

EV용 차량탑재형 충전기의 링크 캐패시터 최적 설계 방법

노동윤, 유석정, 전준영, 박우철, 강재준
(주) 만도 Global R&D 전자개발1팀

A Link Capacitor Design for On-Board Charger in Electric Vehicles

Dongyoon Noh, Seokjeong Yoo, Joonyoung Jeon, Woocheol Park, Jaejun Kang
Electronics Development Team 1, Mando Corporation

승압을 통해서 최종 출력 단의 배터리의 전력 공급을 용이하게 한다.

ABSTRACT

전기자동차는 내연기관 대신 배터리를 동력으로 하여 전기모터를 구동하는 방식으로, 배터리를 충전하기 위해서는 차량 탑재형 충전기(OBC)가 필요하다.¹⁾ 자동차라는 특성상 OBC는 2단 AC/DC 컨버터로 구성되어 있다.²⁾⁻³⁾ 역률 보정을 위한 PFC 단과 절연과 충전을 위한 DC/DC 컨버터로 구성되어 있다. 손실을 최소화하기 위해 고전압을 이용한 링크 캐패시터가 필수적이고, 그 캐패시터는 전력밀도가 큰 고전압 전해 캐패시터가 사용된다. 하지만, 전해 캐패시터는 그 수명이 온도와 리플 전류에 따른 ESR 발열과 주변온도에 따라 좌우된다. 따라서 본 논문에서는 6.6kW 차량용 탑재형 충전기를 위한 링크 캐패시터용 고전압 전해 캐패시터의 최적 설계 방법을 제안한다.

1. 서론

본 논문에서는 링크 캐패시터용 고전압 전해 캐패시터의 설계에 있어서, 중요 인자인 온도와 리플 전류에 따른 ESR 발열, 주변온도 그리고 PCB 내부 임피던스까지 고려해서 최적 설계를 제안한다.

2. 링크 캐패시터의 필요성

2.1 절 역률 제어 및 개선

일반적인 전력 변환 시스템의 경우, AC 입력 전원을 DC전원으로 정류시키는 정류회로가 필요하다. 이때 정류 회로에 순시 정전 대응이나 입력전원 Ripple 감소를 위해 대용량 캐패시터가 필요하다. 그러나 이 캐패시터의 캐패시턴스 값이 커지면 커질수록 순간 충전량이 커지게

되어 1차 DC Link에 과량의 순간 Peak 전류가 불연속적으로 유입된다. 이 Peak 전류는 전압을 왜곡할 뿐만 아니라, 전류의 고조파 성분을 일으키므로 역률 감소와 THD 증가를 유발한다.

2.2 절 전압 변환

입력 AC 전압을 DC 전압으로 변환시킴과 동시에 입력 전압을 승압하는 기능을 갖는다. 입력 전압의 DC 변환 및

3. 링크 캐패시터의 설계

3.1 절 캐패시턴스 계산

단상 220[V], 60[Hz] 의 교류 전원을 사용하는 직류 전원 장치는 정류하는 과정에서 직류 링크 전압이 120[Hz]의 전압 맥동을 갖게 된다. 120[Hz] 전압 맥동이 발생하는 이유는 직류 링크 캐패시터에 공급되는 입력 전압의 위상이 다르기 때문에 전압 맥동을 갖는다. 따라서 반도체 스위치의 스위칭에 의한 전압 Ripple 을 고려하는 DC-DC Boost 컨버터와는 다르게 AC-DC 기능을 갖는 PFC의 경우 DC Link의 저주파 리플 전압 크기를 고려하여 캐패시턴스를 선정하여야 한다.

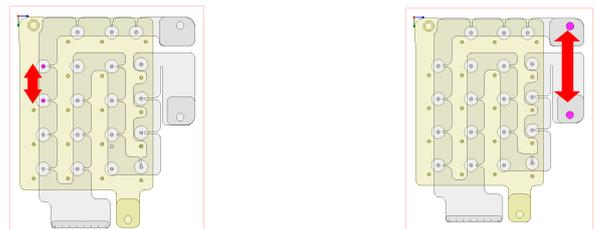
$$C = \frac{P_{in}}{V_{OUT} \times 2\pi \times f_{Low} \times V_{OUT,Peak}} \quad (1)$$

식 (1)을 이용하여 캐패시턴스 값이 계산되며 반도체 스위칭의 스위칭에 의한 고주파 전압 리플은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta V_{Ripple} = \frac{I_{OUT} \times D}{C \times f} \quad (2)$$

3.2 절 PCB 패턴 임피던스 값 분석

정확한 OBC 시뮬레이션을 위해서 PCB 패턴에 대한 주파수(50kHz, 100kHz) 기생 임피던스 성분을 분석하였다.



	50kHz	100kHz
L (nH)	11.4191	9.3809
R (mOhm)	2.1862	3.0918

	50kHz	100kHz
L (nH)	189.1935	147.6602
R (mOhm)	44.549	63.0018

3.3 절 시뮬레이션 검토

PSIM을 통해서 전체 시스템을 구현하고, 링크 캐패시터도 기준 소자를 선정하여 시뮬레이션을 구현하였다. 식 (1)에서 계산한 캐패시턴스 값을 고려하여 각 캐패시터에 걸리는 리플 전류를 확인하였다.

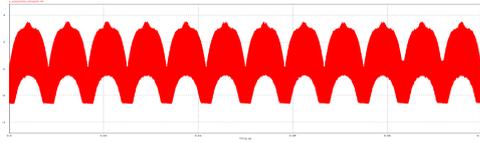


Fig. 2 Ripple Current of Capacitor in On-board Charger

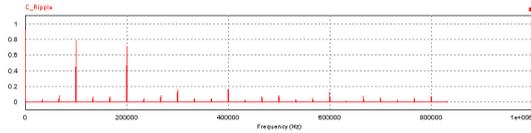


Fig. 3 Frequency domain

시뮬레이션 결과 Fig2와 같은 리플 전류와 Fig3와 같은 주파수에 따른 전류 값을 확인 할 수 있었다.

4. 수명 계산

전해 캐패시터는 내부 전해액이 유전체 역할을 하며, 이 전해액이 마르게 되면, 용량이 감소하게 된다. 전해액을 기화시키는 가장 주된 요소는 온도이다. 이 온도 상승의 원인으로는 주변 온도 상승과 허용치보다 높은 리플 전류로 인해 내부에서 발생하여 자체 발열에 의해 결정된다.

4.1 절 링크 캐패시터 수명 계산

4.1.1 절 리플 전류

전해 캐패시터는 다른 캐패시터 보다 더 큰 $\tan\delta$ 를 가졌기 때문에, 리플 전류로 인한 내부 발열이 일어나며, 이 내부 발열로 인해 캐패시터 수명은 단축된다. 이러한 이유로 수명 계산에서 리플 전류 계산은 필수적이다. 또, 정확한 리플 전류 값 계산을 위해서는 시뮬레이션에서 나온 각 주파수 Factor에 대한 리플 전류를 적용하여 신뢰성을 확보하였다. 리플 전류로 인한 내부 온도 상승 ΔT 는

$$\Delta T = \left(\frac{I_x}{I_o} \right)^2 \times \Delta T_o \quad (7)$$

여기서 각 주파수 Factor의 리플 실효치를 적용한 복합리플 전류값 I_o 는

$$I_o = \sqrt{\left(\frac{I_{f1}}{F_{f1}} \right)^2 + \dots + \left(\frac{I_{fn}}{F_{fn}} \right)^2} \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)을 통한 복합 리플 전류값을 이용한 수명 추정치는 다음과 같다.

$$L_x = L_r \times 2^{\frac{T_o - T_x}{10}} \times 2^{\frac{\Delta T_o - \Delta T}{5}} \quad (9)$$

4.1.2 절 온도

실제 자동차에서의 온도는 예측하기에는 많은 변수들을 고려해야 한다. 자동차 냉각수 온도, 엔진룸 내부온도, OBC 내부 대기온도, 각 지역별 온도, 계절별 온도 등 고려해야 할 사항이 많다. 본 논문에서는 다양한 온도데이터로 신뢰성을 확보했으며, 나라별, 계절별 낮의 최고온도(Worst Case)를 대표온도로 수명 산출했다.

4.1.3 절 수명 계산 결과

식 (9)의 리플 전류를 고려한 캐패시터 수명 계산을 하면 한국 뿐만 아니라, 미국 라스베이거스, 이집트, 파키스탄, 인도 뉴델리, 그리스 아테네 등 15년 수명 보장에 문제가 없는 것으로 확인했다. 추정 계산식에 의한 15년 이상은 15년으로 절삭하였다.(EIAJ(일본전자공업진흥협회) 기준)

5. 결론

본 논문에서는 캐패시턴스 값과 ESR을 고려하여 OBC 시뮬레이션을 하였고, 시뮬레이션을 통해서 나온 데이터와 수로 및 OBC 내부 각종 온도 데이터를 이용하여 실제 캐패시터 환경을 고려한 최적 설계를 하였다. OBC 내에 들어가는 링크 캐패시터 수명을 확인한 결과, 한국을 비롯하여 세계 도심 및 일반 지역에서 내구 15년 만족이 예상된다. 이는 모든 환경적 변수들을 모두 고려한 데이터 이기에 정확도가 높을 것이라 판단된다.

참고 문헌

- [1] Gautam D.S Musavi, F. ; Edington M. Eberle W., Dunford, W. G “An Automotive Onboard 3.3kW Battery Charger for PHEV Application”, IEEE Journals & Magazines, pp.3466–3474,2012
- [2] H.J Chae, Y.Kim, S.Y.YUN, Y.S.Jeong, J.Y.Lee, H.T.Moon, “3.3kW OnBoard Charger for Electric Vehicle, ECCE2011, pp2717–2719,Jun.2011
- [3] Masserant, B.J. Stuart, T.A, “A Maximum power transfer battery charger for electric vehicles”, IEEE Journals & Magazines, pp930–938, 1997