Fotovoltaik panel beslemeli yükselten çeviricinin açık çevrim denetimi

[1,*]Ahmet Gani, [2]Mustafa Şekkeli
[1]Kayseri Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
[2]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
*ahmetgani@kayseri.edu.tr

Özet: Fotovoltaik paneller ve yükselten çeviriciler sürdürülebilir enerjide sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada yükselten çeviricinin giriş gerilimi için fotovoltaik panel kullanılmıştır. Yükselten çeviricinin devre yapısı analiz edilerek açık çevrim denetim gerçekleştirilmiştir. Açık çevrim denetim fotovoltaik panel beslemeli yükselten çeviricinin tasarım doğruluğunu test etmek için yapılmıştır. Benzetim çalışmaları Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmasından elde edilen sonuçlar açık çevrim denetim ile yapılan tasarımın doğruluğunu kanıtlamıştır.
Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Panel, Yükselten Çevirici, Açık Çevrim Denetim

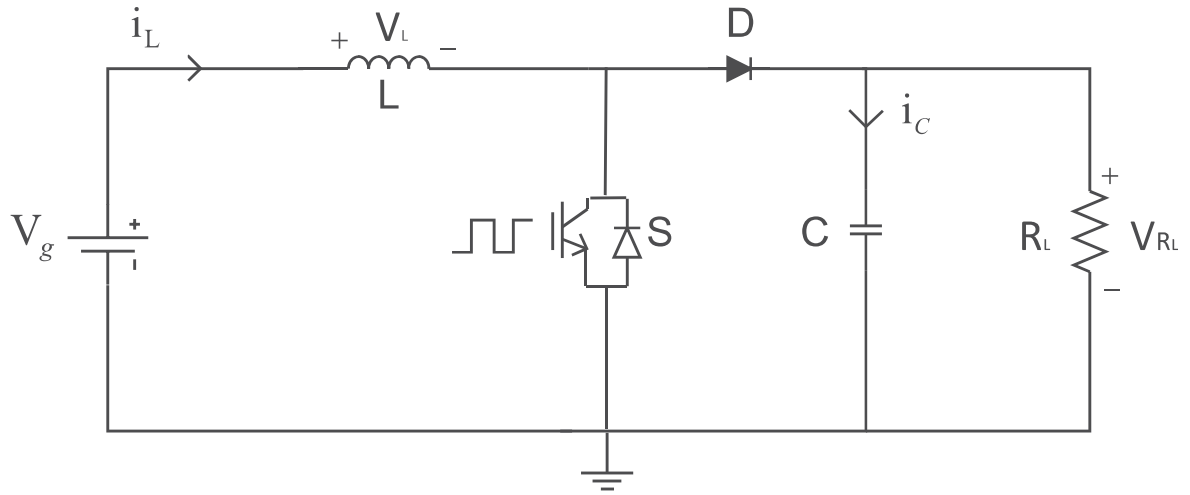
1. Giriş

Günümüzde artan enerji talebinden dolayı sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç artmıştır. Sürdürülebilir enerji kaynakları içerisinde (güneş, rüzgar, hidrojen) gibi güneş enerjisi daha yüksek sürdürülebilirliğe sahip olması sebebiyle ön plana çıkmaktadır (Gani, 2020). Günümüzde teknolojinin gelişimi ile birlikte güç elektroniği devrelerine olan gereksinim hızla artmıştır. Geleneksel doğru akım (DA) güç kaynakları ağır ve pahalı elektronik elemanlar gerektirirken, DA çeviriciler yüksek frekanslarda anahtarlanmaları dolayısı ile daha hafif ve ucuzdurlar. DA-DA çeviriciler giriş gerilim seviyesini bir değerden başka bir değere çeviren elektronik devrelerdir. DA çeviriciler çeşitli devre topolojilerine sahiptir Bunlardan en temel çevirici devre topolojileri azaltan ve yükselten devre topolojileridir (Keçecioğlu ve ark., 2019). Araştırma literatürü incelendiğinde yükselten çeviricinin analizi, tasarımı ve denetimi ile ilgili sayısız çalışmaya rastlanılabilir. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir. Açıkgöz ve Keçecioğlu yaptıkları çalışmada aralıklı tip-2 bulanık mantık kullanarak yükselten DA çeviricinin kapalı çevrim gerilim mod denetimini deneysel olarak gerçekleştirmişlerdir (Açıkgöz ve Keçecioğlu, 2020). Abusorrah ve ark. fotovoltaik beslemeli yükselten bir çeviricinin kararlılık analizini deneysel ortamda test etmişlerdir (Abusorrah ve ark.,2013).Gani ve Şekkeli fotovoltaik panel beslemeli yükselten çeviricinin tasarımını ve kapalı çevrim gerilim mod denetimini aralıklı tip-2 bulanık mantık kullanarak gerçek atmosferik şartlar altında analiz etmişlerdir (Gani ve Şekkeli 2022). Kececioglu ve ark., yükselten DA çeviricinin durum uzayı modelini elde ederek doğrusal quadratik düzenleyici ile gerilim mod denetimini gerçekleştirmişlerdir (Kececioglu ve ark., 2019). Yukarıda bahsedilen çalışmalar genel olarak özetlenecek olursa yükselten DA çeviricinin fotovoltaik panel beslemeli ve beslemesiz olarak kapalı çevrim denetimine odaklanıldığı söylenebilir. Bu çalışmada ise araştırma literatüründeki çalışmalardan farklı olarak fotovoltaik panel beslemeli yükselten çeviricinin açık çevrim denetimine odaklanılmıştır. Çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekilde ifade edilebilir. İkinci bölüm materyal ve metot kısmında yükselten çeviricinin analizi ve tasarım kriterleri yapılmıştır. Üçüncü bölüm bulgular kısmında benzetim çalışmaları verilmiştir. Dördüncü bölüm sonuçlar kısmında ise

benzetim çalışmasından elde edilen sonuçlara göre genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

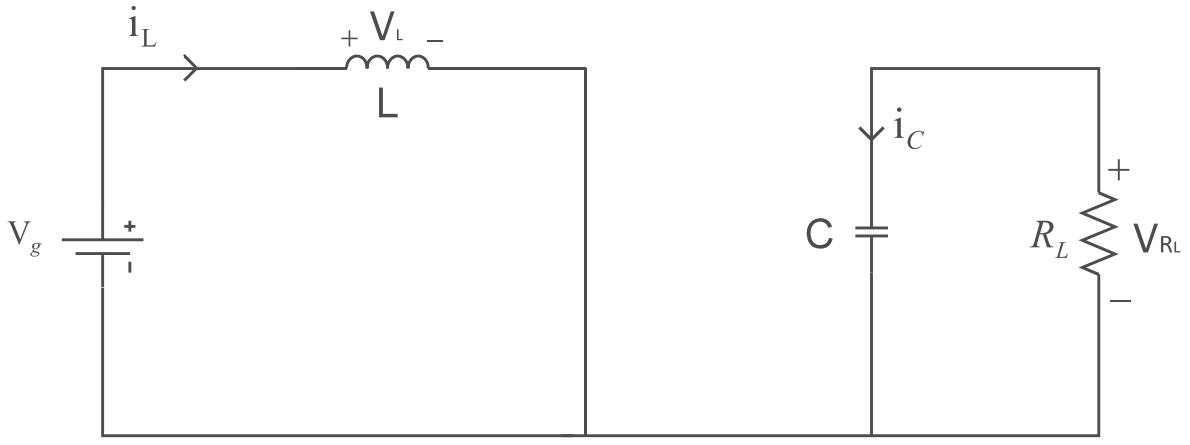
DA güç çeviricileri içerisinde enerji depolayan pasif elemanlar (indüktör, kapasitör) barındıran güç elektroniği devreleridir. DA yükselten güç çeviricinin devre elemanları kararlı durum analizi yapılırken ideal kabul edilmektedir. Kararlı durum analizi anahtarın iletimde ve kesimde olma durumları için yapılmaktadır. Şekil 1'de DA yükselten güç çevirici temel devre modeli verilmiştir (Gani, 2020).



Şekil 1. DA yükselten güç çevirici temel devre modeli

2.1 Anahtarın İletimde Olma Durumu

Anahtarlama elemanına darbe genişlik modülasyonu işareti uygulandığında, anahtarlama elemanı iletime geçmektedir.Bu durumda diyoda ters gerilim uygulandığından diyot kesime gitmektedir. Anahtarlama elemanının iletim durumu için DA yükselten güç çeviricisinin eşdeğer devresi şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Anahtarın iletimde olma durumu için eşdeğer devre

Devrede enerjiyi sağlayan V_g gerilim kaynağı, L indüktörü, S anahtarlama elemanı (IGBT), D diyotu, çıkış C filtre kapasitörü ve sabit bir R_L yükü bulunmaktadır. Kirchhoff 'un gerilim yasasına göre indüktör gerilimi giriş kaynak gerilimine eşit olmaktadır. Bu durum denklem 1'de verilmiştir.

$$v_L = L\frac{di_L}{dt} = V_g \tag{1}$$

İndüktör akımındaki değişim oranı sabittir, bu nedenle anahtar iletimdeyken akım doğrusal olarak artmaktadır. İndüktör akımı değişimi denklem 2'de verilmiştir.

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_g}{L} \tag{2}$$

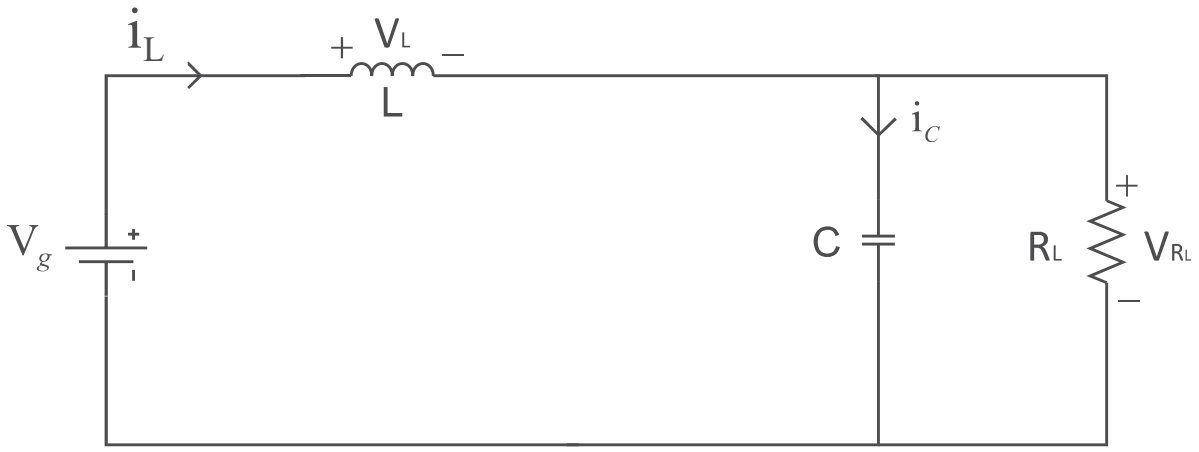
Denklem 2'den Δi_L çekilirse;

$$(\Delta i_L)_{sw-on} = \frac{V_g DT}{L} \tag{3}$$

elde edilmektedir.

2.2 Anahtarın Kesimde Olma Durumu

Anahtarlama elemanının kapı ucuna gelen darbe genişlik modülasyonu işareti sıfır ise anahtarlama elemanı kesime gitmektedir. Kesimde olma durumunun eşdeğer devresi şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Anahtarın kesimde olma durumu için eşdeğer devre

Bu durumda, indüktör üzerindeki gerilim, giriş gerilimi ve yük geriliminin farkına eşit olmaktadır. Böylece yük, hem girişteki kaynak hem de indüktör üzerinde biriken enerji ile beslenmektedir (Atacak,2005). İndüktör üzerindeki gerilim denklem 4'te verilmiştir.

$$V_L = L\frac{di_L}{dt} = V_g - V_{R_L} \tag{4}$$

İndüktör akımındaki değişim oranı sabittir, bu nedenle anahtar kapalıyken akım doğrusal olarak değişmektedir. İndüktör akımındaki değişim denklem 5'de verilmiştir.

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_g - V_{R_L}}{L} \tag{5}$$

Denklem 5'ten Δi_L çekilirse;

$$(\Delta i_L)_{sw-off} = \frac{(V_g - V_{R_L})(1-D)T}{L} \tag{6}$$

elde edilmektedir. Devrenin kararlı çalışması için anahtarın iletim ve kesim durumundaki indüktör akımındaki toplam değişim sıfır olmalıdır. Denklem 3 ve denklem 6 kullanılarak denklem 7 elde edilmektedir.

$$\frac{V_g DT}{L} = \frac{(V_g - V_{R_L})(1-D)T}{L} \tag{7}$$

Denklem 7'de V_{R_L} çekilirse;

$$V_{R_L} = \frac{V_g}{1-D} \tag{8}$$

elde edilmektedir. DA yükselten güç çeviricisinin ideal olarak çalıştığı varsayılarak yapılan analizde, kaynak tarafından sağlanan ortalama güç, R_L yükü tarafından absorbe edilen ortalama güç ile aynı olmalıdır. Güç çeviricisinin çıkış gücü denklem 9'da verilmiştir.

$$P_{R_L} = V_{R_L} I_{R_L} \tag{9}$$

Güç çeviricisinin giriş ve çıkış güçleri eşitlenirse denklem 10 elde edilir.

$$V_g I_L = \frac{V_g^{\,2}}{(1-D)^2 R_L} \tag{10}$$

I_L akımı denklem 10'dan çekilirse;

$$I_L = \frac{V_g}{(1-D)^2 R_L} \tag{11}$$

elde edilmektedir. Maksimum ve minimum indüktör akımları indüktörün ortalama akımı ve indüktör akımındaki değişim kullanılarak denklem 12 ve denklem 13'deki gibi belirlenmektedir.

$$I_{L_{max}} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_g}{(1-D)^2 R_L} + \frac{V_g DT}{2L} \tag{12}$$

$$I_{L_{min}} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2} = \frac{V_g}{(1-D)^2 R_L} - \frac{V_g DT}{2L} \tag{13}$$

2.3. DA-DA Yükselten Güç Çevirici Eleman Değerleri Seçimi

Sürekli iletim modunda çalışma için tasarlanmış bir DA yükselten güç çeviricisinin minimum sınır indüktör ve çıkış kapasitörü değerleri sırasıyla denklem 14-15'te verilmiştir.

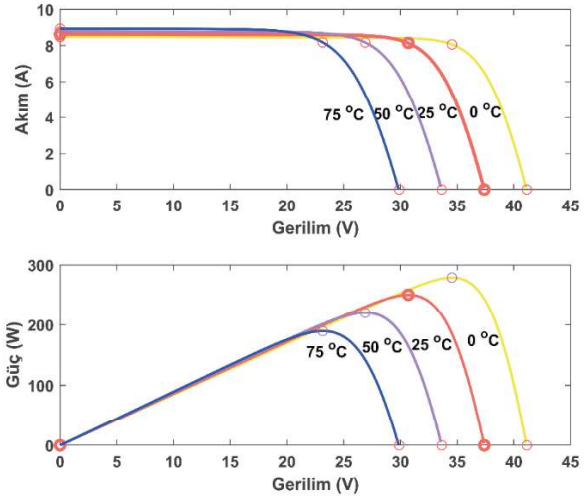
$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R_L}{2f} \tag{14}$$

$$C_{\min} = \frac{D}{R_L(\Delta V_C / V_C)f} \tag{15}$$

Sürekli iletim modunda çalışma için indüktör ve çıkış kapasitörü değerleri hesaplanan sınır değerlerinden daha yüksek seçilmelidir (Hart, 2011).

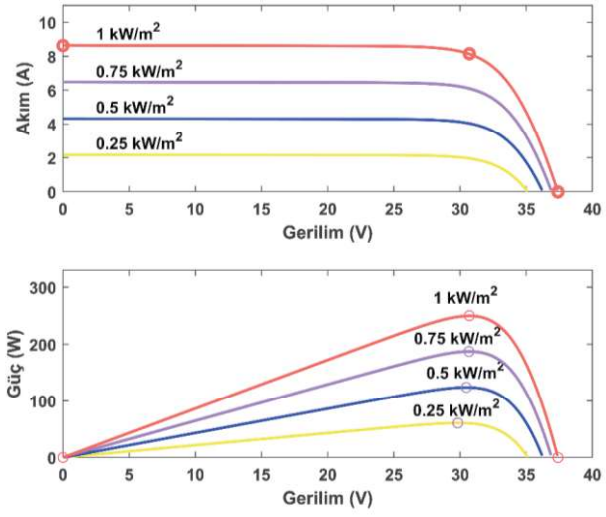
3. Bulgular

Bu bölümde ilk olarak çalışmada kullanılan fotovoltaik panelin benzetimi yapılmıştır. Bu kapsamda benzetim çalışmasında kullanılan 250W gücündeki fotovoltaik panelin Matlab/Simulink ortamında farklı ışınım ve sıcaklık değerleri için akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri çıkarılmıştır. Benzetim çalışmasında kullanılan fotovoltaik panelin akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrileri sabit ışınım (1000 W/m^2) ve farklı sıcaklıklar için şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Sabit ışınım ve farklı sıcaklıklar için fotovoltaik panel karakteristik eğrileri

Fotovoltaik panel modelinin sabit sıcaklık (25˚C) ve farklı ışınımlar için akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrileri şekil 5'te görülmektedir.



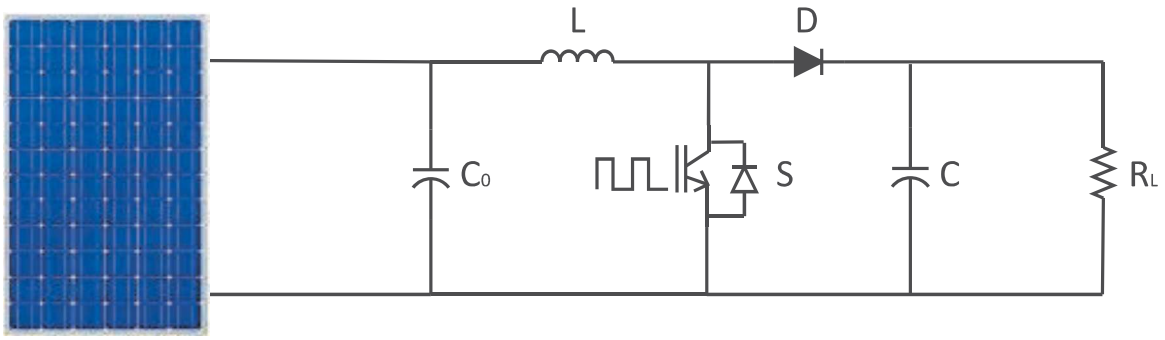
Şekil 5. Sabit sıcaklık ve farklı ışınımlar için FV panelin karakteristik eğrileri

Ardından DA yükselten güç çeviricisinin eleman değerleri belirlenmiş ve tasarım doğruluğu açık çevrim denetim ile Matlab/Simulink benzetim ortamında test edilmiştir. DA yükselten güç çeviricisinin açık çevrim denetimi için yapılan kabuller, hesaplanan ve seçilen eleman değerleri (L ve C) tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Yükselten DA çevirici için yapılan kabuller, hesaplanan ve seçilen değerler

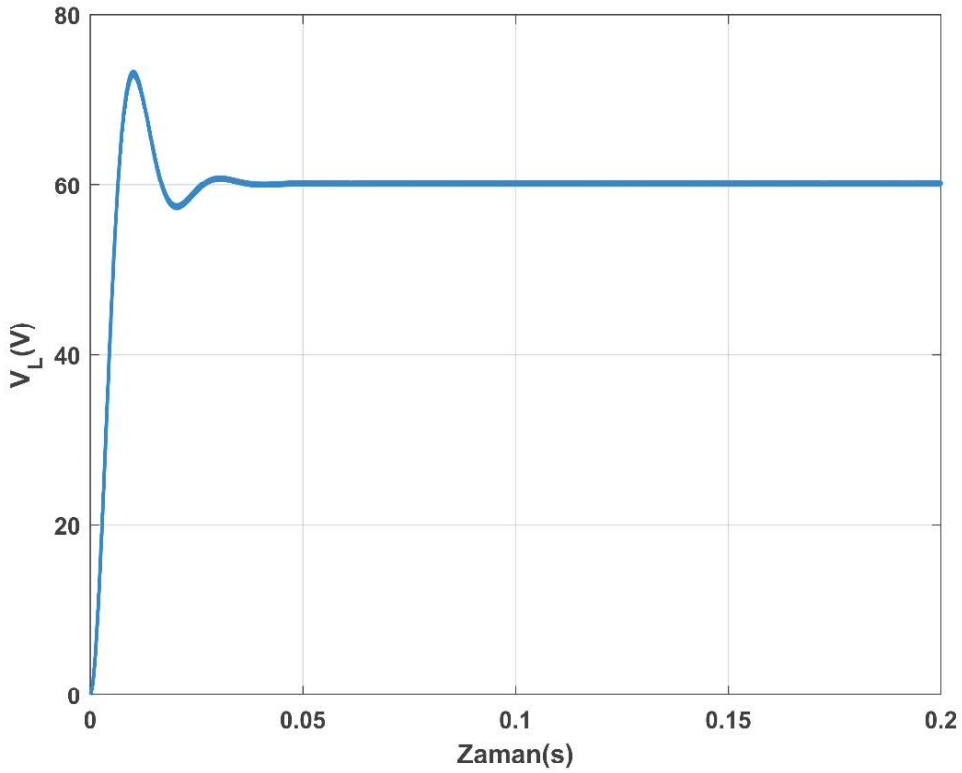
Benzetim çalışması için yapılan kabuller		
Panel Gerilimi	V_g	30.7V
Yük Direnci	R_L	15Ω
Yük Gerilimi	V_L	60V
Anahtarlama Frekansı	f_s	20Khz
Giriş Kapasitörü	C_0	330µF
Çıkış Gücü	P_0	240W
Hesaplanan değerler		
İndüktör	L_{min}	0.0478mH
Çıkış Kapasitörü	C_{min}	163.33µF
Seçilen değerler		
İndüktör	L	10mH
Çıkış Kapasitörü	C	220µF
İndüktör Akımı Dalgalanma Oranı	Δi_L	%8
Çıkış Kapasitörü Gerilim Dalgalanma Oranı	ΔV_C	%1

Fotovoltaik panel beslemeli DA yükselten güç çevirici açık çevrim denetim blok diyagramı şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. DA yükselten güç çevirici açık çevrim denetim blok diyagramı

Şekil 6'da görüldüğü açık çevrim ile denetlenen fotovoltaik panel beslemeli DA yükselten güç çeviriciye sabit darbe genişlik modülasyon oranı uygulanmaktadır. Fotovoltaik panel gerilim dalgalanmalarını azaltmak için C_0 kapasitörü fotovoltaik panel ile yükselten güç çeviricisi arasına paralel bağlanmıştır. Fotovoltaik panel için test koşulları 1000 W/m^2 ve 25°C seçilmiştir. Tasarım için hesaplanan sabit darbe genişlik modülasyon oranı (0.49) DA yükselten güç çeviricisine uygulandığında elde edilen çıkış gerilimi şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Sabit 0.49 anahtarlama oranı için DA yükselten çevirici çıkış gerilimi

Şekil 7 incelendiğinde çevirici çıkış geriliminin istenen değere 0.03s gibi kısa bir zamanda dayanıklı bir şekilde oturduğu görülmüştür.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada fotovoltaik panel beslemeli yükselten çeviricinin açık çevrim denetimi yapılmıştır. Açık çevrim denetim ile fotovoltaik panel beslemeli yükselten güç çevirici tasarımı doğrulanmıştır. İlerleyen çalışmalarda tasarımı gerçekleştirilen fotovoltaik panel beslemeli yükselten güç çeviricisinin farklı yöntemlerle kapalı çevrim akım ve gerilim mod denetiminin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2018/5-11 D proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Abusorrah, A., Al-Hindawi, M. M., Al-Turki, Y., Mandal, K., Giaouris, D., Banerjee, S., Voutetakis, S., Papadopoulou, S. (2013). Stability of a Boost Converter Fed from Photovoltaic Source. *Solar energy*, *98*, pp.458-471.
- Açıkgöz, H., Keçecioğlu, Ö. F. (2020). Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyici Tabanlı Yükselten Tip DA-DA Çevirici Yapısının Denetimi ve Deneysel Analizi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *7*(2), pp.1061-1074.
- Atacak, İ. (2005). Sinirsel Bulanık Mantık Denetleyicili Kesintisiz Güç Kaynağı Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara. 197s.
- Gani, A. (2020). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktasının Optimal Denetimi ve Uygulaması. Doktora Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş. 106s.
- Gani, A., Sekkeli, M. (2022). Experimental Evaluation of Type-2 Fuzzy Logic Controller Adapted to Real Environmental Conditions for Maximum Power Point Tracking of Solar Energy Systems. *International Journal of Circuit Theory and Applications*, *50*(11), pp.4131-4145.
- Hart D. W., (2011). Power Electronics, McGraw-Hill, New York, NY, USA, pp.211-220.
- Kececioglu, O. F., Acikgoz, H., Gani, A., Sekkeli, M. (2019). Experimental Investigation on Buck Converter Using Neuro-Fuzzy Controller. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, *7*(1), pp.1-6.