

1.2 MHz 스파이럴 ECR을 이용한 무선전력전송 기술

박재현, 양해열, 김창선
 목포대학교 전기공학과

1.2 MHz Wireless Power Transfer Technology using a Spiral-type ECR device

PARK Jaehyun, YANG Haeyoul, KIM Changsun
 Dept. of Electrical Engineering, Mokpo National University

ABSTRACT

To transfer the power wirelessly, the inverter converted DC power to a high frequency MHz grade AC power. And the ECR devices for wirelessly transmitting the power are required. In this paper, the spiral type ECR device and the high frequency inverter were designed. The operating frequency is approximately 1.2MHz. In addition, using a vector network analyzer, the 1.2MHz operating characteristics of the ECR device for wireless power transfer module are analyzed. It is performed and reviewed on validity of wireless power transfer technologies through experiments.

1. 서론

무선전력전송을 하기 위해서는 DC전력을 MHz 급의 AC 전력으로 고주파 전력변환이 가능한 고주파 인버터와 MHz 급의 AC 전력을 무선으로 전력전송을 위한 ECR 장치가 필요하다. 무선전력전송을 하기 위해 약 1.2MHz에서 동작하는 고주파 인버터와 스파이럴 타입의 ECR 장치를 설계하였으며, 설계 스펙과 각각의 효율을 제시하였다.

2. 고주파 공진형 인버터

2.1 Class Φ_2 인버터

Class Φ_2 인버터의 경우 Class F 전력증폭기와 Class E 인버터 토폴로지의 문제점인 입력단의 에너지 저장 소자인 인덕터(Choke)의 크기를 줄임으로써, 빠른 응답 특성을 얻을 수 있다는 장점과 인덕터 L_F 와 스위치에 여분의 $C_{F\text{ EXTRA}}$ 를 병렬로 연결함으로써, 스위치의 턴 오프 시, L_F 와 $C_{F\text{ EXTRA}}$ 그리고 스위칭 소자의 내부 기생 커패시턴스를 흡수해 회로가 공진이 일어나며, 영 전압 스위칭을 하게 된다. 따라서, 입력단의 인덕터(Choke)의 크기를 줄이고, 기생 커패시턴스의 영향을 줄여, 스위칭 양단의 전압 스트레스를 기존의 영 전압 스위칭 전력변환기에 비해 30~40% 정도 줄일 수 있다.[1] 따라서, 무선전력전송 용 고주파 인버터로 결정하였으며, 그림 1에 Class Φ_2 인버터 회로를 나타내었다.

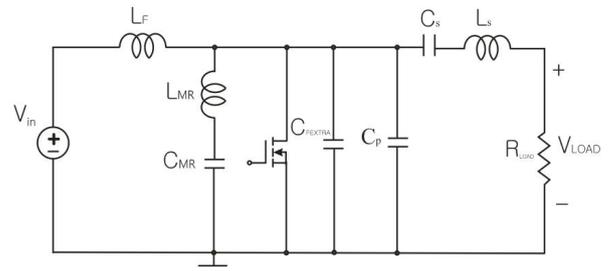


그림 1 Class Φ_2 인버터
 Fig. 1 Class Φ_2 inverter

2.2 무선전력전송을 위해 고안한 Class Φ_2 인버터

그림 1의 Class Φ_2 인버터의 특성을 그대로 유지하면서, 스파이럴 타입의 ECR 장치로의 무선전력전송을 위해 아래 그림 2와 같이 출력 측의 회로를 변경하였다. 인버터의 출력단은 ECR 장치의 소스코일과 연결 된다.

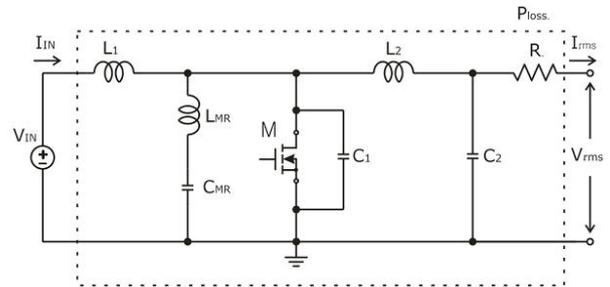


그림 2 무선전력전송 용 Class Φ_2 인버터
 Fig. 2 Class Φ_2 inverter for wireless power transfer

Class Φ_2 인버터의 설계사양으로는 스위칭 주파수 $f_s = 1.23\text{MHz}$, 입력전압 $V_{IN} = 72\text{V}$, 입력전류 $I_{IN} = 3.0\text{A}$ 로 설계하였으며, 이 때의 출력전압 $P_{out} = 168.36\text{W}$ 이다. 이때의 인버터의 입,출력 효율은 75.9% 이다.

표 1에는 1.23MHz에서 동작하기 위한 Class Φ_2 인버터의 소자값을 제시하였으며, 그림 3과 그림 4에는 입력전압 $V_{IN} = 72\text{V}$ 에서의 Class Φ_2 인버터의 스위치 양단의 전압과 출력전압과 전류 파형을 나타내었다.

표 1 Class Φ_2 인버터 회로 사양
Table 1 List of components for Class Φ_2 inverter

Part	Value
R_1 [Ω]	4 [Ω]
L_1 [μH]	3.5 [μH]
L_2 [μH]	8.2 [μH]
L_{MR} [μH]	12 [μH]
C_1 [pF]	300 [pF]
C_2 [nF]	2 [nF]
C_{MR} [pF]	300 [pF]

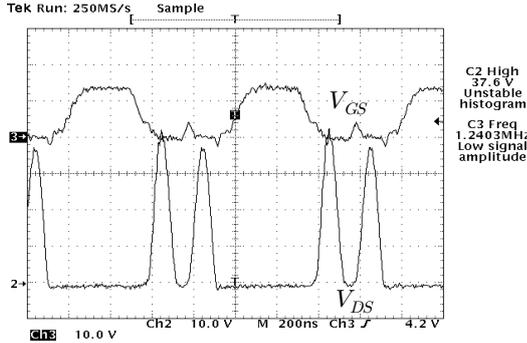


그림 3 $V_{GS}(10V/div)$, $V_{DS}(100V/div)$ 실험파형
Fig. 3 Experimental waveforms of V_{GS} and V_{DS}

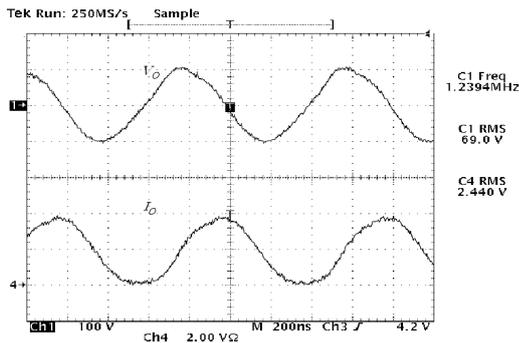


그림 4 $V_O(10V/div)$, $I_O(2A/div)$ 실험파형
Fig. 4 Experimental waveforms of V_O and I_O

3. 스파이럴 공진 코일

3.1 스파이럴 공진 코일 설계 및 실험

소스코일에는 $f_s=1.23\text{MHz}$ 인버터 출력이 인가되며, 그에 따라 ECR 장치의 설계가 필요하며 스파이럴 타입의 송,수신 코일의 설계[2]와 더불어 ECR 장치의 공진주파수를 인버터의 출력 주파수인 1.23MHz에 근접하게 설계해야 한다.

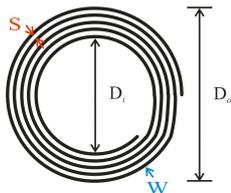


그림 5 스파이럴 코일 구성도
Fig. 5 Configuration of the spiral coil

$$L(mH) = \frac{N^2 A^2}{30A - 11D_i} \quad (1)$$

$$A = \frac{D_i + N(W+S)}{2} \quad (2)$$

Inner diameter(D_i) : 코일의 최내각 전체 반경, 단위 inches
Outer diameter(D_o) : 코일의 최외각 전체 반경, 단위 inches
Wire diameter(W) : 스파이럴 코일의 두께, 단위 inches
Turn spacing(S) : 코일과 코일사이의 거리, 단위 inches
Number of turns(N) : 코일의 감은 횟수

아래에는 벡터 회로망 분석기로 측정한 ECR 장치의 측정결과를 나타내었다. 그림 6에서는 거리 31cm($f_r=1.14\text{MHz}$)에서 ECR 장치의 최대효율은 74%이다. 송신코일과 수신코일의 거리 60cm에서는 약 $f_r=1.2\text{MHz}$ 이며, 무선전력전송을 통해 60W 백열전구를 점등하였다.

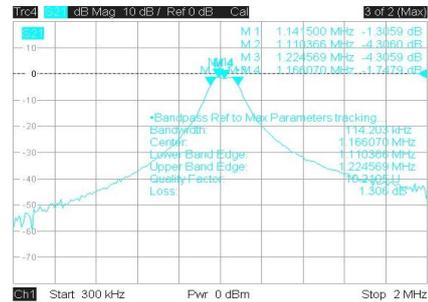


그림 6 Log Mag S21 측정 결과
Fig. 6 Scattering Parameter measurement results

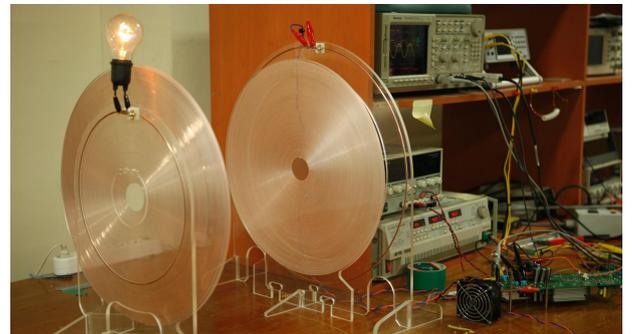


그림 7 무선전력전송 ECR 장치(60W 전구 점등)
Fig. 7 ECR device for wireless power transfer(60W light-bulb)

4. 결론

본 논문에서의 무선전력전송 용 1.2MHz 인버터와 스파이럴 타입의 ECR 장치를 설계하였다. 각각 측정된 최대효율은 인버터 75.9%, ECR 장치 74% 였으며, 60cm 거리에서 60W 백열전구를 점등하였다. 인버터와 ECR 장치의 설계와 실험을 통해 1.2MHz 스파이럴 ECR 장치의 무선전력전송 여부를 고찰하였다.

참고 문헌

[1] Juan M. Rivas, Yehui Han, Olivia Leiternann, Anthony Sagneri, David J. Perreault, "A High Frequency Resonant Inverter Topology with Low Voltage Stress", IEEE, p2713 2714, 2007.
[2] Steve Bell, "Flat Sprial coil", DeepfriedNeon, <http://deepfriedneon.com/>