

안정적인 무선 충전 시스템을 위한 무선통신 방식 제안

함석형, 최동혁, 김강봉
삼성전자 S.LSI

Proposed wireless communication method for a reliable wireless charging system.

Seokhyeong Ham, Donghyuk Choi, Kangbong Kim
Samsung Electronics S.LSI

ABSTRACT

본 논문은 모바일, 무선 이어폰, 스마트 워치 등 다양한 전자기기에서 사용되는 무선 충전을 위한 최적의 통신 방법을 제안 한다. 무선 충전 시 충전 패드 및 단말기의 정보 전달, 충전 전압/전류 조절, FOD(Foreign Object Detection)에 의한 보호 동작 등을 위해서 TX와 RX간 양방향 통신은 필수적이다. 모바일 단말기에서 충전 패드로 정보를 전달하기 위해서는 ASK(Amplitude Shift Keying) 변조 방법을 사용하는데, 기존 무선 충전 시스템에서는 통신 캐패시터를 연결/분리 하여 공진 주파수 변경을 통한 전압 변조를 실행한다. 하지만 이러한 기법의 경우 전압 변조를 위한 추가적인 캐패시터가 필요하고 무선 충전 조건에 따라서 negative packet과 audible noise가 발생하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 발생시키지 않으면서 ASK 변조를 할 수 있는 통신 기법을 제안한다. 제안된 방법은 SIMPLIS simulation 및 5W 급 모바일 무선 충전 회로에서 검증되었다.

1. 서론

최근 널리 사용되는 스마트 폰, 스마트 워치, 무선 이어폰 등의 모바일 기기에는 유선 충전, 무선 충전의 두가지 충전 방법이 있다. 이 중 무선 충전은 케이블 없이 충전 가능하며 포트가 필요 없어 방진/방수 측면에서 유리하다는 장점 등으로 시장에서 점차 확대 적용되고 있다.^[1]

이러한 무선 충전에서는 전압/전류 제어, FOD 보호 동작 등을 위해서 TX와 RX간 무선 통신이 반드시 필요하다. TX에서 RX로는 FSK(Frequency Shift Keying) 방식으로 data를 전달하고, RX에서 TX로는 ASK 방식으로 data를 전달하여 통신 하는데, 이 중 ASK 방식은 그림 1과 같이 RX의 AC단과 접지 사이에 캐패시터를 추가로 연결함으로써 RX단 임피던스를 변화시켜 V_{RECT} 전압의 진폭을 변조시킨다.^[3] 무선 통신 표준인 WPC Qi 기준으로 2kHz의 주파수 마다 진폭 변조로 하나의 data를 전달하며, 진폭 변화가 없으면 '0' 진폭 변화가 한 번이면 '1'의 data를 의미한다.^[4] 이러한 ASK 방식은 간편하고 쉽게 진폭을 변화시킬 수 있다는 장점이 있지만, 입출력 전압, 충전 전류, 코일 인덕턴스 및 공진 캐패시턴스, 무선 충전 정렬 상태 등의 여러 조건에 따라서 진폭 변화가 positive 또는 negative의 두가지 방향으로 변화하는 단점도 있다. 그림 2와 같이 CM cap이 추가될 때 무선 충전 시스템의 gain curve가 동작 주파수에서 증가하는 방향이라면 positive packet이 만들어지지만 감소하는 방향으로 변조되면 negative

packet이 만들어진다. 이렇게 만들어진 그림3(b)의 negative packet은 무선 충전 시스템에 여러가지 문제를 일으킬 수 있는데, 첫번째로 packet 전송 시 V_{RECT} 전압이 과도하게 감소되어 RX IC의 동작 전원 기준치인 UVLO 전압 아래로 내려갈 경우에는 IC가 reset되어 무선 충전이 중단될 수 있고, negative packet으로 V_{RECT} 전압이 배터리 전압보다 낮아질 경우 배터리 충전 IC가 reverse boost 모드로 동작하게 되고 이로 인해 발생하는 reverse 전류는 충전 시스템에 부정적인 영향을 미칠 수 있다.

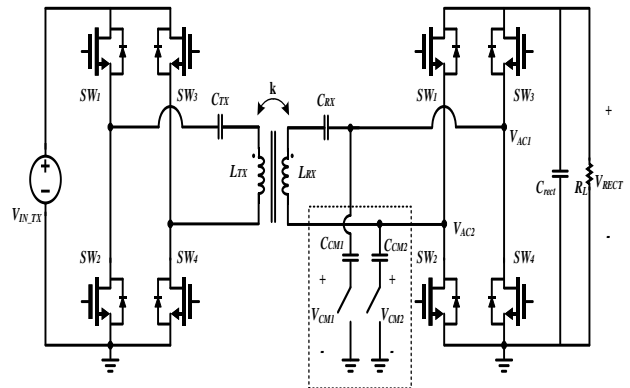


그림 1 일반적인 무선 충전 시스템에서 ASK 구현 방법
Fig. 1 A structure of an ASK implementation in a typical wireless charging system

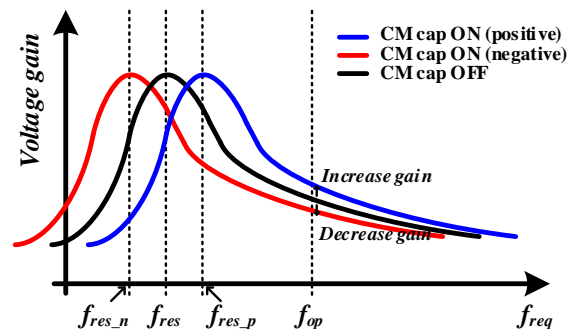
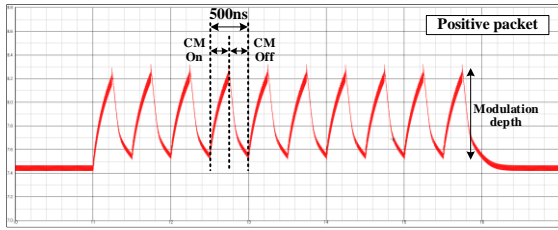
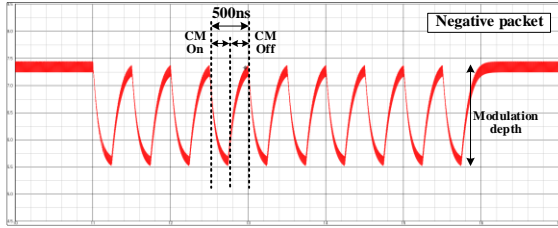


그림 2 기존 ASK 방식에서의 전압 이득 변화
Fig. 2 The voltage gain variation in the conventional ASK method



(a) Vrect 전압 Positive packet 파형



(b) Vrect 전압 Negative packet 파형

그림 3 기존 ASK 방식에서 진폭 변조에 따른 패킷 유형
Fig. 3 Packet types with amplitude modulation in the conventional ASK method

또한 ASK 변조를 위해 사용되는 C_{CM} 은 가격적인 장점으로 인해 주로 MLCC가 사용되는데, ASK 통신을 위해 C_{CM} 이 2kHz 주파수로 충전/방전을 반복하게 되면서 캐패시터가 물리적으로 변형되게 되고 이는 PCB 표면을 진동시켜 기관 공진으로 인한 audible noise를 유발할 수 있다.^[2]

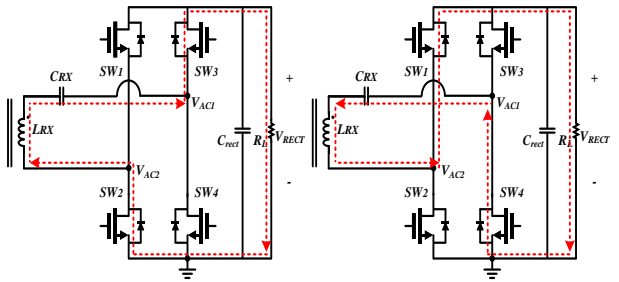
본 논문에서는 이러한 기존 ASK 방식의 단점을 보완할 수 있는 새로운 통신 방법을 제안한다. 제안하는 통신 방법은 negative packet을 유발하지 않으며, 추가적인 캐패시터 없이 통신이 가능하다. 이로 인해 보다 안정적인 무선 충전 동작이 가능하며 시스템 구현에 필요한 소자 수를 감소시킬 수 있다. 본 논문에서는 simulation 을 통하여 실현 가능성을 확인하였으며, 실제 5W 급 모바일 충전 회로에서 실험을 진행하여 기능을 검증하였다.

2. 제안하는 통신 방식의 동작 원리

본 장에서는 제안하는 통신 방법의 동작 원리를 설명한다. 기본적인 무선 충전에서의 ASK 통신은 TX에서 128kHz 주파수로 전달되는 AC를 정류하여 Load로 전달하는 도중에 2kHz 주파수로 진폭 변조를 통한 통신 packet을 만든다. 통신 packet을 전달하지 않는 구간인 Mode 1에서는 코일에 양의 전압이 인가되는 AC 주기 동안은 SW_2 , SW_3 으로 전류가 흐르고, 코일에 음의 전압이 인가되는 AC 주기 동안은 SW_1 , SW_4 로 전류가 흘러서 Load에는 정류된 전압이 전달된다. 이것은 기존 방법과 동일하게 full-wave rectifier 구조를 이용하여 AC 전압을 정류하여 출력으로 전달하는 원리이다. (그림 4(a)).

통신 packet을 전달하는 구간인 Mode 2에는 SW_2 를 항상 turn-on 함으로서 half-wave rectifier 구조로 AC 전압을 정류하여 출력으로 전달한다 (그림 4(b)). 코일에 양의 전압이 인가되는 동안에는 SW_2 , SW_3 으로 전류가 흐르고, 코일에 음의 전압이 인가되는 동안에는 SW_2 , SW_4 의 path로 전류가 흐른다. Half-wave rectifier 구조로 변경됨에 따라 공진 캐패시터 C_{RX} 에는 DC 바이어스 전압이 인가되고 출력에는 해당 전압만큼 더해져서 전달된다.

(a) Mode 1 (Modulation OFF)



(b) Mode 2 (Modulation ON)

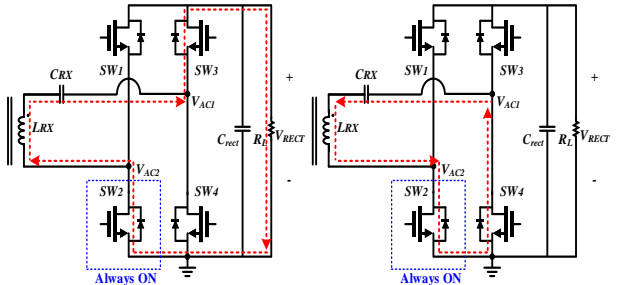


그림 4 제안하는 통신 방식의 진폭 변조 방법

Fig. 4 Amplitude modulation of the proposed communication method

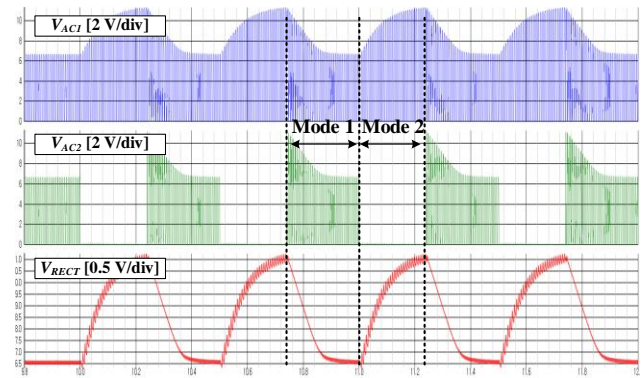


그림 5 제안하는 통신 방식의 진폭 변조 파형

Fig. 5 Waveforms of the proposed communication method

따라서 Mode 2에서 출력 전압인 V_{RECT} 는 무선 충전 AC voltage gain과 C_{RX} 의 DC 전압의 합이 출력 캐패시터 C_{RECT} 에 의해 필터링 되어 나타나게 되어 Mode 1에 비해서 높은 전압으로 진폭 변조되는 positive packet을 만들 수 있다.^[5,6]

그림 5는 제안하는 진폭 변조 방법을 시뮬레이션을 이용하여 구현한 packet의 파형이다. Mode 2에서 SW_2 를 turn-on 되면 AC1은 동일하게 AC 전압이 들어오지만 AC2는 GND가 된다. 따라서 그림 4의 half-wave rectifier 구조가 되어 V_{RECT} 가 증가하고 Mode 1에서 다시 full-wave rectifier 구조로 변경하면 V_{RECT} 가 감소한다. 이를 무선 충전 표준에 맞게 2kHz 마다 주기적으로 반복하면 그림5와 같이 positive packet을 만들 수 있다.

3. 실험 결과

제안하는 통신 방법의 동작을 검증하기 위해서 표 1의 조건에 따라 회로 해석 시뮬레이션 툴인 SIMPLIS를 이용하여 검증을 진행하였다. 동일한 입력 전압, 코일 인덕턴스, 공진

캐패시턴스 조건에서 주파수 변동에 따른 출력 전압 V_{RECT} 를 기록한 결과가 그림 6의 그래프이다.

파란색 그래프는 변조 전 V_{RECT} 전압이고 주황색은 제안하는 변조 방법을 사용했을 때의 전압, 회색은 기존 진폭 변조 방법을 사용했을 때의 전압이다. 기존 진폭 변조 방법을 사용했을 경우에 변조 전보다 V_{RECT} 전압이 더 낮아지는 negative packet이 발생하는 반면에 제안하는 변조 방법을 사용했을 경우에는 대부분의 동작 주파수 영역에서 positive packet이 발생함을 확인할 수 있었다.

표 1 시뮬레이션 검증 조건

Table 1 Design parameters of Wireless power transfer system

L_{TX}	10 μH	L_{RX}	12 μH
C_{TX}	450 nF	C_{RX}	100 nF
k (Coupling coefficient)	0.7	f_{sw}	50 ~ 140 kHz
$V_{IN,TX}$	9 V	I_{OUT}	400 mA

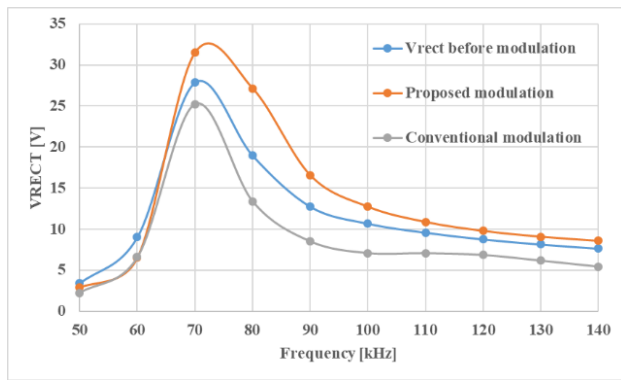


그림 6 기존 방법과 제안하는 방법의 진폭 변조 결과 비교
Fig. 6 Comparison of amplitude modulation results of the conventional and proposed method

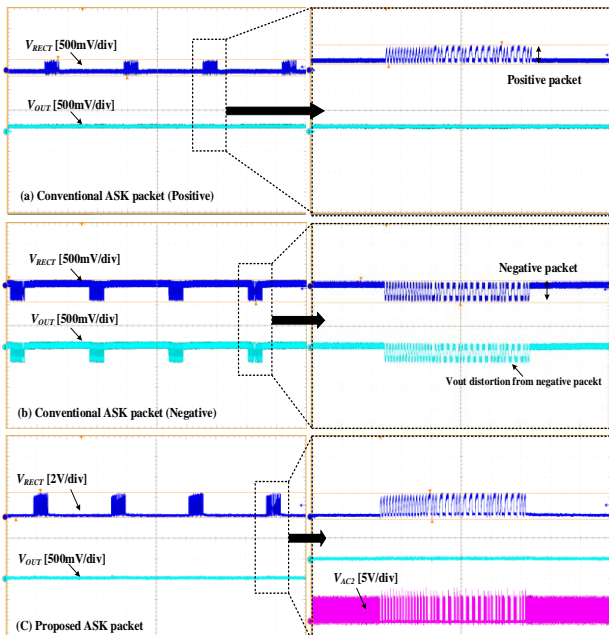


그림 7 제안하는 통신 방식의 상용 TX PAD와 호환성 테스트 결과

Fig. 7 Compatibility test results with commercial TX PAD of the proposed method

또한 실제 충전 시스템에서 제안하는 방법의 동작 여부를 확인하기 위해서 상용 TX PAD인 EP-PG950 제품과 호환성 테스트를 진행하였다. 기존 변조 방법을 사용하였을 시 코일 정렬 상태, Load 조건에 따라서 그림 7(b)와 같이 negative packet이 발생하였으며, 이로 인해 V_{OUT} 왜곡이 발생하여 IC reset 또는 충전 시스템이 불안정해질 수 있음이 확인되었다. 동일한 조건에서 제안하는 변조 방법을 사용하면 그림 7(c)와 같이 positive packet이 만들어져 기존 방법의 단점을 보완할 수 있었으며 장시간 충전 시 TX/RX간 통신에 의해 안정적으로 data 전달되어 끊김 없이 무선 충전이 지속됨을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 기존 무선 통신 방법의 단점이었던 negative packet 문제를 해결할 수 있는 새로운 ASK 진폭 변조 방법을 제안하였다. 제안된 변조 방식을 이용하면 동일 조건에서 negative packet이 발생하지 않아 안정적인 충전이 가능함을 확인하였으며, 추가적인 capacitor 없이 무선 통신이 가능하기에 시스템 구성을 위한 소자 수 또한 감소 가능함을 확인 하였다. 시뮬레이션을 통해서 기본 동작을 확인 하였으며 평가 보드와 상용 TX pad를 이용한 호환성 테스트를 통하여 안정적인 무선 충전이 가능함을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] S. Y. Hui, "Planar Wireless Charging Technology for Portable Electronic Products and Qi," in Proceedings of the IEEE, vol. 101, no. 6, pp. 1290–1301, June 2013.
- [2] 권영준; 김수진; 이성훈. MLCC 에서 발생하는 소음의 원인과 저감방법 연구. 한국자동차공학회 춘계학술대회, 2019, 602–605.
- [3] CHOI, W. P., et al. Bidirectional communication techniques for wireless battery charging systems & portable consumer electronics. In: 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). IEEE, 2010. p. 2251–2257.
- [4] WASHAK, James; ALEXANDRU, Cristina; ZHU, Dibin. Development of an automatic bidirectional wireless charging system for mobile devices. In: 2019 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC). IEEE, 2019. p. 380–384.
- [5] MOON, SangCheol; MOON, Gun-Woo. Wireless power transfer system with an asymmetric four-coil resonator for electric vehicle battery chargers. IEEE Transactions on Power Electronics, 2015, 31.10: 6844–6854.
- [6] LI, Xiaojiang, et al. A WPT System with Wide-Range Voltage Gains and Soft Switching via Primary-Side Hybrid Modulation. IEEE Transactions on Power Electronics, 2024.