

AC-DC PWM Buck 컨버터를 이용한 PHEV용 배터리 충전장치

(Battery charger for PHEV using AC-DC PWM buck converter)

박상훈* · 김근용 · 이승경 · 원충연

(Sang-Hoon Park* · Keun-Young Kim · Seung-Kyung Lee · Chung-Yuen Won)

(성균관대학교)

요 약

일반적으로 가장 간단한 구조의 배터리 충전장치는 교류를 직류로 변환하기 위한 다이오드 정류기와 직류의 크기를 변환하기 위한 컨버터로 구성되어 있다. 하지만, 이러한 구조로 되어있는 충전장치의 경우 입력단 역률저하로 인하여 전력변환장치에 과도전류나 파형의 왜곡 현상 등을 초래하게 되고, 정류기와 컨버터로 구성되는 2단 전력변환구조이기 때문에 효율에도 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 따라서 본 논문에서는 역률제어가 가능한 단일 컨버터 구조를 갖는 플러그인 하이브리드 전기자동차용 42V 배터리 충전장치를 연구하였다. 본 논문에서 연구한 배터리 충전장치는 PWM방식의 AC-DC Buck 컨버터를 이용한 전력 변환장치와 입력단 역률제어 및 컨버터 출력을 제어하기위한 제어기로 구성되어있다. 본 논문에서 연구한 배터리 충전장치는 시뮬레이션을 통하여 역률제어 및 컨버터 출력을 확인하고 그 타당성을 검토하였다.

1. 서 론

2005년 교토의정서가 발효됨에 따라 선진국들은 오염물질에 대한 감축의무를 이행해야하고, 최근 지속적인 유가급증에 따라 석유 사용량이 많은 제품들에 대해 그 사용량을 줄이거나 대체 에너지를 이용하는 방법들을 연구하고 있다. 이에 따라 전 세계 석유 사용량의 많은 부분을 차지하는 자동차 산업 역시 환경규제 의무수행 및 유가급증에 따라 막대한 영향을 받을 수밖에 없는 상황에 처해있다. 따라서 일본, 유럽 그리고 미국 등 선진국을 중심으로 환경규제 강화 방침 및 에너지 문제 등에 따라 친환경 자동차 개발에 적극적으로 나서고 있다.

세계적으로 완성차 업체에서는 기존의 엔진구동방식의 차량에 배터리와 전동기를 보조동력원으로 사용하는 하이브리드 자동차 개발에 지속적인 투자를 하고 있다. 이와 관련된 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV : Plug-in Hybrid Electrical Vehicle)는 기존의 하이브리드 자동차의 구조를 갖추면서 상용전원을 이용하여 배터리를 충전하는 전기자동차의 일종으로 에너지사용의 비중을 보다 줄이고, 배터리와 전동기에 의한 추력 비중을 높인 친환경 전기자동차이다.

전기자동차의 핵심 기술로는 배터리 및 배터리 충전장치 그리고 구동용 전동기 및 인버터 등이 있다. 이중 전기자동차에서 배터리와 배터리 충전장치는 기존 기계식 차량의 엔진과 엔진 주유장치로 비유된다. 그 만큼 전기자동차에 있어서 배터리와 배터리 충전장치의 비중은 매우 높다고 볼 수

있다.

본 논문에서는 PHEV용 배터리 충전장치에 대한 연구를 소개하고자 한다. 본 논문의 배터리 충전장치는 단일 컨버터 구조의 단상 PWM Buck 컨버터 방식을 사용하였으며, 시뮬레이션을 통하여 입력단 역률제어 및 컨버터 출력을 확인하고 그 타당성을 검토하였다.

2. PHEV용 배터리 충전장치

PHEV용 배터리 충전장치는 차량이 주차되어 있을 때, 외부 상용전원을 입력으로 사용하여 배터리에서 필요로 하는 에너지를 충전하는 장치이다. 이 장치는 입력의 교류를 배터리의 충전에 필요한 직류로 변환하는 정류기능(Rectification)과 시스템에서 필요로 하는 전압의 크기를 조절하기 위한 컨버터기능(Converting)을 동시에 수행해야 한다.

일반적으로 입력단 정류기능을 수행하는데 있어서 가장 일반적인 전원부의 정류회로는 다이오드와 평활용 커패시터를 사용하는 것으로, 이와 같은 방법의 정류회로는 입력전류가 입력전압의 최대값에서 순간적으로 흐르는 펄스 형태의 파형이 되므로 역률이 저하된다. 또한, 입력 전류에 많은 고조파 성분들이 포함하게 되고, 전체 시스템에 고조파로 인한 많은 문제를 발생 시킬 수 있다. 따라서 입력전류의 파형 왜곡이나 피크를 개선하기 위해 역률제어를 수행하여야 한다.

본 논문에서는 풀-브리지 컨버터와 유사한 구조를 갖는

PWM buck 컨버터를 이용하여 역률제어 및 출력전압 제어가 가능한 42V PHEV용 배터리 충전장치에 응용하였다. 본 논문에서 적용한 컨버터는 PowerSim사의 PSIM 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 통해 그 특성을 확인하고, 타당성을 검증하였다.

2.1 PHEV 충전기용 단상 PWM Buck 컨버터

본 논문에서 사용한 PWM 방식의 Buck 컨버터의 전체 회로는 그림 1에 나타내었다. 컨버터의 기본구성은 입력단 필터부, 정류 및 전압 감압을 위한 전력용 MOSFET와 다이오드 그리고 인덕터로 이루어진 전력변환부로 구성 되어 있다.

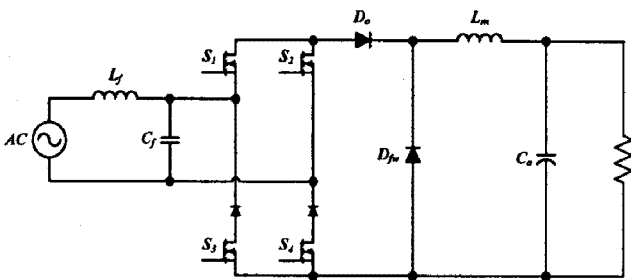


그림 1. PHEV 42V 배터리 충전기용 컨버터의 회로도.
Fig 1. Circuit diagram of converter for PHEV 42V battery charger.

그림 1의 컨버터는 양의 반주기 동안 스위치 S_1 과 S_4 를 통하여 부하에 에너지를 전달한다. 이 구간동안 스위치 S_2 와 S_3 은 개방상태로 있게 된다. 반대로 음의 반주기 동안 스위치 S_2 와 S_3 를 통하여 부하에 에너지가 전달되고, 이 때 S_1 과 S_4 는 개방상태가 된다.

2.2 단상 PWM Buck 컨버터의 제어기

다음의 그림 2는 입력단 역률제어를 위한 컨버터의 전압과 전류 제어기의 설계를 나타낸 블록도이다.

컨버터의 출력전압을 제어하기위한 PI-전압제어기는 기준 전압값과 전압센서를 이용한 실제 출력 전압값 사이의 전압 오차값을 입력으로 하여 이 오차값이 작아 지도록 제어한다. PI-전압제어기의 출력값은 입력전류의 순시값이 된다. 이 값에 APF와 동기좌표계 그리고 PLL을 통해 계산된 계통전압의 위상각과 이 위상각으로부터 위상 및 주파수가 동일하고, 크기가 1인 입력전압에 대한 단위 정현파(Unit sine)를 곱하여 입력전류의 기준값을 생성한다.

$$I_{peak} = K_p(V_o^* - V_o) + K_i \int_0^t (V_o^* - V_o) dt \quad (1)$$

$$I_{ref} = I_{peak} \times \sin(\omega t) \quad (2)$$

컨버터 입력전류를 제어하기위한 PI-전류제어기는 PI-전압제어기를 통한 입력전류의 기준값과 전류센서를 이용한 컨버터의 실제 입력 전류값 사이의 오차값을 입력으로 하여 이 오차값이 작아지도록 제어한다. 이 전류 제어기의 출력(기준값)은 삼각파와 비교되어 컨버터의 MOSFET을 스위칭 하기위한 PWM 신호를 생성한다.

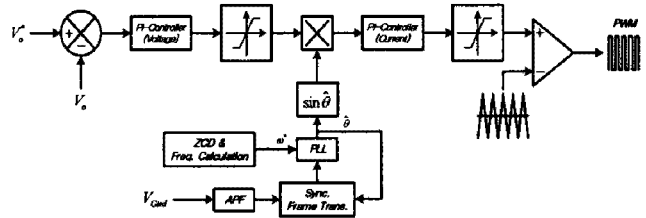


그림 2. PHEV 충전기용 컨버터의 제어 블록도
Fig 2. Control block diagram of converter for PHEV charger.

그림 3은 입력단 계통 주파수를 측정하기위한 프로그램 순서도이다. 계통전압을 전압센서를 이용하여 측정하고, 계통의 정현파 전압이 영점을 지나는 시점을 순서적으로 측정한다. 영전압 검출회로를 통해 제어기에서 받는 신호의 전압레벨을 측정하여 High 신호인지를 판단하고, 이때 신호의 전압레벨이 High 이면 Counting의 계수를 1개씩 증가시킨다. 이와 동시에 전압레벨에 변화가 있는지(High에서 Low 또는 Low에서 High)를 측정하여 변화가 발생하면 CNT의 계수를 1개 증가 시킨다. 이때 CNT의 계수가 2이상이면 입력전압의 주기가 1사이클 변화한 것이므로 Counting과 CNT 값을 초기화한다. 그리고 이때 Counting된 값을 제어기의 샘플링 시간과 곱하고 역수를 취하여 입력전압의 주파수를 계산한다.

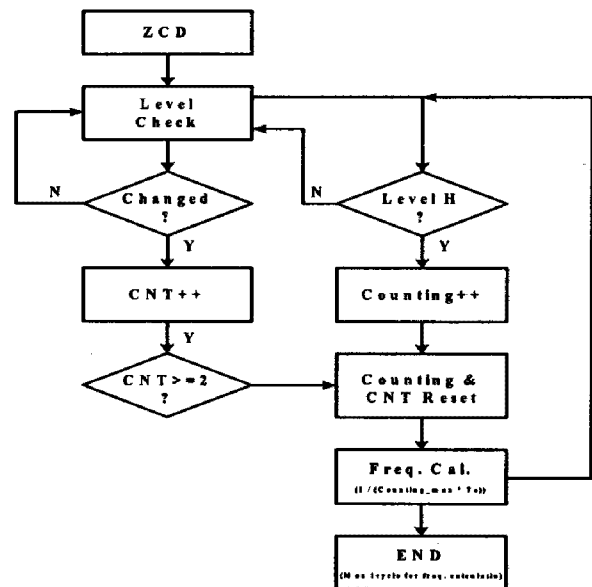


그림 3. 계통주파수 계산을 위한 프로그램 순서도.
Fig 3. Program flowchart for frequency calculation of the grid.

3. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 연구한 AC-DC PWM Buck 컨버터를 이용한 PHEV용 배터리 충전장치는 PowerSim사의 PSIM 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션 하였다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 각 수동소자의 정격을 나타낸 것이고, 그림 4는 전력변환부와 제어부를 설계한 시뮬레이션 전체 회로도를 나타낸 그림이다.

표 1. 각 수동소자의 정격

Table 1. Parameters of each passive elements

	표기	정격
입력 필터 인덕터	Lf	2[mH]
입력 필터 커패시터	Cf	0.47[μF]
주 인덕터	Lm	10[mH]
출력 커패시터	Co	6600[μF]

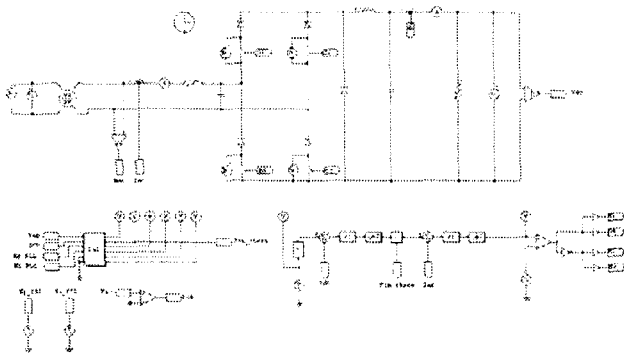


그림 4. 시뮬레이션 전체 회로도.
Fig 4. Overall simulation schematic.

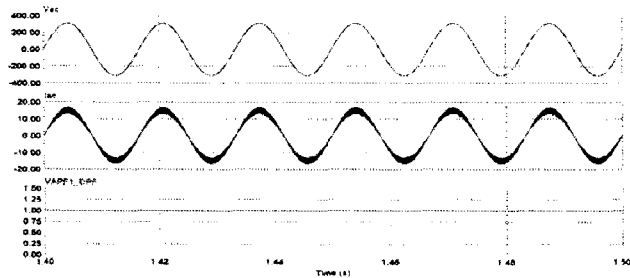


그림 5. 입력전압과 전류 및 역률 파형.
Fig 5. Waveform of input voltage, current and PF.

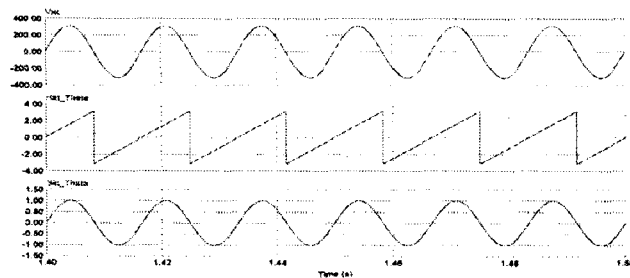


그림 6. 입력전압 위상과 단위 정현파 파형.
Fig 6. Waveform of input voltage, phase and unity sine wave.

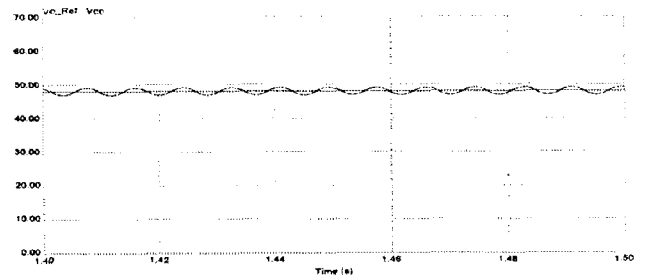


그림 7. 기준 출력 전압과 실제 전압 파형.
Fig 7. Waveform of reference output voltage and real output voltage.

그림 5는 컨버터의 입력전압과 전류 그리고 역률지표를 나타낸 시뮬레이션 파형이다. 정격의 70% 부하조건에서 시뮬레이션 한 결과로 입력전압과 전류의 위상이 동상을 이루면서 역률제어가 잘 되고 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 컨버터의 역률제어를 위해 사용한 제어기의 출력을 나타낸 시뮬레이션 파형이다. 입력전압을 전압 센서를 통해 검출하여 위상을 계산하고 이 위상정보로부터 단위 정현파를 생성하여 역률제어에 사용한다.

그림 7은 컨버터의 출력을 나타낸 시뮬레이션파형이다. 기준 출력 전압 48V를 실제 출력이 일정하게 추종하면서 제어가 잘 되고 있는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 AC-DC PWM Buck 컨버터를 이용하여 42V PHEV용 배터리 충전장치로 사용하기위한 연구로 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검토하였다. 본 논문의 시뮬레이션을 기반으로 추후에 배터리 충전 알고리즘 및 개선된 제어 알고리즘 등을 적용한 실험을 통해 그 타당성을 검증하겠다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지자원인력양성사업의 연구결과입니다.

참고 문헌

- [1] Ramesh Oruganti, Moorthi Palaniapan, "Inductor voltage controlled variable power factor buck-type AC-DC converter", 27th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol. 1, pp. 230-237, 1996. 6.
- [2] Ramesh Oruganti, Moorthi Palaniapan, "Enhanced control design of single phase AC-DC converter using power balance calculator", 4th International Power Electronics and Motion Control Conference, Vol. 3, pp. 1101-1104, 2004. 8.
- [3] Ramesh Srinivasan, Moorthi Palaniapan, Ramesh Oruganti, "A Single Phase Two-Switch Buck Type AC-DC Converter Topology with Inductor Voltage Control", 28th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Vol. 1, pp. 556-563, 1997. 6.