

넓은 입력 범위를 갖는 고효율 SMPS 토폴로지 연구

김동한¹, 이우석², 이준영³, 이일운[†]
 명지대학교

Research on topology for a high efficiency SMPS with wide input Voltage range

Dong-Han Kim¹, Woo-Seok Lee², Jun-Young Lee³, Il-Oun Lee[†]
 Myongji University

ABSTRACT

본 논문에서 넓은 입력 범위에 대응 가능한 고효율 SMPS의 구조를 제안한다. 무부하 동작 안정성과 안정적인 기동을 위한 파워 시퀀스 및 제어 기법 또한 제안하고, 제안 SMPS를 제작, 실험한 결과를 발표한다.

1. 서 론

최근 산업용 전력변환장치에서 넓은 입력 범위를 갖는 SMPS(Switching Mode Power Supply)에 대한 수요가 증가하고 있다. 기존 넓은 입력 범위를 갖는 SMPS들은 대부분 플라이백(flyback) 컨버터 기반으로 제작되어 매우 낮은 전력변환 효율을 갖는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 교류 220V ~ 440V, 직류 800V를 입력으로 하여 직류 24V, 15V, -8V, 5V 등을 출력하는 500W급 SMPS를 고효율로 개발할 수 있는 토폴로지에 대한 연구 결과를 발표하고자 한다.

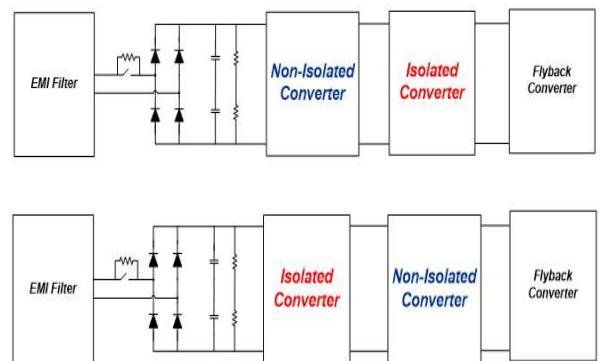
2. 본 론

2.1 제안하는 SMPS 구조

본 연구를 위한 넓은 입력 범위를 갖는 SMPS의 전기적 사양은 표 1과 같다. SMPS에서 입력단과 출력단 사이에는 전기적 절연성이 요구되고, 표 1에 따라 고효율 설계를 위한 SMPS 구조로 그림 1과 그림 2를 고려할 수 있다. 그림 1의 구조는 EMI 필터와 Bridge Diode를 거친 뒤 비절연형 컨버터와 절연형 컨버터를 차례대로 배치한 것이다. 앞단의 비절연형 컨버터는 벡(Buck) 컨버터가 적합하고, 벡(Buck) 컨버터의 입력전압 범위는 최소 310V에서 최대 800V 직류 전압 범위를 갖는다. 최대 800V를 입력으로 받기 때문에 높은 내전압을 갖는 소자를 사용하여 설계해야 한다. 절연형 컨버터는 벡(Buck) 컨버터의 출력을 입력으로 받아 24V 직류 전압을 출력하고, SMPS 출력 전력의 대부분이 24V 출력에서 사용되므로 효율 특성이 뛰어난 회로를 사용하는 것이 적합하다. 그림 1의 구조에서 절연형 컨버터는 스위칭 손실이 작은 LLC 공진형 컨버터와 같은 소프트 스위칭 컨버터로 설계할 수 있다. 하지만 벡(Buck) 컨버터의 경우 고전압 하드 스위칭에 의한 스위칭 손실이 매우 크고, 큰 전압리플을 저감하기 위한 스너버 손실 또한 크게 발생하여 고효율 설계 측면에서 불리하다. 반면 그림 2에서는 절연형 컨버터를 앞단에 배치하고, 비절연형 컨버터를

뒷단에 배치한 구조로서 절연형 컨버터로는 효율 특성이 뛰어난 LLC 공진형 컨버터를 사용하고, 비절연형 컨버터로는 벡(Buck) 컨버터를 사용할 수 있다. 이 구조에서 LLC 공진형 컨버터의 스위칭 소자에는 800V의 전압스트레스가 가해지지만 LLC 공진형 컨버터의 영진압 스위칭(Zero Voltage Switching) 특성으로 고전압 하드스위칭 손실이 발생하지 않는다. 또한 LLC 공진형 컨버터의 출력 전압을 입력으로 받는 벡(Buck) 컨버터는 출력 24V를 제어하는 정도의 충분히 작은 크기로 설계된다면 낮은 전압에서 하드스위칭이 이루어지므로 그림 1의 구조보다는 그림 2의 구조가 고효율 설계 측면에서 유리하다고 할 수 있다.

Topology	Input value	Output value	Rated output
LLC resonant converter	AC 220,380,440V, DC 800V	31V ~ 80V (500W)	SMPS operating power
Buck converter	31V ~ 80V (LLC output)	24V (480W)	Gate, Aux, FAN power
Main SMPS (Flyback converter)	31V ~ 80V (LLC output)	15V (14W) -15V (2W) 5V (4W)	MCU, OpAmp (Sensing) power
Gate SMPS (Flyback converter)	24V (Buck output)	15V / -8V (4W) #12	Six Pack IGBT Module power
Aux SMPS (Flyback converter)	24V (Buck output)	5V / 5V / 5V (10W)	Communication circuit power



2.2 고효율 토폴로지 선정 및 설계안

넓은 입력 전압 범위에 대응하는 절연형 컨버터로는 LLC 공진형 컨버터가 가장 널리 쓰이고 있다. LLC 공진형 컨버터의 가장 큰 장점은 소프트 스위칭 동작인 ZVS(Zero Voltage

Switching)가 가능하다는 것이다. 소프트 스위칭이 가능하기 때문에 넓은 입력 전압 사양에 대응하여 스위치에서 발생하는 전력 손실이 작고, 출력 부하전류가 감소하여도 넓은 ZVS 달성 영역을 보장하는 장점을 갖는다. LLC 공진형 컨버터는 설계 방식에 따라 주파수를 제어하는 가변 주파수형 LLC 공진형 컨버터와 고정 주파수로 설계하는 고정 주파수형 LLC 공진형 컨버터로 나눌 수 있다. 가변 주파수 방식은 주파수를 가변시켜 출력전압을 제어하지만, 주파수가 가변됨에 따라 큰 순환전류가 발생하여 효율이 저감되는 문제를 가진다. 반면, 고정 주파수 방식은 스위칭 주파수가 고정되어 출력전압을 제어할 수 없지만 1차측 스위치와 2차측 정류다이오드에서 항상 소프트 스위칭 동작이 달성되고, 자화인덕턴스 L_m 에 의한 순환전류가 최소화되기 때문에 효율이 우수한 장점을 갖는다. 따라서 본 논문에서는 가장 효율이 높은 지점에서 동작하도록 스위칭 주파수를 공진 주파수에 고정시키는 고정 주파수 방식을 사용하였다. 스위칭 주파수가 고정되어 있어 출력전압을 제어하지 않지만, 뒷단에 직렬로 연결된 Buck 컨버터와 Flyback 컨버터가 전압제어로 일정 전압을 출력한다. Buck 컨버터와 Flyback 컨버터는 순환전류가 전혀 발생하지 않으므로 항상 높은 효율을 가진다. 결과적으로 LLC 공진형 컨버터는 효율이 높은 지점에서 전기적 절연을 보장하고, Buck 컨버터와 Flyback 컨버터에서 출력전압을 제어하는 방식으로 구성된다.

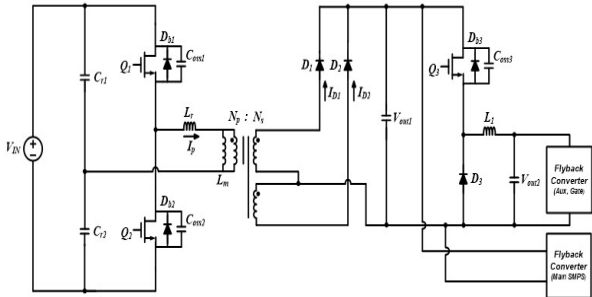
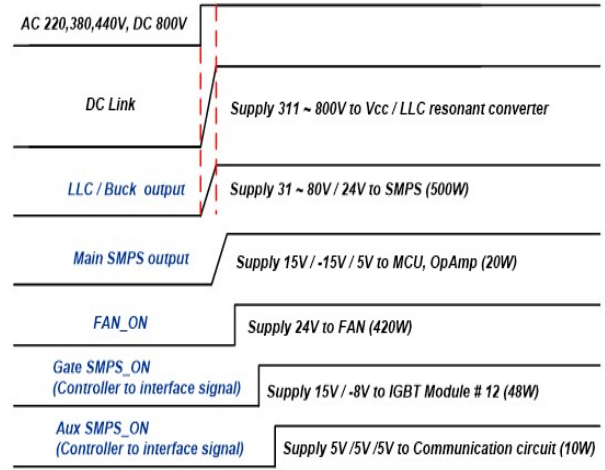


그림 3는 제안하는 넓은 입력범위를 갖는 고효율 SMPS 토폴로지 구조를 보여준다. LLC 공진형 컨버터의 출력은 Flyback 컨버터(Main SMPS)와 Buck 컨버터의 입력전압으로 사용되고, Buck 컨버터의 출력전압은 FAN 전원과 다른 Flyback 컨버터(Aux SMPS, Gate SMPS)의 입력전압으로 사용된다. 그리고 Flyback 컨버터의 출력은 GND가 분리된 보조 SMPS의 전원으로 사용된다.

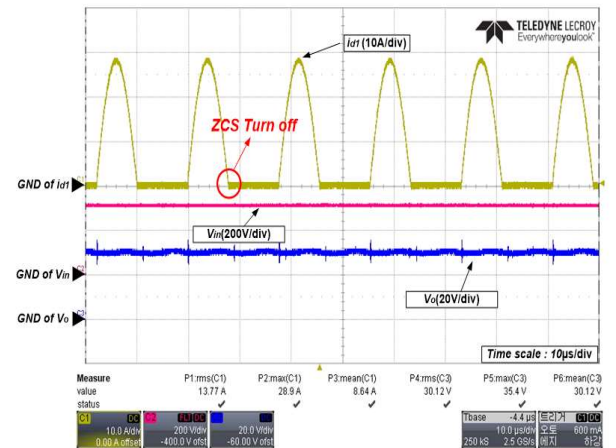
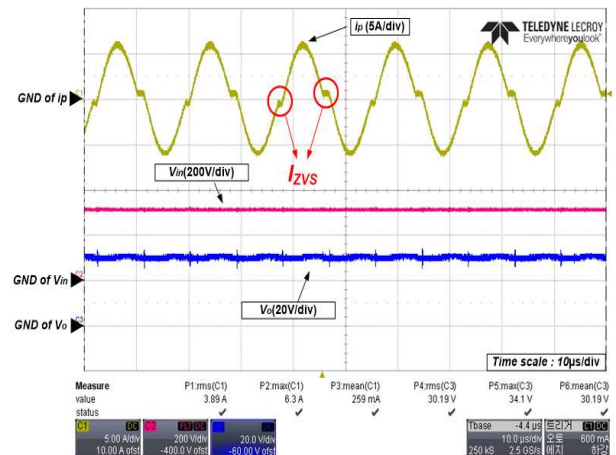
2.3 제안하는 고효율 토폴로지 동작시퀀스

그림 4는 제안하는 고효율 토폴로지의 파워 시퀀스를 보여준다. 입력전압 220Vac / 380Vac / 440Vac / 800Vdc가 인가되면 브리지 다이오드를 거쳐 DC Link 전압이 서서히 증가하고, 내부에서 사용하는 보조전원이 동작하여 보조전원으로부터 Vcc 전원들이 공급된다. 전원이 공급되면 LLC 공진형 컨버터가 동작하여 Main SMPS(Flyback 컨버터) 및 Buck 컨버터에 입력전압이 인가된다. Main SMPS(Flyback 컨버터)의 분리된 출력전압은 20W급 SMPS로 사용되고, Buck 컨버터의 24V 출력은 FAN 전원 및 Aux SMPS(Flyback 컨버터), Gate SMPS(Fly back 컨버터)의 입력전압으로 사용된다. Buck 컨버터에서 24V 출력전압이 생성되면, Relay 신호가 발생하여 초충 Relay가 구동되고 Aux SMPS(Flyback 컨버터)와 Gate SMPS

(Flyback 컨버터)는 외부 상위 제어 시스템에서 인가하는 인터페이스 제어신호로부터 구동된다. Aux SMPS (Flyback 컨버터)와 Gate SMPS(Flyback 컨버터)는 각각 10W, 48W를 공급하고, 나머지 전력 420W는 FAN 구동전력으로 사용된다.



2.4 실험결과



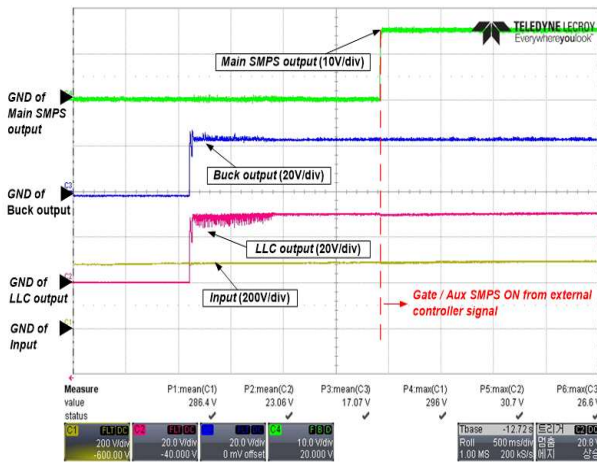
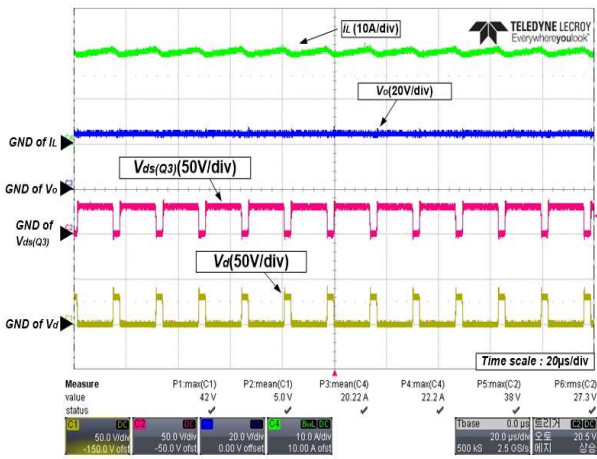


그림 5와 그림 6은 전류가 가장 많이 흐르는 220Vac 조건에서 LLC 공진형 컨버터의 1차측 전류파형 및 2차측 다이오드의 전류 파형을 보여준다. 이 파형들로부터 220Vac 조건에서 LLC 공진형 컨버터의 출력전압과 1차측 스위치들의 ZVS 턴 온, 2차측 다이오드들의 ZCS 턴 오프 동작이 달성되고 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 LLC 공진형 컨버터의 출력을 입력으로 받아 연동으로 동작되는 Buck 컨버터의 실험파형이다. 채널 1과 채널 2는 Buck 컨버터의 다이오드와 FET의 전압 스트레스를 보여주고, 채널 4는 출력 인덕터의 전류파형을 보여주며 채널 3은 Buck 컨버터의 일정한 24V 출력 보여준다. 실험결과를 통해 설계한 FET 및 다이오드의 전압, 전류 정격에 만족하는 충분한 수치를 확인할 수 있고, 일정한 24V 출력전압이 나오는 것을 확인할 수 있다.

그림 8는 입력 200Vac, 500W 풀 부하 조건에서 제안한 컨버터의 기동 시퀀스를 각 단의 출력 파형을 통해 보여주고 있다. 입력 220Vac가 인가되어 290V 이상 DC link 전압이 상승했을 때, LLC 컨버터가 동작하여 Buck 컨버터 및 Main SMPS에 전원이 공급되고, Buck 컨버터 및 Main SMPS가 동작한다. 그리고 Buck 컨버터가 동작하여 출력 24V가 생성되면, FAN, Gate, Aux SMPS에 전원이 공급된다. Gate, Aux단에

전원이 공급되면, 제어기로부터 Gate SMPS_ON 신호 및 Aux SMPS_ON 신호를 발생시켜 Gate SMPS 및 Aux SMPS를 구동시킬 수 있다.



그림 9는 입력 220Vac 조건에서 전체 시스템 효율을 보여준다. 측정은 제안된 모든 컨버터를 연동하여 풀 부하 조건에서의 입력 전력을 측정하였고, 입력 전력은 약 550W로 측정되었다. 출력 전력은 500W 풀 부하이므로 이를 통해 제안된 컨버터의 전체 효율을 계산할 수 있다. 전체 효율은 90.9%로 이는 가장 전류가 많이 흘러 효율이 낮은 220Vac 조건에서 측정된 결과이므로, 380Vac /800Vdc 조건에서는 효율이 훨씬 더 좋다.

3. 결론

본 논문에서는 넓은 입력전압 범위에 대응 가능한 고효율 SMPS의 구조를 제안하고, 무부하 동작 안정성 확보와 안정적인 기동을 위한 파워 시퀀스 및 제어 기법을 제안하였다. 전력단의 고효율화 개발을 위해 고정 주파수 LLC 공진형 컨버터를 구현하여 효율이 높은 지점에서 전기적 절연을 보장하였고, Buck 컨버터와 Flyback 컨버터를 구현하여 출력전압을 제어하였다. 그 결과, 제안한 방식에서 순환전류가 최소화 되었고, 전류가 가장 많이 흐르는 AC 220V 입력조건에서 90.9%의 효율을 달성하였다.

본 연구는 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (NRF-2018R1D1A1B07048209)

참고 문헌

- [1] J. H. Kim, "A New DC-DC Converter Topology For High-Efficiency Electric Vehicle Rapid Chargers," Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, Vol. 23, No. 3, June 2018.
- [2] B. C. Kim, "Application technology of LLC series resonant converter for high density power supply," Transactions of the Institute of Power Electronics, Vol. 17, No. 6, pp. 31-36, Dec. 2012.