

2차측 보조 소프트 스위칭 고주파 절연형 무정전전원장치

김주용, 서기영, 이현우, 문상필
경남대학교

Uninterruptible power supply using the secondary auxiliary soft switching high frequency insulating

J.Y.Kim, K.Y.Suh, H.W.Lee^{*} and S.P.Mun
Kyungnam University

Abstract – In paper, propose new partial resonance ZCS PWM controlled High frequency insulating Full-bridge DC/DC converter not using exciting current of high frequency transformer.

It is compared with the existing principles in characteristics. It also realizes a widely stabilized ZVS operating using new On-Off control method at synchronized power rectification MOSFET of high frequency insulating transformer secondary.

Finally, it is brought over 97[%] measurement efficiency by proposed DC-DC converter. It is proved effectiveness of new methods using DC UPS PWM rectifier as switching power.

1. 서 론

파워 MOSFET, IGBT등 MOS 게이트 파워 반도체 스위칭 디바이스를 이용한 펄스 변조 스위칭 모드 고주파 절연형 DC/DC 컨버터의 소형 경량화, 고성능화 저소음화하기 위한 스위칭 주파수의 고주파화 기술이 도입되어지고 있다.

그러나, 기존의 하드 스위칭 고주파 PWM 방식 절연형 DC/DC 컨버터는 펄스 변조 캐리어 주파수의 고주파화에 수반하고, 파워 반도체 스위칭 디바이스의 스위칭 손실의 증대나 스위칭 과도 현상에 수반한 전압 서지나 전류 서지에 의한 EMI의 노이즈의 발생등의 문제점이 있으며, 스위칭 주파수의 고주파화에도 한계가 나타나고 있다. 이러한 문제를 효과적이면서 동시에 해결하기 위해 스위칭 모드 PWM DC/DC 컨버터내의 파워 반도체 스위칭 디바이스와 고주파 트랜스를 포함한 L-C 공진 회로, 스너버 회로 등을 이용하여 영전압 스위칭(ZVS) 또는 영전류 스위칭(ZCS)의 상태 천이로 온시키는 소프트 스위칭 PWM 방식 고주파 절연형 DC/DC 컨버터의 회로 기술에 대한 연구 개발이 활발하게 이루어지고 있다.^{[1][2]}

일반적으로 공진 전류 모드를 도입한 펄스 변조 소프트 스위칭 DC/DC 컨버터는 파워 반도체 스위칭 디바이스의 스위칭에서 L-C 공진 현상을 한 주기 내에 부분적 또는 전체적으로 이용하여 영 전류모드 또는 영 전압모드에 의한 소프트 스위칭 펄스 전류 방식을 이용한다.

연속 공진 전류 전환방식은 고주파 트랜스의 기생 회로 파라미터를 이용하여 공진 동작하기 때문에 회로는 간단하나 파형이 정현과 공진 상태이기 때문에 파워 반도체 스위칭 디바이스, 고주파 트랜스, 직렬 보상 공진 컨덴서에 관련된 전압 또는 전류의 피크값이 커져 정주파(定周波) PWM 방식을 이용한 출력 제어법은 잘 사용하지 않는다. 하지만 일부 산업체에서 실용화되고 사용하므로 문제점의 개선에 관한 연구가 필요하다. 이에 반해 부분 공진 전압 방식은 스위칭의 모드 천이 전후에서 공진 회로를 부분적으로 동작시키므로 스위칭 천이 영역 전후 이외에서 파워 반도체 스위치의 단자 전압 파형이 구형파, 즉 에지 공진 파형이 가능하기 때문에 고주파 PWM

방식으로 출력 전압을 제어할 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 전원 방식의 고성능, 고효율, 저노이즈 등에 많이 적용되어 연구되고 있다.^{[3], [4], [5]}

그러므로 본 논문에서는 고주파 트랜스의 여자 전류를 이용하지 않고, 인더터스를 이용한 새로운 부분공진 영전압 스위칭 PWM 제어 고주파 절연형 풀-브리지 DC/DC 컨버터의 회로를 제안하여 그 동작 원리를 기준 방식과 특성을 비교하고자 한다. 또한, 고주파 절연 트랜스 2 차측에 동기 정류용 파워 MOSFET에 새로운 기능을 부가한 온-오프 제어 방식을 이용하여 넓은 부하 범위에 걸쳐 안정된 영전압 스위칭(ZVS)동작을 실현하고자 한다. 끝으로 제안한 DC-DC 컨버터의 실험장치에 의해서 실측 효율을 97[%] 이상 달성하고자 하며, 직류 무정전원의 PWM 정류기의 출력단에 이용되는 새로운 방식을 스위칭 전원으로서 유효성을 증명하고자 한다.

2. 제안한 소프트 스위칭 PWM DC/DC 컨버터

2.1 기존회로의 구성

그림 1은 기존의 로스레스 스너버 컨덴서에 의한 고주파 트랜스 1차측 부분 전압 공진ZVS-PWM방식 DC/DC 컨버터의 주 회로를 나타낸 것이다. 그림 1에서 고주파 절연 트랜스의 1차측은 로스레스 스너버 컨덴서를 주 스위치와 병렬로 접속한 풀-브리지형태로 구성하고 있으며, 고주파 트랜스 기생 회로의 파라미터로 인더터스 L_S 와 여자 인더터스 L_P 를 이용하며, 각각의 주 스위치는 영전압 소프트 스위칭(ZVS)을 실현하고 있다. 즉, 파워 반도체 스위칭 디바이스에 병렬에 접속된 로스레스 스너버 컨덴서와 L_S 및 L_P 에 의한 공진 동작모드를 이용하여 ZVS를 실현하고 있다.

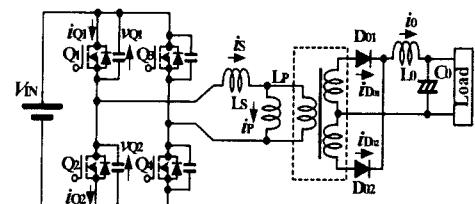


그림 1 기존의 부분 공진형 ZVS-PWM DC/DC 컨버터
Fig. 1 Conventional partial resonant type ZVS-PWM converter

일반적으로 인더터스 L_S 와 여자 인더터스 L_P 는 고주파 트랜스를 소결합 설계한 것으로 기생 회로 파라미터로 이용이 가능하지만, 외부 별도의 회로 부품을 이용할 수도 있다. 이 중에서 대표적으로 L_S 와 보상 컨덴서를 이용하여 직렬공진 시키는 방식이 있다. 이 방식은 부품의 개수, 공진에 의한 도통손실, 전압과 전류의 피크 스트레스가 증가하기 때문에 본 논문에서는 이용하지 않았다.

2.2 제안한 회로의 구성 및 동작원리

그림 2는 제안한 고주파 절연형 소프트 스위칭 PWM DC/DC 컨버터의 주 회로 구성을 나타낸 것이다. 제안한 회로는 기존의 고주파 절연형 소프트 스위칭 PWM DC/DC 컨버터 회로의 고주파 절연 트랜스 2차측에 파워 MOSFET Q_{01}, Q_{02} 를 이용하여 동기 정류시켜으며, 이러한 2차측의 파워 MOSFET를 1차측의 파워 MOSFET의 소프트 스위칭 동작을 실현하기 위해 새로 운 온-오프 제어방식을 사용하였다.

또한, 고주파 트랜스에 병렬로 접속된 등가 여자 인덕턴스 L_p 를 크게 설계함으로써 무효전류를 적게 하고, 동시에 출력 필터 인덕터 L_o 의 값을 그림 1과 비교하여 5분의 1 정도로 줄었다.

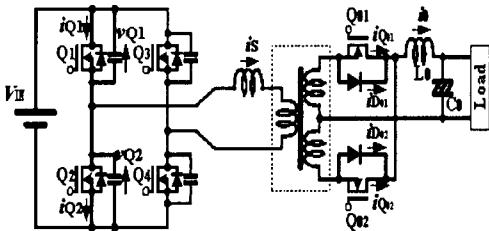
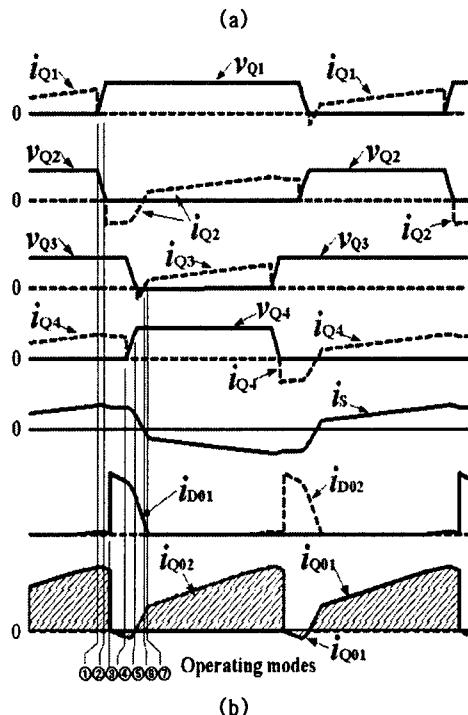
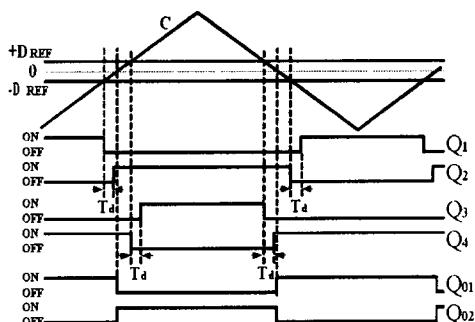


그림 2 제안한 고주파 절연형 소프트 스위칭 PWM DC/DC 컨버터
Fig. 2 Proposed high frequency transformer soft switching PWM DC/DC converter

기존의 동기 정류 방식은 다이오드 D_{01}, D_{02} 에 전류가 흐르고 있는 기간에 D_{01}, D_{02} 에 대응한 파워 MOSFET를 도통시키는 방식인데 반해 제안한 동기 정류 방식은 파워 MOSFET와 이것에 병렬로 접속된 다이오드의 양쪽에 전류를 흐르게 함으로써 기존의 고속 다이오드 정류 방식으로는 얻을 수 없는 낮은 전압 강하를 얻을 수 있으며, 정류기부의 변환 손실을 저감시킬 수 있다.

또한, 제안한 회로는 2차측의 동기 정류용 파워 MOSFET를 50[%]의 뉴티율(d)로 능동적으로 온-오프시키는 것으로 1차측의 파워 MOSFET의 소프트 스위칭을 도와주으로써 무부하를 포함한 넓은 부하 변화 범위에서 영전압 소프트 스위칭 동작을 실현할 수 있다.

그림 3은 제안한 회로의 제어 방식에 있어서 온-오프 신호의 생성 및 동작 과정을 나타낸 것이다. 그림 3(a)에서 주 스위치 Q1에서 Q4의 온-오프 신호와 고주파 절연 트랜스 2차측의 파워 MOSFET Q_{01}, Q_{02} 에 뉴티율 50[%]의 온-오프 신호를 공급하고 있다. 그림 3(b)에서 출력 전류 과정이 해칭된 부분은 파워 MOSFET (Q_{01} 또는 Q_{02})와 이것에 병렬로 접속된 다이오드의 양쪽에 전류가 흐르고 있는 기간을 나타낸 것이다.



(b)

그림 3 제안한 DC-DC 컨버터의 동작 전압과 전류 과정
(a) 게이트 펄스 신호 생성 과정
(b) 동작 과정

Fig. 3 Operating voltage and current waveforms of the proposed DC/DC converter
(a) Gate pulse signal processing waveforms
(b) Operating waveforms

3. 실험 결과 및 고찰

그림 4는 본 논문에서 제안한 DC/DC 컨버터 회로와 제어계를 포함한 실험장치를 나타낸 것이다. 표 1은 그에 따른 회로 정수를 나타낸 것이다. 그림 4에서 스위칭 디바이스의 온-오프 신호를 생성하기 위해서 먼저, 출력 전압값 v_o 을 검출하여 기준 입력 신호 V_{REF} 의 차이를 비례 적분한 것으로 펄스 폭 변조기의 입력 기준 D_{REF} 를 생성한다. 그리고 펄스 폭 변조기의 입력 기준 D_{REF} 와 삼각파 캐리어 신호 C 를 비교하여 각 파워 반도체 스위칭 디바이스의 온-오프 신호를 생성하며, DC/DC 컨버터 회로의 제어 시스템은 원칩 마이크로컴퓨터로 구성하였다.

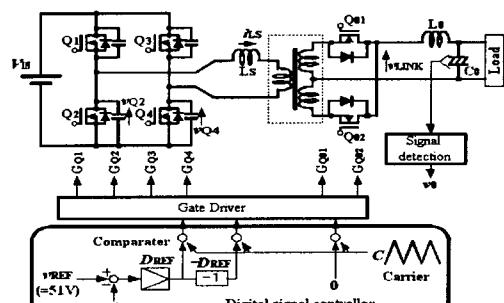


그림 4 제안한 DC-DC 컨버터의 실험장치
Fig. 4 Experimental devices of proposed DC-DC

converter

표 1 실험에 사용된 회로 정수
Table. 1 Circuit parameters used in experimental

입력 직류전압(VIN)	350[VDC]
출력 직류전압(VO)	51[V]
스위치 주파수(f_s)	35[kHz]
스위치	MOSFET (Q1~Q4) 2SK1522×3Parallel
	MOSFET (Q01, Q02) 2SK3158×6Parallel
로스레스 스너버 컨덴서 (C1~C4)	4.7[nF]×2Parallel
공진 리액터(LS)	20[μH]
평활 리액터(L0)	6[μH]
평활 컨덴서(C0)	1000[μF]×6Parallel
고주파 트랜스 코어	PQ 50/50 Ferrite core PC44
다이오드	MOSFET body-diode

그림 5와 그림 6은 50[A]부하시와 무부하에 있어서 실험 과정을 나타낸 것이다. 두 그림에서 알 수 있듯이 스위치 단자 전압 v_{Q_2} 의 dv/dt 가 억제되어, 전압 소프트 스위칭이 탈성된다.

그림 7은 부하 전류에 대한 실측 변환 효율과 변환 손실의 부하 특성을 나타낸 것이다. 그림 7에서 알 수 있듯이 제안한 전력변환의 전 손실은 출력 전력에 대하여 증가되며, DC/DC컨버터의 최대효율은 97.5[%]를 달성하고 있다.

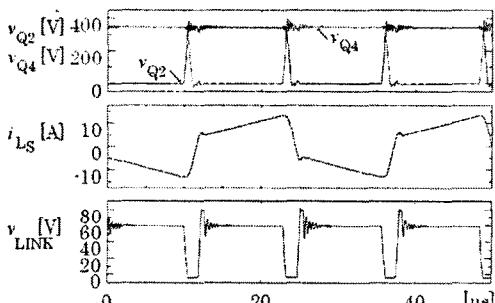


그림 5 실험결과 파형(50[A]부하)
Fig. 5 Experimental result waveforms (50[A]load)

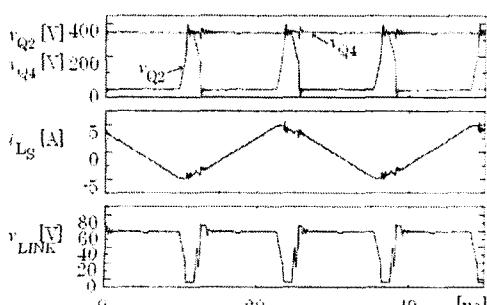


그림 6 실험결과 파형(무부하)
Fig. 6 Experimental result waveforms (no-load)

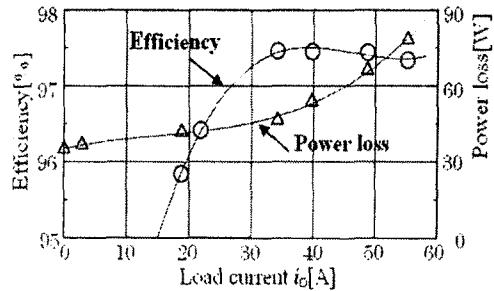


그림 7 부하 전류에 따른 효율과 손실
Fig. 7 Efficiency and power loss characteristics with load current

4. 결 론

제안한 회로는 새로운 직류 무정전전원장치으로서 기존의 동기 정류 방식을 이용한 고주파 절연형 소프트 스위칭 PWM DC/DC 컨버터에 고주파 절연 트랜스의 2차 측에 동기 정류용 파워 액티브 스위치를 추가한 회로이다. 이 부가된 스위치의 온-오프 작용에 의해서 주 스위치의 턴-오프 전류가 상승하여, 로스레스 컨덴서의 충방전 동작을 완전하게 시킬 수 있다. 그리고 제안한 소프트 스위칭 PWM DC/DC 컨버터 회로의 동작 원리와 특징을 기존의 방식 소프트 스위칭 PWM DC/DC 컨버터와 비교한 결과 제안한 소프트 스위칭 PWM DC/DC 컨버터 회로는 무부하로부터 정격 부하에 걸친 넓은 부하 범위에서 영전압 소프트 스위칭(ZVS)을 실현할 수 있다. 또, 기존의 연속 공진전류 전류(轉流) 방식의 영전류 소프트 스위칭 PFM 제어 DC/DC 컨버터 방식에 비해 파워 반도체 스위칭 디바이스나 고주파 트랜스 코일의 퍼크 전류가 적기 때문에 전체적인 도통 손실의 저감 및 온-오프 기능부 동기 정류 효과나 필터 인덕터의 저감 효과가 더해진다. 그리고 97.5[%]의 극히 높은 전력 변환 효율을 얻을 수 있다. 이러한 결과에 의해서 제안한 소프트 스위칭 PWM DC/DC 컨버터 회로는 통신 정보 에너지 플랜트뿐만 아니라, 신에너지 에너지 이용의 전력 인터페이스로서의 분산 전원, 이 밖에 자동차용 42[V] 전원화 시스템이나 항공 우주 시스템의 전력 인터페이스 전원 등으로서 유용한 적용할 수 있는 것으로 사료된다.

이 논문(보고서)는 산업자원부에서 시행한 전력 산업 인프라구축지원 사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

【참 고 문 헌】

- (1) 須生 貞司, 古越 隆一, “電流共振型(SMZ方式)電源”, サンケン技報, Vol.26, No.1, pp.11~22, 1993
- (2) 横山 伸明, “通信機用共振型スイッチング電源”, サンケン技報, Vol.27, No.1, pp.64~69, 1994
- (3) 佐藤 伸一, “高効率DC/DCコンバータの開発”, サンケン技報, Vol.32, No.1, pp.32~35, 1998
- (4) 佐藤 伸一, “高効率部分共振型DC/DCコンバータ”, 日本能率協会主催第11次スマート電源テクニカルフォーラム, セッション2, pp.1~10, 1999
- (5) B.H Choo, D.Y Lee, S.B Yoo, D.S Hyun, “A Novel Full-Bridge ZVZCS PWM DC/DC Converter with a Secondary Clamping Circuit”, Proceedings of IEEE Power Electronics Specialists Conference(PESC), Vol.2, pp.936~941, 1998