

스위치드-커패시터를 이용한 무선충전회로의 파라미터 튜닝

김명수, 강병극, 정세교
경상대학교 제어계측공학과

Parameter Tuning of Wireless Charging Circuit using Switched-Capacitor

Myoung Su Kim, Byeong Geuk Kang, Se Kyo Chung
Gyeongsang National University

ABSTRACT

This paper presents a parameter tuning method of a LLC resonant converter for a wireless charging circuit. A switched capacitor is used to change the resonant frequency of the resonant circuit. The simulation results verify that the efficiency of the power transfer can be improved by a duty control of the switched capacitor for various values of the coupling coefficient

1. 서론

무선전력전송의 방식에는 전자기파방사방식, 자기유도방식, 자기공명방식이 있다. 이 중 무선충전회로에서는 높은 효율을 가지는 유도성 결합(inductive coupling)회로의 자기공명방식이 널리 사용된다.^[1] 이 방식에서는 송신단과 수신단 코일 사이의 거리에 따라 결합계수(K)가 변하게 된다. 그 결과 공진회로의 파라미터에 변화가 생겨 전력전송 효율이 저하되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 송신회로에 인덕턴스와 커패시터를 추가하는 Impedance Matching(IM) 회로에 대한 연구가 행해지고 있다.^{[2][3]} 하지만 IM 회로는 인덕턴스와 커패시터의 값을 정확한 매칭 값으로 튜닝하기가 쉽지 않다. 이에 본 논문에서는 스위치드 커패시터를 이용한 무선충전회로를 제안하고 결합계수에 따른 공진주파수의 변화를 알아보았다. 제안된 무선충전회로에서 결합계수의 변화에 따른 파라미터 값을 튜닝 하여 시뮬레이션하고, 시뮬레이션 결과를 통해 효과를 검증한다.

2. 본론

2.1 제안된 스위치드-커패시터 무선충전회로

그림 1은 제안된 무선충전회로이며, 송신단은 LLC 공진 컨버터로 구성되어있고, 고정된 커패시터와 스위치드 커패시터가 병렬로 연결되어 있다.

2.2 결합계수(K)에 따른 최대 전압전달비를 가지는 주파수 변화

송신단과 수신단의 거리가 달라지면 결합계수가 변하게 된다. 결합계수가 변하게 되면 1차측으로 환산한 파라미터 값이

변하게 되어 공진 주파수가 변하게 된다. 그림 2는 결합계수의 변화에 따른 최대 출력전압을 가지는 주파수의 변화 그래프이다. 여기서는 스위치드 커패시터를 적용하지 않았으며, 송수신단 회로의 파라미터는 다음과 같다. $L_1=L_2=2.01[\mu H]$, $C_{r1}=C_{rk}=25[nF]$, $R_k=0.8[\Omega]$, $R_L=25[\Omega]$.

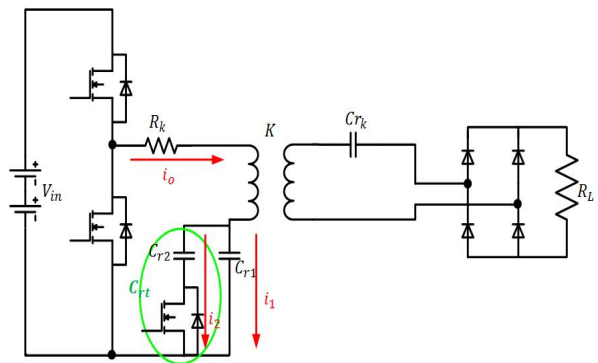


그림 1 제안된 무선충전회로

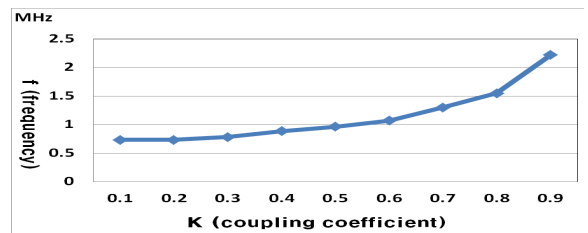


그림 2 결합계수에 따른 최대 전압전달비를 가지는 주파수

2.3 스위치드-커패시터 회로와 파라메타 튜닝

그림 3은 본 논문에서 적용한 스위치드 커패시터의 동작원리를 나타내는 그림이다. 스위치가 켜질 경우 듀티에 비례해서 전하가 충전되며, 공진전류에 때문에 역방향으로 다이오드를 통해 동일한 시간동안 전하가 충전된다. 따라서 듀티를 변경하여 커패시터의 전하량을 조절하고, 실효 커패시터 값을 바꿀 수 있다. 스위치가 켜질 때 보조 커패시터에 충전되는 전하량은 커패시터의 전류를 $(DT_s/2)$ 시간으로 적분을 한 값과 같다. 이 전하량을 Q_1 이라 하고, 전체 커패시터의 전하량을 Q_2 라 할 때 전하량과 커패시터 값을 비례함으로 실효 커패시터의 값은 다음과 같다.

$$C_{rt} = \{(1 - \cos D\pi)/2\} \times C_{r2} \quad (1)$$

여기서 $D = T_{on}/(T_s/2)$

이때 공진 커패시터 값은 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$C_0 = C_{r1} + C_{rt} \quad (2)$$

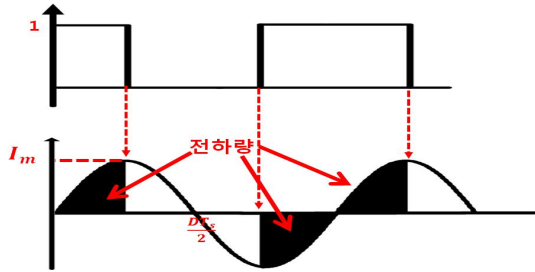


그림 3 보조커패시터에 충전되는 전하량

표 1은 결합계수의 변화에 따른 공진커패시터와 듀티를 나타낸 표이다. 결합계수가 변할 경우, 최대 전압전달비를 얻을 수 있는 커패시터와 이때 스위치드 커패시터의 듀티를 나타낸 것이다.

표 1 결합계수(K)의 변화에 따른 공진커패시터와 듀티

K	$L_1 = L_2$ [μH]	C_0 [nF]	D
0.1	2.01	12.55	0.04
0.2	2.01	12.7	0.08
0.3	2.01	13.69	0.2
0.4	2.01	15.4	0.32
0.5	2.01	25	1

그림 4는 최대 전압전달비를 가지는 주파수의 파형이다. 스위치드 커패시터를 적용하지 않은 경우 $K=0.5$ 일 때 그림 4(a)와 같이 1M[Hz]에서 최대 전압전달비를 가진다. 이 때 $K=0.2$ 로 바뀌면 그림 4(b)와 같이 최대 전압전달비를 가지는 주파수가 변하게 된다. 변화한 주파수는 스위치드 커패시터를 이용한 무선충전회로의 듀티를 조절하여 그림 4(d)와 같이 결합계수가 변하더라도 1M[Hz]에서 최대 전압전달비를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

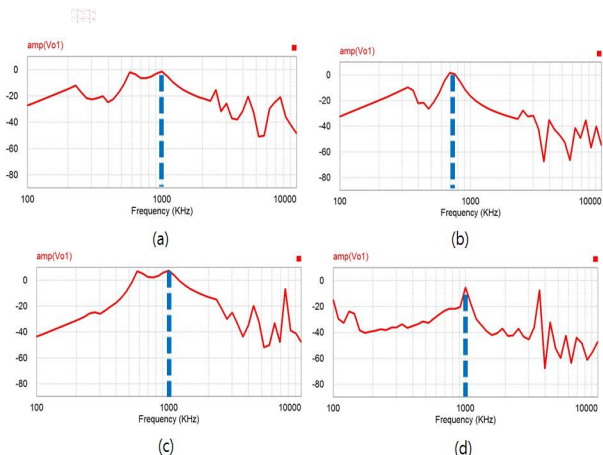


그림 4 최대 전압전달비를 가지는 주파수

(a) $K=0.5$ (b) $K=0.2$ (c) $K=0.5$ 듀티= 1 (d) $K=0.2$ 듀티=0.08

3. 시뮬레이션

그림 5는 무선충전회로의 출력파형이다. 그림 5(a)는 $K=0.5$ 에서 최대 전압전달비를 가지는 회로의 출력전압을 나타낸 그림이며, 이때 $L_1=L_2=2.01$ [μH], $C_{r1}=C_{r2}=12.5$ [nF], $C_{rk}=25$ [nF], $R_k=0.8$ [Ω], $R_L=2.5$ [Ω]을 가진다. 이 회로에서 $K=0.2$ 로 변화 시켰을 때 그림 5(b)와 같이 출력전압이 떨어진다. 떨어진 전압은 스위치드 커패시터를 이용한 무선충전회로의 듀티를 조절하여 그림 5(d)와 같이 출력전압을 개선 할 수 있다. 이는 파라미터 튜닝을 통해 전압전달 특성을 개선 할 수 있음을 의미한다.

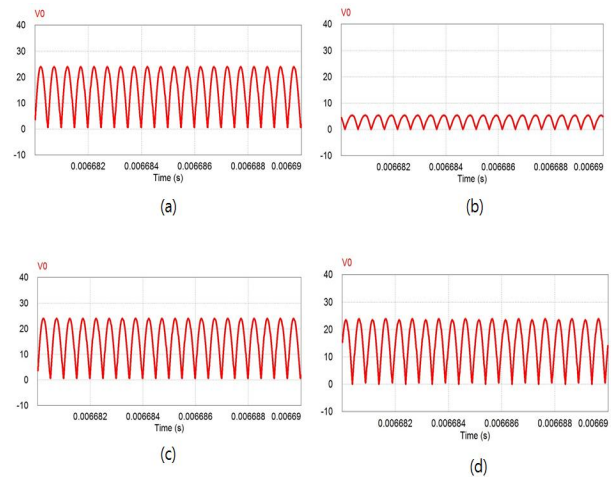


그림 5 무선충전회로의 출력파형

(a) $K=0.5$ (b) $K=0.2$ (c) $K=0.5$ 듀티=1 (d) $K=0.2$ 듀티=0.08

4. 결론

본 논문에서는 스위치드 커패시터를 추가한 무선충전회로를 제안하였다. 결합계수가 변할 때 최대 전압전달비를 가지는 주파수 변화를 확인 하였고, 결합계수의 변화에 따른 실효 커패시터와 공진커패시터 그리고 듀티를 구하였다. 또한 결합계수가 변화에 의해 나빠진 출력전압을 제안된 스위치드 커패시터 회로의 듀티를 조절하여 전압 전달특성을 개선 시켰다.

참고 문헌

- [1] A. Kurs; A. Karalis; R. Moffatt; D. Joannopoulos; P. Fisher; M. Soljačić; "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances," in Science Express on 7 June 2007, Vol. 317. no. 5834, pp. 83 86
- [2] B. Teck Chuan; M. Kato; Oh. S.H; Y. Hori, "Automated Impedance Matching System for Robust Wireless Power Transfer via Magnetic Resonance Coupling" IEEE Transactional Electronice, Vol. 60. no.9, pp. 3689 3698
- [3] B. Teck Chuan; M. Kato; Y. Hori, "Basic Study on Improving Efficiency of Wireless Power Transfer via Magnetic Resonance Coupling Based on Impedance Matching", IEEE ISIE, ISIE 2010, IEEE pp. 2011 2016