

# İleri Yönlü Dönüştürücülerin İncelenmesi

## Review of Forward Converters

Murat AKKUŞ<sup>1</sup>, Hacı BODUR<sup>2</sup>, Erdem AKBOY<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Elektrik Mühendisliği

Yıldız Teknik Üniversitesi

makkus@yildiz.edu.tr, bodur@yildiz.edu.tr, eakboy@yildiz.edu.tr

### Özet

Günümüzde enerjiye olan talebin artması ve enerjinin verimli kullanılması konusu önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda, yarı iletken güç dönüştürücülerinin yüksek verim ve güç yoğunluğu ile düşük hacim ve maliyet açılarından değerlendirilmesi ve geliştirilmesi konularında yoğun olarak çalışılmaktadır. Bu çalışmalarda, Sert Anahtarlama (HS) yerine Yumuşak Anahtarlama (SS) tekniklerinin kullanılması önemli katkılar sağlamaktadır. Yüksek verim, güç yoğunluğu ve benzeri amaçlarla, lineer güç kaynakları yerine anahtarlama güç kaynakları (SMPS) tercih edilmektedir. Ayrıca bu alanda, düşük ve orta güçlü uygulamalarda, ileri yönlü (Forward) dönüştürücülere olan ilgi de artmaktadır. Bu çalışmada, temel ve gelişmiş ileri yönlü devre topolojileri incelenmiş, bunlar arasında farklı açılardan karşılaştırmalar ve yorumlar yapılmıştır.

### Abstract

Today, the increasing demand for energy and the efficient use of energy are gaining importance. In this direction, intensive work is being done on the evaluation and development of semiconductor power converters in terms of high efficiency and power density, low volume and cost. In these studies, the use of Soft Switching (SS) techniques instead of Hard Switching (HS) provides important contributions. Switched power supplies (SMPS) are preferred instead of linear power supplies for high efficiency, power density and similar purposes. In addition, there is an increasing interest in forward converters in low and medium power applications in this area. In this paper, basic and advanced forward circuit topologies are examined, and comparisons and interpretations are made between them from different perspectives.

### 1. Giriş

Teknolojinin gelişmesi ile elektrik enerjisine olan talep artmaktadır. Artan bu talep karşısında var olan enerjiyi en verimli şekilde kullanmak son zamanlardaki en önemli konu başlıklarından biri olmuştur. Bu sebepten dolayı tasarımı yapılan cihazların yüksek verimde çalışacak şekilde üretilmesine özen gösterilmektedir. Güç kaynakları dikkate alındığında verimleri ve güç yoğunlukları açısından lineer güç kaynakları yerine anahtarlama güç kaynakları (SMPS) tercih edilmektedir. SMPS çalışma prensibi endüktansın enerji aktarımına dayandırılır. SMPS genel olarak iki temel kısımda incelenir. İlki izolesiz olan gruptur. Bu grupta düşürücü, yükseltici, düşürücü-yükseltici dönüştürücüler yer almaktadır. İkinci grup ise izoleli olan

gruptur. Bu grupta ise ileri yönlü dönüştürücü (Forward) ve geri dönüşlü dönüştürücü yer almaktadır. Mevcut izoleli DC-DC dönüştürücüler içerisinde düşük ve orta güç seviyesinde ileri yönlü dönüştürücüler tercih edilmektedir. Ayrıca bu devreler endüstride yüksek frekans istenen uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. İleri yönlü dönüştürücüler basit devre yapısı, düşük maliyet ve yüksek verim gibi avantajlara sahiptir. İleri yönlü dönüştürücüler 250 W'a kadar güç seviyesine sahip olan düşük gerilimli ve yüksek akımlı uygulamalar için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Temel ileri yönlü dönüştürücülerde mıknatıslama akımını resetlemek için üçüncü bir sargıya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sargı transformator yapısını diğer tek anahtarlı dönüştürücülerden daha karmaşık hale getirmektedir. Temel ileri yönlü dönüştürücülerde kullanılan endüktans, kondansatör gibi elamanların boyutlarını küçültmek için anahtarlama frekansı artırıldığında anahtarlama kayıpları artar. Genel verimde düşmeler gerçekleşir ve elemanları soğutmak için gereksinimler artar. Bunun neticesinde yüksek güç yoğunluğu elde etmek zorlaşır. Bu dönüştürücülerde, sert anahtarlama (HS) yerine yumuşak anahtarlama (SS) sağlamak önemli katkılar sağlamaktadır. Tüm bu sorunları çözmek üzere çeşitli yöntemler geliştirilmiştir [2-4].

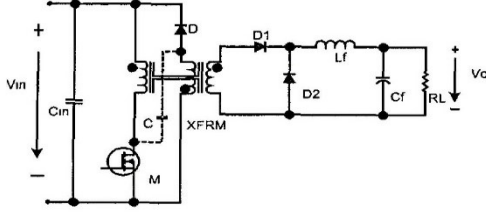
### 2. İleri Yönlü Dönüştürücü Türleri

Bu bölümde, literatürde önemli bir yer tutan ileri yönlü dönüştürücülerin temel ve gelişmiş genel topolojileri incelenecektir.

#### 2.1. Temel İleri Yönlü Dönüştürücü

Temel ileri yönlü dönüştürücü devre yapısı Şekil 1'de verilmiştir. Burada M ana anahtar, T trafo, D<sub>1</sub> ve D<sub>2</sub> çıkış diyotları, L<sub>f</sub> çıkış endüktansı, C<sub>f</sub> çıkış kondansatörü, V<sub>in</sub> giriş gerilimi ve V<sub>o</sub> çıkış gerilimidir. Sürekli akım modu (CCM) ile çalışan bir ileri yönlü dönüştürücüde anahtar ve diyodun iletime olmasına göre iki farklı aralık oluşmaktadır. Birinci aralıkta, M anahtarına sinyal verilerek iletime girmesi sağlanır. Transformatorün primer sargılarına V<sub>in</sub> uygulanır. Eş zamanlı olarak sekonder sargı uçlarında dönüşüm oranına göre bir gerilim oluşur. Sekonderde D<sub>1</sub> diyodu iletime girer enerji çıkışa ve L<sub>f</sub> endüktansına aktarılır. Böylece L<sub>f</sub> endüktansının akımı lineer olarak artar. Bu akım dönüşüm oranına bağlı olarak primerden geçer. Aynı zamanda mıknatıslama endüktansından geçen akım V<sub>in</sub> gerilimine bağlı olarak lineer olarak artar. M anahtarına verilen sinyal kesildiğinde M anahtarı kesime, D<sub>2</sub>

diyodu iletme girer. Sekonderde  $L_f$  endüktansı enerjisini çıkışa aktarır. Primerde mıknatıslama endüktansı üzerinde biriken enerji trafonun üçüncü sargısı üzerinden girişe aktarılır. Bu sebeple ileri yönlü dönüştürücülerde doluluk oranı 0,5 ile sınırlı kalmaktadır. Aynı zamanda transformatöre ek sargı konulması transformatörün karmaşıklığını ve maliyetini artırmaktadır [5].

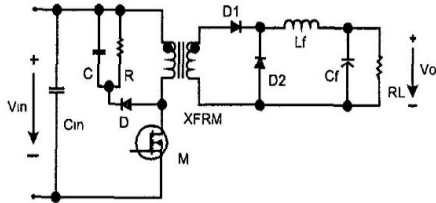


Şekil 1: Temel ileri yönlü dönüştürücü [5].

## 2.2. RCD Bastırma Hücreli İleri Yönlü Dönüştürücü

RCD bastırma hücreli ileri yönlü dönüştürücü devresi Şekil 2' de görülmektedir. Bu dönüştürücüde mıknatıslama akımının resetlenmesi, maliyetin azaltılması ve sistemi daha basit hale getirmek amacıyla RCD bastırma hücresi kullanılmıştır. Güç aktarımı, prensip olarak temel ileri yönlü dönüştürücüyle aynıdır. M anahtarı, sinyal verilmesi ile iletme girer. Primer sargıya  $V_{in}$  gerilimi uygulanır. Mıknatıslama akımı lineer olarak artar. Sekonder tarafta benzer şekilde  $L_f$  akımı lineer olarak artar ve çıkış beslenir.

M anahtarına verilen sinyal kesilip anahtar kesime girdiğinde anahtar üzerindeki gerilim, RCD yapısı sayesinde  $V_{in}$  gerilimi ve doluluk oranına ( $D$ ) bağlı olarak belirli bir düzeyde sınırlanır. Bu topolojinin en büyük dezavantajı mıknatıslama enerjisinin  $R$  direnci üzerinde harcanmasıdır. Bu nedenle genellikle düşük güçlü uygulamalarda tercih edilir [5].



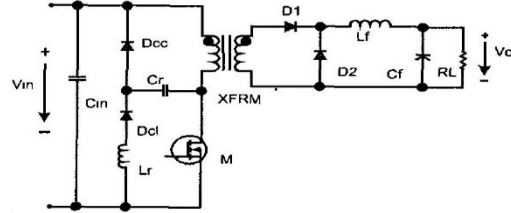
Şekil 2: RCD bastırma hücreli ileri yönlü dönüştürücü [5].

## 2.3. LCDD Bastırma Hücreli İleri Yönlü Dönüştürücü

LCDD bastırma hücreli ileri yönlü dönüştürücü devresi Şekil 3' te gösterilmiştir. Bu dönüştürücüde mıknatıslama enerjisinin bastırma hücresinde harcanmadan kaynağa aktarılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla önerilen topolojide bir endüktans bir kondansatör ve bir diyot kullanılmaktadır.

M anahtarına sinyal verildiğinde anahtar iletme girer. Primer sargılara  $V_{in}$  gerilimi uygulanır ve mıknatıslama akımı lineer olarak artar. Sekonder tarafta benzer şekilde trafonun dönüşüm oranına bağlı bir gerilim oluşur. Böylece  $L_f$  endüktansının akımı lineer olarak artar ve yük beslenir. M anahtarı kesime girdiğinde, M ve  $D_{c1}$  üzerinden L ve C arasında bir rezonans oluşur. Bu rezonans ile kondansatör gerilimi yön değiştirir, anahtar SS ile kesime girer ve enerji  $D_{c2}$  üzerinden kaynağa

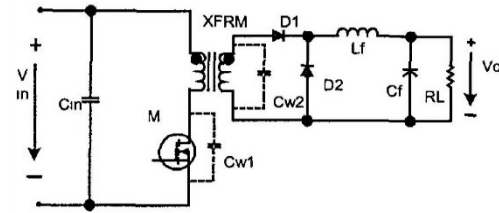
aktarılır.  $D_{c2}$  diyodu ve  $C_r$  kondansatörü M anahtarı üzerindeki gerilimi  $2V_{inmax}$ 'a kadar sınırlar. Rezonansta meydana gelen kayıp devre verimini etkileyeceğinden tasarımda bu hususa dikkat edilmelidir. Önerilen dönüştürücüde  $L_r$  endüktansının değeri giriş gerilimine bağlı olarak değişmektedir. Bu sebeple önerilen yapı geniş gerilim aralıklarında kullanılamamaktadır [5].



Şekil 3: LCDD bastırma hücreli ileri yönlü dönüştürücü [5].

## 2.4. Rezonans Resetlemeli İleri Yönlü Dönüştürücü

Şekil 4'te devre şeması verilen topolojide M anahtarına ait parazitik kondansatör ( $C_{w1}$ ) mıknatıslama enerjisinin resetlenmesi için kullanılır. Güç aktarımı, prensip olarak temel ileri yönlü dönüştürücüyle aynıdır. M anahtarı kesime gittiğinde mıknatıslama endüktansı ile  $C_{w1}$  kondansatörü arasında rezonans meydana gelir. Bu rezonans ile mıknatıslama akımı resetlenir. Uygun rezonans frekansını sağlamak için harici bir kondansatör kullanmak gerekebilir. Ayrıca giriş gerilim aralığı ve yüklenme durumu bastırma devresinin optimum çalışmasını güçleştirir [5].

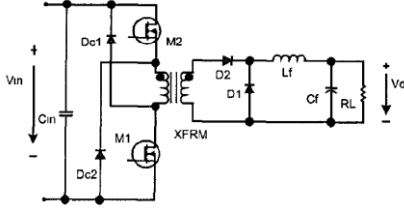


Şekil 4: Rezonans resetlemeli ileri yönlü dönüştürücü [5].

## 2.5. İki Anahtarlı İleri Yönlü Dönüştürücü

Şekil 5'te iki anahtarlı ileri yönlü dönüştürücü devresi verilmiştir. Bu topolojide iki adet anahtar kullanılmıştır. Burada  $M_1$  ve  $M_2$  anahtarlarına aynı kontrol sinyali verilerek primer sargıya  $V_{in}$  gerilimi uygulanır. Mıknatıslama akımı lineer olarak artar. Sekonder tarafta benzer şekilde trafonun dönüşüm oranına bağlı bir gerilim oluşur.

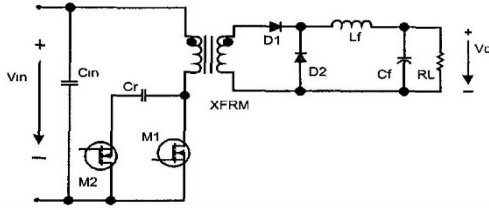
Böylece  $L_f$  endüktansının akımı lineer olarak artar ve yük beslenir.  $M_1$  ve  $M_2$  anahtarlarına ait kontrol sinyali kesildiğinde mıknatıslama enerjisi  $D_{c1}$  ve  $D_{c2}$  diyotlarından geçerek kaynağa aktarılır. Mıknatıslama akımının resetlenebilmesi için doluluk oranı en fazla %50 olabilmektedir. Bu topolojinin dezavantajı, ilave bir anahtar elemanı ve sürücü devresine ihtiyaç duyulmasıdır.



Şekil 5: İki anahtarlı ileri yönlü dönüştürücü [5].

## 2.6. Aktif Bastırmalı İleri Yönlü Dönüştürücü

Şekil 6'da verilen devrede mıknatıslama akımının resetlenmesi için ilave bir kondansatör ile anahtarlama elemanı kullanılmıştır.  $M_1$  anahtarı kesime girdiğinde  $M_2$  anahtarına sinyal verilir.  $M_1$  anahtarının kesim anında mıknatıslama enerjisiyle dolan  $C_c$  kondansatörü deşarj olup enerjisini  $M_2$  anahtarı üzerinden kaynağa geri aktarır. Ayrıca  $M_1$  anahtarı iletime girerken akım negatif olacak şekilde tasarım yapıldığında, anahtarın paralel bağlı diyodu iletime girerek, elemanın sıfır gerilimde anahtarlanması sağlar. Sıfır gerilimde anahtarlama ve mıknatıslama enerjisinin aktarımı sayesinde dönüştürücü verimi artar. Yardımcı anahtar  $M_2$  ise sıfır gerilim altında iletime girer ve düşük bir gerilimde kesime girer. Bu topolojide ek bir sürme devresine ihtiyaç duyulur [5].



Şekil 6: Aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücü [5].

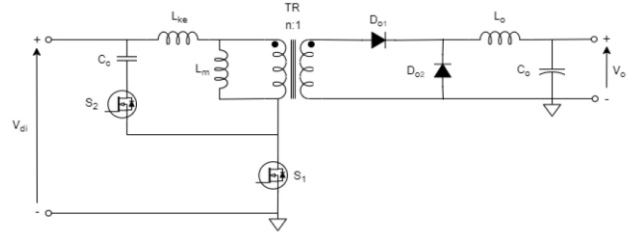
Farklı topolojilere ait karşılaştırmalar Çizelge 1'de verilmiştir. Bu yöntemler incelendiğinde en yaygın kullanılan yöntem aktif bastırma yöntemidir. Yaygın kullanılma sebepleri mıknatıslama akımını resetlemek için ek bir sargı gerektirmemesi, güç anahtarının gerilim stresini minimize etmesi ve güç anahtarının sıfır gerilim altında anahtarlanmasını sağlamasıdır [2-4].

Çizelge 1: Genel ileri yönlü topolojilerin karşılaştırılması

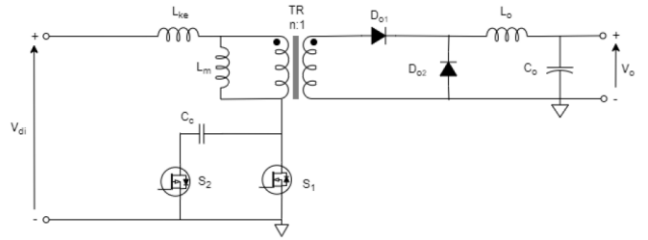
Dönüştürücü Tipleri	Verim	Anahtar Gerilim Stresi	Gürültü EMI	Ek Bileşenler
Temel Forward	Düşük	$2,6.V_{in\_max}$	Yüksek	Transformatöre ek sargı
RCD Bastırma Hücreli Forward	Düşük	$2.V_{in\_max}$	Yüksek	Bir direnç, bir diyot ve bir kondansatör
LCDD Bastırma Hücreli Forward	Düşük	$2.V_{in\_max}$	Yüksek	Bir direnç, bir endüktans, bir diyot ve bir kondansatör
Rezonans Resetlemeli Forward	Orta	$2.V_{in\_max}$	Orta	-
İki Anahtarlı Forward	Orta	$V_{in\_max}$	Orta	Yüksek güçlü anahtar, sürücü devresi
Aktif Bastırmalı Forward	Orta	$1,3.V_{in\_max}$	Düşük	Düşük güçlü anahtar, küçük bir kondansatör ve sürücü devresi

## 3. Temel Aktif Bastırmalı İleri Yönlü Dönüştürücüler

Aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücüler mıknatıslama endüktansında biriken enerjinin, bir anahtarlama elemanı vasıtasıyla kondansatöre aktarılması prensibi ile çalışır. Aktif bastırmalı dönüştürücüler, bastırma anahtarı ve kondansatörün bulunduğu konuma göre aşağı ve yukarı bağlı olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Şekil 7'de verilen bastırma anahtarı ve kondansatörünün yukarı bağlandığı aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücülerde  $S_2$  anahtarı ve  $C_c$  bastırma kondansatörü TR transformatörünün primer sargılarına paralel olarak bağlanmıştır. Burada ilave olarak devre klasik düşürücü-yükseltici olarak çalışmaktadır. Böylece anahtarın gerilim stresi  $V_{di}$  ve  $C_c$  gerilimlerinin toplamına eşittir. Şekil 8'de verilen bastırma anahtarı ve kondansatörünün aşağı bağlandığı aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücülerde  $S_2$  anahtarı ve  $C_c$  bastırma kondansatörü ana anahtara paralel olarak bağlanmıştır. Burada ilave devre yükseltici olarak çalışmaktadır. Böylece anahtarın gerilim stresi  $C_c$  gerilimine eşittir.



Şekil 7: Bastırma anahtarının yukarı bağlandığı temel aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücü



Şekil 8: Bastırma anahtarının aşağı bağlandığı temel aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücü

Aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücülerde anahtarlama kayıplarını azaltmak amacıyla yumuşak anahtarlama (SS) teknikleri kullanılır. Rezonanslı ve yarı rezonanslı dönüştürücüler anahtarlama anlarında sıfır akım ile sıfır gerilimde anahtarlanma sağlayarak kayıpları minimuma indirir. Ancak bu tür dönüştürücülerde anahtar ve diğer yarı iletken elemanlarda ilave akım veya gerilim stresi oluşmaktadır. Aynı zamanda elektro manyetik girişim (EMI) değerleri de yüksek değerler almaktadır. Bu dönüştürücülerde verim açısından çok artış görülmediğinden düşük güçlü uygulamalarda tercih edilirler [2,4,6].

Aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücülerde ana anahtarın sıfır gerilim altında anahtarlanması hedeflenir. Bu amaçla iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ilki mıknatıslama endüktansındaki enerjinin kullanılmasıdır. Transformatorde hava aralığı bırakılması ile mıknatıslama akımı ve enerjisi artar. Artan mıknatıslama enerjisi kullanılarak anahtarın parazitik kondansatörü deşarj olur. Fakat bu yöntemde iletim kayıpları

artar ve verim düşer [7-9]. İkinci yöntemde ise trafonun kaçak endüktansının enerjisi kullanılarak sıfır gerilim altında anahtarlama hedeflenmektedir. Bu yöntemde anahtarın parazitik kondansatörü ile kaçak endüktansı arasında anahtarlama anlarında rezonans oluşur. Kaçak endüktansın akımı ve enerjisi artar böylece sıfır gerilimde anahtarlama kolaylaşır. Fakat bu yöntemde doluluk oranında azalmaya sebep olur. Literatürde, bu yöntemlerin dezavantajlarını giderebilmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [10-14].

#### 4. Gelişmiş Aktif Bastırmalı İleri Yönlü Dönüştürücüler

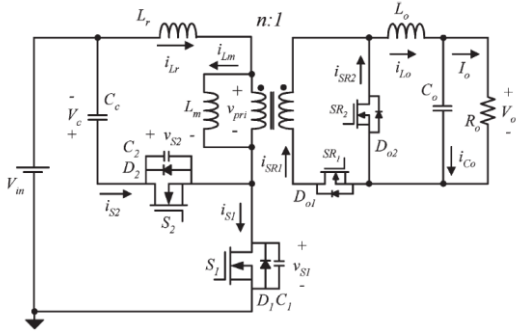
Bu bölümde gelişmiş aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücü devreleri incelenmiştir.

##### 4.1. Bastırma Anahtarının Yukarı Bağlandığı Gelişmiş Aktif Bastırmalı İleri Yönlü Dönüştürücü

Şekil 9'da bastırma kondansatörünün yukarı bağlandığı yeni bir aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücü devre şeması görülmektedir. [13]'de miktatsızlama endüktansı akımının sıfır gerilimde anahtarlama (ZVS) sağlamak üzere yüksek değerde olduğu yönetime bir yaklaşım önerilmektedir.

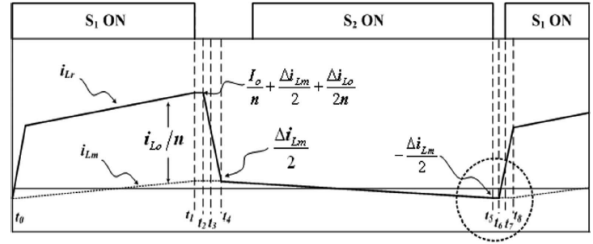
Devre çalışma prensibi aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücü çalışma prensibi ile benzerdir. Ana anahtar  $S_1$  doluluk oranı ( $D$ ) ile iletimde kalmaktadır.  $S_2$  bastırma anahtarı  $S_1$  anahtarı sinyalinin kesilmesi neticesinde kapısına sinyal verilmesi ile iletime girmektedir. Sekonder tarafta senkron çalışan anahtarlar ise yüksek akımlı uygulamalarda iletim kayıplarını azaltmak için kullanılmıştır.

Miktatsızlama endüktansı akımı değerinin yüksek olduğu durumlarda trafo iletim kayıpları ve aktif bastırma hücrelerinde dolaşan akım kayıpları devredeki kayıpların %30-%50'sini oluşturur. Aynı zamanda anahtarın akım ve gerilimini de artırır. Bu dezavantajlara istinaden önerilen devrede primer akımı çok kısa bir sürede sekonder tarafta kullanılan anahtarlar ile oluşturulmuştur.  $t_5-t_6$  aralığında kısa bir sürede geçici akım oluşumu ile miktatsızlama akımına ihtiyaç duyulmadan ZVS'yi sağlayarak bu problemi gidermiştir.

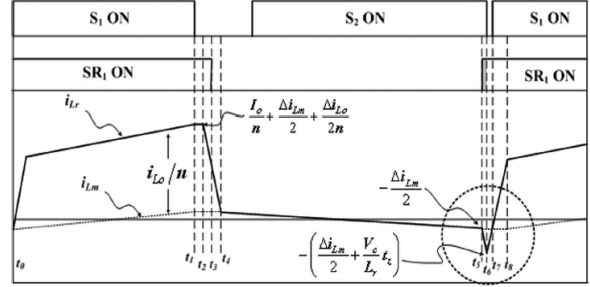


Şekil 9: Bastırma anahtarının yukarı bağlandığı gelişmiş aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücü [13].

Şekil 10 ve Şekil 11'de görüldüğü üzere temel aktif bastırmalı topolojide  $t_5-t_6$  aralığında miktatsızlama akımı değeri önerilen devreye göre daha düşük değerdedir. Akım değerinin artırılması ile ZVS'nin sağlanması daha kolay sağlanmıştır.



Şekil 10: Temel aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücüde ZVS'nin sağlanması [13].



Şekil 11: [13]'de önerilen gelişmiş aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücüde ZVS'nin sağlanması [13].

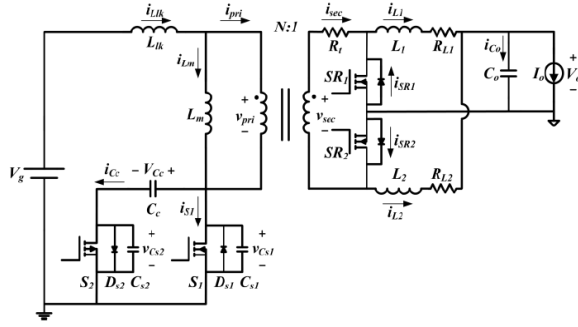
[13]'te önerilen devrede  $S_1$  anahtarının ZVS'yi sağlama  $S_2$  anahtarı kesime gitmeden oluşturulan geçici akım ile yük koşullarına bağlı olmaksızın kısa sürede başarılı şekilde gerçekleşmiştir. Aynı zamanda miktatsızlama akımı çift yönlü ve simetriktir. ZVS için ek olarak eleman gerekmemektedir.

##### 4.2. Bastırma Anahtarının Aşağı Bağlandığı Gelişmiş Aktif Bastırmalı İleri Yönlü Dönüştürücü

Şekil 12'de bastırma kondansatörünün aşağı bağlandığı yeni bir aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücü devre şeması görülmektedir. Bu devrede anahtarın parazitik kondansatöründe depolanan enerji kaçak endüktansla rezonansa girerek deşarj olur. Kaçak endüktansın artması ile ZVS koşulları daha kolay sağlanır. Ancak bu durum doluluk oranına bağlı gerilim kayıplarının artmasına neden olur. Kaçak endüktans değerinin artması, kayıpların artması ve verimin düşmesine sebep olur.

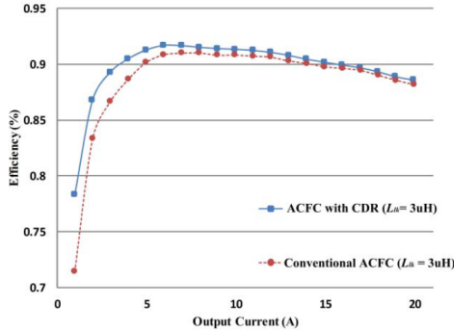
Tüm bu sınırlamalar göz önüne alındığında [14]'te büyük miktatsızlama endüktansı ve küçük kaçak endüktans ile ZVS çalışmanın iyileştirilmesi önerilmektedir. Fakat bu öneri [13]'te sunulan sekonderde senkron çalışan anahtarların kullanıldığı durumlarda geçerlidir. [14]'te bu sınırlamanın kaldırılması için akım katlayıcı bir yapı önerilmektedir.

Bu yapı sayesinde sekonder taraftaki efektif akımların dalgalanmasının azaltılması ile ZVS'nin sağlanmasına katkı sağlanmıştır. [14]'te önerilen devrenin çalışma prensibi aktif bastırmalı ileri yönlü dönüştürücü çalışma prensibi ile benzerdir. Önerilen devrede kaçak endüktansın değeri azaltılmış ve temel yönetime göre toplam verimde artış sağlanmıştır.



Şekil 12: Bastırma anahtarının aşağı bağlandığı gelişmiş aktif bastırılmalı ileri yönlü dönüştürücü [14].

Şekil 13'te temel aktif bastırılmalı ileri yönlü dönüştürücü ile [14]'te önerilen yeni devrenin çıkış akımına bağlı olarak verim değişimi verilmiştir. Verim grafiğine göre önerilen devre düşük yük akımında temel aktif bastırılmalı ileri yönlü dönüştürücü devre verimine göre önemli derece fark yaratmıştır.



Şekil 13: [14]'de önerilen gelişmiş ve temel aktif bastırılmalı ileri yönlü dönüştürücülerin verim karşılaştırması [14].

[13] ve [14]'te sunulan gelişmiş aktif bastırılmalı ileri yönlü dönüştürücülerin farklı açılardan karşılaştırılması Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2: Gelişmiş aktif bastırılmalı ileri yönlü dönüştürücülerin karşılaştırılması

	[13]	[14]
Giriş Gerilimi	48V	48V
Çıkış Gerilimi	5V	5V
Çıkış Gücü	100W	100W
Anahtarlama Frekansı	100kHz	500kHz
Maksimum Doluluk Oranı	0.5	0.36
Verim	%92	%89
Anahtar Gerilim Stresleri	$V_{DS} < 2 \cdot V_{in}$	$V_{DS} < 2 \cdot V_{in}$
Kontrol Kolaylığı	S <sub>2</sub> anahtarı için izoleli sürme devresi gerekmektedir.	S <sub>2</sub> anahtarı için izoleli sürme devresine gerek yoktur.
Ana Anahtarın Kesime Götmesi	ZVS	ZVS
Mıknatıslama Endüktansı	320µH	80µH
Kaçak Endüktans Değerleri	4µH	3µH
Mıknatıslama Akım	Çift yönlü ve simetrik	Çift yönlü ve simetrik değil
Eleman Sayısı	8	9

## 5. Sonuç

Yüksek güç yoğunluğu, düşük maliyet ve hacimlerde üretim, doğrusal güç kaynakları yerine anahtarlama güç kaynakları (SMPS) kullanılması ve anahtarlama frekansının artırılması ile sağlanmaktadır. Anahtarlama frekansı ile anahtarlama kayıpları doğru orantılı olarak artar. Güç dönüştürücülerinde, kayıpları

azaltmak ve verimi artırmak için yumuşak anahtarlama (SS) teknikleri tercih edilmektedir. İzolasyon, yüksek verim, basit devre yapısı, kontrol kolaylığı, maliyet gibi faktörler göz önüne alındığında, düşük ve orta güçlü uygulamalarda ileri yönlü dönüştürücülere olan ilgi artmaktadır. Bu çalışmada, ileri yönlü dönüştürücüler hakkında detaylı bir literatür araştırılması sunulmuştur. İleri yönlü dönüştürücülerin temel ve gelişmiş türleri ile aktif bastırılmalı temel ve gelişmiş türleri incelenmiştir. Bu topolojilerin çalışma prensibi verilmiş ve avantaj ile dezavantajları karşılaştırılmıştır.

## 6. Kaynaklar

- [1] Chung, H., Hui, S. Y. R., and Wang, W. H. "An Isolated Fully Soft-Switched Flyback Converter with Low Voltage Stress", Power Electronics Specialists Conference, 1997, 1417 – 1423.
- [2] Tang W., Tabisz W. Lotfi A., Lee F. C. ve Vorperian V., "DC analysis and design of forward multi-resonant converter," 21st Annual IEEE Conference on Power Electronics Specialists, 1990, 862-869.
- [3] Xi Y. and Jain P. K., "A forward converter topology employing a resonant auxiliary circuit to achieve soft switching and power transformer resetting," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, 50, 1,132-140, 2003.
- [4] Liu K.-H. and Lee F. C., "Zero-voltage switching technique in DC/DC converters," in IEEE Transactions on Power Electronics, 5, 3, 293-304,1990,
- [5] Tan F. D., "The forward converter: From the classic to the contemporary", IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. - APEC, 2, 2002, 857–863.
- [6] Kim H. J., Leu C. S., Farrington R., and Lee F. C., "Clamp mode zero-voltage-switched multi-resonant converters," in Proc. IEEE PESC, 1992, 78–84.
- [7] Huang H., "Design guidelines on the effect of resonant transitions of forward converter on efficiency with active clamp," in Proc. IEEE APEC, 2008, 600-606.
- [8] Park D. H., Kim H. J. and Sun Y. S., "A development of the off-line active clamp ZVS forward converter for telecommunication applications," in Proc. INTELEC,1997, 271–276.
- [9] Cobos J. A., Garcia O., Sebastian J., and Uceda J., "Resonant reset forward topologies for low output voltage on board converters," in Proc. IEEE APEC, 1994, 703–708.
- [10] Lin B. R., Huang K., and Wang D., "Analysis, design, and implementation of an active clamp forward converter with synchronous rectifier," IEEE Trans. Circuits Syst. 1, 53, 6, 1310–1319, 2006.
- [11] Acik A. and Cadirci I., "Active clamped ZVS forward converter with soft-switched synchronous rectifier for high efficiency, low output voltage applications," in Proc. IEE Electric Power Application, 2003, 165–174.
- [12] Yang S., Qian Z., Ouyang Q., and Peng F. Z., "An improved active-clamp ZVS forward converter circuit," in Proc. IEEE APEC, 2008, 318–322.
- [13] Lee S. S., Choi S. W., and Moon G. W., "High-efficiency active-clamp forward converter with transient current build-up (TCB) ZVS technique," IEEE Trans. Ind. Electron., 54, 1, 310–318, 2007.
- [14] Jang P. and Cho B. H., "Zero-voltage switching analysis of active-clamped forward converter with current-doubler rectifier", 2015 9th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE-ECCE Asia), 2015, 253-258.