

# PMD를 위한 배터리 충전기의 슬라이딩 모드 제어를 이용한 성능 향상

최준혁, 박영수  
계명대학교

## Performance Improvement Using a Sliding Mode Control of a Battery Charger for PMD

Junhyeok Choi, Yeongsu Bak  
Keimyung University

### ABSTRACT

본 논문에서는 퍼스널 모빌리티 디바이스(Personal Mobility Device, PMD)를 위한 배터리 충전기의 슬라이딩 모드 제어를 이용한 성능 향상 방법을 제안한다. PMD를 위한 배터리 충전기는 전기 오토바이, 전기 휠체어, 전기 키보드와 같이 다양한 충전 전압을 갖는 PMD의 배터리를 충전할 수 있으며, 일반적으로 비례-적분(Proportional-Integral, PI) 제어를 통해 출력 전압을 제어한다. 하지만, 배터리 충전기의 출력 전압을 PI 제어를 통해 제어하는 경우에 이득을 조정하는 과정이 필요하며, 제어 성능을 향상시키기 위해 이득을 증가시키면 출력 전압의 오버슈트가 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 출력 전압의 오버슈트 없이 PMD를 위한 배터리 충전기의 성능을 향상시키기 위한 슬라이딩 모드 제어 방법을 제안하며, 제안하는 방법의 타당성은 시뮬레이션을 통해 검증한다.

### 1. 서론

최근 세계적인 친환경 정책이 강화되어 퍼스널 모빌리티 디바이스(Personal Mobility Device, PMD)에 대한 관심과 함께 관련 시장 규모가 증가하고 있다. PMD는 이동성과 생활 편의성을 향상시키는 친환경 이동 수단으로 전기 오토바이, 전기 휠체어, 전기 키보드 등이 있다. 이러한 PMD의 배터리를 충전하기 위해서는 배터리 충전기가 필요하며, 이와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1]</sup>.

PMD를 위한 배터리 충전기는 일반적으로 구조가 간단하고 구현이 용이한 비례-적분(Proportional-Integral, PI) 제어를 통해 출력 전압을 제어하여 PMD의 배터리를 충전한다<sup>[2]</sup>. 하지만, PI 제어기의 이득을 조정하는 과정이 필요하며, 배터리 충전기의 성능을 향상시키기 위해 PI 제어기의 이득을 증가시키는 경우에 출력 전압의 오버슈트가 발생하는 문제가 있다<sup>[3]</sup>.

따라서, 본 논문에서는 출력 전압의 오버슈트 없이 PMD를 위한 배터리 충전기의 성능을 향상시키기 위한 슬라이딩 모드 제어(Sliding Mode Control, SMC) 방법을 제안한다. 제안하는 SMC 방법은 제어 변수를 슬라이딩 평면의 경계를 따라 제어함으로써 일반적인 PI 제어기와 비교하여 오버슈트가 없으며, 빠른 동특성을 가질 수 있다. 따라서, PMD를 위한 배터리 충전기의 안정성을 확보하고, 성능을 향상시킬 수 있다. 제안하는 SMC 방법의 타당성은 시뮬레이션을 통해 검증한다.

### 2. PMD를 위한 배터리 충전기

#### 2.1 배터리 충전기의 구성

그림 1은 PMD를 위한 배터리 충전기의 구성을 나타낸다. 입력 측 단상 계통 전원으로부터 다이오드 정류기를 이용한 정류, PFC 부스트 컨버터를 이용한 승압, 하프-브리지 LLC 공진형 컨버터를 이용한 절연 및 강압, 벡 컨버터를 이용한 강압 동작을 통해 출력 측 배터리를 충전한다.

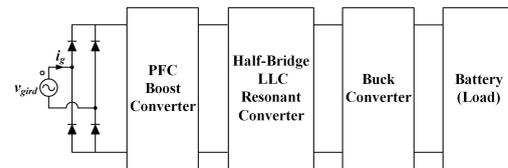


그림 1 PMD를 위한 배터리 충전기의 구성  
Fig. 1 Structure of battery charger for PMD

#### 2.2 슬라이딩 모드 제어

그림 2는 PMD를 위한 배터리 충전기의 성능을 향상시키기 위한 제안하는 SMC 블록도를 나타낸다. 우선, SMC의 입력으로 사용되는 제어 변수인 출력 전압 오차를 식 (1)과 같이 계산한다.

$$e_V = V_{out}^* - V_{out} \tag{1}$$

여기서,  $V_{out}^*$  및  $V_{out}$ 은 지령 출력 전압 및 배터리 충전기의 출력 전압을 나타낸다. 또한,  $e_V$ 를 이용하여 슬라이딩 평면을 식 (2)와 같이 계산한다.

$$Surface = e_V + k \int e_V dt \tag{2}$$

여기서,  $k$ 는 슬라이딩 계수로써 본 논문에서는 1로 정의한다.

SMC의 정상상태에서 발생하는 채터링 현상을 해결하기 위해  $Surface$ 의 값에 따라 부호 함수를 식 (3)과 같이 정의한다.

$$sgn(Surface) = \begin{cases} 1, & Surface > 0 \\ 0, & Surface = 0 \\ -1, & Surface < 0 \end{cases} \tag{3}$$

SMC에서 PI 제어기의 입력은  $e_V$  및  $sgn(Surface)$ 를 이용하여 식 (4)와 같이 계산한다.

$$u_{in} = e_V + K_{SMC} \operatorname{sgn}(\text{Surface}) \quad (4)$$

여기서,  $K_{SMC}$ 는 SMC의 이득을 나타내며, 이득 값은 출력 전압의 동특성 및 채터링 현상 발생에 영향을 미치므로 적절한 값을 설정해야 한다. PI 제어기를 통해  $u_{in}$ 을 0으로 제어하여 지령 출력 전류( $I_{out}^*$ )를 얻고, PI 제어 기반 전류 제어기를 통해 PMD를 위한 배터리 충전기의 출력 전류를 제어한다.

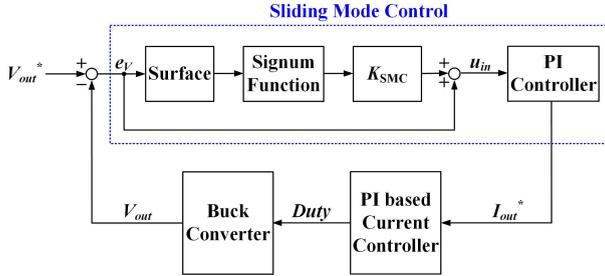


그림 2 제안하는 슬라이딩 모드 제어 블록도  
Fig. 2 Block diagram of proposed sliding mode control

### 3. 시뮬레이션 결과

PSIM 시뮬레이션 툴을 통해 PMD를 위한 배터리 충전기의 성능을 향상시키기 위한 SMC 방법의 타당성을 검증하였으며, 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

표 1 시뮬레이션 파라미터  
Table 1 Simulation parameters

$V_{grid}$	220 V <sub>rms</sub> /60 Hz	$R_{load}$	6.4 $\Omega$
$K_{SMC}$	3	$T_{samp}$	12.5 $\mu$ s
$k_{p,vc}$	0.45	$k_{i,vc}$	98.5
$k_{p,cc}$	1.14	$k_{i,cc}$	2551

그림 3은 PMD를 위한 배터리 충전기의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 그림 3의 (a)는 입력 측 단상 계통 전원을 나타내며, 220 V<sub>rms</sub>/60 Hz이다. 그림 3의 (b)는 PFC 부스트 컨버터의 출력 전압을 나타내며, 400 V로 제어된다. 그림 3의 (c)와 (d)는 배터리 충전기의 출력 전압 및 전류를 나타내며, 출력 전압은 48 V로 제어된다.

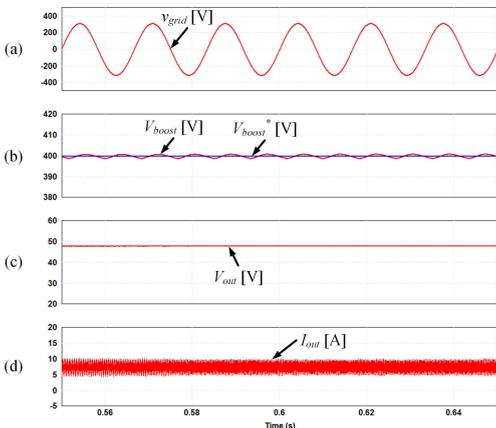


그림 3 PMD를 위한 배터리 충전기의 시뮬레이션 결과  
Fig. 3 Simulation results of battery charger for PMD

그림 4의 (a)와 (b)는 각각 PI 제어 및 제안하는 SMC 방법을 적용한 경우에 출력 전압 제어 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 배터리 충전기의 지령 출력 전압은 24 V에서 36 V로 가변하였으며, 배터리 충전기의 출력 전압은 지령 전압에 따라 적절히 제어된다. 또한, PI 제어를 적용한 경우와 비교하여 제안하는 SMC 방법을 적용한 경우에 배터리 충전기의 출력 전압은 오버슈트가 발생하지 않으며, 빠른 동특성을 갖는 것을 확인할 수 있다.

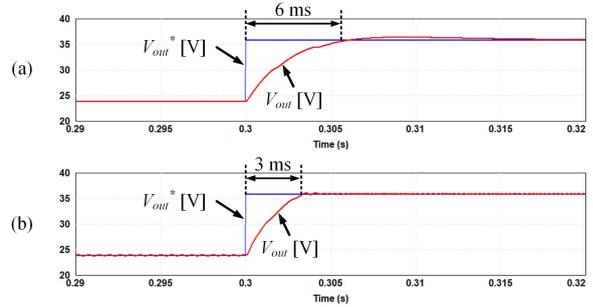


그림 4 출력 전압 제어 시뮬레이션 결과 (a) PI 제어, (b) 슬라이딩 모드 제어

Fig. 4 Simulation results of output voltage control (a) PI control, (b) sliding mode control

### 4. 결론

본 논문은 PMD를 위한 배터리 충전기의 SMC를 이용한 성능 향상 방법을 제안한다. 제안하는 SMC 방법은 일반적인 PI 제어기와 비교하여 출력 전압의 오버슈트가 없으며, 빠른 동특성을 가질 수 있다. 따라서, PMD를 위한 배터리 충전기의 안정성을 확보하고, 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 제안하는 SMC의 블록도를 설명하고, 시뮬레이션을 통해 제안하는 SMC 방법의 타당성을 검증하였다.

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2022-00165694).

### 참고 문헌

- [1] A. Martinez-Navarro, V.-A. Cloquell-Ballester, and S. Seguí-Chilet, "Photovoltaic electric scooter charger dock for the development of sustainable mobility in urban environments," IEEE Access, vol. 8, pp. 169486-169495, 2020.
- [2] L. Xue, Z. Shen, D. Boroyevich, P. Mattavelli, and D. Diaz, "Dual active bridge-based battery charger for plug-in hybrid electric vehicle with charging current containing low frequency ripple," IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 12, pp. 7299-7307, Dec. 2015.
- [3] M. Yang, S. Tang, and D. Xu, "Comments on: antiwindup strategy for PI-type speed controller," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 62, no. 2, pp. 1329-1332, Feb. 2015.