

Yükselten Tip DA/DA Dönüştürücü Kontrolünün Farklı Kontrol Yöntemleriyle Batarya Kaynağı için İncelenmesi

Investigation of Boost Converter Control for Battery Source with Different Control Methods

Bengisu KABA^{1,*}, Mustafa Ergin ŞAHİN², Murat TÖREN³

 ORCID: 0009-0001-5866-8551

 ORCID: 0000-0002-5121-6173

 ORCID: 0000-0002-7012-7088

^{1,2,3}Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Rize, Türkiye

*bengisu_kaba23@erdogan.edu.tr

Öz

Bu çalışmada bataryadan beslenen bir yükselten dönüştürücü Darbe genişlik modülasyonu (DGM), Kayan kip kontrol (SMC) ve Oransal-İntegral (PI) kontrolcü ile kontrol edilmiştir. Bu sayede kontrolcülerin karşılaştırması yapılmıştır. Kullanılan yükselten dönüştürücünün giriş gerilimi bir batarya üzerinden alınmış ve belirli yük değeri üzerinde bataryanın enerjisinin harcanması sağlanmıştır. Dönüştürücüden, bataryanın %100 şarj durumunda 12 V giriş gerilimini 36 V çıkış gerilimine yükseltmesi beklenmiş ve farklı şarj durumlarında kontrolcülerin davranışları gözlemlenerek elde edilen çıkış gerilimleri incelenmiştir. Bu işlemler PWM, PI ve SMC kontrol yöntemleri ile yapılarak bu kontrolcülerin karşılaştırılması yapılmıştır. Ve bir lityum-iyon batarya kaynak olarak kullanılarak bu durumun kontrolcüler üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yükselten dönüştürücü, Batarya, Darbe genişlik modülasyonu, Kayan kip kontrol, Oransal-İntegral kontrol

Abstract

In this study, a boost converter powered by a battery was controlled using Pulse width modulation (PWM), Sliding mode control (SMC) and Proportional-Integral (PI) controller. This allowed for a comparison of the controllers. The input voltage of the boost converter used was taken from a battery, and the energy of the battery was ensured to be consumed above a certain load value. The converter was expected to increase the 12 V input voltage to 36 V output voltage in the 100% charged state of the battery, and the resulting output voltages were examined by observing the behaviour of the controllers in different charge states. These operations were performed by PWM, PI and SMC control methods, and a comparison of these controllers was made. And by using a lithium-ion battery as a source, it was aimed to determine the effect of this situation on the controllers.

Keywords: Boost converter, Battery, Pulse width modulation, Sliding mode control, Proportional-Integral control

1. Giriş

DA/DA yükselten dönüştürücüler endüstriyel alanda, yenilenebilir enerji sektöründe özellikle güneş enerjisinde olukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Lineer olmayan bu güç elektroniği devrelerinden elde edilen çıkış geriliminin kararlı ve sürekli olması için uygun kontrol devreleriyle kontrol edilmesi oldukça önem arz etmektedir [1, 2]. Bu sebeple çeşitli kontrol algoritmalarının yükselten dönüştürücü devresiyle kullanılarak analizleri gerçekleştirilmiştir. Kullanıldıkları sistemde istenen verilerin elde edilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Örneğin bir çalışmada güneş enerji sistemlerinde kullanılmak üzere klasik değiştir ve gözle (P&O) algoritmasına karşılık geliştirilen artan iletkenlik algoritması ile maksimum güç noktası takibi (MPPT) yöntemiyle kontrol edilen yükselten dönüştürücü devresi tasarımı yapılmıştır. Benzetim çalışmasının sonucunda %96 verim elde edilmiştir [3]. Bu çalışmada da lineer olmayan bir kaynak olan bataryadan beslenen yükselten dönüştürücü devresi üç ayrı kontrolcü ile kontrol edilmiştir. Bu sayede kontrolcüler arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Uygun kontrolcünün seçilmesi için kontrolcüler arasında karşılaştırmalar yapılabilir. Bu amaçla SMC ve PI kontrolcüler iki çalışmada karşılaştırılmıştır. İki çalışmada da kontrolcünün tepki hızının daha yüksek olması ve ani güçlerde daha küçük dalgalanmaların oluşması nedeniyle SMC' nin PI kontrolcüsüne göre daha avantajlı olduğu sonucuna varılmıştır [4, 5]. Bu çalışmada ise SMC ve PI kontrolcülerine ek olarak DGM kontrol de karşılaştırmaya dâhil edilmiştir.

Kontrolcülerin beraber kullanılmasıyla elde edilen birleşik kontrol yöntemleriyle de dönüştürücüler kontrol edilebilmektedir. Bulanık-PID ve PI-SMC kontrol yöntemleri kullanılarak yükselten dönüştürücü kontrolü yapılan bir çalışma sonucunda PI-SMC yönteminin daha hızlı tepki verdiği belirlenmiştir. Bunun sonucunda düşük gerilim sapması sağladığı sonucuna ulaşılmıştır [6]. Yükselten dönüştürücünün PID ile kontrolünün yapılması için en uygun yöntemin PI-PD yöntemi olduğunu savunan bir çalışmada kararlılık bölge tespiti yapılmıştır. Çalışmada gerekli grafikler elde edilerek bu yöntemin yükselten dönüştürücü için güvenli olduğu sonucuna varılmıştır [7]. Model Referans Adaptif Kontrolcü ile PI kontrolcünün beraber kullanılmasının önerildiği bir çalışmada ise sürekli iletim modunda lineer olmayan elemanların kontrol sürecinin olumsuz etkilenmesi adaptif kontrol ile birleştirilen sistemle çözüme kavuşturulmuştur [8]. Bir çalışmada PI kontrolcüyü destekleyen açık çevrim kontrol kuralı tabanlı yeni bir kontrol sistemi klasik PI kontrolcü ile kıyaslanmıştır. Çalışmada kontrolcüler yükselten dönüştürücü devresini kontrol etmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilen açık çevrim

kontrol kuralı eklenmiş olan PI kontrolcünün klasik PI kontrolciye göre dönüştürücünün çalışmasını daha da iyileştirdiği gözlemlenmiştir [9].

DGM tekniğinin kullanıldığı bir çalışmada girişteki küçük-büyük adım değişikliklerine geçici yanıt geriliminin farklı değerlerinde incelemeler yapılmıştır. Çalışmada yük değeri değiştirilmiş ve sinyal genişliğini ayarlamaya yarayan doluluk oranı değeri $D=0,4$ alınmıştır. Çalışmada ideal ve ideal olmayan durumlardaki kararlı durum davranışları arasındaki farkın giriş geriliminin dikkate alınan her iki değeri için de neredeyse aynı kaldığı gözlemlenmiştir [10]. Başka bir çalışmada ise DA-DA dönüştürücüde yüksek yükselten dönüşüm oranını elde etmek için ikili DGM kontrol yöntemi önerilmiştir. Önerilen sistemde kullanılan DGM dalga şekillerinin farklı frekanslara sahip olması sayesinde bobin akımının davranışında ikinci dereceden bir gerilim kazancı elde edilmektedir. Önerilen sistemin benzetim çalışması yapılmış ve 0,48 V giriş gerilimine karşılık 5 W çıkış gücü ve 12 V çıkış gerilimi elde edilmiştir. Önerilen yöntem yüksek yükselten dönüşüm oranını sağlamaktadır [11]. Bu çalışmada yükselten dönüştürücülerde sıklıkla kullanılan DGM, SMC ve PI kontrol yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda devre bir batarya yardımıyla beslenerek kontrolcülerin lineer olmayan bir elemanla beslenen devredeki performansları incelenmiştir.

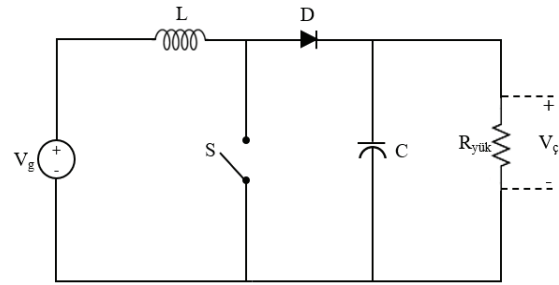
Bataryalar, elektrik enerjisini depolamak ve cihazların çalışması için gereken gücü sağlamak için kullanılan elektrokimyasal cihazlardır. Bataryalar, kimyasal reaksiyonlar aracılığıyla enerjiyi depolayıp serbest bırakarak elektrik üretirler. Bataryanın şarj durum oranı (SoC) bataryanın yüzde (%) olarak doluluk oranını ifade eder. Bataryanın SoC değeri, gerçek zamanlı durumunu yansıtmaktadır ve bu durum bataryanın tepkisini belirler. Bu tepki lineer değildir çünkü bataryanın iç kimyasal yapısı, SoC değerindeki her değişikliğe farklı tepkiler verir. Bataryalar, genellikle lityum-iyon, kurşun-asit, nikel-kadmiyum gibi kimyasal bileşenlerden oluşur. Bu kimyasal bileşenler, bataryanın şarj edilip boşaltılması sırasında farklı kimyasal tepkimelere girerler. Bu tepkimelerin doğası, bataryanın SoC' unu etkiler. Ancak, bu tepkimeler her zaman lineer değildir. Yani bataryanın SoC' undaki herhangi bir artış veya azalma sonucunda oluşacak enerji çıkışında doğrusal bir değişiklik olacağı anlamına gelmez. Bataryanın iç direnci, SoC değerinin düşmesiyle artabilir ve bu da gerilim düşüşüne neden olabilir. Benzer şekilde, SoC değerinin artması, bataryanın iç direncinde azalma ve gerilimde bir artışla sonuçlanabilir, ancak bu da lineer bir ilişki değildir. Sonuç olarak, bataryalar lineer olmayan sistemlerdir ve SoC değerlerindeki değişikliklere farklı tepkiler verirler. Bu nedenle, farklı SoC değerlerine sahip bataryalar, farklı sistemlerde farklı şekilde davranabilmektedirler [12, 13]. Bu çalışma kapsamında yükselten dönüştürücü bir lityum-iyon bataryadan beslenmiştir. Bataryanın şarj durumu %100, %50 ve %25 olarak değiştirilerek devrenin ve kullanılan kontrolcülerin bu şarj durumlarında tepkileri incelenmiştir.

Bu çalışmada belirtilen kontrol yöntemleri (PI, SMC, DGM) bataryadan beslenen bir yükselten dönüştürücü üzerinde kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırmasını içermektedir. Gereken devreler MATLAB/Simulink ile oluşturulmuştur. Grafikler elde edilmiş olup çıktıların karşılaştırılmasıyla belirtilen bu üç kontrol yönteminin batarya üzerinden beslenen bir yükselten dönüştürücü üzerinde gösterdikleri tepkinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışma sayesinde lineer olmayan bir kaynaktan beslenen dönüştürücünün sistemde etkisi değerlendirilmiştir. Aynı zamanda kullanılan PI, SMC ve DGM kontrol yöntemlerinin de

sistem üzerinde oluşturduğu avantaj ve dezavantajları belirlenmiştir. Bu sayede çalışmada, lineer olmayan bir kaynaktan beslenecek sistemlerin ihtiyacına göre hangi kontrol yönteminin tercih edilmesinin daha uygun olacağı belirlenmektedir.

2. DA/DA Yükselten Dönüştürücü

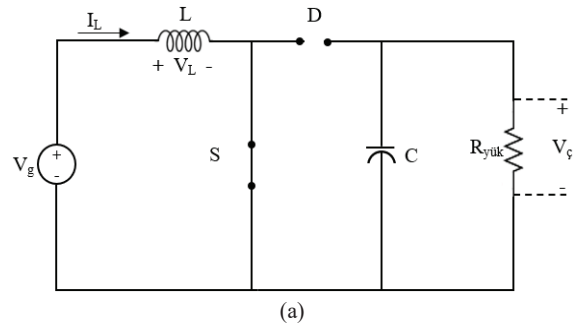
Yükselten dönüştürücü, giriş gerilimine eşit ya da daha büyük bir çıkış gerilimi üretir. Yükselten dönüştürücünün çalışma prensibi aşağıda açıklanmıştır. Şekil 1' de yükselten dönüştürücünün devre şeması verilmiştir. Çeşitli kontrol yöntemleriyle devrede anahtar görevi gören elemana (S) genelde analog sinyal tercih edilse de dijital sinyal de gönderilebilmektedir. Gönderilen bu sinyal sayesinde anahtarın açma/kapama işlemi gerçekleştirilir. Bu sinyal yüksek (1) ve düşük (0) durum arasında geçiş yaparak anahtarın açık veya kapalı kalma süresini kontrol eder.



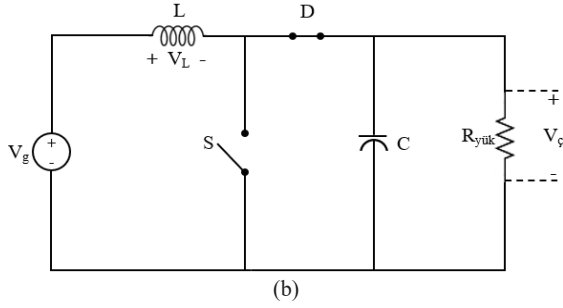
Şekil 1. Yükselten dönüştürücü devresi

2.1. Yükselten Dönüştürücünün Çalışma Prensibi

Şekil 2.(a)' da anahtar kapalı konumdayken dönüştürücü devresi verilmiştir. Bu durumda giriş gerilimi ve bobin tarafında kapalı bir çevrim oluşur. Bu sırada diyottan akım akmayacağından çıkış izole edilmiş olur. Bu sayede giriş gerilimi bobini besler. Anahtar açıldığında ise Şekil 2.(b)' de gösterilen devre meydana gelmektedir. Bu durumda çıkışa hem girişten hem de bobinden akım akar. Başka bir deyişle daha önceden beslenmiş olan bobin de anahtar açıldığında kaynak görevi görür. Bu sayede çıkış gerilimi yükseltilmiş olur. Çıkış geriliminin sabit tutulması ise devrede çıkışa paralel bağlanmış kondansatör ile sağlanır [14, 15].



(a)



Şekil 2. Yükselten dönüştürücü devresi; (a) anahtar kapalı, (b) anahtar açık durumu

Genel olarak bu durumların bağıntıları aşağıdaki gibidir:
 Anahtar kapalı;

$$V_L = V_g = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_g}{L} \quad (1)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_g}{L} \quad (2)$$

$$(\Delta i_L)_{kapalı} = \frac{V_g DT}{L} \quad (3)$$

Anahtar açık;

$$V_L = V_g - V_c = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_g - V_c}{L} \quad (4)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} \Rightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_g - V_c}{L} \quad (5)$$

$$(\Delta i_L)_{açık} = \frac{(V_g - V_c)(1-D)T}{L} \quad (6)$$

Burada V_g ; giriş gerilimini, V_L ; bobin gerilimini, V_c ise çıkış gerilimini ifade etmektedir. i_L ise bobin üzerinden akan akımdır.

Diyot geriliminin hesaplanması için aşağıdaki işlemler gerçekleştirilir:

$$(\Delta i_L)_{açık} + (\Delta i_L)_{kapalı} = 0 \quad (7)$$

$$\frac{V_g DT}{L} + \frac{(V_g - V_c)(1-D)T}{L} = 0 \Rightarrow V_c = \frac{V_g}{1-D} \quad (8)$$

Bobinin doyuma gitmemesi için sürekli halde bobindeki enerji değişiminin sıfır olması gerekmektedir [16]. Bu nedenle Denklem 7' de gösterilen bağıntı oluşturulmaktadır.

2.2. Yükselten Dönüştürücünün Durum Uzay Denklemi

Yükselten dönüştürücüde Şekil 1'de de görüldüğü üzere enerji depolayan iki eleman vardır. Bunlar bobin (L) ve kondansatördür (C). Bu nedenle de iki adet durum değişkeni ($x_1(t)$, $x_2(t)$) atanır.

$$x_1(t) = i_L(t) \quad (9)$$

$$x_2(t) = V_C(t) \quad (10)$$

Denklem 9' da birinci durum değişkenine bobin üzerinden akan akımın, Denklem 10' da ise ikinci durum değişkenine kondansatör üzerindeki gerilimin (V_C) atandığı görülmektedir. Anahtarın açık ya da kapalı olmasına göre iki ayrı tanımlama

yapılmaktadır. Buna göre iki durum için de ayrı ayrı bağıntılar oluşturulup düzenlenmektedir. Bağıntılar oluşturulurken bobinin iç direnci (r_L) de hesaba katılmaktadır. Bu direnç bobindeki tellerin direncidir. Elde edilen bağıntılar Denklem 11' de gösterilen formda düzenlenerek durum uzay denklemleri Denklem 12 ve 13' de gösterildiği gibi elde edilmektedir.

$$\dot{x}_n(t) = A_n x(t) + B_n u(t) \quad (11)$$

Denklem 11' de gösterilen $x(t)$ atanan durum değişkenlerini ifade ederken $u(t)$ denetimli giriş işaretini ifade etmektedir.

$$\frac{di_L(t)}{dt} = -\frac{(1-D)V_c}{L} - \frac{i_L(t)r_L}{L} + \frac{V_g}{L} \quad (12)$$

$$\frac{dV_C(t)}{dt} = -\frac{V_c}{RC} + \frac{(1-D)i_L(t)}{C} \quad (13)$$

Elde edilen denklemlerin matris formuna dönüştürülmesiyle durum uzay matrisi Denklem 14' de gösterildiği gibi oluşturulmaktadır.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_L/L & (D-1)/L \\ (1-D)/C & -1/RC \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L \\ 0 \end{bmatrix} V_g \quad (14)$$

2.3. Yükselten Dönüştürücünün Küçük İşaret Analizi

Önceden elde edilmiş olan denklemler küçük işaret analizinin genel formunda ($x = X + \hat{x}$) düzenlendiğinde Denklem 15' de gösterilen bağıntı elde edilmektedir. Burada $\hat{x}$ ifadesi değişkendeki değişimi ifade etmektedir. Aynı zamanda yükselten dönüştürücüde elde edilen çıkış gerilimi kondansatör iç direnci ihmal edilmesi durumunda kondansatör gerilimine eşittir. Bu nedenle denklemlerdeki V_C değeri hem çıkış gerilimini hem de kondansatör gerilimini ifade etmektedir.

$$L \left(\frac{d(i_L + \hat{i}_L)}{dt} \right) = (D + \hat{d}) \left((V_g + \hat{v}_g) - r_L(I_L + \hat{i}_L) \right) + \left((1 - (D + \hat{d})) (V_g + \hat{v}_g) - r_L(I_L + \hat{i}_L) - (V_C + \hat{v}_C) \right) \quad (15)$$

Türevsel terimler sürekli durumda sıfır olmaktadır. Bu nedenle sabit terimlerin türevli ifadeleri denklemden çıkarılıp sadeleştirildiğinde Ortalama küçük işaret Denklem 16' da gösterildiği gibi elde edilmektedir.

$$L \left(\frac{d\hat{i}_L}{dt} \right) = \hat{v}_C - \hat{i}_L r_L + \hat{d} V_C - (1-D) \hat{v}_C \quad (16)$$

Denklem DA için düzenlendiğinde ortalama DA küçük işaret analiz bağıntısı Denklem 17' de olduğu gibi elde edilmektedir.

$$0 = V_g - I_L r_L - (1-D) V_C \quad (17)$$

Denklem 12 ve 13, Denklem 17' ye göre tekrar düzenlendiğinde elde edilen yeni durumlar Denklem 18 ve 19'daki gibidir.

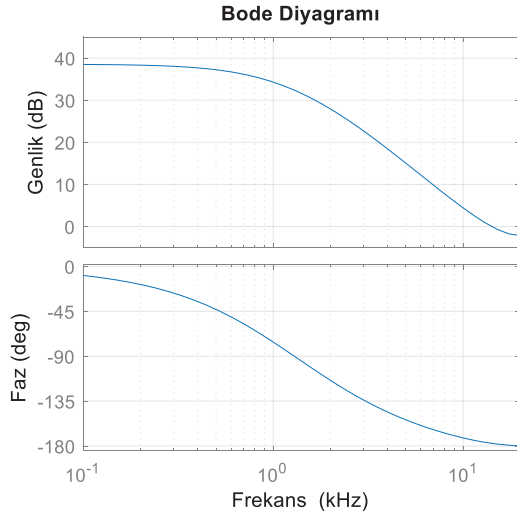
$$C \frac{d\hat{v}_C}{dt} = (1-D) \hat{i}_L - \frac{\hat{v}_C}{R} - \hat{d} I_L \quad (18)$$

$$0 = -\frac{V_C}{R} - (1 - D)I_L \quad (19)$$

Elde edilen denklemlerin Laplace dönüşümleri alınıp düzenlendiğinde yükselten dönüştürücünün küçük işaret modelinin transfer fonksiyonu Denklem 20' deki gibi elde edilmektedir.

$$T_p(s) = \frac{\hat{V}_C(s)}{\hat{d}(s)} = \frac{(1-D)V_C + LI_L s + I_L r_L}{LCs^2 + Cr_L s + (1-D)^2} \quad (20)$$

Tablo 3' de gösterilmiş olan çalışmada kullanılacak yükselten dönüştürücü değerlerine göre ve bobin iç direnci (r_L) $I \Omega$ alınarak elde edilen Bode diyagramı Şekil 3' de gösterilmiştir. Bu diyagram incelendiğinde faz cevabının -180' in altına inmemesi sistemdeki geri beslemenin istenilen şekilde çalıştığını ve istenmeyen osilasyonların önüne geçebildiğini ya da sınırlayabildiğini gösterir. Bu sayede sistemin genel olarak kararlı olduğu söylenebilmektedir. Sistemin genlik marjı benzetim çalışmasında sonsuz kabul edilebilmektedir. Bu durum sistemin gerçek hayattaki performansının da yüksek kararlılıkta olacağını göstermektedir. Sistemin faz marjı ise 48,75 derecedir. Faz marjı değeri, sistemin dış etkenlere karşı oldukça dayanıklı olduğunu göstermektedir. Bu sayede sistem, beklenmeyen durumlar karşısında da kararlı yapısını koruyabilir



Şekil 3. Yükselten dönüştürücünün bode diyagramı

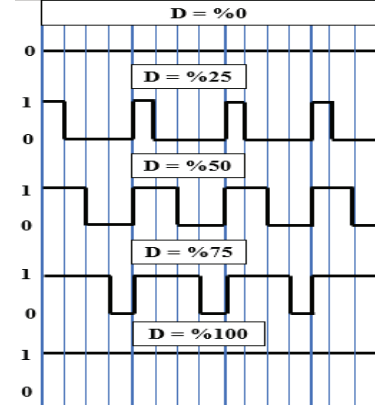
3. Kullanılan Yöntemler

Bu bölümde yükselten dönüştürücüyü kontrol etmek için kullanılan kontrol algoritmaları incelenmiştir. Bu yöntemler sırasıyla; Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM), Oransal-İntegral (PI) kontrol ve Kayan Kip (SMC) algoritmalarıdır.

3.1. Darbe Genişlik Modülasyonu Algoritması

DGM, sinyal işleme alanında yaygın olarak kullanılan bir kontrol yöntemidir. Bu yöntem, genellikle analog sinyalleri dijital sinyallere çevirmek ve enerji verimliliğini artırmak için kullanılır. DGM, bir sinyalin darbe genişliğini değiştirerek belirli bir ortalama değeri elde etmeye odaklanır. DGM'nin temel ilkesi, bir darbe sinyalinin genişliğini kontrol ederek ortalama değeri değiştirmektir. Genellikle bu darbe sinyali, belirli bir frekansta tekrarlanan bir döngüyü temsil eder. Darbe genişliği değiştikçe, ortalama değer değişir, bu da kontrol edilen bir sistemde istenen çıkışı sağlar [17].

Şekil 4' de doluluk oranı değişimine göre değişen DGM çıkış sinyalleri gösterilmektedir. Doluluk oranı D ile ifade edilir ve sinyalin açık konumda olduğu sürenin bir periyoda oranı şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 4. Doluluk oranına göre DGM çıkış sinyali

DGM kontrolcünde D değeri sinyalin bir periyotta ne kadar süre boyunca yüksek veya düşük seviyede kalacağını belirlemektedir. Bu sayede D değerinin değiştirilmesiyle sinyalin genişliği ayarlanabilir. D değeri arttıkça, sinyalin yüksek seviyede kalma süresi artar ve dolayısıyla darbe genişliği artar.

3.2. Oransal-İntegral Kontrol Tekniği

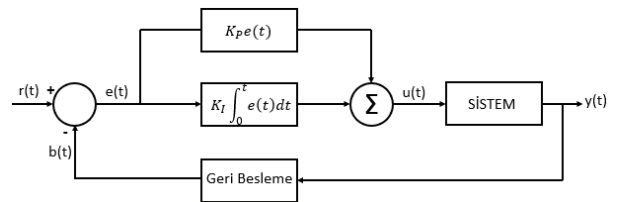
PI kontrol tekniği sıklıkla tercih edilen bir kontrol yöntemidir. P ve I olarak ayrı ayrı incelenilebildiği gibi beraber de kullanılabilir. PI kontrol tekniği, bu iki bileşenin beraber kullanılmasıyla özellikle istikrarlı bir kontrol sağlar. Oransal kontrol anlık tepki sağlarken, integral kontrol sürekli olarak hatayı düzeltir ve sürecin istenilen değere daha hızlı ulaşmasını sağlar [18, 19].

Dönüştürücünün sürekli modda çalışması için kullanılan PID tarafından üretilen kontrol sinyali Denklem 21' de verilmiştir.

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (21)$$

Burada e geri beslemeden alınan değer ile referans değerinin karşılaştırılması ile elde edilen hatayı göstermektedir. K_P , K_I ve K_D ise sırasıyla oransal, integral ve türev katsayılarını ifade etmektedir.

Şekil 5' de bir PI kontrolcünün blok şeması verilmiştir. Bu şemada sisteme girdi olarak verilen PI kontrolcünden alınan sinyal karşılığında elde edilen sistem çıktısının da PI kontrolcüye geri besleme yöntemiyle verilmesi gerekmektedir. Kontrolcü aldığı geri besleme sinyali ve başlangıçta girdi olarak verilen referans değerinin karşılaştırmasını yaparak yeni durum için yeni bir sinyal üretir.



Şekil 5. PI kontrol blok şeması

3.2.1. Kontrol parametrelerinin hesaplanması

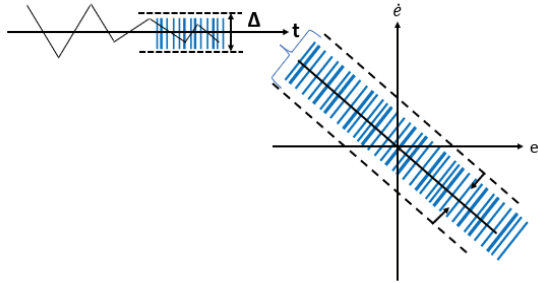
Kontrolcü parametrelerinin belirlenmesi için açık ve kapalı çevrim Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Wang – Juang – Chan gibi pek çok çeşitli yöntem mevcuttur. Bu çalışma kapsamında Şekil 4’ de verilen geri beslemeli kontrol sisteminin basamak girişi ve sürekli salınımının test edilmesine dayanan kapalı çevrim Ziegler-Nichols yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde öncelikle devrenin sadece oransal katsayı ile çalışması sağlanır. K_P katsayısı sistem çıkışından sürekli ve kararlı salınım elde edilinceye kadar artırılır. Ardından sonuç alınan K_P değeri K_u ve P_u cinsinden tespit edilir. Burada K_u en düşük oransal kazancı P_u ise sistem periyodunu ifade eder. Ardından Tablo 1’ de verilen PI kontrol için parametre ayarlama kuralları ile kontrolcü parametreleri belirlenir [20].

Tablo 1: PI için Ziegler-Nichols parametre ayarlama kuralları

Parametreler	K_P	K_I	K_D
Kurallar	$K_u/2.2$	$P_u/1.2$	0

3.3. Kayan Kip Kontrol Algoritması

SMC, sürekli değişen koşullar altında sistem istikrarını sağlamak ve takip performansını artırmak için tasarlanmış güçlü bir kontrol yöntemidir. Bu yöntem, özellikle belirsizlikler ve dış etkilerin olduğu karmaşık sistemlerde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. SMC’ nin temel ilkesi, bir kayma yüzeyi oluşturarak sistem davranışını yönetmektir [21]. Kayma yüzeyi, istenmeyen durumları tespit etmek ve bu durumları düzeltmek için bir kontrol sinyali üretmeye yarar. Sistem, bu kayma yüzeyi üzerinde hareket ederken istenilen duruma doğru yönlendirilir [22, 23]. Şekil 6’ da kayan kip kontrolü için kayma yüzeyi gösterilmiştir. Taralı alan olarak gösterilen kayma yüzeyi sistemin sınır değerleri içinde kalan alana denmektedir.



Şekil 6. Kayan kip kontrolce kayma yüzeyi gösterimi

3.3.1. Kontrol parametrelerinin hesaplanması

Anahtarlama fonksiyonuna sahip genel bir SMC kontrol yapısı Denklem 22’ de gösterilmiştir.

$$u = \begin{cases} 1, & S > 0 \\ 0, & S < 0 \end{cases} \quad (22)$$

Burada S anlık durum değişkeninin izleyeceği yoldur ve Denklem 23’ deki gibi gösterilebilir.

$$S = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 \quad (23)$$

Az sönümlü yanıt dönüştürücüler durumunda ($0 \leq \zeta < 1$) istenen yerleşme süresi $T_s = 5\tau$ (%1 kriter), burada τ doğal zaman sabiti ve ζ sönümleme katsayısıdır. Doğal zaman sabiti ve sönümleme oranı Denklem 24 ve 25’ de verilen bağıntılar

yardımıyla ayarlanabilir. Sönümleme oranı Denklem 26’ da verilen bağıntıyla da hesaplanabilir [24].

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{10}{T_s} \quad (24)$$

$$\frac{a_3}{a_2} = \frac{25}{\zeta^2 * T_s^2} \quad (25)$$

$$\zeta = \sqrt{\frac{\left[\ln\left(\frac{M_p}{100}\right)\right]^2}{\pi^2 + \left[\ln\left(\frac{M_p}{100}\right)\right]^2}} \quad (26)$$

Burada M_p tepe aşımının yüzdesini ifade etmektedir.

Yerleşme süresi ve sönüm türü ayarlandıktan sonra Denklem 27 ve 28’ de verilen bağıntılar kullanılarak K_{p1} ve K_{p2} hesaplanır [24].

$$K_{p1} = \beta L \left(\frac{a_1}{a_2} - \frac{1}{r_L C} \right) \quad (27)$$

$$K_{p2} = LC \left(\frac{a_3}{a_2} \right) \quad (28)$$

Burada β belirlenen referans değerinin istenen çıkış değerine oranı olup Denklem 29’ daki gibi gösterilebilir.

$$\beta = \frac{V_{ref}}{V_{çıkış}} \quad (29)$$

Bu işlemler gerçekleştirilirken a_1/a_2 oranının $1/(r_L C)$ oranından oldukça büyük olmasına dikkat edilmelidir [23].

3.4. Kontrol Yöntemlerinin Karşılaştırılması

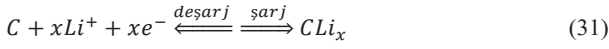
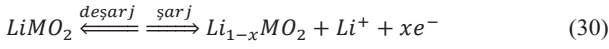
Tablo 2’ de PI, SMC ve DGM kontrolcülerinin genel bir karşılaştırılması yapılmıştır.

Özellikler	DGM [17]	PI [18, 19]	SMC [22, 23]
Temel İlke	Darbe genişliği değiştirme	Orantılı ve integral kontrol	Kayma yüzeyi oluşturma
Direnç ve Esneklik	Enerji verimliliği odaklı, belirli uygulamalarda esnek	Belirli koşullarda dirençli, esnekliği sınırlı	Sürekli değişen koşullara karşı dirençli, tasarım karmaşıklığı yüksek
Hız ve Performans	Hızlı tepki süreleri, enerji verimliliğini artırır	İstenilen hızda kontrol, hata düzeltme süresi değişken	Hızlı tepki süreleri, etkili performans
Enerji Verimliliği	Enerji verimliliğini artırır	Genelde enerji verimliliği açısından orta	Belirli uygulamalarda enerji verimliliğini artırır
Uygulama Alanları	Güç dönüştürücüler, motor kontrolü	Geniş endüstriyel uygulamalar	Endüstriyel otomasyon, robotik kontrol, enerji sistemleri

Belirli bir uygulama veya sistem için en iyi kontrol yöntemini seçerken, detaylı bir analiz ve özel gereksinimlerin dikkate alınması önemlidir.

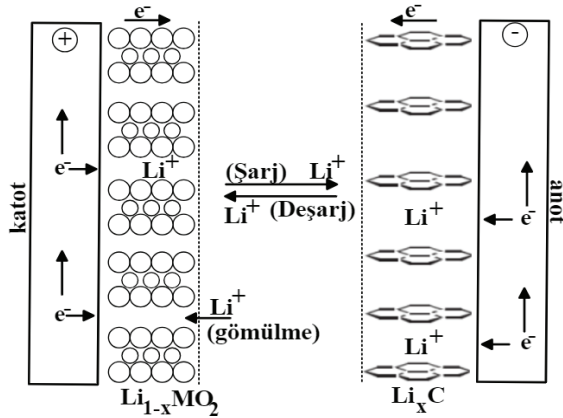
4. Lityum-İyon Batarya

Bataryalar elektrokimyasal elemanlardır. Bu elektrokimyasal elemanlar da batarya hücrelerinin kimyasal reaksiyonlarına bağlıdır. Bu nedenle birçok lineer olmayan eşitlik içerirler. Çalışma kapsamında kullanılan lityum-iyon bataryalar pozitif ve negatif elektrotlara sahiptir. Pozitif elektrotlara katot, negatif elektrotlara ise anot adı verilir. Bu elektrotlar katmanlı yapıdadırlar. Katmanlı yapıları sayesinde bataryanın şarj/deşarj sürecinde lityum iyonları atomik katmanlara gömülür ya da koparılır. Deşarj sırasında Lityum iyonları anottan katota geçerken şarj sırasında tam tersi hareket gerçekleşir [25, 26]. Bu sürecin katot ve anot reaksiyonları sırasıyla Denklem 30 ve 31’de gösterilmiştir.



Denklemden bulunan M , katotta kullanılan elektrota göre Nikel, Kobalt ya da Mangan olabilir.

Verilen şarj/deşarj reaksiyonlarının bir lityum-iyon batarya hücresindeki süreci Şekil 7’de gösterilmiştir.



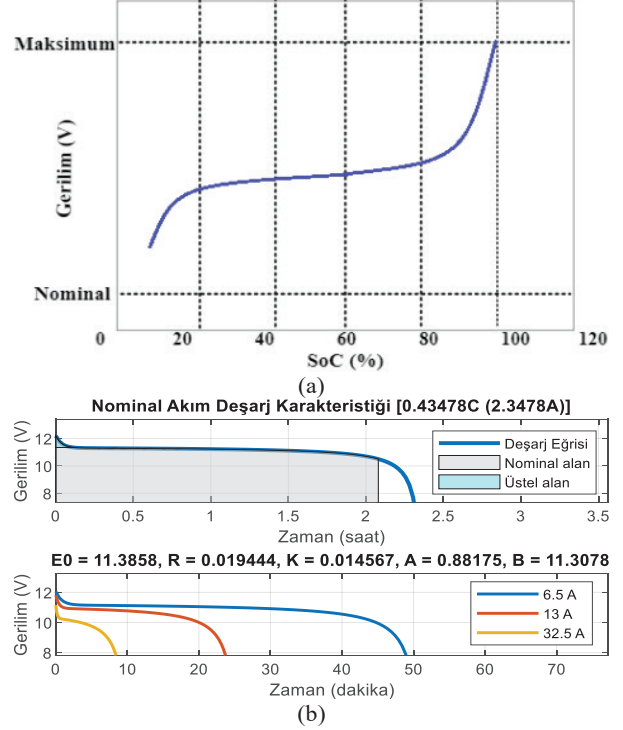
Şekil 7. Lityum-iyon batarya hücresi kimyasal süreci

Bataryaların üzerinde akım olmadığı durumda ölçülen açık devre gerilimi bataryanın şarj seviyesi (SoC) değeri ve sıcaklık ile ilişkilidir. Batarya kapasitesi ise kullanım ömrüne bağlı olarak azalır. Bataryalar kullanılırken zamanla iç yapısında bozulma meydana gelir ve batarya iç direnci de artar. Kapasite kaybı ve iç direnç artışı bataryanın gerilim profilini de doğrudan etkilemektedir. Lityum-iyon bataryaların gerilim profili genellikle lineer değildir. Bataryanın şarj/deşarj ve sıcaklık durumlarına bağlı olarak değişim gösterir. Örneğin,deşarj sırasında bataryanın tükenmesine yaklaşıldıkça gerilimi hızla düşer [13]. Çalışmada kullanılan ve nominal akımı 2,3 A olan lityum-iyon bataryanındeşarj durumundaki gerilim profili ve tipik bir lityum-iyon bataryanın şarj eğrisi Şekil 8’de gösterilmiştir. Şekil 8.(b)’de gösterilen grafikteki üstel alan bataryanındeşarj başlangıcında meydana gelen hızlı gerilim düşüşünü belirtmektedir. Bu bölgede batarya verimliliği düşüktür. Nominal alan ise bataryanın nominal gerilimde verdiği enerjiyi temsil etmektedir. Bu bölge bataryanın en verimli çalıştığı bölgedir.

Şekil 8.(b)’de gösterilen bataryadeşarj karakteristiği lineer değildir ve Denklem 32’de verilen Shepherds modelinin şarj akımının pozitif olduğu durum ile ifade edilir [27].

$$f_1(i_t, i^*, i) = E_0 - K - \frac{Q}{Q-i_t} i^* - K \frac{Q}{Q-i_t} i_t + Ae^{-Bi_t} \quad (32)$$

Burada i_t batarya akımı (A), i^* düşük frekanslı akım dinamiği (A), E_0 sabit gerilim (V), K bias direnci (Ω), Q maksimum batarya kapasitesi (Ah), A üstel gerilim ve B üstel kapasitedir.



Şekil 8. Batarya şarj/deşarj karakteristikleri; (a) şarj karakteristiği, (b)deşarj karakteristiği

Bataryanın şarj durumu, iç direnci ve açık devre gerilimini etkilemektedir. Bataryanın %100, %50 ve %25 SoC değerlerinde açık devre gerilimi yaklaşık olarak sırasıyla 12,27 V, 11,31 V ve 11,17 V olarak ölçülmüştür. İç direnç ile SoC arasında genellikle ters orantı vardır. Ancak bataryanın türüne göre bu durum farklılık gösterebilir. Çalışmada kullanılan lityum-iyon bataryalar genellikle %40-60 arasındaki SoC değerlerinde en düşük iç dirence sahiptir. Ayrıca batarya %100 SoC değerine sahipken kimyasal reaksiyonlar yavaşlayacağı ve azalacağı için bu durum direnç artışına sebep olabilir [28].

5. Sistem Tasarımı ve Tasarım Sonuçları

Karşılaştırmaların doğru yapılabilmesi için kullanılacak yükselten dönüştürücü parametreleri ve frekans sabit tutularak sadece kontrol sisteminde değişiklikler yapılmıştır. Bu nedenle kullanılan benzetim parametreleri Tablo 3’de gösterilmiştir.

Dönüştürücü devresinde kullanılan bobin ve kondansatör seçilirken bobinin doyuma gitmeyecek minimum değeri Denklem 33’de gösterilen L_{min} hesabının yaklaşık %25 fazlası alınarak seçilirken kondansatör seçimi Denklem 34’de gösterilen kondansatör bağıntısından elde edilmektedir. Bu bağıntıdaki $(\Delta V_c)/V_c$ değeri çıkış gerilimi dalgalanmasının maksimum değerini ifade etmekte olup çalışmada %1

alınmıştır. Bunun yanında D ile gösterilen Doluluk oranı değeri Denklem 8' de gösterilen bağıntı ile hesaplanmaktadır.

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2}{2f} R \quad (33)$$

$$C \geq \frac{D}{R \left(\frac{\Delta V_c}{V_c} \right) f} \quad (34)$$

Devrede kaynak olarak bir ideal lityum-iyon batarya kullanılmıştır. Nominal gerilimi 10,5 V ve nominal kapasitesi 5,4 Amper-saat olan bu batarya sırasıyla %100, %50 ve %25 şarj durumlarında devreye besleme sağlamıştır.

Yüksek frekanslarda kontrol sinyallerine sistem daha hızlı tepki verilebilir. Bu nedenle sistem frekansı 40 kHz olarak seçilmiştir. Kaynak olarak batarya kullanılan bu sistemde bataryanın iç direnci değişiklik gösterebilir. Bu nedenle bataryadan yüksek akım çekilmesi durumunda gerilim düşüşü yaşanabilir. IGBT' ler, bu gerilim düşüşlerine karşı daha iyi performans gösterebilir ve sistemin çalışmaya devam etmesini sağlayabilir. Bunun nedeni IGBT' lerin $V_{ce(sat)}$ değerinin MOSFET' lere göre daha düşük olmasıdır. $V_{ce(sat)}$ değeri anahtarlama elemanının iki ucu arasında oluşan gerilim düşümüdür. Cihaz verimliliği için bu $V_{ce(sat)}$ değeri önemli bir parametredir. Ayrıca kısa devre durumlarında IGBT' lerin daha dayanıklı olması da sistem güvenliği açısından önemlidir [29, 30]. Bunun yanında özellikle SMC gibi hızlı dinamik tepkilere ihtiyaç duyan kontrol yöntemlerinde IGBT' lerin yüksek anahtarlama hızı avantaj sağlamaktadır. Bu nedenle sistemde IGBT tercih edilmiştir.

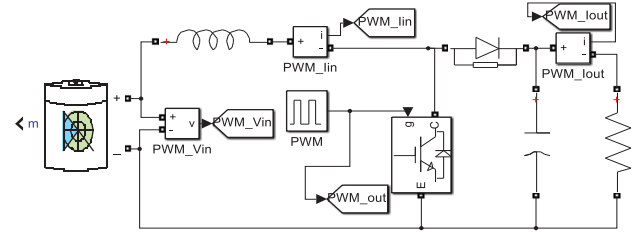
Tablo 3: Çalışmada kullanılan benzetim parametreleri

Elemanlar	Parametre Değerleri
Bobin (L)	6×10^{-5} H
Kondansatör (C)	$3,3 \times 10^{-5}$ F
Yük direnci	50 Ω
Giriş (Batarya) Gerilimi	12,26 V
Frekans	40 kHz
PI Kontrol Parametreleri	$K_p=0,01$, $K_i=10$
SMC Kontrol Parametreleri	$K_{p1}=0,07$, $K_{p2}=1,23$
DGM Kontrol Parametreleri	$D=\%66$
Durma Zamanı	0,1 sn

Tablo 3' de verilen parametreler kullanılarak benzetim çalışması için MATLAB/Simulink kullanılmıştır. Gerekli grafikler bu program sayesinde elde edilmiştir.

5.1. Darbe Genişlik Modülasyonu ile Oluşturulan Simülasyon

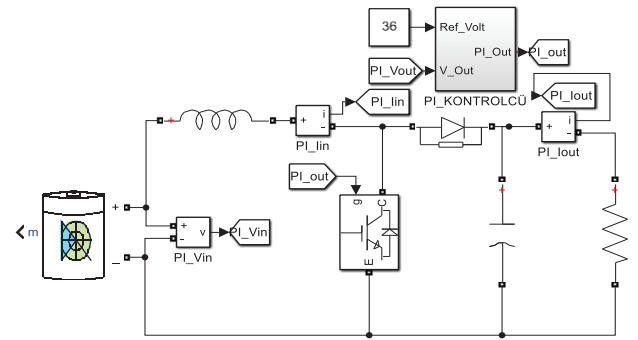
DGM Kontrol algoritması ile kontrolü sağlanan ve bataryayla beslenen yükselten dönüştürücünün benzetim devresi Şekil 9' da gösterilmiştir.



Şekil 9. DGM ile kontrol edilen yükselten dönüştürücü devresi

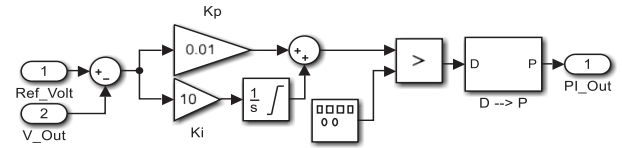
5.2. Oransal-İntegral Kontrol ile Oluşturulan Simülasyon

Şekil 10' da PI kontrolcüsü kullanılarak oluşturulan ve batarya ile beslenen yükselten dönüştürücü devresi gösterilmektedir.



Şekil 10. PI ile kontrol edilen yükselten dönüştürücü devresi

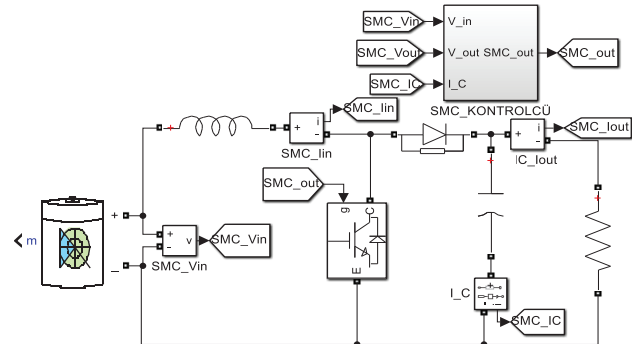
Yapılan benzetim çalışmasında alt blok olarak gösterilen PI kontrol algoritmasının içyapısı Şekil 11' de gösterilmiştir.



Şekil 11. PI kontrolcü bloğunun içyapısı

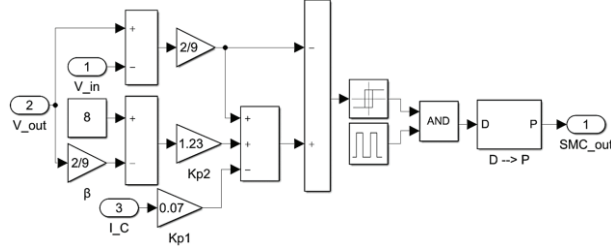
5.3. Kayan Kip Kontrol ile Oluşturulan Simülasyon

Şekil 12' de SMC kontrolcüsü ile kontrol edilen ve bataryayla beslenen yükselten dönüştürücünün benzetim devresi gösterilmektedir.



Şekil 12. SMC ile kontrol edilen yükselten dönüştürücü devresi

Şekil 12’ de gösterilen benzetim devresindeki alt sistem bloğunun içyapısı Şekil 13’ de gösterilmiştir. Burada çıkış gerilimini girilen referans gerilimiyle karşılaştırarak gerilim kontrolü sağlanırken kondansatör üzerinden akan akımın denetlenmesiyle de akım kontrolü sağlanır.



Şekil 13. SMC kontrolcü bloğunun içyapısı

Oluşturulan bu benzetim devrelerinin grafikleri sonuç kısmında verilmiş olup sistem analizleri de bu kısımda yapılmaktadır.

5.4. Tasarım Sonuçları

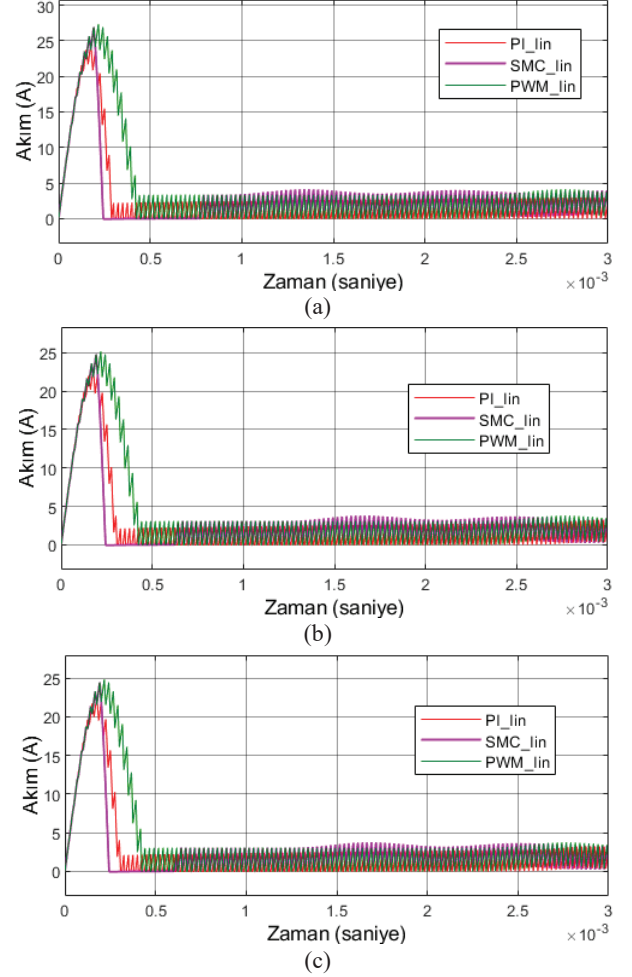
Yukarıda belirtilen benzetim devrelerinden elde edilen çıkış gerilimleri ve oturma süreleri Tablo 4’ de gösterilmiştir. %100, %50 ve %25 şarj durumlarında kısa oturma süresine sahip kontrolcü SMC’ dir. SoC değerinin düşmesiyle istenen değere en yakın değeri veren kontrolcü ise PI kontrolcüdür. SMC ve DGM çıkış gerilimi bakımından aynı sonuçları vermektedir. Ancak oturma süresi DGM’ de daha uzundur.

Tablo 4: Batarya şarj durumuna göre elde edilen çıkış gerilimleri ve oturma süreleri

Batarya SoC (%)	Kontrolcüler	Çıkış Gerilimi (V)	Oturma Süresi (sn)
100	PI	35,8	1×10^{-2}
	SMC	35,29	6×10^{-3}
	DGM	35,29	8×10^{-3}
50	PI	35,85	16×10^{-3}
	SMC	32,43	8×10^{-3}
	DGM	32,43	1×10^{-2}
25	PI	35,83	16×10^{-3}
	SMC	32,02	6×10^{-3}
	DGM	32,02	8×10^{-3}

Benzetim çalışmalarının sonucunda elde edilen %100, %50 ve %25 şarjlı bataryalar için giriş akımı grafikleri sırasıyla Şekil 14.(a, b, c)’ de gösterilmiştir.

Bataryanın akım ve gerilim grafikleri incelendiğinde %100 SoC için; DGM kontrolcü kullanıldığında daha yüksek akım ve gerilim çekildiği gözlemlenmiştir. PI kontrolcü için alınan grafikler incelendiğinde SMC ve DGM kontrolcülerine nazaran ilk durumda bataryadan çekilen akım ve neticesinde gerilimin daha düşük değerde olduğu sonucuna varılmıştır.

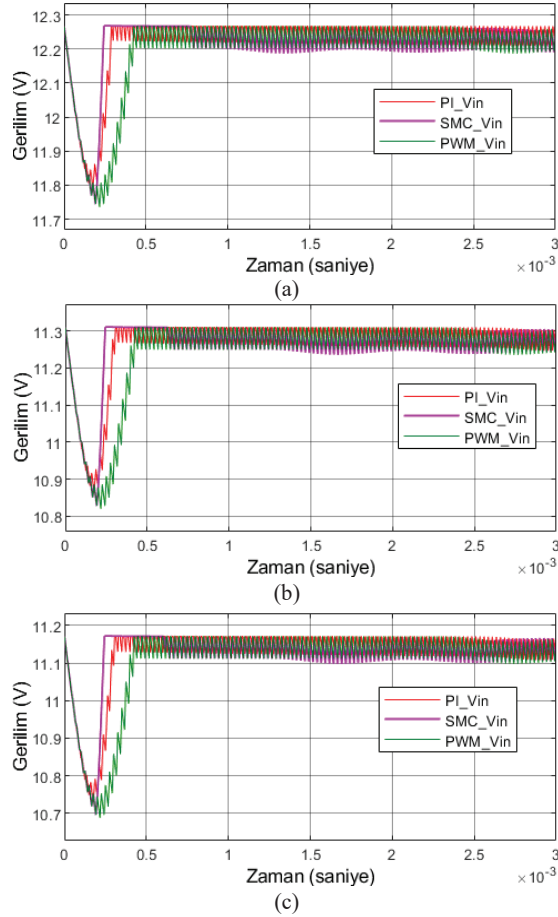


Şekil 14. Giriş akımları; (a) SoC %100, (b) SoC %50, (c) SoC %25

Benzetim çalışmalarının sonucunda elde edilen %100, %50 ve %25 şarjlı bataryalar için giriş gerilim grafikleri sırasıyla Şekil 15.(a, b, c)’ de gösterilmiştir.

Batarya şarj durumunun yarıya indirilmesiyle (%50) bataryadan elde edilen giriş geriliminin düşmesi sonucunda çekilen akım ve gerilimin her kontrolcü için de düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum yükselten dönüştürücüye verilen giriş gerilimini doğrudan etkilediği için Şekil 16.(b) ve Şekil 17.(b)’ de verilen çıkış akım ve gerilim grafiklerinde de yaşanan düşüşün bataryanın SoC değeriyle doğrudan ilgili olduğu söylenebilir.

Batarya şarj durumunun %25 olmasıyla elde edilen giriş grafikleri %50 şarj durumu için alınmış grafiklerle kıyaslandığında büyük farklar gözlemlenmese de %100 SoC değeri için alınan grafiklerle aralarında farklar daha net görülmektedir. Bu nedenle karşılaştırma yapılırken referans olarak %100 SoC durumu ele alınmaktadır.

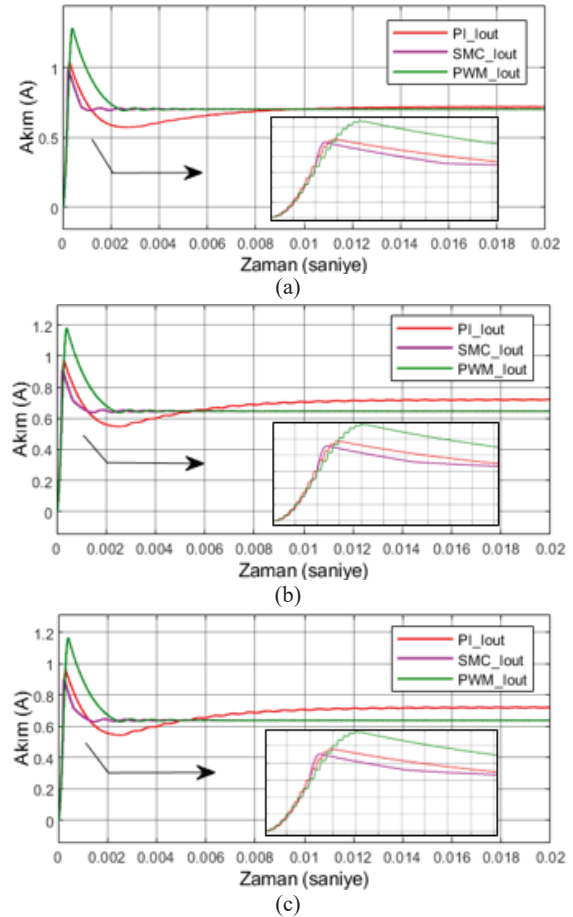


Şekil 15. Giriş (Batarya) gerilimleri; (a) SoC %100, (b) SoC %50, (c) SoC %25

Şarj durumu %100, %50 ve %25 olan bataryalar için yükselten dönüştürücü çıkışından elde edilen akım grafikleri sırasıyla Şekil 16.(a, b, c)'de gösterilmektedir.

Elde edilen akım ve gerilim grafiklerine bakıldığında (%100 SoC için) ise en yüksek tepe değerine sahip olan kontrolcünün DGM kontrolcüsüdür. Buna karşılık en düşük tepe değeri SMC kontrolcüsü ile elde edilmiştir. Bu durum DGM kontrolcüsünün SMC ve PI kontrolcülerine göre daha olumsuz bir performans sergilediğini göstermektedir.

Bunun yanında Tablo 4' de gösterilen elde edilmiş çıkış gerilimi (%100 SoC için) değerlerine bakıldığında SMC ve DGM kontrolcülerini aynı çıkış gerilimini verdiği ve istenen çıkış gerilim değerine PI kontrolcüdenden daha uzak bir değer ürettiği belirlenmiştir. Yine grafikler yardımıyla oturma süreleri yönünden karşılaştırıldığında da SMC kontrolcüsünün salınımı az ve daha kısa sürede çıkış değerine oturduğu buna karşılık DGM kontrolcüsünün oturma süresinin de PI kontrolcüsünden daha kısa olduğu belirlenmiştir.



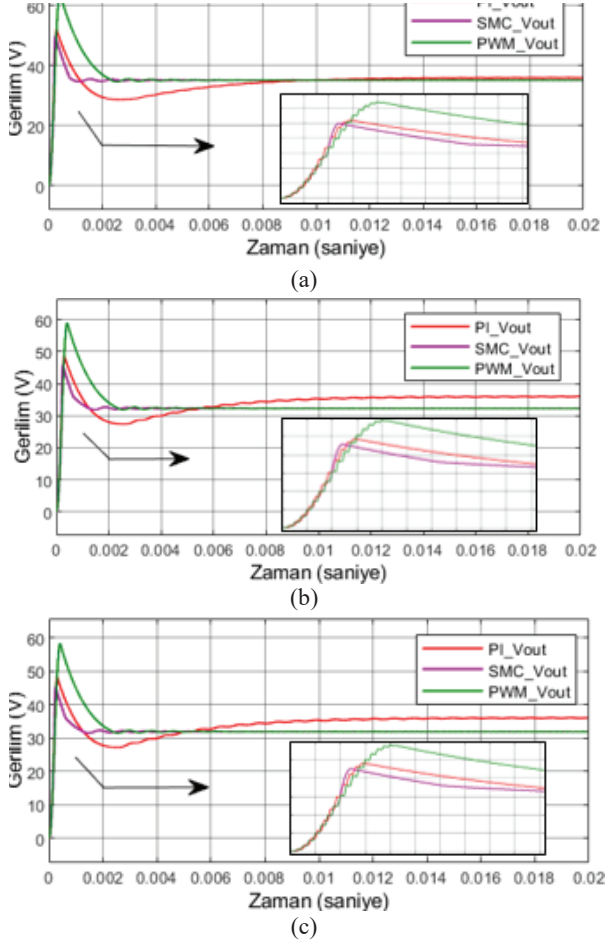
Şekil 16. Çıkış akımları; (a) SoC %100, (b) SoC %50, (c) SoC %25

Şarj durumu %100, %50 ve %25 olan bataryalar için yükselten dönüştürücü çıkışından elde edilen gerilim grafikleri sırasıyla Şekil 17.(a, b, c)'de gösterilmiştir.

%100 SoC değerine sahip batarya kullanılarak alınan grafikler üzerinden yapılan karşılaştırmalar sonucunda kontrolcüler arasında SMC kontrolcüsünün kullanılan diğer kontrolcülere kıyasla tepe değerinin daha düşük ve istenen değere oturma süresinin daha kısa olması avantajlarına sahip olduğu değerlendirilmektedir. Tablo 2' de verilen karşılaştırmada hız yönünden SMC kontrolcüsünün avantajlı olduğu bilgisi bu sayede doğrulanmıştır.

%50 SoC durumunda elde edilen çıkış grafiklerine bakıldığında oturma süresi ve salınım bakımından avantajlı olan kontrolcülerin %100 SoC değeri durumundan farksızken şarj durumunun yarıya indirilmesiyle elde edilen çıkış gerilimindeki değişimden en az etkilenen kontrolcüsünün PI ve en çok etkilenenin ise DGM kontrolcü olduğu söylenebilmektedir.

Bu durumda değişen koşullara en dirençli kontrolcüsünün PI ve buna karşılık direnci en düşük olan kontrolcüsünün ise DGM olduğu sonucuna varılmıştır.

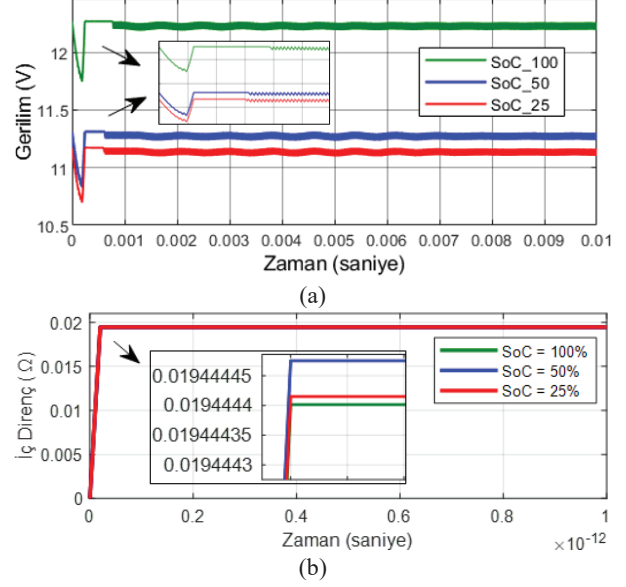


Şekil 17. Çıkış gerilimleri; (a) SoC %100, (b) SoC %50, (c) SoC %25

Bataryanın şarj değerinin %25'e indirilmesiyle alınan giriş geriliminde yaşanan düşüş sonucunda yükselten dönüştürücünün de çıkış geriliminde düşüş yaşanması olası bir durumdur. Ancak grafikler incelendiğinde bu düşüşün kontrolcülerin esnek yapısıyla en aza indirilmesi PI kontrolcü le mümkün olduğu sonucuna varılmaktadır. Bunun yanında şarj durumunun %25 olmasıyla SMC kontrolcünde başlangıçtaki epe değerinin azalması ve diğer kontrolcülere göre düşük olması SMC'nin bir avantajıdır. Bir diğer avantajı da oturma süresinin her şarj durumunda diğer kontrolcülere göre daha kısa olmasıdır. Bu nedenle SMC kontrolcünün de avantajlarının sayılamaz olduğu söylenebilir. Özellikle SMC kontrolcünde, yükte yaşanan olası gerilim azalması yok sayıldığında, giriş geriliminin düşürülmesiyle başlangıçta oluşan tepe değerinin düşmesi bir avantaj olarak görülebilir.

Farklı SoC değerlerinde SMC kontrolcü ile alınan batarya gerilimleri ve iç direnç grafikleri Şekil 18'de gösterilmiştir. SoC değerinin azalmasıyla batarya gerilimi de azalmaktadır. Bu durum batarya gerilimi ile SoC değeri arasındaki ilişkiyi anlatmaktadır. %50 ve %25 SoC durumlarında elde edilen gerilimler neticesinde bataryanın bu seviyelerde benzer performans sergilediğini değerlendirilmiştir. Başlangıçta yaşanan gerilim düşümü her SoC durumunda hızla dengeye gelmektedir. Bunun yanında bataryanın iç direnç bakımından %100 SoC durumunda en düşük değere sahip olduğu belirlenmiştir. İç direnç, %50 ve %25 SoC durumlarında da

bataryadan küçük ve sabit iç direnç elde edilmesi sayesinde bataryanın yüksek, güvenilir ve tutarlı performans sergilediği değerlendirilmiştir.



Şekil 18. SoC değerine göre SMC ile alınan (a) batarya gerilimleri, (b) batarya iç direnç grafikleri

5.5. Analiz

Tüm bu durumlar incelendiğinde üç kontrolcü için Tablo 5'de verilen çıkarımlar yapılabilmektedir. Karmaşık yapıya sahip olan SMC oturma süresi ve başlangıçtaki tepe değeri açısından avantaj sağlamaktadır. Ancak değişen şarj durumlarına adapte olmada en etkili kontrolcü PI kontrolcüdür.

Tablo 5: Çalışma sonucunda elde edilen çıkarımlar

Özellikler	Az	Fazla
Sistem karmaşıklığı	DGM	SMC
Oturma süresi	SMC	PI
Başlangıçtaki tepe değeri	SMC	DGM
Başlangıçta girişten çekilen akım	PI	DGM
Farklı SoC değerlerinde çıkış gerilimindeki değişim	PI	SMC

Sistem parametrelerinin değiştirilmesi ve kontrolcülerin birleştirilerek kullanılması durumunda, bu olumsuz etkilerin azaltılabileceği öngörülmektedir.

6. Sonuçlar

Bu çalışma ile PI, DGM ve SMC kontrolcülerinin bataryadan beslenen bir yükselten dönüştürücü çalışması incelenmiştir. Bataryanın farklı SoC değerlerinde (%100, %50, %25) de istenen çıkış gerilimine yaklaşık çıkış gerilimi elde edilebildiği belirlenmiştir. Çıkış gerilimi yükselten dönüştürücünün çıkışına bağlanan 50 Ω 'luk bir yükten alınmıştır. Bu değerler %100 SoC değerinde PI kontrolcü ile 35,8 V iken SMC ve DGM kontrolcülere ile 35,29 V olmuştur. %50 SoC değerinde ise 35,85 V çıkış gerilimi PI kontrolcü ile

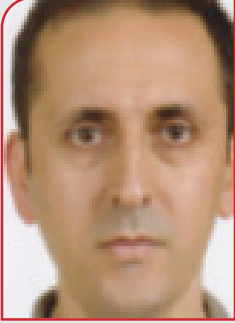
Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2011.

- [26] O. Vıcıl, "Yeni nesil lityum-iyon pil teknolojileri", Bilim ve Teknik Dergisi, 519, 44-49, 2011.
- [27] A. M. Theodore, M. E. Şahin, "Modeling and simulation of a series and parallel battery pack model in MATLAB/Simulink", Turk J. Electr. Power Energy Syst., 4(1), 2-12, 2024.
- [28] R. Korthauer, Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications, Springer Berlin, Heidelberg, 2018.
- [29] Nantian Electronics, Summary of IGBT parameter measurement methods, (Erişim: 15 Haziran 2023), <https://www.ntchip.com/electronics-news/igbt-voltage-testing>.
- [30] B. Tian, W. Qiao, Z. Wang, T. Gachovska, J. L. Hudgins, "Monitoring IGBT's health condition via junction temperature variations", 2014 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition APEC 2014, Fort Worth, TX, USA, 2014, 2550-2555.

Özgeçmişler



Bengisu Kaba, 1999 yılında Rize’de doğdu. 2021 yılında Trabzon’da Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Lisans eğitimi sırasında Trabzon TEİAŞ 14. Bölge Müdürlüğü ve Çoruh Elektrik A.Ş. Rize il Müdürlüğü bünyesinde stajlarını tamamladı. Şu anda, Rize’de Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği bölümünde 2023 yılında başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.



Mustafa Ergin Şahin, 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden mezun olup lisans derecesini almıştır. Yüksek Lisans eğitimini 2003-2006 yılları arasında Ankara Gazi Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana-bilim Dalında tamamlamıştır. Doktora eğitimini ise 2008-2014 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde tamamlamıştır. Aalborg Üniversitesi Enerji Teknolojileri Bölümünde TÜBİTAK 2219 doktora sonrası araştırma programı kapsamında misafir araştırmacı olarak bir yıl süreyle yer almıştır. Halen RTE Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde doçent olarak görev yapmaktadır. Başlıca araştırma alanları güç elektroniği, kontrol, elektromanyetik kirlilik ve yenilenebilir enerjinin kullanımınıdır. Devre analizi ve ölçme ile elektronik laboratuvarı üzerine iki kitabın yazarıdır. Aynı zamanda bir uluslararası derginin de kurucusu ve editörüdür.



Murat Tören, 14 Eylül 1983’te Kayseri’de doğdu. Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’ne 2003 yılında girdi. Öğrenimini 2007 yılı Haziran ayında tamamlayan yazar, Ekim 2009’da Rize Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi (Rize Üniversitesi) Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulunda Elektronik Teknolojileri Programı’nda öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2013 yılında Erciyes Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisansını tamamlayan yazar, aynı yıl Erzurum Atatürk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinde doktora yapmaya başladı. Nisan 2018 tarihinde doktorasını tamamlayan yazar, aynı yıl Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesinde Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde Dr. Öğr. Üyesi olarak göreve başladı. 2024 yılı Mart ayında Doçent olan yazar halen Öğretim üyesi olarak Mühendislik Fakültesinde görev yapmaktadır.