

하이브리드 자동차용 저전압 DC/DC 컨버터 제어 방법

문정송*, 이정효*, 이택기**, 원충연*
 성균관대학교*, 한경대학교**

Control Method of Low Voltage DC/DC Converter for HEV

Jung-Song Moon*, Jung-Hyo Lee*, Taeck-Kie Lee**, Chung-Yeun Won*
 Sungkyunkwan University*, Hankyong National University**

ABSTRACT

Low Voltage DC/DC Converter(LDC) is the power conversion unit for supplying the power to the auxiliary battery and the electric loads on vehicle. LDC has the capabilities of stability and efficient control method so that the electric loads are fully functional. This paper proposes a control method based on one PI-controller and verifies the stable performance from simulation.

1. 서론

하이브리드 자동차용 LDC는 전장에 사용되는 각종 저전압 부하에 전원을 공급하며 보조 배터리를 충전하는데 사용되는 컨버터를 말한다. 기존의 LDC 배터리 충전장치는 전류, 전압 제어를 수행하기 위해 두 개 이상의 PI제어기로 구성되는 것이 일반적이다. 이 경우 전류, 전압 제어기의 이득 설정에 따라 제어성능에 큰 영향을 끼치게 된다.

본 논문은 배터리 충전장치용 Phase Shift Full-Bridge Converter (PSFBC)^{[1][2]}를 LDC로 선정하여 PI제어기 하나로 전압과 전류를 동시에 제어할 수 있는 제어 방식을 제안하였다.

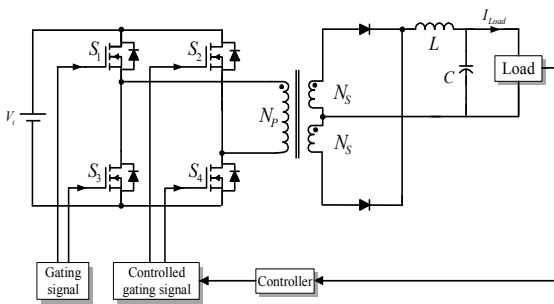
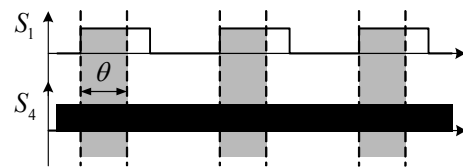


그림 1 HEV용 저전압 DC/DC 컨버터
 Fig. 1 LDC for HEV.

2.1 Phase-Shift 방식

그림2는 본 논문에 적용된 Phase shift 알고리즘을 나타낸다. 일반적인 PWM 방식의 기준파(reference waveform) 크기에 비례적으로 위상을 이동시킴으로써 유효 시비율(effective duty ratio)을 만들어내는 방식을 적용하였다.



$$\theta(\text{Effective duty}) = 180^\circ \times \text{Duty ratio (Buck Type)}$$

그림 2 PI제어 방식에 적용된 위상 천이 알고리즘
 Fig. 2 Phase shift algorithm used in the PI control method.

2.2 PI제어기를 이용한 제어방식

그림 3은 컨버터의 출력전압 및 전류제어를 위해 기존에 가장 많이 사용되는 PI제어기를 이용한 제어방식이다. 전압지령과 출력전압 값의 오차를 계산하여 PI제어기를 통해 전류지령 값을 출력하고 출력 전류 값을 비교하여 제어하는 방식이다.^[3]

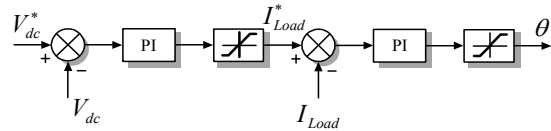


그림 3 PI제어기를 이용한 직렬형 제어 방식
 Fig. 3 The method of series type control using PI controller.

그림 4는 전류지령 값을 직접 설정함으로써 전압 및 전류제어가 모두 용이한 방식이다.

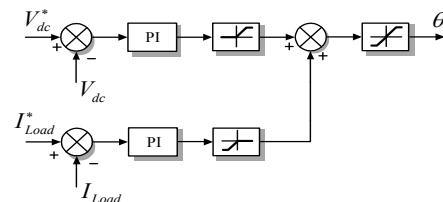


그림 4 PI제어기를 이용한 병렬형 제어 방식
 Fig. 4 The method of parallel type control using PI controller.

그림 5는 출력전류 값을 입력받아 식(1)의 방정식에 적용하는 제어방식이다. 식 (1)은 출력전류 값과 지령전류 값을 이용한 정규화(normalization) 과정을 나타낸다.

$$I_n = 1 - \left(\frac{I_{Load} - I^*}{I_{Load}} \right) \quad (1)$$

여기서 I_n 은 정규화 된 전류 값을 나타낸다.

위의 과정은 출력전류 값이 전류지령 값보다 클 때 발생하며 정규화 된 전류 값의 크기는 $0 < I_n \leq 1$ 의 값을 갖게 된다. 정규화 된 전류 값에 의하여 전압지령 값이 재설정 되며 이를 통하여 전류제어를 수행하는 방식이다

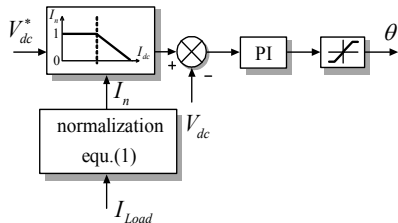


그림 5 제안된 저전압 컨버터 제어 방식
Fig. 5 Proposed LDC control method.

2.3 정전압/정전류 제어

보조배터리 충전을 위해 LDC에 정전압/정전류 제어방법을 적용하였다. 충전 초기에 정전류 제어를 통하여 배터리를 충전하고 충전 말기에는 정전압 제어를 통해 충전하는 방법으로 충전 시 발생하는 배터리 손상을 방지할 수 있다.

3. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 위해 PSIM 6.0 버전을 이용하였고 ZVS가 적용된 PSFBC를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 선정된 PSFBC는 변압기를 이용한 절연형 컨버터로 중간 탭 방식이 적용되었다. 컨버터의 사양은 표 1과 같다.

표 1 저전압 컨버터 사양
Table 1 Specifications of LDC.

Parameter	Value	Unit	
입력전압	320	V	
출력	전압	24	V
	전류	125	A
출력측 필터 커패시터	7500	μF	
출력측 필터 인덕턴스	50	μH	
Turn Ratio	16/3/3	-	
스위칭 주파수	16	kHz	

아래의 그림은 각각 직렬형, 병렬형, 제안된 방식의 출력전압 및 전류파형을 나타낸다.

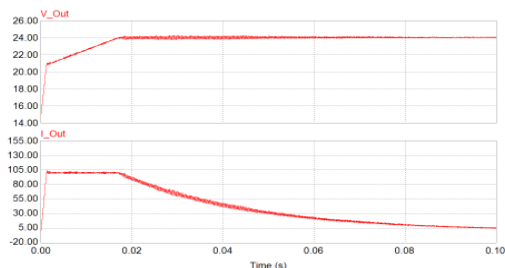


그림 6 직렬형 제어 방식을 적용한 출력 전압 및 전류 파형
Fig. 6 The output voltage and current(series type).

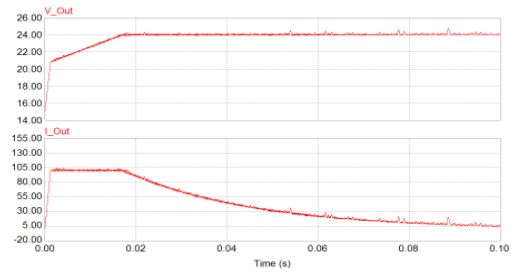


그림 7 병렬형 제어 방식을 적용한 출력 전압 및 전류 파형
Fig. 7 The output voltage and current(parallel type).

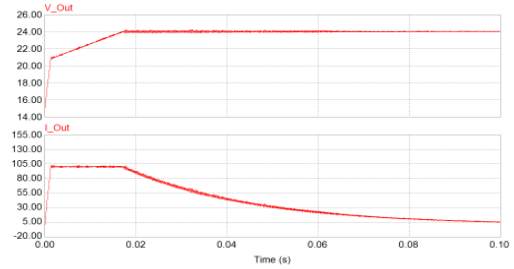


그림 8 제안된 제어 방식을 적용한 출력 전압 및 전류 파형
Fig. 8 The output voltage and current(proposed type).

그림 6은 직렬형, 7은 병렬형, 8은 제안된 방식의 출력전압 및 전류 파형이다. 각각의 방식은 충전초기에 정전류 특성으로 배터리에 충전을 하고 24[V]로 충전된 후에는 정전압 특성을 나타냄을 확인할 수 있다. 그림8의 제안된 방식은 그림 6, 7의 방식과 동일한 특성을 나타내며 안정적인 정전류, 정전압 특성을 나타낸다.

4. 결론

본 논문은 하나의 PI제어기를 이용하여 기존의 제어방식과 비교하여 동일한 특성 및 성능을 구현할 수 있는 제어 방식을 제안하였다. 직렬형과 병렬형의 PI제어기와 비교를 통하여 제안된 방식의 타당성을 PSIM 시뮬레이션을 통하여 증명하였다.

참고 문헌

- [1] K.Aitaka, M. Hosoda, T. Noumura, "Development of Intelligent Power Unit for Hybrid Four-Door Sedan," International Journal of Automotive Technology, Vol.4, No. 2, pp. 57-64, 2003.
- [2] Jeong-Gyu Lim, Se-Kyo Chung, " Digital Control of Phase-Shifted Full-Bridge PWM Converter," Journal of Power Electronics, Vol.8 No.3, pp. 201-209, 2008.
- [3] Marcelo Brunoro, Jose Luiz F. Vieira, "A High-Performance ZVS Full-Bridge DC-DC 0-50V/0-10A Power Supply with Phase-Shift Control," IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.14, No.3, 495-505, 1999.