

# 시동 발전기 시스템을 이용한 탑재형 충전기의 설계 및 제어 방법

강호성\*, 김석민\*, 임동휘\*\*, 곽래호\*\*, 김교민\*\*, 이교범\*  
아주대학교\*, 현대오트론\*\*

## Design and Control Method of an On-Board Charger using a Hybrid Starter Generator System in Hybrid Electric Vehicles

Ho Sung Kang\*, Seok Min Kim\*, Donghwi Lim\*\*, RaeHo Kwak\*\*, Kyo Min Kim\*\*,  
and Kyo Beum Lee\*  
Ajou University\*, Hyundai Autron\*\*

### ABSTRACT

본 논문은 시동 발전기(Hybrid Starter Generator, HSG) 시스템을 이용한 탑재형 충전기(On Board Charger, OBC)의 설계 및 제어 방법을 제안한다. 일반적으로 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)는 인버터 및 발전기로 구성된 HSG 시스템과 전력변환장치를 이용한 배터리 충전 시스템을 포함한다. 본 논문에서는 HSG 시스템에 추가적인 회로를 이용하여 배터리 충전 기능을 수행할 수 있는 OBC의 설계 및 제어 방법을 제안한다. 결과적으로 전력변환장치의 수를 줄여 차량의 내부 공간을 확보하며, 제조 가격을 감소시킬 수 있다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 배터리 충전 시스템의 설계 및 제어 방법의 타당성을 검증한다.

### 1. 서 론

일반적으로 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV)의 시동 발전기(Hybrid Starter Generator, HSG) 시스템은 배터리의 전기에너지를 이용하여 엔진의 시동을 걸어주며, 회생제동을 통한 배터리의 충전에 사용된다. 또한 탑재형 충전기(On Board Charger, OBC)는 가정용 교류 전원을 직류 전원으로 변환하여 HEV의 배터리를 충전하는데 사용된다.

본 논문에서는 HSG 시스템을 구성하던 전동기와 3상 인버터 회로를 릴레이 및 추가적인 회로를 사용하여 OBC를 구성하는 전력변환장치로 변환 가능한 시스템 설계를 제안한다. 나아가 배터리 충전에 필요한 DC link 전압제어, Buck 컨버터를 이용한 부하 전압제어 및 고조파 보상을 위한 제어기술을 제안한다.

### 2. HSG 시스템을 이용한 OBC 회로

#### 2.1 전동기 구동 모드

제안하는 회로는 기존 차량에 탑재된 HSG 시스템에 릴레이를 추가하여 충전 회로로 변환 가능한 인버터 회로를 구성한다.

기존의 목적인 3상 전동기 구동 모드는 그림 1과 같이 구현한다. Relay 06을 ON하여 배터리와 3상 인버터를 연결하고 각 레그에서 공급되는 3상의 교류 전력이 HSG로 전달 될 수 있도록 Relay 03과 04를 ON한다.

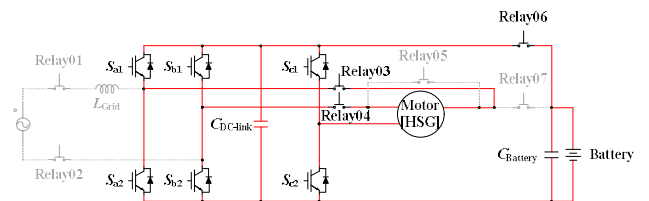


그림 1 HSG 구동 회로의 구성  
Fig. 1 Construction of HSG driving circuit

#### 2.2 충전 모드

OBC 회로를 구성하기 위해 그림 2와 같이 HSG 시스템을 구성하던 3상 인버터 회로를 풀 브릿지 역률 보상 (Power Factor Correction, PFC) 컨버터 및 벡 컨버터로 변환한다. Relay 05와 07을 ON하여 전동기를 벡 컨버터의 인덕터로 이용하며, Relay 01과 02를 ON하여 계통전원과 PFC 컨버터를 연결 한다.

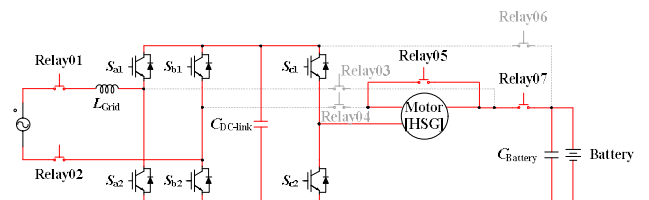


그림 2 배터리 충전 회로의 구성  
Fig. 2 Construction of battery charging circuit

### 3. OBC의 제어

배터리를 정격 전압으로 충전하기 위하여 DC link 및 배터리 전압을 제어해야 한다. 또한 비선형 부하 및 데드타임 등의 영향으로 발생하는 고조파를 보상하기 위한 제어를 설계하여 입/출력 전력 품질을 개선한다.

#### 3.1 DC-link 전압제어 및 고조파 보상

그림 3은 DC link 전압제어 및 고조파 보상을 위해 제어 블록도를 나타낸다. DC link 전압 제어기는 DC link를 지령 전압으로 제어하기 위한 지령 전류 신호를 출력한다. 해당 지령 전류 신호는 계통 전류 제어기의 입력 신호로 사용된다. 본 시스템에서 DC link는 500 V로 제어하며 계통 전류는 정격에서 30 A<sub>rms</sub>로 제어된다. 단, 전압제어기의 대역폭과 비교하여 전류

제어기의 대역폭을 충분히 크게 설정하여 전류 제어기가 전압 제어기에 영향을 주지 않도록 한다.

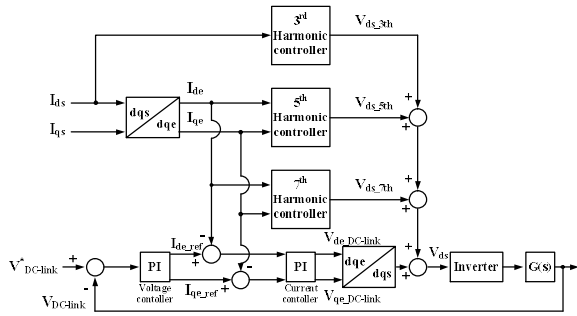


그림 3 DC-link 전압제어 및 고조파 보상을 위한 제어기의 블록도

Fig. 3 Block diagram of controller for harmonics compensation

계통 전류에 포함되는 3차 고조파는 PR 제어기를, 5차 및 7차 고조파는 PI 제어기를 이용하여 보상한다.<sup>[1]</sup> PR 제어기의 특성함수는 다음과 같다.

$$G(s) = K_p + \frac{2K_{ih}\omega_c s}{s^2 + 2\omega_c s + (h\omega_0)^2} \quad (1)$$

여기서  $K_p$ 는 비례이득,  $K_{ih}$ 는 공진이득,  $\omega_c$ 는 차단 주파수,  $h$ 는 보상하려는 고조파의 차수,  $\omega_0$ 는 공진 주파수를 의미한다. PR 제어기는 정지좌표계상에서 제어기를 설계한다. 따라서 PI 제어기와 비교해 좌표변환과정을 단축할 수 있으며, 또한 정지좌표계상에서 정상상태를 줄이는 등의 특징을 가진다.<sup>[2]</sup>

### 3.2 배터리 전압 제어

배터리 전압 제어를 위해 그림 1의  $S_{c1}$ ,  $S_{c2}$ 와 HSG를 이용해 Buck 컨버터를 구성한다. 이때, DC link와 배터리는 각각 컨버터의 입력전원과 부하로 동작한다.

$$G_v = \frac{v_o}{v_i} = \frac{Dv_i}{v_i} = D \quad (2)$$

일반적으로 Buck 컨버터는 식 (2)의 듀티비  $D$ 에 따라 상·하 단 스위치가 상보적으로 동작하여 부하의 전압을 제어한다.  $S_{c1}$ ,  $S_{c2}$ 는 DC link와 배터리의 전압 전달비  $G_v$ , 즉 듀티비  $D$ 에 따라 동작하여 부하의 전압을 제어한다.

### 3. 시뮬레이션

제안한 방법의 타당성을 검증하기 위해 PSIM 툴을 이용한 시뮬레이션을 진행하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 Simulation parameters

|                   |                      |                      |         |
|-------------------|----------------------|----------------------|---------|
| 계통 전압             | 220 V <sub>rms</sub> | 계통 주파수               | 60 Hz   |
| 스위칭 주파수           | 10 kHz               | R <sub>Grid</sub>    | 0.2 Ω   |
| L <sub>Grid</sub> | 1.5 mH               | C <sub>DC link</sub> | 1000 μF |
| L <sub>HSG</sub>  | 0.605 mH             | C <sub>Battery</sub> | 610 μF  |

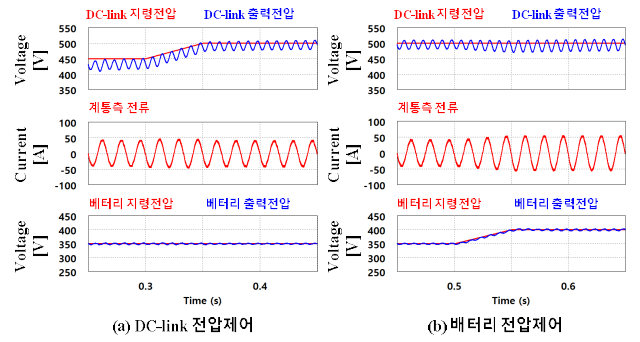


그림 5 배터리 충전 모드의 결과 파형

Fig. 5 Waveform of battery charging mode

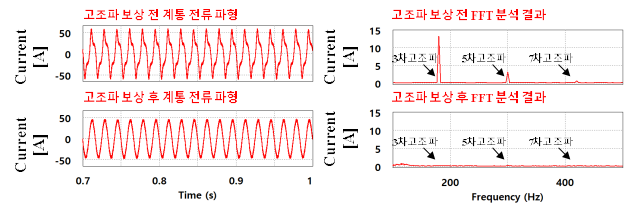


그림 6 계통 측 전류 파형 및 FFT 분석 결과

Fig. 6 Waveform and FFT analysis result of grid side current

그림 5는 각 DC link 전압 제어기와 배터리 전압 제어기의 과도 응답 특성 결과를 나타낸다. 각 부의 제어기가 독립적으로 동작하여 상호 간섭 없이 안정적으로 제어가 됨을 확인할 수 있다.

그림 6은 고조파 보상 전/후의 계통 측 전류의 파형과 FFT 분석 결과를 나타낸다. 고조파 보상 전/후 파형을 통해 본 논문에서 제안하는 제어 기법을 통해 계통 측 전류의 파형이 개선되며, 고조파 성분이 저감하는 것을 관찰할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 HSG 시스템을 이용한 OBC의 설계 및 제어 기법을 제안하였다. 제안된 방법을 통해 차량의 소형화 및 경량화를 이룰 수 있으며, 따라서 하이브리드 자동차의 구동 효율성을 향상시킬 수 있다. 제안한 방법의 타당성은 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

### 참고 문헌

[1] J. Sin, Y. Bak, S. S. Park, and K. B. Lee, "Reduction of Grid Current Harmonic Distortion through a 6th Harmonic Control Method in Grid Connected Three Level NPC Inverters," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 66, no. 5, pp. 778-785, May 2017.

[2] R. Teodorescu, F. Blaabjerg, M. Liserre, and P. C. Loh, "Proportional resonant controllers and filters for grid connected voltage source converters," IEE Proc. Electric Power Appl., vol. 153, no. 5, pp. 750-762, Sep. 2006.