



# Yakıt Pili Uygulamaları için Kademeli Yükseltici DA/DA Dönüştürücü Devresinin Tasarımı

**Ayşe KOCALMIŞ BİLHAN\***

Nevşehir H.B.V. Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Nevşehir  
[akbilhan@nevsehir.edu.tr](mailto:akbilhan@nevsehir.edu.tr) ORCID: 0000-0002-5008-6784, Tel: (384) 228 10 00 (15058)

Geliş: 15.02.2019, Revizyon: 10.05.2019, Kabul Tarihi: 28.05.2019

## Öz

Enerji talebine olan ihtiyacın gün geçtikçe artması, fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve güvenilir ve temiz enerji kaynaklarına duyulan ihtiyacın artması sebebiyle, alternatif enerji kaynaklarına ve bunların verimli kullanılmaları için gerekli olan devre yapıları üzerinde yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Yakıt pilleri ve fotovoltaik hücrelerin tek bir hücrelerinden elde edilen gerilimlerin düşük olması sebebiyle seri yada paralel yapılar geliştirilerek çıkışlarında elde edilen gerilimlerin yükseltilmesi gerekmektedir. Ancak bu durum büyük güçlü uygulamalarda hem boyutu hem de maliyeti artırmaktadır. Bu nedenle gerek yakıt pilleri, gerek fotovoltaik paneller gerek ise diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen gerilimin büyük güç uygulamalarında kullanılabilmesi için çeşitli dönüştürücü devreleri kullanılmaktadır. Çeşitli şekillerde (yükseltici, düşürücü vb.) tasarlanan DA/DA dönüştürücü devreleri daha yüksek doğru gerilim elde etmede kullanılırken, DA/AA dönüştürücüleri ise alternatif gerilimin gerekli olduğu devreler için tercih edilmektedir.

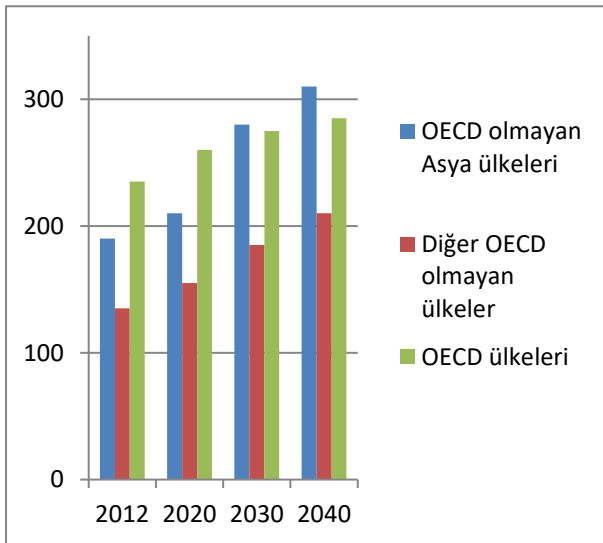
Bu çalışmada, günümüzde tercih edilen yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanırken karşılaşılan sorunlardan biri olan düşük çıkış gerilimin yükseltilmesi üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada besleme kaynağı olarak yakıt pili kullanılan bir sistem için kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücü devresinin çalışması açıklanarak klasik DA/DA dönüştürücü devresiyle karşılaştırılmaktadır. Özellikle yüksek çıkış geriliminin ihtiyaç duyulduğu uygulamalarda tercih edilen bu devreler gerilim kazancını belirli oranda artırmaktadır. MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilen modeller de aynı değerlerde sabit görev periyodu için çıkış gerilim dalga şekilleri incelenerek kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücü devresi ile daha yüksek gerilim seviyelerine ulaşıldığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Yükseltici dönüştürücü, yakıt pili, gerilim kazancı;

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Son yıllarda yapılan çalışmalarla, fosil yakıtların kullanımının çevre kirliliğine ve aynı zamanda büyük oranda ekolojik sorunlara neden olduğunu ortaya çıkarmıştır. Fosil yakıtlar özellikle çevreyi kirletmekte ve iklim değişikliğine neden olacak şekilde olumsuz etkilerde bulunmaktadır (Yang vd., 2015; Nejabatkhah, 2012; Juan, 2011; Chen, vd., 2013; Thounthong, vd., 2010). Ayrıca, fosil yakıt kaynakları ile küresel enerji talebi arasındaki uçurum son bir kaç yıl içerisinde artış göstermiş ve gerek konutlardaki (sanayi vb.) hem ısınma hem de elektrik üretiminde kullanılması gerek ise araçlarda kullanımı sırasında önemli bir fiyat artışına sebep olmaktadır. Şekil 1 ile ABD Enerji Bilgi Yönetimi (ÇED) tarafından 2016 yılında yayınlanan 2040 yılına kadar tahmini enerji kullanım oranlarını gösterilmektedir (U.S., 2016).



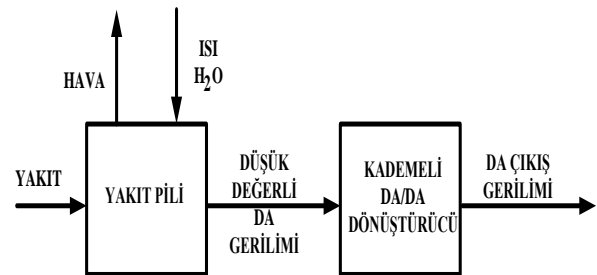
Şekil 1. 2012-2040 yılları arasında ülke gruplarına göre enerji tüketimi (katrilyon Btu)

Şekil 1 ile verilen dağılım incelendiğinde 2012 yılında toplam enerji tüketiminin 549 katrilyon Btu seviyesinden 2040 yılında 815 katrilyon Btu seviyesine yükseleceği öngörülmektedir. Bu artışta özellikle ekonomik büyümenin gerçekleştiği OECD'ye (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'ne) üye olmayan ülkelerde olacağı belirtilmektedir. Ayrıca yapılan bu

çalışmada, 2012 ile 2040 yılları arasında OECD'ye dahil olan ülkelerde enerji tüketimi %18 artarken, dahil olmayan ülkelerde bu oran %71 olarak karşımıza çıkmaktadır (U.S., 2016).

Fosil yakıtların olumsuz etkileri ve enerjiye olan ihtiyaç araştırmacıları rüzgâr türbini, fotovoltaik paneller, yakıt hücresi, jeotermal vb. gibi temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları alanında araştırmaya teşvik etmiştir (Sangwongwanich, vd., 2018; Partridge, 2018, Devrim, vd., 2015 ). Ancak yapılan çalışmalar, yenilenebilir enerji kaynaklarının coğrafi konuma, iklim koşullarına ve çok geniş bir arazi gereksinim olduğunu göstermiştir (Rugolo, vd., 2012). Bu nedenle kullanılan temiz enerji kaynağının yanı sıra, güç dönüştürücülerinin modellenmesi de oldukça önemli bir çalışma konusu haline gelmiştir. Alternatif enerji kaynağından elde edilen gerilimin, kullanılacak sisteme uygun olarak yaklaşık birkaç yüz ya da birkaç bin volta çıkarılması gerekebilir. Bu amaçla DA/DA dönüştürücü, çift yönlü DA/DA dönüştürücü veya DA/AA eviricilerinden birinin kullanımı sistemin hem kararlılığını artıracak hem de istenilen gerilim seviyesine ulaşılmış olacaktır.

Bu çalışmada yakıt pilinin çalışması ile elde edilen düşük gerilim bir kademeli yükseltici DA/DA kullanılarak artırılabilecektir. Tasarlanan devrenin blok şeması Şekil 2 ile gösterilmektedir.



Şekil 2. Sistem blok şeması

## Yakıt Pilleri

Yakıt hücreleri bir oksidana ait kimyasal enerjinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren birer elektrokimyasal

dönüştürücülerdir. Yakıt hücresinin çalışma prensibi pil ile neredeyse aynıdır, ancak bir pilden farklı olarak, yakıt hücresi sürekli olarak çalışan bir enerji kaynağıdır.

Yakıt hücrelerinin kaynağı olarak hidrokarbonlar ve alkoller sayılabilir de yine de en bilinen yakıt pili kaynağı hidrojen (Hoogers, 2003). Hidrojen doğal bir yakıt olmamakla birlikte; su, kömür, doğal gaz vb. hammaddeler kullanılarak üretilebilecek olan bir yakıt türüdür. Günümüzde hidrojen çoğunlukla, doğal gazdan buhar olarak elde edilmektedir. En bilinen yöntem olarak suyun elektrolizi ile de üretilebileceği gibi ekonomik olarak henüz ucuz bir yöntem değildir.

Hidrojen; sanayi, ev ya da taşıt gibi uygulamalarda kullanılabilen, kolaylıkla ısı ve elektrik enerjisi üretilen, çevreye zarar vermeyen bir yakıt türüdür. Yakıt olarak kullanılmasının sonucunda ortaya çıkan artık ürün sadece su ve su buharı olmaktadır.

Yakıt pillerini oluşturulan yakıt hücrelerinde (YH - Fuel Cell (FC)) kullanılan elektrolit birkaç farklı açıdan sınıflandırılabilir. Çalışma sıcaklığı, elektrolit ve özelliklerine göre yakıt hücreleri; Alkali yakıt hücresi (AFC), Proton değişim membran yakıt hücresi (PEMFC), Doğrudan metanol yakıt hücresi (DMFC), Fosforik asit yakıt hücresi (PAFC), Erimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC) ve Katı Oksit Yakıt hücresi (SOFC) olarak sınıflandırılabilir (Balakrishnan, 2007; Ali, vd., 2006; Laughton, 2002). Proton Değişim Membran yakıt hücreleri (PEMFC), özellikle 1960 yıllardan sonra kullanılmaya başlanmış ve günümüzde de kullanımı oldukça popüler olan bir yakıt hücresi çeşididir. Şekil 3 ile PEM yakıt pilinin çalışmasına ait devre yapısı ve buna uygun elektriksel devre modeli gösterilmektedir.

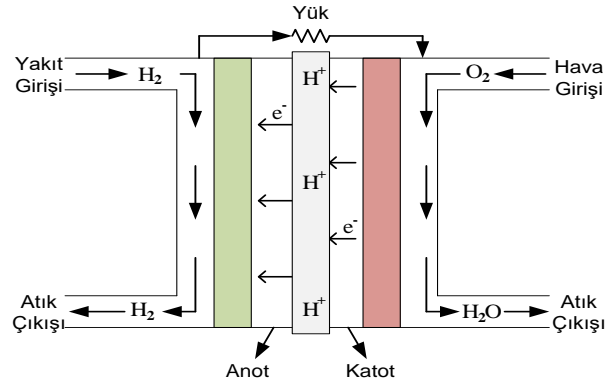
Şekil 3 (a) ile gösterilen PEM hücresine ait şematik diyagramda; anot ve katodu birbirinden ayıran elektrolit iletken bir malzemedir meydana gelmektedir. Anot tarafında; hidrojen elektronlara ve iyonlarına ayrılır. Elektronlar harici bir elektrik devresinden akarken, iyonlar

elektrolitten geçerler. Bu hidrojen iyonları katottaki oksijenle birleşir ve yeniden elektronlarla birleşerek atık olarak su oluştururlar. Anot ve katot arasında meydana gelen reaksiyon ise Denklem 1 ile gösterilmektedir (Nehir, vd., 2009).

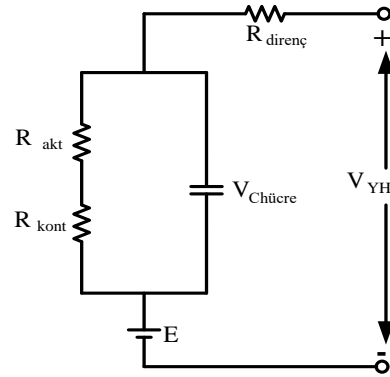
Anot Reaksiyonu:  $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

Katot Reaksiyonu:  $\frac{1}{2} O_2 + 2H + 2e^- \rightarrow H_2O + Isı$  (1)

Tüm Reaksiyon:  $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O + Isı$



(a)



(b)

Şekil 3. PEM yakıt pilinin (a) yapısı, (b) Elektriksel eşdeğer devre modeli

Şekil 3 (b) de belirtilen elektriksel eşdeğer devrede  $R_{direnç}$  YH sıcaklığının bir fonksiyonunu,  $R_{kont}$  ve  $R_{akt}$  sırasıyla yoğunlaşma ve aktivasyon gerilimlerinin bileşenlerini göstermektedir. Tek bir YH için çıkış gerilim değeri Denklem 2 ile hesaplanabilir (Nehir, vd., 2009).

$$V_{YH} = E - V_{akt} - V_{direnç} - V_{kont} \quad (2)$$

Denklem 2'de görülen gerilim azalmalarının sebebi; yük akımı, YH sıcaklığının veya

basıncının fonksiyonundan dolayıdır.  $V_{YH}$ ; tek bir hücre için çıkış gerilim değerini,  $E$ ; YH açık devre gerilimini,  $V_{akt}$ ; aktivasyon gerilim kaybını,  $V_{kont}$ ; yoğunluk veya kütle gerilim kaybını ve  $V_{direnc}$ ; elektrotlar ve membran üzerindeki gerilim kaybını göstermektedir (Milanovic, vd., 2012). Nerst termodinamik denkleminde  $E$  ise Denklem 3 ile hesaplanır;

$$E = 1.229 - 0.85 \times 10^{-3} (T - T_{ref}) + \frac{R \cdot T}{2 \cdot F} (\ln(P_{H_2} \sqrt{P_{O_2}})) \quad (3)$$

Bu denklemde 1.229V değeri tek bir hücre için ters çevrilebilir en yakın gerilim değeridir,  $T$  referans ortam sıcaklığını belirtmek için kullanılırken ( $K$  cinsinden),  $T_{ref}$  298,15<sup>0</sup>K olarak kabul edilir.  $P_{H_2}$  kısmı hidrojen basıncını (atm) ve  $P_{O_2}$  kısmı oksijen basıncını (atm) gösterirken  $F= 96485.3$  C/mol Faraday sabiti,  $R=8.314$  J/molK evrensel gaz sabiti olarak denklemlerde kullanılır.

Bir YH'deki gerilim ve akım arasındaki bağıntı ise Denklem 4 ile gösterilmektedir.

$$V_{YH} = E - A \ln\left(\frac{I_{YH}}{I_0}\right) - B \ln\left(\frac{I_L - I_{YH}}{I_L}\right) - I_{YH} R_{int} \quad (4)$$

Bu denklemde yine  $V_{YH}$ ; tek bir hücre için çıkış gerilim değerini ve  $E$ ; YH açık devre gerilimini ifade ederken,  $I_{YH}$  yakıt hücresi çıkış akımını,  $I_0$  değişim akımını,  $I_L$  sınırlayıcı akımı,  $R_{int}$  iç direnci,  $A$  aktivasyon katsayısını ve  $B$ , yoğunlaşma katsayısını göstermek için kullanılır. Ayrıca,  $E$ ,  $A$  ve  $B$ , yakıt hücresinin çalışma sıcaklığına bağlı iken, yakıt hücresindeki iç direnç  $R_{int}$ , membran karakteristiğine bağlıdır (Samosir, vd., 2010).

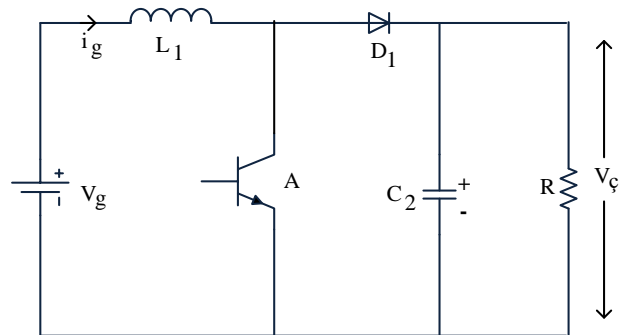
Teorik olarak,  $H_2$  ve  $O_2$ 'nin reaksiyonu, 1.23 V'luk bir gerilim üretmektedir, ancak pratikte, bir yakıt hücresi birim hücresinden üretilen gerçek gerilim bundan daha azdır. Nominal akımda, tek bir hücrede 0.6 V'den 0.7 V'a kadar bir gerilim üretilir. Arzu edilen enerji miktarını elde etmek için, yakıt hücreleri seri ve/veya paralel olarak bağlanabilirler. Seri bağlantıda

daha yüksek gerilim değerine ulaşılırken, paralel bağlantıda daha yüksek bir akım değerine ulaşılır. Böyle bir tasarıma yakıt hücresi yığını adı verilir.

Geleneksel yakıt hücresi modelleri modelleme boyutuna ve modelleme alanına göre sınıflandırılabilir. Farklı modeller, elektrokimyasal, akışkan ve termal alanları çiftleştirebilen tek boyutlu ile üç boyutlu arasında değişebilir. Karmaşık bir yakıt hücresi modeli, daha yüksek bir doğruluğa sahipken, taşıt uygulamaları için, basit eşdeğer devre modelleri genellikle basitlikten dolayı benimsenmektedir.

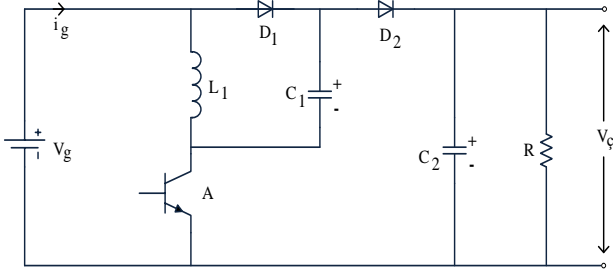
### Güç Dönüştürücüleri

Günümüzde yapılan çalışmalarla yakıt hücresi modellemesinin yanı sıra, güç dönüştürücünün modellemesine de odaklanılmıştır. Çünkü sistemin verimliliği ve istikrarlı çalışması bir bütün olarak incelenmelidir. PEMFC sisteminin çıkış gerilim değeri, gerek araç gerek konut uygulamalarında güç aktarma birimleriyle uygun olarak yükseltilebilmektedir. Bu amaçla farklı yapıdaki DA/DA dönüştürücüler, çift yönlü DA/DA dönüştürücüler veya DA/AA evirici devrelerinin çeşitleri kullanılabilir (Kolli, vd., 2015). Şekil 4'de klasik yükseltici DA/DA dönüştürücü devresi gösterilmektedir.



Şekil 4. Klasik gerilim yükseltici DA/DA dönüştürücü devresi

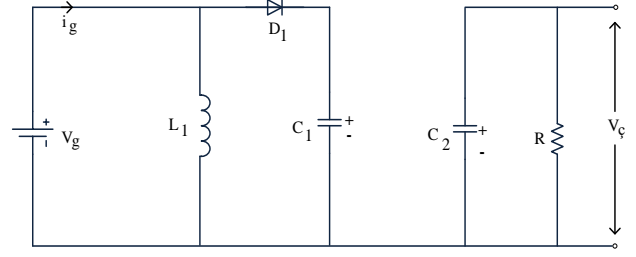
Bu çalışma da ise çıkış gerilimini kademeli artırıcı olarak çalışabilen bir DA/DA dönüştürücüsünün tasarımı, modellenmesi ve kontrollü incelenmiştir. Kademeli DA/DA dönüştürücü devre yapısı Şekil 5 ile gösterilmektedir.



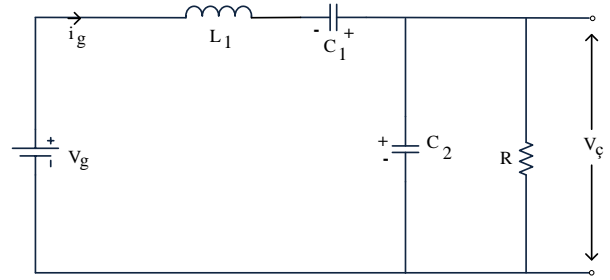
Şekil 5. Kademeli gerilim yükseltici DA/DA dönüştürücü devresi

DA-DA dönüştürücü devre tasarımında, gerilimin farklı seviyelerde yükseltilmesi tekniğinin (VL) veya süper kaldırma (super lifting-SL) popülaritesi gün geçtikçe artmaktadır (Silpa, vd., 2014). Pozitif çıkış gerilim değerine sahip SL DA-DA Dönüştürücü devrelerinin yapısı; temel bir DA/DA dönüştürücü devresi, ardından bu devreye eklenen indüktans (L), diyot (D) ve kapasitelerden (C) meydana gelmektedir (Tekade, vd., 2016; Milind, vd., 2017). Her ana devre bir anahtar (A), n adet indüktans, (3n-1) adet diyot ve 2n adet kapasite kullanılarak oluşturulur.

Temel devrede; anahtar (A) iletme girdiğinde C<sub>1</sub> kapasitesi (t<sub>on</sub> süresi boyunca) V<sub>g</sub> giriş gerilimine şarj olurken L<sub>1</sub> indüktansından akan i<sub>L1</sub> akımı dT anahtarlama süresi boyunca V<sub>g</sub> giriş gerilimiyle artar ve bu duruma ait devre yapısı Şekil 6 (a) ile gösterilmektedir. Anahtarın kesime girdiği (1-d)T periyodunda ise (V<sub>ç</sub>-2V<sub>g</sub>) gerilimiyle i<sub>L1</sub> akım değeri azalmakta ve devre yapısı Şekil 6 (b) ile gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 6. Kademeli Yükseltici DA-DA Dönüştürücü Eşdeğer Devresi (a) İletim Durumunda (b) Kesim Durumunda

İletim ve kesim durumları için indüktans akımındaki dalgalanma ( $\Delta i_{L1}$ ) Denklem (5) ve giriş ile çıkış arasındaki bağıntı Denklem (6) ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_g \cdot d \cdot T}{L_1} = \frac{V_{\text{ç}} - 2V_{\text{in}}(1-d)T}{L_1} \quad (5)$$

$$V_{\text{ç}} = \left( \frac{2-d}{1-d} \right) V_{\text{in}} \quad (6)$$

ig giriş akımı (ig=iL1+iC1) anahtarın iletme girmesi ve kesim girmesi durumunda Denklem 7 ile hesaplanır.

$$\left. \begin{aligned} i_{\text{giletim}} &= i_{L1\text{iletim}} + i_{C1\text{iletim}} \\ i_{\text{gkesim}} &= i_{L1\text{kesim}} + i_{C1\text{kesim}} \\ dT i_{C1\text{iletim}} &= (1-d)T i_{C1\text{kesim}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

L<sub>1</sub> indüktansı yeterli derecede büyük seçilirse; indüktans akım değeri (i<sub>L1</sub>) ortalama indüktans akım (I<sub>L1</sub>) değerine eşit olur.

$$\begin{aligned} i_{\text{gkesim}} &= i_{C1\text{kesim}} = I_{L1} \cdot i_{\text{giletim}} = I_{L1} + \\ \left( \frac{1-d}{d} \right) I_{L1} &= \frac{I_{L1}}{d} \end{aligned} \quad (8)$$

$$i_{C1iletim} = \left(\frac{1-d}{d}\right) I_{L1} \quad (9)$$

Bu durumda ortalama giriş akım değeri ( $I_g$ ) Denklem (10) ile hesaplanır;

$$I_g = di_{giletim} + (1-d)i_{gkesim} = I_{L1} + (1-d)i_{L1} = (2-d)I_{L1} \quad (10)$$

İndüktans akım değişim oranı ( $\zeta$ ) ise;

$$\frac{V_g}{i_g} = \left(\frac{1-d}{2-d}\right)^2 \cdot \frac{V_C}{i_C} = \left(\frac{1-d}{2-d}\right)^2 R \quad (11)$$

$$\zeta = \frac{\Delta i_{L1}/2}{I_{L1}} = \frac{d(2-d)TV_g}{2L_1 i_g} = \frac{d(1-d)^2 R}{2(2-d)fL_1} \quad (12)$$

olarak hesaplanır. Çıkış gerilimindeki dalgalanma ise Denklem 13 ile hesaplanır.

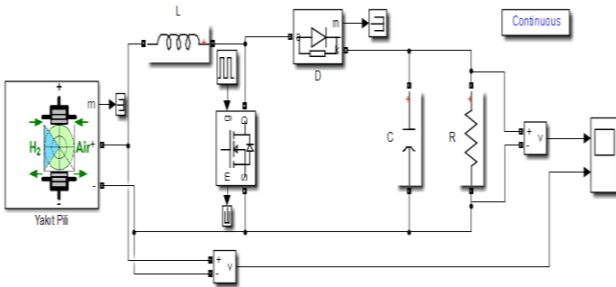
$$\Delta V_C = \frac{\Delta Q}{C_2} = \frac{i_C(1-d)T}{C_2} = \frac{(1-d)V_C}{fC_2R} \quad (13)$$

Kademeli Yükseltici Dönüştürücü devresi için çıkış ve giriş gerilim değerleri arasındaki bağıntının genelleştirilmiş ifadesi Denklem (14) ile verilmiştir. n seviye sayısını göstermektedir.

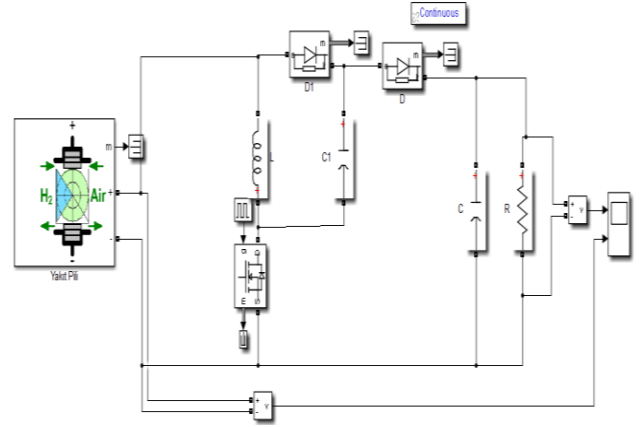
$$\frac{V_C}{V_g} = \left(\frac{2-d}{1-d}\right)^n \quad (14)$$

### Benzetim Modeli ve Sonuçları

Şekil 7 (a) ve (b) ile sırasıyla Klasik Yükseltici DA/DA Dönüştürücü ve Kademeli Yükseltici DA/DA devrelerine ait MATLAB/Simulink benzetim modelleri gösterilmektedir.



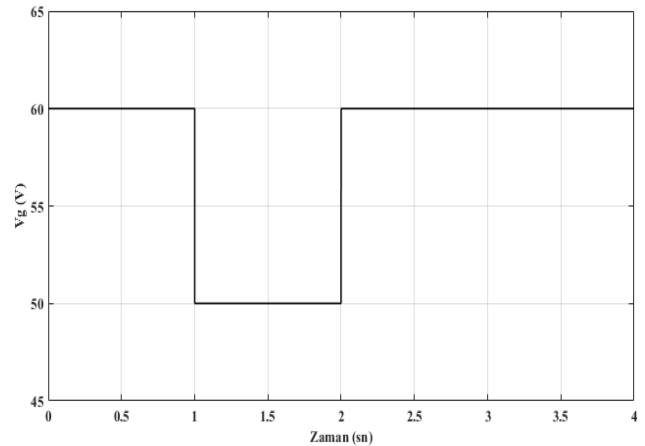
(a)



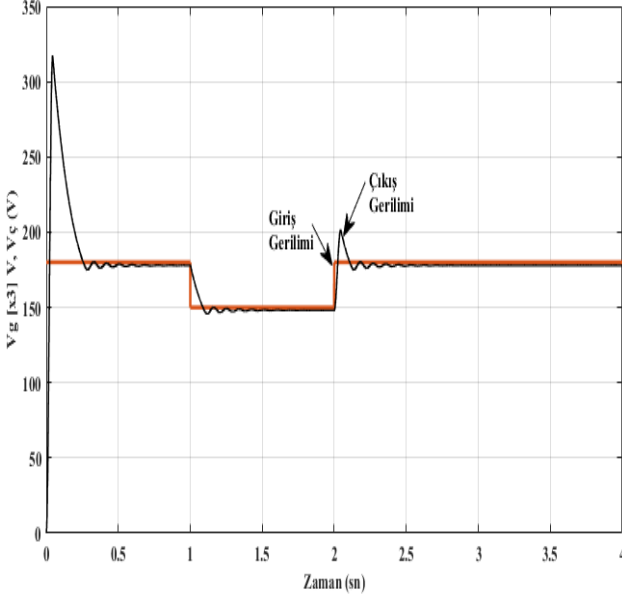
(b)

Şekil 7.(a) Klasik Yükseltici DA/DA Dönüştürücü Devresine ait MATLAB/Simulink modeli,(b) 2 Kademeli Yükseltici DA/DA Dönüştürücü Devresine ait MATLAB/Simulink modeli

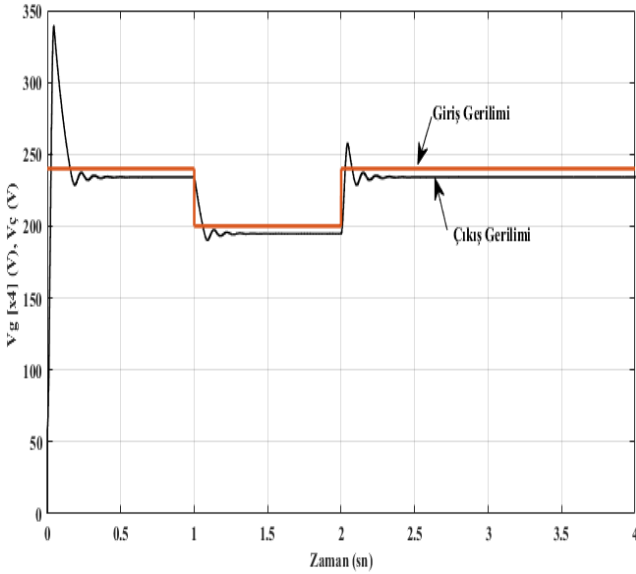
Her iki DA/DA dönüştürücü devreleri karşılaştırıldığında; kademeli yükseltici devresinde klasik devre yapısına göre fazladan bir diyot ve kapasite kullanıldığı görülmektedir. Şekil 7 (a) ve (b)'de  $C=2200\mu F$ ,  $L=10mH$ , ve  $R=100\Omega$  olarak kullanılırken  $C_1=2200\mu F$ 'dir. Her iki devrede kaynak geriliminin değişimine göre devrelerin çalışması inceleneceğinden dolayı Şekil 8 ile gösterilen giriş gerilimi sisteme uygulanmaktadır. Görev periyodu her iki devre için  $d=2/3$  olarak benzetim modeli çalıştırılmıştır. ( $d=2/3 \sim \%66,67$ ).



Şekil 8. Giriş Gerilimi Dalga Şekli (V)



Şekil 9. Klasik Yükseltici DA/DA Giriş Gerilimi ( $V_g$ ) ve Çıkış Geriliminin ( $V_c$ ) Değişimi



Şekil 10. Kademeli Yükseltici DA/DA Giriş Gerilimi ( $V_g$ ) ve Çıkış Geriliminin ( $V_c$ ) Değişimi

Her iki devrede giriş gerilimi 60V olarak uygulanmış. 1 saniye sonunda giriş geriliminde 10V'luk bir düşüş meydana gelerek 50V'a düşmüş. Ancak daha sonra sistem başlangıç giriş gerilim değerine dönerek tekrar 60V giriş geriliminde çalıştırılarak sistemlerin farklı durumlar altındaki davranışı incelenmiştir. Klasik DA/DA dönüştürücü devresinde giriş geriliminin 60V olması durumunda elde edilen

çıkış gerilim değeri  $d=2/3$  görev periyodu için 180V, giriş gerilim değerinin 50V olduğu durumlar da ise çıkış gerilim değeri 150V'dur. Bu durum Şekil 9'de gösterilen değerlerle birbirini doğrulamaktadır. Kademeli DA/DA dönüştürücü devresinde ise aynı değerdeki giriş gerilimlerinde sırasıyla ulaşılan çıkış gerilim değerleri 240V ve 200V'dur. Yine bu durum Şekil 10 ile doğrulanmaktadır.

Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilen devre giriş gerilimleri ve çıkış gerilimleri incelendiğinde, aynı şartlarda çalışan her iki devreden kademeli yükseltici devre ile daha yüksek çıkış gerilim seviyesine ulaşıldığı gözlenmektedir. Ayrıca her hangi bir anda meydana gelebilecek gerilim düşümünde kademeli yükseltici DA/DA devresinin hızlı cevap vererek devrenin her koşulda doğru çalıştığı gözlenmiştir.

## Sonuçlar

Yakıt pillerinin günümüzde hem araçlarda (elektrikli/hibrit araçlar) hem evsel uygulamalarda enerji kaynağı olarak kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Ancak çıkış gerilim değerlerinin düşük olması (tek bir hücre için 1V civarında) sebebiyle çeşitli devre yapıları geliştirilmektedir. Ancak yine de birçok uygulamada seri/paralel bağlı yakıt hücrelerinin oluşturduğu yakıt pili yapısı arzu edilen yüksek ve sabit bir değerde besleme gerilimini sağlayamamaktadır. Bu nedenle DC/DC dönüştürücü devreleri yakıt pili gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanıldığı uygulamalarda tercih edilmektedir. Bu çalışmada klasik yükseltici DA/DA dönüştürücü devresi ile iki kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücü devresinin analizi MATLAB programı kullanılarak karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Her iki devrenin çalışması sırasında kapasite (C), indüktans (L), direnç (R), anahtarlama frekansı (f) ve görev periyodu (d)

aynıdır. Her iki güç devresinde elde edilen sonuçlara dayanarak kademeli artırıcı olarak çalışan devre ile daha yüksek çıkış gerilim değerine ulaşıldığı gözlenmiştir. Ayrıca teorik olarak elde edilen sonuçlar ile benzetim modeli ile elde edilen sonuçların birbirini doğruladığı da tespit edilmiştir.

## Kaynaklar

- Ali D.M. and Salman, S.K., (2006). Comprehensive Review of the Fuel Cells Technology and Hydrogen Economy, *IEEE 41st International Conference*, sayfa. 98-102, 6-8 Sept.
- Chen, Y.M., Huang, A.Q. and Yu, X., (2013). A high step-up three-port DC-DC converter for stand-alone PV/battery power systems, *IEEE Trans. Power Electron.*, 28(11), sayfa: 5049-5062, Kasım.
- Devrim, Y., Devrim, H., Eroglu, İ., (2015). Development of 500 W PEM fuel cell stack for portable power generators, *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(24), sayfa: 7707-7719.
- Hoogers, G., (2003). Fuel cell technology handbook. FL: CRC Press.
- Balakrishnan, J., (2007). Fuel Cell Technology, IEEE International conference, pp. 159-164, 4-6 Dec.
- Juan, Y.L., (2011). An integrated-controlled AC/DC interface for microscale wind power generation systems, *IEEE Trans. Power Electron.*, 26(5), sayfa: 1377-1384.
- Kolli, A., Gaillard, A., De Bernardinis, A., Bethoux, O., Hissel, D., ve Khatir, Z., (2015). A Review On DC/DC Converter Architectures For Power Fuel Cell Applications, *Energy Conversion and Management*, 105, sayfa 716-730.
- Laughton, M.A., (2002). Fuel Cells, *Engineering Science and Education Journal*, Vol. 11, sayfa. 7-16.
- Milanovic, M., Rodic, M., Truntic, M., (2012). DC-DC Conditioning System for FC Application, *15th International Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC*, DS3d.3.
- Milind D., Bagewadi, Sanjay S. Dambhare, (2017). A Buck-Boost Topology Based Hybrid Converter for Standalone Nanogrid Applications, *IEEE Second International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*, 27-29 Haziran, sayfa 502-506.
- Nehir, M. H., Wang, C., (2009). Fuel Cell Modeling and Control: Distributed Generation Applications, *IEEE Press and John Wiley & Sons, Ltd.* ISBN 9780470233283.
- Nejabatkhah, F., Danyali, S., Hosseini, S.H., Sabahi, M. and Niapour, S.M., (2012). Modeling and control of a new three-input DC-DC boost converter for hybrid PV/FC/battery power system, *IEEE Trans. on Power Electron.*, 27(5), sayfa: 2309-2324.
- Partridge, I., (2018). Cost comparisons for wind and thermal power generation, *Energy Policy*, Vol. 112, sayfa. 272-279.
- Rugolo, J., Aziz, M.J., (2012). Electricity storage for intermittent renewable sources, *Energy Environ. Science*, Vol. 5, sayfa. 7151-7160.
- Samosir, S., Anwari, M., Halim, A., Yatim, M., (2010). A simple PEM Fuel Cell Eöulator using Electrical Circuit Model, *2010 Conference Proceedings IPEC*, sayfa 881-885, 27-29 Ekim.
- Sangwongwanich, A., Yang, Y., Sera, D., Blaabjerg, F., Zhou, D., (2018). On the Impacts of PV Array Sizing on the Inverter Reliability and Lifetime, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(4), sayfa: 3656-3667.
- Silpa. N and Chitra. J., (2014). An Improved Luo Converter for High Voltage Applications, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(5).
- Tekade, A., Juneja, R., Kurwale, M., Debre, P., (2016). Analysis of a Positive Output Super-Lift Luo Boost Converter, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 6(2), sayfa: 74-78.
- Thounthong, P., Pierfederici, S., Daval, B., (2010). Analysis of Differential Flatness-Based Control for a Fuel CeU Hybrid Power Source, *IEEE Transactions on Energy Conversion* ,25(3), sayfa: 909-920.
- U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2016. Technical Report May 2016, EIA.
- Yang, L.S. ve Lin, C.C., (2015). Analysis and Implementation of a DC-DC Converter for Hybrid Power Supplies Systems”, *Journal of Power Electronics*, 15(6), sayfa: 1438-1445.



## Design of Super-Lift DC/DC Boost Converter for Fuel Cell Application

### Extended abstract

Due to the increasing demand for energy demand, limited availability of fossil fuel resources and the need for reliable and clean energy sources, the studies on the alternative energy sources and the circuit structures required for their efficient use are increasing day by day. Because of the low voltage obtained from single cell of fuel cells and photovoltaic cells, serial or parallel structures have been developed and so it is reached to desired output voltage values. However, this situation increases both size and cost in high power applications. For this reason, various converters circuits have been developed in order to use both fuel cells, photovoltaic panels and other renewable energy sources in high power applications. The DC/DC converter circuits designed in various ways (buck, boost and etc.) are used to reach higher voltage, while DC/AC converters are preferred for the circuits where alternative voltage is required.

In recent years, the voltage lift (VL) technique finds wide application area in electronic circuit design. The output voltage and efficiency of the circuit elements used in the DC-DC converter circuits can be changed. In addition, the output voltage can be arithmetically increased. By using this structure, the voltage gain is increased while the converter efficiency and power density are increased. This converter minimizes the ripple content in voltage and current.

In this study, it is focused on increasing the low output voltage, which is one of the problems encountered when using renewable energy resources. Also, the operation of the super-lift DC/DC boost converter circuit for a system with a fuel cell as the supply voltage is explained and compared with the conventional DC/DC boost converter circuit. These circuits, which are especially preferred in applications where high output voltage is required, greatly increase the voltage gain. The main circuit of super lift converter is same as conventional DC/DC boost converter. But if the stages are wanted to be increased, only passive elements are increased where as the number switch is not changed and is kept only one. So the super-lift DC/DC boost converter consists of one

switch 'S', 'n' inductors,  $3n-1$  diodes and  $2n$  capacitors.

The results by using the MATLAB program show that the output voltage waveforms are examined for the same duty period and higher voltage levels have been reached with the step riser super-lift DC/DC boost converter circuit.

**Keywords:** Boost converter, fuel cell, voltage gain.