ISSN 1229-800X The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 66P, No. 2, pp. 63~68, 2017
http://doi.org/10.5370/KIEEP.2017.66.2.063

# 고주파 결합 인덕터 직렬 공진형 ZCS-PFM 초퍼 제어 방식을 이용한 새로운 승압형 DC-DC 컨버터

## A Novel Boost DC-DC Converter using High Frequency Coupled Inductor Series Resonant ZCS-PFM Chopper Control Method

김 홍 신* · 허 영 환** · 문 상 필*** · 박 한 석†
(Hong-Shin Kim · Young-Hwan Heo · Sang-Pil Mun · Han-Seok Park)

**Abstract** - This paper proposes a new non-isolated DC conversion circuit topology of the voltage source coupled inductor series resonant high-frequency PFM controlled boost chopper type DC-DC power converter using two in one IGBT power module, which can efficiently operate under a principle of zero current soft switching for wide output regulation voltage setting ranges and wide fluctuation of the input DC side voltage as well as the load variation ranges. Its steady state operating principle and the output voltage regulation characteristics in the open-loop-based output voltage control scheme without PI controller loop are described and evaluated from theoretical and experimented viewpoints. Finally, in this paper the computer-aided simulation steady-state analysis and the experimental results are presented in order to prove the effectiveness and the validity of voltage regulation characteristics of the proposed series resonant zero current soft switching boost chopper type DC-DC power converter circuit using IGBTs which is based on simple pulse frequency modulation strategy more than, 20kHz.

**Key Words** : Series resonant high frequency chopper, Zero current soft switching, Non-isolated DC boost type direct voltage conversion, Resonant voltage clamping, PFM control

### 1. 서 론

최근 몇 kW급 소용량 고체 고분자형 연료전지(PEFC) 소용량 태양 전지(PV)패널, 신형 전지 등 청정 신에너지 DC 전원을 사용한 인터페이스 분산 전원은 지구 환경 보호 측면에서 통신·정보 시스템을 비롯해 전기 자동차 시스템 등에 필요한 비상 전원 및 UPS 시스템에 새로운 기능을 갖는 직류 급전 계통 전력 변환 방식의 도입으로 더욱 더 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 중에서도 신에너지 전원을 이용한 파워 컨디셔너의 에너지 절약 및 전자기 환경 측면에서 고성능화, 고효율화, 소형화를 위해 고주파 소프트 스위칭 직류 승압 DC-DC 컨버터나 이와 조합하여 사용 가능한 정현파 소프트 스위칭 PWM 인버터를 사용하는 것이 필수적이다.

즉, 고출력을 위한 하프 브리지와 풀 브리지를 기본으로 한 고주파 변압기 링크 직렬 공진 영전류 소프트 스위칭(ZCS)인버터를 이용한 고주파 포워드 변압기 절연형 펄스 변조(PFM)제어 방식 직류 승압 DC-DC 컨버터 회로 및 제어에 관한 파워 컨디셔너의 실용화 개발이 통신·정보 시스템 분야에서의 에너지 절약 측면에서 선도하고 있다[1-3].

최근에는 개인 주택 및 건물이나 각 시설 시스템의 전기 자동차 시스템 등의 직류 급전 계통 전력 변환 방식의 파워 컨디셔너의 개발이 주목 받기 시작하고 있다. 그러나 지금까지 신에너지를 이용한 DC 전원 인터페이스 분산 전원으로 도입한 고주파 인버터 결합형 절연 방식 직류 승압 DC-DC 컨버터 회로 토폴로지는 전력 변환 단수(段數) 및 회로 부품이 많아지고, 저비용, 고효율, 고속 제어 응답의 현실화에 있어서 몇 가지 개선의 여지가 남아있는 상태이다.

본 논문에서는 발전기 제어를 기존의 전류 제어 방식을 이용하는 것이 아니라 시스템 구성이 간단하고, 발전기 단자 전압 제한에 대한 대응과 위치 센서리스 구동이 쉬운 직접 토크 제어를 이용한 풍력 발전 제어 시스템을 제안하고, 그 발전 특성을 실험결과를 통하여 서술하였다.

이 밖에 이런 종류의 DC-DC 컨버터는 경부하 영역에서 고주파 인버터의 동작 주파수가 가청 주파수 대역에서 동작하게 되어, 저소음화되지 않을 수 있는 다른 출력 전압 리플이 허용 한계를 넘어 버리는 일도 일어날 수 있다. 또한 공진 첨예도(尖銳度)가 높은 저손실 직렬 공진 회로의 동작이른바 하중 영역에서 MOSFET과 IGBT 등 전력 반도체 스위치의 전압과 전류의 피크 스트레스가 커지고 동작 범위를 제한해야하는 문제도 있다[4, 5].

따라서, 본 논문에서는 기존의 승압형 DC-DC 컨버터에 비해 전력 변환 처리 단수와 회로 부품을 줄일 수 있는 변압기가 없는 고주파 결합 인덕터 직렬 공진형 ZCS-PFM

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Pukyong National University, Korea
E-mail : phanseok@pknu.ac.kr
* Korea Water Resources Corporation, Korea
** Gimhae-Si Urban Development Corporation, Korea
*** Dept. of Electrical Engineering, Masan University, Korea
접수일자 : 2017년 3월 30일
수정일자 : 2017년 4월 11일
최종완료 : 2017년 4월 18일

초퍼 제어 방식을 이용한 승압형 DC-DC 컨버터를 새롭게 제안하고, 정상 회로 동작과 특징을 서술하였다. 그리고 개방 루프의 출력 전압 제어 특성과 직렬 공진 회로 및 부하 회로의 매개 변수와 고주파 초퍼 제어 변수인 스위칭 동작 주파수와의 관계를 정량적으로 서술하였다. 이러한 모든 사항은 시뮬레이션과 실험 결과를 통하여 증명하였다.

## 2. 제안한 회로 구성과 동작원리

그림 1은 제안한 고주파 결합 인덕터 직렬 공진형 ZCS-PFM 초퍼 제어 방식을 이용한 새로운 승압형 DC-DC 컨버터의 주 회로를 나타낸 것이다. 제안한 회로의 제어 회로는 저항 분배기와 광 커플러 기준 전압과 피드백 전압 비교 연산부 PI 제어기 전압 제어 발진기(PFM 발생 회로)와 게이트 드라이버 IC 회로로 구성하였다.

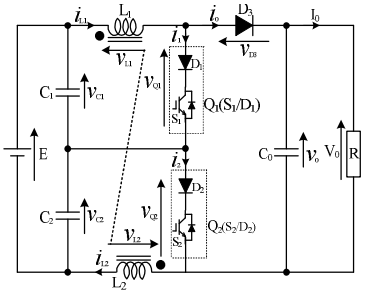



**그림 1** 제안한 고주파 결합 인덕터 직렬 공진형 ZCS-PFM 초퍼 제어 방식을 이용한 새로운 승압형 DC-DC 컨버터

**Fig. 1** The novel boost DC-DC converter using proposed high frequency coupled inductor series resonant ZCS - PFM chopper control method

제안한 고주파 초퍼는 전자 에너지 저장용 직류 승압 촉진용 플라이백 형태의 결합 직렬 공진 인덕터($L_1 = L_2 = L$ ), 직렬 공진용 분할 커패시터($C_1 = C_2 = C/2$ ; 폴리프로필렌 고주파 커패시터), 두 개의 고속 역저지 다이오드가 삽입되어 있는 주 스위치 모듈(IGBTs; IR사의 100[kHz])인 $Q_1(S_1/D_1)$, $Q_2(S_2/D_2)$, 공진 첨예도가 높은 직렬 공진 회로부와 부하 회로의 분리와 결합을 수행하는 플라이백 고속 다이오드 $D_3$, 평활용 전해 커패시터$C_0$와 병렬 고주파 펄스 커패시터, 부하측 회로($R$)로 구성된다. 그림 1에서 직렬 공진 커패시터는 분할형 구성이지만 $C_1$ 또는 $C_2$를 제거한 싱글 엔디드 푸시-풀 형태의 구성과 비슷하며, 직류 전원측의 전류 리플율을 감소하는 역할을 한다.

그림 2는 제안한 고주파 초퍼의 각부 정상 동작 파형을 나타낸 것이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 회로의 동작 모드는 스위치 모듈 $Q_1$ 또는 $Q_2$의 게이트 전압 펄스 패턴 순서에 의한 $V_{S_1}$, $V_{S_2}$의 공급 상태에 따라 주 모드 1과 주 모드 2로 나누며, 역저지용 주 스위치 모듈 $Q_1$ 또는 $Q_2$의 도통 시간 $t_1$과 플라이백 다이오드 $D_3$의 단독 도통 시간 $t_2$의 합 $t_s$와 고주파 초퍼의 동작주기 $t_s(=1/f_{ch}$ , $f_{ch}$ : 초퍼 주파수)와의 대소 관계에 따라 (ⅰ) $T_s > t_s$ $(t_3 > 0)$ 인 경우와 (ⅱ) $T_s = t_s$ $(t_3 = 0)$ 인 경우로 구분할 수 있다.

(ⅰ)과 (ⅱ)에서 $t_3$는 스위치 모듈 $Q_1$ 또는 $Q_2$와 $D_3$의 차단 시간이며, $T_s < t_s$ $(t_3 = 0)$ 인 경우에는 주 스위치 모듈 $Q_1$과 $Q_2$는 $D_3$의 전류 $i_0$(고주파 초퍼의 출력 전류)의 값이 플라이백 형태의 결합 직렬 공진 인덕터에 흐르기 때문에 하드 스위칭 동작을 하므로 본 논문에서는 생략하였다. 그리고, $T_s > t_s$ 인 경우의 동작영역은 각 주 모드 1과 주 모드 2는 각각 편의상 스위치 모듈$Q$($Q_1$ 또는 $Q_2$)와 $D_3$의 온, 오프 동작 패턴에 따라 보조 모드(a), (b), (c)로 나누어 해석하였으며, $T_s = t_s$ 인 경우의 동작 영역은 보조 모드(c)가 없어지지만 이 동작 조건에서 본 논문에서 제안한 고주파 초퍼의 최대 주파수를 결정할 수 있다.

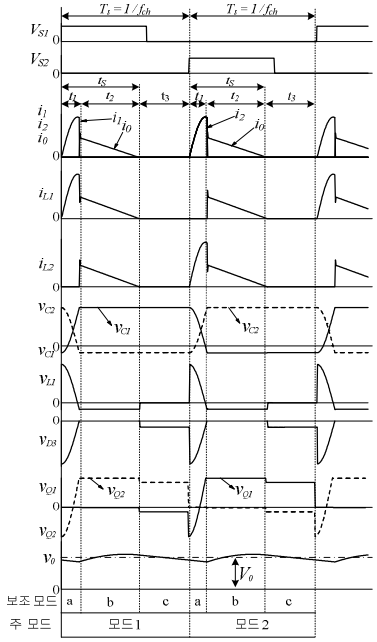



**그림 2** 제안한 고주파 초퍼의 각 부 정상 동작 파형

**Fig. 2** The each normal operation waveforms of the proposed high-frequency chopper

그림 3은 제안한 고주파 초퍼 동작 등가 회로를 나타낸 것이다. 그림 2와 그림 3(a)를 참조하여 $T_s > t_s$ 인 경우의 동작 영역에서 주 모드 1의 회로 동작을 초퍼 주기(출력측 전류 펄스의주기)의 보조 모드(a), (b), (c)로 순차적으로 다음과 같이 나눌 수 있다.

**(1) 보조 모드 1(a) : $0 \leq t < t_1$ (플라이백 변압기의 에너지 축적 모드)**

스위치 모듈 $Q_1$이 턴-온하면 제1직렬공진회로($E - L_1 - Q_1 - C_2$ 의 폐쇄 회로)와 제2공진회로($C_1 - L_1 - Q_1$ 의 폐쇄 회로)가 동시에 작동하며, $L_1 = L_2 = L$ 과 $C_1 = C_2 = C/2$ 로 결정된 직렬공진 전류 $i_1$(직렬 공진 주파수 $f_r = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ )이 흐른다. 이때 스위치 모듈$Q_1$은 ZCS 턴-온이 실현되며, 이 모드에서는 플라이백 형태의 결합 공진 인

덕터의 전체 전압($v_{L_1}+v_{L_2}$)은 0보다 크므로 $D_3$은 부하 전압 $V_0$을 가지고 역방향 바이어스에 대해 차단이 된다. 또한 $L_1$이 순차적으로 변해가하면 $L_1$의 상호 유도 전압 $v_{L_1}$과 $L_2$의 상호 유도 전압$v_{L_2}$는 그림 1의 점선 표시한 것과 같이 서서히 반대가 되어, 공진 인덕터의 전체 전압($v_{L_1}+v_{L_2}$)은 점차적으로 정방향에서 역방향으로 0보다 작아진다. 즉, $E-v_{L1}-v_{L2}$의 경로로 출력측 평활 필터 커패시터 $C_0$의 전압 $v_0$의 평균 전압 $V_0$과 같은 시점인 $t_1$에서 $D_3$가 턴-온되며, 이 보조 모드 1(a)는 플라이백 다이오드 $D_3$가 턴-오프된 시점에서 종료된다.

**(2) 보조 모드 1(b) : $t_1 \leqq t < t_1+t_2 = t_s$ (플라이백 변압기의 에너지 방출 모드)**

플라이백 다이오드 $D_3$가 자연스럽게 턴-온하면 스위치 모듈$Q_1$의 전류 $i_1$은 플라이백 형태의 결합 공진 인덕터는 0이 되어 순간적으로 차단된다. 그러나 스위치 모듈$Q_1$의 전압이 이론상 제로 전압 유지 모드(hold mode)가 되는 것보다 스위치 모듈 $Q_1$은 ZCS하고 ZVS 모드에서 턴-오프한다. 즉, 스위치 모듈 $Q_1$의 전압 $v_{Q_1}$과 전류 $i_1$가 과도 모드(transient mode)에서 겹치지 않고 ZCS&ZVS 전환(轉流)에 의해 완전한 소프트 스위칭 동작을 한다. 이 회로 방식에서 보조 모드1(a)의 $L_1$에는 직렬공진 전류$i_1$에 의한 전자기에너지 $w_1(=L_1 i_1^2(t_1)/2)$ 가 축적되며, $L_1$과 $L_2$의 플라이백 형태의 결합 인덕터의 총 에너지 $w_2(=(L_1+L_2+2M)i_0^2(t_1)/2$ 와 직류 전원 $E$에서의 에너지의 합이 부하 소비 에너지와 균형적으로 수급과 공급을 한다. 그 후 $D_3$을 통해 출력측 부하 회로계의 저항분에 소비된다.

$L_1$과 $L_2$의 플라이백 형태의 결합 인덕터의 전자기에너지가 완전히 방전되면 $D_3$는 자연스럽게 ZCS 턴-오프하며, $i_0(t_1)$는 $D_3$의 턴-온 시점에서 전자기에너지는 $i_1(t_1)/2$이 된다.

**(3) 보조 모드 1(c) : $t_s = t_1+t_2 \leqq t \leqq T_s$ (스위치 중단 모드)**

이 모드에서는 $L_1$과 $L_2$의 플라이백 형태의 결합 공진 인덕터의 총 에너지가 0이 되면 $D_3$는 자연스럽게 ZCS 턴-오프하며, 이때 2개의 스위치 모듈인 $Q_1$과 $Q_2$가 중단된다. 그리고 이 모드에서 스위치 모듈 $Q_2$은 게이트 펄스 전압 신호 $v_{S_2}$가 스위치 모듈$Q_1$과 서로 보충하면서 공급되고 있지만, 스위치 모듈 $Q_2$가 ZCS로 턴-온 할 때 종료된다. 스위치 모듈 $Q_2$의 턴-온에 따라 주 모드 1(그림 3(a) 참조)와 같은 보조 모드 a, b, c가 있는 주 모드 2(그림 3(b) 참조)로 나타낼 수 있다.

주 모드 2로 추이(推移)하면 제1직렬공진회로($E-C_1-Q_2-L_2$ 의 폐쇄 회로)와 제2공진회로($C_2-Q_2-L_2$ 의 폐쇄 회로)로 구성된다. 주 모드 2는 주 모드 1과 같은 보조 모드(a), (b), (c)의 회로 동작이 일시적으로 동작 모드를 거쳐 종료된다.

이상의 과정으로 주 모드 1과 주 모드 2가 상보적(相補的)으로 발생되며, 제안한 고주파 초퍼의 정상주기 상태에서의 한주기 동작이 완료된다.

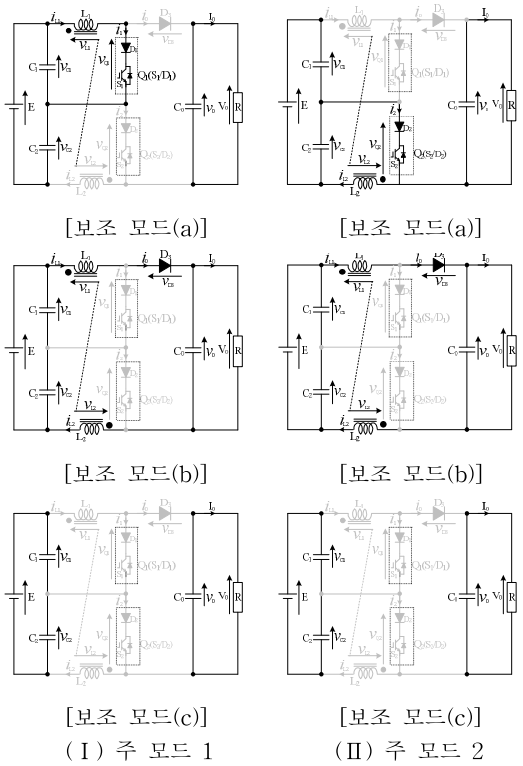



**그림 3** 제안한 고주파 초퍼의 동작 등가 회로($T_s \geqq t_s$)
**Fig. 3** The operation equivalent circuit of proposed high-frequency chopper($T_s \geqq t_s$)

## 3. 실험결과 및 검토

본 논문에서 제안한 고주파 초퍼의 실험 장치의 회로 파라미터는 표 1과 같다. 그림 4는 제어 변수로 초퍼 주파수 $f_{ch}$에 대한 부하 저항 $R$을 매개체로 한 제안한 초퍼형 DC-DC 컨버터의 개루프 제어 시스템으로 출력 전압제어 특성을 나타낸 것이다.

**표 1** 제안한 고주파 초퍼의 실험 장치의 회로 파라미터
**Table 1** The experimental parameters of the proposed high frequency chopper circuit

| 구 분 | 기 호 | 값 |
|---|---|---|
| 직류 입력 전원 전압 | $E$ | 50V |
| 고주파 초퍼의 동작 주파수 | $f_{ch}$ | $40kH_z \sim 100kH_z$ |
| 결합 공진 인덕터의 결합도 | $k$ | 0.99 |
| 직렬 공진용 인덕터 | $L_1 = L_2 = L$ | $100\mu H$ |
| 직렬 공진용 커패시터 | $C_1 = C_2$ | $0.02\mu F$ |
| 출력측 평활 커패시터 | $C_0$ | $100\mu F$ |
| 출력 전압 | $V_0$ | 50V~200V |
| 부하 저항 | $R$ | $200\Omega \sim 2k\Omega$ |

그림 4에서 알 수 있듯이 제안한 승압형 초퍼 DC-DC 컨버터의 초퍼 주파수 $f_{ch}$가 40[kHz] 이하에서는 초퍼 주파수 $f_{ch}$가 제로 부근에서 직류 입력 전압 $E$를 50[V]에 수렴하며, 초퍼의 주파수 $f_{ch}$가 약 20[kHz] 이상이 되면 비가청 주파수 대역이 되어, 저소음화 동작을 한다. 그리고 그림 4에서 고주파 초퍼의 출력 전압 제어 특성은 초퍼 주파수 $f_{ch}$에 대해 ZCS 조건에서 직류 승압 전압 특성을 가진다. 그림 4에서 보듯이 고주파 초퍼의 출력 전압 $V_0$는 초퍼 주파수 $f_{ch}$에 거의 비례하여 커지며, $f_{ch}-V_0$ 특성은 부하 $R$에 관계없이 ORCAD 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 한 결과값과 실험값은 거의 일치하고 있다.

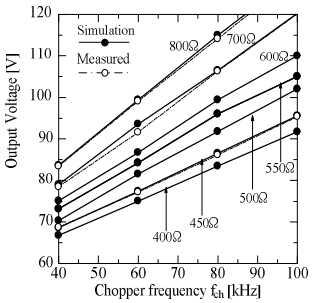



**그림 4** 제안한 승압형 초퍼 DC-DC 컨버터의 출력 전압제어 특성

**Fig. 4** Output voltage regulation characteristics of proposed boost chopper DC-DC converter

그림 5는 부하전류를 기준으로 초퍼 주파수 $f_{ch}$에 대한 제안한 초퍼의 효율을 나타낸 것이다. 그림 5에서 제안한 승압형 초퍼 DC-DC 컨버터는 주파수 $f_{ch}$가 40[kHz]일 때 어느 정도까지 92.5[%]로 높은 효율을 유지하는 것을 알 수 있다.

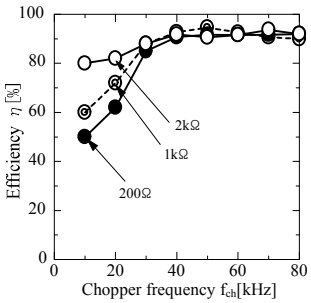
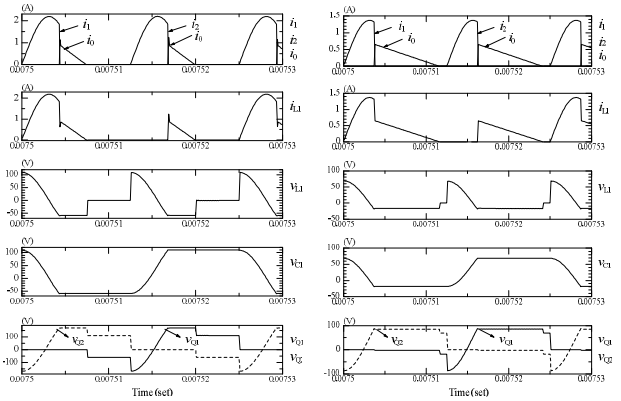



**그림 5** 제안한 초퍼 DC-DC 컨버터의 주파수 $f_{ch}$에 대한 효율 특성

**Fig. 5** The efficiency characteristics for proposed chopper DC-DC converter of frequency $f_{ch}$

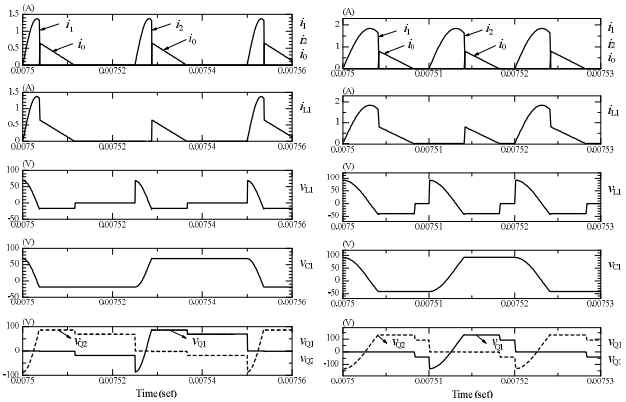
그림 6은 $T_s>t_s$ 동작 영역에서 경부하와 중부하에 따른 제안한 승압형 초퍼 DC-DC 컨버터의 정상 작동시 시뮬레이션 파형을 나타낸 것이다. 그림 6에서 경부하와 중부하로 사용되어지는 부하 저항값은 전류의 기준으로 경부하는 부하 저항값을 2[$k\Omega$]으로 하였으며, 중부하는 부하 저항값을 200[$\Omega$]으로 하였다. 그




(a) 경부하($R$=2[$k\Omega$], $f_{ch}$=80[$kH_z$]) (b) 중부하($R$=200[$\Omega$], $f_{ch}$=80[$kH_z$])

**그림 6** 부하 조건에 따른 컨버터의 동작 파형

**Fig. 6** Operating waveforms of the converter according to the load conditions




(a) 저주파수(R=800[Ω], fch=40[kHz]) (b) 고주파수(R=800[Ω], fch=100[kHz])

**그림 7** 초퍼 주파수에 따른 컨버터의 동작 파형

**Fig. 7** Operating waveforms of the converter according to chopper frequency

림 7은 $T_s>t_s$ 동작 영역에서 초퍼 주파수 $f_{ch}$를 저주파로 했을 경우와 고주파로 했을 경우에 따른 제안한 승압형 초퍼 DC-DC 컨버터의 정상 작동시 시뮬레이션 파형을 나타낸 것이다.

그림 6과 그림 7에서 알 수 있듯이 넓은 부하 변화 영역과 20[kHz] 이상의 초퍼 주파수 제어 범위에서 주 스위치 모듈 $Q_1$과 $Q_2$는 턴-온시 낮은 $di/dt$에서 ZCS 동작을 하고 턴-오프시에 ZCS 및 ZVS 동작이 확실히 실현된다. 그리고 $T_s>t_s$ 동작 영역에서는 주 스위치 모듈($Q_1$, $Q_2$)의 턴-온시의 $di/dt$, 턴-오프시의 $dv/dt$의 스트레스가 작아 초퍼 주파수 $f_{ch}$의 제어 범위에 관계없이 그다지 다르지 않는 것을 알 수 있다. 또한, 낮은 $dv/dt$를 위해 고주파 누설 전류를 감소시켜 전도성 노이즈 개선과 스위치 전류 파형에 포함된 공명 서지(resonance surge)도 낮아 방사성 노이즈의 개선도 기대할 수 있다.

그림 8은 $T_s>t_s$ 동작 영역에서 부하 저항 $R$는 800[Ω]으로, 초퍼 주파수 $f_{ch}$는 40[kHz]로 했을 때의 제안한 승압형 초퍼 DC-DC 컨버터의 실험 파형을 나타낸 것이다. 그림 8에서 알 수 있듯이 주 스위치 모듈($Q_1$, $Q_2$)는 직렬 공진 전류의 초기

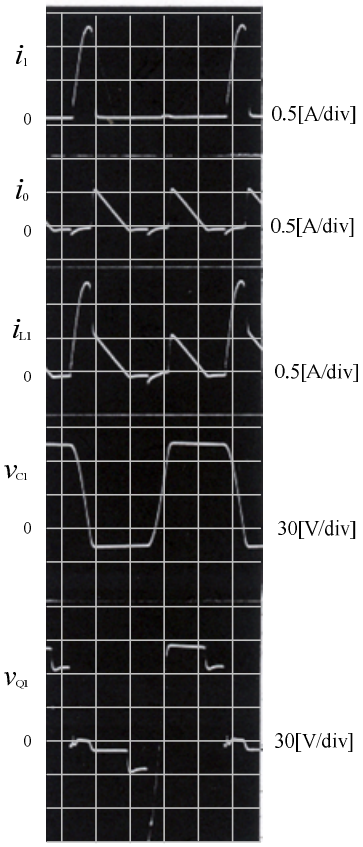



**그림 8** 제안한 승압형 초퍼 DC-DC 컨버터의 실험 파형
**Fig. 8** Experimental waveforms of proposed boost chopper DC-DC converter

값이 0로서 ZCS 턴-온 동작을 한다. 또한, 주 스위치 모듈($Q_1$, $Q_2$)는 턴-오프 직후 전류가 0로 주 스위치 사이의 전압은 영전압 홀드 모드(hold mode) 또한 역방향 바이어스 모드로 이행한다. 그리고 주 모드 2(a)에서 스위치 모듈$Q_1$의 역바이어스 모드로 들어가며, 주 스위치 모듈($Q_1$, $Q_2$)은 ZCS 및 ZVS에서 턴-오프 동작을 실현할 수 있다. 즉, 완전한 소프트 스위칭 정류 동작을 실현할 수 있다.

턴-오프시 주 스위치 모듈($Q_1$, $Q_2$)에서는 폴 전류(fall current)와 테일 전류(tail current)가 흐르는 과도 기간이 나타나는데 스위치 모듈$Q_1$의 전압 $v_{Q_1}$가 양의 방향으로 상승하지 않기 때문에 턴-오프시의 전류와 과도 교차가 없다. 그림 6과 그림 7의 시뮬레이션 결과와 그림 8에 나타낸 실험 결과는 몇 [%]의 오차로 일치하고 있음을 확인 할 수 있다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 변압기 없이 구성된 고주파 결합 인덕터 직렬 공진형 ZCS-PFM 초퍼 제어 방식을 이용한 승압형 초퍼 DC-DC 컨버터의 회로 토폴로지를 새롭게 제안하고 안정된 회로 동작과 특징을 서술하였다.

제안한 승압형 초퍼 DC-DC 컨버터의 개루프 제어 시스템으로 일정한 출력 전압 제어 특성을 시뮬레이션과 실험을 통하여 정량적으로 검토하여 설계시 필요한 여러가지 데이터를 얻었다. 그리고 제안한 고주파 초퍼는 역저지형 주 스위치 모듈($Q_1$, $Q_2$)은 경부에서 하중에 걸친 넓은 부하 범위 및 가청 주파수(20[kHz])이상의 초퍼 주파수 제어 범위에서 완전히 ZCS 동작 $Q_1/Q_2$ 턴-온시 ZCS, $Q_1/Q_2$ 턴-오프시 ZCS 및 ZVS)하는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 제안한 고주파 초퍼는 Ts>ts 동작 영역에서는 주 스위치($Q_1$, $Q_2$)의 턴-온시 $di/dt$ 및 턴-오프시의 $dv/dt$ 스트레스가 초퍼 주파수 제어 영역에서도 작아지는 것을 확인할 수 있다.

제안한 고주파 ZCS-PFM 초퍼 제어 방식을 이용한 승압형 DC-DC 컨버터는 종래의 고주파 ZCS-PFM 인버터 결합형 절연 방식 DC-DC 컨버터와 달리, 전력 변환 단수(段數) 및 회로 부품이 적고, 저비용, 고효율, 고밀도 점에서 유리하며, 공진 커패시터 및 파워 반도체 디바이스(역저지형 IGBT 모듈)의 전압이 일반적인 직렬 공진 회로의 공진 첨예도와 같이 높은 경우이지만 전압 클램프가 되고, 직렬 공진형 특유의 전압 피크 스트레스가 과부하 영역에서도 유한 값으로 제한되는 장점이 있다.

본 논문에서 제안한 고주파 초퍼는 약 92.5[%]의 높은 실측 전력 효율이 얻어지며, 40[kHz]~100[kHz]의 고주파 초퍼의 동작 주파수 영역에서도 실측 효율이 비교적 높기 때문에 주 스위치($Q_1$, $Q_2$)는 소프트 스위칭 동작에 의해 스위칭 손실을 줄일 수 있다.

이상의 결과에서 본 논문에서 제안한 새로운 고주파 결합 인덕터 직렬 공진 ZCS-PFM 초퍼 제어 방식을 이용한 승압형 DC-DC 컨버터는 소형화, 고효율화, 고주파 스위칭에 의한 제어 응답 향상 및 낮은 전자기 노이즈의 실현에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

추후에 역내압이 있는 신형 IGBT의 개발이 실용화되면 본 논문에서 제안한 고주파 초퍼의 주 스위치($Q_1$, $Q_2$)의 직렬 고속 다이오드($D_1$, $D_2$)가 불필요로 해져, 제안한 고주파 초퍼가 더욱 더 고효율화를 꾀할 수 있어 응용 범위도 확대될 것으로 사료된다.

## References

[1] O. Kiyoshi, O. Hideki, Y. Hidekazu, I. Kiyoshi "Quasi-Resonant Zero voltage Soft Switching PWM High Frequency Inverter and its Computer Aided Analysis of Characteristics", *Technical report of IEICE. Energy engineering in electronics and communications* 97(366), pp. 49-56, 1997.

[2] T. Aoki, Y. Nozaki, Y. Kuwata, and T. Koyashiki, "A Quasi-Resonant DC Link PWM Inverter", *Proceedings of IPEC Yokohama*, pp. 1203-1208, 1995.

[3] Busse, J. Erdman, R. J. Kerkman, D. Schlegel, and G. Skibinski, "Bearing Currents and Their Relationship to PWM Drives", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 12, no. 2, pp. 243-252, 1997.

[4] Hyun-Lark Do,"Zero-Voltage-Switching Boost Converter Using a Coupled Inductor", *Journal of Power Electronics* 11(1), pp. 16-20, 2011.

[5] F. L. Luo, "Re-lift circuits: a new dc-dc step-up

boost converter," *IET Electronics Letters*, vol. 33, no. 1, pp. 5-7, 1997.
[6] M. R. Amini and H. Farzanehfard, "Novel family of PWM softsingle-switched DC-DC converters with coupled inductors," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 56, no. 6, pp. 2108-2114, 2009.
[7] Jun-Ho Kim, Doo-Yong Jung, Sang-Hoon Park, Chung- Yeun Won, Yong-Chae Jung, and Su-Won Lee, "High Efficiency Soft-switching Boost Converter Using a Single Switch," *Journal of Power Electronics*, vol. 9, no. 6, pp. 929-939, 2009.
[8] Piergiorgio Alotto, Massimo Guarnieri, Federico Moro,"A coupled electro-chemical model of a direct methanol fuel cell for portable electronic devices", *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, vol. 28, no 4, pp. 1005-1019, 2009.

## 저 자 소 개

**김 홍 신 (金 烘 伸)**

2005년 경남대 전기공학과 졸업. 2007년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2015년 동 대학원 전기공학과 박사과정. 1996년~현재 한국수자원공사 재직. 현 본 학회 산업전기위원회 정회원

**허 영 환 (許 英 煥)**

1995년 부경대 전기공학과 졸업. 2005년 동아대학교 교육대학원 전기·전자·통신 교육학과 졸업 (석사). 2015년 부경대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 김해시도시개발공사 근무

**문 상 필 (文 相 弼)**

1997년 부경대 전기공학과 졸업. 1999년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2010년 8월~현재 마산대학교 전기과 조교수. 2009년 7월 IEEE ISIE Bsst Paper Award 수상. 2010년 12월 한국조명전기설비학회 학술상 수상. 현 본 학회 산업전기위원회 편집위원 겸 정회원

**박 한 석 (朴 瀚 錫)**

1981년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 1983년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 한국해양대학교 대학원 졸업(박사). 1986년 3월 ~현재 부경대학교 공과대학 전기공학과 교수. 현 본 학회 정회원


Copyright ⓒ The Korean Institute of Electrical Engineers
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.