

V2G-V2H 기능을 갖는 전기자동차용 무 전해캐패시터 양방향 충전기의 제어기법

권민호, 최세완
서울과학기술대학교

Control Method of An Electrolytic-Capacitor-less Bi-directional EV Charger for V2G-V2H

Minho Kwon, Sewan Choi
Seoul National University of Science and Technology

ABSTRACT

전기자동차를 위한 양방향 탑재형 충전기의 장내구성을 달성하기 위해 전해캐패시터를 사용하지 않는 전력변환장치가 요구된다. 본 논문에서는 V2G-V2H 기능을 갖는 무 전해캐패시터 양방향 탑재형 충전기의 제어알고리즘을 제안한다. 제안하는 양방향 충전기는 정현파 충전방식이 적용되었고 인버터만 제어하여 V2G-G2V-V2H 모드전환이 끊임없는 장점을 갖는다. 제안하는 알고리즘을 검증하기 위한 3.3kW급 시작품의 시험결과로 타당성을 검증하였다.

본 논문에서는 NRSRC기반 무 전해캐패시터 양방향 충전기의 제어알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 계통연계모드

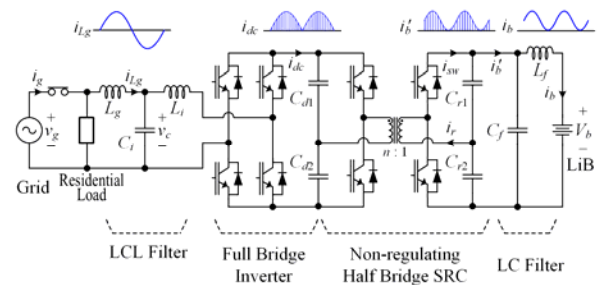


그림 1. 제안하는 양방향 충전기

1. 서론

전기자동차는 차세대 이동 수단으로 각광받고 있으며 이에 따라 탑재형 충전기의 개발이 가속화 되고 있다. 더욱이 스마트그리드 영역에서 전기자동차의 배터리를 에너지저장장치로 활용하려는 V2G 기술과 정전시 가정에 비상발전기로 사용하려는 V2H의 기술에 대한 요구가 점차 증가하고 있다.

탑재형 충전기는 계통과 차량의 전기적인 절연, 경량화, 소형화 그리고 장내구성이 요구되며 양방향 토폴로지는 DAB컨버터와 단상인버터로 구성된 2단 구조의 전력변환 장치가 주로 개발되고 있다[1]. 단상인버터는 직류측에 계통주파수의 2배에 해당하는 저주파리플이 발생하기 때문에 일반적으로 DC링크에 용량성이 좋은 전해캐패시터가 많이 사용된다. 하지만 전해캐패시터는 수명이 짧아 장내구성을 달성하기 어렵기 때문에 전해캐패시터를 사용하지 않는 탑재형 충전기의 개발이 요구되고 있다. 전해캐패시터를 사용하지 않고 정현파 충전방식을 적용한 NRSRC(Non-regulating series resonant converter)기반 양방향 충전기는[2] 모든 전압범위와 전부하 영역에서 소프트스위칭을 성취하여 고효율, 고전력밀도를 달성할 수 있고 인버터만을 제어하여 V2G, V2H 그리고 G2V동작까지 구현 가능하여 마치 단일 전력변환장치처럼 제어기를 간단하게 구성할 수 있고 끊임 없는 모드전환 알고리즘 구현이 용이하다.

(V2G, G2V)와 독립운전모드(V2H)간에 끊임없는 모드전환이 가능하며 정현파충전을 위한 CP/CV충전 알고리즘이 적용되었다.

2. 제안하는 제어 알고리즘

그림 1은 제안하는 전기자동차용 양방향 충전기를 보여준다. DC링크 캐패시터 C_{d1} , C_{d2} 는 필름 캐패시터로 용량이 작아 고주파 스위칭 성분만을 흡수하고 저주파 성분은 그대로 통과시킨다.

NRSRC의 공진주파수와 스위칭주파수가 동일할 때 전압이득은 변압기턴비(n)와 같다. 따라서 다음과 같이 2차성분을 포함한 전류가 배터리에 주입된다.

$$i_b(t) = n \cdot i_{dc}(t) = \frac{V_g I_{Lg}}{V_b} \cdot (1 - \cos(2\omega_g t)) \quad (1)$$

따라서 계통에서 주입되는 전류를 제어하여 충·방전되는 전류의 크기를 조절할 수 있다. 그림2는 제안하는 양방향 충전기의 제어알고리즘으로 내부루프에 캐패시터전압(V_c) 제어기, 중간루프에 계통전류(I_{Lg}) 제어기 그리고 외부루프에 CP/CV제어기로 구성되어 있다. V2H모드는 독립운전 모드로 V_c 를 일정하게 제어하여 배터리의 전력으로 가정부하에 안정적인 전력을 공급한다.

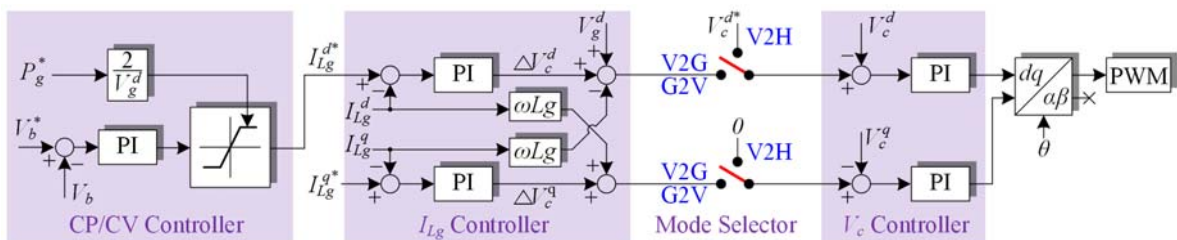
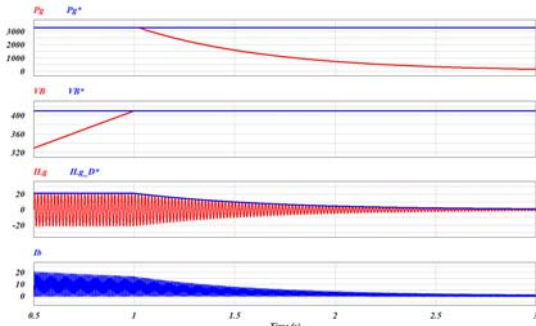
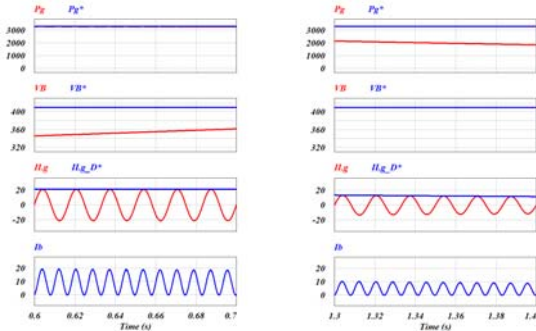


그림 2. 제안하는 양방향 충전기의 제어 알고리즘



(a)



(b)

(c)

그림 3. 충전알고리즘 시뮬레이션 결과 (a)CP/CV 전환 (b)CP 모드 (c)CV 모드

V2G, G2V모드는 계통연계 모드로 수요관리를 위한 충·방전량을 제어한다. 이 모드에서 V_c 의 지령치는 다음과 같다.

$$V_c^{d*} = \Delta V_c^d - \omega L_g I_{Lg}^q + V_g^d \quad (3)$$

$$V_c^{q*} = \Delta V_c^q + \omega L_g I_{Lg}^d \quad (4)$$

여기서 ΔV_c^{dq} 는 I_{Lg} 제어기의 출력으로서, V_c 를 이용하여 계통전류를 간접적으로 제어한다.

V_b^* 는 배터리의 종지전압으로 선정하여 CV모드가 아닐 때는 항상 상측리미터 값으로 포화되게 한다. 이때 상측리미터 값은 다음과 같으며 I_{Lg} 제어기의 지령치가 된다.

$$I_{Lg}^{d*} = \frac{2}{V_g^d} \cdot P_g^* \quad (4)$$

배터리 전압이 종지 다다르면 포화되어있던 전압제어기가 활성화되어 CV 제어를 위한 전류를 지령한다.

3. 시뮬레이션 및 실험 결과

그림3은 제안하는 양방향 충전기의 충전동작 시뮬레이션 과정이다. 배터리 전압이 종지전압 보다 작을 때에는 CP모드로 일정한 전력을 배터리에 충전한다. SOC가 증가함에 따라 배터리 전압은 증가하며 충전전류는 서서히 감소한다. 배터리 전압이 종지 전압에 다다르면 충전기는 CV모드로 동작하며 충전전류를 줄여 충전전력을 서서히 줄여 나간다. 그림3 (b)와 (c)는 각각 CP모드, CV모드의 확대 과정으로 계통주파수의 2배에 해당하는 정현파로 동작하는 것을 확인할 수 있다. 그림4는 시작품의 실험결과로 CP모드로 일정한 전력을 충전하던 중 계통이 끊긴 후 끊임없이 V2H모드로 동작하는 것을 볼 수 있다. 그림5는 제안하는 3.3kW급 양방향 충전기 시작품 사진이다. 모든 캐패시터는 필름 캐패시터로 설계되었으며 사양은 아래와 같다.

$$\bullet P_g = 3.3 \text{ kW} \quad \bullet V_g = 220 \text{ V} \quad \bullet V_b = 250\text{--}410 \text{ V} \quad \bullet \omega_g = 2\pi 60 \text{ rad/sec}$$

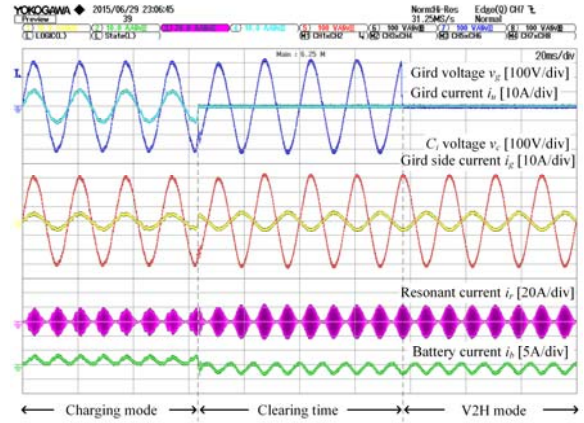


그림 4. 충전중 독립운전으로 모드전환 실험파형

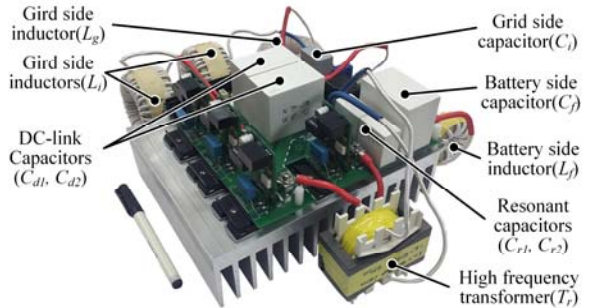


그림 5. 제안하는 3.3kW급 양방향 충전기 시작품

- $C_{r1}, C_{r2} = 1 \mu\text{F}$ • $C_f = 100 \mu\text{F}$ • $C_i = 6.8 \mu\text{F}$ • $C_{d1}, C_{d2} = 100 \mu\text{F}$
- $L_r = 4.7 \mu\text{H}$ • $L_f = 33 \mu\text{H}$ • $L_g = 1.7 \text{ mH}$ • $L_i = 2 \times 1.2 \text{ mH}$

4. 결론

본 논문에서는 V2G-V2H 기능을 갖는 무 전해캐피터 양방향 탑재형 충전기의 제어알고리즘을 제안하였다. 제안하는 양방향 충전기는 정현파 충전방식이 적용되었고 인버터만 제어하여 V2G, G2V 그리고 V2H 모드를 구현하였고 끊임없는 모드전환 알고리즘을 제안하였다. 3.3kW급 시작품의 실험결과로 본 논문의 타당성을 검증하였다.

참고 문헌

[1] M. Yilmaz and P. T. Krein, "Review of battery charger topologies, charging power levels, and infrastructure for plug-in electric and hybrid vehicles," *IEEE Trans. on, Power Electron.*, vol. 28, no. 5, pp. 2151-2169, May, 2013.

[2] M. Kwon, S. Jung, and S. Choi, "A high efficiency bi-directional EV charger with seamless mode transfer for V2G and V2H application," in *Proc. IEEE Energy Convers. Congr. Expo. (ECCE)*, 2015, pp. 5397-5399.