

İki Çıkışlı Flyback Dönüştürücü Tasarımı ve Analizi

Enes BEKTAŞ¹, Kamil Çağatay BAYINDIR², Mehmet Zahid EREL², Yunus YALMAN³, Sinan KIVRAK³

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Çankırı, Türkiye

²Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, Türkiye

³Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara, Türkiye
enesbektas@karatekin.edu.tr

(Geliş/Received: 23.03.2018; Kabul/Accepted: 03.09.2018)

Özet

Anahtarlamalı güç kaynakları (AGK) günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle düşük maliyet, yüksek verim, basit devre yapısı gibi avantajları bulunan Flyback dönüştürücüler çıkışında birbirinden farklı değerlerde ve izole gerilim sağlayabilmektedirler. Düşük sayıda komponent içermesi nedeniyle çok çıkışlı DA-DA (Doğru akım) dönüşümü gerektiren uygulamalar için Flyback dönüştürücü kullanımı oldukça uygun ve avantajlıdır. Bu çalışmada, birbirinden elektriksel olarak yalıtılmış 9 V ve 5V çıkışlı, yaklaşık 50 Watt çıkış gücünde Flyback dönüştürücü tasarımı gerçekleştirilmiştir. UC3525 gerilim kontrol entegresi kullanılarak çıkış gerilimi istenilen değerlere sabitlenmiş ve deneysel çalışma sonuçları elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Anahtarlamalı güç kaynakları, DA-DA dönüştürücüler, Flyback dönüştürücü, Flyback trafosu tasarımı

Design and Analysis of Two Outputs Flyback Converter

Abstract

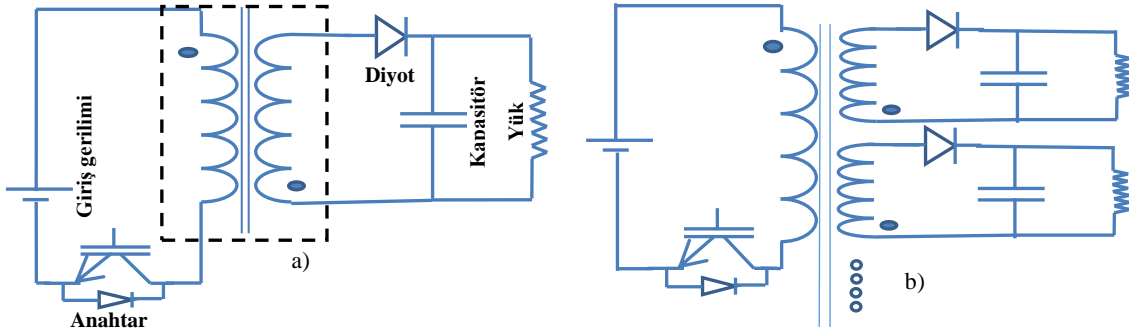
Nowadays, switch mode power supplies (SMPS) are widely used. Especially, Flyback converters having some advantages such as low design cost, high efficiency, basic circuit structure can supply isolated voltage with different values at the output. Using of Flyback converter is considerably suitable and advantageous because of needed reduced number of components for the applications demanding multi output DC to DC conversion. In this work, design of Flyback converter having isolated output voltage 5V and 9 V with 50 W output power have been performed. Output voltages have been set to desired range by using UC3525 integrated circuit and experimental results have been obtained by this way.

Keywords: Switch mode power supplies, DC-DC converters, Flyback converter, Design of Flyback transformer

1. Giriş

Günümüzde artan elektrik enerjisi talebi karşısında var olan enerjiyi verimli olarak kullanmak en önemli konu başlıklarından biri haline gelmiştir. Bundan dolayı tasarlanan cihazlar yüksek verim sağlanacak şekilde üretilmeye başlanmıştır. Güç kaynakları açısından verimlilikleri ve güç yoğunlukları bakımından doğrusal güç kaynakları yerine anahtarlamalı güç kaynakları tercih edilmektedir [1]. Anahtarlamalı güç kaynaklarının çalışma prensibi anahtarlanan endüktansın enerji aktarımı olarak açıklanabilir [2]. Anahtarlamalı güç kaynakları bakımından birçok dönüştürücü yapısı önerilse bile temelde alçaltıcı dönüştürücü, yükseltici dönüştürücü ve alçaltıcı-yükseltici dönüştürücü bulunmaktadır. Mevcut

DA-DA dönüştürücüler arasında geri dönüşlü (Flyback) birden fazla çıkış verebilmesi ile aynı zamanda düşük güç ve yüksek frekans istenen uygulamalarda, endüstride yaygın olarak kullanılan dönüştürücü haline gelmiştir. Önerilen Flyback topolojisi Şekil 1'de verilmiştir. Flyback dönüştürücüler sadece tek bir yarı iletken kullanılması sayesinde hem basit bir topolojidir hem de anahtarlama kayıpları bakımından avantaj sağlamaktadır. Aynı zamanda, çıkış tarafında bobin kullanılmaması birden fazla çıkış verebilme avantajının yanında yalnızca trafo kullanılması da Flyback devre topolojisini basitleştirmiş ve yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır [3,4]. Çıkış bobini kullanılmamasının bir diğer avantajı geçici durumlara karşı hızlı cevap verebilme özelliği sağlamasıdır [5].



Şekil 1. (a) Flyback dönüştürücü (b) Çok çıkışlı Flyback dönüştürücü

Flyback düşük güçlü uygulamalarda (150 W ve altı) tercih edilmektedir. Başlıca;

- Elektrik araçlarda bataryaların yüksek DC gerilimini kademeleri olarak ayarlanmasında [6],
- Cep telefonu şarj cihazlarında, yazıcılarda [7],
- Bilgisayar güç kaynaklarında,
- Lazerler ve fotokopi makinaları için yüksek gerilim kaynağı gibi uygulama alanlarında kullanılırlar.

Güç elektroniği uygulamalarında en önemli ve aranan özellik yapılan uygulamanın yüksek verimli ve kolay kontrol edilebilir olmasıdır. Yüksek verimlilikte Flyback dönüştürücünün boyutlarının düşürülebilmesi için anahtarlama frekansının artırılması ve böylece trafo boyutlarının küçültülmesi yoluna gidilebilir. Ancak, yüksek frekansta anahtarlama nedeniyle kaçak endüktans oluşabilmektedir. Bu da EMI problemlerine yol açabilir. Ek olarak frekansın artması anahtarlama kayıplarına neden olabilir. Yüksek frekansta düşük kapı şarj akımına ve çıkış kapasitansına sahip GaN MOSFET kullanımı daha iyi bir seçim olacaktır [7].

Literatürdeki çalışmalarda; Çıkışında iki adet izole gerilim verebilen yüksek verimliliği olan bir Flyback tasarımı yapılmıştır. Daha yüksek bir verimlilik alınabilmesi için sisteme snubber eklenmesi ve yumuşak anahtarlama ile anahtarlama gerektiği vurgulanmıştır [6]. [8]'de İleri ve geri dönüşlü (Forward-Flyback) olarak çalışabilen bir dönüştürücü tasarımı yapılmıştır. Aynı zamanda kullanılan anahtar çeşitli (SiC JFET) ile ilgili geniş bilgiler içermektedir. [9]'da, aktif kenetlemeli Flyback tasarımı ve eleman seçimlerinde optimizasyon çalışması yapılmış ve deneysel sonuçlar incelenmiştir. [10]'da batarya şarj sisteminde kul-

lanılan ve aynı zamanda Güneş enerjisi modüllerinden beslenen bir sisteme Flyback dönüştürücü dahil edilmiş ve aynı zamanda PI kontrolü ile alakalı bilgiler verilmiştir. Flyback dönüştürücü üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde; kullanılan dönüştürücü yapısının farklı alanlarda etkin bir şekilde kullanıldığı sonucuna varılabilir.

Bu çalışmada, iki çıkışlı Flyback dönüştürücü uygulaması yapılmıştır. 9V ve 5V çıkış veren toplam 50 W gücünde tasarlanan Flyback dönüştürücü UC3525 entegresi ile kontrol edilmiştir. Uygulama sonuçları detaylı bir şekilde verilmiş ve yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlar açık bir şekilde tasarlanan Flyback dönüştürücü'nün istenilene yakın bir sonuç verdiğini göstermiştir.

2. İki Çıkışlı Flyback Dönüştürücü Tasarımı ve Hesaplamalar

Bu bölümde tasarımda kullanılan çıkış gerilimlerinin istenilen değerlerde tutulmasını sağlayan DGM entegresi ve çıkış gerilimi kontrol devresi hakkında bilgiler verilmiştir. Aynı zamanda Flyback dönüştürücü için gerekli olan hesaplamalara ve eleman seçimlerinde dikkat edilmesi gereken önemli hususlara bu bölümde değinilmiştir.

2.1. DGM Kontrol Entegresi

Anahtarlama güç kaynakları kontrolü için akım mod ve gerilim mod kontrol teknikleri olmak üzere yaygın olarak kullanılan iki tür kontrol tekniği bulunmaktadır. Akım mod kontrol tekniğinde, dönüştürücü donanımında bulunan anahtar yada bobin üzerindeki akımın

Şekil 2(b)' den de görüldüğü üzere, TL431 1 numaralı pini referans pinidir ve buraya uygulanan gerilim, geri besleme geriliminin gerilim bölücü ile 2.5V'a düşürülmüş şekli olmalıdır. Böylelikle geri besleme gerilimi 5V'un üstüne çıktığı zaman optokuplör iletime geçer ve UC3525 2 numaralı noninverting bacağına toprağa çeker. Bu şekilde kontrol entegresi DGM genişliğini düşürür. Geri besleme geriliminin 5V'un altına düşmesi durumunda ise noninverting bacağı boşa kalır, böylelikle kontrol entegresi DGM genişliğini arttırarak geri besleme geriliminin 5V'a sabitlenmesini sağlar.

2.3. Hesaplamalar ve Komponent Seçimi

Bu bölümde Flyback devresi istenilen çalışma durumu için yapılan hesaplamalara yer verilmiştir. Öncelikle tasarlanan Flyback dönüştürü giriş gerilimi değeri 15-24 V arası değişmektedir. 2 adet izole çıkış gerilimi 25 W güç değerlerinin sağlamaktadır. Bu nedenle toplam çıkış gücü 50 W olarak alınmalıdır. Verim ifadesi %80 ve anahtarlama frekansı da 65 kHz olarak alınmış ve hesaplamalar bu parametrelere göre yapılmıştır.

%80 verim değeri için 65 kHz anahtarlama frekansına karşılık gelen 1 periyotta trafo birincil sarımında harcanan güç ($P_{giriş}$) ve bu güce karşılık gelen ve ikincil sarıma aktarılan enerji (E) Denklem 1 ve Denklem 2'ye göre hesaplanmaktadır:

$$P_{giriş} = \frac{P_{çıkış}}{\eta} \quad (1)$$

$$E = P_{giriş} * t \quad (2)$$

$$I_{ort_giriş} = \frac{P_{giriş}}{V_{min}} \quad (3)$$

Trafo birincil sargı maksimum değeri ise D değeri 0.5 için;

$$I_{ort_giriş} = 0.5 * D * I_{maks} \quad (4)$$

$$I_{maks} = \frac{I_{ort_giriş}}{0.25} \quad (5)$$

Denklem 4 - 5 kullanılarak hesaplanabilir. Daha sonrasında Denklem 2. kullanılarak hesaplanan ve birincil sarımda depo edilen enerji ile birincil sargı endüktans değeri hesaplanmalıdır.

$$E = \frac{1}{2} L_{birincil} * I_{maks}^2 \quad (6)$$

Sarım sayının 10 olduğu kabul edilerek, LCR metre ile ölçülen endüktans değerine göre hesaplanan relüktans değeri;

$$R = \frac{10^2}{L_{ölçülen_birincilsargı}} \quad (7)$$

gibidir. Yukarıdaki denklemler kullanılarak trafo birincil ve ikincil sargıları değerleri hesaplanmıştır. Birincil sarım 28, ikincil sarım ise 15 olarak alınmıştır. Trafo çekirdeği E42 tipi ferrit nüve kullanımı tercih edilmiştir.

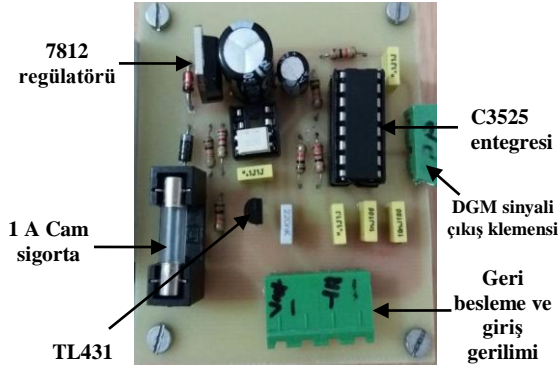
2.4. Güç Devresi

Şekil 2(a)' da tasarım için oluşturulan Flyback dönüştürücü ve Mosfet sürme devresi bağlantı şeması verilmiştir. Aynı zamanda bu bağlantı şeması Flyback tasarımının ilk katımı oluşturmaktadır ve Bölüm 3.'de verilen güç kartının bağlantı şemasıdır.

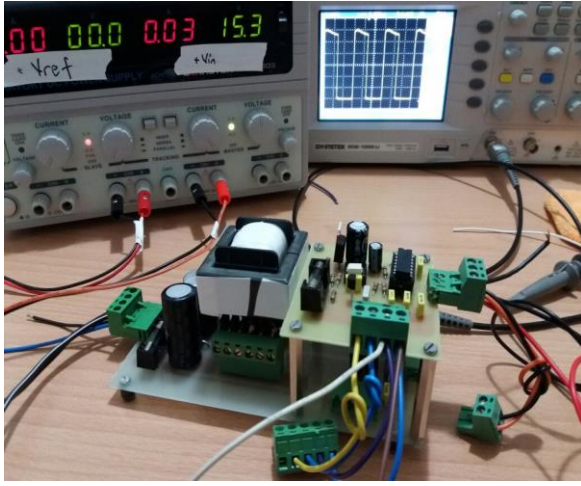
Şekil 2(b)' de 7812 gerilim regülatörü kullanılarak tasarlanmış olan aynı zamanda Bölüm 3.'de verilen kontrol kartı için 12 V'luk besleme gerilimi üreten besleme devresi verilmiştir. Buna ek olarak, 15-24 V giriş gerilimini 9 V'a dönüştürmesi tasarlanan Flyback devresinin 15-24 V arasında farklı gerilimlerde çalıştırılmasına olanak sağlamaktadır.

3. Uygulama Çalışmaları

Tasarımına Şekil 2(b)' de verilen bağlantı şemaları ile UC3525 kontrol kartı oluşturmuş ve Protues/Ares programında baskı devre çizilmiş ve üretimi yapılmıştır. Kontrol kartını oluşabilecek kısa devrelerden korumak için girişine 1 A'lik cam sigorta yerleştirilmiştir. Fazla gerilimlerden korumak için 30 V zener diyot gerilim regülatörü ile sigorta arasına yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan kontrol kartı



Şekil 4. Kontrol kartı testi

Tasarlanan kontrol kartının 4 tarafına vidalar yerleştirilmiş, güç kartının üzerine distanslar yardımıyla monte edilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle Flyback donanımının az yer kaplaması sağlanmıştır.

Kontrol kartı tasarımı yapıldıktan sonra geri besleme karşısındaki tepkisi ölçülmüştür. GW-Instek dijital çok çıkışlı ayarlanabilir izole gerilim kaynağı kullanılarak geri besleme (referans gerilim) 0-5 V arasında değiştirilerek DGM sinyali genişliğine bakılmıştır. Şekil 4'de 0 V referans değerinde UC3525 kontrol kartının %50 faz genişliğine sahip 65 kHz DGM sinyalini ürettiği ve referans sinyali arttırıldığında DGM sinyalinin genişliğinin azalarak 0 olduğu gözlemlenmiş ve kontrol kartının istenilen şekilde geri beslemeye tepki verdiği sonucuna varılmıştır.

Şekil 5'de tasarlanan güç kartı görülmektedir. Şekil 2(a)'da verilen bağlantı şemasına ek olarak aşırı yüklemde ve kısa dev-



reden trafonun korunmasına yönelik 9V'luk çıkış için 3 A, 5 V'luk çıkış için 5 A'lık cam sigortalar çıkış ile trafo arasına yerleştirilmiştir.

Aynı zamanda anahtarlama elemanı mosfetin soğutulması ve verimin yükseltilmesine yönelik olarak mosfet yüzeyi soğutucuya sabitlenmiştir. Daha öncede belirtildiği üzere tasarımının daha kullanılabilir ve kompakt olması için kart yüzeyine 4 adet distans sabitlenmiş ve kontrol kartı montajı için alan oluşturulmuştur.

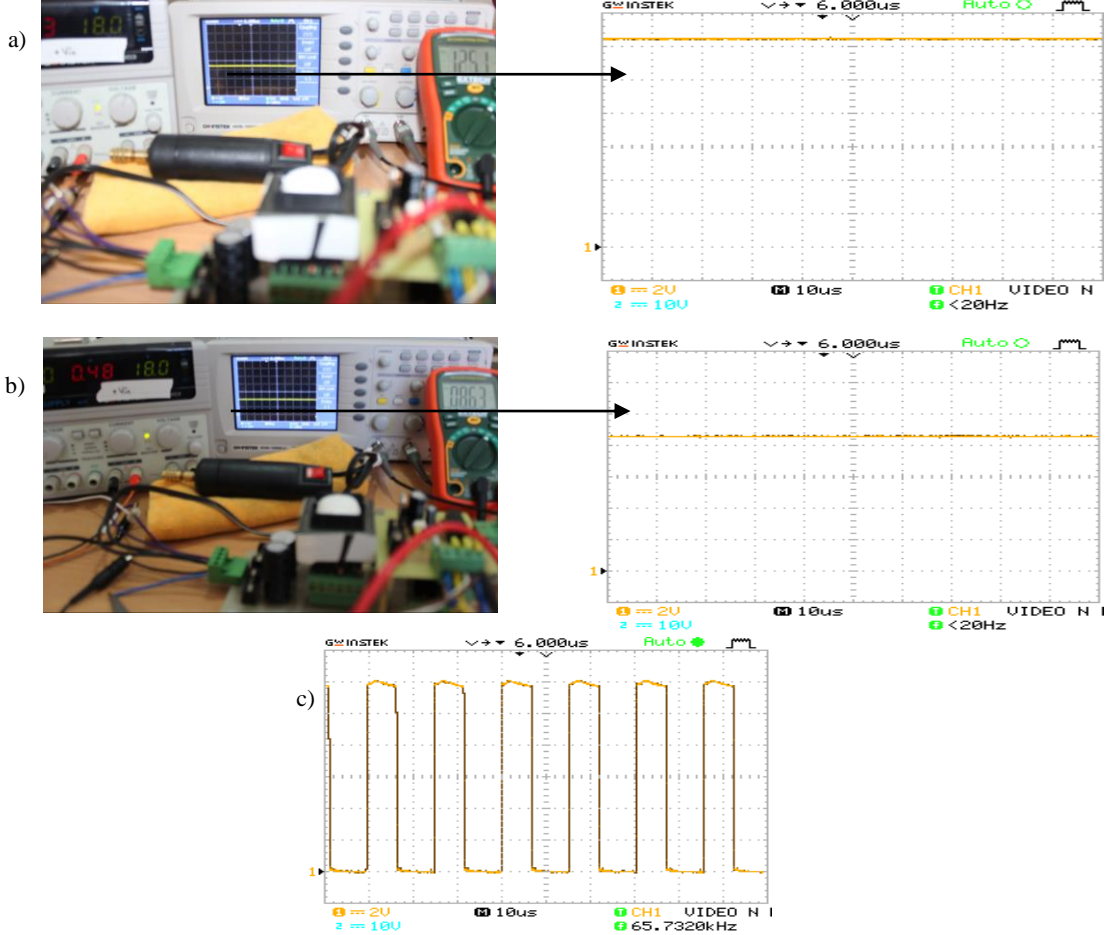
Oluşturulan güç kartına trafo direkt olarak monte edilmemiş bunun yerine trafo pinlerine göre çizim aşamasında kart üzerine 2 adet 6'lı klemens eklenmiştir. Böylelikle tasarımı yapılan trafonun karta takılıp sökülmesini kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Aynı zamanda tasarlanan Flyback güç kartının ileride farklı sarımlı trafolar ile kolay bir şekilde çalıştırılmasına olanak sağlanmıştır.

Şekil 6(a)'da Flyback devresinin çıkışında yük yok iken ürettiği gerilim değerleri görülmektedir. Boşta çalışma durumunda çıkış geriliminde beklenen bir yükselme görülmüştür. Flyback tasarımlarında trafonun yükte olduğu varsayılarak trafonun sarımının yapılmasından dolayı 9 V'luk çıkış geriliminde belirli bir değerde artma meydana gelmiştir. Osiloskop 2V/div kademesindedir ve diğer çıkış ölçü aleti ile 5V olarak ölçülmüştür.

Şekil 6(b)'de Flyback devresinin çıkışında 10 W'luk yük var iken ürettiği gerilim değerleri

görülmektedir. Osiloskop ile ölçülen değer yaklaşık 4.5 V civarındadır ve çıkış geriliminde istenilenden 0.37 V kadar bir azalma görülmüştür. Bunun nedeni yük altında trafoda

Flyback DA-DA çeviriciler kullanılan komponent sayısının az olması ve birbirinden bağımsız çoklu çıkış verebilmeleri sayesinde endüstride yaygın olarak tercih edilmektedirler.



Şekil 6. Uygulama sonuçları (a) Boşta çalışma (b) Yüklü çalışma (c) DGM işareti

meydana gelen gerilim düşümedir. Aynı zamanda giriş gerilimi değişme aralığı 15-24 V olarak alınmıştır ve sonuçların 18 V'a göre verildiği dikkate alınırsa bu durum beklenen bir durumdur. Giriş geriliminin artması çıkış gerilimini de arttıracığı için çıkış akımında da bir azalma gözlenecektir. Çıkış akımındaki azalma trafo üzerinde meydana gelen gerilim düşümünü de azaltmaktadır. Özetle, istenilen giriş gerilim aralığının dar tutulması istenilen yükte istenilen gerilimin alınabilmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, giriş gerilimi 15-24 V arasında değişen; 9 V, 3 A ve 5 V, 5 A olmak üzere birbirinden bağımsız iki farklı yükü besleyen, 65 kHz anahtarlama frekansında çalışan bir Flyback dönüştürücü tasarlanmıştır. Kontrolcü olarak UC3525 entegresi kullanılmıştır. Tasarlanan Flyback dönüştürücü yüklü ve yüksüz ortamda test edilmiş, performans sonuçları detaylı olarak açıklanmıştır. Uygulama sonuçları analiz edildiğinde tasarlanan iki çıkışlı Flyback dönüştürücünün yük altında iken yaklaşık olarak 9 V ve 5 V çıkış gerilimini sağladığı görülmüştür. Tasarlanan Flyback dönüştürücünün

boşta çalışma durumunda çıkışlarda bir gerilim yükselmesi gözlemlenmiştir, aynı şekilde yük altında iken de az bir miktarda gerilim düşmüştür.

5. Kaynakça

1. Chung, H., Hui, S. Y. R., and Wang, W. H. (1997). An Isolated Fully Soft-Switched Flyback Converter with Low Voltage Stress. Power Electronics Specialists Conference, PESC '97 Record, 28th Annual IEEE, (22-27 June 1997), 2, 1417 – 1423.
2. Aksoy, İ., Bodur, H., Bakan, A. F. (2005). Kısmi Rezonanslı ve Geri Dönüştürücü Bir DC Güç Kaynağının Geliştirilmesi, İncelenmesi ve Gerçekleştirilmesi. Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı.
3. Chen, T.H., Lin, W.L., and Liaw, C.M. (1999). Dynamic modeling and controller design of flyback converter. IEEE Transactions (October 1999), 35(4), 1230 – 1239.
4. Pressman, A.I. (1998). Switching Power Supply Design, Second Ed. McGraw-Hill, 105-140.
5. Çoruh, N., Erfidan, T., Ürgün, S., ve Öztürk, S., (2009). Flyback dönüştürücü tasarımı ve analizi, 3. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu.
6. Tosun, G, Kivanc, O. C, Oguz, E, Ustun, O, and Tuncay, R. N. (2015). Development of high efficiency multi-output flyback converter for industrial applications, Electrical and Electronics Engineering (ELECO) 9th International Conference, 1102-1108.
7. Huber, L., and Jovanovic, M. M. (2017). Analysis, design, and performance evaluation of asymmetrical half-bridge Flyback converter for universal-line-voltage-range, Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC).
8. Thi, Thuong H. M., Thanh, K. T., Hamed, Y., Nicholas, S., and Hoang, G. V. (2017). Design of Forward-flyback converter based drive with gate voltage limitation for a DC circuit breaker using normally-on SiC JFET, IEEE Second International Conference on DC Microgrids (ICDCM).
9. Linxiao, X., and Jason, Z. (2017). Highly-efficient secondary-resonant active clamp Flyback converter, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 65(2), 1235-1243
10. Yılmaz, U., Kırçay, A., and Börekçi, S. (2017). PV system Flyback converter PI control to change battery under variable temperature and irradiance, Electronics Conference in Lithuania (19-21 June 2017).
11. Sanjaya, M. (2012). Voltage-mode, current-mode and (hysteretic control), Technical note TN-203 Microsemi.