

FLYBACK DÖNÜŞTÜRÜCÜ TASARIMI VE ANALİZİ

¹Nasır Çoruh, ²Tarık Erfidan, ³Satılmış Ürgün, ⁴Semra Öztürk

^{1,2,4}Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü

³Kocaeli Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu

ncoruh@kocaeli.edu.tr, tarik@kocaeli.edu.tr, urgun@kocaeli.edu.tr, semra@kocaeli.edu.tr

ÖZET

Kurulumunun basitliği, maliyetinin düşük olması, girişten ve birbirinden elektriksel olarak yalıtılmış birden fazla çıkış verebilmesi, yüksek çıkış gerilimleri elde edebilmesi ve yüksek verimleri nedeniyle Flyback dönüştürücüler anahtarlamalı güç kaynakları içinde oldukça yaygın olarak kullanılır. Özellikle düşük güçlü (150W) uygulamalar için tercih edilir. Bu çalışmada, Flyback dönüştürücü analiz edilip matematiksel eşitlikleri elde edilmiş, verilen parametrelere göre tasarımı yapılmış, elde edilen sonuçların P-Spice tabanlı bir yazılım ile benzeşimi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Anahtarlamalı güç kaynakları, da-da dönüştürücüler, Flyback dönüştürücüler

GİRİŞ

Verimlilik ve güç yoğunluğu açısından bakıldığında anahtarlamalı güç kaynakları doğrusal güç kaynaklarına göre daha popülerdir[1]. Çoğu ileri düzey haberleşme ve bilgisayar sistemlerinde yüksek güç yoğunluklu, yüksek verimli ve sabit çalışma frekansı olan anahtarlamalı güç kaynakları tercih edilmektedir[2].

Anahtarlamalı güç kaynakları için birçok dönüştürücü yapısı literatürde mevcuttur. Var olan yalıtımlı da-da dönüştürücüler arasında en basiti flyback dönüştürücüdür. Çıkış filtresinde bobin olmaması, manyetik eleman olarak sadece transformatör (kuplajlı bobin) kullanılması, sadece bir tane yarıiletken anahtar kullanılması dönüştürücüyü basitleştirmektedir. Bunun yanı sıra 5000V 'a kadar çıkış gerilimi elde edilebilmesi ve birden fazla çıkış verebilmesi bu dönüştürücünün üstünlükleridir[6-7]. Bu sebeplerden dolayı anahtarlamalı güç kaynakları içinde flyback dönüştürücüler en çok kullanılan da-da dönüştürücüler haline gelmiştir[3]. Flyback dönüştürücülerin başlıca özellikleri;

- Düşük güçler için yüksek frekanslı transformatör (kuplajlı bobin) tasarımı basittir.
- Bileşen sayısı az olduğundan kurulum maliyeti düşüktür. Manyetik eleman olarak sadece

transformatör kullanılır, çıkış filtresinde bobin yoktur.

- Diğer yapılarda filtre endüktansı üzerinde oluşan tıka ma geriliminin olmaması çıkış diyotu maliyetini azaltır.
- Çıkış devresinde sekonder bobini dışında fazladan bobin yoktur. Çok çıkışlı kaynak olarak kullanımını kolaylaştırır.
- Çıkış bobini olmadığından geçici durumlara hızlı cevap verir.

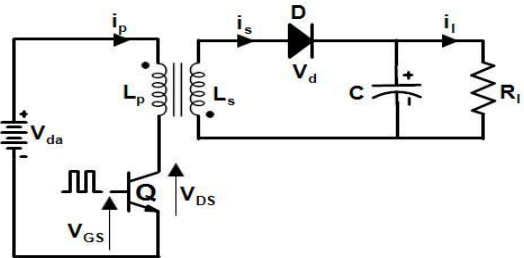
Manyetik çekirdeğin kısıtlamalarından dolayı düşük güçlü uygulamalar (5W-150W) için tercih edilir. Başlıca uygulama alanları şunlardır;

- Düşük güçlü anahtarlamalı güç kaynağı uygulamaları: Cep telefonu şarj cihazları, Bilgisayar güç kaynakları (250W tan küçük),
- TV ve monitörlerdeki CRT'ler için yüksek gerilim kaynağı,
- Xenon flash lambaları, lazerler ve fotokopi makineleri için yüksek gerilim üretimi,
- Yalıtımlı sürücü devreler.

Bu çalışmada flyback dönüştürücü yapısının matematiksel ifadeleri elde edilip tasarımı yapılmıştır. Analiz sonuçları verilen değerlere göre yapılan benzeşim ile karşılaştırılmıştır.

FLYBACK DÖNÜŞTÜRÜCÜ

Şekil 1'de yalıtımlı dönüştürücü tiplerinden olan flyback dönüştürücünün devre şekli verilmiştir.



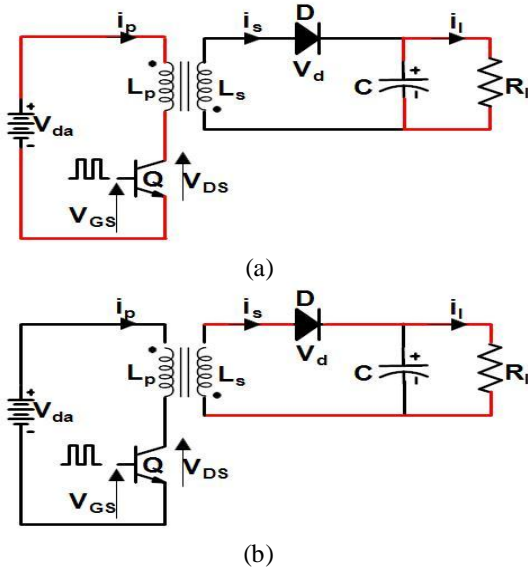
Şekil 1. Basitleştirilmiş flyback dönüştürücü şeması

Flyback dönüştürücülerde sargıların polariteleri birinden akım geçerken diğerinden/ diğerlerinden akım geçmeyecek şekildedir. Bu yüzden bir transformatör hareketi gerçekleşmemektedir. Buna

göre, Q anahtarı iletime girdiğinde V_{da} gerilimi primer sargısına uygulanır. 'Sekonder sargısının primer sargısına göre ters kutuplanmasından dolayı D diyotu da ters kutuplanır ve bu nedenle sekonderden akım akmaz. Yük akımı C kondansatörü ile sağlanır(Şekil 2(a)). L_p uçlarında sabit bir gerilim olduğundan primer akımının artışı doğrusal olacaktır[7]. Q anahtarı kesime girdiğinde hava aralığında ve manyetik çekirdekte depolanan enerji, L_s bobini üzerinden yüke iletilir[5](Şekil 2(b)). L_s uçlarında sabit bir gerilim olduğundan akım doğrusal olarak azalır.

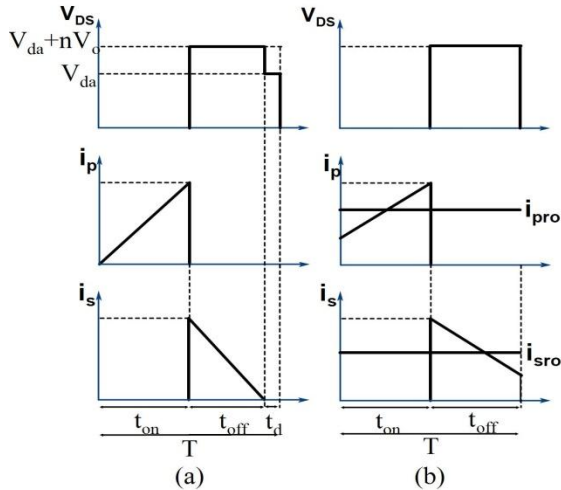
Hava aralığında depolanan enerji primer endüktansı ve primer akımından Eşitlik (1) 'e göre elde edilir;

$$E = \frac{L_p \cdot (I_p)^2}{2} \quad (1)$$



Şekil 2. (a) Anahtar iletim durumu, (b) Anahtar kesim durumu

Diğer dönüştürücülerde olduğu gibi flyback dönüştürücüler içinde sürekli, süreksiz ve sınırlı çalışma durumları söz konusudur[4].



Şekil 3. (a) Süreksiz çalışma durumu karakteristikleri, (b) Sürekli çalışma durumu karakteristikleri

Şekil 3' ten görüldüğü üzere, süreksiz durumda anahtar bir sonraki iletim durumuna geçmeden, sekonder akımı sıfıra düşmekte ve belli bir süre sıfırda kalmaktadır. t_{on} ve t_{off} sürelerinin toplamı yaklaşık periyodun %80'i kadardır. Geri kalan %20 'lik süre ölü zaman (t_d) olarak adlandırılır[7]. Sürekli durumda ise t_d yoktur. Sekonder akımı bir sonraki iletim durumuna kadar sıfıra düşmemektedir. Her iki çalışma durumunun çeşitli avantaj ve dezavantajları vardır.

- Süreksiz çalışma durumunda transformatörün $d\phi/dt$ 'si ve kaçak endüktansı yüksektir. Primer akımındaki yüksek ani artış daha pahalı transistor kullanılmasına ve yüksek EMI (Electro magnetic Interference - Elektro manyetik girişim) problemlerine neden olur
- Süreksiz çalışma durumunda sekonder akımının ortalama değerinin değişmemesine rağmen tepe değeri sürekli çalışma durumuna göre 2 ya da 3 kat daha fazladır. Kesim süresindeki bu akım, yük üzerinde yüksek geçici ani gerilim artışları oluşturur (büyük LC çıkış filtresi kullanılmasını gerektirir). Büyük EMI problemlerine neden olur. di/dt 'nin büyümesine neden olduğundan kesime girme anında çıkış-toprak arasında birçok ani gürültü artışı oluşturur. Yüksek değerlerdeki dalgalanma akımı çıkış kapasitörünün ESR(Equivalent Series Resistance – Eşdeğer Seri Direnç) ihtiyacını artırır (Anlık cevap yavaşlar).
- Süreksiz çalışma durumunda sekonder akımının efektif değeri sürekli çalışma durumuna göre 2 kat fazladır. Bu akım, sekonder sargı sayısının artmasına, daha büyük çıkış kapasitesi kullanılmasına neden olur.

Süreksiz çalışma durumunun bu olumsuzluklarına rağmen, yük akımı ve giriş gerilimi değişimlerine çok hızlı cevap vermesi sebebiyle daha çok tercih edilir.

MATEMATİKSEL İFADELER

Kararlı durumda bobin/transformatör üzerindeki ortalama gerilim düşümü sıfır olacağından;

$$(V_{da} - V_{DS}) \cdot t_{on} = (V_o + V_d) \cdot t_{off} \cdot n \quad (2)$$

Burada;

- V_{da} : Giriş gerilimi,
- V_o : Çıkış gerilimi,
- t_{on} : Yarı iletkenin iletim süresi,

t_{off} : Yarı iletkenin tıkama süresi,
 V_d : Diyodun iletim gerilim düşümü,
 V_{DS} : Yarı iletkenin iletim gerilim düşümü,
 n : Transformatörün dönüştürme oranıdır.

Anahtarlama periyodu T olmak üzere sürekli çalışma durumu için

$$T = t_{on} + t_{off} \quad (3)$$

geçerlidir. Bu eşitlik, süreksiz çalışma durumunda ölü zaman (t_d) olduğu için Eşitlik (4) şeklini alır. Ölü zaman tüm periyodun yaklaşık %20 'sidir (Eşitlik (5))

$$T = t_{on} + t_{off} + t_d \quad (4)$$

$$0,8 \cdot T = t_{on} + t_{off} \quad (5)$$

Eşitlik (2)'de t_{off} yerine $t_{off} = T - t_{on}$ konulduğunda t_{on} ;

$$t_{on} = \frac{T \cdot n \cdot (V_o + V_d)}{(V_{da} - V_{DS}) + n \cdot (V_o + V_d)} \quad (6)$$

olacaktır. Eşitlik (6)'da giriş gerilimi dışındaki büyüklükler sabit olduğundan anahtarlama süresinin en büyük değeri en küçük giriş gerilimi ile elde edilir,

$$t_{on_maks} = \frac{T \cdot n \cdot (V_o + V_d)}{(V_{da_min} - V_{DS}) + n \cdot (V_o + V_d)} \quad (7)$$

Devrenin analizi anahtarın iletim ve kesim durumları için yapılmalıdır.

Anahtarın iletimde olma durumu

Bu durumda primer bobini üzerinde sabit bir gerilim olduğundan primer akımı lineer olarak artacaktır. Akım en büyük değerine, en büyük iletim süresi t_{on_maks} sonunda ulaşır. En büyük iletim süresinin en küçük giriş geriliminde mümkün olacağı unutulmamalıdır. Buna göre en büyük primer akımı i_{p_maks} ,

$$i_{p_maks} = \frac{(V_{da_min} - V_{DS}) \cdot t_{on_maks}}{L_p} \quad (8)$$

olacaktır. Burada L_p , primer endüktansdır. Bu akım değeri için sekonder sargısına aktarılacak üzere primer sargısında depolanan (manyetik çekirdek ve hava aralığında) güç;

$$P_i = \frac{1}{2} L_p i_{p_maks}^2 \quad (9)$$

iletim anında yarı iletken üzerine düşen gerilim yaklaşık 1V 'tur. Bu gerilim düşümü ihmal edilip Eşitlik (8), Eşitlik (9)'de yerine konulduğunda giriş gücü;

$$P_i = \frac{[V_{da_min} \cdot t_{on_maks}]^2}{2 \cdot T \cdot L_p} \quad (10)$$

olarak elde edilir.

Anahtarın kesimde olma durumu

Anahtar kesime girdiğinde, primerde depolanan enerji sekonder sargısına aktarılır ve sekonder akımı i_s , yük üzerinden lineer olarak azalır.

%80 verim için giriş gücü;

$$P_i = 1,25 \cdot P_o \quad (11)$$

olacaktır. Eşitlik (10)'da elde edilen P_i Eşitlik (10)'da yerine yazıldığında primer endüktansı;

$$L_p = \frac{[V_{da_min} \cdot t_{on_maks}]^2}{2,5 \cdot T \cdot P_o} \quad (12)$$

olarak elde edilir. Sekonder akımının en büyük değeri;

$$i_{s_maks} = i_{p_maks} \cdot n \quad (13)$$

Flyback dönüştürücünün sürekli, süreksiz ya da sınırlı çalışma durumlarından hangisinde çalışacağını, transformatörün mıknatıslanma endüktansı ve yük akımı belirler. Süreksiz çalışma durumundaki dönüştürücü, yük akımının artışı ile sürekli çalışma bölgesine geçer.

Şekil 3 (b) 'de görüldüğü gibi sürekli çalışma durumunda, anahtar iletimdeyken primer sargısında depolanan enerjinin tümü sekondere aktarılmaz. Bu yüzden yukarıda verilen akım ve endüktans eşitliklerinin yeniden ifade edilmesi gerektiği açıktır.

Şekil 3 'de görüldüğü üzere akımın azalması ve artışı rampa şeklindedir. Buna göre Şekil 3(b)'de primer akımının rampa orta noktası i_{pro} ve sekonder akımının rampa orta noktası i_{sro} olmak üzere çıkış gücü ifadesi;

$$P_o = V_o \cdot i_{sro} \left(\frac{1 - t_{on_maks}}{T} \right) \quad (14)$$

olacaktır. Eşitlik (13)'ten;

$$i_{sro} = \frac{P_o}{V_o \left(\frac{1-t_{on_maks}}{T} \right)} \quad (15)$$

elde edilir. %80 verim için primer akımının rampa orta noktası için;

$$i_{pro} = \frac{1,25 \cdot P_o}{V_{da_min} \left(\frac{t_{on_maks}}{T} \right)} \quad (16)$$

$$i_{pro} = \frac{di_p}{2} \quad (17)$$

Eşitlik (15)' de sürekli çalışma durumunu garanti edecek en küçük primer akımının, en küçük çıkış gücünde olacağı açıktır. Rampa akımın orta noktası aynı zamanda akım değişiminin yarısıdır (Eşitlik (16)).

Primer bobininin uç denkleminde[8],

$$L_p = \frac{V_{da_min}^{-1} \cdot t_{on_maks}}{di_p} \quad (18)$$

elde edilir. Eşitlik (15), Eşitlik (17)'de yerine yazılıp düzenlenirse,

$$L_p = \frac{V_{da_min}^{-1} \cdot V_{da_min} \cdot t_{on_maks}^2}{2,5 \cdot P_o \cdot T} \quad (19)$$

TASARIM VE ANALİZ

Tasarlanacak Flyback dönüştürücüye ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Giriş Gerilimi (V_{da_maks} , V_{da_min})	: 60V, 38V
Çıkış Gerilimi (V_o)	: 5V
Yük akımı (i_{o_maks} , i_{o_min})	: 10A, 2A
Anahtarlama Frekansı (f)	: 50kHz

Flyback Transformatörün dönüştürme oranı;

$$V_{da_ort} = \frac{V_{da_min} + V_{da_maks}}{2} = \frac{38+60}{2} = 49$$

$$n = \frac{V_{da_ort} - 1}{5+1} = 8$$

Diğer büyüklükler çalışma durumuna göre bulunur.

Sürekli çalışma durumu için:

- En büyük iletim zamanı Eşitlik (6)'dan elde edilir. Sürekli çalışma durumunda ölü zaman olduğu için $T=0,8 \cdot T_d$ dir.

$$t_{on_maks} = 9,03ms$$

- Primer endüktansı Eşitlik (12)'den;

$$L_p = 47,15\mu H$$

- Primer tepe akımı Eşitlik (8)'den;

$$i_{p_maks} = 7,09A$$

- Sekonder akımının tepe değeri;

$$i_{s_maks} = 7,09 \cdot 8 = 56,72A$$

Sürekli çalışma durumu için :

- En büyük iletim zamanı Eşitlik (6)'dan;

$$t_{on_maks} = 11,29ms$$

- Primer endüktansı Eşitlik (19)'dan;

$$L_p = 368\mu H$$

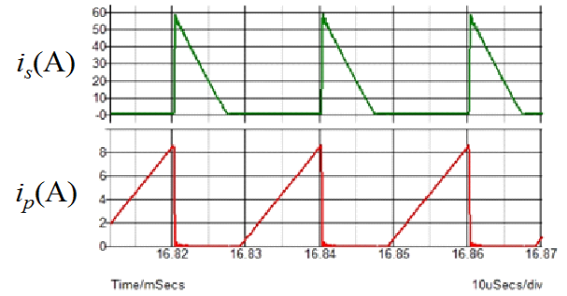
- Primer tepe akımı Eşitlik (16)'dan

$$i_{pro_maks} = 2,9A$$

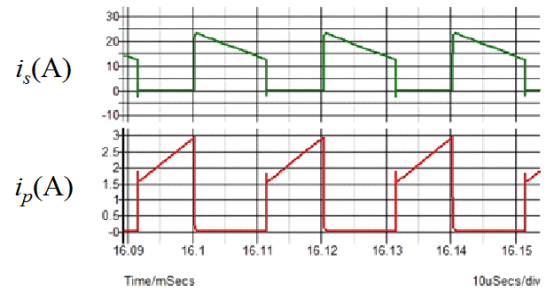
- Sekonder tepe akımı Eşitlik (15)'ten;

$$i_{s_maks} = 28,703A$$

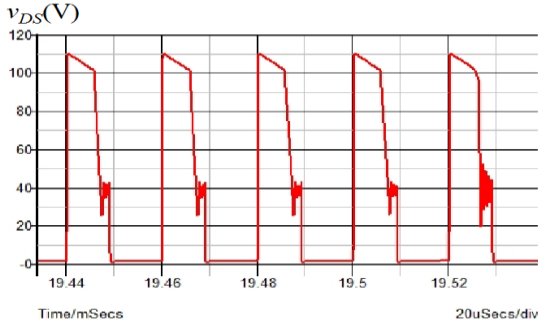
Hesaplanan bu değerlere göre P-Spice ile yapılan benzeşim sonuçları aşağıda sunulmaktadır.



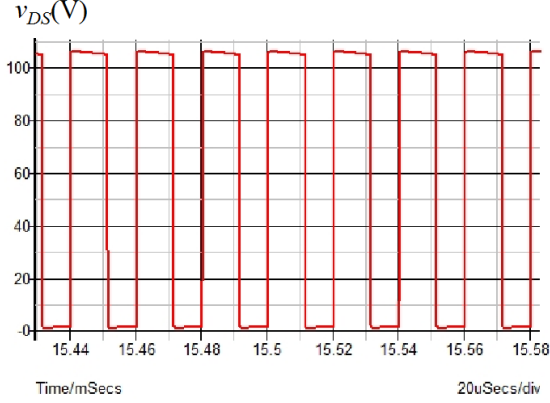
Şekil 4. Süreksiz çalışma durumu için primer ve sekonder akımlarının zamana göre değişimi



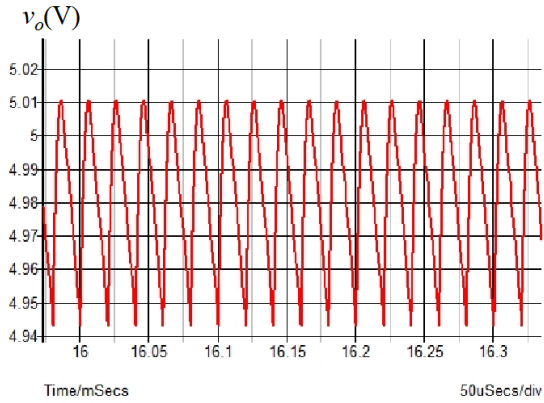
Şekil 5. Sürekli çalışma durumu için primer ve sekonder akımlarının zamana göre değişimleri



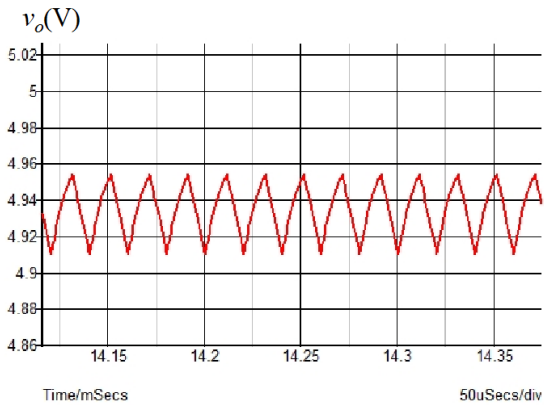
Şekil 6. Süreksiz çalışma durumu için anahtar üzerindeki gerilimin zamana göre değişimi



Şekil 7. Sürekli çalışma durumu için anahtar üzerindeki gerilimin zamana göre değişimi



Şekil 8. Süreksiz çalışma durumu için çıkış geriliminin zamana göre değişimi



Şekil 9 Sürekli çalışma durumu için çıkış geriliminin zamana göre değişimi

SONUÇ

Bu çalışmada küçük güçlü anahtarlama güç kaynaklarında çok yaygın olarak kullanılan Flyback Dönüştürücülerin analizi ve verilen değerlere göre tasarımı yapılmış, bulunan sonuçlar P-Spice programı ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara bakıldığında, süreksiz çalışma durumunda primer ve sekonder akımlarının, sürekli duruma göre yüksek olması dezavantajı fakat primer endüktansının düşük olması ise avantajdır. Fakat süreksiz durumda tüm periyodun %20 'si civarında ölü bir bölgenin olması, geçici durumlara çok hızlı adapte olmasını sağlar ve uygulamalarda tercih edilme sebebidir. Tasarlanan Flyback dönüştürücüye ait sonuçlarla, P-Spice programı ile elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olması bu çalışmanın başarısını göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Chung H., Hui S.Y.R., Wang W.H., "An Isolated Fully Soft-Switched Flyback Converter with Low Voltage Stress", Power Electronics Specialists Conference, 1997. PESC '97 Record., 28th Annual IEEE Volume 2, 22-27 June 1997 Page(s):1417 – 1423.
- [2] Henry S.H. Chung, Wai-leung Cheung, Kam-shing Tang "A ZCS Bidirectional Flyback Converter", Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. IEEE 35th Annual Volume 2, 20-25 June 2004 Page(s):1506 – 1512
- [3] Prieto, R., Cobos, J.A., Garcia, O., Asensi, R., Uceda, J., "Optimizing the winding strategy of the transformer in a flyback converter" Power Electronics Specialists Conference, 1996. PESC '96 Record., 27th Annual IEEE Volume 2, 23-27 June 1996 Page(s):1456 – 1462.
- [4] Salem, T.E.; Tipton, C.W.; Porschet, D., "Fabrication and Practical Considerations of a Flyback Transformer for Use in High Pulsed-Power Applications", SSST '06. Proceeding of the Thirty-Eighth Southeastern Symposium on 5-7 March 2006 Page(s):406 - 409
- [5] Xiangjun Zhang, Hankui Liu, Dianguo Xu, "Analysis and design of the flyback transformer", IECON '03. The 29th Annual Conference of the IEEE Volume 1, 2-6 Nov. 2003 Page(s):715 – 719.

- [6] Chen, T.H., Lin, W.L., Liaw, C.M., "Dynamic modeling and controller design of flyback converter", IEEE Transactions on Volume 35, Issue 4, Oct. 1999 Page(s):1230 – 1239
- [7] Pressman A.I., "Switching Power Supply Design", Second Ed. McGraw-Hill, 1998, pp. 105-140.
- [8] Billings K. "Switchmode Power Supply Handbook", McGraw-Hill, 1989.