DBpia

고전압 응용을 위한 공진형 LCC 컨버터 설계에 관한 연구

A Study on the High Voltage Resonant LCC Converter Design for High Voltage Application

저자
(Authors)

김지숙, 박수미, 송승호, 조찬기, 류홍제
Ji-Suk Kim, Su-Mi Park, Seung-Ho Song, Chan-Gi Cho, Hong-Je Ryoo

출처
(Source)

조명·전기설비학회논문지 31(3), 2017.03, 53-60(8 pages)
Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers 31(3), 2017.03, 53-60(8 pages)

발행처
(Publisher)

한국조명·전기설비학회
The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers

URL

http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07127863

APA Style

김지숙, 박수미, 송승호, 조찬기, 류홍제 (2017). 고전압 응용을 위한 공진형 LCC 컨버터 설계에 관한 연구. 조명·전기설비학회논문지, 31(3), 53-60

이용정보
(Accessed)

중앙대학교
165.***.103.27
2021/02/17 14:46 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s)and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s)for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2017) 31(3) : 53～60
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2017.31.3.053 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)
논문 31-3-8

고전압 응용을 위한 공진형 LCC 컨버터 설계에 관한 연구

(A Study on the High Voltage Resonant LCC Converter Design for High Voltage Application)

김지숙* · 박수미 · 송승호 · 조찬기 · 류홍제**
(Ji-Suk Kim · Su-Mi Park · Seung-Ho Song · Chan-Gi Cho · Hong-Je Ryoo)

Abstract

In this paper the design of 15kV, 1.5kJ/s high voltage capacitor charger on the basis of LCC resonant converter is discussed. The LCC resonant converter is designed to operate in continuous conduction mode(CCM), allowing for zero-voltage switching. With appropriate resonant parameters, resonant current was improved thus reducing conduction loss. The high frequency and high voltage transformers were designed using multiple ring-shaped cores for effective air insulation. The proposed high voltage capacitor charger is verified by a resistive load test of rated performance and capacitor charging test.

Key Words : LCC Converter, High voltage Converter, Resonant Converter

1. 서 론

1.1 연구의 배경

SMPS는 반도체 소자의 스위칭 영역을 이용하여 전력의 흐름을 제어함으로써 고효율, 소형 및 경량화가 가능한 안정화된 전원이라고 할 수 있다. DC-DC컨버터 토폴로지 중에서 LC 공진현상을 이용하여 소프트 스위칭을 구현한 공진형 컨버터는 스위칭 손실을 감소시킴으로써 고주파 스위칭이 가능하다. 따라서 내부소자 및 필터의 크기를 작게 설계할 수 있으므로 높은 전력밀도가 가능하며, 고효율의 장점을 가지는 전원으로 각광을 받고 있다. 최근 국방 및 의료를 비롯한 다양한 산업 응용 분야에서 커패시터를 에너지 저장소자로 이용하는 펄스파워의 응용 분야가 확대됨에 따라 커패시터에 에너지를 충전하기 위한 고전압 커패시터 충전기 및 고전압 전원장치에 대한 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 승압을 위한 변압기의 기생성분을 효율적으로 활용하며, 소프트 스위칭으로 고주파 스위칭이 가능한 LCC 공진형 컨버터 토폴로지를 적용한 15kV, 1.5kJ/s 고전압 커패시터 충전기 설계 및 실험에 대하여 기술한다.

* Main author : Unified Master's and Doctor's Course, School of Energy Systems Engineering, Chung-Ang University
** Corresponding author : Professor, School of Energy Systems Engineering, Chung-Ang University
Tel : 02-820-5178, Fax : 02-3280-5867
E-mail : hjryoo@cau.ac.kr
Received : 2017. 1. 5.
Accepted : 2017. 2. 24.

Copyright ⓒ 2017 KIIEE All right's reserved
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

중앙대학교 | IP:165.***.103.27 | Accessed 2021/02/17 14:46(KST)

2. Full-Bridge 공진형 컨버터

2.1 Full-Bridge DC/DC 컨버터

DC/DC 컨버터는 직류전원을 입력으로 받아 다른 크기의 직류전원으로 출력을 내는 전력변환 장치이다. SMPS 회로는 고주파 변압기의 유무에 따라 비절연형과 절연형으로 나눌 수 있다. 그 중 절연형 SMPS는 변압기를 사용하기 때문에 입출력사이에 절연을 확보함으로써 과도동작이나 전기적 파손 시 기기 보호, 다출력 확장의 용이, 승압 및 강압의 용이 등 여러 가지 장점을 지니게 된다. 이 중에서 중·대용량에 적용가능한 절연형 SMPS에는 Full-Bridge방식, Half-Bride 방식 등이 있으며 본 논문에서는 Full-Bridge방식을 이용하였다. Full-Bridge 방식의 컨버터는 네 개의 스위치를 사용하여 출력을 제어하는 방식으로 두 leg에 각각 두 개의 스위치와 역다이오드로 구성되어있다. 각 leg에서 하나의 스위치가 OFF일 때, 다른 하나의 스위치는 ON이 되도록 하여 두 개의 스위치가 동시에 OFF되지 않도록 한다. 그러므로 출력전류는 연속적으로 흐르게 되고 출력전압은 오로지 스위치 상태에 의해 결정이 된다. 이처럼 Full Bridge방식은 Half Bridge방식에 비해 스위치의 전류부담률이 줄어들어 전력을 분담할 수 있다. 이에 따라 전압스트레스가 낮아 전도손실이 낮고, 내부 전력손실도 저감시킬 수 있으며 효율을 높일 수 있다.

2.2 스위칭 손실

SMPS에서 DC전원의 출력제어는 반도체 소자의 ON/OFF를 이용하여 조절한다. 이상적인 스위치 프로세스에서는 턴 온(ON) 시 반도체의 영전압과 턴 오프(OFF) 시 반도체에 흐르는 전류의 영전류로 스위칭손실이 존재하지 않는다. 또한 스위칭시간은 따로 존재하지 않는다고 간주하며, 스위칭주파수는 무한대로 증가시킬 수 있다. 스위칭주파수를 키울수록 전력밀도를 높일 수 있다는 장점이 있다. 하지만 실제 반도체 소자에서는 스위칭 시 di/dt 또는 dv/dt에 의한 스위칭 손실이 발생하게 된다. 이로 인해 스위칭주파수를 높이는 데 제약이 따르게 된다.

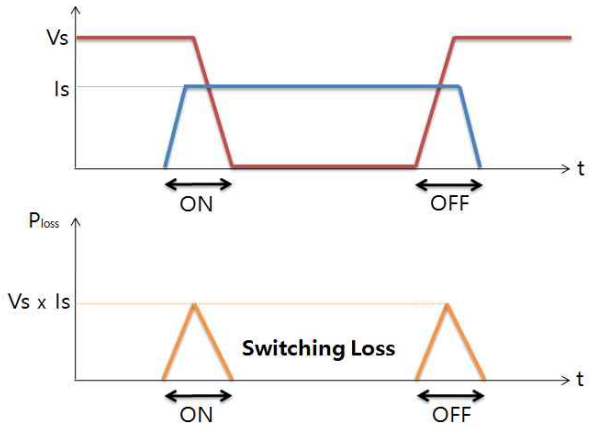


Fig. 1. Switching loss

2.3 공진형 컨버터

스위치 모드 컨버터는 컨버터의 사이즈와 무게를 줄이고 전력 밀도를 높이기 위해 높은 스위칭 주파수가 요구되나 이는 스위칭손실로 인한 한계로 최대 스위칭주파수에 제약이 따른다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 LC 공진현상을 이용하여 스위칭 시점의 전압 또는 전류를 0으로 만들어줌으로써 스위칭손실을 저감하고 스위칭주파수를 높일 수 있는 공진형 컨버터 토폴로지가 1980년대부터 제안되어 널리 사용되고 있다.

2.3.1 직렬 공진형 컨버터의 동작 모드

직렬 공진형 컨버터는 스위칭 주파수(w_s)와 공진 주파수(w_0)의 관계에 따라 3가지 동작 모드로 나눌 수 있다.

- 불연속 모드

(Discontinuous Conduction Mode with $w_s < \frac{w_0}{2}$)

직렬 공진형 컨버터는 불연속 모드로 동작하게 된다. 이 동작 모드에서 스위치는 턴 온(ON), 턴 오프(OFF) 시 모두 소프트 스위칭을 할 수 있지만, 짧은

중앙대학교 | IP:165.***.103.27 | Accessed 2021/02/17 14:46(KST)

공진 주기 내에서 에너지를 전달하기 때문에 공진 전류의 최댓값이 높아져 큰 도전 손실이 발생한다.

· 연속 모드

(Continuous-conduction mode, $\frac{w_0}{2} < w_s < w_0$)

연속모드는 공진 주기 동안 인덕터에 흐르는 전류가 양의 값을 유지하는 것을 의미한다. 두 가지로 나뉘어 볼 수 있는데, $\frac{w_0}{2} < w_s < w_0$인 경우와 $w_s > w_0$이다. 이 모드에서는 턴 온(ON) 스위칭 손실이 발생하고, 턴 오프(OFF) 시 다이오드에 역전압이 걸리게 되므로 이를 위해선 다이오드는 우수한 역회복 특성을 지녀야 한다.

· 연속 모드

(Continuous-conduction mode, $w_s > w_0$)

본 논문에서 다룰 공진형 컨버터가 동작하는 모드로 영전압, 영전류에서 턴 온(ON) 되기 때문에 앞의 연속 모드와는 달리 다이오드가 고속의 역회복 특성을 가질 필요가 없게 된다. 또한 턴 온(ON) 시 소프트 스위칭을 하기 때문에 무손실 스너버 커패시터를 추가할 수 있다.

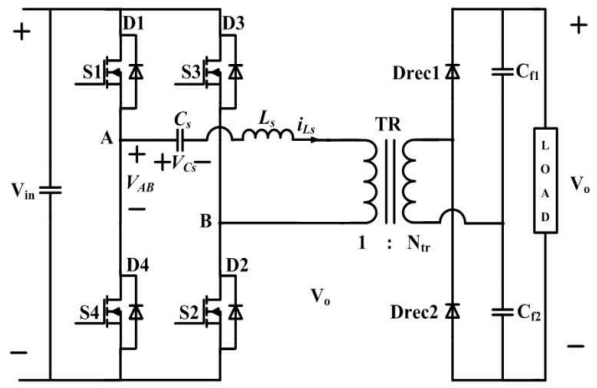


Fig. 2. Typical Scheme of Full-bridge LC resonant converter

2.3.2 공진주파수 이상에서 동작하는 연속모드의 공진형 컨버터

부하 공진형 컨버터는 LC tank에 의해 부하 전압과 전류가 진동하게 되고 어떤 모드에서 동작하느냐에 따라 파형의 모양이 바뀐다. Full bridge 구조를 적용한 직렬 공진형 컨버터 도면은 (Fig. 2)와 같고, 이를 연속 도전 모드(Above continuous-conduction mode)에서 동작할 시 전압과 전류의 파형은 다음 (Fig. 3)과 같다.

(Fig. 3)을 살펴보면 i_{Ls}(인덕터 전류)가 0보다 큰 값일 경우, 전류는 스위치 S1, S2를 통해 흐르는 T_+구간이거나 다이오드 D3, D4를 통해 흐르게 되는 D_- 구간이 된다. 반대로 i_{Ls}이 0보다 작은 값일 경우에는 스위치 S3, S4를 통해 전류가 흐르는 T_- 구간이거나 다이오드 D1, D2를 통해 흐르는 D_+구간이 된다.

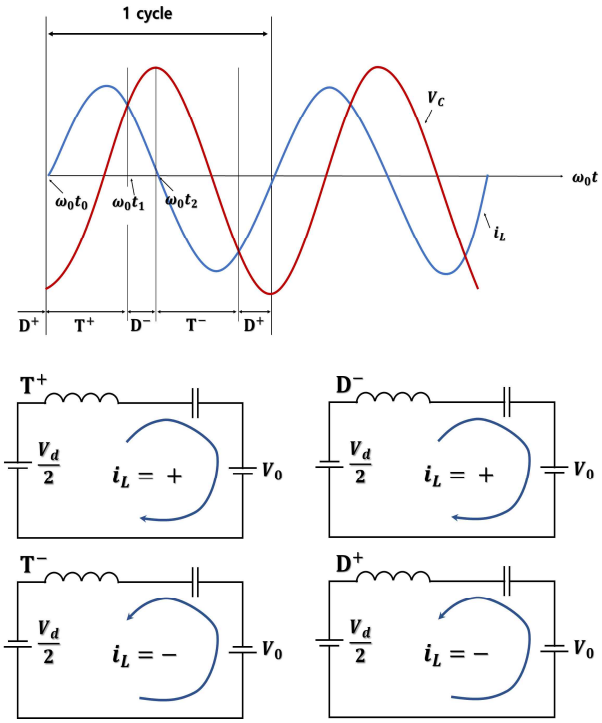


Fig. 3. Waveforms and Equivalent Circuit of Series Resonant Converter Operating in Continuous Mode Operation

$w_0 t_0$에서 인덕터 전류가 S1, S2를 통해 0부터 시작해 흐르게 되며, i_{Ls}의 half cycle이 끝나기도 전에 S1, S2의 턴 오프(OFF)가 강제로 이루어지게 된다. 턴 오프(OFF)되는 시점부터 i_{Ls}이 D3, D4로 흐르게 되고, LC tank에 (-)전압이 인가되기 때문에 $w_0 t_2$시

중앙대학교 | IP:165.***.103.27 | Accessed 2021/02/17 14:46(KST)

점의 파형에서 볼 수 있듯이 다이오드로 흐르는 전류는 빠르게 0에 도달한다. D3, D4가 턴 온(ON)되고 나면 i_{Ls}이 역전류가 되면서 S3, S4가 턴 온(ON) 된다. T_+에서 D_-까지의 구간은 공진형 주파수의 half cycle과 같다.

3. 고전압 응용을 위한 LCC 공진형 컨버터의 설계

3.1 LCC 공진형 컨버터의 동작원리

(Fig. 4)는 본 논문에서 제안한 고전압 Full-bridge LCC 공진형 컨버터의 회로도이다. 정류된 입력을 인버터와 변압기를 통해 고전압 출력을 낼 수 있도록 설계하였다. LCC 공진형 컨버터의 동작은 (Fig. 5)에 나타낸 것과 같이 크게 6개의 동작 모드로 나눠 해석할 수 있다.

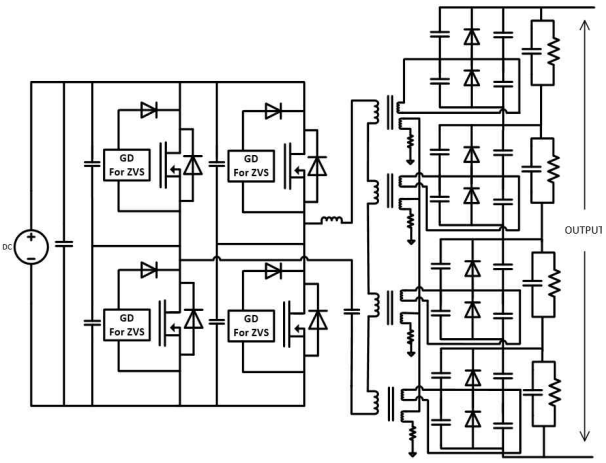


Fig. 4. Proposed High Voltage Full-Bridge LCC Resonant converter circuit

· M1 : 스위치 S1, S2가 턴 온(ON)되고, 전원으로부터 공급되는 전류는 스위치 S1, 공진 커패시터(C_s, C_P), 공진 인덕터 (L_S), 스위치 S2의 경로 흐르게 되며 커패시터를 충전시킨다. 이에 따라 커패시터 전압(V_{cp})은 상승하게 된다. 또한 2차측 커패시터의 영향으로 인덕터 전류(i_{Ls})는 빠르게 상승하게 된다.

· M2 : 2차측 커패시터가 완전히 충전되어 정류다이오드(D_{rec1},D_{rec2})가 도통되고, 부하전류가 흐르게 된다.

· M3 : 스위치 S1, S2가 게이트 신호에 의해 턴 오프(OFF)되면, 공진 인덕터에 흐르는 전류(i_{Ls})는 스너버 커패시터를 충전하면서 프리휠링하게 된다. 이 때 스위치 S1, S2의 양단 전압은 천천히 상승하며, 스너버 커패시터의 충전 전압이 입력전압(V_{in})과 같아지는 순간 스위치 S1, S2가 완전히 턴 오프(OFF)가 된다. 또한 공진 인덕터와 공진 커패시터에 축적된 에너지에 의해 부하 전류는 흐르는 상태를 유지한다. 스위치 S1, S2가 턴 오프(OFF) 됨에 따라 공진 인덕터를 통해 흐르는 프리휠링 전류는 역병렬 다이오드 D3, D4이 도통되는 구간에서 턴 온(ON) 게이트 신호를 인가하여 스위치 S3, S4의 영전압 스위칭을 구현하게 된다.

· M4 : 스위치 S3, S4의 턴 온(ON) 스위칭 구간으로 영전압, 영전류에서 스위칭이 이루어져 스위칭 손실을 최소화할 수 있다. 역병렬 다이오드 D3, D4를 통해 흐르던 전류가 급격히 감소하여 0이 되고 난 이후에는 전류는 반대방향으로 흐르게 된다. 이에 따라 스위치 S3, S4를 통해 흐르던 공진인덕터 전류의 방향도 바뀌게 된다. 스위치 양단 전압이 영전압으로 역병렬 다이오드 D3, D4가 도통되어 있을 때 턴 온의 게이트 신호가 인가되며 스위치 S3, S4에서의 전류의 극성이 바뀔 때 영전류에서 스위칭이 되므로 영전압, 영전류 스위칭을 만족하게 된다.

· M5 : 부하단에 전류를 인가하는 구간이다. 변압기 2차 측의 부하전류는 2차측 커패시터를 완전히 충전시키고 난 후 정류다이오드를 통해 부하단으로 흐르게 된다.

· M6 : 스위치 S3, S4가 턴 오프(OFF) 되는 구간이다. 공진인덕터에 흐르던 전류는 스너버를 통해 프리휠링하게 된다. 스위치 S3, S4의 양단 전압은 천천히 상승하며, 스너버 커패시터의 충전 전압이 입력전압(V_{in})과 같아지는 순간 스위치 S4, S4가 완전히 턴 오프(OFF)가 된다. 이때 부하전류는 공진인덕터와 공진 커패시터에 축전된 에너지로 유지된다.

중앙대학교 | IP:165.***.103.27 | Accessed 2021/02/17 14:46(KST)

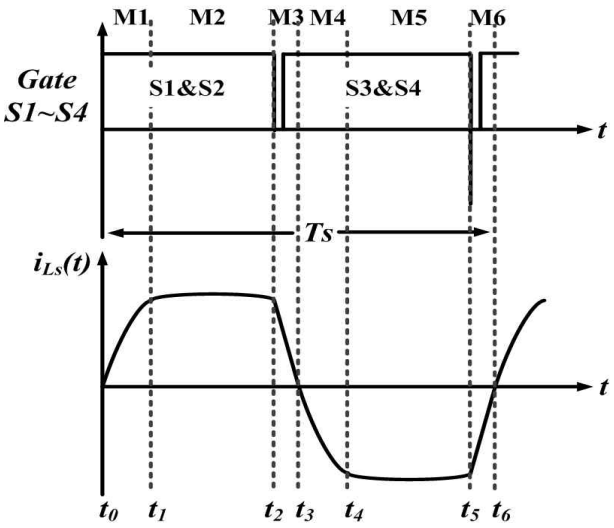


Fig. 5. Gate signal(S1~S4) and Resonant current(i_{Ls}) waveforms of Full-Bridge LCC Resonant converter

3.2 LCC 공진형 컨버터의 동작원리

본 논문에서 제안한 컨버터는 (Fig. 6)과 같이 15kV, 1.5kJ/s 고전압 커패시터 충전기로 설계하였으며 크게 입력정류부, 충전전압 제어부, 공진 인버터부, 고전압 변압기부로 나누어 설명할 수 있다.



Fig. 6. Pictures of developed converter modules

· 입력정류부 : 220V의 AC전압을 받아들여 다이오드(full bridge) 정류기를 통해 DC전압을 생성한다. 이 과정에서 인덕터와 전해커패시터를 달아줌으로써 입력 전압의 ripple을 개선한다. 용량이 큰 커패시터를 이용하여 고주파 성분 전류를 없앰으로써 평활하고 일정한 DC전원을 인버터로 공급하도록 하였다.

· 제어부 : 펄스 전압 신호를 인버터부에 공급하여 스위치를 구동시키는 역할을 한다. 출력전압 센싱을 통해 충전전압을 제어할 수 있도록 하며, 스위칭 주파수 가변을 통해 충전 전류를 조절할 수 있도록 구현하였다.

· 인버터부 : 스위칭 동작을 통해 DC전압을 AC전압으로 변환한다. 스위칭 역할을 하는 MOSFET, 게이트구동회로, 변압기, LCC 공진에 필요한 인덕터와 커패시터로 구성하였다. 650V, 47A급 MOSFET을 사용하였으며, 인덕터와 커패시터로 생긴 공진전류에 의해 영전압 시 턴 온(ON) 된다. 또한 MOSFET 양단에 스너버 커패시터를 달아 턴 오프(OFF) 시에도 스위칭 손실을 줄였다.

· 고전압 변압기부 : 4개의 환형 코어에 각각 70턴의 2차 권선을 권취하고, 고전압 케이블을 이용한 2턴의 1차 권선으로 네 개의 코어를 동시에 커플링 할 수 있도록 제작되었다. 각각의 변압기 2차 권선은 배전압 정류회로로 연결되고 4개의 정류부가 직렬로 구성되어 15kV의 최대 충전 전압 사양을 만족시킬 수 있도록 설계되었다.

3.3 LCC 공진형 컨버터 설계 특징

본 논문에서 설계된 고전압 전원 장치는 고전압 커패시터 충전기 출력 사양을 만족시키기 위해 요구되는 공진회로의 특성 임피던스를 결정하고, 스위칭 주파수 조건에 따라 공진주파수를 선정한다. 선정된 공진회로 파라메터에 의해 각각의 공진 인덕터 및 공진 커패시터 값을 계산할 수 있고 설계된 값을 정리하면 (Table 1)과 같다. 병렬 공진커패시터의 경우 고전압 변압기의 기생 커패시턴스와 정류 다이오드의 내부 커패시턴스를 통해 구현하여 소자수를 줄인 것이 설계의 특징이다. 또한, 변압기 2차측의 기생성분을 활용하여 병렬 공진커패시터를 구현하기 때문

중앙대학교 | IP:165.***.103.27 | Accessed 2021/02/17 14:46(KST)

에 변압기 누설인덕턴스를 공진 인덕터에 포함하여 설계할 수 있는 장점을 가진다. 스위칭 주파수는 최소 400kHz에서 최대 1MHz의 범위는 가지도록 하여 스위칭 주파수 변경을 통해 충전전류를 제어할 수 있도록 하며, 높은 스위칭 주파수 선정을 통해 변압기의 크기를 효율적으로 줄인 것이 본 설계의 장점이다. 고전압 변압기 구현을 위해서 분리된 다수의 환형 페라이트 코어를 사용하여 2차권선간의 절연을 효율적으로 확보하고 고전압 절연의 신뢰성을 높이도록 설계하였다.

Table 1. Specification of 15kV, 1.5kJ/s Capacitor Charger

Parameter	Value
Resonant inductor, Lr	10uH
Series resonant capacitor, Cr	2uF
Parallel resonant capacitor, Cp	9nF
Transformer Turns Ratio, Ntr	140
Switching Frequency, fsw	400kHz~1MHz

4. 실험 결과

설계된 커패시터 충전기는 저항부하(166kΩ)를 이용하여 동작성능을 1차 검증하고 커패시터 부하를 연결하여 최대 15kV 충전실험을 실시하였다. (Fig. 7)는 저항부하를 사용한 각 부 실험파형을 보여준다. 상단 파형은 출력전압으로 15kV에 도달하였음을 확인할 수 있다. 중단 파형은 공진전류 파형을 보여주며 400kHz의 최소 스위칭 주파수 조건에서의 공진전류 파형을 확인할 수 있다. 하단 파형은 인버터 부의 모스펫 스위칭 파형을 보여준다. (Fig. 7)의 저항부하를 이용한 실험결과를 통해 설계 파라메터를 검증하였다. (Fig. 8)은 커패시터 부하를 사용한 충전실험 결과로 커패시터의 충전전압파형이다. 120nF의 커패시터를 부하로 사용하였으며, 15kV까지의 충전시간은 9msec로 계측되었다. 커패시터에 충전된 총 에너지는 13.5J이며, 다음 식으로 계산된다.

$$Energy = \frac{1}{2} CV^2 [J] \quad (1)$$

이를 충전시간으로 나누게 되면 용량은 1.5kJ/s로 원하는 요구사항을 만족시켰다. 커패시터 충전전압을 보여주는 (Fig. 8)의 실험 결과를 통해 1.5kJ/s의 충전기에 의한 커패시터 충전 최대 용량과 충전기로서의 성능을 확인하였다.

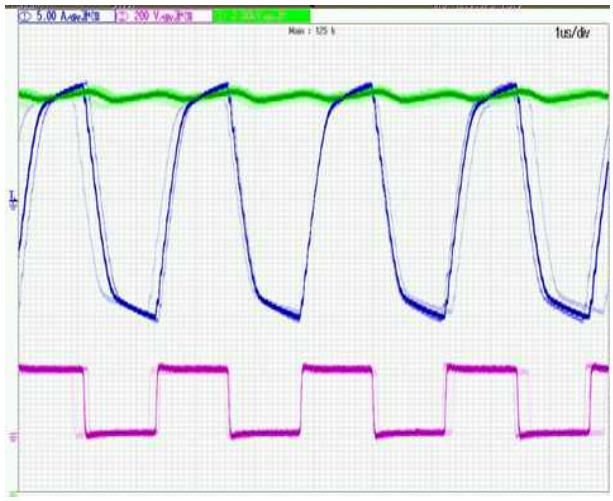


Fig. 7. Experimental waveforms of Proposed Resonant Converter (Resonant Current : 5A/div, Output Voltage : 2kV/div, Switching Voltage of MOSFET : 200V/div, 1us/div)

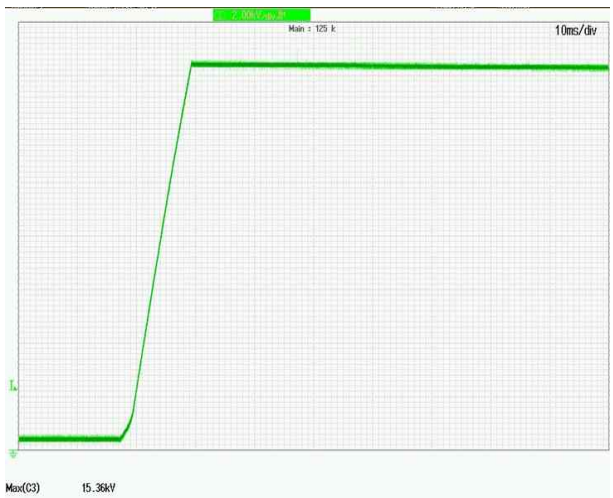


Fig. 8. Experimental result of charging test (Charging Voltage : 2kV/div, 10ms/div)

중앙대학교 | IP:165.***.103.27 | Accessed 2021/02/17 14:46(KST)

5. 결 론

본 논문에서는 다양한 고전압 커패시터 충전장치에 응용 가능한 LCC 공진형 컨버터를 기반으로 15kV, 1.5kJ/s DC 전원장치의 설계 및 제작에 대하여 고찰하였다. 설계에 사용된 고전압 전원장치는 공진주파수 이상의 영역에서 동작하며, LC공진형 컨버터에서 공진전류를 개선하기 위해 LCC 공진형 컨버터로 수정 설계를 하였다. 이에 따라 제안하는 컨버터는 도전 손실을 줄일 수 있으며, 400kHz 이상의 스위칭 주파수 동작을 통해 전력밀도를 향상 시킬 수 있는 구조이다.

제안된 공진형 컨버터는 평균 1.5kJ/s급 전원장치로 설계되었으며 충전용량 13.5J을 달성하였다. 650V, 47A급 MOSFET을 사용한 Full-bridge 구조를 적용하였고, 고전압 출력을 위해 분리된 다수의 환형 코어를 이용해 변압기를 구현하였다. 제안된 공진형 컨버터는 저항부하를 사용한 실험을 통해 각 부의 동작 성능을 1차 검증하고 커패시터 충전 실험을 통해 고전압 커패시터 충전장치로 사용 가능함을 입증하였다.

본 논문에서 제안한 LCC 공진형 컨버터는 스위칭 손실을 저감하여 높은 스위칭 주파수로 동작함으로써 전력밀도를 크게 높일 수 있고, 전류 파형을 개선하여 도전손실을 줄일 수 있는 등 다양한 고전압 응용 분야에 효율적으로 사용 가능할 것으로 예상된다.

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 에너지인력양성사업으로 지원받아 수행한 인력양성 성과입니다.
(No. 20164030201100)

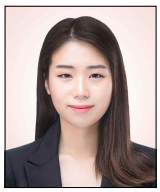
References

[1] H. J. Ryoo; S. R. Jang; Y. S. Jin; J. S. Kim; Y. B. Kim; S. H. Ahn; J. W. Gong; B. H. Lee; D. H. Kim, "Design of high voltage capacitor charger with improved efficiency, power density and reliability", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, pp.1076 - 1084, August 2013.
[2] NED MOHAN; TORE M. UNDELAND; WILLIAM P. ROBBINS, "POWER ELECTORNICS", Third Edition, JOHN WILEY & SONS, INC. 1989.
[3] R. J. King; T. A. Stuart, "Modeling the Full-Bridge Series-Resonant Power Converter", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic systems, Vol. AES-18, NO. 4, pp.449 - 459, July 1982.
[4] J. G. Hayes; N. Mohan; C. P. Henze, "Zero-Voltage Switching in a Digitally Controlled Resonant DC-DC Power Converter", Proceedings of the 1988 IEEE Applied Power Electionics Conference, pp. 360 - 367.
[5] D. M. Divan, "The Resonant DC Link Converter - A New Concept in Static Power Conversion", 1986 IEEE-IAS Annual Meeting Record, pp. 648 - 656, 1986.
[6] K. H. Liu; R. Oruganti; F. C. Lee; "Resonant Switches - Topologies and Characteristics", 1986 IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp.106 - 116, 1986.

Biography



Ji-Suk Kim
Ji-Suk Kim received B.S degree in Energy System Engineering from Chung-Ang University, Seoul, Korea, in 2017. She is currently pursuing both her M.S and Ph.D from Chung-Ang University, Seoul, Korea, in 2017.



Su-Mi Park
Su-Mi Park received a B.S degree in Energy Systems Engineering from Chung-Ang University, Seoul, Korea, in 2017. She is currently pursuing both her M.S and Ph.D from Chung-Ang University, Seoul, Korea, in 2017.



Seung-Ho Song
Seung-ho Song received his B.S. in Electrical Engineering from Kwangwoon University, Seoul, Korea, in 2016. He is currently pursuing both his M.S. and Ph.D. from Chung-Ang University, Seoul, Korea, in 2017.



Chan-Gi Cho
Chan-Gi Cho received B.S degree in Information Display Engineering from Kyung Hee University, Seoul, Korea, in 2016. He is currently pursuing the M.S. degree in Energy Engineering from Chung-Ang University, Seoul, Korea, in 2017.

중앙대학교 | IP:165.***.103.27 | Accessed 2021/02/17 14:46(KST)



Hong-Je Ryoo

Hong-Je Ryoo received the B.S., M.S., and Ph.D. degrees in electrical engineering from SungKyunkwan University, Seoul, Korea in 1991, 1995, and 2001, respectively. From 2004 to 2005, he was with WEMPEC at the University of Wisconsin-Madison, as a Visiting Scholar for his postdoctoral study. In the period of 1996-2015, he has been with the Korea Electrotechnology Research Institute in Changwon, Korea. Since 2008, he was a Principal Research Engineer in the Electric Propulsion Research Division and a Leader of the Pulsed Power World Class Laboratory at that institute. Also, he has been a Professor in the Department of Energy Conversion Technology, University of Science & Technology, Deajeon, Korea. Since 2015, he joined the School of Energy Systems Engineering, Chung-Ang University, where he is currently a Professor.

His current research interests include pulsed power systems and their applications, as well as high power and high voltage conversions.

Prof. Ryoo is a member of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers(KIIEE), the Korean Institute of Power Electronics (KIPE), and the Korean Institute of Electrical Engineers (KIEE).

중앙대학교 | IP:165.***.103.27 | Accessed 2021/02/17 14:46(KST)