

Çok Katlı Yükseltici Tip DA-DA Dönüştürücü Tasarımı ve Uygulaması

Design and Application of Interleaved Boost Converter

Rauf YAPICI¹, Tarık ERFİDAN¹, Nasır ÇORUH², M. Zeki BİLGİN¹

¹Elektrik Mühendisliği Bölümü

Kocaeli Üniversitesi

rauf.yapici@gmail.com, tarik@kocaeli.edu.tr, bilgin@kocaeli.edu.tr

²Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü

Kocaeli Üniversitesi

ncoruh@kocaeli.edu.tr

Özet

Günümüzde, teknolojideki hızlı gelişim, tüketicilerin daha sık yeni ürünler tecrübe etmesine imkan vermektedir. Diğer taraftan gelişim hızı, DA kullanımını yaygınlaştırmakta, bununla birlikte daha yüksek verimli ve daha küçük boyutlu güç elektroniği sistemlerine olan ihtiyaç artmaktadır. Şebeke gerilimini tüketiciye aktarmak için DA-DA dönüştürücüler yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı tip dönüştürücülerin paralel kullanılması, akım paylaşımı sağladığından sisteme modülerlik, hata toleransı ve düşük nominal değerli bileşen kullanımı gibi avantajlar getirmektedir. Paralel bağlı güç dönüştürücülerinde sarmaşık anahtarlama işaretleri kullanımı filtre elemanı boyutlarını küçülterek tüm sistemin boyutunu azaltmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Bu çalışmada, iki kat sarmaşık yükseltici dönüştürücü tasarımı ve benzetimi yapılmıştır. Dönüştürücünün giriş ve çıkış dalgalanmaları, gerçekleştirilen uygulama devresi ile belirlenmiştir.

Abstract

Today, growth rate of technology cause consumers to experience newer products more frequently. On the other hand, development rate cause more usage of DC and need of higher efficiency with smaller sized power electronic systems. DC-DC converters are widely used for transferring line voltage to consumer loads. Using identical converters in parallel ensure the advantage of modularity, error tolerance and lower component rating by shared input current. Paralleling of power converters with interleaved switching periods is one of the method to lower overall system dimension by reducing size of filter elements. In this work two phase interleaved boost converter is designed and simulated. A prototype is implemented to present variation of input current and output voltage variations.

1. Giriş

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte sanayide ve evlerde kullanılan cihazlarda doğru akım (DA) kullanımı yaygınlaşmaktadır. Şebeke AA olsa bile dizüstü bilgisayarlar ve cep telefonu şarj aletleri gibi cihazlar DA ile çalışmaktadır. Bu gibi cihazların çalışması için alternatif gerilimi, denetimsiz doğrultucularla doğru gerilime, DA-DA dönüştürücüler ile de yükün gereksinim duyduğu doğru gerilim seviyesine dönüştürüp, filtre ve regülatör devrelerinden geçirilerek yüke aktarılır.

Yükseltici tip DA-DA dönüştürücüler adından da anlaşılacağı gibi girişine uygulanan gerilim seviyesini yükün istediği seviyeye yükselten devrelerdir. Yapısı basittir. Özellikle devredeki yarıiletken anahtarın konumu dolayısıyla kesintisiz akım iletimi sağlaması kullanımını oldukça yaygınlaştırmıştır[1].

Yükseltici dönüştürücülerin dezavantajları; anahtarlama kayıplarından dolayı düşük verimli çalışmaları ve giriş-çıkış uçlarındaki dalgalanmalar nedeniyle büyük boyutlu olmalarıdır. Dönüştürücülerde; anahtarlama frekansının artırılması ile birlikte pasif elemanların boyutları azaltılır. Ancak yüksek anahtarlama frekansı, yüksek güçlerde yarı-iletkenler üzerindeki kayıp güçlerin artmasına ve verimin düşmesine neden olmaktadır. Bu yüzden daha hızlı yarıiletkene ve soğutma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır.

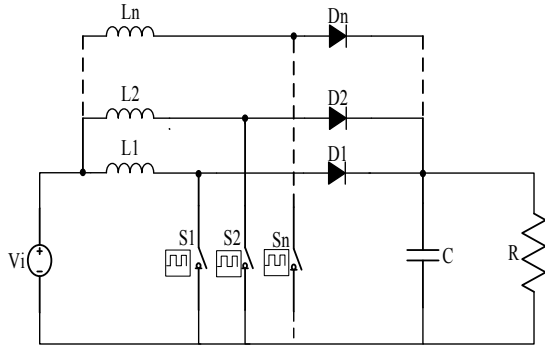
Yüksek anahtarlama frekansı ile çalışmaya alternatif çözümlerden biri de tek bir yüksek güçlü dönüştürücü yerine birkaç dönüştürücünün paralel çalıştırılması ile akım paylaşımı sağlanarak kayıpların azaltılmasıdır [2].

Son yıllarda DA-DA dönüştürücülerde sarmaşık yapısının kullanımı popüler çalışma alanı haline gelmiştir. Sarmaşık yapıda; paralel bağlı aynı tip dönüştürücü güç anahtarlarının kontrol işaretleri arasında faz farkı oluşturularak, akım paylaşırılıp giriş ve çıkış dalgalanmalarının azaltılması sağlanır. Ayrıca paralel katlarda anahtarlama frekansı değiştirilmeden dönüştürücünün efektif frekansı artırılmış olur [1].

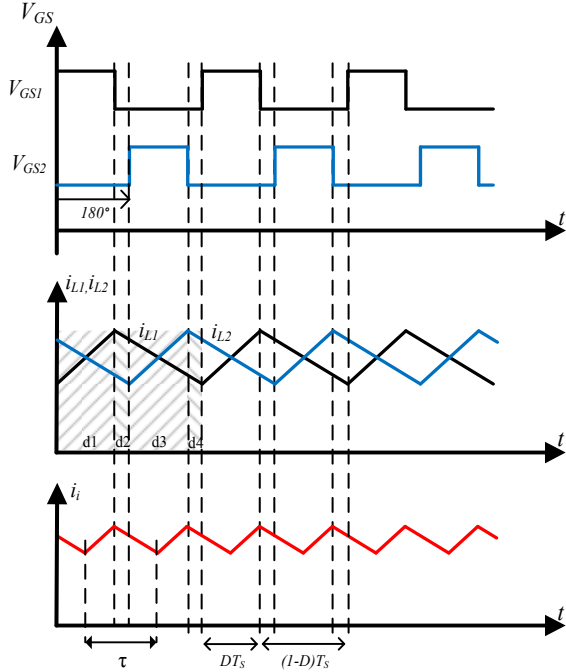
Bu çalışmada iki katlı sarmaşık yükseltici tip DA-DA dönüştürücünün analizi, benzetimi ve pratik çalışması gerçekleştirilmiştir.

2. Sarmaşık Dönüştürücüler

Sarmaşık yöntemi ile güç dönüşümü, aynı çalışma frekansı ve aynı tip elemanların kullanıldığı paralel bağlı dönüştürücülerin, güç anahtarları kontrol işaretleri arasında faz kaydırılarak gerçekleştirilir [3]. Sarmaşık yöntemi tüm dönüştürücülere uygulanabilir olması ile birlikte yükseltici tip dönüştürücülerde yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. Şekil 1' de n katlı yükseltici tip DA-DA dönüştürücü gösterilmektedir.



Şekil 1: n kat sarmaşık yükseltici tip da-da dönüştürücü

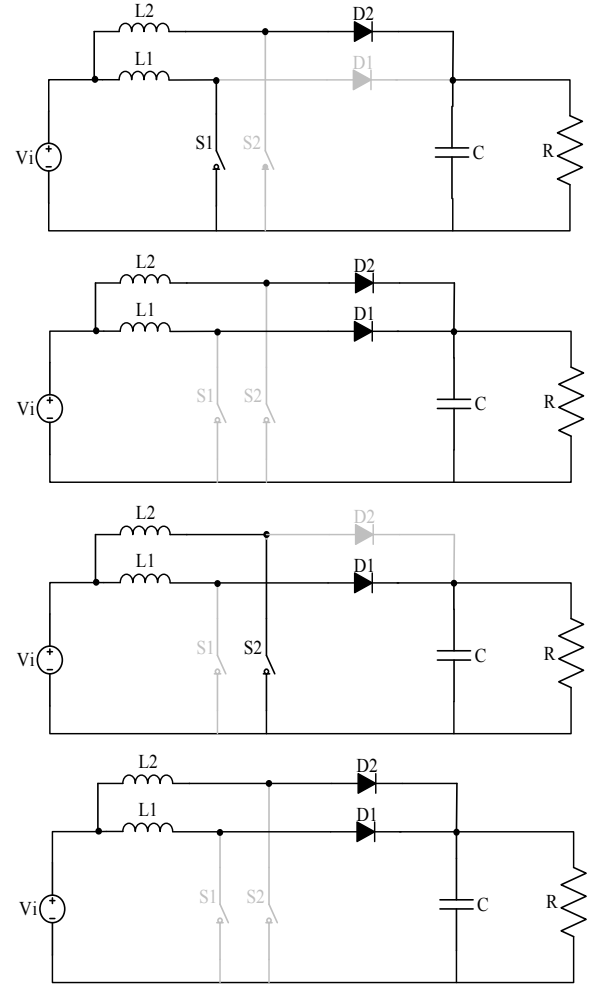


Şekil 2: Güç anahtarları kontrol işaretlerinin, katlardaki bobin akımlarının ve giriş akımının zamana göre değişimleri

Faz farkı, güç anahtarları kontrol işaretleri ile gerçekleştirilir. n aynı tip dönüştürücü sayısı ise, fazlar arasında $2\pi/n$ derecelik fark sağlanarak sarmaşık çalışma gerçekleştirilir. Örneğin $n=4$ için sarmaşık dönüştürücünün güç anahtarlarının kontrol işaretleri arasında 90 derecelik faz farkı olmalıdır. Şekil 2’de iki katlı sarmaşık yükseltici dönüştürücünün her katı için güç anahtarları kontrol işaretleri ve bobin akımları verilmiş ve giriş akımındaki dalgalanmanın azaldığı gösterilmiştir. T_s anahtarlama periyodu, D güç anahtarları kontrol işaretinin doluluk-boşluk oranı olmak üzere, $D.T_s$ anahtarın iletimde, $(1-D).T_s$ ise kesimde kalma süresidir.

Şekil 2 incelendiğinde, tek katlı dönüştürücüde giriş akımının dalgalanma frekansı bobin akımı ile aynı iken, iki katlı sarmaşık dönüştürücüde 2 katıdır. Buna göre, sarmaşık dönüştürücünün giriş akımı etkin frekansı $n.f_s$ olarak hesaplanabilir ve benzer olarak tek katlı dönüştürücünün giriş akımı, bobin akımına eşit iken, sarmaşık dönüştürücünün giriş akımı her katın bobin akımları toplamına eşit olacaktır.

Şekil 2.’deki anahtarlama işaretlerine göre, 2-katlı sarmaşık yükseltici dönüştürücünün çalışma aralıkları Şekil 3. ‘te verilmiştir.



Şekil 3: Sarmaşık yükseltici tip DA-DA dönüştürücünün çalışma aralıklarına göre eşdeğer devre şemaları

Yükseltici dönüştürücünün anahtarlama periyodu T_s ise, sarmaşık yükseltici dönüştürücü giriş akımının dalgalanma periyodu τ , Denklem (1) ile hesaplanır;

$$\tau = \frac{T_s}{n} \quad (1)$$

Giriş akımının ve çıkış geriliminin dalgalanma miktarı denklem (2) ve (3) ile ifade edilir [5].

$$\Delta i = \frac{V_i(1-q)}{L(1-D)} q\tau \quad (2)$$

$$\Delta v = \frac{V_o q(1-q)}{n^2 f_s RC(1-D)} \quad (3)$$

Sarmaşık yükseltici dönüştürücünün giriş akımının doluluk-boşluk oranı q ile ifade edilmiştir. Denklem (2) ve (3)’den görüleceği üzere paralel kat sayısı arttıkça akım ve gerilim dalgalanma genliği azalmaktadır.

3. Benzetim ve Pratik Çalışma Sonuçları

İki kat sarmaşık yükseltici dönüştürücü ve klasik yükseltici dönüştürücünün benzetim çalışması için PLECS programı kullanılmıştır. Şekil 4’te iki kat sarmaşık yükseltici DA-DA dönüştürücünün benzetim devre modeli, Çizelge 1’de ise

benzetim ve pratik çalışmada kullanılan devre parametreleri verilmiştir.

Çizelge 1: Dönüştürücünün parametreleri

Çıkış Gücü	P_o	38W
Çıkış Gerilimi	V_o	50V
Giriş Gerilimi	V_i	30V
Giriş Akımı	I_i	1,25A
Güç Anahtarları	S_1, S_2	IRFP450
Doluluk-boşluk Oranı	D	0,4
Anahtarlama Frekansı	f_s	25kHz
Giriş Akımı Dalgalılığı	Δi	%40
Çıkış Gerilimi Dalgalılığı	Δv	0.1V

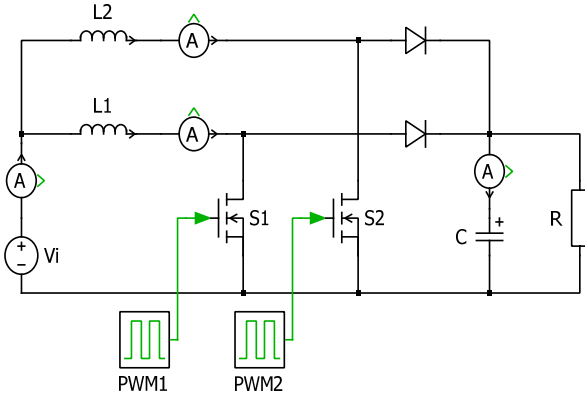
Dönüştürücünün çalışma modu olarak sürekli iletim modu seçilmiştir. Sürekli iletim modunda, bobin akımı hiçbir zaman sıfıra düşmediğinden giriş akımı tepe değeri ve iletim kayıpları düşüktür. Klasik yükseltici dönüştürücünün sürekli iletim modunda çalışabilmesi için gerekli bobin(L) değeri [1];

$$L = \frac{V_i \cdot D \cdot T_s}{2 \cdot \Delta i} = 960 \mu H \quad (4)$$

olarak hesaplanmıştır. İki kat sarmaşık yükseltici tip dönüştürücü için de aynı bobin değeri kullanılmış olup çıkış gerilimindeki dalgalılığın istenilen değerde olmasını sağlayan kondansatör (C) değeri ise [1];

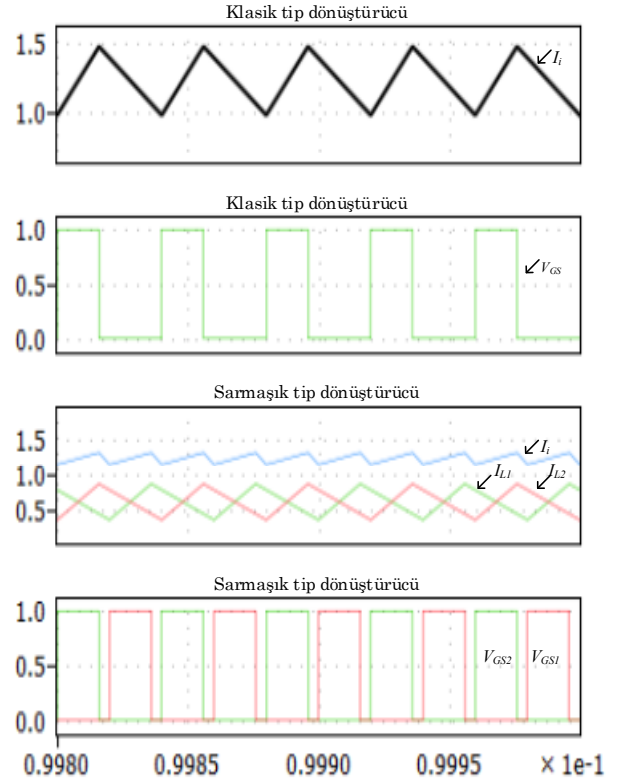
$$C = \frac{V_o \cdot D}{2 \cdot R \cdot \Delta v \cdot f_s} = 47 \mu F \quad (5)$$

olarak hesaplanmıştır.



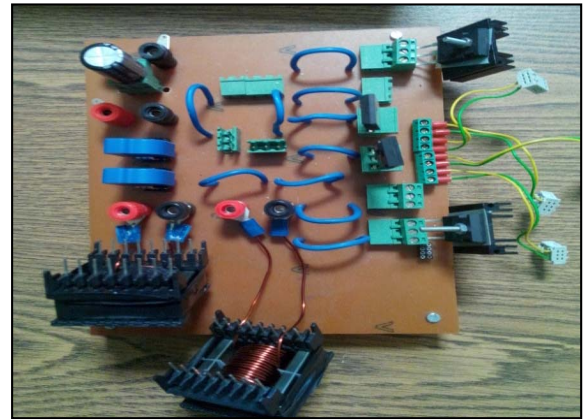
Şekil 4: İki kat sarmaşık yükseltici DA-DA dönüştürücü benzetim devresi

Klasik yükseltici tip DA-DA dönüştürücü de giriş akımı aynı zamanda bobin akımıdır. Sarmaşık yükseltici tip DA-DA dönüştürücü de ise giriş akımı paralel katlardaki bobinlerin akımlarının toplamı olduğu Şekil 5’de görülmektedir. Şekil 5’deki klasik yükseltici dönüştürücünün giriş akımı dalgalanması 0,5A civarındayken, sarmaşık yükseltici dönüştürücü giriş akımı dalgalanması 0,25A civarında olmuştur. Aynı şekilde klasik yükseltici dönüştürücü giriş akımı dalgalanma frekansı 25kHz iken, sarmaşık yükseltici dönüştürücü dalgalanma frekansı 50kHz olmaktadır.



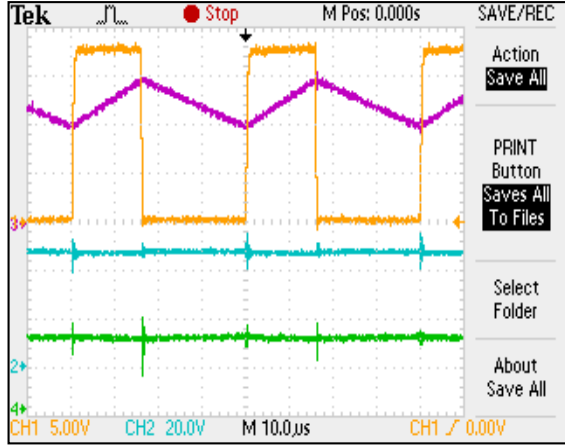
Şekil 5: Klasik ve İki kat sarmaşık yükseltici dönüştürücü için giriş, bobin akımları ve anahtarlama sinyallerinin zamana göre değişimi

Pratik çalışmada, güç anahtarları kontrol sinyalleri üretmek için TEXAS Instrument MSP430F5529LP mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Kontrol katı ile güç katı arasında elektriksel yalıtımı sağlamak için 6N137 optokuplör, kontrol işaretlerinin güç anahtarını sürmesi için de IR2117 sürücü entegresi kullanılmıştır. Şekil 6.’da uygulama devresi verilmiştir.



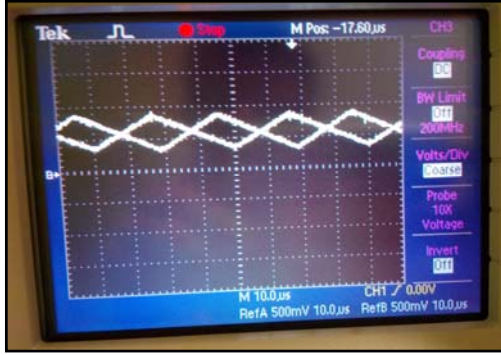
Şekil 6: İki kat sarmaşık yükseltici DA-DA dönüştürücü uygulama devresi

Uygulama devresinin tek katlı çalıştırılması (klasik yükseltici dönüştürücü) ile elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 7 ile verilmiştir.



Şekil 7: Klasik yükseltici tip DA-DA dönüştürücünün giriş akımının (1), güç anahtarı kontrol işaretinin (3), giriş (4) ve çıkış (2) gerilimlerinin zamana göre değişimi

Uygulama devresinin iki katlı sarmaşık olarak çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar ise Şekil 8 ve Şekil 9 ile verilmiştir.

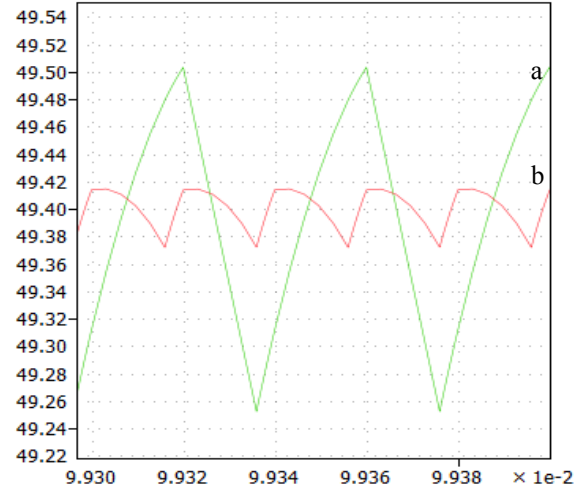


Şekil 8: İki kat sarmaşık dönüştürücüdeki bobin akımlarının zamana göre değişimi



Şekil 9: İki kat sarmaşık dönüştürücüdeki güç anahtarlarına ait kontrol sinyallerinin zamana göre değişimi

Sarmaşık yönteminin bir diğer avantajı olan daha düşük çıkış gerilimi dalgalanması iki kat yükseltici dönüştürücü için Şekil 10'da sunulmuştur. Klasik dönüştürücüde (Şekil 10a) çıkış gerilim dalgalanması 0,2V, sarmaşık yükseltici dönüştürücüde (Şekil 10b) ise yaklaşık 0,04V değerindedir.



Şekil 10: Klasik (a) ve iki kat sarmaşık (b) yükseltici tip DA-DA dönüştürücü için çıkış geriliminin zamana göre değişimi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, iki kat sarmaşık yükseltici ve klasik yükseltici tip DA-DA dönüştürücünün benzetim ve pratik çalışması gerçekleştirilmiştir. Sarmaşık yöntemi, avantajlarından dolayı özellikle güç faktörü düzeltme ve fotovoltaik enerji üretimi uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Tüm dönüştürücü tiplerine uygulanabilen sarmaşık yöntemi, bu çalışmada gerek yapısının basitliği, gerekse sürekli iletim durumu çalışmaya uygunluğu nedeniyle yükseltici tip dönüştürücü için kullanılmıştır. Belirlenen parametrelere göre klasik ve sarmaşık dönüştürücü tasarlanmış, benzetimi ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarının gerçek sonuçlara çok yakın olması çalışmanın başarısını göstermektedir.

5. Kaynaklar

- [1]. Coruh, N., Urgun, S., Erfidan, T. And Ozturk S., "A simple and efficient implementation of interleaved boost converter", *6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2011, 2364 – 2368.
- [2]. Nussbaumer, T., Raggl, K. and Kolar, J. W., "Design Guidelines for Interleaved Single-Phase Boost PFC Circuits", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(7), 2559-2573, 2009
- [3]. Luo, S., Ye, Z., Lin, R-L. and Lee, F. C., "A Classification and Evaluation of Paralleling Methods for Power Supply Modules", *30th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC)*, 1999, 901-908.
- [4]. Arango, E., Ramos-Paja, C. A., Calvente, J., Giral, R. and Serna, S., "Asymmetrical Interleaved DC/DC Switching Converters for Photovoltaic and Fuel Cell Applications— Part 1: Circuit Generation, Analysis and Design", *Energies*, 5, 4590-4623, 2012
- [5]. Genc, N. and Iskender, I., "DSP-based current sharing of average current controlled two-cell interleaved boost power factor correction converter", *IET Power Electronics*, 4(9), 1015-1022, 2011.