

DA/DA Yükseltici Çeviricilerde Geri Besleme ve İleri Besleme Kontrol Feedback and Feedforward Control in DC/DC Boost Converter

Ayşe Kocalmış Bilhan¹, Abuzer Çalışkan², Sencer Ünal²

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Nevşehir H.B.V. Üniversitesi
akbilhan@nevsehir.edu.tr

²Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Fırat Üniversitesi
acaliskan@firat.edu.tr
sencerunal@firat.edu.tr

Özet

Bir elektrikli araç, elektrik sürücü sisteminde güç oluşturabilmek için yakıt olarak Yakıt Pili, Akü ve Süperkapasite kullanan araçlardır. Bu amaçla kullanılan DA/DA çeviriciler ile elektriksel güç aktarımı yapılırken gerilim seviyeli azaltılıp artırılabilir. Bu çalışmada, sürekli durumda darbe genişlik modülasyon tekniği kullanılan DA/DA yükseltici tipi çeviricilerde ileri besleme ve geri beslemeli kontrolün bir arada kullanımı özetlenecektir. DA/DA yükseltici çeviricisinin çalışma durumu ayrıntılarıyla açıklanarak sabit durum analizi verilecektir. Devre yapısı oldukça basit ve çıkış gerilimi de oldukça düzgündür.

Abstract

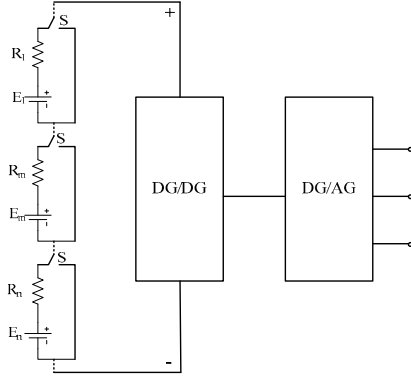
An Electrical Vehicle is a vehicle which uses a combination of Fuel Cells (FCs), Batteries and Supercapacitors (SCs) to power electrical drive system. DC/DC converters can be used for boosting or chopping the voltage level in electrical power flow. In this paper, a feedforward and feedback control circuit suitable for applications in the dc-dc pulse width modulated (PWM) boost converter operated in the continuous conduction mode (CCM) is proposed. DC/DC boost converter principle of operation is described and analyzed for steady state. The circuit is very simple and significantly improves line regulation of the output voltage.

1. Giriş

Günümüzde fosil yakıtların kullanımı gerek insan yaşamına gerek ise çevreye oldukça zarar vermektedir. Özellikle araçların ve fabrikaların meydana getirdiği hava kirliliği, küresel ısınma ve fosil yakıtların gün geçtikçe giderek azalması; yenilenebilir enerji kaynaklarının, yeni milenyumda elektrik üretiminde daha önemli bir parçası olmasına sebep olmaktadır [1,2]. Özellikle Elektrikli Araçlar (EVs), Hibrit Elektrikli Araçlar (HBVs) ve Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar (FCEVs) gelecekte klasik fosil yakıtlı araçların yerlerini almak üzere tasarlanmaktadır [3].

Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla beraber, bu tip enerji kaynaklarının veriminin artırılması konuları da ön plana çıkmıştır. Yakıt pilleri, güneş panelleri, rüzgar türbinleri vb. gibi yeni nesil enerji kaynakları enerji üretimi esnasında kullanılsalar da genelde 7 gün 24 saat için gerekli enerjiyi üretmezler. Bu nedenle enerji üretimi esnasında güneş, rüzgar yada hidrojen gibi doğal kaynaklara bağımlı olmaları sebebiyle, bir arada (hibrit) olarak çalışmalarıyla daha verimli enerji üretimi sağlamaktadırlar. Ayrıca, gerek hibrit sistemlerde enerji kaynaklarının bir arada çalışması gerek tek başına çalışmaları sırasında enerji depolayıcı elemanlara da ihtiyaç bulunmaktadır (akü-bataryapil). Çoğunlukla elektrik ve hibrit çalışan sistemler de biri ana enerji kaynağı olarak adlandırılan yüksek enerji depolama kapasiteli bir kaynak ile beraber tekrar şarj edilebilen yüksek güce sahip enerji kaynağı olarak iki kaynak bulunur. Ancak enerji kaynağı ve depolayıcı sistemler, yük veya şarj durumundan etkilenebilirler. Bu nedenle; verimlerinin artırılması, yük üzerinde sabit bir Doğru Gerilim (DA) olabilmesi için genellikle çıkışlarında DA/DA çevirici devreler kullanılır [4,5].

DA/DA çeviriciler; başka bir gerilim seviyesindeki DA elektrik enerjisini değiştirmek için kullanılan elektronik cihazlardır [6]. Bu çeviriciler, özellikle elektrik enerjisini belirli bir pil gücünden karşılayan cep telefonları, diz üstü bilgisayarlar gibi cihazlar için oldukça büyük bir öneme sahiptirler. Ayrıca günümüzde kullanımı yaygın bir hale gelen elektrikli araçlarda kullanımı oldukça büyük bir önem arz etmektedir [7]. Şekil 1 ile rüzgar türbinleri, güneş panelleri gibi aralıklı elektrik enerjisi üreten sistemler için enerji depolanması görevinde bulunan büyük ölçekli sabit akü sistemi gösterilmektedir. Çok yüksek uygulamalar da birçok akünün bir birine seri olarak bağlanması gerekmekte ve elde edilen gerilim ilk olarak sabit bir gerilim elde edilmesi için DA/DA çeviriciye uygulanmaktadır. Bu çeviriciler yükseltici, düşürücü yada yükseltici/düşürücü gibi çeşitli şekillerde çalışmakta ve adlandırılmaktadırlar. Şebeke yada bir AA (Alternatif Gerilim) bir yükün beslenmesi içinde elde edilen sabit gerilim DA/AA çeviriciye uygulanmaktadır.



Şekil 1: Bir mikro şebekeyi besleyen akü modülleri

DA/DA çeviricilerden beklenen çalışma durumu, çıkışlarında sabit ve düzgün bir çıkış gerilimi üretmeleridir. Bu nedenle; DA/DA çeviricilerin çıkış gerilim veya akımında yada her ikisinde birden kullanılmak üzere geri beslemeli kontrol yapıları kullanılır. Bu tip kontrol birçok çalışma durumunda iyi sonuçlar vermiş olsa da hassas uygulamalar için başka kontrol yapılarına da ihtiyaç duyulmaktadır.

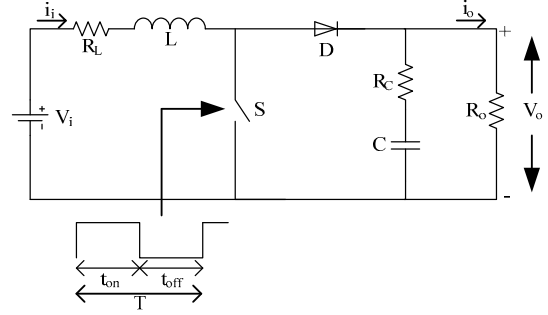
Geri besleme kontrol çalışma da; yükseltici DA/DA çeviricinin çıkış gerilimi arzu edilen çıkış gerilimi ile karşılaştırılır. Elde edilen hata sinyali doğrusal, doğrusal+integral, doğrusal+integral+türev vb. kontrol algoritmaları ile denetlenerek sisteme eklenir. İleri besleme kontrol çalışma da ise, yükseltici DA/DA çeviricinin giriş gerilimi arzu edilen değerde tutulmaya çalışılır.

Bu çalışmada yükseltici çeviricinin benzetim modeli ve elde edilen sonuçlar Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. İkinci bölümde yükseltici çevirici devresi ve çalışması hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde geri besleme ve ileri besleme konuları hakkında bilgi verilerek, tasarlanan sistemin blok şeması gösterilmiştir. Dördüncü bölümde yükseltici DA/DA çeviricinin Matlab/Simulink modeli verilerek son bölümde devrenin çalışmasına ait sonuçlar eklenmiştir.

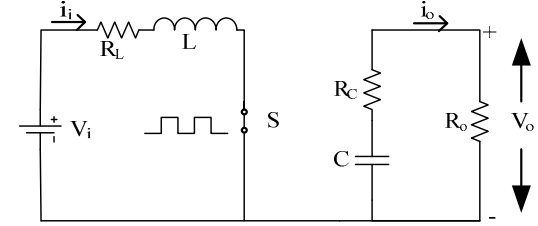
2. Yükseltici Çeviricinin Modellenmesi

Bu çalışmada yer alan kontrolör her tip çevirici için uygulanabilir. Ancak elektrikli araçlar ve şebekeye bağlı sistemler için en çok tercih edilen yükseltici tip DA/DA çeviricilerdir [8]. Bu nedenle, bu çalışmada Şekil 2 ile gösterilen yükseltici tip DA/DA çevirici modellenecek ve incelenecektir.

Şekil 2 ile verilen yükseltici DA/DA çeviricinin durum denklemleri Kirchoff akım ve gerilim kanunları uygulanarak Denklem 1,2,3 ve 4 olarak elde edilmiştir [9,10]. Anahtarın kapalı olması (on) durumunda devre yapısı Şekil 3 ile verilmektedir.



Şekil 2: Yükseltici DA/DA çevirici devre yapısı



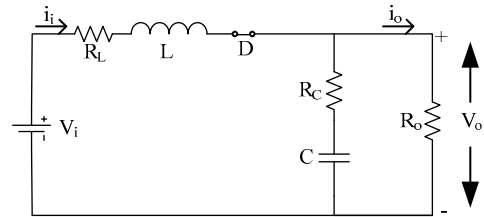
Şekil 3: Anahtarın kapalı olma durumu devre yapısı

Anahtarın (S) kapalı (on) olması durumunda durum denklemleri Denklem 1 ve 2 ile verilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_L}{L} & 0 \\ 0 & \frac{-1}{C(R_o + R_c)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_i \quad (1)$$

$$V_o = \begin{bmatrix} 0 & 1 - \frac{R_c}{R_o + R_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

Anahtarın (S) açık (off) olması durumunda devre yapısı ve durum denklemleri sırasıyla Şekil 4 ve Denklem 3 ve 4 ile verilmektedir.



Şekil 4: Anahtarın açık olma durumu devre yapısı

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \left(R_L + \frac{R_c R_o}{R_o + R_c} \right) & -\frac{1}{L} \left(1 - \frac{R_c}{R_o + R_c} \right) \\ \frac{R_o}{C(R_o + R_c)} & \frac{-1}{C(R_o + R_c)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_i \quad (3)$$

$$V_o = \left[\frac{R_c R_o}{R_o + R_c} \quad 1 - \frac{R_c}{R_o + R_c} \right] \begin{bmatrix} i_L \\ v_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

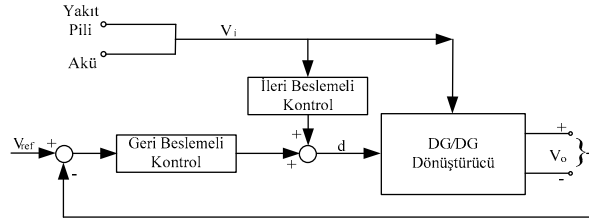
DA/DA çeviriciler görev periyodu (d) anahtarın iletimde kalma süresine (t_{on}) ve anahtarlama frekansına bağlıdır. Bu durum Denklem 5 ile gösterilmektedir. Giriş gerilimi, çıkış gerilimi ve görev periyodu arasındaki bağlantı ise Denklem 6 ile verilmektedir.

$$d = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} = t_{on} f_s \quad (5)$$

$$V_o = \frac{1}{1-d} V_i \quad (6)$$

3. DA/DA Yükseltici Çeviricinin Kontrolü

Yükseltici tip DA/DA çeviricinin eleman değerleri sıcaklık, basınç ya da zamanla değişebilmektedir. Ancak çeviricinin çıkışında elde edilmek istenen; değişken yük ve giriş gerilimi şartlarında çıkış geriliminin sabit olmasıdır. Bu nedenle; sistemin çıkış gerilimi arzu edilen çıkış gerilimi ile karşılaştırılarak kapalı çevrim kontrol yapılır. Bunun yanı sıra; bu çalışmada sistemin girişindeki kaynakların değişimindeki gerilim dengesizliğine karşı da bir ileri beslemeli kontrol kullanılmaktadır. Sistemin genel blok yapısı Şekil 5 ile gösterilmektedir.



Şekil 5: Sistemin blok şeması

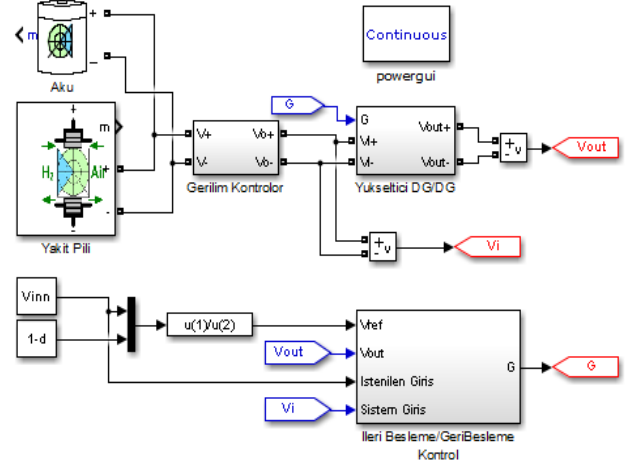
Bu çalışmada giriş gerilimi olarak yakıt pili ve aküden oluşan bir sistem kullanılmıştır. Yük; indüktans, kapasite, diyot ve bir anahtar üzerinden bu kaynaklara bağlıdır. Sistemin çalışması sırasında çıkış gerilimi bir gerilim ölçücü ile ölçülmekte ve istenilen çıkış geriliminin değeri ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda elde edilen hata sinyali bir "geri beslemeli kontrolör" ile anahtara uygulanacak görev periyoduna dönüştürülmektedir. Aynı zamanda sistemin giriş gerilimi sürekli ölçülerek her hangi bir gerilim artışı yada azalışı durumunda "ileri beslemeli kontrol" bloğu da sistemin çalışmasına dahil olmaktadır.

DA/DA çeviricilerin çıkış gerilimlerini kontrol için iki yöntem kullanılır: gerilim kontrol mod ve akım kontrol mod. Her iki kontrol yöntemi; endüstride düşük gerilim düşük anahtarlama modlu DA/DA çeviricilerde çıkış geriliminin ayarlanması ve düzeltilmesi için kullanılırlar. Kapalı çevrim geri beslemeli döngülerde ise giriş gerilimi ve yükün durumu ne olursa olsun

çıkışta otomatik olarak sabit bir çıkış sağlanır. Bu iki teknik ile DA/DA çeviricilerin farklı yollarla nasıl kontrol edilebileceği öğrenilmiş olur.

4. Yükseltici DA/DA Çeviricinin Modellenmesi

Şekil 6 ile sistemin MATLAB/Simulink benzetim modeli verilmektedir.



Şekil 6: Sistemin Matlab/Simulink model

"Gerilim kontrol" bloğunda; yakıt pilinin aktif olmadığı durumlarda akü devreye alınarak sistemin sürekli çalışması sağlanmaktadır. "Yükseltici" bloğunda; giriş gerilimi arzu edilen çıkış gerilimine yükseltilerek çıkışta sabit bir gerilim elde edilmektedir. "İleri Beslemeli Kapalı Çevrim Kontrol" bloğunda ise; ilk olarak "Yükseltici" bloğundan elde edilen çıkış gerilimi arzu edilen çıkış geriliminin aynı olup olmadığı kontrol edilmekte, eğer aynı değil ise bir PI kontrolörden geçirilerek görev periyodu ayarlanmaktadır. Aynı zamanda bu blok içerisinde giriş gerilimindeki kaynakların değişimi (yakıt pili-akü) sırasında yada başka bir nedenle oluşabilecek giriş geriliminin düşmesi yada yükselmesi durumunda yine görev periyodunu düzenleyici bir kontrolör bulunmaktadır.

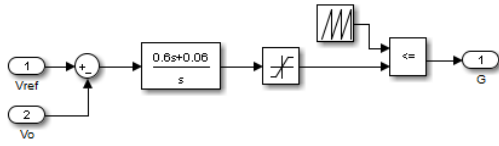
Bu çalışmada; geri beslemeli kontrolör olarak "orsanal-integral" (PI) kullanılmaktadır. Literatürde daha gelişmiş kontrolörler bulunsa da, PI kontrolörün tasarımının ve uygulama kolaylığının yanı sıra iyi sonuç vermesi sebebiyle bu sistem için seçilmiştir. Sürekli durum çalışma esnasında bir PI kontrolörün transfer fonksiyonu Denklem 7 ile gösterilmektedir.

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (7)$$

Modellenen yükseltici DA/DA çeviricide kullanılan elemanlar sırasıyla $L=3\text{mH}$, $R_L=0.1\Omega$, $C=1000\mu\text{H}$, $R_c=0.1\Omega$, $R_o=100\Omega$ 'dur. Giriş gerilim $V_i=30\text{V}$ olan sistemin görev periyodu ise $d=2/3$ olarak belirlenmiştir. Bu durumda sabit durumda elde edilmesi gereken çıkış gerilimi aynı zamanda referans gerilim değeri $V_o=86.66\text{V}$ 'dur. Anahtarlama frekansı 10kHz alınmıştır.

Ziegler-Nichols'un ikinci yöntemi uygulanarak yapılan çalışma ile K_p oransal kazanç katsayısı ve K_i integrasyon

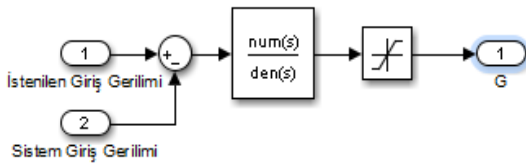
kazanç katsayısı hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre;
 $C(s) = 0.6 + \frac{0.06}{s}$ kullanılarak PI kontrolör tasarlanmıştır.
 Geri besleme kontrolörün yapısı Şekil 7 ile gösterilmektedir.



Şekil 7: Geri beslemeli kontrolör

Ancak sadece geri beslemeli kontrolörün çalışması ile sistemin çalışması sırasında yeterli hassasiyet elde edilememektedir. Bu nedenle; giriş geriliminde oluşabilecek dalgalanma ve gürültüden sistemin daha az etkilenmesi için giriş geriliminin kontrol edildiği bir ileri beslemeli kontrolörde tasarlanmıştır. İleri beslemeli kontrolörün transfer

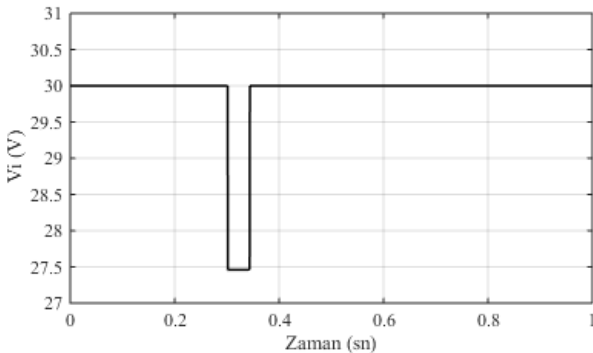
fonksiyonu ise; $C_f(s) = \frac{9s + 0.502 \cdot 10^6}{s^2 + 2.92 \cdot 10^4 s + 2.996 \cdot 10^7}$ olarak elde edilir. İleri besleme devre yapısı ise Şekil 8 ile gösterilmektedir.



Şekil 8: İleri beslemeli kontrolör

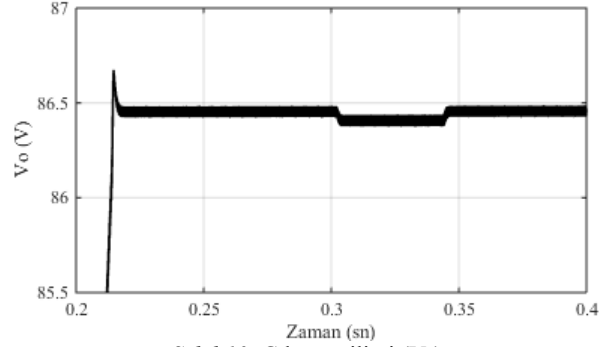
5. Benzetim Sonuçları

Şekil 9 ile giriş gerilimine ait değişim verilmektedir. Şekil 9'dan görülebileceği gibi giriş gerilimi 30V sabit bir değerde iken ani olarak 27.5 V değerine gerilemekte ve bir süre sonra tekrar eski değerine dönmektedir. Giriş gerilimindeki bu değişim kaynak arasındaki değişim sırasında olabileceği gibi sistemde olabilecek bir gürültünün etkisi de olabilir.



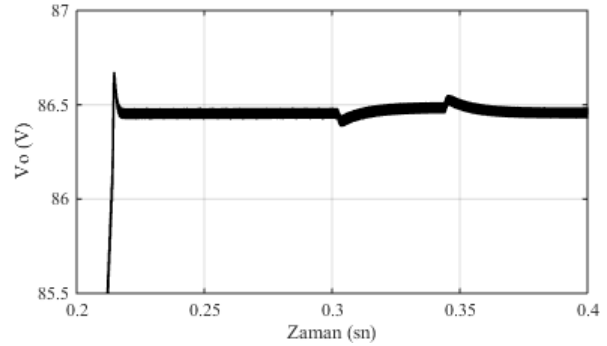
Şekil 9: Giriş Gerilimi (Vi)

Şekil 10 ile sadece geri besleme kapalı çevrim (PI kontrolör) olması durumunda sistemin çalışması ve çıkış gerilimine ait değişim gösterilmektedir.



Şekil 10: Çıkış gerilimi (Vo)

Hem geri besleme kapalı çevrim hemde ileri besleme kontrol olması durumunda sistemin çıkış gerilimi Şekil 11 ile gösterilmektedir.



Şekil 11: Çıkış gerilimi (Vo)

Şekil 10 ve 11 incelendiği zaman, Şekil 10'da giriş geriliminde meydana gelen değişim çıkış geriliminde düşüşe sebep olmaktadır. Ancak girişe eklenecek bir ileri beslemeli kontrolör ile sistemin tekrar referans çıkış gerilim değerine ulaşmıştır. Bu durum Şekil 11 ile gösterilmektedir.

6. Sonuçlar

Bu çalışma özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının bir arada yada bir aküyle beraber kullanıldığı uygulamalar için yükseltici DA/DA çeviricilerin MATLAB/Simulink paket programı kullanılarak modellenmesi üzerinde durmaktadır. Giriş geriliminde herhangi bir sebeple meydana gelen dalgalanma veya gürültünün etkisi ileri beslemeli kontrolör ile azaltılmaktadır. Kapalı çevrim kontrol algoritmasıyla da yükseltici DA/DA çeviricinin çıkış gerilimi sabit tutulmaktadır.

Bu çalışma Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi NEÜBAP15F proje kapsamında desteklenmektedir.

7. Kaynaklar

- [1] Cacciato M., Consoli A., Attanasio R., and Gennaro F. "A Multi-Stage Converter For Domestic Generation Systems Based On Fuel Cells". In Proc. IEEE Ind. Appl. Soc. Conf., vol. 1, pp. 230–235, 2006.
- [2] Veerachary M., Senjyu T., and Uezato K. "Neural-Networkbased Maximum-Power-Point Tracking Of Coupled-Inductor Interleaved-Boost Converter- Supplied PV System Using Fuzzy Controller", In IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 50, no. 4, pp. 749–758, 2003.
- [3] Wang D., He X., and Zhao R., "ZVT Interleaved Boost Converters with Built-In Voltage Doubler and Current Auto-Balance Characteristic". In IEEE Trans. Power Electron., vol. 23, no. 6, pp. 2847–285, 2008.
- [4] Kocalmis Bilhan A., Caliskan A., Unal S. "Simulation Of A Photovoltaic Panels By Using Matlab/Simulink". ECAI, 30 June -02 July, Ploiesti, ROMÂNIA, 2016.
- [5] Bjazic T., Ban Z., Volaric I., "Control of a Fuel Cell Stack Loaded with DC/DC boost Converter", Int. Symposium on Industrial Electronics, pp.1489-1494, 2008.
- [6] Jamali S.H.B., "Voltage Tracking Of Dc-Dc Boost Converter Using Gaussian Fuzzy Logic Controller", Bs. Thesis, January, 2012.
- [7] Wang K., Lin C.Y., Zhu L., Lee F.C., Qu D., Lai J.S., "Bi-directional DC to DC Converters for Fuel Cell Systems", Power electronics in Transportation Conf. pp. 47-51, Nov., 1998.
- [8] Erickson W. R., Maksimovic D., "Fundamentals of Power Electronics", 2nd Ed., Springer, 2001.
- [9] Rao G.S., Raghu S., Rajasekaran N. "Design of Feedback Controller for Boost Converter Using Optimization Technique", IJPEDS, Vol. 3, no. 1, pp. 117-128, 2013.
- [10] Bao Y., Wang L.Y., Wang C., Jiang J., "Novel Suppression Control Strategy of Disturbance from the Input Voltage Source in DC/DC Converter", ICEA, pp. 1364-1369, 2015.