

Geleneksel Tek Katlı DC-DC Dönüştürücü Yapısı ile Faz Kaydırmalı Modül Paralleleme Yönteminin Genel Karşılaştırılması

General Comparison of Conventional Single Phase DC-DC and Interleaved Multiphase Converter Topologies

İlker Şahin¹, Ahmet M. Hava²

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
silker@metu.edu.tr¹, hava@metu.edu.tr²

Özet

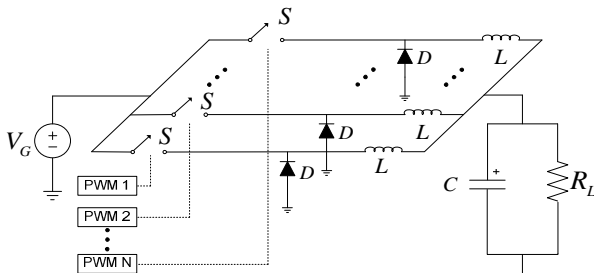
Güç elektroniği dönüştürücülerinden beklenen başarımlar ölçütlerinin gittikçe sıklaşıp, karşılaması güç seviyelere çekildiği günümüzde, faz kaydırmalı modül paralelleme tekniği (FKMP), tek katlı geleneksel dönüştürücü yapısına karşı sahip olduğu üstünlükler nedeniyle önem kazanmakta ve yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, aynı giriş/çıkış değerlerine sahip, tek katlı (geleneksel yapı) ve çok katlı (FKMP tekniği uygulanmış) yapıda iki ayrı dönüştürücünün karşılaştırması üzerinden FKMP tekniğinin getiri ve götürüleri ortaya konacaktır. Çalışma, benzetim sonuçlarıyla desteklenecektir.

Abstract

Due to the advantages that it provides when compared to the conventional single phase converter structure, the interleaving technique is becoming increasingly popular, in particular in the application areas of stringent performance requirement and high power levels. In this study, advantages and disadvantages of interleaving technique are shown by comparing an interleaved converter with a traditional single phase converter both of which have the same input/output characteristics. Study is supported by simulation results.

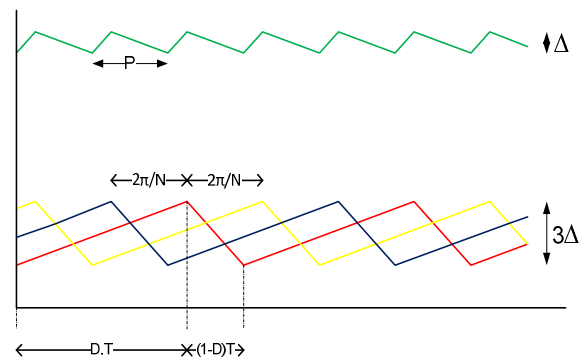
1. Giriş

Faz kaydırmalı modül paralelleme (FKMP) tekniği, bir güç dönüştürücüsünün N adet paralel kata sahip olmasıyla birlikte, bu paralel katların birbirinden $2\pi/N$ derece faz farkıyla sürülmesine dayanır. Şekil 1'de, FKMP tekniği uygulanmış gerilim indirici (buck) tipi bir dc-dc dönüştürücünün devre şeması görülmektedir.



Şekil 1: Çok katlı gerilim indirici dönüştürücü yapısı.

FKMP tekniğinin, ilerleyen kısımlarda bir tasarım örneği üzerinden karşılaştırması yapıldığında görüleceği üzere, tek katlı dönüştürücü yapısına karşı pek çok getirisi vardır. FKMP tekniğinin tercihiyle daha üstün bir giriş/çıkış performansı (kırırtı azlığı, gürültü azlığı vb.) elde edilebilir [1], [2]. Dönüştürücüde kullanılacak indüktör ve kondansatörler genelde kabul edilebilir kırırtı miktarına göre seçildiğinden, devrede görülecek toplam kırırtının azalması daha küçük kondansatör ve indüktör kullanımına, dolayısıyla daha düşük hacimde, daha az malzeme kullanarak yüksek güç yoğunluğuna ulaşılmasına olanak sağlar. Şekil 2'de, 0.75 çalışma oranında çalışan üç katlı gerilim indirici tipte bir dönüştürücünün kat ve bunların toplamı olan çıkış akımları gösterilmektedir. Görüleceği üzere, FKMP uygulanmış dönüştürücüde, birbirinden $2\pi/N$ derece faz farkıyla sürülen katların akım kırırtıları, çıkışta birbirini etkisizleştirerek toplamda daha düşük kırırtı başarımı sergilenmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da çıkış akımı kırırtısının frekansının anahtarlama frekansının N katı oluşudur. Dolayısıyla, FKMP tekniğinin frekans katlayıcı özelliği olduğu söylenebilir.



Şekil 2: Üç katlı bir gerilim indirici dönüştürücünün kat ve toplam çıkış akım dalga şekilleri.

Tek katlı indirici tipi bir dönüştürücünün çıkış akımı kırırtısı (1) de verilmiştir. FKMP tekniğinin temel getirisi olan kırırtı miktarının bastırılması özelliğinin matematiksel ifadesi, çok katlı indirici tipte bir dönüştürücünün toplam çıkış akım kırırtısı için, (2) de sunulmuştur.(2)'deki "x" değişkeni bir

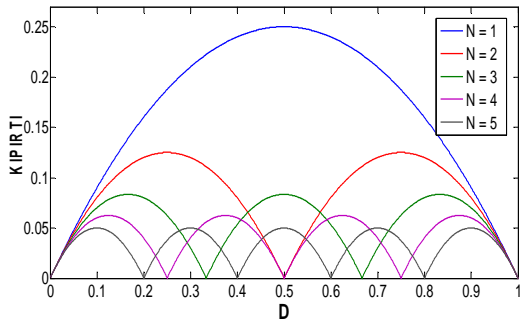
tamsayı olup (3)'de tanımlanmıştır. Denklemlerde f anahtarlama frekansı, V_G kaynak gerilimi, D çalışma oranı ve L bobin indüktansdır. Tek katlı devredeki ve çok katlı devrenin bütün katlarındaki bobin indüktansının "L" olduğu varsayılmıştır.

$$\Delta I_1 = \frac{V_G(1-D)D}{f.L} \quad (1)$$

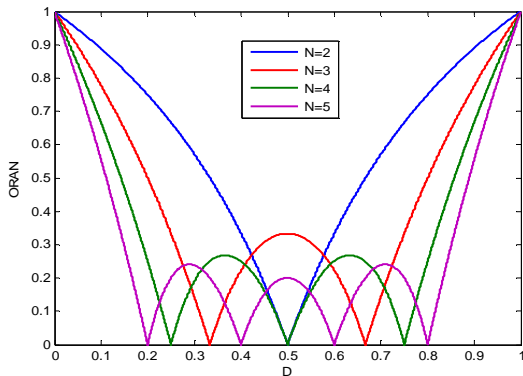
$$\Delta I_N = \frac{V_G}{f.L.N} (1 - (x - N.D))(x - N.D) \quad (2)$$

$$\frac{x-1}{N} < D < \frac{x}{N} \quad (3)$$

Şekil 3'te, (1) ve (2) numaralı denklemlerdeki akım kırıltısı ifadeleri kullanılarak, tek fazlı ve çok fazlı FKMP indirici devrelerinin çıkış akım kırıltısı miktarı faz sayısı (N) ve çalışma oranı (D) değerlerine bağlı olarak aynı grafik üzerinden sunulmuştur. Grafik farklı yapıları karşılaştırdığından, akım kırıltı formüllerinde ortak bulunan $\frac{V_G}{f.L}$ terimi bir birim alınmıştır. İlgili şekilde görüleceği üzere FKMP tekniği her N ve D değeri için, tek fazlı devreye göre daha düşük akım kırıltısı sunmaktadır. Ayrıca N ve D çarpımının tam sayı olduğu durumlar için kırıltının tamamen sıfırlandığı gözlemlenir. Şekil 4'te ise, çok katlı dönüştürücü çıkış akım kırıltısının tek katlı devredeki akım kırıltısına oranı sunulmuştur. Kat sayısı arttıkça kırıltının da azaldığı görülmektedir.



Şekil 3: Tek ve çok katlı gerilim indirici devreleri için çıkış akım kırıltı miktarları.



Şekil 4: Çok katlı gerilim indirici devreleri için çıkış akım kırıltı miktarlarının tek katlı devre çıkış akım kırıltısına oranı.

2. Tek ve Çok Katlı Yapıların Verim ve Hacim Karşılaştırması

Temel dönüştürücü başarımlar ölçütlerinden biri olan verim konusunda, FKMP yönteminin getirilerini tartışırken karşılaştırmanın hangi koşullar altında yapıldığı ve kayıp mekanizmalarının matematiksel modellerini belirtmek faydalı olacaktır. İncelenmekte olan gerilim indirici tipteki bir dönüştürücü için temel kayıp mekanizmaları, anahtarlama kaybı, diyot ters toparlanma kaybı ve devre elemanlarının etkin seri direncinden kaynaklanan iletim kayıplarıdır. Söz konusu kayıp ifadeleri, sırasıyla (4), (5) ve (6) ile verilmiştir.

$$P_{sw} = \frac{1}{2} \cdot V \cdot I \cdot (t_{çıkış} + t_{iniş}) \cdot f \quad (4)$$

$$P_{rev} = V \cdot Q_{rr} \cdot f \quad (5)$$

$$P_{ilt} = I_{rms}^2 \cdot r_{dc} \quad (6)$$

Büyüklik bakımından iletim ve anahtarlama kayıplarına kıyasla küçük kalsa da, anahtarların çıkış kondansatöründen doğan kayıplar, akım yollarının parazitik dirençleri, denetç ve kapı sürme devrelerinin çekeceği güç gibi ikincil kayıp mekanizmalarından da söz edilebilir.

FKMP tekniğinin dönüştürücü verimine olumlu etkisi iletim kayıplarının düşmesidir. Parallellendirme sonucunda güç katlarının toplamının etkin seri dirençleri düşeceğinden iletim kayıplarının azalması beklenir. FKMP tekniğinin anahtarlama veya ters toparlanma kayıplarına ((4) ve (5)'deki ifadeler temel alındığında) olumlu veya olumsuz bir etkisi yoktur. Öte yandan, anahtar çıkış kondansatöründen doğan kayıplar veya denetç ve kapı sürme devrelerinin çekeceği güç gibi ikincil kayıplar aktif kat sayısı oranında artacaktır. Bir akım dalga şeklinde, kırıltı miktarının azalması, aynı ortalama değerde daha düşük bir rms değeri sağlar ve bu da iletim kayıplarını azaltır. FKMP yönteminin en güçlü yanı olan kırıltı bastırma özelliği, kat üzerinde bulunan, kayıpların büyük kısmının gerçekleştiği yarıiletken malzemeler veya indüktörler üzerinde değil fakat dönüştürücünün giriş ve çıkışında gözlemlendiğinden, kırıltı azaltılmasının incelenen kayıp kalemlerine olumlu bir katkısı bulunmamaktadır.

Tek katlı ve çok katlı dönüştürücüler tamamen aynı devre elemanlarıyla gerçekleştirildiğinde, çok katlı devre kat sayısı oranınca daha yüksek akım kapasitesine sahip olacaktır. Dolayısıyla, çok katlı dönüştürücünün iletim kayıplarındaki düşüşle verim açısından tek katlı dönüştürücünün önüne geçmesi beklenir. FKMP yönteminin yüksek güçlere çıkma amaçlı tercihinde böyle bir yaklaşım benimsenebilir. Pratikte bir devre elemanının akım kapasitesi arttıkça seri etkin direnci düşecektir. FKMP yönteminin verime etkisini incelemeyi amaçlayan adil bir kıyaslamada çok katlı dönüştürücüdeki devre elemanlarının tek katlı dönüştürücüdeki eşdeğerlerine oranla N kat daha az akım kapasitesine dolayısıyla N kat fazla seri etkin dirence sahip olmalıdır. Böyle bir koşul, çok katlı (örneğin dört katlı) dönüştürücünün her katında birer adet toplamda dört adet kullanılmış MOSFETe karşılık, tek katlı dönüştürücüde birbirine paralel dört adet MOSFET kullanmakla yaratılabilir. Etkin seri dirençleri veya nüve kayıpları tasarıma göre farklılık gösterse de indüktans

değerleri aynı tutulacaktır. Bu yaklaşım “eşit akım kapasitesi-eşit indüktör” şeklinde özetlenebilir.

Tek katlı dönüştürücüde ve çok katlı dönüştürücünün her güç katında kullanılan indüktör büyüklüğü aynı olmasına rağmen, (7) ve (8) ifadelerinden görülebileceği üzere, çok katlı yapıdaki indüktörlerde depolanan enerji, aktif paralel kat sayısı oranında daha azdır. Manyetik malzeme boyutu ve depolanan enerji arasında doğru orantı bulunduğu için, çok katlı dönüştürücüde, indüktans değeri aynı tutulsa dahi manyetik malzemeye ayrılan hacim düşürülebilir. DC-DC dönüştürücülerde manyetik malzeme boyutunun toplam dönüştürücü boyutunun önemli bir bölümünü oluşturduğu düşünülürse, FKMP yöntemi ile dönüştürücü hacminin küçültülüp, tek katlı yapıya göre düşük hacim ve yüksek enerji yoğunluğu elde edilebileceği anlaşılır. Dolayısıyla “eşit akım kapasitesi-eşit indüktör” prensibiyle yapılan karşılaştırma için çok katlı devrenin daha az hacim kaplayacağı hatırdta tutulmalıdır.

$$E_1 = \frac{1}{2}LI^2 \quad (7)$$

$$E_N = N\left(\frac{1}{2}L\left(\frac{I}{N}\right)^2\right) = \frac{1}{2N}LI^2 = \frac{1}{N}E_1 \quad (8)$$

Tek katlı (geleneksel) ve çok katlı FKMP tasarım tercihlerini, örnek bir gerilim indirici tip dönüştürücü örneği üzerinden incelemek faydalı olacaktır. 56 V giriş, 28 V 36 A çıkış değerlerinde çalışan 1 kW'lık indirici tipte bir dc-dc dönüştürücü, tek katlı dönüştürücü yapısında Tablo 1'deki gibi tasarlanmıştır. Karşılaştırması yapılacak çok katlı dönüştürücü yapısı için kat sayısı dört olarak düşünülmektedir.

Tablo 1: Tek katlı dönüştürücü parametreleri ve tepe-tepe akım ve gerilim kıpırtıları.

f	L	C	ΔI	ΔV
100 kHz	20 μ H	40 μ F	7 A	0.218 V

56 V giriş, 28 V 36 A çıkış değerlerinde çalışıp, “eşit akım kapasitesi-eşit indüktör” yaklaşımıyla karşılaştırması yapılacak olan tek ve dört katlı dönüştürücülerin gerçekleşmesi için, anahtar olarak ikisi de 200 V kesme ve 30 A iletim kapasitesine sahip IRFP250 kodlu MOSFET ile STTH3002 kodlu diyot seçilmiştir. Verim analizlerine konu olan parametreler, ilgili cihazların veri yapraklarından bulunmuştur [3],[4]. Yaygın eğilim, yüksek akım ve güç değerlerinde hazır indüktör satın alınması yerine manyetik nüve seçilerek istenen özelliklere sahip indüktörün devre tasarımcısı tarafından üretimi olduğundan, tek ve dört katlı dönüştürücüler için sırasıyla 36 ve 9 A doğru akım kapasitesinde 20 μ H indüktans değerine sahip indüktörler tasarlanmıştır [5]. İndüktör özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur.

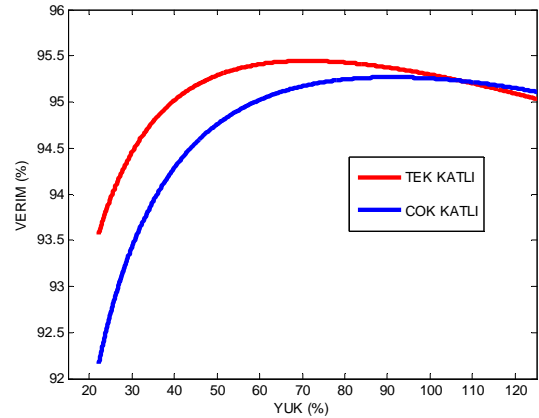
“Eşit akım kapasitesi-eşit indüktör” yaklaşımıyla, özellikleri sunulan malzemeler kullanılarak yapılan tek katlı ve dört katlı dönüştürücü verim karşılaştırması Şekil 5'de görülmektedir. İncelenen dönüştürücü topolojisi ve sunulan parametreler dâhilinde yapılan verim analizinde, tek katlı yapının genelde daha verimli olduğu, yüksek yüklenme koşullarında çok katlı yapının öne geçebildiği görülmektedir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da incelenen kayıp kalemlerine giriş ve çıkış filtrelerinden doğacak kayıpların dâhil edilmemiş olmasıdır. Çok katlı yapı, üstün giriş-çıkış başarımıyla daha

küçük filtrelere gereksinim duyacak, bu da verimine olumlu etki edecektir. Dolayısıyla verim eğrilerinin kesişmesi daha erken bir noktada gerçekleşecektir. Öte yandan, Tablo 2'deki manyetik hacimleri incelendiğinde, çok katlı dönüştürücünün manyetik malzemelere ayırdığı hacmin, tek katlı eşdeğerinin manyetik hacminin %30'u kadar olduğu, dolayısıyla FKMP yönteminin aynı dönüştürücü başarımını daha düşük bir hacimde gerçekleştirdiği anlaşılır. Pratik uygulamanın getirdiği koşullara bağlı olarak, dönüştürücü hacminin en aza indirgenmesi hedeflenebileceği gibi kazanılmış olan bu hacim soğutma birimlerine harcanarak verim artışı da sağlanabilir.

Yukarıdaki paragraftaki değerlendirmeden yola çıkılarak, doğru tasarım yaklaşımı uygulandığında, FKMP tekniğinin ya boyut/ağırlık/maliyet azaltımı ya da enerji verimi getirisi sağlayacağı anlaşılır. Bu ikisinin bir arada gerçekleşmesi ise aşağıdaki örnek üzerinden tartışılacaktır.

Tablo 2: Tek ve dört katlı dönüştürücü yapılarında kullanılacak indüktörlerin kayıp hesaplarına konu özellikleri

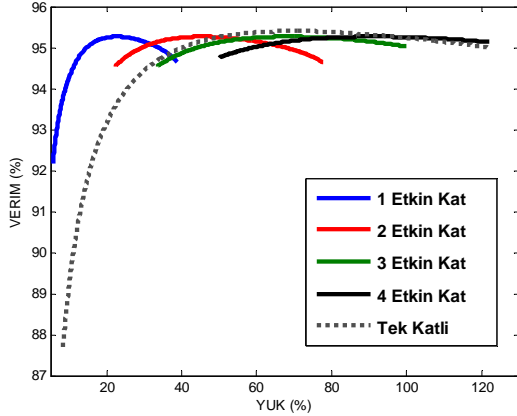
	Tek Katlı	Dört Katlı
Nüve Cinsi	Kool Mı	Kool Mı
Kod	(2x)77195-A7	77934-A7
Hacim (mm ³)	57250	4150
Tam Yükte İndüktans (μ H)	20.82	20.62
Sıfır Yükte İndüktans (μ H)	46.49	45.20
Tam Yükte Etkin μ Değeri	55.4	41.5
Sarım Sayısı	9	20
Kablo Kesiti (AWG)	2x12	14
Sargı Katsayısı	0.13	0.3
DC Direnç (m Ω)	5	6
Nüve Kayıpları (mW)	1464	1117.1
Bakır Kayıpları (mW)	6577	753.4
Toplam Kayıp (mW)	8041	1870.5
Sıcaklık Artışı (C°)	31.4	30



Şekil 5: Eşit akım kapasitesine sahip tek ve dört katlı dönüştürücülerin yük akımına bağlı verim eğrileri.

FKMP yönteminin uygulandığı dönüştürücüye sağladığı yeteneklerden biri de etkin kat sayısının değiştirilebilirliğidir. Bir dönüştürücüde, manyetik malzeme nüve kayıpları, anahtar

çıkış kapasitansı kayıpları, denetçi ve kapı sürme devrelerinin beslenmesine harcanan güç gibi yük akımından bağımsız kayıp kalemleri dikkate alınırsa çok katlı dönüştürücü yapısında yük akımı düştükçe etkin kat sayısını azaltmanın verimi ilgili bölgede artırabileceği anlaşılır. Şekil 6'da, önceki verim incelemelerine konu olan dört katlı dönüştürücünün, yük akımına ve etkin kat sayısına bağlı verim grafiği görülebilir. Tasarımcı, verim açısından hangi etkin kat sayısının hangi yük değerlerinde tercih edilmesi gerektiğini belirleyerek, denetçi yük akımına bağlı olarak etkin kat sayısını devreye almaya/çıkarmaya programlayabilir. Bu yaklaşım, hafif yüklerde verim artışı sağlamak ve genel verim eğrisinin büyüğe bir yük akım değeri aralığında düzleşirmek için uygulanmaktadır [9].



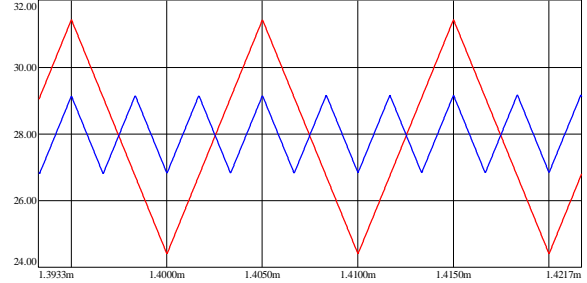
Şekil 6: Dört katlı dönüştürücü yapısının değişken etkin kat sayısı yaklaşımıyla verim başarımı.

3. Tek ve Çok Katlı Yapıların Giriş/Çıkış Başarımları Karşılaştırması

FKMP yönteminin temel getirisi, zaman ekseninde kaydırılmış akım dalga şekillerinin, dönüştürücü topolojisine bağlı olarak giriş veya çıkışta birbirini dengeleyerek tek katlı dönüştürücü yapısındaki orana çok daha düşük kırırtı miktarı sağlamasıdır. 56 V giriş ve 28 V çıkış gerilimi, (devre elemanlarının üzerinde gerçekleşecek gerilim düşümü ihmal edildiğinde) 0,5 çalışma oranını gerektirir ki bu, çalışma koşullarında dört katlı bir dönüştürücü Şekil 3'de görülebileceği üzere çıkış akımındaki kırırtı miktarını, dolayısıyla bunun bir fonksiyonu olan çıkış gerilim kırırtı miktarını sıfırlar. Elbette ki, pratik koşullarda inductörler arasındaki dengesizlikler, faz kaydırma miktarı ve anahtarlama sürelerinin ideal olmayışı gibi koşullar nedeniyle az da olsa bir kırırtı beklenebilir.

Dört katlı tasarlanmış dönüştürücünün, örneğin değişken etkin kat sayısı prensibiyle bir katını kapatıp üç etkin paralel katla çalışmaya devam ettiği senaryoda dahi çok katlı dönüştürücü yapısı toplam çıkış akım kırırtısı bakımından tek katlı dönüştürücüden çok daha üstün başarımla sergileyecektir. Diğer bir deyişle, tek ve çok katlı dönüştürücüler arasındaki karşılaştırma, çok katlı dönüştürücünün en kötü koşullarında yapılacaktır. 56 V giriş 28 V çıkış değerlerinde çalışan tek ve üç katlı dönüştürücülerin toplam çıkış akım kırırtısı Şekil 7'deki benzetimde görülebilir. Tam boy (tepeden tepeye) akım kırırtısı tek katlı dönüştürücü için 7 A, çok katlı dönüştürücü

için 2,33 A değerlerinde gerçekleşmiştir. Şekil 7'den gözlenmesi gereken bir diğer önemli nokta da FKMP yönteminin etkin anahtarlama frekansını etkin kat sayısı oranında artırdığıdır. Çok katlı dönüştürücünün toplam çıkış akım kırırtısının tek katlı dönüştürücüye oranla daha düşük olmasının yanı sıra kırırtı frekansının anahtarlama frekansının üç katı olduğu da gözlemlenebilir.

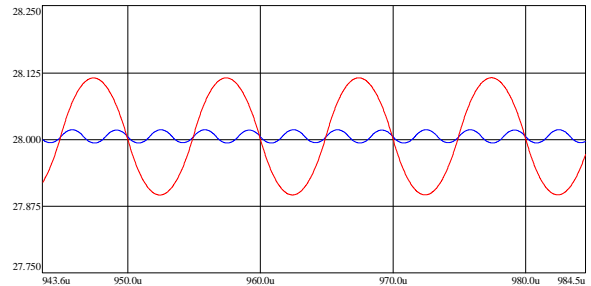


Şekil 7: Üç (mavi) ve tek (kırmızı) katlı dönüştürücüler arasında toplam çıkış akım kırırtısı karşılaştırması.

İndirici tipteki dönüştürücüler için çıkış gerilim kırırtı ifadesi (9)'daki gibidir. FKMP yöntemi uygulandığında, hem paydaki akım kırırtısı azalacağından hem de paydaki frekans terimi N katına çıkacağından, çok katlı devreler çıkış gerilim kırırtısının azlığı konusunda tek katlı eşdeğerlerine oranla çok daha başarılıdır.

$$\Delta V = \frac{\Delta I}{f_c} \quad (9)$$

Şekil 8'de tek ve çok katlı dönüştürücülerin çıkış gerilim kırırtısı için karşılaştırması görülebilir. İki dönüştürücü için de çıkış kondansatörü 40 µF alınmıştır. Çıkış gerilim kırırtısı çok katlı dönüştürücü için 24,27 mV, tek katlı dönüştürücü için ise 218 mV olarak gerçekleşmiştir.

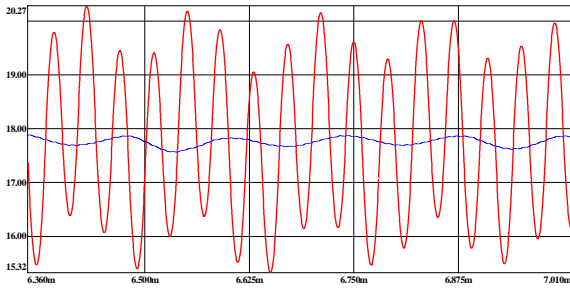


Şekil 8: Üç (mavi) ve tek (kırmızı) katlı dönüştürücüler arasında çıkış gerilim kırırtısı karşılaştırması.

Her iki dönüştürücüde de eşit büyüklükte çıkış kondansatörü kullanıldığı varsayıldığında, çok katlı dönüştürücü FKMP yönteminin gerilim dalgalanması bastırma özelliğini kullanarak, tek katlı dönüştürücü yapısına kıyasla daha üstün kırırtı başarımı sergiler. Dönüştürücü hacminin küçültülmek istendiği uygulamalarda çok katlı dönüştürücüde, tek katlıyla aynı çıkış gerilim başarımı daha az miktarlarda kondansatör büyüklüğüyle gerçekleştirilebilir. Bu durum, uygulama ve çalışma koşullarına bağlı olarak kullanılması düşünülen kondansatör teknolojisine değişimine (elektrolitik yerine film) bile imkân sağlayabilir ki bu şekilde kondansatör seri etkin dirençleri daha da azaltılabilir.

Çıkış akım kırırtısındaki azalmaya benzer şekilde, FKMP yöntemi dönüştürücülerdeki giriş akım kırırtısını azaltmaya da

yardımcı olur. Giriş akım kırıltısı bastırma özelliği, giriş akımının kat akımları toplamı olduğu yükseltici tip dönüştürücülerde daha önemli olmasına rağmen [6], indirici tip dönüştürücülerde de kaynağa yansıtılan kirliliği azaltması bakımından faydalıdır. Şekil 9'da tek ve çok katlı dönüştürücü yapıları için kaynak akım dalga şekilleri sunulmuştur. Dönüştürücülerin ikisinde de kaynaktan sonra 10 μ H indüktör ve 50 μ F kondansatörden oluşan filtre kullanılmış olup, çok katlı dönüştürücünün daha üstün bir giriş akım başarımı sergilediği görülmektedir. Benzer şekilde, eşit giriş akım başarımı tercihiyle, çok katlı dönüştürücü daha küçük bir filtreyle gerçekleştirilebilir ki bu da hacim ve malzemenin kazanç demektir. Daha önce sunulan verim kıyaslamalarına giriş filtresi ve çıkış kondansatörleri dâhil edilmediği düşünüldüğünde, sunulan bu son karşılaştırma sonuçlarıyla, verim odaklı yapılan bir tasarım sürecinde önceki analizlere ek olarak çok katlı dönüştürücü veriminin bir miktar daha iyileştirilebileceği anlaşılabilir.



Şekil 9: Üç (mavi) ve tek (kırmızı) katlı dönüştürücüler arasında giriş akım kırıltısı karşılaştırması.

FKMP yönteminin dönüştürücü başarımına sunduğu katkılar bunlarla sınırlı değildir. Çok katlı yapı, yedek sistemler barındırıyor olması sebebiyle güvenilirlik arz eder. Dönüştürücü çalışırken, üzerinde gerçekleşen kayıplardan dolayı ısınan MOSFET, diyot gibi yapıların çok katlı yapı sayesinde birbirinden ayrı durması ısı merkezlerin daha küçük parçalar halinde dağıtılması anlamına geldiğinden dönüştürücünün ısı performansında artışa ve soğutma kolaylığına yardımcı olabilir. Daha önceki kısımlarda değinildiği üzere, bastırılmış akım ve gerilim kırıltıları tek katlı dönüştürücüye oranla aynı veya daha iyi başarımın daha küçük değerli indüktans ve kondansatörlerle gerçekleştirilmesine olanak tanır ki bu sayede manyetik enerji depolama yönüyle tek katlı yapıya göre daha küçük hacme sığan çok katlı yapı daha da küçültülebilir [7]. Dolayısıyla FKMP dönüştürücü hacmini küçültüp enerji verimliliğini artırmak için etkili bir yoldur. Her paralel kattaki "L" değerindeki indüktansın dönüştürücünün genel dinamik karakterine "L/N" olarak etki edeceğinden ve etkin olarak "N" katına çıkarılmış anahtarlama frekansının denetecin dönüştürücüyü daha sık zaman aralıklarında denetlemesine imkân sağlamasından dolayı, FKMP yöntemiyle tasarlanmış çok katlı dönüştürücü yapısı tek katlı eşdeğerine göre bozucu etkilere karşı daha hızlı tepki [8].

FKMP yönteminin sunduğu bu katkılara karşın getirdiği sorunlar temelde dönüştürücü karmaşıklığını artırmıştır. İdeal koşullarda birbiriyle aynı olduğu varsayılan paralel katlardaki elemanlar, pratik koşullarda birbirinden az da olsa farklı değerlere sahip olduğundan paralel katlar arasında akım paylaşımı eşit olmayabilir. Bunun için çok katlı devrelerde çıkış geriliminin yanı sıra kat akımları da kontrol edilmelidir.

Aynı zamanda, FKMP yönteminin ihtiyaç duyduğu daha etkin denetleme yeteneğine sahip deneteciler, tek katlı yapıda kullanılacak olan eşdeğerlerine oranla daha pahalı olabilir.

4. Sonuç

FKMP yöntemiyle tasarlanmış çok katlı dönüştürücü yapısının, geleneksel tek katlı dönüştürücü yapısına karşı sunduğu getiriler incelenmiştir. Çok katlı yapı, üstün giriş/çıkış başarımının yanı sıra daha küçük bir hacme gereksinim duyması bakımından yüksek güç yoğunluğuna olanak tanır. Benzetim örneği üzerinden yapılan verim karşılaştırmasında, "eşit akım kapasitesi – eşit indüktör" yaklaşımı benimsendiğinde FKMP yönteminin verime ciddi bir olumlu katkı sağlamasına da daha küçük hacim işgal etme, kırıltı bastırma özelliği ile giriş çıkış filtrelerinden doğan kayıpları azaltma gibi katkılarının olacağı anlaşılmaktadır. Ayrıca, çok katlı dönüştürücü yapısının, değişken etkin kat sayısı yaklaşımıyla çalıştırıldığında verim eğrisini düzelterek düşük güçlerde verim artışı sağlayabileceği gösterilmiştir. Güç elektroniği dönüştürücülerinde FKMP tekniğinin uygulamaları düşük hacim gereksinimli mobil uygulamalarda ve yüksek verim gereksinimli enerji verimliliği uygulamalarında yaygınlaşmaktadır.

5. Kaynakça

- [1] C. Chang, M.A. Knights, "Interleaving Technique in Distributed Power Systems," IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, vol. 42, no. 5, May 1995, pp.245-251.
- [2] İ. Şahin, A. M. Hava "Güç Elektroniği Dönüştürücülerinde Faz Kaydırmalı Modül Paralleleme Yöntemi" Otomasyon Dergisi, sayı 238, Nisan 2012, sayfa 408-416.
- [3] IRFP250 veri yaprağı, International Rectifier, <http://www.irf.com>
- [4] STTH3002 veri yaprağı, ST Microelectronics, <http://www.st.com>
- [5] Mag-Inc İndüktör Tasarlama Uygulaması, <http://www2.mag-inc.com/calculators/Inductor-Design-Calculator>
- [6] M.C. Kaya, A.M. Hava, "Yüksek Güç Katsayılı Serpiştirilmiş Yükseltici GKD AC/DC Dönüştürücü," EVK 2009, III. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 21-22 Mayıs 2009, Kocaeli, sayfa 159-163.
- [7] J.A Oliver, P. Zumel, O. García, J. A. Cobos and J. Uceda, "Passive component analysis in interleaved buck converters," IEEE-APEC Conf., 2004, pp.623-628.
- [8] Y.Y.Law, J.H. Kong, J.C.P. Liu, N.K. Poon, M.H. Pong, "Comparison of three topologies for VRM fast transient application," IEEE-APEC Conf., 2002, pp.210-215.
- [9] P. Zumel, "Efficiency improvements in multiphase converters by changing dynamically the number of phases" Power Electronics Specialists Conference, 2006. PESC '06. 37th IEEE, pp.1-6