PHEV용 단상 양방향 on-board 충전기

원재혁, 남광희
포항공과대학교 (POSTECH)

Single-phase bidirectional on-board battery charger for PHEV application

JE Hyuk Won, Kwanghee Nam
POSTECH

ABSTRACT

본 논문에서는 PHEV용 1.6kW/3.3kW 단상 양방향 충전기 회로를 제안한다. 양방향충전기는 이단구조이다. 일차단은 양방향 AC/DC 컨버터로 역률제어가 가능한 PWM 컨버터구조이다. 이차단은 양방향 절연형 DC/DC 컨버터로 고주파 ZVS 스위칭이 가능한 DAB(Dual Active Bridge) 구조이다. 제안된 전력변환장치의 검증을 위해 시뮬레이션을 하였고 프로토타입을 제작하여 회로 동작의 타당성을 입증하였다.

1. 서 론

세계 각국에서는 고유가 문제와 환경문제를 해결하기 위한 대안으로 친환경 차량 기술 개발에 많은 시간과 비용을 투자하고 있다. 이에 따라 최근 전기자동차 배터리 충전기에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 차량에 장착된 배터리를 충전하는 개념의 플러그인 하이브리드 전기자동차용 양방향 on board 충전기 회로를 제안한다. On board 충전기의 요구사항은 다음과 같다. V2G사업에 발맞춰 양방향 충방전이 가능해야하며 차량에 탑재되어야 하므로 고전력밀도와 저소음을 고려해야한다. 따라서 FET의 개수를 최소화하고 배터리충전용 컨버터는 수동소자의 크기를 줄이면서 고속스위칭이 가능한 그림1의 이단구조 전력변환회로를 제안한다.[1]

일차단은 AC/DC 컨버터로 60Hz의 110V/220V 교류 전압을 입력받는다. PWM 컨버터 구조이며, 역률제어[2]와 DC Link 370V 일정전압 제어의 역할을 담당하고 있다. 이차단은 DC/DC 컨버터로 DC Link의 370V 전압을 사용하여 배터리 측에는 250~480V의 DC 전원을 만들어 충전시킨다. DAB 컨버터 구조이며, 수동소자 부피의 최소화를 위하여 100kHz의 고속 스위칭을 하며 ZVS 스위칭의 역할을 담당한다.[3]

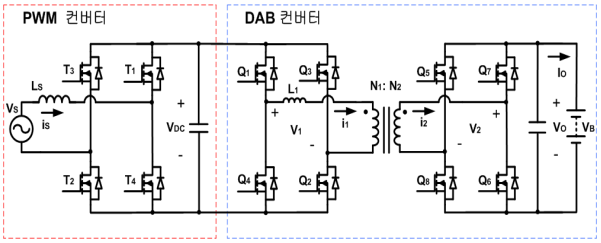


그림 1 PHEV 용 3.3kW 단상 양방향 충전기
Fig. 1 Single-phase bidirectional battery charger for PHEV application

2. 제안된 전력변환 회로와 동작 원리

그림1. 본 논문에서 제안하는 충전기 회로이다.

2.1 PWM 컨버터

높은 역률 제어를 위해서는 입력전류와 입력전압은 동상인 정현파가 되어야 한다. 따라서 입력전압의 위상을 검출하여 기준전류를 생성하는 PLL(Phase locked loop) 제어를 통해 PFC(Power Factor Correction) 를 구현할 수 있다. 그림 2.(a)의 영점 검출 알고리즘을 바탕으로 0도와 180도를 정확히 인식하여 기준전류를 생성해 낸다.

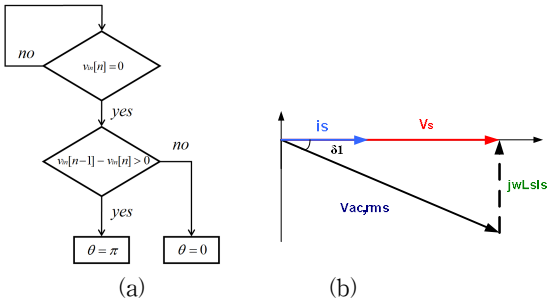


그림 2 영점 검출 알고리즘 및 PWM 컨버터 페이저도
Fig. 2 Zero crossing detection algorithm and Phasor diagram

또한 그림2.(b)의 페이저도를 수식으로 나타내면

$$(\frac{m_a}{\sqrt{2}}V_o)^2 = V_s^2 + (\omega L_s I_s)^2 \quad (1)$$

이다. 여기서 m_a는 modulation index값이며 Vo는 370V로 제어한다. 따라서 (1) 수식을 통해 input inductor 의 값을 3mH로 정할 수 있다.

2.2 DAB 컨버터

DAB 컨버터의 동작원리는 두 전압원의 위상차에 따라서 전달되는 파워를 결정하는 것이다. 또한 두 전압원의 위상관계(lead 혹은 lag)에 따라서 파워방향이 결정된다. 입출력 파워관계는 아래 수식으로부터 얻어낼 수 있다.

$$P = \frac{V_1 V_2 \phi(\pi-\phi)}{\omega L \pi} \quad (2)$$

수식(2)을 통해 DAB 컨버터의 전체 Inductance 값을 25uH로 구할 수 있다. 또한 그림3은 논문에서 제안된 회로를 제어를 하기 위한 전체 제어 블록도이다. PWM 컨버터에서는 PLL와 전류제어기를 통해 역률을 제어하고

전압제어기를 통해 370V의 일정 DC Link 전압을 유지한다. DAB 컨버터는 CC mode로 전류 지령치로 배터리 단을 충전하는 형태로 구성했다.

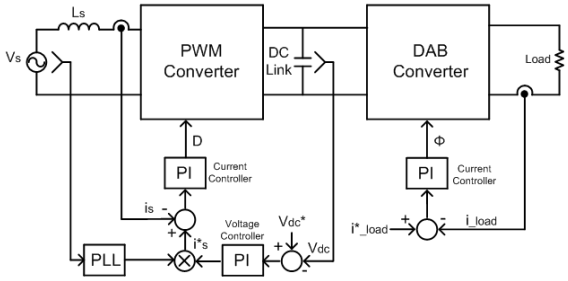


그림 3 단상 양방향 충전기 제어 블록도
Fig. 3 Single-phase bidirectional battery charger Block diagram

3. 실험결과

본 논문에서 제안한 회로의 성능과 검증을 위해 Microchip사의 16 bit dsPIC30F6015 칩을 사용하여 실험하였다. 상세한 시스템 파라미터는 표1에 정리하였고, 그림4는 실험한 충전기 파워보드 외형이다.

표 1 제안된 전력변환 회로 설계 사양
Table 1 Parameter value of proposed topology.

구분	파라미터	값 [단위]
1차단 PWM 컨버터	입력전압	110/220 [Vrms]
	Input Inductor	3 [mH]
	스위칭 주파수	10 [kHz]
	DC Link 전압	370 [V]
	DC Link Capacitor	1950 [uF]
2차단 DAB 컨버터	Leakage inductance	25 [uH]
	트랜스포머 권선 비	1:1 (10:10)
	스위칭 주파수	100 [kHz]
FET	IXFK94N50P2	

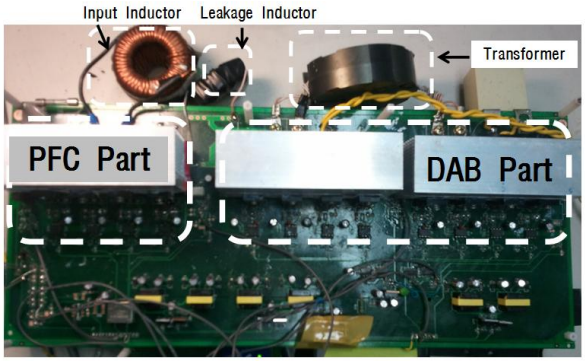


그림 4 충전기 파워보드 하드웨어
Fig. 4 power board hardware of battery charger

그림 5는 영점 검출 알고리즘을 실험한 결과 파형이다. 입력전압의 정류된 파형을 통해 zero crossing 지점을 정확히 판별하여 PLL 제어를 통해 60Hz의 기준전류를 생성해 낸다.

그림6과 7은 110V 교류전압인 경우에 1.6kW에서 실험한 정상상태 결과 파형이다. DC Link가 370V로 일정하게 유지되면서 배터리 측 출력전류는 지령전류인 4A가 되면서 PFC가 형성됨을 확인할 수 있다. 또한 그림 7은 과도상태 인 경우에 실험파형을 나타내고 있다.

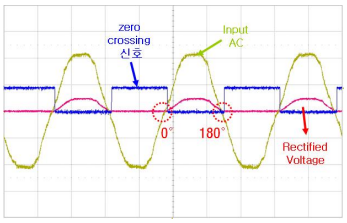
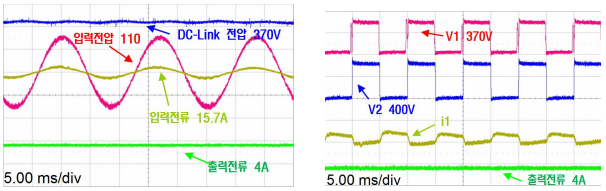


그림 6 영점 검출 알고리즘 구현 실험 파형
Fig. 6 Experimental waveform of zero crossing detection algorithm



(a) PWM컨버터 정상상태 (b) DAB컨버터 정상상태

그림 6 제안 된 회로에 따른 정상상태 실험 결과
Fig. 6 Experimental Results according to proposed topology

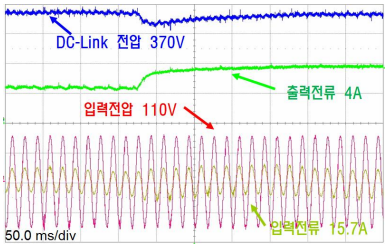


그림 7 제안 된 회로에 따른 과도상태 실험 결과
Fig. 7 Experimental Results according to proposed topology

4. 결론

본 논문은 PHEV용 1.6kW/3.3kW 급 On board 충전기 회로를 제안하고 관련 수식과 제어에 대해 기술하였다. 개발된 충전기는 PHEV 실차 적용이 가능 할 것으로 판단되며, 양방향 파워 전달이 가능한 회로이므로 향후 계통에 연계에 과한 분석을 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] N. M. L. Tan, T. Abe, and H. Akagi, “A 6 kW, 2 kWh lithium ion battery energy storage system using a bidirectional isolated dc dc converter,” in Proc. Int. Power Electron. Conf. (IPEC), June 2010, pp. 46 52.

[2] 김용균, 최종우, 김홍근, "계통연계형 태양광발전 시스템의 위상동기화를 위한 디지털 PLL". 전기학회 논문지 53권 9호, pp. 562 568, 2004.

[3] R. W. DeDonker, D. M. Divan, and M. H. Kheraluwala, “"A three phase soft switched high power density dc dc converter for high power applications,"" *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 27, pp. 63 73, Jan./Feb. 1991.