

비접촉식 충전기의 전력 전달부 설계

이민철, 최배근, 홍영욱, 조규형
KAIST 전자전산학과, 전기및전자공학 전공
전화 : 042-869-5424 / 핸드폰 : 011-384-3067

Power stage for Contact-less Induction Charging

Min-Cheol Lee, Bae-Gun Choi, Yung-Uk Hong, Gyu-Hyung Cho
Dept. of Electrical Engineering, KAIST
E-mail : minchull@eeinfo.kaist.ac.kr

Abstract

A new contactless Li-ion battery charging system was proposed. The conventional methods for charging Li-ion battery have some weak points. For example, there can be a contact failure, a poor waterproof, and a difficulty to standardize the battery charging systems. The new proposed system can overcome these weak points.

The new charging system is composed of power transfer part and data transfer part. This paper focuses on the power transfer part for contactless battery charging. The power stage is mainly composed of PPRC(Push-pull Parallel Resonant Converter) and flyback converter.

The new method of charging Li-ion battery was proposed and PPRC + flyback-boost topology was analyzed. The proposed topology was tested under the constant voltage control and the constant current control which are adequate for charging Li-ion battery.

I. 서론

정보화 사회가 진전되면서 노트북 컴퓨터와 휴대전화기 등의 휴대형 정보단말기기의 보급이 급속도로 확산되고 있다. 이러한 휴대용 정보단말기기의 급속한

보급과 더불어 이것의 에너지 공급원으로서 중요한 핵심부품 중의 하나인 배터리와 이 배터리를 충전시키기 위한 충전기에 대한 수요 또한 늘고 있으며, 향후에도 지속적으로 성장할 것으로 예측되고 있다.

종래에는 이 배터리를 충전하기 위해 접촉 단자를 통하여 배터리와 충전장치가 연결되고 그 접촉 단자를 통하여 에너지가 전달되는 방법을 사용하였다. 그러나 이러한 접촉식 충전 방법은 다음과 같은 여러 가지 문제점을 지니고 있다.

- 1) 접촉점의 접촉 불량으로 인해 충전을 못 하는 경우.
- 2) 접촉점의 부식 등으로 인해 접촉점의 손상.
- 3) 방수가 불가능하므로 습기가 많은 환경에서는 사용하기 힘들.
- 4) 접촉점의 고정으로 디자인에 제한, 외관상 문제점.
- 5) 부주의로 인한 단락으로 배터리의 완전 방전의 위험.
- 6) 접촉단자의 규격 통일화에 어려움.

전기적 접촉단자에 의해 생기는 문제점은 접촉점 없이 자기 결합을 이용하여 에너지를 전달하는 방법으로 해결될 수 있다.

2.1에서는 induction charging을 하기 위해 제안된 충전 시스템의 전체 구성에 관해 설명하였고, 2.2에서는 PPRC의 동작을 중심으로 power transfer part를 다루었다. 그리고 2.3에서는 실험 결과 및 이에 대한 고찰을 하였다.

II. 본 론

2.1 전체 충전 시스템 설계

충전 시스템은 그림 1의 충전기 측과 그림 2의 배터리 측으로 구성되어 있다.

충전기 측(그림 1)은 adaptive voltage controlled flyback converter, boost converter, PPRC로 크게 구성되어 있다. 그리고 부가적으로 배터리 측에서 보내는 충전 전압 및 전류의 에러 정보를 받기 위한 통신 부분과 이 정보를 이용하여 충전을 제어하기 위한 PWM controller 그리고 충전 상태를 보여주기 위한 LED구동 및 Digital회로가 추가되어 있다.

배터리 측(그림 2)은 배터리를 충전시키기 위한 정류부분과 배터리의 정보 즉, 배터리 전압과 전류 정보의 에러 정보를 검출하기 위한 current and voltage sensing 부분과 이 에러 정보를 충전기 측으로 보내기 위한 통신 부분 그리고 배터리가 충전기에 놓여 있는지의 여부를 판별하기 위한 pulse detector부분으로 구성되어 있다.

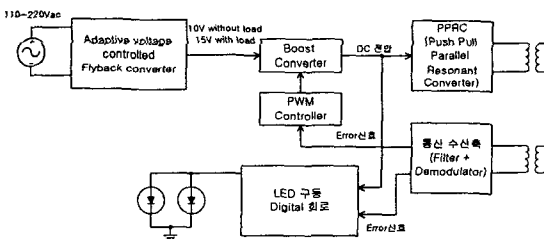


그림 1. 충전기 측의 전체 시스템 구조

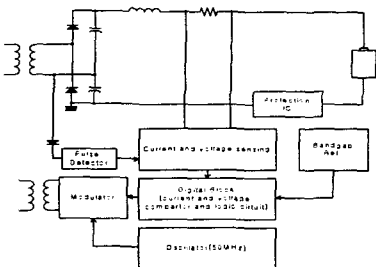


그림 2. 배터리 측의 전체 시스템 구조

배터리가 충전기에 놓였을 때, 충전되는 과정은 다음과 같다.

배터리가 충전기에 놓이면 그림 2의 배터리 측에 있는 pulse detector에 의해서 충전기측에서 보내고 있는 PPRC의 공진 파형(낮은 전압)을 검출해서 배터리 측의 IC를 동작시키기 위한 전원을 공급해준다.

배터리 측에서의 충전 정보가 충전기 측으로 전달되면 그림 1의 충전기 측에 있는 통신 수신측에서 그 정보를 demodulation하게 된다. 이 demodulation된 정보는 PWM controller를 통해서 boost converter의 duty를 조절하여 PPRC의 입력 전압을 제어하게 된다. 이때, 배터리 측에서 충전을 더 많이 필요로 하게 되면 boost converter에서 전압을 올려주게 되며, 충전이 거의 다 되어서 더 이상의 충전이 필요없게 되면 전압을 낮추어주는 동작을 하게 된다.

LED 구동 및 digital 회로 부분에서는 boost converter의 출력 전압과 배터리 측에서 보내어진 에러 신호를 이용하여 충전 정보를 보여주기 위한 LED의 구동을 담당하게 된다.

본 논문에서는 전체의 power 흐름에 관계되는 adaptive voltage controlled flyback converter, boost converter와 PPRC에 대해 자세히 다루도록 하겠다.

2.2 전력 전달부의 설계

그림 3은 power를 전달하기 위한 전체 회로를 나타내었다.

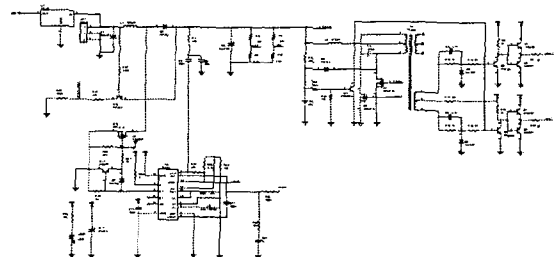


그림 3. 충전기의 전력 전달부의 회로도

110~220V의 입력전압을 Flyback converter에서 10~15V의 직류 전압으로 바꾼 후 그 전압을 입력 전압으로하여 boost converter에서 배터리로부터 전해진 에러 정보를 이용해서 전압을 조절하여 배터리의 충전 전력을 보내게 된다. 이 때, battery로 전달되는 충전 전력이 contact이 없이 보내어지므로 이러한 형태의 전력 전달을 위해서 PPRC를 이용하게 된다. Boost converter의 출력 제어는 일반적인 PWM 제어기인 TL494를 이용하였다.

2.2.1 Adaptive voltage controlled Flyback converter

배터리가 충전기에 놓였는지 놓이지 않았는지의 여부를 판별하기 위해서는 충전기 측에서 어떠한 신호를 항상 배터리 측으로 보내고 있어야 한다. 이 신호는 PPRC에서 나오는 낮은 공진전압을 의미한다. PPRC에

서 나오는 공진전압은 boost converter의 출력 전압에 의해서 결정되며, 충전율 하고 있지 않는 상황에서도 항상 약간의 전력을 소모하게 된다. 따라서 충전이 이루어지지 않을 때는 최소한의 신호만 내보내도록 설계 되어져야 하는데 이를 위해서 제시된 구조가 adaptive voltage controlled flyback converter(그림 4)이다. 충전이 되지 않을 때에는 boost converter의 입력 전압에 10V(battery 측의 pulse detector에서 공진 전압을 체크해서 battery 측의 IC를 구동시키기 위한 최소 전압)를 가해지게 하며, 충전시에는 boost converter에 15V의 입력전압을 가하게 된다.

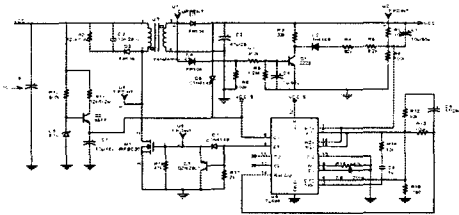


그림 4. adaptive voltage controlled flyback converter

Flyback converter의 2차측에서 정류되기 전의 duty를 검출해 내어서 많은 전력이 요구될 시(즉, duty가 큰 상태)에는 전압을 높여서 보내고, 적은 전력이 요구될 시에는 feedback되는 reference 전압을 바꾸어 주어서 낮은 전압을 내보내게 한다.

2.2.2 PPRC(Push-pull Parallel Resonant Converter)

자기 결합으로 에너지를 전달하는 방식에서는 leakage inductance가 불가피하게 생기므로 이 leakage inductance를 충분히 활용하며, 효율을 최대한 올릴 수 있는 topology를 이용해야 한다. 그리고 배터리를 충전하는 부분에서는 Li-Ion 배터리의 성능을 충분히 발휘하기 위해 적은 offset과 적은 ripple에서 정확한 제어 하에서 충전이 이루어져야 한다. 또한 외부 noise에 의해 나타날 수 있을 EMI에 대한 충분한 대비가 있어야 한다. 그리고 2차측 part가 최소화되어야 한다.

Leakage inductance를 이용하여 효율을 올릴 수 있는 방법은 공진형 converter를 이용하여, ZVS를 하는 방법이 있다. 그리고 low ripple을 위해서는 rectangular wave보다는 sine wave를 정류하는 것이 더 효과적이다. 또한 ripple을 줄이고, charger의 경량화를 위해서는 주파수를 가능한 올리는 것이 필요하다. 이러한 몇 가지 조건을 만족시키기 위한 가장 좋은 topology는 push pull parallel resonant converter이다[1-5]. 기존에 이러한 topology를 이용하여 형광등용

전자식 안정기에 사용되어졌다[5]. 본 연구에서는 주파수 200KHz 이상에서 동작시키는 것이 목표이므로, BJT를 이용한 SW방식은 적합하지 않다. 따라서 본 연구에서는 이 topology를 이용하면서, MOSFET SW를 이용하여 구동하는 방법에 대해 연구하도록 하겠다. 그리고 self resonant push pull에서 DCM에서는 frequency를 변화시켜 regulation이 가능하며, CCM에서는 다른 control이 필요하다[5]. 본 연구에서는 battery 측에서는 low ripple이 요구되므로 continuous mode에서 동작시키는 것이 필요하다. 따라서 다른 control 구조가 필요한데, boost topology를 이용한 PWM제어를 하도록 하겠다.

PPRC의 동작은 다음과 같다.

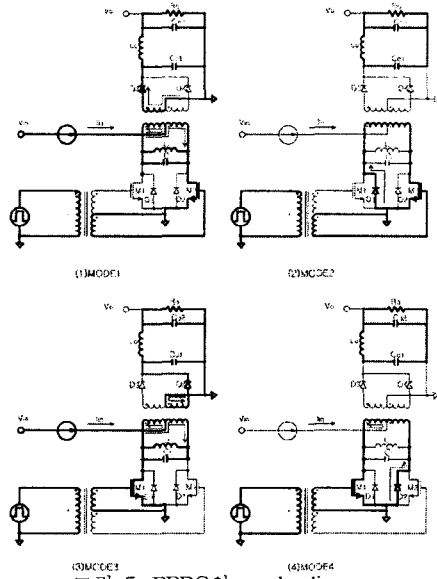


그림 5. PPRC의 mode diagram

(1) Model1 (Quasi Resonant State)

M2가 처음에 on이었다고 가정하자. (M1은 off) Lin은 Center Tap을 중심으로 좌우 반으로 나뉘어져 흐른다. 반은 M2를 통해서 흐르고, 반은 Lr, Cr의 공진 탱크에 의해 공진한다. 이 때 2차측에서는 다이오드를 통해 정류된다. Lr, Cr을 통해 공진하는 파형이 Zero voltage가 되면 Mode2로 넘어가게 된다.

(2) Mode2 (Boost State)

Lr, Cr의 공진파형이 Zero voltage가 되면, M1의 역병렬 다이오드가 on 되면서 전류가 순환하게 된다. 이때 2차측에는 넘어가는 에너지는 없다. 이 Mode에서는 역병렬 다이오드를 통해 흐르는 current에 의해서 conduction loss가 발생하며, 이 구간이 적어야 효율이 좋아진다. 이 구간을 boost stage라고 칭하는 이유는

이 구간에서 Lr과 Cr이 M1의 역병렬 다이오드와 M2를 통해서 short되는데, 결과적으로 Lin이 ground에 short되는데 이 동작은 Boost topology와 같은 역할을 한다. 따라서 이 구간이 커지면 같은 전압에서 2차측에 넘기는 에너지를 더 많이 할 수 있다. 그러나 앞에서 설명한 바와 같이 loss가 생겨 효율이 안 좋아진다. 이 mode는 M1이 on되면서 mode3으로 넘어가게 된다. M1이 on될 때, 이미 앞에서 M1의 양단 전압이 0으로 되었으므로, ZVS동작을 하게 된다. 이 ZVS동작으로 고효율의 동작이 가능하게 된다.

(3) Mode3 (Quasi Resonant State)

M1이 on되면, Mode1과 마찬가지로 입력의 Lin의 반은 M1을 통해 흐르게 되며, 나머지 반은 반대 방향으로 Lr과 Cr을 통해 공진 탱크를 이루게 된다. 공진 파형이 Zero voltage를 지나게 되면, Mode4로 넘어가게 된다.

(4) Mode4 (Boost State)

Mode2와 마찬가지로 동작하게 된다. M2가 on 되면 Mode1으로 다시 돌아가서 같은 Mode를 되풀이하게 된다.

2.3 실험 파형 및 고찰

그림 6에서는 PPRC에서 충전시 MOSFET의 전압과 전류 파형을 나타낸 것이다. 앞에서 mode별로 분석한 바와 같이 동작함을 확인할 수 있다.

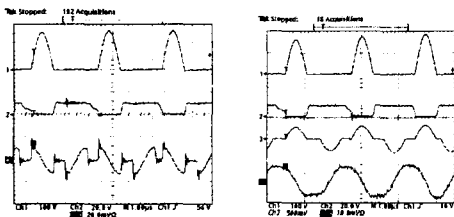


그림6. PPRC MOSFET의 파형

(좌측 : 위에서부터 Vds, Vgs, Ic(공진 cap에 흐르는 전류))

우측 : 위에서부터 Vds, Vgs, Vc(공진 cap양단 전압), IL(inductor에 흐르는 전류))

그림 7에서 보여지는 바와 같이 배터리가 충전될 시에 CC(constant voltage), CV(constant voltage)의 동작을 하는 것을 확인할 수 있다. CV에서 output voltage는 4.2V이며, CC에서 output current는 800mA이다. Ripple은 CV일 경우 50mVp-p이며, CC일 경우 80mAp-p로 Li-ion battery를 충전시키기 위한 조건에 만족함을 확인 할 수 있다.

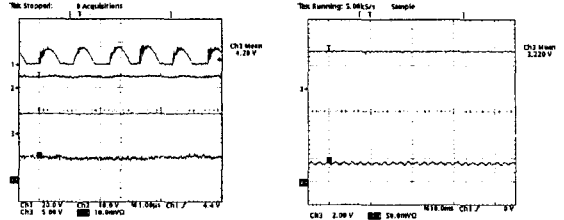


그림 7 CV, CC mode에서의 이차측 출력 파형

(좌측 : CV에서 이차측의 diode의 cathode전압, Lo1, Co1으로 filtering한 파형, LC ladder filter의 전압, output 전류파형 우측 : CC에서 output voltage, output current)

III. 결 론

새로운 PCB transformer를 이용한 가벼운 비접촉식 충전 시스템을 제안하였으며 리튬 이온 전지에 알맞은 충전 순서와 전체 시스템을 디자인하였다. 제안된 비접촉식 충전기는 flyback+PPRC를 이용하는 전력 전달부와 전지의 전압과 전류를 감지하여 bang-bang 제어를 하는 무선 제어부로 구성되어 있다

비접촉식 충전에 알맞은 새로운 구조를 이용한 비접촉식 충전기의 무선 데이터 전송 시스템에 대해서 고찰하였으며 특히 전체 시스템의 설계와 power 전달 part에 초점을 맞추어 기술하였다.

향후 data transfer를 위해 설계된 칩이 제작되어 측정을 거쳐 상용화가 된다면 휴대폰 충전 시 모든 충전기에 대해서 공통적으로 쓰일 수 있으므로 매우 편리하고 그 파급 효과 또한 매우 크다고 하겠다.

[참 고 문 헌]

[1] T. Ninomiya, T. Higashi, K. Harada, N. Tsuya and Y. Honda, Analysis of the static and dynamic characteristics of push-pull resonant converters, PESC86, 367-374, 1986.
 [2] A. Abramovitz and S. Ben-Yaakov, A novel self oscillating synchronously rectified DC-DC converter, PESC-91, 163-170, 1991.
 [3] Daniel Edry, Sam Ben-Yaakov, Capacitive-loaded push-pull parallel-resonant converter, IEEE, 51-57, 1993.
 [4] G. Ivensky, A. Abramovitz, M. Gulko, S. Ben, A resonant DC-DC Transformer, IEEE Applied Power Electronics Conf. Proc., 731-737, 1992
 [5] 박종영, 능동필터와 전류원방식 공진형 인버터로 구성된 전자식 안정기, 석사학위 논문