



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Yüksek Frekans DA/DA Senkron Yükselten Dönüştürücü Tasarımı

Tufan Volkan KÜÇÜK^{a,*}, Harun ÖZBAY^b, Yasin CANTAŞ^c, Murat KARABACAK^c, Murat KALE^e

^a Elektrik Bölümü, Osmaneli MYO, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilecik, TÜRKİYE

^b Elektrik ve Enerji Bölümü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi MYO, Bilecik, TÜRKİYE

^c Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

^e Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: tufan.kucuk@bilecik.edu.tr

ÖZET

Günümüz teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, endüstriyel veya bireysel tüketicilerin mobil cihazlara olan ilgisini arttırmakta ve buna bağlı olarak Doğru Akım (DA) kullanımı da yaygınlaşmaktadır. DA kullanımına olan talebin büyümesi temel yarı iletken güç dönüştürücülerinden biri olan DA-DA dönüştürücülerin önemini de arttırmaktadır. Bu çalışmada yüksek frekanslı (280kHz) darbe genişlik modülasyon kontrollü (PWM) DA-DA senkron yükselten dönüştürücü tasarımı ve uygulaması gerçekleştirilmektedir. Tasarım ve uygulama aşamasında yüksek frekans ile çalışmanın meydana getirmiş olduğu problemler, kontrol katı ve güç katı olmak üzere ayrı ayrı değerlendirilerek, iyileştirme yöntemleri yarı iletken elemanlar ve baskı devre yapısı üzerinde uygulanarak deneysel olarak gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: DA/DA, Senkron Yükselten Dönüştürücü, Yüksek Frekans

Design of High Frequency DC/DC Synchronous Boost Converter

ABSTRACT

Technological improvements and inventions have increased the interest in mobile devices for both personal and industrial usage and therefore uses of direct current systems have been more common. DC-DC converter, which is one of the basic types of semiconductors, has gained more importance due to the demand for DC usage. In this study high frequency (280Khz) pulse width modulation controlled (PWM) synchronous boost converter design and implementation are performed. The problems caused by high frequency during design and implementation processes are evaluated separately as control layer and power layer. Some methods are applied on semiconductor components and printed circuit board structure to solve the problems and the experimental results are observed.

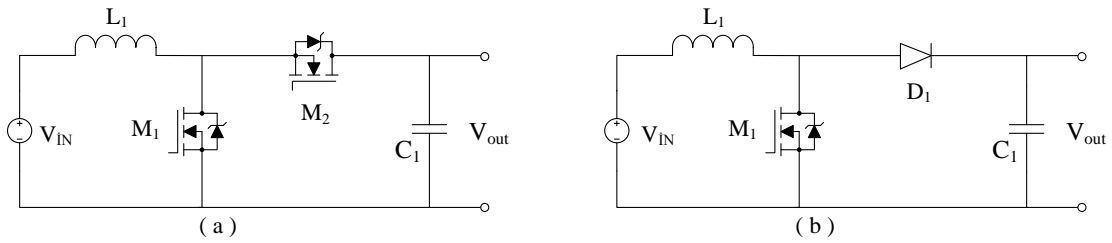
Keywords: DC/DC, Synchronous Boost Converter, High Frequency

I. GİRİŞ

GÜNÜMÜZÜN teknolojik gelişmeleri ile beraber endüstride ve özellikle evlerde kullanılan cihazlarda doğru akım (DA) kullanımı yaygınlaşmaktadır. Dizüstü bilgisayarlar, cep telefonları, şarj aletleri gibi cihazların çalışması için alternatif gerilim, denetimsiz doğrultucularla doğru gerilime, DA-DA dönüştürücüler ile de yükün gereksinim duyduğu doğru gerilim seviyesine dönüştürülüp, filtre ve regülatör devrelerinden geçirilerek yüke aktarılır.

Yükseltici tip DA-DA dönüştürücüler girişine uygulanan gerilim seviyesini yükün istediği seviyeye yükselten devrelerdir. Yapısının basit olması ve kesintisiz akım iletimi sağlaması nedeniyle kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır [1]. Şekil 1’de görüldüğü gibi yükselten tip DA-DA dönüştürücüler iki farklı şekilde olabilmektedir;

- 1- Senkron Yükselten Tip Dönüştürücü
- 2- Diyotlu Yükselten Tip Dönüştürücü



Şekil 1. (a) Senkron yükselten dönüştürücü (b) Diyotlu yükselten dönüştürücü

Çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı Eş. 1 bağıntısıyla verilir.

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{T_s}{t_{off}} = \frac{1}{1-D} \quad (1)$$

Burada V_o çıkış gerilimini, V_{in} giriş gerilimini, T_s anahtarlama periyodunu, t_{off} sinyalin kesim süresini ve D ise iletim oranını ifade etmektedir.

DA-DA dönüştürücülerin sürekli ve sabit çıkış gerilimi vermesi istenir. Burada elektronik elemanlar üzerinde meydana gelen kayıplar ve gerilim düşümleri çıkış gerilimini ve dolayısıyla da çıkışa aktarılan gücü olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle dönüştürücülerin tasarımı ve denetimi büyük önem kazanmaktadır. Eğer yüksek verimli dönüştürücü tasarlanmak isteniyorsa diyotlu yükselten dönüştürücü yerine senkron yükselten dönüştürücü tercih edilmelidir. Çünkü anahtarlama elemanı üzerinde harcanan güç diyot üzerinde harcanan güçten çok az olmaktadır. Böylece kayıplar senkron yükselten dönüştürücüde daha az olmaktadır [2].

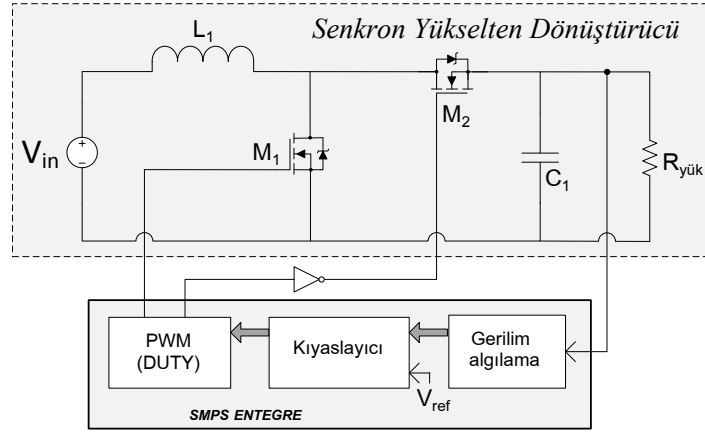
Geleneksel DA-DA yükseltici dönüştürücülerin dezavantajları; anahtarlama kayıplarından dolayı düşük verimli çalışmaları ve giriş-çıkış uçlarındaki dalgalanmalar nedeniyle büyük boyutlu olmalarıdır. Pasif elemanların boyutlarının azaltılması için anahtarlama frekansının artırılması gerekmektedir. Ancak yüksek anahtarlama frekansı, yüksek güçlerde yarı iletkenler üzerindeki kayıp güçlerin artmasına ve verimin düşmesine neden olmaktadır. Bu yüzden daha hızlı yarı iletkenlere ve düzgün anahtarlama ihtiyacı duyulmaktadır.

Yüksek frekanslı düşük güç ve orta güç uygulamalarında pasif elemanların azaltılması, işlem hassasiyetinin yüksek olması, dijital sistemlere kolay adaptasyonu gibi nedenlerle anahtarlamalı mod güç kaynağı (SMPS) entegreleri oldukça avantajlıdır [2-3]. Teknolojinin gelişmesi ile SMPS entegreleri de geliştirilerek tüm DA-DA dönüştürücülerin kontrolünde kullanılabilir olacak yapıda entegrelere ilgi giderek artmaktadır.

II. DENEY

A. SENKRON YÜKSELTEN TİP DÖNÜŞTÜRÜCÜ ANALİZİ

Bu çalışmada SMPS entegresi kontrollü 280-300 kHz frekans aralığında çalışabilen, yüksek frekanslı 100W gücünde senkron yükselten dönüştürücü tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi senkron yükselten dönüştürücünün güç kontrolü için SMPS entegreli devrenin blok şeması verilmiştir.



Şekil 2. Senkron yükselten dönüştürücü SMPS entegreli kontrol blok şeması

Tasarlanan devre periyodik olarak çalışmaktadır. Yani, sürekli durumda bobin içerisinde akan akım periyodiktir ve anahtarlama periyodunun başındaki ve sonundaki değerleri aynıdır. Yarı iletken anahtarların iletimi ve kesimi sabit frekansta yapılmaktadır ve bu frekans değeri T periyodunu belirler. İletim oranı D ile ifade edilir ve iletim süresi DT değerine eşit olur. Anahtarın kesimde olduğu süre ise (1-D)T ile ifade edilir [4]. Bu çalışmada tasarım sürekli akım durumu için yapılacaktır. Kapasite yeterince büyük kabul edildiği için RC zaman sabiti çok büyük olur. Bu nedenle, iletim ve kesim durumlarındaki kapasite üzerindeki gerilim değişimleri ihmal edilebilir.

Gerilim kaynağı bobini besler ve bobin akımının yükselme oranı V_{in} kaynağına ve L değerine bağlı olarak Eş.2 de gösterildiği gibi değişir.

$$L = \frac{V_{in} \times D}{\Delta_{IL} \times f_s} \quad (2)$$

Burada Δ_{IL} bobin akımının dalgalanma miktarını, f_s ise anahtarlama frekansını ifade etmektedir.

Anahtarın iletim durumunda, bobin akımındaki net yükselme miktarı Eş.3 te gösterilmektedir.

$$\Delta_{IL} = \frac{V_{in}}{L} DT \quad (3)$$

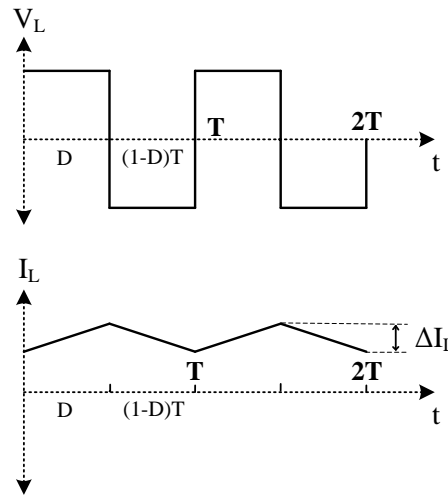
Anahtar kesime götürüldüğünde aralık $(1-D)T$ ile ifade edilir ve bobin içerisinde geçen akımın değişimi Eş.4 te verilmektedir.

$$\Delta_{IL} = \frac{V_{in} - V_o}{L} (1 - D)T \quad (4)$$

Devrenin çıkış tarafına koyulacak kondansatör değerinin hesaplanmasında Eş.5 kullanılmaktadır.

$$C = \frac{D}{R \times (\Delta V_o / V_o) \times f_s} \quad (5)$$

Bobin üzerindeki gerilim ve akım değişimleri Şekil 3'te verilmiştir. Bu değişimler çıkış ve giriş gerilimlerinin kararlı olduğu göz önüne alınarak çizilmiştir.



Şekil 3. Bobin gerilimi ve akımı

B. BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Senkron yükselten tip dönüştürücünün benzetim çalışması için PSIM programı kullanılmıştır. Şekil 4'te senkron yükselten tip dönüştürücünün benzetim devre modeli verilmiştir. Tablo 1' de ise benzetim ve uygulamada kullanılan devre parametreleri verilmiştir.

Tablo 1. Dönüştürücünün Parametreleri

| | | |
|---------------------------|----------------|----------|
| Çıkış Gücü | P_o | 100W |
| Çıkış Gerilimi | V_o | 70V |
| Giriş Gerilimi | V_{in} | 50V |
| Giriş Akımı | I_{in} | 2A |
| Yük Direnci | R_y | 50Ω |
| Güç Anahtarları | M1,M2 | IRFP260N |
| Doluluk-Boşluk Oranı | D | 0.285 |
| Anahtarlama Frekansı | f_s | 280kHz |
| Giriş Akımı Dalgallığı | Δ_{IL} | 0,028A |
| Çıkış Gerilimi Dalgallığı | Δ_{V_o} | 1V |

Sürekli iletim modunda, bobin akımı hiçbir zaman sıfıra düşmediğinden giriş akımı tepe değeri ve iletim kayıpları düşüktür. Geleneksel yükselten dönüştürücünün sürekli iletim modunda çalışabilmesi için gerekli bobin (L) değeri;

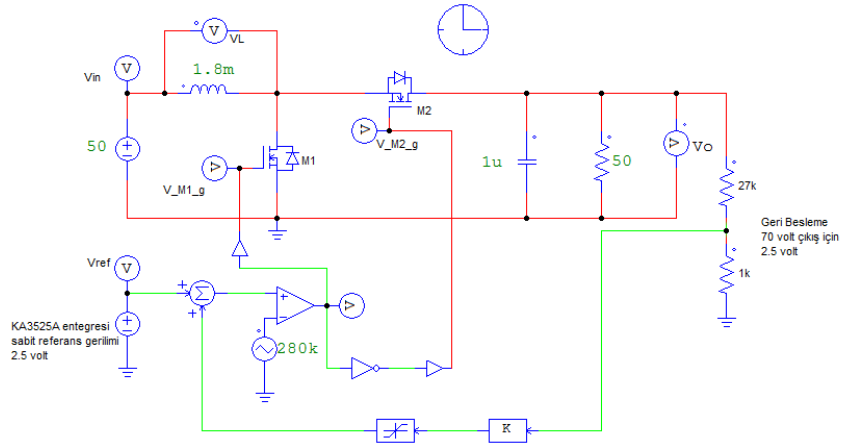
$$L = \frac{V_{in} \times D}{\Delta I_L \times f_s} \Rightarrow \frac{50v \times 0.285}{0.028 \times 280kHz} = 1.817 \text{ mH} \quad (6)$$

olarak hesaplanmıştır. Senkron yükseltici tip dönüştürücü için de aynı bobin değeri kullanılmış olup çıkış gerilimindeki dalgalılığın istenilen değerde olmasını sağlayan kondansatör (C) değeri ise;

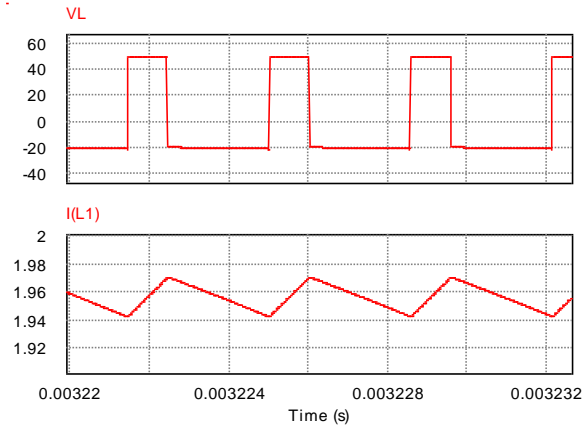
$$C = \frac{D}{R_y \times (\Delta V_o / V_o) \times f_s} \Rightarrow \frac{0,285}{50\Omega \times (1V/70V) \times 280kHz} = 1.425 \times 10^{-6} \text{ F} \cong 1 \mu\text{F} \quad (7)$$

olarak hesaplanmıştır.

Senkron yükselten dönüştürücünün benzetim çalışması Şekil 4'te verilmiştir. Senkron yükselten dönüştürücüde giriş akımı aynı zamanda bobin akımıdır. Bobin gerilimi ve bobin içerisinde geçen akımın değişim grafiği Şekil 5'te görülmektedir. Senkron dönüştürücünün giriş akım dalgalanması yaklaşık olarak 0,028A civarındadır ve giriş akımı dalgalanma frekansı 280 kHz olmaktadır.



Şekil 4. DA-DA yükselten dönüştürücü benzetim devre modeli



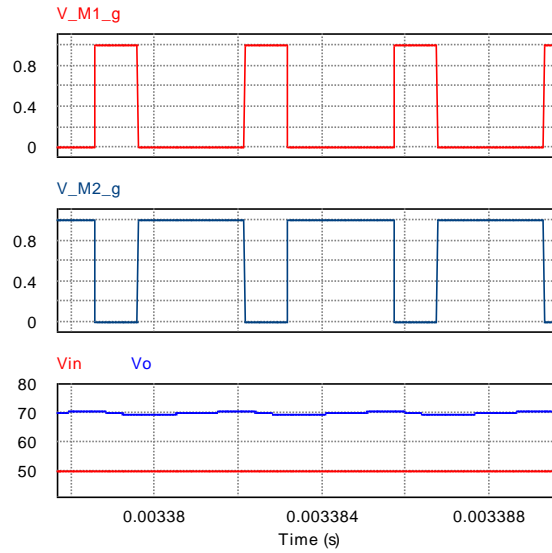
Şekil 5. Bobin gerilimi ve bobin akımı grafiği

Bobinin üzerinde indüklenen gerilimin ifadesi Eş.8 de görülmektedir. Eş.8 incelendiğinde bobin uçları arasındaki gerilimin akımın zamana bağlı olarak değişim hızı ile orantılı olduğu görülmektedir.

$$V_L = L \frac{di}{dt} \quad (8)$$

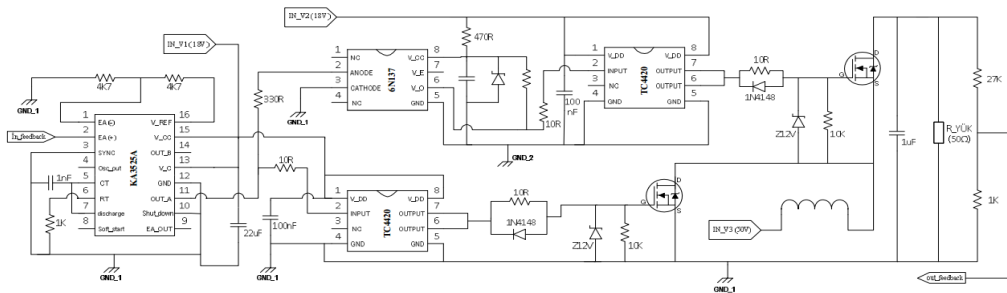
Şekil 5 dikkatle incelendiğinde akımın artma eğiliminde olduğu zaman aralığında bobin gerilimi giriş gerilimi olan 50 volt ile aynı değerde fakat zıt polaritede olduğu görülmektedir. Aynı şekilde akımın azalma eğiliminde olduğu zaman aralığında akım düşüşünü engellemek amacıyla giriş gerilimi ile aynı polaritede 20 voltluk gerilim indükleyerek akımın azalmasına karşı koymaktadır.

DC-DC Senkron yükselten dönüştürücülerde kullanılan MOSFET ler devre modeli gereği iletimde ve yalıtımda oldukları zaman aralıkları farklıdır [5]. Şekil 6' da M1 iletim durumunda iken M2 kesimde ve benzer şekilde M1 kesimde iken M2 iletimde bulunmaktadır.



Şekil 6. Anahtarlama elemanları gate gerilimleri ve giriş çıkış gerilimleri

Pratik çalışmada güç anahtarı kontrol sinyalini üretmek için FAIRCHILD Semiconductor KA3525A entegresi kullanılmıştır. Kontrol katı ile güç katı arasında elektriksel yalıtımı sağlamak için 6N137 optokuplör, kontrol işaretleri ile güç anahtarlarını sürmesi için de TC4429 sürücü entegresi kullanılmıştır. Devre şeması ve uygulama devresi sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de görülmektedir.

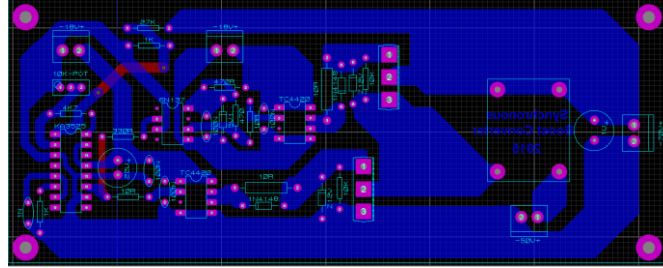


Şekil 7. Senkron yükselten dönüştürücü devre şeması



Şekil 8. Uygulama devresi

Yüksek frekans ile çalışmanın dezavantajlarından biri de iletim yollarının oluşturduğu parazitik etkidir [6]. Parazitik etkiyi minimize etmek maksadıyla baskı devre şeması oluşturulurken akım taşıyan iletken yollar daha geniş olarak tasarlanmalıdır aynı şekilde MOSFET anahtarlama elemanlarının kapı terminalleri sürücü devresinin çıkışına olabildiği kadar yakın konumlandırılmalı ve iletim yolları geniş olarak tasarlanmalıdır. Şekil 9 incelendiğinde MOSFET anahtarlama elemanlarının sürülmesi işleminde kullanılan sürücü entegrelerinin (TC4420) anahtarlama elemanlarının kapı terminaline olabildiği kadar yakın konumlandırıldığı ve iletken yolun daha geniş olarak tasarlandığı görülmektedir. Şekil 9' da gözükmekte olan baskı devrenin tasarımında, mili amper seviyesindeki sinyal akımlarının dışındaki daha yüksek akım taşıyan iletken yollar daha geniş olarak dizayn edilerek parazitik etkinin minimize edilmesi planlanmıştır.



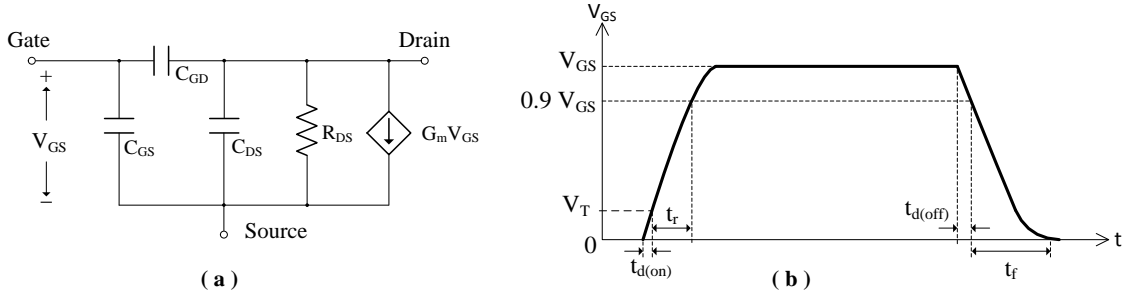
Şekil 9. Baskı devre

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

MOSFET yarı iletken anahtarlama elemanlarının jonksiyon yapısından kaynaklanan parazitik sığaların dahil edildiği anahtarlama modeli Şekil 10 (a)' da verilmektedir. Şekil 10 (b)' de ise MOSFET' in genel anahtarlama dalga yapısı zamana bağlı olarak verilmektedir.

Grafik incelendiğinde iletime geçme gecikme zamanı $t_{d(on)}$ ve yükselme zamanı t_r ile ifade edilmektedir. Aynı şekilde MOSFET' in yalıtıma geçme gecikme süresi $t_{d(off)}$ ve düşme süresi de t_f ile ifade edilmektedir.

Yüksek frekans uygulamalarında parazitik sığaların etkisi yüksektir. Giriş sığasının MOSFET' i omik bölgeye sokacak değerde gerilim ile şarj olabilmesi ve bu işlemi uygun hızlarda gerçekleştirebilmesi gerekmektedir.



Şekil-10. (a) Anahtarlama modeli (b) Zamana bağlı anahtarlama dalga şekli

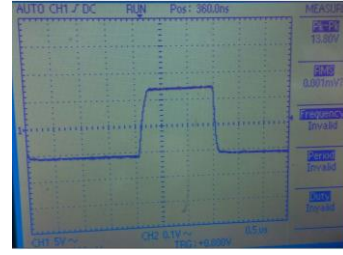
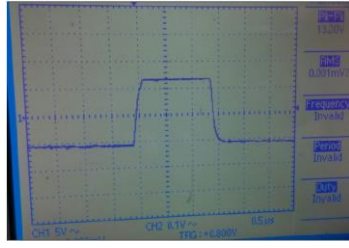
MOSFET'lerin sürülmesi için kullanılan topolojiler temel olarak üç kısma ayrılmaktadır bunlar gerilim kaynaklı topoloji, akım kaynaklı topoloji ve rezonans topoloji [7].

Bu uygulamada MOSFET anahtarlama elemanlarının sürülmesi için voltaj kaynaklı topoloji kullanılmaktadır seçilen topolojide MOSFET in kapısına seri bağlı bulunan R_s direnci kapı kapasitesinin şarj süresine etki etmektedir ve dolayısıyla MOSFET' in iletim konumuna geçmesi için gereken süreyi de tayin etmektedir [7]. Bu direncin maksimum değeri anahtarlama frekansı göz önüne alınarak tespit edilmelidir. R_s direncinin artırılması ile MOSFET kapı sinyalindeki değişim Şekil 11' de görülmektedir. Direnç değeri arttıkça MOSFET kapı sinyalindeki yükselme zamanı artmaktadır. R_s direncinin aşırı azaltılması nedeniyle sürücü entegresinin anahtarlama elemanına gerekli olan yüksek akımı sağlayamadığı ve akımda dalgalanmalara neden olduğu Şekil 11' de bulunan Grafik 4' te görülmektedir.

| Temel Devre yapısı | Grafik-1 | $R_s - 1$ | Grafik-2 | $R_s - 2$ |
|--------------------|----------|--------------|----------|-------------|
| | | 10 Ω | | 56 Ω |
| | Grafik-3 | $R_s - 3$ | Grafik-4 | $R_s - 4$ |
| | | 100 Ω | | 1 Ω |

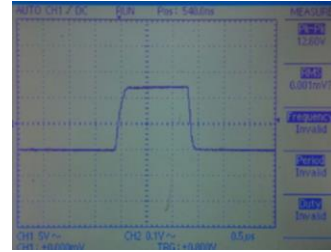
Şekil 11. Kapı direncinin değişimi ile kapı sinyalindeki değişimler

MOSFET kapı geriliminin yalıtım durumunda sıfır olması istenmektedir. Giriş sığası ne kadar kısa sürede deşarj olur ise o kadar kararlı bir düşüş eğrisi elde edilir bu nedenle kapı direncine ters paralel bağlı schottky diyot eklenerek Şekil 12' de görüldüğü gibi MOSFET' in kesime gitme süresinde iyileşme elde edilmiştir.



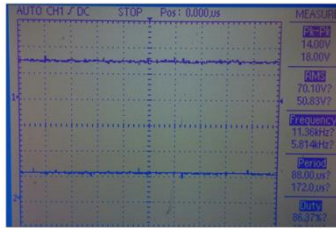
Şekil 12. Yalıtıma geçme zamanındaki değişim

MOSFET kapı sinyalinde oluşan salınımları önlemek ve kapı voltajını daha kararlı hale getirmek amacıyla MOSFET' lerin kapı ve kaynak terminallerine paralel zener diyot eklenerek Şekil 13' de görüldüğü gibi iyileşme sağlanmıştır.

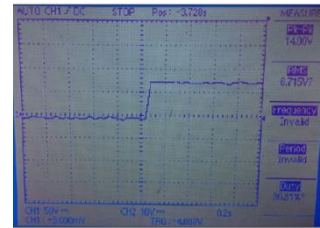


Şekil 13. Tepe gerilimlerindeki değişimi

Uygulama devresinin çalıştırılması ile elde edilen sonuçlar Şekil 14' te görülmektedir. Şekil 14 (a) da giriş gerilim dalga şekli ve yükseltilecek çıkış geriliminin dalga şekli görülmektedir. Şekil 14 (b) de ise çıkış geriliminin hedeflenen değere histerisiz kontrol yöntemiyle ulaştığı görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 14. (a) Giriş ve Çıkış gerilimleri (b) Çıkış gerilim değeri

IV. SONUÇ

Bu çalışmada yüksek frekans DA-DA senkron yükselten dönüştürücünün tasarım aşamaları anlatılmıştır. Tasarlanan devrenin bilgisayar ortamında simülasyonu yapılmış ve pratik çalışması gerçekleştirilmiştir. Yükselten dönüştürücülerin tasarımında ve uygulamasında yüksek frekans ile

çalışmanın getirmiş olduğu zorluklar teorik olarak incelenip uygulama devresinde iyileştirme yöntemleri tatbik edilmiştir. Yapılan deneysel çalışma ile anahtarlama elemanlarının kapı sinyallerinde gözle görülür iyileştirmeler elde edilmiştir. Kapı direncinin değişimi ile anahtarlama sinyallerinde ki değişimler grafiksel olarak sunularak tasarlanan devre için kapı direncinin optimum değeri tespit edilmiştir. Anahtarlama elemanlarının iletim ve yalıtım durumuna geçiş süreleri yapılan iyileştirme çalışmaları sayesinde minimize edilmiştir. Benzer şekilde baskı devre tasarımında izlenen yöntem sayesinde yüksek frekansın oluşturmuş olduğu parazitik etki sistemin çalışma aralığını etkileyemeyeceği seviyeye indirgenmiştir. Belirlenen parametrelere göre benzetimi yapılan senkron yükselten dönüştürücünden elde edilen sonuçlar ile uygulama devresine ait gerçek sonuçların çok yakın olması çalışmanın başarısını göstermektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] K. P. Loughanski and J. S. Lai, *IEEE Trans. Power Electron.*, **22(1)** (2007) 113.
- [2] Jae-Do Park, Zhiyong Ren, *Journal of power sources* **208** (2012) 322.
- [3] A. P. Dancy, A. P. Chandrakasan, Ultra low power control circuits for PWM converters, **28th Annual IEEE In Power Electronics Specialists Conference, PESC'97 Record.**, (1997) 21.
- [4] M. H. Rashid, Güç Elektroniği: Yarı iletken elemanlar, Devreler, ve Uygulamaları, 4, Nobel Akademik Yayıncılık, (2015).
- [5] A. P. Dancy, R. Amirtharajah, A. P. Chandrakasan, *IEEE Transactions On Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, **8(3)** (2000) 252.
- [6] M. A. de Rooij, J. T. Strydom, J. D. van Wyk, and P. Beamer, Development of a 1 MHz MOSFET gate-driver for integrated converters, **37th IAS Annual Meeting. Conference**, (2002) 2622.
- [7] J. T. Strydom, M. A. de Rooij, and J. D. van Wyk, A comparison of fundamental gate-driver topologies for high frequency applications, **In Applied Power Electronics Conference and Exposition Nineteenth Annual IEEE APEC'04**, (2004) 1045.