

슬라이딩모드 제어를 이용한 Vehicle to Grid 시스템의 초기구동

김헌희*, 이희준*, 정철호*, 김진홍**, 원충연*
성균관대학교*, 전자부품연구원**

Soft Start Method of V2G System using Sliding Mode Controller

Heon-Hee Kim*, Hee-Jun Lee*, Chul-Ho Jung*, Jin-Hong Kim**, Chung-Yuen Won*
Sungkyunkwan University*, Korea Electronics Technology Institute**

ABSTRACT

양방향 AC/DC 컨버터를 이용하여 EV배터리를 충전하거나 계통으로 전력을 보낼 때 PI제어기를 사용하면 임피던스를 예측할 수 없으므로 초기 구동시 오버슈트가 발생하여 회로에 스트레스가 발생한다. 본 논문에서는 Sliding Mode Controller (SMC)를 이용하여 계통으로 전력을 전달하는 알고리즘으로 소프트 스타트를 하는 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여 회로를 구성하고 제안한 제어 방법의 성능을 확인하였다.

1. 서 론

마이크로그리드 시스템에서 전기자동차의 배터리는 두 가지 역할을 한다. 충전중에는 부하로써 작용하고 계통에 전력을 공급할 때는 에너지 저장장치로 이용된다. 계통 연계형 전기자동차인 PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)나 EV(Electric Vehicle)는 HEV(Hybrid Electric Vehicle)에 비해 배터리 용량이 크다. PHEV나 EV의 비율이 증가하면서 배터리를 활용하여 발전소 발전량을 보조하는 역할을 하는 Vehicle to Grid(V2G)에 대한 연구가 활발히 진행중이다.

그림 1은 V2G용 EV의 배터리 충전 상태(State Of Charge, SOC)를 나타낸다. 일반적인 출퇴근용 EV를 가정하였다. 출근시 방전된 배터리는 오전 중 직장에 설치된 양방향 배터리 충전기를 통해 완전히 충전된다. 그리고 오후 1시부터 4시 사이의 피크부하 시간에는 전력의 수요가 많으므로 이 시간대에 EV배터리의 전력을 계통으로 전달하여 발전소의 부담을 줄일 수 있다. 남은 배터리 전력으로 퇴근시 EV를 운행하고 야간에 저렴한 전력으로 완전 충전시킨다.^[1]

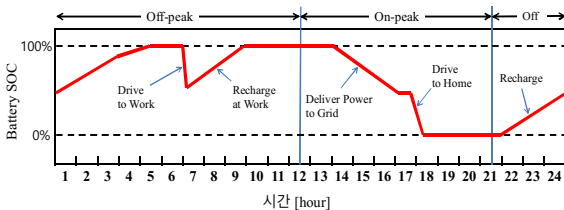


그림 1 일일 EV배터리의 SOC 변화
Fig. 1 EV battery SOC for 1-day.

V2G를 일반화 하려면 안정적인고 효율적인 양방향 배터리 충전기가 필수이다. 본 논문에서는 Sliding Mode Controller를 이용하여 계통으로 전력을 전달시 소프트 스타트 하도록 제어하는 방법을 제안한다. 이 방법을 활용함으로써 시스템을 과전류로부터 보호하고 안정적인 전력전달을 할 수 있다.

2. 본 론

2.1 제안하는 시스템의 토폴로지

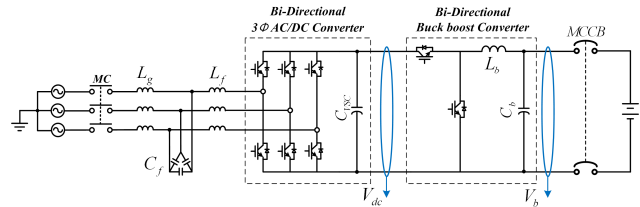


그림 2 제안하는 V2G시스템 회로도
Fig. 2 Proposed V2G system schematic.

그림 2는 제안하는 충전전 시스템의 회로도를 나타낸다. 토폴로지는 일반적인 3상 양방향 AC/DC컨버터와 벡-부스트 컨버터가 연결된 형태이다. 배터리 충전모드에서는 입력단의 3상 AC/DC 컨버터는 650[V_{dc}]를 출력하고 출력단의 벡-부스트 컨버터는 Buck모드로 동작하여 380[V_{dc}]로 강압시킨다. V2G모드에서는 벡-부스트 컨버터가 Boost모드로 동작하여 380[V_{dc}]의 배터리전압을 650[V_{dc}]이상으로 승압하고 3상 AC/DC 컨버터는 인버터모드로 동작하여 3상 전류를 만들어 계통으로 전력을 전달한다. 그림 3은 각 모드에서 전력의 흐름도이다.

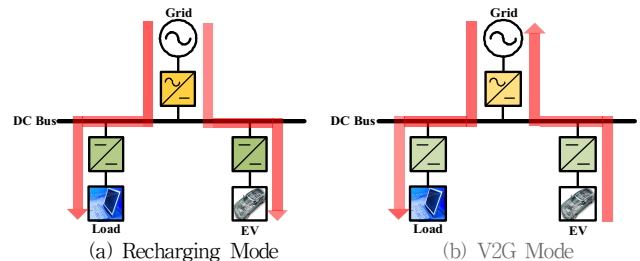


그림 3 모드별 전력 흐름도
Fig. 3 Power flow for each mode.

2.2 제안하는 시스템의 제어 방법

Sliding Mode Control(SMC)는 미리 정해진 슬라이딩 좌표 평면상의 궤적을 강제로 추종하도록 제어하기 때문에 파라미터 및 부하 변동에 강한 제어 특성을 갖고 시스템의 오버슈트를 최소화 할 수 있다. 그림 4는 슬라이딩 모드 제어시 슬라이딩 영역에서의 기준 전류 궤적이다. Recharging모드로 제어시 슬라이딩 평면에서 X축은 제어전압의 오차로 식(1)과 같다. Y축은 전압 오차에 따른 q축 전류의 기준 값(i_q^{ref})이다. 초기 전압오차인 X_{10} 에서 전류가 서서히 증가하여 전압 오차가 X_{20} 인 지점에 도달했을 때 정격전류가 흐르면서 전압이 상승하고 X_{30} 지점에 도달했을 때 전류가 감소하면서 목표 전압에 도달한다.

V2G모드 제어시는 Recharging모드와 반대방향으로 전류가 흐르면서 그림 4의 V2G모드와 같이 전압 오차가 X_{60} 인 지점에서 목표 전압에 도달한다.

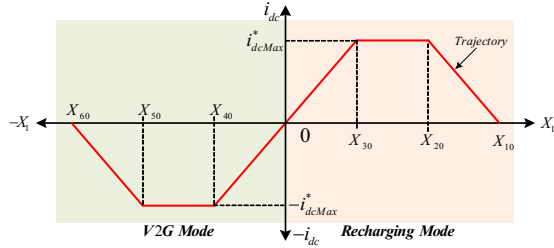


그림 4 슬라이딩모드 제어기의 전류궤적
Fig. 4 Trajectory of Sliding mode controller.

$$X_1 = V_{dc}^* - V_{dc} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} X_{10} &= -X_{60} = X_1 \\ X_{20} &= -X_{50} = X_{10} \times \frac{2}{3} \\ X_{30} &= -X_{40} = X_{10} \times \frac{1}{3} \end{aligned} \quad (2)$$

슬라이딩 영역에서의 기준전류와 직류전압을 시간 영역에서 표현하면 각각 그림 5의 (a), (b)와 같다.

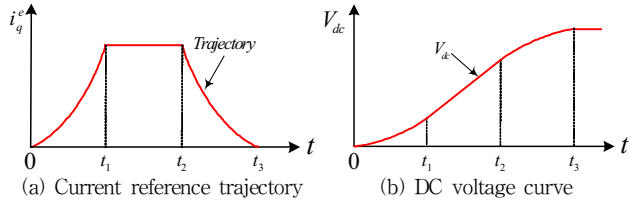


그림 5 시간 영역에서의 기준전류와 직류전압 곡선
Fig. 5 Current reference and DC voltage curve in time domain.

2.3 시뮬레이션 결과

시스템 파라미터는 아래의 표 1과 같이 380[V_{dc}]로 충전하는 급속 충전기를 가정하였다. 시뮬레이션은 Powersim사의 PSIM 9.0을 활용하였다.

표 1. 시스템 파라미터

Parameters	Name	Value
입력 전압(3상)	E	380[V]
입력 전류	I	186[A]
계통 주파수	f_g	60[Hz]
스위칭 주파수	f_s	10[kHz]
정격 출력	P_{out}	50[kW]
정격 전압	V_{dcB}	380[V]
정격 전류	i_{BMax}^*	125[A]

배터리는 24[kWh]의 용량과 380[V_{dc}]출력을 갖는 리튬이온 배터리로 가정하고 배터리는 그림 6와 같은 등가 모델을 선정하였다. 이 모델은 커패시터를 통해 배터리 충전상태일 때와 방전상태일 때 전압의 과도상태를 나타낸다.^[2]

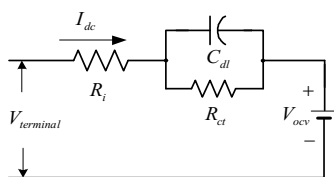
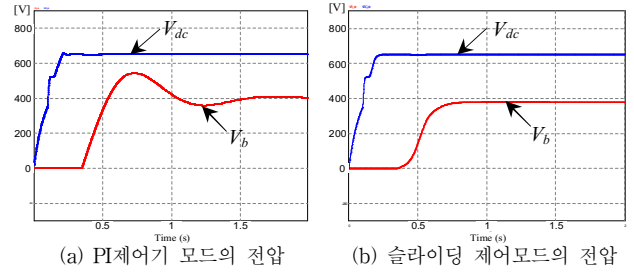
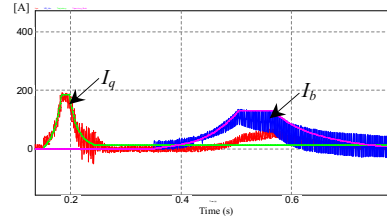


그림 6 배터리 등가모델
Fig. 6 Battery Equivalent Model



(a) PI제어기 모드의 전압 (b) 슬라이딩 제어모드의 전압



(c) 슬라이딩 제어모드의 전류 파형

그림 7 3상 AC/DC 컨버터의 직류 전압 및 전류
Fig. 7 DC voltage and current of 3-phase AC/DC converter

그림 7는 슬라이딩모드를 이용한 3상 AC/DC컨버터의 직류 전압(V_{dc})과 벡-부스트 컨버터의 출력전압(V_b), 3상 AC/DC컨버터의 q 축전류(I_q)와 벡-부스트 컨버터의 출력전류(I_b)이다. PI 전압 제어를 이용할 경우 V2G운전시 제어 대상인 직류전압에 오버슈트가 발생할 우려가 있다. 반면 슬라이딩모드에서 기준전류는 제어전압이 목표 전압 값인 650[V_{dc}]에 도달하기 전에 감소하여, 원천적으로 직류전압의 오버슈트를 방지한다. 이는 부하의 변동에 강한 특성을 가진다.

3. 결론

본 논문에서는 슬라이딩모드 제어를 이용하여 계통으로 전력을 전달하는 알고리즘을 제안하였다. 슬라이딩모드 제어를 사용하면 계통의 임피던스와 상관없이 전류가 슬라이딩 궤적을 따라 서서히 증가하여 전력이 계통으로 전달될 때 오버슈트가 없는 소프트 스타트를 할 수 있다. 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안한 제어방법의 타당성을 확인하였다.

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 기술혁신사업(No. 20119010200060-11-2-100)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참고 문헌

- [1] C. Kisackoglu, Burak Ozpineci, Leon M. Tolbert, and Fred Wang, "Single-phase Inverter Design for V2G Reactive Power Compensation", APEC2011, pp. 808~814, March. 2011.
- [2] Novie Ayub Windarko, Jaeho Choi, "SOC Estimation Based on OCV for NIMH Batteries Using an Improved Takacs Model", JPE, Vol 10, Pages 181-186, March 2010.
- [3] S. C. Shin, H. J. Lee, Y. S. Lee and C. Y. Won, "Soft start method of Three-phase AC/DC Converter using Improved Sliding Mode Controller in DC Distribution System for Building Applications", EPE, November. 2011.