix} \quad (18)$$

Denklem (18)'deki ifadelerin türevlerini aldığımızda durum uzayı değişkenleri elde edilir. bu da gerilim artırıcı dönüştürücünün kontrol tasarımı için gereklidir:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{d}{dt}(V_{ref} - \beta V_o) = x_2 \quad (19)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = -\beta \frac{dV_o}{dt} = x_3 \quad (20)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{\beta}{R_1 C} \frac{dV_0}{dt} + \frac{\beta}{LC} (V_0 - E) \bar{u} \quad (21)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{-e_2}{R_L C} + \left( \frac{\beta V_0}{LC} - \frac{\beta E}{LC} \right) \bar{u} \quad (22)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = V_{ref} - \beta V_0 = e_1 \quad (23)$$

Yükselten dönüştürücü için durum uzayı aşağıdaki genel formla gösterilir:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + B\bar{u} \quad (24)$$

Durum uzayı açıklamaları, gerilim yükselten dönüştürücüsünün kontrol tasarımı için gereklidir. Durum uzayı değişkenlerini matrisel formda yazarsak aşağıdaki ifadeler elde edilir:

$$\begin{pmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \frac{dx_2}{dt} \\ \frac{dx_3}{dt} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1/R_L C & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ (\beta V_0 - \beta E)/LC \\ 0 \end{pmatrix} \bar{u} \quad (25)$$

(25) denkleminde A ve B matrislerinin karşılığı:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1/R_L C & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (26)$$

olarak bulunur. B matrisinin karşılığı:

$$B = \begin{pmatrix} 0 \\ (\beta V_0 - \beta E)/LC \\ 0 \end{pmatrix} \quad (27)$$

olarak bulunur. Durum uzayı değişkenleri, bir sistemdeki önemli dinamik bilgileri temsil etmek için kullanılır. Bunların önemi şu şekilde özetlenebilir:

- Sistem davranışının tam temsili: Durum uzayı değişkenleri, bir sistemdeki tüm dinamik bilgileri içerir. Bu nedenle, sistem davranışını tam olarak temsil etmek için gereklidirler.
- Kontrol Tasarımı: Durum uzayı değişkenleri, kontrol sistemleri tasarlarırken kullanılır. Bir sistemdeki durum değişkenlerinin kontrolü, istenilen hedeflere ulaşmak için gerçekleştirilen girişleri yönlendirmeye yardımcı olur.
- Gözleme: Durum uzayı değişkenleri, sistemdeki durumun gözlenmesi veya tahmin edilmesi için kullanılabilir. Bu, gerçek zamanlı kontrol ve sistem izleme için önemlidir.
- Modelleme ve Analiz: Durum uzayı değişkenleri, sistemin matematiksel modellenmesi ve analizi için kullanılır. Bu, sistem davranışını daha derinlemesine anlamak ve sistem üzerinde değişiklikler yapmak için önemlidir.
- Çözümleme Kolaylığı: Durum uzayı değişkenleri, diferansiyel denklemleri bir dizi ilk dereceden denkleme dönüştürerek çözümlemeyi kolaylaştırır.

Bu nedenlerden dolayı, durum uzayı değişkenleri, sistemlerin analizi, tasarımı ve kontrolü için temel bir kavramdır (Cavallo ve Guida, 2012).

### **Kayan Kipli Kontrolde Denetleyici Tasarımı**

Kayan kipli kontrol yükselten dönüştürücü sistemin modellenmesi, bir güç elektroniği devresinin matematiksel bir ifadesidir. Bu dönüştürücü, giriş gerilimini daha yüksek bir çıkış gerilimine yükseltmek için kullanılır (El Fadil vd., 2006). Sistemin matematiksel modelini oluşturmak için, devredeki bileşenlerin özellikleri ve çalışma prensipleri dikkate alınır (Chincholkar vd., 2022). Kayan kipli kontrol edilen dönüştürücüsünün temel bileşenleri,



anahtarlar (genellikle Mosfetler), indüktör, kondansatör ve çıkış yüküdür (Lopez vd., 2004). Devrenin çalışma prensibi, anahtarlardan birinin (genellikle Mosfet) zamanlama ile açılıp kapanmasıyla indüktörde bir akım akışının oluşturulması ve bu akımın ardından bir çıkış gerilimi oluşturulmasıdır (Arulselvi vd. 2005).

Sistemin matematiksel modelini oluştururken, devredeki indüktör ve kondansatör gibi pasif bileşenlerin dinamik davranışları ifade edilir. Ayrıca, anahtarların (Mosfet'lerin) iletim ve kesim durumları da dikkate alınır (Panda v., 2015). Matematiksel modelleme süreci, genellikle devredeki bileşenlerin voltaj ve akım ilişkilerini ifade eden diferansiyel denklemlerle başlar. Bu denklemler, devrenin dinamik davranışını tanımlar (Qamar vd. 2015). Ardından sistemdeki bileşenlerin özelliklerine ve çalışma koşullarına dayanarak bu denklemler çözülür.

Sonuç olarak kayan kipli kontrol gerilimini artıran dönüştürücünün modellenmesi, devredeki bileşenlerin matematiksel ifadesini içeren bir dizi diferansiyel denklem ve doğrusal olmayan denklemlerden oluşur (Qi vd., 2021). Bu model devrenin performansını analiz etmek, tasarımını optimize etmek ve kontrol stratejilerini geliştirmek için kullanılabilir.

Gerilim artıran (yükselten) çeviricilerde çıkış gerilimini izlemek için bir kontrol yüzeyi, geri besleme devresi olarak adlandırılır. Bu geri besleme devresi, çıkış gerilimini ölçer ve kontrol algoritmasına geri bildirim sağlar. Böylece çıkış geriliminin istenilen değerde kalmasını sağlar (Al-Baidhani ve Kazmierczuk, 2018). Gerilim artıran çeviricilerde çıkış gerilimini izlemek için kullanılan bu kontrol yüzeyi, çıkış geriliminin istenilen değere hassas bir şekilde ayarlanmasını sağlar. Bu sayede çıkış gerilimi değişen yük koşullarına veya giriş gerilimi dalgalanmalarına rağmen istikrarlı kalabilir (Tan vd. 2018).

$$u = \begin{cases} 1 & S > 0 \\ 0 & S < 0 \end{cases} \quad (28)$$

Anlık durum ait yörünge:

$$S = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 = J^T x \quad (29)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  kayan kipli kontrolün katsayılarını, jakobyen (J) matrisi göstermektedir. Bu katsayıların değerleri doğru seçilerek kayan kipli kontrolde üç koşul gerçekleştirilebilir (Ling vd., 2008). Vurma, var olma ve kararlılık koşullarıdır. (29) denklemi  $S > 0$  değerleri için aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\frac{dS}{dt} = J^T A x + J^T B v + J^T D < 0 \quad (30)$$

(29) denkleminde,  $S < 0$  değerleri için:

$$\frac{dS}{dt} = J^T A x + J^T B v + J^T D > 0 \quad (31)$$

$$\frac{dS}{dt} = \alpha_1 \frac{d}{dt} \left( V_{ref} - \frac{\beta}{C} \int i_C dt \right) + \alpha_2 \frac{d}{dt} \left( \frac{\beta V_0}{C R_L} + \frac{\beta}{LC} \int (V_0 - E) \bar{u} dt \right) + \alpha_3 \frac{d}{dt} \int (V_{ref} - \beta V_0) dt \quad (32)$$

Birinci koşul:

$$S > 0, \quad \frac{dS}{dt} < 0 \quad (33)$$

$$-\alpha_1 + \left( \frac{\beta i_C}{C} \right) + \alpha_2 \left( \frac{\beta i_C}{R_L C^2} \right) + \alpha_3 (V_{ref} - \beta V_0) < 0 \quad (34)$$

İkinci koşul:

$$S < 0, \quad \frac{dS}{dt} > 0 \quad (35)$$

$$-\alpha_1 \left( \frac{\beta i_C}{C} \right) + \alpha_2 \left( \frac{\beta i_C}{R_L C^2} + \frac{\beta V_0}{LC} - \frac{\beta E}{LC} \right) + \alpha_3 (V_{ref} - \beta V_0) > 0 \quad (36)$$

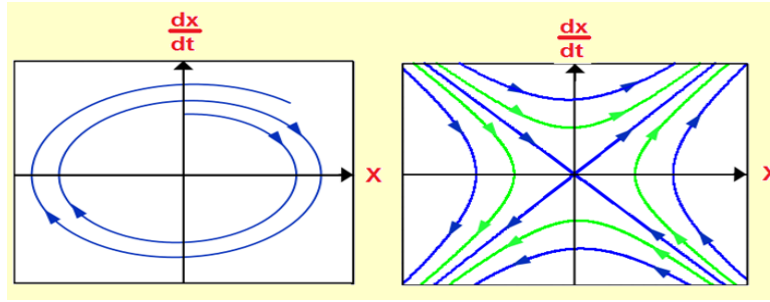
(34) ile (36) denklemlerinde hareketle :

$$0 < \beta L \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{R_L C} \right) i_c - LC \frac{\alpha_3}{\alpha_2} (V_{ref} - \beta V_0) < \beta (V_0 - E) \quad (37)$$

eşitliği elde edilir. Kayan kipli kontrolde denetleyici tasarımı, genellikle dinamik sistemlerin kararlılığını sağlamak, performansını artırmak veya belirli bir takım hedeflere ulaşmak için kullanılır (Asma vd., 2017). Kayan kipli kontrol, sistem parametrelerindeki belirsizlikler veya değişkenliklerle başa çıkabilen bir denetleme stratejisi sunar. Bu tasarım, gerçek zamanlı uygulamalarda özellikle otomatik kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılır (Vijayakumar vd., 2014).

#### KAYAN KIPLİ KONTROLDE KARARLILIK KOŞULU

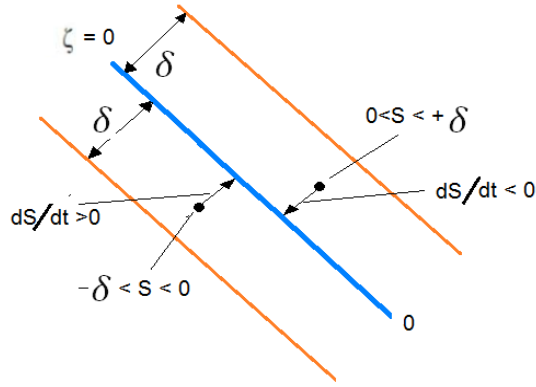
Bir kontrol sistemini tasarlarken kararlılık için gereken bir kriterlerdir. Genellikle mühendislik ve kontrol teorisi bağlamında kullanılırlar. Tasarlanan sistem dış etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Bu, değişen parametreleri gürültü veya dış etkenlerden kaynaklanan dalgalanmaları tolere edebilmelidir. Yani sistem, girdi değişikliklerine veya dış etkilere karşı esnek olmalıdır. Sistem, herhangi bir başlangıç durumundan sonra zamanla kararlı bir duruma ulaşmalıdır. Başka bir deyişle kontrol edilen değişkenler zamanla belirli bir değere yakınsamalı veya istikrarlı bir şekilde davranmalıdır. Bu özellikler, genellikle matematiksel denklemler veya belirli durumlarla ifade edilir. Örneğin bir kontrol sistemi tasarlarken sistemin matematiksel modeli üzerinde belirli denge koşullarını veya kararlılık koşullarını sağlaması gerekebilir. Bu, tasarım sürecinde kullanılan kritik parametrelerin belirlenmesine yardımcı olur. Bu şartlar, genellikle kontrol mühendisliği disiplininde kontrol sistemlerinin analiz ve tasarımında önemli bir rol oynar. Sistemlerin istikrarlı, dayanıklı ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için kayan kipli kontrolde kararlılık koşulu gibi koşulların dikkate alınması önemlidir.



Şekil 4. Karasız Sistemler

Kayan kipli kontrol, bir sistemdeki belirli bir değişkenin istenilen değerde tutulması için kullanılan bir kontrol yöntemidir. Bu sistemlerde, kontrol edilen değişkenin istenilen değere yakın tutulması için bir geri besleme döngüsü kullanılır. Kararlılık, bu tür sistemlerin istenilen değere hızlı bir şekilde ulaşması ve bu değeri sürdürmesi yeteneğidir. Ancak, bazı durumlarda sistemin kararlılığı zorlayıcı olabilir ve bu durum karasızlık olarak adlandırılır. Karasız sistemler, kontrol edilen değişkenin istenilen değere yakın durmayı başaramadığı veya istenilen değeri aşırı derecede sık dalgalanma gösterdiği durumlarda ortaya çıkar. Bu durumlar genellikle sistem parametrelerindeki yanlışlık, kontrol algoritmasındaki hatalar veya dış etmenlerin ani değişimleri gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Karasız sistemler genellikle istenmeyen sonuçlara yol açar ve bu nedenle kontrol sistemlerinin tasarımı ve analizi büyük önem taşır. Kararlılık analizi ve kararlılık artırma teknikleri, kontrol mühendislerinin bu tür sistemleri optimize etmelerine ve istenilen performansı elde etmelerine yardımcı olur. Kayan kipli kontrolün aşağıdaki şart sağlandığında gerçekleşir.





**Şekil 5.** Yörüngeler Denge Durumuna Yaklaşan

Kayan kipli kontrol, bir sistemde istikrar ve kararlılık sağlamak için kullanılan bir kontrol stratejisidir. Genellikle geri besleme sistemlerinde kullanılır. Bir hedef değeri belirlenirken sistemdeki değişkenler sürekli olarak izlenir ve bu değişkenlerin hedef değere yaklaşmasını sağlayacak düzeltmeler yapılır. Bu kontrol stratejisi, sürekli olarak sistemi izleyen ve gerektiğinde düzeltme yapabilen bir geri besleme döngüsü üzerine kuruludur. Sistemdeki dalgalanmaları düzeltmek ve istikrarı sağlamak için sürekli olarak geri bildirim olarak buna göre hareket etmek esastır. Formun Üstü Kayma katsayılarının seçiminde aşağıdaki ifadeler kullanılır:

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{10}{T_s} \quad (38)$$

diğer oran:

$$\frac{\alpha_3}{\alpha_2} = \frac{25}{\delta^2 T_s^2} \quad (39)$$

olarak bulunur. Gerilim yükselten dönüştürücülerde, PWM tabanlı denetleyici için kontrol denklemlerinin aşağıda ifade edildiği gibidir:

$$\frac{dS}{dt} = J^T A x + J^T B \bar{u}_{eq} = 0 \quad (40)$$

" $u_{eq}$ " terimi, bu eşdeğer kayan kipli kontrol yöntemindeki eşdeğer denge durumunu ifade edebilir. Bu, kontrol sisteminin belirli bir çalışma noktasında sabit durumda olduğunu ve belirli bir giriş sinyali altında sistemin istenilen davranışı sergilediğini ifade eder. Aşağıda denklemlerle ifade edilir:

$$\bar{u}_{eq} = -[J^T B]^{-1} J^T A x \quad (41)$$

Kayan kipli kontrolde Jacobi matrisi, genellikle bir sistemin dinamiklerini temsil etmek için kullanılan bir matematiksel araçtır. Jacobi matrisi, bir sistemin belirli bir anında çıkış değişkenlerinin giriş değişkenlerine olan duyarlılığını gösterir. Özellikle kontrol sistemleri analizinde ve tasarımında önemlidir. (41) denkleminde J ile A ve B matrislerinin değerleri yazılırsa :

$$\bar{u}_{eq} = \frac{\beta L}{\beta(V_0 - E)} \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{R_L C} \right) i_c - \frac{\alpha_3 LC}{\alpha_2 \beta (V_0 - E)} (V_{ref} - \beta V_0) \quad (42)$$

ifadesi elde edilir. Burada  $u_{eq}$  süreklidir :

$$0 < \bar{u}_{eq} < 1 \quad (43)$$

olarak bulunur :

$$0 < \bar{u}_{eq} = \frac{\beta L}{\beta(V_0 - E)} \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{R_L C} \right) i_c - \frac{\alpha_3 LC}{\alpha_2 \beta (V_0 - E)} (V_{ref} - \beta V_0) < 1 \quad (44)$$

$u = 1 - \bar{u}$  ifadesinden hareketle,  $u_{eq} = 1 - \bar{u}_{eq}$  şeklinde yazılabilir. Bu ifade aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$0 < u_{eq} = 1 - \left[ \frac{\beta L}{\beta(V_0 - E)} \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{R_{LC}} \right) i_c - (V_{ref} - \beta V_0) \frac{\alpha_3 LC}{\alpha_2 \beta (V_0 - E)} \right] < 1 \quad (45)$$

$\beta(V_0 - E)$  ifadesi (45) denklemini ile çarpılırsa:

$$0 < u_{eq}^* = -i_c \beta L \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{R_{LC}} \right) + \frac{\alpha_3}{\alpha_2} (V_{ref} - \beta V_0) LC + \beta(V_0 - E) < \beta(V_0 - E) \quad (46)$$

olarak bulunur. Yükselten dönüştürücüde doluluk oranı:

$$0 < d = \frac{V_c}{v_{m,rampa}} < 1 \quad (47)$$

şeklinde ifade edilir:

$$0 < \frac{u_{eq}^* = -i_c \beta L \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{R_{LC}} \right) + \frac{\alpha_3}{\alpha_2} (V_{ref} - \beta V_0) LC + \beta(V_0 - E)}{\beta(V_0 - E)} < 1 \quad (48)$$

(46) ile (48) denklemlerinden hareketle:

$$v_c = u_{eq}^* = -\beta L \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{R_{LC}} \right) i_c + LC \frac{\alpha_3}{\alpha_2} (V_{ref} - \beta V_0) + \beta(V_0 - E) \quad (49)$$

Kondansatör geriliminin ifadesi:

$$v_c = -K_{p1} i_c + K_{p2} (V_{ref} - \beta V_0) + \beta(V_0 - E) \quad (50)$$

olarak bulunur. Kayan kipli kontrolde "rampa" fonksiyonu, genellikle bir kontrol sisteminin çıkışını belirlemek için kullanılır. Bu fonksiyon, bir giriş sinyali (genellikle zamana bağlı olarak değişen) ile çıkış arasındaki ilişkiyi tanımlar. Rampa fonksiyonu, zamanla artan veya azalan bir çıkış üretmek için kullanılır. Rampa fonksiyonunun tepe değeri:

$$v_{m,rampa} = \beta(V_0 - E) \quad (51)$$

olarak ifade edilir. Kontrol edilen değişken ile kontrol sinyali arasındaki doğrusal ilişkiyi belirleyen  $K_{p1}$  ve  $K_{p2}$  'ye ilişkin formüller aşağıdaki şekliyle ifade edilir:

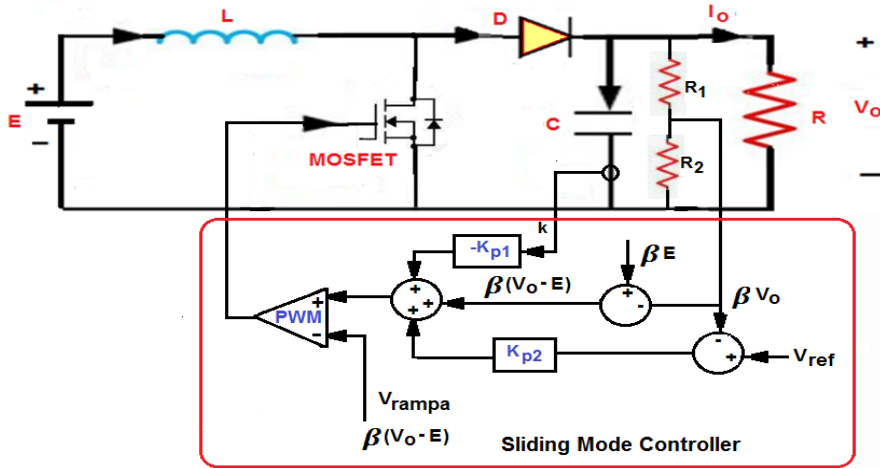
$$K_{p1} = \beta L \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_2} - \frac{1}{R_{LC}} \right) \quad (52)$$

$$K_{p2} = \frac{\alpha_3}{\alpha_2} LC \quad (53)$$

olarak bulunur. Kayan kipli kontrolde örnekleme zamanı:

$$T_s = \frac{4}{\delta W_n} \quad (54)$$

şeklinde ifade edilirler. Gerilim yükselten çeviricilerin kayan kipli kontrolü, genellikle endüstriyel uygulamalarda kullanılır ve birçok farklı devre yapısıyla gerçekleştirilebilir. Prensip şeması, temel işlevleri ve bileşenleri açıklayan bir diyagramdır. Şekil 6'da sisteme ilişkin prensip şeması verilmiştir.



Şekil 6. Gerilim Yükselten Çeviricinin Kayan Kipli Kontrolü

Bu prensip şemasında  $E$ , giriş gerilimini temsil eder. PWM kontrol bloğu, genellikle bir mikrodenetleyici veya özel bir kontrol entegresi tarafından sağlanan kayan kipli kontrol sinyalini ( $ueq$ ) alır. Bu kontrol sinyali, güç anahtarlarının (genellikle Mosfet'lerin) anahtarlama frekansını ve döngü oranını belirleyerek çıkış gerilimini regüle eder.

#### Yükselten Dönüştürücünün Kayan Kipli Kontrolünün Simulink Eşdeğeri

Kayan kipli kontrol sistemlerinde kullanılan parametreler; kontrol edilen sürecin doğası, istenilen performans kriterleri ve kontrol stratejisi gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Genellikle kayan kipli kontrolde  $K_p$  (oransal kazanç) kullanılır. Bu, kontrol edilen değişken ile kontrol sinyali arasındaki doğrusal ilişkiyi belirler. Yüksek bir  $K_p$  değeri, hızlı bir cevap sağlayabilir ancak aşırı yanıt ve kararlılık sorunlarına neden olabilir. Kontrol edilen sürecin istenilen hedef değeri set noktasıdır. Kayan kipli kontrol sistemi, set noktasına ulaşmaya çalışır. Bir başka parametre örnek zaman (örnekleme zamanı) ifadesidir. Bu, kontrol algoritmasının ne sıklıkla güncellendiğini belirler. Örnek zamanı, sistemin dinamiklerine ve kontrol gereksinimlerine bağlı olarak ayarlanır.

Tablo 1. Yükselten Dönüştürücü Parametre Değerleri

Açıklama	Çevirici parametreleri	Nominal değerleri
Dönüştürücü giriş gerilimi	$E$	12 V
Yük direnci	$R$	52 $\Omega$
İndüktans	$L$	15.9 Mh
Kapasitans	$C$	50 $\mu F$
Anahtarlama frekansı	$F_s$	20 KHz
Dönüştürücü çıkış gerilimi	$V_o$	24 V

Frekans değeri anahtarlama frekansının yirmide biri olarak seçilir. Sistemle ilgili bir bozulma varsa parametre değerleri değişir ve zaman içinde kararlı bir hal alır.

$$f = \frac{1}{20} f_{sw} \quad (55)$$

(55) denkleminde frekansın değeri ::

$$f = 20000 * \frac{1}{20} = 1000 \text{ Hz}$$

olarak bulunur. Açılmal frekansın değeri ::

$$W_n = 2 * \pi * f = 2 * 3.14 * 1000 = 6280 \text{ (rad/s)}$$

Olarak bulunur. (54) denkleminde örnekleme zamanı ::

$$T_s = \frac{4}{\delta W_n} = \frac{4}{0.2 * 6280} = 3.18 \text{ ms}$$

şeklinde hesaplanır. (38) nolu denklemde kontrol katsayılarının oranı :

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{10}{T_s} = \frac{10}{3.18 * 10^{-3}} = 3141.6$$

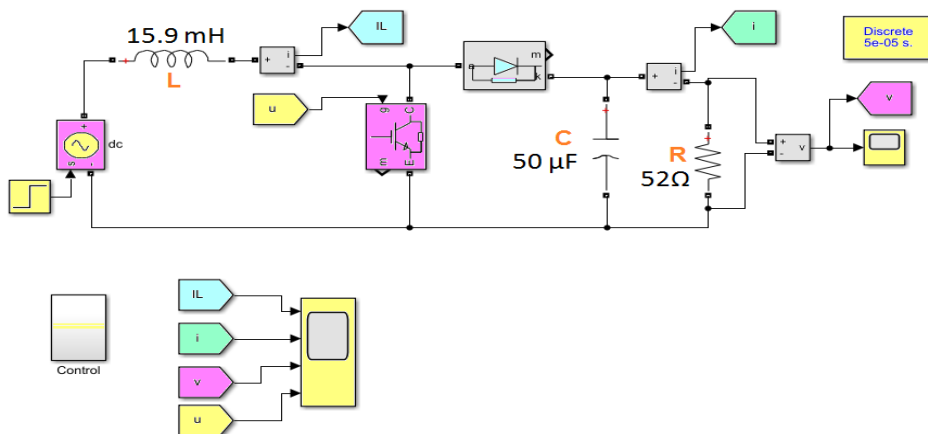
Olarak bulunur. Bu bağlamda (39)'nolu denklemde diğer kontrol katsayılarının oranı:

$$\frac{\alpha_3}{\alpha_2} = \frac{25}{\delta^2 T_s^2} = \frac{25}{0.2^2 (3.1 * 10^{-3})^2} = 61800 * 10^3$$

olarak hesaplanır. Kayan kipli kontrolün Matlab/Simulink ile analizi oldukça yaygın bir uygulamadır ve genellikle güç elektroniği sistemlerinin tasarımı ve analizinde kullanılır. Kayan kipli kontrol özellikle invertörler, doğrultucular ve yükselten/azaltan çeviriciler gibi güç elektroniği sistemlerinin çeşitli tiplerinde simülasyon ve analiz uygulamalarında kullanılır. Matlab/Simulink kullanarak kayan kipli kontrolün analizi için temel adımlar:

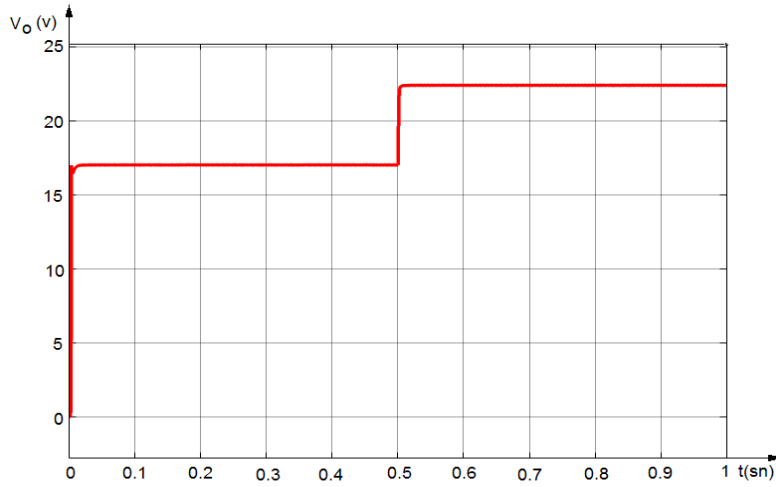
- Modelleme işleminde kullanma: İlk olarak, analiz edilecek güç elektroniği devresinin Simulink modelini oluşturmanız gerekir. Bu genellikle blok diyagramı şeklinde yapılır ve giriş gerilimini, çıkış yükünü, güç anahtarlarını ve kontrol devrelerini içerir.
- Kontrol algoritması oluşturma: Kayan kipli kontrol algoritmasını tasarlamamız gerekir. Bu algoritma, güç anahtarlarının açma/kapama zamanlarını belirler ve çıkış gerilimini istenen değerde tutar. PID denetleyicileri veya daha karmaşık kontrol stratejileri kullanılabilir.
- Sistemin simülasyonu gerçekleştirme: Tasarlanmış modeli kullanarak Simulink'te simülasyon çalıştırın. Bu, kontrol algoritmasının performansını değerlendirmenize ve çeşitli koşullar altında devrenin davranışını gözlemlemenize olanak tanır. Simülasyon sonuçları, çıkış gerilimi, akımı, güç kaybı gibi çeşitli performans metriklerini içerebilir.
- Analiz ve optimizasyon işlemlerinde kullanma: Simülasyon sonuçlarını analiz edin ve kontrol algoritmasını gerektiği şekilde ayarlayın veya optimize edin. Bu adım, sistem performansını iyileştirmek ve istenen davranışı elde etmek için önemlidir.
- Doğruluk Testini gerçekleştirme: Tasarlanan kontrol algoritmasının gerçek dünya koşullarında nasıl çalışacağını doğrulamak için daha ileri düzeyde testler yapın. Bu, donanım prototipleri kullanarak veya gerçek zamanlı simülasyon platformlarıyla yapılabilir.

Matlab/Simulink, kayan kipli kontrol ve diğer güç elektroniği sistemlerinin analizi için güçlü ve esnek bir araçtır. Bu adımları takip ederek dönüştürücülerin kayan kipli kontrolü tasarımını ve analizini gerçekleştirebilir ve istenen performansı elde edilebilir. Şekil 7'de kayan kipli DA-DA yükselticinin kontrolüne ilişkin simulink devresi verilmiştir.



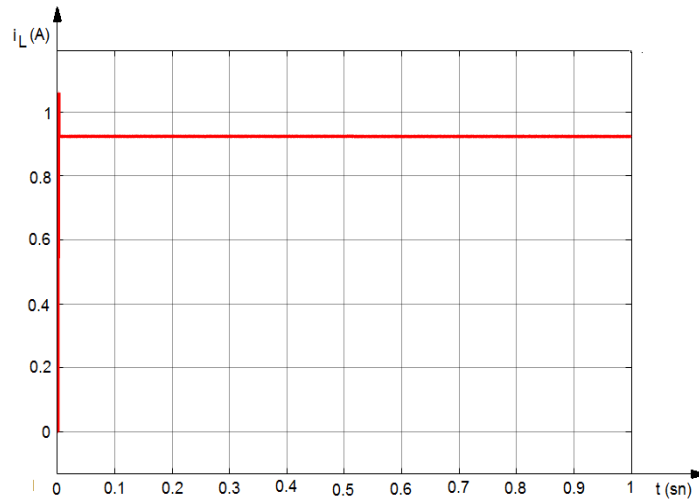
Şekil 7. Gerilim Artıran Çeviricinin Kayan Kipli Kontrolüne Ait Simulink Devresi

Gerilim artıran çeviricilerin çıkış geriliminin değişimi genellikle çıkış yükü, giriş gerilimi ve kontrol stratejisi gibi birçok faktöre bağlıdır. Çıkış geriliminin değişimi, çoğu zaman çıkış geriliminin sabit tutulması veya belirli bir profilin izlenmesi için kayan kipli kontrol stratejileri kullanılarak gerçekleştirilir.



**Şekil 8.** Gerilim Artıran Çeviricinin Çıkış Geriliminin Kayan Kipli Kontrolü

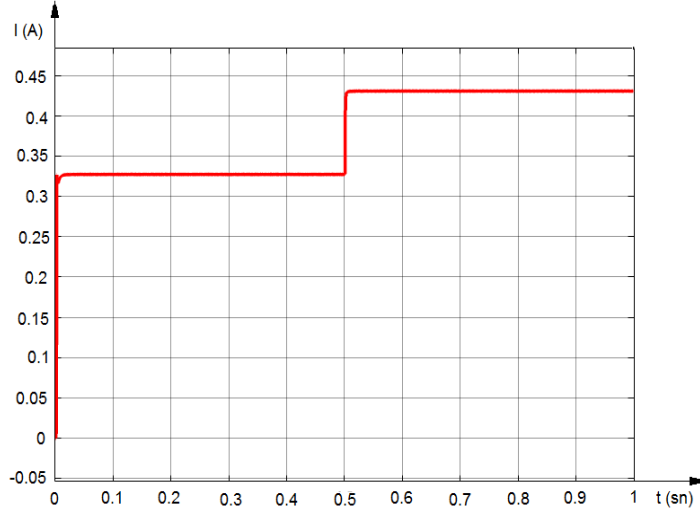
Gerilim artırıcı çeviricilerde, çıkış geriliminin kayan kipli kontrolü için genellikle darbe genişlik modülasyonu kullanılır. Bu yöntem, Mosfet transistörünün işlem süresini (darbe genişliğini) değiştirerek çıkış gerilimini ayarlar. PWM kontrolü, çıkış gerilimini istenilen düzeyde tutmak veya değiştirmek için darbe genişliğini ayarlayarak çalışır. Bu kontrol yöntemi, genellikle gerilim artırıcı çeviricilerde kullanılan bir yöntemdir. İşlem, transistörlerin iletkenlik süresini ayarlayarak gerçekleşir. Örneğin çıkış gerilimi artırılması gerektiğinde, PWM kontrolü ile darbe genişliği artırılır. Bu, transistörlerin daha uzun süre iletken olmasını sağlar dolayısıyla çıkış gerilimi artar. Tersine, çıkış geriliminin azaltılması gerektiğinde, darbe genişliği azaltılır ve Mosfet'in iletkenlik süresi kısaltılır. Bu şekilde PWM kontrolü kullanılarak çıkış geriliminin istenilen düzeyde tutulması veya değiştirilmesi sağlanır. Bu yöntem, çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan bir kontrol stratejisidir.



**Şekil 9.** Gerilim Artıran Çeviricinin İndüktör Akımının Kayan Kipli Kontrolü

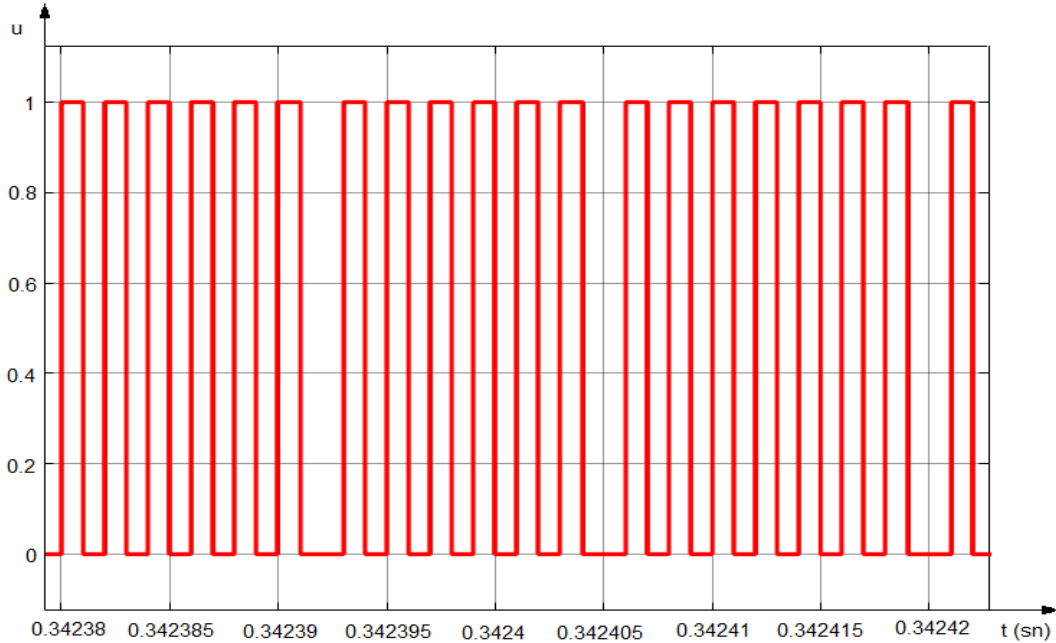
Gerilim artırıcı bir çeviricide indüktör akımının kayan kipli kontrolü, genellikle devredeki anahtarlama elemanların (transistörlerin) işlem süresinin ayarlanması yoluyla gerçekleştirilir. Bu kontrol, çıkış gerilimini belirli bir seviyede tutmak için indüktör akımının sabit kalmasını sağlar. İndüktör akımı, genellikle anahtarlama devresinin döngü süresi içinde darbeleri bir şekilde değişir. Bu akım, indüktörün enerji depolaması ve boşaltmasına bağlı olarak gerçekleşir. PWM kontrolünde, transistörlerin (genellikle Mosfet veya IGBT gibi) anahtarlama frekansı yüksek olduğu için indüktör akımı, devredeki anahtarlama elemanların işlem süresi (darbe genişliği) boyunca değişir. Bu süreç indüktörde depolanan enerjinin çıkış gerilimine dönüştürülmesini sağlar. İndüktör akımının kayan kipli kontrolü, genellikle çıkış geriliminin istenen seviyede kalması için PWM sinyalinin darbe genişliğinin (işlem süresinin) ayarlanmasıyla gerçekleşir. Bu, çıkış gerilimi veya yük değişiklikleri gibi faktörlere

yanıt olarak indüktör akımının istenilen düzeyde tutulmasını sağlar. Bu sayede çıkış gerilimi istenilen seviyede tutulabilir ve istenen çıkış gücü elde edilebilir.



Şekil 10. Gerilim Artıran Çeviricinin Yük Akımının Kayan Kipli Kontrolü

Gerilim artırıcı çeviricilerde yük akımının kayan kipli kontrolü için genellikle akım modülasyonu kullanılır. Bu teknik, çıkış akımının istenilen düzeyde tutulması veya değiştirilmesi için kullanılır. Yük akımının artırılması gerektiğinde PWM darbe genişliği veya frekansı artırılabilir. Bu, transistörlerin daha uzun süre veya daha sık çalışmasını sağlar, böylece çıkış akımı artar. Tersine yük akımının azaltılması gerektiğinde darbe genişliği veya frekansı azaltılabilir. Bu da çıkış akımının düşmesine neden olur. Bu şekilde akım modülasyonu kullanılarak çıkış akımının istenilen düzeyde tutulması veya değiştirilmesi sağlanır. Bu yöntem, gerilim artırıcı çeviricilerde yük akımının kontrol edilmesinde yaygın olarak kullanılan bir stratejidir. Burada  $u$ , büyüklüğü genellikle PWM sinyalini temsil eder. PWM sinyali, güç anahtarlarının (genellikle Mosfet'lerin) anahtarlama zamanlarını belirler. Bu, çıkış geriliminin istenilen değere ulaşmasını sağlar.



Şekil 11. Kayan Kip Kontrolü Gerilim Artıran Çeviricide  $u$ 'nun Değişimi

Kayan kipli kontrolde, kontrol sinyali genellikle bir referans gerilimiyle karşılaştırılır ve buna göre PWM sinyali üretilir. Bu PWM sinyali, transistörlerin iletkenlik süresini veya genliğini kontrol eder. Böylece çıkış gerilimini veya akımını istenen düzeyde tutar. Kontrol sinyali, bir geri besleme döngüsü aracılığıyla elde edilebilir. Bu döngü, çıkış gerilimi veya akımıyla karşılaştırılan bir referans gerilim arasındaki farkı ölçer ve bu farkı minimize



etmek için PWM sinyalini ayarlar. Genellikle u, PWM sinyalini temsil eder. PWM sinyali, güç anahtarlarının (genellikle Mosfet'lerin) anahtarlama zamanlarını belirler. Bu, çıkış geriliminin istenilen değere ulaşmasını sağlar. Kayan kip kontrolünde u'nun değişimi, çıkış geriliminin anlık olarak izlenmesi ve kontrol algoritmasının bu bilgiyi kullanarak giriş gerilimi veya anahtarlama frekansını uygun şekilde ayarlamasıyla gerçekleşir. Sonuç olarak kayan kip kontrolü, çıkış geriliminin istenilen değerde tutulması için giriş gerilimi veya anahtarlama frekansının dinamik olarak ayarlanması prensibine dayanır. Bu ayarlamalar, u'nun değerinin değişmesine ve dolayısıyla çıkış geriliminin istenilen değere ulaşmasına ve tutulmasına yol açar.

## SONUÇ

Kayan kipli kontrol DA-DA gerilim yükselten dönüştürücünün genel performansını önemli ölçüde artırır. Bu çalışmada, çıkış gerilimini ve akımını istenilen değerlere daha hızlı ve hassas bir şekilde ulaşmasını sağladı. Ayrıca kayan kipli kontrolün hızlı bir şekilde dinamik koşullara uyum sağlayabilme yeteneği sayesinde sistem stabilitesini artırması ve aşırı yüklenme durumlarında dönüştürücünün korunmasını sağladı. Bu çalışma, DA-DA gerilim yükselten dönüştürücülerin daha etkin ve güvenilir bir şekilde tasarlanması ve kontrol edilmesi sağlanmıştır. Bu çalışma sonuçları enerji dönüşümü alanında daha ileri araştırmalara yol gösterebilir ve endüstriyel uygulamalarda yenilikçi çözümler sunabilir.

DA-DA gerilim yükselten dönüştürücünün kayan kipli kontrol tasarımı ve simülasyonu MATLAB/Simulink kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerilim yükselten dönüştürücülerin kayan kipli kontrolü, bu tür dönüştürücülerin performansını artırmak ve istikrarlı bir çalışma sağlamak için çok etkili bir yöntemdir. Yapılan bu çalışmada, kayan kipli kontrolün dönüştürücünün hedeflenen çıkış gerilimine daha hızlı ve hassas bir şekilde ulaşabildiğini göstermektedir. Ayrıca kayan kipli kontrol stratejisinin yük değişimlerine ve diğer dış etkilere karşı daha dirençli olduğu ve sistem kararlılığını artırdı. Kayan kipli kontrolün, dönüştürücü performansını artırarak enerji verimliliğini ve sistem kararlılığını iyileştirir. Bununla birlikte kayan kipli kontrolün uygulanması ve ayarlanması bazı zorluklar içerebilir ve dikkatli bir tasarım gerektirebilir. Gerilim yükselten çeviricilerde istenen çıkış gerilimini veya akımını izlemek için kullanılabilen etkili bir kontrol stratejisidir.

Genel olarak, DC-DC gerilim yükselten dönüştürücülerin kayan kipli kontrolü bu dönüştürücülerin güvenilirliği, verimliliği ve performansını artırmak için etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Gelecekteki çalışmalar, kayan kipli kontrol stratejisinin daha da optimize edilmesi ve farklı uygulama alanlarında kullanılması üzerine odaklanabilir, bu alandaki potansiyel avantajlar daha geniş bir şekilde değerlendirilebilir.

## KAYNAKLAR

Al-Baidhani, H. & Kazmierczuk, M.K. (2018) PWM-based proportional-integral sliding-mode current control of DC-DC boost converter, *2018 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)*, College Station, TX, USA, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/TPEC.2018.8312062>

Al Zawaideh, A. & Boiko, I.M. (2022). Analysis of Stability and Performance of a Cascaded PI Sliding-Mode Control DC-DC Boost Converter via LPRS, in *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37 (9): 10455-10465, <https://doi.org/10.1109/TPEL.2022.3169000>

Ardhenta, L. & Rusli, M. (2021). Sliding Mode Control of Output Voltage in DC-DC Boost Converter Using PI Sliding Surface, *2021 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT)*, Malang, Indonesia, pp. 228-232, <https://doi.org/10.1109/IEIT53149.2021.9587410>.

Arulselvi, S., Kumar, C.R., Uma, G. & Chidambaram, M.(2005). Design of fuzzy sliding mode control for DC-DC converter, *Proceedings of 2005 International Conference on Intelligent Sensing and Information Processing, 2005.*, Chennai, India, pp. 217-222, <https://doi.org/10.1109/ICISIP.2005.1529451>.

Asma, C., Abdelaziz, Z. & Nadia, Z. (2017). Dual loop control of DC-DC boost converter based cascade sliding mode control, *2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS)*, Hammamet, Tunisia, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/GECS.2017.8066151>

Cavallo, A. & Guida, B. (2012). Sliding mode control for DC/DC converters, *2012 IEEE 51st IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*, Maui, HI, USA, pp. 7088-7094, <https://doi.org/10.1109/CDC.2012.6427026>.

- Chincholkar, S.H., Jiang, W. & Chan, C.Y. (2020). A Normalized Output Error-Based Sliding-Mode Controller for the DC–DC Cascade Boost Converter, in *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 67 (1) :92-96. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2019.2899388>
- Chincholkar, S.H., Jiang, W. & Chan, C.Y. (2018). An Improved PWM-Based Sliding-Mode Controller for a DC–DC Cascade Boost Converter, in *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 65(11): 1639-1643. <https://doi.org/10.1109/TCSII.2017.2754292>
- El Fadil, H., Giri, F. & Ouadi, H. (2006). Adaptive sliding mode control of PWM boost DC-DC converters, *2006 IEEE Conference on Computer Aided Control System Design, 2006 IEEE International Conference on Control Applications, 2006 IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Munich, Germany, pp. 3151-3156, <https://doi.org/10.1109/CACSD-CCA-ISIC.2006.4777142>
- Giral, R., Martinez-Salamero, L., Leyva, R. & Maixe, J. (2000). Sliding-mode control of interleaved boost converters, in *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, 47 (9): 1330-1339. <https://doi.org/10.1109/81.883328>
- Guldemir, H. (2005). Sliding Mode Control of Dc-Dc Boost Converter. *Journal of Applied Sciences*, 5: 588-592. <https://doi.org/10.3923/jas.2005.588.592>
- Keçecioglu, Ö., Kılıç, E., Gani, A., Şekkelı, M. (2019). Yükselten DA-DA Dönüştürücünün LQR Denetleyici Kullanılarak Optimal Denetimi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(1), 83-88.
- Ling, R., Maksimovic, D. & Leyva, R. (2016). Second-Order Sliding-Mode Controlled Synchronous Buck DC–DC Converter, in *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(3):2539-2549. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2015.2431193>
- Lopez-Santos, O., Martinez-Salamero, L., Garcia, G., Valderrama-Blavi, H. & Sierra-Polanco, T. (2015). Robust Sliding-Mode Control Design for a Voltage Regulated Quadratic Boost Converter, in *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30 (4) : 2313-2327. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2014.2325066>
- Lopez, M., de Vicuna, L.G., Castilla, M., Gaya, P. & Lopez, O. (2004). Current distribution control design for paralleled DC/DC converters using sliding-mode control, in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 51(2): 419-428. <https://doi.org/10.1109/TIE.2004.825273>
- Malla, S.G., Rao, M.H.L., Malla, J.M.R., Sabat, R.R., Dadi, J. & Das, M.M. (2013). SVM-DTC Permanent magnet synchronous motor driven electric vehicle with bidirectional converter, *2013 International Multi-Conference on Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing (iMac4s)*, Kottayam, India, pp. 742-747, <https://doi.org/10.1109/iMac4s.2013.6526505>
- Marouani, R., Echaieb, K. & Mami, A. (2012). Sliding mode controller for buck-boost dc-dc converter in PV grid-connected system, *2012 16th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, Yasmine Hammamet, Tunisia, pp. 281-284, <https://doi.org/10.1109/MELCON.2012.6196433>
- Martínez-Treviño, B. A., Aroudi, A. E., Vidal-Idiarte, E., Cid-Pastor, A., & Martínez-Salamero, L. (2019). Sliding-mode control of a boost converter under constant power loading conditions. *IET Power Electronics*, 12(3), 521-529. <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2018.5098>
- Mishra, D., Singh, B. & Panigrahi, B.K (2020). Multi-Resonant Control in a PV-SEPIC Fed PEV Charger with Distorted Grid Conditions, *2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, Jaipur, India, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/PEDES49360.2020.9379790>
- Muktiadji, R.F., Mam, R., Hreh, B., Milyani AH, Rawa M, Seedahmed M.M.A, & Budiman, F.N. (2022). Control of Boost Converter Using Observer-Based Backstepping Sliding Mode Control for DC Microgrid, *Front. Energy Res.* 10:828978. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.828978>
- Özçelik M.A. & Yılmaz A.S. (2015). Improving the performance of MPPT in PV systems by modified Perturb-and-Observe algorithm (DC side), *Journal of Engineering Research*, 3 (5) : 77-96. <https://doi.org/10.7603/s40632-015-0024-5>
- Panda, S., Banninathaya, V. K. & Sreedevi, A. (2015). Design of boost converter with Second order Sliding Mode Control to attain MPPT for stand alone PV system, *2015 Annual IEEE India Conference (INDICON)*, New Delhi, India, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/INDICON.2015.7443315>

Repecho, V., Biel, D., Olm, J.M., & Fossas, E. (2018). Robust sliding mode control of a DC/DC Boost converter with switching frequency regulation, *Journal of the Franklin Institute*, 355 (13): ,5367-5383. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2018.05.028>.

Qamar, M.A. Feng, J. Rehman, A.U. & Raza, A. (2015). Discrete time sliding mode control of DC-DC buck converter, *2015 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC)*, Bandar Sunway, Malaysia, pp. 91-95. <https://doi.org/10.1109/SPC.2015.7473565>

Qi, Q. Ghaderi, D. Guerrero, J.M. (2021). Sliding mode controller-based switched-capacitor-based high DC gain and low voltage stress DC-DC boost converter for photovoltaic applications, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 125 (1). , 106496. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106496>.

Sachin, C.S., & Nayak, S.G. (2017). Design and simulation for sliding mode control in DC-DC boost converter, *2017 2nd International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, Coimbatore, India, 2017, pp. 440-445, <https://doi.org/10.1109/CESYS.2017.8321317>

Tan, S.C., Lai, Y.M. & Tse, C.K (2008). General Design Issues of Sliding-Mode Controllers in DC–DC Converters, in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(3):1160-1174, <https://doi.org/10.1109/TIE.2007.909058>.

Vijayakumar, V., Divya, R. & Vivek A., (2014). Sliding mode controlled quadratic boost converter, *2014 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, Chennai, India, pp. 189-193, <https://doi.org/10.1109/ICCPEIC.2014.6915363>

Wai, R.J. & Shih, L.C. (2011). Design of Voltage Tracking Control for DC–DC Boost Converter Via Total Sliding-Mode Technique, in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58(6): 2502-2511. <https://doi.org/10.1109/TIE.2010.2066539>

Zhang, J., Dorrell, D.G., Li, L. & Argha, A (2015). A novel sliding mode controller for DC-DC boost converters under input/load variations, *IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Yokohama, Japan, pp. 001698-001703, <https://doi.org/10.1109/IECON.2015.7392346>