

PARALEL BAĞLI BUCK TÜRÜ DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLERDE DALGANMA ANALİZİ

Ahmet Devrim ERDOĞAN¹M. Timur AYDEMİR²

Gazi Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Maltepe-Ankara 06570

¹e-posta: derdogan@gazi.edu.tr²e-posta: aydemirmt@gazi.edu.tr

Anahtar sözcükler: DC/DC Dönüştürücüler, Buck dönüştürücü, Paralel bağlama

ÖZET

Bu çalışmada paralel bağlı buck türü dc/dc dönüştürücülerin çıkış akım ve gerilimlerdeki dalgalanmaların paralel bağlı dönüştürücü sayısına ve anahtarların doluluk oranına (duty cycle) bağlı olarak nasıl değiştiği incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar sayısal benzetim ve deneysel çalışma sonuçlarıyla da karşılaştırılmıştır.

1. GİRİŞ

Buck (düşüren) DC/DC dönüştürücüler, basit yapıları, az eleman gerektirmeleri ve denetim kolaylığı nedeniyle, özellikle güç kaynağı uygulamalarında ve motor sürücü devrelerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Son yıllarda özellikle bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler sonucu, yüksek akım, düşük çıkış gerilimi verebilen güç kaynaklarına gereksinim duyulmaya başlanmıştır. Bu amaçla bir yandan yüksek akımda çalışabilmek için dönüştürücülerin paralel çalıştırılması gündeme gelmiş, bir yandan da gerilim düşümlerini azaltmak için senkron buck türü devrelerin kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.

Dönüştürücülerin çıkış gerilimindeki dalgalanma düzeyi önemli bir kalite unsurudur. Paralel buck dönüştürücüde paralelleme sayısına ve çıkış giriş gerilimi arasındaki orana göre dalgalanma değeri değişmekte, bazı durumlarda teorik olarak sıfır yapılabilmektedir.

Paralellenmiş buck dönüştürücüler sağladıkları bu faydaların yanında bazı zorluklar da getirmektedir. Bu dönüştürücüler artan anahtarlama eleman sayısı nedeniyle denetim karmaşıklığı ve yerleşim açısından zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca paralel buck dönüştürücülerde akım paylaşımı da dikkat edilmesi gereken bir noktadır [1-4].

Bu çalışmada buck dönüştürücülerin paralel çalışma durumları ayrıntılı olarak incelenmekte, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

2. Buck Dönüştürücünün Paralel Bağlanması

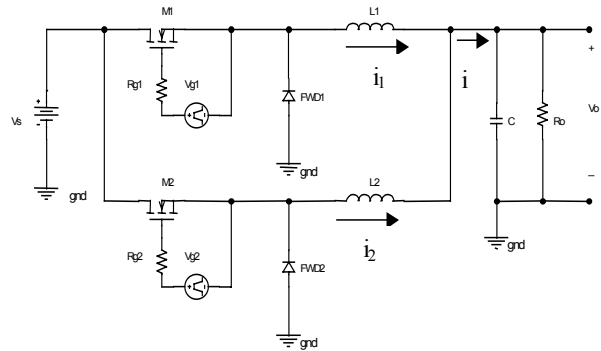
Şekil 1'de paralel bağlanmış iki adet buck dönüştürücü görülmektedir. Bu devredeki anahtarların kapı işaretleri ile devre akımlarının değişimi de Şekil 2'de verilmektedir. Devredeki anahtarlar aynı doluluk oranıyla (duty cycle), fakat farklı zaman aralıklarında

ilettime sokulmaktadır. Anahtarlama dalga şekli ve onu takip eden analiz doluluk oranının %50'den küçük olması durumu için geçerlidir.

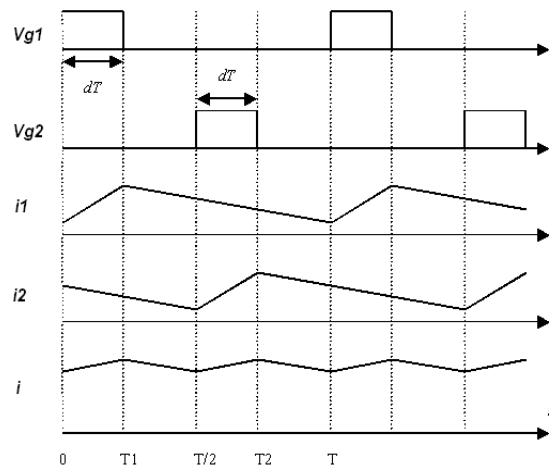
İki adet buck dönüştürücünün paralel bağlanması ve $L_1=L_2=L$ olması durumunda devrenin çalışmasını tanımlayan bağıntılar ve değişik aralıklarda devrenin aldığı biçim Tablo 1'de gösterilmektedir. Tanım denklemlerinin yapısı ve devre şekli periyodun ikinci yarısında birinci yarısındakinin simetrisi biçimindedir.

Tüm elemanların özdeş, anahtarlama dengeli ve akımın da sürekli olması durumunda paralel bağlı buck dönüştürücülerin giriş-çıkış ilişkisi, tek bir dönüştürücü ile aynıdır.

$$V_O = dV_S \quad (1)$$



Şekil 1 İki adet paralel bağlı buck dönüştürücü



Şekil 2. Paralellenmiş iki buck dönüştürücünün kapı işaretleri, endüktans ve çıkışa giden akım.

Süzücü endüktansın ve yükün akımlarının tepeden tepeye dalgalanmaları da şu şekilde elde edilir:

$$\begin{aligned}\Delta i &= \Delta(i_1) = \Delta(i_2) = \frac{V_o(1-d)T}{L} = \frac{V_s(1-d)dT}{L} \\ &= \frac{V_s - 2V_o}{L} dT = \frac{2V_o}{L} \left(\frac{1}{2} - d\right)T\end{aligned}\quad (2)$$

Yük akımının iki endüktans arasında eşit paylaşıldığı varsayılabilir. Dolayısıyla çıkış gerilimi üzerindeki dalgalanmanın değeri de şu biçimde hesaplanır:

$$\Delta V_o = \frac{V_o(1-2d)T^2}{16LC} = \frac{V_s(1-2d)dT^2}{16LC}\quad (3)$$

"n" adet buck dönüştürücünün paralel bağlanması durumunda farklı zaman aralıklarında devrenin çalışmasını tanımlayan bağıntılar Tablo 2'de verilmektedir.

Dönüştürücünün giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişki, paralel bağlı dönüştürücü sayısından etkilenmez. Durumun böyle olduğu, herhangi bir süzücü endüktansın üzerindeki gerilimin ortalama değeri hesaplanarak görülebilir.

Çıkış katına giden akımın dalgalanmasını bulmak için, $L_1 = L_2 = \dots = L_n = L$ olduğu varsayımıyla ve

$$\frac{di_1}{dt} + \frac{di_2}{dt} + \dots + \frac{di_n}{dt} = \frac{di}{dt}\quad (4)$$

olduğu da göz önünde bulundurularak, herhangi bir zaman diliminde, örneğin $0 < t < dT$ aralığında

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} - \frac{V_o}{L} - \dots - \frac{V_o}{L}\quad (5)$$

yazılabilir. Eşitliğin sağ yanında n adet terim vardır. Dolayısıyla

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_s - nV_o}{L}\quad (6)$$

elde edilir. Buradan, çıkışa giden akımın dalgalanması için

$$\Delta i = \frac{V_s - nV_o}{L} dT\quad (7)$$

bulunur. $V_o = dV_s$ kullanılarak

$$\Delta i = \frac{(1-nd)}{L} dV_s T = \frac{(1-nd)}{L} V_o T\quad (8)$$

elde edilir. Akım dalgalanması ifadesi kullanılarak çıkış gerilim dalgalanma ifadesi de şu şekilde bulunur:

$$\Delta V_o = \frac{V_o(1-nd)T^2}{8nLC} = \frac{V_s(1-nd)dT^2}{8nLC}\quad (9)$$

Paralel bağlı buck dönüştürücülerin anahtarlarının farklı aralıklarda iletimde tutulması, çıkış gerilimini, n paralel bağlantı sayısı olmak üzere, V_s/n ile sınırlar. Örneğin, iki dönüştürücünün paralel bağlanması durumunda, anahtarlar farklı zamanlarda iletimde tutulursa doluluk oranının alacağı en büyük değer $d_{\max}=0.5$ olup, bu durumda çıkış gerilimi $V_o = 0.5V_s$ olur. Eğer çıkışta daha büyük bir gerilim arzulanıyorsa aynı anda birden fazla anahtarın iletime sokulmasına izin verilmesi gerekir. Bu da $d > 1/n$ anlamına gelir. Şekil 3'de $d > 1/n$ olması durumunda, $n=4$ için kapı işaretleri görülmektedir.

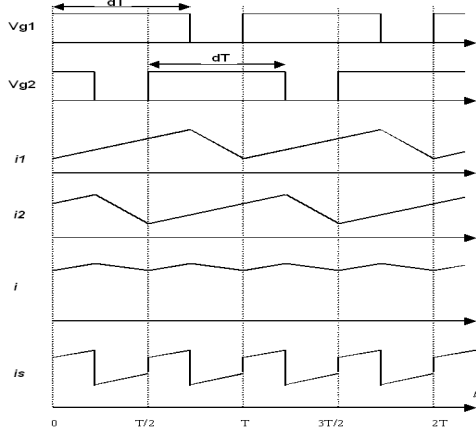
$0 \leq t \leq T_1$ aralığı	$T_1 \leq t \leq T/2$ aralığı
$L \frac{di_1}{dt} = V_s - V_o$	$L \frac{di}{dt} = -2V_o$
$L \frac{di_2}{dt} = -V_o$	$L \frac{di_1}{dt} = L \frac{di_2}{dt} = -V_o$
$L \frac{di}{dt} = V_s - 2V_o$	

Tablo 1: Paralel bağlı iki buck dönüştürücü için devre denklemleri ve eşdeğer devreler

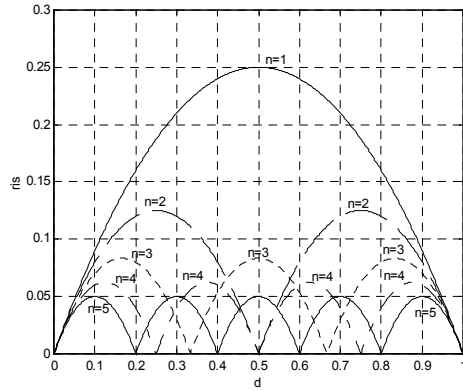
ve çıkış geriliminin sabit olması durumunda da

$$r_{i_o} = \frac{\Delta i}{V_o T / L} = \frac{1}{d} (n_p - nd) \left(d - \frac{n_p - 1}{n} \right) \quad (16)$$

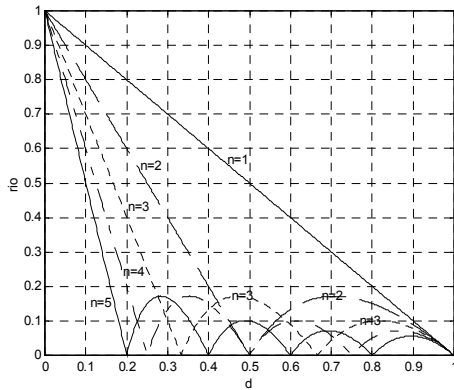
olarak elde edilir. Bu dalgalanmalar, Şekil 5 ve 6'da verilmektedir.



Şekil 4. $d > 0.5$ iken iki adet paralellenmiş buck dönüştürücüde oluşan bazı dalga şekilleri



Şekil 5. Sabit giriş gerilimi altında toplam akım dalgalanması



Şekil 6. Sabit çıkış gerilimi altında toplam akım dalgalanması

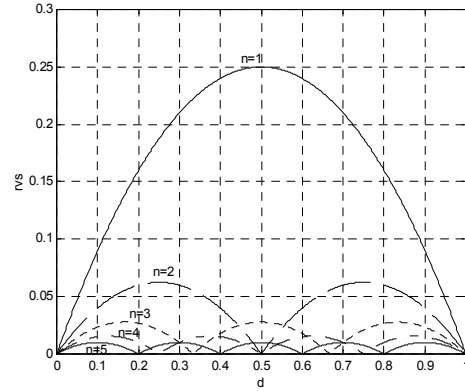
Benzer biçimde (15) ile tanımlanan çıkış gerilimi dalgalanması da sabit giriş gerilimi ve sabit çıkış gerilimi çalışma koşullarında sırasıyla

$$r_{v_S} = \frac{\Delta V_o}{V_s T^2 / 8LC} = \frac{1}{n} (n_p - nd) \left(d - \frac{n_p - 1}{n} \right) \quad (17)$$

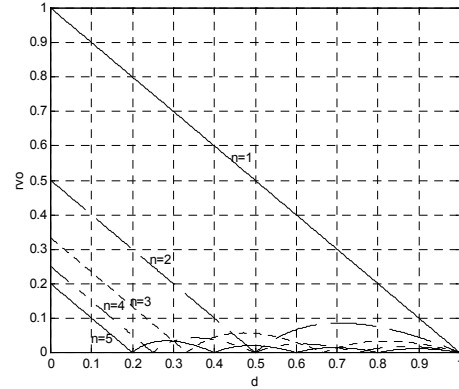
$$r_{v_O} = \frac{\Delta V_o}{V_s T^2 / 8LC} = \frac{1}{n} \frac{1}{d} (n_p - nd) \left(d - \frac{n_p - 1}{n} \right) \quad (18)$$

olarak elde edilir. Şekil 7 ve 8, çıkış gerilimindeki dalgalanmayı göstermektedir.

Şekillerden görüldüğü gibi, paralelleme sayısının artması ile dalgalanma değerlerinde önemli oranlarda düşme olmaktadır. Belli bir paralelleme sayısı için de, doluluk oranının değişimi ile dalgalanma oranı değişmektedir. Doluluk oranının $1/n$ ve bu değer katlarına eşit olduğu durumlarda teorik olarak dalgalanma oranı sıfır olmaktadır.



Şekil 7. Sabit giriş gerilimi altında çıkış gerilimi dalgalanması

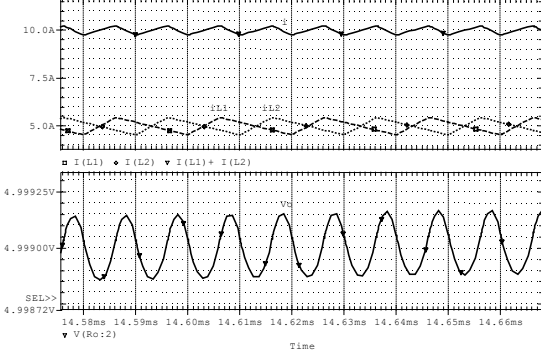


Şekil 8. Sabit çıkış gerilimi altında çıkış gerilimi dalgalanması

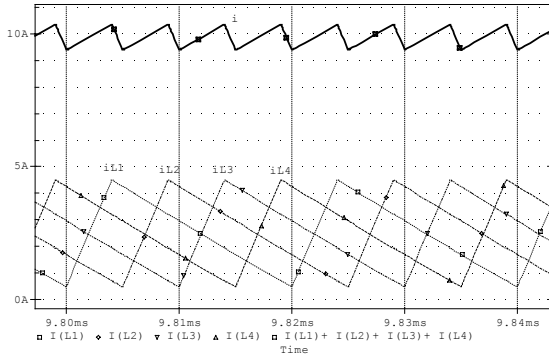
4. SAYISAL BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

Bu bölümde paralel bağlı buck türü dönüştürücüler için yapılan sayısal benzetim çalışmalarıyla, iki adet buck türü dönüştürücünün paralel bağlanması sonucu oluşturulan deneysel devreden alınan sonuçlar sunulmaktadır.

Şekil 9'da $n=2$, $d=0.7$ için endüktans akımları ve toplam akım ile çıkış geriliminin dalgalanması görülmektedir. Şekil 10 ve 11'de, $n=4$ olması durumunda $d=0.2$ ve $d=0.5$ için akımlar verilmektedir. Beklediği gibi $d=0.5$ için dalgalanma sıfıra çok yakındır.

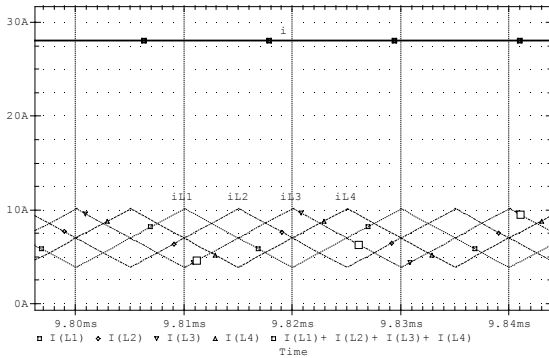


Şekil 9. $n=2$, $d=0.3$ için akımlar



Şekil 10. $d=0.2$ $n=4$ için akımlar

Şekil 10 ve 11'de $n=4$ için, d 'nin $\frac{1}{4}$ 'ten küçük ve büyük olması durumlarındaki sayısal benzetim sonuçları verilmektedir. Şekil 12 ve 13'te de paralel bağlanmış iki adet buck dönüştürücü devre için elde edilen deneysel sonuçlar sunulmaktadır.



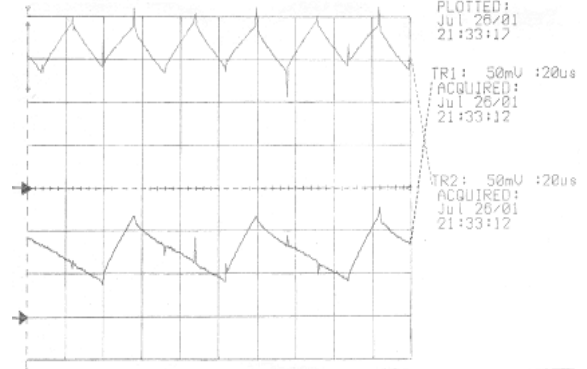
Şekil 11 $d=0.5$ $n=4$ için akımlar

5. SONUÇ

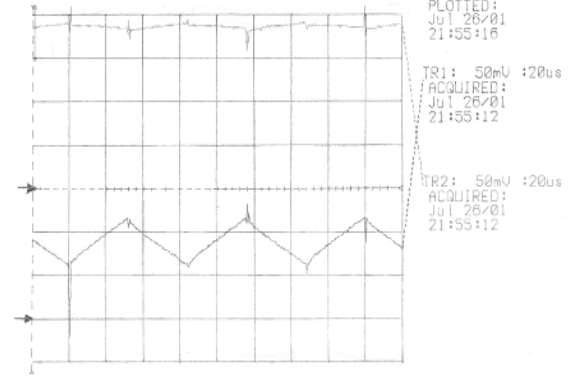
Bu çalışmada paralel bağlı buck türü dc/dc dönüştürücülerin çıkışlarındaki dalgalanmanın

paralleleme sayısına ve doluluk oranına bağlı değişimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, sayısal benzetim ve deneysel sonuçlarla uyum içindedir.

Devre elemanlarında ve doluluk oranlarında olabilecek eşitsizliklerin dalgalanma üzerine etkisi bu bildirinin kapsamı dışında bırakılmıştır.



Şekil 12. $n=2$, $d=0.25$ için akımlar



Şekil 13. $n=2$, $d=0.5$ için akımlar

KAYNAKLAR

- [1] Perreault D. J. et. al., Switching-Ripple-Based Current Sharing for Paralleled Power Converters, IEEE Trans. on Circuits and Systems, No:10, Vol:46.
- [2] Chen, W., 1999, High efficiency, high density, polyphase converters for high current applications, Linear Technology, Application Note:77
- [3] Zhou, X., et.al., A novel current-sharing control technique for low-voltage high-current voltage regulator module applications, IEEE Trans. on Power Electronics, Nov.2000, No:6, Vol:15, pp.1153-116.
- [4] Choi, B., Comparative study on paralleling schemes of converter modules for distributed power applications, IEEE Trans. on Ind. Electronics, April 1998 No:2, Vol:45