

HEV용 풀-브릿지 DC-DC 컨버터 디지털 제어에 관한 연구

장동욱*, 정중기*, 김희준**

한양대학교 전자전기제어계측공학과*, 한양대학교 전자컴퓨터공학부**

Study on a digital controlled Full-Bridge DC-DC converter for HEV

Dong-Wook Jang*, Joong-Ki Jung*, Hee-Jun Kim**

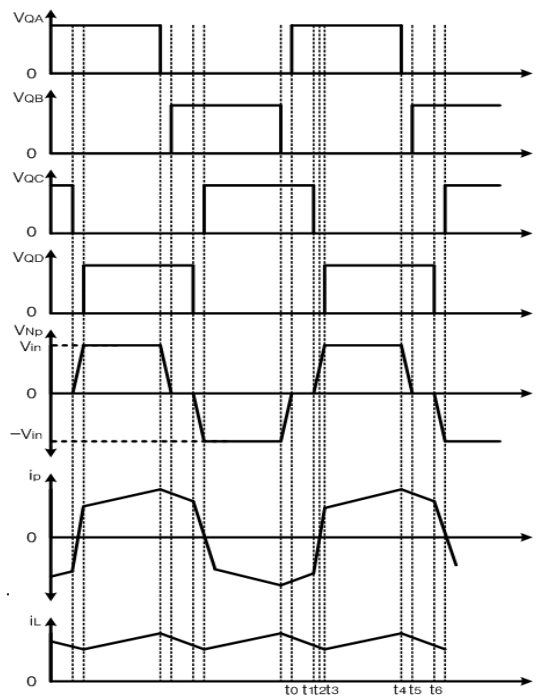
Department of Electronic, Electrical, Control and Instrumentation Engineering, Hanyang University*, School of Electrical Engineering and Computer Science, Hanyang University**

Abstract - 본 논문은 친환경 하이브리드 자동차의 높은 배터리 전압을 자동차 전장에 사용할 수 있게끔 낮은 전압으로 변환 시키는 DC-DC 컨버터 회로에 관한 연구이다. 자동차의 전장들이 증가함에 따라 전력변환회로의 용량도 증가하는 추세이며, 높은 용량의 전력변환회로를 구현하기 위하여 풀-브릿지 컨버터 토폴로지를 선택하여 실험 회로를 구현해 보았다. 회로의 효율을 향상시키기 위하여 영전압 스위칭 방식과 동기정류기를 적용하였으며 대전류 출력에 적합한 배전류 정류 회로를 사용하였다. 각각 아날로그 제어 IC와 MCU를 사용하는 두 종류의 800W급 풀-브릿지 DC-DC 컨버터 실험 회로를 제작 후 실험하였으며 MCU를 사용한 디지털 제어를 적용한 실험 회로의 최대 효율이 90.5%로 아날로그 IC를 사용한 실험 회로의 최대 효율 86%보다 높은 것을 확인 할 수 있었다.

<그림 1>은 동기정류기와 배전류 정류회로를 적용한 풀-브릿지 DC-DC 컨버터의 기본 회로를 나타내며 <그림 2>는 정상 상태 동작일 때의 각 파형이다

1. 서 론

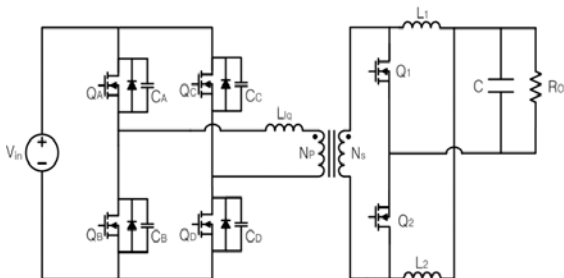
최근 지구 온난화 현상, 이상기후 현상 등 환경파괴로 인한 문제로 사회적 관심이 늘어났으며, 전 세계적으로 이런 환경 파괴의 주원인인 이산화탄소 배출량 감소를 위해 많은 연구를 하고 있다. 우리나라도 세계 9위의 이산화탄소 배출국으로 이산화탄소 배출량 감소를 위해 많은 노력을 하고 있다. 전체 이산화탄소 배출량 중 자동차에 의한 배출량이 20%를 차지하고 있는 만큼 이를 해결하기 위한 노력이 시급하다. 그래서 기존의 내연기관 자동차를 대체하기 위한 그린카 개발이 활발하다. 그린카의 종류에는 클린 디젤 자동차, 연료전지 자동차, 전기 자동차 등이 있으나, 기술적인 어려움과 파급효과를 생각할 때 가장 현실적인 해결책은 엔진과 모터를 동시에 사용하는 하이브리드 자동차의 개발이라고 할 수 있다. 하이브리드 자동차는 두 종류 이상의 동력원을 함께 이용하는 자동차를 뜻하며 통상 휘발유(혹은 디젤)엔진과 전기 모터를 함께 사용하는 차를 가리킨다. 연료가 많이 이용되는 순간 휘발유(혹은 디젤)엔진 대신 전기 모터를 작동시킴으로써 연료 사용을 줄이고 배기가스 배출도 줄인다. 이와 같이 전기에너지를 동력으로 사용하는 하이브리드 자동차의 특성으로 인하여 자동차 전장들의 효율은 물론 전력변환회로의 효율이 자동차의 주행거리에 끼치는 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있으며, 효율이 높은 자동차 전장 제품과 전력변환회로 개발이 매우 중요한 것을 알 수 있다. 이러한 하이브리드 자동차에 필요한 고효율 DC-DC 컨버터를 위해 디지털 제어를 사용한 회로의 우수성을 확인하고자 하였다.



<그림 2> 풀-브릿지 DC-DC 컨버터의 정상 상태 동작 파형

2. 본 론

2.1 위상 전이 풀브릿지 DC-DC 컨버터



<그림 1> 동기정류기와 배전류 정류회로를 적용한 풀-브릿지 DC-DC 컨버터의 기본 회로

Phase-Shift 풀-브릿지 DC-DC 컨버터의 동작 방식은 네 개의 스위치 시비율은 0.5로 고정되며 두 개의 스위치가 한 쌍으로 위상을 변화하며 다른 한 쌍의 위상과 중첩되는 구간에 따라 출력 전압을 변화시키는 방식이다. 스위치의 시비율을 변화하며 출력 전압을 추종하는 기존의 풀-브릿지 DC-DC 컨버터 방식에 비해 스위치들의 게이트 신호에 지연시간을 두는 것만으로도 별도의 추가 회로 없이 영전압 스위칭을 할 수 있다는 장점을 가지고 있어 효율을 쉽게 높일 수 있다. <그림 1>에서 $t_1 \sim t_2$ 구간에서는 스위치 B의 기생캐패시턴스는 충전되고 스위치 A의 기생캐패시턴스는 방전을 하게 되며 이때 스위치 A를 턴-온 시킴으로써 소프트 스위칭이 가능하게 된다. 그리고 $t_2 \sim t_3$ 구간에서는 스위치 C의 기생캐패시턴스는 충전, 스위치 D의 기생캐패시턴스는 방전을 하면서 스위치 D가 턴-온 되므로 소프트 스위칭으로 동작한다. 이 같은 동작을 다음 반주기 동안 대칭적으로 동작한다.

위와 같은 소프트 스위칭 이외에 배전류 정류방식을 적용하였다. 출력 필터 인덕터의 수가 증가하지만 인덕터의 용량을 줄일 수 있고 인덕터에 흐르는 전류가 절반으로 작아지기 때문에 발열 및 포화를 방지 할 수 있는 장점이 있으며 전류 리플의 크기 또한 각각의 인덕터에 흐르는 전류가 상쇄 되면서 작아져 좋은 품질의 출력을 만들 수 있다는 장점을 가진다.

2.2 MCU를 이용한 디지털 제어

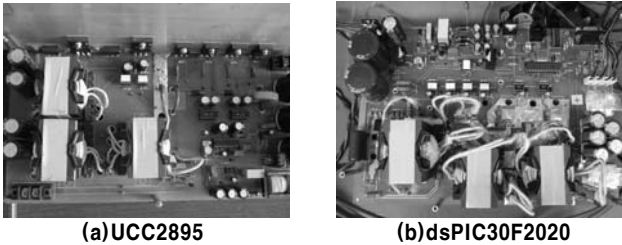
Phase-Shift 풀-브릿지 컨버터의 소프트 스위칭을 위해서는 스위치 PWM 신호 간의 데드타임이 가장 중요하다. 하지만 기존의 아날로그 PWM 컨트롤러 IC에서는 데드 타임의 정확한 설정이 어려워 넓은 부하 범위에서의 소프트 스위칭이 구현이 힘들다. 따라서 위 논문에서는 정확하고 세밀한 데드타임을 설정하고자 MCU를 이용하여 실험 회로를 구현하였다. 논문에서 사용된 MCU는 MicroChip사의 dsPIC30F2020이며 SMPS에 사용되기 편리하게 PWM 전용 출력 포트 8개가 제공되며 Phase-Shift 풀-브릿지 컨버터에서 사용되는 상보대칭의 PWM 신호를 만들어내는 Complementary PWM Mode가 있어 선택하였다.

그리고 ALTDTRx, DTRx의 Deadtime control 레지스터가 제공되고 있어 데드타임 설정이 편리하다.

2.3 실험 결과

본 논문의 디지털 제어의 효율 향상을 확인하기 위하여 아날로그 PWM 컨트롤러 IC인 TI사의 UCC2895를 사용한 실험회로와 dsPIC30F2020을 사용한 실험회로, <그림 3 (a)>과 <그림 3 (b)>같이 두 종류의 실험회로를 제작하여 실험하였다.

아래의 <표 1>은 실험 회로의 설계 사양이다. 두 실험 회로 모두 같은 사양으로 제작하였으며 제어부만 다르게 하였다.

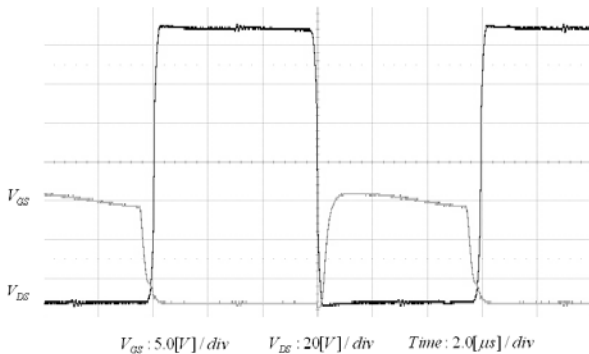


<그림 3> 제작한 실험 회로

<표 1> 실험 회로 설계 사양

항목	UCC2895	dsPIC30F2020	비고
입력 전압	120~200[V]	120~200[V]	Nominal:170[V]
출력 전압	14[V]	14[V]	±0.2V
최대 출력 전류	57[A]	57[A]	
정격 출력	800[W]	800[W]	

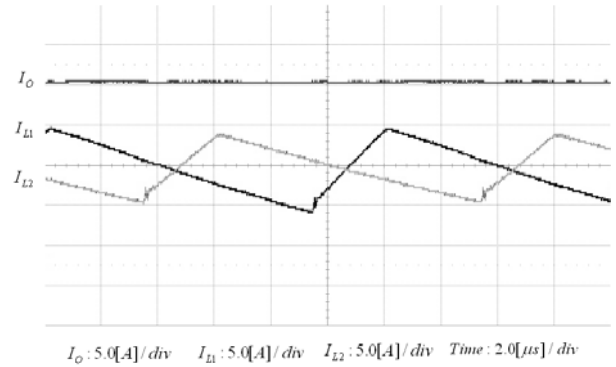
풀-브릿지 DC-DC 컨버터는 출력 필터에 의한 손실과 전도 손실, 바디 다이오드에 의한 손실 등 많은 손실 원인이 있지만 효율을 높이기 위해서는 1차 측 스위치에 의한 스위칭 손실을 줄이는 것이 중요하다. 이를 위해서 실험 회로에 소프트 스위칭을 적용하였으며 <그림 4>를 통해서 스위치의 V_{DS} 와 V_{GS} 의 파형으로 소프트 스위칭이 이상 없이 동작하는 것을 확인하였다. <그림 4>에서 V_{DS} 전압이 0이라는 것은 스위치 기생 커패시턴스가 완전히 방전되었다는 것을 의미하며 V_{GS} 전압이 턴-온 되면서 영전압 스위칭이 이뤄진다.



<그림 4> 스위치 V_{DS} , V_{GS} 전압 파형

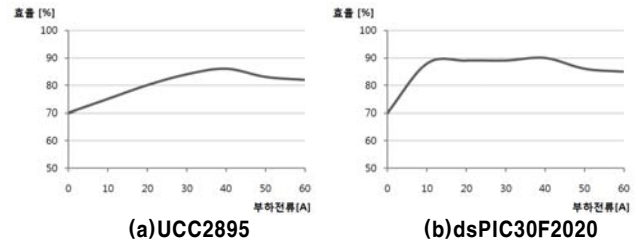
<그림 5>는 2차 측 L_1 , L_2 두 개의 출력 필터 인덕터에 흐르는 I_{L1} , I_{L2} 의 전류 파형과 출력 전류 I_O 의 파형이다. 배전류 정류를 사용하면서 출력 전류의 절반의 전류가 각각 L_1 , L_2 에 흐르는 것을 확인할 수 있으며

두 개의 인덕터 전류가 상쇄되어 출력 전류 리플 크기가 작아져 품질이 향상되는 것을 볼 수 있다.



<그림 5> 2차 측 인덕터 전류와 출력 전류 파형

마지막으로 <그림 6 (a)>는 UCC2895를 사용한 실험 회로의 효율 그래프이며 <그림 6 (b)>는 dsPIC30F2020을 사용한 실험 회로의 효율 그래프를 나타내었다. UCC2895를 사용한 실험 회로는 평균 효율 80%, 40A 부하에서 최대 효율 86%인 것으로 확인되었고 dsPIC30F2020을 사용한 실험 회로는 평균 효율 85%, 40A 부하에서 최대 효율 90.5%인 것으로 확인되었다.



<그림 6> 실험회로 효율

3. 결 론

본 논문에서는 풀-브릿지 DC-DC 컨버터를 두 가지 제어 방식으로 구성해 보았다. 실험 결과 아날로그 PWM 컨트롤러 UCC2895를 사용한 실험 회로 보다 dsPIC30F2020을 사용해 정확한 데드타임을 적용한 실험 회로의 효율이 더 높은 것을 알 수 있었다. 이는 부하의 크기에 따라 적절한 데드타임 변화를 주어 1차 측 스위칭 손실을 줄였기 때문으로 판단된다. 앞으로 계속 MCU의 가격이 하락할 것으로 예상되며 이에 따라 MCU의 활용 가치가 더욱 커질 것으로 예상된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Jeong-Gyu Lim, Soo-Hyun Lim, Se-Kyo Chung, "Digital Control of Phase-Shifted Full Bridge PWM Converter", The 7th International Conference on Power Electronics, pp.772-777, October 22-26, 2007
- [2] P. Alou, J. A. Oliver, O. Garcia, R. Prieto, J. A. Cobos, "Comparison of Current Doubler Rectifier and Center Tapped Rectifier for Low Voltage Applications", IEEE, pp.744-750, 2006
- [3] Gwan-Bon Koo, Gun-Woo Moon, Myung-Joong Youn, "Analysis and Design of Phase Shift Full Bridge Converter With Series-Connected Two Transformers", IEEE Transactions on power electronics, Vol. 19, No. 2, pp.411-419, March, 2004
- [4] Gwan-Bon Koo, Gun-Woo Moon, Myung-Joong Youn, "New Zero-Voltage-Switching Phase-Shift Full-Bridge Converter With Low Conduction Losses", IEEE Transactions on power electronics, Vol. 52, No. 1, pp.228-235, February, 2005
- [5] 신동률, 조용길, 김동완, 우정인, "개선된 위상 천이 제어에 의한 소프트 스위칭 공진형 FB DC-DC 컨버터의 정출력 제어", Journal of KIIEE, vol. 14, no. 5, pp.27-35, September, 2000